

ΚΟΜΒΟΙ ΔΟΚΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ:

ΕΡΓΑΣΙΑ Νο 26

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ, ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ, ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΑΡΧΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.

ΣΑΛΛΑΣ ΙΩΣΗΦ

Περίληψη

«Κάθε ρηγματώση κόμβου, έστω και πολύ μικρού ανοίγματος ρωγμών, εξετάζεται ως επικίνδυνη και αντιμετωπίζεται ως σοβαρότερη βλάβη σε σύγκριση με άλλα δομικά στοιχεία που παρουσιάζουν την ίδια εικόνα ρηγματώσης. Στην βαθμονόμηση των βλαβών, οι βλάβες στους κόμβους είναι κατά μια κατηγορία υψηλότερη από αυτήν που αντιστοιχεί σε υποστυλώματα με την ίδια εικόνα (εύρος, κατεύθυνση κτλ) ρηγματώσης» [1]

Με ένασμα τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστούν όλες οι σύγχρονες μέθοδοι αποκατάστασης των ευπαθών αυτών σημείων των κατασκευών, καθώς και η συμπεριφορά τους σε ανακυκλιζόμενη ένταση όπως είναι η σεισμική. Πρέπει να αναφέρουμε ότι η κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς των κόμβων από οπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιασμένων για σεισμικές δράσεις, είναι ιδιαίτερα περίπλοκη ακόμη και για την αρχική φόρτιση και οι απαιτήσεις από αυτές τις μικρές και κρίσιμες περιοχές είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Η ανταπόκριση των κόμβων στις εισαγόμενες τέμνουσες δυνάμεις και ροπές (κατά τον σεισμό σχεδιασμού) θα πρέπει δηλαδή να είναι όσο το δυνατό χωρίς βλάβες, απόλυτα ελαστική ώστε να μπορέσουν στα πλαίσια του ικανοτικού σχεδιασμού να αναπτυχθούν οι προβλεπόμενες από τον σχεδιασμό πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών που ενώνονται σ'αυτούς. Σε κατασκευές οι οποίες έχουν ήδη βλάβες σε κόμβους θα πρέπει ο σχεδιασμός της αποκατάστασης να στοχεύει και στην αποκατάσταση της πλαστιμότητας πέρα από την αύξηση της αντοχής τους.

Λόγω των τελευταίων καταστροφικών σεισμών στον Ελληνικό χώρο και των βλαβών που αυτοί προκάλεσαν στις κατασκευές, εφαρμόστηκαν διάφορες τεχνικές επισκευής – ενίσχυσης και με την εργασία αυτή γίνεται επίσης μια αναφορά στην αποδοτικότητα αυτών των μεθόδων. Επισημαίνεται επίσης το γεγονός ότι για τις μεθόδους αυτές και τα αποτελέσματά τους δεν υπάρχει επαρκής πειραματική τεκμηρίωση χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν εφαρμόστηκαν επιτυχώς. Η διερεύνηση των διαφόρων μεθόδων επισκευής – ενίσχυσης παρουσιάζει μεγάλο κοινωνικό και οικονομικό ενδιαφέρον και η έρευνα σ' αυτόν τον τομέα θα δώσει ποσοτικά κριτήρια και ειδικούς κανονισμούς στους μηχανικούς εφαρμογής: εργαλεία χρήσιμα για ορθολογικές λύσεις των εκάστοτε προβλημάτων που καλούνται να αντιμετωπίσουν. Θα πρέπει τέλος να σημειώσουμε ότι για την επιτυχία μίας μεθόδου επισκευής δεν αρκεί μόνο η άρτια γνώση του αντικείμενου αλλά και η εμπειρία του εργατικού προσωπικού, η σωστή επίβλεψη και ο συνεχής έλεγχος στο εργοτάξιο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός των κόμβων δεν αποτελεί μέχρι και σήμερα αντικείμενο μελέτης της τοπικής έντασης (η οποία κατά τη διάρκεια της σεισμικής δράσης είναι κατά πολλές φορές μεγαλύτερη απ' ότι στις γειτονικές δοκούς και υποστυλώματα) και σε συνδυασμό με τον ψαθυρό τρόπο αστοχίας τους, έχουν σε πολλές περιπτώσεις οδηγήσει σε μερική ή και ολοκληρωτική κατάρρευση κατασκευών με σοβαρές κοινωνικο – οικονομικές συνέπειες.

Οι παλιότερες αντιλήψεις και κανονισμοί θεωρούσαν αρκετό να εξασφαλιστούν τα στοιχεία που συνέτρεχαν στους κόμβους χωρίς να δίνουν ιδιαίτερες οδηγίες για τον σχεδιασμό των ιδίων. Τα τελευταία χρόνια όμως έχει αναγνωριστεί η μεγάλη επιρροή της συμπεριφοράς των

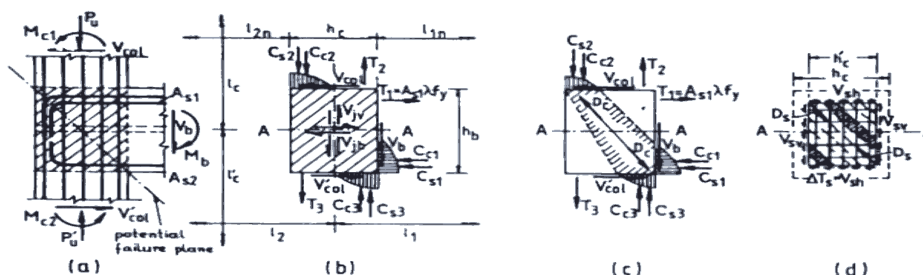
κόμβων στη σεισμική απόκριση των κατασκευών καθώς στα σημεία αυτά έχουμε απότομη μείωση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας [2].

2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ – ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Λόγω της ελλιπούς διερεύνησης των παραγόντων που επηρεάζουν την σεισμική απόκριση των κόμβων δεν υπάρχει μέχρι σήμερα ένα κοινά παραδεκτό μοντέλο λειτουργίας με άμεση συνέπεια οι ισχύοντες σύγχρονοι κανονισμοί να αντιμετωπίζουν διαφορετικά το θέμα, με διαφορές σε βασικούς παράγοντες σχεδιασμού όπως:

- το μέγεθος των διατμητικών τάσεων
- το ποσοστό των συνδετήρων στην περιοχή του κόμβου
- το μήκος αγκύρωσης των διαμήκων οπλισμών δοκών και υποστυλωμάτων μέσα στον κόμβο
- ο ικανοτικός σχεδιασμός
- ο οπλισμός για την παραλαβή της κατακόρυφης τέμνουσας [2].

Ο Ευρωκώδικας 8 και ο NZS 3101:82 καθώς και ο Model Code 85 βασίζουν τον προτεινόμενο απ' αυτούς ημιεμπειρικό υπολογισμό των κόμβων των αντισεισμικών κατασκευών στη θεωρία των Park & Paulay, σύμφωνα με την οποία οι τέμνουσες του κόμβου (οριζόντια και κατακόρυφη) παραλαμβάνονται μερικώς από τον διαγώνιο θλιπτήρα του σκυροδέματος και μερικώς από τον διατμητικό οπλισμό (σχ.1).



Σχ. 1 (α)Εξωτερικός κόμβος, (β)Διάγραμμα ελεύθερου σώματος κόμβου, (γ)Μηχανισμός διαγώνιου θλιπτήρα, (δ)Μηχανισμός δικτυώματος

Οι ανωτέρω κανονισμοί επιβάλλουν ανεξάρτητο υπολογισμό της οριζόντιας και κατακόρυφης τέμνουσας, διατηρούν την οριζόντια σε χαμηλά επίπεδα ενώ ο διατμητικός οπλισμός του κόμβου υπολογίζεται ώστε να παραλαμβάνει τις παραπάνω τέμνουσες.

