

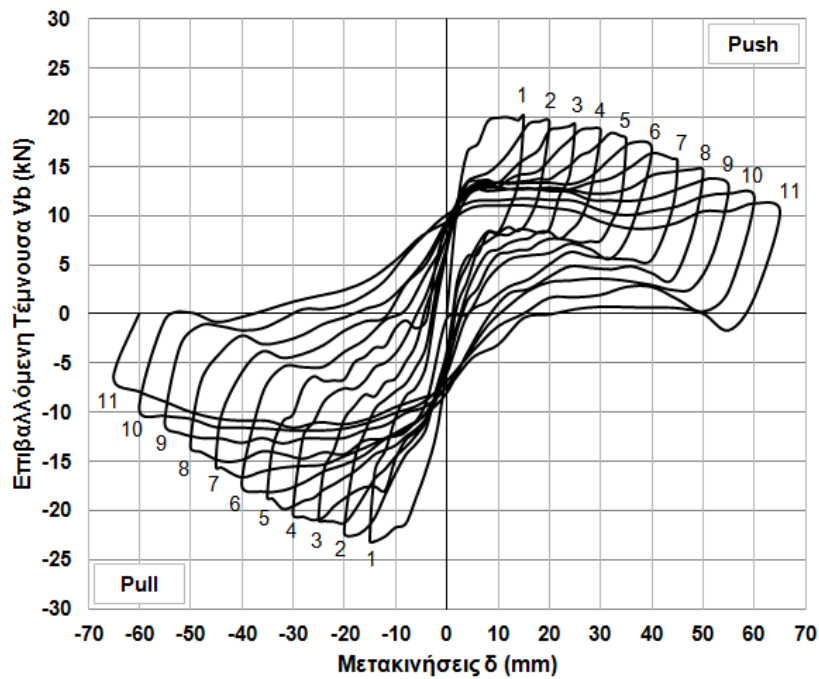
### 3.2.2 Σειρά δοκιμών II:

#### 3.2.2.1 **Δοκίμιο $M_1$**

Στο δομικό υποσύνολο υποστυλώματος  $M_1$  χρησιμοποιήθηκαν μηχανικές αγκυρώσεις (αρμοκλείδες) προκειμένου να συνδεθούν οι διαμήκεις ράβδοι του στύλου (ράβδοι νευροχάλυβα) με τις πολύ μικρού μήκους αναμονές (λείος χάλυβας). Η συμπεριφορά σε πλευρική φόρτιση του δοκιμίου  $M_1$  συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 με εκείνη του δοκιμίου – στόχου,  $C_1$ , της Σειράς δοκιμών I με τους συνεχείς οπλισμούς, για να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των μηχανικών αγκυρώσεων στη βελτίωση της σεισμικής απόκρισης του υποστυλώματος. Το  $M_1$  υποβλήθηκε σε σεισμική καταπόνηση ένδεκα κύκλων. Η ιστορία της φόρτισης του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα Σχ.15. Η παρουσία του φαινομένου P-δ είναι έντονη όπως φαίνεται από τους βρόχους του δοκιμίου (Σχ.53). Η εμφάνιση οριζόντιων κλάδων μετά τον τέταρτο άνω (μετακίνηση 30mm) και τον όγδοο κάτω (μετακίνηση 50mm) ημίκυκλο φόρτισης οφείλεται στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των θλιβομένων ζωνών, σε ολισθήσεις των διαμήκων ράβδων στην περιοχή της πλαστικής άρθρωσης, σε κλείσιμο καμπτικών ρωγμών καθώς και στην επιρροή του φαινομένου P-δ. Παρά τη σταδιακή μείωση της αντοχής με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης στους άνω και κάτω ημίκυκλους φόρτισης και τη μείωση της δυσκαμψίας, το εμβαδόν των βρόχων υστερητικής απόκρισης του  $M_1$  αυξάνεται σε κάθε κύκλο μέχρι το τέλος του πειράματος (Σχ.53 και Σχ.56). Μετρήσεις των παραμορφώσεων των ράβδων οπλισμού έδειξαν ότι υπήρξε διαρροή ράβδων. Κατά τους πρώτους κύκλους σχηματίστηκαν τριχοειδή καμπτικά ρήγματα στο υποστυλίσμα, τα οποία μετά το σχηματισμό του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου δε διευρύνθηκαν περαιτέρω. Με την αύξηση της επιβαλλόμενης μετατόπισης προκλήθηκε σταδιακά αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των θλιβομένων ζωνών και απώλεια της επικάλυψης των οπλισμών κατά τους τελευταίους κύκλους φόρτισης. Η πυκνή διάταξη των συνδετήρων (Φ8/80mm ποιότητας B500C) ωστόσο, οι οποίοι δεν έφθασαν στη διαρροή τους, δεν επέτρεψε το λυγισμό των διαμήκων ράβδων του υποστυλώματος. Η τελική εικόνα της αστοχίας του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα Σχ.57. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου της πλευρικής φόρτισης η αντοχή του υποστυλώματος είναι ίση με το 51,5% και το 28,1% της αρχικής τιμής της κατά τον πρώτο άνω και κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα. Η πτώση της αντοχής του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της ανακυκλιζόμενης σεισμικής επιπόνησης στην οποία υποβλήθηκε φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 54. Η μεγαλύτερη πτώση της δυσκαμψίας του δοκιμίου παρουσιάζεται από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο φόρτισης οπότε περιορίζεται κατά 27,53%. Από τον τρίτο κύκλο και μετά η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται με πιο ομαλό ρυθμό για να περιοριστεί στο τέλος του ενδέκατου κύκλου φόρτισης στο 9% της αρχικής της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα 55. Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 56 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστυλίσμα σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων καθώς η επιφάνεια των βρόχων αυξάνεται. Η απόκριση του  $M_1$  σε σεισμό συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 §4.3

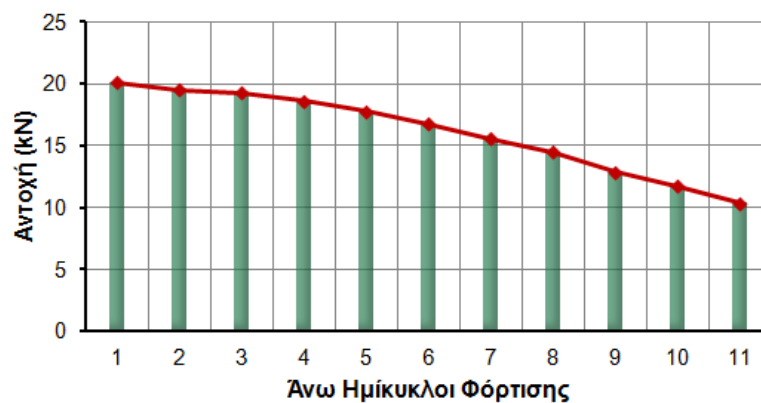
με εκείνη των υπολοίπων δοκιμών υποστυλώματος της Σειράς II καθώς και με το δοκίμιο C<sub>1</sub> της Σειράς I.

### Δοκίμιο M<sub>1</sub>

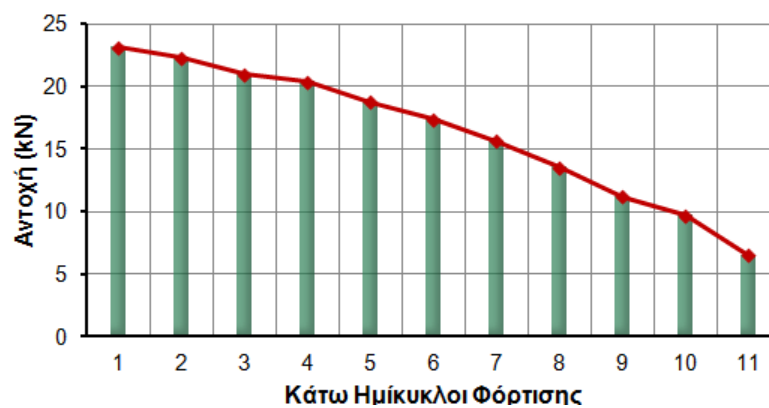


Σχ.53 : Βρόχοι υστερητικής απόκρισης του δοκιμίου M<sub>1</sub>

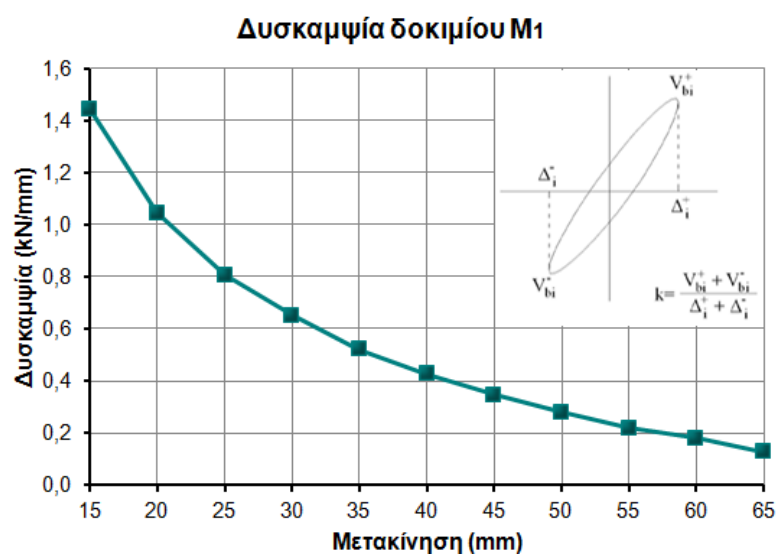
### Αντοχή δοκιμίου M<sub>1</sub>



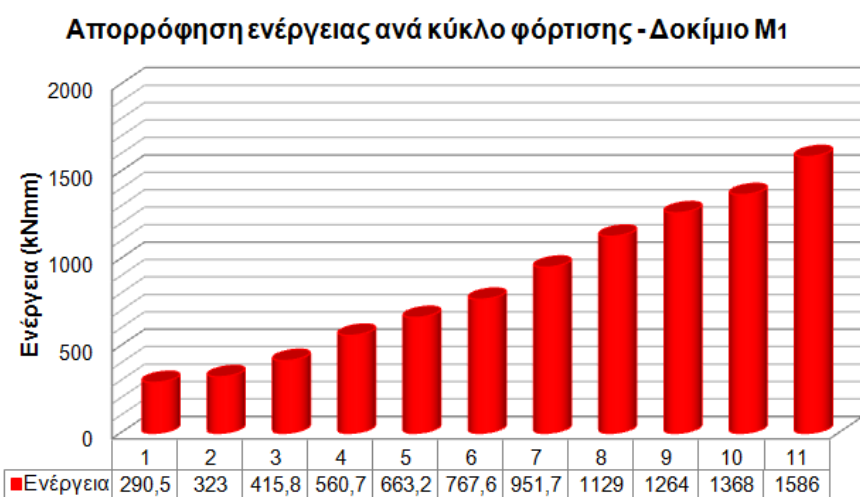
### Αντοχή δοκιμίου M<sub>1</sub>



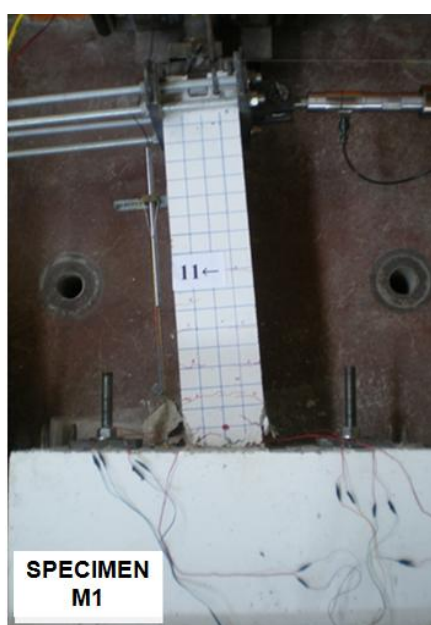
Σχ.54 : Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου M<sub>1</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης



Σχ.55 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου M<sub>1</sub>



Σχ.56 : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου M<sub>1</sub>



(α)



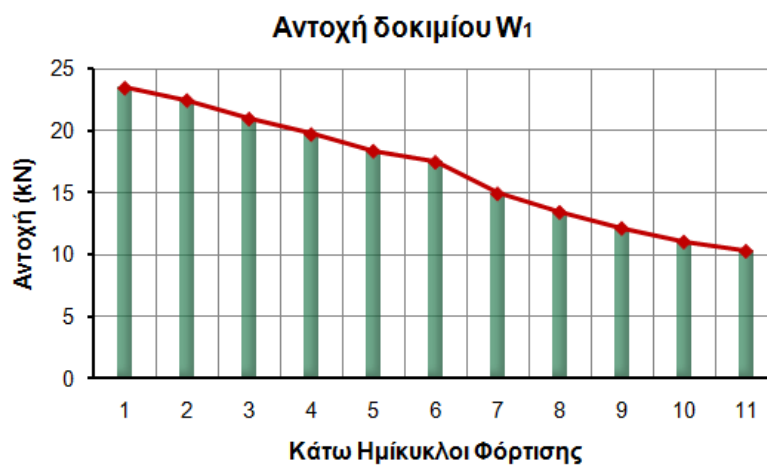
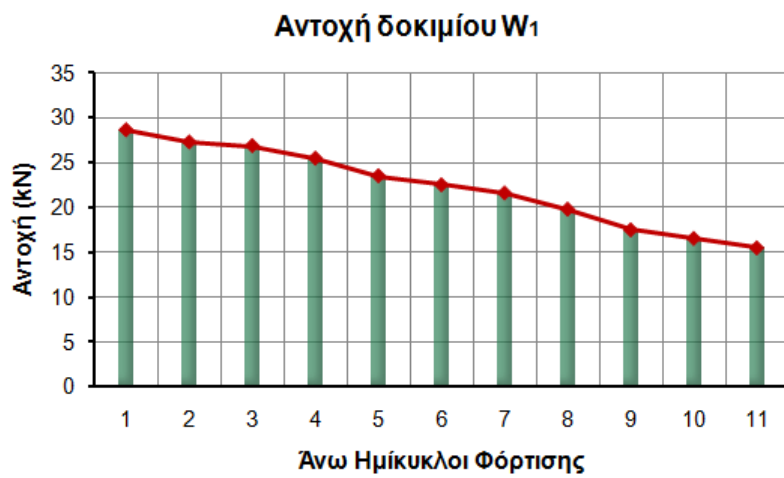
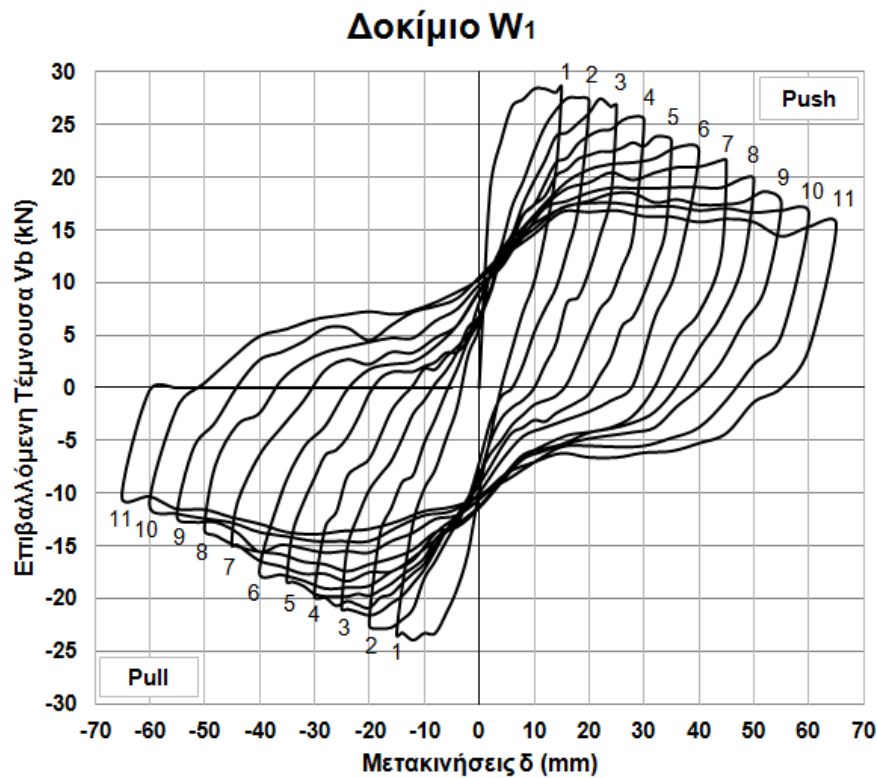
(β)

Σχ.57: Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου M<sub>1</sub>

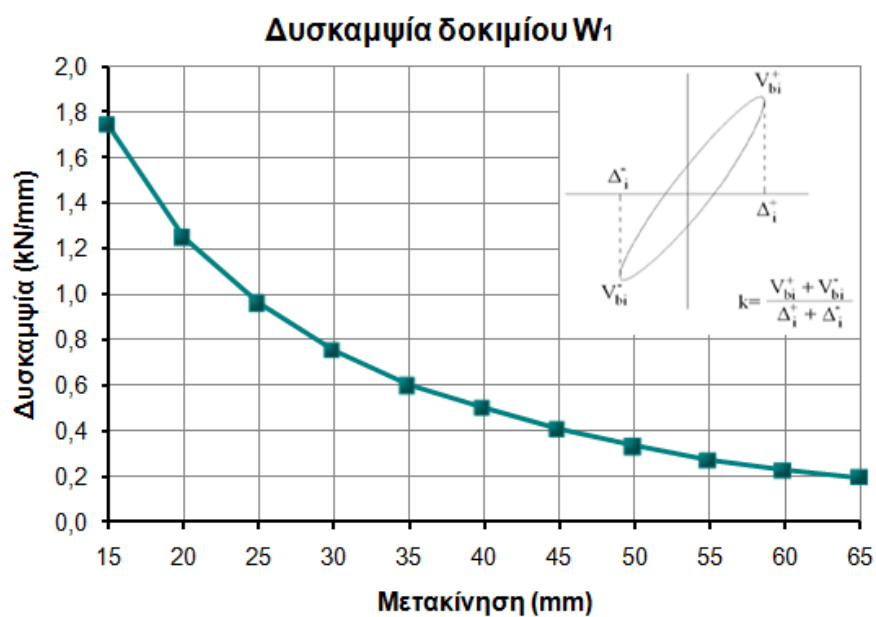
### 3.2.2.2 Δοκίμιο $W_1$

Στο δομικό υποσύστημα υποστυλώματος  $W_1$  πραγματοποιήθηκε συγκόλληση κατά παράθεση των πλευρικών παρατιθέμενων διαμήκων οπλισμών του στύλου, προκειμένου να αποκατασταθεί ο μηχανισμός μεταφοράς δυνάμεων και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ανεπαρκούς παράθεσης των διαμήκων οπλισμών. Η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με όσα προβλέπει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων ΚΤΧ όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2. Η συμπεριφορά σε πλευρική φόρτιση του δοκιμίου  $W_1$  με τις συγκολλημένες κατά παράθεση ράβδους στην περιοχή της παράθεσης συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 με εκείνη του δοκιμίου – στόχου,  $C_1$ , της Σειράς δοκιμών Ι με τους συνεχείς οπλισμούς για να ελεγχθεί η συνεισφορά της συγκόλλησης κατά παράθεση των διαμήκων οπλισμών στη σεισμική απόκριση του υποστυλώματος. Το  $W_1$  υποβλήθηκε σε σεισμική καταπόνηση ένδεκα κύκλων. Η ιστορία της φόρτισης του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα Σχ.15. Οι βρόχοι μεγάλης και διαρκώς αυξανόμενης επιφανείας σε συνδυασμό με την απουσία οριζόντιων κλάδων ολισθήσεων μέχρι τον έβδομο κύκλο φόρτισης (drift 4,59%) καθώς και στενώσεων γύρω από τους άξονες, φανερώνουν την ιδιαίτερα πλάστιμη απόκριση του δοκιμίου σε σεισμό. Παρά τη σταδιακή, ομαλή μείωση της αντοχής με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης στους άνω και κάτω ημίκυκλους φόρτισης και τη μείωση της δυσκαμψίας, το εμβαδόν των βρόχων υστερητικής απόκρισης του  $W_1$  αυξάνεται σημαντικά σε κάθε κύκλο μέχρι το τέλος του πειράματος (Σχ.58). Η ιδιαίτερα επιτυχής σεισμική συμπεριφορά του δοκιμίου οφείλεται στην επιτυχία της συγκόλλησης των διαμήκων ράβδων του στύλου, οι οποίες δεν αστόχησαν μέχρι και το τέλος του ενδέκατου κύκλου της πλευρικής φόρτισης και κατέστη έτσι δυνατή η ανάπτυξη σημαντικών ανελαστικών παραμορφώσεων στο χάλυβα, όπως αποδεικνύεται και από τις μικρομετρήσεις των παραμορφώσεων (Σχ.64). Κατά τους πρώτους κύκλους σχηματίστηκαν τριχοειδή καμπτικά ρήγματα κοντά στη βάση του υποστυλώματος τα οποία σταδιακά διευρύνθηκαν με την αύξηση της επιβαλλόμενης πλευρικής μετατόπισης και οδήγησαν στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των θλιβομένων ζωνών και την απώλεια της επικάλυψης των οπλισμών κατά τους τελευταίους κύκλους φόρτισης. Η πυκνή διάταξη των συνδετήρων (Φ8/80mm ποιότητας B500C), οι οποίοι δεν έφθασαν στη διαρροή τους, δεν επέτρεψε το λυγισμό των διαμήκων ράβδων του υποστυλώματος. Αυτή η απουσία λυγισμού στις διαμήκεις ράβδους του στύλου εξηγεί και την εικόνα των βρόχων του  $W_1$ , που παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιφάνεια ακόμα και από εκείνους του δοκιμίου-στόχου  $C_1$  με τους συνεχείς διαμήκεις οπλισμούς της Σειράς Ι. Υπενθυμίζεται ότι στην περίπτωση του τελευταίου είχε συμβεί έντονος λυγισμός των ράβδων λόγω ανεπαρκούς περίσφιγξης από τους αραιά διατεταγμένους (Φ6/200mm) συνδετήρες. Η τελική εικόνα της αστοχίας του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα 62. Η εμφάνιση οριζόντιων κλάδων στους βρόχους του  $W_1$  από τον έβδομο κύκλο φόρτισης και μετά (Σχ.58) οφείλεται στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των εκατέρωθεν θλιβομένων ζωνών, καθώς επίσης και στις μικρές ολισθήσεις των ράβδων στη θέση της πλαστικής άρθρωσης, το κλείσιμο καμπτικών ρωγμών και το φαινόμενο δευτέρας τάξεως P-δ. Το υποστυλωμα συνεχίζει ωστόσο να απορροφά μεγάλα ποσά ενέργειας. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου της πλευρικής φόρτισης η αντοχή του υποστυλώματος είναι ίση με το 57,87% και το 43,83% της αρχικής τιμής της κατά τον πρώτο άνω και κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα. Η ομαλή πτώση της αντοχής του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της ανακυκλιζόμενης σεισμικής επιπόνησης στην οποία

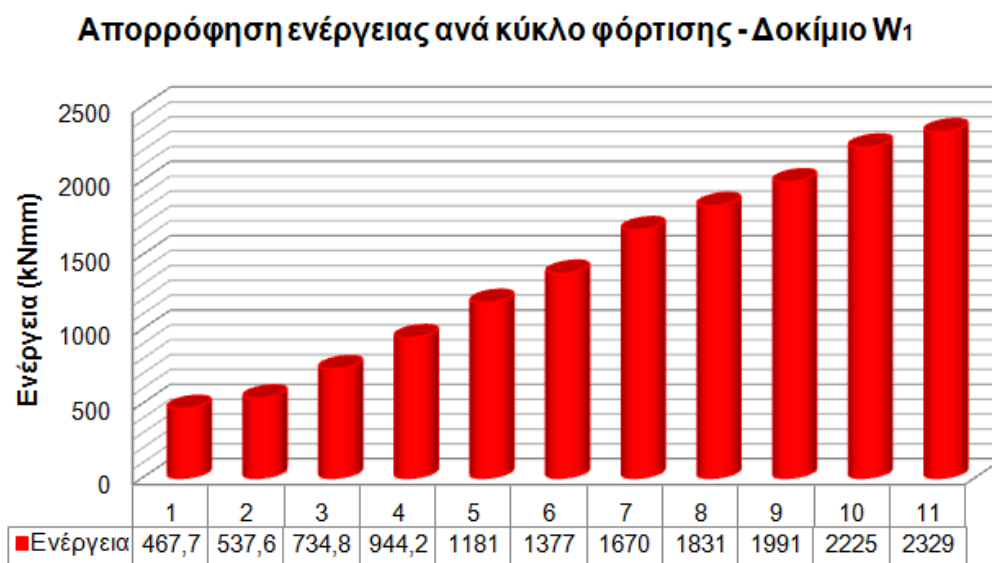
υποβλήθηκε φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος Σχ.59. Η μεγαλύτερη πτώση της δυσκαμψίας του δοκιμίου παρουσιάζεται από τον πρώτο στον δεύτερο κύκλο φόρτισης οπότε περιορίζεται κατά 28,38%. Από τον τρίτο κύκλο και μετά η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται με πιο ομαλό ρυθμό για να περιοριστεί στο τέλος του πειράματος στο 11,4% της αρχικής της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα Σχ.60. Στο ραβδόγραμμα του σχήματος Σχ.61 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστύλωμα σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων καθώς οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια μέχρι και τον τελευταίο κύκλο φόρτισης. Η ιδιαίτερως πλάστιμη συμπεριφορά που παρουσιάζει ο στύλος  $W_1$  οφείλεται στην επιτυχή αποκατάσταση της συνέχειας των διαμήκων οπλισμών μέσω της συγκόλλησής τους κατά παράθεση, που επιτρέπει στις ράβδους να αναπτύξουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις και να εξασφαλίσουν την απορρόφηση σημαντικών ποσών ενέργειας εντός της πλαστικής άρθρωσης. Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις των παραμορφώσεων των οπλισμών (Σχ.64) η αύξηση των μετατοπίσεων του υποστυλώματος προκάλεσε εντονότατη παραμόρφωση των διαμήκων ράβδων οπλισμού του στύλου, σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη που αντιστοιχεί στη διαρροή του λείου χάλυβα S220 ( $\epsilon_y=1.87\%$ ) και του νευροχάλυβα B500C ( $\epsilon_y=2.5\%$ ). Στις περιπτώσεις μάλιστα των ταινιών No2 και No3 οι ράβδοι αναπτύσσουν παραμόρφωση της τάξεως του 4‰ και των ταινιών No6 και No7 της τάξεως του 11,8‰ και 10‰ αντίστοιχα. Η θέση κάθε ταινίας φαίνεται στα σχέδια του Σχ.63 καθώς και δίπλα από το αντίστοιχο διάγραμμα παραμόρφωσης (Σχ.64). Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 65. Η απόκριση του  $W_1$  σε σεισμό συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 §4.3 με εκείνη των υπολοίπων δοκιμίων υποστυλώματος της Σειράς II καθώς και με το δοκίμιο  $C_1$  της Σειράς I.



Σχ.59 : Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου W<sub>1</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

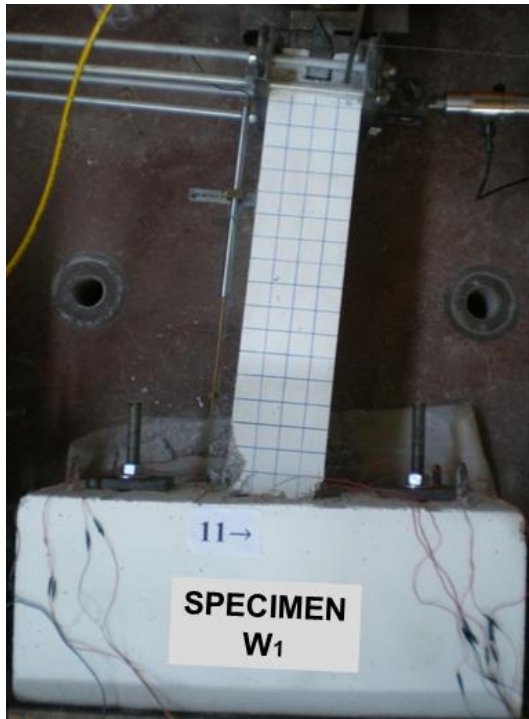


Σχ.60 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου W<sub>1</sub>



Σχ.61 : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου W<sub>1</sub>



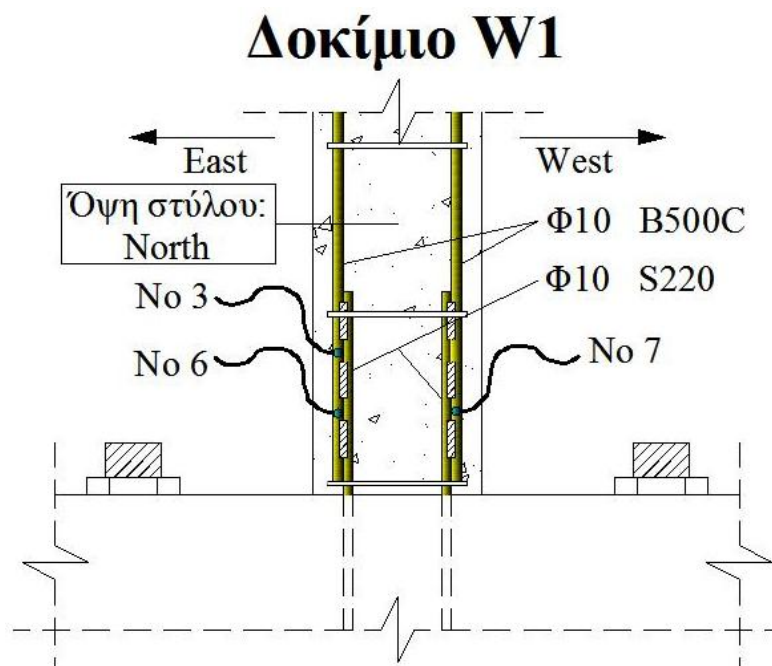


(α)



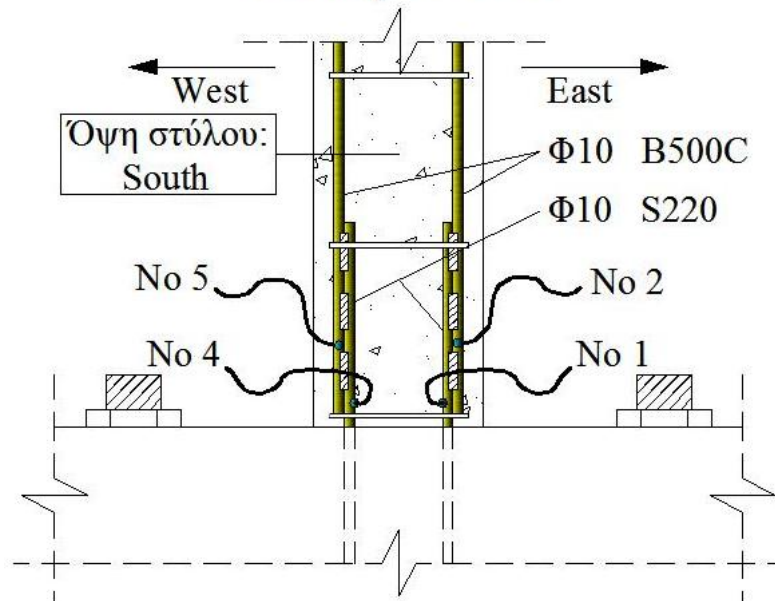
(β)

Σχ.62 : Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου W<sub>1</sub>

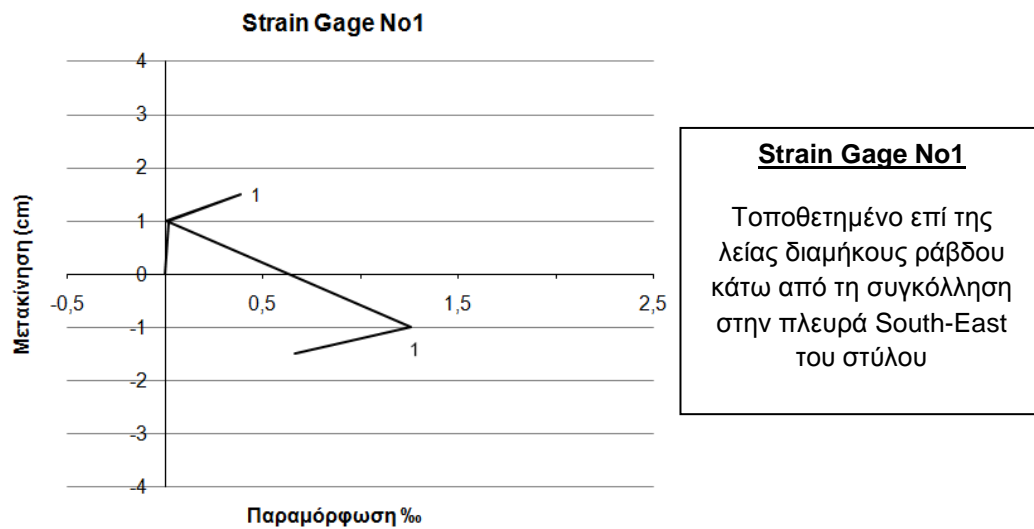


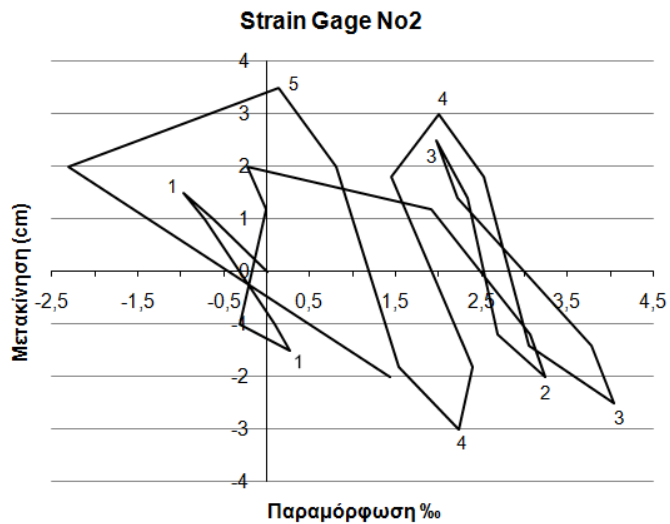


# Δοκίμιο W1



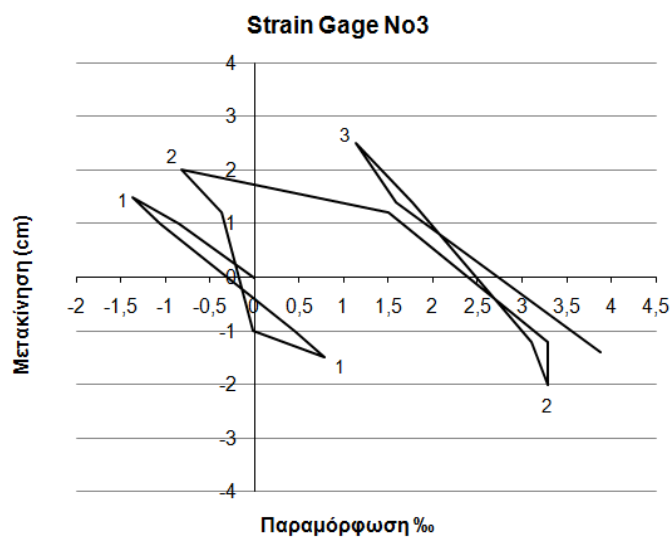
Σχ.63 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο W<sub>1</sub>





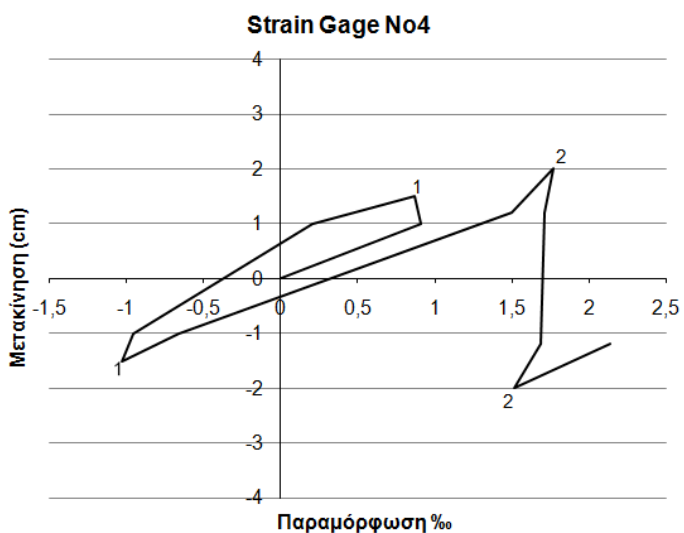
**Strain Gage No2**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω από τη  
συγκόλληση στην πλευρά  
South-East του στύλου



