

論文

[1044] 発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの施工モデル実験

末岡英二\*1・内田雅也\*2・小泉哲也\*3・前田 敏\*4

1. はじめに

大阪南港トンネルの換気所鋼殻ケーソンでは、図-1に示す底版と基礎マウンド砕石で形成される水中の密閉空隙に安定性確保のためのコンクリート（底詰めコンクリート）を充填する必要がある。底詰めコンクリートは、図-2に示すようにケーソン底版に設けられた打設孔から打設されるため、これに伴う基礎マウンド砕石への浸透や充填後の沈下に対しても十分対応可能な充填性を発揮し、所要の品質を満足できるものであることが要求され、同時に打設方法の検討も必要とされた。本実験はこれらの課題に対処するため、膨張による良好な充填性や付着性が期待できる発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの適用を考え、打設方法の選定を含めた本工事での適用性を評価したものである[1]。

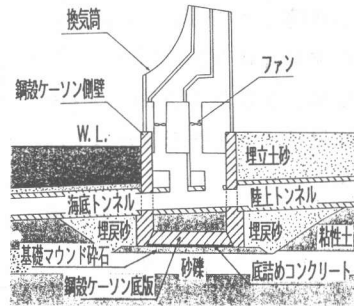


図-1 換気所鋼殻ケーソンの概要

2. 実験概要

室内実験と施工モデル実験を行った。室内実験でコンクリートの配合を求め、施工モデル実験ではコンクリートの打設方法について検討を行った。打設は施工性を考えると平均打設厚さ50cmを一回で充填すること（一括打設）が望ましいが、充填後の基礎マウンド砕石への浸透に伴う沈下が大きい場合の充填性を確保するために、まず基礎マウンド砕石の空隙を目詰める目的でシーリングコンクリート（高さ20cm程度）を打設し、その後底詰めコンクリートを打設する二段階の打設とすることも考えた。そこで、一括打設と二段階打設の両者について、コンクリートの充填性、流動に伴う品質変化、および最終的な基礎マウンド砕石への浸透等に関する比較検討を行った。施工モデル実験では、図-2における中央一点での打設を考えた場合に最もコンクリートの流動距離が長い斜線部分を抽出してモデル化した。

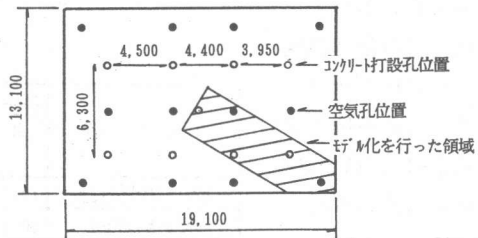


図-2 コンクリート注入孔の位置(1区画)

- \*1 東洋建設(株)総合技術研究所鳴尾研究所係長、工修（正会員）
- \*2 運輸省第三港湾建設局 神戸港工事事務所次長
- \*3 運輸省第三港湾建設局 神戸港工事事務所建設専門官、工修（正会員）
- \*4 (社)埋立浚渫協会

### 3. 室内実験

#### 3.1 使用材料

表-1 に使用材料を示す。混和剤は通常水中不分離性コンクリートで使用されているものと発泡剤を用いた。発泡剤は、アルミ粉末とコンクリート中での分散性を増すための分散剤および流動化剤からなり、それらを混ぜ合わせて懸濁液の状態に添加した。コンクリートの練り混ぜ方法を図-3 に示す。なお、文章および表中の発泡剤添加量はアルミ粉末量として表示した。

表-1 使用材料

使用材料	種類	仕様
セメント	高炉セメントB種	比重:3.04
細骨材	海砂	比重:2.51, 吸水率:2.60, F.M.:2.59
粗骨材	碎石	比重:2.59, 吸水率:2.59, F.M.:6.85
混和剤	水中不分離性混和剤 (水中不分離剤)	水溶性高分子トロピシフルヒドロース
	高性能減水剤	高縮合トリゾン系化合物
	A E 減水剤	リグニンスルホン酸化合物・リール複合体
	発泡剤(懸濁液)	発泡遅延処理アルミ粉末、減水剤(リグニンスルホン酸化合物)、分散剤(変成特殊PVC-0)

