



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Θεωρία & Εφαρμογές

ΕΔΑΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής



ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΜΠΟΥΚΟΒΑΛΑΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

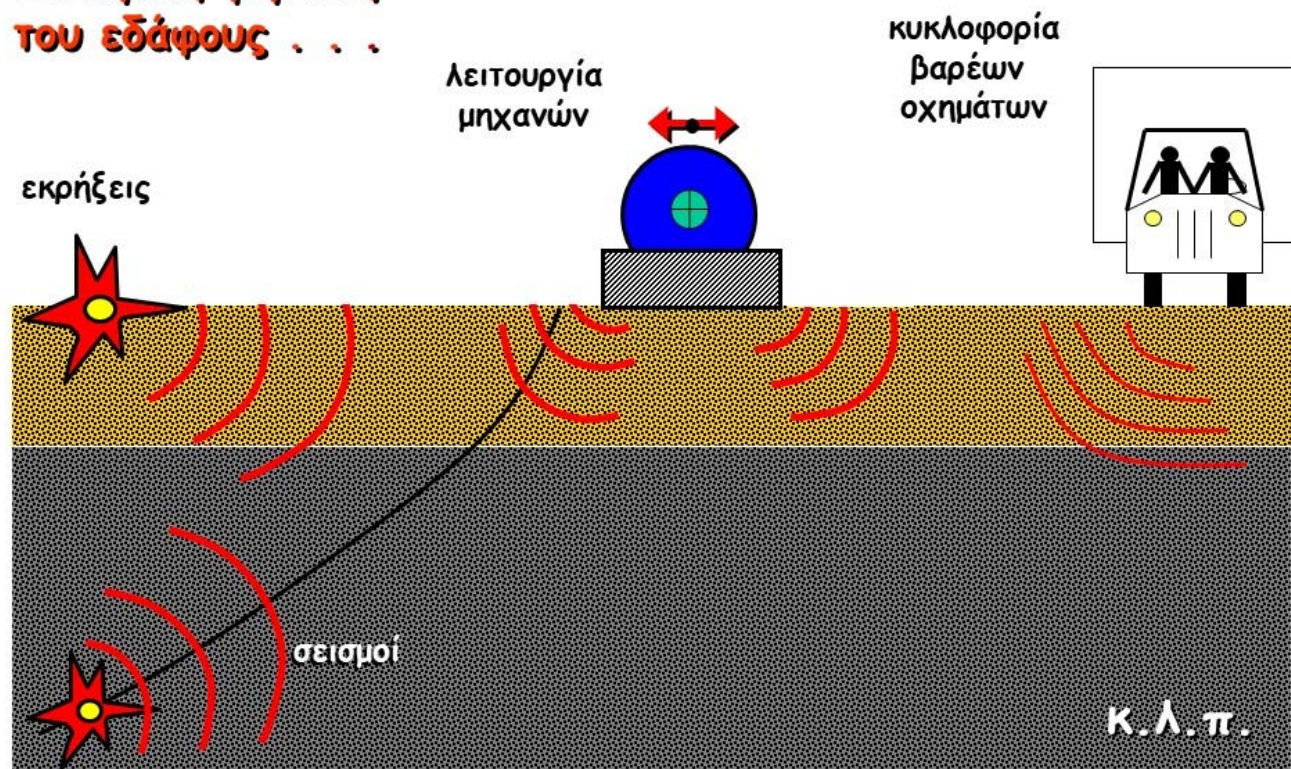
Σεπτέμβριος 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>σελίδα</u>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1-18
2. ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ Μονοβάθμιου (1DOF) Συστήματος (Διέγερση Βάσης & Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης)	19-36
3. Στοιχεία Θεωρίας ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ	37-66
4. ΑΡΜΟΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ "Χώρου" και "Επιφάνειας"	67-92
5. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ Εδαφών υπό Κυματική Φόρτιση	93-124
6. ΕΔΑΦΙΚΗ "ΕΝΙΣΧΥΣΗ" του Σεισμικού Κραδασμού	125-170
7. ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ λόγω Σεισμού - Μηχανισμοί & ΕΛΕΓΧΟΣ Επικινδυνότητας	171-206
8. ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ λόγω Σεισμού - ΣΥΝΕΠΤΕΙΕΣ & Μέτρα ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ	207-240

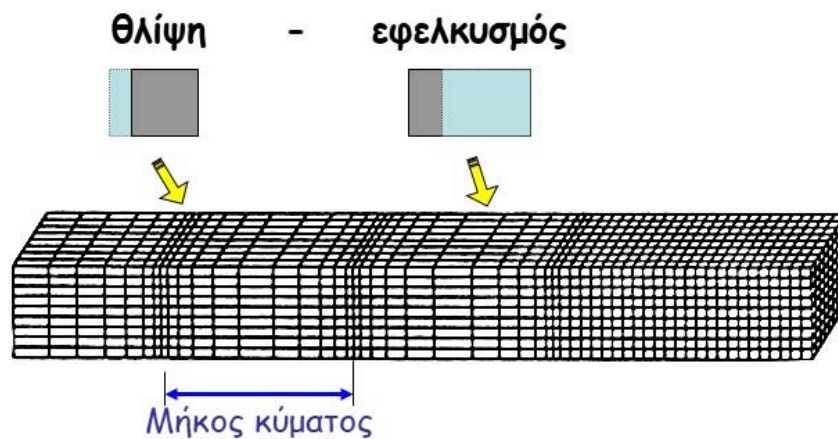
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**Δυναμική φόρτιση
του εδάφους . . .**

