

[79] 鋼繊維膨張コンクリートのタフネスに及ぼす繊維形状の影響

正会員 戸川一夫 (和歌山工業高等専門学校)
 正会員 ○中本純次 (和歌山工業高等専門学校)

1. まえがき

鋼繊維と膨張材の複合効果を期待したいわゆる鋼繊維膨張コンクリートに関する研究はその緒についたばかりではあるが、その有用性を認める研究報告は国内及び国外において数編見受けられる。その内、材料レベルでの成果を要約すると、鋼繊維と膨張材の両方をコンクリートに併用すると乾燥収縮は普通コンクリートよりもかなり小さくなること¹⁾²⁾、鋼繊維コンクリートの初期ひびわれ強度、曲げ強度、及び曲げタフネスは膨張材を入れること³⁾⁴⁾⁵⁾でさらに向上すること、等が明らかにされている。また、小柳らは膨張コンクリートの曲げタフネスの増大は混入する鋼繊維の種類によつて相違することを明らかにしており、鋼繊維の破断割合が小さいと曲げタフネスは増大し、そのためには使用する鋼繊維の引張強度は高いもの、断面は大きく、アスペクト比は小さいものが望ましいと述べている。

本研究は鋼繊維膨張コンクリートの曲げタフネス及び圧縮タフネス等に及ぼす鋼繊維種類さらに膨張材量の影響を知るべく、形状寸法及び引張強度の異なる7種類の鋼繊維と2段階の膨張材量について実験的に検討し、一応の結果が得られたのでここに報告する。

2. 実験方法

(1)使用材料 セメントは普通ポルトランドセメント、膨張材はカルシウムサルホアルミネート系膨張材、細骨材は和歌山県日高川産川砂(比重=2.61, F.M=3.30)、粗骨材は最大寸法15mm(一部は25mmを使用)の和歌山県由良産の硬質砂岩砕石(比重=2.62)をそれぞれ用いた。使用したスチールファイバーの種類及び形状寸法を表-1に示す。

表-1 鋼繊維種類

No.	断面寸法 (mm)	引張強さ (kgf/mm ²)	表面性状	備考
1	0.25×0.5×25	7.0	波形異形	繊維せ入断方法
2	0.5×0.5×30	7.0	波形異形	
3	0.5×0.5×30	7.0	波形異形 フックつき	
4	0.5×0.5×60	7.0	波形異形	
5	φ0.5×30	138	普通丸形	鋼繊維切断方法
6	φ0.5×30	138	異形	
7	φ0.6×60	127	異形	

コンクリートの基準配合条件は単位結合材量(セメント+膨張材)=450kg/m³、水結合材比=50%、細骨材率=68%である。本実験計画を表-2に示す。

(2)供試体作製及び養生方法 コンクリートの練り混ぜには強制練りミキサーを使用した。コンクリート材料を投入後1分間練り混ぜ、つぎに鋼繊維を手でほぐしながら入れて2分間練り混ぜた。曲げ強度及び曲げタフネスを求めるためには10×10×40cmの角柱供試体を使用した。圧縮強度及び圧縮タフネス測定用にはφ10×20cmの円柱供試体を使用

表-2 本実験計画

した。供試体の締め固めはテーブル式振動台を用いた。供試体は脱型まで(曲げ供試体は材令1日、圧縮供試体は材令2日)濡布養生し、脱型後試験日材令28日まで20±2°Cで水中養生した。

		単位膨張材量 (kg/m ³)		
		0	3.0	5.0
繊維量 (%)	0	●	●	●
	1.5	●	●	●

(3)試験方法 曲げタフネス及び圧縮タフネス試験方法はJCIの提案方法にしたがつた。曲げ載荷装置は写真-1に見られるように、3

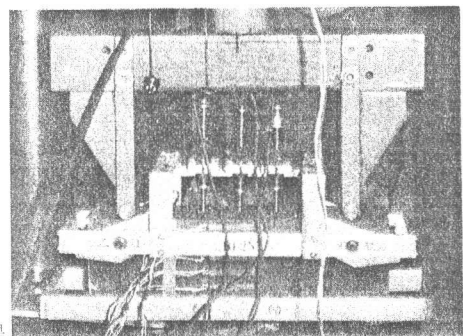


写真-1 曲げ載荷装置

等分点2点載荷方法であり、載荷速度は最大荷重まではJISA1106に準じ、最大荷重以後はたわみ速度を0.2mm/secに保つた。変位は載荷点下と中央点下において電気抵抗線式変位計を用いて測定した。圧縮試験における載荷速度は圧縮応力度の増加を毎秒3kgf/cm²と変るようにし、供試体が急激な変形を始めた後は荷重を加える速度の調整を中止して荷重を加えた。変位は供試体高さの1/2(100mm)間の変位を差動変位計で計測した。供試体数は曲げ試験用として4本、圧縮試験用として3本用意した。