Ο Αμερικάνικος κανονισμός ACI 318-89 και οι συστάσεις της επιτροπής ACI – ASCE 352 αντιμετωπίζουν το πρόβλημα του σχεδιασμού με εμπειρικό τρόπο χωρίς να στηρίζουν τους υπολογισμούς τους σε θεωρητικά μοντέλα. Στους κανονισμούς αυτούς πραγματοποιείται μεγαλύτερη μείωση των οριζόντιων διατμητικών τάσεων, τοποθετείται οριζόντιος οπλισμός κόμβου (κλειστοί συνδετήρες, σιγμοειδείς οπλισμοί) μόνο για την περίσφιξη του πυρήνα και όχι για την παραλαβή της τέμνουσας, ενώ δεν απαιτείται κατακόρυφος διατμητικός οπλισμός [3].

Τέλος σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ) «οι εγκάρσιοι οπλισμοί των άκρων των υποστυλωμάτων (με ή χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας) πρέπει να συνεχίζουν και στην περιοχή των κόμβων με την ίδια διάταξη και τις ίδιες αποστάσεις»[4]

3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΜΒΩΝ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.

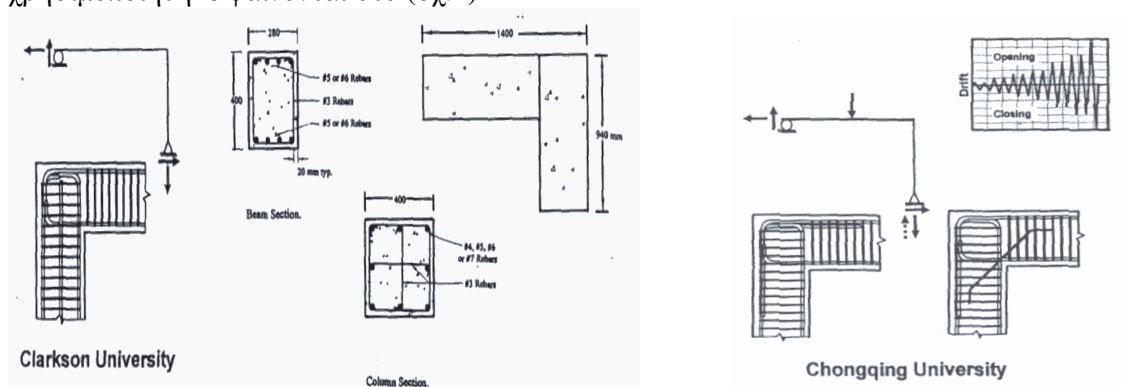
Οι κύριες παράμετροι αντισεισμικού σχεδιασμού εσωτερικών και εξωτερικών κόμβων πλαισίων είναι η περίσφιξη του σκυροδέματος στην περιοχή του κόμβου και η αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών, αφού αυτές προσδιορίζουν τις επιτρεπόμενες διατμητικές τάσεις σχεδιασμού για το αντίστοιχο τμήμα του υποστυλώματος.

Μια προσπάθεια για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των παραμέτρων σχεδιασμού έγινε από την Πανταζοπούλου Σ. Αναπλ. Καθηγ. ΔΠΘ μέσω της συσχέτισης αναλυτικών και πειραματικών αποτελεσμάτων (πιν.1)

Πίνακας 1: Συμβολή των Επιμέρους Μηχανισμών Παραμορφώσεως στην Συνολική Μετακίνηση του Κόμβου (κάθε στήλη αθροίζει 100%)

Πηγή:	Πείραμα			Ανάλυση (standard anchor.)			Ανάλυση (extended anchorage)		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%	1%	2%	3%
Στροφή:	1%	2%	3%	1%	2%	3%	1%	2%	3%
Διάτμηση κόμβου	13%	10%	10%	10%	9%	5%	15%	23%	23%
Ολίσθηση οπλισμού υποστ.	17%	27%	30%	20%	26%	30%	15%	20%	20%
Ολίσθηση οπλισμού δοκού	30%	35%	45%	28%	44%	65%	30%	24%	21%
Κάμψη υποστ.	14%	10%	6%	13%	7%	-	13%	10%	8%
Κάμψη δοκού	26%	18%	9%	29%	13%	-	27%	23%	28%

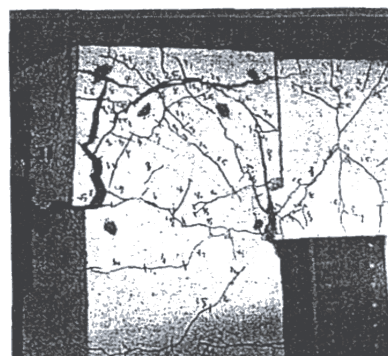
Τα τυπικά χαρακτηριστικά των δοκιμών και της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε φαίνονται στο (σχ.2)



(σχ.2)

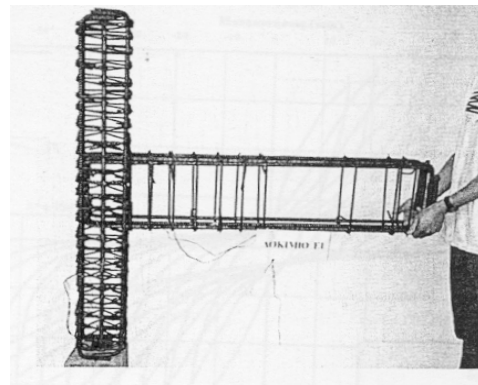
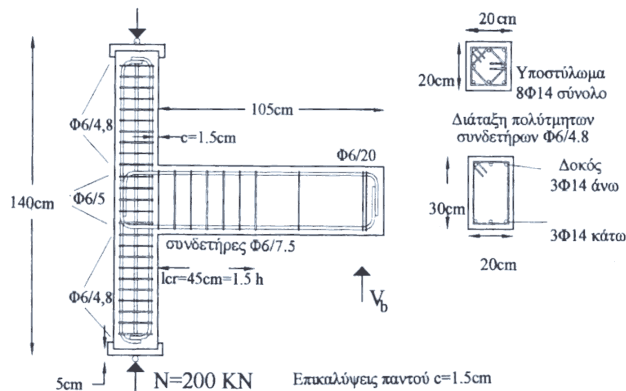
Στο σχ.3 φαίνεται τυπική μορφή ρηγματώσης από αστοχία του μηχανισμού συνάφειας κατά μήκος της αγκύρωσης του κύριου οπλισμού, με εκτίναξη του σκυροδέματος στην εξωτερική γωνία του κόμβου κατά τη δράση θετικής ροπής (δηλαδή ροπής που εφελκύει την εσωτερική παρειά δοκού – υποστυλώματος).

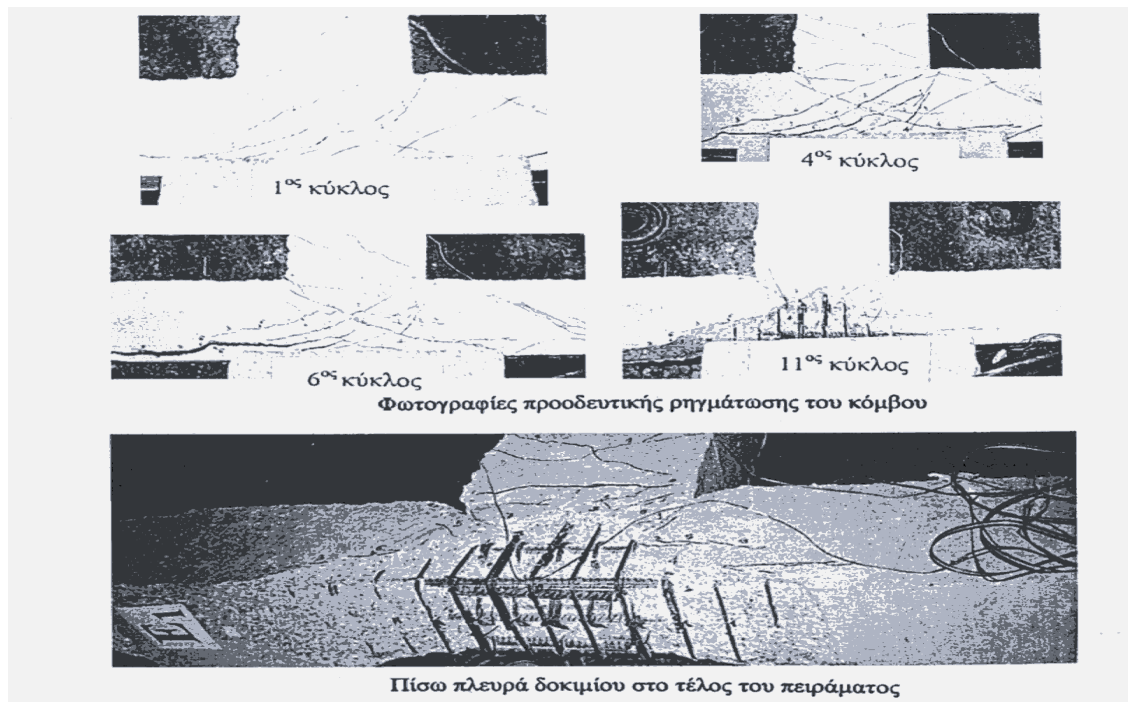
(Σχ.3)



