

超流動コンクリートの
嵌合注入方式合成セグメントへの適用
APPLICATION OF THE HIGH PERFORMANCE CONCRETE
FOR NEW MECHANICALLY JOINTED SEGMENT

山口隆志*・三谷 清**・福盛省一***・高浦孝夫****・八記孝夫*****
Takasi Yamaguti, Kiyosi Mitani, Shoiti Fukumori, Takao Takaura and Takao Yatuki

In the shield tunnel for the underground river, it makes large tension on the main rings and joints. In this situation, we have been developing "composite segment with new mechanical joint system (NM segment)". In this paper, we show the mixing ratio of the high performance concrete and the method of primary lining with it in the NM segment, it shouldn't need big plants for lining.

Keywords: segment, high performance concrete

1. まえがき

大都市では市街化が急速に進み、都市型洪水が頻発している。その対策として、地下空間を利用したシールドトンネルによる地下河川が、新たな治水施設として脚光をあびている。このトンネルに用いる覆工体としてのセグメントには、外圧のみならず内圧も作用するため、新たに開発された内圧に有利な嵌合注入方式合成セグメント（以下「合成セグメント」という。）が使われ始めた。

合成セグメントは、H型形状をした鋼材を外殻とし、外径側に鋼板を張り、鋼枠内にコンクリートを打設するものである。

このコンクリートを打設する方法として

- ① 熟練工でなくとも品質のバラツキがない
- ② コンクリートの表面が平坦且つ滑らかである
- ③ 鋼枠内の隅々までコンクリートが充填される

ことを条件に材料及び工法の選択を行った。

* 新日本製鐵(株)建材開発技術部
** 正会員 環境エンジニアリング(株)新事業開発第2部
*** 環境エンジニアリング(株)新事業開発第2部
**** 同 上
***** 同 上

上記条件を満たす工法として、鋼枠を縦型に置き、前面に型枠を取付けその中に超流動コンクリートを打設することとした。そのため、効率的に充填しうる流動性の高いコンクリートの配合とその充填方法の開発を行ったので報告する。

2. 超流動コンクリートの配合

2. 1 室内配合試験

超流動コンクリートの配合設計条件を表-1のように設定し、室内配合試験を計画、実行した。その結果を図-1、表-2に示す。

室内配合試験により次の模擬充填試験の配合を⑥、⑧の2通りとした。

設計圧縮強度	48 N/cm ²
スランプフロー	65 ± 5 cm
空気量	2 ± 1 %
ブリージング量	0.5 %以下

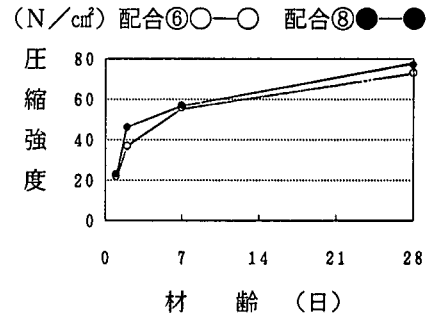


図-1 コンクリートの圧縮強度

表-2 配合及びフレッシュコンクリートの性能

	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m³)						スランプフロー(cm)		空気量 (%)	V _{7.5} 秒	ブリージング (%)	評価
			W	BB	Es	S	G	SP (%)	直後	30分				
①	33.4	44.1	162	477	—	720	970	1.7	55.0					SF小
②	33.4	44.1	162	477	—	720	970	1.9	67.0					材料分離
③	33.4	44.1	162	477	—	720	970	2.1	65.0					材料分離
④	33.7	52.7	165	490	—	884	810	2.1	63.5	54.8	2.6	—	0.80	SF経時変化大
⑤	33.3	51.9	170	510	—	855	810	2.1	64.0	56.0	1.8	9.6	0.65	SF経時変化大
⑥	33.3	51.0	175	525	—	828	810	2.0	69.5	69.5	1.8	7.2	0.45	◎
⑦	32.4	51.3	170	375	150	835	810	2.0	67.5	—	2.0	13.0	—	○
⑧	32.4	51.4	170	425	100	840	810	2.1	66.5	67.5	2.2	11.3	0.41	◎

- BB : 高炉コンクリートB種 (比重3.03)
- Es : 高炉スラグ微粉末 (比重2.89、比表面積6140 cm²/g)
- S : 細骨材 (混合材、比重2.52、粗粒率2.64、吸水率2.09%)
- G : 粗骨材 (碎石、G_{max} 20mm、比重2.58、粗粒率6.59、吸水率1.25%)
- SP : ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

