

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΚΑΚΑΡΑΝΤΖΑΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση και η ανάλυση της συμπεριφοράς τοιχοπληρωμένων πλαισίων υπό συνθήκες σεισμικής διέγερσης. Για την προσομοίωση των τοίχων πλήρωσης γίνεται χρήση ενός μικρό-προσομοιώματος σύμφωνα με το οποίο η συνεισφορά της τοιχοπλήρωσης μπορεί να εκτιμηθεί από ένα σύστημα δύο διαγώνιων θλιβόμενων ράβδων. Με τη χρήση αυτού του μαθηματικού προσομοιώματος διερευνάται η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στη μεταβολή της δυσκαμψίας των τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Ειδικότερα, διερευνάται η απόκριση τριών πλαισίων: ενός διάωροφου, ενός οκτάωροφου με ένα φάτνωμα ανά όροφο και ενός οκτάωροφου με τρία φατνώματα ανά όροφο πλαισίου υπό την εδαφική διέγερση του *El Centro* (N-S) για τις παρακάτω περιπτώσεις α) πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (τοιχοπλήρωση σε όλα τα φατνώματα και όλους τους ορόφους), β) μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (περίπτωση *pilotis*-μαλακού ορόφου, απουσία τοιχοπλήρωσης στον πρώτο όροφο, γ) γυμνός φορέας (*bare frame*, απουσία οποιασδήποτε τοιχοπλήρωσης).

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρουσία των τοιχοπληρώσεων αποτελεί ένα από τους σοβαρότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αντισεισμική συμπεριφορά του φέροντα οργανισμού οπλισμένου σκυροδέματος μίας κατασκευής. Παραταύτα, οι δυνατότητες μιας ακριβούς αναλυτικής εκτίμησης της επιρροής αυτής παραμένουν μέχρι και σήμερα περιορισμένες και αποτελούν ένα σοβαρό προς διερεύνηση αντικείμενο. Η δυσκολία αυτή οφείλεται κυρίως στους μονόπλευρους συνδέσμους (που εισάγονται για να προσομοιωθεί η αλληλεπίδραση πλαισίου-τοιχοπληρώσεων) μεταξύ των δύο τμημάτων της κατασκευής, οι οποίοι σε άλλα σημεία εξασφαλίζουν πλήρη σύνδεση (θλιβόμενοι σύνδεσμοι) μεταξύ πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος και τοιχοπλήρωσης, σε άλλα όμως σημεία επιτρέπουν την αποκόλληση των δύο μερών.[1],[2]

Η επιρροή των τοίχων πλήρωσης στην απόκριση της κατασκευής εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο σύνδεσης των τοίχων πλήρωσης και του φέροντα οργανισμού. Συχνά οι τοίχοι πλήρωσης συνδέονται στερεά με τον φέροντα οργανισμό και επηρεάζουν την απόκριση του δομήματος καθώς αναπτύσσονται δυνάμεις αλληλεπίδρασης στην διεπιφάνεια αυτών. Στην περίπτωση που δεν συνδέονται με τον φέροντα οργανισμό λειτουργούν μόνο σαν κατακόρυφα φορτία του δομικού συστήματος.[1]

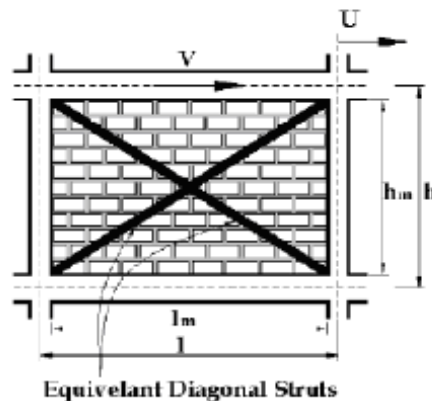
Η τοιχοπληρώσεις έχουν κατά το πλείστον θετική επιρροή στη σεισμική συμπεριφορά και ασφάλεια των κατασκευών, εφόσον είναι καλά εγκιβωτισμένες από τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος που τις περιβάλλουν, αποτελώντας αντισεισμική εφεδρεία και πηγή σεισμικής υπεραντοχής για το κτίριο. Μπορεί όμως να έχουν και δυσμενή επιρροή στη συνολική σεισμική συμπεριφορά στην περίπτωση ανομοιόμορφης κατανομής καθ' ύψος ή σε κάτοψη καθώς και στην περίπτωση ανοιγμάτων.[3]

Σχετικά με την προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων, έχουν επικρατήσει δύο διαφορετικές προσεγγίσεις ανάλογα του βαθμού πολυπλοκότητας και της λεπτομέρειας με την οποία προσομοιάζουν την τοιχοπλήρωση. Ειδικότερα, γίνεται διάκριση σε μικρό-προσομοιώματα και μακρό-προσομοιώματα. Στην πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιείται η θεώρηση του 'ισοδύναμου δικτύωματος', οπότε συνδυάζοντας ένα ή περισσότερα ελατήρια (θλιπτήρες/ελκυστήρες) προκύπτει ένα απλοποιημένο προσομοίωμα ικανό να αναπαραστήσει τη συνολική συμπεριφορά του τοιχοφατνώματος και την αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον πλαίσιο. Η δεύτερη προσέγγιση περιλαμβάνει προσομοιώματα που περιγράφουν λεπτομερώς τα επιμέρους στοιχεία που απαρτίζουν τον τοίχο (τοιχοσώματα, κονίαμα, διεπιφάνεια επαφής

