

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Φαινόμενα πρόωρης γήρανσης των κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος (Ο/Σ) ανέδειξαν τη διάβρωση του χάλυβα οπλισμού ως κύρια αιτία υποβάθμισης της επιτελεστικότητας (performance) και της ανθεκτικότητας (durability) αυτών. Στην Ελλάδα, ιδιαίτερα, όπου μεγάλο μέρος των κατασκευών εντοπίζεται σε παράκτιο περιβάλλον, η υψηλή συγκέντρωση χλωριόντων ευνοεί το φαινόμενο της διάβρωσης, υποβαθμίζοντας την ορθή λειτουργία του οπλισμένου σκυροδέματος. Από τις πολυεπίπεδες αρνητικές συνέπειες της διάβρωσης, πρωτίστως επηρεάζεται ο μηχανισμός της συνάφειας μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος, καθώς λόγω της ανάπτυξης οξειδίων σιδήρου αλλοιώνονται οι συνθήκες στη διεπιφάνεια μεταξύ των δύο υλικών, περιορίζοντας έτσι την ικανότητα μεταφοράς των δυνάμεων.

Υπό αυτό το πρίσμα, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στο φαινόμενο υποβάθμισης του μηχανισμού συνάφειας λόγω διάβρωσης μελετώντας το σε δύο άξονες. Συγκεκριμένα, στο πρώτο άξονα μελέτης, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της υποβαθμισμένης συνάφειας λόγω διάβρωσης μέσω της μοντελοποίησης πειραματικών δοκιμών εξόλκευσης (pull out tests) που διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Αντοχής των Υλικών. Κύριες παράμετροι που εξετάσθηκαν ήταν: ο βαθμός διάβρωσης του χάλυβα οπλισμού και το επίπεδο περίσφιγξης μέσω συνδετήρων διακρίνοντας τις περιπτώσεις: α) απουσία περίσφιγξης (δίχως συνδετήρες) και β) μέτρια περίσφιγξη (συνδετήρες Φ8/120 mm). Από την ανάπτυξη του αναλυτικού μοντέλου στο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων Abaqus προέκυψε ότι το μοντέλο έρχεται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις εξαγόμενες πειραματικές τιμές αντοχής συνάφειας τόσο σε συνθήκες αναφοράς όσο και σε συνθήκες διάβρωσης. Η πρόβλεψη της σχετικής ολίσθησης χάλυβα - σκυροδέματος παρουσιάζεται ομοίως ικανοποιητική στην περίπτωση ύπαρξης περίσφιγξης, ενώ στην περίπτωση απουσίας αυτής η πρόβλεψη της ολίσθησης σε συνθήκες διάβρωσης υστερεί.

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί ότι το επίπεδο περίσφιγξης, μέσω διαφορετικής πυκνότητας συνδετήρων, διαφοροποιεί αισθητά το ρυθμό πτώσης της αντοχής συνάφειας. Μελετώντας δε, τις αντίστοιχες προτάσεις του fib Model Code 2010, όπου η πτώση της αντοχής συνάφειας λόγω διάβρωσης προβλέπεται λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό διάβρωσης του χάλυβα (σε όρους διείδυσης

της διάβρωσης ή του εύρους επιφανειακής ρηγματώσεως του σκυροδέματος) και την απουσία ή παρουσία των συνδετήρων αγνοώντας την παράμετρο της πυκνότητας αυτών, καταστρώθηκε ο δεύτερος μελέτης της εργασίας. Σε αυτόν, συγκεντρώθηκαν αποτελέσματα της απώλειας αντοχής συνάφειας λόγω διάβρωσης από διάφορες μελέτες της πρόσφατης διεθνούς βιβλιογραφίας και ύστερα από τη διάκρισή τους σε ομάδες με βάση το επίπεδο περίσφιγξης (απόσταση μεταξύ των συνδετήρων) πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση με σκοπό την εξαγωγή νόμων πρόβλεψης της απώλειας συνάφειας. Από την παρούσα μελέτη προέκυψε ότι η αύξηση του βαθμού διάβρωσης στο χάλυβα προκαλεί εκθετική μείωση της αντοχής συνάφειας, ο ρυθμός της οποίας εξαρτάται σημαντικά από την πυκνότητα των συνδετήρων. Προς τούτο, προτείνεται η κατηγοριοποίηση των διαφορετικών επιπέδων περίσφιγξης στοιχείων Ο/Σ, ώστε να αντιπροσωπεύονται διάφορες περιπτώσεις πυκνότητας συνδετήρων, αναγνωρίζοντας τα εξής επίπεδα: Δίχως περίσφιγξη (απουσία συνδετήρων), και στην περίπτωση παρουσίας συνδετήρων Ελαφρά, Μέτρια και Ισχυρή περίσφιγξη. Με βάση τα ανωτέρω, από την ανάλυση της μη γραμμικής παλινδρόμησης των πειραματικών δεδομένων υιοθετήθηκε μία μονοπαραμετρική εκθετική συνάρτηση για την πρόβλεψη της απώλειας αντοχής συνάφειας (σε συνάρτηση είτε με το βάθος διείσδυσης της διάβρωσης στο χάλυβα είτε με το πλάτος των επιφανειακών ρωγμών στο σκυρόδεμα). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι η τιμή της παραμέτρου των εκθετικών μοντέλων πρόβλεψης εξαρτάται από την πυκνότητα των συνδετήρων και μειώνεται με την αύξηση του επιπέδου περίσφιγξης.

