

**投稿論文 (和文)**  
**PAPERS**

# 水中不分離性コンクリートの大規模打設における 流動・合流・打継ぎについての研究

坂本光重\*・岡田凌太\*\*・中平 淳\*\*\*・  
内田 明\*\*\*\*

明石海峡大橋主塔基礎に代表される、水中不分離性コンクリートの大規模・急速施工では、コンクリートの流動による合流・打継ぎ状態の把握が重要となる。

本研究では、水中不分離性コンクリートの長距離流動における構成材料の影響および打設方法の影響を検討し、その結果をふまえた大規模実験を実施して検討の妥当性を確認することができた。その結果、適切な材料、配合、打設方法および打継目の処理により、水中不分離性コンクリートの大規模・急速施工が可能となったことが明らかとなった。

**Key Words** : antiwashout under water concrete, pouring, confluence, horizontal joint

## 1. はじめに

世界最長の吊橋、明石海峡大橋の主塔基礎水中コンクリートには、瀬戸大橋で使用したプレパックドコンクリートに代り水中不分離性コンクリートを採用した。大水深下で大量の水中コンクリートを高品質、急速に施工するため、水中不分離性コンクリートに高流動性、低発熱性等の優れた性質を付与するとともに、施工に当っては超大型プラント台船、特殊打設設備等の使用により、約50万 $m^3$ の水中不分離性コンクリートを1年間の工程で高品質に打設した。本論文は、明石海峡大橋の主塔基礎施工に使用した水中不分離性コンクリートの大規模・急速施工の技術課題を解決した過程およびこの結果明らかになった事柄について述べる。

## 2. 明石海峡大橋主塔基礎の概要

明石海峡大橋は、図-1に示すように、幅約4kmの明石海峡にかかる橋長3,910m、中央支間長1,990mの3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋であり、完成すれば世界最長の吊橋となる。架橋ルートでの最大水深は約110m、最大潮流は毎秒4.5mに達する。

主塔基礎の施工法は、瀬戸大橋で実績のある設置ケーソン工法を採用し、2基で約50万 $m^3$ の水中コンクリート部分には水中不分離性コンクリートを打設した。また、気中コンクリートを含めると、2つの主塔基礎の総コンクリート量は約670,000 $m^3$ に達する。

水中コンクリートの型わくとなる鋼ケーソンの内部は、図-2に示すように約2,500 $m^2$ の面積をもつ内核

部とケーソン曳航時の浮体となる二重壁部に別れている。プラント台船の1回当たりの最大打設量が約1万 $m^3$ であることと、打設設備の都合上、内核には24本の打設管を配置し、厚さ4mで打継目処理を行いながら層状打設するのに対し、二重壁部は16ブロックに分けられ、6本の打設管を使用して50数mを柱状に一括打設した。

ここで、プレパックドコンクリートに代わり水中不分離性コンクリートを採用した理由を以下に示す。

- i) 水中不分離性混和剤の開発が進み、優れた品質の水中不分離性コンクリートが製造可能である。
- ii) プレパックドコンクリートに比べて単位セメント量が低減でき、温度応力対策が容易である。
- iii) 内核部は大面積層状打設が可能となり、プレパックドコンクリート施工時の様に間仕切壁を設ける必要がなく、鋼ケーソンの鋼材重量を低減できる。

## 3. 水中不分離性コンクリートの大規模打設における問題点(本研究の背景)

主塔基礎の水中不分離性コンクリートは、内核部と二重壁部では問題点が異なる。

内核部では図-3に示す様に、打設管1本当たりの受持ち面積が100 $m^2$ を越え、最大流動距離は8mに達するので長距離流動性が必要である。この流動距離をまもるため、各打設管より打設されるコンクリートは各打設管の分担面積に見合う量に常時分配する必要がある。さらに24本の打設管から水中に打設されたコンクリートはそれぞれ合流した後も一体化する必要があるため流動先端部の品質に十分な信頼性が要求される。内核部は層状打設のための水平打継目が避けられないので、大水深下でのコンクリート打継目の処理が必要となる。

一方、二重壁部では打上り速度が速く、型わくである鋼ケーソンに与えるコンクリート側圧の把握が重要とな

\* 正会員 本四連絡橋公団第三建設局機械課課長  
(〒722 広島県尾道市新浜 1-9-22)

\*\* 本四連絡橋公団第二管理局維持施設部課長

\*\*\* 正会員 大成建設土木本部土木技術部第四技術室

\*\*\*\* 正会員 前田建設技術研究所土木材料研究室

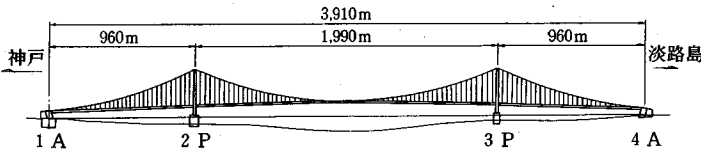


図-1 明石海峡大橋の概要

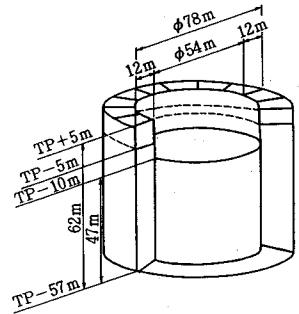


図-2 明石海峡大橋主塔基礎の概要 (例3P)

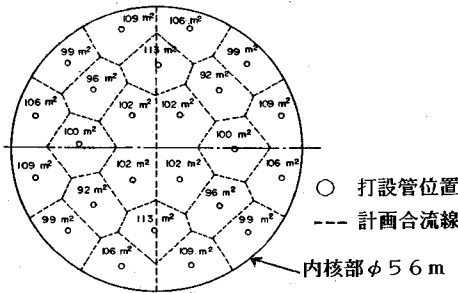


図-3 内核部打設管配置図 (例2P)

## 5. 長距離流動性に対する研究開発

長距離流動性に優れた水中不分離性コンクリートとは水中を長距離流動しても材料が分離しにくいコンクリートである。その性状はスランプフローで評価し、スランプフローは分離しない範囲で大きく、長時間フレッシュコンクリートの状態を保持できるものが長距離流動性に優れている。

長距離流動性に及ぼす要因としては、コンクリートの材料、配合等さまざまな考えられるが、特に影響が大きいと考えられる水中不分離性混和剤の添加量、粗骨材の最大寸法、流動化剤の添加量、AE減水剤の添加量、打設方法等について、室内試験、および現場打設試験を実施し、長距離流動性に対する検討を行った。

