

B2

**Οι ΠΥΛΕΣ της ΟΔΟΥ ΔΙΑΓΟΡΑ :
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ και
ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ**

Ν. Γερόλυμος και Γ. Γκαζέτας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ και ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ των ΠΥΛΩΝ

- 2.1 Κατανομή των Βλαβών
- 2.2 Γενική Περιγραφή των Πυλών
- 2.3 Γεωμετρία – Διατομές
- 2.4 Μετασεισμική Κατάσταση των Πυλών

3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ και ΔΟΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

- 3.1 Γεωτεχνική Διερεύνηση
- 3.2 Δομητική Διερεύνηση

4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ των ΠΥΛΩΝ : PUSH-OVER TESTS

- 4.1 Περιγραφή και Θέσεις των Οργάνων
- 4.2 Αποτελέσματα της Δοκιμής
- 4.3 Αρχικά Συμπεράσματα

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ των ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ της ΔΟΚΙΜΗΣ

- 5.1 Το Προσομοίωμα και οι Σεισμικοί Κραδασμοί Υπολογισμού
- 5.2 Βαθμονόμηση των Παραμέτρων του Προβλήματος
 - 5.2.1 Θέσεις Πάκτωσης των Στύλων
 - 5.2.2 Σχέσεις Ροπής-Καμπυλότητας
 - 5.2.3 Υστερητική και Βισκοελαστική Απόσβεση του Υλικού των Στύλων
 - 5.2.4 Αλληλεπίδραση Πυλών-Εδάφους -- Εδαφικά Ελατήρια
- 5.3 Μεθοδολογία Εκτίμησης των Εδαφικών Επιταχύνσεων

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ—ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της έρευνας που παρουσιάζεται στην παρούσα Έκθεση είναι η εκτίμηση των σεισμικών επιταχύνσεων που θα είχαν διεγείρει τις όποιες κατασκευές στην περιοχή των Αχαρνών κατά τον σεισμό της 7-9-99. Προς τον σκοπόν αυτό αποφασίσθηκε η διερεύνηση της συμπεριφοράς δύο “απλών” κατασκευών : δύο δίστυλων πλαισίων από ωπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή Αχαρνών. Πρόκειται για τις δύο πύλες μίας διώροφης μονοκατοικίας, ή μία από τις οποίες (ανοίγματος 3 m) υπέστη σημαντική καμπτική ρηγμάτωση ενώ η άλλη (ανοίγματος 1.55 m) παρέμεινε σχεδόν άθικτη.

Το όλο πρόγραμμα έρευνας-μελέτης περιέλαβε δύο κύρια τμήματα :

1. Γεωτεχνική Διερεύνηση

- Πειραματική (δοκιμές μετρήσεως της ταχύτητας διαδόσεως του σεισμικού κύματος–Crosshole tests, επιτόπου δοκιμές τυποποιημένης διείσδυσης–SPT tests)
- Θεωρητική (προσομοίωση της αλληλεπίδρασης πυλών – εδάφους)

2. Δομητική Διερεύνηση

- Πειραματική (εργαστηριακές δοκιμές, επιτόπου δοκιμές, δοκιμή Push-over σε φυσική κλίμακα).
- Θεωρητική

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των εδαφικών επιταχύνσεων στην εξεταζόμενη περιοχή συνοψίζεται ως εξής :

- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την Γεωτεχνική και Δομητική έρευνα, και βαθμονόμηση (με βάση αυτά) των παραμέτρων του προβλήματος. Παραμετρική επιλογή των δυναμικών ιδιοτήτων των υλικών των δύο πλαισίων.

- Κατάστρωση αναλυτικών και αριθμητικών προσομοιωμάτων για την αναπαράσταση της δυναμικής απόκρισης των πυλών στο σεισμό της Πάρνηθας.
- Επιλογή κατάλληλων πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων από τον σεισμό της Πάρνηθας αλλά και από άλλους σεισμούς, ως διεγέρσεις.
- Αντίστροφες δυναμικές αναλύσεις για τον υπολογισμό των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων. Οι επιταχύνσεις που τελικώς επιλέχθησαν ήσαν αυτές που αντιστοιχούσαν στην “πιστότερη” αναπαράσταση της απόκρισης των δύο πυλών κατά την διάρκεια του σεισμού, η οποία οριοθετήθηκε κυρίως σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών Push-over.
- Επιλογή των πιθανών χρονοιστοριών των επιταχυνσεων στην περιοχή των Αχαρνών αξιοποιώντας τις σεισμικές παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα των αντίστροφων δυναμικών αναλύσεων.

2. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ και ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ των ΠΥΛΩΝ

2.1 Κατανομή των βλαβών

Στο **Σχήμα 2.1** παρουσιάζεται σε αδρή προσέγγιση, της κατανομή των βλαβών, της περιοχής των Αχαρνών. Στο ίδιο Σχήμα απεικονίζεται και η τοποθεσία των ενλόγω πυλών.

Η περιγραφή της κατανομής των βλαβών βασίζεται σε οπτική παρατήρηση της περιοχής, οι βασικές αρχές για την επίτευξη κατά το δυνατόν τυποποιημένης παρατήρησης ήταν οι εξής :

1. Διακρίθηκαν 3 ζώνες έκτασης βλαβών : α) η ζώνη με σοβαρές βλάβες σε μεγάλο ποσοστό κατασκευών (κατηγορία 1, πορτοκαλί περιοχή στον χάρτη) β) ζώνη με ελαφρές-σποραδικές βλάβες ή καί καθόλου βλάβες (κατηγορία 3, πράσινη περιοχή στον χάρτη) γ) μεταβατική ζώνη μεταξύ των προηγουμένων περιπτώσεων (κατηγορία 2, ροζ περιοχή στον χάρτη). Οι πύλες της οδού Διαγόρα βρίσκονται στην περιοχή της κατηγορίας 1.
2. Δείγματα προς παρατήρηση ήταν μόνον οι σχετικώς νέες κατασκευές (κατασκευασμένες μετά το 1984).

2.2 Γενική Περιγραφή των Πυλών

Οι ενλόγω πύλες βρίσκονται επί της οδού Διαγόρα στις Αχαρνές (Μενίδι). Το επίπεδο των πυλών έχει διεύθυνση 15° δεξιόστροφα ως προς τον Βορρά. Οι δύο πύλες παρουσιάζονται στα **Σχήματα 2.2 και 2.3**.

2.3 Γεωμετρία-Διατομές

Μικρή πύλη

Η πύλη είναι σχεδόν συμμετρική γεωμετρικώς, με διατομές υποστυλωμάτων περίπου 0.20×0.20 m και “ελεύθερο” ύψος της τάξεως του 1.55 m, ενώ το άνοιγμά της είναι της τάξεως του 1.55 m. Η κλίση της μικρής πύλης ως προς την κατακόρυφο (μετά τον σεισμό) μετρήθηκε κατά προσέγγιση ίση με 0.30% για το βόρειο υποστύλωμα και +0.10% για το Νότιο υποστύλωμα .

Η όπλιση παρουσιάζει έντονη ασυμμετρία :

- οι επικαλύψεις σκυροδέματος κυμαίνονται από 5 έως 5 cm
- το ένα υποστύλωμα έχει οπλισθεί με τρεις ράβδους $\varnothing 8$, οι οποίες μάλιστα δεν φθάνουν στην κορυφή του, ενώ το άλλο υποστύλωμα έχει οπλισθεί με τέσσερις ράβδους $\varnothing 8$, και τέσσερις ράβδους $\varnothing 4$ (από τις οποίες οι δύο δεν φθάνουν στην κορυφή του)
- Δεν υπάρχει οπλισμός περίσφιγξης.

Στο **Σχήμα 2.4** απεικονίζονται οι όψεις (δυτική, βόρεια, νότια) και η κάτοψη της μικρής πύλης, στο δε **Σχήμα 2.5** παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικές διατομές των υποστυλωμάτων της ενλόγω πύλης.

Μεγάλη Πύλη

Η πύλη είναι σχεδόν συμμετρική γεωμετρικώς, με διατομές υποστυλωμάτων περίπου 0.20×0.21 m και “ελεύθερο “ ύψος της τάξεως του 1.55 m, ενώ το άνοιγμά της είναι της τάξεως των 3.00 m. Η κλίση της μεγάλης πύλης ως προς την κατακόρυφο είναι +0.35% για το βορινό υποστύλωμα και +0.21% για το Νότιο.

Η όπλιση, παρουσιάζει επίσης ασυμμετρία :

- οι επικαλύψεις σκυροδέματος κυμαίνονται από 0 έως 7 cm

- τα δύο υποστυλώματα έχουν οπλισθεί με τρεις αντί τέσσερις ράβδους $\varnothing 8$, οι περισσότερες από τις οποίες μάλιστα δεν φθάνουν στην κορυφή.
- δεν υπάρχει οπλισμός περίσφιγξης.

Στα **Σχήματα 2.6** και **2.7** απεικονίζονται οι όψεις και δύο χαρακτηριστικές διατομές της πύλης αυτής, αντιστοίχως.

2.4 Μετασεισμική Κατασταση των Πυλών

Μικρή Πύλη

Κατά την διάρκεια του σεισμικού επεισοδίου αναπτύχθηκαν μόνον ελαφρές, σχεδόν τριχοειδείς ρωγμές, στον αστράγαλο των δύο υποστυλωμάτων (**Σχήμα 2.8**).

Μεγάλη Πύλη

Δημιουργήθηκαν ελαφρές ρωγμές στους πόδες και των δύο υποστυλωμάτων, περισσότερες σε αυτόν προς Βορρά από ότι σε αυτόν προς Νότον. Επίσης, στην κεφαλή των δύο στύλων, κάτω από το “ζύγωμα”—σκέπαστρο, αναπτύχθηκαν χαρακτηριστικές διαμπερείς ελαφρές ρηγματώσεις, στον αρμό διακοπής της σκυροδέτησης. Στο **Σχήμα 2.9** απεικονίζονται σκαριφηματικά οι θέσεις των εν λόγω ρωγμών, ενώ στο **Σχήμα 2.10** παρουσιάζονται ενδεικτικές φωτογραφίες τους. Οι ρωγμές της μεγάλης πύλης είχαν σαφώς μεγαλύτερο εύρος από τις ρωγμές της μικρής, παρατήρηση που μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η μεγάλη πύλη καταπονήθηκε περισσότερο από την μικρή κατά την διάρκεια του σεισμικού επεισοδίου.

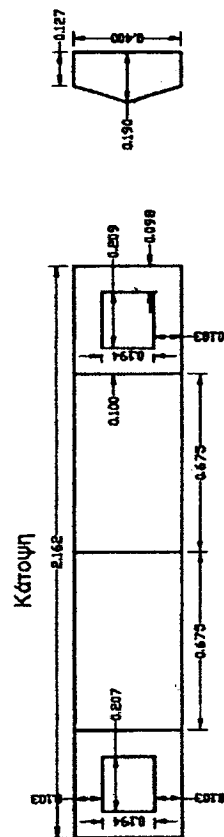
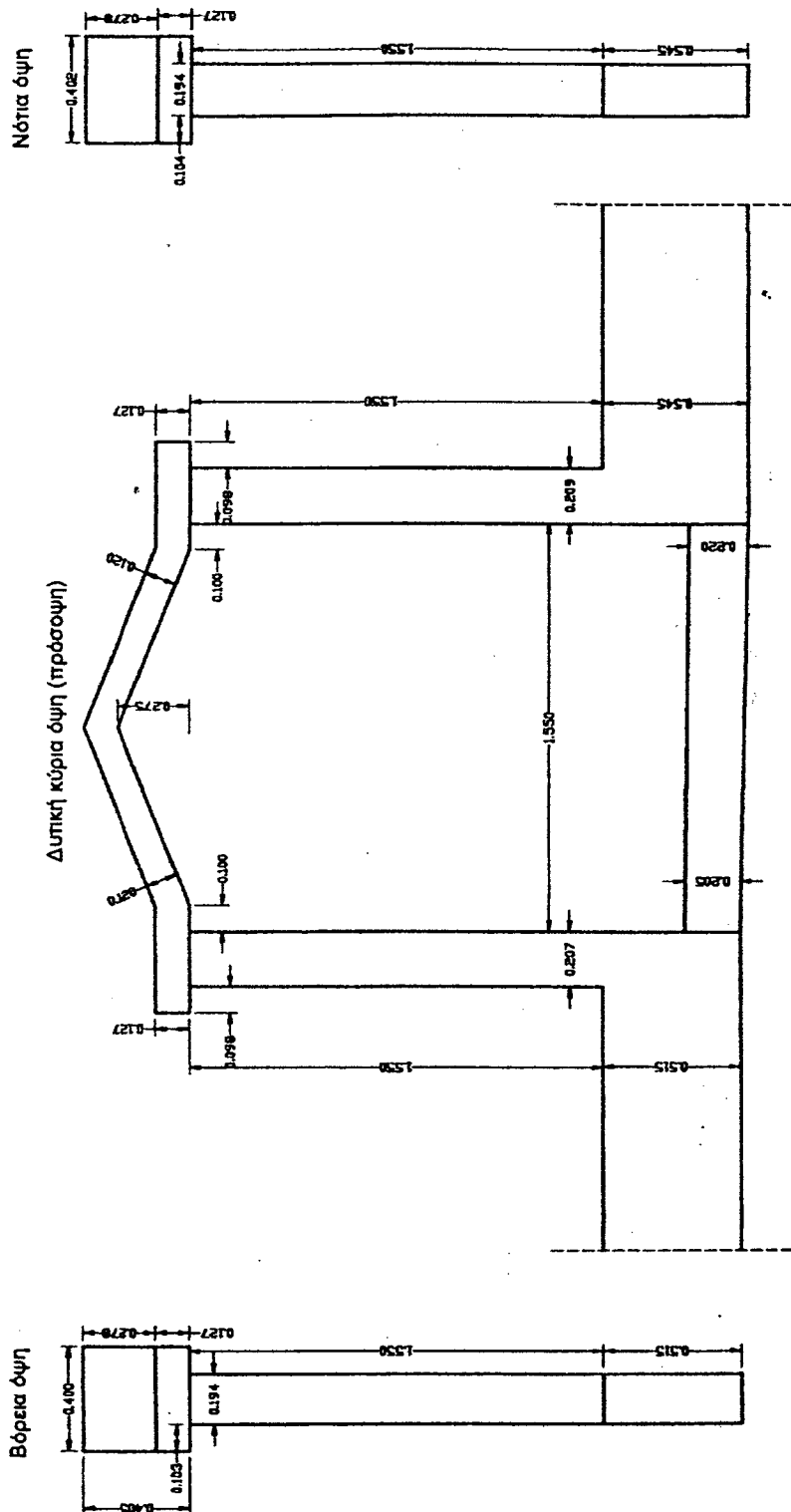
Απο την γεωμετρία των ρωγμών στους στύλους των δύο πυλών ενισχύονται οι ενδείξεις ότι η διεύθυνση Ανατολής—Δύσης (δηλαδή σχεδόν παράλληλα προς την διεύθυνση του ρήγματος) ήταν η δεσπόμενη διεύθυνση του κραδασμού στον σεισμό της Πάρνηθας.



Σχήμα 2.2 : Οι πύλες της οδού Διαγόρα στις Αχαρνές



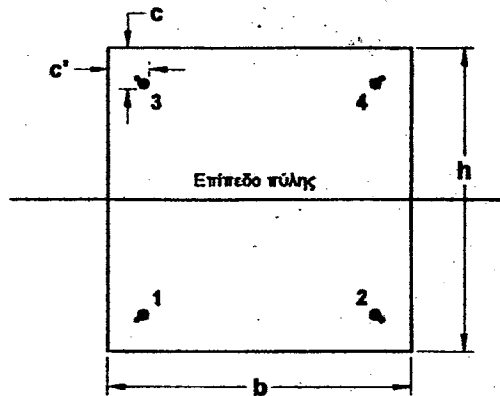
Σχήμα 2.3 : Οι πύλες της οδού Διαγόρα στις Αχαρνές



Σχήμα 2.4

Διατομή υποστυλώματος προς Β

(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)



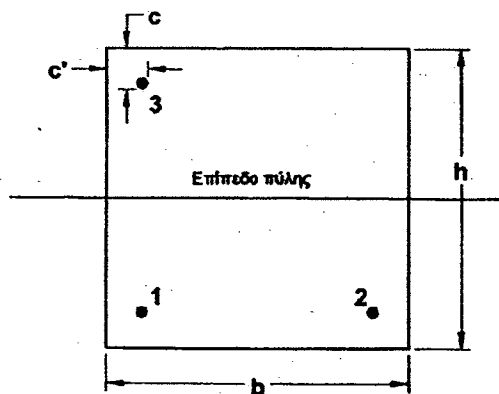
$$\begin{aligned} h &= 0.194\text{m} \\ b &= 0.209\text{m} \\ c_1 &= 0.04\text{m}, c'_1 = 0.025 - 0.055\text{m} \\ c_2 &= 0.02\text{m}, c'_2 = 0.05\text{m} \\ c_3 &= 0.01\text{m}, c'_3 = 0.06\text{m} \\ c_4 &= 0.05\text{m}, c'_4 = 0.01\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= 4\varnothing 8 + 4\varnothing 4 / \text{St III} \\ A_{sw} &= - \end{aligned}$$

Τα δύο $\varnothing 4$ (1,2) φτάνουν έως 3cm κάτω από την κεφαλή.

Διατομή υποστυλώματος προς Ν

(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)

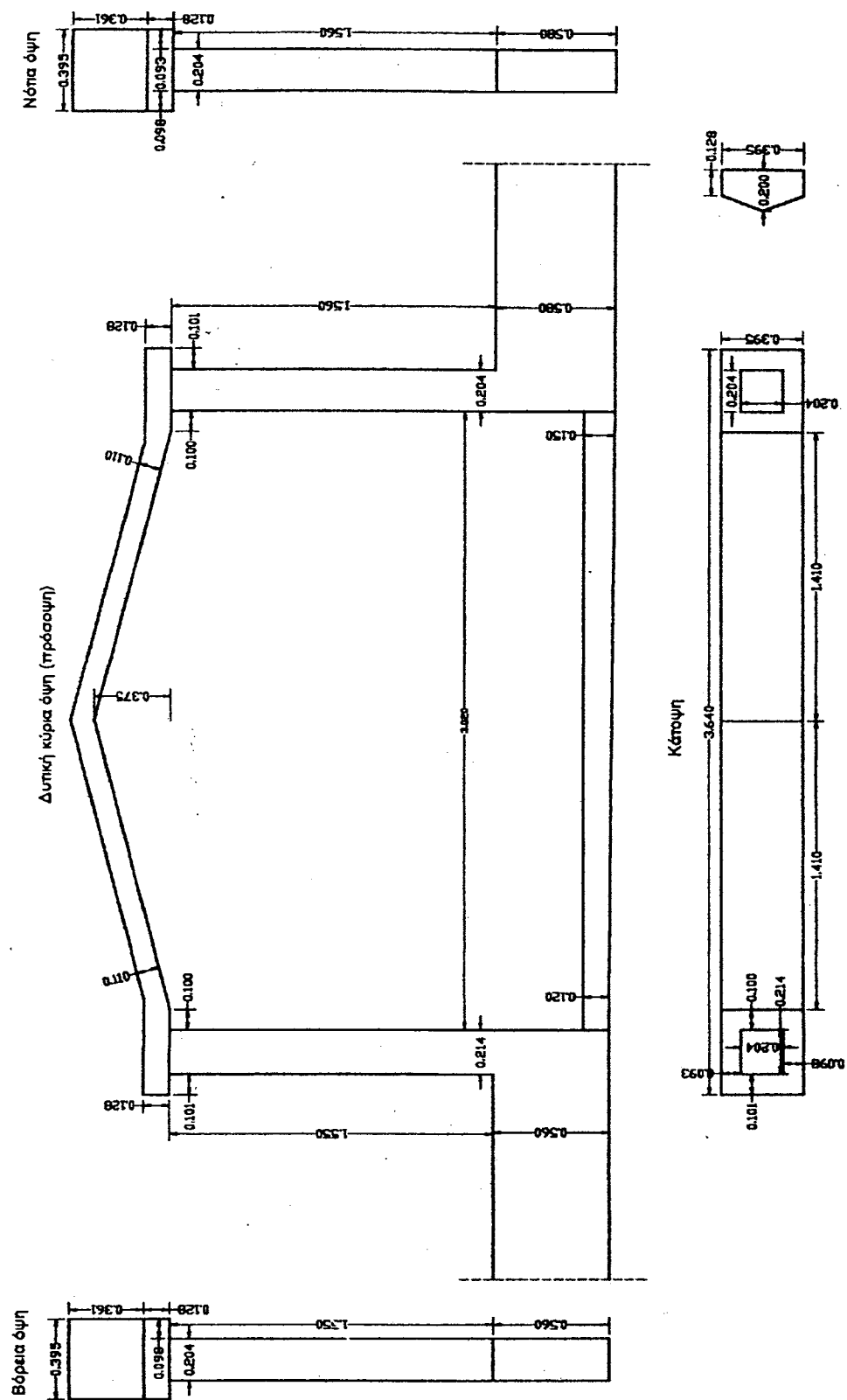


$$\begin{aligned} h &= 0.194\text{m} \\ b &= 0.207\text{m} \\ c_1 &= 0.02 - 0.03\text{m}, c'_1 = 0.03 - 0.04\text{m} \\ c_2 &= 0.01 - 0.03\text{m}, c'_2 = 0.01\text{m} \\ c_3 &= 0.025\text{m}, c'_3 = 0.005\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= 3\varnothing 8 / \text{St III} \\ A_{sw} &= - \end{aligned}$$

Τα $\varnothing 8$ (1,2,3) φτάνουν 1.5 – 2 cm κάτω από την κεφαλή.

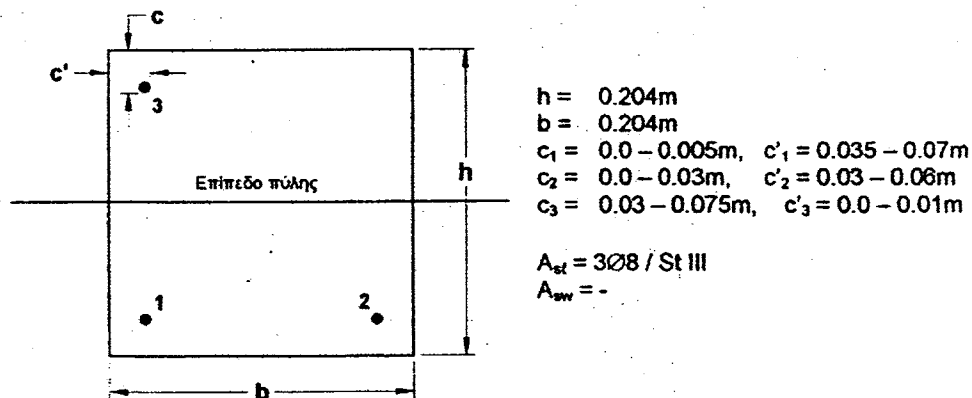
Σχήμα 2.5



Σχήμα 2.6

Διατομή υποστυλώματος προς Β

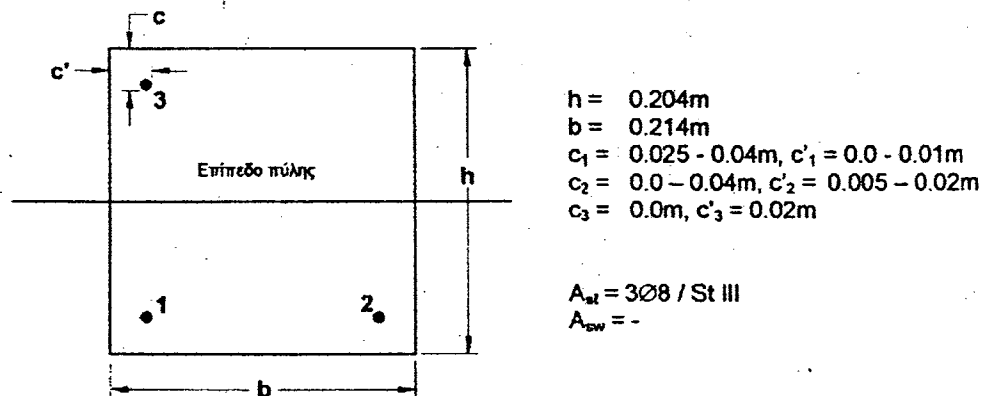
(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)



Τα δύο $\varnothing 8$ (1,2) φτάνουν έως 4cm κάτω από την κεφαλή.

Διατομή υποστυλώματος προς Ν

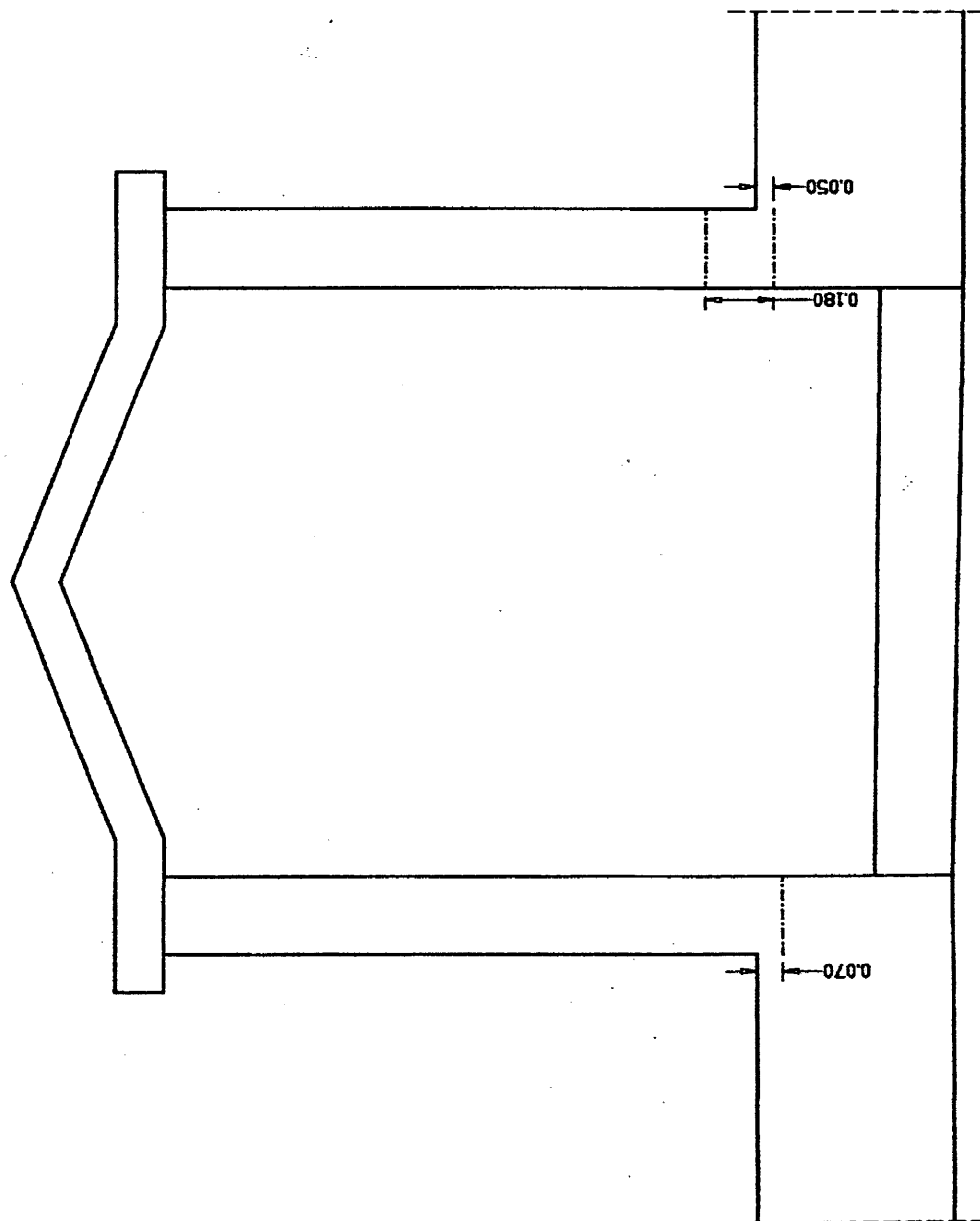
(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)



Το $\varnothing 8$ (1) έχει έντονη κάμψη προς τα μέσα 2 cm πριν την κεφαλή.
Το $\varnothing 8$ (2) φτάνει περίπου 13cm κάτω από την κεφαλή.

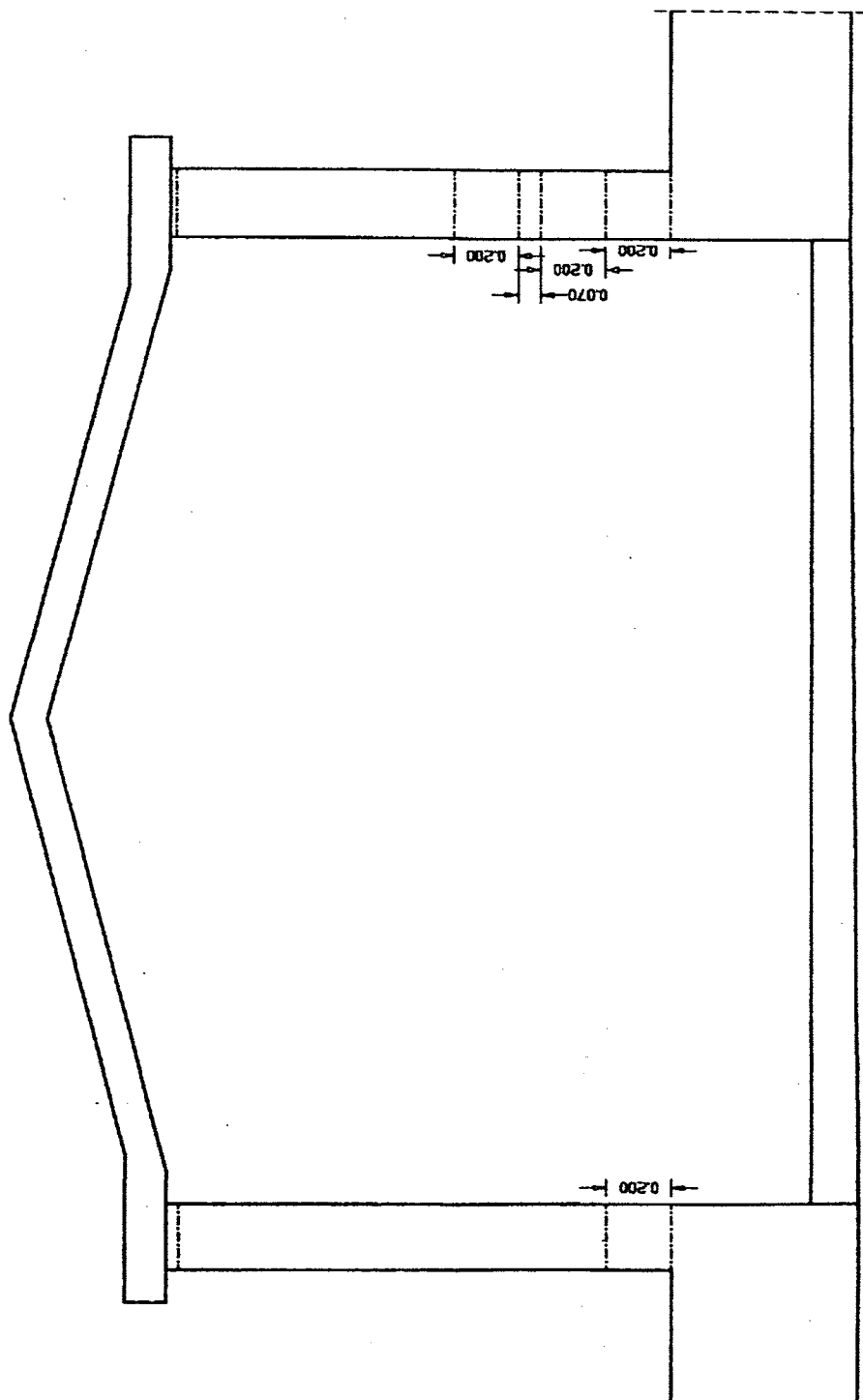
Σχήμα 2.7

Ανατολική όψη



Σχήμα 2.8

Ανατολική όψη



Σχήμα 2.9



Σχήμα 2.10 : Οι ρωγμές στους στύλους της μεγάλης πύλης μετά τον σεισμό

3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ και ΔΟΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

3.1 Γεωτεχνική Διερεύνηση

Η Γεωτεχνική διερεύνηση προγραμματίσθηκε, κατόπιν εισηγήσεως του Καθηγητή κ. Γ. Γκαζέτα, από το ΚΕΔΕ. Διανοίχθησαν δύο γεωτρήσεις στις οποίες εκτελέσθηκαν :

- δοκιμές μετρήσεων της ταχύτητας διάδοσης του σεισμικού κύματος (δοκιμή crosshole)
- επιτόπου δοκιμές τυποποιημένης διείσδυσης (SPT).

Η μεταβολή του N_{SPT} , και της ταχύτητας του διαμήκους και διατμητικού σεισμικού κύματος V_P και V_S αντιστοίχως) με το βάθος παρουσιάζονται στο **Σχήμα 3.1**. Στο ίδιο Σχήμα δείχνεται και η στρωματογραφία του εδαφικού προφίλ. Ενδεικτικές φωτογραφίες των θεμελίων των πυλών παρουσιάζονται στο **Σχήμα 3.2**.

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας παρουσιάζονται εκτενώς σε ανεξάρτητο τεύχος.

3.2 Δομητική Διερεύνηση

Διεξήχθησαν εργαστηριακής και επιτόπου δοκιμές από το ΚΕΔΕ μετά από εισήγηση του κ. Μ. Χρονόπουλου. Συγκεκριμένα στο εργαστήριο εκτελέσθηκαν :

- Δοκιμές ελέγχου αντοχής σε θλίψη και εφελκυσμό δοκιμίων σκυροδέματος που ελήφθησαν με αποκοπή από τις πύλες, και εκτελέσθηκαν από το Εργαστήριο του ΚΕΔΕ
- Συμβατικές δοκιμές εφελκυσμού σε δείγματα ράβδων σιδηροπλισμού που ελήφθησαν από τις πύλες,

και επιτόπου :

- Δοκιμές υπερηχοσκόπησης (για τον υπολογισμό της ταχύτητας μετάδοσης του σεισμικού κύματος στο οπλισμένο σκυρόδεμα, και της εμμέσης αντοχής του σε μονοαξονική θλίψη).
- Δοκιμές κρουσιμέτρησης (για τον προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του οπλισμένου σκυροδέματος καθώς και των δυναμικών χαρακτηριστικών των πυλών, ιδιοπερίοδος και απόσβεση).
- Δοκιμές Push-over (μονοτονική επαναλαμβανόμενη φόρτιση) στην φυσική κλίμακα κατά διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο των πυλών (για τον προσδιορισμό των σχέσεων μετασεισμικής απόκρισης φορτίου-μετακίνησης-παραμόρφωσης, των δύο δομημάτων). Οι δοκιμές αυτές αποτελούν τον θεμέλιο λίθο της επιχειρούμενης έμμεσης εκτίμησης των σεισμικών επιταχύνσεων, περιγράφονται δε εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

Στους Πίνακες 3.1 και 3.2 συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα με βάση την μέθοδο της υπερηχοσκόπησης και κρουσιμέτρησης αντιστοίχως, για την μικρή πύλη. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την μεγάλη πύλη παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.3 και 3.4.

Πίνακας 3.1
(Μικρή Πύλη)

Υπερηχοσκόπηση					
Θέση Ελέγχου	Μήκος Διάδοσης (mm)	Χρόνος (μsec)	Ταχύτητα (km/sec)	Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	
1	194	46	4200	27	Μέση τιμή : 25 MPa
2	204	50	4100	26	
3	194	45	4300	28	
4	205	51	4000	25	
5	195	46	4200	27	
6	200	54	3700	22	
7	200	53	3750	22.5	
8	190	47	4000	25	

Πίνακας 3.2
(Μικρή Πύλη)

Κρουσιμέτρηση (πρίν απ' την επιτόπου δοκιμή pushover)												
Τιμές Δείκτη Οργάνου	37	33	36	34	35	40	38	34	38	39	35	33
Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	27	23	26	24	25	30	28	24	28	29	25	23
Μέση τιμή : 26 MPa												
Ενεργός Ιδιοπερίοδος (s)							Ενεργός Απόσβεση (%)					
0.19							4.4					

Πίνακας 3.3
(Μεγάλη Πύλη)

Υπερηχοσκόπηση					
Θέση Ελέγχου	Μήκος Διάδοσης (mm)	Χρόνος (msec)	Ταχύτητα (km/sec)	Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	
1	209	53	3950	24.5	Μέση τιμή : 25.5 MPa
2	205	52	3950	24.5	
3	209	51	4100	26	
4	206	50	4100	26	
5	210	51	4100	26	
6	212	51	4150	26.5	

Πίνακας 3.4
(Μεγάλη Πύλη)

Κρουσιμέτρηση (μετά την επιτόπου δοκιμή pushover)												
Τιμές Δείκτη Οργάνου	36	40	37	34	36	35	39	35	39	35	34	38
Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	26	30	27	24	26	25	29	25	29	25	25	28
Μέση τιμή : 26 MPa												
Ενεργός Ιδιοπερίοδος (s)							Ενεργός Απόσβεση (%)					
0.32							10					

Τα αποτελέσματα των δοκιμών ελέγχου αντοχής σε θλίψη και εφελκυσμό δοκιμίων σκυροδέματος παρουσιάζονται στους **Πίνακες 3.5 και 3.6**. Στον **Πίνακα 3.7** συνοψίζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού σε δείγματα ράβδων σιδηροπλισμού που ελήφθησαν από τις πύλες.

Πίνακας 3.5

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

α/α	Στοιχεία πυρήνων	Ημερ/νία δειγ/ψία	Ημερ/νία ελέγχου	Διαστάσεις σε cm		Αντοχή σε θλίψη πυρήνα ως έχει N/mm	Αντοχή σε θλίψη κύβου ακμής 15 cm N/mm ²
				D	H		
1	No 1	9.8.00	21.8.00	10.0	11.4	30.0	30.7
2	No 2	9.8.00	21.8.00	9.95	11.6	24.8	26.1
3	No 3	9.8.00	21.8.00	9.9	11.6	25.5	26.8
4	No 4	9.8.00	21.8.00	9.8	11.9	22.8	24.4

Πίνακας 3.6

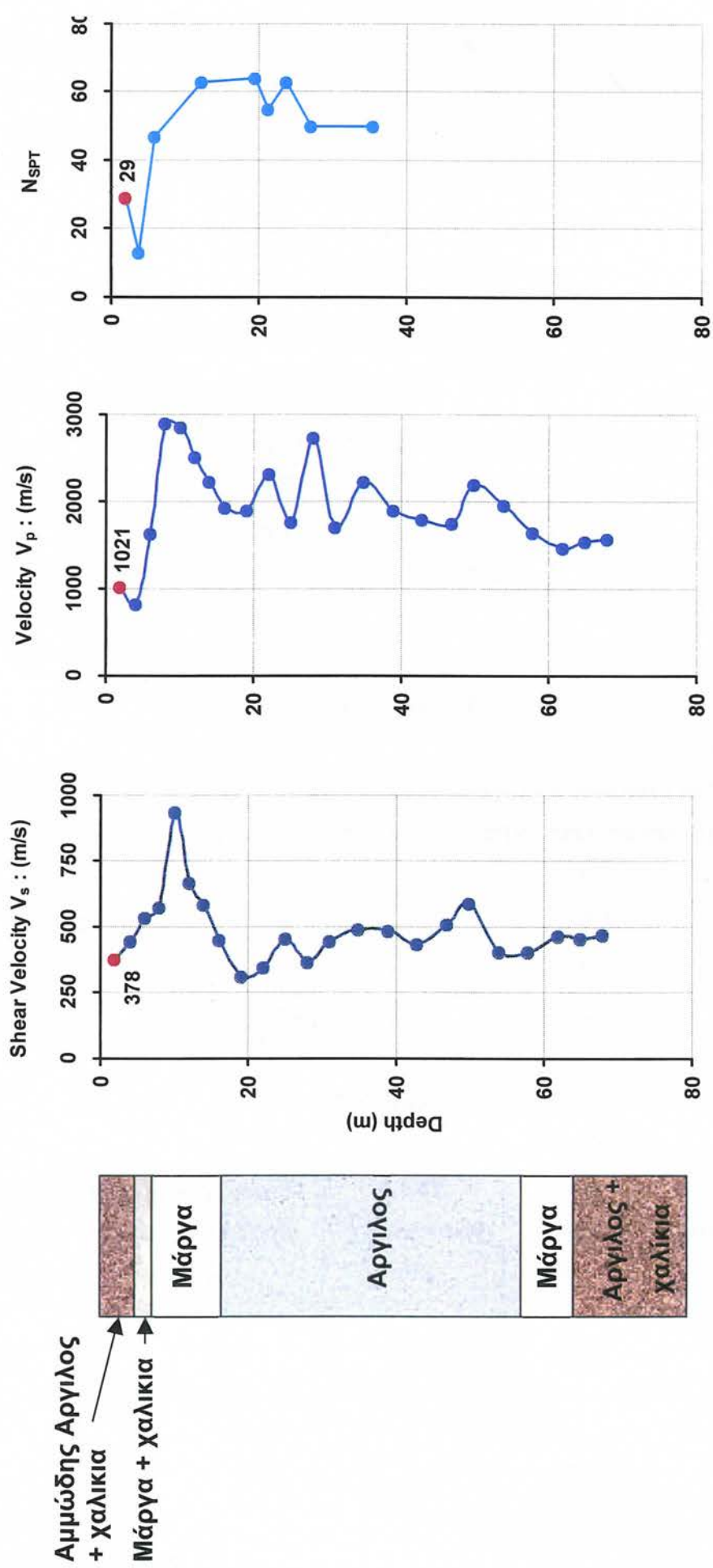
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

α/α	Εφελκυστική Αντοχή (Brazilian test) MPa	Μέτρο Ελαστικότητας GPa	Πυκνότητα πυρήνων Kg/m ³
1	2.0	45.14	2329
2	2.0	5.38	2284
3	1.9	-	2324
4	1.4	9.41	2343

Πίνακας 3.7

ΧΑΛΥΒΑΣ

Τύπος σιδηροπλισμού	Τάση διαρροής, f_y MPa	Τάση θραύσεως, f_t MPa	Παραμόρφωση θραύσεως, ϵ_t %	Παραμόρφωση έναρξης κράτυνσης %
Φ8 / StIII	435	635	25	0.5



Σχήμα 3.1 Μεταβολή των N_{SPT} , V_s , V_p με το βάθος – Πύλες Μενιδίου



Σχήμα 3.2 : Η θεμελίωση των πυλών

4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ των ΠΥΛΩΝ : PUSHOVER TESTS

4.1 Περιγραφή και Θέσεις των Οργάνων

Η επιβολή εγκάρσιας φόρτισης, κάθετα στο επίπεδο των πυλών πραγματοποιήθηκε μέσω κατάλληλου γρύλου (Enerpac RC 104.0.D6B ικανότητας 10t). Για την ομαλή μεταβίβαση της δύναμης από τον γρύλο προς την πύλη τοποθετήθηκε μεταλλική πλάκα στην κορυφή των ζυγωμάτων-σκεπάστρων. Έτσι ο “μοχλοβραχίονας” μεταξύ στάθμης επιβολής του φορτίου και θεωρητικής “πάκτωσης” των στύλων στο στηθαίο της πρόσοψης είναι περίπου 1.79 m για την μικρή πύλη και 1.90 για την μεγάλη.

Για την καταγραφή των μετακινήσεων τοποθετήθηκαν σε κάθε υποστύλωμα (στην ανατολική παρειά) 4 επαγωγικά βελομέτρα (της TML, τύπου SDP-200 και CDP-100). Οι θέσεις των βελομέτρων απεικονίζονται σκαριφηματικά στα **Σχήματα 4.1 έως 4.2** και για τις δύο πύλες. Η μέτρηση των παραμορφώσεων σε επιλεγμένα σημεία των στύλων (περιοχές “πάκτωσης”) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ηλεκτρομηκυνσιομέτρων (ΗΜ). Τα (4 συνολικώς) ΗΜ τοποθετήθηκαν στην ανατολική (θλιβόμενη) παρειά των υποστυλωμάτων. Οι θέσεις τους παρουσιάζονται στα **Σχήματα 4.3 και 4.4** για την μικρή και μεγάλη πύλη, αντιστοίχως.

Επιπλέον, τοποθετήθηκαν 5 ακροδέκτες σε κάθε υποστύλωμα (στην δυτική/εφελκούμενη παρειά στο ίδιο περίπου ύψος με τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα. Στα **Σχήματα 4.5 και 4.6** απεικονίζονται οι θέσεις των εν λόγω ακροδεκτών για την μικρή και μεγάλη πύλη αντιστοίχως.

4.2 Αποτελέσματα της δοκιμής

Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών φορτίσεων δίδονται γραφικά στα Σχήματα 4.7 έως 4.20.

Στο **Σχήμα 4.7** παρουσιάζονται τέσσερις φωτογραφίες που πάρθηκαν κατά την εκτέλεση του Πειράματος (Μικρή Πύλη).

Στα **Σχήματα 4.8 και 4.9** απεικονίζονται τα διαγράμματα δύναμης – μετακίνησης στην κορυφή των υποστυλωμάτων (βελόμετρα 1 και 2) για την μικρή και την μεγάλη πύλη αντιστοίχως.

Στα **Σχήματα 4.10 και 4.11** παρουσιάζονται τα γραφήματα δύναμης-μετακίνησης στην βάση των υποστυλωμάτων (βελόμετρα 3 και 4) για την μικρή και την μεγάλη πύλη αντιστοίχως.

Οι σχέσεις δύναμης–παραμόρφωσης στον πόδα των υποστυλωμάτων (ΗΜ 1,2,3 και 4) απεικονίζονται στα **Σχήματα 4.12** έως και **4.15** για την μικρή και την μεγάλη πύλη, αντιστοίχως.

Οι θέσεις και τα εύρη (σε mm) των ρωγμών που αναπτύχθηκαν α) υπό το μέγιστο φορτίο και β) μετά την αποφόρτιση παρουσιάζονται σκαριφηματικά στα **Σχήματα 4.16** έως **4.19** για την μικρή και την μεγάλη πύλη, αντιστοίχως.

Το **Σχήμα 4.20** απεικονίζει το διάγραμμα δύναμης–μετακίνησης (βελόμετρο 1) της μικρής πύλης απαλλαγμένο από τις φορτίσεις-αποφορτίσεις. Στο ίδιο σχήμα τονίζονται τα ζεύγη δύναμης–μετακίνησης που αντιστοιχούν στην εμφάνιση νέων ρωγμών, κατά την εκτέλεση της δοκιμής.

4.3 Αρχικά Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα από τις δύο δοκιμαστικές φορτίσεις συνοψίζονται ως εξής :

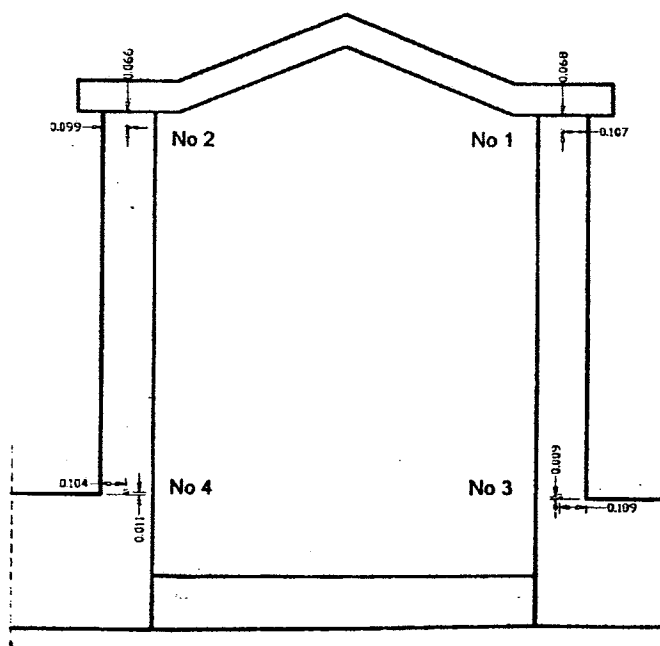
- Οι αρχικές τριχοειδείς ρωγμές (της μικρής πύλης) δεν διευρύνθηκαν κατά την φόρτιση διότι βρίσκονταν στην θλιβόμενη παρειά των υποστυλωμάτων.
- Στην περιοχή της πάκτωσης των στύλων της μεγάλης πύλης δεν δημιουργήθηκαν νέες ρωγμές κατά την φόρτιση, ενώ αυτές που υπήρχαν διευρύνθηκαν ελάχιστα.
- Σε αντίθεση με την μικρή πύλη, κατά την δοκιμή της μεγάλης προκλήθηκε από την ανεξέλεγκτη διεύρυνση των ρωγμών του υποστυλώματος στην περιοχή του (προφανούς) αρμού σκυροδέτησης, αμέσως κάτω από το σενάριο. Στην θέση αυτή δεν υπήρχε οπλισμός (στο ένα υποστήλωμα) ή υπήρχε αλλά χωρίς ικανοποιητικό μήκος αγκυρώσεως (στο άλλο).
- Το μεγάλο φορτίο αντοχής της μικρής πύλης (σε σχέση με την μεγάλη), περίπου ίσο με 11.4 kN, και η απροσδόκητα ικανοποιητική πλάστικη συμπεριφορά της κατά την φόρτιση (αν λάβει κανείς υπόψιν την έντονη τις ελλείψεις και ασυμμετρία στην όπλιση) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η απόκριση της μικρής πύλης κατά την διάρκεια του σεισμικού επεισοδίου ήταν σχεδόν ελαστική.
- Σε αντίθεση με την συμπεριφορά της μικρής πύλης η δοκιμασία της μεγάλης πύλης δεν προχώρησε στην πλαστική συμπεριφορά, και το επιβληθέν φορτίο δεν ξεπέρασε τα 7 kN.

