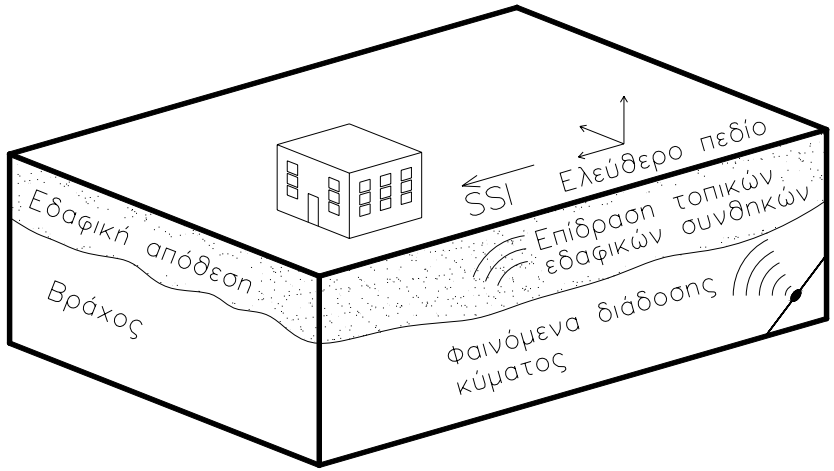
Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Δυναμική Αλληλεπίδραση Εδάφους – Κατασκευής: Ιστορική Εξέλιξη και Σύγχρονη Πρακτική

Κ. Σπυράκος, Καθηγητής ΕΜΠ
Δ/ντής Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας

Αποτίμηση Σεισμικών Φορτίων

Η σεισμική κίνηση στο ελεύθερο πεδίο εξαρτάται:



- από φαινόμενα σχετιζόμενα με την **πηγή** (όπως μέγεθος, μηχανισμός διάρρηξης)
- από φαινόμενα **διάδοσης κύματος** (τι παρεμβάλεται)
- από φαινόμενα σχετιζόμενα με τις **τοπικές εδαφικές συνθήκες** (επιφανειακές στρώσεις, ανάγλυφο)

Αποτίμηση Σεισμικών Φορτίων

επιδράσεις πηγής
φαινόμενα διάδοσης κύματος
τοπικές εδαφικές συνθήκες

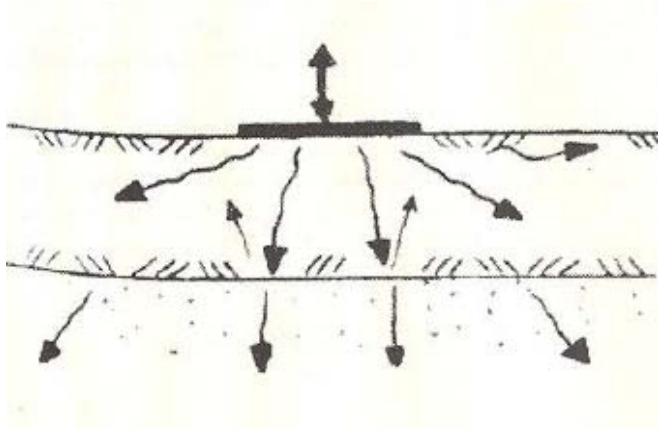
→ κίνηση στο ελεύθερο πεδίο (κίνηση απουσία δομήματος)

Η θεώρηση Αλληλεπίδρασης Κατασκευής - Εδάφους (ΑΚΕ) λαμβάνει υπόψη:

παρουσία κατασκευής - θεμελίωσης

Σπουδαιότερα Αποτελέσματα ΑΚΕ

1. Τροποποίηση απόκρισης σε σχέση με θεώρηση πακτωμένης κατασκευής.
2. Θεώρηση της απόσβεσης στο έδαφος (Απόσβεση Ακτινοβολίας – Απόσβεση Εδαφικού Υλικού).



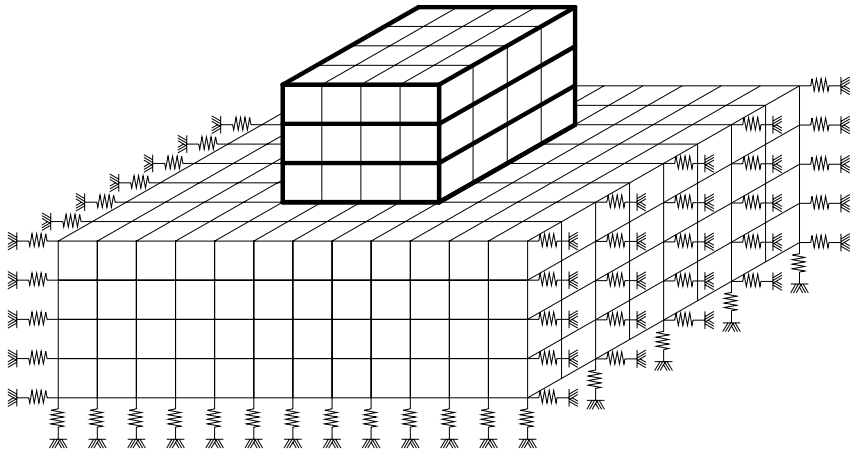
3. Ιδιαίτερα σημαντική για «δύσκαμπτες» κατασκευές θεμελιωμένες σε «μαλακά» εδάφη.

Μέθοδοι Αντιμετώπισης

Α. Άμεσες μέθοδοι (direct methods)

Προσομοιώνουν την κατασκευή, το θεμέλιο και το έδαφος ταυτόχρονα. Κατάλληλες για θεώρηση μη-γραμμικής συμπεριφοράς. Συνήθεις μέθοδοι:

- Πεπερασμένα Στοιχεία
- Συνοριακά Στοιχεία



Β. Έμμεσες μέθοδοι (substructure methods)

Κατάλληλες για γραμμικές αναλύσεις. Υιοθετούνται από τους κανονισμούς.
Κινηματική Αλληλεπίδραση
Αδρανειακή Αλληλεπίδραση

Είδη Αλληλεπίδρασης

Α. Κινηματική Αλληλεπίδραση

Η κινηματική αλληλεπίδραση αναφέρεται στην ύπαρξη του θεμελίου η οποία διαφοροποιεί την κίνηση του ελεύθερου πεδίου.

