

報告

[1111] 鋼繊維補強即時脱型コンクリートの衝撃強度特性

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)
 奥田 広之 (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る。このため繊維質の補強材を混入して、一様に分散させることにより、その特性の改善を図った繊維補強コンクリートが開発され、近年用いられるようになった。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である。

コンクリートマクラギのような軌道部材は、列車の通過に伴い車軸毎に荷重を受け、車輪フラットの衝撃や著大輪重など苛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¹⁾²⁾。鋼繊維補強コンクリートの軌道部材への適用性について検討するため前報の静的強度試験³⁾に引続き重錘落下装置による衝撃強度試験を実施した。

供試体の製作方法は即時脱型方法⁴⁾によった。即時脱型方法は、特殊な混和剤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、その直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、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ぜ打込む場合、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、これが原因となって鋼繊維補強コンクリートの強度がいく分か低くな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み合わせを考えた。

2. 供試体の製作

供試体は、マクラギに近い諸元を有するものとして20×20×80cmの大きさとした。供試体の種類は、表1に示すように、鋼繊維形状が2種類(A、B)と鋼繊維混入率が4段階(0.5、1.0、1.5、2.0%)の組み合わせである。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であり、鋼繊維(B)は0.5mm×0.5mm×30mmの冷間圧延鋼板である。コンクリート

の示方配合を表2に示す。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分間練り混ぜた。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。

供試体の製作は鋼製型わく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日間撒水養生を行った。

加振装置は振動数が 6800rpmの振動台で、加圧装置は、32.9MPa で押付け 3450rpmで振動する加圧板より構成されている。

表 1 供試体の種類

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
S-1	○		○			
S-2	○			○		
S-3	○				○	
S-4	○					○
S-5		○	○			
S-6		○		○		
S-7		○			○	
S-8		○				○

表 2 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率 (%)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
13	33	70	0	3±1	330	109	1387	594	なし

3. 試験方法

衝撃試験の方法を図1に示す。支点部は上下方向に拘束し、衝撃点には軌道用パット（3号5型用）を敷き、コンクリート表面の損傷を防いだ。

使用した落錘式衝撃疲労試験機は、リフティングマグネットにより重錘を吸引し、所定の高さから指定した回数だけ繰返し衝撃を与えることができる機能を有している。重錘の質量は20kgとした。

最初に衝撃応答試験として、落下高さを段階的に上げて、破壊に至るまでの試験を行った。

次に衝撃応答試験のデータを基に落下高さを検討し、ある一定の高さにおける衝撃疲労試験を行った。測定項目としては、重錘の反発加速度、供試体のひずみ（スパン中央の上縁及び下縁）、供試体の変位と加速度（スパン中央）を測定した。衝撃現象を正確に測定するため、周波数特性には特に留意した。なお試験期間の制約から、鋼繊維（A）を主体に試験を進め、（B）については参考程度に止めた。

4. 試験結果

4.1 衝撃応答試験

鋼繊維形状（A）の各供試体（混入率0.5、1.0、1.5、2.0%）について、落下高さ5cmから始めて1回毎に5cmずつ高さを上げて、破壊に至るまでの試験を行った。

主な測点の衝撃応答波形の例を図2に示す。供試体のひずみ波形は重錘の反発加速度波形とはよく対応するが、第1次モードに支配される変位波形とは大きく異なることから、高次モードによりパルスのひずみが発生していると解釈される。衝撃による下縁のひずみの作用時間は、1.5msであった。

供試体のひずみ（最大値）と落下高さの関係を図3に、破壊に至った落下高さを表3に示す。

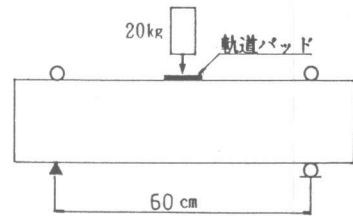
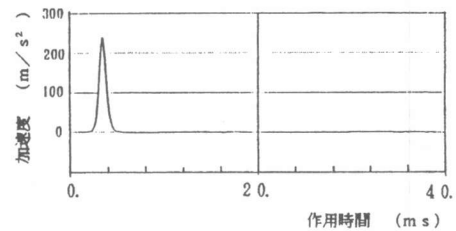
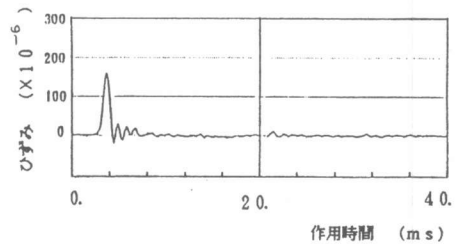


