

## Εξάρτηση της σεισμικής κίνησης από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες

- Μηχανικές ιδιότητες του εδάφους θεμελίωσης
- Πάχος και δυσκαμψία του επιφανειακού ιζηματογενούς στρώματος
- Κλίση των στρωμάτων και τοπογραφία
- Περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό  $\Rightarrow$   
*ρευστοποίηση*

# Αποτελέσματα των σεισμών - Ρευστοποίηση



Niigata, Japan 1964

# Αποτελέσματα των σεισμών - Ρευστοποίηση



# Αποτελέσματα των σεισμών - Ρευστοποίηση



# Αποτελέσματα των σεισμών - Ρευστοποίηση



# Αποτελέσματα των σεισμών - Ρευστοποίηση



# Μέθοδοι καθορισμού του πλάτους της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια του εδάφους

- Μέθοδος *Medvedev* (κυματικής αντίστασης)

Αρμονικό κύμα πλάτους  $A_0$  – περιόδου  $T_0$

Διάδοση σε σκληρό πέτρωμα πυκνότητας  $\rho_0$  – ταχύτητας  $c_0$

Ταχύτητα ταλάντωσης υλικών σημείων στο πέτρωμα:

$$v = \omega_0 A_0 \cos \omega_0 t$$

Μέση ταχύτητα ταλάντωσης:

$$v_m = \omega_0 A_0$$

Μέτωπο κύματος εμβαδού  $S$ , σε χρόνο  $t$ , ταλάντωση μάζας  $m$

Μάζα :  $m = \rho_0 S c_0 t$  στη μονάδα του χρόνου:

$$m = \rho_0 S c_0$$

Κινητική ενέργεια:

$$E_o = m \cdot \frac{v_m^2}{2}$$

$$\omega_o = \frac{2\pi}{T_o}$$

$$E_o = 2Sc_o\rho_o\pi^2 \frac{A_o^2}{T_o^2}$$

Χαλαρό έδαφος, πυκνότητας  $\rho_o$ , ταχύτητας  $c_1$ ,  $c_1 < c_o$

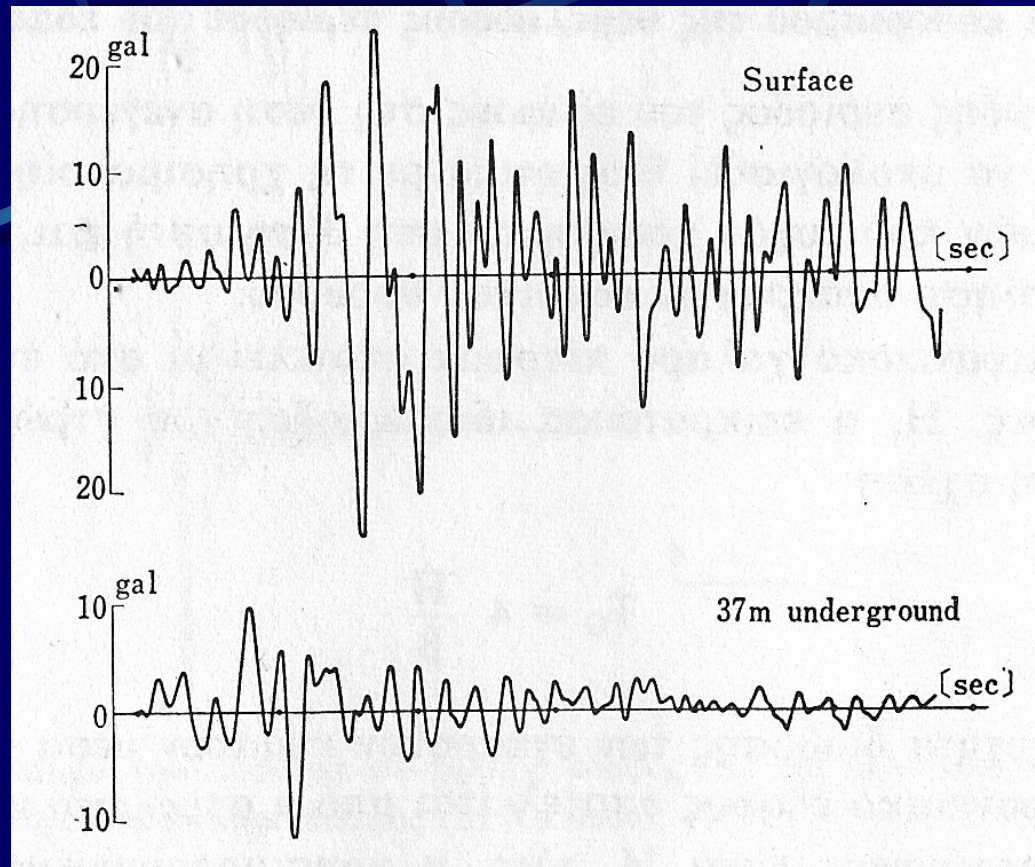
$$E_1 = 2Sc_1\rho_1\pi^2 \frac{A_1^2}{T_1^2}$$

