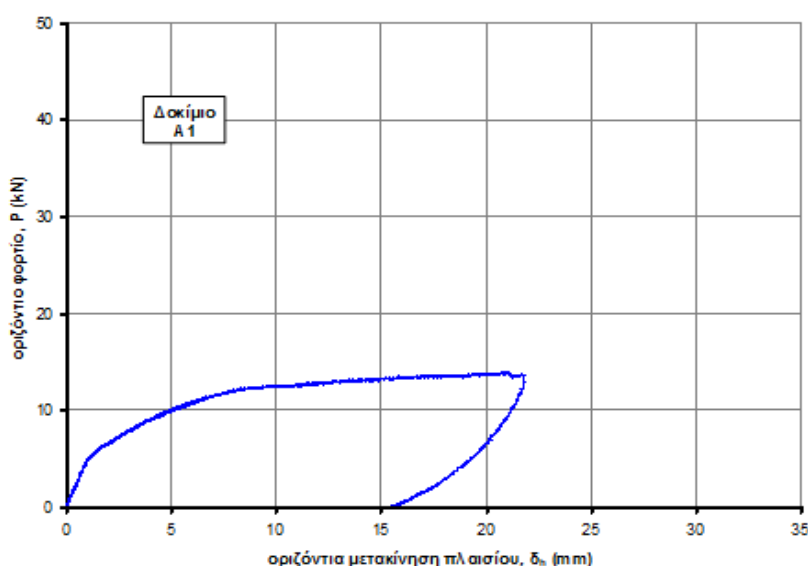


5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

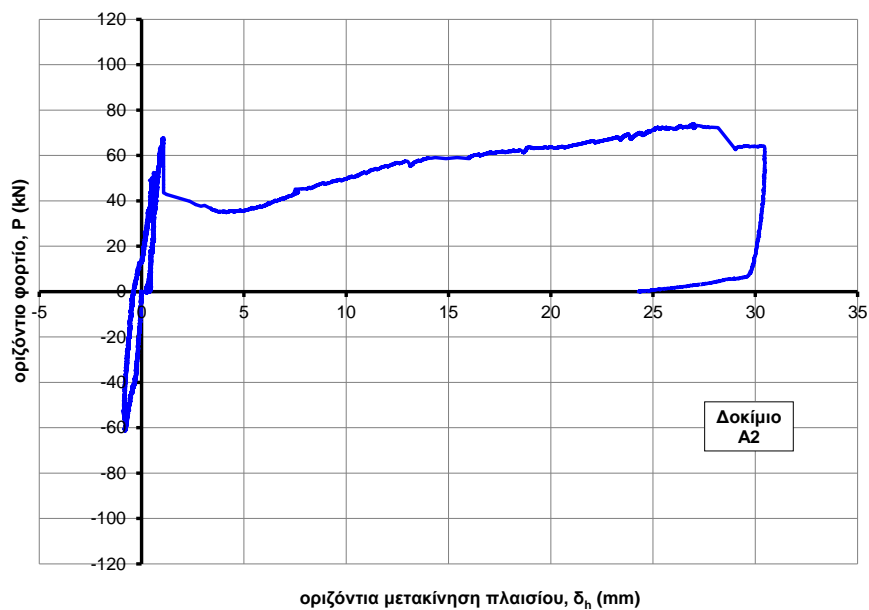
5.1. Διαγράμματα Φορτίου-Μετακίνησης

Τα διαγράμματα φορτίου-μετακίνησης των δοκιμών φαίνονται στα Σχ. 5.1 έως 5.10. Για τα δοκίμια A1÷A4, η φορά του φορτίου και μετακίνησης προς τα δεξιά ως προς την εμπρόσθια όψη του δοκιμίου (υδραυλικό έμβολο αριστερά του δοκιμίου) είχε οριστεί ως «θετική» (επιβολή φορτίου στον αριστερό κόμβο δοκού/υποστυλώματος). Για τα δοκίμια A5, A6, A7, και B1, B2, B3 ως «θετική» ορίστηκε η φορά του φορτίου προς τα αριστερά (επιβολή φορτίου στο δεξιό κόμβο δοκού/υποστυλώματος) ως προς την εμπρόσθια όψη του δοκιμίου. Στις φωτογραφίες των ρηγματώσεων, με μαύρο χρώμα έχουν σημειωθεί οι ρωγμές που αντιστοιχούν σε «θετικό» φορτίο (σύμφωνα με την παραπάνω σύμβαση), ενώ με κόκκινο χρώμα οι ρωγμές που αντιστοιχούν σε «αρνητικό» φορτίο. Στα επόμενα γενικά «αριστερό άκρο του πλαισίου» είναι το άκρο που βρίσκεται σε επαφή με το υδραυλικό έμβολο.

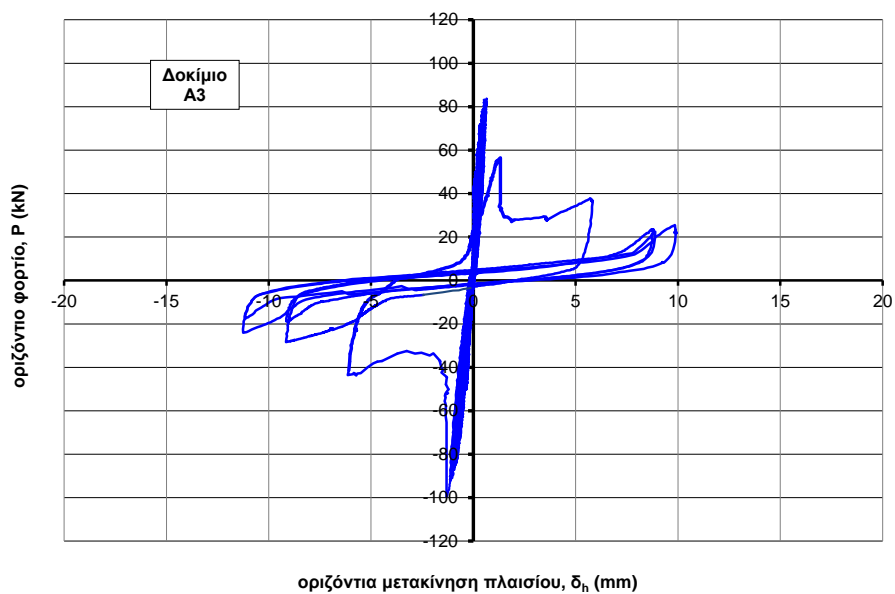
Η περιβάλλουσα των «θετικών» και των «αρνητικών» κύκλων φορτίσεως (1^{ου} και 2^{ου} κύκλου) για κάθε δοκίμιο παρουσιάζεται στα Σχ. 5.11 έως 5.18 μαζί με το μονοτονικό διάγραμμα «γυμνού» πλαισίου A1 για σύγκριση. Στα Σχ. 5.19 και 5.20 συγκρίνονται οι περιβάλλουσες του 1^{ου} κύκλου φόρτισης όλων των δοκιμών της σειράς A ($l/h=1,73$) και B ($l/h=1,20$), αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή P_{max} του οριζόντιου φορτίου για τους «θετικούς» και «αρνητικούς» κύκλους φόρτισης για κάθε δοκίμιο και η αντίστοιχη τιμή της επιβαλλόμενης οριζόντιας μετακίνησης, δ_h , παρουσιάζονται στον Πίν. 5.1. Για τη μελέτη της συμπεριφοράς των διεπιφανειών του τοιχώματος με τη δοκό (πάνω), το θεμέλιο (κάτω) και τα υποστυλώματα σε κάθε δοκίμιο, περιλαμβάνονται οι αντίστοιχες μετρήσεις της σχετικής ολίσθησης και αποκόλλησης του τοιχώματος στον Πίν. 5.3.



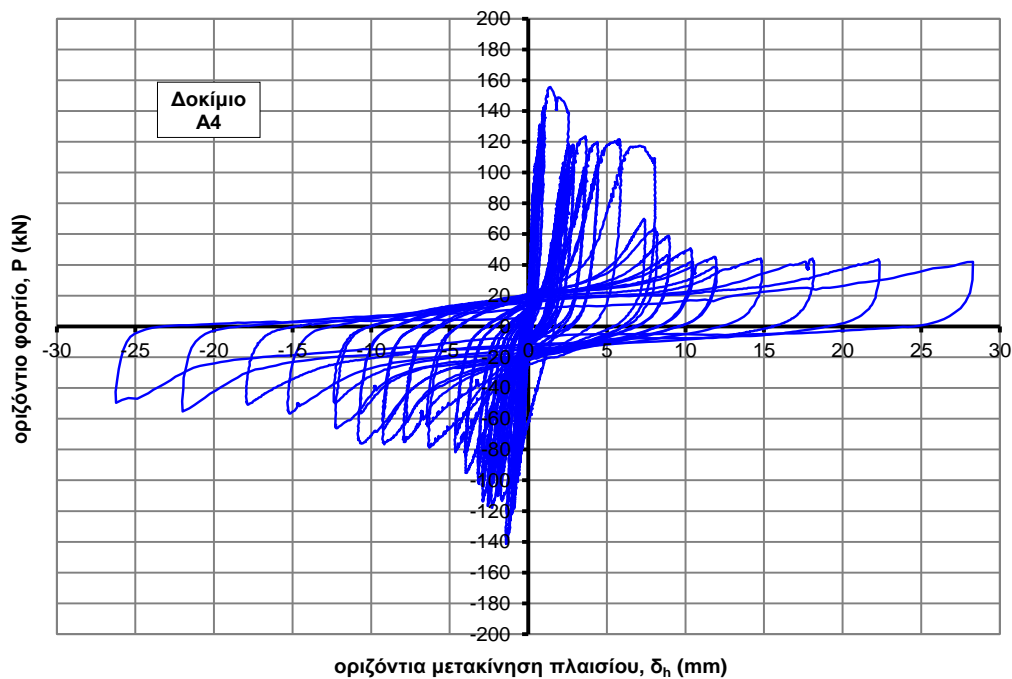
Σχήμα 5.1 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης απλού πλαισίου A1.