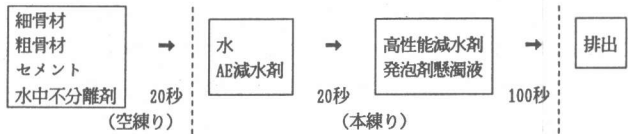


図-3 練り混ぜ方法

#### 3.2 コンクリートの配合選定

室内実験で得られたコンクリートの配合を表-2 に、その特性を表-3 に示す。細骨材率は標準的な40%とし、水セメント比は設計基準強度  $f_{28}=180\text{kgf/cm}^2$  から求められる値と標準示方書において耐久性から定められる値の両者を満足できる60%とした[2]。

表-2 コンクリートの配合

コンクリート名	W/C	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
			W	C	S	G	AUA	SP	AE	GGA
一括、二段階底詰め	60	40	235	392	608	942	2.7	7.84	0.98	0.06
二段階ソノコリート										—

AUA:水中不分離剤, SP:高性能減水剤, AE:AE減水剤, GGA:発泡剤

表-3 コンクリートの特性

コンクリート名	水中分離抵抗性*		凝結時間**		圧縮強度 $f_{28}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )*		
	pH	懸濁物質 (mm)	始発 (hr)	最終 (hr)	気中作製	水中作製	水中/気中強度比
一括、二段階底詰め	10.6	60	37	44	282	240	0.88
二段階ソノコリート	10.3	48	38	46	338	297	0.85

\*土木学会:水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)の方法による

\*\*ASTM C 403-65 T に準じて行なった

単位水量はスランブ

フロー  $55 \pm 5\text{cm}$  を満足する値に設定した。発泡剤を除く混和剤の添加量は、いずれも水中不分離性コンクリートにおける標準的なものとした。発泡剤の添加量は、1%程度の膨張率を示す逆打ちコンクリートの品質を目標に 図-4 に示す発泡剤添加量と膨張率の関係から求めた。ここで、施工場所は水深30mであり、コンクリートの膨張率が気中の1/5に押えられることが予想されることから、これを見込んだ添加量として、6%の膨張率となる  $C \times 0.015\%$  を設定した[3]。ただ

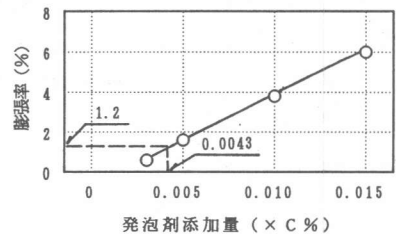


図-4 発泡剤添加量と膨張率の関係

し実物モデル実験では水深の影響がないため、施工場所と同一の1%の膨張率とする発泡剤添加量  $C \times 0.0043\%$  とした。なお、膨張率の測定方法は文献[4]によった。

#### 4. 施工モデル実験

##### 4. 1 実験概要

実験は水槽内に碎石で基礎マウンドモデルをつくり、底版モデルをその上に鋼製型枠で作製した。鋼製型枠の上面には実施工とほぼ同じ間隔でコンクリートの打設孔および空気孔を設けた。一括打設および二段階打設の概念図をそれぞれ図-5、図-6に示す。コンクリートの製造は生コンプラントで行い、その練り混ぜ方法は室内実験に準じて行った。コンクリートの配合は室内実験で求めたものとした。二段階打設シールコンクリートは、平均コンクリート高さ20cmを目標に2箇所（打設孔A、C）から打込み一括打設および二段階打設の底詰めコンクリートは、一箇所（打設孔A）から連続で打込んだ。打込みは全てコンクリートポンプによったが、二段階打設の底詰めコンクリートはシールコンクリート打込みの5日後とした。コンクリートの硬化後型枠を脱型し、目視、写真、コアサンプリングにより、コンクリートの充填状況、品質、基礎マウンド碎石への浸透状況を調査した。