- Η κλίση της καμπύλης P–Δ της μεγάλης πύλης είναι σχεδόν ίση με την κλίση της καμπύλης αποφόρτισης--επαναφόρτισης της μικρής πύλης. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μεγάλη πύλη κατά τον σεισμό της Πάρνηθας εισήλθε στην πλαστική περιοχή του διαγράμματος P–Δ καί αποφορτίστηκε με το τέλος του σεισμικού κραδασμού.
- Απο τις ενδείξεις των βελομέτρων 3 και 4 (στον πόδα των στύλων) προέκυψε ότι η αλληλεπίδραση εδάφους-πυλών ήταν μικρή αλλά όχι αμελητέα.
- Οι παραμένουσες κλίσεις των κατακορύφων παρειών των πυλών (με την κατακόρυφο) πριν και μετά την δοκιμή παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.1** :

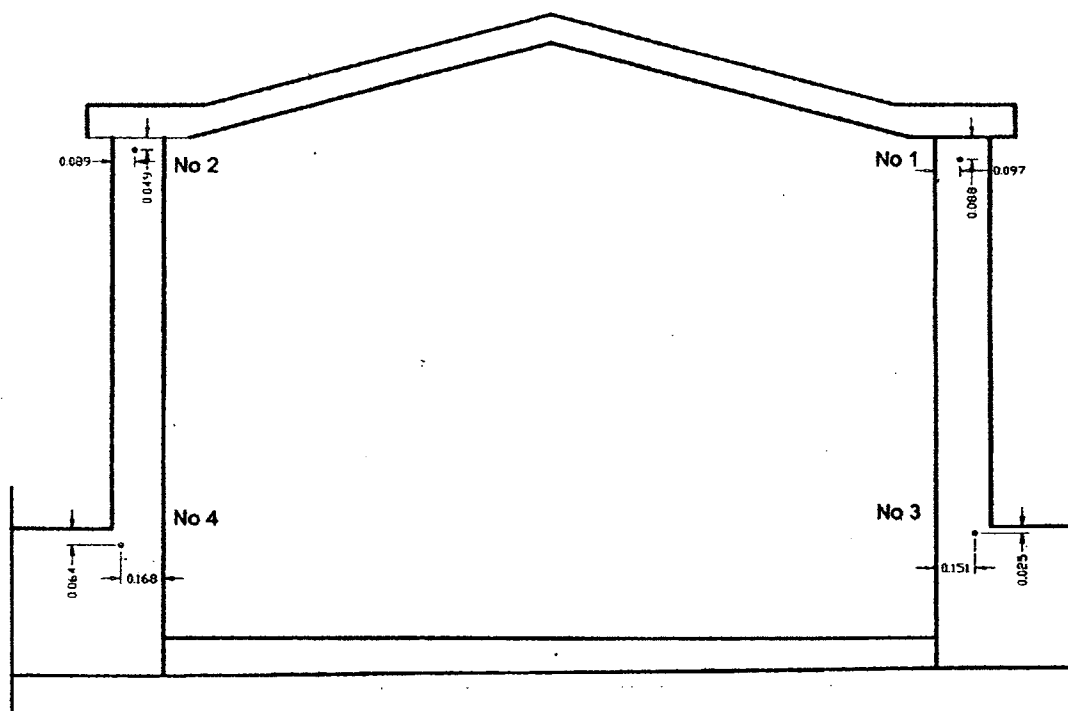
Πίνακας 4.1

		Μικρή Πύλη		Μεγάλη Πύλη	
		Νότιο Υποστύλωμα	Βόρειο Υποστύλωμα	Νότιο Υποστύλωμα	Βόρειο Υποστύλωμα
Κλίσεις	Πρίν την δοκιμή	+ 0.10	-0.30	+0.21	-0.35
	Μετά την δοκιμή	+2.10	+2.00	+0.80	+0.80

Ανατολική όψη

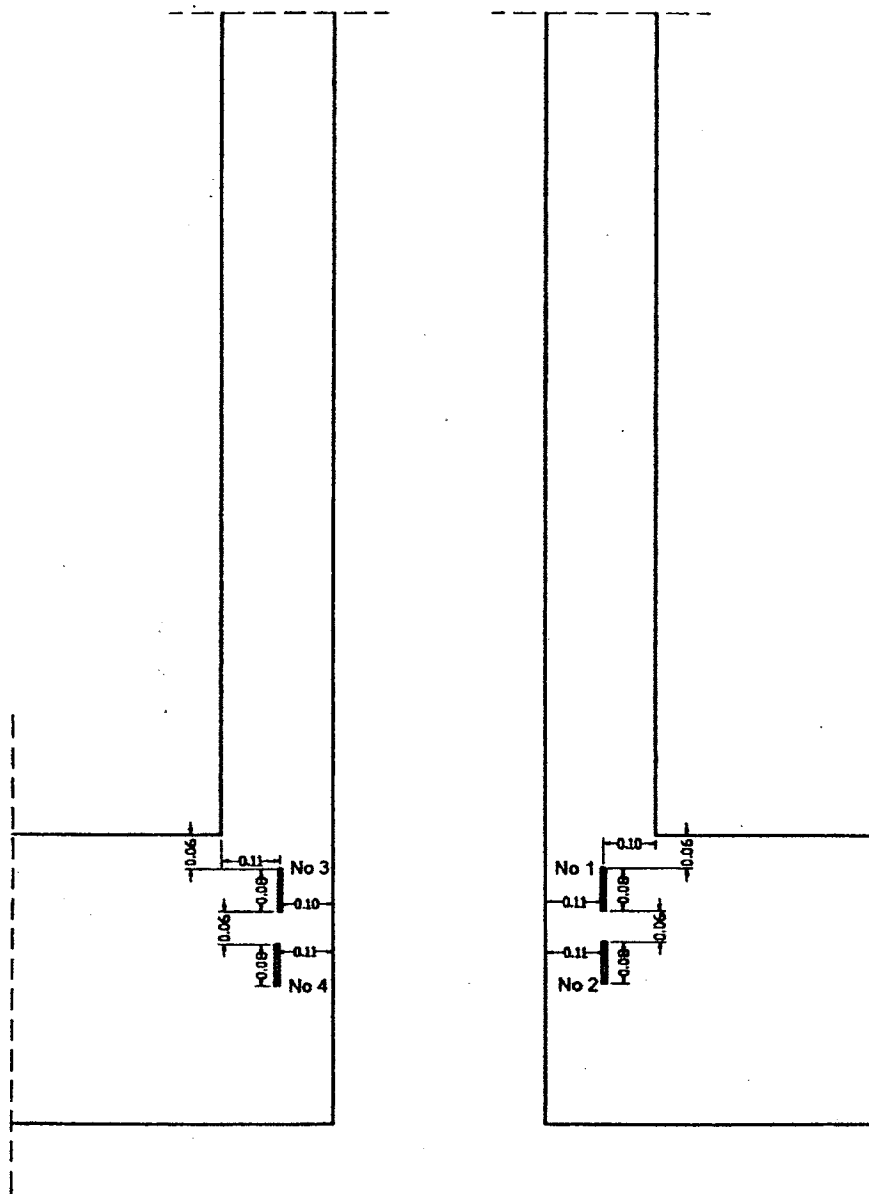


Ανατολική όψη



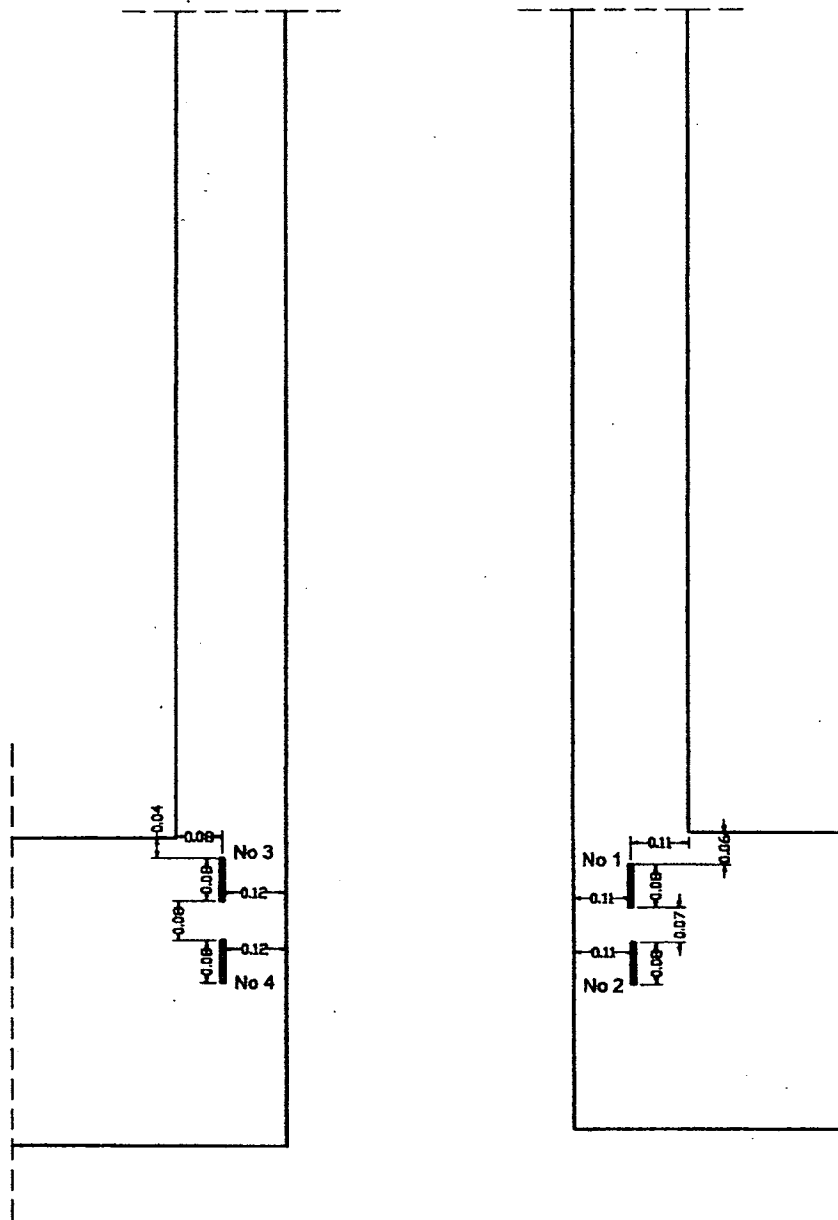
Σχήμα 4.2

Ανατολική όψη
Θέση ηλεκτρομηκυνσιομέτρων



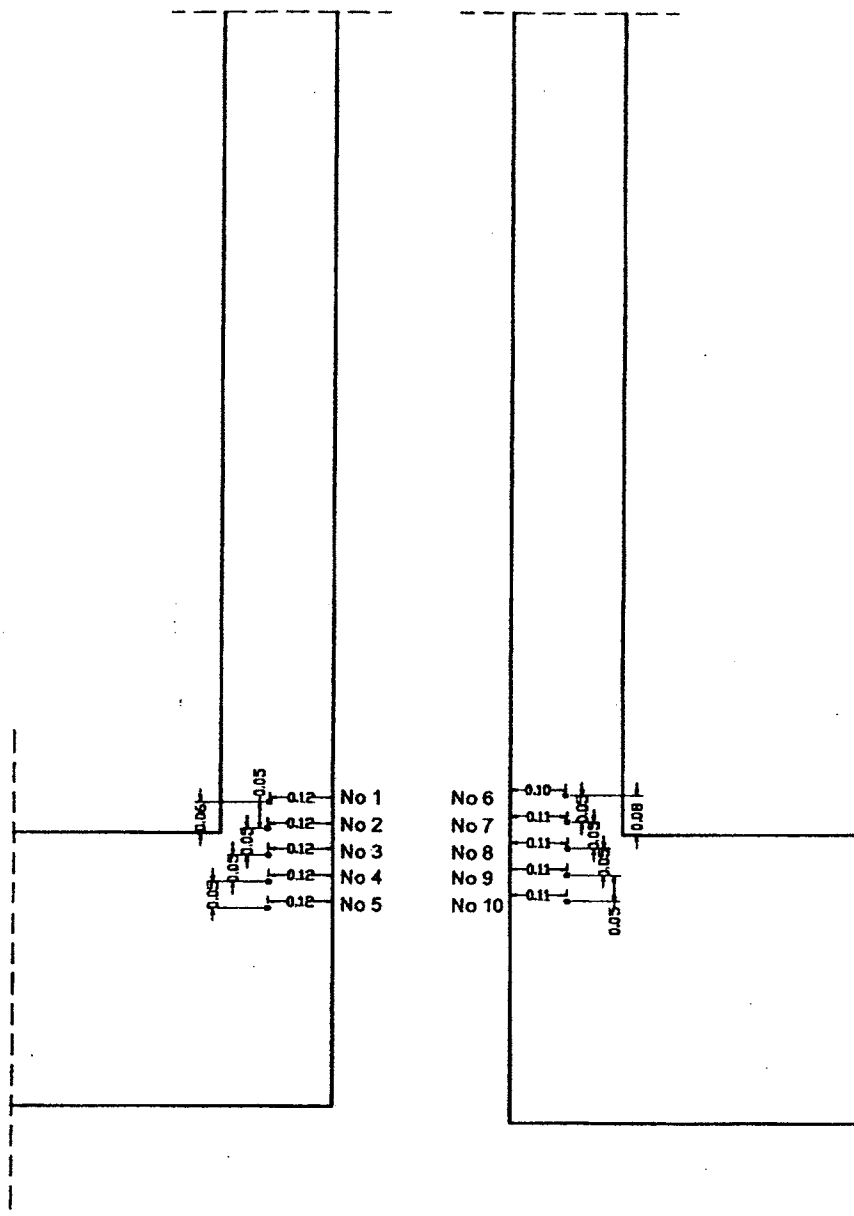
Σχήμα 4.3

Ανατολική όψη
Θέση ηλεκτρομηκυνισομέτρων



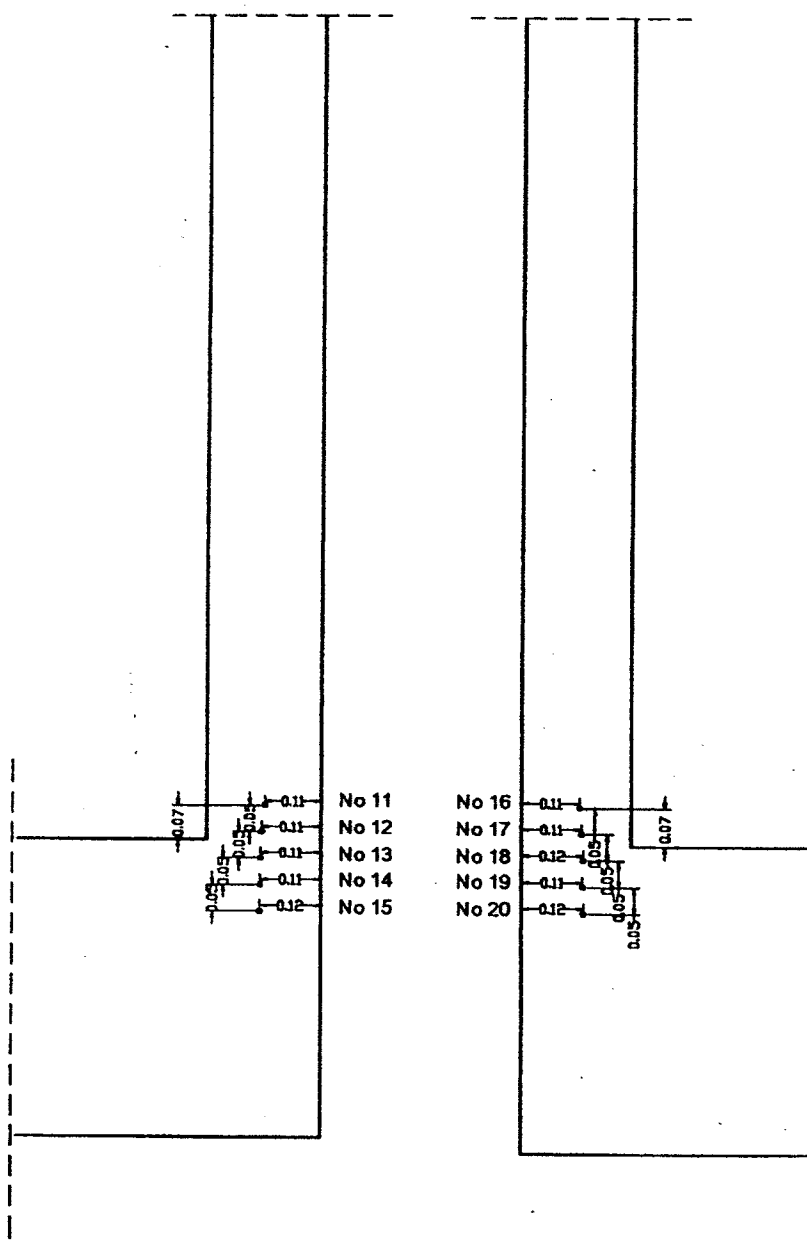
Σχήμα 4.4

Δυτική όψη
Θέση ακροδεκτών



Σχήμα 4.5

Δυτική όψη
Θέση ακροδεκτών

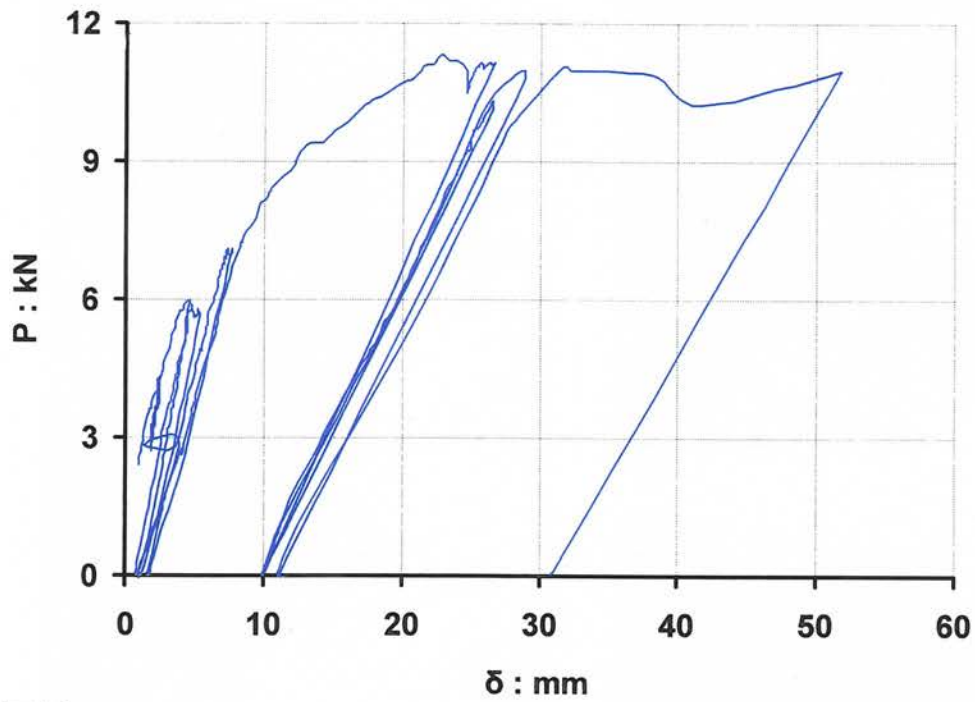


Σχήμα 4.6

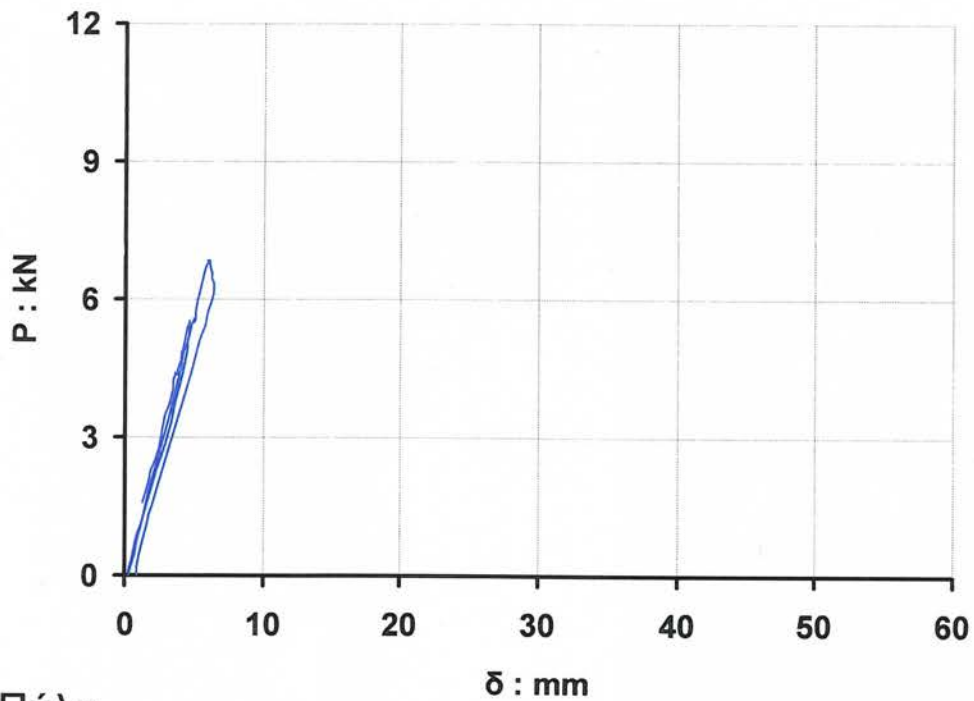


Σχήμα 4.7: Εικόνες απο την προετοιμασία για την εκτέλεση του πειράματος

Διαγράμματα δύναμης—μετακίνησης
Βελόμετρο 1



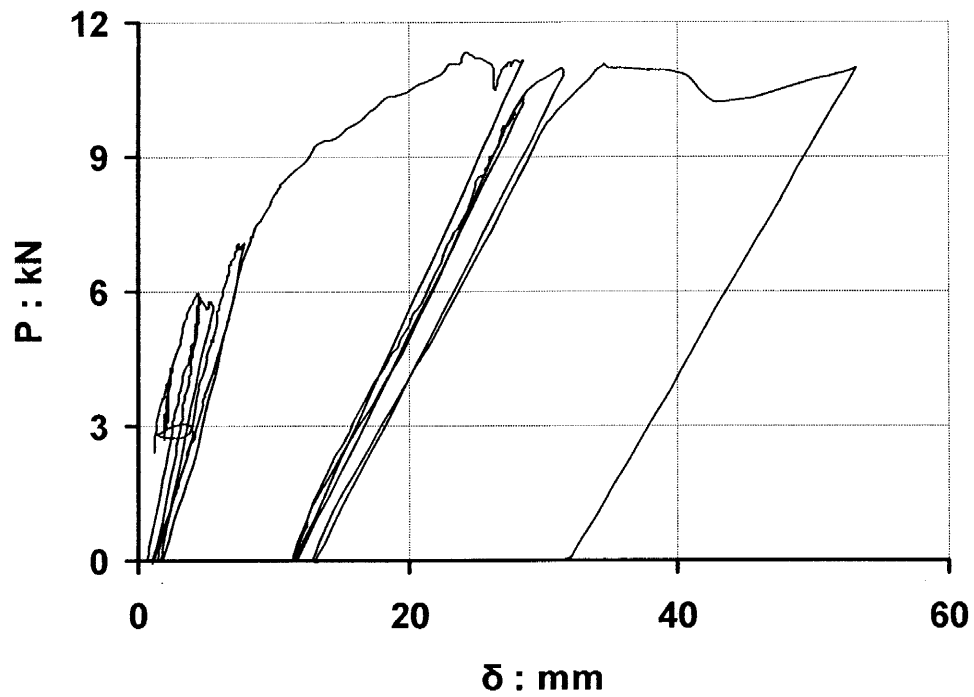
Μικρή Πύλη



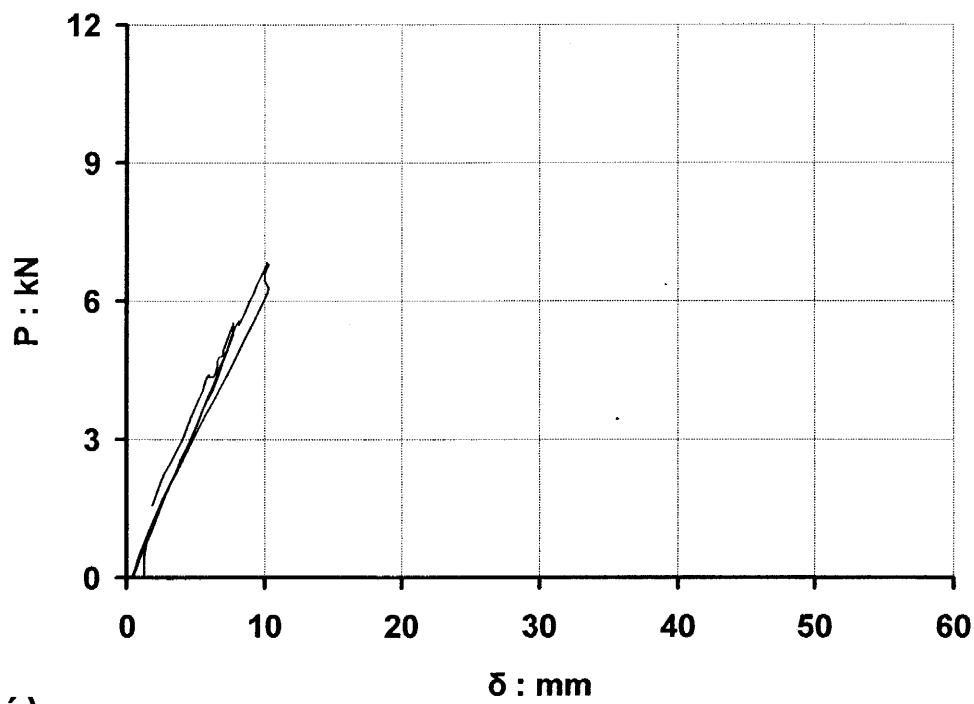
Μεγάλη Πύλη

Σχήμα 4.8

Διαγράμματα δύναμης—μετακίνησης
Βελόμετρο 2



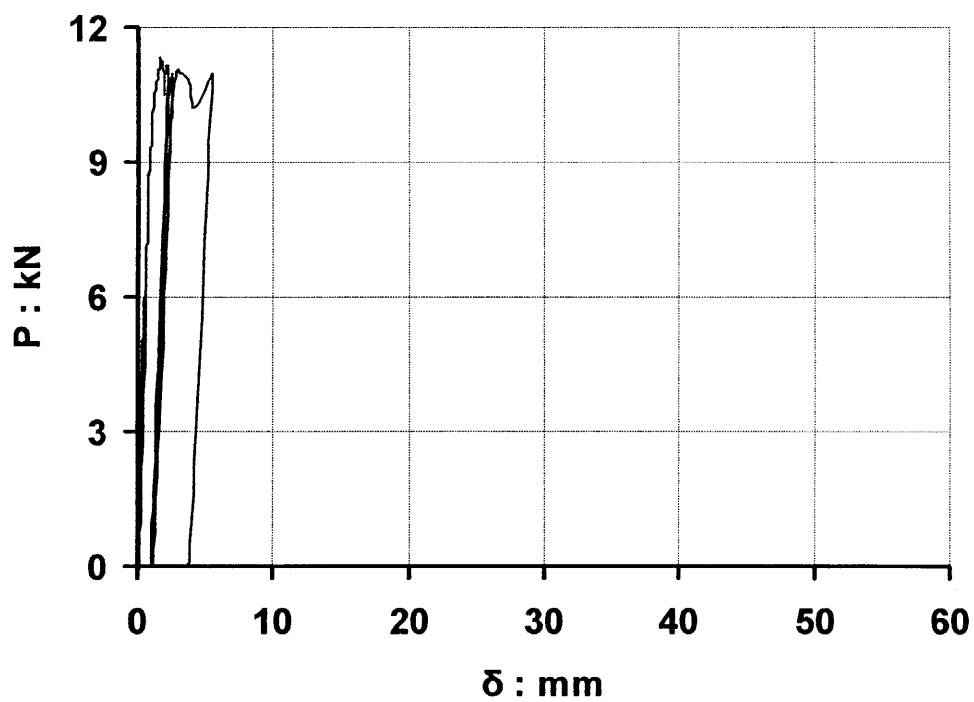
Μικρή Πύλη



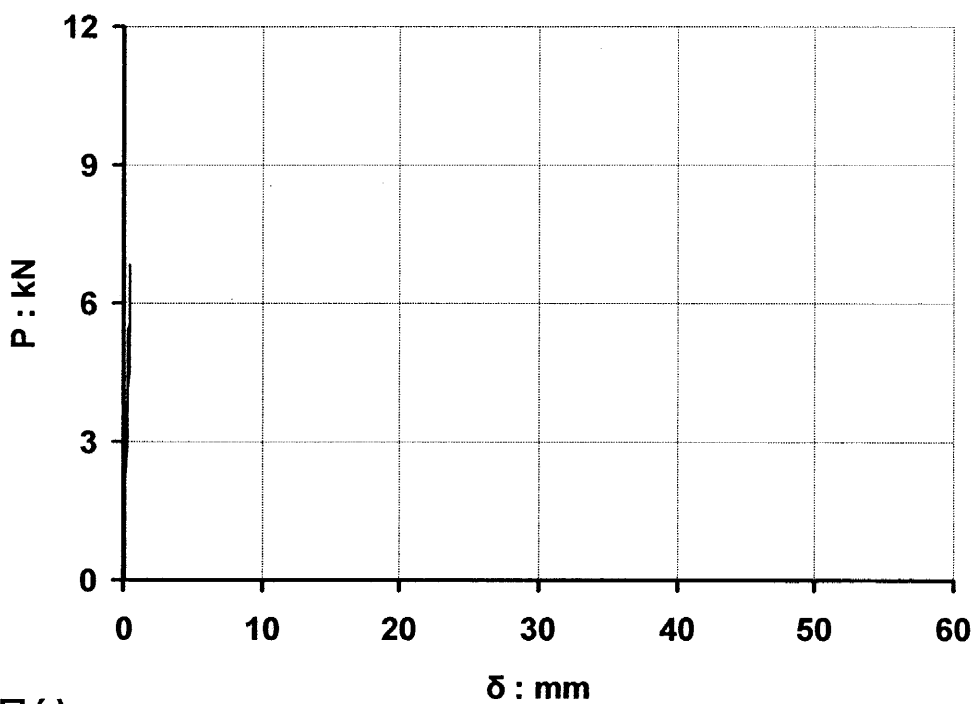
Μεγάλη Πύλη

Σχήμα 4.9

Διαγράμματα δύναμης—μετακίνησης
Βελόμετρο 3



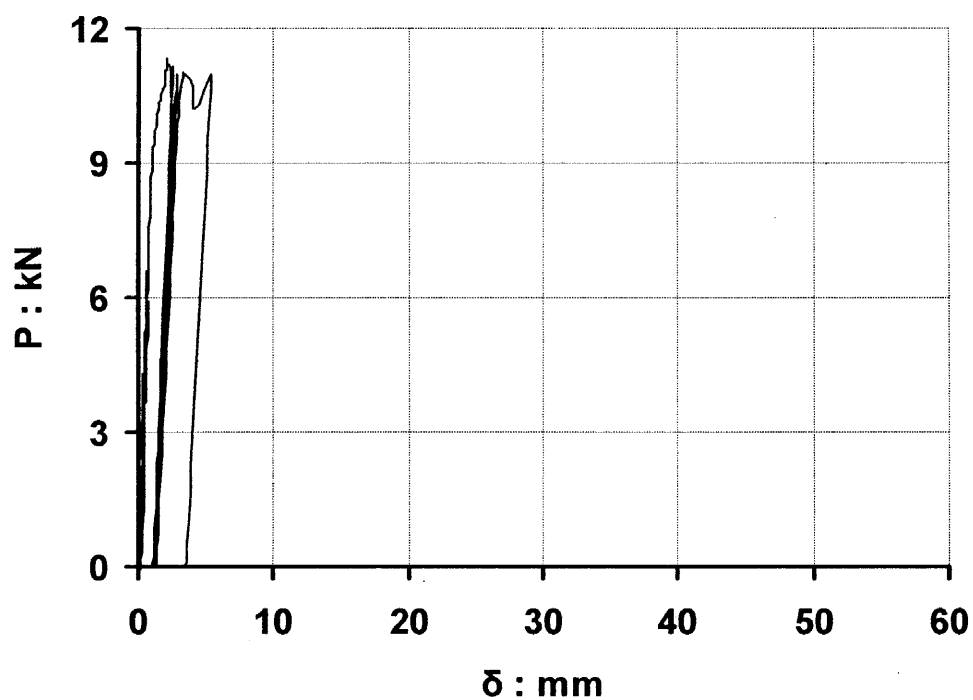
Μικρή Πύλη



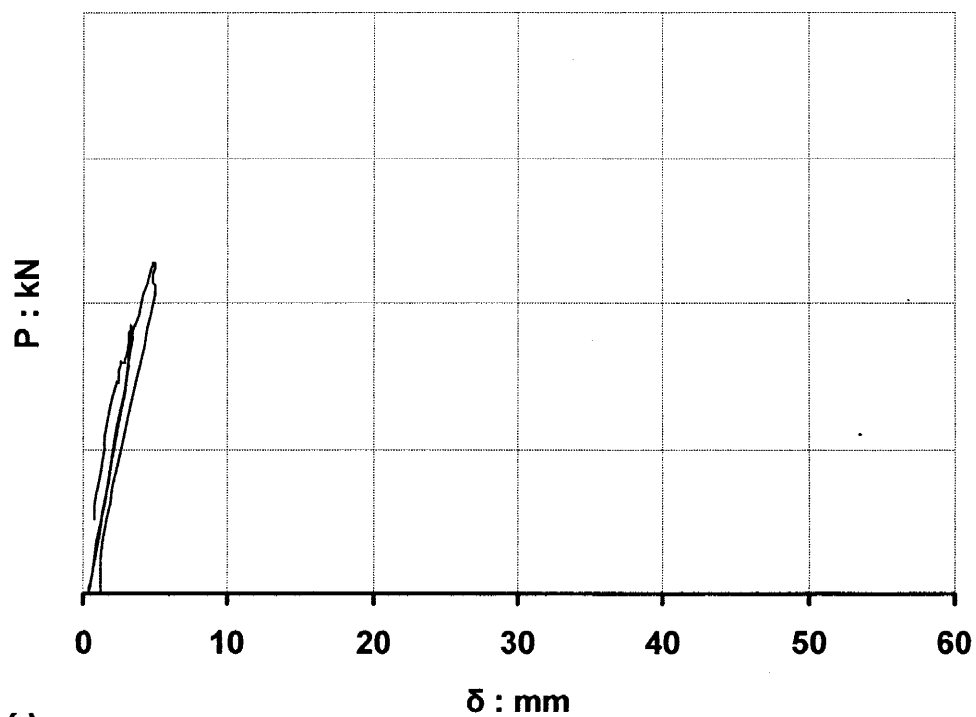
Μεγάλη Πύλη

Σχήμα 4.10

Διαγράμματα δύναμης—μετακίνησης Βελόμετρο 4



Μικρή Πύλη

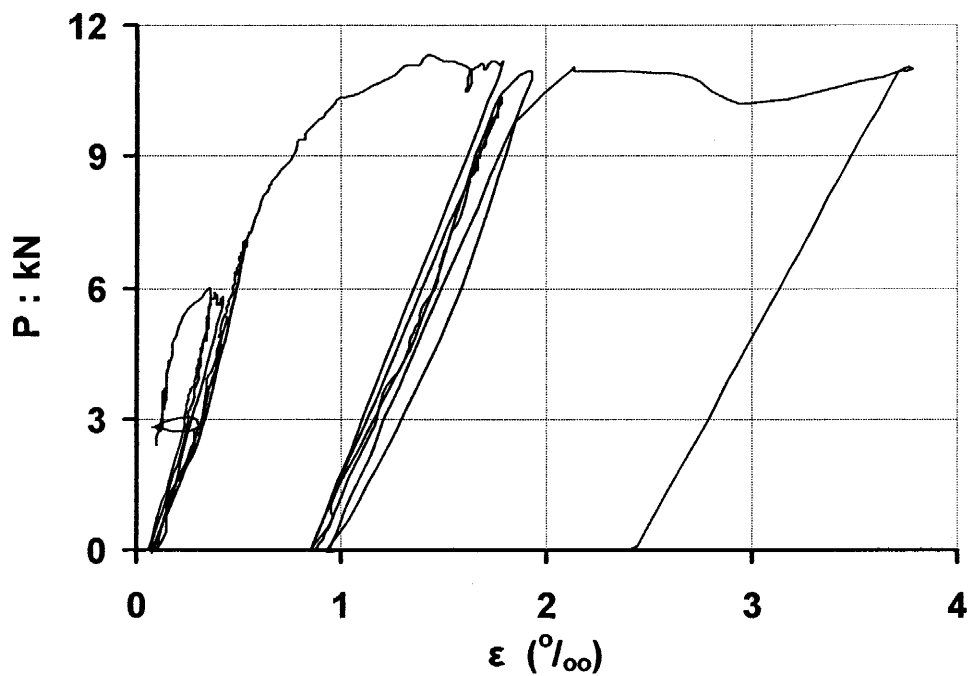


Μεγάλη Πύλη

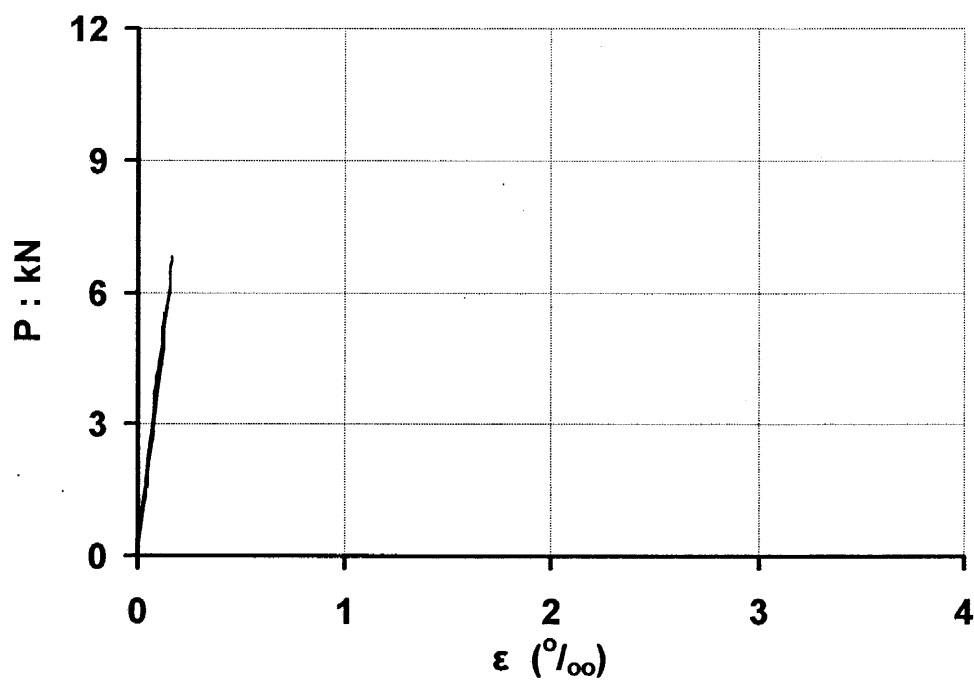
Σχήμα 4.11

Διαγράμματα δύναμης—παραμόρφωσης

Μηκυνσιόμετρο 1



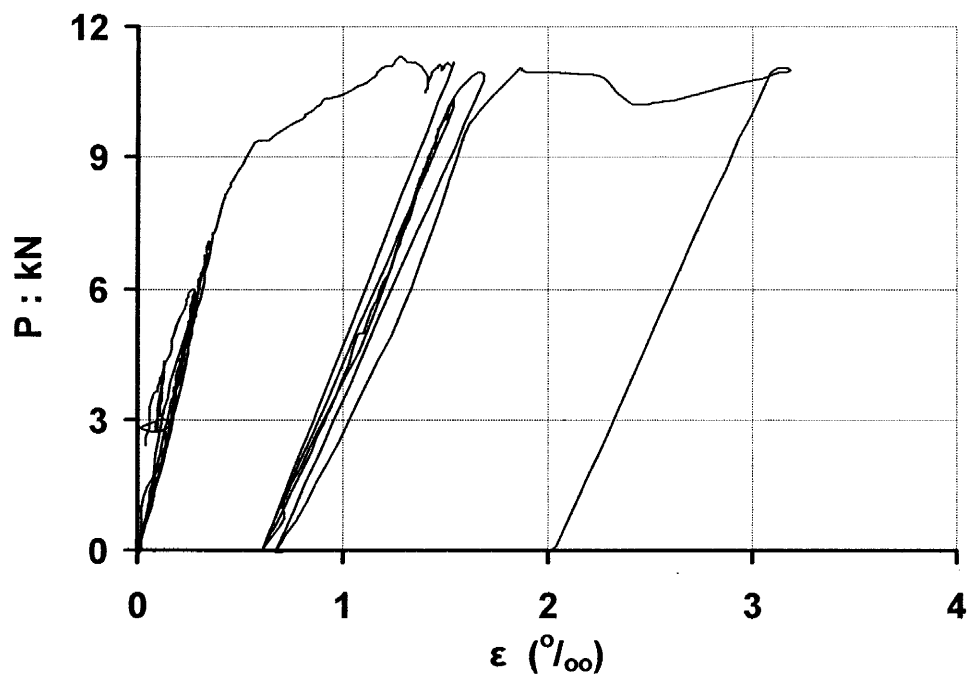
Μικρή Πύλη



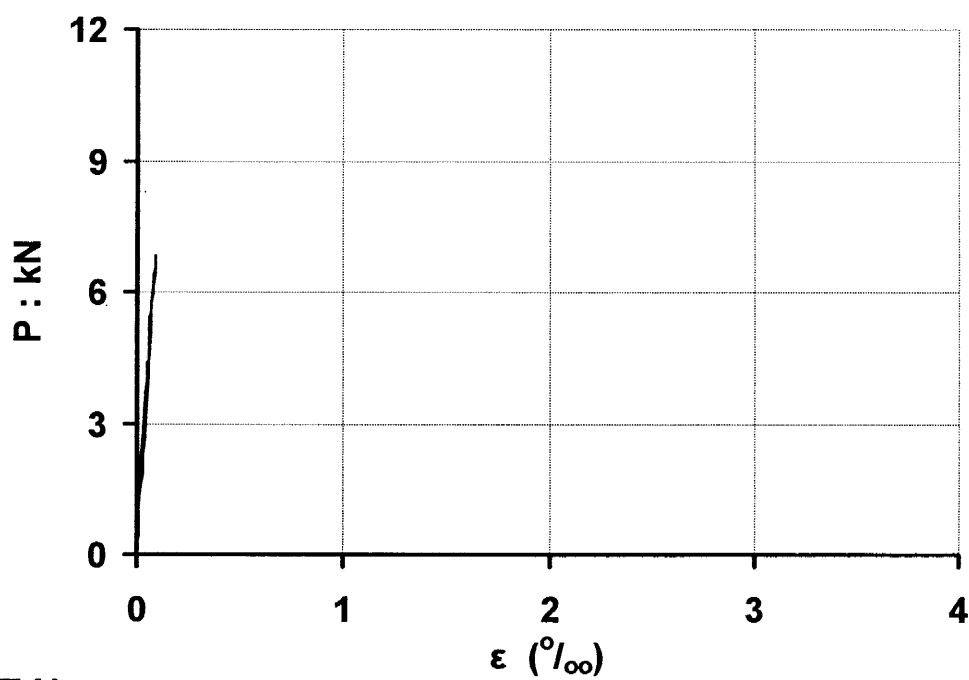
Μεγάλη Πύλη

Σχήμα 4.12

Διαγράμματα δύναμης—παραμόρφωσης
Μηκυνσιόμετρο 2



Μικρή Πύλη

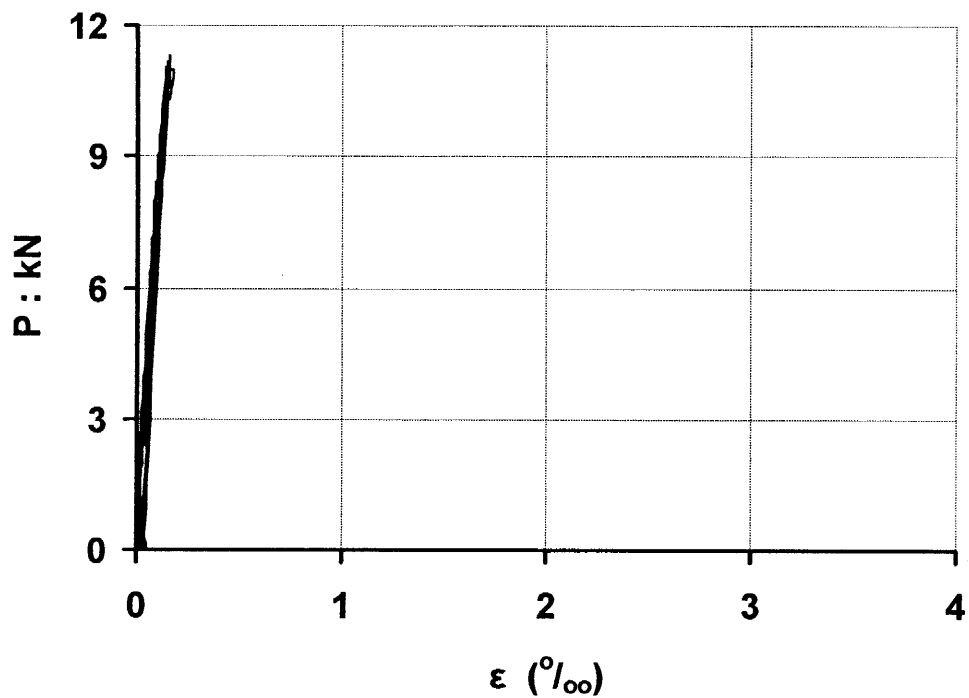


Μεγάλη Πύλη

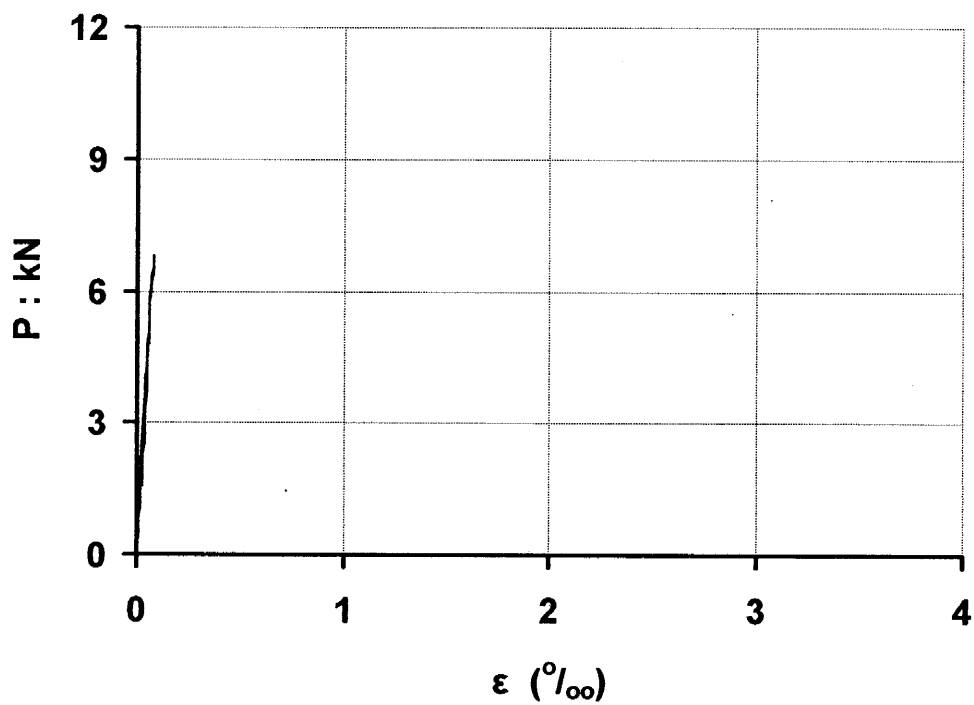
Σχήμα 4.13

Διαγράμματα δύναμης—παραμόρφωσης

Μηκυνσιόμετρο 3



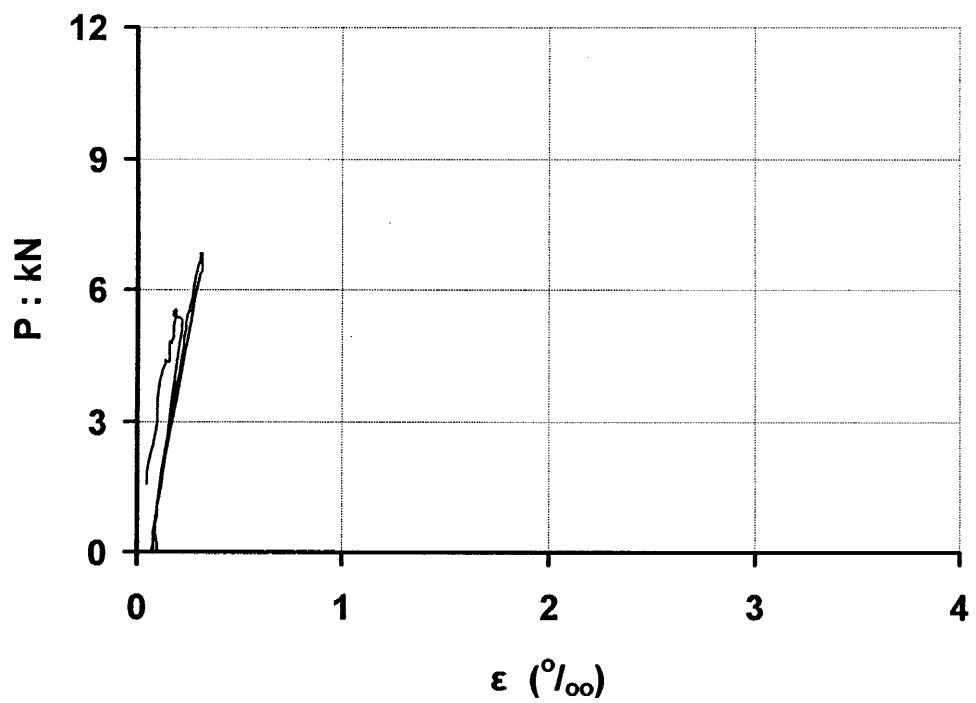
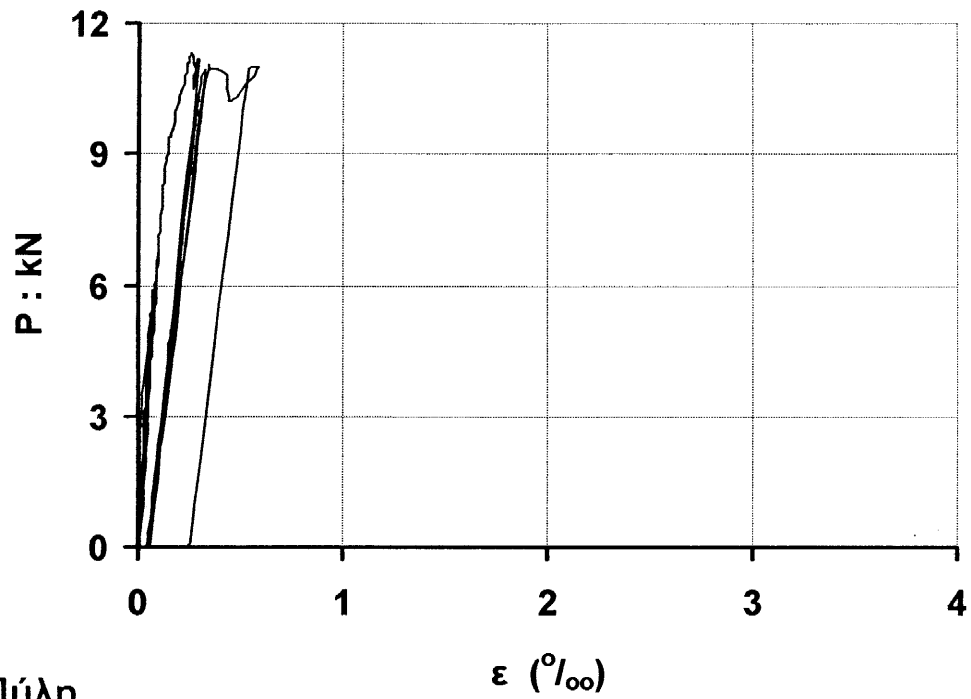
Μικρή Πύλη



Μεγάλη Πύλη

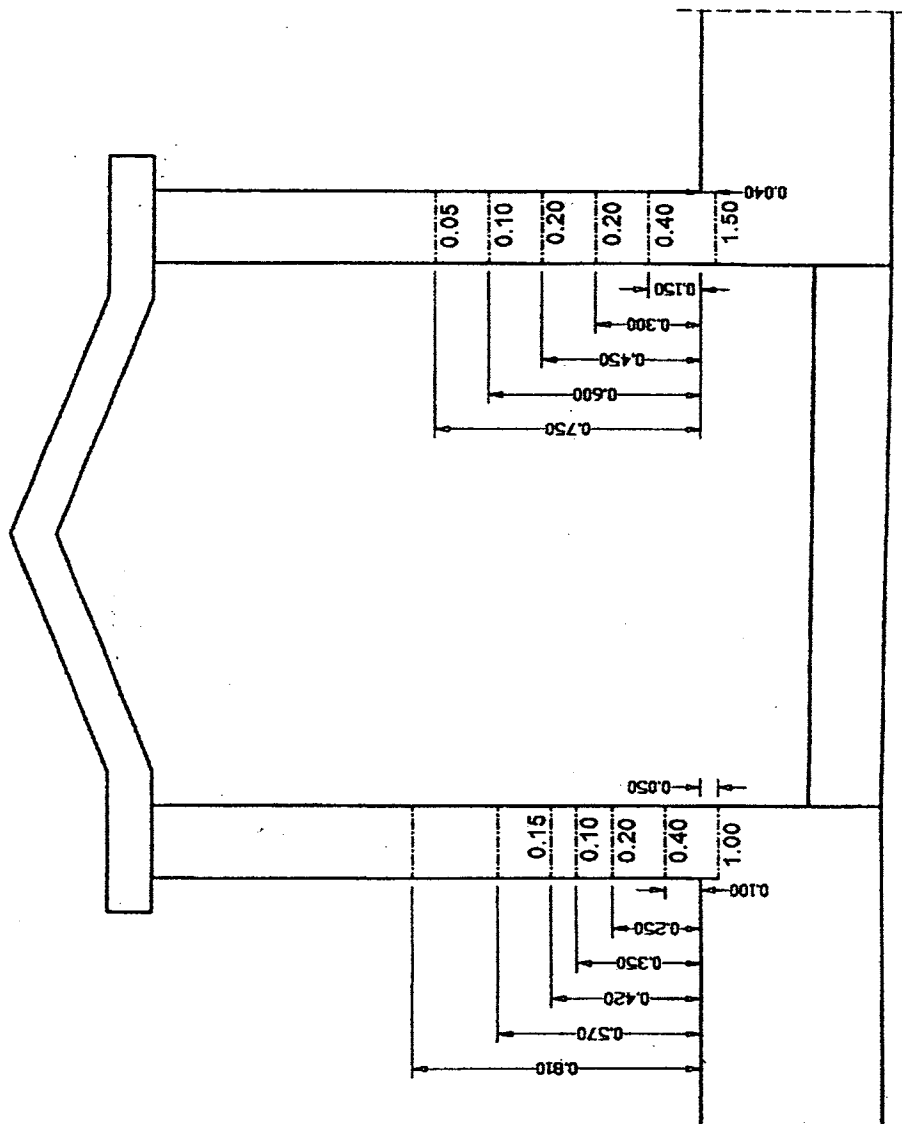
Σχήμα 4.14

Διαγράμματα δύναμης—παραμόρφωσης
Μηκυνσιόμετρο 3



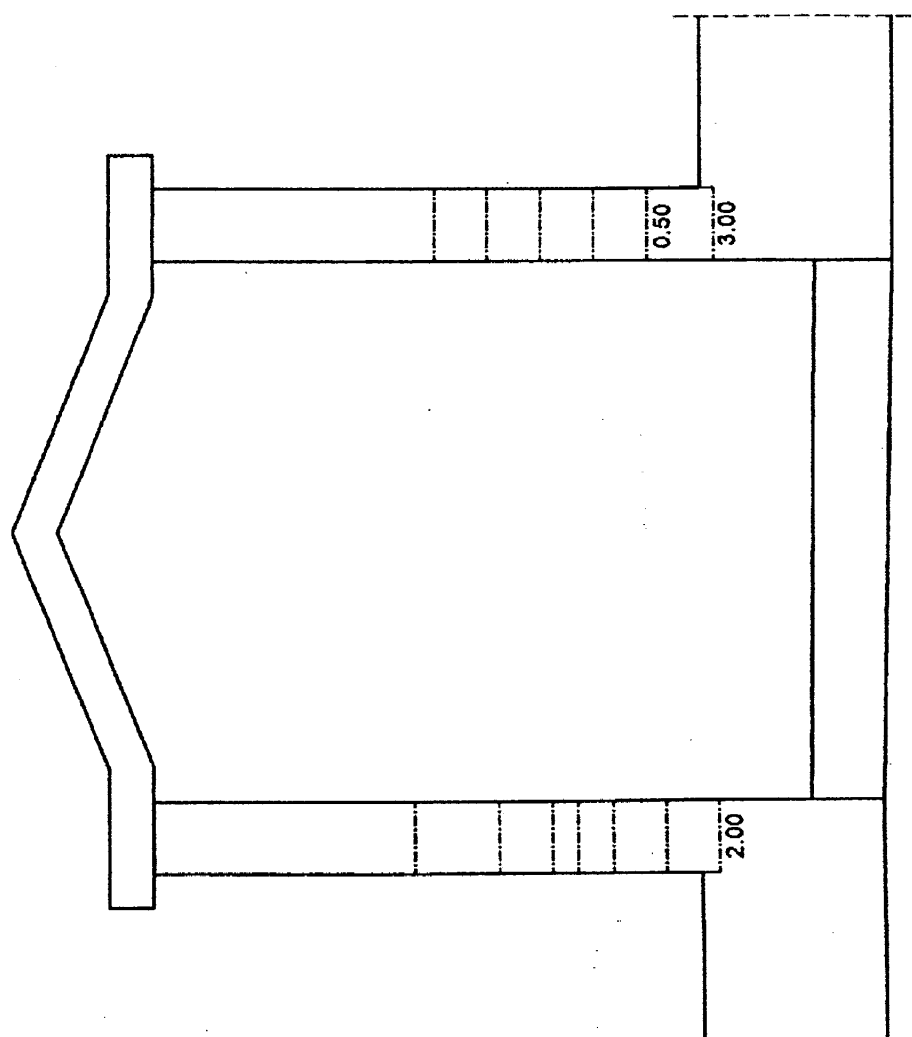
Σχήμα 4.15

Δυτική κύρια όψη (πρόσωση)