### (1) 水中不分離性混和剤の添加量の影響

長距離流動の基本となる水中での高い分離抵抗性を検討するために水中不分離性混和剤の添加量を変化させ、水中分離度試験(懸濁物質質量・pH)、圧縮強度試験を実施した。表-1、図-4に試験配合および結果を示す。試験結果によると、懸濁物質質量(mg/l)、pHは水中不分離性混和剤の添加量が増加すると低減するが、2.0 kg/m<sup>3</sup>と2.5 kg/m<sup>3</sup>では大きな差は無い。品質基準とした懸濁物質質量150 mg/l以下、pH 12以下という値は、添加量が2.0 kg/m<sup>3</sup>以上となると満足できた。また、水中製作供試体と気中製作供試体の強度比率の基準は0.8としたが、これについても2.0 kg/m<sup>3</sup>を越えると基準を満足する。このことから、当該配合では水中不分離性混和剤添加量は2.0~2.5 kg/m<sup>3</sup>程度が適当であるといえる。

### (2) 粗骨材の最大寸法の影響

通常のコンクリートでは、粗骨材の最大寸法を20 mmから40 mmに変えた場合、同じスランプを得る単位水量が20 kg/m<sup>3</sup>少なくなることが示されている(土木学会:コンクリート標準示方書;昭和61年版)。そこで、水中不分離性コンクリートで粗骨材の最大寸法が20 mmと40 mmの2種類について、単位水量決定試験を行った(表-2、図-5参照)。その結果、スランプフ

り、また、二重壁内部鋼材周辺への充填性が問題となる。

两部分とも一回当たりの打設量が8,000~10,000 m<sup>3</sup>のマスクコンクリートであるため、温度応力の検討が必要である。施工にあたっては、これらの問題点を解決する必要があった。本論文では、特に内核部に関する以下の項目について述べる。

- ① 長距離流動に優れた水中不分離性コンクリートの開発
- ② 長距離流動後の合流部の品質確保
- ③ 各打設管の分担面積に見合ったコンクリートの分配方法の確立
- ④ 広範囲の水平打継目の一体化方法の確立

## 4. 既往の施工および研究

水中不分離性コンクリートを大量に使用した橋梁下部工の施工例としては、2基の橋脚で総打設量8,000 m<sup>3</sup>の【広島県長島連絡橋】<sup>1)</sup>が徳永らにより報告されている。これによると、打設にはφ150 mmの管を6本使用し、1本の受持面積は約57 m<sup>2</sup>である。

水中不分離性コンクリートの流動性を中心に基礎的物性の研究を行ったものとして、武居<sup>2)</sup>、福留ら<sup>3)</sup>による報告があり、スランプフロー52.5~60 cmの水中不分離性コンクリートで1方向および2方向流動実験を行い流動距離10 mまでは圧縮強度の低下は少ないが、8 m程度から粗骨材が分離する傾向が確認されている。

以上、既往の施工例および研究例について述べたが、2方向からの合流やコンクリートの打継目について、その性状が明らかになってはいない。また、水中不分離性コンクリートの分配打設方法および打継目処理方法も確立されていない。

表一 水中不分離性混和剤添加量試験の配合と結果

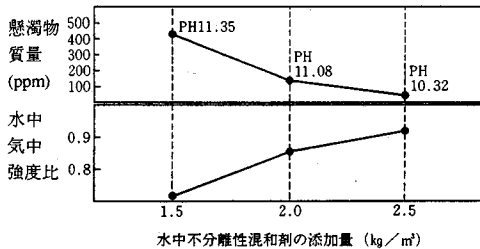
配合	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					水中不分離性混和剤	流動化剤	AE減水剤	練上り温度 (°C)	スランプフロー (cm)	単位容積重量 (t/m <sup>3</sup> )
	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	水						
1						1.5			13.0	58.5	2.29
2	220	367	637	1014	2.0	3.67	0.92	13.5	52.5	2.30	
3					2.5			13.0	44.3	2.31	

セメント：普通ポルトランドセメント、細骨材：岡山産海砂、粗骨材：静岡産砕石 (Gmax20)  
 水中不分離性混和剤：セルロース系、流動化剤：高縮合トリアジン系化合物  
 AE減水剤：リグニン系ポルホン酸化合物

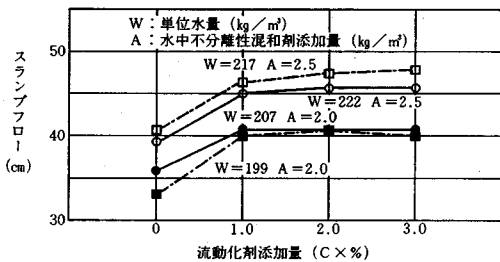
表三 流動化剤の添加量の影響試験の配合と結果

配合	Gmax (mm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					流動化剤	AE減水剤	スランプフロー (cm)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	水			
1	20	207	345	658	1046	2.0	0.00~10.4	0.86	36.0~40.5
2		222	370	634	1009	2.5	0.00~11.3	0.93	39.5~45.5
3	40	199	332	670	1052	2.0	0.00~9.96	0.83	33.0~40.5
4		217	362	642	1007	2.5	0.00~10.9	0.95	40.5~48.0

セメント：普通ポルトランドセメント、細骨材：岡山産海砂、粗骨材：静岡産砕石



図四 分離抵抗性と水中不分離性混和剤添加量の関係



図六 流動化剤の添加量とスランプフローの関係

ロー 50 cm では、20 mm の場合は単位水量が 220 kg/m<sup>3</sup>、40 mm の場合は単位水量が 212 kg/m<sup>3</sup> と 8 kg/m<sup>3</sup> の差であった。この値は普通のコンクリートに比べて小さい。このように、水中不分離性コンクリートでは、単位水量を低減する目的で粗骨材の最大寸法を大きくする優位性が比較的小さい。

(3) 流動化剤の添加量の影響

水中コンクリートには、分離抵抗性と流動性が必要であるが、水中不分離性混和剤は、コンクリートの粘性を増加して、水中での分離を防ぐものであり、流動性は確保できない。このため、流動化剤を添加して分離抵抗性を損なわずに流動性をもたせる方法がとられる。そこで流動化剤の添加量を変えたスランプフローがどのように変化するかを確認した(表一三、図一六参照)。その結果をみると、この試験範囲内では流動化剤の添加量がセメ

