

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΚΑΩΡΟΦΟΥ ΣΥΜΜΙΚΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Βασίλειος Χορτομάρης
Διπλ.Πολ.Μηχ Δ.Π.Θ
Τεχνικό γραφείο, Εμμανουήλ Παπά 56
Σέρρες, Ελλάδα
e-mail : hortomaris_b@teemail.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται να μελετηθεί η σεισμική απόκριση - συμπεριφορά δύο διαφορετικών σύμμικτων πλαισίων. Πιο συγκεκριμένα έχουμε ένα δεκαόροφο πλαίσιο το οποίο αποτελείται από υποστυλώματα κοίλης ορθογωνικής διατομής RHS και σύμμικτους δοκούς διατομής HEA με συνεργαζόμενο πλάτος. Το δεύτερο πλαίσιο αποτελείται από υποστυλώματα κοίλης τετραγωνικής διατομής SHS, πληρωμένα με σκυρόδεμα και όμοιους δοκούς με την πρώτη περίπτωση. Διαστασιολογήθηκαν σύμφωνα με τους ευρωκώδικες 3, 4, και 8. Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η μη γραμμική δυναμική ανάλυση τους, με το πρόγραμμα DRAIN2D+, και εξήχθησαν συγκριτικά συμπεράσματα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κυρίαρχο υλικό δόμησης στην Ελλάδα είναι εδώ και πολλά χρόνια το οπλισμένο σκυρόδεμα. Στην Ευρώπη και την Αμερική όμως, ο χάλυβας είναι αυτός που χρησιμοποιείται κατά κόρον. Στις σύμμικτες κατασκευές τα δύο αυτά υλικά συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων τους.

Στον 20^ο αιώνα εμφανίζονται οι σύμμικτες κατασκευές, που χρησιμοποιούν στο έπακρο τις ιδιότητες των δύο υλικών, του χάλυβα και του οπλισμένου σκυροδέματος. [1],[2] Στις μέρες μας η χρήση τους είναι σαφώς μεγαλύτερη στο εξωτερικό, ενώ και στην Ελλάδα οι μηχανικοί έχουν αρχίσει να δείχνουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

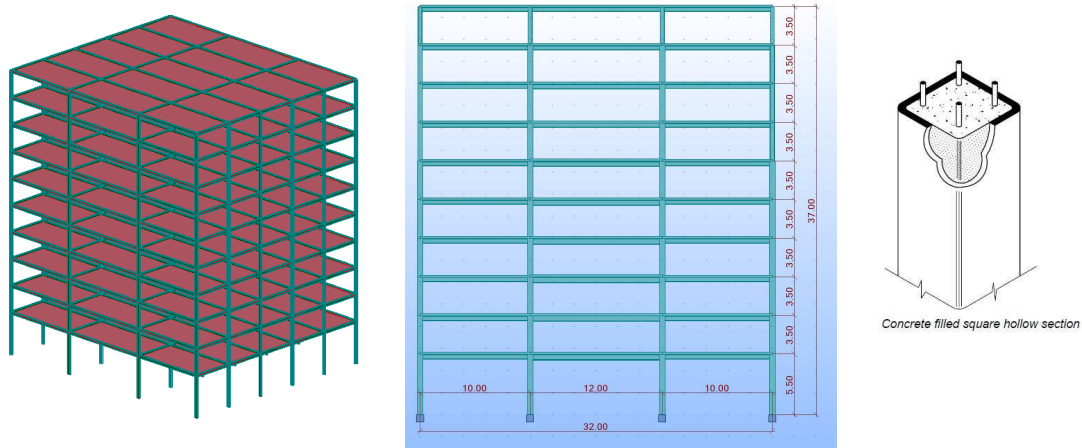
Τα κύρια πλεονεκτήματα των σύμμικτων κατασκευών έναντι των μεταλλικών και αυτών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι: [3],[4]

- Μεγάλη αντοχή, δυσκαμψία, πλαστιμότητα και ικανότητα απόσβεσης.
- Προστασία του χάλυβα από διάβρωση και πυρκαγιά
- Μείωση των ποσοτήτων απαιτούμενου δομικού χάλυβα και των διαστάσεων των διατομών, συνεπώς και συρρίκνωση του κόστους κατασκευής.
- Περιορισμός φαινομένων καθολικού και τοπικού λυγισμού.
- Μεγάλη ταχύτητα ανέγερσης, βελτιωμένη αισθητική.

