

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

N. Νάνος
M.Sc., Ph.D. Candidate
Portsmouth University
PO1 3AH, Portsmouth, England
Email: nikos_nanos@yahoo.com

A. Ελένας
Αναπληρωτής Καθηγητής
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Ξάνθη, T.K. 67100
Email: elenas@civil.duth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία προβάλλει την επίδραση των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση ενός μεταλλικού πλαισίου, υπό σεισμική φόρτιση. Η διαστασιολόγηση του πλαισίου βασίζεται στον Ευρωκώδικα 3 και στον ΕΑΚ (2004) για μεταλλικές και αντισεισμικές κατασκευές, αντίστοιχα. Για την μελέτη της κατασκευής εφαρμόζονται μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις και χρησιμοποιούνται 225 συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα. Η απόκριση της κατασκευής υπολογίστηκε για ένα πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις και για τέσσερα πλαίσια με εναλλακτικές θέσεις τοιχοπληρώσεων. Η προσοχή εστιάστηκε στους ολικούς δείκτες βλάβης (δ.β.) της κατασκευής. Έτσι, επιλέχθηκαν το μοντέλο κατά Park/Ang και η μέγιστη ανηγμένη σχετική μετατόπιση των ορόφων. Στόχος της διαδικασίας είναι ο αριθμητικός προσδιορισμός της επιρροής της τοπολογίας των τοιχοπληρώσεων στην σεισμική απόκριση της κατασκευής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τοιχοπληρώσεις ενόησαν την σεισμική απόκριση του πλαισίου, σε όλες τις περιπτώσεις, είτε μηδενίζοντας είτε μειώνοντας σημαντικά τους δείκτες βλάβης συγκριτικά με το αντίστοιχο πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις. Τέλος, ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ των δ.β. και των σεισμικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν, έδειξαν ποσοτικά τον βαθμό αλληλεξάρτησής τους.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταλλικοί φορείς με τοιχοπληρώσεις αποτελούν έναν τυπικό φορέα για πολώροφες κτηριακές και άλλες κατασκευές. Οι τοιχοπληρώσεις, ανάλογα με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις παρουσιάζουν είτε μερική είτε ολική κάλυψη του φατνώματος. Συνήθως, η προσομοίωση του στατικού φορέα αγνοεί τις τοιχοπληρώσεις, οι οποίες εμφανίζονται απλώς ως επιπλέον μόνιμο φορτίο, χωρίς να συνυπολογίζονται στη δυσκαμψία του κτηρίου. Από την άλλη πλευρά, είναι γνωστό από παρατηρήσεις μετά από καταστροφικούς σεισμούς, από πειραματικές και από υπολογιστικές μελέτες ότι οι τοιχοπληρώσεις ενός κτηρίου επηρεάζουν σημαντικά την σεισμική απόκριση μιας κατασκευής. Ως αιτίες αυτής της επιρροής θεωρούνται η επίδραση των τοιχοπληρώσεων στη δυσκαμψία του φορέα, στην ιδιοπερίοδο και στην απόσβεση της κατασκευής. Στην παρούσα εργασία

προσδιορίζεται αριθμητικά η επίδραση της τοπολογίας των τοιχοπληρώσεων στην σεισμική απόκριση μιας μεταλλικής κατασκευής, εστιάζοντας στην χρήση ολικών δεικτών βλάβης. Αυτοί, έχουν το πλεονέκτημα να προσδιορίζουν την κατάσταση βλάβης μιας κατασκευής, με μια αριθμητική τιμή.

Επιπλέον, είναι γνωστό ότι από την επεξεργασία των επιταχυνσιογραφημάτων με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, προκύπτουν χαρακτηριστικές παράμετροι της σεισμικής δόνησης. Από παρατηρήσεις μετά από καταστροφικούς σεισμούς και από υπολογιστικές αναλύσεις, συμπεραίνεται, ότι οι βλάβες οι οποίες παρουσιάζονται μετά από σεισμική δραστηριότητα του εδάφους, συσχετίζονται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό με αυτές τις παραμέτρους οι οποίες περιγράφουν το καταστροφικό δυναμικό ενός σεισμού.

