

トンネル覆工コンクリートの 打重ねに関する実験的研究

馬場弘二¹・伊藤哲男²・城間博通³・宮野一也⁴・中島浩⁵・谷口裕史⁶

¹正会員 日本道路公団 試験研究所 トンネル研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

²正会員 日本道路公団 試験研究所 トンネル研究室主任 (同上)

³正会員 日本道路公団 試験研究所 トンネル研究室長 (同上)

⁴正会員 ハザマ 土木事業総本部 技術設計部 (〒107-8658 東京都港区北青山2-5-8)

⁵正会員 工修 ハザマ 土木事業総本部 トンネル統括部 (同上)

⁶正会員 博(工) ハザマ 技術研究所 技術研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市苅間515-1)

トンネル覆工コンクリートは、セントルを使用して数箇所打込み口から順次打ち込む施工方法が一般的である。このため、打込み口の切り替え時にトラブルが生じた場合などでは、打重ね時間が長くなりコールドジョイントの発生が危惧される。また、天端部の施工は、締固めが困難なために充填が不十分となる場合がある。これに対し、天端部の施工に流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートを適用して、施工性を向上させる手法も提案されているが、異種配合の打重ね部の特性は必ずしも明確ではない。

以上のような背景から、本研究では、トンネル覆工コンクリートを対象として、打重ね時間、異種配合の打重ねなどが覆工コンクリートの品質に及ぼす影響について実験的に検討した。

Key Words : tunnel, concrete lining, placing on consolidated fresh concrete, cold joint

1. はじめに

平成11年6月に山陽新幹線福岡トンネルで発生した覆工コンクリートの崩落事故を契機として、山岳トンネルにおける覆工コンクリートの品質・性能への関心が高まっている。既設の覆工コンクリートに対しては、点検・補修が集中的に実施されるとともに、「維持・点検」あるいは「保守」などのマニュアルの整備が急速に進められている。一方、今後建設される覆工コンクリートの品質を向上させるための検討も各所で進められている。土木学会においては、コールドジョイントによるコンクリートの品質低下を防止する目的で、平成12年7月に「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」¹⁾が発刊された。ここでは、コールドジョイントの発生は、配合条件、材料条件、環境条件、施工条件などに影響されるが、コールドジョイントを防止するために十分な対策を講じることの重要性を提唱している。また、同時に発刊された「トンネルコンクリート施工指針(案)」²⁾においては、施工性の向上により覆工コンクリートの品質を確保する方法として、流動化剤あるいは高性能A/E減水剤を使用すること

によりスランブを18cm程度とする方法、あるいは高流動コンクリートの適用を検討することも有効であることを示している。

日本道路公団(以下、JHと称す)では、これまで覆工コンクリートのスランブは15cmを基本とし、流動化剤などの使用は特に定めていない。また、崩落防止の一環として、平成11年度より、覆工コンクリートへの鋼繊維の適用も進めてきている³⁾。

以上のような背景から、本研究では、まず、JH発注のトンネル建設工事に使用されている従来の覆工コンクリートにおける打重ね時間間隔とコールドジョイントの関係を実験的に検討した。次に、天端部等への確実な充填を図るため、今後部分的な使用材料として可能性がある流動化コンクリート、高流動コンクリートおよび鋼繊維補強コンクリートに対して、異種配合の打重ねおよび締固めの有無が覆工コンクリートの品質に及ぼす影響を実験的に検討した。最後に、これらの実験結果に加え、その他の条件、例えば、セントル構造あるいはコストも考慮して覆工コンクリートの施工に適切な材料条件および施工方法を提案する。

表-1 覆工コンクリートの品質基準 (2車線トンネル)

材齢28日における圧縮強度 (N/mm ²)	スラブ (cm)	空気量 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類	最小単位セメント量 (kg/m ³)	最大塩化物含有量 (Cl) (g/m ³)
18	15±2.5	4.5±1.5	40	N ₁ BB	270	300

注)N:普通ポルトランドセメント, BB:高炉セメントB種

表-2 使用材料

材料名	種類	品質
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm ³
細骨材	津久井郡城山町小倉産砂岩砕砂(70%)	表乾密度:2.64g/cm ³ , 粗粒率:3.02
	君津市久留里大谷産山砂(30%)	表乾密度:2.56g/cm ³ , 粗粒率:1.88
粗骨材	津久井郡城山町小倉産砂岩砕石(2005)	表乾密度:2.64g/cm ³ , 粗粒率:6.58
混和剤	AE減水剤(標準型)	変性リグニンスルホン酸化合物
水	水道水	東京都町田市

表-3 実験に用いた配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (g/m ³)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
20	62.5	47	175	280	851	967	3080 (C*1.1%)