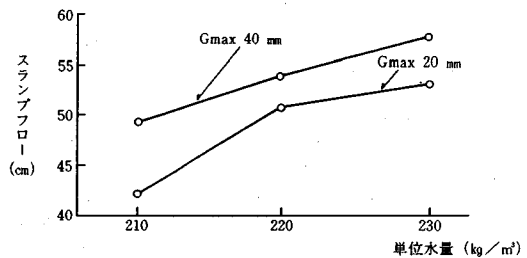
表二 粗骨材の最大寸法の影響試験の配合と結果

配合	Gmax (mm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					水中不分離性混和剤	流動化剤	AE減水剤	練上り温度 (°C)	スランプフロー (cm)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	水					
1		230	383	588	1023		3.83	0.96	9.5	53.1	
2	20	220	367	603	1058		3.67	0.92	9.7	50.4	
3		210	350	618	1065	2.0	3.50	0.88	10.0	42.3	
4		220	383	588	1012		3.83	0.96	9.7	57.9	
5	40	220	367	603	1044		3.67	0.92	10.5	54.0	
6		210	350	618	1071		3.50	0.88	10.6	49.5	

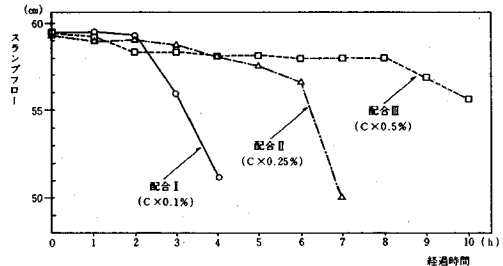
セメント：高炉セメントB種、細骨材：富士川産川砂、粗骨材：静岡産砕石

表四 AE減水剤の添加量の影響試験の配合と結果

配合	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	懸濁物質量 (ppm)	pH	プリング率 (%)	凝結時間 (h)		
	水 W	セメント C	砂 S	流動化剤 A	水中不分離性混和剤							AE減水剤	始発	終結
I	343	568	1136	14.2	4.26	0.57	59.5	3.2	2027	55.9	9.5	0	17:40	21:45
II	340	570	1140	14.3	4.28	1.43	59.3	3.4	2029	30.2	9.5	0	21:05	27:00
III	337	571	1142	14.3	4.29	2.86	59.5	3.3	2032	26.0	9.6	0	31:10	35:50



図五 粗骨材の最大寸法と単位水量の関係



図七 AE減水剤の添加量とスランプフローの関係

ント量の1%程度まではスランプフローが添加量に応じて大きくなるが、1%を越えるとその結果があまり顕著でなくなる事が判明した。

(4) AE減水剤の添加量の影響

中川らの研究<sup>4)</sup>によると、AE減水剤の添加は水中不分離性コンクリートのスランプフローの保持に効果があることが明らかになっている。

セメント量の多い水中不分離性モルタルでAE減水剤添加量の試験を実施した(表一四、図一七参照、材料は(1)で使用したものと同一)。その結果、AE減水剤の添加量の増加に伴い、スランプフローの保持時間が延びる傾向になった。この試験の範囲では、AE減水剤の添加は、長距離流動性(特に長時間かけて長距離流動する場合)の向上に効果があることが確認できた。

(5) 流動試験

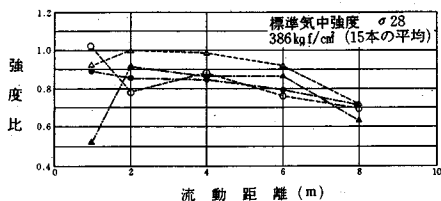
a) 試験概要

表—5 流動試験内容

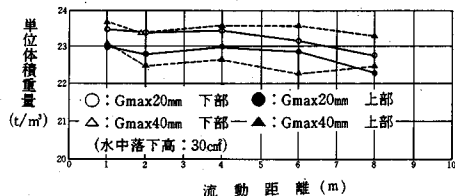
目標スランプロー：50cm±2.5cm

試験	粗骨材の最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					流動化剤	AE減水剤	打設方法
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	水中不分離性泥和剤			
No.1	40	212	353	665	1014		3.53	0.88	水中自由落下高 30cm
No.2						2.0			水中自由落下高 30cm
No.3	20	220	367	652	1004		3.67	0.92	打設管突込 20~30cm
No.4									水中自由落下高 100cm

セメント：高炉セメントB種、細骨材：富士川産川砂、粗骨材：静岡産砕石



図—8 流動距離と強度の関係



図—9 流動距離と単位体積重量の関係

水中不分離性コンクリートの基礎的な流動性状を確認する目的で 2m×2m×10m の型枠に水を満たし、表—5 に示すように、骨材寸法、および打設方法を変えて 4 種類の流動試験を行った。

型わく内への打設はポンプ車を使用し、1.6 m<sup>3</sup>/hr (打上高に換算すると 8 cm/hr で、これは、本工事と同程度) のスピードで打設し、流動性状、濁度の測定、および硬化後のコア強度単位容積重量の測定を行った。

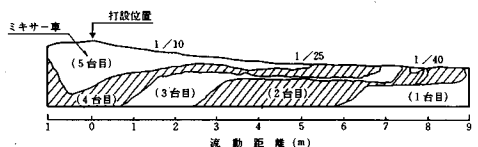
b) 試験結果

① 骨材最大寸法の影響

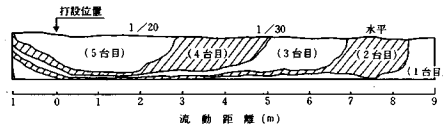
試験 No.1 と No.2 は粗骨材の最大寸法が 20 mm と 40 mm の場合の比較試験である。流動の性状はほぼ等しく、また、採取したコアの気中製作供試体に対する圧縮強度の比率は、図—8 に示すように両者とも同じ傾向を示した。しかし、粗骨材の最大寸法が 40 mm の場合は 20 mm に比べ、図—9 に示すようにコンクリート上部のコアと下部のコアの単位体積重量の差が大きい。大規模な打設に供するコンクリートの場合、粗骨材の沈下が極力少ないほうが望ましく、使用粗骨材は最大寸法 20 mm が適当と判断し、試験を進めた。

② 打設方法の影響

図—10 に、打設管からの自由落下高さ 30 cm の試験 No.2 と、打設管をコンクリート面に 20~30 cm 突込んだ状態の試験 No.3 の流動の結果を示す。流動勾配は水

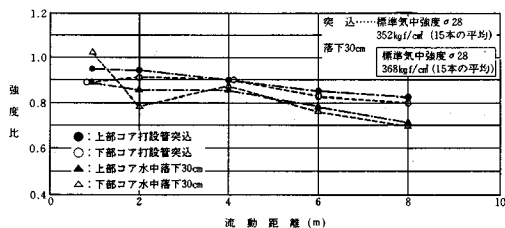


(a) 打設管突込み



(b) 水中落下30cm

図—10 流動状況観察結果 (コンクリート硬化後)



