

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στέφανος Η. Δρίτσος
Αναπλ. Καθηγητής
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Είναι αναμφισβήτητο ότι οι γνώσεις μας για την σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών δοκιμάζονται κάθε φορά που συμβαίνει ένας ισχυρός σεισμός. Κάποιες παλαιότερες θεωρήσεις επιβεβαιώνονται και κάποιες άλλες αμφισβητούνται. Τα “μαθήματα” από κάθε σεισμό σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες και την συνεχή έρευνα στο αντίστοιχο επιστημονικό πεδίο έχουν οδηγήσει σε αλλαγές των Κανόνων Δόμησης και των Κανονισμών. Έτσι γίνεται φανερό ότι για κάθε νέα κατασκευή υπάρχει η δυνατότητα ενός ορθότερου και ασφαλέστερου σχεδιασμού.

Όμως την ίδια στιγμή εύλογα τίθεται το ερώτημα: Τι πρέπει να γίνει με τα κτίρια που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί στο παρελθόν; Μελέτες εκτίμησης της αντοχής κτιρίων με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν πριν από την εφαρμογή των πρόσθετων άρθρων του Αντισεισμικού Κανονισμού (1985), δείχνουν ότι ένα μεγάλο μέρος από τις παραπάνω κατασκευές κινδυνεύουν να πάθουν σοβαρές ζημιές σε ένα επόμενο ισχυρό σεισμό. Τα αποτελέσματα των καταστροφικών σεισμών των τελευταίων χρόνων στην Ελλάδα, επιβεβαιώνουν τις παραπάνω εκτιμήσεις.

Αρκεί κανείς να αναλογιστεί ότι στα προ του 1995 (έστω 1985) κτίρια ισχύουν τα εξής:

- α) Έχουν σχεδιαστεί για σεισμικές δράσεις που ανταποκρίνονται χοντρά-χοντρά στο 50% των αντιστοιχών δράσεων των νέων κτιρίων.
- β) Η μόρφωση του φέροντος οργανισμού ακολουθούσε συχνά αρχιτεκτονικές υπερβολές χωρίς όρια, αδιαφορώντας για θέματα κανονικότητας (γεωμετρίας είτε αντοχής) σε επίπεδο ορόφου ή σε επίπεδο κτιρίου.
- γ) Ο προσδιορισμός των εντατικών μεγεθών στα μέλη ακολουθούσε απλοποιητικές παραδοχές λόγω έλλειψης υπολογιστικών μέσων. Η χωρική ανάλυση ήταν αδύνατο να εφαρμοστεί, ενώ σπάνια λαμβάνονταν υπ’ όψη η διδιάστατη πλαισιακή λειτουργία.
- δ) Η διαστασιολόγηση των μελών του φορέα ακολουθούσε διαδικασίες που σήμερα έχουν στο μεγαλύτερο μέρος τους αναθεωρηθεί (ανακριβή προσομοιώματα, απουσία της λογικής του κανοντικού σχεδιασμού και της έννοιας της πλαστιμότητας, ανεπαρκείς κατασκευαστικές διατάξεις για ελάχιστα και μέγιστα, κ.α.).

Ως εκ τούτου, δεν είναι υπερβολική η θέση που, με βάση τα παραπάνω, διατυπώνεται (ΤΕΕ, 2001), ότι αποτελεί συνταγματική ανισότητα το γεγονός ότι από άποψη προσδόκιμου ζωής, οι Έλληνες πολίτες διαχωρίζονται σε 2 κατηγορίες, ανάλογα με το έτος κατασκευής του κτιρίου που διαμένουν, δεδομένου ότι η δυνητική δυσμένεια των προ του 1995 (έστω 1985) κτιρίων θα μπορούσε να εκτιμηθεί κατ’ ελάχιστον σε 1 προς 2, και πιθανόν είναι 1 προς 3 (Τάσιος, 2000).

Είναι λοιπόν προφανές, ότι ο προβληματισμός για την ενίσχυση των κατασκευών πρέπει να τεθεί έγκαιρα για το σύνολο των κατασκευών που έχουν σχεδιαστεί με παλαιότερους κώδικες και όχι, όπως συνήθως γίνεται, μόνο για τις κατασκευές που έπαθαν ζημιές σε μία συγκεκριμένη περιοχή μετά από έναν ισχυρό σεισμό.

Όμως όσο εύκολη είναι η διαπίστωση του προβλήματος, τόσο δύσκολη είναι η αντιμετώπισή του. Και αν κανείς απαντήσει εύκολα ότι η αντισεισμική ενίσχυση όλων των προ του 1995 κτιρίων είναι ανέφικτη, οι απαντήσεις στα ερωτήματα που επιγραμματικά έπονται δεν είναι τόσο προφανείς.

- Ποιες κατασκευές έχουν προτεραιότητα να ενισχυθούν, και πώς θα προσδιοριστούν σε μεμονωμένη βάση;
- Μπορούν (ή αξίζει τον κόπο) να ενισχυθούν και μέχρι ποιο σημείο; Μήπως η λύση της κατεδάφισης και ανακατασκευής είναι προτιμότερη;
- Τι μέσα (υλικά, μέθοδοι, τεχνικές) διατίθενται για να επέμβει κανείς και κάτω από ποιες προδιαγραφές αυτά εφαρμόζονται;
- Ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος ενίσχυσης ενός δεδομένου κτιρίου;
- Ποιο είναι το υπολογιστικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο στο μηχανικό για να τεκμηριώσει τις επιλογές του, και ποιες οι διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου των εργασιών;

Το θέμα είναι σύνθετο και προϋποθέτει ότι παράγοντες όπως η σπουδαιότητα και ο αριθμός χρηστών της κατασκευής, το κόστος επέμβασης, η ηλικία, καθώς και ο υπόλοιπος χρόνος ζωής της επισκευής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό των κριτηρίων αποδοχής στον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής. Τα κριτήρια αυτά είναι λογικό να είναι χαμηλότερα από αυτά που ισχύουν για τις καινούργιες κατασκευές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στις λίγες περιπτώσεις, που για τον ανασχεδιασμό των παλαιών κτιρίων θεσπίστηκαν κριτήρια αποδοχής ίδια με των νέων κτιρίων, υπήρξε σημαντικά μικρός αριθμός επεμβάσεων λόγω του αυξημένου κόστους και της δυσκολίας της επέμβασης, και κάποιες φορές σταμάτησε η όλη διαδικασία αναβάθμισης του δομημένου περιβάλλοντος.