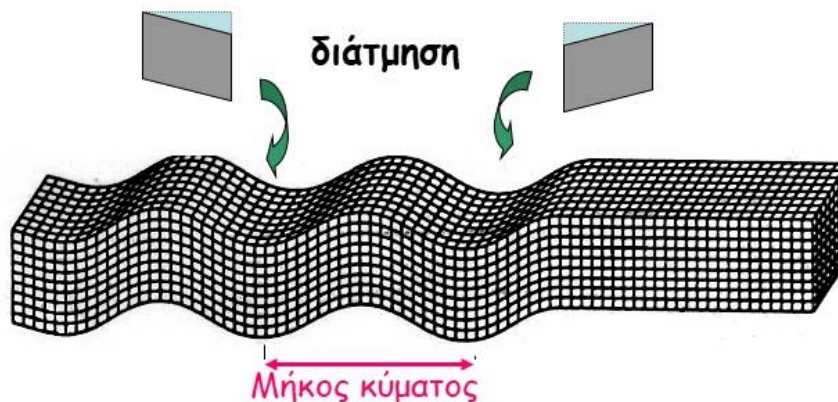


Εδαφο-Δυναμική = μετάδοση ΚΥΜΑΤΩΝ στο έδαφος

Κύματα P



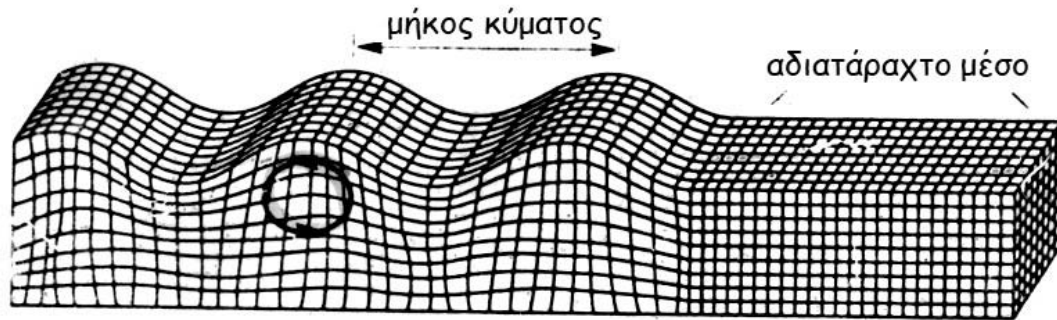
Κύματα S



Κύμα P
+
Κύμα SV
+
ΕΛΕΥΘΕΡΗ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



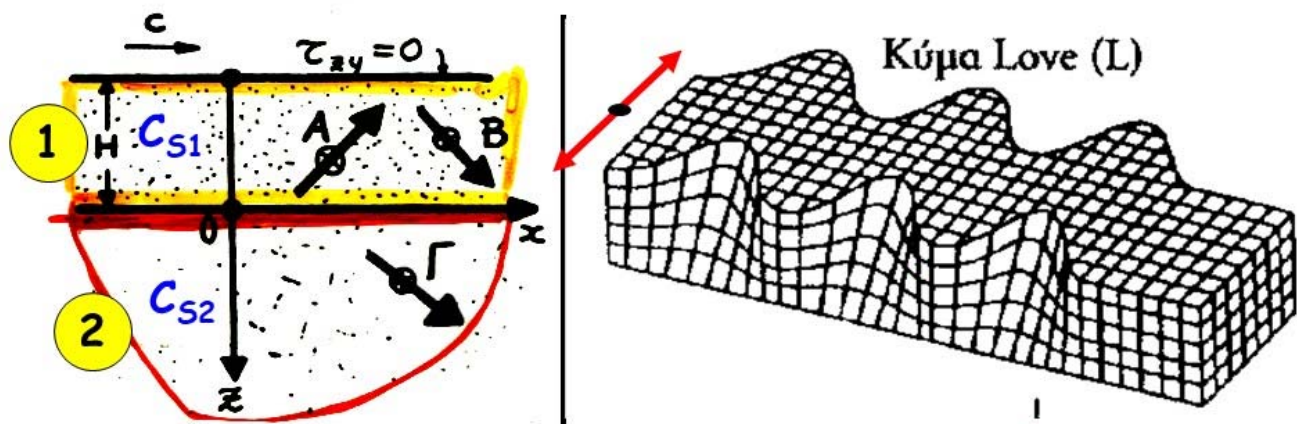
κύμα
Rayleigh



Κύματα LOVE

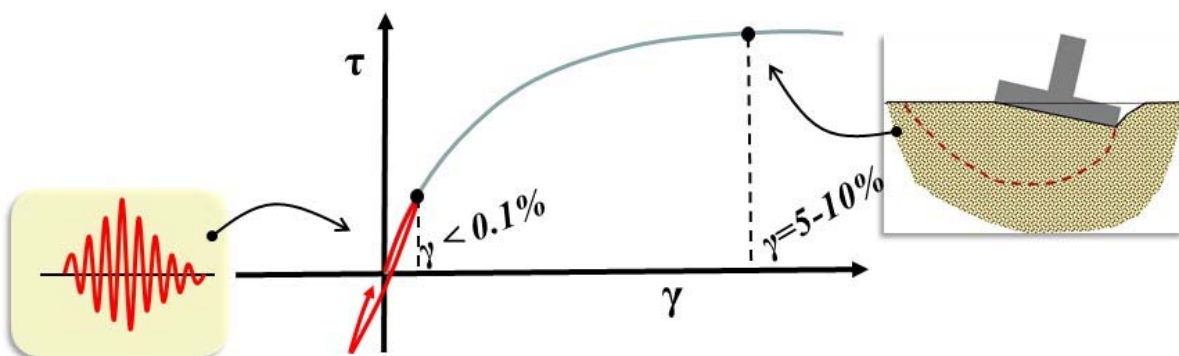
Είναι κύματα SH «παγιδευμένα» στο άνω στρώμα (ή στα άνω στρώματα) ενός στρωματογενούς ημιχώρου.

Η διατμητική δυσκαμψία των επιφανειακών στρωμάτων θα πρέπει να είναι μικρότερη από την δυσκαμψία του υποκείμενου ημι-χώρου



✚ Η δυναμική φόρτιση έχει πολύ μικρότερη ένταση από την στατική

- το εύρος της διατμητικής παραμόρφωσης δεν ξεπερνά το $\gamma=0.1\%$ για συνήθεις **δυναμικές φορτίσεις** (σεισμικές δονήσεις, ταλαντώσεις θεμελίων κλπ),
- σε σύγκριση με την διατμητική παραμόρφωση λόγω **στατικής φόρτισης** που μπορεί να φτάσει (κατά την αστοχία) το $\gamma=5-10\%$



✚ Η επιβολή της φόρτισης είναι ταχύτατη

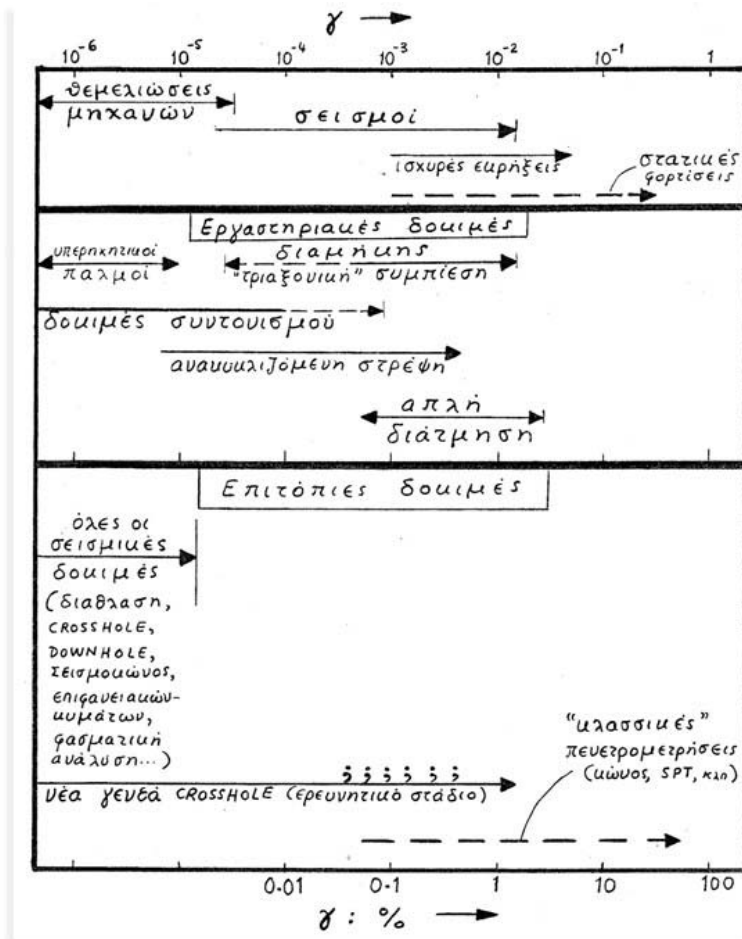
- η συνήθης δεσπόζουσα περίοδος είναι **0.20-0.60sec** για **σεισμική δόνηση** ή ακόμη μικρότερη για ταλαντώσεις θεμελίων & εκρήξεις,
- σε αντίθεση με τον χρόνο που απαιτείται για την **κατασκευή τεχνικών έργων** που ξεπερνά το **1 έτος ($30 \cdot 10^6 \text{sec}$)**

Λόγω των παραπάνω



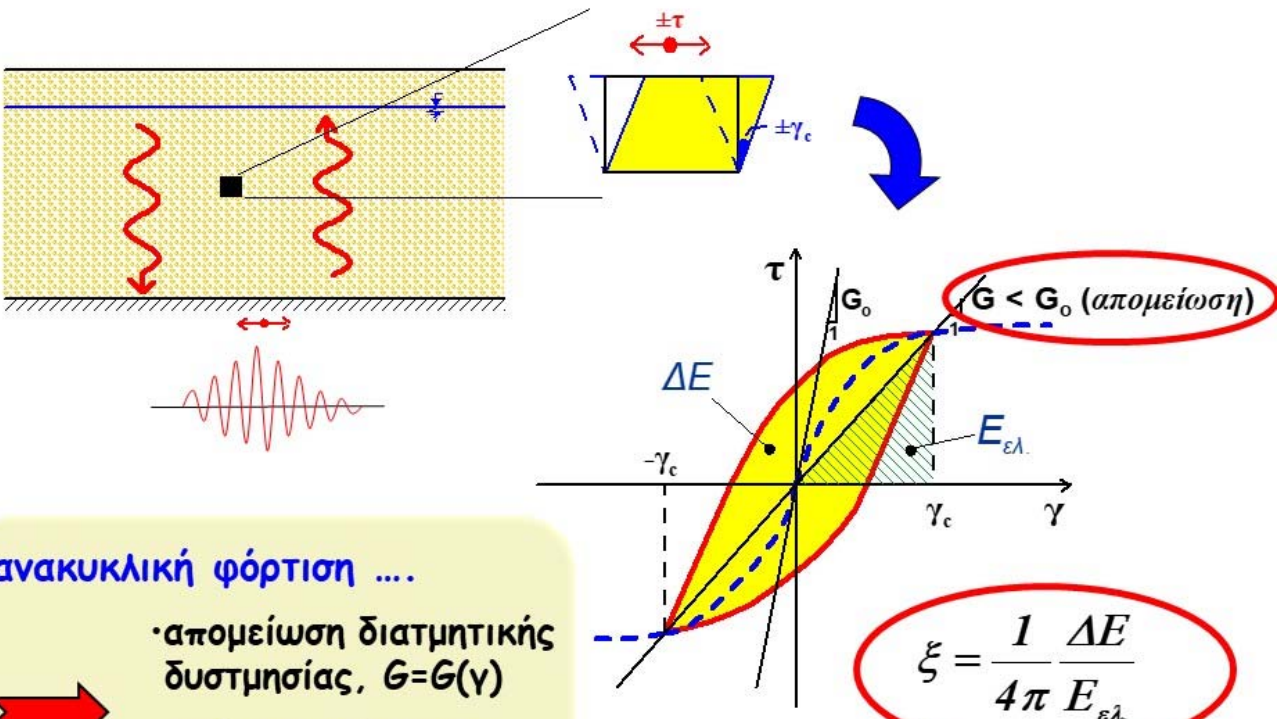
- Η μηχανική συμπεριφορά του εδάφους είναι (συνήθως όχι πάντοτε) περίπου **ελαστική**
- Οι συνθήκες φόρτισης είναι (συνήθως όχι πάντοτε) **αστράγγιστες** ακόμη και για διαπερατά κοκκώδη εδάφη
- Οι μετρήσεις απαιτούν **ειδικές επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές**, πολύ μεγαλύτερης ευαισθησίας από αυτές που χρησιμοποιούνται στην Εδαφομηχανική

