

Εύρεση συνεργαζόμενου πλάτους σε υπερβραχείες πλάκες – προβόλους ($\alpha \leq 0,5$) Effective Width in Ultra-short Corbels

Θεόδωρος ΧΡΥΣΑΝΙΔΗΣ-Α¹, Στέργιος ΜΗΤΟΥΛΗΣ-Β², Ιωάννης
ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ-Γ³, Νικόλαος ΠΑΠΑΟΙΚΟΝΟΜΟΥ-Δ⁴, Ιωάννης ΤΕΓΟΣ-Ε⁵

*Λέξεις κλειδιά: Συνεργαζόμενο Πλάτος, Βραχείς Πρόβολοι, Άνοιγμα Διάτμησης,
Πειραματική Έρευνα*

Keywords: Effective Width, Short Corbels, Shear Span, Experimental Research

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η παρούσα εργασία είναι πειραματική και έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της επιρροής του ανοίγματος διάτμησης στο συνεργαζόμενο πλάτος βραχέων και υπερβραχέων πλακών – προβόλων. Το πρόβλημα σχετίζεται με αρκετές εφαρμογές που συναντώνται στη γεφυροποιία, αλλά και στα οικοδομικά έργα. Είναι γνωστόν ότι οι σύγχρονοι κανονισμοί υποδεικνύουν μέσω πινάκων τον καθορισμό του εκάστοτε απαιτούμενου συνεργαζόμενου πλάτους, για κάμψη ή για τέμνουσα, για δομικά στοιχεία, αμφίεριστα, αμφίπακτα, μονόπακτα και προβόλους, δηλαδή για κανονικό ως προς το άνοιγμα διατμήσεως μέλη, όχι όμως για βραχέα. Κατασκευάστηκαν 40 (20 διπλά) δοκίμια βραχέων και υπερβραχέων στοιχείων τα οποία εξετάστηκαν υπό τμηματική ως προς το πλάτος τους φόρτιση και καθολική φόρτιση. Εξετάστηκαν επίσης διάφορες παραλλαγές όπλισης, η οποία όπλιση αποτελεί και τη δεύτερη παράμετρο που μελετήθηκε. Προέκυψαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα και ειδικότερα παρέχεται τύπος υπολογισμού του ζητούμενου συνεργαζόμενου πλάτους με κύρια παράμετρο την τιμή του ανοίγματος διατμήσεως.

ABSTRACT : The present work is experimental and its goal is the investigation of the influence of the shear span on the effective width of corbels. The problem is related to several applications encountered in bridges, but also in building projects. It is known that the current regulations indicate by means of tables the

¹ Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc DIC, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: theodoros_gr@yahoo.com

² Lecturer, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Surrey-Guildford, email: s.mitoulis@surrey.ac.uk

³ Πολιτικός Μηχανικός, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

⁴ Πολιτικός Μηχανικός, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

⁵ Ομότιμος Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: itegos@civil.auth.gr

determination of the required effective width, for bending or for shear, for structural elements, simply supported, fixed at both ends, fixed at one end and cantilevers, i.e. for members with normal shear span. Forty specimens (twenty double specimens) of corbels were constructed and examined under partial and universal loading. Different reinforcement variants were also examined. Reinforcement was also the second parameter studied. Interesting results have been obtained and, in particular, a formula for calculating the desired effective width is provided, with main parameter being the value of the shear span.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη Γεφυροποιία συναντάται το πρόβλημα των δοκών εδράσεως, των μεσοβάθρων των προκατασκευασμένων γεφυρών, η διατομή των οποίων συνίσταται εις δυο συμμετρικούς βραχείς προβόλους, επί των οποίων υπάρχουν δύο γραμμές εφεδράνων στηρίξεως των εκατέρωθεν του μεσόβαθρου αμφιέριστων δοκών των ανοιγμάτων. Επίσης, οι αντισεισμικοί ανασχετήρες των γεφυρών αποτελούν, ως γνωστόν, στοιχεία υπερβραχέων προβόλων, τα οποία αναδεχόμενα τα κρουστικά σεισμικά φορτία είναι ενδεχόμενο να φορτίζονται σε μέρος του πλάτους αυτών, οπότε ανακύπτει θέμα καθορισμού του συνεργαζόμενου πλάτους τους, καθόσον είναι λάθος να λαμβάνεται υπόψιν το συνολικό πλάτος τους. Στα οικοδομικά έργα ενδεικτικά αναφέρεται το πρόβλημα των γερανογεφυρών που αποτελούν φορείς προβόλους με μικρό άνοιγμα διάτμησης, το οποίο τους κατατάσσει στα βραχέα ή υπερβραχέα στοιχεία.

