

[62] 鋼繊維の形状及び膨張材量がコンクリートのタフネスに及ぼす影響

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. 本研究の目的

筆者らは鋼繊維と膨張材との複合効果がコンクリートの各種強度あるいはタフネスに与える影響について、ここ数年来研究を重ねてきた。その結果、注目する点は鋼繊維は太くて長いものが曲げタフネスの増大に効果的であるということであった。

本実験は旧年来の実験をさらにおし進めたものであって、曲げタフネスの増大には鋼繊維はどの程度まで太いのがよいか、またどの程度長いのがよいかについて検討を加えたものである。あわせて、曲げ強度、曲げひびわれ強度、圧縮強度及び圧縮タフネスについても鋼繊維の形状寸法の影響を考察し、さらに各種強度等の改善に関して膨張材の効果についても検討を加えた。

2. 実験計画

2.1 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。使用した鋼繊維は現在我国で得られるものの中で、引張強さができるだけ高く、径と長さが任意に選べるということで、表-1に示す伸線加工の製品を選んだ。径はφ0.5, 0.6, 0.7, 1.0及び2.0mmの5段階、長さは15, 30及び60mmの3段階をそれぞれ組合せて、径と長さの異なる9種類の鋼繊維を実験に供した。そのうち、丸形のφ0.5×30mmと異形のφ0.6×60mmは昨年度も実験したものであり、今年度の実験と比較検討するために用いた。

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。鋼繊維混入量の基準は1.5%であるが、径が太い繊維については、コンクリートの練り混ぜが可能な程度でかなり多量に入れる場合を計画した。また、膨張材量は30kg/m³と50kg/m³の2段階を計画した。

2.2 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測定するためには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の円柱供試体を用いた。供試体は材令1日まで20±2°Cの空調室で湿潤養生し、材令1日で脱型して、材令28日まで水中養生(20±3°C)した。なお、曲げ試験供試体は、あわせて、長さ変化を測定するために、打込み直後にホイットモアゲージポイントを埋め込んだ。長さ変化の測定は材令1日を基長にした。

2.3 試験方法

曲げタフネス及び圧縮タフネス試験方法はJCIの提案方法に準じた。曲げ載荷は3等分点2点載荷方法であり、載荷方法は最大荷重まではJIS A 1106に準じ、最大荷重以後はたわみ速度を0.2mm/secに保った。変位は載荷点下と中央点下において電気抵抗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となるようにし、供試体が急激な変形を始めた後は載荷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中央部1/2(100mm)間の平均変形量として差動変位計で計測した。供試体数は曲げ試験用として4個、圧縮試験用として3個用意した。

3. スランプ性状

表-1 鋼繊維種類

種類	断面寸法 (mm)	引張強さ (kgf/mm ²)	形状
No.1	φ0.5×30	138	普通丸形
No.2	φ0.6×60	127	異形
No.3	φ0.7×30	120	異形
No.4	φ0.7×60	120	異形
No.5	φ1.0×30	114	異形
No.6	φ1.0×60	114	異形
No.7	φ2.0×15	107	異形
No.8	φ2.0×30	107	異形
No.9	φ2.0×60	107	異形

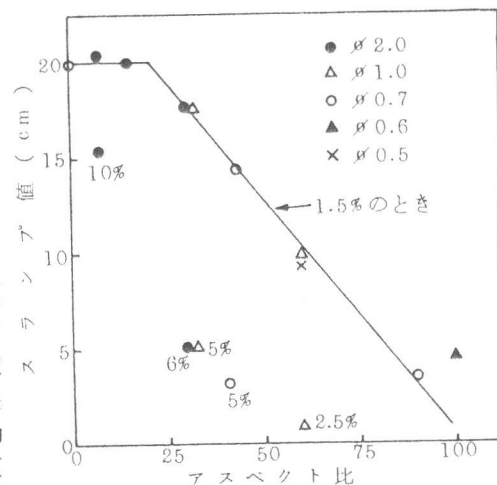


図-1 鋼繊維のアスペクト比とコンクリートのスランプとの関係

図-1
に各種の
鋼繊維を
混入した
コンクリ
ートの練
り上がり
時のスラ
ンプ値を
示してい
る。結果
より、鋼
繊維の混
入量が1
.5%の
一定の時
き、鋼繊
維のアス
ペクト比
が20以上
になると
コンクリ
ートのス
ランプは
直線的に
低下する
ことがわ
かった。