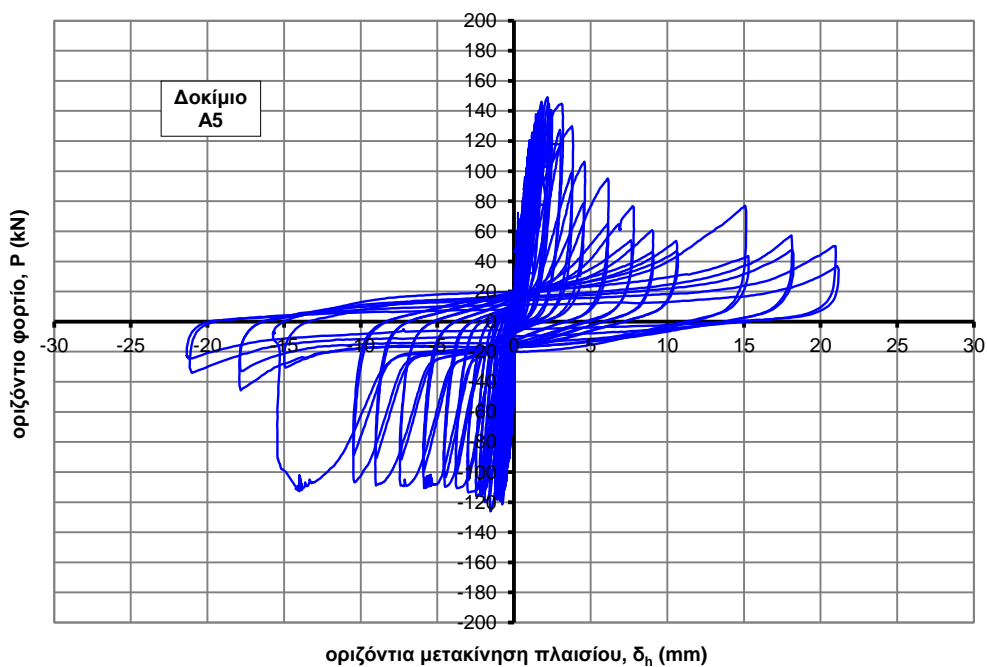
Σχήμα 5.2 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου A2.



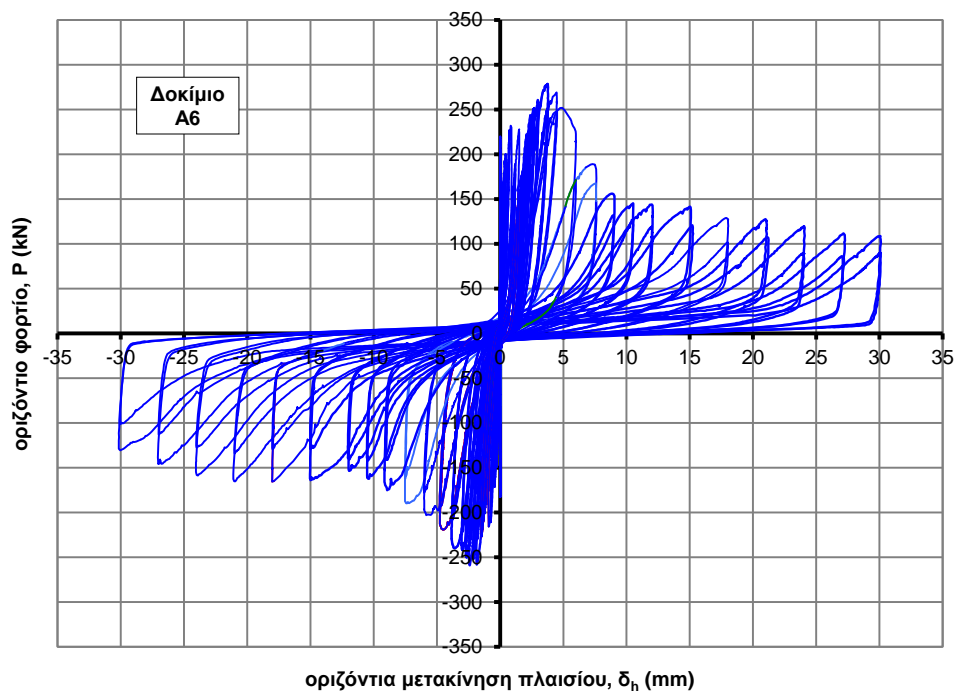
Σχήμα 5.3 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου A3.



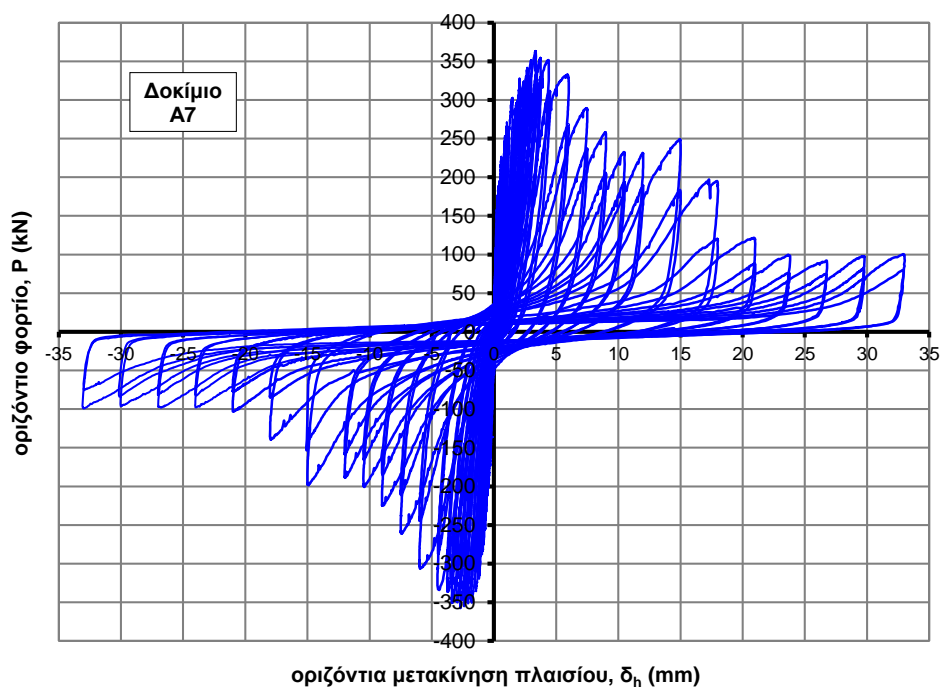
Σχήμα 5.4 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου A4.



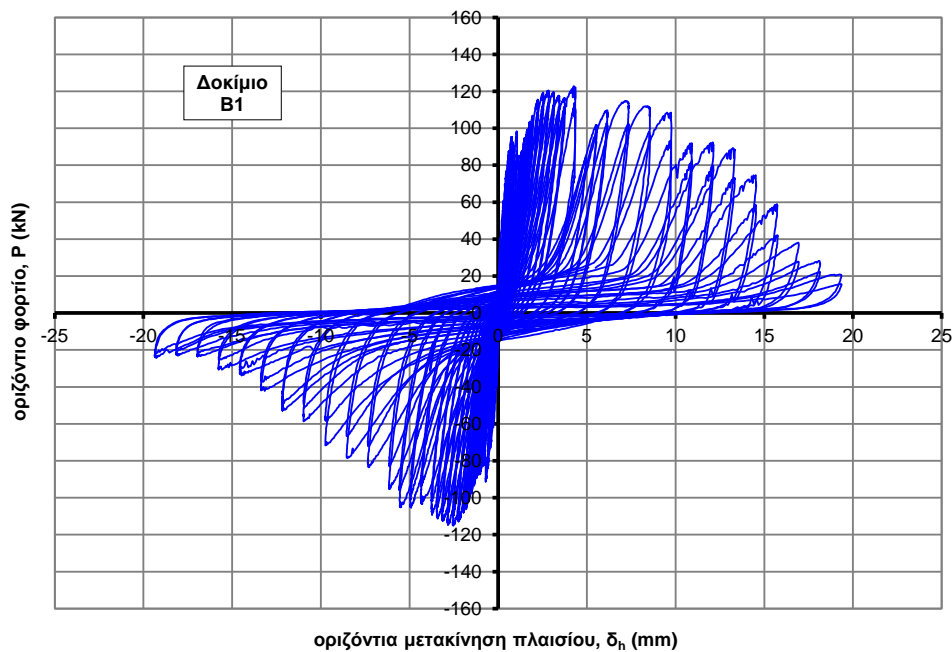
Σχήμα 5.5 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου A5.



