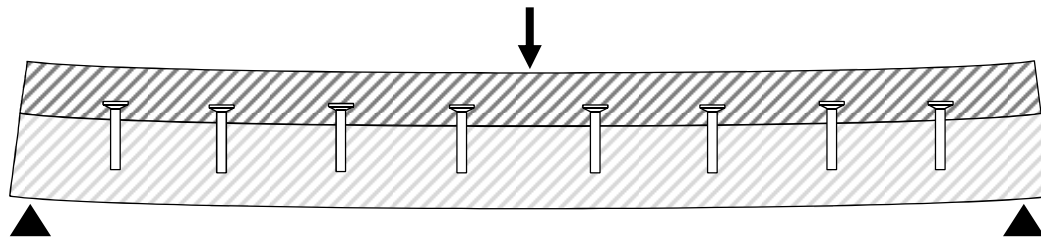


Διεπιφάνειες Ωπλισμένου Σκυροδέματος υπό Ανακυκλιζόμενες Δράσεις

Ε.Βιντζηλαίου και Β.Παλιεράκη
Εργαστήριο Ω.Σ/ΕΜΠ

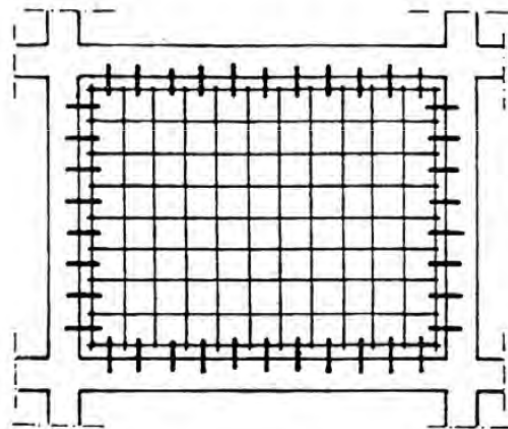
Η σπουδαιότητα των διεπιφανειών μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος για την αποδοτικότητα πολλών τεχνικών (προ- ή μετα-σεισμικής) ενίσχυσης δομημάτων Ω.Σ.



Ενίσχυση γέφυρας

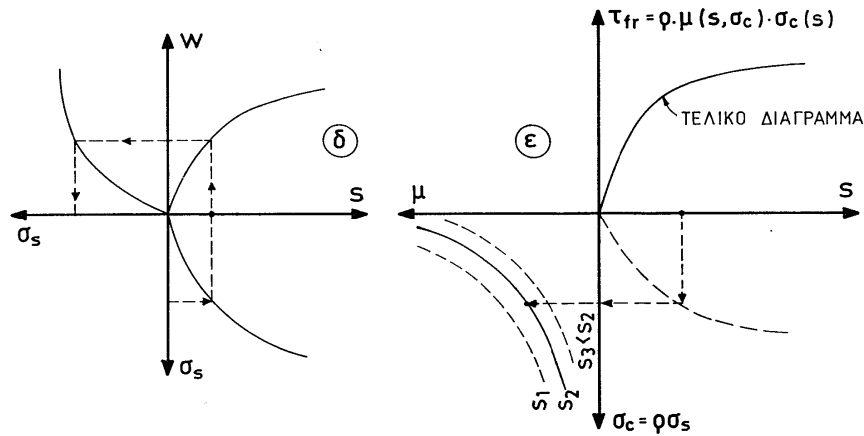
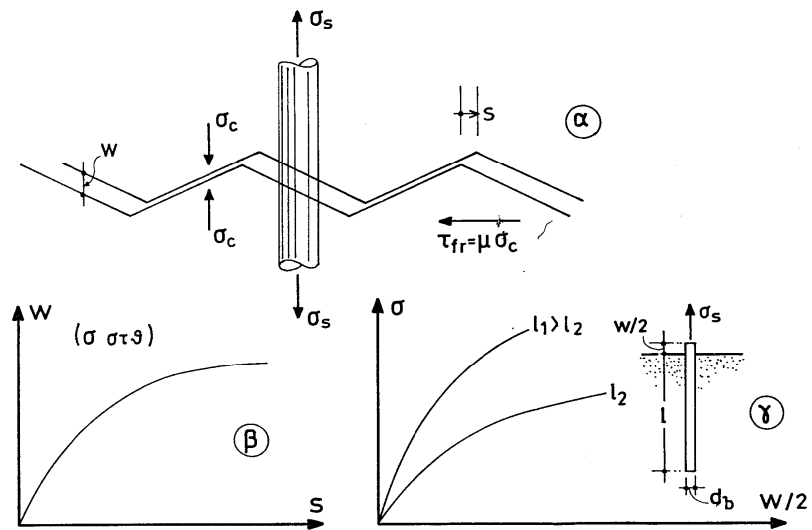


Μανδύες
υποστυλωμάτων

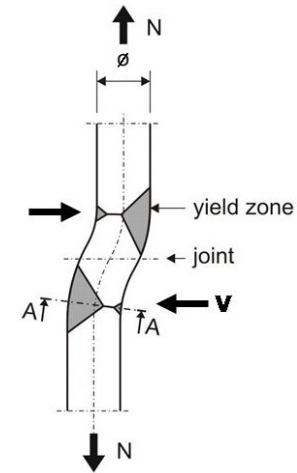


Εμφατινόμενο τοίχωμα
και ενδεχόμενη ενίσχυση
σύνδεσης με πλάκα Ω.Σ.





