

愛媛県建設研究所長 正会員 柿本 昇

1. まえがき 地山変位の著しいトンネルでは覆工コンクリートの引張強度の改善が必要である。

この報告は、愛媛県西宇和郡保内町喜木津において平成2年10月から同5年9月の間に施工した地山変化の著しかった延長615mの二車線道路トンネルでの事例である。

工事中、八幡浜方坑口から約60m掘進したところ、地山の押し出し現象が見られたので掘削および支保の工法変更を行ない、さらに二次覆工には引張強度を改善してひびわれ抵抗性の向上をはかるため、トンネル測点60m～135m(図75m)の区間に鋼繊維補強コンクリートを施工した。

今回材齢約1000日の切取りコアの試験を行ない、品質の経時変化を考察する。

2. 鋼繊維補強コンクリートの試料及び試験方法

2. 1 使用材料と配合

トンネル覆工に用いた鋼繊維補強コンクリート
には、 $0.1\text{m} \times 2.5\text{m} \times 30\text{m}$ の鋼繊維（カットファイバー）
を用いた、使用コンクリートの指定強度は 270kgf/cm^2

で、その示方配合を表-1に示す。試験した試料には、表-1の配合の側壁部コンクリートから6本のコアを採取し、これを用いた。

表-2 コアの切断状況

2. 2 試験方法

採取したコアを表-2のように切断して圧縮強度試験及び引張強度試験を行なった。さらにコアを縦方向に割ってフェノールフタレン1%アルコール溶液を吹きつけて中性化深さの測定を行なった。

3. 試驗結果

圧縮試験結果を表-3に、引張強度試験結果を表-4に示す。

4. 考察

試験結果について圧縮強度、引張強度、圧縮強度と引張強度の関係及び中性化深さに分けて考察する。

4. 1 壓縮強度

強度対比のできるBとFのコアについて、圧縮強度の経時変化を図1に示す。

Bコアは材齢32日で331Kg f/d 、材齢983日目には433Kg f/d 、Fコアは材齢30日で347Kg f/d であったものが材齢979日目には平均486Kg f/d に達しており、約1.4倍の強度増進を示している。(指定強度 270Kg f/d)

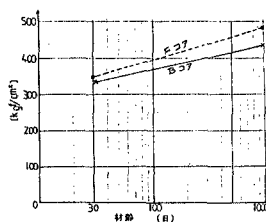


図-1 圧縮強度の経時変化

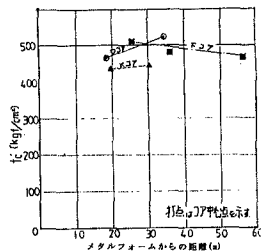


図-2 コア位置による圧縮強度の変化

表-1 使用した鋼繊維補強コンクリートの示方配合

配合 材料名 (m)	目 標 スラン (a)	目 標 空気量 (%)	目標水分調整率		単位量(Kg/d)					混和剤 (A/B/C/D) g
			w/c (%)	s/c (%)	セメント C*	水 W	粗骨材 S**	粗骨材 G	鋼繊維 S F	
20	15-2.5	4.5±1.0	50	50	426	213	812	915	80	1,065

*B種高炉セメント

※※洗淨海砂と降砂をそれぞれ565kgと247kg混合使用

表-2 コアの切断状況

工区 記号	延長 (CM)	切斷状況
B	42	B-1 B-2
C	50	C-1 C-2
D	57	D-1 D-2 D-3
F	67	F-1-0 F-1 F-2 F-3
H	45	H-1 H-2
K	47	K-1 K-2 K-3

表-3 コアの圧縮強度試験結果

コア番号	材種	平均径(φ)	平均長さ(m)	平均重量(kg)	圧縮強度	左工事	中のコア
		(mm)	(m)	(kg)	(N/mm ²)	平均	φ100mm強度
B-2	983	8.09	15.33	433		328	331
C-2	981	8.09	15.11	431			
D-2	981	8.10	15.59	465			
D-3	981	8.09	15.44	523	494	-	
F-1	979	8.08	14.94	506		309	
F-2	979	8.08	15.87	480	486	348	
F-3	979	8.08	15.47	471			
H-21	1197	8.09	16.70	431			
K-1	983	8.08	15.49	438			
K-3	983	8.08	15.49	442	440		

