

**ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ BRB ΚΑΙ
ΘΕΩΡΗΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Αντώνιος Κ. Φλογεράς

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc

Σύμβουλος Μηχανικός

Πάτρα, Ελλάδα

e-mail : aflogeras@teemail.gr

Γεώργιος Α. Παπαγιαννόπουλος

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Ακαδημαϊκός Υπότροφος

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Πάτρα, Ελλάδα

e-mail : grapagia@upatras.gr

Νικόλαος Γ. Πνευματικός

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής

ΤΕΙ Αθήνας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail : pnevma@teiath.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία συνοψίζει τα αποτελέσματα σεισμικής απόκρισης από τρισδιάστατες μη-γραμμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας μεταλλικών κατασκευών με συνδέσμους εξασφαλισμένους σε λυγισμό (BRB), λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής (SSI). Τα αποτελέσματα απόκρισης περιλαμβάνουν τις μέγιστες σχετικές μετακινήσεις, τις μέγιστες παραμένουσες σχετικές μετακινήσεις και τις μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις των ορόφων. Επιπλέον, αναφέρονται οι μέσες σεισμικές απαιτήσεις σε όρους αξονικής δύναμης και στροφής στα υποστυλώματα, αξονικής και διατμητικής δύναμης και καμπτικής ροπής στις δοκούς καθώς και αξονικής μετακίνησης στους συνδέσμους. Για λόγους σύγκρισης, εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές διατάξεις των συνδέσμων. Συμπεραίνεται ότι η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής, όταν θεωρηθεί, μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες σχετικές και παραμένουσες σχετικές μετακινήσεις από τις αντίστοιχες που θα πρόκυπταν αν αυτή αγνοηθεί. Αυτές οι μετακινήσεις δεν προκάλεσαν αστοχία των υποστυλωμάτων και των συνδέσμων. Ωστόσο, η δοκός του συνδέσμου μπορεί να αστοχήσει σε κάμψη.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σύνδεσμοι με εξασφάλιση σε λυγισμό (BRB) έχουν το πλεονέκτημα ότι αναπτύσσουν πλήρη πλαστική αντοχή τόσο σε εφελκυσμό όσο και σε θλίψη χωρίς να εμφανίζουν απομείωση αντοχής. Επομένως, οι σύνδεσμοι αυτοί αποτελούν μια ελκυστική εναλλακτική λύση έναντι των συμβατικών συνδέσμων από χάλυβα σε περιοχές με υψηλή σεισμικότητα. Το βασικό μειονέκτημα των πλαισίων που BRB είναι η έλλειψη ενός μηχανισμού επαναφοράς γεγονός που αναπόφευκτα οδηγεί σε μεγάλες μόνιμες παραμορφώσεις, ειδικά στην περίπτωση ισχυρής σεισμικής κίνησης. Αυτές οι μεγάλες μόνιμες παραμορφώσεις μπορούν να συγκεντρωθούν σε έναν όροφο κυρίως επειδή τα BRB έχουν χαμηλή δυσκαμψία μετά από την διαρροή τους. Εντούτοις, μπορούν να μειωθούν αισθητά αλλά δεν μπορούν να εξαλειφθούν είτε με βελτιωμένες λεπτομέρειες σύνδεσης είτε με τη χρήση διπλών συστημάτων ή καμπτικών πλαισίων, π.χ., [1]. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι τα κτίρια δεν είναι πλέον κατοικήσιμα αν η παραμένουσα σχετική μετακίνηση ορόφου (RIDR) ξεπεράσει την τιμή 0,5%. Οι Erochko et al. [2] αναφέρουν ότι η μέση τιμή του δείκτη RIDR για το σεισμό σχεδιασμού κυμαίνεται από 0,8-2,0% με αποτέλεσμα η χρήση του BRB να χάνει την ελκυστικότητα της.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης ενός αριθμού τρισδιάστατων μεταλλικών κατασκευών με διαφορετικές διατάξεις των BRB, θεωρώντας αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής (SSI). Οι μεταλλικές κατασκευές σχεδιάζονται για τα υψηλότερα σεισμικά φορτία του Ελληνικού χώρου, δηλαδή για μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) 0,36g.

