

Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 9ης ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 1999 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

**ΚΩΤΣΟΒΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ
ΔΑΜΟΥΛΙΑΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία σκοπό έχει να εξετάσει τον τρόπο αστοχίας των κατασκευών και να εντοπίσει τα τυχόν αίτια που οδήγησαν σε αυτές. Οι κατασκευές που μελετήθηκαν είναι από τις περιοχές Μενιδίου, Άνω λιοσίων, Μεταμόρφωσης και των Θρακομακεδόνων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε σεισμογένεις χώρες όπως η Ελλάδα, οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ο.Σ.) πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να χαρακτηρίζονται από την αντοχή και πλαστημότητα που απαιτείται για της προβλεπόμενες σεισμικές δράσεις. Γενική διαπίστωση είναι ότι στο πρόσφατο σεισμό με επίκεντρο στην Πάρνηθα, οι κατασκευές είτε παλαιών είτε νεότερων κανονισμών δεν συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά. Το γεγονός αυτό είναι αναγκαίο να διερευνηθεί καθώς παρατηρήθηκαν συμπεριφορές κατασκευών οι οποίες δεν είχαν προβλεφθεί από τους κανονισμούς.

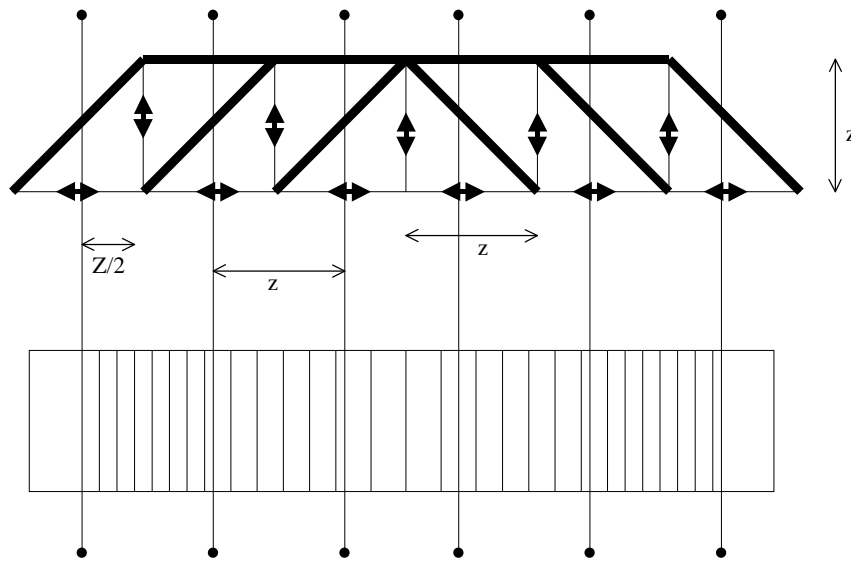


Επίκεντρο σεισμού Πάρνηθας

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ) είναι ότι ο σχεδιασμός τους, ανεξάρτητα από τον κανονισμό με τον οποίο

έχει πραγματοποιηθεί, βασίζεται στην παραδοχή ότι τα στοιχεία του φέροντος οργανισμού τους λειτουργούν ως δικτυώματα. Ενδεικτικά στο σχήμα 1 φαίνεται μια αμφιέριστη δοκός από ΟΣ και το αντίστοιχο δικτύωμα με το οποίο προσομοιάζεται η λειτουργία της.