図—11 流動距離と強度比の関係

中落下高 30 cm のケースの方が緩かった。また、打設中にコンクリートに着色剤を混入して流動状況を確認した結果によると、いずれの場合も、最先端のコンクリートは最初に打設した部分であり、長時間流動後の先端の劣化が流動勾配や合流に与える影響は大きい。

また、コンクリートの硬化後コアを採取し、圧縮強度の比較を行った結果を図—11 に示す。同図から、打設管を突込んだ方が流動距離による低減、ばらつきが共に少ないので、打設したコンクリートの品質に関しては打設管をある程度突込んだ方が品質の低下が少ないといえる。一方、落下高さ 100 cm の場合 (試験 No.4) は、材料分離が激しく打設管付近の水の濁度は 1,300 ppm にも達しスライムが 20 cm ほどコンクリートの上に沈殿した。逆に自由落下 30 cm、および打設管突込の状態での濁度は、約 5~35 ppm であり、コンクリートの水中での自由落下を極力少なくすることが濁りをおさえ、その濁りの沈殿によるスライムを少なくすることになる。

(6) 大規模扇形流動試験

a) 試験概要

より長距離、長時間の打設試験で本工事の状態を再現するため、図—12 に示す、全長 30 m、開き角度 15° の扇形の型わくを作り、流動試験を行った。配合、および材料は (5) 流動試験の粗骨材の最大寸法 20 mm の場合と同様で、打設速度も (5) 流動試験と同様、打上り高さ 8 cm/h を目標とした。また、打設管の先端は、コンクリート面の位置管理した。

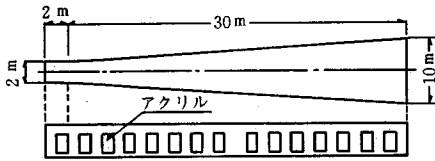


図-12 大規模扇形流動試験型わく

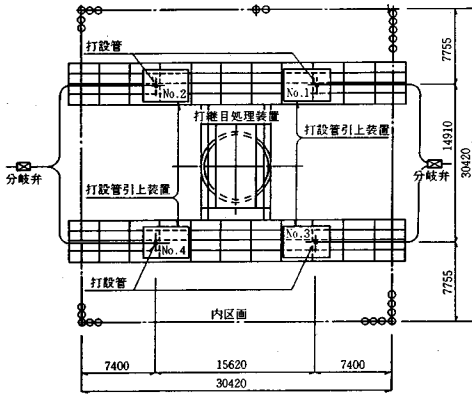


図-14 大規模試験設備概要

表-7 使用材料

材料	セメント (OBF30)	セメント (B90)	細骨材	粗骨材
仕様	普通ポルトランドセメント: 高炉スラグ微粉末: フライアッシュ = 3:4:3	普通ポルトランドセメント: 高炉スラグ微粉末 = 1:9	坂出市沖大瀬海砂	赤穂産砕石

b) 試験結果

図-13 に試験結果を示す。それによると、

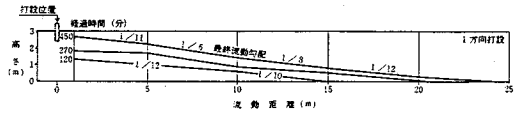
- ① コンクリート製造から、約 6.5 時間後には流動が停止したが、先端は 22.5 m の流動距離を確保した。現場採取のサンプルの凝結始発時間は、約 15 時間であった。
- ② 最終の流動勾配は、1/6~1/12 程度であった。
- ③ 硬化したコンクリートの強度は、今までの試験と同様な傾向を示し、平均コア圧縮強度/気中製作供試体圧縮強度の比率は 8 m を過ぎると 0.8 を下回る。
- ④ 流動距離 12 m 以降から粗骨材が少なくなり、モルタルが目立つようになる。これ以降から、材料分離の程度が大きくなる。

(7) 自由流動による大規模打設試験

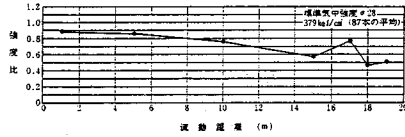
a) 試験概要

大規模扇形流動試験の結果をふまえ、実打設規模の平面的広がりをもつ打設設備を使用した大規模打設試験を実施して流動性の再確認を行った。なお、この大規模打設試験では、後述する合流および打継ぎに関する試験も同時に実施した。

試験設備の概要を図-14、打設概要を表-6 に示す。



(a) 流動勾配の変化



(b) コア強度の変化

図-13 コンクリートの流動勾配とコア強度

表-6 打設概要

試験	コンクリート種別	管 理 項 目					
		打設速度 (m/hr)	打設管貫入量 (cm)	打設傾斜 (m)	打設高さ (m)	打設量 (m³)	打上げ速度 (cm/hr)
第1層	モルタル (OBF30)	36.0	15~30		0.5	452	4
第2層	コンクリート (OBF30)	54.1	5~15	900.98	1.5	1,365	6
第3層	コンクリート (B90)	54.1	5~15		1.0	903	6
第4層	モルタル (OBF30)	36.0	5~15		0.5	452	4

表-8 コンクリートおよびモルタル配合

区分	単位量 (kg / m³)					単位量 (g / m³)			備 考	
	水 W	セメント B90	セメント OBF30	細骨材 S	粗骨材 G	水中不分離性洗剤	流動化剤	AE減水剤		AE減水剤: 超遅延型
内区画第1層 特殊水中モルタル	305	-	449	1196	-	3.98	11.2	1.57	-	水中不分離性モルタル
内区画第2層 特殊水中コンクリート	215	-	316	642	966	2.3	3.16	1.26	-	水中不分離性コンクリート
内区画第3層 特殊水中コンクリート	215	316	-	652	1001	2.3	3.16	-	1.90	水中不分離性コンクリート
内区画第4層 特殊水中モルタル	342	-	503	1028	-	4.6	5.03	2.01	-	水中不分離性モルタル

試験水深は 3.5 m である。

使用したコンクリート材料を表-7 に示す。今までの高炉セメント B 種にかわり、主塔基礎施工を想定し、低発熱型のセメントを使用した。セメントは三成分系の OBF 30 と二成分系の B 90 の 2 種類を使用した。表-8 に示す配合は、表-9 に示すコンクリートの要求品質を満たす様に事前に室内試験を行って決定したものである。