Τα αποτελέσματα σεισμικής απόκρισης περιλαμβάνουν μέσες τιμές για τις μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων (IDR), τις μέγιστες παραμένουσες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων (RIDR) και τις μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις των ορόφων (PFA) και προέκυψαν από μη-γραμμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας χρησιμοποιώντας καταγεγραμμένα επιταχυνσιογραφήματα που ικανοποιούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τις απαιτήσεις του EC8 [3]. Επιπλέον, βρίσκονται οι μέσες σεισμικές απαιτήσεις όσον αφορά την αξονική δύναμη και στροφή στα υποστυλώματα, την αξονική και διατμητική δύναμη και την καμπτική ροπή στις δοκούς που συνδέονται με τα BRB καθώς και την αξονική μετακίνηση των BRB. Για λόγους σύγκρισης, τα προαναφερθέντα αποτελέσματα σεισμικής απόκρισης και απαίτησης δίνονται και για την περίπτωση που δεν θεωρείται SSI.

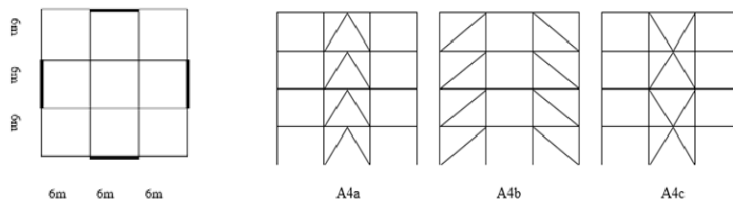
Αποδεικνύεται ότι η θεώρηση SSI οδηγεί σε τιμές RIDR υψηλότερες από την τιμή 0,5%, καθιστώντας την κατασκευή πρακτικά μη-κατοικήσιμη. Οι μέγιστες τιμές IDR μπορούν να ξεπεράσουν το όριο σχεδιασμού σχετικής μετακίνησης ορόφων, ενώ οι τιμές PFA (κανονικοποιημένες ως προς την PGA) δείχνουν ότι τα BRB μπορούν να περιορίσουν αποτελεσματικά τις επιταχύνσεις που μεταδίδονται στη κατασκευή.

Η ανελαστική αξονική μετακίνηση των BRB ως αποτέλεσμα των παραμορφώσεων του πλαισίου είναι σύμφωνη με αυτή που δέχονται σε επίπεδο σχεδιασμού οι αντισεισμικοί κανονισμοί [4], δηλαδή δύο φορές την τιμή σχεδιασμού της σχετικής μετακίνησης ορόφων. Λαμβάνοντας υπόψη τις αντοχές των μελών σύμφωνα με τον EC3 [5], ούτε η αξονική δύναμη στα υποστυλώματα, ούτε η αξονική δύναμη των BRB υπερβαίνουν τις τιμές σχεδιασμού τους. Η δοκός που συνδέεται με τα BRB παρουσιάζει σημαντική αντοχή σε αξονική και διατμητική δύναμη, όμως μπορεί να αστοχήσει σε κάμψη.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ BRB

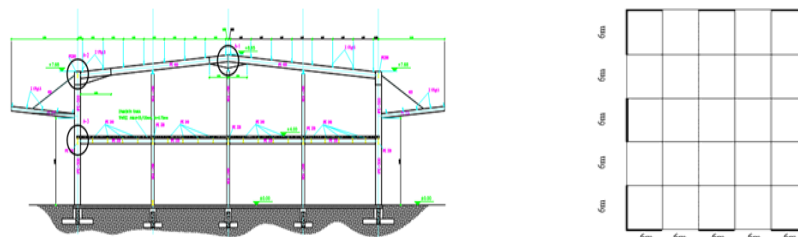
Οι μεταλλικές κατασκευές που επιλέχθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας είναι κατασκευές για χρήση κατοικίας ή γραφείων, με 4, 6 και 8 ορόφους (τύπος Α) καθώς και