Εύρος διατμητικής παραμόρφωσης γ συνηθισμένων δυναμικών φορτίσεων και εργαστηριακών-επιτόπου δοκιμών Εδαφοδυναμικής



(από "ΕΔΑΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ" Γ. Γκαζέτα)

✚ Η δυναμική φόρτιση είναι ανακυκλική & επαναλαμβανόμενη και όχι μονοτονική όπως η στατική



ανακυκλική φόρτιση

- απομείωση διατμητικής δυσστησίας, $G=G(\gamma)$
- απώλεια ενέργειας, $\xi=\xi(\gamma)$

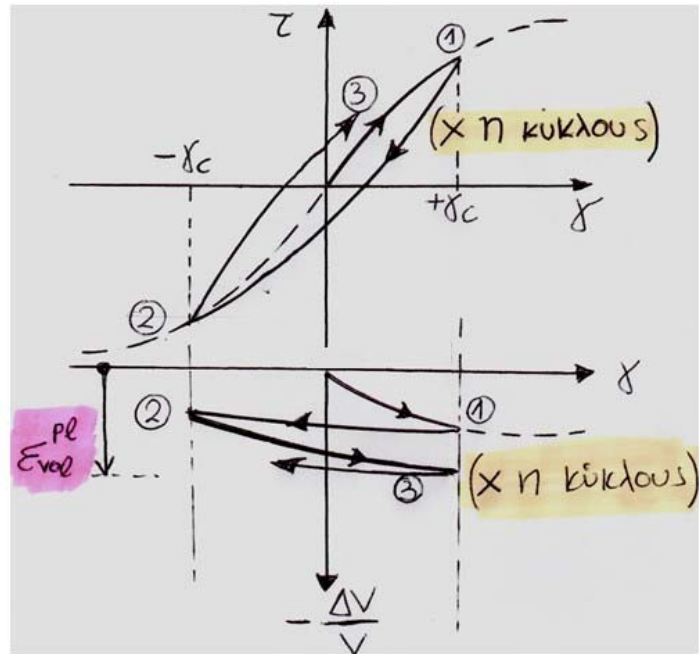
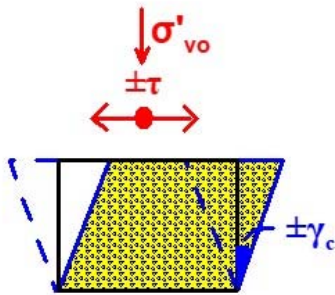
$$\xi = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta E}{E_{ελ}}$$

ανακυκλική
επαναλαμβανόμενη
φόρτιση



συσσώρευση

• ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ παραμόρφωσης
& καθιζήσεων ("ξηρό" έδαφος)



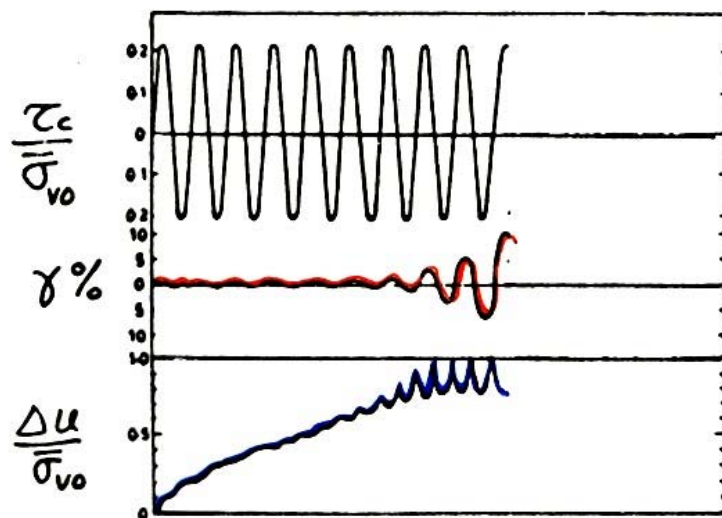
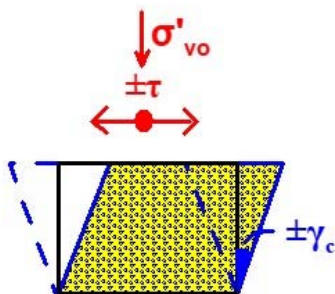
Καθίζηση (λόγω σεισμού)

ανακυκλική
επαναλαμβανόμενη
φόρτιση



συσσώρευση

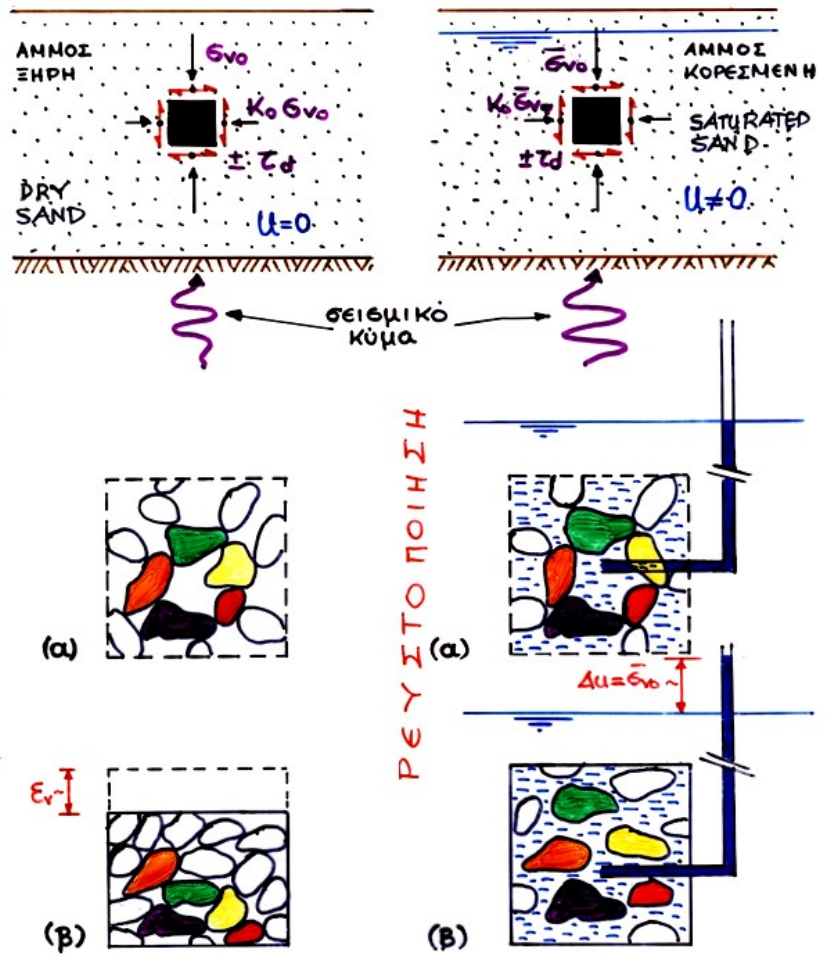
• ΥΠΕΡ-πιέσεων στους πόρους
(κορεσμένο έδαφος)



ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ (λόγω σεισμού) !