Σχήμα 1

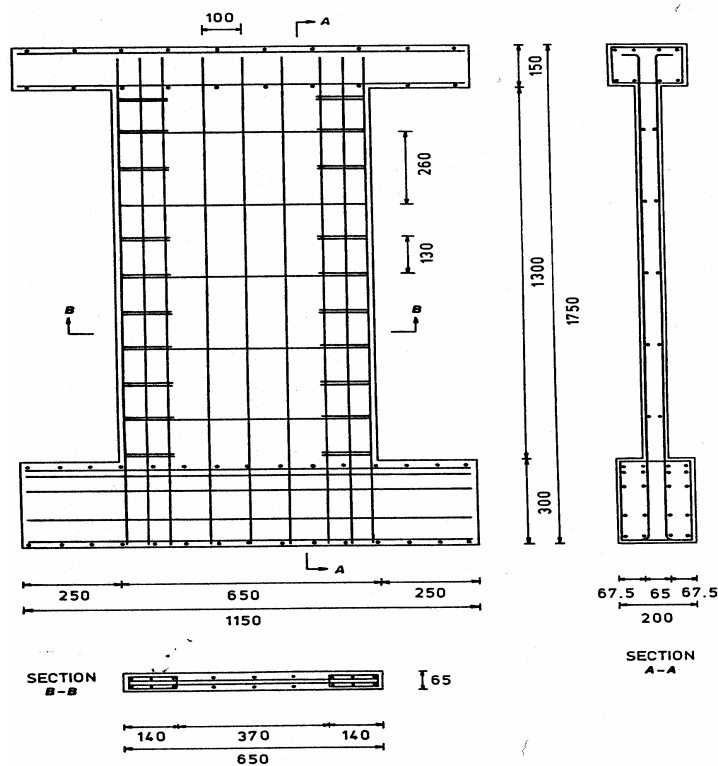
Στο δικτύωμα αυτό, το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό των δικτυωμάτων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της λειτουργίας κάθε ραβδόμορφου φορέα, η θλιβόμενη ζώνη και ο διαμήκης εφελκόμενος οπλισμός της δοκού θεωρούνται ότι σχηματίζουν τους διαμήκεις θλιπτήρες και ελκυστήρες αντίστοιχα, του δικτυώματος, με τους συνδετήρες να αποτελούν τους εγκάρσιους ελκυστήρες, ενώ το ρηγματωμένο σκυρόδεμα του κορμού της δοκού θεωρείται ότι επιτρέπει το σχηματισμό διαγωνίων θλιπτήρων. Στη σχηματική παράσταση του δικτυώματος του σχήματος 1 έχει υποθεθεί ότι ο κάθε εγκάρσιος ελκυστήρας είναι ισοδύναμος με το σύνολο των συνδετήρων της δοκού που είναι τοποθετημένοι σε μήκος $z/2$ εκατέρωθεν των διατομών που αντιστοιχούν σε κόμβους του δικτυώματος, όπου z η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών εγκάρσιων ελκυστήρων.

Σύμφωνα με τους προγενέστερους κανονισμούς, οι οποίοι βασίζονταν στη λογική των επιτρεπόμενων τάσεων, ένα ραβδόμορφο δομικό στοιχείο σχεδιάζεται έτσι ώστε το φορτίο σχεδιασμού του να αντιστοιχεί στη πλέον κρίσιμη από τις επιτρεπόμενες δυνάμεις που μπορούν να αναληφθούν από τα στοιχεία του δικτυώματος, με την κρίσιμη επιτρεπόμενη δύναμη να αντιστοιχεί σε οποιοδήποτε από τα στοιχεία αυτά. Αντίθετα, οι νεότεροι κανονισμοί οι οποίοι βασίζονται στη λογική των οριακών καταστάσεων συμπεριφοράς επιβάλλουν το φορτίο σχεδιασμού να αντιστοιχεί στη φέρουσα ικανότητα του πλέον κρίσιμου διαμήκη θλιπτήρα, με τον αντίστοιχο διαμήκη ελκυστήρα (ο οποίος περιέχεται μεταξύ των ιδίων διαδοχικών εγκάρσιων ελκυστήρων με τον διαμήκη θλιπτήρα) να βρίσκεται σε κατάσταση διαρροής. Με τον τρόπο αυτό, σε αντίθεση με τους προγενέστερους κανονισμούς,

