

[1083] 即時脱型方法による鋼繊維補強コンクリートの曲げ特性

正会員 涌井 一 (鉄道総合技術研究所)

正会員 ○井上寛美 (鉄道総合技術研究所)

1. はじめに

コンクリートはひびわれを生じやすい脆性材料であり、この弱点補強のため繊維質の補強材を混入させ、繊維質を一様に分散させることにより改善させた繊維補強コンクリートの開発使用が近年行われるようになった。これに使用する繊維材料は、弾性係数の大きいものを用いるほどひびわれ発生に対する拘束能力が大きく、引張強度の増加、耐衝撃性を改善することが可能となる。

PCマクラギのような軌道部材は、一般の構造部材と異なり列車の通過に伴い車軸毎に衝撃的な荷重を頻繁に受ける部材であり、このような過酷な荷重環境にあることから繊維補強コンクリートの適用の可能性が考えられる部材である。ここでは、繊維材料としては鋼繊維を用い、鋼繊維の形状を2水準、混入率を4水準として曲げ強度試験及び曲げタフネス試験を実施した。

供試体の製作方法は即時脱型方法によった。即時脱型方法は、特殊な混和材を用いず超硬練りのコンクリート(スランプ0cm)を振動・圧縮して成形し、その後脱型する方法であり、脱型を早めるための加熱養生が不必要であり、超硬練りとするため単位セメント量を低減させても高強度が得られる等経済性に優れている。鋼繊維補強コンクリートは、従来の方法でコンクリートを練りませ、打込む場合作業性の確保のため、水セメント比を多少大きくする傾向があり、これが原因して鋼繊維補強コンクリートの強度をいく分かマイナスされるものと考えられる。これを改良するため、鋼繊維補強コンクリートと即時脱型方法との組合せを考えた。

表 1 試験条件割付け

列	1	2	3	4	5	6	7
要因	形状 (A)	混入率 (B)	A × B	混入率 (B)	A × B	(混入率)	A × B

この試験の概要を報告する。

2. 試験条件

試験条件は、鋼繊維の形状を円形・ストレート(A)及び矩形・ストレート(B)の2水準、鋼繊維の混入率を0.5%、1.0%、1.5%及び2.0%の4水準として直交配列表L₈(2⁷)により、表1に示すように割付け、試験組合せを表2に示す。なお、比較供試体として鋼繊維無混入のものも製作した。

3. 供試体の製作

使用した鋼繊維は、アスペクト比60のもので、その形状寸法及び材質は、鋼繊維(A)がφ0.5mm×30mmでインデント加工の軟鋼線(JIS G 3532 SWN 60kgf/mm²)であり、鋼繊維(B)は0.5mm×0.5mm×30mmの冷間圧延鋼板(JIS G

表 2 試験組合せ

試験番号	鋼繊維形状		鋼繊維混入率(%)			
	A	B	0.5	1.0	1.5	2.0
1	○		○			
2	○			○		
3	○				○	
4	○					○
5		○	○			
6		○		○		
7		○			○	
8		○				○

3141 (60kgf/cm³)である。コンクリートの示方配合を表3に示す。

表3 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大寸法	水セメ ント比	細骨材 率	スラン プの 範囲	空気量 の 範囲	単 位 重 量 (kg/m ³)			
					セメント	水	粗骨材	細骨材
13mm	35%	75%	0cm	3±1%	330	115.5	490	1472

コンクリートの練りまぜは、粗骨材及び細骨材をミキサに投入し、空練り後水を加え、鋼繊維を分散させながら添加し、最後にセメントを加え、3分間練りまぜた。使用したミキサは、容量0.2m³超硬練り用強制攪拌式のものである。

供試体の製作は、土木学会規準鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)Ⅲ-2-2に準拠して、鋼製型わく(10×10×40cm)にコンクリートを打込み、加振・加圧して成形後即時脱型し、24時間室内で気中養生し、その後3日間散水養生を行った。

加振装置は振動数が6800rpmの振動台であり、加圧装置は400kgfで押付け3450rpmで振動する加圧板より構成されている。

4. 供試体の製作精度

軌道部材の場合、レール座面等製作精度が要求される部位もあるので、即時脱型方法で製作された供試体の寸法測定を行って製作精度を調査した。供試体の高さは、コンクリートの打込み面と型わく底面間の寸法を、幅は供試体側面間の寸法としてノギスを用いて測定した。