Απαιτείται, λοιπόν, μία στρατηγική ευρείας κλίμακας για τον ανασχεδιασμό των κατασκευών, που θα συμπεριλαμβάνει όλες τις συνιστώσες του ζητήματος και θα καταλήγει σε προτεραιότητες για επεμβάσεις. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, η τεχνο-επιστημονική διάσταση του ζητήματος, που αφορά τον σχεδιασμό των απαιτούμενων επεμβάσεων για επισκευή ή ενίσχυση είναι ένα θέμα δυσκολότερο και περισσότερο περίπλοκο απ' ό,τι ο σχεδιασμός νέων κατασκευών. Αποτελεί μοναδική πρόκληση για τον μηχανικό απαιτώντας υψηλό βαθμό κρίσης και σύνεσης δεδομένου ότι: (i) οι γνώσεις μας, για το αντικείμενο είναι λίγες και όχι επαρκώς τεκμηριωμένες, (ii) δεν υπάρχει Κανονισμός, (iii) η μόρφωση του υφιστάμενου φορέα μπορεί να είναι απαράδεκτη, είναι όμως εκεί, (iv) τα βασικά δεδομένα που εκτιμώνται στην αρχική φάση τεκμηρίωσης της υπάρχουσας κατάστασης αποδεικνύονται στην εξέλιξη της επέμβασης συχνά λανθασμένα, (v) νέα υλικά προωθούνται στην αγορά η συμπεριφορά των οποίων είναι υπό διερεύνηση (vi) η εξειδίκευση και η εμπειρία συνεργείων για την εκτέλεση των εργασιών είναι μικρή και μερικές φορές αρνητική.

Πάντως ανεξάρτητα από την έλλειψη θεσμοθετημένων κριτηρίων ανασχεδιασμού των κατασκευών στη χώρα μας, φαίνεται να είναι εντελώς απαραίτητη τουλάχιστον η έγκαιρη ενίσχυση των κτιρίων προσφοράς υπηρεσιών επείγουσας ανάγκης (όπως π.χ. τα νοσοκομεία και τα κτίρια τηλεπικοινωνιών) ή άλλων ειδικών χρήσεων (όπως π.χ. τα σχολεία), έτσι ώστε να παραμείνουν σε λειτουργία μετά από ένα ισχυρό σεισμό. Θα πρέπει μάλιστα ο ανασχεδιασμός να μην αποβλέπει απλώς στην αποφυγή κατάρρευσης αλλά και στον περιορισμό των μετακινήσεων, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι βλάβες στα αρχιτεκτονικά και μηχανολογικά στοιχεία του κτιρίου που θα εμποδίσουν την προσφορά των αντίστοιχων υπηρεσιών.

Ο παραπάνω προβληματισμός που ξεκίνησε στη χώρα μας εδώ και πολλά χρόνια (Τάσιος, 1984) έχει δρομολογήσει, πρόσφατα, μια σειρά από ενέργειες όπως, το σχέδιο ANTYK του ΤΕΕ, τη σύνταξη του Κανονισμού Επεμβάσεων και τον έλεγχο των δημοσίων κτιρίων που συντονίζεται από τον ΟΑΣΠ και το ΥΠΕΧΩΔΕ, καθώς και τη σύνταξη Τεχνικών Προδιαγραφών για τις εργασίες επεμβάσεων που περιλαμβάνεται στο έργο του ΙΟΚ. Τα μηνύματα δείχνουν αισιόδοξα και ελπίζουμε ότι το τοπίο θα ξεκαθαρίσει σύντομα.

2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τρία κύρια στάδια μπορούν να διακριθούν στη συνολική διαδικασία που απαιτείται για τον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής.

Το πρώτο είναι η **αποτίμηση**, δηλαδή η εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης, η τεκμηρίωση του υφιστάμενου φορέα και τελικά η αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής. Το δεύτερο αφορά τη διαδικασία για τη **λήψη της απόφασης** και περιλαμβάνει την εξέταση πιθανών σχημάτων επέμβασης και την επιλογή λύσης, συμπεριλαμβανόμενης και της κατεδάφισης. Το τρίτο αφορά τον **σχεδιασμό της λύσης** που επελέγη και περιλαμβάνει την διαστασιολόγηση των μελών του επισκευασμένου/ενισχυμένου φορέα, την τεχνική περιγραφή των προβλεπόμενων εργασιών και το κόστος της λύσης.

Στο **πρώτο στάδιο** περιλαμβάνεται η αποτίμηση του φέροντα οργανισμού, η καταγραφή των βλαβών, καθώς και η εκτίμηση των συνωριακών συνθηκών, των κατακόρυφων φορτίων και των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών της κατασκευής. Η αξιολόγηση των βλαβών και των ατελειών σε μεμονωμένα στοιχεία, δεν θα ωφελήσει αν τελικά δεν εκτιμηθεί η πιθανότερη παθολογική εικόνα του συνόλου της κατασκευής, και θα πρέπει να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης που θα αποτιμά τη σεισμική της ικανότητα. Ανεξάρτητα από την ειδικότερη μέθοδο που θα επιλεγεί για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, είτε επιλεγεί μια προσεγγιστική μέθοδος είτε χρησιμοποιηθούν προχωρημένες μέθοδοι ανελαστικών αναλύσεων, στις οποίες θα εκτιμηθεί η παραμορφωσιακή ικανότητα των μελών του φορέα, (Otani, 2003, ATC40, 1996, FEMA 356, 2000, Panagiotakos and Fardis, 2001, Πενέλης 1999), στο τέλος αυτού του σταδίου αποφασίζεται αν υπάρχει ανάγκη για ενίσχυση της κατασκευής.