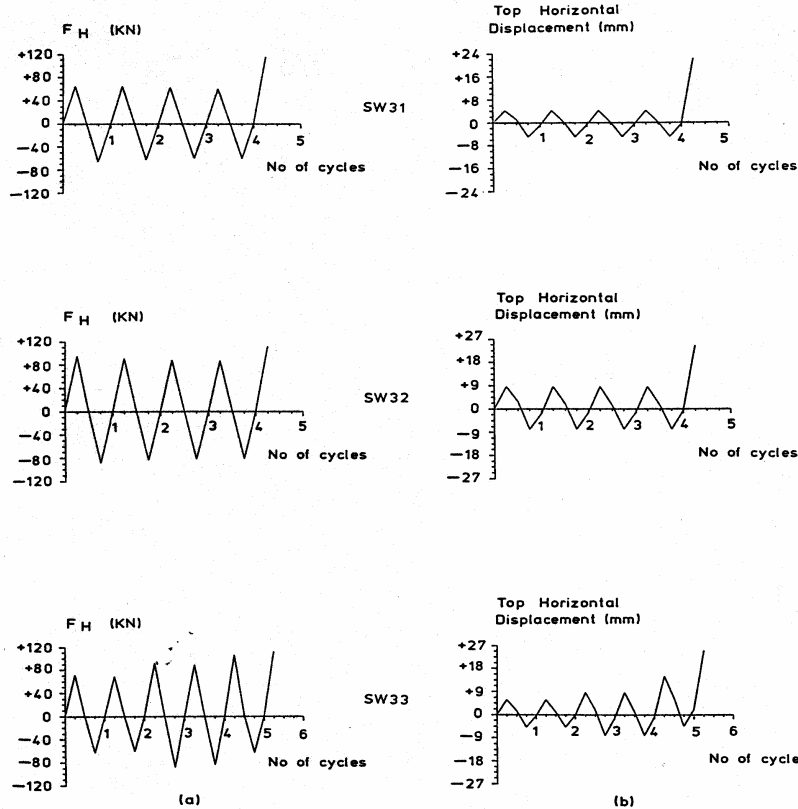
οι νεότεροι, αποκλείοντας την εξάντληση της φέρουσας ικανότητας του δικτυώματος λόγω αστοχίας των διαγωνίων θλιπτήρων ή των εγκάρσιων ελκυστήρων, η οποία οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία, εξασφαλίζουν πλαστική συμπεριφορά του ραβδόμορφου στοιχείου, για την οποία όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί προϋπόθεση η εξάντληση της φέρουσας ικανότητας του πλέον κρίσιμου διαμήκη θλιπτήρα, μετά όμως τη διαρροή του διαμήκη ελκυστήρα ο οποίος περιέχεται μεταξύ των δύο διαδοχικών εγκάρσιων ελκυστήρων μεταξύ των οποίων περιέχεται και ο διαμήκης θλιπτήρας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

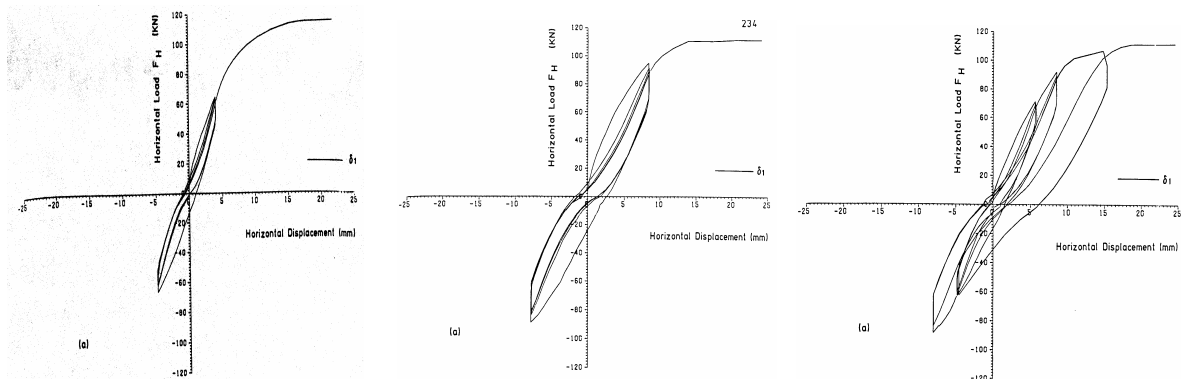
Στο σχήμα 2 φαίνεται ένα τοιχείο το οποίο στο άνω και κάτω άκρο είναι συνδεδεμένο με δύο δοκάρια. Μέσω του κάτω δοκαριού το τοιχείο στερεώνεται στο δάπεδο έτσι ώστε να σχηματιστεί πάκτωση και μέσω του άνω ασκείται σε αυτό μια οριζόντια δύναμη [1].