また鋼繊

維の混入量が増すとスランプは低下するが、その低下の程度はアスペクト比の大きいものの方が著しいことが確かめられた。

4. 曲げタフネス

本報告では曲げタフネスは載荷点下で得られた荷重-たわみ曲線のデータを用いて考察する。

図-2は鋼繊維補強膨張コンクリートの曲げタフネスの測定結果を示している。前回の実験では径は $\phi 0.6\text{mm}$ 、長さは60mmを最大として、鋼繊維の形状が曲げタ

フネスに与える影響を検討した結果、径は太いほど、さらには長さは長いものが曲げタフネスの増大に効果的であることが明らかになった。今回は径を最大2mm、長さは60mmとして実験したところ、図で明らかのように、今回用いたコンクリートに関しては、 $\phi 0.7\text{mm}$ で長さが60mmの鋼繊維が曲げタフネスの増大に最も効果があることが示された。そして、径が大きくなって1.0mm、あるいは2.0mmにもなると、効果は低減し、特に $\phi 2.0\text{mm}$ の太い鋼繊維についてはタフネスの増大はほとんど望めなくなることが認められた。たとえば、 $\phi 2.0\text{mm}$ の鋼繊維は10%と多量に入れてもタフネスの増大はほとんどないと言ってよい。また、 $\phi 0.7\text{mm}$ の鋼繊維でも長さが30mmの場合では、5.0%入れても上述した $\phi 0.7 \times 60\text{mm}$ を1.5%入れた場合よりも曲げタフネスは低いのである。写真-1にコンクリート中の鋼繊維の分散状況の一例を示す。これは載荷点下部分をカッターで切断して写したものであり、写真上方向が供試体打込み面である。載荷方向は供試体側面に直角である。写真から明らかのように、径の太いあるいは長さの短い鋼繊維を用いたコンクリートはスランプ低下が比較的小さいので、鋼繊維が底面に沈みがちであ