κ.ο.κ.) και το περιβάλλον πλαίσιο, και προσπαθούν να αποδώσουν την ακριβή συμπεριφορά του τοίχου πλήρωσης σε τοπικό επίπεδο. Τα μικρό-προσομοιώματα απαιτούν πολύ χρόνο για την ανάλυση μεγάλων δομικών κατασκευών και είναι ιδιαίτερα περίπλοκη η εφαρμογή τους. Αντίθετα, τα μακρό-προσομοιώματα, τα οποία αντιμετωπίζουν την τοιχοπλήρωση ως ένα δομικό στοιχείο, είναι κατάλληλα για την ανάλυση και τον σχεδιασμό κατασκευών. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η προσομοίωση των τοίχων πλήρωσης με στοιχεία ισοδύναμης διαγωνίου (διαγώνιοι θλιπτήρες).[2],[4],[5]

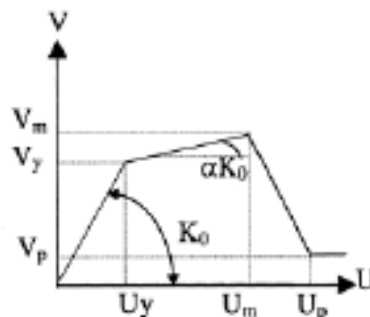
2.ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΥ

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η κατασκευή προσομοιώνεται με ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο διαγώνιες ράβδους οι οποίες δουλεύουν μόνο σε θλίψη (διαγώνιοι θλιπτήρες). Οι ράβδοι εμφανίζουν μόνο θλιπτική και όχι εφελκυστική αντοχή καθώς η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας θεωρείται μηδενική. Έτσι προκύπτει ένας ισοδύναμος πλευρικός μηχανισμός αντίστασης για τις επιβαλλόμενες στο πλαίσιο σεισμικές φορτίσεις όμοιος με αυτόν που θα συνεισέφερε στο πλαίσιο η τοιχοποιία.[2],[5],[6],[7]



Σχήμα 1: Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης με διαγώνιους θλιπτήρες [6]

Η μηχανική συμπεριφορά του διαγωνίου θλιπτήρα περιγράφεται από το διάγραμμα του Σχ. 2 κατά Mostafaei & Kabayasawa (2004). Στο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων της τοιχοποιίας φαίνονται οι διατμητικές δυνάμεις V_y , V_m , V_p κατά την παραμόρφωση διαρροής U_y , κατά τη μέγιστη παραμόρφωση η οποία μπορεί να παραληφθεί U_m , καθώς και λίγο πριν την αστοχία της τοιχοποιίας U_p , αντιστοίχως. Χαρακτηριστικά στοιχεία στο προσομοίωμα είναι ότι μετά τη διαρροή το προσομοίωμα εμφανίζει κράτυνση (περίπου 20%) και μετά την οριακή μετατόπιση φθίνοντα κλάδο. Η οριακή μετατόπιση (για συνήθη πλαίσια) κατά Mostafaei & Kabayasawa (2004) αντιστοιχεί σε αξονική παραμόρφωση του θλιπτήρα 1.8 %, ενώ η διαρροή του θλιπτήρα γίνεται σε αξονική παραμόρφωση 0.675%. Η παραμένουσα αντοχή είναι το 30% της μέγιστης τιμής.[3],[6],[7]



Σχήμα 2: Μηχανική συμπεριφορά θλιβόμενης διαγωνίου κατά Mostafaei & Kabayasawa (2004)[6]

Στο Σχ. 2 το α αντιστοιχεί στο λόγο της ακαμψίας της τοιχοποιίας μετά τη διαρροή της προς την αρχική ακαμψία ο οποίος θεωρείται ίσος με 0.2.[3],[6],[7]

Η μέγιστη μετακίνηση κατά τη μέγιστη πλευρική δύναμη λαμβάνεται από τη σχέση [3],[6]

$$U_m = \frac{\varepsilon_m \cdot d_m}{\cos\theta} \quad (1)$$

όπου :

ε_m είναι η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση κατά τη μέγιστη θλιπτική τάση ($\varepsilon_m=0.0018$)

d_m το μήκος του διαγώνιου θλιπτήρα

θ η γωνία του διαγώνιου θλιπτήρα

Η γωνία και το μήκος του διαγώνιου θλιπτήρα προκύπτουν από τις κάτωθι σχέσεις [3],[6]

$$\theta = \tan^{-1}(h_m/l_m) \quad (2)$$

$$d_m = \sqrt{l_m^2 + h_m^2} \quad (3)$$

όπου :

h_m το ύψος του τοίχου πλήρωσης

l_m το μήκος του τοίχου πλήρωσης

Η αρχική ακαμψία της τοιχοποιίας είναι ίση με [3],[6]

$$K_o = 2 \left(\frac{V_{m,max}}{U_m} \right) \quad (4)$$

όπου $V_{m,max}$ η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναλάβει η τοιχοπλήρωση

Η πλευρική δύναμη διαρροής V_y και η αντίστοιχη μετακίνηση U_y της τοιχοποιίας είναι ίσες με [3],[6]:

$$V_y = \frac{V_m - \alpha K_o U_m}{1 - \alpha} \quad (5)$$

και

$$U_y = \frac{V_y}{K_o} \quad (6)$$

Τέλος, η διατμητική δύναμη V_p και η αντίστοιχη παραμόρφωση U_p κατά την αστοχία της τοιχοποιίας, μπορούν να εκτιμηθούν από τις ακόλουθες σχέσεις [3],[6]:

$$V_p = 0,3V_m \quad (7)$$

και

$$U_p = 3.5(0.01h_m - U_m) \quad (8)$$

Σε τοιχοποιίες που δεν υπερβαίνουν το όριο λυγηρότητας (κατά FEMA 356), ώστε να αποκλειστεί ο πλευρικός λυγισμός, υπάρχουν δύο ενδεχόμενα εμφάνισης αστοχίας : η θλιπτική αστοχία, η οποία συνήθως εμφανίζεται στα άκρα του θλιπτήρα και η διατμητική ολίσθηση κυρίως κατά μήκος του πλέγματος των αρμών . Η διατμητική δύναμη της τοιχοποιίας (Mostafaei & Kabeyasawa 2004) είναι η ελάχιστη από την τέμνουσα που προκαλεί διατμητική ολίσθηση και την τέμνουσα που οδηγεί σε θλιπτική αστοχία του θλιπτήρα. Η μέγιστη διατμητική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στην τοιχοποιία από θλίψη (θλιπτική αστοχία) δίνεται από τη σχέση [3],[6]:

$$V_c = z t_m f_m \cos\theta \quad (9)$$

όπου:

z το πλάτος της θλιβόμενης διαγωνίου το οποίο προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση σύμφωνα με τους Later & Mainstone (1971) [3],[6]:

$$z = 0.175 (\lambda h_m)^{-0.4} d_m \quad (10)$$

όπου:

λ η λυγηρότητα της θλιβόμενης διαγωνίου η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση [3],[6]:

$$\lambda = \left[\frac{E_m t_m \sin 2\theta}{4E_c I_c h_m} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (11)$$

όπου:

E_m το μέτρο ελαστικότητας του θλιπτήρα

t_m το πάχος της τοιχοποιίας

E_c το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος και

I_c η ροπή αδράνειας του υποστυλώματος

Αντίστοιχα, η μέγιστη διατμητική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στην τοιχοποιία από διάτμηση (διατμητική ολίσθηση) δίνεται από τη σχέση [6]:

$$V_f = \frac{\tau_o t_m l_m}{1 - \mu \tan \theta} \quad (12)$$

Όπου:

τ_o η συνεκτική διατμητική ικανότητα του κονιάματος που χρησιμοποιείται στην τοιχοποιία

μ η σταθερά τριβής στη θέση των αρμών

Τυπικές τιμές της συνεκτικότητας του συνδετικού κονιάματος τ_o είναι μεταξύ των τιμών $1 \leq \tau_o \leq 15 \text{ kg/cm}^2$. Σύμφωνα με τους Paulay & Priestley (1992) η συνεκτικότητα τ_o υπολογίζεται κατά προσέγγιση από με τη σχέση [6]:

$$\tau_o = 0.04 f_m \quad (13)$$

Τέλος, η σταθερά τριβής μ υπολογίζεται από την πειραματική σχέση του CHEN (1996) [6]

$$\mu = 0.654 + 0.000515 f_j \quad (14)$$

όπου f_j η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

Στην παρούσα εργασία η τοιχοποιία θεωρείται ότι αποτελείται από αργιλικά τούβλα με διάκενα συνήθους μορφής. Κατά τους Paulay & Priestley (1992) η θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων αυτών είναι ίση με $f_m = 4.4 \text{ MPa}$ [6]. Ακόμα, η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας θεωρείται ίση με 50 kg/cm^2 . Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι $\tau_o = 1.76 \text{ kg/cm}^2$ και $\mu = 0.68$, επομένως η μέγιστη διατμητική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στην τοιχοποιία από διάτμηση (διατμητική ολίσθηση) δίνεται πλέον από τη σχέση:

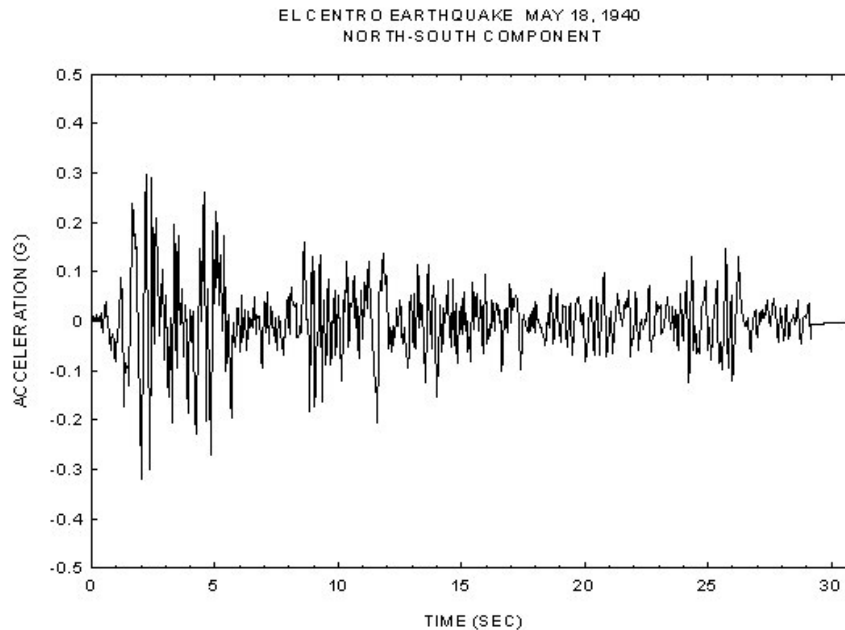
$$V_f = \frac{1.76 t_m l_m}{(1 - 0.68 \tan \theta)} \quad (15)$$

Τελικά, η μέγιστη δύναμη που μπορεί να αναλάβει η τοιχοπλήρωση υπολογίζεται από τη σχέση

$$V_{m,\max} = \min(V_c, V_f) = \min\left(z t_m f_m \cos \theta, \frac{1.76 t_m l_m}{(1 - 0.68 \tan \theta)}\right) \quad (16)$$

3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

Προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στους φορείς οπλισμένου σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν επίπεδοι πλαισιακοί φορείς οπλισμένου σκυροδέματος και πραγματοποιήθηκαν δυναμικές αναλύσεις. Ειδικότερα, όλοι οι φορείς μελετήθηκαν για την περίπτωση του επιταχυνσιογραφήματος του σεισμού του El Centro (NS συνιστώσα).



