

鋼繊維補強コンクリートの引張強度試験方法 (II)

— 各種引張試験方法の比較 —

Testing Method for Tensile Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete (II)

— Comparison of The Different Tensile Testing Methods —

趙 力采*・小林 一輔*・西村 次男*

Ryokche CHO, Kazusuke KOBAYASHI and Tsugio NISHIMURA

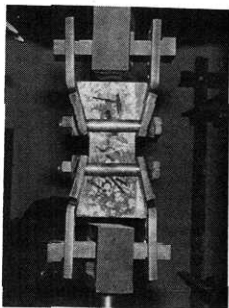
1. は し が き

著者らは第1報¹⁾において、鋼繊維補強コンクリートの引張強度試験方法として両引き試験をとりあげ、これを適用することにより引張強度が求められることを明らかにするとともに、このさい同時に得られる引張応力ひずみ挙動についても検討した。

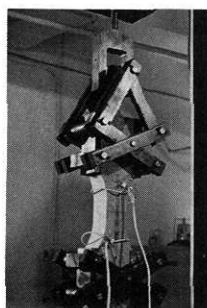
本報では広範囲に形状寸法の異なる鋼繊維を用いた鋼繊維補強コンクリート供試体による各種引張試験、すなわち圧裂引張強度試験、直接引張強度試験および両引き方法による引張強度試験を実施し、それらの結果に基づき両引き試験方法が鋼繊維補強コンクリートの引張強度試験方法として最も適していることを示した。

2. 本実験に用いた各種試験方法

圧裂試験は $\phi 10 \times 15$ cmの円柱形供試体を用いて行い、引張変形特性は円形断面の中心位置で荷重軸線と直角方向に貼付したワイヤーストレインゲージにより求めた、また直接引張試験は写真1 (I) に示すような中央部の断面が 10×6 cmで4 cmの長さの平行部を持つ供試体のテーパ部分をボルト締めした上下の治具を用いて荷重する方法 (I)、ならびに写真1 (II) に示すような中央部の断面が 4.4×4.4 cmで4 cmの長さの平行部を持つ供試体を上下のフリクショングリップを用いて荷重する方法 (II) の二つの方法を用いた。なお、引張変形特性



方法 (I)



方法 (II)

写真1 直接引張試験方法

はいずれも平行部の中央部分にワイヤーストレインゲージを貼付して求めた。一方、両引き試験は前報¹⁾に示した通りであるが、中央部に切欠きを持つコンクリート角柱体寸法は $10 \times 10 \times 40$ cm一定とした。

3. 直接引張および圧裂引張試験方法

による引張強度特性の検討

3.1 直接引張試験方法の検討

図1は直接引張試験方法の相違による鋼繊維補強コンクリートの引張強度間の関係を示したものである。なお、鋼繊維補強コンクリートは水セメント比が50%と65%のコンクリート中に断面寸法が $0.5 \times 0.5 \times 30$ mmせん断フェイバーをそれぞれ1.0、1.5及び2.0%混入したものである。この図より、試験方法 (II) の引張強度は試験方法 (I) のものよりいずれも高く、また繊維混入率が大きいものほどその差が大きくなる傾向を示すことがわかる。前者は供試体平行部の断面寸法が試験方法 (I) の供試体より小なることによる寸法効果に帰因するものであり、後者はさらに断面寸法が小なることによる打込み時の鋼繊維の配向の影響が加算されたものと考えられる。したがって、それらの事がらを考慮すればいずれの試験方法による引張強度もほぼ同程度であると見なして差しつかえなく、試験方法 (I) および (II) は鋼繊維補強コンクリートの引張強度特性を正確に捉えているものと思われる。以下の実験での直接引張試験方法としては他の引

