



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διδακτορική διατριβή

**Μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς των
σύγχρονων τεχνικών ενίσχυσης
εδαφικών πρανών**

Ιωάννα Β. Τζαβάρα

Επιβλέπων: Ι. Τσομπανάκης

Χανιά, Οκτώβριος 2015

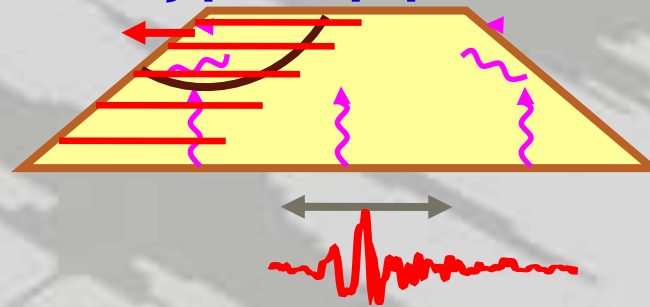


Σκοπός της διατριβής

ευστάθεια των ενισχυμένων εδαφικών πρηνών έναντι
σεισμικής καταπόνησης λόγω

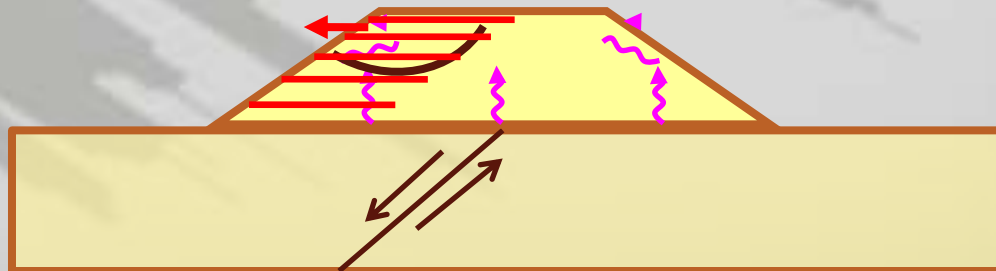
- διάδοσης σεισμικών κυμάτων

- και τη συνεπαγόμενη ανάπτυξη διατμητικών παραμορφώσεων



- τεκτονικής διάρρηξης ρήγματος

- και τη συνεπαγόμενη επιβολή μόνιμων παραμορφώσεων

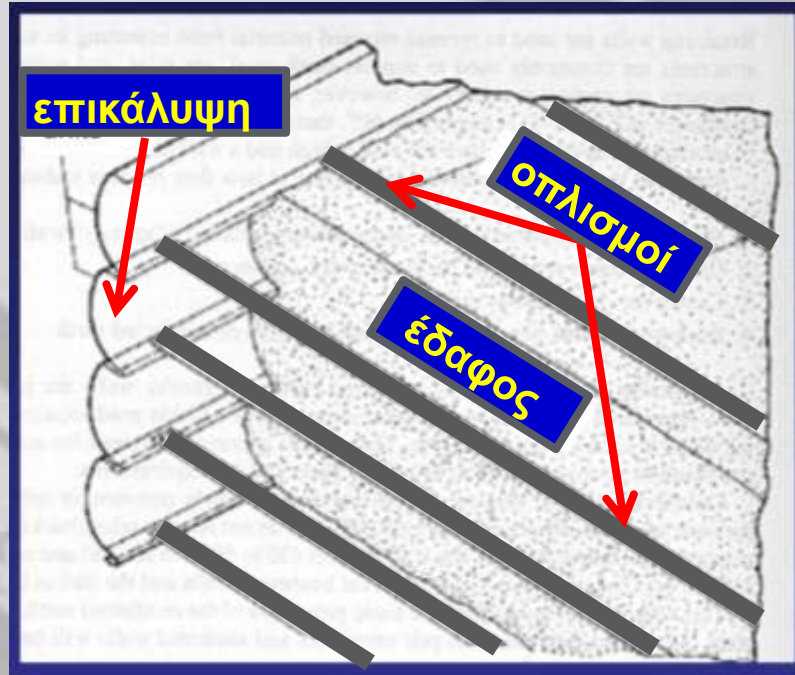


Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Καταπόνηση πρανών λόγω διάδοσης σεισμικών κυμάτων
- Καταπόνηση πρανών λόγω τεκτονικής διάρρηξης
- Συμβολή - Προεκτάσεις

«Οπλισμένη Γη»: Σύγχρονη τεχνική ενίσχυσης

Το 1969 ο Henri Vidal εισήγαγε την τεχνολογία της «**οπλισμένης γης**»



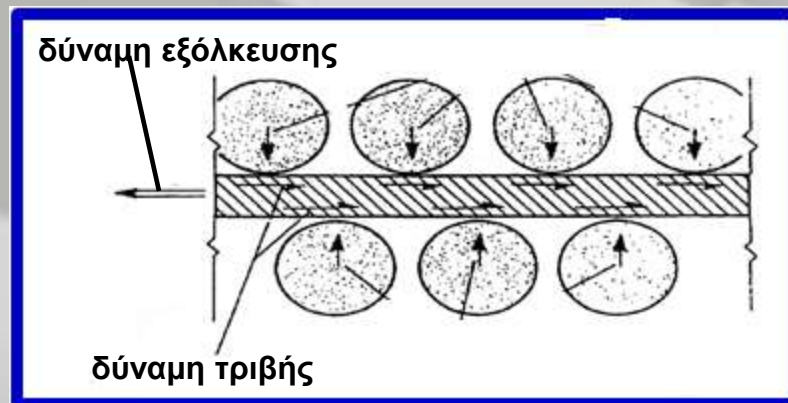
ο οπλισμός λόγω της εφελκυστικής του αντοχής
δρα ενεργητικά αυξάνοντας τη θλιπτική και
διατμητική αντοχή του εδάφους

Μηχανισμοί μεταφοράς φορτίων

- **Πρώτος μηχανισμός** μεταφοράς φορτίων μεταξύ οπλισμού και εδαφικής μάζας
η τριβή μεταξύ των επιφανειών επαφής

εξαρτάται

- τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας επαφής μεταξύ του εδαφικού υλικού
- το υλικό του οπλισμού και
- την κατακόρυφη τάση μεταξύ των δύο, η οποία με την σειρά της εξαρτάται από την σχέση τάσης/ παραμόρφωσης του γεωυλικού, απόλυτα εξαρτώμενη και αυτή από το επίπεδο της έντασης



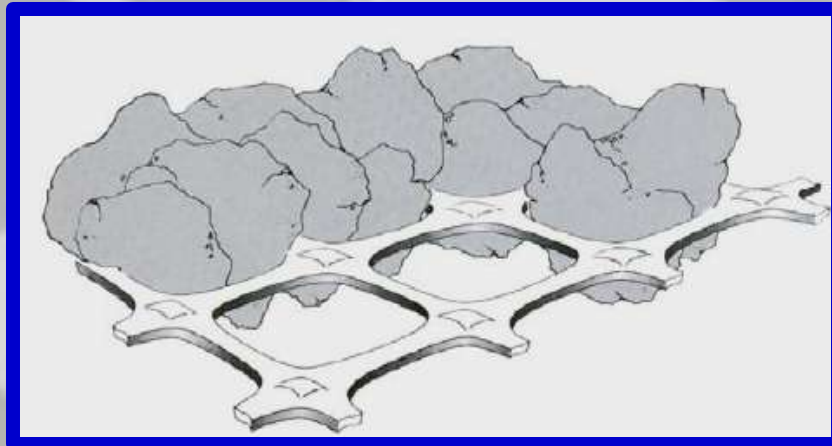
Μηχανισμοί μεταφοράς δυνάμεων

▪ Δεύτερος μηχανισμός

η παθητική αντίσταση στις ωθήσεις εδαφών σε επιφάνειες του οπλισμού που τοποθετείται εγκάρσια στην διεύθυνση της κίνησης της εξόλκευσης του από τη μάζα του εδάφους και δρα σε οπλισμό πλεγμάτων

Η κατανομή των πλευρικών ωθήσεων εδαφών εξαρτάται

- την ολκιμότητα του οπλισμού
- την μέθοδο κατασκευής



Μηχανικές ιδιότητες διεπιφανειών

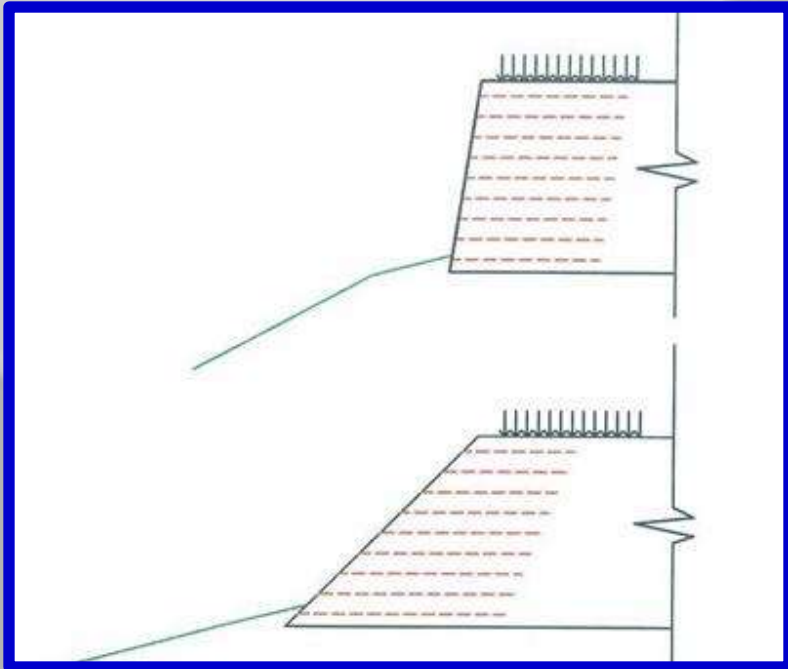
- δύο μηχανισμοί αλληλεπίδρασης
 - ✓ ολίσθηση
 - ✓ εξόλκευση
- ο μηχανισμός αλληλεπίδρασης εκφράζεται με τον συντελεστή αλληλεπίδρασης (α_s)
 $(\alpha_s) = (\tan\phi \text{ επίχωσης με οπλισμό}) / (\tan\phi \text{ επίχωσης χωρίς οπλισμό})$

Διεπιφάνεια	α_s
Άργιλος -γεώπλεγμα	0.6-0.7
Άμμος -γεώπλεγμα	0.85-0.95
Χάλικες και θραυστά αδρανή - γεώπλεγμα	0.9-1.0

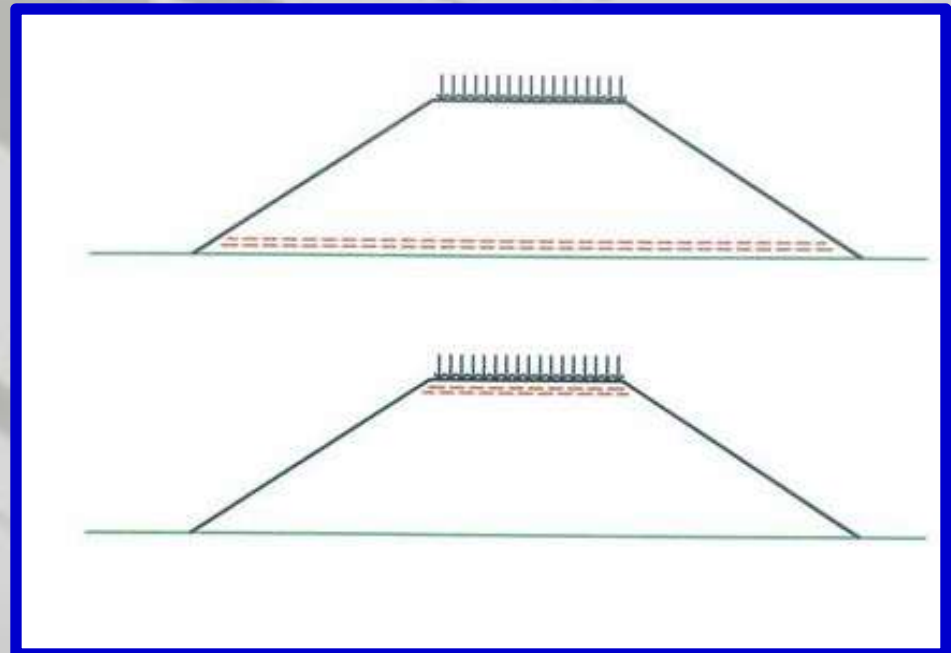
Οπλισμένα Επιχώματα

- Καλούνται όλα τα επιχώματα που περιλαμβάνουν οποιονδήποτε αποδεκτού τύπου οπλισμό, είτε στο σύνολο του ύψους αυτών, είτε τοπικά στην βάση ή την στέψη

Απότομη κλίση παρειάς

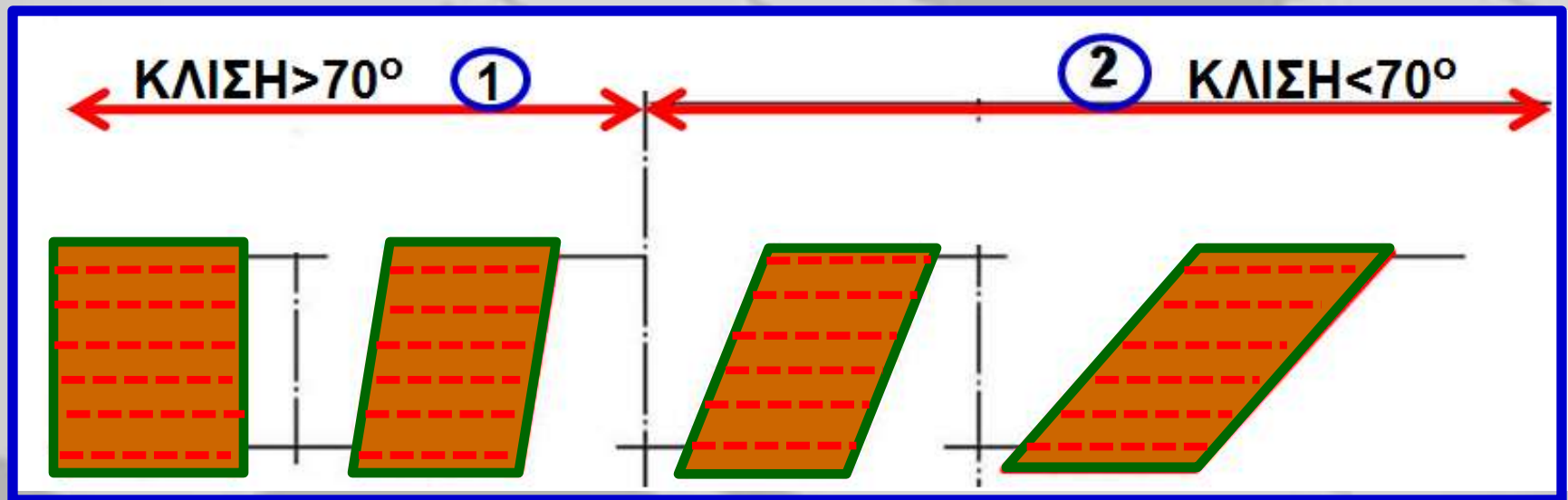


Όπλιση βάσης ή στέψης



Διάκριση οπλισμένων επιχωμάτων σε σχέση με την κλίση πρανούς (EN 14475-2006)

- (1): τοίχος αντιστήριξης
- (2): οπλισμένα πρανή

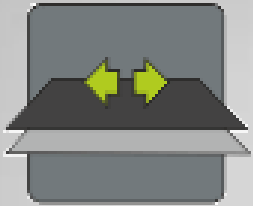


Γεωσυνθετικά

- Τα **γεωσυνθετικά** είναι συνθετικά υλικά κατασκευασμένα από διαφορετικά πολυμερή (πολυπροπυλένιο, πολυεστέρες)
- **Είδη γεωσυνθετικών**
 - Γεωυφάσματα (geotextiles)
 - **Γεωπλέγματα** (geogrids)
 - Γεωδικτυωτά (geomeshes)
 - Γεωμεμβράνες (geomembranes)
 - Γεωσύνθετα (geocomposites)



Εφαρμογές Γεωσυνθετικών



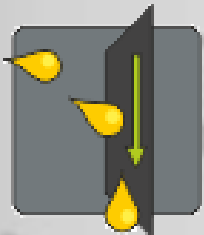
Όπλιση: ενίσχυση της διατμητικής αντοχής του εδάφους



Διαχωρισμός: αποφυγή ανάμιξης εδαφικών υλικών διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης



Φιλτράρισμα: διευθέτηση της ροής υδάτων εντός του εδάφους με ταυτόχρονη διατήρηση των εδαφικών κόκκων στη θέση τους



Αποστράγγιση: συλλογή και μεταφορά υπόγειων υδάτων σε συγκεκριμένες διαδρομές



Χρησιμοποιούνται ως λύσεις στεγανοποίησης ή ως **φράγματα** για αποφυγή της εισροής ή διαφυγής υγρών (υπόγειων υδάτων, ρύπων) ή αερίων

Οφέλη όπλίσσης με γεωσυνθετικά

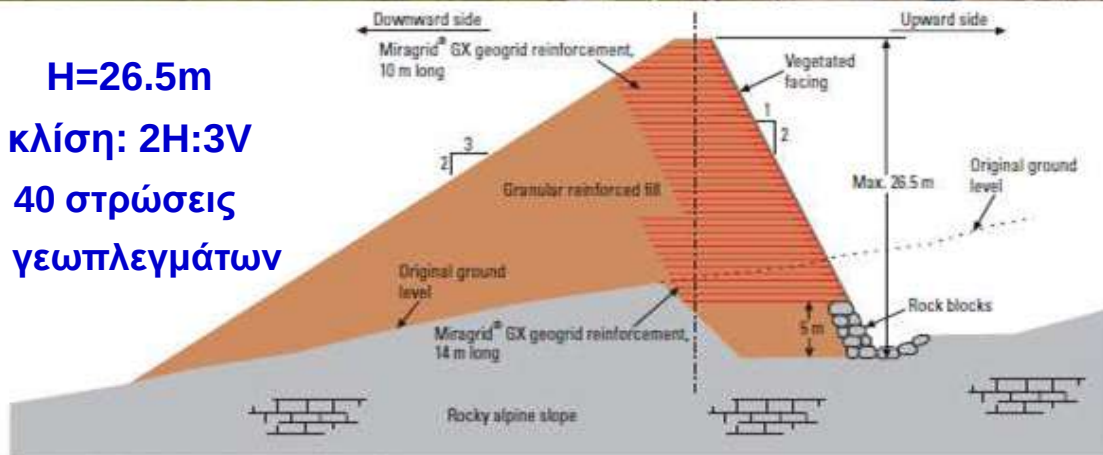
- αύξηση της φέρουσας ικανότητας
- αύξηση του συντελεστή ασφαλείας της ευστάθειας του πρανούς
- αύξηση της ακαμψίας του εδάφους
- μείωση της διαφορικής καθίζησης
- μείωση των μόνιμων παραμορφώσεων υπό δυναμική φόρτιση
- φιλικά προς το περιβάλλον με δυνατότητα ανάπτυξης βλάστησης στις εμφανείς τους παρειές

• Εφαρμογές ως φράγμα προστασίας

Tyrol, Austria



- $H=26.5\text{m}$
- κλίση: 2H:3V
- 40 στρώσεις γεωπλεγμάτων



Cross section through the avalanche protection barrier

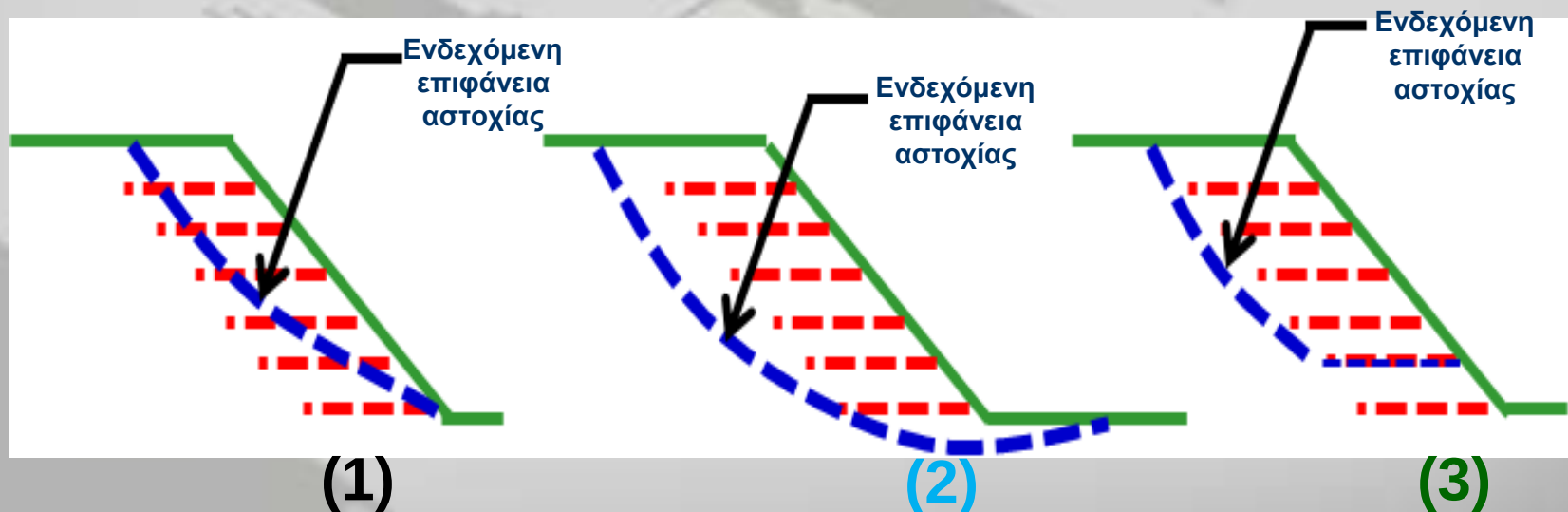
tencate

Αιτίες αστοχίας πρανών

- διάβρωση (αντοχή)
- βροχή(φορτίο)- άνοδος της στάθμης του Υ.Ο. (αντοχή)
- χιόνι (φορτίο)
- απόθεση εδάφους (φορτίο)
- **σεισμός** (φορτίο + αντοχή)
- γεωλογικά στοιχεία (αντοχή)
- επιφόρτιση λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας (κατασκευές κοντά στην αιχμή του πρανούς- φορτίο)

Πιθανή μορφή δυνητικής αστοχίας πρανούς

- (1): εσωτερική αστοχία - η επιφάνεια αστοχίας διέρχεται μέσω της ενισχυμένης ζώνης
- (2): εξωτερική αστοχία - η επιφάνεια αστοχίας διέρχεται από το πίσω μέρος και από την κάτω πλευρά της ενισχυμένης ζώνης
- (3): σύνθετη αστοχία - η επιφάνεια αστοχίας διέρχεται από το πίσω μέρος και μέσα από την ενισχυμένη ζώνη



Σεισμικές αστοχίες οπλισμένων πρανών

Chi-Nan University

Chi Chi (1999)

Capitol Interpretive Center

Nisqually (2001)

Κοζάνη (1995)

Bhuj (2001)



Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Καταπόνηση πρανών λόγω διάδοσης σεισμικών κυμάτων
- Καταπόνηση πρανών λόγω τεκτονικής διάρρηξης
- Συμβολή - Προεκτάσεις

Σεισμική ευστάθεια

■ Μεθοδολογίες ανάλυσης

✓ Ψευδοστατική μέθοδος

✓ Μέθοδος μονίμων παραμορφώσεων

• Κλασσική (Newmark, 1965)

• Ασύζευκτη

• Συζευγμένη

✓ Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Α' μέρος

Β' μέρος

Γ' μέρος

Σεισμική ευστάθεια: Α' μέρος

- ✓ Ψευδοστατική μέθοδος
- ✓ Μέθοδος μονίμων παραμορφώσεων
 - Κλασσική (Newmark, 1965)

Ψευδοστατική μέθοδος

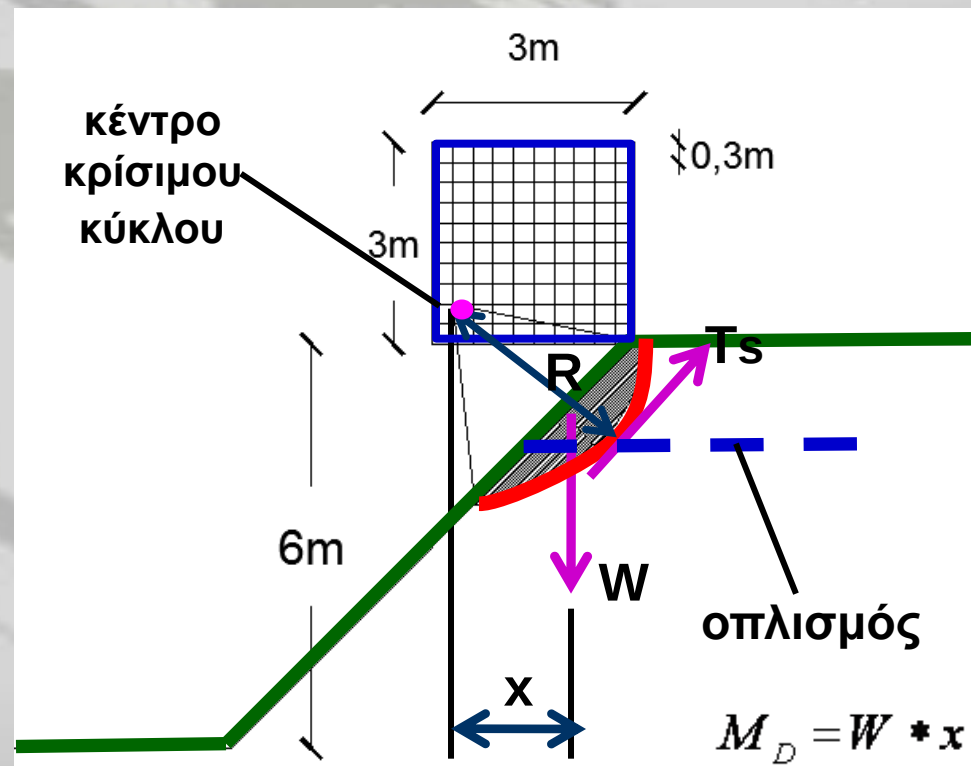
- Τροποποιημένη μέθοδος Bishop (1954)
(ανάπτυξη λογισμικού σε Fortran)

$$T_S = (FS_R - FS_U) \frac{M_D}{R}$$

- ✓ προσδιορισμός της συνολικής απαιτούμενης εφελκυστικής δύναμης (T) των γεωσυνθετικών ώστε $FS = 1$ (EC 8, 2003)