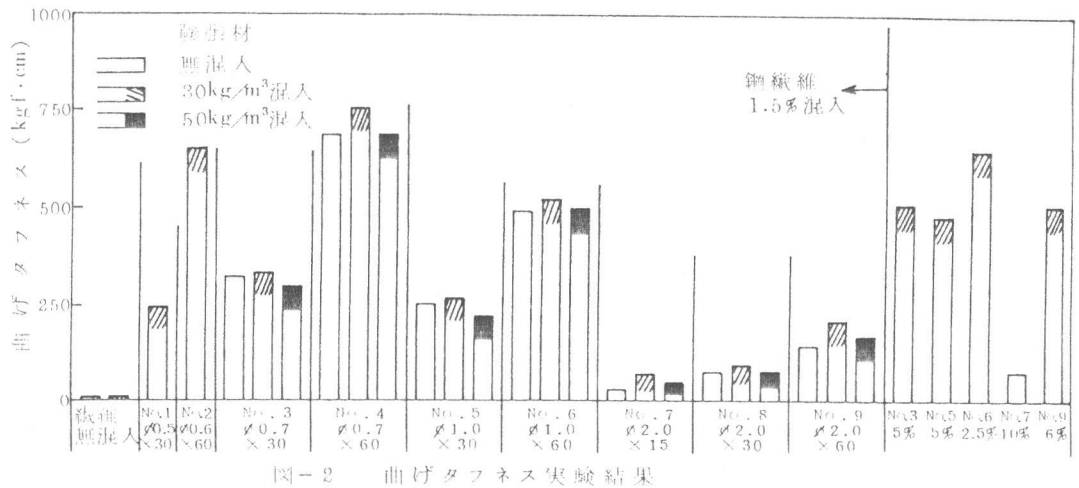


図-2 曲げタフネス実験結果

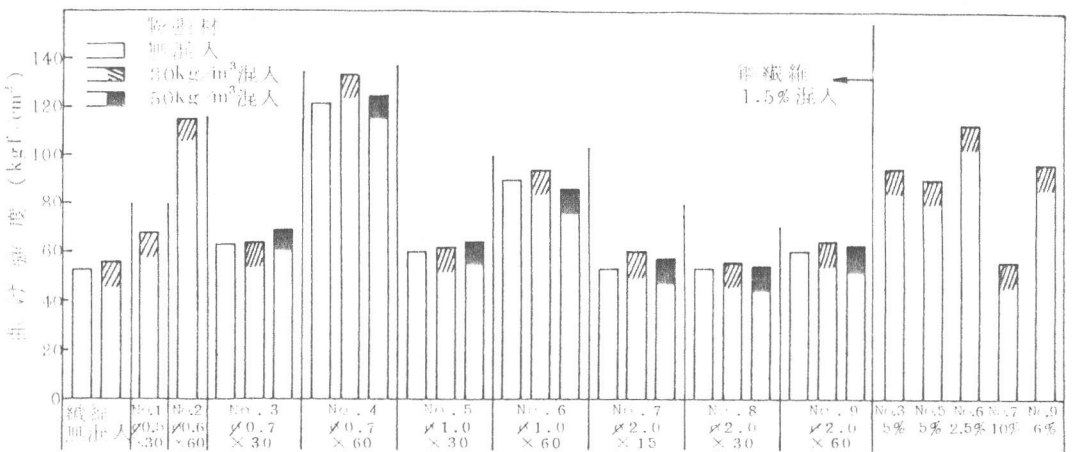


図-3 曲げ強度実験結果

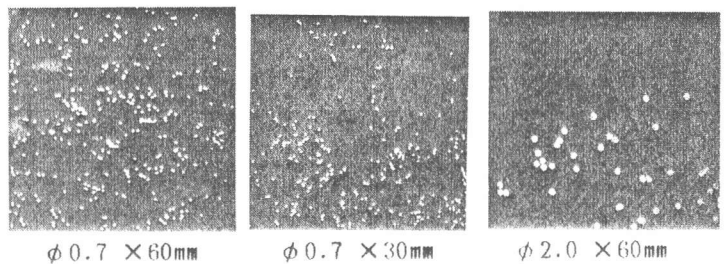


写真-1 各種鋼繊維の分散状況 (1.5%混入)

る。したがって鋼繊維が一樣に分散することが、曲げタフネスの改善につながるとも言えるようである。つぎに、膨張材が曲げタフネスに及ぼす影響について、前回の結果では曲げタフネスの増大に効果的な単位膨張材量は $30\text{kg}/\text{m}^3$ 程度であ