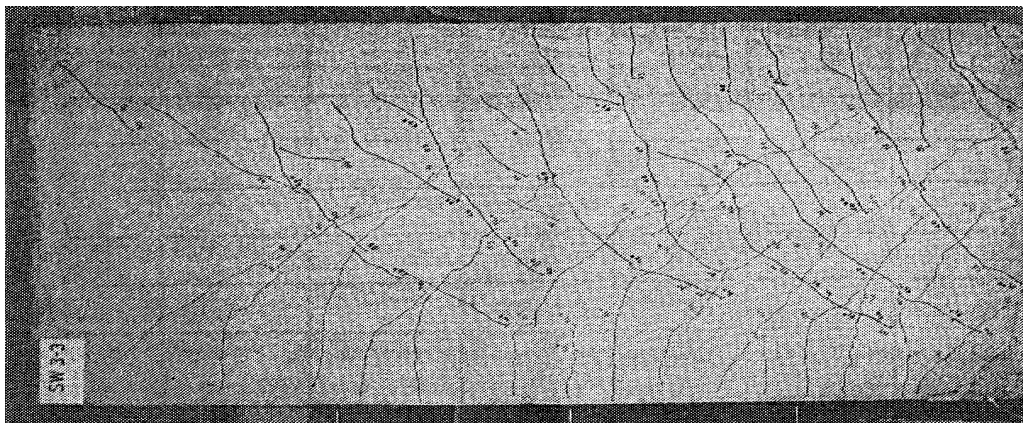
Το τοιχείο έχει οπλιστεί σύμφωνα με την λογική των οριακών καταστάσεων συμπεριφοράς. Το στοιχείο αυτό υποβάλλεται στη δράση των ανακυκλιζόμενων φορτίσεων όπως φαίνεται στα σχήματα 2.2, 2.3, 2.4. Σκοπός του πειράματος είναι να διερευνηθεί η συμπεριφορά των τοιχείων κάτω από διάφορες μορφές ανακυκλιζόμενων δυνάμεων.



Τα αποτελέσματα του πειράματος φαίνονται στα σχήματα τα οποία περιγράφουν την σχέση δύναμης-μετατόπισης στο στοιχείο. Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι μετά από ένα ορισμένο αριθμό ανακυκλίσεων η συμπεριφορά του στοιχείου είναι ελαστοπλαστική, όταν το φόρτιο αυξηθεί μέχρι αστοχίας.



Τέλος στο σχήμα φαίνεται ο τρόπος αστοχίας ο οποίος προκύπτει από την ανακυκλιζόμενη φόρτιση του σχ 2.3.



Παρατηρούμε από την μορφή της ρηγματώσης του δοκιμίου ότι όπως αναμενόταν από τον τρόπο σχεδιασμού ότι η αστοχία ήταν καμπτική και πλάστιμη στο πακτωμένο άκρο. (Δεξίο μέρος της εικόνας). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, θα πρέπει να αναμένεται και τα κατακόρυφα στοιχεία των κατασκευών που υπόκεινται σε σεισμική δράση να αστοχούν με τον ίδιο τρόπο.