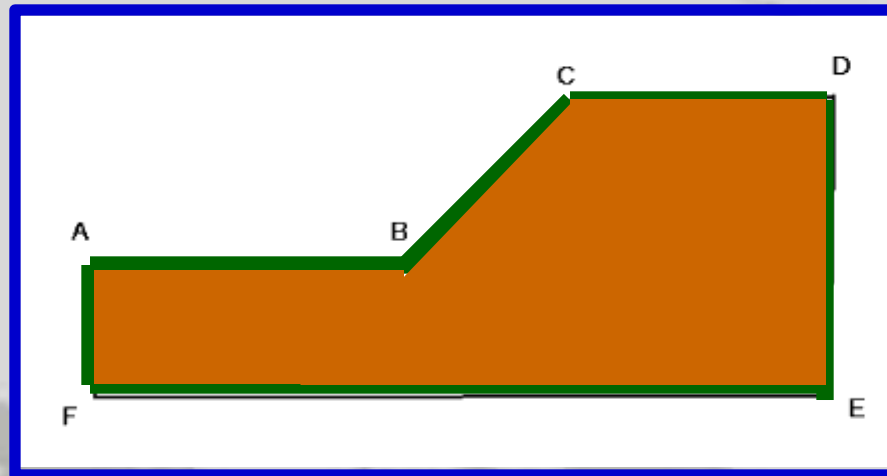
■ Παραδοχές

- ✓ ίση εφελκυστική δύναμη σε κάθε στρώση γεωσυνθετικού
- ✓ το μήκος των οπλισμών είναι επαρκές ώστε να αποφευχθεί η εξόλκευση
- ✓ οι εφελκυστικές δυνάμεις του οπλισμού δρουν εφαπτομενικά προς τον κύκλο που ορίζει την επιφάνεια αστοχίας (FWHA, 2001)



Ψευδοστατική μέθοδος

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά εξεταζόμενων πρανών



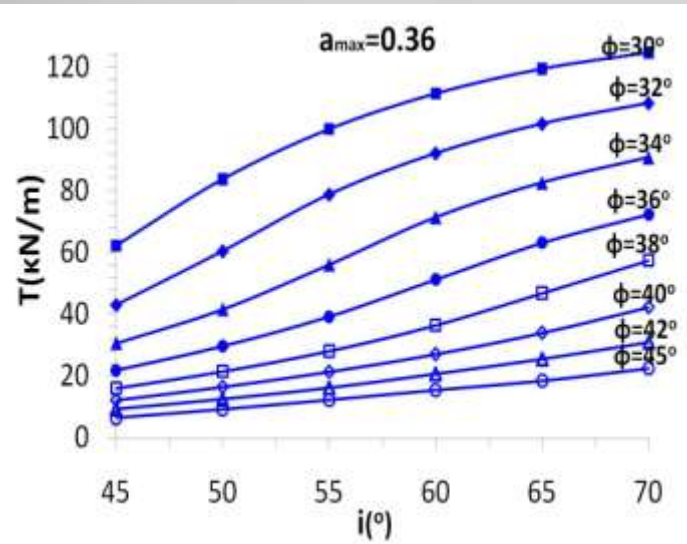
- πρανών με αναβαθμούς
- πρανές με ομοιογενές εδαφικό υλικό

Παραμετρική διερεύνηση

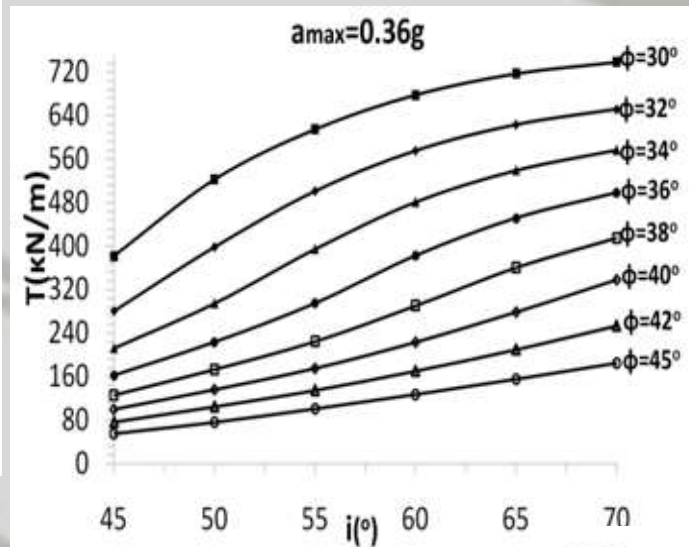
- ✓ ύψος (6m - 30m)
- ✓ σεισμικός συντελεστής (0.16g,0.24g,0.36g) (ΕΑΚ2000)
- ✓ κατακόρυφη συνιστώσα (με και χωρίς)
- ✓ κλίση πρανούς (45° – 70°)
- ✓ γωνία εσωτερικής τριβής (30° – 45°)

Επίδραση ύψους, κλίσης & γωνίας τριβής

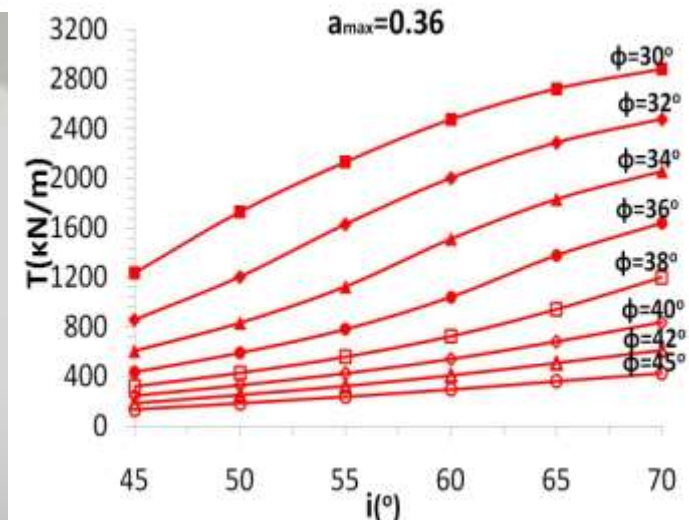
H = 6m



H = 15m



H = 30m



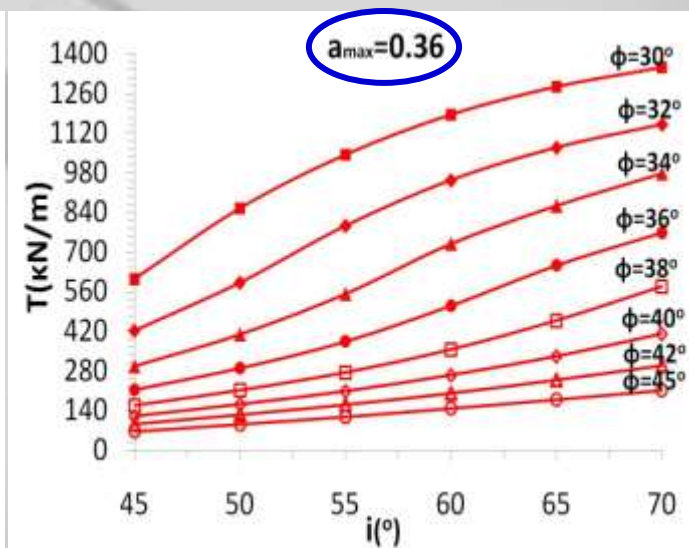
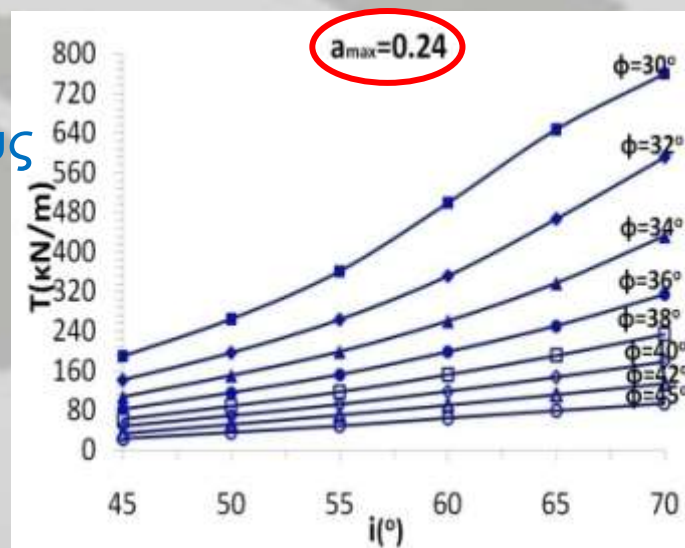
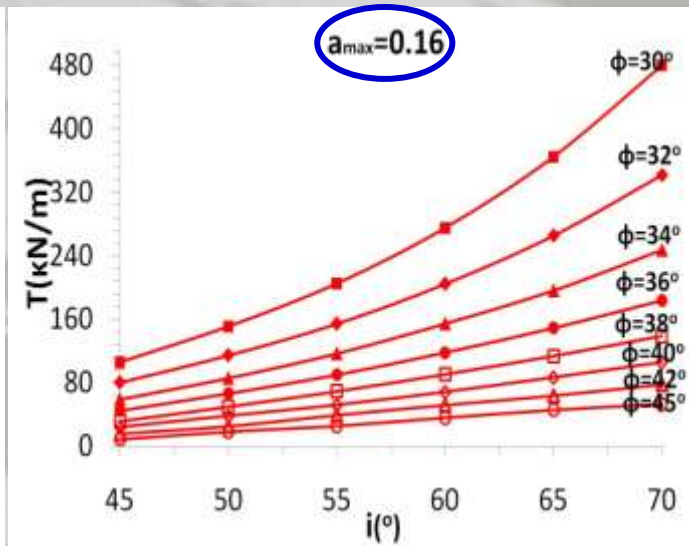
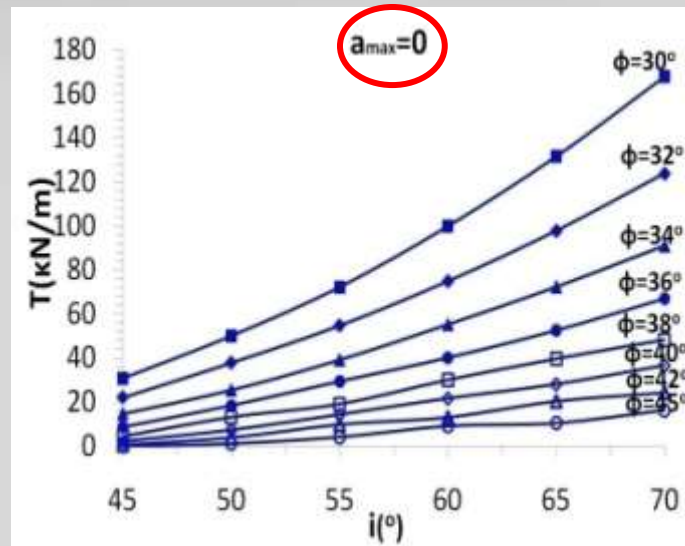
✓ **αύξηση ύψους & κλίσης** $\Rightarrow$ **αύξηση T** $\Rightarrow$ αυξάνει πολύ τον κίνδυνο αστοχίας του πρανούς

✓ **αύξηση γωνίας τριβής** $\Rightarrow$ **μείωση T** $\Rightarrow$ εφαρμογή μικρότερης δύναμης του εδάφους

Επίδραση οριζόντιας επιτάχυνσης

$H = 20\text{m}$

$a_h \neq 0$ & $a_v = 0$



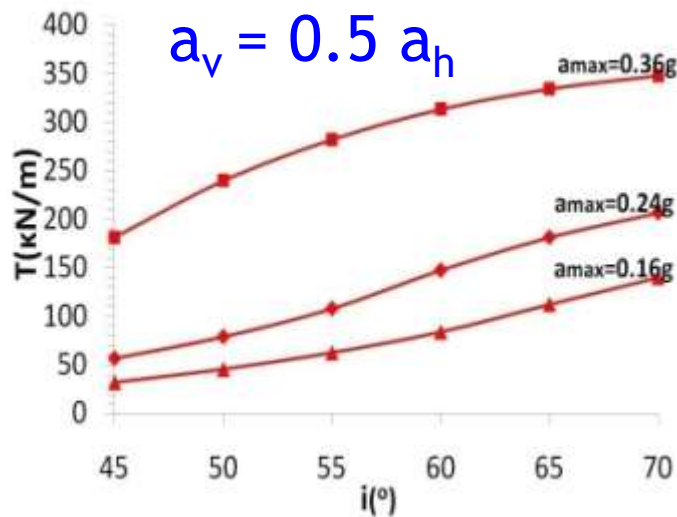
αύξηση επιτάχυνσης $\Rightarrow$
αύξηση $T \Rightarrow$ αυξάνει
πολύ τον κίνδυνο
αστοχίας του πρανούς

Επίδραση κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης

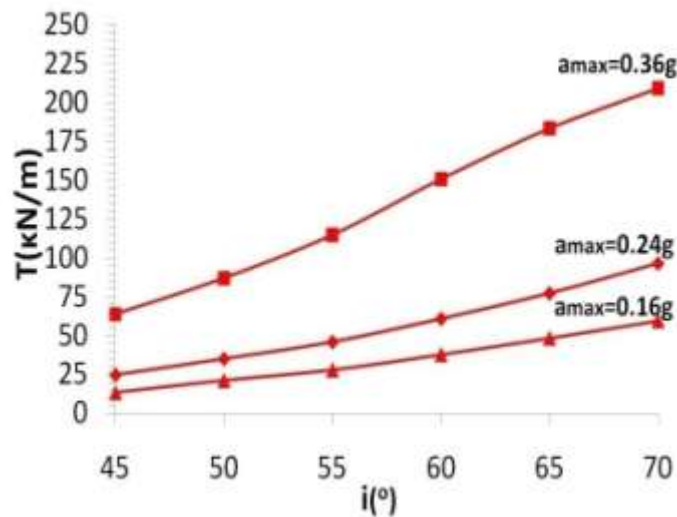
■ $H = 10\text{m}$

$\varphi = 30^\circ$

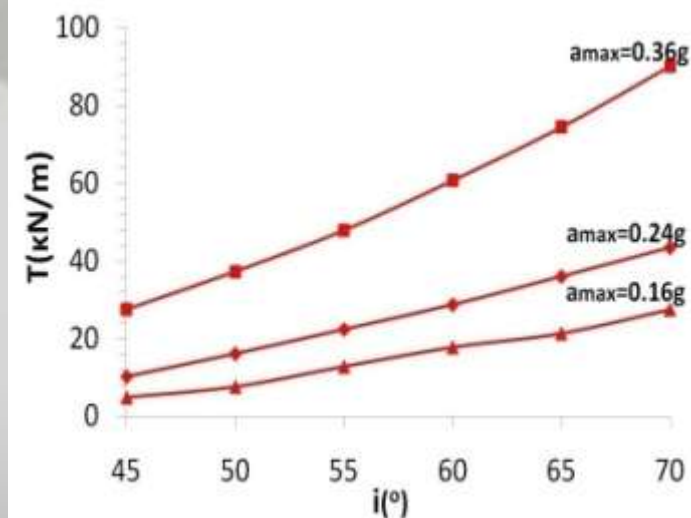
$a_v = 0.5 a_h$



$\varphi = 36^\circ$



$\varphi = 42^\circ$

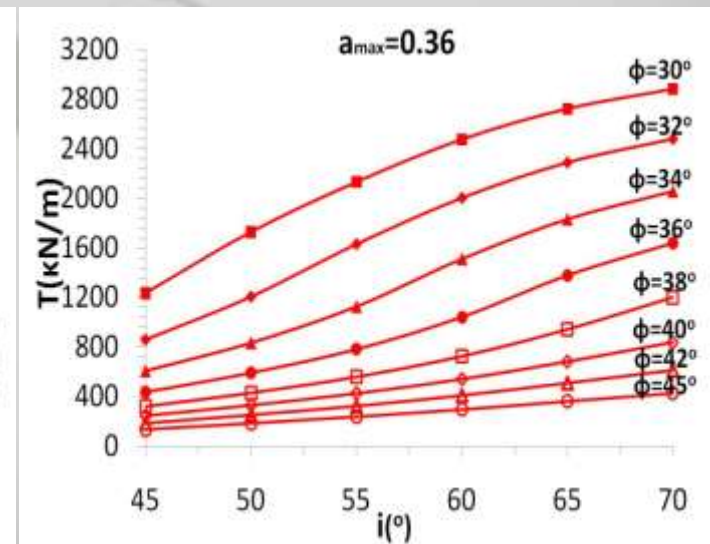
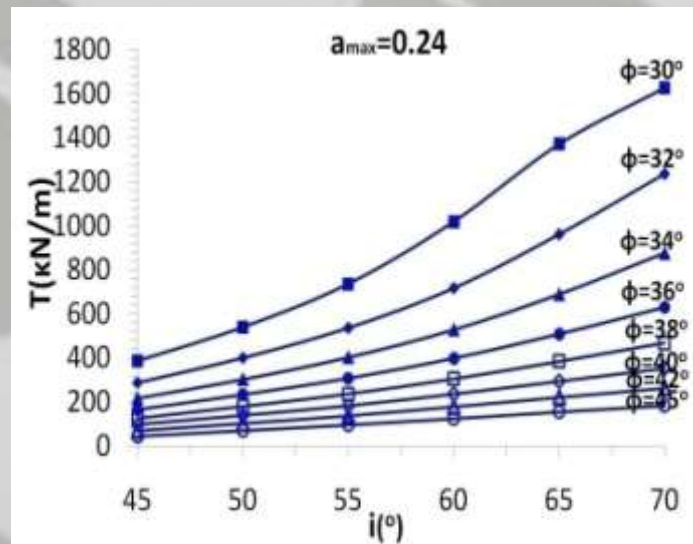
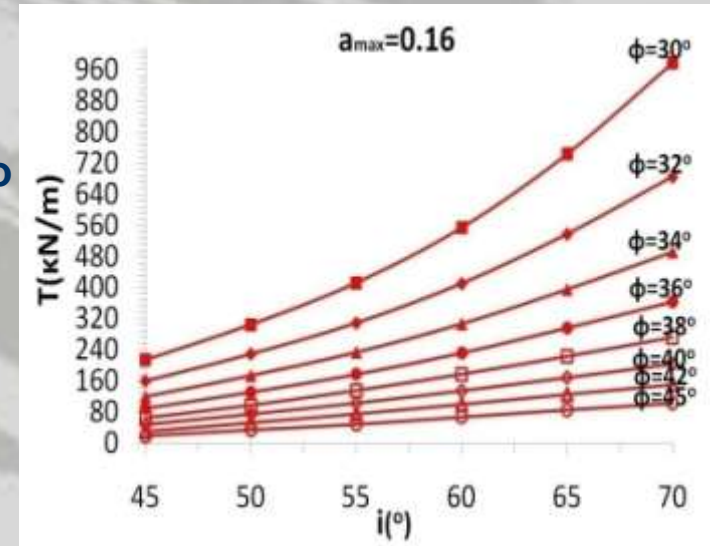


αύξηση T όταν επιδρά η κατακόρυφη σεισμική συνιστώσα

Διαγράμματα προκαταρκτικού σχεδιασμού οπλισμένων πρανών



- $\phi = 30^\circ$ έως 45°
- $H = 30\text{m}$



Ευρήματα της διερεύνησης

■ αύξηση

- ✓ ύψους πρανούς (ο πιο κρίσιμος παράγοντας)

- ✓ σεισμικού συντελεστή

- ✓ κλίσης του πρανούς

- ⇒ αύξηση της απαιτούμενης δύναμης των οπλισμών

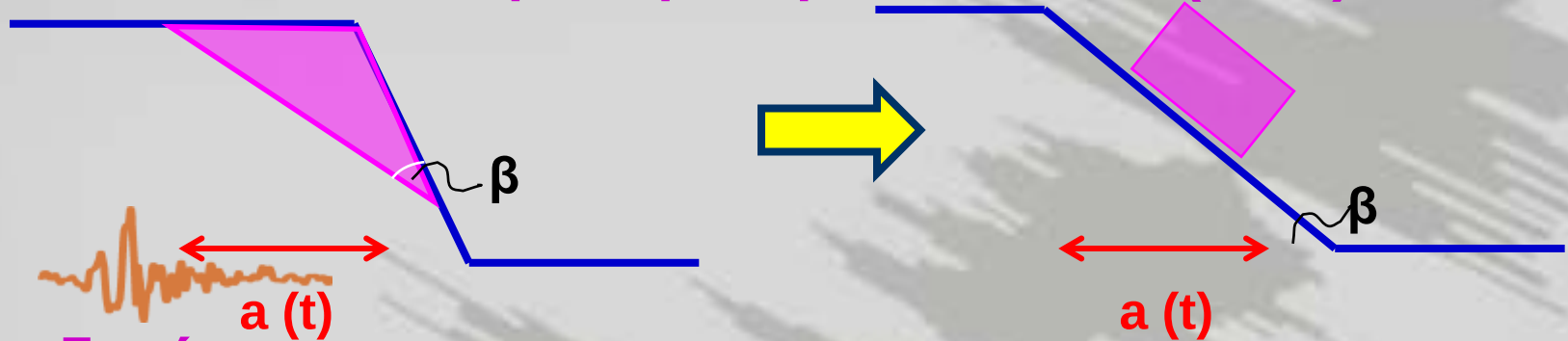
■ αύξηση

- ✓ της γωνίας εσωτερικής τριβής

- ⇒ μείωση της απαιτούμενης δύναμης των οπλισμών

Μέθοδος μόνιμων παραμορφώσεων

Κλασσικό προσομοίωμα Newmark (1965)



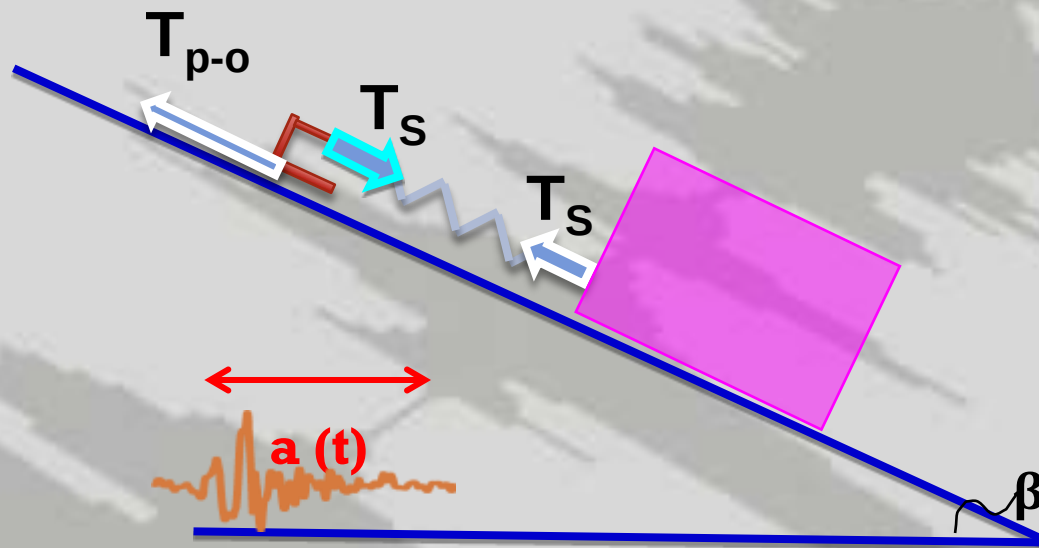
■ Παραδοχές

- ✓ τέμαχος ολισθαίνει επί κεκλιμένου επιπέδου: **άκαμπτο**
- ✓ επιφάνεια αστοχίας: **επίπεδη**
- ✓ επιβαλλόμενη σεισμική κίνηση: **οριζόντια**
- ✓ σχέση τάσεων – παραμορφώσεων: **απολύτως πλαστική**
- όταν αδρανειακές δυνάμεις του άκαμπτου στερεού υπερβούν τη διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας => **σεισμικές μετακινήσεις**

$$d = \iint [a(t) - a_y(t)] dt$$

Μέθοδος μόνιμων παραμορφώσεων

τροποποιημένο προσομοίωμα Newmark για οπλισμένα
πρανή (Paulsen 2002) (ανάπτυξη λογισμικού σε Fortran)



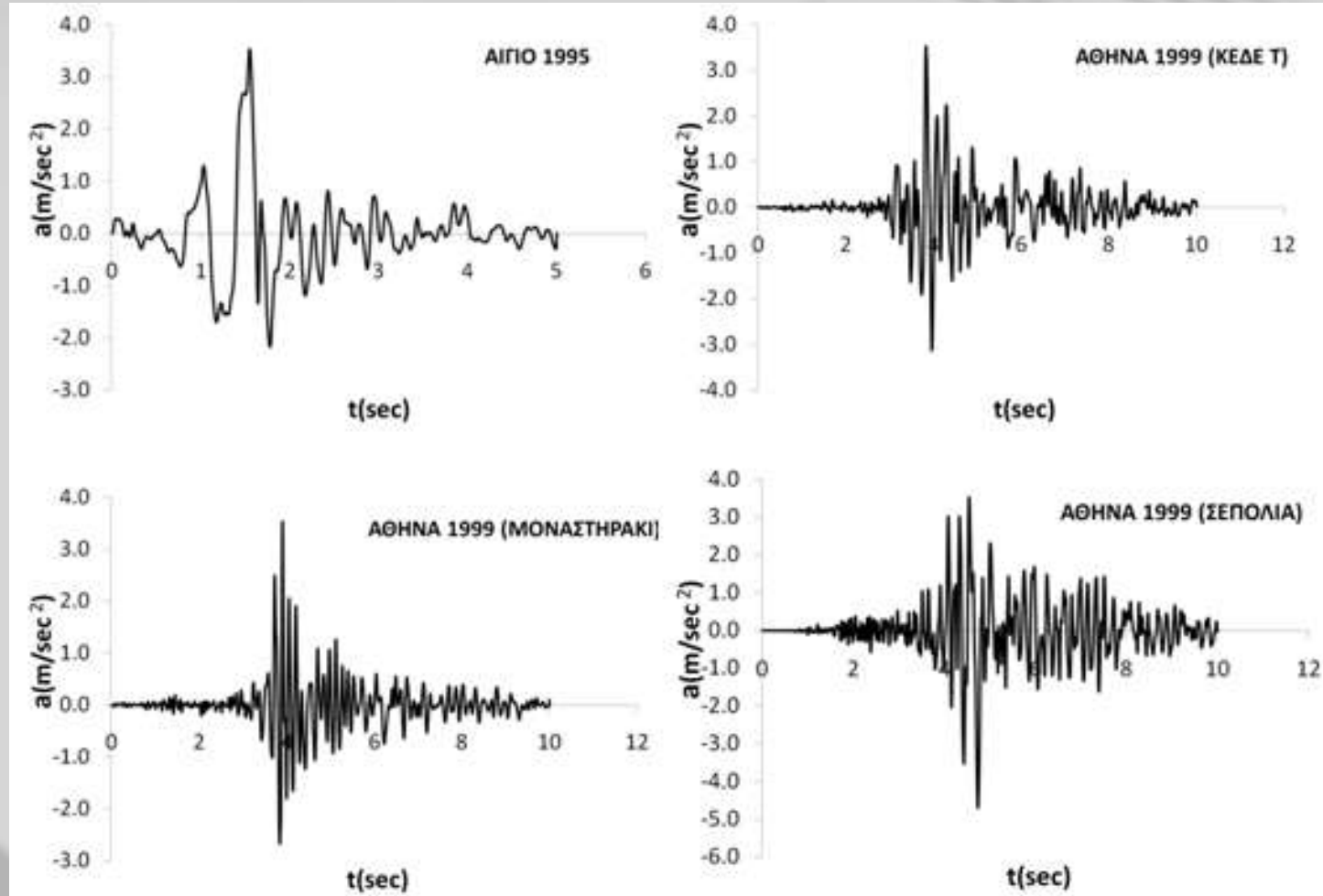
τροποποιήσεις :

