

報告

[1030] 高流動コンクリートによる明石海峡大橋 4 A アンカレイジの施工

有馬 勇\*1・末永清冬\*2・櫻井重英\*3・林 順三\*4

1. はじめに

本州四国連絡橋公団（以下「公団」と記す）が建設中の明石海峡大橋淡路島側 4 A アンカレイジ（以下「4 A」と記す）のうち基礎部分（コンクリート量約 9 万 m<sup>3</sup>）は、'92 年 12 月に二成分系低発熱型セメントを使用した高流動コンクリートにより打込みが完了した（図-1）。

当該構造物（コンクリート総量約 24 万 m<sup>3</sup>）のような大規模構造物への高流動コンクリートの適用は前例の無いことであるが、基礎部分の施工を通じて高流動コンクリートの優れた特性が確認された。

本稿は、本施工における高流動コンクリートの施工法（施工概要、製造、品質およびその結果）について報告するものである。

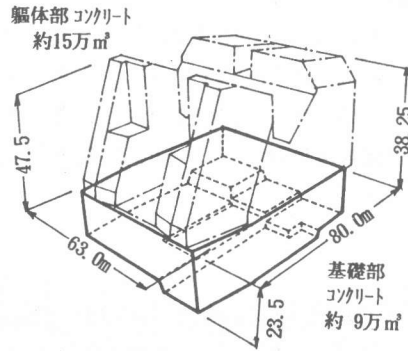


図-1 4 A アンカレイジ鳥瞰図

2. 施工概要

2.1 配合

本工事に使用した高流動コンクリートの配合を表-1 に示す。当該高流動コンクリートは、①マスコンクリートの温度ひびわれ防止

対策として二成分系低発熱型セメントを使用している、②設計上の単位容積質量 2,300kg/m<sup>3</sup>を確保するために最大寸法40mmの粗骨材を使用している、という特徴を有している[1]。

2.2 ブロック割

打込みブロックの形状は図-2 に示す様に、スロット工法（各打込みブロック間に幅 3m の間隙を設ける工法）を採用し、平面的に 5 ブロックに分割している。ブロックの最大面積は約 1,200 m<sup>2</sup>で、リフト高さ 1.5 ~ 2.5m、1 日のコンクリート最大打込み量は約 1,900 m<sup>3</sup>である。

2.3 施工方法

(1)打込み工法

表-1 配合表

水セフト比 (%)	細骨材率*1 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					混和剤** (C×%)	
			水	セフト	石灰石粉	細骨材	粗骨材	A 1	A 2
55.8	36.0	4.0	145	260	150	615	1137	3.3	0.012

\*1 : 石灰石粉は含まない。  
\*2 : A1 高性能AE減水剤（変性リグニン複合物）。使用量は標準値を示す。  
A2 AE助剤（変性アルキルカルボン酸化合物）。使用量は標準値を示す。

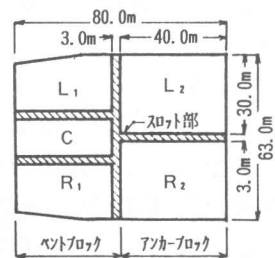


図-2 ブロック割平面図

\*1 本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所第四工事長（正会員）  
\*2 同上 第四工事長代理  
\*3 ㈱熊谷組技術研究所材料研究部（正会員）  
\*4 同上

打込み工法としては7台の定置式ポンプ（内、1台は予備）からそれぞれ直接配管（6系列）を通し、打込み場所まで圧送する圧送工法とした。圧送管径は、管内圧力損失を測定した結果、6インチ管では管内圧力損失が大きいことから、8インチ管を使用することとした[2]。図-3に6インチ管と8インチ管の管内圧力損失測定の実験結果を示す。

打込みブロック内では、各系列（約5m間隔で配列）に一定時間間隔で自動開閉するゲートバルブを約5m間隔で設け、ブロック内を同レベルで打ち上げていく層打込み方式とした。本方式は、片押しでコンクリートを打込む片押し打込み方式と、施工性およびコンクリートの品質について比較検討の上、決定したものである[3]。配管状況およびコンクリートの打込み状況を写真-1、2に示す。