Έτσι, η εργασία αυτή παρουσιάζει τον ποσοτικό προσδιορισμό της αλληλεξάρτησης μεταξύ μερικών σεισμικών παραμέτρων και των ολικών δεικτών βλάβης της κατασκευής, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson και κατά Spearman, συνυπολογίζοντας την τοπολογία των τοιχοπληρώσεων.

3. ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Οι σεισμικές διεγέρσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις της παρούσας εργασίας προσομοιώθηκαν με τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα, συμβατά με το φάσμα απόκρισης του ισχύοντα αντισεισμικού κανονισμού. Στην διαδικασία που εφαρμόστηκε, δημιουργήθηκε ένας μεγάλος αριθμός σεισμικών επιταχυνσιογραφημάτων, ώστε να προκύψει ένα στατιστικό δείγμα με υψηλή στατιστική αξιοπιστία. Επιπλέον, όλα τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα είναι συμβατά με τις αναμενόμενες διεγέρσεις βάσει του ισχύοντος αντισεισμικού κανονισμού. Με παραλλαγή διαφόρων παραμέτρων δημιουργήθηκαν 225 τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα, συμβατά με τα φάσματα απόκρισης του ΕΑΚ (2004). Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα H/Y SIMQKE [1]. Ως παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους (PGA), η συνολική διάρκεια της διέγερσης (Total Duration (TD): 20s, 30s και 40s), η ενεργός εδαφική επιτάχυνση για τις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II και III (0.16g, 0.24g και 0.36g) και για κατηγορία εδάφους B.

Είναι γνωστό ότι το καταστροφικό δυναμικό ενός σεισμού περιγράφεται με διάφορες εντατικές παραμέτρους της σεισμικής καταγραφής [2]. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους [2], η ένταση Arias [3] καθώς και μια σειρά άλλων σεισμικών παραμέτρων όπως η διάρκεια της ισχυρής σεισμικής δόνησης κατά Trifunac/Brady [4], Trifunac/Novicova [5] και McCann [6] καθώς και οι αντίστοιχες παραμέτρους σεισμικής ισχύος όπως ορίζονται από τις αντίστοιχους ορισμούς της διάρκειας της ισχυρής σεισμικής δόνησης ($P_{0.90}$, P_{TN} και P_{MC}), αντίστοιχα. Τέλος, υπολογίστηκε η ρίζα των μέσων τετραγώνων της σεισμικής επιτάχυνσης (RMS). Οι συγκεκριμένες παράμετροι επιλέχθηκαν λόγω της απλότητας του ορισμού τους αλλά και της χρήσης τους από μελετητές ως χαρακτηριστικές παράμετροι περιγραφής μιας σεισμικής δόνησης [7]. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται η ονοματολογία και οι μέσες τιμές των σεισμικών παραμέτρων των τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Στην ονοματολογία των επιταχυνσιογραφημάτων εφαρμόστηκε η εξής κωδικοποίηση: σεισμική ζώνη - συνολική διάρκεια της διέγερσης (TD) - αύξουσα αρίθμηση.