Στα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από την παραπάνω έρευνα έχει ενδιαφέρον ότι για γωνιακούς κόμβους πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα και την εξασφάλιση ικανοποιητικής αντισεισμικής συμπεριφοράς τους, είναι απαραίτητη η χρήση συνδετήρων ως οπλισμός διάτμησης στην οριζόντια διεύθυνση καθώς και στην κατακόρυφη (με κατακόρυφους συνδετήρες σχήματος Π) ώστε να περικλείονται οι διαμήκεις οπλισμοί της δοκού απαραίτητα μέσα σε συνδετήρες για την βελτίωση της συμπεριφοράς των αγκυρώσεων και μείωση των συνεπειών απόσχισης της επικάλυψης [6].

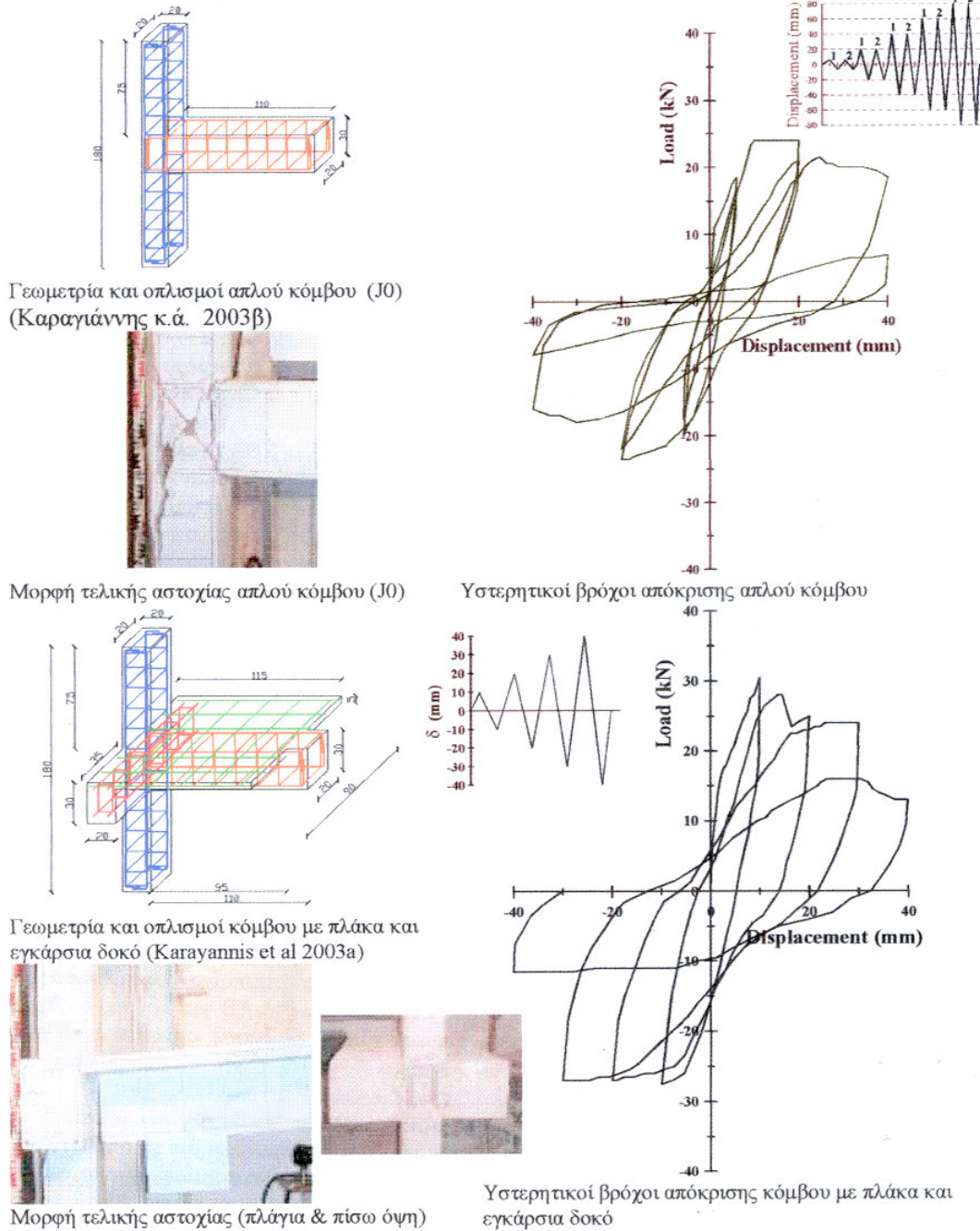
Πειραματική έρευνα από τον Α. Γ. Τσώνο Επικ. Καθηγ. ΑΠΘ κατά οποία έγινε προσπάθεια ανάλυσης της σεισμικής συμπεριφοράς δοκιμίου εξωτερικού κόμβου σχεδιασμένου σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 8 και 2 κατέληξε σε παρατηρήσεις οι οποίες έρχονται σε αντίθεση με τα αναμενόμενα, καθώς η αστοχία του δοκιμίου επικεντρώθηκε στην περιοχή του κόμβου, μη αγγίζοντας καθόλου τη δοκό τη στιγμή που οι παραπάνω κανονισμοί επιτάσσουν τον σχηματισμό πλαστικής άρθρωσης στη δοκό με τα υπόλοιπα στοιχεία να παραμένουν ανέπαφα (σχ.4) [6].





Στις παραπάνω περίπου παρατηρήσεις κατέληξαν και μια σειρά πειραμάτων που έγιναν από τον Χ. Καραγιάννη Καθηγητή Α.Π.Θ.