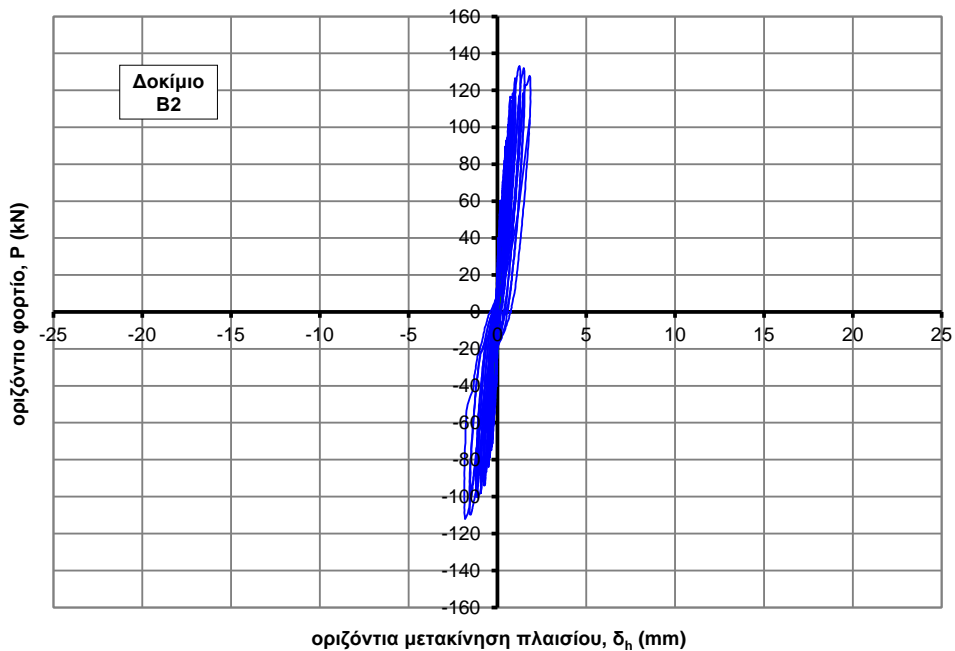
Σχήμα 5.6 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου A6.



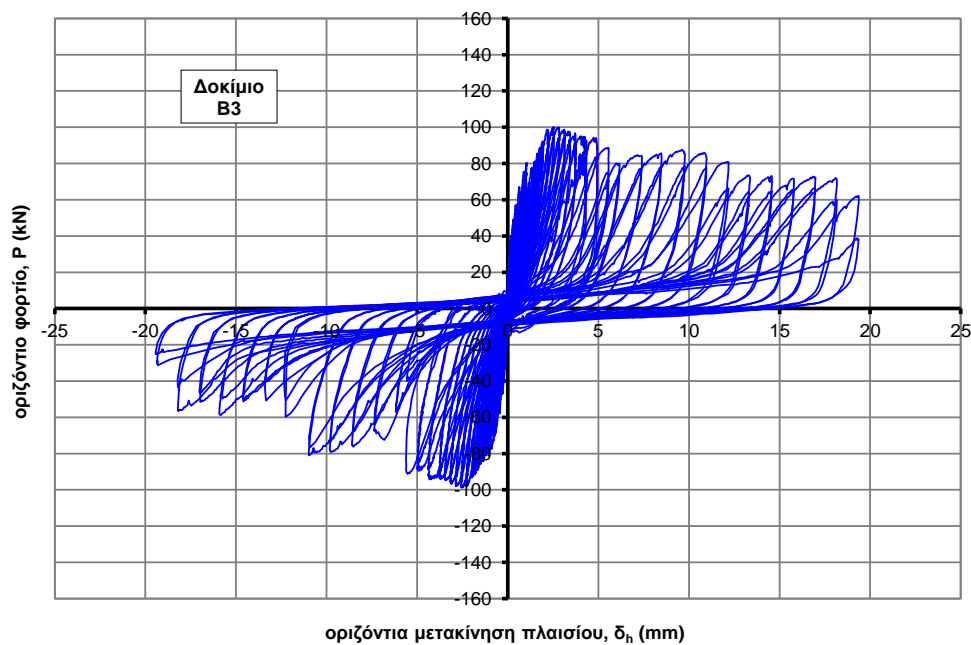
Σχήμα 5.7 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου A7.



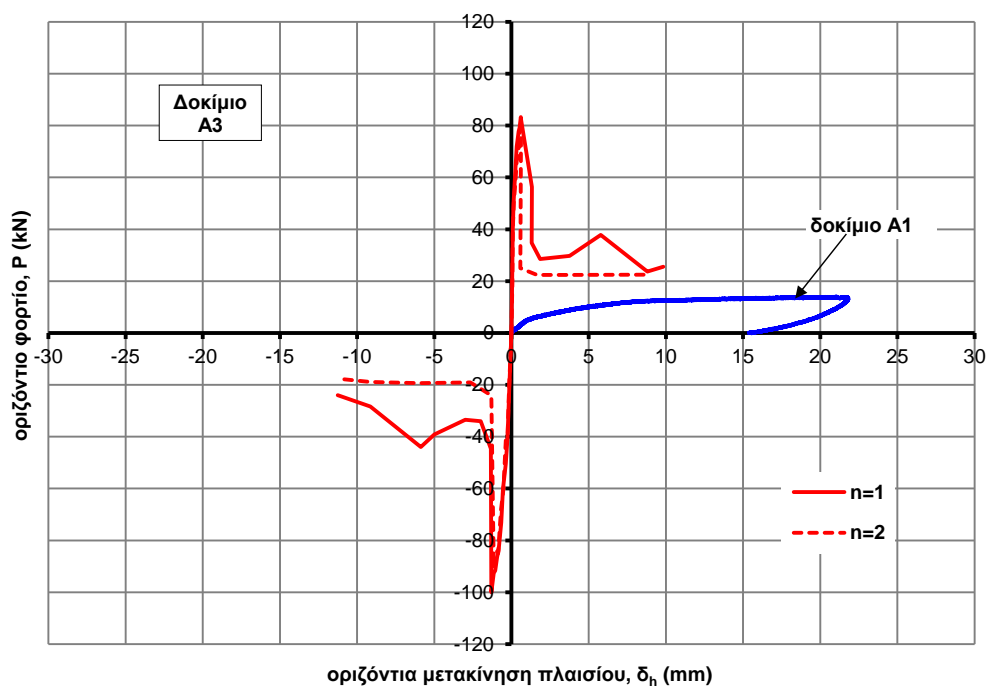
Σχήμα 5.8 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου B1.



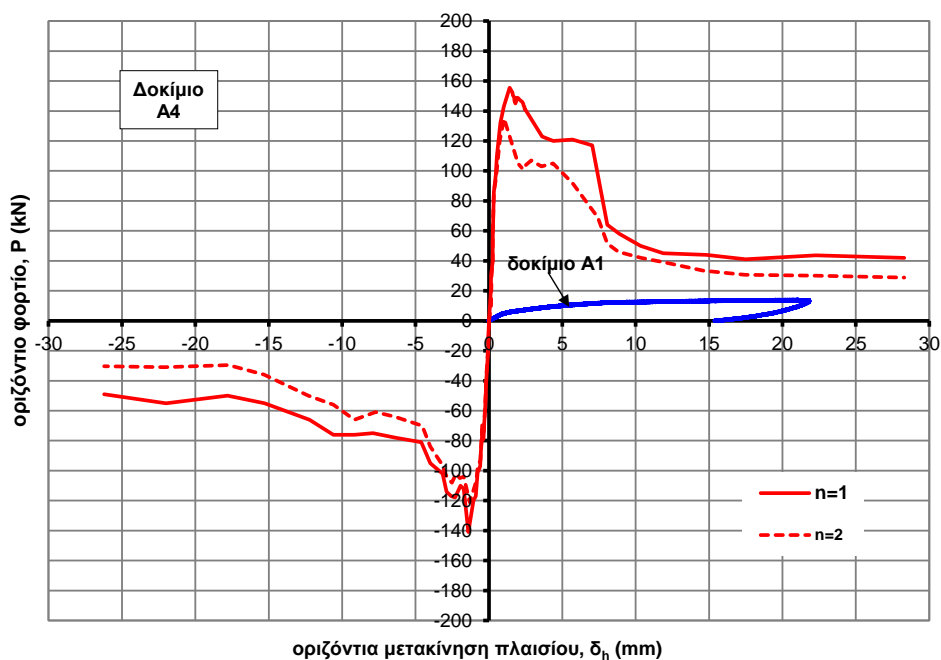
Σχήμα 5.9 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου B2.



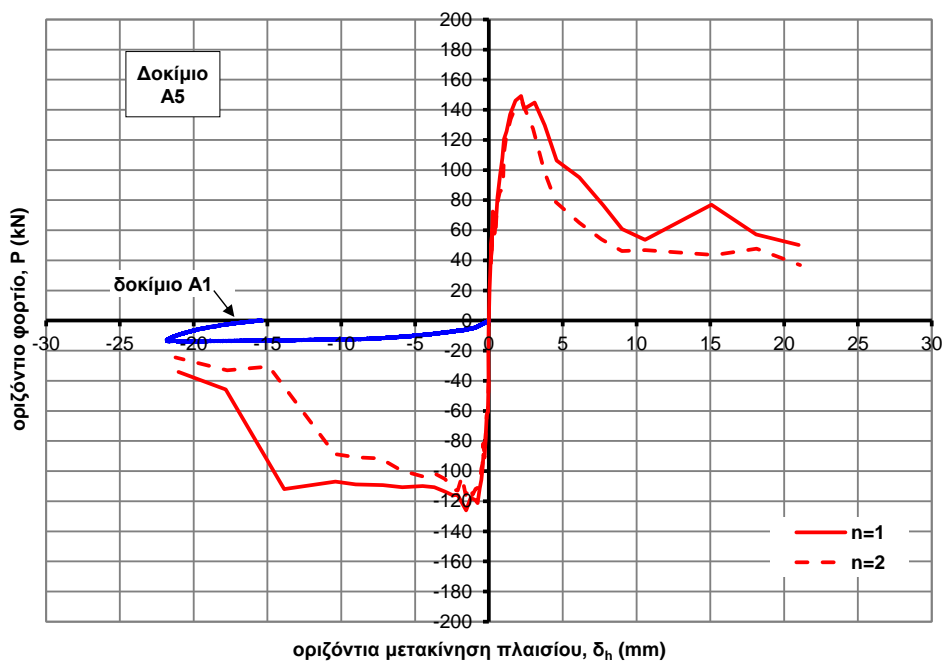
Σχήμα 5.10 - Διάγραμμα φορτίου-μετακίνησης δοκιμίου B3.



