

ポリプロピレン短繊維を混入した高強度吹付けコンクリートによるトンネル覆工の薄肉内巻き補強技術に関する実大載荷実験

(独)土木研究所 正会員 真下 英人 石村 利明
西松建設(株) 正会員 ○新谷 壽教 椎名 貴快 高橋 秀樹
戸田建設(株) 正会員 野々目 洋 田中 徹 清水 陽一郎

1. はじめに

地山の緩み荷重によって覆工を損傷し、内空断面に余裕のないトンネルの補強方法として、ポリプロピレン短繊維（写真-1 参照）を混入した高強度コンクリートをトンネル内面に吹付け、薄肉内巻き補強する技術の開発を進めている¹⁾。

本研究では、予め損傷を加えた実大レベルの覆工試験体の内面に上記の補強を施した後、油圧ジャッキを用いて覆工頂部から加力し、補強効果及び現場適用性に関して実験的検討を試みた。また、使用材料の強度特性及び耐久性能についても併せて確認試験を行った。



写真-1 繊維の形状

2. 実大載荷実験

2. 1 覆工試験体

覆工試験体の基本形状は、2車線道路トンネルを模擬した外径9.7mの半円形（図-1 参照）である。最初に、同試験体の天端部3箇所（80°、90°、100°）の油圧ジャッキによる静的荷重により、試験体に損傷（ひび割れ、圧壊等）を加えた後（損傷荷重）、荷重が最大値の95%程度まで低下した時点で除荷した。次に、この損傷を与えた覆工試験体の内面に、十字断面のポリプロピレン短繊維を混入した高強度コンクリートを吹付けて内巻き補強し、補強効果を確認するための試験体を製作準備した。

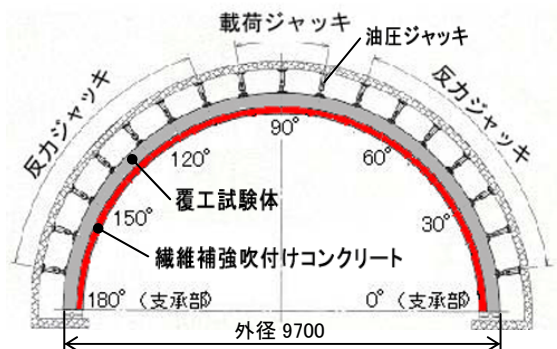


図-1 覆工試験体

2. 2 使用材料

覆工試験体の仕様及び繊維補強コンクリートの配合を、それぞれ表-1 及び表-2 に示す。なお、覆工試験体の仕様は、現行の2車線道路トンネルの覆工仕様を参考にした。また、繊維補強コンクリートは、

表-1 覆工試験体の仕様

配 合	普通 18-12-40N
覆 工 厚	300mm
形状寸法	外径9,700mm 高さ1,000mm

吹付け後の設計基準強度を 36N/mm^2 と設定し、急結剤は添加量の調整が容易で粉塵・はね返りの少ない液体急結剤を採用した。

表-2 繊維補強コンクリートの配合

G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量							繊維 混入率 (vol%)
					(kg/m ³)				(C×%)			
					W	C	S	G	AD	消泡剤	CA	
15	18	3.0	40	60	192	480	986	665	1.25	0.01	7.0	0.3

AD：高性能減水剤 CA：アルカリフリー液体急結剤

2. 3 吹付け施工条件

繊維補強コンクリートは、ポンプで圧送し、ノズル手前で空気を混入し、人力にて水平方向に吹付けた。吹付け厚は150mmとし、吹付け前の荷重により損傷を与えた覆工試験体との付着性を向上させるため、溶接金網（φ5-150×150）をアンカーで取付けて一体化を図った。

表-3 吹付け条件

吹付機の種類	コンクリートポンプ方式（ノズル部：人力）
急結剤添加装置	液体急結剤供給装置
配管条件	ノズル部配管径：φ50mm 急結剤添加位置：ノズルから1.0m手前
吐出力	3.0m ³ /hr
吹付け方向	水平
吹付け距離	1.0m（吹付け面とノズル先端の距離）

キーワード： ポリプロピレン短繊維，吹付けコンクリート，補強，トンネル，耐荷力

連絡先： 〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL 046-275-0286 FAX 046-275-6796

3. 実験結果

3. 1 強度試験結果

覆工試験体及び繊維補強吹付けコンクリートの強度試験結果（損傷載荷時，補強後載荷時）を表-4に示す。

使用材料	実験区分	供試体区分	材齢(日)	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング率(kN/mm ²)	ポアソン比	曲げ強度(N/mm ²)	曲げ靱性係数(N/mm ²)
覆工試験体	損傷載荷	荷卸時	14	18.4	19.4	0.19	—	—
	補強後載荷		28	21.7	21.9	0.16	—	—
繊維補強コンクリート	補強後載荷	吹付前(荷卸時)	14	58.2	33.1	0.20	4.64	1.39
		吹付後(切出し)	14	40.3	24.6	0.20	4.26	0.89

