

報告

[1056] 水中不分離性コンクリートの沈埋函基礎充填への適用性に関する実験

佐野 清史*1・小泉 哲也*2・堀田 真治*3・前田 敏*4

1. まえがき

沈埋函の埋設時に下床版と基礎砕石の間に形成される水中密閉空隙を充填する材料としてはベントナイトモルタルの使用実績が多く、通常下床版に設けた注入孔を利用してポンプにより圧入する方法が採られている。しかし大阪南港トンネルの場合(図1)、陸上ヤードが狭く海上のベントナイト製造設備が必要となるなど施工上の制約が多い[1]。そこで、筆者らはベントナイトモルタルに代わる充填材として水中不分離性コンクリートに着目し、要求性能に応じた経済的な水中不分離性混和剤添加量(以下、不分離剤量)の配合を導くことで対応することを考えた[2]。本文は、配合検討から実物大規模に至る一連の実験によって得られた結果から、本工事での適用性を検討したものである。

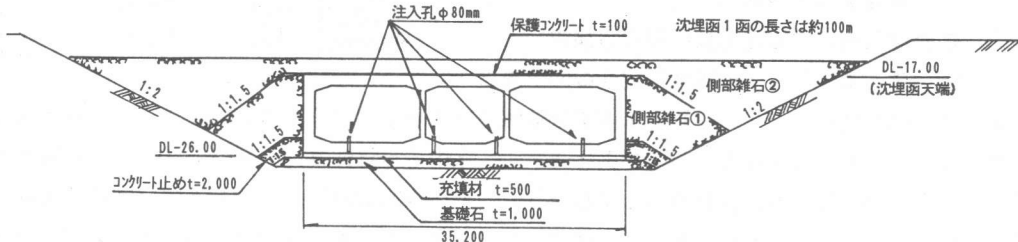


図1 大阪沈埋トンネル断面図(標準部)

2. 充填材の要求性能と検討方針

対象となる充填材に求められる性能を表1に示す。ここで、水中不分離性コンクリートはこれら性能の多くを満足する優れた材料ではあるが、通常の配合では粘性が高いことからポンプ圧送抵抗が大きく、計画されるφ80mm程度の注入孔を用いた場合の実績もない。一方、この充填材にはそれほどの強度が必要とされず、また閉塞環境での充填となるため打ち込み時の濁りに対し高い防止性能を付与しなくてよいことから、経済性の面でも通常的不分離剤量では不相当と考えた。そこで、要求性能を満足する範囲

表1 沈埋函基礎充填材の要求性能

充填性	① ±30cmの不陸を持つ基礎砕石上の平均厚50cmの水中空隙を、隅々まで充填できる高い流動性とその保持性能を有すること
	② プリージングがほとんどないこと
	③ 充填後の基礎砕石への浸透に伴う沈下量が問題とならない程度に小さいこと
施工性	④ 100m以上のポンプ圧送において十分な施工性を発揮できること
	⑤ φ80mmの吐出口および配管内での閉塞の恐れがない材料分離抵抗性を持つこと
強度	⑥ 在来地盤と同等の強度(1.0~1.5kgf/cm ²)以上が発揮できること

で不分離剤量の低減化を図ることを主目的に配合検討を進めることとした。また、不分離剤には

*1 東洋建設(株)総合技術研究所鳴尾研究所課長(正会員)

*2 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)

*3 運輸省第三港湾建設局 神戸港工事事務所工務第一係長

*4 (社)日本埋立浚渫協会

添加量が少ない場合の性能発揮を考慮したセルロース系高重合度品を用いることや、粗骨材は最大寸法が15mmのものを用いるなど、使用材料にも配慮した。

3. 水中不分離性コンクリートの配合検討

3.1 使用材料および検討ケース

使用材料を表2に示す。検討対象とした配合は、不分離剤量を通常の使用範囲にある 2.5kg/m^3 をベースに、 2.0 、 1.5 、 1.0kg/m^3 と低減させた表3に示すケースである。付与すべき流動性はスランプフロー60cmを基本に考え、対応できる単位水量をそれぞれ求めて設定した。また、より高い流動性が必要となる場合を考え、スランプフロー65cmのケースを不分離剤量 1.5kg/m^3 について付加した。

