

鋼鉄道橋連続合成桁で用いる鋼繊維補強コンクリートの性能特性

鉄道・運輸機構	正会員	徳富	恭彦
鉄道・運輸機構	正会員	南	邦明
鉄道・運輸機構	正会員	斉藤	雅充
鉄道・運輸機構	正会員	下津	達也

1. 目的

鋼鉄道橋における連続合成桁の中間支点部は、床版が引張領域となるため、ひび割れ防止対策として鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC という）を採用している。これまで、SFRC を用いた圧縮試験、曲げ試験および曲げタフネス試験を行った報告¹⁾はあるが、鋼繊維混入によるスランブの低下やコンクリートの圧送に関しては明確にされていない。本報告は、SFRC を適用する場合の品質管理方法および強度特性を把握するため、7 橋の実構造物の施工時に SFRC を用いた強度試験、曲げ試験、曲げタフネス試験の性能確認試験を行い、さらに施工性を確認するため、スランブ試験、ポンプ圧送試験などを行い、SFRC の性能および施工性を明確にした。

2. 試験概要

1) 配合条件

試験に用いたコンクリート配合条件は、設計基準強度 $30 \sim 40 \text{ N/mm}^2$ 、粗骨材最大寸法 25mm、水セメント比 53% を基本とした。スランブは、鋼繊維混入後に所定の値 ($12 \pm 2.5 \text{ cm}$) を確保できるよう設定した。鋼繊維は、混入率を 0.75% ~ 1.5% の範囲とし、径が 0.75mm ~ 0.8mm、長さが 30mm ~ 60mm と様々なタイプを用いた（写真-1~3）。

2) 試験方法

各試験で、強度試験（圧縮、引張）、曲げタフネス試験（強度、じん性）、スランブ試験、圧送試験および鋼繊維混入率試験を実施した。圧縮試験および引張試験は、それぞれ JIS A 1108, JIS A 1113 に準拠し、曲げ強度試験および曲げタフネス試験は、JSCE-F-552-1999 に準拠した。載荷は、スパン中央のたわみが、試験体長さの 1/150 となるまで載荷し、曲げじん性係数は、スパン中央に変位計を取り付け、ここで計測した中央部たわみと荷重の関係から算出した。スランブ試験は、JIS A 1101 に準拠し、鋼繊維の混入前、混入後およびポンプ圧送後の筒先でのスランブを測定した。圧送試験は、圧送距離 40m ~ 150m で行い、筒先でのスランブを測定して圧送によるスランブロスを確認し、また、圧送性を確認した。鋼繊維混入率試験は、JSCE-F-554-1999 の洗い分析試験方法に準拠した。

3. 試験結果

1) 強度試験（圧縮、引張）

SFRC の試験結果を表-1 に示す。SFRC とプレーンコンクリート（以下、PL という）を比較すると（A 橋）、SFRC は PL に対し、圧縮強度で約 6%、引張強度で約 12% 高くなった。鋼繊維混入量の違い（A,D 橋）による強度差は、圧縮強度では明確に見られなかったが、引張強度（A 橋）では、鋼繊維混入率の違いにより、混入率 1.0% で約 10%、1.2% で約 18% 向上した。

2) 曲げタフネス試験

曲げタフネス試験状況を写真-4 に示す。曲げ強度は、PL 平均で 4.83 N/mm^2 、SFRC 平均で 5.40 N/mm^2 と SFRC は PL に対し、約 13% 高くなった。また、SFRC は、スランブが大きくなれば、若干ではあるが、曲げ強度も高くなる傾向を示した。曲げじん性係数は、PL と SFRC を比較すると、SFRC が約 24 倍大きくなった。このように、SFRC は強度の差は小さいが、曲げじん性係数は大きく改善されることがわかった。図-1 に示すように、曲げ強度と曲げじん性の関係には相関がみられた。同一配合条件の B,G 橋を比較し、アスペクト比（=鋼繊維長さ/径の比）の違いによる圧縮強度、曲げ強度、曲げじん性係数をみると、G 橋は B 橋に対し、圧縮強度で約 22%、曲げ強度で約 27%、曲げじん性係数で約 3% 向上した。しかしながら、曲げ強度や曲げじん性は、アスペクト比の他、鋼繊維長、試験体の寸法などにも起因するため、一概にアスペクト比の大小のみで評価することは困難であると考えられる。



