

A | S | A

ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Α.Σ.ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ



ΤΑΣΚΟΥ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ 10
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Τ.Κ. 54631
ΤΗΛ: 2310. 230.529
FAX: 2310. 261.287
email: anastasiadis@hol.gr

Εσωτερικές Παρουσιάσεις Επικαιρων Γεγονότων

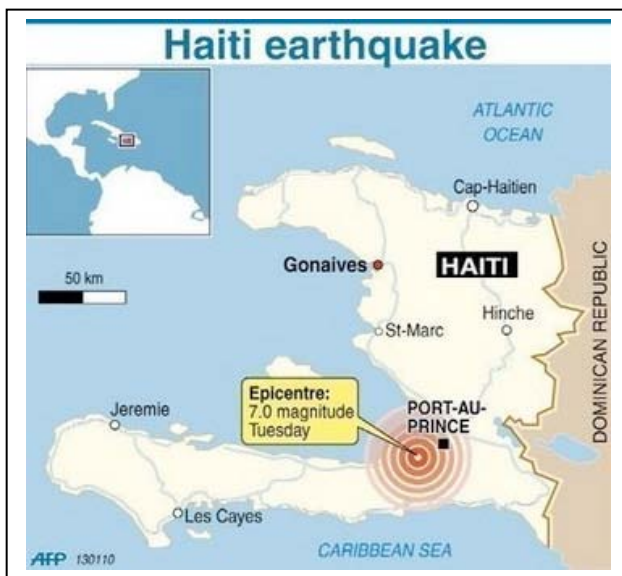
1. Ο σεισμός της Αϊτής

2. Ο σεισμός της Χιλής

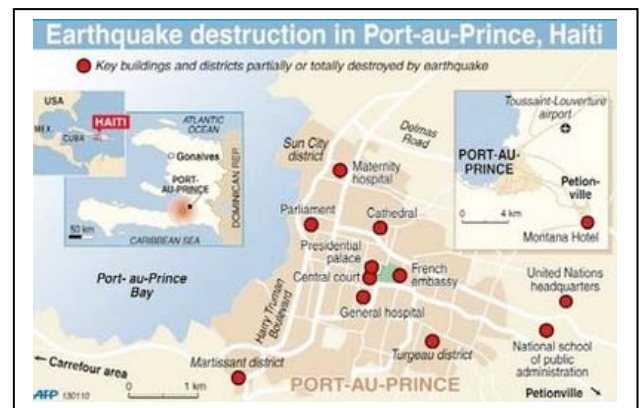
Μάρτιος 2010

Ο σεισμός της Αϊτής

Ο καταστροφικός σεισμός της Αϊτής που σημειώθηκε την 12^η Ιανουαρίου 2010, είχε μέγεθος 7.0 M_w , με το επίκεντρο του να βρίσκεται κοντά στην πόλη Leogane 25 Km περίπου από την πρωτεύουσα Port-au Prince, Φώτο 1, 2. Έως και της 24 Ιανουαρίου είχαν σημειωθεί περί τους 52 μετασεισμούς μεγέθους 7.5 M_w και άνω. Όπως αναφέρθηκε από την κυβέρνηση της χώρας περίπου 3.000.000 κάτοικοι επηρεάστηκαν από τις συνέπειες του σεισμού. Οι νεκροί έφτασαν τους 230.000 και οι τραυματίες τους 300.000 ενώ εκτιμάται ότι περίπου 1.000.000 κάτοικοι έμειναν άστεγοι. Πολλοί θάνατοι προήλθαν από τα παλιρροϊκά κύματα (tsunami) που δημιούργησε η ισχυρή σεισμική δόνηση. Επίσης, υπολογίζεται ότι κατέρρευσαν ή υπέστησαν σοβαρές ζημιές 250.000 κατοικίες και περίπου 30.000 εμπορικά κτίρια. Ο σεισμός έπληξε κύρια την πρωτεύουσα Port-au-Prince και από πόλη των περιγίπων την μετέτρεψε σε κρανίου τόπο, Φώτο. 3,4. Σημαντικά κτίρια της πρωτεύουσας όπως το Προεδρικό μέγαρο, το Εθνικό κοινοβούλιο, Φώτο. 5 και ο Καθεδρικός Ναός, Φώτο. 6 κατέρρευσαν προκαλώντας τον θάνατο στον μητροπολίτη και στον αρχηγό της αντιπολίτευσης.



Φωτό. 1



Φωτο.2



Φωτο.3



Φωτο.4



Φωτο.5



Φωτο.6

Είναι γεγονός ότι τα κτίρια στην Αϊτή δεν κατασκευάστηκαν με ιδιαίτερες αντισεισμικές προδιαγραφές. Ως εκ τούτου από δομοστατικής άποψης η συμπεριφορά των κτιρίων δεν έχει να προσφέρει ιδιαίτερα συμπεράσματα. Αντίθετα αναδεικνύονται κοινωνικά προβλήματα που προκύπτουν από καταστροφικές δονήσεις σε υπανάπτυκτες και οικονομικά αδύναμες χώρες, ενώ τέλος η εμπειρία που θα αποκτηθεί από την διαχείριση των πληγέντων θα προσφέρει σημαντικά συμπεράσματα για την βελτίωση των μέτρων που πρέπει να λαμβάνονται προ και μετά τους σεισμούς.

Ο σεισμός της Χιλής

Γενικά στοιχεία

Ο ισχυρός σεισμός μεγέθους 8.8 Μ της 27^{ης} Φεβρουαρίου του 2010 προκάλεσε περίπου 500 θύματα, χιλιάδες τραυματίες και εκτεταμένες βλάβες στο δομημένο περιβάλλον. Πολλοί από τους θανάτους προήλθαν από τα παλιρροϊκά κύματα. Το επίκεντρο του σεισμού τοποθετείται

περίπου 325 Km νοτιοδυτικά της πρωτεύουσας Santiago με εστιακό βάθος στα 35 Km από την επιφάνεια, Φώτο 7,8.

Χαρακτηριστικά, στην επικεντρική περιοχή η ισχυρή δόνηση είχε διάρκεια 150sec. Καταγράφηκαν οριζόντιες σεισμικές επιταχύνσεις της τάξης των 0.14-0.56g ενώ οι κατακόρυφες συνιστώσες κυμάνθηκαν από 0.13-0.28g, Φώτο 9. Τα αντίστοιχα φάσματα ξεπέρασαν κατά περίπου δυόμισι φορές την επιτάχυνση σχεδιασμού που προβλέπει ο Χιλιανός αντισεισμικός κανονισμός, Φώτο 10. Επίσης, όπως αναφέρθηκε από γεωλόγους η πόλη της Concepcion μετακινήθηκε κατά 3 μέτρα δυτικά σε σχέση με την πρωτεύουσα Santiago και περίπου 28 εκατοστά, με κατεύθυνση, δυτικά-νοτιοδυτικά.

Γενικά, η Χιλή από απόψεως σεισμικότητας κατατάσσεται 2^η παγκοσμίως μετά την Ιαπωνία. Το μέγεθος των 8.8 M είναι η έβδομη ισχυρότερη σεισμική δόνηση που έχει καταγραφεί ποτέ παγκοσμίως και η 5^η από το 1900. Ιστορικά η Χιλή έχει δώσει ισχυρότατους σεισμούς όπως αυτός με μέγεθος 9.5M που καταγράφηκε τον Μάιο του 1960 και αυτός του 1985 με μέγεθος 7.8M που έπληξε τις μεγαλύτερες πόλεις της Χιλής όπως το Santiago και το Valparaiso.

Η Χιλή διαθέτει αντισεισμικό κανονισμό ξεκινώντας από το 1935. Η έκδοση του 1972 αναθεωρήθηκε μετά τον σεισμό του 1985 στην Vina del Mar, ο οποίος άρχισε να ισχύει περί το 1993, ενώ στην συνέχεια αναθεωρήσεις εφαρμόστηκαν το 1996 και το 2003. Εκτιμάται ότι περίπου το 30% των κτιρίων έχουν δομηθεί με παλαιότερες αντισεισμικές διατάξεις συγκριτικά με αυτές που ισχύουν σήμερα. Ως προς την κατανομή των δομικών υλικών φερουσών κατασκευών: το 60% των κατοικιών και το 40% των κτιρίων με εμπορική χρήση είναι κατασκευασμένα από φέρουσα τοιχοποιία (διαζωματική, οπλισμένη, άοπλη) και το 20% των κατοικιών έχουν δομηθεί από ξύλο. Για την κατασκευή πολώροφων κτιρίων (10-20 ορόφων) προεξάρχον υλικό είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα ενώ για την κατασκευή εμπορικών κτιρίων το 33% είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και το 15% από δομικό χάλυβα. Τα βιομηχανικά κτίρια, σχεδόν κατ αποκλειστικότητα, είναι κατασκευασμένα από δομικό χάλυβα.