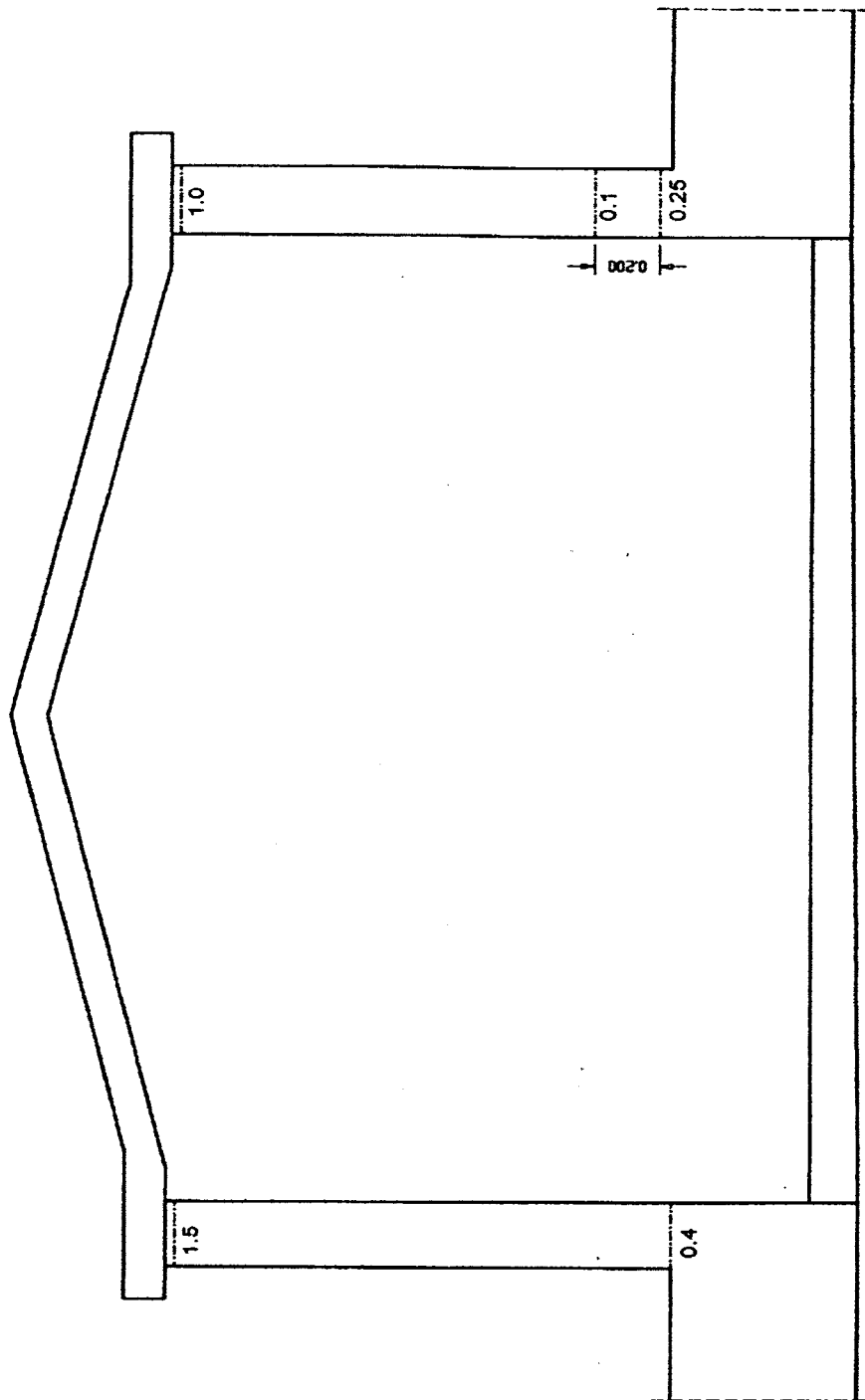
Σχήμα 4.16

Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



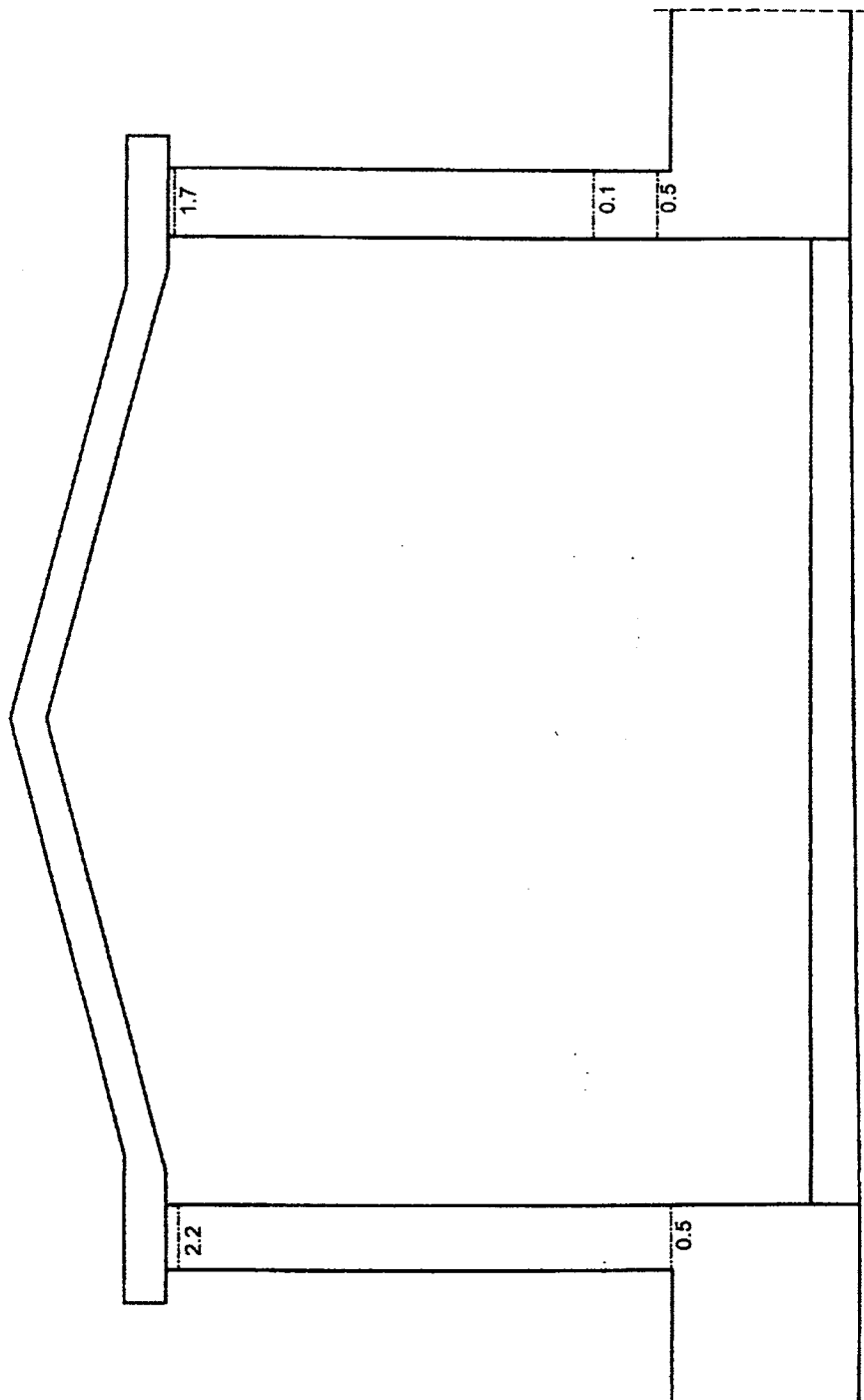
Σχήμα 4.17

Δυτική κύρια όψη (πρόσψη)

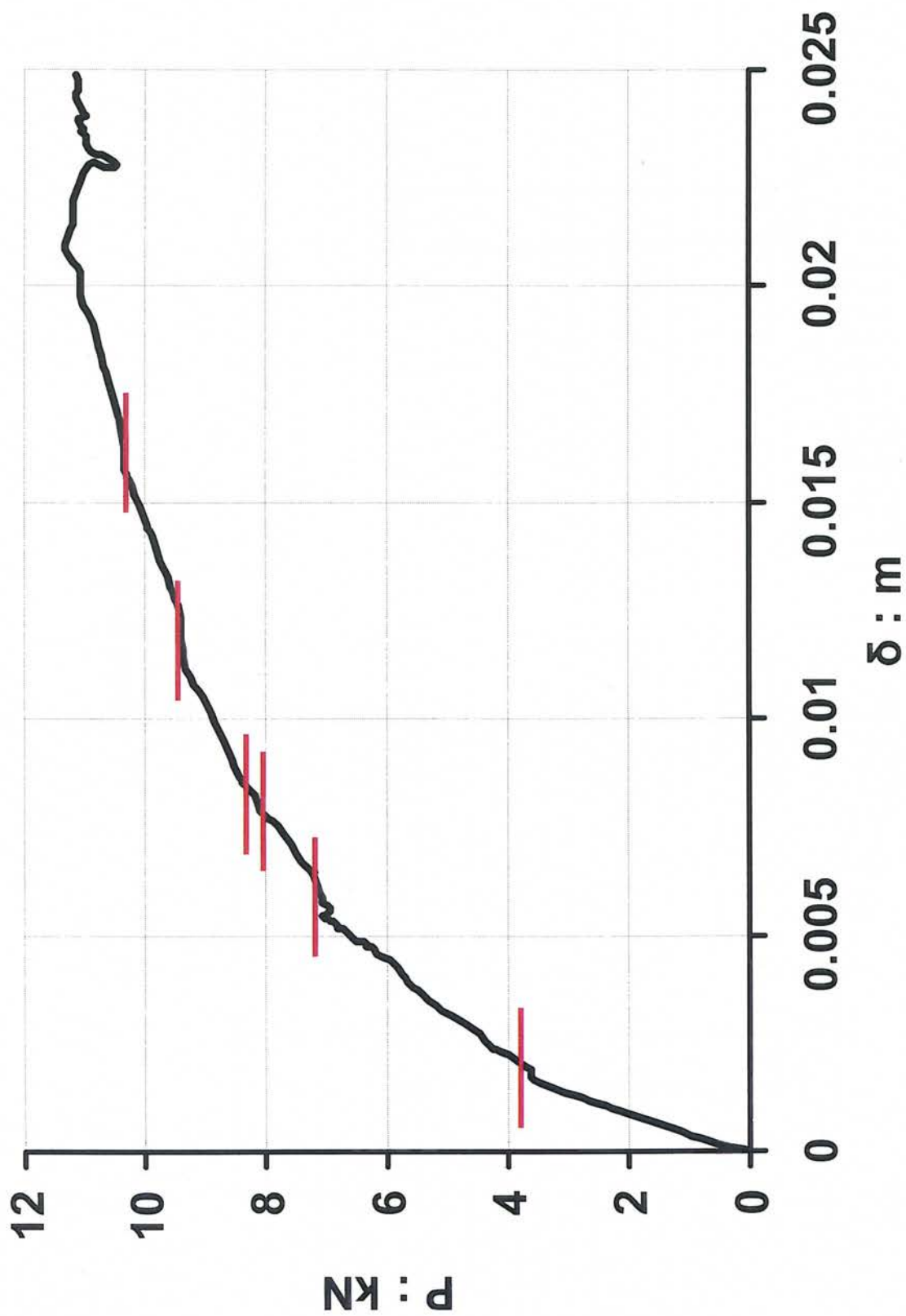


Σχήμα 4.18

Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



Σχήμα 4.19



Σχήμα 4.20 : Μετρηθείσα καμπύλη Δύναμης-μετακίνησης απαλλαγμένο από τις φορτίσεις-αποφορτίσεις (Μικρή πύλη). Οι κόκκινες παύλες αντιστοιχούν στην εμφάνιση νέων ρωγμών.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ των ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ της ΔΟΚΙΜΗΣ

5.1 Το Προσομοίωμα και οι Σεισμικοί Κραδασμοί Υπολογισμού

Για την προσομοίωση της τριδιάστατης φύσης του προβλήματος (διδιάστατη μεν γεωμετρία των πυλών με φόρτιση όμως σε διεύθυνση κάθετη προς το επίπεδό τους) γίνεται χρήση λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS / PATRAN.

Στο προσομοίωμα οι πύλες έχουν αντικατασταθεί από στοιχεία δοκού (3D-Beam elements). Η αλληλεπίδραση της θεμελίωσης των πυλών με το έδαφος παριστάνεται με δύο κατηγορίες ελατηρίων προσαρτημένων στα σημεία “πάκτωσης” των υποστυλωμάτων. Συγκεκριμένα για κάθε έναν τύπο εδαφικής αντίδρασης έχουμε :

- Οριζόντιο μετακινησιακό ελατήριο σχετιζόμενο με την οριζόντια διάτμηση στην βάση της θεμελίωσης
- Στροφικό ελατήριο σχετιζόμενο με την ροπή αντιδράσεως λόγω περιστροφής στην βάση του θεμελίου.

Με το προσομοίωμα αυτό εκτελούνται οι εξής αναλύσεις :

- Στατική ανάλυση με μονοτονικώς αυξανόμενη οριζόντια δύναμη εφαρμοζόμενη στην κορυφή του ζυγώματος των πυλών σε διεύθυνση κάθετη προς το επίπεδό τους (αναπαράσταση του πειράματος).
- Αριθμητική ανάλυση εν-χρόνω της σεισμικής απόκρισης. Ως διέγερση χρησιμοποιούνται τέσσερα πραγματικά επιταχυνσιογραφήματα. Συγκεκριμένα οι καταγραφές που επιλέχθησαν για την хроνοϊστορία της διέγερσης είναι οι εξής :

α) οι δύο οριζόντιες συνιστώσες της καταγραφής στα Σεπόλια (διαμήκης και εγκάρσια) κατά τον σεισμό της Πάρνηθας

β) μία συνιστώσα εγκάρσια από την καταγραφή του ΚΕΔΕ από τον σεισμό της Πάρνηθας

γ) μία συνιστώσα από την καταγραφή Templog από τον σεισμό του Parkfield (1979)

Η επιρροή της κορυφαίας επιτάχυνσης των εν λόγω επιταχυνσιογραφημάτων στην δυναμική απόκριση των πυλών διερευνάται παραμετρικά. Στην επιλογή των κορυφαίων εδαφικών επιταχύνσεων συνεκτιμάται η ενδοσιμότητα της θεμελίωσης, η τριδιάστατη διεύθυνση του σεισμικού κραδασμού, και άλλες παράμετροι, ο προσδιορισμός των οποίων περιγράφεται εκτενώς στην επόμενη παράγραφο.

5.2 Βαθμονόμηση των Παραμέτρων του Προβλήματος

Προϋπόθεση για την αξιόπιστη αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η ορθή προσομοίωση των ακολούθων:

- θέσεις πακτώσεως των υποστυλωμάτων
- σχέσεις ροπής--καμπυλότητας των διατομών των στύλων
- αλληλεπίδραση πυλών--εδάφους — (ενεργά εδαφικά ελατήρια).
- απόσβεση του υλικού των υποστυλωμάτων (λόγω ανακυκλικής φορτίσεως).

Επειδή η μικρή πύλη συμπεριφέρθηκε σχεδόν ελαστικά κατά την διάρκεια του σεισμικού κραδασμού (σε αντίθεση με την μεγάλη πύλη που αποκρίθηκε σαφώς μή-γραμμικά) στην βαθμονόμηση των πρό του σεισμού δυναμικών ιδιοτήτων των δύο πλαισίων δόθηκε μεγαλύτερο βάρος στα αποτελέσματα της δοκιμαστικής φόρτισης της μικρής πύλης από ότι στα αντίστοιχα της δοκιμαστικής φόρτισης της μεγάλης.

5.2.1 Θέσεις Πακτώσεως των Στύλων

Οι θέσεις πακτώσεως των υποστυλωμάτων εκτιμώνται από την σύγκριση των καταγραφών των ηλεκτρομηκυνσιομέτρων 1 και 2 (Σχήματα 4.11-4.12). Από τα διαγράμματα δύναμης--παραμόρφωσης που απεικονίζονται στα εν λόγω σχήματα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το ηλεκτρομηκυνσιόμετρο 1 βρίσκεται στην θέση μέγιστης παραμόρφωσης του στύλου, ενώ η ένδειξη του ηλεκτρομηκυνσιομέτρου 2 είναι πρακτικώς μηδενική για ένα αρκετά μεγάλο εύρος των τιμών της επιβαλλομένης στο πλαίσιο δύναμης.

Ετσι, η παραδοχή ότι η θέση πάκτωσης των στύλων βρίσκεται σε θέση ενδιάμεση των θέσεων των δύο οργάνων (και συγκεκριμένα στο μέσον της απόστασής τους) κρίνεται ως ρεαλιστική.

5.2.2 Σχέσεις Ροπών – Καμπυλότητας

Ο προσδιορισμός της σχέσης ροπής – καμπυλότητας των διατομών των υποστυλωμάτων πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές μεθόδους :

⇒ Η πρώτη μέθοδος είναι ένας συνδυασμός αναλυτικών--αριθμητικών σχέσεων, εμπειρικών σχέσεων από την διεθνή βιβλιογραφία, και των αποτελεσμάτων της δοκιμής H-δ. Η μέθοδος αυτή αναπτύσσεται εκτενώς στην τεχνική έκθεση Χρονόπουλου κ.α. (2001). Οι προτεινόμενες σχέσεις ροπής--καμπυλότητας των διατομών των υποστυλωμάτων για κάθε μία πύλη απεικονίζονται γραφικά στο **Σχήμα 5.1**.

⇒ Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται στα αποτελέσματα της δοκιμής H-Δ : εκτελούνται παραμετρικές αντίστροφες στατικές αναλύσεις με στόχο τον προσδιορισμό της σχέσεως ροπής--καμπυλότητας που αντιστοιχεί στην βέλτιστη αριθμητική αναπαράσταση της δοκιμής. Συγκεκριμένα επιλέγεται η σχέση ροπής--καμπυλότητας για την οποία τα υπολογιζόμενα, , διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης (με βάση το

αριθμητικό μας προσομοίωμα για την μικρή πύλη) πρακτικώς συμπίπτουν με τα αντίστοιχα διαγράμματα που καταγράφηκαν στο πείραμα.

Για την μεγάλη πύλη, που συμπεριφέρθηκε εντόνως πλαστικά στον σεισμό (δημιουργία ρωγμών, πλαστική παραμόρφωση) υιοθετήθηκε η ίδια με την μικρή πύλη σχέση ροπής-καμπυλότητας. Η παραδοχή αυτή είναι αρκετά ρεαλιστική λόγω της ικανοποιητικής ομοιότητας των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των δύο πυλών, σε επίπεδο διατομής. Το διάγραμμα ροπής--καμπυλότητας των διατομών των υποστυλωμάτων των δύο πυλών απεικονίζεται γραφικά στο **Σχήμα 5.1**. Από το Σχήμα αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η πρώτη μέθοδος υπερεκτιμά την καμπτική δυσκαμψία των υποστυλωμάτων για ροπές $M \geq 2 \text{ kNm}$, ενώ υποτιμά την αντοχή τους.

Το **Σχήμα 5.2** παριστάνει τα διαγράμματα δύναμης--μετακίνησης (στην θέση του βελομέτρου 1) της μικρής πύλης, για τις εξής περιπτώσεις :

- α) Υπολογιστικό διάγραμμα δύναμης--μετακίνησης, με βάση την σχέση ροπής--καμπυλότητας που προσδιορίστηκε με την πρώτη μέθοδο.
- β) Υπολογιστικό διάγραμμα δύναμης--μετακίνησης, με βάση την σχέση ροπής--καμπυλότητας που προσδιορίστηκε με την δεύτερη μέθοδο χωρίς την θεώρηση αλληλεπίδρασης θεμελίου--εδάφους (βλ. επόμενη Παράγραφο).
- γ) Υπολογιστικό διάγραμμα δύναμης--μετακίνησης με βάση την σχέση ροπής--καμπυλότητας που προσδιορίστηκε με την δεύτερη μέθοδο, με την θεώρηση αλληλεπίδρασης θεμελίου--εδάφους (βλ. επόμενη Παράγραφο).
- δ) Πραγματικό διάγραμμα δύναμης--μετακίνησης όπως αυτό προέκυψε από το πείραμα στατικής μονοτικής φόρτισης (H-δ) της μικρής πύλης

Από το **Σχήμα 5.2** διαπιστώνεται εύκολα ότι τα διαγράμματα H-δ που προέκυψαν από την δεύτερη μέθοδο (μέ και χωρίς την θεώρηση αλληλεπίδρασης πυλών--εδάφους) προσομοιώνουν με μεγάλη ακρίβεια το πραγματικό διάγραμμα H-δ, της φόρτισης Push-over της μικρής πύλης. Η σύγκριση του πραγματικού διαγράμματος H-δ με αυτό που προέκυψε από την πρώτη μέθοδο, δεν είναι ικανοποιητική. Με την πρώτη μέθοδο δηλαδή υπερεκτιμάται η καμπτική δυσκαμψία των στύλων ενώ υποτιμάται η αντοχή τους.

Όπως προαναφέραμε υπάρχουν ενδείξεις από την γεωμετρία των ρωγμών στις πύλες, ότι η δεσπόζουσα διεύθυνση του κραδασμού ήταν σχεδόν η διεύθυνση Ανατολής-Δύσης, παράλληλα προς το ρήγμα καί, άρα, περίπου κάθετα στο επίπεδο των πυλών*. Ωστόσο, κρίνεται αναγκαία η διερεύνηση της επιρροής της τριδιάστατης διεύθυνσης του σεισμικού κραδασμού στην δυναμική απόκριση των πυλών, και επομένως η διαμόρφωση-διόρθωση των σχέσεων ροπής--καμπυλότητας (εφόσον αυτή είναι αναγκαία) για την ορθή περιγραφή του προβλήματος.

Πρός τον σκοπό αυτόν εκτελούνται και δυναμικές αναλύσεις με διεύθυνση της σεισμικής διέγερσης *παράλληλη* προς το επίπεδο των πυλών. Ως διεγέρσεις χρησιμοποιήθηκαν τα επιταχυνσιογραφήματα που επιλέχθηκαν από τις παραμετρικές δυναμικές αναλύσεις κατά την άλλη διεύθυνση, (πιθανές χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων στην περιοχή των Αχαρνών).

Η μέγιστη αναπτυσσόμενη σεισμική ροπή στον πόδα των υποστυλωμάτων της μεγάλης πύλης ήταν σε όλες τις δυναμικές αναλύσεις, με διεύθυνση της διέγερσης κάθετη προς το επίπεδο των πυλών, ίση με την ροπή αντοχής. Αντίθετα, στις αντίστοιχες αναλύσεις που διεξήχθησαν για διεύθυνση του κραδασμού παράλληλη προς το επίπεδο της μικρής πύλης η μέγιστη σεισμική ροπή ήταν μικρότερη της ροπής αντοχής. Είναι λοιπόν λογικό η τριδιάστατη

* Φυσικά, υπάρχουν και άλλες ισχυρές ενδείξεις ότι η ισχυρότερη συνιστώσα του κραδασμού ήταν περίπου παράλληλη προς το ρήγμα (βλ. "κίόσκι" οδού Πτολεμαΐδος, ο υδατόπυργος του στρατοπέδου Δεκελίας, κλπ.)

διεύθυνση του σεισμικού κραδασμού να επηρεάσει περισσότερο την δυναμική απόκριση της μεγάλης πύλης από αυτήν της μικρής. Για τον λόγο αυτόν εξετάσθηκε μόνον η περίπτωση της μεγάλης πύλης.

Για την περιγραφή της σεισμικής συμπεριφοράς της μεγάλης πύλης χρησιμοποιήθηκε παρόμοια σχέση ροπής-καμπυλότητας με αυτήν στις αναλύσεις για διεύθυνση του κραδασμού κάθετη προς το επίπεδο των πυλών (σύμφωνα με την δεύτερη μέθοδο). Εξαιρέθηκαν οι διατομές πλησίον των κόμβων στύλων-ζυγώματος για τις οποίες η ροπή αντοχής μειώθηκε στο μισό. Η μείωση αυτή σχετίζεται με την ανυπαρξία αγκύρωσης του διαμήκους οπλισμού στις εν λόγω περιοχές, σε συνδυασμό με την ύπαρξη αρμού διακοπής της σκυροδέτησης. Η ορθότητα της παραδοχής ενισχύεται από τις μετασεισμικές παρατηρήσεις της μεγάλης πύλης σύμφωνα με τις οποίες το εύρος των ρωγμών στην κεφαλή των υποστυλωμάτων ήταν σαφώς μεγαλύτερο από το αντίστοιχο στο πόδα τους.

Σε όλες τις αναλύσεις που εκτελέσθηκαν (με διεύθυνση της διέγερσης παράλληλη προς το επίπεδο των πυλών) η μέγιστη αναπτυσσόμενη σεισμική ροπή στον πόδα των υποστυλωμάτων ήταν μικρότερη της ροπής αντοχής τους. Επομένως, η αλληλεπίδραση των αποκρίσεων της μεγάλης πύλης στις δύο διευθύνσεις μπορεί με ικανοποιητική προσέγγιση να αμεληθεί.

Η επιρροή της αξονικής συνιστώσας του σεισμού στην σχέση ροπής-καμπυλότητας θεωρήθηκε επίσης αμελητέα. (Βλέπε Τεχνική Έκθεση Μ. Χρονόπουλου).

5.2.3 Υστερητική και Βισκοελαστική Απόσβεση του Υλικού των Στύλων

Στο κριτήριο φόρτισης-αποφόρτισης που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της υστερητικής συμπεριφοράς των υποστυλωμάτων σε οριζόντια ανακυκλική φόρτιση έγινε η παραδοχή της ελαστικής αποφόρτισης-επανοφόρτισης. Η παραδοχή αυτή βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα των δοκιμών Push-over τόσο της μικρής όσο και της μεγάλης πύλης (Σχήματα 4.7 έως 4.10).

Η βισκοελαστική απόσβεση των κατασκευών εκτιμήθηκε πειραματικά με χρήση τριών επιταχυνσιόμετρων που τοποθετήθηκαν στις κορυφές των στύλων και στη μέση του “ζυγώματος”. Οι μετρήσεις έγιναν μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης. Ο συντελεστής βισκοελαστικής απόσβεσης υπολογίστηκε από τον τύπο :

$$\xi = \frac{1}{N} \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{A_0}{A_N} \right) \dots \quad (1)$$

όπου

N : ο αριθμός των κύκλων της ελεύθερης ταλάντωσης

A_0 : το πλάτος της επιτάχυνσης στον πρώτο κύκλο ελεύθερης ταλάντωσης (μετά την κρούση)

A_N : το πλάτος της επιτάχυνσης στον N -οστό κύκλο ελεύθερης ταλάντωσης (μετά την κρούση).

Ο συντελεστής βισκοελαστικής απόσβεσης για την μέν μικρή πύλη βρέθηκε ίσος με $\xi = 4.4\%$, για την δε μεγάλη ίσος με $\xi = 10\%$.

Η μεγάλη διαφορά του συντελεστή απόσβεσης της μεγάλης πύλης από αυτόν της μικρής αντικατροπτίζει την έντονη ελαστοπλαστική συμπεριφορά της πρώτης κατά την διάρκεια του σεισμικού επεισοδίου. Έτσι ένα μέρος του συντελεστού αυτού σχετίζεται με την αποδιοργάνωση του σκυρόδεματος στην

περιοχή των ρωγμών (υστερητική απόσβεση) και επομένως δεν παριστάνει με αυστηρότητα τον συντελεστή βισκοελαστικής απόσβεσης. Τελικώς τόσο για την μικρή όσο και για την μεγάλη πύλη ο συντελεστής αυτός επιλέχθηκε ίσος προς $\xi = 4\%$.

Η βισκοελαστική συμπεριφορά των πυλών προσομοιάσθηκε με την χρήση αποσβέσεως τύπου Rayleigh :

$$\xi = \frac{\beta_o}{\alpha_o} + \frac{\alpha_o \omega}{2} \quad (2)$$

όπου οι σταθεροί συντελεστές α_o , β_o προκύπτουν από την μητρωϊκή σχέση.

$$\begin{bmatrix} \beta_o \\ \alpha_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2\omega_i} & \frac{\omega_i}{2} \\ \frac{1}{2\omega_k} & \frac{\omega_k}{2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \xi_i \\ \xi_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

όπου ξ , η βισκοελαστική απόσβεση του υλικού και ω η ανακυκλική συχνότητα της διέγερσης. Οι τιμές των συντελεστών α_o και β_o επιλέχθηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε η απόσβεση ξ να λαμβάνει τιμές από 3% έως 4% για ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων της σεισμικής εξάιτησης.

5.2.4 Αλληλεπίδραση Πυλών-Εδάφους — Εδαφικά Ελατήρια

Η βαθμονόμηση των εδαφικών ελατηρίων προέκυψε από τον συνδυασμό της θεωρίας των εγκιβωτισμένων θεμελίων (Gazetas 1987) και την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της δοκιμής Push-over της μικρής πύλης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης στον πόδα των στύλων (βελόμετρα 3 και 4).

Η μητρωϊκή σχέση που συνδέει τα εντατικά μεγέθη (τέμνουσα (Q), καμπτική ροπή (M)) στην κορυφή της θεμελίωσης (θέσεις πακτώσεως των στύλων,

παραγρ. 5.2.1) με την οριζόντια μετακίνηση και στροφή στην ίδια θέση, έχει ως :

$$\begin{bmatrix} Q \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{HH} & K_{HR} \\ K_{RH} & K_{RR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{\tau} \\ \phi_b \end{bmatrix} \quad (4)$$

όπου :

K_{HH} : η οριζόντια δυσκαμψία του θεμελίου

K_{RR} : η λικνιστική δυσκαμψία του θεμελίου

K_{HR} : η συζευγμένη οριζόντια-λικνιστική δυσκαμψία του θεμελίου

u_{τ} : η οριζόντια μετακίνηση στην κορυφή της θεμελίωσης (ένδειξη βελομέτρων 3 και 4)

ϕ_b : η στροφή του θεμελίου

Λόγω της στατικής αοριστίας του προβλήματος (ελλείπει περισσότερων μετρήσεων) γίνονται οι εξής ορθολογιστικές παραδοχές :

⇒ Το θεμέλιο θεωρείται άκαμπτο. Επομένως ισχύει η σχέση

$$u_{\tau} = u_b + \phi_b D \quad (5)$$

όπου u_b η οριζόντια μετακίνηση της βάσης του θεμελίου και D το ύψος του θεμελίου (εντός και εκτός εδάφους).

⇒ Η οριζόντια μετακίνηση της βάσης του θεμελίου θεωρείται αμελητέα σε σχέση με την αντίστοιχη μετακίνηση στην κορυφή του. Επομένως η σχέση (5) διαμορφώνεται ως

$$u_{\tau} \approx \phi_b D \quad (6)$$

⇒ Η συμμετοχή της συζευγμένης οριζόντιας-λικνιστικής δυσκαμψίας στην απόκριση του θεμελίου θεωρείται ως αμελητέα, $K_{HR} \approx 0$

Με την χρήση των παραδοχών αυτών η σχέση (4) διατυπώνεται ως :

$$\begin{bmatrix} Q \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{HH} & 0 \\ 0 & K_{RR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{\tau} \\ \frac{u_{\tau}}{D} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Από την σχέση (7) προκύπτει

$$K_{HH} = \frac{Q}{u_{\tau}}, \quad K_{RR} = \frac{MD}{u_{\tau}} \quad (8)$$

$$\text{όμως} \quad Q = \frac{P}{2} \quad \text{και} \quad M = P I \quad (9)$$

όπου

P : Η επιβαλλομένη στην πύλη δύναμη

I : Η απόσταση του κέντρου εφαρμογής της δύναμης από το σημείο πακτώσεως.

Αρα,

$$K_{HH} = \frac{P}{2u_{\tau}}, \quad K_{RR} = \frac{P \ell D}{2 u_{\tau}} \quad (10)$$

Για την βαθμονόμηση των K_{HH} και K_{RR} χρησιμοποιήθηκαν τιμές του ζεύγους δύναμης-μετακίνησης ($P-u_{\tau}$) ; για τις οποίες ισχύει $0 \leq P_i \leq 4 \text{ kN}$. Τελικώς για την οριζόντια και λικνιστική δυσκαμψία στην κορυφή των θεμελίων επιλέχθηκαν οι μέσοι όροι του δείγματος $(P - u_{\tau})_i$, $i = 0, \dots, n$

$$\bar{K}_{HH} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{u_{\tau i}}, \quad \bar{K}_{RR} = \ell D \bar{K}_{HH} \quad (11)$$

για $I \approx 1.90$ και $D \approx 1.00 \text{ m}$ προέκυψε για όλα τα θεμέλια :

$$\bar{K}_{HH} = 10500 \text{ kN / m}$$

$$\bar{K}_{RR} = 20000 \text{ kN m / rad}$$

Η επιρροή της ενδοσιμότητας της θεμελίωσης στην στατική συμπεριφορά της μικρής πύλης δείχνεται στο **Σχήμα 5.2**.

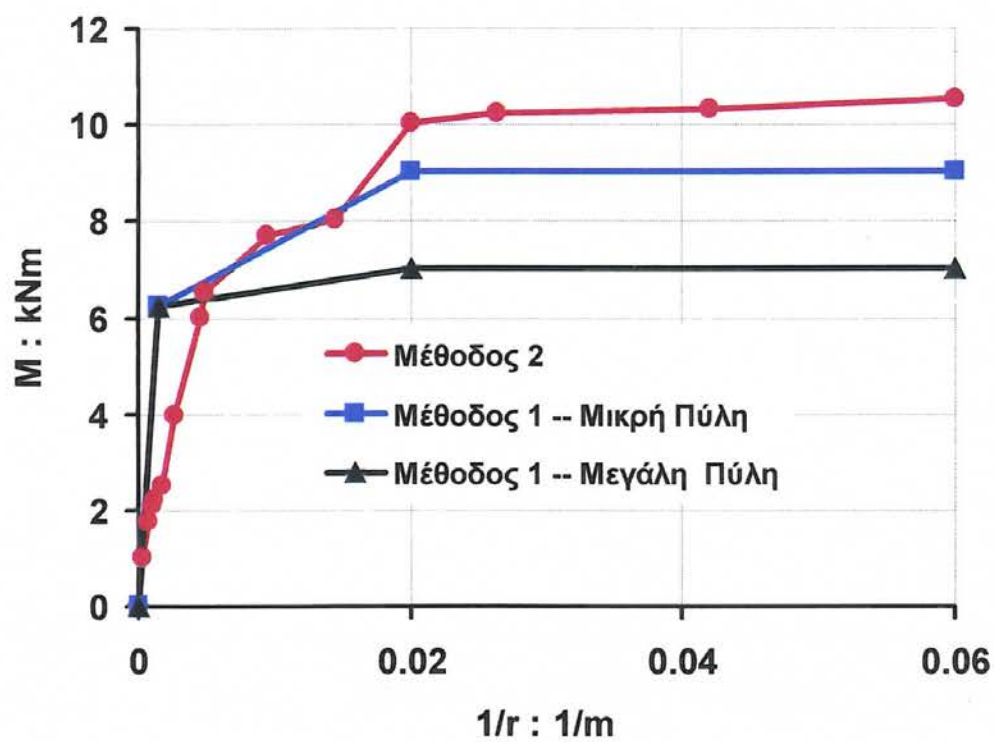
5.3 Μεθοδολογία Εκτίμησης των Εδαφικών Επιταχύνσεων

Από τις μετασεισμικές παρατηρήσεις των πυλών σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των δοκιμών Push-over καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα για την πιθανή απόκριση των πυλών κατά την διάρκεια του σεισμικού επεισοδίου.

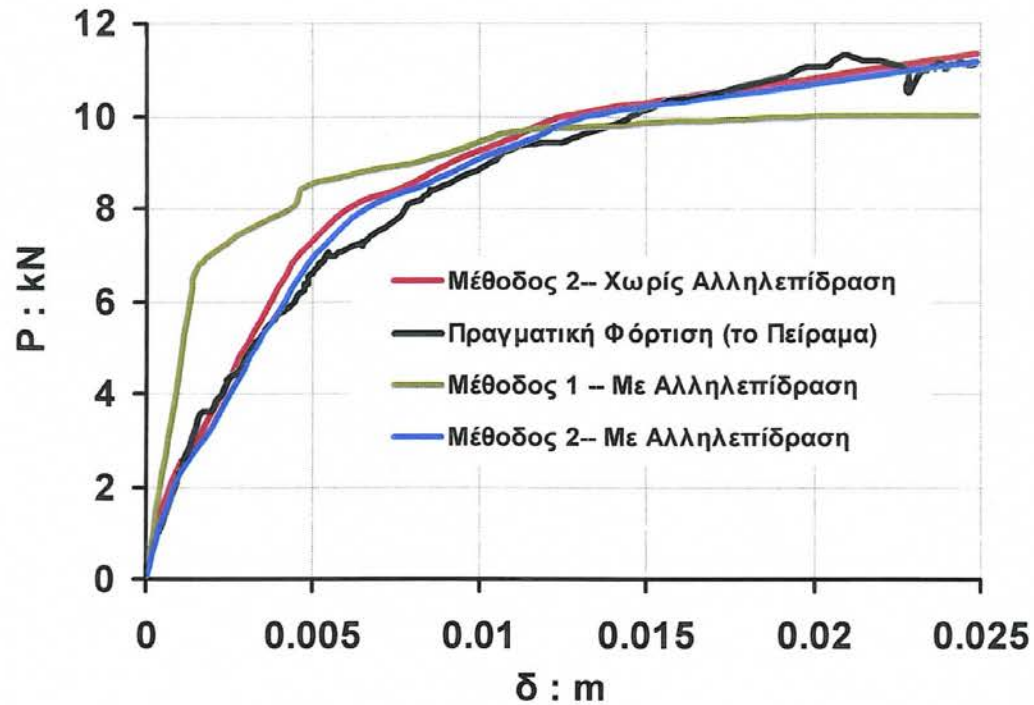
- Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι η μικρή πύλη μόλις είχε αρχίσει να αναπτύσσει ρωγμές κατά τον σεισμό (3 τριχοειδείς ρωγμές στον πόδα των υποστυλωμάτων) καί ότι κατά την εκτέλεση της δοκιμής Push-over οι πρώτες ρωγμές στον πόδα των στύλων εμφανίσθηκαν για επιβαλλόμενη δύναμη $P = 3.7 \text{ kN}$, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μέγιστη σεισμική ροπή που αναπτύχθηκε στην πύλη στην διάρκεια του σεισμού ήταν ίση με $M_{\max} = 4 \text{ kNm}$ έως 8 kNm . Για ροπές κάμψης μεγαλύτερες των 8 kNm παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση νέων ρωγμών ενώ διευρύνθηκαν σημαντικά οι ήδη υπάρχουσες (βλ. **Σχήμα 5.3**)
- Η μεγάλη πύλη συμπεριφέρθηκε εντόνως ελαστο-πλαστικά κατά τον σεισμό. Η άποψη αυτή ενισχύεται αφενός από το μεγάλο εύρος των παρατηρηθεισών ρωγμών στις “κρίσιμες” περιοχές των υποστυλωμάτων της μετά το τέλος του σεισμικού επεισοδίου, και αφετέρου από τα αποτελέσματα της δοκιμής Push-over που έδειξαν ότι η κλίση της καμπύλης φόρτισης της μεγάλης πύλης ήταν σχεδόν ίση με την κλίση της καμπύλης αποφόρτισης-επαναφόρτισης της μικρής (**Σχήμα 5.4**). Επομένως η μέγιστη σεισμική ροπή που αναπτύχθηκε στην μεγάλη πύλη κατά την διάρκεια του σεισμού πρέπει να έφθασε την ροπή αντοχής της. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής Push-over της

μικρής πύλης το μέγιστο μετρημένο εύρος ρωγμής που αντιστοιχούσε σε επιβαλλόμενη δύναμη $P = 8.2 \text{ kN}$ ήταν περίπου ίσο με το αντίστοιχο μέγιστο εύρος ρωγμής στην μεγάλη πύλη μετά το τέλος του σεισμού. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψιν ότι το παραμένον εύρος (το εύρος μετά την αποφόρτιση) των ρωγμών είναι μικρότερο από αυτό που αναπτύσσεται στην μέγιστη επιβαλλόμενη φόρτιση (μέγιστο εύρος ρωγμής) εκτιμήσαμε ότι μέγιστη σεισμική ροπή που αναπτύχθηκε στην μεγάλη πύλη στην διάρκεια του σεισμού ήταν ίση με την ροπή αντοχής της, $M_R \approx 10.3 \text{ kNm}$. Δηλαδή, $M_{\max} > 10 \text{ kNm}$

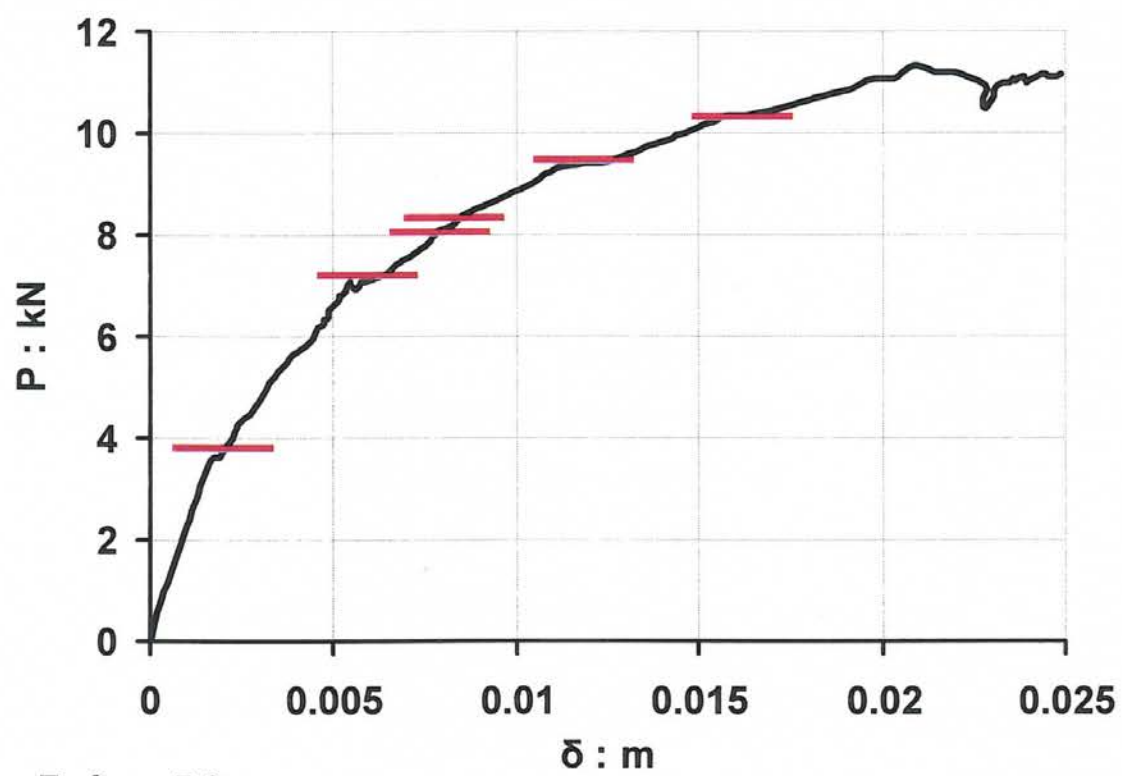
Από τις μέγιστες επιταχύνσεις των πιθανών χρονοϊστοριών της επιτάχυνσης στην περιοχή των Αχαρνών (που χρησιμοποιήθηκαν ως διεγέρσεις στο αριθμητικό μας προσομοίωμα) επιλέχθηκαν αυτές για τις οποίες η δυναμική απόκριση των πυλών ικανοποίησε τις συνθήκες που περιγράψαμε σ' αυτήν εδώ την παράγραφο.



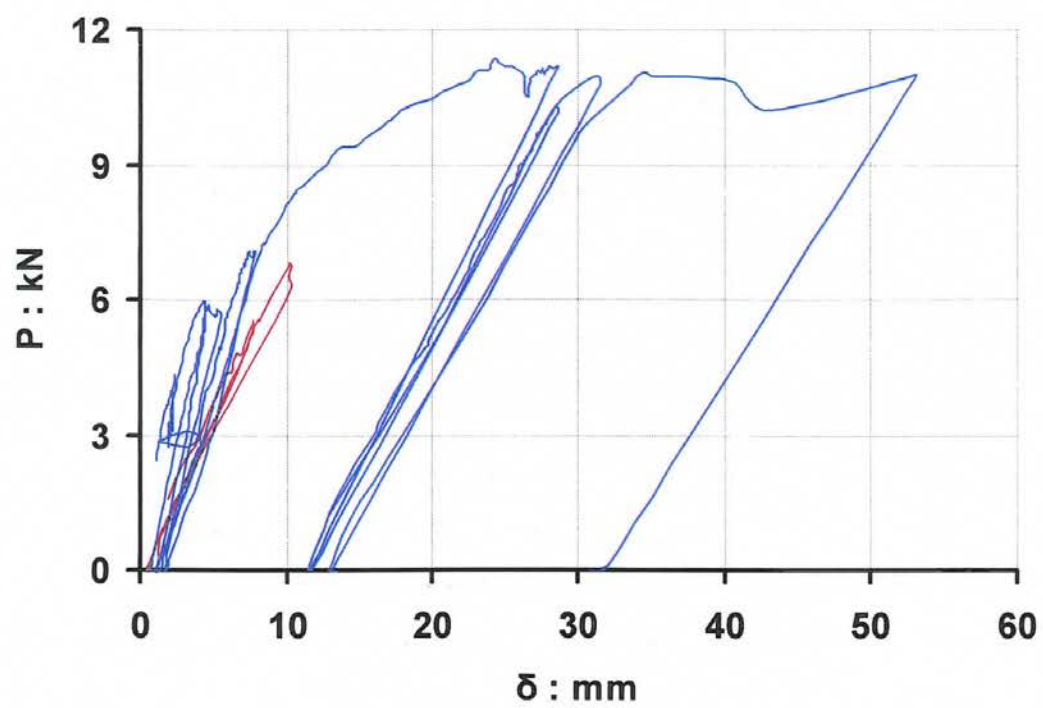
Σχήμα 5.1



Σχήμα 5.2



Σχήμα 5.3



Σχήμα 5.4

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εκτελέσθηκαν αντίστροφες δυναμικές αναλύσεις με τις καταγραφές των Σεπολίων (διαμήκης και εγκάρσια συνιστώσα) του ΚΕΔΕ (εγκάρσια συνιστώσα) και του TEMPLOR ως διεγέρσεις. Η επιρροή της σχέσης ροπής-καμπυλότητας των διατομών των στύλων και της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης στην δυναμική απόκριση των πυλών διερευνήθηκε παραμετρικά. Η διδιάστατη οριζόντια διεύθυνση του σεισμικού κραδασμού λήφθηκε υπόψιν με την πραγματοποίηση ανεξαρτήτων αναλύσεων στις δύο διευθύνσεις. Οι εκτελεσθείσες δυναμικές αναλύσεις συνοψίζονται στον **Πίνακα 6.1**.

Το εύρος των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων που χρησιμοποιήθηκαν στις εν λόγω αναλύσεις κυμάνθηκε από 0.4 g έως 0.75 g.

Πίνακας 6.1

Μικρή & Μεγάλη Πύλη					
Διεγέρσεις					
Σχέσεις M-r	ΚΕΔΕ-T	SEPOLIA-L	SEPOLIA-T	TEMPLOR	
Μέθοδος 1	✓	✓	✓	✓	Εγκάρσια διεύθυνση
Μέθοδος 2 (Αντιστ. Αναλύσεις)	✓	✓	✓	✓	

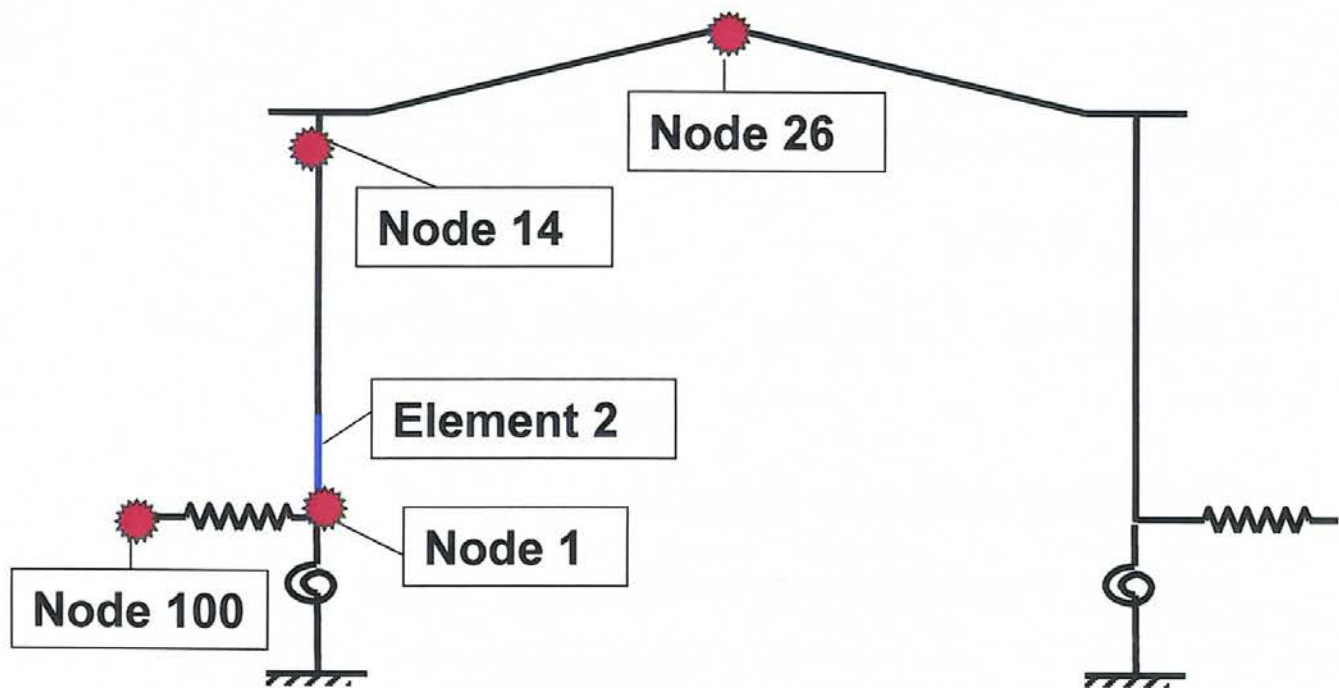
Μεγάλη Πύλη					
Μέθοδος 1					Διαμήκης διεύθυνση
Μέθοδος 2 (Αντιστ. Αναλύσεις)	✓	✓			

Στο **Σχήμα 6.1** απεικονίζονται οι θέσεις των στοιχείων και των κόμβων των αριθμητικών προσομοιωμάτων (των δύο πυλών) που επιλέχθησαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται υπό την μορφή διαγραμμάτων χρονοϊστοριών : ροπής, σχετικών μετακινήσεων, επιταχύνσεων και υστερητικών διαγραμμάτων : ροπής-καμπυλότητας, τέμνουσας δύναμης-σχετικής μετακίνησης. Οι υπολογισθείσες πιθανές μέγιστες σεισμικές επιταχύνσεις παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.2** συναρτήσει των καταγραφών που επιλέχθησαν ως διεγέρσεις.