3. 曲げタフネス

鋼繊維膨張コンクリートの靱性を曲げタフネスで定義する場合、限界点の設定は目的に応じて選ばれるべきであるが、ここではJCIの提案方法にしたがつて載荷点のたわみが2.0mmになる点を限界点とし、荷重-たわみ曲線下の面積によつて曲げタフネスを求めた。JCI法による場合たわみを載荷点で測定する場合と中央点で測定する場合の相違の一例を図-1に示す。同一供試体での荷重-たわみ曲線下の面積は本実験では全て載荷点よりも中央点の方が0~55%程度大きく

なることが認められた(表-3参照)。また、試験値のバラツキは中央点と載荷点とではほぼ同程度であることがわかった。そして、どちらの方法を用いても得られた結果か

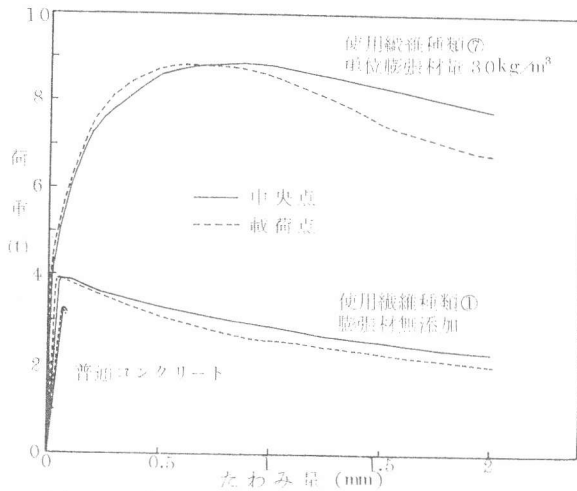


図-1 荷重-たわみ曲線に及ぼす測定位置の影響

ら言える事柄はほぼ同様である。図-2は各種鋼繊維膨張コンクリートの載荷点における荷重-たわみ曲線下の面積を曲げタフネスとして示したものである。結果から言えることは鋼繊維種類が曲げタフネスに与える影響は非常に大きいことが明らかになった。たとえば膨張材を入れない鋼繊維コンクリートの曲げタフネスについて鋼繊維種類の影響を見ると、 $\phi 0.6 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維を使用した場合は丸形の $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ を使用

