

鋼繊維補強コンクリートのトンネル覆工への適用に関する研究(1)

-設計用曲げ引張強度の評価に関する検討-

金沢工業大学(現,JFE 工建(株)) ○学生員 岩下 尚史^{*1}金沢工業大学大学院 学生員 水谷 進悟^{*1}金沢工業大学 正会員 木村 定雄^{*1}清水建設(株) 正会員 川口 博行^{*2}

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリート(SFRC)は無筋コンクリートのもつ脆性を改善した材料であり、トンネル覆工に適用することで覆工の剥離・剥落の抑制効果やその製造コストの縮減などが期待できる。SFRC をトンネル覆工や支保工に適用する場合、現行の設計法¹⁾は、主に鋼繊維(SF)長 30mm の試験データを基に、その力学的な考え方を定めている。一方、最近の SFRC の覆工への適用をみると、曲げ耐力の向上や SF 混入量の低減を目的として、SF 長 60mm の SF の使用が増加している実状にある。そこで、筆者らは SF 長 30mm と SF 長 60mm の、それぞれの SFRC の力学的特性について、曲げ試験結果^{2),3)}を基に分析し、SFRC のトンネル覆工への設計上のとり扱い方を検討した。

2. 試験概要

2.1 曲げ試験^{2),3)}

表 1 および表 2 は粉体系高流動コンクリートの基本配合および SFRC の配合である。SFRC のスランプフローは 26~60cm である。材齢 28 日の圧縮強度は各ケースではほぼ同じであり、その平均値は 82.7N/mm² である。SFRC の力学的特性は曲げ試験により把握しており、要素供試体は 150×150×530mm の角柱、実物供試体は図 1 に示す φ4100mm のセグメントリングの A 型である。

2.2 設計用曲げ引張強度の算出方法

現行の設計法によると、曲げと軸力を受ける SFRC 部材の設計断面耐力は、150×150×530mm の角柱供試体を用いた曲げ試験を行い、限界ひび割れ幅(W_{II} , W_I)の概念を導入して曲げ引張強度の特性値(f_{ef})を算出する¹⁾。本検討ではこの方法を採用し、主に覆工の耐力の照査指標である W_{II} および長期の耐久性の照査指標である W_I の指標を用いて、 f_{ef} の値をそれぞれ f_{efII} および f_{efI} の値として算出した。なお、SFRC の引張軟化はひ

表 1 粉体系高流動コンクリートの基本

W/C(%)	s/a(%)	単位量(kgf/m ³)					
		W	C	LS	S	G	Ad
35.0	55.3	177	506	62	923	805	7.95

C：普通セメント(密度 3.16) LS：石灰石微粉末(密度 2.70)

S：密度 2.65 G：密度 2.79 Ad：高性能 AE 減水剤

表 2 高流動 SFRC の配合

試験	ケース SF長-SF混入率	s/a(%)	単位量(kgf/m ³)			
			S	G	Ad	SF
曲げ試験 (要素供試体)	30-0.50	58.4	960	720	1.03	39.25
	30-0.75	62.4	1026	650	1.13	58.88
	30-1.00	70.4	1157	512	1.23	78.50
	60-0.50	66.3	1089	583	1.10	39.05
	60-0.75	72.3	1188	479	1.20	58.44
	60-1.00	75.0	1233	433	1.20	78.42
曲げ試験 (実物供試体)	60-0.50	61.3	1034	696	1.00	39.05
	60-0.75	66.3	1089	583	1.10	58.44
	60-1.00	72.3	1188	479	1.20	78.42