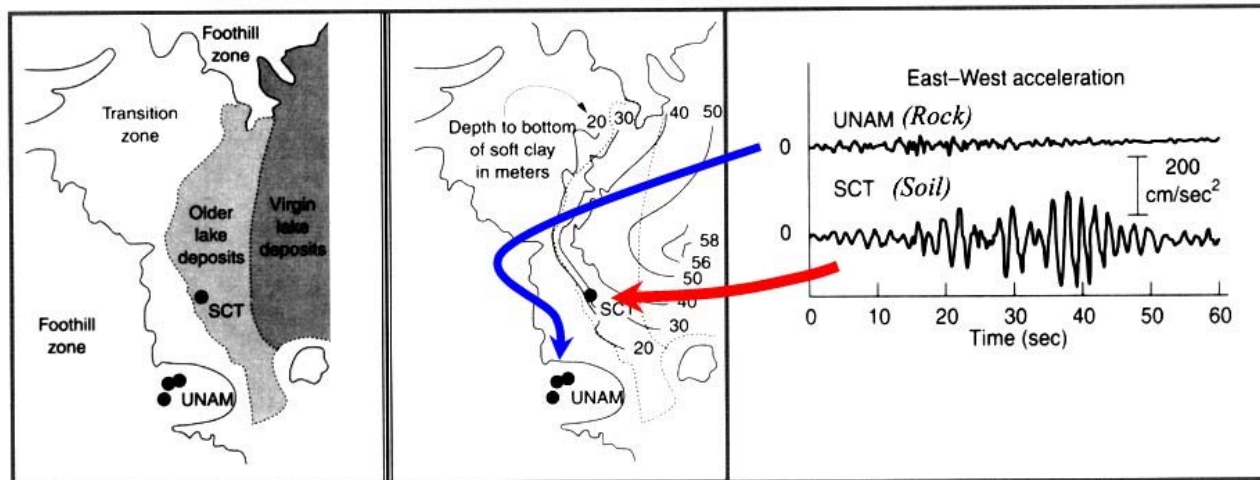
Μηχανισμός
Ρευστοποίησης.....

ΣΥΝΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ



✚ Εδαφική ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού & Μικροζωνικές Μελέτες

σεισμός Mexico 1985

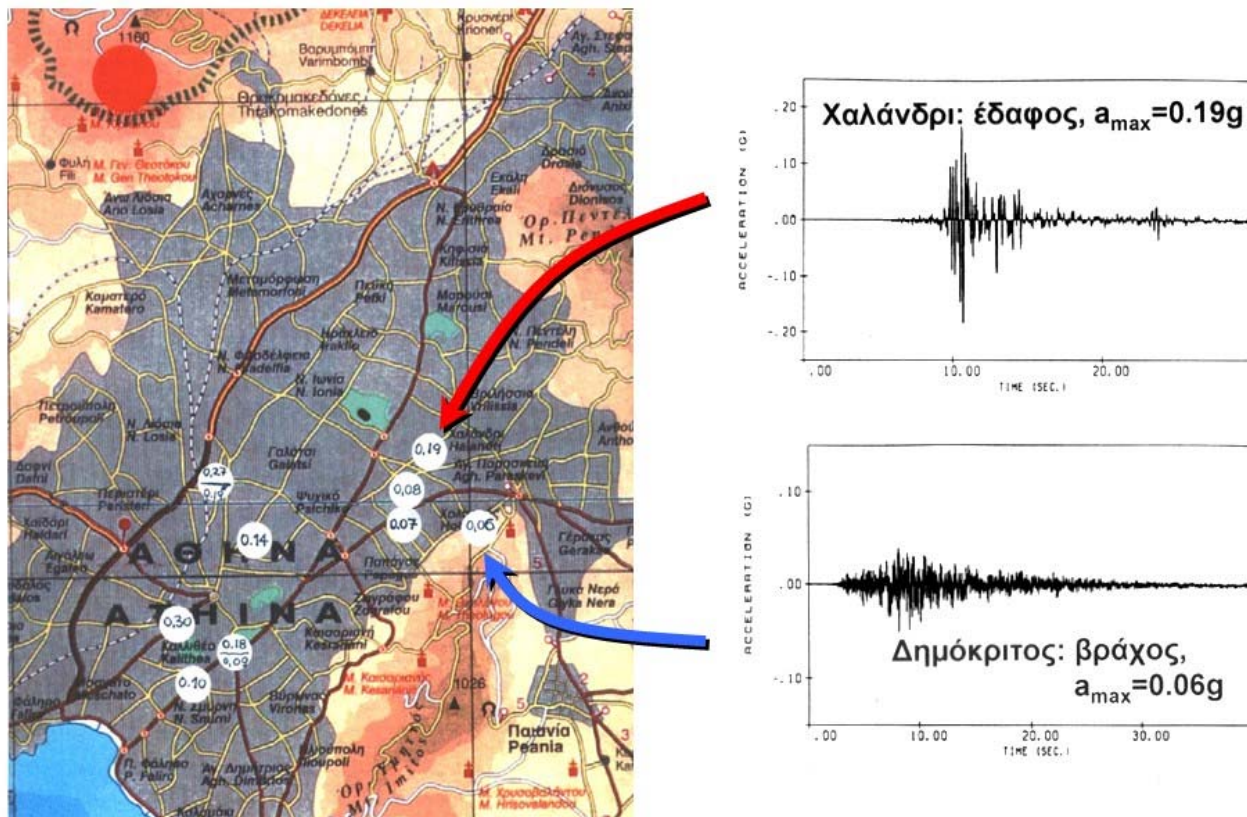


γεωλογία

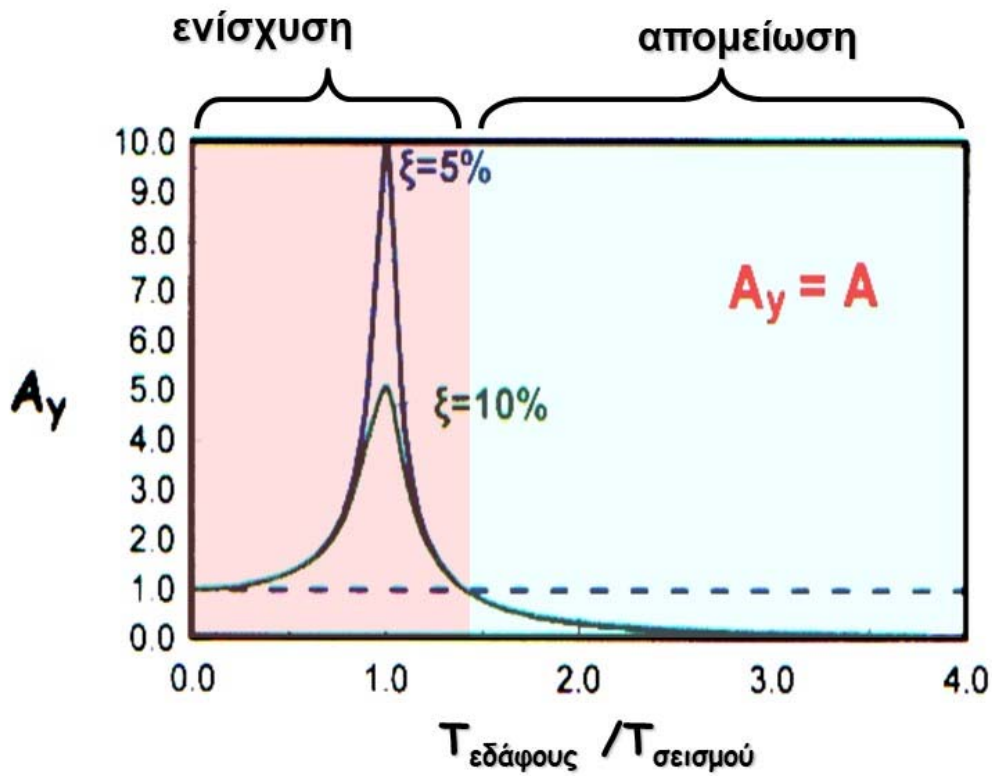
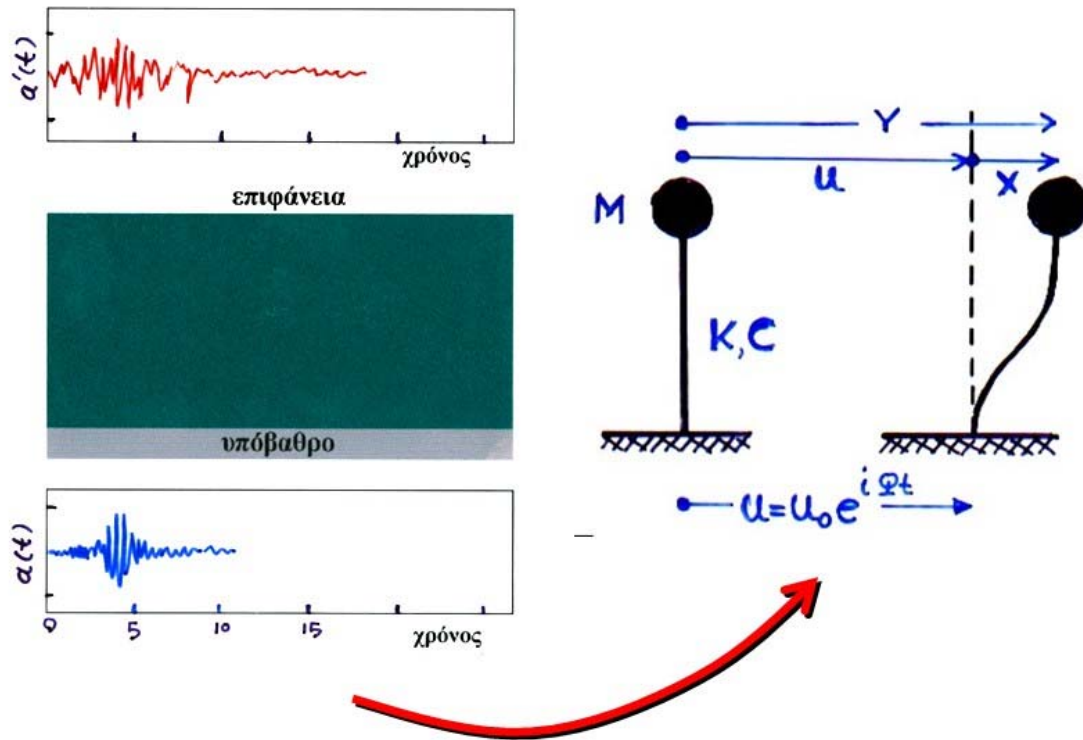
πάχος εδάφους