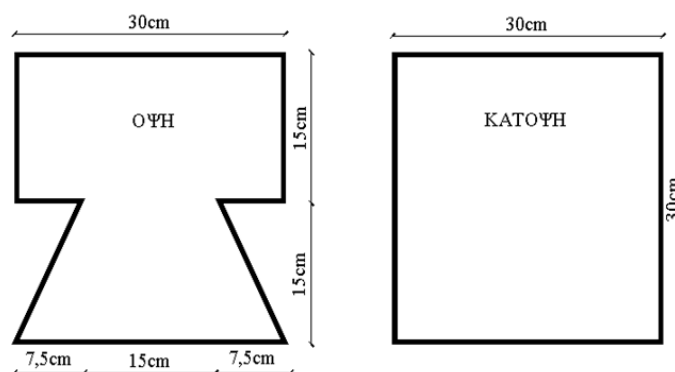
Είναι γνωστόν ότι οι σύγχρονοι Κανονισμοί (ΕΚΩΣ 2000) υποδεικνύουν μέσω πινάκων τον καθορισμό του εκάστοτε απαιτούμενου συνεργαζόμενου πλάτους, για κάμψη ή για τέμνουσα, για δομικά στοιχεία, αμφιέριστα, αμφίπακτα, μονόπακτα και προβόλους, δηλαδή για κανονικό ως προς το άνοιγμα διατμήσεως μέλη. Το ίδιο ισχύει όχι μόνο ως προς το συνεργαζόμενο πλάτος αλλά και για άλλα προβλήματα διαστασιολόγησης, όπως για βραχέα υποστυλώματα, υψίκορμες δοκούς, κλπ.. Ωστόσο, τυχόν εφαρμογή των υπαρχουσών διατάξεων για τα βραχέα και υπερβραχέα στοιχεία οδηγεί σε λανθασμένη διαστασιολόγηση και μάλιστα όχι πάντα προς την πλευρά της ασφάλειας. Στο Σχήμα 1α δίνεται η έδραση φορέα γέφυρας επί προβόλου του τοιχοειδούς ακροβάθρου, η οποία θα ήταν δυνατόν να χαρακτηρισθεί ως εσφαλμένη καθώς είναι αβέβαιο το εύρος του συνεργαζόμενου πλάτους, ενώ στο Σχήμα 1β φαίνονται τα είδη των σεισμικών συνδέσμων (stoppers).

Με βάση τα ανωτέρω δεδομένα κρίθηκε αναγκαία η προσφυγή στην πειραματική έρευνα, η οποία αποτελεί και την μόνη αξιόπιστη δυνατότητα εξαγωγής ασφαλών συμπεράσματος αναφορικός με την ζητούμενη τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους στην περίπτωση των προβόλων με πολύ μικρές τιμές ανοιγμάτων διατμήσεως.

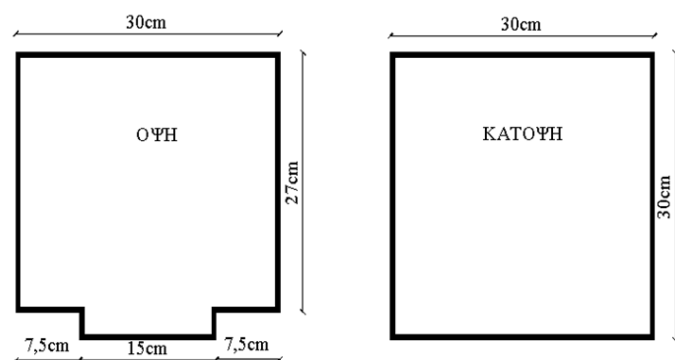
3. Κατασκευή δοκιμίων

Κατασκευάστηκαν συνολικά 40 δοκίμια υπό κλίμακα περίπου 1:3. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές μήτρες διαστάσεων 30x30x30 cm. Τα 24 δοκίμια έχουν την μορφή του Σχήματος 2, με ύψος διατομής 15 cm, ενώ τα υπόλοιπα 16 έχουν την μορφή του Σχήματος 3 με ύψος διατομής 27 cm. Και στις δυο διατάξεις ισχύει η συνθήκη των βραχέων προβόλων $a_c / h_c \leq 1,0$.

Για τη σκυροδέτηση των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε η ίδια σύνθεση σκυροδέματος. Εκτός από τα 20 αυτά δοκίμια για κάθε σειρά κατασκευάστηκαν και κυβικά δοκίμια ελέγχου διαστάσεων 15x15x15 cm, η χρήση των οποίων έγκειται στην παρακολούθηση της ωρίμανσης των δοκιμίων και στον καθορισμό της ημέρας ελέγχου των υπό μελέτη δοκιμίων.