ένα βιομηχανικό κτίριο 2 ορόφων (τύπος Β). Μια τυπική κάτοψη για τις κατασκευές 4, 6 και 8 ορόφων του τύπου Α παρουσιάζεται στο Σχ.1. Στο σχήμα αυτό, κάθε άνοιγμα έχει μήκος 6,0m, το ύψος κάθε ορόφου θεωρείται ότι είναι 3,0m. Για να μελετηθεί η επίδραση διαφορετικών διατάξεων των BRB, οι κατασκευές 4,6 & 8 ορόφων αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας τα BRB σε διατάξεις ανεστραμμένου V, μονοδιαγώνια και τύπου X, όπως φαίνεται στο Σχ.1, με τις έντονες μαύρες γραμμές να δείχνουν τη θέση των BRB (εξαιρείται η μονοδιαγώνια διάταξη στην οποία τα BRB έχουν τοποθετηθεί στα πλαίσια της περιμέτρου). Επιπλέον, τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα, δηλαδή τα A4a, A4b, A4c, σημαίνουν ότι η κατασκευή αντιστοιχεί στον Τύπο Α, έχει 4 ορόφους και η διάταξη BRB διαφέρει και μπορεί να είναι a (ανεστραμμένο V), b (μονοδιαγώνια) ή c (τύπου X). Παρόμοια ορίζονται ως A6a, A6b, A6c και A8a, A8b, A8c οι περιπτώσεις των 6- και 8-ορόφων κατασκευών τύπου Α, αντίστοιχα.



Σχ. 1. Τυπική κάτοψη και διατάξεις των BRB για τις κατασκευές τύπου Α

Μια όψη του διώροφου βιομηχανικού κτιρίου του τύπου Β παρουσιάζεται στο Σχ.2. Κάθε άνοιγμα έχει μήκος 6,0m, ενώ το ύψος κάθε ορόφου είναι 3,0m. Η κάτοψη του κτιρίου Τύπου Β φαίνεται στο Σχ.2, όπου οι έντονες μαύρες γραμμές υποδεικνύουν τη θέση των BRB. Μελετήθηκε μόνο η κατασκευή Β2a, δηλαδή χρησιμοποιήθηκε η ανεστραμμένη διάταξη V του Σχ.1.



Σχ. 2. Όψη και θέσεις των BRB για το βιομηχανικό κτίριο τύπου Β

Οι κατασκευές τύπου Α & Β έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τους EC3 [5] και EC8 [3]. Ειδικότερα τα μόνιμα και κινητά φορτία στα δάπεδα θεωρήθηκαν 8,0kN/m² και 3,0kN/m², αντίστοιχα. Το σεισμικό φορτίο σχεδιασμού αντιστοιχεί σε φάσμα σχεδιασμού του EC8 [3] για PGA=0,36g και έδαφος κατηγορίας D. Οι συντελεστές συμπεριφοράς θεωρήθηκαν ίσοι με 2,5 για τις διατάξεις a & c και 4,0 για τη διάταξη b του Σχ.1. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν συγκεκριμένες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς στον EC8 [3] για μεταλλικές κατασκευές με BRB, με συνέπεια οι επιλεγμένες τιμές να είναι ίσως αρκετά συντηρητικές σε σύγκριση με τις υψηλές τιμές που παρέχονται για τον συντελεστή αυτόν στους κανονισμούς των Η.Π.Α., π.χ. SEAOC [4] και AISC [6]. Η επίδραση της τυχατικής στρέψης λήφθηκε υπόψη, αν και η τοποθέτηση των BRB στην περίμετρο των κατασκευών σχεδόν την εκμηδενίζει. Οι κατασκευές τύπου Α και Β θεωρούνται αρχικά πακτωμένες και κατόπιν ότι αλληλεπιδρούν με το έδαφος (λόγω υπόθεσης εδάφους D κατά EC8).