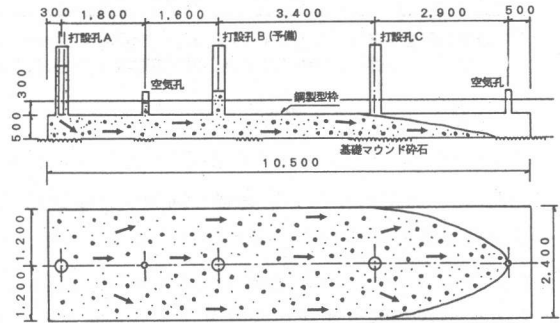


図-5 一括打設概念図

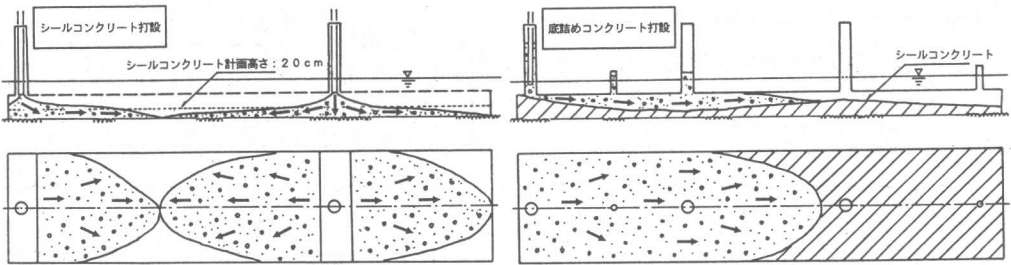


図-6 二段階打設概念図

##### 4. 2 実験結果および考察

###### (1) 打設条件および品質管理試験結果

打設条件および品質管理試験結果を表-4に、コンクリート膨張の時間変化を図-7に示す。スランプフローは所要の値(55±5cm)をほぼ満足し、圧縮強度は室内実験に比較して若干大きめであった。これは、主に気温が高かったこと、発泡剤添加量が施工場所での膨張量に合わせて室内実験の1/5であったことによると考えられる。コンクリートの膨張は、コンクリート到着後約5時間で膨張し始め、最終的な膨張率は約1.1%であり、室内実験値1.2%と比較的良好に合っていた。

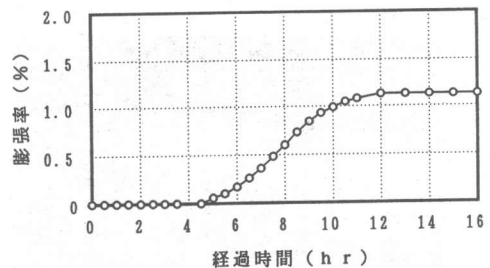


図-7 コンクリートの膨張率の時間変化

表-4 打設条件および品質管理試験結果

コンクリート名	*) 打設量 (m³)	打設速度 (m³/hr)	外気温 (°C)	水槽内 水温 (°C)	スラブ 70- コンクリート 厚さ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	圧縮強度(kgf/cm²) f <sub>28</sub>			膨張率 (%)
								気中 作製	水中 作製	水中/ 気中	
一括打設 コンクリート	14.5 (13.9)	24.9 (23.8)	30.5~ 31.4	上層30.1 下層26.3	59.0	1.5	30.8	346	296	0.86	1.1
								348	297	0.85	
二段階 シールコンクリート	6.8 (6.3)	28.9 (26.8)	31.7~ 32.4	上層29.7 下層28.9	58.0	1.6	30.4	352	308	0.88	-
二段階底結 めコンクリート	8.0 (7.6)	26.7 (25.4)	30.9~ 31.7	上層31.5 下層29.0	59.0	1.2	30.8	338	292	0.86	1.1

\*)実打設置を示す。( )内はマウンド 砕石への浸透深さ10cm、砕石の空隙率を50%として算出した。  
また、二段階シールコンクリートおよび二段階底結めコンクリートは、それぞれコンクリート厚さを20cm、30cmとして計算した。

(2)コンクリートの出来形

二段階シールコンクリートの出来形を図-8に示す。形成された平均天端高さは21.2cmで、その平坦性は±5cmであった。本実験と同等の打設間隔(約7m)とすれば、シールコンクリートとして十分な役割は達せられると考えられるが、コンクリート天端面の全域に2cm以上のスライムが堆積した。コンクリートの天端面の出来形を図-9に示す。写真-1に示すように一括打設、二段階打設ともに型枠の隅々までコンクリートが充填され、計画高さ50cmを満足していた。コンクリートの天端面は型枠の剛性が小さいこともあり、充填圧や発泡剤の膨張効果により若干膨らんだ。また、天端面への大きな気泡の混入は見られず、写真-2に示すような細かな気泡が分布する程度にとどまった。また、二段階打設における打ち継ぎ部分のスライムは完全には排出されず、写真-3に示すように層状に形成されていた。