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

1) ΜΕ ΚΑΚΟΤΕΧΝΙΕΣ ΚΑΙ ΣΟΒΑΡΕΣ ΠΑΡΑΛΗΨΕΙΣ

Στις περιοχές που επλήγησαν από τον σεισμό παρατηρήθηκε ότι μόνο σε αυτή την κατηγορία κτιρίων υπήρξαν καταρρεύσεις. Οι καταρρεύσεις αυτές οφείλονται σε ποικίλους λόγους, που έχουν να κάνουν με κατασκευαστικές αμέλειες και ευρεσυτεχνίες, μερικοί από τους οποίους αναφέρονται ενδεικτικά.

- Έλλειψη εγκάρσιου οπλισμού (συνδετήρες)

Παρατηρήθηκε είτε απουσία εγκάρσιου οπλισμού είτε ανεπάρκεια για τον σχηματισμό ενός στερεού κλωβού οπλισμού. Τυπικά παραδείγματα αστοχιών τέτοιου τύπου φαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες από την περιοχή του Παλαιού Μενιδίου Αττικής. Σε αυτές διακρίνονται καθαρά μεγάλα μήκη διαμήκη οπλισμών χωρίς συνδετήρες. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η αδυναμία του στοιχείου να παραλάβει την τέμνουσα δύναμη και τελικά να αστοχήσει ψαθυρά.



Κακή σκυροδέτηση και ποιότητα σκυροδέματος

Στα δομικά στοιχεία παρατηρήθηκε ότι το σκυρόδεμα είχε μεγάλα κενά και σε πολλές περιπτώσεις δεν ήταν σε επαφή με τον οπλισμό. Επίσης πολλές φορές το σκυρόδεμα είχε στο εσωτερικό του ξένα σώματα όπως αφρολέξ, τούβλα κ.α. Τέλος σε στοιχεία που είχαν αστοχήσει παρατηρήθηκε ότι το σκυρόδεμα έχει θρηματοποιηθεί, γεγονός που υποδηλώνει την κακή ποιότητα ή την χαμηλή αντοχή του σκυροδέματος. Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνονται παραδείγματα τετοιών κατασκευών.



- Εσφαλμένη τοποθέτηση υδραυλικών και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρήθηκε ότι οι υδροροές ήταν ενσωματωμένες στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία. Επίσης οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις διέρχονταν μέσα από τους οπλισμούς των δοκών και των υποστυλωμάτων.





Όπως φαίνεται από την κατάσταση των στοιχείων τα αποτελέσματα των κακοτεχνιών αυτών ήταν καταστροφικά και πολλές φορές οδήγησαν στην κατάρρευση της κατασκευής.

- Έλλειψη μονολιθικότητας στις περιοχές των κόμβων.

Σε μερικές περιπτώσεις παρατηρήθηκε έλλειψη επαρκούς αγκύρωσης των στοιχείων



2)ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΧΩΡΙΣ ΚΑΚΟΤΕΧΝΙΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι κατασκευές που δεν έχουν τα χαρακτηριστικά της προηγούμενης ενότητας. Οι κατασκευές αυτές φαίνεται να έχουν σχεδιασθεί σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς της εποχής ανέγερσης τους. Ο αντισεισμικός σχεδιασμός άρχισε να εφαρμόζεται από τα μέσα της δεκαετίας το '50. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '80 οι κανονισμοί που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονταν στη λογική των επιτρεπόμενων τάσεων και θα αναφέρονται ως παλαιοί κανονισμοί, ενώ οι νεότεροι που άρχισαν να εφαρμόζονται από τα μέσα της ίδιας δεκαετίας και έπειτα, βασίζονται στη λογική των οριακών καταστάσεων (βλέπε ενότητα 1). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στις κατασκευές που σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές είτε των παλαιών είτε των νεότερων κανονισμών δεν παρατηρήθηκε καμία κατάρρευση.

