

鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験 方法に関する実験的研究

Experimental Study on Shear Strength Testing Method for Steel Fiber Reinforced Concrete

小林 一輔*・魚本 健人*・峰松 敏和**

Kazusuke KOBAYASHI, Taketo UOMOTO and Toshikazu MINEMATU

1. はし が き

最近、鋼繊維補強コンクリートのすぐれたせん断強度特性に着目して、これを NATM によって掘進するトンネルの一次ライニングに適用しようとする動きが活発である。

しかし、コンクリートの真のせん断強度を求めることは非常に困難で、普通コンクリートの場合ですらせん断強度の標準試験方法は未だ確立されていない。まして、鋼繊維補強コンクリートのような複合材料のせん断強度を正しく評価する試験方法は明らかにされていない。

現在、普通コンクリートのせん断強度試験方法は数種提案されているが、これらの試験方法によって求められたせん断強度の値はそれぞれ広範囲に変化することが知られている。

本研究は、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度を正しく評価できるせん断強度試験方法を明らかにすることを目的として実施したもので、本文はその第1報である。

すなわち、現在普通コンクリートにおいて提案されている各種せん断強度試験方法を用いて、鋼繊維補強コンクリートと普通コンクリートの場合について、これら試験方法の相違がせん断強度や破壊状態に及ぼす影響を明らかにし、その結果に基づいて鋼繊維補強コンクリートのせん断強度の評価に適していると思われる試験方法を提案した。

2. 実験の概要

2.1 実験項目

本報では、表-1に示すように基本的に載荷方法の異なる4種の試験方法を選定し、それぞれについて供試体または載荷条件の異なるものも含めて合計9種類の試験方法を用いて、普通コンクリートおよび鋼繊維補強コンクリート(繊維混入率=2.0%)のせん断強度試験を実施し、せん断強度や破壊状態の比較検討を行った。

なお、本実験では試験の容易さを考慮して一軸載荷のみを取り上げた。また、参考として同時に圧縮強度およ

び割裂引張強度も求めた。

2.2 使用材料および配合

セメントは早強ポルトランドセメント、粗骨材は秩父両神産の砕石(最大寸法: 15mm, 比重: 2.71), 細骨材は比重2.68, F.M. 2.85の川砂を用いた。また、鋼繊維は寸法が $0.5 \times 0.5 \times 30$ mmで、冷延鋼板をせん断して製造したせん断繊維を用いた。コンクリートの配合は表2に示す配合で、供試体はコンクリート打設後1日で脱型し試験実施時(材令2週)まで水中養生を行った。

3. 各種せん断強度試験方法の特徴

表-1に示す9種類の試験方法を用いてせん断強度試験を行った結果を図-1~図-3に示す。図-1はせん断強度と繊維混入率の関係を、図-2はせん断強度の圧縮強度に対する比率と繊維混入率との関係および鋼繊維補強コンクリートの普通コンクリートに対するせん断強度比の関係を、図-3はせん断破壊状態を示したものである。なお同時に実施した圧縮強度と割裂引張強度の試験結果を表-3に示した。

これらの結果より、各々のせん断強度試験方法による試験結果の特徴についてとりまとめると以下ようになる。

3.1 二面せん断試験方法

1) 二面せん断試験方法は、すべて2つのせん断面にひびわれが発生するが、鋼繊維補強コンクリートの場合破壊断面はほとんどの場合においていずれかの一面に生じ、二面で破壊するものは極めてまれである。

2) 二面せん断試験のうちA法とB法は載荷面積が小さいため支圧による圧壊状態が見られるが、二面せん断試験C法には見られなかった。しかし、二面せん断試験C法の供試体中央部には曲げの影響によると思われるひびわれが発生したものが若干あった。

3) 一般に二面せん断による強度は圧縮強度の $1/4 \sim 1/6$ ($0.25 \sim 0.17$)と言われている。本実験の場合、普通コンクリートではほぼ上記の比率となったが、鋼繊維補強コンクリートでは圧縮強度に対するせん断強度の比は上記の値よりも大きくなっている(図-2(a)参照)。これは鋼繊維補強コンクリートの場合、せん断強度は繊維混入率