3.2 最適配合の検討

(1) 基礎砕石への浸透抵抗性に関する検討

不分離剤量と基礎砕石への浸透抵抗性の関係を調べるため、図2に示すモデル実験を水中不分離性モルタルやベントナイトモルタルのケースも加えて実施した。実験結果を図3および図4に示す。水中不分離性コンクリートはいずれの値も非常に小さく、浸透抵抗性に優れることがわかった。不分離剤量の違いによる差はいずれもあまり見られなかったが、 1.0kg/m^3 のケースで浸透量が若干大きかった。なお、別途行ったブリージング試験(JIS A 1123)によれば、水中不分離性コンクリートではいずれのケースもブリージングは認められなかった。

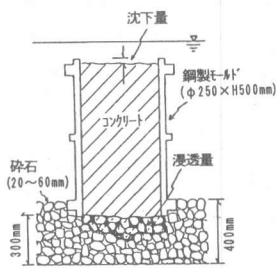


図2 浸透実験モデル

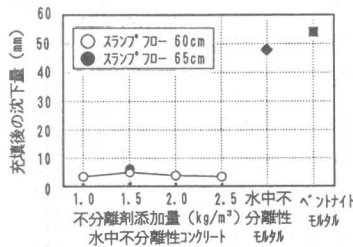


図3 沈下量の測定結果

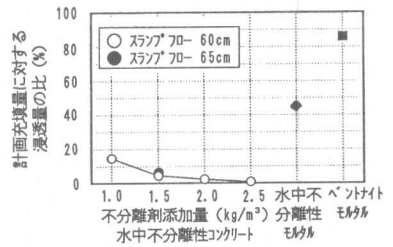


図4 浸透量の測定結果

(2) ポンプ圧送性に関する検討

不分離剤量を変化させた4ケースの加圧ブリージング試験結果を図5に示す[3]。不分離剤量が 2.0kg/m^3 以下のケースで11~14%の加圧ブリージング率となったが、添加量の違いによる差はあまり見られなかった。ただし、 1.0kg/m^3 のケースはその時間変化量が若干大きく、加圧時間が長くなればより大きなブリージング率となる傾向が伺えた。

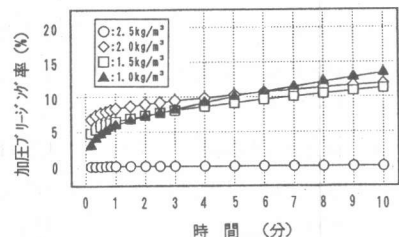


図5 加圧ブリージング率の経時変化

表2 使用材料一覧

名称	種類	仕様
セメント	高炉セメントB種	比重: 3.04
粗骨材	岡山県神島産砕石	最大寸法: 15mm 比重: 2.72 吸水率: 0.86% F.M.: 5.97
細骨材	壱場島海域日比産海砂	比重: 2.53, 吸水率: 2.73% F.M.: 2.77
混和剤	不分離剤	セルロース系水溶性高分子 1%水溶液粘度 5,000cps以上
	高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物
	A/E減水剤	リグニンスルホン酸化合物 およびポリオール複合体

表3 検討配合ケース

配合ケース	スランプフロー cm	水セメント比 %	細骨材率 %	単位量 (kg/m³)				
				水 W	セメント C	不分離剤	高性能減水剤	A/E減水剤
1	60	87	4.5	260	300	2.5	6.0	0.75
2				245		2.0		
3				225		1.5		
4				210		1.0		
5				245		1.5		

(3) 材料分離抵抗性と硬化体の品質に関する検討

水中および気中作製供試体の圧縮強度試験結果を図6に示す[4]。いずれのケースも所要強度を十分満足することが確認できた。ただし、水中作製の気中作製との圧縮強度比を示した図7からわかるように、分離抵抗性は不分離剤量の減少に比例して低下しており、1.0kg/m³のケースでは写真1に見られるような材料分離性状が多く認められた。