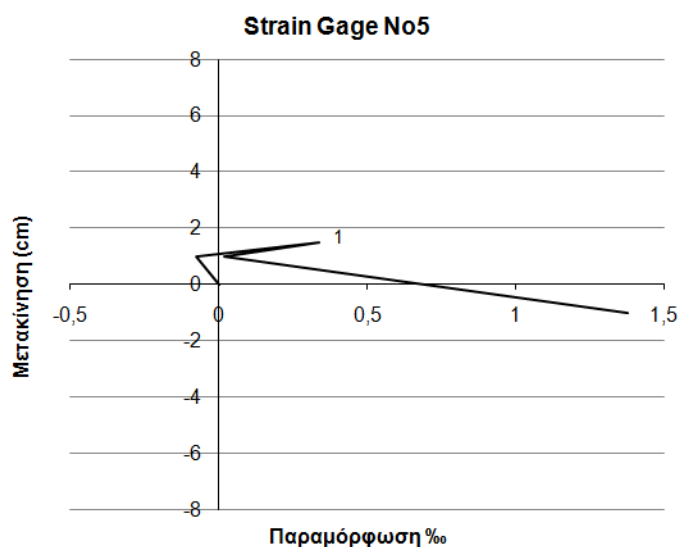
**Strain Gage No3**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω από τη  
συγκόλληση στην πλευρά  
North-East του στύλου



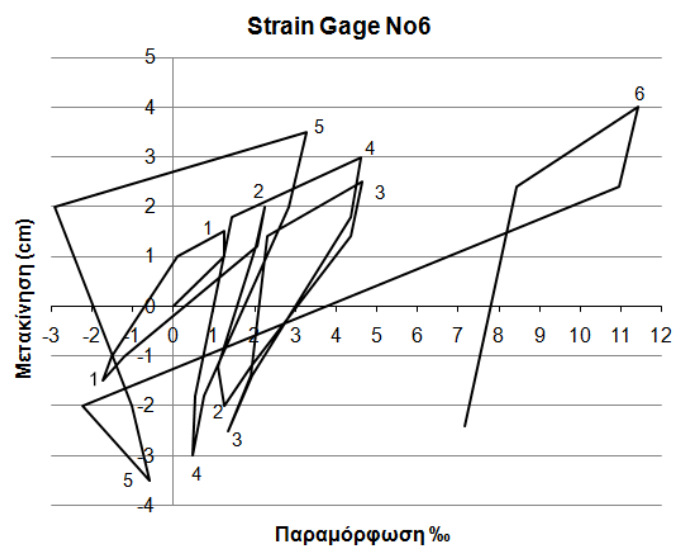
**Strain Gage No4**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκου ράβδου  
κάτω από τη συγκόλληση  
στην πλευρά South-West  
του στύλου



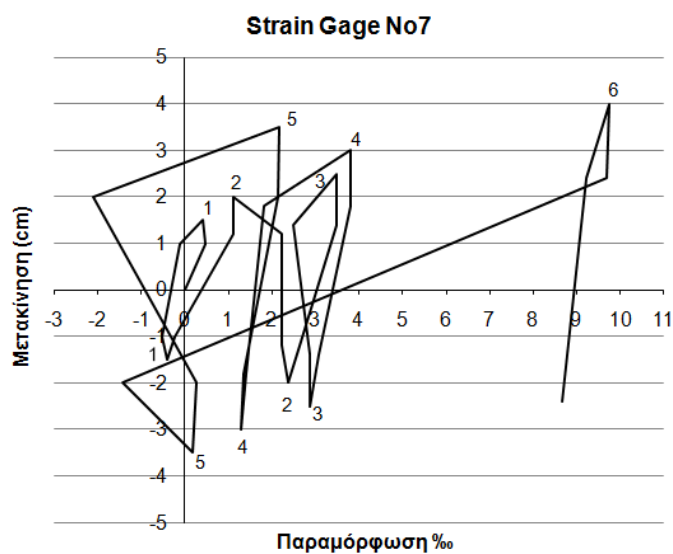
**Strain Gage No5**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω από τη  
συγκόλληση στην πλευρά  
South-West του στύλου



**Strain Gage No6**

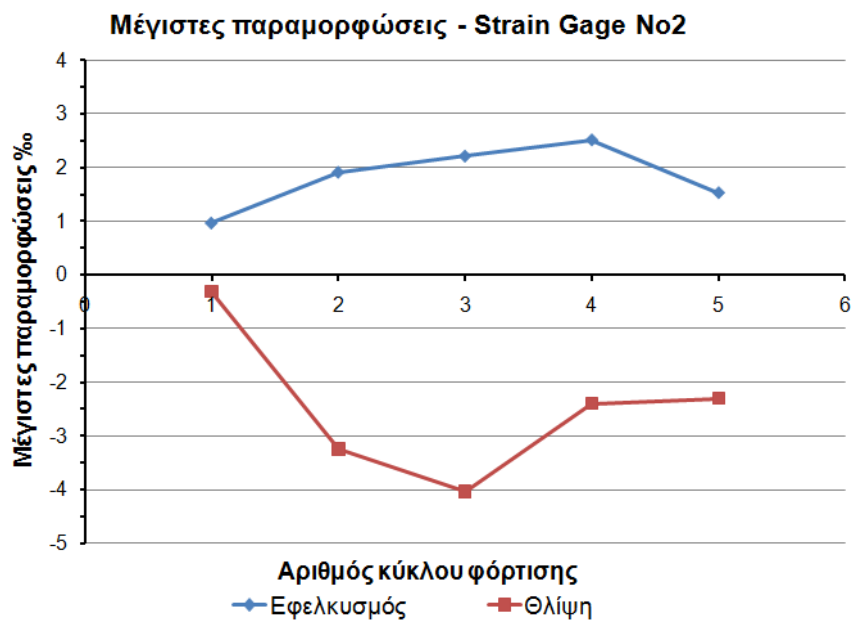
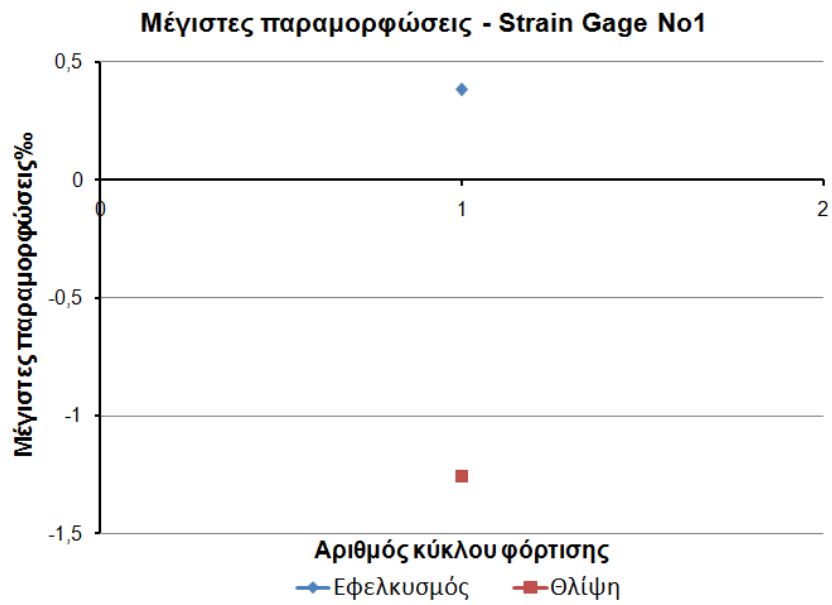
Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω από τη  
συγκόλληση στην πλευρά  
North-East του στύλου

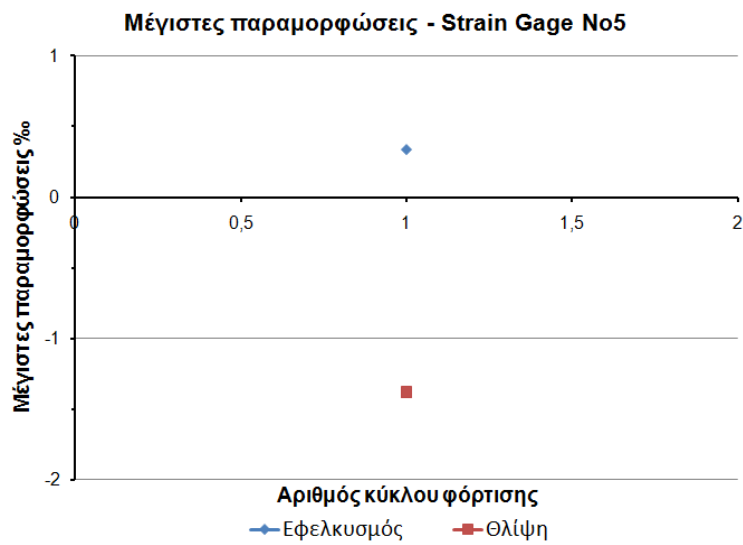
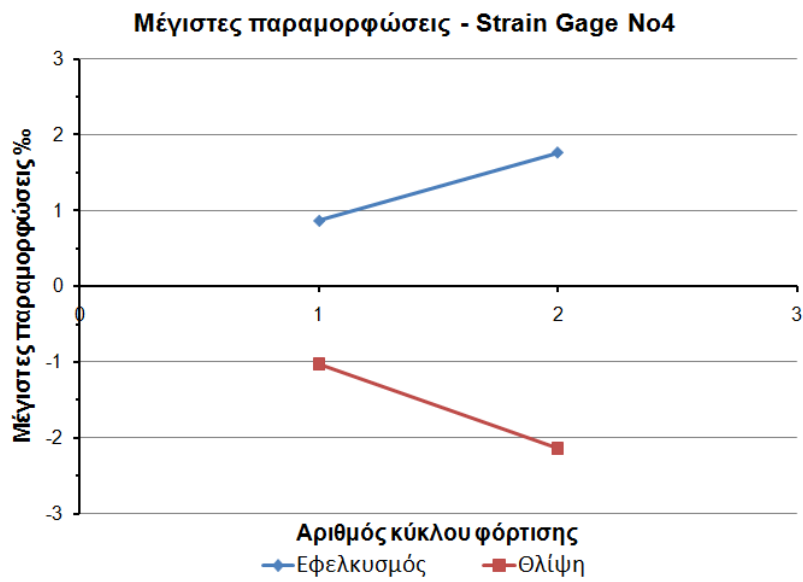
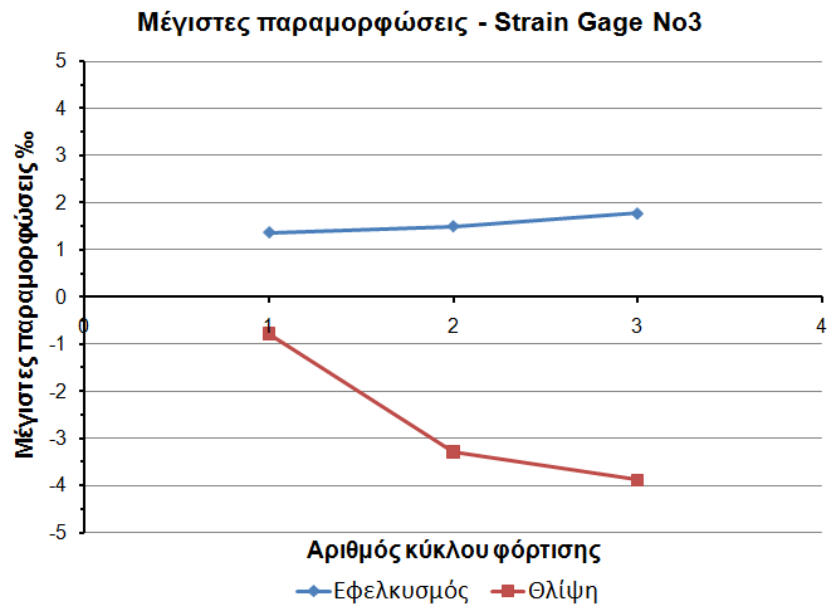


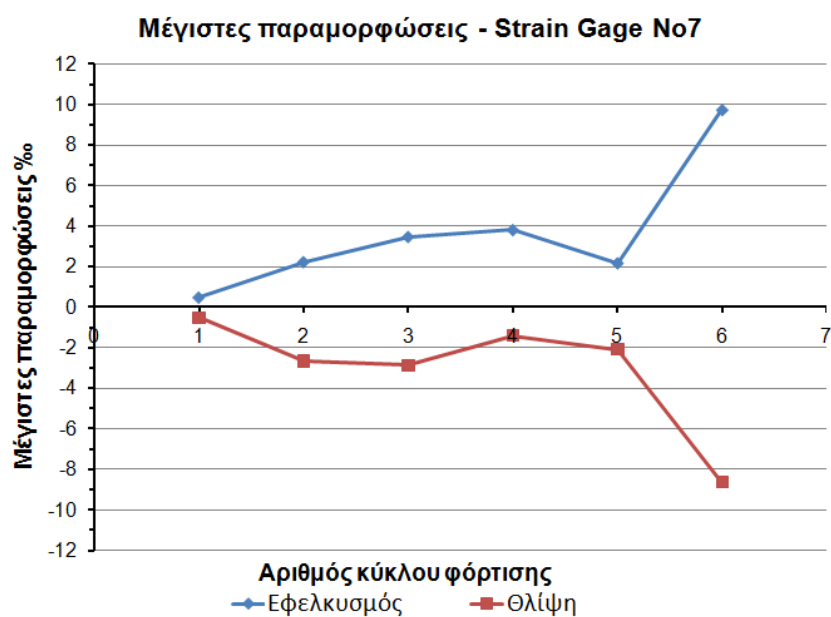
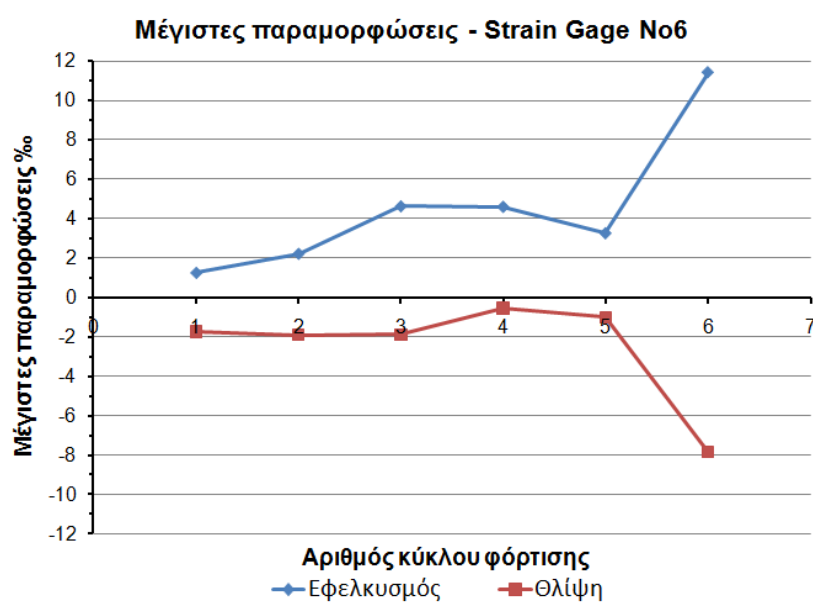
**Strain Gage No7**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω από τη  
συγκόλληση στην πλευρά  
North-West του στύλου

Σχ.64 : Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου W<sub>1</sub>







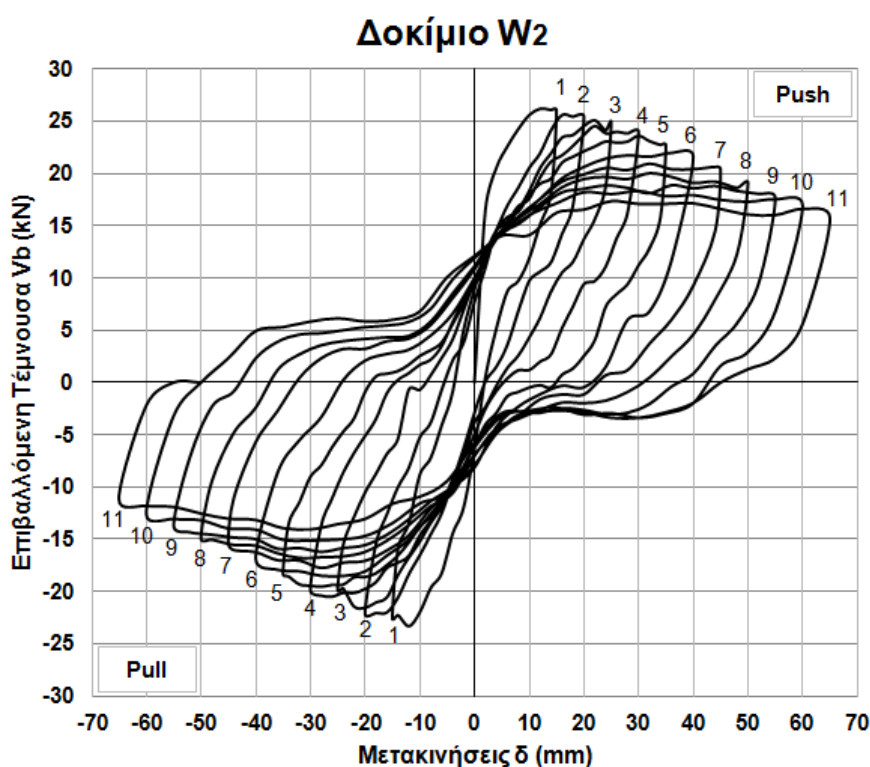
Σχ.65 : Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου W<sub>1</sub>

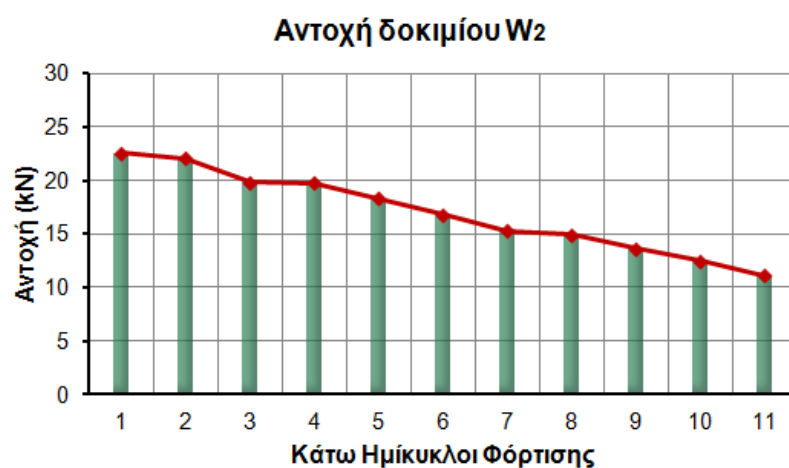
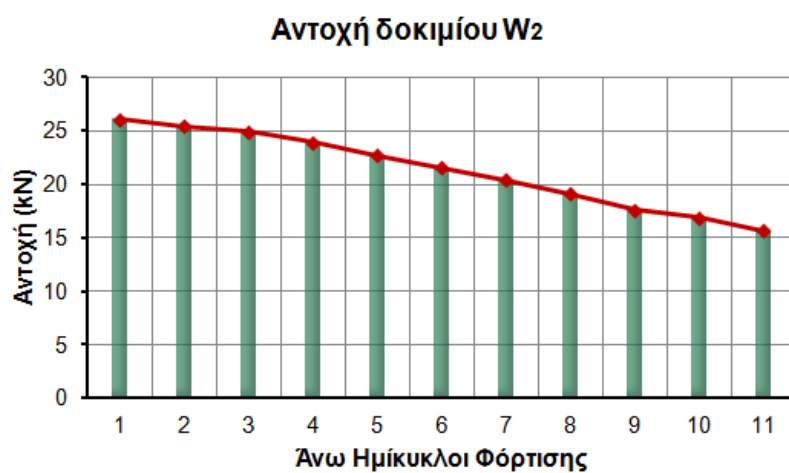
### 3.2.2.3 Δοκίμιο $W_2$

Στο δομικό υποσύνολο υποστυλώματος  $W_2$  πραγματοποιήθηκε συγκόλληση κατά μέτωπο των πλευρικών παρατιθέμενων διαμήκων οπλισμών του στύλου. Η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με όσα προβλέπει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων (ΚΤΧ), όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2. Η συμπεριφορά σε πλευρική φόρτιση του δοκιμίου  $W_2$  με τις συγκολλημένες κατά μέτωπο ράβδους στην περιοχή της παράθεσης συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 με εκείνη του δοκιμίου – στόχου,  $C_1$ , της Σειράς δοκιμίων Ι με τους συνεχείς οπλισμούς, για να ελεγχθεί η συνεισφορά της συγκόλλησης κατά μέτωπο των διαμήκων οπλισμών στη σεισμική απόκριση του υποστυλώματος. Το  $W_2$  υποβλήθηκε σε σεισμική καταπόνηση ένδεκα κύκλων. Η ιστορία της φόρτισης του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα Σχ.15. Οι βρόχοι μεγάλης και διαρκώς αυξανόμενης επιφανείας (που δηλώνουν υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας) σε συνδυασμό με την απουσία σημαντικών ολισθήσεων μέχρι τον έβδομο κύκλο φόρτισης (drift 4,59%) καθώς και στενωσεων γύρω από τους άξονες, φανερώσουν την ιδιαίτερα πλάσιμη απόκριση του δοκιμίου σε σεισμό. Παρά τη σταδιακή, ομαλή μείωση της αντοχής με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης στους άνω και κάτω ημίκυκλους φόρτισης και τη μείωση της δυσκαμψίας, το εμβαδόν των βρόχων υστερητικής απόκρισης του  $W_2$  αυξάνεται σημαντικά σε κάθε κύκλο μέχρι το τέλος του πειράματος (Σχ.66). Η ιδιαίτερα επιτυχής σεισμική συμπεριφορά του δοκιμίου οφείλεται στην επιτυχία της συγκόλλησης των διαμήκων ράβδων του στύλου, οι οποίες δεν αστόχησαν μέχρι και το τέλος του ενδέκατου κύκλου της πλευρικής φόρτισης και κατέστη έτσι δυνατή η ανάπτυξη σημαντικών ανελαστικών παραμορφώσεων στο χάλυβα, όπως αποδεικνύεται και από τις μικρομετρήσεις των παραμορφώσεων (Σχ.72). Κατά τους πρώτους κύκλους σχηματίστηκαν τριχοειδή καμπτικά ρήγματα κοντά στη βάση του υποστυλώματος τα οποία σταδιακά διευρύνθηκαν με την αύξηση της επιβαλλόμενης πλευρικής μετατόπισης και οδήγησαν στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των θλιβομένων ζωνών και την απώλεια της επικάλυψης των οπλισμών κατά τους τελευταίους κύκλους φόρτισης. Η πυκνή διάταξη των συνδετήρων (Φ8/80mm ποιότητας B500C), οι οποίοι δεν έφθασαν στη διαρροή τους, δεν επέτρεψε το λυγισμό των διαμήκων ράβδων του υποστυλώματος. Η τελική εικόνα της αστοχίας του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα 70. Η εμφάνιση οριζόντιων κλάδων στους βρόχους του  $W_2$  από τον έβδομο κύκλο φόρτισης και μετά (Σχ.66) οφείλεται στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των εκατέρωθεν θλιβομένων ζωνών, καθώς επίσης και στις μικρές ολισθήσεις των ράβδων στη θέση της πλαστικής άρθρωσης, το κλείσιμο καμπτικών ρωγμών και το φαινόμενο δευτέρας τάξεως P-δ. Το υποστυλόμετρο  $W_2$  συνεχίζει ωστόσο να απορροφά μεγάλα ποσά ενέργειας. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου της πλευρικής φόρτισης η αντοχή του υποστυλώματος είναι ίση με το 60,11% και το 49,31% της αρχικής τιμής της κατά τον πρώτο άνω και κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα. Η ομαλή πτώση της αντοχής του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της ανακυκλιζόμενης σεισμικής επιπόνησης στην οποία υποβλήθηκε φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 67. Η μεγαλύτερη πτώση της δυσκαμψίας του δοκιμίου παρουσιάζεται από τον πρώτο στον δεύτερο κύκλο φόρτισης οπότε περιορίζεται κατά 26,67%. Από τον τρίτο κύκλο και μετά η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται με πιο ομαλό ρυθμό για να περιοριστεί στο τέλος του πειράματος στο 12,72% της αρχικής της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα 68. Στο ραβδόγραμμα του

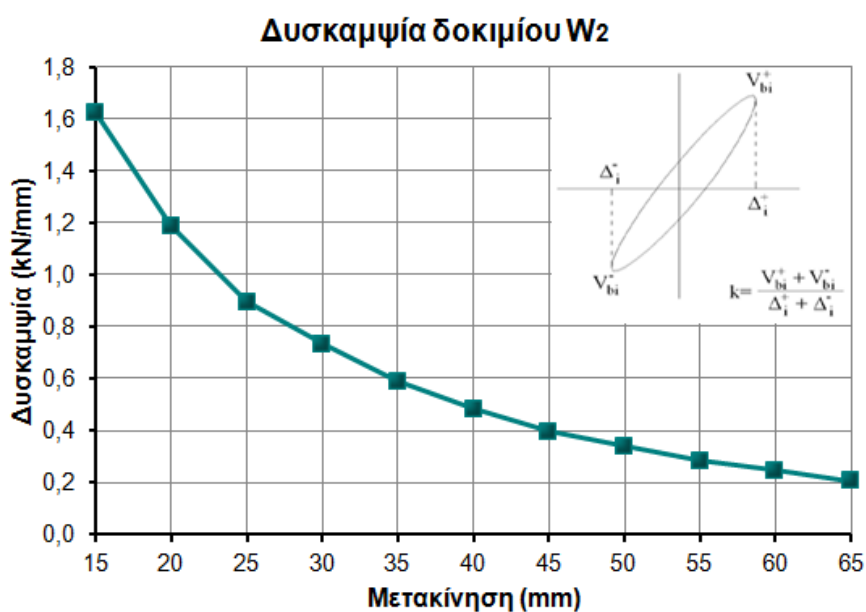


σχήματος 69 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστυλωμα σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων καθώς οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια μέχρι και τον τελευταίο κύκλο φόρτισης. Η ιδιαιτέρως πλαστική συμπεριφορά που παρουσιάζει ο στύλος  $W_2$  οφείλεται στην επιτυχή αποκατάσταση της συνέχειας των διαμήκων οπλισμών μέσω της συγκόλλησής τους κατά μέτωπο, που επιτρέπει στις ράβδους να αναπτύξουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις και να εξασφαλίσουν την απορρόφηση σημαντικών ποσών ενέργειας εντός της πλαστικής άρθρωσης. Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις των παραμορφώσεων των οπλισμών (Σχ.72) η αύξηση των μετατοπίσεων του υποστυλώματος προκάλεσε εντονότατη παραμόρφωση των διαμήκων ράβδων οπλισμού του στύλου, σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη που αντιστοιχεί στη διαρροή του λείου χάλυβα S220 ( $\epsilon_y=1.87\%$ ) και του νευροχάλυβα B500C ( $\epsilon_y=2.5\%$ ). Στις περιπτώσεις μάλιστα των ταινιών Νο1 και Νο6 οι ράβδοι αναπτύσσουν παραμόρφωση της τάξεως του 5,3‰ και 6,6‰ αντίστοιχα. Η θέση κάθε ταινίας φαίνεται στο σχήμα 71, καθώς και δίπλα από το αντίστοιχο διάγραμμα παραμόρφωσης (Σχ.72). Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 73. Η διατήρηση ή η μείωση των τιμών των παραμορφώσεων δείχνουν την ύπαρξη ολισθήσεων των ράβδων στις οποίες είναι τοποθετημένες οι ταινίες μέτρησης (strain gages), ενώ η αύξηση των τιμών δείχνει έλλειψη ολισθήσεων, Ehsani and Wight (1985). Η απόκριση του  $W_2$  σε σεισμό συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 §4.3 με εκείνη των υπολοίπων δοκιμών υποστυλώματος της Σειράς II καθώς και με το δοκίμιο  $C_1$  της Σειράς I.



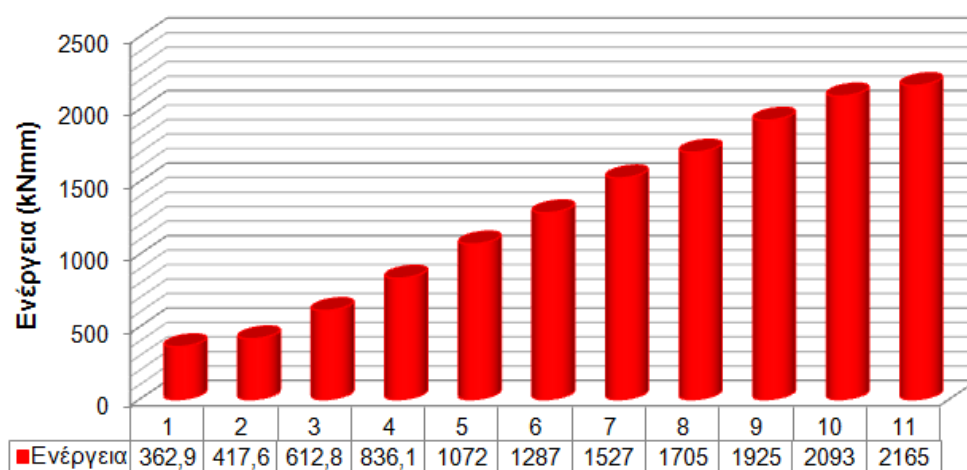


Σχ.67 : Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου W<sub>2</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

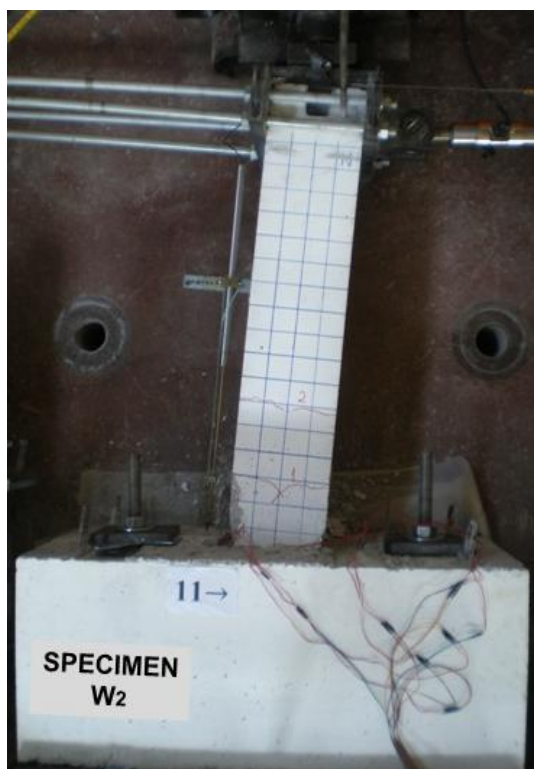


Σχ.68 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου W<sub>2</sub>

### Απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - Δοκίμιο W<sub>2</sub>



Σχ.69 : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου W<sub>2</sub>



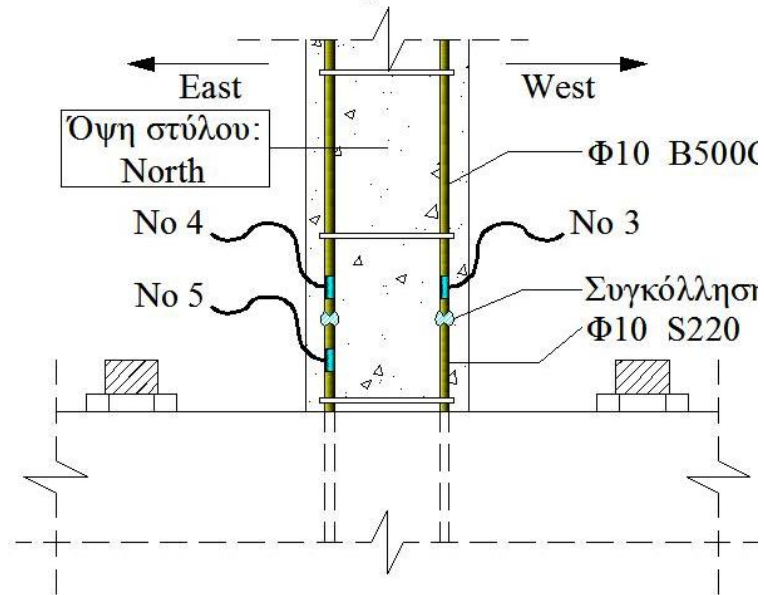
(α)



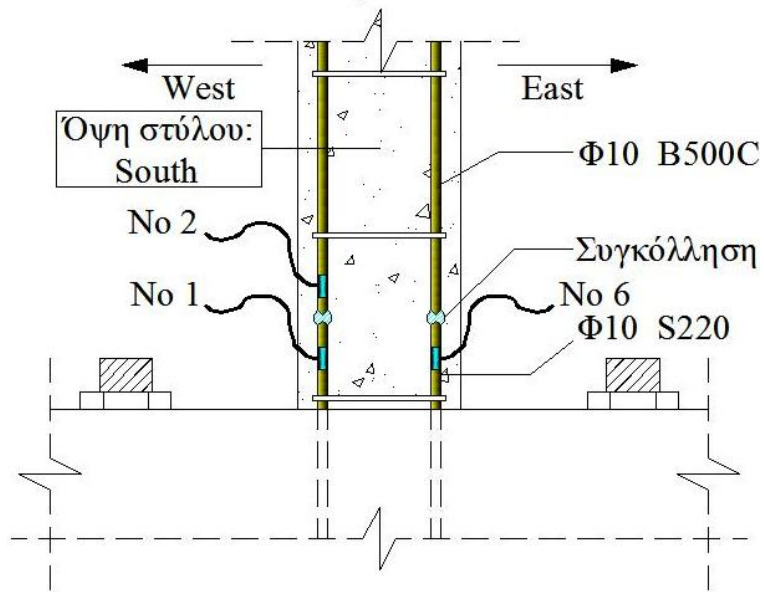
(β)

Σχ.70 : Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου W<sub>2</sub>

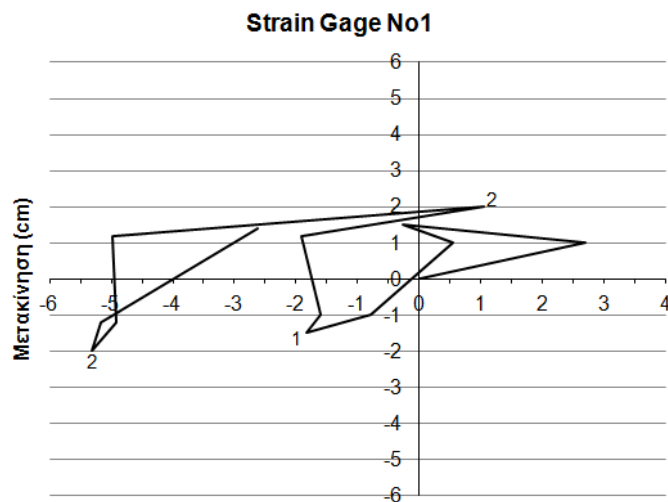
## Δοκίμιο W2



## Δοκίμιο W2

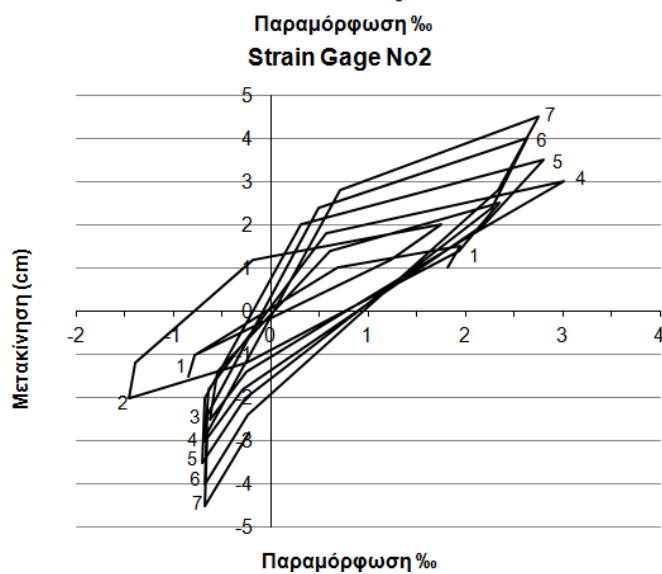


Σχ.71 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο W<sub>2</sub>



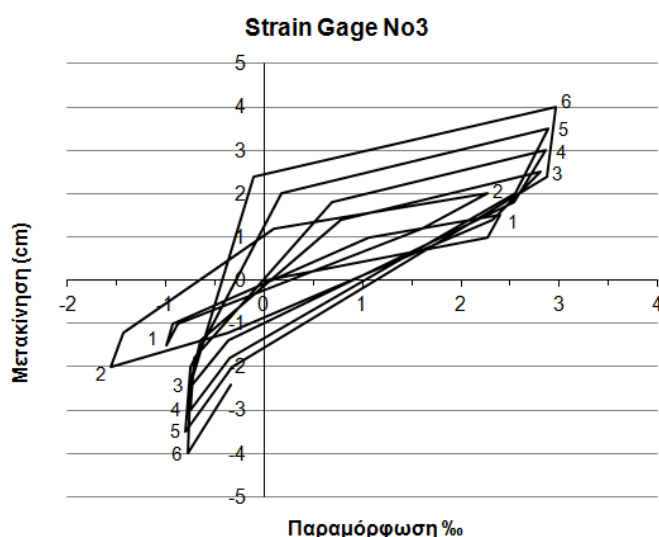
**Strain Gage No1**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκους ράβδου  
κάτω από τη συγκόλληση  
στην πλευρά South-West  
του στύλου