Χρησιμοποιήθηκαν διατομές HEB και IPE για υποστυλώματα και δοκούς, αντίστοιχα, ενώ η ισοδύναμη διατομή του BRB εκτιμήθηκε σύμφωνα με τους Bosco and Marino [7].

Οι διατομές δοκών, υποστυλωμάτων και του πυρήνα των BRB δίνονται στην εργασία των Flogeras and Paragiannopoulos [8] και προσανατολισμός των υποστυλωμάτων ακολουθεί τους Erochko et al. [2]. Όλα τα μέλη είναι από χάλυβα S235.

Η τιμή σχεδιασμού IDR θεωρήθηκε 2% [4,6] με αντίστοιχη μετακίνηση σχεδιασμού των BRB ίση με 84mm. Η κατανομή των BRB καθ' ύψος θεωρήθηκε ομοιόμορφη με σκοπό τον έλεγχο εμφάνισης μεγάλων ανελαστικών παραμορφώσεων στους χαμηλούς ορόφους λόγω SSI. Οι συντελεστές ω και β για τη μέγιστη εφελκυστική και θλιπτική αντοχή των BRB χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό δοκών και υποστυλωμάτων με χρήση του συντελεστή υπεραντοχής $1,25\omega\beta$ [8]. Όλες οι συνδέσεις θεωρήθηκαν ότι παραλαμβάνουν ροπή εκτός αυτών των BRB που θεωρήθηκαν αρθρωτές.

4. ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΗ SSI

Οι κατασκευές τύπου A & B που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3 υποβλήθηκαν σε μη-γραμμικές ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας στο RUAUMOKO 3D [9] με χρήση των επιταχυνσιογραφήματων του Πίνακα 1. Τα επιταχυνσιογραφήματα αυτά αντιστοιχούν σε καταγραφές ισχυρών κινήσεων εδάφους κοντά σε ρήγμα. Οι δύο οριζόντιες συνιστώσες των επιταχυνσιογραφήματων του Πίνακα 1 έχουν χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις της κατασκευής χωρίς όμως θεώρηση γωνίας πρόσπτωσης.

Επιταχυνσιογράφημα	Σεισμός	Έτος-Χώρα
El Centro Array 05	Imperial Valley	1979 – Η.Π.Α.
Meloland Route Overpass	Imperial Valley	1979 – Η.Π.Α.
Parachute Test Site	Superstition Hills	1987 – Η.Π.Α.
Lucerne Valley	Landers	1992 – Η.Π.Α.
Sylmar Converter Station	Northridge	1994 – Η.Π.Α.
Takarazuka	Kobe	1995 – Ιαπωνία
Lixouri	Kefalonia	2014 – Ελλάδα

Πίν. 1. Επιταχυνσιογραφήματα μη-γραμμικών ανελαστικών αναλύσεων

Λεπτομέρειες σχετικά με την προσομοίωση των δοκών, των υποστυλωμάτων και των BRB για τις μη-γραμμικές ανελαστικές αναλύσεις αναφέρονται στην εργασία [8]. Ειδικά για τα BRB θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι απαραίτητη η θεώρηση νόμου ισοτροπικής ή ισοτροπικής-κινηματικής κράτυνσης [2] ώστε να εκτιμηθούν ακριβέστερα οι σεισμικές απαιτήσεις στις δοκούς και στα υποστυλώματα. Εντούτοις, για λογούς συντηρητικότητας, στην παρούσα εργασία τα BRB προσομοιώθηκαν ως ανελαστικά στοιχεία δικτύωματος θεωρώντας για τον πυρήνα BRB μεταλυγισμική ατένεια ίση με 2% της αρχικής και αντοχή διαρροής 245MPa. Η προσομοίωση των κομβοελασμάτων των BRB έγινε έμμεσα ενώ δεν προσομοιώθηκαν τα ελάσματα κορμού (panel zone) [8].