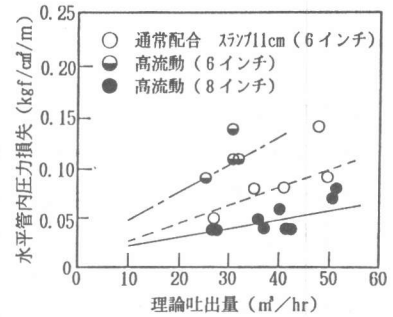


図-3 管内圧力損失測定結果

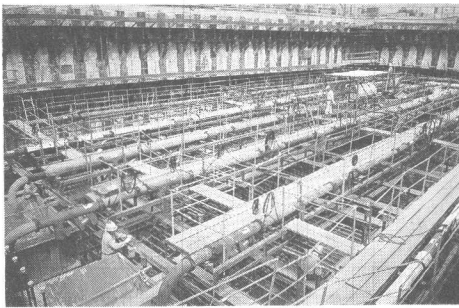


写真-1 配管状況

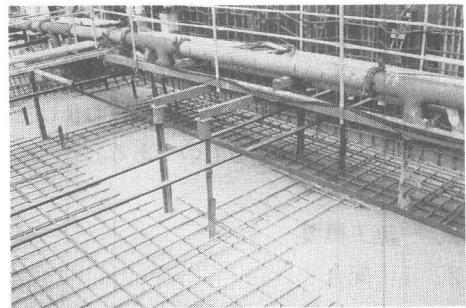


写真-2 打込み状況

層打ち込み方式を採用したことにより、①コンクリートの流動距離を短くできることで材料分離がほとんど起こらず、極めて均質なコンクリートが得られる、②十分に平坦なコンクリート天端（勾配1/20以下）が得られ、均し作業が大幅に軽減される、という効果が得られた。

また、打込み時の落下高さについては3m程度の高さでも材料分離を起こさないことを確認している[4]。

## (2) 締固め

バイブレータによる締固めは、鋼材の密集した箇所および型枠際に補助的に用いる程度としたが、硬化後のコアを採取した結果、大きな空隙等の欠陥は見られず、平常時はほとんどバイブレータを使用しなくても均質なコンクリートが得られることが分かった。

## 2. 4 コンクリートの品質管理

### (1) 製造時の配合調整方法

製造時の配合調整のフローを図-4に示す。品質管理試験においてスランプフローあるいは空気量が規格値範囲外となった場合、スランプフローは高性能A E減水剤使用量の設定値を、空気量はA E助剤使用量の設定値を変更して、規格値内に収まるように調整した。また、細骨材の粒度分布の変動等により、コンクリートの粘性は若干変動するが、施工に大きな支障を及ぼす程で

はなく、特に調整を行う必要は無かった。

## (2) 品質管理方法

コンクリートの品質管理項目、試験方法、規格値および試験頻度を表-2に示す。この中でフレッシュコンクリートの流動性はスランプフロー試験で評価できるが(規格値 $55 \pm 5$  cm)、分離抵抗性(粘性)については未だ試験方法は確立されていないのが現状である。本工事でも、新しい試験方法を試作・検討中であるが、現時点の施工における分離抵抗性の評価は、スランプフロー試験時の試料の状態や練り混ぜ時のミキサ負荷電流値等で判断している。ミキサ負荷電流波形を監視することにより、材料計量のトラブルの早期発見も可能となる。図-5に、種々の計量トラブルを想定して行った試験練り時の電流波形の例を示す。

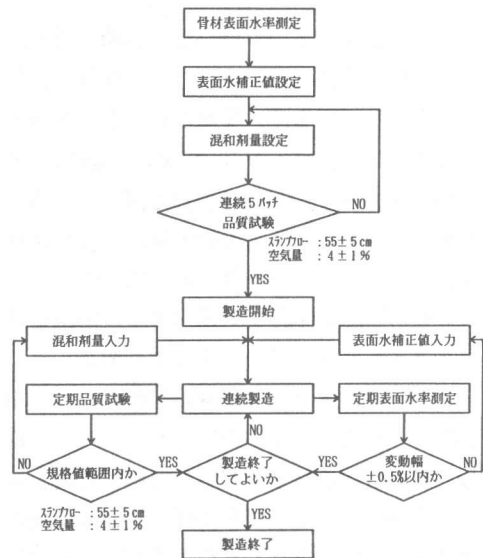


図-4 配合調整フロー図

表-2 品質管理方法

種別	試験項目	試験方法	試験頻度	規格値
骨材	ふるい分け	JIS A 1102	1回/1日	土木学会標準粒度分布
	砂の塩化物含有量	土木学会規準	午前・午後各1回	0.04%以下
	細骨材の表面水率	JIS A 1111	練混ぜ開始前及び1回/30分	—
	粗骨材の表面水率	JIS A 1803	同上	—
フレッシュコンクリート	スランプフロー	土木学会規準	最初の5バッチ以降1回/150m <sup>3</sup>	55 ± 5 cm
	空気量	JIS A 1128	同上	4 ± 1%
	温度	棒状温度計	同上	+1
硬化コンクリート	塩化物含有量	簡易測定器	1回/1日	300g/m <sup>2</sup> 以下
	圧縮強度	JIS A 1108	圧送が安定した時(約150m <sup>3</sup> )及び1回/300m <sup>3</sup>	$\sigma_{c,1} \geq 300$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	単位容積質量	+2	同上	$\geq 2300$ kg/m <sup>3</sup>

