

V-407 鋼繊維補強コンクリートのせん断特性と補強機構のモデル化

横浜国立大学大学院 学生会員 庄司 宏臣

同 上 学生会員 Sunaryo SUMITRO

横浜国立大学工学部 正会員 椿 龍哉

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリートを構造用コンクリートとして用いるためには、その補強機構を明らかにし、性能を適切に評価することと鋼繊維補強コンクリートの変形特性を把握することが重要である。

本研究では、モルタル供試体のせん断面に対してある一定の繊維方向角で配置された鋼繊維がせん断を受ける場合の破壊モードと変形特性、すなわちせん断力-せん断変位曲線からそれらの傾向を実験的に検討するために二面せん断試験を行い、また得られた結果から鋼繊維の補強機構に関するモデル化を試みた。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は最大粒径5mmの川砂である。鋼繊維はインデント加工されたカットワイヤー（ストレートタイプ、換算径 $\phi 0.55\text{mm}$ 、長さ25mm）を用いた。また、供試体内部を均一な状態とするために粗骨材は使用せずモルタルとした。

2.2 供試体と配合

供試体寸法は $10\times 10\times 40\text{cm}$ である（図-1参照）。各供試体のパラメータは鋼繊維本数（間隔）、モルタルの強度、繊維方向角である。すなわち、水セメント比がそれぞれ50%と30%のN、Hシリーズの各モルタルを母材とし、一つのせん断面につき 8×8 の64本（繊維間隔10mm）の鋼繊維をせん断面に垂直に、両側埋込長が等しくなるように配置したN-8、H-8供試体と、 16×16 の256本（繊維間隔5mm）の鋼繊維を同様に配置したN-16、H-16供試体である。また、Hシリーズに関しては、鋼繊維が水平方向に対して $+45^\circ$ に傾かせたH-8+45供試体と -45° に傾けたH-8-45供試体を作成した（図-2参照）。鋼繊維をせん断面に配置するために、供試体は中央部打設後1日で両端部を打設し、材齢2日で脱型後、材齢28日まで標準養生（ 20°C 水中）を行った。なお、せん断面には、ビニールシートを2枚はさむことにより、モルタル間の付着を切っている。

2.3 実験方法

せん断試験は、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法¹⁾にしたがい、アムスラー型万能試験機により载荷した。なお、せん断変位として鉛直方向の変形量を2個の変位計により計測した。

3. 実験結果

せん断を受ける鋼繊維補強コンクリートのせん断面の鋼繊維の分布はランダムで、せん断面形成後も鋼繊維の抵抗によりせん断保有耐力を有すると考えられる。本研究では、せん断面における鋼繊維の変形挙動をより正確に計測するため、せん断面をあらかじめ設け、鋼繊維はせん断面に対してすべて一定方向に配向させた。図-3に各せん断面に作用するせん断力とせん断変位の関係を示す。N-8、H-8のせん断力は最大値の後、減少し軟化を示したが、H-16では、鋼繊維の破断音が生じる時点でせん断力はピークに達し、その後せん断力はある変形量まで加速的に低下した。また、その時の最大せん断力はH-8の4倍で総繊維数の本数の比と一致した。し

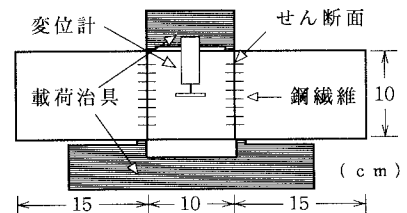


図-1 せん断試験方法

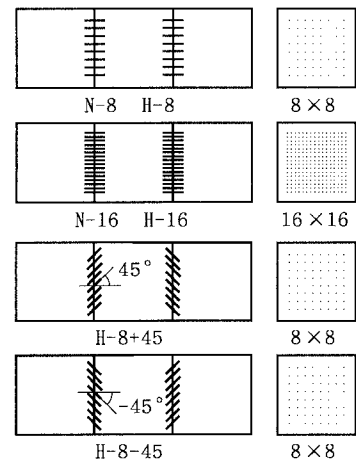


図-2 せん断試験供試体

かし、H-8では約半数の鋼繊維が引抜けているのに対し、H-16ではほとんどすべての繊維が破断していることから、破壊モードが鋼繊維本数あるいは繊維間隔に影響を受けることが明らかとなった。最大せん断力時のせん断変位の値が普通強度の方が大きいことは、付着破壊が早期に始まっていることを意味すると思われる。