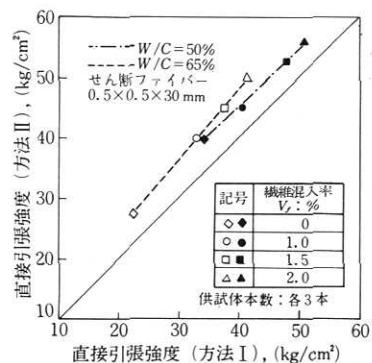


図1 直接引張試験方法の相違による引張強度間の関係

*東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

張試験方法に用いる供試体断面と同程度で鋼繊維の配向の影響が小さいと思われる供試体断面の試験方法(I)を用いることにした。

3.2 圧裂引張試験方法の検討

図2はプレーンコンクリートと断面寸法が0.5×0.5×30mmのせん断ファイバーを2%混入した鋼繊維補強コンクリートについて、圧裂引張試験、直接引張試験(方法I)と両引き試験を実施して得られた引張応力ひずみ曲線を示したものである。圧裂試験の場合、2軸応力状態での引張応力ひずみ曲線であるので、単軸引張応力状態のものとは直接比較はできないが、この図より明らかなことは次の点である。すなわち、1) 直接引張試験および両引き試験の場合、鋼繊維補強コンクリートは可視ひびわれ発生(300×10⁻⁶程度)後は耐荷力が増大しないのに対して、圧裂引張試験の場合はひびわれ発生後もその拡大によるひずみ値の増加とともに耐荷力が増大すること、2) 直接引張試験および両引き試験の場合は、鋼繊維補強コンクリートの強度がプレーンコンクリートの1.4倍程度であるのに対して、圧裂引張試験におけるその比は1.7倍程度となっていることなどである。図3は繊維混入率と直接引張強度ならびに圧裂引張強度との関係を示したものである。なお、鋼繊維は0.5×0.5×30mmのせん断ファイバーと切削ファイバーの2種、セメントは普通および早強ポルトランドセメントの2種を用いたこの図より、1) いずれの試験の場合もその値まではほとんど補強効果を示さない限界の繊維混入率が存在し、その後の繊維混入率と引張強度との関係は非線形となる。2) プレーンおよび鋼繊維補強コンクリートのいずれの場合も圧裂引張強度が直接引張強度より高いことなどが

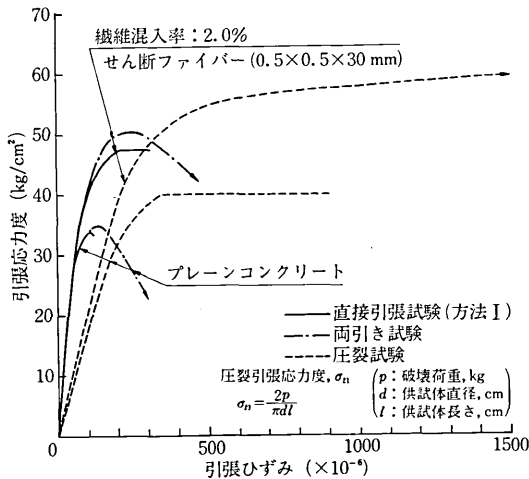


図2 引張試験方法の相違による鋼繊維補強コンクリートの応力ひずみ曲線

明らかである。一方、図4は図3の結果に基づき圧裂引張強度と直接引張強度の相関関係を示したものである。この図より明らかなことはプレーンコンクリートと鋼繊維補強コンクリートのいずれの場合も、圧裂引張強度が直接引張強度よりも高くなることのみならず、繊維混入率が大きくなるほどその差が増大する傾向を示しており、V_f=2.0%においては直接引張強度の約1.4倍に達していることである。

一般に、圧裂引張試験におけるプレーンコンクリートの破壊形態はひびわれの発生と同時に左右の半円柱形部分が二分されることになる。しかし、鋼繊維補強コンクリートの圧裂引張試験より、引張変形特性は直接引張試験による場合とは異なり、可視ひびわれ発生後も耐荷力が増大することならびに圧裂引張強度が直接引張強度に比し大きく、しかも繊維混入率の増加とともにその差が増大するという事実は明らかにひびわれ発生後鋼繊維によりブリッジされた二つの半円柱体を圧縮試験したよう