図-14 に示す様に、打設管は 4 本を均等に配置し、2 系統のコンクリートポンプを使用し、それぞれを分岐弁でさらに 2 系統を分配した。その結果、間接的ではあるが 4 本の打設管からはほぼ等量の水中不分離性コンクリートを打設できた。切替は約 1 分間隔で実施し、流動が阻害されない様にした。打設した水中不分離性コンクリートの最長流動距離は約 11 m であった。

b) 試験結果

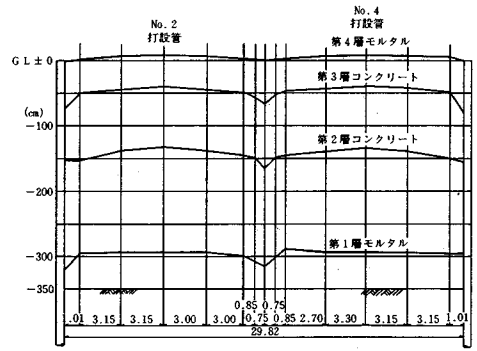
表-10 にプラント船で製造したコンクリートの品質試験結果を示す。フレッシュコンクリートのスランプフロー試験結果をみると、第 2 層打設時における 8 時間後のスランプフローが、他層の場合に比べると小さく、流

表一〇 コンクリートの要求品質

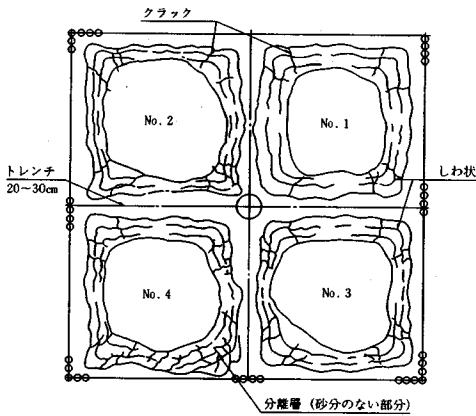
区分	スラブフロー(㎝)	スラブフロー保持時間	空気量(%)	分離抵抗性試験		設計基準強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	水中製作/水中製作強度比	凝固始発時間(h)
				SS	pH			
コンクリート	52.5±2.5		5%以下			(σ91)		
モルタル 第1層	60.0±2.5	8 h以上	8%以下	150ppm以下	12以下	180	0.8以上	30程度以内
モルタル 第4層	65.0±2.5							

表一〇 コンクリート品質試験結果

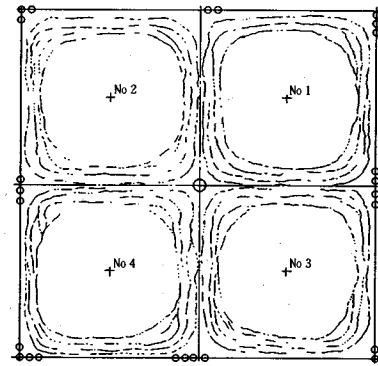
区分	打設量	フレッシュコンクリートの品質		圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )								
		スランパー(㎝)	始発直後3hr後	28日		91日		強度比(%)		変動係数		
		直後3hr後	(hr)	水中	気中	水中	気中	28日	91日	水中28日	水中91日	
1層(0.5m)	OB F30モルタル 452 m <sup>2</sup>	59.8	59.6	32.6	157	178	230	253	88.3	90.8	2.8	1.2
2層(1.5m)	OB F30コンクリート 1,355 m <sup>2</sup>	53.5	46.9	32.0	142	183	217	253	78.2	85.9	1.0	5.9
3層(1.0m)	B90コンクリート 903 m <sup>2</sup>	53.7	50.6	43.1	139	158	197	221	88.5	89.3	4.8	8.4
4層(0.5m)	OB F30モルタル 452 m <sup>2</sup>	65.0	62.7	41.3	175	190	265	284	91.9	83.3	4.3	3.1



図一五 打設されたコンクリートの断面

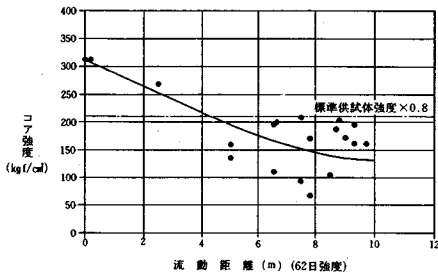


(a) 第1層モルタル

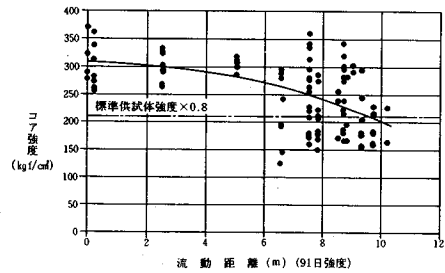


(b) 第4層モルタル

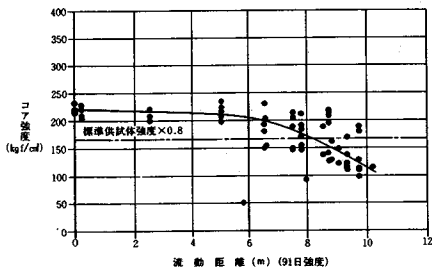
図一六 打設されたモルタルの表面



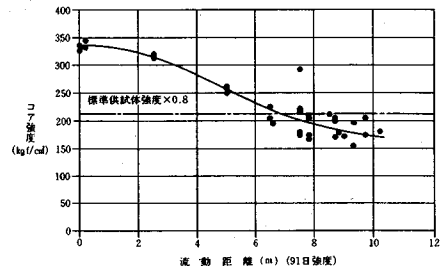
(a) 第1層モルタル



(b) 第2層コンクリート



(c) 第3層コンクリート



(d) 第4層モルタル

図一七 流動距離とコア強度の関係

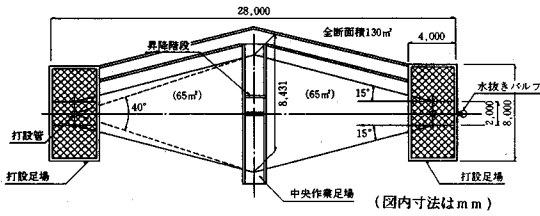


図-18 1方向流動試験型わく

表-11 1方向流動試験用コンクリート配合

スランプフロー 範囲 (cm)	空気量 の割合 (%)	設計 強度 (水) (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/C	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
					水	セメント	粗骨材	細骨材	粗骨材	水中不 分離性 混和剤	流動 化剤
50±2.5	4±1	240	60	40	220	367	638	1008	2.3	3.67	1.47

表-12 1方向流動試験の打設方法

試験名	打設量 (m <sup>3</sup> )	打設速度 (m/hr)	備考
流動性確認試験	180	6.5(0.1m/hr)	
打継ぎ 試験	1層目	80	6.5(0.1m/hr)
	2層目	80	14.0(0.22m/hr) 1層目の約2倍の速度

