

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Απόστολος Ν. Καγιάννης
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός
Ιωλκού 391, Αηδονοφωλιές
385 00 Βόλος
e-mail: akagiann@vol.forthnet.gr

Άρης Β. Αβδελάς
Αναπληρωτής Καθηγητής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
541 24 Θεσσαλονίκη
e-mail: avdelas@civil.auth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η καμπτική συμπεριφορά σύμμικτων κόμβων με χαλύβδινες δοκούς και γεμισμένα με σκυρόδεμα υποστυλώματα διατομής κυκλικής κοιλοδοκού. Επιχειρείται μια αναλυτική προσέγγιση του αντικειμένου με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Για τη μελέτη της ανελαστικής συμπεριφοράς των κόμβων, υπό μονότονα αυξανόμενη φόρτιση, πραγματοποιείται μια μη γραμμική στατική ανάλυση με χρήση του προγράμματος ANSYS. Συνολικά μελετώνται 10 τύποι συνδέσεων ως προς τη μεταβολή του αξονικού φορτίου P/P_u , τη λυγηρότητα της κοιλοδοκού D/t και το λόγο της ροπής προς την τέμνουσα της δοκού M/V . Από τις αναλύσεις προκύπτουν οι καμπύλες ροπής – γωνιών στροφής των κόμβων και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την καμπτική συμπεριφορά τους.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια οι σύμμικτες κατασκευές από σκυρόδεμα και χάλυβα γνωρίζουν μεγάλη ανάπτυξη στην αντισεισμική μηχανική. Μεγάλο μέρος της έρευνας έχει στραφεί σε αυτές τις κατασκευές, εξαιτίας της πολύ καλής συμπεριφοράς τους σε δυναμικά φαινόμενα. Τα δύο υλικά συνεργάζονται αρμονικά και συνθέτουν κατασκευές μεγάλης αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας [1]. Στην εργασία αυτή, επιχειρείται η μελέτη της καμπτικής συμπεριφοράς σύμμικτων κόμβων υπό μονότονα αυξανόμενη φόρτιση. Επιλέχθηκε υποστύλωμα από κυκλική κοιλοδοκό γεμισμένη με σκυρόδεμα, καθώς η συγκεκριμένη μορφή παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα και διαθέτει ακτινική δυσκαμψία. Γενικά η μορφή του κόμβου αυτού παρουσιάζει ιδιομορφίες ως προς τη σύνδεση και τη συμπεριφορά.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Οι χαλύβδινες διατομές, που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις επιλέχθηκαν να είναι περίπου όμοιες με τις αμερικάνικες διατομές, που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη των Alostaz και Schneider [2], ώστε να υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Έτσι, για το υποστύλωμα χρησιμοποιήθηκε κυκλική κοιλοδοκός CHS 508x9.53, στην οποία συνδέεται δοκός IPE 550. Η ποιότητα ήταν S235 για όλα τα χαλύβδινα τμήματα. Η ποιότητα του σκυροδέματος ήταν η C35/45. Ο κόμβος, που μελετάται, έχει ληφθεί από τη γωνία του κτιρίου και συνδέεται με δοκό από τη μία μεριά του. Επιπλέον, θεωρείται ότι η κάθετη στο επίπεδο δοκός αντιστηρίζει πλήρως εκτός επιπέδου τον κόμβο, χωρίς να μεταφέρει δυνάμεις σε αυτόν.

Οι συνδέσεις που σχεδιάστηκαν κατατάσσονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αφορά τέσσερις συνδέσεις, στις οποίες τα πέλματα της δοκού συγκολλούνται απευθείας επάνω στο τοίχωμα της κοιλοδοκού, ενώ η δεύτερη ομάδα αφορά πέντε συνδέσεις, στις οποίες χρησιμοποιούνται εξωτερικά διαφράγματα. Η τελευταία σύνδεση (X), δεν εντάσσεται σε κάποια από τις δύο ομάδες, καθώς η δοκός διαπερνά ολόκληρη την κοιλοδοκό. Στη συνέχεια οι συνδέσεις διατάσσονται σε σειρά από την πιο απλή στην πιο πολύπλοκη για κάθε ομάδα αντίστοιχα.

Ο πρώτος τύπος σύνδεσης (I) είναι ο πιο απλός τύπος και κατάλληλος για κοιλοδοκούς μεγάλης διαμέτρου. Στο μέτωπο της κοιλοδοκού συγκολλούνται δύο λεπίδες, στο ύψος των πελμάτων της δοκού, που θα ονομάζονται στο εξής λεπίδες πελμάτων και μια κατακόρυφη λεπίδα ανάμεσα τους, που θα ονομάζεται στο εξής λεπίδα κορμού. Η δοκός κοχλιώνεται στη λεπίδα κορμού, ενώ τα πέλματα συγκολλούνται με εσωραφές πλήρους διεύθυνσης (Σχήμα 1). Οι συγκολλημένες λεπίδες στην κοιλοδοκό έχουν πάχη ίδια με τα πάχη των τμημάτων της δοκού, με τα οποία συνδέονται.

