

Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XIX	σελ. 267-283	Αθήνα 1987
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Ν. ΘΕΟΦΑΝΟΠΟΥΛΟΣ & Π. ΘΕΟΦΑΝΟΠΟΥΛΟΣ

1. Περίληψη

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται η στοχαστική μέθοδος προσομοίωσης επιταχυνσιογραφήματων. Για να υπολογίσουμε μέσω της ευρέως χρησιμοποιούμενης ντετερμινιστικής μεθόδου το επιταχυνσιογράφημα σχεδιασμού μιάς περιοχής, του λαμβάνει υπόψη του τα χαρακτηριστικά του εδάφους, χρειάζεται επί πλέον να εφαρμόσουμε μιά μέθοδο δυναμικής απόκρισης. Αντίθετα σ' αυτή τη μέθοδο μπορούμε να ενσωματώσουμε απ' ευθείας το είδος του εδάφους παράγοντας το επιταχυνσιογράφημα κορυφής, από ένα φάσμα απόκρισης, που το λαμβάνει υπόψη του.

Το όνομα της μεθόδου "στοχαστική" προέρχεται από το γεγονός ότι οι σεισμικές κινήσεις είναι στοχαστικές πρόοδοι και όχι σταθερές, τόσο σε πλάτη όσο και σε συχνότητες. Τέτοιες πρόοδοι χαρακτηρίζονται από τις συναρτήσεις:

I. Έντασης

II. Φασματικής πυκνότητας ενεργείας

Η συνάρτηση της έντασης δείχνει τη διαφοροποίηση συναρτήσεων του χρόνου των μεγίστων τιμών του πιθανού επιταχυνσιογραφήματος καθώς και τη διάρκεια της φάσης μέγιστης ενέργειας της κίνησης.

Η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας της ενεργείας, χαρακτηρίζει τη σχετική κατανομή ενεργείας των σεισμών, για διάφορες συχνότητες και υπολογίζεται μέσω του φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων που υποτίθεται για τη προς μελέτη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη ή όχι τα εδαφικά της χαρακτηριστικά.

2. Εισαγωγή

Για να αναλύσουμε τη σεισμική συμπεριφορά μιάς κατασκευής πρέπει να γνωρίζουμε τη διαφοροποίηση με το χρόνο των πλατών και των συχνότητων των σεισμικών κινήσεων που έχουν προβλεφθεί για τη περιοχή.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Αυτό το πρόβλημα έγκειται στο να καθορίσουμε το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού σχεδιασμού και είναι διαφορετικό από την εύρεση της σεισμικότητας δηλ. των διαφόρων σεισμικών παραμέτρων (ένταση, μέγιστη επιτάχυνση, διάρκεια κλπ.) ή της πιθανότητας να συμβεί ένας σεισμός (σεισμική επικινδυνότητα).

Γενικά χρησιμοποιείται η ιστορία επιταχύνσεων αφού η επιτάχυνση είναι στενά συνδεδεμένη με τη μέγιστη τέμνουσα δύναμη που μπορούν να αναλάβουν οι κατασκευές.

Για να βρεθεί πρακτικά το πιθανό επιταχυνσιογράφημα σε μία περιοχή γνωστή σεισμικότητας υπάρχουν δύο μέθοδοι:

- I. Η μέθοδος επεξεργασίας προϋπαρχουσών εγγραφών.
- II. Η μέθοδος κατασκευής τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων.

Η πρώτη μέθοδος οφείλεται στο SEED (1968) και εφαρμόστηκε με επιτυχία στη δυναμική ανάλυση χωματινών φραγμάτων. Αυτή η μέθοδος είναι ντετερμινιστικού τύπου.

Η δεύτερη μέθοδος μπορεί να είναι:

- I. Ντετερμινιστική
- II. Στοχαστική

Μία ντετερμινιστική μέθοδος προσομοίωσης (TSAI 1972, RIZZO-SHAW 1975) είναι αυτή που μέρος του φάσματος απόκρισης ενός πραγματικού σεισμού, τροποποιούνται, το κατάλληλα προσεγγίζεται με το φάσμα σχεδιασμού στη προς μελέτη περιοχή.

Πιο λεπτομερείς πληροφορίες μπορεί κάποιος να βρει στο βιβλίο του MARTIN MORALES (1978).

Αντίθετα οι στοχαστικές μέθοδοι θεωρούν τις σεισμικές κινήσεις με πιθανοτική μορφή, σαν προόδους στοχαστικές και όχι σταθερές στο πλάτος και στις συχνότητες.

3. Στοχαστική μέθοδος

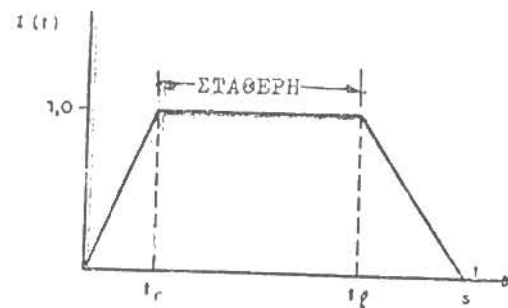
Σ' αυτή τη μέθοδο μπορούμε να ενσωματώσουμε απ' ευθείας το είδος του εδάφους, αν θέλουμε, παράγοντας το επιταχυνσιογράφημα κορυφής από ένα φάσμα απόκρισης που το λαμβάνει υπόψη του. Χαρακτηρίζεται από τις συναρτήσεις:

- I. Έντασης
- II. Φασματικής πυκνότητας ενέργειας

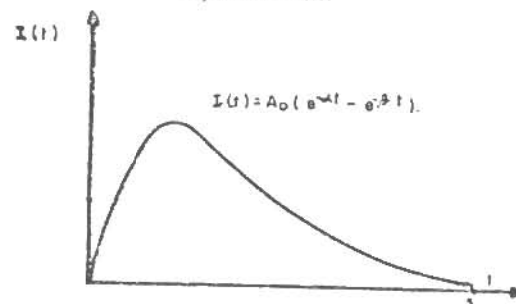
Η συνάρτηση της έντασης $I(t)$, δείχνει τη διαφοροποίηση με το χρόνο των μεγίστων τιμών του πιθανού επιταχυνσιογραφήματος και τη διάρκεια της φάσης μέγιστης ενέργειας της κίνησης (σταθερή φάση).

Στο σχήμα 1 φαίνονται οι συναρτήσεις έντασης που χρησιμοποιούνται περισσότερο στη πράξη καθώς και οι παράμετροι καθορισμού τους.

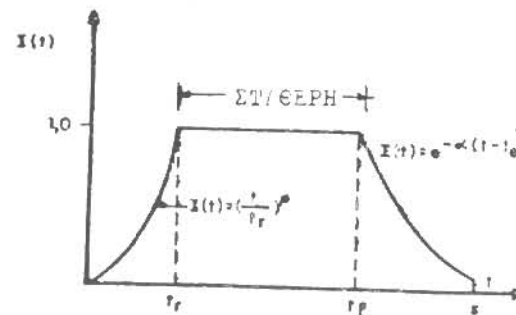
Γενικά οι τιμές της μέγιστης έντασης και της διάρκειας της ισχυρής δόνησης (σταθερή φάση), σχετίζονται εμπειρικά με τις παραμέτρους σεισμικότητας της περιοχής δηλ. με το μέγεθος, τη μέγιστη επιτάχυνση και την επικεντρική απόσταση.



Β) ΕΚΘΕΤΙΚΗ



Γ) ΣΥΝΘΕΤΗ



Σχ. 1- Συναρτήσεις διαβάθμισης της έντασης για συνθετικά σειсмоγραφήματα.

Η διάρκεια της σταθερής φάσης υπολογίζεται από τους τύπους (14) ή (19) που αναφέρονται στην εργασία του συγγραφέα "Κριτήρια καταστρεπτικότητας των σεισμών" αν συνάρτηση του μεγέθους και της επικεντρικής απόστασης. Επίσης η έναρξη της σταθερής φάσης γίνεται περίπου 5 SEC μετά την έναρξη της δόνησης.

Στο σχήμα 2 μπορούμε να δούμε πώς υπολογίζονται γραφικά οι τρεις φάσεις που χωρίζεται το επιταχυνσιογράφημα σχεδιασμού.

Η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας της ενέργειας $G(\omega)$ χαρακτηρίζει τη σχετική κατανομή ενεργείας των σεισμών για διάφορες συχνότητες και υπολογίζεται μέσω του φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων $S_{\alpha}(\omega)$ που υποτίθεται για τη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη τα εδαφικά της χαρακτηριστικά ή όχι, σχήματα 3 και 4 αντίστοιχα.

Τα στοχαστικά μοντέλλα χαρακτηρίζονται από τη σημασία που έχει η άφιξη κυμάτων μεγάλης περιόδου στο τέλος του σεισμογενούς μικρού πλάτους και κατά συνέπεια μικρής καταστρεπτικής ικανότητας. Δηλ. δίνεται σημασία όχι μόνο στη χρονική εξέλιξη των πλατών της κινήσεως αλλά και στο περιεχόμενο συχνοτήτων. Και τα δύο αυτά στοιχεία πρέπει να ληφθούν υπόψη στη προσομοίωση.

Στο σχήμα 2 μπορούμε επίσης να δούμε τις τρεις διαφορετικές συναρτήσεις πυκνότητας ενεργείας για τις τρεις διαφορετικές φάσεις του επιταχυνσιογραφήματος σχεδιασμού (μη σταθερό μοντέλλο), σε αντίθεση με το μοντέλλο που προτείνεται στη παρούσα εργασία που η συνάρτηση φασματικής ενέργειας είναι ενιαία και για τις τρεις φάσεις.

Το $G(\omega)$ υπολογίζεται από τη σχέση (GASPARINI και VANMARCKE 1976):

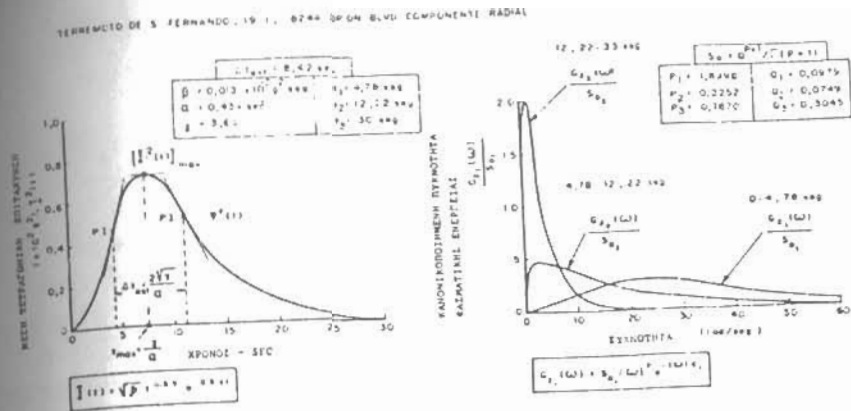
$$G(\omega_{\eta}) = \frac{1}{\omega_{\eta} \left(\frac{\pi}{4\zeta S} - 1 \right)} \cdot \left(\frac{(S_{\alpha})_{S,P}^2}{R_{S,P}^2} - \int_0^{\omega_{\eta}} G(\omega) d\omega \right)^{1/2} \quad (1)$$