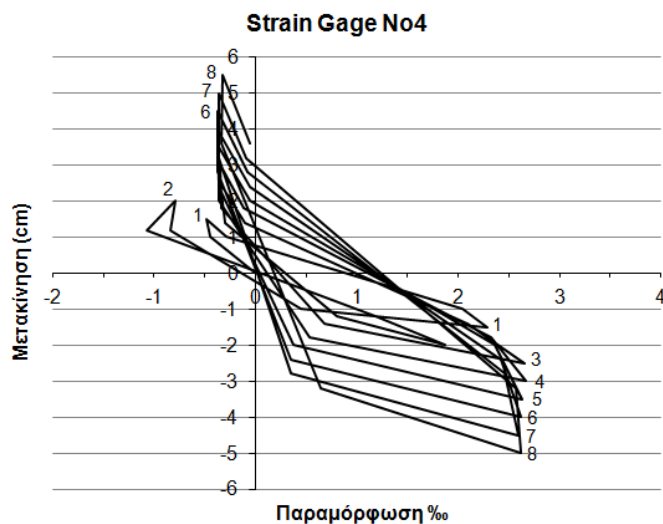
**Strain Gage No2**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκους ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω από  
τη συγκόλληση στην  
πλευρά South-West του  
στύλου



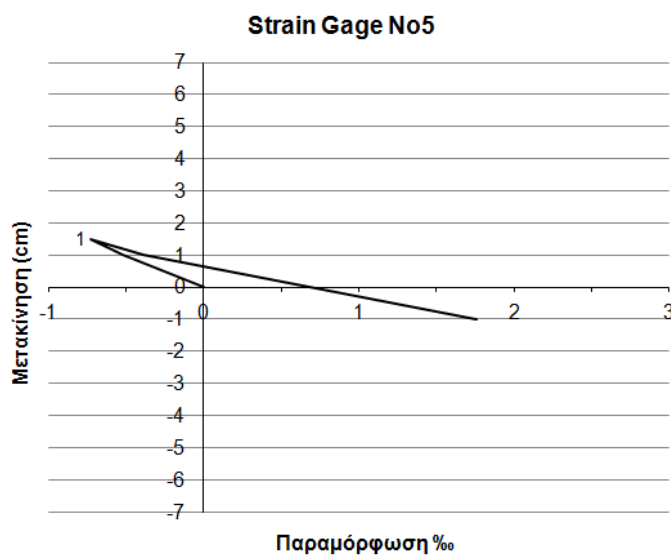
**Strain Gage No3**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκους ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω από  
τη συγκόλληση στην  
πλευρά North-West του  
στύλου



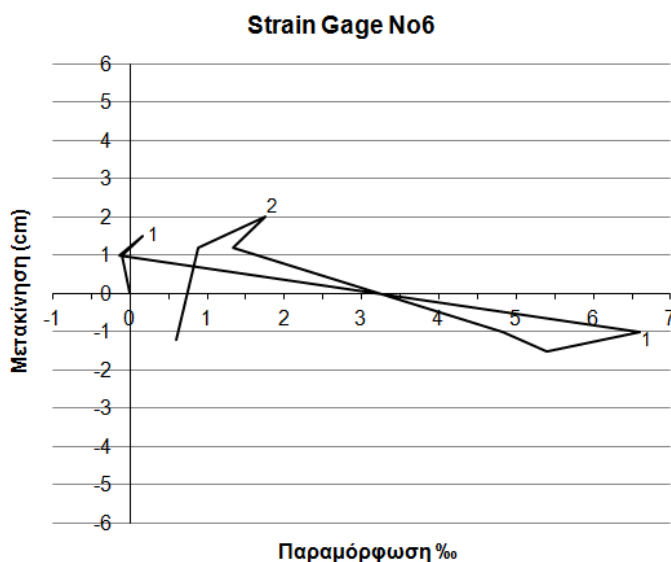
#### **Strain Gage No4**

Τοποθετημένο επί της διαμήκου ράβδου νευροχάλυβα πάνω από τη συγκόλληση στην πλευρά North-East του στύλου



#### **Strain Gage No5**

Τοποθετημένο επί της λείας διαμήκου ράβδου κάτω από τη συγκόλληση στην πλευρά North-East του στύλου

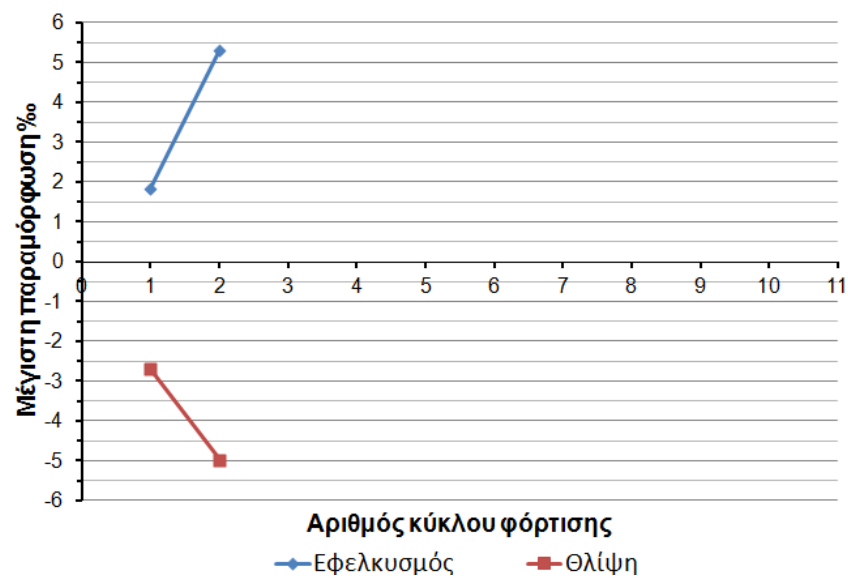


#### **Strain Gage No6**

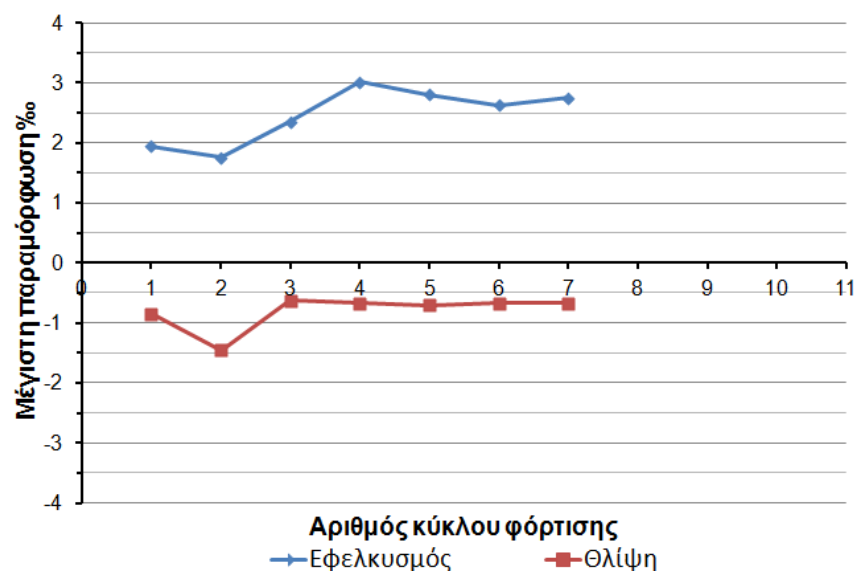
Τοποθετημένο επί της λείας διαμήκου ράβδου κάτω από τη συγκόλληση στην πλευρά South-East του στύλου

Σχ.72 : Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου  $W_2$

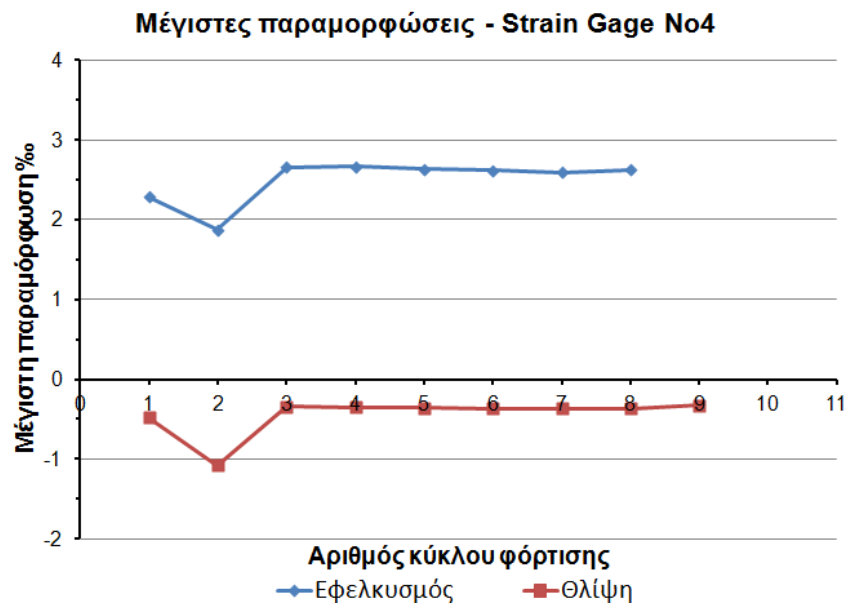
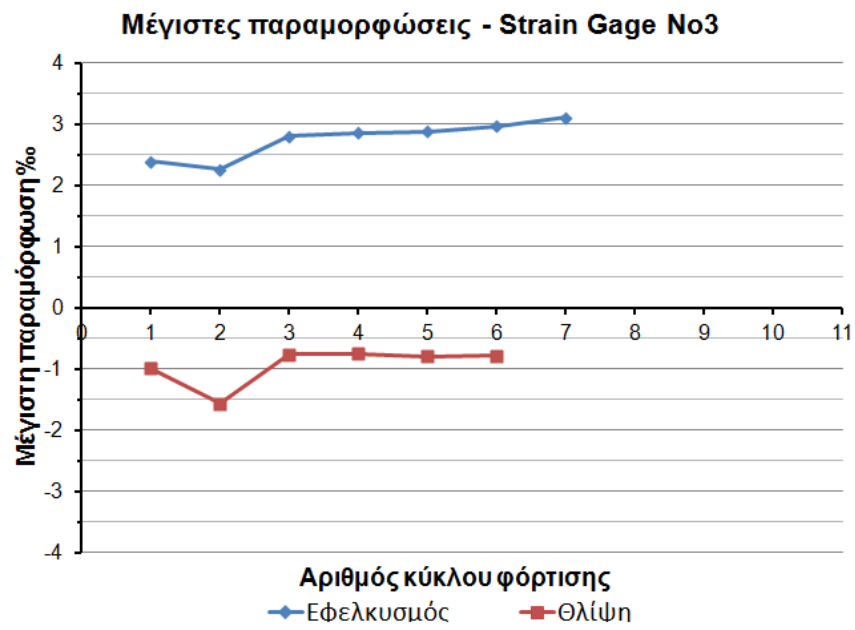
**Μέγιστες παραμορφώσεις - Strain Gage No1**

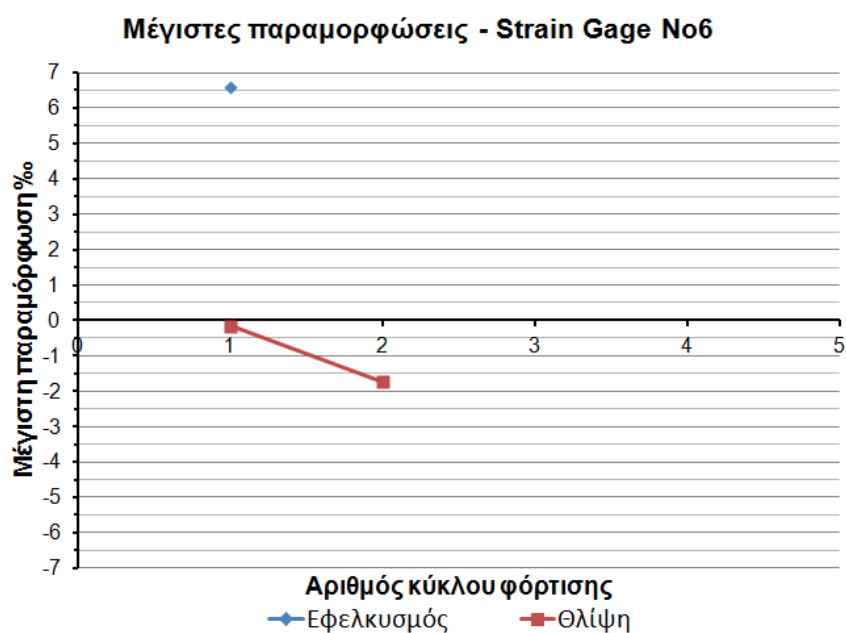
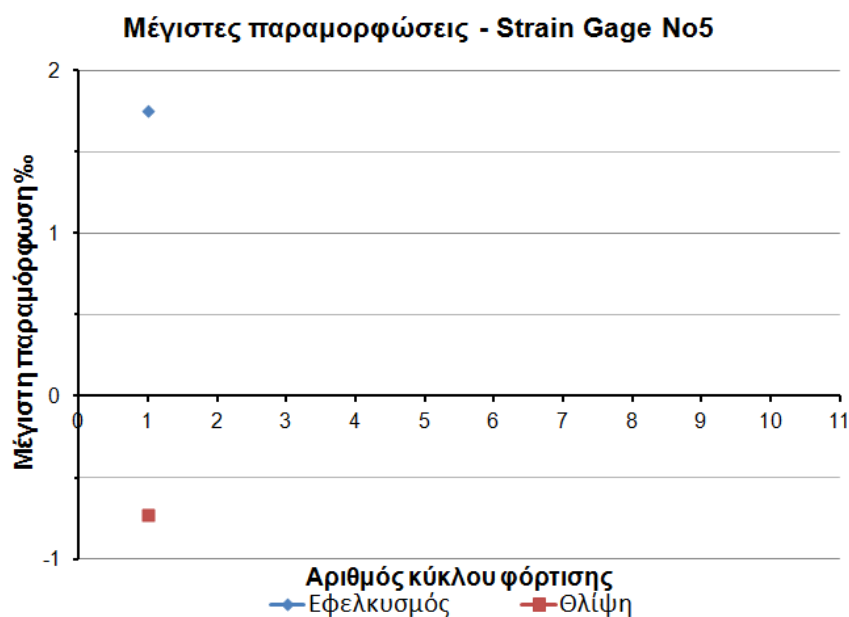


**Μέγιστες παραμορφώσεις - Strain Gage No2**









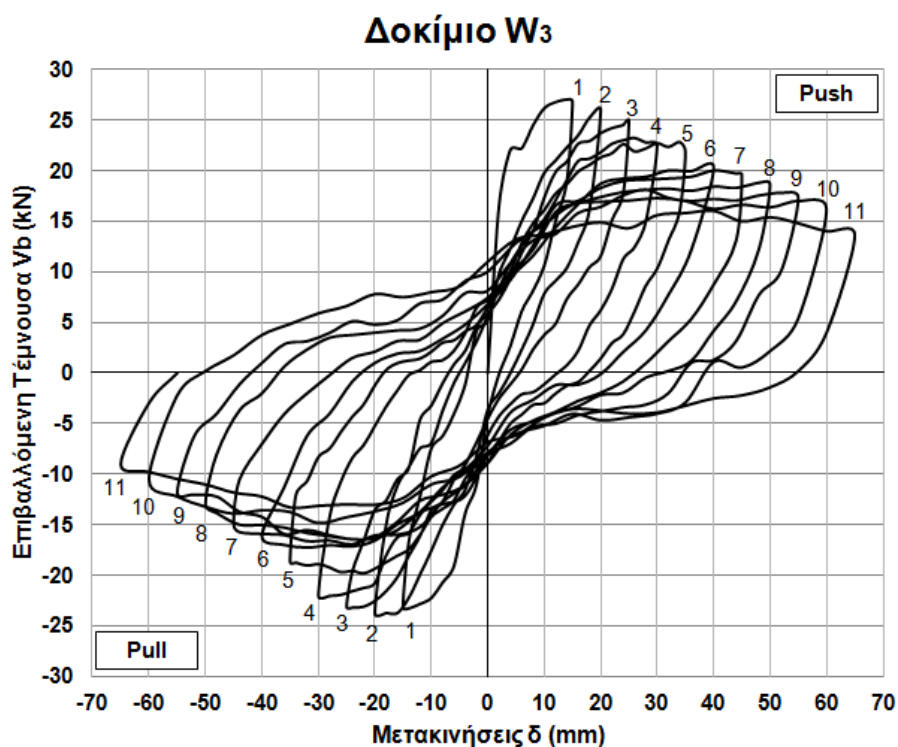
Σχ.73 : Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου  $W_2$

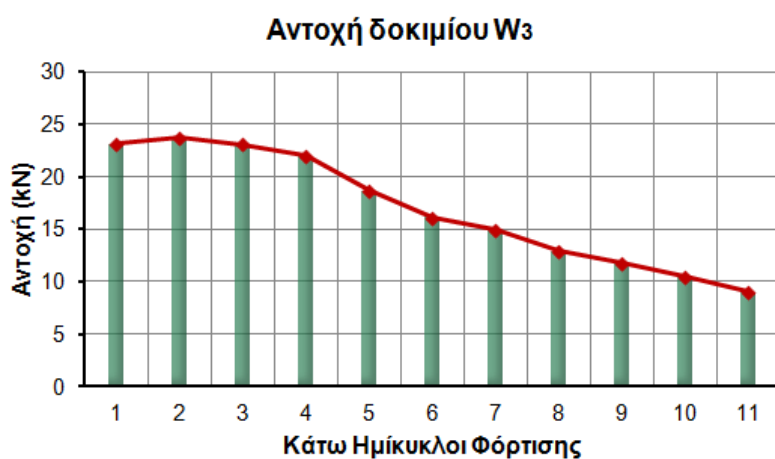
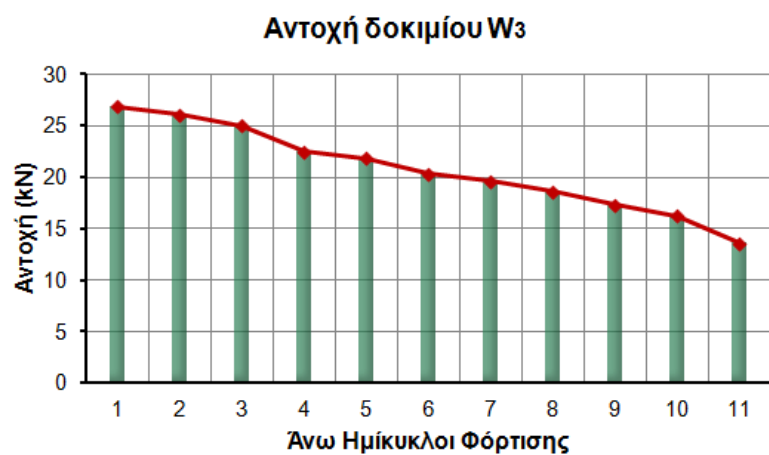
#### 3.2.2.4 Δοκίμιο $W_3$

Στο υποστύλωμα  $W_3$  πραγματοποιήθηκε συγκόλληση κατά λωρίδες των πλευρικών παρατιθέμενων διαμήκων οπλισμών του. Η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με όσα προβλέπει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων (ΚΤΧ), όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2. Η συμπεριφορά σε πλευρική φόρτιση του δοκιμίου  $W_3$  συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 με εκείνη του δοκιμίου – στόχου,  $C_1$ , της Σειράς

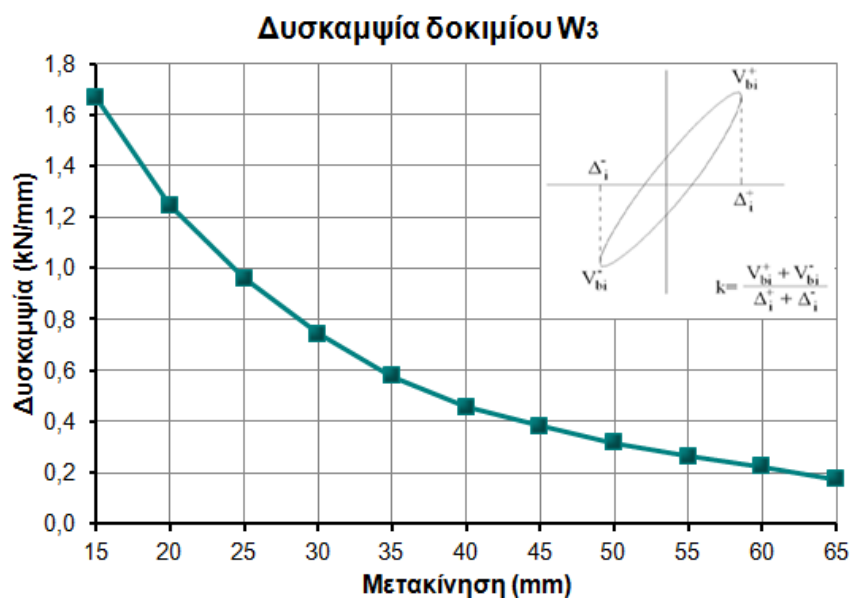
δοκιμίων I με τους συνεχείς οπλισμούς, για να ελεγχθεί η συνεισφορά της συγκόλλησης κατά λωρίδες των διαμήκων οπλισμών στη σεισμική απόκριση του υποστυλώματος. Το  $W_3$  υποβλήθηκε σε σεισμική καταπόνηση ένδεκα κύκλων. Η ιστορία της φόρτισης του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα 15. Οι βρόχοι μεγάλης και διαρκώς αυξανόμενης επιφανείας σε συνδυασμό με την απουσία οριζόντιων κλάδων ολισθήσεων μέχρι τον έκτο κύκλο φόρτισης (drift 4,08%) καθώς και στενώσεων γύρω από τους άξονες, φανερώνουν την ιδιαίτερα πλάστιμη απόκριση του δοκιμίου σε σεισμό. Παρά τη σταδιακή, ομαλή μείωση της αντοχής με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης στους άνω και κάτω ημίκυκλους φόρτισης και τη μείωση της δυσκαμψίας, το εμβαδόν των βρόχων υστερητικής απόκρισης του  $W_3$  αυξάνεται σημαντικά σε κάθε κύκλο μέχρι το τέλος του πειράματος (Σχ.74), όπως συνέβη και με τα δοκίμια  $W_1$  και  $W_2$ . Η ιδιαίτερα επιτυχής σεισμική συμπεριφορά του δοκιμίου οφείλεται στην επιτυχία της συγκόλλησης των διαμήκων ράβδων του στύλου, οι οποίες δεν αστόχησαν μέχρι και το τέλος του ενδέκατου κύκλου της πλευρικής φόρτισης και κατέστη έτσι δυνατή η ανάπτυξη σημαντικών ανελαστικών παραμορφώσεων στο χάλυβα, όπως αποδεικνύεται και από τις μικρομετρήσεις των παραμορφώσεων (Σχ.80). Κατά τους πρώτους κύκλους σχηματίστηκαν τριχοειδή, καμππικά ρήγματα κοντά στη βάση του υποστυλώματος τα οποία σταδιακά διευρύνθηκαν με την αύξηση της επιβαλλόμενης πλευρικής μετατόπισης και οδήγησαν στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των θλιβομένων ζωνών και την απώλεια της επικάλυψης των οπλισμών κατά τους τελευταίους κύκλους φόρτισης. Η πυκνή διάταξη των συνδετήρων ( $\Phi 8/80\text{mm}$  ποιότητας B500C), οι οποίοι δεν έφθασαν στη διαρροή τους, δεν επέτρεψε το λυγισμό των διαμήκων ράβδων του υποστυλώματος. Η τελική εικόνα της αστοχίας του δοκιμίου φαίνεται στο σχήμα 78. Η εμφάνιση οριζόντιων κλάδων στους βρόχους του  $W_3$  από τον έκτο κύκλο φόρτισης και μετά (Σχ.74) οφείλεται στην αποδιοργάνωση του σκυροδέματος των εκατέρωθεν θλιβομένων ζωνών, καθώς επίσης και στις μικρές ολισθήσεις των ράβδων στη θέση της πλαστικής άρθρωσης, το κλείσιμο καμππικών ρωγμών και το φαινόμενο δευτέρας τάξεως P-δ. Το υποστυλόμετρο  $W_3$  συνεχίζει ωστόσο να απορροφά μεγάλα ποσά ενέργειας. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου της πλευρικής φόρτισης η αντοχή του υποστυλώματος είναι ίση με το 50,65% και το 38,9% της αρχικής τιμής της κατά τον πρώτο άνω και κάτω ημίκυκλο αντίστοιχα. Η ομαλή πτώση της αντοχής του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της ανακυκλιζόμενης σεισμικής επιπόνησης στην οποία υποβλήθηκε φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 75. Η μεγαλύτερη πτώση της δυσκαμψίας του δοκιμίου παρουσιάζεται από τον πρώτο στον δεύτερο κύκλο φόρτισης οπότε περιορίζεται κατά 25,31%. Από τον τρίτο κύκλο και μετά η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται με πιο ομαλό ρυθμό για να περιοριστεί στο τέλος του πειράματος στο 10,44% της αρχικής της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα 76. Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 77 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστυλόμετρο σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων καθώς οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια μέχρι και τον τελευταίο κύκλο φόρτισης. Η ιδιαίτερως πλάστιμη συμπεριφορά που παρουσιάζει ο στύλος  $W_3$  οφείλεται στην επιτυχή αποκατάσταση της συνέχειας των διαμήκων οπλισμών μέσω της συγκόλλησής τους κατά λωρίδες, που επιτρέπει στις ράβδους να αναπτύξουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις και να εξασφαλίσουν την απορρόφηση σημαντικών ποσών ενέργειας εντός της πλαστικής

άρθρωσης. Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις των παραμορφώσεων των οπλισμών (Σχ.80) η αύξηση των μετατοπίσεων του υποστυλώματος προκάλεσε εντονότερη παραμόρφωση των διαμήκων ράβδων οπλισμού του στύλου, σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη που αντιστοιχεί στη διαρροή του λείου χάλυβα S220 ( $\epsilon_y=1.87\%$ ) και του νευροχάλυβα B500C ( $\epsilon_y=2.5\%$ ). Η θέση κάθε ταινίας φαίνεται στα σχέδια του σχήματος 79 καθώς επίσης και δίπλα από το αντίστοιχο διάγραμμα παραμόρφωσης (Σχ.80). Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 81. Η απόκριση του  $W_3$  σε σεισμό συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 §4.3 με εκείνη των υπολοίπων δοκιμών υποστυλώματος της Σειράς II καθώς και με το δοκίμιο  $C_1$  της Σειράς I.



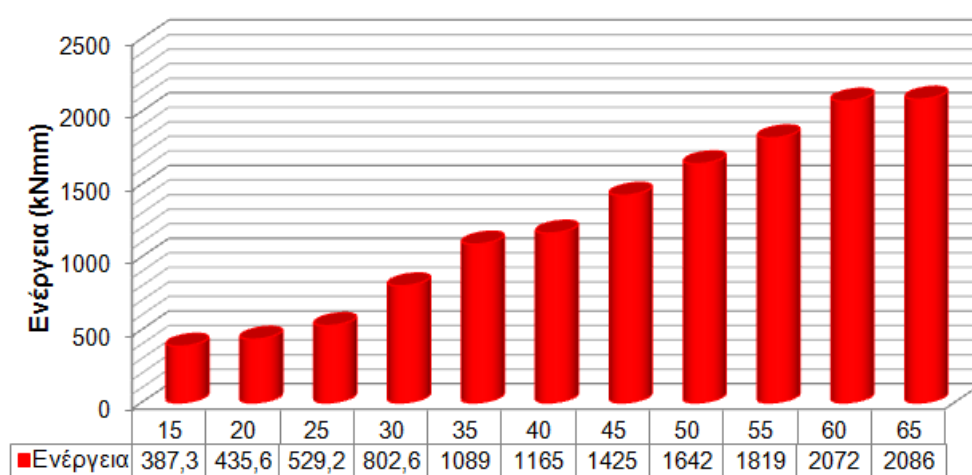


Σχ.75 : Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου W<sub>3</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

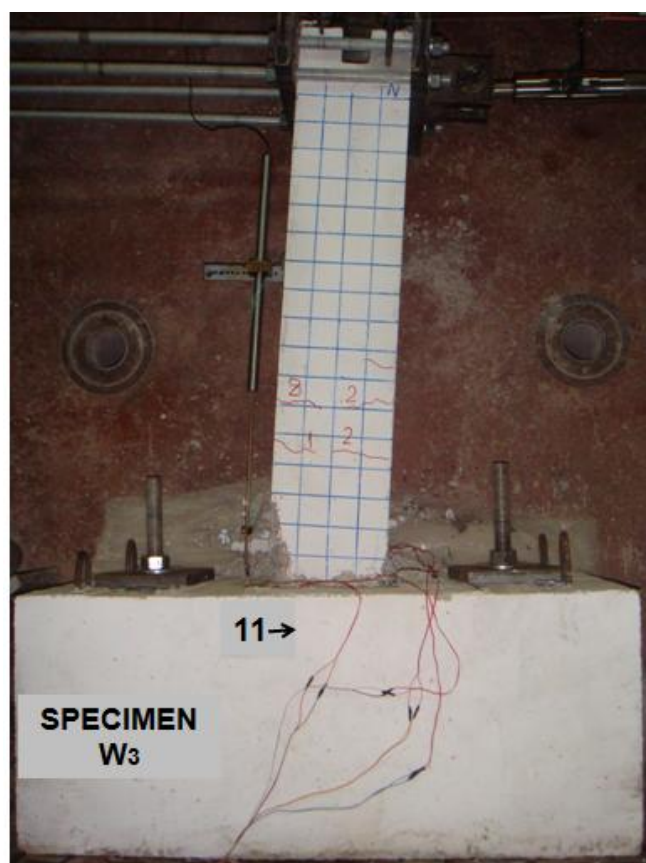


Σχ.76 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου W<sub>3</sub>

### Απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - Δοκίμιο W<sub>3</sub>

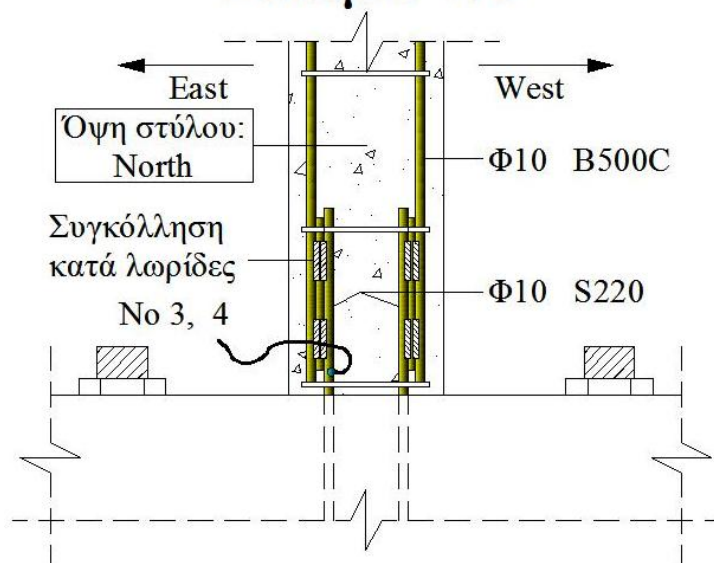


Σχ.77. : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου W<sub>3</sub>

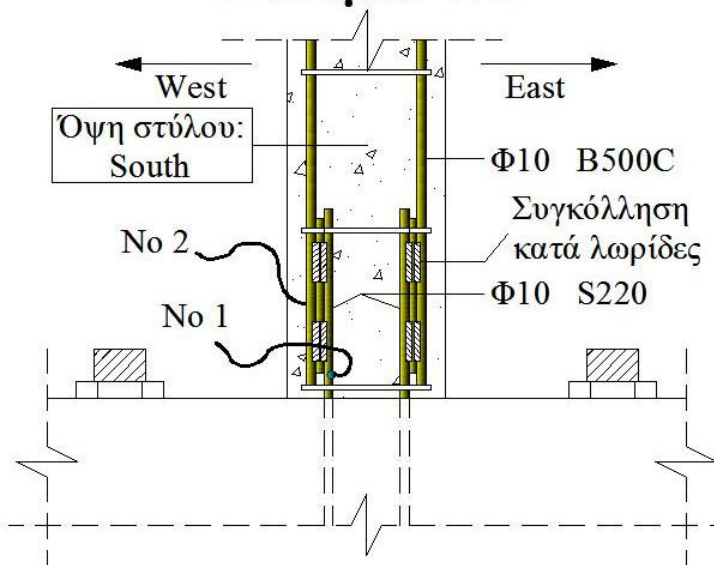


Σχ.78 : Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου W<sub>3</sub>

## Δοκίμιο W3

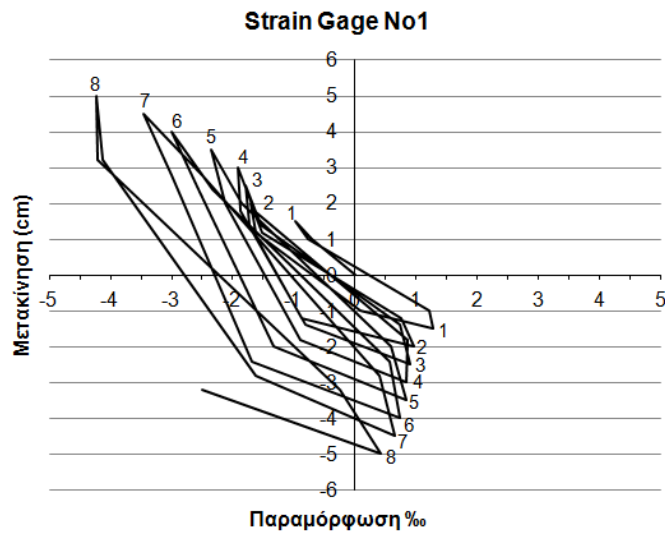


## Δοκίμιο W3



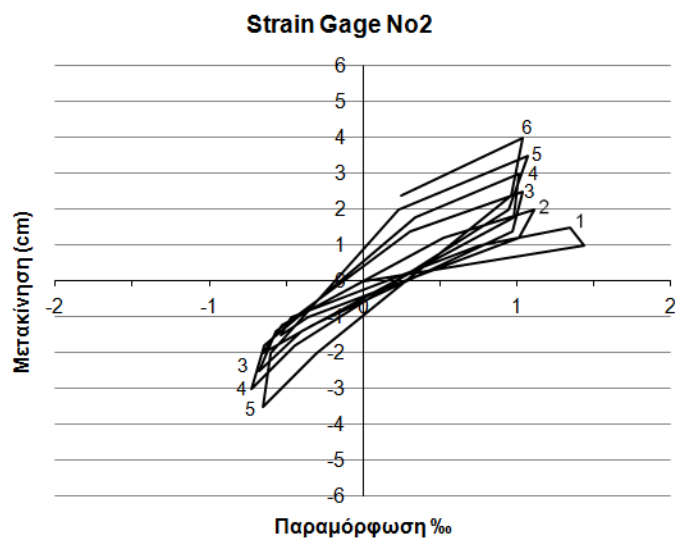
Σχ.79 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο W<sub>3</sub>





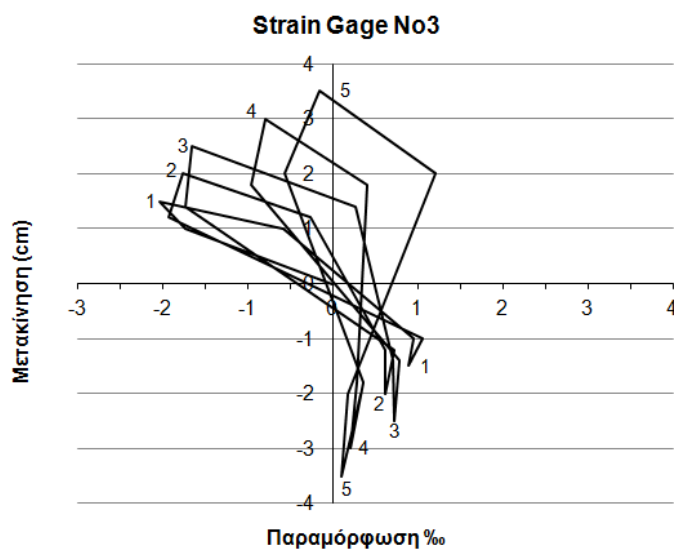
**Strain Gage No1**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκους  
ράβδου κάτω από τη  
συγκόλληση στην  
πλευρά South-West  
του στύλου