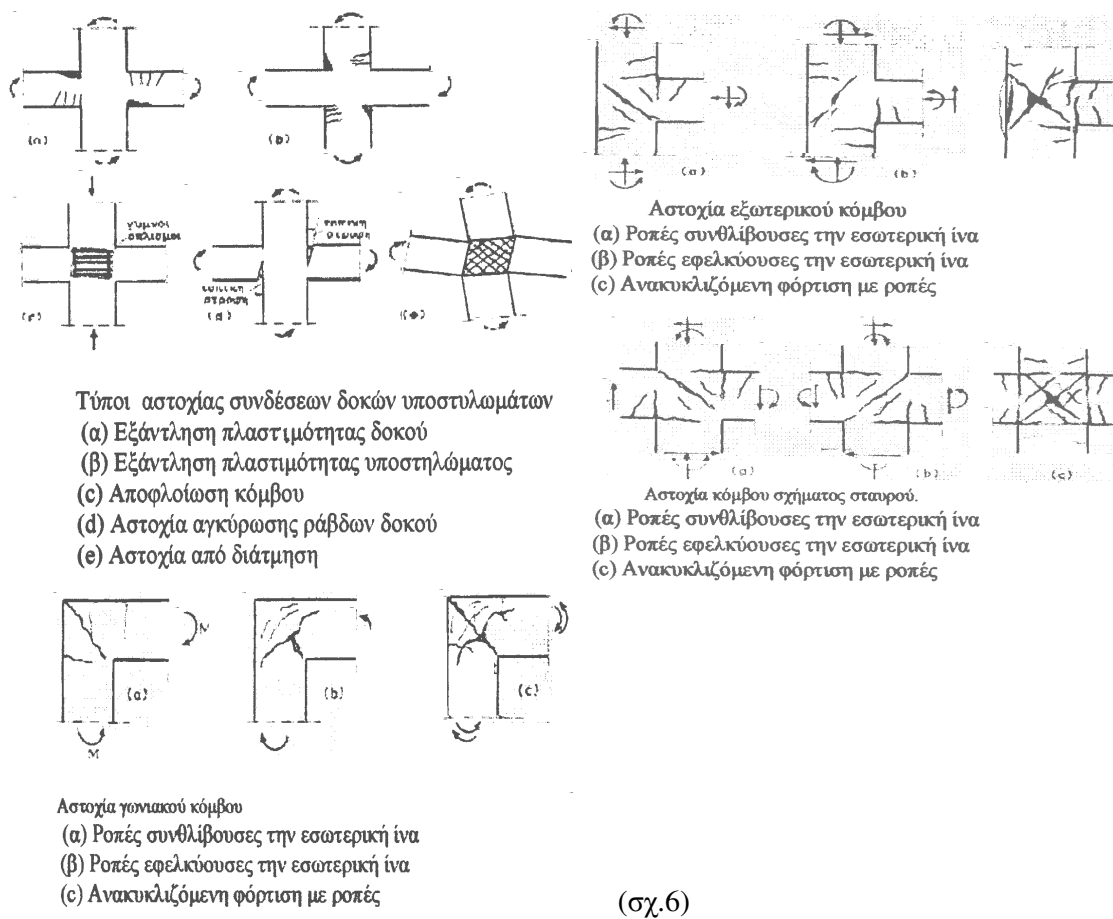
Στις συνθήκες όμως κατασκευές της πράξης, στους κόμβους συντρέχουν ακόμη εγκάρσιες δοκοί και πλάκα και τα αποτελέσματα των πειραμάτων για την επιρροή τους έδειξαν ότι η εγκάρσια δοκός δημιουργεί συνθήκες ψευδοπερίσφιξης στον κόμβο με ευεργετικά αποτελέσματα τα οποία φαίνονται και στην βελτιωμένη υστερητική συμπεριφορά του (σχ.5). Επίσης η επιρροή των οπλισμών της πλάκας εξαρτάται από το μέγεθός τους και από το πραγματικό συνεργαζόμενο πλάτος. Αυτή η επιρροή όμως δεν είναι σημαντική όταν οι οπλισμοί διαρρέυσουν και θραυτούν [2].



(σχ.5)

4. ΒΛΑΒΕΣ, ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.

Έχει ήδη αναφερθεί η κρισιμότητα των βλαβών των κατασκευών στους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων ακόμη και κατά την πρώτη φάση εκδήλωσής τους γιατί υποβαθμίζεται η ακαμψία του οργανισμού και οδηγεί σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές της έντασης. Παρακάτω φαίνονται διάφοροι τρόποι αστοχίας κόμβων καθώς και οι λόγοι που τις προκάλεσαν (σχ.6)



(σχ.6)

Κατά γενική ομολογία όλες σχεδόν οι τεχνικές επεμβάσεων σε κόμβους παρουσιάζουν δυσκολίες εφαρμογής σε κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος λόγω της παρουσίας εκεί συντρεχουσών πλακών και δοκών από κάθε κατεύθυνση.

Οι τεχνικές επισκευής ή ενίσχυσης κόμβων που εφαρμόζονται διεθνώς ανάλογα με τον βαθμό της βλάβης παρουσιάζονται παρακάτω εν συντομία (και σε επόμενη παράγραφο η κάθε μία διεξοδικά) :

1. Επισκευή με ρητινενέσεις
2. Τοπική ενίσχυση με μερική καθαίρεση και αποκατάσταση.
3. Τοπική ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος
4. Περίσφιξη του κόμβου (με χιαστή προεντεταμένα κολάρα)
5. Επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων
6. Ενίσχυση με σύνθετα υλικά (FRP)

4.1 Επισκευή με ρητινενέσεις

Η επισκευή των κόμβων με τη χρήση ρητινών έχει σε σχέση με τις άλλες, το βασικό πλεονέκτημα ότι με αυτήν διατηρούνται οι παλιές διαστάσεις των στοιχείων και έτσι η εφαρμογή της είναι πιο εύκολη σε πραγματικές κατασκευές.

Η διαδικασία επισκευής που εφαρμόζεται περιλαμβάνει τις παρακάτω εργασίες:

* Επιφανειακή σφράγιση όλων των ορατών ρωγμών με παχιά στρώση από πάστα ρητίνης ώστε να εμποδίζεται η διαρροή προς τα έξω του λεπτόρρευστου ενέματος που θα ακολουθήσει και τοποθέτηση ειδικών ακροφυσίων για την έγχυσή του.

* Έγχυση λεπτόρρευστης ρητίνης (με ειδικό σκληρυντή) υπό πίεση μέσα στο σύστημα ρωγμών του κόμβου (μέχρι 0.1mm) μέχρι πληρώσεως.

Πειραματικά αποτελέσματα σε δοκίμια κόμβων οπλισμένου σκυροδέματος τα οποία επισκευάστηκαν με τη συγκεκριμένη μέθοδο κατέληξαν σύμφωνα με τον συγγραφέα (Καραγιάννης Χ, Χαλιορής Κ κ.α [7]) ότι η τεχνική που εφαρμόστηκε στα διαφορετικού οπλισμού δοκίμια δεν μεταβάλλει σημαντικά τον χαρακτήρα του τύπου αστοχίας του δοκιμίου, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από τον διατμητικό οπλισμό της περιοχής του κόμβου. Τα επισκευασμένα δοκίμια παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές μέγιστου φορτίου και υψηλότερες τιμές δυσκαμψίας κατά τους κύκλους φόρτισης όπως επίσης φαίνεται ότι αντέχουν και περισσότερους πλήρη κύκλους φόρτισης χωρίς σημαντική πτώση του μέγιστου φορτίου.

Στο πείραμα τα επισκευασμένα στοιχεία παρέμειναν αφόρτιστα για έξι (6) μέρες ώστε οι ρητίνες να αποκτήσουν το σύνολο της αντοχής τους [7].

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα τα οποία προέκυψαν μετά από έλεγχο των αντοχών τους (σχ.7).

Χαρακτηριστικά υλικών επισκευής (σε MPa)

Λεπτόρρευση ρητίνη ενέματος		Πάστα ρητίνης		Υψηλής αντοχής πάστα τσιμέντου		
Εφελκυστική αντοχή f_t	Θλιπτική αντοχή f_c	Εφελκυστική αντοχή f_{ft}	Θλιπτική αντοχή f_{fc}	Αντοχή σε καμπτικό εφελκυσμό $f_{cpt,ben}$	Θλιπτική αντοχή f_{cpc}	
				(10 days)	(7 days)	(16 days)
60.8	92.2	31.7	73.3	26.3	63.8	83.4

(σχ.7)

4.2 Τοπική ενίσχυση με μερική καθαίρεση και αποκατάσταση.

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε κόμβους με υψηλό βαθμό βλάβης, δηλαδή συντριβή του σκυροδέματος, διάρρηξη των συνδετήρων και λυγισμό των διαμήκων ράβδων οπλισμού. Στην περίπτωση αυτή καθαίρεται τοπικά το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα στον κόμβο και σε τμήματα των κρίσιμων περιοχών των στύλων και δοκών, τοποθετούνται με συγκόλληση νέοι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού σε όποιους έχει συμβεί λυγισμός, τοποθετούνται πρόσθετοι συνδετήρες και τελικώς αποκαθίσταται το καθαιρούμενο σκυρόδεμα με νέο [8].

Πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η και μετά την επισκευή διατήρηση των διατομών των δομικών στοιχείων.

4.3 Τοπική ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (τρίπλευρο)

Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντά κανείς ελάχιστες πειραματικές ερευνητικές εργασίες στις οποίες να εξετάζεται η συμπεριφορά σε σεισμό ενισχυμένων δοκιμίων δοκού – υποστύλωματος με χρήση μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος (οι οποίες μάλιστα αφορούν ολόπλευρους μανδύες σε όλο το ύψος του υποστύλωματος), σε αντίθεση με

την καθημερινή πράξη που ίσως να προϋποθέτει την ύπαρξη όμορου σε επαφή κτιρίου που κάνει απαγορευτική την παραπάνω τεχνική. Για το κενό αυτό της διεθνούς βιβλιογραφίας έγινε πειραματική έρευνα από τον Τσώνο Α. Επικ. Καθηγητή Α.Π.Θ. τα αποτελέσματα της οποίας καθώς και η τεχνική που ακολουθήθηκε αναλύονται παρακάτω:

Για τον σχεδιασμό των αρχικών δοκιμών αλλά και των ενισχυμένων χρησιμοποιήθηκαν οι συστάσεις της μικτής επιτροπής ACI – ASCE 352 σύμφωνα με τις οποίες έχουμε ικανοποιητική συμπεριφορά όταν ισχύουν τα παρακάτω (σχ.8):

α. Ο λόγος οριακών καμπτικών αντοχών υποστυλωμάτων δοκού M_R θα πρέπει να έχει τιμή μεγαλύτερη ή το πολύ ίση με 1.40.