Για την μελέτη της επίδρασης SSI, οι κατασκευές αναλύονται αρχικά λαμβάνοντας την επίδραση αυτή υπόψη και στη συνέχεια αγνοώντας την. Η θεώρηση SSI γίνεται με χρήση ενός διακριτού προσομοιώματος [10]. Σύμφωνα με το προσομοίωμα αυτό, ένα σύστημα μαζών-ελατηρίων-αποσβεστήρων αντιπροσωπεύει τις οριζόντιες και κατακόρυφες ταλαντώσεις, το λικνισμό και τη στρέψη του θεμελίου και του περιβάλλοντος αυτού εδάφους. Οι τιμές των μαζών-ελατηρίων-αποσβεστήρων του συστήματος υπολογίζονται με βάση τις διαστάσεις του θεμελίου και το είδος του εδάφους [10]. Για τις κατασκευές της παρούσας εργασίας έχει θεωρηθεί έδαφος κατηγορίας D κατά EC8 [3], για το οποίο το μέτρο διάτμησης μειώθηκε στο 40% της αρχικής του τιμής ώστε να ληφθεί υπόψη η εκδήλωση μη-γραμμικών παραμορφώσεων σε μαλακά εδάφη για μεγάλα επίπεδα εδαφικής επιτάχυνσης [8].

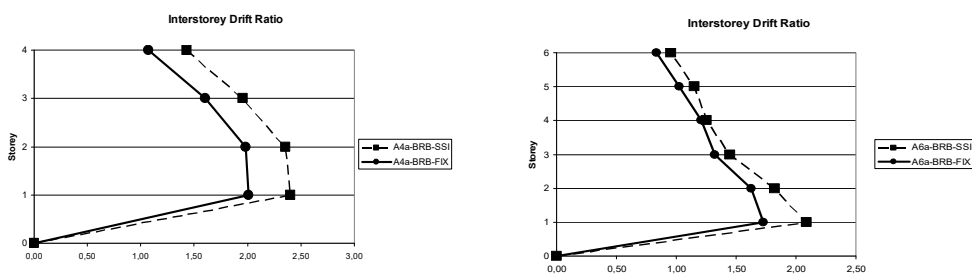
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Λόγω της συμμετρίας των κατασκευών, τα αποτελέσματα της σεισμικής απόκρισης αυτής της ενότητας αφορούν μόνο τις δυσμενείς αποκρίσεις, δηλαδή αντιστοιχούν στις πλευρές όπου τα υποστυλώματα είναι προσανατολισμένα ώστε να παρέχουν την ελάχιστη πλευρική δυσκαμψία. Διαπιστώθηκε ότι η θεώρηση SSI μπορεί να προκαλέσει μεγάλες σχετικές και παραμένουσες σχετικές μετακινήσεις στους χαμηλότερους ορόφους.

Ακολούθως παρουσιάζονται και σχολιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα των μη-γραμμικών ανελαστικών αναλύσεων [8]. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές σεισμικής απόκρισης σε όρους IDR, RIDR και PFA / PGA καθώς επίσης και οι μέσες σεισμικές απαιτήσεις σε όρους αξονικής δύναμης και στροφής στα υποστυλώματα, αξονικής και διατμητικής δύναμης και καμπτικής ροπή για τις δοκούς που συνδέονται με τα BRB καθώς και αξονικής μετακίνησης των BRB. Σχολιάζεται επίσης η επίδραση της διάταξης των BRB. Για λόγους σύγκρισης τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν σε κοινό σχήμα τη θεώρηση SSI (BRB-SSI) και τη θεώρηση πλήρους πάκτωσης (BRB-FIX).

5.1 Μέγιστες τιμές IDR

Στο Σχ.3 δείχνονται οι μέγιστες τιμές IDR για την περίπτωση των κατασκευών A4a και A6a. Από το σύνολο των αναλύσεων [8] συμπεραίνεται ότι μπορεί να εμφανιστούν μεγάλες τιμές IDR έως περίπου 2,7%, υπερβαίνοντας την τιμή σχεδιασμού 2,0% και αυξάνοντας ταυτόχρονα την πιθανότητα μεγάλων τιμών RIDR. Για τις κατασκευές A4a, A6a και A8a οι μέγιστες τιμές IDR προέκυψαν μεγαλύτερες υπό τη θεώρηση SSI σε σύγκριση με την περίπτωση πλήρους πάκτωσης. Μικρότερες μέγιστες τιμές IDR από την τιμή σχεδιασμού 2,0% βρέθηκαν για την κατασκευή B2a.



