

超高強度鋼繊維補強コンクリートの動的引張特性に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○千賀孝宣 正会員 藤掛一典 大野友則
太平洋セメント(株) 正会員 片桐 誠 上田宣人

1. はじめに

鋼繊維を混入した反応性粉体コンクリート(超高強度鋼繊維補強コンクリート)は高強度・高靱性を有する高性能材料として鉄筋コンクリート構造物への適用が期待されている。著者らは、その優れた力学特性から超高強度鋼繊維補強コンクリートは衝撃荷重をうける構造物への適用が有効ではないかと考えている。その有効性を検討する上で、高ひずみ速度下における超高強度鋼繊維補強コンクリートの力学的引張特性の把握は必須である。そこで本研究では、載荷速度をパラメータとする急速一軸引張載荷試験を行い、載荷速度が超高強度鋼繊維補強コンクリートの引張挙動に及ぼす影響について調べるとともに、超高強度鋼繊維補強コンクリートのひずみ速度効果を考慮した引張応力 - ひび割れ幅関係の定式化を目的とした。

2. 試験概要

本試験では、体積比で 2%の鋼繊維を混入した超高強度鋼繊維補強コンクリート($f'_c=214.7\text{N/mm}^2$)を用いた。図-1 に供試体の形状・寸法を示す。供試体は、 $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ の正方形断面を有する長さ 100mm の角柱供試体で、供試体中央部の両側面に幅 3mm 、深さ 12.5mm の切欠きを有している。載荷速度は、静的、低速、中速および高速の 4 種類である。載荷速度は、ひずみ速度を指標としている。各載荷速度はひずみ速度で表示すると、静的載荷が $1.0\times 10^{-6}(1/\text{sec})$ 、低速載荷が、 $2.0\times 10^{-3}(1/\text{sec})$ 、中速載荷が $2.0\times 10^{-2}(1/\text{sec})$ 、高速載荷が $5.0\times 10^{-1}(1/\text{sec})$ である。また、本試験はサーボ制御式急速載荷装置を用いて行っている。本試験では、供試体に作用する引張荷重をロードセルによって、供試体の変形を渦電流式変位計によってそれぞれ計測した。

3. 試験結果および考察

3.1 破壊状況

高速載荷で得られた代表的な供試体の破壊状況を図-2 に示す。すべての供試体において、切欠き位置で軸方向にほぼ直交する破断面が形成された。なお、載荷速度の違いによる破断面の状況に優位な差は見られなかった。

3.2 応力-変形関係に載荷速度が及ぼす影響

急速一軸引張試験で得られた超高強度鋼繊維補強コンクリートの引張応力-変形関係を図-3 に示す。なお、引張応力は供試体中央部の切欠きによる断面欠損を考慮した有効断面について計算した。

各載荷速度で、初期の引張応力～変形関係は直線的に上昇することが認められる。その直線の傾きは載荷速度によらずほぼ一定で、引張応力～変形関係における初期の直線の傾きから評価した弾性係数は約 60kN/mm^2 程度であった。その後、ある引張応力に達すると変形増加が大きくなる。この点から変形量が $0.4\sim 0.5\text{mm}$ 程度までは、ほぼ一定応力(これを最大引張強度と呼ぶ)での現象とみなすことができる。最大引張強度は載荷速度が大きくなると増加する。引張軟化領域では、変形が 2mm を超えると載荷速度によらず静的載荷で得られた引張応力

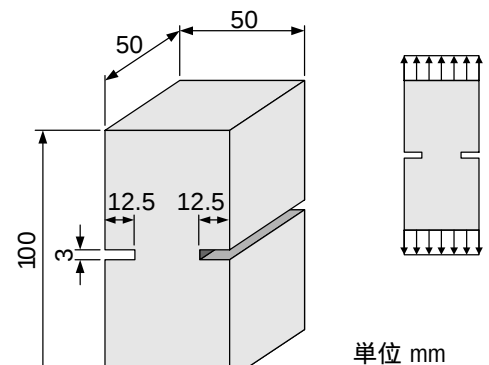


図-1 供試体の形状・寸法



図-2 高速載荷における破壊状況

キーワード：超高強度鋼繊維補強コンクリート，鋼繊維の混入率，載荷速度，急速一軸引張載荷試験

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel:046-841-3810 Fax:046-844-5913

～変形関係に漸近する傾向にある．引張応力がゼロとなる変形量は高速載荷でやや小さな値を示すものの，静的，低速，中速の各載荷速度では約 4.4mm となった．

3.3 最大引張強度に載荷速度が及ぼす影響

本試験で得られた最大引張強度の増加率とひずみ速度の関係を図-4 に示す．最大引張強度の増加率はひずみ速度が大きくなるにしたがい増加している．ただし，約 $1.0 \times 10^{-1} (1/\text{sec})$ 付近のひずみ速度を境としてその前後で最大引張強度の増加率の増大傾向に相違がみられる．

次に，最大引張強度の増加率とひずみ速度関係について回帰分析を行い，式(1)を得た．

$$\frac{f_{tf,d}}{f_{tf,s}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{st}} \right)^{0.0013 \left[\text{Log} \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{st}} \right) \right]^{1.95}} \quad \cdots \text{式(1)}$$