SF：両端フック型

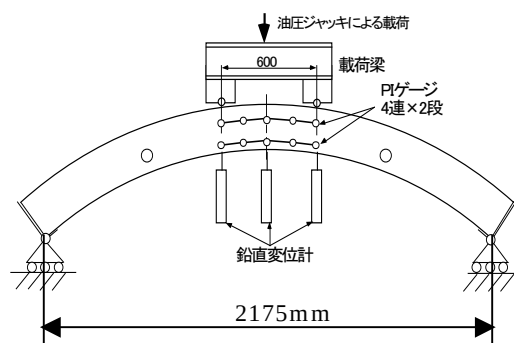
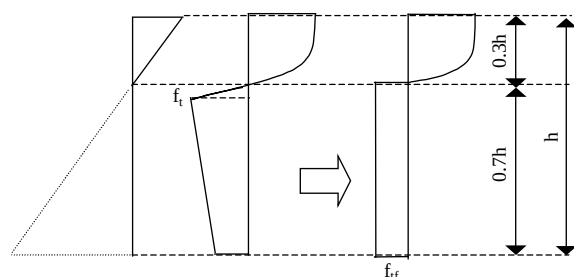
図 1 実物供試体の曲げ試験
(厚さ 200mm, 幅 1200mm, 内空弧長 2324mm, A 型)

図 2 ひずみ分布と応力分布の仮定

キーワード：トンネル覆工、高流動コンクリート、SFRC、限界状態設計法、タフネス

連絡先：※1：〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

Tel：076-248-1100 Fax：076-294-6713

※2：〒153-0042 東京都目黒区青葉台 4-4-5 スリーサムビル 4 階

Tel：03-3468-7036 Fax：03-3468-7046

び割れ深さの増大に対して、ひび割れ開口幅が W_{II} (0.86mm) までは一様と仮定している。(図 2 参照)

3. 試験結果

(1)要素供試体の曲げ試験結果による SF 長の影響：要素供試体の曲げ試験結果の一例を図 3 に示す。SF 長 60mm は SF 長 30mm に比べて曲げ耐力が大きくなるとともに、荷重ピーク時のひび割れ開口幅が大きくなる。 W_{II} (=0.86mm)を指標として算出した f_{tfII} の両者の比(SF 長 60mm/SF 長 30mm)は 1.57~1.96 であり、また、 W_I を指標として算出した f_{tfI} の両者の比は 1.32~1.42 である。

(2)要素供試体の曲げ試験結果による混入率の影響：SF 混入率と f_{tfII} および f_{tfI} との関係をそれぞれ図 4 および図 5 に示す。SF 混入率の増加とともに f_{tfII} および f_{tfI} がともに大きくなる傾向にある。また、この傾向は SF 長の違いに関わらない。

(3)要素供試体と実物供試体の曲げ試験結果：現行の設計法によると、設計覆工厚が 150mm と異なる場合には、要素供試体の曲げ試験結果から算出される f_{tfII} や f_{tfI} に寸法効果を評価する試験修正係数 ($k=0.53/h^{1/3}$)を乗じて $f_{tfII補}$, $f_{tfI補}$ を算出する¹⁾。本報告で用いた実物供試体の厚さは 200mm であり、 k の値は 0.91 となる。表 3 はこのようにして算出した $f_{tfII補}$, $f_{tfI補}$ および実物供試体の曲げ試験結果から直接求めた $f_{tfII実}$, $f_{tfI実}$ を比較したものである。実物供試体の曲げ試験結果から直接求める $f_{tfII実}$, $f_{tfI実}$ は要素供試体の曲げ試験結果に試験修正係数を考慮した $f_{tfII補}$, $f_{tfI補}$ の値よりも小さいことがわかる。

4. 設計に用いる部材係数の検討

今回の検討結果から、覆工設計に用いる SFRC の設計用曲げ引張強度は実物供試体の曲げ試験から直接確認することが重要であると考えられる。一方、要素供試体の曲げ試験結果のみから特性値を評価する場合は、要素供試体と実物供試体の特性の差異を部材係数の設定で考慮することが考えられる。試験修正係数を乗じて要素供試体から求める $f_{tfII補}$, $f_{tfI補}$ と実物供試体から求める $f_{tfII実}$ および $f_{tfI実}$ の比を表 4 に示す。これらの結果、曲げに対する部材係数は約 1.5 以上となることが想定される。一方、現行の設計法¹⁾によると、部材係数は圧縮で 1.3、曲げで 1.15 である。したがって、今回の検討では、比較した実物供試体の試験数が少ないこともあるが部材係数の設定にあたっては、慎重を要すると考えられる。