Σχ. 3. Μέσες μέγιστες τιμές IDR

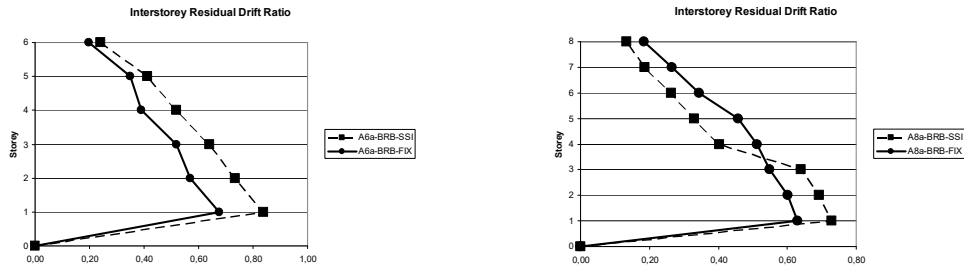
5.2 Μέγιστες τιμές RIDR

Στο Σχ.4 δείχνονται οι μέγιστες τιμές RIDR για την περίπτωση των κατασκευών A6a και A8a. Από το σύνολο των αναλύσεων για τις κατασκευές τύπου A [8] συμπεραίνεται ότι με τη θεώρηση SSI μπορούν να εκδηλωθούν μέγιστες τιμές RIDR από 0,53% έως 0,85%, ξεπερνώντας έτσι, την οριακή τιμή 0,5%. Αυτό σημαίνει ότι αναμένονται σημαντικές βλάβες και η κατασκευή είναι πρακτικά μη-κατοικήσιμη. Οι μέγιστες τιμές RIDR υπό τη θεώρηση SSI προέκυψαν σε κάποιους ορόφους μεγαλύτερες και σε άλλους μικρότερες σε σύγκριση με την περίπτωση πλήρους πάκτωσης. Η κατασκευή B2a εκδήλωσε μειωμένη τιμή RIDR λόγω της τιμής IDR που προαναφέρθηκε.

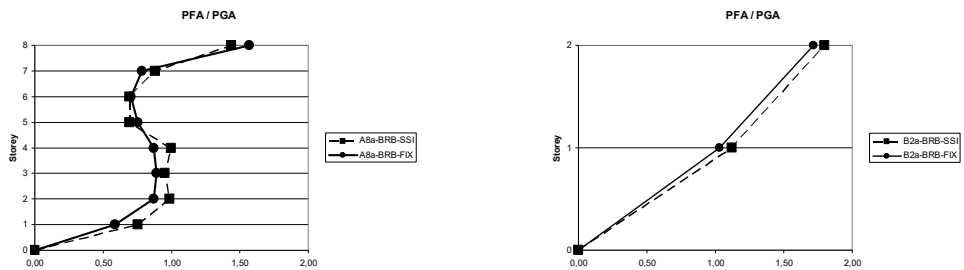
5.3 Μέγιστες τιμές PFA / PGA

Στο Σχ.5 δείχνονται οι μέγιστες τιμές PFA / PGA για την περίπτωση των κατασκευών A8a και B2a. Από το σύνολο των αναλύσεων [8] συμπεραίνεται ότι υπό τη θεώρηση SSI μπορεί να εμφανιστούν αυξημένες ή μειωμένες τιμές PFA / PGA σε σύγκριση με την περίπτωση πλήρους πάκτωσης. Γενικά οι τιμές PFA / PGA κυμαίνονται από 0,5g έως 1,7g,

δηλαδή, τα BRB μπορούν να περιορίζουν τις μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις των ορόφων, αλλά μπορούν και να τις ενισχύσουν.