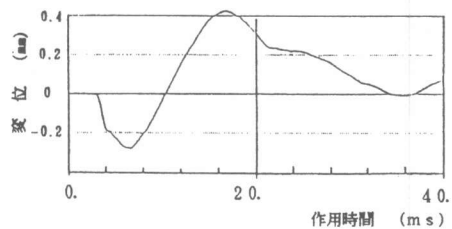
図 1 供試体の载荷方法



(1) 重錘の反発加速度



(2) スパン中央下縁のひずみ



(3) スパン中央の変位

図 2 衝撃応答波形

破壊の形態は写真1に示すようにスパン中央の曲げ破壊で、鋼繊維混入率に応じた効果が認められた。

4. 2 衝撃疲労試験

鋼繊維形状(A)の各供試体について、一定の落下高さのもとでの衝撃疲労試験を行った。最初に落下高さ40cmで一通りの試験を行った。その結果をもとに落下高さを30cmに減じて、多数繰返し領域での疲労特性について検討した。なお、鋼繊維形状(B)に関しては、混入率2%の供試体についてのみ落下高さの30cmの疲労試験を行った。各供試体の試験結果を表4に示す。落下高さ40cmと30cmとでは、破壊までの繰返し回数に格段の差がある。また、混入率の増加により、破壊までの繰返し回数は飛躍的に増大する。S-4-3(A, 2%)は試験機のトラブルにより供試体を損傷したため、破壊までの繰返し回数を把握することは出来なかったが、既に幅0.1mmを超えるひびわれに成長していたので、遠からず破壊したもえられのと考える。供試体のひずみと繰返し回数との関係を図4に示す。下縁のひずみは定常状態を保った後、ある繰返し回数を境に急激に増大を始める。この定常状態はコンクリート内部に潜在する微小欠陥が次第に成長する過程であり、ある限度を超えると可視ひびわれに移行し、やがては破壊に至るものと考えられる。

5. 考察

衝撃疲労試験におけるひずみのピーク値は160~200 μ であったが、ひびわれが可視出来る状態にまで達すると鋼繊維補強の効果は非可逆的なものとなり、衝撃が繰り返されるたびにダメージが累積し、混入率2%の供試体でも最終的には破壊に至ることが明らか

にされた。実際の軌道では車輪フラットの衝撃によりマクラギの下縁には500 μ を超えるひずみが発生する⁵⁾とされており、2%以下の混入率では鋼繊維補強のみで成り立たせることは困難と考

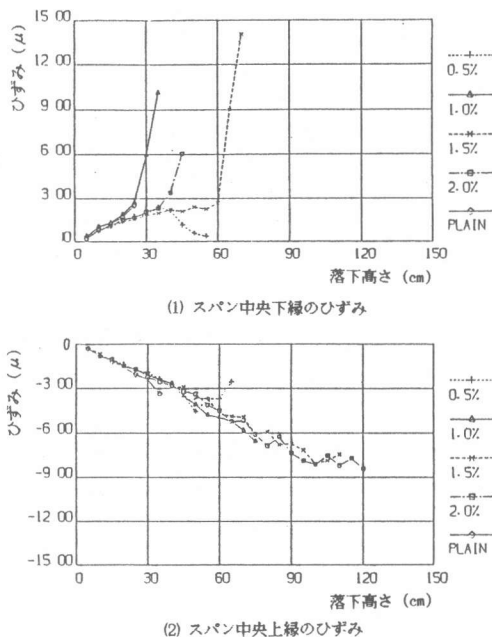


図3 供試体のひずみと落下高さの関係
表3 破壊に至った落下高さ

供試体番号	鋼繊維形状	鋼繊維混入率 (%)	破壊までの落下高さ (cm)
S-1-1	A	0.5	70
S-2-1	A	1.0	90
S-3-1	A	1.5	120
S-4-1	A	2.0	140
S-9-1		0	40