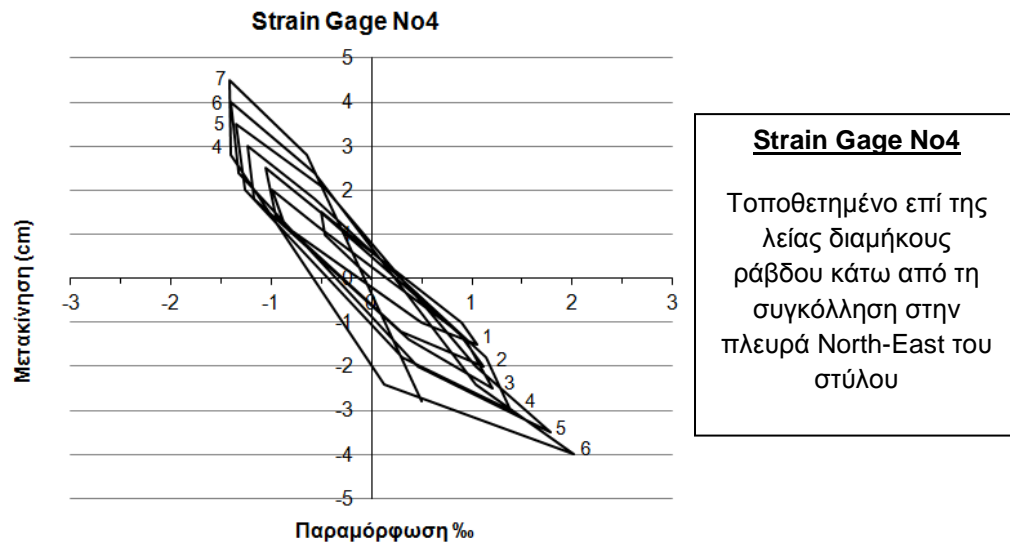
**Strain Gage No2**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκους ράβδου  
νευροχάλυβα πάνω  
από τη συγκόλληση  
στην πλευρά South-  
West του στύλου

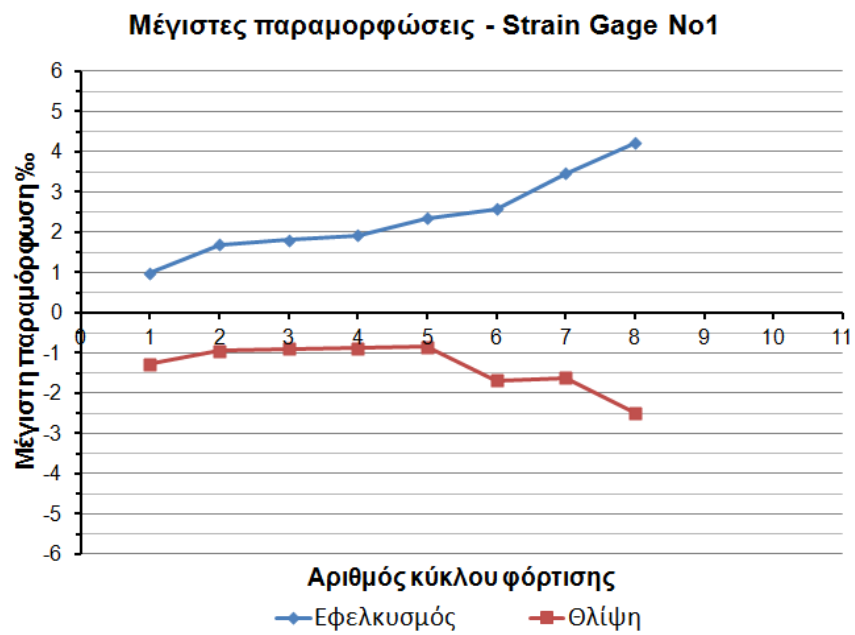


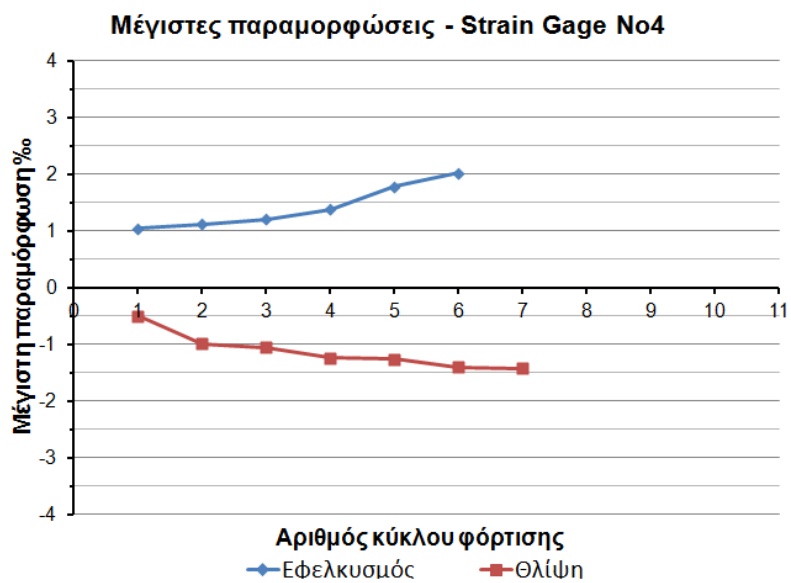
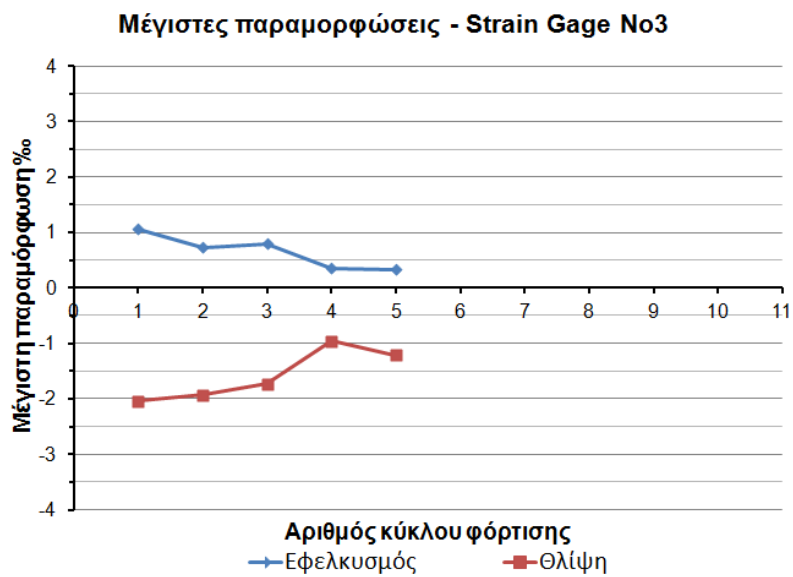
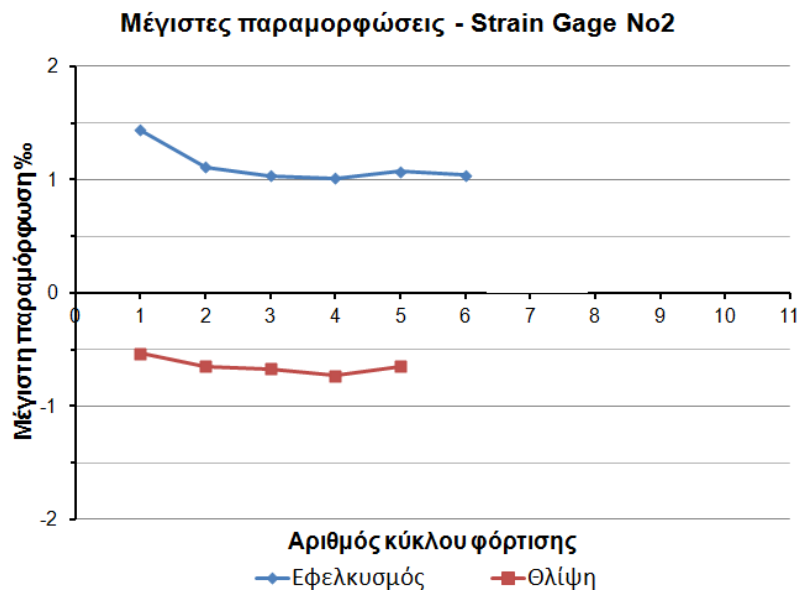
**Strain Gage No3**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκους  
ράβδου κάτω από τη  
συγκόλληση στην  
πλευρά North-East του  
στύλου



Σχ.80 : Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου W<sub>3</sub>





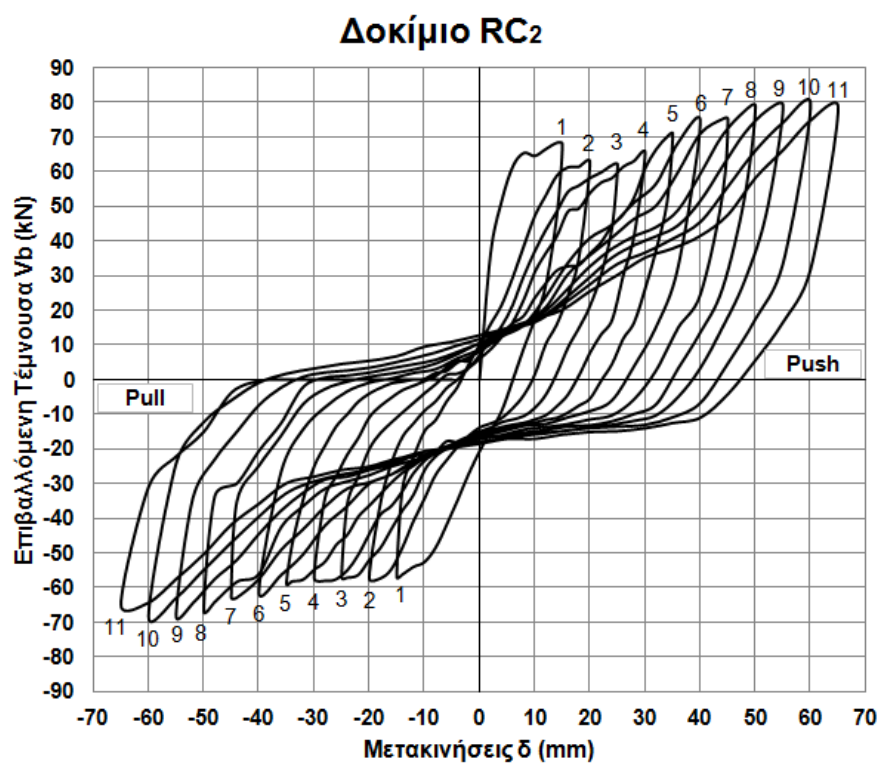
Σχ.81: Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου W<sub>3</sub>

### 3.2.3 Σειρά δοκιμών III:

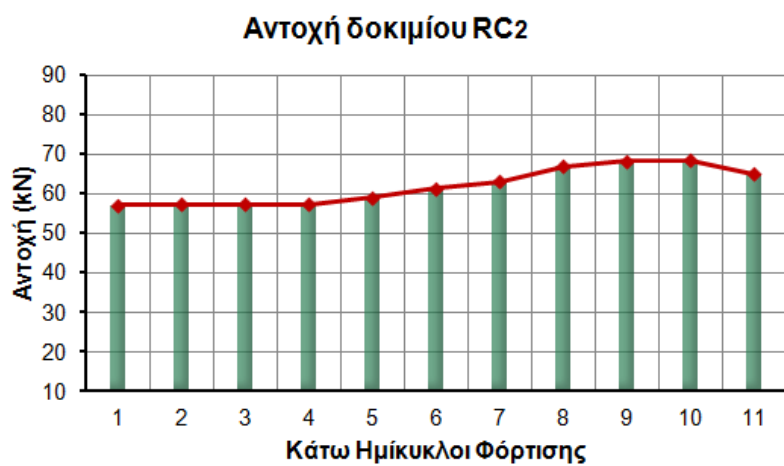
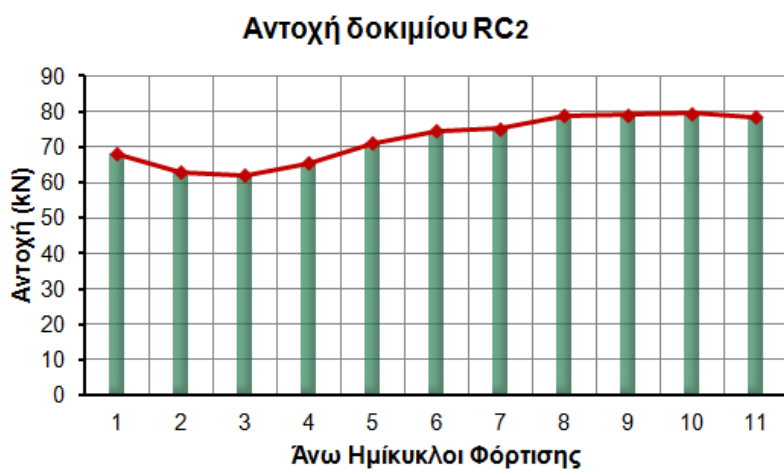
#### 3.2.3.1 Δοκίμιο RC<sub>2</sub>

Το δομικό υποσύνολο RC<sub>2</sub> προέκυψε από το δοκίμιο C<sub>2</sub>, που προσομοίωνε παλαιό υποστύλωμα διαστάσεων 200x200mm και είχε συνεχείς διαμήκειες ράβδους οπλισμού χωρίς παραθέσεις, μετά την ενίσχυσή του με την κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ γύρω από το υποστύλωμα κατά τα περιγραφόμενα στο Κεφάλαιο 2 §2.5.3. Οι τελικές διαστάσεις του ενισχυμένου δοκιμίου είναι 300x300mm. Το RC<sub>2</sub> χρησιμεύει ως δοκίμιο ελέγχου της Σειράς δοκιμών III καθώς η συμπεριφορά του σε σεισμό είναι ιδανική, λόγω της συνέχειας του διαμήκους οπλισμού και της απουσίας παραθέσεων στο αρχικό υποστύλωμα C<sub>2</sub>. Η ιστορία φόρτισης του δοκιμίου, που υποβλήθηκε σε ένδεκα (11) κύκλους εναλλασσόμενης πλευρικής φόρτισης υπό σταθερό αξονικό φορτίο 150kN, φαίνεται στο σχήμα 15. Οι βρόχοι υστερητικής απόκρισης του RC<sub>2</sub> ερμηνεύουν την ιδιαίτερα πλάστιμη συμπεριφορά που παρουσίασε ο στύλος σε σεισμό. Η αντοχή του εμφανίζεται αυξημένη σε κάθε επόμενο κύκλο φόρτισης μέχρι και τον δέκατο κύκλο (drift 6,12%), παρουσιάζοντας μία μικρή μόνο πτώση στον 2<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> άνω ημίκυκλο φόρτισης. Η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται ομαλά με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων, ενώ το εμβαδόν των βρόχων είναι μεγάλο και διαρκώς αυξάνεται, φανερώνοντας την απορρόφηση σημαντικών και διαρκώς αυξανόμενων ποσοτήτων σεισμικής ενέργειας. Το μεγάλο εμβαδόν των βρόχων υστέρησης του δοκιμίου και η απουσία ολισθήσεων και στενώσεων (pinching) γύρω από την αρχή των αξόνων ακόμα και στους τελευταίους κύκλους φόρτισης φανερώνουν την ιδιαίτερα καλή συμπεριφορά του στύλου σε σεισμό. Κατά τους πρώτους τρεις κύκλους φόρτισης σχηματίστηκαν λίγες τριχοειδείς ρωγμές στο υποστύλωμα (Σχ.86) που μετά το σχηματισμό του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου δεν διευρύνθηκαν. Από τις μικρομετρήσεις των παραμορφώσεων των διαμήκων οπλισμών του ενισχυμένου στύλου προκύπτει ότι η αύξηση της πλευρικής μετατόπισης προκάλεσε εντονότερες παραμορφώσεις των καλά αγκυρωμένων διαμήκων ράβδων του δοκιμίου, κατά πολύ μεγαλύτερες από την παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα. Ράβδος λείου χάλυβα του αρχικού στύλου με παραμόρφωση διαρροής 1,87‰ ανέπτυξε παραμόρφωση που έφθασε το 16,5‰ κατά τον ενδέκατο κύκλο πλευρικής φόρτισης (65mm μετακίνηση) (Σχ.87, Σχ.88 strain gage No6). Η έντονη περίσφιγξη την οποία επέφερε η κατασκευή του μανδύα Ο/Σ γύρω από το αρχικό υποστύλωμα δεν επέτρεψε να συμβεί αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες και σε συνδυασμό με τους πυκνά διατεταγμένους συνδετήρες του μανδύα εμποδίστηκε ο λυγισμός των διαμήκων ράβδων του στύλου. Η εικόνα αστοχίας του δοκιμίου στο τέλος του ενδέκατου κύκλου (drift 6,63%) φαίνεται στο σχήμα 86. Από το διάγραμμα φορτίου V<sub>b</sub> – μετατόπισης δ (Σχ.82) γίνεται φανερό πως μετά τον τρίτο κύκλο φόρτισης το εμβαδόν των βρόχων του δοκιμίου RC<sub>2</sub> αυξάνεται σημαντικά. Η είσοδος του χάλυβα στην πλαστική περιοχή παραμορφώσεων και η καλή αγκύρωσή του συντελούν στην απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων σεισμικής ενέργειας. Η απουσία οριζόντιων κλάδων στους βρόχους του δοκιμίου σημαίνει ότι στη θέση της πλαστικής άρθρωσης δεν παρατηρείται ολίσθηση των ράβδων του στύλου. Η υψηλή αντοχή του δοκιμίου δεν αφήνει το P-δ φαινόμενο να επηρεάσει αισθητά τη μορφή των βρόχων του. Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου η αντοχή του υποστυλώματος εμφανίζεται αυξημένη

κατά 15,4% στον άνω ημίκυκλο και κατά 13,8% στον κάτω ημίκυκλο σε σχέση με την αρχική τιμή κατά τον πρώτο κύκλο της σεισμικής φόρτισης. Η αύξηση της αντοχής του στύλου με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 83. Η μεγαλύτερη πτώση της δυσκαμψίας του δοκιμίου παρουσιάζεται από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο φόρτισης οπότε περιορίζεται κατά 27,86%. Από τον τρίτο κύκλο και μετά η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται με πιο ομαλό ρυθμό για να περιοριστεί στον ενδέκατο κύκλο στο 26,48% της αρχικής της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα 84. Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 85 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστύλωμα  $RC_2$  σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων καθώς οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια μέχρι και τον τελευταίο κύκλο φόρτισης. Η ιδιαίτερως πλάστιμη συμπεριφορά που παρουσιάζει ο στύλος οφείλεται αφενός στους συνεχείς διαμήκεις οπλισμούς χωρίς παραθέσεις του παλαιού στύλου, οι οποίοι λόγω της καλής αγκύρωσής τους είναι σε θέση να αναπτύξουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις και να εξασφαλίσουν την απορρόφηση σημαντικών ποσών ενέργειας εντός της πλαστικής άρθρωσης και αφετέρου στην περίσφιγξη που επιφέρει ο μανδύας Ο/Σ, που αποτρέπει σε συνδυασμό με το υψηλής αντοχής έτοιμο σκυρόδεμα EMACO S66 την αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες και το λυγισμό των διαμήκων ράβδων του μανδύα. Στις διαμήκεις ράβδους οπλισμού του υποστύλματος είχαν τοποθετηθεί ταινίες για τη μέτρηση των παραμορφώσεων του χάλυβα κατά την πλευρική σεισμική φόρτιση. Η θέση κάθε ταινίας φαίνεται στο σχήμα 87 καθώς επίσης και δίπλα από το αντίστοιχο διάγραμμα παραμόρφωσης (Σχ.88). Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 89. Η διατήρηση ή η μείωση των τιμών των παραμορφώσεων δείχνουν την ύπαρξη ολισθήσεων των ράβδων στις οποίες είναι τοποθετημένες οι ταινίες μέτρησης (strain gages), ενώ η αύξηση των τιμών δείχνει έλλειψη ολισθήσεων, Ehsani and Wight (1985).

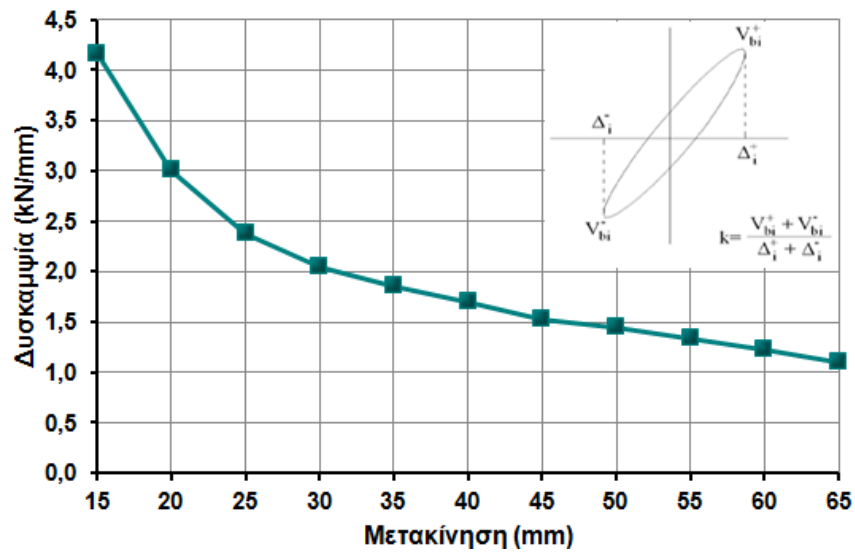


Σχ. 82 : Βρόχοι υστερητικής απόκρισης του δοκιμίου RC<sub>2</sub>



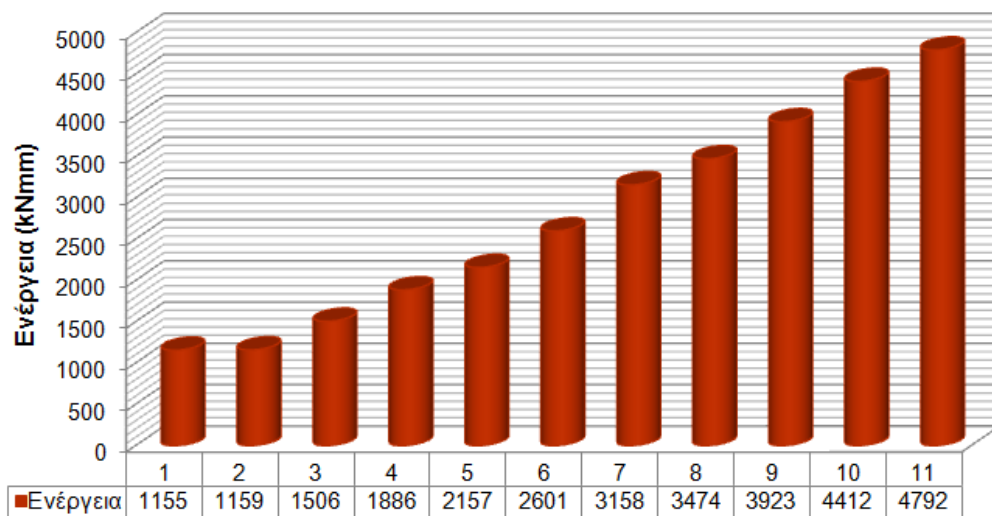
Σχ.83 : Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου RC<sub>2</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

### Δυσκαμψία δοκιμίου RC2



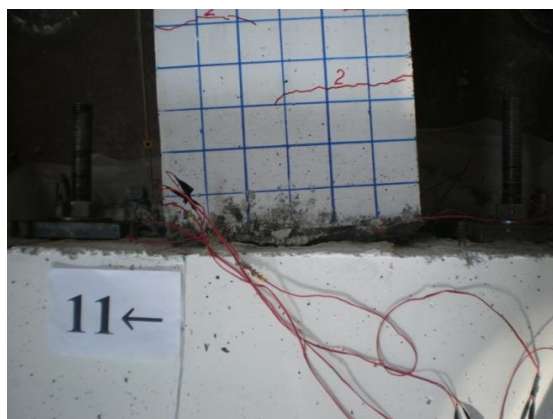
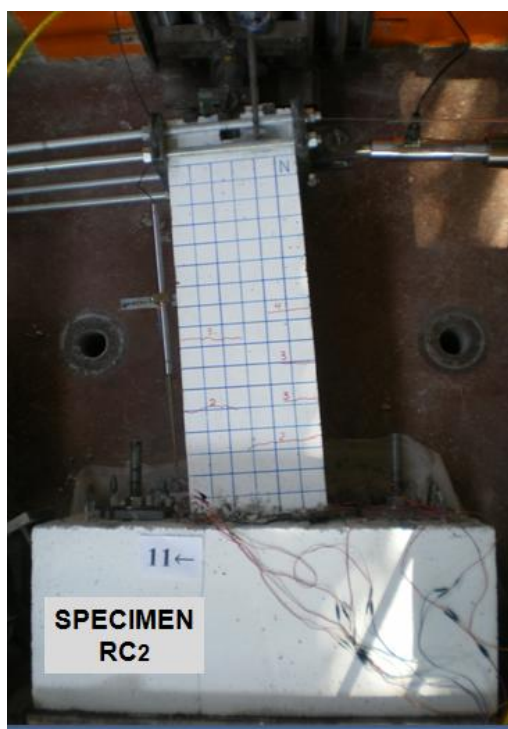
Σχ.84 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου RC<sub>2</sub>

### Απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - δοκίμιο RC2



Σχ.85 : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου RC<sub>2</sub>

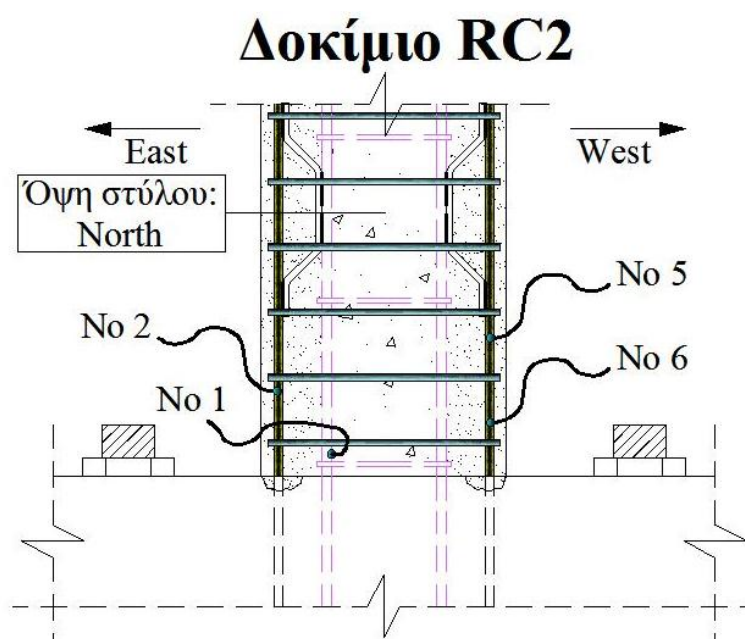


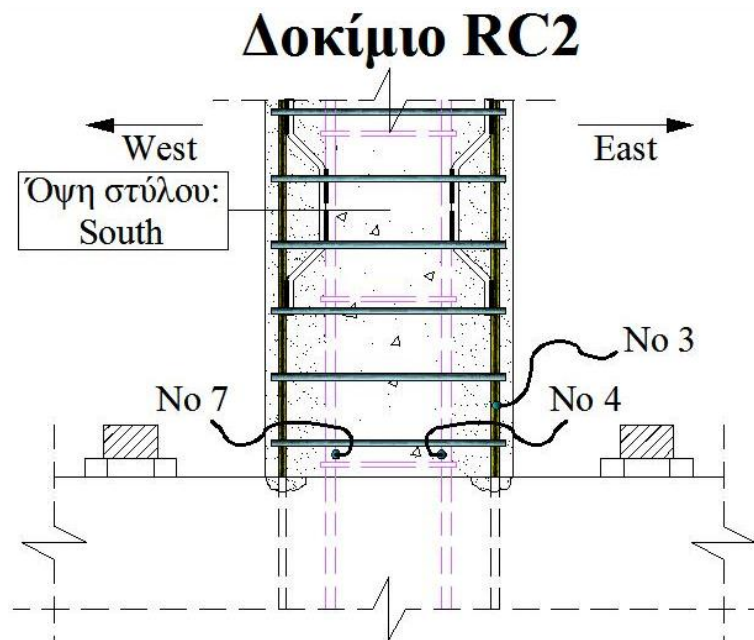


(α)

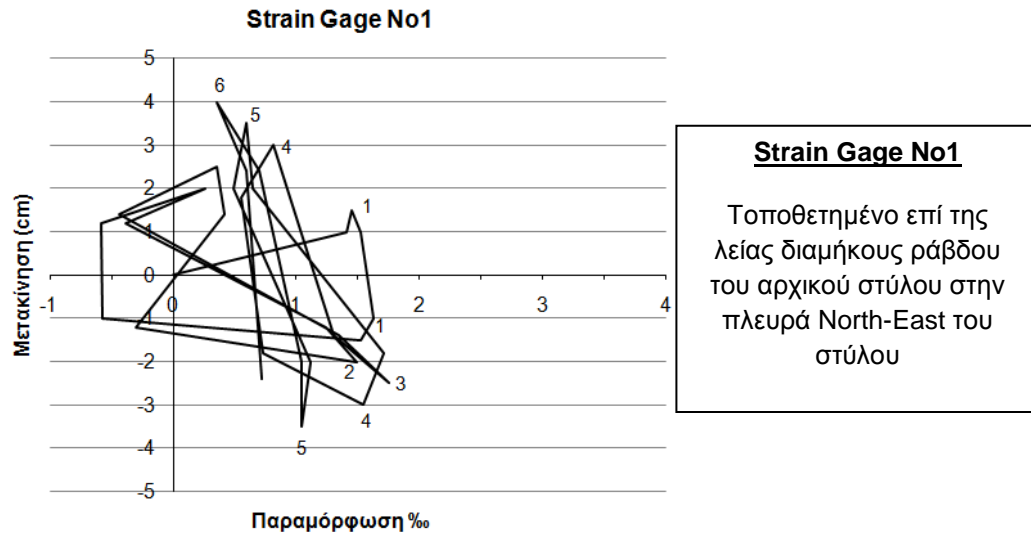
(β)

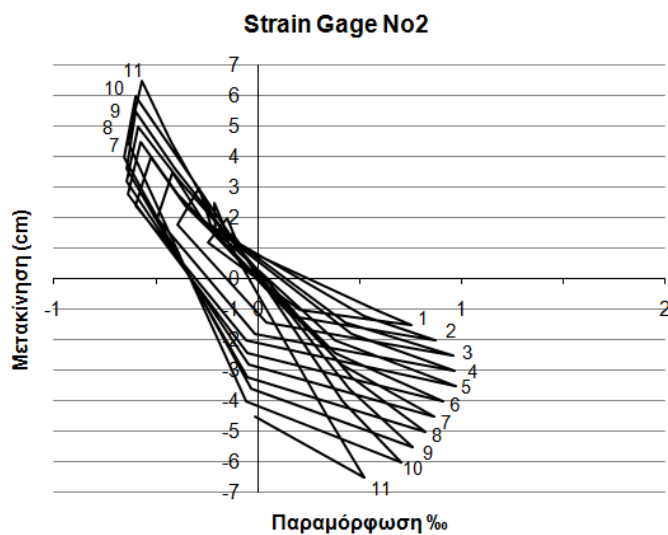
Σχ.86 : Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου RC<sub>2</sub>





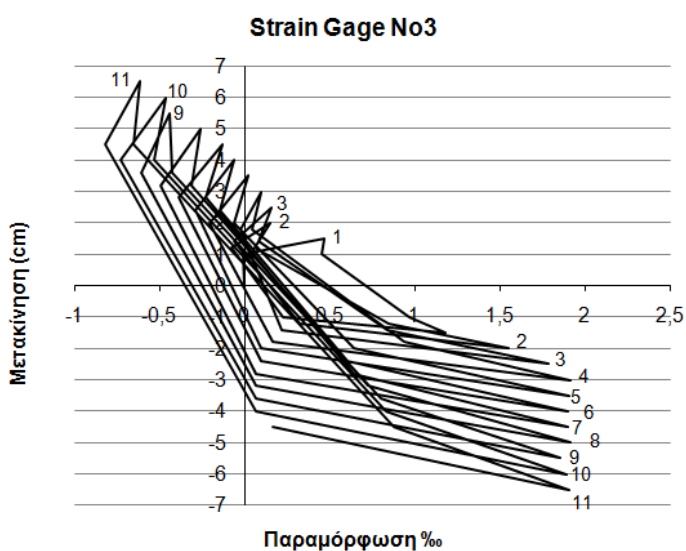
Σχ.87 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο RC<sub>2</sub>





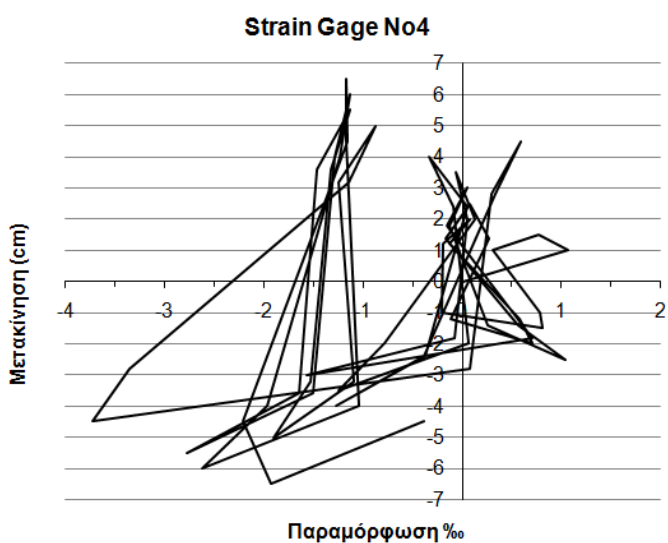
**Strain Gage No2**

Τοποθετημένο επί της διαμήκου ράβδου του μανδύα στην πλευρά North-East του στύλου



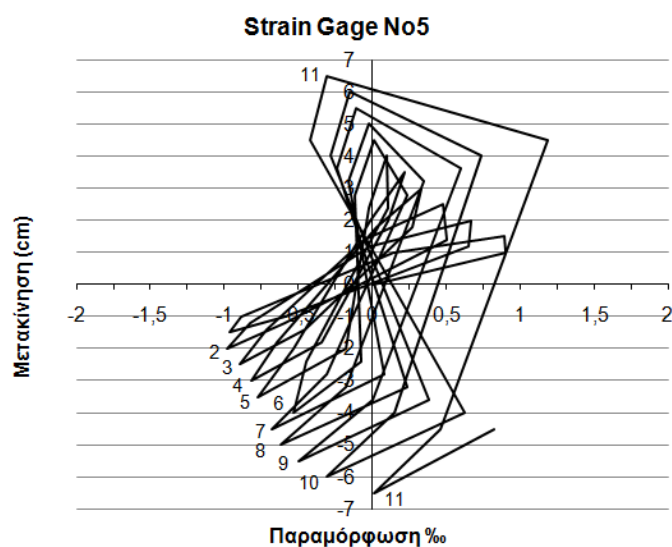
**Strain Gage No3**

Τοποθετημένο επί της διαμήκου ράβδου του μανδύα στην πλευρά South-East του στύλου



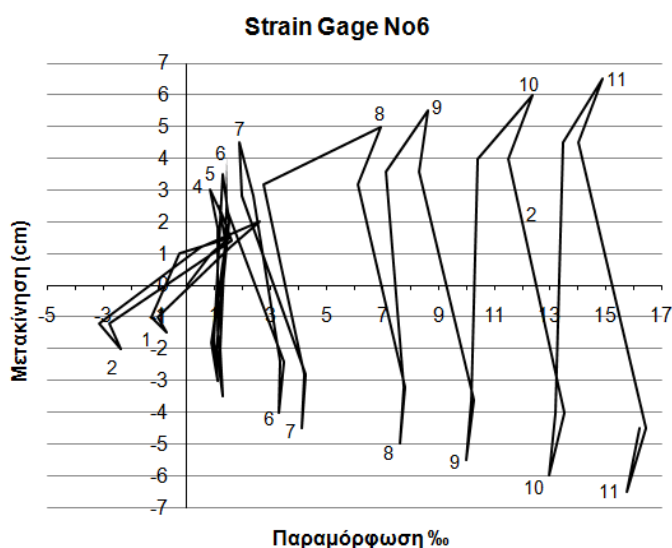
**Strain Gage No4**

Τοποθετημένο επί της λείας διαμήκου ράβδου του αρχικού στύλου στην πλευρά South-East του στύλου



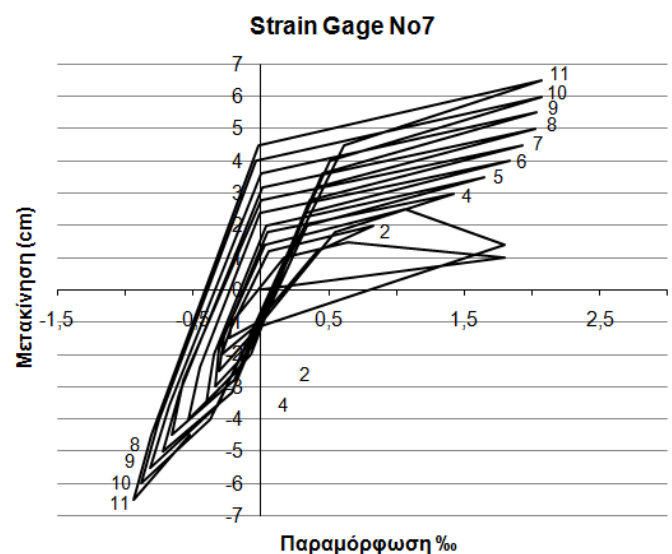
**Strain Gage No5**

Τοποθετημένο επί της διαμήκου ράβδου του μανδύα στην πλευρά North-West του στύλου



