

Ανθεκτικότητα κατασκευών σκυροδέματος υπό ακραίες δράσεις

www.strulab.civil.upatras.gr



Ε. Μπούσιας

[Πάτρα 17.2.2016]

Υφιστάμενη κατάσταση

Η συχνότητα αστοχίας έργων πολιτικού μηχανικού (κτιρίων, γεφυρών, κ.ά.) οφείλεται μόνο εν μέρει στις “γνωστές” φορτίσεις.

Άλλες φορτίσεις (πυρκαγιά, εκρήξεις, κρούσεις, σεισμοί που υπερβαίνουν το σεισμό σχεδιασμού):

- έχουν πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης
- παραβλέπονται κατά το σχεδιασμό

Τέτοια συμβάντα προκαλούν ένα μεγάλο ποσοστό των αστοχιών, διότι:

- αν και παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα στη συχνότητα εμφάνισης και στο μέγεθος,
- συχνά οδηγούν σε καταστροφικές συνέπειες λόγω αλυσιδωτών φαινομένων (π.χ. προοδευτική κατάρρευση)

STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

Ronan Point (Λονδίνο 1968)
έκρηξη αερίου στο 18^ο όροφο

6sec 8sec 10sec

World Trade Center (2001)

Buildings and Infrastructure Protection Series
Preventing Structures from Collapsing
to Limit Damage to Adjacent Structures and Additional
Loss of Life when Catastrophic Events Impact Highly
Populated Urban Centers
BIP 05/June 2011
Homeland Security
Department of Justice

Έκδοση οδηγιών

Ανθεκτικότητα (resilience)

Οι κατασκευές θα πρέπει να σχεδιάζονται για
ανθεκτικότητα (resilience)

Στόχος:

ελαχιστοποίηση των στιγμιαίων απωλειών και η ταχεία ανάκτηση της λειτουργικότητάς τους στη συνέχεια.

- Με εξαίρεση τον τομέα της αντισεισμικής μηχανικής, η σχετική έρευνα είναι ανεπαρκής.
- Εμπόδια:
 - Δομικά χαρακτηριστικά και μέτρα σχεδιασμού ή ενίσχυσης που δρουν ευεργετικά έναντι ενός κινδύνου είναι συχνά επιζήμια για άλλους,
 - Έλλειψη επιστημονικής συνεργασίας μεταξύ των κλάδων της αντισεισμικής μηχανικής και της μηχανικής των εκρήξεων και πυρκαγιάς και απουσίας συνέργειας.

Κανονιστική αντιμετώπιση

EN1990-1, §2.1:

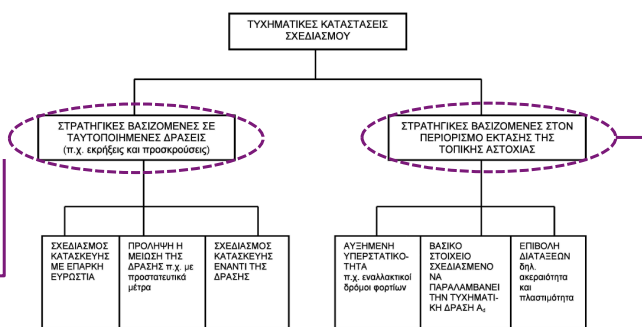
Βασικές απαιτήσεις:

(2) Ένας φορέας θα σχεδιάζεται έτσι ώστε να διαθέτει επαρκή:

- αντίσταση
- λειτουργικότητα
- **ανθεκτικότητα**

(4) Ένας φορέας θα σχεδιάζεται και θα κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υποστεί βλάβες από συμβάντα (π.χ. έκρηξη, πρόσκρουση και συνέπειες ανθρωπίνων σφαλμάτων) **σε βαθμό δυσανάλογο** ως προς το αρχικό συμβάν.

EN1991-1-7, Τυχηματικές δράσεις



Σχήμα 3.1 - Στρατηγικές για τις τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού

Στρατηγικές για:

- αποτροπή δράσης
- μείωση αποτελεσμάτων
- ευρωστία (πλαστικότητα, υπερστατικότητα, ευστάθεια)

Σχεδιασμός :

- κρίσιμων στοιχείων (34kN/m^2)
- κατασκευής για περιορισμό τοπικής αστοχίας: $\min(100\text{m}^2, 0.15 \cdot A_{\text{δαπεδων}})$
- ευρωστία

Κατηγορίες Συνεπειών → CC1, CC2, CC3

	Παράδειγμα κατασκευής	Απαιτήσεις ευρωστίας
Class 1	Κτίρια λίγων ορόφων με λίγους ενοίκους	Καμία ιδιαίτερη αντιμετώπιση
Class 2a – ομάδα χαμηλής διακινδύνευσης	Πλειονότητα κτιρίων μέχρι 4 ορόφους	Οριζόντιοι ελκυστήρες στους ορόφους (ANNEX A)
Class 2b Ομάδα υψηλής διακινδύνευσης	Πλειονότητα κτιρίων μέχρι 15 ορόφους	Οριζόντιοι & κατακόρυφοι ελκυστήρες ή Περιορισμένη βλάβη από ενδεχόμενη απώλεια στήριξης ή ειδικός σχεδιασμός πρωτεύοντων στοιχείων (ANNEX A)
Class 3	Πολυόροφα κτίρια, κερκίδες, κ.λ.π	Συνιστάται ανάλυση διακινδύνευσης και/ή στατική ανάλυση (ANNEX B)

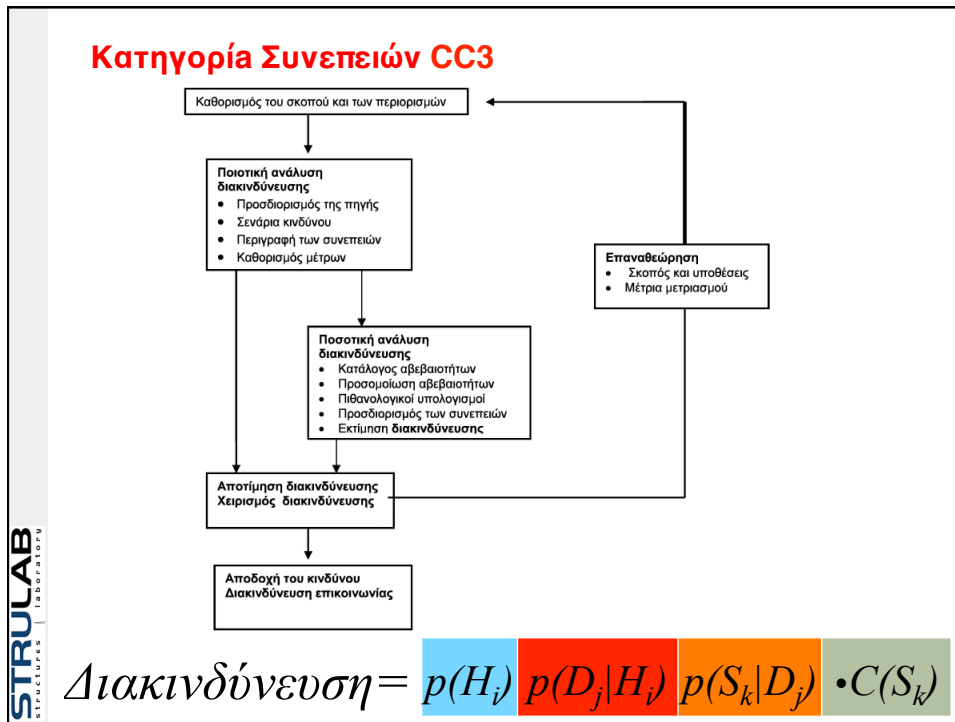
Κατηγορίες Συνεπειών → CC1, CC2, CC3

Class 2A& 2B

Class 2B

$T_i = \max [75kN, 0.8(g_k + \psi q_k)sL]$

$T_i = \max [75kN, 0.4(g_k + \psi q_k)sL]$



Πρόγραμμα **PRESCIENT** – Επιστ. υπ. καθ Μ. Φαρδής

- Δημιουργία νέου παραδείγματος σχεδιασμού και ανασχεδιασμού κατασκευών για ανθεκτικότητα έναντι ακραίων κινδύνων
- Διερεύνηση των δομικών χαρακτηριστικών που είναι ευνοϊκά για την ανθεκτικότητα σε όλους τους κινδύνους (υπερστατικότητα, μάζα, ικανοτικός σχεδιασμός κόμβων, δυσκαμψία, κ.λ.π)
- Εστιάζει σε κατασκευές από σκυρόδεμα υπό ακραίες φορτίσεις



www.prescient.upatras.gr

Ανθεκτικότητα στοιχείων ΟΣ σε εκρήξεις

Σε εκρήξεις με καταστροφικά αποτελέσματα, η βλάβη:

- αναπτύσσεται σε λίγα, κρίσιμα δομικά στοιχεία
- η κατασκευή καταρρέει λόγω αδυναμίας να φέρει τα κατακόρυφα φορτία

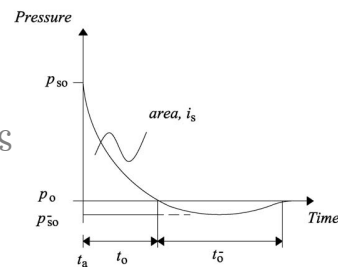
Στόχος: μείωση επιπτώσεων σε κρίσιμα στοιχεία



Seible et al. (2011)

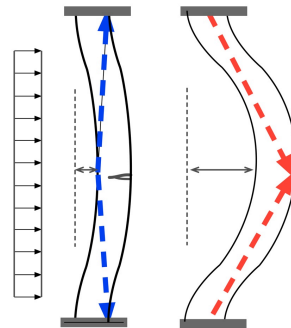
STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

- Χρονική μεταβολή πίεσης
- Υψηλή ενέργεια (ταχύτητα) κρούσης
- Υψηλές τοπικές απαιτήσεις ανάλωσης ενέργειας
- Άγνωστη φέρουσα ικανότητα



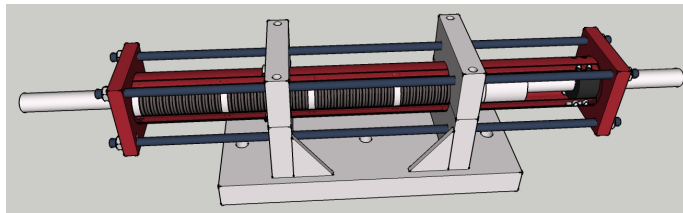
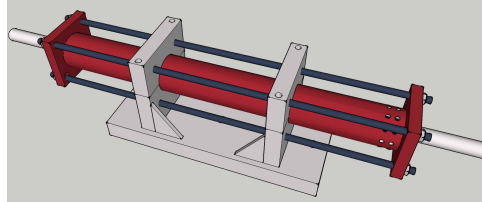
Εξετάζονται:

- Βλάβη
- Μεταβολή αξονικού
- Αποτελεσματικότητα μεθόδων ενίσχυσης που υιοθετούνται για σεισμό



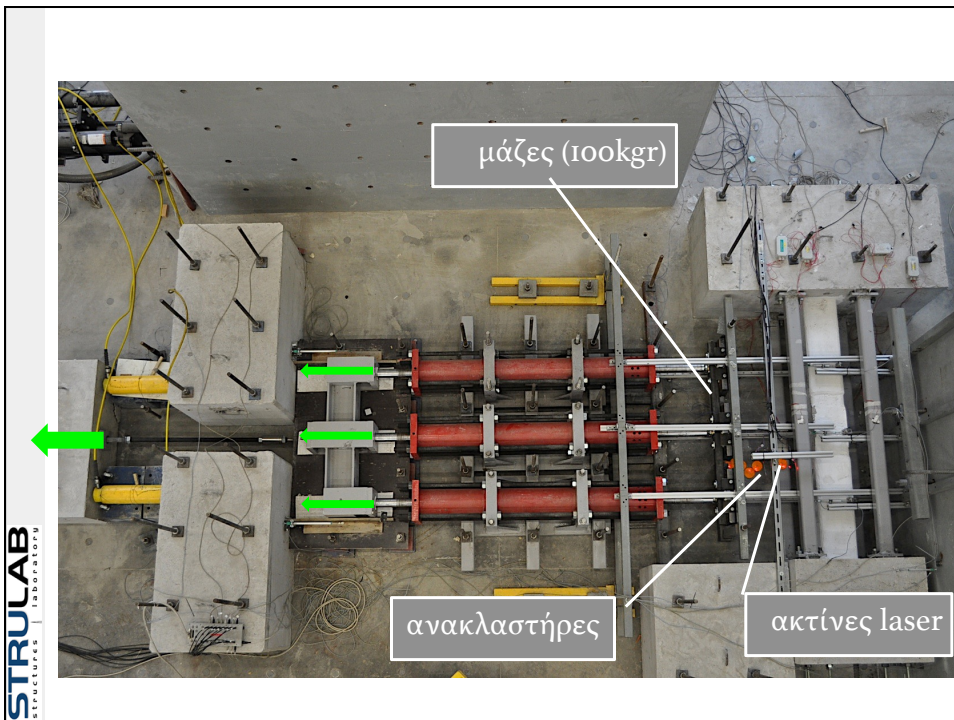
STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

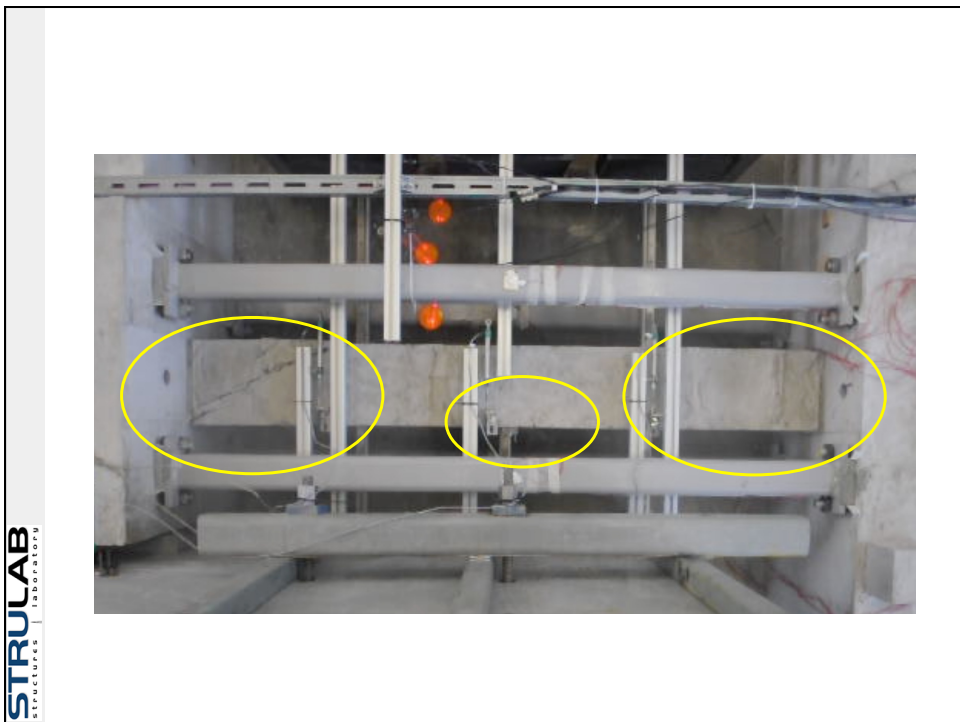
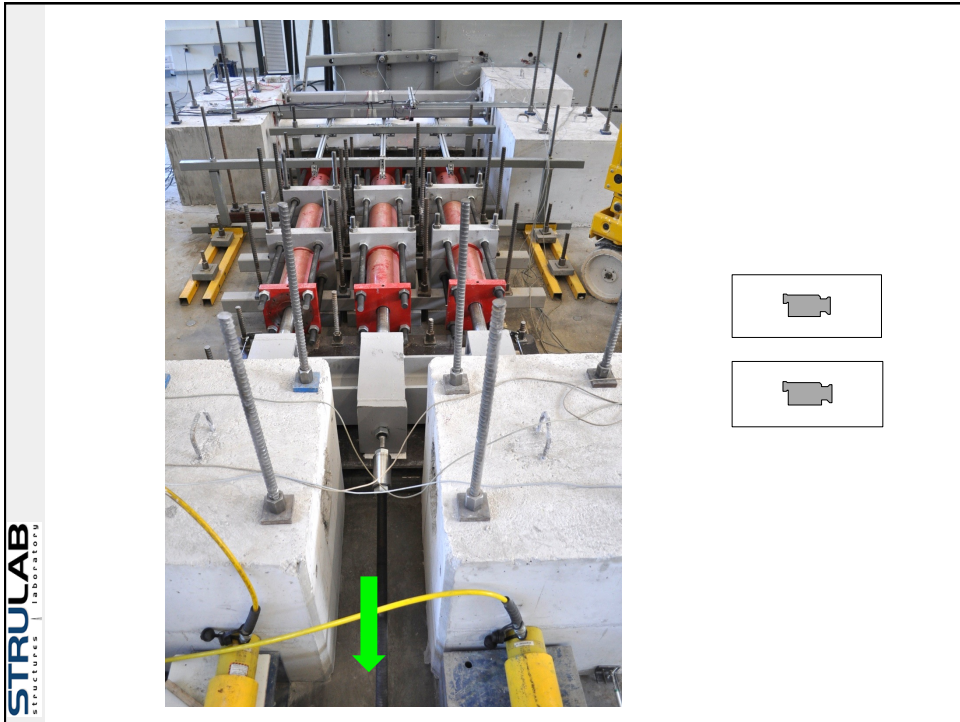
Δημιουργία εμβόλου επιβολής κρουστικού φορτίου