Μηχανισμός σφικτήρα



Δράση βλήτρου

Τριβή λόγω εξωτερικής θλίψης

Παρά ταύτα, ...

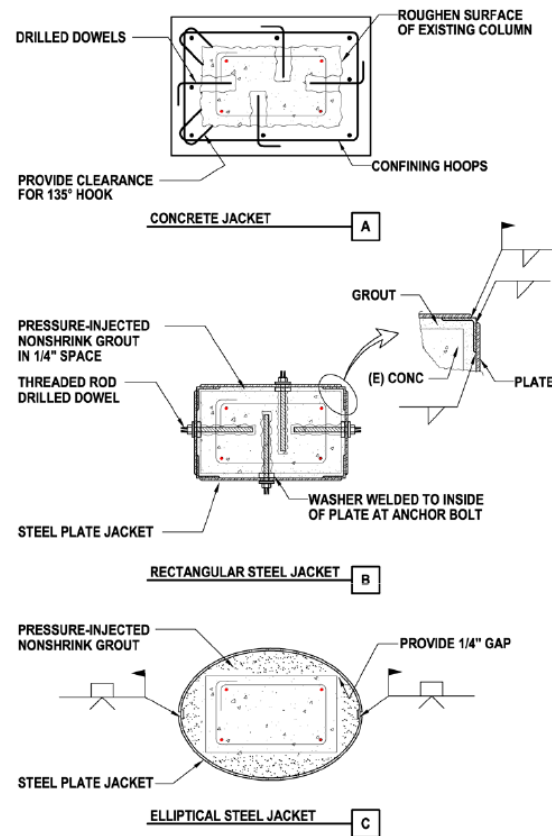


Figure 12.4.5-1: Concrete and Steel Overlays for Concrete Columns

FEMA547

Ως προς τον σχεδιασμό των επεμβάσεων, το κείμενο αναφέρει ότι «πρέπει να προβλέπονται επαρκή βλήτρα μεταξύ του νέου και του παλαιού σκυροδέματος, ώστε να εξασφαλίζεται **μονολιθική συμπεριφορά** του στοιχείου». **Δεν περιλαμβάνονται οδηγίες** για τον υπολογισμό των απαιτούμενων συνδέσμων.

Η μέθοδος σχεδιασμού των διεπιφανειών κατά τον ACI 318 (2014) (α) λαμβάνει υπ' όψη μόνον την λειτουργία σφικτήρα (αμελεί την δράση βλήτρου), (β) προϋποθέτει μεγάλη τραχύτητα της διεπιφάνειας (6,35mm) και (γ) προϋποθέτει αγκύρωση του οπλισμού εκατέρωθεν της διεπιφάνειας τόση, ώστε ο οπλισμός να διαρρέει. Προφανώς, δεν καλύπτεται η περίπτωση διεπιφανειών σε επισκευαζόμενα ή ενισχυόμενα στοιχεία.

Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3

§8.6.2.2 (αναφερόμενη σε μανδύες υποστυλωμάτων και τοιχίων):
Μία από τις προσεγγιστικές απλοποιητικές παραδοχές για τον σχεδιασμό είναι και η ακόλουθη: «Το στοιχείο που ενισχύεται μέσω μανδύα Ω.Σ. συμπεριφέρεται μονολιθικά, με την εξασφάλιση πλήρους συνέχειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος»

Ούτε ο ΕΚ8-3 περιλαμβάνει μέθοδο σχεδιασμού των διεπιφανειών από τις οποίες απαιτείται να εξασφαλίζουν την μονολιθικότητα των στοιχείων, και μάλιστα, **υπό συνθήκες ανακυκλιζόμενων δράσεων.**

(5) The design shear resistance at the interface for situations without reinforcement across the interface or if the required reinforcement across the interface is sufficiently anchored may be taken as:

$$\tau_{Rdi} = c_{v1} \sqrt{(f_{ck})/\gamma_c} + \mu_v \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu_v \sin \alpha + \cos \alpha) \leq v f_{cd} \quad (8.55)$$

where:

f_{ck} is the smallest compressive strength of the concretes at the interface;

σ_n is the compressive stress over area A_i caused by the minimum external axial force across the interface that acts simultaneously with the shear force. Permanent stresses caused by confinement of surrounding structural parts may be taken into account. When σ_n is tensile, $c_{v1} \sqrt{(f_{ck})/\gamma_c}$ should be taken as 0. When σ_n is compressive, σ_n may not be taken larger than $0,60f_{cd}$;

$\rho = A_s / A_i$;

A_s is the anchored cross sectional area of bonded reinforcement crossing the interface, including ordinary shear reinforcement (if any), with adequate anchorage according to 11.4 at both sides of the interface;

α is defined in Figure 8.15b, and is limited by $35^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$;

c_{v1} and μ_v are factors which depend on the roughness of the interface (see

?

(7) If yielding of the required reinforcement crossing the interface due to insufficient anchorage (e.g. toppings) cannot be provided, the shear resistance is given by:

$$\tau_{Rdi} = c_{v2} \sqrt{(f_{ck})/\gamma_c} + \mu_v \sigma_n + k_t \rho f_{yd} \mu_v + k_f \rho \sqrt{(f_{yd} f_{cd})} \quad (8.56)$$

where:

c_{v2} , k_t , k_f are factors which depend on the roughness of the interface (see Table 8.1 and (5)). When the interface is subjected to tensile forces in perpendicular direction, c_{v2} shall be taken as 0;

μ_v , σ_n as defined in (5).