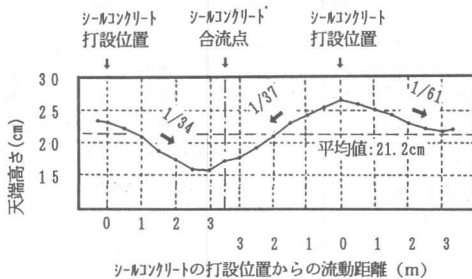
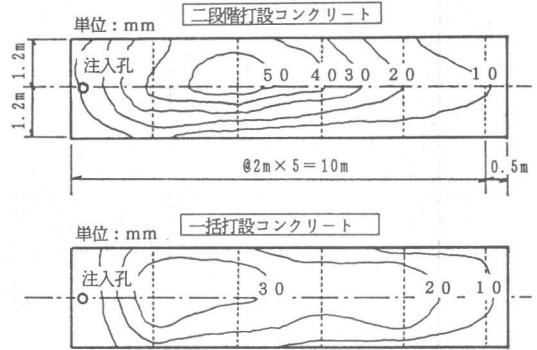


図-8 二段階打設シールコンクリートの出来形



注) 上図はコンクリート基準天端高さ(50cm)との高低差を示す

図-9 コンクリート天端面の出来形

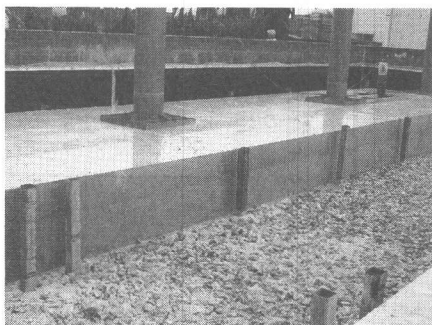


写真-1 コンクリートの出来形(一括打設)



写真-2 コンクリート天端面の気泡

### (3) 硬化コンクリートの品質

サンプリングコアから測定したコンクリートの単位体積重量およびコア上層部に形成されたモルタル部分の厚さ(モルタル層厚)をそれぞれ図-10、図-11に示す。一括打設コンクリートおよび二段階打設における底詰めコンクリートでは、流動距離8m以上のモルタル層厚の増大に伴う単位体積重量の低下がみられた。二段階打設におけるサンプリングコアから類推したスライム層厚は、図-12に示すように概ね20~30mmであり、コンクリートの一体性を阻害する要因となることが考えられた。サンプリングコアの圧縮強度を図-13に示す。流動距離との関係では、一括打設は流動距離の増加に伴う強度低下の傾向があまり見られなかった。一方二段階打設の底詰めコンクリートは、一括打設に比べ

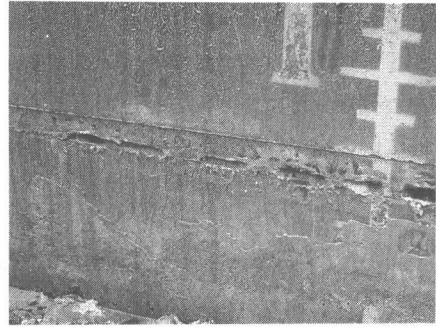


写真-3 二段階打設の打ち継ぎ部

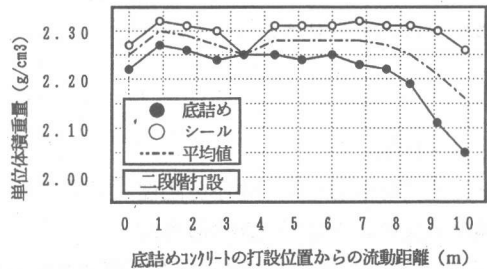
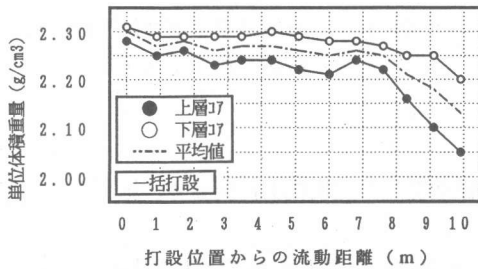