Ο δεύτερος τύπος σύνδεσης δημιουργήθηκε από τον πρώτο με την προσθήκη τεσσάρων κατακόρυφων λεπίδων στα πλευρικά του κόμβου, με σκοπό οι δυνάμεις να διοχετευθούν εφαπτομενικά στην κοιλοδοκό (Σχήμα 2).

Ο τρίτος τύπος σύνδεσης (III) βασίστηκε πάλι στον πρώτο, στον οποίο προστέθηκε ένα τρίγωνο ακαμψίας κάτω από τη δοκό. Το τρίγωνο έχει ύψος περίπου $1/3$ του ύψους της δοκού και σβήνει με κλίση 30° , όσο απομακρύνεται από τον κόμβο (Σχήμα 3).

Στον τύπο σύνδεσης (IV) η λεπίδα του κορμού προεκτείνεται μέσα στην κοιλοδοκό και βγαίνει από την πίσω μεριά (Σχήμα 4).

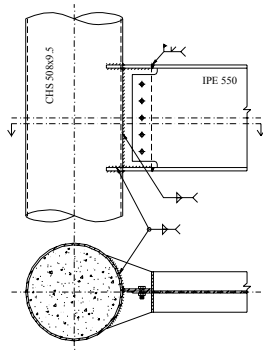
Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από συνδέσεις με δύο εξωτερικά διαφράγματα στο ύψος των πελμάτων της δοκού. Η σύνδεση τύπου (V) είναι η πιο απλή της ομάδας. Το εξωτερικό διάφραγμα δημιουργήθηκε από τετράγωνη πλάκα πλευράς $D+b_f$ (Σχήμα 5).

Η σύνδεση τύπου (VI) διαφέρει από την προηγούμενη στο σχήμα του διαφράγματος. Η γωνία των 45° διαμορφώνεται στις 30° (Σχήμα 6).

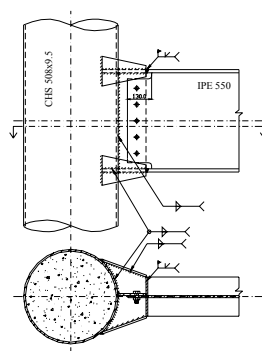
Στον τύπο (VII) για να προστεθεί δυσκαμψία, συγκολλήθηκαν άνω και κάτω του κόμβου λεπίδες ακαμψίας ύψους $1/3$ του ύψους της δοκού και πάχους 10mm (Σχήμα 7).

Οι συνδέσεις τύπου (VIII) και (IX) προέρχονται από τους (V) και (VI) αντίστοιχα με προέκταση της λεπίδας κορμού μέσα στην κοιλοδοκό (Σχήμα 8, Σχήμα 9).

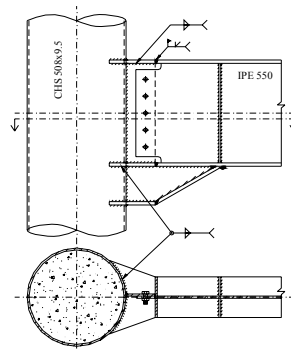
Τέλος η σύνδεση τύπου (X) δεν ανήκει σε καμία από τις δύο ομάδες. Σε αυτή όλη η δοκός διαπερνά την κοιλοδοκό, η οποία κόβεται εμπρός και πίσω σε σχήμα I (Σχήμα 10).



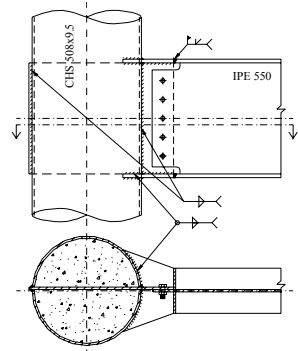
Σχήμα 1: Σύνδεση τύπου (I)



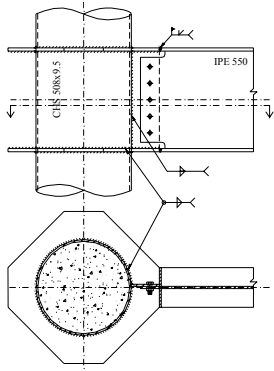
Σχήμα 2: Σύνδεση τύπου (II)



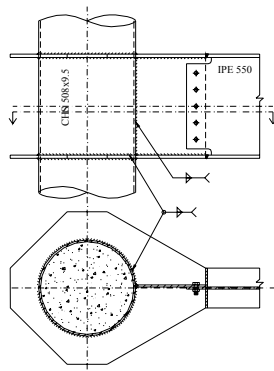
Σχήμα 3: Σύνδεση τύπου (III)



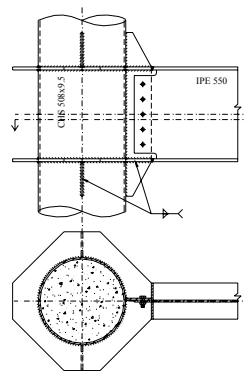
Σχήμα 4: Σύνδεση τύπου (IV)



