

論文 高流動コンクリートを用いた RC セグメントの製造に関する研究

谷口裕史*¹・福留和人*²・萩原勉*³・兼子厚司*⁴

要旨：高流動コンクリートを RC セグメントの製造に適用した場合、振動締固め、表面仕上げ、型枠の移動などの作業の省略、型枠の簡素化、さらには振動、騒音の排除にともなう作業環境の改善が可能となる。本研究では、従来の RC セグメントに使用される材料を基本とし、蒸気養生適用の可能性を含めて、セグメント用高流動コンクリートの配合を試験練りにより選定した。さらに、実大 RC セグメントの製造実験により、RC セグメント背面の仕上がりを検証し、スリットを用いた蓋型枠を使用することによる製造方法を確立した。

キーワード：高流動コンクリート、RC セグメント、蓋型枠、蒸気養生

1. はじめに

高流動コンクリートを RC セグメントに使用した場合、その優れた自己充填性から締固めが不要となり、型枠の簡素化などによるコストダウンに加え、振動および騒音の排除から工場内外の環境改善の面でも有効であり、その適用が検討されている^{1,2)}。一方、高流動コンクリートを RC セグメントに使用した場合、コンクリート表面の出来形の改善、蒸気養生の適用、材料費の増大が課題であり、いくつかの改善方法が提案^{3,4)}されているものの、絶対的な方法ではなく、作業面およびコスト面で有効な製造方法を確立することが必要である。

以上のような背景から、本研究では、まず、従来セグメントの使用材料を基本に高流動コンクリートを製造し、蒸気養生の適用性について検討した。次に、スリットを備えた蓋型枠を使用した実大打設実験により、最適なスリット方向、スリット長および幅を選定し、RC セグメント製造に適した打設方法を確立した。さらに、高流動セグメントの単体曲げ試験により、従来

の RC セグメントとの曲げ耐力の比較を行った。

2. 検討方法

本研究では、図-1 に示すフローに従い検討を進めた。

以下に、これらの検討結果について報告する。

【製造方法の検討】【コンクリート特性の検討】【品質の確認】

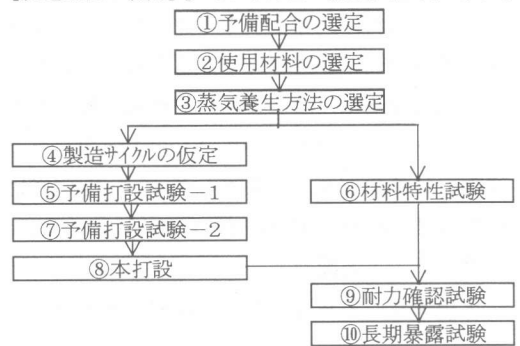


図-1 検討フロー

3. 高流動コンクリートの配合

3.1 使用材料および目標品質

使用材料を表-1 に、目標品質を表-2 に示

* 1 (株) 間組技術研究所技術研究部土木研究室主任研究員, 博士(工学) (正会員)

* 2 (株) 間組技術研究所技術研究部土木研究室主任研究員 (正会員)

* 3 (株) 間組土木本部都市土木統括部

* 4 ハザマ興業(株) 大井川工場 技術課長

表-1 使用材料

材料の種類		材料の基本特性
セメント	普通ポルトランド	密度:3.16g/cm ³ 、比表面積:331.0cm ² /g
混和剤	高性能減水剤	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体
細骨材	川砂	密度:2.59g/cm ³ 、吸水率:1.44%、F.M.2.87
粗骨材	砕石	密度:2.65g/cm ³ 、吸水率:0.606%、F.M.6.70

表-2 目標品質

スランプフロー	空気量	Vロート
65±5cm(30分保持)	2±1%	20秒以下

表-3 示方配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプフロー(cm)	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
20	65±5	2±1	30.1	50.7	161	534	854	850	5.87

