

Tο φαινόμενο της αλληλεπίδρασης εδάφους και κατασκευής σε σεισμό αντιμετωπίζεται με αυξανόμενη προσοχή τα τελευταία χρόνια. Θεμελιώδης υπόθεση σύγχρονων αντιειδικών κανονισμών, όπως ο NEAK, EC8, Αμερικανικό (UBC, NEHRP), είναι ότι η κίνηση που εφαρμόζεται στη βάση μας κατασκευής κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι η ίδια με την κίνηση του ελεύθερου πεδίου. Αυτή η υπόθεση είναι πρακτικά αποδεκτή μόνο σε ουσιαστικά άκαμπτα εδάφη. Για κατασκευές θεμελιώμενές σε μαλακά εδάφη, η κίνηση της θεμελίωσης γενικά διαφέρει από την κίνηση του ελεύθερου πεδίου.

Εκτεταμένες μελέτες, που έγιναν τα τελευταία τρίαντα χρόνια, έχουν αποδείξει πως τα σπουδαιότερα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης εδάφους - ανωδομής είναι τα ακόλουθα:

(1) Αύξηση των ιδιοπεριόδων των συστημάτων σε σχέση με αυτές της πακτωμένης κατασκευής. Δηλαδή, ένα δόμημα εδραζόμενο σε ενδόσιμο έδαφος έχει διαφορετικά δυναμικά χαρακτηριστικά (π.χ. μεγαλύτερη θεμελιώδης ιδιοπερίοδο) από τα χαρακτηριστικά του ίδιου δομήματος θεμελιώμενου σε ανένδοτο (άκαμπτο) έδαφος - βράχο.

(2) Μερική διασκόρπιση της ενέργειας δόνησης της κατασκευής μέσω των κυμάτων που διαδίδονται στο έδαφος. Δηλαδή ένα μέρος της ενέργειας ταλάντωσης της κατασκευής διαχέσται στο έδαφος της θεμελίωσης με την ακτινοβολία των κυμάτων (απόσβεση ακτινοβολίας) και με την ανελαστική (υατεροπική) δράση του εδάφους (απόσβεση υλικού). Τέτοια απώλεια δεν λαμβάνεται υπόψη στην άκαμπτη θεμελιώση (πακτωμένη στη βάση της) κατασκευής.

(3) Τροποποίηση της πραγματικής δόνησης της θεμελίωσης απ' αυτήν του ελεύθερου πεδίου. Η παρουσία μιας σχετικά δύσακαμπτης θεμελίωσης και της ανωδομής επηρεάζει κι αυτήν την ίδια την σεισμική διέγερση στη βάση της κατασκευής. Τα προσπίπτοντα σεισμικά κύματα ανακλώνται στη δύσακαμπτη θεμελίωση, διασκορπίζονται στο έδαφος και δημιουργούν ένα νέο κραδασμό στη βάση, ο οποίος είναι διαφορετικός από την εδαφική ταλάντωση στο ελεύθερο πεδίο και γενικώς περιέχει συνιστώσες στρέψης και λικνισμού εκτός από τις τρεις παλινδρομικές συνιστώσες.

Οι μέθοδοι ανάλυσης που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι απόμερα για την ανάλυση της αλληλεπίδρασης εδάφους - ανωδομής χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

(α) Απλοποιημένες μέθοδοι κατάλληλες για συνήθεις εφαρμογές πολιτικού μηχανικού, οι οποίες και αποτελούν αντικείμενο αυτής της παρουσίασης.

(β) Μέθοδοι άμεσης ανάλυσης στις οποίες προσδιορίζεται σ'

ένα μόνο βήμα η απόκριση του όλου συστήματος εδάφους - θεμελίου - ανωδομής για μια προκαθορισμένη σεισμική διέγερση, χωρίς επαναληπτική διαδικασία. Η διακριτοποίηση με πεπερασμένα στοιχεία είναι η πλέον συνήθης, τουλάχιστον για το έδαφος γύρω από το θεμέλιο, ενώ για την ανωδομή χρησιμοποιούνται σχετικώς απλά πρόσδομοιώματα, ώστε οι βαθμοί ελευθερίας να είναι οι ελάχιστοι δυνατοί. Εντούτοις, το κόστος μιας τέτοιας ανάλυσης μπορεί να είναι απαγορευτικό για μια ολοκληρωμένη παραμετρική ανάλυση ή για μια προκαταρκτική μελέτη.

(γ) Μέθοδοι που αναλύουν ξεχωριστά την κινηματική αλληλεπίδραση (οφείλεται στο μη συμβίβαστό των σεισμικών παραμορφώσεων ελεύθερου πεδίου και των μετατοπίσεων στερεού σώματος της θεμελίωσης) και την αδρανειακή αλληλεπίδραση (άμεση συνέπεια των αδρανειακών δυνάμεων που αναπτύσσονται στην κατασκευή κατά τη διάρκεια της δόνησης της). Γενικά, αυτοί οι μέθοδοι είναι ακριβείς για γραμμική συμπεριφορά εδάφους και κατασκευής. Δεν θα επεκταθούμε σε εκτενέστερη παρουσίαση των δύο τελευταίων μεθόδων μια και κατά κάνοντα εφαρμόζονται σε κατασκευές που χρήζουν λεπτομερέστερης αντιμετώπισης. Όσον αφορά στην προσδομή του εδάφους και της ανωδομής, καθώς και την υπολογισμό των εντατικών μεγεθών, αναφέρομε συνοπτικά ότι έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση της κατασκευής. Αυτό αποδίδεται κυρίως στην ευχροτιά της μεθόδου να αναλύει σύνθετα προβλήματα της πράξης με μεγάλη υπολογιστική ταχύτητα. Επιπλέον η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί με ευκολία να λαμβάνει υπόψη ανισοτροπίες, ανομοιογένειες και μη γραμμικότητες της κατασκευής και του παρακείμενου εδάφους (α).

Εν περιλήψει, τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης εδάφους - ανωδομής που παρουσιάζονται ακολούθως εκφράζονται με αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής, αλλαγή (συνήθως αύξηση) της απόσβεσης και αξιόλογη μείωση των εντατικών μεγεθών. Η αύξηση της ιδιοπεριόδου οφείλεται στην ελαστικότητα του εδάφους θεμελίωσης και η αλλαγή της απόσβεσης οφείλεται κυρίως στη διασκόρπιση της ενέργειας στο έδαφος μέσω της ακτινοβολίας των κυμάτων και στην απόσβεση του εδαφικού υλικού.

Πρέπει να τονιστεί ότι λόγω της στροφής της θεμελίωσης, οι οριζόντιες μετατοπίσεις της ελαστικής εδραζόμενης κατασκευής είναι εν γένει μεγαλύτερες απ' αυτές της πακτωμένης κατασκευής. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του απαιτούμενου αριθμού μεταξύ γειτονικών κτιρίων καθώς και αύ-

Αλληλεπίδραση εδάφους και κατασκευών σε σεισμό

Των

Κ. Σπυράκου* Γ. Νικολέττου*

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ξηπο των δευτερογενών δυνάμεων σχεδιασμού που έχουν σχέση με τα φαινόμενα δευτέρας τάξης (π.χ. λυγισμός).

ΠΟΤΕ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΥΠΟΨΗ Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ

Ένα απλό στην εφαρμογή κριτήριο για τη θεώρηση ή μη των επιδράσεων της αλληλεπιδρασης εδάφους - ανωδομής είναι ο λόγος $V_s / f h$. Συγκεκριμένα:

Αν $V_s / f h \geq 20$, τότε τα αποτελέσματα της αλληλεπιδρασης εδάφους ανωδομής είναι αμελτέα και μπορούμε να τα αγνοήσουμε στο σχεδιασμό της κατασκευής.

Αν $V_s / f h < 20$, τότε η αλληλεπιδραση εδάφους ανωδομής είναι σημαντική και πρέπει να ληφθεί υπόψη.

όπου: V_s : η ταχύτητα διαταπτικών κυμάτων

f : θεμελιώδης ιδιοσυνόπτιτα της πακτωμένης κατασκευής ανεξάρτητα από διεύθυνση

h : το ενεργό ύψος (0.7h για πολυώροφο και h για μονώροφο, όπου h είναι το ύψος της κατασκευής).

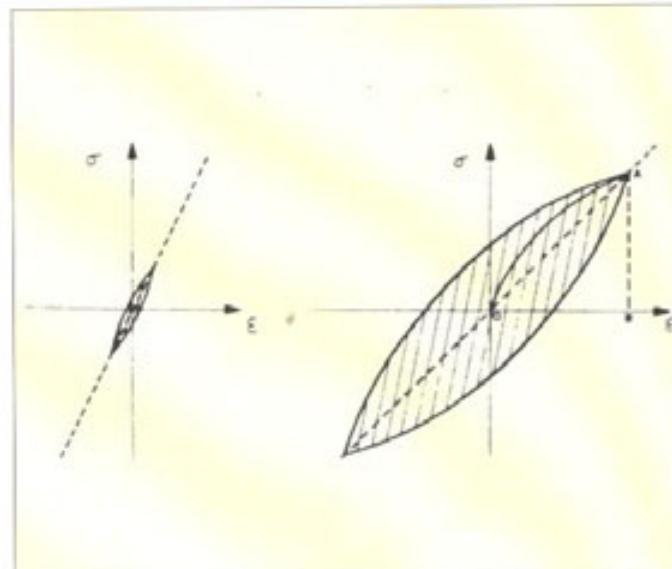
Αντικαθιστώντας στον πιο πάνω τύπο το $f = 30/h$ για πλαισιωτές κατασκευές, και $f = 45/h$ για κατασκευές με μεικτό σύστημα (συνδυασμός πλαισίων και τοιχών) παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της αλληλεπιδρασης εδάφους - ανωδομής είναι σημαντικά για πλαισιωτές κατασκευές όταν $V_s \leq 600 \text{ m/s}$, h για κτίρια με μεικτό σύστημα όταν $V_s \leq 900 \text{ m/s}$. Επίσης, είναι φανερό ότι η δυναμική αλληλεπιδραση εδάφους - ανωδομής αυξάνεται όσο πιο έγκαμπτο είναι το έδαφος και πιο άγκαμπτο είναι η κατασκευή. Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ουσιαστικά ασήμαντη για μια έγκαμπτη κατασκευή που εδράζεται σ' ένα οικλόρο έδαφος, αλλά σημαντική για ένα δύσκαμπτο κτίριο θεμελιωμένο σε μαλακό έδαφος.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Η συμπεριφορά των εδαφών που υπόκεινται σε δυναμικά φορτία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- (1) Τη στρωματογραφία του εδάφους και κυρίως τη διατμπτική ακαμψία και την απόσβεση των εδαφικών στρώσεων.
- (2) Την ένταση, τα δεσπόζοντα μήκη κύματος και τις γωνίες πρόσπτωσης των σεισμικών κυμάτων.
- (3) Το μέγεθος και τη δυσκαμψία της θεμελίωσης.