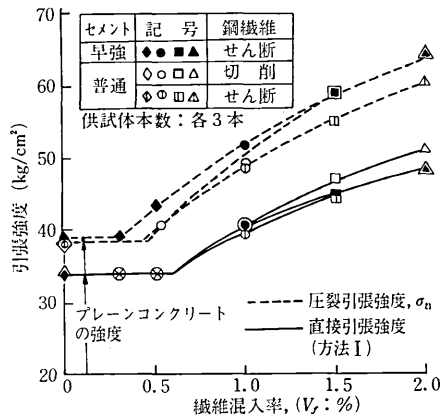


図3 圧裂引張強度、直接引張強度と繊維混入率との関係

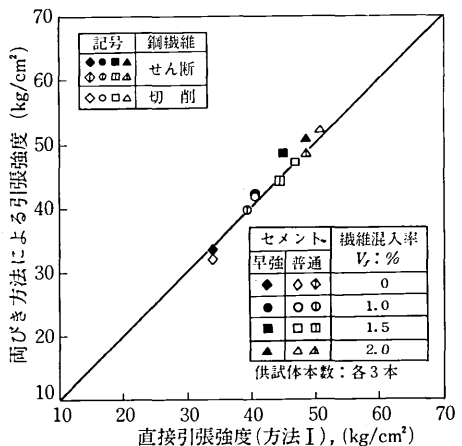


図4 圧裂引張強度と直接引張強度との関係

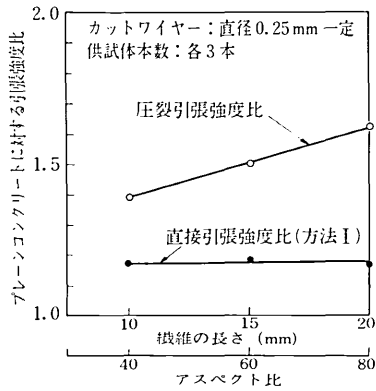


図5 圧裂引張強度と直接引張強度に及ぼす繊維の長さの影響

になり破壊荷重が増大していることを意味している。さらに、図5は繊維混入率を一定 ($V_f=1.1\%$) とし、直径が一定 ($d=0.25\text{ mm}$) で長さの異なる鋼繊維を用いた場合の圧裂引張強度と直接引張強度に及ぼす鋼繊維の長さ(すなわちアスペクト比)の影響を示したものである。鋼繊維補強コンクリートの引張強度は鋼繊維の長さに関係することは著者が直接引張試験によってすでに確かめているが²⁾、この図から、直接引張強度が鋼繊維の長さにはほとんど影響されないのに対して、圧裂引張強度の場合は用いる繊維が長いものほどその強度が増大することがわかる。この結果も、ひびわれ発生後、左右の半円柱形部分を鋼繊維がブリッジする破壊形態をとることに帰因しているのであって、鋼繊維が長いものほどその引抜け抵抗が大となり、破壊荷重の増大をもたらすものである。

以上の結果は、圧裂引張試験により鋼繊維補強コンクリートの引張強度と変形特性を正確に求めることが困難であることを示すものである。

4. 両引き試験による引張強度特性の検討

4.1 鋼繊維補強コンクリートの引張強度

図6は繊維混入率を一定 ($V_f=1.5\%$) とし、直径が一定 ($d=0.25, 0.56\text{ mm}$) で長さの異なる鋼繊維を用いた場合の、直接引張強度と両引き方法による引張強度に及ぼす鋼繊維の長さ(すなわちアスペクト比)の影響を示したものである。なお、直接引張試験は方法(I)を用い、プレーンコンクリートに対する鋼繊維補強コンクリートの引張強度比として示した。この図より明らかなように、両引き試験によって求めた鋼繊維補強コンクリートの引張強度は、直接引張強度と同様に、繊維混入率が一定の場合、用いる繊維の長さ(またはアスペクト比)にはほとんど影響されないことを示しており、しかも直接引張強度とよく一致していることがわかる。このことは両引き方法が鋼繊維補強コンクリートの引張強度試験方