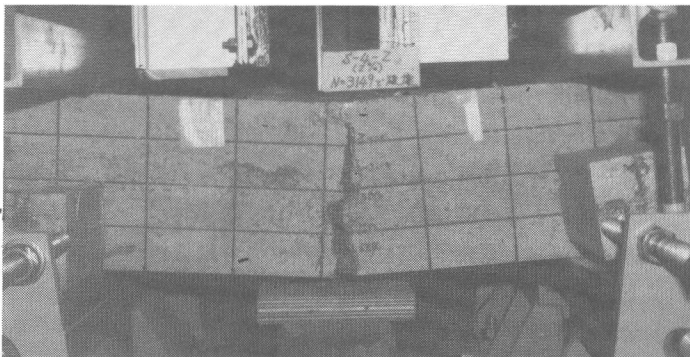


写真1 スパン中央の曲げ破壊

えられる。

表 4 破壊までの繰返し回数

供試体番号	鋼繊維形状	鋼繊維混入率	落下高さ	落下1回目上側ひずみ	落下1回目下側ひずみ	破壊までの繰返し回数	備考
S-2-2	A	1.0%	40cm	-210.3 μ	191.4 μ	31	
S-3-3	A	1.5	40	-260.4	190.9	1888	
S-4-2	A	2.0	40	-213.7	252.0	3149	
S-2-3	A	1.5	30	-199.0	186.1	179	
S-3-4	A	1.5	30	-186.6	175.1	5837	
S-4-3	A	2.0	30	-161.1	164.5	(15023)	試験中断
S-8-1	B	2.0	30	-183.3	212.8	9983	

6. まとめ

軌道部材が受ける衝撃作用に対して鋼繊維補強のみで抵抗させるには、2%以下の混入率では不十分であることが明らかにされた。し

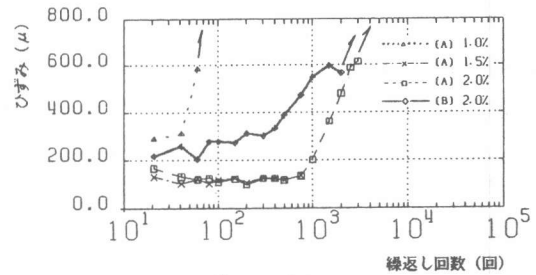
かし、混入率の増加により破壊までの繰返し回数は飛躍的に増大することが見受けられることから、即時脱型方法の利点を活かして、部材のある部分に鋼繊維の多量混入や長繊維の採用などの工夫を図ること、またプレストレスと併用することなどにより、軌道用部材において鋼繊維補強のメリットを活かす余地は十分にあると考えられる。

これらについては今後の課題として残された。

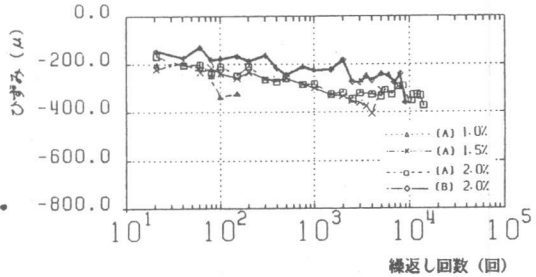
7. あとがき

この試験は社団法人鋼材倶楽部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」の活動として行ったものである。試験の計画と実施、結果の検討に関しては宮田

尚彦線路構造研究室長をはじめとする研究会委員の方々から多くのご指導とご協力を戴いた。ここに感謝の意を表します。



(1) スパン中央下縁のひずみ



(2) スパン中央上縁のひずみ

図 4 繰返し回数とひずみの関係(H=30cm)

[参考文献]

- 1) 宮田尚彦：鋼繊維補強コンクリート部材の静的曲げ強度、鉄道技術研究所速報、No.A-86-198、1986年11月
- 2) 涌井一、井上寛美、奥田広之：鋼繊維補強即時脱型コンクリートの強度特性、鉄道技術研究所速報、No.A-87-207、1987年3月
- 3) 涌井一、井上寛美：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、コンクリート工学年次論文報告集、No.1083、PP.471~474、1987
- 4) 全国バイコン協会：バイコン、セメント・コンクリート、No.458、1985年4月
- 5) 涌井一、井上寛美、奥田広之：車輪フラットの衝撃とPCマクラギ発生ひずみ、鉄道技術研究所速報、No.A-87-199、1987.3