2. 打重ね時間に関する実験的検討

(1) 実験目的

山岳トンネルの覆工コンクリートは、一般的にセントルと呼ばれる移動式型枠(長さ10.5m程度)のものが使用されるケースが多い)を用いて施工される。側壁部におけるコンクリートの打込みは、セントルに設置された打込み口(作業口)を使用して打込み、締固めが行われる。打込み口は側壁部で2段程度が一般的であり、打ち上がるに従い、上段の打込み口に切り替え、打込みを継続する。さらに、天端部の施工は、吹上げ口と称する打込み口から打ち込む。吹上げ口は既設コンクリート部との間に空洞部を発生させないように既設コンクリート側75cm程度の位置に設けられることが多い。このため、天端部では最長10m程度コンクリートを流動させて施工することになる。このような施工条件のため、打込み口の切り替えに伴い、打重ね時間間隔が長くなる場合、あるいは、天端部の施工のように締固めが非常に困難になる箇所も発生する。

以上のような観点から、ここでは、JHで採用されている標準的な覆工コンクリート配合を用いた場

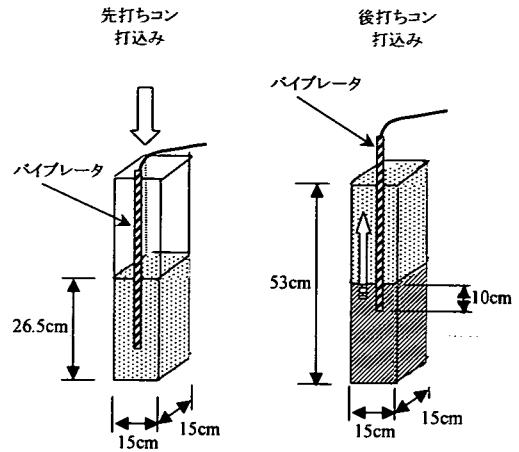


図-1 供試体の作成方法

合の打重ね時間間隔と打重ね部の強度特性について実験的に検討した。

(2) 覆工コンクリートの仕様

JHでは、2車線断面トンネルの覆工コンクリートの品質基準を表-1のように定めている。ただし、粗骨材の最大寸法に関しては、使用する生コンプラントの骨材事情により20あるいは25mmを使用する場合もある。また、設計基準強度は18N/mm²であるが、施工性向上の目的で最小単位セメント量を設定しており、条件を満足する配合を用いた場合、25~30N/mm²程度の圧縮強度(材齢28日)が得られる場合が多い。

(3) 実験概要

a) 使用材料および配合

使用材料を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメントとし、粗骨材の最大寸法は20mmとした。実験に用いた配合を表-3に示す。この配合は、所定の品質を満足するように試験練りにより選定した。

b) 実験項目および実験方法

供試体の作成方法は、図-1示すように土木学会「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」で実施されている実験方法¹⁾に準拠した。実験ケースは、打重ね時間間隔を0(一体化)、1、2、4および6時間とし、各々後打ちコンクリートの締固めの有無に対して各2体の供試体を作成した。実験項目を表-4に示す。後打ちコンクリートは、打重ね時間に合せ、同一配合のコンクリートを練り混ぜ、打ち重ねた。また、打重ね時には、実施工に準拠⁴⁾し、排出すべき程度のブリーディング水が認められ

表-4 実験項目

実験項目	実験方法
スランプ試験	JIS A 1101に準拠
空気量試験	JIS A 1128に準拠
コンクリート温度測定	棒状温度計により測定
ブリーディング試験	JIS A 1123に準拠
凝結試験	JIS A 6204に準拠
圧縮強度試験	JIS A 1108に準拠(試験場所で封緘養生)
打重ね部の評価試験	JIS A 1106コンクリートの曲げ試験方法により評価
養生温度記録	自動記録式温度計で測定

表-5 フレッシュコンクリートの実験結果

コンクリートの種類	打重ね間隔時間(h)	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
先打ち	0	15.0	4.3	18.0
	1	14.5	4.7	19.0
後打ち	2	15.0	4.5	19.5
	4	15.5	4.9	19.5
	6	14.5	4.6	19.5

表-6 先打ちコンクリートの実験結果

ブリーディング	ブリーディング量(cm^3/cm^2)	0.225
	ブリーディング率(%)	6.64
凝結	始発 (h-min)	8-00
	終結 (h-min)	11-25
圧縮強度	材齢28日 (N/mm^2)	30.9

なかったため、ブリーディング処理は行わずに打ち重ねた。なお、実験は冬期に実施したが、コンクリートの練上り温度は $20 \pm 3.0^\circ\text{C}$ とし、打重ね終了(6時間)まではコンクリート温度が低下しないようにジェットヒータで室内温度の低下を防いだ。ただし、打重ね以降の養生は、材齢2日まで実験棟内でブルーシートによる養生をし、脱型後は封緘養生した。また、先打ちコンクリートの特性を調べるために実施したブリーディングおよび凝結試験は、打重ね試験と同一の温度条件で実施した。

(4) 実験結果

a) フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの実験結果を表-5に、先打ちコンクリートの実験結果を表-6に示す。スランプおよび空気量は、覆工コンクリートとしての品質を満足していることが確認できた。凝結に関しては、一般的なコンクリートと比較して遅延する傾向を示した。これは、所定のスランプを確保するために、AE減水剤の使用量が標準使用量よりも若干増えたことおよびジェットヒータで環境温度の低下を防い