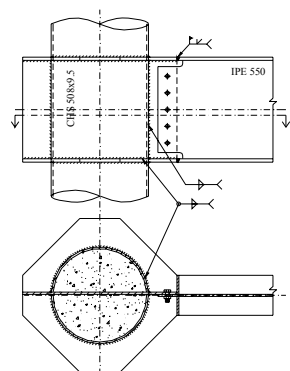
Σχήμα 5: Σύνδεση τύπου (V)



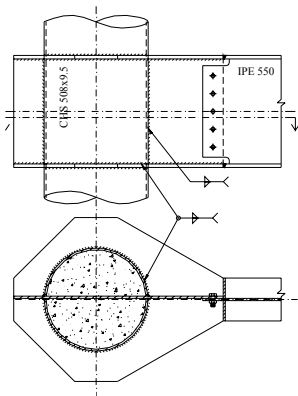
Σχήμα 6: Σύνδεση τύπου (VI)



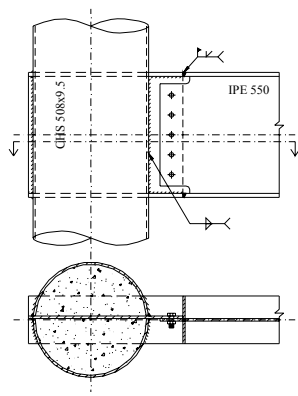
Σχήμα 7: Σύνδεση τύπου (VII)



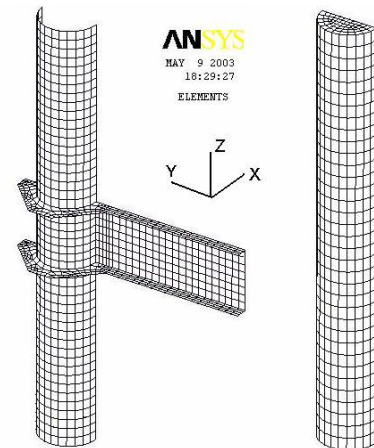
Σχήμα 8: Σύνδεση τύπου (VIII)



Σχήμα 9: Σύνδεση τύπου (IX)



Σχήμα 10: Σύνδεση τύπου (X)



Σχήμα 11: Κάνναβος πεπερασμένων στοιχείων

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

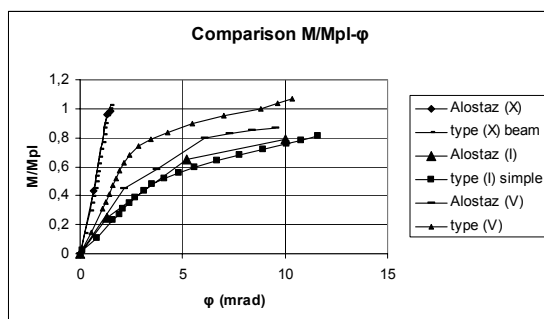
Για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε ο νόμος CONCRETE του ANSYS, ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν τη σύνθλιψη και τη ρηγμάτωση του υλικού. Ο νόμος αντιμετωπίζει τη ρηγμάτωση ως κατανεμημένη στο υλικό και συνδυάζεται με το πεπερασμένο στοιχείο SOLID65. Ο χάλυβας θεωρήθηκε ότι διέπεται από ένα διγραμμικό κρατυνόμο με 2% κράτυνση και το κριτήριο von Mises καθόρισε την επιφάνεια διαρροής [3]. Παράλληλα, η προσομοίωση έγινε με το πεπερασμένο στοιχείο SHELL43. Η διεπιφάνεια

των δύο υλικών θεωρήθηκε ότι μεταφέρει θλίψη και τριβή με συντελεστή τριβής 0.3. Το μοντέλο της διεπιφάνειας ήταν ζεύγος επιφανειακών στοιχείων, του TARGE170 και του CONTA174. Ο κάνναβος και η πύκνωση που χρησιμοποιήθηκε, με αξιοποίηση της συμμετρίας του φορέα, φαίνονται στο Σχήμα 11. Στις θέσεις των συγκολλήσεων και των κοχλιώσεων τοποθετήθηκαν κοινοί κόμβοι, ώστε να προσομοιωθεί ο μηχανισμός μεταφοράς των δυνάμεων και όχι τα ίδια τα μέσα σύνδεσης. Αυτό σημαίνει ότι οι κοχλίες ενεργοποιήθηκαν από την πρώτη στιγμή ως κοχλίες τριβής. Στον πόδα του στύλου επιβλήθηκαν μεταφορικές δεσμεύσεις και στις τρεις διευθύνσεις, ενώ στην κεφαλή αφέθηκε ελεύθερη η κίνηση κατά z, για να γίνει εφικτή η βράχυνση κατά την εφαρμογή του θλιπτικού φορτίου. Στην άκρη της δοκού εφαρμόστηκε τέμνουσα δύναμη και ροπή. Όλα τα φορτία εφαρμόστηκαν προοδευτικά σε βήματα μέχρι τη δημιουργία της πλαστικής άρθρωσης. Για να αποφευχθούν κάποια προβλήματα σύγκλισης στις αναλύσεις, όπου το αξονικό φορτίο ήταν $P/P_u = 0\%$ και 36% , από το νόμο υλικού του σκυροδέματος αφαιρέθηκαν οι ιδιότητες της σύνθλιψης και της ρηγμάτωσης. Η επιρροή στα αποτελέσματα ήταν μηδαμινή [4].

