

高流動コンクリートセグメントの2回転製造の検討

A STUDY ON PRODUCTION EFFICIENCY OF SHIELD TUNNEL SEGMENT USING SELF-COMPACTING CONCRETE

富田浩士¹⁾・木村 宏²⁾・守山 亨³⁾・宇野洋志城⁴⁾・木村定雄⁵⁾

Hiroshi TOMITA, Hiroshi KIMURA, Tooru MORIYAMA, Yoshiki UNO and Sadao KIMURA

The segments for shield tunnel made of self-compacting concrete (SCC), which product system is established under conditions of once a day, are already supplied to shield tunnels. On the other hand, it is popular that segment is made of stiff consistency concrete (2cm of slump) using form twice a day. Properties of SCC omit to vibrate for concrete placing and finish work for surface of segment. So that, manufacturing process and cost are reduced, it is necessary to improve curing condition in order to increase production efficiency. This paper shows a possibility to realize that segment is made of SCC under conditions of use form twice a day.

Key Word: shield tunnel segment, production efficiency, curing condition, self-compacting concrete, quality

1. まえがき

近年、シールドトンネル工事におけるコスト縮減は重要な課題であり、その方策の一つにコンクリートセグメント製造費の低減が挙げられる。これまでに筆者らが行った研究によると、従来のスランプ 2cm 程度の硬練りコンクリートの代わりに自己充てん性能を有する高流動コンクリートを用いることが、騒音や振動の軽減による作業環境の改善だけではなく、製造工程や製造設備の省略をも可能にし、コンクリートセグメントの製造費を低減する有効な方策であることがわかっている¹⁾。さらに、その品質は従来の硬練りコンクリートを用いたセグメントのそれと比較しても同等以上であることを確認している^{2),3),4)}。一方、粉体系の高流動コンクリートはそれに用いる混和剤の性能によっては凝結遅延効果があり、脱型時の若材齢コンクリートの強度発現を必要とするセグメント製造においては、製造サイクルを早めるのを困難にする一因となっていた。

本報告は、コンクリートセグメントの製造費をさらに低減することを目的として、高流動コンクリートを用いたセグメントの 1.5 回転/日サイクルあるいは 2 回転/日サイクルの製造効率の検討、およびその製造方法によるセグメントの品質の把握に主に着目した実験の結果およびその考察を述べたものである。

2. 高流動コンクリートセグメントの製造方法とその特徴

従来のスランプ 2cm 程度の硬練りコンクリートを用いたセグメントの場合、多くの工場で蒸気養生を実施し、

1) 正会員 佐藤工業(株)東京支店

2) 正会員 日本鉄道建設公団

3) 正会員 佐藤工業(株)土木本部技術部

4) 正会員 佐藤工業(株)中央技術研究所

5) 正会員 博士(工学) 金沢工業大学 環境系 土木工学科

材齢 6 時間以内に脱型、型枠の転用を実施している（2 回転/日サイクル）。最近では、自己充てん性能というフレッシュ性状の特徴を有する高流動コンクリートの開発により、通常の型枠に蓋型枠（蓋型枠の仕様：有孔鋼板と透水性シートとの組合せ）を設けた型枠内に自然流下させる製造方法が実施されている¹⁾。その自己充てん性能は強力な振動台による振動締めめやこて仕上げによる背面の成形を不要にし、これまでの製造方法では必要不可欠であった製造工程や製造設備を省略することによってセグメントの製造費の低減を可能とした。

一方、自己充てん性能を保持するためには材料分離抵抗性（粘性を高める：低水セメント比で実現）と変形性（分散性を高める：減水剤の効果で実現）とを満足させる必要があり、従来の AE 減水剤では分散能力が不足することから、セグメントに用いる高流動コンクリート用の混和剤としては高性能減水剤を使用している。この混和剤はセメントの粒子を分散させる反面、粒子間の接触を困難にすることで結果的に水和反応を妨げるように働くため、高流動コンクリートは硬練りコンクリートと比較して初期材齢における強度発現が小さく、高流動コンクリートを用いたセグメントの製造においては湿潤条件下での保温養生で型枠転用を 1 回転/日サイクルとするのが限界であった。これは従来の硬練りコンクリートを用いたセグメントの製造方法と比較して非常に低い型枠転用効率である。

しかしながら、現状の 1 回転/日サイクル製造でもセグメントの製造費の低減効果があることから、これまで高流動コンクリートセグメントの実用にあたってはセグメントの品質を最優先として検証を重ねてきた。その結果、高流動コンクリートセグメントの品質を把握するための検討は十分行われたものの、型枠転用効率を高める検討は不十分であり、高流動コンクリートが有する潜在的な利点を引出す余地があると考えた。そこで、現状よりも型枠転用効率を高めるための実験検討を行った。