β. Οι διατμητικές τάσεις στον κόμβο, που λαμβάνονται σύμφωνα με την Επιτροπή από την έκφραση $\tau = \gamma \sqrt{f'_c}$, θα πρέπει να έχουν χαμηλές τιμές. Έτσι, οι διατμητικές τάσεις για τη μορφή των κόμβων που μελετώνται θα πρέπει να είναι χαμηλότερες του $1.0 \sqrt{f'_c}$ MPa.

γ. Ο σπλισμός συνδετήρων στον κόμβο θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

$$A_{sh} = 0.3 \cdot \frac{s_h \cdot h^n \cdot f'_c}{f_{yh}} \cdot (A_g / A_c - 1)$$

$$A_{sh} \geq 0.09 \cdot \frac{s_h \cdot h^n \cdot f'_c}{f_{yh}}$$

όπου:

f'_c = θλιπτική αντοχή σκυροδέματος,

s_h = απόσταση συνδετήρων,

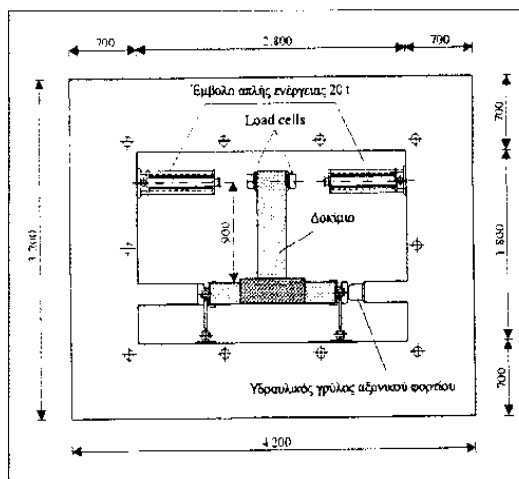
h^n = διάσταση της μεγαλύτερης πλευράς πυρήνος ορθογωνικού υποστυλώματος,

A_g = επιφάνεια διατομής υποστυλώματος,

A_c = επιφάνεια διατομής πυρήνος υποστυλώματος,

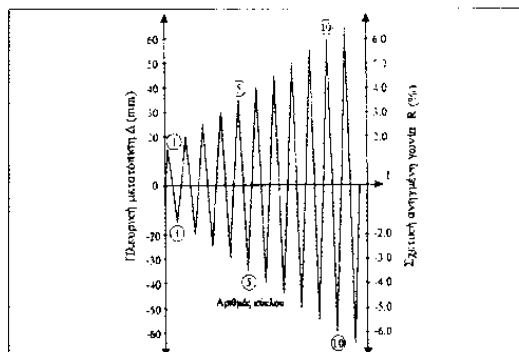
f_{yh} = όριο διαρροής σπλισμού συνδετήρων.

Οι ανωτέρω δύο συνθήκες δίδουν μία ελάχιστη απαίτηση σπλισμού συνδετήρων κόμβου $\varnothing 8/5cm$ για τα χρησιμοποιούμενα δοκίμια στην εργασία.



Γενική διάταξη συστήματος φόρτισης για έλεγχο σεισμικής συμπεριφοράς κόμβων των Εργαστηρίων Σεισμοστατικής του Α.Π.Θ.

Test setup of the Laboratory of Reinforced Concrete Structures at the School of Engineering of A.U.TH.



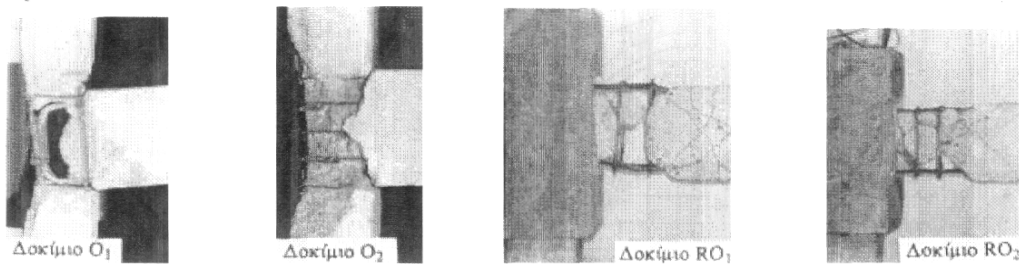
Ιστορία φόρτισης δοκιμίων.
Lateral displacement history.

(σχ.8)

Η εικόνα των βλαβών των δοκιμών μετά την υποβολή τους σε σεισμική καταπόνηση ήταν διαφορετική για το καθένα (γιατί ήταν στις προθέσεις του πειράματος αφού είχαν διαφορετικά ποσοστά σπλισμού) και κυμαινόταν από πλήρη απουσία του σκυροδέματος της περιοχής του κόμβου και μεγάλες παραμορφώσεις στους σπλισμούς στην περιοχή του κόμβου και στις κρίσιμες περιοχές, μέχρι αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος και έντονο λυγισμό των ράβδων σε όλη την περιοχή του κόμβου και των κρίσιμων περιοχών.

Ο υπολογισμός της τοπικής ενίσχυσης πραγματοποιήθηκε με τις συστάσεις για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κόμβων μονολιθικών κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα της Μικτής Επιτροπής ACI – ASCE 352 αλλά και με τις διατάξεις σχεδιασμού κόμβων του Ευροκώδικα 8.

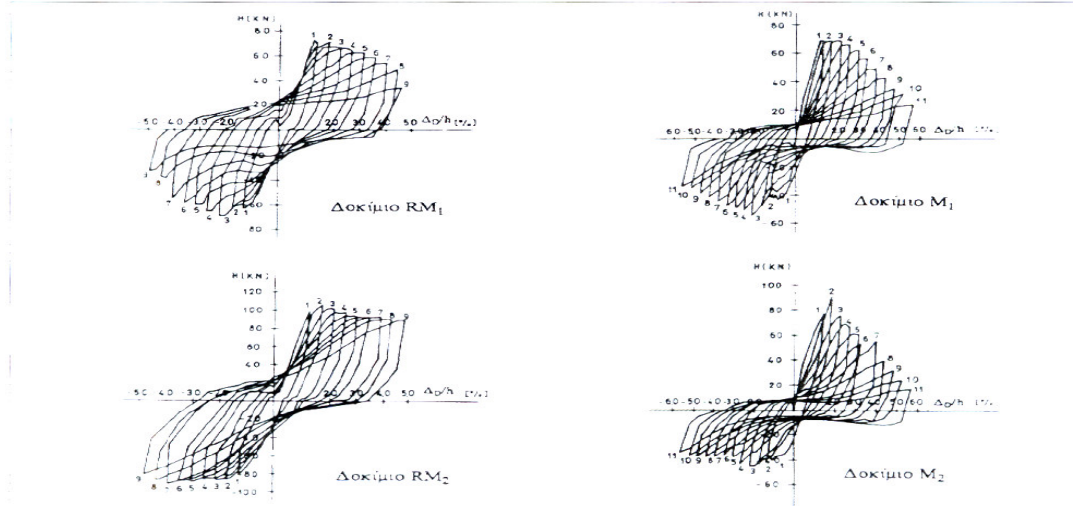
Η επισκευή των δοκιμίων έγινε με κατασκευή τοπικού τρίπλευρου μανδύα από ειδικό τσιμεντοκονίαμα υψηλής αντοχής (EMACO) και με χρήση πρόσθετου οπλισμού μανδύα οποίος ηλεκτροσυγκολλήθηκε στις παλαιές ράβδους. Επίσης τοποθετήθηκαν συνδετήρες από δύο τμήματα μορφής Π τα οποία ηλεκτροσυγκολλήθηκαν στις άκρες τους ώστε να δημιουργήσουν τον κλειστό συνδετήρα. Στην περιοχή του κόμβου όπου η παραπάνω τεχνική ήταν αδύνατο να εφαρμοστεί ανοίχτηκαν σε κάθε δοκό οπές διαμέτρου 10mm από τις οποίες διήλθαν και συγκολλήθηκαν με ειδικό ρητινόστοκο τμήματα οπλισμού. Μετά την παρέλευση 48 ωρών που απαιτούνταν για την σκλήρυνση του ρητινόστοκου οι ράβδοι αυτές λυγίζονταν και ηλεκτροσυγκολλούνταν στις άκρες τους με τμήματα μορφής Π δημιουργώντας έτσι κλειστούς συνδετήρες. Μετά την επισκευή τους τα δοκίμια παρουσίασαν τελείως διαφορετικό τύπο αστοχίας που χαρακτηριστικά φαίνεται στο (σχ.9).