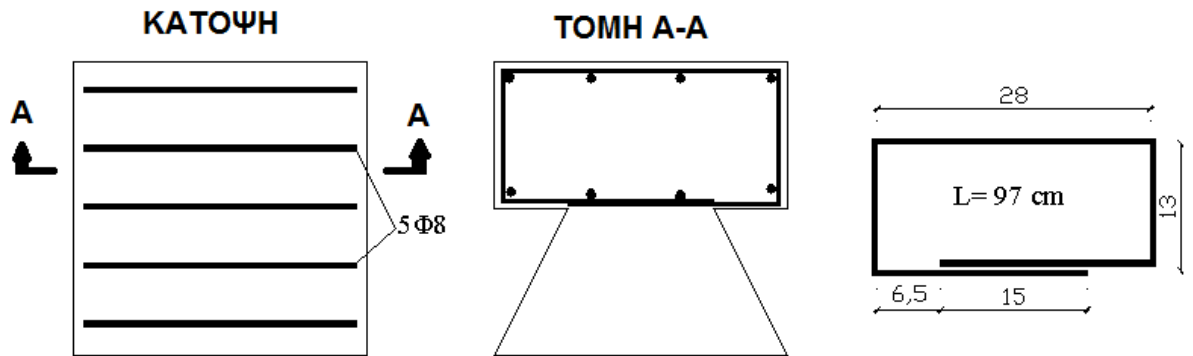
Σχήμα 2. Διαστάσεις δοκιμίων 1α, 1β, 1γ, 1δ, 3α, 3β, 3γ, 3δ, 5α, 5β, 5γ, 5δ.



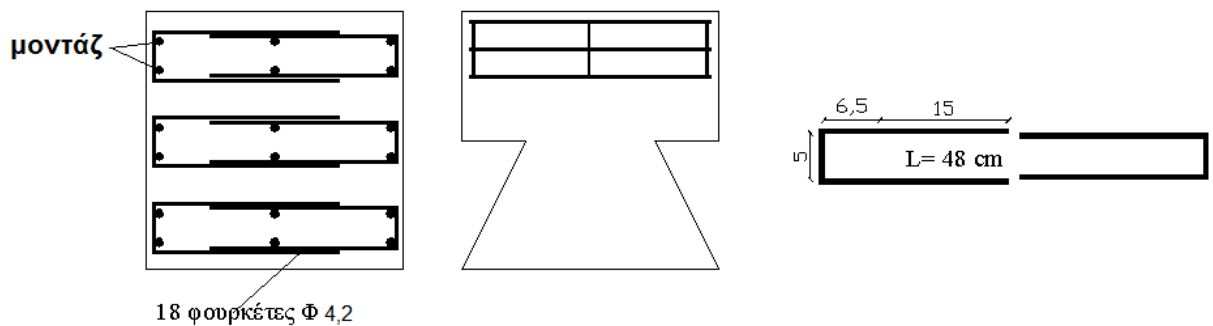
Σχήμα 3. Διαστάσεις δοκιμίων 2α, 2β, 2γ, 2δ, 4α, 4β, 4γ, 4δ.

4. Διατάξεις οπλισμών

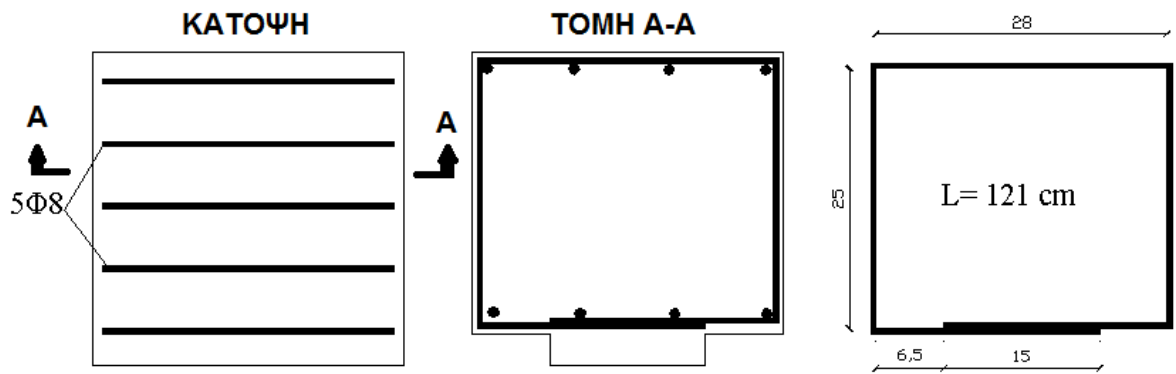
Οι οπλισμοί, κύριοι και εγκάρσιοι, που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν διαμέτρων $\varnothing 4,2$ και $\varnothing 8$. Οι εγκάρσιοι χρησιμοποιήθηκαν για να εξετασθεί το ενδεχόμενο τυχόν αυξήσεως του συνεργαζόμενου πλάτους μέσω αυτών. Παρακάτω ακολουθεί η σχηματική διάταξη όλων των δοκιμών με τους οπλισμούς τους (Σχήματα 4-13).