Τυπικές καταγραφές σε
ΕΔΑΦΟΣ & ΒΡΑΧΟ

Σεισμός της Αθήνας, 1999



Μηχανισμός



$A_y = \text{δόνηση στο έδαφος} / \text{δόνηση στο υπόβαθρο}$

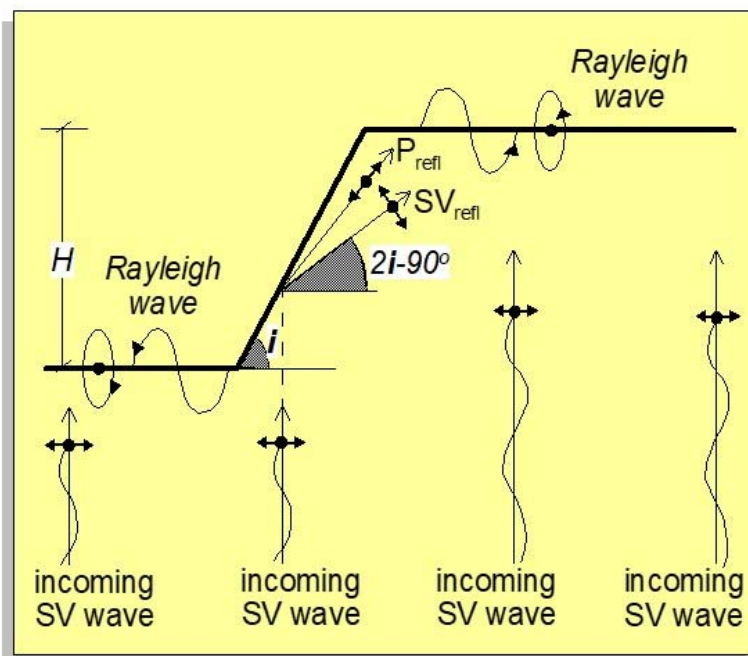
Τοπογραφική επιδείνωση του σεισμικού κραδασμού



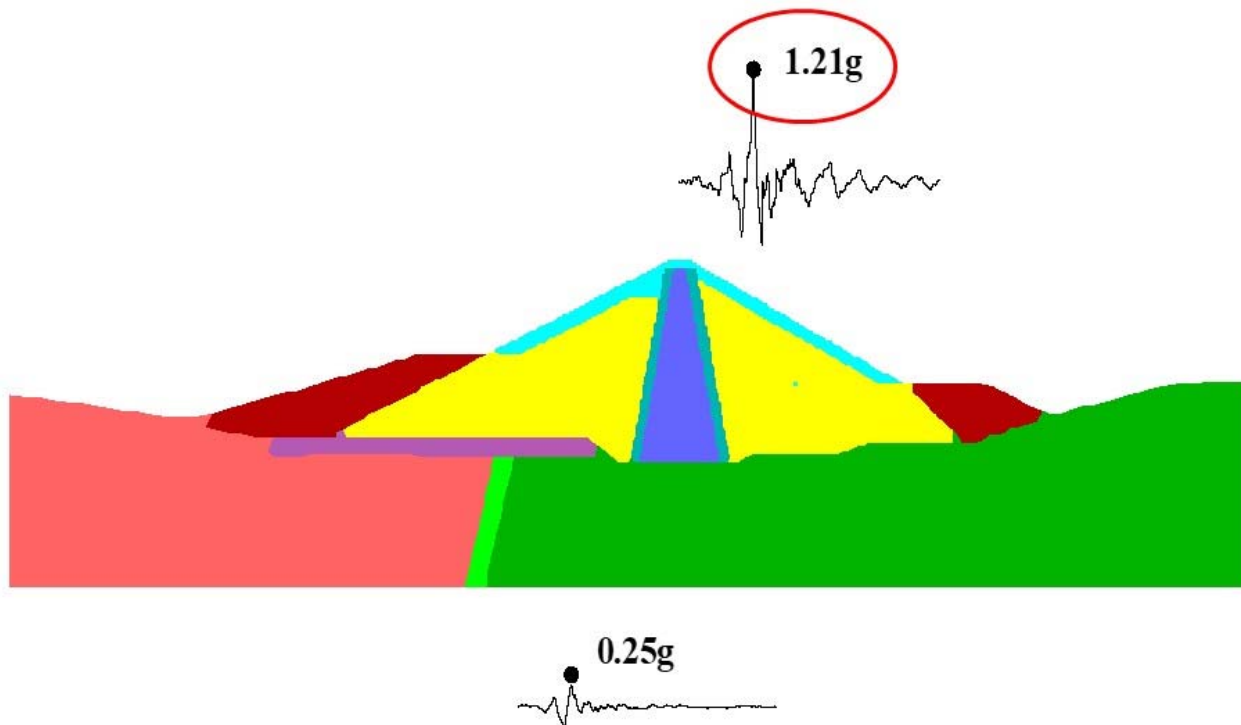
Εργοστάσιο RICOMEX (μετά τον σεισμό της Αθήνας, 1999)

Μηχανισμός

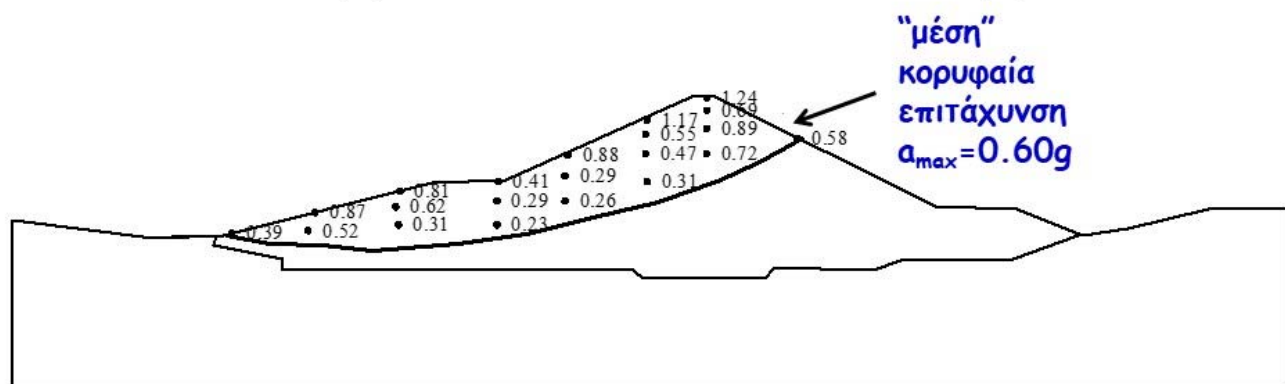
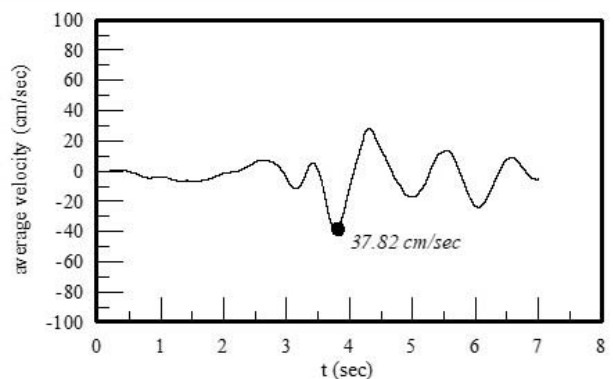
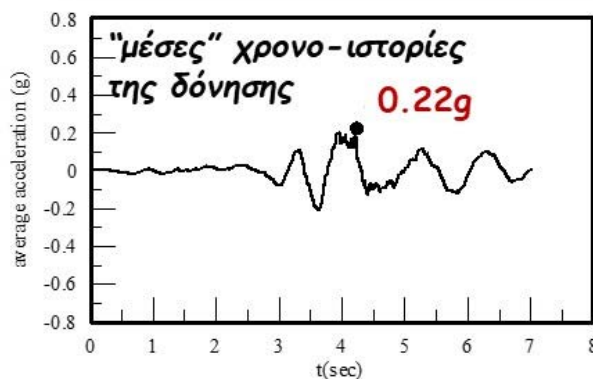
- Σε κάθε σημείο της ελεύθερης επιφάνειας συμβάλλουν τέσσερα κύματα: ένα κατακόρυφα μεταδιδόμενα SV, ένα ανακλώμενο SV και ένα ανακλώμενο P, και τέλος ένα επιφανειακό κύμα Rayleigh.
- Τα κύματα αυτά έχουν διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης και διαφορετικά μήκη διαδρομής και επομένως η άφιξη τους γίνεται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, μπορεί δε να οδηγήσει τόσο σε αύξηση όσο και σε μείωση της εδαφικής κίνησης.
- Επιπλέον, τα τρία τελευταία κύματα έχουν και **κατακόρυφη** συνιστώσα