1. ελαστικό ελατήριο (T_s) : επιμήκυνση οπλισμού όταν καταπονείται εφελκυστικά
2. ολισθητήρα (T_{p-o}) : εξόλκευση ενίσχυσης πρανούς

Παραμετρική διερεύνηση

- ✓ λόγος της ακαμψίας του περιεχόμενου οπλισμού στην ολισθαίνουσα εδαφική μάζα προς τη συνολική εδαφική μάζα (k / m) (4 τιμές)
- ✓ γωνία εσωτερικής τριβής εδάφους ($\varphi = 15^\circ - 22.5^\circ$)
- ✓ κλίση κεκλιμένου επιπέδου (= κλίση της επιφάνειας ολίσθησης στην οριακή κατάσταση αστοχίας του πρανούς) ($\beta = 18^\circ - 25^\circ$)
- ✓ σεισμική διέγερση (4 σεισμικές καταγραφές x 2 διευθύνσεις)
- ✓ επίπεδο μέγιστης επιτάχυνσης (0.16g, 0.24g, 0.36g)

Παραμετρική διερεύνηση



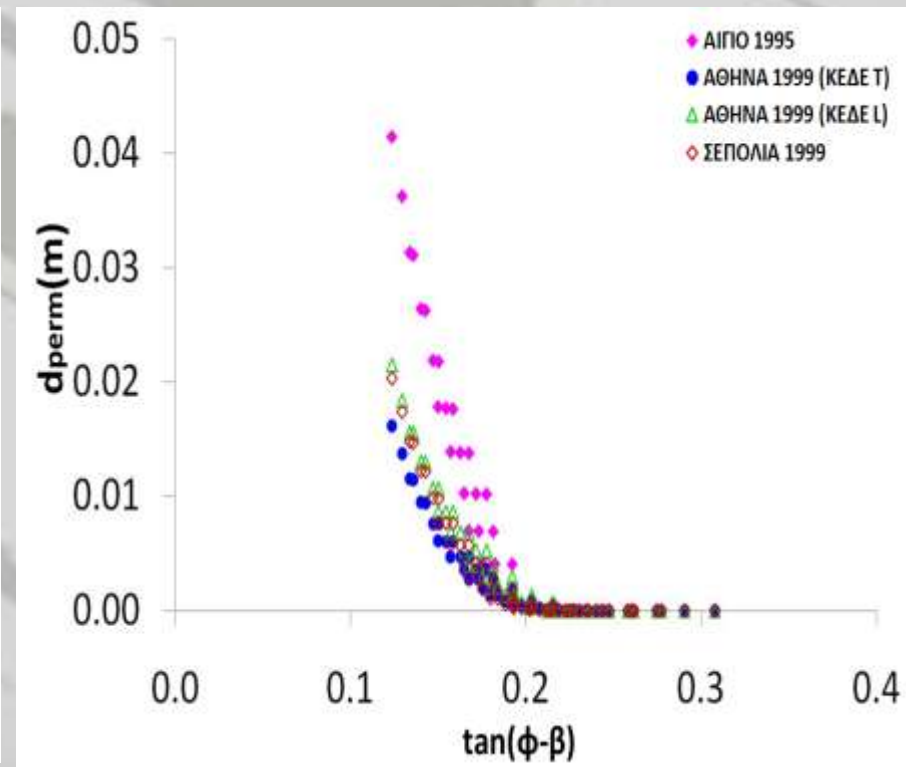
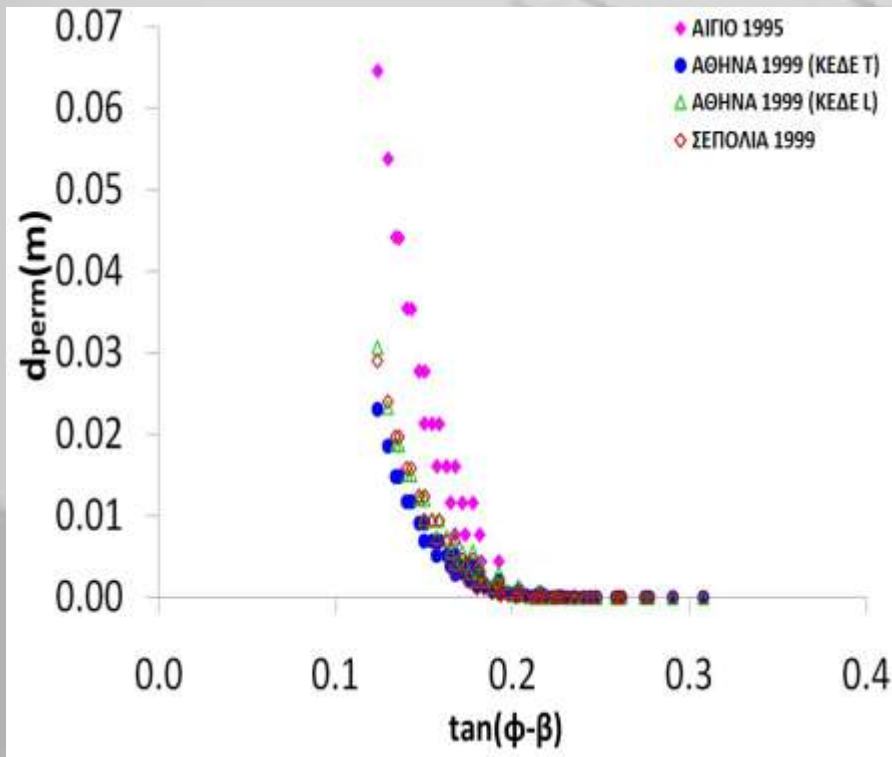
Χρονοϊστορίες των επιβαλλόμενων επιταχύνσεων για μέγιστη επιτάχυνση ίση με $0.36g$.

Μέθοδος μόνιμων παραμορφώσεων

επίδραση του λόγου k/m για $a_{\max} = 0.36g$

$k / m = 10$

$k / m = 50$

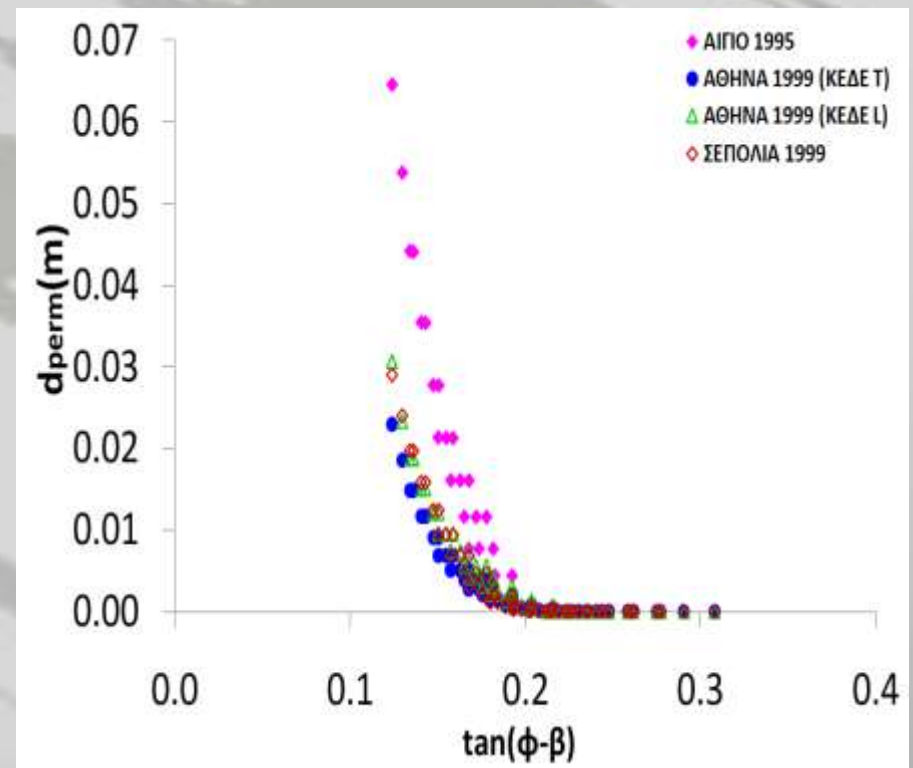
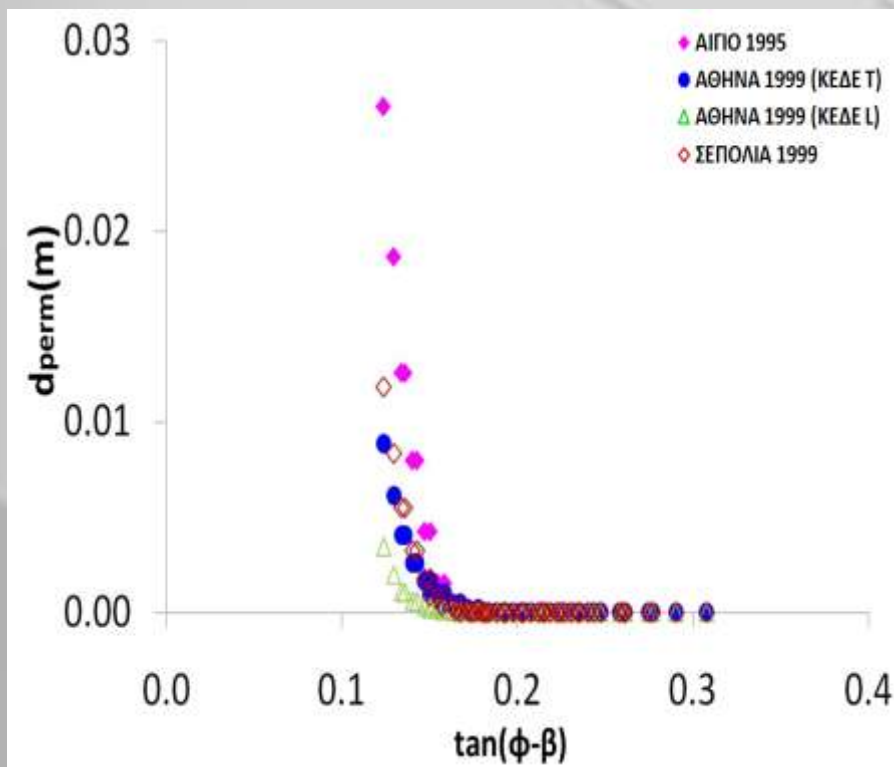


Μέθοδος μόνιμων παραμορφώσεων

επίδραση του $a_{\max}$ για λόγο $k/m=10$

$$a_{\max} = 0.24g$$

$$a_{\max} = 0.36g$$



Ευρήματα της διερεύνησης

- **αύξηση** της επιβαλλόμενης επιτάχυνσης
- **μείωση** της κρίσιμης επιτάχυνσης $\tan(\varphi-\beta)$
 - ⇒ αύξηση των μόνιμων μετακινήσεων
- **αύξηση** της πυκνότητας του οπλισμού (λόγου k/m)
 - ⇒ μείωση των μόνιμων μετακινήσεων
- **συχνοτικό περιεχόμενο σεισμικής διέγερσης**

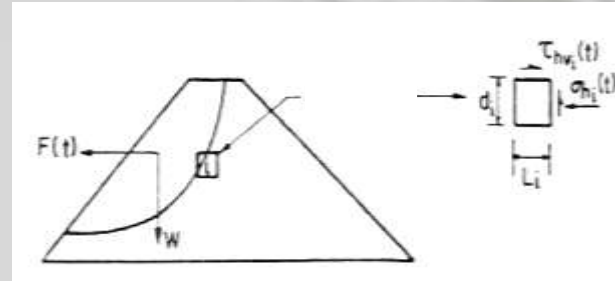
ουσιαστική επιρροή στις μόνιμες παραμορφώσεις (η παλμική διέγερση του Αιγίου με μεγαλύτερη δεσπόμενη περίοδο από τις άλλες τρεις προκαλεί μεγαλύτερες μετακινήσεις)

Σεισμική ευστάθεια: Β' μέρος

- Ασύζευκτη προσέγγιση
- Συζευγμένη προσέγγιση

(ανάπτυξη λογισμικού σε Fortran)

(ανάπτυξη λογισμικού σε Fortran)



$$HEA(t) = F(t) / W$$

- Δύο διαδοχικά βήματα:

2. διπλή ολοκλήρωση της σχετικής επιτάχυνσης ($HEA(t) - a_{crit}$) $\Rightarrow$ υπολογισμός μετακινήσεων (μόνιμων παραμορφώσεων)

Συζευγμένη μεθοδολογία

■ Συζευγμένη μεθοδολογία

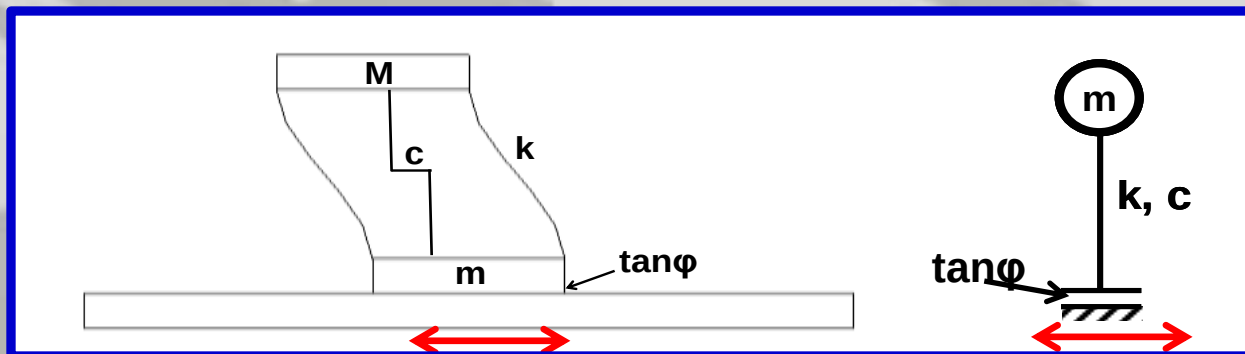
– Ένα βήμα:

λαμβάνονται ταυτόχρονα υπόψη η δυναμική απόκριση της ολισθαίνουσας εδαφικής μάζας και η ανάπτυξη της συσσωρευόμενης ολίσθησης (ABAQUS)



• Μονοβάθμια & Πολυβάθμια συστήματα

• προκειμένου να εξαλειφθεί η παραδοχή της άκαμπτης μάζας κατά Newmark $\Rightarrow$ προσομοίωμα ολίσθησης των Westermo & Udwardia (1983)

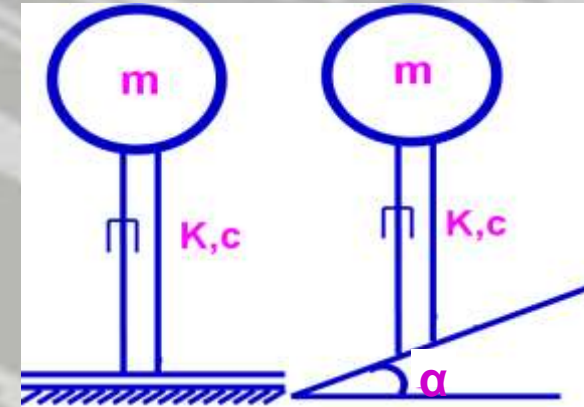


Μονοβάθμιος ταλαντωτής (1M)

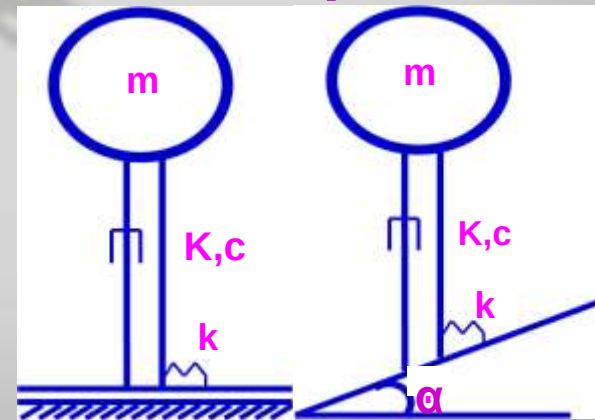
τέσσερα διακριτά στοιχεία

- συγκεντρωμένη μάζα (εδαφική μάζα m)
- αποσβεστήρας (συντελεστή απόσβεσης c)
- δοκός (δυσκαμψία K)
- ολισθητήρας μεταξύ του μονοβάθμιου ταλαντωτή και του εδάφους (διατμητική αντοχή διεπιφάνειας $\tan\varphi$)
- **ελατήριο** (δυσκαμψίας k) στη βάση που αντιπροσωπεύει το συνολικό οπλισμό

άοπλο



οπλισμένο

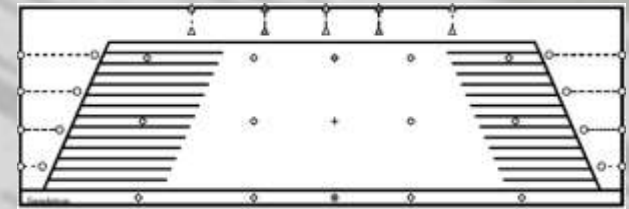


Βασικές Παράμετροι

- ιδιοπερίοδος συστήματος T_{str}
 - περίοδος επιβαλλόμενης κίνησης T
 - μέγιστη επιβαλλόμενη επιτάχυνση a_{max}
 - διατμητική αντοχή διεπιφάνειας $\tan\phi$
 - οπλισμός δυσκαμψίας k
- **λόγος $\beta = T_{str}/T$** (“tuning ratio”)
 - **λόγος $r_{ay} = \tan\phi * g / a_{max}$** (“yield acceleration ratio”, λόγος της κρίσιμης επιτάχυνσης προς τη μέγιστη επιτάχυνση)

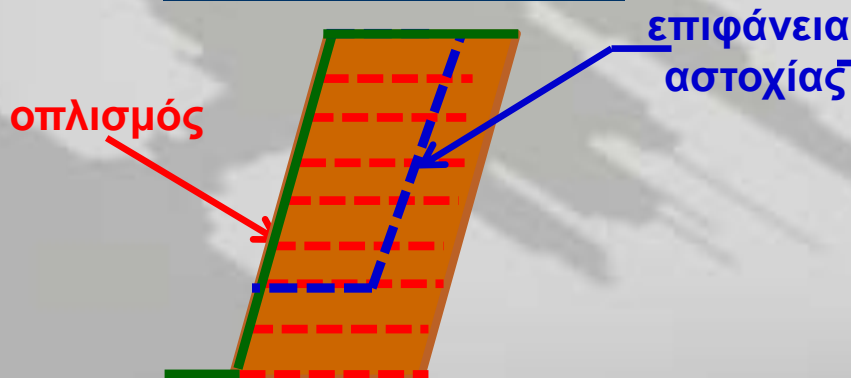
Παραμετρική διερεύνηση

- αρμονική διέγερση $T=0.29\text{sec}$
- απόσβεση (ξ)= 5% & 10%
- $\tan\phi \cdot g = 0.4$
- $k = 150\text{kN/m/m}$
- $\beta = T_{\text{str}}/T = 0.6 \sim 2.0$
- $\tan\phi \cdot g / a_{\text{max}} = r_{\text{ay}} = 1.0 \text{ \& \; } 0.5$ ($a_{\text{max}} = 0.4g \text{ \& \; } 0.8g$)
- επίπεδο ολίσθησης για δύο περιπτώσεις αστοχίας:

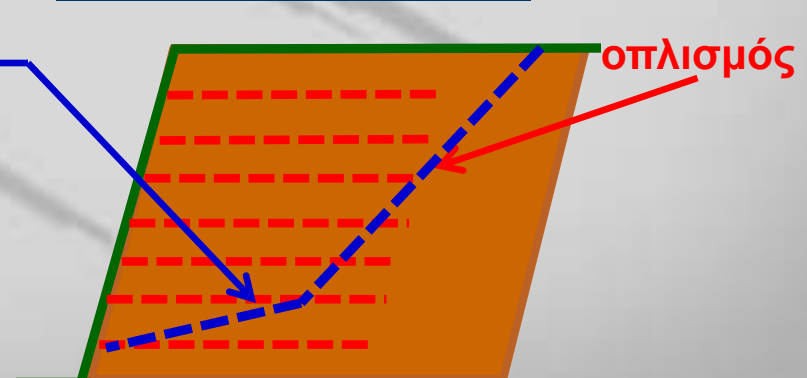


Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν στο πείραμα φυγοκέντρισης των Nova-Roessig & Sitar (2006), παρέχοντας μια ρεαλιστική βάση

οριζόντιο επίπεδο



κεκλιμένο επίπεδο

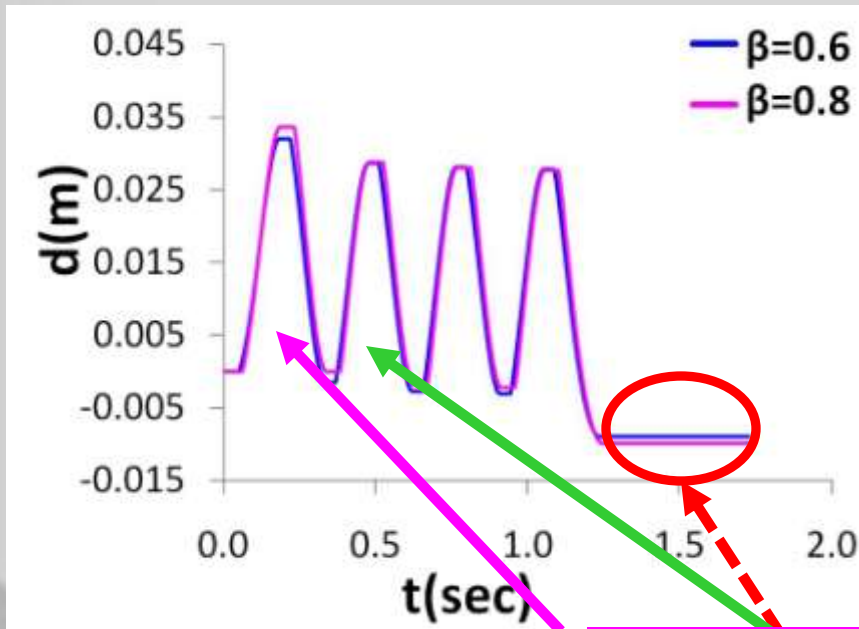


Συζευγμένη μεθοδολογία

■ Επίδραση του λόγου β

αύξηση λόγου $\beta = T_{str}/T < 1.0$ (αύξηση ευκαμψίας)

⇒ αύξηση μετακινήσεων ολίσθησης και παραμένουσας ολίσθησης



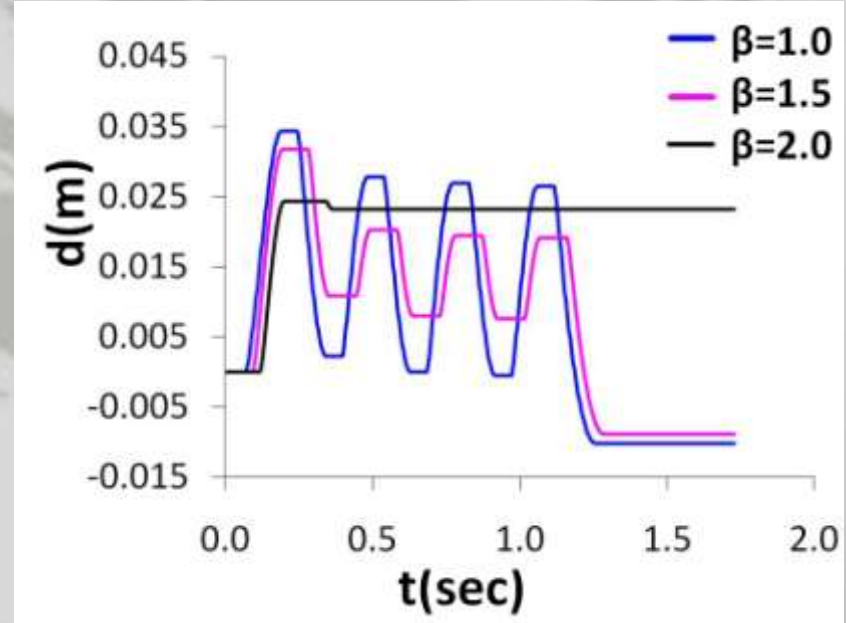
οριζόντιο επίπεδο

$$\tan\phi \cdot g/a_{max} = 0.5$$

$$k = 150 \text{ kN/m/m}$$

αύξηση λόγου of $\beta = T_{str}/T > 1.0$

⇒ μείωση μετακινήσεων ολίσθησης



■ Οι τιμές μετακίνησης του πρώτου κύκλου ολίσθησης είναι μεγαλύτερες από τις τιμές του δεύτερου κύκλου => ανάπτυξη παραμενουσών μετακινήσεων ολίσθησης

Συζευγμένη μεθοδολογία

■ Επίδραση του λόγου β

αύξηση λόγου $\beta = T_{str}/T < 1.0$ (αύξηση ευκαμψίας)

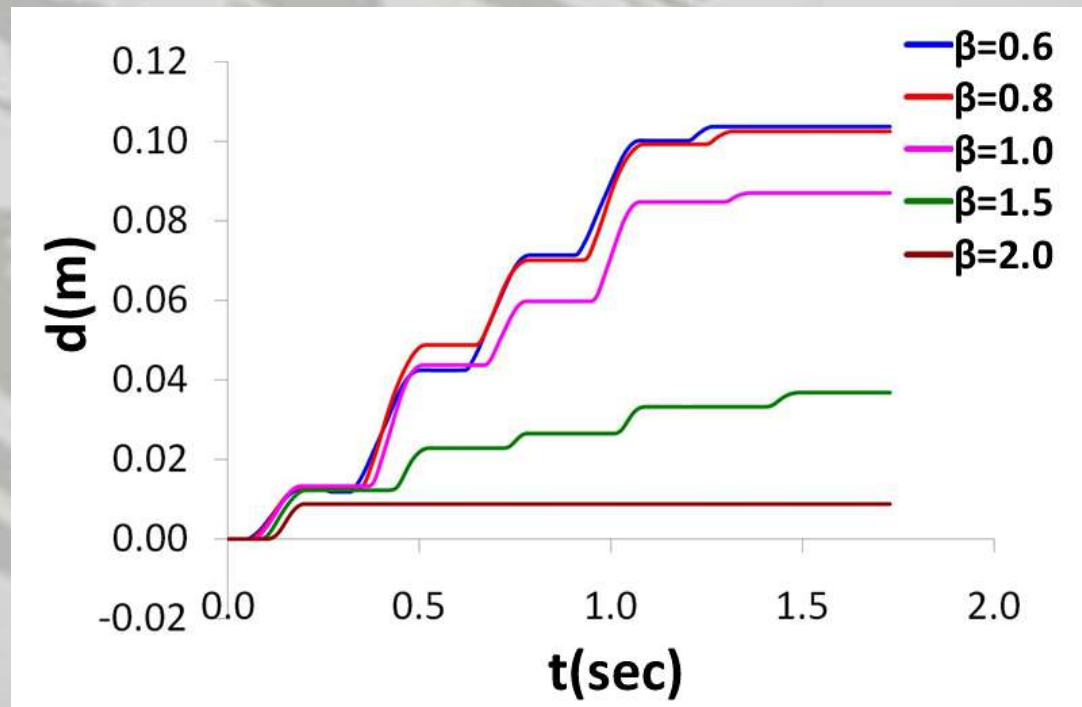
⇒ αύξηση μετακινήσεων ολίσθησης και παραμένουσας ολίσθησης

