

Διερεύνηση μηχανικών ιδιοτήτων σύνθετων κονιαμάτων υψηλής ικανότητας σε παραμόρφωση

Σουσάνα Ταστάνη

Λέκτορας ΔΠΘ, stastani@civil.duth.gr

Μαρία Βενέτη, Βασίλειος Ζάπρης, Ευαγγελία Νταμπανλή, Ιωάννης Σαββίδης

Επί πτυχίω Πολιτικοί Μηχανικοί ΔΠΘ, marivene@civil.duth.gr, vasizapr@civil.duth.gr,
evanntab@civil.duth.gr, ioansavv2@civil.duth.gr.

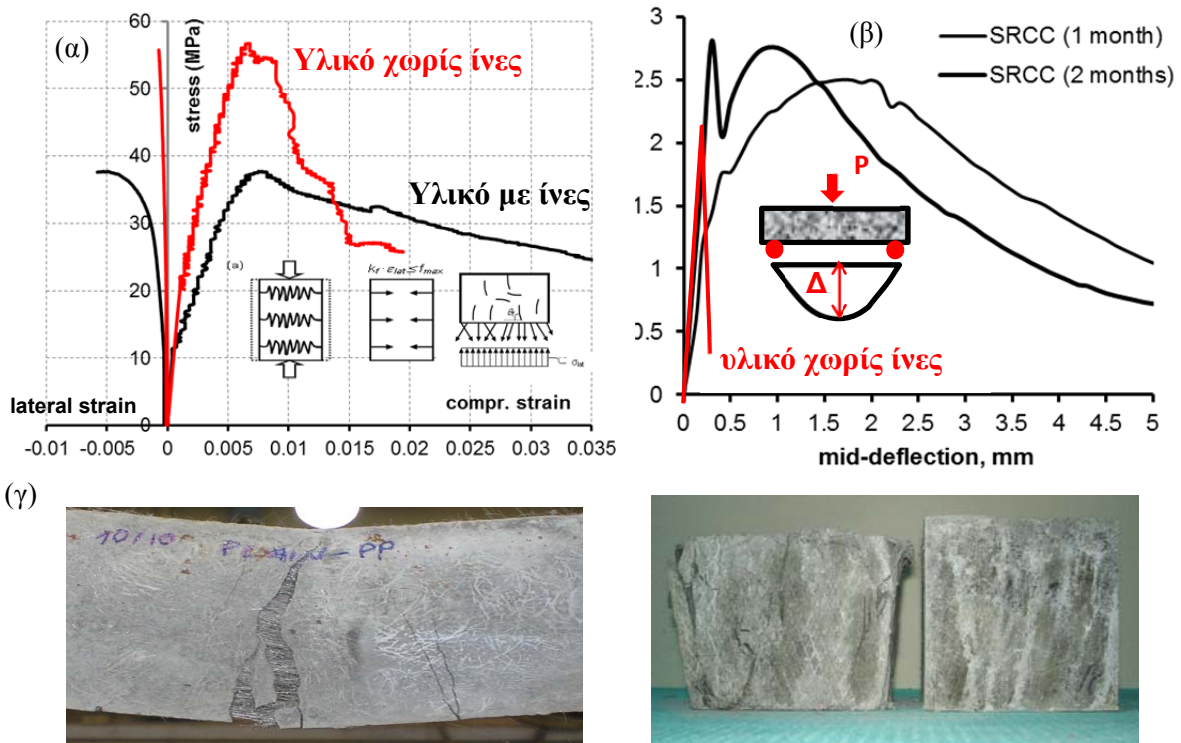
Τα σύνθετα τσιμεντοειδή κονιάματα μεγάλης ικανότητας σε παραμόρφωση (γνωστά στην διεθνή βιβλιογραφία και ως Engineered Cementitious Composites, ECCs, η έρευνα των οποίων ξεκίνησε στις αρχές του 1990 –βλ. Li et al., 1993) παρασκευάζονται από υλικά ίδιας τάξης μεγέθους κόκκου (τσιμέντο, λεπτή άμμος με $d_{max} < 0.5\text{mm}$ και βιομηχανικό παραπροϊόν όπως είναι η ιπτάμενη τέφρα τύπου F σε δοσολογία πολλαπλάσια του τσιμέντου, π.χ. > 2) και σημαντικό ποσοστό σύνθετων ινών (έως 2% κ.ο.). Οι ίνες σε υψηλή περιεκτικότητα προστίθενται ως μικρο-οπλισμός μάζας με κύριο σκοπό την επίτευξη υψηλής ικανότητας παραμόρφωσης στο σύνθετο υλικό διότι προάγουν την δημιουργία πολλαπλής ρηγμάτωσης, την διεύρυνση της οποίας συγκρατούν υπό αυξανόμενη μηχανική καταπόνηση (εφελκυστική ή θλιπτική) καθυστερώντας έτσι την συγκέντρωση της βλάβης σε λίγες μεγάλες εύρους ρωγμές. Το είδος της συνάφειας που αναπτύσσουν οι ίνες με την τσιμεντοειδή μήτρα συν τω χρόνω είναι κρίσιμης σημασίας παράγοντας ελέγχου της ρηγμάτωσης μέχρι και την σταθεροποίηση επιδρώντας στην ικανότητα παραμόρφωσης του σύνθετου υλικού (Georgiou et al. 2013, Georgiou and Pantazopoulou 2014, Tastani et al. 2016). Επιπλέον οι ίνες εισάγουν συνθήκες παθητικής περισφιγξης έναντι διόγκωσης (Σχ. 1α, Manita and Pantazopoulou 2002). Ο λόγος νερού προς τα λεπτόκοκκα της πάστας (τσιμέντο και ιπτάμενη τέφρα) διατηρείται σημαντικά χαμηλός (< 0.35) προκειμένου να προκύψει υλικό ικανής θλιπτικής αντοχής που θα μπορεί να ενταχθεί (α) είτε σε νεόδμητες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος νέας φιλοσοφίας από την άποψη του σχεδιασμού (μείωση ποσοστού όπλισης, γεωμετρίας των δομικών μελών και ιδίων βαρών) και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (εκμετάλλευση αποθέσεων βιομηχανικών αποβλήτων) είτε (β) ως επισκευαστικό υλικό δομικών στοιχείων με ανεπάρκειες ή βλάβες. Επακόλουθο της μικρής ποσότητας νερού που εισάγεται στην μίξη είναι το χαμηλό πορώδες και η συνακόλουθη αυξημένη ανθεκτικότητα έναντι επιβλαβών παραγόντων. Μία τέτοια αναλογία υλικών για να αναμιχθεί με εξασφάλιση βέλτιστης διασποράς των ινών απαιτεί την χρήση υπερρυστοποιητών 4ης γενιάς σε δοσολογία που υπερβαίνει τις συνήθεις τιμές που προδιαγράφει ο κατασκευαστής για τα συμβατικά σκυροδέματα (π.χ. έως 2% του βάρους του τσιμέντου) ώστε να εξασθενίσουν οι δυνάμεις Van Der Waal μεταξύ των σωματιδίων καθώς και οι τριβές που εισάγουν οι ίνες (π.χ. για 2% κ.ο. ίνες με γεωμετρία ίνας $d_f=25\mu\text{m}$ – $l_f=12\text{mm}$, σε 1m^3 κονιάματος εισάγονται 3,4 δισεκατομμύρια ίνες). Με αρωγό την χημεία τα υλικά αυτά είναι φύσει αυτοσυμπυκνούμενα χωρίς να εμφανίζουν προβλήματα απόμειξης ή εξίδρωσης.