★ Πληροφοριακά αναφέρεται ότι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μειονεκτεί στο να λάβει υπόψη φαινόμενα όπως είναι η απώλεια ενέργειας στο έδαφος λόγω ακτινοβολίας. Αναλύσεις απειρών ή ημιαπειρών χώρων, όπως το έδαφος, σε σεισμικά φορτία εκτελούνται άμεσα από τη μέθοδο των συνοριακών στοιχείων, η οποία υπολογίζεται αυτόματα την απόσβεση ακτινοβολίας και απαιτεί διακριτοποίηση μόνο της επιφάνειας επαφής εδάφους - ανωδομής. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ή τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών για το έδαφος απαιτείται όχι μόνο η διακριτοποίηση του εσωτερικού και των «τεχνητών» συνόρων του εδαφικού σχηματισμού, αλλά επιπρόσθετα πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές για να αποτρέψουν τις ανακλάσεις στα τεχνητά σύνορα. Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ιδριδικές μέθοδοι που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για την κατασκευή και τη μέθοδο των συνοριακών στοιχείων για το έδαφος είναι ο καλύτερος τρόπος για τη δυναμική ανάλυση της αλληλεπιδρασης εδάφους - ανωδομής.



Σχήμα 1 (αριστερά), σχήμα 2 (δεξιά)

- (4) Το βάθος και το βαθμό εγκιβωτισμού της θεμελίωσης.
- (5) Τα αδρανειακά χαρακτηριστικά και τη λυγηρότητα της κατασκευής.

Ακολούθως θα εξετάσουμε την κυριότερη παράμετρο έκφρασης της συμπεριφοράς του εδάφους, το μέτρο διάτμπτης G, όπως μεταβάλλεται όταν το έδαφος υπόκειται σε σεισμικά φορτία.

ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κατά κανόνα οι εδαφικοί σχηματισμοί, όταν υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση, συμπεριφέρονται μη γραμμικά. Για μικρές παραμορφώσεις (μικρής έντασης σεισμούς) το μέτρο διάτμπτης του εδάφους μπορεί να λαμβάνεται σαν η μέση γραμμή της καμπύλης τάσης - παραμόρφωσης (Σχήμα 1). Για μεγάλες παραμορφώσεις η καμπύλη τάσης - παραμόρφωσης είναι μη γραμμική, έτσι ώστε το μέτρο διάτμπτης να μην είναι πλέον σταθερό και να ξέρταται από τη μέγεθος της παραμόρφωσης (Σχήμα 2).

Άρα, λοιπόν, για ακριβή λύση του προβλήματος, ο δυσκαμψία της θεμελίωσης πρέπει να υπολογίζεται, όπως ποιοτικά περιγράφεται στο Σχήμα 2, χρησιμοποιώντας εδαφικές ιδιότητες που είναι συνδετές με τη μέγεθος της εδαφικής παραμόρφωσης. Αύξηση της εδαφικής παραμόρφωσης συνεπάγεται μείωση του μέτρου διάτμπτης του εδάφους και συνεπώς μείωση της δυσκαμψίας εδάφους - θεμελίωσης. Βασική λοιπόν γνώση για τη σεισμική σχεδιασμού είναι η συνάπτωση της επιτάχυνσης του εδάφους με την ενδεχόμενη μείωση του μέτρου διάτμπτης

Ειδικά

ΘΕΜΑΤΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ			
	≤ 0.10	≤ 0.15	0.20	≥ 0.30
G/G ₀	0.81	0.64	0.49	0.42
V _s /V _{s0}	0.90	0.80	0.70	0.65

του εδάφους. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τη συσχέτιση του μέτρου διάτμησης του εδάφους, G, και της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων, V_s, με την εδαφική επιτάχυνση, a, ανηγένεν στην επιτάχυνση της βαρύτητας για μεγάλες εδαφικές παραμορφώσεις αύμακρων με το NEHRP. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει την προσαρμογή του Πίνακα 1 στο NEAK. Ανάλογος πίνακας συμπεριλαμβάνεται και στον EC8.

όπου:

V_{s0}: η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων του εδάφους θεμελίωσης για μικρές παραμορφώσεις ε (ε ≤ 1E-3%).

G₀= γ (V_{s0})²/g μέτρο διάτμησης του εδάφους θεμελίωσης για μικρές παραμορφώσεις και γ το ειδικό βάρος του εδάφους.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Η δυσκαμψία της θεμελίωσης εξαρτάται κυρίως από τη γεωμετρία της αλληλοεπιδρούμενης περιοχής εδάφους - θεμελίωσης, τις ιδιότητες του εδάφους θεμελίωσης και τα χαρακτηριστικά της κίνησης της θεμελίωσης. Ένα απλό μοντέλο που αποδίδει τη συμπεριφορά ενός θεμελίου σε αρμονικό φορτίο είναι ο απλός ταλαντωτής του Σχήματος 3. Η δυναμική συμπεριφορά του πεδίλου εξαρτάται από την ελαστική δυσκαμψία του συστήματος θεμελίωσεως - εδάφους (K) και την απόσβεση του εν λόγω συστήματος (C), η οποία περιλαμβάνει την ανελαστική υστερητική απόσβεση και την απόσβεση ακτινοβολίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι και ο δύο παράμετροι K και C δεν είναι σταθερές, αλλά αποτελούν συναρτήσεις της συχνότητας (ω) της εξωτερικής φόρτωσης. Τα περισσότερα διαθέσιμα δεδομένα σ' αυτό το αντικείμενο έχουν αναπτυχθεί από αναλυτικές έρευνες της απόκρισης μιας άκαμπτης κυκλικής θεμελίωσης σε αρμονική διέγερση, μια σύντομη αναφορά των οποίων δίνεται παρακάτω.

Για κυκλικά θεμέλια στην επιφάνεια ενός ομογενούς ημίχωρου, οι δυσκαμψίες K_y, K_x και K_z δίνονται από τους τύπους:

$$K_y = \frac{8\sigma_y Gr}{(2-\nu)} \quad (1) \quad K_x = \frac{4\sigma_x Gr}{(1-\nu)} \quad (2) \quad K_z = \left[\frac{8\sigma_x}{3(1-\nu)} \right] Gr^2 \quad (3)$$

όπου: K_y: η οριζόντια δυσκαμψία

K_x: η κατακόρυφη δυσκαμψία

K_z: η δυσκαμψία σε λικνισμό

g: η ακτίνα του θεμέλιου

G: το μέτρο διάτμησης

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΖΩΝΗ	I	II	III	IV
G/G ₀	0.74	0.61	0.46	0.42
V _s /V _{s0}	0.86	0.78	0.68	0.65

v: ο συντελεστής Poisson
a, αι: αι συντελεστές δυσκαμψίας που εξαρτώνται από τη συχνότητα δόνησης ω, τις διαστάσεις του θεμέλιου και τις ιδιότητες του εδάφους.

Για στατικά φορτιζόμενες θεμελίωσεις οι συντελεστές δυσκαμψίας αι, αι και αι είναι ίσοι με τη μονάδα. Μελέτες αλληλεπιδροσης εδάφους - κατασκευής έδειξαν ότι για συνήθεις κτηριακές κατασκευές που υπόκεινται σε σεισμό, η απόκριση της κατασκευής δεν είναι ευαίσθητη στα αι, αι και αι, και ότι επιτυγχάνεται επαρκής ακρίβεια για πρακτικούς λόγους με τη χρήση στατικής δυσκαμψίας. Αυτό προκύπτει και από τα ακόλουθα διαγράμματα του Σχήματος 4, όπου παρατηρούμε ότι για τιμές της αδιάστατης συχνότητας αι μικρότερες της μονάδος ο δυναμική δυσκαμψία σχεδόν ταυτίζεται με τη στατική ακαμψία. Πράγματι για κτηριακές κατασκευές η αδιάστατη συχνότητα αι είναι εν γένει μικρότερη της μονάδος.

Η φυσική σημασία των παραμέτρων που εμφανίζονται στο Σχήμα 4 είναι η ακόλουθη:

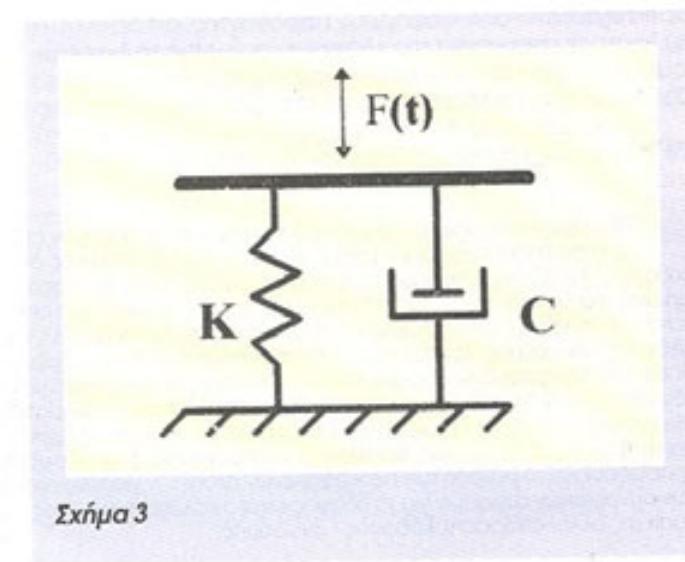
A: αδιάστατη συχνότητα

B: μισό πλάτος πεδίλου

ω: κυκλική συχνότητα δόνησης

V_s: ταχύτητα διατμητικών κυμάτων του εδάφους (m/s)

K': στατική δυσκαμψία



Σχήμα 3

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

v: λόγος Poisson
 K: δυναμική δυσκαμψία
 Σε υπόγειες θεμελίωσεις έχουμε αύξηση της δυσκαμψίας K_y , K_x και K_θ . Για υπόγειες θεμελίωσεις για τις οποίες υπάρχει συνεχής επαφή μεταξύ των τοίχων και του εδάφους, οι δυσκαμψίες K_y , K_x και K_θ υπολογίζονται από τους τύπους:

$$K_y = \left[\frac{8Gr}{2-v} \right] \left[1 + \left(\frac{2}{3} \right) \left(\frac{d}{r} \right) \right] \quad (4)$$