写真-1 鋼繊維 (A タイプ)



写真-2 鋼繊維 (B タイプ)



写真-3 鋼繊維 (C タイプ)



写真-4 曲げタフネス試験状況

キーワード：鉄道橋、鋼繊維補強コンクリート、曲げタフネス、圧送性、スランブ
 連絡先：〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 TEL 045-222-9082 FAX 045-222-9102

表－1 SFRC の試験結果

橋梁	鋼繊維			コンクリート 種類	実スランプ (cm)			圧送距離	鋼繊維混入率 (%)	強度試験				曲げタフネス試験			
	寸法 (mm)	アスペクト比	混入率 (%)		混入前	混入後 (荷卸)	筒先			圧縮強度 (N/mm ²)		引張強度 (N/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)		曲げ靱性係数 (N/mm ²)	
										個々	平均	個々	平均	個々	平均	個々	平均
A橋	φ 0.8 × 30 (Aタイプ: 3次元立体 波形状型)	37.5	PL (0%)	36-17-25N	17.0	-	-			41.4		3.62		4.76		0.16	0.14
			PL (0%)	36-18-25N	19.5	-	-			44.3	43.1	2.88	3.27	5.09	4.83	0.11	
			PL (0%)	36-21-25N	21.5	-	-			43.6		3.30		4.65		0.15	
			1.0%	36-17-25N	17.0	11.5	-			42.9		3.43		4.96		2.28	2.37
			1.0%	36-18-25N	19.5	15.0	-			46.4	45.8	3.80	3.70	5.49	5.33	2.41	
			1.0%	36-21-25N	21.5	17.0	-			48.0		3.87		5.55		2.41	
			1.2%	36-18-25N	19.5	13.5	-			45.7	45.7	3.59	3.59	5.61	3.59	2.07	3.59
			1.0%	36-17-25N	18.0	12.5	11.5	150m	0.99%	41.4		-		-		-	
			1.0%	36-18-25N	18.5	13.0	13.0	150m	0.98%	43.9	43.2	-		-		-	
			1.0%	36-21-25N	22.0	18.0	17.0	150m	0.99%	44.2		-		-		-	
B橋	φ 0.75 × 30 (Bタイプ: 両端フック型)	40	1.0%	36-15-25N	24.0	16.0	15.0	150m	-	44.3		-		4.26	4.32	3.03	2.86
			1.0%	36-12-25N	20.5	12.5	12.5	150m	-	43.5		-		4.37		2.69	
C橋	φ 0.8 × 30 (Cタイプ: 両端フック型)	37.5	1.0%	40-18-25N	20.5	17.0	16.0	40m	0.85%	45.6		-		5.11		3.64	4.50
			1.0%	40-18-25N	18.0	10.0	-			47.0	46.3	-		7.38	6.25	5.36	
D橋	φ 0.8 × 30 (Cタイプ: 両端フック型)	37.5	0.75%	33-18-25N	20.5	19.5	-			47.1		-		5.42		3.25	4.54
			1.0%	33-18-25N	20.5	18.5	-			48.5	48.0	-		5.57	5.84	4.98	
			1.5%	33-18-25N	20.0	14.5	-	施工不可		48.4		-		6.53		5.39	
			1.0%	33-12-25N	13.0	12.0	8.0	閉塞気味		-	-	-	-	-	-	-	
			1.0%	33-15-25N	17.0	12.5	12.0	順調圧送		-	-	-	-	-	-	-	
E橋	φ 0.8 × 30 (Cタイプ: 両端フック型)	37.5	0.75%	30-8-25N	14.0	9.0	-			-	-	-		4.64		2.23	2.61
			1.0%	30-8-25N	14.0	9.0	-			39.2	39.2	-		4.88	4.64	2.86	
			1.25%	30-8-25N	14.0	8.5	-			-	-	-		4.41		2.74	
F橋	φ 0.8 × 30 (Cタイプ: 両端フック型)	37.5	1.0%	30-12-20N	-	14	-			40.7		-		6.10		4.25	4.34
			1.0%	30-15-20N	-	16.5	-			39.6		-		6.53	6.17	4.42	
			1.0%	30-15-20N	-	16	-			36.9		-		5.88		4.34	
			1.0%	30-15-20N	-	15	-			36.3		-		-		-	
G橋	φ 0.8 × 60 (Cタイプ: 両端フック型)	75	1.0%	36-15-25N	-	16.5	-			53.2		-		5.93	5.47	3.60	2.96
			1.0%	36-15-25N	-	15.5	-			53.8	53.5	-		5.01		2.32	

