収縮低減剤を用いた超高強度繊維補強コンクリートにおける単繊維の付着特性に関する研究

神戸大学　学生会員　○江宮文音
神戸大学　正会員　三木朋広
太平洋セメント　正会員　河野克哉

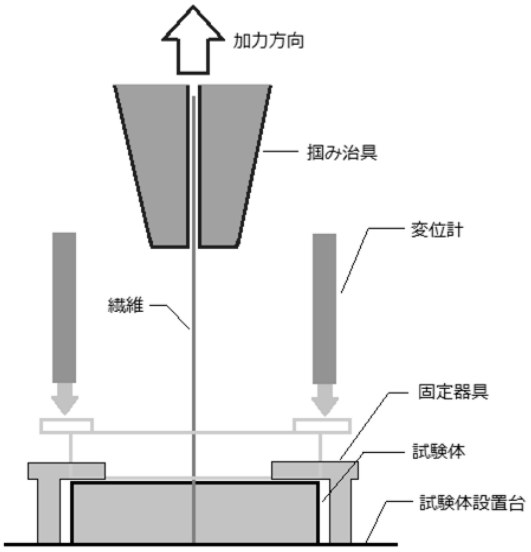


図-1　引抜試験方法

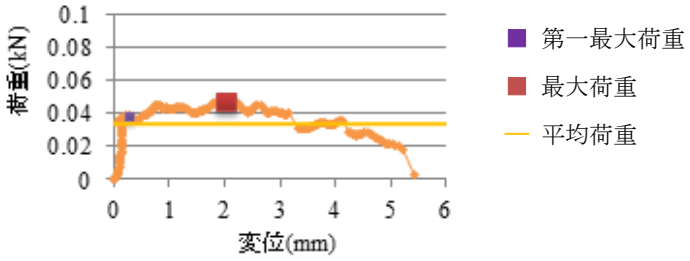
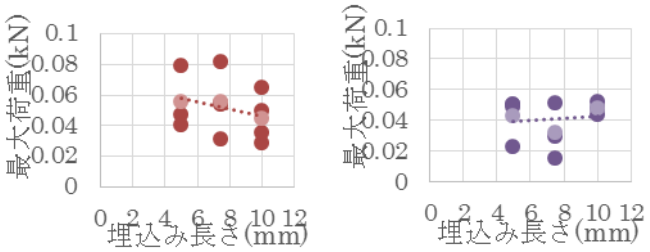


図-2　単繊維の付着特性の評価



収縮低減無　　収縮低減有

図-3　最大荷重と埋込み長さの関係

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（Ultra-high strength fiber reinforced concrete，以下 UFC）は 200 N/mm^2 以上の圧縮強度，優れた耐久性を有するコンクリートであり，その特性を活かして実際の構造物への適用が広がってきている．しかし，UFC には自己収縮が大きいという課題があり，そのため，例えばプレストレスを導入しない補強材を用いる際には注意が必要となる．本研究では，UFC においてマトリックスの収縮が，混入した繊維とマトリックス間の付着特性に与える影響を調べるために，その基礎検討として，単繊維を対象とした引抜試験を行った．

2. 実験概要

単繊維の引抜試験では，マトリックス部に収縮低減剤を添加した供試体，添加しない供試体に対して，それぞれ繊維の埋込み長さ，繊維の配向角を実験パラメータとした．配向角は有さず（つまり配向角 ＝ 0°）に埋込み長さのみを変えた試験（実験 1）の供試体では，断面を 50 mm×50 mm とし，高さを 5 mm, 7.5 mm, 10 mm として，供試体高さを繊維の埋込み長さと一致させた．配向角を有する試験（実験 2）の供試体では断面を 50 mm×50 mm，高さを 7.5 mm とし，配向角を 30°，45°，60° として試験を行った．また，載荷試験まで 7 日間，熱養生を行った．

引抜試験方法を図-1 に示す．変位計は繊維の埋込み端部に設置した．また，試験体は固定治具を用いて固定し，繊維を試験機の掴み治具で挟み，上方向に引張力を作用させた．

3. 実験結果と考察

図-2 に載荷試験の結果の一例を示す．単繊維の付着特性を評価するため，荷重の最初の極大値を第一最大荷重，一回の引抜試験における最大の引抜荷重を最大荷重，繊維に荷重が加わり出してから完全に抜けるまでの荷重の平均を平均荷重として定義した．

実験 1 から得られた最大荷重ー埋込み長さ関係を図-3 に示す．この結果から，埋込み長さが変化しても最

キーワード　超高強度繊維補強コンクリート，収縮低減剤，付着特性，単繊維，引抜試験
連絡先　〒657-8501　神戸市灘区六甲台町１－１　大学院工学研究科市民工学専攻　ＴＥＬ078-803-6094