* 東京大学生産技術研究所 第5部

** 日本大学大学院生産工学研究科

研究速報
 の増加と共に増大するが、圧縮強度は普通コンクリート

とほぼ同じ値にとどまるためであろう。

3.2 ルーマニアせん断試験方法

1) ルーマニアせん断試験方法によって求めたせん断強

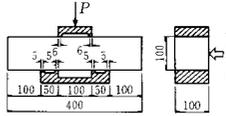
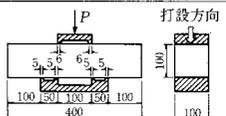
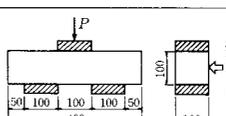
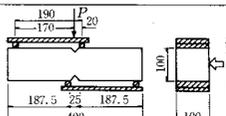
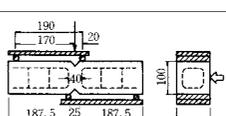
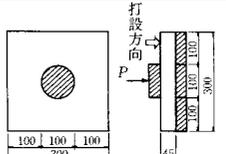
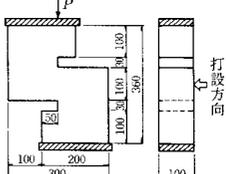
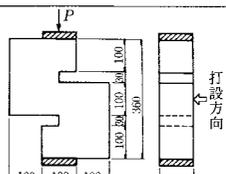
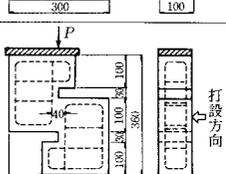
試験方法	供試体寸法および荷重方法 (mm)	強度算定式
二面せん断試験	A 側面荷重	 $\tau = P/2A$ $A \approx 100 \text{ cm}^2$
	B 上面荷重	 $\tau = P/2A$ $A \approx 100 \text{ cm}^2$
	C 側面荷重 治具別	 $\tau = P/2A$ $A \approx 100 \text{ cm}^2$
ルーマニアせん断試験	A スターラップ 無し	 $\tau = \frac{15}{19} P/A$ $A \approx 75 \text{ cm}^2$
	B スターラップ 有り	 $\tau = \frac{15}{19} P/A$ $A \approx 75 \text{ cm}^2$
押し抜きせん断試験	 $\tau = P/A$ $A = \pi Dh$	
間接一面せん断試験	A 全面荷重 スターラップ 無し	 $\tau = P/A$ $A \approx 100 \text{ cm}^2$
	B 部分荷重 スターラップ 無し	 $\tau = P/A$ $A \approx 100 \text{ cm}^2$
	C 全面荷重 スターラップ 有り	 $\tau = P/A$ $A \approx 100 \text{ cm}^2$

表-1 せん断強度試験方法

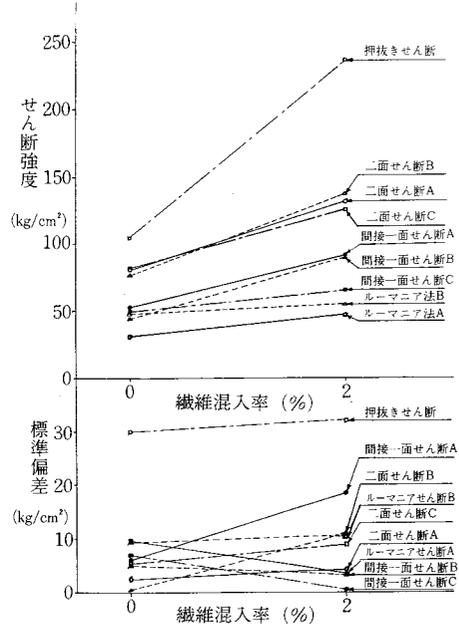


図-1 繊維混入率とせん断強度および標準偏差との関係

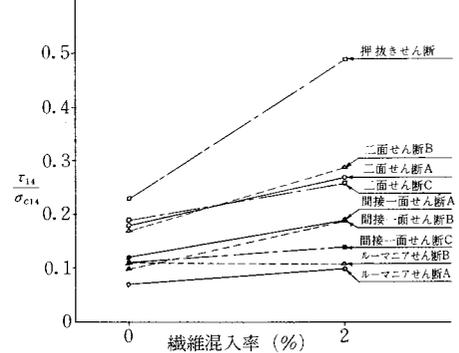


図-2(a) せん断強度の圧縮強度に対する比率と繊維混入率との関係

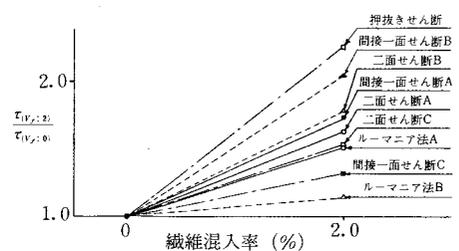


図-2(b) 鋼繊維補強コンクリートの普通コンクリートに対するせん断強度比の関係

度は他の試験方法によって求めたせん断強度に比べて相当小さく、また鋼繊維添加による補強効果もあまり明確でない。

2) 供試体のせん断破壊状態は、A、B両方法とも中央部ノッチ先端と最も近い荷点を結ぶ線や、逆対称位置にある2つの荷点を結ぶ線で破壊し、すべて斜め方向に破断することからも純粋なせん断破壊とは言えないようである。