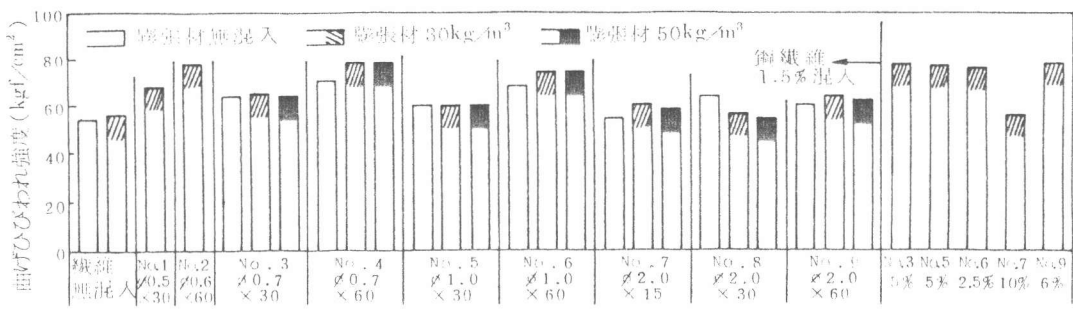


図-4 曲げひびわれ強度実験結果

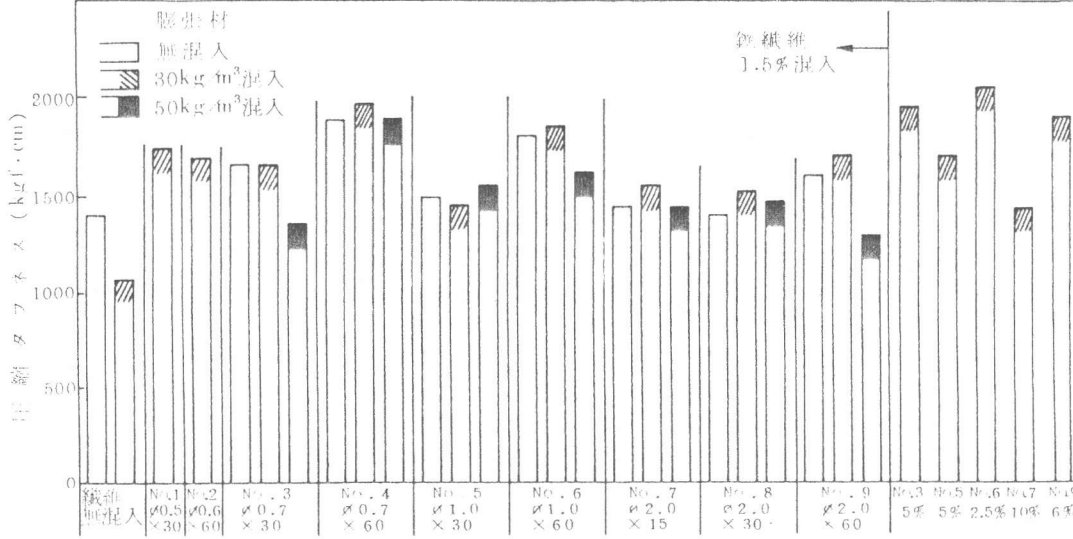


図-5 圧縮タフネス実験結果

ったが、今回も同様の結果が得られたと言える。しかしながら、曲げタフネスの増大には鋼繊維の形状の方が膨張材より著しく影響することがわかった。なお、 $\phi 0.7 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維を使用して膨張材を $30\text{kg}/\text{m}^3$ 入れたコンクリートの曲げタフネスは普通コンクリートの242倍にもなっている。

4. 曲げ強度及び曲げひびわれ強度

図-3に曲げ強度試験結果を示す。前回の結果では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、径は太く、その上長いものが効果的であった。今回の実験は主として、径と長さの影響を調べたものであるが、上述した曲げタフネスの場合と同様の結果が得られた。すなわち、 $\phi 0.7 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維を使用した場合が最も高い曲げ強度が得られた。径が1.0mmあるいは2.0mmの場合では、かなり多量に入れても、 $\phi 0.7 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維を1.5%入れたコンクリートの曲げ強度ほど高くはならない。また、 $\phi 0.5$ あるいは $\phi 0.6\text{mm}$ の鋼繊維を用いる場合も $\phi 0.7\text{mm}$ を用いる場合とくらべると曲げ強度は低い。膨張材が曲げ強度に及ぼす影響については膨張材量 $30\text{kg}/\text{m}^3$ の混入は曲げ強度を3~10%程度増加させることが明らかになった。

図-4には曲げひびわれ強度試験結果を示す。曲げ強度の場合と同様に、鋼繊維の形状及び膨張材量は曲げひびわれ強度に影響することがわかった。曲げひびわれ強度の増大に最適な鋼繊維と膨張材量の組合せは、鋼繊維は $\phi 0.7 \times 60\text{mm}$ 、膨張材量は $30\text{kg}/\text{m}^3$ の場合である。

5. 圧縮タフネス及び圧縮強度

図-5に圧縮タフネスに関する実験結果を示す。圧縮タフネスに関しては曲げタフネスにおけるような鋼繊維の形状寸法の影響は少ないことがわかった。しかしながら、最適な鋼繊維を混入すると普通コンクリートとくらべて圧縮タフネスは増大することが認められた。今回の実験では曲げタフネスの増大にも最適であった $\phi 0.7 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維は、圧縮タフネスの増大にも適当であることが認められた。 $\phi 0.7 \times 60\text{mm}$ の鋼繊維を1.5%入れると、普通コンクリートよりも圧縮タフネスは1.4倍程度になっている。また、膨張材は圧縮タフネスに影響し、膨張材を $30\text{kg}/\text{m}^3$ 入れると無混入の場合より圧縮タフネスは若干増大する傾向がある。

図-6は圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度に関しては鋼繊維の種類はほとんど影響しないことがわかった。膨張材が圧縮強度に及ぼす影響については、膨張材を $50\text{kg}/\text{m}^3$ 程度も入れると、普通コンクリ