3. 模擬充填試験

模擬充填試験は、実セグメントを想定して長方形の鋼枠 (横3.7m×縦1.2m×幅0.35m) を用

いて充填試験を行った。

3. 1 透明型枠による流動性・充填性試験〈図-2〉

アクリルの透明型枠を鋼枠に取り付け、上部よりポンプ車（スクイズ方式、打設能力 $30\text{ m}^3/\text{hr}$ 、最大吐出力 $18\text{ kg}/\text{cm}^2$ ）にて充填時間4分を目標にコンクリートを充填した。

（1ステップ）〈図-3〉

目的：配合の違いによる充填性能

内容：配合⑥、⑧を端部充填口からコンクリートを充填

結果：配合⑥、⑧共に共通し以下の現象が起きた。

- ・型枠と補強板の間隔が10cmと狭くコンクリートが越流状態で流れた。そのため、脱型表面の気泡がコンクリートの流れ方向に見られた。
- ・鋼枠上部に若干のスキマができた。
- ・コンクリートの流動勾配 約10度（図-7、写真-1）

配合⑥、⑧の優位差が認められなかったが、品質を確保したコンクリートを安定的に供給することを考慮し⑥配合に決定した。

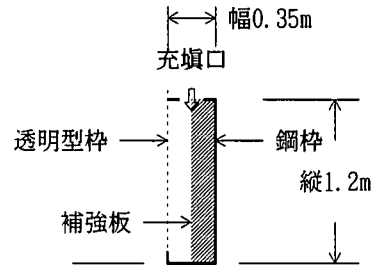


図-2 コンクリート充填状況（断面）

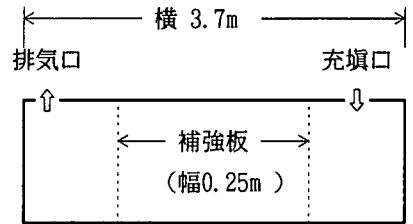


図-3 充填方法（1ステップ）

（2ステップ）〈図-4〉

目的：トレミー管の有無による充填性能

内容：配合⑥でトレミー管を用いて端部充填口から充填

結果：気泡及び鋼殻上部のスキマ共、ステップ1との相違がなかった。

コンクリート打設高が1.5m以内であり、通常の流し込み方式の打設と差なく、トレミー管不要と判断した。

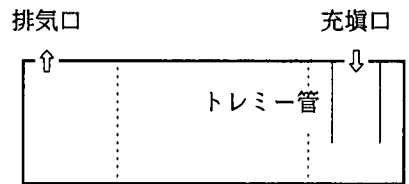


図-4 充填方法（2ステップ）

（3ステップ）〈図-5〉

目的：①充填位置の違いによる充填性能

②ポンプ車ホース残留エアの気泡への影響

内容：充填口を鋼枠中央にし、且つポンプ車ホースの筒先までコンクリートを充填させ、コンクリートを充填

結果：型枠と補強板のコンクリート流れはスムーズになり脱型表面の気泡も減少した。

- ・鋼枠上部に若干のスキマができた。
- ・コンクリートの流動勾配 約10度（図-8、写真-2）

コンクリートは中央から充填することとした。



図-5 充填方法（3ステップ）

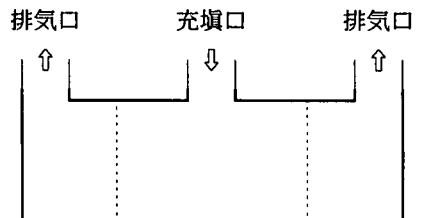


図-6 充填方法（4ステップ）

(4ステップ) 〈図-6〉

目的：圧力を保持したままでの充填性能

内容：鋼枠の充填口及び排気口に管を取付けコンクリートを充填することにより、鋼枠内のコンクリートが硬化するまで圧力を保持する。

結果：鋼枠上部の鋼板を切り取り、鋼枠上部にスキマが無くコンクリートが充填できたことを確認した。
脱型表面の気泡も殆どなく施工できた。

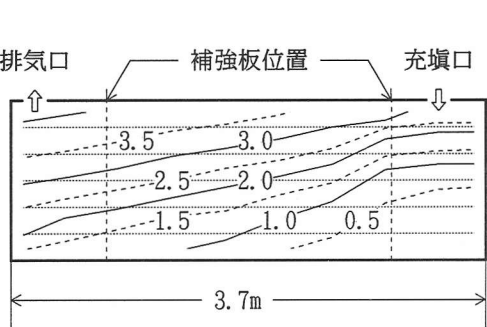


図-7 コンクリートの流動勾配(1)
充填口(端部) 充填時間 4分08秒

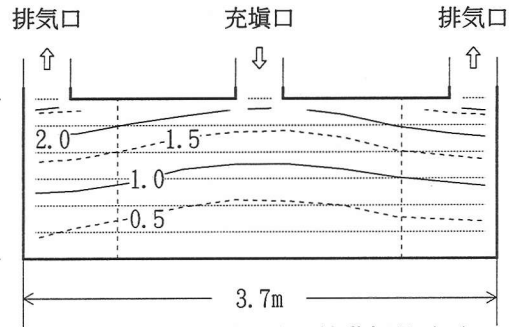


図-8 コンクリートの流動勾配(2)
充填口(中央) 充填時間 3分02秒

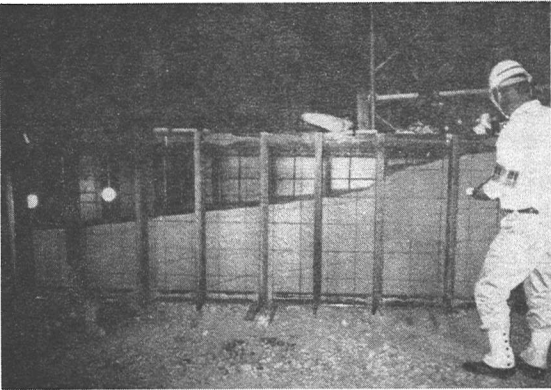


写真-1 コンクリート流動勾配(1)
(図-7の状況写真)

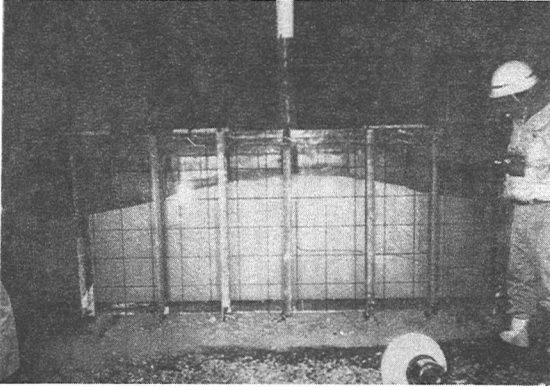


写真-2 コンクリート流動勾配(2)
(図-8の状況写真)