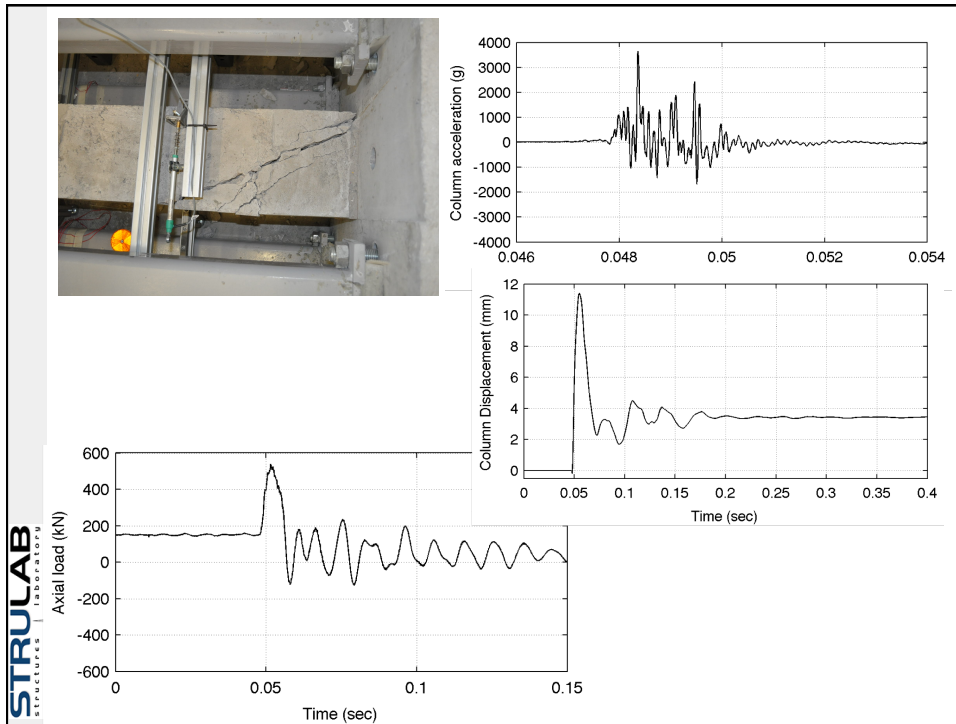


Διάταξη αξονικού φορτίου και διαδικασία επιβολής αξονικού φορτίου

STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

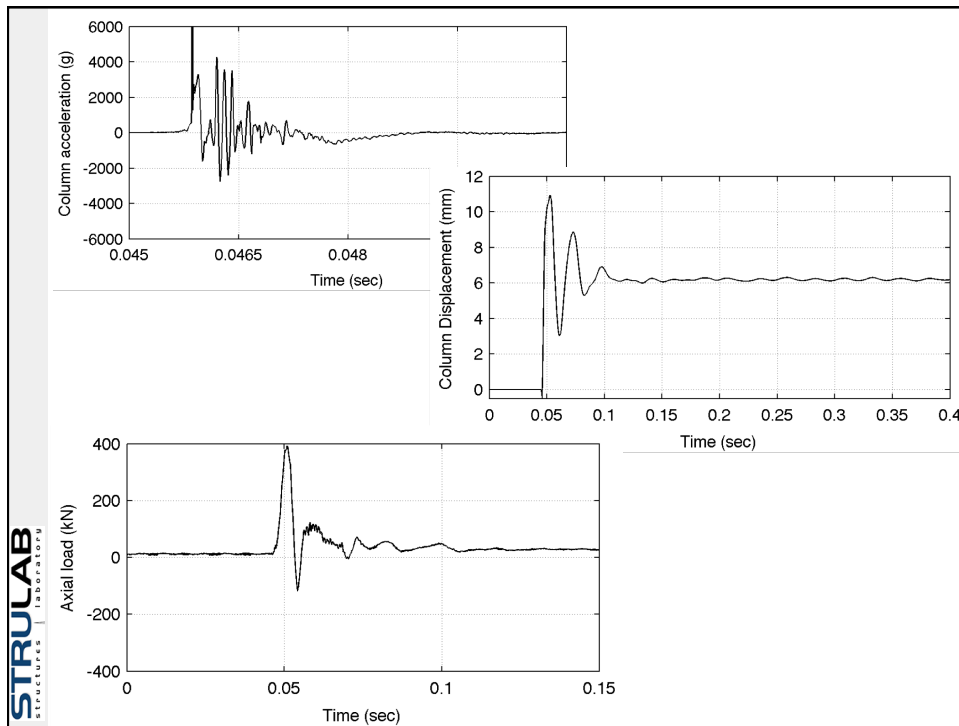




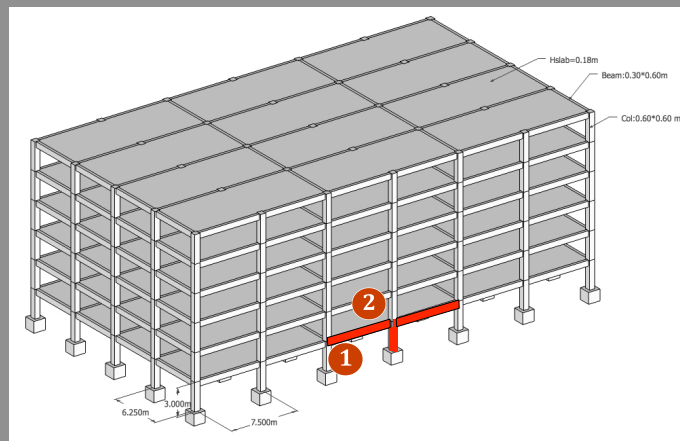


Σύστημα ανθεκτικό σε εκρήξεις





Ανθεκτικότητα σε απώλεια στήριξης – εναλλακτικές διαδρομές φορτίου



Σχεδιασμός πλαισίου κατά EC8

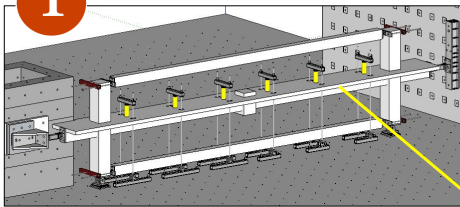
DCM, C20/25, B500, $\rho_{ga}: 0.20g$ (βράχο) \rightarrow έδαφος C: 0.23g

Δοκοί: 2Φ20 (άνω-κάτω), 2Φ20 (πρόσθετα), Φ12/120

Υποστυλώματα: 8Φ24, Φ10/100

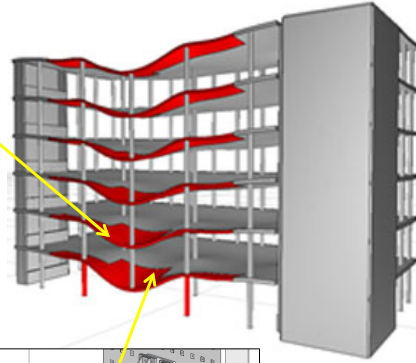
Υπόθεση αστοχίας εξωτερικού υποστυλώματος

1

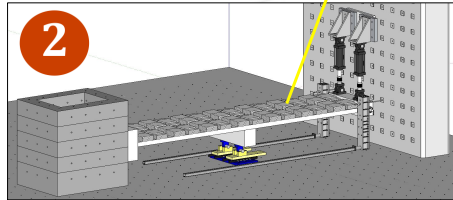


Πως το πλαίσιο αναλαμβάνει το φορτίο ?

Μπορεί η πλάκα πλέον του ι.β. να αναλάβει το φορτίο της εξωτερικής δοκού ?

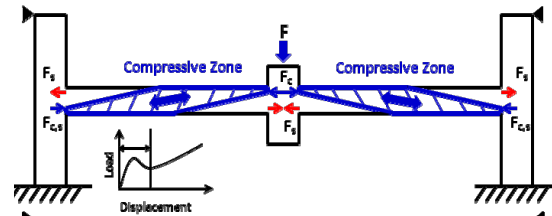


2

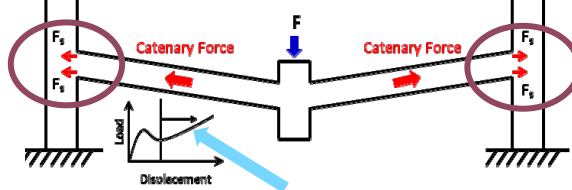


STRULAB
STRUCTURES LABORATORY

Δράση
"πλαισίου"



Δράση
"αλυσσοειδούς"

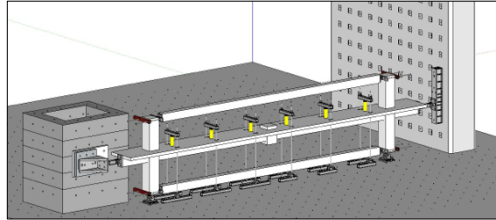


STRULAB
STRUCTURES LABORATORY

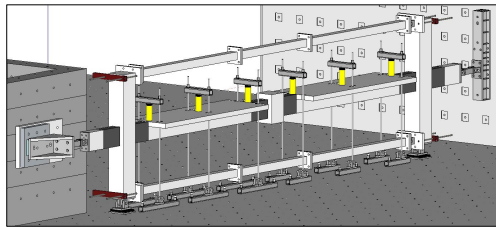
1 Δοκιμές πλαισίων

Δύο διαφορετικοί σχεδιασμοί:

i. [B1] Συμβατικός σχεδιασμός: δοκοί / υποστυλώματα κατά EN1998

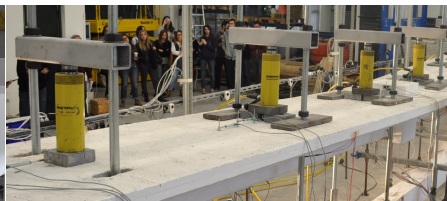
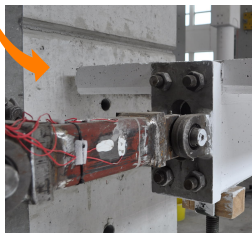
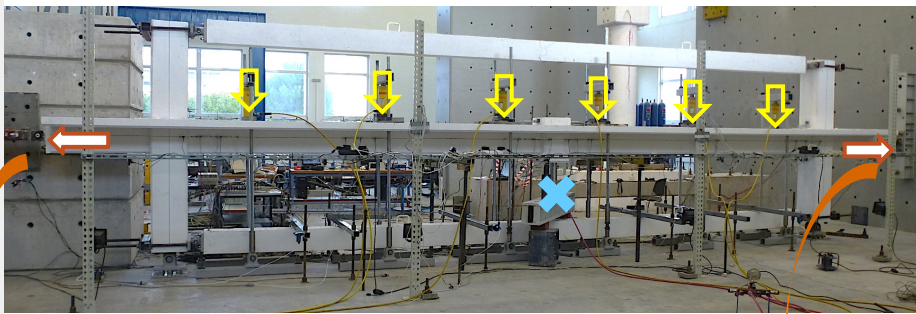


ii. [B2] Σεισμικά ανθεκτικό σύστημα: ξηρές συνδέσεις δοκών/ υποστυλωμάτων με κεντρική προένταση χωρίς συνάφεια



STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

Διάταξη δοκιμών

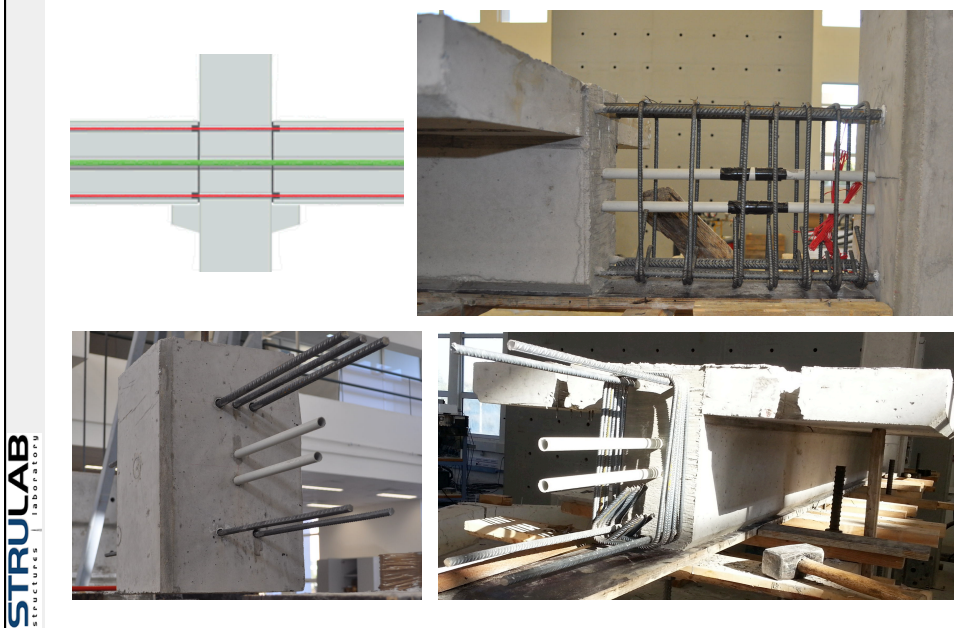


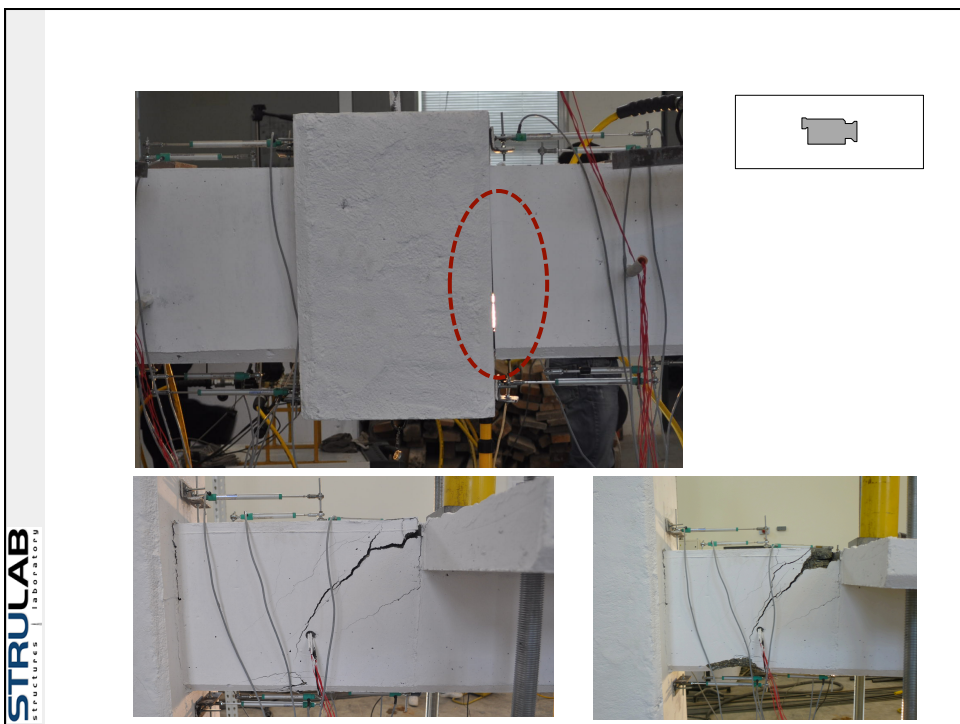
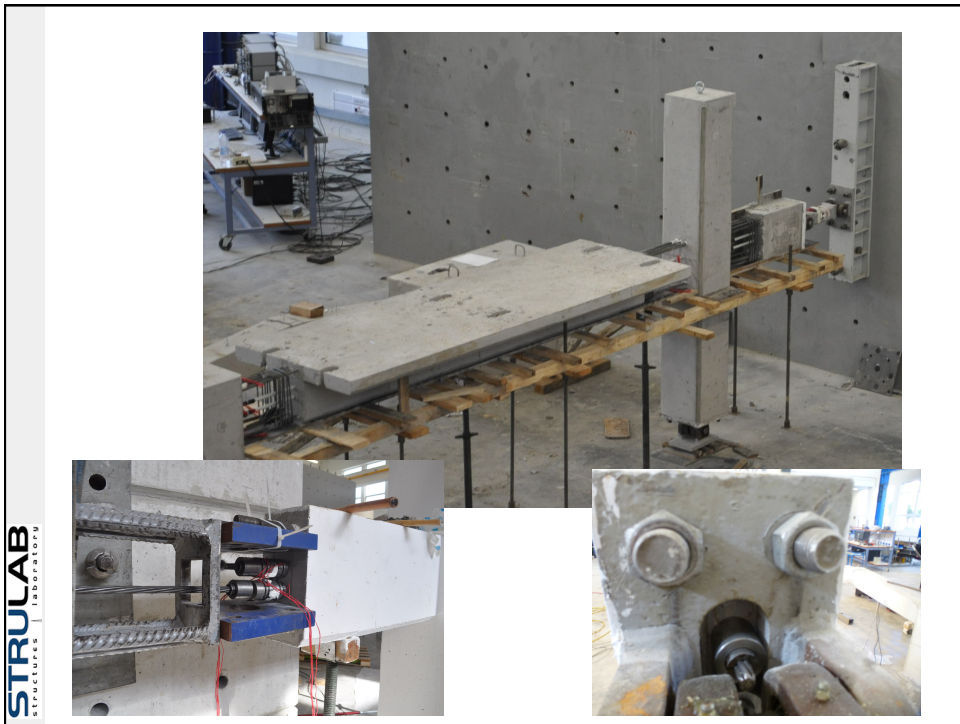
STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

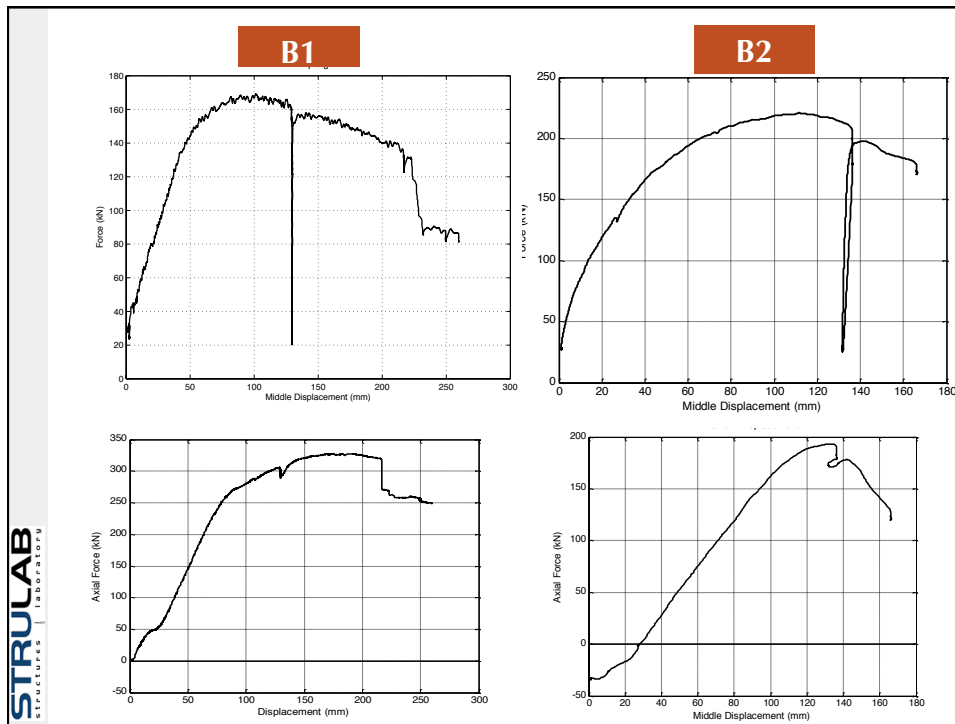
Δοκιμή [B1] (συμβατικός σχεδιασμός)



Δοκιμή [B2] (ανθεκτικό σύστημα)







Συμπεράσματα

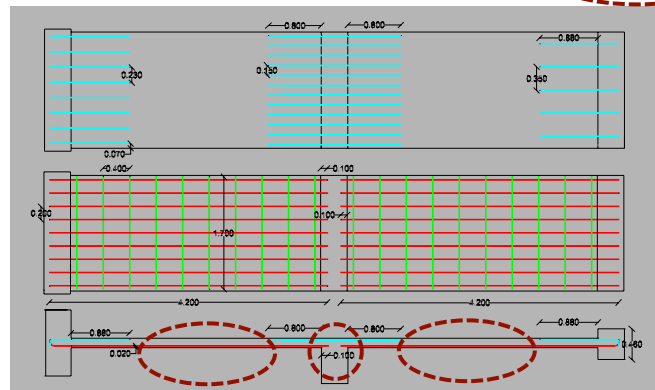
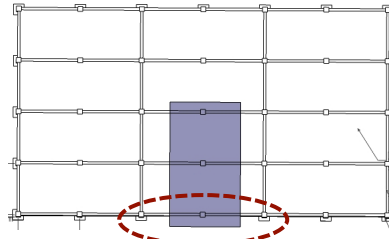
- Αν ο ελάχιστος οπλισμός κάτω πέλματος δοκών είναι συνεχής στις στηρίξεις, η δοκός διαθέτει περιθώριο αντοχής +55% για ανάληψη των φορτίων (ι.β + τοιχοποιία + φορτία πλάκας)
- Ανθεκτικό σύστημα :
Βελτίωση της αντοχής και των δράσεων τόξου & αλυσσοειδούς: αύξηση φέρουσας ικανότητας (και ευκαμψίας)

2 Δοκιμές πλακών

Δύο διαφορετικοί σχεδιασμοί:

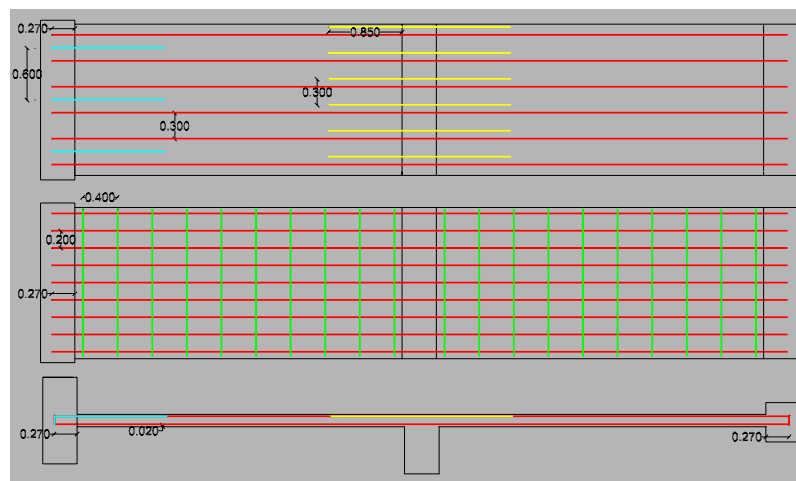
[S1] Σχεδιασμός κατά EN1992

- i. $\Phi 12/300$ (κάτω)
- ii. $\Phi 12/225$ (στηριξίς άνω)



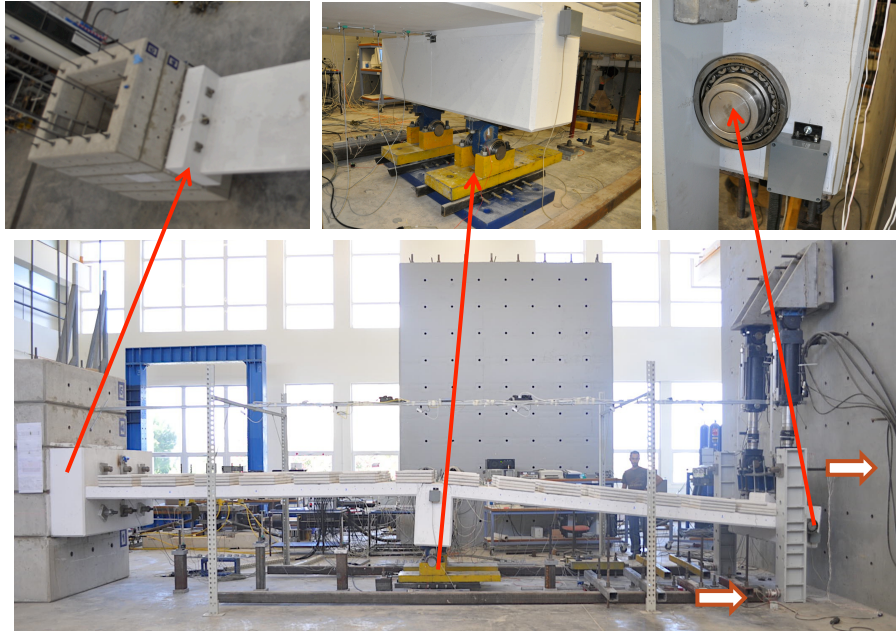
STRULAB
STRUCTURES LABORATORY

[S2] Βελτιωμένος σχεδιασμός για ανθεκτικότητα
 $\Phi 12/300$ (κάτω), $\Phi 12/450$ (άνω), $\Phi 12/450$ (προσθ. στηρ.)