繊維補強コンクリートに関して，吹付後（切出し）の各値は吹付前と比較して，ペースト分の飛散や急結剤の添加，空気の巻き込み等の影響によって2～3割程度低下したものの，施工上の要求性能を十分満足する結果であった。

3. 2 耐久性試験結果

繊維補強吹付けコンクリートの耐久性試験結果を表-5に示す。吹付け前後で相対動弾性係数80%以上，質量減少率は0.5%程度であることから，十分な凍結融解抵抗性を有していた。長さ変化率は，吹付後の方が吹付前に比べて0.02%収縮率が大きい結果となった。吹付後の中性化深さは7.5mmとなり，溶接金網の最小かぶり35mmを考慮すると，十分な耐久性を有していると判断できる。

表-5 耐久性試験結果

試験名	測定項目	試験材齢	単位	区分	
				吹付前	吹付後
凍結融解試験	相対動弾性係数	300サイクル	%	97.4	87.2
	質量減少量	300サイクル	%	-0.5	-0.4
長さ変化試験	長さ変化率	26週	%	-0.055	-0.077
促進中性化試験	中性化深さ	26週	mm	4.80	7.50

3. 3 覆工載荷実験結果

損傷載荷時，補強後載荷時における荷重変位関係および躯体損傷状況をそれぞれ図-2及び図-3に示す。

覆工試験体の耐荷力(最大荷重)は2047kN(変位38mm)であり，それ以降，曲げモーメントの集中する天端外面(90°付近)及び両肩部内面(70°，110°付近)でコンクリートの圧壊が進展し，荷重低下から除荷に至った。

補強後の試験体の荷重変位に関して，荷重2500kN，3000kN付近で荷重低下がみられた。これは，覆工試験体と補強部との界面で部分的な付着切れが起きたためと考えられる。なお，最大荷重は3843kN(変位51mm)と補強前の約2倍に達し，部材剛性も大きく強化できることを確認した。また，ポリプロピレン短繊維の架橋効果により補強部のはく落といった損傷劣化は防止できた。

4. まとめ

本研究により得られた知見を以下に整理した。

- 1) 繊維補強吹付けコンクリートの各種材料強度及び耐久性は，十分な性能を有していることを確認した。
- 2) トンネル頂部からの荷重が卓越する条件では，繊維補強コンクリート150mm厚で吹付け補強することで，十分な耐荷力と変形性能を得ることができた。今後は補強厚のさらなる薄肉化について検討を進める。

参考文献

- 1) 清水陽一郎他：トンネル覆工における繊維補強吹付けコンクリートの補強効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.28，2006。（投稿中）

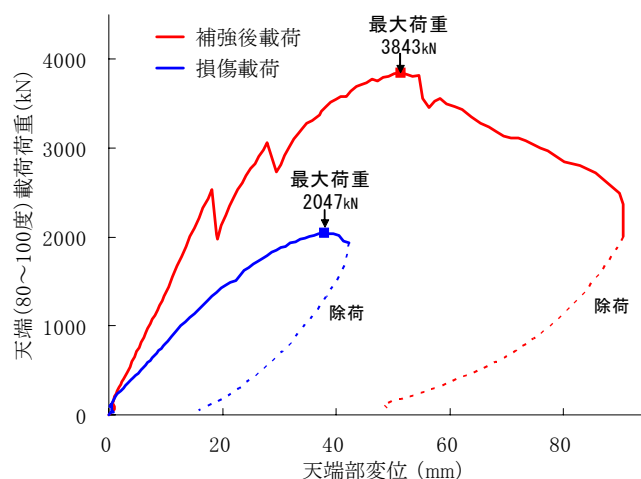


図-2 荷重変位図

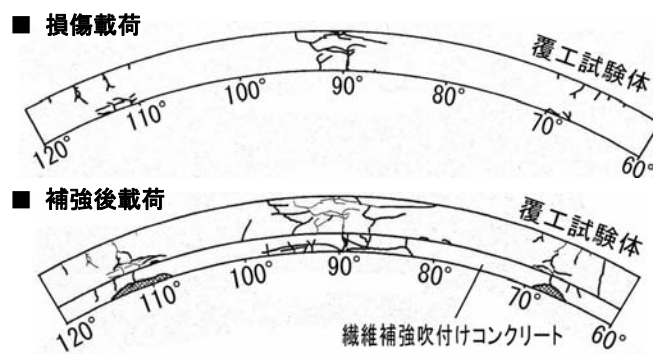


図-3 躯体損傷状況