Λέξεις κλειδιά

Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Αντοχή Συνάφειας, Διάβρωση, Μέσο βάθος Διείσδυσης, Μέσο πλάτος ρηγματώσεως, μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων βασισμένο στις οδηγίες του Model Code περί συνάφειας

ABSTRACT**Comparison between the results of experimental study on (steel-concrete) bond and of Model Code 2010 regulations****Alkiviadis Charalampopoulos**

Premature ageing phenomena of reinforced concrete structures have declared corrosion of reinforcing steel as the main cause of degradation of the structure's performance and durability. Particularly in Greece, large number of structures is found in coastal regions where the high chloride concentration is enhancing the corrosion to happen and thus deteriorating the proper functioning of the reinforced concrete. From the multilevel negative effects of corrosion, the bond mechanism between steel and concrete is primarily affected, as due to the development of ferrous oxides the conditions at the interface between the two materials are altered, thus limiting the ability to transfer forces.

In this regard, the present dissertation focuses on the degradation of the bond mechanism due to corrosion by studying it in two axes. Specifically, in the first axis of the study, the degraded bond due to corrosion was simulated through the modeling of pull-out tests carried out in the Laboratory of Technology and Strength of Materials. The main parameters that were examined were: the degree of corrosion of the reinforcing steel and the level of confinement through stirrups, distinguishing the cases: a) absence of confinement (without stirrups) and b) moderate confinement (stirrups $\varnothing 8 / 120 \text{ mm}$). From the development of the analytical model in the Abaqus finite element software it emerged that the model is in satisfactory agreement with the exported experimental bond strength values under both reference and corrosion conditions. The prediction of the relative slip of steel - concrete is satisfactory as well, in the case of stirrup 's presence, while in the absence of stirrup and in association with corrosion conditions the prediction lags.

An important observation is that the level of confinement, through different density of stirrups, noticeably differentiates the rate of decline of the bond strength. Studying the corresponding recommendations of fib Model Code 2010, where the bond strength's drop due to corrosion is

predicted, taking into account the degree of corrosion of steel (in terms of corrosion penetration or crack width on the concrete surface) and the absence or presence of stirrups regardless of their density, the second axis of the work was established. In this axis, results of bond loss due to corrosion were collected from various studies of the recent international literature and after being divided into groups based on the level of confinement (distance between the stirrups) a statistical analysis was performed to derive laws predicting the bond loss. The present study showed that increasing the degree of corrosion in steel causes an exponential decrease in the bond strength, the rate of which depends significantly on the density of the stirrups. So, in this manner, it is proposed to categorize the different levels of confinement of RC components, in order to represent different cases of stirrup density, recognizing the following levels: No confinement (absence of stirrups), and in the presence of stirrups Light, Medium and Strong confinement. Based on the above, from the nonlinear regression analysis of the experimental data, a one-parameter exponential function was adopted to predict the bond loss (depending on either the depth of corrosion penetration in the steel or the width of the surface cracks). The results of the analysis showed that the value of the parameter of the exponential predictive models depends on the density of the stirrups and decreases with increasing level of confinement.

Key Words

Reinforced Concrete, Bond Strength, Corrosion, Average penetration depth, Average surface crack width, finite element modeling of bond based on Model Code regulations