トよりも低下する傾向が認められた。そして、鋼繊維を入れてもあまり多く膨張材を混入すると圧縮強度は低下する。

6. 膨張率と各種力学的特性との関係

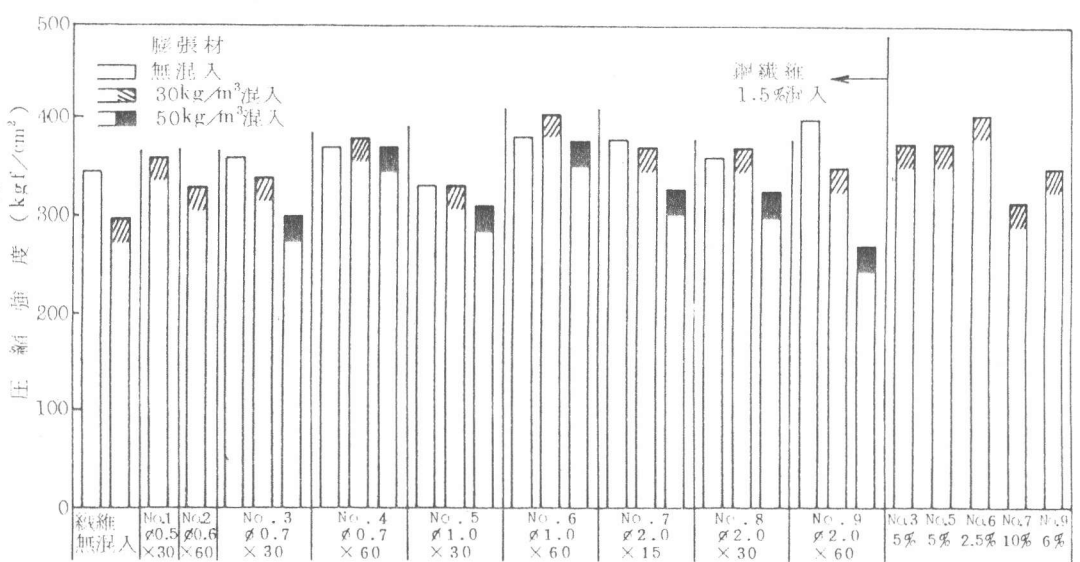


図-6 圧縮強度実験結果

図-7は各種の力学的特性と膨張率との関係を示したものである。各種の強度比は同一鋼繊維を用いたコンクリート間で膨張材無混入のコンクリートに対する膨張材を混入したものの強度比である。筆者らは、膨張率が過大になると各種強度が膨張材無混入のものに比べて低下することは以前にも指摘した。その時の結果では強度低下が生じる膨張率の限界値が存在し、その値は曲げ強度の場合 3000×10^{-6} 程度、圧縮強度の場合 1700×10^{-6} 程度であった。今回の実験では、曲げ強度は膨張ひずみが 3500×10^{-6} 程度になっても低下しない。また、圧縮強度は膨張ひずみが 2000×10^{-6} 程度以上になると若干低下している。そして、圧縮タフネスについては圧縮強度と同様の傾向であり、曲げタフネス及び曲げひびわれについては曲げ強度と同様であると考えられる。

7. 結論

前回の実験では、コンクリートの曲げタフネスの増大には鋼繊維は太くて長いものが効果的であることが明らかになった。その結果にもとづいて、今回はどの程度まで太くて長い鋼繊維が曲げタフネス等の増大に最も効果的であるかを検討した。その結果、今回用いた配合のコンクリートではφ0.7 × 60mmの鋼繊維が曲げタフネス、曲げ強度、曲げひびわれ強度、圧縮タフネス及び圧縮強度の増大に最も効果的であることがわかった。また、膨張材を 30kg/m³程度混入することは上述した各種力学的特性をさらに増大させることが明らかになった。

本研究を実施するにあたり、多大なるご援助とご指導を賜りました住友金属工業中央技術研究所波崎研究センター主任研究員、山川純雄氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 戸川、中本：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，第6回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.313~316，1984
- 戸川、中本：鋼繊維補強膨張コンクリートの力学的特性に関する研究，セメント技術年報，No.36，pp.397~400，1982

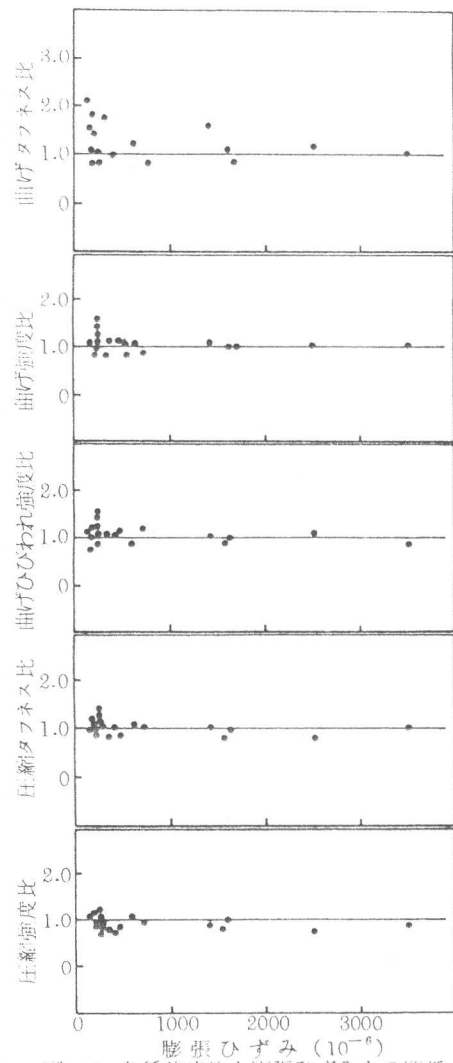


図-7 各種強度比と膨張ひずみとの関係