測定結果を図1に示す。図1によると高さの平均値は99.9mm、標準偏差は0.6mmであり、幅の平均値は101.0mm、標準偏差は0.4mmであった。PCマクラギの場合を例とするとレール座面の許容誤差寸法は幅及び高さとも±3mmである。これらを測定値と比較すると即時脱型方法で軌道部材を製作しても、製作精度としては十分満足できるものと考えられる。なお、供試体としての製作許容誤差の範囲は100±1mmであるが、測定結果はこの範囲を越えるものもあった。

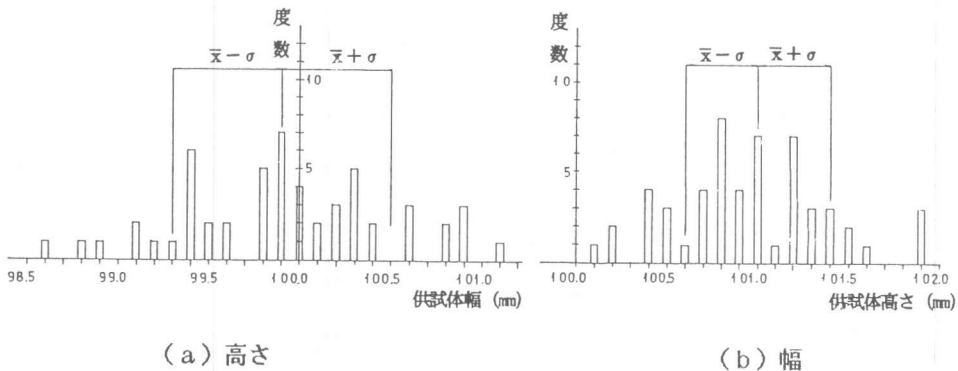


図1 測定値の分布

5. 試験方法及び試験結果

5.1 試験方法

曲げ強度試験及び曲げタフネス試験は、土木学会規準鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)Ⅲ-2-5に準拠して行った。

曲げ強度試験等を行う場合の供試体に対する荷重位置は、土木学会規準では供試体の側面を上下として行うこととなっているが、今回の試験では即時脱型方法で軌道部材を製作した場合を想定して、コンクリートの打込み面が引張側となるように配置して行った。

5.2 曲げ強度試験結果

曲げ強度試験の結果を表4に示す。曲げ強度は、鋼繊維形状の相違による強度差は小さいが、混入率による強度差は大きく、混入率2.0%まで直線的に増大する。比較供試体（無混入）との比を求めると2.0%混入の場合で2.3～2.7倍となっている。

表1の割付けと表4の試験値より分散分析を行い、平均平方の最小のもの、形状と混入率の交互作用（A×B）の項を誤差項と見なし再度分散分析を行った結果を表5に示す。変動因のうち形状（A）の影響は小さく、混入率の要因のみ危険率5%で有意であることが判明した。

表 4 曲げ試験結果

種類 混入率	鋼繊維(A) (kgf/cm ²)	鋼繊維(B) (kgf/cm ²)
0.5%	69.1	73.6
1.0%	86.8	88.7
1.5%	125.9	109.7
2.0%	152.7	132.2
比較供試体	57.5	

5.3 曲げ靱性係数

曲げ靱性係数の計算結果を表6に示す。曲げ靱性係数も曲げ強度試験の結果と同様に鋼繊維の形状による差異は小さいが、混入率の影響は大きく、2.0%まで直線的に増加している。比較供試体（無混入）との比を求めると、2.0%混入の場合で22.3～28.2倍に増加している。

表 5 分散分析結果

変動因	平方和	自由度	平均平方	F ₀
形状 (A)	116.3	1	116.3	1.46
混入率 (B)	5977.2	3	1992.4	24.78*
誤差 (e)	241.2	3	80.4	-
総	6334.7	7		
F ₃ ³ (0.05) = 9.28				

分散分析の結果は、曲げ強度の場合

と同様に混入率の要因が危険率5%で有意であることが判明した。

5.4 鋼繊維の配向性

曲げ強度試験終了後、破断面の鋼繊維の本数を各試験条件の1供試体について調査した。破断面の全本数に対し、破断面となす角度が45°以下となっているものの割合を求めた結果を表7に示す。鋼繊維（A）は混入率が増加すると45°以下となる鋼繊維本数が減少し、鋼繊維（B）の場合は混入率が増加してもほぼ一定となる傾向があるように見受けられる。分散分析の結果は、どの変動因も有意差を認めることは出来なかった。