If the distance of an intersecting reinforcing bar to an edge in the direction of the acting shear force is less than 10ϕ , the coefficient for dowel action of reinforcement should be taken as $k_f = 0$. The interface reinforcement should be anchored for at least $0,5 f_{yd}$ with a minimum length of embedment of 8ϕ if no other methods of anchorage than by straight bars are applied.

Θεωρείται σταθερή συμβολή του σπλισμού (ανεξαρτήτως τραχύτητας-τη εξαιρέσει λείων διεπιφανειών-και ανεξαρτήτως βάθους έμπτυξης) ίση με το 50% του μέγιστου.
Πώς γίνεται η μέτρηση της τραχύτητας;

ΕΚ2. Γίνεται ρητή αναφορά στον MC2010, χωρίς αυτός να ακολουθείται πλήρως. Δεν προβλέπονται τροποποιήσεις για την περίπτωση των σεισμικών δράσεων

le 8.1: Coefficients depending on the roughness of the surface

	Equation 8.55		Equation 8.56		
Surface roughness	c_{v1}	μ_v	c_{v2}	k_t	k_f
very smooth	0,0095	0,5	0	0	1,5
smooth	0,075	0,6	0	0,5	1,1
rough	0,15	0,7	0,075	0,5	0,9
very rough	0,19	0,9	0,15	0,5	0,9
keyed	0,37	0,9	-	-	-

Note: The factors for keyed interfaces shall be applied for the area of each key considering its concrete strength.

(6) The roughness of the concrete interfaces may be classified as follows:

very smooth: a surface cast against steel, plastic or specially prepared wooden moulds;
smooth: a surface with less than 3 mm roughness, e.g. a free surface left without further treatment after compacting;

rough: a surface with at least 3 mm roughness (from peak-to-valley measured at maximum 40 mm spacing), achieved by raking, exposing of aggregate or other methods according to Figure 8.15a;

very rough: a surface with at least 6 mm roughness (from peak-to-valley measured at maximum 40 mm spacing), achieved by raking, exposing of aggregate or other methods according to Figure 8.15a;

keyed: a surface with shear keys complying with Figure 8.15c.

Τα χαρακτηριστικά των διεπιφανειών μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος



Ο οπλισμός είναι μετατοπιζόμενος στο υφιστάμενο σκυρόδεμα (σύνδεση μέσω κατάλληλου υλικού ή χρήση ειδικών αγκυρίων).

Το βάθος έμπληξης (είτε στο παλαιό, είτε στο νέο σκυρόδεμα) υπαγορεύεται από την γεωμετρία του στοιχείου και από το είδος της επέμβασης. Συνήθως η περιορισμένη ενεργοποίηση του οπλισμού.

Διεπιφάνειες τεχνητώς τραχείες. Συνήθως, δυσχερής η τράχυνση μεγάλων διεπιφανειών. Επομένως, μικρότερη συμβολή τριβής, έναντι φυσικών ρωγμών.

Συχνά, περιορισμένες διαστάσεις διατομών. Υπαγορεύουν την διάμετρο και την διάταξη των συνδέσμων, ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες αστοχίες (απόσχιση σκυροδέματος).

fib MC2010 (και Σχέδιο MC2020)

$$\tau_{Rdi} = \underbrace{c_r \cdot f_{ck}^{1/3}}_{\text{Εμπλοκή αδρανών (;;;)}} + \underbrace{\mu \cdot \sigma_n}_{\text{Τριβή λόγω εξωτερικής θλιπτικής τάσης}} + \underbrace{k_1 \cdot \rho \cdot f_{yd} (\mu \cdot \sin a + \cos a)}_{\text{Συμβολή οπλισμού ο οποίος διαπερνά την διεπιφάνεια υπό γωνία "α"}} + \underbrace{k_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}}}_{\text{Συμβολή μηχανισμού βλήτρου}} \leq \underbrace{\beta_c \cdot v \cdot f_{cd}}_{\text{Αντοχή λοξού θλιπτήρα}}$$

Τραχύτητα διεπιφάνειας	c_r	k_1	k_2	β_c	μ	
					$f_{ck} \geq 20$	$f_{ck} \geq 35$
Μεγάλη, $R_t \geq 3.0\text{mm}$	0.2	0.5	0.9	0.5	0.8	1.0
Μέση, $R_t \geq 1.5\text{mm}$	0.1	0.5	0.9	0.5	0.7	
Λεία	0.0	0.5	1.1	0.4	0.6	
Πολύ λεία	0.0	0.0	1.5	0.3	0.5	

Βάση δεδομένων ΕΩΣ/ΕΜΠ: Περιλαμβάνει τα αποτελέσματα 800 περίπου δοκιμών σε διεπιφάνειες μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Οι δοκιμές καλύπτουν ευρύ φάσμα τιμών των παραμέτρων οι οποίες επηρεάζουν την συμπεριφορά.

Από αυτές τις δοκιμές, οι 240 περίπου έχουν εκτελεσθεί υπό ανακυκλιζόμενες δράσεις. Το 1/3 από αυτές, έχουν εκτελεσθεί στο ΕΩΣ/ΕΜΠ.