\*1: 打ち込み地点で、18℃以下とする。  
\*2: 標準供試体(材令7日)の寸法、質量より算出する。

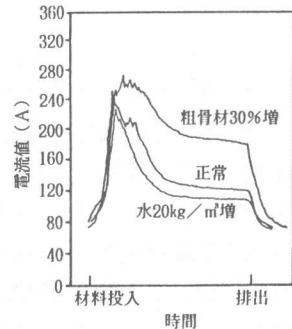


図-5 ミキサ電流波形図

## 3. コンクリートの製造

### 3.1 コンクリート製造設備

コンクリートの製造設備としては、容量4m<sup>3</sup>の二軸強制練りミキサを2基と、その下にコンクリートポンプへコンクリートを分配するための容量12m<sup>3</sup>のアジテータを備えており、コンクリート製造能力は最大288m<sup>3</sup>/hrである。バッチャープラントに隣接する中央制御室では材料輸送、骨材冷却、材料計量、練り混ぜ、アジテータからポンプへの分配・圧送に至るコンクリートの製造・輸送系の全工程を制御し、常時モニター監視できるようになっている。

### 3.2 骨材表面水率の安定化対策

コンクリートの流動性や強度等に与える影響が大きい骨材の表面水率を安定化させるため、細骨材については容量1.6m<sup>3</sup>のサンドスタビライザー2基を使用し、粗骨材については浸水冷却後振動ふるいをかけることにより、水切りを行っている。図-6に表面水率の変動状況の一例を示すが、上記対策により安定したものとなっている。

### 3. 3 プレクーリング

マスコンクリートの温度ひびわれ防止対策として、公団仕様書では温度ひびわれ指数1.2以上を要求されているが、実際の施工計画をふまえて解析すると、コンクリートの打込み時の温度はパイプクーリング併用で18℃以下である。

そのため、特に夏季においては、以下のようなプレクーリング対策を行った。①練り混ぜ水として2℃程度の冷却水を使用する。②細骨材はサンドスタビライザー内で冷水を散水することにより冷却する。③粗骨材は貯蔵ビン内で冷水を散水した上、冷却水中をベルトコンベア輸送して浸水冷却を行う。図-7に材料温度、コンクリート練り上がり時および圧送後の筒先のコンクリート温度の測定例を示すが、以上の対策によりコンクリートの練り上がり温度を13℃以下に抑え、また筒先のコンクリート温度も圧送による温度上昇を含めても18℃以下に抑えられた。

### 4. フレッシュコンクリートの品質

図-8に平成4年10月から12月までのコンクリート製造時および筒先でのスランプフロー試験結果を示す。スランプフロー値は製造時には55±5cmの範囲内に入っているが、通常コンクリート同様、圧送後の筒先では若干低下する傾向がある。しかし、実施工ではスランプフローが50cm未満となった場合でも、ある程度の流動性は確保されており、ゲートバルブの開閉時間間隔を平常時より多少長くして流動距離を伸ばしたり、パイプレータを補助的に使用する程度の対策をとることによって、特に施工上困難を生ずることは無かった。

また、空気量は製造時・筒先とも4±1%の範囲内に収まっている。

### 5. 硬化コンクリートの品質

#### 5. 1 圧縮強度

図-9に10月から12月の期間に打込まれたコンクリートの標準供試体の材令7日・28日・91日における圧縮強度を示す。標準供試体の各材令における圧縮強度の変動係数は6.5~8.1%と小さく、また材令7日で200 kgf/cm<sup>2</sup>以上、材令91日では350 kgf/cm<sup>2</sup>以上と要求品質（設計基準強度