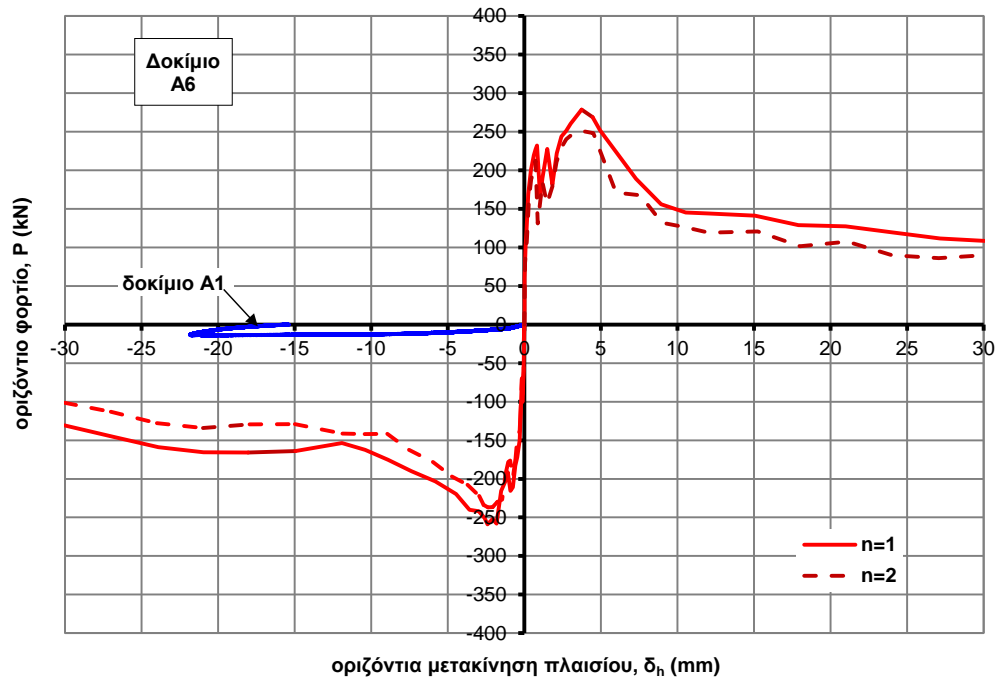
Σχήμα 5.11 – Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο A3 (κύκλοι φόρτισης, n=1, 2).



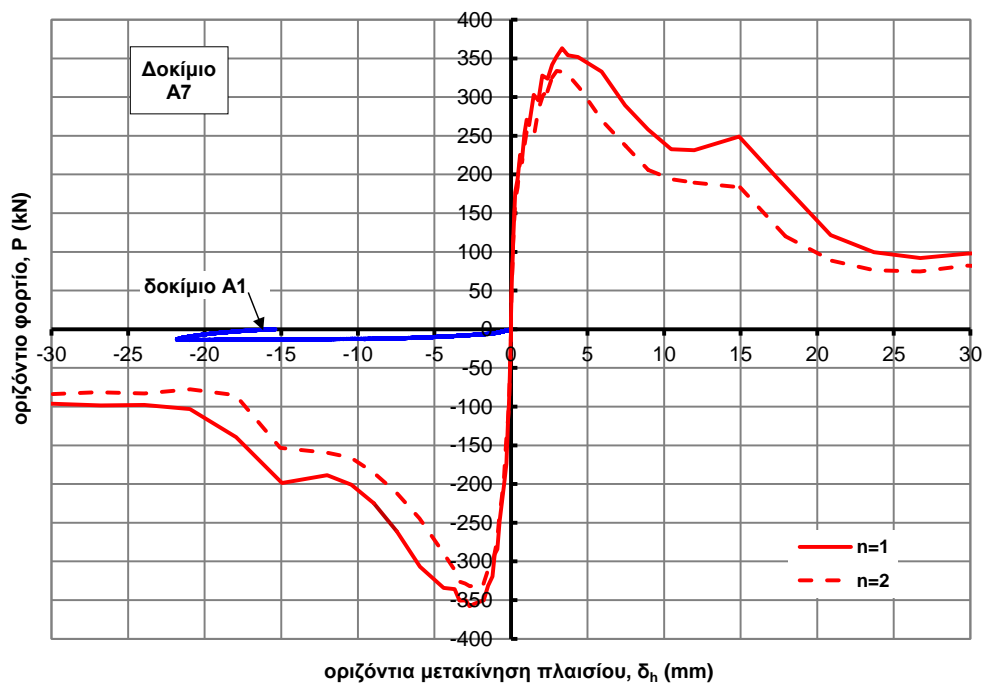
Σχήμα 5.12 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο A4 (κύκλοι φόρτισης, n=1, 2).



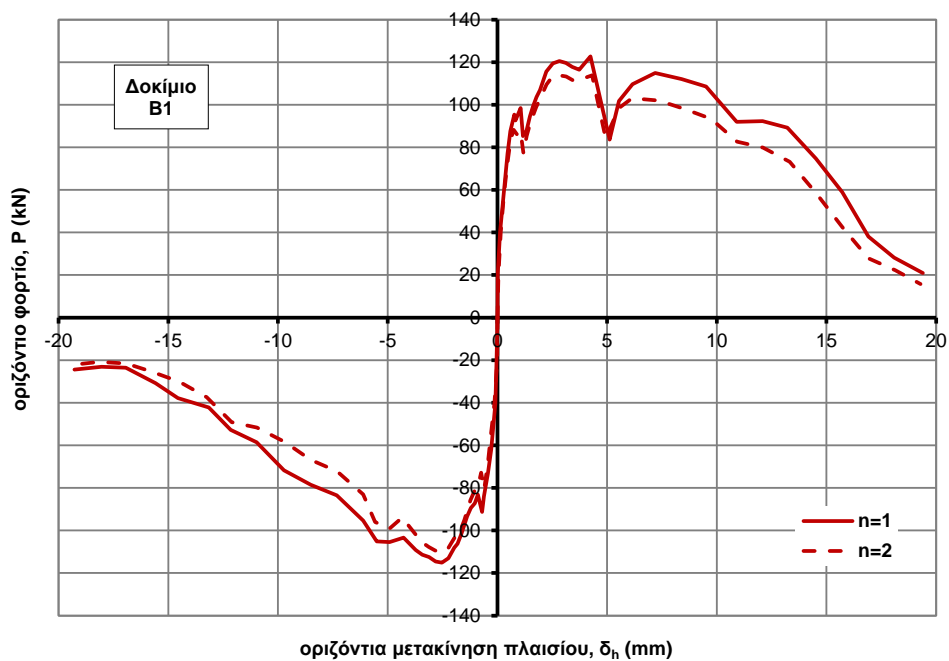
Σχήμα 5.13 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο A5 (κύκλοι φόρτισης, n=1, 2).



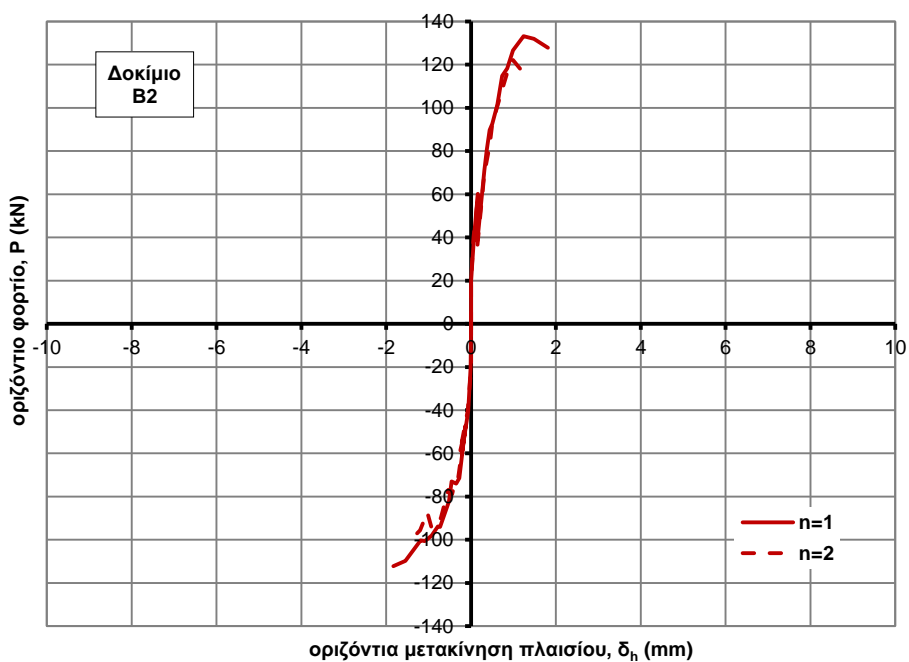
Σχήμα 5.14 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο A6 (κύκλοι φόρτισης, $n=1, 2$).