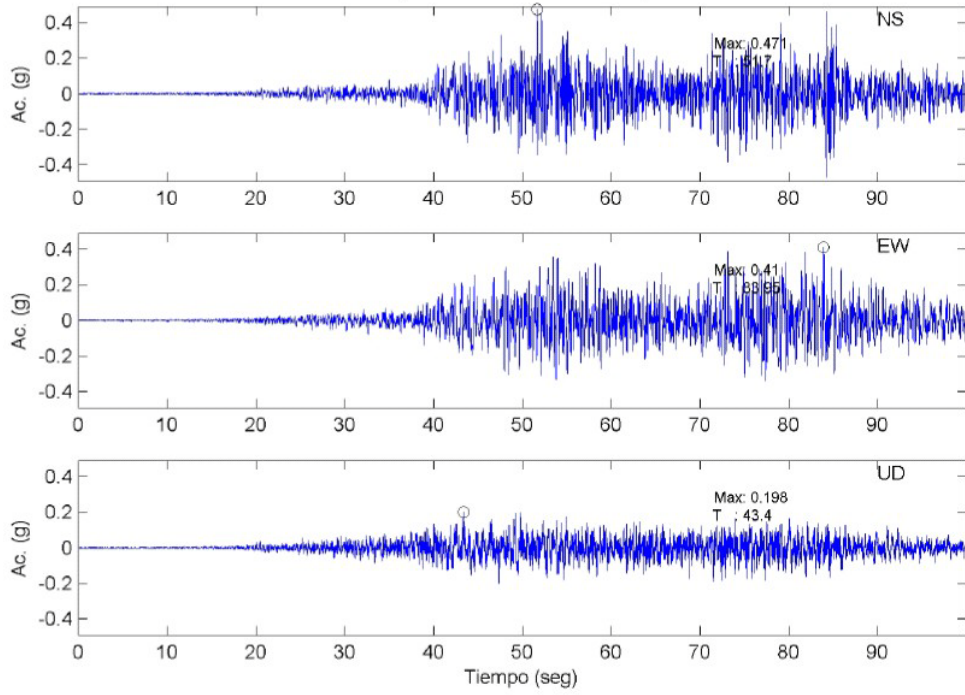
Φώτο. 7

Chile earthquake



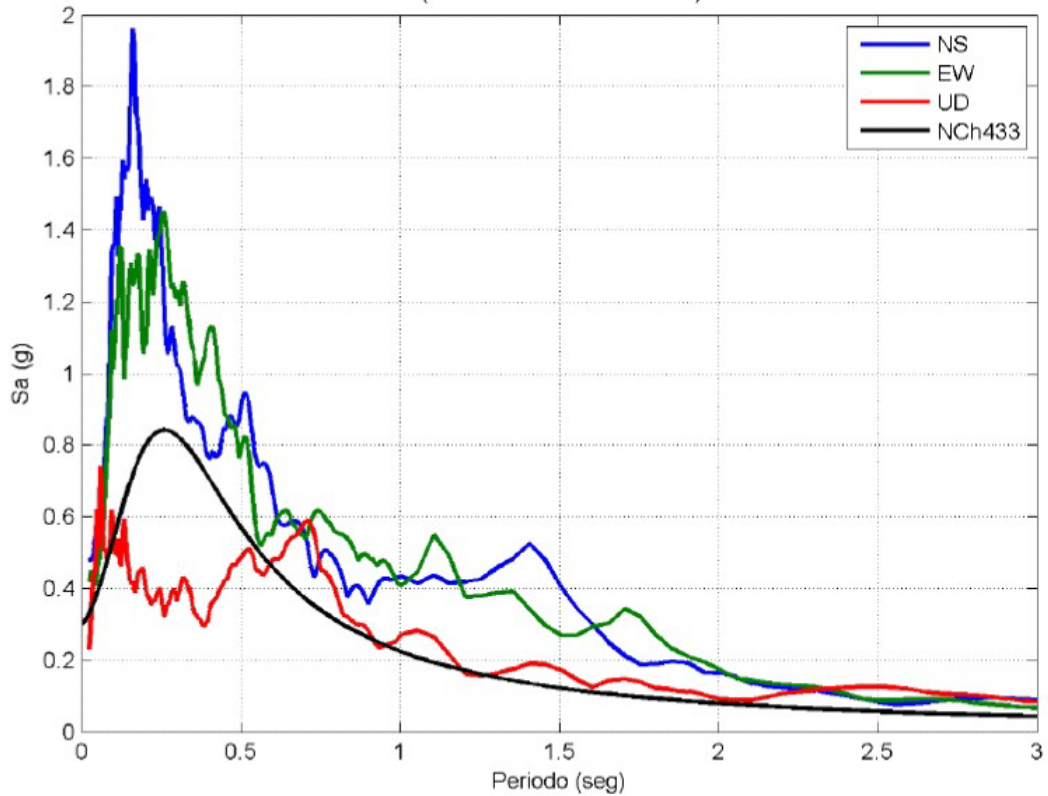
Φώτο. 8

REGISTRO RENADIC: ESTACION: HOSP CURICO / P. SOTO R. BOROSCHEK
 UNIVERSIDAD DE CHILE RED NACIONAL DE ACELEROGRAFOS
 (Frec. Banda: 0.055 - 40 Hz)



Φώτο. 9

ESPECTRO de RESPUESTA $\beta = 5\%$
 REGISTRO: RENADIC: ESTACION: HOSP CURICO / P. SOTO R. BOROSCHEK
 UNIVERSIDAD DE CHILE RED NACIONAL DE ACELEROGRAFOS
 (Banda Frec: 0.055 - 40 Hz)



Φώτο. 10

Συμπεριφορά πολυώροφων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Χιλή είναι τα τοιχωματικά συστήματα οπλισμένου σκυροδέματος για την κατασκευή πολυώροφων κτιρίων κατοικιών, γραφείων, εμπορικών κέντρων. Η καλή συμπεριφορά που υπέδειξαν κατά τους σεισμούς του 1960 και 1985 δημιούργησε ένα κλίμα αξιοπιστίας στους μελετητές και κατασκευαστές, αν και γενικά οι σύγχρονοι κανονισμοί, μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς, δεν πριμοδοτούν τα εν λόγω δομικά συστήματα. Συγκεκριμένα, ο τρόπος μόρφωση στις κτιριακές κατασκευές κατοικιών είναι ο ακόλουθος: τοποθέτηση τοιχωμάτων στην διαμήκη δ/νση και στο κέντρο, εκεί όπου σχηματίζεται ο διάδρομος της οικοδομής, ενώ στην εγκάρσια δ/νση τοποθετούνται και πάλι τοιχώματα ανά τακτά διαστήματα δημιουργώντας στον ισόγειο χώρο θέσεις στάθμευσης. Τα τοιχώματα κατασκευάζονται με ανοίγματα για την τοποθέτηση κουφωμάτων (πόρτες, παράθυρα, κ.α.). Ωστόσο το εν λόγω σύστημα αποδείχθηκε ότι παρουσιάζει αυξημένη τρωτότητα λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής σε κάτοψη των τοιχωμάτων, τείνοντας να εμφανίσουν μαλακό όροφο, Φώτο 11,12.