Seismic excitation	PGA [m/s ²]	Arias [m/s]	SMD _{TB} [s]	P _{0.90} [m/s ²]	SMD _{TN} [s]	P _{TN} [m/s ²]	SMD _{MC} [s]	P _{MC} [m/s ²]	RMS [m/s ²]
I.20.1-5	0.12	2.387	15.59	0.143	11.03	0.217	6.41	0.186	0.346
I.20.6-10	0.15	6.079	15.68	0.354	11.57	0.497	10.62	0.381	0.551
I.20.11-15	0.20	6.082	15.68	0.350	11.31	0.507	11.06	0.367	0.551
I.20.16-20	0.25	5.559	15.43	0.326	10.13	0.514	4.53	0.410	0.527
I.20.21-25	0.30	5.144	15.89	0.297	9.74	0.489	11.00	0.318	0.507
II.20.1-5	0.17	9.165	15.87	0.771	12.13	0.990	6.43	0.827	0.844
II.20.6-10	0.20	14.352	15.71	0.814	12.09	1.127	14.69	0.837	0.847
II.20.11-15	0.25	13.831	15.35	0.811	11.30	1.154	9.94	0.864	0.832
II.20.16-20	0.30	13.687	15.76	0.746	10.87	1.132	7.80	0.836	0.803
II.20.21-25	0.35	12.758	15.44	0.737	10.41	1.149	12.44	0.801	0.799
III.20.1-5	0.27	9.594	15.29	0.717	10.84	1.069	6.28	0.794	0.775
III.20.6-10	0.30	31.430	15.61	1.827	12.25	2.468	11.39	1.861	1.257
III.20.11-15	0.35	30.610	15.54	1.761	11.65	2.428	8.00	1.980	1.230
III.20.16-20	0.40	29.165	15.71	1.664	11.21	2.478	7.50	1.897	1.207
III.20.21-25	0.45	28.440	15.47	1.652	11.07	2.397	8.26	2.076	1.187
I.30.1-5	0.12	6.097	24.02	0.232	19.10	0.305	22.35	0.235	0.451
I.30.6-10	0.15	8.446	23.54	0.319	17.46	0.455	17.40	0.345	0.525
I.30.11-15	0.20	7.894	23.25	0.301	16.25	0.456	20.24	0.323	0.512
I.30.16-20	0.25	7.571	23.23	0.301	15.15	0.482	14.31	0.328	0.510
I.30.21-25	0.30	7.174	23.23	0.278	14.57	0.459	12.65	0.315	0.489
II.30.1-5	0.17	13.757	24.00	0.519	19.05	0.692	21.18	0.540	0.677
II.30.6-10	0.20	19.468	23.79	0.738	18.29	1.005	18.64	0.749	0.803
II.30.11-15	0.25	18.459	23.26	0.709	17.42	0.998	21.54	0.727	0.784
II.30.16-20	0.30	18.052	23.34	0.669	16.31	1.001	21.45	0.719	0.762
II.30.21-25	0.35	17.266	23.75	0.670	15.71	1.079	20.82	0.733	0.769
III.30.1-5	0.27	45.434	24.17	1.675	18.89	2.255	20.72	1.740	1.223
III.30.6-10	0.30	43.948	23.38	1.678	18.02	2.308	23.51	1.698	1.199
III.30.11-15	0.35	41.542	23.48	1.595	17.46	2.257	14.75	1.754	1.176
III.30.16-20	0.40	40.740	23.32	1.560	17.11	2.264	17.32	1.635	1.165
III.30.21-25	0.45	40.844	23.53	1.531	17.12	2.215	13.73	1.751	1.155
I.40.1-5	0.12	10.986	31.24	0.320	25.35	0.419	30.29	0.325	0.524
I.40.6-10	0.15	10.404	30.48	0.302	23.02	0.424	29.47	0.313	0.510
I.40.11-15	0.20	9.774	30.77	0.286	22.21	0.422	28.86	0.300	0.494
I.40.16-20	0.25	9.615	31.10	0.273	20.37	0.429	22.18	0.292	0.485
I.40.21-25	0.30	8.952	30.56	0.264	19.64	0.437	26.57	0.291	0.473
II.40.1-5	0.17	24.806	31.45	0.668	25.31	0.827	29.58	0.687	0.767
II.40.6-10	0.20	23.882	30.53	0.711	23.45	0.965	28.79	0.732	0.778
II.40.11-15	0.25	22.129	30.93	0.654	22.44	0.916	29.23	0.673	0.744
II.40.16-20	0.30	22.708	31.24	0.655	22.15	0.954	29.44	0.665	0.746
II.40.21-25	0.35	21.396	30.84	0.624	21.37	0.980	20.87	0.673	0.734
III.40.1-5	0.27	56.226	31.39	1.577	25.04	2.074	28.39	1.608	1.172
III.40.6-10	0.30	54.060	30.96	1.579	23.39	2.195	29.92	1.605	1.163
III.40.11-15	0.35	53.524	30.50	1.544	22.69	2.171	30.84	1.590	1.140
III.40.16-20	0.40	50.315	30.21	1.503	22.80	2.131	27.67	1.538	1.115
III.40.21-25	0.45	51.354	31.41	1.486	21.95	2.188	26.09	1.547	1.135