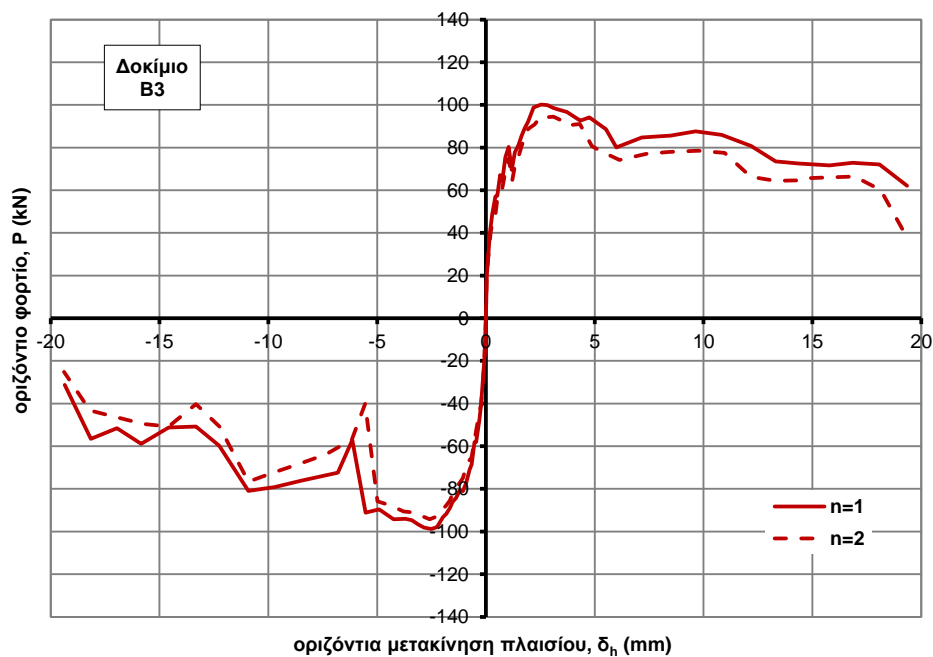
Σχήμα 5.15 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο A7 (κύκλοι φόρτισης, $n=1, 2$).



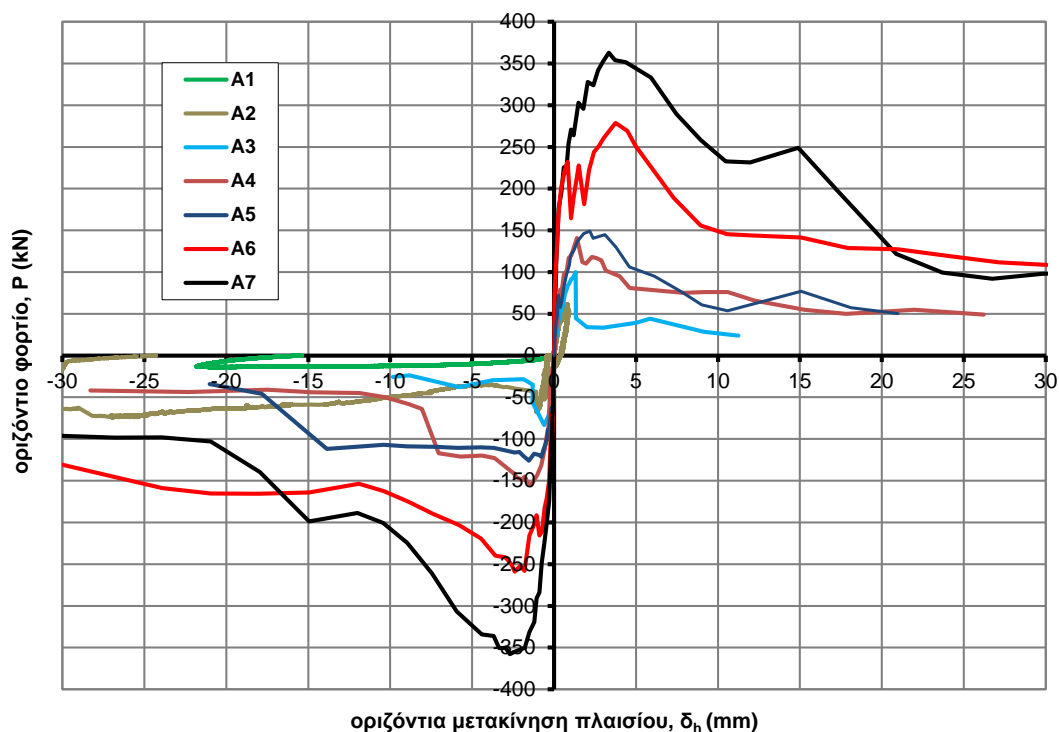
Σχήμα 5.16 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο B1 (κύκλοι φόρτισης, n=1, 2).



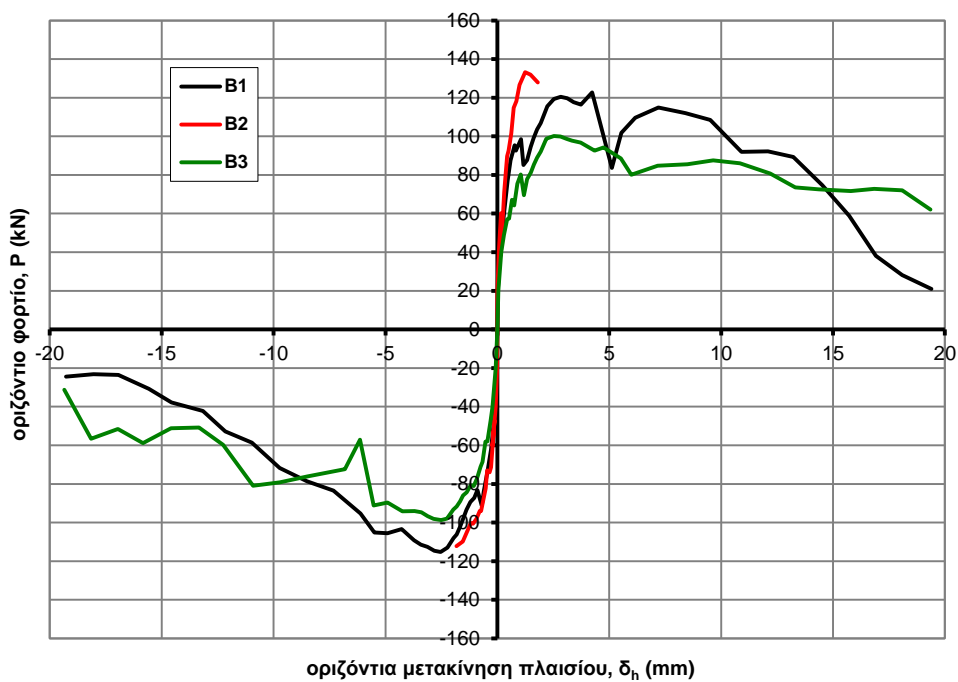
Σχήμα 5.17 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο B2 (κύκλοι φόρτισης, n=1, 2).



Σχήμα 5.18 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης για το δοκίμιο B3 (κύκλοι φόρτισης, n=1, 2).



Σχήμα 5.19 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης 1^{ου} κύκλου φόρτισης (n=1) για τα δοκίμια της σειράς A ($l/h=1,73$).



Σχήμα 5.20 - Περιβάλλουσα φορτίου-μετακίνησης 1^{ου} κύκλου φόρτισης ($n=1$) για τα δοκίμια της σειράς B ($\ell/h=1,20$).

Πίνακας 5.1 - Μέγιστες πειραματικές τιμές οριζοντίου φορτίου, P_{max} , αντίστοιχης μετακίνησης δ_h , και σχετικών μετακινήσεων τοιχώματος και πλαισίου.

δοκίμιο	P_{max} (kN)	δ_h (mm)	δ_h/h (%)	πάνω δοκός		κάτω δοκός (θεμέλιο)		υποστύλωμα	
				αποκόλληση (mm)	ολίσθηση (mm)	αποκόλληση (mm)	ολίσθηση (mm)	αποκόλληση (mm)	ολίσθηση (mm)
A1	-14,1	-21,02	2,47	-	-	-	-	-	-
A2	61,3	0,81	0,10	0	0	-	-	-0,06	0,08
	-67,7	-1,08	0,13	0	-0,03	-	-	-0,38	0,58
A3	100,0	1,31	0,15	-0,03	0	-	-	0	0,06
	-82,5	-0,65	0,08	-0,03	-0,03	-	-	-0,03	0,08
A4	141,2	1,38	0,16	-0,03	0,36	-	-	-0,07	0,07
	-155,6	-1,41	0,17	-0,02	-0,56	-	-	-0,12	0,30
A5	149,2	2,18	0,26	-0,22	0,26	-0,82	0,28	-0,33	0,41
	-126,1	-1,54	0,18	-0,10	-0,19	-1,33	-0,51	-0,25	1,31
A6	278,7	3,75	0,44	-1,04	2,22	-0,11	0,46	-1,18	0,30
	-259,1	-2,40	0,28	-0,46	-2,16	-0,30	-0,99	-0,42	0,10
A7	363,1	3,34	0,39	-0,46	1,22	-0,07	0,33	-0,07	0,28
	-358,0	-2,70	0,32	-0,36	-2,02	-0,10	-0,49	-0,09	0,44
B1	120,5 (122,7) ^(*)	2,83 (4,23) ^(*)	0,33 (0,50)	-0,09 (-0,19) ^(*)	0,27 (0,36) ^(*)	-0,42 (-0,94) ^(*)	0,32 (0,53) ^(*)	-0,27 (-0,31) ^(*)	0,03 (0,29) ^(*)
	-115,2	-2,53	0,30	-0,05	-0,17	-1,02	-0,93	-0,35	0,91
B2	133,2	1,24	0,15	-0,14	0,03 ^(**)	-0,03 ^(**)	0,21	-0,41	0,15
	-112,2	-1,83	0,22	-1,13 ^(**)	-0,03 ^(**)	0 ^(**)	-0,72	-0,48	0,29
B3	100,2	2,53	0,30	-0,10	0,18	-0,23	0,06 ^(**)	-0,26	0,05
	-98,8	-2,51	0,30	-0,03	-0,13	-1,22	-0,87	-0,48	1,13