το αντίθετο ισχύει όταν $\beta = T_{str}/T > 1.0$

κεκλιμένο επίπεδο

$$\tan(\varphi - \alpha) \cdot g / a_{\max} = 0.5$$

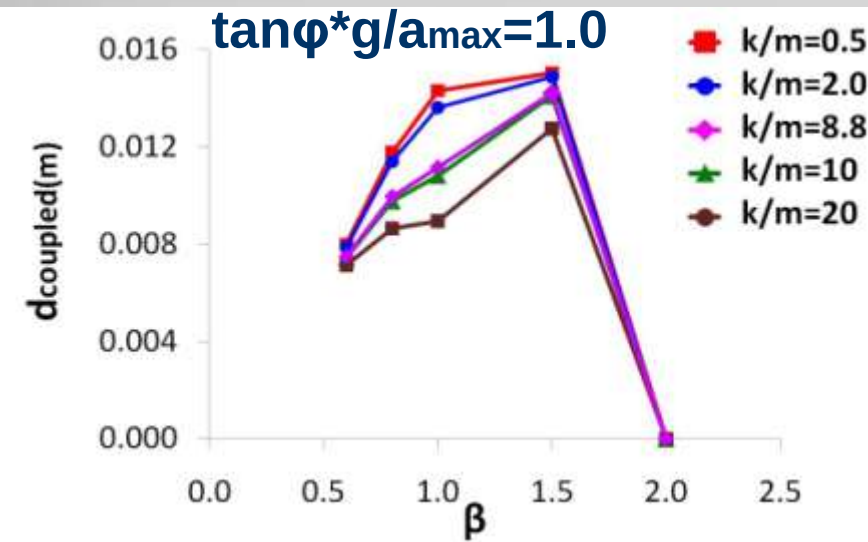
$$k = 150 \text{ kN/m/m}$$



Συζευγμένη μεθοδολογία

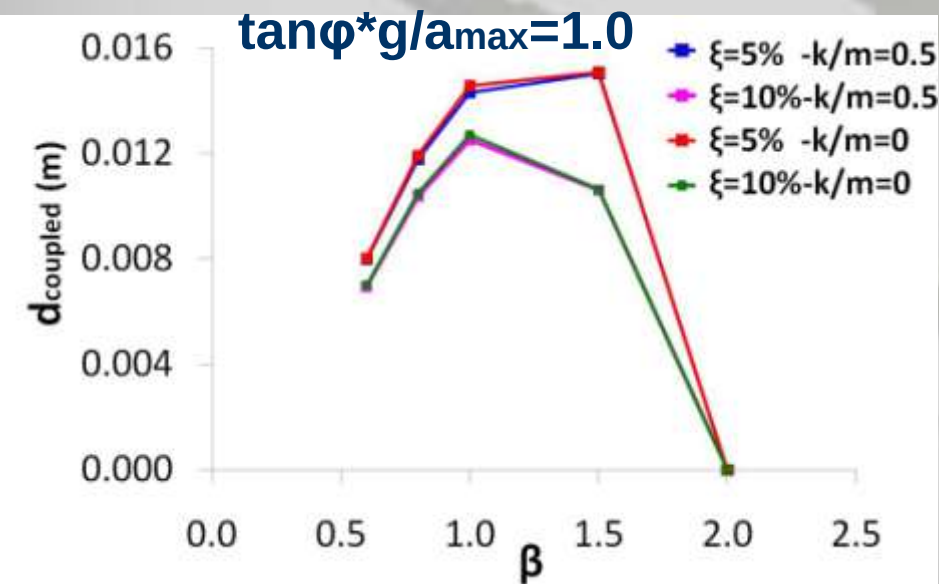
■ Επίδραση σπλισμού, λόγου $\tan\phi^*g/a_{max}$ & απόσβεσης

οριζόντιο επίπεδο



μείωση $\tan\phi^*g/a_{max} \Rightarrow$ αύξηση μετακινήσεων

αύξηση $\xi \Rightarrow$ μείωση μετακινήσεων

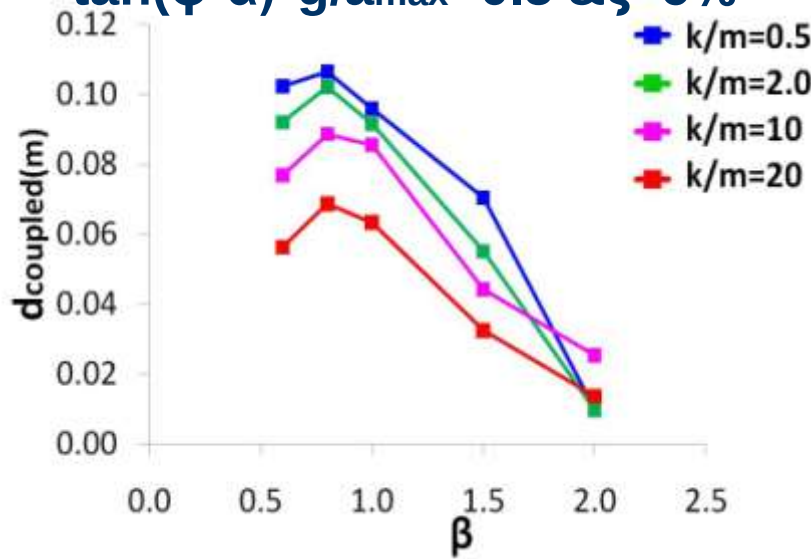


Συζευγμένη μεθοδολογία

■ Επίδραση οπλισμού, λόγου $\tan(\varphi-\alpha)*g/a_{\max}$ & απόσβεσης

$\tan(\varphi-\alpha)*g/a_{\max}=0.5$ & $\xi=5\%$

κεκλιμένο επίπεδο

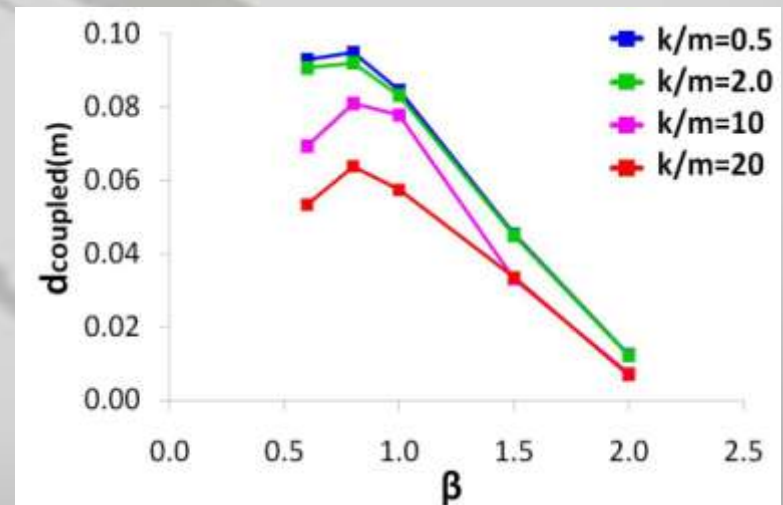
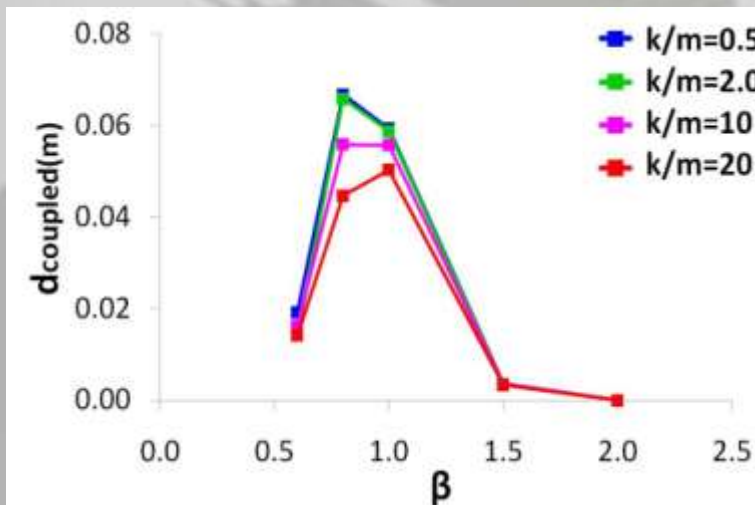


αύξηση k/m , $\xi \Rightarrow$ μείωση μετακινήσεων

μείωση λόγου $\tan(\varphi-\alpha)*g/a_{\max} \Rightarrow$
αύξηση μετακινήσεων (εντός ορίων)

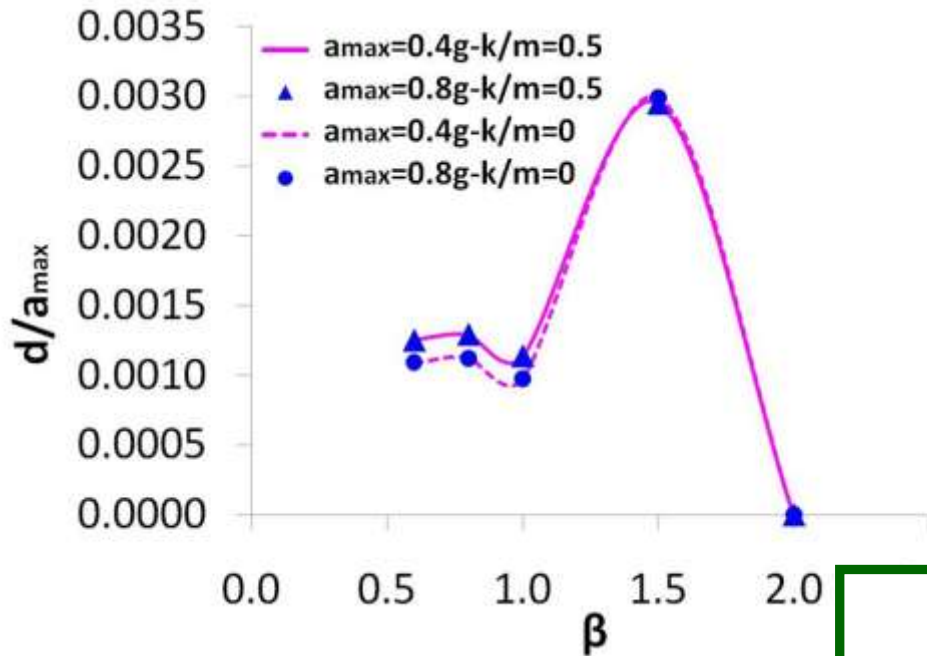
$\tan(\varphi-\alpha)*g/a_{\max}=1.0$ & $\xi=10\%$

$\tan(\varphi-\alpha)*g/a_{\max}=0.5$ & $\xi=10\%$



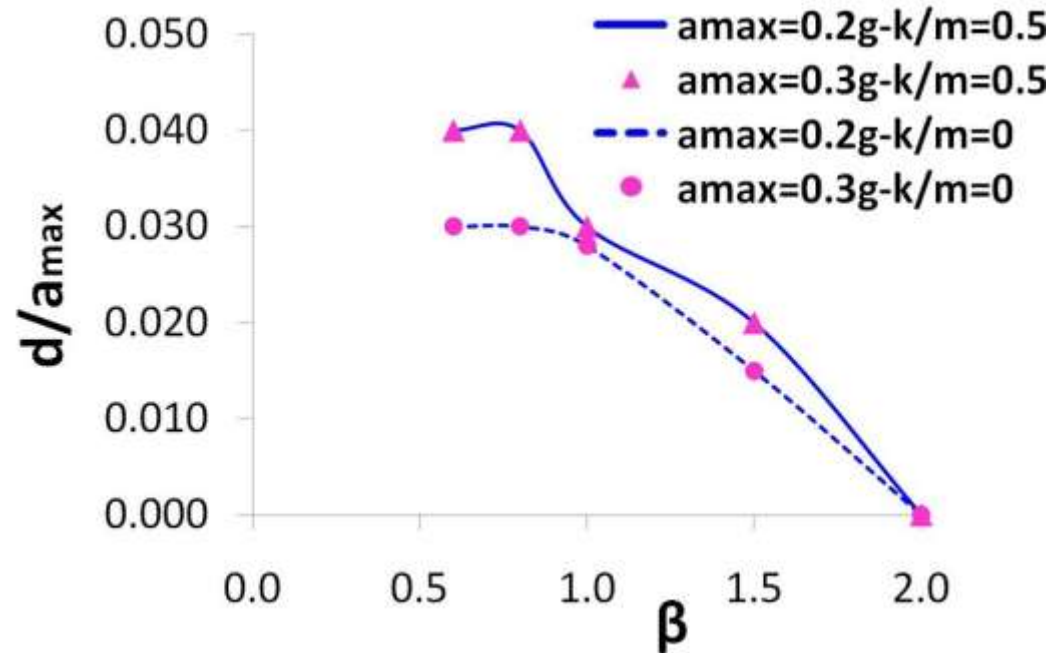
Αδιαστατοποίηση μετακινήσεων

οριζόντιο επίπεδο



- $(k/m=0)$ = άοπλος ταλαντωτής
- $(k/m=0.5)$ = οπλισμένος ταλαντωτής

κεκλιμένο επίπεδο



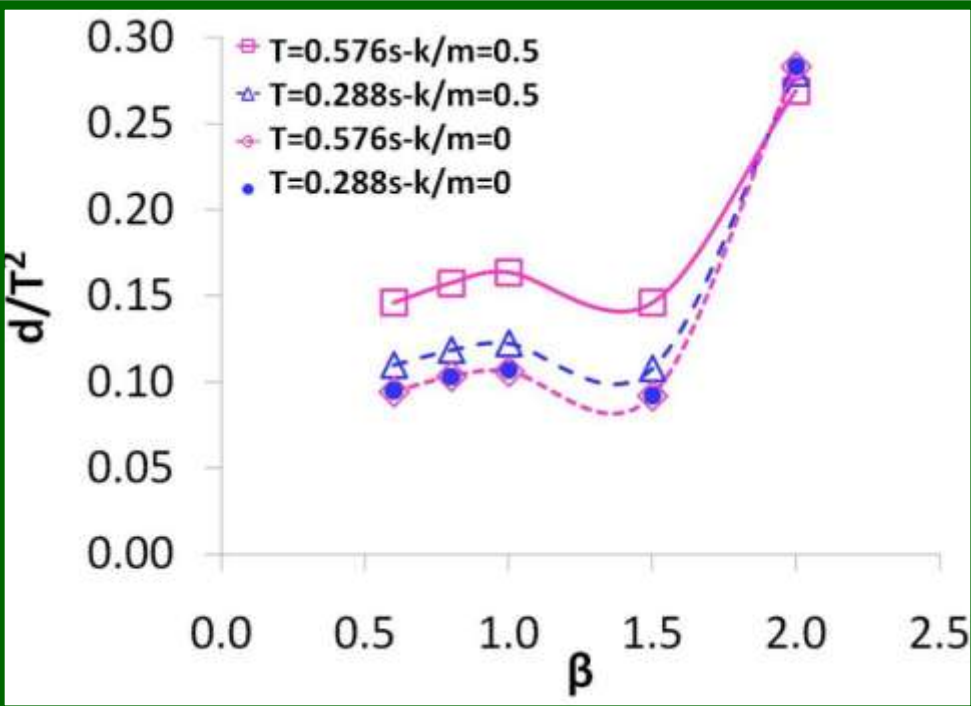
ικανοποιητική η
αδιαστατοποίηση ως προς:

- $a_{\max}$ (οπλισμένο και άοπλο)

τα αποτελέσματα αναφέρονται στην ίδια
 $\tan\phi \cdot g/a_{\max}$ (=0.5 και 1.0)

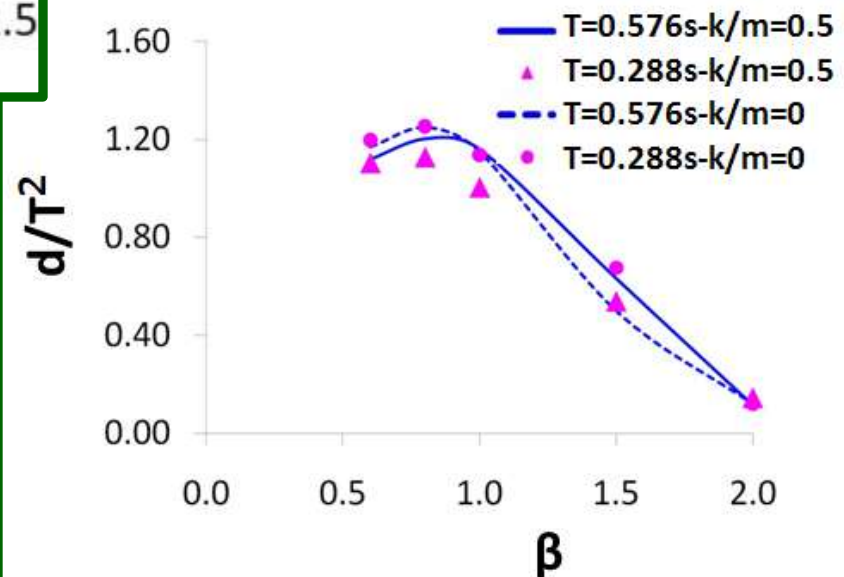
Αδιαστατοποίηση μετακινήσεων

οριζόντιο επίπεδο



- $(k/m=0)$ = άοπλος ταλαντωτής
- $(k/m=0.5)$ = οπλισμένος ταλαντωτής

κεκλιμένο επίπεδο



ικανοποιητική η
αδιαστατοποίηση ως προς:

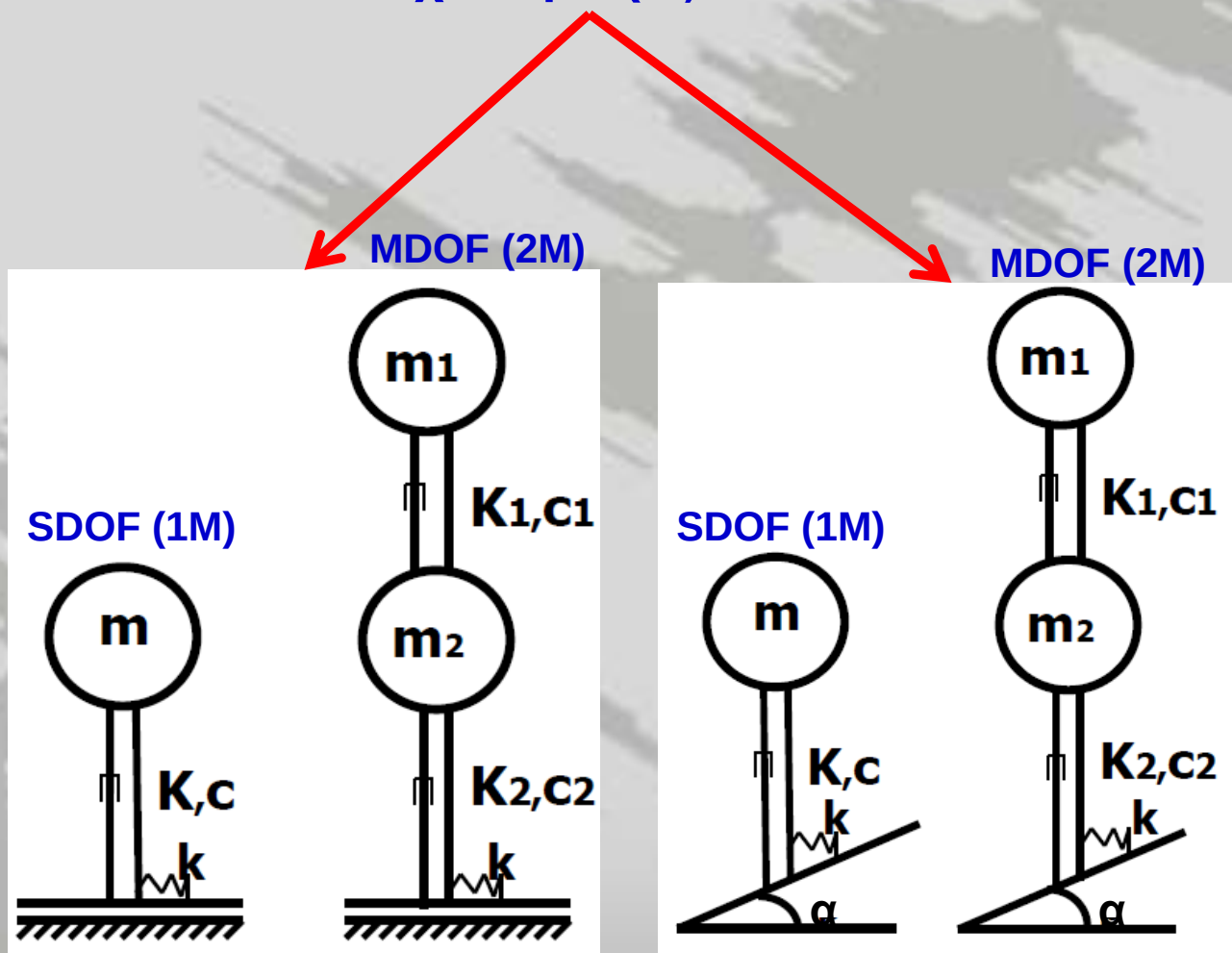
- T^2 (μόνο άοπλο)

τα αποτελέσματα αναφέρονται στην ίδια τιμή
 $\tan\phi \cdot g/a_{\max}$ (=0.5 και 1.0)

Διβάθμιος ταλαντωτής (2M)

ταυτόσημες ιδιότητες των δυο ταλαντωτών

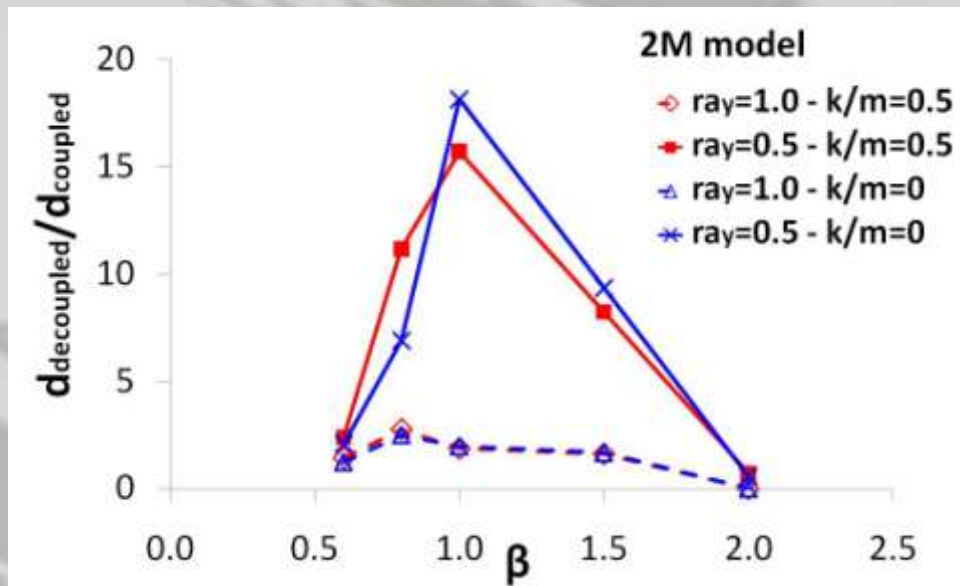
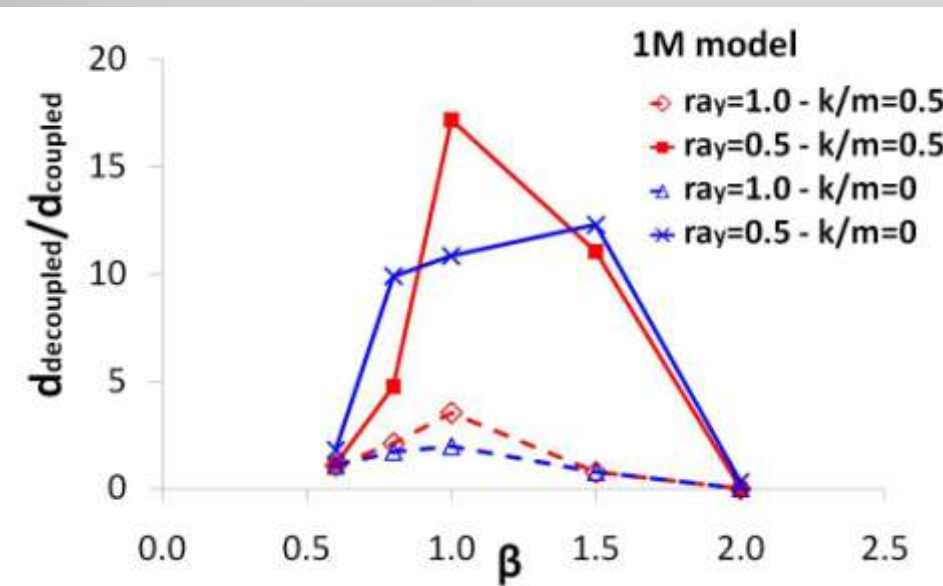
- ίδια μάζα στη βασική ιδιομορφή (m_{eff})
- ίδια ιδιοσυχνότητα (ω)



Ασύζευκτη - Συζευγμένη μεθοδολογία

■ Επίδραση του λόγου $r_{ay} = \tan\varphi * g/a_{max}$

οριζόντιο επίπεδο



■ μείωση $r_{ay} = \tan\varphi * g/a_{max}$

- ⇒ αύξηση του λόγου μετακινήσεων
- ⇒ αύξηση μετακινήσεων ολίσθησης

■ η προσέγγιση της ασύζευκτης μεθόδου υπερεκτιμά τις μόνιμες μετακινήσεις για $\beta < 1.5$

Ασύζευκτη - Συζευγμένη μεθοδολογία

οριζόντιο επίπεδο

Επίδραση απόσβεσης (ξ)