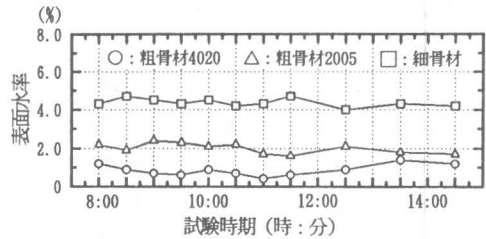


図-6 表面水率の変動状況図

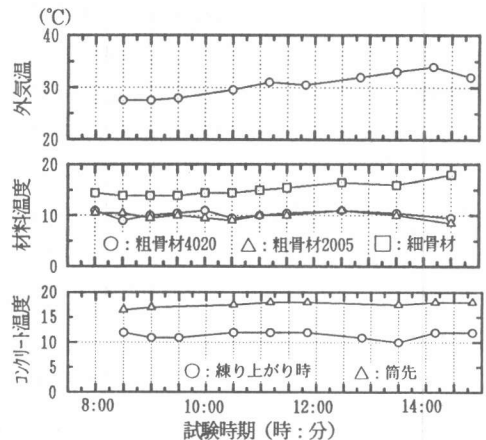


図-7 材料及びコンクリートの温度測定図

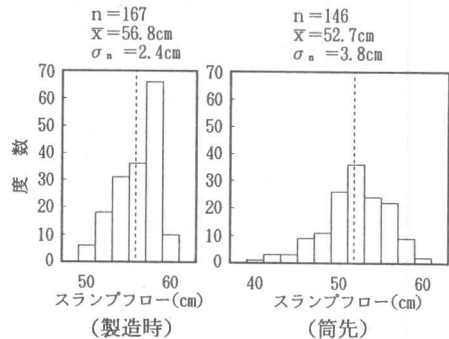


図-8 スランプフロー試験結果

$f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 、標準供試体の圧縮強度  $\sigma_{91} \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$  を上回る強度が得られている。

図-10にコンクリート打込みブロックからのコア供試体採取場所、図-11に10月から11月の期間にコンクリート打込みブロックから採取したコア供試体の採取場所別・供試体の切り出し位置別の材令7日圧縮強度の比較図を示す。コア供試体圧縮強度の変動係数は7.7～11.2%の範囲となり、ばらつきは小さく、打上がり品質は均質であることが分かる。

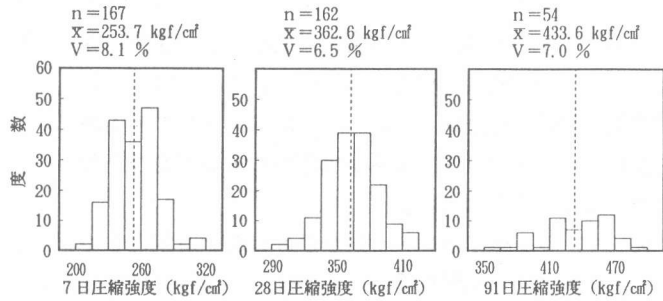


図-9 標準供試体圧縮強度試験結果

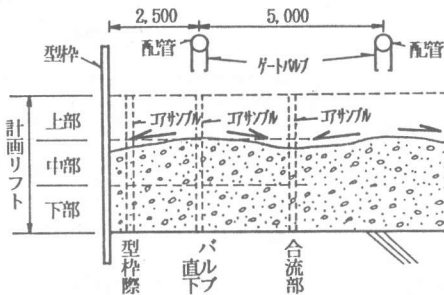


図-10 コア供試体採取場所

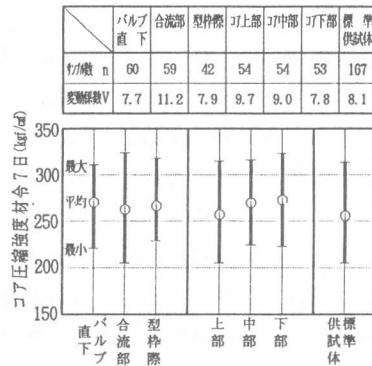


図-11 コア供試体7日強度

### 5. 2 粗骨材分布

図-12にコア供試体断面に占める粗骨材の面積率測定結果を示し、図-13にコア供試体断面のスケッチの一例を示す。コア断面に占める粗骨材面積率はコンクリート中の粗骨材体積率43.1%に近い値となっており、且つ粗骨材はコア供試体の上部、中部、下部に関係なくほぼ均等に分布している。このことから打込まれたコンクリートの均質性が理解できる。