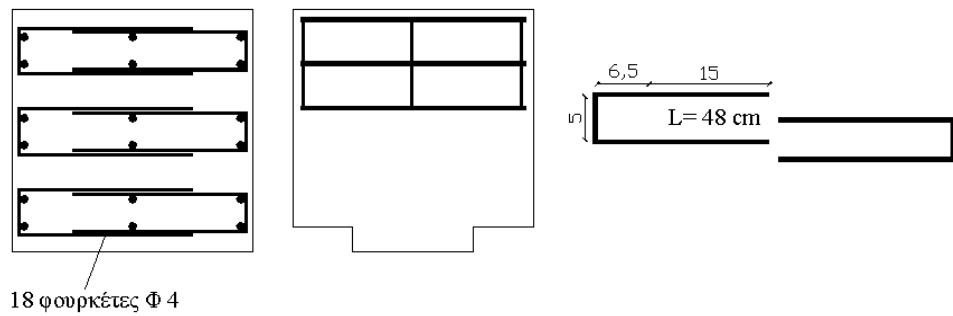
Σχήμα 4. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμών 1α, 1β.



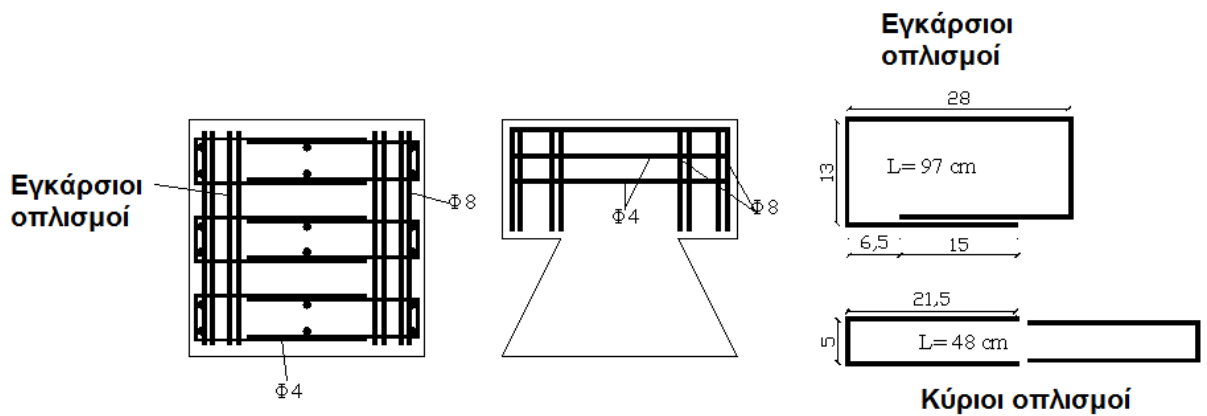
Σχήμα 5. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμών 1γ, 1δ.



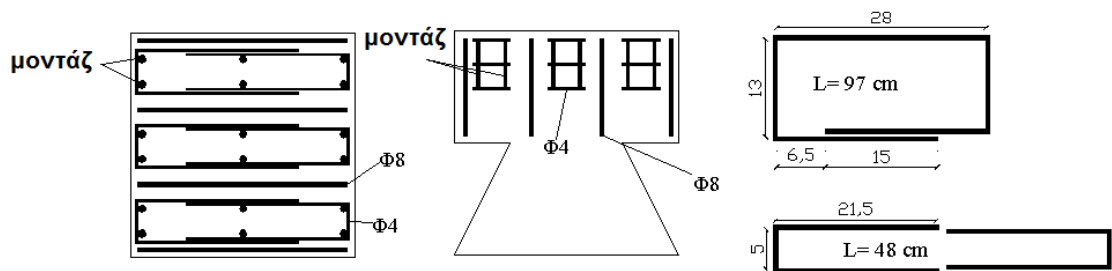
Σχήμα 6. Διατάξεις οπλισμών Δοκίμιων 2α, 2β.



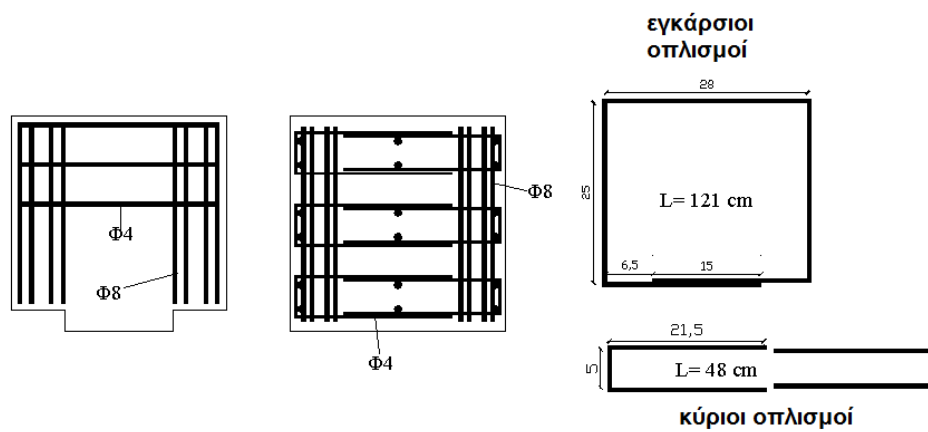
Σχήμα 7. Διατάξεις οπλισμών Δοκίμιων 2γ, 2δ.