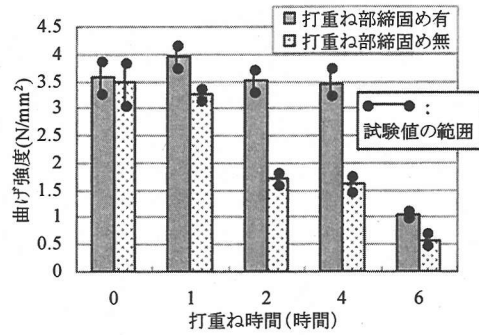


図-2 曲げ強度試験結果

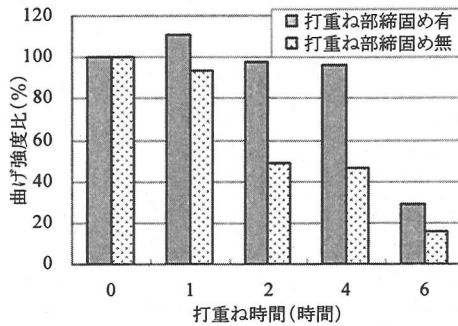


図-3 曲げ強度比による比較

だものの、コンクリート温度の測定値は $13 \sim 17^\circ\text{C}$ と低かったことが影響していると考えられる。

b) 硬化コンクリート

先打ちコンクリートの材齢28日圧縮強度は表-6に示す様に $30.9\text{N}/\text{mm}^2$ であった。これは、設計規準強度の $18\text{N}/\text{mm}^2$ を大きく上回る強度であるが、覆工コンクリートにおいては一般的な強度範囲であり、実施工に準拠したコンクリートで試験できたことが確認できた。

曲げ強度試験結果を図-2および3に示す。なお、曲げ強度比(%)は、打重ねのない試験体(一体化試験体)の曲げ強度に対する打重ねのある試験体の曲げ強度の比とした。打重ね部の締固めが行える場合には、打重ね時間が4時間程度であれば、一体化のコンクリートと同程度の曲げ強度を得ることが確認できた。なお、打重ね時間が1時間の場合に、一体化試験体よりも1割程度曲げ強度が増加しているが、これは、1水準2試験体のうち1体の曲げ強度が高くなっていることの影響であり、試験のばらつき範囲内であると考えている。土木学会「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」における実験結果では、打重ね時間が3時間程度以内では曲げ強度比が85%程度確保できるが、4時間以上になれば、総じて曲げ強度比が低下する傾向を示すとしている¹⁾。本実験結果では1時間程度許容時間が長くな

っているが、これは、コンクリートの凝結時間が遅れていることも影響していると考えられる。

また、同時に測定した凝結試験の貫入抵抗値と比較すると、打重ね時間が4時間では 0.27N/mm^2 であるのに対し、打重ね時間が6時間では 1.1N/mm^2 であった。土木学会「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」における実験結果でも、普通コンクリートの場合は、プロクター貫入抵抗値で約 1.0N/mm^2 を目安に許容打重ね時間間隔を設定できるとして¹⁾、貫入抵抗値が 1.0N/mm^2 以上となった打重ね時間6時間で曲げ強度比が低下した本実験結果も一致している。

一方、締固めを行わない場合には、打重ね時間1時間では90%以上の曲げ強度比を確保できるが、2時間以降では急激に曲げ強度比が低下した。締固めを行わない供試体の状況例を写真-1に示す。打重ね時間2時間以降の供試体では、いわゆるコールドジョイントと呼ばれる打継ぎ部が供試体表面にも認められる。また、曲げ試験後のひび割れ位置は、打重ね時間1時間では、打重ね部以外の箇所ではひび割れが発生しており、打重ね部の付着状況が良好であることが確認できるが、打重ね時間が長くなるに従い、打重ね部でひび割れが発生していることが確認できる。特に、4時間以降では、破断面の状況からも一体化していない状況が確認できた。

(5) まとめ

覆工コンクリートに使用される一般的な配合を用い、打重ね時間間隔および締固めの有無が、コンクリートの一体化に及ぼす影響を実験的に検討した。この結果、覆工コンクリートにおいても打重ね部の締固めが行える箇所では、土木学会「コンクリート標準示方書〔施工編〕」で示されている許容打重ね時間間隔の標準（ 25°C 以下：2.5時間、 25°C 以上2.0時間）⁵⁾と同様に管理できると考えられるが、締固めが困難な天端部などでは、1.0時間を目標に打重ねを行う必要があることが確認できた。

3. 異種配合および締固めの有無が打重ね部の一体化に及ぼす影響

(1) 実験目的

覆工コンクリートの施工性を向上させ、施工不良による欠陥を防止する目的で、流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートの適用が提案され²⁾、実施工に用いられた事例も報告されている⁶⁾。しかし、