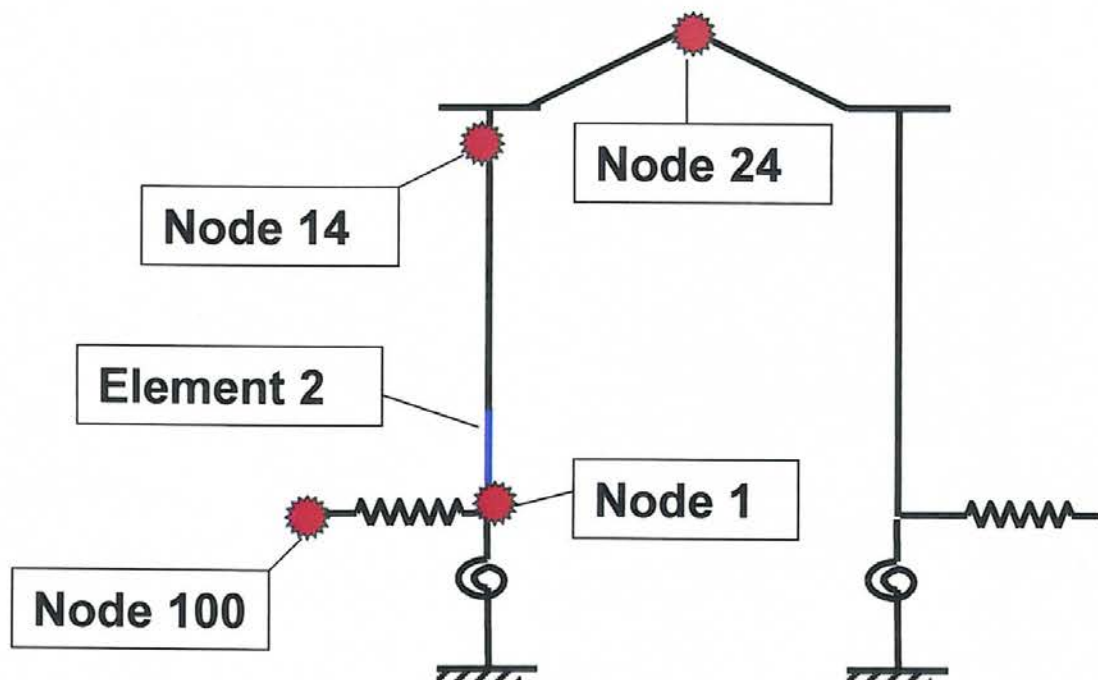
Πίνακας 6.2

Καταγραφές	SEPOLIA-L	SEPOLIA-T	KEDE-T	TEMLOR
A_{\max} (g)	0.50-0.60	0.60-0.75	0.55-0.65	0.60-0.75

Θέσεις Κόμβων και Στοιχείων Αναφοράς



Μεγάλη Πύλη



Μικρή Πύλη

Σχήμα 6.1

Μεγάλη Πύλη

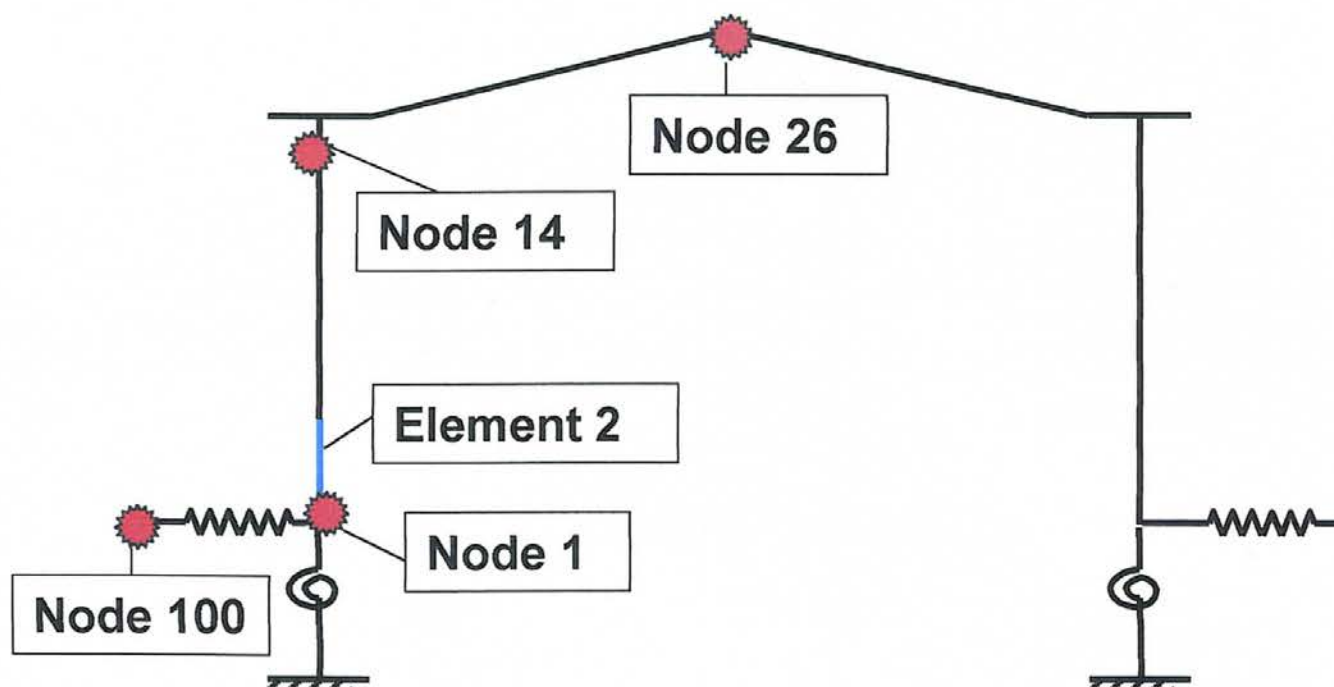
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

$PGA : 0.40g$

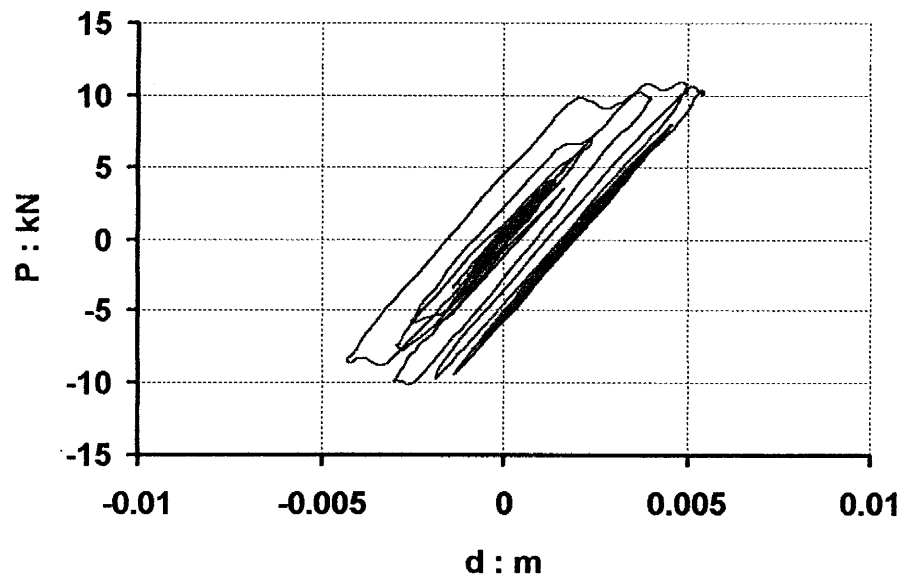
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

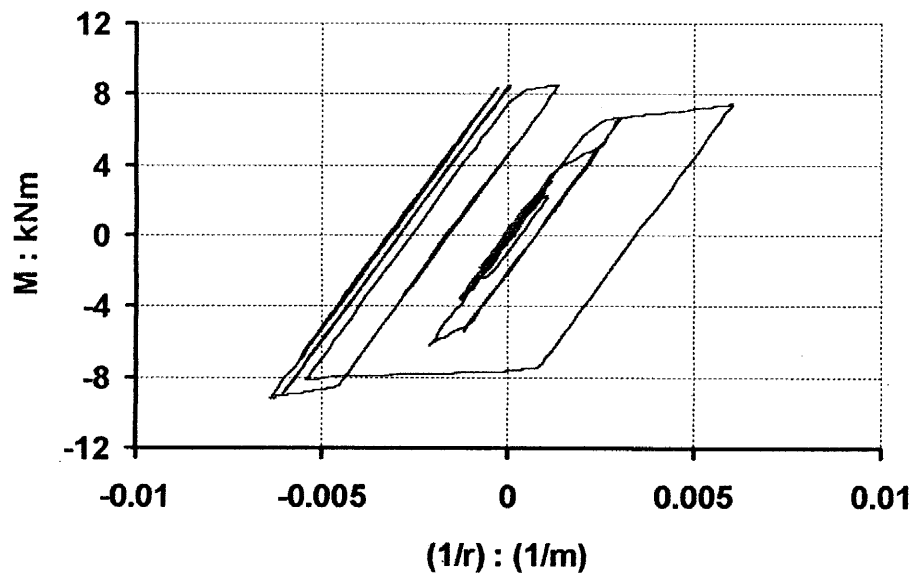
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



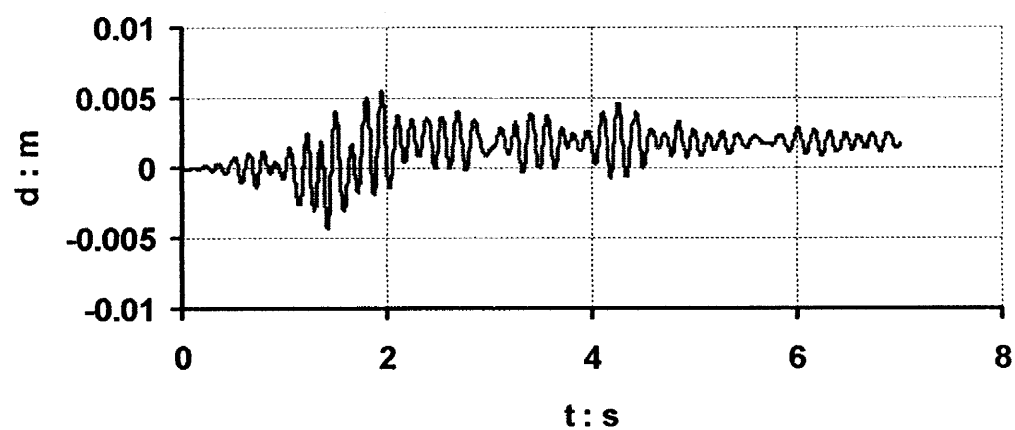
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



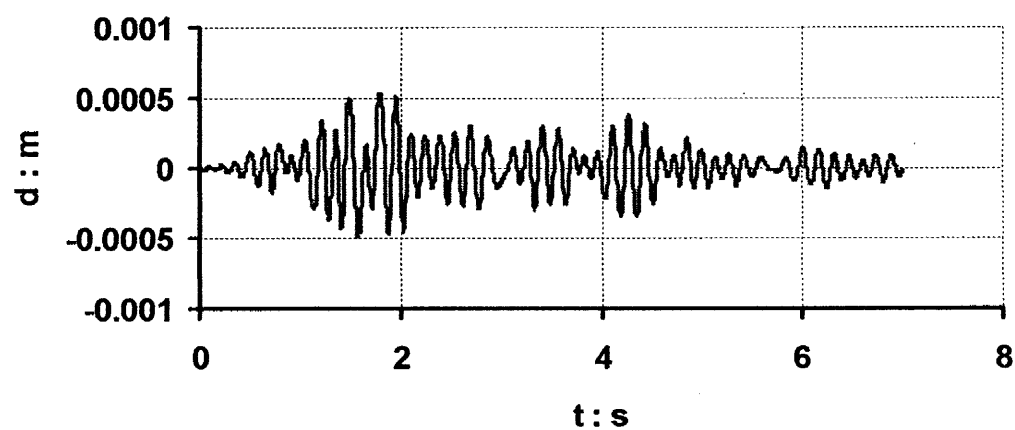
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



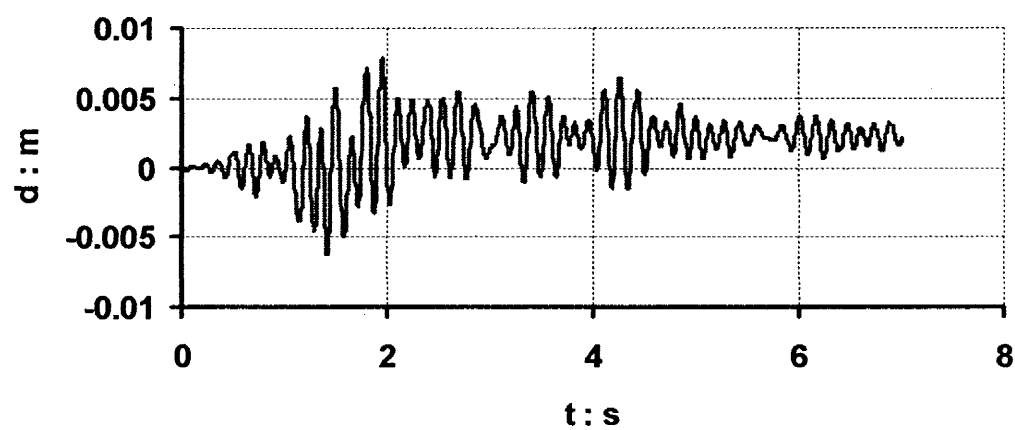
relative displacement : node14 - node100



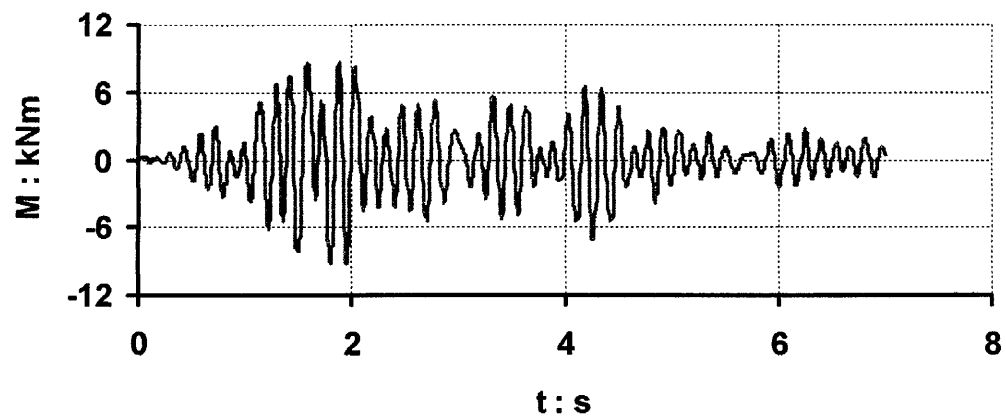
relative displacement : node1 - node100



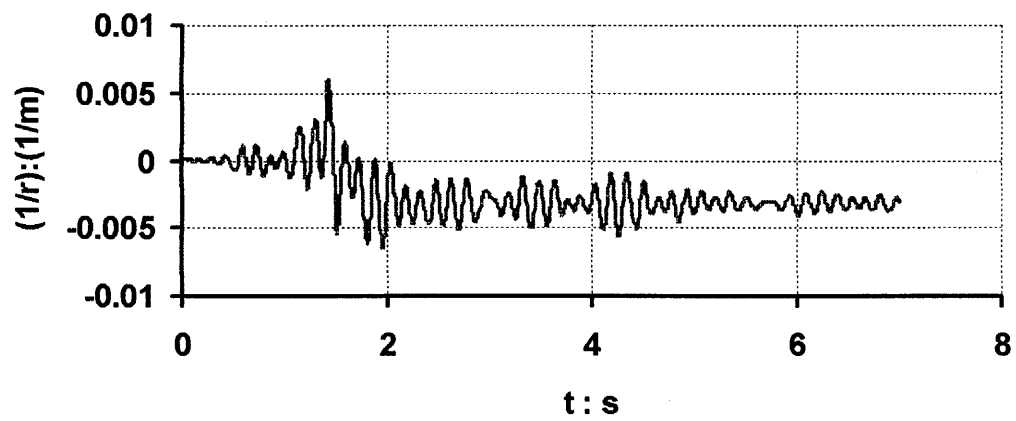
relative displacement : node26 - node100



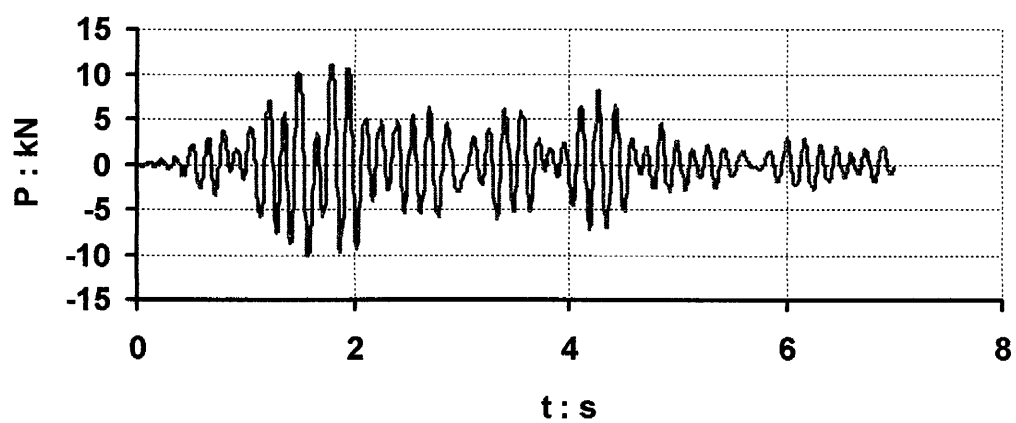
Bending Moment : element 2



Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μεγάλη Πύλη

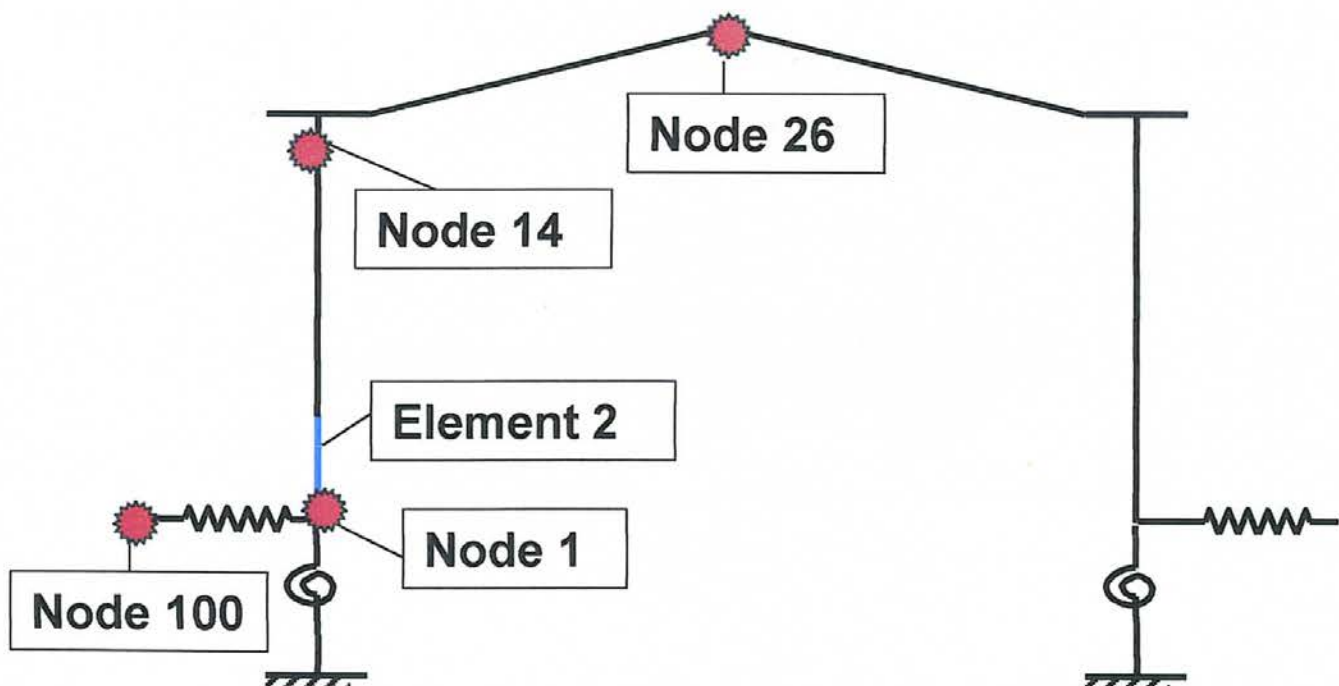
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.50g

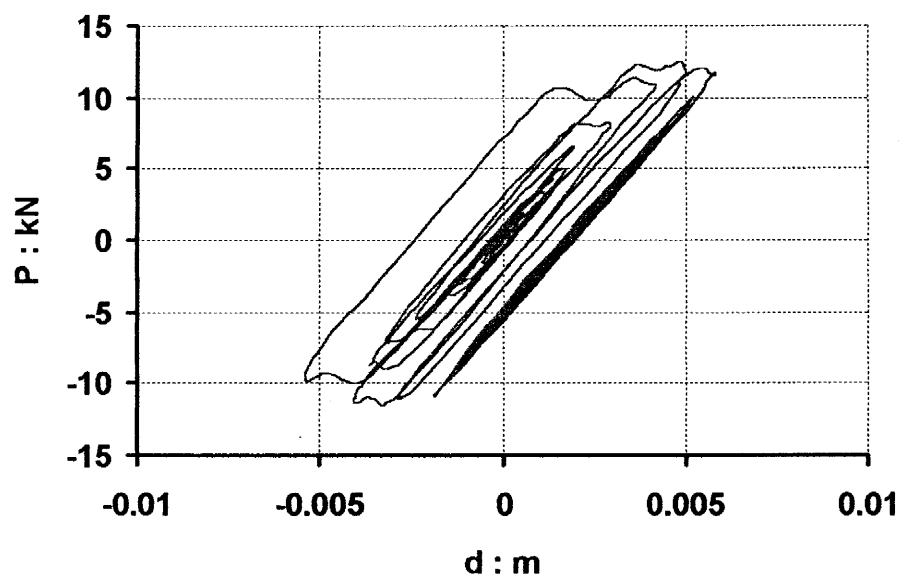
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

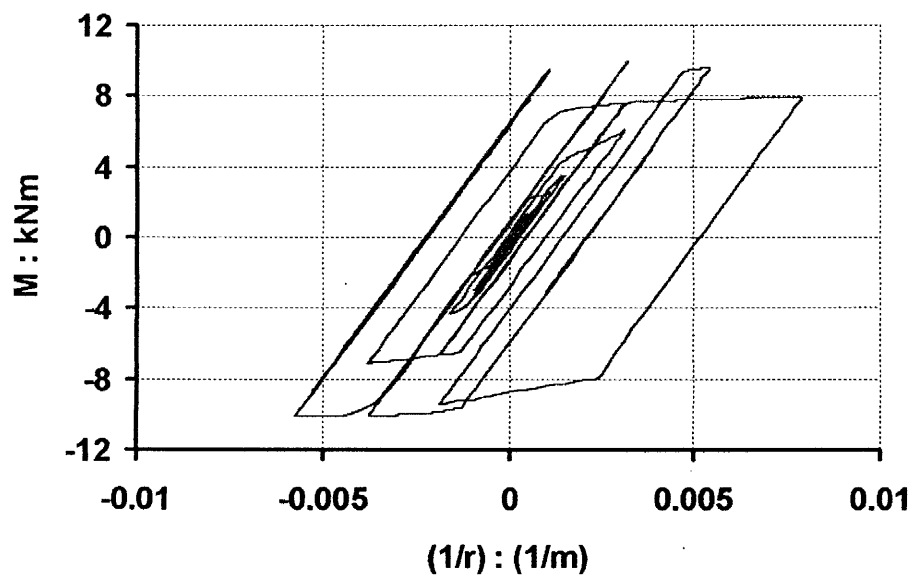
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



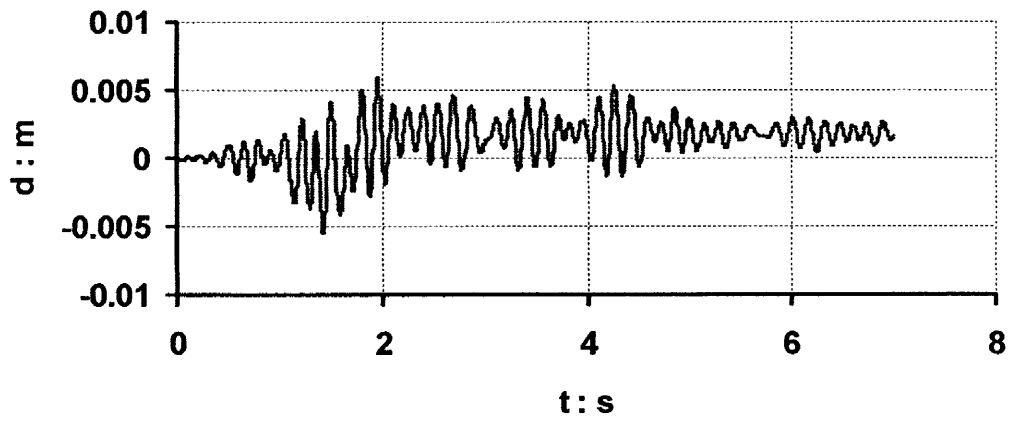
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



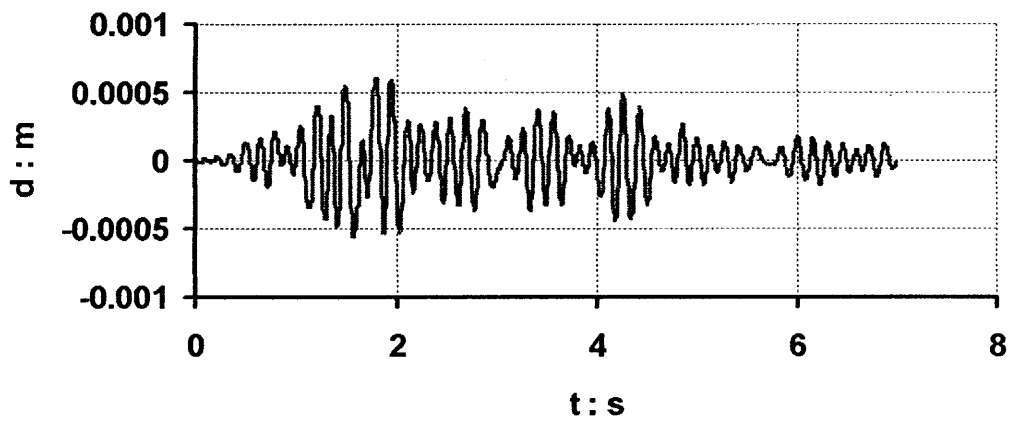
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



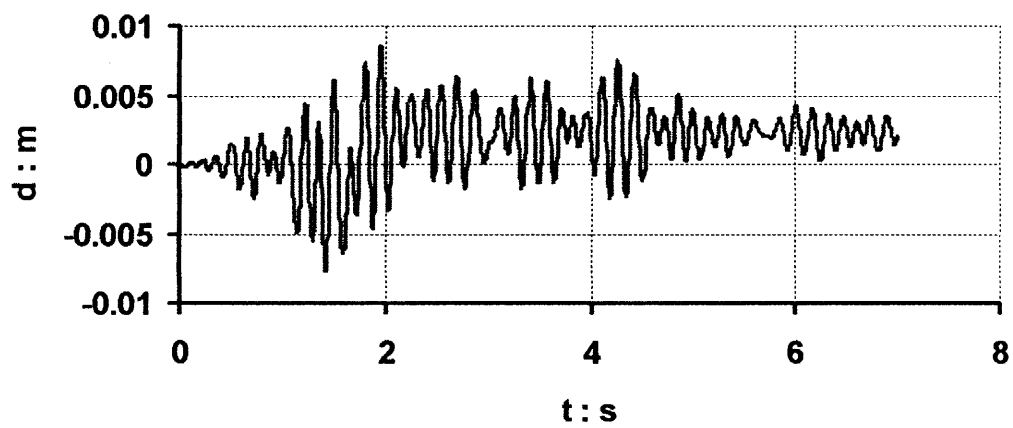
relative displacement : node14 - node100



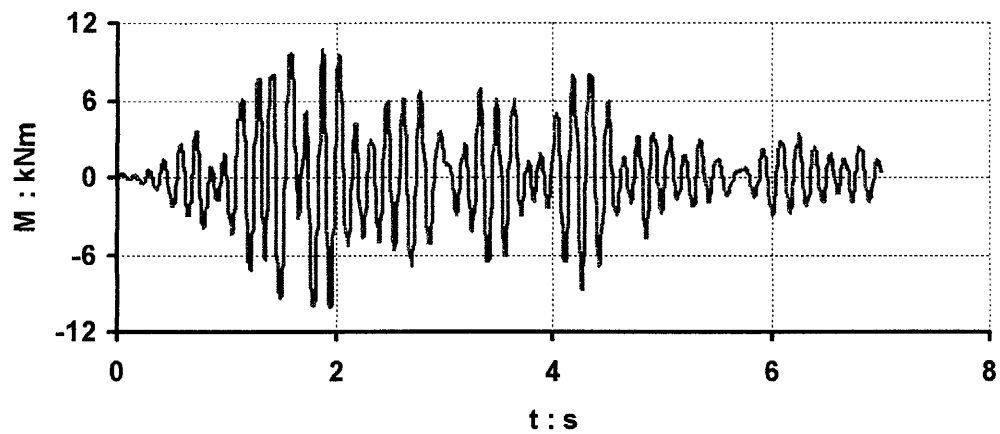
relative displacement : node1 - node100



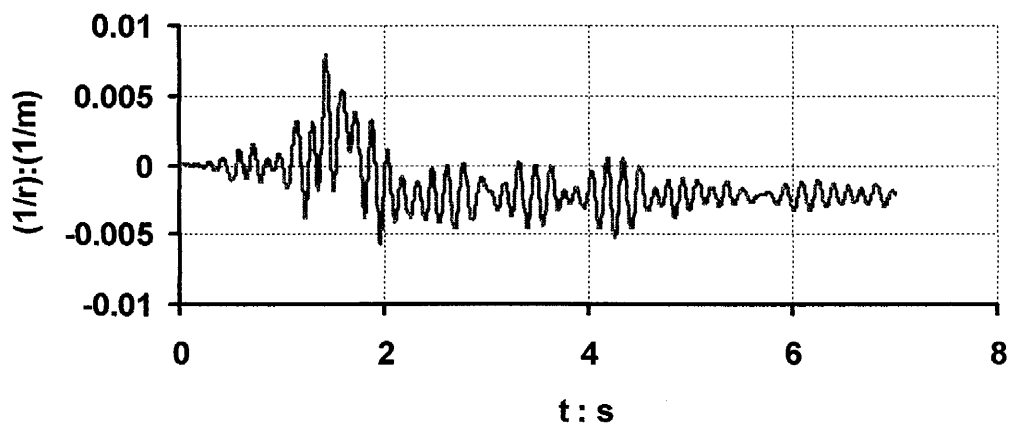
relative displacement : node26 - node100



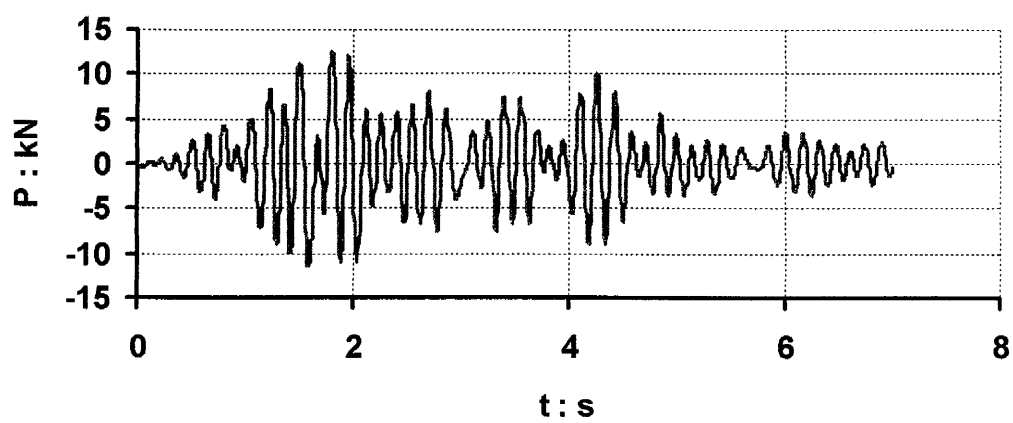
Bending Moment : element 2



Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μεγάλη Πύλη

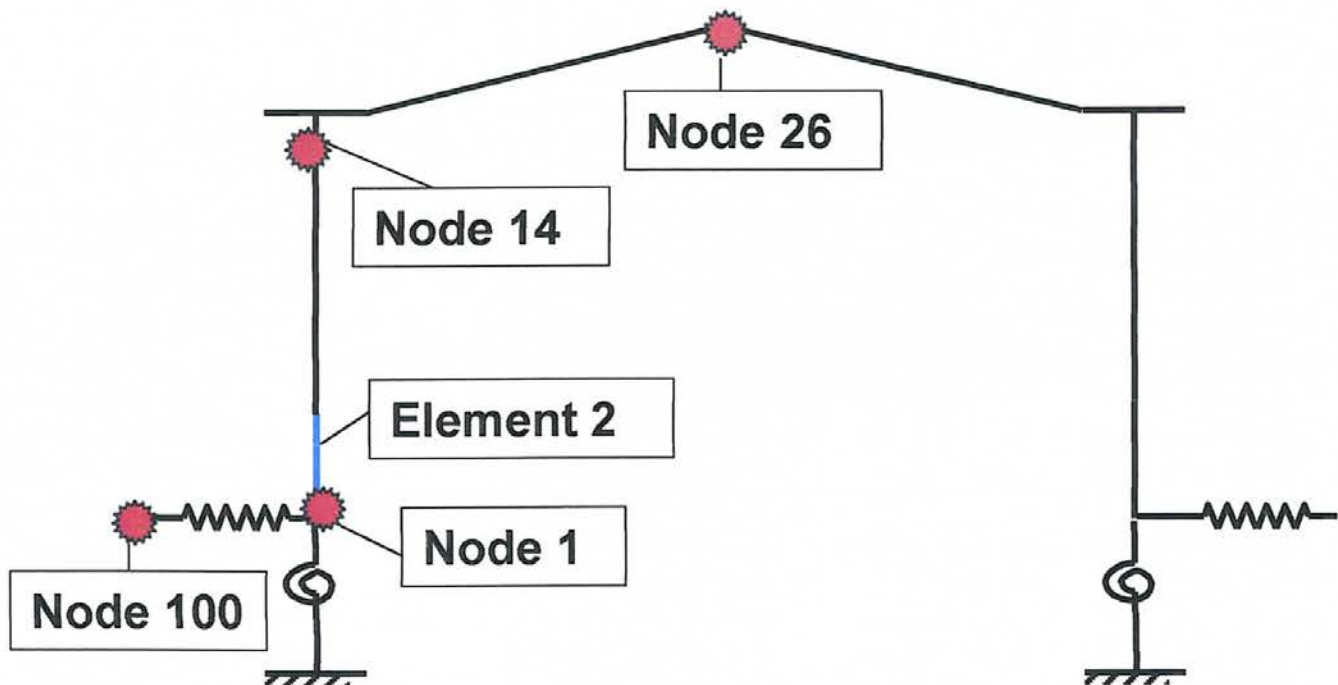
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.60g

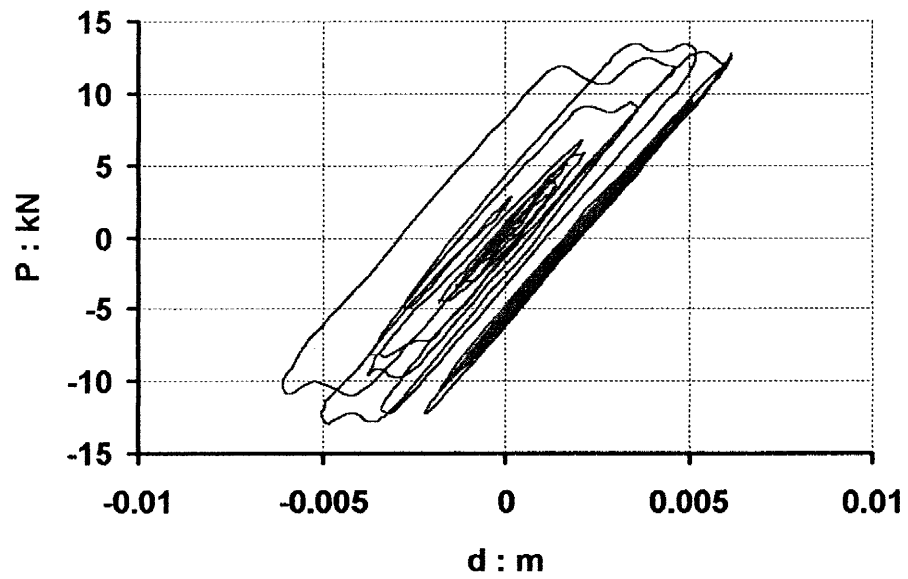
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

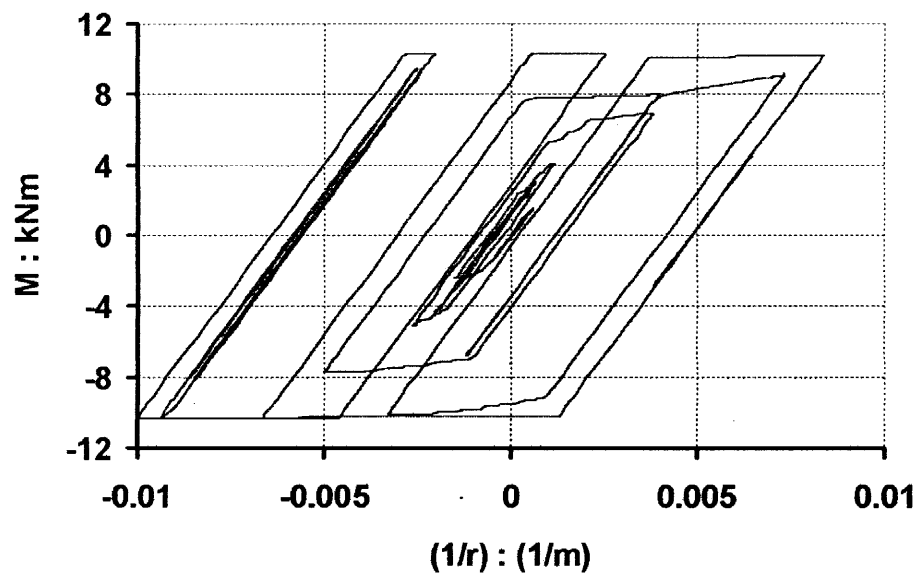
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



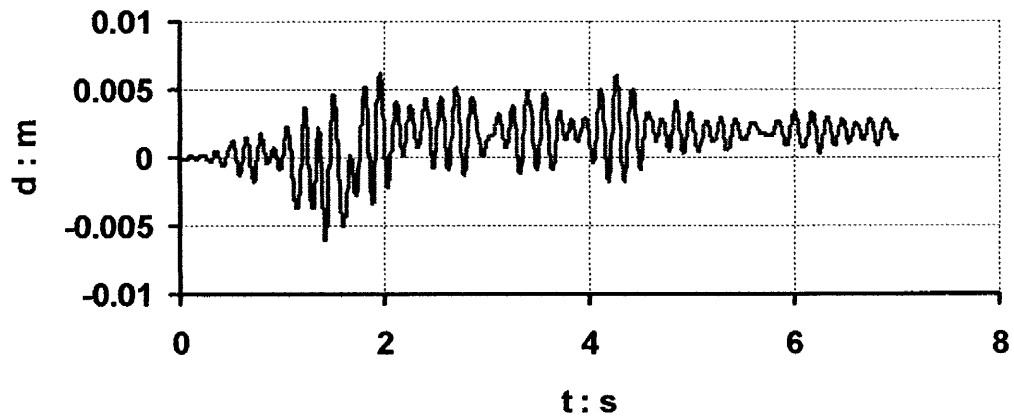
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



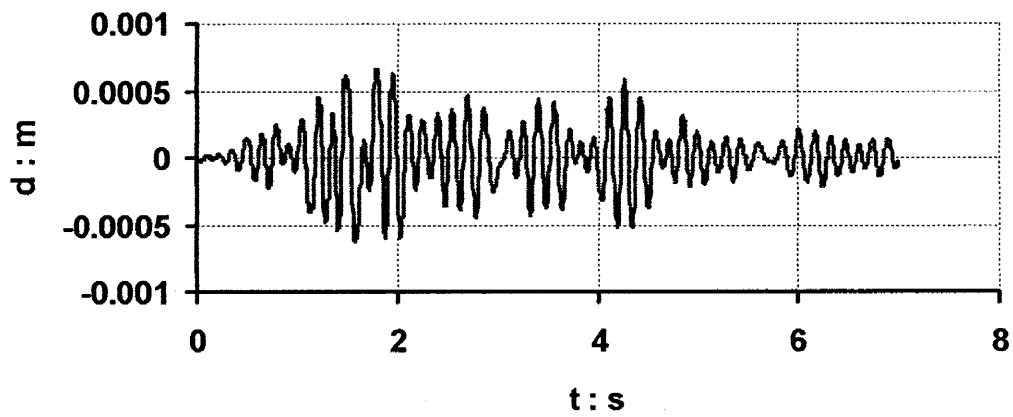
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



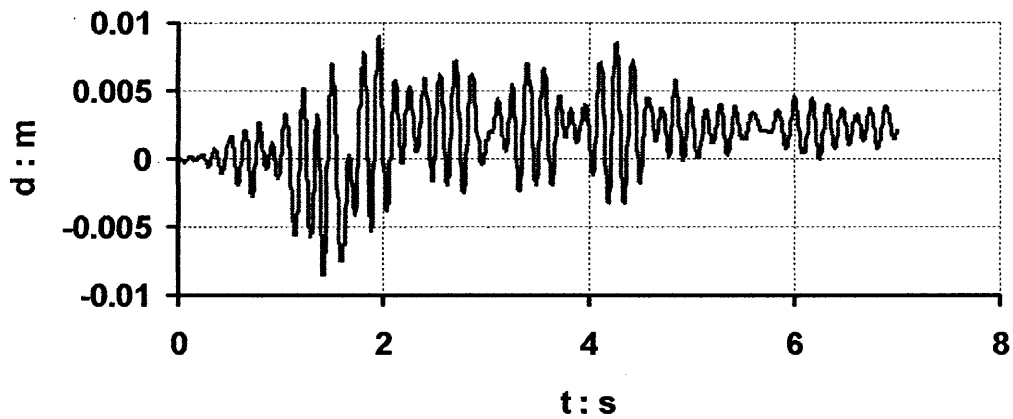
relative displacement : node14 - node100



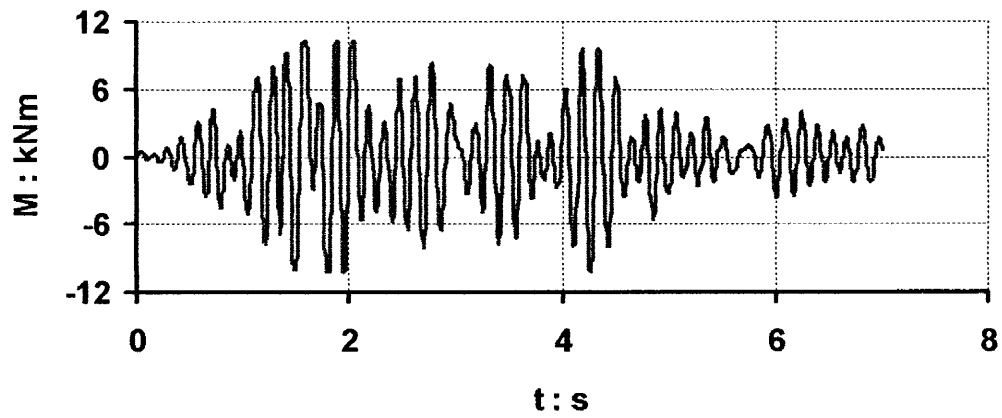
relative displacement : node1 - node100



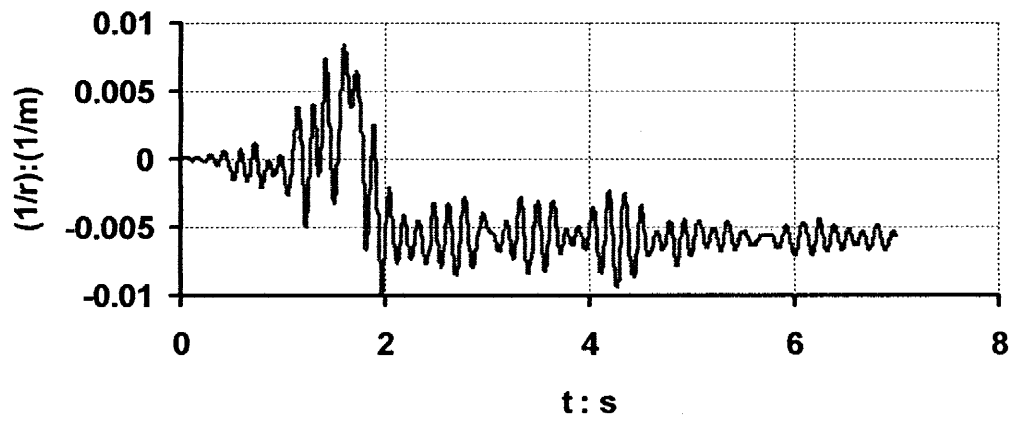
relative displacement : node26 - node100



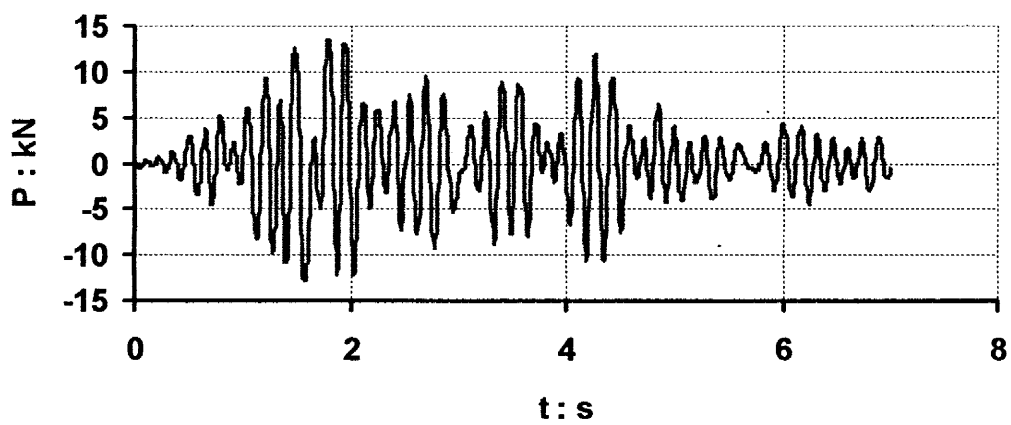
Bending Moment : element 2



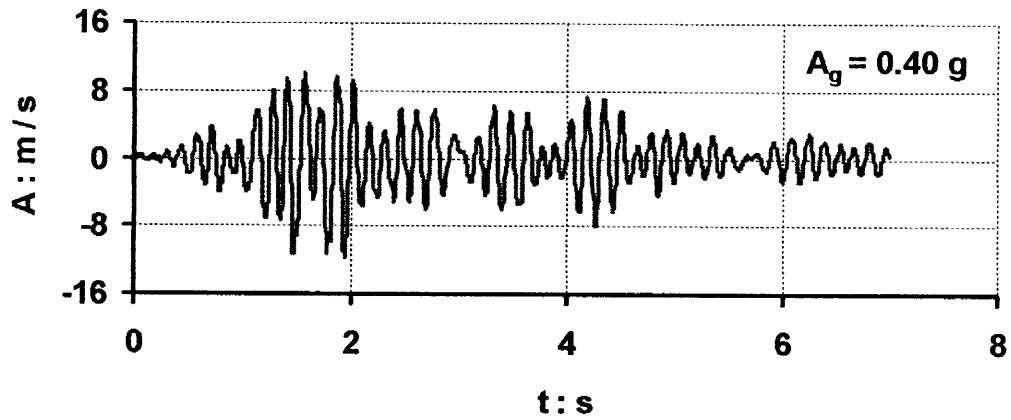
Curvature : element 2



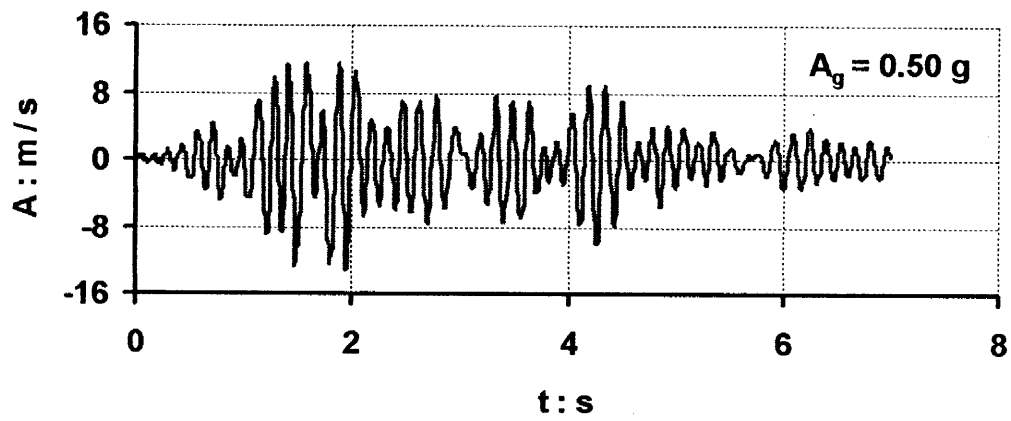
Shear Force x 2 : element 2



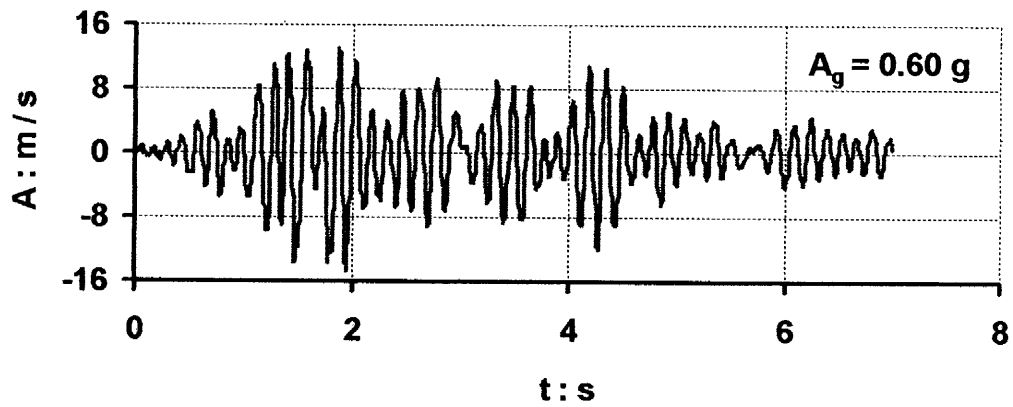
Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Μεγάλη Πύλη

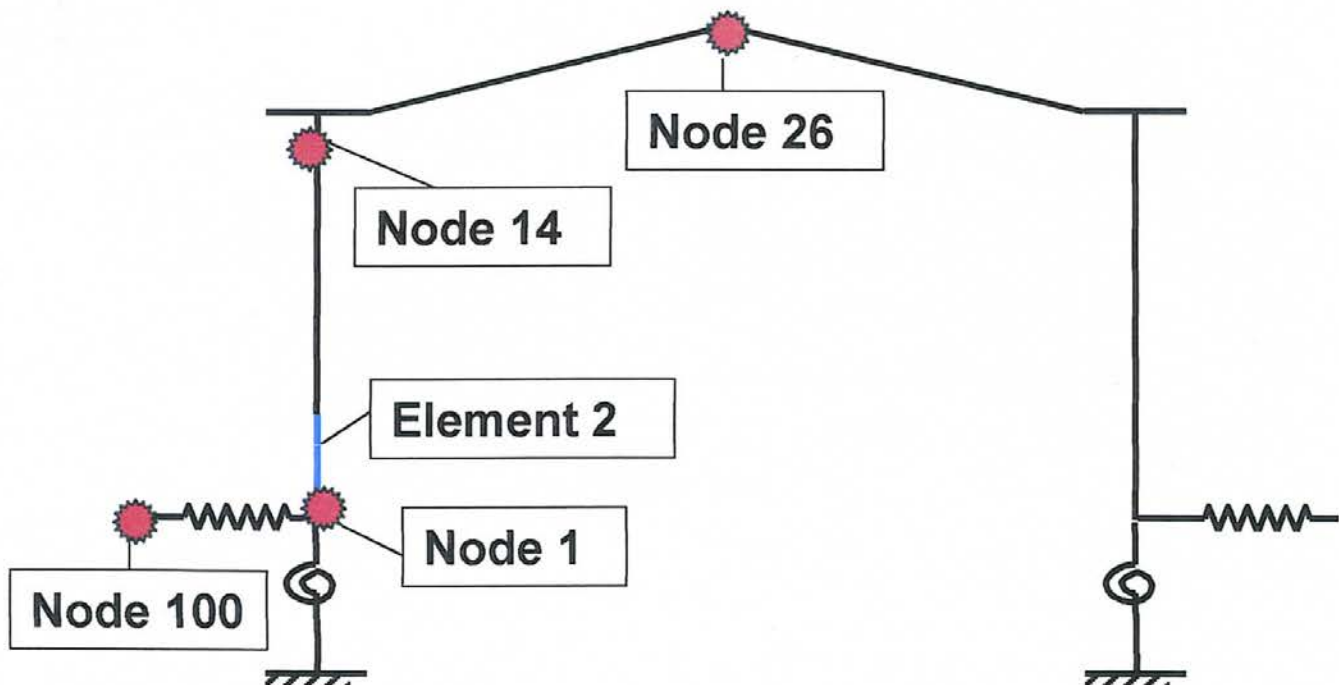
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.40g

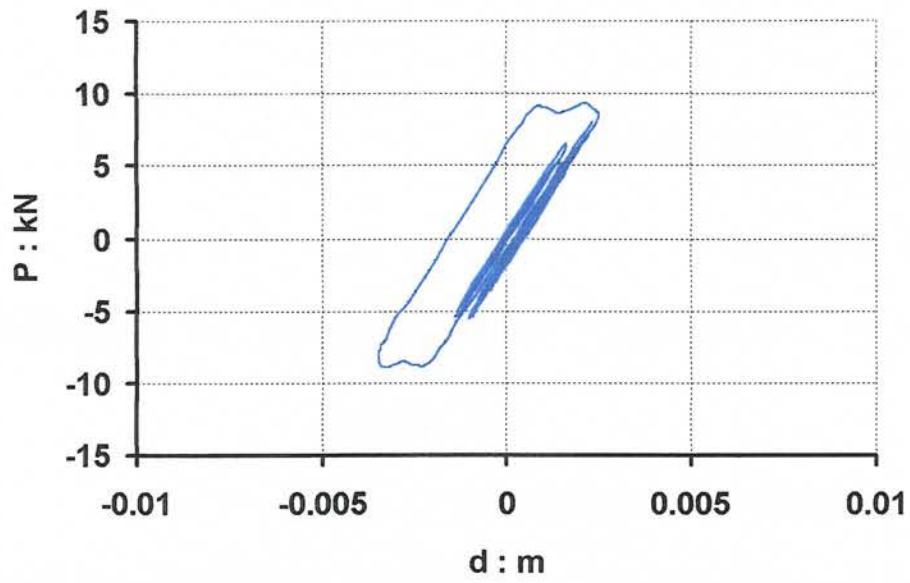
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

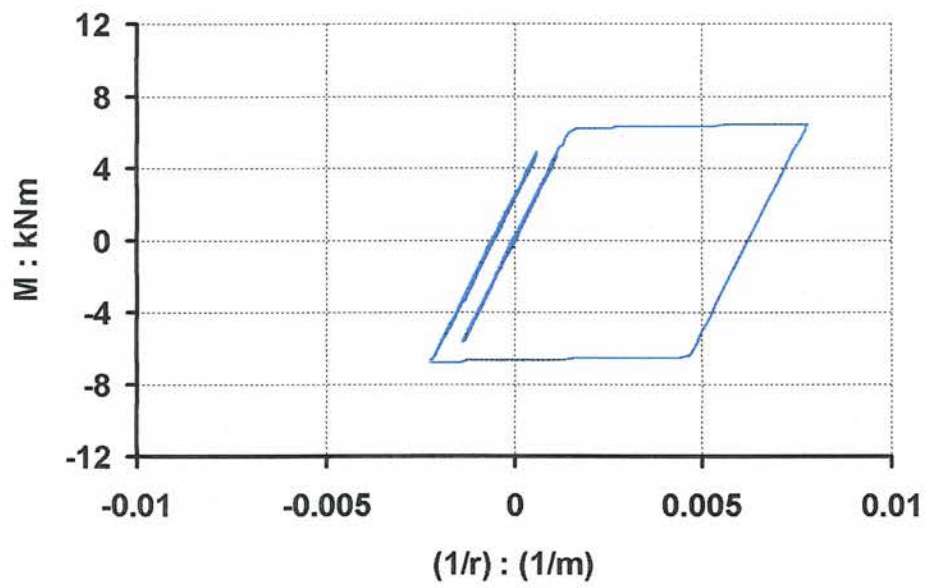
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