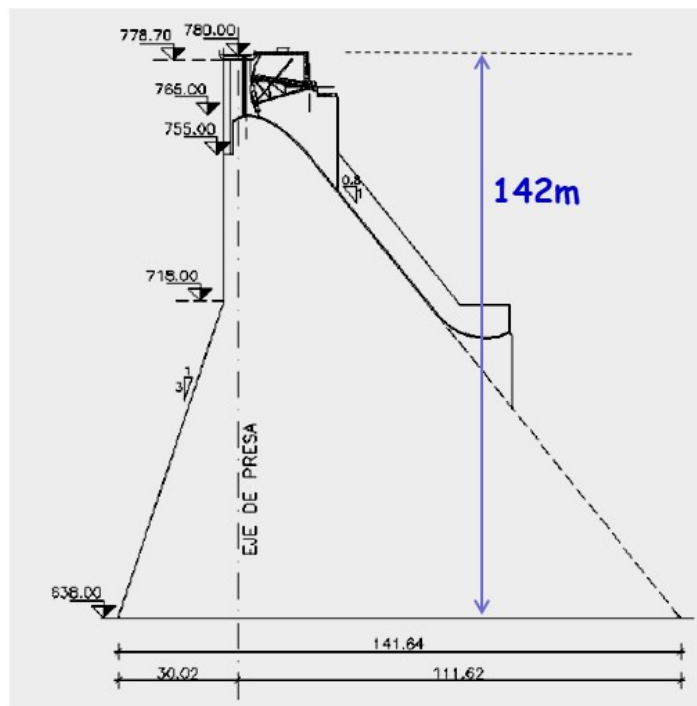
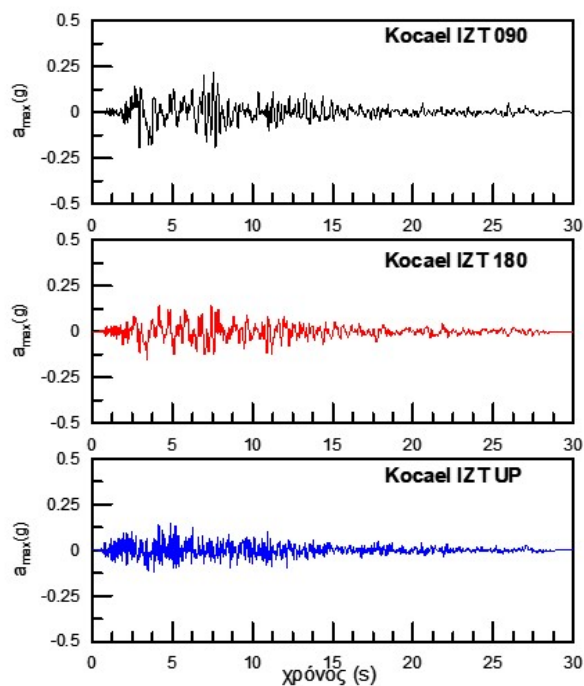
Αντισεισμικός σχεδιασμός φράγματος Ιλαρίωνα της ΔΕΗ στην Μακεδονία



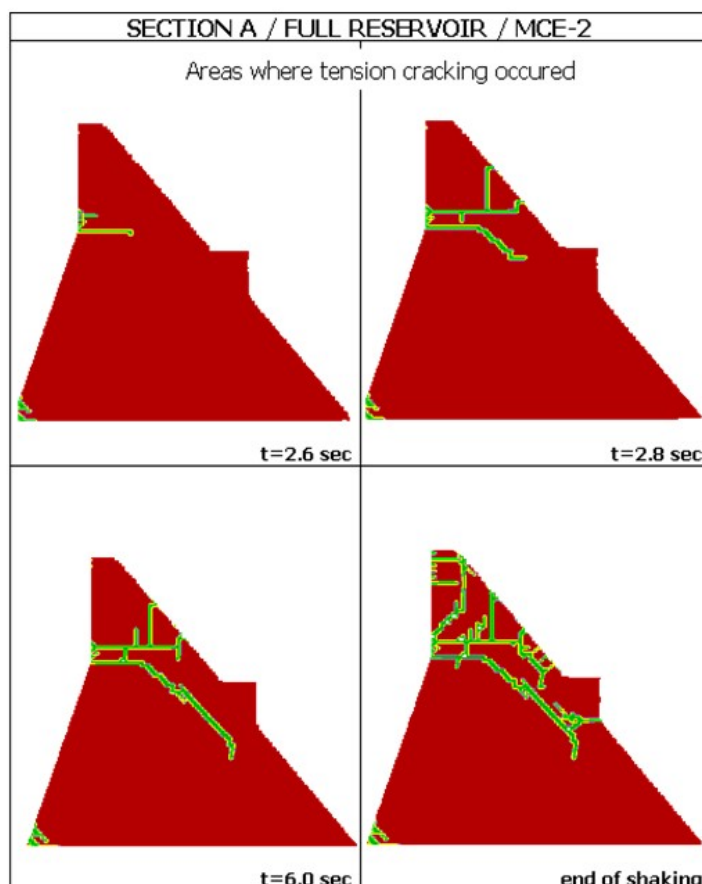
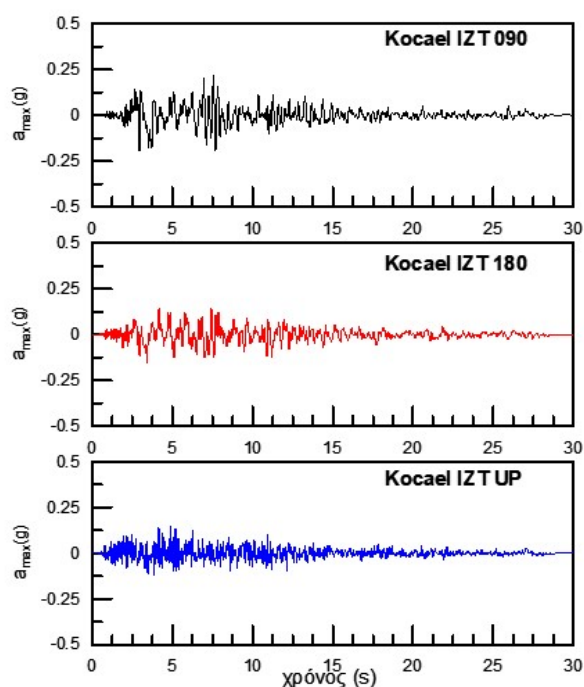
Έλεγχος ευστάθειας του πρηνούς με την κορυφαία επιτάχυνση της "μέσης" χρονο-ιστορίας $a_{max}=0.22g$ < < $0.60g$ (γιατί άραγε??)



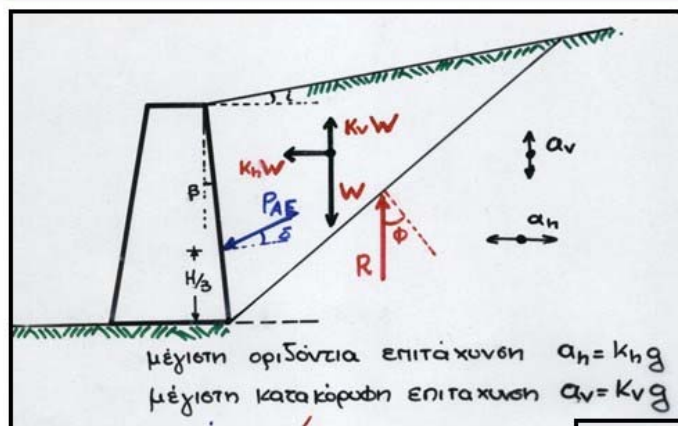
Αντισεισμικός σχεδιασμός φράγματος RCC στο CHONTAL του Equador (Ισημερινός)