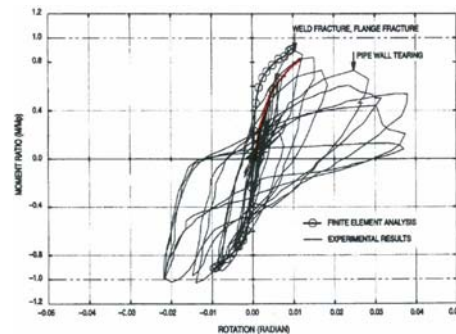
Η καμπτική συμπεριφορά των κόμβων μελετήθηκε μέσα από τρεις βασικές μεταβλητές, το αξονικό φορτίο του στύλου, τη λυγηρότητα της κοιλοδοκού και το λόγο ροπής-τέμνουσας της δοκού. Οι τιμές που επιλέχθηκαν για το αξονικό φορτίο είναι $P/P_u = 0\%$, 6% και 36% , όπου $P_u = A_a \cdot f_a + A_c \cdot f_c$ [5]. Το πάχος της κοιλοδοκού κυμάνθηκε από 6.35 έως 12.7 mm με τιμές του λόγου D/t 40, 53.5 και 80. Η τρίτη μεταβλητή M/V επιλέχθηκε να πάρει τιμές 0.5, 1.25 και 7.6.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πρωταρχικός στόχος ήταν να πιστοποιηθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, γι' αυτό αποτελέσματα από τρεις τύπους συνδέσεων συγκρίθηκαν με δημοσιευμένα αποτελέσματα της εργασίας [2] στο Σχήμα 12 και αποτελέσματα από τέσσερις τύπους συνδέσεων με αποτελέσματα της εργασίας [6] στα Σχήματα 13 ως 16. Μεγάλη συμφωνία υπάρχει στο Σχήμα 12 στους τύπους (I) και (X), ενώ κάποια διαφορά στον τύπο (V) αποδίδεται στη διαφορετική προσομοίωση της διεπιφάνειας, στη μικρή διαφορά των διατομών και στους νόμους υλικών. Στα Σχήματα 13 έως 16 οι καμπύλες μονότονης φόρτισης συγκρίνονται με καμπύλες ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Η καμπύλη μονότονης φόρτισης είναι γνωστό ότι αποτελεί την περιβάλλουσα των βρόγχων υστέρησης. Καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων παρατηρείται για τους πρώτους βρόγχους, ενώ στον φθίνοντα κλάδο δεν ήταν δυνατό να συνεχιστεί η ανάλυση.



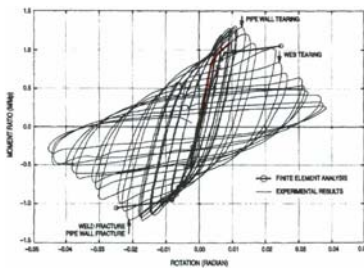
Σχήμα 12: Σύγκριση με την [2]



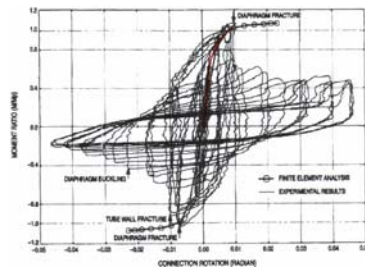
Σχήμα 13: Σύγκριση του τύπου (I) με την [6]

Όπως προαναφέρθηκε παράχθηκαν οι καμπύλες ροπής – γωνιών στροφής $\bar{M}-\phi$, όπου η γωνία ϕ είναι η σχετική γωνία στροφής της δοκού ως προς το υποστύλωμα. Η ροπή \bar{M}

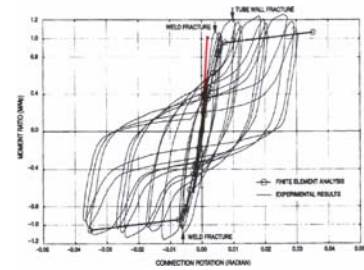
είναι ανηγμένη ως προς την πλαστική ροπή αντοχής της δοκού $M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y$. Προκειμένου να γίνει κάποια κατάταξη ως προς τη δυσκαμψία, υιοθετήθηκε το σύστημα του EC3 [7]. Οι καμπύλες $\bar{M} - \phi$ για τις δύο ομάδες κόμβων παρουσιάζονται στα Σχήματα 17 και 18.



