

深海におけるプレパクトコンクリートの現場実験

— 深海プレパクトコンクリート試験 (その1) —

新見 芳 男
堀 口 寛
澄 野 二 男
(土木計画部)

§ 1. はじめに

プレパクトコンクリートは水中施工の場合とくにその長所を発揮する。われわれの施工実績は水中でも-10~20mの範囲のものが多く、最も深いものでも-27mであった。水深の大きい所では相当の水圧を受けることになるが、一般に圧力を受けたコンクリートは圧縮強度等が増進し、性質が改善されるといわれている。

本州、四国連絡橋、東京湾の長大橋等は必然的に巨大な深海コンクリート基礎を有する橋脚が必要となり、-60m以上の深海中での施工が要求されてくる。その場合のコンクリートの性質を確かめておく必要があるが、今直ちにそのような深海で施工実験を行なうには準備不足なので、予備的施工実験の意味で、-40mの海底で注入実験を行ない諸性質を確かめた。

実験場所は、大船渡港口の防波堤工事現場の防波堤内



図-1 実験場所

側であり、水深は実測の結果39mであった。この実験によって、さらに深い場所で施工するプレパクトコンクリートの性質を類推できる。また引続いて行なう、高圧下のプレパクトコンクリートの諸性質に関する実験の計画にも参考とすることができた。

§ 2. 実験場所および期日

2.1 場所

大船渡市来崎町字小細浦
大船渡港防波堤工事現場

この場所が選ばれたのは、湾内では水深も-39mと比較的大きく、工事現場があつて、起重機船・ミキシングプラント船、労力その他について現場の協力が得やすく、また対外的交渉も行ないやすいためであった。

湾内の船舶の航行および水深測定の結果、現場事務所棧橋より約600mの図示の点を選ばれた。ただし準備作業等は湾内最奥の大船渡市街地の岸壁で行なわれた。

2.2 実験の時期

準備作業：昭和41年2月1日~14日

注入実験： " 2月15日, 16日

諸試験： " 2月15日~17日

圧縮強度試験：昭和41年3月15日(東京)

§ 3. 調 合

プレパクトモルタルの調合は、普通一般に使用される $\sigma_{28}=180\text{kg/cm}^2$ 程度の次の重量調合比によつた。

セメント C	フライアッシュ F	砂 S	水 W	イントルージョンエイド I.A
1.0	0.4	1.36	0.7	A ₁ =0.012
"	"	"	"	A ₂ =0.024

すなわち

$$W/(C+F)=50\%$$

$$S/(C+F)=0.97$$

$$I.A/(C+F)=0.86\% \cdots A_1 \text{配合}$$

$$I.A/(C+F)=1.71\% \cdots A_2 \text{配合}$$

である。

§ 4. 使用材料

4.1 セメント

セメントは、アサノ普通ポルトランドセメントおよび小野田普通ポルトランドセメントを使用した。これは大船渡湾内に小野田セメント大船渡工場があり、入手が極めて容易であるが、数年前同工場1万トン棧橋の橋脚の施工のさい、同工場製造のセメントをプレパクトコンクリートに使用したが、セメント中のアルカリ含有量が少なく膨張率が不足するため、混和剤で補足したことがあった。

したがって今回は、標準としてアサノセメントを使用し、小野田セメントを併用した。

試験成績は製造会社の試験成績表による。

試験項目	アサノセメント	小野田セメント	
比 重	3.16	3.16	
比 表面積 cm ² /g	3020	3300	
標準フルイ88μ残分 %	1.4	1.1	
標準軟度水量 %	28.4	27.24	
始発時間 (時一分)	2-22	2-13	
終結時間 (秒)	3-32	3-25	
フ ロ ー 値 (mm)	248	252	
曲げ強さ σ_t (kg/cm ²)	3 日	30.4	33.6
	7 日	44.2	48.0
	28 日	69.2	71.3
圧縮強さ σ_c (kg/cm ²)	3 日	130	131
	7 日	215	222
	28 日	404	410

表一 1 セメント試験成績表 (40. 12)