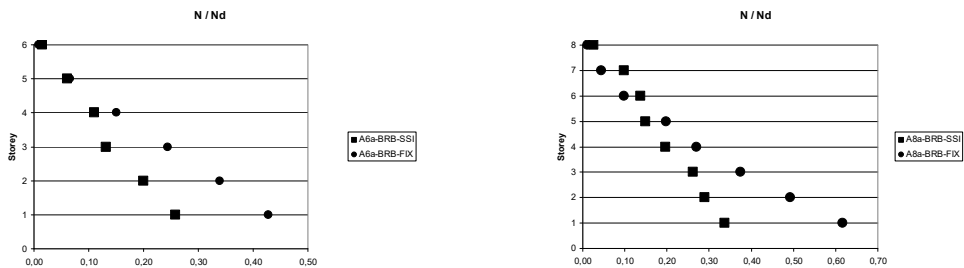
Σχ. 4. Μέσες μέγιστες τιμές RIDR



Σχ. 5. Μέσες μέγιστες τιμές PFA / PGA

5.4 Αξονική δύναμη και στροφή στα υποστυλώματα

Στο Σχ.6 παρουσιάζεται η καθ' ύψος κατανομή του λόγου εξάντλησης σε αξονική δύναμη N / N_d για το πλέον καταπονούμενο υποστυλώμα των κατασκευών Α6α και Α8α. Από το σύνολο των αναλύσεων [8] συμπεραίνεται ότι ο λόγος αυτός μπορεί να φτάσει περίπου στο 65% για το υποστυλώμα του κατώτατου ορόφου καταδεικνύοντας έτσι τη θετική συμβολή των BRB για την περίπτωση πλήρους πάκτωσης. Η συμβολή αυτή είναι ακόμη πιο έντονη όταν θεωρηθεί η επίδραση SSI όπου ο προαναφερόμενος λόγος μειώνεται περίπου στο 35%. Οι μέγιστες ανελαστικές απαιτήσεις στροφής βρέθηκαν περίπου 0,07 rad και δεν σημειώθηκε αστοχία των υποστυλωμάτων [11].



Σχ. 6. Μέσες μέγιστες τιμές N / N_d

5.5 Δοκός σύνδεσης των BRB και αξονική μετακίνηση τους

Από το σύνολο των αναλύσεων [8] για τις θεωρήσεις SSI και πλήρους πάκτωσης και με την προϋπόθεση ότι η δοκός σύνδεσης των BRB εξασφαλίζεται πλευρικά, παρατηρήθηκε οριακή αστοχία της δοκού αυτής σε κάμψη ενώ δεν σημειώθηκαν σημαντικές απαιτήσεις σε αξονική και διατμητική δύναμη. Η αξονική μετακίνηση των BRB δεν ξεπέρασε την τιμή σχεδιασμού των 84mm και βρέθηκε μεγαλύτερη στην περίπτωση θεώρησης SSI (μέγιστη τιμή 54mm).

