

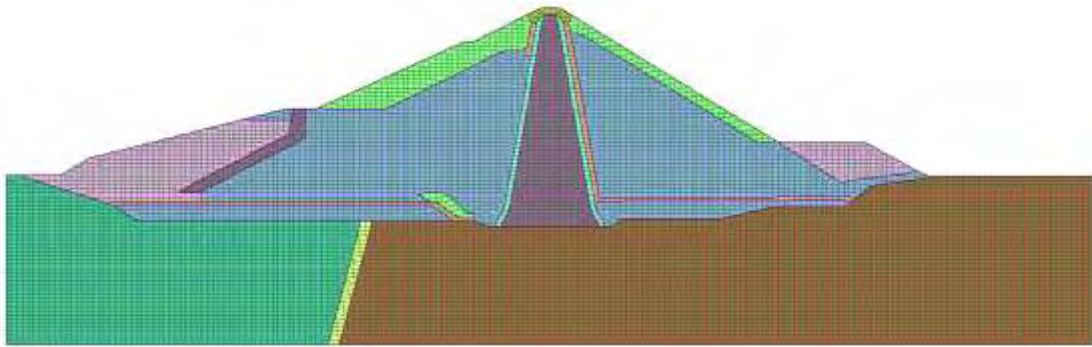


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΡΓΙΑΙΚΟ ΠΥΡΗΝΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκπόνηση: Παπανικολάου Ιωάννης
Τσιπουράς Μιχαήλ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ντακούλας Παναγιώτης

ΒΟΛΟΣ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε για την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μας σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017.

Πριν την παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας, των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων αυτής θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους παράγοντες που συντέλεσαν στην εκπόνησή της, αλλά και σε όλη την ακαδημαϊκή μας ζωή.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλουμε στον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Ντακούλα Παναγιώτη για το ενδιαφέρον του, την υπομονή του και τη διάθεσή του να μας καθοδηγήσει και να μας συμβουλέψει τόσο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των μαθημάτων του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών.

Επιπλέον, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους κ. Κωμοδρόμο Αιμίλιο και κ. Εφραιμίδη Γεώργιο για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή εξέτασης της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τις δημιουργικές παρατηρήσεις τους.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ αξίζουν οι οικογένειες μας για την κατανόηση και την συμπαράσταση τους σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Γιάννης Παπανικολάου,
Μιχάλης Τσιπουράς
Βόλος, 2017

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την ανάλυση ευστάθειας των πρανών ενός ιδεατού φράγματος κατά την κατασκευή του, κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα, καθώς και την δυναμική ανάλυση του φράγματος μετά από σεισμική διέγερση με την χρήση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.

Αρχικά, παρουσιάζονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία για τα φράγματα, όπως τα είδη των φραγμάτων, ο λόγος κατασκευής τους καθώς και τα οφέλη και οι αρνητικές συνέπειες που ενδεχομένως παρουσιάσουν. Έπειτα γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο επιλέχθηκε η τυπική διατομή του ιδεατού φράγματος, οι κλίσεις των πρανών καθώς και οι ιδιότητες κάθε ζώνης του.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία προσομοίωσης του ιδεατού φράγματος στο πρόγραμμα FLAC 7.0. Συγκεκριμένα αναλύεται η διαδικασία για την προσομοίωση και την ανάλυση του ιδεατού φράγματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, της πλήρωσης του ταμιευτήρα αλλά και κατά την επιβολή σεισμικής διέγερσης.

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κάθε ανάλυσης ξεχωριστά καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτές.

Τα φράγματα είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την εκμετάλλευση της γεωμορφολογίας της Ελλάδας και για το λόγο αυτό η ανάλυση τους είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη καθώς δίνει σημαντικές πληροφορίες για την συμπεριφορά τους αλλά και τον τρόπο λειτουργίας τους.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Σκοπός Κατασκευής Φραγμάτων	1
1.2 Τύποι Φραγμάτων	2
1.2.1 Φράγματα από σκυρόδεμα	4
1.2.2 Γεωφράγματα	6
1.3 Κατανομές δυνάμεων και τάσεων	8
1.4 Αστοχία Φραγμάτων – Αιτίες και Αποτελέσματα	11
1.5 Επιπτώσεις κατασκευής φραγμάτων.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	15
2.1 Γενικά.....	15
2.2 Ζώνες Χωμάτινου Φράγματος.....	17
2.2.1 Κύριες ζώνες γεωφράγματος.....	17
2.2.2 Διαζώνηση και Ιδιότητες Φράγματος Προσομοίωσης	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Γενικά Χαρακτηριστικά Προγράμματος FLAC	25
3.3 Ανάλυση Ευστάθειας Φράγματος Προσομοίωσης	25
3.3.1 Ανάλυση Ευστάθειας Φράγματος κατά την Σταδιακή Κατασκευή του Αναχώματος.....	26
3.3.2 Ανάλυση ευστάθειας φράγματος κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα	32
3.3.3 Συντελεστής Ασφάλειας	34
3.4 Δυναμική Ανάλυση.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	41
4.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευστάθειας Φράγματος κατά την Κατασκευή του Αναχώματος	41
4.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευστάθειας Φράγματος κατά την Πλήρωση του Ταμιευτήρα	47
4.3 Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Φράγματος.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΑΡΧΕΙΑ ΚΩΔΙΚΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός Κατασκευής Φραγμάτων

Ο ρόλος των φραγμάτων είναι η αναρρύθμιση της ροής των ποταμών και η χρησιμοποίηση των πολύτιμων υδάτινων πόρων κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικότερο και περισσότερο ωφέλιμο. Η κατασκευή τους ξεκίνησε πριν από πολλούς αιώνες πριν ακόμα δημιουργηθούν ερωτήματα κι ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές μεταβολές που προκαλούν και τις αντιρρήσεις για τη ωφελμιστική σκοπιμότητά τους. Τα πρώτα φράγματα που κατασκευάστηκαν αποσκοπούσαν κυρίως στην παροχή αντιπλημμυρικής προστασίας και την αποθήκευση νερού για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, για ιχθυοκαλλιέργειες, για τουρισμό και αναψυχή. Σήμερα, τα φράγματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις άλλες κατασκευές πολιτικού μηχανικού, έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με το παρελθόν, αξιοποιούν τις γνώσεις της υδρολογίας και της υδρομηχανικής και το μέγεθος των επιπτώσεων άμεσων ή έμμεσων, οικονομικών ή μη οικονομικών έχει αυξηθεί.

Στη σύγχρονη εποχή η πλειονότητα των φραγμάτων χρησιμοποιείται για πολλαπλούς σκοπούς. Συγκεκριμένα, παγκοσμίως τα φράγματα χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς (48%), για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (17%), για παροχή πόσιμου νερού (13%), για αντιπλημμυρικό έλεγχο (7%) και για λοιπούς σκοπούς (12%).

Σκοπός	Ποσοστό %
Άρδευση	48
Παραγωγή ενέργειας	17
Υδρευση	13
Έλεγχος πλημμυρών	10
Άλλοι σκοποί	12



Σχήμα 1.1: Σκοπός Φραγμάτων [2]

Πιο συγκεκριμένα τα φράγματα ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν χωρίζονται σε:

- Φράγματα συλλογής νερού για την διαμόρφωση επιφανειακών ταμιευτήρων-τεχνητών λιμνών
- Φράγματα εκτροπής της ροής του νερού, προσωρινά η μόνιμα, για την εκτέλεση εργασιών εν ξηρώ ή την παροχέτευσή του σε προκαθορισμένο χώρο
- Φράγματα ανάσχεσης της ορμής για την επίτευξη τεχνητού εμπλουτισμού ή μείωση της διάβρωσης
- Ρυθμιστικά φράγματα για τον έλεγχο και την πρόληψη πλημμυρών ή την ελεγχόμενη παροχέτευση του νερού

1.2 Τύποι Φραγμάτων

Τα φράγματα είναι ιδιαίτερες κατασκευές καθώς το καθένα από αυτά είναι προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του έργου και στις συνθήκες του περιβάλλοντος, προσδίδοντας έτσι μια μοναδικότητα σε κάθε ένα από αυτά. Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για δαπανηρά έργα, παρουσιάζουν μακροπρόθεσμα μεγάλα οικονομικά οφέλη και για τον λόγο αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου φράγματος συνδέεται άμεσα με συγκεκριμένους παράγοντες όπως τα διαθέσιμα υλικά, οι αντοχές των μαζών θεμελίωσης, το σχήμα της κοιλάδας που θα φραγεί και άλλα.

Η ταξινόμησή τους, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, μπορεί να γίνει ανάλογα με:

A) Τον σκοπό κατασκευής τους:

- Φράγματα συλλογής νερού
- Φράγματα εκτροπής
- Φράγματα ανάσχεσης
- Φράγματα ρύθμισης

B) Το σκοπό λειτουργίας τους:

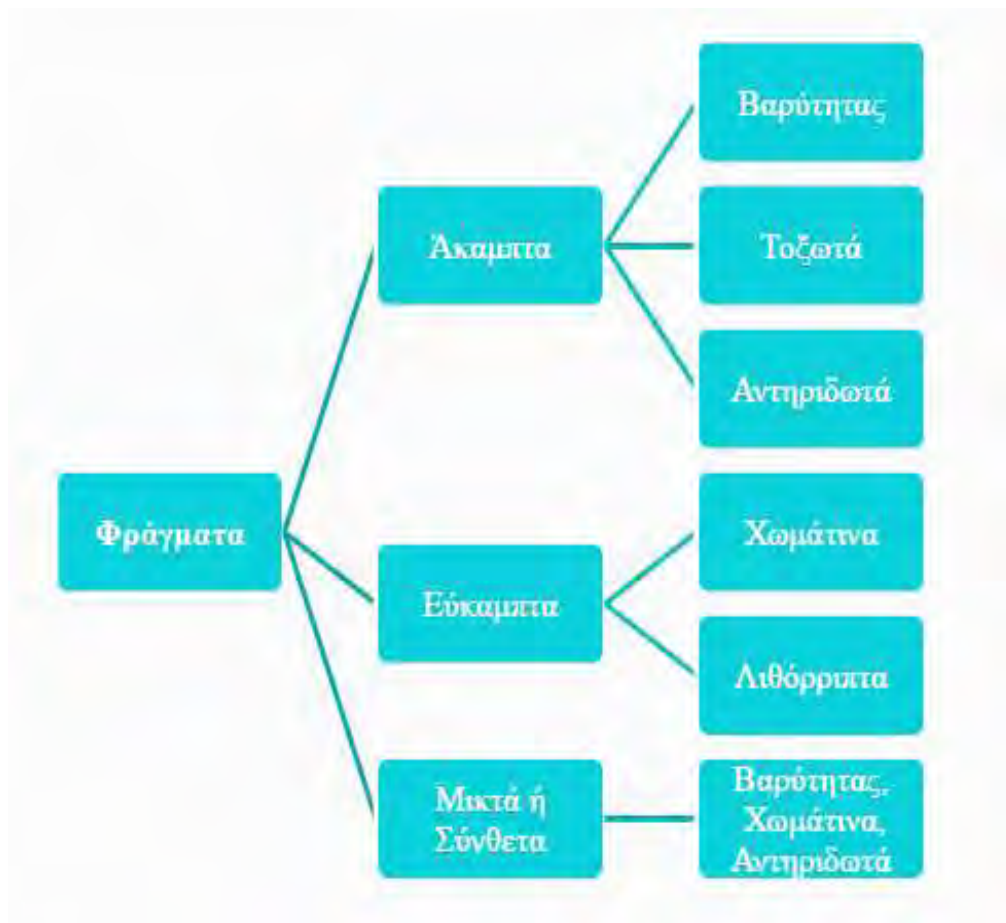
- Υδροηλεκτρικά
- Αρδευτικά
- Υδρευτικά
- Αντιπλημμυρικά
- Εμπλουτισμού υδροφόρων

Γ) Το μέγεθός τους:

- Πολύ μεγάλα φράγματα με ύψος $>150\text{m}$
- Μεγάλα φράγματα με ύψος $>15\text{m}$ αλλά και με ύψος $5-15\text{m}$ και χωρητικότητα ταμιευτήρα $>3.000.000\text{m}^3$
- Μικρά φράγματα με ύψος έως 5m

Δ) Τα υλικά κατασκευής και την γεωμετρία τους:

- Φράγματα από σκυρόδεμα (άκαμπτα)
- Γεωφράγματα (εύκαμπτα)
- Μικτά ή Σύνθετα φράγματα



Σχήμα 1.2: Τύποι Φραγμάτων [2]

1.2.1 Φράγματα από σκυρόδεμα

Η διαφοροποίηση των φραγμάτων αυτών βασίζεται στον τρόπο ανάληψης και μεταβίβασης των φορτίων, παράγοντας ο οποίος καθορίζει και την μορφή τους και διαχωρίζονται σε:

A) Φράγματα βαρύτητας τα οποία επιβάλλουν αρκετά μεγάλη φόρτιση στη βάση τους για να αντιστέκονται στις υδροστατικές πιέσεις, στις ανώσεις, στις δυνάμεις ανατροπής και τις σεισμικές φορτίσεις. Συνήθως κατασκευάζονται σε κοιλάδες με βάση και αντερείσματα από βραχώδη υλικά σχετικώς υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας, ώστε οι καθιζήσεις της έδρασης του φράγματος να είναι μικρές. Η σχεδίαση της τομής τους γίνεται έτσι ώστε να αντιστέκονται σε:

- Ανατροπή και ολίσθηση λόγω των υδροστατικών και σεισμικών φορτίσεων
- Θραύση λόγω καθιζήσεων και εφελκυστικών δυνάμεων



Εικόνα 1.1: Φράγμα βαρύτητας από σκυρόδεμα στην επαρχία Παλαιχώρι – Καμπί, Λευκωσία Κύπρου (πηγή: <http://www.jandpcy.com/el/Palekhor-i-Kampi-Dam-gr>)

B) Τοξωτά φράγματα τα οποία επιβάλλουν πολύ μεγάλη φόρτιση στα αντερείσματα της κοιλάδας και συνεπώς κατασκευάζονται σε στενές κοιλάδες, με αντερείσματα από βραχώδη υλικά υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας, ώστε οι μετακινήσεις της έδρασης του φράγματος στα αντερείσματα να είναι πολύ μικρές. Συνήθως έχουν μεγάλο ύψος (άνω των 150m) καθώς στα ύψη αυτά θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα η λύση του

τοξωτού φράγματος καθώς επίσης και ότι σε στενές κοιλάδες οι ταμιευτήρες απαιτούν μεγάλα ύψη φράγματος για να έχουν αξιόλογη χωρητικότητα.



Εικόνα 1.2: Τοξωτό φράγμα, Λίμνη Ταυρωπού, Καρδίτσα (πηγή: <http://www.plastiras-ota.gr>)

Γ) Αντηριδωτά φράγματα τα οποία μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και δευτερευόντως στα αντερείσματα. Αποτελούνται από ένα λεπτό καμπύλο κάλυμμα κάθετα στον άξονα του ρεύματος κεκλιμένο ως προς την κατακόρυφο το οποίο μεταβιβάζει την υδροστατική πίεση στην αντηρίδα.



Εικόνα 1.5: Αντηριδωτό φράγμα στο Roselend, Γαλλία (πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Roselend_Dam)

1.2.2 Γεωφράγματα

Τα γεωφράγματα είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος φράγματος καθώς αποτελούν το 75% του συνόλου των φραγμάτων παγκοσμίως (ICOLD) και η κατασκευή τους επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση των κατά τόπους υλικών και σκοπός τους είναι η εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών των υλικών έτσι ώστε να αποκτήσει το φράγμα τις ιδιότητες της αντοχής και της στεγανότητας. Σε σύγκριση με τα φράγματα από σκυρόδεμα τα γεωφράγματα αποτελούν μια εύκαμπτη μάζα, ανεκτική στις εδαφικές υποχωρήσεις ιδιότητα που αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα στην περίπτωση θεμελιώσεων σε ασθενή εδάφη καθώς και σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα.

Ανάλογα με τα υλικά κατασκευής τα γεωφράγματα χωρίζονται σε:

- Λιθόρριπτα φράγματα και
- Χωμάτινα φράγματα

Λιθόρριπτα φράγματα

Τα λιθόρριπτα φράγματα κατασκευάζονται ως ένα ανάχωμα με λίθους διαφόρων μεγεθών που εξασφαλίζουν την σταθερότητα της ανάντη αδιαπέρατης ζώνης. Οι λίθοι που απαρτίζουν το σώμα στήριξης του φράγματος είναι βραχώδη υλικά που προκύπτουν από εκσκαφές ή αποτελούν προϊόντα λατομείου.

Οι τύποι των λιθόρριπτων φραγμάτων είναι:

- Λιθόρριπτα με αργλικό πυρήνα
- Λιθόρριπτα με ανάντη πλάκα Σκυροδέματος (ΛΑΠΣ)
- Λιθόρριπτα με ανάντη ασφαλτικό τάπητα
- Λιθόρριπτα με κεντρικό ασφαλτικό διάφραγμα



Ζώνη 1Α – Ιλυώδες υλικό	Ζώνη 3Α – Μεταβατική ζώνη λιθορριπής
Ζώνη 1Β – Οπιδήποτε υλικό	Ζώνη 3Β – Λιθορριπή (υψηλή συμπίκνωση)
Ζώνη 2Α – Λεπτόκοκκο φίλτρο	Ζώνη 3C – Λιθορριπή (μέτρια συμπίκνωση)
Ζώνη 2Β – Φίλτρο Διαβαθμισμένο υλικό	Ζώνη 6 – Κατάντη ζώνη προστασίας Λίθοι ή κροκάλες

Σχήμα 1.3: Τυπική διατομή φράγματος ΛΑΠΣ [1]

Χωμάτινα φράγματα

Τα χωμάτινα φράγματα κατασκευάζονται με γαιώδη υλικά που διατηρούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και τοποθετούνται κατά επάλληλες στρώσεις και συμπυκνώνονται με μηχανικά μέσα. Πρόκειται για φράγματα που αντλούν την αντοχή τους από το βάρος τους, τον βαθμό συμπύκνωσης, το συντελεστή εσωτερικής τριβής και τη συνάφειά τους. Παρά τη συμπύκνωση στην οποία υπόκεινται αφήνουν κενά ανάμεσα στους κόκκους, γεγονός που οδηγεί στη δημιουργία μιας εύπλαστης και εύκαμπτης μάζας που μπορεί να προκαλέσει ελαφρές υποχωρήσεις του εδάφους, στο οποίο θεμελιώνεται, χωρίς να δημιουργήσει κίνδυνο καταστροφής.

Γενικότερα, η κατασκευή ενός χωμάτινου φράγματος εξαρτάται από τα διαθέσιμα υλικά στην περιοχή και έτσι ο τύπος του χωμάτινου φράγματος καθορίζεται από τον παράγοντα αυτό.

Υπάρχουν τρία είδη χωμάτινων φραγμάτων:

- Με διάφραγμα
- Ομογενή
- Ετερογενή ή κατά ζώνες

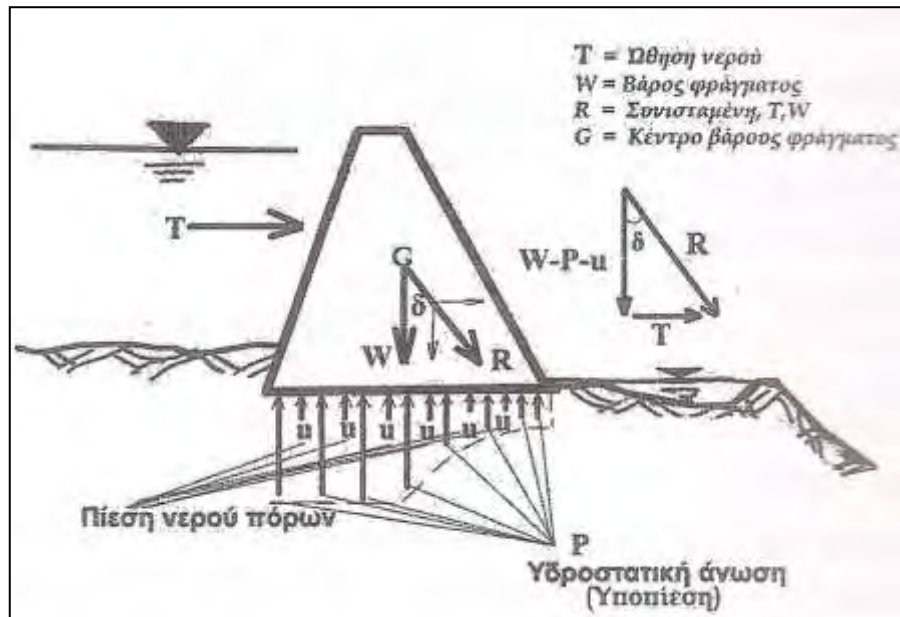


Εικόνα 1.4: Χωμάτινο φράγμα στην Λίμνη Κρεμαστών, Ευρυτανία-Αιτωλοακαρνανία
(πηγή: <http://eyrytixn.blogspot.gr>)

1.3 Κατανομές δυνάμεων και τάσεων

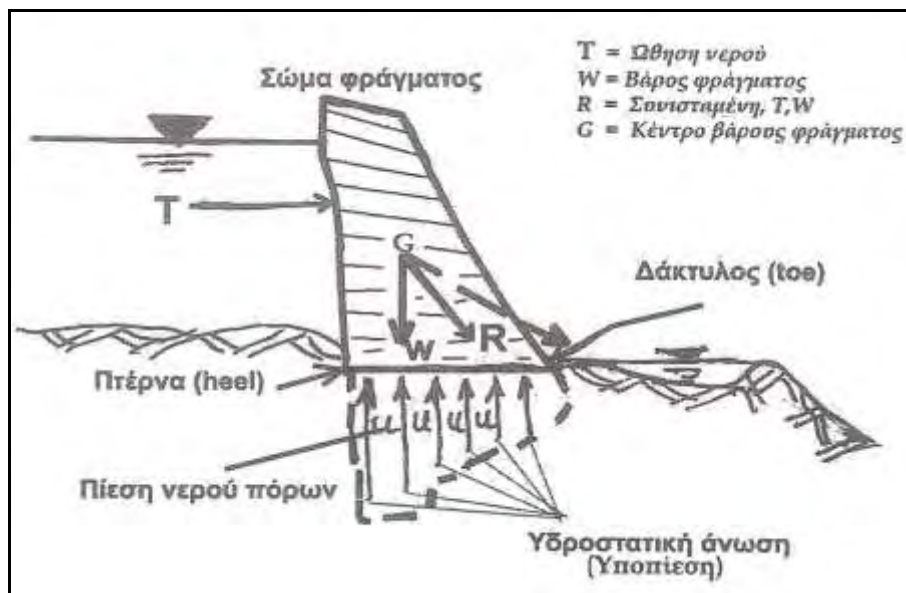
Οι δυνάμεις που δρουν σε ένα φράγμα είναι οι ακόλουθες:

- **Το βάρος του σώματος του φράγματος (W)**, που δρα στο κέντρο βάρους του σώματος του φράγματος.
- **Οι ανυψωτικές δυνάμεις (u)**. Οι δυνάμεις αυτές (πίεση του νερού των πόρων) μειώνουν το βάρος του φράγματος, καθώς ενεργούν αντίθετα από αυτό στο βυθισμένο τμήμα του σώματος του φράγματος.
- **Οι υδροστατικές πιέσεις (P)**. Αυτές οι δυνάμεις είναι διαφορετικές λόγω διαφοράς του φορτίου. Έτσι, έχουν αυξημένη τιμή στο εσωτερικό τμήμα της βάσης του φράγματος (πτέρνα), που μειώνεται συνεχώς όσο προχωρούμε προς το εξωτερικό τμήμα της βάσης του φράγματος (πόδας του φράγματος).
- **Η ώθηση της μάζας του νερού (T)**, που αρχίζει να εφαρμόζεται μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα και προκύπτει από την πλευρική ώθηση της μάζας του νερού. Η χειρότερη περίπτωση από πλευράς αυτών των ωθήσεων είναι όταν ασκούνται με οριζόντια διεύθυνση.
- **Η συνισταμένη δύναμη (R)**. Η δύναμη αυτή θα πρέπει να έχει τέτοια κλίση που να την περιορίζει μέσα στη βάση του σώματος του φράγματος (η γωνία δ πρέπει να έχει μικρή τιμή). Σε αντίθετη περίπτωση η συνιστώσα της δύναμης αυτής που ωθεί το φράγμα προς τα κατάντη θα είναι μεγάλη και συνεπώς το φράγμα θα οδηγηθεί σε αστοχία. Συνεπώς, το κύριο ζητούμενο είναι το διάνυσμα της δύναμης R να διατηρηθεί μέσα στη βάση του φράγματος με τον μικρότερο συντελεστή ασφαλείας.
- **Η ροπή ανατροπής**. Η ροπή αυτή προκαλεί την ολίσθηση του φράγματος προς τα κατάντη και προκύπτει από το φαινόμενο ανατροπής (ανύψωση στην πτέρνα και πίεση προς τα κάτω στο δάκτυλο του φράγματος) που είναι συνέπεια της μικρής κλίσης του διανύσματος της δύναμης R , δηλαδή της μεγάλης γωνίας δ .
- **Δυναμικές φορτίσεις**. Εκτός από τις στατικές φορτίσεις υπάρχουν και οι δυναμικές που επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό ενός τόσο σημαντικού έργου. Οι δυνάμεις αυτές προκύπτουν από δονήσεις, όπως π.χ. από το νερό του ταμιευτήρα, ή από σεισμική δράση.

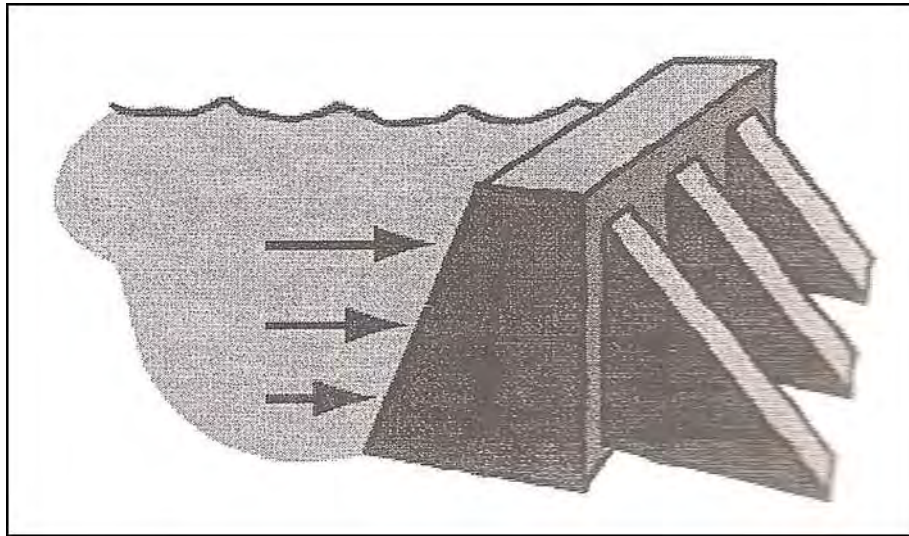


Σχήμα 1.4: Απεικόνιση των δυνάμεων που δρουν σε ένα φράγμα [7]

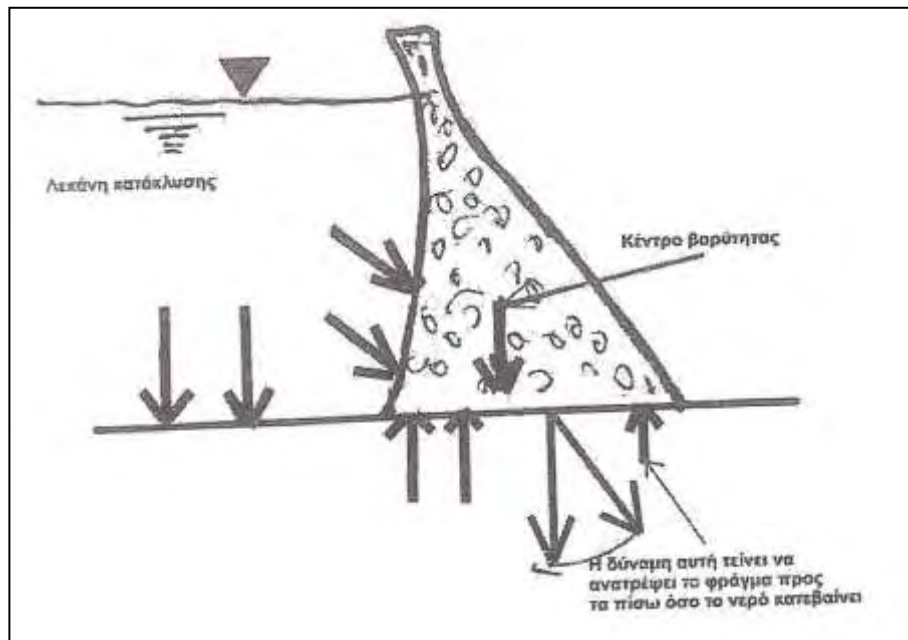
Ακολουθούν σχήματα που απεικονίζουν την κατανομή των δυνάμεων που ασκούνται σε ορισμένους τύπους φραγμάτων.



Σχήμα 1.5: Απεικόνιση των δυνάμεων που δρουν σε ένα φράγμα από σκυρόδεμα [7]



Σχήμα 1.6: Κατανομή δυνάμεων σε αντηριδωτό φράγμα [7]



Σχήμα 1.7: Κατανομή φορτίων σε τοξωτά φράγματα [7]

1.4 Αστοχία Φραγμάτων – Αιτίες και Αποτελέσματα

Όπως σε κάθε έργο έτσι και στην περίπτωση των φραγμάτων η γνώση και η εμπειρία για την κατασκευή τους ήταν απόρροια μεγάλων καταστροφών. Οι διάφοροι μηχανισμοί που επηρεάζουν τόσο την λειτουργία όσο και την συμπεριφορά ενός φράγματος έγιναν κατανοητοί μέσω της αστοχίας ορισμένων από αυτά. Οι αστοχίες αυτές είχαν δυσάρεστες συνέπειες καθώς κόστισαν την ζωή σε χιλιάδες ανθρώπινες ζωές.

Η μεγαλύτερη καταστροφή από αστοχία φράγματος που έχει καταγραφεί μέχρι και σήμερα κυρίως ως προς τον αριθμό των απωλειών ανθρωπίνων ζώων είναι εκείνη που προκλήθηκε από την αστοχία του φράγματος Banqiao, ενός χωμάτινου φράγματος ύψους 118m, στην Κίνα το 1975. Ο απολογισμός ήταν 231.000 άνθρωποι νεκροί εκ των οποίων οι 145.000 πέθαναν εξαιτίας των επιδημιών που ακολούθησαν τις πλημμύρες. Η αστοχία του φράγματος αποδόθηκε στη ραγδαία αύξηση της στάθμης στον ταμιευτήρα του λόγω ισχυρών και μεγάλης διάρκειας βροχοπτώσεων. Το ύψος της βροχής έφτασε το ένα μέτρο μέσα σε τρεις ημέρες. Η βροχή κατέστρεψε το σύστημα τηλεπικοινωνιών με αποτέλεσμα οι υπεύθυνοι του φράγματος να μην ενημερώνονται για τις καιρικές συνθήκες και τη στάθμη του νερού στα ανάντη. Αυτό σε συνδυασμό με τη μειωμένη δυνατότητα των υπερχειλιστών να διοχετεύσουν τα πλημμυρικά νερά εξαιτίας κακής συντήρησης οδήγησε στην αστοχία του φράγματος.



Εικόνα 1.5: Φωτογραφία του φράγματος Banqiao μετά την αστοχία (πηγή: <http://www.mnn.com>)

Οι πιο κοινές αιτίες των αστοχιών των φραγμάτων είναι:

- Υπερχείλιση των αναχωμάτων λόγω ανεπάρκειας του υπερχειλιστή

Από τις πιο κοινές αιτίες αστοχίας φραγμάτων. Προκύπτει είτε επειδή ο υπερχειλιστής είναι μικρός και η πλημμύρα μεγάλη με αποτέλεσμα να περνάει πάνω από την στέγη του φράγματος, είτε από ένα κύμα που θα προκαλέσει μια κατολίσθηση στον ταμιευτήρα μετά από ένα σεισμό, ή μια μεγάλη κίνηση σε κάποιο ρήγμα που διασχίζει τα θεμέλια του φράγματος.

- Λάθη στο σχεδιασμό ή στη κατασκευή

Διάφορα λάθη που μπορεί να συμβούν κατά την διάρκεια της κατασκευής ενός φράγματος μπορεί να αποβούν μοιραία και να οδηγήσουν στην αστοχία του. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην επιλογή των υλικών καθώς και στην συμπίκνωση τους για την αποφυγή αυξημένων καθιζήσεων ή εσωτερικών διαβρώσεων.

- Γεωλογικά προβλήματα στη θεμελίωση

Μεγάλη προσοχή και μελέτη με κάθε λεπτομέρεια χρειάζεται η θεμελίωση του φράγματος ώστε να μπορεί να δεχτεί τις τεράστιες πιέσεις τόσο του ίδιου του φράγματος, όσο και του νερού αλλά και να μην παρουσιάσει άλλα γεωτεχνικά προβλήματα όπως ρήγματα ή ζώνες διάβρωσης.

- Ανθρώπινοι παράγοντες

Η ανθρώπινη συμπεριφορά αποτελεί ακόμα ένα στοιχείο κινδύνου για αστοχία φράγματος. Απλά λάθη, κακή διαχείριση λειτουργιών, αχρείαστες παραλείψεις ή βανδαλισμός, μπορεί να συνδυαστούν με άλλους κινδύνους και να αυξήσουν την πιθανότητα αστοχίας.

Ο μηχανικός εξοπλισμός και τα εξωτερικά μέρη του σώματος του φράγματος όπως π.χ. η λιθορριπή (tip-rap) είναι επικίνδυνα για να υποστούν ζημιές από τον άνθρωπο. Πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα περιορισμού της πρόσβασης στα φράγματα σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα και οχήματα.

Ακόμα μια δραστηριότητα η οποία προσδίδει κίνδυνο είναι η τάση των ανθρώπων να εγκαθίστανται κατάντη φραγμάτων. Η κατασκευή κατοικιών, κτιρίων και άλλων κατασκευών στη ζώνη πλημμύρας του φράγματος δημιουργεί νέους κινδύνους και πιθανόν να αυξήσει τους κινδύνους αυτούς στο μέλλον.

- Λειτουργικοί παράγοντες

Οι λειτουργικοί παράγοντες, οι οποίοι πιθανόν να εισάγουν κινδύνους για αστοχία ενός φράγματος και επιπλέον να δημιουργήσουν κινδύνους σε ανθρώπους και περιουσίες, περιλαμβάνουν την πρόσβαση και το πόσο απόμακρο είναι ένα φράγμα, την απουσία ενός εκπαιδευμένου ή έμπειρου χειριστή, τις ελλειπείς διαδικασίες συντήρησης του φράγματος, την απουσία προγράμματος επιθεώρησης, την αξιοπιστία της τροφοδοσίας ηλεκτρικού εξοπλισμού και την πολυπλοκότητα του εξοπλισμού και των λειτουργικών διαδικασιών του φράγματος.

- Σεισμοί

Οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν μικρές η μεγάλες ζημιές στα φράγματα με μικρές όμως πιθανότητες ολοκληρωτικής καταστροφής. Ένας σεισμός μπορεί να προκαλέσει ρηγματώσεις, καθιζήσεις, μετακινήσεις η και ρευστοποιήσεις στα υλικά ενός φράγματος.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που μπορεί να δημιουργήσει ένας σεισμός είναι το φαινόμενο της ρευστοποίησης. Ρευστοποίηση είναι η μεγάλη μείωση της αντοχής των υλικών κατά την διάρκεια σεισμικών δονήσεων. Αυτό προκαλείται κυρίως από αυξήσεις των πιέσεων του νερού των πόρων και ταυτόχρονη μείωση των αντοχών. Συνέπεια της ρευστοποίησης μπορεί να είναι μια αστοχία του ανάντη κυρίως πρηνούς που μπορεί να οδηγήσει και σε πλήρη κατάρρευση του φράγματος.

Άλλα φαινόμενα που παρατηρούνται λόγω σεισμού και δημιουργούν προβλήματα είναι:

- Οι αυξήσεις των πιέσεων των νερών των πόρων, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των ενεργών τάσεων στα υλικά και την ταυτόχρονη μείωση του συντελεστή ασφάλειας.
- Μεγάλες μετακινήσεις οι οποίες δημιουργούνται στις επιφάνειες επαφής διαφορετικών υλικών ή σε απότομες αλλαγές στις διατομές.

1.5 Επιπτώσεις κατασκευής φραγμάτων

Η κατασκευή και η λειτουργία ενός φράγματος επηρεάζει κυρίως, θετικά και αρνητικά, τα φυσικά οικοσυστήματα και την βιοποικιλότητα αλλά και την ζωή του πληθυσμού που διαμένει πλησίον του έργου. Οι επιδράσεις αυτές αποτελούν εδώ και χρόνια θέμα συζήτησης για την ωφελιμότητα των έργων αυτών, καθώς υπάρχει μια ευρέως διαδεδομένη οικολογική ανησυχία ότι ειδικότερα τα μεγάλου μεγέθους φράγματα επηρεάζουν σημαντικά το περιβάλλον αλλά και ένα ευρύ φάσμα των λειτουργιών των φυσικών οικοσυστημάτων.

Κύρια αρνητική επίδραση από την κατασκευή ενός φράγματος και την δημιουργία τεχνητής λίμνης-ταμιευτήρα αποτελεί η αλλαγή που επέρχεται στις συνθήκες ροής του νερού με την διακοπή της ροής του ποτάμιου συστήματος και την μετατροπή του σε λιμναίο στην ανάντη πλευρά, ενώ στην κατάντη πλευρά έχουμε αναρρύθμιση των παροχών, δηλαδή διακοπτόμενη ή και μηδενική ροή. Άμεση επίπτωση υπάρχει και στις συνθήκες μεταφοράς φερτών υλών καθώς έχουμε την διακοπή της τροφοδοσίας των κατάντη εκτάσεων με φερτές ύλες ή τη μειωμένη απόθεση φερτών λόγω της πιθανής ύπαρξης παραποτάμων. Αντίθετα παρουσιάζεται συγκράτηση, απόθεση φερτών στον ταμιευτήρα, ανάντη του φράγματος.

Όλα τα παραπάνω προκαλούν ως ένα βαθμό αλλαγές στην χλωρίδα και πανίδα της περιοχής, με σημαντικότερο πρόβλημα την αλλαγή στις συνθήκες ανάπτυξης της υδρόβιας πανίδας αλλά και στην χερσαία πανίδα λόγω της αποψίλωσης και εκχέρσωσης, της κοπής και εκρίζωσης δένδρων και θάμνων. Ως αποτέλεσμα έχουμε

την αλλοίωση της φυσικής ομορφιάς του τοπίου με την ύπαρξη οικοδομημάτων μεγάλου όγκου.

Επίσης η αυξημένη, λόγω υδραυλικού φορτίου, διήθηση νερού στα πετρώματα προκαλεί μακροπρόθεσμα την διάβρωση τους. Ταυτόχρονα, παρατηρούνται τοπικές κλιματολογικές αλλαγές, με χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτά της αύξησης της υγρασίας λόγω της αυξημένης εξάτμισης στην επιφάνεια της λίμνης και την έκλυση αερίων, διοξειδίου του άνθρακα ή και μεθάνιο από την σήψη οργανικών υλών στους ταμιευτήρες.

Τέλος, έχει παρατηρηθεί η «πυροδότηση» σεισμών μετά τη πλήρωση ταμιευτήρων καθώς έχουμε επιβάρυνση του φλοιού της γης με επιπλέον φορτία όπως συνέβη μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα του φράγματος των Κρεμαστών.

Από την άλλη πλευρά, τα θετικά χαρακτηριστικά της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την περιβαλλοντική ευαισθησία και την κατάρτιση άρτιων Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, όπου καταγράφονται οι προτεραιότητες προστασίας και ανάδειξης της περιοχής, καταδεικνύουν τη συνολικά θετική συνεισφορά των ΥΗΕ στο περιβάλλον.

Η κατασκευή των ΥΗΕ, ως έργα πολλαπλής σκοπιμότητας, εκτός από την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, καλύπτει ζωτικές ανάγκες ευρύτερης εθνικής σημασίας, όπως ύδρευση, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία και διατήρηση οικοσυστημάτων ενώ παράλληλα συμβάλλει σημαντικά και στη διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ

ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

2.1 Γενικά

Το πρώτο βήμα για την υλοποίηση της προσομοίωσης ήταν η επιλογή του τύπου του φράγματος ανάμεσα στα φράγματα από σκυρόδεμα (δύσκαμπτα) και αυτά από γεωυλικά (εύκαμπτα). Επιλέχθηκε η κατηγορία των γεωφραγμάτων τα οποία χωρίζονται σε:

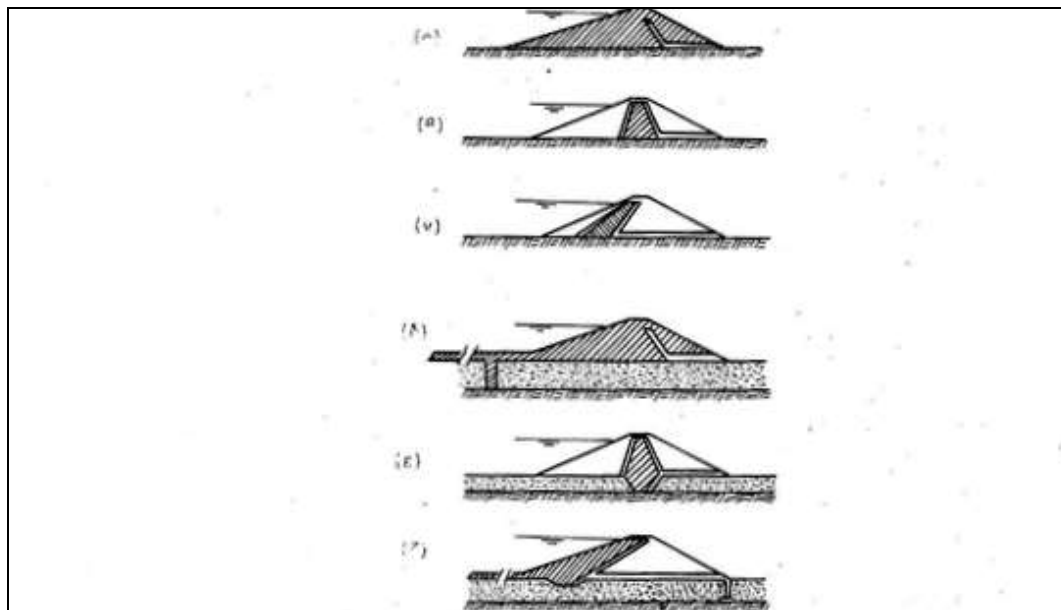
- Χωμάτινα με εδαφικά υλικά, αμμοχάλικα ποταμών, πλευρικά κορήματα και
- Λιθόρριπτα με προϊόντα εκσκαφής λατομείου

Όπου και αποφασίστηκε η προσομοίωση ενός χωμάτινου φράγματος.