Προφανώς για την απόφαση αυτή προαπαιτείται η επιλογή της “στάθμης επιτελεστικότητας”, δηλαδή της επιθυμητής συμπεριφοράς της κατασκευής, σε συνάρτηση με τον(τους) σεισμό(ους) σχεδιασμού, που μπορεί να εκφραστεί μέσω της πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής της κατασκευής που θεωρείται 50 έτη. Με βάση το σημερινό Κανονιστικό πλαίσιο, ως στάθμη επιτελεστικότητας υποχρεωτικά πρέπει να επιλεγεί τουλάχιστον “η προστασία ζωής και περιουσίας των ενοίκων” ενώ η πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 10%. Όμως για τα υφιστάμενα κτίρια θα ήταν λογικό να μπορεί να ρυθμιστεί και διαφορετικά. Το ίδιο θα μπορούσε να ισχύει μετά από οποιαδήποτε επέμβαση, εξασφαλίζοντας κατ’ελάχιστον την αρχική (προ της επέμβασης) ικανότητα του φορέα.

Το **δεύτερο στάδιο** που αφορά την λήψη απόφασης για την επέμβαση, αποτελεί το δυσκολότερο ίσως τμήμα της όλης διαδικασίας, επειδή σ’ αυτό το στάδιο εμπλέκεται ένα πλήθος παραγόντων που δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν.

Κατ’ αρχάς θα πρέπει να έχουν αξιολογηθεί όλες οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση προς κάθε μία από τις παρακάτω τρεις κρίσιμες δυνατές επιλογές:

- επισκευή της κατασκευής (αν υπάρχουν βλάβες) ή καμία επέμβαση
- ενίσχυση της κατασκευής
- κατεδάφιση της κατασκευής και ανέγερση νέας

Ως επισκευή ορίζεται η διαδικασία επέμβασης σε μία κατασκευή με βλάβες, η οποία αποκαθιστά τα προ της βλάβης χαρακτηριστικά των στοιχείων της και επαναφέρει την κατασκευή στην αρχική της κατάσταση.

Ως ενίσχυση ορίζεται η διαδικασία επέμβασης, σε μία κατασκευή, με ή χωρίς βλάβες, η οποία επαυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του φορέα σε επίπεδο υψηλότερο από αυτό του αρχικού του σχεδιασμού.

Η απόφαση για την κρίσιμη επιλογή, μεταξύ επισκευής, ενίσχυσης και κατεδάφισης/ανακατασκευής καθώς και της ειδικότερης διαδικασίας επέμβασης που τελικά θα προταθεί, είναι προφανώς αποτέλεσμα μιας διαδικασίας επαναληπτικής εξέτασης εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης, με στόχο την αποδεκτή σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής ως σύνολο.

Αν επιλεγεί η λύση της ενίσχυσης, η αναζήτηση του σχήματος επέμβασης μπορεί να γίνει σε δύο κατευθύνσεις. Στην πρώτη κατεύθυνση θα αναζητηθεί η λύση με την οποία η κατασκευή ενισχύεται ως σύνολο έτσι ώστε να μειωθεί η ένταση στα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια ικανότητας τους. Στη δεύτερη κατεύθυνση θα αναζητηθεί η λύση με την οποία ενισχύονται τα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής προσδίδοντας πρόσθετη ικανότητα (αντοχή, πλαστιμότητα) ή άλλα ελλείποντα χαρακτηριστικά σε μεμονωμένα στοιχεία. Η πρώτη κατεύθυνση ακολουθείται συνήθως όταν τα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής είναι πολλά και επομένως χρειάζεται μία συνολική αντιμετώπιση του θέματος, ενώ η δεύτερη κατεύθυνση ακολουθείται όταν αξιολογείται ότι πρέπει να εξαλειφθούν μόνο κάποιες τοπικές αδυναμίες της κατασκευής.

Πάντως, για κατασκευές που έχουν υποστεί βλάβες από έναν ισχυρό σεισμό, ανεξάρτητα από το παραπάνω αποτέλεσμα, η εικόνα των βλαβών αποτελεί αδιάψευστο στοιχείο της σεισμικής ικανότητας που επηρεάζει ιδιαίτερα την απόφαση. Έτσι σε κατασκευές με εκτεταμένες και βαριές βλάβες, η επέμβαση πρέπει να στοχεύει στην ενίσχυση της κατασκευής..

Το τρίτο στάδιο που αφορά τον σχεδιασμό της λύσης επέμβασης, περιλαμβάνει τη διαστασιολόγηση των επισκευασμένων/ενισχυμένων μελών του. Η χρήση νέων στοιχείων σε συνεργασία με τα παλαιά δημιουργεί νέα πολυφασικά, σύνθετα στοιχεία, η διαστασιολόγηση των οποίων ξεφεύγει συχνά από τις συνήθεις διαδικασίες διαστασιολόγησης μονολιθικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εξάλλου η χρήση νέων υλικών (υφασμάτων ή ελασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή) για την ενίσχυση των υφιστάμενων στοιχείων, δημιουργεί ένα ενδιαφέρον πεδίο εφαρμογής που όμως απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω έλλειψης εμπειρίας και του συχνά υπερβολικού ενθουσιασμού που πηγάζει από την ευκολία εφαρμογής στην πράξη. Η αναδιαστασιολόγηση του φορέα καταλήγει πάντα στα σχέδια λεπτομερειών της οριστικής μελέτης επέμβασης και κοστολόγηση των εργασιών. Η επιλογή πρέπει τελικά να κριθεί οικονομικά ωφέλιμη. Γιατί, δυστυχώς, έχει παρατηρηθεί συχνά να επιλέγονται λύσεις εξοργιστικά αντιοικονομικές χωρίς ουσιαστικό λόγο.

3. ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟΥ

Με βάση τις Κανονιστικές απαιτήσεις που καθορίζουν τις προβλεπόμενες σεισμικές δράσεις, με χρήση των φασμάτων απόκρισης και χρησιμοποιώντας απλές σχέσεις της Δυναμικής των κατασκευών, η απαιτούμενη σεισμική ικανότητα μιας κατασκευής, θεωρούμενης ως μονοβάθμιου ταλαντωτή, μπορεί να αναπαρασταθεί σε ένα διάγραμμα τέμνουσας βάσης-μετακινήσεων από μια καμπύλη ίδιας μορφής με αυτήν των φασμάτων όπως είναι η καμπύλη s στο Σχήμα 1. Η καμπύλη αυτή υποδηλώνει το όριο μεταξύ της ασφαλούς και της ανασφαλούς επιλογής της λύσης ενίσχυσης. Δηλαδή μία κατασκευή θεωρείται ασφαλής εφόσον η καμπύλη που αναπαριστά τη συμπεριφορά της επεκτείνεται στην περιοχή πάνω από την καμπύλη (s) που απεικονίζει τον ασφαλή σχεδιασμό. Διαφορετικά απαιτείται ενίσχυση της κατασκευής.

Είναι ως εκ τούτου προφανές, ότι μπορούμε να επιλέξουμε μία ασφαλή λύση ενίσχυσης της κατασκευής είτε αυξάνοντας την αντοχή και τη δυσκαμψία της είτε αναιρώντας πρώιμους τρόπους αστοχίας και αυξάνοντας την ικανότητά της για μεγάλες ανελαστικές παραμορφώσεις.

Εξάλλου ως ενίσχυση θα μπορούσε να θεωρηθεί και κάθε διαδικασία με την οποία μειώνεται η εισαγόμενη σεισμική δράση στην κατασκευή και επομένως μειώνεται η απαιτούμενη σεισμική της ικανότητα.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται ποιοτικά διαγράμματα Τέμνουσας Βάσης-Μετακινήσεων, για τις τρεις βασικές στρατηγικές αντισεισμικής ενίσχυσης.

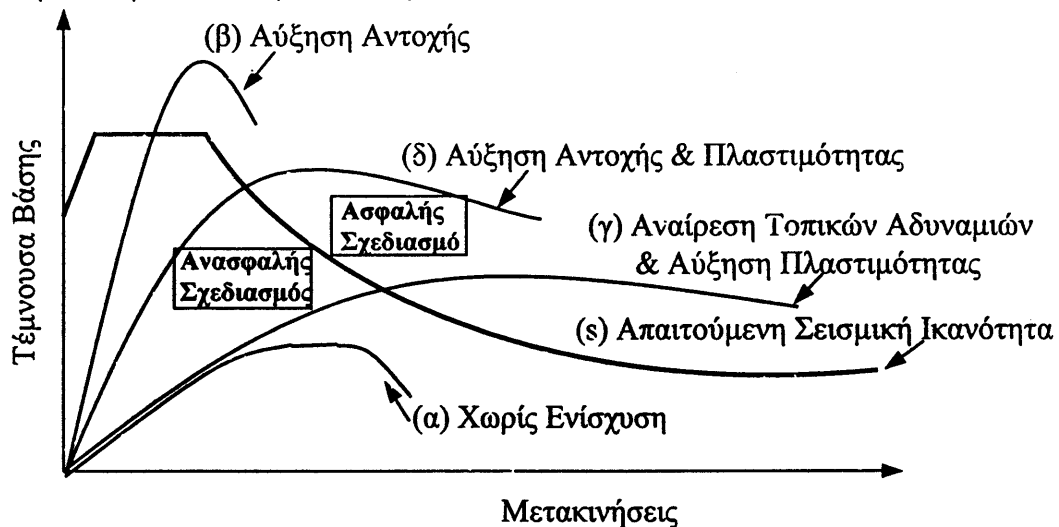
Η καμπύλη (α) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής πριν την ενίσχυση.

Η καμπύλη (β) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν επιτυγχάνεται η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του φορέα.

Η καμπύλη (γ) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν αναιρούνται πρώτοι τρόποι αστοχίας και αυξάνεται η πλαστιμότητα του φορέα.

Η καμπύλη (δ) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν συγχρόνως επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας του φορέα.

Η επιλογή της καταλληλότερης στρατηγικής ενίσχυσης καθώς και της μεθόδου (και των επιμέρους κατασκευαστικών τεχνικών) που θα ακολουθηθεί, δεν είναι πάντα εύκολη. Αρχικά χρειάζεται να αξιολογηθούν όλες οι εναλλακτικές διαδικασίες, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες του έργου και ακόμη νομικούς, πολεοδομικούς, και άλλους τυχόν περιορισμούς. Στη συνέχεια θα πρέπει να αξιολογηθούν άλλοι σημαντικοί παράγοντες όπως το κόστος και η διάρκεια της επέμβασης, το μέγεθος της ενόχλησης των ενοίκων, και η διαθεσιμότητα κατάλληλου εξειδικευμένου προσωπικού (ΤΕΕ, 2001).