Παράμετροι:

- Μέγεθος θεμελίου
- Βάθος θεμελίωσης

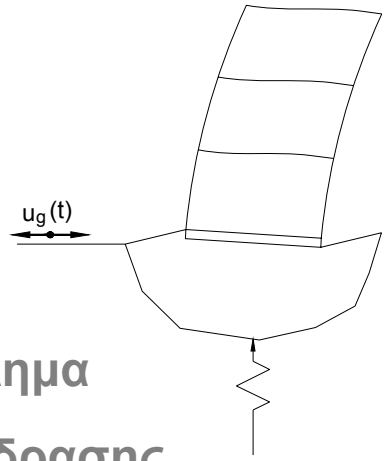
Συνυπολογισμός της κινηματικής αλληλεπίδρασης σημαίνει τροποποίηση της εδαφικής κίνησης στο ελεύθερο πεδίο σε κίνηση που εισάγεται στη βάση των θεμελίων (ΚΒΘ) (Foundation Input Motion - FIM).

Είδη Αλληλεπίδρασης

Β. Αδρανειακή Αλληλεπίδραση

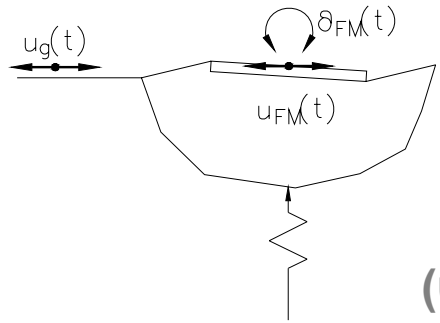
Η αδρανειακή αλληλεπίδραση αναφέρεται στην αδράνεια, δυσκαμψία και απόσβεση της κατασκευής και του εδάφους, όπως αυτά επηρεάζουν την απόκριση του συστήματος για τη σεισμική δράση που ορίζεται στη διεπιφάνεια θεμελίου - εδάφους.

Έμμεση μέθοδος επίλυσης της ΑΚΕ



Πρόβλημα αλληλεπίδρασης

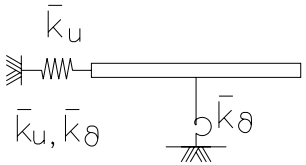
=



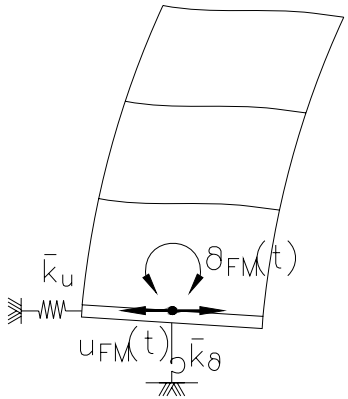
+

(1) Κινηματική αλληλεπίδραση (υπολογισμός ΚΒΘ)

+



+

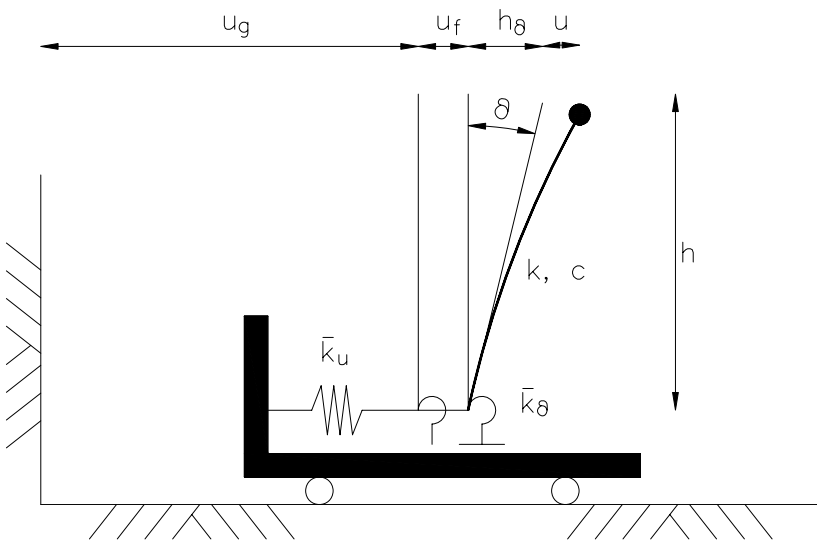


(2) Γενικευμένα ελατήρια εδάφους

(3) Ανάλυση κατασκευής σε ενδόσιμη βάση υπό την ΚΒΘ

Αδρανειακή Αλληλεπίδραση

Βασικές εξισώσεις – αδρανειακή ΑΚΕ



Προσομοίωμα για αδρανειακή αλληλεπίδραση

(αρμονική φόρτιση στο θεμέλιο)

$$\begin{bmatrix} V \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{k}_u & 0 \\ 0 & \bar{k}_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_f \\ \theta \end{bmatrix}$$

Βασικές εξισώσεις – αδρανειακή ΑΚΕ

Τα γενικευμένα ελατήρια για τον βαθμό ελευθερίας i εκφράζονται με τη μορφή

$$\bar{k}_i = k_i(\alpha_o, \nu) + i \cdot \omega \cdot c_i(\alpha_o, \nu)$$

ω: η γωνιακή συχνότητα φόρτισης

ν: λόγος Poisson εδάφους

α_o: αδιάστατη συχνότητα της μορφής $a_o = \omega \cdot r / V_s$, όπου *r*=ακτίνα θεμελίωσης, V_s= ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος

Βασικές εξισώσεις – αδρανειακή ΑΚΕ

Η δυσκαμψία και η απόσβεση εκφράζονται από τις σχέσεις:

$$k_u = \alpha_u K_u, k_\theta = \alpha_\theta K_\theta$$

$$c_u = \beta_u \frac{K_u r_1}{V_S}, c_\theta = \beta_\theta \frac{K_\theta r_2}{V_S}$$

όπου

K_u, K_θ, οι στατικές δυσκαμψίες, και

α_u, β_u, α_θ, β_θ αδιάστατες παράμετροι που ορίζουν την εξάρτηση από τη συχνότητα.