Στην συνέχεια, ήταν απαραίτητη η επιλογή της τυπικής διατομής του χωμάτινου φράγματος καθώς και της διάρθρωσης των ζωνών που το αποτελούν. Η διαφοροποίηση των χωμάτινων φραγμάτων όσον αφορά την διαζώνηση τους γίνεται με βάση τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή καταλήγοντας στα:

- Ομογενή φράγματα τα οποία κατασκευάζονται σε όλο τους το πλάτος και ύψος από ένα είδος υλικού (εκτός από τη προστασία των πρανών) ενώ το υλικό πρέπει να έχει ελάχιστη έως μηδαμινή διαπερατότητα ($k=10^{-7}$ m/sec), ώστε να είναι αδιαπέρατο το φράγμα, και τα
- Ετερογενή φράγματα που αποτελούν τον πιο συνηθισμένο τύπο χωμάτινου φράγματος και έχουν σε μια διατομή τους ζώνη με πολύ μικρής διαπερατότητας υλικό (πυρήνας). Οι ανάντη και κατάντη επιφάνειες του πυρήνα προστατεύονται με ζώνες από ημιπερατά υλικά, ενώ το σώμα του φράγματος αποτελείται από διαπερατά υλικά (κελύφη) τα οποία συγκρατούν το ουσιαστικά αδιαπέρατο τμήμα του φράγματος και το προστατεύουν ανάμεσά τους.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία και τους διάφορους τύπους τυπικών διατομών χωμάτινων φραγμάτων που φαίνονται στο Σχήμα 2.1 επιλέχθηκε το φράγμα της προσομοίωσης για την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία να είναι ένα ιδεατό ετερογενές χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα.



- | | | | | | |
|-----|--|---|---|-----------|---|
| (α) | Ομογενές φράγμα με στραγγιστήρα, πάνω σε αδιαπέρατο έδαφος | | | | |
| (β) | Ετερογενές φράγμα με κεντρικό πυρήνα | " | " | " | " |
| (γ) | " | " | " | κεκλιμένο | " |
| (δ) | Ομογενές φράγμα με στραγγιστήρα πάνω σε διαπερατό | | | | " |
| (ε) | Ετερογενές φράγμα με κεντρικό πυρήνα | " | " | " | " |
| (ζ) | " | " | " | κεκλιμένο | " |

Σχήμα 2.1: Διάφοροι τύποι χωμάτινων φραγμάτων σε διατομή [1]

Το μέγιστο ύψος του φράγματος από την θεμελίωση είναι 130 m.

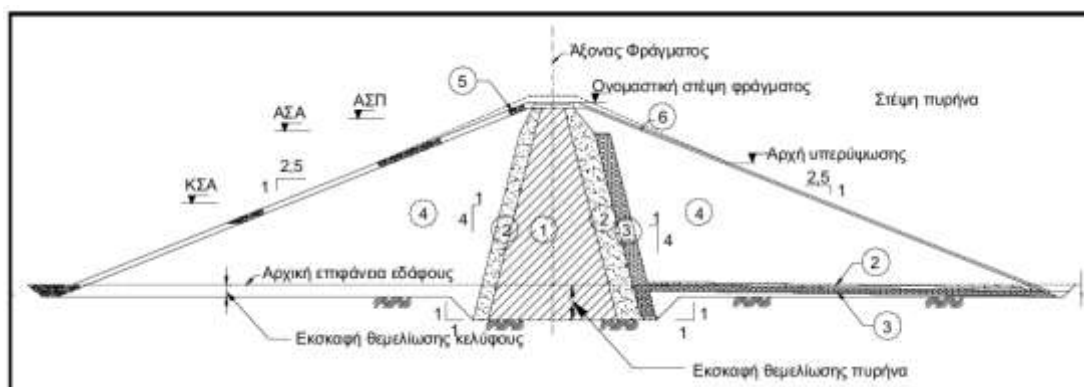
Σύμφωνα με τον ορισμό (1974) της διεθνούς επιτροπής μεγάλων φραγμάτων (ICOLD) μεγάλο φράγμα είναι αυτό που έχει:

- ύψος άνω των 15 m από το κατώτερο σημείο θεμελίωσης έως την στέψη
- ύψος από 10 έως 15 m και ένα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά
 - μήκος στέψης τουλάχιστον 500 m
 - όγκο ταμιευτήρα τουλάχιστον 1 εκ. m³
 - υπερχειλιστή ικανότητας πάνω από 2000 m³/sec

Οπότε, η προσομοίωση αφορά ένα μεγάλο χωμάτινο φράγμα. Η στέψη του φράγματος, δηλαδή το ανώτερο υψομετρικά τμήμα του αναχώματος χωρίς την υπερύψωση, έχει τοποθετηθεί στο απόλυτο υψόμετρο +410,0 m και η Α.Σ.Λ. (Ανώτατη Στάθμη Λίμνης) στο υψόμετρο +401,0 m, ενώ ο πυρήνας σταματά στο υψόμετρο +406,0m.

2.2 Ζώνες Χωμάτινου Φράγματος

2.2.1 Κύριες ζώνες γεωφράγματος



Σχήμα 2.2: Κύριες ζώνες γεωφράγματος [1]

Οι κύριες ζώνες γεωφράγματος με κεντρικό πυρήνα είναι:

- Ζώνη 1 : Πυρήνας
- Ζώνη 2 : Φίλτρο
- Ζώνη 3 : Στραγγιστήριο ή μεταβατική ζώνη
- Ζώνη 4 : Κελύφη (σώματα στήριξης ή αντιπυρήνες)
- Ζώνη 5 : Λιθορριπή κυματοπροστασίας ανάντη πρανούς
- Ζώνη 6 : Ζώνη προστασίας κατάντη πρανούς
- Ζώνη 7, κ.ο.κ. : Διάφορες ζώνες, π.χ. οδοποιίας, σταθεροποιητικοί αναβαθμοί, τυχαία υλικά, κλπ

Ζώνη 1 – Πυρήνας

Ζώνη εδαφικού υλικού χαμηλής διαπερατότητας ($< 5 \cdot 10^{-8}$ m/s), με υψηλό ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος (ποσοστό διερχόμενο στο πρότυπο κόσκινο Νο. 200 (0,075 mm) $> 25\%$), που να εξασφαλίζει τη στεγανότητα του φράγματος. Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής της ζώνης πυρήνα (υψηλές απαιτήσεις συμπύκνωσης του υλικού σε στρώσεις μικρού πάχους, που είναι χρονοβόρος εργασία) επιδιώκεται μείωση του όγκου της ζώνης στο ελάχιστο απαραίτητο, εκτός φυσικά αν υπάρχει υπερέπάρκεια υλικού πυρήνα και έλλειψη υλικών για τα κελύφη.

Ζώνη 2 – Φίλτρα

Ζώνες προστασίας του πυρήνα του φράγματος από διάπλυση του υλικού λόγω διήθησης νερού. Υλικά αμμώδη, διαβαθμισμένα (δηλαδή κοκκομετρικής διαβάθμισης μέσα σε σαφώς καθορισμένα όρια), ώστε να μπορούν να συγκρατούν το υλικό του πυρήνα και παράλληλα να παροχετεύουν τα διηθούμενα νερά με ασφάλεια.

Ζώνη 3 - Στραγγιστήρια ή μεταβατικές ζώνες

Ζώνες υψηλής διαπερατότητας, από καθαρά χαλίκια και κροκάλες, που έχουν την δυνατότητα να απομακρύνουν από το ανάχωμα του φράγματος τα διηθούμενα νερά μέσα από τον πυρήνα, τη θεμελίωση και το κατάντη κέλυφος, ώστε να περιορίζεται ο κίνδυνος ανάπτυξης πιέσεων.

Ζώνη 4 – Κελύφη

Ζώνες στήριξης της κεντρικής ζώνης πυρήνα. Υλικά με αντοχή υψηλότερη από τα υλικά του πυρήνα, π.χ. αμμοχάλικα ποταμών, πλευρικά κορήματα, προϊόντα εκσκαφών, προϊόντα ανάπτυξης λατομείων (λιθορριπές).

Ζώνη 5 - Λιθορριπή κυματοπροστασίας ανάντη πρανούς

Ζώνη προστασίας του ανάντη πρανούς του αναχώματος από την διαβρωτική καταπόνηση των κυματισμών που αναπτύσσονται στο ταμιευτήρα. Απαιτήσεις μέγιστης, μέσης και ελάχιστης διάστασης λίθων, ώστε να μη μετακινούνται από τις ωθήσεις των κυματισμών.

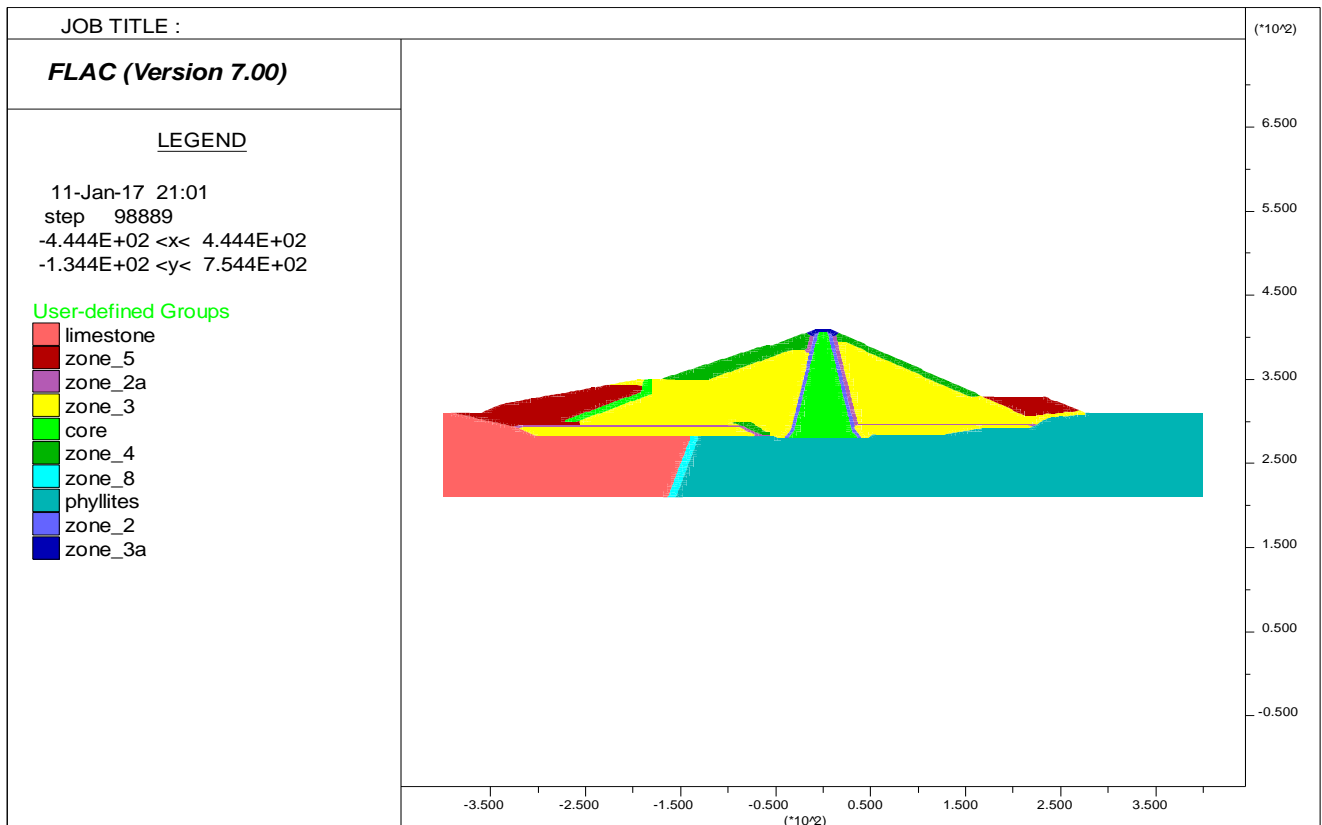
Ζώνη 6 - Ζώνη προστασίας κατάντη πρανούς

Ζώνη προστασίας του κατάντη πρανούς του αναχώματος από την διαβρωτική ενέργεια του νερού της βροχής και κυρίως των ρυακιών που σχηματίζονται. Κροκάλες ή λίθοι με απαιτήσεις μέγιστης, μέσης και ελάχιστης διάστασης.

2.2.2 Διαζώνηση και Ιδιότητες Φράγματος Προσομοίωσης

Η διατομή του φράγματος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3, βασίστηκε σε γεωμετρικά στοιχεία της διατομής του υδροηλεκτρικού φράγματος του Ιλαρίωνα. Πρόκειται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για ένα χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα (core) που εδράζεται πάνω σε ένα στρώμα από φυλλίτες (phyllites) και σε ένα στρώμα από ασβεστόλιθους (limestones). Ανάμεσα στα δυο αυτά στρώματα παρατηρείται μια ενδιάμεση μεταβατική ζώνη φυλλιτών – ασβεστόλιθων (zone 8). Πάνω από την ζώνη του πυρήνα βρίσκεται το στρώμα της στέψης (zone 3a). Εκατέρωθεν του πυρήνα του φράγματος υπάρχουν δυο φίλτρα (zone 2), ενώ έχουν τοποθετηθεί στην ανάντη και κατάντη πλευρά του φράγματος στραγγιστήρια (zone

2a). Το μεγαλύτερο μέρος του φράγματος καλύπτεται από το σώμα στήριξης (zone 3) στην επιφάνειά του οποίου, ανάντη και κατάντη του φράγματος, βρίσκεται μια ζώνη με βραχώδη υλικά λατομείου (zone 4). Τέλος η πλήρωση του σώματος του φράγματος πραγματοποιείται με δυο αναχώματα και στην ανάντη και στην κατάντη πλευρά του από τυχαία υλικά εκσκαφών (zone 5). Μάλιστα στην ανάντη πλευρά, το ανάχωμα περιλαμβάνει και μια μικρή αργιλική ζώνη ίδιων ιδιοτήτων με αυτή του πυρήνα που σαν σύνολο διατελούν τον ρόλο του προφράγματος για την εκτροπή του ποταμού κατά την σταδιακή κατασκευή του φράγματος.



Σχήμα 2.3: Τυπική διατομή ιδεατού φράγματος

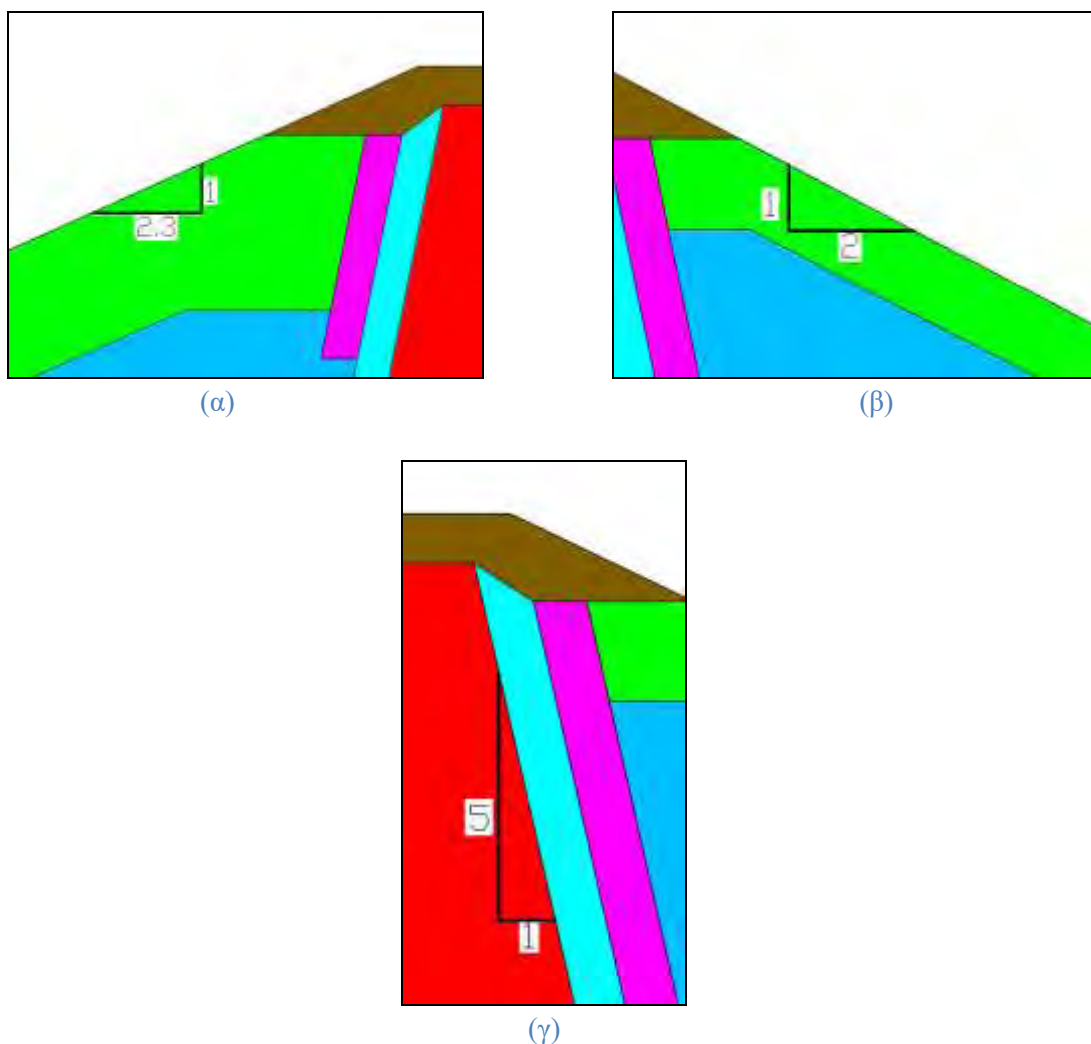
Οι κλίσεις των εξωτερικών πρανών των κελυφών είναι συνάρτηση της διατμητικής αντοχής των υλικών κατασκευής, της διατμητικής αντοχής της θεμελίωσης του αναχώματος, της παρουσίας νερού και τέλος του μεγέθους των σεισμικών καταπονήσεων. Εάν η θεμελίωση του αναχώματος ή το ύψος της σεισμικής επιβάρυνσης δεν είναι ο καθοριστικός παράγων, τα πρανή σε ιλο-αμμώδη υλικά μπορούν να μορφωθούν με κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 3,0 : 1 και 3,5 : 1 (O:K), σε αμμοχαλικώδη υλικά με κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 1,8 : 1 και 2,5 : 1 (O:K), ενώ τα πρανή σε βραχώδη υλικά μπορούν να μορφωθούν με κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 1,5 : 1 και 2 : 1.

Σημειώνεται ότι λόγω της επιβάρυνσης του ανάντη πρανούς του φράγματος με τις επιπτώσεις από τον καταβίβασμό της στάθμης του ταμειυτήρα, το ανάντη πρανές

του φράγματος είναι κατά κανόνα πιο ήπιο από το κατόντη, εάν δεν υπεισέρχονται περιορισμοί από την αντοχή της θεμελίωσης.

Επιθυμητό είναι το πλάτος του πυρήνα, σε οποιοδήποτε βάθος από τη στέψη του, να εξασφαλίζει υδραυλική κλίση (κατά πλάτος) του πυρήνα, μικρότερη από 2, δηλαδή το πλάτος του πυρήνα σε οποιοδήποτε βάθος να είναι μεγαλύτερο από το μισό του αντίστοιχου υδροστατικού φορτίου. Η απαίτηση αυτή επιβάλλει την εφαρμογή πυρήνων αυξανόμενου πλάτους με αυξανόμενο βάθος από τη στέψη προς τη θεμελίωση.

Στο υπό μελέτη φράγμα η κλίση των πρανών στην ανάντη πλευρά είναι $\nu:\beta = 1:2,3$ (Σχήμα 2.4α) και στην κατόντη πλευρά $\nu:\beta = 1:2$ (Σχήμα 2.4β). Η κλίση των πρανών του πυρήνα είναι $\nu:\beta = 5:1$ (Σχήμα 2.4γ).



Σχήμα 3.4: Κλίσεις πρανών (α) ανάντη πλευράς, (β) κατόντη πλευράς και (γ) πυρήνα

Αναλυτικότερα στοιχεία ζωνών του υπό μελέτη φράγματος:

- Πυρήνας (core): Ο πυρήνας ενός χωμάτινου φράγματος αποτελείται από αργιλικό υλικό και είναι το πρακτικά αδιαπέρατο στοιχείο του αναχώματος (ή το υλικό με τη χαμηλή διαπερατότητα), που εξασφαλίζει τη στεγανότητα του φράγματος. Τονίζεται ότι οι πυρήνες φραγμάτων δεν είναι αδιαπέρατοι και για το λόγο αυτό αναπτύσσεται με την πάροδο του χρόνου διήθηση νερού και τελικά κανονικό δίκτυο ροής. Η ζώνη αυτή χρησιμεύει στο έλεγχο της ροής στο φράγμα.
- Λεπτόκοκκο φίλτρο (zone 2): Η κοκκομετρία του υλικού φίλτρου εξαρτάται αποκλειστικά από την κοκκομετρία του υλικού πυρήνα, τον οποίο καλείται να προστατέψει. Το υλικό φίλτρου δεν είναι βιομηχανικό προϊόν ώστε να έχει μία συγκεκριμένη και σταθερή κοκκομετρία καθώς προκύπτει από επεξεργασία φυσικών υλικών (κοσκίνισμα, θραύση, πλύσιμο) και τοποθετείται σε κατάλληλες θέσεις του φράγματος ώστε να προστατεύει τον πυρήνα ή άλλες ζώνες από διάπλυση. Στο υπό μελέτη φράγμα αποτελείται από άμμο ή αμμοχάλικο με μη πλαστικά λεπτόκοκκα.
- Στραγγιστήριο (zone 2a): Τα υλικά του στραγγιστηρίου πρέπει να αποτελούνται από σκληρούς, ανθεκτικούς και υγιείς κόκκους θραυσμένου βράχου ή ποτάμιων ή χειμάρριων αποθέσεων. Η ζώνη αυτή ελέγχει την μετανάστευση λεπτόκοκκων υλικών της παραπάνω ζώνης (zone 2). Στο υπό μελέτη φράγμα αποτελείται από αμμοχάλικο με μη πλαστικά λεπτόκοκκα.
- Σώμα στήριξης (zone 3): Τα «σώματα στήριξης» ή «κελύφη» είναι το τμήμα του αναχώματος που συγκρατεί τον πυρήνα στη θέση του και παρέχει στο ανάχωμα την απαιτούμενη ευστάθεια, ώστε να αντιμετωπίσει, με τους απαιτούμενους συντελεστές ασφαλείας, τα φορτία από το ίδιο βάρος των υλικών, τις πιέσεις νερού (εσωτερικές και εξωτερικές), τους σεισμούς κλπ. Στόχος του σχεδιασμού του φράγματος είναι να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των κελυφών του αναχώματος, από τα διαθέσιμα στην περιοχή υλικά, εκείνα με την υψηλότερη διατμητική αντοχή, ώστε τα πρηνή του αναχώματος να μορφωθούν με τις πλέον απότομες κλίσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου και κατά συνέπεια του κόστους κατασκευής του αναχώματος. Προκειμένου να αναπτυχθεί η μεγαλύτερη δυνατή αντοχή των υλικών στα κελύφη, τα υλικά θα πρέπει να συμπυκνωθούν κατά τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο. Στο μελετούμενο φράγμα το σώμα στήριξης αποτελείται από αμμοχάλικα ποταμού.
- Ζώνη στέψης (zone 3a): Στη στέψη του φράγματος προβλέπεται συνήθως η κατασκευή δρόμου αποκατάστασης της επικοινωνίας μεταξύ των οχθών του ποταμού, που έχει διακοπεί με την δημιουργία του ταμιευτήρα. Ως

προδιαγραφές για τις ζώνες οδοποιίας λαμβάνονται οι σχετικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ για τα δημόσια έργα οδοποιίας. Αποτελείται από επιλεγμένα αμμοχάλικα ενισχυμένα με γεωπλέγματα.

- **Βραχώδη υλικά λατομείου (zone 4):** Τα βραχώδη υλικά λατομείου είναι είτε προϊόντα ανάπτυξης λατομείου είτε προϊόντα απαιτούμενων εκσκαφών σε βραχώδεις σχηματισμούς. Κατά κανόνα τα βραχώδη υλικά είναι υψηλής αντοχής. Λόγω του μεγάλου όγκου τους, σε σύγκριση με τις άλλες ζώνες του αναχώματος του φράγματος, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, θα πρέπει να τοποθετούνται στο ανάχωμα, με τη μικρότερη δυνατή επεξεργασία και αν είναι δυνατόν όπως προκύπτουν μετά την εκσκαφή τους. Στο υπό μελέτη φράγμα τα βραχώδη υλικά λατομείου είναι ασβεστολιθικά.
- **Τυχαία υλικά εκσκαφών (zone 5):** Ζώνες του αναχώματος όπου μπορούν να ενσωματωθούν τυχαία υλικά (δηλαδή χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς τη σύσταση, την κοκκομετρία, την αντοχή ή την υγρασία τους) και συνήθως χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς τη συμπύκνωσή τους. Αποτελούν ζώνες που συνεισφέρουν στην ευστάθεια του αναχώματος (σταθεροποιητικοί αναβαθμοί) λόγω του βάρους τους και όχι λόγω της αντοχής τους. Στο φράγμα της προσομοίωσης η ζώνη αυτή αποτελείται από υλικά αναγκαίων εκσκαφών, πλην φυτικών, τα οποία είναι ακατάλληλα να ενσωματωθούν στις υπόλοιπες ζώνες.

Ζώνη	Χαρακτηρισμός	C (kPa)	Ten (kPa)	φ	K (MPa)	G (MPa)	γ (kN/m ³)
core	Πυρήνας Φράγματος	40	0	21	18	8	20,0
2, 2a	Φίλτρα-Στραγγιστήρια	0	0	42	100	34	21,5
3	Σώμα Στήριξης	0	0	42	100	34	21,5
3a	Ζώνη Στέψης	0	0	45	46	21	22,0
4	Βραχώδη υλικά λατομείου	0	0	45	46	21	22,0
5	Τυχαία υλικά εκσκαφής	5	0	25	38	13	19,5
limestone	Βραχώδεις υπόβαθρο Ασβεστόλιθου	500	100	40	5787	4340	26
phyllites	Βραχώδεις υπόβαθρο Φυλλίτη	250	50	35	711	427	25
8	Ενδιάμεση ζώνη υποβάθρου	350	50	35	2607	1717	25

Πίνακας 2.1: Παράμετροι εδαφικών ζωνών υπό μελέτη φράγματος και υπεδάφους θεμελίωσης

Συμβολισμοί:

C : Συνοχή

Ten : Εφελκυστική αντοχή

Φ : Γωνία Εσωτερικής Τριβής

γ : Ειδικό βάρος

K : Μέτρο Μεταβολής Όγκου (Bulk Modulus)

G : Μέτρο Διάτμησης (Shear Modulus)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Ένα ιδιαίτερα σύνθετο πρόβλημα το οποίο παρατηρείται κατά τη διάρκεια κατασκευής του σώματος και πλήρωσης της λεκάνης κατάκλυσης ενός φράγματος, για το οποίο δε διαθέτονται αναλυτικές λύσεις, είναι η μελέτη της εντατικής και κινηματικής κατάστασης του. Η πολυσταδιακή κατασκευή του αναχώματος, η μονόπλευρη φόρτισή του από τον υδάτινο όγκο του ταμιευτήρα, η μη γραμμική απόκριση των υλικών, η σύζευξη των μηχανικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών των σωμάτων στήριξης και του πυρήνα καθώς και η δυναμική απόκριση του φράγματος συνθέτουν ένα πρόβλημα, η προσέγγιση του οποίου μπορεί να γίνει μόνο με τη χρήση των μεθόδων της Υπολογιστικής Γεωτεχνικής Μηχανικής.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή των μεθόδων της υπολογιστικής γεωτεχνικής μηχανικής είναι η λεπτομερής γνώση των καταστατικών νόμων που αναπαράγουν τις πραγματικές σχέσεις τάσεων - παραμορφώσεων των υλικών που δομούν τις επιμέρους ζώνες του φράγματος. Αντίστοιχα, για την επιλογή των βέλτιστων καταστατικών νόμων απαιτείται η γνώση των μηχανικών παραμέτρων αλλά και των πραγματικών σχέσεων τάσεων - παραμορφώσεων των υλικών.

Κατά την προσομοίωση των χωμάτινων φραγμάτων παρουσιάζονται πολλά προβλήματα. Το κυριότερο εξ αυτών είναι η ελλιπής γνώση των μηχανικών παραμέτρων των αδρόκοκκων υλικών που δομούν τις ζώνες του σώματος στήριξης. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος επιτυγχάνεται με την πραγματοποίηση εργαστηριακών δοκιμών προσδιορισμού της αντοχής και των παραμορφώσεων στα συγκεκριμένα υλικά, διαδικασία η οποία ενέχει πολλές δυσκολίες, κυρίως λόγω του μεγέθους των δειγμάτων που απαιτούνται για τη διεξαγωγή τους. Η απουσία των συγκεκριμένων εργαστηριακών δεδομένων καθιστά πολύ δύσκολη την ακριβή προσομοίωση της συμπεριφοράς των ζωνών του σώματος στήριξης και κατ' επέκταση της συμπεριφοράς του συνόλου του σώματος.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μελέτη της απόκρισης του σώματος του φράγματος στην επιβολή των στατικών φορτίσεων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια κατασκευής του σώματος, κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα και τέλος κατά την επιβολή σεισμικής διέγερσης. Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης λήφθηκαν οι παράμετροι των υλικών του υδροηλεκτρικού φράγματος του Ιλαρίωνα και σε συνδυασμό με τις υπολογιστικές δυνατότητες του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων FLAC 7.0, κατέστη εφικτή η διεξαγωγή πρωτότυπων διερευνήσεων, οι οποίες τελικά οδήγησαν στη σχεδίαση μιας τεκμηριωμένης διαδικασίας προσομοίωσης.

3.2 Γενικά Χαρακτηριστικά Προγράμματος FLAC

Το Flac 7.0 αποτελεί ένα πρόγραμμα πεπερασμένων διαφορών με το οποίο μπορεί να γίνει προσομοίωση διάφορων έργων. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ένα μεγάλο εύρος εργαλείων με το οποίο μπορεί να προσομοιώσει ασταθείς φυσικές διεργασίες. Παρέχει, ενσωματωμένα μοντέλα υλικών, ροή υπόγειων υδάτων, υπολογισμό μηχανικών ιδιοτήτων σε συνδυασμό με ροή, ανάλυση δομικών στοιχείων, αποτύπωση στατιστικών κατανομών οποιασδήποτε ιδιότητας, προαιρετική δυνατότητα ανανέωσης τιμών κατά την διάρκεια της ανάλυσης και μια ενσωματωμένη γλώσσα γραφής (FISH) που μπορεί να προσαρμόσει ή να αυτοματοποιήσει όλες τις πτυχές της λειτουργίας του προγράμματος συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων που ορίζονται από τον χρήστη καθώς και άλλες μεταβλητές.

Το Flac προσφέρει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης που περιλαμβάνει: μέσα διαχείρισης του έργου, ενσωματωμένες βιβλιοθήκες υλικών, προκαθορισμένα πλέγματα, εκτεταμένες δυνατότητες σχεδίασης καθώς και την δυνατότητα άμεσης παρακολούθησης των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον το πρόγραμμα περιλαμβάνει ένα πολύ εμπλουτισμένο εγχειρίδιο για τους χρήστες το οποίο βοηθάει στην κατανόηση των λειτουργιών του και στην εύκολη διαχείριση τόσο των αποτελεσμάτων όσο και των εντολών που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του έργου.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι το πρόγραμμα αυτό επιλέχθηκε για την προσομοίωση του φράγματος διότι προσφέρει ιδιαίτερα ρεαλιστικά αποτελέσματα τόσο στην στατική ανάλυση πρανών και στην μελέτη υπόγειας ροής όσο και στην δυναμική ανάλυση ενός φράγματος.

3.3 Ανάλυση Ευστάθειας Φράγματος Προσομοίωσης

Η ευστάθεια ενός φράγματος ελέγχεται με τη μελέτη ευστάθειας των πρανών του (ανάντη και κατάντη) κατά:

- τη φάση κατασκευής του αναχώματος και
- κατά τη φάση πρώτης πλήρωσης και λειτουργίας του ταμιευτήρα

λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πιθανές συνθήκες καταπόνησης, από το ίδιο βάρος των υλικών, τα εξωτερικά φορτία νερού, τις εσωτερικές πιέσεις πόρων και τέλος από τα δυναμικά φορτία πιθανής σεισμικής δραστηριότητας, στην ευρύτερη περιοχή του έργου.

Στις αναλύσεις ευστάθειας περιλαμβάνονται κατά κανόνα μόνο οι κύριες ζώνες του αναχώματος και αγνοούνται οι ζώνες μικρών διαστάσεων, εκτός από τις ζώνες που λόγω χαμηλών παραμέτρων αντοχής, μπορεί να επηρεάζουν δυσμενώς την ευστάθεια των πρανών. Συνήθως ελέγχεται η μέγιστη διατομή του αναχώματος, ως η

δυσμενέστερη από πλευράς ευστάθειας και εφόσον δεν διαφοροποιείται η θεμελίωση του αναχώματος μεταξύ κοίτης και αντερεισμάτων

Η διερεύνηση της ευστάθειας του φράγματος καλύπτει τις ακόλουθες συνθήκες καταπόνησης:

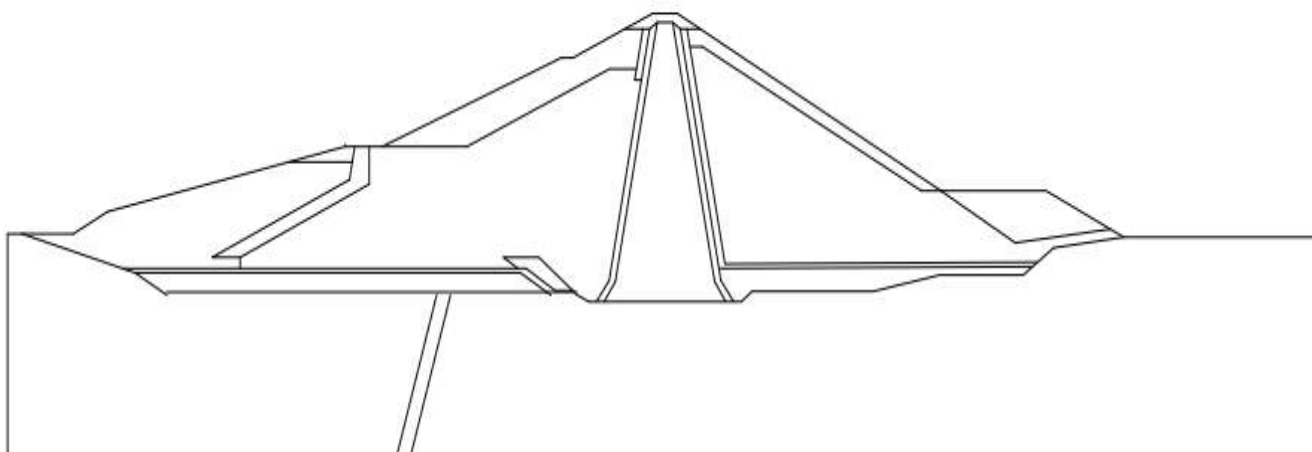
1. Πέρασ κατασκευής αναχώματος,
2. Σταθερή ροή διήθησης νερού στον πυρήνα του φράγματος

3.3.1 Ανάλυση Ευστάθειας Φράγματος κατά την Σταδιακή Κατασκευή του Αναχώματος

Το πρώτο στάδιο της ανάλυσης αυτής της διπλωματικής εργασίας αναφέρεται στην ευστάθεια του φράγματος στη συνθήκη πέρατος κατασκευής που εμφανίζεται μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος και πριν αρχίσει η πλήρωση του ταμιευτήρα. Οι αναπτυσσόμενες πιέσεις πόρων στον πυρήνα από το βάρος των υπερκείμενων υλικών αποτελεί κρίσιμο στοιχείο στην περίπτωση «πέρατος κατασκευής». Συνήθως γίνεται η παραδοχή ότι οι πιέσεις πόρων στον πυρήνα αναπτύσσονται χωρίς αποστράγγιση και στερεοποίηση του υλικού κατά τη διάρκεια κατασκευής, παραδοχή που μπορεί να θεωρηθεί ως αυστηρή αλλά υπέρ της ασφάλειας.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της διατομής του φράγματος στην οποία θα υλοποιούταν η ανάλυση θεωρώντας τη μέγιστη διατομή του αναχώματος. Με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCad 2014 μορφώθηκε η διατομή προσομοίωσης με βάση την τυπική διατομή φράγματος που επιλέχθηκε, τις κλίσεις των πρανών (ανάντη 1:2,3, κατόντη 1:2, πυρήνα 5:1), την διαζώνηση του φράγματος καθώς και του υπεδάφους θεμελίωσης.

Συγκεκριμένα, σαν πρότυπο μηκών, αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών αποτέλεσε η τυπική διατομή του φράγματος του Ιλαρίωνα ώστε να δοθεί μια αντιπροσωπευτική και παράλληλα ρεαλιστική εικόνα των γεωμετρικών μεγεθών για το φράγμα της προσομοίωσης. Οι λεπτομέρειες των γεωμετρικών στοιχείων του ιδεατού φράγματος όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1 αποτέλεσαν την βάση για την έναρξη της ψηφιοποίησης της διατομής στο περιβάλλον του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Flac 7.0.



Σχήμα 3.1: Σχεδιαστική απεικόνιση της διατομής του φράγματος προσομοίωσης

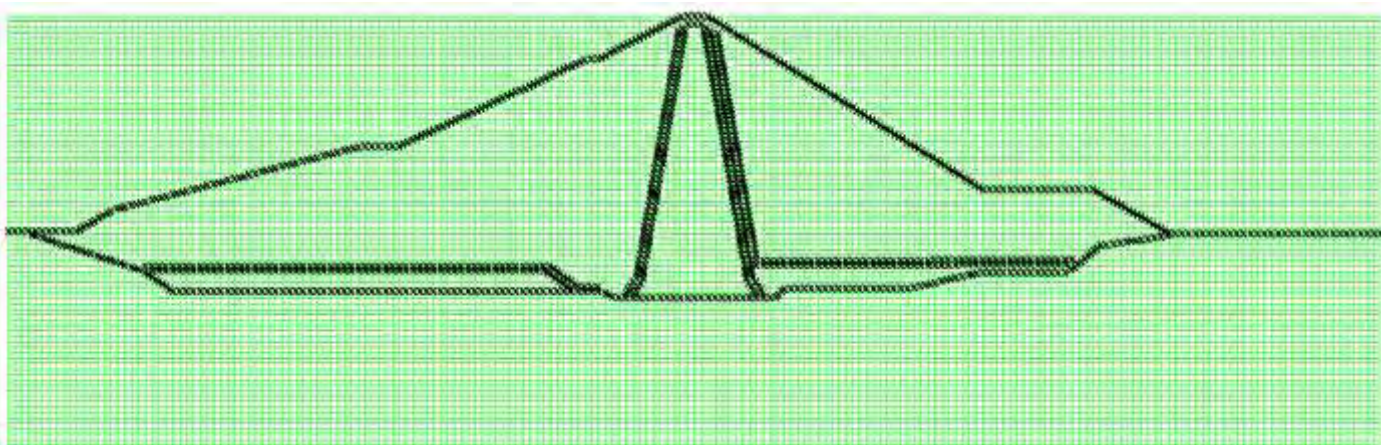
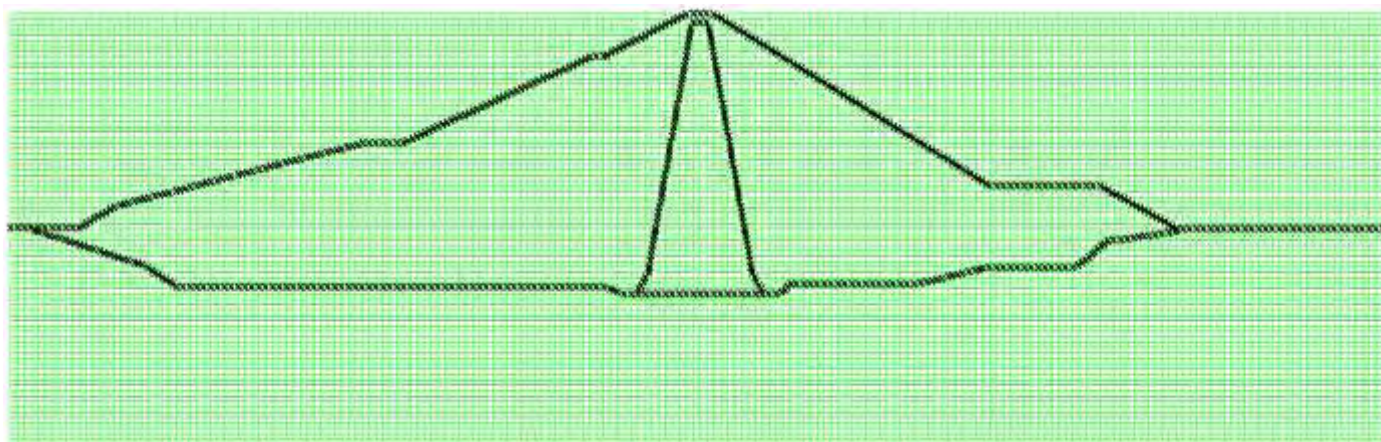
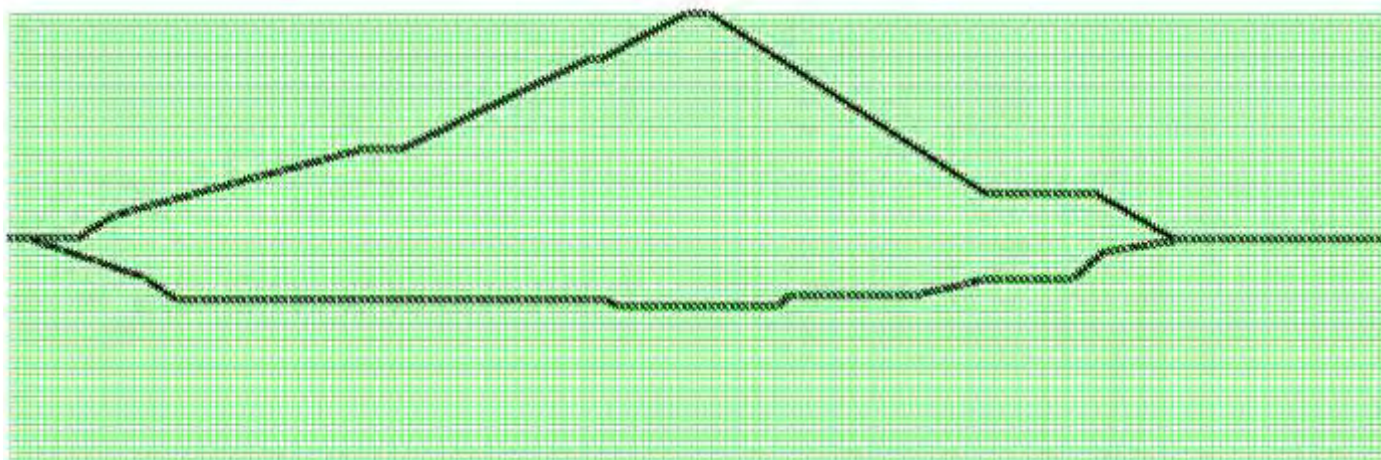
Αξίζει να αναφερθεί ότι για την διευκόλυνση του σχεδιασμού της διατομής του φράγματος στο πρόγραμμα Flac 7.0 θεωρήθηκε ότι ο άξονας του φράγματος ταυτίζεται με τον άξονα των Y συντεταγμένων. Επίσης, η σχεδίαση του φράγματος έγινε χρησιμοποιώντας τα απόλυτα υψόμετρα από την αρχή των αξόνων $O(0,0)$ ώστε οι συντεταγμένες κάθε σημείου να είναι συγκεκριμένες και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες στην μοντελοποίηση του φράγματος στο πρόγραμμα Flac 7.0.