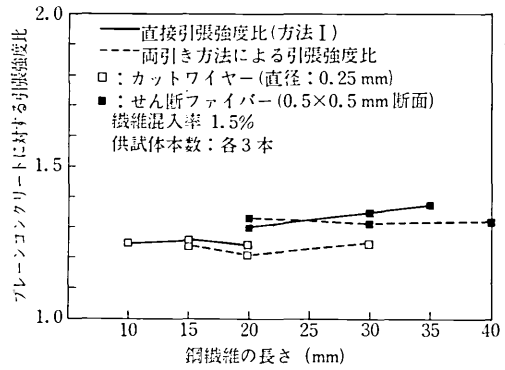


図6 両引き方法による引張強度に及ぼす鋼繊維の長さの影響

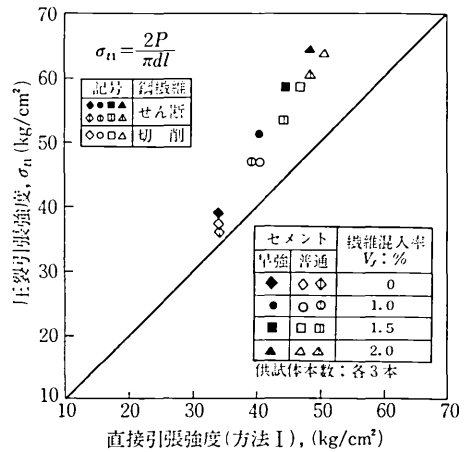


図7 両引き方法による引張強度と直接引張強度との関係

法として適用できることを示すものであり、引張強度を正確に求め得ることを示唆するものである。一方、図7は直接引張強度(方法I)と両引き方法による引張強度との相関関係を示したものである。なお、鋼繊維補強コンクリートは断面寸法が $0.5 \times 0.5 \times 30\text{ mm}$ のせん断ファイバーと切削ファイバーをそれぞれ普通および早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートマトリクス中に0%から2.0%まで混入したものである。図から明らかなように、プレーンコンクリートおよび鋼繊維補強コンクリートのいずれの場合も、両引き方法による引張強度は直接引張強度とほぼ一致している。

4.2 プレーンコンクリートの引張強度

図8は粗骨材最大寸法(15 mm)と細骨材率($s/a=60\%$)を一定とし、水セメント比を変化させたプレーンコンクリートの各種試験方法による引張強度間の関係を示したものである。この図から明らかなことは、1)両引き方法による引張強度は直接引張強度と良く一致すること、2)圧裂引張強度は直接引張強度および両引き方法による引張強度に比しやや高く、水セメント比が40%に