Οι ακτίνες r υπολογίζονται χωριστά για την μεταφορική και τη λικνιστική κίνηση:

$$r_1 = \sqrt{\frac{A_f}{\pi}}, r_2 = \sqrt[4]{\frac{4I_f}{\pi}}$$

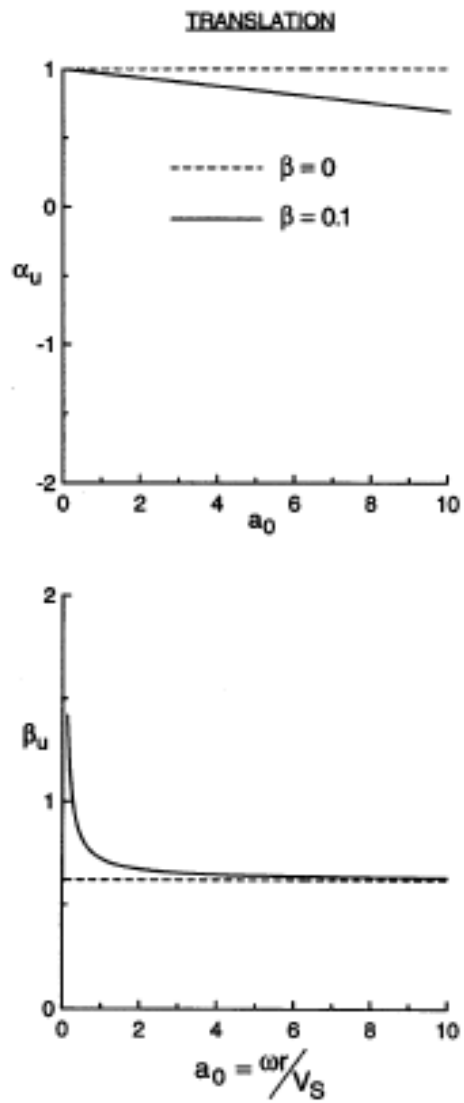
A_f και I_f = εμβαδόν επιφάνειας θεμελίου και ροπή αδράνειας

Προσομοίωση θεμελίωσης

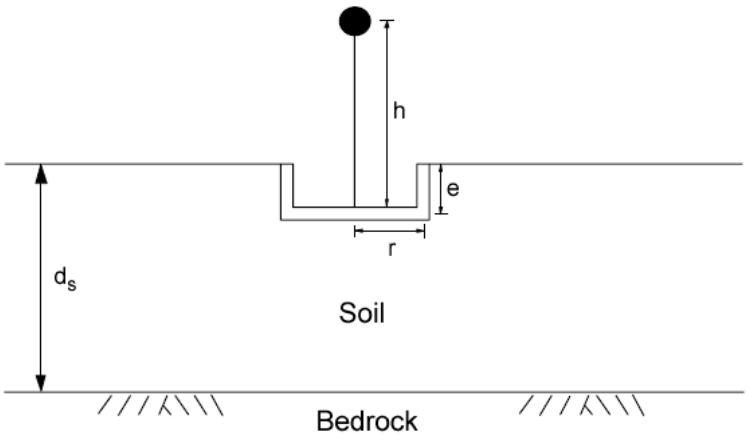
Σημαντικοί παράγοντες στην προσομοίωση της θεμελίωσης είναι οι ακόλουθοι:

Δυσκαμψία: Οι περισσότερες έμμεσες μέθοδοι υποθέτουν ότι η θεμελίωση συμπεριφέρεται ως άκαμπτη.

Αποκλίσεις στην περίπτωση εύκαμπτης θεμελίωσης με δύσκαμπτο εσωτερικό πυρήνα στην ανωδομή.



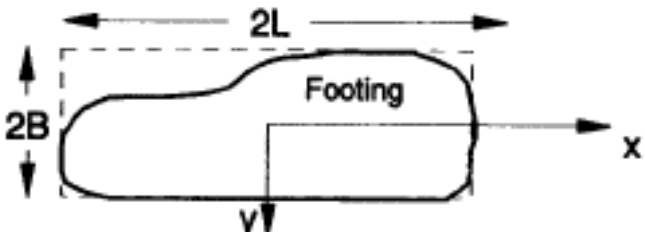
Προσομοίωση θεμελίωσης



- **Θεμελιώσεις σε όρυγμα**

$$(K_u)_{FL/E} = K_u\left(1+\frac{2}{3}\frac{e}{r}\right)\left(1+\frac{5}{4}\frac{e}{d_s}\right)\left(1+\frac{1}{2}\frac{r}{d_s}\right)$$

$$(K_\theta)_{FL/E} = K_\theta\left(1+2\frac{e}{r}\right)\left(1+0.7\frac{e}{d_s}\right)\left(1+\frac{1}{6}\frac{r}{d_s}\right)$$



- **Γεωμετρία**

Αλληλεπίδραση Κατασκευής - Εδάφους και Κανονισμοί / Συστάσεις

- Ευρωκώδικας – Αμερικανικοί – Ιαπωνικοί
- Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)
- FEMA 440 – Ανελαστική Στατική Ανάλυση

Πότε λαμβάνεται υπόψη?

FEMA 440

Κινηματική Αλληλεπίδραση

- Σημαντική για μικρές ιδιοπεριόδους (<~0.5 sec), μεγάλες διαστάσεις θεμελίωσης, και ορύγματα άνω των 3.0 m.
- Παραβλέπεται για θεμελίωση σε όρυγμα εντός δύσκαμπτου εδάφους.

Πότε λαμβάνεται υπόψη?

ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Η επιρροή της αλληλεπίδρασης λαμβάνεται όταν η αύξηση της ιδιοπεριόδου οδηγεί σε αύξηση των φασματικών επιταχύνσεων.

Επιτρέπεται μείωση έως 25% των σεισμικών απαιτήσεων στα επιμέρους δομικά μέλη

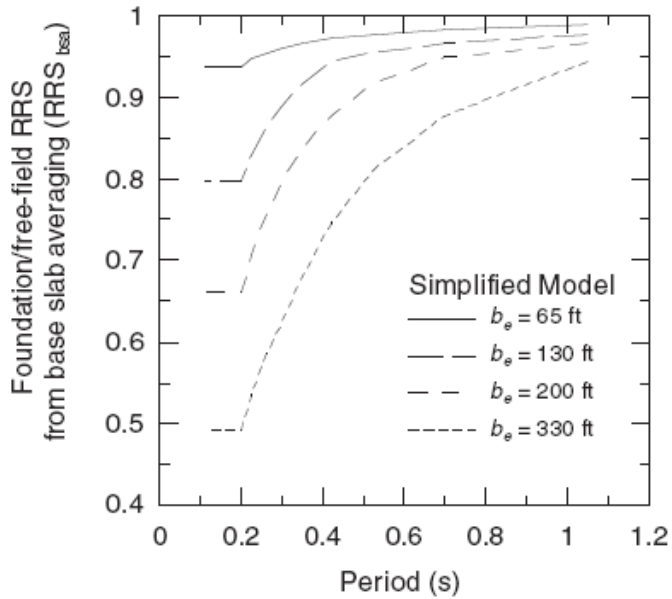
Μεθοδολογία FEMA 440

Α. Κινηματική Αλληλεπίδραση

1. Υπολογισμός ενεργούς διάστασης θεμελίωσης από τις διαστάσεις της *a* και *b*:

$$b_e = \sqrt{a \cdot b}$$

2. Συντελεστής μείωσης φάσματος σχεδιασμού λόγω διαστάσεων θεμελίου (RRS_{bsa}).