3.3 押し抜きせん断試験方法

1) 押し抜きによるせん断強度は、他の試験方法の2〜4倍の値となり、また標準偏差も他の試験方法の約2〜3倍である。

2) 鋼繊維による補強効果は非常に大きく、他の試験方法がすべて普通コンクリートの2倍以内であるのに対して押し抜きせん断試験は約2.3倍となっており、圧縮強度に対する比は、普通コンクリートの場合で0.23と他の試験方法と大差ないが、鋼繊維補強コンクリートの場合には約0.5で、他の試験方法の2倍以上である。

3) 破壊状態は、普通コンクリートの場合ひびわれが外縁まで達し供試体は完全に押し抜けるが、鋼繊維補強コンクリートの場合にはひびわれが外縁まで到達せず供試体を完全には押し抜けなかった。これは鋼繊維によるせん断面のせん断補強と外縁部の引張力の補強効果によるものと思われる。

4) 3)より押し抜きによるせん断強度は供試体の寸法や押し抜き部分の大きさに左右されると考えられ、供試体の厚さや外縁部が大きいほど大きな強度が得られると思われる。

3.4 間接一面せん断試験方法

1) 間接一面せん断試験によって求めたせん断強度の値は二面せん断試験とルーマニアせん断試験によって求めた値の中間にあり、圧縮強度に対する割合も同様である。また、鋼繊維による補強効果はA法およびB法では大きく、C法ではあまり大きくない。これはスターラップを入れた場合、試験区間の鋼繊維が特定方向に配向したためと考えられる。

2) 破壊状態は、供試体の全面に荷重を行うA法およびC法のうち、スターラップのないA法は曲げの影響によると思われるひびわれが発生したが、C法ではこの影響が少なかった。これはスターラップによって補強されているためと思われる。また、部分荷重のB法では曲げによる影響が小さくなり、せん断面にそったずれ破壊に近い状態となった。このことより、荷重面を小さくして線荷重に近づけると純粋なせん断破壊に近くなるものと考えられる。

4 各種のせん断強度試験方法の比較検討

上記の結果に基づいて、これらのせん断試験方法を比較検討すると、まず、試験方法によってせん断強度の値は相当に異なり、普通コンクリートの場合でルーマニア

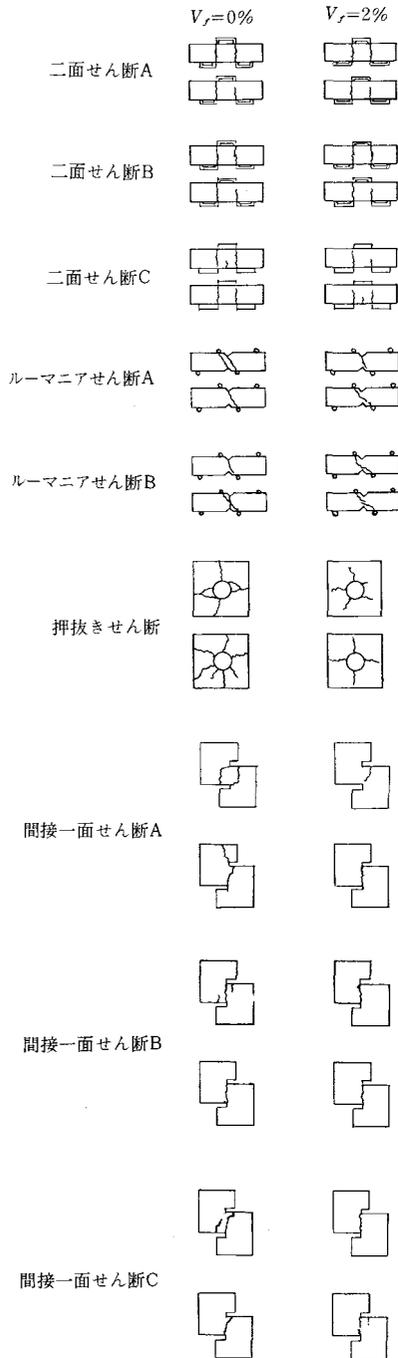


図-3 各種せん断強度試験による破壊状態

表-2 コンクリートの配合

繊維混入率 (%/vol)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	鋼繊維
0	50	52	190	380	961	897	0
2	50	77	238	476	1261	381	157