ここで， $f_{tf,d}$ ：ひずみ速度 $\dot{\varepsilon} (1/\text{sec})$ で載荷した場合の鋼繊維補強超高強度コンクリートの引張強度， $f_{tf,s}$ ：静的載荷した場合の鋼繊維補強超高強度コンクリートの引張強度[$f_{tf,s} = 10.8 \text{ N/mm}^2$ ：試験平均]， $\dot{\varepsilon}_{st}$ ：静的載荷時のひずみ速度[$\dot{\varepsilon}_{st} = 1.0 \times 10^{-6} (1/\text{sec})$]である．

式(1)で与えられる最大引張強度の増加率とひずみ速度の関係を図-4 に示す．

3.4 引張応力 - ひび割れ幅関係のモデル化

本試験の各載荷速度で得られた引張応力 - ひび割れ幅関係を図-5 に示す．なお，ひび割れ幅は供試体の全体変形から弾性変形量を差し引いて求めた．この図から，引張応力 - ひび割れ幅関係について次のことがいえる．1)各載荷速度で，ひび割れ幅 0.4mm 以下の部分では引張応力はほぼ一定値を示す．また，その時の引張応力は載荷速度が大きくなると大きくなる．2)ひび割れ幅が 0.4mm 以上になると引張応力はひび割れ幅の増加とともに減少する．3)ひび割れ幅 2.0mm 以上の部分では，引張応力 - ひび割れ幅関係は載荷速度によらずほぼ一致する傾向にある．したがって，本研究では，超高強度鋼繊維補強コンクリートの引張構成関係を表す引張応力～ひび割れ幅関係を，図-6 のようにモデル化した．

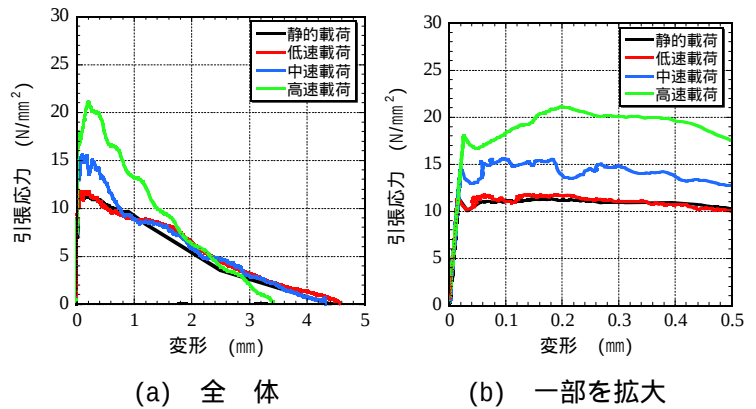


図-3 引張応力 - 変形関係

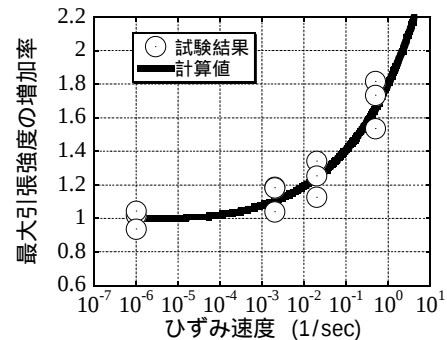


図-4 ひずみ速度と最大引張強度の増加率の関係

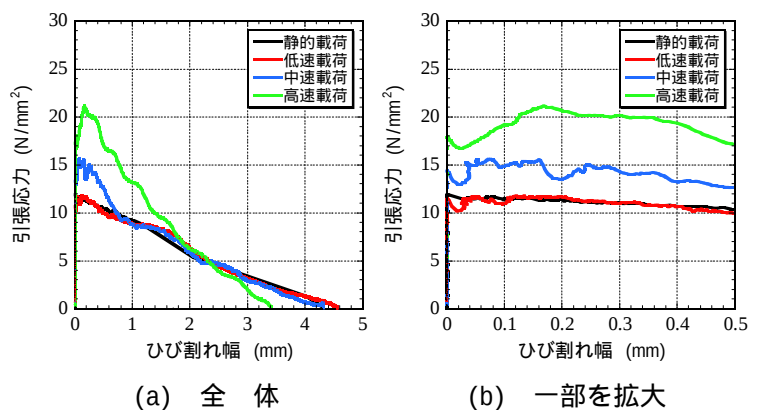


図-5 引張応力 - ひび割れ関係

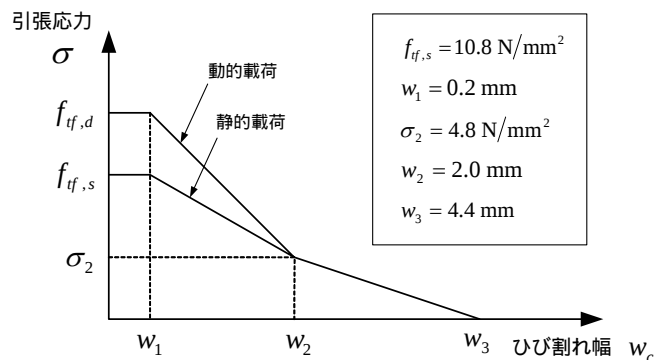


図-6 引張応力 - ひび割れ幅関係のモデル化