Σχήμα 1. Στρατηγικές ενίσχυσης

Διάφορες μέθοδοι και τεχνικές χρησιμοποιούνται σήμερα στην πράξη για την αντισεισμική ενίσχυση μίας κατασκευής ως σύνολο. Ειδικότερα όσον αφορά τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, θα μπορούσε κανείς να διακρίνει έξι κύριες μεθόδους επέμβασης, ανάλογα με το είδος των πρόσθετων στοιχείων που χρησιμοποιείται σε κάθε μέθοδο. Ένα πλήθος εναλλακτικών τεχνικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια κάθε μίας από αυτές τις μεθόδους. (Δρίτσος, 2001, C.E.B. Bul.162, 1983, FEMA-356, 2000, Sugano, 1996), ενώ συχνά είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός μεθόδων ή επί μέρους τεχνικών έτσι ώστε να προκύψει η βέλτιστη τεχνο-οικονομική λύση.

Οι μέθοδοι αυτές είναι:

(α) Η κατασκευή τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού της κατασκευής (Σχ.2α) που στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής. Η μέθοδος εφαρμόζεται επίσης για να διορθωθούν σφάλματα σχεδιασμού που σχετίζονται με τη μόρφωση του φορέα και ειδικότερα όταν διαπιστώνεται έντονη ασυμμετρία κατανομής δυσκαμψίας ή αντοχής καθ' ύψος ή εκκεντρότητα δυσκαμψίας σε κάτοψη.

Συνήθως χρησιμοποιούνται τοιχώματα από οπλισμένο (έγχυτο ή εκτοξευόμενο) σκυρόδεμα κατασκευαζόμενα στον τόπο του έργου. Εναλλακτικά, για ηπιότερες επεμβάσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels), είτε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτόπλινθους ή τσιμεντοπλίνθους.

Στις περιπτώσεις που επιδιώκεται μία περισσότερο πλάσטיμη συμπεριφορά της κατασκευής, η σύνδεση γίνεται μόνο στις δοκούς, δηλαδή στο πάνω και κάτω μέρος του τοιχώματος, ενώ στα

πλάγια, μεταξύ του τοιχώματος και των υποστυλωμάτων δεν γίνεται σύνδεση και αφήνεται ένα μικρό κενό. Στη περίπτωση προσθήκης τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα η θεμελίωση των νέων τοιχωμάτων συνδέεται πάντοτε με την υπάρχουσα θεμελίωση

Επίσης επισημαίνεται ότι στη συνήθη περίπτωση σύνδεσης των νέων τοιχωμάτων με τα υποστύλωματα, τα τελευταία αποτελούν πλέον τα άκρα ενός νέου τοιχώματος όπου προφανώς αναμένεται αυξημένη ένταση. Ως εκ τούτου ιδιαίτερα συνίσταται όπως τα άκρα του νέου τοιχώματος επεκτείνονται σε ένα μανδύα γύρω από τα υποστύλωματα, ενισχύοντας έτσι και αυτήν την περιοχή.

Κρίσιμο σημείο εφαρμογής της μεθόδου είναι η εξασφάλιση της μεταφοράς των οριζοντίων δράσεων στα νέα τοιχώματα. Απαιτείται δηλαδή έλεγχος στις στάθμες των ορόφων ότι οι δοκοί που συντρέχουν στο τοίχωμα (με διεύθυνση τον ισχυρό άξονα του τοιχώματος) έχουν επαρκή διαμήκη οπλισμό για τη μεταφορά των οριζοντίων δράσεων του ορόφου. Αν ο οπλισμός αυτός είναι ανεπαρκής η ενίσχυση περιλαμβάνει και την προσθήκη νέων οριζοντίων στοιχείων σύνδεσης.

Ένας τρόπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτήν τη σύνδεση είναι ο εξής:

Αρχικά νέες οριζόντιες διαμήκεις ράβδοι οπλισμού αγκυρώνονται στο νέο τοίχωμα στις στάθμες των ορόφων με διεύθυνση τον ισχυρό άξονα του τοιχώματος. Στη συνέχεια οι οπλισμοί αυτοί συγκολλούνται επάνω σε ισχυρές μεταλλικές πλάκες που έχουν αγκυρωθεί πάνω στις δοκούς, που συντρέχουν στο τοίχωμα και έχουν την ίδια ως άνω διεύθυνση. Τελικά οι οπλισμοί καλύπτονται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μετά από κατάλληλη προεργασία (εκτράχυνση και καθαρισμό) της επιφάνειας της δοκού.

Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο έλεγχος που απαιτείται για την επάρκεια της αγκύρωσης των νέων ράβδων οπλισμού στον υφιστάμενο φορέα. Επίσης ειδικά μέτρα λαμβάνονται πάντοτε για την εξασφάλιση της συνέχειας στις διεπιφάνειες παλαιού και νέου σκυροδέματος με κατάλληλους διατμητικούς συνδέσμους. Συνήθως χρησιμοποιούνται μηχανικά ή χημικά χαλύβδινα βλήτρα αφού προηγουμένως εκτραχυνθεί και καθαριστεί η επιφάνεια των παλαιών στοιχείων.

Ο έλεγχος που γίνεται στις διεπιφάνειες πρέπει να εξασφαλίζει ότι η διατμητική ένταση που αναπτύσσεται σ' αυτές τις διατομές μπορεί να αναληφθεί μέσω των μηχανισμών ανάληψης φορτίου που θα αναπτύξει η σύνδεση. Η εκτίμηση του διατμητικού φορτίου της διεπιφάνειας συνήθως γίνεται θεωρώντας μονολιθική σύνδεση του νέου τοιχώματος με το πλαίσιο, δηλαδή αγνοείται η ολίσθηση μεταξύ των δύο στοιχείων. Πάντως πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ακόμα και όταν οι σύνδεσμοι μεταξύ τοιχώματος και περιβάλλοντος πλαισίου είναι λίγοι, και επαρκούν απλώς και μόνο να διατηρούν το τοίχωμα στη θέση του, η συνεισφορά του τοιχώματος εξακολουθεί να είναι σημαντική.