**Strain Gage No6**

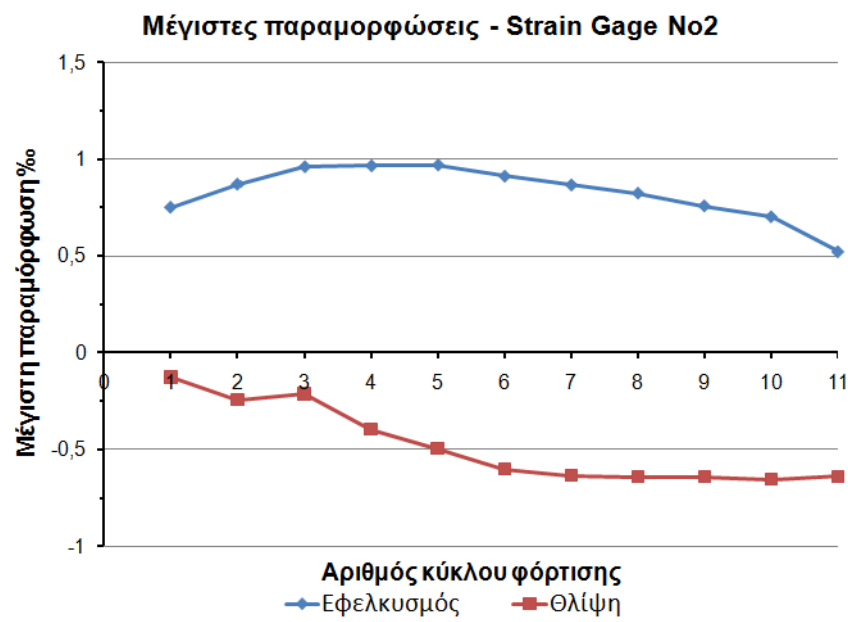
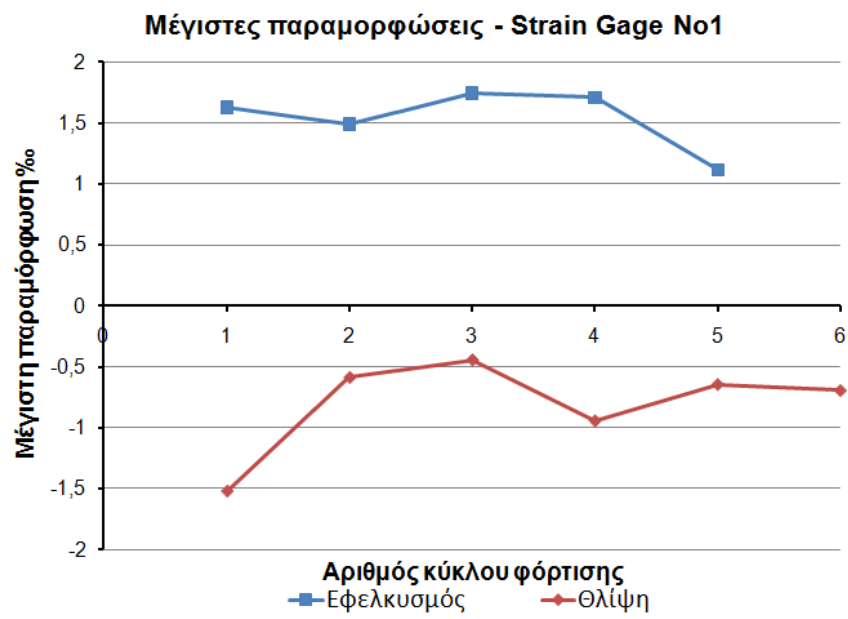
Τοποθετημένο επί της διαμήκου ράβδου του μανδύα στην πλευρά North-West του στύλου



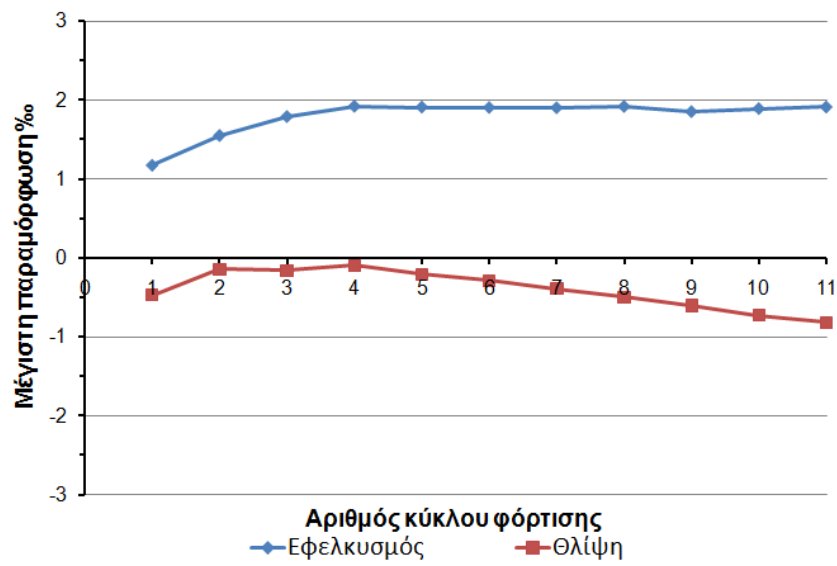
**Strain Gage No7**

Τοποθετημένο επί της λείας διαμήκου ράβδου του αρχικού στύλου στην πλευρά South-West του στύλου

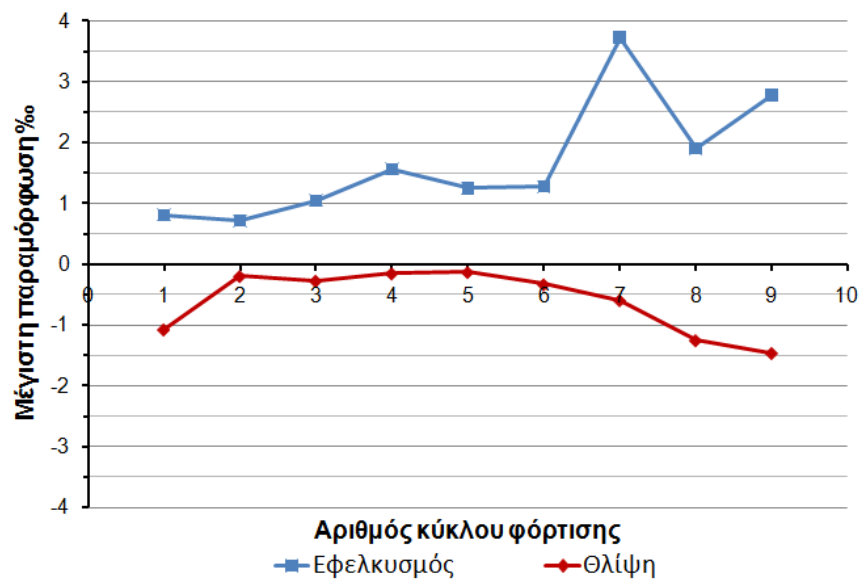
Σχ.88 : Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου RC<sub>2</sub>

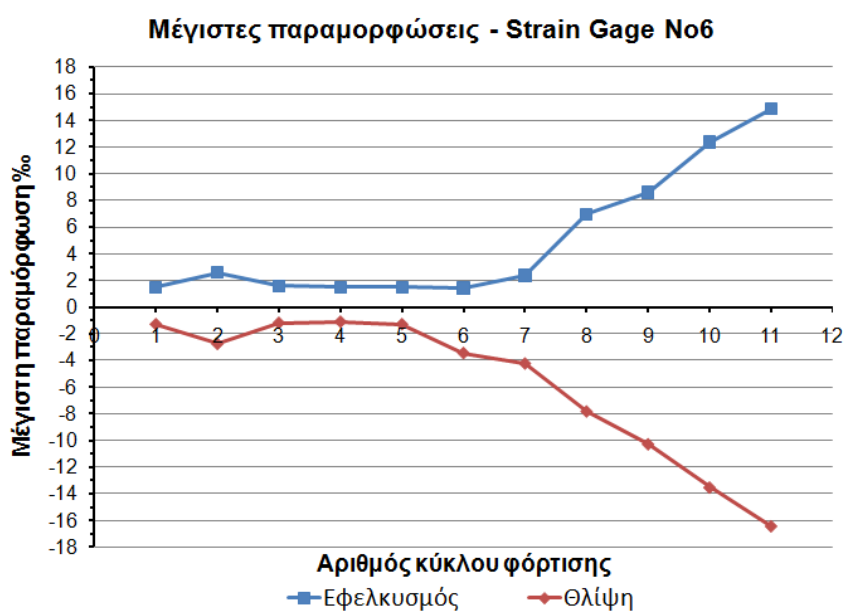
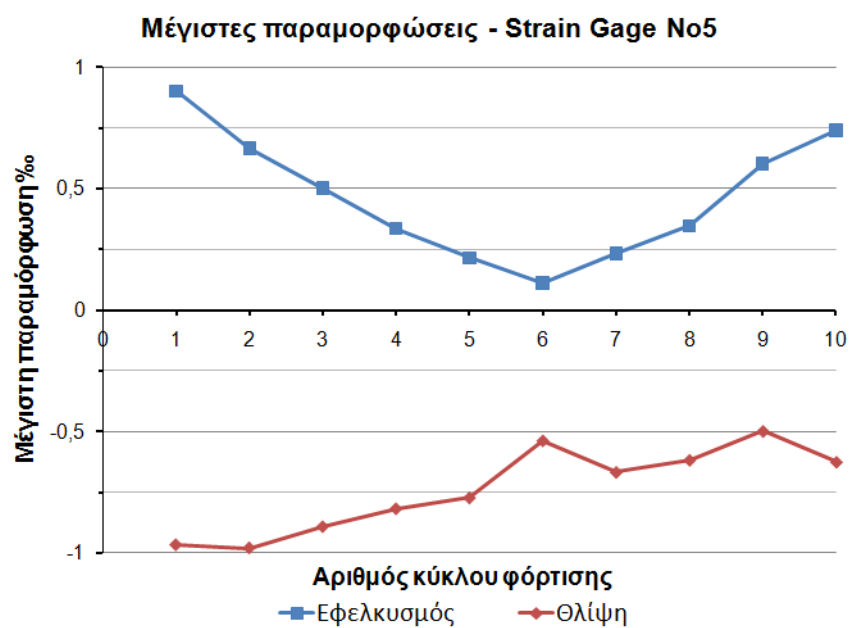


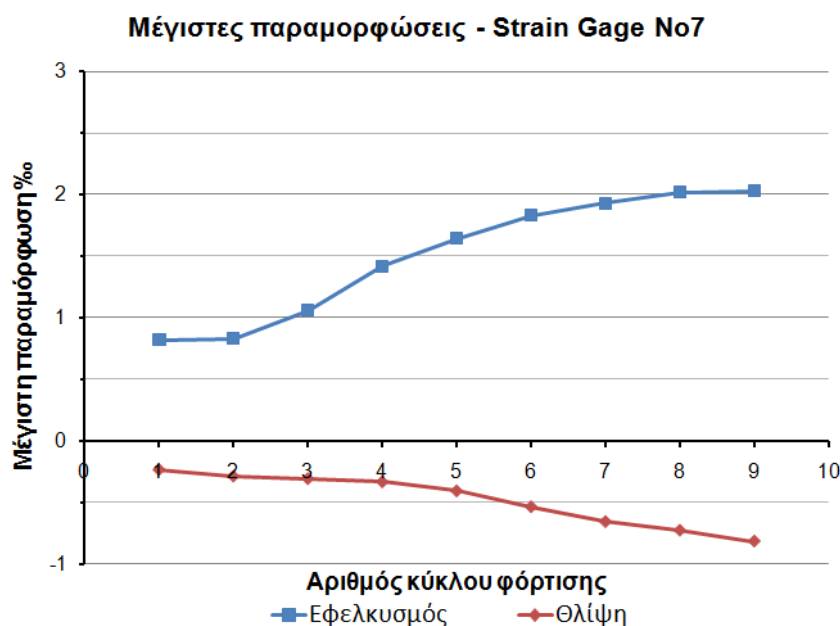
**Μέγιστες παραμορφώσεις - Strain Gage No3**



**Μέγιστες παραμορφώσεις - Strain Gage No4**







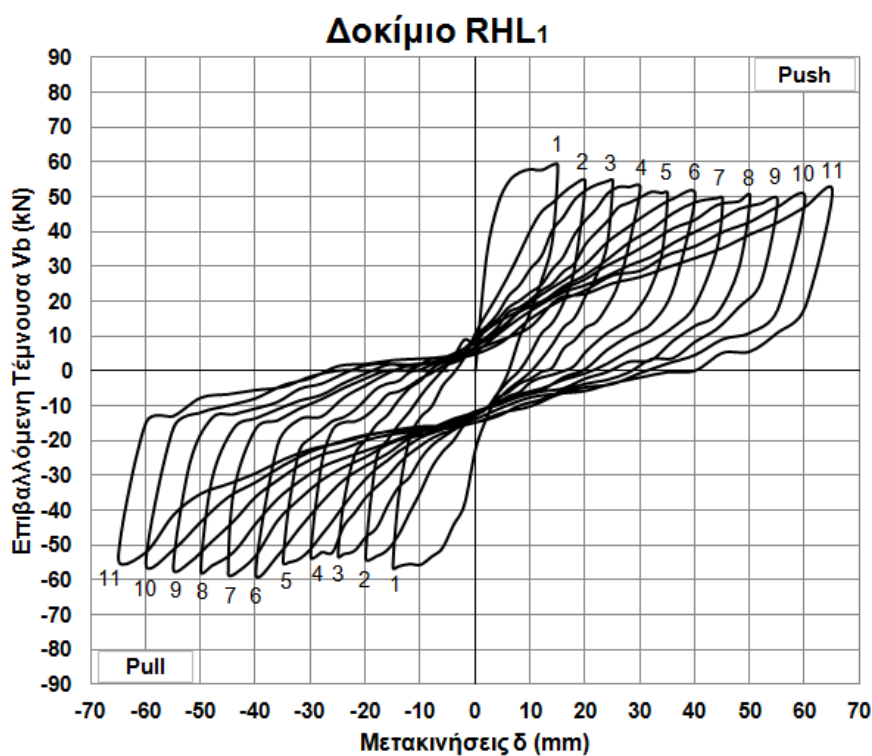
Σχ.89 : Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου RC<sub>2</sub>

### 3.2.3.2 Δοκίμιο RHL<sub>1</sub>

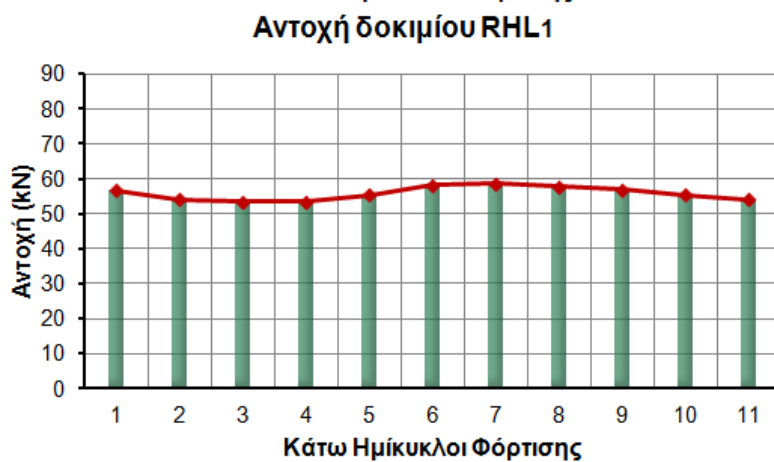
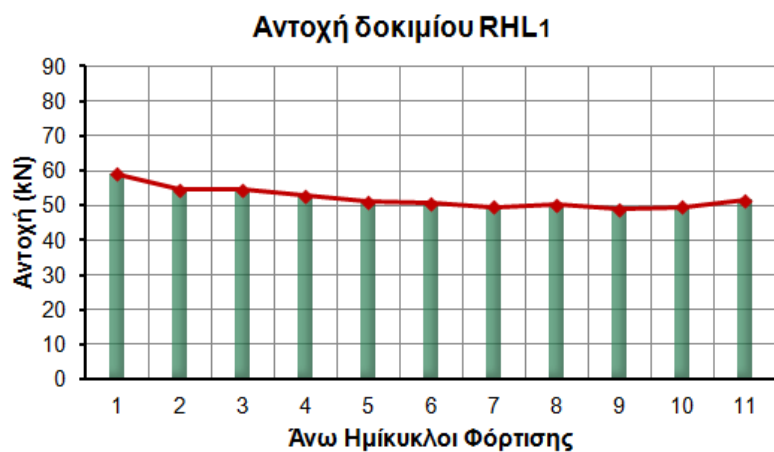
Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2 § 2.5.3 το δοκίμιο RHL<sub>1</sub> προέκυψε από την ενίσχυση ενός εκ των δύο όμοιων αρχικών δοκιμίων L<sub>1</sub> της Σειράς III. Τα δοκίμια L<sub>1</sub> όπως προαναφέρθηκε αντιπροσώπευαν υποστυλώματα παλαιάς κατασκευής με μήκος παράθεσης των διαμήκων οπλισμών τους ίσο με είκοσι φορές τη διάμετρο των ράβδων, δηλαδή 200mm. Η ενίσχυση περιλαμβάνει αφενός την προσθήκη νέων συνδετήρων -μετά την αφαίρεση της επικάλυψης- σε επαφή με τον παλαιό στύλο στην κρίσιμη περιοχή εντός της οποίας οι διαμήκεις οπλισμοί παρατίθενται και αφετέρου την κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ γύρω από τον στύλο του δοκιμίου L<sub>1</sub>. Στην περίπτωση επομένως του RHL<sub>1</sub> εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης που επιφέρουν στο υποστύλωμα παλαιάς κατασκευής τόσο οι επιπλέον συνδετήρες για την αντιμετώπιση της ανεπαρκούς παράθεσης των ράβδων, όσο και ο μανδύας Ο/Σ. Οι τελικές διαστάσεις του ενισχυμένου δοκιμίου είναι 300x300mm. Η συμπεριφορά σε ανακυκλιζόμενη πλευρική φόρτιση του RHL<sub>1</sub> συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 με εκείνη του δοκιμίου-στόχου RC<sub>2</sub> της Σειράς δοκιμίων III, ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο η συγκεκριμένη ενίσχυση υποστυλώματος με ανεπαρκή μήκη παράθεσης βοηθά στην προσέγγιση της ιδανικής συμπεριφοράς στύλου σε σεισμό. Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη πλευρική φόρτιση ένδεκα κύκλων (65mm μετατόπιση). Η ιστορία φόρτισης φαίνεται στο σχήμα Σχ.15. Κατά τους πρώτους δύο κύκλους φόρτισης σχηματίστηκαν λίγες τριχοειδείς ρωγμές στο υποστύλωμα που, μετά το σχηματισμό του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου, δεν διευρύνθηκαν. Ο στύλος του RHL<sub>1</sub> εμφανίζει πλάσιμη συμπεριφορά σε σεισμό με βρόχους μεγάλου εύρους δίχως οριζόντιους κλάδους ολισθήσεων και στενώσεις γύρω από την αρχή των αξόνων, όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιβαλλόμενης τέμνουσας V<sub>b</sub> – μετακινήσεων δ (Σχ.90). Η επιφάνεια των βρόχων υστερητικής



απόκρισης του δοκιμίου αυξάνεται διαρκώς με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης καταδεικνύοντας την απορρόφηση ολοένα και περισσότερης σεισμικής ενέργειας. Επίσης, από τη μορφή των βρόχων υστερητικής απόκρισης του RHL<sub>1</sub> είναι προφανής η περιορισμένη εμφάνιση και επίδραση του φαινομένου P-δ λόγω της ιδιαίτερως υψηλής αντοχής του στύλου, η οποία διατηρείται σε υψηλά επίπεδα μέχρι το τέλος του πειράματος (drift 6,63%) παρουσιάζοντας μικρή σταδιακή πτώση με την αύξηση της μετατόπισης (Σχ.91). Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου φόρτισης η αντοχή διατηρείται σε ποσοστό 87,14% (άνω ημίκυκλος) και 95,42% (κάτω ημίκυκλος) της αρχικής της τιμής κατά τον πρώτο κύκλο. Η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται κατά 29,79% από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο πλευρικής φόρτισης ενώ για μετατοπίσεις μεγαλύτερες από 25mm παρουσιάζει μικρή και ομαλή μείωση. Στο τέλος του πειράματος η δυσκαμψία του RHL<sub>1</sub> διατηρείται σε ποσοστό 21,03% επί της αρχικής της τιμής. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα Σχ.92. Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 93 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστύλωμα RHL<sub>1</sub> σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων καθώς οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια μέχρι και τον τελευταίο κύκλο φόρτισης. Η ενέργεια που αποσβένεται εντός του στύλου στο τέλος του ενδέκατου κύκλου είναι κατά 63,81% αυξημένη σε σχέση με εκείνη που απορροφά ο στύλος κατά τον πρώτο κύκλο της σεισμικής φόρτισης. Όπως και στην περίπτωση του δοκιμίου RC<sub>2</sub> έτσι και στο RHL<sub>1</sub> η έντονη περίσφιγξη την οποία επέφερε η κατασκευή του μανδύα Ο/Σ γύρω από το αρχικό υποστύλωμα δεν επέτρεψε να συμβεί αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες και σε συνδυασμό με τους πυκνά διατεταγμένους συνδετήρες του μανδύα εμποδίστηκε ο λυγισμός των διαμήκων ράβδων του στύλου. Ο μηχανισμός αστοχίας του RHL<sub>1</sub> οφείλεται στο σχηματισμό και τη διεύρυνση του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου. Η πραγματοποιηθείσα επομένως ενίσχυση επέτυχε την σημαντική βελτίωση όλων των μηχανικών αντισεισμικών ιδιοτήτων του αρχικού -με τις ανεπαρκώς παρατιθέμενες ράβδους- δοκιμίου L<sub>1</sub>, και εξασφάλισε ιδιαίτερα πλάστιμη συμπεριφορά στο ενισχυμένο δοκίμιο RHL<sub>1</sub>. Η εικόνα αστοχίας του δοκιμίου στο τέλος του ενδέκατου κύκλου (drift 6,63%) φαίνεται στο σχήμα 94. Στις διαμήκεις ράβδους σπλισμού του υποστυλώματος είχαν τοποθετηθεί ταινίες για τη μέτρηση των παραμορφώσεων του χάλυβα κατά την πλευρική σεισμική φόρτιση. Η θέση κάθε ταινίας φαίνεται στο σχήμα 95 και δίπλα από το αντίστοιχο διάγραμμα παραμόρφωσης στο σχήμα 96. Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 97.

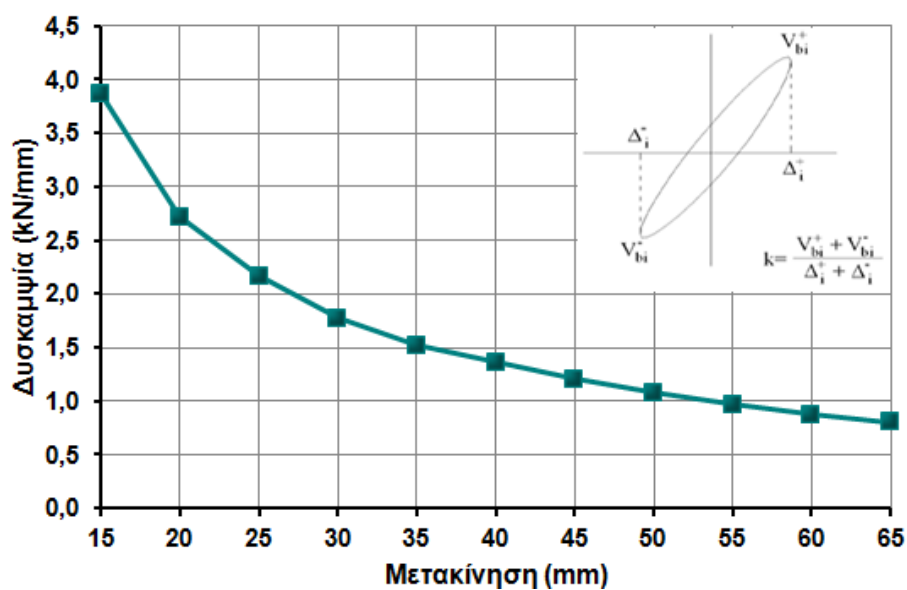


Σχ. 90 : Βρόχοι υστερητικής απόκρισης του δοκιμίου RHL<sub>1</sub>



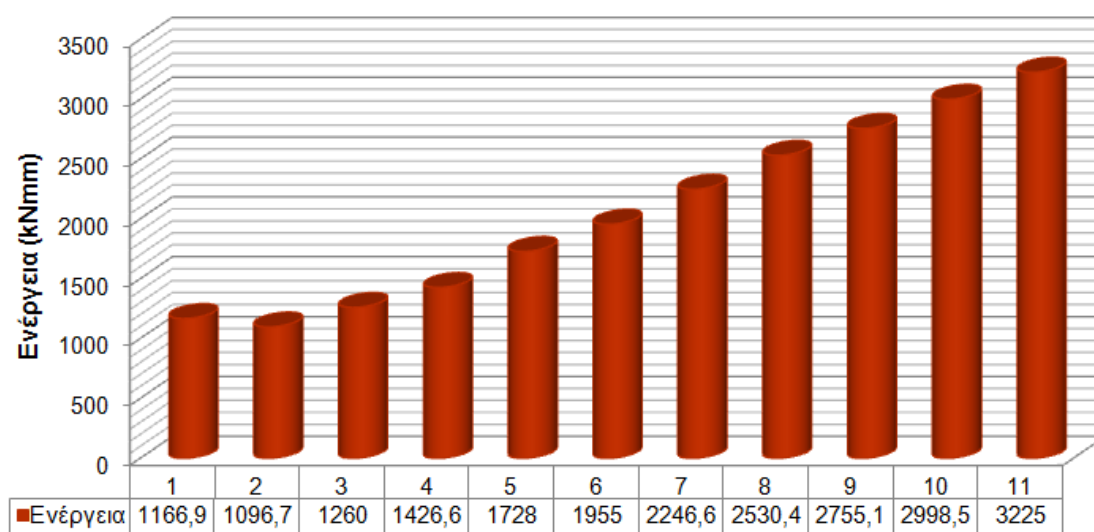
Σχ.91 : Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου RHL<sub>1</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι φόρτισης

### Δυσκαμψία δοκιμίου RHL1

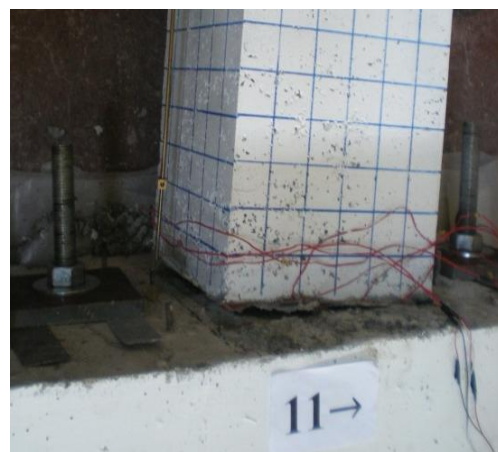
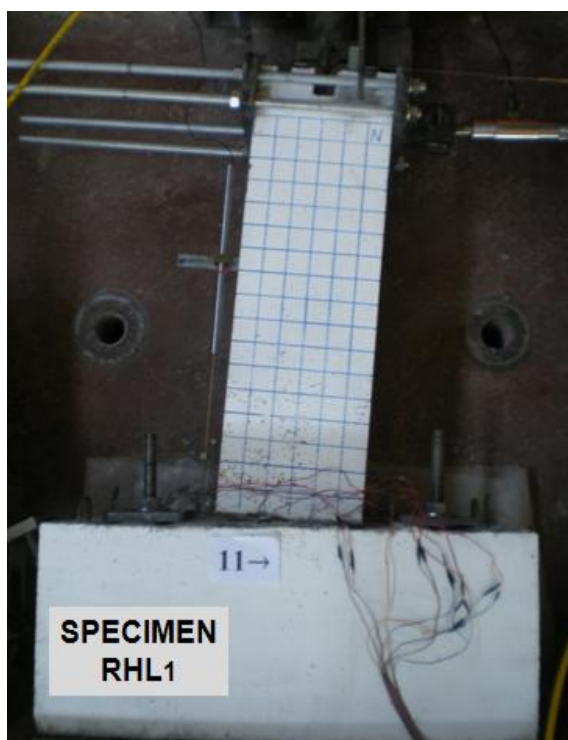


Σχ.92 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου RHL<sub>1</sub>

### Απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - δοκίμιο RHL1



Σχ.93 : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου RHL<sub>1</sub>

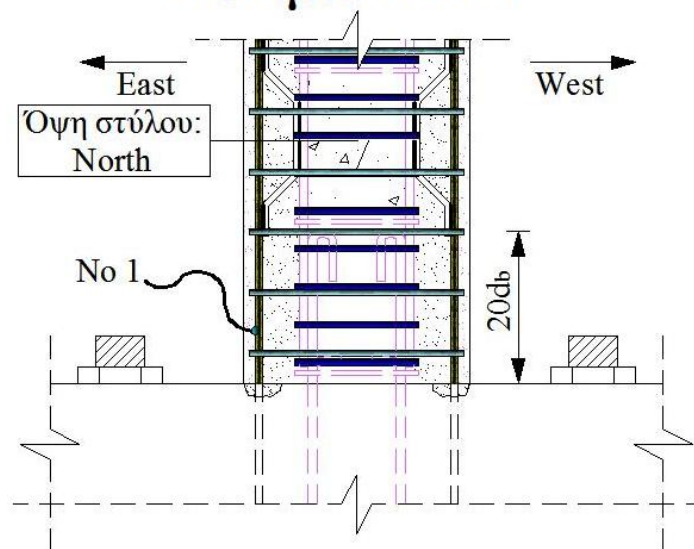


(α)

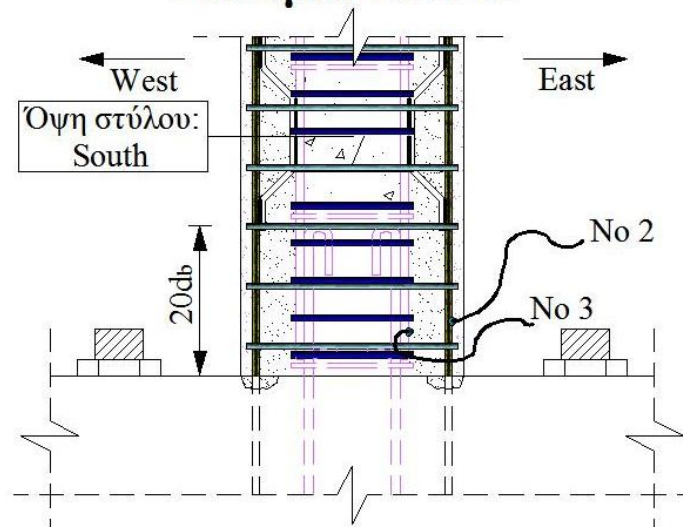
(β)

Σχ.94 : Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου RHL<sub>1</sub>

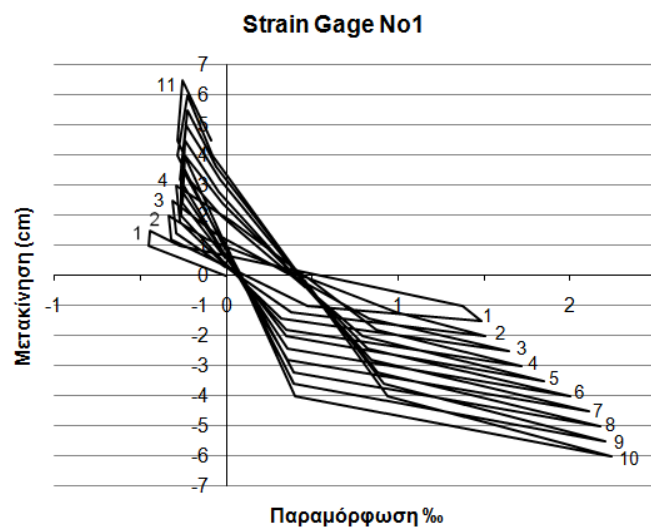
## Δοκίμιο RHL1



## Δοκίμιο RHL1

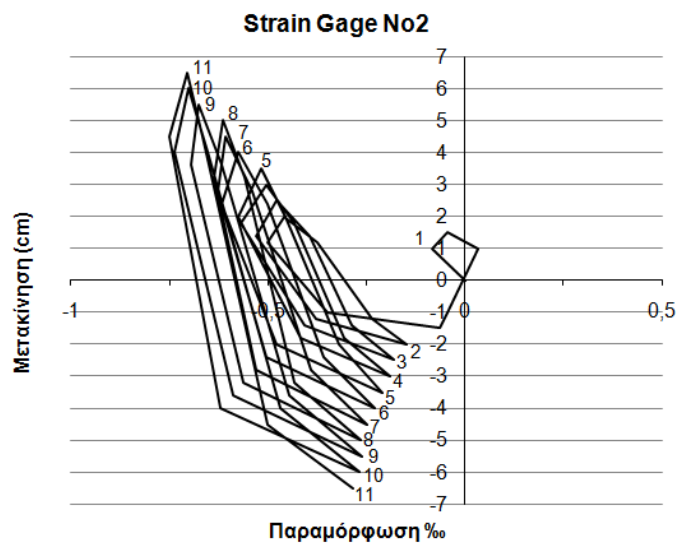


Σχ.95 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο RHL<sub>1</sub>



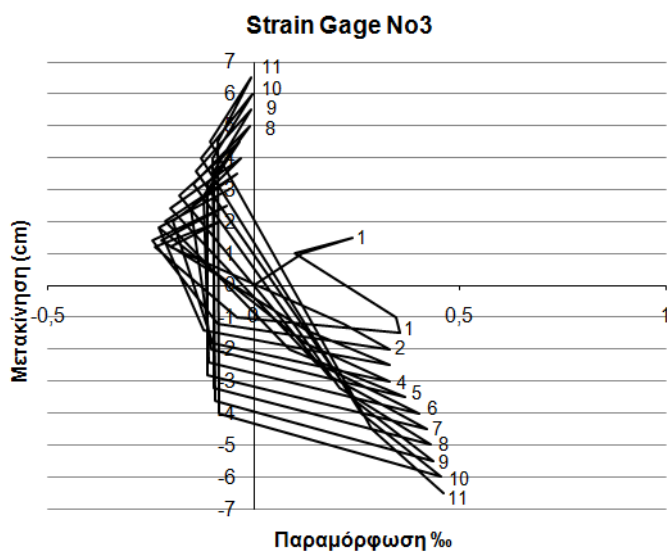
### Strain Gage No1

Τοποθετημένο επί της διαμήκου ράβδου του μανδύα στην πλευρά North-East του στύλου



**Strain Gage No2**

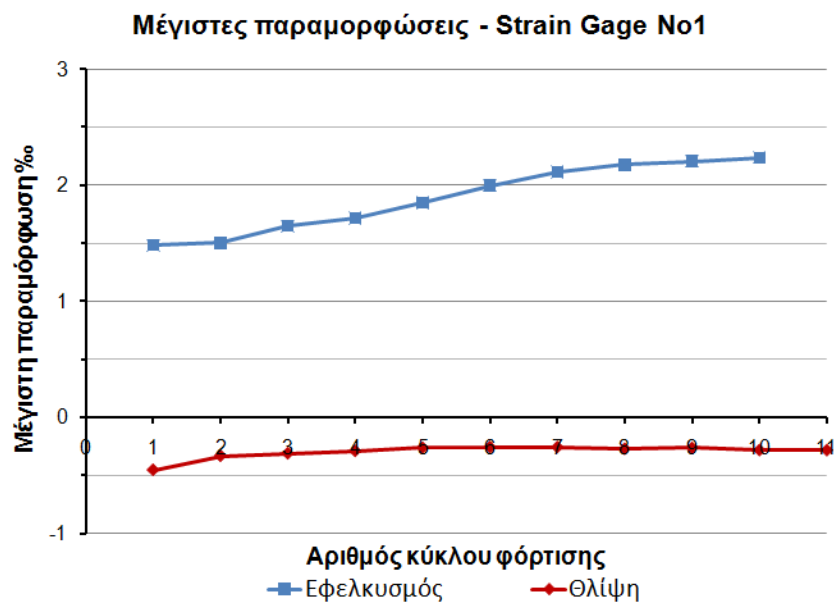
Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου του  
μανδύα στην πλευρά  
South-East του στύλου