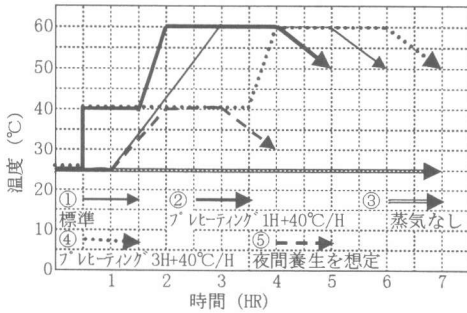


図-2 蒸気養生サイクル

す。使用材料は、実生産を考慮して当社セグメント工場で通常使用されているものを用いた。高性能減水剤は、2次製品用に開発されたスランプフロー保持効果の小さいものを使用した。また、目標強度は、従来のセグメントと同様に、脱型強度15N/mm²、材齢28日47.1N/mm²とした。

3. 2 示方配合

試験練りにより選定した示方配合を表-3に示す。

4. 蒸気養生方法および製造サイクルの検討

試験練りにより選定した示方配合に対し、図-2に示す蒸気養生サイクルで圧縮強度試験体を作成し、脱型強度および材齢1,7および28日強度を確認した。

初期強度試験結果を図-3に示す。通常のセグメントと同様の蒸気養生サイクル(①)の場合には約7時間で脱型強度を満足した。また、40°Cのプレヒートおよび昇温速度を早くし

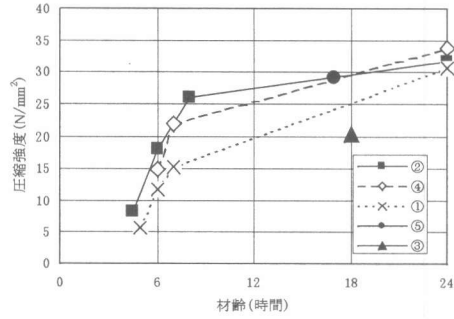


図-3 初期強度試験結果

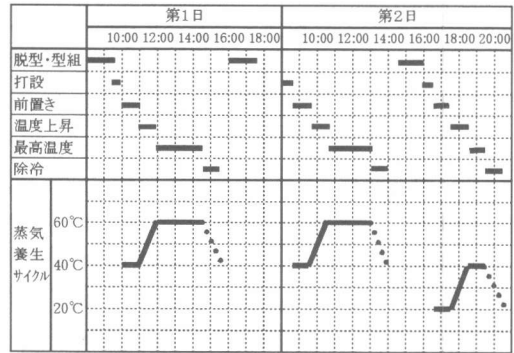


図-4 セグメント製造サイクル

た場合(②, ④)には約6時間で脱型強度を満足した。一方、3リング/2日の製造サイクルを想定した2リング目(夜間養生)の養生条件(③: 気中養生, ⑤40°C 1時間保持)の場合にも、それぞれ約20N/mm²(18時間)および約30N/mm²(17時間)の強度が得られており、翌朝脱型が可能であることが確認できた。

以上の結果をもとに、②の養生サイクルの昇温温度を通常セグメントと同様にし、積算温度を考慮して保持時間を30分延長した蒸気養生サイクルを基本サイクルとし、図-4に示すセグメント製造サイクルを選定した。

5. 打設実験

5. 1 実験概要

打設実験では、スリット幅の選定予備試験を実施した後に以下の2項目を対象に実験を行った。

表-4 セグメントの仕様

セグメントタイプ	RC平板形セグメント	
外径	7,050mm	
内径	6,450mm	
桁高	300mm	
幅	1,000mm	
主筋	外周側	D10×2+D16×6(かぶり43mm)
	内周側	D10×2+D16×6(かぶり43mm)
配筋	D10	
分割	7分割(6+K)	