(σχ.9)

Τα συμπεράσματα από την σύγκριση της σεισμικής συμπεριφοράς των παρθενικών δοκιμίων με την συμπεριφορά των δοκιμίων αυτών μετά την τοπική ενίσχυσή τους με τρίπλευρο μανδύα είναι τα εξής:

- Η σεισμική συμπεριφορά των επισκευασμένων – ενισχυμένων δοκιμίων εμφανίστηκε εξαιρετικά βελτιωμένη σε σχέση με τα αρχικά.
- Τα επισκευασμένα – ενισχυμένα δοκίμια κατόρθωσαν να μεταθέσουν την βλάβη από την περιοχή του κόμβου και τις κρίσιμες περιοχές των στύλων στη δοκό μετά το πέρας του μανδύα.
- Όλα τα ανωτέρω (που εξάγονται και από τους υστερητικούς βρόχους των δοκιμίων σχ.10) δείχνουν ότι ο συγκεκριμένος τρόπος ενίσχυσης για κόμβους που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες σε σεισμό είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός [8].



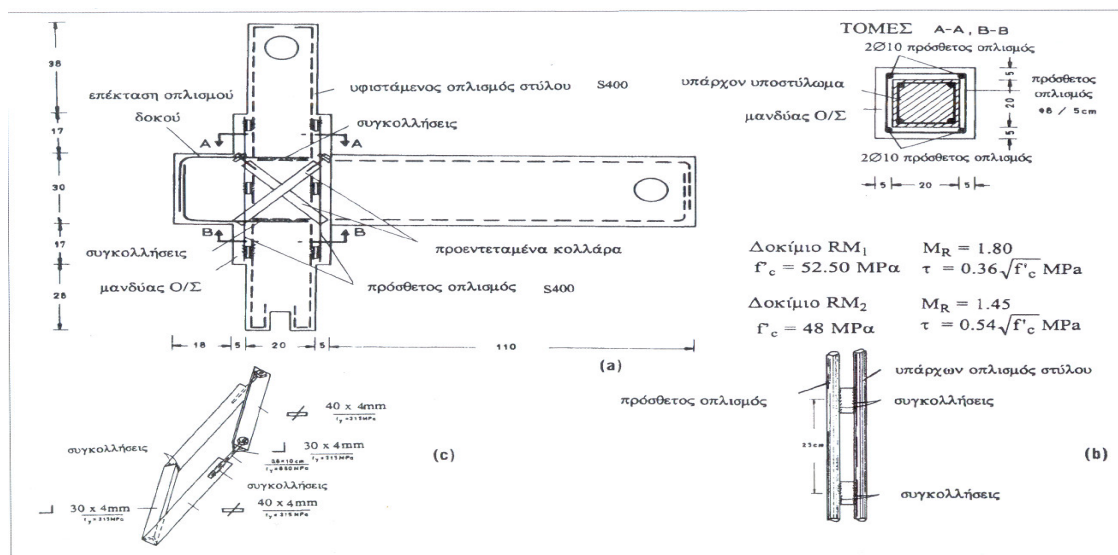
Υπερηλεκτρονικοί βρόχοι δοκιμών M_1 , M_2 , RM_1 και RM_2 .
Load deflection curves of specimens M_1 , M_2 , RM_1 and RM_2 .

(σχ.10)

4.4 Περίσφιξη του κόμβου (με χιαστή προεντεταμένα κολάρα)

Βασική προϋπόθεση για να μπορεί να πραγματοποιηθεί η τεχνική αυτή είναι να μην συντρέχουν στον κόμβο τέσσερις δοκοί λόγω αδυναμίας εφαρμογής των προεντεταμένων κολάρων.

Στο συγκεκριμένο πείραμα τα δοκίμια επισκευάστηκαν με κατασκευή μανδύα από ισχυρό τσιμεντοκονίαμα (EMACO) στον κόμβο και στις κρίσιμες περιοχές των στύλων, όπου και είχε επικεντρωθεί η βλάβη, ενώ για επαρκέστερη αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών της δοκού κατασκευάστηκε καμπούρα (πρόβολος) και στους οπλισμούς της δοκού ηλεκτροσυγκολλήθηκαν νέα τμήματα τα οποία αγκυρώθηκαν στην καμπούρα από EMACO (σχ.11).



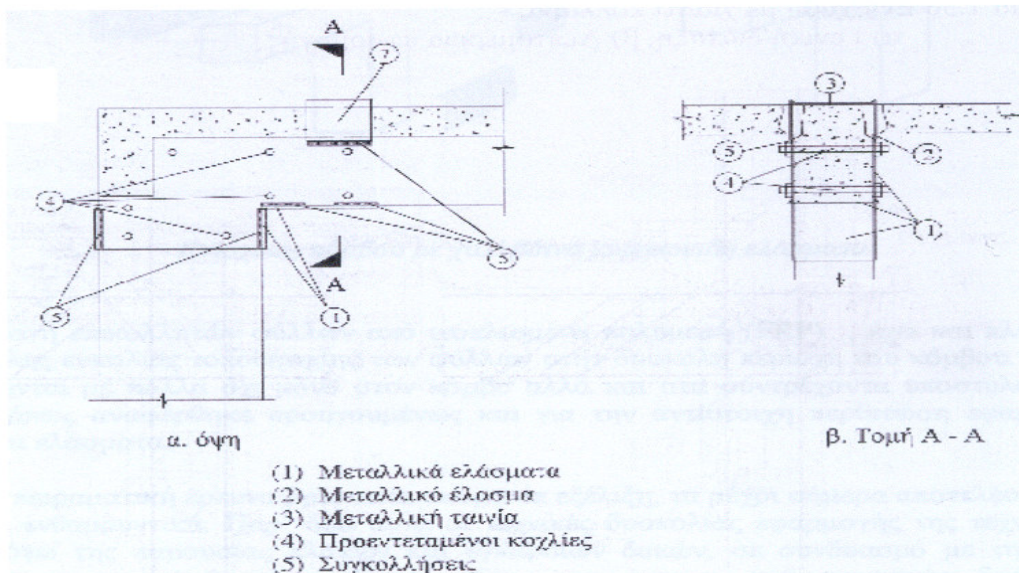
(α) Κατασκευή μανδύα στην περιοχή του κόμβου των δοκιμών RM_1 και RM_2 (διαστάσεις σε cm), (b) Συγκολλήσεις νέων οπλισμών στους υπάρχοντες του στύλου, (c) Λεπτομέρειες των προεντεταμένων κολάρων.
(a) Jacketing of beam-column connection of subassemblages RM_1 and RM_2 (dimensions in cm), (b) Welding of the new reinforcement to the existing column reinforcement, (c) Details of steel collar stirrups.

(σχ.11)

Τα συμπεράσματα του πειράματος είναι ότι η συγκεκριμένη τεχνική επισκευής βελτιώνει όλες τις μηχανικές αντισεισμικές ιδιότητες των δοκιμίων σε σχέση με τα αρχικά δοκίμια (πχ. 30 – 90% αυξημένη αντοχή, 130 – 160% αυξημένη ακαμψία, διπλάσια ικανότητα απορρόφησης ενέργειας κ.α) [9].