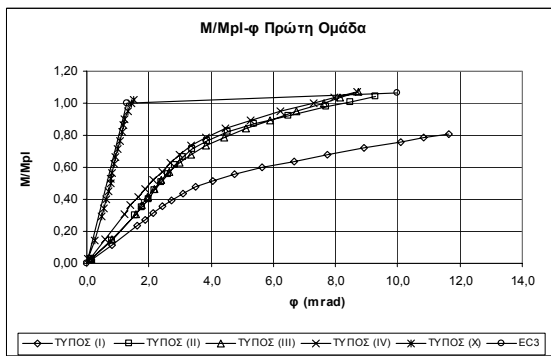
Σχήμα 14: Σύγκριση του τύπου (IV) με την [6]



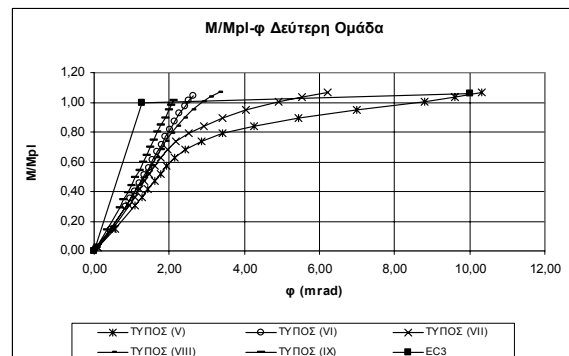
Σχήμα 15: Σύγκριση του τύπου (V) με την [6]



Σχήμα 16: Σύγκριση του τύπου (X) με την [6]

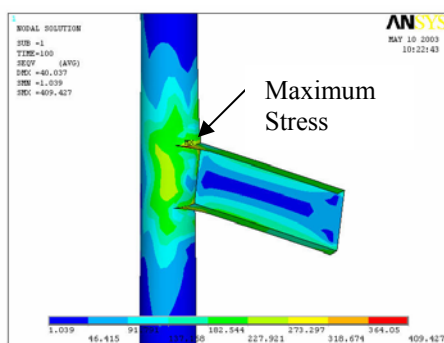


Σχήμα 17: Διαγράμματα $\bar{M} - \phi$ για την πρώτη ομάδα κόμβων

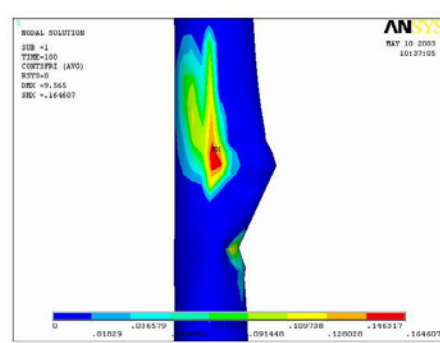


Σχήμα 18: Διαγράμματα $\bar{M} - \phi$ για τη δεύτερη ομάδα κόμβων

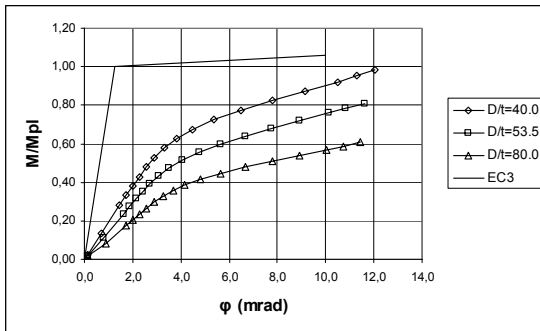
Η καμπύλη της σύνδεσης τύπου (I) οδηγείται γρήγορα σε μεγάλες στροφές, που προκαλούνται από υπερβολική παραμόρφωση της κοιλοδοκού στην περιοχή όπου μεταβιβάζονται εγκάρσιες δυνάμεις από τα απευθείας συγκολλημένα πέλματα της δοκού. Το διάγραμμα των τάσεων (Σχήμα 19) φανερώνει ότι η αστοχία ξεκινάει από την εξωραφή του πέλματος στην κοιλοδοκό, καθώς υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση τάσεων. Στη διεπιφάνεια των δύο υλικών σημαντικές τάσεις τριβής αναπτύχθηκαν στα πλάγια και στην περιοχή του κάτω πέλματος (Σχήμα 20). Η σύνδεση έφτασε μόνο στο 80% της πλαστικής ροπής αντοχής της δοκού, γεγονός που εξηγεί τη μικρή σύμμικτη λειτουργία και την περιορισμένη ρηγματώση στο σκυρόδεμα. Στην μεταβολή του αξονικού φορτίου αμελητέα ευαισθησία φάνηκε να υπάρχει, ενώ στη μεταβολή του λόγου D/t παρουσιάστηκε το αντίθετο (Σχήμα 21). Η επιρροή του επιπέδου της τέμνουσας φάνηκε να είναι περίπλοκη (Σχήμα 22).