表-5 フレッシュコンクリート試験結果

配合	細骨材率 (%)	水セメント比 (%)	混和剤量 C×%	コンクリート温度 (°C)	スランプフロー (cm)		空気量 (%)
					練り上り	30分後	
A-1	50.7	30.1	1.1	27.3	70.5	50.5	1.2
A-2	50.7	30.1	1.1	29.8	61.0	—	1.8
A-3	50.7	30.1	1.1	27.9	70.5	—	2.2
A-4	50.7	30.1	1.2	26.0	66.0	58.5	1.2
A-5	50.7	30.1	1.3	25.5	76.0	—	0.3
A-6	52.2	29.5	1.3	25.8	72.5	66.0	1.0
A-7	52.2	29.5	1.3	25.7	73.0	63.5	1.6
A-8	52.2	29.5	1.3	26.9	68.5	—	2.1
A-9	52.2	29.5	1.3	26.5	67.0	55.5	1.7

A-1のみ30分後のデータは50分後

表-6 高流動コンクリートの修正配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				
					W	C	S	G	Ad
20	70±5	2±1	29.5	52.2	162	550	871	816	7.15

① 充填性確認試験

② セグメント背面の出来形検討

以下に、各試験の概要および結果を示す。

5.2 充填性確認試験

(1) 実験概要

充填試験では、表-4に示す仕様のφ7mm級A型セグメントを使用し、9体のセグメントを打設した。

ここでは、主に鉄筋および金物周りの充填状況およびセグメント側面(リング間、セグメント間)および底面(内空側)の仕上がり状況を確認し、必要に応じて配合修正も行った。さらに、練りませ時間、打設時間についても検討を行った。

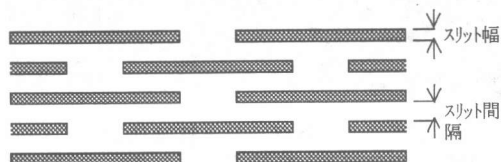
(2) 実験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表-5に示す。

金物周りの充填状況は、スランプフローが60cm程度の場合には、8箇所中1~2箇所程度の

表-7 実験要因

項目	要因
スリットの形状	縦方向(円周方向)、横方向(トンネル軸方向)
スリット間隔	50mm、50/3mm
打設口の形状	円形(φ300mm、セグメント中央部)、矩形(100(円周方向)×838(軸方向)mm、セグメント中央部)
打設後の圧力	圧力をかける(打設口にコンクリートを30mm程度余盛りし、押さえ蓋設置後、天端高さまで押さえ込む)、圧力をかけない
蓋型枠への振動	無振動、たたき、吸引



横スリット:コンクリートの流動方向に対して直角方向↓(コンクリート流動方向)
縦スリット:コンクリートの流動方向に対して平行方向→(コンクリート流動方向)

図-5 スリットのイメージ

未充填部が確認された。セグメント金物周りには、通常のRC構造物で規定されている鉄筋間隔あるいはかぶり厚よりも狭い場合があり、今回もこの影響で未充填部が生じたと考えられた。これに対し、充填性を向上させるためにスランプフローを増大させるとともに、単位粗骨材容積を減少させ、同時に材料分離を防ぐ目的で、水セメント比を減少させるよう配合修正を行った。この結果、金物周りの充填状況が改善された。修正後の高流動コンクリートの配合を表-6に示す。

また、セグメントの打設時間は、1ピース(約1m³)あたり3~5分程度であり、品質管理試験に要する時間を考慮しても、製造後30分で打設完了が可能であることも確認できた。

5.3 セグメント背面の出来形検討

(1) 実験概要

セグメント背面側のコンクリート表面仕上げ状況を改善する目的で、蓋型枠(セグメント背面側型枠)のスリット形状および打設方法を変化させ、セグメント打設実験を行った。スリット幅は予備試験の結果から0.75mmとした。スリットのイメージを図-5に実験要因を表-7に示す。