Δύο κατασκευαστικά θέματα που αφορούν τη σύνδεση των τοιχωμάτων με τα περιβάλλοντα πλαίσια απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή.

Το πρώτο πρόβλημα οφείλεται στα αποτελέσματα της συστολής ξήρανσης του νέου σκυροδέματος, και εκδηλώνεται με ρηγματώση της διεπιφάνειας, εκεί όπου το υψηλότερο τμήμα του τοιχώματος εφάπτεται στον πυθμένα της δοκού του πλαισίου. Εδώ η συστολή ξήρανσης αντιμετωπίζεται συνήθως με σκυρόδεμα ειδικής σύνθεσης, όπου έχουν χρησιμοποιηθεί ειδικά πρόσμικτα.

Εναλλακτικά, πολλές φορές το τοίχωμα σκυροδετείται μέχρι ύψος 20cm περίπου χαμηλότερα από τον πυθμένα της δοκού και μετά πάροδο ικανού χρόνου από την ημέρα σκυροδέτησης, συμπληρώνεται το υπόλοιπο (δηλαδή το τμήμα του τοιχώματος κοντά στον πυθμένα της δοκού) με εποξειδικό ή πολυεστερικό κονίαμα. Μερικές φορές ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες του έργου το τοίχωμα μπορεί να σκυροδετηθεί μέχρι ύψος 5-7 mm χαμηλότερα από τον πυθμένα της δοκού, οπότε πλέον το κενό συμπληρώνεται με ρητινοειδή κόλλα χρησιμοποιώντας την τεχνική των ρητινεύσεων.

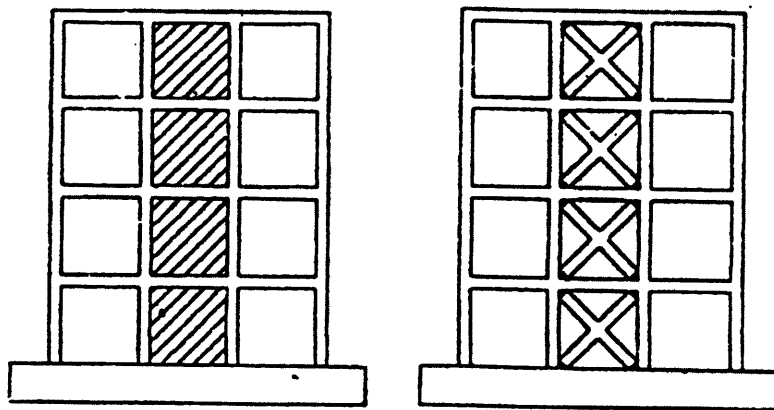
Το δεύτερο πρόβλημα αφορά μόνο την περίπτωση των έγχυτων τοιχωμάτων και ειδικότερα τη δυσκολία σκυροδέτησης του υψηλότερου τμήματος του τοιχώματος λόγω ανεπαρκούς πρόσβασης

από την κορυφή. Γι' αυτό η χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αποτελεί έναν πρόσθετο λόγο προτίμησης.

Κατασκευαστικά θέματα της παραπάνω τεχνικής παρουσιάζονται αλλού (Δρίτσος, 2001).

Μερικές φορές η ενίσχυση με πρόσθετα τοιχώματα μπορεί να γίνει εξωτερικά του φορέα. Συχνά αυτό οφείλεται σε λειτουργικούς λόγους, όπως π.χ. σε περιπτώσεις που στα επιλεγμένα πλαίσια του φορέα προϋπάρχουν τοιχοπληρώσεις των οποίων η διατήρηση κρίνεται απαραίτητη. Όμως σ' αυτήν την περίπτωση απαιτούνται πρόσθετα μέτρα εξασφάλισης της μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των νέων τοιχωμάτων και του υφισταμένου φορέα. Εξάλλου, στην περίπτωση που απαιτείται η διατήρηση των τοιχοπληρώσεων, η ενίσχυση μπορεί να γίνει με τη μορφή μονόπλευρων ή αμφίπλευρων μανδυνών από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αποφεύγοντας έτσι τη χρήση ξυλοτύπου.

(β) Η κατασκευή δικτυωτών συστημάτων εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού της κατασκευής (Σχ.2β) που στοχεύει σε μέτρια αύξηση της αντοχής και κυρίως σε αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας της κατασκευής.



Σχήμα 2. (α) Τοιχώματα εντός πλαισίων (β) Δικτυωτά συστήματα

Τα συστήματα αυτά συνήθως είναι μεταλλικά και σπανίως είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα, δεδομένου ότι η δυνατότητα ανελαστικής παραμόρφωσης των μεταλλικών στοιχείων προσφέρει ένα σημαντικό παράγοντα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας.

Χρησιμοποιείται με παρόμοιο τρόπο όπως στις μεταλλικές κατασκευές και εφαρμόζεται εύκολα σε βιομηχανικούς χώρους και σε ισόγειους μαλακούς ορόφους κτιρίων. Έχοντας το πλεονέκτημα του μικρού ιδίου βάρους και της ταχύτητας κατασκευής χωρίς να εμποδίζεται ο φωτισμός των χώρων, η τεχνική τυγχάνει ευρείας εφαρμογής σε χώρες υψηλής σεισμικότητας (Sugano et al, 1995).