Οι βλάβες που παρατηρήθηκαν είναι κυρίως στα κατακόρυφα στοιχεία των χαμηλοτέρων ορόφων κυρίως του ισόγειου. Επισημαίνεται ότι οι συντριπτική πλειοψηφία των βλαβών είναι επισκευάσιμες. Κοινά χαρακτηριστικά κτιρίων που τα στοιχεία τους υπέστησαν βλάβες είναι η ασύμμετρη κατανομή της δυσκαμψίας σε κάτοψη (πχ έκκεντρη τοποθέτηση κλίμακας) και η ύπαρξη πυλωτής.



Στη φωτογραφία φαίνεται χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας κατασκευής. Παρατηρούμε ότι στο δεξί μισό έχουν συγκεντρωθεί δύσκαμτα στοιχεία κατά τον ένα άξονα ενώ στο αριστερό μισό δύσκαμτα κατά τον άλλο.

Στις φωτογραφίες Φ(1,2) βλέπουμε δυο τοιχεία στο ισόγειο κατοικίας στο Καστρί. Η κατοικία έχει πυλωτή καθώς και ασύμμετρη κατανομή δυσκαμψιών σε κάτοψη. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούμε ότι τα στοιχεία έχουν αστοχήσει σε διάτμηση περί την μέση τους. Η κατασκευή λόγω της κατανομής των συνδετήρων φαίνεται να είναι σχεδιασμένη με τους παλαιούς κανονισμούς. Το γεγονός αυτό όμως δεν μπορεί να αποτελέσει αίτιο αστοχίας του στοιχείου αφού αυτό έχει αστοχήσει περί την μέση, η οποία δεν θεωρείται από τους νέους κανονισμούς ως κρίσιμη περιοχή.



Φ1



Φ2

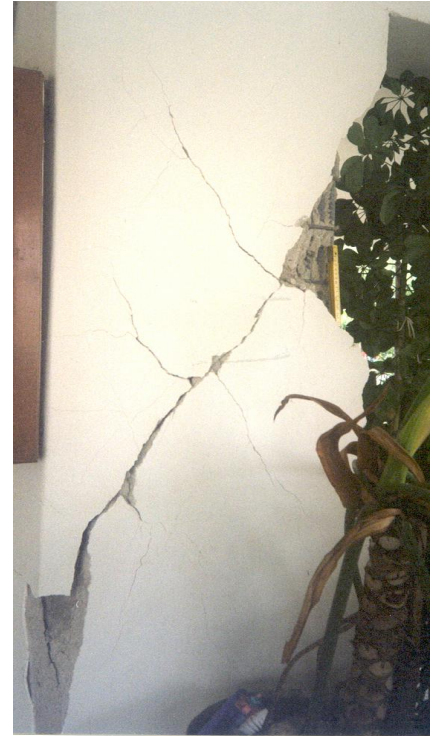
Στις Φ(3,4,5) βλέπουμε υποστηλώματα από κατασκευές σχεδιασμένες με τους νέους κανονισμούς. Η κατανομή των συνδετήρων είναι αρκετά πυκνή λιγότερη από 20 εκ. Το γεγονός όμως αυτό δεν απέτρεψε την αστοχία. Παρατηρούμε επίσης ότι η διατμητική αστοχία έχει συμβεί πάλι στη μέση.



Φ.3
Άνω λίσσια
Παρνασού&Αταλαντις



Φ.4
Άνω λίσσια
Οδός Παπαναστασίου



Φ.5
Άνω λίσσια
Σωτήρη Πετουλα

Στη συνέχεια παρατίθεται φωτογραφικό υλικό από στοιχεία κατοικιών σε περιοχές της Αθήνας που έπληξε ο σεισμός με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.