3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Το υπό ανάλυση πλαίσιο αποτελεί τμήμα μιας δεκαώροφης σύμμικτης κατασκευής από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, [5] η οποία παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.

Η τυπική διατομή των υποστυλωμάτων φαίνεται παρακάτω. [7]



Σχ. 1 α) Τρισδιάστατη απεικόνιση κατασκευής β) Η γεωμετρία του υπό ανάλυση πλαισίου γ) Χαρακτηριστική διατομή σύμμικτου υποστυλώματος

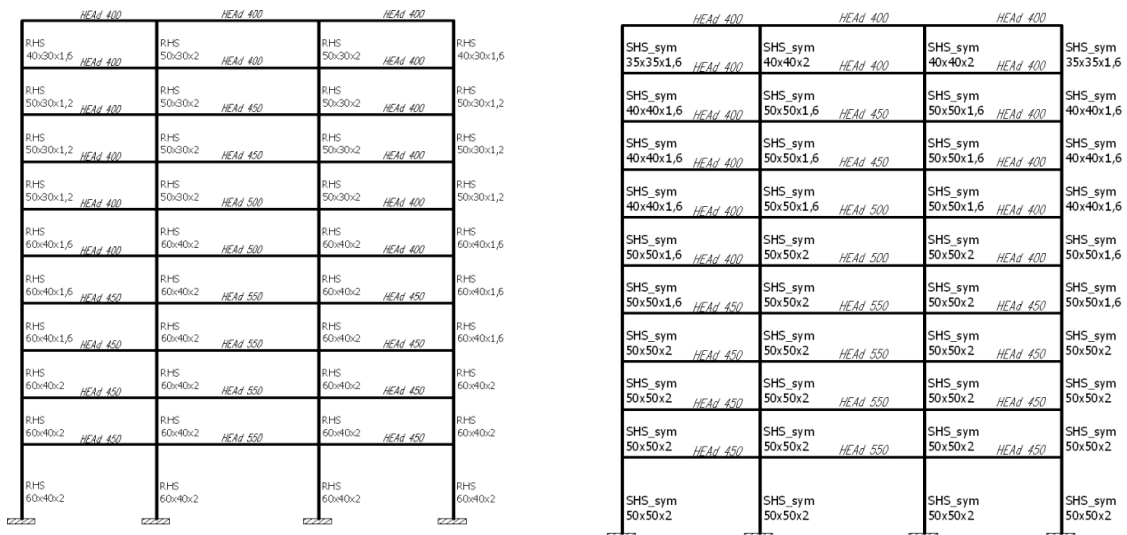
Η σύμμικτη κατασκευή που απεικονίζεται παραπάνω έχει ύψος 37,00 m, μήκος 32,00 m και πλάτος 25,00 m. Το ύψος του ισόγειου είναι 5,50 m ενώ των υπόλοιπων ορόφων είναι 3,50 m. Επιλέχθηκε να γίνει η ανάλυση ενός ενδιάμεσου πλαισίου, το οποίο είναι και το δυσμενέστερο. Τα ανοίγματα είναι διαδοχικά 10, 12 και 10 m ενώ τα πλαίσια επαναλαμβάνονται ανά 5,00 m. Η ίδια κατασκευή μελετήθηκε για δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη, τα υποστυλώματα ήταν μεταλλικά RHS, ενώ στην δεύτερη SHS πληρωμένα με σκυρόδεμα. Ο τύπος των δοκών παρέμεινε κοινός και στα δυο δομήματα, δηλαδή σύμμικτοι διατομής HEA με συνεργαζόμενο πλάτος.

Το σύμμικτο πλαίσιο μελετήθηκε με βάση τόσο τα στατικά φορτία, όσο και με τα φορτία σεισμού, λαμβάνοντας υπόψη τις διατάξεις του EC 8. Για τον ανωτέρω σκοπό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Robot. [6]

4. Η ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ

Η διαστασιολόγηση των σύμμικτων δοκών έγινε με τη βοήθεια φύλλου εργασίας στο excel, σύμφωνα με τον EC 4. Τα μεταλλικά υποστυλώματα διαστασιολογήθηκαν από το Robot, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του EC3. Τα σύμμικτα υποστυλώματα είναι κοιλοδοκοί πληρωμένοι με σκυρόδεμα και έχουν οπλισμό. Η διαστασιολόγησή τους έγινε με τη βοήθεια φύλλου εργασίας στο excel, κατ' απαίτηση του EC4, το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Θεωρήθηκε ότι οι κόμβοι του πλαισίου είναι άκαμπτοι, δηλαδή ότι παραλαμβάνουν όλη την αναπτυσσόμενη ροπή. Δεν έγινε η διαστασιολόγηση τους αλλά ούτε και ο έλεγχος αντοχής τους.