3. 実験概要

表－1 使用材料

材 料	記号	仕 様
セメント	C	普通ポルトランドセメント：密度 3.16 g/cm ³
混和材	LS	石灰石微粉末：密度 2.70 g/cm ³ ，比表面積 3040cm ² /g
細骨材	S	葛生産石灰岩系砕砂：表乾密度 2.69 g/cm ³ ，粗粒率 2.63，実積率 68.5%
粗骨材	G	田沼産玄武岩系砕石：表乾密度 2.90 g/cm ³ ，粗粒率 6.80，実積率 59.1%
混和剤	SP	高性能減水剤：主成分はポリカルボン酸と配向ポリマーの複合体

3. 1 使用材料

セグメント用高流動コンクリートの使用材料を表－1 に、示方配合を表－2 に示す。今回の実験で用いた材料は基本的に従来のセグメントの場合と同じであるが、単位セメント量を抑えるために石灰

表－2 示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラング の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
					W	C	LS	S	G	SP
20	65±5	2±1	35.0	55.3	177	506	62	923	805	6.25

石微粉末を混和材としてセメントの一部と置換した。また、分散性能を保持する混和剤に高性能減水剤を使用した。配合は、既に 1 回転/日サイクルでの製造実績があるセグメント用高流動コンクリートの配合と同じとした²⁾。セメントに従来どおりの普通ポルトランドセメントを使用した理由は、製造効率を高めるために他のセグメントで通常使用しない材料を増やすことはできる限り避けたためである。

3. 2 養生条件

これまでの製造実績から、脱型時に必要な圧縮強度は 15N/mm² 程度である。1 日で型枠を 2 回使用するためには、作業員の労働時間の制約等からコンクリート打設後 6 時間程度で脱型する必要がある、圧縮強度発現の目標は材齢 6 時間で 15N/mm² と設定した。同様に、これまでの製造実績から養生期間中の蓋型枠脱型および背面の清掃（蓋型枠に使用する透水性シートを再利用するためには初期材齢での洗浄が必要）により約 1 時間は蒸気養生

が期待できないことが確認されており、今回の実験では強度発現を確保する対策として初期材齢における養生方法等を改善し、蒸気養生を採用すると共に設定温度の検討を行った。養生条件に関する管理項目を表－3に示す。

3. 3 セグメント製造

セグメントの製造は、既に1回転/日サイクルで製造している鉄道単線トンネル用のセグメント（仕様：外径 7100mm、桁高 300mm、幅 1200mm の平板型 6 分割）の製作要領書に準じた。実験を行った当初は A 型の型枠 1

ピースを対象に養生条件を変化させて製造し、材齢 6 時間を目安に圧縮強度を測定してからセグメントの脱型およびその出来型を確認した。その後は製造方法を確定してから試験的に 1 リング分を対象に 1.5 回転/日サイクルおよび 2 回転/日サイクルによる製造を実施した。

3. 4 試験項目および試験方法

1.5 回転/日サイクルあるいは 2 回転/日サイクルのセグメント製造を念頭において、脱型材齢を設定した試験製造を行い、脱型時あるいは所定材齢での圧縮強度やひび割れの有無等に代表される外観品質を検証することによって適切な養生条件に関する検討を行った。試験項目および試験方法を表－4に示す。

表－4 試験項目および試験方法

試料	試験項目	試験方法	備考
フレッシュ コンクリート	スランプフロー	JIS A 1150 コンクリートのスランプフロー試験方法	1 回/日
	空気量	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法	1 回/日
硬化 コンクリート	圧縮強度（脱型時）	JIS A 1108 コンクリートの圧縮試験方法	養生条件毎
	圧縮強度（材齢 28 日）		

4. 実験結果および考察

実験期間中の養生条件別の圧縮強度試験結果を表－5に示す。

蒸気養生最高温度（設定温度）を 60℃とすれば、材齢 6 時間以内でも 15N/mm² 以上の圧縮強度が得られ

ることが確認できたが、リング間継手の金物付近に微細なひび割れが発生する傾向が認められた。そのため、蒸気養生最高温度を徐々に下げた結果、ひび割れの発生は少なくなる傾向が顕著に現れた。一方、蒸気養生最高温度を 45℃とした場合には目標とする脱型時の圧縮強度 15N/mm² が得られるまでに 7 時間程度かかることから、2 回転/日サイクルの製造には困難があると考え、蒸気養生最高温度は 50℃程度を目安とした。また、セグメントは脱型以後も硬化熱等により温度が上昇し、中心部分の温度は材齢 10 時間頃をピークに 70℃弱にまで達するのに対し、セグメント端部の温度は養生温度の影響を受けて養生ピット内の雰囲気温度でほぼ一定であった。内部温度と表面温度の差は 20℃に達する場合も予想されるため、脱型以後もセグメント内面および背面のシート養生および蒸気養生を 3 時間継続することで、内部拘束によってセグメント表面に発生する温度ひび割れの抑制を図った。その結果、0.03mm 幅のひび割れが 1 本見つかったケースが 1 回認められた以外は外観品質上の問題も解決し、高流