4.5 Επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων

Η χρήση των επικολλητών χαλύβδινων ελασμάτων είναι μία τεχνική που επιτρέπει την ενίσχυση χωρίς την μεταβολή των διαστάσεων των δομικών στοιχείων. Προηγείται τοπική ενίσχυση και ακολουθεί η επικόλληση των ελασμάτων και τελικά η σύσφιξή τους με τους προεντεταμένους κοχλίες (σχ.12). Το πάχος των ελασμάτων στην περίπτωση αυτή προβλέπεται τουλάχιστον 4mm, κάτι που δεν δημιουργεί πρόβλημα στην επικόλληση με τους προεντεταμένους κοχλίες. Η επιτυχία στη χρήση της μεθόδου οφείλεται στο χαμηλό κόστος των υλικών και μηχανημάτων καθώς και των εργατικών. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η ανάγκη για προστασία έναντι διάβρωσης των χαλύβδινων ελασμάτων.



Ενίσχυση κόμβου με επικολλητά ελάσματα

(σχ.12)

4.6 Ενίσχυση με σύνθετα υλικά (FRP)

Μέχρι σήμερα οι προηγούμενες συμβατικές τεχνικές επισκευής – ενίσχυσης έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς όμως τα τυχόν προβλήματα που μπορεί να ανακύψουν (όπως αυξημένες διαστάσεις στοιχείων, χρονοβόρες και επίπονες εργασίες, σημαντικό κόστος εργασιών και ανάγκη για προστασία χάλυβα έναντι διάβρωσης) μπορούν σε αρκετές περιπτώσεις να αναιρεθούν υιοθετώντας την τεχνική ενίσχυσης μέσω εξωτερικά επικολλούμενων σύνθετων υλικών (σχ. 13).

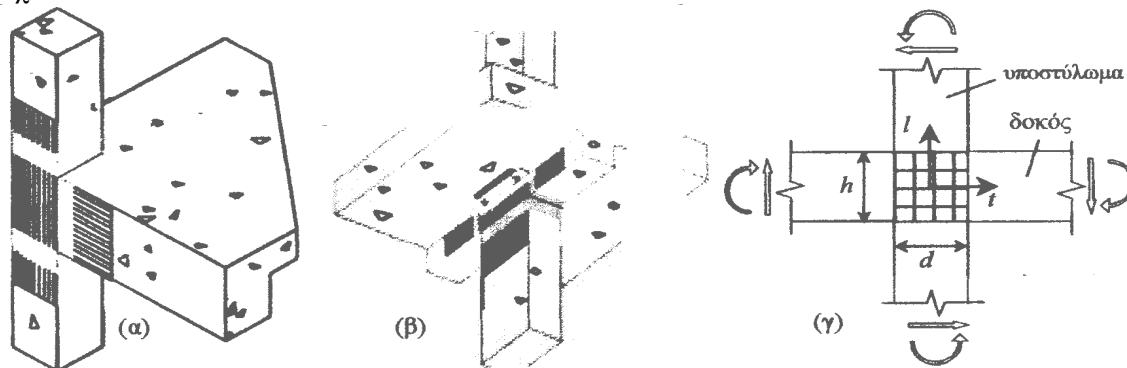
Τα υλικά αυτά τα οποία αποτελούνται από ίνες άνθρακα, γυαλιού ή αραμιδής σε πολυμερή μήτρα, χαρακτηρίζονται από υψηλή εφελκυστική αντοχή, μικρό βάρος και

εξαιρετική ανθεκτικότητα σε διάρκεια και η επικόλλησή τους γίνεται με ειδική εποξειδική ρητίνη.

Οι μανδύες από FRP παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς μανδύες:

1. εύκολη εφαρμογή
2. σύντομη ανάπτυξη πλήρους αντοχής
3. μικρό βάρος
4. ανθεκτικότητα στη διάβρωση
5. μικρό τελικό πάχος μανδύα (το οποίο δεν δημιουργεί αντιαισθητικές προσθήκες στο εξωτερικό του κτιρίου).

Σχ.13



α), β) Ενδεικτικές διατάξεις ενίσχυσης κόμβων Ο/Σ με σύνθετα υλικά, σε εξωτερικό και εσωτερικό κόμβο (οι γραμμές δηλώνουν τη διεύθυνση των ινών των συνθέτων υλικών), γ) Ένταση εισερχόμενη στην περιοχή του κόμβου και ορισμός του συστήματος αναφοράς.

(σχ.13)

Από πειραματική έρευνα των Αντωνόπουλος Κ. & Τριανταφύλλου ΑΘ. Αναπλ. Καθηγ. Πολυτ. Σχολής Παν. Πατρών στην οποία κατασκευάστηκαν δοκίμια σχεδιασμένα να αστοχήσουν σε διάτμηση στην περιοχή του κόμβου και στα οποία εφαρμόστηκε η τεχνική ενίσχυσης με εύκαμπτα "υφάσματα" είναι αποτελεσματική και θεωρείται βέβαιο πως η προσθήκη μεγαλύτερου ποσοστού εξωτερικού οπλισμού ενίσχυσης επαρκώς αγκυρωμένου θα μετέφερε την αστοχία από την περιοχή του κόμβου στα συντρέχοντα σ' αυτόν μέλη. Ακόμα και για πολύ μικρά ποσοστά σύνθετων υλικών (0.2-0.3%) η αντοχή καθώς και η απορροφώμενη ενέργεια αυξήθηκαν κατά 70-80%. Επίσης στα συμπεράσματα της παραπάνω εργασίας αναφέρεται πως η αντοχή και η απορροφώμενη ενέργεια αυξάνονται με την αύξηση των στρώσεων των υλικών αλλά όχι αναλογικά, αφού η αύξηση του ποσοστού (δηλαδή του πάχους), του εξωτερικού οπλισμού χωρίς την παροχή των απαιτούμενων αγκυρώσεων, προκαλεί την πρόωρη αποκόλλησή τους.

5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΑΡΧΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Στην παράγραφο αυτή γίνεται μία σύντομη παρουσίαση μιας πειραματικής έρευνας η οποία έγινε στο εργαστήριο σιδηροπαγούς σκυροδέματος της Π.Σ του Α.Π.Θ από τους Τσώνος Α. , Τέγος Ι. , Πενέλης Γ. , στην οποία εξετάστηκε η βελτίωση στη σεισμική

συμπεριφορά κόμβων υπό συνθήκες μεταβαλλόμενου αξονικού φορτίου και φαινομένων δευτέρας τάξεως από τη χρήση δισδιαγώνιων οπλισμών.

Κατασκευάστηκαν 12 δοκίμια εξωτερικών κόμβων με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στο σχ.14

Το φαινόμενο P-Δ (P το αξονικό φορτίο και Δ η πλευρική μετατόπιση του ορόφου) φαίνεται ότι εισάγει μία επιπλέον ένταση στον πυρήνα του κόμβου η οποία για μεγάλες πλευρικές μετατοπίσεις και για ισχυρό αξονικό φορτίο συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση της οριζόντιας κομβικής τέμνουσας. Έτσι κόμβοι δοκών – υποστυλωμάτων που έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τους διάφορους διεθνείς κανονισμούς να αναπτύξουν ορισμένες διατμητικές τάσεις, να αναπτύξουν πολύ μεγαλύτερες λόγω του αξονικού φορτίου και του P-Δ φαινομένου.