- ασύζευκτη ανάλυση παρέχει υψηλότερες παραμένουσες μετακινήσεις

✓ αύξηση απόσβεσης (ξ) =>

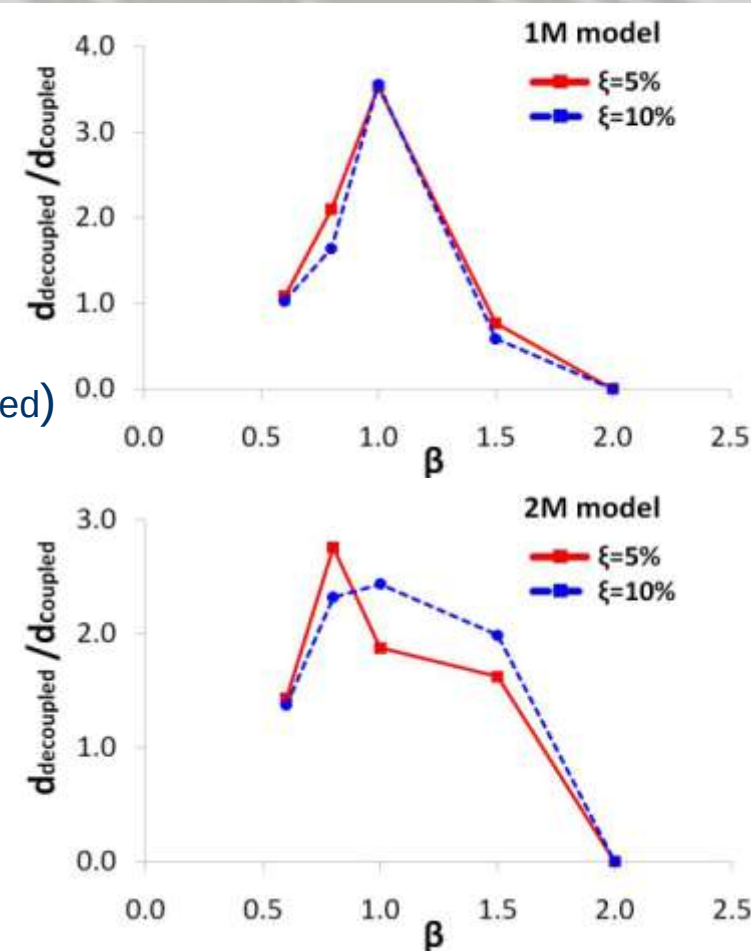
- μείωση παραμένουσων μετακινήσεων

✓ αύξηση απόσβεσης (ξ) =>

- οριακή μείωση του λόγου ($d_{\text{decoupled}}/d_{\text{coupled}}$)

για 1M ➡ δεν επηρεάζεται σημαντικά η ασύζευκτη προσέγγιση

- ασύζευκτη προσέγγιση πιο συντηρητική για 2M



Ασύζευκτη - Συζευγμένη μεθοδολογία

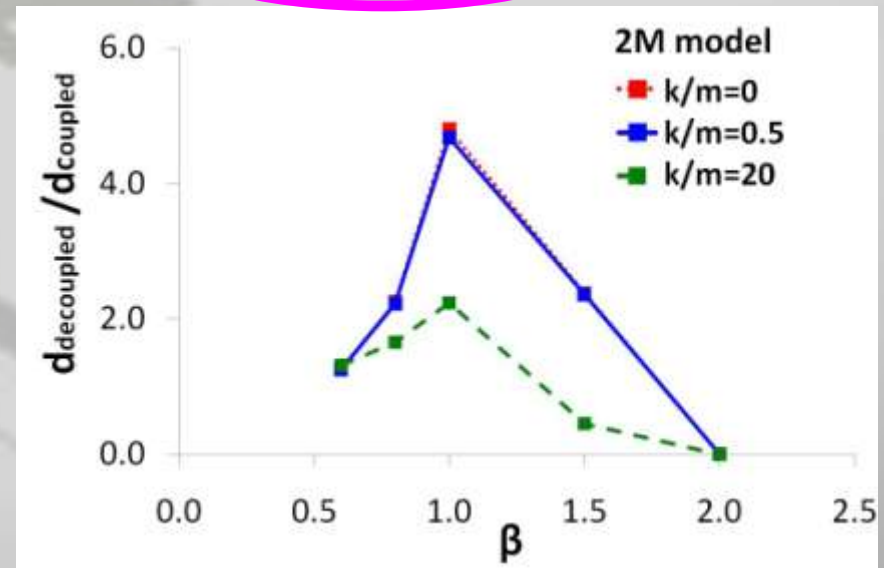
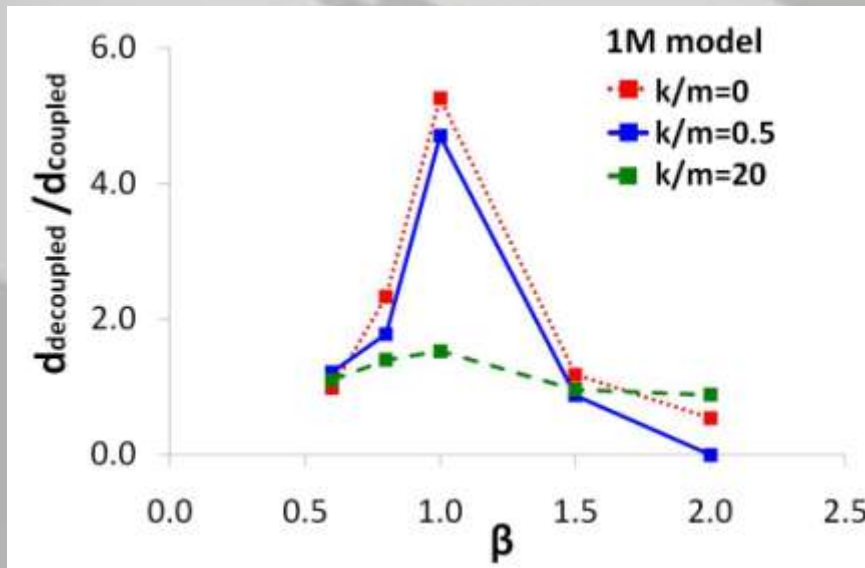
■ Επίδραση σπλισμού

κεκλιμένο επίπεδο

- ✓ αύξηση k/m
 - μείωση λόγου μετακίνησης & μετακίνησης ολίσθησης
- ✓ αύξηση των βαθμών ελευθερίας
 - μείωση του λόγου μετακίνησης όταν $\beta > 1$
- ✓ η ασύζευκτη προσέγγιση οδηγεί στην υπερεκτίμηση των μετακινήσεων για το 1M όταν $\beta > 1$

$$\tan(\varphi - \alpha) \cdot g/a_{\max} = 1.0$$

$\xi = 10\%$



Ασύζευκτη - Συζευγμένη μεθοδολογία

■ Επίδραση λόγου $r_{ay} = \tan(\varphi - \alpha) * g / a_{max}$ & απόσβεσης (ξ)

κεκλιμένο επίπεδο

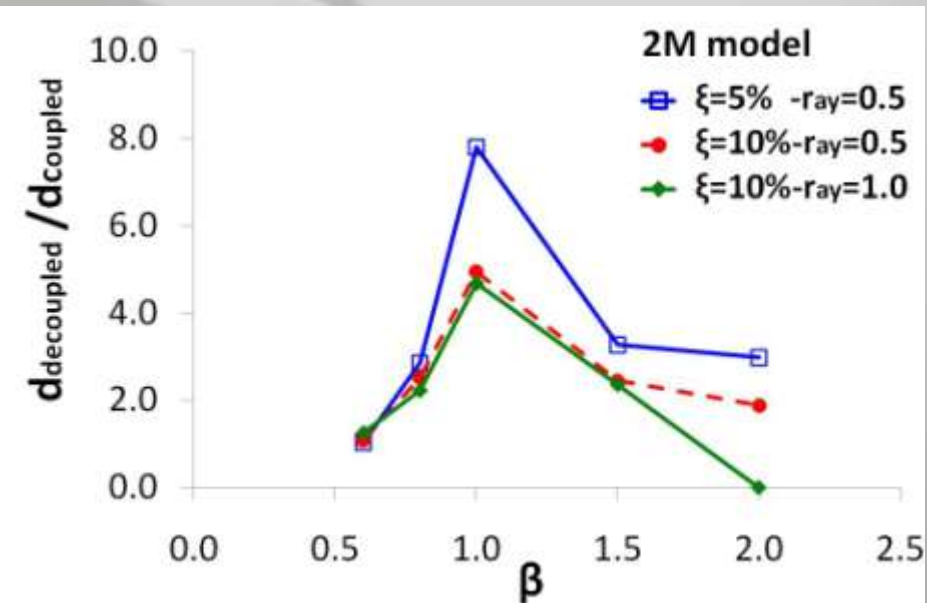
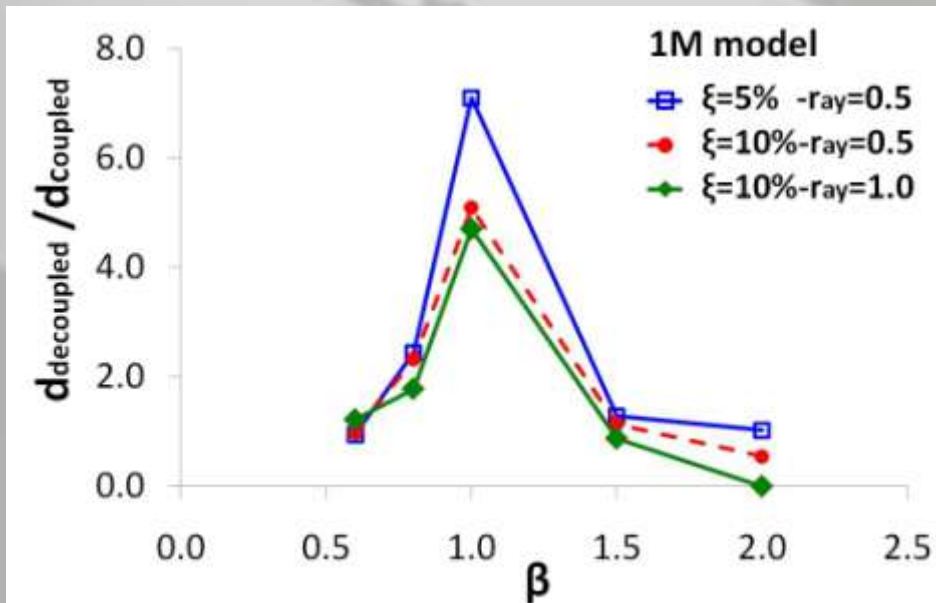
✓ μείωση του λόγου $r_{ay} = \tan(\varphi - \alpha) * g / a_{max}$ ➡

- αύξηση του λόγου μετακίνησης ($d_{decoupled} / d_{coupled}$)
- αύξηση μετακινήσεων ολίσθησης και παραμένουσας μετακίνησης

✓ αύξηση της απόσβεσης (ξ) ➡

- μείωση του λόγου μετακίνησης ($d_{decoupled} / d_{coupled}$)
- μείωση μετακινήσεων ολίσθησης και παραμένουσας μετακίνησης

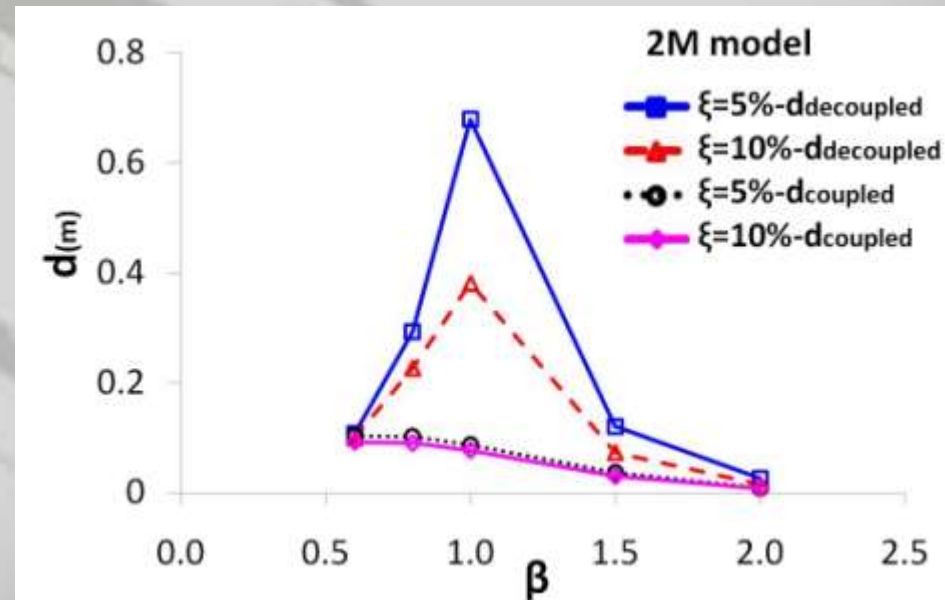
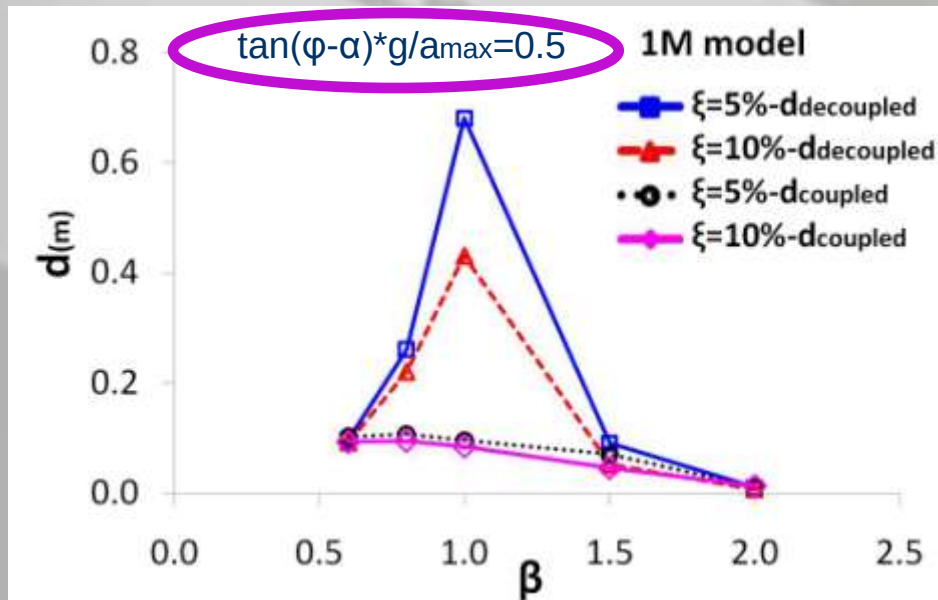
■ επίδραση των βαθμών ελευθερίας όταν $\beta > 1$



Ασύζευκτη - Συζευγμένη μεθοδολογία

■ Διαφορές μεταξύ ασύζευκτης και συζευγμένης προσέγγισης κεκλιμένο επίπεδο

- αύξηση απόσβεσης (ξ) $\Rightarrow$ μείωση των ασύζευκτων μετακινήσεων, αλλά δεν επηρεάζονται σημαντικά οι συζευγμένες μετακινήσεις
- οι μετακινήσεις ολίσθησης (συζευγμένη ανάλυση) δεν αυξάνονται όταν $\beta=1$, γεγονός που αποδίδεται στην τροποποιημένη ιδιοπερίοδο του ολισθαίνοντος συστήματος, ενώ το αντίθετο ισχύει για την ασύζευκτη προσέγγιση
- αύξηση βαθμών ελευθερίας δεν επηρεάζει σημαντικά τις μετακινήσεις
- η ασύζευκτη μεθοδολογία **υπερεκτιμά** τις παραμένουσες μετακινήσεις



Ευρήματα της διερεύνησης 1/3

- οι ψευδοστατικές αναλύσεις
 - ✓ προσομοιώνουν διακριτές επιφάνειες αστοχίας που αναπτύσσονται σε οπλισμένα εδαφικά πρανή
 - ✓ η κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας προσεγγίζει την περιοχή των σημαντικών μετατοπίσεων
 - ✓ υπολογίζοντας την συνολική εφελκυστική δύναμη των οπλισμών, στην ουσία γνωρίζουμε τον αριθμό των οπλισμών που απαιτούνται για την ευστάθεια της κατασκευής
- οι αναλύσεις των **μόνιμων παραμορφώσεων (κατά Newmark)** μπορούν να παρέχουν μια ρεαλιστική εκτίμηση των μετακινήσεων που αναπτύσσονται
 - ✓ αλλά απαιτούν τα χαρακτηριστικά της εδαφικής μάζας που αστοχεί
 - ✓ δεν μπορούν να υπολογίσουν την καθ' ύψος κατανομή των μετακινήσεων και τις ζώνες πλαστικών παραμορφώσεων παρά μόνο την τελική παραμένουσα μετακίνηση

Ευρήματα της διερεύνησης 2/3

- **ικανοποιητική κανονικοποίηση** των μετακινήσεων και των παραμορφώσεων τόσο για οπλισμένα όσο και για άοπλα πρανή με τη μέγιστη επιβαλλόμενη επιτάχυνση, ενώ **μόνο για τα άοπλα** πρανή ως προς το τετράγωνο της περιόδου της επιβαλλόμενης διέγερσης
- **οι μετακινήσεις ολίσθησης εξαρτώνται από τις τιμές των λόγων**
 - ✓ $\tan\phi \cdot g/a_{\max}$ και
 - ✓ T_{str}/T
- **αύξηση της ευκαμψίας της ολισθαίνουσας εδαφικής μάζας**
 - ⇒ σε υψηλές τιμές μετακινήσεων για ($\beta < 1.0$), ενώ το αντίθετο ισχύει για ($\beta > 1.0$)

Ευρήματα της διερεύνησης 3/3

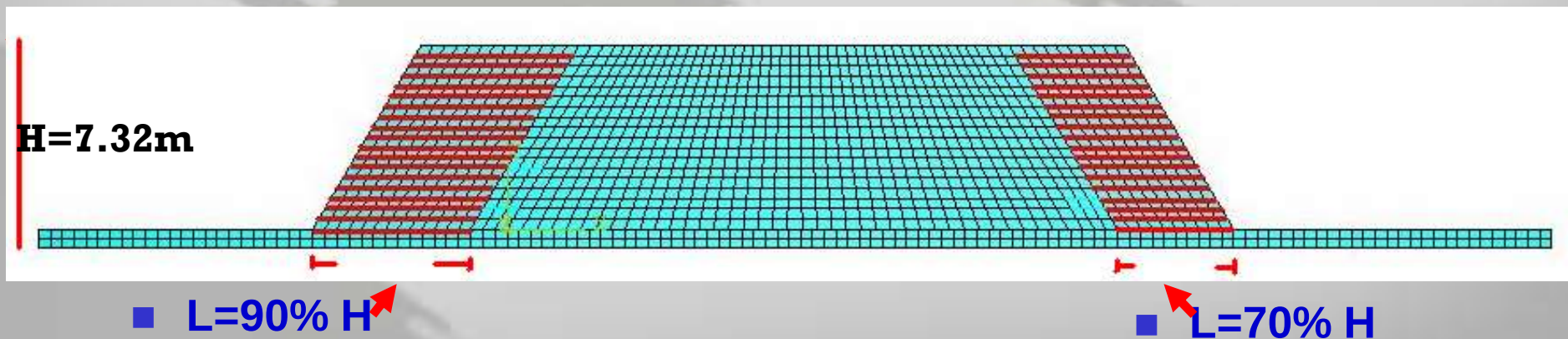
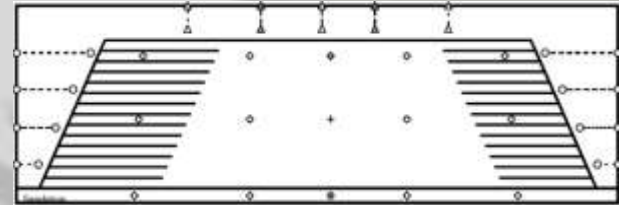
- αύξηση οπλισμού & απόσβεσης
 - ⇒ μείωση των παραμένουσων μετακινήσεων, ενώ η αύξηση των βαθμών ελευθερίας δεν επηρεάζει σημαντικά
- μείωση του λόγου $\tan\phi * g/a_{max}$ (αύξηση επιτάχυνσης)
 - ⇒ αύξηση των μετακινήσεων ολίσθησης και παραμένουσων μετακινήσεων
 - ⇒ αύξηση του λόγου μετακίνησης ($d_{decoupled}/d_{coupled}$)
- μετακινήσεις της ασύζευκτης προσέγγισης είναι πιο συντηρητικές σε σχέση με τις αντίστοιχες της συζευγμένης προσέγγισης

Σεισμική ευστάθεια: Γ' μέρος

✓ Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Αριθμητική προσομοίωση

- Μέθοδος πετρερασμένων στοιχείων
 - λογισμικό πετρερασμένων στοιχείων ABAQUS
- Μοντέλο φυγοκέντρισης των Nova-Roessig and Sitar (1999, 2006)
 - ✓ ύψος $H=7.32\text{m}$
 - ✓ κλίση πρανού $1\text{H}:2\text{V}$ (42°)
 - ✓ 18 στρώσεις γεωσυνθετικών
- Διακριτοποίηση
 - τετραπλευρικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης (μεγέθους $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$)
 - στοιχεία ραβδών, (έχουν μόνο αξονική δυσκαμψία, $k=8.3\text{kN/m/m}$)
- Μηχανική συμπεριφορά εδαφικού υλικού και οπλισμού
 - πλήρη συνάφεια μεταξύ εδάφους και οπλισμού
 - προσομοίωση μη – γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους με χρήση κριτηρίου Mohr- Coulomb



Παραμετρική διερεύνηση

■ Ιδιότητες υλικών (Mohr – Coulomb υλικά για επίχωση)

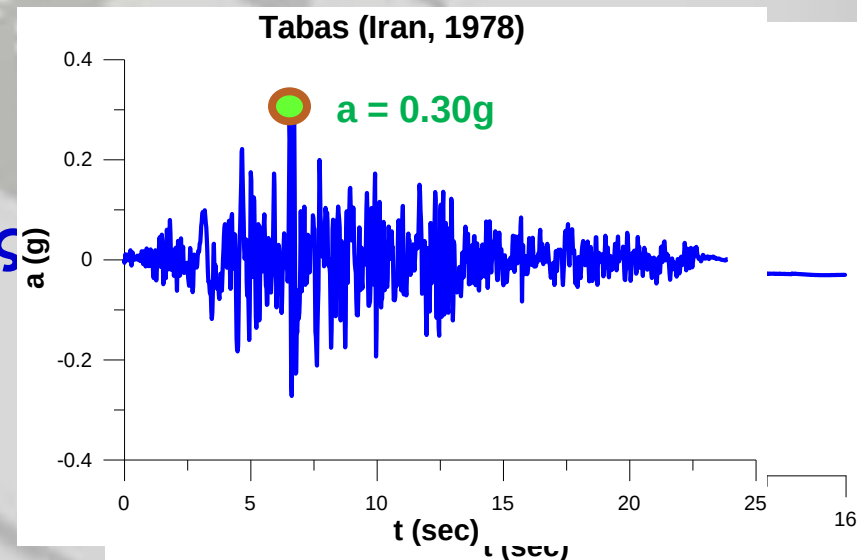
- ✓ $V_s = 170$ (m/sec)
- ✓ απόσβεση 5% (Rayleigh)
- ✓ γωνία εσωτερικής τριβής = 42.5°
- ✓ γωνία διαστολικότητας = 2°
- ✓ συνοχή = 0 kPa (αμμώδες έδαφος)

■ Διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας

- ✓ $\tan \phi = 0.4$

■ Σεισμικές διεγέρσεις

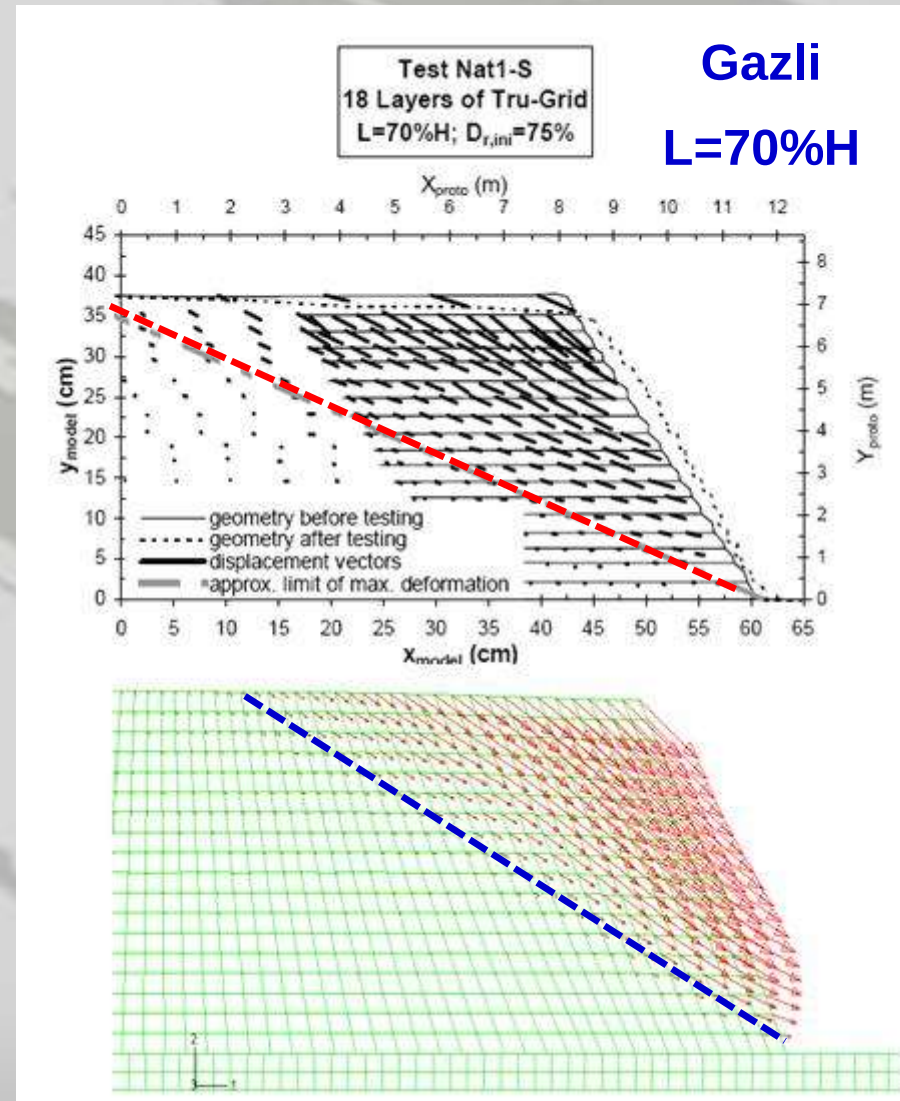
- ✓ Gazli, $a_{\max} = 0.56g$
- ✓ Tabas, $a_{\max} = 0.30g$



Μόνιμη διανυσματική μετατόπιση

πειραματικά vs. αριθμητικά

- η μέγιστη τιμή της μόνιμης μετακίνησης **δεν παρατηρείται** στην ίδια θέση καθ' ύψος του πρσανούς
- η θεώρηση μίας ευθύγραμμης επιφάνειας που καθορίζει την ζώνη ανάπτυξης μόνιμων μετακινήσεων **ισχύει** και για τις δύο περιπτώσεις