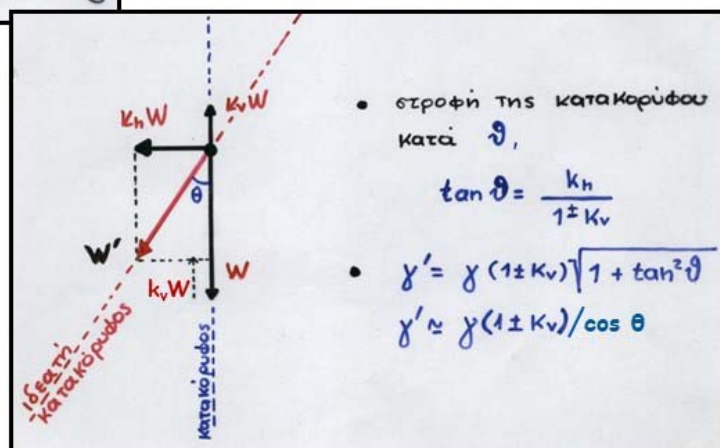
Αντισεισμικός σχεδιασμός φράγματος RCC στο CHONTAL του Equador (Ισημερινός)



✚ Αντισεισμικός σχεδιασμός τοίχων αντιστήριξης & κρηπιδοτοίχων



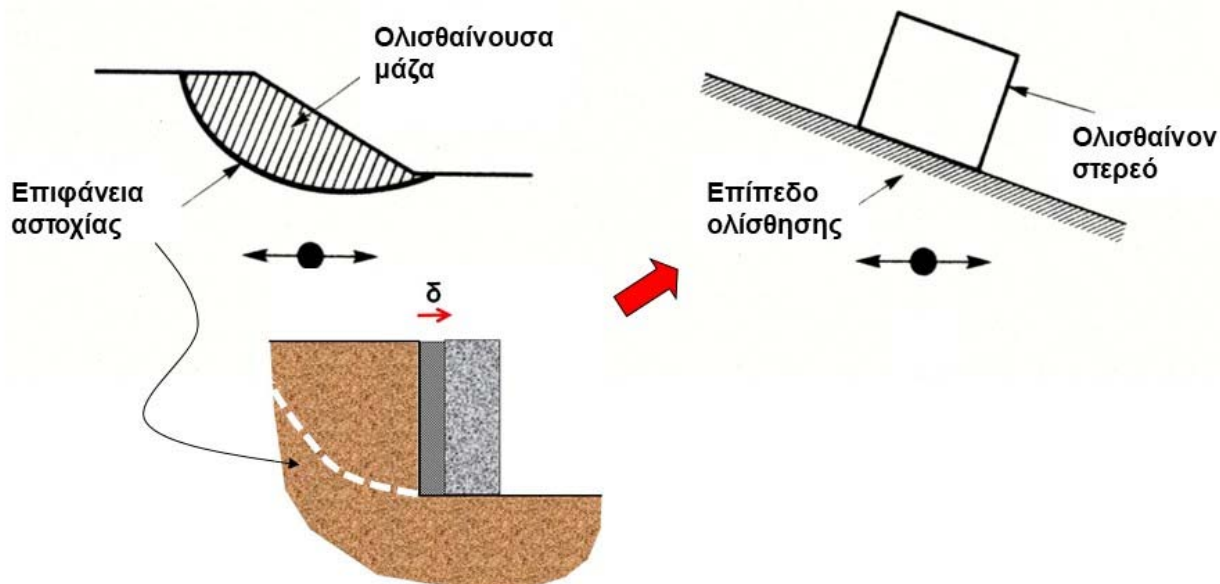
Ψευδοστατικά



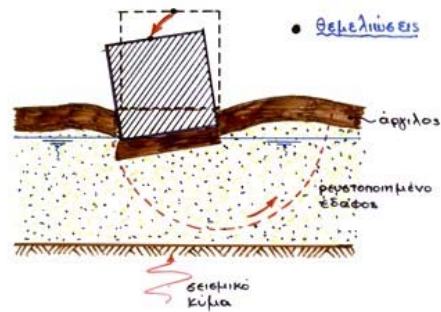
ή

με την μέθοδο των «επιτρεπόμενων μετατοπίσεων»
 (Performance Based Design ή PBD)

για πρανή και τοίχους αντιστήριξης με ολίσθηση



• Ρευστοποίηση

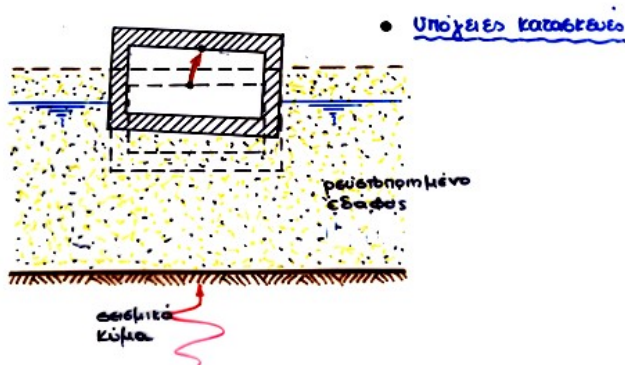


**Αστοχία Θεμελίωσης
Kocaeli (Izmit), Τουρκία (1999)**



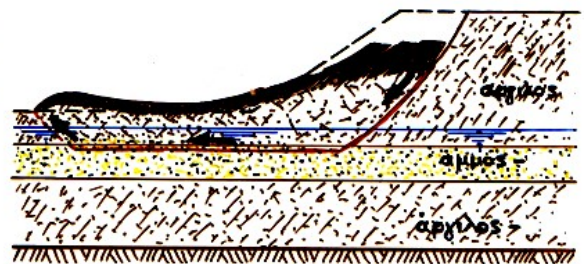
Ανάδυση υπόγειων κατασκευών.....

Σεισμός Χιλής, Mw = 8.8, Φεβρουάριος 27, 2010

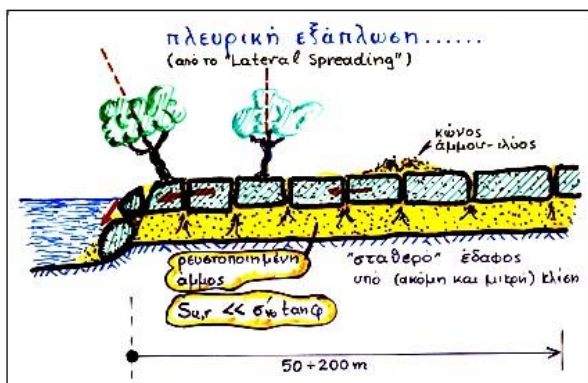


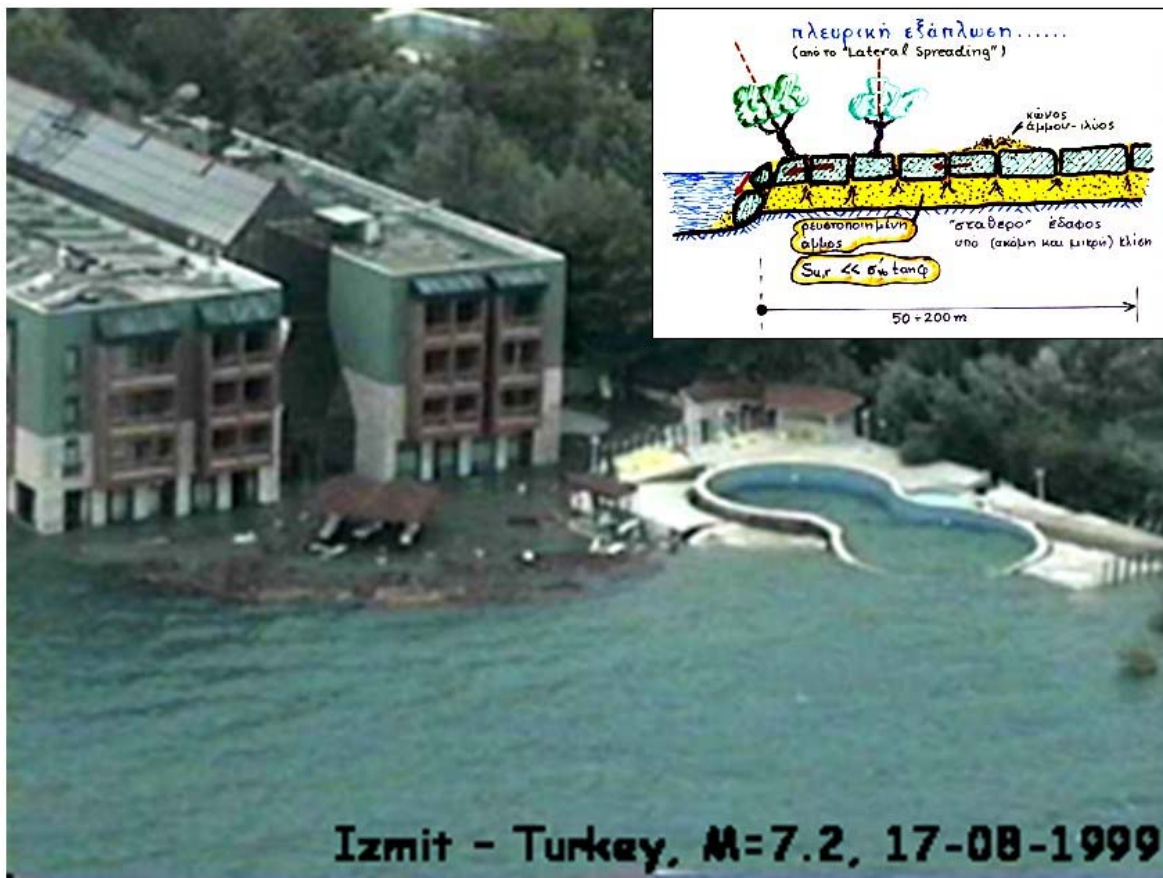
Αστοχία πρανών.....