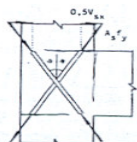
Χαρακτηριστικά σχεδιασμού δοκιμίων

Σειρά	Δοκίμιο	Οπλισμός υποστυλώματος	Οπλισμός δοκού	Οπλισμός συνδετήρων κόμβου	Δισδιαγώνιος οπλισμός κόμβου	Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (MPa)	$\frac{P_{max}}{P_b}$	Λόγος ικανοτικού σχεδιασμού $\frac{M_R}{M_E}$	Διατμητική τάση κόμβου τ (MPa)	$\frac{\tau_{exp}}{\tau_{ult}}$
A	A1			3Ø8	0	26	0.51	2.65	0.80	0.65
	A2			4Ø8	0	31	0.45	1.30	0.87	0.62
	A3			3Ø8	0	34	0.42	1.88	0.96	0.61
	A4			3Ø8	0	34	0.42	0.72	0.70	0.66
M	M1			3Ø8	0	25	0.94	3.20	0.70	0.77
	M2			4Ø8	0	34	0.72	1.54	0.78	0.85
	M3			3Ø8	0	27	0.95	2.00	1.00	1.10
	M4			3Ø8	0	33.50	0.72	1.00	1.30	1.05
MS	MS3			5Ø8	0	26	1.01	1.95	1.03	1.08
	MS4			5Ø8	0	33.50	0.73	1.00	1.30	0.90
MX	MX2			4Ø8	4Ø14	33	0.75	1.50	0.80	0.91
	MX4			3Ø8	4Ø10	33	0.74	1.00	1.30	0.94

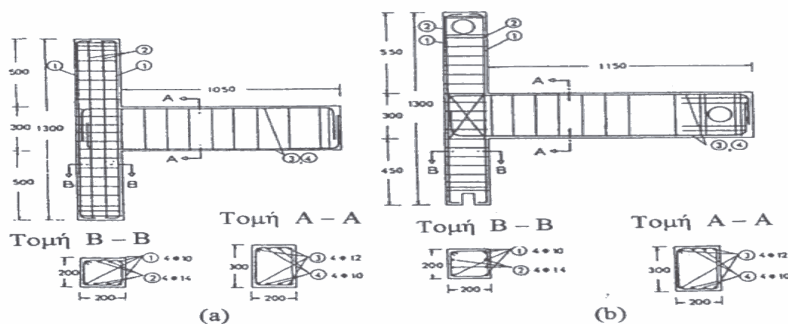
(σχ.14)

Τα συμπεράσματα από την παραπάνω έρευνα είναι ότι:

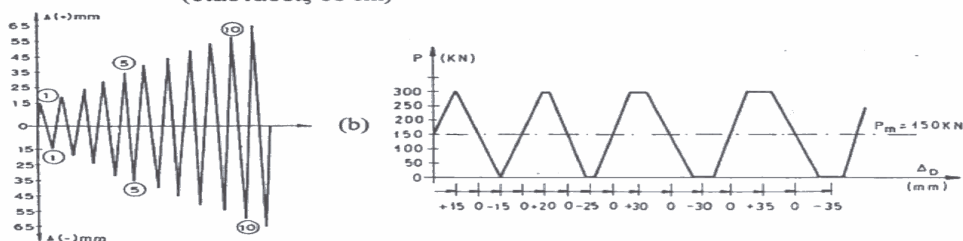
1. Το P-Δ φαινόμενο υπό μεταβαλλόμενο αξονικό φορτίο υποστυλώματος κατά τη διάρκεια σεισμικής καταπόνησης εξωτερικού κόμβου προκαλεί αξιοσημείωτη επιδείνωση των μηχανικών αντισεισμικών ιδιοτήτων του (αντοχή, ακαμψία, ικανότητα απορρόφησης ενέργειας).
2. Τα δοκίμια M τα οποία κατά τη διάρκεια της σεισμικής φόρτισης δέχτηκαν την επιρροή του P-Δ αιτίου με μεταβαλλόμενο αξονικό φορτίο παρουσίασαν μεγαλύτερη συγκέντρωση βλάβης στον κόμβο σε σχέση με τα δοκίμια A που δεν δέχονταν τη σύγχρονη επιρροή της ανωτέρω παραμέτρου στην απόκρισή τους σε σεισμό.
3. Η αντικατάσταση των κατακόρυφων διατμητικών οπλισμών του κόμβου με ίσο ποσοστό δισδιαγώνιου (σχ.15) οπλισμού επέφερε αξιοσημείωτη βελτίωση στη σεισμική συμπεριφορά των εξωτερικών κόμβων με σύγχρονη δράση P-Δ αιτίου υπό μεταβαλλόμενο αξονικό φορτίο. Η βελτίωση που επιφέρουν οι δισδιαγώνιοι οπλισμοί προσδίδοντας ένα τρίτο μηχανισμό παραλαβής τέμνουσας διαρκώς ενεργό κατά τη διάρκεια της φόρτισης είναι μεγαλύτερη αυτής που προσέδωσε το κατά 70% αυξημένο ποσοστό οπλισμού συνδετήρων του κόμβου.



Ο μηχανισμός παραλαβής τέμνουσας των διαδιαγώνιων οπλισμών του κόμβου



(a) Τυπικό δοκίμιο σειράς A, (b) Τυπικό δοκίμιο σειράς MX (διαστάσεις σε cm)



(a) Ιστορία επιβολής μετακινήσεων δοκιμίων
(b) Ιστορία αξονικής φόρτισης δοκιμίων τύπου M, MS και MX

(σχ.15)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη εργασία αυτή καταδεικνύεται η σημαντικότητα της συμπεριφοράς των κόμβων δοκών - υποστυλωμάτων η οποία επηρεάζει δραματικά την συμπεριφορά του συνόλου της κατασκευής στη σεισμική καταπόνηση, καθώς και οι διεθνώς αναγνωρισμένες μέθοδοι επισκευής - ενίσχυσής τους οι οποίες όπως είδαμε από τα πειραματικά αποτελέσματα είναι αποτελεσματικές αφού αποκαθίσταται πλήρως η αντοχή, η πλαστικότητα, και γενικότερα οι μηχανικές ιδιότητες των στοιχείων.

Ιδιαίτερη σημασία πρέπει κατά τον σχεδιασμό των κόμβων να δίδεται στην περίσφιξη τους και στο μήκος αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων σ' αυτούς αφού μόνο έτσι μπορούμε να ελπίζουμε σε πλαστική συμπεριφορά.

Επίσης γίνεται γνωστή η διαφορά μεταξύ των κανονισμών για το θέμα, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα τη μη ύπαρξη κοινά παραδεκτών αρχών σχεδιασμού οι οποίοι θα ήταν χρήσιμοι στους μηχανικούς αφού θα τους έδιναν ποσοτικά κριτήρια και σχέσεις και θα αντιμετώπιζαν με μεγαλύτερη άνεση τα εκάστοτε προβλήματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Δρίτσος Σ. (Καθ. Π.Σ Πανεπιστημίου Πατρών)

Επισκευές – ενισχύσεις κατασκευών Ο/Σ

[2] Καραγιάννης Χ. (Καθ. Π.Σ ΔΠΘ)

Παράμετροι σχεδιασμού και συμπεριφορά ακραίων κόμβων από Ο/Σ

[3] Τσώνος Α. (Επικ Καθ. Π.Σ ΑΠΘ), Παπαδάκης Γ, Χαΐνης Θ.

Βελτίωση της σεισμικής απόκρισης των κόμβων δοκού στύλου από Ο/Σ

[4] Ε.Κ.Ω.Σ 2000

[5] Τσώνος Α. (Επικ Καθ. Π.Σ ΑΠΘ), Παπαδόπουλος Η. Χ.

Σεισμική συμπεριφορά δοκιμίου εξωτερικού κόμβου σχεδιασμένου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8

[6] Πανταζοπούλου Σ. (Αναπλ. Καθ. Π.Σ ΔΠΘ)

Αντισεισμικός σχεδιασμός γωνιακών κόμβων πλαισίου

[7] Καραγιάννης Χ. (Καθ. Π.Σ ΔΠΘ), Χαλιωτής Κ, Σιδέρης Κ, Οικονόμου Χ (Καθ. Π.Σ ΔΠΘ).

Πειραματική διερεύνηση της ικανότητας ακραίων κόμβων Ο/Σ επισκευασμένων με ρητίνες.

[8] Τσώνος Α. (Επικ Καθ. Π.Σ ΑΠΘ), Καλίτσης Α.

Τοπικός τρίπλευρος μανδύας για την ενίσχυση των εξωτερικών κόμβων δοκού – υποστύλωματος από Ο/Σ

[9] 10^ο Φοιτητικό συνέδριο Επισκευές Κατασκευών. Μάρτιος 2004

[10] Αντωνόπουλος Κ.Π, Τριανταφύλλου Α (Αναπλ. Καθ. Π.Σ Πανεπιστημίου Πατρών)

Ενίσχυση κόμβων Ο/Σ με σύνθετα υλικά: Αναλυτική και πειραματική διερεύνηση