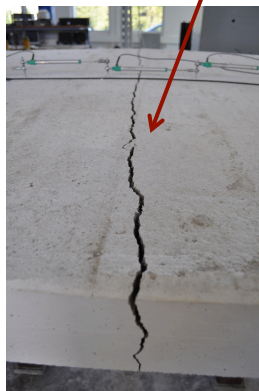
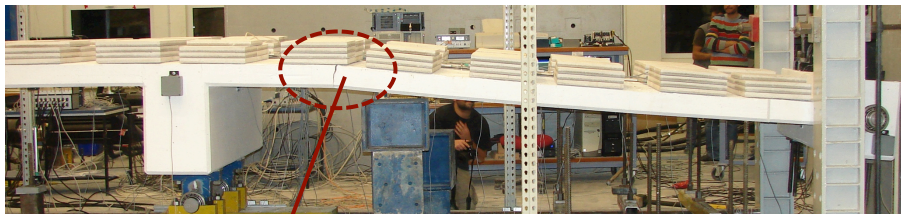


STRULAB
STRUCTURES LABORATORY

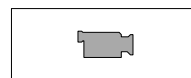
Διάταξη δοκιμών



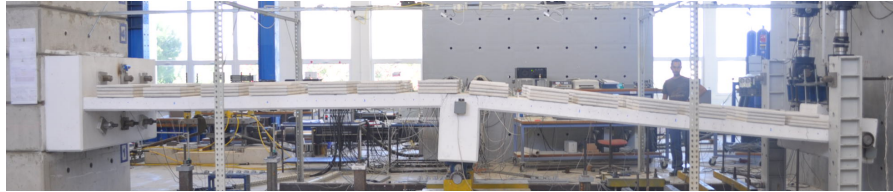
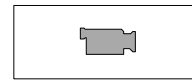
Πλάκα [S1]



Απόσχιση στις διατομές τερματισμού των ράβδων άνω πέλματος



Πλάκα [S2]

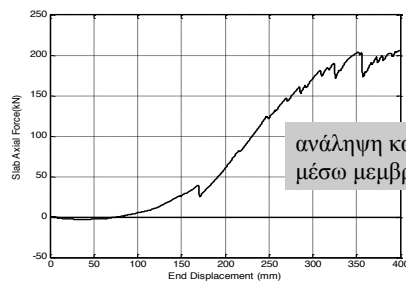
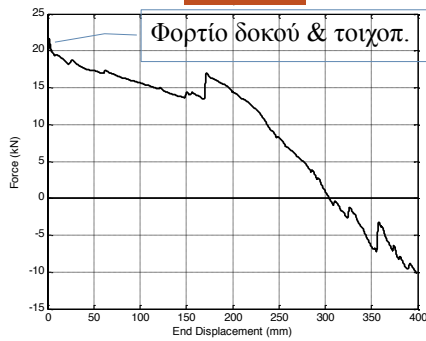


Ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων εκατέρωθεν της ενδιάμεσης στήριξης

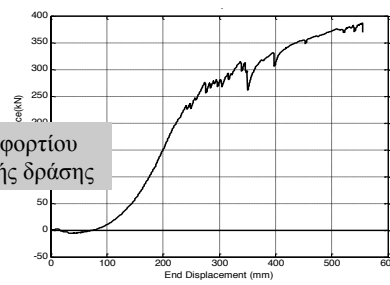
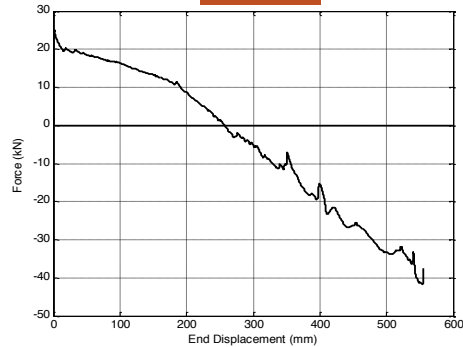


STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

S1



S2



ανάληψη κατακ. φορτίου μέσω μεμβρανικής δράσης

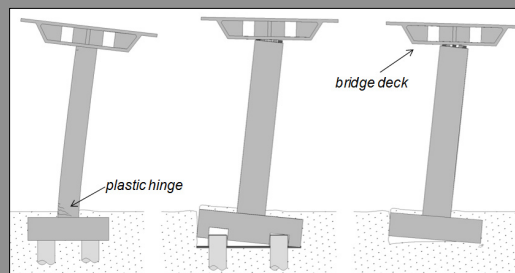
STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

Συμπεράσματα

Πλάκες μιας διεύθυνσης στηριζόμενες σε εξωτερική δοκό:

- Αν διαθέτουν συνεχή οπλισμό άνω πέλματος,
 - επιβιώνουν από ενδεχόμενη απώλεια στήριξης
 - μπορούν να φέρουν με ασφάλεια το ίδιο βάρος τους και το φορτίο της εξωτερικής δοκού, με βύθιση ~450mm
- Αν δεν διαθέτουν συνεχή οπλισμό άνω πέλματος, φέρουν τα φορτία με βύθιση ~375 mm.

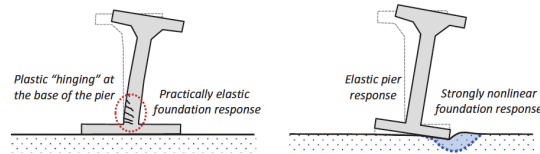
Ανθεκτικότητα βάθρων γεφυρών σε σεισμό λόγω ανύψωσης θεμελίου



Βάθρων γεφυρών ανθεκτικά σε σεισμό

Αντισεισμικός σχεδιασμός → ανάπτυξη ανελαστικών παραμορφώσεων – βλάβες

Γέφυρες: βλάβες & παραμένουσες παραμορφώσεις βάθρων



Αντιμετώπιση: σεισμική μόνωση → κόστος

Εναλλακτικά: επιτρέπεται στην κατασκευή ή σε στοιχεία της να λικνίζονται με σταθερό τρόπο (rocking isolation)

Αποτέλεσμα: η κατασκευή προστατεύεται από βλάβη

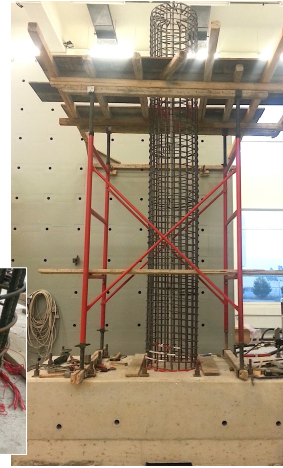
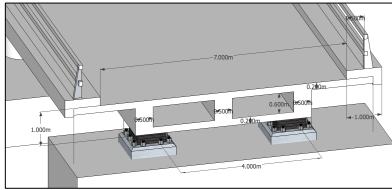
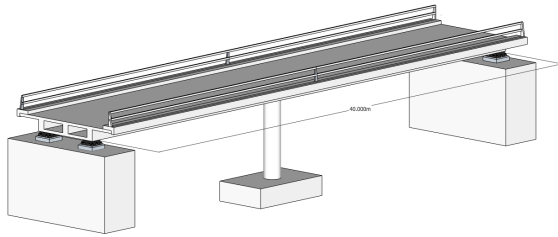
Ανθεκτικότητα σε σεισμό

Προγενέστερες έρευνες → λικνισμός στη βάση του βάθρου:

- Δοκιμές λικνιζόμενων βάθρων (Priestley, 1978, Saidi, 2002, Chen, 2006, Mahin, 2008, Antonellis, 2014)
- Δοκιμές με (κυρίως) στατική, δυναμική φόρτιση
- Δοκιμές σε φυγοκεντρική μηχανή
- Πραγματικές εφαρμογές

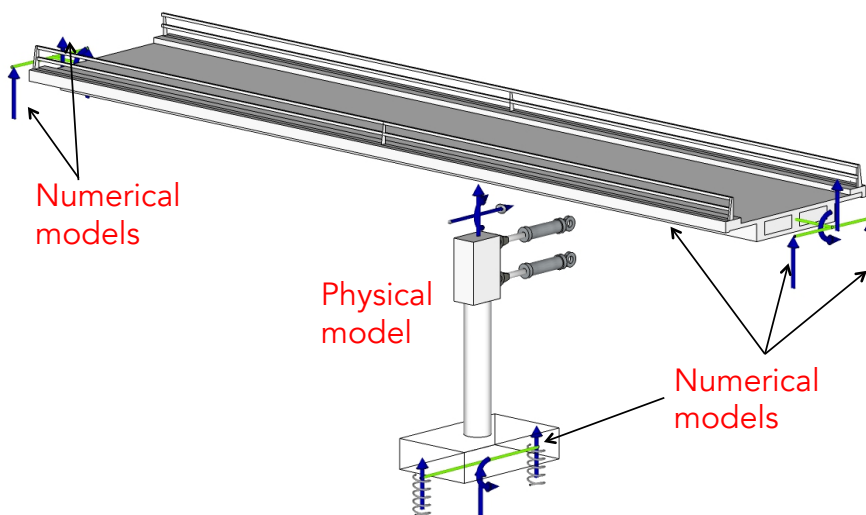


- Προβλήματα: ανύψωση φορέα → εφελκυσμός εφεδράνων άκροβάθρων & στρεπτική καταπόνηση φορέα
- Γέφυρα σχεδιασμένη κατά EN1998-2
- Μονολιθική σύνδεση βάθρου-φορέα
- Υβριδική προσομοίωση (φυσικό & αριθμητικό ομοίωμα)
- Κλίμακα 2:1

