

NATMにおける高強度吹付けコンクリートの支保効果に関する一報告

飛鳥建設（株）土木本部 正会員 松尾 勝弥
 長崎市土木部 藤本 晃生
 飛鳥建設（株）九州支店 篠宮 勝利
 飛鳥建設（株）土木本部 後藤 辰夫
 飛鳥建設（株）技術本部 正会員 平間 昭信

1. はじめに

わが国のトンネル工法にNATMが導入されてから約20年が経過した。その間、NATMの主要な支保部材である吹付けコンクリートは、低粉塵、大容量、繊維補強などの技術開発が進められ、実用化されているものもある。しかし、強度の面は、設計基準強度が 180kgf/cm^2 程度で大きな変化は見られない。

ここ数年、シリカフェームと高性能減水剤などによる高強度吹付けコンクリート材料が開発され、一部ではトンネル本体構造材料として使用されるまでになってきている。

高強度吹付けコンクリートは、トンネルの大断面化や地下空間利用など地下空間のニーズの多様化に対応するものであり、今後の発展が期待されるものの一つと考えられる。

こうした中、高強度吹付けコンクリートの支保効果については、明らかにされていないことが多いことから、高強度コンクリートの試験施工において支保部材応力などの現場計測を実施し、支保の内圧効果に着目した評価を試みた。本報告は、その試行結果を報告するものである。

2. 実験概要

表-1 配合表

2.1 コンクリート配合と使用材料

実験の対象としたコンクリートの配合を表-1に示す。

配合	スラブ (cm)	空気量 (%)	水結合 材比 (%)	細骨材 率 (%)	単位体積重量 (kg/m^3)					湿和剤 添加率 (Bx%)	急結剤 添加率 (Bx%)
					セメント	S f	水	細骨材	粗骨材		
高強度	15	4	40.0	58.9	450	50	200	935	683	2.0	4
通常	10	2	65.0	60.0	360	—	234	982	683	—	6

2.2 計測概要

(1) 試験および計測位置

試験は、長崎市運動公園トンネルの起点側坑口付近のD Iパターン24m（高強度10m、通常14m）区間で実施した。計測Bは、各々の区間のほぼ中央に設置した（図-1参照）。計測項目は図-2のようなものである。

(2) 地山状況

試験区間の地山は、潜在鏡肌を有する自破碎溶岩を主体とし、その中に亀裂の発達する安山岩類が点在しており、時間経過とともに潜在亀裂の目離れが進展しやすい地山であった。土被りは、25~40m程度である。

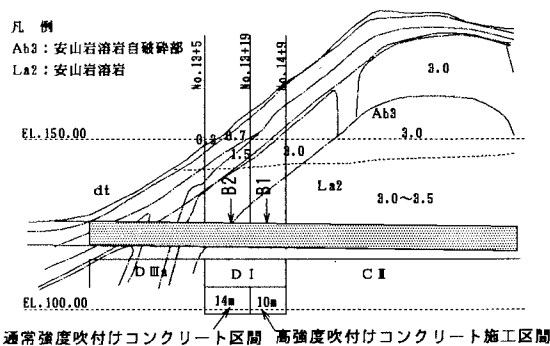


図-1 試験位置図（縦断面図）

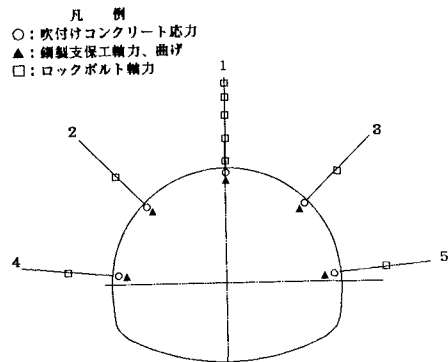


図-2 計測機器配置図

3. 実験結果

3.1 高強度吹付けコンクリートの強度試験結果

高強度吹付けコンクリートは初期強度発現にも優れており、材令24時間の圧縮強度は $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上であり、通常の吹付けコンクリートの材令28日の圧縮強度と同程度の強度が得られている。また、高強度吹付けコンクリートの材令28日圧縮強度は $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度であり、通常の吹付けコンクリートの2倍程度の強度が得られている。