Μετά τον συγκερασμό των αναλύσεων στο Robot και των διαστασιολογήσεων στα φύλλα εργασίας Excel, προέκυψαν οι παρακάτω διατομές για τις δυο διαφορετικές περιπτώσεις. Να σημειωθεί πως και στα δυο πλαίσια ακολουθήθηκε ο ικανοτικός σχεδιασμός με βάση τον EC8.



Σχ. 2

α) Μεταλλικά υποστυλώματα – σύμμικτοι δοκοί. β) Σύμμικτα υποστυλώματα – σύμμικτοι δοκοί.

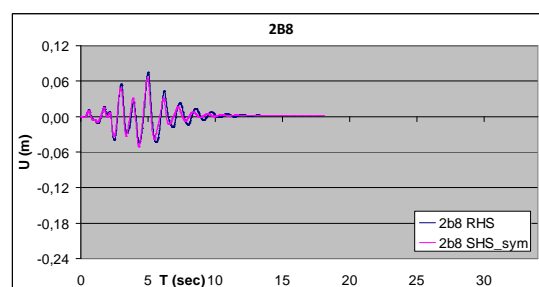
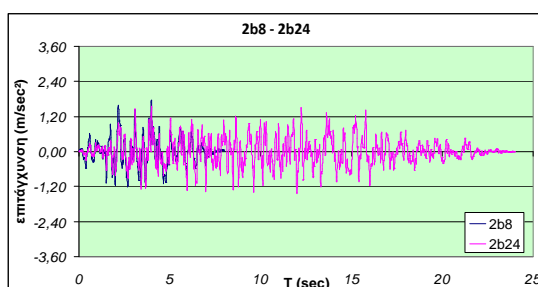
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο πλαίσιο είναι S355 για τα υποστυλώματα ενώ για τις δοκούς S355 και C25/30, οπλισμός S500. Να σημειωθεί πως οι διατομή SHS 50x50x2, που είναι και η μεγαλύτερη διάσταση στην παραγωγή της ελληνικής αγοράς [8], δεν επαρκούσε για την ανάληψη των σεισμικών δράσεων, στη βάση του πλαισίου. Έτσι εκλέχθηκαν υποστυλώματα διατομής RHS, που διαθέτουν μεγαλύτερη αντοχή.