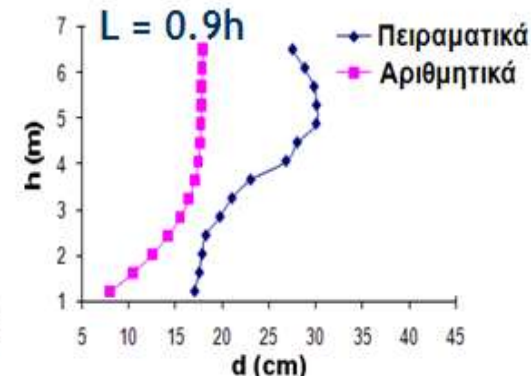
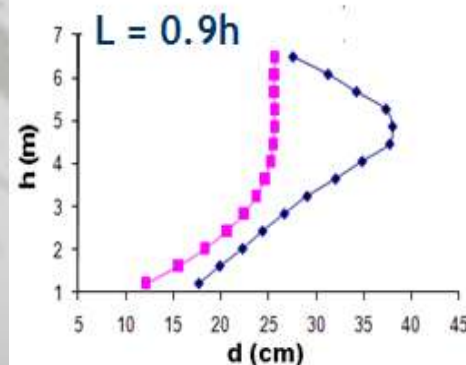
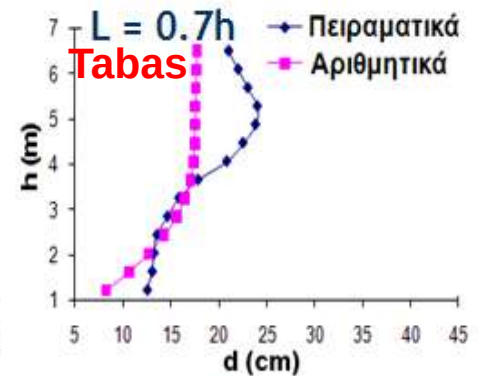
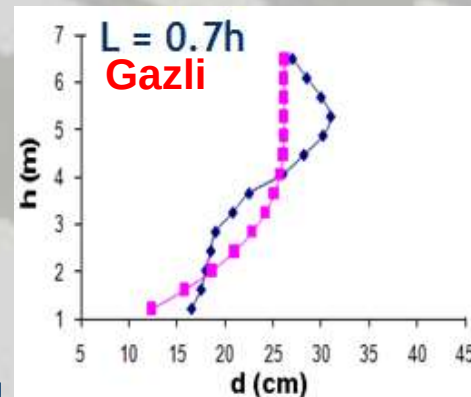


Παραμένουσες σεισμικές μετακινήσεις πειραματικά vs. αριθμητικά

- ❖ ποιοτικά οι μετακινήσεις είναι της ίδιας τάξης μεγέθους
- ❖ η κατανομή των μετακινήσεων δεν παρουσιάζει την ίδια μορφή
- ❖ οι οπλισμοί τείνουν να «απλώσουν» τις παραμορφώσεις σε όλη την ενισχυμένη ζώνη και δεν συγκεντρώνονται κατά μήκος μιας διακριτής επιφάνειας αστοχίας

Οι διαφορές αποδίδονται
στις παραδοχές της αριθμητικής
προσομοίωσης

- ✓ της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους και
- ✓ της συνάφειας στη διεπιφάνεια οπλισμού– εδάφους

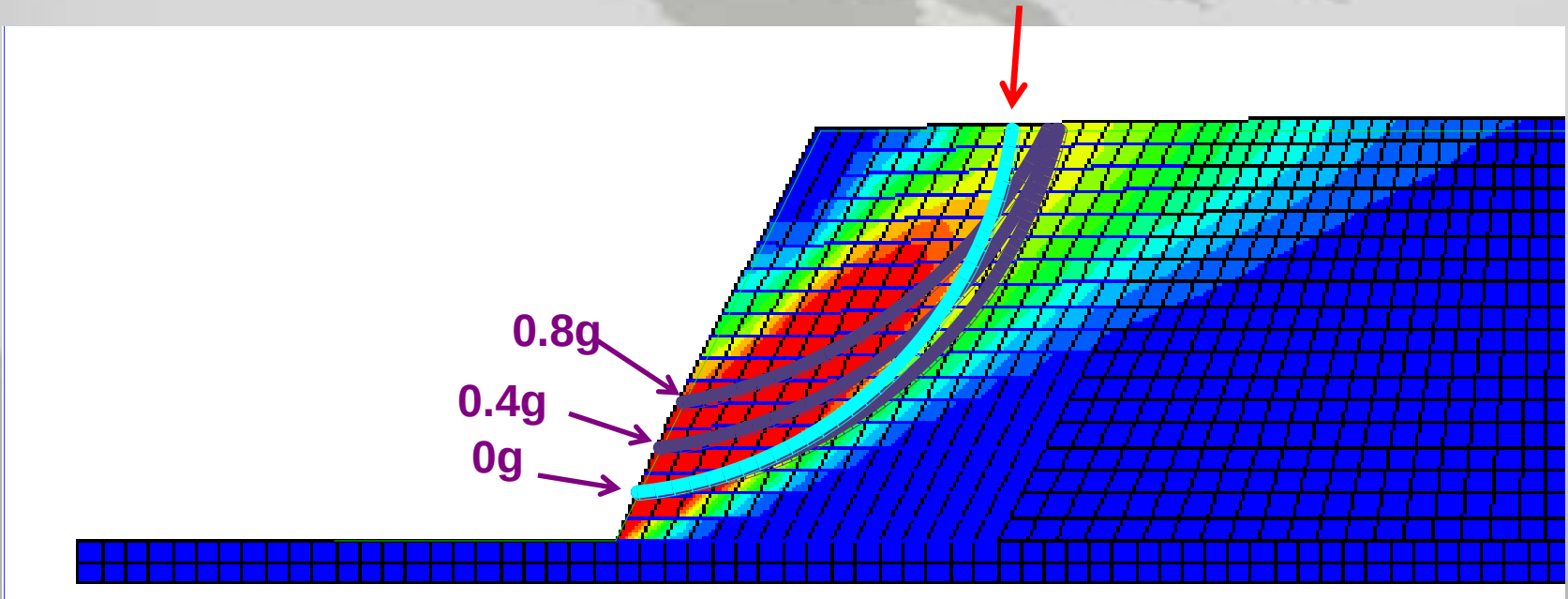


Επιφάνειες αστοχίας πειραματικά vs. ψευδοστατική

Δυναμικές αναλύσεις =>
ισομεγέθεις των πλαστικών
παραμορφώσεων

Ψευδοστατική ανάλυση (μέθοδος
οριακής ισορροπίας) =>
κυκλικές επιφάνειες αστοχίας

επιφάνεια αστοχίας



Παραμένουσες παραμορφώσεις

τροποποιημένο μοντέλο Newmark vs. (πειραματικά - αριθμητικά)

διέγερση Gazli :

$L = 0.9h$ 22.2 cm vs. (17.6 cm – 37.3 cm)

$L = 0.7h$ 17.0 cm vs. (16.5 cm – 31.0 cm)

διέγερση Tabas :

$L = 0.9h$ 10.3 cm vs. (17.0 cm – 30.0 cm)

$L = 0.7h$ 11.1 cm vs. (12.5 cm – 24.0 cm)

Παραμετρική διερεύνηση

■ Ιδιότητες υλικών (Mohr – Coulomb υλικά για επίχωση)

- ✓ $V_s = 170$ (m/sec)
- ✓ απόσβεση 5% (Rayleigh)
- ✓ γωνία εσωτερικής τριβής=42.5°
- ✓ γωνία διαστολικότητας = 2°
- ✓ συνοχή =0kPa (αμμώδες υλικό)

■ Ημιτονοειδείς παλμοί

- ✓ 4 κύκλοι ($T=0.29$ sec), $a_{max} = 0.4g$ (3.93m/sec)
και $a_{max} = 0.8g$ (7.85m/sec)

■ Διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας

- ✓ $\tan\phi = 0.4$

Μόνιμες μετακινήσεις

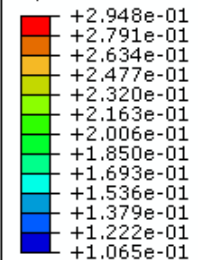
κατανομή μόνιμων μετακινήσεων

✓ αύξηση επιτάχυνσης ➡ αύξηση μόνιμων μετακινήσεων, χωρίς να επηρεάζεται η κλίση της ζώνης αστοχίας, η οποία μοιάζει με τριγωνική σφήνα στην περιοχή που βρίσκεται ο οπλισμός

$a_{max}=0.4g$

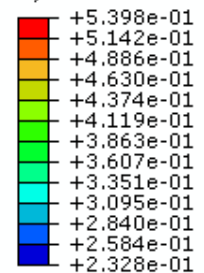
αμμώδες έδαφος

U, U1



$a_{max}=0.8g$

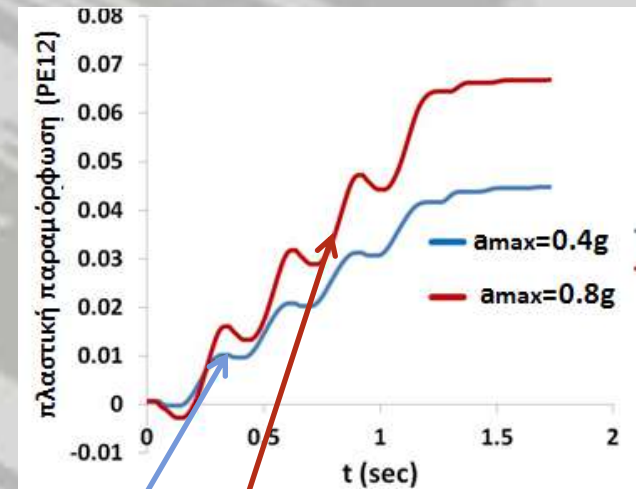
U, U1



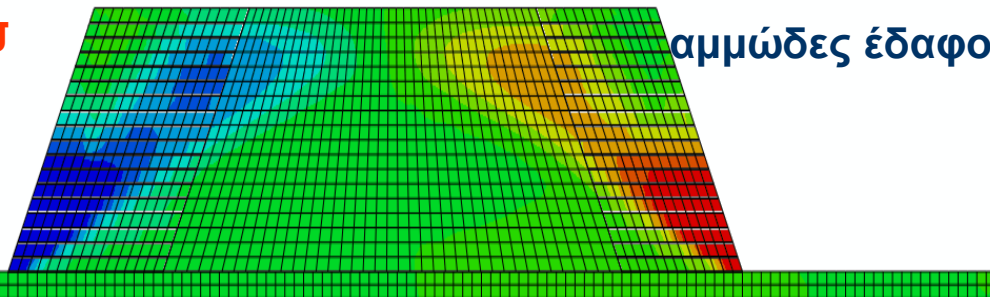
Μόνιμες πλαστικές παραμορφώσεις

κατανομή μόνιμων πλαστικών παραμορφώσεων

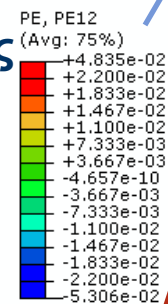
✓ αύξηση επιτάχυνσης ➡ αύξηση πλαστικών παραμορφώσεων (σε κάθε κύκλο και στο τέλος της επιβαλλόμενης διέγερσης)



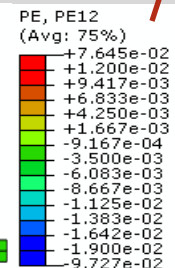
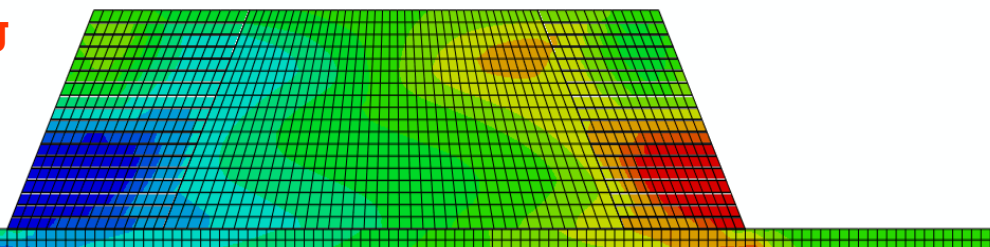
a_{max}=0.4g



αμμώδες έδαφος



a_{max}=0.8g



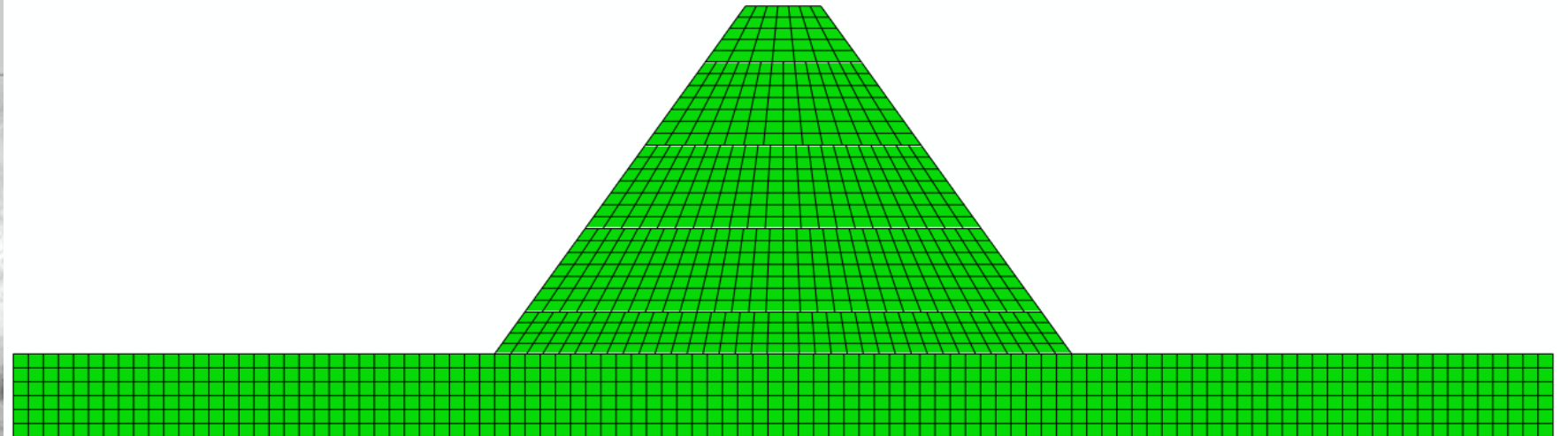
Αριθμητική προσομοίωση

■ μοντέλο φυγοκέντρισης των Wang et al. (2011)

- ✓ ύψος $H=12.5\text{m}$
- ✓ κλίση πρανούς $5V:1H$ (56°)
- ✓ 4 στρώσεις γεωσυνθετικών

■ Διακριτοποίηση

- τετραπλευρικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης (μεγέθους $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$)
- στοιχεία ραβδών, (έχουν μόνο αξονική δυσκαμψία)



51.12m

Παραμετρική διερεύνηση

■ Ιδιότητες υλικών (Mohr – Coulomb υλικά για επίχωση)

- $V_s = 170$ (m/sec)
- απόσβεση 5% (Rayleigh)
- γωνία εσωτερικής τριβής=25°
- γωνία διαστολικότητας = 0°
- συνοχή =20kPa (συνεκτικό) και συνοχή =0kPa (μη-συνεκτικό)

■ Ημιτονοειδείς παλμοί

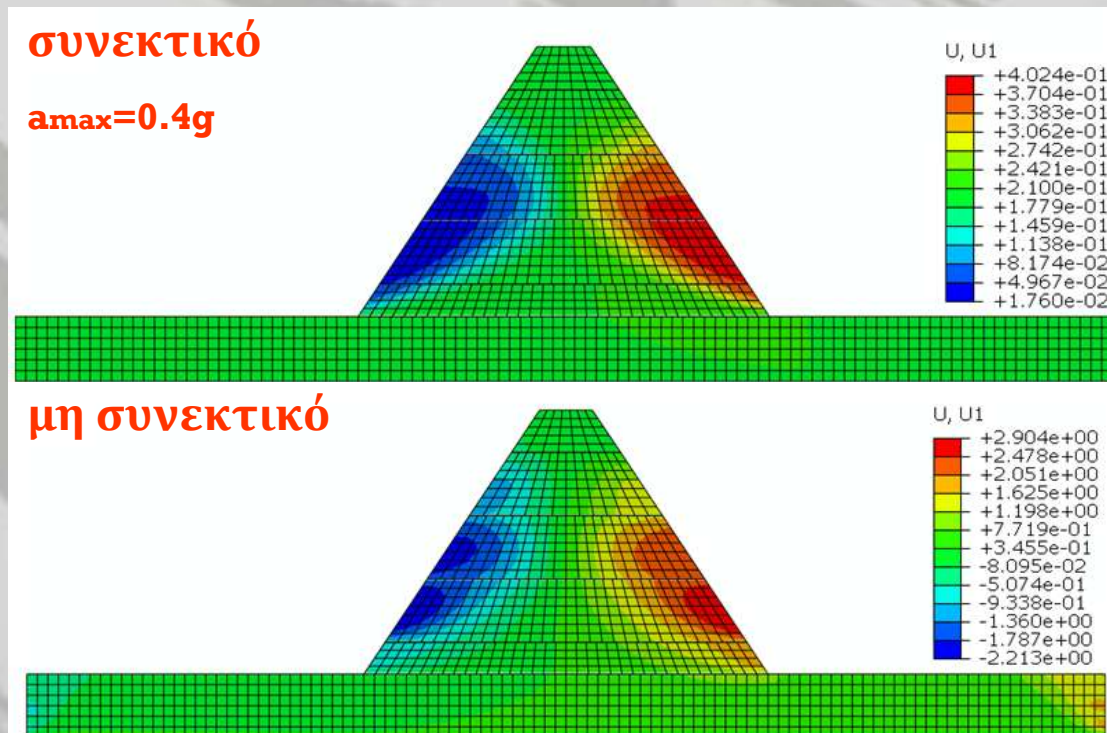
- 4 κύκλοι ($T=0.29$ sec), $a_{\max} = 0.4g$ (3.95m/sec²)
και $a_{\max} = 0.8g$ (7.85m/sec²)

■ Διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας

- $\tan\phi = 0.4$

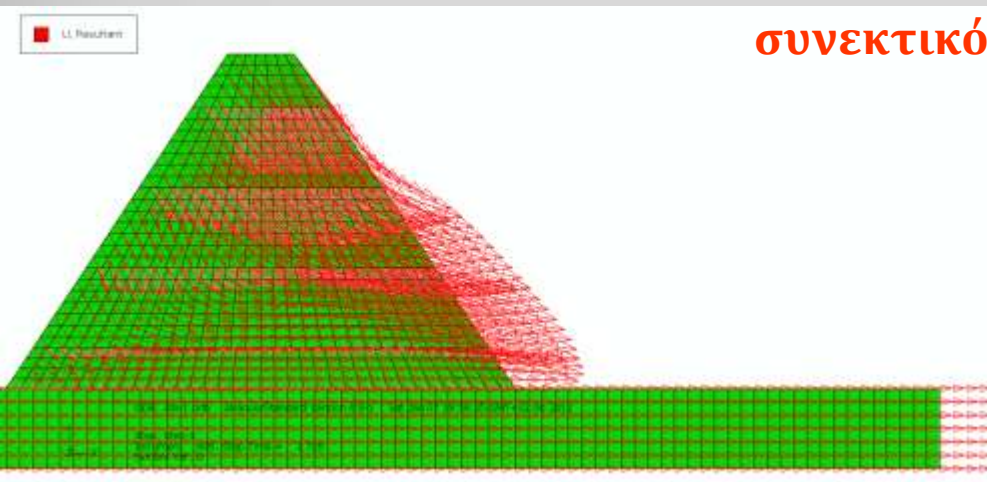
Μόνιμες μετακινήσεις

- το αριστερό και το δεξί τμήμα του επιχώματος παρουσιάζει παρόμοιο μοτίβο
- η κλίση της ζώνης αστοχίας επηρεάζεται δραστικά από τη συνοχή του εδάφους
 - ✓ η **ζώνη αστοχίας** για τα **συνεκτικά εδάφη** απλώνεται πιο πολύ και καλύπτει από το κέντρο του επιχώματος και προς τα κάτω που είναι η βάση
 - ✓ η **ζώνη αστοχίας** για τα **μη συνεκτικά εδάφη** είναι πιο απότομη και ξεκινάει από σημείο που βρίσκεται πιο κοντά στην κορυφή

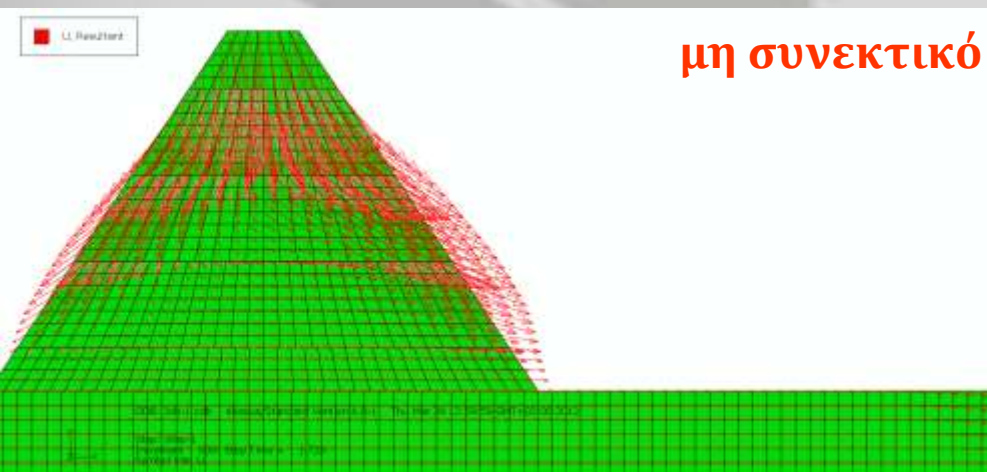


Διανυσματική μετακίνηση

$$a_{\max}=0.4g$$



- **συνεκτικά εδάφη** η διανυσματική μετακίνηση καλύπτει όλο το επίχωμα και παρουσιάζεται παραμόρφωση στη δεξιά πλευρά του επιχώματος



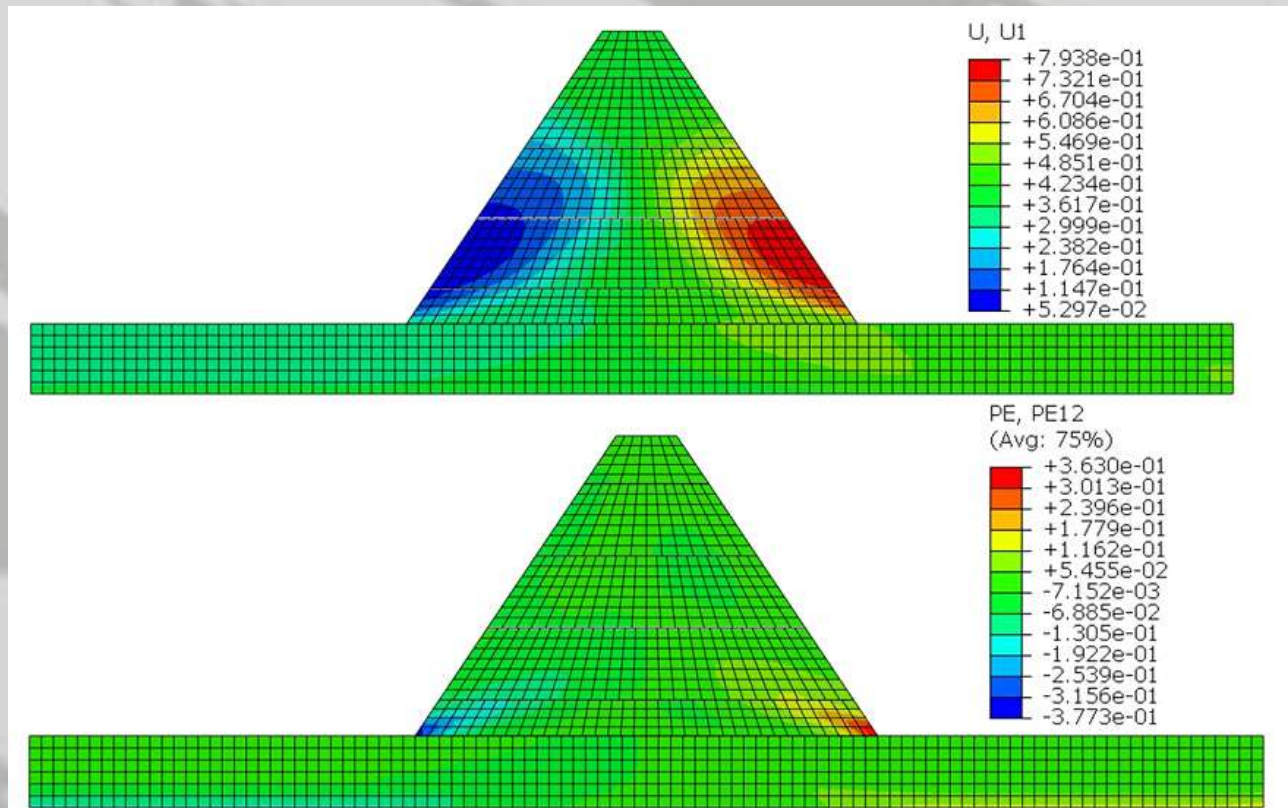
- **μη συνεκτικά εδάφη** η διανυσματική μετακίνηση ξεκινάει από την κορυφή του επιχώματος και επεκτείνεται και στις δυο πλευρές του επιχώματος

Μόνιμες μετακινήσεις- πλαστικές παραμορφώσεις

✓ αύξηση επιτάχυνσης ➡ αύξηση μόνιμων μετακινήσεων και πλαστικών παραμορφώσεων

$a_{max}=0.8g$

συνεκτικό έδαφος



Ευρήματα της διερεύνησης

- η **αριθμητική διαδικασία** προσομοίωσης (μέσω πεπερασμένων στοιχείων) παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σύγκριση με τα πειραματικά
- η ύπαρξη διαφοροποιήσεων οφείλεται στο γεγονός ότι πάντα υπάρχουν δυσκολίες για να γίνει προσομοίωση όλων των λεπτομερειών (ειδικά σε σύνθετα γεωτεχνικά σεισμικά προβλήματα)
- η **αριθμητική διαδικασία** προσομοίωσης είναι ανώτερη από τις αναλυτικές, όμως:
 - ✓ επειδή απαιτεί ειδικές γνώσεις και εμπειρία στη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού
 - ✓ δεν εφαρμόζεται και τόσο συχνά στην πράξη αλλά περισσότερο για ερευνητικούς σκοπούς
- οι **αριθμητικές αναλύσεις** συνεισφέρουν τόσο στον ακριβέστερο υπολογισμό της δυναμικής απόκρισης των οπλισμένων πρανών, αλλά και στον ρεαλιστικό προσδιορισμό των μορφών αστοχίας που αναπτύσσονται

Περιεχόμενα

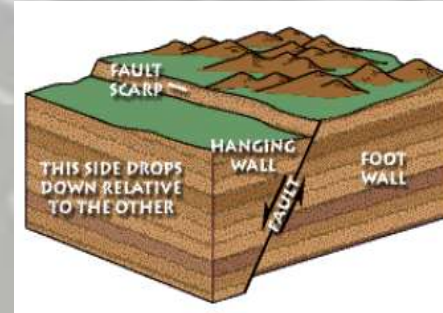
- Εισαγωγή
- Καταπόνηση πρανών λόγω διάδοσης σεισμικών κυμάτων
- Καταπόνηση πρανών λόγω τεκτονικής διάρρηξης
- Συμβολή - Προεκτάσεις