3.2 計測結果

吹付けコンクリート応力および鋼製支保工軸力の最終計測値は、表-2のようにまとめられる。ロックボルトの軸力は、高強度吹付け区間の側壁部で2～8tonfが計測された。他は、1.0tonf以下のものであった。

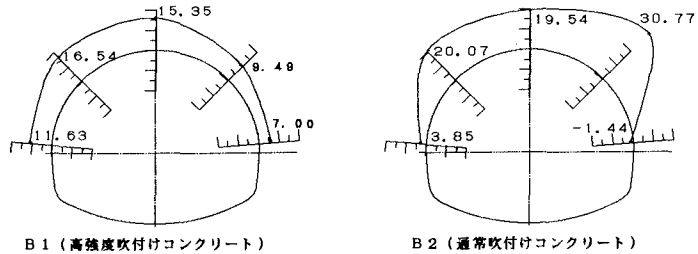


図-3 吹付けコンクリート応力図(kgf/cm^2)

4. 考察

各支保部材の支保効果の評価方法として、支保の内圧力を試算した。また、地山条件の違いによる内圧力への影響を補正するため、各支保の内圧力の比率（内圧負担率）にとして、支保効果を比較してみた。その方法および結果を図-4、表-3に示す。

初期の強度発現性にも優れている高強度吹付けコンクリートは初期の支保剛性も高いことから、通常のものより吹付けコンクリートの内圧（荷重）負担が大きいことが想定された。

今回の計測結果では、表-3に示すように、いずれの吹付けコンクリートも負担率は70%と差異は見られない結果であった。しかし、ロックボルトを除いた吹付けコンクリートと鋼製支保工にのみ注目すれば、高強度吹付けコンクリートの内圧負担率は93%で、通常吹付けコンクリート負担率72%に比べ高くなっている。

このことから、高い初期強度が期待できる高強度吹付けコンクリートを用いることで、掘削初期の支保とされる鋼製支保工の規模の軽量化や省略が可能となる傾向がうかがえる。

ただし、今回の計測結果だけでは、わずかにその傾向が見られるものの明瞭なものではなく支保パターン変更には、今後、こうした視点でのデータの蓄積が必要と考える。

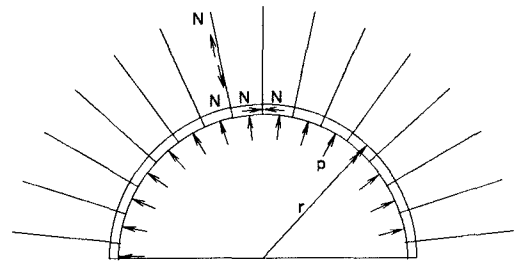
この報告が、評価方法を含め、今後の高強度吹付けコンクリートの評価の一資料となれば幸甚である。

<謝 辞>

本実験を実施するに当たり、長崎市をはじめ、電気化学工業㈱、ボゾリス物産㈱および関係各位の方々の深いご理解と多大な協力を得ました。末尾ながら、記して感謝の意を表します。

表-2 鋼製支保工軸力の計測結果

計測項目	鋼製支保工軸力(tonf)				
計測位置	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
高強度吹付け	-1.22	-11.7	-0.22	-25.0	6.46
通常吹付け	7.51	22.36	9.54	2.31	2.76



吹付け、鋼製支保工の軸力 $N = p r$

ロックボルトの軸力 $N = p t b$

吹付けコンクリート：鋼製支保工：ロックボルト $N_c/r : N_s/r : N_r/tb$
 N_c, N_s, N_r は軸力測定値の平均、 t, b ：ロックボルトのピッチ
 （但し、 N_c, N_s の引張値および N_r の圧縮値は、0.0とする）

図-4 支保部材の内圧量の算定

表-3 内圧効果(tonf/m^2)および比率(%)

支保種別	コンクリート	鋼製支保工	ロックボルト	合計
高強度吹付けコンクリート	内圧力 3.22	0.23	1.15	4.60
	比率 70.0	5.0	25.0	100
通常吹付けコンクリート	内圧力 3.98	1.59	0.11	5.68
	比率 70.1	27.0	1.9	100