表－5 圧縮強度試験結果

蒸気養生最高温度 （設定温度）	ケース数	平均脱型材齢 （時間－分）	平均圧縮強度（N/mm ² ）	
			脱型時	材齢 28 日
55℃～60℃	3	5－38	15.9	68.7
50℃～55℃	7	5－37	13.3	63.4
45℃～50℃	13	5－52	14.7	69.9
～45℃	7	6－25	13.0	80.2
全ケース	30	5－55	14.1	71.4

動コンクリートセグメントの1.5回転/日サイクルあるいは2回転/日サイクルは実現可能であることを確認した。
図-1に1回転/日サイクルでの代表的な養生パターンを、図-2に2回転/日サイクルでの代表的な養生パターンを示す。なお、表-6は、この結果を踏まえて作成したセグメントの製造サイクルである。

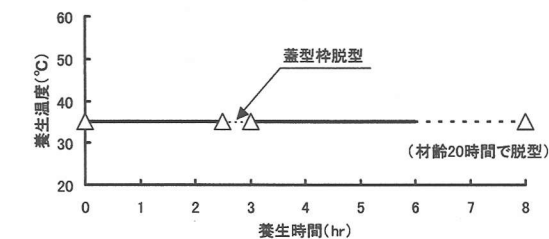


図-1 1回転/日の養生パターン（湿潤条件下での保温養生）

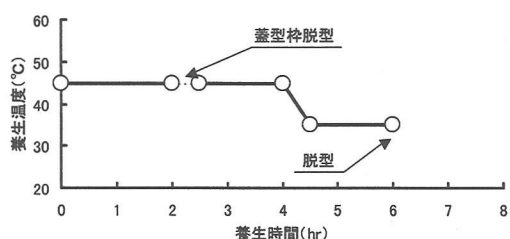


図-2 2回転/日の養生パターン（蒸気養生）

5. まとめ

これまでの高流動コンクリートセグメントと同じ配合を使用し、養生条件を改善することによって、型枠転用回数が2回転/日および1.5回転/日となるセグメント

表-6 製造サイクル

時間	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
作業工程																
脱 型																
セグメント転倒・移動																
型枠清掃・剥離剤塗布																
鉄筋かご据付・型枠組立																
コンクリート打設																
蒸気養生																

上段 ——— :2回転/日サイクル(2リング/日) 下段 (1日目) :1.5回転/日サイクル(3リング/2日)
————— (2日目)

製造が可能であることを確認した。さらに、それによって製造されたセグメントの品質が所要品質を満足できることを確認した。

6. あとがき

今回の製造効率の検討は、従来の方法によるセグメント製造と並行して行なった。1.5回転/日サイクルについては現状の設備のまま継続的な製造が可能である。一方、2回転/日サイクルについては専用の設備等の整備を要し、今後の設備改善が必要であることがわかった。なお、型枠回転数の向上のみからコスト低減の分析は難しく、作業員の就業時間と作業シフト編成等の検討が必要であることがわかった。

参考文献

- 1) 花見, 松裏, 岩藤, 秋田谷 : 高流動コンクリートセグメントの開発 (1) -製造システム-, 土木学会第 53 回年次学術講演会, VI-25, pp.50-51, 1998.10.
- 2) 清水, 山田, 木村, 宇野, 秋田谷 : セグメント用高流動コンクリートの特性 (1) -フレッシュ性状と強度特性-, 土木学会第 54 回年次学術講演会, VI-50, pp.100-101, 1999.9.
- 3) 原園, 宇野, 木村, 大野, 高桑 : セグメント用高流動コンクリートの特性 (2) -水密性-, 土木学会第 54 回年次学術講演会, VI-51, pp.102-103, 1999.9.
- 4) 矢郷, 岡村, 宇野, 大野, 木村 : セグメント用高流動コンクリートの特性 (3) -耐火性能-, 土木学会第 54 回年次学術講演会, VI-52, pp.104-105, 1999.9.