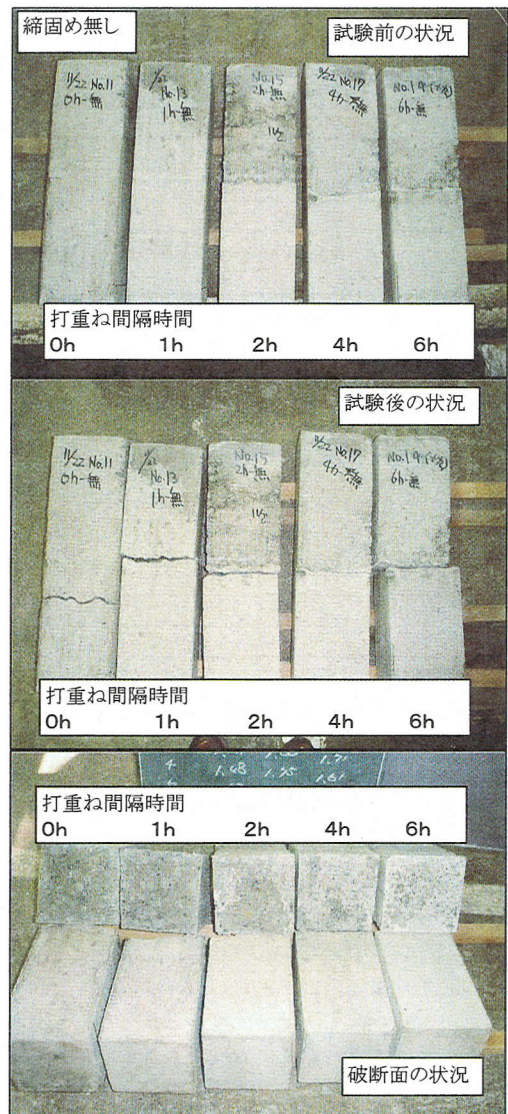


写真-1 締固め無しの場合の供試体状況

材料コストあるいは流動性向上に伴う液圧の増加による側圧対策としてのセントルの補強等を考慮すると、天端部の施工のみに流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートを適用する方が経済的である。しかし、覆工コンクリートに用いられる配合を対象とした異種配合の打重ねに関する検討例はほとんど見られない。

以上のような観点から、通常の覆工コンクリート、鋼繊維補強覆工コンクリート、それらの流動化コンクリートおよび高流動コンクリートの打重ね特性について実験的に検討した。

表-8 使用配合

コンクリートの種類	設計基準強度 (N/mm ²)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m ³)				混和剤 (g/m ³)	鋼繊維 (kg/m ³)	流動化剤 (g/m ³)	備考
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				
普通	18	15±2.5	4.5±1.5	20	62.5	47.0	175	280	851	967	3080 (C*1.1%)	—	—	AE減水剤
普通流動化		17±2.5					280 (C*0.1%)							
高流動	30	60±5 (フロー)	4.5±1.5	20	31.0	47.6	180	580	773	792	4930 (C*0.85%)	—	—	高性能AE減水剤②
鋼繊維	18	15±2.5					53.8	56.0	175	325	992	787	3250 (C*1.0%)	40 (0.5Vol%)
鋼繊維流動化		17±2.5												

表-7 使用材料

材料名	種類	品質
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm ³
	低熱ポルトランドセメント	密度:3.22g/cm ³
細骨材	津久井郡城山町小倉産 砂岩砕砂(70%)	表乾密度:2.64g/cm ³ , 粗粒率:3.02
	君津市久留里大谷産山砂(30%)	表乾密度:2.56g/cm ³ , 粗粒率:1.88
粗骨材	津久井郡城山町小倉産 砂岩砕石(2005)	表乾密度:2.64g/cm ³ , 粗粒率:6.58
混和剤	AE減水剤(標準型)	変性リグニルスルホン酸化合物
	高性能AE減水剤	①ポリカルボン酸エーテルと架橋ポリマーの複合体 ②ポリカルボン酸系化合物
	流動化剤	特殊ヒドロキシカルボン酸化合物
鋼繊維	非結束タイプ*	φ=1.05mm, L=50mm
水	水道水	東京都町田市

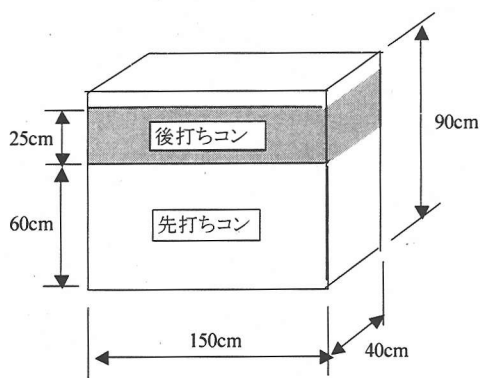


図-4 供試体の形状

ドセメントを使用した粉体系高流動コンクリートとした。なお、本マニュアルで対象としている高流動コンクリートは、土木学会「高流動コンクリート施工指針」の自己充填型ランク2に相当する。

