

覆工コンクリートの品質管理に関する検討

A STUDY ON THE QUALITY CONTROL OF THE TUNNEL CONCRETE LINING

海瀬 忍¹⁾・吉塚 守²⁾・三谷浩二³⁾・城間博通⁴⁾

Shinobu KAISE, Mamoru YOSHIKAZUKA, Koji MITANI and Hiromichi SHIROMA

In the construction of tunnels with a large and flat cross section on the New Tomei-Meishin Expressways, high-strength concrete is considered to be an expected material for the secondary lining in order to achieve cost reduction by reducing both thickness of the lining and excavation area. For the purpose of finding important points in casting the high-strength concrete and its strength characteristics with various conditions of casting and mix proportion, we performed testing by using model forms which simulate the real tunnel lining form.

Key Words: The New Tomei-Meishin Expressways, Tunnel, Concrete lining, High-strength concrete, Quality control

1. はじめに

第二東名・名神高速道路では、今までの道路トンネルとしてはほとんど実績のない内空断面積が 145m² のトンネルが計画・施工されている。これらのトンネルに現状の設計基準強度 18N/mm² の覆工コンクリートを使用すると、表-1のように、二車線トンネルに比べ非常に厚くなり1回のコンクリートの打設量が大幅に増加することになる。

表-1 二車線トンネルと大断面トンネルの比較

また大断面トンネルは、単に断面が大きだけでなく、表-1のように断面形状が二車線断面に比べ扁平であるため、従来の二車線トンネルの覆工の設計・施工の考え方だけでは施工性・経済性の向上を図ることが難しい。したがって、覆工の強度を上げるにより設計厚さを低減し、同時にトンネル掘削量を減少させコスト削減を実現することを目的として、設計基準強度 30N/mm² の高強度覆工コンクリートの適用を計画した。

	二車線トンネル				第二東名・名神トンネル			
	B	C I	C II	D I	B	C I	C II	D I
扁平率 ※1	0.69				0.55			
設計掘削断面 積(m ³)	74.7	75.8	75.8	87.8	172.8	174.8	176.4	189.0
設計覆工厚 さ(cm)	30				50			
打設量 (m ³)※2.3	67.9		68.2	153.9	155.0	155.0	186.0	

(※1 内空縦横比, ※2 1断面=10.5m, ※3 設計基準強度 18N/mm²)

2. 試験の目的

高強度コンクリートの適用に当たりトンネルにおける覆工の役割について考えてみると以下のような役割を

- 1) 正会員 日本道路公団 試験研究所 道路技術部 トンネル研究室
- 2) 正会員 日本道路公団 試験研究所 道路技術部 トンネル研究室
- 3) 正会員 日本道路公団 試験研究所 道路技術部 トンネル研究室 主任
- 4) 正会員 日本道路公団 試験研究所 道路技術部 トンネル研究室 室長

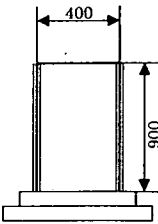
有していると考えられる。¹⁾

- ①地質の不均一性、支保工材料の品質のばらつき等の不確定要素を考慮し、構造物としての安全率を増加させる。
- ②使用開始後の外力の変化や地山・支保工材料の劣化に対し、構造物としての耐久性を向上させる。
- ③トンネルの変形が収束しない状態で覆工を施工する場合にはトンネルの安全に必要な拘束力を与える。

よって、これらのことからコンクリートの品質が悪かったり施工性が悪く覆工の背面に空洞が出来ると地山とコンクリートが一体化して軸力モデルとして機能することが出来ず局所的な曲げ応力等が発生してトンネルの耐久性に問題が生ずる可能性がありコンクリートの品質の管理が非常に重要となる。

したがってここでは、高強度コンクリートの適用に関してトンネルセントルの模擬型わくを使いコンクリート配合の違いや圧力注入の有無による施工状況の違いからくる強度特性及び充填状況等品質の違いを把握するのを目的として試験を実施したので報告するものとする。