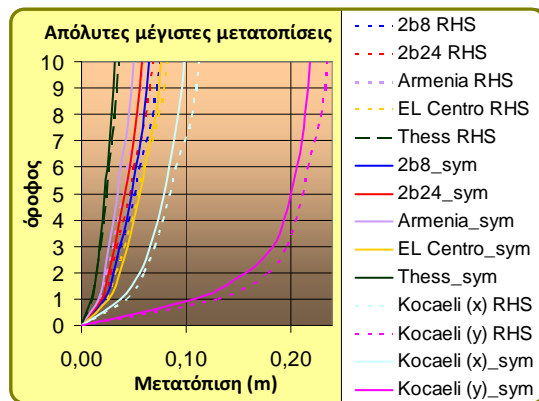
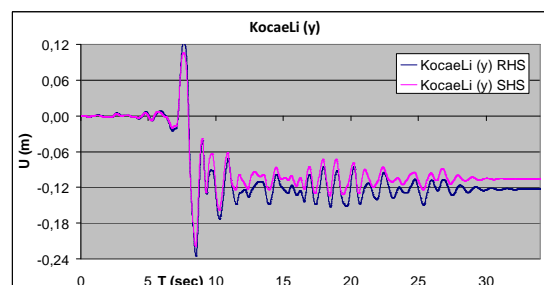
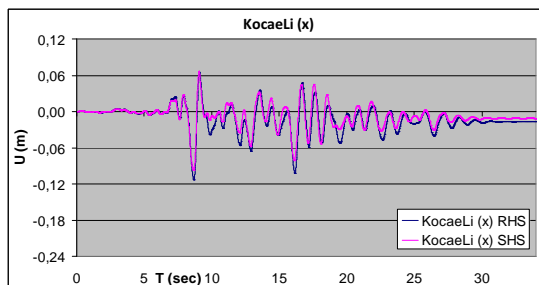
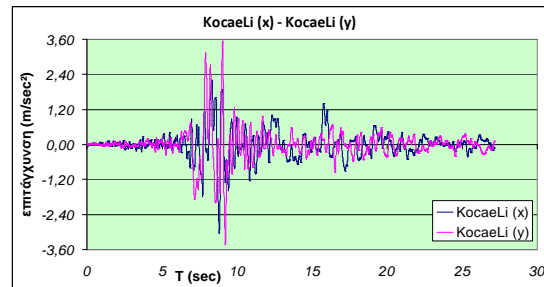
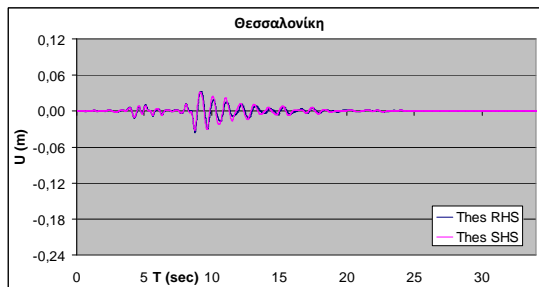
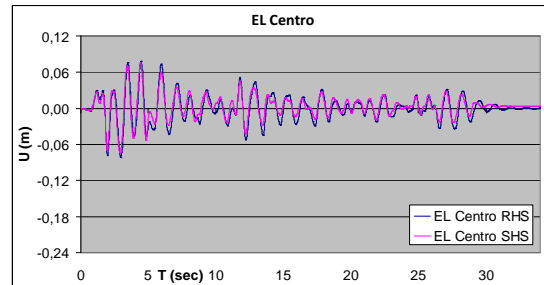
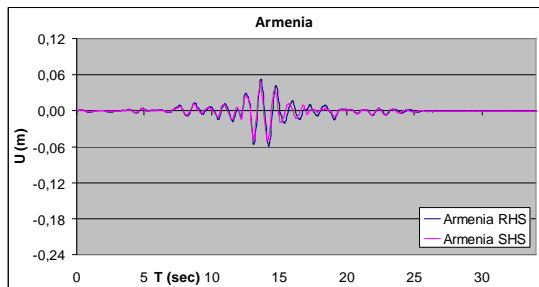
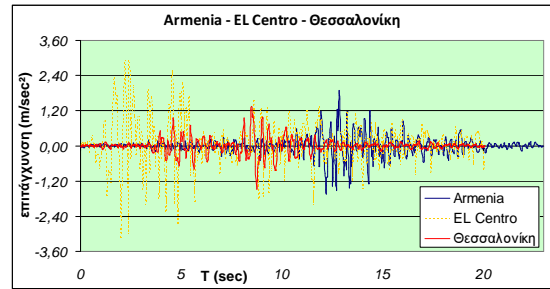
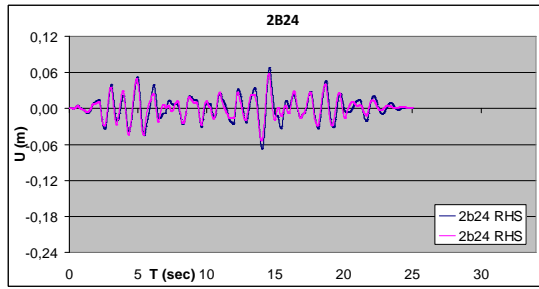
Στο δεύτερο πλαίσιο τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τα υποστυλώματα είναι S355, C30/37, οπλισμός S500. Για τις δοκούς επιλέχθηκαν S355 και C25/30, οπλισμός S500.

5. ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση του σύμμικτου πλαισίου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα DRAIN2D+ (Version 1.14 - 1994) των Keh-Chyuan Tsai και Jeng-Wei Li (Department of Civil Engineering, National Taiwan University). Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί βελτιωμένη έκδοση του DRAIN-2D (Kanaan and Powell, 1973).

Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση, των δυο σύμμικτων πλαισίων για 7 σειсмоγραφήματα. Να σημειωθεί πως χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο 2 στη παρούσα εργασία, χάριν απλότητας. Επίσης να αναφερθεί ότι τα 2 πρώτα επιταχυνσιογραφήματα, 2b8 και 2b24, είναι τεχνητά, ενώ τα επόμενα 5, Αρμενία, EL Centro, Kocaeli (x), Kocaeli (y) και Θεσσαλονίκη, είναι πραγματικές καταγραφές. Τα επόμενα διαγράμματα απεικονίζουν τις μετατοπίσεις του 10⁰⁰ ορόφου συναρτήσει του χρόνου. Στους σεισμούς 2b8 και Θεσσαλονίκης, η ανάλυση συνεχίστηκε μετά το πέρας της διέγερσης, ώστε να εκτελεστεί ελεύθερη ταλάντωση.





Σχ. 3
 α) Διαγράμματα σειсмоγραφημάτων
 β) Διαγράμματα μετατόπισης 10^{ου} ορόφου αντίστοιχων κατασκευών
 γ) Διάγραμμα μέγιστων απόλυτων μετακινήσεων των δυο κατασκευών για τα επτά σεισογραφήματα

Παρατηρώντας συνολικά τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνουμε παρόμοια συμπεριφορά των 2 πλαισίων. Η απόκριση μετατόπισης του τελευταίου ορόφου σε όλες

τις περιπτώσεις, εκτός του σεισμού kocaeli (y), ήταν σχετικά μικρή που σημαίνει πως δεν είχαμε σημαντικές βλάβες. Και οι δυο κατασκευές στην καταγραφή kocaeli (y) σημείωσαν την μέγιστη μόνιμη πλαστική παραμόρφωση της τάξης των 12,5 cm για το πλαίσιο RHS και 10,5 cm για το πλαίσιο SHS_sym. Στους σεισμούς 2b8 και EL Centro η κατασκευή με τα μεταλλικά υποστυλώματα, δεν παρουσίασε μόνιμη παραμόρφωση, ενώ η άλλη με τα σύμμικτα υποστυλώματα, εμφάνισε μια πολύ μικρή, της τάξης του 0,5 cm περίπτωση.

6. ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΟΡΟΦΩΝ

Για τον προσδιορισμό του μεγέθους των βλαβών σε κάθε κατασκευή έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένα όρια τα οποία αφορούν τις τιμές των ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων των ορόφων ενός φορέα [9] και οι ακραίες τιμές των τιμών αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος βλαβών	Όρια κατηγοριών βλαβών			
	Όρια ανηγμένης μετατόπισης ορόφων			
	Μικρές βλάβες	Μεσαίες βλάβες	Μεγάλες βλάβες	Κατάρρευση
Κατασκευαστικές	$\leq 0,5$	$0,5 \leq$ MISDR $\leq 1,5$	$1,5 \leq$ MISDR $\leq 2,5$	$> 2,5$
Αρχιτεκτονικές	$\leq 0,5$	$0,5 \leq$ MISDR $\leq 1,2$	$1,2 \leq$ MISDR $\leq 1,7$	$> 1,7$