Μεθοδολογία FEMA 440

Α. Κινηματική Αλληλεπίδραση

3. Συντελεστής μείωσης φάσματος σχεδιασμού λόγω ορύγματος και μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (RRS_e).

$$RRS_e = cos\left(\frac{2\pi e}{Tnv_s}\right) \geq max\left\{0.453, RRS_{e(T=0.2s)}\right\}$$

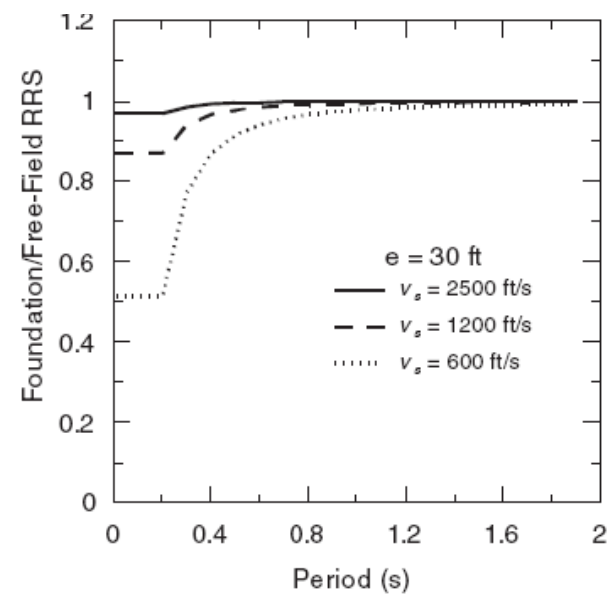
e: βάθος ορύγματος

v_s: μέση ταχύτητα διάδοσης κυμάτων S για βάθος b_e υπό την θεμελίωση

n: συντελεστής μείωσης v_s ανάλογα με την αναμενόμενη PGA

Table 8-1 Approximate Values of Shear Wave Velocity Reduction Factor, *n*

	Peak Ground Acceleration (PGA)			
	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
n	0.90	0.80	0.70	0.65



Μεθοδολογία FEMA 440

Α. Κινηματική Αλληλεπίδραση

4. Υπολογισμός του γινομένου των λόγων μεταβολής RRS_{bsa} και RRS_e για τις διάφορες περιόδους.

$$RRS(T) = RRS_{bsa}(T) \cdot RRS_e(T)$$

5. Το τελικό φάσμα της κίνησης εισόδου (FIM) προκύπτει από τη σχέση:

$$RS_{FIM} = RRS(T) \cdot RS_{freefield}(T)$$

Μεθοδολογία ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Ενεργός ιδιοπερίοδος σε οριζόντια μετακίνηση:

$$T' = T_o \sqrt{\left[1 + \frac{k_o}{k_x}\left(1 + \frac{k_x \cdot h_{ef}^2}{k_\varphi}\right)\right]}$$

όπου

T_o, k_o: ιδιοπερίοδος και δυσκαμψία για πακτωμένη βάση

k_x, k_φ: μεταφορική και λικνιστική δυσκαμψία θεμελίωσης

h_{ef}: ενεργό ύψος

2/3 πραγματικού ύψους σε πολυώροφα

πραγματικό ύψος σε μονώροφα

Μεθοδολογία ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Ενεργός απόσβεση, ζ΄:

$$\zeta' = \zeta_o + \frac{\zeta}{\left(T'/T\right)^3}$$

όπου

ζ: απόσβεση για πακτωμένη βάση (5% ενγένει)

ζ_o: απόσβεση θεμελίωσης

(h_{ef}, διαστάσεις θεμελίωσης, T'/T_o, PGA)

Απόσβεση θεμελίωσης

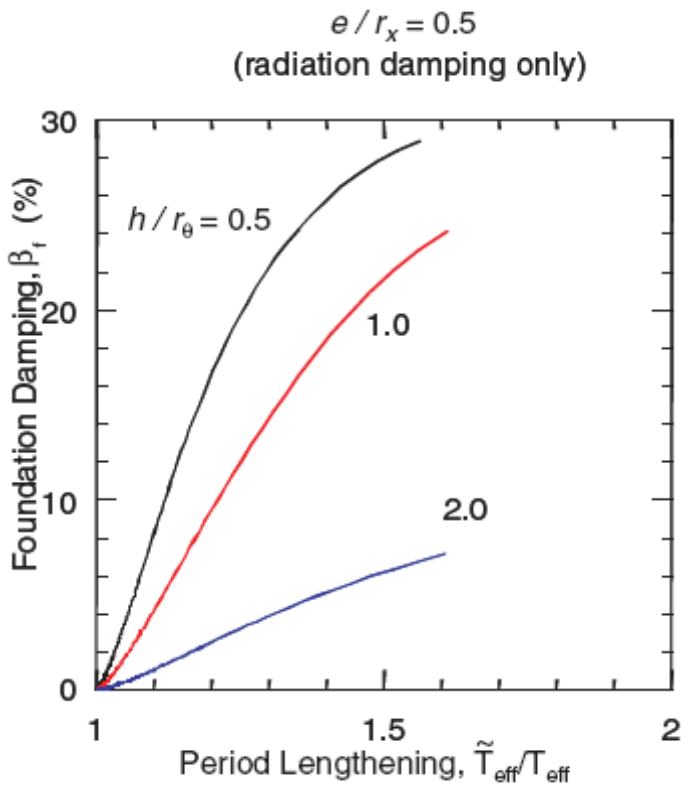
$$\beta_f = \alpha_1\left(\frac{T'}{T_0}-1\right)+\alpha_2\left(\frac{T'}{T_0}-1\right)^2$$

όπου:

$$\alpha_1 = c_e \cdot e^{4.7-1.6\frac{h}{r_\theta}}$$

$$\alpha_2 = c_e \cdot \left[25 \cdot ln\left(\frac{h}{r_\theta}\right)-16\right]$$

$$c_e = 1.5\left(\frac{e}{r_x}\right)+1$$



Ιστορική Ανασκόπηση

Ιστορικά στοιχεία μπορούν να αναζητηθούν σε *State of the Art* δημοσιεύσεις των WHITMAN et al (1967), McNEIL (1969) and GAZETAS (1983), RICHART et al (1970), DAS (1983), PECKER (1984), HAUPT (1986) and SIEFFERT et al. (1992), Spyrakos (2003), Mylonakis et al (2006).

Ιστορική Ανασκόπηση

Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικά «ορόσημα» της έρευνας από τις αρχές του περασμένου αιώνα που σχετίζονται με τα επιφανειακά θεμέλια:

- 1904: ο LAMB μελετά τις ταλαντώσεις ενός γραμμικά ελαστικού ημίχωρου σε αρμονικό σημειακό φορτίο.