研究速報

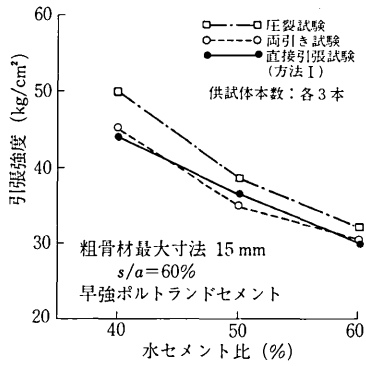


図8 各種試験方法によるプレーンコンクリートの引張強度と水セメント比との関係

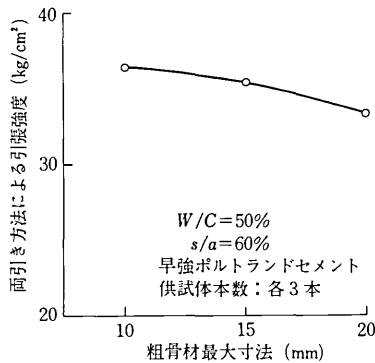


図9 両引き試験により求めたコンクリートの引張強度と粗骨材最大寸法との関係

おいてはその差が大きいことなどである。一方、図9は両引き方法によりプレーンコンクリートの引張強度に及ぼす粗骨材最大寸法の影響を検討した結果を示したものである。なお、水セメント比は50%、細骨材率は60%一定とし、粗骨材最大寸法は10、15および20mmの3種とした。この図より、コンクリートの圧縮強度に及ぼす粗骨材最大寸法の影響に関する既往の結果³⁾と同様に、引張強度が用いる粗骨材の最大寸法が大きくなるに従って低下することが明確に捉えられていることがわかる。

以上の結果はこの両引き方法が鋼繊維補強コンクリートのみならず、プレーンコンクリートの引張強度試験方法としても適用できることを示すものである。

5. 各種試験方法による引張強度の変動についての検討

表1は繊維混入率が一定(1.5%)の鋼繊維補強コンクリートを用いて、圧裂引張試験、直接引張試験(方法I)と両引き試験から求めた引張強度の変動についての検討結果を示したものである。なお、用いた鋼繊維補強コンクリートの配合は表1の欄外に示すようなものとし、供試体本数は各6本とした。表1の結果より明らかなることは下記の点である。すなわち、1)平均引張強度に関し

表1 試験方法の相違による引張強度の変動

	引張強度 (kg/cm ²)		平均値 σ_t (kg/cm ²)	標準偏差 S (kg/cm ²)	変動係数 S/σ_t (%)
圧裂試験	58.8	50.9	57.3	3.73	6.5
	56.1	58.8			
	63.2	56.0			
直接引張試験 (方法I)	43.6	44.7	44.7	3.97	8.9
	40.2	48.4			
	40.1	50.9			
両引き試験	42.6	41.0	44.3	3.05	6.5
	47.7	41.4			
	44.0	49.0			

条件 (W/C = 50%, s/a = 60% 粗骨材最大寸法: 15 mm, 繊維混入率: 1.5%, セン断ファイバー: 0.5 × 0.5 × 30 mm)

ては、すでに述べたように両引き試験と直接引張試験による値がよく一致し、圧裂試験の値はこれらよりも高くなっている、2)引張強度のばらつきの程度を標準偏差の値で見れば、両引き試験は他の試験方法よりばらつきが小さいことが明らかである。なお、両引き試験における変動係数の値は圧裂試験の場合の平均引張強度が高いことを考慮すれば大きい値ではない。一方、他の試験方法に比し直接引張試験のばらつきが大きいのは載荷治具の装着時のずれなどによる偏心載荷の影響と考えられる。これらの結果は両引き試験により鋼繊維補強コンクリートの引張強度を精度よく求め得ることを示すものである。

6. む す び

第I報と第II報の結果は、圧裂引張試験が鋼繊維補強コンクリートの引張強度特性を正確には評価できないことを示すと同時に、直接引張試験が、1)特殊な形状寸法の供試体や載荷治具を要する、2)偏心載荷の影響を除くことが難しい、3)剛性試験機等を使用せずにひびわれ後の変形挙動を求めることが難しい、などの問題点があるのに比して、両引き試験が比較的容易に鋼繊維補強コンクリートの引張強度と変形特性を評価できることを示すものとする。

著者らは以上の結果よりプレーンコンクリートおよび鋼繊維補強コンクリートの引張強度試験方法として、両引き試験方法を提案するものである。

(1978年11月2日受理)

参 考 文 献

- 1) 趙, 小林, 西村, 生産研究, Vol. 31, No. 1.
- 2) 趙, 小林, 生産研究, Vol. 29, No. 10.
- 3) Cordon, W. A. and H. A. Gillespie, Jour. of ACI, Vol. 60, No. 8, pp. 1029~1052, 1963-8.