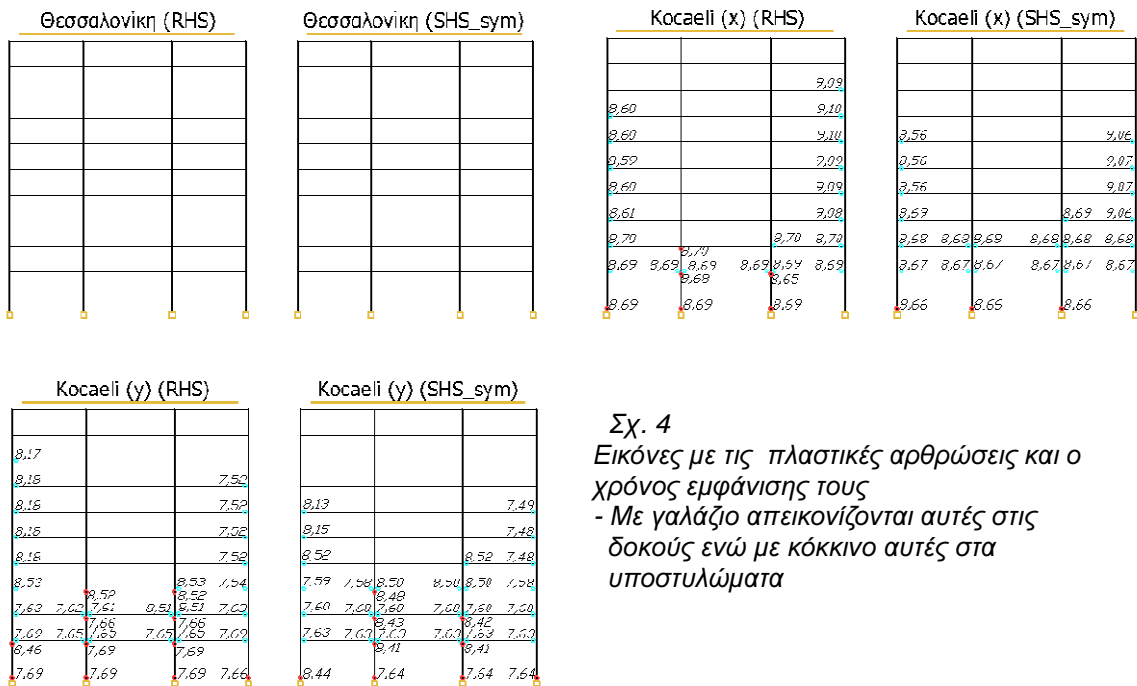
Πιν. 1
Όρια κατηγοριών βλάβης

Ακολουθούν συγκεντρωτικά αποτελέσματα με τις σχετικές μετατοπίσεις των ορόφων.

Όροφος	RHS							Όροφος	SHS_sym						
	2b8	2b24	Armenia	Centro	EL	Kocaeli (x)	Kocaeli (y)		Θεσσαλονίκη	2b8	2b24	Armenia	Centro	EL	Kocaeli (x)
0-1	0,418	0,382	0,327	0,436	0,800	2,364	0,200	0-1	0,400	0,345	0,291	0,473	0,691	1,964	0,182
1-2	0,257	0,229	0,171	0,257	0,486	1,400	0,114	1-2	0,257	0,200	0,171	0,314	0,514	1,429	0,114
2-3	0,200	0,171	0,171	0,229	0,286	0,543	0,114	2-3	0,200	0,171	0,143	0,229	0,286	0,743	0,086
3-4	0,200	0,171	0,171	0,229	0,257	0,286	0,114	3-4	0,171	0,143	0,143	0,200	0,229	0,343	0,086
4-5	0,171	0,171	0,143	0,200	0,229	0,257	0,086	4-5	0,171	0,143	0,143	0,200	0,200	0,229	0,086
5-6	0,171	0,143	0,143	0,200	0,200	0,229	0,086	5-6	0,143	0,143	0,114	0,171	0,200	0,200	0,086
6-7	0,200	0,200	0,171	0,257	0,286	0,314	0,114	6-7	0,143	0,143	0,114	0,171	0,200	0,200	0,086
7-8	0,171	0,171	0,143	0,200	0,229	0,257	0,114	7-8	0,114	0,114	0,114	0,143	0,171	0,171	0,086
8-9	0,114	0,114	0,114	0,143	0,171	0,200	0,086	8-9	0,086	0,086	0,086	0,114	0,114	0,114	0,057
9-10	0,086	0,086	0,086	0,114	0,114	0,143	0,057	9-10	0,057	0,086	0,057	0,086	0,114	0,114	0,057

Πιν. 2 Ποσοστά (%) ανηγμένων μετακινήσεων ορόφων των δυο πλαισίων

Από τους παραπάνω πίνακες εξάγεται το συμπέρασμα πως και οι δυο κατασκευές αποκριθήκαν πολύ ικανοποιητικά έναντι των σεισμικών διεγέρσεων ενώ οι βλάβες, σύμφωνα με τον πίνακα των ανηγμένων μετατοπίσεων, είναι μικρές. Τα υποστυλώματα του πρώτου ορόφου, λόγω του μεγάλου ύψους τους, παρουσιάζουν την μέγιστη σχετική μετακίνηση, ενώ αντίστοιχα αυτά του τελευταίου είχαν την μικρότερη. Ο σεισμός kocaeli (y) ταλαιπώρησε περισσότερο τις κατασκευές και το πλαίσιο RHS κινδυνεύει από κατάρρευση εξαιτίας των υποστυλωμάτων του ισογείου. Εδώ ακριβώς φαίνεται πως η άλλη κατασκευή με τα σύμμικτα SHS υποστυλώματα διένειμε καλύτερα την σεισμική ένταση και κατέγραψε μικρότερη βλάβη.