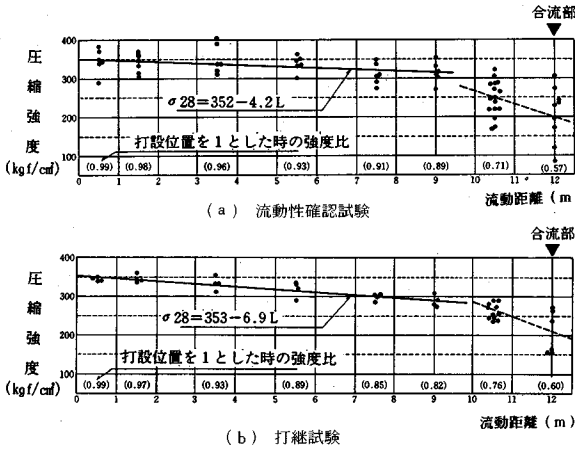


図-19 流動距離とコア圧縮強度の関係

表-13 合流部の圧縮強度 (σ<sub>91</sub>)

流動距離 (m)	第2層 コンクリート				第3層 コンクリート			第4層 モルタル
	上部	中部	下部	平均	上部	下部	平均	
1 (7.46)	331	165	232	243	149	—	165	173
2 (7.81)	176	219	222	206	155	197	176	166
3 (9.27)	294	177	203	225	111	140	126	194
4 (9.27)	157	182	246	195	122	171	147	155
5 (10.23)	228	165	228	207	115	—	115	180
貫直下	370	303	288	320	218	221	220	335
供試体	217				197			265

注1) 第1層のモルタルはコアが少ない為9日材齢の試験がない。  
注2) 供試体はプラント水中製作供試体の9日材齢強度の平均値。

## 6. コンクリートの合流、および打継ぎに対する検討

動を阻害する傾向が大きかった。

また、各層の測深による最終流動結果を図-15に示す。第4層目を除く各層とも打設開始後10~12時間後から合流部分に溝が目立つ様になったが、合流点までは完全に流動し目視・測深結果から一体化が確認された。

本工事内核部最下層に打設を予定している水中不分離性モルタルの打設の結果を図-16に示す。配合上、流動性および分離抵抗性が若干劣る(スランプフローが60.0±2.5cm、水中不分離性混和剤添加量3.98kg/m<sup>3</sup>)第1層の打設結果では、先端にセメントペーストと砂の分離が目立ち、クラックが発生したのに対し、流動性を向上させた(スランプフローが65.0±2.5cm、水中不分離性混和剤添加量4.60kg/m<sup>3</sup>)第4層の打設では先端の状態が良好になり、分離、クラックが生じなくなった。

図-17に流動した距離と採取したコアの圧縮強度の関係を示す。一方向の流動試験結果では、コア強度が気中製作の標準供試体強度の80%程度まで低下する流動距離が8m前後であったのに対し、第2層の場合は約9m第3層の場合は同じ8m、第4層の場合は約7mとなり多少ばらつきがあるものの、一方向の流動試験と同じ傾向を示している。しかし、第1層目のモルタルの場合は5m足らずでコア強度が標準供試体強度の80%に落ちている。この事からも、第1層のモルタルは流動による品質低下の程度が大きかったと推測できる。

数多くの打設管を使用した打設ではコンクリートの合流部分が必要存在し、そこは流動後のコンクリートが一体化する部分であるため、構造的には一般部に比べて弱点となる。そこで、打設試験を行い合流部分の品質確認を行った。また同時に、層状打設での打継ぎの付着が処理の方法でどの程度確保できるか確認した。

### (1) 合流部の検討

#### a) 1方向流動試験

##### ① 試験概要

合流および打継ぎ状態のコンクリート強度等の調査のために、両側からコンクリートを打設し、12m流動させた後にコンクリートが合流する型わくを製作し、打設試験を行った。型わくの概要を図-18に示す。

打設試験に使用したコンクリートの配合を表-11に示すが、この試験では、流動性を保持させるため、超遅延型AE減水剤を使用した。また、水中不分離性混和剤の添加量は、2.3kg/m<sup>3</sup>である。

打設方法を表-12に示す。コンクリートは型わく両端の打設管から打設し、筒先はコンクリート表面から10cm程度突出管理の状態とした。

最初の打設は、『流動性確認試験』として、流動状態と合流部分の確認を目的として実施した。打設終了1週間後に、湛水状態のままコンクリートの表面半分をデッキブラシで清掃し、レイタンスを除去した後、『打継ぎ試験』としてその上にコンクリートを打継いだ。『打継



表-14 打継目室内試験コア引張試験結果

試験 No.	①	②	③	④	⑤	⑥
水中不分離性混和剤	2.0 kg/m <sup>3</sup>			2.3 kg/m <sup>3</sup>		
処理方法	無処理	水で洗う	ブラシで洗う	無処理	水で洗う	ブラシで洗う
引張り強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	1 採取不能	2 採取不能	11.2	採取不能	13.1	14.5
	2	"	11.5	"	11.2	12.4
平均	-	-	11.4	-	12.2	13.5

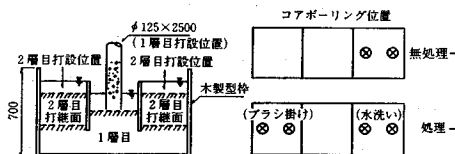


図-20 打継目室内試験要領

表-15 打継部コアの引張試験の結果

供試体No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
流動距離(m)	1.0	1.5	2.0	3.5	4.0	5.5	6.3	7.0	7.6	8.3	9.0	9.8	10.1	10.5
引張強度	打継部 剥離	ク	0.8	4.6	5.0	3.9	2.2	2.9	2.7	4.5	2.3	ク	剥離	剥離
	新鮮部	-	18.3	19.1	16.0	17.1	15.8	14.7	15.2	13.0	13.8	-	-	-
新鮮部圧縮強度	-	-	331	319	302	282	281	287	286	273	274	-	-	-