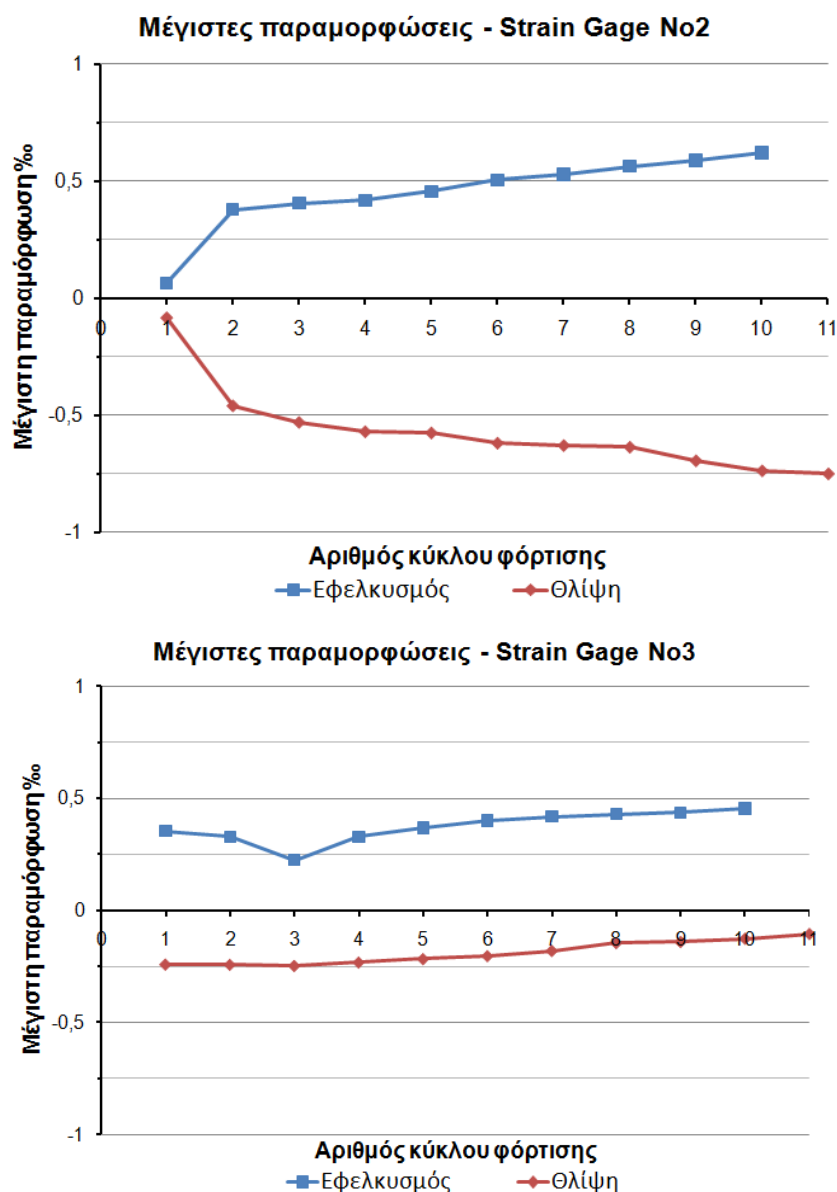


**Strain Gage No3**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκου ράβδου  
του αρχικού στύλου στην  
πλευρά South-East του  
στύλου

Σχ.96: Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου RHL<sub>1</sub>





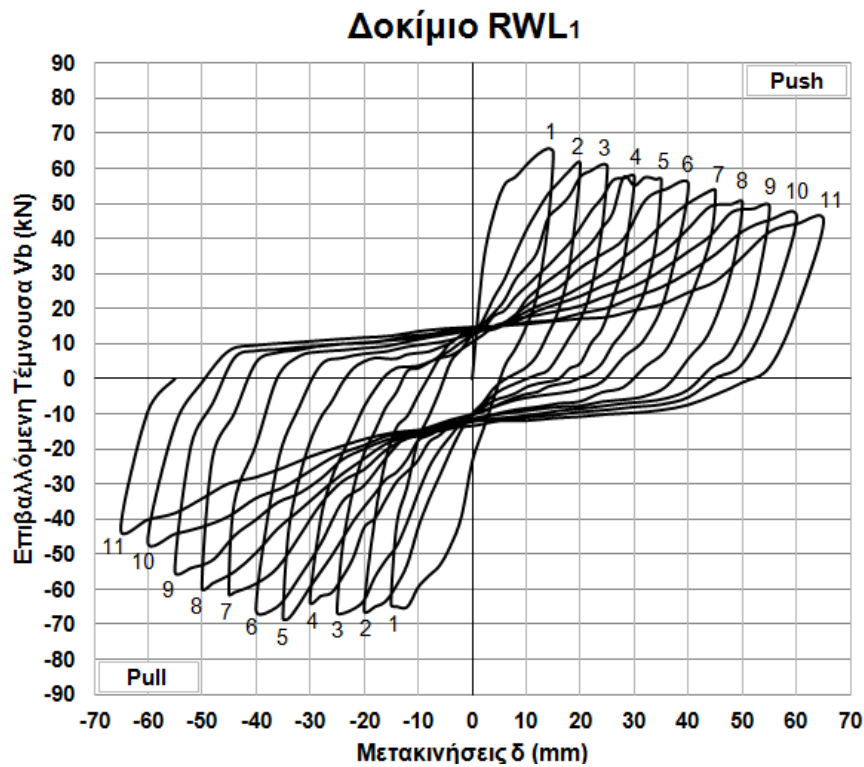
Σχ.97 : Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου RHL<sub>1</sub>

### 3.2.3.3 Δοκίμιο RWL<sub>1</sub>

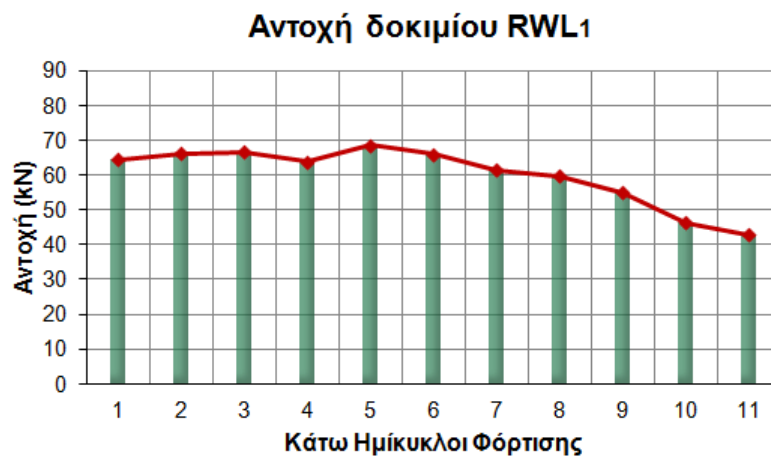
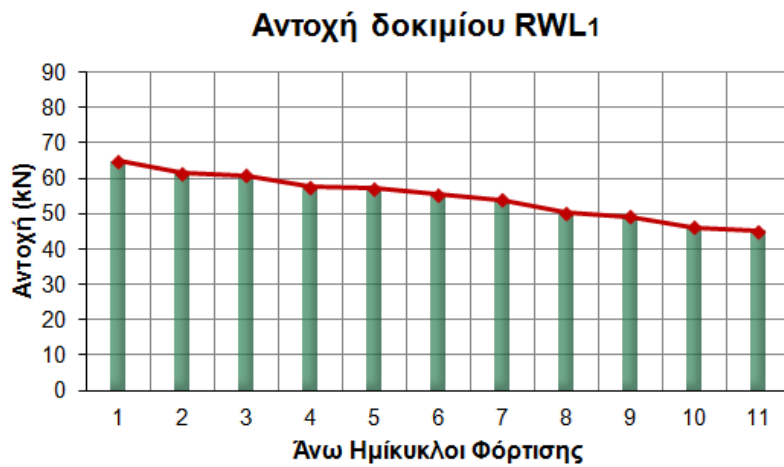
Ο ενισχυμένος στύλος RWL<sub>1</sub> προέκυψε από την ενίσχυση ενός εκ των δύο όμοιων μεταξύ τους δοκιμίων L<sub>1</sub> της Σειράς δοκιμίων III με την συγκόλληση των παρατιθέμενων σε μήκος 20Φ=200mm ράβδων του και την κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ γύρω από το υποστύλωμα κατά τα περιγραφέντα στο Κεφάλαιο 2 §2.5.3. Το δοκίμιο RWL<sub>1</sub> με τελικές διαστάσεις 300x300mm υποβλήθηκε σε κυκλική πλευρική φόρτιση ένδεκα κύκλων η ιστορία της οποίας φαίνεται στο σχήμα Σχ.15. Από τη μορφή των υστερητικών βρόχων του δοκιμίου είναι προφανής η ιδιαίτερα πλάσιμη απόκριση του στύλου σε σεισμό. Οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια και χαρακτηρίζονται από απουσία οριζόντιων κλάδων ολισθήσεων και στενώσεις γύρω

από τους άξονες. Στους πρώτους δύο κύκλους φόρτισης σχηματίστηκαν λίγες τριχοειδείς ρωγμές στο υποστύλωμα (Σχ.102) που μετά το σχηματισμό του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου δεν διευρύνθηκαν περαιτέρω. Η αντοχή του  $RWL_1$  είναι υψηλή (64,75 kN στον πρώτο άνω ημίκυκλο και 64,5 kN στον πρώτο κάτω ημίκυκλο φόρτισης). Στους άνω ημίκυκλους φόρτισης η αντοχή παρουσιάζει μικρή, σταδιακή μείωση από κύκλο σε κύκλο, διατηρούμενη στο τέλος του 11<sup>ου</sup> κύκλου στο 69,65% της αρχικής τιμής της. Στους κάτω ημίκυκλους η αντοχή του  $RWL_1$  αυξάνεται μέχρι τον πέμπτο κύκλο φόρτισης (drift 3,57%) και κατόπιν μειώνεται στο 66,51% της αρχικής της τιμής στο τέλος του 11<sup>ου</sup> κύκλου (65mm μετατόπιση). Η μεταβολή της αντοχής του στύλου με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 99. Η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται ομαλά με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων, ενώ το εμβαδόν των βρόχων είναι μεγάλο και διαρκώς αυξάνεται μέχρι τον δέκατο κύκλο φόρτισης, φανερώνοντας την απορρόφηση σημαντικών και διαρκώς αυξανόμενων ποσοτήτων σεισμικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη πτώση της δυσκαμψίας του δοκιμίου παρουσιάζεται από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο φόρτισης οπότε περιορίζεται κατά 25,88%. Από τον τρίτο κύκλο και μετά η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται με πιο ομαλό ρυθμό για να περιοριστεί στον ενδέκατο κύκλο στο 15,71% της αρχικής της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα 100. Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 101 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστύλωμα  $RWL_1$  σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων έως τον δέκατο κύκλο. Από τις μικρομετρήσεις των παραμορφώσεων των διαμήκων οπλισμών του ενισχυμένου στύλου προκύπτει ότι υπήρξε διαρροή ράβδων του δοκιμίου (Σχ.104). Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 105, ενώ οι θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες για τη μέτρηση των παραμορφώσεων φαίνονται στο σχήμα 103. Η έντονη περίσφιγξη την οποία επέφερε η κατασκευή του μανδύα Ο/Σ γύρω από το αρχικό υποστύλωμα δεν επέτρεψε να συμβεί αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες και σε συνδυασμό με τους πυκνά διατεταγμένους συνδετήρες του μανδύα εμποδίστηκε ο λυγισμός των διαμήκων ράβδων του μανδύα. Επιπλέον η συγκόλληση των παρατιθέμενων ράβδων του παλαιού στύλου αποκατέστησε επιτυχώς τη συνέχεια των οπλισμών και το μηχανισμό μεταφοράς δυνάμεων. Η εικόνα αστοχίας του δοκιμίου στο τέλος του ενδέκατου κύκλου (drift 6,63%) φαίνεται στην εικόνα (Σχ.102). Από το διάγραμμα φορτίου  $V_b$  – μετατόπισης  $\delta$  (Σχ.98) γίνεται φανερό πως μετά τον τέταρτο κύκλο φόρτισης το εμβαδόν των βρόχων του δοκιμίου  $RWL_1$  αυξάνεται σημαντικά. Η απουσία οριζόντιων κλάδων στους βρόχους του δοκιμίου σημαίνει ότι στη θέση της πλαστικής άρθρωσης δεν παρατηρείται ουσιώδης ολίσθηση των ράβδων του στύλου. Επίσης, λόγω της υψηλής αντοχής του στύλου η επιρροή του φαινομένου P- $\delta$  είναι πολύ μικρή όπως φαίνεται και από τη μορφή των υστερητικών βρόχων.



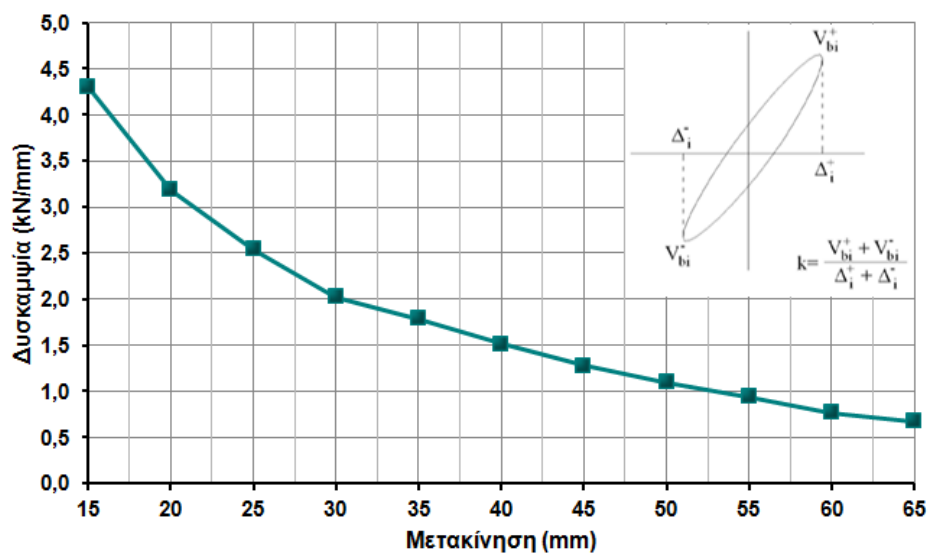


Σχ. 98 : Βρόχοι υστερητικής απόκρισης του δοκιμίου RWL<sub>1</sub>



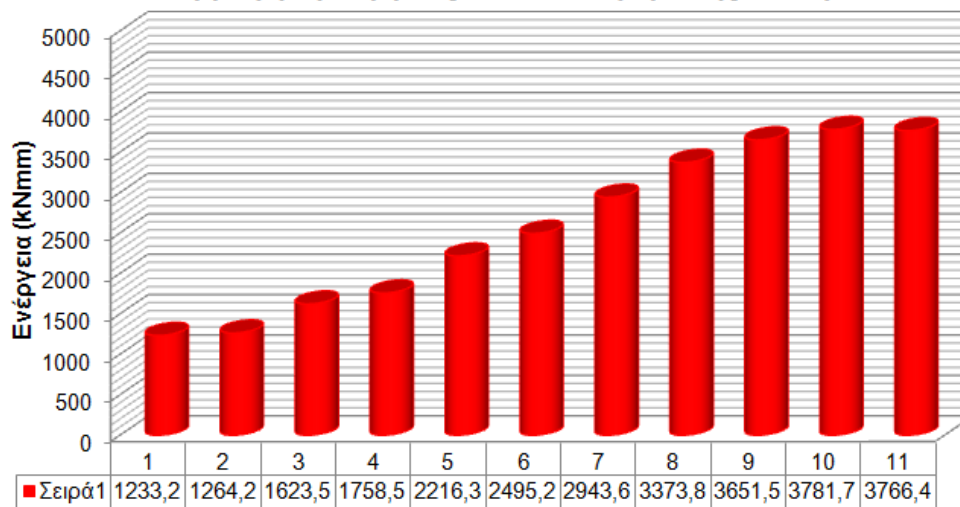
Σχ.99 : Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου RWL<sub>1</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι

### Δυσκαμψία δοκιμίου RWL<sub>1</sub>

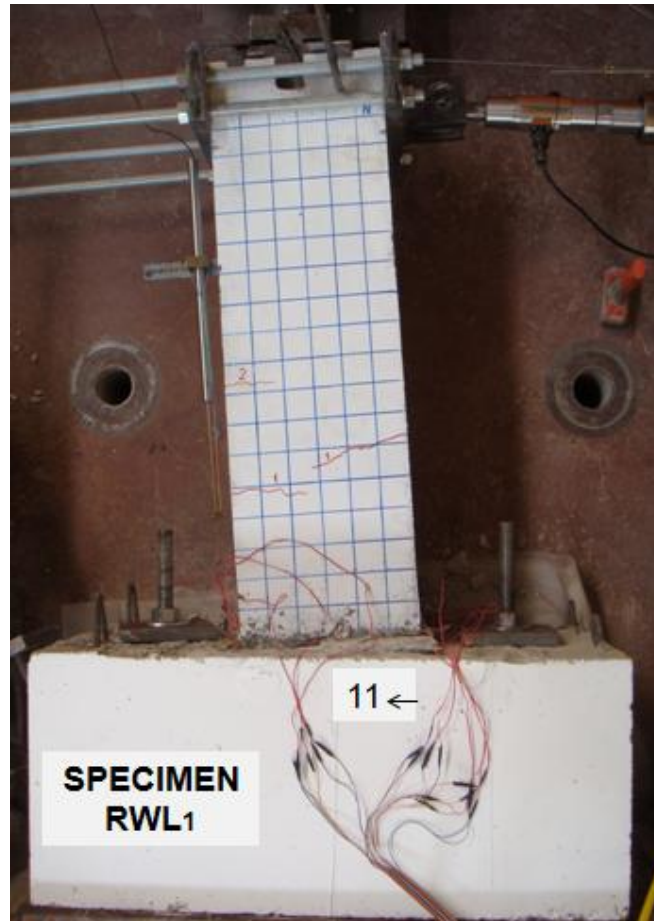


Σχ.100 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου RWL<sub>1</sub>

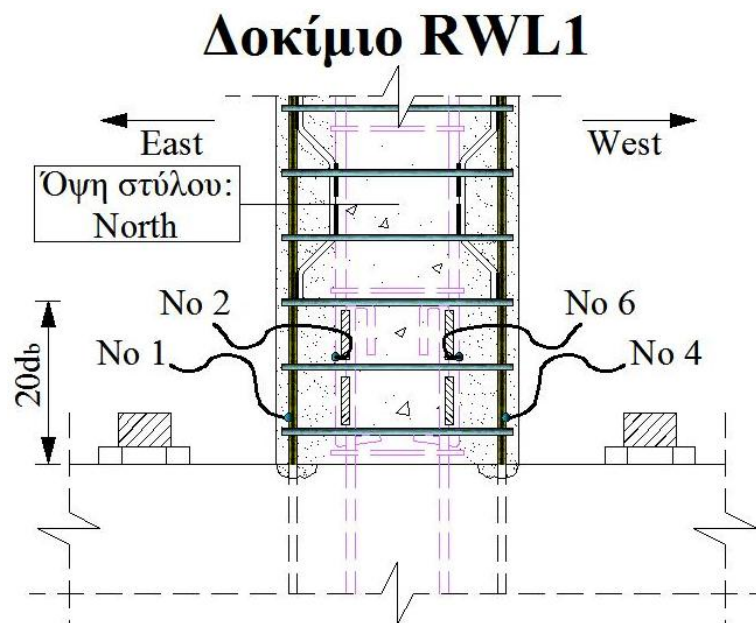
### Απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - Δοκίμιο RWL<sub>1</sub>



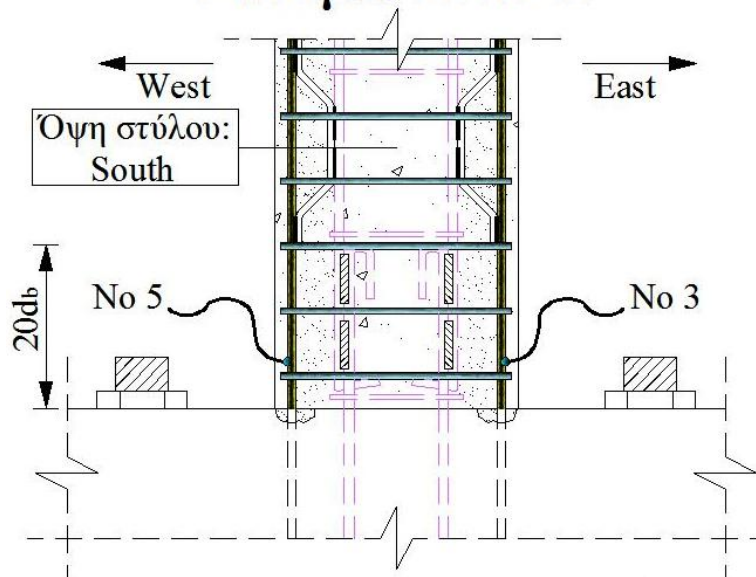
Σχ.101 : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου RWL<sub>1</sub>



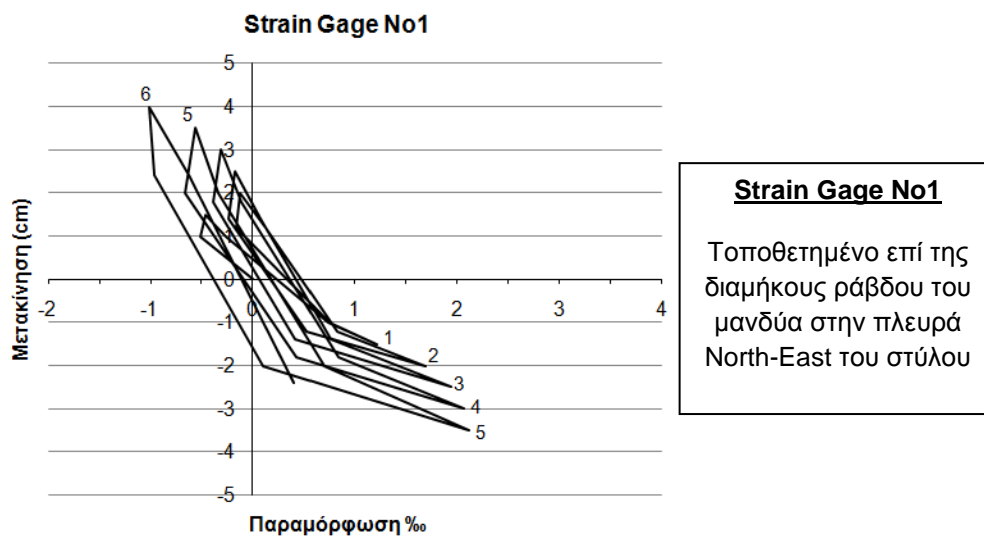
Σχ.102 : Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου RWL<sub>1</sub>

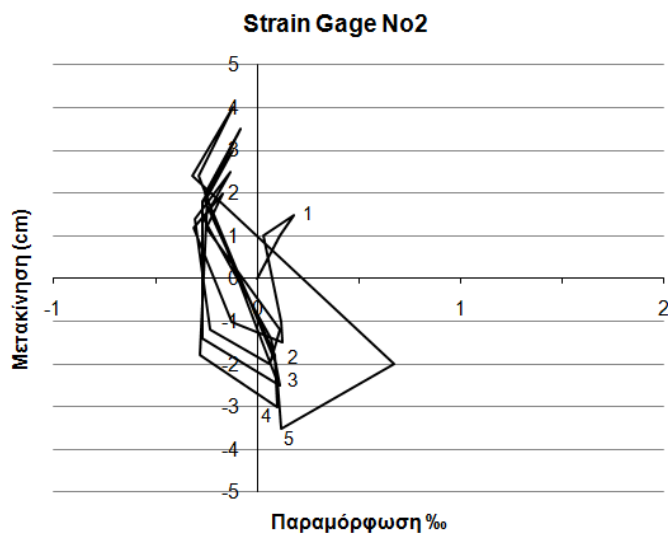


## Δοκίμιο RWL1



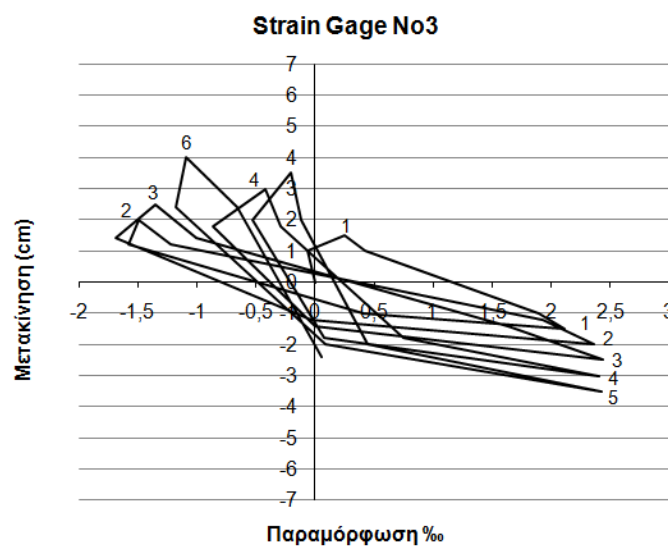
Σχ.103 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο RWL<sub>1</sub>





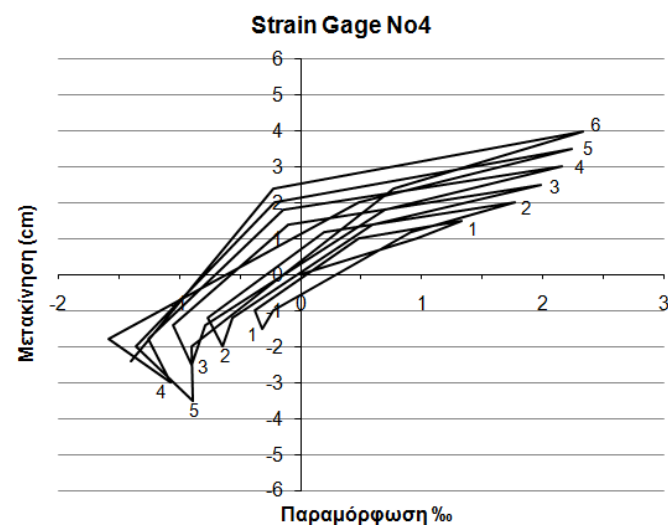
**Strain Gage No2**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκου  
ράβδου του αρχικού  
στύλου στην πλευρά  
North-East του στύλου



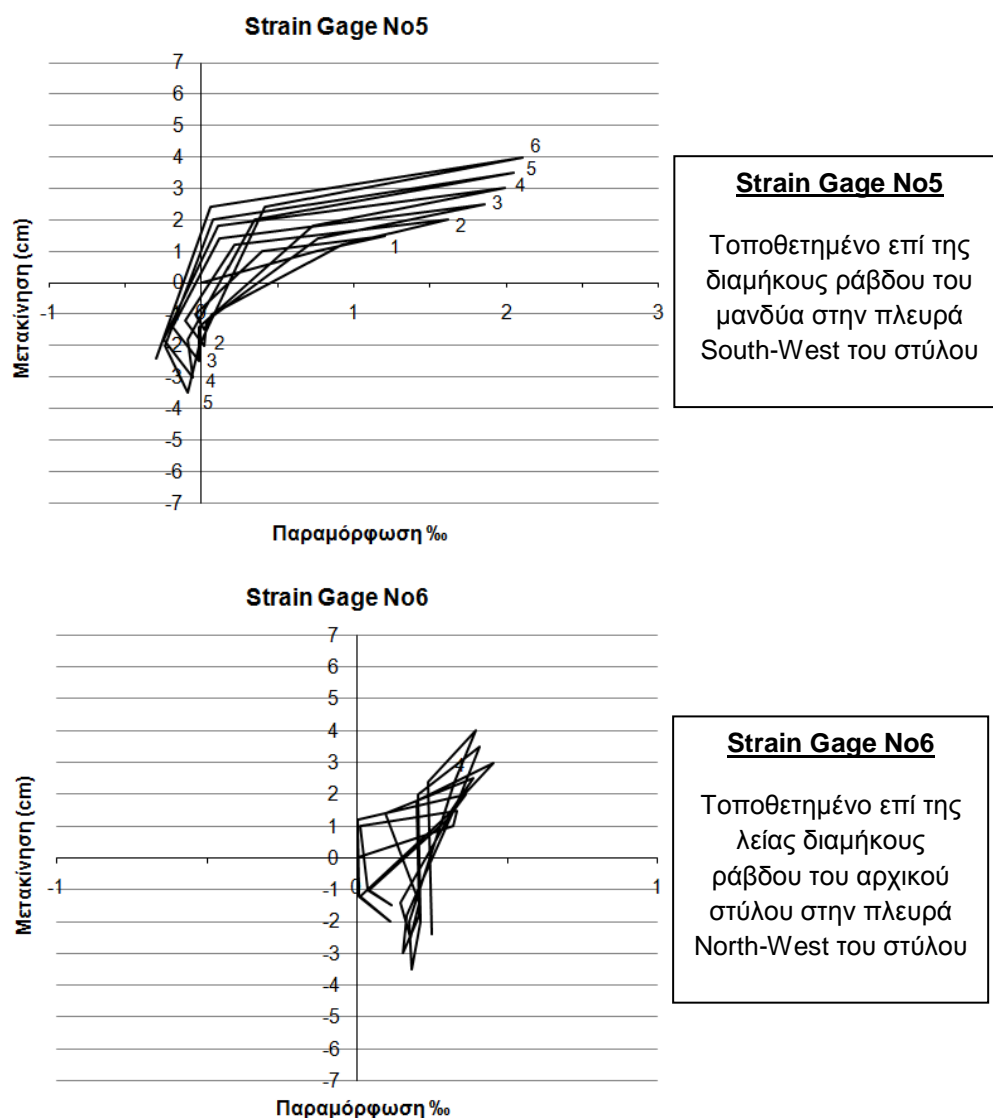
**Strain Gage No3**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου του  
μανδύα στην πλευρά  
South-East του στύλου

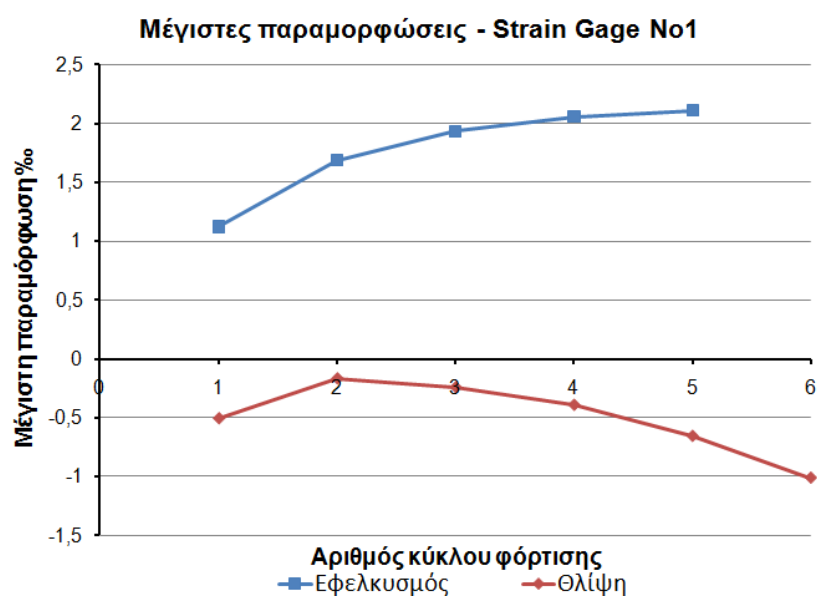


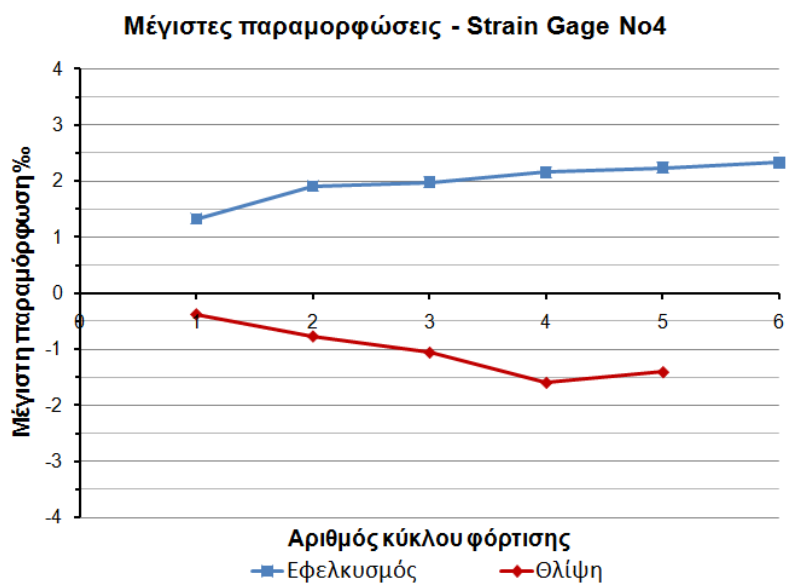
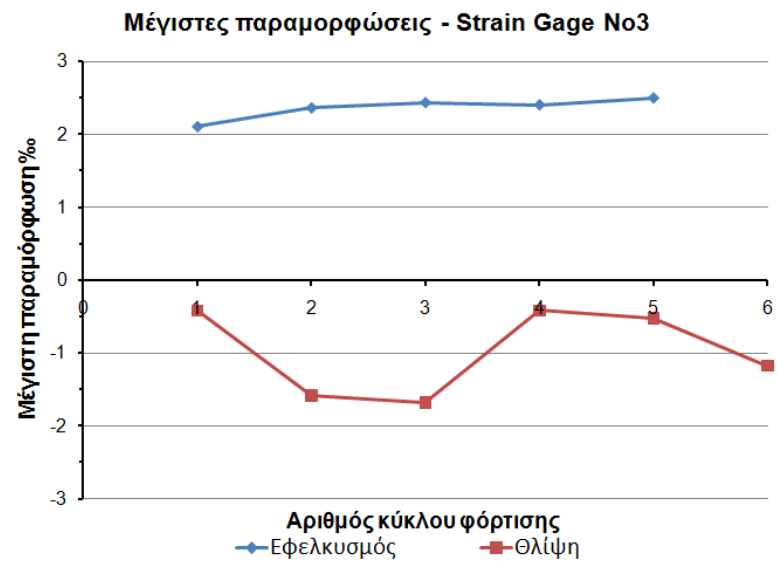
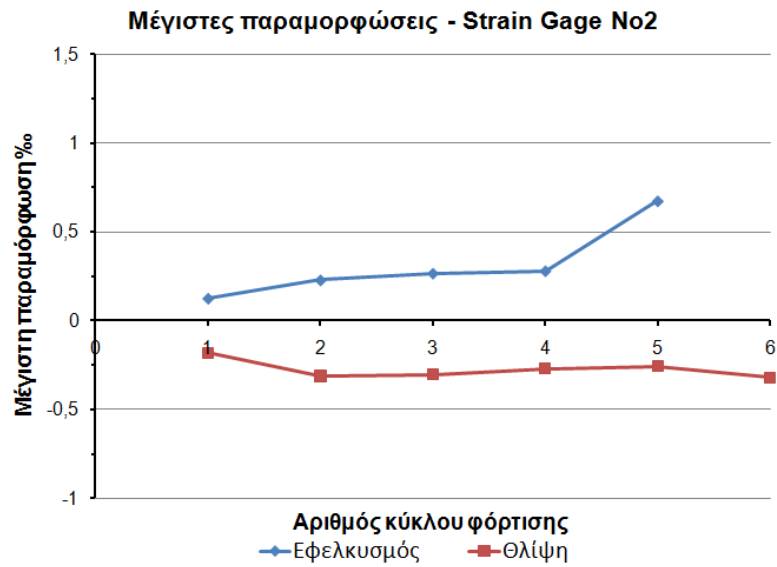
**Strain Gage No4**

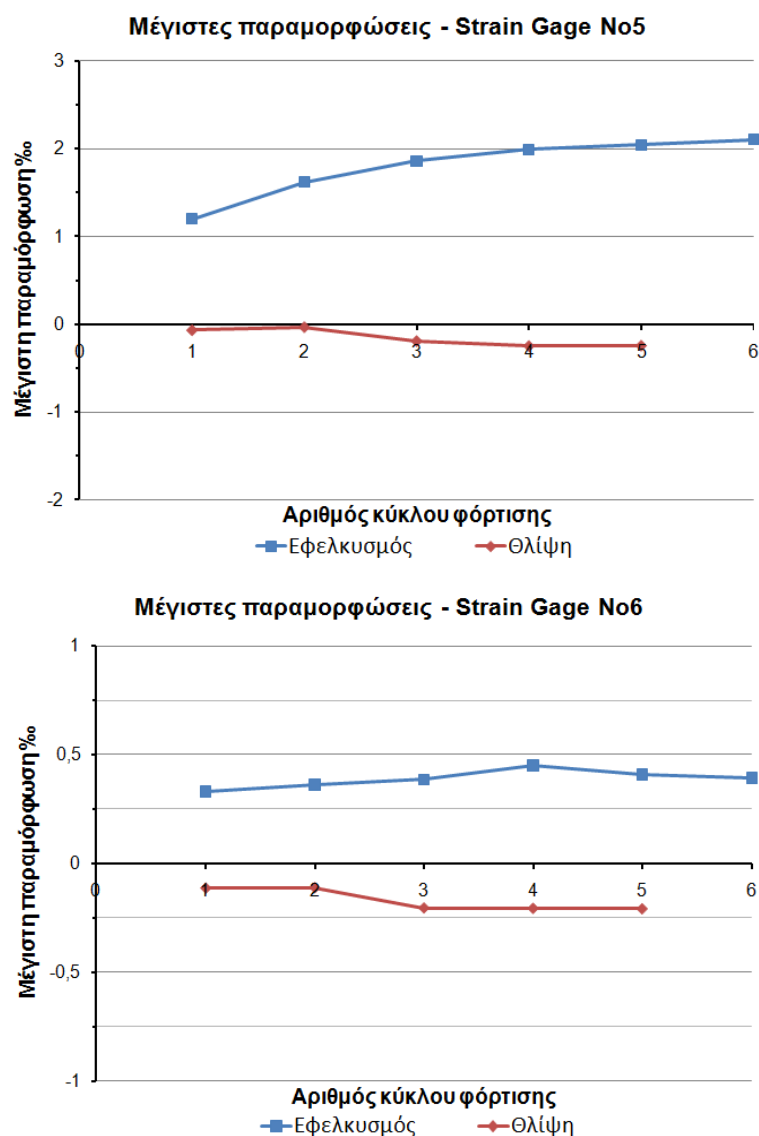
Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου του  
μανδύα στην πλευρά  
North-West του στύλου