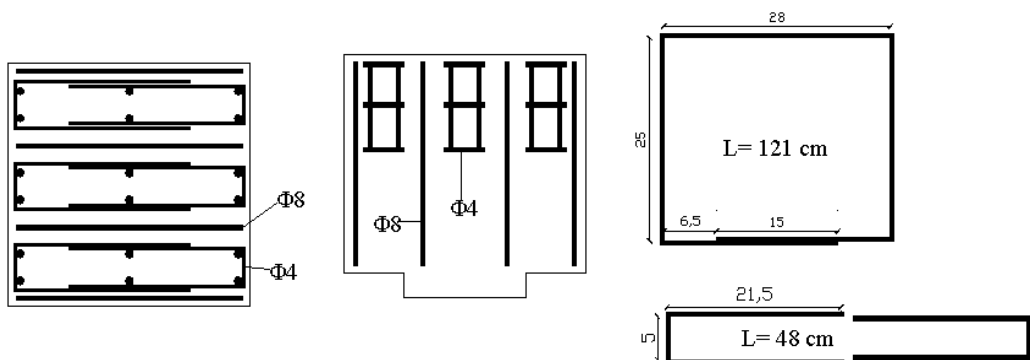
Σχήμα 8. Διατάξεις οπλισμών Δοκίμιων 3α, 3β.



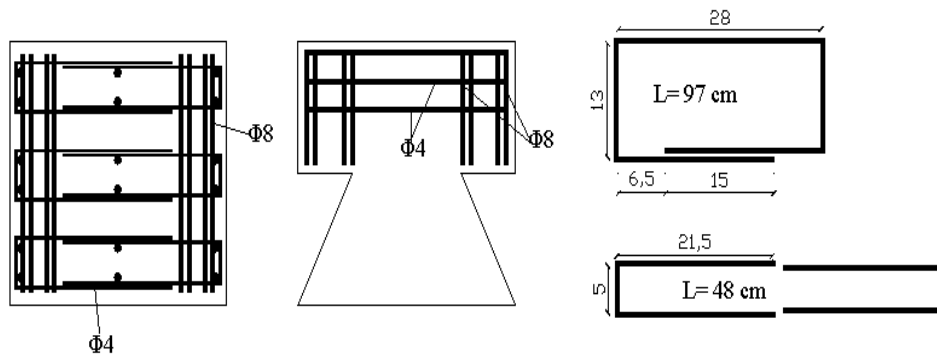
Σχήμα 9. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμίων 3γ, 3δ.



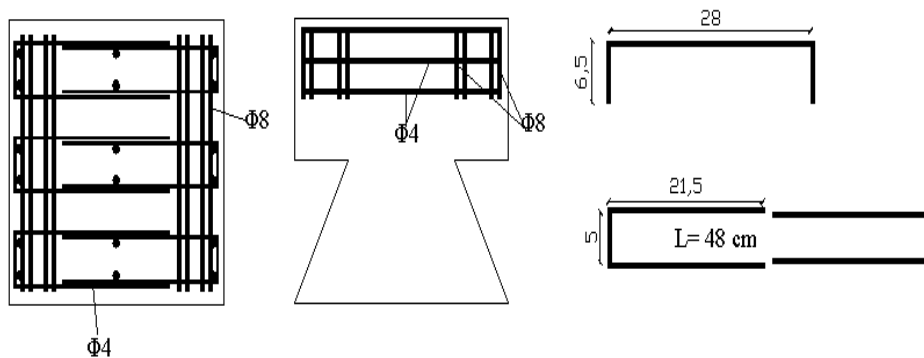
Σχήμα 10. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμίων 4α, 4β.