Η έρευνα επί των σύνθετων τσιμεντοειδών κονιαμάτων είναι πεδίο υψηλού ενδιαφέροντος διότι ζητήματα περί μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων παραμένουν ακόμη ανοικτά ως προς (α) το είδος και το ποσοστό του κατά τόπους βιομηχανικού παραπροϊόντος που χρησιμοποιείται εν είδει αδρανών ή ασθενούς τσιμέντου (στην περίπτωση της Ελλάδας, η εκμετάλλευση της ασβεστούχας ιπτάμενης

τέφρας (IT) αποτελεί πρόκληση, δεδομένου ότι οι εν δυνάμει μικρορωγμές που εισάγει η ενυδάτωσή της –λόγω διόγκωσης και δημιουργίας ασθενών κρυστάλλων υδροξειδίου του ασβεστίου– συγκατατούνται από το πυκνό δίκτυο των μικρο-ινών) και (β) το είδος των ινών τυπικού μήκους $l_f=12\text{mm}$ (σύνθετες χαμηλού ειδικού βάρους όπως πολυπροπυλενίου PP, πολυβυνιλικής αλκοόλης PVA, πολυ-αιθυλενίου PE, και φυτικές ίνες από λινάρι, φοίνικα, η υδροφιλία ή μη των οποίων έχει συσχετισθεί με ζητήματα αυτοϊασης της μικρορωγμάτωσης).