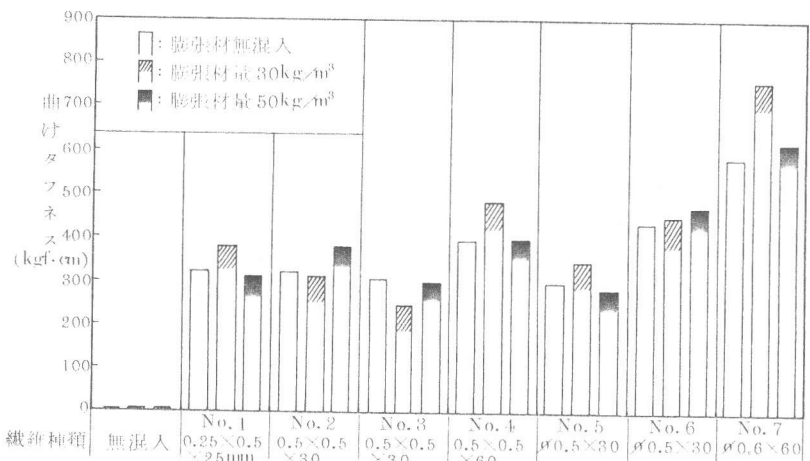


図-2 各種鋼繊維膨張コンクリートの曲げタフネス

表-3 曲げタフネス実験結果

繊維種類	膨張材量 (kg/m ³)	JCI 曲げタフネス			
		中央点下		載荷点下	
		平均値 (kgf-cm)	変動係数 (%)	平均値 (kgf-cm)	変動係数 (%)
繊維無混入	0	4.8	1.5	3.1	3.2
	3.0	5.3	2.9	4.6	1.9
	5.0	6.2	4.9	4.5	2.4
1	0	34.0	2.1	32.0	2.2
	3.0	40.3	9	38.0	7
	5.0	33.3	5	30.9	4
2	0	33.2	8	32.0	1.4
	3.0	31.4	1.5	31.3	1.4
	5.0	40.5	1.4	37.8	1.6
3	0	35.1	1.5	30.6	1.6
	3.0	29.0	2.5	24.2	3.6
	5.0	33.2	1.3	29.7	9
4	0	41.2	9	39.2	8
	3.0	49.9	1.7	48.0	2.0
	5.0	42.3	1.7	39.6	1.2
5	0	30.5	1.3	29.9	1.4
	3.0	36.5	1.1	34.5	1.2
	5.0	29.1	1.3	28.2	1.1
6	0	45.2	9	43.3	9
	3.0	46.6	1.7	44.7	1.5
	5.0	48.7	3	47.0	2
7	0	60.4	2.0	58.3	2.2
	3.0	76.9	9	76.1	8
	5.0	61.9	2.4	61.7	2.5

* 繊維種類は表-1参照

した場合と比較すると前者は後者の約2倍になっている。詳細に検討すると、他の条件が同じであれば、異形の方が丸形よりも曲げタフネスを増大させる。また鋼繊維の引張強さの大きい方が、そして鋼繊維の長い方がすなわち、アスペクト比の大きい方が曲げタフネスを増大させるのに適切であることが明らかになった。鋼繊維にフックを付けることは曲げタフネスの増大に効果はほとんど認められないし、また鋼繊維の断面積も曲げタフネスにそれほど影響を与えていないようである。

また膨張材の混入は鋼繊維コンクリートの曲げタフネスに影響を与えることが示された。本実験内では膨張材の混入は 30kg/m^3 程度が適当であり、 50kg/m^3 も入れると効果は減少するようである。特にアスペクト比が大きい鋼繊維を用いた場合には膨張材を用いたことによる曲げタフネスの増大効果は顕著になつてくる。 $\phi 0.6 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維を用いた場合について膨張材を 30kg/m^3 入れると入れない場合と比べて30%程度曲げタフネスは増大することになり、また普通コンクリートの2.35倍程度にもなることが示された。

4. 曲げ強度及び曲げひびわれ強度

図-3に曲げ強度実験結果を示す。曲げ強度の増大には曲げタフネスの場合と同様に、鋼繊維は引張強さが高く、付着力が大きく、アスペクト比の大きいことが効果的であり、また適量の膨張材の混入も有効であると言える。 $\phi 0.6 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維を用いて膨張材を 30kg/m^3 入れると曲げ強度は 129kgf/cm^2 得られており、普通コンクリートの約2.6倍になっている。また図-3には粗骨材の最大寸法が 25mm の場合についての曲げ強度の実験結果を示しているが、 15mm の場合とさほど差は認められない。曲げひびわれ強度を荷重-たわみ曲線の変極点から求めて図-4に示す。曲げ強度の場合と同様に鋼繊維種類及び膨張材量は曲げひびわれ強度に影響し、その増大に最適な鋼繊維種類や膨張材量があるようである。