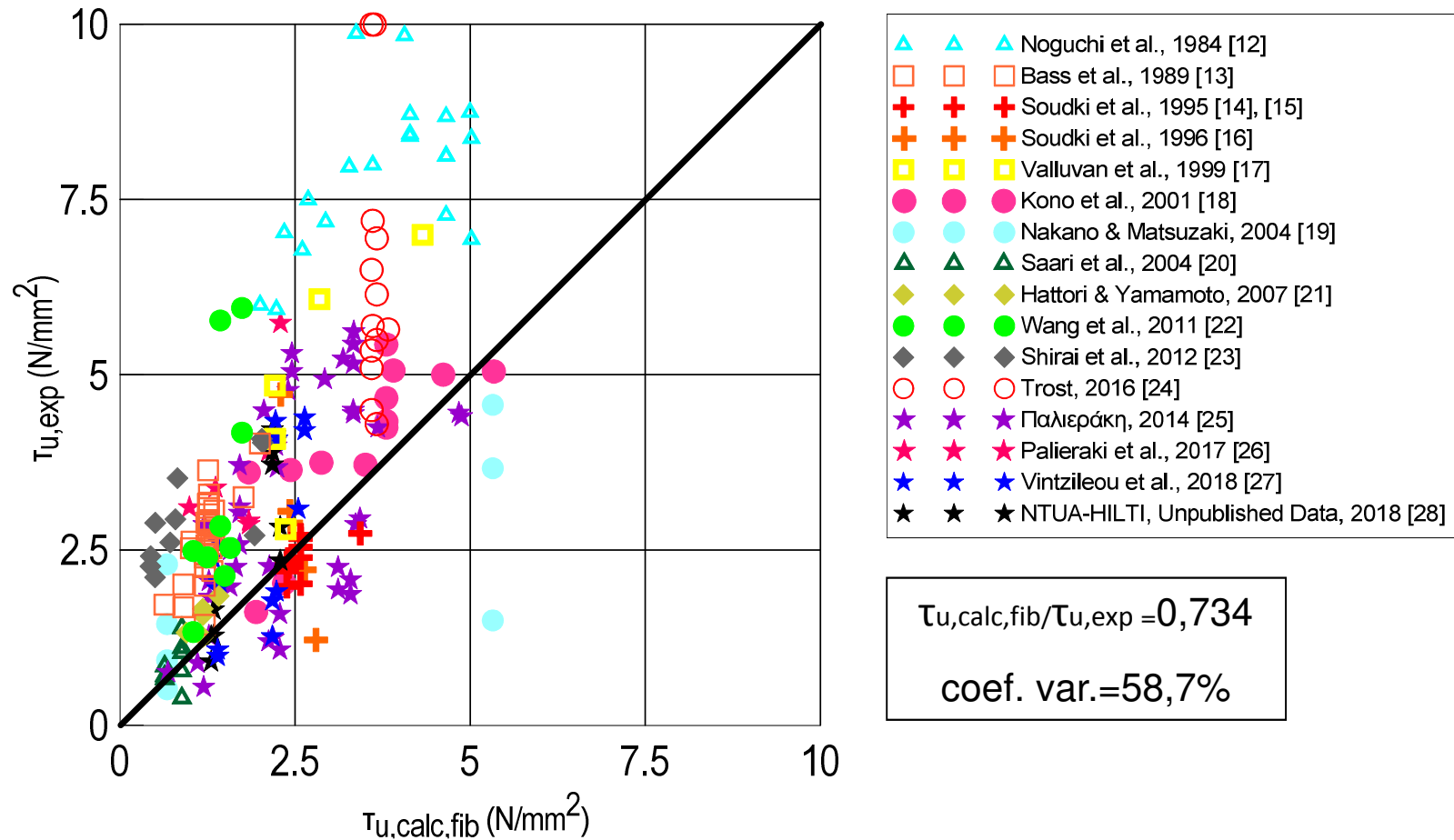
Εμβαδόν διεπιφάνειας: 0,032-0,200m²

Ποσοστό οπλισμού: 0,24-2,00%

Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος: 8,90-112MPa

Όριο διαρροής χάλυβα: 339-989MPa

Ποικιλία ιστοριών φορτίσεως.



Διατμητική αντοχή διεπιφάνειας: Σύγκριση μεταξύ
προβλεπόμενων από τον MC2010 και πειραματικών τιμών.
Ανακυκλιζόμενες δοκιμές.

Τροποποιημένη σχέση (πρόταση προς ενσωμάτωση στον MC2020)

$$\tau_{Rdi} = \mu \cdot \sigma_n + k_1 \cdot \rho \cdot \sigma_s \cdot (\mu \cdot \sin a + \cos a) + k_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}} \leq \beta_c \cdot v \cdot f_{cd}$$

Οι τροποποιήσεις αφορούν:

(α) Την απάλειψη του όρου της «εμπλοκής των αδρανών»

(β) Την συνάρτηση του συντελεστή τριβής με το μέγεθος της θλιπτικής τάσης η οποία δρα στην διεπιφάνεια,

(γ) Τον υπολογισμό της δυνάμενης να επιστρατευθεί εφελκυστικής τάσης στον οπλισμό (λόγω μηχανισμού σφικτήρα), συναρτήσει του διατιθέμενου μήκους έμπηξης των συνδέσμων και,

(δ) Τις τιμές των συντελεστών συμβολής των δυο βασικών μηχανισμών, ώστε να λαμβάνεται υπ' όψη η επιρροή της ανακύκλισης. Τέλος,

(ε) Ορίζεται ελάχιστο μήκος έμπηξης του οπλισμού στο υφιστάμενο σκυρόδεμα, ώστε να αποφεύγονται ψαθυρές μορφές αστοχίας.