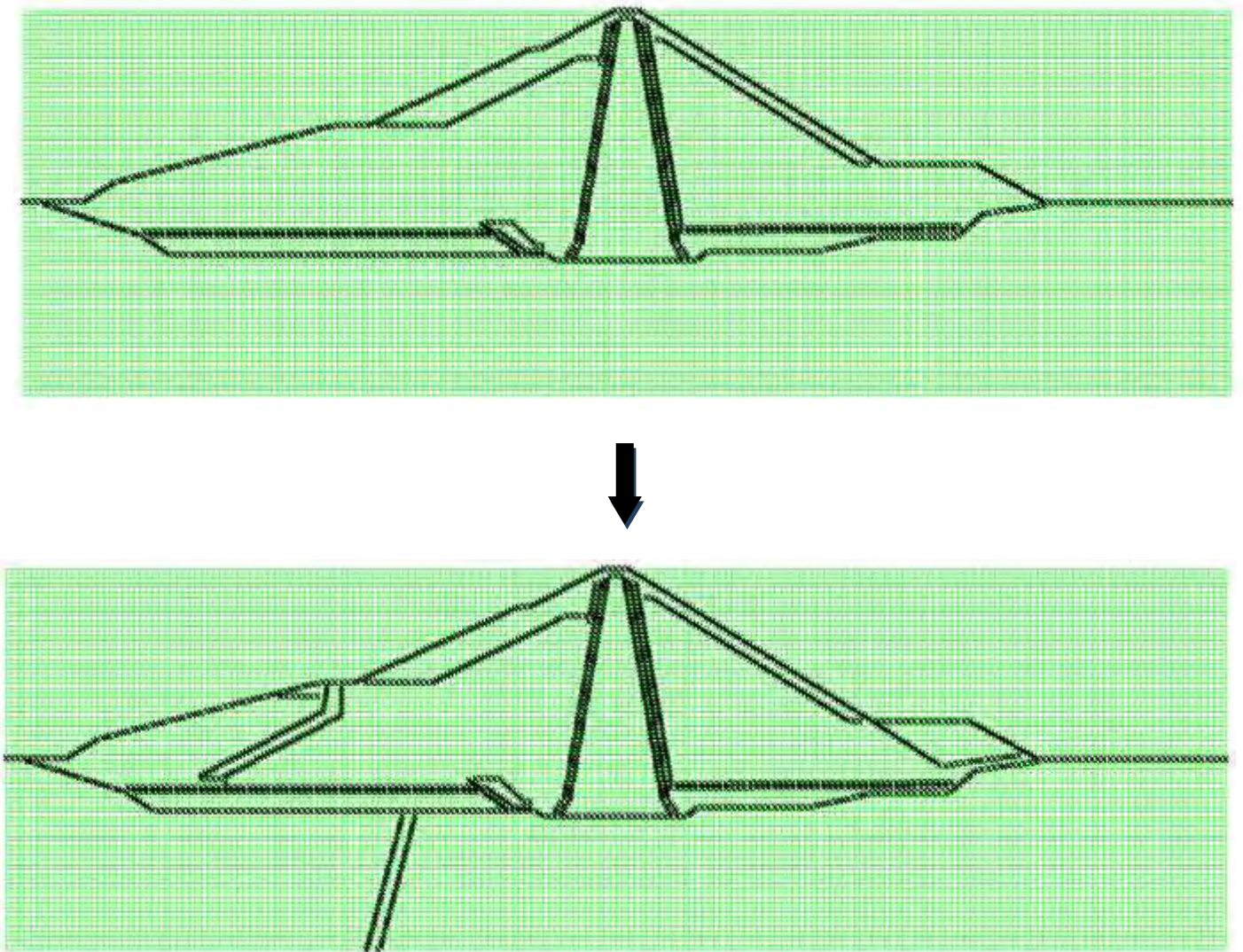
Μετά την ολοκλήρωση της γεωμετρικής απεικόνισης του ιδεατού φράγματος στο πρόγραμμα AutoCad ακολούθησε η μεταφορά στο περιβάλλον σχεδίασης μοντέλων του προγράμματος Flac 7.0.

Ορίστηκε για το πρόβλημα μας κάνναβος ανάλυσης που περιλαμβάνει 16000 στοιχεία και 16281 κόμβους (κάνναβος 200×80), καλύπτει σε βάθος το βραχώδες υπόβαθρο έως το απόλυτο υψόμετρο $+210,0$ m, εκτείνεται δε σε απόσταση 400 m ανάντη και 400 m κατόντη του άξονα του φράγματος. Για την προσομοίωση των εδαφικών ζωνών χρησιμοποιείται μη συζευγμένος καταστατικός νόμος Mohr-Coulomb.

Μετά τον καθορισμό του πλέγματος προσομοίωσης υλοποιήθηκε η διαδικασία διαζώνησης του φράγματος ώστε εν συνεχεία να επιβληθούν οι ιδιότητες των υλικών που απαρτίζουν την κάθε εδαφική ζώνη. Με την χρήση της εντολής `gen line` σε συνδυασμό με την εντολή `mark`, στα σημεία όπου ο διαχωρισμός των ζωνών δεν μπορούσε να επιτευχθεί, διακριτοποιήθηκε το πλέγμα της διατομής ανάλυσης και οι επιμέρους ζώνες υλικών. Σε αυτό το σημείο, αξιοποιήθηκε ο προσχεδιασμός της διατομής στο πρόγραμμα AutoCad για την άντληση και χρήση των συντεταγμένων όλων των σημείων που συνετέλεσαν στην κωδικοποιημένη σχεδίαση της τελικής διατομής ανάλυσης.

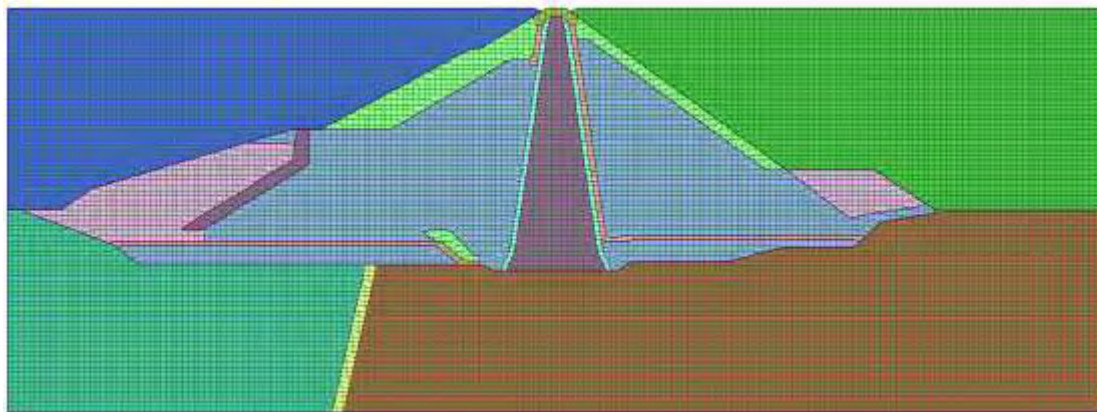
Εξωτερικά όρια φράγματος





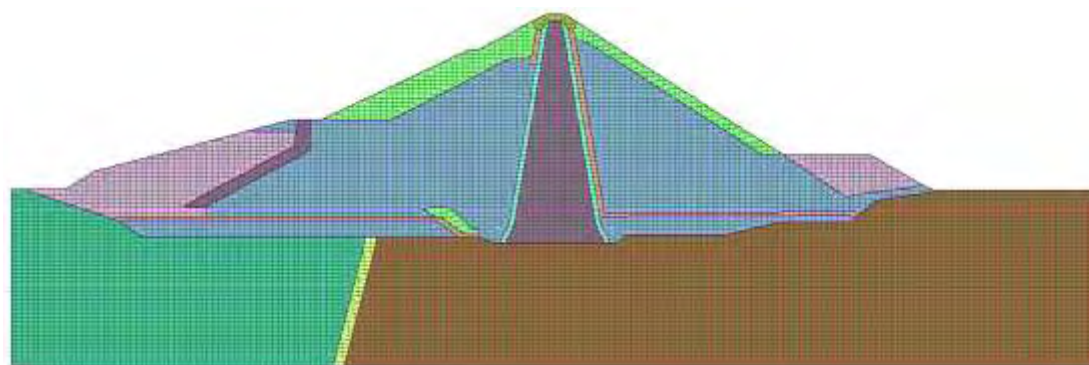
Σχήμα 3.2: Σταδιακή διαζώνηση φράγματος προσομοίωσης

Επόμενο βήμα στην διαδικασία σχεδίασης της διατομής του φράγματος ήταν ο καθορισμός της κάθε ζώνης ξεχωριστά. Αυτό επετεύχθη με την χρήση της εντολής `group` μέσα στα όρια της κάθε ζώνης. Αξίζει να αναφερθεί ότι λόγω του μεγάλου αριθμού των στοιχείων του καννάβου αλλά και λόγω της ιδιαίτερης λεπτομέρειας που έπρεπε να δοθεί στον διαχωρισμό των ζωνών δημιουργήθηκαν αρκετά προβλήματα στον καθορισμό τους. Συγκεκριμένα υπήρξαν περιπτώσεις όπου στα σημεία τομής δυο η περισσότερων ζωνών δεν γινόταν σωστά ο διαχωρισμός τους, με αποτέλεσμα ορισμένα σημεία κάποια ζώνης να ανήκουν σε διαφορετική από αυτή που είχαν οριστεί. Όπου, λοιπόν, δεν κατέστη δυνατό να διακριτοποιηθεί κάποια ζώνη επαρκώς χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές `mark` και `unmark` στα σημεία που δημιουργούνταν το πρόβλημα.



Σχήμα 3.3: Απεικόνιση των ζωνών του ιδεατού φράγματος

Μετά την ολοκλήρωση της διαζώνησης της διατομής του φράγματος, έπρεπε να απενεργοποιηθούν οι δυο ζώνες που είναι παρακείμενες των ανάντη και κατόντη πρανών καθώς δεν συμμετέχουν στην ανάλυση ευστάθειας του φράγματος.



Σχήμα 3.4: Τελική διαζώνηση του ιδεατού φράγματος

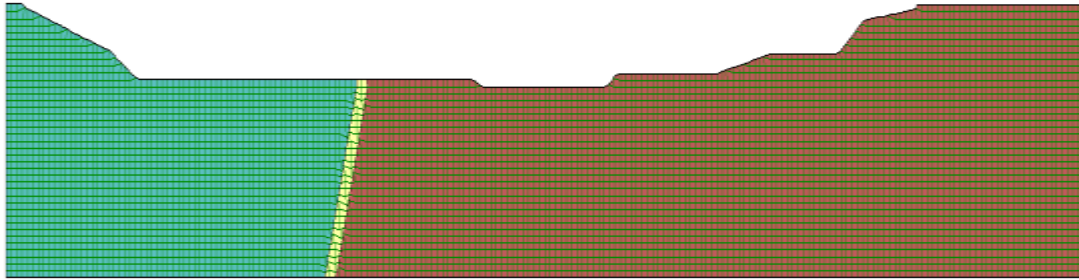
Μετά την ολοκλήρωση του καθορισμού των ζωνών, είχε σειρά η εισαγωγή των ιδιοτήτων των υλικών σε κάθε ζώνη ξεχωριστά. Η διαδικασία εισαγωγής των ιδιοτήτων πραγματοποιήθηκε με την χρήση της εντολής `properties`. Οι ιδιότητες οι οποίες εισήχθησαν σε κάθε ζώνη ξεχωριστά ήταν οι εξής:

- Πυκνότητα (density)
- Μέτρο μεταβολής όγκου K (bulk modulus)
- Μέτρο διάτμησης G (shear modulus)
- Συνοχή (cohesion)
- Γωνία εσωτερικής τριβής (friction)
- Διαστολή (dilation)
- Εφελκυστική αντοχή (tension)

Η πυκνότητα υπολογίστηκε για την κάθε ζώνη ξεχωριστά χρησιμοποιώντας την σχέση $\gamma = \rho g$, όπου γ = ειδικό βάρος της ζώνης (N/m^3), ρ = πυκνότητα (kg/m^3) και g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s^2).

Για τις υπόλοιπες ιδιότητες της κάθε ζώνης οι τιμές πάρθηκαν από τον Πίνακα 2.1 όπως παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2.

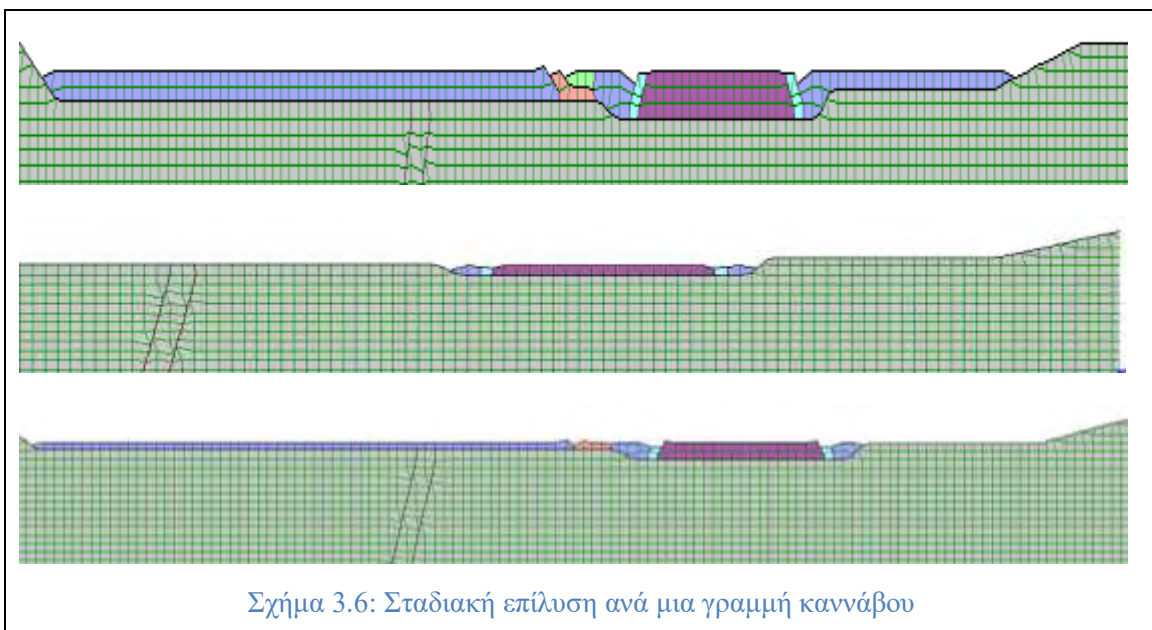
Στην συνέχεια, μετά την ολοκλήρωση της διαζώνησης του φράγματος και της εισαγωγής των ιδιοτήτων των υλικών σε κάθε ζώνη ξεχωριστά, έγινε επίλυση του υπεδάφους μεμονωμένα απενεργοποιώντας όλες τις υπερκείμενες ζώνες. Αυτό συνέβη διότι οι καθιζήσεις του υπεδάφους λόγω ιδίου βάρους δεν έχουν κάποια χρησιμότητα.



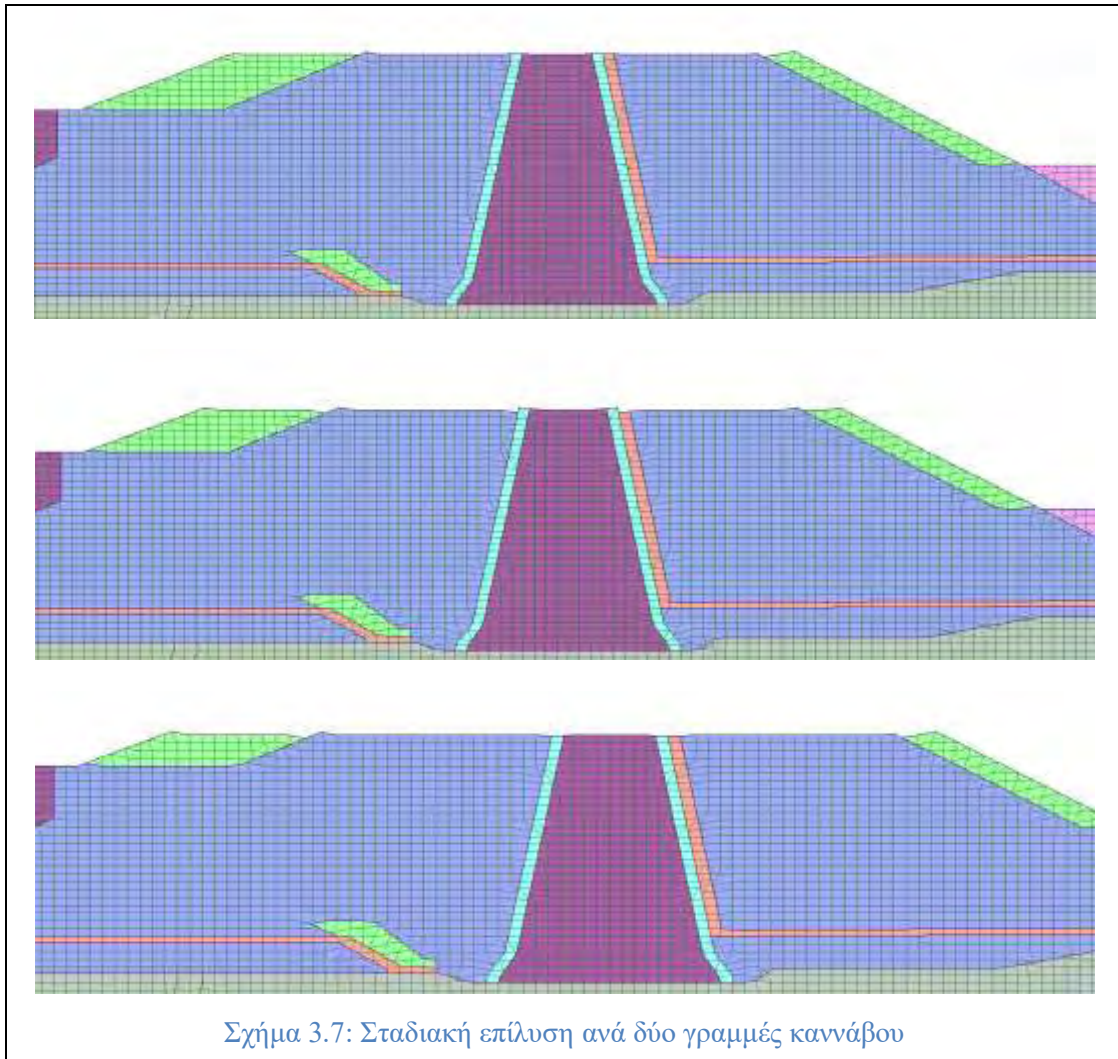
Σχήμα 3.5: Απεικόνιση του υπεδάφους του ιδεατού φράγματος

Μετά την ολοκλήρωση της επίλυσης του υπεδάφους με τις ασκούμενες τάσεις ακολούθησε η σταδιακή επίλυση του αναχώματος προσομοίωσης αφού πρώτα μηδενίστηκαν οι κατακόρυφες και οριζόντιες ταχύτητες και μετατοπίσεις που προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση. Για την ολοκληρωμένη επίλυση του αναχώματος προσομοίωσης απαιτήθηκε η τμηματική ενεργοποίηση οριζόντιων στρώσεων καννάβου ξεκινώντας από την στρώση έδρασης του πυρήνα προς την στέψη του φράγματος.

Κατά την διαδικασία αυτή επιλέχθηκε στις κατώτερες στρώσεις του αναχώματος προσομοίωσης να γίνεται επίλυση ανά μια γραμμή καννάβου (Σχήμα 3.6) ενώ πλησιάζοντας προς την στέψη του φράγματος η επίλυση γινόταν ανά δυο γραμμές καννάβου (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.6: Σταδιακή επίλυση ανά μια γραμμή καννάβου



3.3.2 Ανάλυση ευστάθειας φράγματος κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα

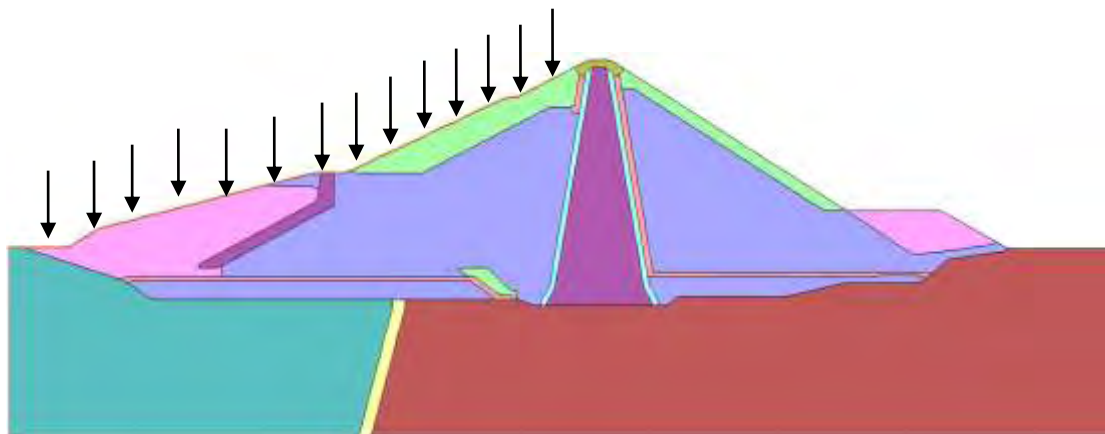
Συνθήκες ροής διήθησης στο ανάχωμα του φράγματος και δίκτυο ροής αρχίζουν να αναπτύσσονται μετά την ανύψωση της στάθμης του ταμιευτήρα. Η ταχύτητα ανάπτυξης του δικτύου σταθερής ροής εξαρτάται από τη διαπερατότητα του υλικού.

Η ανάπτυξη πλήρους δικτύου ροής στον πυρήνα, λόγω της χαμηλής του διαπερατότητας, μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Σημειώνεται ότι οι πιθανές διακυμάνσεις της στάθμης του ταμιευτήρα, λόγω λειτουργίας του έργου, ενδέχεται να μην αφήνουν επαρκές χρονικό διάστημα για την ανάπτυξη δικτύου ροής, που να αντιστοιχεί σε ορισμένη στάθμη ταμιευτήρα. Μετά την ανάπτυξη σταθερής ροής μέσα στο ανάχωμα του φράγματος (δίκτυο ροής), οι πιέσεις πόρων εξαρτώνται αποκλειστικά από το δίκτυο ροής.

Στις αναλύσεις ευστάθειας του αναχώματος θεωρείται ότι το δίκτυο ροής που έχει σχηματιστεί στον πυρήνα αντιστοιχεί στην ΑΣΑ του ταμιευτήρα, παραδοχή που σε πολλά φράγματα ενδεχομένως να μην πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια ζωής του

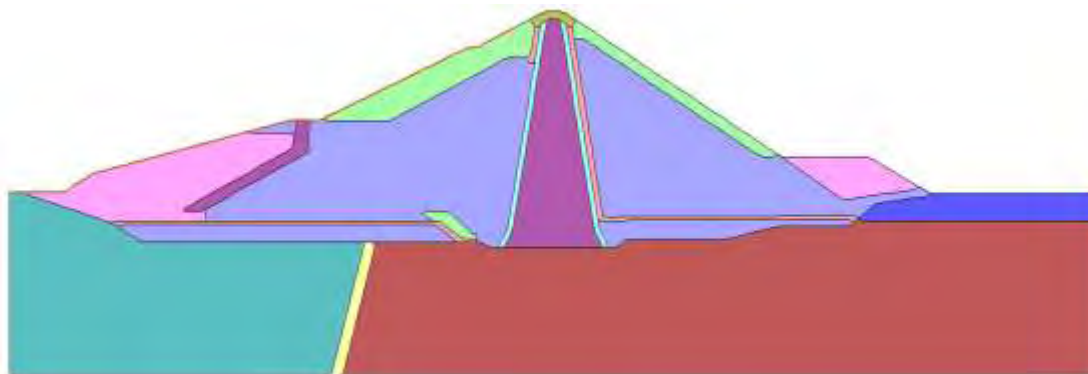
έργου, για τον απλό λόγο ότι η στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα δεν διατηρείται στην ανώτατη στάθμη για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να αναπτυχθεί το αντίστοιχο δίκτυο ροής.

Έχοντας ολοκληρώσει την ανάλυση ευστάθειας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, σειρά είχε η ανάλυση του κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης έπρεπε να γίνει εισαγωγή νερού. Αυτό έγινε με την επιβολή πίεσης νερού στην ανάντη πλευρά του φράγματος αλλά και στην επιφάνεια του εδάφους ανάντη με την χρήση της εντολής *apply pore pressure*. Παράλληλα ορίστηκαν οι συνοριακές συνθήκες κορεσμού με την χρήση της εντολής *fix saturation*. Ο κορεσμός θεωρήθηκε ότι θα είναι πλήρης που σημαίνει πως αν μετακινηθεί κάποια μάζα νερού τότε κάποια άλλη θα καλύψει το κενό από μια γειτονική περιοχή. Επιπλέον σε κάθε ζώνη, εκτός του υπεδάφους, προστέθηκε η χαρακτηριστική τιμή διαπερατότητας για την ορθή πραγματοποίηση της ανάλυσης.



Σχήμα 3.8: Απεικόνιση του φράγματος με την επιβολή πίεσης νερού

Κατά την διάρκεια της ανάλυσης ευστάθειας του φράγματος μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα αντιμετωπίστηκαν δυο βασικά προβλήματα. Αρχικά φάνηκε πως μόνο η επιβολή της πίεσης του νερού δεν ήταν επαρκής καθώς τα στοιχεία της επιφάνειας της ανάντη πλευράς άρχισαν να διαστέλλονται και να παραμορφώνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Για τον λόγο αυτό, ταυτόχρονα με την επιβολή της πίεσης του νερού, χρησιμοποιήσαμε την εντολή *apply pressure* η οποία προσομοιώνει το βάρος του υπερκείμενου νερού. Το δεύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν πως το στραγγιστήριο στην κατάντη πλευρά του φράγματος ήταν αδιέξοδο και δεν επέτρεπε την απομάκρυνση του νερού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την αλλαγή της διαπερατότητας στο υλικό στην κατάντη πλευρά του φράγματος. Δημιουργήθηκε έτσι μια νέα ζώνη με τις ίδιες ιδιότητες και την διαπερατότητα που χρειαζόταν για να υπάρξει μια σταθερή ροή στο φράγμα, η οποία ονομάστηκε *drain*.



Σχήμα 3.9: Απεικόνιση εδαφικής ζώνης drain

3.3.3 Συντελεστής Ασφάλειας

Ο συντελεστής ασφάλειας πρανούς έναντι ολίσθησης, για μία συγκεκριμένη επιφάνεια ολίσθησης, ορίζεται ως το πηλίκον της "διαθέσιμης" προς την "ενεργοποιημένη" διατμητική αντοχή του υλικού, κατά μήκος της υπόψη επιφάνειας. Η επιφάνεια που δίνει το χαμηλότερο συντελεστή ασφάλειας, θεωρείται ως η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης.

Ο συντελεστής ασφάλειας θεωρείται ότι παρέχει τα απαραίτητα περιθώρια ασφάλειας για πιθανές ανακρίβειες των υπολογισμών ευστάθειας, του προσδιορισμού της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης, καθώς και των εκτιμήσεων για την αντοχή των υλικών του πρανούς και της θεμελίωσης.

Η σεισμική καταπόνηση για τη συνθήκη πέρατος κατασκευής είναι μικρότερη από την αντίστοιχη καταπόνηση για τη σταθερή ροή διήθησης, λόγω του σαφώς μικρότερου χρόνου ισχύος της συνθήκης πέρατος κατασκευής.

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης του υπό μελέτη φράγματος κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του Συντελεστή Ασφαλείας πρανούς έναντι ολίσθησης με την χρήση ενός συγκεκριμένου υποπρογράμματος του FLAC 7.0 που εξυπηρετεί αυτό το σκοπό. Πρακτικά, αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση της εντολής `solve fos` η οποία μετά από παραμετρικούς υπολογισμούς καταλήγει στην εύρεση του Συντελεστή Ασφάλειας.

Έτσι, για το φράγμα προέκυψε

$$\Sigma.Α. = 1,37$$

3.4 Δυναμική Ανάλυση

Κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό τεχνικών έργων, όπως τα φράγματα, είναι απαραίτητη η εξασφάλιση της σεισμικής ευστάθειας τους. Η εκτίμηση της σεισμικής ευστάθειας των πρηνών αποτελεί βασικό κομμάτι του αντισεισμικού σχεδιασμού.

Ως προς την ακρίβεια προσδιορισμού της σεισμικής ευστάθειας, η δυναμική ανάλυση με χρήση πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών η οποία βασίζεται στην σχέση τάσεων-παραμορφώσεων είναι η πιο ακριβής. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μη γραμμική συμπεριφορά του σώματος του φράγματος, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, απαιτώντας πολύπλοκα καταστατικά προσομοιώματα των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών.

Γενικά, η δυναμική ανάλυση ενός φράγματος μέσω πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών είναι αρκετά πολύπλοκη. Συνοπτικά, η διαδικασία περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες:

- Διακριτοποίηση του φράγματος σε πεπερασμένα στοιχεία με μορφή τριγώνων ή τετραπλεύρων όταν γίνεται δισδιάστατη ανάλυση.
- Καθορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών των υλικών που συνήθως περιλαμβάνει το μέτρο διάτμησης, την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_s), την πυκνότητα και το ποσοστό απόσβεσης.
- Κατάλληλη επιλογή χρονοϊστοριών επιταχύνσεων που χαρακτηρίζουν την περιοχή του φράγματος.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων έναντι των άλλων μεθοδολογιών είναι η δυνατότητα εξέτασης των επιδράσεων των σύνθετων σεισμικών φαινομένων μέσω της επιβολής χρονοϊστοριών επιταχύνσεων. Επιπλέον, η εν λόγω μεθοδολογία επιτρέπει τη χρήση παραμέτρων αντοχής και απόσβεσης που μεταβάλλονται χρονικά κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης.

Όσον αφορά την ανάλυση της σεισμικής απόκρισης του φράγματος προσομοίωσης και εφόσον η διακριτοποίηση του σε πεπερασμένα στοιχεία πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ακολούθησε ο καθορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών των υλικών. Συγκεκριμένα, η μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων είναι ίση με $V_s = 350$ m/sec τόσο στις εδαφικές στρώσεις όσο και στο σώμα του φράγματος. Επιπλέον, με την χρήση των πυκνοτήτων της κάθε εδαφικής περιοχής (ζώνες) και του τύπου

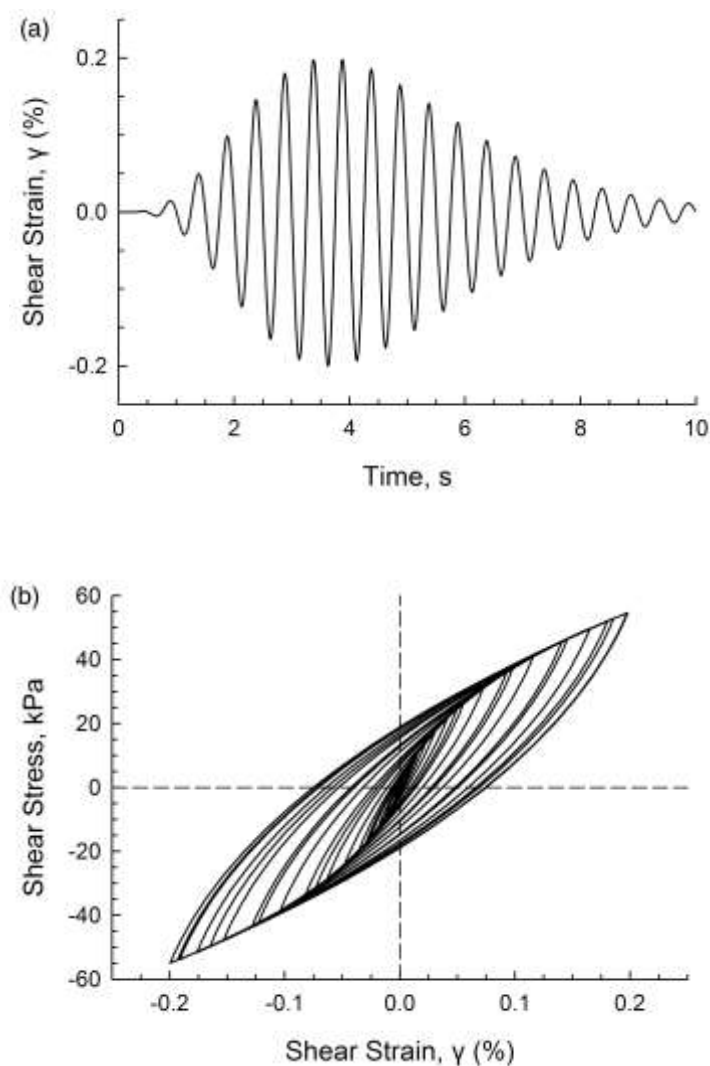
$$G = \rho V_s^2$$

υπολογίστηκε η νέα τιμή του μέτρου διάτμησης για κάθε εδαφική ζώνη ξεχωριστά.

Απαραίτητη παράμετρος για την εξομάλυνση μεγάλων αποκλίσεων στις τιμές κατά την διάρκεια της σεισμικής ανάλυσης είναι το ποσοστό απόσβεσης. Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Rayleigh(3%) που αποτελεί ιξώδη

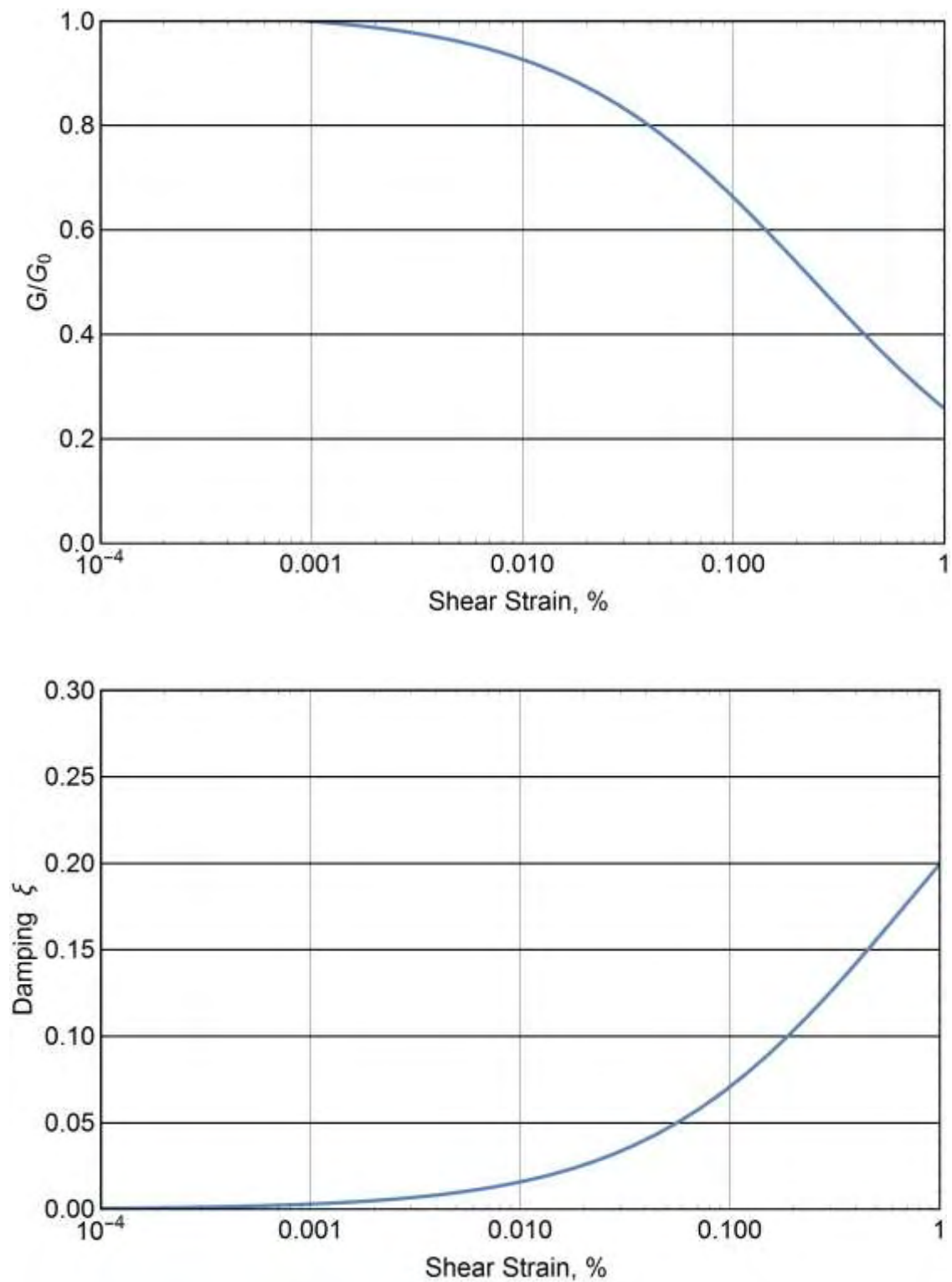
απόσβεση η οποία είναι ανάλογη με ένα γραμμικό συνδυασμό της μάζας και της δυσκαμψίας και η οποία χρησιμοποιείται για λόγους αριθμητικής ευστάθειας. Η εισαγωγή του ποσοστού απόσβεσης έγινε με την χρήση της εντολής `set dy_damping` και την εισαγωγή των τιμών που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο κλάσμα κρίσιμης απόσβεσης ενός δεδομένου πεδίου συχνότητας.

Εκτός από την απόσβεση Rayleigh που επιβάλετε σε όλο το μοντέλο, χρησιμοποιήθηκε και η υστερητική απόσβεση με το μοντέλο `sig3` για κάθε ένα από τα υλικά. Το μοντέλο υστερητικής συμπεριφοράς `sig3` δημιουργεί βρόγχους υστέρησης (Σχήμα 3.10) που συμφωνούν με τα πειραματικά δεδομένα για την μείωση του G/G_0 και την αύξηση του ξ με το μέγεθος της διατμητικής παραμόρφωσης.

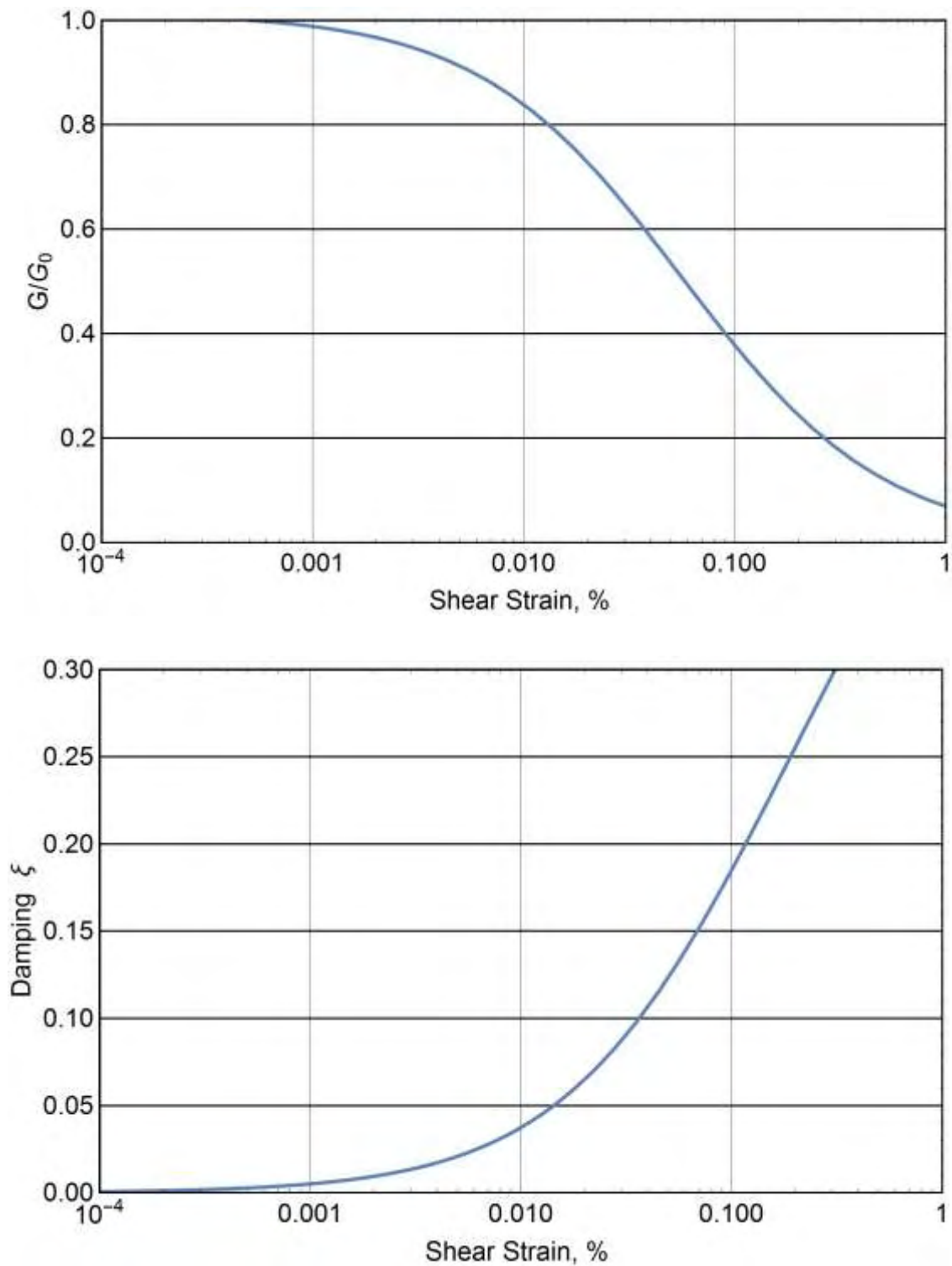


Σχήμα 3.10: Δοκιμή απλής διάτμησης: (a) επιβαλλόμενη ανακυκλική παραμόρφωση τύπου Chang (b) προσομοίωση της σχέσης τάσης – παραμόρφωσης [6]

Στα Σχήματα 3.11 και 3.12 δίνονται η μεταβολή του αδιαστατοποιημένου μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης του αργιλικού πυρήνα, του υλικού σώματος και της λιθορριπής.