Διαχωριστική επιφάνεια:  $E_o = E_1$ ,  $T_o = T_1$

$$\frac{A_1}{A_o} = \sqrt{\frac{c_o\rho_o}{c_1\rho_1}}$$

Κυματική αντίσταση:  $c\rho$





Επιταχυνσιόγραμμα που λήφθηκε στην επιφάνεια της Γης (πάνω) και άλλο που λήφθηκε σε 37 m μέσα στη Γη (κάτω) (Okamoto, 1973)

## Μέθοδος Kanai

Ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων στο επιφανειακό χαλαρό στρώμα σημαντικά μικρότερη  $\Rightarrow$  απόκλιση προς την κατακόρυφη – πολλαπλή ανάκλαση

Μεγέθυνση του πλάτους της εδαφικής μετάθεσης  $G(T)$

$$A_1 = A_o \cdot G(T)$$

$$G(T) = 1 + \frac{1}{\sqrt{\left[ \frac{1+\kappa}{1-\kappa} \left( 1 - \frac{T^2}{T_G^2} \right) \right]^2 + \left( \frac{0,3}{\sqrt{T_G}} \frac{T}{T_G} \right)^2}}$$

$T$  : περίοδος του σεισμικού κύματος

$T_G$  : θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του επιφανειακού εδαφικού στρώματος

$$\kappa = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_o c_o}$$

# Τρόποι καθορισμού της θεμελιώδους περιόδου του εδάφους

Αναγραφές σεισμών ή εδαφικού θορύβου

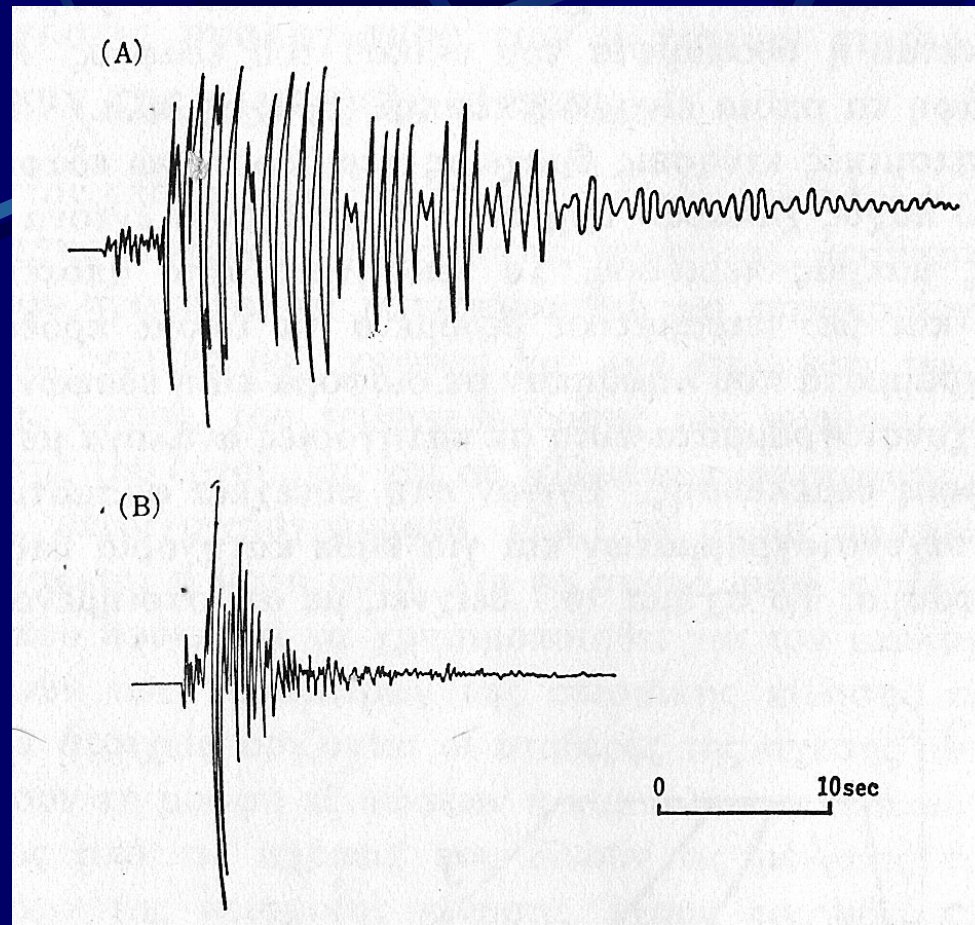
Οριζόντιο στρώμα πάχους,  $H$ , ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων,  $\beta$   
Επικρατούσα περίοδος:

$$T_G = 4 \frac{H}{\beta}$$

$n$  στρώματα, συνολικού πάχους  $H$

$$\frac{H}{\beta} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{\beta_i}$$

Ισχυροί σεισμοί ( $M > 6.0$ )  $\Rightarrow$  επανάληψη κυμάτων περιόδου ίσης με τη δεσπόζουσα

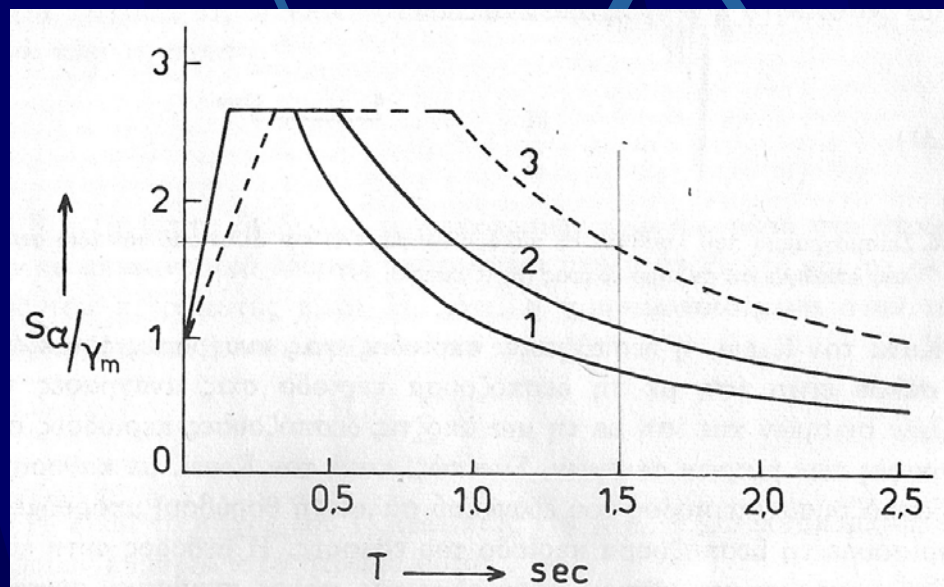


Σεισμόγραμμα που λήφθηκε σε χαλαρό έδαφος (A) και άλλο από τον ίδιο σεισμό που λήφθηκε σε σκληρό έδαφος (B) (Okamoto, 1973)

## Επίδραση του εδάφους θεμελίωσης στις φασματικές τιμές των παραμέτρων της σεισμικής κίνησης

δύσκαμπτα εδάφη  $\Rightarrow$  ενίσχυση σεισμικών κινήσεων βραχείας περιόδου

χαλαρά εδάφη  $\Rightarrow$  ενίσχυση σεισμικών κινήσεων μακράς περιόδου



Απλοποιημένα φάσματα επιταχύνσεων για τρεις τύπους εδάφους:

1. Βραχώδες πέτρωμα, 2. Μη συνεκτικό σκληρό αργιλικό, 3. Μαλακές ως μέτρια σκληρές άργιλλοι και άμμοι (Seed & Idriss, 1982)

## Σχέσεις υπολογισμού των μέγιστων τιμών των παραμέτρων της σεισμικής κίνησης

- Επίδραση των ιδιοτήτων της σεισμικής εστίας, του τρόπου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και του εδάφους θεμελίωσης
- Δεδομένα παρατήρησης που αφορούν την περιοχή

## Σχέσεις υπολογισμού των μέγιστων τιμών της εδαφικής επιτάχυνσης, εδαφικής ταχύτητας και εδαφικής μετάθεσης

- $y$  : εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα ή μετάθεση

$$y = b_1 e^{b_2 M} D^{-b_3}$$

- $y = \gamma_m$  :  $b_1 = 2000$ ,  $b_2 = 0.8$ ,  $b_3 = 2$

- $y = v_m$  :  $b_1 = 6$ ,  $b_2 = 1.0$ ,  $b_3 = 1.7$

- $y = S_m$  :  $b_1 = 7$ ,  $b_2 = 1.2$ ,  $b_3 = 1.6$

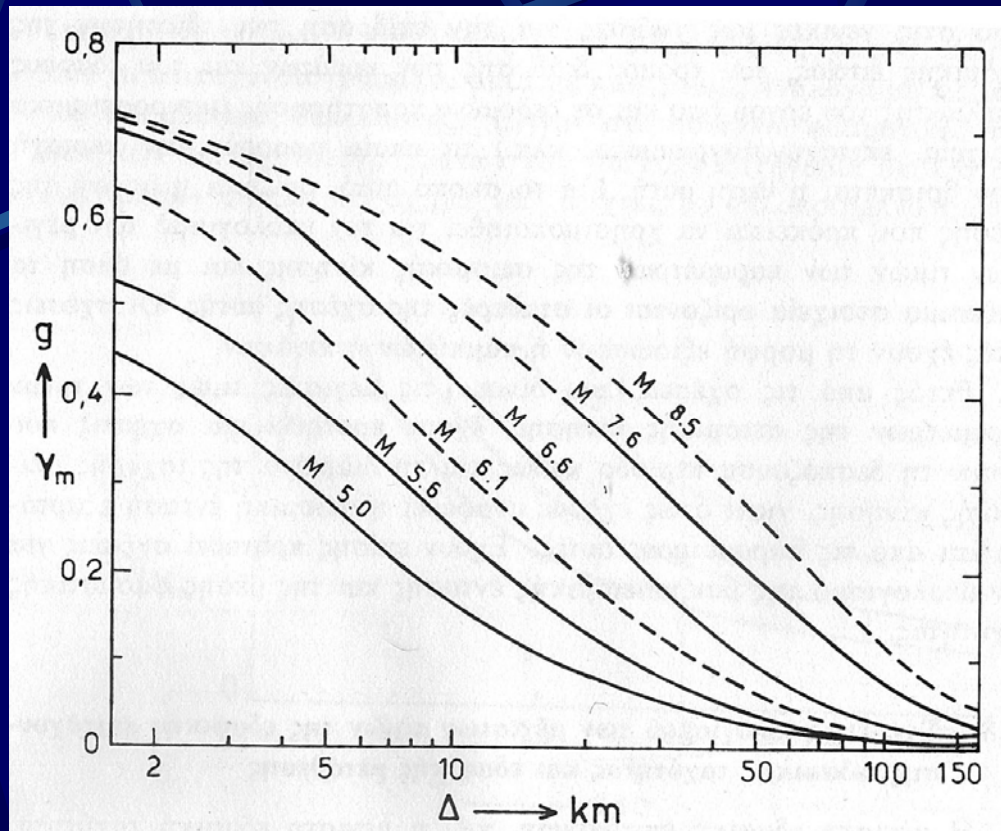
$$Y = \kappa_1 + \kappa_2 M + \kappa_3 \log(D + D_o)$$

$$Y = \log y \quad \kappa_1 = \log b_1 \quad \kappa_2 = \log e \quad \kappa_3 = -b_3$$