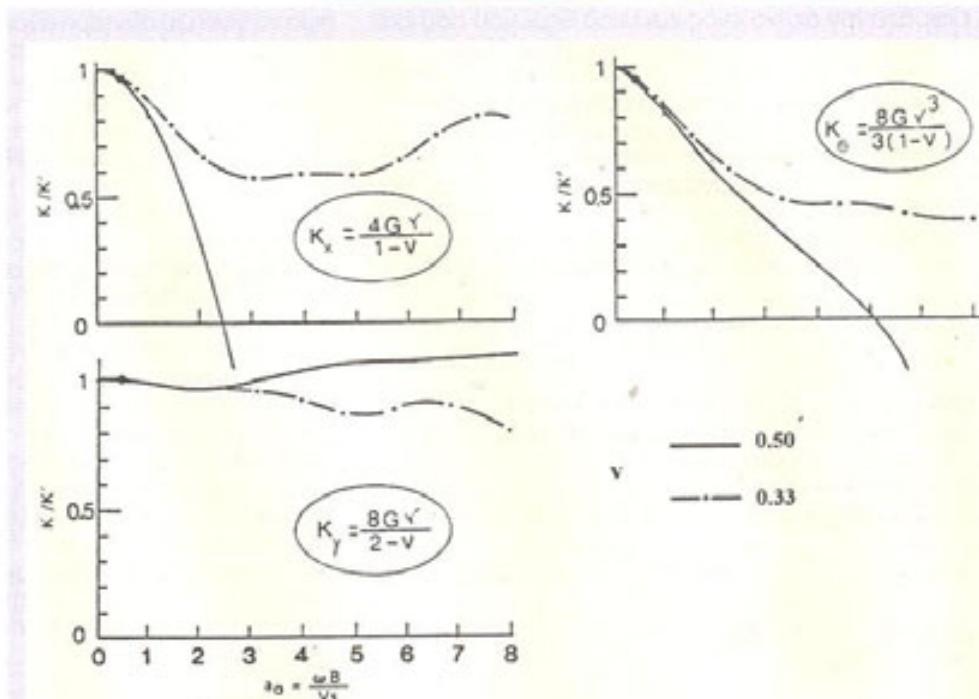
$$K_x = \left[\frac{4Gr}{1-v} \right] \left[1 + 0.4 \left(\frac{d}{r} \right) \right] \quad (5)$$

$$K_\theta = \left[\frac{8Gr^3}{3(1-v)} \right] \left[1 + 2 \left(\frac{d}{r} \right) \right] \quad (6)$$

όπου d: ενεργό βάθος της υπόγειας θεμελίωσης, ενεργό βάθος θεωρείται το ύψος του θεμελίου που διαπρέι επαφή με το έδαφος σε σεισμική φόρτιση.

Αν μια κατασκευή είναι υπόγεια θεμελιώμενη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει συνεχής επαφή μεταξύ του εδάφους και των τοίχων της κατασκευής, ή όταν υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα ότι η επαφή θα παραμείνει συνεχής κατά τη διάρκεια του σεισμού, τότε οι δυσκαμψίες θα υπολογίζονται από τους τύπους της επιφανειακής θεμελίωσης, δηλαδή από τις σχέσεις (1), (2) και (3).

Οι τιμές των K_y , K_x , K_θ που ορίστηκαν στις εξισώσεις (1) - (6) είναι εφαρμόσιμες για θεμελίωσεις που εδράζονται σε πρακτικά ομοιόμορφες εδαφικές στρώσεις ακετικά μεγάλου βάθους. Όταν οι θεμελίωσεις εδράζονται σε ένα στρώμα μαλακού εδάφους κάτω από το οποίο βρίσκεται ένα πιο σκληρό (βραχώδες) πέτρωμα (βλ. Σχήμα 5), τότε τα K_y , K_θ θα υπολογίζονται από τις σχέσεις (7) και (8).



Σχήμα 4

$$K_y = \left[\frac{8Gr}{2-v} \right] \left[1 + \left(\frac{2}{3} \right) \left(\frac{d}{r} \right) \right] \left[1 + \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{r}{D_s} \right) \right] \left[1 + \left(\frac{5}{4} \right) \left(\frac{d}{D_s} \right) \right] \quad (7)$$

$$K_\theta = \left[\frac{8Gr^3}{3(1-v)} \right] \left[1 + 2 \left(\frac{d}{r} \right) \right] \left[1 + \left(\frac{1}{\delta} \right) \left(\frac{r}{D_s} \right) \right] \left[1 + 0.7 \left(\frac{d}{D_s} \right) \right] \quad (8)$$

όπου: G: μέτρο διάτμησης του μαλακού εδάφους.
 D_s: βάθος του στρώματος (μαλακού εδάφους).

Οι σχέσεις (1) - (8) για τις κυκλικές θεμελίωσεις μπορούν να εφαρμοσθούν και σε μεμονωμένα πέδιλα με τυχαίο ακήμα με τις ακόλουθες τροποποιήσεις:

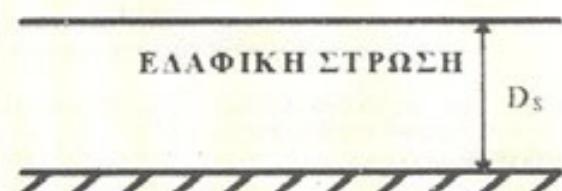
- το γ στις εξισώσεις για την οριζόντια και κατακόρυφη δυσκαμψία (εξισώσεις 1, 2, 4, 5 και 7) αντικαθίσταται από το r_m, όπου:

$$r_m = \sqrt{\frac{A_0}{n}} \quad (9)$$

Το γ εκφράζεται την ακτίνα ενός κυκλικού θεμελίου που έχει επιφάνεια A₀ αυτήν της εξεταζόμενης θεμελίωσης.

- το γ στις εξισώσεις για τη δυσκαμψία σε λικνισμό (εξισώσεις 3, 6, 8) αντικαθίσταται από το r_m, όπου:

$$r_m = \sqrt{\frac{4l_0}{n}} \quad (10)$$



Σχήμα 5

Ειδικά

ΘΕΜΑΤΑ

Το r_m εκφράζει την ακτίνα ενός κυκλικού θεμελίου που έχει ροπή αδράνειας ή αυτήν της εξεταζόμενης θεμελίωσης.

Για θεμελίωσεις με μεμονωμένα πέδιλα οι συνολικές δυσκαμψίες της θεμελίωσης K_y και K_θ υπολογίζονται από το άθροισμα των συνεισφορών των μεμονωμένων πεδίλων. Αν θεωροθεί ότι η θεμελίωση συμπεριφέρεται σαν ένα άκαμπτο σύμμα, γεγονός που στην πραγματικότητα εξασφαλίζεται με ισχυρές συνδετήριες δοκούς, και ότι τα μεμονωμένα πέδιλα είναι αραιά τοποθετημένα ώστε να δρούν σαν ανεξάρτητες μονάδες, τότε η συνολική δυσκαμψία της θεμελίωσης δίνεται από:

$$K_y = \sum K_{yi} \quad (11)$$

$$K_\theta = \sum K_{\theta i} \quad (12)$$

Οι δροί k_y , k_θ και k_i αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα την οριζόντια, κατακόρυφη και τη λικνιστική δυσκαμψία του ή πεδίλου. Το για αντιπροσωπεύει την απόσταση του ή πεδίλου από το κέντρο ακαμψίας της θεμελίωσης. Η συνεισφορά στο K_θ της λικνιστικής ακαμψίας του κάθε πεδίλου, k_i , είναι γενικά μικρή και μπορεί να ομελείται.

Οι δυσκαμψίες k_y , k_θ και k_i δίνονται από τους τύπους:

$$k_y = \left[\frac{8Gf_{ai}}{2-v} \right] \left[1 + \left(\frac{2}{3} \right) \left(\frac{d}{r_{ai}} \right) \right] \quad (13)$$

$$k_\theta = \left[\frac{4Gf_{ai}}{1-v} \right] \left[1 + 0.4 \left(\frac{d}{r_{ai}} \right) \right] \quad (14)$$

$$k_i = \left[\frac{8Gf_{mi}}{3(1-v)} \right] \left[1 + 2 \left(\frac{d}{r_{mi}} \right) \right] \quad (15)$$

όπου: d : το ενεργό βάθος θεμελίωσης του ή πεδίλου

G : το μέτρο διάτμπασης του εδάφους θεμελίωσης του ή πεδίλου

Το r_m είναι η ακτίνα ενός κυκλικού πεδίλου που έχει επιφάνεια δύο αυτήν του ή πεδίλου και δίνεται από τον τύπο:

$$r_{ai} = \sqrt{\frac{A_{oi}}{\pi}} \quad (16)$$

Το r_m είναι η ακτίνα ενός κυκλικού πεδίλου που έχει ροπή αδράνειας δύο αυτήν του ή πεδίλου και δίνεται από τον τύπο:

$$r_{mi} = \sqrt{\frac{4l_{oi}}{\pi}} \quad (17)$$

Σε κατασκευές με επιφανειακά πέδιλα ή με πέδιλα θεμελιώμενα σε βάθος των οποίων οι πλευρικοί τοίχοι που είναι σε επαφή με το έδαφος δεν μπορούν να θεωροθούν ότι θα παραμένουν σε επαφή με το έδαφος κατά τη διάρκεια της σεισμικής κίνησης, το δι θα λαμβάνεται ίσο με μηδέν.

Αν και η έμφραση αυτής της παρουσίασης περιορίζεται σε θεμελίωσεις κτιριακών έργων χωρίς πασσάλους, θα ήταν σκό-

πιμο να γίνει μια σύντομη αναφορά στην περίπτωση θεμελιώσεως με πασσάλους και πασσαλοσιμάδες. Η δυναμική αντίσταση μιας ομάδας πασσάλων για κάθε μορφή ταλάντωσης δεν μπορεί να υπολογισθεί με την απλή πρόσθεση των αντιστάσεων των μεμονωμένων πασσάλων που την απαρτίζουν. Η απόκριση κάθε πάσσαλου δεν επηρεάζεται μόνον από την ίδια τη φόρτισή του, αλλά και από τις δονήσεις των γειτονικών πασσάλων λόγω επιπρόσθετων παραμορφώσεων που οι τελευταίοι προκαλούν. Από μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η δυναμική δυσκαμψία μιας ομάδας πασσάλων είναι δυνατόν να υπερβεί κατά πολύ το άθροισμα των αταπτικών δυσκαμψιών των πασσάλων που την απαρτίζουν. Για μια πασσαλοσιμάδα ονομάζουμες την απόσταση μεταξύ των αξόνων δύο γειτονικών πασσάλων και δ τη διάμετρο ενός πάσσαλου της ομάδας. Η μεταξύ των πασσάλων αλληλεπίδραση γίνεται περισσότερο σημαντική για πασσαλοσιμάδες στις οποίες η ελάχιστη οριζόντια αδιαστατοποιημένη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πασσάλων είναι σχετικώς μεγάλη ($s/d > 5$), ενώ γίνεται ακόμη περισσότερο έντονη όταν αυξάνεται ο αριθμός των πασσάλων που την απαρτίζουν. Αντίθετα, όταν οι πασσάλοι είναι σε κοντινές απόστασεις ($s/d < 5$), η δυναμική δυσκαμψία μεταβάλλεται σχεδόν παραβολικά με τη συχνότητα της δόνησης. Έτσι η πασσαλοσιμάδα συμπεριφέρεται όπως μια απομονωμένη εγκιβωτισμένη θεμελίωση.

ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Η δεύτερη σημαντική παράμετρος που θα εξετάσουμε είναι η απόσβεση του εδάφους. Υπάρχουν δύο διαφορετικά φαινόμενα απόσβεσης που σχετίζονται με το εδάφος, η απόσβεση του εδαφικού υλικού και η απόσβεση ακτινοβολίας.

Η απόσβεση υλικού συμβαίνει σ' ένα έδαφος όταν οποιαδήποτε δόνηση διαδοθεί διαμέσου του εδάφους. Ένα μέρος της ενέργειας που χάνεται αφείλεται στην υστέρηση του εδάφους. Μετά από τους πρώτους λίγους κύκλους τάσης - παραμόρφωσης (Σχήμα 2) λόγω ανακυκλικής φόρτισης η σταθεροποίηση σ' ένα βρόχο υστέρησης. Η επιφάνεια του βρόχου αντιπροσωπεύει την ενέργεια που καταναλώνεται σε τρίβη σλίσθησης μεταξύ των κόκκων σε ανελαστικές παραμορφώσεις του εδάφους.

Λαμβάνοντας υπόψη το βρόχο υστέρησης του Σχήματος 2 μπορεί να αποδειχθεί ότι ο ισοδύναμος συντελεστής απόσβεσης εκφράζεται από τον τύπο:

$$\xi = \frac{W_E}{4\pi \Delta W_E} \quad (18)$$

όπου:

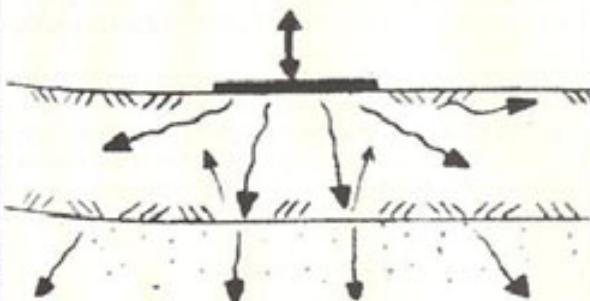
W_E = η ενέργεια που εκλύεται σε κάθε κύκλο (επιφάνεια του βρόχου υστέρησης)

ΔW_E = η ενέργεια που αποθηκεύεται σ' ένα ισοδύναμο απολύτως ελαστικό υλικό (επιφάνεια OAB)

Η απόσβεση ακτινοβολίας αποτελεί μέτρο της ενέργειας που καταναλώνεται μέσω των κυμάτων που διασπείρονται προς διάφορες τις κατευθύνσεις, βλ. Σχήμα 6.

Πρέπει να τονισθεί ότι σε εδαφικούς σχηματισμούς, όπου το δύσκαμπτο υπόβαθρο (βράχος) βρίσκεται σε μεγάλο βάθος,

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ



Σχήμα 6

από το επίπεδο θεμελίωσης, η απόσβεση ακτινοβολίας αποτελεί συνήθως το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής απόσβεσης του συστήματος.

Στην πράξη η απόσβεση του εδάφους μπορεί να συνυπολογισθεί είτε με την τοποθέτηση αποσβεστήρων με κατάλληλα υπολογισμένες σταθερές ή με τροποποίηση του φάσματος ακεδιασμού και ο δύο αυτές προσεγγίσεις αναπτύσσονται κατωτέρω.

Σύμφωνα με την παρούσα έκδοση του NEAK (3.2.3 (4)) τα αποσβεστικά χαρακτηριστικά του εδάφους μπορούν να παραλείπονται και το φάσμα ακεδιασμού εμπεριέχει την απόσβεση του συστήματος.

Αναμένεται όμως ότι τροποποιήσεις και βελτιώσεις του NEAK θα συμπεριλάβουν όλες τις μορφές απόσβεσης του εδάφους, όπως την απόσβεση ακτινοβολίας, και θα εισάγουν διορθωτικό συντελεστή για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης διάφορο του 5%.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μέθοδοι που συμπεριλαμβάνουν τα αποτελέσματα της αλληλεπιδραστικού εδάφους - κατασκευής στο ακεδιασμό ενός έργου.

Η πρώτη είναι η συνηθέστερά εφαρμοζόμενη στην πράξη, λόγω των διατάξεων του NEAK.

Η δεύτερη είναι μια προτεινόμενη μεθοδολογία που βασίζεται στην ισοδύναμη ατακτική μέθοδο (NEAK 3.4).

Η τρίτη είναι επίσης μια προτεινόμενη μεθοδολογία που βασίζεται στην δυναμική φασματική ανάλυση (NEAK 3.3).

Οι δύο τελευταίες μεθοδολογίες βασίζονται σε μεθοδολογίες που περιέχονται στο NEHRP και λαμβάνουν υπόψη και τα τρία αποτελέσματα της δυναμικής αλληλεπιδραστικού που αναφέ-

ρονται στην ενότητα 1.1.

ΜΕΡΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΆΦΟΥΣ - ΑΝΠΔΟΜΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟ (Τι συνήθως εφαρμόζεται σε συνήθεις κτιριακές κατασκευές)

Σύμφωνα με το NEAK (3.2.3 (4)) «Κατά την προσομοίωση του εδάφους θεμελιώσεως επιτρέπεται, εν γένει, η παράλειψη των αδρανειακών και αποσβεστικών του χαρακτηριστικών και τη θέωρηση μόνον των ελαστικών (ελαστηριακές σταθερές)». Επομένως, για τους μεν συνδυασμούς φορτίσεων που περιλαμβάνουν μόνιμα ή κινητά φορτία ο μηχανικός πρέπει να υπολογίζεται τα εντατικά μεγέθη, λόγω των μόνιμων και κινητών φορτίων για μέτρο διάτμησης του εδάφους G_0 , ενώ για όλους τους συνδυασμούς που συμπεριλαμβάνουν τα σεισμικά φορτία οι υπολογισμοί πρέπει να γίνονται για το μειωμένο μέτρο διάτμησης G . Συνιστάται, αντί της επιλογής του λόγου G/G_0 ανάλογα με την ζώνη σχεδιασμού, να χρησιμοποιείται για τα σεισμικά φορτία η τιμή $G = 0.70G_0$ ίδιατερά σε θεμελιώσεις γενικής κοιτάστρωσης και πεδιλοδοκών. Η τιμή $G = 0.70G_0$ είναι μία αποδεκτή τιμή για τάξη παραμορφώσεων λόγω σεισμού ($\epsilon = 0.01\%$). Η τιμή αυτή οδηγεί συνήθως σε συντηρητικά αποτελέσματα, χωρίς όμως να αγνοεί τη μείωση της δυακαμφίας του εδάφους σε σεισμό.

Συνήθως στην πράξη αυτή η διαδικασία δεν ακολουθείται και γίνεται χρήση μιᾶς μόνο τιμής του μέτρου διάτμησης, το G_0 για όλα τα είδη φορτίσεων. Επίσης, αγνοούνται τα αποσβεστικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Συνεπώς, γίνεται μια πλημμελής θέωρηση της δυναμικής αλληλεπιδραστικού εδάφους - ανωδομής στην οποία λαμβάνεται πολύ συντηρητικό μόνο το πρώτο (1) από τα αποτελέσματα της αλληλεπιδραστικού που αναφέρονται στην ενότητα 1.1.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται ακολούθως βασίζεται στην υπόθεση ότι η δυναμική αλληλεπιδραστικού εδάφους - ανωδομής επηρέαζεται μόνο από τη συνεισφορά της θεμελιώδους ιδιομορφής. Για κτιριακές κατασκευές και γέφυρες αυτή η υπόθεση θεωρείται επαρκής (NEHRP, Bielak, Veletsos, Spyros). Αρκικά παρουσιάζονται μερικές βασικές έννοιες οι οποίες χρησιμοποιούνται στη λεπτομερή περιγραφή της διαδικασίας που αναπτύσσεται στην ενότητα 4.1.

Τέμνουσα Βάσης

Για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της αλληλεπιδραστικής τέμνουσα βάσης (V) πρέπει να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{V} = V - \Delta V \quad (19)$$

όπου V είναι η τέμνουσα βάσης όταν η αλληλεπιδραστικού εδάφους ανωδομής δεν λαμβάνεται υπόψη, δηλαδή $V = C_s W$, με το W να αντιπροσωπεύει τα μόνιμα φορτία μαζί με ένα τμήμα

των κινητών φορτίων.

Η μείωση (ΔV) υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\Delta V = \left[C_3 - C_3 \left(\frac{0.05}{B} \right) \right] W \quad (20)$$

όπου:

C_3 : ο σεισμικός συντελεστής ακεδιασμού. Συγκεκριμένα $C_3 = R_d(T)$, όπου T είναι η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της πακτωμένης κατασκευής.

\bar{C}_3 : ο σεισμικός συντελεστής ακεδιασμού κάνοντας χρήση της θεμελιώδους ιδιοπερίοδου της κατασκευής λόγω αλληλεπίδρασης ((T)). ($C_3 = R_d(T)$).

\bar{B} : το κρίσιμο ποσοστό απόσβεσης για το σύστημα κατασκευή - θεμελίωση

\bar{W} : το ενεργό βάρος της κατασκευής, το οποίο πρέπει να λαμβάνεται ίσο προς $0.7W$, εκτός από τις κατασκευές που το ενεργό βάρος είναι συγκεντρωμένο σ' έναν δρόφο, τότε πρέπει να λαμβάνεται ίσο με W . Πρέπει να γίνει σαφές ότι ο λόγος \bar{W}/W βασίζεται στα χαρακτηριστικά της κατασκευής και ότι η τιμή $\bar{W} = 0.7W$ υιοθετείται, αφενός μεν για λόγους απλότητας και αφετέρου διότι είναι μια πολύ καλή προσέγγιση για τυπικά κτίρια στα οποία το βάρος είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο καθ' ύψος και η μεταβολή της δυσκαμψίας μεταξύ διαδοχικών ορόφων δεν υπερβαίνει το 35%.