Από δοκιμές σε εφελκυσμό κονιαμάτων ECC με ίνες PP (Tastani et al. 2016) έχει δειχθεί ότι το σύνθετο υλικό συμπεριφέρεται γραμμικώς ελαστικά μέχρι την ανάπτυξη της πρώτης ρωγμής, στη συνέχεια εμφανίζει ήπια κράτυνση μέχρι την μέγιστη τιμή τάσης (αντοχή) ακολουθούμενη από ήπια πτώση του φορτίου, με τα δύο αυτά μετελαστικά στάδια να εκτείνονται αθροιστικά σε ένα ευρύ φάσμα παραμόρφωσης, που όμως φαίνεται να περιορίζεται συν το χρόνω (Σχ. 1β) καθώς οι ίνες αναπτύσσουν ισχυρότερους δεσμούς με το μητρικό υλικό (επιμήκυνση ινών αντί ελεγχόμενης ολίσθησής τους). Η απόκριση αυτού του είδους αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των σύνθετων κονιαμάτων ECC-PP που εφεξής αναφέρονται ως Strain Resilient Cementitious Composites (SRCC).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα μετρήσεων της καμπτικής και θλιπτικής απόκρισης δοκιμίων από κονιάματα SRCC μεταβλητής περιεκτικότητας σε IT και ίνες PP, διατηρώντας ωστόσο το μερίδιο άμμου και τον λόγο νερού προς τα λεπτόκοκκα της πάστας σταθερά (Σχ. 1γ). Σε δεύτερο στάδιο (εν εξελίξει) μελετάται η ανθεκτικότητα του υλικού: δοκίμια συντηρήθηκαν σε κύκλους ψύξης – απόψυξης ενώ άλλα εκτέθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία πριν την φόρτιση. Επιπλέον έγιναν μετρήσεις της ογκομετρικής συστολής ξήρανσης του υλικού.



Σχ. 1α) Οι ίνες σε δοκίμιο υπό θλίψη λειτουργούν ως μηχανισμός παθητικής περίσφιγξης. β) Η ικανότητα σε παραμόρφωση του υλικού υπό καμπτικό εφελκυσμό μεταβάλλεται με το χρόνο ως συνέπεια ισχυροποίησης της συνάφειας ινών – πάστας. γ) Κατάσταση του υλικού μετά την αστοχία (υπό κάμψη και θλίψη αντίστοιχα).

Βιβλιογραφία

- Georgiou, A.V., Pantazopoulou, S.J., and Petrou, M.F., (2013). Experimental analysis of fiber reinforced cementitious composites with increased toughness. Procs. 10th HSTAM International Congress on Mechanics, Chania, Greece, 25 – 27 May, 2013.
- Georgiou, A.V., Pantazopoulou, S.J., (2014). Bond, Crack-Width Estimation, Crack Spacing and Effective Material Stiffness in Strain Hardening Cementitious Composites. Procs., 3rd International RILEM Conference on Strain Hardening Cementitious Composites (SHCC3-Delft), Dordrecht Netherlands, November 3-5.
- Li, V. C., Stang, H. and Krenchel, H. (1993), “Micromechanics of crack bridging in fiber reinforced concrete”, *J. of Materials and Structures*, 26, 486-494.
- Manita, P., Pantazopoulou S.J. (2002), "Constitutive Model for the Stress-Strain Response of Fibre Reinforced Concrete in Compression", Procs. *Composite Materials in Concrete Construction.*, Int. Seminar, University of Dundee, Scotland, UK., 5-6 September, 2002.
- Tastani S.P., Konsta-Gdoutos M.S., Pantazopoulou S.J., Balopoulos V. (2016). “The effect of carbon nanotubes and polypropylene fibers on bond of reinforcing bars in strain resilient cementitious composites”, *Springer Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10(2): 214-223.