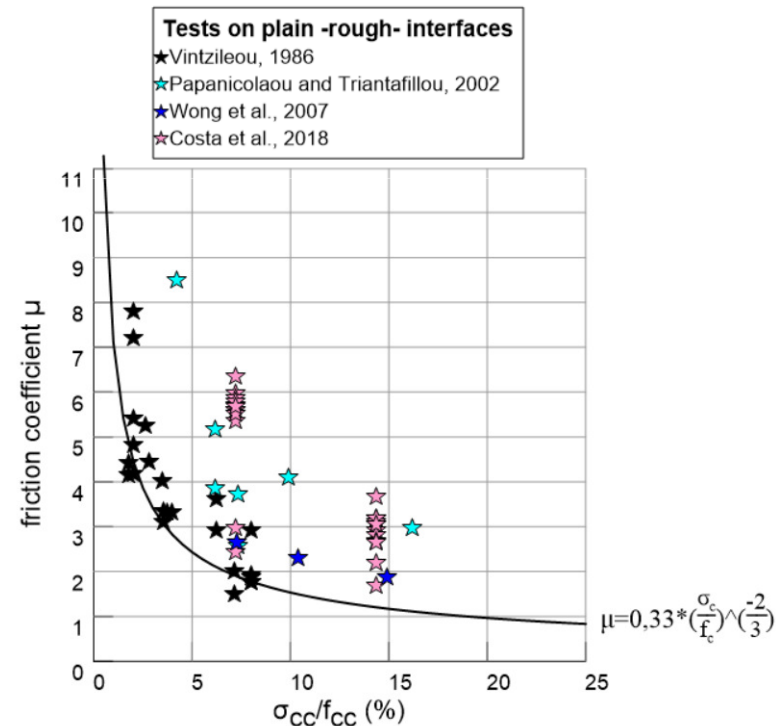
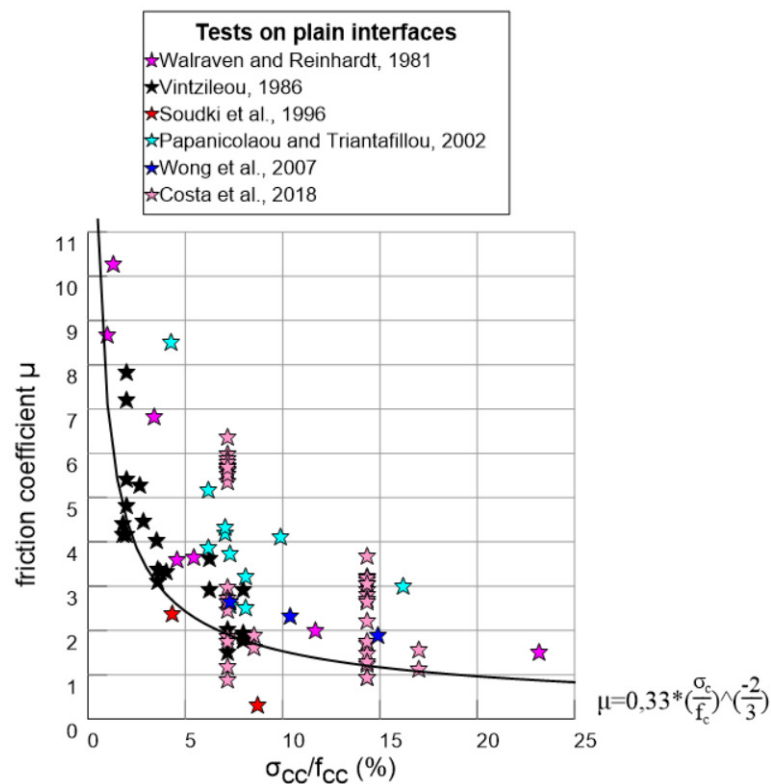


Στο σύνολο των δοκιμών, στα οποία το βάθος έμπηξης των ράβδων ήταν ίσο με 6d, καθώς και σε ικανό πλήθος δοκιμών, όπου το βάθος έμπηξης ήταν 8d, παρατηρήθηκε ΠΡΟΩΡΗ και ΨΑΘΥΡΗ αστοχία σκυροδέματος. Επομένως, ορίζεται ελάχιστο βάθος έμπηξης ίσο με 10d.

$$\tau_{Rdi} = \mu \cdot \sigma_n + k_1 \cdot \rho \cdot \sigma_s \cdot (\mu \cdot \sin a + \cos a) + k_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}} \leq \beta_c \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\mu = 0.33 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{f_{cd}}{(\sigma_c + \sigma_n)} \right)^2}$$

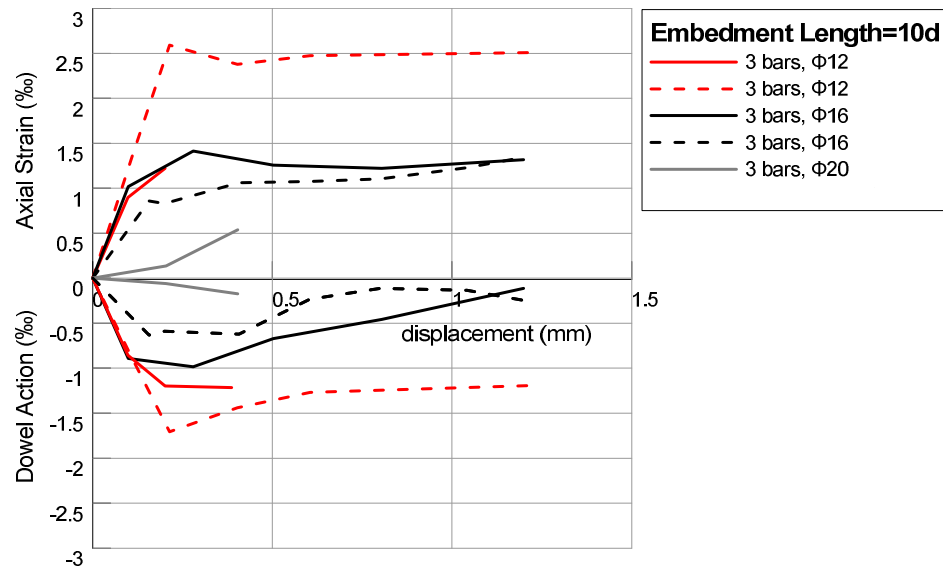
Η εξάρτηση του συντελεστή τριβής από το μέγεθος της ορθής θλιπτικής τάσης



