

鋼繊維補強コンクリートを用いたトンネル覆工板の開発(1)

- 強度試験結果 -

佐藤工業株式会社 正会員 矢郷 隆浩*¹
 佐藤工業株式会社 正会員 木村 定雄*¹
 佐藤工業株式会社 正会員 射場 康平*¹
 千葉工業大学 薄井 泰介*²
 千葉工業大学 中込 幸信*²

1. はじめに

近年、建設工事におけるコスト縮減は重要な課題となっており、トンネル工事に用いる覆工板についても、その本体および継手構造の簡素化に関する研究が多数進められている。このような状況を踏まえ、筆者らは、RC 構造に変わるものとして高流動コンクリートと鋼繊維補強コンクリートを組み合わせたプレキャストのトンネル覆工板(以下、SFRC 板と呼ぶ)を考えた。この覆工板は、山岳トンネルではTBMライナー、また都市トンネルでは自立性の高い良好な地盤中のセグメントをその適用対象としており、二次製品であるトンネル覆工板の製造コスト縮減を念頭において開発している。本報告は、SFRC 板の概要およびSFRCの強度特性について述べたものである。

2. SFRC 板の概要

SFRC 板は、鉄筋を使用しないため鉄筋籠の組立・運搬に要する労務費および機械設備が不要なことが大きな特徴である。また鉄筋籠の製造、保管に必要なスペースが不要なためトンネル覆工板の現地生産に適しており、この場合、運搬費を削減することが可能になる。継手構造は、前述の通り良好な地盤を対象としているので、側方からの地盤反力を最大限利用できるようなナックルジョイントなどのヒンジに近い簡略なものを想定している。

使用するSFRCは、硬化後に覆工板に必要な強度特性や耐久性を持つことに加え、フレッシュ時に自己充填性と材料分離に対する抵抗性を持つような配合を検討している。すなわち、SFRC 板の製造には、締めめや表面仕上げが不要であり、かつ製造に使用する型枠や機械設備の簡素化が可能な高流動コンクリートを採用した。

3. 試験概要

試験に用いたSFRCは、繊維長 L_f が30、60mmの鋼繊維(両端フック型)を使用し、鋼繊維混入率 V_f (容積比)を0.5、0.75、1.0%に変化させて作成した。その配合は、覆工板製造に適用実績のある粉体系高流動コンクリートの配合を基本とし¹⁾、鋼繊維混入後に流動性、分離抵抗性を確保できるよう細骨材率や混和剤の量を調整した。基本となる高流動コンクリートの配合、品質管理基準およびSFRCの配合を表1~3に示す。SFRCのフレッシュ性状は高流動コンクリートと同じ試験で確認した。フレッシュ性状の試験結果を表4に示す。供試体は気中で湿潤状態に保ち、材齢28日経過後に試験を行った。実施した試験は圧縮試験、静弾性係数試験、曲げ試験、引張試験(ベースコンク

表1 高流動コンクリートの品質管理基準

設計基準強度(N/mm ²)	42
スランプフロー(cm)	65±5
空気量(%)	2±1

表2 高流動コンクリートの基本配合

G_{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kgf/m ³)					
			W	C	LS	S	G	Ad
20	35.0	55.3	177	506	62	923	805	7.95

LS: 混和材(石灰石微粉末) Ad: 混和剤(高性能AE減水剤)

表3 強度試験供試体の配合

L_f (mm)	細骨材率 s/a(%)			混和剤 Ad(kgf/m ³)		
	0.5	0.75	1.0	0.5	0.75	1.0
30	58.4	62.4	70.4	5.21	5.72	6.22
60	66.3	72.3	75.0	5.57	6.07	6.07

表4 フレッシュ性状試験結果

L_f (mm)	スランプフロー(cm)			空気量(%)		
	0.5	0.75	1.0	0.5	0.75	1.0
30	57.0	51.0	56.5	1.9	1.9	1.5
60	60.0	45.0	39.5	1.5	2.1	2.4

キーワード: トンネル, 覆工板, 鋼繊維補強コンクリート, 高流動コンクリート

連絡先: *1: 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-20

Tel:03-5823-2353 Fax:03-5823-2358

*2: 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

Tel:047-478-0447 Fax:047-478-0474

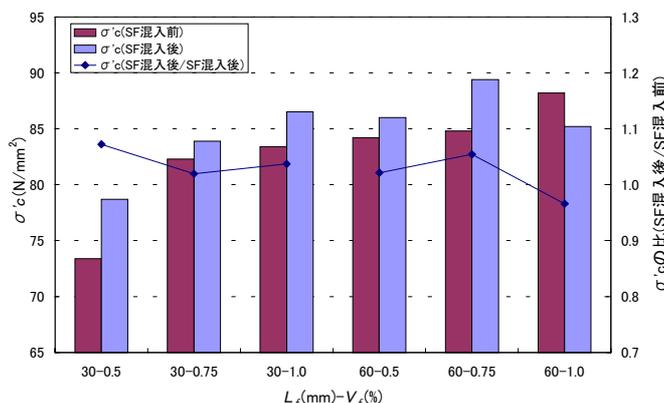


図2 V_f, L_f と圧縮強度の関係

リート)であり、曲げ試験は SFRC の設計施工マニュアル²⁾の規定に従い実施した。

4. 試験結果

V_f, L_f と鋼繊維混入前後での圧縮強度の関係を図2に示す。 V_f, L_f と圧縮強度に明確な関係は見られず、鋼繊維混入前後での圧縮強度を比較しても大きな差はない。以上より、SFRC の圧縮強度はベースとなるコンクリートの圧縮強度と大差がないことが推測される。静弾性係数は、 $L_f=30\text{mm}$ で $39.3 \sim 40.1\text{kN/mm}^2$ 、 $L_f=60\text{mm}$ では $38.3 \sim 40.7\text{kN/mm}^2$ となり。同様に V_f, L_f との関係は小さい。