Πίν. 1: Σεισμικά χαρακτηριστικά

4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΒΗΣ

Ως ολικοί δείκτες βλάβης της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν το τροποποιημένο μοντέλο κατά Park/Ang [8] και η μέγιστη ανηγμένη σχετική μετακίνηση των ορόφων. Ο τοπικός δ.β. κατά Park/Ang δίνεται από την σχέση (1):

$$DI_L = \frac{\theta_m - \theta_r}{\theta_u - \theta_r} + \frac{\beta}{M_y \cdot \theta_u} \cdot E_h \quad (1)$$

όπου, DI_L ο τοπικός δ.β. κατά Park/Ang, θ_m η μέγιστη στροφή της διατομής λόγω σεισμικής φόρτισης, θ_u η αντοχή της διατομής σε στροφή, θ_r η ανακτώμενη στροφή της διατομής κατά την αποφόρτιση, β παράμετρος μείωσης της αντοχής που προσδιορίζεται πειραματικά, M_y ροπή διαρροής της διατομής, E_h η απορροφηθείσα υστερητική ενέργεια.

Από τους τοπικούς δείκτες βλάβης στις άκρες διατομές των δομικών στοιχείων του συνολικού φορέα, προκύπτει ο ολικός δ.β. κατά Park/Ang από την σχέση (2):

$$DI_G = \frac{\sum_{i=1}^n (DI_{L,i} \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (2)$$

όπου, DI_G ο ολικός δ.β. κατά Park/Ang, $DI_{L,i}$ ο τοπικός δ.β. κατά Park/Ang στη διατομή i , E_i η απορροφηθείσα υστερητική ενέργεια στη διατομή i , n ο συνολικός αριθμός θέσεων που υπολογίστηκε τοπικός δείκτης βλάβης.

Η μέγιστη ανηγμένη σχετική μετατόπιση των ορόφων (maximum inter-storey drift ratio, MISDR) [9] προσδιορίζεται από την σχέση (3):

$$ISDR_i = \frac{u_i - u_{i-1}}{h_i} 100 [\%] \quad (3)$$

όπου, $ISDR_i$: η ανηγμένη σχετική μετατόπιση του ορόφου i , u_i η μετατόπιση ορόφου i , u_{i-1} η μετατόπιση ορόφου $i-1$, h_i το ύψος του ορόφου i .

5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Το Σχήμα 1 παρουσιάζει το μεταλλικό πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις το οποίο ονομάστηκε Πλαίσιο 0 (Frame 0) και εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους κανόνες που ορίζουν ο Ευρωκώδικας 3 [10] και ο ΕΑΚ (2004) [11] για μεταλλικές και αντισεισμικές κατασκευές, αντίστοιχα. Το πάχος της πλάκας είναι 20 cm. Η κατασκευή υπολογίστηκε με συντελεστή σπουδαιότητας 2 (συνήθη κτήρια), μικρή πλαστιμότητα, κατηγορία εδάφους Β και σεισμική ζώνη Ι ($\alpha = 0.16$) σύμφωνα με τον ΕΑΚ (2004). Επιπλέον, λήφθηκαν υπόψη τα κινητά φορτία, το φορτίο χιονιού, το φορτίο ανέμου και η απόκλιση των υποστυλωμάτων από την κατακόρυφο.

HEA 550		HEA 550		HEA 550	
HEB 340 HEA 450	HEB 500 HEA 550	HEA 450			
HEB 340 HEA 450	HEB 500 HEA 550	HEA 450			
HEB 340 HEA 450	HEB 550 HEA 550	HEA 450			
HEB 340 HEA 450	HEB 550 HEA 550	HEA 450			
HEB 340 HEA 450	HEB 550 HEA 550	HEA 450			
HEB 400 HEA 450	HEB 1000 HEA 550	HEA 450			
HEB 400 HEA 450	HEB 1000 HEA 550	HEA 450			
HEB 400 HEA 450	HEB 1000 HEA 550	HEA 450			
HEB 400	HEB 1000				