(2) 実験概要

a) 使用材料および配合

使用材料および使用配合を表-7および8に示す。従来の覆工コンクリート（以下、普通コンクリートと称す）は、打重ね時間間隔の検討に用いた配合と同様である。鋼繊維補強覆工コンクリートは、JHの基準³⁾に従い配合を選定した。なお、鋼繊維混入率はJH発注工事で標準的な使用量となっている0.5Vol%とした。流動化コンクリートは、ベースコンクリートからスランプが2cmアップできる流動化剤を使用した。一般的に、流動化コンクリートとする場合には、細骨材率などの配合修正を行う。これに対し、覆工コンクリートの配合は、その施工性より細骨材率を高く設定していることが多いことも考慮して配合修正を行わずに普通コンクリートに流動化剤を混入することにした。高流動コンクリートは目標スランプフローを60±5cmとし、全国生コンクリート工業組合連合会の高流動（自己充填）コンクリート製造マニュアル⁷⁾に従い、低熱ポルトラン

b) 実験方法および実験ケース

供試体の形状を図-4に示す。側壁部は普通コンクリートを使用し、天端部に流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートを打ち重ねる実験ケースを定め、実験ケース毎に後打ちコンクリートの締固めの有無の影響を確認した。側壁部に見立てた先打ちコンクリートは、コンクリート高さが60cmとなるようにアジテータトラック車のシュートから直接型枠内に打ち込み、適宜棒状パイプレタを用いて締め固めた。天端部に見立てた後打ちコンクリートは、実施工での段取り替えなどを考慮して、先打ちコンクリート打込み後30分で打ち重ねた。後打ちコンクリートを締め固める場合には、棒状パイプレタの先端が先打ちコンクリートに10cm程度入るように締め固めた。供試体は屋外に設置しており、打込み後2日で脱型し、所定の材齢までシート養生とした。

試験ケースを表-9に、実験項目および方法を表-10に、コア供試体採取位置を図-5に示す。打重ね部

表-9 実験ケース

実験ケース	先打ちコンクリート	後打ちコンクリート	後打ちコンの締固め
1	普通	普通	有
2			無
3	普通	流動化	有
4			無
5	普通	高流動	有
6			無
7	鋼繊維	鋼繊維流動化	有
8			無

表-10 実験項目および方法

実験項目	実験方法
スランブ試験	JIS A 110Iに準拠
スランブフロー試験	JSCE-F 503に準拠(高流動)
空気量試験	JIS A 1128, JSCE-F 513(高流動)に準拠
コンクリート温度測定	棒状温度計により測定
V漏斗試験	JSCE-F 512に準拠(高流動)
ブリーディング試験	JIS A 1123に準拠
凝結試験	JIS A 6204に準拠
圧縮強度試験	JIS A 1108, JH施工管理基準(案) ³⁾ に準拠(標準・コア供試体)
打重ね部の評価試験	JIS A 1106コンクリートの曲げ試験方法, JH施工管理基準の曲げ靱性試験 ³⁾ およびJIS A 1113の割裂引張強度試験により評価
養生温度記録	自動記録式温度計で測定

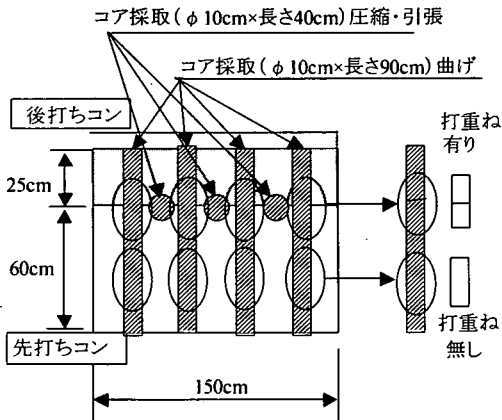


図-5 コア採取位置

の評価は、円柱コアの曲げ強度試験（鋼繊維補強コンクリートは曲げ靱性試験）および割裂引張強度試験で行った。

(3) 実験結果

a) フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの実験結果を表-11および12に示す。普通コンクリートのスランブは、16.5～17.0cmと管理範囲内の上限値に近い値となったも

表-11 フレッシュコンクリートの実験結果

実験ケース	コンクリートの種類*	スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度(℃)
1,2	普通	17.0	4.8	13.5
	普通	17.0	4.7	13.5
3,4	普通	16.5	5.1	15.0
	流動化	19.0	4.7	15.0
5,6	普通	17.0	4.9	13.0
	高流動	59.0×58.5**	4.5	12.0
7,8	鋼繊維	13.5	4.8	13.5
	流動化	16.0	4.6	14.0

* 上段:先打ちコンクリート, 下段:後打ちコンクリート

**スランブフロー

表-12 先打ちコンクリートの実験結果

実験ケース		1,2	3,4	5,6	7,8
ブリーディング	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)	0.249	0.218	0.244	0.106
	ブリーディング率 (%)	7.16	7.8	7.44	3.15
凝結	始発 (h-min)	9-30	7-40	8-30	8-15
	終結 (h-min)	13-50	13-00	12-45	11-30

表-13 強度試験結果一覧

試験ケース	コンクリートの種類*	締固め	標準養生			
			圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度** (N/mm ²)	曲げ強度*** (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
1	普通	有	29	26.8	3.59/3.38	1.69
2	普通	無		27	3.67/3.55	1.84
3	普通	有	24.9	25.3	3.59/3.92	2.08
4	流動化	無		24.7	3.28/3.53	1.94
5	普通	有	29.9	34.1	4.12/3.49	2.89
6	高流動	無	76.6	51.1	1.99/3.69	2.63
7	鋼繊維	有	33.9	34.9	3.83/3.90	2.72
8	流動化	無	35.7	30.3	2.89/3.37	1.83