Φώτο 11.Centro Mayor-Conception



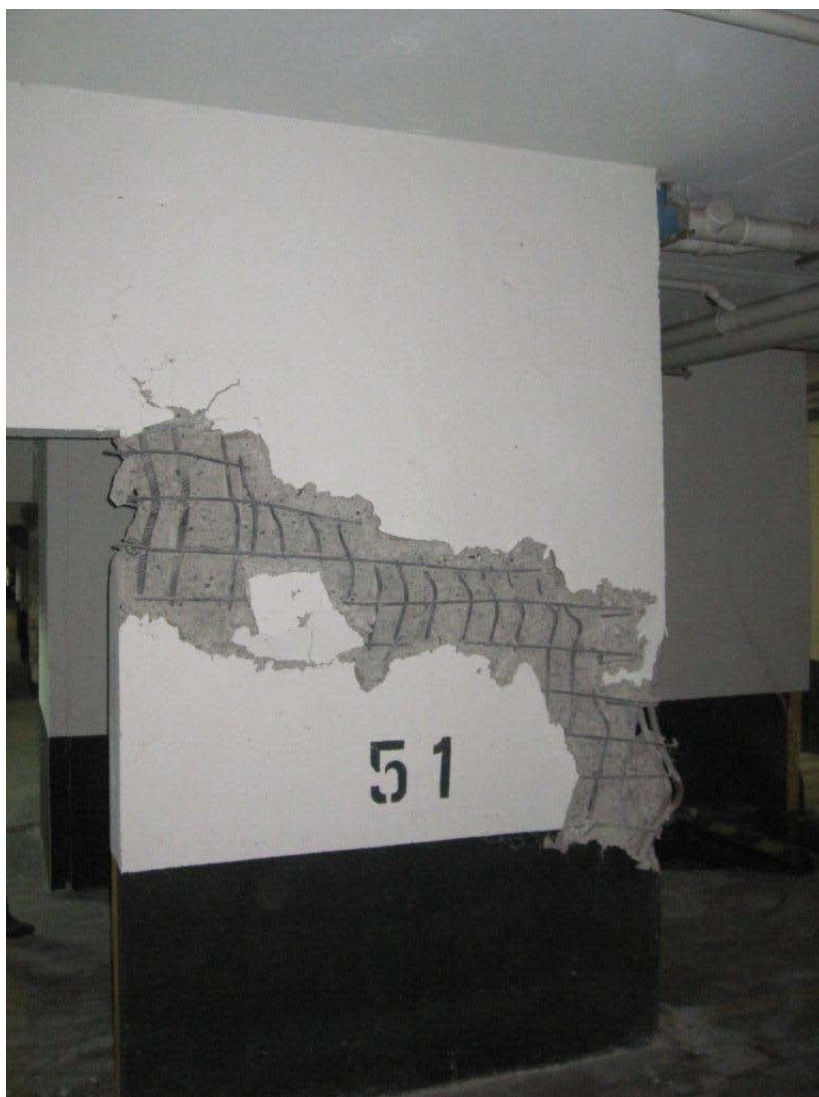
Φώτο 12.Edificio Toledo

Συνοψίζοντας τα πρώτα αναγνωριστικά συμπεράσματα διαπιστώνουμε:

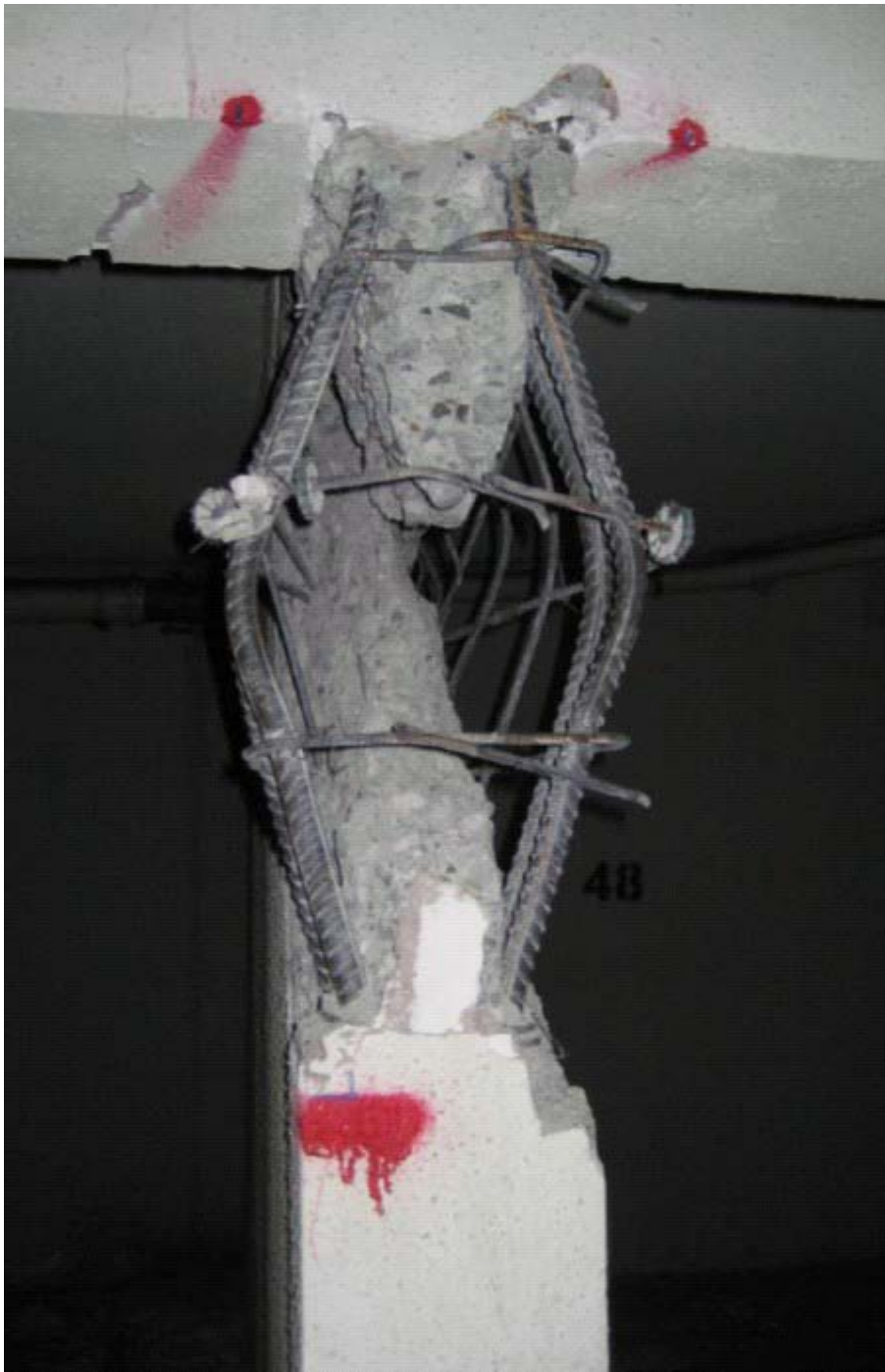
- Γενικά τα κτίρια συμπεριφέρθηκαν καλά σε ένα τόσο ισχυρό σεισμό.
- Δομικές βλάβες προκλήθηκαν λόγω:
 1. Εμφάνισης υψηλών καταπονήσεων πέρα από αυτές που προβλέπονταν στον αντισεισμικό κανονισμό, Φωτο 10.
 2. Λυγηρά τοιχώματα με υψηλή αξονική καταπόνηση, Φώτο. 13,14.
 3. Έλλειψη περίσφυξης, Φώτο 15, 16
 4. Σε ορισμένες περιπτώσεις ανώμαλη μεταβολή καθ ύψος
 5. Απερίσφυκτες ζώνες σε τοιχώματα στα σημεία ματίσεων των ράβδων, Φώτο 17
 6. Προβληματική μόρφωση σε κάτοψη δημιουργώντας συγκέντρωση τάσεων μόνο προς την μία διεύθυνση και στην συγκεκριμένη περίπτωση στα εγκάρσια τοιχώματα.



Φώτο 13



Φώτο 14



Φώτο 15



Φώτο 16



Φώτο 17

Συμπεριφορά μεταλλικών κατασκευών

Τα μεταλλικά πολυώροφα κτίρια συμπεριφέρθηκαν άριστα και παρουσίασαν αστοχίες μόνο σε μη φέροντα στοιχεία όπως ψευδοροφές, Η/Μ εγκαταστάσεις και εν γένει αγκυρώσεις μη δομικών στοιχείων. Αντίστοιχα και τα βιομηχανικά κτίρια αποθηκών, εργοστασίων συμπεριφέρθηκαν άριστα χωρίς αστοχίες. Βλάβες εμφανίστηκαν σε ειδικές κατασκευές όπως σιλό και δεξαμενές. Συνοψίζοντας:

- Ελάχιστες έως μηδενικές αστοχίες καταγράφηκαν στα μεταλλικά κτίρια. Για δε τα βιομηχανικά κτίρια υπάρχει και κανονισμός σχεδιασμού (NCh 2369-2003) ο οποίος αποδείχθηκε ότι εξασφαλίζει μια αυξημένη στάθμη επιτελεστικότητας.
- Καταγράφηκε τοπικός λυγισμός σε κομβοελασματα συστημάτων με κατακόρυφους συνδέσμους, Φώτο 18. Η συμπεριφορά είναι αναμενόμενη σε ένα τόσο ισχυρό σεισμό.
- Βλάβες παρατηρήθηκαν σε δεξαμενές και σιλό και συγκεκριμένα τοπικός λυγισμός τοιχωμάτων, Φωτο 19, αστοχίες εδράσεων, Φώτο 20, ανατρωπές ή καταρρεύσεις μεταλλικών σιλό, Φωτο 21.