Σχήμα 3: επιταχυνσιογράφημα El Centro [9]

Τα αριθμητικά προσομοιώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα: επίπεδος διώροφος φορέας, επίπεδος οκτώροφος φορέας με ένα φάτνωμα ανά όροφο και επίπεδος οκτώροφος φορέας με τρία φαντώματα ανά όροφο. Αναλυτικότερα, οι τρεις παραπάνω φορείς μελετήθηκαν για τις εξής περιπτώσεις: α) πλήρως τοιχοπληρωμένος φορέας (τοιχοπλήρωση σε όλα τα φαντώματα και όλους τους ορόφους), β) μερικώς τοιχοπληρωμένος φορέας (περίπτωση pilotis-μαλακού ορόφου, απουσία τοιχοπλήρωσης στον πρώτο όροφο, γ) γυμνός φορέας (bare frame, απουσία οποιασδήποτε τοιχοπλήρωσης). Οι τοίχοι πλήρωσης προσομοιώθηκαν με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου όπως αυτή περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Όλοι οι φορείς έχουν σταθερό ύψος 3.00 m σε όλους τους ορόφους και σταθερό πλάτος 4.5 m σε κάθε άνοιγμα. Οι διατομές των δοκών και των υποστλωμάτων έχουν διαστάσεις 30x60 cm και 45x45 cm αντίστοιχα. Για το σκυρόδεμα υποτίθεται ποιότητα C20/25 με μέτρο ελαστικότητας $E_c=29$ GPa και ειδικό βάρος $\gamma=25$ KN/m³. Επίσης, η τοιχοποιία θεωρείται ότι έχει πάχος $t_m=0.20$ m. Το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας προκύπτει από την παρακάτω σχέση σύμφωνα με τους Paulay & Priestley (1992) [6]:

$$E_m=750 f_m \quad (17)$$

Όπως ήδη αναφέρθηκε η θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων είναι ίση με $f_m'=4.4$ MPa, συνεπώς το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας προκύπτει ίσο με $E_m=3300$ MPa.

Για την μελέτη των προσομοιωμάτων θεωρήθηκε μόνιμο φορτίο ίσο με $G=8$ KN/m και κινητό ίσο με $Q=6$ KN/m. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SAP 2000V17. Στην επόμενη ενότητα ακολουθεί ο υπολογισμός της αρχικής ακαμψίας της τοιχοποιίας σύμφωνα με όσα έχουν ήδη ειπωθεί.

4.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Ο υπολογισμός της αρχικής ακαμψίας της τοιχοποιίας πραγματοποιείται σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν στην παράγραφο 2 (ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΥ) και είναι απαραίτητος για την προσομοίωση της τοιχοποιίας με διαγώνιους θλιπτήρες, όπως αυτή περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Οι υπολογισμοί που ακολουθούνται φαίνονται παρακάτω.

Γωνία θλιβόμενης διαγωνίου

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h_m}{l_m}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2.4}{4.05}\right) = 30.65^\circ$$

Λυγηρότητα θλιβόμενης διαγωνίου

$$\lambda = \left[\frac{E_m t_m \sin 2\theta}{4E_c I_c h_m} \right]^{\frac{1}{4}} = \left[\frac{3300 \cdot 20 \cdot \sin(2 \cdot 30.65^\circ)}{4 \cdot 29000 \cdot 341718.75 \cdot 240} \right]^{\frac{1}{4}} = 0.0088$$

Μήκος θλιβόμενης διαγωνίου

$$d_m = \sqrt{l_m^2 + h_m^2} = \sqrt{4.05^2 + 2.4^2} = 5.1 \text{ m}$$

Ισοδύναμο πλάτος θλιβόμενης διαγωνίου

$$z = 0.175 (\lambda h_m)^{-0.4} d_m = 0.175 \cdot (0.0088 \cdot 240)^{-0.4} \cdot 510 = 66.18$$

Μέγιστη διατμητική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στην τοιχοποιία από θλίψη (θλιπτική αστοχία)

$$V_c = z t_m f_m \cos \theta = 66.18 \cdot 20 \cdot 44 \cdot \cos 30.65^\circ = 50102 \text{ kg}$$

Μέγιστη διατμητική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στην τοιχοποιία από διάτμηση (διατμητική ολίσθηση)

$$V_f = \frac{1.76 t_m l_m}{(1 - 0.68 \tan \theta)} = \frac{1.76 \cdot 20 \cdot 405}{(1 - 0.68 \tan 30.65^\circ)} = 23877.4 \text{ kg}$$

Από τους δύο μηχανισμούς αστοχίας επιλέγεται η ελάχιστη διατμητική δύναμη η οποία είναι :
 $V_{m,max} = \min(V_c, V_f) = \min(50102, 23877.4) = 23877.4 \text{ kg}$

Μέγιστη μετακίνηση κατά τη μέγιστη πλευρική δύναμη

$$U_m = \frac{\epsilon_m \cdot d_m}{\cos \theta} = \frac{0.0018 \cdot 5.1}{\cos 30.65^\circ} = 1.067 \text{ cm}$$

Τέλος, προκύπτει η αρχική ακαμψία της τοιχοποιίας :

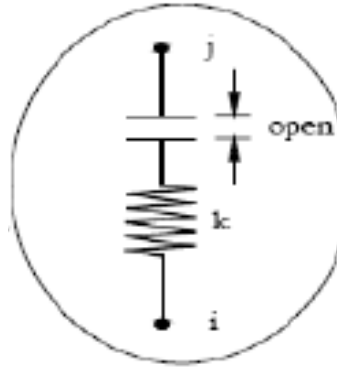
$$K_o = 2 \left(\frac{V_{m,max}}{U_m} \right) = 2 \left(\frac{23877.4}{1.067} \right) = 44756.1 \text{ kg / cm}^2$$