曲げ試験における V_f, L_f とひび割れ発生時の縁応力 (σ_{cr})、曲げ強度 (σ_b)、曲げ靱性係数 ($\bar{\sigma}_b$) の関係を図3

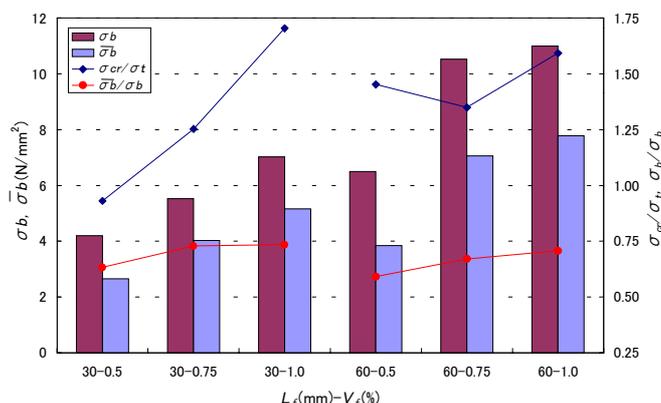


図3 V_f, L_f と $\sigma_{cr}, \sigma_b, \bar{\sigma}_b$ の関係

に示す。 σ_{cr}, σ_b は JIS の規定に従い $\sigma = M/Z$ (全断面有効)の式から算出した。 σ_{cr} はベースコンクリートの引張強度 (σ_t)と比較して $L_f=30\text{mm}$ で $0 \sim 70\%$ 、 $L_f=60\text{mm}$ で $35 \sim 59\%$ 大きく、鋼繊維が初期の曲げひび割れ発生抑制に寄与している可能性がある。 σ_b は V_f, L_f が大きくなるに従い増加する傾向を示し、同一曲げ強度では繊維長を 60mm にすることで V_f を小さくすることが可能である。また $\bar{\sigma}_b$ も同様の傾向を示し、すべてのケースで σ_b の $60 \sim 70\%$ に相当する大きさになる。ただし繊維長 60mm では、 V_f を 0.75% より大きくしても $\sigma_b, \bar{\sigma}_b$ の伸びは小さく、これ以上鋼繊維混入率を増加させても曲げ強度、曲げ靱性の改善効果は小さいことが推測される。

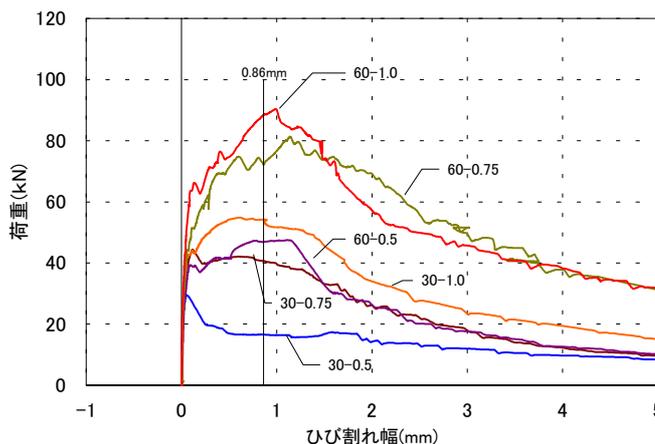


図4 荷重とひび割れ幅の関係(曲げ試験)

曲げ試験における荷重と供試体下端のひび割れ幅の関係を図4に示す。SFRC の設計施工マニュアル²⁾の規定では、荷重が最大値から低下する段階で供試体下端のひび割れ幅が 0.86mm になる時の載荷重から設計曲げ引張強度 f_{ff} を求めている。今回の試験結果のうち、 $L_f=60\text{mm}$ では最大荷重時のひび割れ幅は 0.86mm より大きく、マニュアルに規定された方法で f_{ff} を算出することは適切ではない。最大荷重時のひび割れ深さは $L_f=30\text{mm}$ で $0.60\text{h} \sim 0.83\text{h}$ 、 $L_f=60\text{mm}$ では $0.79\text{h} \sim 0.88\text{h}$ であり、 V_f, L_f が大きいほど最大荷重時のひび割れ深さは大きくなる傾向が見られる。

5. まとめ

SFRC の圧縮強度、静弾性係数はベースコンクリートの強度特性によってほぼ決定され、鋼繊維の影響は小さい。曲げ強度、曲げ靱性は、繊維長、鋼繊維混入率が大きいケースの方が増加する傾向が見られる。ただし繊維長 60mm では、混入率が 0.75% を超えると曲げ強度、曲げ靱性の伸びは小さくなる。

鋼繊維長 60mm では曲げタフネス試験での最大荷重時の供試体下端ひび割れ幅は 0.86mm より大きくなり、設計曲げ引張強度 f_{ff} を前述の方法で算出することは適切ではない。

【参考文献】

- 1) 宇野, 木村, 大野他: 強度・高流動コンクリートセグメントの開発(1), 第54回年次学術講演会, 部門, 1999.11.
- 2) (社)鋼材倶楽部・SFRC 構造設計施工研究会編: 鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル(トンネル編), 1995