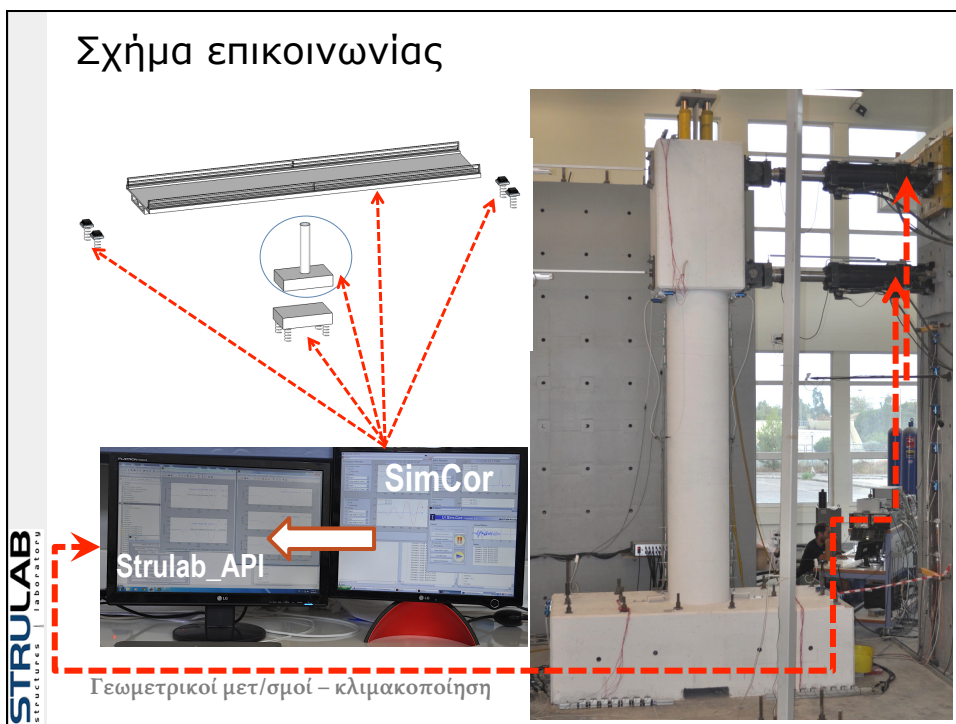
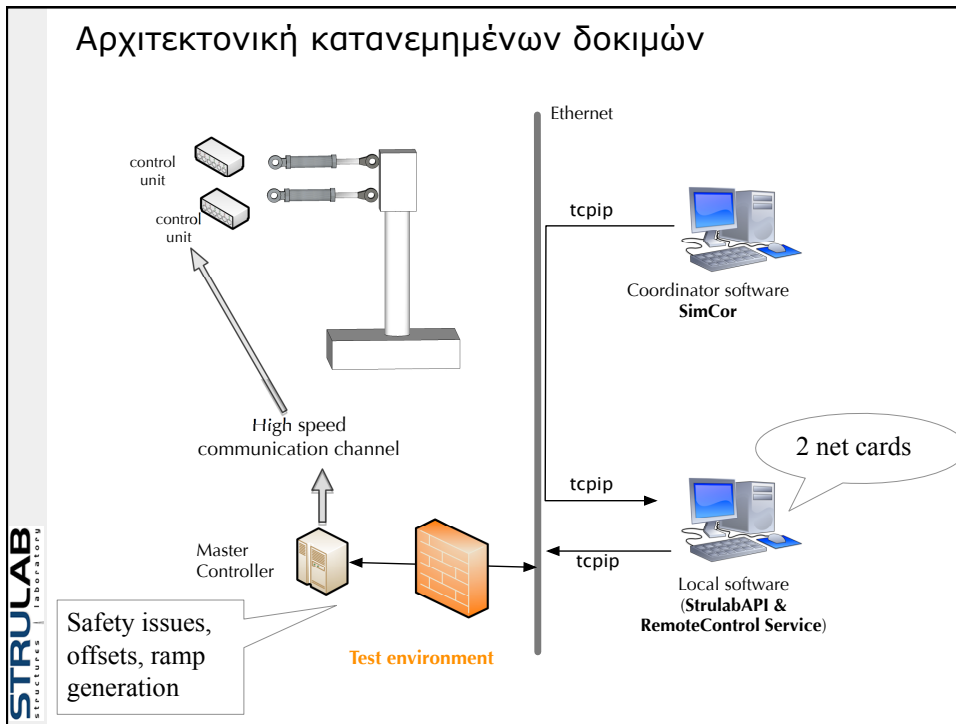


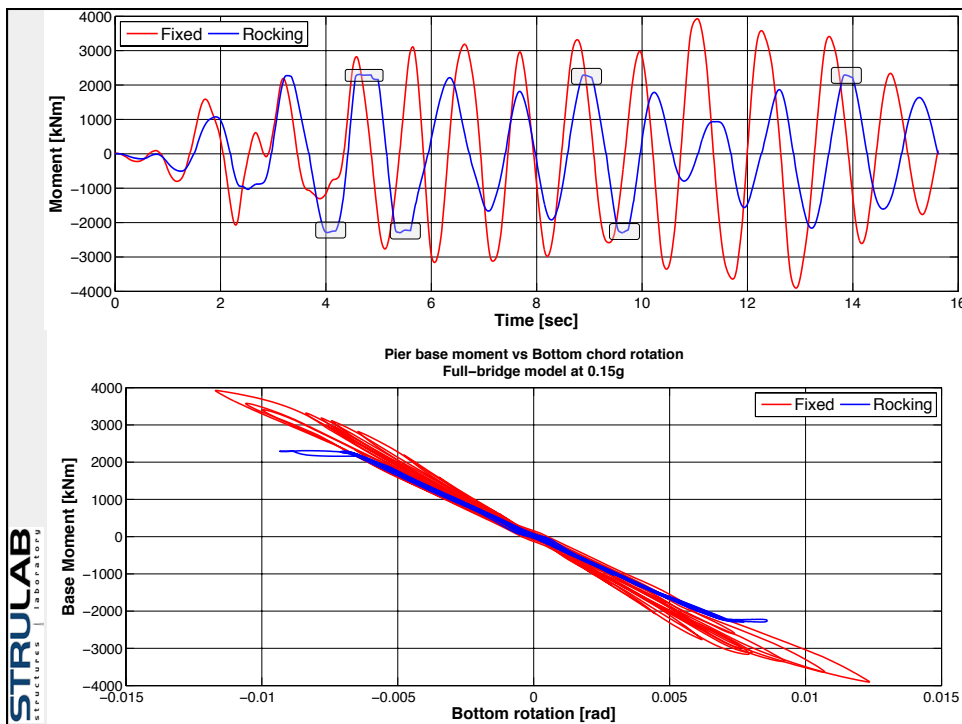
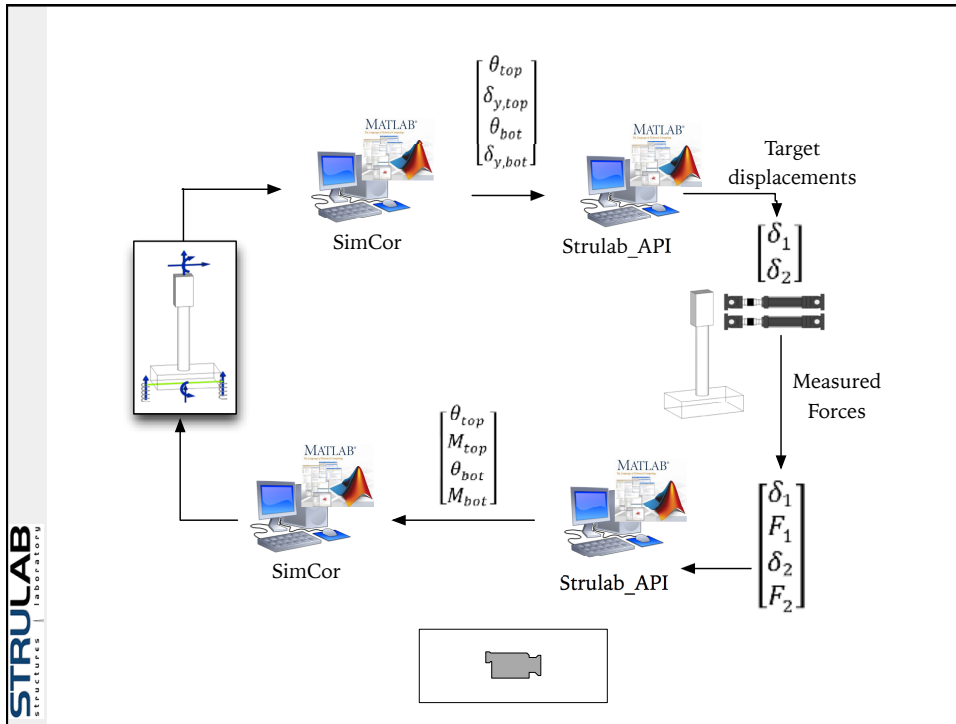
STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

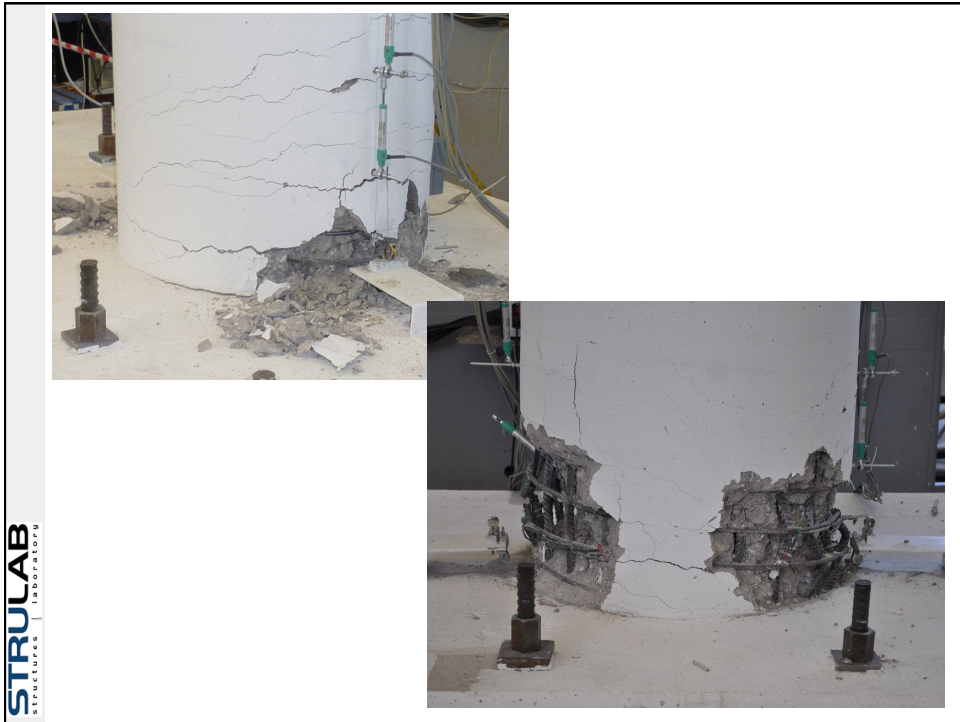
Υβριδική δοκιμή – προσομοίωμα υποκατασκευών



STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY







Συμπεράσματα

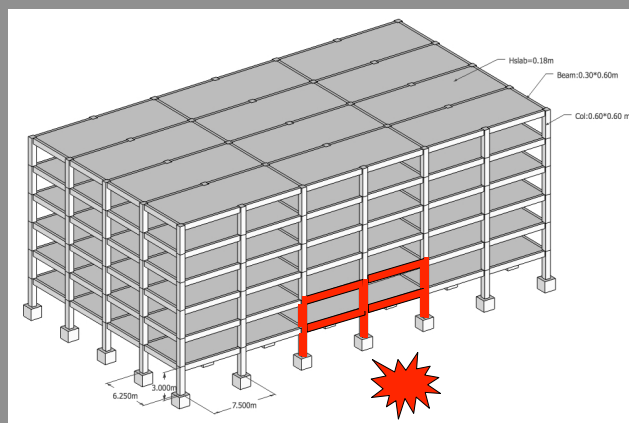
- Λικνιζόμενα στοιχεία θεμελίωσης μπορούν – με περιορισμένες παραμένουσες παραμορφώσεις – να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις πλευρικής μετακίνησης
- Η λικνιστική απόκριση → η επιτομή της έννοιας

Ανθεκτικότητα γεφυρών σε σεισμό

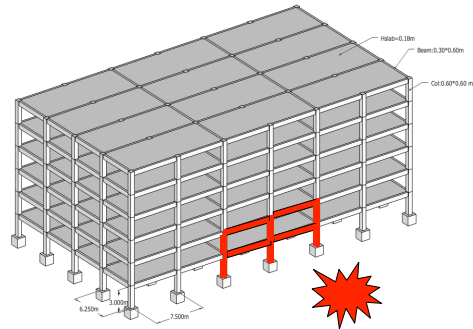
- Δοκιμή με υβριδική προσομοίωση
- Η κατασκευή ανταπεξήλθε σε σεισμικές διεγέρσεις 0.15–0.40g

Η ανύψωση του μεσοβάθρου θέτει τιμή ανωφλίου για την επιβαλλόμενη ροπή.

Συνεισφορά αντισεισμικών συστημάτων στην ανθεκτικότητα λόγω εκρήξεων



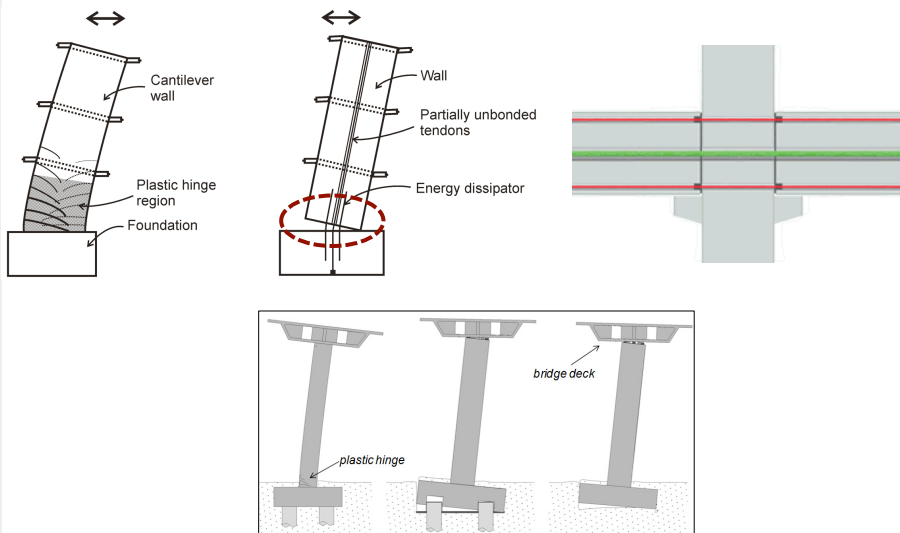
- Απώλεια υποστυλώματος/ων → ανακατανομή έντασης
- Ενδεχόμενη διαδοχική κατάρρευση



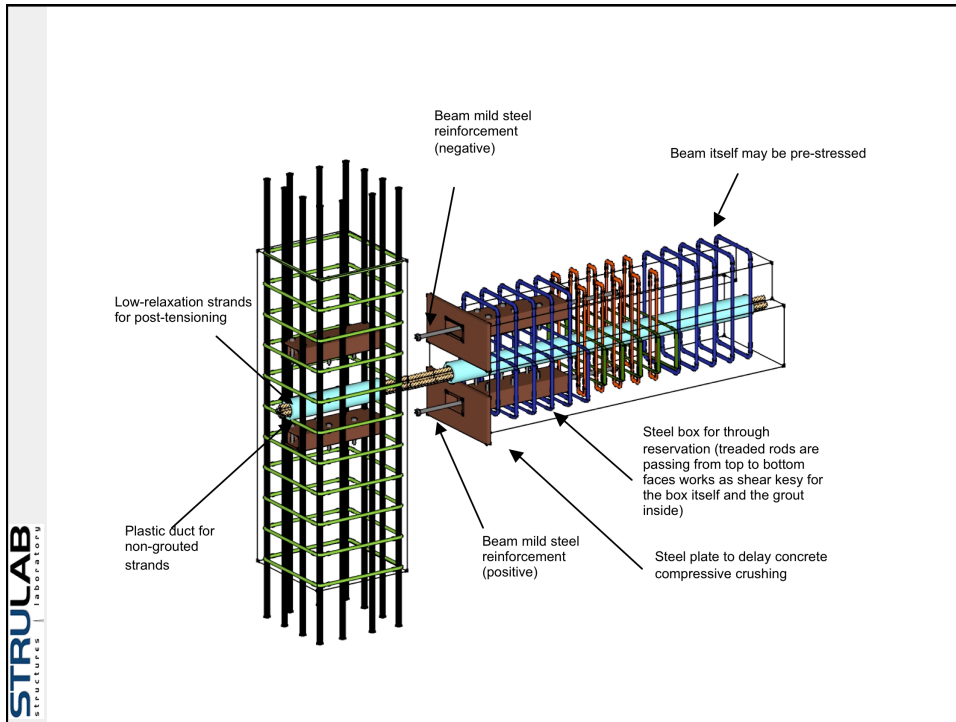
- Συστήματα ξηρών συνδέσεων με επαναφορά
- Ανύψωση θεμελίων

STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

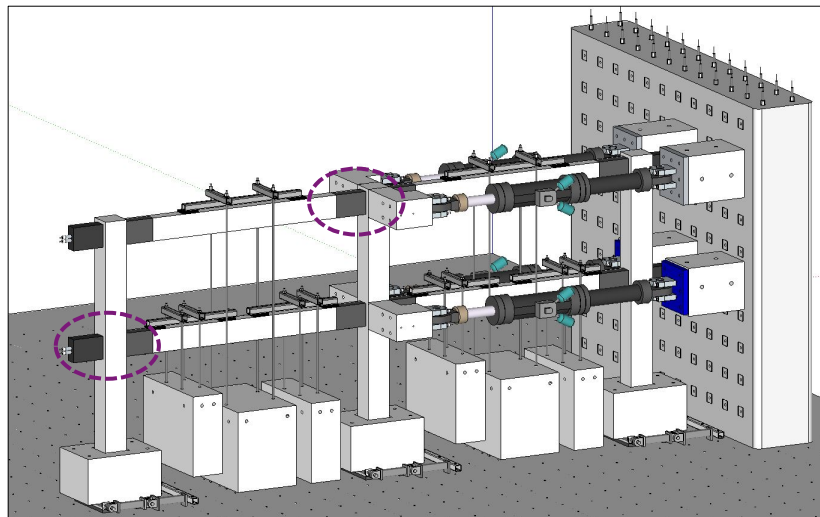
Συστήματα ξηρών συνδέσεων με επαναφορά



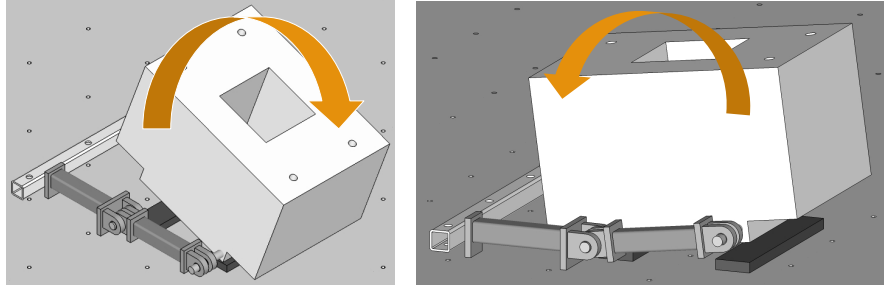
STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY



Συνδυασμός ξηρών συνδέσεων & ανύψωσης θεμελίωσης



Μηχανισμός λικνισμού (στροφής στη βάση)