(*) οι τιμές P και δ σε παρένθεση αντιστοιχούν σε 2^ο τοπικό μέγιστο (**) αναξιόπιστη μέτρηση

5.2. Ρηγμάτωση – Είδος Αστοχίας

Η ρηγμάτωση και το είδος αστοχίας των δοκιμίων παρουσιάζονται στην συνέχεια. Στις φωτογραφίες που παρατίθενται, με μαύρο χρώμα είναι οι ρωγμές που καταγράφηκαν για «θετική» φόρτιση και με κόκκινο οι ρωγμές που αντιστοιχούν στην «αρνητική» φόρτιση. Στα δοκίμια A1, A2, A3 και A4 η σύμβαση των θετικών φορτίων ήταν αντίθετη.

- Κοινά χαρακτηριστικά ρηγμάτωσης των δοκιμίων με εμφαννόμενα τοιχώματα:

- α) οριζόντιες ρωγμές καθ ύψος των υποστυλωμάτων που πρέπει να αποδοθούν στην εφελκυστική δύναμη που αναπτύσσεται στα αντίστοιχα υποστυλώματα κατά την διαδικασία φόρτισης, λαμβάνοντας υπόψη επίσης ότι δεν ασκήθηκε θλιπτικό φορτίο στα υποστυλώματα.
- β) διαγώνια ρηγμάτωση στους κόμβους του πλαισίου (πλην του δοκιμίου A1)
- γ) τριχοειδείς ρωγμές αποκόλλησης στις διεπιφάνειες του τοιχώματος με το πλαίσιο. Αρχικά εμφανίστηκε ρωγμή ολίσθησης κατά μήκος της βάσης του τοιχώματος και στη συνέχεια στις διεπιφάνειες τοιχώματος-υποστυλωμάτων.
- δ) διεύρυνση της ρωγμής στη βάση του τοιχώματος (διεπιφάνεια τοιχώματος-θεμελίωσης)
- ε) αύξηση της αποκόλλησης τοιχώματος-υποστυλωμάτων

- Τρόπος αστοχίας δοκιμίων με εμφαννόμενα τοιχώματα

- α) Δοκίμια A2 και A3 (χωρίς βλήτρα): Αστοχία άνω κόμβων πλαισίου (3^η Έκθεση Προόδου).
- β) Δοκίμια A4 και A5: Καμπτοδιατμητική αστοχία στη βάση των υποστυλωμάτων σε συνδυασμό με αποδιοργάνωση των γειτονικών κάτω γωνιών του τοιχώματος και βλάβη στην κάτω διεπιφάνεια του τοιχώματος, ενώ στην πάνω διεπιφάνεια τοιχώματος-δοκού υπήρξε ελάχιστη αποκόλληση ιδιαίτερα στο A4.
- γ) Δοκίμια A6 και A7: Διατμητική αστοχία στην κορυφή των υποστυλωμάτων (κάτω από την θέση εφαρμογής του φορτίου) σε μήκος περίπου 20 cm και σημαντική βλάβη στην πάνω διεπιφάνεια (τοιχώματος-δοκού) και στο πάνω τμήμα του τοιχώματος στην περιοχή αγκύρωσης των βλήτρων στο A7, με τελική θραύση του μανδύα και όλων των βλήτρων (για το δοκίμιο A7) στην διεπιφάνεια τοιχώματος-δοκού. Στο δοκίμιο A6 (χωρίς βλήτρα), ενώ η αστοχία ήταν παρόμοια με αυτή του A7 στην κορυφή των υποστυλωμάτων, παρατηρήθηκε περιορισμένη βλάβη στην διεπιφάνεια τοιχώματος-δοκού.
- δ) Δοκίμια B1 και B2: Καμπτική αστοχία στην βάση των υποστυλωμάτων με σημαντική αποκόλληση και σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια τοιχώματος-θεμελίου (τελική θραύση των βλήτρων στην διεπιφάνεια τοιχώματος-θεμελίου μετά το μέγιστο φορτίο λόγω της ανακυκλιζόμενης φόρτισης), περιορισμένη λοξή ρηγμάτωση στους κόμβους δοκού-υποστυλωμάτων.

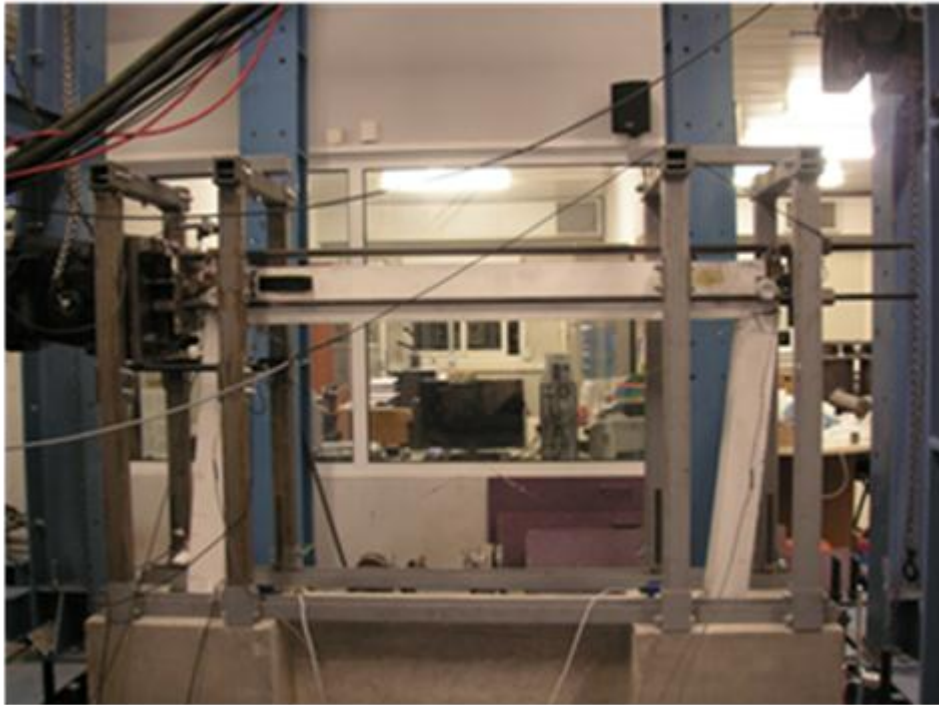
ε) Δοκίμιο B3: Αστοχία των κόμβων του πλαισίου (λοξή ρηγμάτωση) και των πάνω γωνιών του τοιχώματος (θλίψη στον διαγώνιο θλιπτήρα και πιθανή τοπική αποδιοργάνωση λόγω αποκόλλησης βλήτρου) με τελική θραύση των βλήτρων στην διεπιφάνεια τοιχώματος–πάνω δοκού μετά το μέγιστο φορτίο λόγω της ανακυκλιζόμενης φόρτισης, ενώ παρατηρήθηκε περιορισμένη αποκόλληση στην πάνω διεπιφάνεια τοιχώματος–δοκού. Πιθανότατα στην περίπτωση του δοκιμίου B3, λόγω της ύπαρξης των «κοντών» σχετικά βλήτρων και της μειωμένης σε σχέση με το δοκίμιο B1 συνεισφοράς τους, μεταφέρεται μεγαλύτερη διαγώνια θλιπτική δύναμη (παρότι αρκετά χαμηλότερη της N_s του ΚΑΝ.ΕΠΕ. που προκαλεί αστοχία του θλιπτήρα) που τελικά προκαλεί την αστοχία των πάνω κόμβων των υποστυλωμάτων σε περίπου 20% χαμηλότερο τελικά μέγιστο οριζόντιο φορτίο από αυτό του B1.

- Το εμφαννόμενo τοίχωμα ρηγματώθηκε εκτενώς μόνον στο δοκίμιο A7 (ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύα Ο.Σ. και σύνδεση τοιχώματος μέσω «μακριών» βλήτρων σε όλη την περίμετρο). Μεμονωμένες ρωγμές εμφανίστηκαν και στα τοιχώματα των δοκιμίων A4, B1 και B2, οι οποίες όμως δεν επεκτάθηκαν σημαντικά.

Οι ρηγματώσεις και το είδος αστοχίας για τα δοκίμια A1÷A7 της σειράς A, και B1, B2, B3 της σειράς B, απεικονίζονται στα Σχ. A1.1÷A1.4, A2.1÷A2.5, A3.1÷A3.7, A4.1÷A4.10, A5.1÷A5.10, A6.1÷A6.7, A7.1÷A7.7, B1.1÷B1.4, B2.1÷B2.4, και B3.1÷B3.6, αντίστοιχα.