- 1936: ο REISSNER αναλύει την απόκριση μιας πλάκας τοποθετημένης στην επιφάνεια ομογενούς ελαστικού ημίχωρου υπό κατακόρυφο αρμονικό φορτίο. Είναι ουσιαστικά ο πρώτος ο οποίος επισήμανε την παρουσία της απόσβεσης ενέργειας λόγω ακτινοβολίας.

Ιστορική Ανασκόπηση

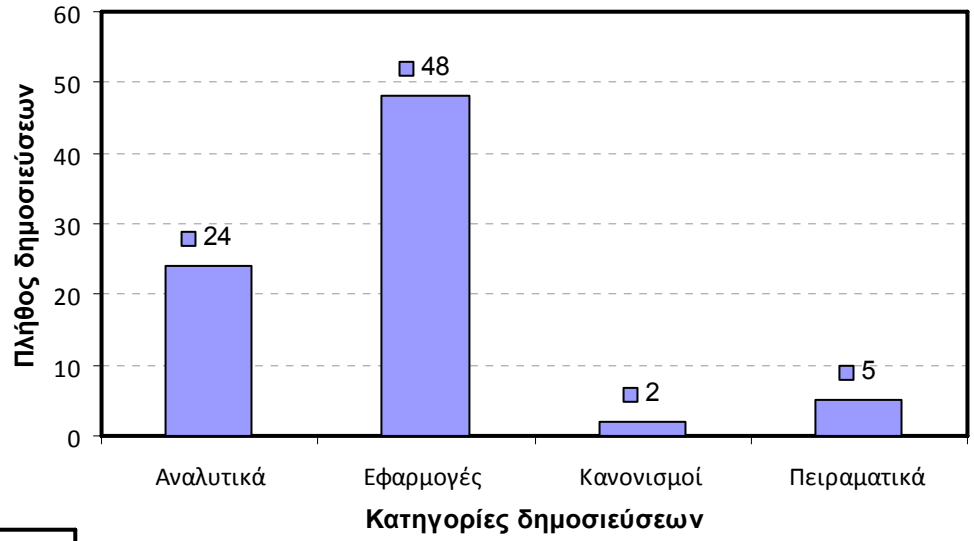
- 1953 έως 1956: οι SUNG, QUILAN, ARNOLD et al και BYCROFT αποσαφηνίζουν και γενικεύουν την εργασία του REISSNER για τις κινήσεις των έξι βαθμών ελευθερίας του θεμελίου.
- 1962 έως 1967: οι AWOJOBI et al και ELORDUY et al. τελειοποιούν τις προηγούμενες μεθόδους. Ο HSIEH και ειδικά ο LYSMER εισάγουν για πρώτη φορά την αντίληψη ότι η συμπεριφορά του συστήματος εδάφους-θεμελίου σε κατακόρυφη μετακίνηση μπορεί να αντιπροσωπευθεί από σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας με σταθερή δυσκαμψία και απόσβεση ανεξάρτητα από τη συχνότητα της διέγερσης - μοντέλο συγκεντρωμένων ιδιοτήτων (lumped parameters).

Ιστορική Ανασκόπηση

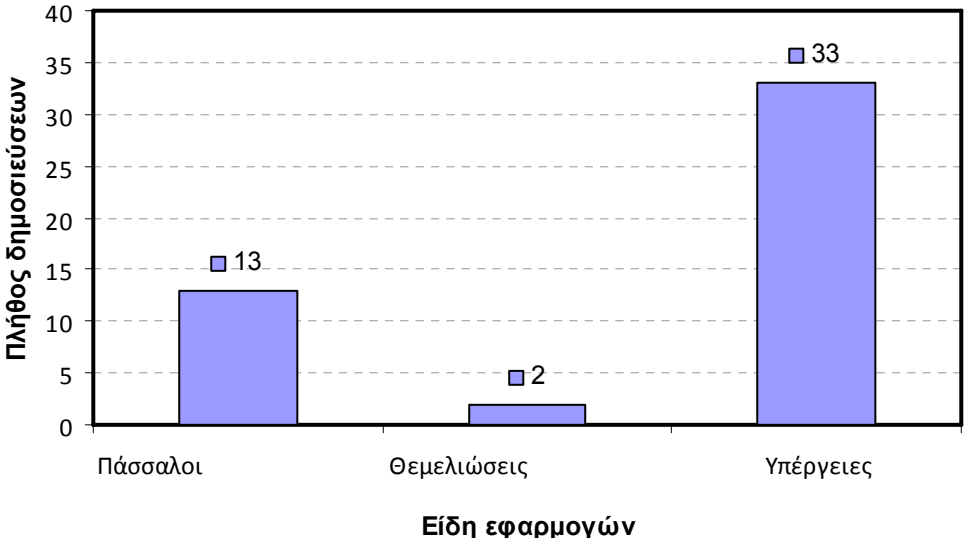
- 1962 έως 1967 (συνέχεια): Η απλοποιητική θεώρηση γνωστή ως ανάλογο του Lysmer [“Lysmer's analogy”] επεκτάθηκε και για τις άλλες κινήσεις από τους RICHART και WHITMAN. Πλασματικές μάζες (fictitious masses) χρησιμοποιούνται για την ταύτιση της απόκρισης στις συχνότητες συντονισμού.
- Τέλη δεκαετίας ‘60 αρχές δεκαετίας ’70: Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συστηματικά στην μορφή δύο συναρτήσεων που εξαρτώνται από τη συχνότητα εκ των οποίων η μία είναι πραγματική και η δεύτερη αποτελεί το φανταστικό μέρος της μιγαδικής δυναμικής δυσκαμψίας (complex dynamic stiffness). Οι συναρτήσεις αυτές καλούνται γενικευμένα ελατήρια “impedance functions”.
- Σημαντική συνεισφορά Ελλήνων ερευνητών.