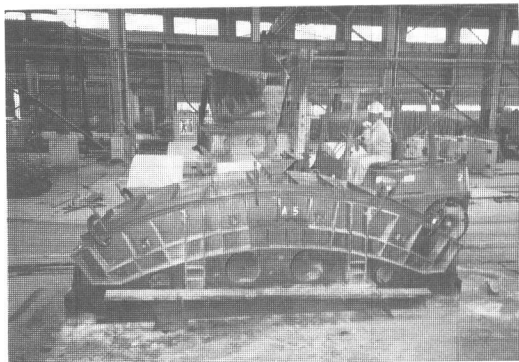


写真-1 セグメント打設状況

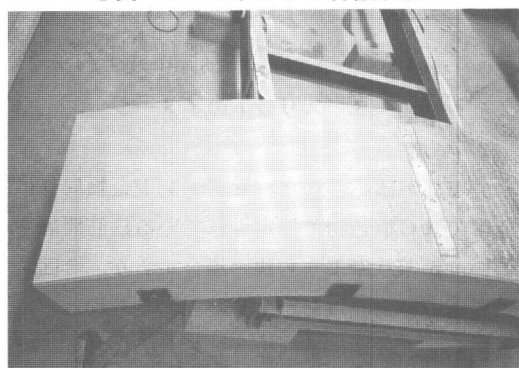


写真-2 コンクリート表面状況

(2) 実験結果

1) スリットの形状

いずれの方向のスリットを適用した場合にも、スリットを用いない型枠を用いた場合に見られる直径30mm程度以上の大きな空隙は全く認められなかった。また、スリットが横方向の場合には、スリット下部に2~3mm×20mm程度の細長い空隙が規則的に残る場合が生じた。一方、縦スリットの場合には、規則的な空隙は認められておらず、打設後の加圧作業を組み合わせることにより蓋型枠にシートを張り付けた場合と同程度の良好なコンクリート表面を得ることが可能であることが確認できた。

2) スリット間隔

スリット間隔が50mmの場合には、縦、横いずれのスリットの場合にも、スリット間に直径30mm程度の空隙が認められた。一方、スリット間隔が50/3mmの場合には、50mmの場合と比較して、

表-8 実験項目および試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1101に準拠
弾性係数	コンプレッソメータにより測定
付着強度	JSCE-G503-1988に準拠、(D16、D25)
空隙量測定	リニアトラバース法(ASTM C457)

空隙が小さく(最大で直径10mm程度)、特に縦スリットの場合には、1)で示した細長い空隙も認められなかった。

3) 打設口の形状

打設口が円形の場合には、打設口近傍の型枠部分および型枠上部の側面隅部に空隙が残りやすいのに対し、矩形の場合には、型枠上部がほぼ全面幅で開口しているために、型枠上部全面にコンクリートが充填し、良好な形状となることが確認できた。

4) 打設後の圧力

圧力をかけない場合には、打設口付近のコンクリートがほぼ同時に打ち上がるので空隙が残りやすい。一方、圧力をかけた場合には、圧力により空隙がスリットを通して解消された。

5) 蓋型枠への振動および吸引

振動および吸引をかけない場合でも、良好なコンクリート表面を得ることが可能であることが確認された。

以上の結果を受けて、縦スリット、スリット間隔10mm、矩形打設口、打設後の圧力付加および無振動の条件で耐力確認試験用のセグメントを打設することとした。なお、スリット幅に関しては、充填性確認試験では50/3mmとしたが、さらに空隙の大きさを小さく(直径10mm以下)するためスリット間隔を10mmとした。打設状況を写真-1に、打設後のコンクリート背面状況を写真-2に示す。