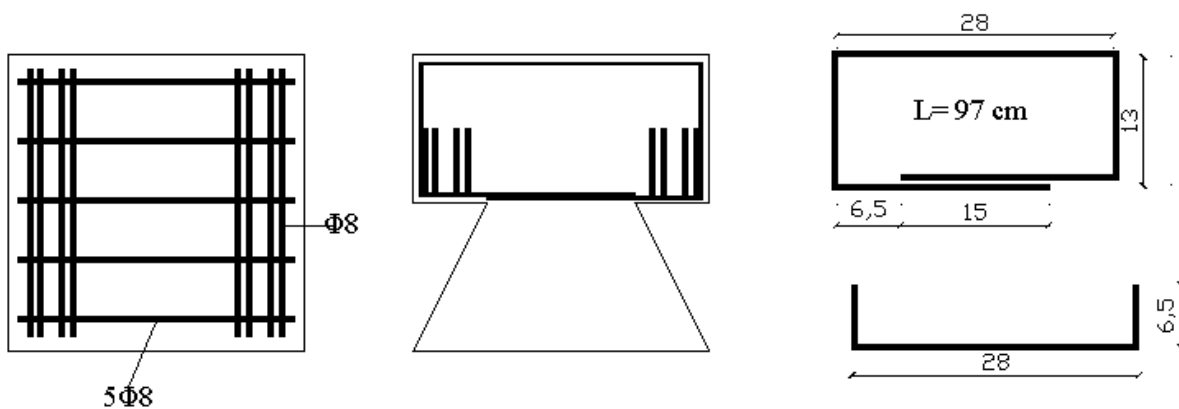
Σχήμα 11. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμίων 4γ, 4δ.



Σχήμα 12. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμών 5α, 5β (επανάληψη δοκίμια 3α, 3β).



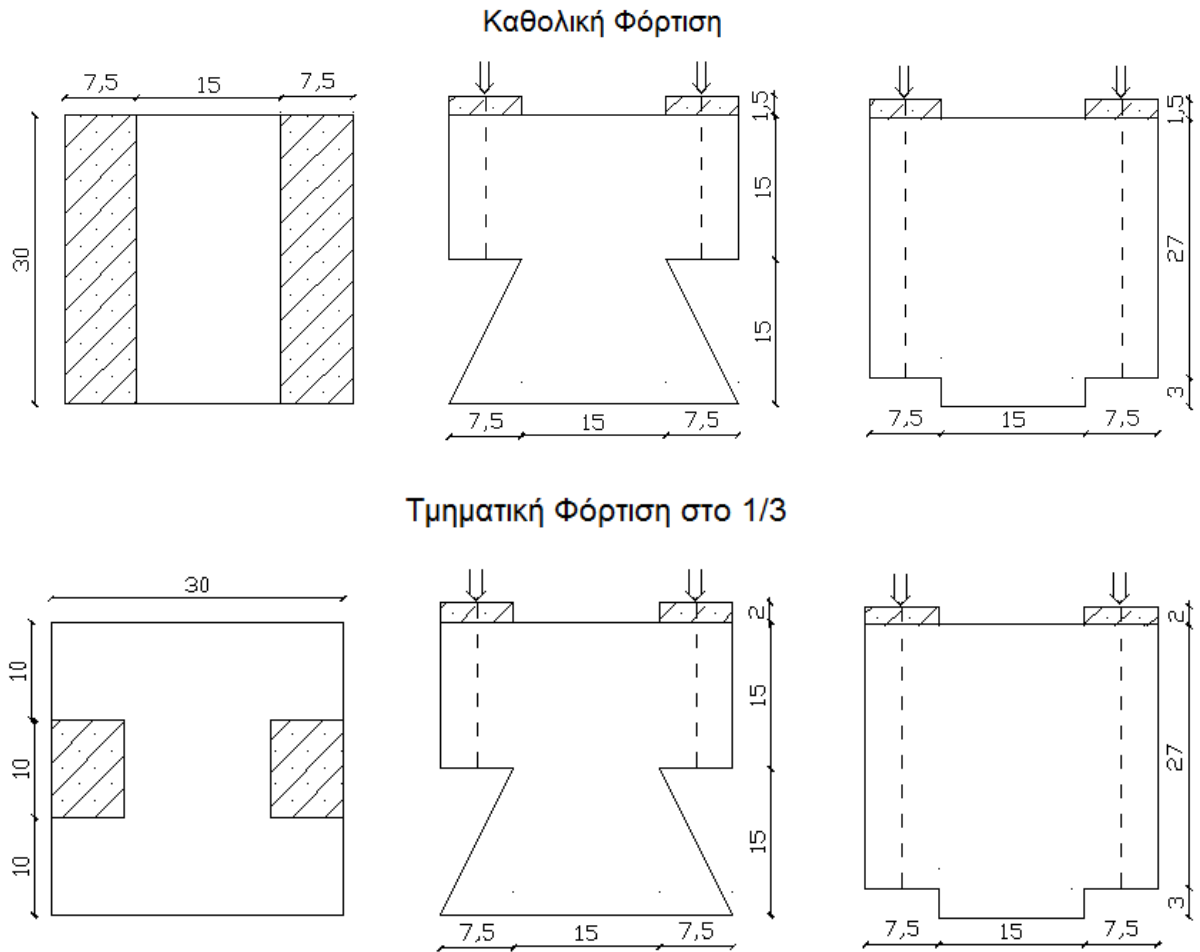
Σχήμα 13. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμίου 5γ.