Συνίσταται όπως η επαφή στο φέροντα οργανισμό της κατασκευής γίνεται με συνεχή σύνδεση ενός μεταλλικού πλαισίου επί του οποίου συνδέονται οι ράβδοι του δικτυώματος. Εναλλακτικά και εφόσον η παραπάνω διαδικασία δεν είναι εύκολο να εφαρμοστεί, οι ράβδοι του δικτυώματος προσαρμόζονται με ειδικές διατάξεις, απευθείας επάνω στο φέροντα οργανισμό (CEB Bul. 162, 1983). Πολλές φορές η εφαρμογή γίνεται εξωτερικά των πλαισιωμάτων της κατασκευής για κατασκευαστική διευκόλυνση, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που προϋπάρχουν τοιχοπληρώσεις εντός των πλαισίων. Διάφορες διατάξεις δικτυωμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη όπως π.χ. με σχήμα K, ρόμβου ή χιαστί διαγωνίων που είναι και η πλέον συνήθης και συχνά αποτελεσματικότερη διάταξη (CEB Bul. 162, 1983).

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην αξιολόγηση της ανακατανομής της έντασης στο φορέα. Νέα εντατικά μεγέθη εισάγονται πλέον στο φορέα ιδιαίτερα στα στοιχεία του περιβάλλοντος πλαισίου. Επαρκής αντοχή των κόμβων (δοκών-υποστυλωμάτων) είναι απαραίτητη, επειδή αποτελούν τις περιοχές αλληλεπίδρασης του παλαιού φορέα με τα νέα στοιχεία. Πιθανή ανεπάρκεια των κόμβων συνεπάγεται την τροποποίηση της κατασκευαστικής διάταξης σύνδεσης των μεταλλικών στοιχείων στο φέροντα οργανισμό της κατασκευής, έτσι ώστε να περιλαμβάνονται στην ενίσχυση και οι κόμβοι.

(γ) Η κατασκευή τοιχωμάτων-πτερυγίων από οπλισμένο σκυρόδεμα σε συνέχεια και σύνδεση με υπάρχοντα υποστυλώματα της κατασκευής, που στοχεύει σε μέτρια αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας και σε βελτίωση της πλαστιμότητας της κατασκευής.

(δ) Η προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων στην κατασκευή, που στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας, αντοχής και πλαστιμότητας της κατασκευής.

(ε) Η επιλεκτική ενίσχυση αδύναμων στοιχείων του φορέα που στοχεύει στην αποφυγή πρόωρων αστοχιών και στην αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής. Συχνά συνοδεύεται με κατασκευή μανδύων σε κατακόρυφα στοιχεία της κατασκευής, από ινοπλισμένα πολυμερή ή χαλύβδινα στοιχεία. Αν απαιτείται και μικρή αύξηση της αντοχής της κατασκευής, η μέθοδος περιλαμβάνει και την κατασκευή μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η αξιολόγηση των κρίσιμων αδυναμιών του φορέα και η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής επέμβασης είναι πρωταρχικής σημασίας για την επιτυχία της προσπάθειας. Συχνά η έλλειψη γνώσης του αντικειμένου οδηγεί σε ανεπιτυχείς επιλογές.

Μια ενδιαφέρουσα στρατηγική για τον σχεδιασμό μιας λύσης αυτής της κατηγορίας με χρήση μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή μπορεί να αναζητηθεί αλλού (Tastani & Pantazopoulou, 2002, Aschheim, 2000).

Εδώ απλώς επισημαίνονται, μερικά θέματα, πρακτικού ενδιαφέροντος, που μπορεί να βοηθήσουν στην αποτροπή εσφαλμένων επιλογών.

- (1) Η ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιξη (χρησιμοποιώντας ινοπλισμένα πολυμερή ή μεταλλικούς μανδύες) δεν προσφέρεται για εύκαμπτες κατασκευές όπου η αστοχία ελέγχεται από τις μετακινήσεις. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η ενίσχυση πρέπει να στοχεύει πρωταρχικά στην αύξηση της δυσκαμψίας.
- (2) Δεν προσφέρεται για αύξηση της αντοχής σε κάμψη, των κατακόρυφων στοιχείων μιας κατασκευής, η χρήση της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού ή ινοπλισμένων πολυμερών.
- (3) Η εφαρμογή περίσφιξης (με ινοπλισμένα πολυμερή ή με χαλύβδινα στοιχεία), σε υποστυλώματα κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής, αυξάνει την πλαστιμότητα και την αντοχή σε τέμνουσα και περιορίζει την ολισθήση ματισμένων ράβδων όταν το μήκος μάτισης τους είναι ανεπαρκές. Όμως δεν αναμένεται σημαντική προσφορά σε στοιχεία ορθογωνικής διατομής με μεγάλο λόγο πλευρών (Antoniades et al, 2003) ή διατομής L (Βιντζηλαίου, 2003).
- (4) Στην περίπτωση υποστυλωμάτων με οξειδωμένους οπλισμούς, η ενίσχυση με μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή προφανώς προστατεύει τους οπλισμούς από παραπέρα οξείδωση (όπως άλλωστε και η επάλειψη του στοιχείου με εποξειδική κόλλα). Όμως πιθανότατα δεν θα μπορέσει να παρεμποδίσει την πρόωρη αστοχία του στοιχείου, αν η οξείδωση των οπλισμών είναι σε προχωρημένο στάδιο.
- (5) Η κατασκευή μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή σε κατακόρυφα μέλη, ενισχύει το στοιχείο σε διάτμηση και πλαστιμότητα, συχνά όμως δεν μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική αντίσταση στον λυγισμό των κατακόρυφων ράβδων (Plakandaras et al, 2001). Επομένως, αν σε ένα υφιστάμενο στοιχείο, οι συνδετήρες είναι αραιοί, η αστοχία πιθανότατα ελέγχεται από πρόωρο λυγισμό των διαμήκων ράβδων. Στην περίπτωση αυτή η τοπική συγκέντρωση τάσεων, που θα προέλθει από την θλιβόμενη ράβδο στο μεσοδιάστημα των συνδετήρων, θα οδηγήσει σε τοπική αστοχία του μανδύα. Ως εκ τούτου, αν ο λυγισμός των διαμήκων ράβδων αξιολογείται ως η κρίσιμότερη πιθανή αιτία