Ενεργή Ιδιοπερίοδος Κατασκευής

Η ενεργή ιδιοπερίοδος της κατασκευής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T = T \sqrt{\left(1 + \frac{\bar{k}}{K_y}\right) \left(1 + \frac{K_y h^2}{K_\theta}\right)} \quad (21)$$

όπου: T : η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της πακτωμένης κατασκευής.

\bar{k} : η ακαμψία της ανωδομής με θεώρηση πάκτωσης.

\bar{h} : το ενεργό ύψος της κατασκευής. Λαμβάνεται $0.7h$ για πολυώροφα και h για μονώροφα, όπου h το ύψος της κατασκευής.

K_y : η οριζόντια δυσκαμψία της θεμελίωσης. Καθορίζεται ως η στατική οριζόντια δύναμη στη στάθμη της θεμελίωσης που απαιτείται για να προκαλέσει μια μοναδιαία μετατόπιση στη στάθμη αυτή. Η δύναμη και η μετατόπιση πρέπει να θεωρούνται στη διεύθυνση που αναλύεται η κατασκευή.

K_θ : η δυσκαμψία της θεμελίωσης σε λικνισμό. Καθορίζεται ως η στατική ροπή που απαιτείται για να δημιουργήσει μοναδιαία στροφή της θεμελίωσης. Η ροπή και η στροφή πρέπει να θεωρούνται στη διεύθυνση που αναλύεται η κατασκευή.

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Η εξίσωση της ενεργής ιδιοπεριόδου της κατασκευής προκύπτει από αναλύσεις κατά τις οποίες η συνολική κατασκευή θεωρείται ότι αποκρίνεται κυρίως με την επίδραση της θεμελιώδους ιδιομορφής της και ότι το βάρος της θεμελίωσης θεωρείται μηδαμινό σε σχέση με το βάρος της συνολικής κατα-

σκευής. Ο πρώτος όρος στο υπόριζο αντιπροσωπεύει τη συνεισφορά της οριζόντιας ενδοαιμότητας της θεμελίωσης στην ενεργό ιδιοπερίοδο της κατασκευής. Αντίστοιχα, ο δεύτερος όρος εκφράζει τη συνεισφορά της περιστροφικής ενδοαιμότητας.

Εναλλακτικά σε κατασκευές που στηρίζονται σε πλάκες γενικής κοπόστρωσης με μικρό βάθος θεμελίωσης είτε είναι υπόγεια θεμελιώμενες με πλευρικούς τοίχους που δεν διατρέφουν επαφή με το έδαφος κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης, η ενεργή ιδιοπερίοδος της κατασκευής αρίζεται ως ακολούθως:

$$T = T \sqrt{\left(1 + \frac{25d_{rh}h}{V_s^2}\right) \left(1 + \frac{112r_{dh}h^2}{r_m^3}\right)} \quad (22)$$

όπου:

d : η σχετική πυκνότητα βάρους της κατασκευής και του έδαφους, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$d = \frac{W}{\gamma A_{dh}} \quad (23)$$

Το d μπορεί να λαμβάνεται ίσο με 0.15 για τυπικά κτίρια. Τα r_0 και r_m είναι χαρακτηριστικά μήκη θεμελίωσης και δίνονται από τους τύπους (9) και (10).

Ενεργή Απόσβεση

Ο συντελεστής ενεργής απόσβεσης (β) για το σύστημα κατασκευή - θεμελίωση δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \beta_0 + \frac{0.05}{(T/T)^3} - 0.05 \quad (24)$$

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης, β_0 , εκφράζει τη συνεισφορά της απόσβεσης από τη θεμελίωση και ο δεύτερος όρος τη συνεισφορά της κατασκευής στην απόσβεση. Ο συντελεστής απόσβεσης θεμελίωσης, β_0 , συμπεριλαμβάνει τα αποτελέσματα της απόσβεσης ακτινοβολίας και της απόσβεσης υλικού του έδαφου υλικού της θεμελίωσης.

Για κυκλικές πλάκες γενικής κοπόστρωσης, που εδράζονται στην επιφάνεια έδαφους με πρακτικά ιστόρροπες ιδιότητες, οι τρεις πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την απόσβεση θεμελίωσης, β_0 , είναι: ο λόγος T/T των θεμελιώδων ιδιοπεριόδων, ο λόγος \bar{h}/r του ενεργού ύψους της κατασκευής προς την ακτίνα της θεμελίωσης και η ικανότητα απόσβεσης του έδαφους.

Η μεταβολή του συντελεστή απόσβεσης β_0 παρουσιάζεται συναρπάζει των λόγων T/T και \bar{h}/r και για δύο στάθμες διέγερσης στο Σχήμα 7.

Η διακεκομένη γραμμή αναφέρεται σε τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης του έδαφους, A , μικρότερες ή ίσες του 0.10. Η συνεχής γραμμή αναφέρεται σε τιμές της επιτάχυνσης του έδαφους μεγαλύτερες ή ίσες του 0.20.

Οι καμπύλες βασίζονται στα αποτελέσματα εκτεταμένων παραμετρικών έρευνών.

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Για πλάκες γενικής κοιτόστρωσης τυχαίου σχήματος, ο συντελεστής r πρέπει να ερμηνεύεται ως το χαρακτηριστικό μήκος που σχετίζεται με το μήκος της θεμελίωσης. Ή, στη διεύθυνση που αναλύεται η κατασκευή.

Άρα, όταν $\tilde{h}/L \leq 0.5$, δηλαδή για κατασκευές μικρού ύψους, η απόσβεση του συστήματος κατασκευή - θεμελίωση καθορίζεται από την μετακινησιακή δράση της θεμελίωσης, και έτσι είναι λογικό το r να υπολογίζεται από την εξίσωση (9).

Ενώ αντίθετα όταν $\tilde{h}/L \geq 1$, τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης καθορίζονται από τη στροφική κίνηση της θεμελίωσης και το r υπολογίζεται από την εξίσωση (10) κατά τη διεύθυνση που γίνεται η ανάλυση.

Οι καμπύλες του Σχήματος 7 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για θεμελίωσεις από μεμονωμένα πέδιλα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις τα A_1 και I_1 των εξισώσεων (9) και (10) αντιπροσωπεύουν την επιφάνεια και τη ροπή αδράνειας θεμελίωσης που παραλαμβάνει το φορτίο.

Στην πιο πάνω διαδικασία για τον καθορισμό της συνολικής απόσβεσης του συστήματος εδάφους - κατασκευής, καμία διαφοροποίηση στην ανάλυση δεν έγινε μεταξύ επικρανειάκων και υπόγειων θεμελίωσεων. Αυτή η διαφοροποίηση στην ανάλυση δεν έγινε, γιατί η βασική επίδραση του βάθους της θεμελίωσης είναι η αύξηση της απόσβεσης (Bielak, Novak, Novak and Beredugo) και η οποία με τη σειρά της έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των δυνάμεων που δρούν στην κατασκευή, άρα η χρήση των πιο πάνω αναφερόμενων διατάξεων ενέχει κάποιο αφάλμα προς την πλευρά της ασφάλειας.

Επίσης, χρήση των ανωτέρω διατάξεων για κτίρια με υπόγεια οδηγεί σε συντριπτικά αποτελέσματα και η οποία προέρχεται από το γεγονός ότι η διέγερση του ελεύθερου πεδίου στη στάθμη θεμελίωσης μειώνεται με το βάθος της θεμελίωσης (Seed et al), γεγονός που δε ληφθεί καθόλου υπόψη στη προλεγόμενα.

Πρέπει να αναφερθεί ότι σε κατασκευές που εδράζονται σε πασσάλους αιχμής και σε όλες τις άλλες περιπτώσεις όπου το έδαφος θεμελίωσης αποτελείται από ένα μαλακό στρώμα με πρακτικά ομοιόμορφες ιδιότητες κάτω από το οποίο βρίσκεται οκληρό έδαφος (βράχος) (Σχήμα 5), τότε η επίδραση της απόσβεσης ακτινοβολίας είναι πρακτικά μηδαμινή όταν η ιδιοπερίοδος της δόνησης του στρώματος, $T_s = 4D_s/V_s$, είναι μικρότερη από την διατοπορίδο της ελαστικά εδραζόμενης κατασκευής.

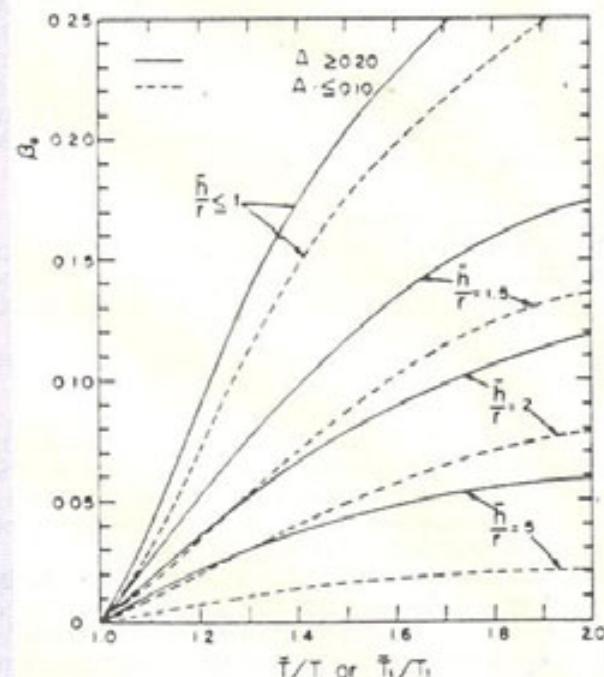
Συνεπώς, η τιμή του B_0 που δίνεται στο Σχήμα 6 μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο όταν:

$$\frac{T_s}{T} \leq 1 \quad (25)$$

Στην περίπτωση όπου:

$$\frac{T_s}{T} > 1 \quad (26)$$

τότε η απόσβεση θεμελίωσης (B_0) στη σχέση (24) αντικαθίσταται από τον όρο:



Σχήμα 7

$$B_0 = \left(\frac{4 D_s}{V_s T} \right)^2 B_0 \quad (27)$$

Χρήση των σχέσεων (24) και (27) σε συνδυασμό με το Σχήμα 7 μπορεί να οδηγήσει σε τιμές συνολικής απόσβεσης του συστήματος εδάφους - κατασκευής, B , μικρότερες του 0.05. Εντούτοις, η τιμή $B=0.05$ που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό για άκαμπτα εδραζόμενες κατασκευές έχει επιλεγεί από εμπειρία και μετρήσεις σε υπάρχοντα κτίρια. Γ' αυτό ο συντελεστής της ενεργής απόσβεσης, B , για το σύστημα κατασκευή - θεμελίωση πρέπει να λαμβάνεται πάντα μεγαλύτερος ή ίσος του 0.05.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Προτείνονται τροποποιήσεις της Δυναμικής Φασματικής Μεθόδου (NEAK 3.3) με στοιχεία που συνεκτιμούν την επιρροή της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους - ανωδομής.