(a) 側壁部模擬型わく



(b) 天端部模擬型わく

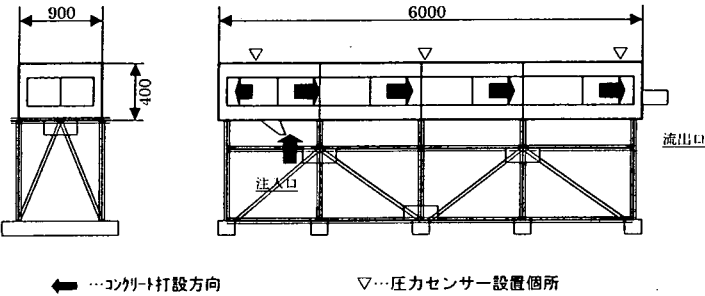
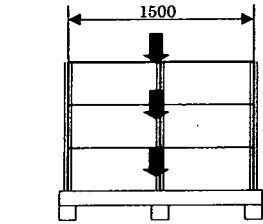
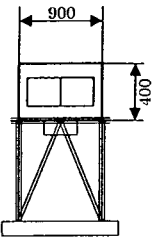


図-1 模擬型わく図

3. 試験の概要

3. 1 試験の方法

本試験を行うに当たり図-1に示す、トンネルセントル型わくの側壁部 (a) と天端部 (b) の模擬型わくを作成した。コンクリートの打設は実際の施工と同じように側壁部は上部よりコンクリートを打設しパイププレートによる締め固めを行い、天端部については型わく下面に打設孔を設け吹き上げ方式とした。また、天端部の模擬型わくには型わく上面に注入側、中央部及び流出側の3個所に圧力センサーを設置し打設時の圧力を調査すると共に打設ポンプによる圧力管理 (試験条件 50k Pa) を行った。これら模擬型わくを用いて側壁部で3回、天端部で7回の合計10回実施した。試験ケースとそれぞれの内容を表-2に示す。

3. 2 試験の配合

基本配合は、現在覆工コンクリートとして通常に使用されている設計基準強度 18N/mm²、粗骨材の最大寸法 40mm、スランプ 15cm、最低セメント量 270kg のものと、設計基準強度 30N/mm²、粗骨材の最大寸法 20mm、スランプ 15cm と 20cm の高強度コンクリート及び鋼繊維を 0.5%混入した設計基準強度 30N/mm²、粗骨材の最大寸法 20mm、スラン

表-2 試験ケース一覧表

試験 ケース	供試体の 種類	コンクリートの 種類	型枠内 圧 力 (kpa)	締固め の有無
①	側壁部	通常コンクリート	-	有
②		高強度コンクリート		
③		鋼繊維補強 高強度コンクリート		
④	天端部	通常コンクリート	-	無
⑤			50	
⑥			-	
⑦		高強度コンクリート	50	
⑧			-	
⑨			50	
⑩		鋼繊維補強 高強度コンクリート	50	

ブ 15cm と 20cm の高強度コンクリートの合計 5 種類とした。試験の基本配合を表-3 に示す。

4. 試験結果

4. 1 打設状況及び型わく内圧力

側壁部供試体は、型わく上部より打ち込み、

棒状パイプレータで締め固めを行ったが、その打込み性状は、コンクリートの種類に係わらず良好な結果が得られた。

天端部供試体の通常コンクリート(試験④、⑤)の打込み性は注入圧の有無に係わらず困難な結果となった。打込み状況は、連続してコンクリートを圧送している間は特に問題はないが、圧送を停止した場合、再圧送時に型わく内に先に打ち込まれたコンクリートの動きが低下した。これは、コンクリートの骨材の最大寸法が 40 mm と大