5.2.1. Ρηγμάτωση δοκιμίου A1

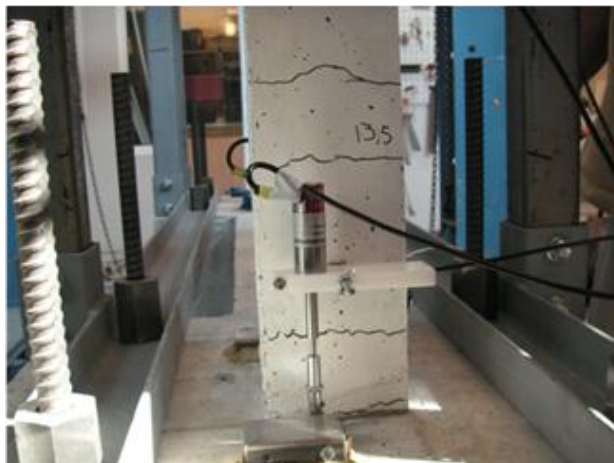
Το πλαίσιο A1 αστόχησε καθαρά καμπτικά στα άκρα των υποστυλωμάτων σύμφωνα με τα προβλεπόμενα (βλέπε Σχ. A1.4). Οι πρώτες ρωγμές παρατηρήθηκαν για φορτίο $P \approx 6$ kN στα άκρα των υποστυλωμάτων λόγω κάμψης. Με την αύξηση της επιβαλλόμενης μετακίνησης δημιουργήθηκαν νέες καμπτικές ρωγμές καθ' ύψος των υποστυλωμάτων (Σχ. A1.3). Παρόμοια ρηγμάτωση υπήρξε και κατά τη φόρτιση προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η ρηγμάτωση και στα δύο υποστυλώματα ήταν έντονη κυρίως στη βάση τους. Πριν την αστοχία παρατηρήθηκε λοξή ρηγμάτωση των κόμβων στη θέση επιβολής του φορτίου (Σχ. A1.2). Γενικά στις φωτογραφίες, με μαύρο χρώμα έχουν σημειωθεί οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν κατά τον πρώτο ημικύκλο φόρτισης, ενώ με κόκκινο χρώμα αυτές κατά τον 2^ο ημικύκλο (αντίθετη φορά).



Σχήμα Α1.1 – Δοκίμιο Α1 μετά την αστοχία.



Σχήμα Α1.2 - Ρηγμάτωση κόμβου κατά την αστοχία δοκιμίου Α1.



Σχήμα A1.3 – Ρηγμάτωση λόγω κάμψης καθ' ύψος του υποστυλώματος (δοκίμιο A1).



Σχήμα A1.4 - Καμπτική ρωγμή στη βάση του υποστυλώματος (δοκίμιο A1).

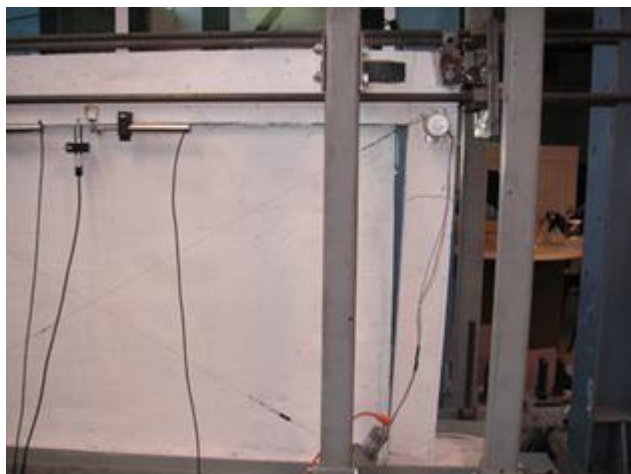
5.2.2. Ρηγμάτωση δοκιμίου A2



Σχήμα A2.1 - Λοξή ρηγμάτωση κόμβου δοκιμίου A2 με την πρόοδο της φόρτισης.



Σχήμα A2.2 - Αστοχία κόμβων δοκιμίου A2.



Σχήμα A2.3 - Αποκόλληση τοιχώματος από το πλαίσιο μετά τη ρηγμάτωση του κόμβου δοκιμίου A2.

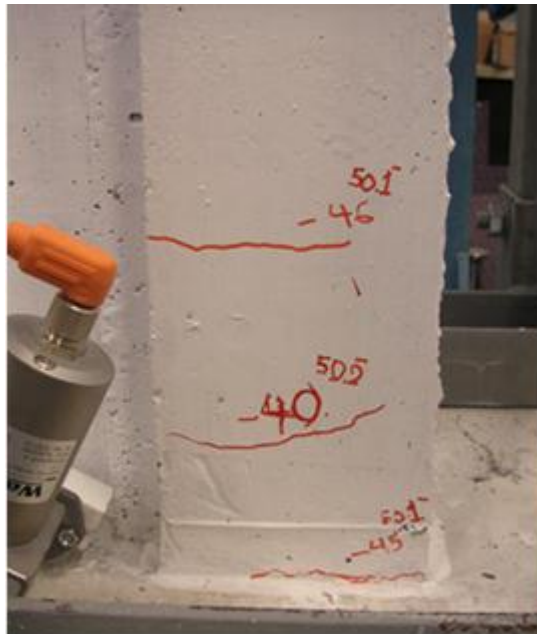


Σχήμα A2.4 - Καμπτική αστοχία στη βάση του υποστυλώματος στην κορυφή του οποίου έχει προηγηθεί αποκόλληση του τοιχώματος.

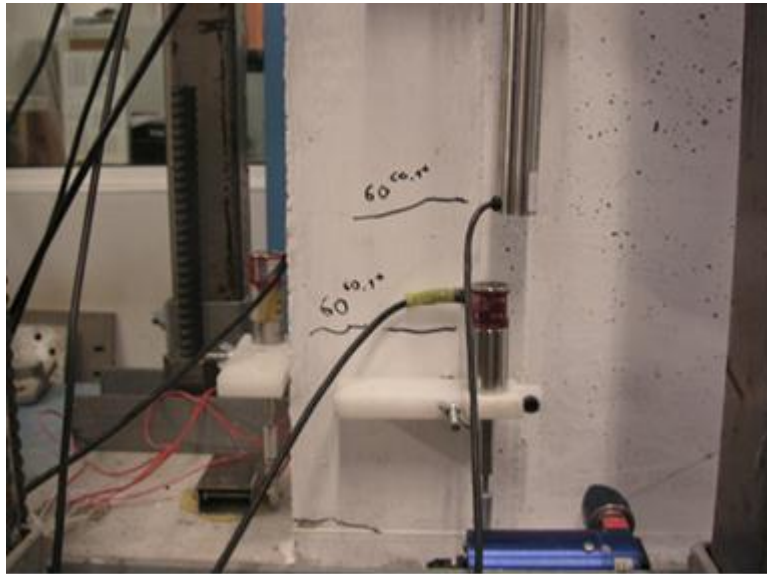


Σχήμα A2.5 - Αστοχία δοκιμίου A2.

5.2.3. Ρηγμάτωση δοκιμίου A3



Σχήμα A3.1 - Αρχική ρηγμάτωση δοκιμίου A3 ($P=-50$ kN, $n=1, 2$).



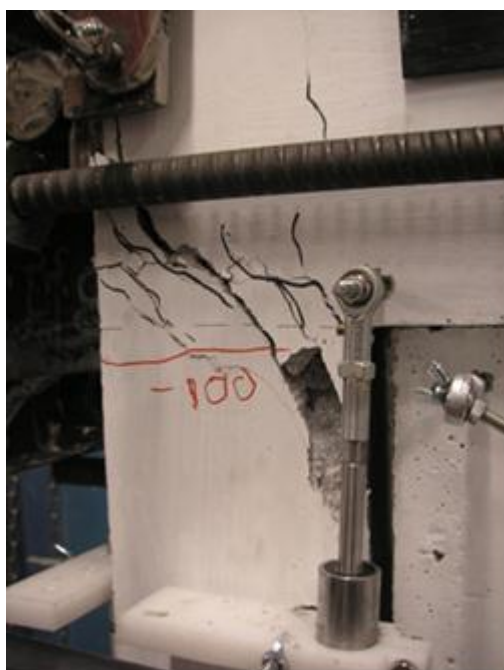
Σχήμα A3.2 - Αρχική ρηγμάτωση δοκιμίου A3 ($P=60$ kN, $n=1$)



Σχήμα A3.3 - Λοξή ρηγμάτωση δεξιού κόμβου πλαισίου δοκιμίου A3 ($P=-100$ kN).



Σχήμα A3.4 - Αποκόλληση τοιχώματος από το πλαίσιο μετά τη λοξή ρηγμάτωση του κόμβου (στο άλλο άκρο του πλαισίου).



Σχήμα A3.5 - Λοξή ρηγμάτωση του αριστερού κόμβου του πλαισίου (δοκίμιο A3).

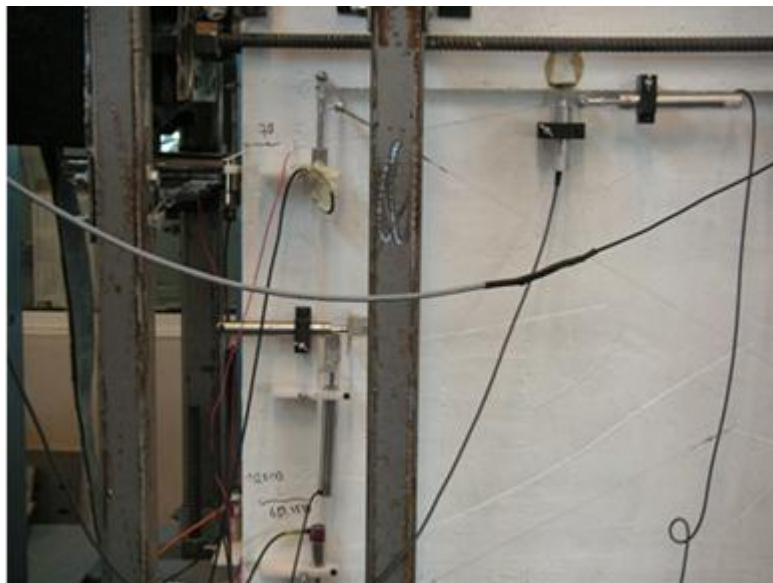


Σχήμα A3.6 - Διεύρυνση των λοξών ρωγμών και της αποκόλλησης τοιχώματος-πλαισίου με την πρόοδο της ανακυκλιζόμενης φόρτισης στον δεξιό κόμβο του πλαισίου (αρχική ρηγμάτωση).