Αλληλεπίδραση κατά το πρόσφατο 14ο Παγκόσμιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής (Κίνα, 12~17 Οκτωβρίου 2008)

79 δημοσιεύσεις με μελέτη αλληλεπίδρασης



Κατανομή δημοσιεύσεων με εφαρμογές



Αλληλεπίδραση και μελέτη ιδιομορφικών χαρακτηριστικών με ενόργανη παρακολούθηση (μικροδονήσεις)

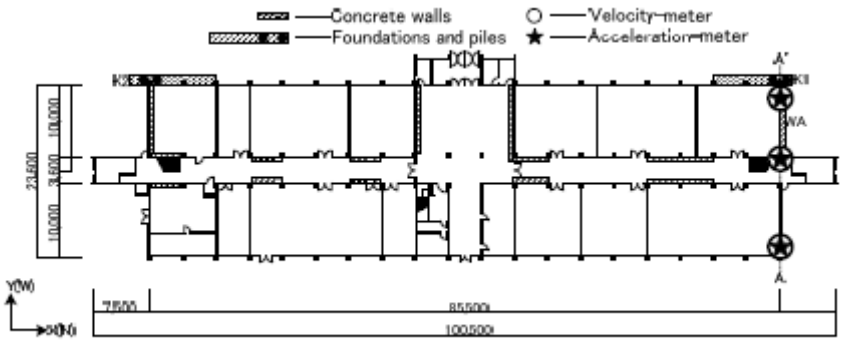


Fig. 1 Plan on the first floor of the retrofitted building

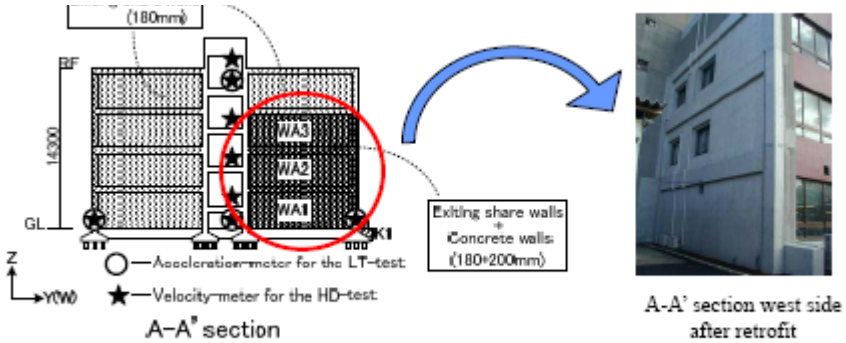
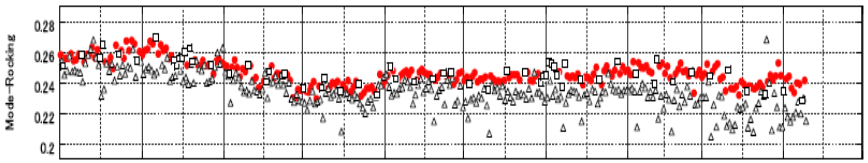


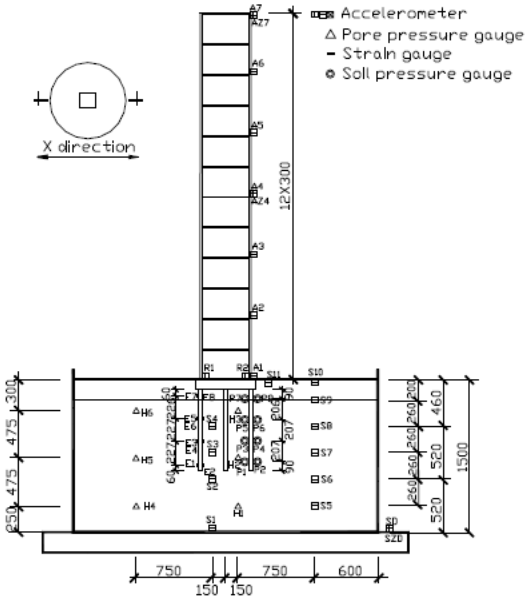
Fig. 2 A-A' section of the building after retrofit and measurement installations for ambient vibrati

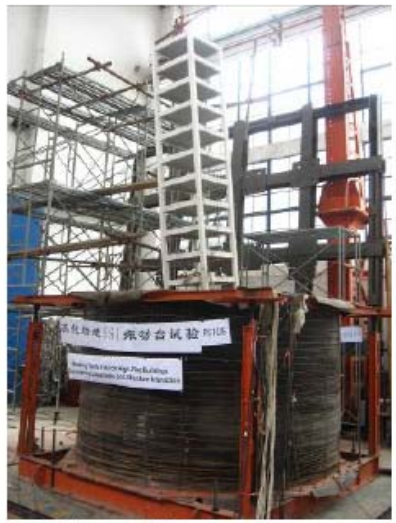


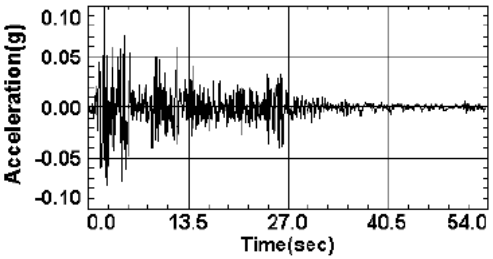
(e)Rocking rate

- Ενίσχυση Πολυωρόφου Κτιρίου – Ιαπωνία
- Μελέτη επίδρασης εργασιών ενίσχυσης θεμελίων-ανωδομής