9 x 4 m
41 m

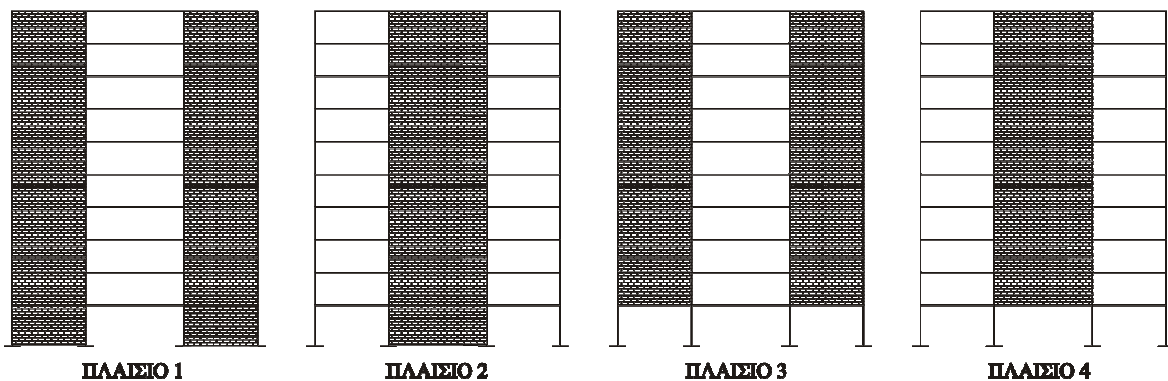
5 m

9 m | 12 m | 9 m

30 m

Material:
Fe 510

Σχ. 1: Πλαισιακή κατασκευή χωρίς τοιχοπληρώσεις



Σχ. 2: Εναλλακτικές θέσεις τοιχοπληρώσεων

Στη συνέχεια, μορφώθηκαν 4 διαφορετικές περιπτώσεις τοιχοπληρώσεων που διαφέρουν μεταξύ τους στην τοπολογία (πλαίσια 1 έως 4 (Frame 1-4), στο Σχήμα 2). Ακολούθως, πραγματοποιήθηκαν και για τα 5 πλαίσια μια σειρά από μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις με χρήση των τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων, που προαναφέρθηκαν (Πίνακας 1). Η δυναμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό IDARC [12], στο οποίο είναι ενσωματωμένη η μικραυξητική διαδικασία κατά Newmark, συνοδευόμενη από μια επαναληπτική διαδικασία βελτιστοποίησης της λύσης ανά χρονικό βήμα κατά Newton/Raphson. Ως σχέση ροπών-καμπυλότητας των διατομών των χαλύβδινων στοιχείων της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε ένα διγραμμικό ελαστοπλαστικό μοντέλο με 5 % κράτυνση μετά την διαρροή. Η καμπυλότητα διαρροής αντιστοιχεί στην κατάσταση έναρξης της πλαστικοποίησης της διατομής. Ενώ, η καμπυλότητα θραύσης αντιστοιχεί στην μικρότερη τιμή, είτε της κατάστασης πλήρους πλαστικοποίησης της διατομής, είτε

της κατάστασης όπου η μέγιστη ανηγμένη παραμόρφωση της διατομής είναι ίση με την ανηγμένη παραμόρφωση θραύσης ($\epsilon_u = 22\%$). Οι τοιχοπληρώσεις λήφθηκαν υπόψη με τη χρήση διαγωνίων θλιπτικών ράβδων στα αντίστοιχα φατνώματα. Για το υλικό των τοιχοπληρώσεων υπό μονότονη φόρτιση, χρησιμοποιήθηκε ένας μη γραμμικός νόμος τάσεων-παραμορφώσεων και δύναμης-μετακίνησης. Ως νόμος δύναμης-μετακίνησης υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση χρησιμοποιήθηκε το μη-γραμμικό μοντέλο κατά Bouc/Wen [12]. Τέλος, στην απόκριση της κατασκευής, για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα που εξετάστηκαν, η προσοχή εστιάζεται στον ολικό δείκτη βλάβης κατά Park/Ang και στη μέγιστη ανηγμένη σχετική μετατόπιση των ορόφων (maximum inter-storey drift ratio, MISDR), λόγω του πλεονεκτήματος να προσδιορίζεται η κατάσταση βλάβης μιας κατασκευής, με μια αριθμητική τιμή.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τα μέγιστα, ελάχιστα και τους μέσους όρους των ολικών δ.β. της κατασκευής και την ποσοστιαία τους μεταβολή σε σχέση με το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις (Πλαίσιο 0). Έτσι, τα πλαίσια με τοιχοπληρώσεις παρουσιάζουν ένα ποσοστό μείωσης έως 46.8% της μέγιστης τιμής του δ.β. κατά Park/Ang, σε σχέση με το πλαίσιο χωρίς τοιχοπληρώσεις. Ενώ, η αντίστοιχη μείωση της μέσης τιμής είναι έως 81.1%. Ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζονται και για τον δ.β. MISDR. Εδώ η μείωση της μέγιστης τιμής του MISDR ανέρχεται έως το ποσοστό των 67.4%, ενώ η αντίστοιχη μείωση της μέσης τιμής ανέρχεται έως 60.7%. Σε όλες τις περιπτώσεις, η μέγιστη μείωση παρατηρείται στο πλαίσιο με τις περισσότερες τοιχοπληρώσεις (Πλαίσιο 1).