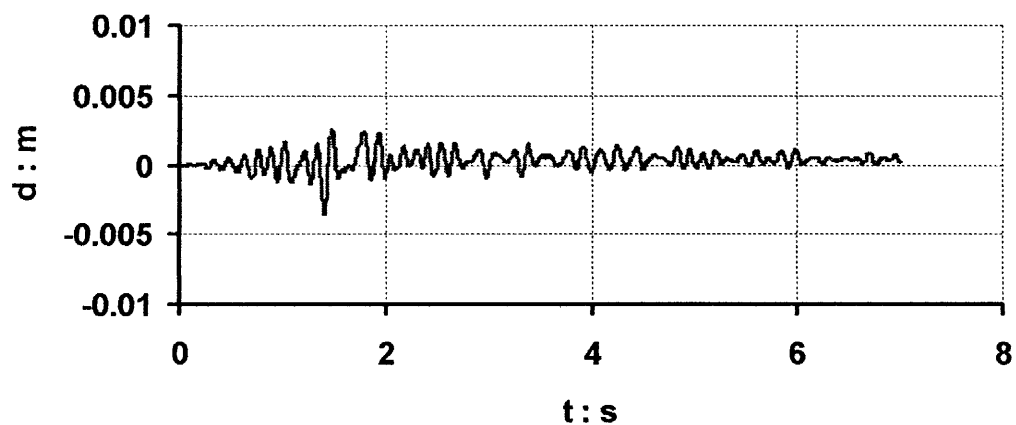
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



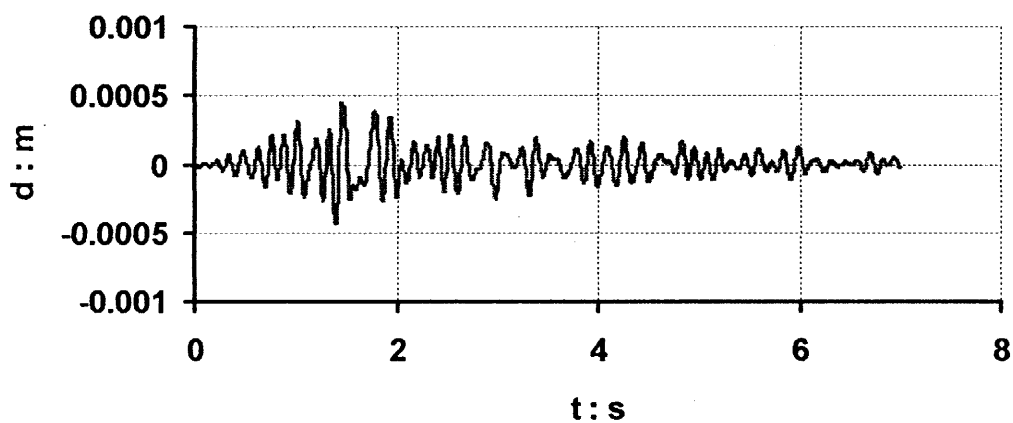
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



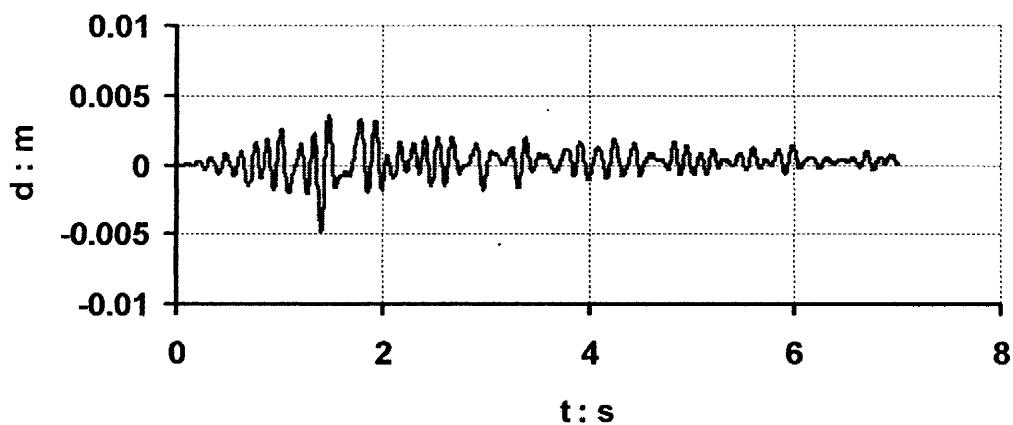
relative displacement : node14 - node100



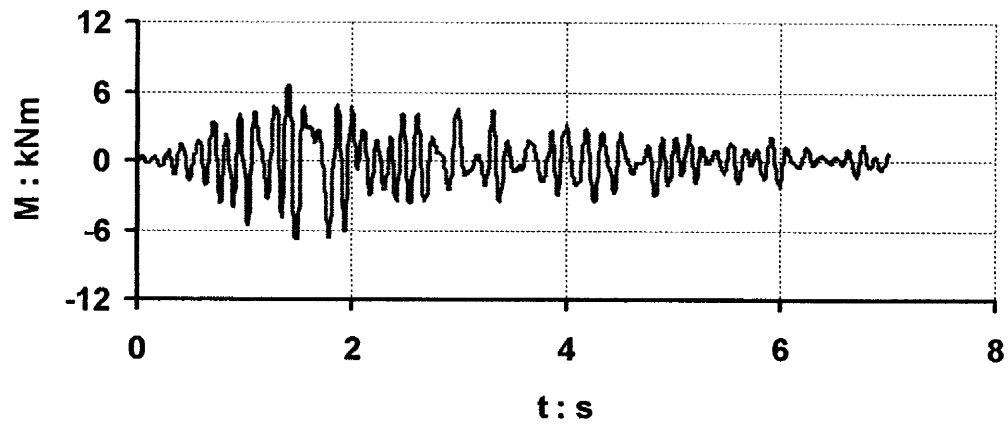
relative displacement : node1 - node100



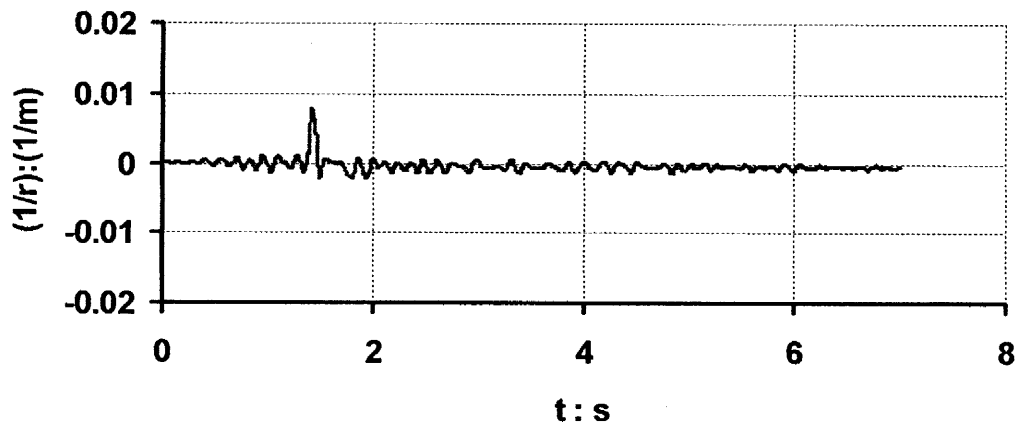
relative displacement : node26 - node100



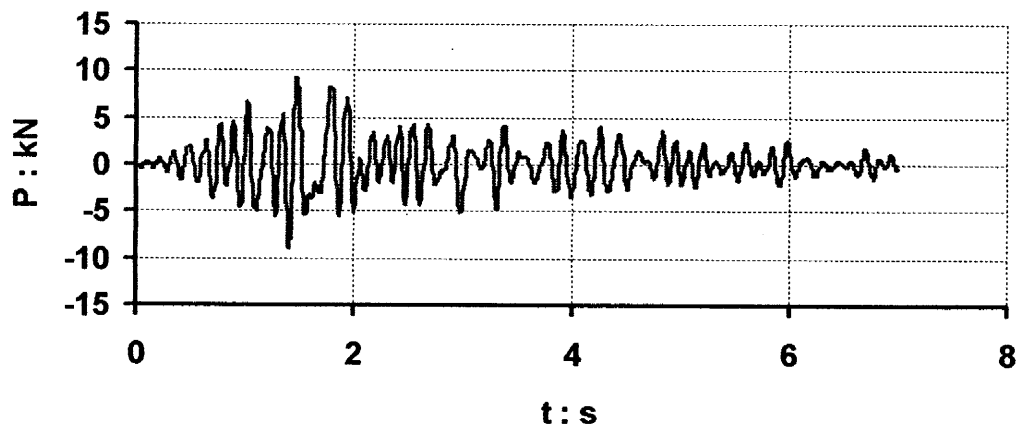
Bending Moment : element 2



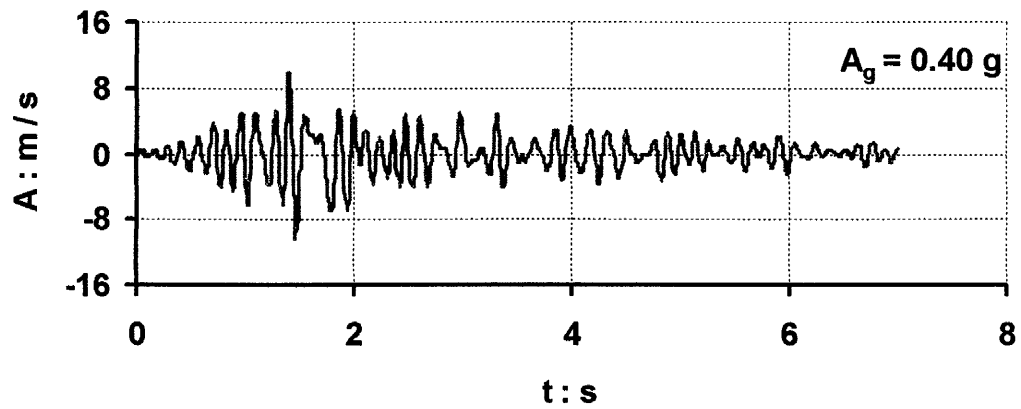
Curvature : element 2



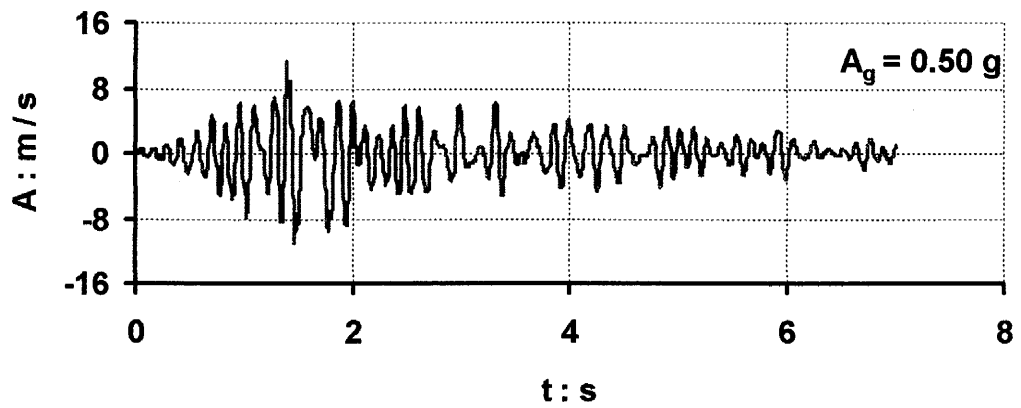
Shear Force x 2 : element 2



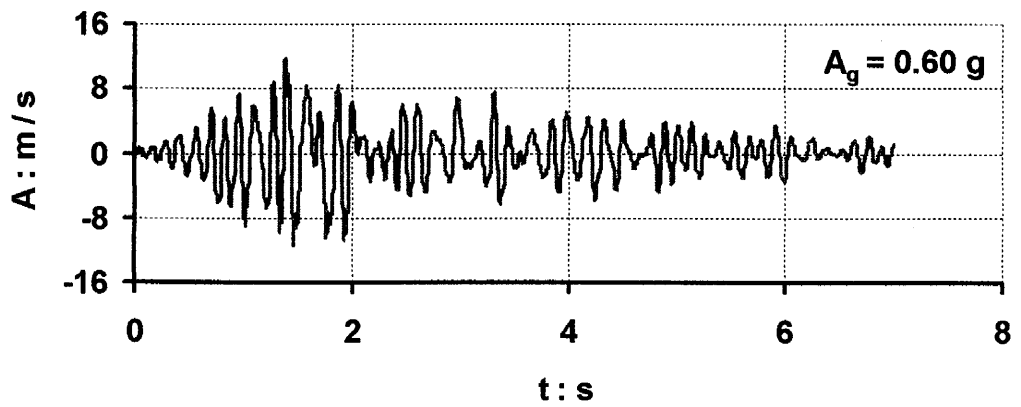
Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Μεγάλη Πύλη

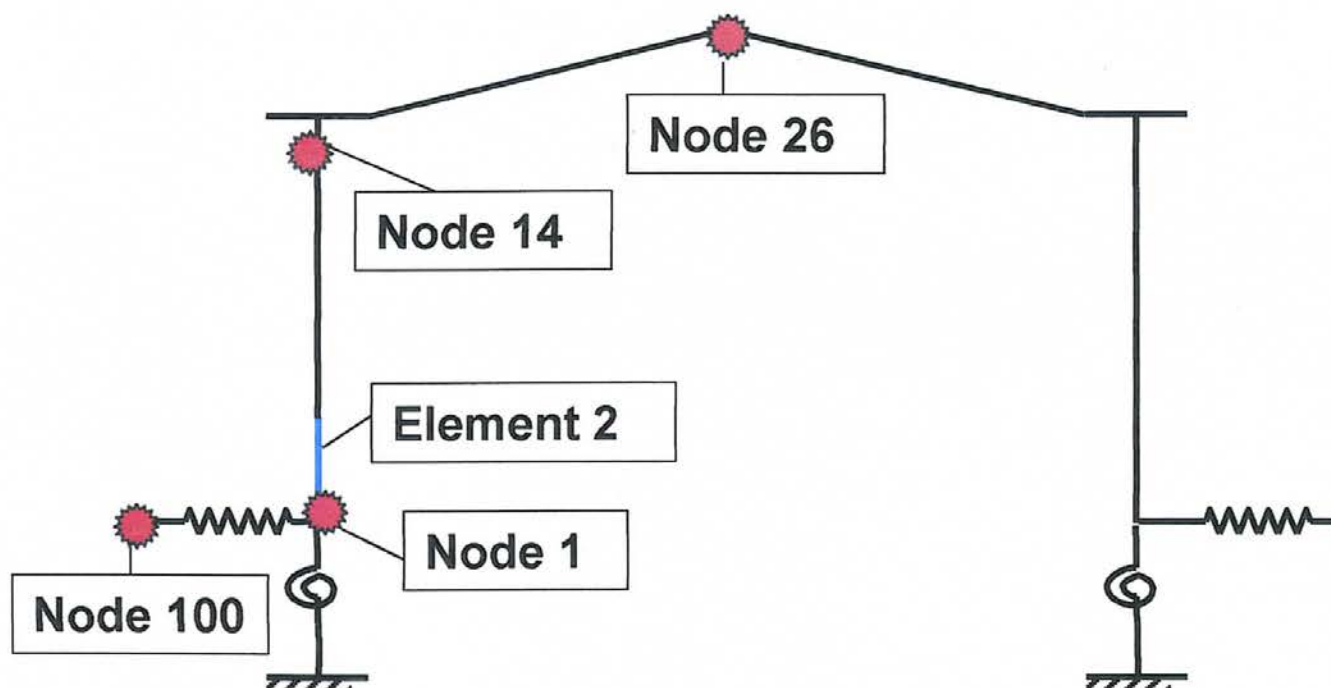
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.50g

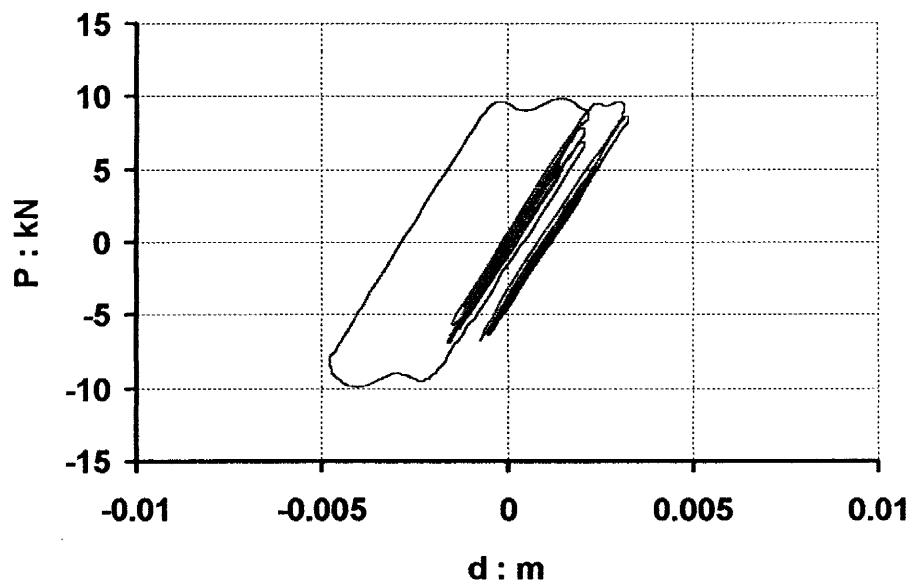
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

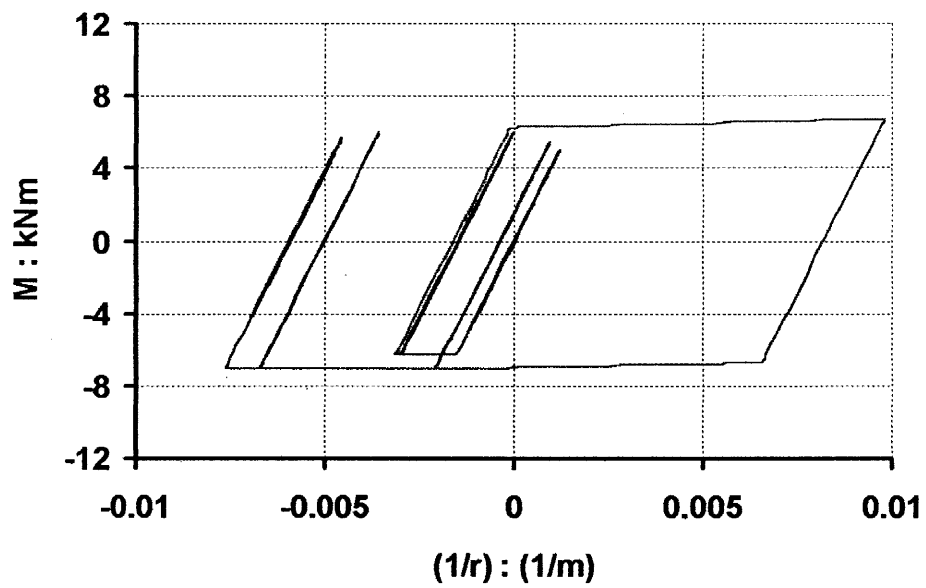
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



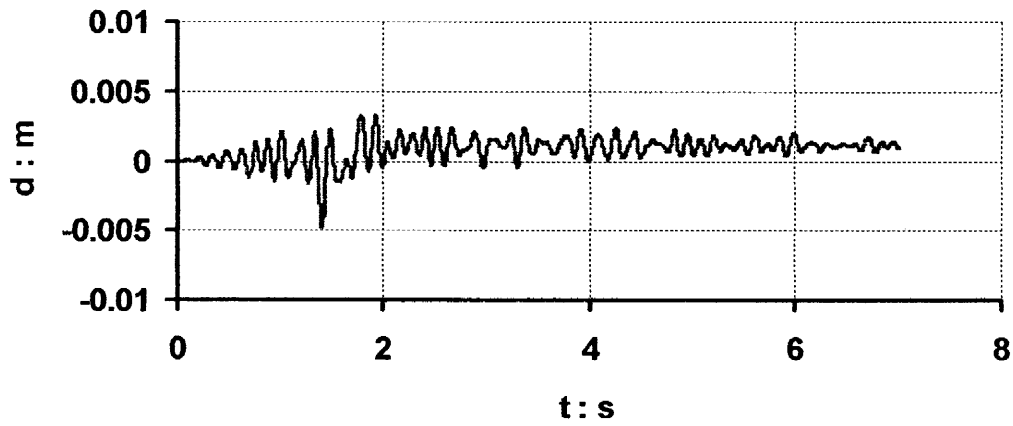
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



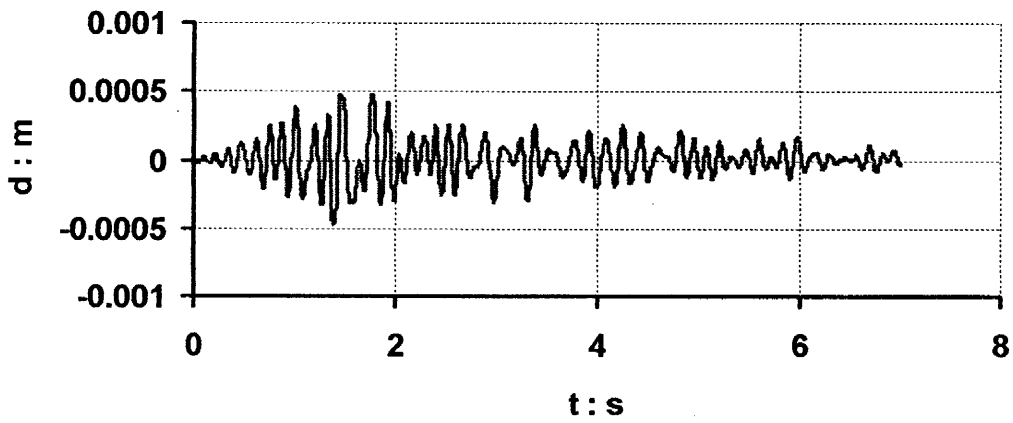
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



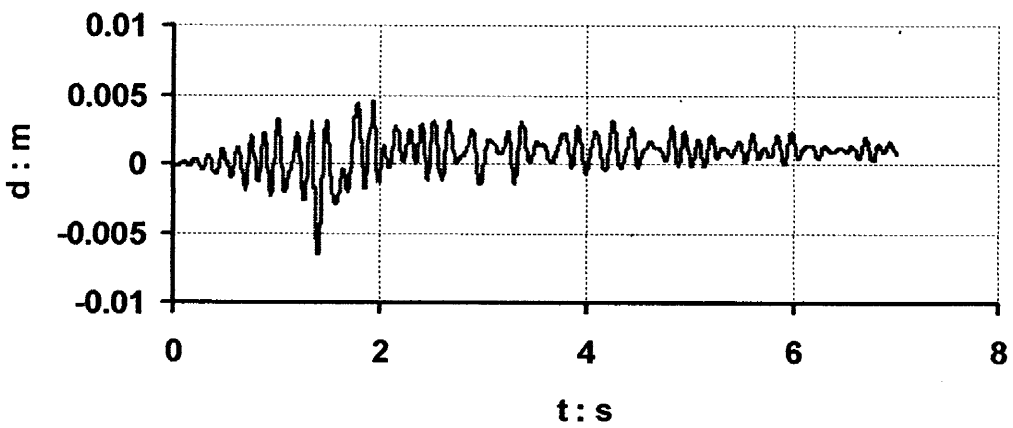
relative displacement : node14 - node100



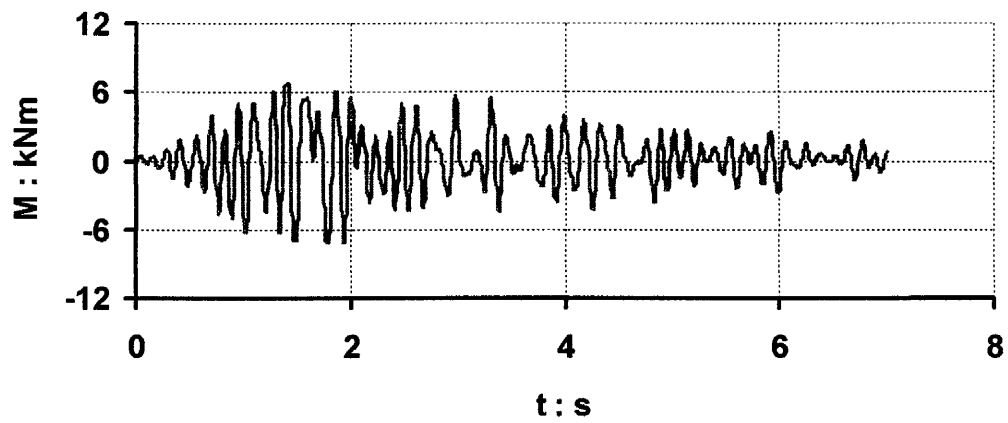
relative displacement : node1 - node100



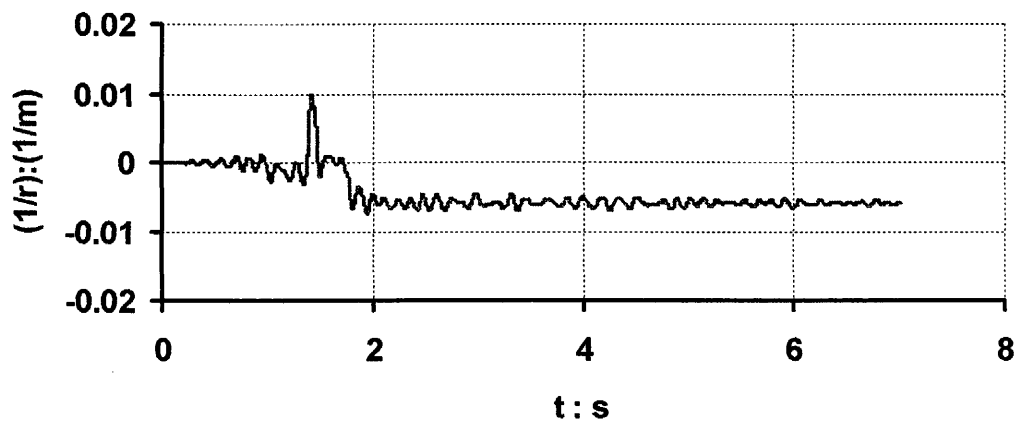
relative displacement : node26 - node100



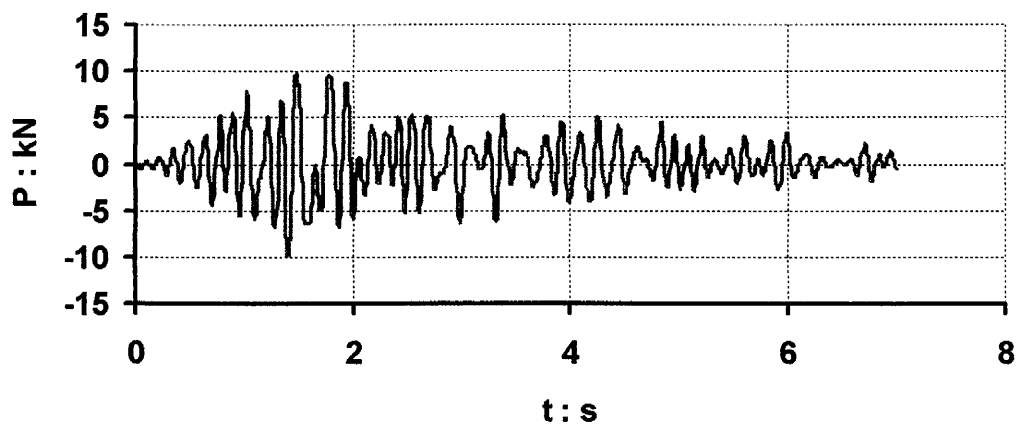
Bending Moment : element 2



Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μεγάλη Πύλη

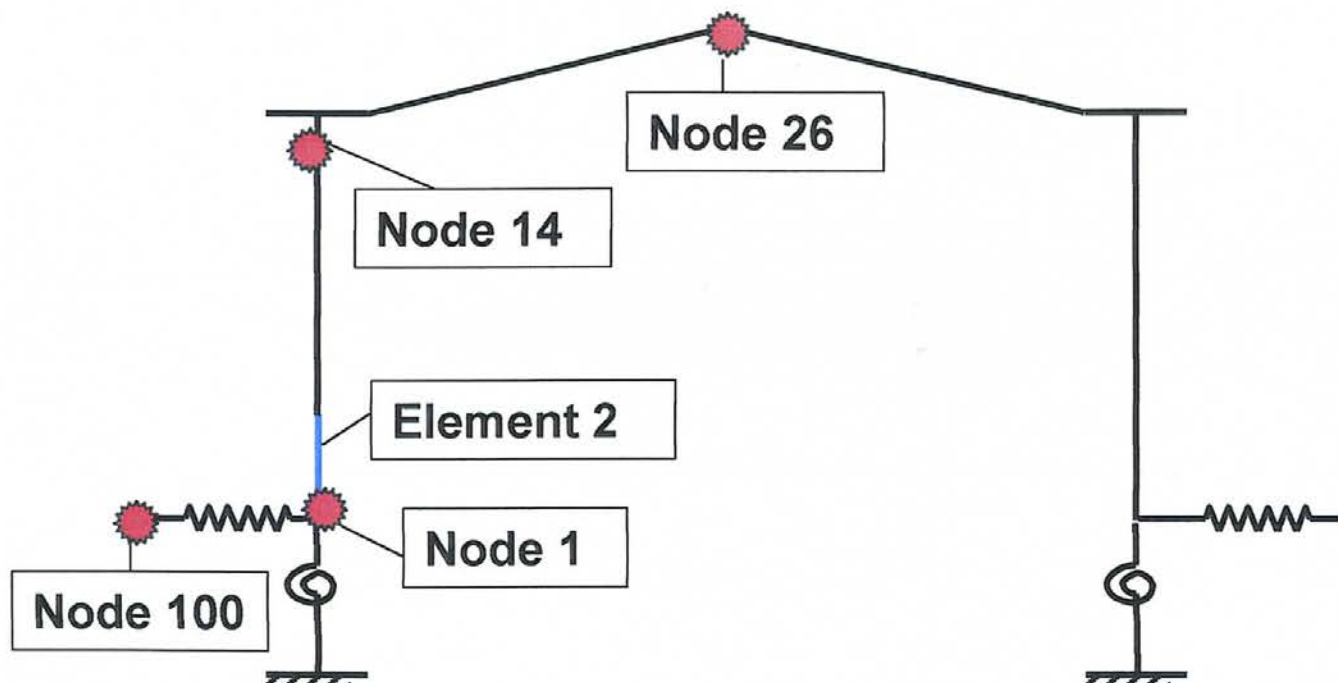
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.60g

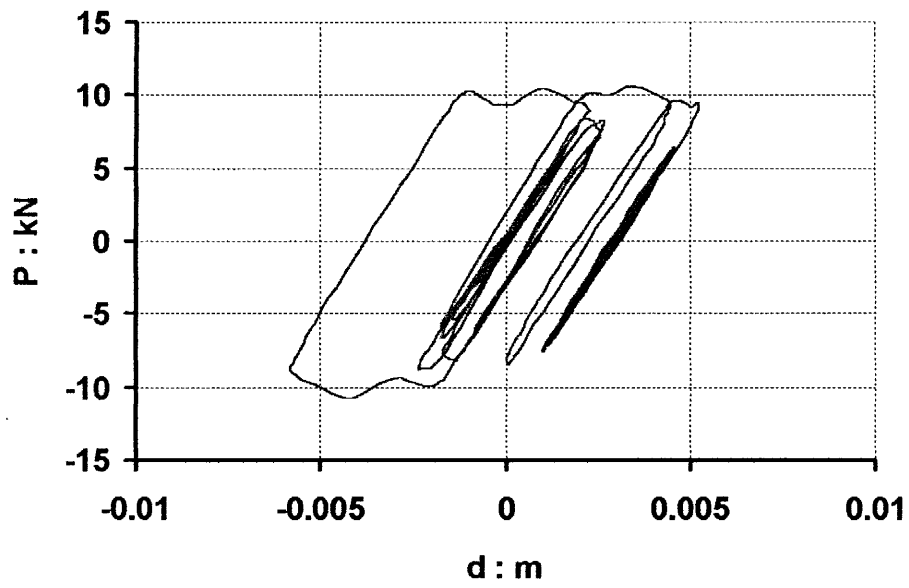
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

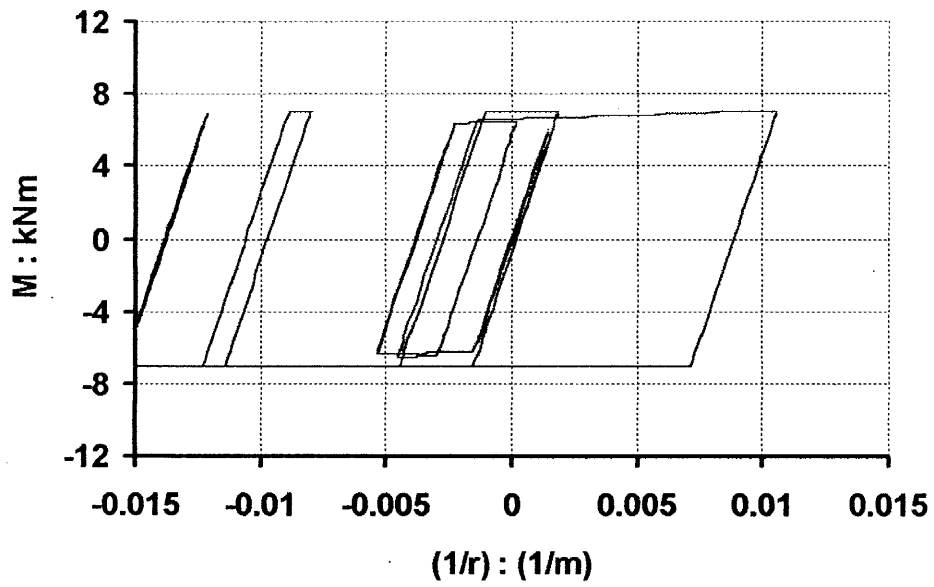
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



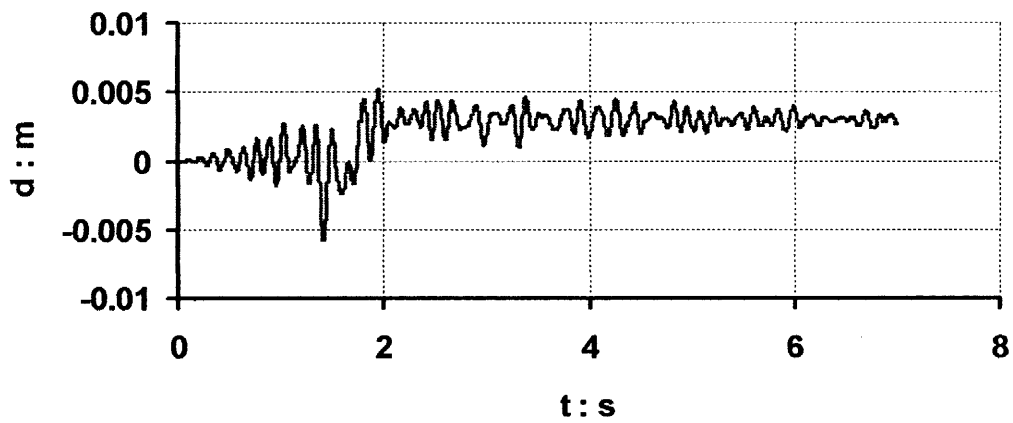
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



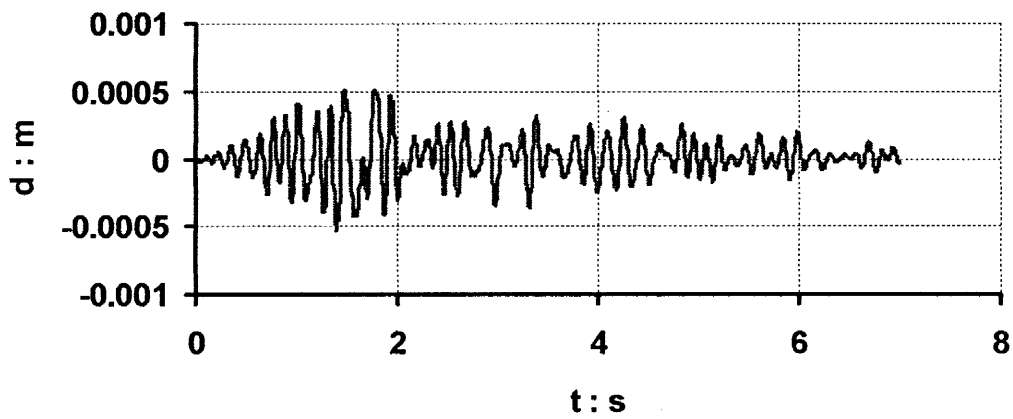
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



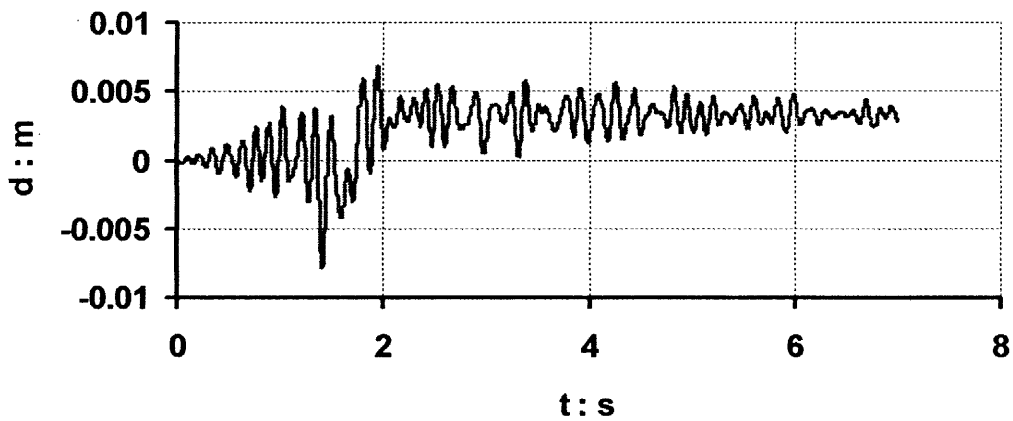
relative displacement : node14 - node100



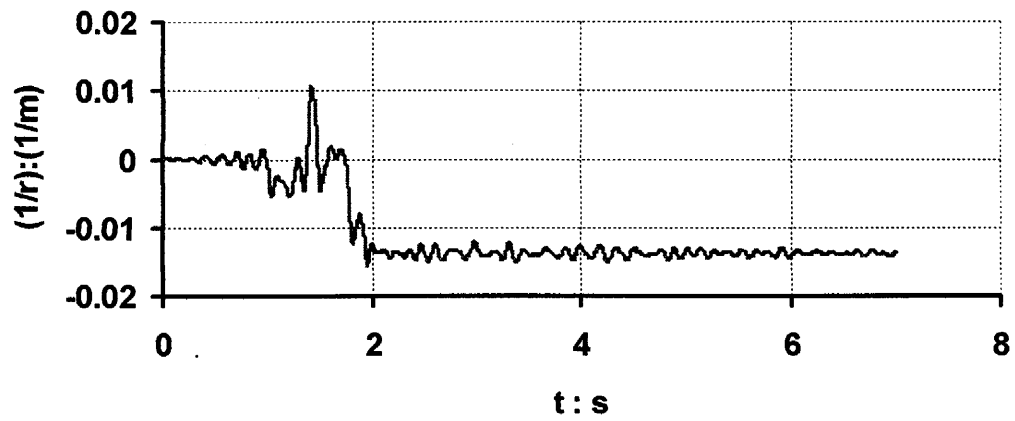
relative displacement : node1 - node100



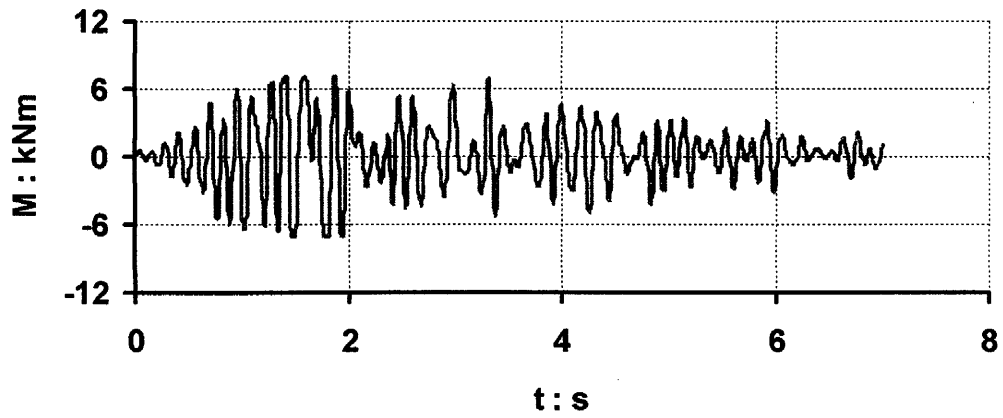
relative displacement : node26 - node100



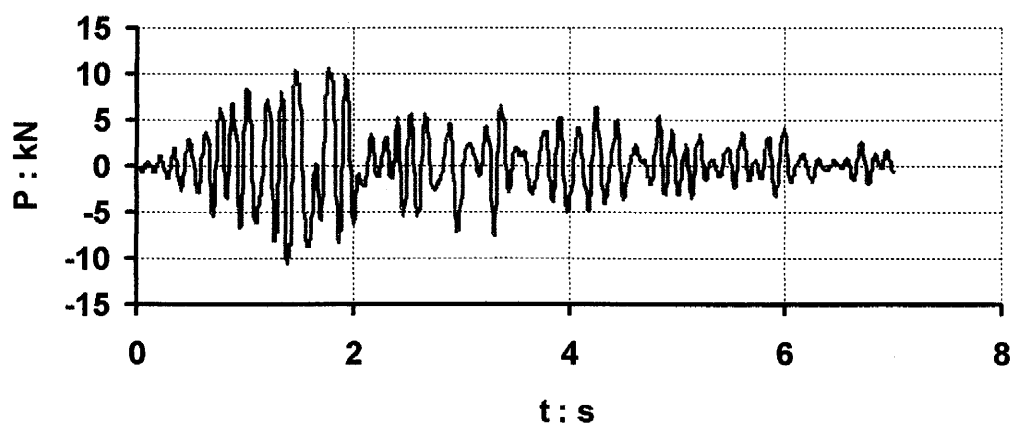
Curvature : element 2



Bending Moment : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μικρή Πύλη

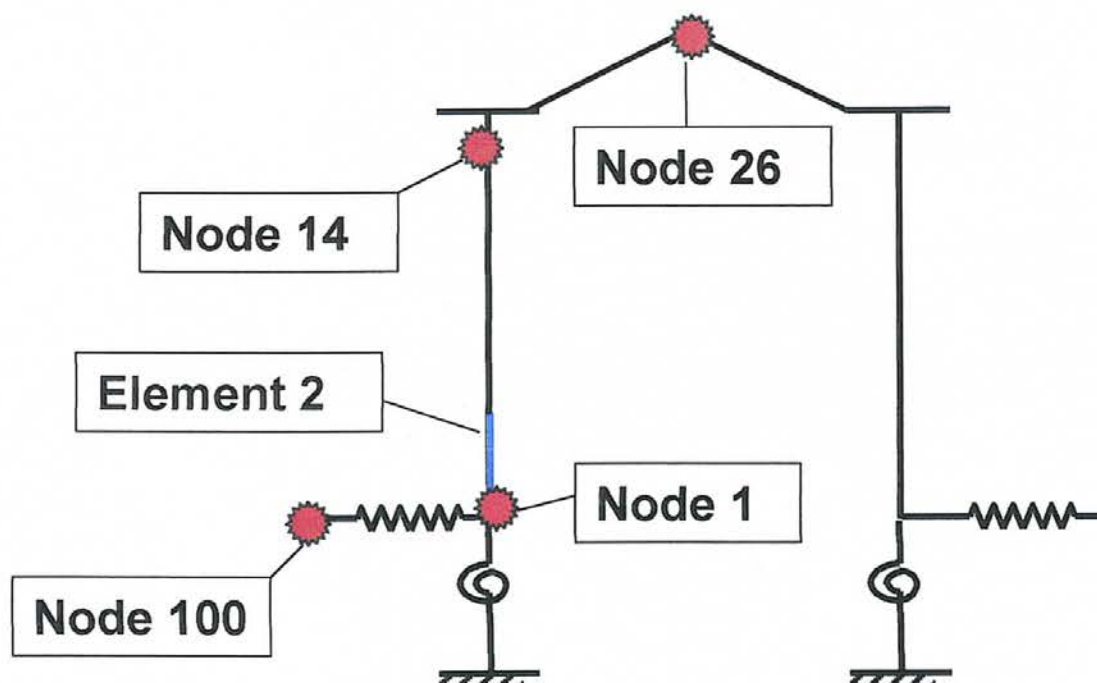
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.40g

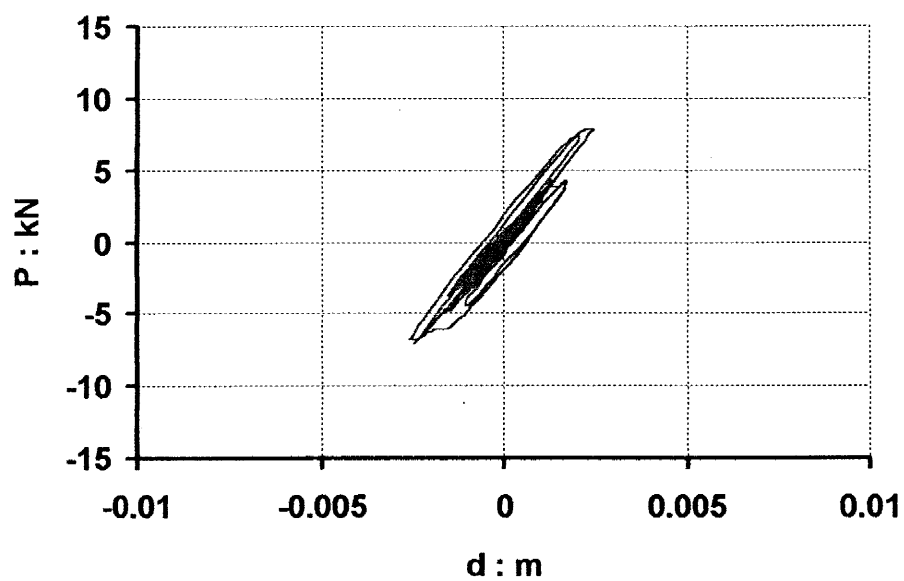
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

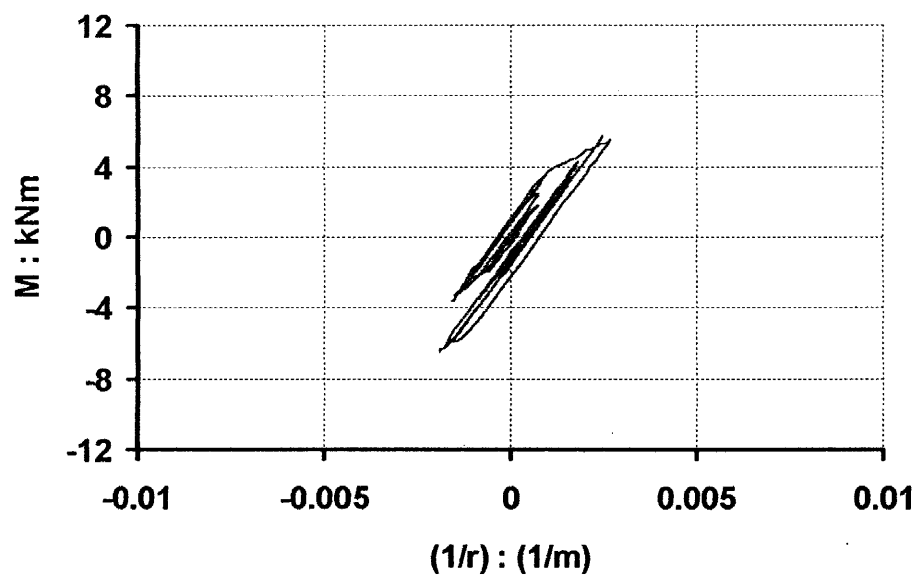
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



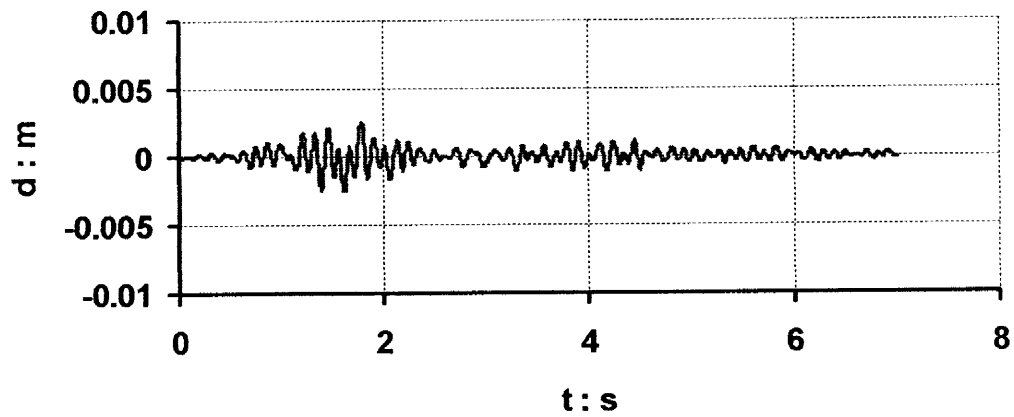
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



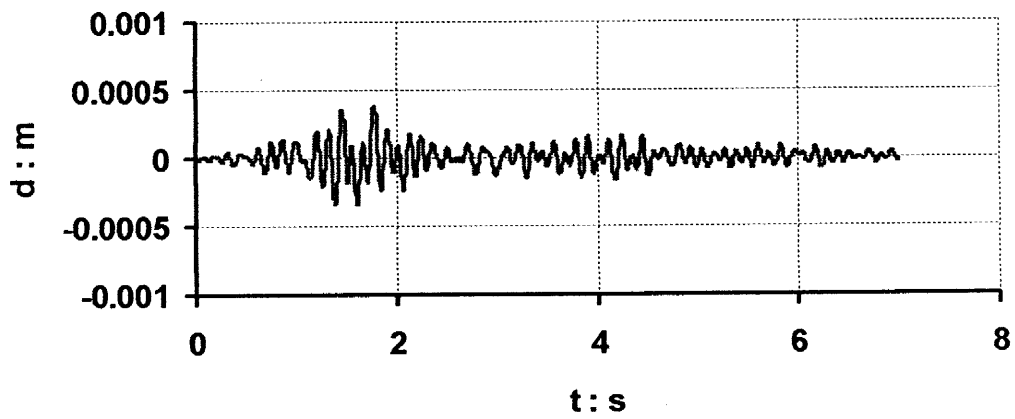
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



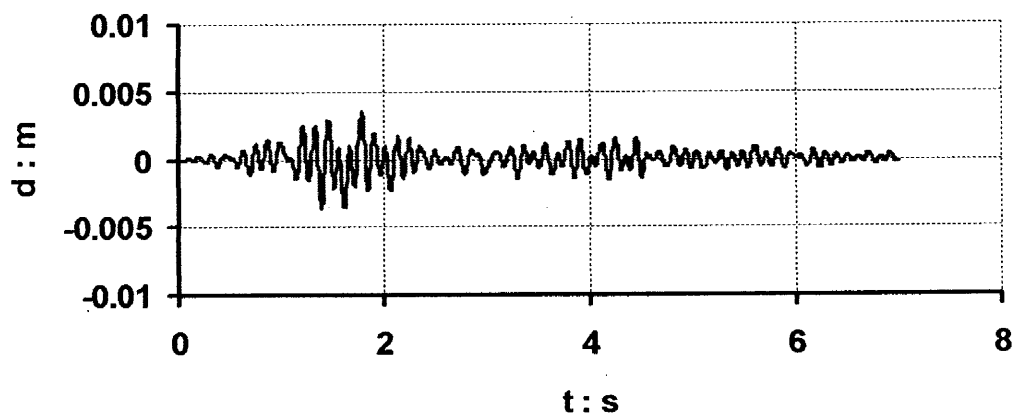
relative displacement : node14 - node100



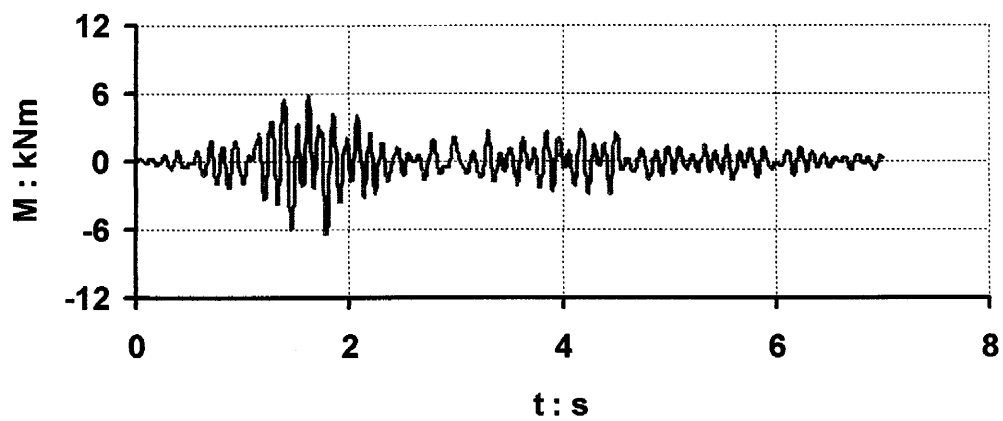
relative displacement : node1 - node100



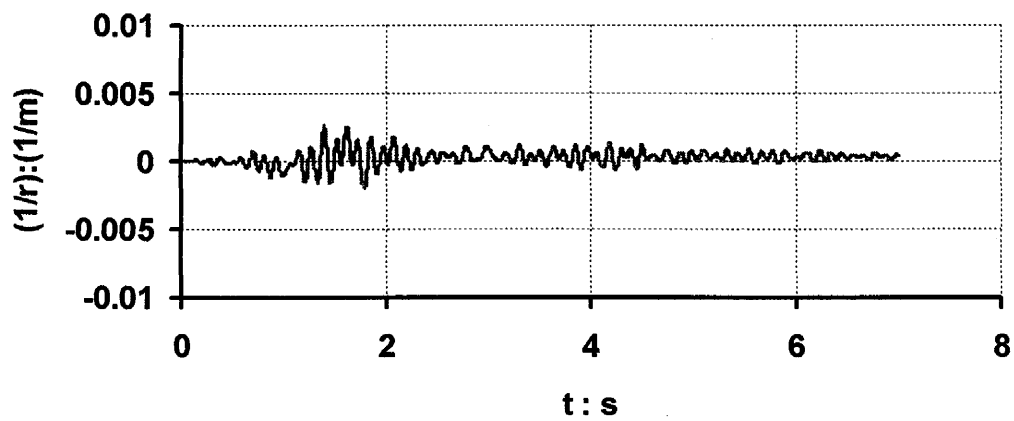
relative displacement : node26 - node100