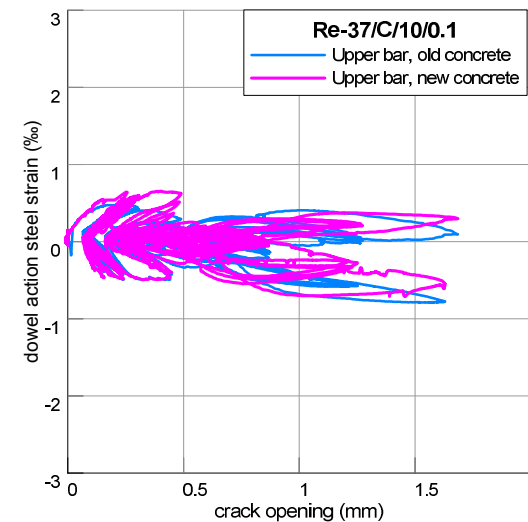
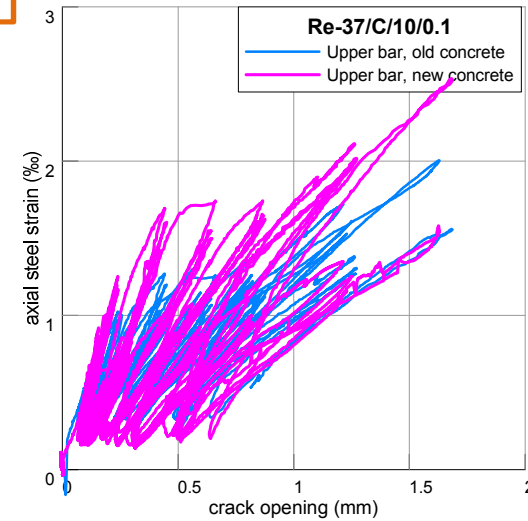
Γίνεται ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων, ώστε να εντοπισθούν οι συνήθως πραγματοποιούμενες τιμές της σ. Στόχος, η απλούστευση της σχέσης υπολογισμού του «μ»

$$\tau_{Rdi} = \mu \cdot \sigma_n + k_1 \cdot \mu \cdot \rho \cdot \sigma_s + k_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}} \leq \beta_c \cdot v \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_c = \frac{l_{emb} f_{yd} A_s}{A_c 0.80 l_b} = \rho \cdot \sigma_s$$