6. 高流動コンクリートの特性

6. 1 実験概要

実験項目および試験方法を表-8に示す。

6. 2 実験結果

(1) 圧縮強度および弾性係数

圧縮強度と弾性係数の関係を図-6に示す。

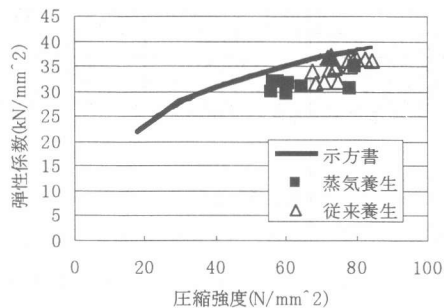


図-6 圧縮強度と弾性係数の関係

表-9 付着強度試験結果

試験体の種類	最大荷重 (kN)	付着面積 (mm ²)	付着強度 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)
D16従来養生	1	3200	23	23.3
	2		23.3	
	3		23.6	
D16蒸気養生	1	3200	24	23.3
	2		23.8	
	3		22.2	
D25従来養生	1	8160	24.3	22.9
	2		22.7	
	3		21.7	
D25蒸気養生	1	8160	21.1	22.3
	2		23.2	
	3		22.5	

表-10 空隙量測定結果

測定項目	従来コンクリート		高流動コンクリート		
	上部	中央	上部	中央	下部
ペースト量(%)	24.3		33		
硬化空気量(%)	1.24	1.06	1.07	1.83	2.84
平均気泡径(μm)	216	184	351	275	705
気泡個数(個)注)	212	212	112	245	148
気泡間隔係数(μm)	306	279	530	376	796

注)全測線長さ2450mm当たりの個数

コンクリート標準示方書設計編に示されている設計値と比較すると高流動コンクリートの方が小さめの弾性係数を示す傾向を示した。一般的に、高流動コンクリートは単位粗骨材容積が少ないために弾性係数が小さめの値を示す傾向がある。

(2) 付着強度

アンカー筋の付着性状を確認する目的で、付着強度試験を実施した。試験結果を表-9に示す。なお、養生条件は以下のとおりとした。

従来養生：打設後空中放置，翌日脱型，1週間水中養生，以降空中養生

蒸気養生：打設後設定した蒸気養生サイクル，以降は標準養生と同様(通常のセグメ

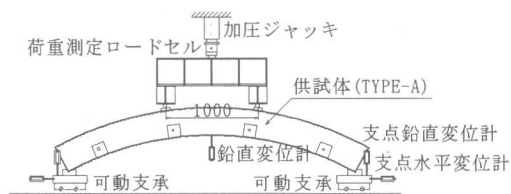


図-7 単体曲げ試験の概要

ントの養生と同様)

付着試験体の破壊状況は、鉄筋の降伏とほぼ同時にコンクリートが割れ、鉄筋が引き抜けたこのため、表中に示した最大荷重は、コンクリートが割れた際の荷重であり、この時点では鉄筋の付着切れは生じていない。このことより、実際の付着強度は、さらに高いと考えられる。

(3) 空隙量測定

空隙量の測定は、セグメントから採取したコア(端部より約1mの中央部より採取、φ10×30cm)を輪切りにし、上部(蓋型枠側から10mm)、中央部および下部(内空側から10mm)の3点に対し測定を行った。なお、比較として、従来セグメントの同位置から採取したコアに対しても同様の測定を行った。測定結果を表-10に示す。

空気量(気泡、空隙)は高流動コンクリートセグメントの方が若干大きな値となっているが、目標空気量(2±1%)の範囲であり、特に空隙量が多くないことが確認できた。なお、従来コンクリートセグメントは強力な振動で締固めることから空気量が少なくなっていると考えられる。

また、高流動コンクリート中央部で平均気泡径および気泡間隔係数が大きくなる傾向を示しているが、他の物性および耐力試験においても顕著な差が認められておらず、セグメントの品質に悪影響を及ぼす範囲では無いと考えられる。

7. 耐力確認試験

7.1 実験概要

高流動コンクリートを用いたセグメントの曲げ耐力を確認するため単体曲げ試験を行った。試験は図-7に示す様に、両端可動とした供試体を2点載荷する方法とし、セグメントに発生