	Park/Ang					Rate of change in respect of Frame 0 [%]			
Frame	0	1	2	3	4	1	2	3	4
Min	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	-100.00	-100.00	-100.00	-100.00
Max	0.304	0.162	0.175	0.197	0.191	-46.811	-42.341	-35.108	-37.344
Mean	0.188	0.035	0.037	0.049	0.047	-81.111	-80.442	-74.131	-74.799
	MISDR [%]					Rate of change in respect of Frame 0 [%]			
Frame	0	1	2	3	4	1	2	3	4
Min	0.612	0.220	0.242	0.224	0.248	-64.052	-60.458	-63.399	-59.477
Max	2.718	0.892	0.958	0.884	0.952	-67.182	-64.753	-67.476	-64.974
Mean	1.408	0.552	0.585	0.553	0.587	-60.795	-58.452	-60.724	-58.310

Πίν. 2: Στατιστικές τιμές αποτελεσμάτων

Για τον προσδιορισμό της αλληλεξάρτησης μεταξύ των δεικτών βλάβης και των επιλεγμένων σεισμικών παραμέτρων (PGA, ένταση Agias, RMS, τις χρονικές διάρκειες της ισχυρής σεισμικής δόνησης καθώς και τις αντίστοιχες σεισμικές ισχύες), υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης (σ.σ.) κατά Pearson και κατά Spearman [13]. Ο πρώτος δηλώνει τον βαθμό της γραμμικής συμμεταβολής δύο μεγεθών, ενώ ο δεύτερος τον βαθμό της ιεραρχικής συμμεταβολής. Συντελεστές συσχέτισης με απόλυτες τιμές έως 0.5, δηλώνουν μικρή αλληλεξάρτηση των εξεταζομένων μεγεθών, ενώ τιμές από 0.5 έως 0.8, δηλώνουν μέτρια συσχέτιση. Τέλος, αριθμητικές τιμές του σ.σ. από 0.8 έως 1.0, δηλώνουν ισχυρή αλληλεξάρτηση των μεγεθών. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα των συντελεστών συσχέτισης κατά Pearson και κατά Spearman, μεταξύ των ολικών δ.β. και των σεισμικών παραμέτρων που εξετάστηκαν.