Αλληλεπίδραση και πειράματα σε σεισμική τράπεζα



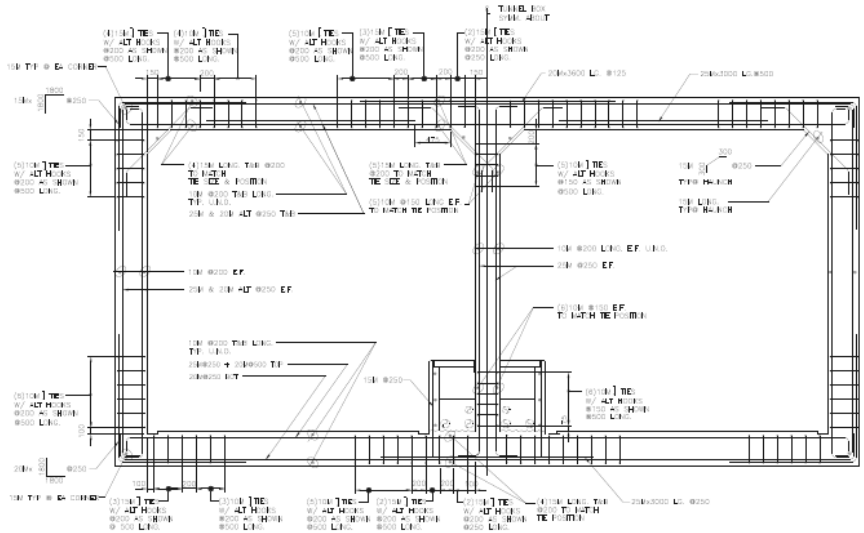




Πειράματα αλληλεπίδρασης

Ρευστοποίηση εδάφους

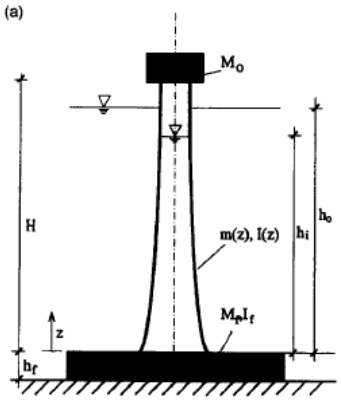
Αλληλεπίδραση και υπόγεια έργα

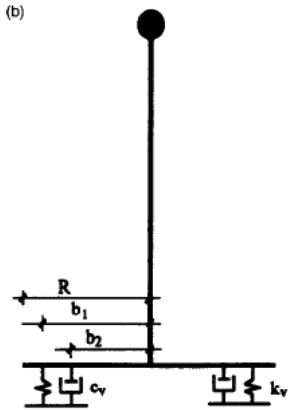


Κατασκευή «cut and cover» 6.6 km

Rapid Transit System, Vancouver Καναδάς

Αλληλεπίδραση κατασκευής – εδάφους - ύδατος με «ανασήκωμα» θεμελίου





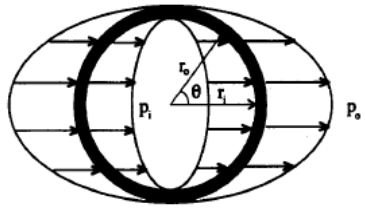
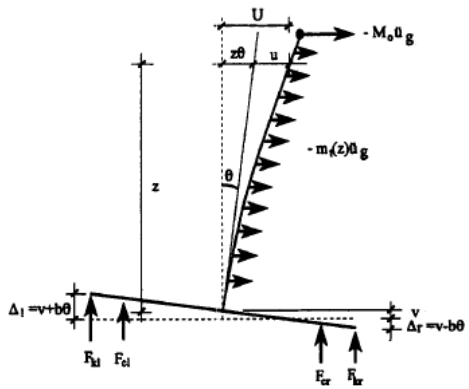
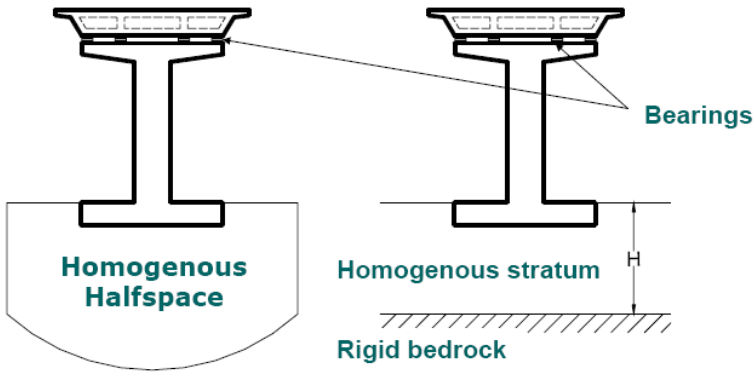
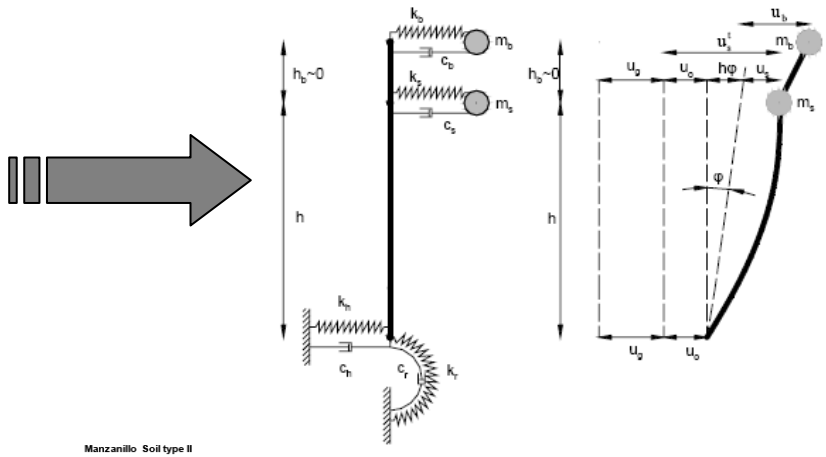


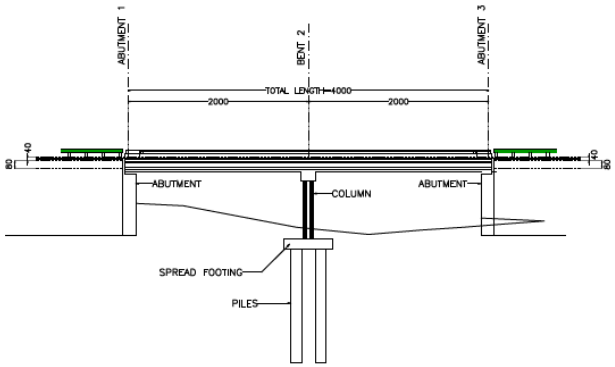
Fig. 3. Hydrodynamic pressure.

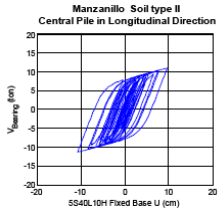


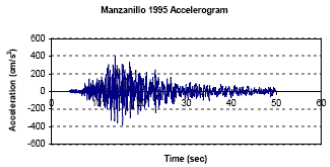
Αλληλεπίδραση και σεισμική μόνωση











Σχετικές δημοσιεύσεις

❖Spyrakos, C., Koutromanos, I. A. and Maniatakis, Ch. A., *Seismic Response of Base-Isolated Buildings Including Soil-Structure Interaction*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.29, pp. 658-668, (2009).

❖Spyrakos, C., Maniatakis, Ch. A. and Koutromanos, I. A., *Soil-Structure Interaction Effects on Base-Isolated Buildings Founded on Soil Stratum*, Engineering Structures Journal, Vol.31, pp.729-737, (2009).

❖Spyrakos C.C. and Maniatakis Ch.A. (2007) "*Analytical Study of Soil-Structure Interaction Effects on Seismically Isolated Bridge Piers*", The Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing CC2007, St. Julians, September18-21

❖Spyrakos C.C., Maniatakis Ch.A and Koutromanos I.A. (2007) "*Significance of soil-structure interaction on base-isolated buildings*", ASSiSi 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Istanbul, May 27-30,

❖Spyrakos, C. C. and Nikolettos, G., *Overturning Stability Criteria for Flexible Structures to Earthquakes*, ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 131, No 4, pp. 349-358, (2005).