- Ελληνικός χώρος:

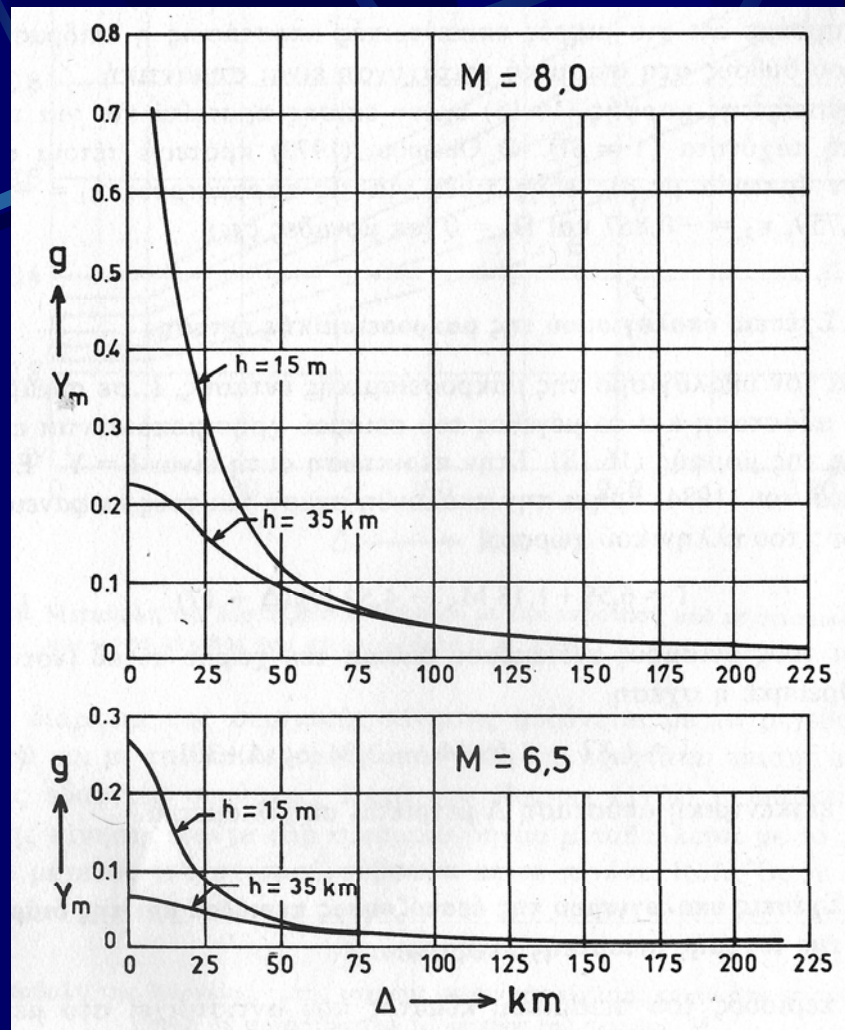
$$\log \gamma_m = 1,84 + 0,52M - 1,83 \log(D + 15)$$

$$\log v_m = -0,40 + 0,63M - 1,65 \log(D + 10)$$



Μεταβολή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης,  $\gamma_m$  (σε βράχο) σε συνάρτηση με την απόσταση από το σεισμικό ρήγμα και το μέγεθος του σεισμού (Seed & Idriss, 1982)





Μεταβολή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης με την απόσταση από το ρήγμα για δύο τιμές του εστιακού βάθους και δύο τιμές του μεγέθους του σεισμού (Seed et al., 1968)