5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ SAP2000

Αρχικά ορίστηκαν τα υλικά και οι διατομές των δοκών και των υποστυλωμάτων. Οι διατομές των δοκών και των υποστυλωμάτων προσομοιώθηκαν με γραμμικά στοιχεία (frame elements). Όλα τα υποστυλώματα του πρώτου ορόφου θεωρήθηκαν πακτωμένα στο κάτω άκρο τους. Για την προσομοίωση της τοιχοποιίας με τη μέθοδο της θλιβόμενης διαγωνίου έγινε χρήση δύο διαγώνιων θλιπτήρων τύπου gap (gap elements). Τα στοιχεία τύπου gap έχουν μη γραμμικές ιδιότητες, καθώς υπόκεινται μόνο σε θλίψη (θεώρηση ανάλογη με αυτή των τοιχοπληρώσεων). Έτσι, για κάθε βαθμό ελευθερίας μπορεί να οριστεί ανεξάρτητη ιδιότητα (ακαμψία, άνοιγμα, απόσβεση) σε θλίψη. Η εσωτερική παραμόρφωση του στοιχείου για κάθε βαθμό ελευθερίας είναι ανεξάρτητη και δεν επηρεάζει την συμπεριφορά των παραμορφώσεων του στοιχείου των άλλων βαθμών ελευθερίας. Τα στοιχεία τύπου gap λειτουργούν ως μη γραμμικά μόνο για μη γραμμικές αναλύσεις. Η σχέση δύναμης-μετατόπισης που χαρακτηρίζει τα στοιχεία τύπου gap είναι η παρακάτω:

$$f = \begin{cases} k(d+open) & d+open < 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (18)$$

όπου k είναι η σταθερά του ελατηρίου και open το άνοιγμα το οποίο λειτουργεί το ελατήριο [1].



Σχήμα 4 : Gap element [1]

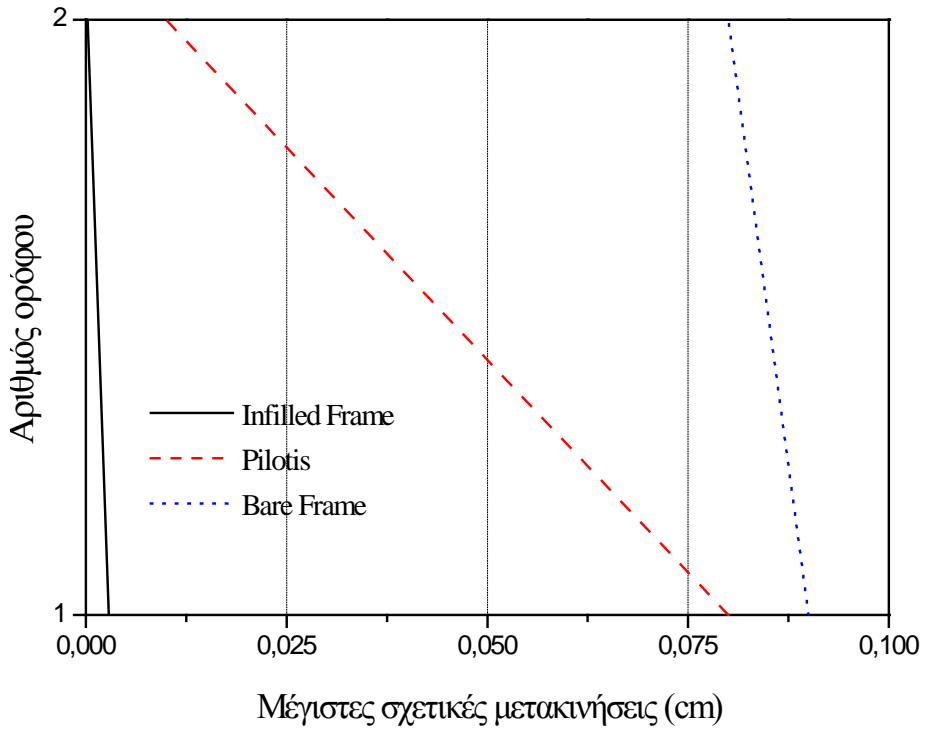
Η αρχική δυσκαμψία της τοιχοποιίας K_0 η οποία εισάγεται στο SAP2000 στα στοιχεία τύπου gap είναι $K_0=44756.1 \text{ kg / cm}^2$, όπως αυτή υπολογίστηκε παραπάνω. Ακόμα, για υπολογιστικούς λόγους αποδόθηκε στους διαγώνιους θλιπτήρες μια μικρή τιμή μάζας [8].

Στη συνέχεια, ορίστηκαν τα φορτία των πλαισιωτών φορέων. Κατόπιν, για την εισαγωγή των στατικών φορτίσεων ως δυναμικές τη στιγμή της έναρξης της σεισμικής διέγερσης ορίστηκε μία χρονοϊστορία για τις στατικές φορτίσεις της κατασκευής [8]. Η εφαρμογή των στατικών φορτίσεων έγινε σταδιακά με χρήση ενός διαγράμματος τύπου RAMP TYPE. Στη συνέχεια, εισήχθη το αρχείο χρονοϊστορίας του σεισμού El Centro (NS συνιστώσα) και δημιουργήθηκε μια δεύτερη χρονοϊστορία με αρχική συνθήκη την πρώτη χρονοϊστορία. Για την εκτέλεση της μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης επιλέχθηκε η ιδιομορφική μέθοδος (μέθοδος Modal) η οποία χρησιμοποιεί τη μέθοδο της επαλληλίας των ιδιομορφών. Μετά την επιλογή της μεθόδου Modal, το πρόγραμμα δημιούργησε μία ιδιομορφική ανάλυση (Modal Analysis). Επιλέξαμε να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο Ritz Vectors.

