

トンネル補強工法の開発（その2） - 裏込めコンクリートの配合選定および施工実験 -

（株）熊谷組 技術研究所 正会員 ○野中 英、佐藤孝一、金森誠治
（株）熊谷組 土木技術部 正会員 森 康雄、岩井孝幸

1. はじめに

過去に施工されたトンネルでは、様々な不具合の発生している事例が多く、補修・補強が必要とされることが多い。トンネルの補修・補強工法には、ひび割れ注入、繊維シート補強、裏込め充填、鋼板補強等様々な対策が取られている。

本報告では、トンネルの補強工法の一つである、鋼製アーチ支保工と鉄筋コンクリートによる巻き立て工法に使用する裏込めコンクリート（水中不分離性コンクリート）の配合選定から施工実験の結果をまとめたものである。

2. 実験概要

本実験では、裏込めコンクリートの配合選定を行った後、模擬試験体への施工実験を実施した。配合選定試験では、表-1に示すような要求品質を満たすため、粗骨材の最大寸法（ G_{MAX} ）を10mm、水中不分離性混和剤、膨張剤を混入した配合を検討した。模擬試験体の施工実験では、2in.の配管での圧送の確認を行うとともに、覆工厚さ75mm、延長1.5mの型枠内に確実に充填が可能であることを確認した。要求品質に対する確認は、フレッシュコンクリートの品質確認試験、水中不分離度の測定、圧縮強度、ポンプ吐出量の確認、型枠内への充填性確認により実施した。表-2に品質確認試験方法を、表-3に使用材料を示す。なお、模擬試験体の打設は2日（1日目の打設量0.8m³、2日目の打設量1.2m³）に分けて実施した。

3. 実験結果

裏込めコンクリートの配合選定試験

表-4に本実験で実施した配合選定試験の一例を示す。配合選定試験では、水セメント比、単位水量、細骨材率等についても検討を行ったが、特殊増粘剤および高性能減水剤の効果と比べて測定結果に差が少なかったため省略した。

表-1 コンクリートの要求品質

品質項目	要求品質
充填性	覆工厚さ75mm、延長1.5mの型枠内に確実に充填できること
分離抵抗性	流動・充填時に分離しないこと
水中不分離性	導水路などの水の存在する箇所、湧水の発生している場所での打ち込みの際し、セメント粒子の逸散が認められないこと
ポンプ圧送性 無収縮性	2in.の配管を用いて圧送が可能であること コンクリート打設後に肌別れ等が生じないこと

表-2 品質確認試験方法

試験項目	試験方法
フレッシュコンクリートの品質 確認試験	フレッシュコンクリートの品質確認は、スランプフロー、空気量、コンクリート温度を測定した。
水中不分離度の測定	土木学会「水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）付属書2 水中不分離性コンクリートの水中不分離度試験方法（案）」に規定されるpHの試験に準拠して行った、なお、pHの測定については簡易型pH計を用いて実施した。
圧縮強度	圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて実施した。
ポンプ吐出速度の確認	型枠内への吐出速度は、配管の先端で吐出されるコンクリートを容器に入れ、30リットル吐出する時間を計測した。
型枠内への充填性確認	型枠内への充填性の確認は、模擬試験体の裏側より打診して確認するとともに、妻型枠に明けた孔からのコンクリートの流出により確認した。

表-3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント：比重3.16
水	つくば市水道水：比重1.00
細骨材	鬼怒川産川砂：比重2.55
粗骨材	鬼怒川産豆砂利：比重2.55、粗骨材最大寸法 $G_{MAX}=10\text{mm}$
高性能減水剤 (Ad1)	カルボキシル基含有ポリエーテル系（ポリカルボン酸タイプ）高性能減水剤
水中不分離性混和剤 (2液型) (Ad2)	アルキルアリルスルホン酸系 特殊増粘剤
膨張材	エトリンサイト・石灰複合系膨張材

キーワード：トンネル補強、水中不分離性コンクリート、裏込めコンクリート、充填性

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 （株）熊谷組 技術研究所 TEL03-3235-8723

表 - 5 にフレッシュコンクリートの品質および水中不分離度を示す。スランプフローは、混和剤量が一定であれば特殊増粘剤量が多くなるほど大きくなり、特殊増粘剤量が一定であれば高性能減水剤量が多くなるほど大