αστοχίας του υποστυλώματος, προτιμότερη επιλογή ενίσχυσης του στοιχείου είναι η κατασκευή μεταλλικού κλωβού, ή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

- (6) Σε περιπτώσεις μικρού μήκους αλληλοκάλυψης των ράβδων οπλισμού (σε περιοχές “ματισμάτων” με κοντές αναμονές), η περίσφιγξη του στοιχείου με υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή ή με μεταλλικούς μανδύες βελτιώνει σημαντικά την αντοχή και την πλαστιμότητα της περιοχής. Όμως, σε αρκετές περιπτώσεις, έστω αν και βελτιώνεται η συμπεριφορά, είναι τελικά ανέφικτο να αποτραπεί η ολίσθηση των ράβδων (Harris et al, 2003). Ως εκ τούτου όταν το μήκος μάτισης των ράβδων είναι μικρότερο από το 30% του προβλεπόμενου από τον Κανονισμό, είναι προτιμότερο να επιλεγεί η λύση της ηλεκτροσυγκόλλησης των ράβδων. Επιπρόσθετα επισημαίνεται, ότι η περίσφιγξη, προφανώς, δεν μπορεί να προσφέρει σημαντικά στις ράβδους ορθογωνικών υποστυλωμάτων που δεν βρίσκονται κοντά σε γωνία της διατομής.
- (7) Η εφαρμογή επικολλητών φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) για ενίσχυση ασθενών κόμβων (δοκών-υποστυλωμάτων), αποδεικνύεται πειραματικά ιδιαίτερα αποτελεσματική (Ανωνόπουλος, 2001). Όμως, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται δύσκολα στην πράξη λόγω της παρουσίας των πλακών και των εγκαρσίων δοκών. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση εφαρμογής επικολλητών χαλύβδινων ελασμάτων. Άλλες τεχνικές, όπως η κατασκευή μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα ή η ανακατασκευή του κόμβου με προσθήκη οπλισμών εντός του, δείχνουν κατασκευαστικά προσφορότερες (Tsonos, 2001). Πάντως για ελαφρές βλάβες σε κόμβους η επισκευή με την τεχνική των ρητινενέσεων φαίνεται να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική (Καραγιάννης κ.α. , 1996).

(στ) Η ενσωμάτωση στην κατασκευή συστημάτων απορρόφησης ενέργειας, ιξώδους ή υστερητικής συμπεριφοράς, που στοχεύει στη μείωση της εισαγόμενης σεισμικής έντασης της κατασκευής.

Πρέπει πάντως να επισημανθεί, ότι ισχυρές επεμβάσεις (όπως είναι οι τέσσερις πρώτες περιπτώσεις στις οποίες προβλέπεται η προσθήκη νέων στοιχείων που προσαρμόζονται πάνω στην υφιστάμενη κατασκευή), αλλάζουν ριζικά το αρχικό στατικό σύστημα της κατασκευής και γι' αυτό θα πρέπει να αποφασίζονται με σύνεση. Απαιτείται πλέον ένας εξολοκλήρου νέος σχεδιασμός της κατασκευής που πιθανότατα θα απαιτήσει εκτεταμένες επεμβάσεις σε πολλές περιοχές της κατασκευής, όπως π.χ. στη θεμελίωση. Απαιτούνται ως εκ τούτου, ειδικοί έλεγχοι στις θέσεις αλληλεπίδρασης, που θα επιβεβαιώνουν τις ικανότητες των συνδέσεων για τη μεταφορά δυνάμεων μεταξύ των νέων στοιχείων και της υφιστάμενης κατασκευής. Η διαδικασία εφαρμογής των παραπάνω μεθόδων καθώς και τα ειδικότερα προβλήματα που ανακύπτουν μπορούν να αναζητηθούν αλλού (Δρίτσος 2001, UNIDO 1983).

Είναι προφανές ότι ο καθορισμός του απαραίτητου πλήθους και της σωστής θέσης των νέων στοιχείων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο αποτελεσματικότητας της μεθόδου. Στη μόρφωση του νέου φορέα, λαμβάνονται οπωσδήποτε υπόψη οι περιορισμοί που προβλέπονται στον αντισεισμικό κανονισμό για την αποφυγή απότομης μεταβολής της δυσκαμψίας καθ' ύψος της κατασκευής. Σε συνήθη έργα ο μηχανικός συχνά αποφασίζει για τα παραπάνω κυρίως με βάση την εμπειρία του και με αρκετές απλουστεύσεις στο προσομοίωμα ανάλυσης του φορέα. Σε περιπτώσεις όμως ειδικών απαιτήσεων η απόφαση πρέπει να βασίζεται σε μία ακριβέστερη αναλυτική εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του φορέα λαμβάνοντας υπόψη τη συμβολή των υφισταμένων μη φερόντων στοιχείων της κατασκευής (π.χ. τοιχοπληρώσεων) και οπωσδήποτε στοιχείων που συχνά αγνοούνται κατά την ανάλυση (π.χ. κλιμακοστασίων).

Στο Σχήμα 3 (Sugano, 1996) και στον Πίνακα 1 (CEB. Bul.162, 1983) παρουσιάζονται αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες, που αφορούν μία σειρά από μεθόδους και τεχνικές που διερευνήθηκαν για την ενίσχυση δίστυλων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί ότι μεγάλες αυξήσεις αντοχής και δυσκαμψίας συνοδεύονται συνήθως από μικρές ανελαστικές παραμορφώσεις της κατασκευής, και το αντίστροφο ισχύει για μικρές αυξήσεις αντοχής.