注) No. 1, 13, 14はボーリング中に剥離を確認。  
・上表「ク」は供試体製作時に打継面のクラックを確認。

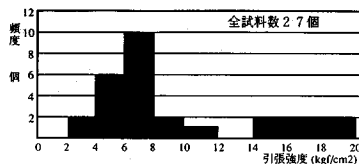


図-21 打継目コアの直接引張試験結果

ぎ試験』では80 m<sup>3</sup>打設した時点で1時間打設を止めた後、打設速度を2倍にして打設を再開した。

② 試験結果

コンクリートは打設開始から約6.5時間後に合流し、打設終了時点ではほぼ合流部分は水平となった。また、『打継ぎ試験』でも型わく両端から打設したため、『流動性確認試験』と同様に合流部分が得られた。『流動性確認試験』と『打継ぎ試験』で採取したコアの試験結果を図-19に示す。この結果、合流部では打設管付近の圧縮強度に対して平均で0.6程度まで強度が低下していた。

b) 自由流動による大規模試験

5章(7)で述べた大規模試験で4本の打設管からのコンクリートが中央部分でお互いに合流した部分があり硬化後にその部分のコア採取し、強度試験を実施した。

各層の打設後の合流部の観察によれば、合流部分は合流点周辺より約15 cm程度深くなった溝状の継目ができ、その部分はやや粗骨材が少ない。また、この溝の部分にはレイタンス等の沈殿物が溜りやすい。

また、合流点での圧縮強度を表-13に示す。第2層、第3層とも平均では打設管直下強度の65~70%でであり、『流動性確認試験』の結果より合流部の強度が向上している。しかし、第4層目のモルタルでは打設管直下の強度の57%とやや低くなっているが、打設厚さが50 cm程度と薄いためコアの品質が劣っていたことが原因と考えられる。

(2) 打継目の検討

a) 打継目室内試験

① 試験概要

6章の(1)のa)に示す『打継ぎ試験』に先立ち、コンクリート表面部の処理の差による付着状態を把握するために、図-20に示す小型の水槽を使用し、硬化後採取したコアの両端に治具を接着し、それを直接引張る直接引張試験で打継目の付着状態を確認した。使用したコンクリートは表-11と同様である。水中不分離性混

和剤添加量は2.0 kg/m<sup>3</sup>、2.3 kg/m<sup>3</sup>の2ケースについて実施した。打継目の状態は無処理・水洗い・ブラシ洗いの3種類にした。

② 試験結果

直接引張試験の結果を表-14に示す。この結果、無処理状態ではまったく付着していなかった。また、ブラシで打継目を処理した場合は、10 kgf/cm<sup>2</sup>以上の引張強度が確認できた。水洗い処理の場合は、水中不分離性混和剤添加量2.0 kg/m<sup>3</sup>では付着しなかったのに対し、2.3 kg/m<sup>3</sup>添加した場合は、ブラシ処理と同等の付着が得られた。これはコンクリート表面の状態が水中不分離性混和剤の添加量に依存することを示し、この試験結果から水中不分離性混和剤添加量2.3 kg/m<sup>3</sup>の配合の優位性が確認できた。

b) 1方向流動試験での打継部の強度

① 試験概要

6章の(1)のa)で述べた『流動性確認試験』で打設した部分と『打継ぎ試験』でのコンクリートの付着を確認するため、コアを採取し引張試験を実施した。

片側は水中ポンプで表面に積もったスライムを除去した後、デッキブラシでさらに残ったスライムを削除した状態でコンクリートを打継いだ。また、反対側は比較のためスライム処理をしない状態のまま打継いだ。

② 試験結果

引張試験の結果を表-15に示す。引張り試験が可能なコアはスライム処理を行った部分にかぎられ、スライム処理を行わない部分のコアはすべて採取段階で上下が剥離し、スライムがある状態で打継ぐと、まったく付着が得られないことが再確認された。

付着が確認できた部分では28日の材齢で最大5 kgf/cm<sup>2</sup>まで打継部の引張強度が得られた。

c) 自由流動による大規模試験

① 試験概要

大規模試験では、3つの打継面があった。第2層と第

項目	仕様
作業方式	油圧駆動回転ブラシ採取方式
ブラシ形状	φ127×450mm×1350mm
ブラシ回転数	円周方向 4.0m/min
水中重量	3.0t

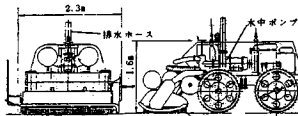


図-22 打継目処理装置の概要

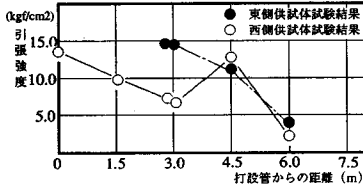


図-23 コアの引張試験結果

3層の打継目は、水を流してスライムを除去する程度の清掃としたため、一体化した打継目のコアはほとんど採取ができなかった。このことからコンクリート同士の付着を確実にするためには打継目からのスライム除去が非常に重要であることがわかった。その結果をふまえて第3層と第4層の打継目は、高圧水噴射による清掃を行った。

② 試験結果

第3層と第4層の打継目は、60%以上が一体となって採取できた。採取した打継目コアの直接引張試験の結果を図-21に示す。一部引張強度の低いものもあるが、最大で20 kgf/cm<sup>2</sup>と、良好な付着が得られた。

d) 打継目処理装置の試験

① 試験概要

実施工では、大水深下で打継目の処理を行う必要があるため、遠隔操作できる打継目処理装置を開発した。この装置の性能調査のため、実際に水中不分離性コンクリートを打設し、その上面に打継目処理装置を走行させ、スライムを処理した。さらに、その上に水中不分離性コンクリートを打設し、打継目をつくり、コアを採取して付着状況を確認した。なお、付着状況は直接引張試験により確認した。図-22に打継目処理装置の概要を示す。

② 試験結果

採取したコアの直接引張試験結果を図-23に示す。試験結果は良好で、(6)で行ったハイウォシャーによる処理と変わらない引張強度が得られた。この結果打継目処理装置が実施工で使用可能であることが確認できた。

7. 本工事での施工実績

これまでの開発実験結果により、コンクリート配合と打設設備の両面で長距離流動における問題点を克服し、良好な施工実績を得ることができた。

(1) 施工時の対策

a) コンクリートの配合

表-16 水中不分離性コンクリートの要求品質

項目	モルタル	コンクリート
設計基準強度 (9日)	180kgf/cm <sup>2</sup>	180kgf/cm <sup>2</sup>
水中・空中供試体強度比	0.8以上	0.8以上
スランプフロー	65 ± 2.5cm	52.5 ± 2.5cm
スランプフロー保持時間	8時間以上※	8時間以上
凝結始発時間		30時間程度以内
断熱上昇温度		30℃以下
懸濁物質量		150ppm以下
PH		12以下

※なお、12時間後においてスランプフロー60cm以上を保持するものとする。

表-17 本工事での配合

区分	Gmax (mm)	W/C	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					流動化剤 (g/m <sup>3</sup> )		備考
				W	C	S	G	水中不分離性洗剤	AE減水剤		
2P	69.1	-	349	505	1050	-	4.6	12.6	1.01	モルタル	
	20	69.1	40	221	320	638	996	2.3	3.20	0.96	コンクリート
3P	68.9	-	348	505	1009	-	4.6	2.53	1.26	モルタル	
	20	66.6	40	213	320	648	1005	2.3	1.60	0.80	コンクリート