きくなる傾向が認められた。水中不分離度については、水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）付属書 2 に示される基準値 pH12.0 以下をすべて満足する結果となった。以上の結果より、混和材量が多くなると流動性が増すが分離の傾向が多くなり、特殊増粘剤量が多いと粘性が高くなり、少ないと分離の傾向が多くなるので、自己充填性、材料分離抵抗性、水中不分離度を考慮して模擬試験体配合選定試験では No.1 の配合を選定することとした。また、模擬試験体への施工実験時に流動性を調整する際には、特殊増粘剤量の増減により流動性の調整を実施することとした。

模擬試験体への施工実験

表 - 6 にフレッシュコンクリートの品質を示す。模擬試験体の打設で使用した配合は、表 - 4 の No.1 の配合としたが、配合選定試験と比較してスランプフローが大きくなっている。これは、増粘剤の温度依存性によると推測される。また、2 日目では頂部の打設孔に移行する際、流動性をあげるために特殊増粘剤量を $W \times 1.50\%$ まで減少させ、流動性の調整を実施した（2 日目 No.2 配合）。

表 - 7 に吐出速度の測定結果を、写真 - 1 に模擬試験体への打設状況を示す。吐出速度の測定結果は、1 日目が $1.1\text{m}^3/\text{h}$ 、2 日目が $1.5\text{m}^3/\text{h}$ であった。模擬試験体への打設状況では、コンクリートの粘性が高いため、打設直後には打設孔下部でコンクリートが多く存在する状況となったが、時間の経過とともにコンクリートは締め固め無しでほぼ水平な状況になり、2 in. 配管で 75mm の模擬試験体に打設速度の最大が $1.5\text{m}^3/\text{h}$ での打設が可能であることを確認した。なお、配管の段取り替え等を考慮した打設速度は $0.3\text{m}^3/\text{h}$ であった。

表 - 8 に圧縮強度結果を示す。圧縮強度は、材齢 28 日で $56.7\text{N}/\text{mm}^2$ と従来の覆工コンクリート強度を上回る結果となった。

4. まとめ

裏込めコンクリート配合選定を実施し、施工可能なコンクリート配合を決定した。

覆工厚さ 75mm の模擬試験体に 2 in. 配管で最大吐出量 $1.5\text{m}^3/\text{h}$ により打設し、型枠内に充填したことを確認した。

< 参考文献 >

長瀧重義他：水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）土木学会コンクリートライブラリー、pp.65-66、1991

表 - 4 配合表（配合選定試験）

No	W/C (%)	S/a (%)	単位水量	セメント ^{*1}	細骨材	粗骨材	Ad1	Ad2
			(kg/m ³)				C*%	W*%
1	35.0	38.0	205	586	552	901	1.00	1.75
2	35.0	38.0	205	586	552	901	1.00	2.00
3	35.0	38.0	205	586	552	901	0.75	1.75
4	35.0	38.0	205	586	552	901	1.50	1.75

*1 単位セメント量中の 20kg に膨張剤が含まれている

表 - 5 フレッシュコンクリートの品質および水中不分離度（配合選定試験）

No.	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	水中不分離度 pH
1	50.5 × 50.5 (5 分) 57.5 × 57.0 (最終)	6.3	14.0	11.09 (7.7)
2	61.5 × 61.0 (5 分) 69.0 × 68.0 (最終)	3.9	18.0	11.53 (8.6)
3	50.0 × 49.0 (5 分) 57.0 × 56.0 (最終)	6.5	16.0	11.32 (8.6)
4	52.5 × 51.5 (5 分) 59.0 × 58.5 (最終)	5.2	11.0	11.52 (3.0)

表 - 6 フレッシュコンクリートの品質（模擬試験体へ施工実験）

No.	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
1 日目 No.1	56.5 × 55.0 (5 分) 65.0 × 64.0 (最終)	4.7	20.0
2 日目 No.1	56.5 × 53.5 (5 分) 62.0 × 61.0 (最終)	5.5	20.0
2 日目 No.2	55.0 × 54.0 (5 分) 62.0 × 61.5 (最終)	4.5	20.0

表 - 7 吐出量

	30 秒吐出する までの時間	吐出速度 (m ³ /h)
1 日目	1 分 35 秒	1.1
2 日目	1 分 17 秒	1.5



写真 - 1 模擬試験体への打設状況

表 - 8 圧縮強度試験結果

圧縮強度(N/mm ²)		
材齢 2 日	材齢 7 日	材齢 28 日
18.3	37.2	56.7