

鋼繊維補強コンクリートの引張特性とせん断伝達特性の評価

金沢大学 学生会員 ○千代延 聖
金沢大学 正会員 柳田 龍平

1. 研究の目的

繊維補強コンクリート（FRCC）はひび割れの開口抑制効果を有した複合材料であり、その構造利用による構造物の高性能化が期待される。その構造設計では FEM 解析などの数値解析技術を活用した性能照査が有用であるが、その際には、材料の力学モデルを適切に与えることが重要である。そこで本研究では、鋼繊維補強コンクリートを対象に引張特性の再評価とせん断伝達特性を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

引張特性を引張軟化曲線で評価するため、切欠きよりの 3 点曲げ試験を行った。繊維混入率を 1.0vol.% とし、製作した供試体や荷重方法は JCI-S-002-2003 を参考にした。ただし、二羽ら¹⁾の拡張 J 積分法を適用するため、軟化域で 7 回程度、除荷と再荷重を繰り返した。また、ひび割れの進展評価を行うため、荷重中に適当な枚数の写真を撮影した。

次に、せん断伝達特性を明らかにするため、せん断試験を行った。製作した供試体は 100×200×410mm の矩形断面であり、繊維混入率を 1.0vol.% とした。供試体のスパン中央にひび割れを導入するため、上下に深さ約 21mm の切欠きを設けた。供試体には PC 鋼棒を通すため $\phi 40$ mm のシース管を用いて穴を設けた。荷重試験は初期ひび割れ導入のために、切欠きに丸鋼棒をあてがい割裂荷重を行った後、逆対象 2 点荷重を行った。逆対象荷重の概要を図-1 に示す。荷重中はジャッキで PC 鋼棒に引張力を作用させ、その反力として供試体に圧縮力を加えた。供試体側面には π 型変位計と二軸変位計を取り付け、両側面の PI_upper の平均値を供試体に生じたひび割れ幅として一定の値に制御した。本研究では、この制御するひび割れ幅をパラメータとして、せん断試験を行った。

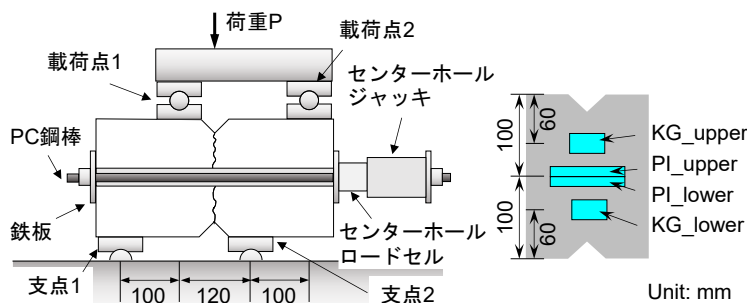


図-1 逆対象荷重の概要と変位計の取り付け

3. 実験結果

3.1 仮想ひび割れの進展評価

仮想ひび割れの進展評価のため、デジタル画像相関法に基づく画像解析を行った。撮影した画像内に解析対象領域をはりの深さ方向に 15mm 間隔の 5 段階に設定した。このようにして得られたひび割れ幅分布から近似直線を求め、その x 切片をひび割れ先端位置 a とした。図-3 はひび割れ先端位置 a をリガメント長さ a_0 で除した a/a_0 とひび割れ幅を最大ひび割れ幅で除した w/w_{max} の関係をプロットしたものであり、 $a/a_0-w/w_{max}$ 関係の定式化を試みた結果、図-3 に示す式が得られた。ひび割れは発生後、徐々にリガメント全域に進展し、最大ひび割れ幅の 10%程度でほぼ全域に進展していることが確認できる。

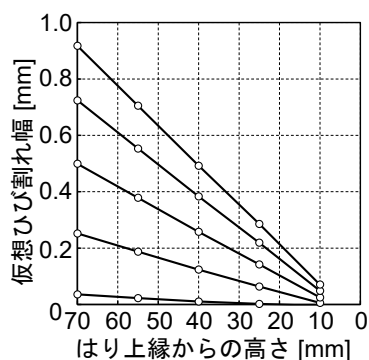


図-2 ひび割れ幅分布

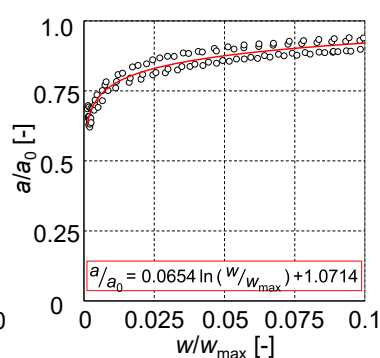


図-3 ひび割れの進展評価

キーワード 鋼繊維補強コンクリート、拡張 J 積分法、引張軟化曲線、せん断剛性低減率

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学 TEL076-264-5111

3. 2 弾性エネルギーの解放

二羽らは弾性エネルギーを除荷開始時の変位 δ と残留変位 δ_p を直線で結ぶことで評価した。しかし、図-4のように、実際の除荷曲線は下に凸な曲線であるため、斜線部は弾性エネルギーとして考慮しないこととした。本研究では除荷開始点変位を δ 、残留変位を δ_p 、除荷開始点荷重を P とし、除荷曲線下で囲まれる面積を弾性エネルギー E_e とした。 E_e を P および δ で正規化し、 $E_e/(P\delta)$ - δ 関係の定式化を試みた結果、図-4に示す式が得られた。弾性エネルギーは荷重の進行とともに、徐々に低下していくことが確認された。本研究では、軟化域においてのみ繰り返し荷重を行ったため、荷重初期段階での弾性エネルギーの定量化は行っていない。