本工事での要求品質を表-16に、また、実際にこの条件を満足し、施工に用いたコンクリートの配合を表-17に示す。この配合の特徴は次に示すとおりである。

- ① 最大粗骨材寸法は開発実験結果から、20 mmを採用。
- ② 水中不分離性混和剤量は、2.3 kg/m<sup>3</sup>を採用。
- ③ スランプフローの8時間保持のため、AE減水剤(リグニルスルホン酸系)を使用する。
- ④ 打設されたコンクリートの温度上昇量をできるだけ抑えるために高炉スラグ微粉末、フライアッシュを混合した三成分系のセメントを使用し、断熱温度上昇量を30℃以下とする。

b) 打設管の管理方法

水に対する分離を極力抑え、コンクリートの流動をより促すため、打設管の先端はコンクリート面ぎりぎり管理するのが理想的であることがこれまでの開発実験から推測された。そこで、水深50m以上での打設管の管理を確実に実施するため、

- ① 鋼ケーソン作業床(T.P.+3m)から、長さ50m以上もある打設管(φ200mm)を任意の高さに調整することができる打設管引揚げ装置を使用した。
- ② 打設管先端の状況が作業床上で把握できるようにテレビカメラをそれぞれの打設管に取付け、確実に先端高さを管理した。

c) 流動距離の制限に対する対策

1台で4系統の打設管にコンクリートを送ることのできる『分岐弁』を開発し、6台のコンクリートポンプで24系統の打設管を使用し、2,500 m<sup>2</sup>の面積を均等に打設できた。

d) 打継目処理装置

本工事では大水深下でスライム除去作業を実施しなければならないため、ダイバー作業に代わる、無人リモートコントロールシステムの打継目処理装置(図-22参照)を使用した。

表一18 硬化コンクリートのコア強度 (内核部)

打設層	流動部 (*の数字は打設管からの距離)					合流部		日常管理試験 91日齢 圧縮強度
	材齢日	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )				材齢日	圧縮強度	
		* 1.1m	* 2.0m	* 4.3m	* 5.1m			
11層	139	260(226)	237(203)	-	-	244	213	238
10層	152	-	-	266(228)	217(179)	257	303	236
9層	165	327(285)	265(223)	-	-	270	250	237
8層	178	-	-	283(235)	222(174)	282	338	237
7層	197	329(274)	294(239)	-	-	301	264	236
6層	210	-	-	264(204)	238(178)	314	302	240
5層	223	311(247)	323(259)	-	-	-	-	245
4層	237	-	-	256(190)	262(194)	-	-	236
3層	251	302(230)	261(189)	-	-	-	-	242
2層	265	-	-	209(134)	262(187)	-	-	238

注) 強度測カッコ内は91日材齢を推定したもの。

(2) 施工結果

これらの対策のもとに施工された主塔基礎の水中コンクリートの施工結果を以下に示す。

a) 流動状況

内核部最上リフト、揚水後のコンクリート表面の観察によると、合流部分がやや低くなっているものの、各打設管からのコンクリートがほぼ均等に分布した。また、全長 388 m の合流線のうち 80% 以上が計画位置の ± 0.5 m の範囲にあり ± 1 m を外れるものはなかった。

b) 硬化コンクリートの強度

表一18に硬化コンクリートのコア強度を示す。合流部、打設管近傍部で、いずれも設計基準強度を満足する十分な強度が得られた。

c) 打継部の引張強度

一体化のまま採取された打継部は、スライムがほとんどなく、良好な打設管の管理と打継目処理ができると考えられる。引張強度も、ややばらつきがあるものの、3 ~ 10 kg/cm<sup>2</sup> と、満足できるものであった。

8. 結 論

明石海峡大橋主塔基礎の内核部の水中不分離性コン

リート打設のために行った、開発・研究の結果得られた主な結論は以下の通りである。

(1) 適切な材料及び配合の選択により、流動距離 8 m 程度でも良好な品質の水中不分離性コンクリートが得られる。また、この際打設管の高さ管理が流動後のコンクリートの性質に大きな影響をおよぼす。流動性状は、一方向流動でも自由流動でも大差はない。

(2) コンクリートの合流部は強度上弱点となるが、打設管直下のコンクリート強度の 60% 程度は確保できる。

(3) コンクリートの打継目処理は重要で、レイタンスを完全に取除かないと附着強度が得られない。

(4) 開発実験、および本工事の結果から、適切な材料・配合の選択、打設管分担面積に見合ったコンクリートの分配、打設管の先端管理および打継目処理機械の活用により、大水深下でも、広い面積で、水中不分離性コンクリートを隔壁なしに良好に層状打設が可能な事を明らかにし、合理化施工への道を開くことができた。

参 考 文 献

- 1) 徳永忠彦・長谷川義矩・広林日出男・堅川孝生：分離低減型水中コンクリートによるマスコンクリートの施工、コンクリート工学, p.43, 1986.9.
- 2) 武居俊二・田中康彦・仲子寿雄：軟練り特殊水中コンクリートの流動性と品質, セメント技術年報, p.144, 1988年12月.
- 3) 福留和人・喜多達夫・宮野一也・谷口裕史：水中不分離性コンクリートの流動に伴う品質の変化について, 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, p.175, 1990年8月.
- 4) 中川良隆・大友 健・中平 淳・松岡康訓：水中不分離性コンクリートの品質, 特に分離抵抗性と凝結, 流動性の長時間保持に関する研究, 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, p.53, 1990年8月.

(1992.11.24 受付)

STUDY ON POURING, CONFLUENCE AND HORIZONTAL JOINTS OF ANTIWASHOUT UNDERWATER CONCRETE FOR LARGE SCALE PLACING  
Mitsushige SAKAMOTO, Ryota OKADA, Jun NAKAHIRA and Akira UCHIDA

For expeditious and large construction of antiwashout underwater concrete such as the foundation of main towers of the Akashi Kaikyo Bridge, it is important to understand the condition of confluence and horizontal joints due to the pouring of concrete.

In this study, the effect of material composition and the placing method of long-scale pouring has been examined in addition to implementing large-scale experiments based on the results of the examination. As a result, the experiments confirmed the results of the examination.

Thus, it was made clear that a large and rapid construction of antiwashout underwater concrete can be constructed by using adequate materials, mix and placing and treatment of horizontal joints.