		Frame 0	Frame 1	Frame 2	Frame 3	Frame 4	
OSDI Park/Ang	Pearson's Correlation	PGA	0.677	0.546	0.516	0.585	0.568
		ARIAS	0.823	0.833	0.794	0.845	0.818
		Trifunac / SMD	0.118	0.138	0.095	0.104	0.118
		Brady Power	0.850	0.811	0.803	0.852	0.813
		Trifunac / SMD	0.171	0.197	0.154	0.164	0.170
		Novicova Power	0.853	0.801	0.794	0.845	0.808
		Mc Cann SMD	0.114	0.114	0.076	0.083	0.101
		Power	0.729	0.694	0.717	0.735	0.723
		RMS	0.877	0.775	0.765	0.815	0.778
	Spearman's Correlation	PGA	0.674	0.589	0.568	0.616	0.605
		ARIAS	0.866	0.766	0.745	0.781	0.768
		Trifunac / SMD	0.123	0.111	0.078	0.090	0.102
		Brady Power	0.848	0.734	0.737	0.762	0.743
		Trifunac / SMD	0.180	0.192	0.163	0.173	0.180
		Novicova Power	0.860	0.728	0.727	0.759	0.738
		Mc Cann SMD	0.114	0.102	0.067	0.074	0.098
		Power	0.810	0.683	0.710	0.716	0.718
		RMS	0.849	0.736	0.735	0.763	0.741
MISDR	Pearson's Correlation	PGA	0.616	0.702	0.683	0.707	0.684
		ARIAS	0.821	0.907	0.891	0.904	0.887
		Trifunac / SMD	0.038	0.053	0.060	0.056	0.058
		Brady Power	0.889	0.966	0.946	0.962	0.943
		Trifunac / SMD	0.107	0.128	0.132	0.129	0.129
		Novicova Power	0.886	0.964	0.944	0.960	0.941
		Mc Cann SMD	0.070	0.087	0.085	0.093	0.082
		Power	0.710	0.833	0.836	0.836	0.835
		RMS	0.888	0.972	0.956	0.970	0.954
	Spearman's Correlation	PGA	0.687	0.667	0.679	0.680	0.683
		ARIAS	0.886	0.890	0.891	0.892	0.889
		Trifunac / SMD	0.068	0.047	0.057	0.056	0.056
		Brady Power	0.895	0.912	0.910	0.907	0.909
		Trifunac / SMD	0.137	0.133	0.128	0.137	0.127
		Novicova Power	0.903	0.910	0.911	0.909	0.910
		Mc Cann SMD	0.105	0.095	0.086	0.106	0.083
		Power	0.834	0.849	0.867	0.853	0.866
		RMS	0.895	0.910	0.910	0.905	0.909

Πίν. 3: Συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson και κατά Spearman

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα, διακρίνεται ότι η τοπολογία των τοιχοπληρώσεων δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή στην συσχέτιση μεταξύ των σεισμικών παραμέτρων που αναλύθηκαν και των δ.β.. Ο βαθμός συσχέτισης κατά Pearson και κατά Spearman μεταξύ έντασης Arias, των δεικτών σεισμικής ισχύος, του RMS και των δ.β. είναι μεγάλος με σ.σ. από 0.810 έως 0.903 για το γυμνό πλαίσιο και άνω του 0.683 για όλα τα υπόλοιπα πλαίσια. Ο βαθμός συσχέτισης κατά Pearson και κατά Spearman μεταξύ PGA και των δ.β. είναι μέτριος (με σ.σ. από 0.516 έως 0.707). Τέλος, οι χρονικές διάρκειες της ισχυρής σεισμικής δόνησης είχαν σε όλες τις περιπτώσεις μικρή συσχέτιση με τους δ.β. της κατασκευής.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εργασία παρουσίασε μια διαδικασία ποσοτικού προσδιορισμού της αλληλεξάρτησης μεταξύ της τοπολογίας των τοιχοπληρώσεων μιας μεταλλικής πλαισιακής κατασκευής αφενός, των σεισμικών παραμέτρων και των δεικτών βλάβης αφετέρου. Αρχικά, δημιουργήθηκαν 225 τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα συμβατά με τα φάσματα απόκρισης του ΕΑΚ (2004). Ακολούθως, υπολογίσθηκαν εναλλακτικές σεισμικές παράμετροι για όλα τα επιταχυνσιογραφήματα και οι ολικοί δ.β. (κατά Park/Ang και MISDR). Τα αριθμητικά αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση των δ.β. των πλαισίων με τοιχοπληρώσεις συγκριτικά με το αντίστοιχο χωρίς τοιχοπληρώσεις. Ευνοϊκότερα συμπεριφέρθηκαν τα πλαίσια με τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους. Σε όλες τις περιπτώσεις ο βαθμός συσχέτισης κατά Pearson και κατά Spearman μεταξύ των ενεργειακών παραμέτρων και των δ.β. της κατασκευής είναι υψηλός, ενώ ο αντίστοιχος μεταξύ PGA και των δ.β. είναι μέτριος. Τέλος, ο βαθμός συσχέτισης της χρονικής διάρκειας της ισχυρής σεισμικής δόνησης είχαν μικρή συσχέτιση με τους δ.β. της κατασκευής, σε όλες τις περιπτώσεις.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Gasparini D.A. and Vanmarcke E.H., “SIMQKE, a program for artificial motion generation, user’s manual and documentation”, *Publication No. R76-4*, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge, Massachusetts, 1976.
- [2] Meskouris K. “Structural dynamics”, Ernst & Sohn, Berlin, 2000.
- [3] Arias A. “A Measure of Earthquake Intensity”. In: *Seismic Design for Nuclear Power Plants*, MIT Press, Cambridge Massachusetts, 1970, pp. 438-483.
- [4] Trifunac M.D. and Brady A.G., “On the correlation of peak acceleration of strong motion with earthquake magnitude, epicentral distance and site conditions”, *Proceedings of the 1st U.S. National Conference of Earthquake Engineering*, 1975, pp. 43-52
- [5] Trifunac, M.D. and Novikova, E.I., “State of the Art Review on Strong Motion Duration”, *10th European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna, 1994, pp. 131-140.
- [6] McCann, M.W. and Shah, H.C., “Determining Strong-Motion Duration of Earthquakes”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 69, No 4, 1979, pp. 1253-1265
- [7] Elenas A., “Correlation between seismic acceleration parameters and overall structural damage indices of structures”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 20, No. 1, 2000, pp.93-100.
- [8] Park Y.J. and Ang A. H.-S., “Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete”, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 111, No 4, 1985, pp. 722-739.
- [9] Gunturi S.K.V. and Shah H.C. “Building specific damage estimation”, *Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, 1992, pp. 6001-6006.
- [10] CEN, “EN 1993: Eurocode 3 - Design of steel structures”, *European Committee for Standardization*, Brussels, 1993.
- [11] Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, *ΟΑΣΠ*, Αθήνα, 2003.
- [12] Valles R., Reinhorn A.M., Kunnath S.K., Li C. and Madan A. “IDARC 2D Version 4.0: A program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings”, *Technical Report NCEER-96-0010*, State University of New York, Buffalo, 1996.
- [13] Ryan T.P. “Modern Engineering Statistics”, John Wiley & Sons, Hoboken, 2007.