(4) 最適不分離剤量の選定

水中不分離性コンクリートは、不分離剤量が1.0kg/m³以上であればほぼ所要の性能を発揮でき、基礎砕石への浸透抵抗性はベントナイトモルタルに比べて非常に優れること

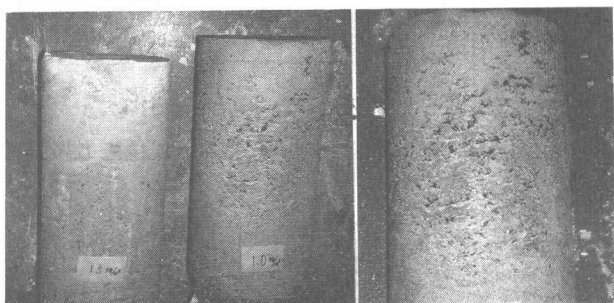


写真1 水中50cm自由落下作製供試体
(左から不分離剤量 1.5、1.0、1.0kg/m³)

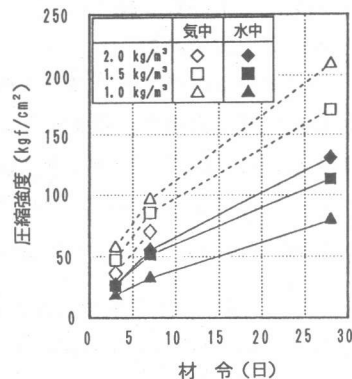


図6 不分離剤量各ケースにおける圧縮強度発現特性

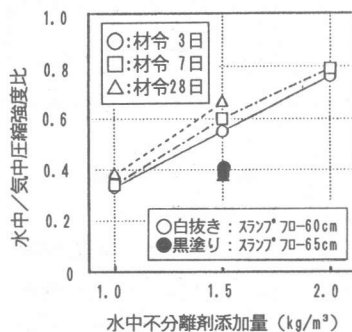


図7 不分離剤量と水中気中強度比の関係

がわかった。ポンプ圧送能率を高めるには不分離剤量を少なくして圧送抵抗が小さい材料とすることが望ましく、これは経済性の追求とも一致する。しかし、添加量を1.0kg/m³まで低減させたケースではかなりの材料分離傾向が見られており、これが充填時の流動性を低下させ、ひいては充填性の障害要因となることが懸念される。したがって、不分離剤量は1.5kg/m³以上が適当と判断し、この配合での施工性の評価に進むこととした。

4. ポンプ圧送実験

4.1 実験概要

不分離剤量1.5kg/m³でスランプフロー60cmの配合(表3、ケース3)について、図8に示す施工条件を反映させた圧送実験を行った。圧送距離は総延長約125m、水平換算で約165mである。配管径は、150mmを基本として先端部を3種類のテーパ管により75mmに絞り込む形とした。実験は3段階のポンプ圧力について行い、管内圧力の計測のほかポンプ圧送前後の

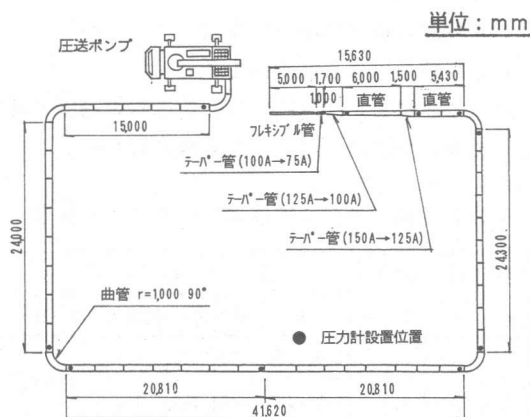


図8 ポンプ圧送実験の概要

コンクリート品質を調べた。

4. 2 実験結果

実験で得られたコンクリートの吐出量と圧力損失の関係を、標準配合における既往の実験結果に対比させると図9に示すようになる[4]。吐出口が75mmと小さいにもかかわらず、不分離剤量が少ないことによってせん断抵抗性による圧力損失は小さく、通常的水中不分離性コンクリートに比べて良好なポンプ圧送性を示した。ポンプ圧送前後の空気量、スランプフローおよび圧縮強度を表4に示す。いずれも圧送に伴う大きな品質変化は認められなかった。