Σχ.104 : Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου RWL<sub>1</sub>







Σχ.105: Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου RWL<sub>1</sub>

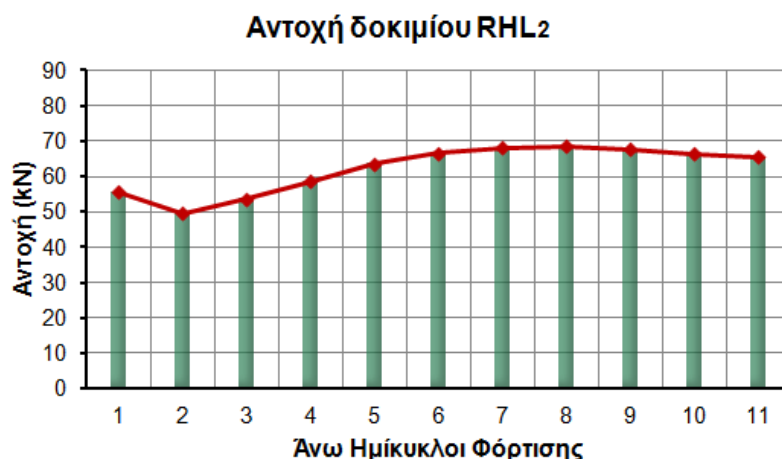
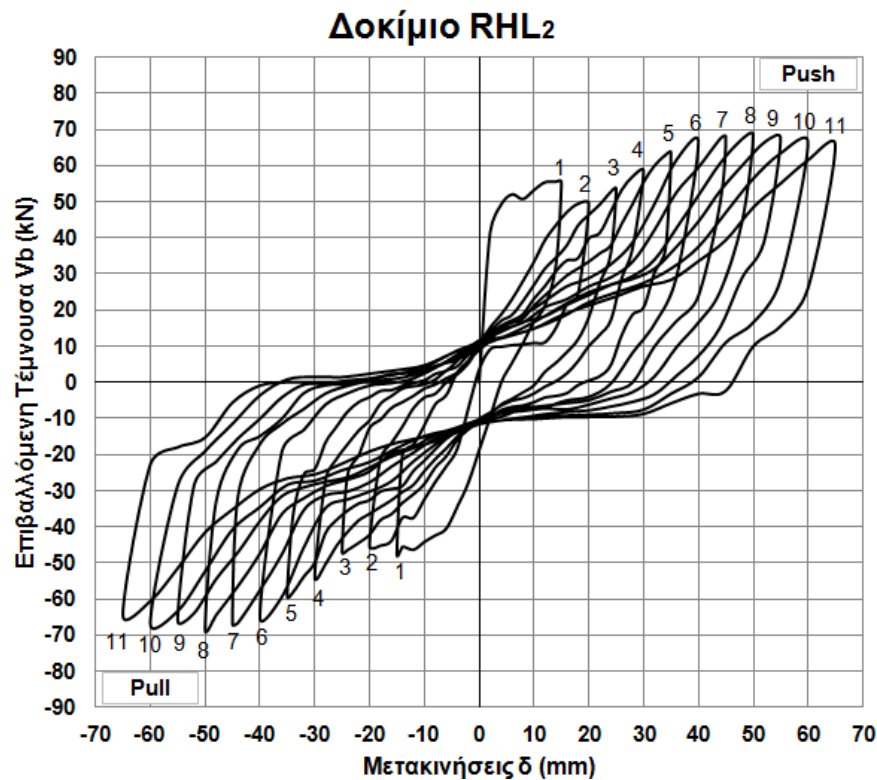
### 3.2.3.4 Δοκίμιο RHL<sub>2</sub>

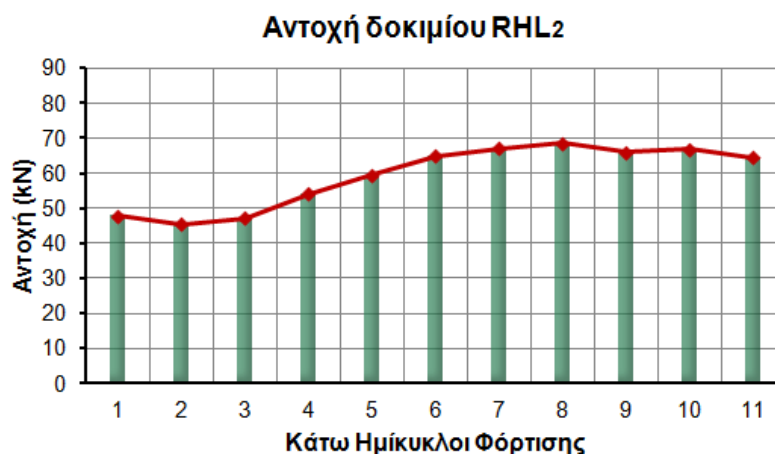
Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2 § 2.5.3 το δοκίμιο RHL<sub>2</sub> προέκυψε από την ενίσχυση ενός εκ των δύο όμοιων αρχικών δοκιμίων L<sub>2</sub> της Σειράς III. Τα δοκίμια L<sub>2</sub> όπως προαναφέρθηκε αντιπροσώπευαν υποστυλώματα παλαιάς κατασκευής με μήκος παράθεσης των διαμήκων οπλισμών τους ίσο με είκοσι τέσσερις φορές τη διάμετρο των ράβδων, δηλαδή 240mm. Η ενίσχυση περιελάμβανε αφενός την αφαίρεση της επικάλυψης και τη προσθήκη νέων συνδετήρων σε επαφή με τον παλαιό στύλο στην κρίσιμη περιοχή -εντός της οποίας πραγματοποιούνταν η παράθεση των διαμήκων οπλισμών- και αφετέρου την κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ γύρω από τον στύλο του δοκιμίου L<sub>2</sub>. Στην περίπτωση επομένως του



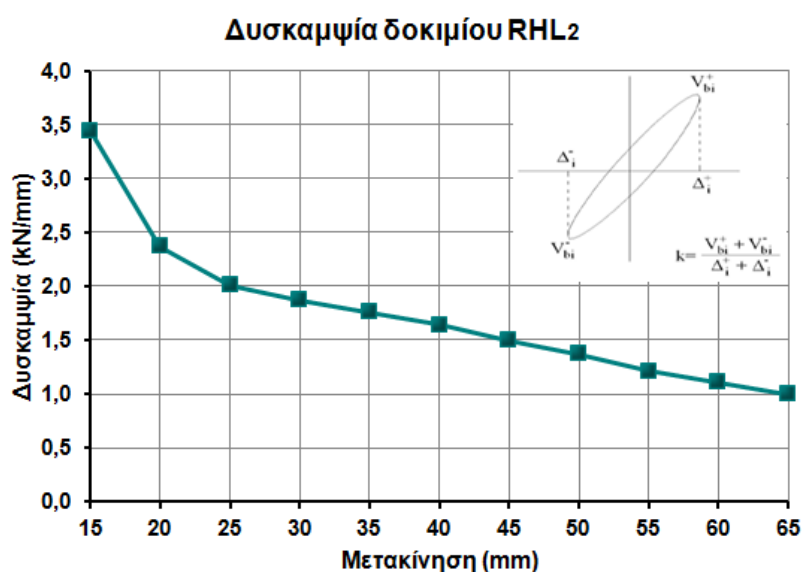
RHL<sub>2</sub> εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης που επιφέρουν στο υποστύλωμα παλαιάς κατασκευής τόσο οι επιπλέον συνδετήρες για την αντιμετώπιση της ανεπαρκούς παραθέσεως των ράβδων, όσο και ο μανδύας Ο/Σ. Οι τελικές διαστάσεις του ενισχυμένου δοκιμίου είναι 300x300mm. Η συμπεριφορά σε ανακυκλιζόμενη πλευρική φόρτιση του RHL<sub>2</sub> συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 με εκείνη του δοκιμίου-στόχου RC<sub>2</sub> της Σειράς δοκιμών ΙΙΙ, ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο η συγκεκριμένη ενίσχυση υποστυλώματος με ανεπαρκή μήκη παραθέσεων βοηθά στην προσέγγιση της ιδανικής συμπεριφοράς στύλου σε σεισμό. Το δοκίμιο υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη πλευρική φόρτιση ένδεκα κύκλων (65mm μετατόπιση). Η ιστορία φόρτισης φαίνεται στο σχήμα Σχ.15. Κατά τους πρώτους δύο κύκλους φόρτισης σχηματίστηκαν λίγες τριχοειδείς ρωγμές στο υποστύλωμα που μετά το σχηματισμό του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου δεν διευρύνθηκαν. Ο στύλος του RHL<sub>2</sub> εμφανίζει πλάστιμη συμπεριφορά σε σεισμό με βρόχους μεγάλου εύρους δίχως οριζόντιους κλάδους ολισθήσεων και στενώσεις γύρω από την αρχή των αξόνων, όπως φαίνεται στο διάγραμμα επιβαλλόμενης τέμνουσας  $V_b$  – μετακινήσεων  $\delta$  (Σχ.106). Η επιφάνεια των βρόχων υστερητικής απόκρισης του δοκιμίου μεγαλώνει διαρκώς με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης καταδεικνύοντας την απορρόφηση ολοένα και περισσότερης σεισμικής ενέργειας. Επίσης από τη μορφή των βρόχων υστερητικής απόκρισης του RHL<sub>2</sub> είναι προφανής η περιορισμένη εμφάνιση και επίδραση του φαινομένου P- $\delta$  λόγω της ιδιαίτερως υψηλής αντοχής του στύλου, η οποία διαρκώς αυξάνεται με την αύξηση της πλευρικής μετατόπισης μετά τον δεύτερο και μέχρι τον όγδοο κύκλο φόρτισης (μετατόπιση 50mm). Μετά τον όγδοο κύκλο η αντοχή του δοκιμίου παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι το τέλος του πειράματος (drift 6,63%). Στο τέλος του ενδέκατου κύκλου φόρτισης η αντοχή είναι σε σχέση με την αρχική της τιμή κατά τον πρώτο κύκλο αυξημένη κατά 18% στον άνω ημίκυκλο και 34,53% στον κάτω ημίκυκλο (Σχ.107). Η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται κατά 31,17% από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο πλευρικής φόρτισης ενώ για μετατοπίσεις μεγαλύτερες από 25mm παρουσιάζει μικρή και ομαλή μείωση. Στο τέλος του πειράματος η δυσκαμψία του RHL<sub>2</sub> διατηρείται σε ποσοστό 29% επί της αρχικής της τιμής. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στην εικόνα (Σχ.108). Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 109 φαίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστύλωμα RHL<sub>2</sub> σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων (με εξαίρεση το δεύτερο κύκλο φόρτισης) καθώς οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια μέχρι και τον τελευταίο κύκλο. Η ενέργεια που αποσβένεται εντός του στύλου στο τέλος του ενδέκατου κύκλου είναι κατά 72,42% αυξημένη σε σχέση με εκείνη που απορροφά ο στύλος κατά τον πρώτο κύκλο της σεισμικής φόρτισης. Όπως και στην περίπτωση του δοκιμίου RC<sub>2</sub> έτσι και στο RHL<sub>2</sub> η έντονη περίσφιγξη την οποία επέφερε η κατασκευή του μανδύα Ο/Σ γύρω από το αρχικό υποστύλωμα δεν επέτρεψε να συμβεί αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες και σε συνδυασμό με τους πυκνά διατεταγμένους συνδετήρες του μανδύα εμποδίστηκε ο λυγισμός των διαμήκων ράβδων του στύλου. Ο μηχανισμός αστοχίας του RHL<sub>2</sub> οφείλεται στο σχηματισμό και τη διεύρυνση του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου. Η πραγματοποιηθείσα επομένως ενίσχυση πέτυχε την σημαντική βελτίωση όλων των μηχανικών αντισεισμικών ιδιοτήτων του αρχικού -με τις ανεπαρκώς παρατιθέμενες ράβδους- δοκιμίου L<sub>2</sub> και εξασφάλισε ιδιαίτερα πλάστιμη συμπεριφορά στο ενισχυμένο δοκίμιο RHL<sub>2</sub>. Η εικόνα αστοχίας του

δοκιμίου στο τέλος του ενδέκατου κύκλου (drift 6,63%) φαίνεται στο σχήμα 110. Στις διαμήκειες ράβδους σπλισμού του υποστυλώματος είχαν τοποθετηθεί ταινίες για τη μέτρηση των παραμορφώσεων του χάλυβα κατά την πλευρική σεισμική φόρτιση. Η θέση κάθε ταινίας φαίνεται στο σχήμα 111 και δίπλα από το αντίστοιχο διάγραμμα παραμόρφωσης στο σχήμα 112). Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 113.





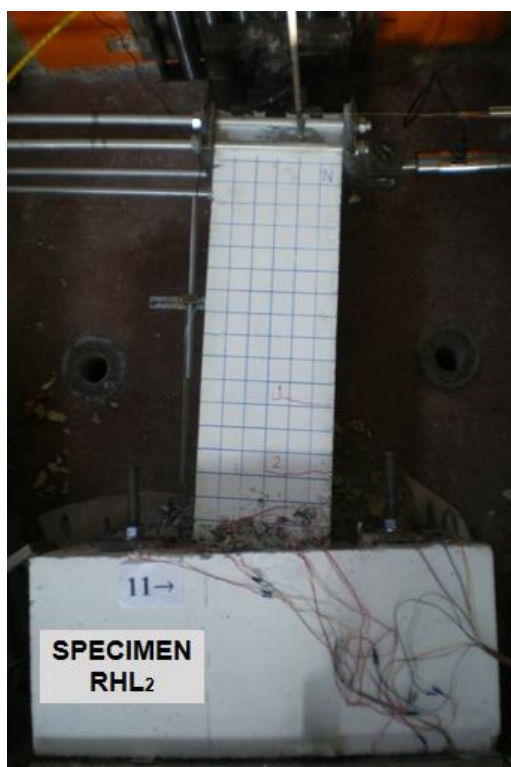
Σχ.107: Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου RHL<sub>2</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι



Σχ.108: Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου RHL<sub>2</sub>



Σχ.109: Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου RHL<sub>2</sub>

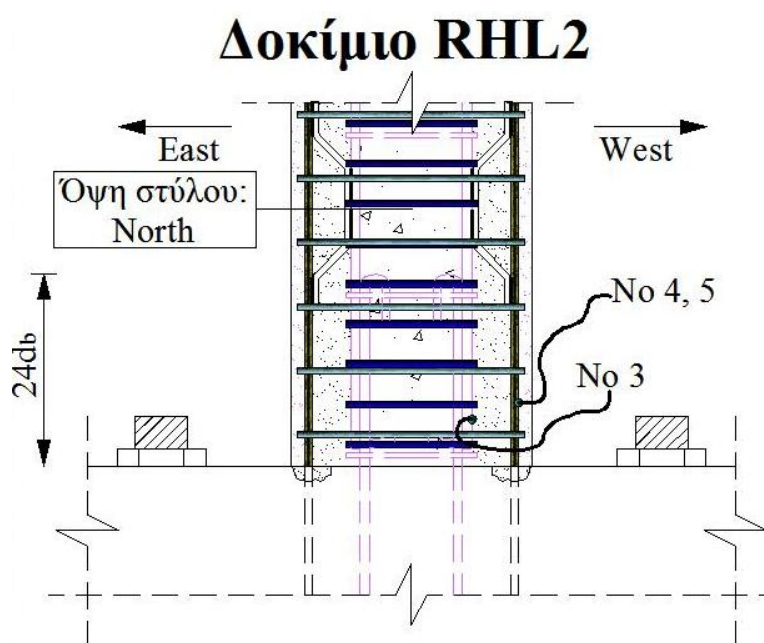


(α)

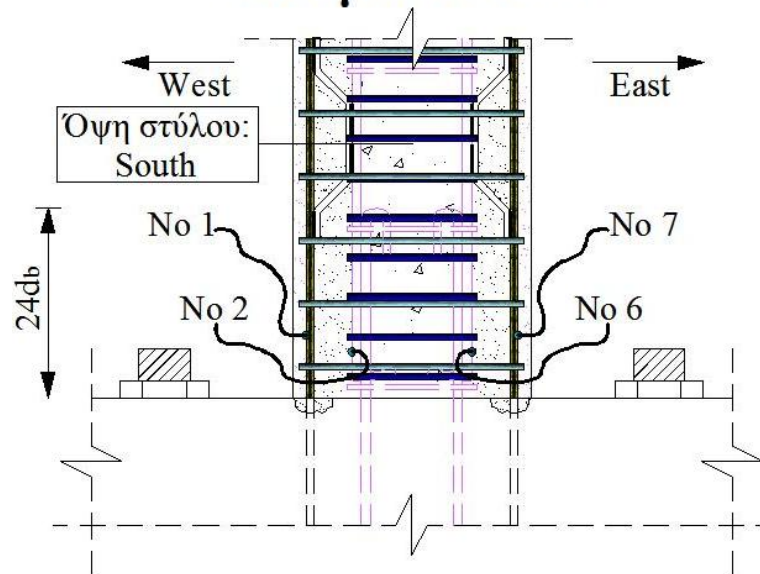


(β)

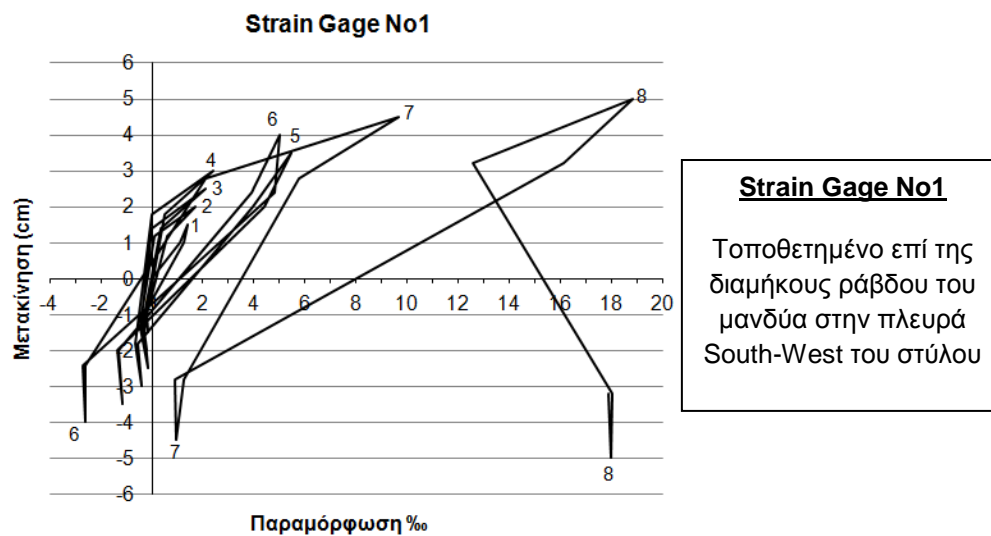
Σχ.110: Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου RHL<sub>2</sub>

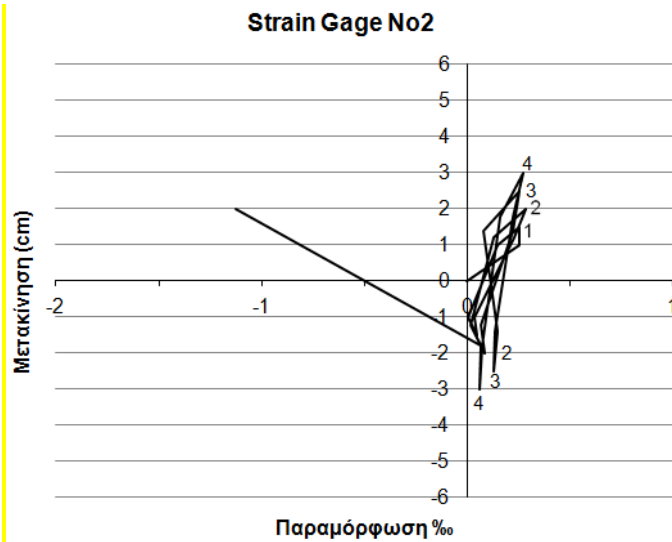


## Δοκίμιο RHL2



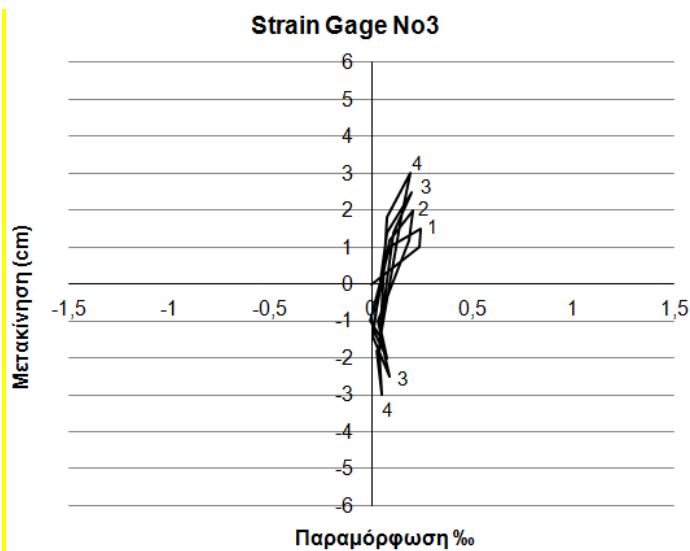
Σχ.111 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο RHL<sub>2</sub>





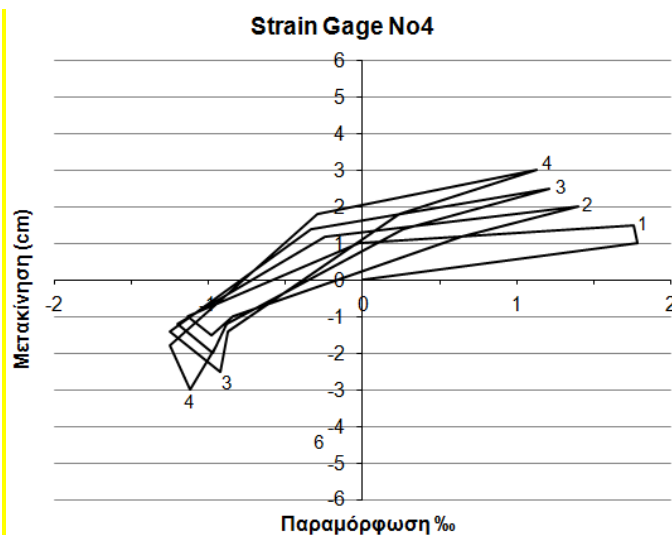
**Strain Gage No2**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκους  
ράβδου του αρχικού  
στύλου στην πλευρά  
South-West του στύλου



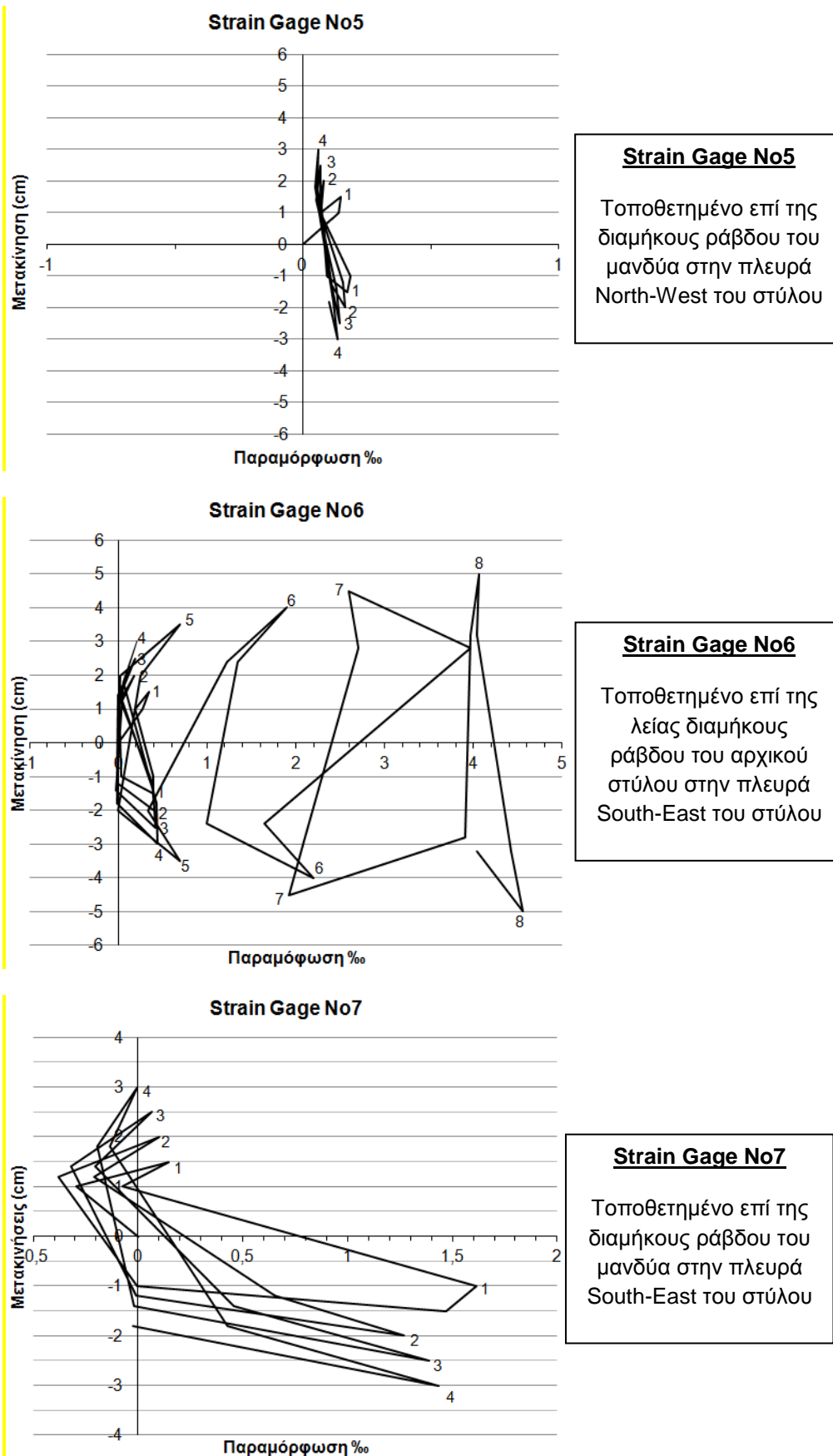
**Strain Gage No3**

Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκους  
ράβδου του αρχικού  
στύλου στην πλευρά  
North-West του στύλου

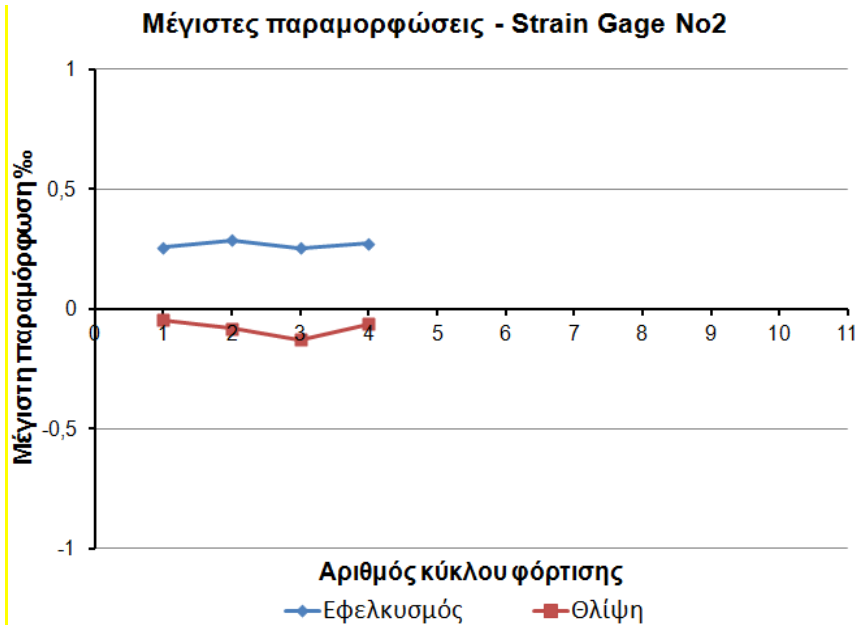
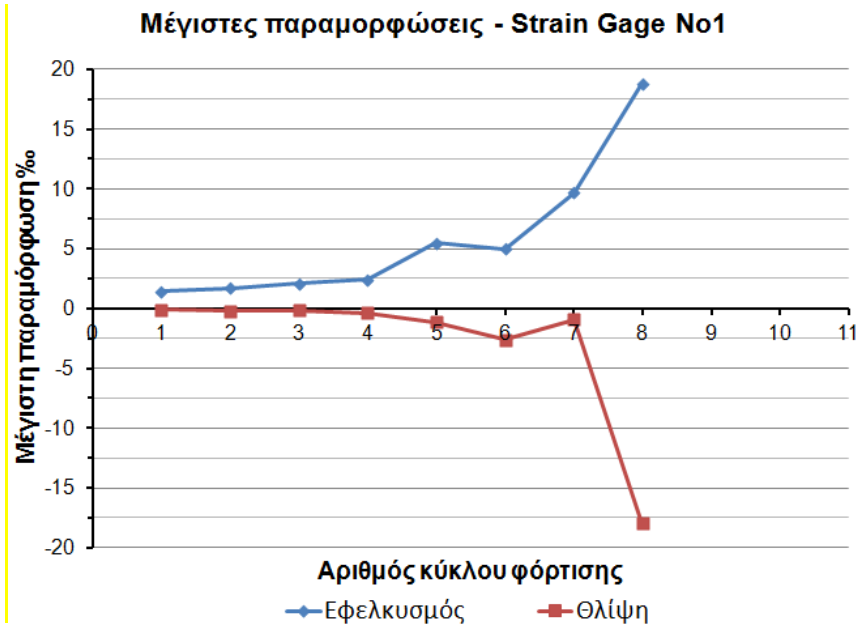


**Strain Gage No4**

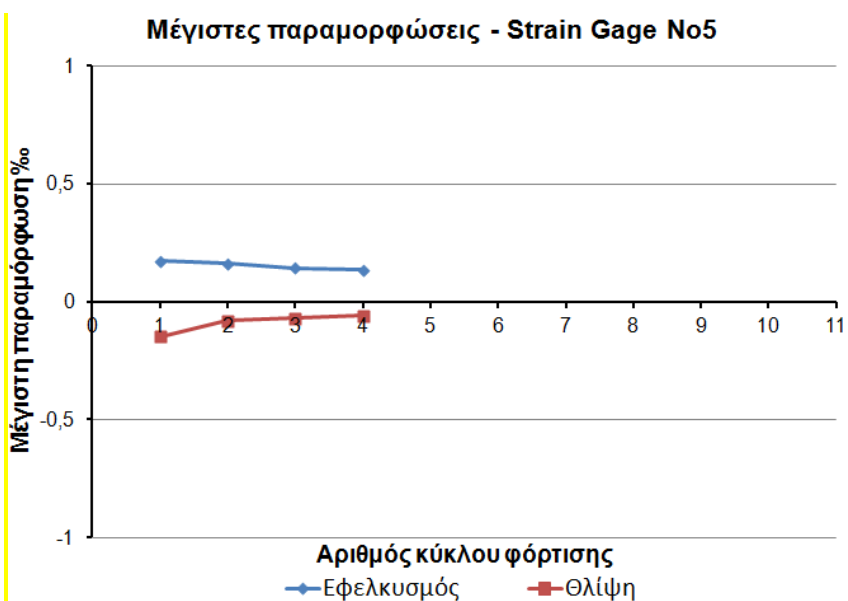
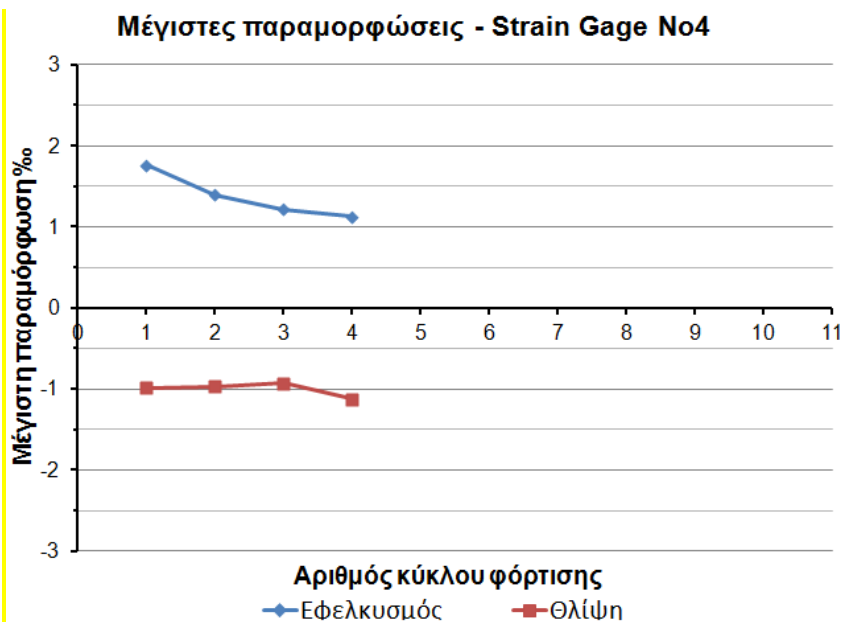
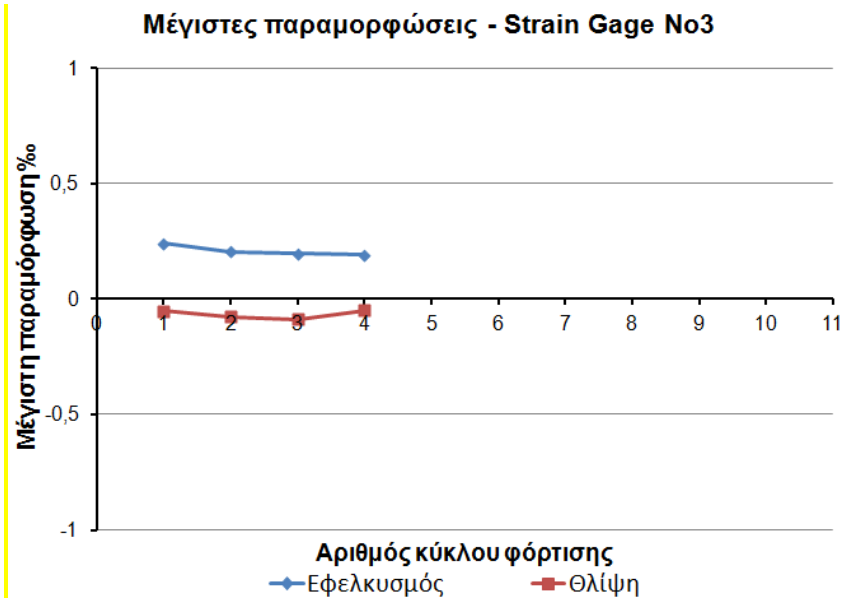
Τοποθετημένο επί της  
διαμήκους ράβδου του  
μανδύα στην πλευρά  
North-West του στύλου