Σχήμα 14. Διατάξεις οπλισμών Δοκιμίου 5δ.

5. Διάταξη φόρτισης

Τα δοκίμια τοποθετούνταν κεντρικά στη μηχανή φόρτισης (πρέσσα). Κάθε τύπος δοκιμίου υποβάλλεται σε 2 είδη φόρτισης, συνεχή φόρτιση και τμηματική φόρτιση στο 1/3 του μήκους. Η επιβολή της φόρτισης γίνεται με την βοήθεια μεταλλικών παρεμβλημάτων (λαμών διαστάσεων 30x7,5x1,5 cm για συνεχή φόρτιση και 10x7,5x2cm για τμηματική φόρτιση) όπως φαίνεται στο Σχήμα 15.



Σχήμα 15. Διατάξεις φόρτισης.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

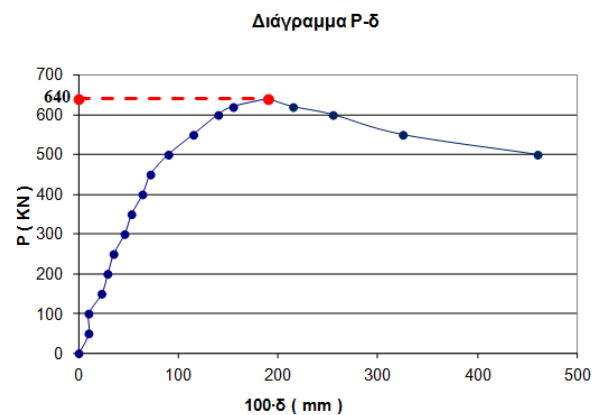
1. Γενικά

Συνολικά υπήρξαν 5 σειρές δοκιμών από τις οποίες η κάθε σειρά διέθετε 4 δοκίμια. Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα επόμενα ενδεικτικώς

για ένα δοκίμιο. Πιο συγκεκριμένα απεικονίζεται η εικόνα αστοχίας του δοκιμίου καθώς και τα αποτελέσματα από τη φόρτιση αυτού, υπό μορφή διαγράμματος P-δ για μονότονη φόρτιση-αποφόρτιση (δ είναι οι βυθίσεις του άκρου του προβόλου που μετρήθηκαν με βελόμετρο).

2. Περιγραφή συμπεριφοράς

Το δοκίμιο 1α καταπονήθηκε υπό συνεχή φόρτιση. Αστόχησε στα 640 kN και παρουσίασε ελαφρά ρηγμάτωση στα σημεία ένωσης κορμού προβόλου. Η μορφή αστοχίας του δοκιμίου 1α παρουσιάζεται στο Σχήμα 16α. Φαίνονται ξεκάθαρα οι χαρακτηριστικές ρωγμές στις ενώσεις κορμού-προβόλου (εμπρόσθια όψη). Στο Σχήμα 16β παρουσιάζεται το διάγραμμα P-δ για το δοκίμιο 1α.



Σχήμα 16. (α) Μορφή αστοχίας Δοκιμίου 1α, (β) Διάγραμμα P-δ για Δοκίμιο 1α.

3. Εξίσωση υπολογισμού συνεργαζόμενου πλάτους

Η τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους είναι συνάρτηση της τιμής του ανοίγματος διατμήσεως. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψαν οι εξής εκφράσεις για το ζητούμενο συνεργαζόμενο πλάτος:

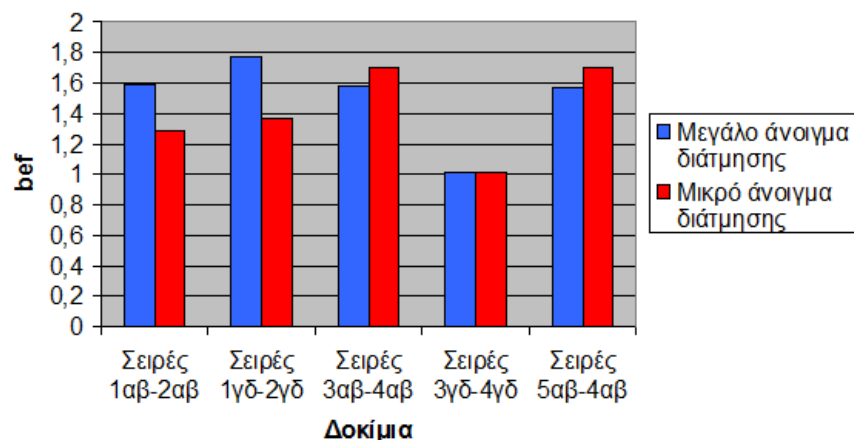
$$b_{\text{eff}} = (1 + \lambda \cdot \alpha) \cdot b_0 \quad (1)$$

όπου:

b_0 : το πλάτος φορτίσεως

α : το σχετικό άνοιγμα διατμήσεως

λ : συντελεστής που προέκυψε πειραματικώς για διάφορες διατάξεις οπλίσεως με τιμές: (α) $\lambda=1,2$ για υπερβραχείς προβόλους με $1/3 \leq \alpha \leq 1/2$, (β) $\lambda=1,6$ για υπερβραχείς προβόλους με $\alpha \leq 1/3$.