Σχ. 4
 Εικόνες με τις πλαστικές αρθρώσεις και ο χρόνος εμφάνισής τους
 - Με γαλάζιο απεικονίζονται αυτές στις δοκούς ενώ με κόκκινο αυτές στα υποστυλώματα

Παρότι σχεδιαστήκαν τα 2 πλαίσια σύμφωνα με τον ικανοτικό έλεγχο του EC8, δεν αποφευχθήκαν οι πλαστικές αρθρώσεις στα υποστυλώματα. Από τις εικόνες διαφαίνεται πως η κατασκευή με τα σύμμικτα SHS υποστυλώματα συμπεριφέρθηκε κάπως καλύτερα έναντι της άλλης, αφού διαμοιράστηκαν οι πλαστικές αρθρώσεις σε μεγαλύτερο εύρος και κυρίως στις δοκούς, με συνέπεια να μην κινδυνεύει από κατάρρευση ακόμη και στον σεισμό Kocaeli (y).

8. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις παραπάνω εικόνες αλλά και από τον πίνακα με τον δείκτη βλάβης που προκύπτει από την μέση πλαστική στροφή ολόκληρης της κατασκευής, απορρέουν τα παρακάτω συμπεράσματα. Το πλαίσιο με τα μεταλλικά υποστυλώματα φαίνεται να έχει λιγότερες πλαστικές αρθρώσεις σε σχέση με το άλλο που έχει τα σύμμικτα υποστυλώματα. Όμως το δεύτερο αν και με πιο εκτεταμένη διασπορά των πλαστικών αρθρώσεων αποδίδει παρόμοιο δείκτη βλάβης. Μία άλλη παρατήρηση είναι πως στον σεισμό του Kocaeli (x) και (y) συνιστώσα, ο οποίος ταλαιπώρησε τις δυο κατασκευές περισσότερο, το πλαίσιο με τα μεταλλικά υποστυλώματα παρουσίασε έντεκα πλαστικές αρθρώσεις στα υποστυλώματα, εκ των οποίων 7 στους πάνω και κάτω κόμβους των στύλων του ισογείου, ενώ αντίθετα η άλλη κατασκευή με τα σύμμικτα υποστυλώματα εμφάνισε μόνο εννέα πλαστικές αρθρώσεις, εκ των οποίων 4 παρουσιάστηκαν στην βάση και την στέψη των δυο μεσαίων στύλων του ισογείου. Στον ίδιο σεισμό το 2^ο πλαίσιο ανάγκασε σχεδόν όλες τις δοκούς να διαρρεύσουν στους 3 πρώτους ορόφους, ενώ το 1^ο φαίνεται πως συγκέντρωσε την βλάβη στα υποστυλώματα του ισογείου και λιγότερες δοκοί παρουσίασαν πλαστικές αρθρώσεις με συνέπεια να κινδυνεύει από κατάρρευση, αφού ο δείκτης βλάβης ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων πλησιάζει την οριακή τιμή προς κατάρρευση. Λαμβάνοντας υπόψη τα παρόμοια χαρακτηριστικά των δύο πλαισίων, (μάζα, δυσκαμψία, ιδιομορφές) συμπεραίνουμε ότι γενικά μία σύμμικτη κατασκευή έχει πολύ καλή αντισεισμική συμπεριφορά, αφού παρουσιάζει μικρές βλάβες [10],[11]. Η παρουσία του σκυροδέματος στο εσωτερικό μιας κοίλης διατομής αποτρέπει την παρουσία