Φότο 18



Φότο 19



Φώτο 20



Φώτο 21

Συμπεράσματα

Ο σεισμός της Χιλής θα αποτελέσει σημείο αναφοράς για τον σχεδιασμό των τοιχωματικών κατασκευών. Τα εν λόγω συστήματα αποτρέπουν την κατάρρευση, λόγω αυξημένης υπερστατικότητας, ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις ο βαθμός των βλαβών είναι τέτοιος που ίσως απαιτηθεί η κατεδάφιση του κτιρίου έναντι του ιδιαίτερα αυξημένου κόστους ενίσχυσης. Τίθεται και πάλι το ερώτημα του πως πρέπει να παραλαμβάνονται οι σεισμικές δυνάμεις με δύσκαμπτα ή πλάστιμα στοιχεία και δομικά συστήματα. Βέβαια τα τοιχωματικά ορίζουν την ακραία κατάσταση φέροντος οργανισμού, ενώ οι μικτοί φορείς πλαίσιο-τοίχωμα συνδυάζουν δύσκαμπια και πλαστιμότητα. Στην πραγματικότητα είναι δύσκολο να ορισθεί η παραπάνω ισορροπία έτσι ώστε να εξασφαλίζεται όχι μόνο η προστασία του φορέα έναντι κατάρρευσης αλλά και η ανάπτυξη βλαβών οι οποίες να επισκευάζονται με χαμηλό κόστος. Αν και μικρό το δείγμα των μεταλλικών κατασκευών, ωστόσο απέδειξαν άριστη συμπεριφορά σε μια τόσο ισχυρή σεισμική δόνηση. Κάποιες αστοχίες ή καταρρεύσεις σιλό θα πρέπει να εξεταστούν ξεχωριστά, με βάση τον χρόνο που εκπονήθηκε η μελέτη τους, και σε κάθε περίπτωση αυτά αποτελούν ειδική κατηγορία έργων. Τέλος για ακόμη μια φορά αναδείχθηκε η έλλειψη μέτρων και κανόνων σχεδιασμού αγκυρώσεων όσο αφορά τα μη φέροντα δομικά στοιχεία (ανηρτημένες ψευδοροφές, H/M εγκαταστάσεις).

Πηγές:

[1] EERI Newsletter, Special Earthquake report, June 2010.

[2] EERI Newsletter, Special Earthquake report, April 2010, May 2010.

[3] United States Geological Survey (USGS), 2010.

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/#details>.

[4] Chile Earthquake 2010: Facts, Engineering, News & Maps,
<http://mceer.buffalo.edu/infoservice/disasters/Chile-Earthquake-2010.asp>



Εσωτερικές Παρουσιάσεις Επικαιρων Γεγονότων

1. Ο σεισμός στο Darfield της Νέας Ζηλανδίας (Σεπτέμβριος 2010)

2. Ο σεισμός στο Christchurch της Νέας Ζηλανδίας (Φεβρουάριος 2011)

3. Συμπεριφορά των μεταλλικών κατασκευών στους προαναφερόμενους σεισμούς

Ο σεισμός του Christchurch στην Νέα Ζηλανδία

Ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους 7.0-7.8 σε βάθος περίπου 5.0 Km σημειώθηκε στην περιοχή Fiordland, Νότια Νήσος της Νέας Ζηλανδίας. Οι μεγάλες πόλεις απέχουν από το επίκεντρο του σεισμού περί 45 Km το Christchurch (δεύτερη μεγαλύτερη πόλη), 330 Km η πρωτεύουσα της χώρας Wellington και 1200 Km η μεγαλύτερη πόλη της Νέας Ζηλανδίας το Auckland. Στον πίνακα 1, Φώτο. 1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα σεισμολογικά δεδομένα. Γενικά, η Νέα Ζηλανδία παρουσιάζει έντονη σεισμικότητα, Φώτο. 2, έχει υποστεί σημαντικές καταστροφές όπως για παράδειγμα ο σεισμός του Hawk Bay το 1931 με περίπου 250 θύματα, ο οποίος σηματοδότησε την έναρξη της αντισεισμικής έρευνας στην χώρα.

Πίνακας 1. Ο Σεισμός της 4^{ης} Σεπτεμβρίου 2010

Μέγεθος	7.0
Ημερομηνία	Παρασκευή, 3 Σεπτεμβρίου, 2010 ώρα 16:35:46 UTC. Σάββατο, 4 Σεπτεμβρίου, 2010 ώρα 04:35:46 AM στο επίκεντρο.
Τοποθεσία	43.530°S, 172.120°E
Βάθος	5 km (3.1 miles)
Περιοχή	SOUTH ISLAND OF NEW ZEALAND
Αποστάσεις	45 km (30 miles) W of Christchurch , 200 km (125 miles) SSE of Westport , 290 km (180 miles) NNE of Dunedin , 330 km (205 miles) SW of WELLINGTON
Παράμετροι	NST=374, Nph=374, Dmin=88.7 km, Rmss=0 sec, Gp= 18°, M-type=centroid moment magnitude (Mw), Version=9
Πηγή στοιχείων	Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, New Zealand



Φώτο. 1 Επίκεντρο σεισμού

Large New Zealand Earthquakes

Notable shallow (generally less than 30km deep) earthquakes since 1848



Φώτο. 2 Ιστορικοί σεισμοί στην Νέα Ζηλανδία

Τα πρωτογενή αποτελέσματα από τον εν λόγω σεισμό, όπως αυτά καταγράφονται από τις εκθέσεις του Earthquake Engineering Research Institute, EERI, είναι:

- Ο σεισμός δεν προκάλεσε βλάβες σε νέες κατασκευές, οι οποίες έχουν μελετηθεί και κατασκευαστεί ακολουθώντας τις εν γένει αντισεισμικές διατάξεις. Η δομοστατική συμπεριφορά τους ήταν άριστη. Παρατηρήθηκαν εκτεταμένες βλάβες σε μη φέροντα στοιχεία (πτώσεις ψευδοροφών, κατάρρευση παραπέτων, κ.α.).
- Κτίρια σχολείων και νοσοκομείων στην πλειονότητα τους δεν παρουσίασαν δομικές βλάβες στον φέροντα οργανισμό.
- Ο σεισμός έπληξε κυρίως κατασκευές από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία ενώ παράλληλα εμφανίστηκαν και αναδείχθηκαν σημαντικά γεωτεχνικά φαινόμενα.
- Σημαντικές βλάβες υπέστησαν οι κατασκευές από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία, ωστόσο λίγες από αυτές υπέστησαν πλήρη κατάρρευση. Παρατηρήθηκαν βλάβες στα αετώματα, στα περιμετρικά παραπέτα, στο σώμα τις τοιχοποιίας λόγω εκτός επιπέδου παραμόρφωσης, Φώτο. 3,4,5,6.
- Σημαντικά γεωτεχνικά προβλήματα παρατηρήθηκαν όπως ρευστοποίηση του εδάφους, έντονες εδαφικές παραμορφώσεις, καθιζήσεις οι οποίες στο σύνολο τους κατέστησαν προβληματική την διαμονή εντός των κατοικιών , Φωτο 7,8,9,10.
- Στην Νέα Ζηλανδία υφίσταται σύστημα αντισεισμικής ασφάλισης των κατοικιών. Γενικά η "ασφαλισμένη" κατοικία πληρώνει 67 USD για 100.000USD ασφαλισμένης αξίας. Αναμένονται περίπου 100.000 αιτήσεις αποζημίωσης σε περίπου 150.000 κατοικίες που υπέστησαν ζημιές κυρίως από εδαφικές καθιζήσεις. Ωστόσο, εκτιμάται ότι θα χρειαστούν για την επισκευή των κατοικιών περισσότερο από 100.000USD σε σπίτια των οποίων η αξία κυμαίνεται από 300.000USD έως 1.000.000USD. Αναμένονται προβλήματα από τις ασφαλιστικές εταιρείες για την πληρωμή των αποζημιώσεων.



Φώτο 3. Κατάρρευση περιμετρικής τοιχοποιίας. Η τοιχοποιία στην εγκάρσια διεύθυνση απέτρεψε την ολική κατάρρευση



Φώτο 4. Κατάρρευση τμήματος τοιχοποιίας από όροφο λόγω εκτός επιπέδου παραμόρφωσης



Φώτο 5. Κατάρρευση τμήματος στέγης



Φώτο 6. Κατάρρευση περιμετρικού στηθαίου



Φώτο 7. Εκτιμώμενο ίχνος ρήγματος. Καθίζηση-ανύψωση εδάφους



Φώτο 8. Παραμόρφωση εδάφους



Φώτο 9. Ρευστοποίηση εδάφους



Φώτο 10. Ρήγμα που εξελίσσεται περιμετρικά της κατοικία

Πηγές:

EERI, Earthquake Engineering Research Institute, www.eeri.org

BBC News

New Zealand Society of Earthquake Engineering, www.nzsee.org.nz

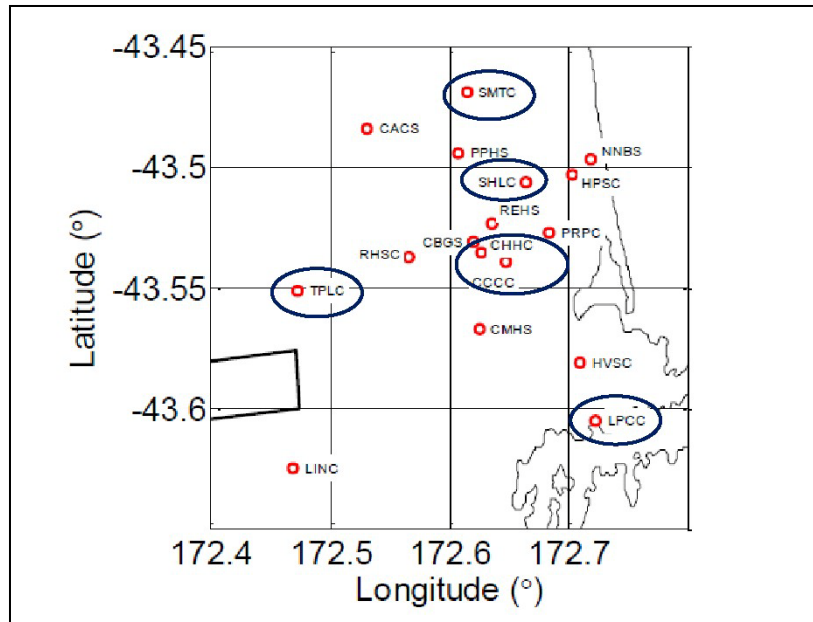
Ο Σεισμός του Christchurch της 21^{ης} Φεβρουαρίου 2011

Γενικά σεισμολογικά δεδομένα

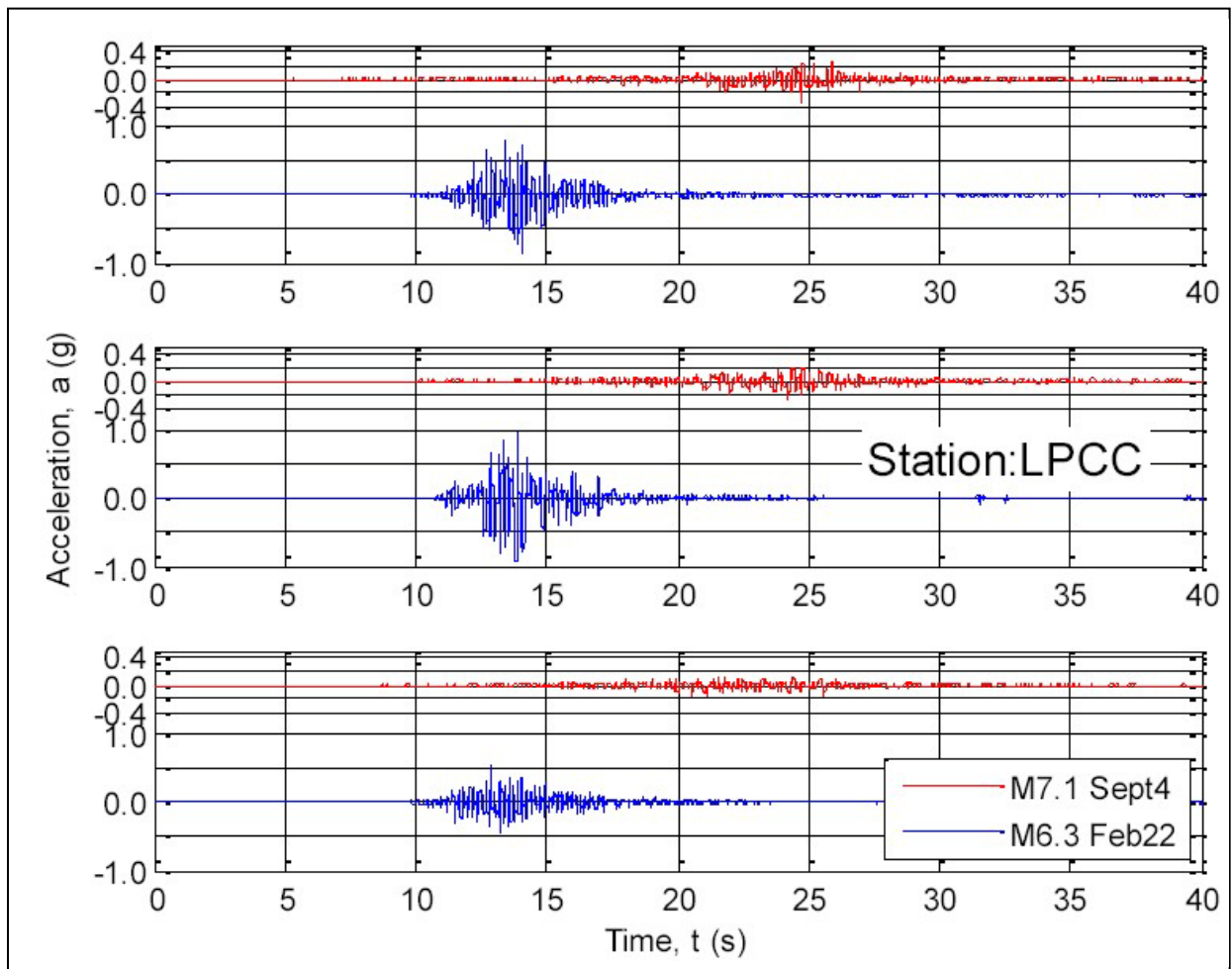
Μέγεθος	6.3
Χρόνος	<ul style="list-style-type: none">Monday, February 21, 2011 at 23:51:43 UTCTuesday, February 22, 2011 at 12:51:43 PM at epicenter
Τοποθεσία	43.600°S, 172.710°E
Βάθος	5 km (3.1 miles)
Περιοχή	SOUTH ISLAND OF NEW ZEALAND
Αποστάσεις από πόλεις	NEAR Christchurch, New Zealand 225 km (140 miles) SSE of Westport, New Zealand 305 km (190 miles) SSW of WELLINGTON, New Zealand 310 km (190 miles) NE of Dunedin, New Zealand
Τοποθεσία Αβεβαιότητα	horizontal +/- 12.2 km (7.6 miles); depth +/- 0.6 km (0.4 miles)
Παράμετροι	Nph= 0, Dmin=0 km, Rmss=0.98 sec, Gp= 0, M-type="moment" magnitude from initial P wave (tsuboi method) (Mi/Mwp), Version=D
Πηγή καταγραφής	<i>Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, New Zealand</i>



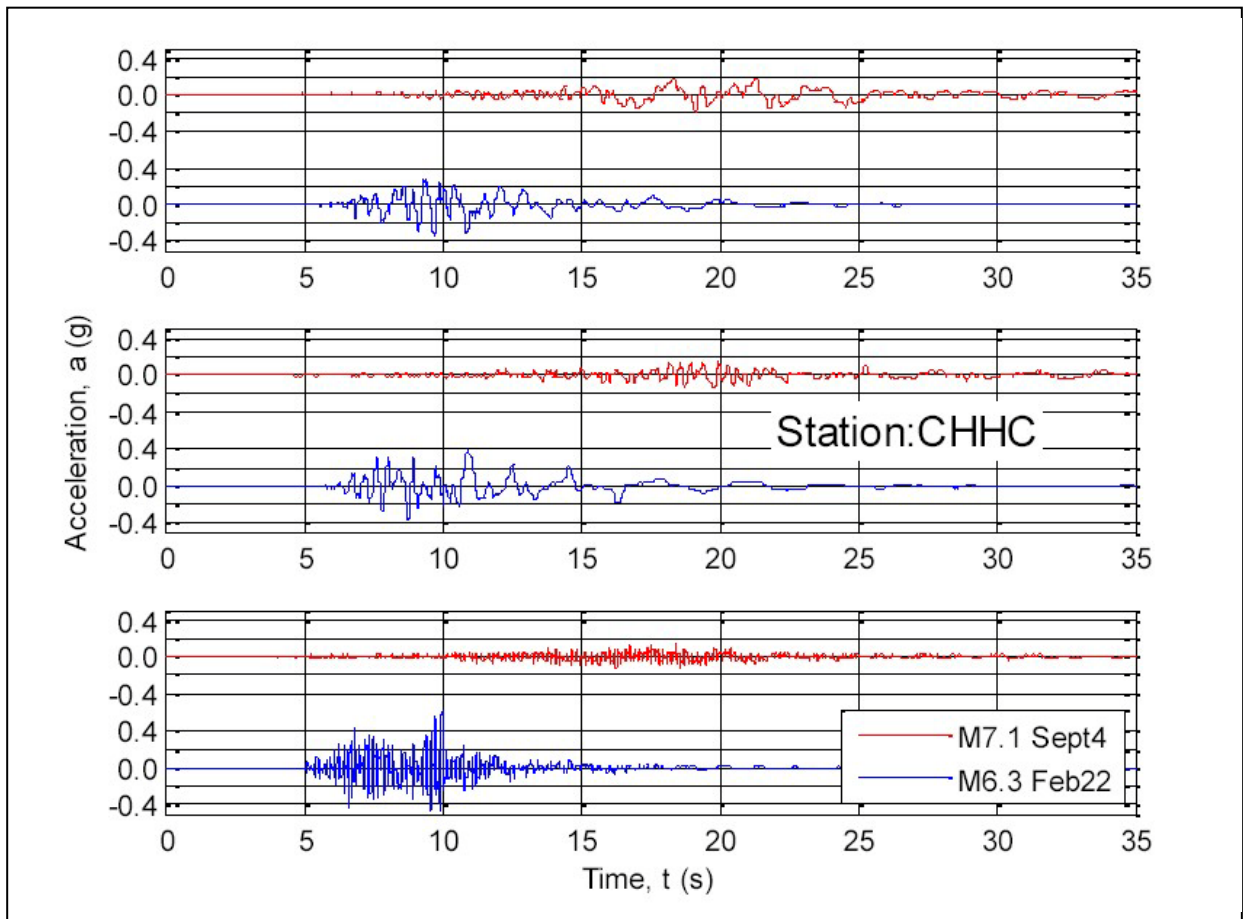
Εικ. 1 Ο σεισμός του Christchurch, 21 Φεβρουαρίου 2011 (πηγή USGS)