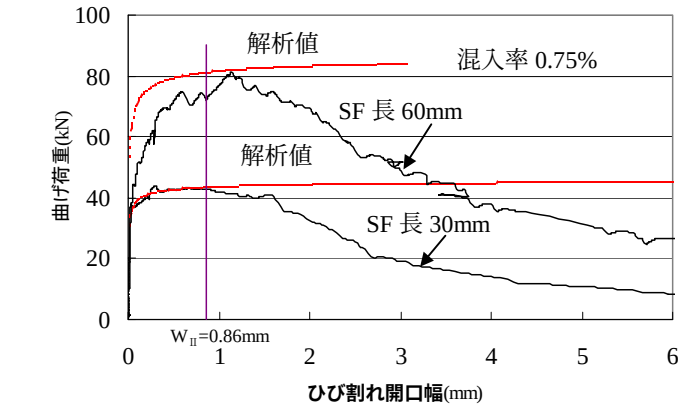


図 3 曲げ荷重とひび割れ開口幅の関係

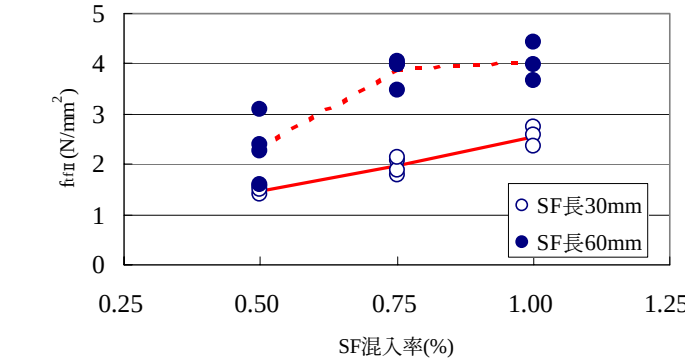


図 4 SF 混入率と f_{tfII} の関係

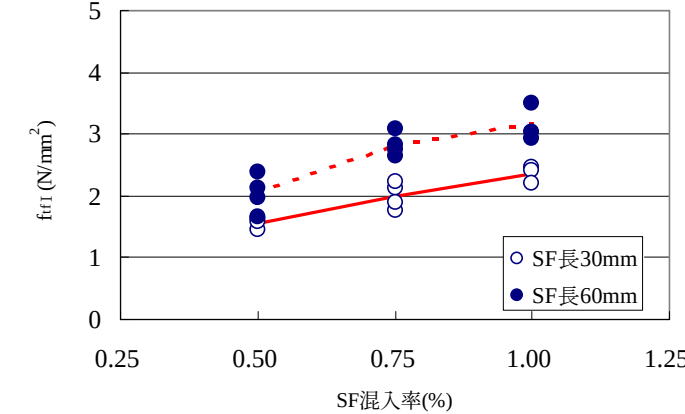


図 5 SF 混入率と f_{tfI} の関係

表3 要素供試体と実物供試体から求めた設計用曲げ引張強度

ケース	要素供試体試験修正係数考慮		実物供試体	
	$f_{tfII補}$	$f_{tfI補}$	$f_{tfII実}$	$f_{tfI実}$
60-0.50	2.13	1.86	1.56	1.57
60-1.00	3.67	2.87	2.48	2.22

(単位：N/mm²)

表 4 部材係数の検討

ケース	要素供試体/実物供試体	
60-0.50	1.37	1.43
60-1.00	1.48	1.29

【参考文献】

- 1) 日本鉄鋼連盟：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) 2002 改訂，技報堂出版，pp.26-56，2002
- 2) 矢郷，木村，射場，薄井，中込：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)，土木学会第 56 回年次学術講演会，VI-14，2001
- 3) 射場，木村，秋田谷，津田：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(2)，土木学会第 56 回年次学術講演会，VI-15，2001