5. 圧縮タフネス及び圧縮強度

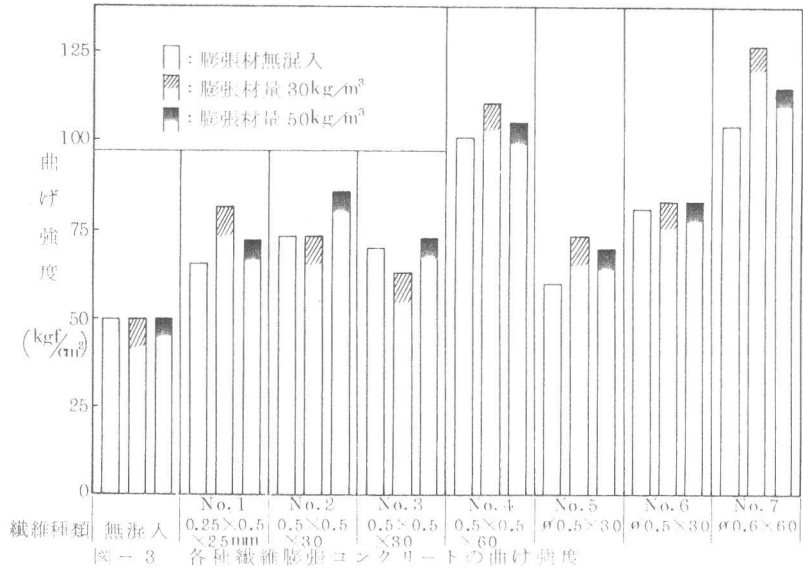


図-3 各種鋼繊維膨張コンクリートの曲げ強度

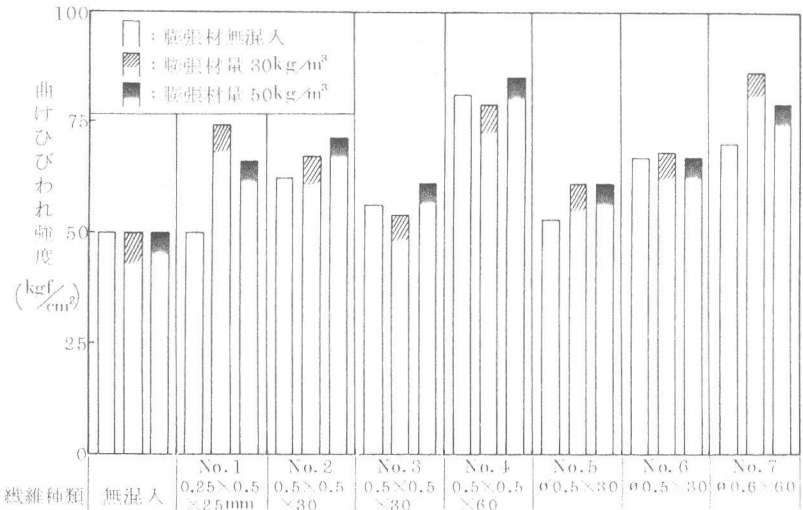


図-4 各種鋼繊維膨張コンクリートの曲げひびわれ強度

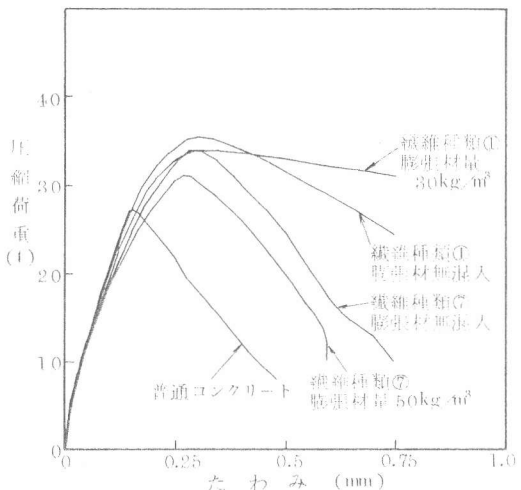


図-5 圧縮荷重-たわみ曲線の一例

JCI法によつて圧縮タフネスを求めた。図-5は圧縮下における荷重-たわみ曲線の一つを示す。使用鋼繊維種類及び膨張材量によつて荷重-たわみ曲線にかなり差が見られる。図-6は各種鋼繊維膨張コンクリートの圧縮タフネスの測定結果を示すが、圧縮タフネスについても鋼繊維及び膨張材はその増大に効果がある。圧縮タフネスの増大に効果的な鋼繊維は長いものより短いもの、また付着は大きいものより小さいものと言つた傾向がある。たとえば、 $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ の丸形を使用すると異形の $\phi 0.6 \times 60\text{mm}$ を使用する場合よりも圧縮タフネスは増大している。したがつて、圧縮タフネスと曲げタフネスとではその増大に効果的な鋼繊維は異なるようである。圧縮強度試験結果を図-7に示す。圧縮強度に関してはいずれの鋼繊維を混入しても若干の強度増をもたらずようであるが、膨張材の混入は本実験のように単位膨張材量が 50kg/m^3 以内の場合では、あまり強度に影響を与えないようである。鋼繊維膨張コンクリートの圧縮強度の増大に最適な鋼繊維と膨張材量の組合せは圧縮タフネスの場合と同様に $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ の丸形繊維を用いて膨張材を 30kg/m^3 入れた場合であつた。