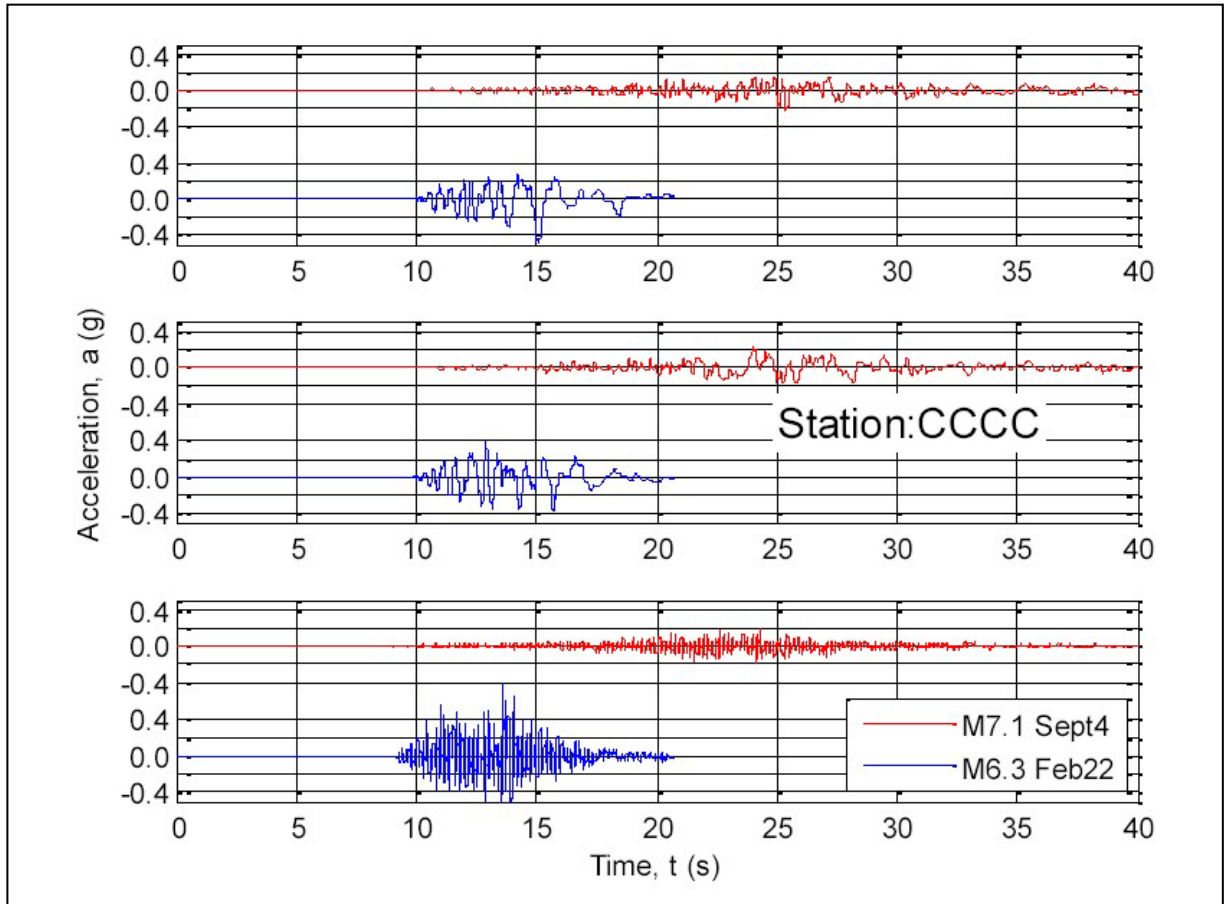
Εικ. 2. Θέσεις καταγραφών επιταχυνσιογραφημάτων (*New Zealand Society for Earthquake Engineering Inc*)



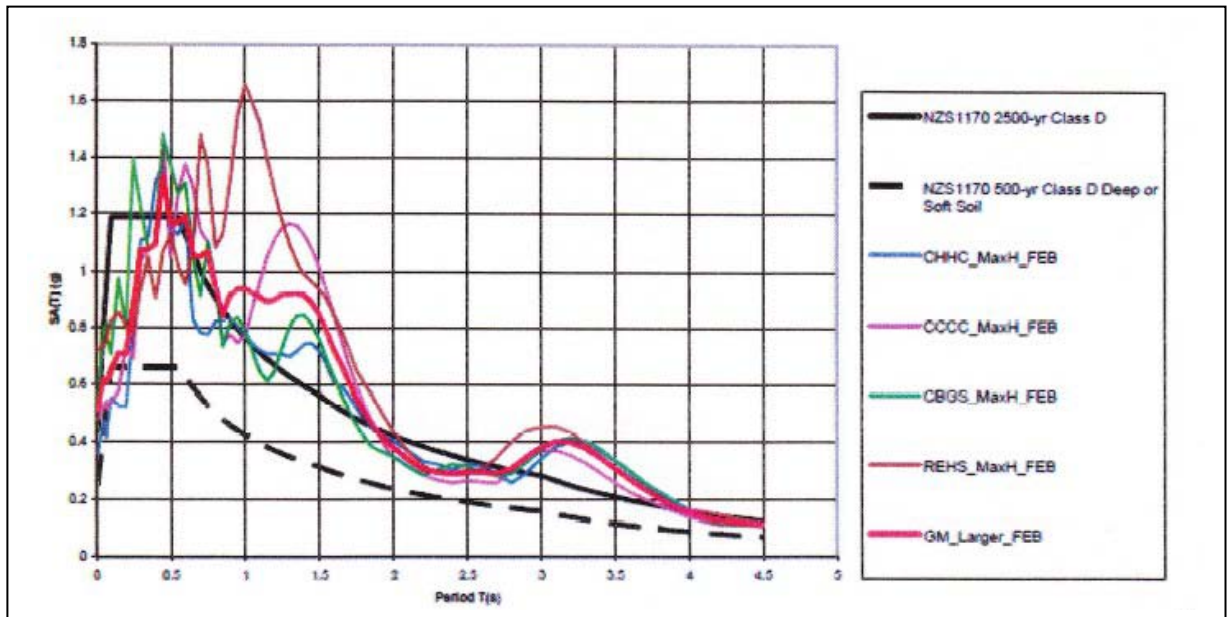
Εικ. 3. Συγκριτικές καταγραφές των δύο οριζόντιων και της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας, των σεισμικών γεγονότων της 4 Σεπτ. 2010 και της 22 Φεβ. 2011. Θέση καταγραφής Lettleton Port 2Km από το επίκεντρο (*New Zealand Society for Earthquake Engineering Inc*)