Μελέτες της δυναμικής απόκρισης ελαστικά εδραζόμενων πολυβάθυτων συστημάτων (Bielak, Chopra and Gutierrez, Veletsos) διαπιστώνουν ότι στα δραστηριότητα που ενδιαφέρουν το σχεδιασμό κτηριακών κατασκευών που υπόκεινται σε σεισμική διέγερση, η αλληλεπίδραση εδάφους - κατασκευής

Ειδικά

ΘΕΜΑΤΑ

επηρεάζει κυρίως τη θεμελιώδη ιδιομορφή.

Αρκεί, λοιπόν, στην αλληλεπιδραση να λαμβάνεται υπόψη μόνο η συνεισφορά του θεμελιώδου τρόπου δόνησης ανά διεύθυνση. Οι συνεισφορές των ανώτερων μορφών δόνησης να υπολογίζονται όπως στις πακτωμένες κατασκευές και η απόκριση του συστήματος να προκύπτει με εφαρμογή ενός κανόνα επαλληλίας, όπως η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων της μεγιστούς απόκρισης κάθε συνεισφοράς (SRSS), (NEAK 3.3.3).

Φασματική Τέμνουσα Βάσης

Για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της αλληλεπιδρασης εδάφους - ανωδομής η τέμνουσα βάσης που αντιστοιχεί στη θεμελιώδη ιδιομορφή (V_1) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_1 = V_I - \Delta V_I \quad (28)$$

Η μείωση (ΔV_I) υπολογίζεται όπως το ΔV για την ισοδύναμη στατική ανάλυση. Το C_1 υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της πακτωμένης κατασκευής (T_1) και το C_1 υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της ελαστικά εδραζόμενης κατασκευής (T_1).

Γενικά τα αποτελέσματα της αλληλεπιδρασης που σχετίζονται με τη θεμελιώδη ιδιομορφή της κατασκευής προσδιορίζονται με έναν τρόπο ανάλογο με την ισοδύναμη στατική ανάλυση, εκτός από το ενέργο Βάρος και το ενέργο ύψους της κατασκευής που πρέπει να υπολογίζονται έτοι, ώστε να εκφράζουν τη θεμελιώδη ιδιομορφή μιας ισοδύναμης πακτωμένης κατασκευής. Συγκεκριμένα το W υπολογίζεται από τη σχέση:

$$W = W_I = \frac{(\sum w_i \phi_i)^2}{\sum w_i \phi_i^2} \quad (29)$$

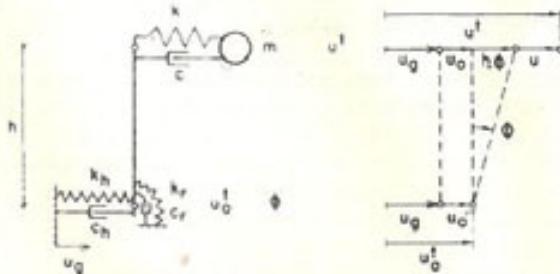
και το \bar{h} από τη σχέση:

$$\bar{h} = \frac{\sum w_i \phi_i h_i}{\sum w_i \phi_i} \quad (30)$$

όπου το Φ_i εκφράζει την πρώτη ιδιομορφή του i ορόφου. Για να αποφευχθεί υπερεκτίμηση του ρόλου που παίζει η δυναμική αλληλεπιδραση εδάφους - κατασκευής στο σχεδιασμό της κατασκευής, αυνιστάται ότι σε καμμιά παρίπτωση η μειώνη τέμνουσα βάσης (V_1) να λαμβάνεται μικρότερη από $0.7V_I$.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ

Λόγω της στροφής της θεμελιώσης οι οριζόντιες μετατοπίσεις της ελαστικά εδραζόμενης κατασκευής μπορεί να είναι μεγαλύτερες από αυτές της πακτωμένης κατασκευής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του απαιτούμενου αρμού με-



Σχήμα 8

τοξύ γειτονικών κτιρίων καθώς και αύξηση των δευτερογενών δυνάμεων σχεδιασμού που έχουν σχέση με τα φαινόμενα δευτέρας τάξης (NEAK 4.1.7.2). Σε συνεχή δόμηση, που είναι ο κανόνας στα περισσότερα αστικά κέντρα της χώρας, αγνόστη της δυναμικής αλληλεπιδρασης εδάφους - ανωδομής μπορεί να οδηγήσει σε λόγος εκτίμησης του πλάτους του αρμού που απαιτείται για να αποφευχθεί κρούση μεταξύ των κτιρίων. Κίνδυνος υπάρχει επίσης και για εσφαλμένη (όχι υπέρ της ασφαλείας υπολογισμό) εκτίμηση των φαινομένων δευτέρας τάξης. Σε σεισμούς, βαθειούς και μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς ενισχύουν της εδαφικές επιταχύνσεις μεγάλων περιόδων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αύξηση της ιδιοπερίοδου του συστήματος κτιρίου - θεμελιώσης, λόγω αλληλεπιδρασης, έχει προκαλέσει πολλές αστοχίες και καταρρεύσεις οικοδομημάτων.

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται μετατόπιση, παραμόρφωση και στροφή ενός μοντέλου μιας μονώροφης πλαισιωτής κατασκευής που υποβάλλεται σε οριζόντια αρμονική διέγερση u_0 συνχρόνως ω . Το μοντέλο της κατασκευής που φαίνεται στο Σχήμα 8 αποτελείται από μία μάζα m , εγκάρδια δυσκαμψία με συντελεστή ελατηρίου k και απόσβεση με συντελεστή c τα οποία συνδέονται με μια άκαμπτη ράβδο ύψους h . Το μοντέλο μπορεί να ερμηνευθεί και ως προσδομοίωση μιάς πολυώροφης κατασκευής που αποκρίνεται στην πακτωμένη βάση της σαν ένας μονοβάθμιος ταλαντωτής με m , k , και c που σχετίζονται με τη θεμελιώδη ιδιομορφή (Chopra). Το h είναι η απόσταση του κέντρου μάζας από τη θεμελίωση.

Η μέγιστη παραμόρφωση της κατασκευής η_{max} και η μέγιστη ολική μετακίνηση της μάζας $(u + u_0 + h)$ παρουσιάζονται ως συναρτήσεις του λόγου δυσκαμψίας S στα Σχήματα 9α και 9β αντίστοιχα. Ο λόγος δυσκαμψίας της κατασκευής προς την δυσκαμψία του εδάφους δίνεται από τη σχέση:

$$S = \frac{\omega h}{V_S} \quad (31)$$

όπου V_S είναι η ταχύτητα διατυπικών κυμάτων και το ω εκφράζει τη συνχρόνη της πακτωμένης κατασκευής $(\omega_S^2 = k/m)$

Επειδή για υψηλές κατασκευές η συνχρόνη ω είναι πρaktικά αντιστρόφως ανάλογη του ύψους h , το γινόμενο ωh μο-

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ρείνα θεωρηθεί σταθερό. Άρα, όσο μειώνεται η ακαμψία του εδάφους η τιμή S αυξάνεται.

Από τα διαγράμματα του Σχήματος 9 γίνεται κατανοτό ότι, όταν λάθουμε υπόψη την αλληλεπίδραση εδάφους - ανωδομής, έχουμε ως αποτέλεσμα τη μείωση της μέγιστης παραμόρφωσης της κατασκευής, με ταυτόχρονη αύξηση της μέγιστης μετακίνησης της κατασκευής δε σχέση μ' αυτήν της έλευθερου πεδίου.

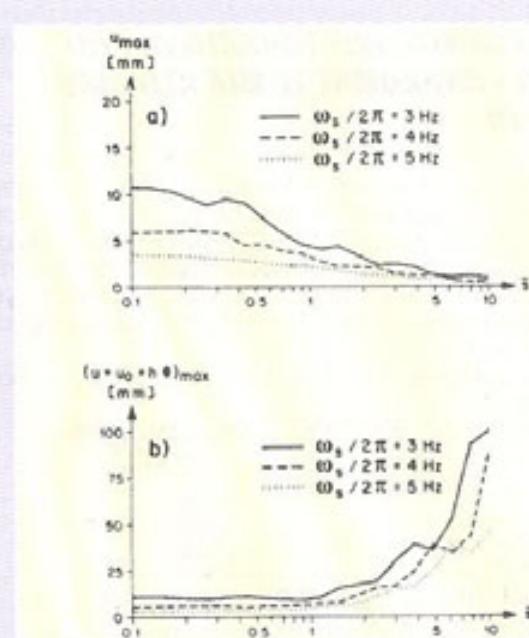
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ - ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ Ν.Ε.Α.Κ [§3.4]

Σ' αυτήν την ενότητα προτείνεται μια διαδικασία για το σεισμικό ακεδίασμό κατασκευών, π οποία λαμβάνει υπόψη τη δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους - ανωδομής.

Η διαδικασία αναφέρεται σε κανονικές κατασκευές (§3.4.1. NEAK).

Σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία υπολογίζεται η ιδιοπεριόδος, η απόσβεση και η τέμνουσα βάσης της ελαστικά εδραζόμενης κατασκευής (με θεώρηση αλληλεπίδρασης), τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και διαστασιολόγηση της κατασκευής σύμφωνα με τους Ν.Ε.Α.Κ. και Ν.Κ.Ω.Σ.

BHMA 1ο: Υπολογισμός της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της



Σχήμα 9

κατασκευής με θεώρηση πάκτωσης, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε κατάλληλη μέθοδο ή τον τύπο που προτείνεται ο Ν.Ε.Α.Κ (§3.4.2)

$$T = 0.09 \frac{H}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{H}{H + \rho L}} \quad (32)$$

όπου:

H: το ύψος του κτιρίου

L: το μήκος του κτιρίου κατά τη θεωρούμενη διεύθυνση

ρ: το πιλικό επιφάνειας διατομών τοιχωμάτων ανά διέύθυνση σεισμικής δράσης προς τη συνολική επιφάνεια τοιχωμάτων και υποστυλωμάτων.

BHMA 2ο: Υπολογισμός του λόγου

$$V_s / f h \quad (33)$$

όπου:

V_s: η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων.

f: η συχνότητα της πακτωμένης κατασκευής.

h: το ύψος της κατασκευής (0,7h για πολυώροφο, h για μονώροφο).

Αν $V_s / f h \geq 20$, τότε τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης εδάφους ανωδομής είναι αμελτέα και μπορούμε να τα αγνοήσουμε στο σχεδιασμό της κατασκευής.