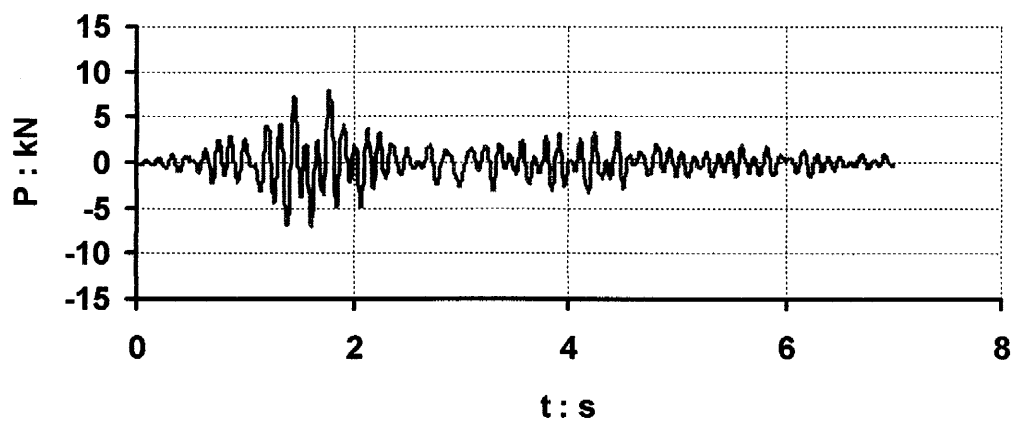
Bending Moment : element 2



Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μικρή Πύλη

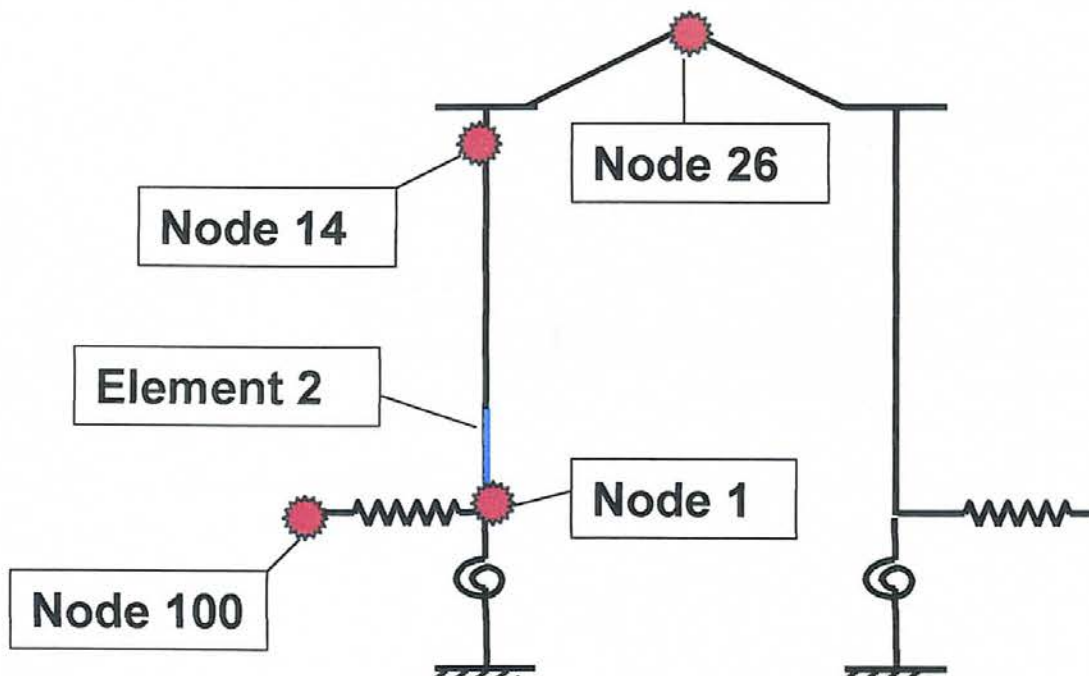
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.50g

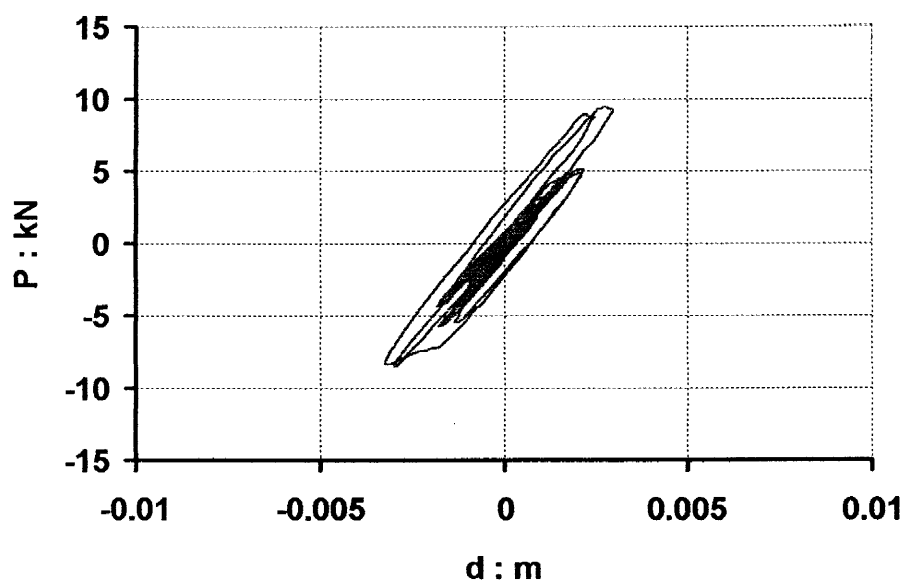
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

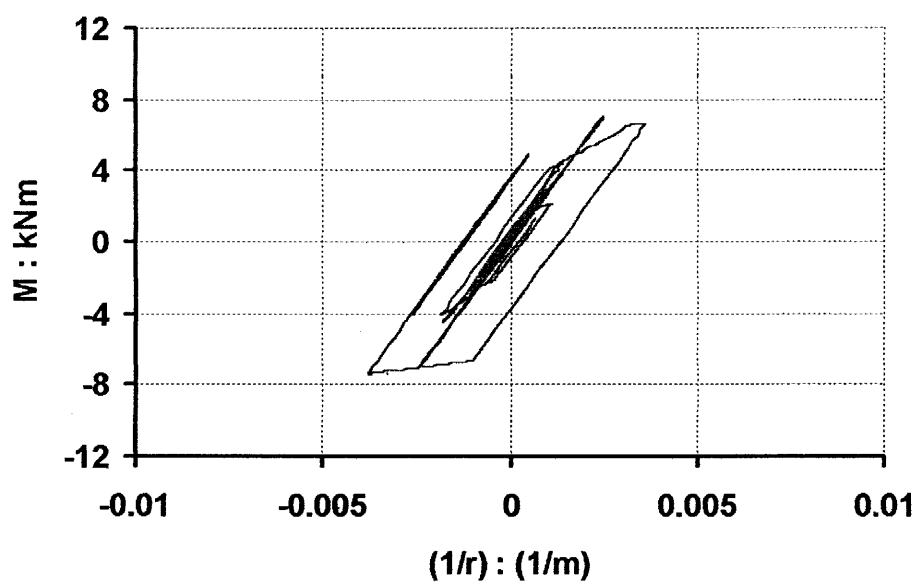
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



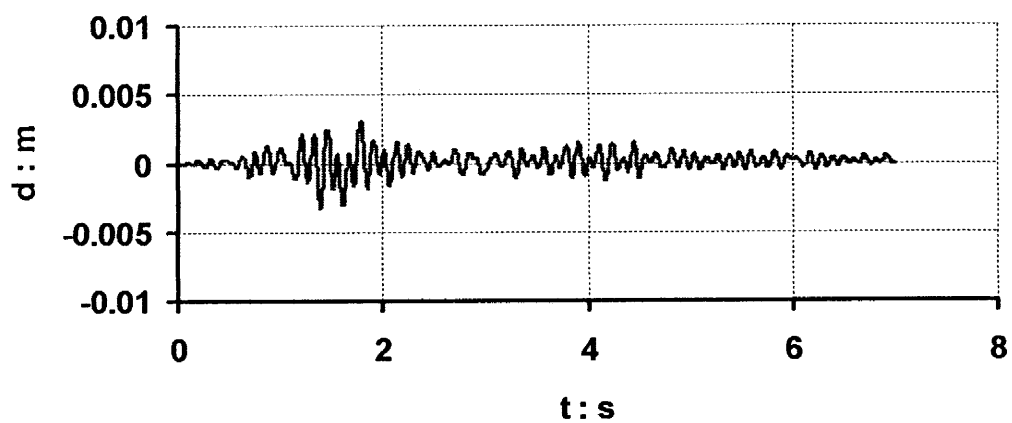
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



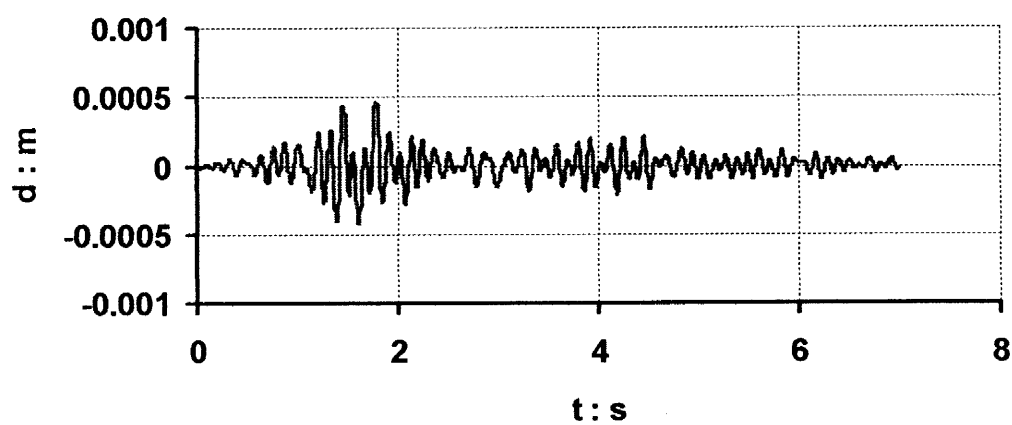
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



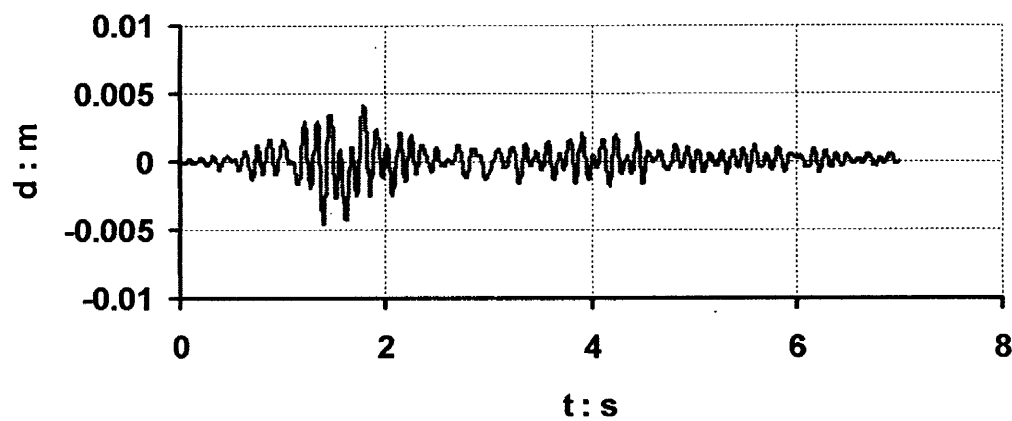
relative displacement : node14 - node100



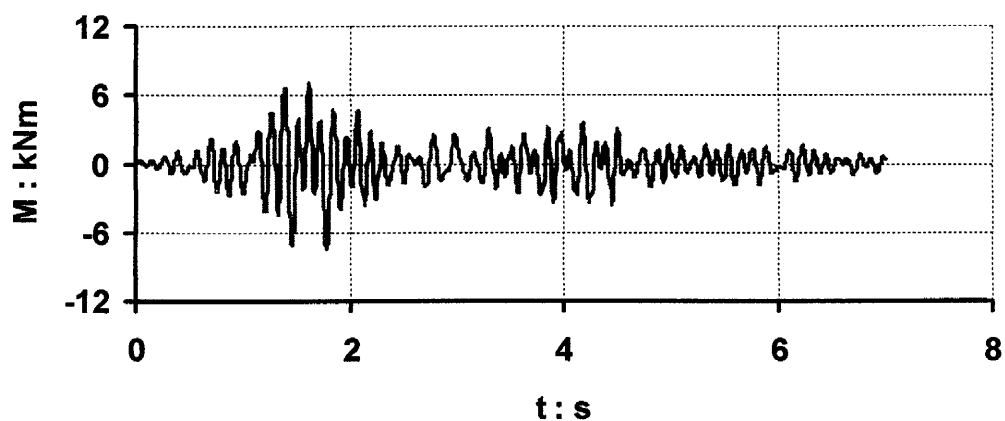
relative displacement : node1 - node100



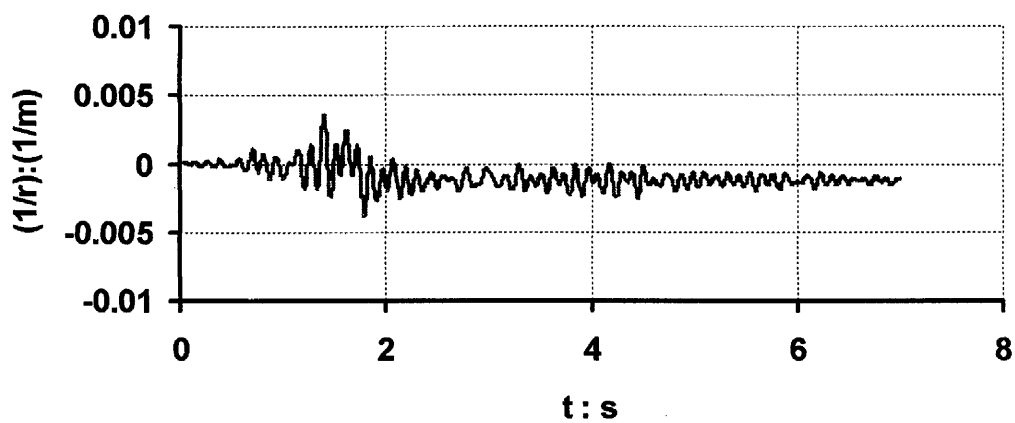
relative displacement : node26 - node100



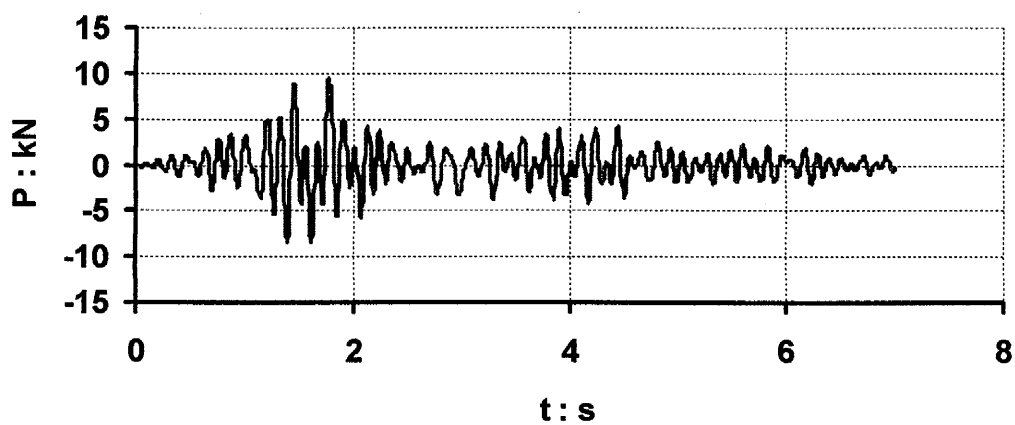
Bending Moment : element 2



Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μικρή Πύλη

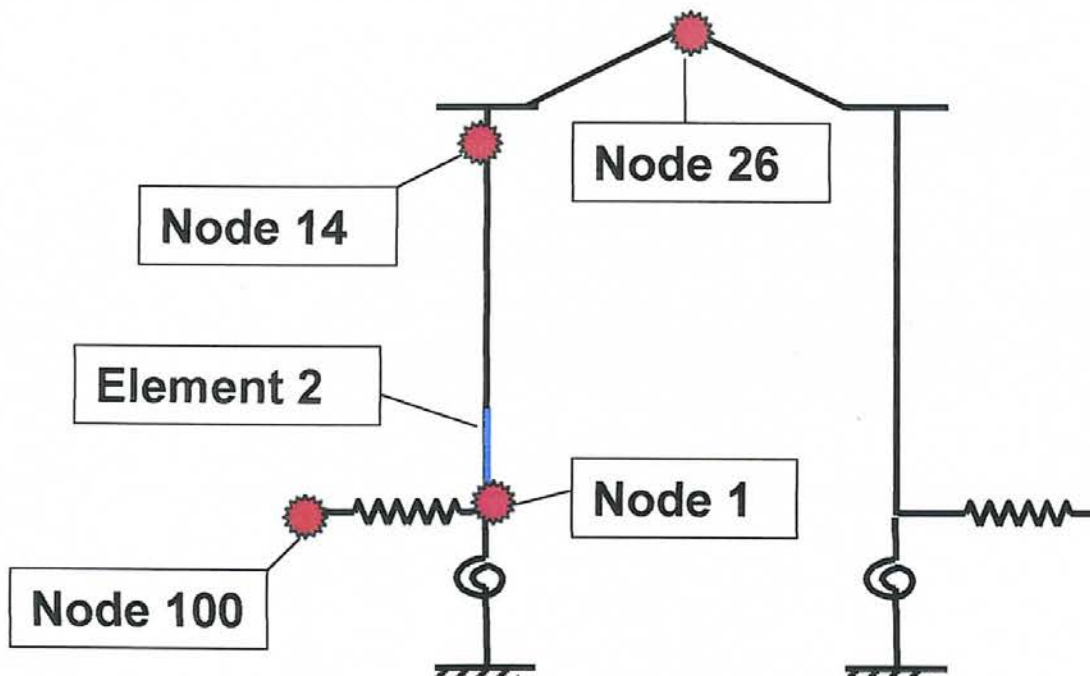
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.60g

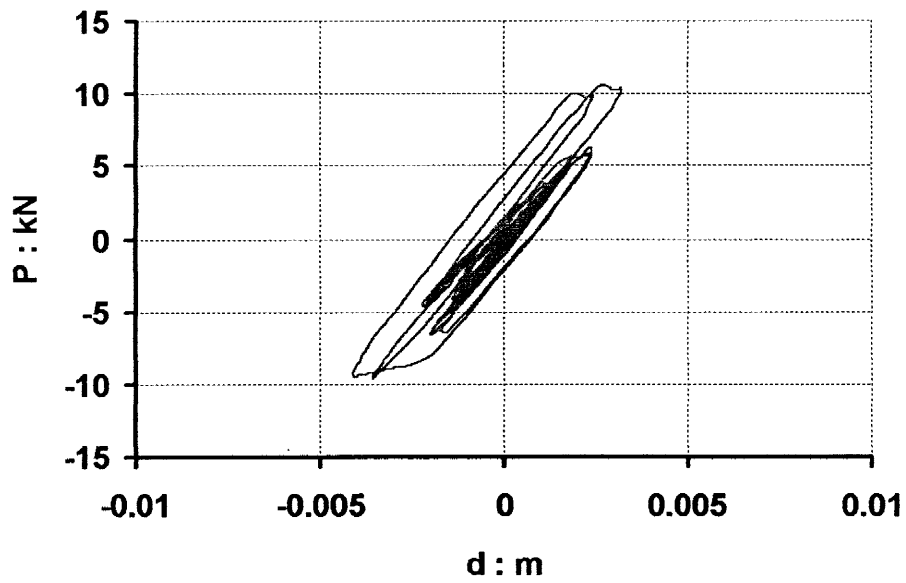
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

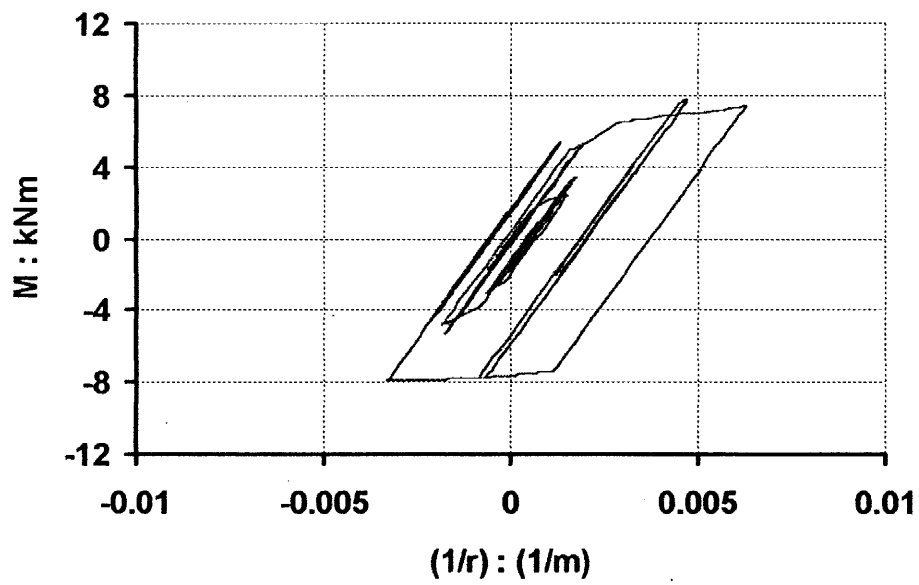
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το πείραμα)



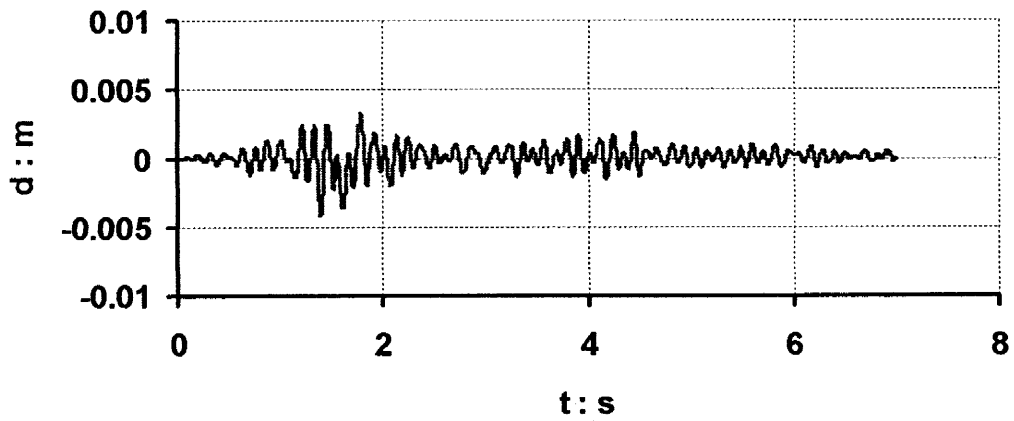
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



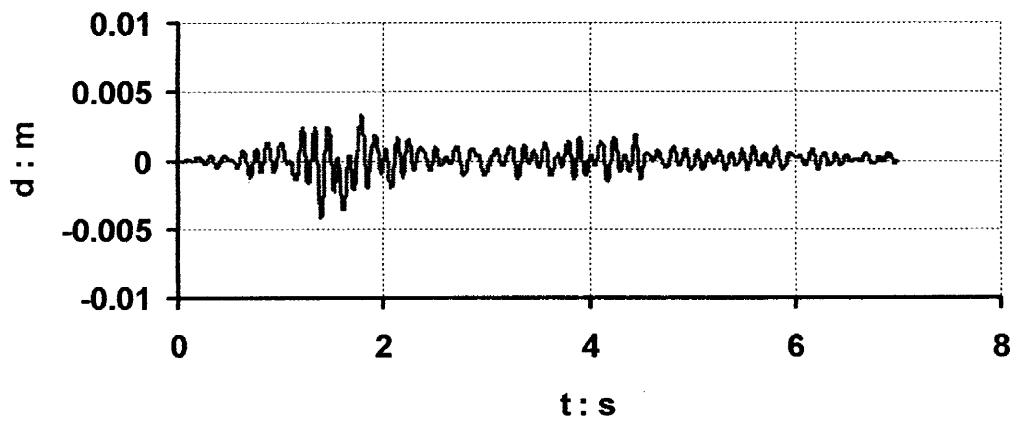
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



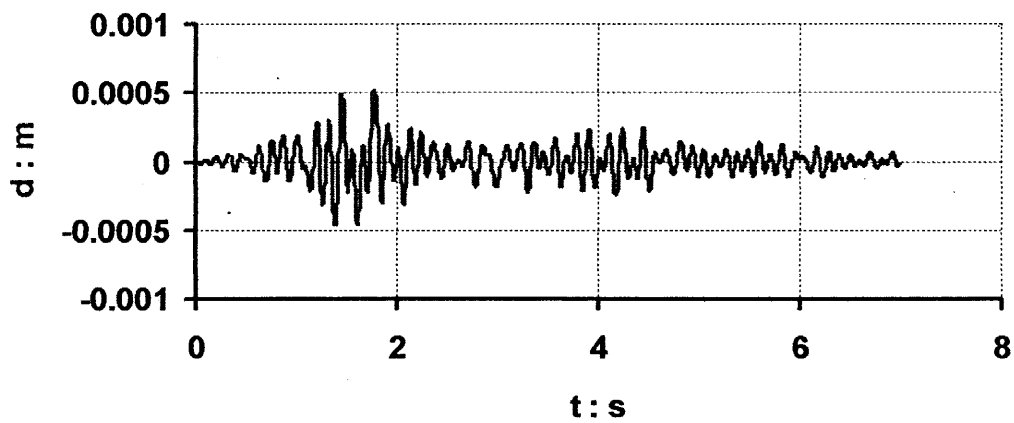
relative displacement : node14 - node100



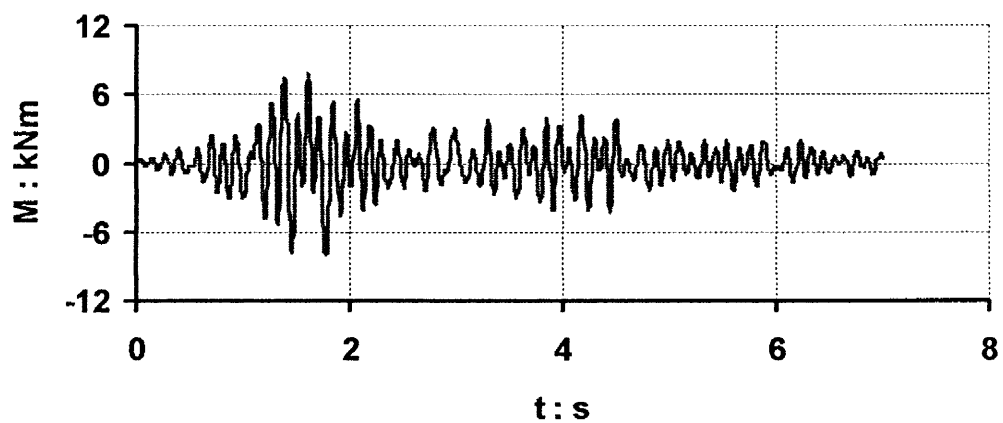
relative displacement : node14 - node100



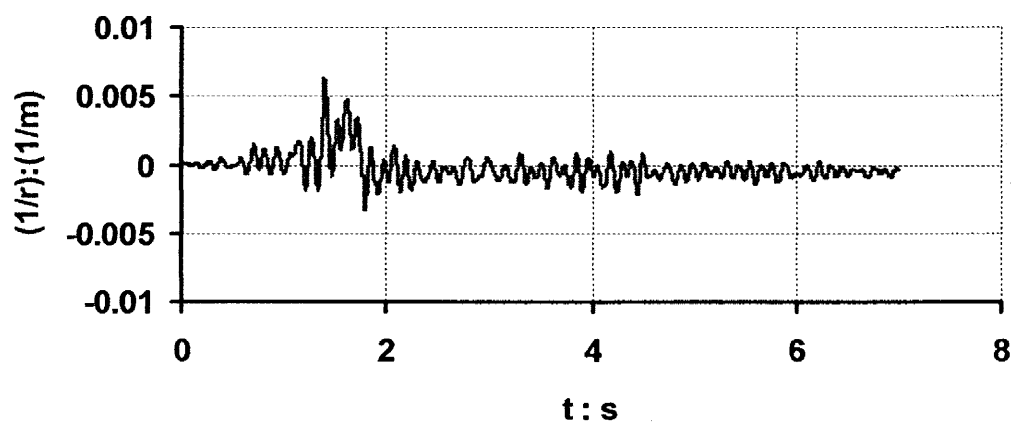
relative displacement : node1 - node100



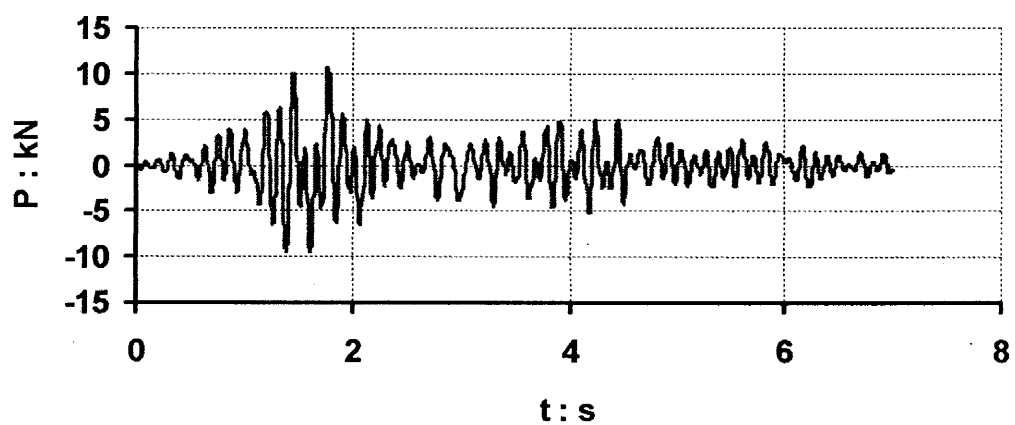
Bending Moment : element 2



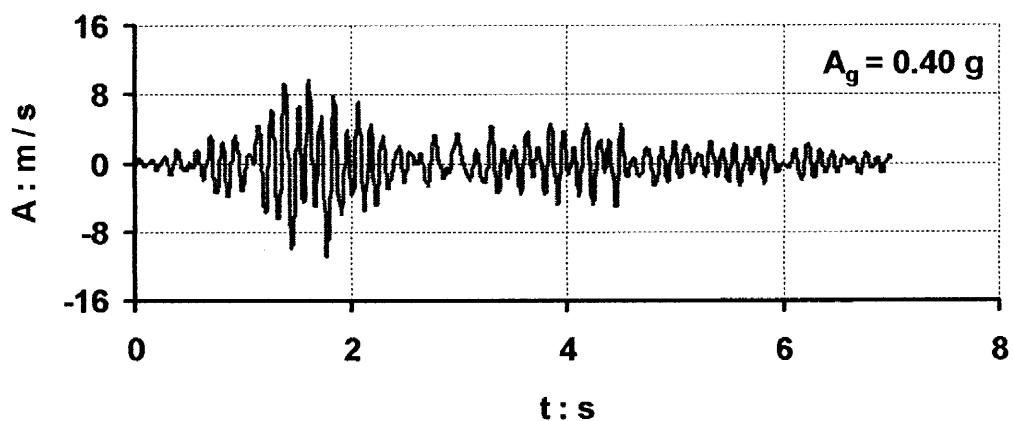
Curvature : element 2



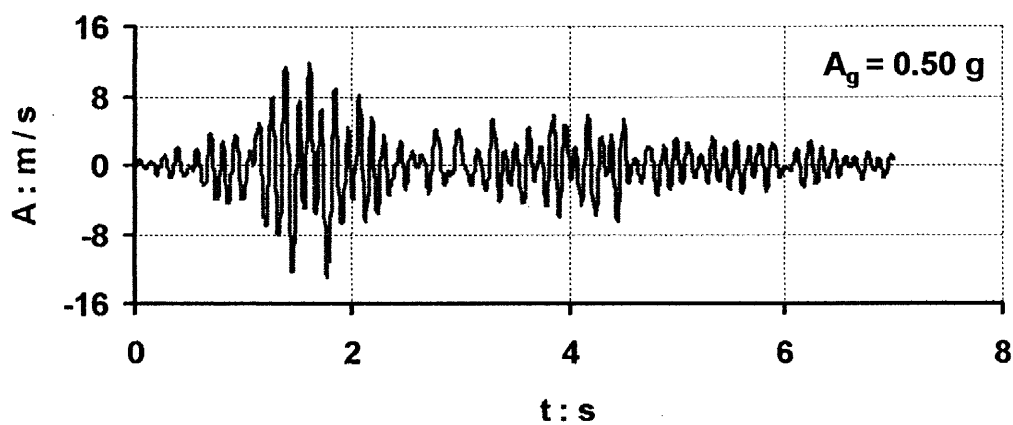
Shear Force x 2 : element 2



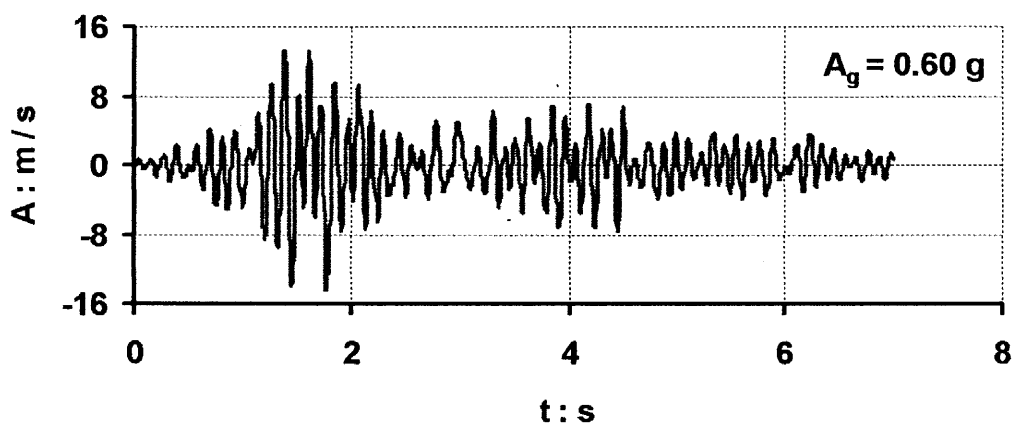
Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Μικρή Πύλη

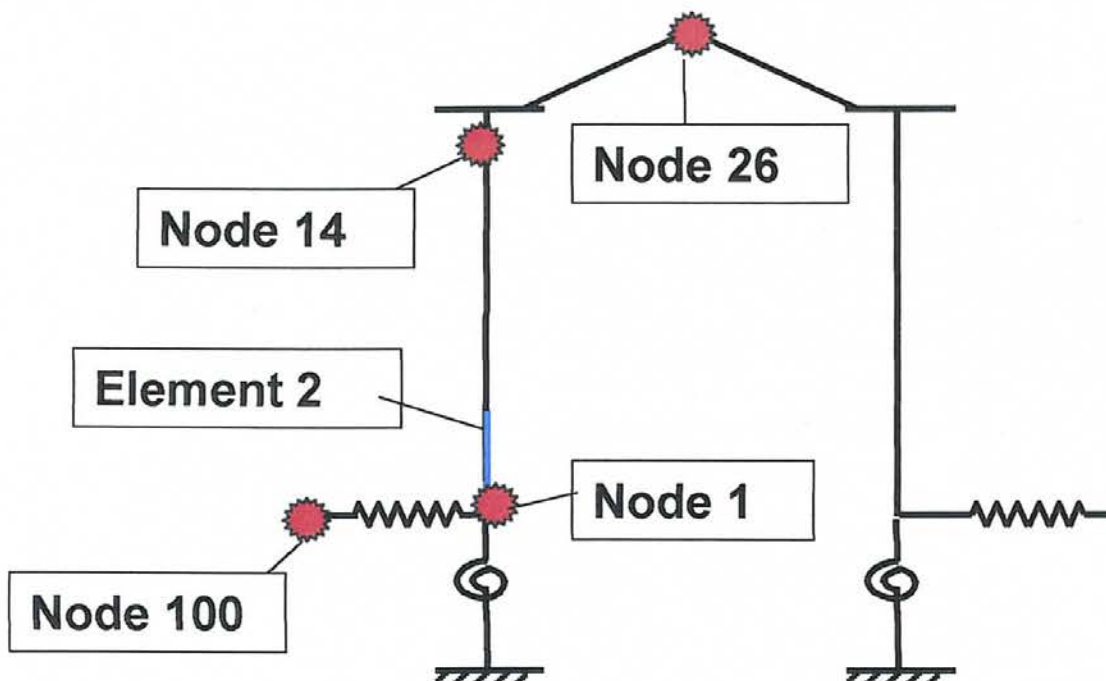
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.40g

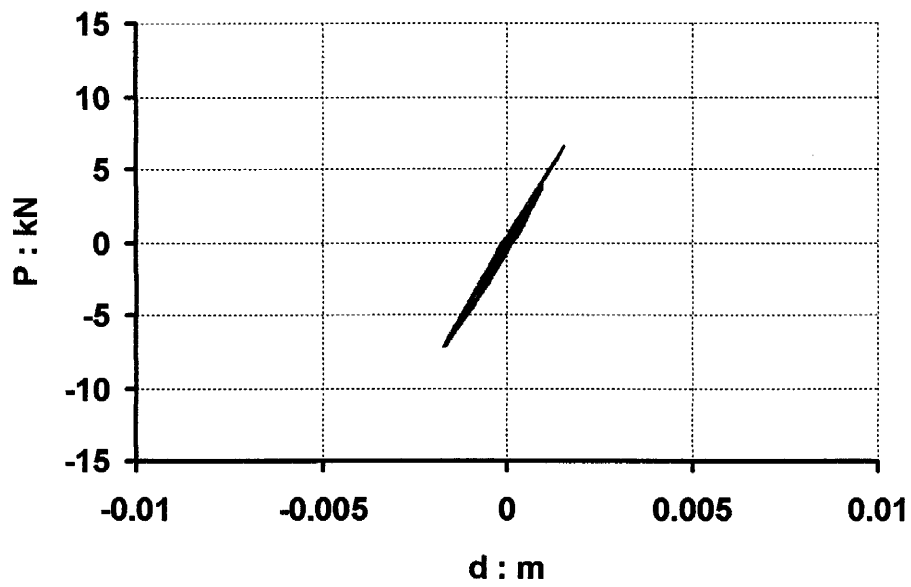
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

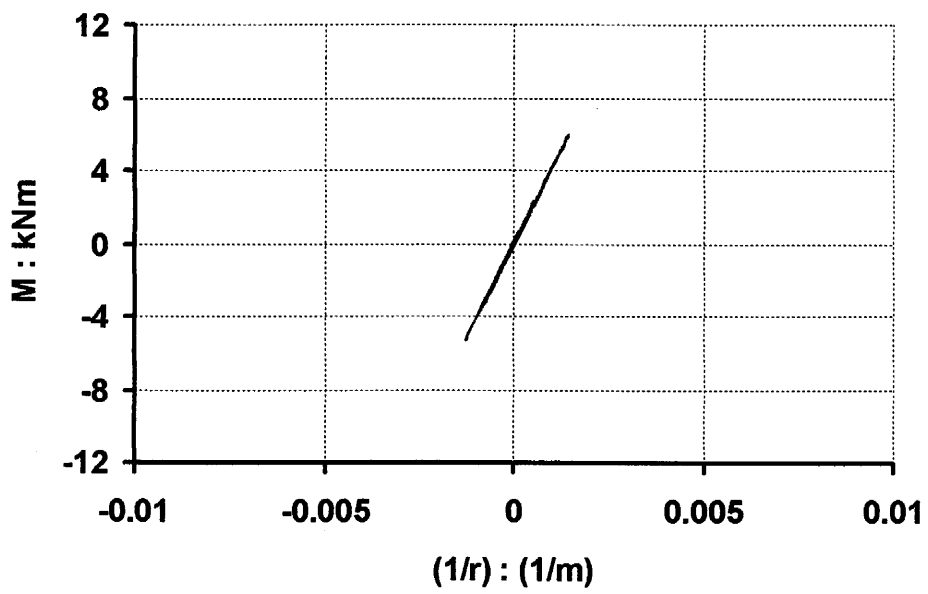
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



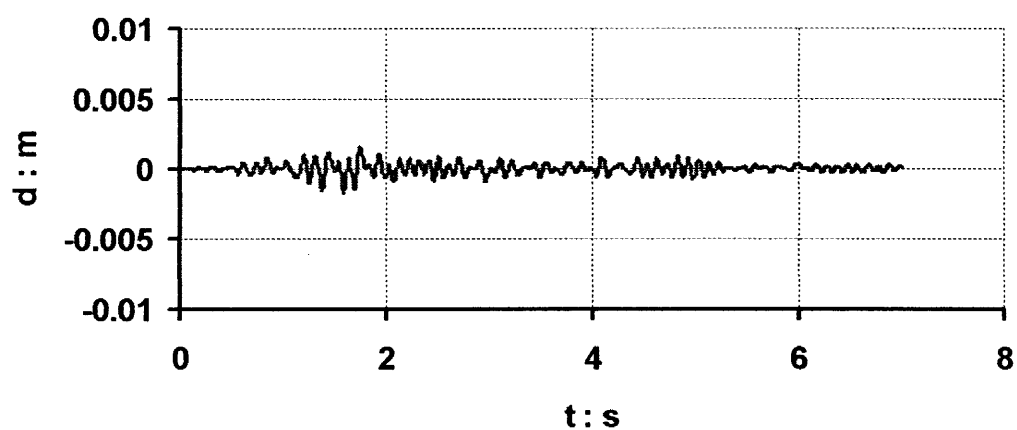
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



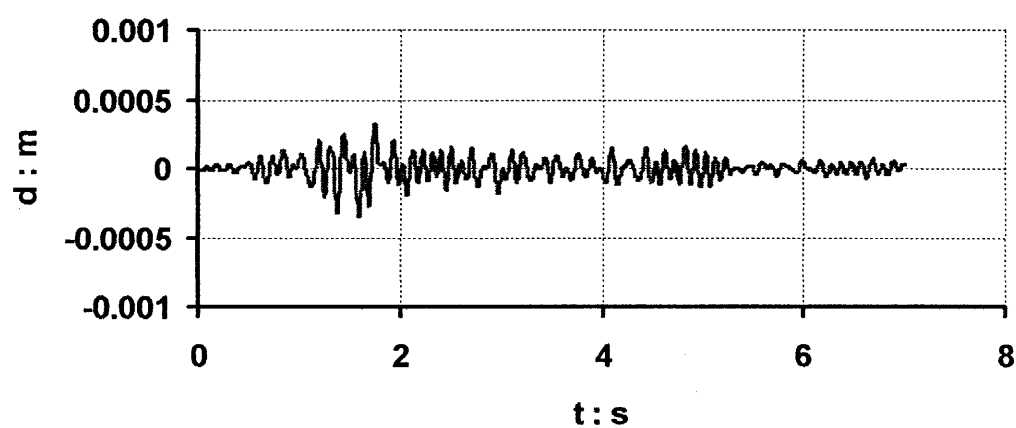
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



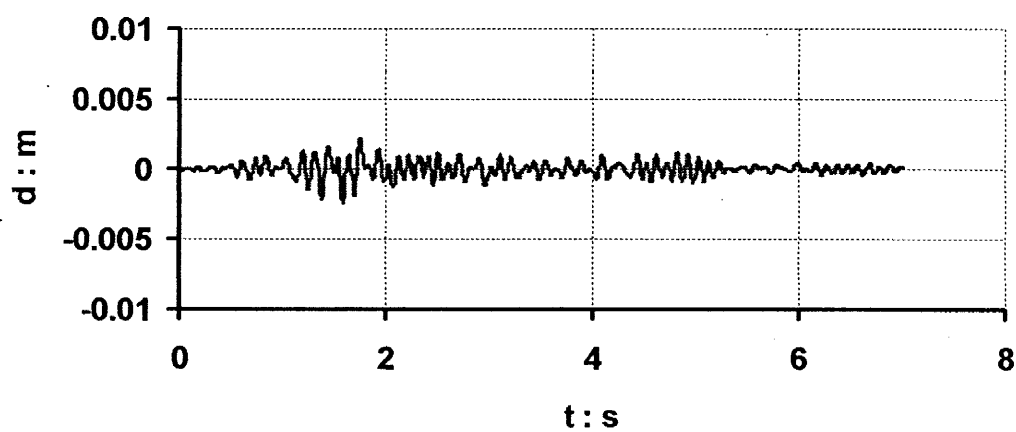
relative displacement : node14 - node100



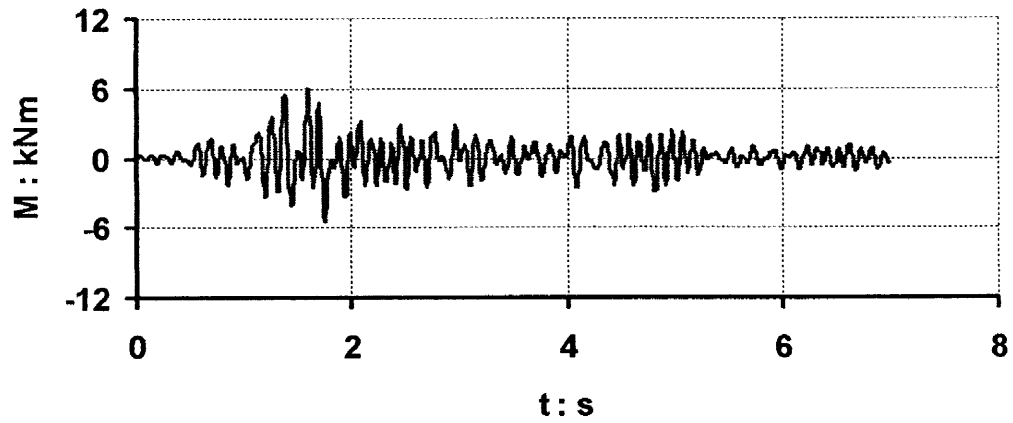
relative displacement : node1 - node100



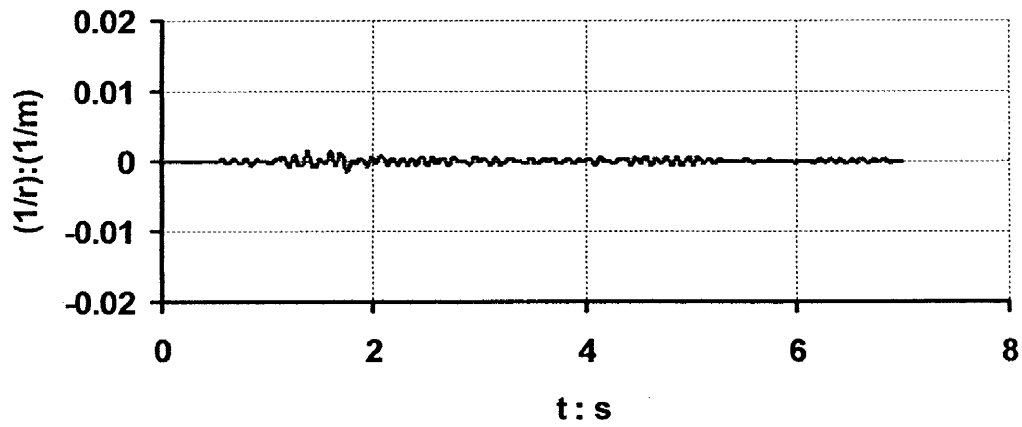
relative displacement : node26 - node100



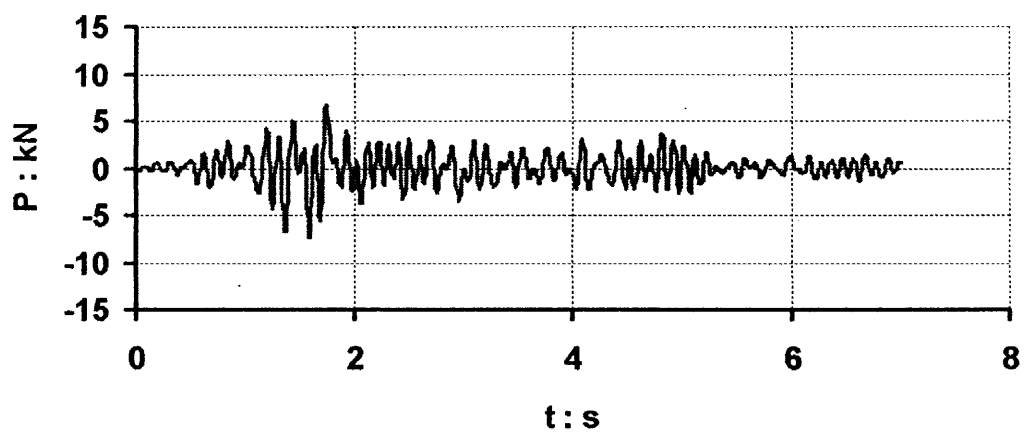
Bending Moment : element 2



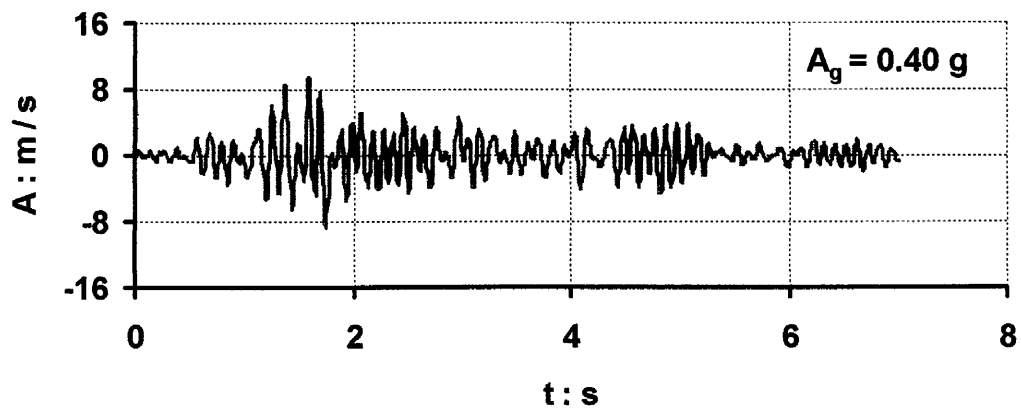
Curvature : element 2



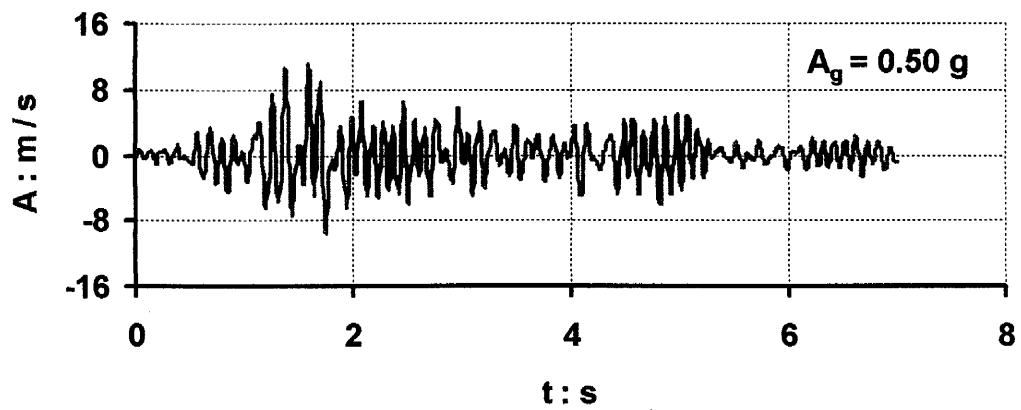
Shear Force x 2 : element 2



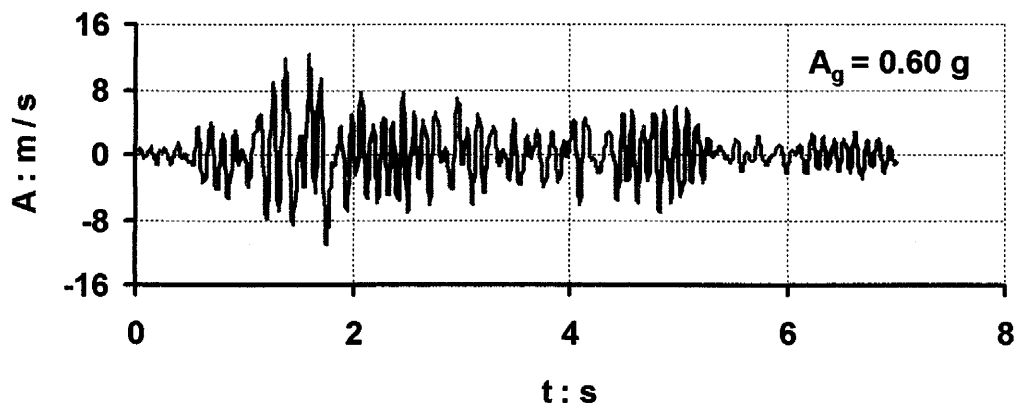
Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Acceleration : node 26