* 上段:先打ちコンクリート, 下段:後打ちコンクリート

**打重ね部の圧縮強度

***打重ね部曲げ強度/先打ちコンクリート曲げ強度

の、普通および鋼繊維のいずれにおいても流動化後のスランブ増加量は2.5cmであり、全ての配合において目標品質を満足するコンクリートであることが確認できた。また、ブリーディング率は、鋼繊維補強コンクリートが普通コンクリートと比較して約半分となった。これは、水セメント比の影響であると考えられる。また、凝結時間は、打重ね時間の検討実験と同様に、遅延する傾向が認められた。これも、コンクリート温度の影響が大きいためと考えられる。

b) 硬化コンクリート

圧縮強度、曲げ強度および割裂引張強度試験結果を表-13に、打重ね部の曲げ強度および曲げ強度比を図-6および7に示す。なお、曲げ強度比は、先打ちコンクリート部の曲げ強度に対する打重ね部の曲げ強度の比（コア試験体各4本の平均値）とした。

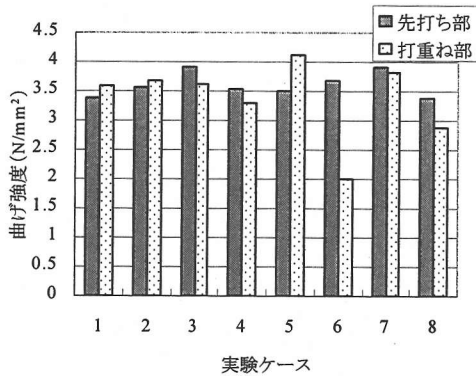


図-6 曲げ強度試験結果

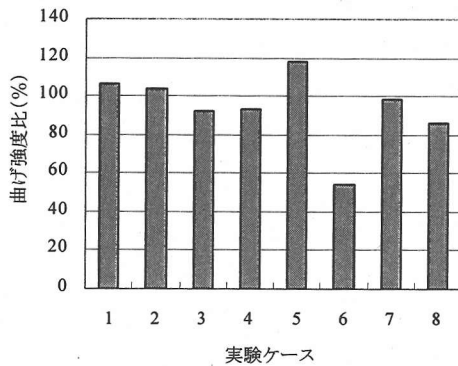


図-7 曲げ強度比による比較

標準養生供試体の圧縮強度は、実験ケース3,4が他の普通コンクリートの実験結果と比較して低いが、設計基準強度は満足している。また、鋼繊維補強コンクリートで33.0~36.0N/mm²程度、高流動コンクリートでは76.6N/mm²であった。打重ね部のコア供試体の圧縮強度は、同一配合の打重ね（実験ケース1,2）および流動化したコンクリートの打重ね（実験ケース3,4,7,8）では、標準養生供試体と同程度が若干下回る傾向を示した。一方、高流動コンクリートを打ち重ねる場合には締固め有り（実験ケース5）で34.1N/mm²、締固め無し（実験ケース6）で51.1N/mm²であった。コア試験体は、割裂引張り試験用供試体と同様に打重ね部を水平方向に採取したものであることから、締固めを行う場合には先打ちコンクリート（普通コンクリート）と後打ちコンクリート（高流動コンクリート）がある程度混合されているのに対し、締固めを行わない場合には、先打ち、後打ちコンクリートがそれぞれ半分程度のコアとなっている。いずれも、普通コンクリートと高流動コンクリートの間期的な強度になると考えられるが、締固めを行った場合には、締固めによる普通コ

ンクリートと高流動コンクリートの混合割合が均一ではなく、普通コンクリートの強度の影響を大きく受けたために普通コンクリートに近い圧縮強度になったと考えられる。

打重ね部の曲げ強度特性を見てみると、普通コンクリートで打ち重ねた場合（実験ケース1,2）、打重ね時間が30分程度であれば、締固めの有無に拘わらず、打重ね部での強度低下は認められない。これは、先に示した打重ね時間の検討実験でも1時間以内であれば打重ね部の一体化が良好である結果と一致している。

普通コンクリートに流動化コンクリートを打ち重ねた場合（実験ケース3,4）の曲げ強度比は、締固めの有無に拘わらずおよそ92~93%程度となった。しかし、ひび割れ発生箇所を観察した結果、4本中各3本が、打重ね部以外でひび割れが発生していた。このことより、普通コンクリートに流動化コンクリートを打ち重ねる場合にも、同一配合の普通コンクリートを打ち重ねる場合と同様の注意を払うことにより、打重ね部の問題は生じないと考えられる。