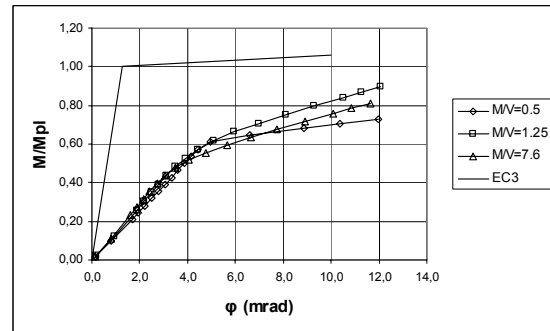
Σχήμα 19: Τάσεις von Mises



Σχήμα 20: Τάσεις τριβής της διεπιφάνειας



Σχήμα 21: Τύπος (I) – καμπύλες D/t

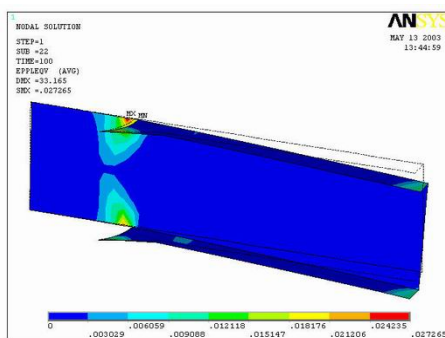


Σχήμα 22: Τύπος (I) – καμπύλες M/V

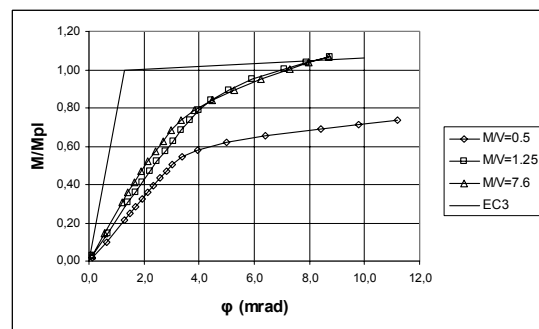
Η σύνδεση τύπου (II) παρουσιάζει βελτιωμένη συμπεριφορά, καθώς οδηγεί τις τάσεις εφαπτομενικά στο τοίχωμα της κοιλοδοκού. Η πλαστική άρθρωση φάνηκε να δημιουργείται στο σημείο σύνδεσης της δοκού. Οι αυξημένες παραμορφώσεις στην κοιλοδοκό παρέμειναν, ωστόσο ο κόμβος έφτασε στην πλαστική αντοχή της δοκού. Στη μεταβολή των τριών παραμέτρων, φάνηκε να υπάρχει παρόμοια ευαισθησία με τη σύνδεση (I).

Στη σύνδεση τύπου (III), με την τριγωνική κάτω ενίσχυση της δοκού, το πρόβλημα της μεγάλης παραμόρφωσης της κοιλοδοκού στην περιοχή του άνω πέλματος παρέμεινε. Επιπλέον, οι πλαστικοποιήσεις του κόμβου παρουσιάστηκαν στην περιοχή σύνδεσης των πελμάτων στην κοιλοδοκό, γεγονός που φανερώνει αποτυχία του σχεδιασμού του κόμβου, όπου στόχος ήταν η δημιουργία της πλαστικής άρθρωσης στο σημείο όπου τελείωνε η ενίσχυση. Ωστόσο, ο κόμβος παρουσιάστηκε πιο δύσκαμπτος. Η εικόνα ως προς την μεταβολή των τριών παραμέτρων παρέμεινε και πάλι η ίδια.

Η τελευταία σύνδεση (IV) της πρώτης ομάδας παρουσίασε την καλύτερη συμπεριφορά. Η παραμόρφωση της κοιλοδοκού μειώθηκε αισθητά και η δυσκαμψία αυξήθηκε ικανοποιητικά. Παρόλα αυτά, η πλαστική άρθρωση παρουσιάστηκε στο σημείο εισχώρησης του κορμού στο στύλο (Σχήμα 23). Γενικά, η σύμμικτη λειτουργία βελτιώθηκε. Στη μεταβολή της λυγηρότητας φάνηκε μεγάλη ευαισθησία, ενώ ως προς το επίπεδο της τέμνουσας υπήρξε απότομη πτώση της δυσκαμψίας για λόγο $M/V = 0.5$ (Σχήμα 24).



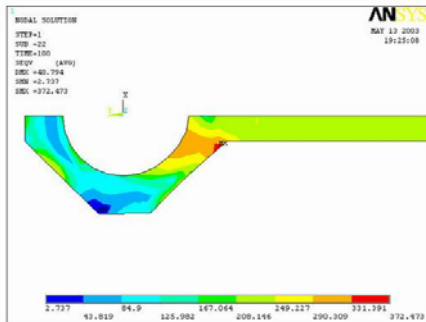
Σχήμα 23: Πλαστικές παραμορφώσεις v. Mises