Μικρή Πύλη

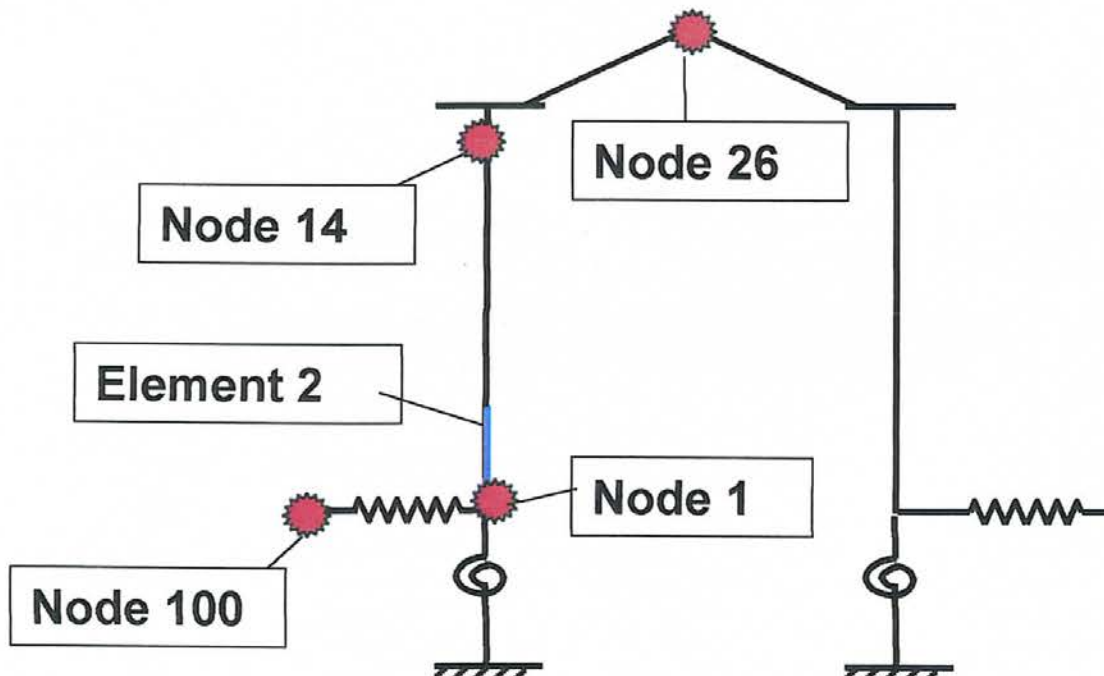
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.50g

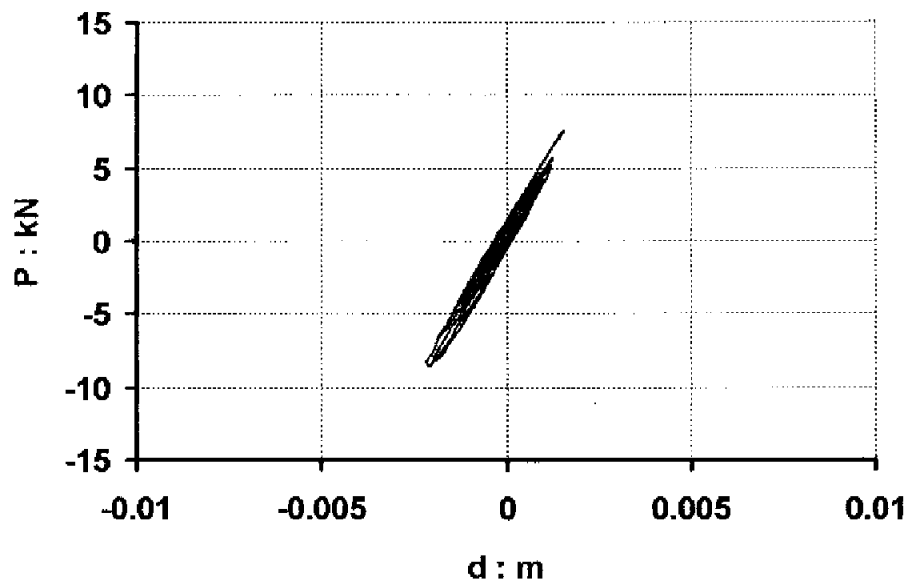
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

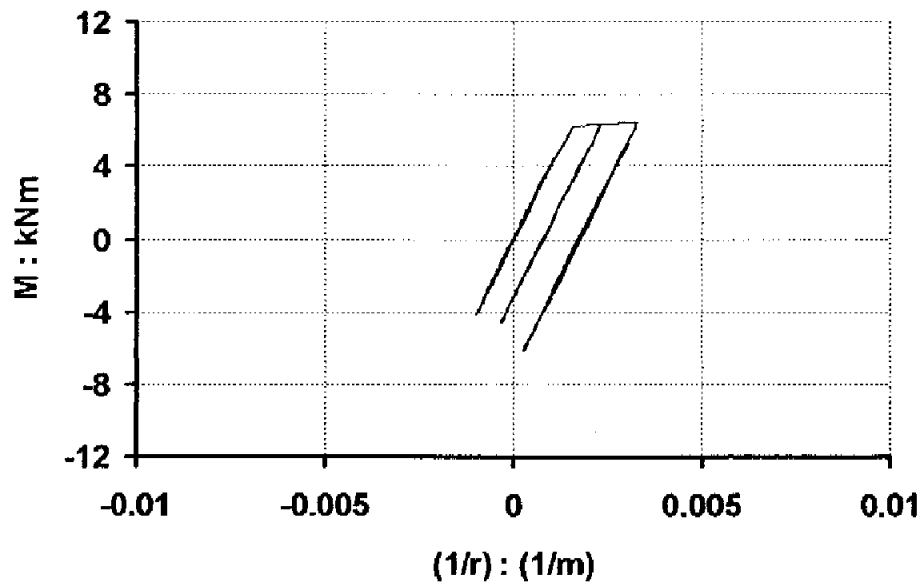
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



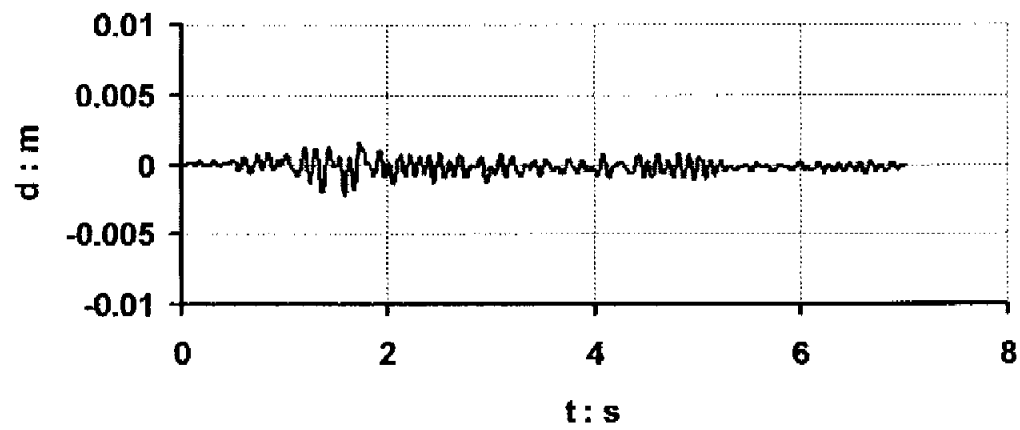
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



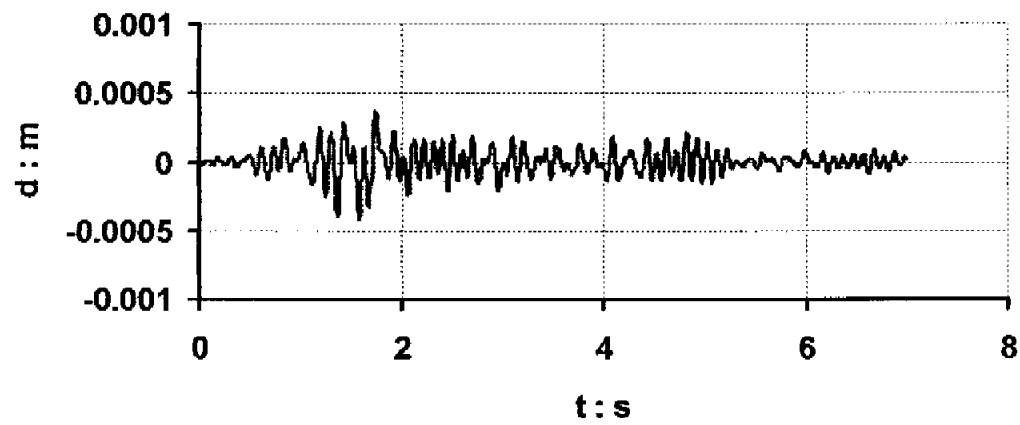
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



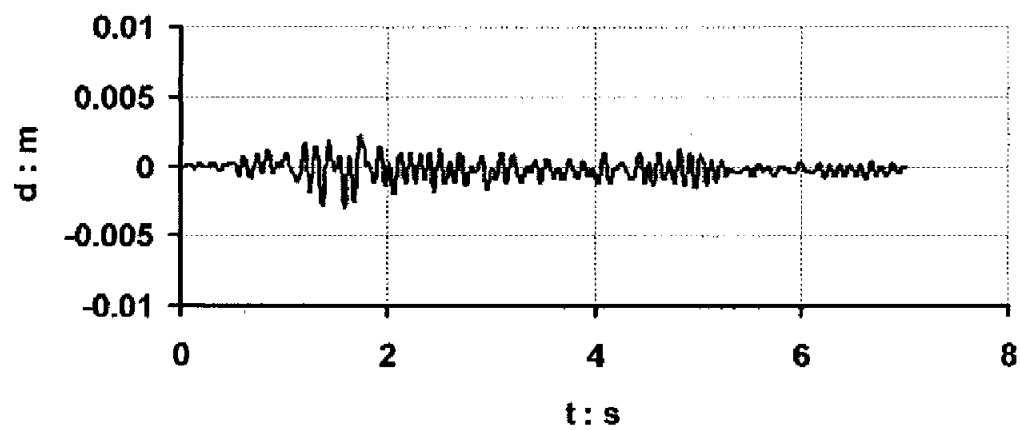
relative displacement : node14 - node100



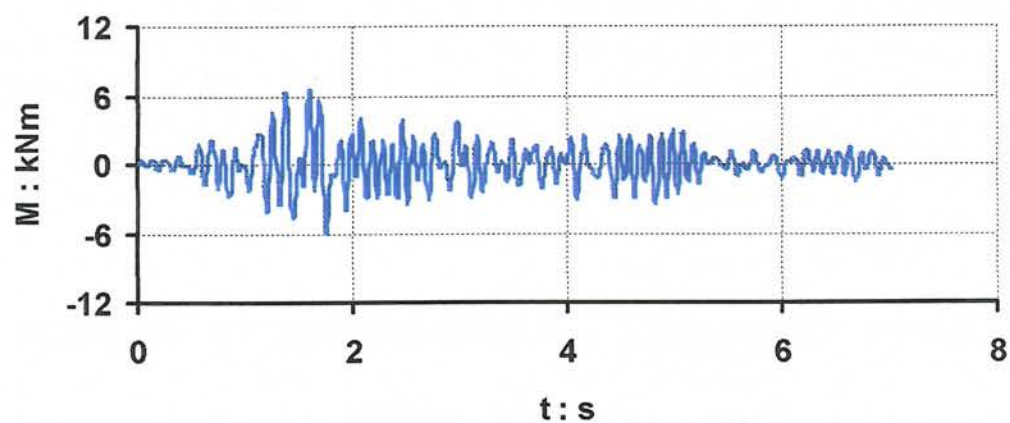
relative displacement : node1 - node100



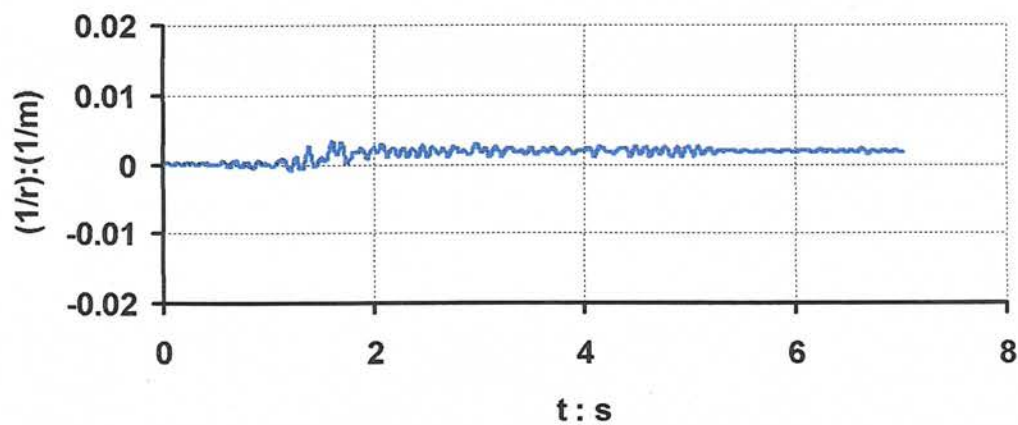
relative displacement : node26 - node100



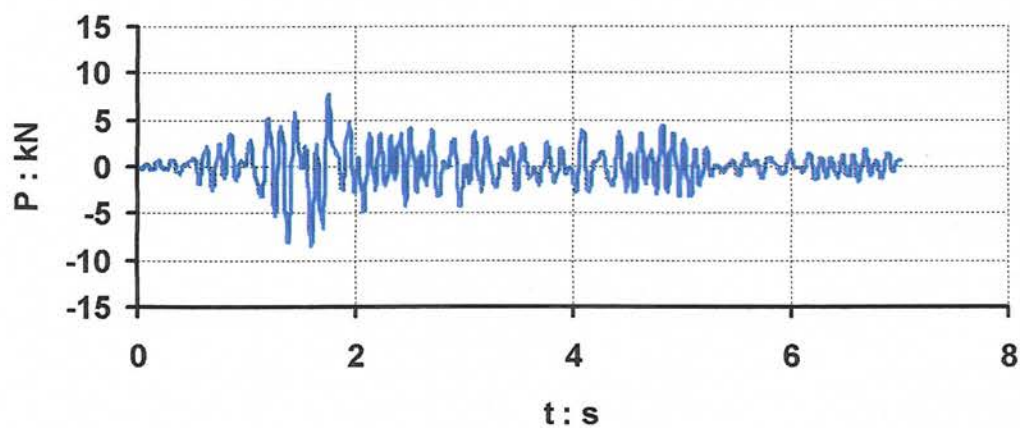
Bending Moment : element 2



Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μικρή Πύλη

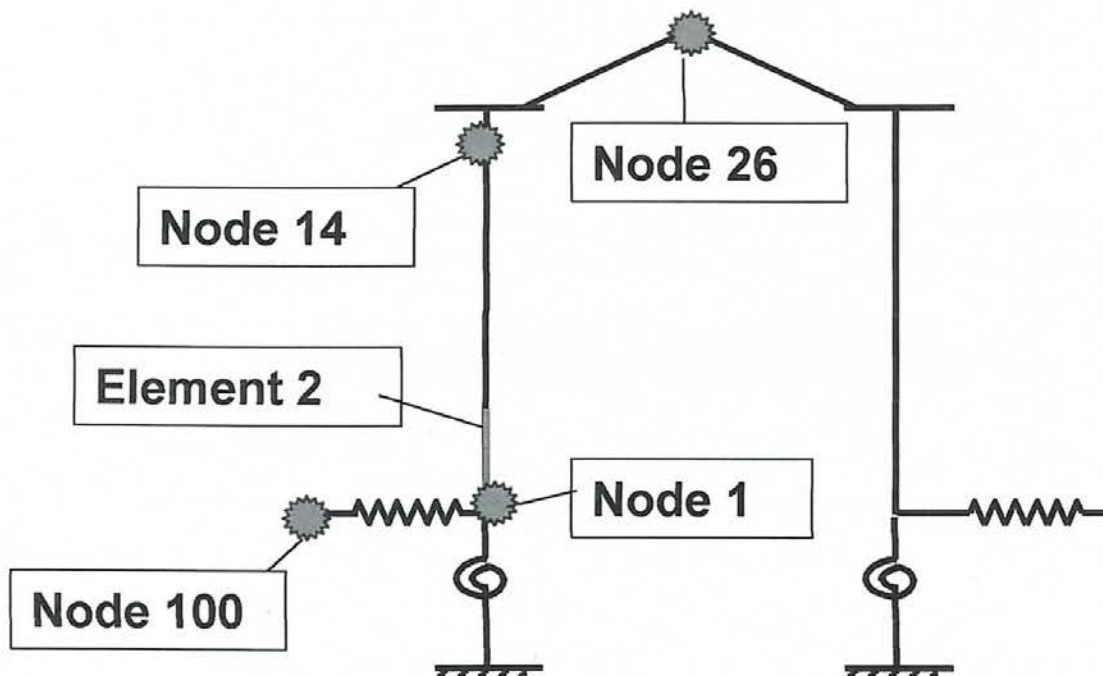
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-L

PGA : 0.60g

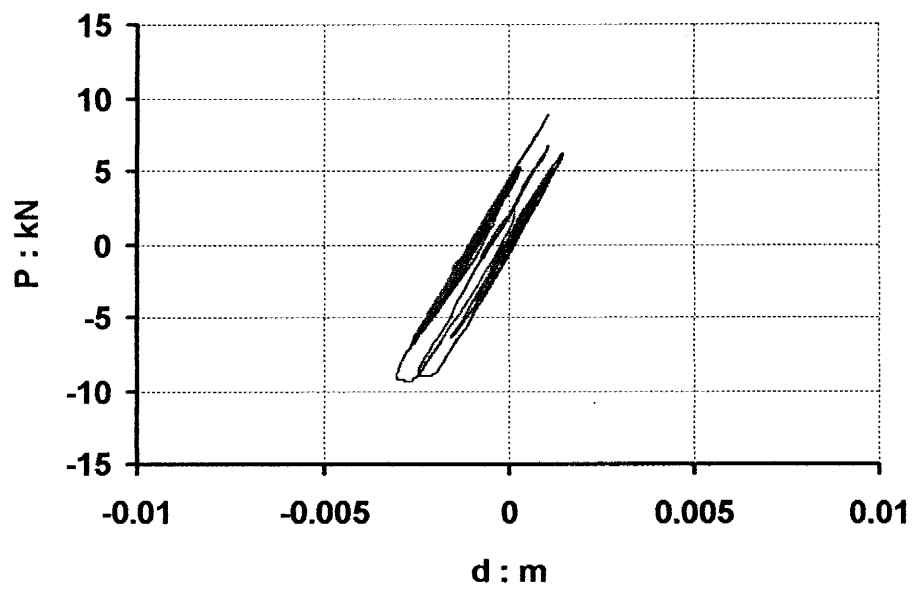
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

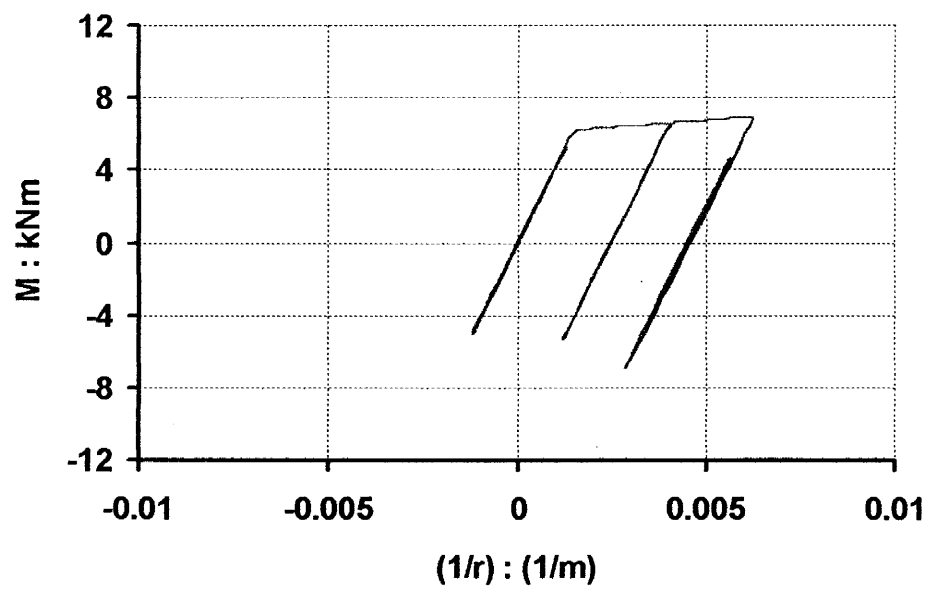
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



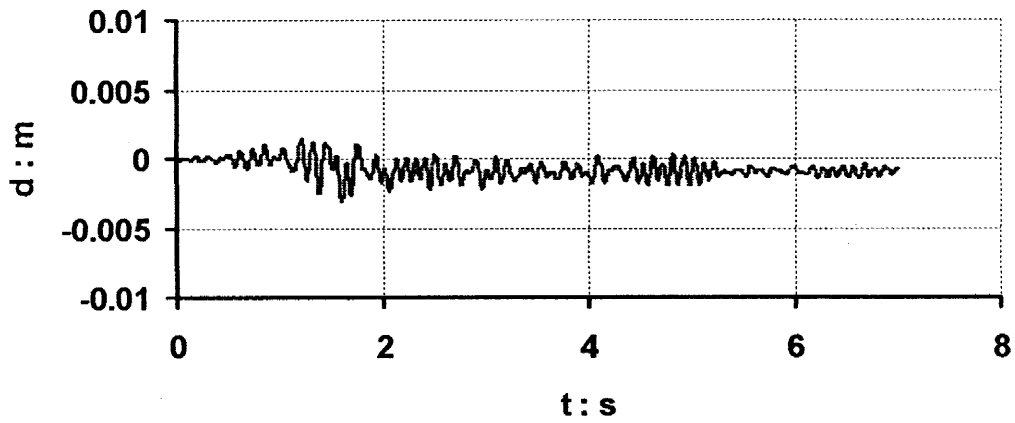
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



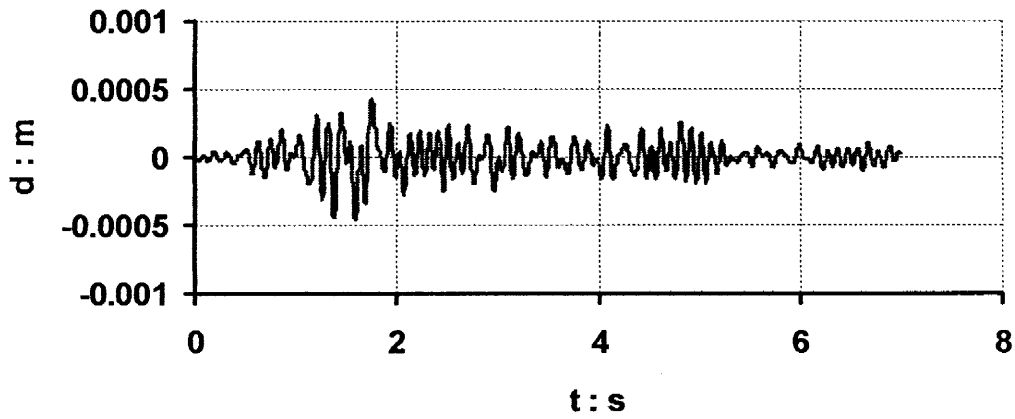
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



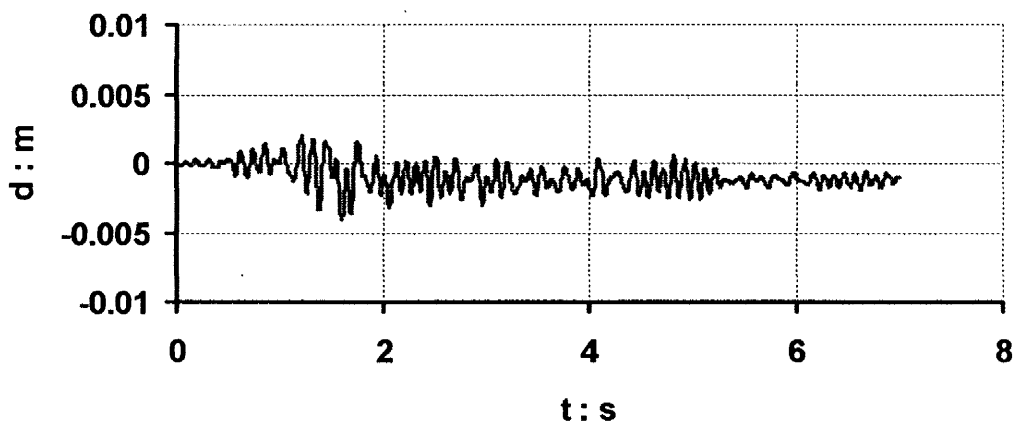
relative displacement : node14 - node100



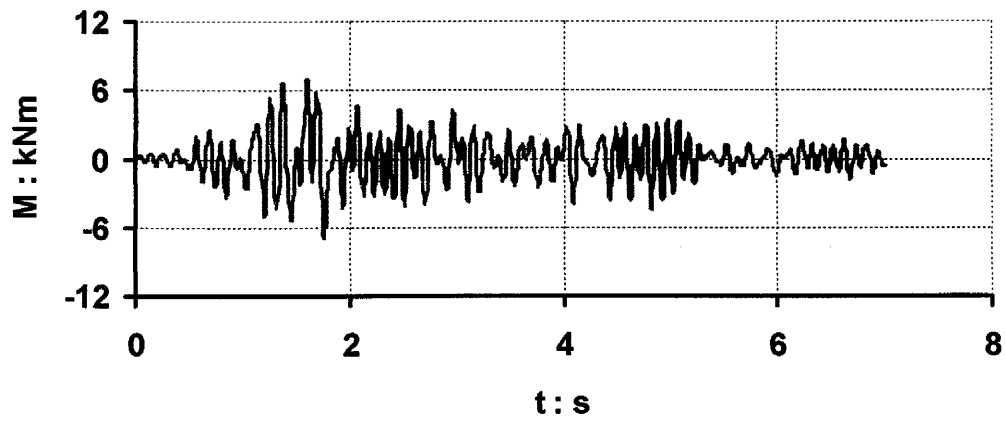
relative displacement : node1 - node100



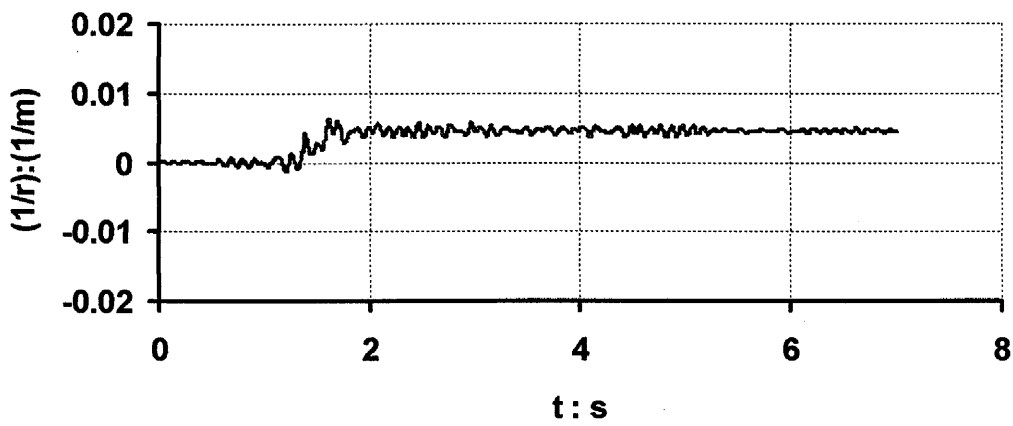
relative displacement : node26 - node100



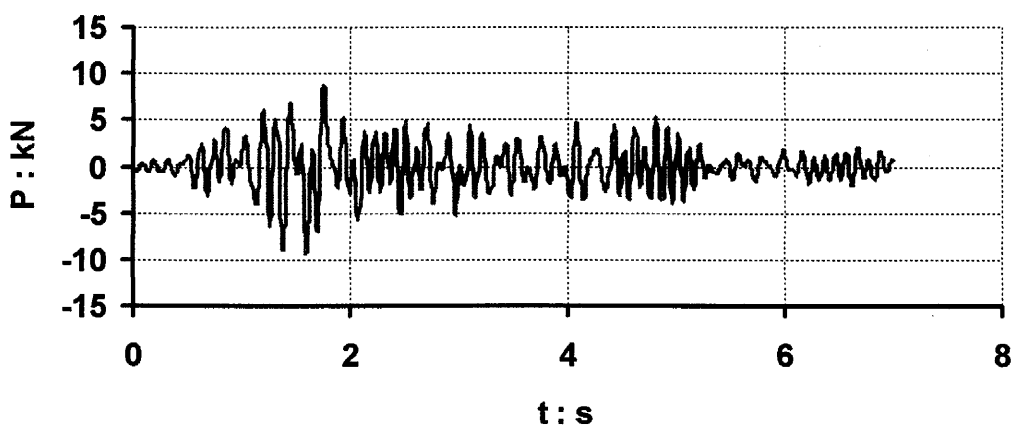
Bending Moment : element 2



Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Μεγάλη Πύλη

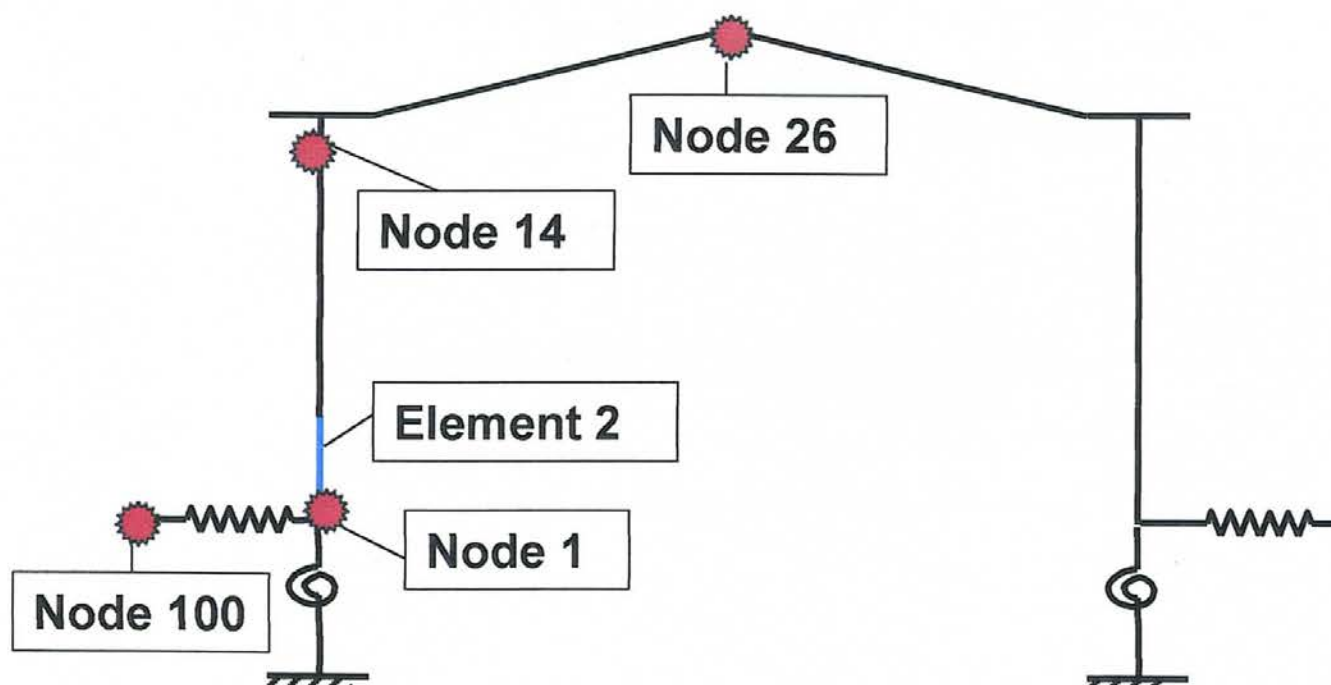
Διέγερση : ΚΕΔΕ-Τ

PGA : 0.60g

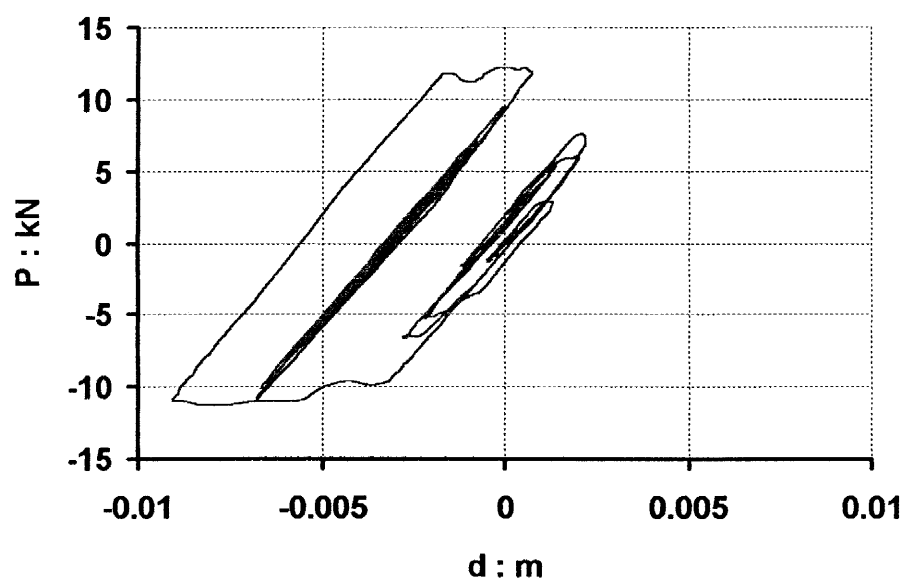
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

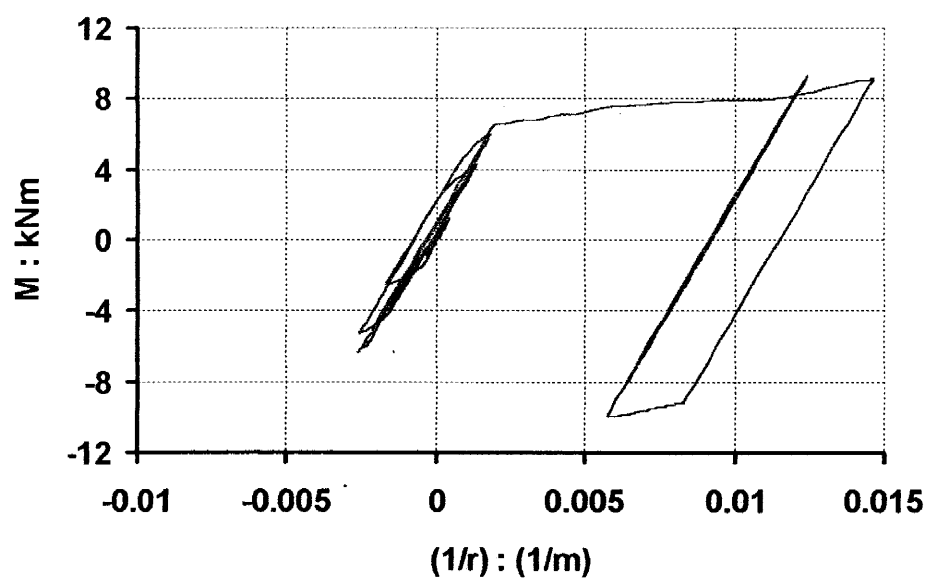
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



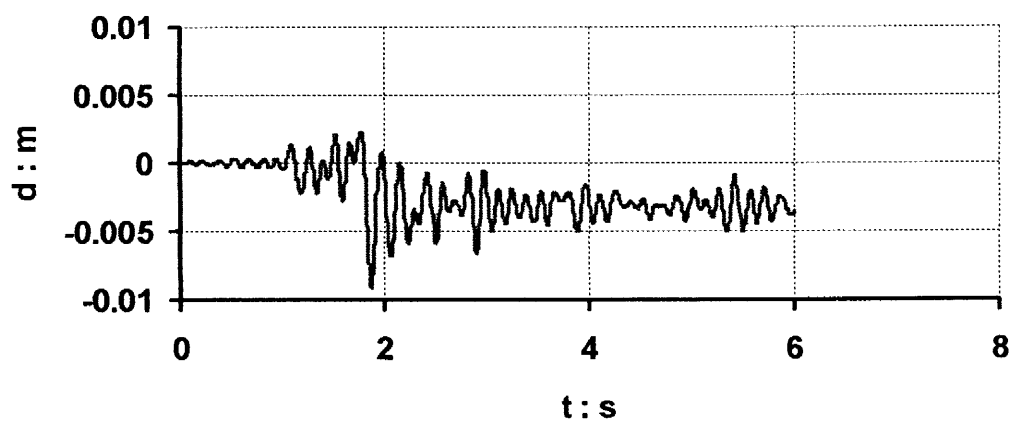
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



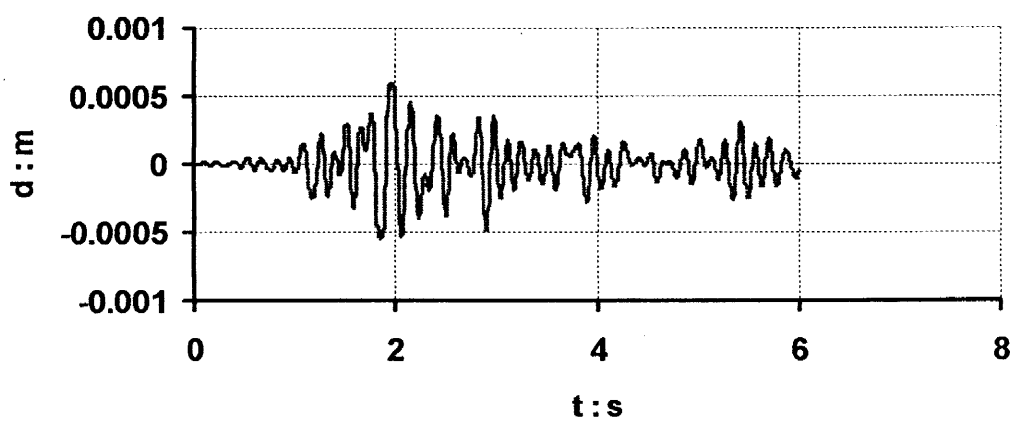
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



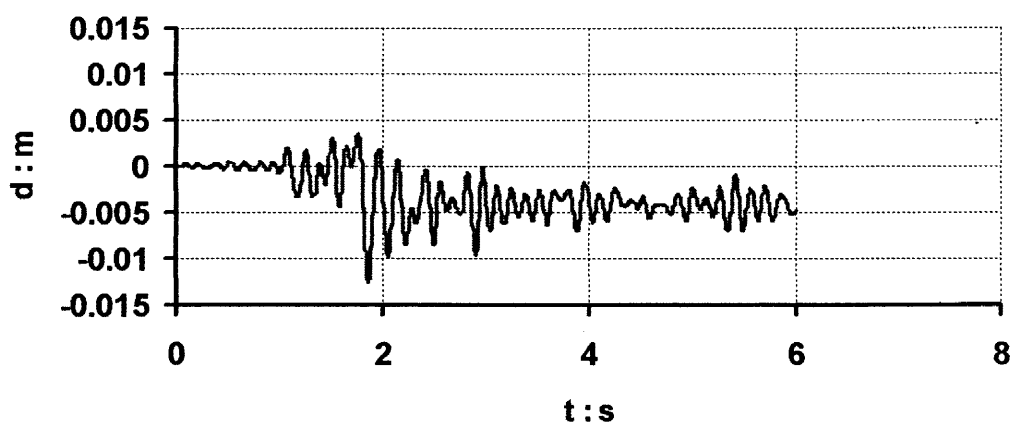
relative displacement : node14 - node100



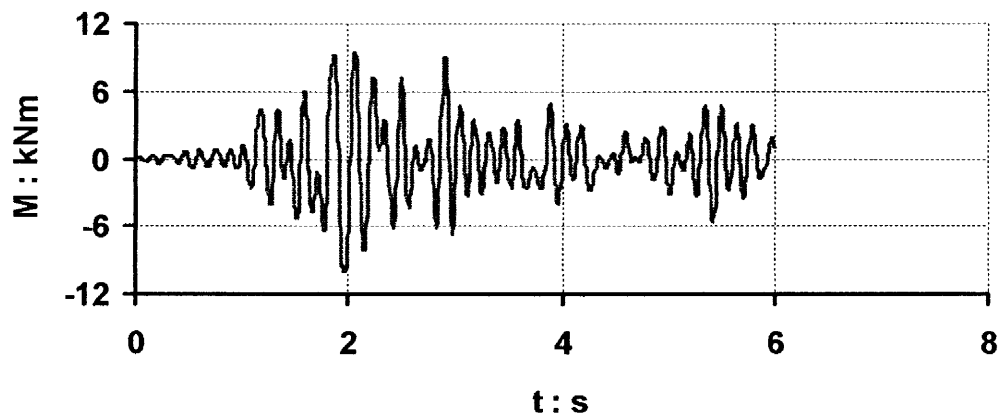
relative displacement : node1 - node100



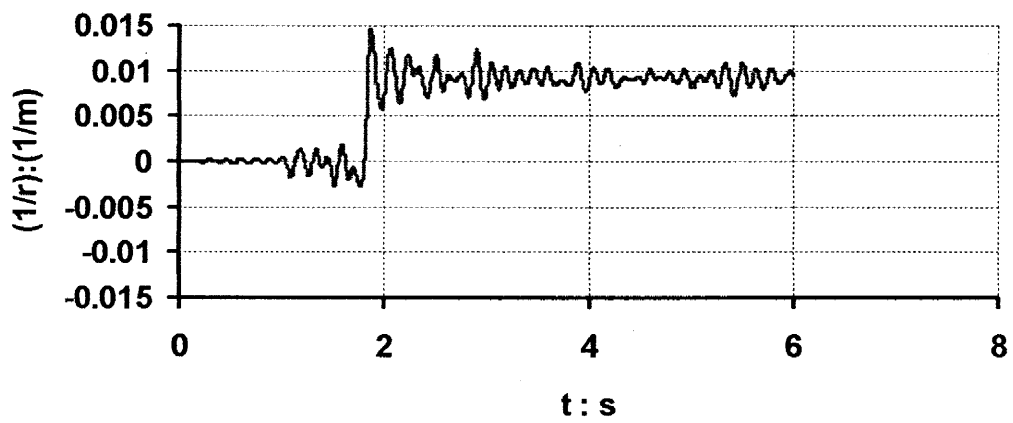
relative displacement : node26 - node100



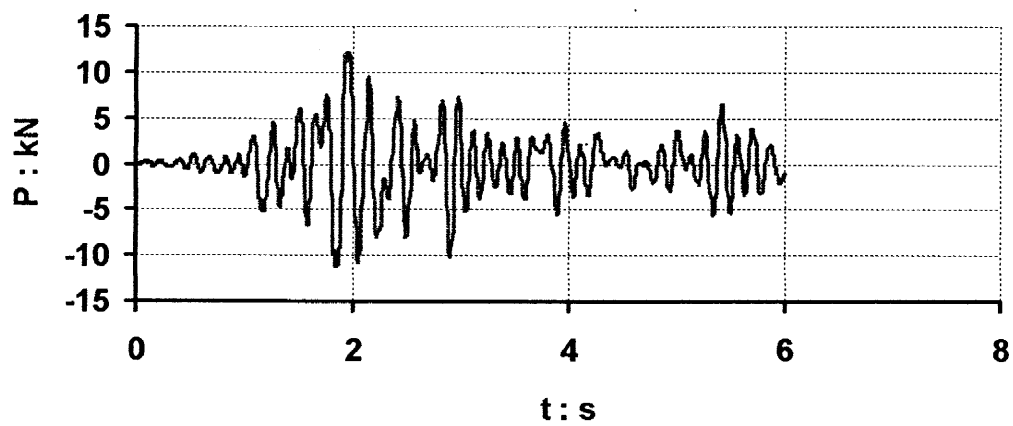
Bending Moment : element 2



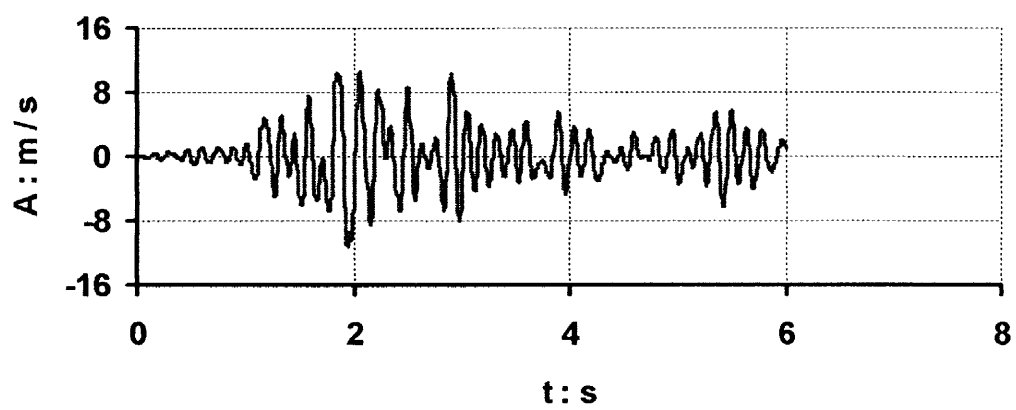
Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Acceleration : node 26



Μικρή Πύλη

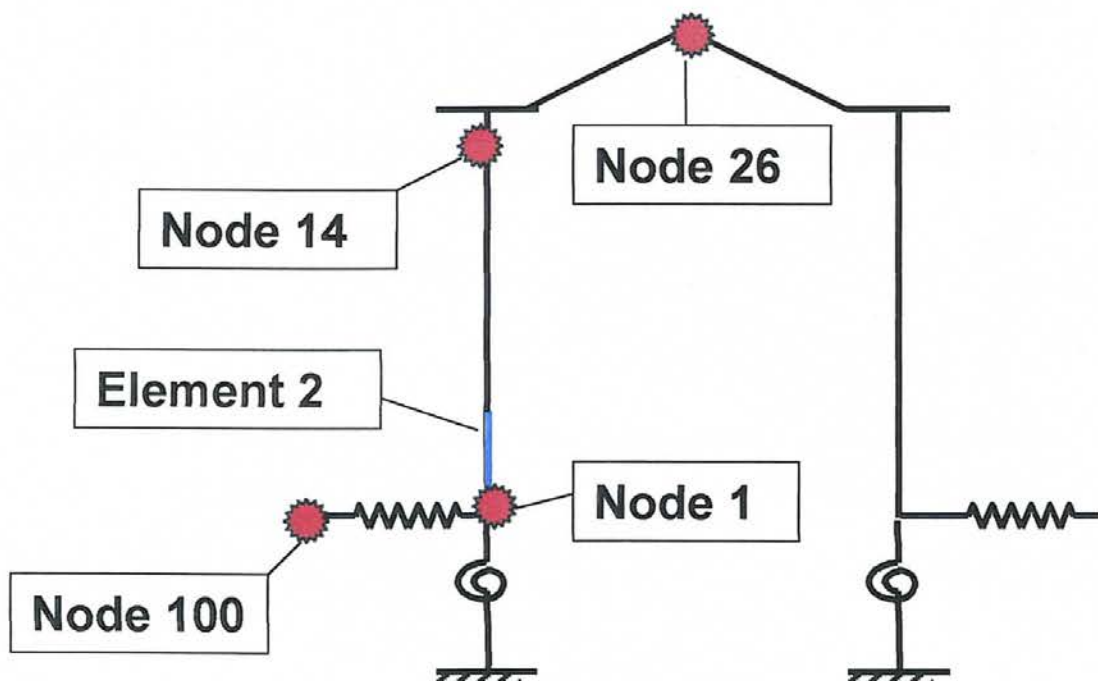
Διέγερση : ΚΕΔΕ-Τ

PGA : 0.60g

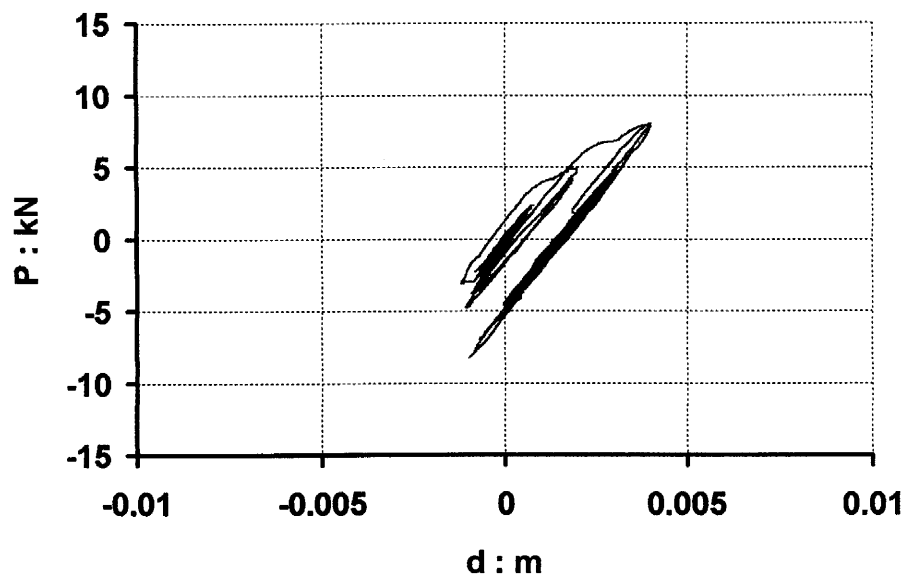
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

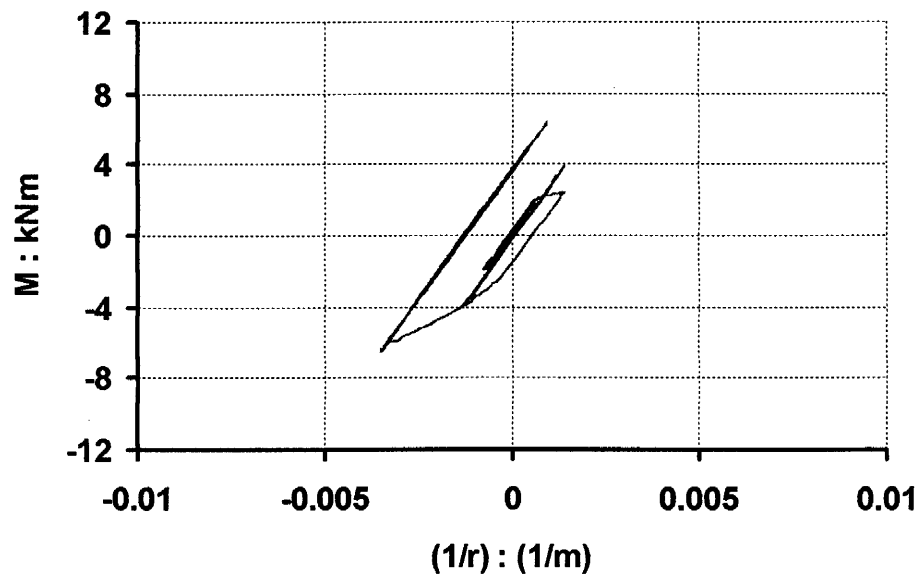
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



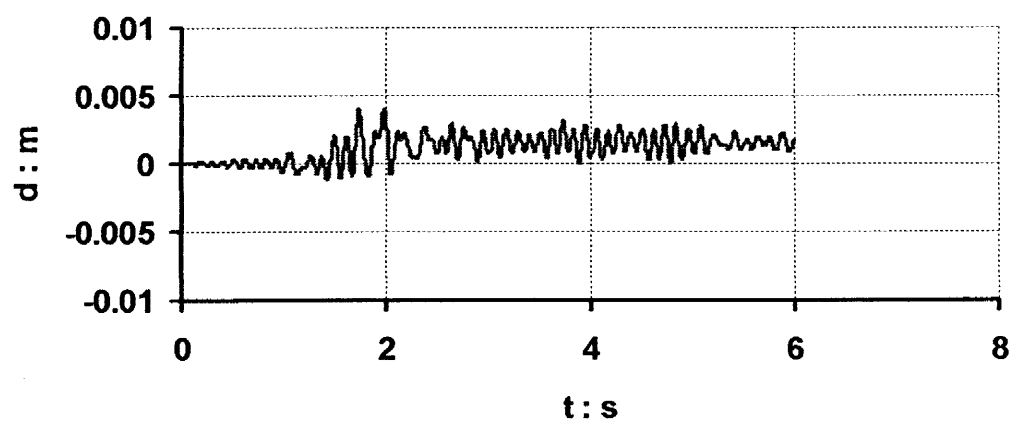
Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



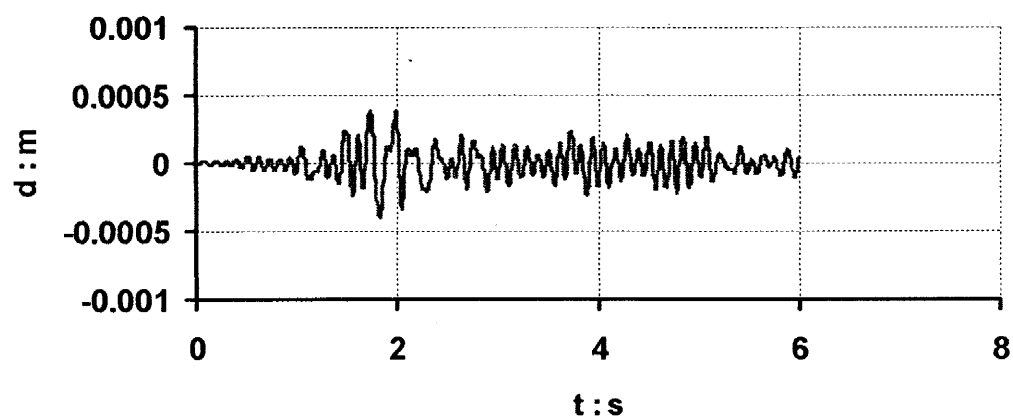
Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