## Σχέσεις υπολογισμού της μακροσεισμικής έντασης

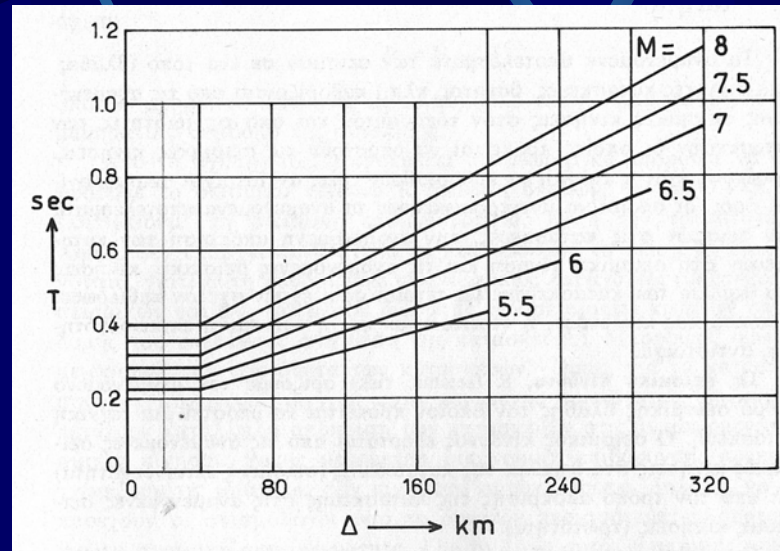
- Επιφανειακοί σεισμοί

$$I = 6,59 + 1,18M - 4,50 \log(\Delta + 17)$$

- Σεισμοί ενδιάμεσου βάθους

$$I = 1,87 + 1,69M - 3,90 \log(\Delta + 30)$$

# Σχέσεις υπολογισμού της δεσπόζουσας περιόδου και της διάρκειας της σεισμικής κίνησης



Μεταβολή της δεσπόζουσας περιόδου με την απόσταση από το σεισμικό ρήγμα και με το μέγεθος του σεισμού (Seed et al., 1968)

Διάρκεια σεισμικής κίνησης

<b>M</b>	5	6	7	8
<b>T<sub>(sec)</sub></b>	1	8	20	35

# Σεισμικός κίνδυνος, σεισμική επικινδυνότητα και τρωτότητα

- Σεισμικός κίνδυνος (seismic risk),  $R$
- Σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard),  $H$
- Τρωτότητα (vulnerability),  $V$

$$R = H * V$$

# Μέτρα σεισμικής επικινδυνότητας και τρόποι υπολογισμού τους

- Πιθανότητα, P
- Ένταση, Y

$$Y = I, \quad Y = \log \gamma_m, \quad Y = \log u_m, \quad Y = \log S_m$$

$$\log N_t = a_t - bY$$

t=1 έτος

$$\log N_1 = a_o - bY$$

$$a_o = a_t - \log t$$

$$N_o = 10^{a_o}$$

$$N_1 = N_o e^{-\beta Y}$$

$N_1$  : ετήσιος αριθμός σεισμών

$$\beta = \frac{b}{\log e}$$

Μέση περίοδος επανάληψης:  $T(Y)=1/N_1(Y)$

$$T(Y) = \frac{e^{-\beta Y}}{N_o}$$

Κατανομή Poisson

$$f(nt) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!}$$

$$P_t = 1 - \exp\left(-N_o t e^{-\beta Y}\right)$$

Ετήσια πιθανότητα υπέρβασης:

$$P_1 = 1 - \exp\left(-N_o e^{-\beta Y}\right)$$

$$P_t = 1 - \exp\left[t \cdot \ln(1 - P_1)\right]$$

$$P_t = 1 - e^{-N_1 t}$$

$$P_1 (\leq 0.05), P_1 = 1 - \exp(-N_1) \approx 1 - (1 - N_1) = N_1$$

$$P_1 \approx N_1$$

$$P_t = 1 - \exp\left(-\frac{t}{\bar{Y}_t}\right)$$

$$dF/dY, F = 1 - P_t = \exp(-N_o \cdot e^{-\beta Y}) \rightarrow \max$$

$$\bar{Y}_t = \frac{a_o}{b} + \frac{\log t}{b}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{a_o}{b}$$

$$Y_t = \frac{\ln N_o t}{\beta} + \frac{\ln[-\ln(1 - P_t)]}{\beta}$$