όπου:

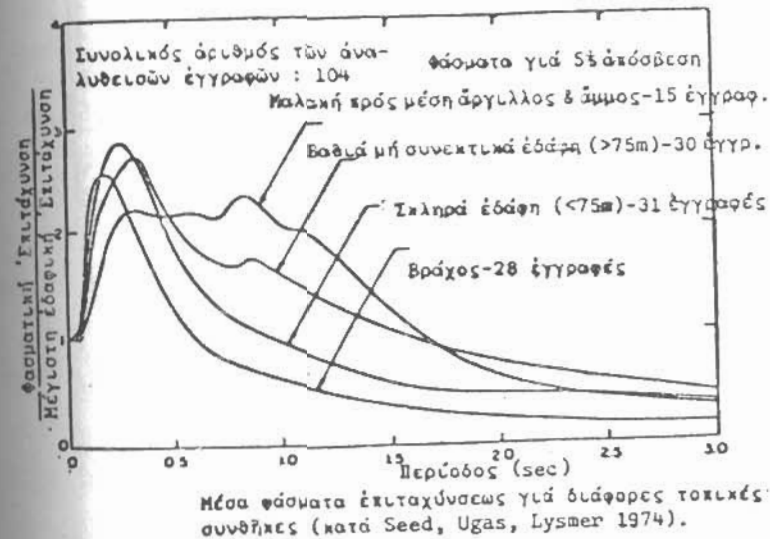
ω_{η} : οποιαδήποτε συχνότητα.

ζ : η απόσβεση

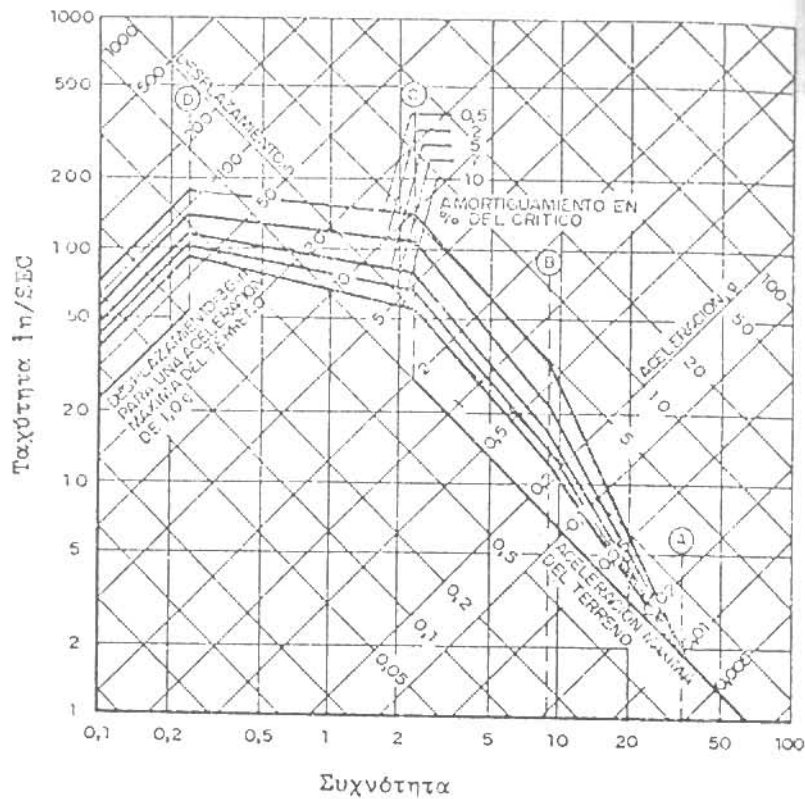
$R_{S,P}$: συντελεστής που εκφράζει (για ένα επίπεδο πιθανότητας P) την υπάρχουσα σχέση μεταξύ της μέγιστης και της μέσης τετραγωνικής τιμής της επιτάχυνσης ενός ταλαντωτή με φυσική συχνό-



Σχ. 2



Σχ. 3



Σχ. 4 -Φάσματα απόκρισης σχεδιασμού

τητα ω που εσεισθή από ένα
 πυκνότητας $G(\omega)$.
 Υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

$$r_{S,P} = R_{S,P} \cdot \sigma(S) \quad (2)$$

όπου:

$r_{S,P}$: οποιαδήποτε μεταβλητή της απόκρισης του εδάφους.

P : αντιπροσωπεύει τη πιθανότητα να μην ξεπεραστεί η ευρεθείσα τιμή κατά τη διάρκεια του χρόνου S .