φαινόμενων τοπικού λυγισμού, κάτι το οποίο δεν εμπεριέχεται στην ανάλυση με το DRAIN2D+. Οπότε είναι εύλογο το ερώτημα αν τελικά το μεταλλικό πλαίσιο μπορέσει να αναπτύξει την αναμενόμενη πλαστικότητα που διαθέτει, στην περίπτωση ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ευρωκώδικας 4 : Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα, Ευρωπαϊκή επιτροπή τυποποίησης.
- 2) G. Hanswille, Eurocode 4, composite columns, Background and Applications, Dissemination of information for training, February 2008, Brussels.
- 3) Αθ. Χ. Τριανταφύλλου, Σύμμικτες κατασκευές, Πάτρα 2009.
- 4) Α. Μαρινοπούλου, Ζ. Δερβίση, Α. Ελένας, Χ. Κάλφας, Damage index of seismic-excited composite frames, Compdyn 2009, Ρόδος Ιούνιος 2009.
- 5) Ζωή Δερβίση, Μεταπτυχιακή διατριβή, Μη γραμμική δυναμική ανάλυση δεκαώροφου σύμμικτου πλαισίου, Ξάνθη 2006.
- 6) Autodesk, Robot Structural Analysis Professional 2009, Getting Started Guide.
- 7) Corus, Design Guide for Concrete Filled Columns, 2002 <http://www.steel-sci.org>
- 8) ΣΙΑΕΝΟΡ, Κατασκευές με κοίλες διατομές από χάλυβα, Τεχνικό εγχειρίδιο, Αθήνα 2009.
- 9) Vision 2000, committee performance-based seismic engineering of buildings, structural engineers association of California (SEAOC) 1995, (Sacramento California).
- 10) Jerome F. Hajjar, Performance-Based Design of Concrete-Filled Steel Tube Beam-Columns and Composite Structural Systems: Element Formulations and Design Strategies, University of Illinois urbana-champaign, <http://cee.illinois.edu>.
- 11) Απόστολος Ν. Καγιάννης, Άρης Β. Αβδελάς, Καμπτική συμπεριφορά σύμμικτων κόμβων με χαλύβδινες δοκούς και γεμισμένα με σκυρόδεμα υποστυλώματα διατομής κυκλικής κοιλοδοκού, Θεσσαλονίκη.

Non-Linear dynamic analysis of ten-storey composite frame

Vasilios Hortomaris

Civil engineer D.U.Th

Emmanouil Papa 56

Serres, Greece

e-mail : hortomaris_b@teemail.gr

SUMMARY

For many years now reinforced concrete has been the dominant building material in Greece in contrast to the rest of Europe and America, where steel is used predominantly. In composite constructions, these two materials are combined in such a way so as to make the best use of their properties.

The frame in the present analysis is an intermediate of a ten-storey composite steel-concrete construction, [5] shown in the figure 1. The same construction was designed in two cases. In the first case, the columns were steel RHS while in the second they were SHS infilled with concrete. The type of beams remained the same for both structures. The composite frame studied under of static loads and seismic loads according to EC 8.

The dimensioning of composite beams and columns was carried out using worksheet in Excel, according to the EC 4, developed as part of this study. Steel columns were calculated in Robot, in accordance with the requirements of the EC3. It was considered that the joints are rigid. After the merging of the analyses in Robot and the dimensioning in Excel worksheets, the profiles in figure 2 for two different situations emerged. Worth noting that in both cases the capacity design based on EC8 was adopted.

For the non-linear dynamic analysis of composite steel-concrete frame the program DRAIN2D+ was used. This program is an improved version of DRAIN-2D (Kanaan and Powell, 1973). Following are the results obtained by the non-linear dynamic analysis of two composite frames for 7 seismic acceleration time-history records. Please note that the type 2 element was used in this study, for the sake of simplicity. The figure 3(a-b-c) depict the inter-storey drift of the tenth floor over time. Upon Observation of above figures, the two frames exhibit similar behaviour. The inter-storey drift of the last floor in all cases, with the exception of the kocaeli earthquake (y), was relatively small, which means that we have not had significant damage. To determine the damage index of each construction, specific limits were set based on the values of the relative deformations of stores [9]. The maximum values of those quotations are listed in the table 1. From the figures 3(a-b-c) it is concluded that both constructions reacted very well against seismic excitation while damage is small. As a second indicator of the damage control in composite frame is assigned the ratio of the sum of plastic rotations to the total number of plastic hinges, which are displayed for each seismic graph [9]. All plastic hinges and the corresponding damage indicator are shown in the table 3 and figure 4.

Taking the similar characteristics of the two frames into account (mass, stiffness, eigenvalues) it can be concluded that in general a composite construction has very good anti-seismic behaviour, as it presents small damages [10] [11]. The presence of concrete within a hollow cross-section prevents the presence of local buckling, something that is not included in the analysis with DRAIN2D+. So a reasonable question is if the frame with steel columns is capable of developing the expected ductility that is available in case of strong seismic excitations.