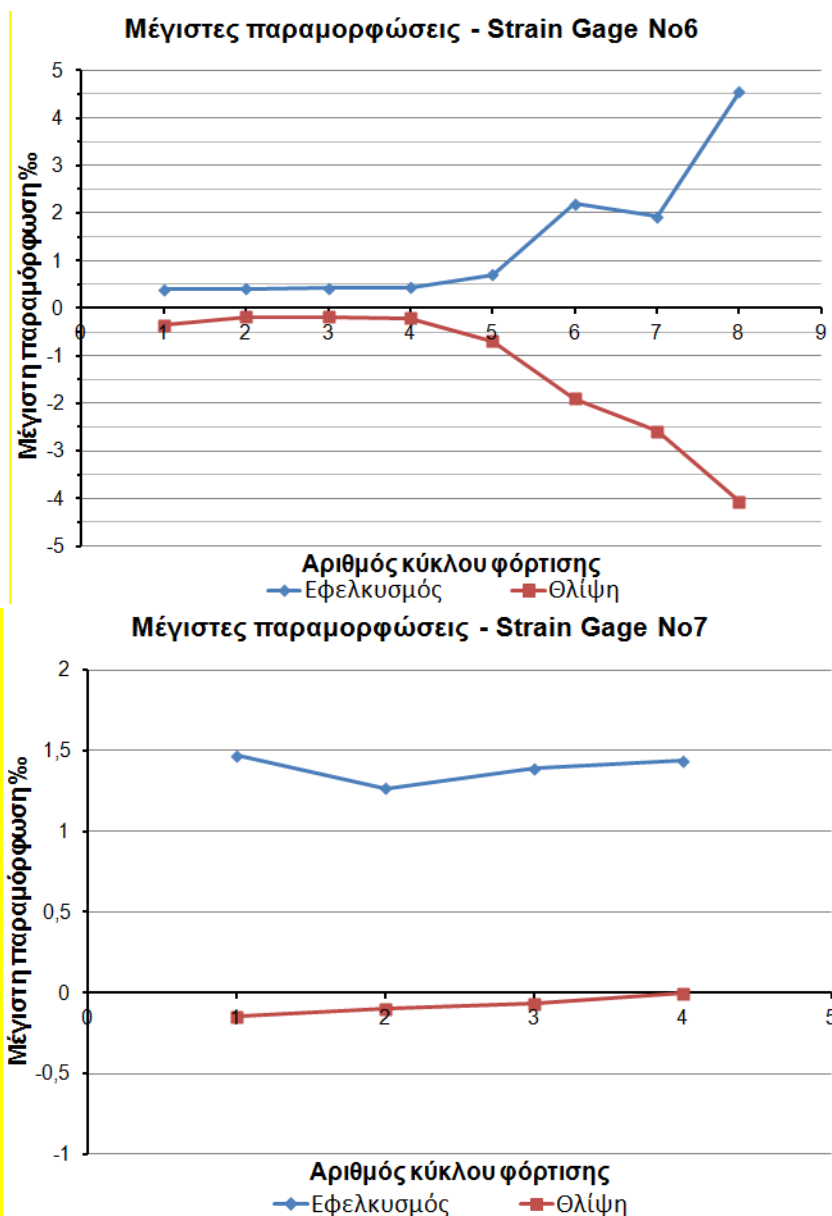


Σχ.112: Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου RHL<sub>2</sub>









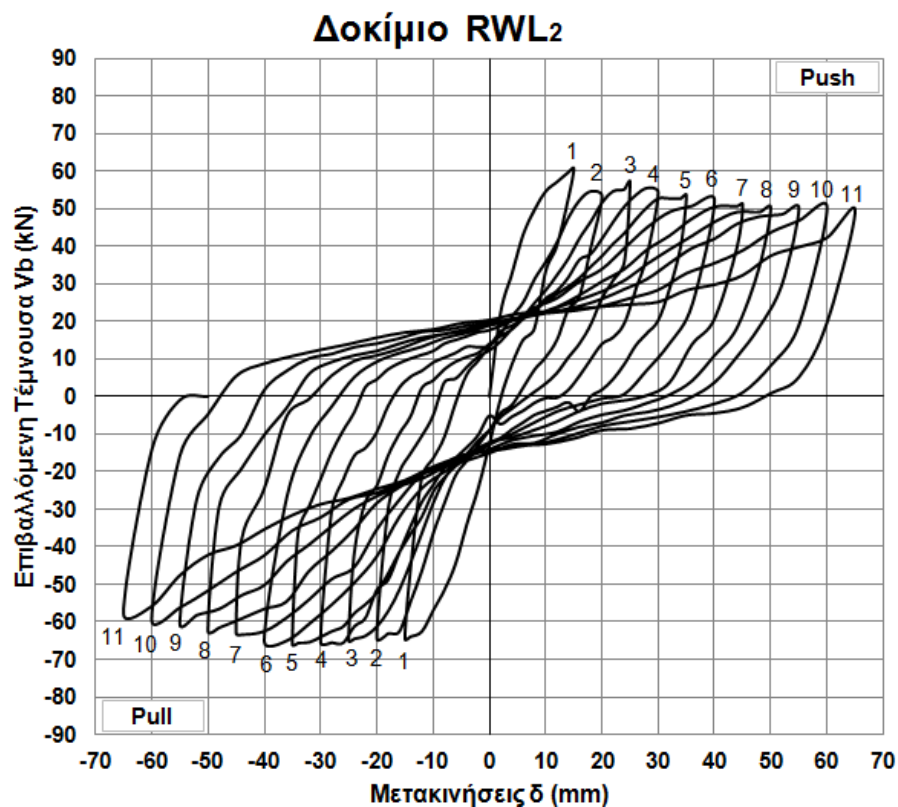
Σχ.113: Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου RHL<sub>2</sub>

### 3.2.3.5 Δοκίμιο RWL<sub>2</sub>

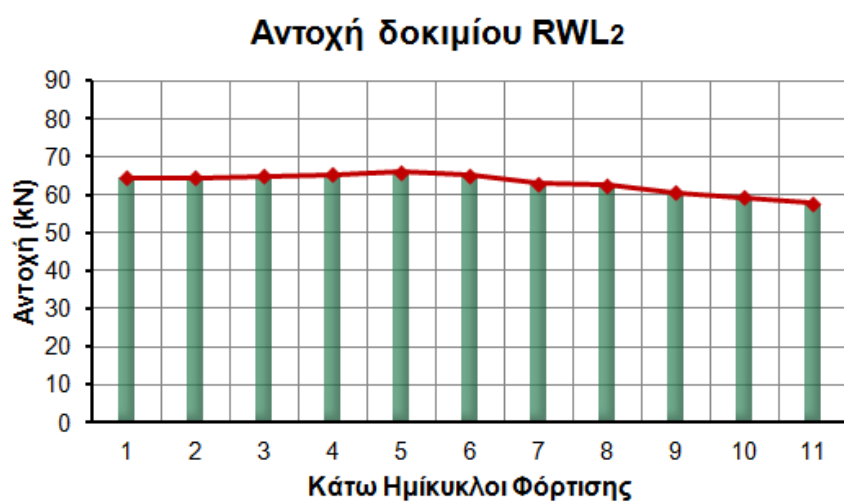
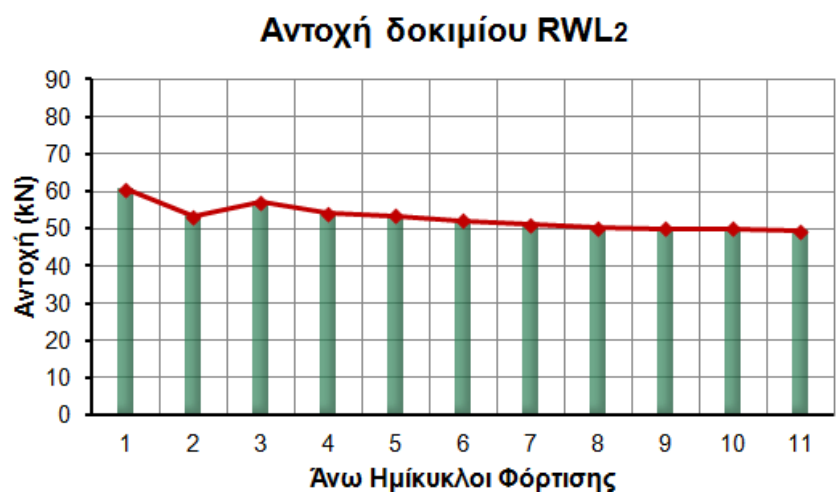
Ο ενισχυμένος στύλος RWL<sub>2</sub> προέκυψε από την ενίσχυση ενός εκ των δύο όμοιων μεταξύ τους δοκιμίων L<sub>2</sub> της Σειράς δοκιμίων III με την συγκόλληση των ματιζομένων σε μήκος 24Φ=240mm ράβδων του και την κατασκευή ολόπλευρου μανδύα Ο/Σ γύρω από το υποστύλωμα κατά τα περιγραφέντα στο Κεφάλαιο 2 § 2.5.3. Το δοκίμιο RWL<sub>2</sub> με τελικές διαστάσεις 300x300mm υποβλήθηκε σε κυκλική πλευρική φόρτιση ένδεκα κύκλων η ιστορία της οποίας φαίνεται στο σχήμα Σχ.15. Στην περίπτωση του RWL<sub>2</sub> εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης που εφαρμόστηκε στο δοκίμιο προκειμένου αφενός να αποκατασταθεί η συνέχεια των διαμήκων οπλισμών του παλαιού στύλου μέσω συγκόλλησης και αφετέρου να επιβληθεί εξωτερική περίσφιγξη

μέσω του μανδύα Ο/Σ. Η συμπεριφορά σε ανακυκλιζόμενη πλευρική φόρτιση του δοκιμίου  $RWL_2$  συγκρίνεται στο Κεφάλαιο 4 με εκείνη του δοκιμίου-στόχου  $RC_2$  της Σειράς δοκιμών III καθώς και των υπολοίπων δοκιμών της Σειράς III, ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο η συγκεκριμένη ενίσχυση υποστυλώματος με ανεπαρκή μήκη ματισμάτων  $24d_b=240mm$  βοηθά στην προσέγγιση της ιδανικής συμπεριφοράς στύλου σε σεισμό. Από τη μορφή των υστερητικών βρόχων του δοκιμίου είναι προφανής η ιδιαίτερα πλάστιμη απόκριση του στύλου σε σεισμό. Οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια και χαρακτηρίζονται από απουσία οριζόντιων κλάδων ολισθήσεων και στενώσεις γύρω από τους άξονες. Στους πρώτους τρεις κύκλους φόρτισης σχηματίστηκαν λίγες τριχοειδείς ρωγμές στο υποστύλωμα (Σχ.118) που μετά το σχηματισμό του κύριου καμπτικού ρήγματος στη βάση του στύλου δεν διευρύνθηκαν περεταίρω. Η αντοχή του  $RWL_2$  είναι υψηλή (60,5 kN στον πρώτο άνω ημίκυκλο και 64,55 kN στον πρώτο κάτω ημίκυκλο φόρτισης). Στους άνω ημίκυκλους φόρτισης η αντοχή παρουσιάζει μικρή, σταδιακή μείωση από κύκλο σε κύκλο, διατηρούμενη στο τέλος του 11<sup>ου</sup> κύκλου στο 81,49% της αρχικής τιμής της. Στους κάτω ημίκυκλους η αντοχή του  $RWL_2$  αυξάνεται μέχρι τον έκτο κύκλο φόρτισης (drift 4,08%) και κατόπιν μειώνεται στο 89,39% της αρχικής της τιμής στο τέλος του 11<sup>ου</sup> κύκλου (65mm μετατόπιση). Η μεταβολή της αντοχής του στύλου με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 115. Η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται ομαλά με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων, ενώ το εμβαδό των βρόχων είναι μεγάλο και διαρκώς αυξάνεται, φανερώνοντας την απορρόφηση σημαντικών και διαρκώς αυξανόμενων ποσοτήτων σεισμικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη πτώση της δυσκαμψίας του δοκιμίου παρουσιάζεται από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο φόρτισης οπότε περιορίζεται κατά 29,46%. Από τον τρίτο κύκλο και μετά η δυσκαμψία του δοκιμίου μειώνεται με πιο ομαλό ρυθμό για να περιοριστεί στον ενδέκατο κύκλο στο 19,75% της αρχικής της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Το διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου καθώς και ο τύπος υπολογισμού της παριστάνονται στο σχήμα 116. Στο ραβδόγραμμα του σχήματος 117 δίνονται οι τιμές της ενέργειας που απορροφά το υποστύλωμα  $RWL_2$  σε κάθε κύκλο φόρτισης. Παρατηρείται συνεχής αύξηση της ποσότητας ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο με την αύξηση των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων καθώς οι βρόχοι έχουν μεγάλη επιφάνεια μέχρι και τον τελευταίο κύκλο φόρτισης. Από τις μικρομετρήσεις των παραμορφώσεων των διαμήκων οπλισμών του ενισχυμένου στύλου προκύπτει ότι η αύξηση της πλευρικής μετατόπισης προκάλεσε εντονότερες παραμορφώσεις των διαμήκων ράβδων του δοκιμίου, κατά πολύ μεγαλύτερες από την παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα του σχήματος 120 η ράβδος οπλισμού στην οποία τοποθετήθηκε η ταινία No1 ανέπτυξε παραμόρφωση 21,13% δηλαδή πολλαπλάσια της παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα. Επίσης οι ράβδοι επί των οποίων τοποθετήθηκαν οι ταινίες No3 και No4 διέρρευσαν αναπτύσσοντας παραμόρφωση ίση με 4,162% και 2,761% αντίστοιχα. Οι μέγιστες τιμές της παραμόρφωσης των ράβδων (εφελκυστικής και θλιπτικής) παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 121. Η έντονη περίσφιγξη την οποία επέφερε η κατασκευή του μανδύα Ο/Σ γύρω από το αρχικό υποστύλωμα δεν επέτρεψε να συμβεί αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στις θλιβόμενες ζώνες και σε συνδυασμό με τους πυκνά διατεταγμένους συνδετήρες του μανδύα εμποδίστηκε ο λυγισμός των διαμήκων ράβδων του μανδύα. Επιπλέον η συγκόλληση των παρατιθέμενων ράβδων του παλαιού στύλου αποκατέστησε επιτυχώς τη συνέχεια των οπλισμών και το

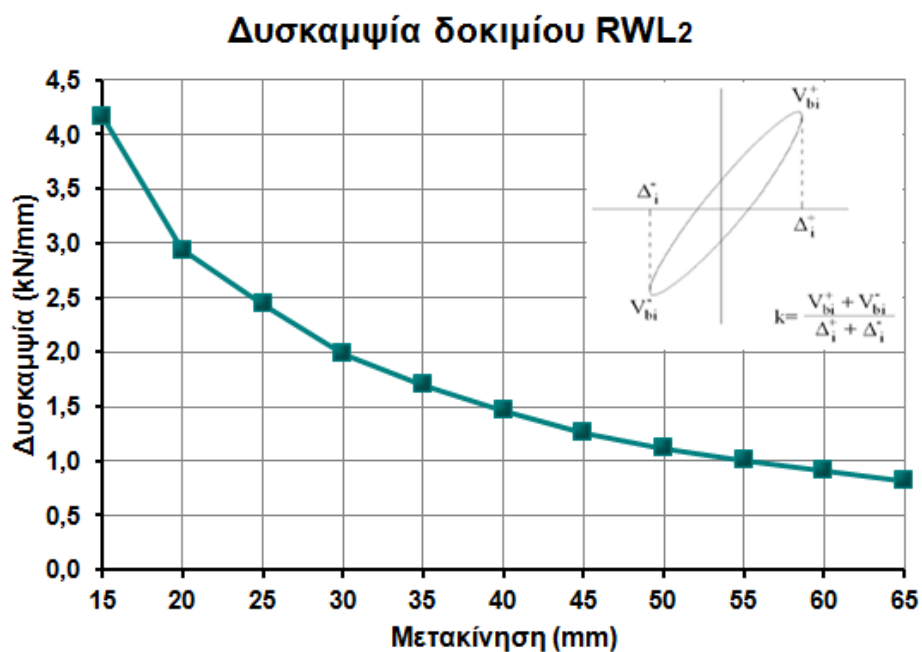
μηχανισμό μεταφοράς δυνάμεων. Η εικόνα αστοχίας του δοκιμίου στο τέλος του ενδέκατου κύκλου (drift 6,63%) φαίνεται στο σχήμα 118. Από το διάγραμμα φορτίου  $V_b$  – μετατόπισης  $\delta$  (Σχ.114) γίνεται φανερό πως μετά τον τέταρτο κύκλο φόρτισης το εμβαδόν των βρόχων του δοκιμίου  $RWL_2$  αυξάνεται σημαντικά. Η είσοδος του χάλυβα στον κλάδο κράτυνσης συντελεί στην απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων σεισμικής ενέργειας. Η απουσία οριζόντιων κλάδων στους βρόχους του δοκιμίου σημαίνει ότι στη θέση της πλαστικής άρθρωσης δεν παρατηρείται ουσιώδης ολίσθηση των ράβδων του στύλου. Επίσης, λόγω της υψηλής αντοχής του στύλου η επιρροή του φαινομένου P- $\delta$  είναι πολύ μικρή όπως φαίνεται και από τη μορφή των υστερητικών βρόχων.



Σχ. 114 : Βρόχοι υστερητικής απόκρισης του δοκιμίου  $RWL_2$

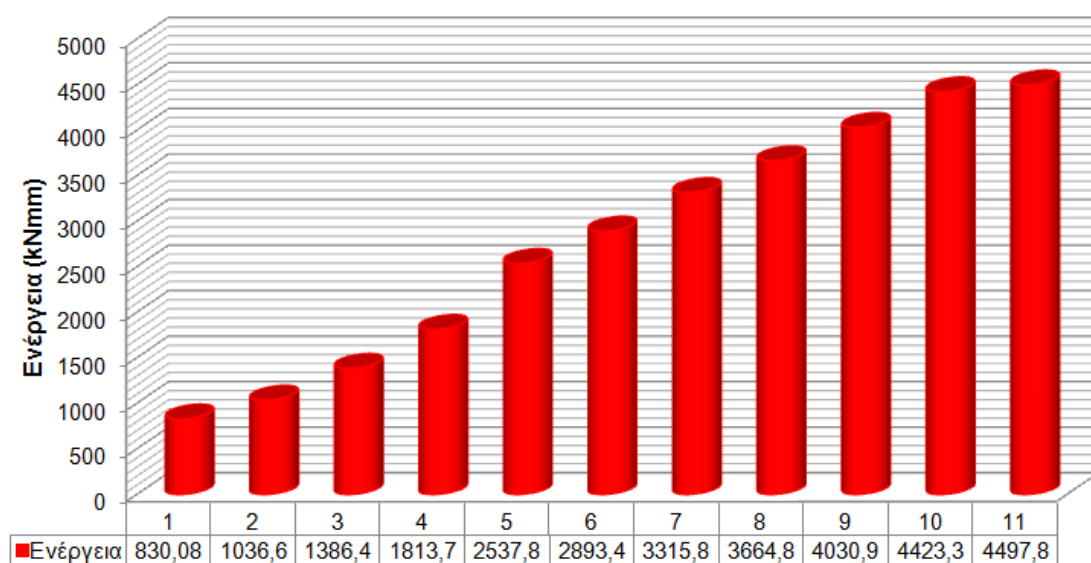


Σχ.115: Διαγράμματα μεταβολής αντοχής του δοκιμίου RWL<sub>2</sub>. Άνω και κάτω ημίκυκλοι

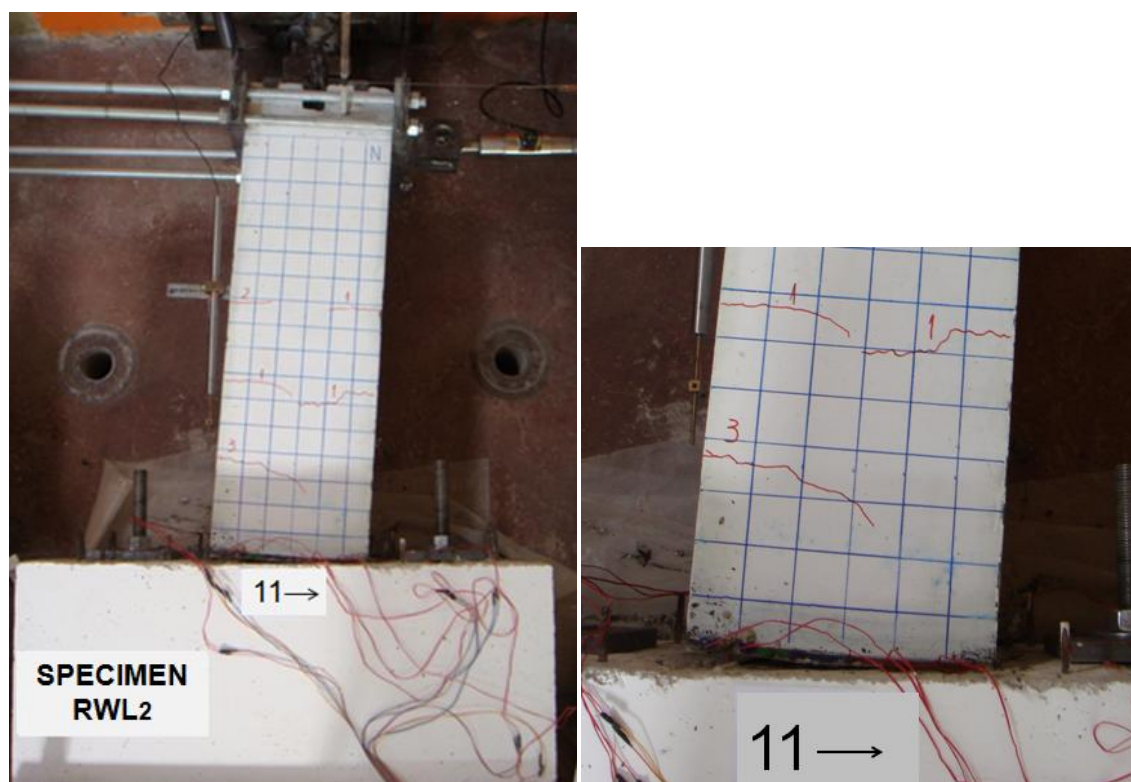


Σχ.116 : Διάγραμμα μεταβολής της δυσκαμψίας του δοκιμίου RWL<sub>2</sub>

### Απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης - Δοκίμιο RWL2

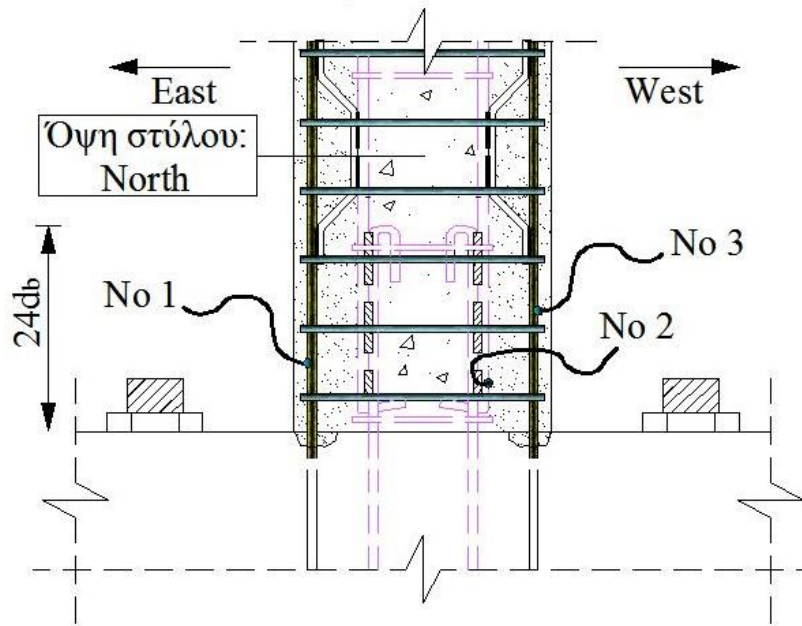


Σχ.117 : Απορρόφηση ενέργειας κατά τη σεισμική φόρτιση του δοκιμίου RWL<sub>2</sub>

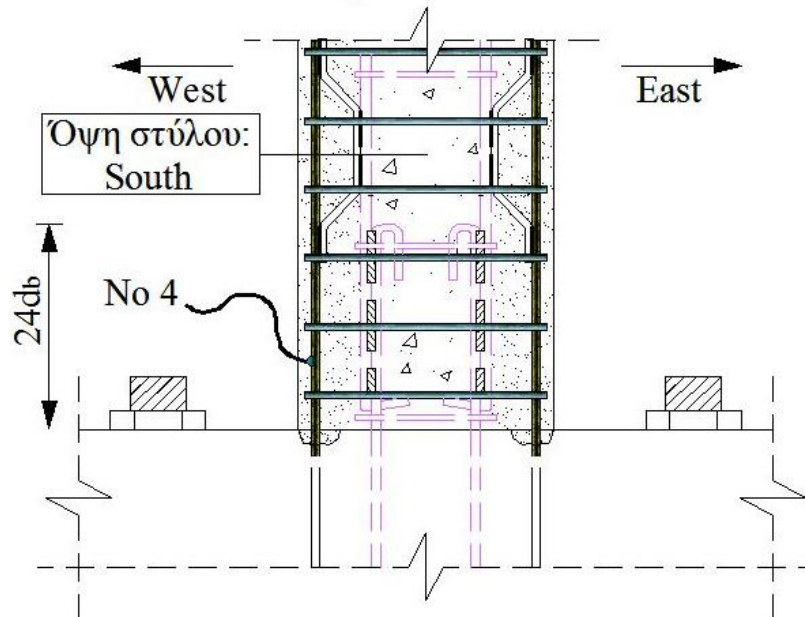


Σχ.118 : Εικόνα αστοχίας του δοκιμίου RWL<sub>2</sub>

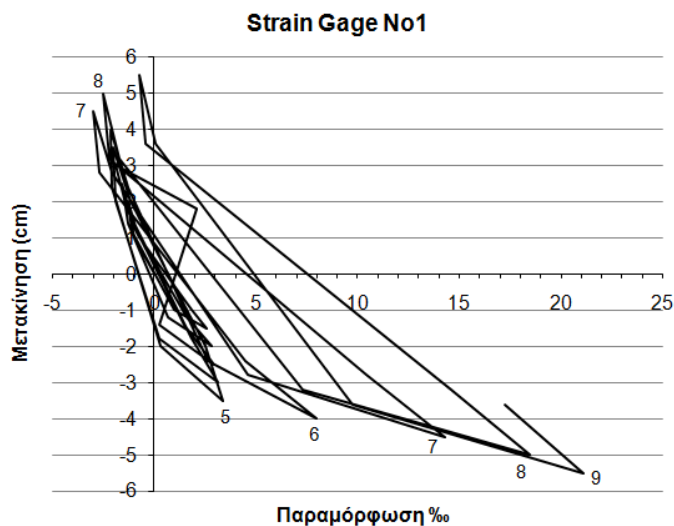
## Δοκίμιο RWL2



## Δοκίμιο RWL2

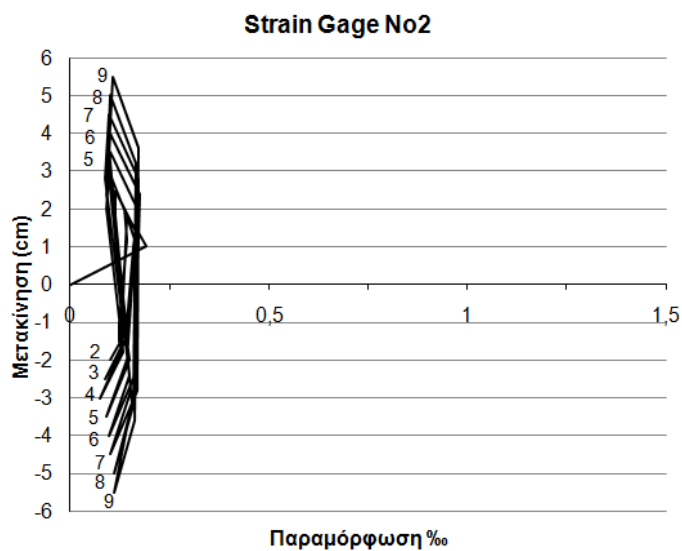


Σχ.119 : Θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι ταινίες μέτρησης των παραμορφώσεων των ράβδων στο δοκίμιο RWL<sub>2</sub>



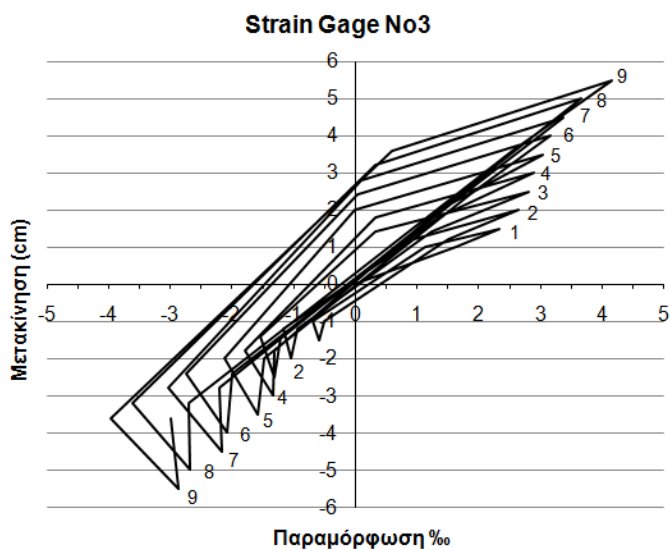
**Strain Gage No1**

Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου του  
μανδύα στην πλευρά  
North-East του στύλου



**Strain Gage No2**

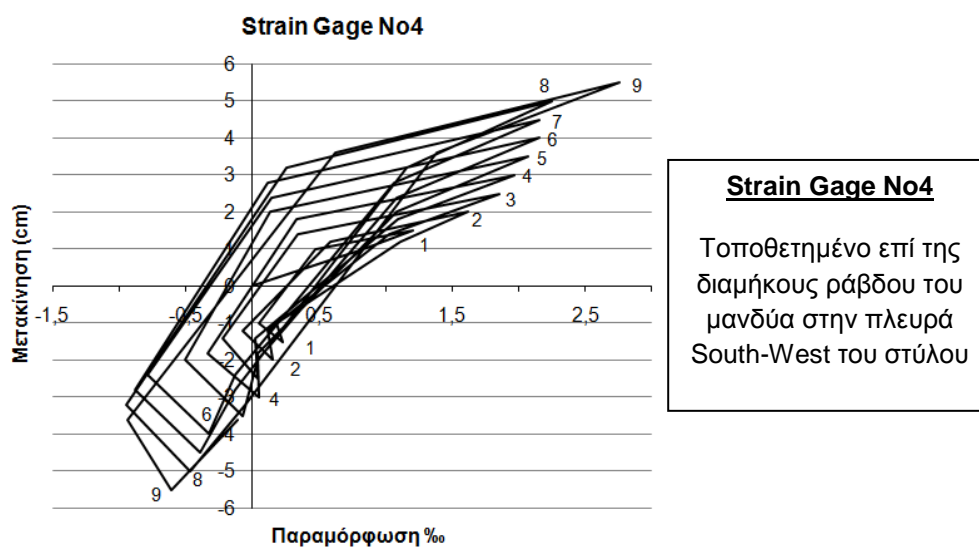
Τοποθετημένο επί της  
λείας διαμήκου  
ράβδου του αρχικού  
στύλου στην πλευρά  
North-West του στύλου



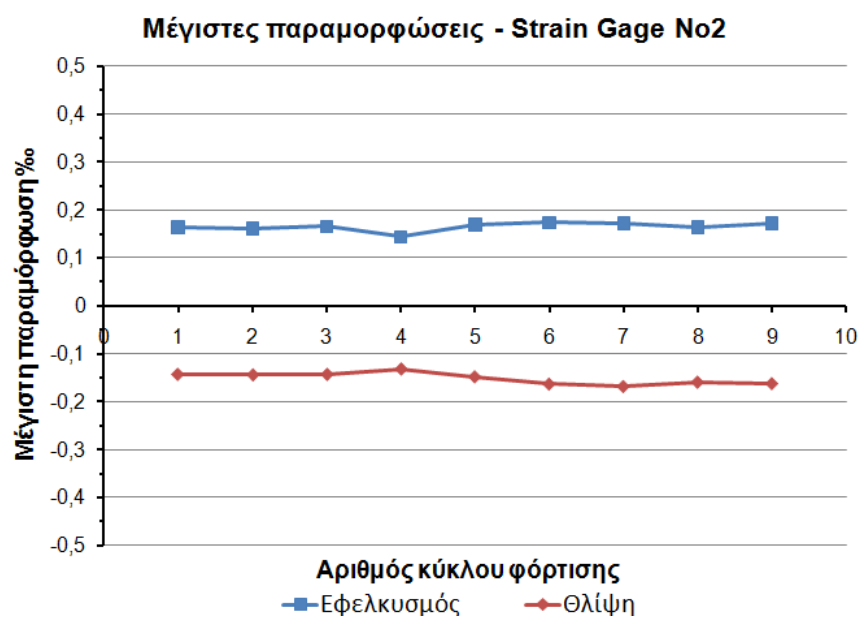
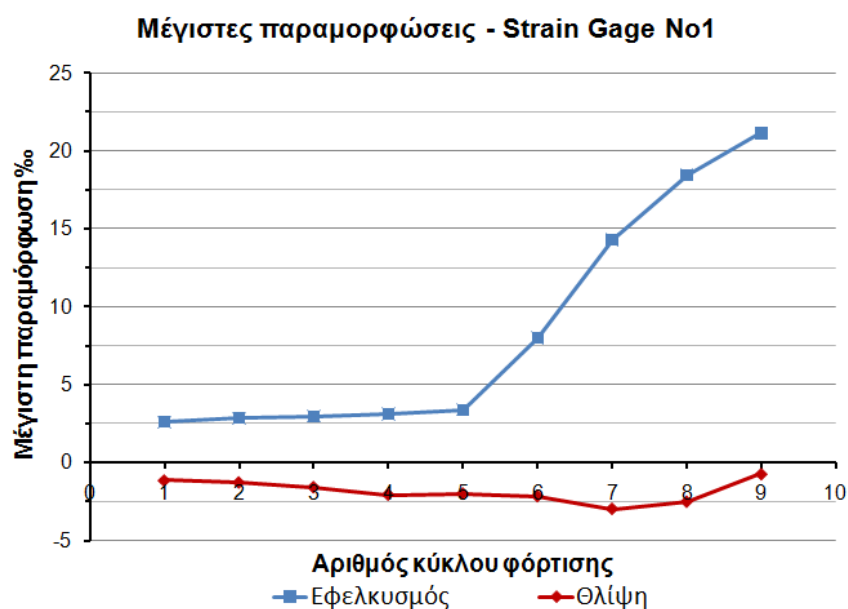
**Strain Gage No3**

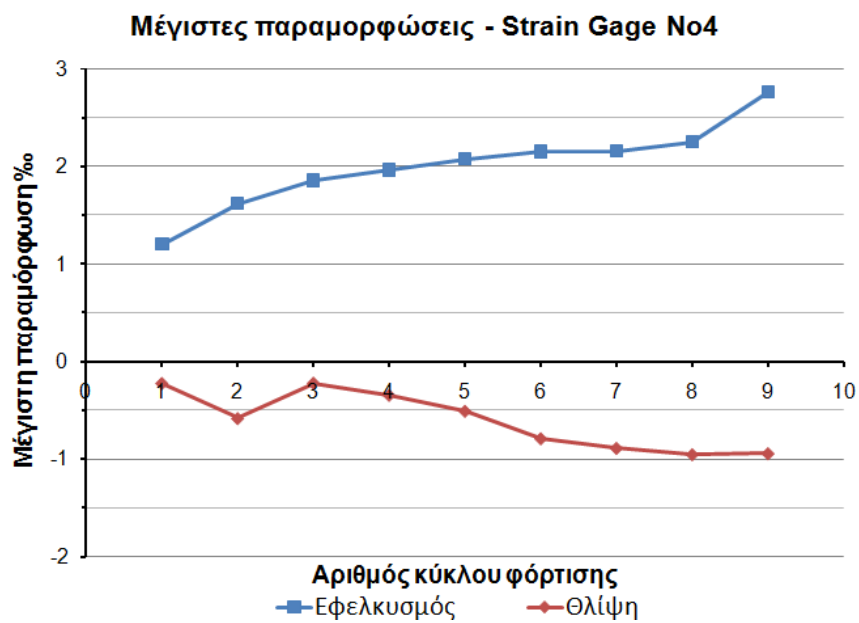
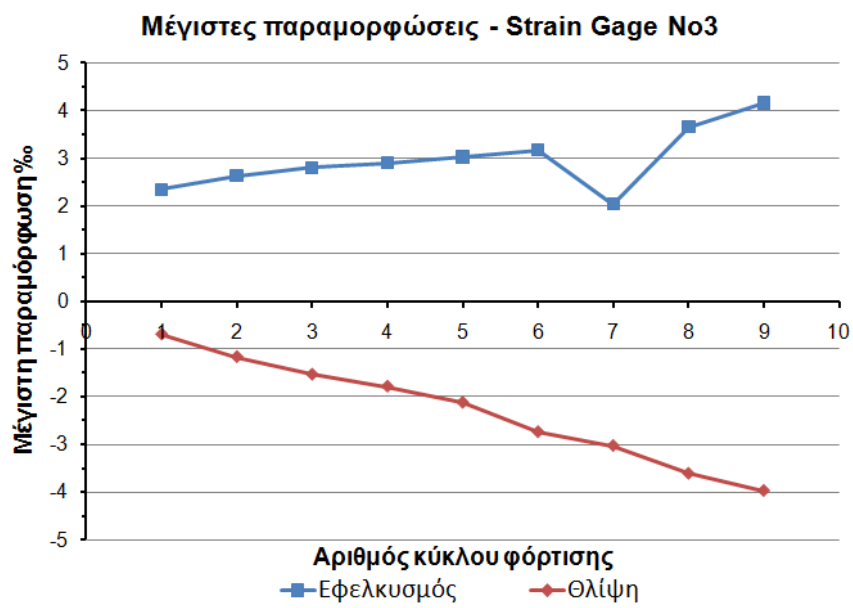
Τοποθετημένο επί της  
διαμήκου ράβδου του  
μανδύα στην πλευρά  
North-West του στύλου





Σχ.120 : Παραμορφώσεις οπλισμών του δοκιμίου RWL<sub>2</sub>





Σχ.121: Μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων οπλισμών του δοκιμίου RWL<sub>2</sub>