Αν $V_s / f h < 20$, τότε η αλληλεπίδραση εδάφους ανωδομής είναι σημαντική και πρέπει να ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

BHMA 3ο: Υπολογισμός των ακτίνων r_{el} και r_{ri} του κάθε στοιχείου της θεμελίωσης από τις εξισώσεις (16) και (17).

Η διαδικασία υπολογισμού των διαστάσεων (r_{el} , r_{ri}) του κάθε στοιχείου θεμελίωσης είναι επαναληπτική. Οι αρχικές διαστάσεις προκύπτουν από την επίλυση με θεώρηση πάκτωσης. Μετά την επίλυση με τη θεώρηση αλληλεπίδρασης, οι ακτίνες υπολογίζονται πάλι με βάση της διαστάσεις που προέκυψαν. Ακολουθεί δηλαδή μια επαναληπτική διαδικασία μέχρις ότου η διαφορά των διαστάσεων να είναι μικρότερη μιας προεπιλεγμένης τιμής, π.χ. 5%.

BHMA 4ο: Υπολογισμός του μέτρου διάτμησης και της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων του εδάφους για παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στο σεισμό σχεδιασμού.

Ο λόγος G/G_0 για το έδαφος κάτω από τη θεμελίωση για μεγάλες παραμορφώσεις και ο λόγος V_s/V_{s0} για κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας που ορίζεται ο ΝΕΑΚ δίνονται στον Πίνακα 2. Πάντως για μια συντηρητική θεώρηση των επιπτώσεων της αλληλεπίδρασης εδάφους - ανωδομής μπορεί να λαμβάνεται $G=0,7G_0$.

Πρέπει όμως να τονισθεί ότι για μαλακά εδάφη η θεώρηση $G=0,7G_0$ μπορεί να εκτιμήσει ολικές μετακινήσεις μικρότερες από τις αναμενόμενες.

BHMA 5ο: Υπολογισμός των δυσκαμψών k_{el} , k_{ri} και k_{ei} του κά-

Ειδικά

Θ Ε Μ Α Τ Α

θε στοιχείου της θεμελίωσης με χρήση των σχέσεων (13), (14) και (15).

BHMA 6: Υπολογισμός της συνολικής δυακαμψίας της θεμελίωσης με χρήση των σχέσεων (11) και (12).

Είναι προφανές ότι οι δυακαμψίες της θεμελίωσης για πλάκα γενικής κοιτάστρωσης είναι αυτές που υπολογίστηκαν από το 5ο Βήμα, δηλαδή $K_y = k_y$, $K_x = K_x$ και $K_o = k_o$.

BHMA 7: Υπολογισμός της δυακαμψίας της ανωδομής με θεώρηση πάκτωσης.

Η δυακαμψία της ανωδομής με θεώρηση πάκτωσης δίνεται από τον τύπο:

$$k = 4\pi^2 \left(\frac{W}{gr^2} \right) \quad (34)$$

όπου: T : Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της πακτωμένης κατασκευής.

W : Το ενεργό βάρος της κατασκευής, το οποίο πρέπει να λαμβάνεται 0.7W. Σε κατασκευές που τα μόνιμα και κινητά φορτία είναι συγκεντρωμένα σ' έναν όροφο, τότε πρέπει να λαμβάνεται $W=W$. Το W αντιπροσωπεύει τα μόνιμα φορτία μαζί με ένα ποσοστό των κινητών φορτίων, δηλαδή $G+\psi Q$, όπου ψ ο συντελεστής συνδυασμού μεταβλητών δράσεων (§4.1.2.1 NEAK).

g: Η επιτάχυνση της θαρύπτας.

BHMA 8: Υπολογισμός της ενεργής ιδιοπερίοδου της κατασκευής.

Η ενεργή ιδιοπερίοδος της κατασκευής υπολογίζεται από την εξίσωση (21). Εναλλακτικά σε κατασκευές που στηρίζονται σε πλάκες γενικής κοιτάστρωσης με μικρό βάθος θεμελίωσης, είτε υπόγεια θεμελιώμενες με πλευρικούς τοίχους που δεν διατηρούν επαφή με το έδαφος κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης, η ενεργή ιδιοπερίοδος της κατασκευής υπολογίζεται από την εξίσωση (22).

BHMA 9: Υπολογισμός του συντελεστή απόσβεσης θεμελίωσης (β_0).

Η απόσβεση θεμελίωσης επιλέγεται από το Σχήμα 7 συναρτήσει των λόγων (T/T και h/r) και την αντίστοιχη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους (A).

Σε κατασκευές που εδράζονται σε πασσάλους αιχμής και σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, όπου το έδαφος θεμελίωσης αποτελείται από ένα μαλακό στρώμα με πρακτικά ισότροπες ιδιότητες κάτω από το οποίο βρίσκεται οικληρή έδαφική στρώση, η τιμή του B_0 που δίνεται στο Σχήμα 7 είναι εφαρμόσιμη μόνο όταν ισχύει η εξίσωση (25). Αντίθετα, όταν ισχύει η εξίσωση (26), τότε η απόσβεση θεμελίωσης (β_0) θα υπολογίζεται από την εξίσωση (27).

BHMA 10: Υπολογισμός του συντελεστού ενεργής απόσβεσης για το σύστημα κατασκευή - θεμελίωση.

Ο συντελεστής ενεργής απόσβεσης για το σύστημα κατασκευή - θεμελίωση (β) δίνεται από την εξίσωση (24).

BHMA 11: Υπολογισμός της τέμνουσας βάσης της κατασκευής λόγω αλληλεπίδρασης.

Για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της αλληλεπίδρασης η τέμνουσα βάσης (V) πρέπει να υπολογίζεται από:

$$V = V - \Delta V$$

όπου η μείωση, ΔV , δίνεται από την εξίσωση:

$$\Delta V = \left[R_d(T) - R_d(\bar{T}) \left(\frac{0.05}{B} \right)^{0.4} \right] W \quad (35)$$

όπου: $R_d(T)$: Η φασματική επιτάχυνση κάνοντας χρήση της θεμελιώδους ιδιοπερίοδου της πακτωμένης κατασκευής.

$R_d(\bar{T})$: Η φασματική επιτάχυνση κάνοντας χρήση της θεμελιώδους ιδιοπερίοδου της κατασκευής λόγω αλληλεπίδρασης.

Β: Ο συντελεστής ενεργής απόσβεσης για το σύστημα κατασκευή - θεμελίωση.

Η μειωμένη τέμνουσα βάσης δεν πρέπει ποτέ να λαμβάνεται μικρότερη από το 0.7V.

BHMA 12: Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών. Εφαρμόζεται ο NEAK με τέμνουσα βάσης $V=0$ και καθ' ύψος κατανομή των φορτίων, όπως ορίζεται στην παράγραφο 3.4.2 NEAK. Τέλος, η συνολική μετατόπιση (u_i) εκτιμάται ικανοποιητικά από τη σχέση:

$$u_i = \left(\frac{T}{T} \right)^2 u \quad (36)$$

όπου u η παραμόρφωση του φορέα.

ΒΕΦΡΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΛΑΦΟΥΣ - ΑΝΠΛΩΜΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΚΤΙΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Αναλύεται μια πενταώροφη κατασκευή με κάτοψη τυπικού ξυλοτύπου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 10. Η θεμελίωση της κατασκευής αποτελείται από μεμονωμένα πέδιλα. Η κατασκευή αυτή είναι ένα τροποποιημένο παράδειγμα από την έκδοση του ΟΑΣΠ «Μελέτες κτιριακών έργων με εφαρμογή των διατάξεων του NEAK». Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα της κατασκευής είναι:

Βάθος άνω πέλματος θεμελίων από την επικράνεια του έδαφους: 1.00 m.

Υψος ιασιγένους: 4 m, ύψος υπόλοιπων ορόφων: 3 m.

Σκυρόδεμα: C20.

Οπλισμός: \$400, συνδετήρες S220.

Σεισμική ζώνη: II.

Έδαφος κατηγορίας: B.

Σπουδαιότητα: Σ2.

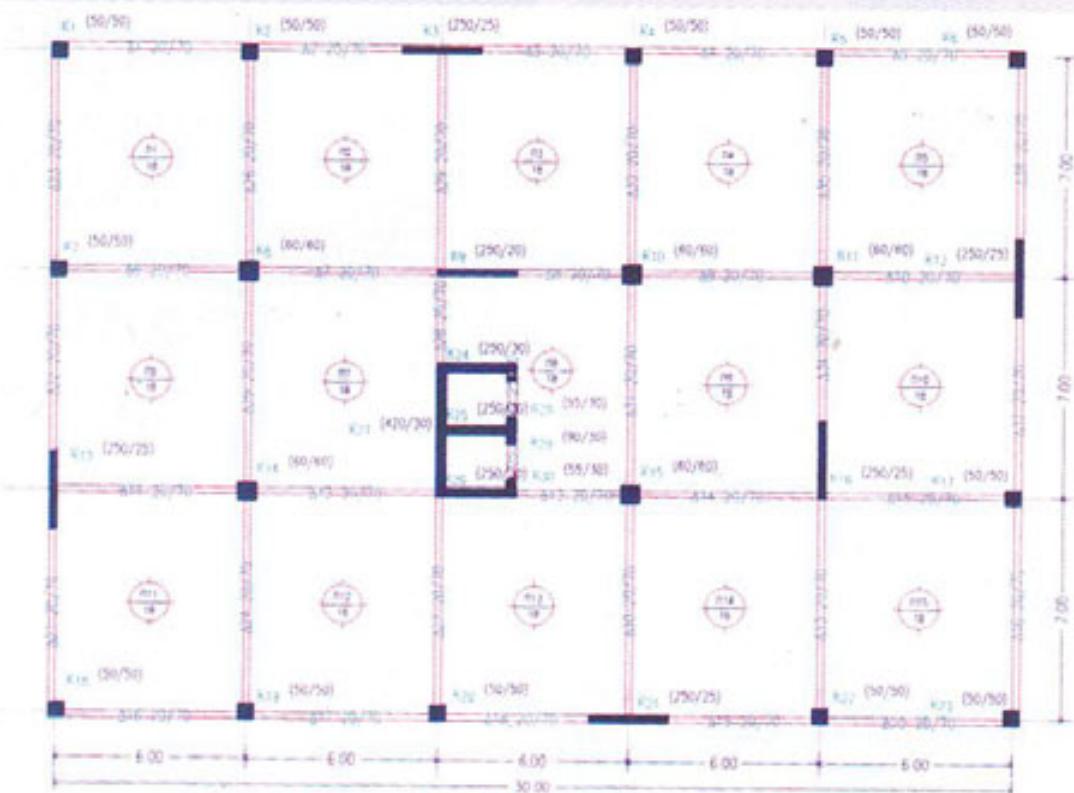
Μόνιμο φορτίο πλακών: g=4 kN/m².