Σχήμα 3.11: Καμπύλες G/G_0 - γ (πάνω) και ξ - γ (κάτω) για το αργλικό υλικό του πυρήνα

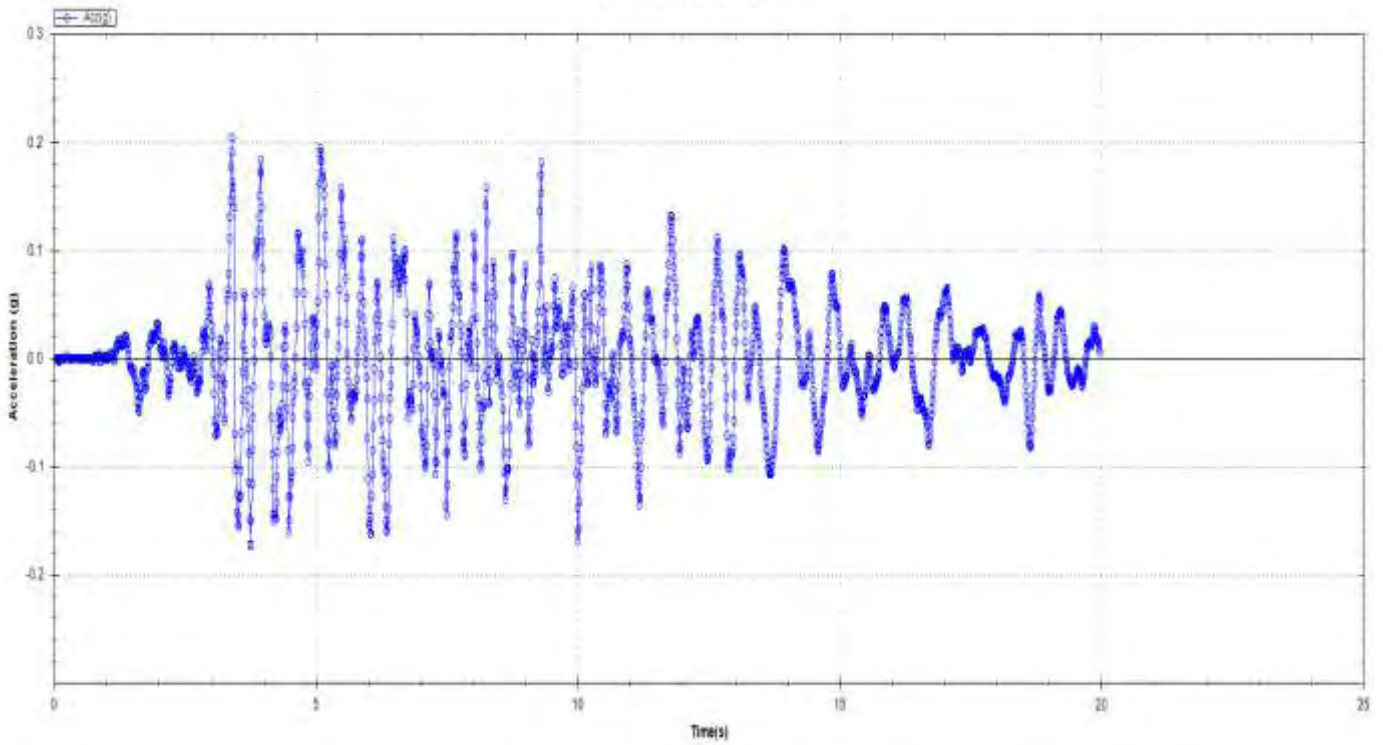


Σχήμα 3.12: Καμπύλες G/G_0 - γ (πάνω) και ξ - γ (κάτω) του υλικού σώματος και λιθορριπής

Για την σεισμική ανάλυση του υπό μελέτη φράγματος χρησιμοποιήθηκαν οι διεγέρσεις που αποτελούν καταγραφές από πραγματικό σεισμό και αφορούν τον σεισμό της Λευκάδας το 2003 και ο οποίος είχε μέγεθος 6,4 της κλίμακας Richter. Καταγράφηκαν πολλές ζημιές σε διάφορες περιοχές με τον εν λόγω σεισμό να

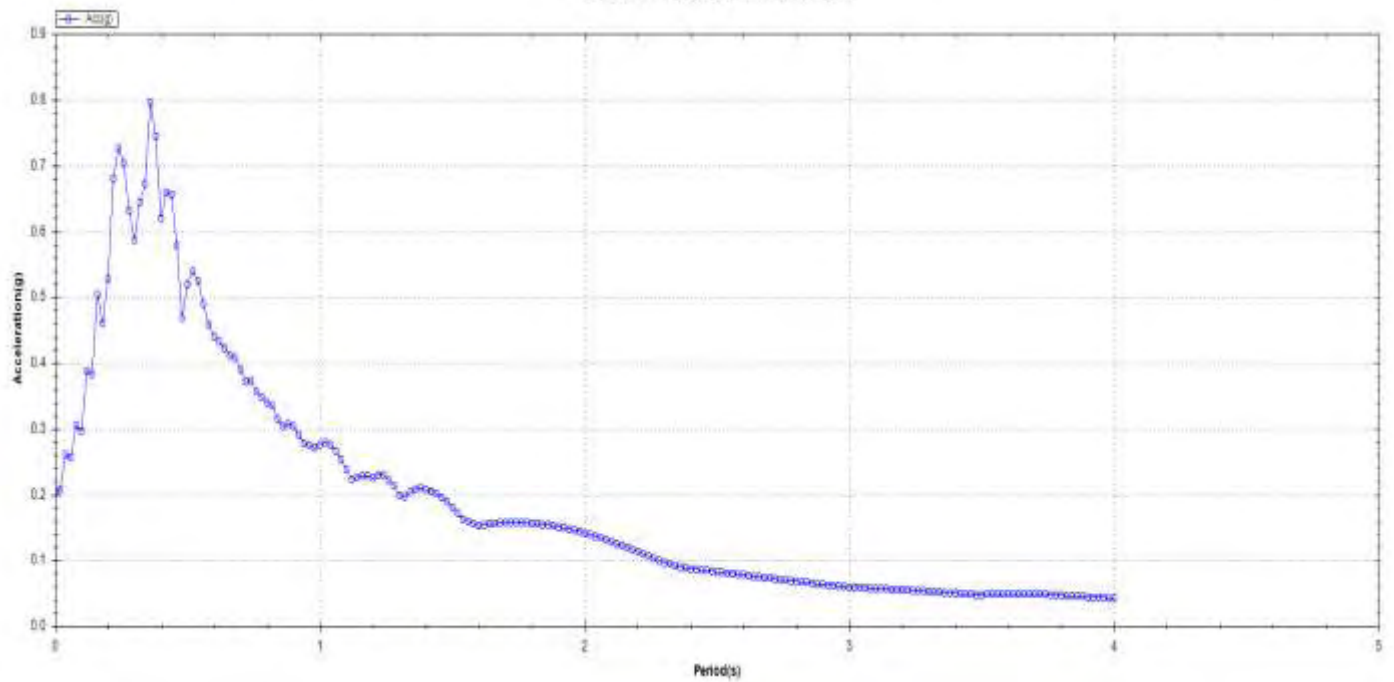
παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές εδαφικής επιτάχυνσης για τα ελληνικά δεδομένα.

Χρονοϊστορία Επιταχύνσεων



Σχήμα 3.13: Επιταχυνσιογράφημα σεισμού Λευκάδας (2003)

Φάσμα Απόκρισης Επιταχύνσεων



Σχήμα 3.14: Φάσμα Απόκρισης Επιταχύνσεων σεισμού Λευκάδας (2003)

Επίσης, επιλέχθηκαν πέντε σημεία καθ' ύψος της μέγιστης διατομής του υπό μελέτη φράγματος, με σκοπό την καλύτερη και ευκολότερη κατανόηση των γραφημάτων της ανάλυσης, τα οποία αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

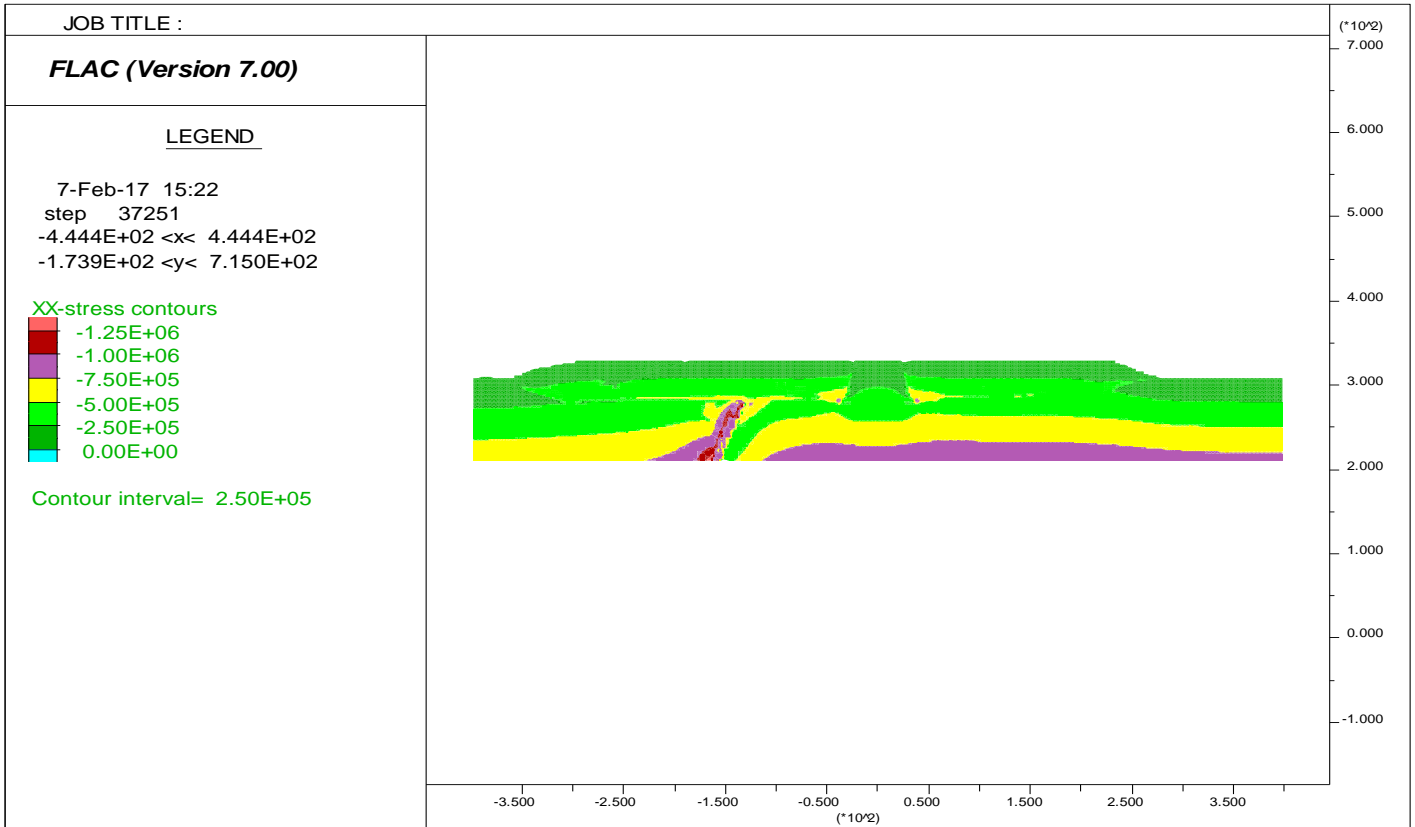
4.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευστάθειας Φράγματος κατά την Κατασκευή του Αναχώματος

Μετά από την αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση του υπό μελέτη φράγματος είναι πλέον δυνατή η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με την χρήση του προγράμματος FLAC 7.0. Με την παρουσίαση αυτή εντοπίζονται οι μέγιστες τιμές, η σημαντικότητα των αποτελεσμάτων καθώς και η απόκριση του φράγματος στις επιβαλλόμενες φορτίσεις. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατά την φάση κατασκευής του υπό μελέτη φράγματος λαμβάνοντας δεδομένα για το μέσο και πλήρες ύψος της σταδιακής κατασκευής του αναχώματος, κατά την άμεση πλήρωση του ταμιευτήρα και τέλος κατά την επιβολή σεισμικής διέγερσης.

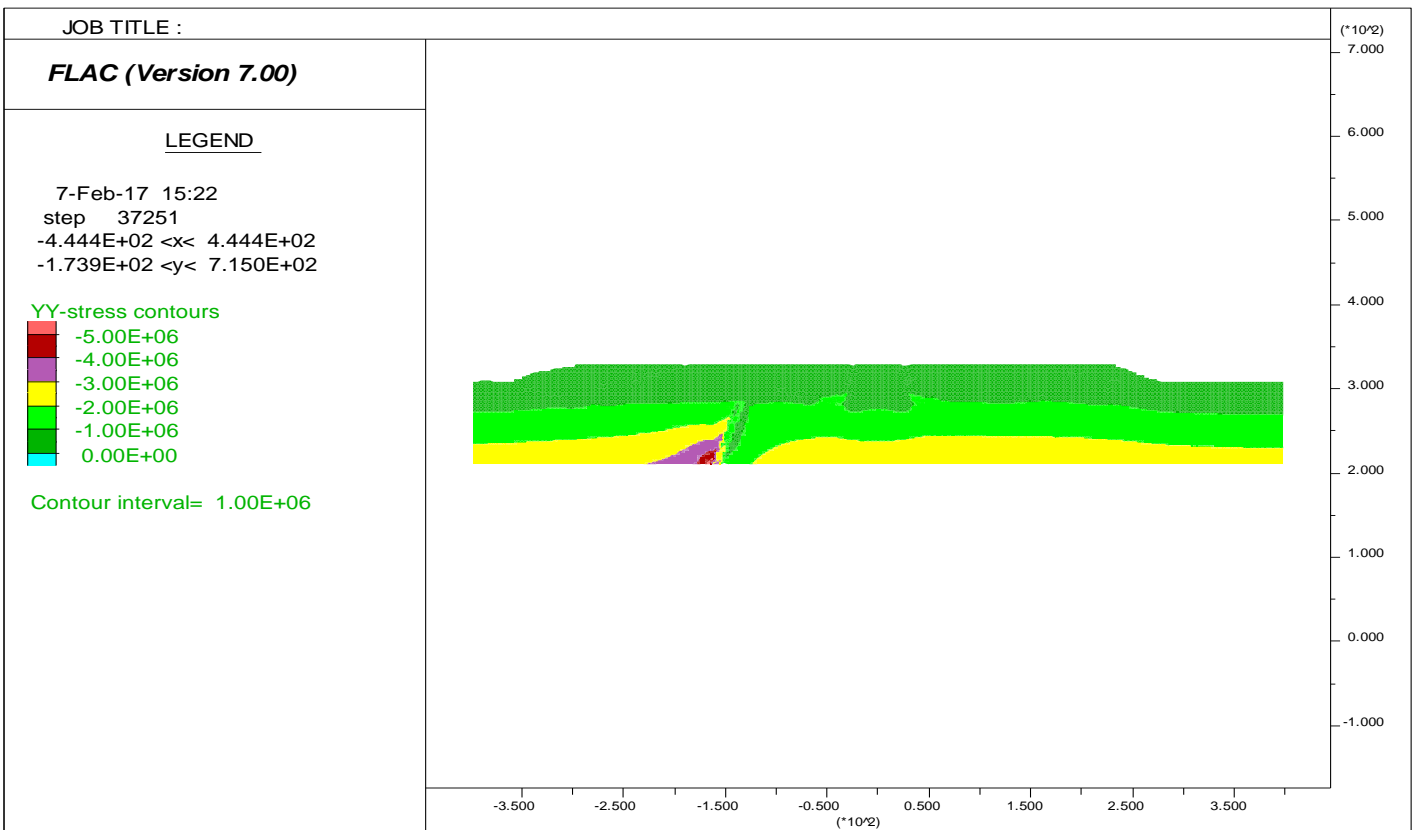
- **Αποτελέσματα της ανάλυσης στο μέσο ύψος του φράγματος κατά την κατασκευή του αναχώματος**

Τα πρώτα αποτελέσματα αφορούν την σταδιακή κατασκευή του υπό μελέτη φράγματος και πιο συγκεκριμένα αντλήθηκαν δεδομένα στο μέσο ύψος στην στάθμη των 330m. Αναλυτικότερα, στα Σχήματα 4.1 και 4.2 απεικονίζονται οι ισοτιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων ολικών τάσεων αντίστοιχα στην ευρύτερη περιοχή ανάλυσης. Είναι εμφανές ότι από το μέσο ύψος της κατασκευής του αναχώματος αρχίζει να διαφαίνεται η ανάρτηση του πυρήνα του φράγματος από τις λιθορριπές του σώματος στήριξης ενώ στις άκρες της έδρασης του πυρήνα παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τάσεων. Υψηλή συγκέντρωση τάσεων παρουσιάζεται επίσης και στο όριο της διεπιφάνειας ανάμεσα στον σχηματισμό των ασβεστολίθων και των φυλλιτών, οφειλόμενη στην κατά μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη δυσκαμψία του ασβεστολιθικού σχηματισμού.

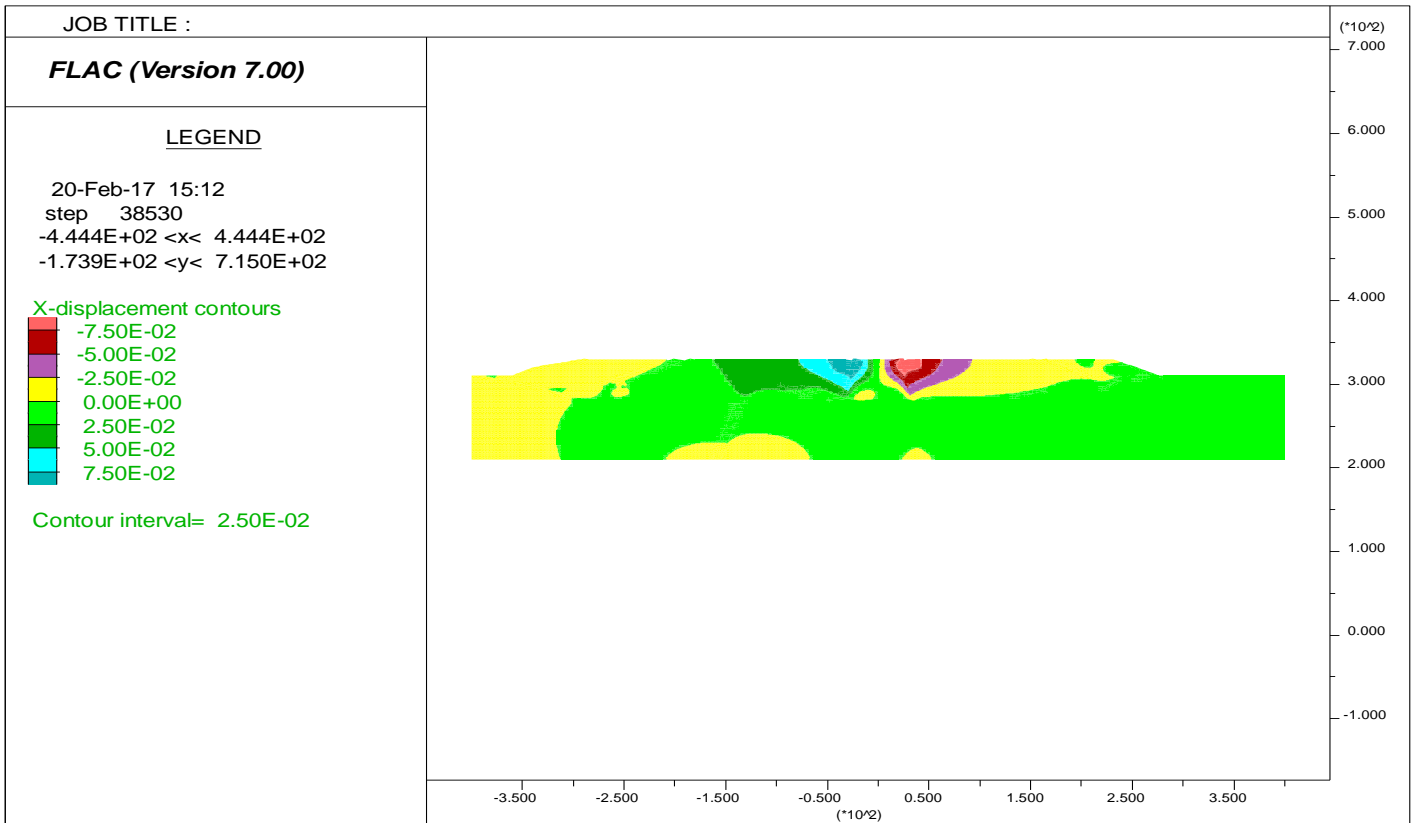
Στα Σχήματα 4.3 και 4.4 απεικονίζονται οι ισοτιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετατοπίσεων, όπου και φαίνεται ότι οι μετακινήσεις που κυριαρχούν σε αυτή την φάση της κατασκευής του υπό μελέτη φράγματος είναι αυτές της κατακόρυφης συνιστώσας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται κάποιες αρχικές καθιζήσεις της τάξης των 0,40m οι οποίες και αναμένονται να αυξηθούν μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής ενώ οι οριζόντιες μετακινήσεις θεωρούνται αμελητέες.



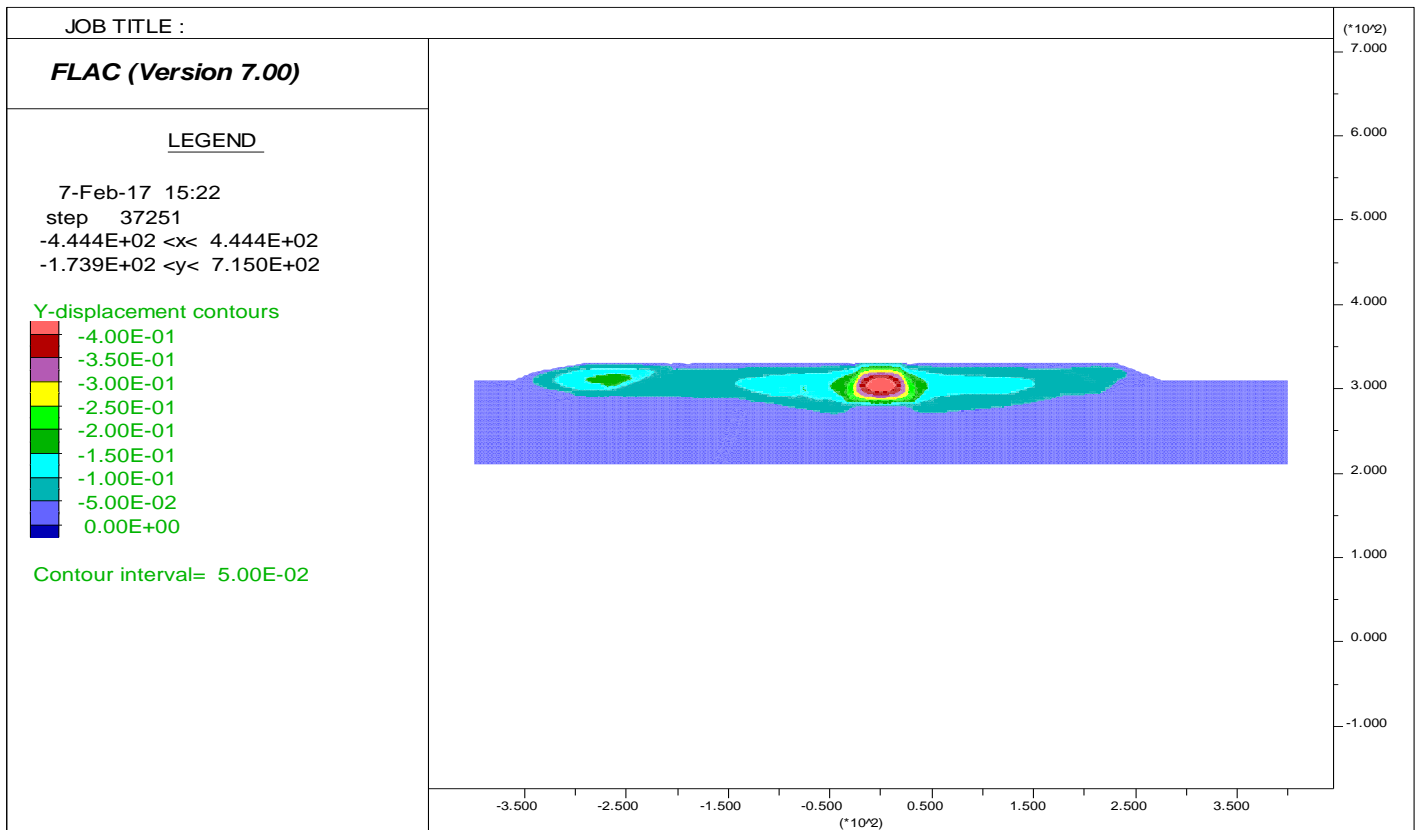
Σχήμα 4.4: Ισοτιμές οριζόντιων ολικών τάσεων



Σχήμα 4.5: Ισοτιμές κατακόρυφων ολικών τάσεων



Σχήμα 4.6: Ισοτιμές οριζόντιων μετακινήσεων

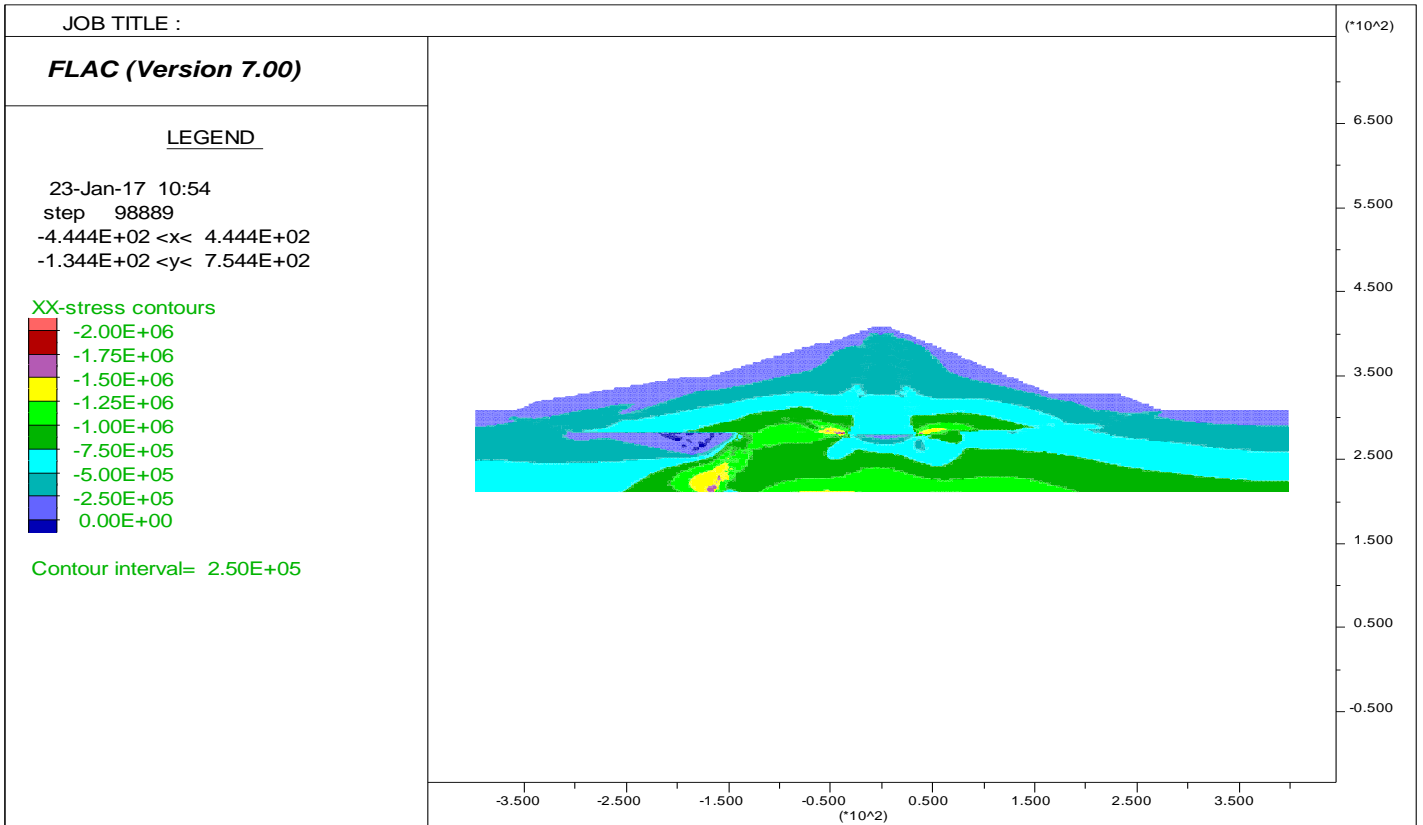


Σχήμα 4.7: Ισοτιμές κατακόρυφων μετακινήσεων

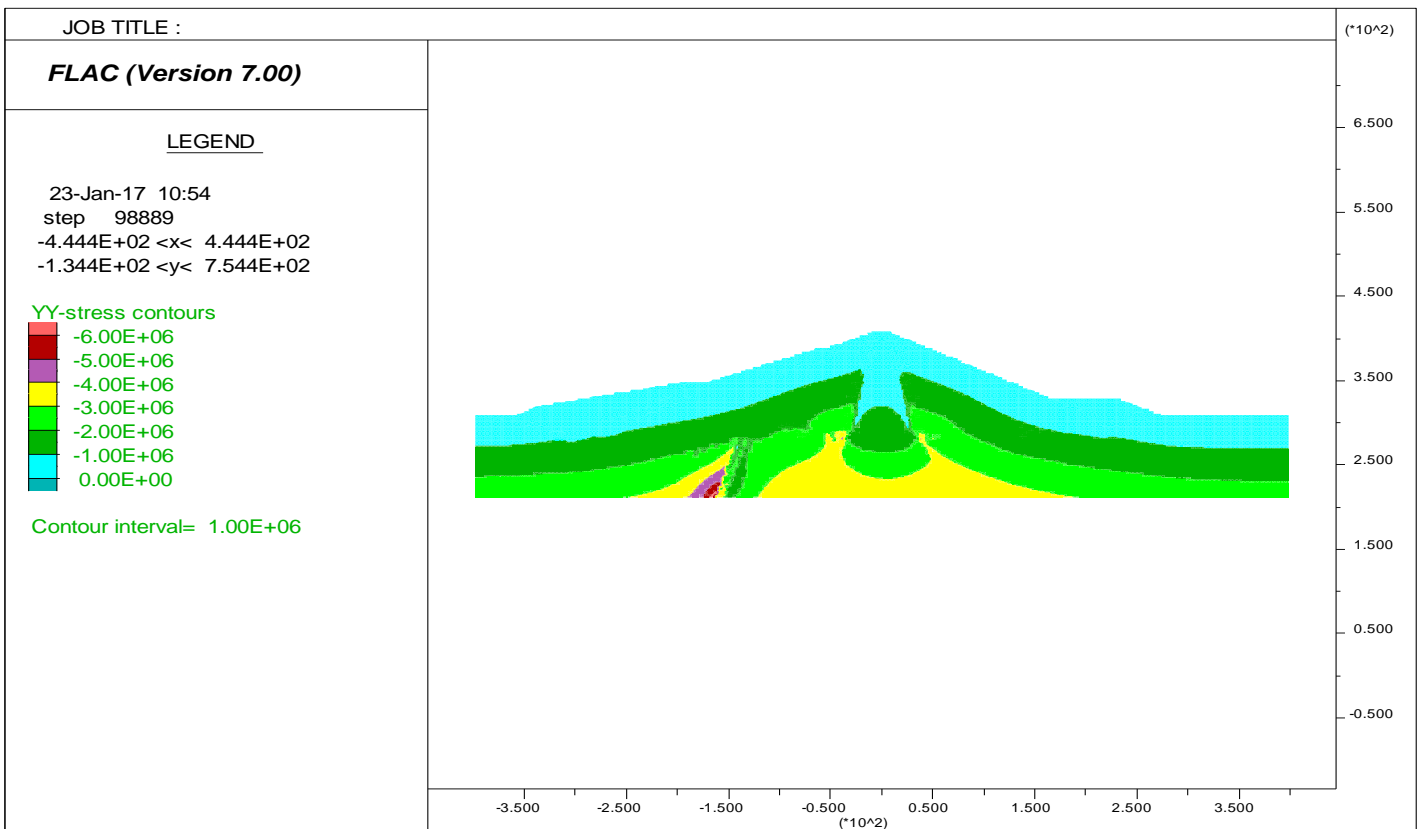
- **Αποτελέσματα της ανάλυσης στο πλήρες ύψος του φράγματος μετά την κατασκευή του αναχώματος**

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του υπό μελέτη φράγματος εξήχθησαν τα ίδια αποτελέσματα με αυτά στο μέσο ύψος για την ολοκληρωμένη κατανόηση της απόκρισής του στο σύνολο των στατικών φορτίσεων. Έτσι, στα Σχήματα 4.5 και 4.6 παρουσιάζονται οι ισοτιμές των ολικών οριζόντιων και κατακόρυφων τάσεων αντίστοιχα. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα και συσχετίζοντάς τα με τα αντίστοιχα στο μέσο ύψος της κατασκευής, φαίνεται η εξέλιξη των τάσεων στη ευρύτερη περιοχή, με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τάσεων να παρατηρούνται στις άκρες έδρασης του πυρήνα ενώ και πάλι διαφαίνεται η ανάρτηση του πυρήνα του φράγματος από τις λιθορριπές του σώματος στήριξης, όπως αναμένεται άλλωστε λόγω αισθητά μεγαλύτερων μέτρων παραμορφωσιμότητας των λιθορριπών. Επίσης, στο όριο της διεπιφάνειας ανάμεσα στον σχηματισμό των ασβεστολίθων και των φυλλιτών παρατηρείται και πάλι υψηλή συγκέντρωση τάσεων, προϋπάρχουσα βεβαίως της κατασκευής του φράγματος, η οποία οφείλεται στην κατά μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη δυσκαμψία του ασβεστολιθικού σχηματισμού.

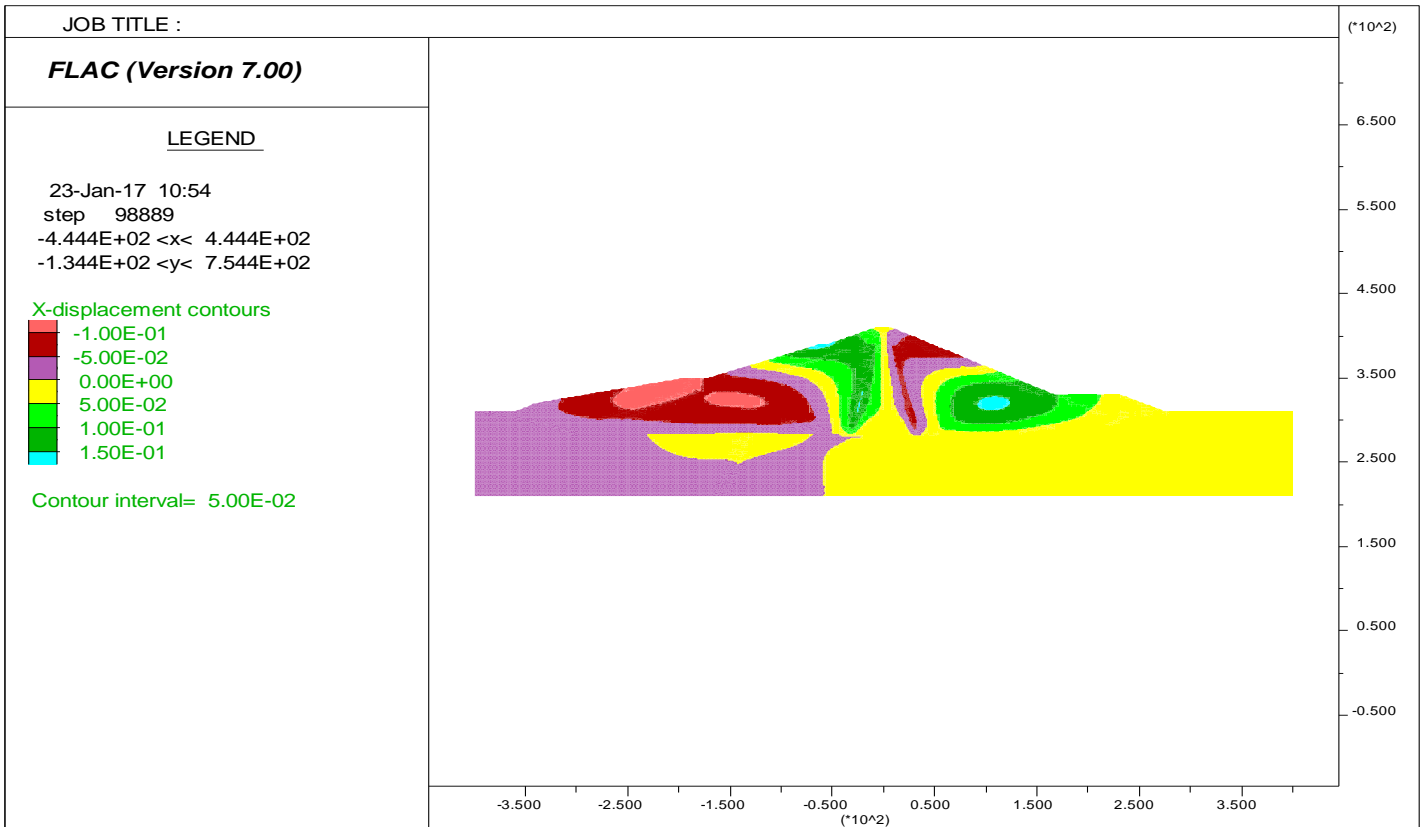
Στα Σχήματα 4.7 και 4.8 απεικονίζονται οι ισοτιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετατοπίσεων μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του υπό μελέτη φράγματος. Παρατηρείται η αύξηση τόσο των οριζόντιων μετακινήσεων όσο και των καθιζήσεων σε σχέση με το μέσο ύψος της κατασκευής του σώματος, κάτι το οποίο κρίνεται αναμενόμενο καθώς έχει ολοκληρωθεί η διάστρωση όλων των εδαφικών υλικών και το φράγμα έχει παραλάβει το σύνολο των στατικών φορτίσεων. Η μέγιστη καθίζηση είναι της τάξης του 1,25m και εντοπίζεται εντός της ζώνης του πυρήνα και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή που περιλαμβάνεται από τις στάθμες +309,0m έως +361,0m. Οι τιμές των καθιζήσεων του υπό μελέτη φράγματος κρίνονται αποδεκτές, καθώς συμβαδίζουν με αντίστοιχες αναλύσεις παρόμοιου τύπου φραγμάτων [4]. Τέλος, οι οριζόντιες μετακινήσεις, οι οποίες παρατηρούνται κυρίως στο σώμα στήριξης της ανάντη πλευράς, παραμένουν ακόμα και μετά την ολοκλήρωσης της κατασκευής μικρού μεγέθους (0,15m) και μπορούν να θεωρηθούν ως αμελητέες.



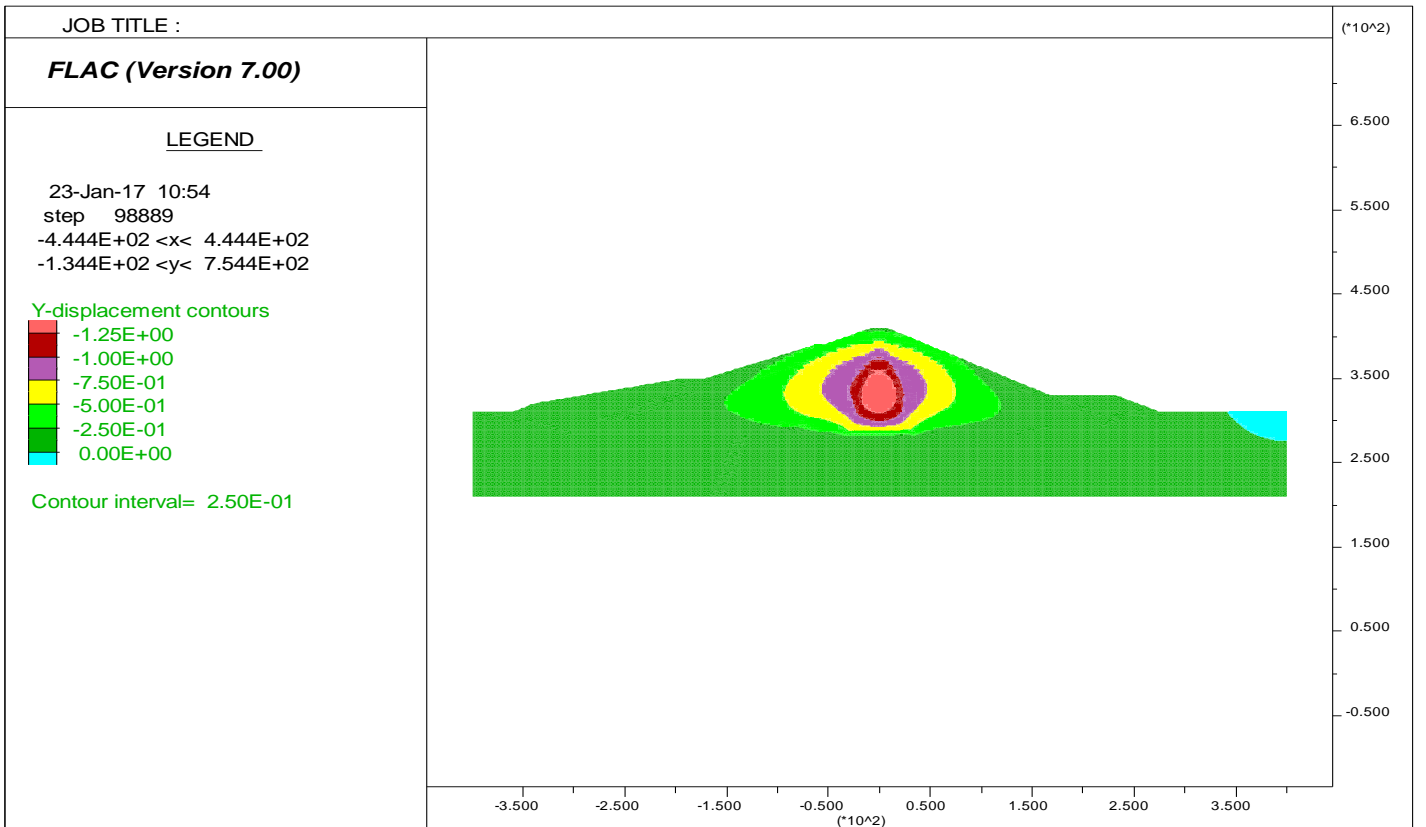
Σχήμα 4.8: Ισοτιμές οριζόντιων ολικών τάσεων



Σχήμα 4.9: Ισοτιμές κατακόρυφων ολικών τάσεων



Σχήμα 4.10: Ισοτιμές οριζόντιων μετακινήσεων



Σχήμα 4.11: Ισοτιμές κατακόρυφων μετακινήσεων

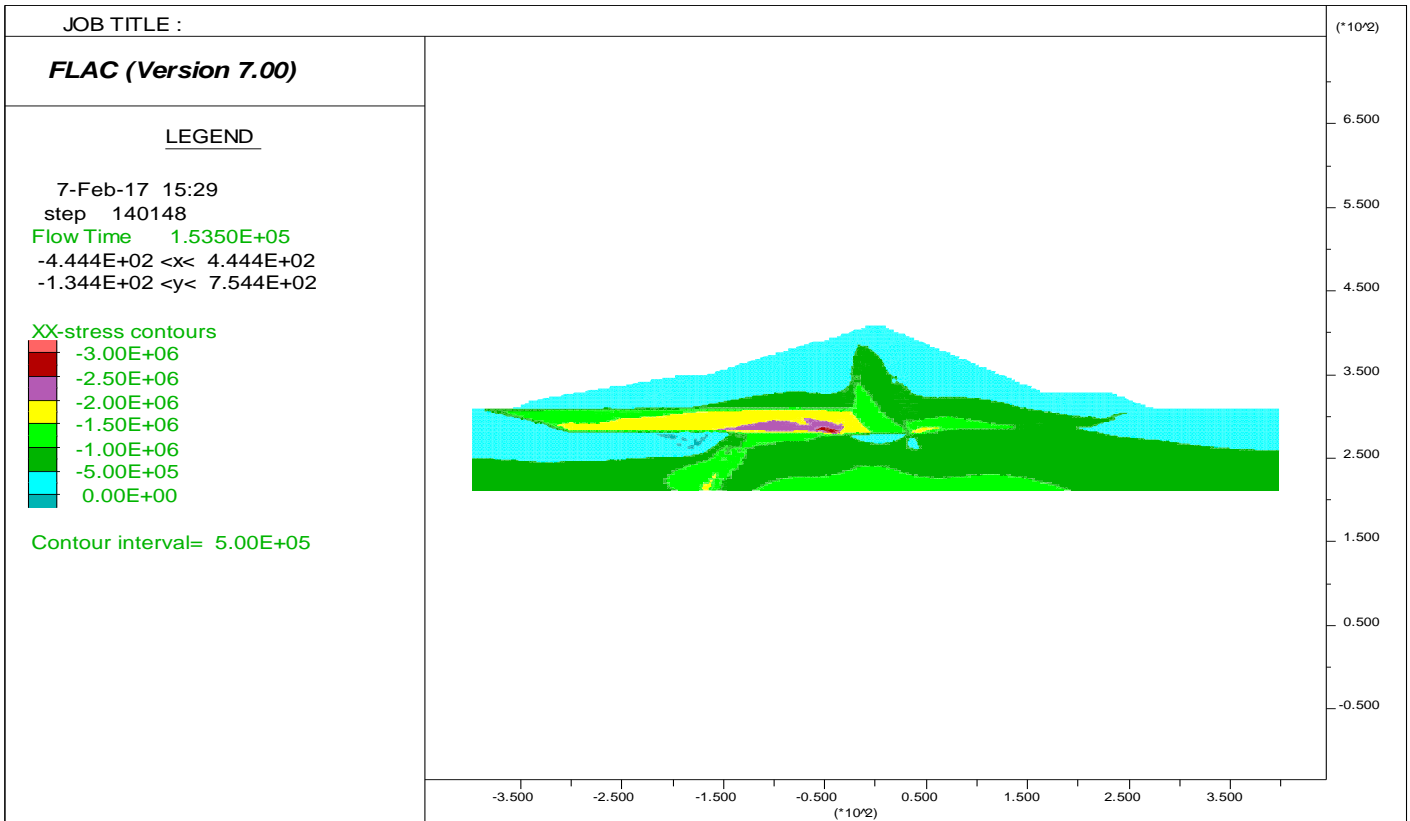
4.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευστάθειας Φράγματος κατά την Πλήρωση του Ταμιευτήρα

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του αναχώματος, ακολούθησε η δεύτερη φάση της ανάλυσης που αφορά την πλήρωση του ταμιευτήρα. Στα Σχήματα 4.9 και 4.10 παρουσιάζονται οι ισοτιμές των ολικών οριζόντιων και κατακόρυφων τάσεων αντίστοιχα. Υψηλή συγκέντρωση τάσεων παρατηρείται στην ανάντη πλευρά του φράγματος, στην περιοχή της έδρασης του πυρήνα ως αποτέλεσμα των πλευρικών ωθήσεων που προκαλεί η πλήρωση του ταμιευτήρα, καθώς και στην διεπιφάνεια ανάμεσα στον σχηματισμό των ασβεστολίθων και των φυλλιτών.