3. 2 コンクリートの温度測定

コンクリートの硬化発熱によるヒビワレの影響を確かめるため、温度機能付歪み計を取付け測定した。

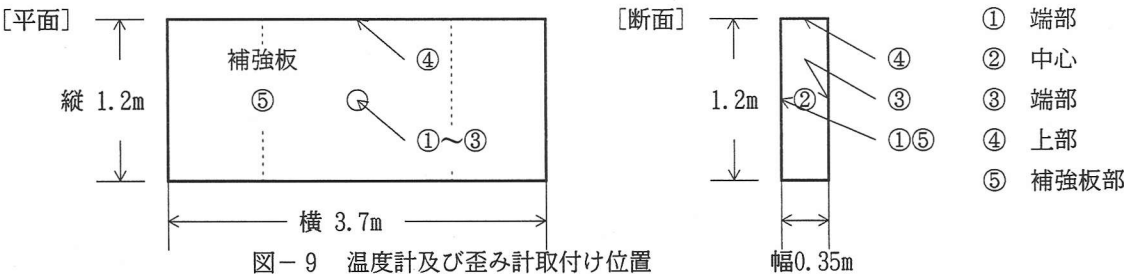


図-9 温度計及び歪み計取付け位置

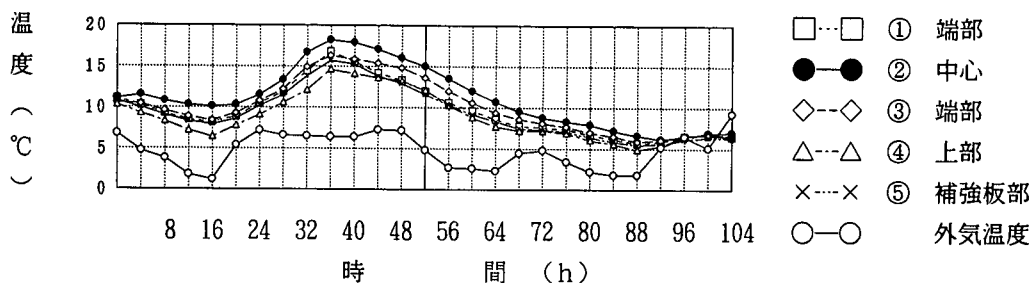


図-10 コンクリートの温度

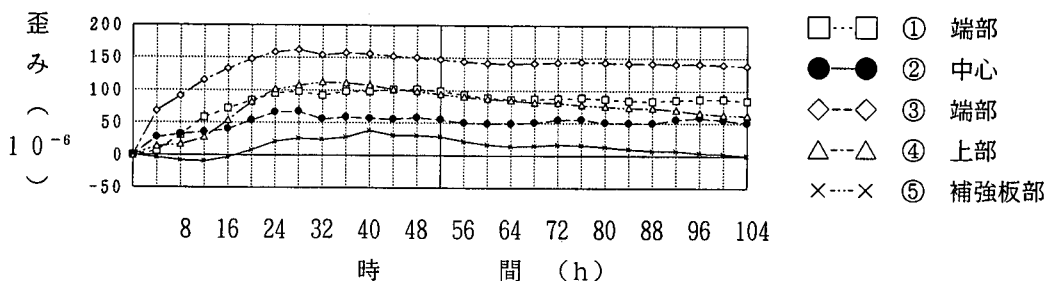


図-11 コンクリートの歪み

取付け位置を図-9に示す。またその測定値を図-10及び図-11に示す。

温度測定結果は次の通りである。

- ・打設温度10℃に対し、発生最大温度は部材中央にて18.2℃であった。
- ・最大発生温度は打設後36時間であった。
- ・各測定位置における温度差は2～5℃であった。
- ・外気温に落ち着くのは90時間後であった。

歪み測定結果は次の通りである。

- ・圧縮側の最大歪みは28時間後162×10⁻⁶であった。
- ・引張側の最大歪みは12時間後-10×10⁻⁶であった。

従って、温度によるヒビワレは発生しないと判断した。

3.3 コンクリートの乾燥収縮試験

乾燥収縮試験をJIS A 1129により試験を行った。試験結果を図-12に示す。この結果から乾燥収縮によるヒビワレが想定され、今後の課題として後工程を考慮に入れたヒビワレ対策が残された。

4. 実物充填試験

模擬充填試験の結果を踏まえ、実物鋼枠でコンクリート充填を実施した。実物ではセグメントの止水性を確保するため、鋼枠を傷つけることの無いよう型枠に

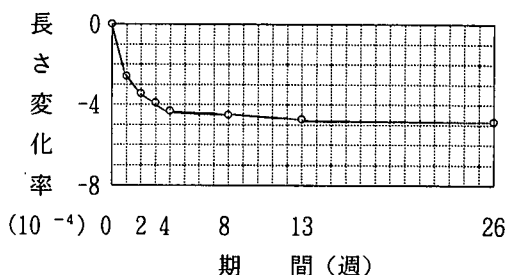


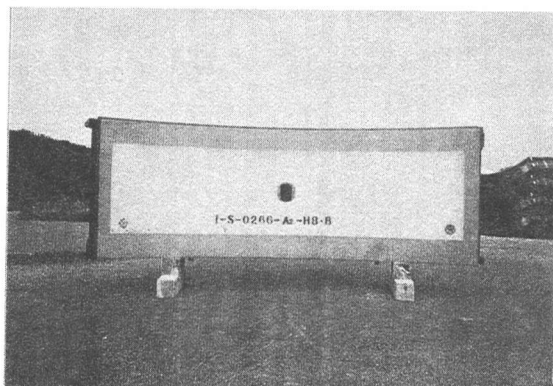
図-12 コンクリートの乾燥収縮

充填口及び排気口を設けた。