Δεχόμενος ότι πρόκειται για μιά πρόοδο κατά GAUSS ο VANMARCKE απέδειξε ότι ο $R_{S,P}$ μπορεί να προσεγγισθεί μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$R_{S,P}^2 = 2L\eta(2\eta(1 - e^{-\delta_\epsilon \sqrt{\pi L \eta 2\eta}})) \quad (3)$$

όπου:

$$\eta = \frac{\Omega_\tau \cdot S}{2\pi} \left(L\eta \frac{1}{P} \right)^{-1} \quad (4)$$

όπου:

Ω_τ και δ_ϵ είναι χαρακτηριστικές παράμετροι της συνάρτησης φασματικής πυκνότητας συσχετισμένες με τη δεσπόζουσα συχνότητα και το μέγιστο πλάτος εγγραφής και βρίσκονται (όμοια με τη $\sigma(S)$) σε συνάρτηση των "φασματικών στιγμών" της συνάρτησης φασματικής πυκνότητας

$$\sigma(S) = \sqrt{\lambda_0} \quad (5)$$

$$\Omega_\tau = \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_0}} \quad (6)$$

$$\delta_\epsilon = \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_1^2}{\lambda_0 \cdot \lambda_2}} \right)^{1.2} \quad (7)$$

$$\lambda_i = \int_0^\infty \omega^i G(\omega) d\omega, \quad (i=0,1,2,\dots) \quad (8)$$

Όπως φαίνεται από την εξίσωση 1 η σχέση μεταξύ $G(\omega)$ και $S_{\alpha}(\omega)$ εξαρτάται από τα S, P, ζ σε μία περίπλοκη μορφή. Απ' αυτή τη σχέση μπορούν να ορισθούν μία σειρά από πιθανά επιταχυνσιογραφήματα στη περιοχή.

Ο αλγόριθμος που ακολουθείται είναι ο εξής:

α. Ορίζεται ένα επίπεδο πιθανότητας για τη κατασκευη φάσματος μέσω στοχαστικών μεθόδων (συνήθως $P=0.50$, μέσο φάσμα) και ένας συντελεστής απόσβεσης ζ .

β. Υπολογίζεται η τιμή της φασματικής πυκνότητας για κάθε συχνότητα ω_{η} μέσω της σχέσεως 1.

γ. Δημιουργούνται τα ανάλογα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα από τη σχέση:

$$\ddot{Z}(t) = \sum_{\eta} A_{\eta} \sin(\omega_{\eta} t + \Phi_{\eta}) \quad (9)$$

όπου:

Φ_{η} : γωνίες αυξανόμενες ομοιόμορφα που ανήκουν στο διάστημα $(0, 2\pi)$.

Το A_{η} βρίσκεται μέσω της εκφράσεως:

$$G(\omega_{\eta}) \cdot \Delta\omega = \frac{A_{\eta}^2}{2} \quad (10)$$

δ. Ρυθμίζονται τα προηγούμενα επιταχυνσιογραφήματα μέσω μίας συνάρτησης έντασης $I(t)$ που έχει προηγουμένως καθοριστεί και έτσι εισάγεται σ' αυτά η ασυνέχεια που παρατηρείται στις πραγματικές εγγραφές.

$$\ddot{X}(t) = I(t) \cdot \ddot{Z}(t) \quad (11)$$

ε. Διορθώνουμε τη καμπύλη που πήραμε σα βάση και βρίσκουμε τη μέγιστη επιτάχυνση των υπολογισθέντων επιταχυνσιογραφήματων.

στ. Βρίσκουμε το φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων κάθε μιάς από τις συναρτήσεις $\ddot{X}(t)$ και το συγκρίνουμε με αυτό που ξεκινήσαμε. Εάν τα φάσματα δεν συμπίπτουν (για ένα πλάτος εμπιστοσύνης που ορίζεται από το σχεδιαστή) τροποποιείται το πλάτος φασματικής ενέργειας σύμφωνα με το τύπο:

$$G(\omega)_{\text{NEA}} = G(\omega)_{\text{ΠΑΛΑΙΑ}} \cdot \left(\frac{S_{\alpha}(\omega)_{\text{ΥΠΟΤΕΘΕΝ}}}{S_{\alpha}(\omega)_{\text{ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΝ}}} \right)^2 \quad (12)$$

και συνεχίζω από το βήμα γ.

Φυσιολογικά ο αλγόριθμος δεν συγκλίνει για όλες τις πιθανές συχνότητες ελέγχου, αλλά αρνεί για ένα ικανό αριθμό αυτών.

4. Παράδειγμα

Επιλέγουμε συνάρτηση έντασης τραπεζοειδή με στοιχεία,

$$t_2 = 2 \text{ SEC}, t_1 = 17 \text{ SEC}, S = 20 \text{ SEC}$$

Απόσβεση $\zeta = 0.02$

Μέγιστη επιτάχυνση $0.3g$

Ακολουθώντας τον παραπάνω αλγόριθμο βρήκα 15 λύσεις. Στο σχήμα 5 φαίνεται ένα από τὰ παραχθέντα επιταχυνσιογραφήματα.