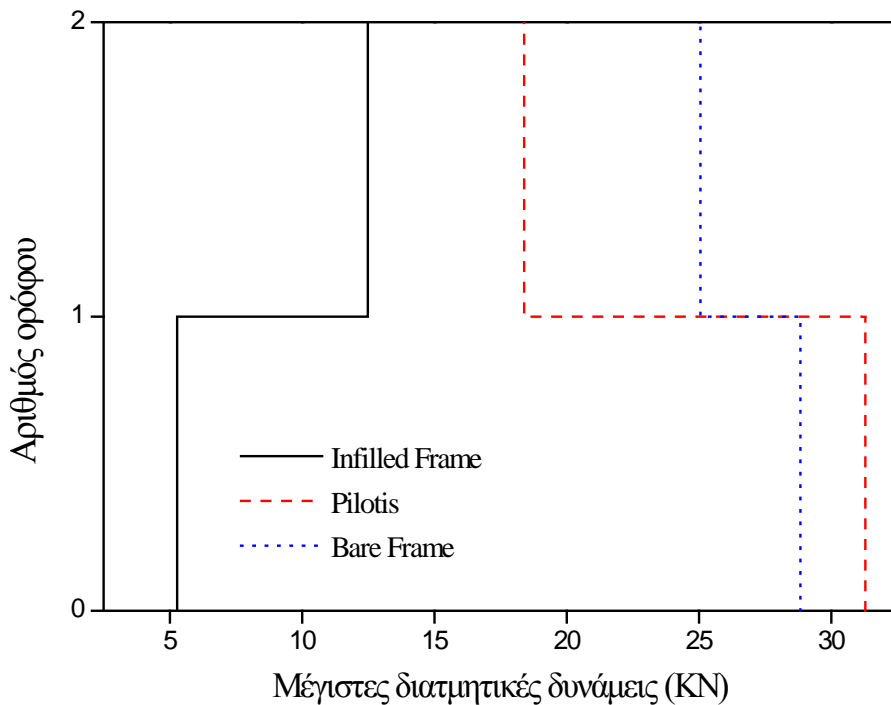
6.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων για τους τρεις επίπεδους πλαισιακούς φορείς που εξετάζονται για τις διάφορες θέσεις των τοίχων πλήρωσης. Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων, οι μέγιστες τέμνουσες που αναπτύσσονται σε κάθε όροφο καθώς και οι ιδιοπερίοδοι των πλαισιωτών κατασκευών.

6.1 ΔΙΩΡΟΦΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΤΟΣ ΦΟΡΕΑΣ



Σχήμα 5 : Μέγιστες σχετικές μετατοπίσεις ορόφων διώροφου πλαίσιοτου φορέα

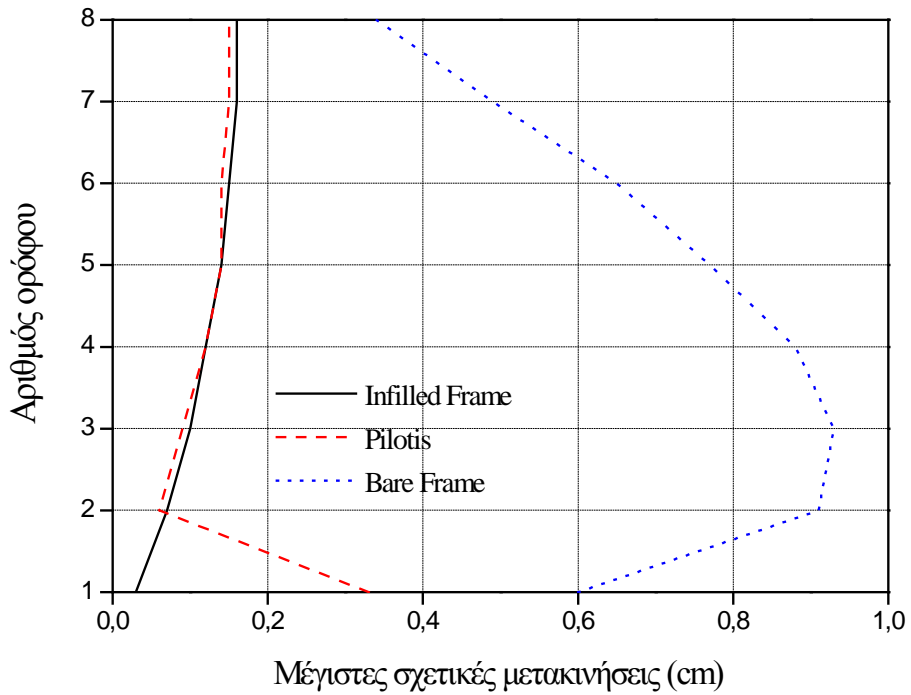


Σχήμα 6 : Ανά όροφο μέγιστες διατημητικές δυνάμεις σε διώροφο πλαίσιοτου φορέα

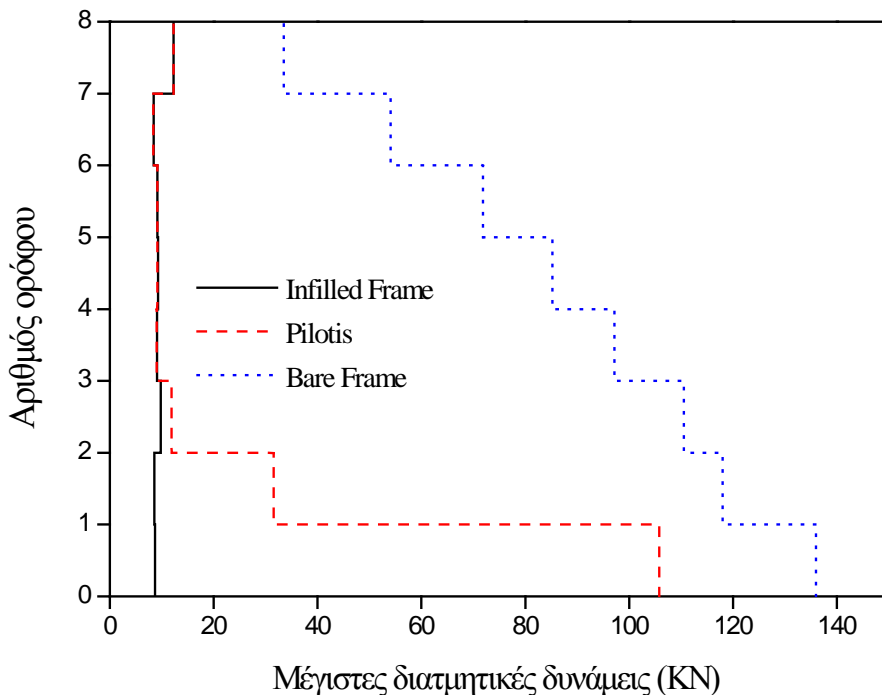
	Infilled Frame	Pilotis	Bare Frame
T(sec)	0,018	0,074	0,097