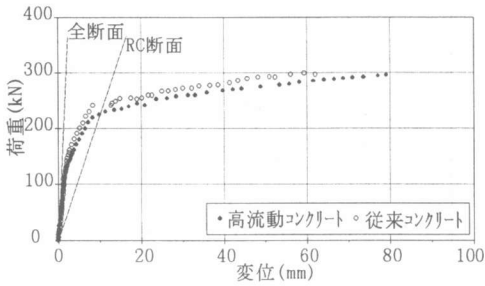


図-8 荷重-変位関係

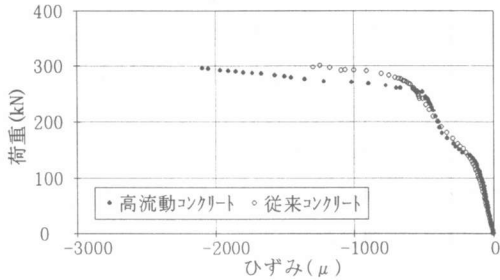


図-9 圧縮側のひずみ発生状況

するひずみ，中央変位を測定した。また，従来のコンクリートを用いて製造したセグメントもあわせて試験することで，その特性比較をした。

7.2 実験結果

荷重-変位関係を図-8に示す。図に示すようにセグメントの変形（鉛直たわみ）挙動に顕著な差異は認められず，両者がほぼ同等な剛性（EI）を持つと考えられる。またその計測値はともに全断面有効と仮定した断面とRC断面と仮定した断面のたわみ発生理論値の間にある。

圧縮側のひずみ発生状況を図-9に示す。図より，圧縮ひずみの発生状況に関しても顕著な差異は見られず，両者のセグメントの応力発生状況が同等であるといえる。

一方，表-11に示すように，初期クラックの発生は高流動コンクリートを用いたセグメントの方が若干早期に見られたが，この値は設計ひび割れ発生荷重（=35kN：許容応力発生荷重（=104kN）の1/3と仮定）に対して十分大きな値であることから問題はなく，誤差（製品誤差，試験等）の範囲と考えられる。

表-11 試験結果

	従来コンクリート	高流動コンクリート
クラック発生荷重	145kN	105kN
最終荷重	299kN	295kN
安全率(*)	2.875	2.837

(*)設計荷重に対する最終荷重の大きさ

以上のことから，従来型コンクリートセグメントと高流動コンクリートセグメントの製品に差はなく，セグメント単体は同等の性能を有していると考えられる。

8. まとめ

本研究の結果，以下のことが明らかとなった。

(1) 2次製品用の高性能減水剤を使用することにより蒸気養生が可能な高流動コンクリートを製造できる。

(2) 蒸気養生を適用することにより，従来セグメントと同様な1.5サイクル/日（3リング/2日）の製造サイクルが可能となる。

(3) 縦方向（円周方向）で幅0.75mmのスリットを10mm間隔で設けた蓋型枠を使用し，打設終了時に加圧する打設方法により，無振動で良好なコンクリート表面を有するセグメントが製造可能である。

(4) 高流動コンクリートセグメントは，従来のRCセグメントと比較して，同等の曲げ耐力を有している。

以上のように，高流動コンクリートを使用したRCセグメントの製造方法を確立することができた。今後も，暴露したセグメントの観察も含め，検討を続けるとともに実用化を図っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 花見ほか：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回年次学術講演会講演概要集，pp. 50-51，1998. 10
- 2) 矢郷ほか：高流動コンクリートセグメントの開発(2)-平滑性に関する一考察-，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，pp. 52-53，1998. 10
- 3) 荒井ほか：早強型自己充填コンクリートの検討，自己充填コンクリートセミナー論文報告集，pp. 137-140，1997. 5
- 4) 枝松ほか：高流動コンクリートを用いたセグメントの製造方法，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，pp. 356-357，1998. 10