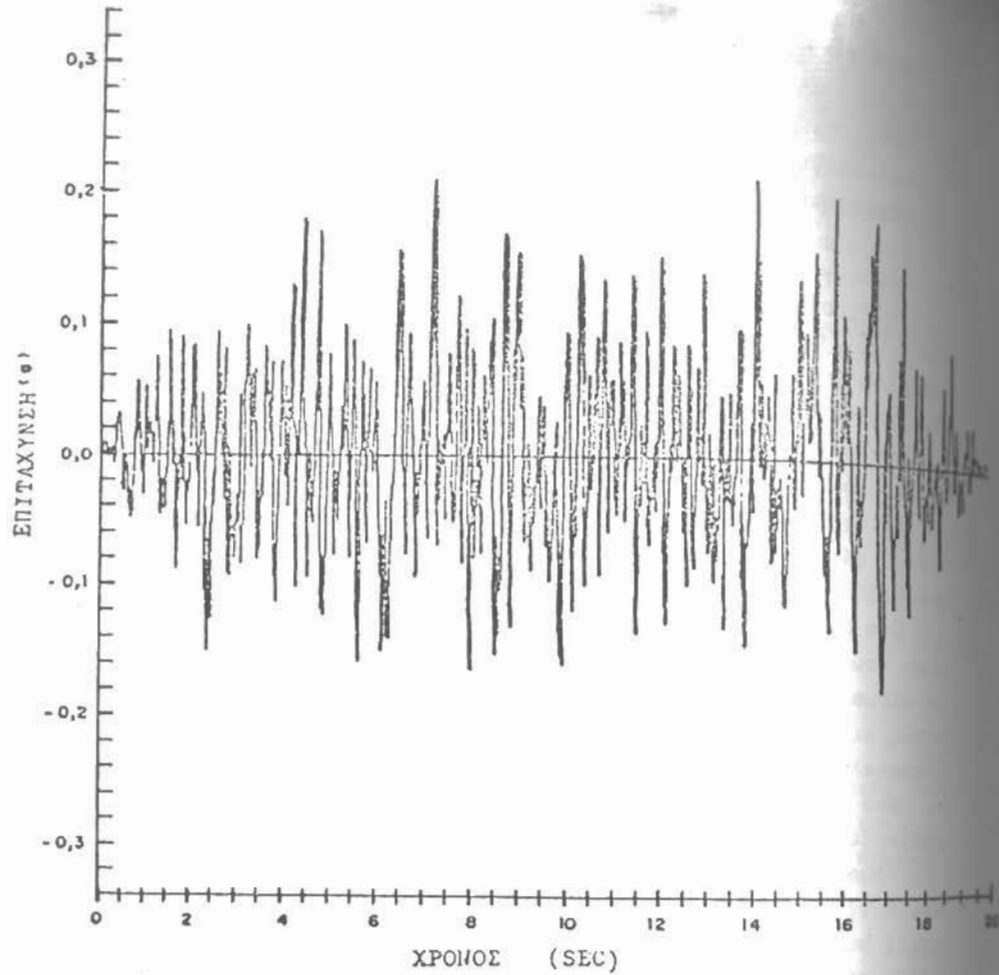
Το σχήμα 6 δείχνει τη σύγκριση μεταξύ του επακριβώς καθορισμένου φάσματος απόκρισης και ενός των συνθετικών επιταχυνσιογραφήματων.

Στο σχήμα 8 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το φάσμα επιταχύνσεων που κατασκευάσαμε συμπίπτει με το φάσμα σχεδιασμού σε όλο το φάσμα των περιόδων, αν και η σύμπτωση δεν είναι καλή για μεγαλύτερες περιόδους, ειδίτι δεν χρησιμοποιήθηκε σ' αυτή τη περίπτωση η επαναληπτική μέθοδος που περιγράφεται από την εξίσωση 12.

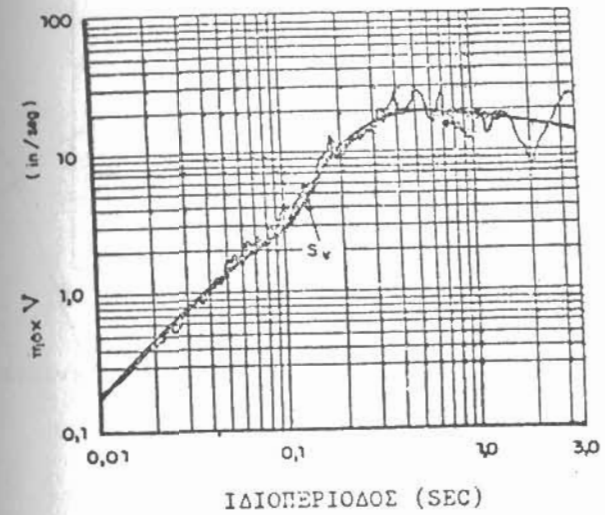
Στο σχήμα 7 φαίνεται η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας που υπολογίστηκε με τη στοχαστική μέθοδο σ' αυτό το παράδειγμα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός σταθερού μοντέλλου είναι αυτό που προτείνουν οι RUIZ και PENZIEN (1971) που χρησιμοποιεί σα συνάρτηση φασματικής ενέργειας αυτή των ΚΑΝΑΙ-ΤΑΪΚΙ (1957, 1960) που φαίνεται στο σχήμα 9. Αυτή η συνάρτηση προσομοιάζει την επιρροή του εδάφους στη δράση ενός φίλτρου δευτέρας τάξεως του οποίου οι παράμετροι ω_g και ζ_g μπορούν να παρουσιαστούν σα δεσπόζουσα συχνότητα και απόσβεση, PENZIEN και LIU (1969), Κατ' αυτό το τρόπο μέσω μίας κατάλληλης εκλογής αυτών των παραμέτρων γίνεται δυνατή η κατασκευη επιταχυνσιογραφήματων που ανταποκρίνονται σε καθορισμένες συνθήκες του εδάφους, σχήμα 10.