3) スランプ試験と圧送試験

鋼繊維混入前のスランプは、ほぼ設定値（目標値）で、鋼繊維混入により 4.0～6.0cm のスランプロスが認められた。図-2 に示すように、鋼繊維混入前と混入後には、強い相関関係がみられた。また、鋼繊維混入率の違い（A,D 橋）では、鋼繊維混入率の高いほうが、スランプロスが大きく、施工性に影響を及ぼすことがわかった。なお、鋼繊維 1.5%（D 橋）は、スランプロスが大きく、カンタブが容易に刺さらない状態となった。圧送によるスランプロスは、0～1.0cm で、圧送距離が長くてもスランプロスは小さい結果となった。圧送によるスランプおよび鋼繊維混入率の影響はなく、施工上の問題は少ないと考えられる。しかしながら、スランプ 12cm の圧送（D 橋）は、閉塞気味で十分な圧送ができなかったことから、筒先でのスランプ値を十分確保する必要があると考えられる。

4) 鋼繊維混入率試験

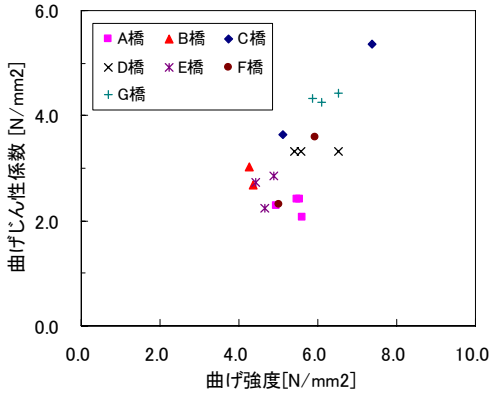
鋼繊維混入率試験は、各々平均鋼繊維混入率 1.0%前後となった。鋼繊維は供試体への打設時に、均等に分散されていることが確認できた。2 分間の練り混ぜ時間が妥当であり、アジテータ内で鋼繊維が十分に攪拌されていることが確認できた。

4. まとめ

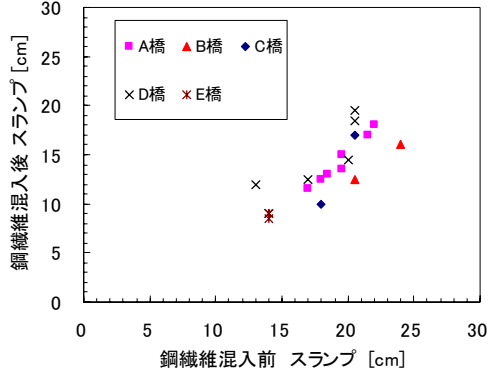
各試験結果から、鋼鉄道橋連続合成桁に対する SFRC の性能および圧送性を確認した。鋼鉄道橋の床版に SFRC を適用した場合、施工性を考慮して鋼繊維混入率は、1.0%を標準とすることとした。実工事における実施項目は、スランプ試験（混入前、混入後）、ポンプ圧送試験、曲げタフネス試験にて確認することとした。品質面において、スランプロスによる流動性の低下を考慮すると、筒先でのスランプを 12±2.5cm に設定する必要がある。曲げタフネス試験は、曲げじん性係数を 2.0N/mm²以上を満足するものとした。

[参考文献]

- 1) 矢島秀治, 北園茂喜, 市川篤司, 村田清満, 原夏生: 鋼鉄道下路トラス橋 SRC 床版に対する鋼繊維補強コンクリートの施工性および強度特性に関する研究, 構造工学論文集 Vol. 49A, 2003. 3, pp. 1163～1171.



図－1 曲げ強度と曲げじん性係数の関係



図－2 鋼繊維混入前－混入後のスランプの関係