INFLUENCE OF INFILL WALLS TOPOLOGY ON THE SEISMIC RESPONSE OF STEEL STRUCTURES

N. Nanos

M.Sc., Ph.D. candidate
Portsmouth University
PO1 3AH, Portsmouth, England
Email: nikos_nanos@yahoo.com

A. Elenas

Assoc. Professor
Democritus University of Thrace
67100 Xanthi, Greece
Email: elenas@civil.duth.gr

SUMMARY

This paper provides a methodology to quantify the influence of masonry infill walls topology on the structural damage of a steel frame building suffer from seismic events. Initially, several artificial accelerograms, compatible with the design spectrum of the Greek Antiseismic Code, have been composed. The seismic intensity parameters that have been evaluated were the peak ground acceleration (PGA), the Arias intensity, the strong motion duration (SMD) as defined by Trifunac/Brady (SMD_{TB}), by Trifunac/Novikova (SMD_{TN}) and by McCann (SMD_{MC}), the seismic power based on used the definitions of SMD (P_{TB} , P_{TN} , P_{MC}) and the root mean square seismic acceleration (RMS). The presented methodology is applied on a steel frame designed according to the rules of the recent Eurocode for steel structures EC3 and the Greek Antiseismic Code, respectively. In addition, the initial bare frame has been examined having 4 different layouts of infill walls on it, resulting into 5 different frame types. Nonlinear dynamic analyses have been carried out in order to evaluate the structures' seismic response. For this purpose the computer program IDARC has been used. Among the several structural response characteristics, the focus is on the overall structure damage indices (OSDI). These have been expressed by the OSDI after Park/Ang and by the maximum inter-storey drift ratio (MISDR).

As the numerical results have shown infill walls proved to have a very positive contribution in the structure's seismic response giving us an average of 80.11% reduction of the mean DI after Park/Ang in the non-zero values of the same DI between the bare frame structure and its infill wall reinforced counterpart. Similar results have been observed for the MISDR as well, where an approximate 60.79% average reduction has been noted. Finally, a statistical study provided strong correlation between the examined damage indices and the Arias intensity, the seismic power and the RMS. On the other hand, medium correlation between the damage indices and the PGA, and low correlation was observed between the damage indices and the strong motion duration for all the frame types.