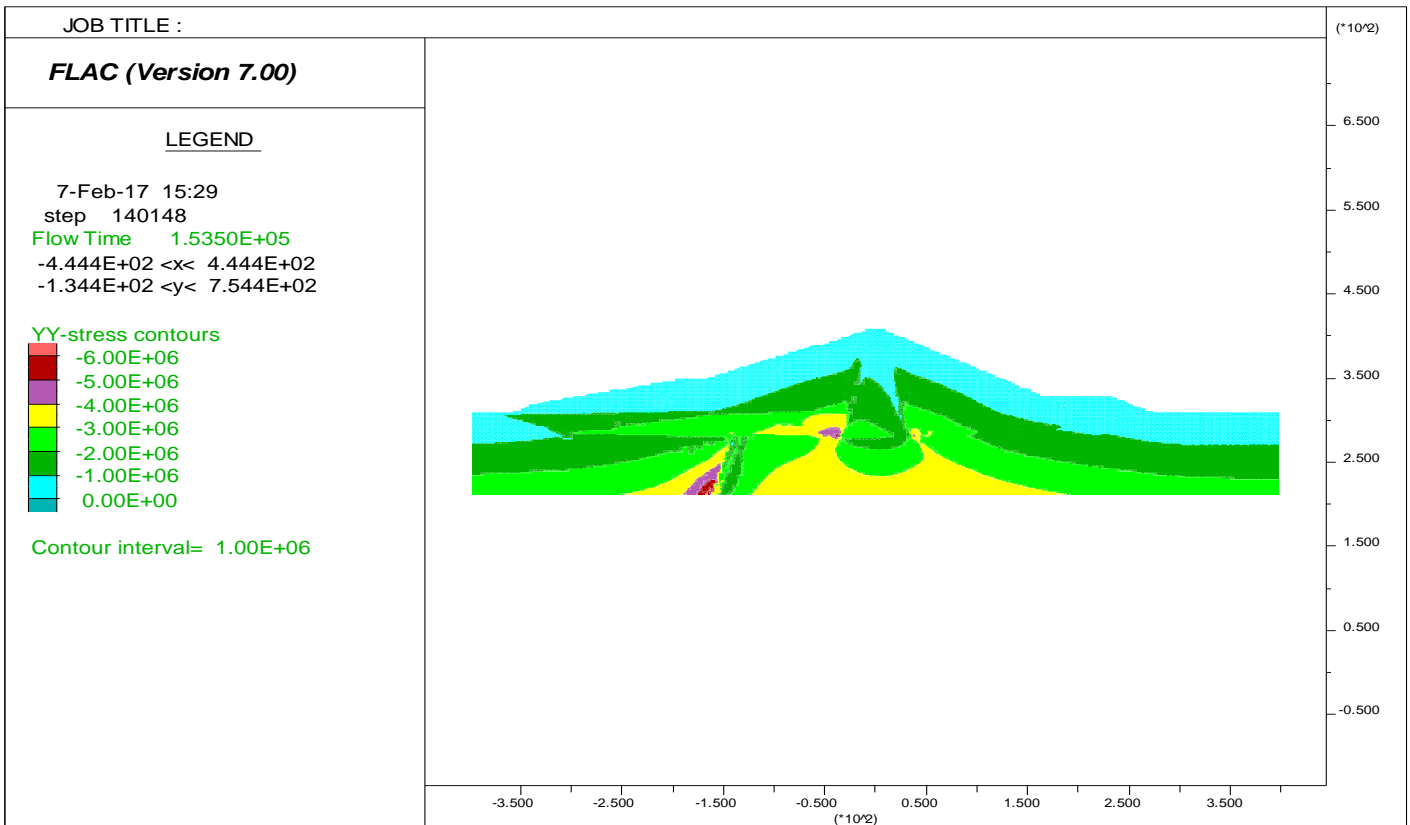
Στα Σχήματα 4.11 και 4.12 απεικονίζονται οι ισοτιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων και παρατηρείται ότι η διαφοροποίησή τους, με την προηγούμενη φάση της ανάλυσης, είναι ιδιαίτερα μικρή. Ειδικότερα, η μέγιστη τιμή για τις οριζόντιες τιμές προκύπτει 0,15m ενώ για τις καθιζήσεις 1,25m.

Στο Σχήμα 4.13 φαίνονται οι ισοτιμές της πίεσης πόρων που υπολογίζεται για πιεζομετρική γραμμή που αντιστοιχεί σε στάθμη πλήρωσης +401,0m και αυξάνονται στις κατώτερες στάθμες της λίμνης. Επιπλέον συμπεραίνεται ότι το πρόβλημα που προέκυψε κατά την ανάλυση και το οποίο επισημάνεται στο Κεφάλαιο 3 και αφορά το στραγγιστήριο στη κατάντη πλευρά του φράγματος που ήταν αδιέξοδο και δεν επέτρεπε την απομάκρυνση του νερού, φαίνεται να έχει λυθεί και πλέον να παρατηρείται μια σταθερή ροή διήθησης.

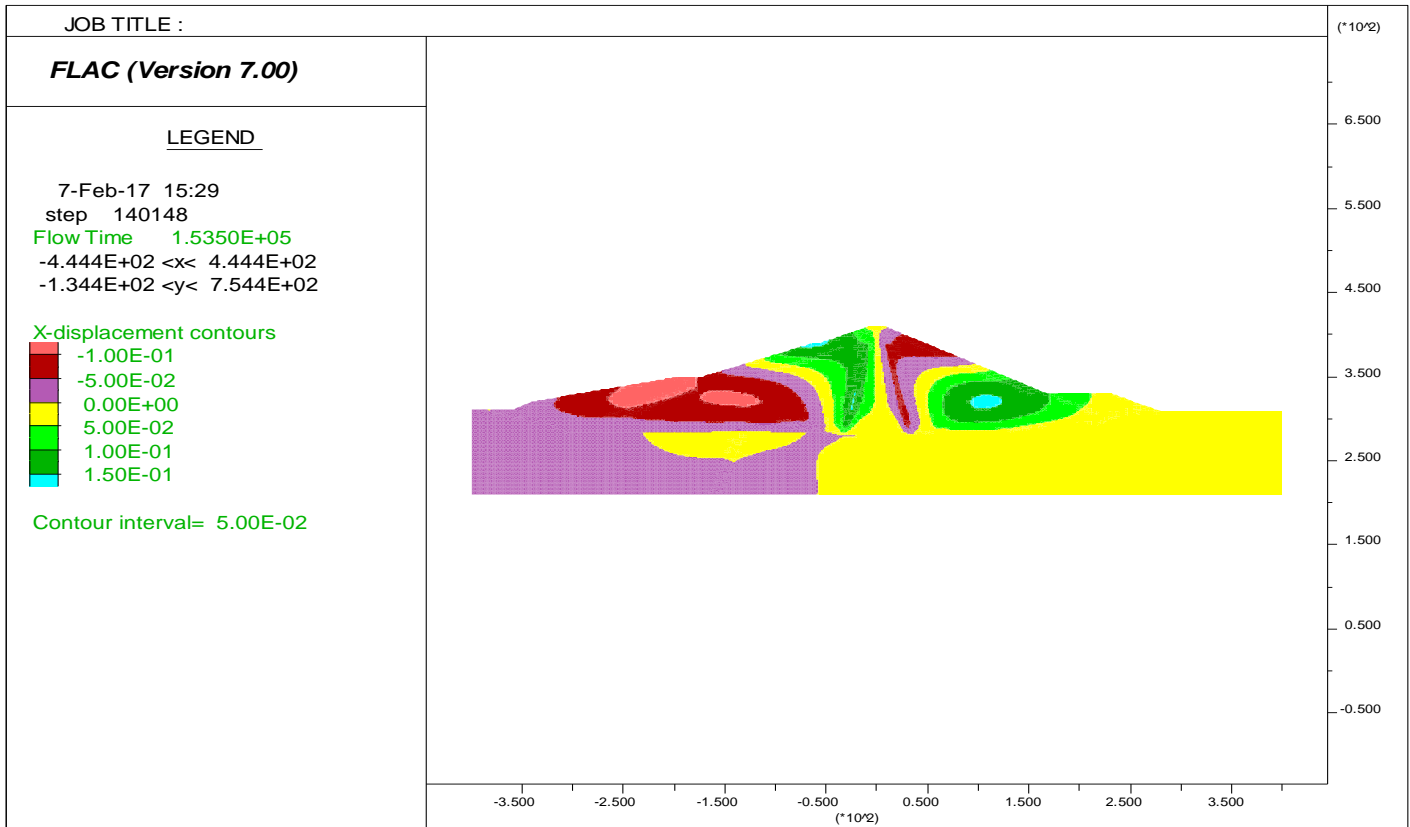
Τέλος, από το Σχήμα 4.14 η μέγιστη διατμητική παραμόρφωση που παρατηρείται στην περιοχή έδρασης του πυρήνα δεν ξεπερνάει το 2,5%, τιμή που δεν επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά του πυρήνα του φράγματος.



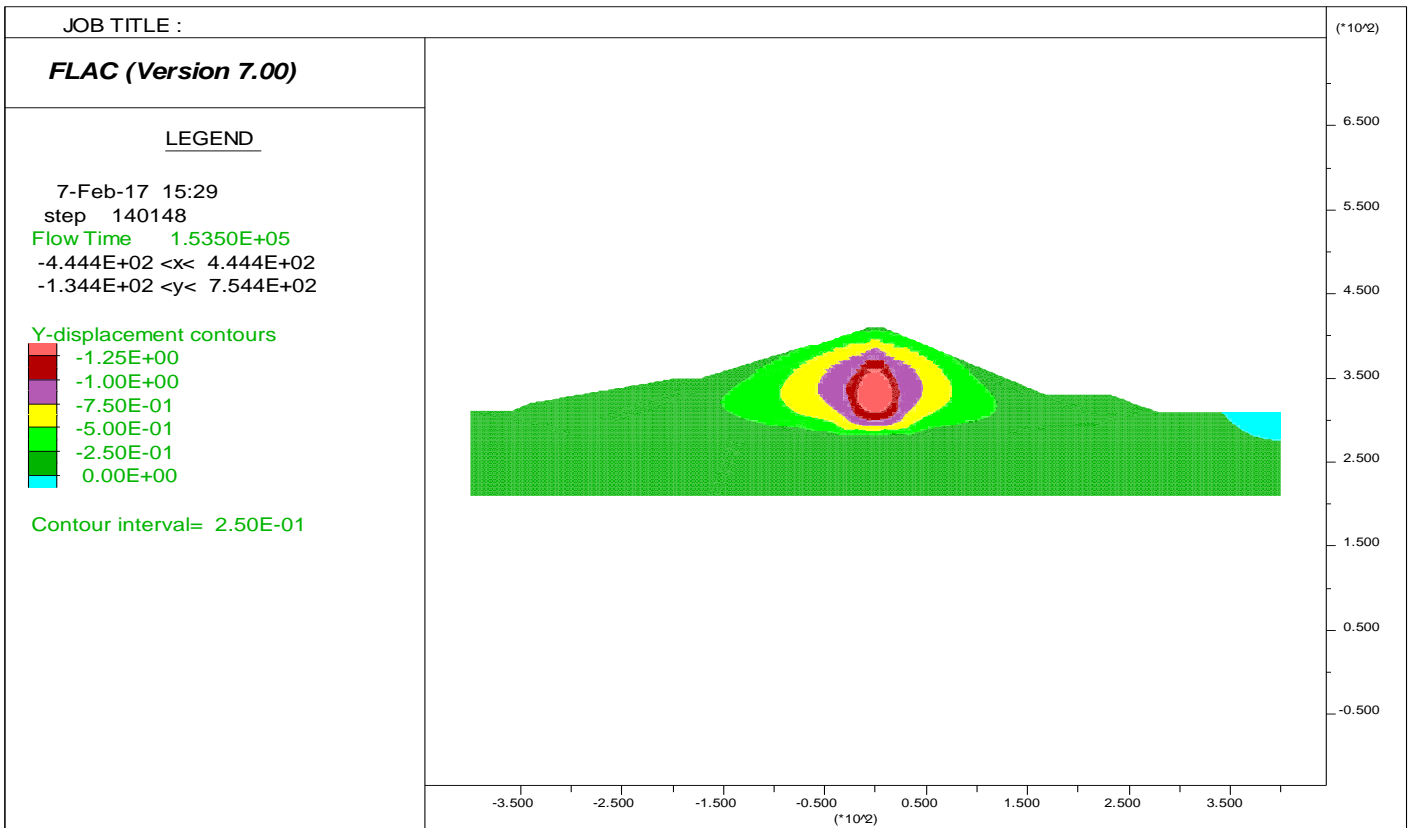
Σχήμα 4.12: Ισοτιμές οριζόντιων ολικών τάσεων μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα



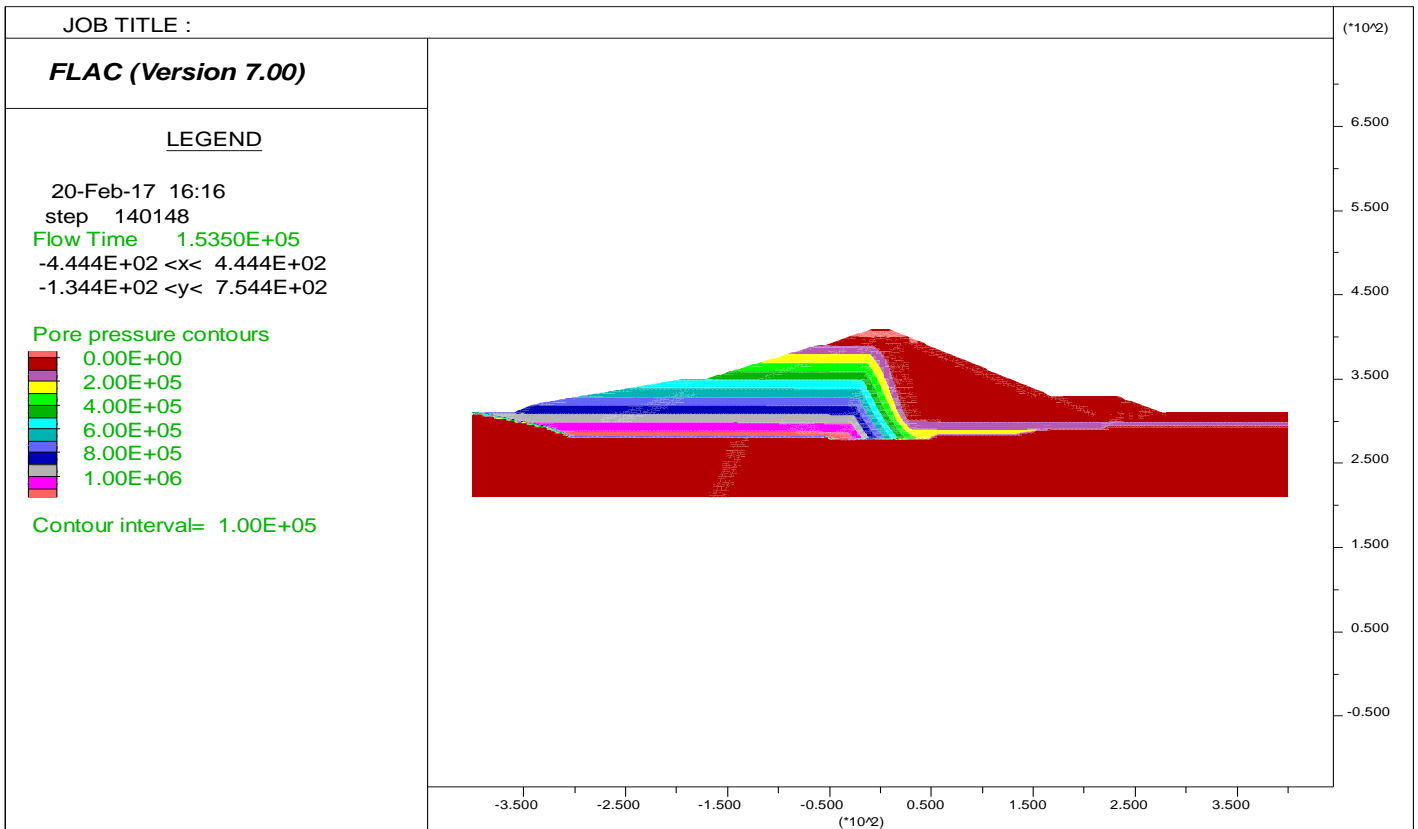
Σχήμα 4.13: Ισοτιμές κατακόρυφων ολικών τάσεων μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα



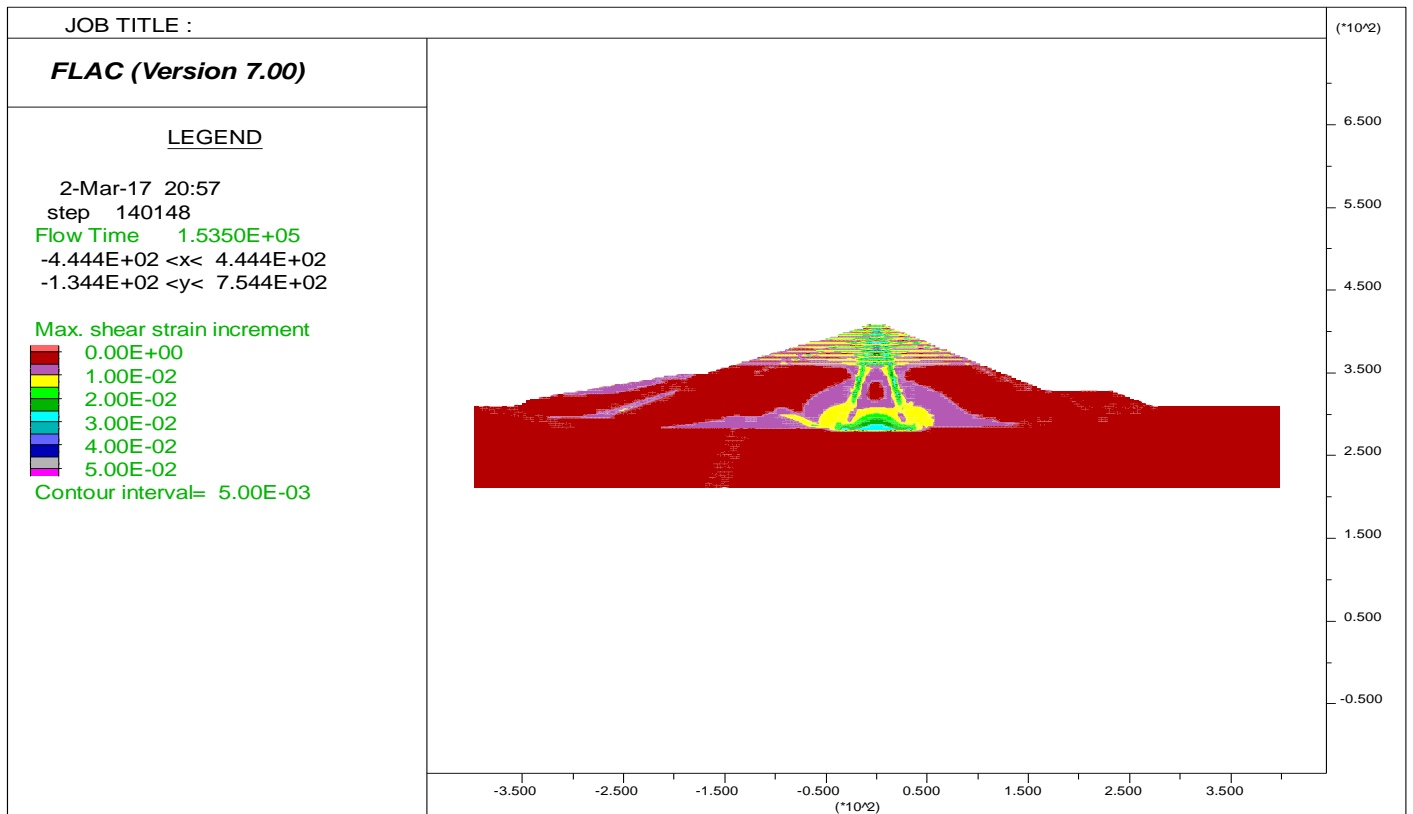
Σχήμα 4.14: Ισοτιμές οριζόντιων μετακινήσεων μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα



Σχήμα 4.15: Ισοτιμές κατακόρυφων μετακινήσεων μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα



Σχήμα 4.16: Ισοτιμές πίεσης πόρων μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα



Σχήμα 4.14: Ισοτιμές διατμητικών παραμορφώσεων μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα

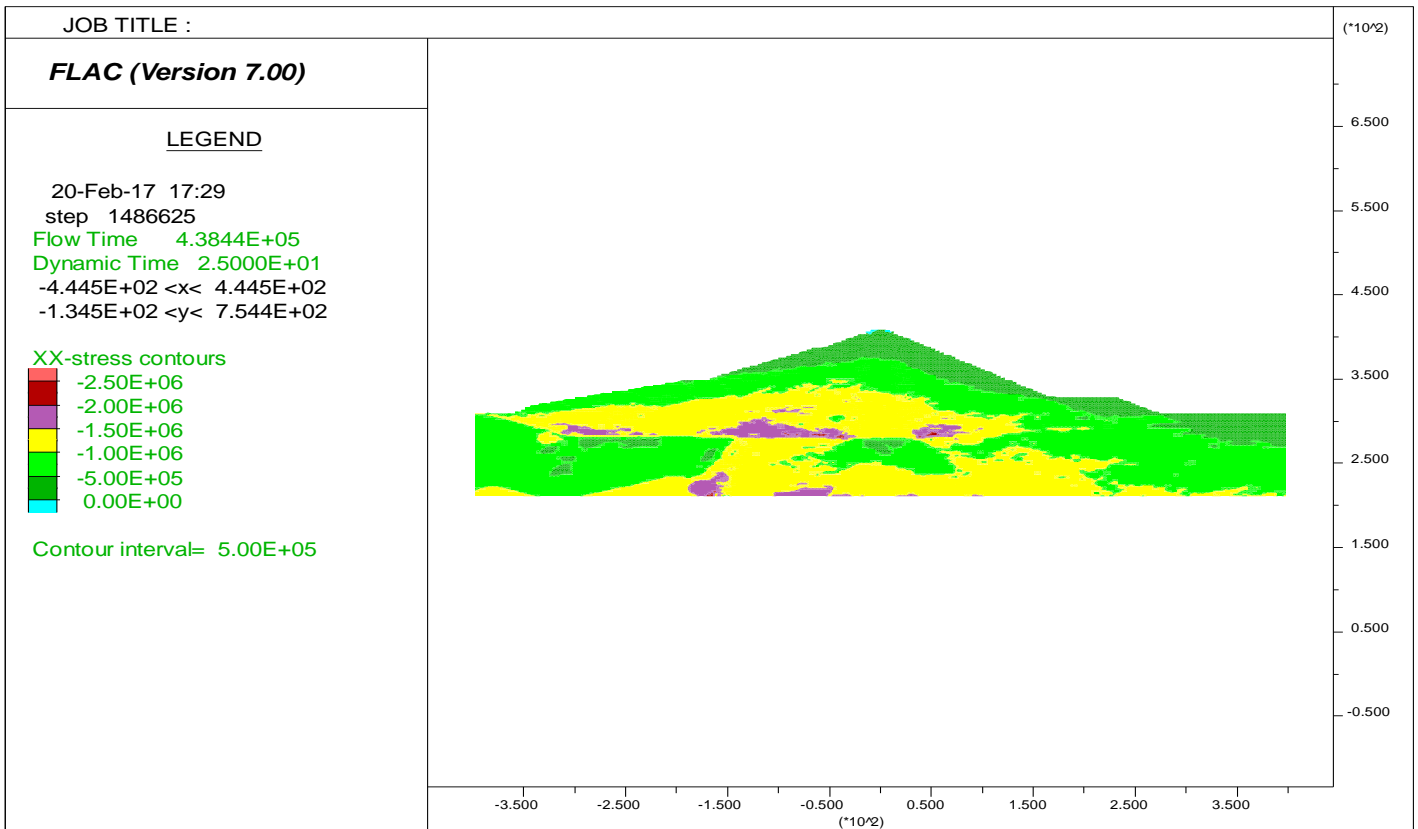
4.3 Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Φράγματος

Ο στόχος της ανάλυσης της σεισμικής συμπεριφοράς και του ελέγχου της επάρκειας του υπό μελέτη φράγματος στηρίζεται στον κατά τον δυνατόν ρεαλιστικό υπολογισμό της μη γραμμικής απόκρισης του, θεωρουμένου ως συνεχούς διαφασικού μέσου, διεγερμένου με το επιταχυνσιογράφημα σχεδιασμού. Για τη σεισμική διέγερση η οποία επιβάλλεται έχει χρησιμοποιηθεί το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού της Λευκάδας(2003) και για το οποίο έχει γίνει εκτενής αναφορά στο Κεφάλαιο 3.

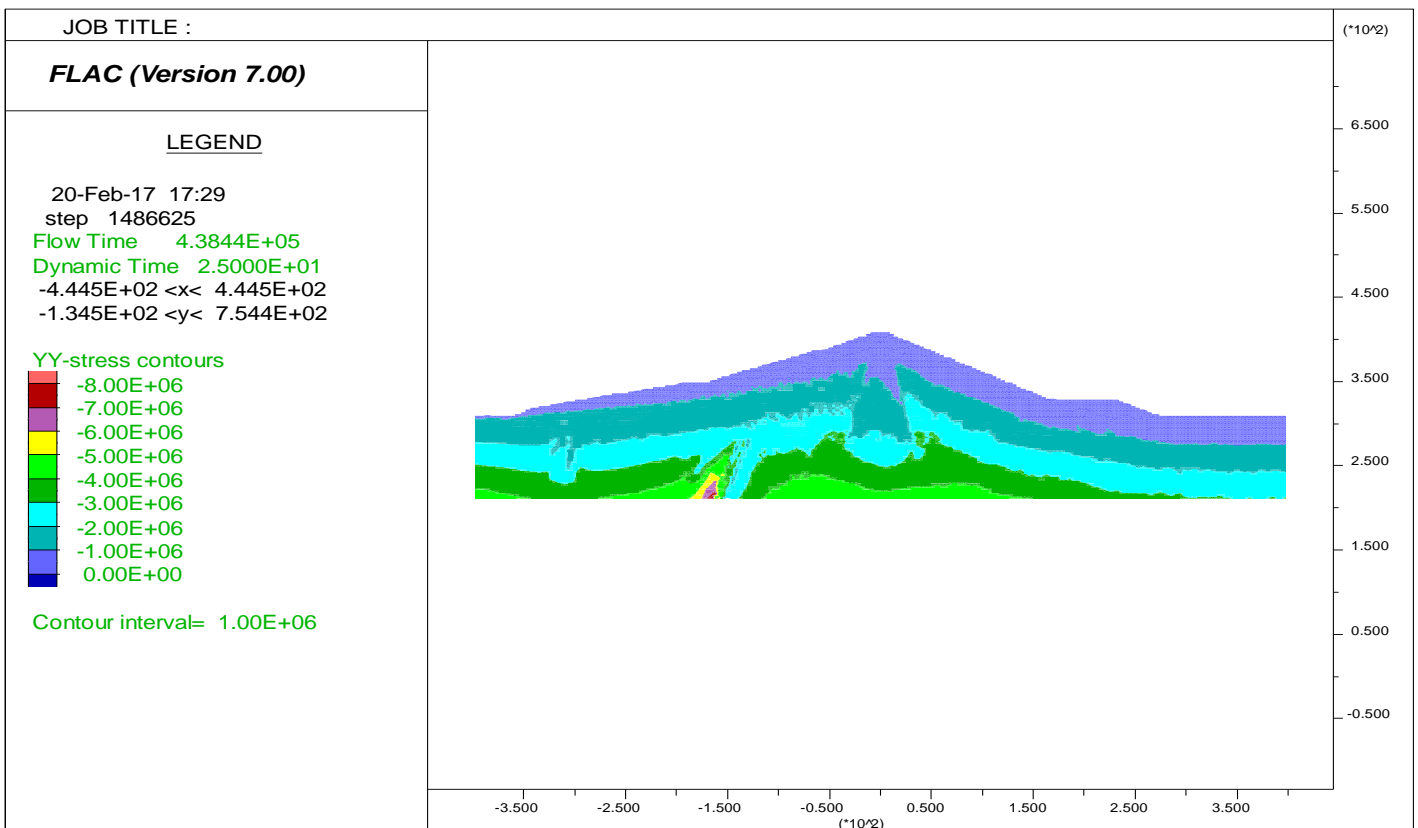
Στα Σχήματα 4.15 και 4.16 απεικονίζονται οι ισοτιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων ολικών τάσεων όπου και παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση τάσεων στις άκρες της έδρασης του πυρήνα καθώς και στην διεπιφάνεια ανάμεσα στον σχηματισμό των ασβεστολίθων και των φυλλιτών.

Οι μέγιστες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων, την χρονική στιγμή $t=25$ sec μετά το πέρας της διέγερσης, όπως φαίνονται στα Σχήματα 4.17 και 4.18 παρατηρούνται στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή των οριζόντιων μετακινήσεων στο ανάντη πρανές είναι της τάξεως των 2,00 m. Ομοίως, αναπτύσσεται μέγιστη σεισμική καθίζηση της τάξεως των 1,50 m. Οι τιμές αυτές κρίνονται αυξημένες και υπάρχει το ενδεχόμενο να προκαλέσουν πρόβλημα στο φράγμα γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα της ανάγκης επανασχεδιασμού του φράγματος.

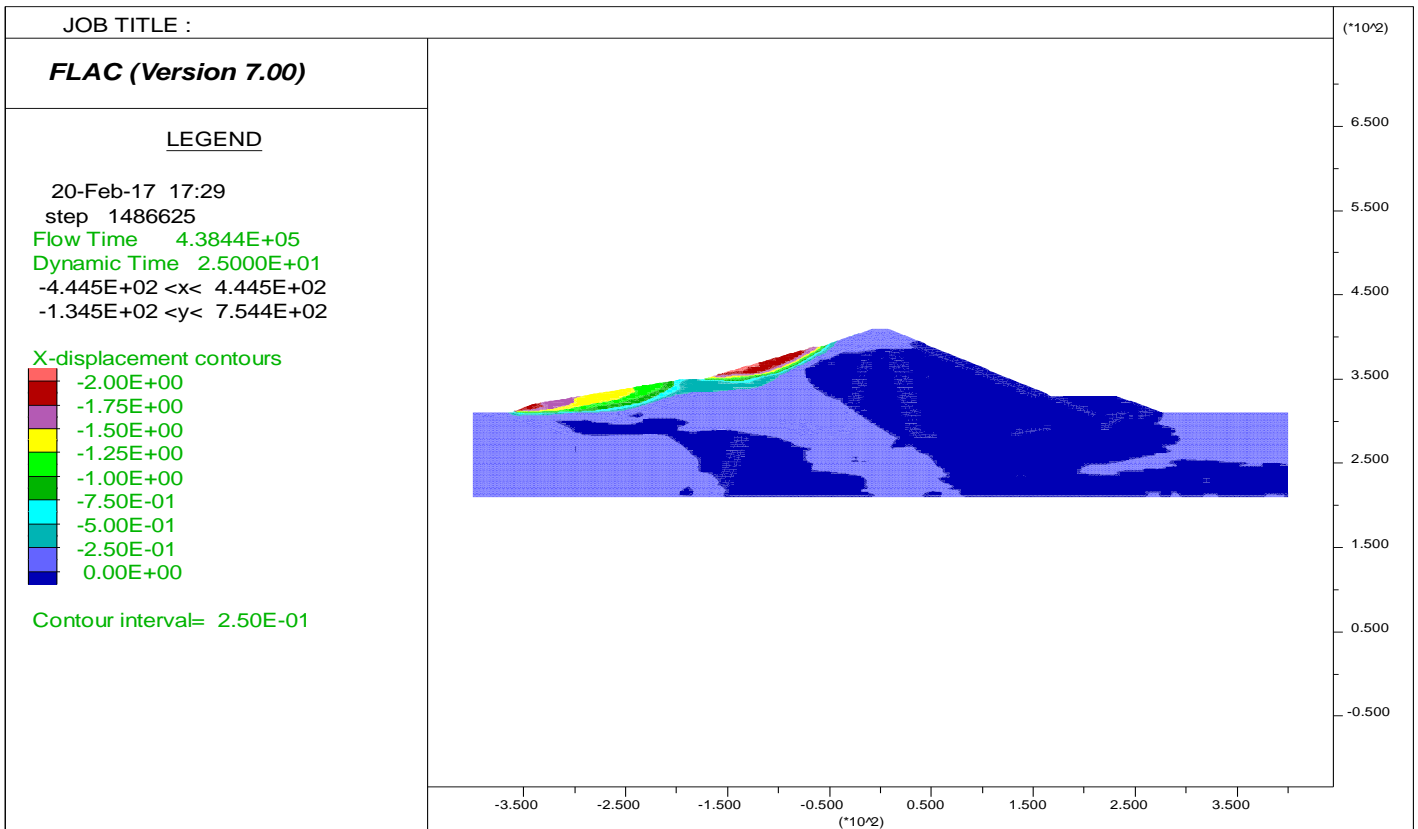
Στο Σχήμα 4.19 απεικονίζονται οι ισοϋψείς των διατμητικών παραμορφώσεων την χρονική στιγμή $t = 25$ sec μετά το πέρας της διέγερσης. Οι κρίσιμες ζώνες ολισθήσεως “αποκαλύπτονται” από την συγκέντρωση των διατμητικών παραμορφώσεων. Οι ζώνες αυτές είναι σχεδόν παράλληλες προς την επιφάνεια του πρανούς, ξεκινούν κάτω από την στέψη και αποτυπώνουν τις πιθανές επιφάνειες αστοχίας.



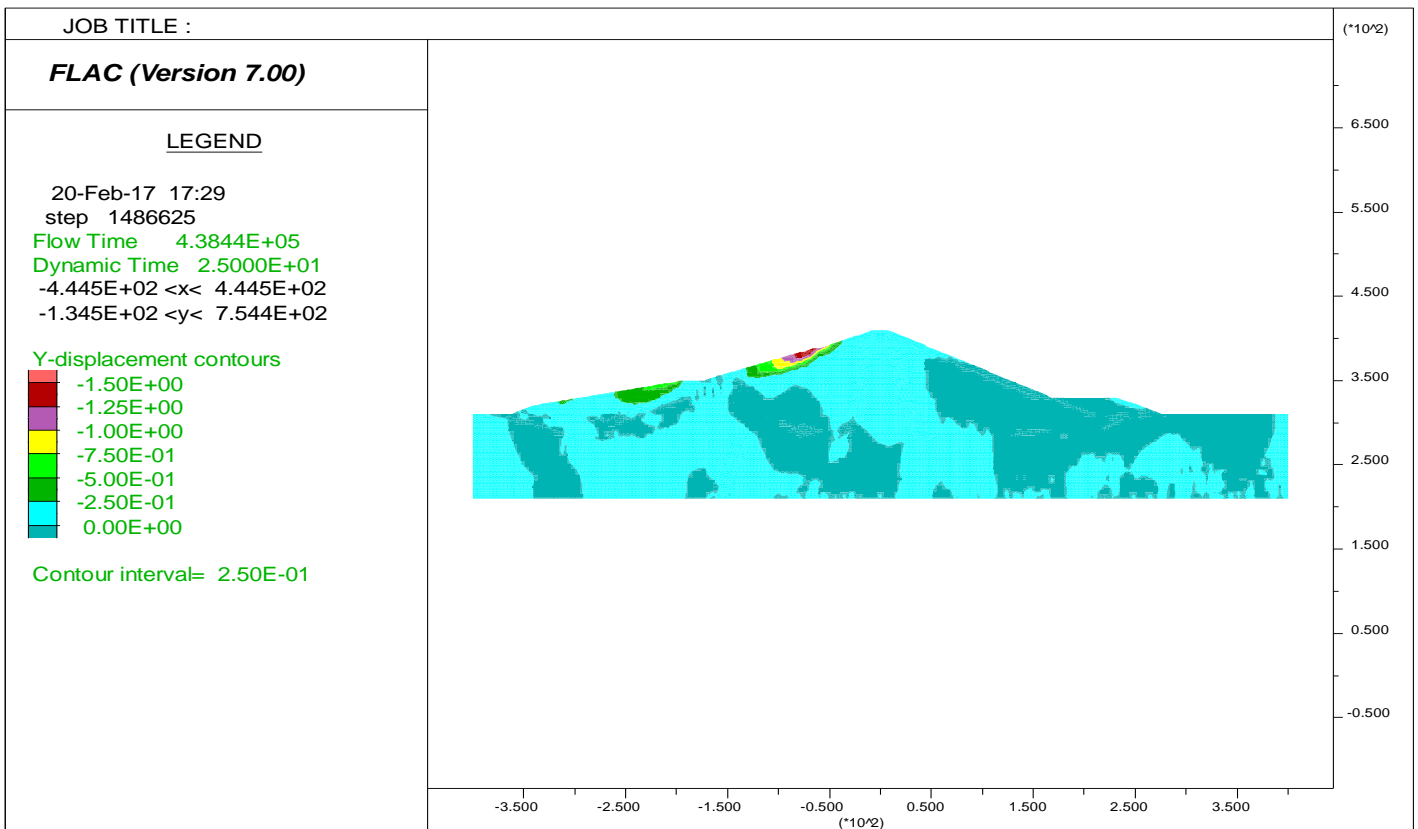
Σχήμα 4.175 : Ισοτιμές οριζόντιων ολικών τάσεων μετά την επιβολή σεισμικής διέγερσης



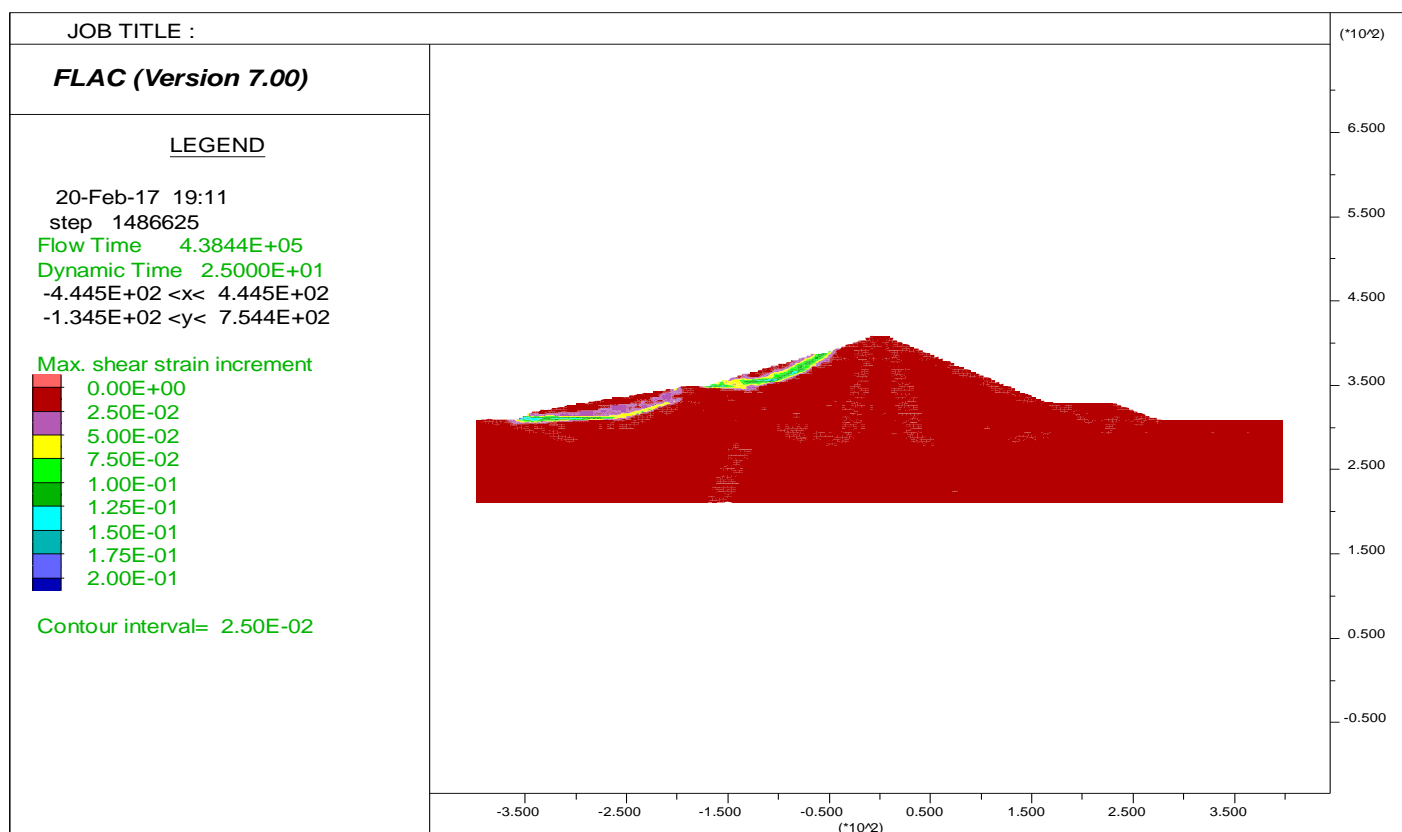
Σχήμα 4.186 : Ισοτιμές κατακόρυφων ολικών τάσεων μετά την επιβολή σεισμικής διέγερσης