表4 圧送前後のコンクリート品質

	空気量 %	スランプ フロー cm	圧縮度 (kgf/cm ²)					
			材令3日		材令7日		材令28日	
			気中	水中	気中	水中	気中	水中
圧送前	4.9	59.5	4.2	2.3	8.1	5.1	18.2	11.4
圧送後：低圧	6.0	62.0						
“：中圧	5.0	60.0	4.7	2.9	8.8	6.5	18.6	11.0
“：高圧	5.8	61.5						

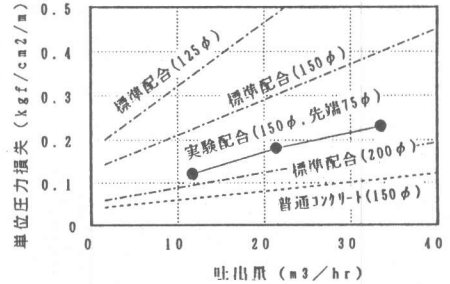


図9 コンクリート吐出量と単位圧力損失

5. 施工モデル実験

5. 1 実験モデル

図1に示す沈埋函に4系列設置される注入孔のうち、1系列の分担部分を沈埋函の長手方向に10m抽出した図10に示すモデルについて、一次と二次の2段階で充填実験を行った。モデル製作に当たっては、基礎砕石の出来形を図11に示すような不陸を形成して施工条件を反映させた。また、流動および充填状態の経時変化を把握するため、砕石天端面の各所に圧力計を設置し、天井型枠にも観測孔を多く設けた。なお二次実験では、充填時の揚圧力計測として天井型枠にも圧力計を多数設置した。

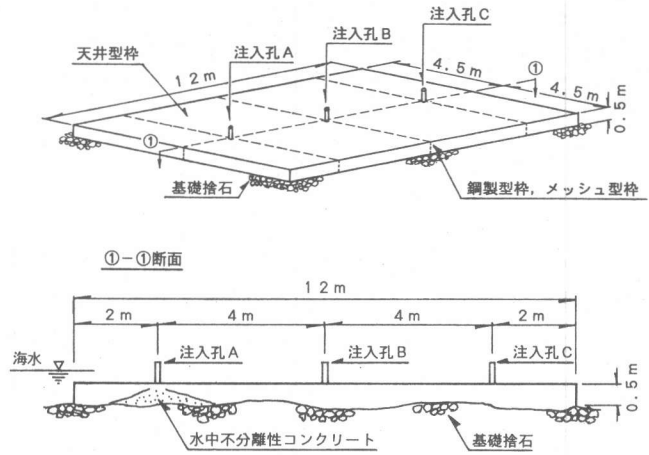


図10 実験モデルの概要

表5 施工モデル実験のコンクリート配合

実験 NO.	スランプ フロー (cm)	W/C %	S/a %	単位量 (kg/m ³)							
				水	セメント	海砂	砕砂	粗骨材	AUA	SP	AE
一次	60	77	45	230	300	503	215	888	1.5	6.0	0.75
二次	65	82		245	300	488	209	862			

AUA：不分離剤、SP：高性能減水剤

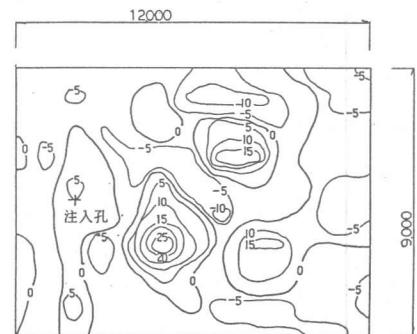


図11 基礎砕石の不陸形成状況

5. 2 一次実験

一次実験は、表5に示すスランプフロー60cmのコンクリートを注入孔Aのみで充填した場合、どの程度の充填範囲が見込めるかを調査した。この実験は、写真2に示すように設定空隙が完全に充填されない状態で注入を打ち切る結果となり、①コンクリートの流動方向が基礎碎石の不陸に大きな影響を受ける、②圧力計の計測結果から $1.0\text{t}/\text{m}^2$ 程度の大きな揚圧力の発生が推測される、③充填されたコンクリートは良好な硬化性状を呈する、等の知見を得た。