5.6 Επίδραση διάταξης των BRB

Από το σύνολο των αναλύσεων [8] για τις θεωρήσεις SSI και πλήρους πάκτωσης παρατηρήθηκε ότι η ανεστραμμένη V διάταξη οδηγεί σε χαμηλότερες μέγιστες τιμές IDR και RIDR και σε μεγαλύτερες τιμές PFA / PGA σε σύγκριση με τις άλλες δύο διατάξεις του Σχ.1. Επίσης, οι απαιτήσεις αξονικής δύναμης στα υποστυλώματα αυξάνονται ελαφρώς για τις περιπτώσεις μονοδιαγώνιας και X διάταξης, χωρίς ωστόσο την εμφάνιση αστοχίας υποστυλώματος. Επιπλέον, οι απαιτήσεις αξονικής μετακίνησης των BRB είναι περίπου ίδιες, ανεξάρτητα από τη διάταξη, ενώ η δοκός BRB δεν εμφάνισε αστοχία σε κάμψη για τις περιπτώσεις μονοδιαγώνιας και X διάταξης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η σεισμική απόκριση μεταλλικών κατασκευών με BRB μέσω τρισδιάστατων μη-γραμμικών ανελαστικών αναλύσεων και θεώρηση SSI. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι σε σύγκριση με την θεώρηση πλήρους πάκτωσης, η θεώρηση SSI μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες τιμές IDR και RIDR. Οι τιμές αυτές δεν προκάλεσαν αστοχία των υποστυλωμάτων και των BRB. Ωστόσο, η δοκός των BRB μπορεί να αστοχήσει σε κάμψη στην περίπτωση διάταξης ανεστραμμένου V.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Richards, P.W. and Miller, D.J., “High-yield-drift steel moment frames”, *Proceedings of the 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Anchorage, Alaska, 2014.
- [2] Erochko, J., Christopoulos, C., Tremblay, R. and Choi, H., “Residual drift response of SMR and BRB frames in steel buildings designed according to ASCE 7-05”, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 137, No. 5, 2011, pp. 589-599.
- [3] EC8, “Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, *European Committee for Standardization (CEN)*, Brussels, 2009.
- [4] SEAOC, “Seismic design recommendations”, *Structural Engineers Association of California*, Sacramento, California, 2009.
- [5] EC3, “Eurocode 3 - Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings”, *European Committee for Standardization (CEN)*, Brussels, 2009.
- [6] AISC, “Seismic provisions for structural steel buildings”, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, Illinois, 2010.
- [7] Bosco, M. and Marino, E.M., “Design method and behavior factor for steel frames with buckling restrained braces”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 42, No. 8, 2013, pp. 1243-1263.
- [8] Flogeras, A.K and Papagiannopoulos, G.A., “On the seismic response of steel-buckling restrained braced structures including soil-structure interaction”, *Earthquakes and Structures*, Vol. 12, No. 4, 2017, pp. 469-478.
- [9] Carr, A.J., “RUAUMOKO 3D – Inelastic dynamic analysis program: User’s manual”, *University of Canterbury*, Christchurch, New Zealand, 2004.
- [10] Mulliken, J.S. and Karabalis, D.L., “Discrete model for dynamic through-the-soil coupling of 3-d foundations and structures”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 27, No. 7, 1998, pp. 687-710.
- [11] Newell, J.D. and Uang, C.M., “Cyclic behavior of steel wide-flange columns subjected to large drift”, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 134, No. 8, 2008 pp. 1334-1342.

ON THE SEISMIC RESPONSE OF STEEL BUCKLING-RESTRAINED BRACED STRUCTURES INCLUDING SOIL-STRUCTURE INTERACTION

Antonios K. Flogeras

Civil Engineer, MSc

Engineer Consultant

Patras, Greece

e-mail : aflogeras@teemail.gr

George A. Papagiannopoulos

Ph.D. Civil Engineer, University Fellow

University of Patras, Department of Civil Engineering

Patras, Greece

e-mail : gpapagia@upatras.gr

Nikos G. Pnevmatikos

Ph.D. Civil Engineer, Assistant Professor

Technological Education Institute of Athens, Department of Civil Engineering

Athens, Greece

e-mail : pnevma@teiath.gr

SUMMARY

This paper summarizes estimated seismic response results from three-dimensional nonlinear inelastic time-history analyses of some steel buckling-restrained braced (BRB) structures taking into account soil-structure interaction (SSI). The response results involve mean values for peak interstorey drift ratios, peak interstorey residual drift ratios and peak floor accelerations. Moreover, mean seismic demands in terms of axial force and rotation in columns, of axial and shear forces and bending moment in BRB beams and of axial displacement in BRBs are also discussed. For comparison purposes, three separate configurations of the BRBs have been considered and the aforementioned seismic response and demands results have been obtained firstly by considering SSI effects and then by neglecting them. It is concluded that SSI, when considered, may lead to larger interstorey and residual interstorey drifts than when not. These drifts did not cause failure of columns and of the BRBs. However, the BRB beam may fail due to flexure.