Σχήμα 4.197: Ισοτιμές οριζόντιων μετακινήσεων μετά την επιβολή σεισμικής διέγερσης



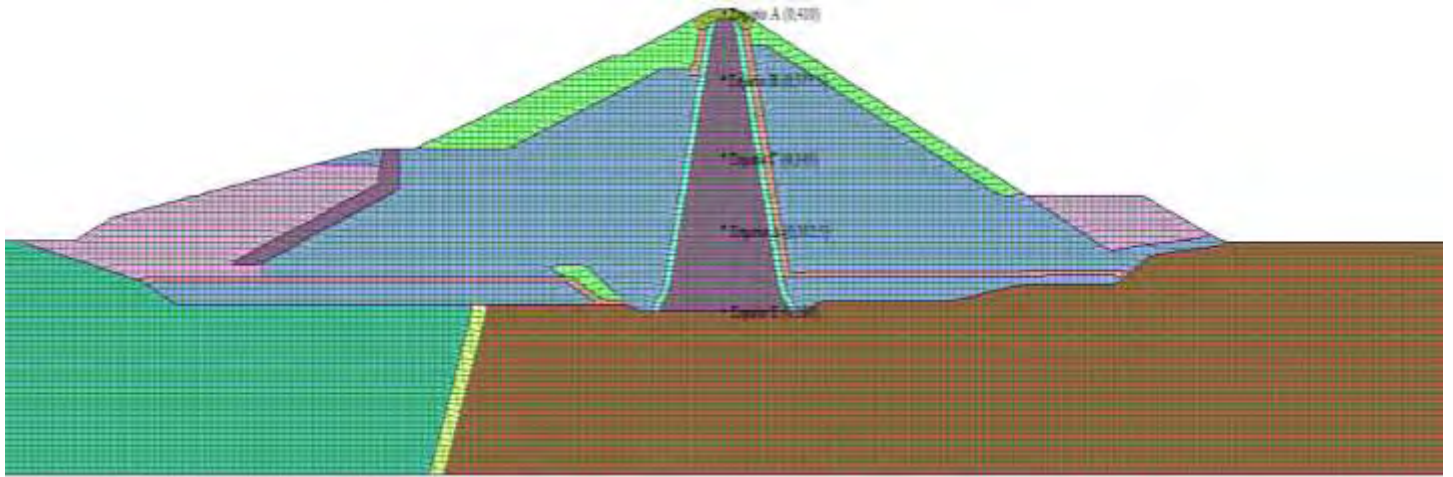
Σχήμα 4.208: Ισοτιμές κατακόρυφων μετακινήσεων μετά την επιβολή σεισμικής διέγερσης



Σχήμα 4.19: Ισοτιμές διατμητικών παραμορφώσεων μετά την επιβολή σεισμικής διέγερσης

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των οριζόντιων και κατακόρυφων ενεργών τάσεων, των οριζόντιων και κατακόρυφων μετατοπίσεων, καθώς και της πίεσης πόρων συναρτήσει του χρόνου για τα πέντε σημεία που βρίσκονται καθ' ύψος της μέγιστης διατομής. Τα σημεία τα οποία επιλέχθηκαν βρίσκονται στον άξονα του φράγματος προσομοίωσης καθ' ύψος της μέγιστης διατομής του. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών είναι:

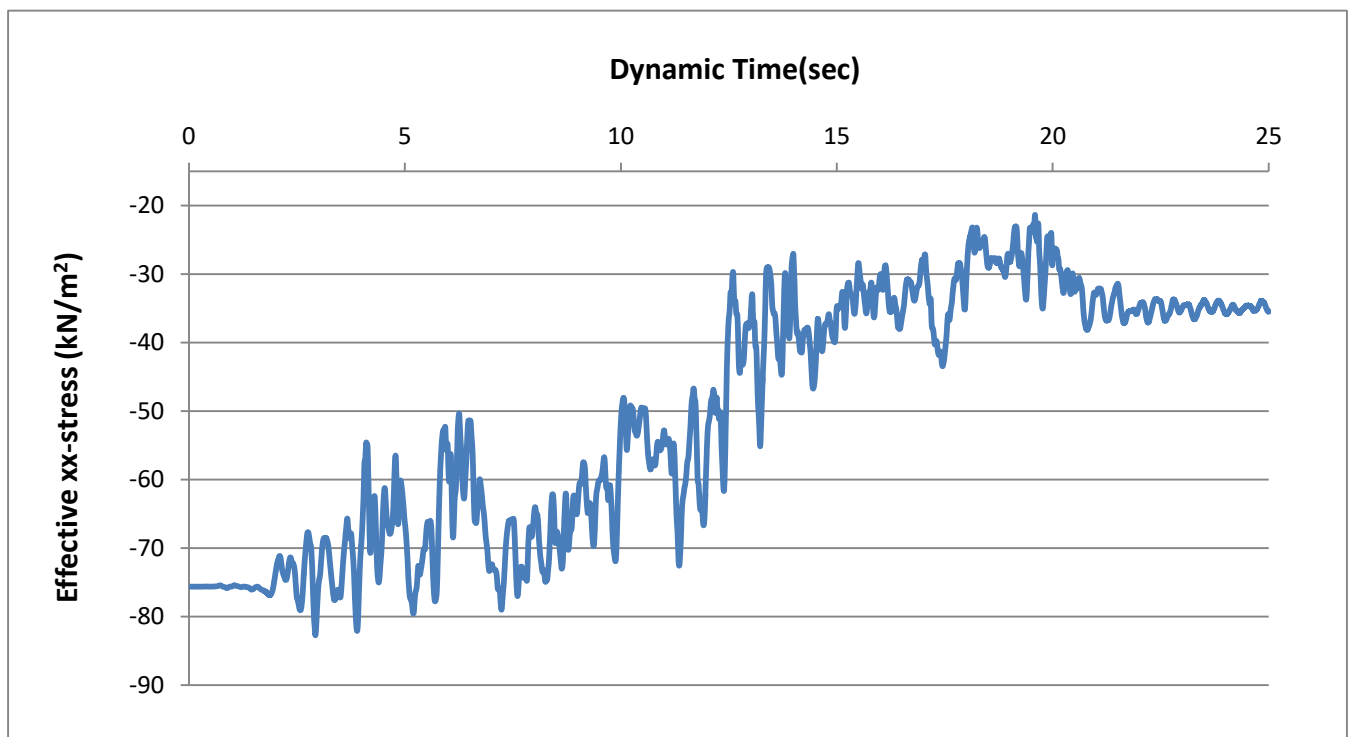
- Σημείο A (0,410): το ανώτερο σημείο της στέψης του φράγματος στον άξονα του φράγματος
- Σημείο B (0,377.5): ένα εσωτερικό σημείο της εδαφικής στρώσης σε ύψος 377,5m στον άξονα του φράγματος
- Σημείο Γ (0,345): ένα εσωτερικό σημείο της εδαφικής στρώσης σε ύψος 345 m στον άξονα του φράγματος
- Σημείο Δ (0,312.5): ένα εσωτερικό σημείο της εδαφικής στρώσης σε ύψος 312,5m στον άξονα του φράγματος
- Σημείο E (0,280): το κατώτερο σημείο της εδαφικής στρώσης του πυρήνα στον άξονα του φράγματος



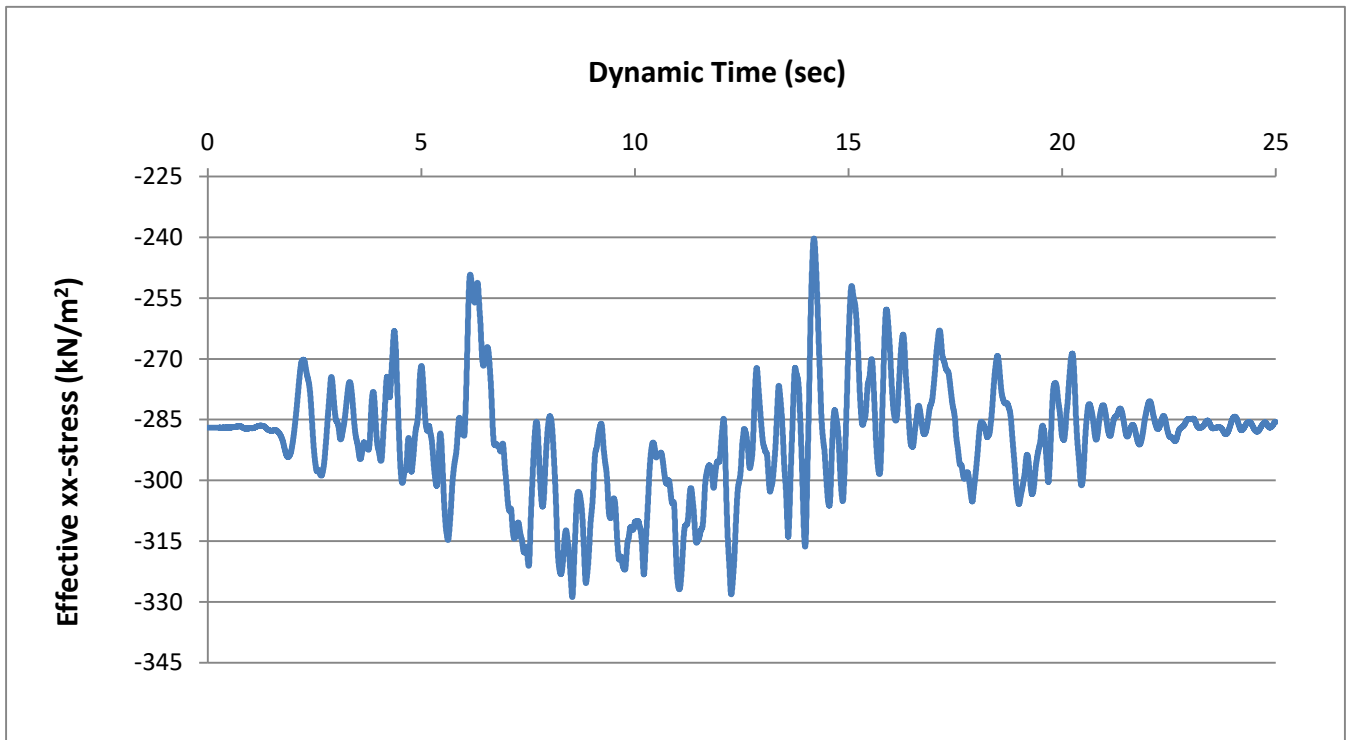
Σχήμα 4.20: Θέσεις υπό εξέταση σημείων καθ' ύψος της μέγιστης διατομής

- **Οριζόντιες ενεργές τάσεις σημείων μέγιστης διατομής του ιδεατού φράγματος**

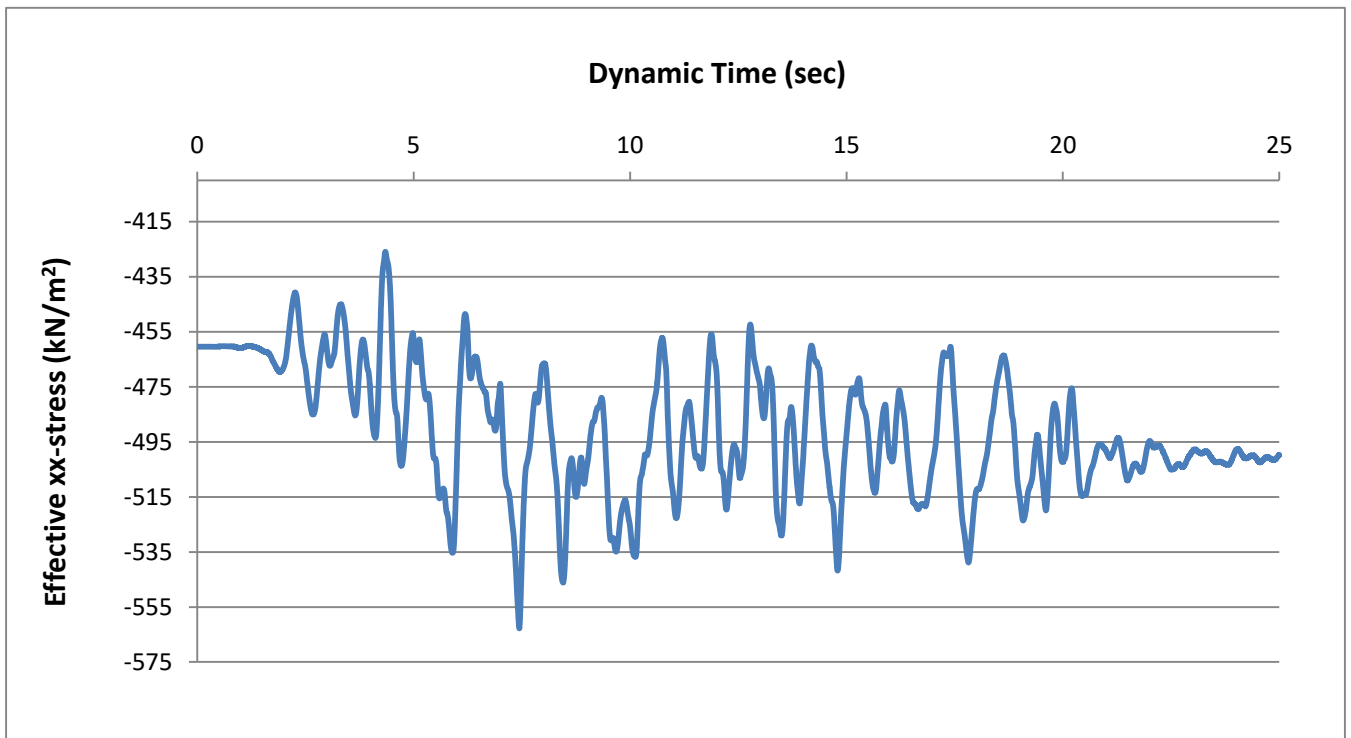
Στα σχήματα 4.21 έως 4.25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των οριζόντιων ενεργών τάσεων για κάθε σημείο της μέγιστης διατομής από την στέψη μέχρι την βάση του υπό μελέτη φράγματος. Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα υπάρχει μια διακύμανση των τιμών, με τις χαμηλότερες τιμές να βρίσκονται στο σημείο της στέψης (σημείο A) και τις μεγαλύτερες στο σημείο της βάσης (σημείο E) του μελετούμενου φράγματος, γεγονός που κρίνεται αναμενόμενο σαν τασική συμπεριφορά και συμβαδίζει με το διάγραμμα των ισοτιμών των ολικών οριζόντιων τάσεων.



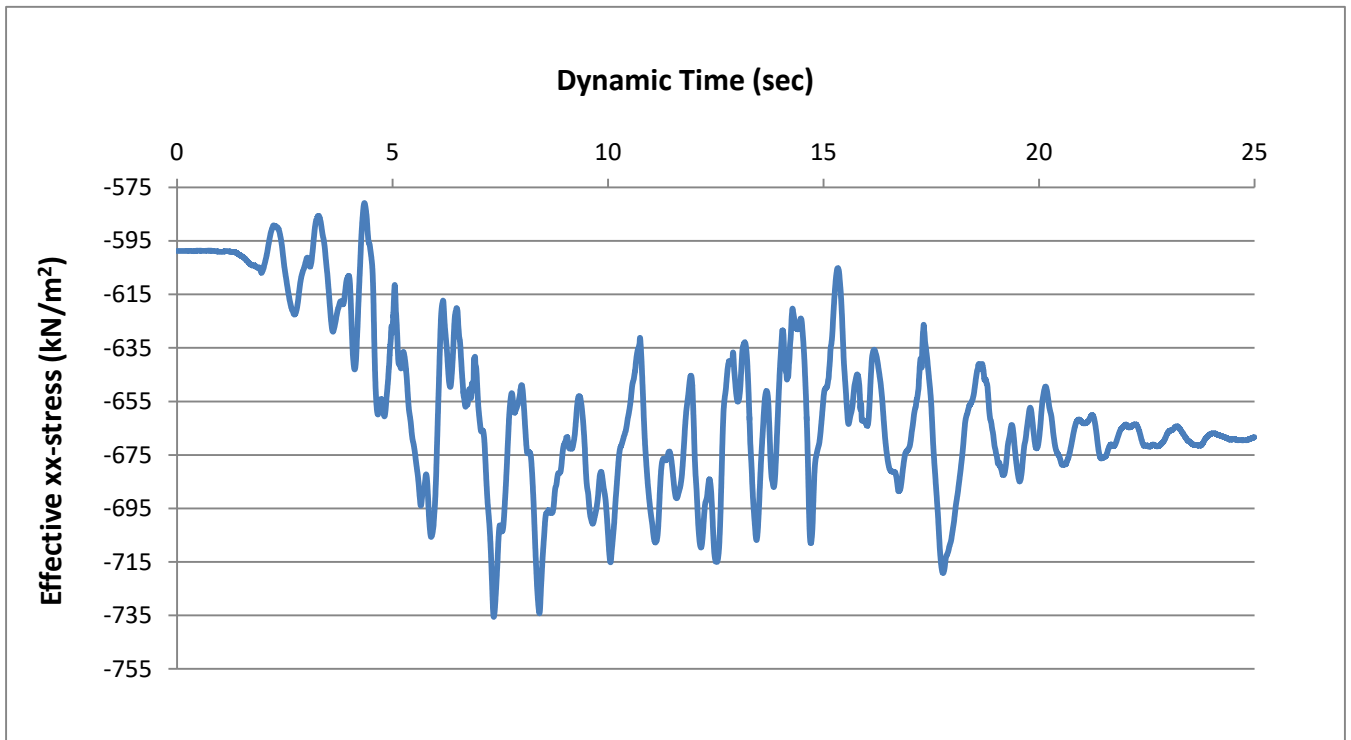
Σχήμα 4.21: Οριζόντιες Ενεργές Τάσεις σημείου A



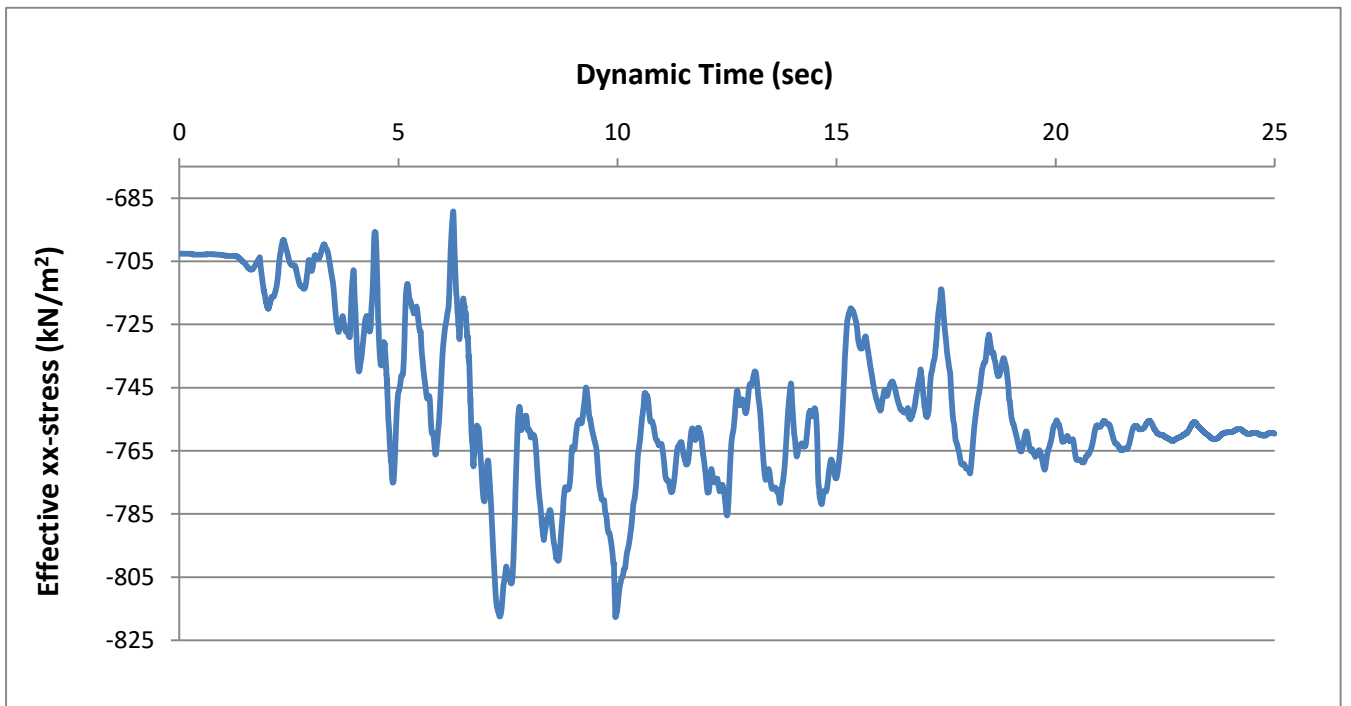
Σχήμα 4.22: Οριζόντιες Ενεργές Τάσεις σημείου Β



Σχήμα 4.23: Οριζόντιες Ενεργές Τάσεις σημείου Γ



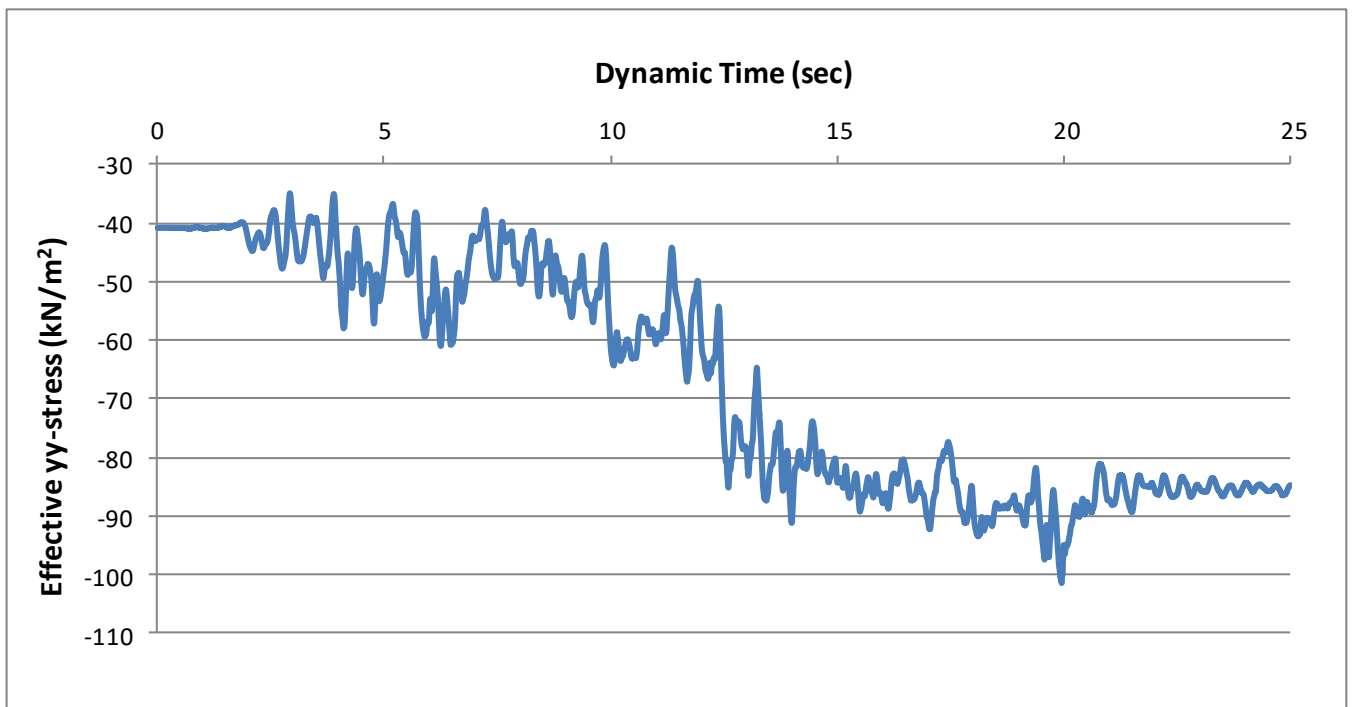
Σχήμα 4.24: Οριζόντιες Ενεργές Τάσεις σημείου Δ



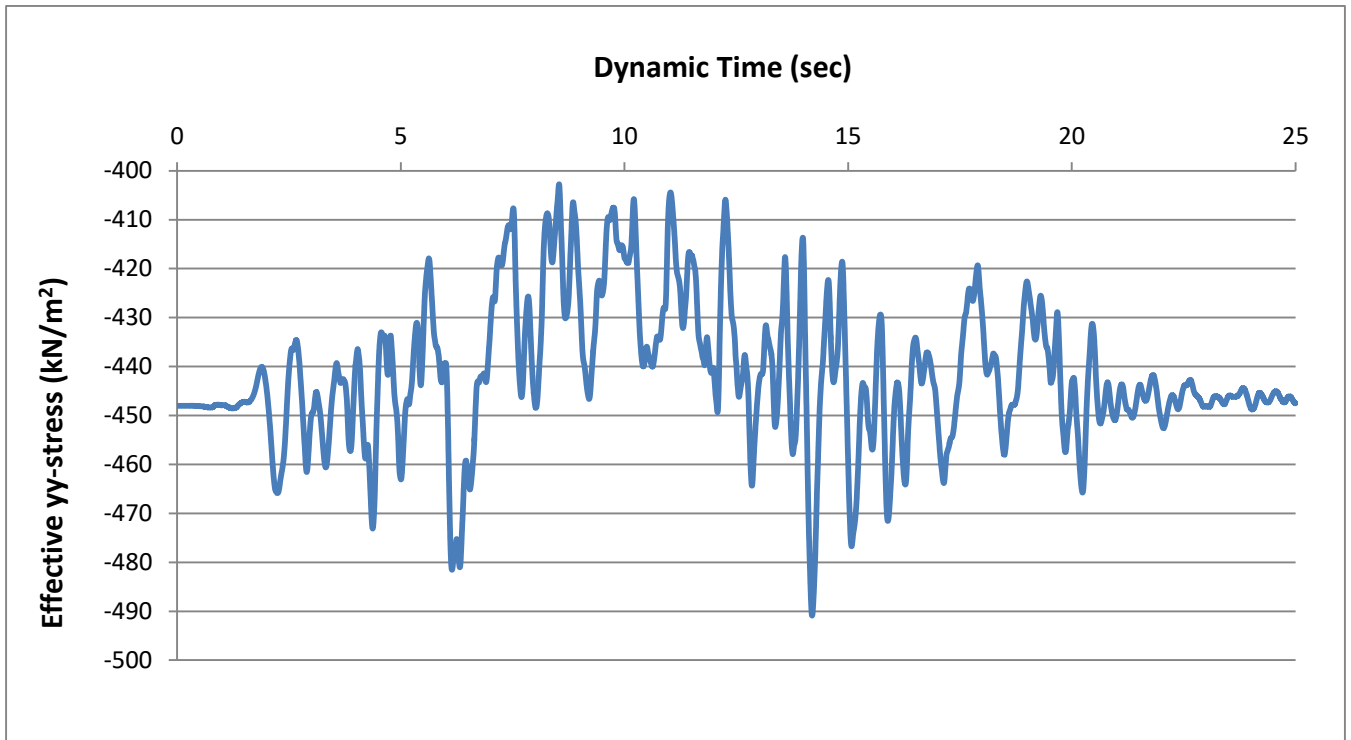
Σχήμα 4.25: Οριζόντιες Ενεργές Τάσεις σημείου Ε

- **Κατακόρυφες ενεργές τάσεις σημείων μέγιστης διατομής του ιδεατού φράγματος**

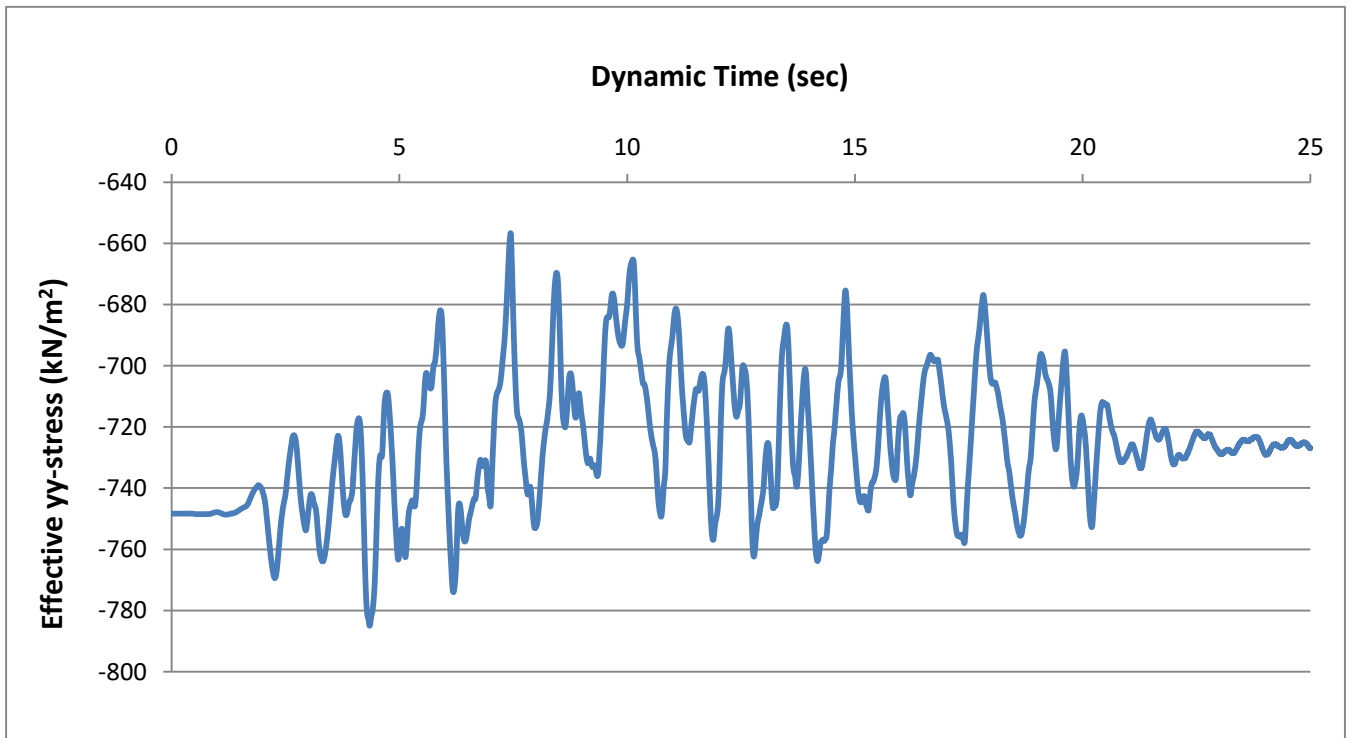
Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα των κατακόρυφων τασικών μεγεθών όπως προέκυψαν από τις χρονοϊστορίες για τα πέντε σημεία της μέγιστης διατομής που έχουν επιλεγθεί. Έτσι στα σχήματα 4.26 έως 4.30 απεικονίζονται οι κατακόρυφες ενεργές τάσεις, όπου και πάλι παρατηρούνται αυξημένες τιμές στο σημείο της βάσης του υπό μελέτη φράγματος ενώ μικρά τασικά μεγέθη παρατηρούνται στο σημείο της στέψης.



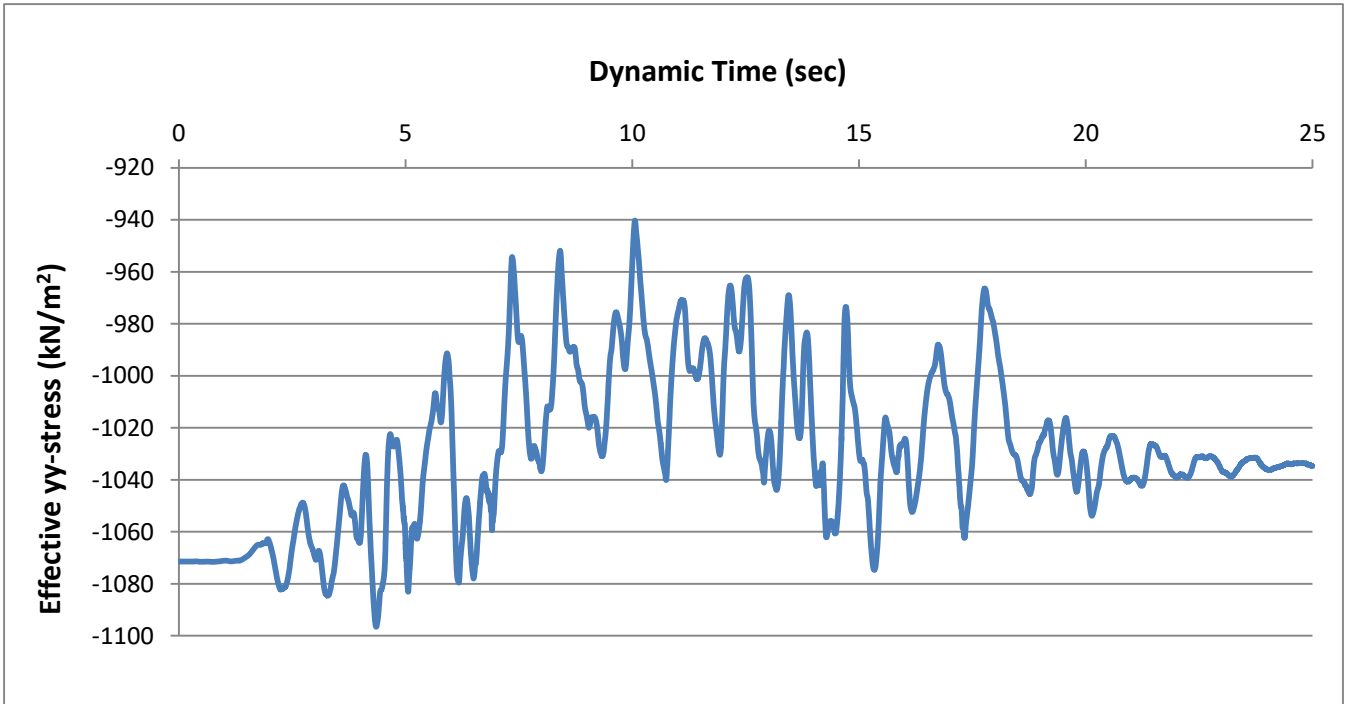
Σχήμα 4.26: Κατακόρυφες Ενεργές Τάσεις σημείου Α



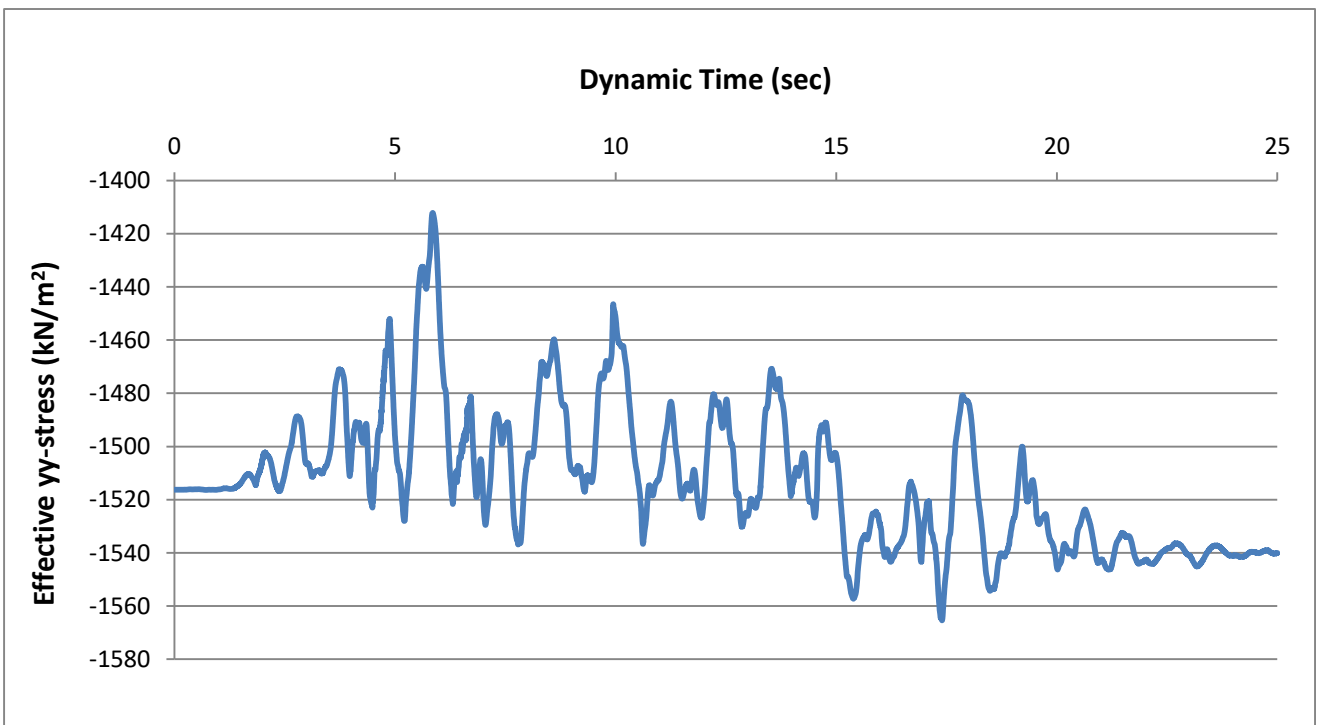
Σχήμα 4.27: Κατακόρυφες Ενεργές Τάσεις σημείου Β



Σχήμα 4.28: Κατακόρυφες Ενεργές Τάσεις σημείου Γ



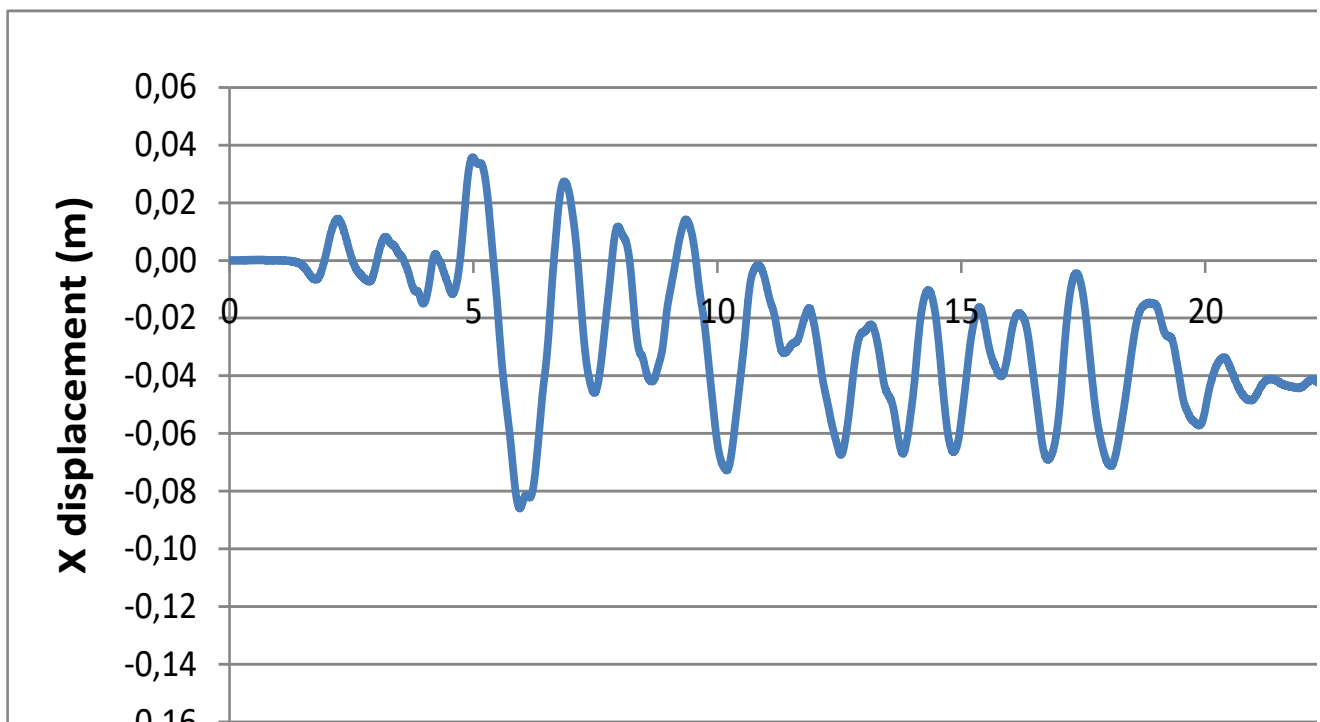
Σχήμα 4.29: Κατακόρυφες Ενεργές Τάσεις σημείου Δ



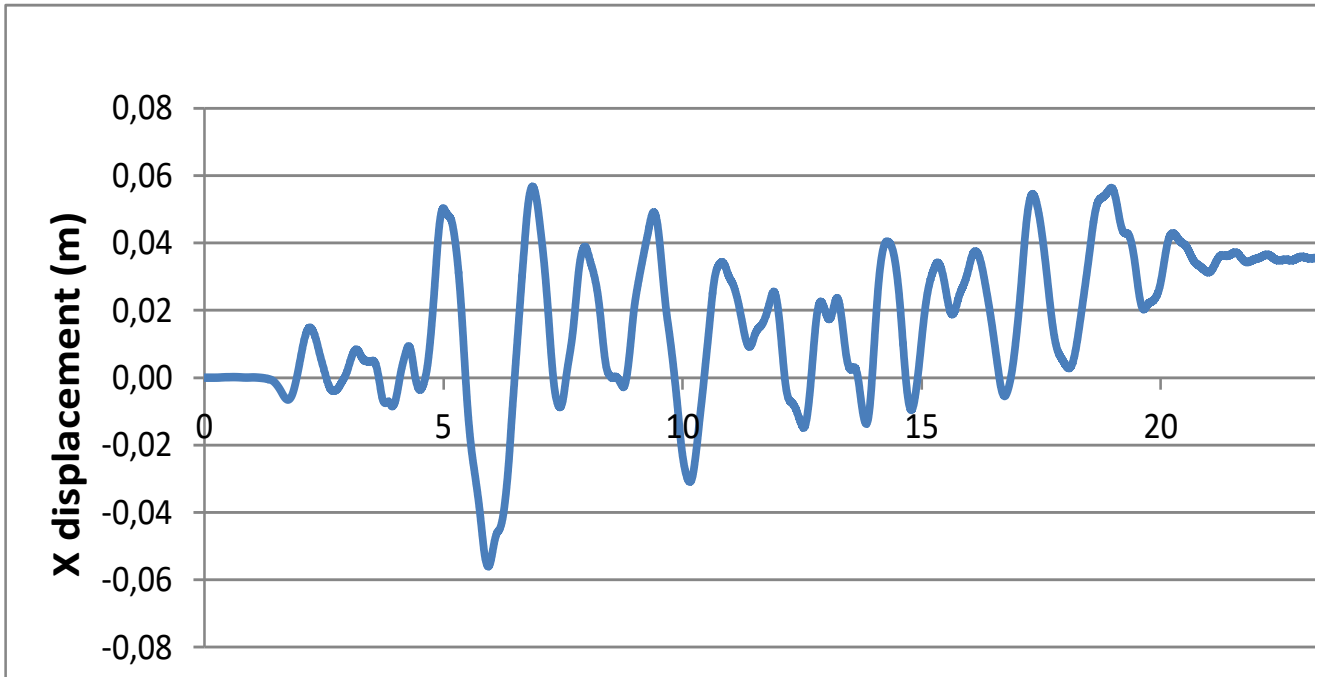
Σχήμα 4.30: Κατακόρυφες Ενεργές Τάσεις σημείου Ε

- **Οριζόντιες σχετικές μετακινήσεις σημείων μέγιστης διατομής του ιδεατού φράγματος**

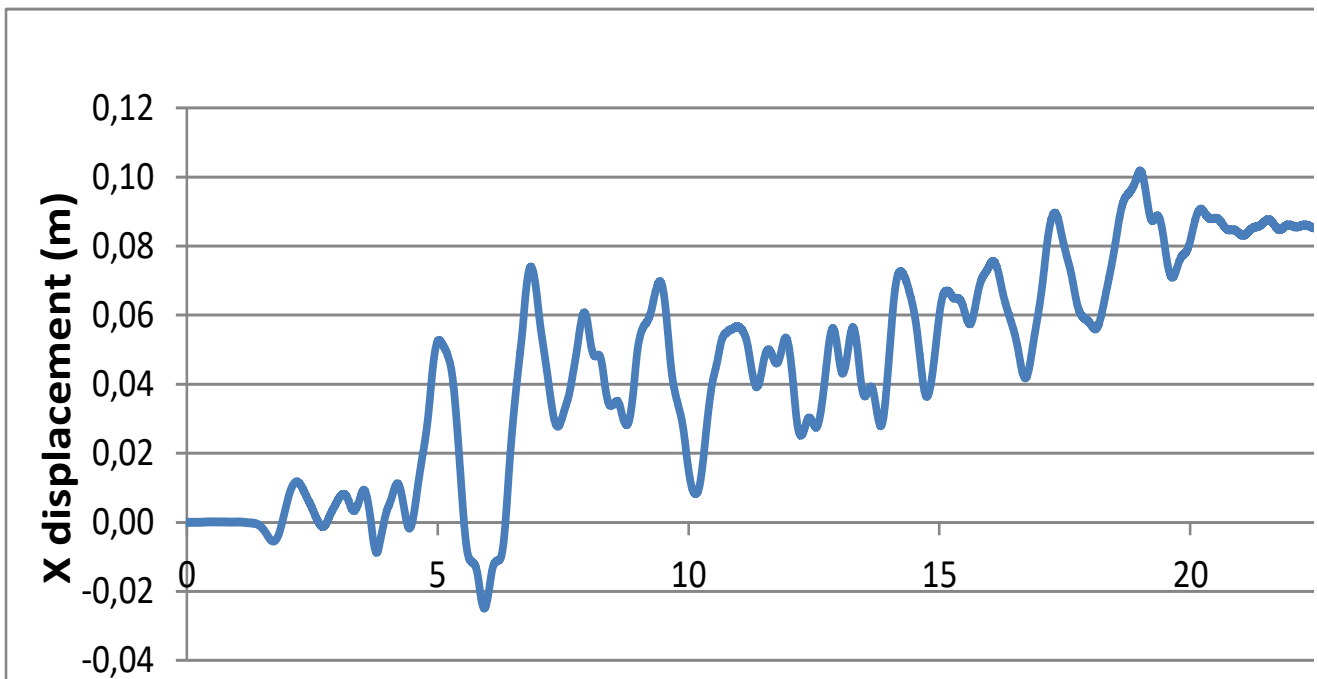
Στα Σχήματα 4.31 έως 4.34 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των σχετικών οριζόντιων μετατοπίσεων για τα τέσσερα σημεία στα οποία και λήφθηκαν οι χρονοϊστορίες ξεκινώντας από το σημείο Α στη στέψη του φράγματος και καταλήγοντας στο σημείο Δ, ενώ οι σχετικές μετατοπίσεις του σημείου Ε είναι εξ ορισμού μηδενικές. Οι κορυφαίες σχετικές οριζόντιες μετατοπίσεις κυμαίνονται μεταξύ 8 και 11 cm με σχετικά μικρή διακύμανση των τιμών μεταξύ βάσης και στέψης του υπό μελέτη φράγματος. Ειδικότερα, στο σημείο της στέψης παρατηρείται μια μικρή μετατόπιση προς την ανάντη πλευρά του φράγματος σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σημεία τα οποία παρουσιάζουν οριζόντιες μετατοπίσεις προς την κατάντη πλευρά του φράγματος.