図-10 サンプルコアの単位体積重量

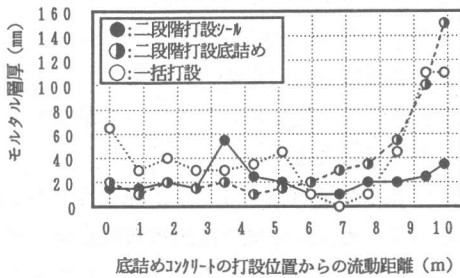


図-11 サンプルコアのモルタル層厚

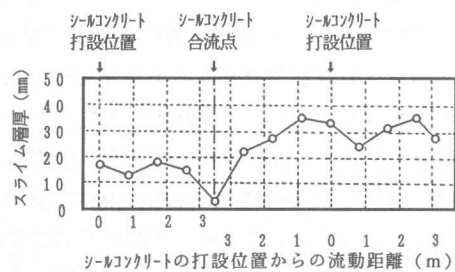


図-12 サンプルコアから類推したスライム層厚

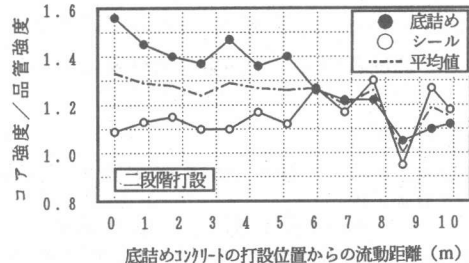
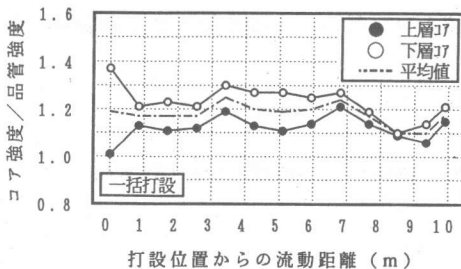


図-13 サンプルコアの圧縮強度

て高い値を示すものの、流動距離の増加に伴う強度低下の傾向がより明瞭に表われた。一括打設の場合より密閉性が高い条件でのコンクリート打込みであったことから、水の洗いによる分離作用がその分働いたのではないかと思われる。しかし、サンプリングコアの圧縮強度はいずれも品質管理試験の水中作製強度を上回り、気中作製強度と同等以上であった。これは、コンクリートがある程度型枠内に充填されると水中打設であるにも拘らず、直接水に触れることなく打設されたためと考えられる。

#### (4) コンクリートの基礎マウンド碎石への浸透状況

サンプリングコアから推定したコンクリートの基礎マウンドへの最終的な浸透深さを 図-1 4 に示す。浸透深さは一括打設で40mm~100mm、二段階打設で40~80mmであった。一括打設においては流動にともない浸透深さが大きくなる傾向がみられた。これは主に流動にともなうモルタル分の増加により、基礎マウンド碎石への浸透が多くなったためと考えられる。

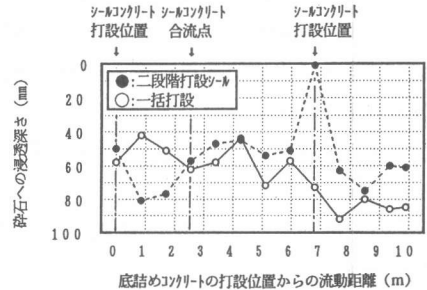


図-1 4 コンクリートの基礎マウンド 碎石への最終的な浸透深さ

## 5. 結論

発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの密閉空隙への充填施工に関して、施工モデル実験から次のような評価が得られた。

- (1) 水中不分離性コンクリートの基礎マウンド碎石への最終的な浸透深さ（食込み深さ）は100mm以下に留まった。また、充填後のコンクリートの沈下は見られず、型枠の隅々まで充填できた。これには発泡剤によるコンクリートの膨張効果が寄与しているものと思われる。
- (2) コンクリートは一括で打設することが望ましい。これは、打設に伴うコンクリートの基礎マウンド碎石への浸透が流動性および充填性を阻害する要因とはならないため、二段階に分けて打設する必要はないこと、二段階とした場合、シールコンクリートと底詰めコンクリートがスライム層の介在により一体構造物とならない問題点を持つこと、等による。
- (3) コンクリートが水中での密閉空隙に圧入される場合、ある程度コンクリートが充填されると水に触れずに直接コンクリート中に打ち込まれた状態となるため、その強度は品質管理試験における気中作製強度と同等以上となり、底詰めコンクリートとして十分な品質を得ることができた。

本工事は今回の実験から得られた打設方法、打設間隔に従って施工され十分な充填性が得られている。なお、実験全般にわたりご指導ならびにご協力いただいた早稲田大学理工学部関教授をはじめ関係者の方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 佐野清史, 末岡英二, 三浦勝暉, 高津行秀: 発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの特性について, コンクリート工学年次論文報告集, pp. 315-320, Vol. 14, No. 1, 1992
- [2] コンクリート標準示方書【施工編】, 土木学会, p. 188, 1991
- [3] 岩崎明, 中原康: 最新技術選書7「プレキャストコンクリート・吹き付けコンクリート」, 山海堂, p. 37, 1981
- [4] 佐野清史, 末岡英二, 三浦勝暉, 高津行秀: 発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの膨張特性について, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要集, pp. 644-645, 1991