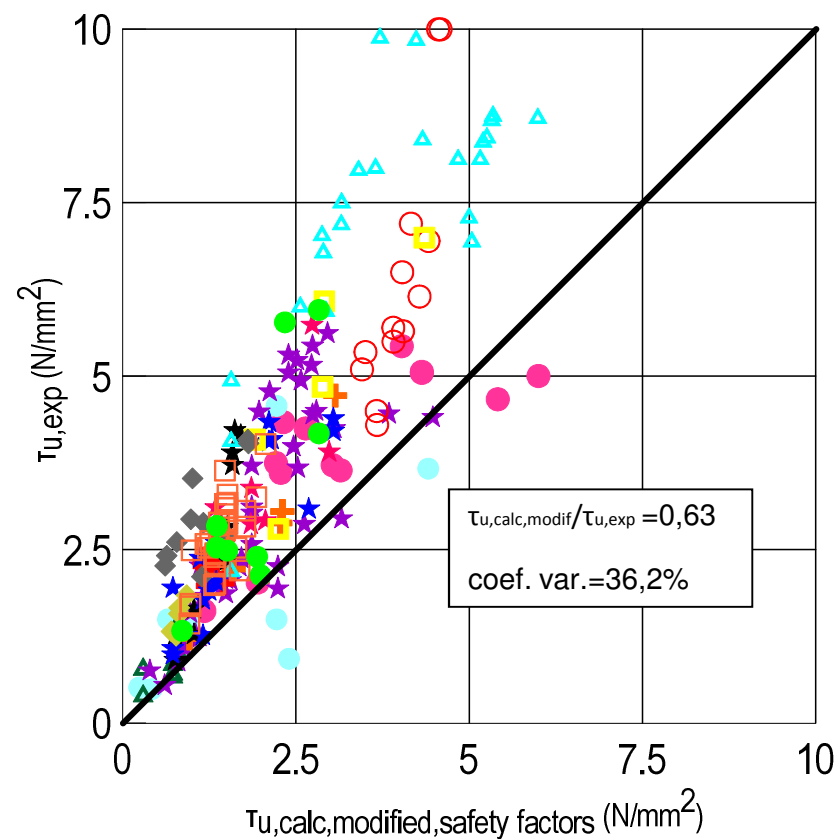
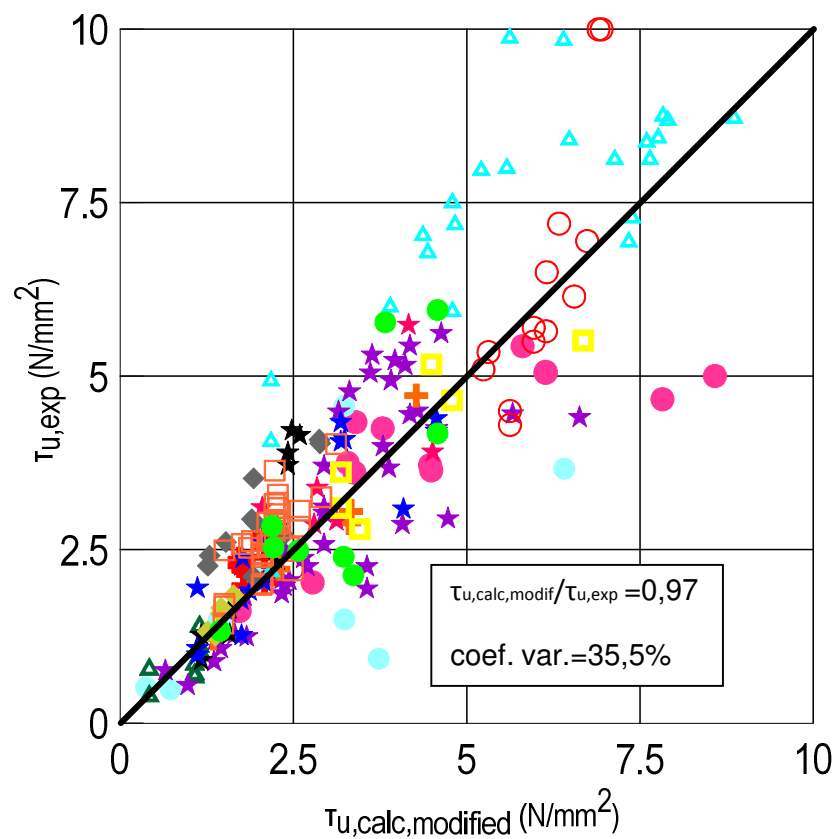


Χάλυβας B500C
($f_y=550\text{MPa}$)

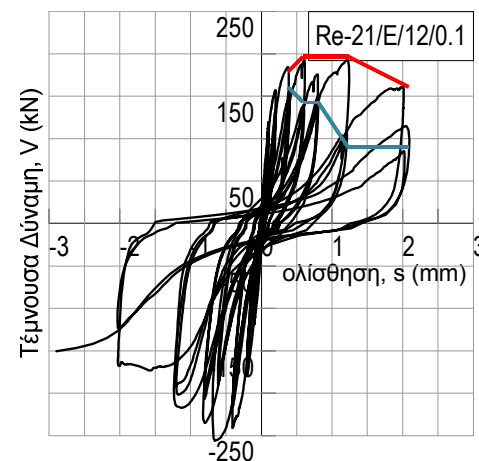


Χαρακτηριστικά διεπιφάνειας	k_1			
	Μονοτονικά	Ανακυκλιζόμενα		
		$l_{emb} > 12d$	$8d \leq l_{emb} \leq 12d$	$6d \leq l_{emb} < 8d$
Μηχανική τράχυνση ($>1.50\text{mm}$), συνήθη σκυροδέματα, χωρίς εξωτερική θλίψη	0.60	0.60	0.40	0.20
Μηχανική τράχυνση ($>1.50\text{mm}$), ελαφροσκυρόδεμα ή σκυρόδεμα υψηλής αντοχής ($> C50/60$), χωρίς εξωτερική θλίψη	0.40	0.40	0.20	0.20
Λεία διεπιφάνεια ($<1.50\text{mm}$), χωρίς εξωτερική θλίψη	0.40	-	0.20	0.20
Τραχεία ($>1.50\text{mm}$), εξωτερική θλίψη	0.70	0.70	0.70	0.70
Λεία ($<1.50\text{mm}$), εξωτερική θλίψη	0.50	-	0.50	-
Το σύμβολο «-» ισχύει για περιπτώσεις, για τις οποίες δεν διατίθενται πειραματικά αποτελέσματα				

Ανηγμένο βάθος έμπτυξης	k_2
$l_{emb}/d > 8$	1.10
$6 \leq l_{emb}/d \leq 8$	$0.825 = 1.10 \cdot 0.75$