表 6 曲げ靱性係数計算結果

種類 混入率	鋼繊維(A) (kgf/cm ²)	鋼繊維(B) (kgf/cm ²)
0.5%	39.9	33.6
1.0%	61.4	56.5
1.5%	100.4	69.8
2.0%	135.2	107.1
比較供試体	4.8	

6. 考察

鋼繊維補強コンクリートの供試体を即時脱型方法により製作し、製作精度、曲げ強度、曲げ靱性係数及び配向性の試験及び調査を行った結果、次の知見が得られた。

(1) 製作精度

製作精度の調査結果からは、十分満足できる精度で製作できることが判明した。軌道部材を製作する場合には、隅の面取り及びテーパを付けた型わくとすれば、更に製作精度は向上し、表

面状態も改善されるものと考えられる。

(2) 曲げ強度

曲げ強度試験の結果、鋼繊維の混入率のみ5%の危険率で有意であり、2.0%の混入まで直線的に増加することが判明した。鋼繊維の形状による有意差はなかったが、表4によると混入率が1.0%以上となると多少強度差が生じるようであるが、図2に示すように実アスペクト比×混入率で整理するとほぼ同程度の強度発現となっている。図2に従来の打込み方法で製作された供試体の曲げ強度を併せて示した^[1]。これに使用された鋼繊維は鋼繊維(A)と同じものであり、混入量が増加すると強度差が生じ、即時脱型方法で製作したものが高強度となることが判明した。

(3) 曲げ靱性

曲げ靱性は、曲げ強度が示した傾向と同様な傾向を示し、鋼繊維の混入率のみ5%の危険率で有意であり、2.0%の混入率まで直線的に増加する。鋼繊維形状による有意差はなかったが、表6によると鋼繊維の形状による差が生じているようであるが、図3に示すように実アスペクト比×混入率で整理すると、ほぼ同程度の靱性係数となることが判明した。

(4) 配向性

配向性の調査結果からは、鋼繊維の形状及び混入率による差は認められなかった。配向性は、振動締固めによって制御できる^[2]といわれており、加振・加圧による製作方法が配向性を改善したものと考えられる。

7. まとめ

鋼繊維補強コンクリートと即時脱型方法との組合せによる軌道部材の製作は、製作精度的にも、強度的にも十分可能であると考えられる。

8. おわりに

この試験は、社団法人鋼材クラブが日本鉄道施設協会に委託し、「鋼繊維補強コンクリートの軌道部材への適用性に関する研究会」(主査 佐藤吉彦前軌道研究室長、副主査 宮田尚彦構造物研究室長)の活動として行ったものである。試験の実施、結果の検討に関しては研究会委員の方々にご協力とご指導を戴き、ここに感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- [1] 株式会社神戸製鋼所：シンコーファイバー技術資料、pp.5、1983。
- [2] 社団法人日本トンネル技術協会：スチールファイバーコンクリートに関する調査研究報告書、pp.18～22、1980。

表 7 配向性

種類 混入率	鋼繊維(A) (%)	鋼繊維(B) (%)
0.5%	22.4	11.5
1.0%	18.1	12.0
1.5%	11.8	19.1
2.0%	10.6	11.2

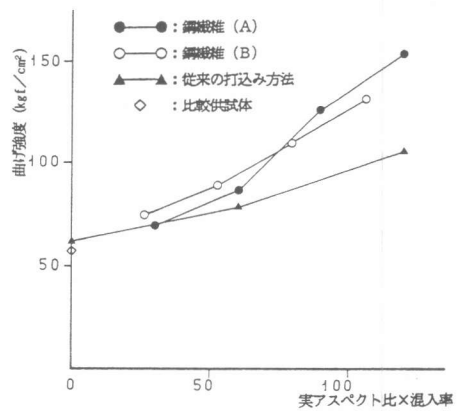


図 2 曲げ試験結果

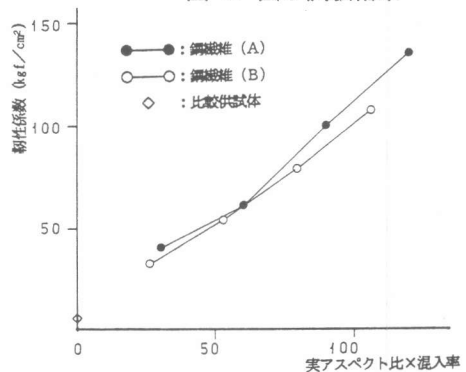


図 3 曲げ靱性係数