きく、なおかつ単位セメント量が少ないので流動性が悪かったためと考えられる。型わく内の圧力伝達も悪く、型わく内圧力は図-2 に示すように型わくの注入口側、中央部、流出側で大きな圧力差が生じた。また、充填状況は試験④の供試体注入口側上面及び試験⑤の中央部上面部に充填不良が生じた。高強度コンクリートのうちスランプ=15cm(試験⑥、⑦)の打込み性は、注入圧の有無に係わらずやや困難な状況となった。打込み状況は、通常コンクリート同様に連続してコンクリートを圧送している間は特に問題はないが、圧送を停止した場合、再圧送時に通常コンクリートほどではないにしても、先に打ち込まれたコンクリートの動きが低下した。注入圧をかけ流出側で 60.0 k Pa とした場合中央部で 73.0 k Pa の型わく内圧力となり若干の圧力差を生じた。充填状況はジャンカ等の充填不良は認められなかった。高強度コンクリートのスランプ=20cm(試験⑧、⑨)の打込み性は良好であり、型わく内の圧力差も 3.0~6.0k Pa で均一な型わく内圧力であった。充填状況はジャンカ等の充填不良は認められなかった。鋼繊維補強コンクリート(試験⑩)の打込み性は、スランプ=20cm の高強度コンクリートに比べるとやや困難な状況となった。特にポンプの圧送圧が大きくなる傾向を示した。しかしながら、打ち込んだコンクリートの型わく内の圧力差は 7.0k Pa で均一な型枠内圧力であった。充填状況は供試体上面の注入口側、中央部および出口側で充填不良が生じた。充填不良箇所は健全な個所に比べ鋼繊維量がよく認められた。

4. 2 圧縮強度試験

材齢 28 日の供試体コア圧縮強度を表-4、図-3 に示す。通常コンクリートの圧縮強度は側壁部コア供試体で 25.4N/mm² (試験①)、天端部コア供試体の注入圧無しでは 36.1N/mm² (試験④)、注入圧有りで 20.1N/mm² (試験⑤) で天端部の圧縮強度は注入圧の有無で-44.3%であり注入圧の有の方が強度が小さい。これは図-2 に見ら

表-3 基本配合表

試験ケース	設計強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	SL	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和材 (kg/m ³)	鋼繊維混入率 (Vol%)
							セメント	水	細骨材	粗骨材		
①、④、⑤	18	40	15	4.5	57.4	42.0	270	155	783	1100	0.270	—
②、⑥、⑦	30	20	15	4.5	49.7	46.1	346	172	814	959	1.083	—
⑧、⑨	30	20	20	4.5	49.7	48.4	381	189	817	880	1.193	—
③	30	20	15	4.5	49.7	52.1	346	172	919	853	1.083	0.5
⑩	30	20	20	4.5	49.7	54.4	381	189	919	777	1.193	0.5

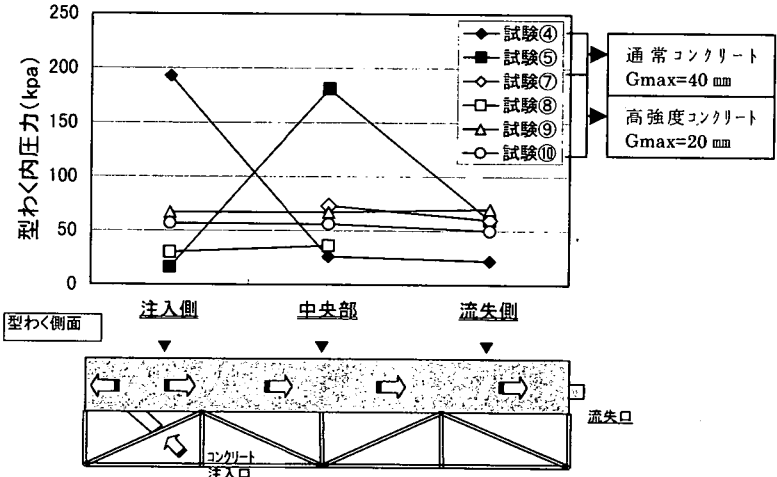


図-2 打設時型わく内圧力

れるように型わく内の圧力が管理出来ず圧力が一定でないために充填状況が悪く供試体のコア採取位置により強度の変動が大きいことが原因であると考えられる。高強度コンクリートの圧縮強度は側壁部コア供試体で 26.8N/mm^2 (試験②)、スランブ=15cm の天端部コア供試体の注入圧無しで 27.5N/mm^2