表-4 コアの引張強度試験結果

コ 番号	材 質	材 径 (ϕ)	平均 値 (cm)	平均 長 (a)	引張強度 (kg/d)	間 隔 平均	中性 化 深 (mm)
B-1-0	983	8.01	5.80	44.7			
B-1-1	983	8.02	6.59	41.9	143.3		
C-1-0	981	8.04	4.39	37.5			26
C-1-1	981	8.06	4.87	65.3	51.4		
D-1	981	8.09	11.14	66.7			40
F-1-0	979	8.09	18.16	41.2			
H-1	1.197	8.07	4.48	52.8			
X-1	983	8.08	12.12	46.8			4

また、圧縮試験中のコアの変形は非常にゆっくりとしたクリープ破壊現象を示し粘り強いコンクリートであることが判明した。さらに図-2に示したように複数の切断したコアの圧縮強度は、メタルフォームからの離れ具合により $D \cdot K$ は増大し、 F は減少すると言う差がみられる。このため呼び強度160 Kg/d の長寸法コアから切断位置と圧縮強度の試験値を図-3に示す。図-2と

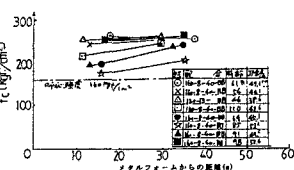


図-3 受圧試験コアの採取位置による強度差

図-3とを合せて考察するとメタルフォームからの離れて深部に向うに従ってコンクリートの圧縮強度は増加する傾向にあると考えることができる。これは、メタルフォーム付近は深部よりポーラスになりやすいこと、表層部は乾燥を受けやすく養生条件が劣ることなどが考えられるが、いずれの試験値も所要の呼び強度は満足している。

4.2 引張試験

引張試験はJISに定める割裂方法を採用したので、コア側面の平滑度が試験結果に影響を与える。このためコア採取時にカッターぶれの少ないメタルフォーム付近の試料を用いたが、結果は37.5~66.7 Kg/d 平均50 Kg/d 、変動係数22.3%ときわめてばらつきが大きくなっているが示方配合で目標とした50 Kg/d をぎりぎり確保している。

4.3 圧縮強度と引張強度の比（ぜい度係数）

表-5に圧縮強度と引張強度の比（ぜい度係数）を示す。コアのぜい度係数は8.39~11.80の範囲で平均は9.35となる。一般に圧縮強度が高くなるとぜい度係数も高くなる傾向が報告されているが、この試験値は低目であり、鋼繊維により引張強度が改善されて、外力に対して粘り強い性質を備えたコンクリートになると言える。

表-5 圧縮強度と引張強度

コア 記号	圧縮強度 f'_c (Kg/d)	引張強度 f_t (Kg/d)	ぜい度係数 f'_c/f_t
B	43.3	4.3	10.00
C	43.1	5.1	8.39
D	49.4	6.6	7.41
F	48.6	4.1	11.80
H	48.1	5.2	9.11
K	44.0	4.6	9.40
平均	46.7	4.9	9.35

4.4 中性化深さと鋼繊維

引張試験実施後の供試体を割裂しフェノールフタレン1%アルコール液を吹付けて、赤に発色する健全部として表-3に示した。写真-1はD-1の試薬反応写真である。コアの中に赤点として健全部が残っているが全体に中性化がかなり進行している。また繊維の並び方は写真-2のようにランダムに配列している。

しかし締固め時には型枠に鋼繊維が集中するとコンクリート肌に発錆現象を呈するので、維持面も考慮しての施工が必要である。



写真-1 D-1の切断片

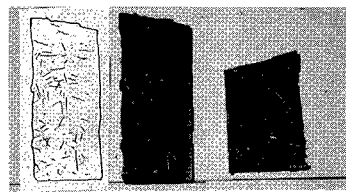


写真-2 鋼繊維の配列状況

5. まとめ

トンネルの覆工に用いた鋼繊維補

強コンクリートからの切取りコアを用いて圧縮強度、引張強度、ぜい度係数、中性化深さ等について調査した結果をとりまとめると次のようになる。

- ①鋼繊維補強コンクリートコアは材齢1000日になると材齢約30日強度の1.4倍に増進を示している。
- ②コアの圧縮強度はメタルフォームに近い表層部により内部にゆくほど高くなる傾向がある。
- ③鋼繊維補強コンクリートコアの引張強度はばらつきが大きいものの50 Kg/d で所定の強度がえられてえる。
- ④ぜい度係数は一般のコンクリートより低く平均9.4程度でありもろさが改善された粘り強いコンクリートになっている。
- ⑤中性化深さは一部の供試体で40mmと言う位を示しており入念な施工を行なってち密なコンクリートとする必要がある。また繊維が均等になるよう混合に注意する必要がある。

さらに、メタルフォームに鋼繊維が接するとコンクリート地肌に発錆を呈するので美観を考えた仕上げ方法など今後検討する必要がある。