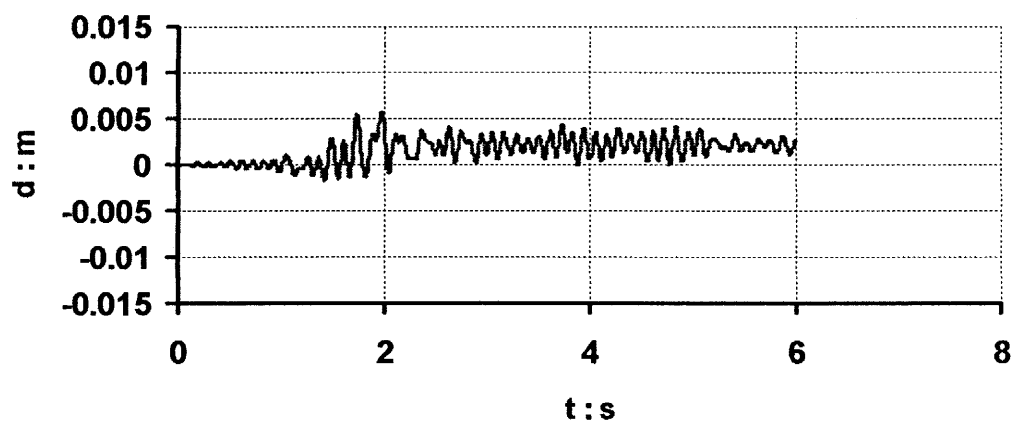
relative displacement : node14 - node100



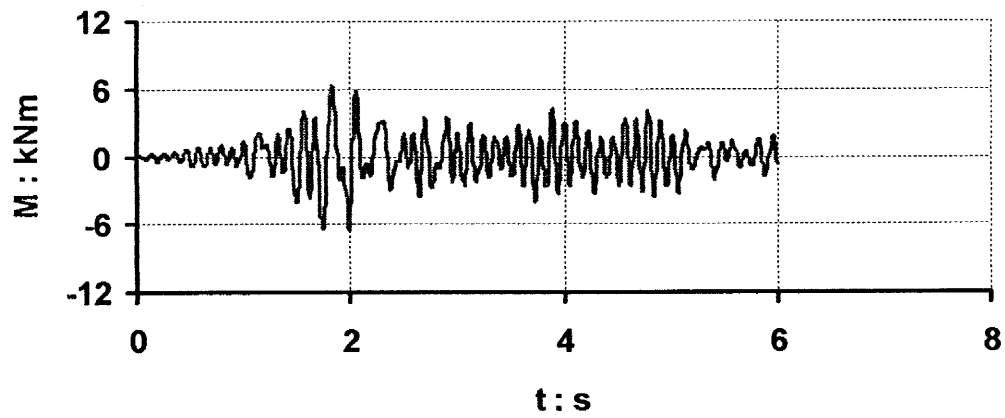
relative displacement : node1 - node100



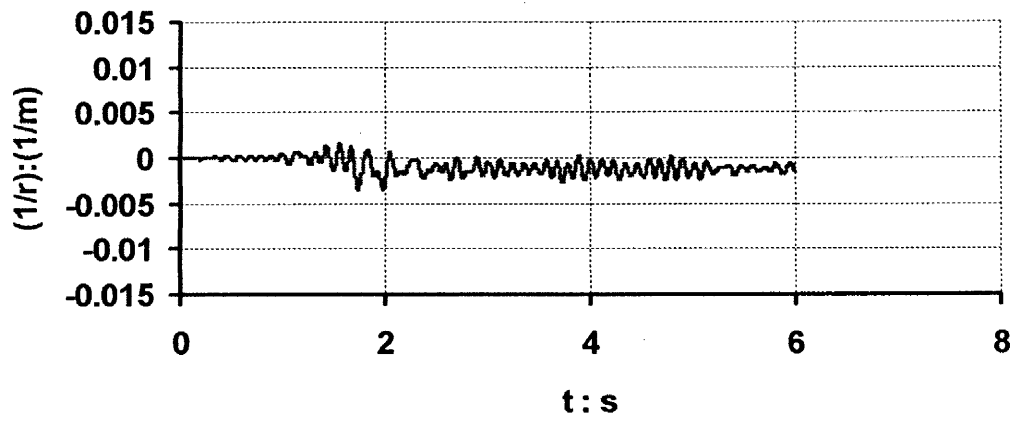
relative displacement : node26 - node100



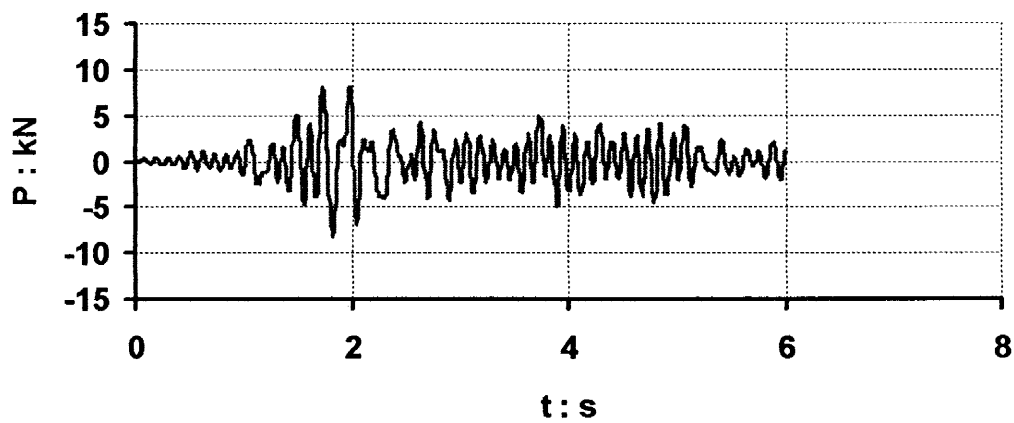
Bending Moment : element 2



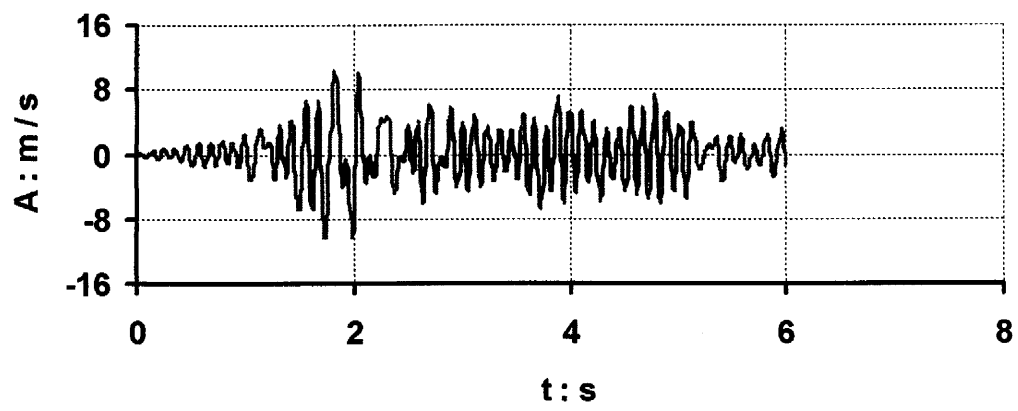
Curvature : element 2



Shear Force x 2 : element 2



Acceleration : node 26



Μεγάλη Πύλη

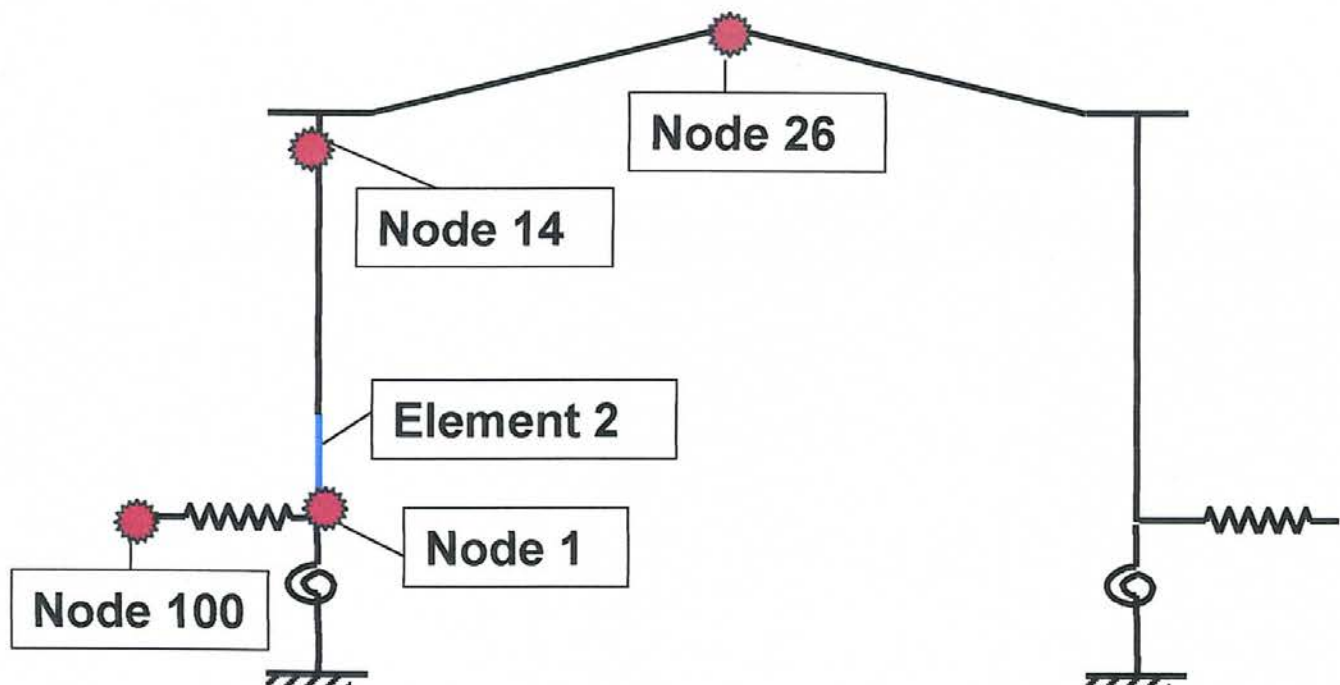
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-Τ

PGA : 0.50g

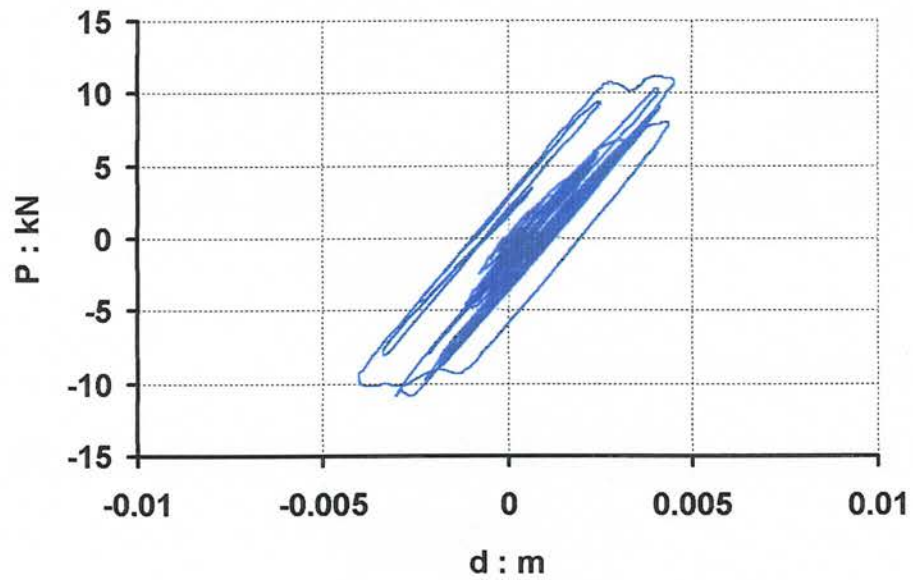
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

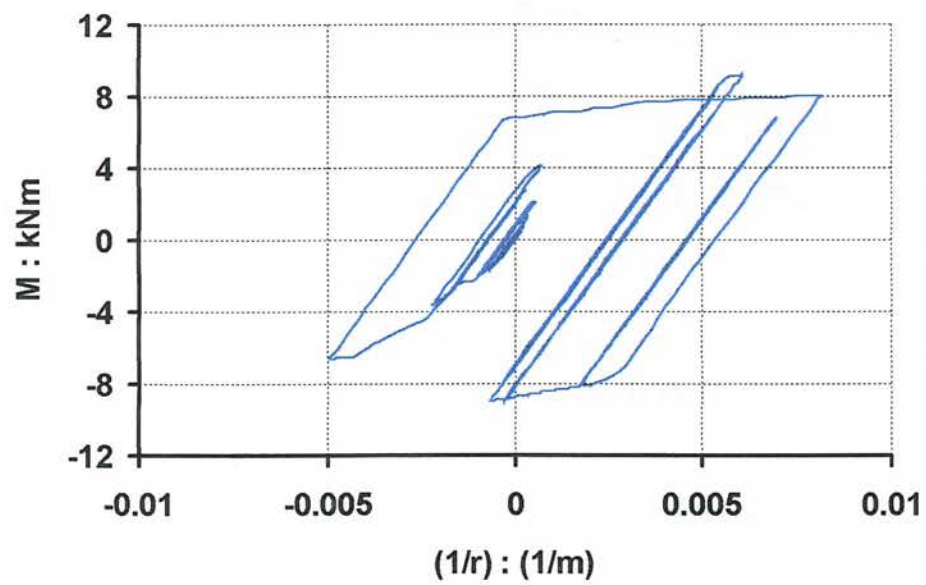
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



Μεγάλη Πύλη

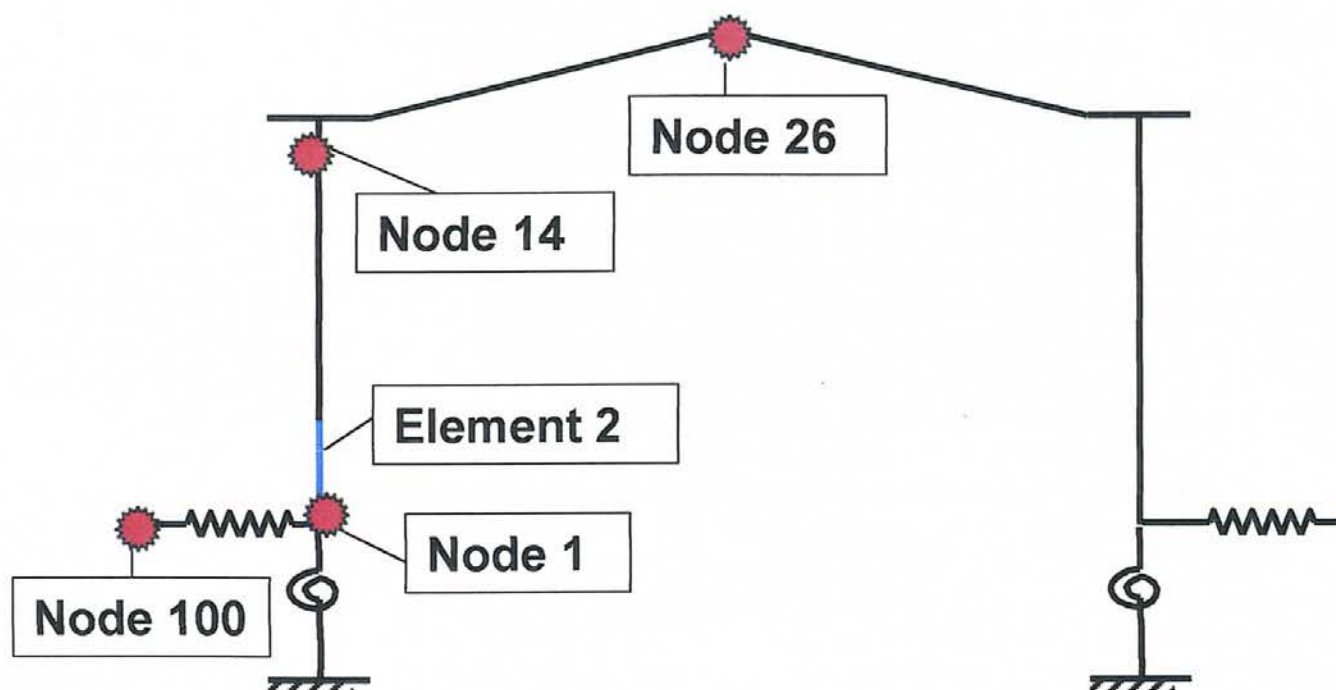
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-Τ

PGA : 0.60g

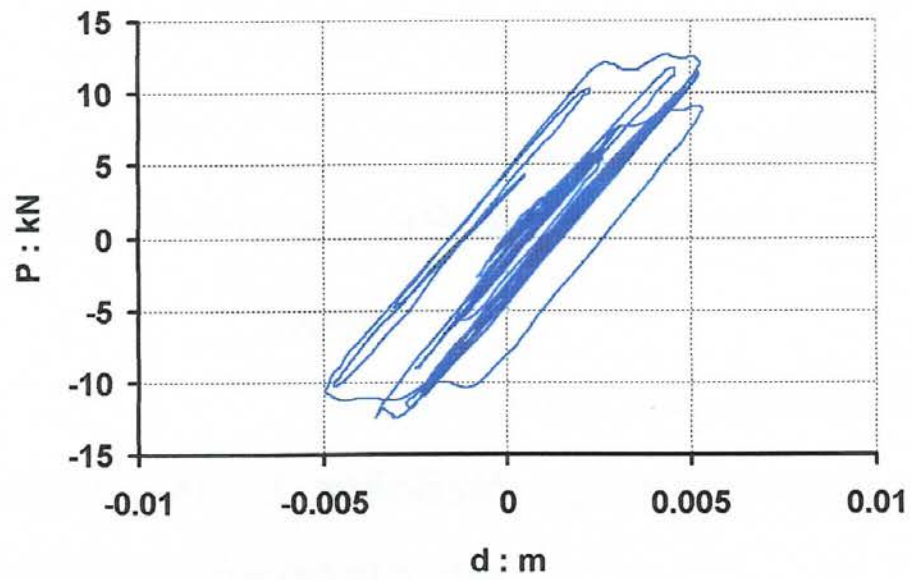
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

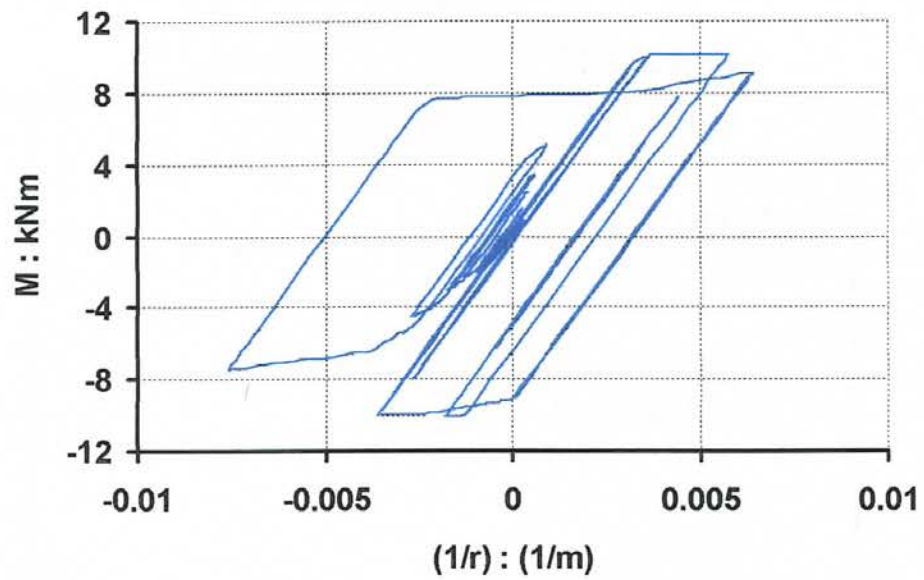
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



Μεγάλη Πύλη

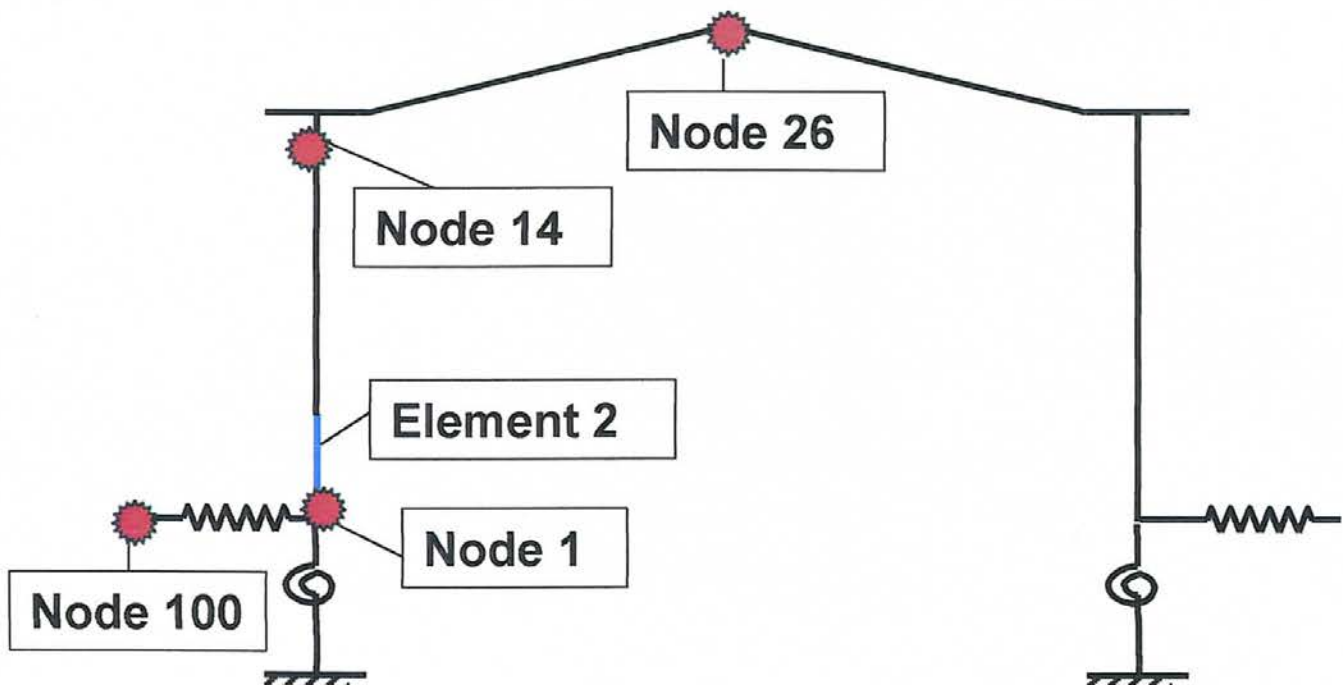
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-T

PGA : 0.50g

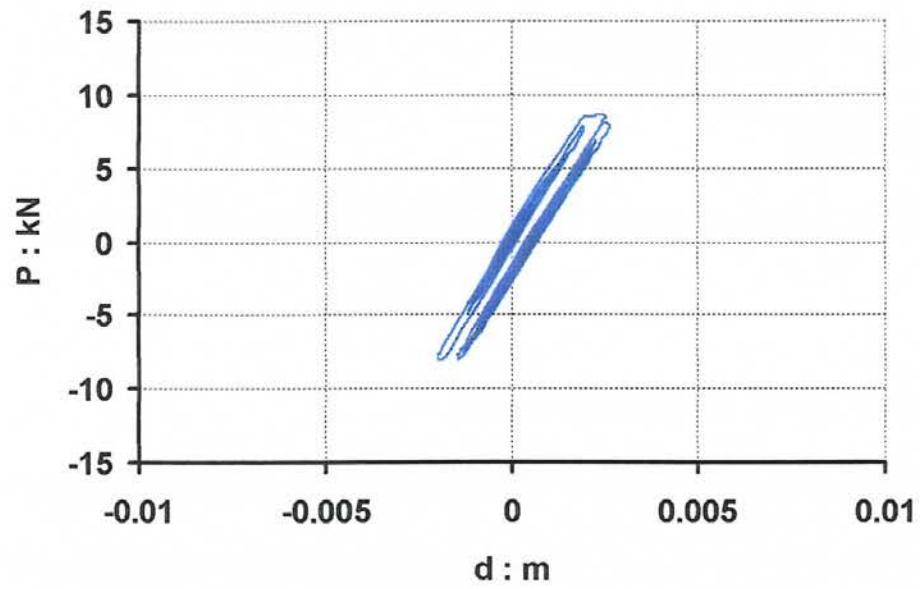
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

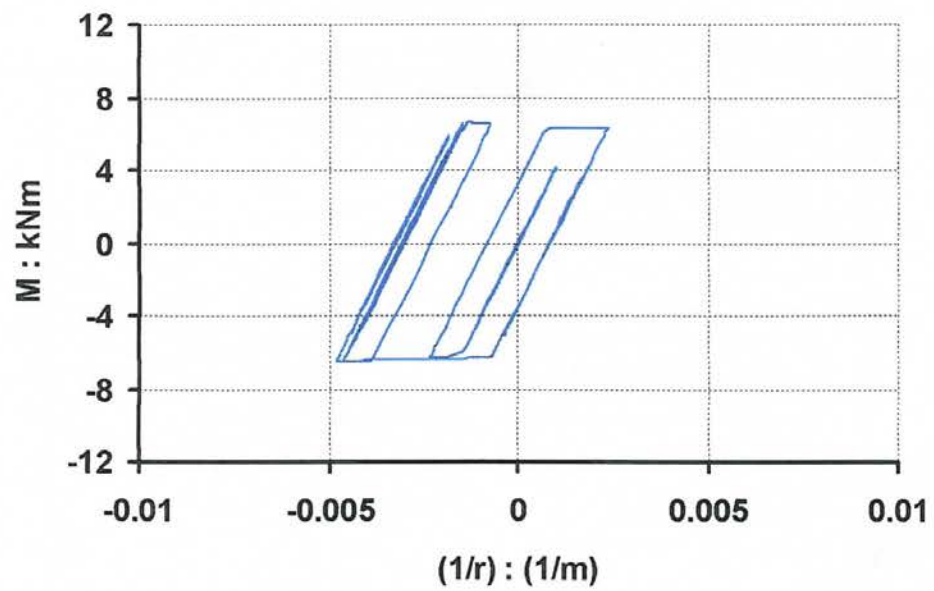
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



Μεγάλη Πύλη

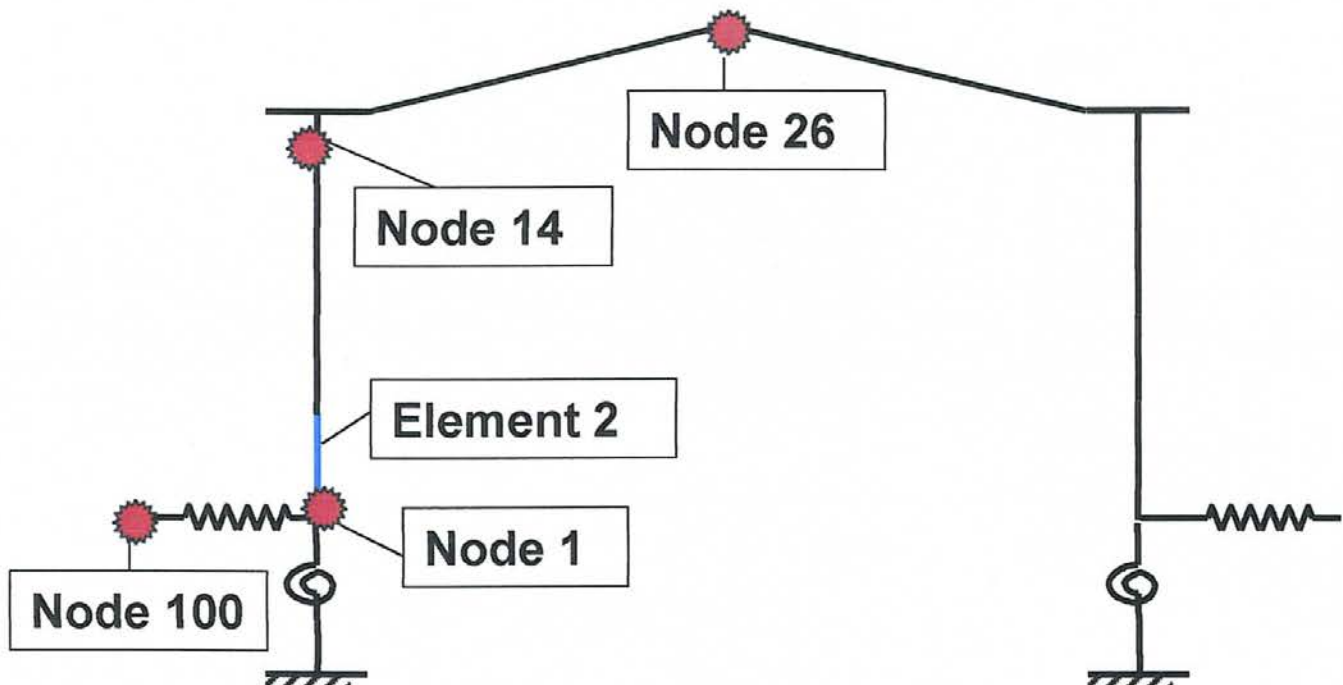
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-Τ

PGA : 0.60g

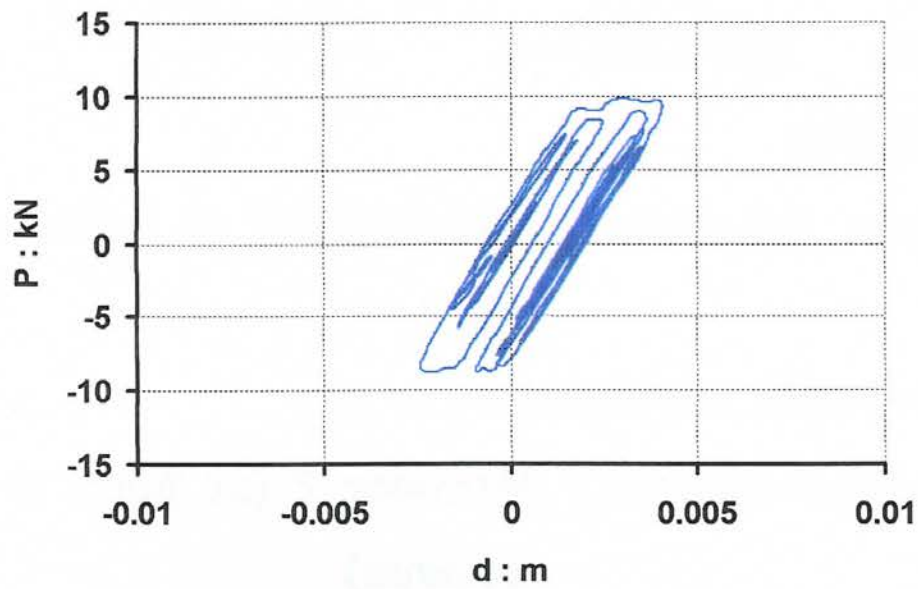
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

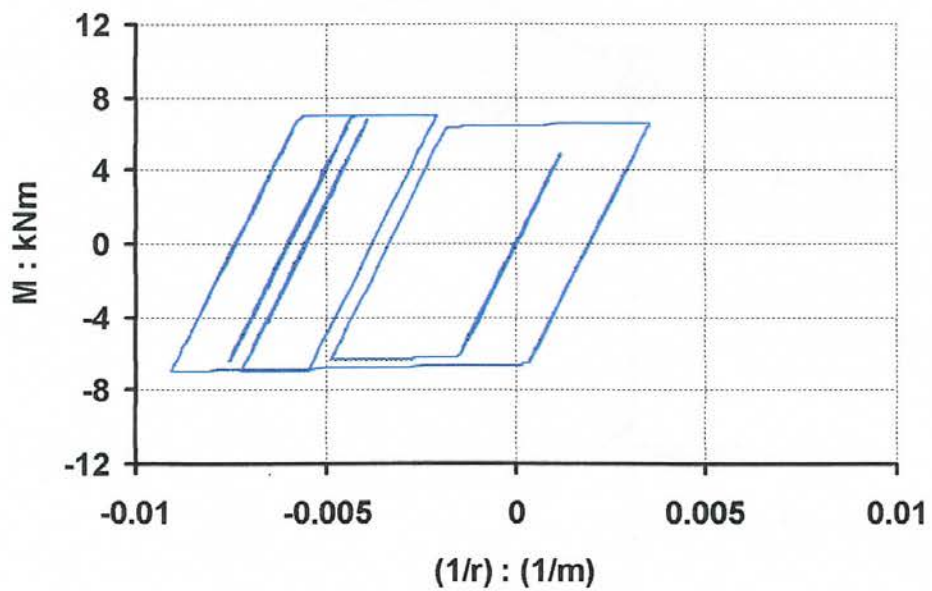
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές και εμπειρικές σχέσεις)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



Μικρή Πύλη

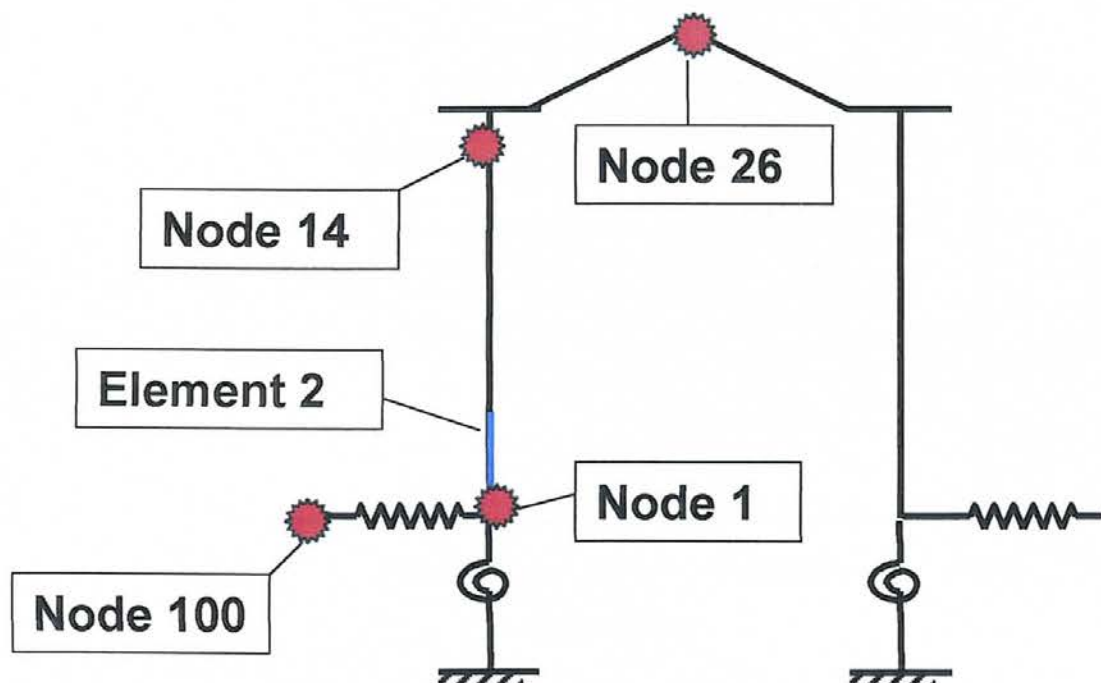
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-Τ

PGA : 0.50g

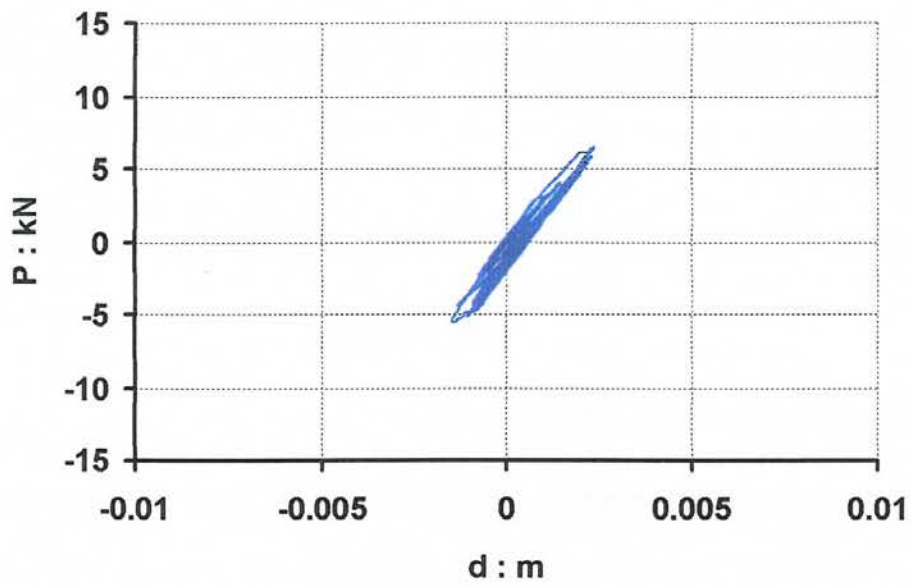
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

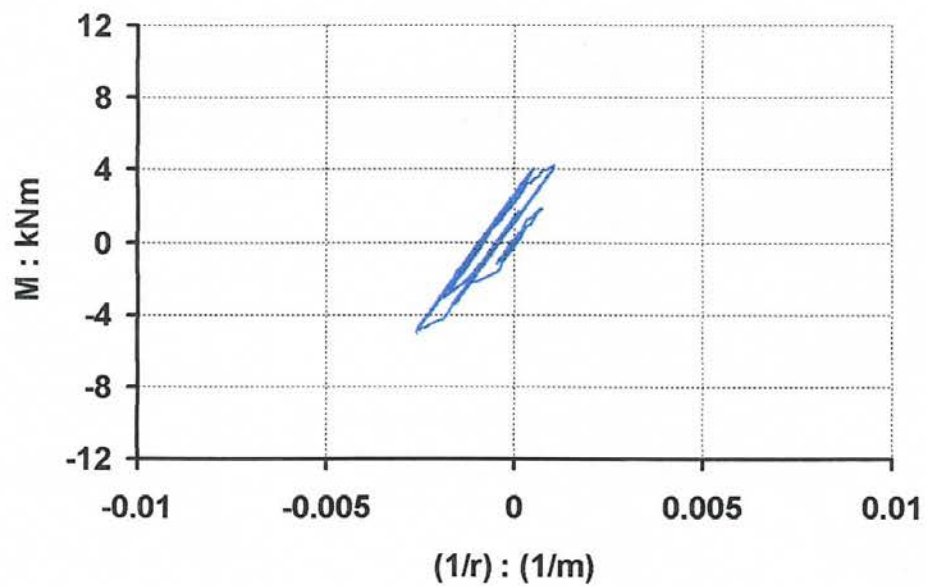
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



Μικρή Πύλη

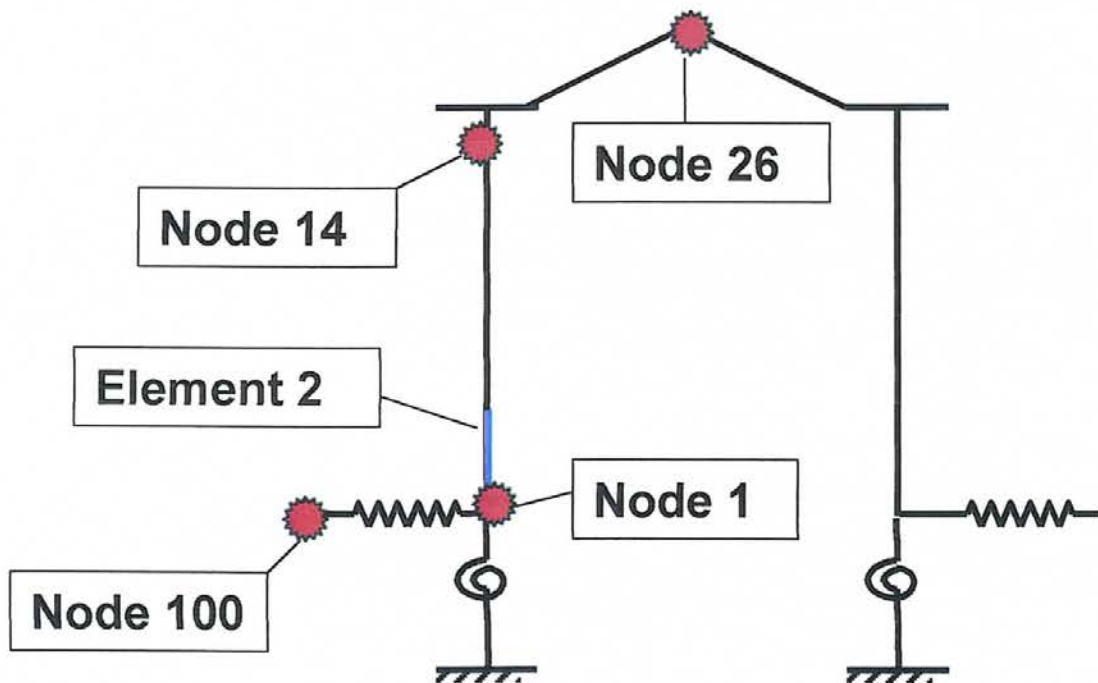
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-Τ

PGA : 0.60g

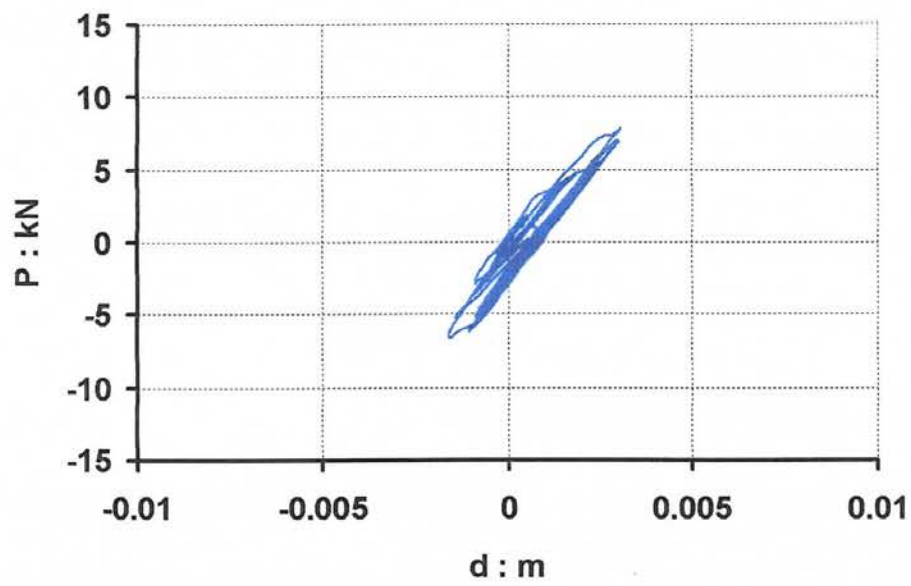
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

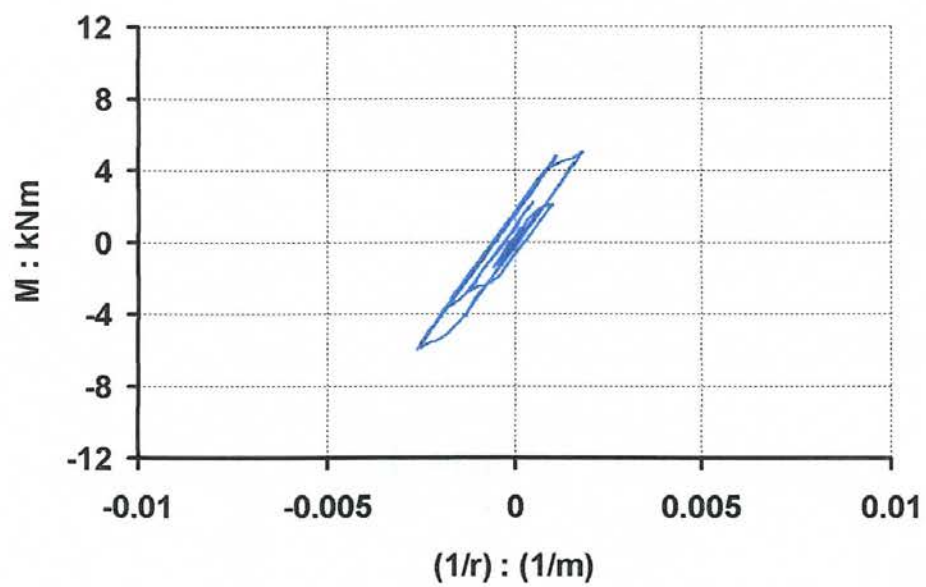
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 2 (με βάση το
πείραμα)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



Μικρή Πύλη

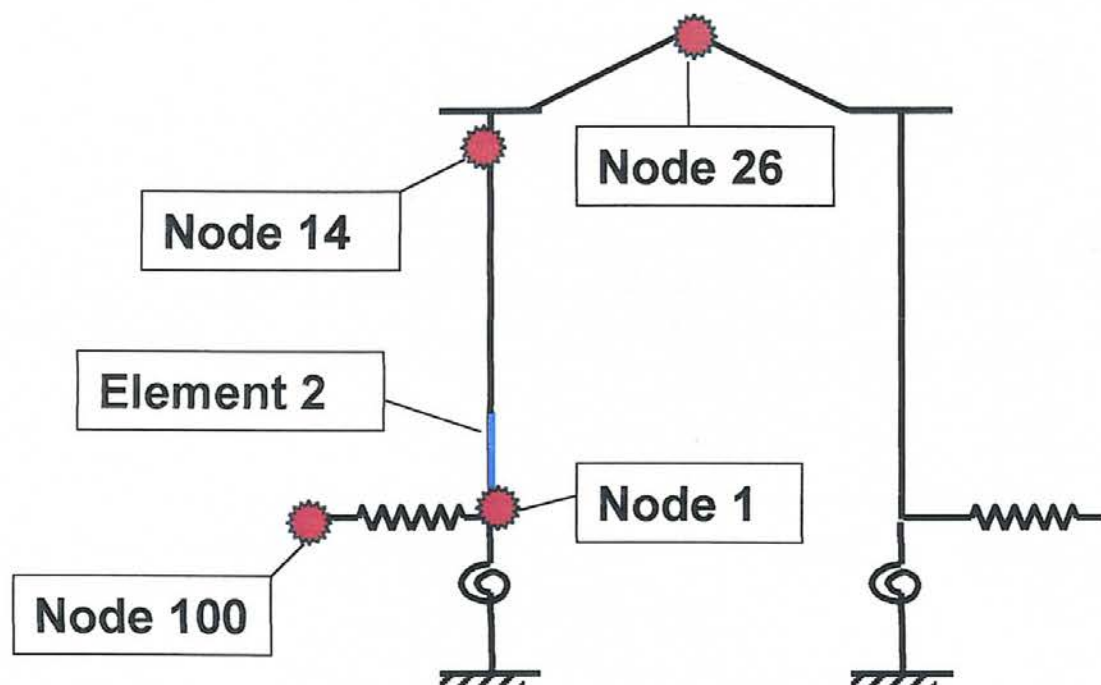
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-T

PGA : 0.50g

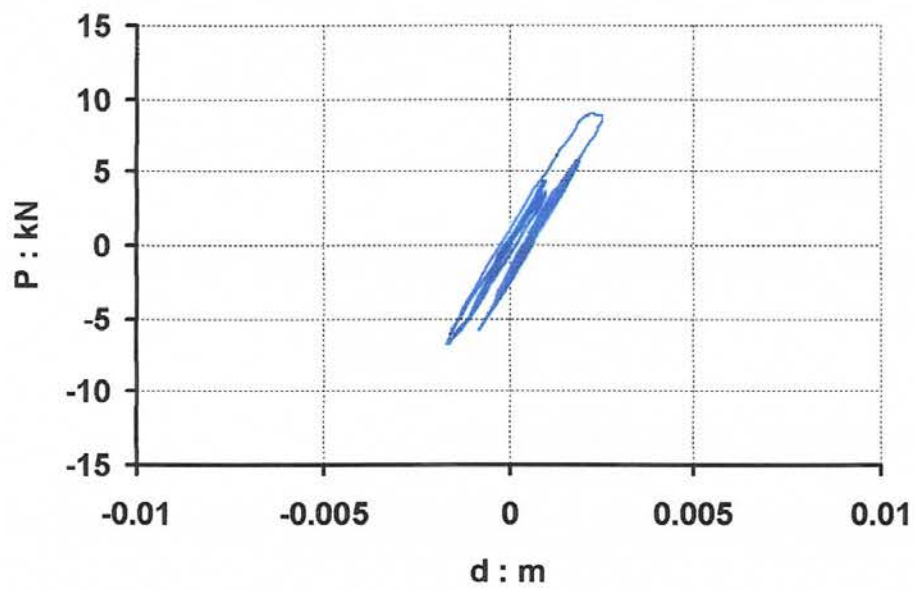
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

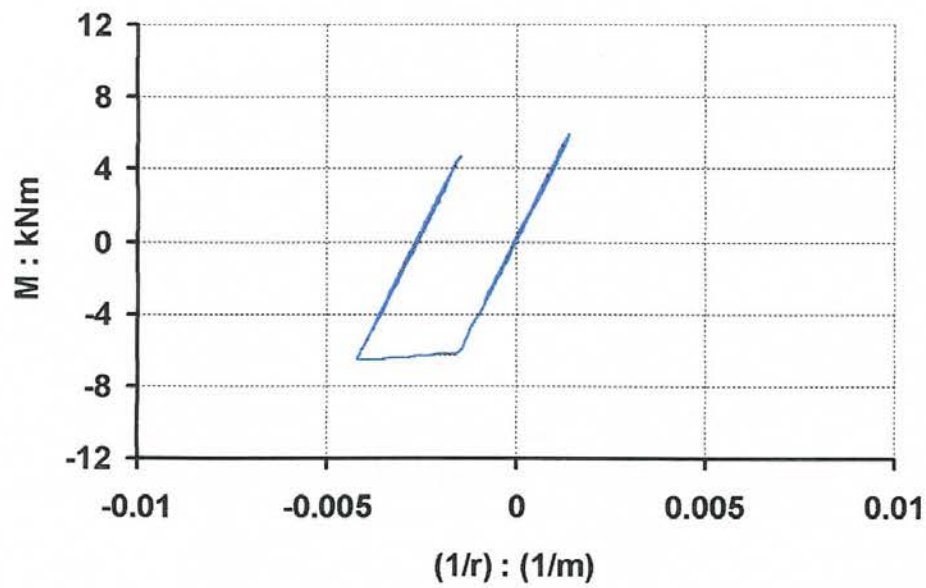
Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)



Μικρή Πύλη

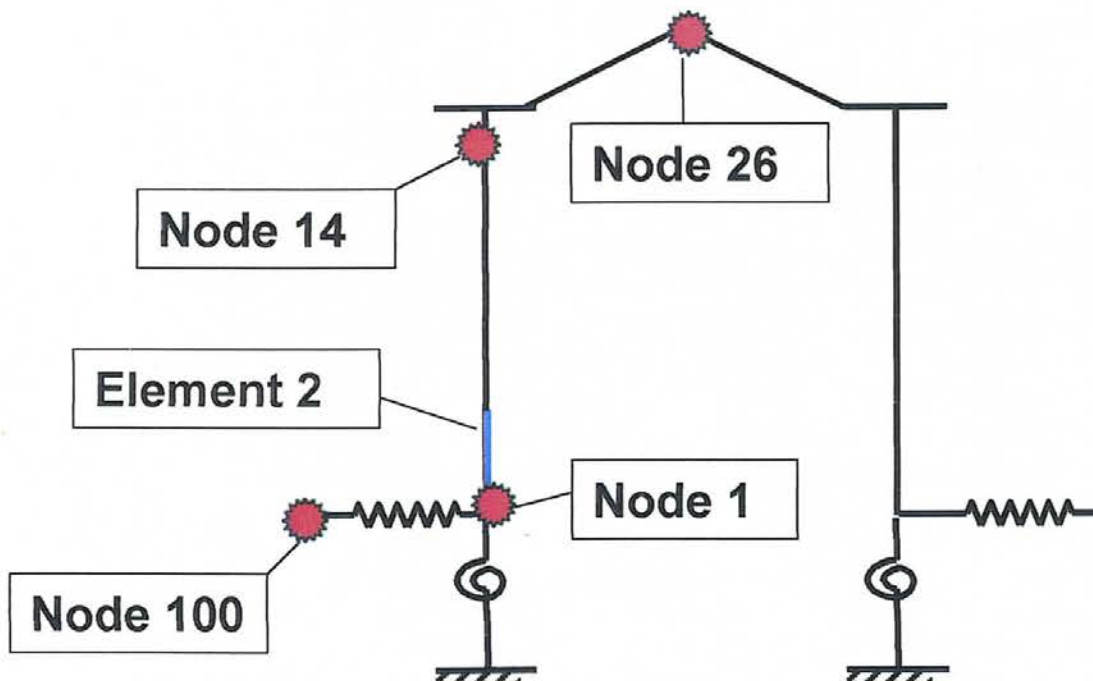
Διέγερση : ΣΕΠΟΛΙΑ-Τ

PGA : 0.60g

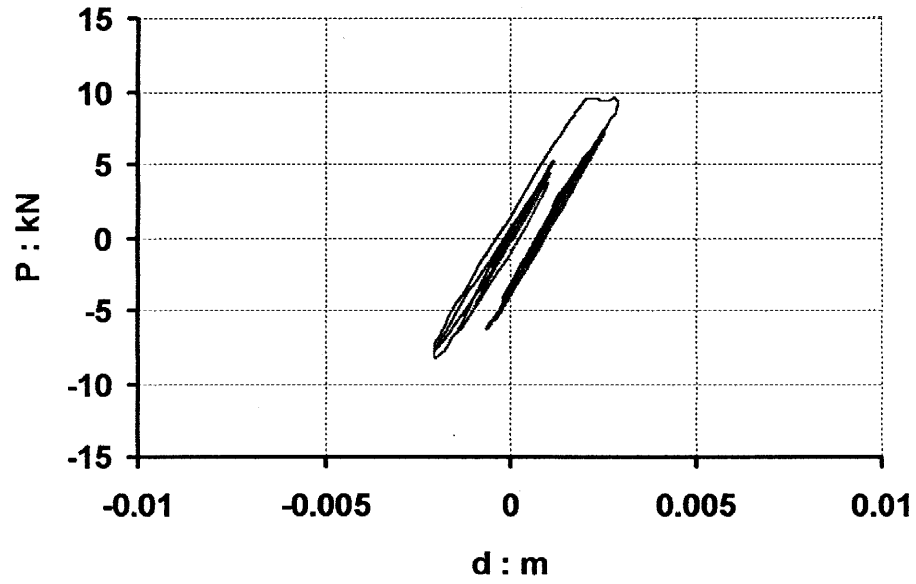
Διεύθυνση Διέγερσης : Κάθετη προς το επίπεδο
της πύλης

Προσδιορισμός των σχέσεων

Ροπής—Καμπυλότητας : Μέθοδος 1 (απο αναλυτικές
και εμπειρικές σχέσεις)



Shear Force x 2 (el. 2) – relative disp. (node14 - node100)



Bending Moment (el. 2) – Curvature (el. 2)