5. 3 二次実験

二次実験は、基礎碎石不陸の影響や揚圧力の軽減に対応するため、スランプフロー65cmのコンクリートで、注入孔を図10に示すA→B→Cと順次移動して充填する方法とした。ここで、Bへの移動時期はB位置が充填された状態とし、Cの場合は流合部の充填状態を調べるため敢えてC位置が未充填の状態とした。実験の結果、写真3に示すように完全な充填状態が得られた。平均打ち込み速度は、一次実験での約 $20\text{m}^3/\text{hr}$ に対し約 $30\text{m}^3/\text{hr}$ と向上した。これはコンクリートの流動性を高めた結果と言えるが、図13および図14に示す充填経過も一次実験に比べて基礎碎石の不陸の影響が大幅に軽減されたことを示唆している。

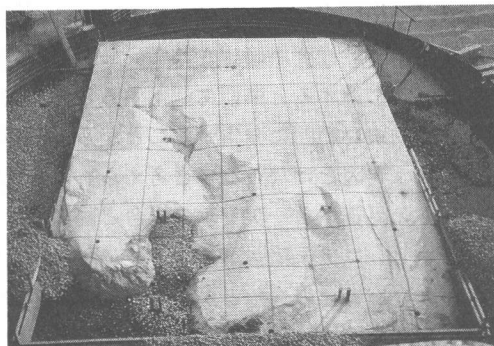


写真2 一次実験の充填出来形 (前方丸印が注入孔)

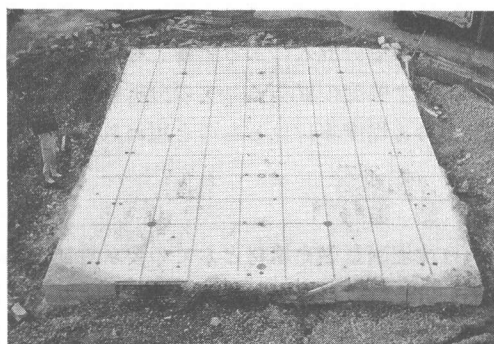


写真3 二次実験の充填出来形 (手前より注入孔C, B, A)