Διάρρηξη ρήγματος κάτω από πρηνή

- Είδη σεισμικών ρηγμάτων

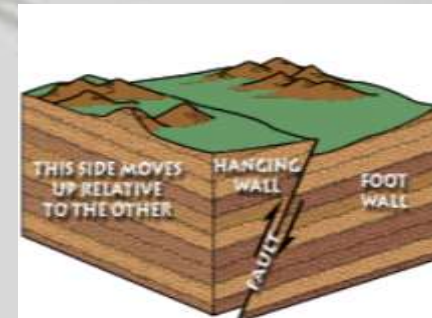
- ✓ Κανονικά ρήγματα

- η γωνία διάδοσης αυξάνεται προς την επιφάνεια
- απαιτείται μικρότερη σχετική μετακίνηση για να φτάσει στην επιφάνεια το ρήγμα
- αστοχία σφηνοειδούς μορφής για μικρή γωνία βύθισης



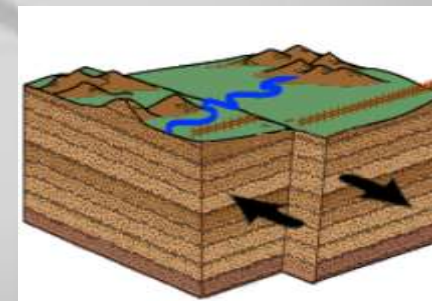
- ✓ Ανάστροφα ρήγματα

- η γωνία διάδοσης μειώνεται προς την επιφάνεια
- απαιτείται μεγαλύτερη σχετική μετακίνηση για να φτάσει στην επιφάνεια το ρήγμα



- ✓ Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης

- διαδίδεται σχεδόν κατακόρυφα
- μικρή ζώνη εδαφικής παραμόρφωσης



Αστοχίες λόγω τεκτονικής διάρρηξης ρήγματος

ΑΣΤΟΧΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Düzce, 1999

ΑΣΤΟΧΙΑ ΓΕΦΥΡΑΣ

ΑΣΤΟΧΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Shih-Kan

9 m

**Chi-Chi,
1999**

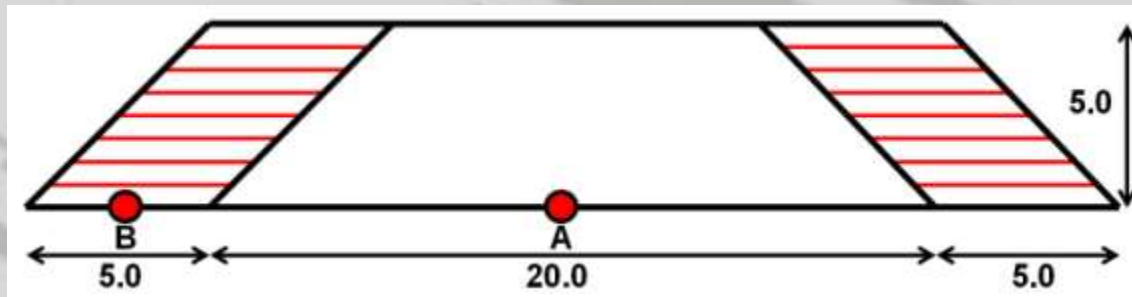


Διάρρηξη ρήγματος κάτω από πρανή

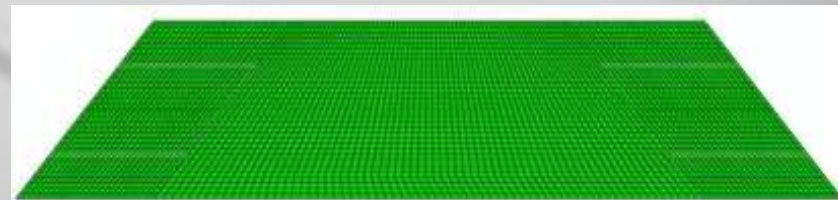
- υλικά
 - πυκνή άμμος $c=0$, $\phi=35^\circ$
 - γεωσυνθετικά (γεωπλέγματα)
- θέση του ίχνους του ρήγματος
 - (A) στον άξονα συμμετρίας του επιχώματος
 - (B) στο μέσον της βάσης του πρανούς

- Διάταξη οπλισμών
 - $H=5\text{m}$, $L=30\text{m}$
 - κλίση $1V : 1H$
 - 7 στρώσεις γεωσυνθετικών (μήκος οπλισμού $L=5\text{m}$)

Προσομοίωμα A



- Διακριτοποίηση (ABAQUS)
 - τετραπλευρικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης (μεγέθους $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$)
 - στοιχεία ράβδων, μόνο αξονική δυσκαμψία



Διάρρηξη ρήγματος κάτω από πρανή

- υλικά

- πυκνή άμμος, $c=0$, $\phi=35^\circ$
- γεωσυνθετικά (γεωπλέγματα)

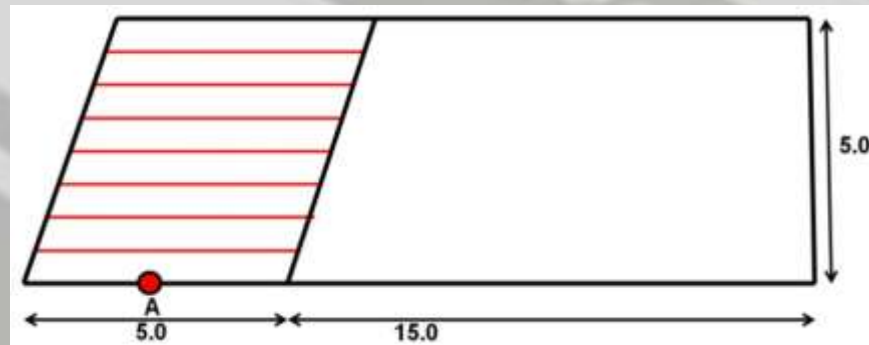
- θέση του ίχνους του ρήγματος

- στο μέσον της βάσης του πρανούς (A)

- Διάταξη οπλισμών

- $H=5\text{m}$, $L=30\text{m}$
- κλίση $3V : 1H$
- 7 στρώσεις γεωσυνθετικών (μήκος οπλισμού $L=5\text{m}$)

Προσομοίωμα B



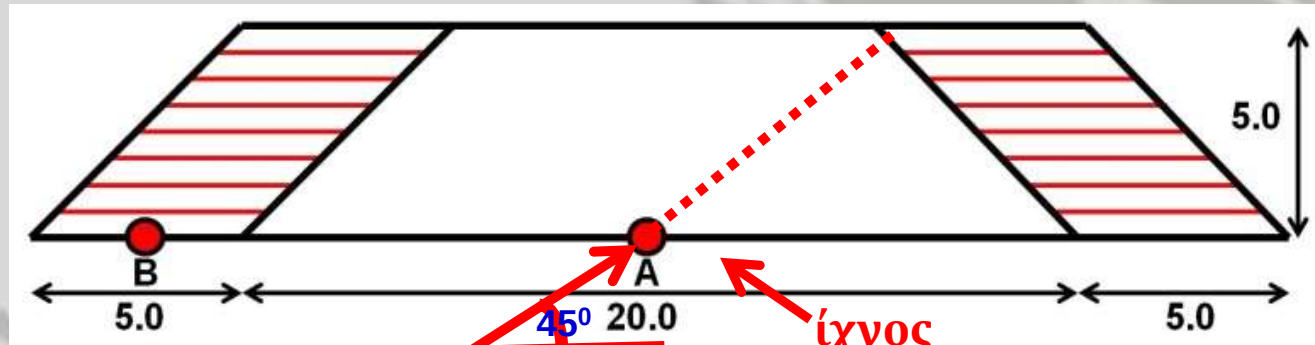
- Διακριτοποίηση (ABAQUS)

- τετραπλευρικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης (μεγέθους $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$)
- στοιχεία ράβδων, μόνο αξονική δυσκαμψία



Διάρρηξη ρήγματος κάτω από πρανή

παραμορφώσεις που αναπτύσσονται μέσα στην γεωκατασκευή όταν το **ίχνος** του ρήγματος βρίσκεται στον **άξονα συμμετρίας (A)**



Κανονικό ρήγμα 45°

$u_{max} = 1m$

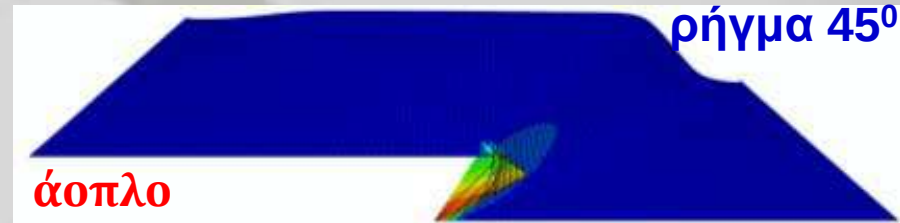
ίχνος ρήγματος

Ανάστροφο ρήγμα 45°

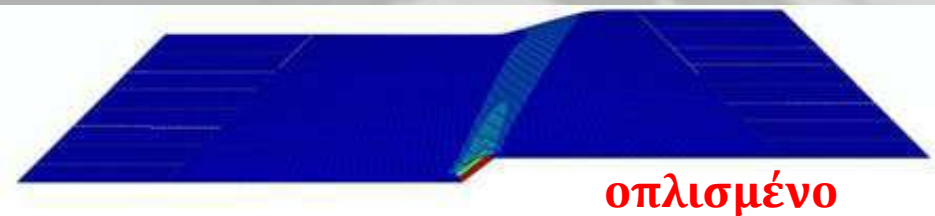
άοπλο



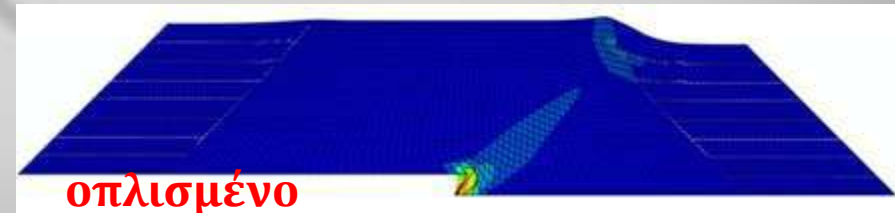
άοπλο



οπλισμένο

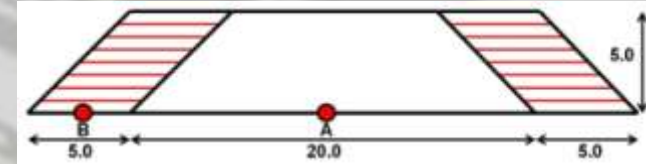


οπλισμένο



Επίδραση πάχους εδαφικής στρώσης

ίχνος ρήγματος στο σημείο A, 45° κανονικό ρήγμα

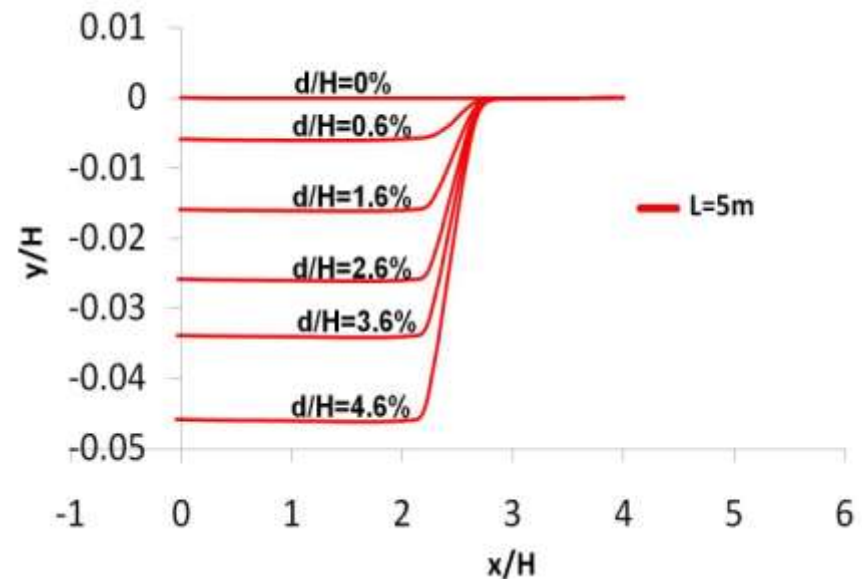
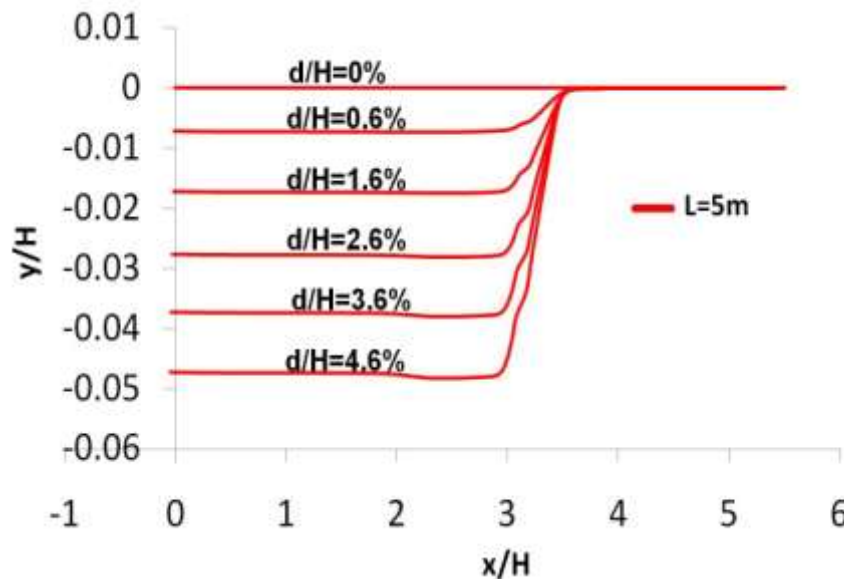


■ αύξηση πάχους εδαφικής στρώσης ➡

- μικρότερες επιφανειακές παραμορφώσεις
- πιο ευνοϊκή η δράση του σπλισμού για $H=5m$

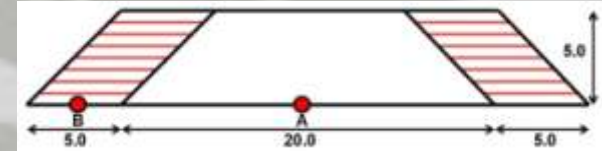
$H=4m$ 7 σπλισμοί

$H=5m$ 7 σπλισμοί



Επίδραση της απόστασης του οπλισμού

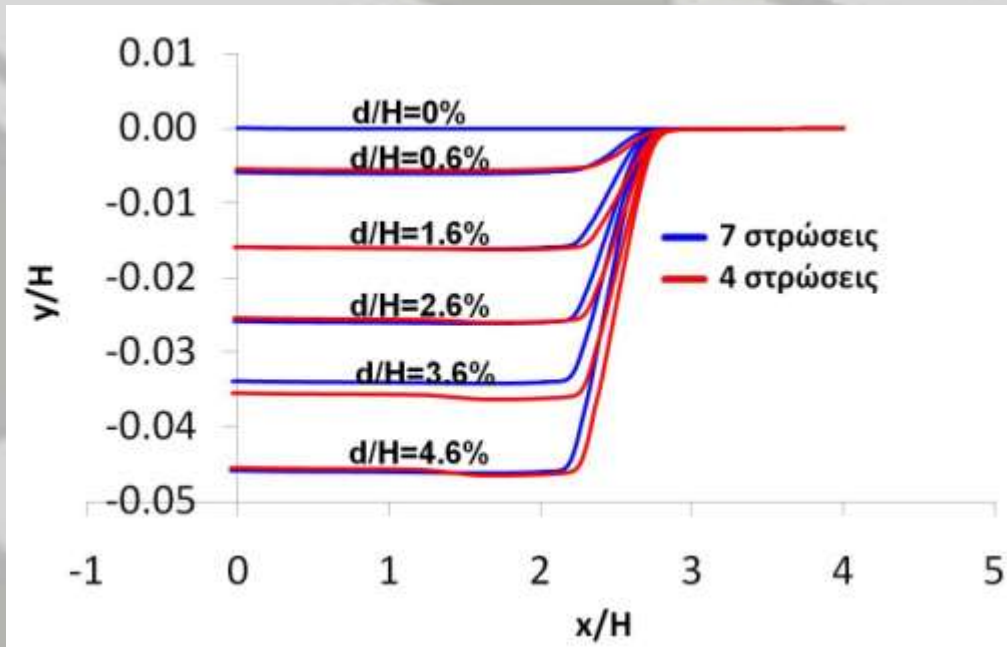
Ίχνος ρήγματος στο σημείο Α, 45° κανονικό ρήγμα



αύξηση του οπλισμού ➡

- ✓ μείωση των επιφανειακών παραμορφώσεων
- ✓ μικρή αύξηση της γωνίας διάδοσης του ρήγματος

H=5m L=5m



Επίδραση του μέτρου ελαστικότητας και του μήκους του οπλισμού

ίχνος ρήγματος στο σημείο Α, 45° κανονικό ρήγμα

■ αύξηση του μέτρου ελαστικότητας ➡

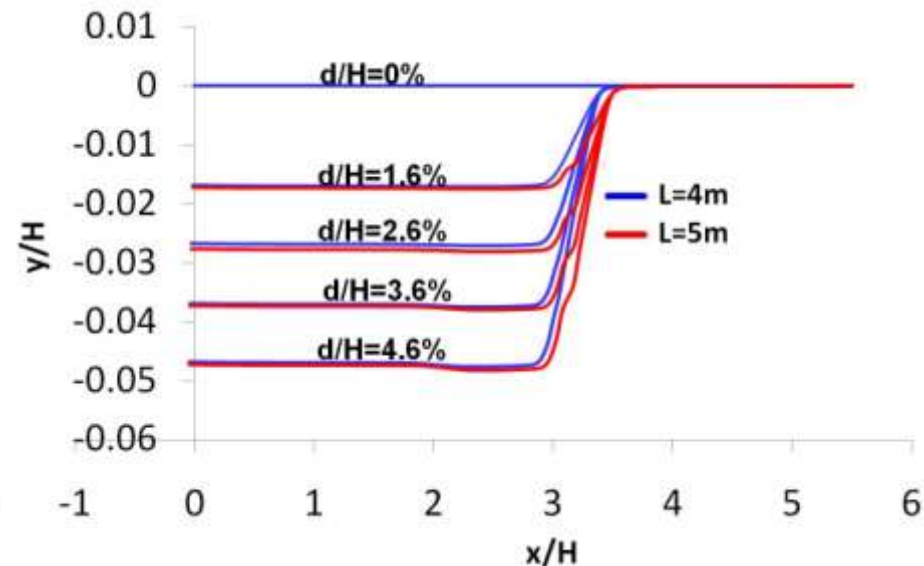
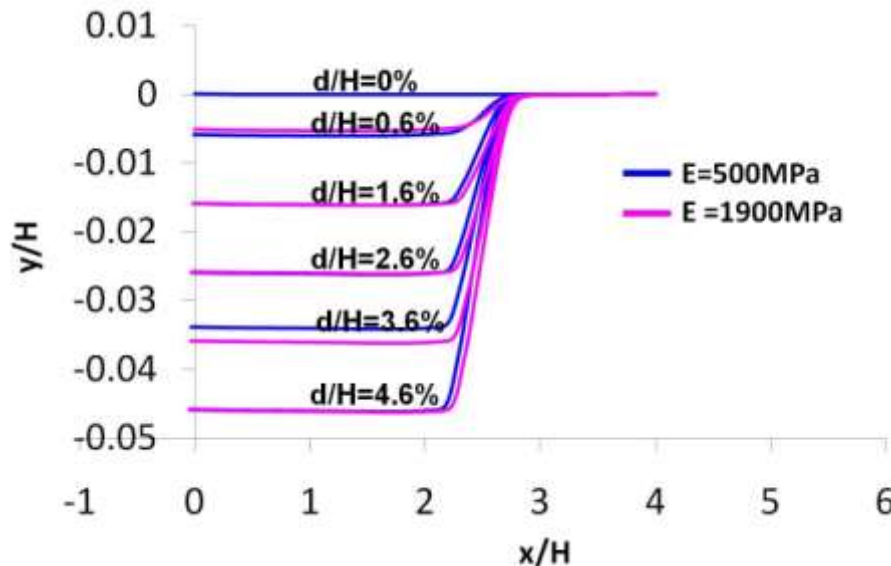
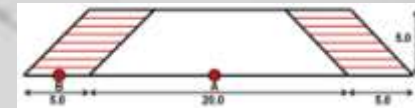
- ✓ μικρή αύξηση των παραμορφώσεων
- ✓ μικρή μείωση της γωνίας διάδοσης του ρήγματος

H=5m L=5m

■ αύξηση του μήκους του οπλισμού ➡

- ✓ παρόμοιο μοτίβο και για την αύξηση του μήκους του οπλισμού (L) του πρανούς

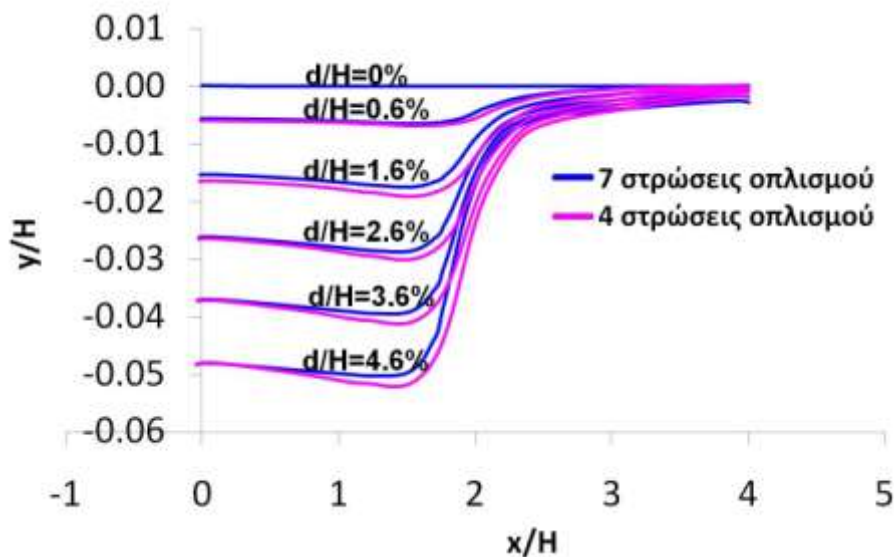
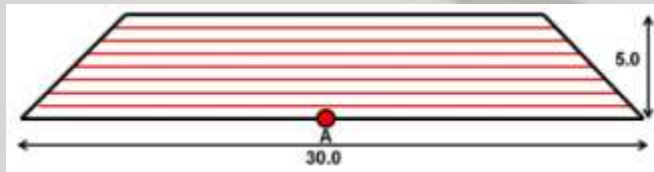
H=4m



Επίδραση της διάταξης του οπλισμού

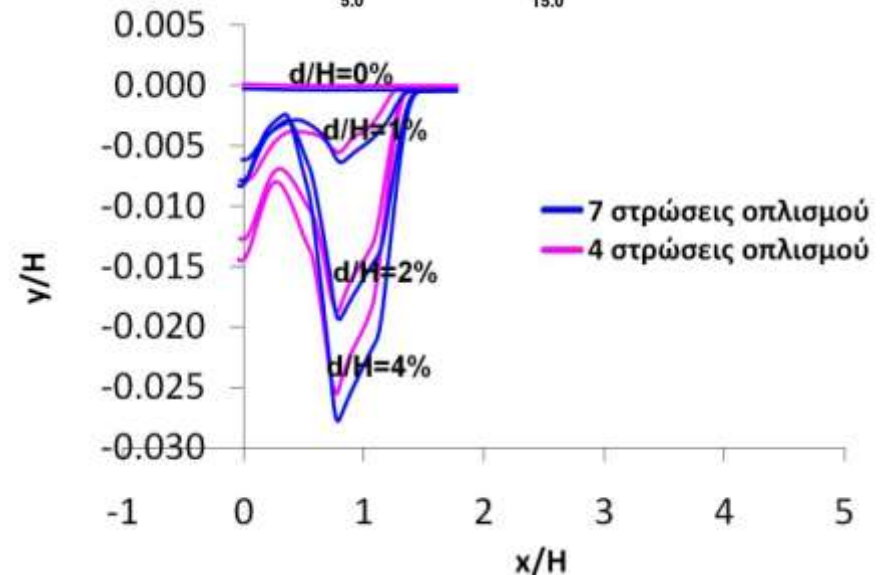
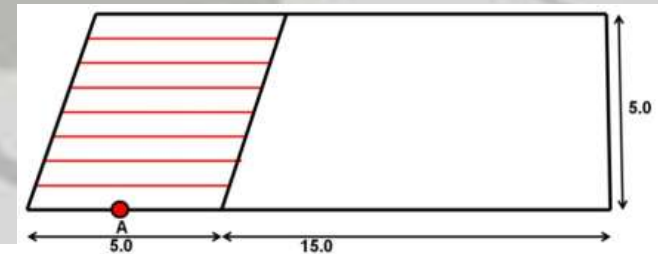
■ αύξηση του οπλισμού ➡

- ✓ μικρή μείωση των παραμορφώσεων καθώς αυξάνεται η μετακίνηση του ρήγματος



■ αύξηση του οπλισμού ➡

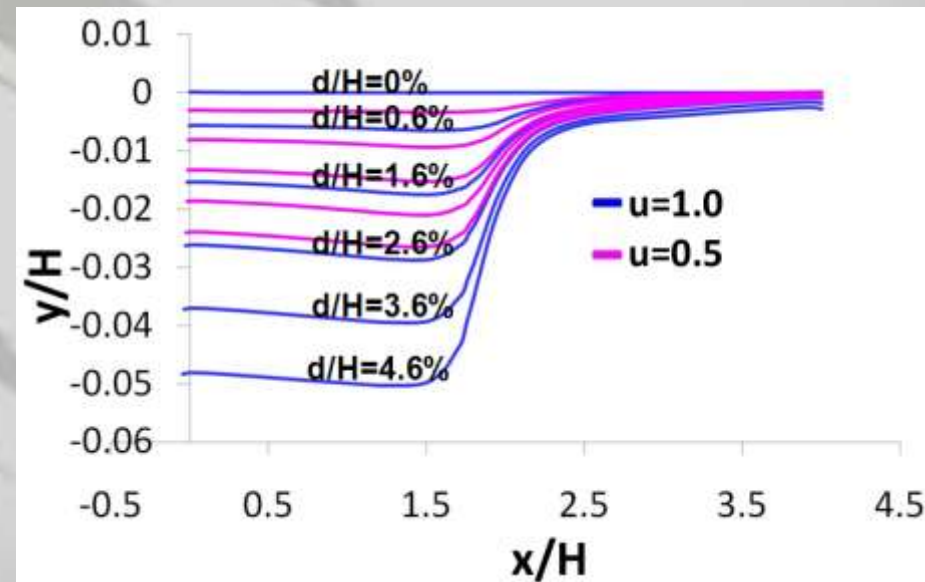
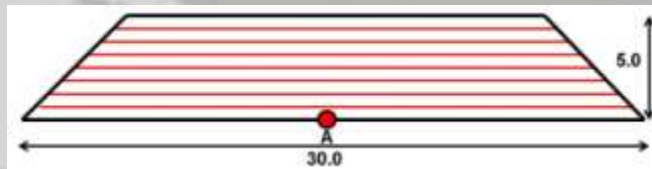
- ✓ επηρεάζεται σημαντικά το μοτίβο των παραμορφώσεων του πρானούς