Κινητό φορτίο πλακών: q=2 kN/m².

Επιτρεπόμενη τάση έδαφους (σει.: 250 kN/m²).

Ταχυτάτη διατημπτικών κυμάτων (σε μικρές παραμορφώσεις): $V_{se}=200$ m/s.

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ



Σχήμα 10

Ειδικό βάρος εδάφους: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$.
Συντελεστής Poisson: $v=0.40$.
Συντελεστής συμπεριφοράς: $q=3.5$.

Η κατασκευή αναλύεται με τους εξής διαφορετικούς τρόπους:

- α) Με θεώρηση πάκτωμένης στήριξης.
- β) Με θεώρηση ελαστικής πάκτωσης χρησιμοποιώντας ένα

κατακόρυφο και δύο στροφικά (λικνιστικά) ελατήρια που αντιστοιχούν σε μικρές παραμορφώσεις, δηλαδή για V_{s1} , G_0 .

γ) Με θεώρηση ελαστικής πάκτωσης χρησιμοποιώντας ένα κατακόρυφο και δύο στροφικά (λικνιστικά) ελατήρια που αντιστοιχούν σε μεγάλες παραμορφώσεις, δηλαδή για V_{s2} , G_1 .

δ) Με θεώρηση δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους - ανωδομής.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με θεώρηση πάκτωσης, με τα αποτελέσματα των άλλων τριών

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 Αποτελέσματα

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ(s)		ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ (kN)	
	T_x	T_y	V_x	V_y
ΘΕΩΡΗΣΗ ΠΑΚΤΩΣΗΣ	0.21	0.27	3971	3971
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΚΤΩΣΗ, ΧΡΗΣΗ G_0	0.52	0.64	3971	3804
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΚΤΩΣΗ ΧΡΗΣΗ G_1	0.54	0.67	3971	3697
ΘΕΩΡΗΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ	0.33	0.48	2818	2785

Ειδικά

ΘΕΜΑΤΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 Βάρος Οπλισμών

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	ΒΑΡΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (kg)
ΘΕΩΡΗΣΗ ΠΑΚΤΩΣΗΣ	115051.00
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΚΤΩΣΗ, ΧΡΗΣΗ G ₀	113444.00
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΚΤΩΣΗ ΧΡΗΣΗ G	112584.00
ΘΕΩΡΗΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ	98041.00

αναλύσεων, καθώς και παρατηρήσεις που αντλούνται από τη βιβλιογραφία οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- 1) Η θεώρηση ελαστικής πάκτωσης των πεδίων οδηγεί σε σημαντική αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου (150% στη διεύθυνση x και 140% στη διεύθυνση y, για το συγκεκριμένο παράδειγμα), σε σχέση μ' αυτήν που προκύπτει από την ανάλυση με θεώρηση πάκτωσης.
- 2) Για ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I και II, για εδάφη κατηγορίας A και B και για θεμελιώσεις με μεμονωμένα πέδιλα, η θεώρηση της μείωσης του μέτρου διάτμησης οδηγεί σε μικρή αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου. Συνεπώς, η επίδραση της μείωσης του μέτρου διάτμησης στα εντατικά μεγέθη είναι μικρή. Σε θεμελιώσεις γενικής κοιτάστρωσης και πεδιλοδοκών, καθώς και σε εύκαμπτους ψηλούς

φορείς με μεγάλη συγκεντρωμένη μάζα στην κορυφή τους, η επίδραση είναι σαφώς μεγαλύτερη ιδιαίτερα σε ζώνες σεισμικότητας III και IV και σε εδάφη κατηγορίας Γ και Δ. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι μόνο με τη μείωση του μέτρου διάτμησης του εδάφους, διαδίκασία που αναπτύσσεται στην παράγραφο 2.2, δεν λαμβάνεται επαρκώς υπόψη η συνεισφορά της αλληλεπιδρασης εδάφους ανωδομής.

- Η θεώρηση αλληλεπιδρασης εδάφους - ανωδομής:
- 3) Αυξάνει κατά πολὺ τη θεμελιώδη ιδιοπεριόδο (50% για το συγκεκριμένο παράδειγμα) σε σχέση μ' αυτήν που προκύπτει από την ανάλυση με θεώρηση πάκτωσης.
 - 4) Μειώνει σημαντικά την τέμνουσα βάσης (30% στη διεύθυνση x και y, για το συγκεκριμένο παράδειγμα) σε σχέση μ' αυτήν που προκύπτει από την ανάλυση με θεώρηση πάκτωσης.
 - 5) Ελαττώνει τις διαστάσεις των θεμελιών σε σχέση μ' αυτές που προκύπτουν από την ανάλυση με θεώρηση πάκτωσης.
 - 6) Μειώνει σημαντικά το βάρος του απαιτούμενου οπλισμού (15% για το συγκεκριμένο παράδειγμα) σε σχέση με το βάρος που απαιτείται από την ανάλυση με θεώρηση πάκτωσης.

Πρέπει να τονισθεί ότι ταυτόχρονα:

- 7) Αυξάνει τις συνολικές μετακινήσεις, γεγονός που πρέπει να ληφθεί συβαρά υπόψη για τις διαστάσεις του σεισμικού αρμού μεταξύ των ομόρων οικοδομών.
 - 8) Απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στην εφαρμογή της, ώστε να αποφευχθεί λάθος στον υπολογισμό της τέμνουσας βάσης και των εντατικών μεγεθών.
- Σειρά παραδειγμάτων, καθώς και πιο εμπειστωμένα συμπεράσματα παρουσιάζονται στην τελευταία, από τις αναφερόμενες στη βιβλιογραφία, εργασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- * ALGOR, Finite Element Analysis and Event Simulation Software, Pittsburgh, PA, USA.
- * Antes, H. and Spyros, C.C. Soil - Structure Interaction, Chapter 6 in Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures, Computer Mechanics Publications, Southampton, 1997.
- * Bielak, J. Modal Analysis for Building-Soil Interaction, Journal of the ASCE Engineering Mechanics Division 102, pp. 771-786, 1976.
- * Bielak, J. Dynamic Behaviour of Structures with Embedded Foundations, In Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 3, pp. 259-274, 1987.
- * Γερόλυμος, Ν. Ενεργός Θεμελιώδης Ιδιοπεριόδος και Απόσβεση Συστημάτων Πασσάλων - Βάθρου Γεφυρών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 1997.
- * Γκαζέτας, Γ. Εδαφοδυναμική και Σεισμική Μηχανική, Ιστορικά Περιστατικά, Εκδόσεις Συμεών, 1996.
- * Gazetas, G. and Dorby, R. Horizontal Response of Piles in Layered Soil, Journal of the Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 110, No. 1, pp. 20-40, 1984.

* Chopra, A.K. & Gutierrez, J.A. Earthquake Analysis of Multistory Buildings Including Foundation Interaction, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics 3, pp. 65-67, 1974.

* Chopra, A. Dynamics of Structures, Prentice Hall, New York, 1995.

* ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ, Πρόγραμμα Διαστασιολόγησης Τυχούσας Διατομής, nSYSTEMS International.

* Dowrick, D. J. Earthquake Resistant Design, John Wiley & Sons, 1990.

* Μελέτες Κτιριακών Έργων με Εφαρμογή των Διατάξεων του Ν.Ε.Α.Κ., Οργανισμός Αντοχειασμού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.), Αθήνα, 1995.

* EUROCODE 8, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, Version 1994.

* NEHRP - National Earthquake Hazard Resistant Program, Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings, FEMA, Washington, DC, 1991.

* NEXT, Πρόγραμμα Στατικής και Δυναμικής Ανάλυσης και Διαστασιολόγησης, Computec Software.

* Novak, M. Dynamic Stiffness and Damping of Piles, Canadian Geotechnical Journal 11, pp. 574-598, 1974.

* Novak, M., Beredugo, Y.O. Vertical Vibrations of Embedded Footings, Journal of the ASCE Soil Mechanics and Foundations

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ



Division 98 (SM12), pp. 1291-1310, 1972.

* Patel, P. and Spyros, C.C. Uplift - Sliding Response of Flexible Structures to Seismic Loads, Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol. 8, No. 4, pp. 185-191, August 1991.

* Seed, H.B., Whitman, R.V., Lysmer, J. Soil-Structure Interaction Effects in the Design of Nuclear Power Plants, In Structural and Geotechnical Mechanics, A Volume Honoring N.M. Newmark, edited by W.J. Hall, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1977.

* Seismic Design of Highway Bridge Foundations, Vol. III Example Problems and Sensitivity Studies, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, June 1986.

* SOFISTIK. Software Fuer Statik und Konstruktion, Sofistik Hellas A.E.

* Spyros, C.C. Seismic Behavior of Bridge Piers Including Soil-Structure Interaction, Computers and Structures, Vol. 4, No. 2, pp. 373-384, 1992.

* Spyros, C.C. Finite Element Modeling in Engineering Practice, Algor Publishing Division, Pittsburgh, PA, 1995.

* Spyros, C.C. and Raftoyiannis, J. Linear and Nonlinear Finite Element Analysis in Engineering Practice, Algor Publishing Division, Pittsburgh, PA, 1997.

* Spyros, C.C. Assessment of SSI on the Seismic Response of Short Span Bridges, Engineering Structures, Vol. 12, No. 1, pp. 60-66, 1990.

* FESPA Dynamic, Πρόγραμμα Στατικής και Δυναμικής Ανάλυσης και Διασταθεροποίησης, LH Λογοτυπή.

* Uniform Building Code. Structural Engineering Design Provisions, California, USA, 1994.

* Veletsos, A., Meek, J. Dynamic Behavior of Building - Foundation Systems, Earthq. Engng. Struct. Dynamics, vol. 3, pp. 121-318, 1974.

* Veletsos, A.S. Dynamics of Structure-Foundation Systems, In Structural and Geotechnical Mechanics, A Volume, Honoring N.M. Newmark, edited by W.J. Hall, p. 333-361, 1977, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

* Veletsos, A.S. and Nair, V.V. Seismic Interaction of Structures on Hysteretic Foundations, Journal of the ASCE Structural Division 101 (ST1), pp. 109-129, 1975.

* Wolf, P. J. Dynamic Soil - Structure Interaction, Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1985.

* Νικολέττος, Γ. Δυναμική Αλληλεπίδραση Εδάφους - Κτηριακών Κατασκευών με Μεμονωμένα Πέδιλα, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 1997.

* Ο Κωνσταντίνος Σπυράκος είναι επίκουρος καθηγητής στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

* Ο Γιάργος Νικολέττος είναι πολιτικός μηχανικός, υποψήφιος διδάκτωρ ΕΜΠ.