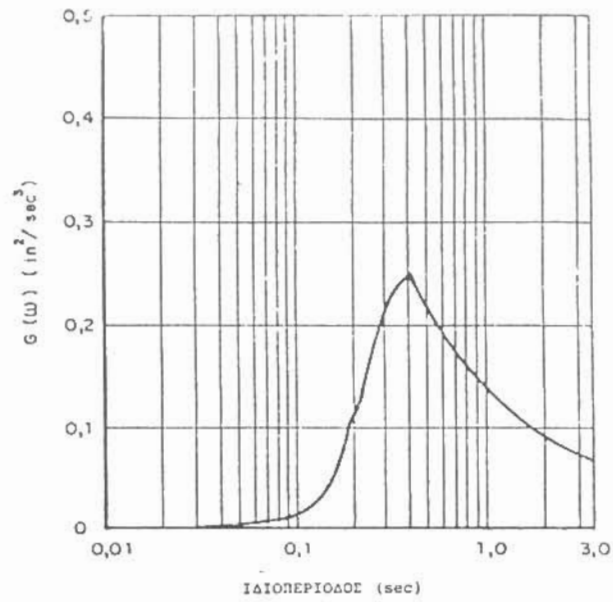
Τα μη σταθερά μοντέλλα παίρνουν υπόψη τους τη διαφοροποίηση με το χρόνο του περιεχομένου συχνοτήτων της σεισμικής κινή-



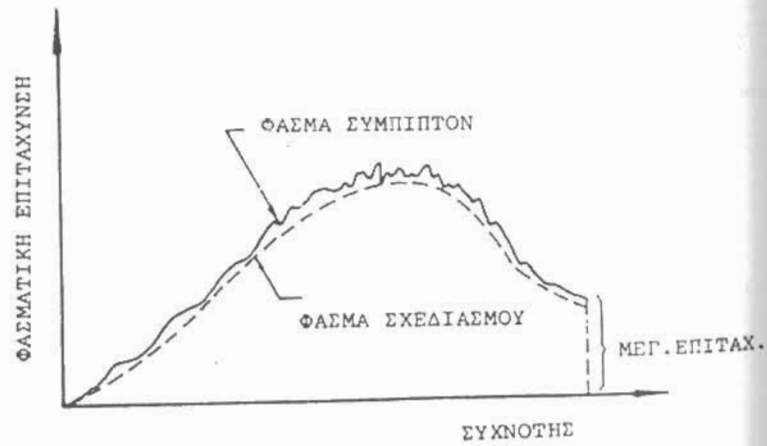
Σχ.5 - Συνθετικό σειсмоγράφημα -στοχαστική μέθοδος



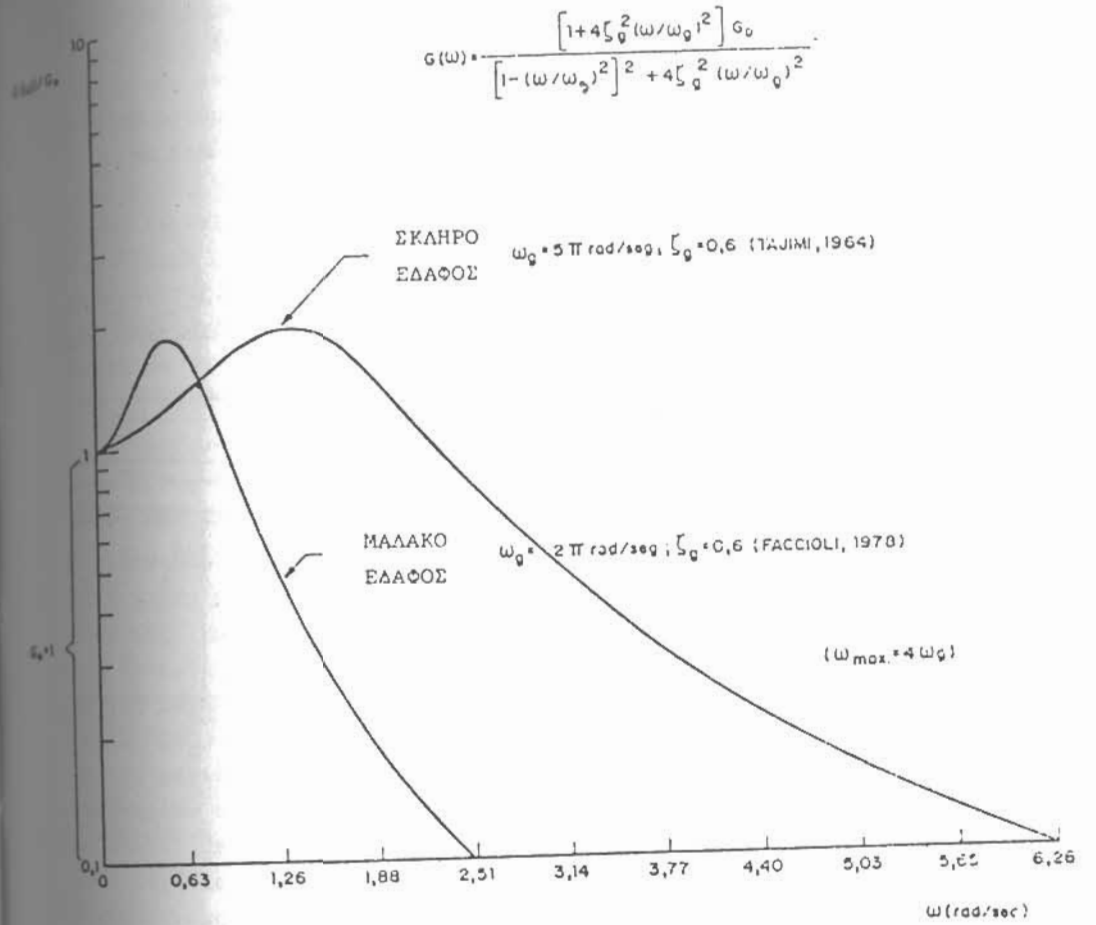
Σχ.6-Τυπικό φάσμα απόκρισης ενός επιταχυνσιογραφήματος προσομοιασθέντος με τη στοχαστική μέθοδο.