Σχήμα A3.7 - Τελική εικόνα αστοχίας δοκιμίου A3.

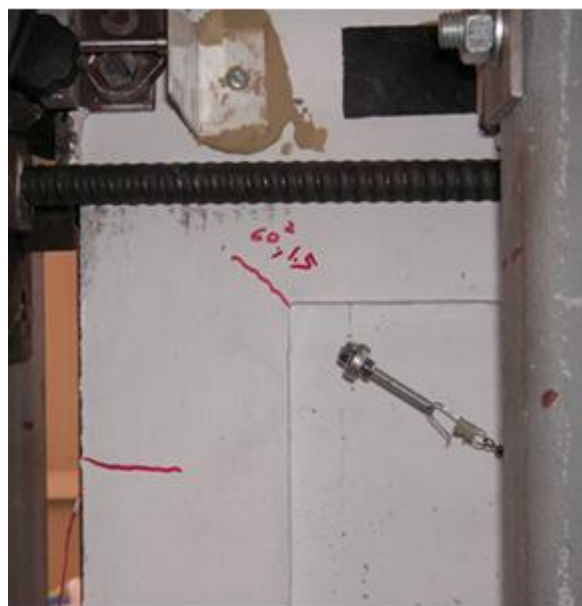
5.2.4. Ρηγμάτωση δοκιμίου A4



Σχήμα A4.1 - Ρηγμάτωση υποστρώματος δοκιμίου A4.

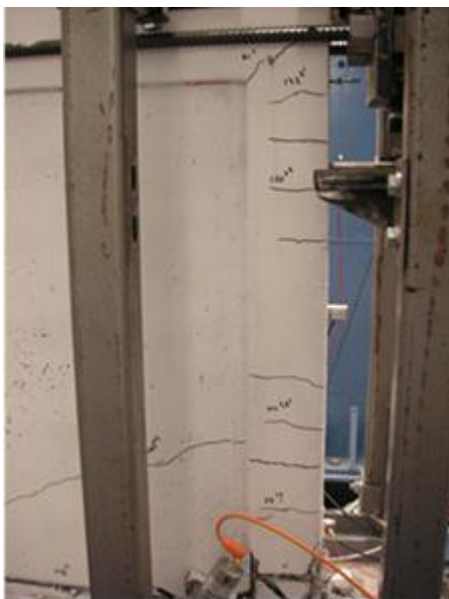


(α) αριστερός κόμβος ($P \approx +80$ kN,
 $\delta = 0,45$ mm, $n=2$)

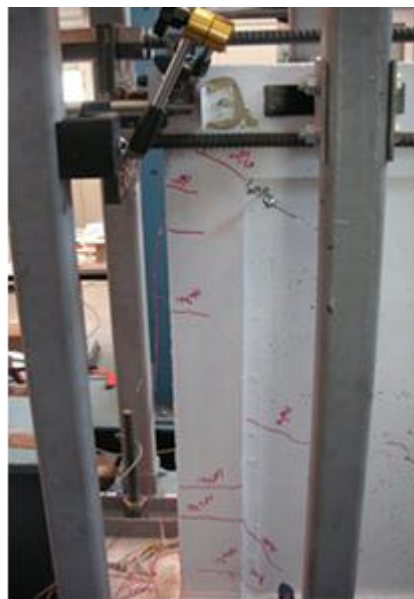


(β) δεξιός κόμβος ($P = -60$ kN,
 $\delta = -0,45$ mm, $n=2$)

Σχήμα A4.2 - Λοξή ρηγμάτωση στο εσωτερικό των κόμβων του δοκιμίου A4 λόγω κάμψης (άνοιγμα κόμβου).

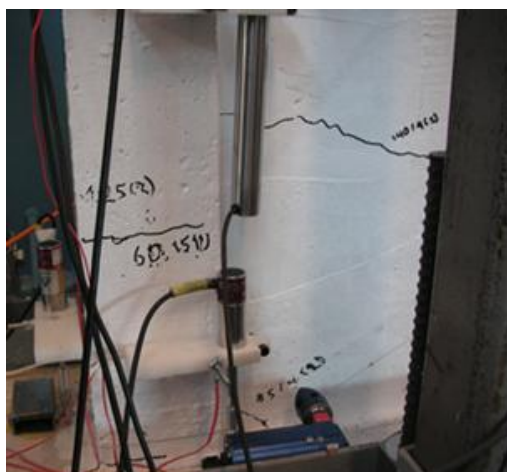


(α) αριστερό υποστύλωμα (οπίσθια όψη)



(β) δεξιό υποστύλωμα (οπίσθια όψη)

Σχήμα A4.3 - Αρχική ρηγμάτωση υποστυλωμάτων δοκιμίου A4.



(α) πριν την αστοχία του αριστερού υποστυλώματος

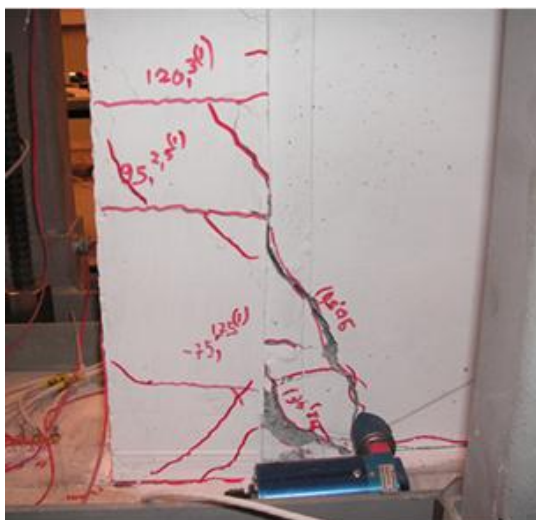


(β) μετά την αστοχία του δεξιού υποστυλώματος

Σχήμα A4.4 – Αστοχία σκυροδέματος στη βάση του αριστερού υποστυλώματος και τοιχώματος (δοκίμιο A4).



Σχήμα A4.5 - Ρηγμάτωση βάσης δεξιού υποστυλώματος και τοιχώματος (δοκίμιο A4).



(α) πρόσθια όψη

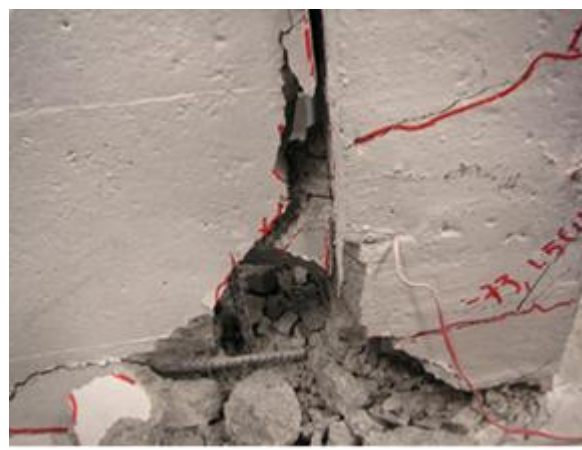


(β) οπίσθια όψη

Σχήμα A4.6 - Ρηγμάτωση βάσης δεξιού υποστυλώματος και γειτονικού τοιχώματος.



(α) πρόσθια όψη

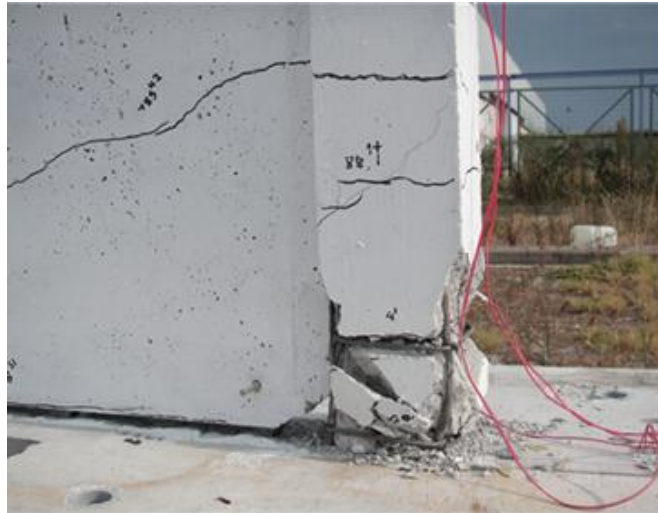


(β) οπίσθια όψη

Σχήμα A4.7 - Αστοχία σκυροδέματος στη βάση υποστυλώματος και τοιχώματος (δοκίμιο A4).



Σχήμα A4.8 - Αστοχία βάσης τοιχώματος και αριστερού υποστυλώματος (δοκίμιο A4).



Σχήμα A4.9 - Αστοχία βάσης τοιχώματος και δεξιού υποστυλώματος δοκιμίου A4.



Σχήμα A4.10 - Αστοχία δοκιμίου A4.