Σεισμός Χιλής, $M_w = 8.8$, Φεβρουάριος 27, 2010

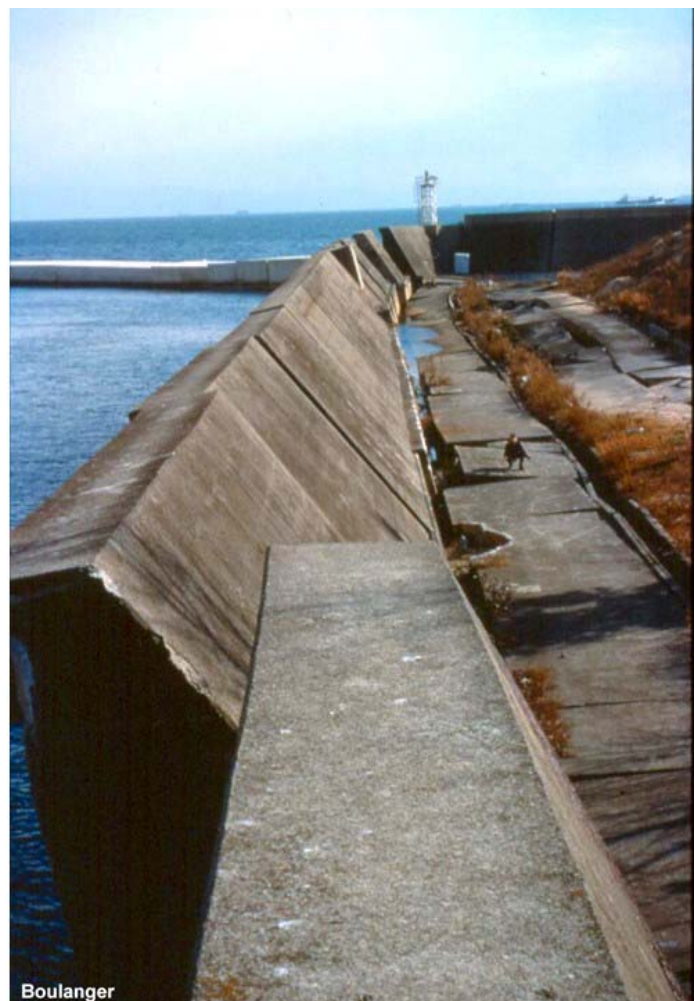
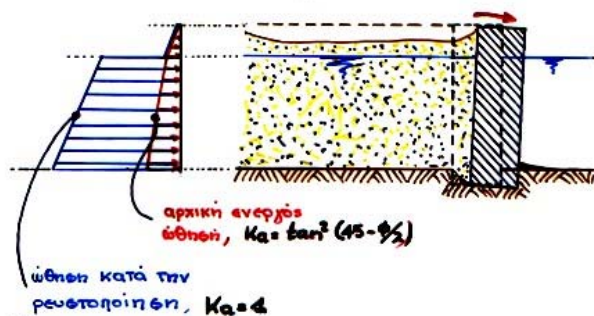


Οριζόντια εξάπλωση
(lateral spreading)
του εδάφους
Σεισμός Izmit (1999)





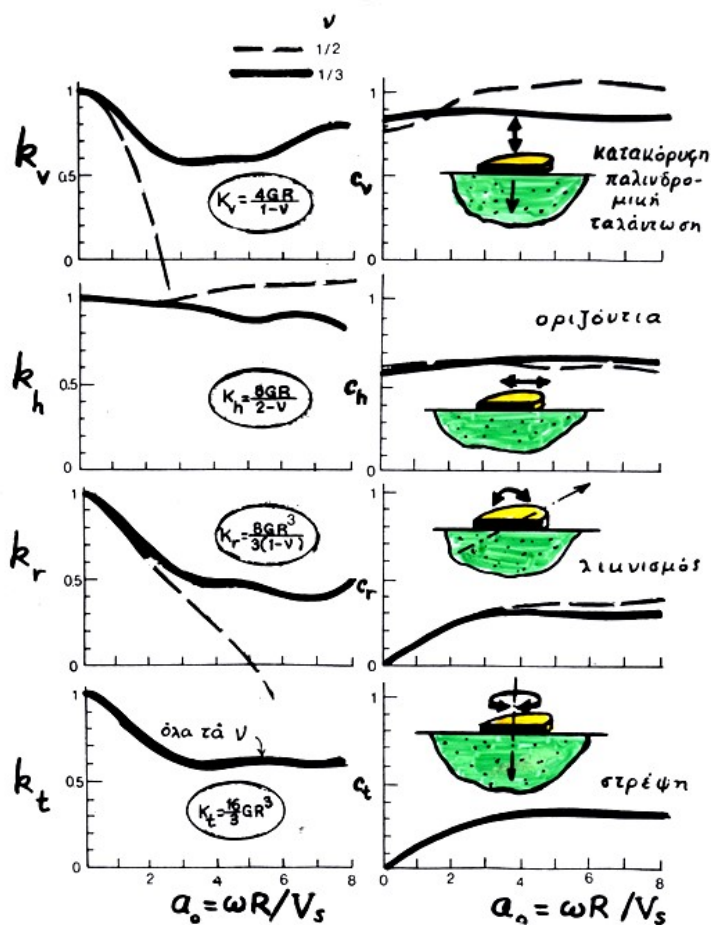
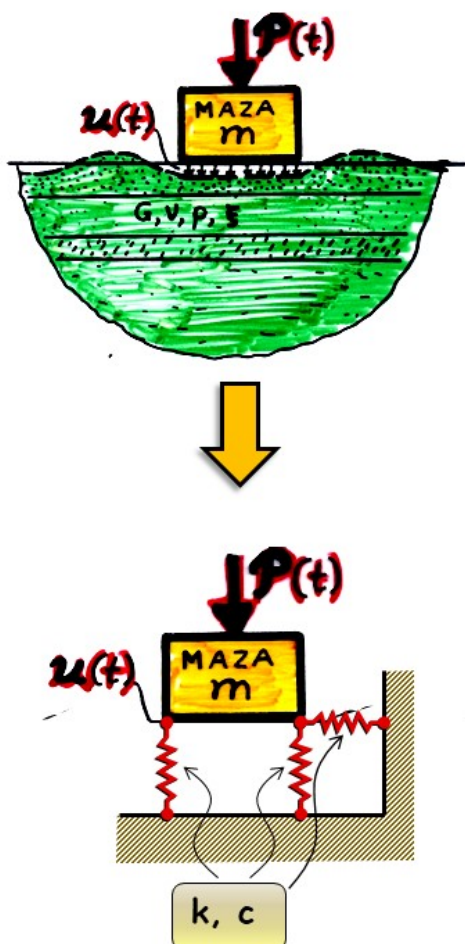
Αστοχία λιμενικών κρηπιδοτοίχων Σεισμός Kobe (1995)



Ταλαντώσεις Θεμελίων



Δυναμική
αλληλεπίδραση
εδάφους-θεμελίου-
ανωδομής



(από ΕΔΑΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ Γ. Γκαζέτα)

ΣΥΝΟΨΗ:

από όλα τα
προηγούμενα

στην

ΕΔΑΦΟ-ΔΥΝΑΜΙΚΗ

Γεωτεχνική Σεισμική
Μηχανική

Θα διδαχθούν....

??

- ✚ Βασικά στοιχεία από ταλαντώσεις μονο-βάθμιων συστημάτων & Ελαστικά Φάσματα απόκρισης
- ✚ Μετάδοση κυμάτων (P, S, R, L) στο έδαφος
- ✚ Μηχανική συμπεριφορά εδαφικού στοιχείου υπό ανακυκλική φόρτιση
- ✚ Εδαφική “ενίσχυση” του σεισμικού κραδασμού
- ✚ Ρευστοποίηση λόγω σεισμού: έλεγχος επικινδυνότητας, συνέπειες & μέτρα αντιμετώπισης
- ✚ Ταλαντώσεις Θεμελίων & Δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους-Θεμελίου-ανωδομής (βασικές αρχές)