表-3 コンクリートの圧縮強度および割裂引張強度

コンクリートの種類	圧縮強度 (kg/cm ²)		引張強度 (kg/cm ²)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
普通コンクリート	455	14.22	37.2	2.40
鋼繊維補強コンクリート	483	10.66	48.0	4.20

表-4 各種試験方法によって求めたせん断強度の比較

コンクリートの種類	せん断強度の順序			
	ルーマニアせん断	間接一面せん断	二面せん断	押し抜きせん断
普通コンクリート	32~48 kg/cm ²	44~53 kg/cm ²	77~82 kg/cm ²	105 kg/cm ²
鋼繊維補強コンクリート	47~55 kg/cm ²	66~92 kg/cm ²	126~138 kg/cm ²	237 kg/cm ²

せん断による31kg/cm²から押し抜きせん断による105kg/cm²まで、また、鋼繊維補強コンクリートの場合も同様に47kg/cm²から237kg/cm²まで変化している。しかし、試験方法が同じであれば得られるせん断強度はある範囲内にあることがわかる。また、表-4に示すように、普通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にも得られるせん断強度は、ルーマニアせん断、間接一面せん断、二面せん断、押し抜きせん断の順に高くなる。

次に、試験方法として重要な標準偏差や破壊状態を調べると、標準偏差は押し抜きせん断の場合が非常に大きく間接一面せん断A法がこれに次いでいる。他はすべて10kg/cm²以内ではほぼ同じような値となっているが、中でも二面せん断A法や間接一面せん断B法が標準偏差も小さく、また普通コンクリートと鋼繊維補強コンクリートの標準偏差の差も小さくなっている。また、破壊状態は曲げや引張の影響が少なくせん断面にそって破断する試験方法が有効と考えられ、この点から考えると二面せん断A法およびB法や間接一面せん断B法が望ましい破壊状態を示していると思われる。

せん断強度とその標準偏差、せん断破壊状態および供試体作製や試験の簡便性等を考え合わせると、本実験でとり上げたせん断強度試験方法の中では、押し抜きせん断は求められるせん断強度や標準偏差が非常に高く、実際の荷重状態が押し抜きせん断と同様の場合の評価に用いることは可能であるが、一般性に欠けると思われる。またルーマニアせん断は破壊状態がすべて斜め方向へ破壊し純粋なせん断試験とは言えない。二面せん断では、C法は曲げの影響が加わった破壊状態で、A法およびB

法は比較的良好であるが、標準偏差の面からA法がより良いと思われる。さらに間接一面せん断A法には曲げの様相があり、この点ではB法が破壊状態や標準偏差の点を併せ考慮するとよりすぐれている。

以上より、本実験中のせん断強度試験方法では、二面せん断試験A法と間接一面せん断試験B法が鋼繊維補強コンクリートのせん断試験方法として適していると考えられる。なお、鋼繊維補強コンクリートのせん断試験には、補強のためのスターラップ等はい用いる必要はないと思われる。

5. ま と め

普通コンクリート、鋼繊維補強コンクリートのいずれも、試験方法の差によってせん断強度の値は大きく相異なるが、鋼繊維による補強効果はいずれの試験方法を用いてもほぼ同程度に得られる。本実験で用いたような寸法のせん断繊維を用いた鋼繊維補強コンクリートの普通コンクリートに対する補強比は繊維混入率2.0%で1.5~2.0倍と考えるのが妥当なようであると思われる。

本研究でとり上げたせん断強度試験方法の中から鋼繊維補強コンクリートのせん断強度を評価するためのせん断試験方法として適当と思われる試験方法をあげると二面せん断A法と間接一面せん断B法があげられる。

(1979年12月20日受理)

参 考 文 献

- 1) 遠藤孝夫, 青柳征夫; コンクリートのせん断試験方法に関する一考察; 第32回土木学会年次講演会 (1977.10)
- 2) 平澤征夫; 鋼繊維補強コンクリートはりのせん断特性に関する実験; 鋼繊維補強コンクリートに関するシンポジウム (1977.11)