Σχήμα 7 : Ιδιοπερίοδος διώροφου πλαίσιοτου φορέα

6.2 ΟΚΤΑΩΡΟΦΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΤΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΕΝΑ ΦΑΤΝΩΜΑ ΑΝΑ ΟΡΟΦΟ



Σχήμα 8 : Μέγιστες σχετικές μετατοπίσεις ορόφων οκταώροφου πλαίσιοιτού φορέα με ένα φάτνωμα ανά όροφο

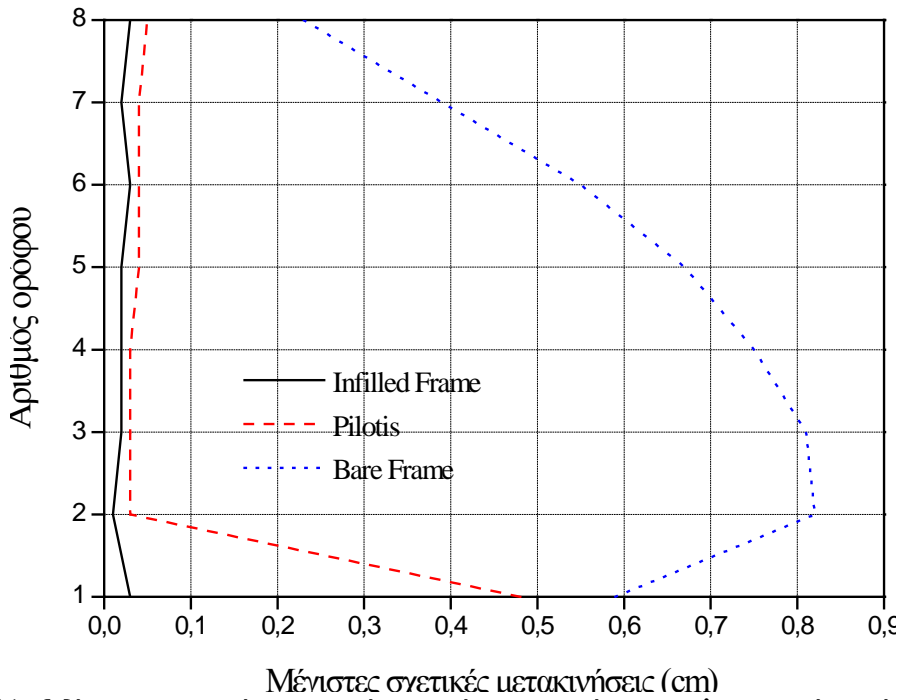


Σχήμα 9 : Ανά όροφο μέγιστες διατμητικές δυνάμεις σε οκταώροφο πλαίσιοιτό φορέα με ένα φάτνωμα ανά όροφο

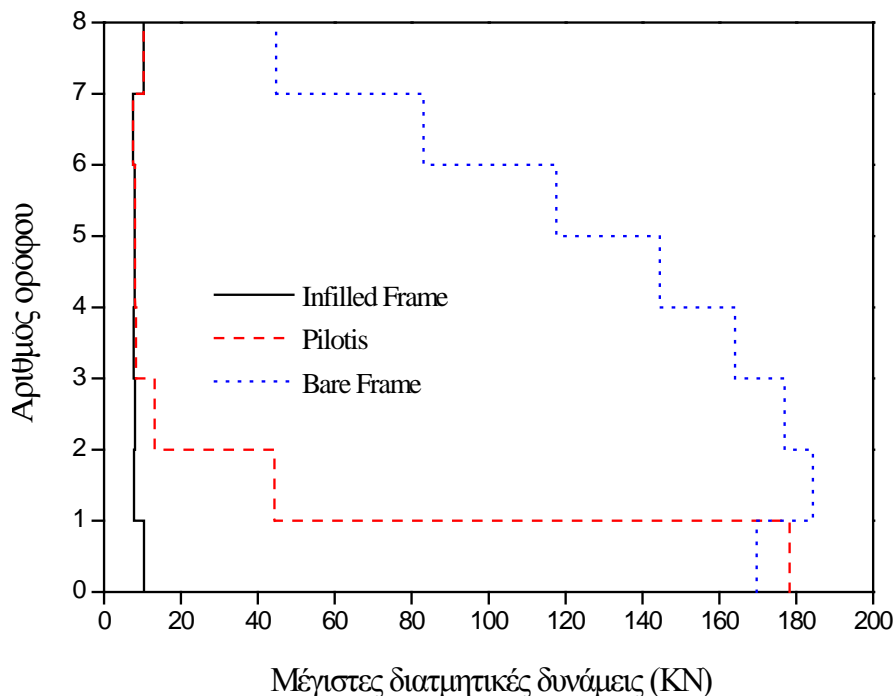
	Infilled Frame	Pilotis	Bare Frame
T(sec)	0,189	0,232	0,452

Σχήμα 10 :Ιδιοπερίοδος οκταώροφου πλαίσιοιτού φορέα με ένα φάτνωμα ανά όροφο

6.3 ΟΚΤΑΩΡΟΦΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΤΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΤΡΙΑ ΦΑΤΝΩΜΑΤΑ ΑΝΑ ΟΡΟΦΟ



Σχήμα 11 : Μέγιστες σχετικές μετακινήσεις ορόφων οκταώροφου πλαισιωτού φορέα με τρία φατνώματα ανά όροφο