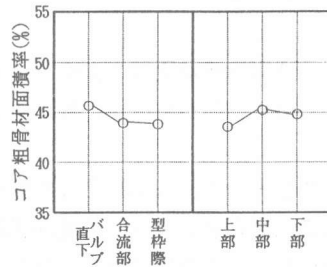


図-12 コア供試体粗骨材面積率

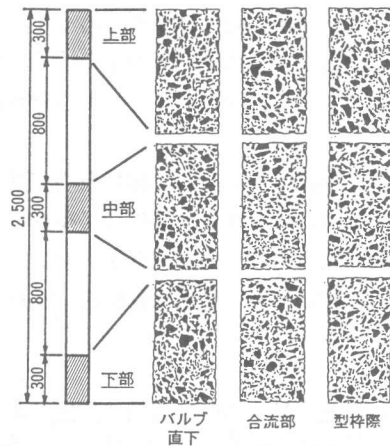


図-13 コア断面粗骨材分布

### 5. 3 マスコンクリート温度ひびわれ防止対策

実施工におけるマスコンクリート温度ひびわれ防止対策としては、二成分系低発熱型セメントを使用するとともに、練り混ぜ水に冷却水を使用することや粗骨材・細骨材のプレクーリングによるコンクリート練り上がり温度の制御、および打込み後にパイプクーリングを行っている。

断熱温度上昇試験では、当該高流動コンクリートは図-14に示すように公団の要求性能 ( $K \leq 25^\circ\text{C}$ ) を満足することが確認されている[1]。また、図-15にL<sub>1</sub>ブロックの第4リフトの温度および応力計測結果を示すが、温度上昇量は22~23°Cに抑えられている。また、応力の計測結果は圧縮域を推移しており、二次クーリングの実施により18.6°Cまで冷却しても温度応力による貫通ひびわれの発生は認められない。

従って、本工事において温度ひびわれ防止対策として行った二成分系低発熱型セメントの使用、プレクーリングおよびパイプクーリングは適切であることが分かった。

## 6. まとめ

4 A基礎部の施工を完了し、二成分系高流動コンクリートについて以下の知見が得られた。

- ①層打込み方式で施工することにより、バイブレータの使用や天端均し作業等をほとんど必要とせず、且つ高品質なコンクリートが得られる。
- ②最大径40mmの粗骨材を使用した当該コンクリートは製造時のスランプフローを $55 \pm 5$  cmの範囲で管理したが、流動性、材料分離抵抗性とも良好であり、スランプフローの管理基準値としては妥当であった。
- ③圧送後の筒先でのスランプフローは製造時よりも若干低下する傾向にあったが、打込まれたコンクリートの流動性は良好であった。
- ④二成分系低発熱型セメントの使用、冷水・冷却骨材の使用によるプレクーリングおよびパイプクーリングによりコンクリートの発熱を低く抑えることができ、温度ひびわれ防止効果があった。

謝辞 本工事における二成分系高流動コンクリートによる実施工に当たっては、明石海峡大橋構造用マスコンクリート委員会（委員長 東京工業大学工学部 長瀧重義教授）の委員各氏、並びに同委員であり、ハイパフォーマンスコンクリートの提唱者である東京大学工学部 岡村甫教授、小沢一雅助教授に貴重な御助言、御援助を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

## 【参考文献】

- [1] 渡部 聡・田中健治郎・金沢克義・有馬 勇：二成分系低発熱型高流動コンクリートの基礎物性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp57-62、1992
- [2] 中岡史男ほか：二成分系低発熱型高流動コンクリートの施工性の検討（その3）、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、V-293, pp616-617、1992.9
- [3] 櫻井重英ほか：二成分系低発熱型高流動コンクリートの施工性の検討（その4）、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、V-294, pp618-619、1992.9
- [4] 林 順三ほか：二成分系低発熱型高流動コンクリートの施工性の検討（その5）、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、V-295, pp620-621、1992.9

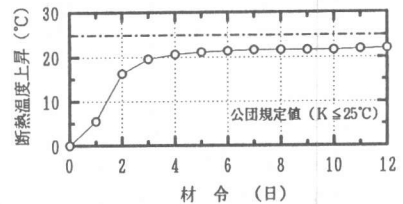
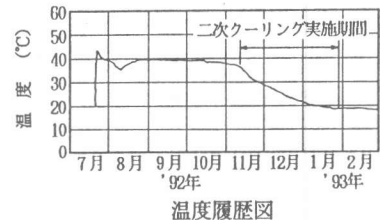
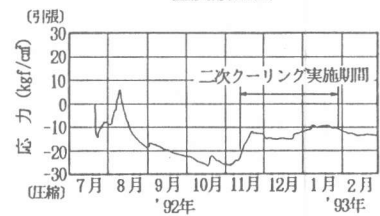


図-14 断熱温度上昇



温度履歴図



応力履歴図

図-15 温度および応力履歴図