表-4 試験ケース別材齢28日供試体コア強度

コンクリートの種類	試験ケース	供試体の種類	骨材の最大寸法 (mm)	スランフ (cm)	型枠内圧力の有無	圧縮強度 (N/mm ²)	注入圧無しの時の 圧縮強度に対する 強度比(%)
通常コンクリート	①	側壁部	40	15	-	25.4	70.4
	④	天端部			無	36.1	100.0
	⑤				有	20.1	55.7
高強度コンクリート	②	側壁部	20	15	-	26.8	97.5
	⑥	天端部			無	27.5	100.0
	⑦				有	32.8	119.3
	⑧	天端部		20	無	31.8	100.0
	⑨				有	36.5	114.8

(試験⑥)、注入圧有りで 32.8N/mm^2 (試験⑦) で天端部の圧縮強度は注入圧の有無で+19.3%、スランブ=20cm の天端部コア供試体の注入圧無しで 31.8N/mm^2 (試験⑧)、注入圧有りで 36.5N/mm^2 (試験⑨) で天端部の圧縮強度は注入圧の有無で+14.8%の差があり注入圧の効果が認められた。

この結果、通常コンクリートは注入圧の効果が認められないが、高強度コンクリートについては側壁、天端 (圧無し) よりも天端 (圧有り) の方が大きな圧縮強度が得られ、注入圧の効果が確認された。

5. まとめと今後の課題

トンネルの覆工コンクリートの天端部の打設は吹き上げ方式であり、構造上天端部はパイプレータを使用している締め固めができない部分である。またコンクリート背面の充填状況の確認も簡単には出来ない。このように他のコンクリート構造物よりも品質管理が非常に難しいものとなっているが覆工の供用後の補修は非常に困難であることを考えると品質管理は非常に重要なものになってくる。

今回の試験において、骨材の最大寸法が40mmではコンクリート打設圧力の管理が困難であったが、骨材寸法が20mmでは圧力管理が可能であり、その結果圧力管理が出来ればパイプレータを使ったものと同等以上の強度が得られることが確認された。このことより適正な配合及び打設時圧力を管理することで、より強度の高い覆工コンクリートが構築できるものと考えられる。

今後の課題として、実トンネルで試験施工を実施していく中で、

- ①今回の試験では1回当たり2m³程度の打設を行い高強度コンクリートは品質・施工性に問題はなかったが現場での長時間掛けての大量打設時の品質・施工性の確認
 - ②今回の試験では圧力管理をコンクリートの圧送ポンプを使用して行ったが実際のトンネルセントルでの圧力管理手法の検討
 - ③今回の試験では高強度コンクリートの充填状況には問題はなかったが扁平断面での覆工背面のコンクリート充填状況を電磁波を用いた覆工背面空洞調査等での確認
- が、項目としてあげられる。

参考文献

- 1) 日本道路公団. 設計要領第三集トンネル (本体工編) p. 111

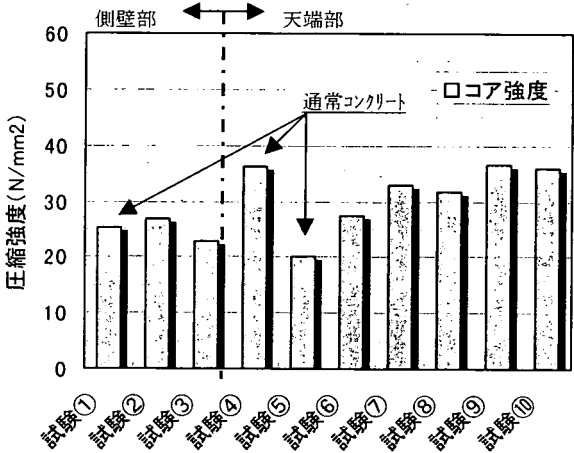


図-3 材齢28日圧縮強度