Σχήμα 12 : Ανά όροφο μέγιστες διατμητικές δυνάμεις σε οκταώροφο πλαισιωτό φορέα με τρία φατνώματα ανά όροφο

	Infilled Frame	Pilotis	Bare Frame
T(sec)	0,095	0,185	0,428

Σχήμα 13 :Ιδιοπερίοδος οκταώροφου πλαισιωτού φορέα με τρία φατνώματα ανά όροφο

7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην σεισμική απόκριση πλαισιωτών φορέων για τις διάφορες διατάξεις των τοίχων πλήρωσης, προσομοιώνοντας την τοιχοπλήρωση με χρήση ελατηρίων (gap elements) . Για την ακριβέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων μελετήθηκαν τρεις περιπτώσεις πλαισιωτών φορέων οι οποίες είναι οι εξής : διώροφος φορέας, οκταώροφος φορέας με ένα φάνωμα σε κάθε όροφο και οκταώροφος φορέας με τρία ίδια φανώματα σε κάθε όροφο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη δυναμική ανάλυση των πλαισιωτών φορέων καταδεικνύουν τη σημαντική επιρροή των τοιχοπληρώσεων στην πλευρική δυσκαμψία αυτών. Ειδικότερα προκύπτει ότι :

- Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τους τρεις πλαισιωτούς φορείς για τις διάφορες διατάξεις των τοίχων πλήρωσης συγκλίνουν.
- Οι τοιχοπληρώσεις αυξάνουν σημαντικά τη πλευρική δυσκαμψία των πλαισιωτών φορέων. Τα χωρίς τοιχοπληρώσεις πλαίσια εμφανίζουν αυξημένες σχετικές μετατοπίσεις σε σχέση με τα πλήρως τοιχοπληρωμένα πλαίσια. Στην περίπτωση των μερικώς τοιχοπληρωμένων φορέων οι μετακινήσεις του πρώτου ορόφου εμφανίζονται μεγαλύτερες σε σύγκριση με τους πλήρως τοιχοπληρωμένους φορείς (μείωση της δυσκαμψίας του πρώτου ορόφου) αλλά μικρότερες από τους γυμνούς ενώ οι σχετικές μετακινήσεις των υπόλοιπων ορόφων συγκλίνουν σε αυτές των πλήρως τοιχοπληρωμένων φορέων.
- Οι τοιχοπληρώσεις μειώνουν την ιδιοπερίοδο των πλαισιωτών φορέων καθώς και τις μέγιστες διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται σε κάθε όροφο. Χαρακτηριστικά, η τέμνουσα βάσης του γυμνού οκταώροφου φορέα με ένα άνοιγμα είναι 14 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τον αντίστοιχο πλήρως τοιχοπληρωμένο φορέα και του γυμνού οκταώροφου φορέα με τρία ανοίγματα 15 φορές.
- Στους μερικώς τοιχοπληρωμένους φορείς η τέμνουσα του πρώτου ορόφου εμφανίζεται συγκριτικά μεγαλύτερη σε σχέση με τις τέμνουσες των υπολοίπων ορόφων ενώ, στην περίπτωση των οκταώροφων μερικώς τοιχοπληρωμένων φορέων, παρατηρείται ότι μετά τον τρίτο όροφο οι τέμνουσες που αναπτύσσονται είναι ίσες με αυτές των αντίστοιχων πλήρως τοιχοπληρωμένων. Η συγκέντρωση των εντάσεων στα υποστυλώματα του πρώτου ορόφου, των μερικώς τοιχοπληρωμένων φορέων , τείνει να οδηγήσει στην δημιουργία ‘μαλακού’ ορόφου.
- Εν κατακλείδι, οι τοιχοπληρώσεις έχουν θετικές επιδράσεις καθώς αυξάνουν τη δυσκαμψία και τη διατμητική ακαμψία των φορέων. Ωστόσο, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην περίπτωση ακανονικότητας των τοιχοπληρώσεων (ακανονικότητα καθ’ ύψος-περίπτωση pilotis) καθώς η επίδραση τους μπορεί να γίνει αρνητική με τη δημιουργία μαλακού ‘ορόφου’.

8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κ.Α. Συμαρκέζης ,Π.Γ. Αστερής ,Α.Κ. Αντωνόπουλος «Επιρροή των Τοιχοπληρώσεων στη Σεισμική Συμπεριφορά των Πλαισιωτών Δομικών Συστημάτων Οπλισμένου Σκυροδέματος» 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος (2006).
- [2] Παναγιώτης Γ. Αστερής «Επιρροή των Τοιχοπληρώσεων στη Σεισμική Απόκριση Πλασιών Οπλισμένου Σκυροδέματος» 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου, 2008.
- [3] Παναγιώτης ΤΣΙΚΑΣ, Στέφανος ΔΡΙΤΣΟΣ «Διερεύνηση του τρόπου προσομοίωσης τοιχοπληρωμένων πλαισιών με ανοίγματα, σε κατασκευές Ο.Σ. » 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009, Πάφος, Κύπρος.
- [4] Ανδρέας Ι. Κάππος «Ο ρόλος των τοιχοπληρώσεων: Μύθοι και πραγματικότητα », Άρθρο, Τεχνικές σελίδες, Περιοδικό Κτίριο, Τεύχος 166, Νοέμβριος 2004.

- [5] Ο.Α.Σ.Π «Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια» Αθήνα, Απρίλιος 2001.
- [6] Hossein Mostafaei, Toshimi Kabeyasawa «Effect of Infill Masonry Walls on the Seismic Response of Reinforced Concrete Buildings Subjected to the Bam Earthquake Strong Motion : A Case Study of Bam Telephone Center »
- [7] Ehsan DehghaniSanij, Dr. Reza Alaghebandian «Nonlinear earthquake response analysis of RC frames with masonry infills » 15 WCEE, LISBOA 2012.
- [8] Sap 2000 Manual.
- [9] <http://www.vibrationdata.com/elcentro.htm> (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)