Φ.6 Μεταμόρφωση
Οδός Ψυχάρη



Φ.7 Μεταμόρφωση
Οδός Ψυχάρη



Φ.8 Μεταμόρφωση
Οδός Ψυχάρη



Φ.9 Τατοίου 248
Εργοστάσιο Μιχαλίδη



Φ.10 Τατοίου 248
Εργοστάσιο Μιχαλίδη



Φ.11 Τατοίου 248
Εργοστάσιο Μιχαλίδη



Φ.12, Φ.13
Θρακομακεδόνες
Ροδόπης 17



Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης οι κατασκευές με κοντά υποστηλώματα..Αυτά έχουν απολέσει πλήρως την φέρουσα ικανότητα τους(Φ.14,15,16)



Φ.14 Θρακομακεδόνες



Φ.15 Θρακομακεδόνες



Φ.16 θρακομακεδόνες

Παρατηρούμε ότι παρά την πυκνή κατανομή των συνδετήρων δεν αποφεύχθηκε η αστοχία(ισχυρή διατμητική αστοχία περί την μέση).

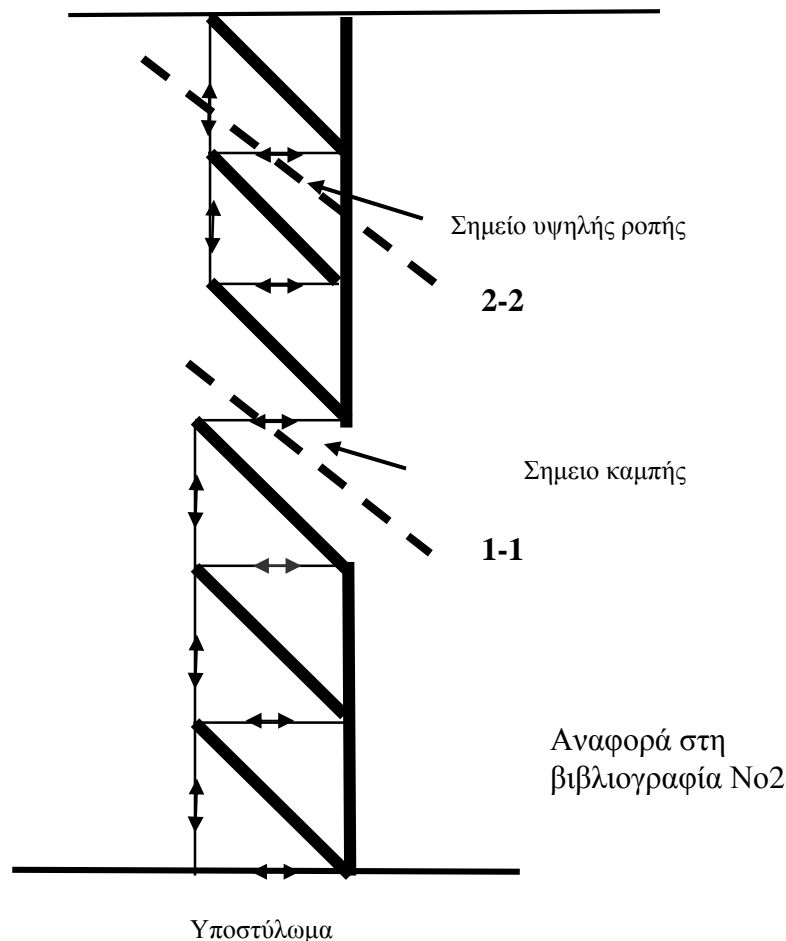
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο δεν εξετάζονται οι κατασκευές με κακοτεχνίες γιατί από αυτές δεν μπορούν να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα. Όσον αφορά τις υπόλοιπες, σοβαρές βλάβες παρουσιάστηκαν σε αυτές με τα εξής χαρακτηριστικά