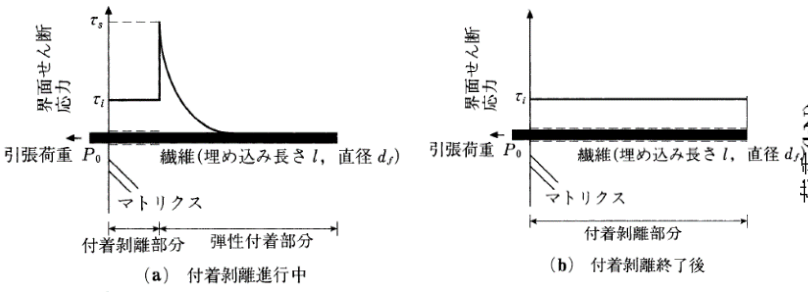
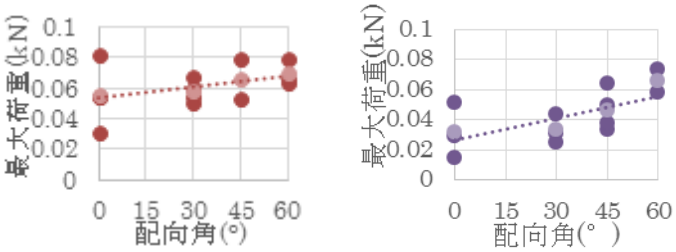


図-4 繊維埋込み部内部のメカニズム [1)]



収縮低減無　　収縮低減有

図-5 最大荷重と配向角の関係

大荷重は同程度であることがわかる. 既往研究により，埋込み長さをある程度以上にすると引抜特性に与える影響はほとんど見られないという報告もされており [1)]，UFC においても同様であることがわかった.

ここで，繊維埋込み部内部のメカニズムについて見ていく．埋込み繊維の付着モデルは図-4 のように表される．つまり，マトリックスに埋め込まれた繊維が引張力を受けると，繊維は付着を介してマトリックスにせん断応力を伝えることにより抵抗する．このとき，繊維ーセメントマトリックス間の付着は，化学付着と摩擦付着に大別される．化学付着とは繊維とマトリックスが化学的な結合であり，弾性的に挙動すると仮定した．繊維に載荷される引張荷重が大きくなりせん断応力が限界値を超えると，この化学付着が部分的に剥離して摩擦による抵抗に移行する（図-4（a））が，この剥離部分が繊維の埋込み長さ全長に及ぶと，繊維は摩擦付着のみで引張力に抵抗し，この後繊維が引き抜かれながら引張荷重が低下していく（図-4（b））と仮定した．今回の実験では付着剥離進行中に最大荷重に達したため，埋込み長さ（5 mm～10 mm）が最大荷重の値に影響しなかったものと考える.

また，収縮低減剤の添加有無で比較してみると，収縮低減剤を添加すると荷重が下がることがわかる．ただし，埋め込み長さが大きいと，収縮低減剤添加有無での最大荷重の差が小さくなるとこがわかった.

次に，実験 2 から得られた配向角と最大荷重の関係

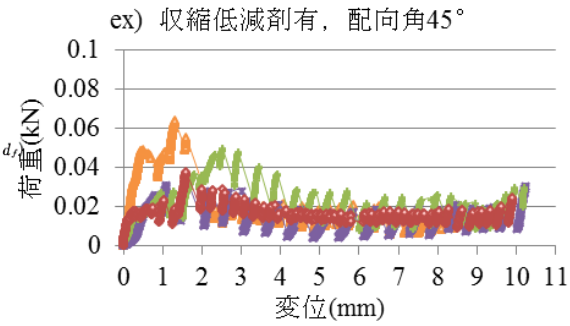


図-6 荷重ー変位関係

を図-5 に示す．配向角が大きくなると最大荷重も大きくなることがわかる. これはスナビング効果と呼ばれ，配向角が大きくなると，繊維の埋込み端部でのマトリックス集中反力により抵抗力が大きくなることがわかっている [1)]．この反力の存在によって界面摩擦が増大し，引張抵抗力が向上したものと考える.

また，実験 2 において収縮低減剤の添加有無で比較してみると，実験 1 と同様に収縮低減剤を添加すると最大荷重が小さくなっていることがわかる．ただし，配向角が大きくなると収縮低減剤添加有無での最大荷重の差が小さくなることがわかる.

最後に荷重ー変位関係について見ると，収縮低減剤を添加した場合，配向角の有無に関わらず図-6 に示すような荷重ー変位関係において荷重が細かく増減を繰り返す挙動が見られた．これは，収縮低減剤の添加によりマトリックスと繊維との界面付着が改善されることで，大きな引張力を分担できるようになった繊維がマトリックスとの付着力の低下が急激に生じる現象によるものと考える.

4. 結論

単繊維の埋込み長さ（今回の研究では最長 10 mm，最短 5 mm）を変えた場合でも，平均荷重，最大荷重は同程度であった．一方，繊維の配向角が大きくなると，平均荷重，最大荷重ともに増加することがわかった．また，マトリックスに収縮低減剤を添加すると，配向角の有無に関わらず引抜荷重が減少し，繊維ーマトリックス間の付着力が下がることがわかった．ただし，埋込み長さが大きいほど，また配向角が大きいほど顕著な差がみられた.

参考文献

1) 日本コンクリート工学会：繊維補強セメント系複合材料の新しい利用法に関するシンポジウム，第 2 部，2012.9