6. あとがき

本実験結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) 鋼繊維膨張コンクリートの曲げタフネス、曲げ強度及び曲げひびわれ強度は鋼繊維と膨張材の複合効果により普通コンクリートのそれらと比較して大幅に増大する。それらの増大に最適な鋼繊維と膨張材量の組合せは、繊維は引張強さが大きく、付着力が大きく、長いものを使用し、膨張材を 30kg/m^3 程度混入する場合である。
- (2) 鋼繊維膨張コンクリートの圧縮タフネス及び圧縮強度は普通コンクリートより増大し、その増大に効果的な鋼繊維と膨張材量の組合せは繊維は短かくて付着力が小さいものを使用し、膨張材を 30kg/m^3 程度混入する場合である。

参 考 文 献

- 1) 小林, 魚本, 峰松: 第2回コンクリート工学年次学術講演会講演論文集, pp209~212, 1980
- 2) 戸川, 中本: 第37回土木学会年次学術講演会, pp263~264, 1982
- 3) 戸川, 中本: セメント技術年報, 57, pp397~400, 1982
- 4) 小林, 野口: 土木学会論文報告集, 第336, pp169~177, 1983
- 5) 戸川, 中本: 第4回コンクリート工学年次学術講演会講演論文集, pp137~140, 1982
- 6) 牧野, 六郷, 小柳: 第36回土木学会年次学術講演会, pp143~144, 1981
- 7) 繊維補強コンクリート研究小委員会: コンクリート工学, Vol.20, No.10, pp4~7, 1982
- 8) 繊維補強コンクリート研究小委員会: コンクリート工学, Vol.21, No.3, pp4~7, 1983

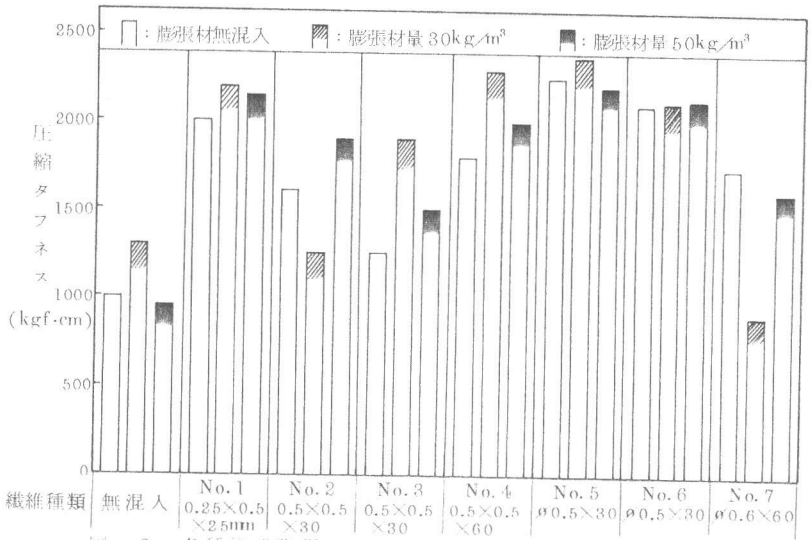


図-6 各種鋼繊維膨張コンクリートの圧縮タフネス

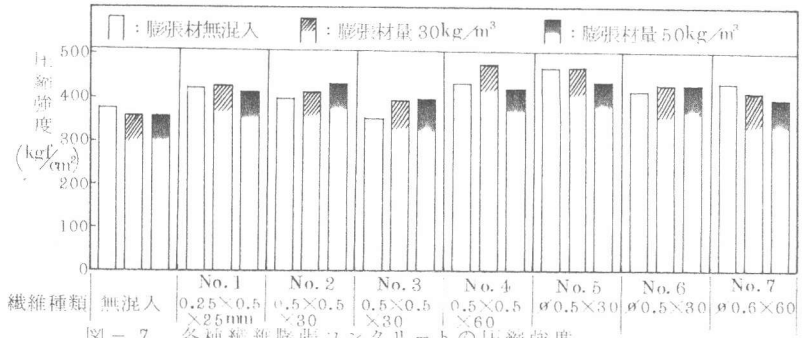


図-7 各種鋼繊維膨張コンクリートの圧縮強度