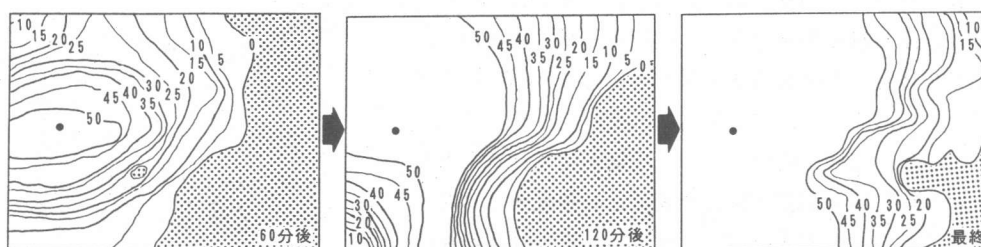


図13 一次実験における充填経過

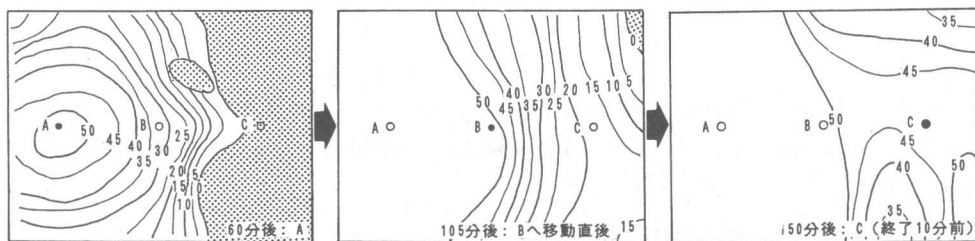


図14 二次実験における充填経過

懸念された揚圧力については、圧力計の計測結果から最大で 0.7t/m^2 程度が確認された。しかしこの揚圧力は、ピークに達すると早期に低下することや注入孔近傍の比較的狭い範囲に発生することから、沈埋函の安定を損なう要因とはならないと考えられた。充填コンクリートの品質は、一次実験の場合と同様良好な硬化性状を呈し、コア圧縮強度も図15に示すようにバラツキが大きいものの、殆どが水中作製供試体強度を大幅に上回った。この原因として、1) 圧入の形で充填されたため加圧脱水によってセメント水比が大きくなった、2) 圧入のため気中打設と同等の打設環境となった、3) 海水中の塩分混入による影響、等が考えられた。図16に示す強度の異なるコアの分析結果は、これらの推察をある程度裏付けるものと思われる。

6. 結論

(1) 沈埋函基礎充填材としての要求性能を満足する水中不分離性コンクリートの不分離剤量として 1.5kg/m^3 が選定できた。(2) このコンクリートは、注入孔(吐出口)が 80mm に絞り込まれる条件でも良好なポンプ圧送性を示した。また、圧送によるコンクリートの品質変化はほとんど認められなかった。(3) 実物大規模の施工モデル実験の結果、スランプフロー 60cm 程度の流動性では基礎碎石の不陸の影響などを受け、一つの注入孔で広い充填範囲をまかなうのは困難と思われたが、スランプフロー 65cm のより高い流動性を付与し、設置された 4m 間隔の注入孔を順次移動する充填方法を採用すれば、計画空隙の完全な充填を図れることが確認できた。(4) 充填されたコンクリートは良好な硬化性状を呈し、圧縮強度はバラツキが大きいものの気中作製供試体強度に近い強度を示した。この理由として、圧入充填により気中打設と同等条件の硬化体となったことや加圧脱水効果、海水中の塩分混入の影響等が推察された。

参考文献

- 1) 例えば、片岡真二・高橋浩二：大阪港海底トンネルの計画と設計、埋立と浚渫、No. 153, pp. 10-23, 1990
- 2) 内田雅也・前田敏・佐野清史：水中不分離性コンクリートの沈埋函基礎充填への適用性について、セメント系充填材に関するシンポジウム論文集、1992. 12
- 3) (社)土木学会：コンクリートのポンプ施工指針(案)、1985. 11
- 4) (社)土木学会：水中不分離性コンクリートの設計施工指針(案)、1991. 5

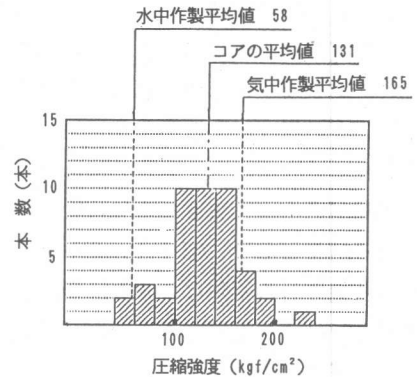


図15 採取コアの圧縮強度分布

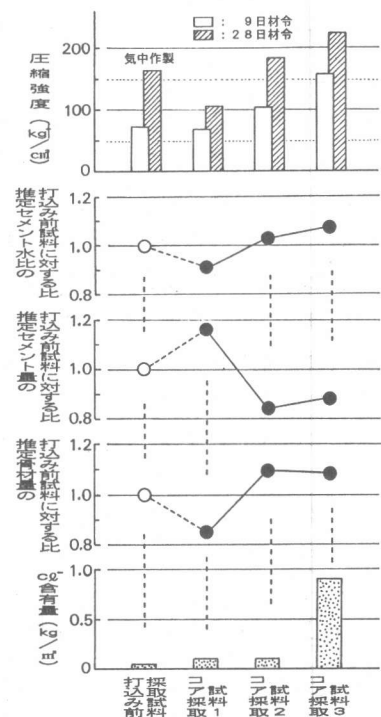


図16 打込前試料とコア試料の配合推定及び塩分分析結果