コンクリート充填状況を写真－３、製品（コンクリートの仕上り状況）を写真－４に示す。コンクリートの表面が平坦かつ滑らかに仕上がり、また打音テストにて確認したが、鋼枠内の隅々までコンクリートが充填できた。



写真－３ コンクリート充填状況



写真－４ 製品（コンクリート仕上り状況）

5. まとめ

従来のＲＣセグメント製造方法に見られる大規模な工場や設備を必要とせず、一般のコンクリート打設重機を用いて、現場で合成セグメントの製造を可能とする方法を見出した。

まず、コンクリート材料として超流動コンクリートに着目し、８種類の試験配合をもとに、基礎物性と流動性を確認した。次に、この超流動コンクリートの充填性並びに表面平滑性等を、種々の模擬試験・実物試験により確認し、合成セグメント製造方法を確立した。なお、合成セグメントとしての強度確認は、(財)先端建設技術センター指導による継手曲げ試験にて別途確認している。

最後に超流動コンクリートの配合にあたって、新日鐵化学(株)及び八幡高炉コンクリート(株)の皆様にご指導頂きました。

ここに御礼申し上げます

6. 参考文献

- 1) 超流動コンクリート研究委員会 報告書（Ⅰ）、日本コンクリート工学協会
- 2) 超流動コンクリート研究委員会 報告書（Ⅱ）、日本コンクリート工学協会
- 3) 岡村 甫・前川宏一・小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版
- 4) 小門武、三宅正人、木村秀雄：鋼コンクリート系サンドイッチ構造におけるコンクリートの充填性能に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文報告集、V o l . 1 4、No. 1、1 9 9 2.
- 5) 小門武：高流動化のための材料、コンクリート工学、p p . 6 0～6 3、V o l . 3 2、No. 7、1 9 9 4. 7.