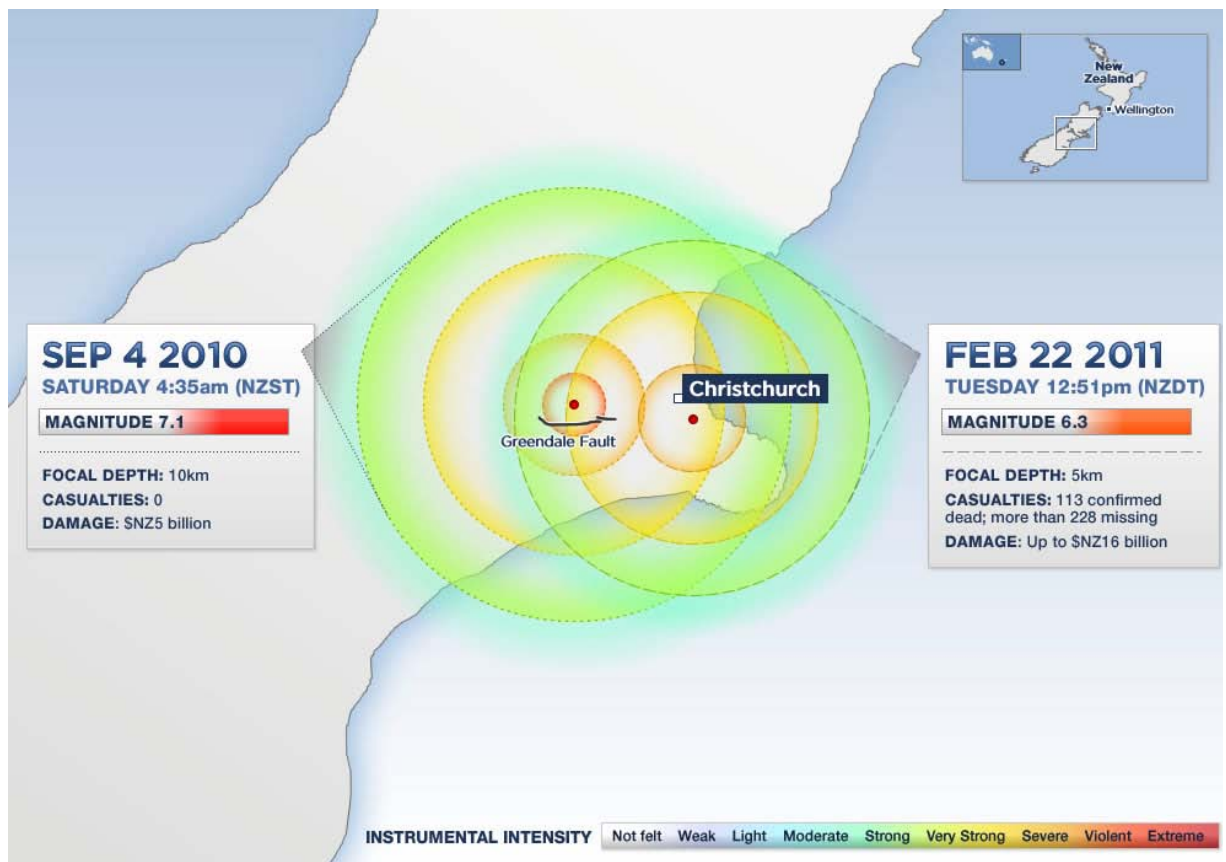
Εικ. 4. Συγκριτικές καταγραφές των δύο οριζόντιων και της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας, των σεισμικών γεγονότων της 4 Σεπτ. 2010 και της 22 Φεβ. 2011. Θέση καταγραφής Christchurch Hospital 10Km από το επίκεντρο (*New Zealand Society for Earthquake Engineering Inc*)



Εικ. 5. Συγκριτικές καταγραφές των δύο οριζόντιων και της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας, των σεισμικών γεγονότων της 4 Σεπτ. 2010 και της 22 Φεβ. 2011. Θέση καταγραφής Christ Colloge 10Km από το επίκεντρο (*New Zealand Society for Earthquake Engineering Inc*)



Εικ. 6. Παρουσίαση φασμάτων απόκρισης. Διάστικτη μαύρη γραμμή (NZS 1170-500yrs, Soil Class D), μαύρη συνεχόμενη γραμμή (NZS 1170-2500yrs, Soil Class D), φάσματα απόκρισης από διάφορες θέσεις καταγραφής (www.mceer.buffalo.edu)



Εικ. 7. Συγκριτικές αποτίμηση των δύο πρόσφατων σεισμών της Νέας Ζηλανδίας (*New Zealand Society for Earthquake Engineering Inc*)

Συμπεριφορά των μεταλλικών κατασκευών στους πρόσφατους σεισμούς της Νέας Ζηλανδίας

Γενικά, το κτιριακό απόθεμα στην περιοχή του Christchurch αποτελείται από κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος καθώς και από κτίρια δομημένα με άοπλη τοιχοποιία. Ωστόσο, στον κεντρικό εμπορικό ιστό της πόλης (Central Business District), διακρίνουμε αρκετά πολύροφα μεταλλικά κτίρια μερικά εκ των οποίων έχουν αποπερατωθεί την τελευταία τριετία (π.χ. το 22 ορόφων κτίριο *Pacific Residential Tower* με έτος αποπεράτωσης το 2010, το *The Club Tower* κτίριο 12 ορόφων με έτος αποπεράτωσης το 2009, κ.α.) σχεδιασμένα με τις τελευταίες εκδόσεις του NZS 3404, NZS 1170.5, Εικ. 13. Επίσης, υπάρχουν κτίρια δομημένα με προκατασκευασμένα στοιχεία (υποστυλώματα και πατώματα) των οποίων το σύστημα παραλαβής σεισμικών δυνάμεων αποτελείται από κατακόρυφους μεταλλικούς έκκεντρους συνδέσμους. Στο λιμάνι και στην βιομηχανική περιοχή, έχουν κατασκευαστεί από δομικό χάλυβα αρκετά μονώροφα βιομηχανικά κτίρια, διάφορες κατασκευές αποθήκευσης υλικών (σίλο, ράφια), δεξαμενές κ.α. Συνεπώς αν και μικρό υπάρχει ένα χαρακτηριστικό δείγμα κατασκευών από το οποίο μπορούν να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα.



Εικ. 13α Pacific Residential Tower. Το υψηλότερο κτίριο στο Christchurch. Ο φέρον οργανισμός αποτελείται από πλαίσια κάμψης, πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους, κατάλληλα τοποθετημένους, και σύμμικτες πλάκες. Ο φορέας έχει διαστασιολογηθεί με βάση το κριτήριο των μετακινήσεων, με χαμηλό επίπεδο πλαστιμότητας ($\mu = 1.50$), [3], εάν και ο Νεοζηλανδικός κανονισμός για το αντίστοιχο τύπο φορέα ορίζει δείκτη συμπεριφοράς $\mu = 4.0$



Εικ. 13β *The Club Tower* κτίριο 12 ορόφων με έτος αποπεράτωσης το 2009. Ο φέρον οργανισμός αποτελείται από πλαίσια κάμψης, πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους, και σύμμικτες πλάκες. Τα πλαίσια κάμψης έχουν διαστασιολογηθεί με βάση το κριτήριο των μετακινήσεων, με χαμηλό επίπεδο πλαστιμότητας ($\mu= 1.25$), ενώ τα πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους με δείκτη πλαστιμότητας $\mu= 4.0$, [3]

Κατά το σεισμό του *Darfield* (3 Σεπτ. 2010) οι μεταλλικές κατασκευές επέδειξαν άριστη συμπεριφορά, χωρίς να σημειωθούν ιδιαίτερες βλάβες. Καταγράφηκαν αστοχίες στις συνδέσεις οριζόντιων συνδέσμων μεγάλης λυγηρότητας σε βιομηχανικά κτίρια, Εικ. 14, αστοχίες στην θέση στήριξης προκατασκευασμένων δοκών, χωρίς ωστόσο το μεταλλικό σύστημα παραλαβής των σεισμικών δυνάμεων να υποστεί κάποια βλάβη, Εικ. 15, [1],[2]. Τέλος σε μικτά συστήματα (προκατασκευασμένα στοιχεία σε συνδυασμό με μεταλλικούς έκκεντρους συνδέσμους για την παραλαβή των σεισμικών δυνάμεων) παρατηρήθηκαν παραμορφώσεις στον κορμό των δοκών σύζευξης, γεγονός που σηματοδοτεί την ανάληψη σεισμικών δυνάμεων, χωρίς ωστόσο να παρουσιαστούν περαιτέρω βλάβες στα μεταλλικά στοιχεία, Εικ. 16. Τα προκατασκευασμένα υποστυλώματα υπέστησαν σημαντικότερες βλάβες. Τα νεόδμητα κτίρια όπως το *Pacific Residential Tower* και το *The Club Tower* δεν παρουσίασαν αστοχίες. Παρατηρήθηκε αποφλοίωση των βαφών πυροπροστασίας, ως ένδειξη της παρουσίας ανελαστικών παραμορφώσεων, ωστόσο δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα στρέβλωσης στις δοκούς σύζευξης.



Εικ. 14 Θράση συστήματος σύνδεσης οριζόντιων συνδέσμων. Ο συγκεκριμένος τύπος σύνδεσης αποτελεί πατέντα και έχει δοκιμαστεί εργαστηριακά μόνο σε στατικές φορτίσεις, [2,3]. Κατά κάποιο τρόπο η θραύση ήταν αναμενόμενη.