❖ Spyrakos, C. C. and Xu, C., *Dynamic Analysis of Flexible Massive Strip - Foundations Embedded in Layered Soils by Hybrid BEM-FEM*, Computers and Structures, Vol. 82, pp. 2541-2550, (2004).

Σχετικές δημοσιεύσεις

❖Spyrakos, C. C. and Ioannidis, G., *Seismic Behavior of a Post - Tensioned Integral Bridge Including Soil - Structure Interaction (SSI)*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.23 ,pp. 53-63, (2003).

❖Spyrakos, C. C. and Xu, C., *Seismic Soil - Structure Interaction of Flexible Strip-Foundations Embedded in Layered Soils by Hybrid BEM - FEM*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.23, pp. 383-389, (2003).

❖Spyrakos, C. C. and Vlassis, A. G., *Effect of Soil-Structure Interaction on Seismically Isolated Bridges*, Journal of Earthquake Engineering, Vol.6, No. 3, pp. 391-429, (2002).

❖Xu, C. and Spyrakos, C.C., *Seismic Analysis of Lock - Soil - Fluid Systems by Hybrid BEM - FEM*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 21, pp. 259-271, (2001).

❖Vlassis, A. G. and Spyrakos, C. C., *Seismically Isolated Bridge Piers on Shallow Soil Stratum with Soil - Structure Interaction*, Computers and Structures, Vol.79, pp. 2847-2861, (2001).

~~5.4.8~~5.4.8.4.8 Αλληλεπίδραση εδάφους-θεμελίωσης

α. Η επιρροή της αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης (ΑΕΘ) θα λαμβάνεται υπόψη για εκείνα τα κτίρια στα οποία η αύξηση της ιδιοπεριόδου λόγω ΑΕΘ οδηγεί σε αύξηση των φασματικών επιταχύνσεων. Για τα υπόλοιπα κτίρια επιτρέπεται να αγνοείται η επιρροή της ΑΕΘ.

β. Η επιρροή της ΑΕΘ μπορεί να συνεκτιμάται είτε με τη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω (§5.4.8.1), είτε με άλλη δόκιμη και βαθμονομημένη μεθοδολογία, η οποία εξυπηρετεί τις βασικές απαιτήσεις της §5.4.8.2.

γ. Στις περιπτώσεις όπου η επιρροή της ΑΕΘ δεν είναι υποχρεωτικό

Η ενεργός ιδιοπερίοδος που αντιστοιχεί σε οριζόντια μετακίνηση ενός κτιρίου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\tilde{T} = T_0\sqrt{\left[1+\frac{k_o}{k_x}\left(1+\frac{k_x h_{ef}^2}{k_\phi}\right)\right]} \qquad (\Sigma 5.2)$$

όπου T_0 η ιδιοπερίοδος του κτιρίου όταν είναι πακτωμένο στη βάση του, k_0 η αντίστοιχη στερρότητα (δυσκαμψία), k_x και k_ϕ η πλευρική και η στροφική στερρότητα (δυσκαμψία) της θεμελίωσης (στην εξεταζόμενη διεύθυνση) και h_{ef} το ενεργό ύψος του κτιρίου, το οποίο μπορεί να λαμβάνεται ίσο με τα 2/3 του πραγματικού ύψους, εκτός από τα μονώροφα κτίρια όπου λαμβάνεται ίσο με το πραγματικό ύψος. Οι στερρότητες της θεμελίωσης k_x και k_ϕ υπολογίζονται με βάση δόκιμες σχέσεις από τη βιβλιογραφία .
Η ενεργός απόσβεση μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\tilde{\zeta} = \zeta_0 + \frac{\zeta}{(\tilde{T}/T)^3} \qquad (\Sigma 5.3)$$

όπου ζ είναι ο λόγος απόσβεσης του κτιρίου όταν είναι πακτωμένο στη βάση του (ενγένει ίσος με 5%), και ζ_0 ο λόγος απόσβεσης της θεμελίωσης, που υπολογίζεται με βάση δόκιμες σχέσεις από τη βιβλιογραφία.

να συνεκτιμηθεί, επιτρέπεται να αγνοείται η επιρροή της απόσβεσης στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της ΑΕΘ.

5.4.8.1 Απλοποιημένη διαδικασία

α. Η απλοποιημένη διαδικασία επιτρέπεται μόνο όταν εφαρμόζεται η ελαστική στατική ανάλυση.

β. Ο υπολογισμός της επιρροής της ΑΕΘ με βάση την απλοποιημένη διαδικασία θα γίνεται χρησιμοποιώντας την ενεργό (ισοδύναμη) ιδιοπερίοδο και απόσβεση του συστήματος ανωδομή-θεμελίωση.

γ. Όταν χρησιμοποιείται η απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού της επιρροής της ΑΕΘ, η μείωση των σεισμικών απαιτήσεων στα δομικά στοιχεία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 25% σε σχέση με τις απαιτήσεις που προκύπτουν χωρίς συνεκτίμηση της ΑΕΘ.

5.4.8.2 Λεπτομερής προσομοίωση

α. Η διαδικασία λεπτομερούς προσομοίωσης θα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη δυναμική ελαστική μέθοδο ανάλυσης ή με τις ανελαστικές μεθόδους ανάλυσης.

β. Ο υπολογισμός της επιρροής της ΑΕΘ με βάση τη διαδικασία λεπτομερούς προσομοίωσης συνίσταται σε άμεση προσομοίωση της δυσκαμψίας και της απόσβεσης των στοιχείων της θεμελίωσης.

γ. Εάν δεν χρησιμοποιείται ακριβέστερη προσέγγιση, ο ισοδύναμος λόγος απόσβεσης ζ του συστήματος ανωδομή-θεμελίωση μπορεί να υπολογίζεται με βάση την απλοποιημένη διαδικασία της §5.4.8.1. Ο λόγος απόσβεσης για τα στοιχεία της θεμελίωσης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά την τιμή που γίνεται δεκτή για τα στοιχεία της ελαστικής ανωδομής. Στην ανελαστική στατική ανάλυση, ο ισοδύναμος λόγος απόσβεσης του συστήματος ανωδομή-θεμελίωση θα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των φασματικών απαιτήσεων (στοχευόμενη μετακίνηση).

δ. Εάν χρησιμοποιηθεί η απλοποιημένη διαδικασία για τον υπολογισμό του ισοδύναμου λόγου απόσβεσης, η μείωση των σεισμικών απαιτήσεων (σε σχέση με αυτές που προκύπτουν αγνοώντας την ΑΕΘ) δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 25%.

Δυναμική Αλληλεπίδραση Εδάφους – Κατασκευής: Ιστορική Εξέλιξη και Σύγχρονη Πρακτική

Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας

www.lee.civil.ntua.gr

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