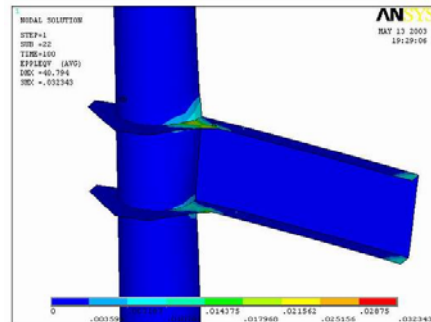
Σχήμα 24: Τύπος (IV) – καμπύλες M/V

Στη δεύτερη ομάδα η πιο απλή σύνδεση τύπου (V) ξεπέρασε όλες τις συνδέσεις της πρώτης ομάδας ως προς την αρχική δυσκαμψία. Ωστόσο, στη μετελαστική περιοχή οδηγήθηκε σε μεγαλύτερες στροφές. Το τετράγωνο διάφραγμα δεν στάθηκε ικανό να διοχετεύσει ομαλά τις τάσεις γύρω από το υποστύλωμα, οδηγώντας σε συσσώρευση τάσεων στην μπροστινή περιοχή του, όπου εμφανίστηκε η διαρροή (Σχήμα 25 και 26). Στο σκυρόδεμα ρηγματώσεις εμφανίστηκαν στην περιοχή του άνω πέλματος. Η μεταβολή του αξονικού φορτίου δεν επηρέασε τη συμπεριφορά, ενώ αντίθετα, ευαισθησία διαπιστώθηκε

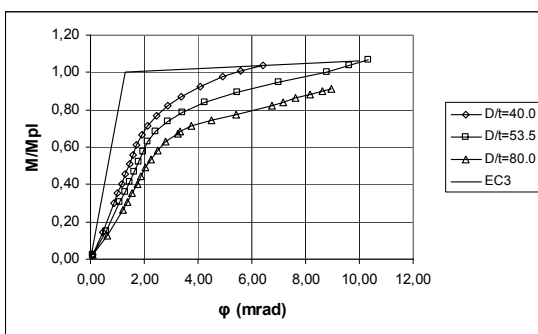
στη μεταβολή της λυγηρότητας της κοιλοδοκού. Επίσης, απότομη πτώση της επίδοσης παρατηρήθηκε για επίπεδο τέμνουσας $M/V = 0.5$ (Σχήμα 27 και 28).



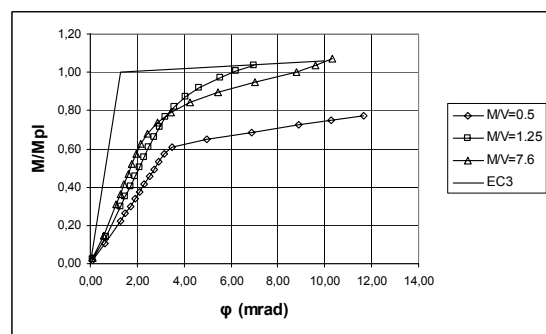
Σχήμα 25: Τάσεις von Mises – Άνω πέλμα



Σχήμα 26: Πλαστικές παραμορφώσεις von Mises

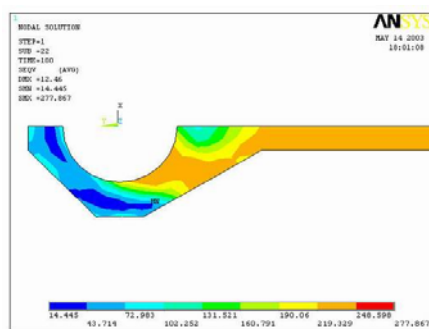


Σχήμα 27: Τύπος (V) – καμπύλες D/t

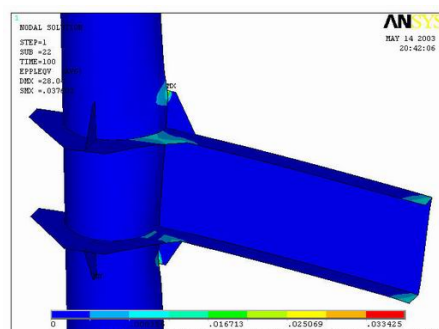


Σχήμα 28: Τύπος (V) – καμπύλες M/V

Στον τύπο (VI) τα διαφράγματα διαμορφώθηκαν με γωνία 30° , γεγονός που βελτίωσε την καμπτική συμπεριφορά του κόμβου. Η ροή των τάσεων εξομαλύνθηκε (Σχήμα 29) και η αντοχή του κόμβου αυξήθηκε. Παράλληλα, αυξήθηκε και η δυσκαμψία του κόμβου και η σύνδεση συμπεριφέρθηκε ελαστικά μέχρι το 90% της πλαστικής ροπής αντοχής της δοκού. Η άρθρωση δημιουργήθηκε στην άκρη του διαφράγματος. Μικρή ευαισθησία έδειξε αυτός ο τύπος στη μεταβολή του λόγου D/t , ενώ για λόγους M/V μικρότερους του 1.25 υπήρχε μεγάλη απώλεια αντοχής και δυσκαμψίας.



Σχήμα 29: Τάσεις v. Mises – Άνω πέλμα



Σχήμα 30: Πλαστικές παραμορφώσεις v. Mises

Η σύνδεση τύπου (VII), η οποία προήλθε από την (V) με προσθήκη λεπίδων ακαμψίας, παρουσίασε παρόμοια συμπεριφορά με αυτή. Το πλεονέκτημα ήταν ότι αυξήθηκε η δυσκαμψία και η αντοχή του κόμβου, αντιστηρίχτηκαν πλευρικά τα εξωτερικά διαφράγματα και αυξήθηκε η αντοχή σε διάτμηση. Η διαρροή ξεκίνησε από τα διαφράγματα (Σχήμα 30) και η τελική γωνία στροφής μειώθηκε στο μισό.