Εικ. 15 Westfield Riccarton Mall. Θράση προκατασκευασμένων δοκών στην θέση στήριξης. Κτίριο με φέροντα οργανισμό από προκατασκευασμένα πάνελα και μεταλλικό σκελετό με έκκεντρους συνδέσμους, [1],[2]



Εικ. 16 Διαρροή συνδέσεων σύζευξης. Κτίριο με φέροντα οργανισμό από προκατασκευασμένα στοιχεία (υποστυλώματα, πατώματα) και μεταλλικό σκελετό με έκκεντρους συνδέσμους, [1],[2],[4]

Κατά τον σεισμό του Christchurch (21 Φεβρ. 2010) κα πάλι οι μεταλλικές κατασκευές παρουσίασαν εξαιρετική συμπεριφορά. Όπως σημειώνεται στην [3] η διάρκεια της ισχυρής δόνησης ήταν μικρή (περίπου 10 sec) με αποτέλεσμα η καταπόνηση των κατασκευών να προήλθε από μικρό αριθμό ανακυκλώσεων, χωρίς την παρουσία φαινομένων σταδιακής απομείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών του φορέα, δυσκαμψία, αντοχή, πλαστιμότητα (όπως π.χ. στην περίπτωση σεισμών μεγάλης διάρκειας). Ωστόσο, στους σεισμούς εγγύς πεδίου γενικά οι αστοχίες προέρχονται από ένα μικρό αριθμό κύκλων ανελαστικών παραμορφώσεων, ικανό να προκαλέσει θραύσεις στην περίπτωση που είτε το υλικό δεν διαθέτει την απαραίτητη ολκιμότητα, είτε σε επίπεδο δομικού στοιχείου ή/και φορέα δεν υπάρχει η απαραίτητη μετελαστική ικανότητα ή τέλος η μόρφωση των κατασκευαστικών λεπτομερειών δεν προσδίδει την απαραίτητη πλαστιμότητα (αστοχίες τυπικών συνδέσεων στους σεισμούς του Northridge [1994] και Kobe [1995]).

Οι βλάβες που καταγράφηκαν στο σύνολο τους, στα πολυόροφα κτίρια, αποτελούν ενδείξεις ανελαστικής παραμόρφωσης, η οποία σε κάθε περίπτωση, στον βαθμό που παρουσιάστηκε, είναι επιθυμητή διότι απορροφά την εισαγόμενη σεισμική ενέργεια σε σημεία όπου από τον σχεδιασμό αναμένονταν αντίστοιχη συμπεριφορά. Η αποφλοίωση των βαφών (διαρροή του υλικού), η διατμητικές παραμορφώσεις στους κορμούς των δοκών σύζευξης αποτελούν μερικές από αυτές. Στο κτίριο που παρουσιάστηκε στην Εικ. 16 κατά τον σεισμό της 21 Φεβ. 2011 παρουσιάστηκε η πρώτη θραύση δοκού σύζευξης, παγκοσμίως, όπως σημειώνεται στην [3], Εικ. 17. Η συγκεκριμένη περίπτωση αποδίδεται στην ανεπαρκή κατασκευαστική διαμόρφωση σύνδεσης του κατακόρυφου συνδέσμου με την οριζόντια δοκό σύζευξης, η οποία προκάλεσε εκκεντρότητα μεταξύ του πέλματος του κατακόρυφου συνδέσμου και του ελάσματος δυσκαμψίας της δοκού σύζευξης [3]. Ωστόσο σε άλλες θέσεις παρατηρήθηκε πλάστιμη συμπεριφορά των δοκών σύζευξης, Εικ. 18. Περαιτέρω, από την παρατήρηση της εικόνας 17 φαίνεται ότι και η ποιότητα των συγκολλήσεων, πιθανώς, δεν είναι η κατάλληλη, προκαλώντας συνδυαστικά συγκέντρωση τάσεων. Τέλος ένα θέμα που για ακόμη μια φορά προβλημάτισε τους μηχανικούς ήταν η διαπίστωση των βλαβών, μετά τον σεισμό, στα φέροντα δομικά στοιχεία, τα οποία ήταν καλυμμένα από τα στοιχεία του οργανισμού πλήρωσης (αντίστοιχες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν και στον σεισμό του Northridge). Η σύντομη επανάληψη της σεισμικής διέγερσης και ο επαναληπτικός έλεγχος ανάδειξε το πρόβλημα.

Μεγάλες βλάβες και καταρρεύσεις παρουσιάστηκαν σε λεπτότοιχες κατασκευές αποθήκευσης υλικών (ράφια), η οποία γενικά αποδίδεται στην αυξημένη τιμή της σεισμικής καταπόνησης. Οι συγκεκριμένες κατασκευές αποδεικνύονται εν γένει ασθενής στις περιπτώσεις υψηλών σεισμικών διεγέρσεων, τόσο από πλευράς δομικών στοιχείων όσο και από πλευράς συνδέσεων, Εικ. 19. Παρόμοιες εικόνες παρουσιάστηκαν και σε άλλους ισχυρούς σεισμούς όπως στο Northridge (Η.Π.Α., 1994), Kocaeli (Τουρκία, 1999), κ.α. Αστοχίες παρουσιάστηκαν σε μεταλλικά σιλό και δεξαμενές στα "γνωστά" σημεία ευπάθειας του συγκεκριμένου τύπου κατασκευών (εμφάνιση κοντού υποστυλώματος, λυγισμός κατακόρυφων συνδέσμων, σύνδεση

βάσης, σύνδεση υποστυλωμάτων με την πλακοειδή κατασκευή, ακατάλληλη εκλογή συστήματος θεμελίωσης, αστάθεια του συστήματος θεμελίωσης, κ.α.), Εικ. 20. Σε κάθε περίπτωση επιβεβαιώνονται, για ακόμη μια φορά, τα σημεία που πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά τόσο κατά τον σχεδιασμό όσο και κατά την κατασκευή.



Εικ. 17 Θραύση στην θέση σύνδεσης κατακόρυφου συνδέσμου-δοκού σύζευξης, η οποία αποδίδεται στην ακατάλληλη κατασκευαστική διαμόρφωση. Η πρώτη παγκοσμίως σε σύστημα έκκεντρων συνδέσμων, όπως αναφέρεται στην [3]



Εικ. 18 Πλάστιμες μορφές αστοχίας δοκών σύζευξης κατακόρυφων έκκεντρων μεταλλικών συνδέσμων



Εικ. 19 Καταρρεύσεις μεταλλικών ραφιών



Εικ. 20 Καταρρεύσεις μεταλλικών σιλό [2]

Γενικά συμπεράσματα:

- Καλή και σε γενικές γραμμές αναμενόμενη συμπεριφορά, σύμφωνα με τις κανονιστικές επιταγές, σε όλους εν γένει του τύπους σιδηρών κατασκευών. Επανάληψη βλαβών-αστοχιών που έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες ισχυρές σεισμικές καταπονήσεις, υποδεικνύοντας τα ευπαθή σημεία για τα οποία χρειάζεται περισσότερη έρευνα (π.χ. μεταλλικά ράφια, κ.α).
- Ο σχεδιασμός με βάση το επίπεδο χαμηλής πλαστιμότητας ($\mu= 1.0-1.50$) αποδεικνύεται επαρκής, σε περιοχές χαρακτηρισμένες μέσης ή χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας σύμφωνα με τον αντισεισμικό χάρτη, στις οποίες εμφανίζονται καταπονήσεις που ξεπερνούν το κανονιστικό φάσμα σχεδιασμού τους.
- Επιβεβαίωση της εξαιρετικής συμπεριφοράς συστημάτων που συνδυάζουν πλαίσια κάμψης και πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους, εξασφαλίζοντας το τρίπτυχο του αντισεισμικού σχεδιασμού (δυσκαμψία-αντοχή-πλαστιμότητα), για μόρφωση πολυόροφων κτιριακών κατασκευών.
- Ιδιαίτερη προσοχή κατά την κατασκευαστική διαμόρφωση των λεπτομερειών των συνδέσεων μεταξύ των δομικών στοιχείων. Επιμελή παρακολούθηση από την επίβλεψη τόσο κατά την διαμόρφωση των στοιχείων στο εργοστάσιο όσο και κατά την ανέγερση του φορέα.
- Ιδιαίτερη προσοχή κατά τον μετασεισμικό έλεγχο των στοιχείων του φέροντος οργανισμού σε σημεία και θέσεις όπου αυτός είναι, είτε καλυμμένος από στοιχεία πλήρωσης, είτε υπάρχει αδυναμία πρόσβασης.

Πηγές

[1] EERI Special Earthquake Report — November 2010.

[2] *Preliminary Report on Steel Building Damage from the Darfield (New Zealand) M7.1 Earthquake of September 4, 2010.* (<http://mceer.buffalo.edu/research/Reconnaissance/>)

[3] *Preliminary Report on Steel Building Damage from the Darfield (New Zealand) M7.1 Earthquake of September 4, 2010.* (<http://mceer.buffalo.edu/research/Reconnaissance/>)

[4] S. Pampanin, 2010: The Christchurch Earthquake, 4 September 2010. A Reconnaissance Field Trip Report. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.