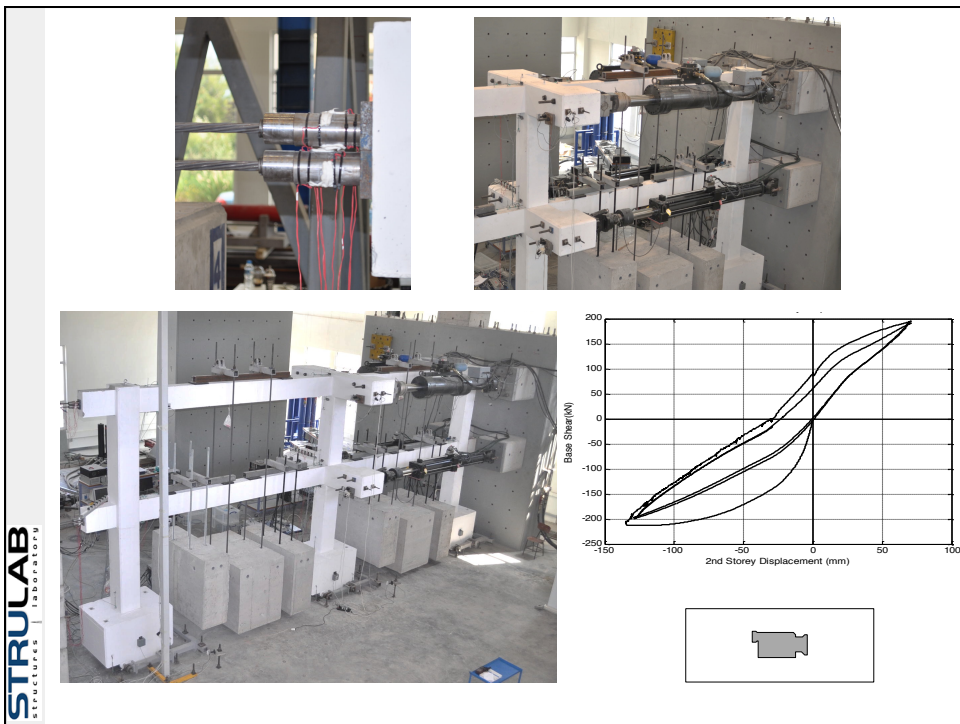


Φύλλο Neoprene

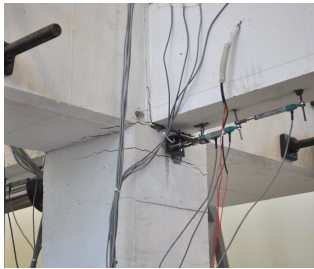
STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY



STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

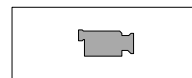


- Ανοίγμα αρμών → αποτρέπεται βλάβη των δοκών από κάμψη
- Πλαστικές αρθρώσεις στην κορυφή υποστυλωμάτων ισογείου: το ανασήκωμα περιορίζει το μέγεθος της ροπής στη βάση & μετατοπίζει το σημείο καμψής προς τη βάση
- Ρηγμάτωση από κάμψη-διάτμηση στη διεπιφάνεια σκυροδέματος-κονιάματος

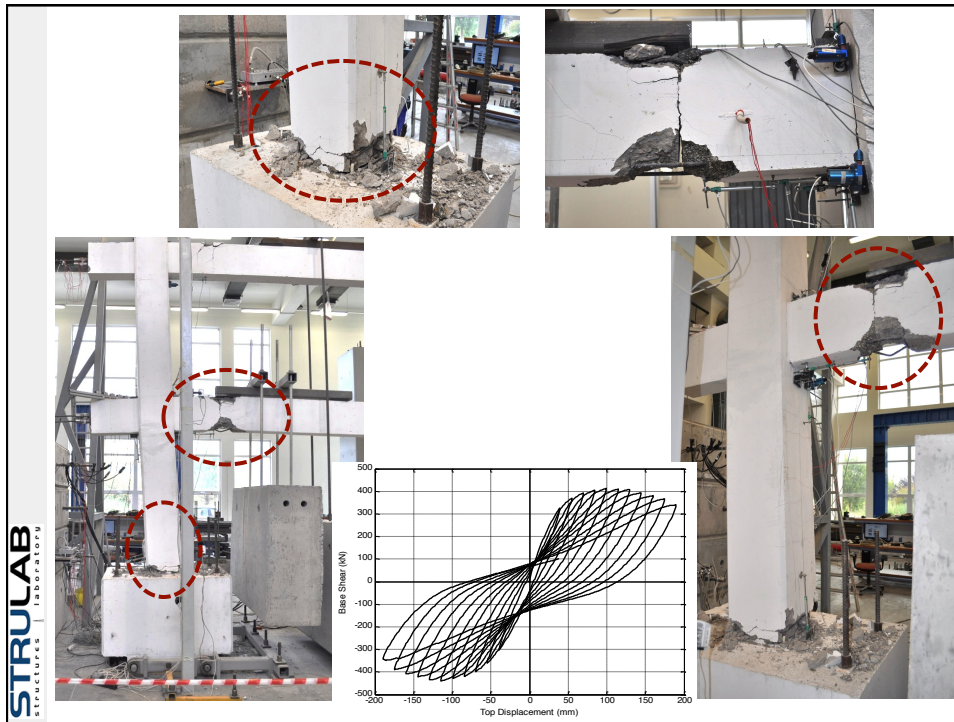


STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY

Δοκιμή πλαισίου με πακτωμένη βάση



STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY



Συμβολή τοιχοπληρώσεων στην αντιμετώπιση διαδοχικής κατάρρευσης



Ευεργετικός ρόλος των τοιχοπληρώσεων έναντι της διαδοχικής κατάρρευσης που ακολουθεί την απώλεια υποστυλώματος/ων

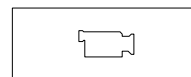
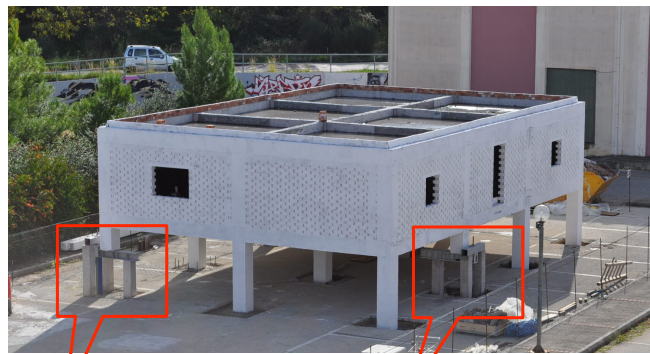
Δοκιμή κτιρίου με απώλεια υποστυλώματος

Διερεύνηση συμπεριφορά κτιρίου με/χωρίς τοιχοπήρωση στον όροφο για ακαριαία απομάκρυνση:

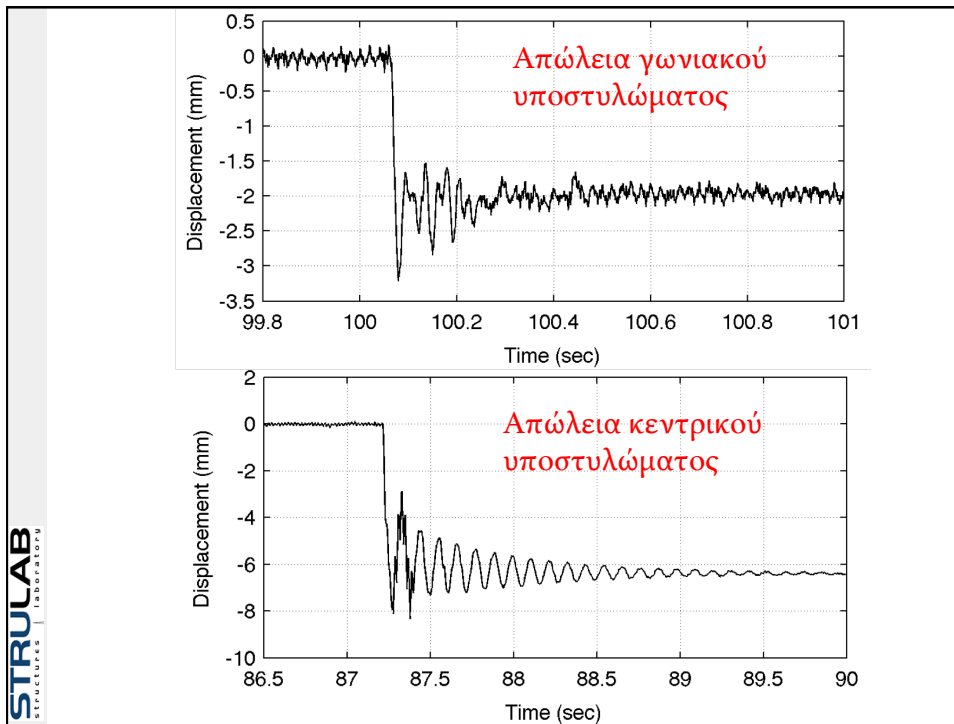
- Περιμετρικού υποστυλώματος
- Γωνιακού υποστυλώματος
- Κεντρικού υποστυλώματος



STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY



STRULAB
STRUCTURES | LABORATORY



Η τελική δοκιμή

- Αφαίρεση τοιχοπλήρωσης
- Αύξηση φορτίου (37ton/όροφο → 70ton/όροφο)
- Απομάκρυνση περιμετρικού υποστυλώματος



Η ομάδα (αλφαβητικά)

Σπύρος Διγενής (μετ/κός)
 Γιάννης Καρακάσης (μετ/κός)
 Ξενοφών Παλιός (Δρ.)
 Νίκος Σταθάς (υπ. διδ.)
 Ηλίας Στρεπέλιος (Δρ.)
 Ylber Solacu

κατάφερε:

18 μήνες → 38 δοκιμές !!!



STRULAB
STRUCTURES LABORATORY

Περισσότερα

strulab.civil.upatras.gr

The screenshot shows the STRULAB website interface. At the top, there is a navigation menu with links for HOME, FACILITIES, RESEARCH / PROJECTS, PERSONNEL, EDUCATION, PUBLICATIONS, and RESOURCES. Below the menu is a blue banner with the text "You are here: Home / Photo Gallery". The main content area is titled "Photo Gallery" and includes a sub-header "Click a thumbnail to see the full size photo". There are six thumbnails showing various experimental setups and structures. The first two thumbnails are labeled "Two-storey RC building: pseudodynamic testing of bare frame, 1st test" and "Two-storey RC building: pseudodynamic testing of bare frame, 2nd test". The third and fourth thumbnails are labeled "Two-storey RC building: retrofit with reinforced concrete jackets" and "Two-storey RC building: damage at the base of a column". The fifth and sixth thumbnails are labeled "Two-storey RC building: retrofit with reinforced concrete jackets" and "Two-storey RC building: damage at the base of a column". On the right side of the page, there are sections for "Quick links" (Software, Telepresence), "Latest News" (Latest experimental activities, Tests on RC slabs, First international distributed test, First hybrid test between two research teams in Greece, Strengthening of masonry infilled RC frame with Textile-Reinforced Mortar (TRM) - Completion of the experimental campaign, Material from workshop on Earthquake Engineering Research Infrastructures now available, Cyclic test of three-storey masonry-infilled RC frame), and a "News Archive" link.