- Ύπαρξη πυλωτής(φαινόμενο μαλακού ορόφου).Στις περιπτώσεις των κατασκευών αυτών παρουσιάστηκαν μεγάλες μετατοπίσεις στην εύκαμπτη βάση σε σχέση με το δύσκαμπτο άνω μέρος .Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να επιβαρυνθούν περισσότερο τα κατακόρυφα στοιχεία του ισογείου αφού αυτά απορρόφησαν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής ενέργειας
- Ασύμμετρη κατανομή δυσκαμψιών σε κάτοψη. Αυτή, όταν υπήρχε είχε ως αποτέλεσμα ,λόγω της μετατόπισης του κέντρου ακαμψίας, ο φορέας να υποβάλλεται σε σεισμική στρωφική απόκριση και να επιβαρύνει κυρίως τα κατακόρυφα στοιχεία του
- Δημιουργία κοντών υποστηλωμάτων(φεγγίτης).Τα υποστηλώματα αυτά έχουν σχεδιασθεί με μεγαλύτερο ελεύθερο μήκος από το ενεργό και συνεπώς μικρότερη τέμνουσα δύναμη.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΙΤΙΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Από τις μορφές αστοχίας που είδαμε στη προηγούμενη ενότητα φαίνεται ότι αυτή είναι ψαθυρή και έχει συμβεί περί το μέσο των κατακόρυφων στοιχείων ακόμα και σε κατασκευές που έχουν μελετηθεί για πλάστιμη συμπεριφορά. Οι νεότεροι κανονισμοί ορίζουν ως κρίσιμες περιοχές τα άκρα αφού εκεί υπάρχει συνδιασμός ισχυρής ροπής και τέμνουσας. Φαίνεται όμως, από τα αποτελέσματα του σεισμού, ότι όσον αφορά τα υποστυλώματα αυτά αστοχούν περί την μέση τους πριν εξαντλήσουν την αντοχή τους στις κρίσιμες περιοχές. Ενδεχομένως αυτή η περιοχή να σχετίζεται με το σημείο καμπής, την έλλειψη θλιβόμενης ζώνης και τη μορφή του δικτυώματος εκεί. (βλ. Σχήμα) Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το προσομοίωμα του δικτυώματος ενός υποστυλώματος. Παρατηρούμε ότι στη περιοχή μηδενικής ροπής υπάρχει μόνο ένας εγκάρσιος ελκυστήρας ο οποίος αποτελεί την σύνδεση των δύο δικτυωμάτων που περιγράφουν το υπόλοιπο τμήμα του υποστυλώματος. Αν κάνουμε μια τομή 1-1 στο σημείο καμπής φαίνεται από το σχήμα ότι αυτή διαφέρει από την τομή 2-2 γιατί δεν υπάρχει θλιβόμενη ζώνη. Επομένως το VRD1 στη τομή 1-1 ενδεχομένως να μην είναι το ίδιο με αυτό της τομής 2-2. Πιθανώς να χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση της αντοχής του δοκιμίου στη περιοχή του σημείου καμπής. Πειραματικές διατάξεις όπως αυτές που περιγράφηκαν στην ενότητα 2 πιθανώς να είναι αναποτελεσματικές αφού στα υποστυλώματα δεν δημιουργείται σημείο καμπής και αυτά αστοχούν πλάστιμά.



Συμπερασματικά εκτιμούμε ότι επιβάλλεται να σχεδιάζουμε τα κατακόρυφα στοιχεία με μια ισχυρή μέση ώστε η αστοχία όταν συμβαίνει σε αυτά να οφείλεται στην εξάντληση της καμπτικής αντοχής των άκρων και να είναι πλάστιμη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. LEFAS L.D AND KOTSOVOS M.D. "STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF R.C.WALLS UNDER LOAD REVERSALS" ACI STRUCTURAL JOYRNAL, VOL. 87, NO.6,NOV.-DEC. 1990, PP 716-726
2. KOTSOVOS M.D. AND PAVLOVIC M.N. "ULTIMATE LIMIT-STATE DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES. A NEW APPROACH". THOMAS TELFORD (LONDON),1999,164 PP.