Σχ.7-Συνάρτηση πυκνότητας της φασματικής ενεργείας

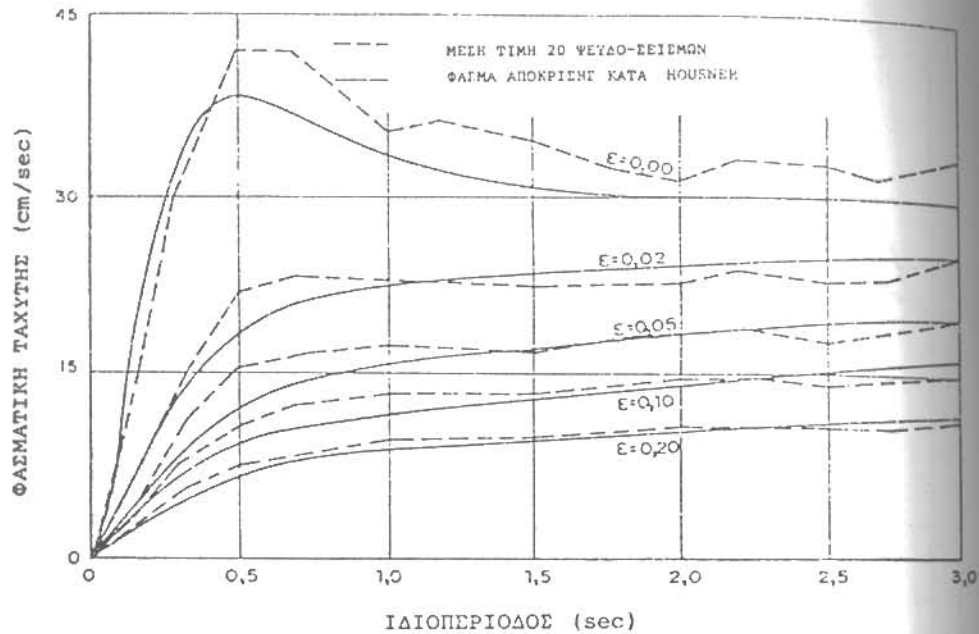


Σχ.8-Φάσμα απόκρισης ενός επιταχυνσιογραφήματος συμπίπτει με το του σχεδιασμού



Σχ.9-Συνάρτηση φασματικής πυκνότητας κατά ΚΑΝΑΙ - ΤΑJΙΜΙ για διάφορα είδη εδαφών

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



Σχ.10 Φάσματα ταχυτήτων τεχνητών επιταχυνσιογραφήματων που συμφωνούν με το φάσμα του HOUSNER (RUIZ & PENZIEN, 1971)

σεως. Γι' αυτό διαιρείται το επιταχυνσιογράφημα σε μιά σειρά περισσότερο ή λιγότερο αυθαίρετη "περιοχών χρόνου" (συνήθως τρεις όπως ήδη έχουμε αναφέρει) και απεικονίζεται σε κάθε μιά απ' αυτές επιταχυνσιογράφημα, σταθερό στοχαστικό, όπως ορίζεται στη προηγούμενη παράγραφο.

Από την άλλη πλευρά, είναι φανερό, ότι εάν ορίζεται αξιωματικά εξ αρχής η μορφή της συνάρτησης φασματικής πυκνότητας των πιθανών επιταχυνσιογραφήματων μιάς περιοχής, είναι δυνατό να κατασκευάσουμε το φάσμα απόκρισης για ένα προκαθορισμένο επίπεδο πιθανότητας.

Σημειώνονται τρία σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε σχέση με την εφαρμογή της στοχαστικής μεθόδου για την εύρεση των φασμάτων σχεδιασμού.