普通コンクリートに高流動コンクリートを打ち重ねた場合（実験ケース5,6）、締固めを行った場合には、曲げ強度は先打ち部よりも高い曲げ強度を示した。土木学会「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」においても、高流動コンクリートを打ち重ねる場合、打重ねに際してバイブレータによる振動を僅かに作用させることにより曲げ強度は増大することを示している。先打ちコンクリートが異なるものの、高流動コンクリートを打ち重ねる場合には同様の傾向が確認された。さらに、先打ちコンクリートが普通コンクリートのために、締固めを行うことにより、打重ね部では富配合の高流動コンクリートと混合されることにより強度が高くなったことも影響していると考えられる。また、ひび割れ発生箇所は、いずれの供試体においても先打ちコンクリート部であった。これは、後打ちした高流動コンクリートの方が約2倍の圧縮強度を有していることが影響していると考えられる。一方、締固めを行わない場合には、曲げ強度比は54%まで低下した。ひび割れ発生箇所はいずれも打重ね部のやや下側（先打ちコンクリート側）であった。これは、先打ちコンクリートのブリーディングが後打ちコンクリートの水セメント比が小さい高流動コンクリートに抑えられ、その部分が水セメント比の高い脆弱部になったものと考えられる。

鋼繊維補強コンクリートに鋼繊維補強流動化コンクリートを打ち重ねた場合（実験ケース7,8）、締

表-14 覆工コンクリートの施工性および経済性に関する総合評価

コンクリートの種類		締固め	クラウン部の 充填性*	打重ね部 の一体性**	材料コスト	セントル構造	コスト	留意点
側壁部	クラウン部							
普通		有	○	○	標準	通常	1	打重ね間隔時間の管理
		無		△				
普通	流動化	有	◎	○	流動化剤費用+ 作業費用		1~	
		無		△				
普通	高流動	有	◎	○	高流動コンの 材料費	上半部+ジャッキ の補強	~1.05	打重ね部の締固めが必須 コストアップを考慮
		無		×				
高流動***		有	◎	○		全周+ジャッキ の補強	1.3~1.4	打重ね間隔時間の管理
		無		△				
鋼繊維***		有	△	○	標準	通常	1	打重ね部の締固めが必須 コストアップを考慮
		無		△				
鋼繊維	流動化	有	○	○	流動化剤費用+ 作業費用		1~	
		無		△				

*通常の覆工コンクリートの充填性と比較して、◎：充填性が優れる、○：充填性は同程度、△：充填性が劣る

**○：コンクリート標準示方書の許容打重ね時間間隔の標準に従い管理することで一体性が確保できる

△：コンクリート標準示方書の許容打重ね時間間隔の標準よりも短時間(1時間以内)での打重ね管理を実施すると一体性が確保できる

×：許容打重ね時間間隔の管理のみでは、普通コンクリートの打重ねありと同程度の一体性は確保できない

***一般的な評価(本研究では実施していないケース)

固めを行った場合には、鋼繊維を含まない場合と同様に、顕著な強度低下は認められないが、締固めを行わない場合には、曲げ強度比が86%まで低下した。ひび割れ発生面は、必ずしも打重ね面ではなかったが、締固めを行った場合には、ひび割れ面を横断する鋼繊維が認められるのに対して、締固めを行わない場合には、ひび割れ面を横断する鋼繊維がほとんど認められなかった。このことから、鋼繊維補強コンクリートを打ち重ねる場合には、鋼繊維を打重ね部で横断させるためにも、締固めが重要であることが確認された。

(4)まとめ

異種配合の覆工コンクリートを打ち重ねた場合の一体性について実験的に検討した。この結果、いずれのコンクリートの打重ねにおいても打重ね時間間隔が1時間程度以内であれば、締固めを行うことにより良好な一体性が確保できる。一方、締固めを行わない場合には、通常の覆工コンクリートあるいは流動化コンクリートを1時間以内に打ち重ねる場合に限り、顕著な強度低下は認められないが、高流動コンクリートあるいは鋼繊維補強コンクリートを打ち重ねる場合には、締固めを行うことが重要である。

4. 覆工コンクリートの施工方法の提案

(1)目的

トンネル覆工コンクリートの品質を向上させるために、打重ね時間間隔および異種配合の打重ね時の留意点について実験的に検討した。ここでは、それ

らの結果をもとに、経済性も考慮して、今後のトンネル覆工コンクリートの施工方法について提案する。

(2)使用材料に対する施工方法の提案

本研究で得られた結果、材料・施工特性およびセントル構造を考慮した総合評価を表-14に示す。

従来の覆工コンクリート(普通コンクリート)を基準として考えた場合、従来の施工方法で天端部の充填性が十分に確保できる場合には、打重ね時間間隔を適切に管理することにより所定の品質を有する覆工コンクリートの施工が可能である。この場合、締固めが行える場合には、コンクリート標準示方書に示されている許容打重ね時間間隔の標準⁴⁾と同様に管理すればよい。一方、締固めが困難な箇所では、打重ね時間間隔が1時間以内(30分以内がより好ましい)となるように管理することが必要である。

断面形状、補強鉄筋などの施工条件、あるいは鋼繊維補強コンクリートのような配合条件により天端部の充填性が危惧される場合には、天端部のコンクリートを流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートとすることが覆工コンクリートの品質を向上させる観点からも有効である。普通コンクリートを流動化する場合、スランプ増加量が2cm程度であれば、配合修正することなく、普通コンクリートに流動化剤を添加し、さらに、従来の施工方法と同様の打重ね時間間隔および締固めの管理を実施することで覆工コンクリートの品質を確保できる。しかし、高流動コンクリートを打ち重ねる場合には、打重ね部の締固めを行うことが必須となる。また、高流動コンクリートを適用する場合には、セントルの補強が必要となる。高流動コンクリートの適用を考