Οι συνδέσεις τύπου (VIII) & (IX) σχεδιάστηκαν μόνο για να διερευνηθεί η συμπεριφορά του κόμβου, όταν ο κορμός της δοκού διαπερνούσε το στύλο. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά με αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας.

Τέλος η σύνδεση τύπου (X) αποδείχθηκε ότι είναι ο πιο δύσκαμπτη από όλες. Η πλαστική άρθρωση δημιουργήθηκε στην περιοχή εισόδου της δοκού στον στύλο, ενώ τα δύο υλικά, σκυρόδεμα και χάλυβας, συνεργάστηκαν πιο αποτελεσματικά. Στο σκυρόδεμα παρατηρήθηκε ρηγμάτωση στην περιοχή των πελμάτων της δοκού.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αναλυτική διαδικασία μελέτης εφαρμόστηκε σε δέκα διαφορετικούς τύπους συνδέσεων, απ' όπου προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα.

Εκτός της σύνδεσης (I), όλες οι άλλες συνδέσεις είναι πλήρους αντοχής και ημιάκαμπτες, σύμφωνα με το σύστημα κατάταξης του EC3 για μεταθετά πλαίσια [7]. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό και πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς, που συνήθως θεωρούν εξ αρχής ότι οι συνδέσεις είναι πλήρως άκαμπτες. Η σύνδεση τύπου (I) αποδείχθηκε η πιο εύκαμπτη μερικής αντοχής σύνδεση και γι' αυτό ακατάλληλη για χρήση σε σεισμογενείς περιοχές. Ωστόσο, είναι μια καλή σύνδεση για χρήση σε κτίρια με κυρίως φορτία βαρύτητας.

Όταν ο κορμός της δοκού διέρχεται μέσα από το υποστύλωμα, ο κόμβος γίνεται αρκετά πιο δύσκαμπτος και αυξάνεται η αντοχή του σε διάτμηση. Επιπλέον, η γωνία στροφής και η παραμόρφωση τοπικά στην κοιλοδοκό μειώνονται.

Χρησιμοποιώντας εξωτερικά διαφράγματα, η καμπτική συμπεριφορά βελτιώνεται και η βελτίωση αυξάνει όσο η γωνία διαμόρφωσης του διαφράγματος μικραίνει και η δοκός απομακρύνεται από τον κόμβο.

Η δυσκαμψία του κόμβου αυξάνεται ικανοποιητικά αν χρησιμοποιηθούν λεπίδες ακαμψίας, που αυξάνουν παράλληλα και την διατμητική αντοχή.

Περνώντας, τέλος, τη δοκό ολόκληρη μέσα από το στύλο διαμορφώνεται η πιο άκαμπτη σύνδεση και η πιο κατάλληλη για αντισεισμικό σχεδιασμό.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Beutel J., Thambiratnam D., Perera N., "Monotonic behavior of composite column to beam connections". *Engineering Structures*, Vol. 23, 2001, pp.1152-1161.
- [2] Alostaz Y.M., Schneider S.P., "Analytical Behavior of Connections to Concrete-filled Steel Tubes", *J.C.S.R.*, Vol. 40 (2), 1996, pp. 95-127.
- [3] Chin-Tung C., Lap-Loi C., "Seismic performance of steel beams to concrete-filled steel tubular column connections", *J.C.S.R.*, Vol. 59, 2002, pp. 405-426.
- [4] Elremaily A., Azizinamini A., "Design provisions for connections between steel beams and concrete filled tube columns", *J.C.S.R.*, Vol. 57, 2001, pp. 971-995.
- [5] EN 1994-1-1: Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [6] Alostaz Y.M., Schneider S.P., "Experimental Behavior of Connections to Concrete-filled Steel Tubes", *J.C.S.R.*, Vol. 45 (3), 1998, pp. 321-352.
- [7] ENV 1993.01.01: Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings.

ANALYTICAL INVESTIGATION OF THE BENDING BEHAVIOUR OF COMPOSITE JOINTS

Apostolos N. Kagiannis

Dipl. Civil Engineer
Iolkou 391, Aidonofolies
GR-385 00 Volos, Greece
e-mail: akagiann@vol.forthnet.gr

Aris V. Avdelas

Associate Professor
Institute of Steel Structures, Dept. of Civil Engineering
Aristotle University of Thessaloniki
GR-541 24 Thessaloniki, Greece
e-mail: avdelas@civil.auth.gr

Summary

In the present paper, the behaviour of connections between circular concrete filled steel tube-columns and I-beams is studied, by the use of Finite Element Analysis. In order to investigate the nonlinear bending behaviour of the joints, under monotonically increasing loading, the ANSYS finite element code has been used. For that purpose, ten different types of connections have been designed and multiple analyses performed in order to examine the way in which the magnitude of the axial load, the thickness of the steel tube and the magnitude of the moment to shear ratio affect the bending behaviour of the joint. The weak points of all types of connections have been identified. The main conclusions of the finite element analysis are presented and compared with some published experimental and analytical results.