Επίδραση της μετακίνησης του ρήγματος

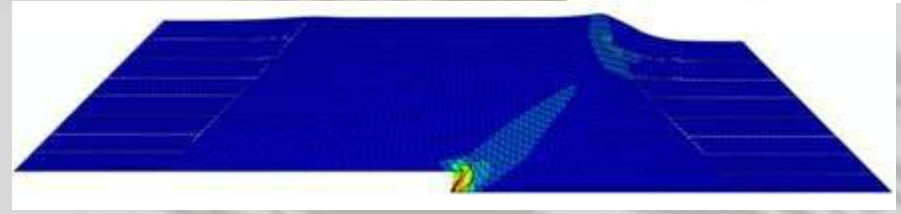
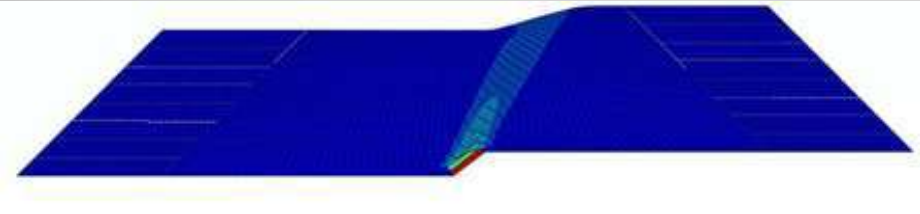
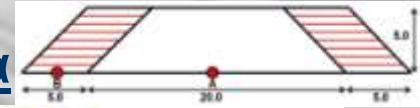
ίχνος ρήγματος στο σημείο A, 45° κανονικό ρήγμα

- αύξηση του μέτρου της μετακίνησης του ρήγματος (u) $\Rightarrow$
 - ✓ αύξηση κατακόρυφης μετακίνησης της συνιστώσας $\Rightarrow$
 - αύξηση των αναπτυσσόμενων επιφανειακών παραμορφώσεων



Επίδραση του τύπου του ρήγματος

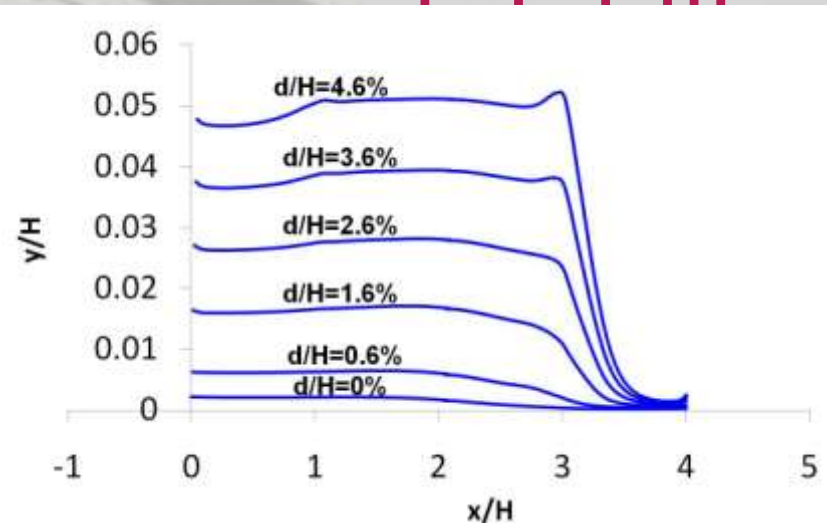
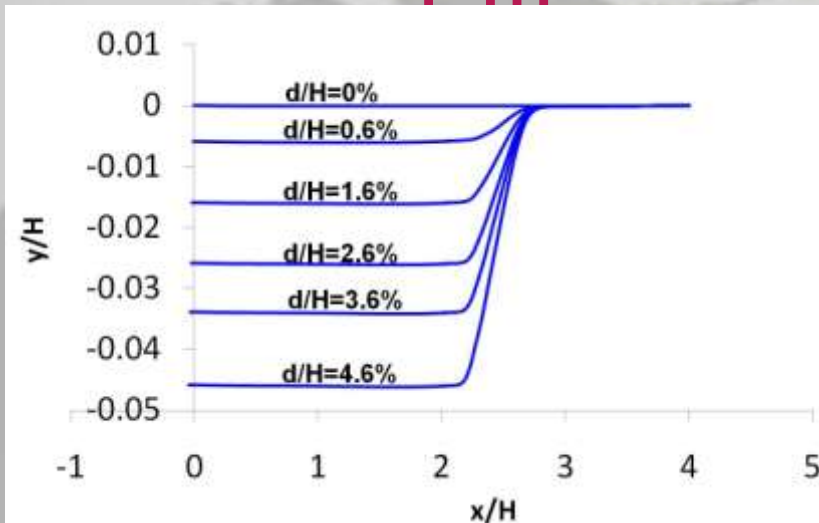
ίχνος ρήγματος στο σημείο Α, 45° κανονικό ρήγμα



- Η ζώνη παραμόρφωσης επηρεάζεται σημαντικά από το τύπο του ρήγματος:
 - ✓ $\approx 20\%$ του ύψους (H) από το ίχνος του ρήγματος (κανονικό ρήγμα)
 - ✓ $\approx 80\%$ του ύψους (H) από το ίχνος του ρήγματος (ανάστροφο ρήγμα)

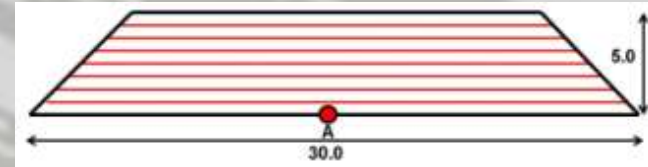
Κανονικό ρήγμα

Ανάστροφο ρήγμα



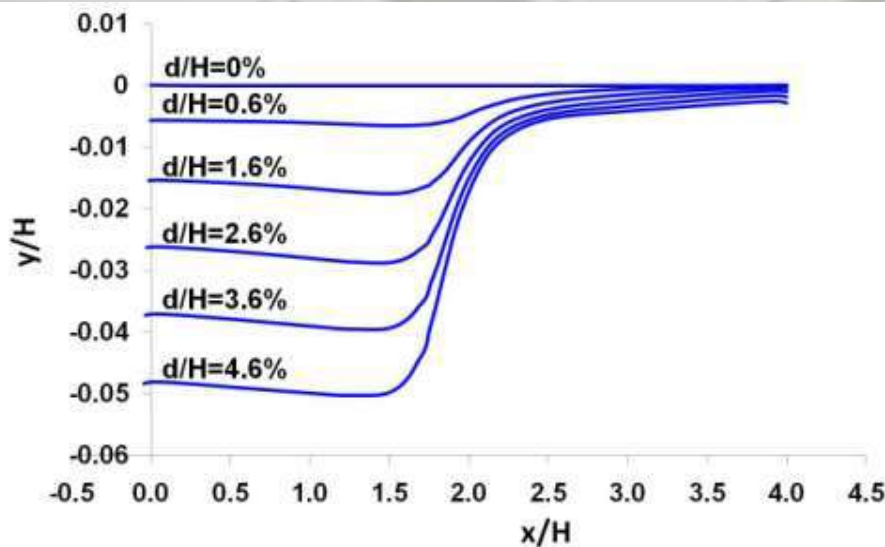
Επίδραση του τύπου του ρήγματος

ίχνος ρήγματος στο σημείο A, 45° κανονικό ρήγμα

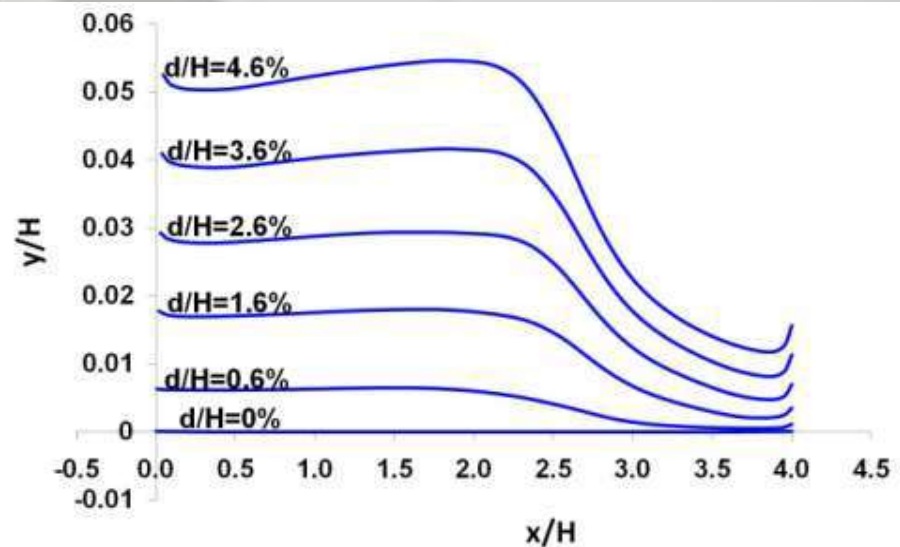


- πιο ομαλές ζώνες παραμόρφωσης και για τους δυο τύπους ρηγμάτων εν συγκρίσει με το μη ομοιόμορφο οπλισμό (οπλισμός μόνο στις άκρες των πρανών)

Κανονικό ρήγμα

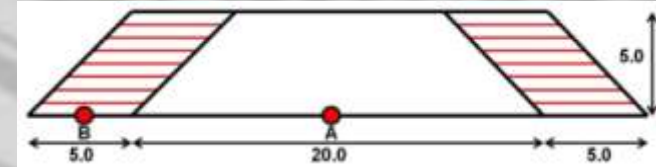


Ανάστροφο ρήγμα



Επίδραση της γωνίας βύθισης του ρήγματος

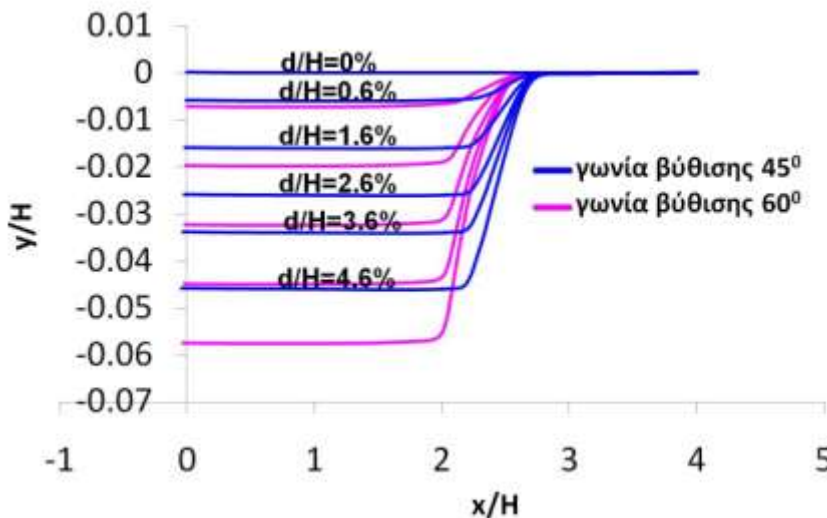
ίχνος ρήγματος στο σημείο Α, κανονικό ρήγμα



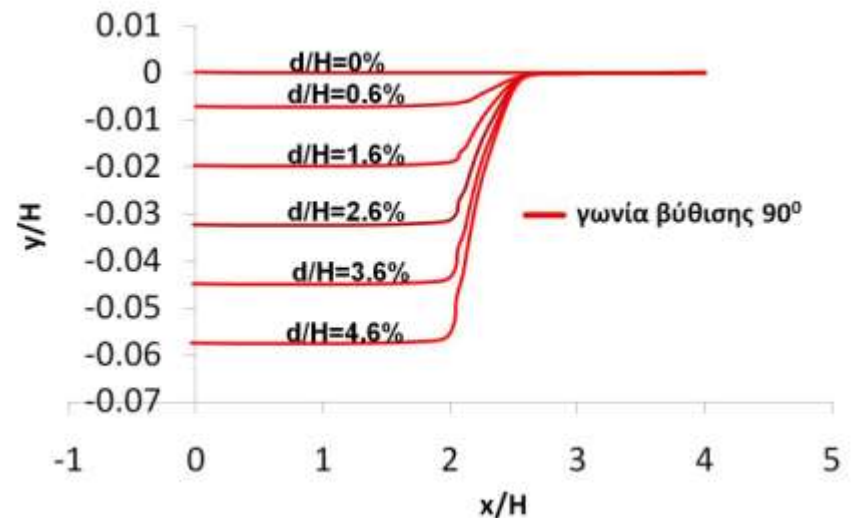
■ αύξηση της γωνίας βύθισης →

- ✓ αύξηση των κατακόρυφων μετακινήσεων
- ✓ η ζώνη παραμόρφωσης γίνεται πιο απότομη
- ✓ για γωνία διάρρηξης 45° δεν υπάρχει μεγάλη μεταβολή στη διάδοση, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για μεγαλύτερες γωνίες (π.χ., $\approx 0.2 \cdot H$ για 60°)

γωνία ρήγματος 45° και 60°



γωνία ρήγματος 90°

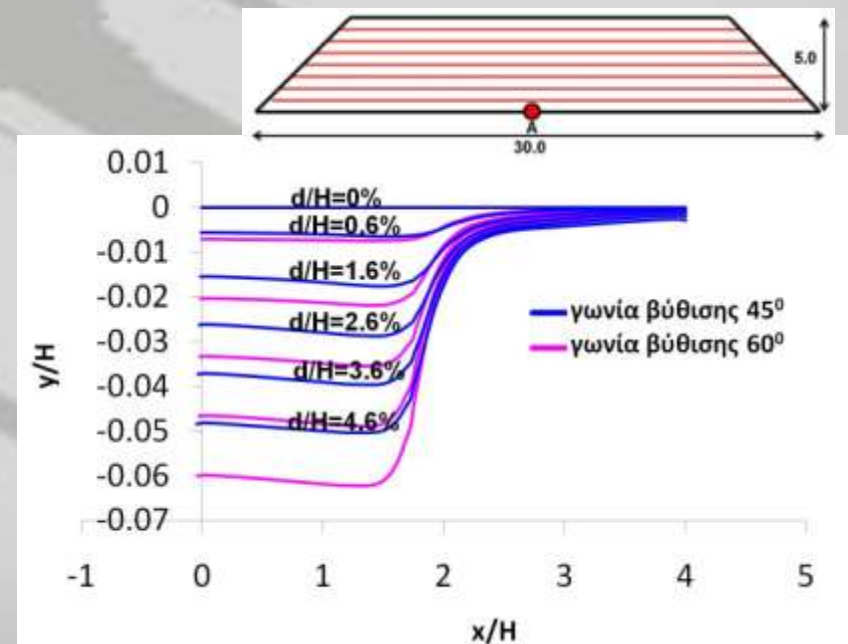
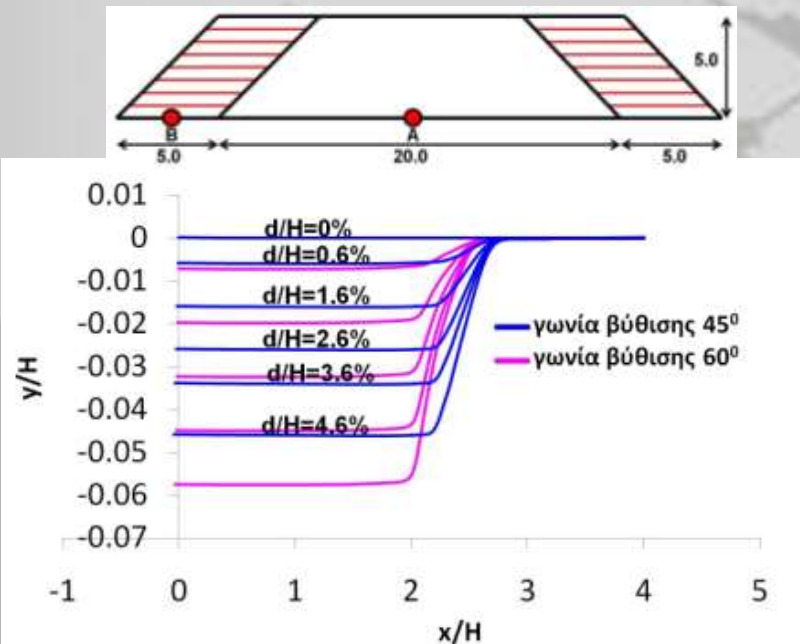


Επίδραση της γωνίας βύθισης του ρήγματος ανάλογα με τη διάταξη του οπλισμού

ίχνος ρήγματος στο σημείο A, 45° κανονικό ρήγμα

■ αύξηση της γωνίας βύθισης του ρήγματος ➡

- ✓ αύξηση των κατακόρυφων μετακινήσεων
- ✓ η ζώνη παραμόρφωσης γίνεται πιο απότομη για τον οπλισμό που βρίσκεται στα άκρα των πρανών



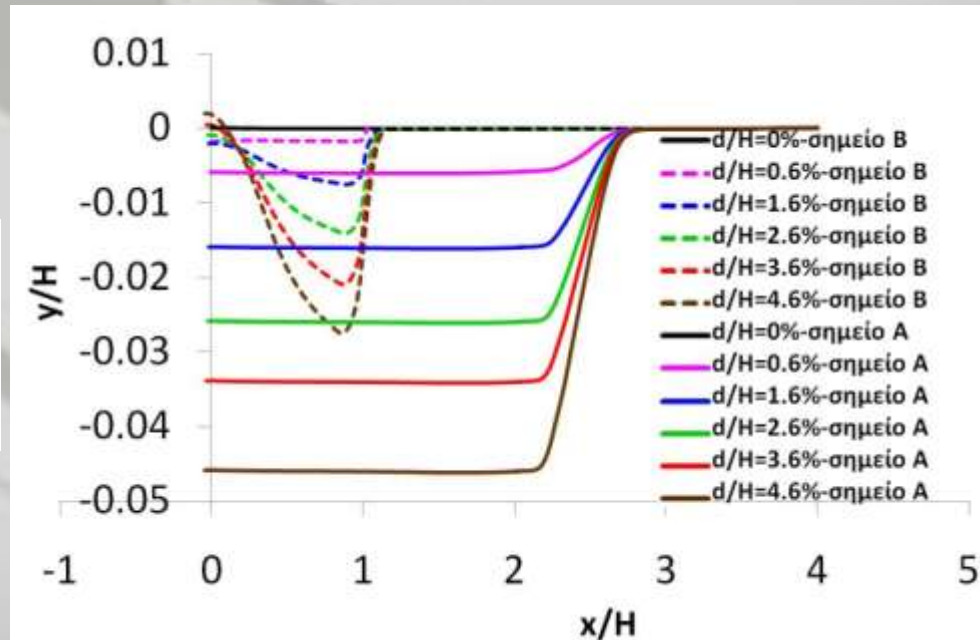
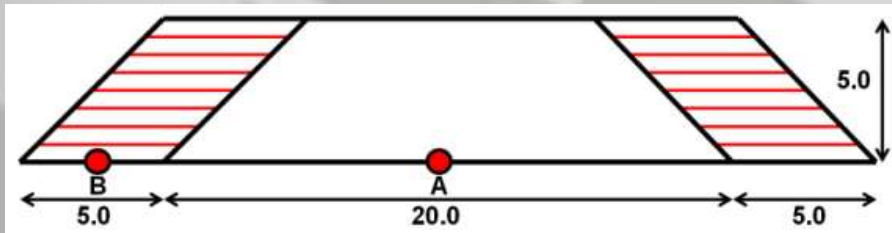
Επίδραση του ίχνους της θέσης του ρήγματος

■ Θέση του ίχνους του ρήγματος ➡

- ✓ επιδρά σημαντικά στις παραμορφώσεις του επιχώματος
- ✓ η ζώνη παραμόρφωσης «απλώνεται» (σημείο A)
- ✓ δημιουργείται δευτερεύουσα επιφάνεια αστοχίας όταν η διάρρηξη του ρήγματος βρίσκεται στο σημείο B

σημείο A => βρίσκεται στον άξονα συμμετρίας

σημείο B => βρίσκεται σε απόσταση 2.5m από τη χαμηλότερη άκρη του πρανούς



Ευρήματα της διερεύνησης

- οι αναπτυσσόμενες μόνιμες παραμορφώσεις εξαρτώνται από
 - ✓ τις ιδιότητες των γεωσυνθετικών
 - ✓ τα χαρακτηριστικά του ρήγματος
- ↓ καθώς ↑ το πάχος της στρώσης H για σταθερή απόσταση οπλισμών s
- ↓ καθώς ↑ οι στρώσεις των οπλισμών για σταθερό πάχος της στρώσης H
- ↓ καθώς ↓ το E των οπλισμών ειδικά για πυκνές διατάξεις οπλισμών
- βέλτιστη λύση από τις εξεταζόμενες
 $H=5m$, $E=500MPa$, 7 στρώσεις γεωσυνθετικών,
 $L=4m$, οπλισμός κατανεμημένος ομοιόμορφα

Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Καταπόνηση πρανών λόγω διάδοσης σεισμικών κυμάτων
- Καταπόνηση πρανών λόγω τεκτονικής διάρρηξης
- Συμβολή - Προεκτάσεις

Συμβολή Διδακτορικής Διατριβής

- ⇒ πολύπλευρη διερεύνηση θεμάτων σεισμικής απόκρισης και ευστάθειας γεωσυνθετικά οπλισμένων γεωκατασκευών
- ⇒ εφαρμογή και περαιτέρω εξέλιξη των σύγχρονων μεθοδολογιών
- ⇒ σύγκριση αναλυτικών μεθοδολογιών (ψευδοστατικών & παραμενουσών μετακινήσεων) με αριθμητικές προσομοιώσεις και πειραματικά αποτελέσματα
- ⇒ διερεύνηση για πρώτη φορά της επίδρασης της τεκτονικής διάρρηξης σε οπλισμένα πρανή & επιχώματα

Γενικό συμπέρασμα:

- ⇒ ο ρόλος του οπλισμού είναι πολύ σημαντικός για την ευστάθεια των οπλισμένων πρανών και επιχωμάτων, το πρόβλημα είναι σύνθετο και πολυπαραμετρικό ⇒ απαιτείται εμπειρία και κατάλληλα τεχνογνωσία, ενώ για μεγάλα προβλήματα συνίσταται η εξατομικευμένη «case-by-case» αντιμετώπιση

Πιθανές προεκτάσεις

- ◉ διερεύνηση της ανάγκης για τη διενέργεια τριδιάστατων δυναμικών αριθμητικών αναλύσεων σε πιο πολύπλοκες γεωμετρίες (με αναβαθμούς, κλπ),
- ◉ διερεύνηση ευστάθειας όταν το πρηνές αποτελείται από διαφορετικές στρώσεις εδάφους και όχι από ομοιογενές εδαφικό υλικό,
- ◉ περαιτέρω διερεύνηση της καταπόνησης του οπλισμένου πρηνούς με την εκτέλεση πειραμάτων και σύγκριση με αριθμητικά προσομοιώματα,
- ◉ ενδελεχής μελέτη των ιδιοτήτων των διεπιφανειών και της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους και των γεωσυνθετικών,
- ◉ εξέταση της επίδρασης της κατακόρυφης διέγερσης,
- ◉ εξέταση πολυβάθμιων συστημάτων ταλάντωσης, κ.α.

Δημοσιεύσεις - Ανακοινώσεις

1. Tzavara, I., Tsompanakis, Y., Zania, V., and Psarropoulos, P.N., (2015) "Comparison of seismic slope stability assessment methods for reinforced geostructures", International Research Journal of Engineering and Technology 2(7), 30-38.
2. Tzavara, I., Tsompanakis, Y., Zania, V., and Psarropoulos, P.N., (2015) "Numerical dynamic analysis of geosynthetically reinforced geostructures", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2(6),1-8.
3. Tzavara I., Tsompanakis Y., Zania V., and Psarropoulos P.N., (2015) "Dynamic stability of reinforced slopes: Application of lumped parameter models", Geotextiles and Geomembranes Journal (under review).
4. Tzavara I., Tsompanakis Y., Zania V., and Psarropoulos P.N., (2015) "Kinematic distress of geosynthetically reinforced embankments and slopes due to fault rupture", Geotechnical Earthquake Journal (under review).
5. Tsompanakis, Y., Tzavara, I., Zania, V., Psarropoulos, P.N., (2015) "Impact of fault rupture on reinforced earth structures", 5th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering – COMPDYN 2015, 25-27 May, Heraklion, Crete, Greece, Invited Lecture.
6. Tzavara I., Tsompanakis Y., Zania V., Psarropoulos P.N., (2014) "Dynamic Sliding of Geosynthetically Reinforced Slopes", in B.H.V. Topping, P. Iványi, (Editors), "Proceedings of the 12th International Conference on Computational Structures Technology", 2-5 Sept., Naples-Italy, Civil Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 263, 2014. doi:10.4203/ccp.106.263.
7. Tzavara, I., Tsompanakis, Y., Zania, V., Psarropoulos, P.N., (2014) "Coupled and decoupled approaches for seismic stability assessment of reinforced earth structures", in Proceedings of the 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology-2ECEES, August 25-29, Istanbul, Turkey.
8. Tzavara, I., Tsompanakis, Y., Zania, V., Psarropoulos, P.N., (2013) "Assessment of reinforced slopes instability in view of semi-analytical methods", 4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering – COMPDYN 2013, 12-14 June, Kos, Greece.

Δημοσιεύσεις -Ανακοινώσεις

9. Tzavara, I., Tsompanakis, Y., Zania, V., and Psarropoulos, P.N., (2012) “A comparison of analytical approaches for the assessment of seismic displacements of geosynthetically reinforced geostructures”, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering–15 WCEE, September 24-28, Lisbon, Portugal, Paper 3056.
10. Tzavara, I., Tsompanakis, Y., Zania, V., and Psarropoulos, P.N., (2012) “Seismic stability of reinforced soils slopes”, Proceedings of the 8th International Conference on Engineering Computational Technology, September 4- 7, Dubrovnik, Croatia, Civil-Comp Press, Paper 109, Stirlingshire, UK, doi:10.4203/ccp.100.109.
11. Tzavara, I., Tsompanakis, Y., Zania, V., and Psarropoulos, P.N., (2012) “Dynamic Sliding of Geosynthetically Reinforced Soil Structures”, International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences ICCES’12, April 30 - May 4, 2012, Chania, Greece, Paper TSPPN:ICCES1220120322263.
12. Tzavara, I., Zania, V., Tsompanakis, Y., Psarropoulos, P.N., (2011) “Dynamic sliding of geosynthetically reinforced soil structures”, Proceedings of the 13th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, September 6-9, Chania, Greece, CC2011, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 219, doi:10.4203/ccp.96.219.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Η παρούσα διατριβή χρηματοδοτήθηκε από το Ερευνητικό Πρόγραμμα Χρηματοδότησης: «Ηράκλειτος II: ενίσχυση του ανθρώπινου ερευνητικού δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας» το οποίο αποτελεί συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο-ΕΚΤ) και εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