慮する場合には、あらかじめセントル設計時にこれを考慮しておく必要がある。なお、全てのコンクリートを流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートとする方法も考えられる。しかし、JHで発注しているトンネルの標準断面から考えると、標準的な覆工コンクリート厚は300mmであり、側壁部コンクリートを流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートに変更しなければ充填性が危惧されるケースは極めてまれであると考えている。このことから、従来の覆工コンクリート（普通コンクリート）の代替として全断面に流動化コンクリートあるいは高流動コンクリートを適用することは、プラントサイロなどの製造設備面での課題あるいはコストアップの課題もあることから、現時点では充填が困難な特殊条件下に限定することとし、一般の山岳トンネルの覆工コンクリートには採用しないことにした。

一方、鋼繊維補強コンクリートは従来の覆工コンクリート（普通コンクリート）と比較して充填性に劣る。このため、流動化コンクリートの適用が有効である。この場合、打重ね部に鋼繊維を横断させるために、打重ね部の締固めが必須となる。また、鋼繊維補強コンクリートを坑口部など鉄筋が密に配置される場所に適用する場合には、側壁部においても施工性が危惧されることも考えられる。このような場合には、打重ね部の締固めを十分に管理しながら全断面に鋼繊維流動化コンクリートを適用することも可能である。

5. まとめ

本研究では、覆工コンクリートの品質向上を目的に、打重ね部の品質確保、すなわち、許容打重ね時間間隔および異種配合の打重ねに注目し、その特徴および施工上の留意点を実験的に明らかにした。本研究により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 覆工コンクリートは、従来の配合を適用することを基本とする。この場合、打重ね部の締固めが可能である場合には、コンクリート標準示方書に記載されている許容打重ね時間間隔を参考にして施工管理を行う必要がある。
- (2) 従来の覆工コンクリート配合を用いる場合には、打重ね部の締固めが困難な場合には1時間以内（30分以内がより好ましい）に打ち重ねる必要がある。
- (3) 従来の覆工コンクリートに流動化コンクリートを打ち重ねる場合には、従来の覆工コンクリ

ートを打ち重ねる場合と同様に管理すればよい。

- (4) 従来の覆工コンクリートに高流動コンクリートを打ち重ねる場合には、必ず打重ね部の締固めを行わなければならない。このため、配合を変更する箇所、すなわち打重ね箇所は締固めが可能な位置となるように設定することが重要である。また、高流動コンクリートの適用が予想される場合には、事前にセントルの補強なども検討しておく必要がある。
- (5) 鋼繊維補強コンクリートを打ち重ねる場合、流動化の有無に拘わらず、打重ね部の締固めを行わなければならない。これは、締固めが行われずと打重ね部を横断する鋼繊維が少なくなり、弱点部を形成する危険性があるからである。なお、許容打重ね時間間隔に関する留意点は、従来の覆工コンクリートを適用する場合と同様でよい。

以上のように、従来の覆工コンクリートを用いる場合の許容打重ね時間間隔を設定できた。また、覆工コンクリートの施工性を向上させるために異種配合を打重ねる場合の施工上の留意点も明らかにすることができた。今後、本研究の成果を実施工に反映させ、トンネル覆工コンクリートの品質向上を図る所存である。

参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策，コンクリートライブラリー103，2000.7.
- 2) (社)土木学会：トンネルコンクリート施工指針（案），コンクリートライブラリー102，2000.7.
- 3) 日本道路公団：鋼繊維補強覆工コンクリート トンネル施工管理基準（案），1999.12.
- 4) 日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室：覆工コンクリート施工マニュアル，試験研究所技術資料第360号，pp.44-50，2002.3.
- 5) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，pp.118-120，2002.3.
- 6) 例えば、吉田克弥，佐藤誠，福元准士：覆工コンクリートの高流動コンクリートの適用，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，第5部門，V-155，2001.10.
- 7) 全国生コンクリート工業組合連合会：高流動（自己充填）コンクリート製造マニュアル，1998.7.

(2002.8.8 受付)

EXPERIMENTAL STUDY ABOUT THE PLACING ON CONSOLIDATED FRESH CONCRETE OF THE CONCRETE LINING

Kouji BABA, Tetsuo ITOU, Hiromichi SHIROMA, Kazuya MIYANO,
Hiroshi NAKAJIMA and Hirofumi TANIGUCHI

In recent years, the concern about the quality of lining concrete is increasing taking advantage of the crash accident of concrete. On the other hand, we thought that it is important to raise the construction nature for the improvement in quality of concrete lining. And we thought it is important to clarify the construction characteristic of the placing on consolidated fresh concrete.

From the above viewpoints, firstly, experimental study was carried out about the time of the placing on the consolidated fresh concrete and the influence of the different mixes on the characteristic of the placing on consolidated fresh concrete. Secondly, the optimal construction method of concrete lining was proposed.