次に、繊維方向角の影響について図-4

に示す。実験後のせん断面の状況から、H-8+45はほとんどの鋼繊維が破断により破壊し、一方、H-8-45では鋼繊維とモルタルの付着破壊をともなう引抜けによる破壊が確認された。H-8+45は、他と全く異なった変形特性を示した。せん断力が400kgfに達した後、荷重が低下し、せん断変位2mmで再度増加し最大せん断力に達した。最初のピークは、鋼繊維を支えるモルタルのせん断面付近の微小領域が破壊したためであり、2回目のピークは鋼繊維の引抜けまたは破断によるピークであると思われる。鋼繊維の曲げとモルタルの破壊により最大せん断応力時のせん断変位の値は大きくなり、最大せん断応力はH-8に比べ低下した。

4. 鋼繊維補強コンクリートの補強機構のシミュレーション

実験により得られた個々の変形挙動または破壊モードから、鋼繊維単体あたりのせん断力とせん断変位の関係を仮定し、並列モデルを用いてシミュレーションを行った。繊維方向角が 0° でせん断を受ける場合は、鋼繊維のせん断面付近で母材のコンクリートに局部破壊が生じ、その後、鋼繊維の破断、あるいは引抜けが起こると考えられる。よって引抜けの場合、のせん断応力とせん断変位の関係は傾きが緩やかな直線となり、破断の場合には付着破壊が完了する時点で応力が0になるとした。また、繊維方向がせん断順方向のH-8-45では、せん断面の破壊状況と同様にすべて引抜けモードのモデルを用いた。繊維方向がせん断逆方向の供試体H-8+45では、前半部分に鋼繊維の局部的な座屈と支圧部（根元部）モルタルの破壊を意味するピークを設け、後半は前述の繊維方向角が 0° の場合のせん断のモデルと同様に破断のモードと引抜けのモードを混在させた（図-5参照）。また、付着強度や鋼繊維のせん断面付近の局部破壊の不均一性を考慮し、材料定数には平均値のまわりに片側30%で一様分布のばらつきを仮定した。鋼繊維のせん断に対する応力-変位関係のパラメータを適切に設定することにより、実験結果の傾向と良好な一致が得られた（表-1、図-6参照）。以上より、本並列モデルがモルタル強度、繊維本数・間隔および繊維方向角の種々の条件に対する鋼繊維補強コンクリートの変形特性を表現できることが明らかにされた。

5. まとめ

(1) 鋼繊維補強コンクリートのせん断特性におよぼすモルタル強度、繊維本数・間隔および繊維方向角の影響を確認した。

(2) 鋼繊維の補強機構を表す並列モデルの妥当性を確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）、1983、pp. 62-64.

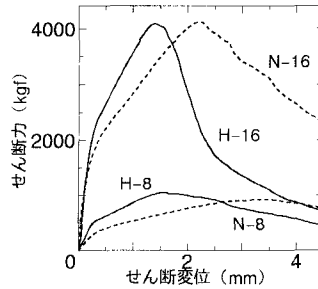


図-3 せん断力とせん断変位の関係（強度と繊維本数・間隔の影響）

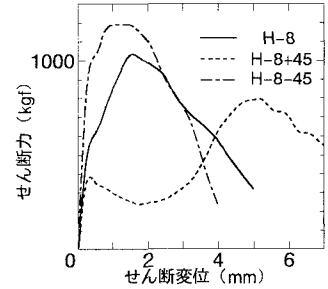


図-4 せん断力とせん断変位の関係（繊維方向角の影響）

表-1 シミュレーションで用いた材料定数

材料定数	供試体			
	H-8	N-8	H-8-45	H-8+45
τ_c (kgf/cm ²)	0.20	0.18	0.21	0.18
τ_b (kgf/cm ²)	0.16	0.15	0.19	0.15
$m(\tau_e = m \times \tau_c)$	0.4	0.3	0.8	0.5
v_c (mm)	2.0	4.0	1.5	5.5
v_b (mm)	10.0	10.0	5.0	12.0
$n(v_e = n \times v_c)$	0.1	0.1	0.3	0.4
ばらつき(%)	30	30	30	30

[注] $\tau_c' = 0.8$ $\tau_b' = 0.4$ $v_c' = 0.5$ $v_p' = 3.0$ (H-8+45)、その他の供試体では、全て0とする。

局部的な座屈、支圧部マトリックスの破壊

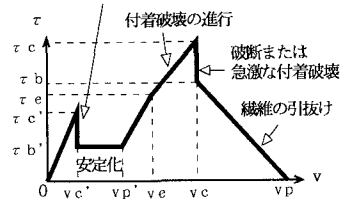


図-5 せん断の応力-変位関係

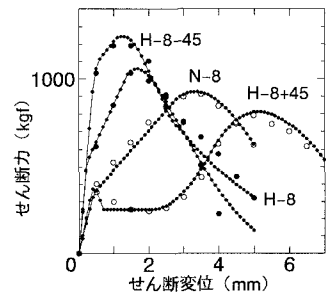


図-6 せん断特性のシミュレーション