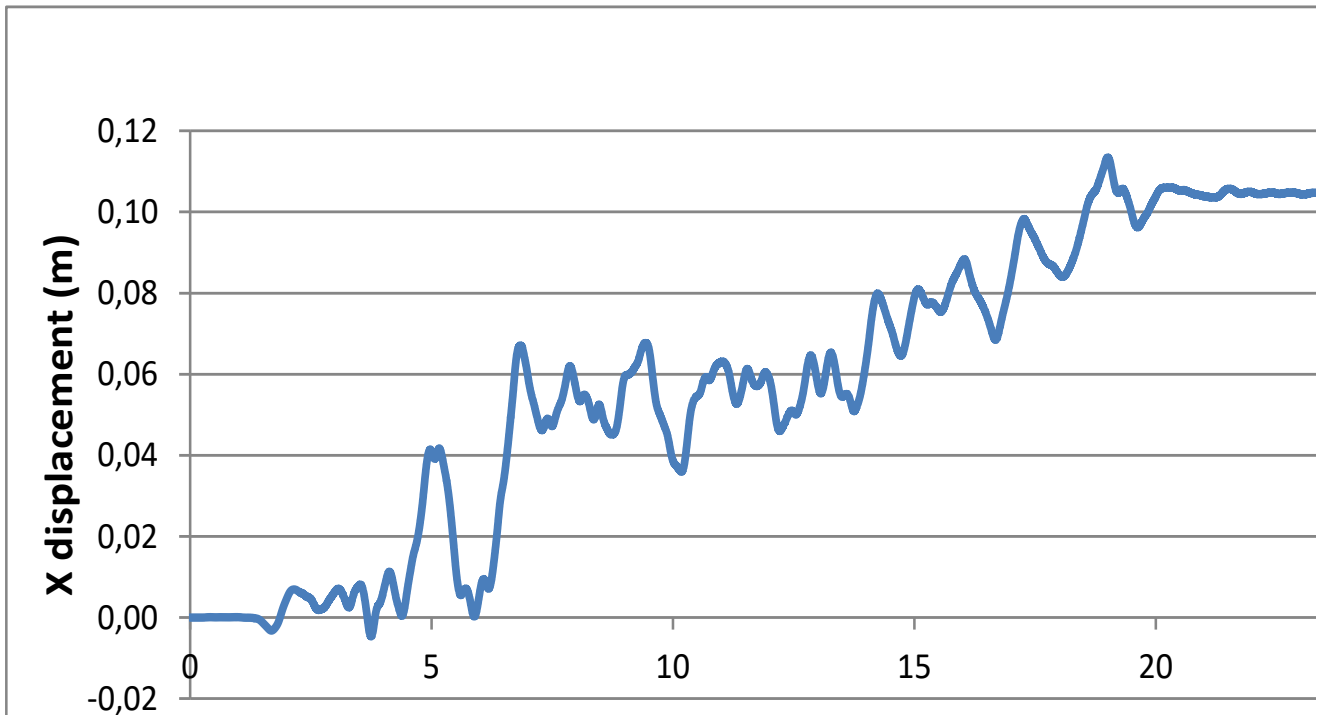
Σχήμα 4.31: Οριζόντιες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου Α



Σχήμα 4.32: Οριζόντιες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου Β



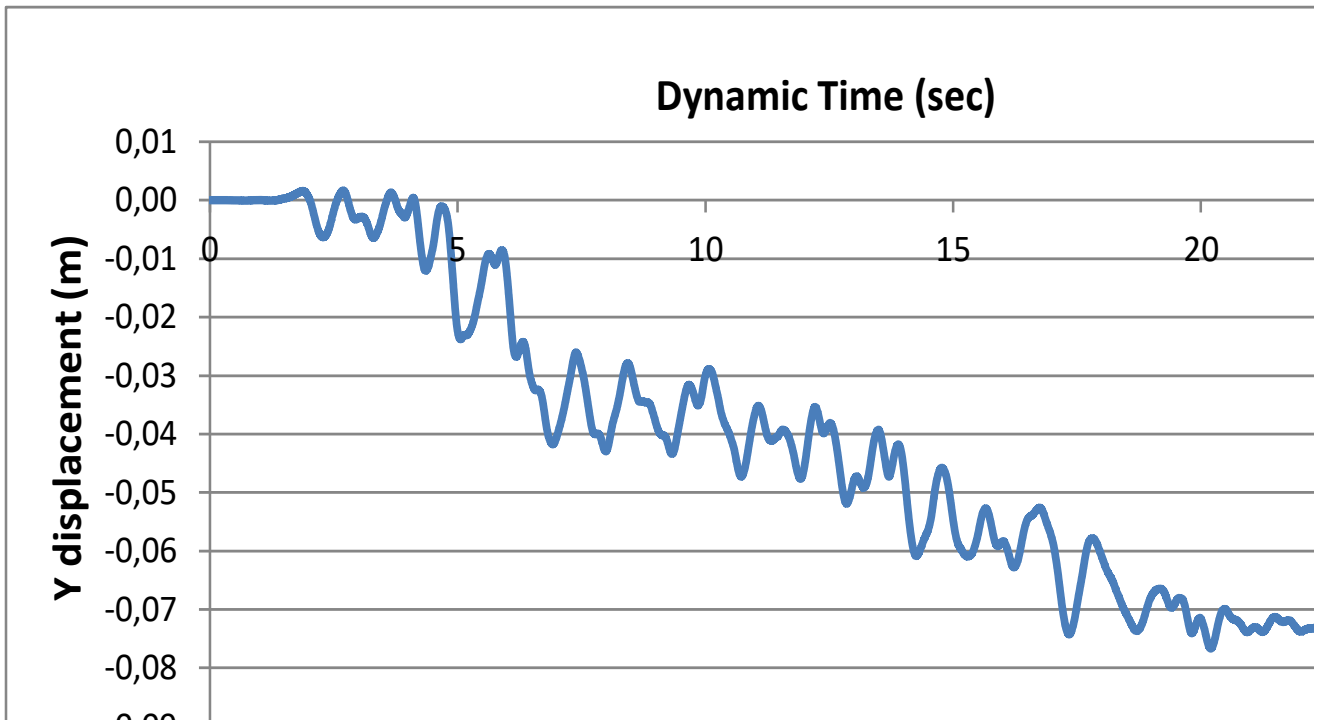
Σχήμα 4.33: Οριζόντιες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου Γ



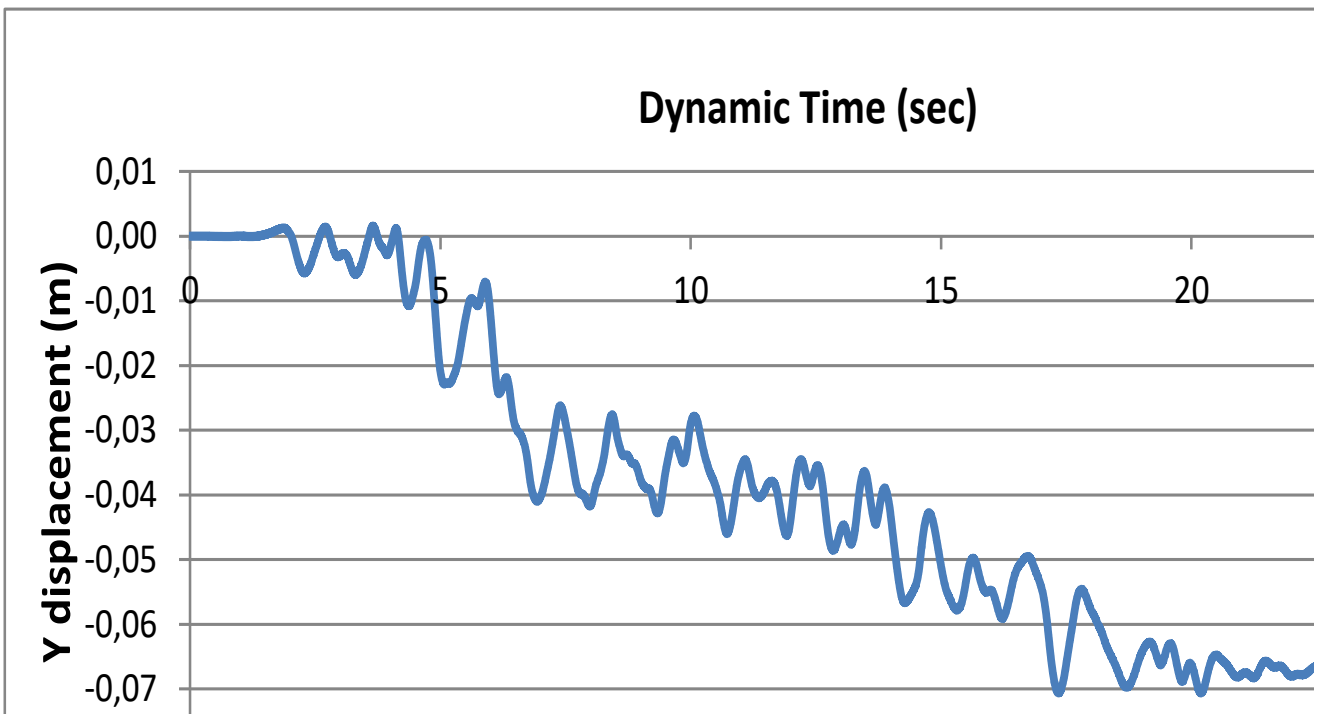
Σχήμα 4.34: Οριζόντιες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου Δ

- **Κατακόρυφες σχετικές μετακινήσεις σημείων μέγιστης διατομής του ιδεατού φράγματος**

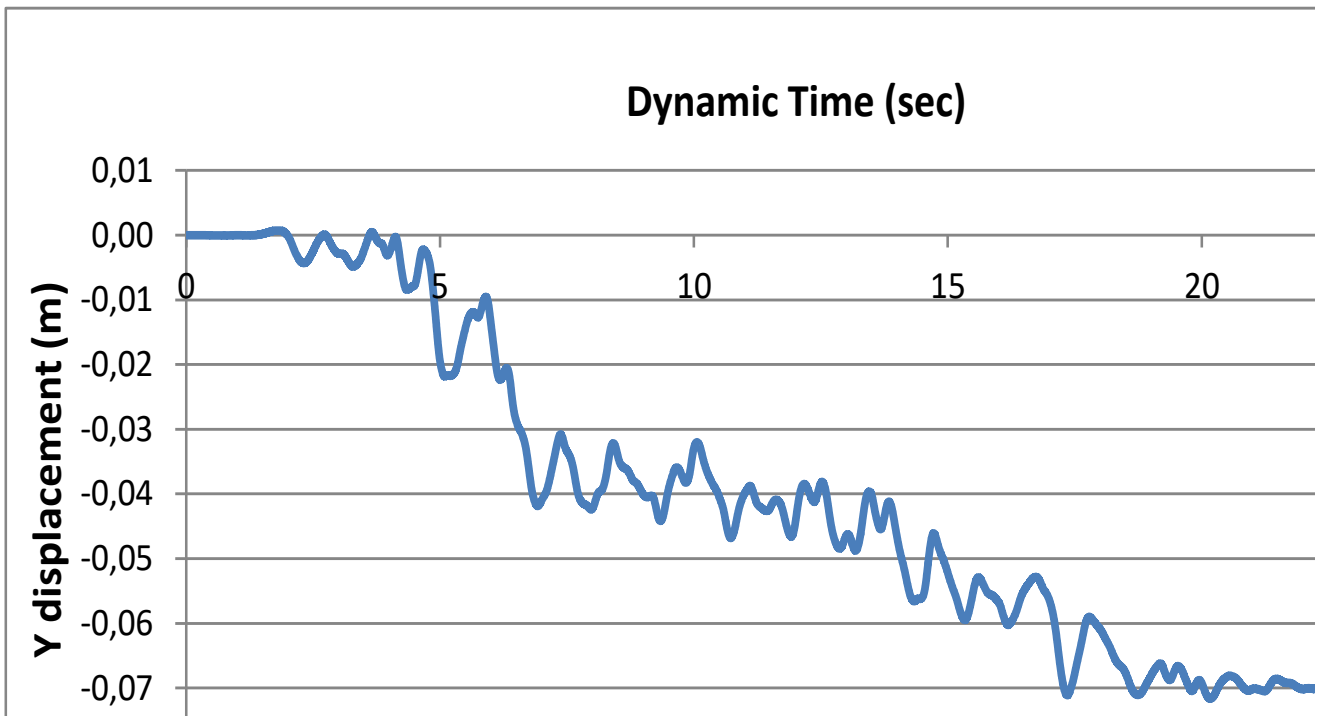
Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα των κατακόρυφων σχετικών μετατοπίσεων όπως φαίνονται στα σχήματα 4.35 έως 4.38 για τα τέσσερα σημεία της μέγιστης διατομής εξαιρουμένου του σημείου της βάσης στο οποίο οι τιμές είναι εξ ορισμού μηδέν. Παρατηρείται από τα διαγράμματα των τεσσάρων σημείων ότι οι τιμές των κατακόρυφων σχετικών μετατοπίσεων κυμαίνονται από 6,5 έως 7,5 cm παρουσιάζοντας έτσι πολύ μικρή διακύμανση μεταξύ τους. Έτσι απεικονίζεται μια ομοιόμορφη κινηματική συμπεριφορά των σημείων καθ' ύψος της μέγιστης διατομής του υπό μελέτη φράγματος.



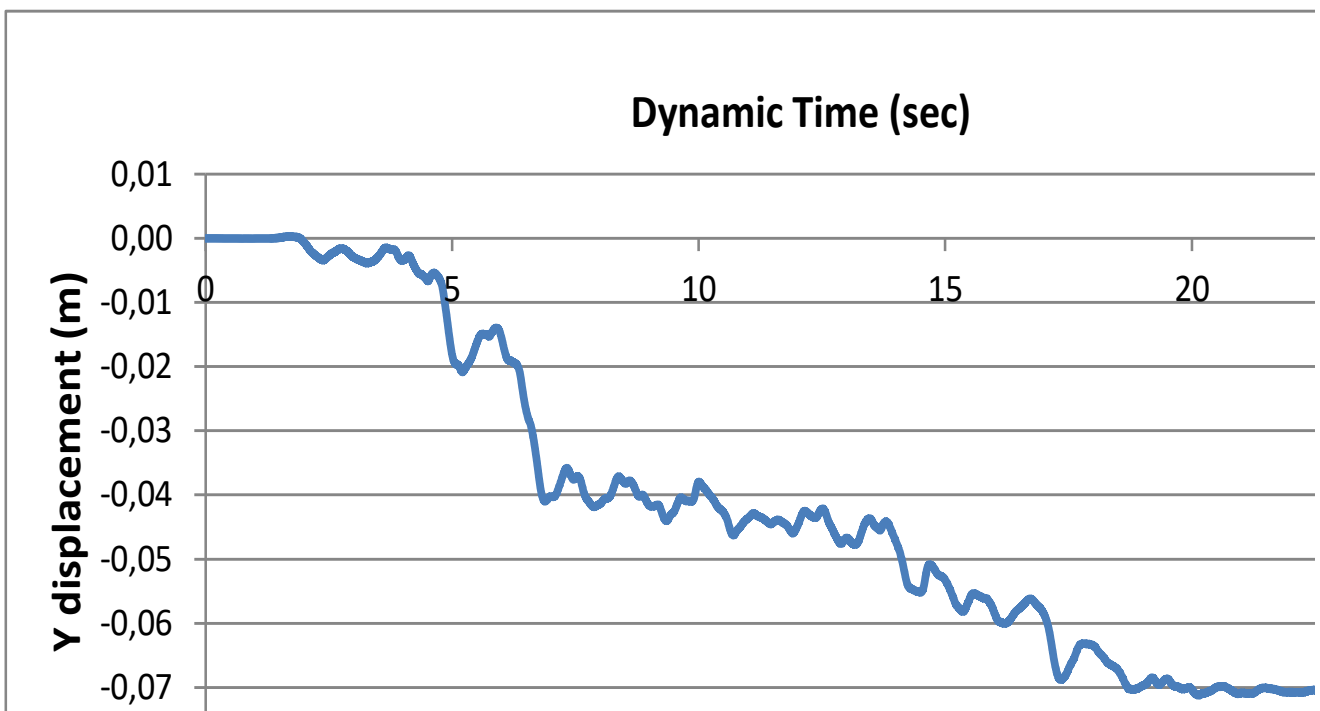
Σχήμα 4.35: Κατακόρυφες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου A



Σχήμα 4.36: Κατακόρυφες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου B



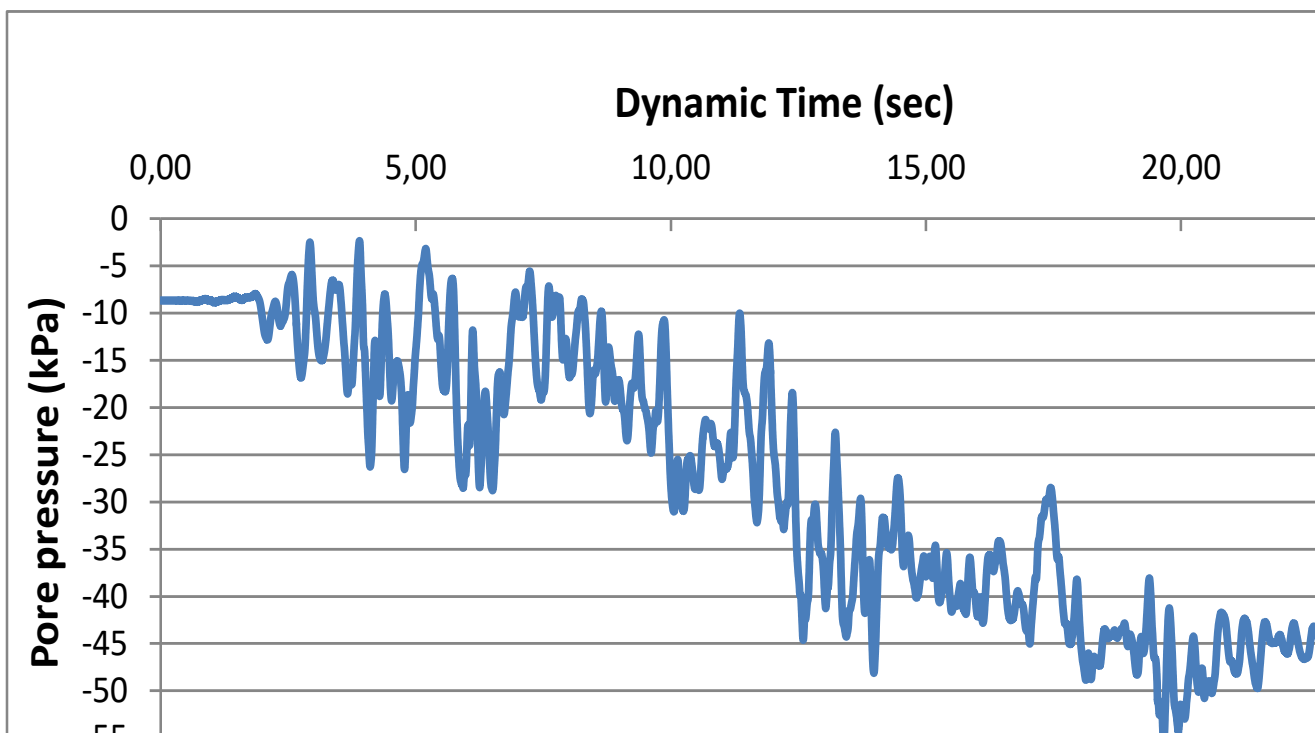
Σχήμα 4.37: Κατακόρυφες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου Γ



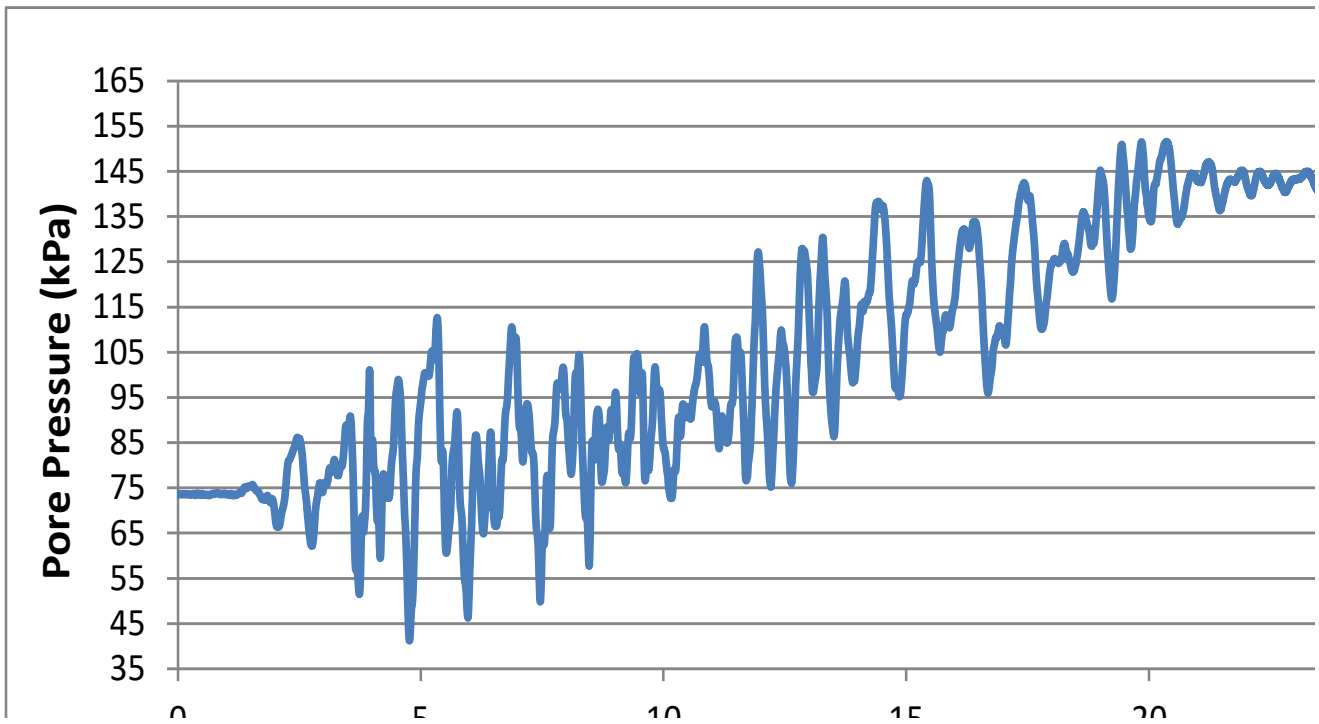
Σχήμα 4.38: Κατακόρυφες Σχετικές Μετακινήσεις σημείου Δ

- **Πίεση πόρων σημείων μέγιστης διατομής του ιδεατού φράγματος**

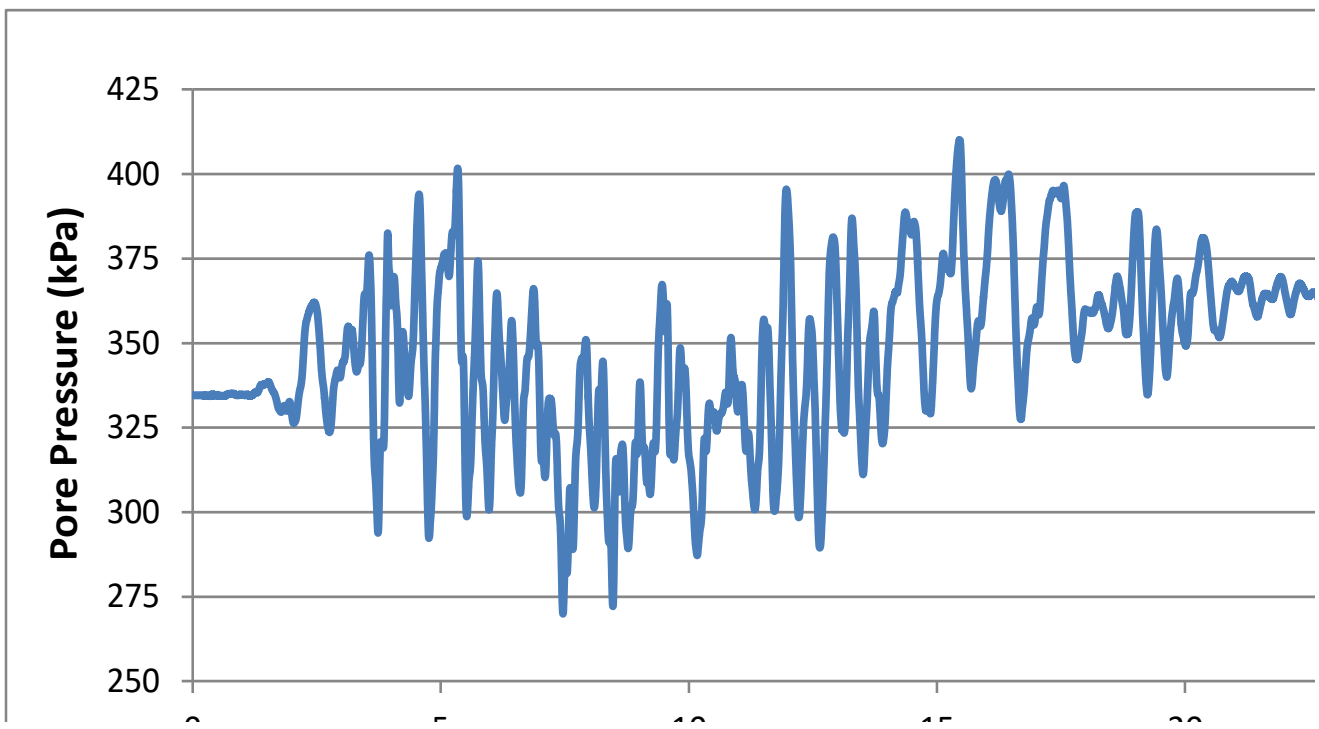
Στα Σχήματα 4.39 έως 4.43 παρουσιάζονται τα διαγράμματα της πίεσης πόρων στα πέντε σημεία στα οποία λήφθηκαν οι χρονοϊστορίες μετά την επιβολή σεισμικής διέγερσης. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μια μείωση των τιμών μεταβαίνοντας στα ανώτερα όρια της μέγιστης διατομής του υπό μελέτη φράγματος. Η μέγιστη πίεση πόρων εντοπίζεται στο σημείο Ε της βάσης του φράγματος το οποίο κρίνεται αναμενόμενο και είναι 800 kPa,



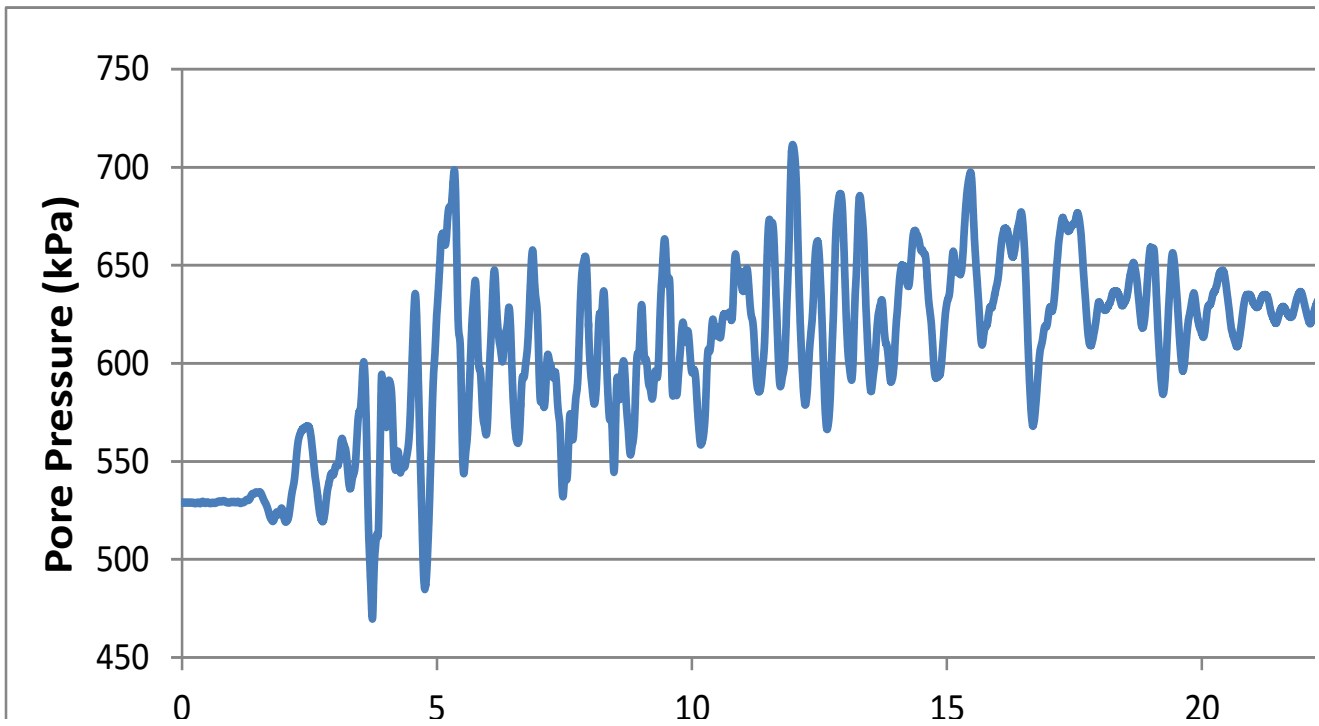
Σχήμα 4.39: Πίεση Πόρων σημείου Α



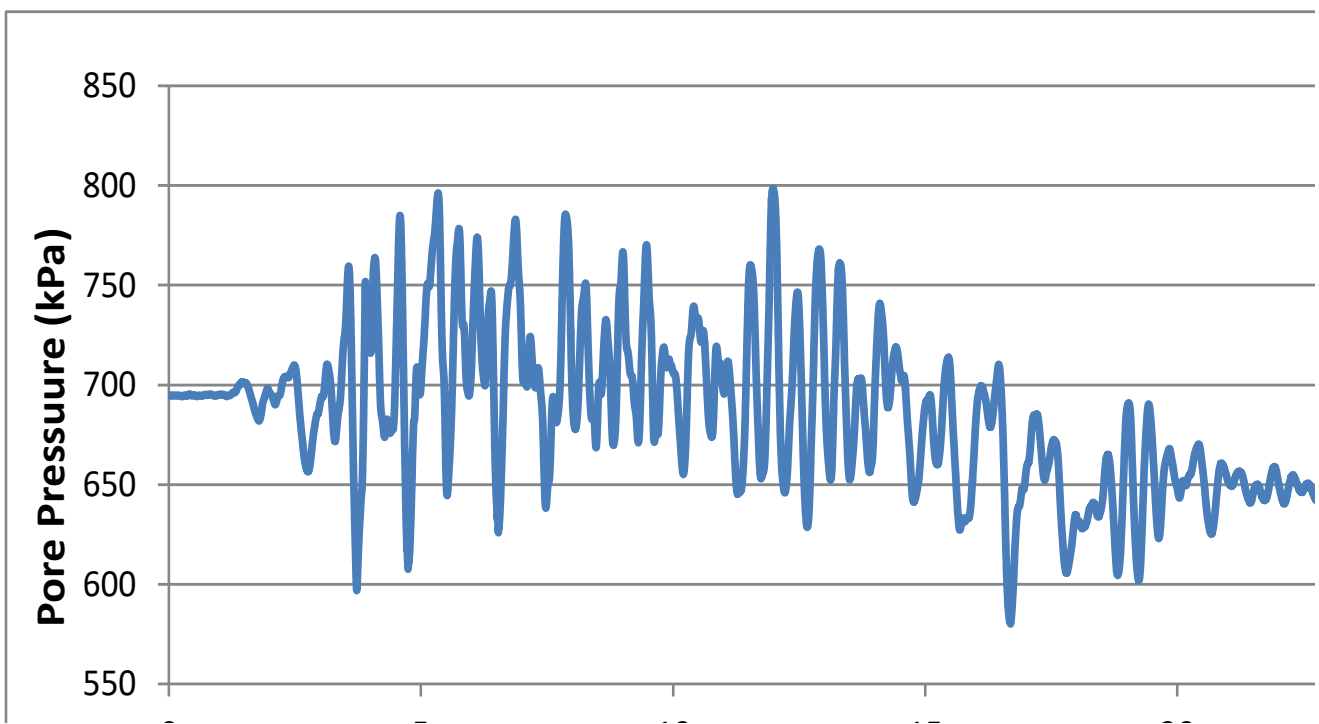
Σχήμα 4.40: Πίεση Πόρων σημείου Β



Σχήμα 4.41: Πίεση Πόρων σημείου Γ



Σχήμα 4.42: Πίεση Πόρων σημείου Δ

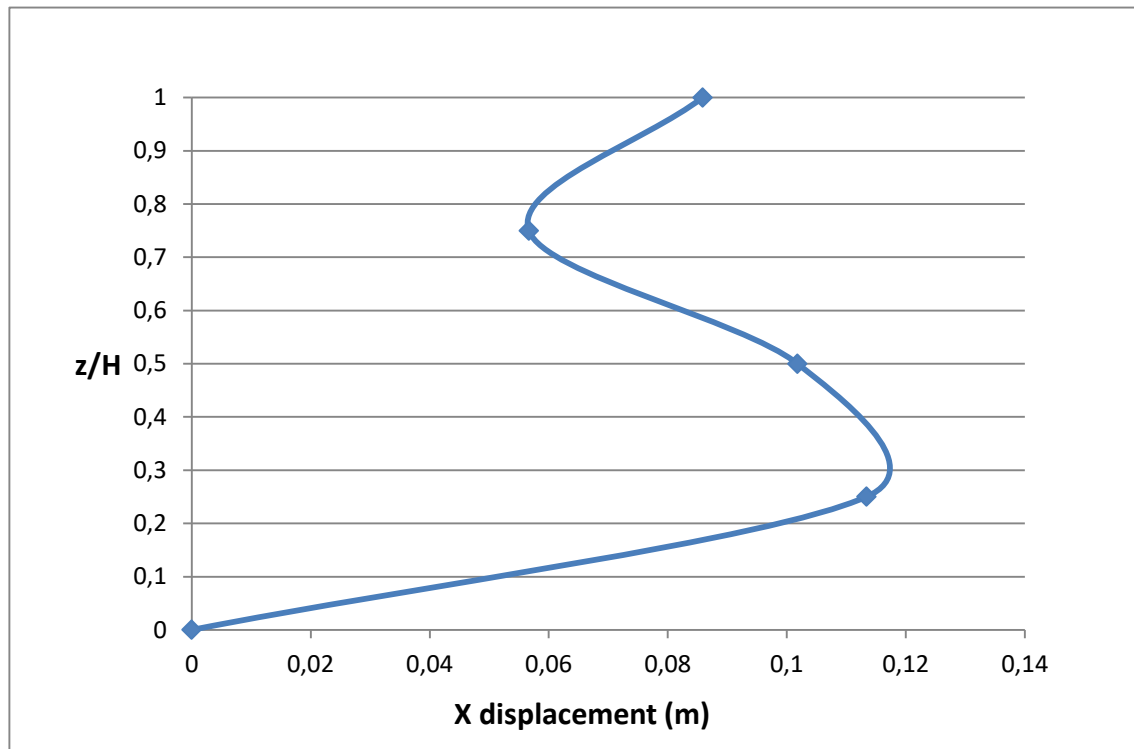


Σχήμα 4.43: Πίεση Πόρων σημείου Ε

Τέλος, παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα των σχετικών οριζόντιων και κατακόρυφων μετατοπίσεων στην μέγιστη διατομή του υπό μελέτη φράγματος με στόχο την απεικόνιση και άντληση των μεγεθών της κινηματικής συμπεριφοράς του πυρήνα μετά την επιβολή της σεισμικής διέγερσης. Στα Σχήματα 4.44 και 4.45 χρησιμοποιούνται οι απόλυτες τιμές των σχετικών μετακινήσεων.

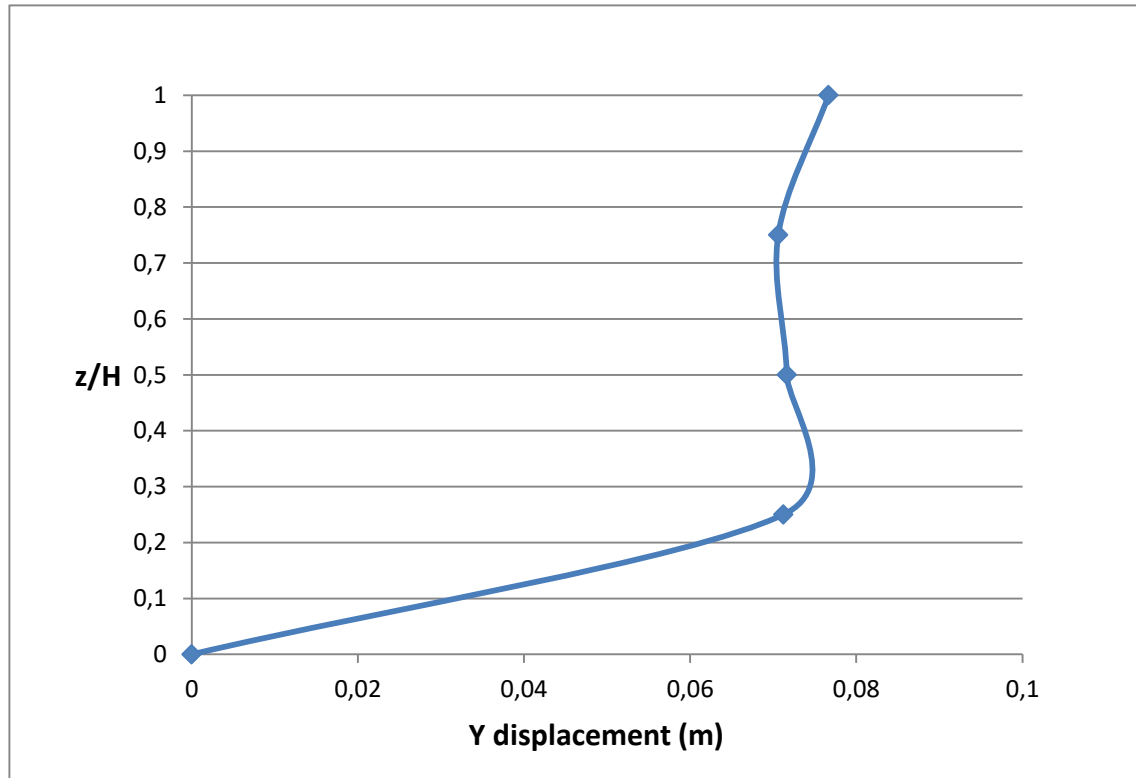
Στο Σχήμα 4.46 απεικονίζονται οι επιταχύνσεις στη μέγιστη διατομή του φράγματος όπου και παρατηρούνται επιταχύνσεις από 0,11g έως 0,12g στη στέψη του ενώ στην βάση του πυρήνα 0,16g έως 0,24g. Έτσι παρουσιάζεται μια μικρή δυναμική ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού στην βάση του φράγματος σε σχέση με την περιοχή της στέψης.