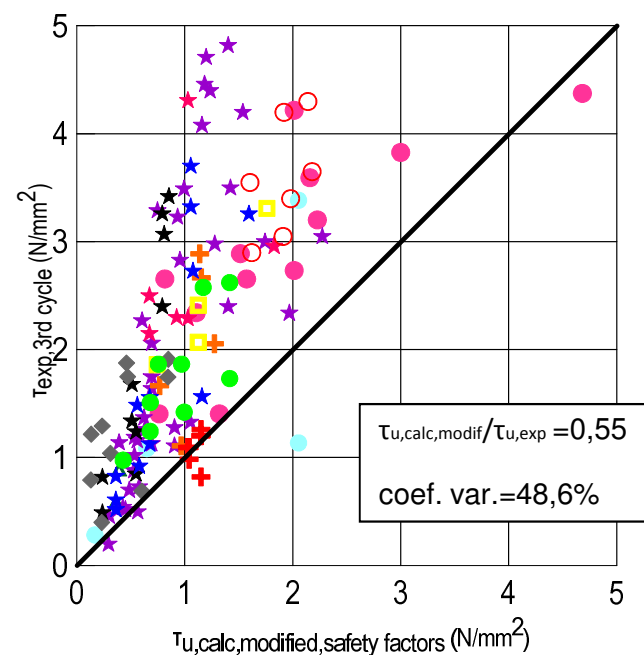
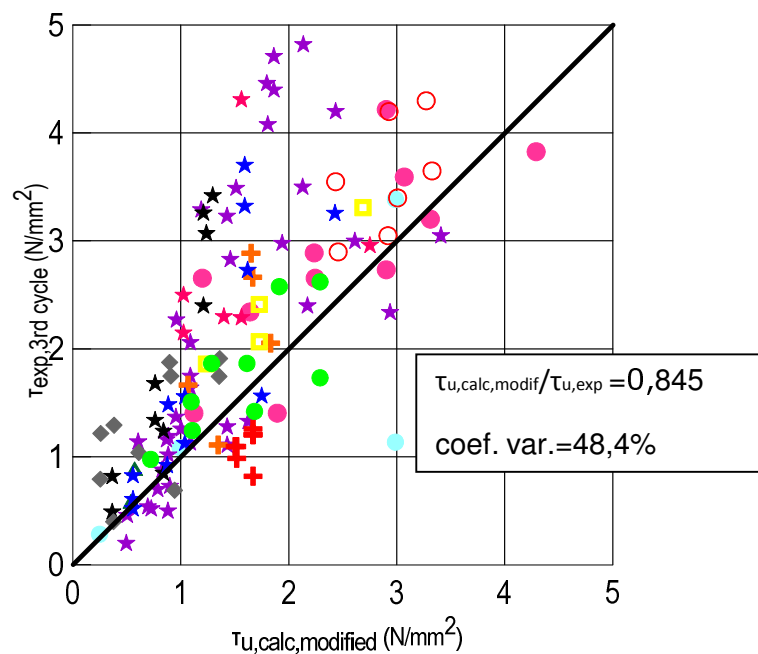


Εφαρμογή τροποποιημένης σχέσης.
Υπολογισμός της μέγιστης αντίστασης του
πρώτου κύκλου φόρτισης.



Χαρακτηριστικά διεπιφάνειας/ Επιβαλλόμενη ολίσθηση όχι μεγαλύτερη από s_u	k_1	
	$l_{emb} \geq 8d$	$6d \leq l_{emb} < 8d$
Μηχανική τράχυνση ($>1.50\text{mm}$), χωρίς εξωτερική θλίψη	0.20	0.10
Λεία διεπιφάνεια ($<1.50\text{mm}$), χωρίς εξωτερική θλίψη	0.10	
Λεία και Τραχεία διεπιφάνεια, με εξωτερική θλίψη $\sigma > 0.05f_c$.	0.40	

k_2 : Οι προηγούμενες τιμές x 0,50



Μειωμένη αντίσταση τρίτου κύκλου

Το θέμα της (τεχνητής) τραχύτητας

Στον MC2010 (όπως και στο σχέδιο του MC2020) προβλέπεται μέτρηση της τραχύτητας με την μέθοδο της άμμου.



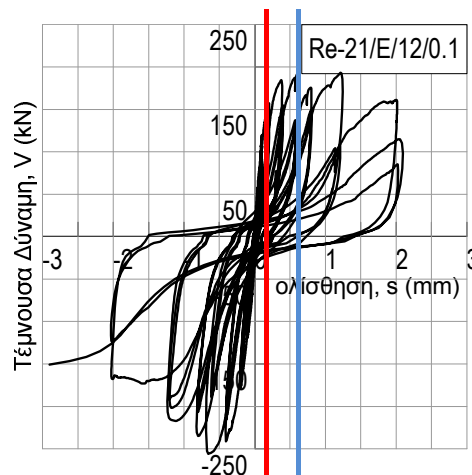
Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί
μόνον σε πρακτικώς οριζόντιες
(άνω) επιφάνειες

Εξ άλλου, φαίνεται ότι η εφαρμογή
αμμοβολής ή υδροβολής είναι
μάλλον σπάνια...

Το θέμα της στάθμης επιτελεστικότητας

Μέσω των σχέσεων που εξετάσθηκαν, υπολογίζεται η μέγιστη διατμητική αντίσταση μιας διεπιφάνειας ή (με άλλα λόγια) δίνεται η δυνατότητα να υπολογισθεί το πλήθος των συνδέσμων που απαιτούνται κατά μήκος μιας λείας ή τραχειάς διεπιφάνειας, ώστε να είναι δυνατή η ασφαλής μεταφορά μιας δεδομένης τέμνουσας δύναμης.

Όμως, για την επιστράτευση της διατμητικής αντίστασης είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση σχετικής ολίσθησης κατά μήκος της διεπιφάνειας. Το μέγεθος της ανεκτής σχετικής ολίσθησης είναι συνάρτηση της στάθμης επιτελεστικότητας η οποία υιοθετείται για τον ανασχεδιασμό του δομήματος. Επομένως, το πλήθος των απαιτούμενων αγκυρίων θα εξαρτάται από το μέγεθος της ανεκτής ολίσθησης.



Για υψηλή στάθμη επιτελεστικότητας, ΔΕΝ είναι δυνατή η αξιοποίηση της μέγιστης διατμητικής αντίστασης την οποία υπολογίσαμε.