Σχήμα 17. Σύγκριση συνεργαζόμενου πλάτους συναρτήσει διατμητικού ανοίγματος.

4. Σύγκριση πειραματικών και θεωρητικών αντοχών

Πίνακας 1. Δοκίμια με σχετικό άνοιγμα διατμήσεως $\alpha=1/3$.

Δοκίμιο	Αντοχή P_u για καθολική φόρτιση (kN)	Θεωρητική αντοχή $P_u/3$ για φόρτιση στο 1/3 (kN)	Πειραματική αντοχή P_{exp} για φόρτιση στο 1/3 (kN)	$3 \cdot (P_{exp}/P_u)$
1α ,1β	640	213	340	1,594
1γ ,1δ	440	147	260	1,773
3α ,3β	1100	367	580	1,582
3γ ,3δ	1300	433	440	1,015
5α ,5β	1050	350	550	1,571
5γ	1050	350	400	1,143
5δ	640	213	250	1,172

Πίνακας 2. Δοκίμια με σχετικό άνοιγμα διατμήσεως $\alpha=1/6$.

Δοκίμιο	Αντοχή P_u για καθολική φόρτιση (kN)	Θεωρητική αντοχή $P_u/3$ για φόρτιση στο 1/3 (kN)	Πειραματική αντοχή P_{exp} για φόρτιση στο 1/3 (kN)	$3 \cdot (P_{exp}/P_u)$
2α ,2β	1050	350	450	1,286
2γ ,2δ	1100	367	500	1,364
4α ,4β	1200	400	680	1,700
4γ ,4δ	1250	417	450	1,010

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάστηκε στην Εργασία πειραματικώς σε 40 δοκίμια η επιρροή της τιμής του σχετικού ανοίγματος διατμήσεως στοπ μέγεθος της τιμής του συνεργαζόμενου πλάτους στην περίπτωση των υπερβραχέων προβόλων με $\alpha=1/3$ και $\alpha=1/6$ και προέκυψε μαθηματική σχέση που συνδέει το άνοιγμα διατμήσεως με το ζητούμενο συνεργαζόμενο πλάτος. Ως βασικά συμπεράσματα της Εργασίας είναι δυνατόν να αναφερθούν τα εξής:

1. Το συνεργαζόμενο πλάτος στην περίπτωση των υπερβραχέων προβόλων ελάχιστα υπερβαίνει το πλάτος φορτίσεως.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Mattock, AH, Chen, KC, and Soongswang, K., “The Behavior of Reinforced Concrete Corbels”, Journal of Pre-Stressed Concrete International, Vol. 2, Issue 12, pp. 52–77, 1976.

Ahmad, S, Shah, A, “Evaluation of shear strength of High Strength Concrete Disturbed Regions using Strut & Tie Model (STM)” Arabian Journal for Science & Engineering, Vol. 34 Issue 1B, p27, 2009

Chrysanidis T., Tegou S., Tegos I., Spyridonidou S., “Analytical and experimental research on improvement of the ductility of buildings’ R/C seismic walls through slip prevention with the use of stoppers”, Proceedings of the 6th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN 2017, June 15-17, 2017, Rhodes Island, Greece.

EN 1998-2. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 2: Bridges., 2005.

Tegou, SD, Tegos, IA, “A proposal for cost-effective design of precast I-beam bridges”, International Conference IBSBI 2011- Innovations on Bridges and Soil-Bridge Interaction, 13-15 October 2011, Athens, Greece, 2011.

Tegou, SD, Tegos, IA, “Experimental investigation on the shear transfer between concrete interfaces - Case Study: The problem of designing bridge seismic stoppers”, International Conference IBSBI 2014 - Innovations on Bridges and Soil- Bridge Interaction, 16-18 October 2014, Athens, Greece, 2014.

Eurocode 2: Design of concrete structures-Part 1: General rules and rules for buildings, 2004.

DIN Deutsches Institut für Normung, DIN-Fachbericht 102 - Betonbrücken. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2003.

CEB-FIB, Design of Concrete Structures, CEB-FIP Model Code 1990, Vol. Final Draft, CEB Bulletin No 204. Thomas Telford, 1993.

Federation Internationale du Beton (fib) , Model Code 2010 First complete draft , Vol. 2., fib Bulletin No. 56, pp. 288, 2010.

E39/99, “Οδηγίες για την αντισεισμική μελέτη γεφυρών”