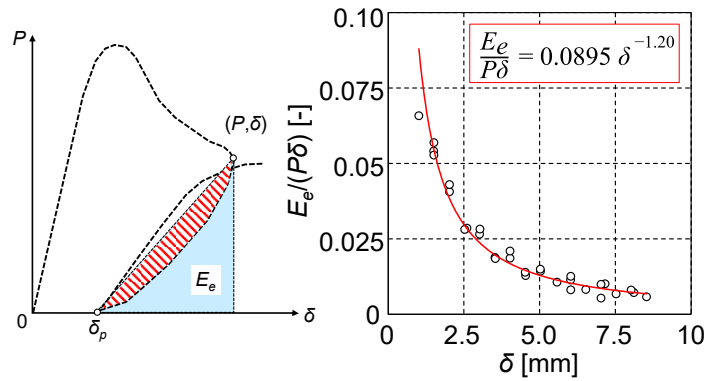


図-4 弾性エネルギーの定義とその定式化

3. 3 引張軟化曲線の推定

図-5より、修正J積分法に弾性エネルギーの解放を考慮することで応力が小さく、仮想ひび割れの進展評価を行うことで応力が大きく推定された。また、ひび割れ幅が小さいほど軟化応力の推定結果の差が大きくなっていた。よって、特にひび割れ幅の小さい段階では、実現象に即した拡張J積分法での引張応力の推定が有用であると考えられる。また、逆解析法はJ積分系と比べて、ひび割れ発生直後に急激に応力が低下し軟化していることが確認できる。

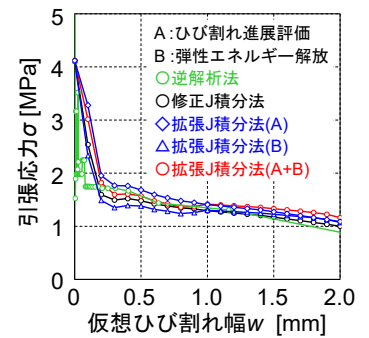


図-5 引張軟化曲線

3. 4 せん断剛性低減率の算出

せん断試験によって得られたせん断応力 τ とせん断変位 δ の関係を図-6に示す。ここでは、最大せん断応力 (τ_{max}) の 1/3 と 1/2 における τ - δ 関係の割線剛性をせん断剛性と定義した。得られたせん断剛性をもとにせん断剛性低減率を求めると図-7のようになった。図-7より、既往の研究²⁾で示されている普通コンクリートを対象としたモデルと概ね一致することがわかる。これは、藤村ら³⁾が明らかにした、繊維がせん断変位にほとんど抵抗しないという知見とも一致していた。

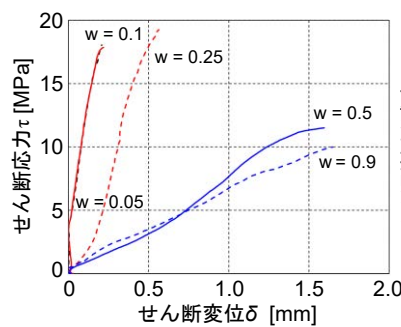


図-6 せん断応力とせん断変位の関係

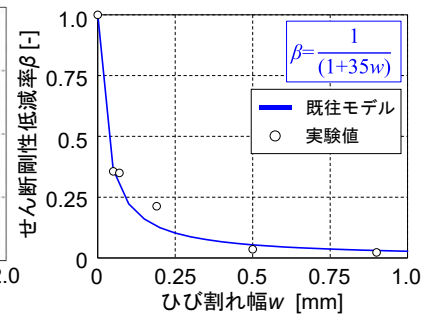


図-7 ひび割れ幅とせん断剛性低減率の関係

4. 結論

FRCC の引張特性を評価する際には、実現象に即した拡張J積分法の適用が有用であると考えられる。また、繊維はせん断変位に対してほとんど抵抗せず、ひび割れ幅とせん断剛性の関係は普通コンクリートと同様の傾向を示すことが明らかになった。

参考文献

- 1) 二羽淳一郎, Taweechai SUMRANWANICH, 松尾豊史: コンクリートの引張軟化曲線決定に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.666/V-41, pp.75-88, 1988.11
- 2) Y.Shinohara, "Shear behavior in fracture process Zone of concrete", PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRACTURE MECHANICS OF CONCRETE AND CONCRETE STRUCTURES I CACHAN I FRANCE/ 28 MAY - 1 JUNE 2001
- 3) 藤村将治, 上田尚史: FRCC のひび割れ面におけるせん断伝達特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol38, No.2, 2016