- **Οριζόντιες σχετικές μετακινήσεις στη μέγιστη διατομή του ιδεατού φράγματος**



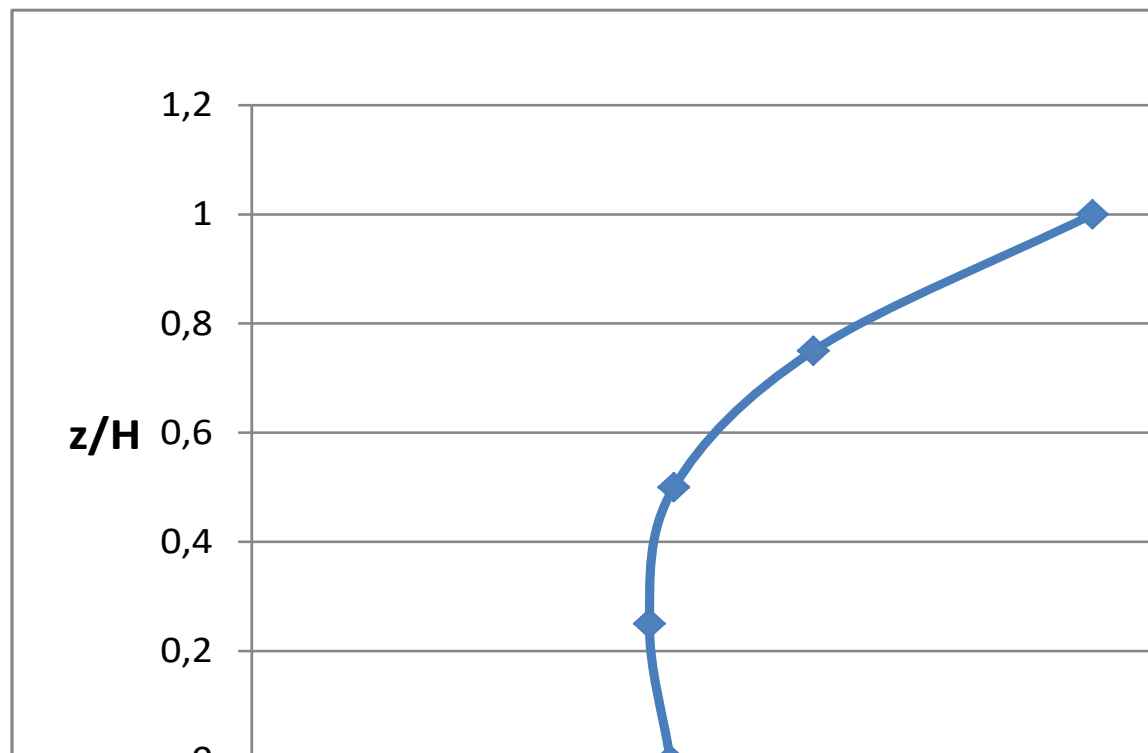
Σχήμα 4.44: Οριζόντιες σχετικές μετακινήσεις στη μέγιστη διατομή

- **Κατακόρυφες σχετικές μετακινήσεις στη μέγιστη διατομή του ιδεατού φράγματος**



Σχήμα 4.45: Κατακόρυφες σχετικές μετακινήσεις στη μέγιστη διατομή

- **Επιτάχυνση στη μέγιστη διατομή του ιδεατού φράγματος**



Σχήμα 4.46: Επιτάχυνση στη μέγιστη διατομή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση και μελέτη της εντατικής και κινηματικής κατάστασης ενός χωμάτινου φράγματος με αργιλικό πυρήνα κατά την φάση της κατασκευής, την πλήρωση του ταμιευτήρα και την επιβολή σεισμικής διέγερσης. Μελετώντας μέχρι σήμερα τα φράγματα για το μεγάλο πλήθος τους μπορούμε να ισχυριστούμε ότι παρουσιάζουν ικανοποιητική συμπεριφορά έναντι των σεισμικών καταπονήσεων. Όμως, δεν είναι λίγα τα παραδείγματα φραγμάτων που εμφάνισαν σοβαρές βλάβες εξαιτίας ισχυρών βροχοπτώσεων και σεισμών (Κεφάλαιο 1), συνεπώς είναι αναμφισβήτητο ότι τα φράγματα παρουσιάζουν τρωτότητα έναντι αδρανειακών δυνάμεων και κινηματικών μετατοπίσεων. Γνωρίζοντας μάλιστα, ότι ένα φράγμα έχει συνήθως ως βασικό στόχο την αποθήκευση τεράστιων ποσοτήτων νερού οποιαδήποτε αδυναμία συγκράτησης του, μπορεί να προκαλέσει σημαντικότερες ζημιές.

Από την προσομοίωση και την ανάλυση του ιδεατού φράγματος της διπλωματικής εργασίας, αντλήθηκαν κάποια σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την εντατική και κινηματική του κατάσταση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και αξιολογούνται για κάθε φάση της προσομοίωσης ξεχωριστά.

Κατά την φάση της κατασκευής, οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις που προκύπτουν κυμαίνονται από 0,75-1,25m, παρατηρούνται στο μέσο του πυρήνα του ιδεατού φράγματος και κρίνονται σύμφωνα με αναλύσεις φραγμάτων παρόμοιου τύπου εντός επιτρεπτών ορίων. Από τις ισοτιμές των ολικών κατακόρυφων τάσεων είναι εμφανής η ανάρτηση του πυρήνα του φράγματος από τις λιθορριπές του σώματος στήριξης του φράγματος, όπως αναμένεται άλλωστε λόγω αισθητά μεγαλύτερων μέτρων παραμορφωσιμότητας των λιθορριπών. Επίσης παρατηρείται ότι στις άκρες της έδρασης του πυρήνα παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τάσεων.

Κατά την φάση της πλήρωσης του ταμιευτήρα, παρατηρούνται επίσης κατακόρυφες μετακινήσεις που κυμαίνονται από 0,75-1,25m, με σημείο ενδιαφέροντος πάλι το μέσο του πυρήνα του φράγματος. Η πλήρωση του ταμιευτήρα προκαλεί την ανάπτυξη σημαντικών πλευρικών ωθήσεων επί του πυρήνα, με αποτέλεσμα την εκδήλωση σχετικά υψηλών διατμητικών τάσεων στην περιοχή έδρασης του. Η μέγιστη διατμητική παραμόρφωση που παρατηρείται στην περιοχή αυτή δεν υπερβαίνει την τιμή του 2.5%.

Στην δυναμική ανάλυση της μέγιστης διατομής του ιδεατού φράγματος, παρατηρούνται μέγιστες επιταχύνσεις από 0,11g έως 0,12g στη στέψη του ενώ στην βάση του πυρήνα 0,16g έως 0,24g. Έτσι παρουσιάζεται μια μικρή δυναμική ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού στην βάση του φράγματος σε σχέση με την περιοχή της στέψης. Στα πλαίσια της δυναμικής ανάλυσης προκύπτει ότι οι μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις δεν θα υπερβούν τα 2m και 1.50m αντίστοιχα. Οι

μέγιστες αυτές τιμές εντοπίζονται στην ανάντη πλευρά του φράγματος σύμφωνα με τις παραμέτρους σχεδιασμού της ανακυκλικής συμπεριφοράς των υλικών κατασκευής και θεμελίωσης του φράγματος, αλλά και τις επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις. Οι παραπάνω τιμές δεν είναι αποδεκτές για το εξετασθέν ιδεατό φράγμα και επομένως η συμπεριφορά του κατά την επιβολή σεισμικής διέγερσης κρίνεται μη επαρκής με την συγκεκριμένη διαζώνηση. Πιθανοί τρόποι βελτίωσης της συμπεριφοράς του φράγματος μπορούν να επιτευχθούν κατά την φάση του σχεδιασμού με την επιλογή ηπιότερων κλίσεων στα πρανή καθώς και με την τοποθέτηση υλικών μεγαλύτερης αντοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ν.Ι. Μουτάφης (2009), Τεχνολογία Γεωφραγμάτων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος
2. Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Σημειώσεις Μαθημάτων «Τεχνική Γεωλογία ΙΙ»
3. Κωμοδρόμος, Α., Κλήμης, Ν., Αναστασιάδης, Α., Αναστασόπουλος, Κ. (2006), "Πρόβλεψη απόκρισης χωμάτινου φράγματος κατά την κατασκευή και την πλήρωση του ταμιευτήρα του"
4. Κωμοδρόμος, Α., Κλήμης, Ν., Αναστασιάδης, Α., Αναστασόπουλος, Κ. (2001), "Πολυσταδιακή μη γραμμική ανάλυση προσομοίωσης κατασκευής και πλήρωσης του φράγματος Ιλαρίωνα"
5. Itasca Consulting Group Inc. FLAC: Fast Lagrangian Analysis of Continua. User's Manuals version 7.0,
6. Π.Ντακούλας, Β.Ευαγγέλου, Μη γραμμική 3Δ σεισμική ανάλυση φράγματος λιθορριπής με ανάντη πλάκα σκυροδέματος
7. Ρόζος Δημ., (2007), Τεχνική Γεωλογία ΙΙ, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
8. Κωμοδρόμος, Α., Κλήμης, Ν., Αναστασιάδης, Α., Σιάχου, Σ., "Διερεύνηση σεισμικής συμπεριφοράς λιθορριπτού φράγματος με αργιλικό πυρήνα"
9. Geotechnical Engineering of Dams, Robin Fell, Patrick MacGregor, David Stapledon & Graeme Bell
10. Αναστασόπουλος, Κ., Αντωνακόπουλος, Κ., Παπαχατζάκη, Χ., "Αντιμετώπιση κατολισθητικών φαινομένων κατά την κατασκευή του Φράγματος Ιλαρίωνα"
11. Κωμοδρόμος, Α., Κλήμης, Ν., Αναστασόπουλος, Κ., Παπαδοπούλου, Μ.Κ., Κουκαλιάρου, Κ.Δ., "Απόκριση χωμάτινου φράγματος κατά την κατασκευή και πλήρωση του: Επιπτώσεις από την μεταβολή της δυσκαμψίας του σώματος στήριξης"
12. S.M. Nasrollahi, 2008, "Determination of Excess Pore Pressure in Earth Dam after Earthquake"
13. Κωμοδρόμος, Α., Κλήμης, Ν., Αναστασιάδης, Α., Σιάχου, Σ., Μάργαρης, Β., Παπαϊωάννου, Χρ., Μάκρας, Κ., 2006, "Δυναμική Ανάλυση και Σεισμική Συμπεριφορά Υψηλού Χωμάτινου Φράγματος"
14. Γκαζέτας, Γ., Γερόλυμος, Ν., Γαρίνη, Ε., Γελαγώτη, Φ., Ζιωτοπούλου, Κ., 2008, "Χωμάτινο Φράγμα Αστερίου: Σεισμική Ανάλυση με "Ακριβείς" και Απλοποιημένες Μεθόδους"
15. Λουπασάκης, Κ., Χρηστάρας, Β., Δημόπουλος, Γ., Χατζηγώγος, Θ., 2004, "Συμβολή στη Μελέτη των Παραμορφώσεων του Σώματος Χωμάτινων Φραγμάτων. Φράγμα Υ.Η.Σ. Σφηκιάς, Βέροια"
16. Κωμοδρόμος Α. (2008). *Υπολογιστική Γεωτεχνική Μηχανική*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΑΡΧΕΙΑ ΚΩΔΙΚΑ

ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Μοντελοποίηση Ιδεατού Φράγματος και Ανάλυση κατά την Φάση Κατασκευής

```

set log on
config dyn gw extra 20
grid 200 80
model mo
;----- mesh generation-----
gen -400 210 -400 410 400 410 400 210 i=1,201 j=1,81
;.... ekswterika oria fragmatos....
gen line -400 310.6 -391.2077 310.6
gen line -391.2077 310.6 -360 310.6
gen line -360 310.6 -339.0506 320.6
gen line -339.0506 320.6 -194.5669 350
gen line -172 350 -194.5669 350
gen line -172 350 -63 390
gen line -56 390 -63 390
gen line -56 390 -7.5 410
gen line 7.5 410 -7.5 410
gen line 168 330 7.5 410
gen line 168 330 232 330
gen line 279.16 309 232 330
gen line 279.16 309 236.5 304.3
gen line 218 292 236.5 304.3
gen line 167 292 218 292
gen line 167 292 127 284.66
gen line 53 284.66 127 284.66
gen line 46.5 280 53 284.66
gen line -46.5 280 46.5 280
gen line -53.5 283 -46.5 280
gen line -53.5 283 -303.2089 283
gen line -303.2089 283 -322.4554 293
gen line -322.4554 293 -391.2077 310.6
mark i 171,201 j 41
;...purinas....
gen line 4.7 406 -4.7 406
gen line -30.23 289 -4.7 406
gen line -37 280 -30.23 289
gen line 30.23 289 4.7 406
gen line 37 280 30.23 289
;...zwni 1....
gen line -188.8121 350 -192 335
gen line -192 335 -275.5 300
gen line -275.5 300 -258.5 300
gen line -258.5 300 -180 333
gen line -180 333 -180 350
;...zwni 2 aristera...

```

```

gen line    -4.7      406      -9.3188   403
gen line   -34      289.5    -9.3188   403
gen line   -34      289.5   -41.7653  280
i....zwni 2 deksia....
gen line     4.7      406       9.3188   403
gen line     34      289.5     9.3188   403
gen line     34      289.5    41.7653  280
i....zwni 2a deksia...
gen line     9.3188  403     13.4122  403
gen line    13.4122  403     36.4672 297.0137
gen line   226.6883 297.7766 36.4672 297.0137
gen line   223.6619 295.7644 32.8042 294.999
mark i=110 j=36
i.....zwni 2a aristera....
gen line    -9.3188  403    -13.4123  403
gen line   -14.4234  380    -18.4138  380
i....zwni 2a katw...
gen line   -84.4689  295   -322.4554 295
gen line   -84.4689  295   -66.9689  285
gen line   -56.2355  285   -66.9689  285
gen line   -56.2355  285   -53.5      283
gen line    -88      293   -69.5     283
gen line    -88      293  -322.4554 293
i....zwni 3 aristera (mikro kommati)...
gen line  -190.2998  343   -228.9678 343
i.....zwni 4 aristera....
gen line  -120.49   350   -172      350
gen line  -120.49   350  -33.6216  385
gen line  -17.3265  385  -33.6216  385
gen line  -18.4138  380  -13.4123  403
gen line  -13.4123  403  -24.475   403
unmark i=96 j=78
i....zwni 4 deksia...
gen line     9.6644  402     23.55     402
gen line    11.1786  395     22.6584  395
gen line    153      330     22.6584  395
gen line    153      330     168      330
gen line     9.6644  402     11.1786  395
i....zwni 4 katw...
gen line   -98.5     300     -88      295
gen line   -76.7516  300    -98.5    300
gen line   -76.7516  300   -56.2355 285
mark i 87 j 32
i.....zwni 5 deksia.....
gen line    213.1625 306.51   168      330
gen line    213.1625 306.51  271.0496 312.6715
i...zwni 5 aristera....
mark i 37 j 35,36
i.....endiamesh zwnh upedafous....
gen line -138.9565  283  -163.3689  210
gen line -130.521  283  -154.9334  210
mark i 60 j 1
mark i 62 j 1
i....oriothetisi group....
group outer_left      reg 10  70
group outer_right     reg 190 70
group limestone       reg 10  20

```

```
group phyllites      reg 110 10
group core           reg 100 40
group core           reg 54 52
group zone_3a        reg 100 80
group zone_3         reg 70 50
group zone_3         reg 51 55
group zone_3         reg 120 40
group zone_3         reg 120 32
group zone_3         reg 162 39
group zone_3         reg 168 40
unmark i=45,48 j=55
group zone_3         i=45,47 j=54
group zone_4         reg 124 61
group zone_4         reg 72 61
group zone_3         i=109 j=34
group zone_3         i=142,155 j=34
group zone_2         i=98 j=70,77
group zone_2         i=97 j= 62,70
group zone_2         i=99 j= 77,78
group zone_2         i=96 j=55,62
group zone_2         i=95 j=48,55
group zone_2         i=94 j=40,48
group zone_2         i=93 j=33,40
group zone_2         i=92 j=31,33
group zone_2         i=91 j=29,31
group zone_2         i=102 j=77,78
group zone_2         i=103 j=70,77
group zone_2         i=104 j= 62,70
group zone_2         i=105 j=55,62
group zone_2         i=106 j=48,55
group zone_2         i=107 j=40,48
group zone_2         i=108 j=33,40
group zone_2         i=109 j=31,33
group zone_2         i=110 j=29,31
group zone_2a        i=96 j=70,71
group zone_2a        i=97 j=71,77
group zone_2a        i=104 j=71,77
group zone_2a        i=105 j=63,71
group zone_2a        i=106 j=56,63
group zone_2a        i=107 j=49,56
group zone_2a        i=108 j=41,49
group zone_2a        i=109 j=35,41
group zone_2a        i=109,156 j=35
group zone_5         reg 153 45
group zone_5         reg 27 41
group core           i=33 j=37
group zone_3         reg 43 31
group zone_4         reg 82 34
group zone_2a        i=20,79 j=34
group zone_2a        i=79,81 j=33
group zone_2a        i=81,82 j=32
group zone_2a        i=82,83 j=31
group zone_2a        i=83,86 j=30
group zone_3         i=82 j=30
group zone_3         i=21 j=33
group zone_3         i=77,78 j=35
group zone_8         reg 64 16
```

```
group zone_8          reg 61 6
group zone_8          reg 62 9
;
;....midenismos group....
;
model null group outer_left
model null group outer_right
;
;....Eisagwgi properties.....
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,201 j=1,28
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,88 j=29
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=113,200 j=29
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,24 j=30
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=114,200 j=30
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,23 j=31
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=135,200 j=31
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,21 j=32
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=138,200 j=32
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,20 j=33
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=142,200 j=33
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,19 j=34
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=156,200 j=34
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,16 j=35
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=157,200 j=35
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,14 j=36
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=158,200 j=36
```

```
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,11 j=37
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=159,200 j=37
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,9 j=38
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=160,200 j=38
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,6 j=39
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=165,200 j=39
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=1,3 j=40
initial syy -700.0 var 0.0,700.0 i=170,200 j=40
;
mo null group core
mo null group zone_3a
mo null group zone_2
mo null group zone_2a
mo null group zone_3
mo null group zone_4
mo null group zone_5
fix x
fix x y j 1
set grav 9.81
set dyn=off
set flow=off
history 999 unbalanced
solve

ini xvel=0.0 yvel=0.0 xdisp=0.0 ydisp=0.0
;
;(2)
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
```



```
;
mo null i=25,113 j=30
mo null i=24,134 j=31
mo null i=22,137 j=32
mo null i=21,141 j=33
mo null i=20,155 j=34
mo null i=17,156 j=35
mo null i=15,157 j=36
mo null i=12,158 j=37
mo null i=10,159 j=38
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
```

```
;
;(3)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
mo null i=24,134 j=31
mo null i=22,137 j=32
mo null i=21,141 j=33
mo null i=20,155 j=34
mo null i=17,156 j=35
mo null i=15,157 j=36
mo null i=12,158 j=37
mo null i=10,159 j=38
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
```

```
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(4)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
```

```
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=22,137 j=32
mo null i=21,141 j=33
mo null i=20,155 j=34
mo null i=17,156 j=35
mo null i=15,157 j=36
mo null i=12,158 j=37
mo null i=10,159 j=38
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
```

```
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(5)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=21,141 j=33
mo null i=20,155 j=34
mo null i=17,156 j=35
mo null i=15,157 j=36
mo null i=12,158 j=37
mo null i=10,159 j=38
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
```

```
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(6)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
```

```
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=20,155 j=34
mo null i=17,156 j=35
mo null i=15,157 j=36
mo null i=12,158 j=37
mo null i=10,159 j=38
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
```



```
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(7)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=17,156 j=35
mo null i=15,157 j=36
mo null i=12,158 j=37
mo null i=10,159 j=38
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
```

```
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(8)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
```

```
model mohr group 'zone_3'  
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0  
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'  
model mohr group 'zone_4'  
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0  
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'  
model mohr group 'zone_2'  
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0  
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'  
model mohr group 'zone_2a'  
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0  
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'  
model mohr group 'zone_5'  
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0  
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'  
model mohr group 'zone_8'  
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0  
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'  
model mohr group 'zone_3a'  
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0  
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'  
;  
;  
;  
mo null i=15,157 j=36  
mo null i=12,158 j=37  
mo null i=10,159 j=38  
mo null i=7,164 j=39  
mo null i=4,169 j=40  
mo null i=11,169 j=41  
mo null i=13,167 j=42  
mo null i=14,166 j=43  
mo null i=15,164 j=44  
mo null i=17,163 j=45  
mo null i=20,162 j=46  
mo null i=23,160 j=47  
mo null i=26,159 j=48  
mo null i=29,141 j=49  
mo null i=32,140 j=50  
mo null i=35,139 j=51  
mo null i=39,138 j=52  
mo null i=42,136 j=53  
mo null i=45,135 j=54  
mo null i=48,134 j=55  
mo null i=51,133 j=56  
mo null i=59,131 j=57  
mo null i=61,130 j=58  
mo null i=62,129 j=59  
mo null i=64,128 j=60  
mo null i=66,126 j=61  
mo null i=67,125 j=62  
mo null i=69,124 j=63  
mo null i=71,123 j=64  
mo null i=72,121 j=65  
mo null i=74,120 j=66  
mo null i=76,119 j=67  
mo null i=78,118 j=68
```

```
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(9)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=12,158 j=37
mo null i=10,159 j=38
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
```

```
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(10)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
```

```
model mohr group 'zone_3'  
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0  
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'  
model mohr group 'zone_4'  
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0  
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'  
model mohr group 'zone_2'  
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0  
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'  
model mohr group 'zone_2a'  
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0  
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'  
model mohr group 'zone_5'  
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0  
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'  
model mohr group 'zone_8'  
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0  
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'  
model mohr group 'zone_3a'  
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0  
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'  
;  
;  
;  
mo null i=10,159 j=38  
mo null i=7,164 j=39  
mo null i=4,169 j=40  
mo null i=11,169 j=41  
mo null i=13,167 j=42  
mo null i=14,166 j=43  
mo null i=15,164 j=44  
mo null i=17,163 j=45  
mo null i=20,162 j=46  
mo null i=23,160 j=47  
mo null i=26,159 j=48  
mo null i=29,141 j=49  
mo null i=32,140 j=50  
mo null i=35,139 j=51  
mo null i=39,138 j=52  
mo null i=42,136 j=53  
mo null i=45,135 j=54  
mo null i=48,134 j=55  
mo null i=51,133 j=56  
mo null i=59,131 j=57  
mo null i=61,130 j=58  
mo null i=62,129 j=59  
mo null i=64,128 j=60  
mo null i=66,126 j=61  
mo null i=67,125 j=62  
mo null i=69,124 j=63  
mo null i=71,123 j=64  
mo null i=72,121 j=65  
mo null i=74,120 j=66  
mo null i=76,119 j=67  
mo null i=78,118 j=68  
mo null i=79,116 j=69  
mo null i=81,115 j=70
```

```
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(11)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=7,164 j=39
mo null i=4,169 j=40
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
```



```
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(12)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
```

```
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=4,169 j=40
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
```

```
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(13)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=11,169 j=41
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
```

```
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(14)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
```

```
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=13,167 j=42
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
```

```
;(15)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=14,166 j=43
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
```

```
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(16)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
```

```
mo null i=15,164 j=44
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(17)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
```



```
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=17,163 j=45
mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
```

```
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(18)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;

mo null i=20,162 j=46
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
```

```
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(19)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
```

```
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=23,160 j=47
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(20)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
```

```
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=26,159 j=48
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
```

```
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(21)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=29,141 j=49
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
```

```
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
set legend on
set plot emf
;
set out xdisp.emf
plot pen xdisp fill grid
set out ydisp.emf
plot pen ydisp fill grid
set out sxx.emf
plot pen sxx fill grid
set out syy.emf
plot pen syy fill grid

;
;(22)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
```

```
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=32,140 j=50
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(23)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
```



```
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=35,139 j=51
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
```

```
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(24)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=39,138 j=52
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
```

```
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(25)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
```

```
mo null i=42,136 j=53
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(26)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
```

```
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=45,135 j=54
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(27)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
```

```
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=48,134 j=55
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(28)
;
```

```
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=51,133 j=56
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
```

```
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(29)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=59,131 j=57
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
```



```
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(30)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=61,130 j=58
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
```

```
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(31)-TELOS STRWSEWN ENOS I
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
```

```
mo null i=62,129 j=59
mo null i=64,128 j=60
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(32)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
```

```
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=66,126 j=61
mo null i=67,125 j=62
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(33)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
```

```
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=69,124 j=63
mo null i=71,123 j=64
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(34)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
```

```
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=72,121 j=65
mo null i=74,120 j=66
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(35)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
```

```
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=76,119 j=67
mo null i=78,118 j=68
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(36)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
```

```
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=79,116 j=69
mo null i=81,115 j=70
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(37)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
```



```
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=83,114 j=71
mo null i=84,113 j=72
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(38)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
```

```
;
;
mo null i=88,111 j=73
mo null i=89,110 j=74
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(39)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=91,109 j=75
mo null i=92,108 j=76
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
```

```
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(40)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=94,106 j=77
mo null i=95,105 j=78
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(41)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
```

```
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
mo null i=97,104 j=79
mo null i=98,103 j=80
;
;
fix x
fix x y j 1
solve
;
;(42)
;
model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=8E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
```

```
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'
;
;
;
free x
fix x i=1
fix x i=201
fix x y j 1
solve

save n1.sav

set legend on
set plot emf

set out xdisp.emf
plot pen xdisp fill grid
set out ydisp.emf
plot pen ydisp fill grid
set out sxx.emf
plot pen sxx fill grid
set out syy.emf
plot pen syy fill grid

ret
```

Ανάλυση κατά την Φάση Πλήρωσης του Ταμιευτήρα

```
new model
restore n1.sav
;;

;
;
;
free sat
free x i=1,201 j=1,81
fix x y i=1,201 j=1

fix x i=1 j=1,41
fix x i=201 j=1,41

fix sat i=1,11 j=41
fix sat i=11,13 j=42
fix sat i=13,14 j=43
fix sat i=14,15 j=44
fix sat i=15,17 j=45
fix sat i=17,20 j=46
fix sat i=20,23 j=47
fix sat i=23,26 j=48
fix sat i=26,29 j=49
fix sat i=29,32 j=50
fix sat i=32,35 j=51
fix sat i=35,39 j=52
fix sat i=39,42 j=53
fix sat i=42,45 j=54
fix sat i=45,48 j=55
fix sat i=48,51 j=56
fix sat i=51,59 j=57
fix sat i=59,61 j=58
fix sat i=61,62 j=59
fix sat i=62,64 j=60
fix sat i=64,66 j=61
fix sat i=66,67 j=62
fix sat i=67,69 j=63
fix sat i=69,71 j=64
fix sat i=71,72 j=65
fix sat i=72,74 j=66
fix sat i=74,76 j=67
fix sat i=76,78 j=68
fix sat i=78,79 j=69
fix sat i=79,81 j=70
fix sat i=81,83 j=71
fix sat i=83,84 j=72
fix sat i=84,88 j=73
fix sat i=88,89 j=74
fix sat i=89,91 j=75
fix sat i=91,92 j=76
fix sat i=92,99 j=77

fix pp i=94,109 j=77
```

```
fix pp i=110,201 j=41,77
```

```
fix sat i=1,201 j=1
```

```
fix sat i=201 j=1,41
```

```
fix sat i=1 j=1,41
```

```
;  
apply pp 885831.228 i=1,11 j=41  
apply pp 885831.228 i=11 j=41,42  
apply pp 861224.805 i=11,13 j=42  
apply pp 861224.805 i=13 j=42,43  
apply pp 836618.382 i=13,14 j=43  
apply pp 836618.382 i=14 j=43,44  
apply pp 812011.959 i=14,15 j=44  
apply pp 812011.959 i=15 j=44,45  
apply pp 787405.536 i=15,17 j=45  
apply pp 787405.536 i=17 j=45,46  
apply pp 762799.113 i=17,20 j=46  
apply pp 762799.113 i=20 j=46,47  
apply pp 738192.690 i=20,23 j=47  
apply pp 738192.690 i=23 j=47,48  
apply pp 713586.267 i=23,26 j=48  
apply pp 713586.267 i=26 j=48,49  
apply pp 688979.844 i=26,29 j=49  
apply pp 688979.844 i=29 j=49,50  
apply pp 664373.421 i=29,32 j=50  
apply pp 664373.421 i=32 j=50,51  
apply pp 639766.998 i=32,35 j=51  
apply pp 639766.998 i=35 j=51,52  
apply pp 615160.575 i=35,39 j=52  
apply pp 615160.575 i=39 j=52,53  
apply pp 590554.152 i=39,42 j=53  
apply pp 590554.152 i=42 j=53,54  
apply pp 565947.729 i=42,45 j=54  
apply pp 565947.729 i=45 j=54,55  
apply pp 541341.306 i=45,48 j=55  
apply pp 541341.306 i=48 j=55,56  
apply pp 516734.883 i=48,51 j=56  
apply pp 516734.883 i=51 j=56,57  
apply pp 492128.46 i=51,59 j=57  
apply pp 492128.46 i=59 j=57,58  
apply pp 467522.037 i=59,61 j=58  
apply pp 467522.037 i=61 j=58,59  
apply pp 442915.614 i=61,62 j=59  
apply pp 442915.614 i=62 j=59,60  
apply pp 418309.191 i=62,64 j=60  
apply pp 418309.191 i=64 j=60,61  
apply pp 393702.768 i=64,66 j=61  
apply pp 393702.768 i=66 j=61,62  
apply pp 369096.345 i=66,67 j=62  
apply pp 369096.345 i=67 j=62,63  
apply pp 344489.922 i=67,69 j=63  
apply pp 344489.922 i=69 j=63,64  
apply pp 319883.499 i=69,71 j=64  
apply pp 319883.499 i=71 j=64,65
```

```
apply pp 295277.076 i=71,72 j=65
apply pp 295277.076 i=72 j=65,66
apply pp 270670.653 i=72,74 j=66
apply pp 270670.653 i=74 j=66,67
apply pp 246064.23 i=74,76 j=67
apply pp 246064.23 i=76 j=67,68
apply pp 221457.807 i=76,78 j=68
apply pp 221457.807 i=78 j=68,69
apply pp 196851.384 i=78,79 j=69
apply pp 196851.384 i=79 j=69,70
apply pp 172244.961 i=79,81 j=70
apply pp 172244.961 i=81 j=70,71
apply pp 147638.538 i=81,83 j=71
apply pp 147638.538 i=83 j=71,72
apply pp 123032.115 i=83,84 j=72
apply pp 123032.115 i=84 j=72,73
apply pp 98425.6920 i=84,88 j=73
apply pp 98425.6920 i=88 j=73,74
apply pp 73819.269 i=88,89 j=74
apply pp 73819.269 i=89 j=74,75
apply pp 49212.846 i=89,91 j=75
apply pp 49212.846 i=91 j=75,76
apply pp 24606.423 i=91,92 j=76
apply pp 24606.423 i=92 j=76,77
apply pp 0. i=92,94 j=77
;
apply pressure 885831.228 i=1,11 j=41
apply pressure 885831.228 i=11 j=41,42
apply pressure 861224.805 i=11,13 j=42
apply pressure 861224.805 i=13 j=42,43
apply pressure 836618.382 i=13,14 j=43
apply pressure 836618.382 i=14 j=43,44
apply pressure 812011.959 i=14,15 j=44
apply pressure 812011.959 i=15 j=44,45
apply pressure 787405.536 i=15,17 j=45
apply pressure 787405.536 i=17 j=45,46
apply pressure 762799.113 i=17,20 j=46
apply pressure 762799.113 i=20 j=46,47
apply pressure 738192.690 i=20,23 j=47
apply pressure 738192.690 i=23 j=47,48
apply pressure 713586.267 i=23,26 j=48
apply pressure 713586.267 i=26 j=48,49
apply pressure 688979.844 i=26,29 j=49
apply pressure 688979.844 i=29 j=49,50
apply pressure 664373.421 i=29,32 j=50
apply pressure 664373.421 i=32 j=50,51
apply pressure 639766.998 i=32,35 j=51
apply pressure 639766.998 i=35 j=51,52
apply pressure 615160.575 i=35,39 j=52
apply pressure 615160.575 i=39 j=52,53
apply pressure 590554.152 i=39,42 j=53
apply pressure 590554.152 i=42 j=53,54
apply pressure 565947.729 i=42,45 j=54
apply pressure 565947.729 i=45 j=54,55
apply pressure 541341.306 i=45,48 j=55
apply pressure 541341.306 i=48 j=55,56
apply pressure 516734.883 i=48,51 j=56
```



```
apply pressure 516734.883 i=51 j=56,57
apply pressure 492128.46 i=51,59 j=57
apply pressure 492128.46 i=59 j=57,58
apply pressure 467522.037 i=59,61 j=58
apply pressure 467522.037 i=61 j=58,59
apply pressure 442915.614 i=61,62 j=59
apply pressure 442915.614 i=62 j=59,60
apply pressure 418309.191 i=62,64 j=60
apply pressure 418309.191 i=64 j=60,61
apply pressure 393702.768 i=64,66 j=61
apply pressure 393702.768 i=66 j=61,62
apply pressure 369096.345 i=66,67 j=62
apply pressure 369096.345 i=67 j=62,63
apply pressure 344489.922 i=67,69 j=63
apply pressure 344489.922 i=69 j=63,64
apply pressure 319883.499 i=69,71 j=64
apply pressure 319883.499 i=71 j=64,65
apply pressure 295277.076 i=71,72 j=65
apply pressure 295277.076 i=72 j=65,66
apply pressure 270670.653 i=72,74 j=66
apply pressure 270670.653 i=74 j=66,67
apply pressure 246064.23 i=74,76 j=67
apply pressure 246064.23 i=76 j=67,68
apply pressure 221457.807 i=76,78 j=68
apply pressure 221457.807 i=78 j=68,69
apply pressure 196851.384 i=78,79 j=69
apply pressure 196851.384 i=79 j=69,70
apply pressure 172244.961 i=79,81 j=70
apply pressure 172244.961 i=81 j=70,71
apply pressure 147638.538 i=81,83 j=71
apply pressure 147638.538 i=83 j=71,72
apply pressure 123032.115 i=83,84 j=72
apply pressure 123032.115 i=84 j=72,73
apply pressure 98425.6920 i=84,88 j=73
apply pressure 98425.6920 i=88 j=73,74
apply pressure 73819.269 i=88,89 j=74
apply pressure 73819.269 i=89 j=74,75
apply pressure 49212.846 i=89,91 j=75
apply pressure 49212.846 i=91 j=75,76
apply pressure 24606.423 i=91,92 j=76
apply pressure 24606.423 i=92 j=76,77
apply pressure 0. i=92,94 j=77
```

```
;ini pp 885831 var 0 -885831 i=1,100 j=41,77
```

```
ini pp 885843 var 0 -885843 i=1,95 j=41,77
;ini pp 1873710 var 0 -987867 i=1,201 j=1,41
```

```
water bulk 2.e7 dens 1000. tens 1.e10
```

```
prop perm 5.e-9 por 0.3 group 'core'
```

```
prop perm 5.e-7 por 0.3 group 'zone_3'
```

```
prop perm 5.e-7 por 0.3 group 'zone_4'
```

```
prop perm 1.e-6 por 0.3 group 'zone_2'  
prop perm 1.e-6 por 0.3 group 'zone_2a'  
prop perm 5.e-7 por 0.3 group 'zone_5'
```

```
group 'drain' i=157,201 j=35  
group 'drain' i=158,201 j=36  
group 'drain' i=159,201 j=37  
group 'drain' i=160,201 j=38  
group 'drain' i=165,201 j=39  
group 'drain' i=170,201 j=40  
prop perm 1.e-6 por 0.3 group 'drain'
```

```
set mech=off  
set flow=on  
set funsat=on  
set sratio=0.0001  
solve
```

```
;  
set legend on  
set plot emf  
;  
;
```

```
set out xdisp.emf  
plot pen xdisp fill grid  
set out ydisp.emf  
plot pen ydisp fill grid  
set out sxx.emf  
plot pen sxx fill grid  
set out syy.emf  
plot pen syy fill grid  
;  
;  
save n2.sav
```

```
ret
```

Ανάλυση με την Επιβολή Σεισμικής Διέγερσης

```

new model
restore nstat.sav

;
; --- dynamic analysis ---

set mech    on
set dyn     on
set flow    off ; NOTE !!!
set mu      on
set fast    off ; NOTE !!!
set overwrite on
set geometry 0.2
set large
set step 20000000
set dytime = 0.
set ncwrite 100
set dy_damp=rayleigh 0.03 4.
;
;
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'limestone'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'phyllites'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'zone_3'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'zone_4'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'zone_2'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'zone_2a'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'zone_5'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'zone_8'
ini dy_damp    hyst sig3 1.014 -0.4792 -1.249 group
'zone_3a'
ini dy_damp    hyst sig3 1.017 -0.587 -0.633 group 'core'

model mohr group 'limestone'
prop density=2650 bulk=5.787E9 shear=4.34E9 cohesion=500000.0
friction=40.0 dilation=0.0 tension=100000.0 group 'limestone'
model mohr group 'phyllites'
prop density=2548 bulk=7.11E8 shear=4.27E8 cohesion=250000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'phyllites'
model mohr group 'core'
prop density=2039 bulk=1.8E7 shear=261E6 cohesion=40000.0
friction=21.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'
model mohr group 'zone_3'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=274E6 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3'
model mohr group 'zone_4'

```

```
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=274E6 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'
model mohr group 'zone_2'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=262E6 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'
model mohr group 'zone_2a'
prop density=2192 bulk=1E8 shear=262E6 cohesion=0.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'
model mohr group 'zone_5'
prop density=1987 bulk=3.8E7 shear=243E6 cohesion=5000.0
friction=25.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'
model mohr group 'zone_8'
prop density=2548 bulk=2.607E9 shear=1.717E9 cohesion=350000.0
friction=35.0 dilation=0.0 tension=50000.0 group 'zone_8'
model mohr group 'zone_3a'
prop density=2242 bulk=4.6E7 shear=274E6 cohesion=0.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_3a'

;prop density=2500 bulk=3.8E7 shear=1.3E7 cohesion=20000.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_5'

;prop density=3000 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=20000.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_4'

;prop density=3000 bulk=4.6E7 shear=2.1E7 cohesion=20000.0
friction=45.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'core'

;prop density=3000 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=20000.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2'

;prop density=3000 bulk=1E8 shear=3.4E7 cohesion=20000.0
friction=42.0 dilation=0.0 tension=0.0 group 'zone_2a'

apply ff
fix x y j=1

water d=1000. bulk 2.e9 tens 100000.

def iol
  float tim1 w11 w22
  array tim1(2000) w11(2000) w22(2000)

  status = open('tim1.dat', 0, 1)
  status = read(tim1, 2000)
  status = close

  status = open('leukada_xvel.dat',0, 1)
  status = read(w11, 2000)
  status = close

  status = open('leukada_yvel.dat',0, 1)
  status = read(w22, 2000)
  status = close
```

```
loop n (1, 2000)
xtable(3,n)=parse(tim1(n),1)
ytable(3,n)=parse(w11(n),1)
end_loop

loop n (1, 2000)
xtable(4,n)=parse(tim1(n),1)
ytable(4,n)=parse(w22(n),1)
end_loop
end
i01

def w11
w11=table(3,dytime)
end
w11

def w22
w22=table(4,dytime)
end
w22

apply xvel=0.75      hist=w11      i=1,201  j=1
apply yvel=0.001    hist=w22      i=1,201  j=1

ini xvel=0.0 yvel=0.0 xdisp=0.0 ydisp=0.0

his reset
his nstep 100 dytime ;1
his nstep 100 unbal
his nstep 100 w11

; displacements

his nstep 100 xdis i 101 j 81
his nstep 100 xdis i 101 j 68
his nstep 100 xdis i 101 j 55
his nstep 100 xdis i 101 j 42
his nstep 100 xdis i 101 j 29
;
his nstep 100 xdis i 94 j 75
his nstep 100 xdis i 107 j 75
his nstep 100 xdis i 88 j 66
his nstep 100 xdis i 45 j 50
his nstep 100 xdis i 80 j 52
his nstep 100 xdis i 125 j 42
his nstep 100 xdis i 157 j 43
his nstep 100 xdis i 38 j 38
his nstep 100 xdis i 83 j 30
his nstep 100 xdis i 129 j 31

; ydisplacements
his nstep 100 ydis i 101 j 81
his nstep 100 ydis i 101 j 68
his nstep 100 ydis i 101 j 55
```

```
his nstep 100 ydis i 101 j 42
his nstep 100 ydis i 101 j 29
;
his nstep 100 ydis i 94 j 75
his nstep 100 ydis i 107 j 75
his nstep 100 ydis i 88 j 66
his nstep 100 ydis i 45 j 50
his nstep 100 ydis i 80 j 52
his nstep 100 ydis i 125 j 42
his nstep 100 ydis i 157 j 43
his nstep 100 ydis i 38 j 38
his nstep 100 ydis i 83 j 30
his nstep 100 ydis i 129 j 31
```

```
; accelerations
```

```
his nstep 100 xa i 101 j 81
his nstep 100 xa i 101 j 68
his nstep 100 xa i 101 j 55
his nstep 100 xa i 101 j 42
his nstep 100 xa i 101 j 29
;
his nstep 100 xa i 94 j 75
his nstep 100 xa i 107 j 75
his nstep 100 xa i 88 j 66
his nstep 100 xa i 45 j 50
his nstep 100 xa i 80 j 52
his nstep 100 xa i 125 j 42
his nstep 100 xa i 157 j 43
his nstep 100 xa i 38 j 38
his nstep 100 xa i 83 j 30
his nstep 100 xa i 129 j 31
```

```
; stress
```

```
;esy
```

```
his nstep 100 esy i 101 j 80
his nstep 100 esy i 101 j 68
his nstep 100 esy i 101 j 55
his nstep 100 esy i 101 j 42
his nstep 100 esy i 101 j 29
```

```
;
```

```
his nstep 100 esy i 94 j 75
his nstep 100 esy i 107 j 75
his nstep 100 esy i 88 j 66
his nstep 100 esy i 45 j 50
his nstep 100 esy i 80 j 52
his nstep 100 esy i 125 j 42
his nstep 100 esy i 157 j 43
his nstep 100 esy i 38 j 38
his nstep 100 esy i 83 j 30
his nstep 100 esy i 129 j 31
```

```
;esxx
```

```
his nstep 100 esxx i 101 j 80
his nstep 100 esxx i 101 j 68
his nstep 100 esxx i 101 j 55
```

```
his nstep 100 esxx i 101 j 42
his nstep 100 esxx i 101 j 29
;
his nstep 100 esxx i 94 j 75
his nstep 100 esxx i 107 j 75
his nstep 100 esxx i 88 j 66
his nstep 100 esxx i 45 j 50
his nstep 100 esxx i 80 j 52
his nstep 100 esxx i 125 j 42
his nstep 100 esxx i 157 j 43
his nstep 100 esxx i 38 j 38
his nstep 100 esxx i 83 j 30
his nstep 100 esxx i 129 j 31
;
;pore pressure
his nstep 100 pp i 101 j 80
his nstep 100 pp i 101 j 68
his nstep 100 pp i 101 j 55
his nstep 100 pp i 101 j 42
his nstep 100 pp i 101 j 29
;
his nstep 100 pp i 94 j 75
his nstep 100 pp i 107 j 75
his nstep 100 pp i 88 j 66
his nstep 100 pp i 45 j 50
his nstep 100 pp i 80 j 52
his nstep 100 pp i 125 j 42
his nstep 100 pp i 157 j 43
his nstep 100 pp i 38 j 38
his nstep 100 pp i 83 j 30
his nstep 100 pp i 129 j 31
;

; TWO MORE POINTS: ONE AT THE BASE AND ONE AT THE ROCK SURFACE
his nstep 100 xa i 3 j 1
his nstep 100 xa i 3 j 41

;
set dydt=2.e-5
solve dyt=20.
save n20.sav

solve dyt=25.
save n25.sav
;
;
set legend on
set plot emf
;
;
set out xdisp.emf
plot pen xdisp fill grid
set out ydisp.emf
plot pen ydisp fill grid
set out sxx.emf
plot pen sxx fill grid
set out syy.emf
```

```
plot pen syy fill grid  
;  
ret
```