- α. Η προσομοίωση επιταχυνσιογραφήματων χρησιμοποιώντας προκαθορισμένες συναρτήσεις φασματικής πυκνότητας δικαιολογείται μόνον εάν ένα μόνο ρήγμα ή η τοπική γεωλογία είναι υπεύθυνα για τις ειδικές συνθήκες σεισμικότητας της περιοχής.
- β. Η χρήση φασματικών καμπυλών εξηρημένων από τη περιοχή σε βάση της προόδου προσομοίωσης περιορίζεται συνήθως εξαιτίας της έλλειψης εγγραφών. Συντελεστές τέτοιοι, όπως τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης των κυμάτων από το υπόκεντρο στη περιοχή (HAYS 1980), η εγγύτητα της πηγής έκλησης ενεργείας (JOHNSON 1980) και το μέγεθος του σεισμού (για μαλακά εδάφη, FACCIOLI 1978) συνηγορούν στη χρήση φασμάτων σχεδιασμού ανεξαρτήτων του εδάφους αν και οι σεισμοί που προσομοιώθηκαν μέσω τέτοιων φασμάτων, ήταν λιγότερο ρεαλιστικοί και εισάγουν ένα μεγαλύτερο βαθμό συντηρητισμού στο σχεδιασμό.
- γ. Η σταθερότητα των φασμάτων απόκρισης που κατασκευάζονται μέσω της στοχαστικής μεθόδου είναι μεγαλύτερη απ' αυτή των αντιστοίχων πραγματικών, γιατί εξαρτάται μόνον από τις γωνίες των φάσεων των εγγραφών (αύξουσες), ενώ στα πραγματικά ενσωματώνονται πολλές παράμετροι που δεν είναι επακριβώς γνωστές.

- BLAZQUEZ, R. (1978). "Análisis espectral evolucionario de la respuesta de depósitos inelásticos de suelo sometidos a cargas sísmicas", Seminario sobre Criterios Sísmicos para Instalaciones Nucleares y Obras Públicas, E.T.S.I.C.C.P., Madrid, Marzo.
- BLAZQUEZ, R. y LOPEZ ARROYO, A. (1980). "Cálculo estadístico de espectros de respuesta local", Boletín de Información del Laboratorio de Carreteras y Geotecnia, Núm. 139, Mayo-Junio 1980, pp. 15-30.
- CUELLAR, V.; BLAZQUEZ, R. y OLALLA, C. (1980). "Comportamiento dinámico de suelos, con especial relación a centrales nucleares y presas de materiales sueltos" (Segunda Parte), Laboratorio de Carreteras y Geotecnia, Informe financiado por el Fondo Nacional para el Desarrollo de la Investigación Científica, Presidencia del Gobierno (Madrid).
- FACCIOLI, E. (1978). "Response spectra for soft soil sites", Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering Division, Specialty Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Vol. II, pp. 441-455, Pasadena, CA.
- GASPARINI, D.A. and VANMARCKE, E.H. (1976). "Simulated earthquake motions compatible with prescribed response spectra", M.I.T. Department of Civil Engineering Research Report R76-4, Order No. 527, January.
- HAYS, W.W. (1980). "Procedures for estimating earthquake ground motions", U.S.G.S. Professional Paper 1114.
- JOHNSON, J.A. (1980). "Spectral characteristics of near source strong ground motion", Proc, 7WCEE, Estambul, Turquía, Vol. 2, pp. 131-134.
- KANAI, K. (1957). "Semi-empirical formula for the seismic characteristics of the ground", Bulletin of the Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, Japan, Vol. 35, pp. 309-325, Part 2, June.
- MARTIN MORALES, F. (1978). "Generación y combinación de acelerogramas artificiales", Seminario sobre Criterios Sísmicos para Instalaciones Nucleares y Obras Públicas, E.T.S.I.C.C.P., Madrid, pp. 125-149.
- NEWMARK, N.M.; BLUME, J.A. and KAPUR, K.K. (1973). "Seismic Design Spectra for Nuclear Power Plants", Journal of the Power Division, ASCE, Vol. 99, No. PO2, November, pp. 287-303.
- PENZIEN, J. and LIU, S.C. (1969). "Nondeterministic analysis of nonlinear structures subjected to earthquake excitations", Proc. 4WCEE, Santiago de Chile, pp. 114-129.
- RUIZ, P. and PENZIEN, J. (1969). "Probabilistic study of the behavior of structures during earthquakes", Report No. EERC, 69-3, University of California, Berkeley, CA.
- SAHAGONI, G.R. and HART, G.C. (1974). "Simulation of artificial earthquakes", Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, No. 2, pp. 249-267.
- SEED, H.B.; IDRİSS, I.M. and KIEFER, F.W. (1968). "Characteristics of rock motions during earthquakes", Report No. EERC 68-5, EERC, Berkeley, CA.
- SEED, H.B.; LEE, K.L. and IDRİSS, I.M. (1969). "Analysis of Sheffield Dam Failure", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 95, SM6, p. 1453.
- SEED, H.B.; UGAS, C. and LYSMER, J. (1976). "Site-dependent spectra for earthquake-resistant design", BSSA, Vol. 66, No. 1, February, pp. 221-243.
- SIMQKE, (1976). "A program for artificial motion generation", M.I.T., Department of Civil Engineering, November.
- TAJIMI, H. (1960). "A statistical method of determining the maximum response of a building structure during an earthquake", Proc. 2WCEE, Vol. 2, pp. 761-797.
- TSAL (1972). "Spectrum-compatible motions for design purposes", Journal of Engineering Mechanics Division (ASCE), April.
- VANMARCKE, E.H. (1976). "Structural response to earthquakes", in Seismic Risk and Engineering Decisions (Chapter 8), Ed. C. Lomnitz and E. Rosenblueth, Elsevier.