4.2 フライアッシュ

製造工場：東北フライアッシュ株式会社仙台工場

試験項目		試験成績
化学成分	シリカ	55.8%
	湿 分	0.08%
	強 熱 減 量	1.2 %
比 重		2.16
粉末度	比 表 面 積	3540 cm ² /g
	標準フルイ44μ残分	12.8 %
単 位 水 量 比		94.5%
圧縮強度比 %	7 日	75
	28 日	77
吸 着 量 フ ロ ー 値		0.40mg
		225mm

表一 2 フライアッシュ試験成績表 (40. 11)

4.3 骨 材

現場に搬入された粗骨材および細骨材の試験成績は表一 3 の通りである。

	細 骨 材	粗 骨 材
産 地	陸前高田市広田町	高田市気仙川
粗 粒 率	1.70	8.71
粒 大	0.6mm以下	80mm以下
比 重	2.55	2.68
単位体積重量	1540kg/m ³	1637kg/m ³
吸 水 率	1.80%	1.0%
空 隙 率	39.6%	38.9%

表一 3 骨材試験成績



写真一 1 型わくに詰められた粗骨材

§ 5. 気象条件

第1日：2月15日 晴・小雪（6時40分～9時30分）

平均風速：2.0m/sec

最大風速：5.8m/sec

瞬間最大風速：10.4m/sec（SW 14時45分）

時刻	時	3	6	9	12	15	18	21
気温	°C		-4.1	-1.8	+2.4	+5.1	+2.5	+1.7
海面気圧	mb	1019.4		1021.0		1016.2		1015.0
湿度	%	62		64		45		67

表—4 気温・気圧・湿度（第1日）

プレバクトモルタル注入時

気温（平均）：2.0°C

水温（海面）：2.5°C

水温（海底）：6.0°C

第2日：2月16日 晴・小雨（2時30分～5時15分）

平均風速：3.7m/sec

最大風速：8.2m/sec

瞬間最大風速：21.6m/sec（N 8時30分）

時刻	時	3	6	9	12	15	18	21
気温	°C		+5.0	+6.4	+7.6	+5.1	+2.0	+0.3
海面気圧	mb	1010.1		1013.2		1016.8		1021.0
湿度	%	64		39		42		58

表—5 気温・気圧・湿度（第2日）

プレバクトモルタル注入時

気温：7°C

水温（海面）：5°C

水温（海底）：6°C

深さ	流速 (m/sec)
-10cm	0.1~0.5
-1 m	0.05~0.24
-5 m	0.02~0.15
-10m	0.02~0.23
-15m	0.03~0.22
-20m	0.02~0.18
-38m	0.02~0.19 <small>（施工時約0.1）</small>

表—6 流速

第3日：2月17日 小雨

気温：7°C

水温（海面）：7°C

水温（海底）：6°C

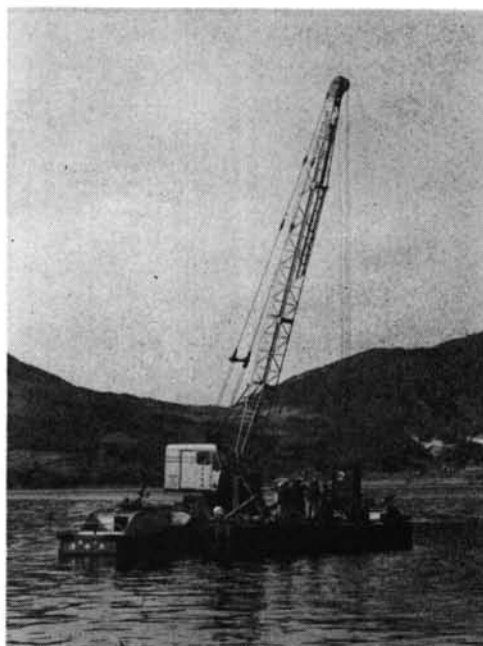
流速

施工海域の各深度における流速は表—6の通りであった。

§ 6. 使用機械および設備

6.1 起重機船

台船としてポンツーンを使用し、その上にP & H255 Aクローラクレーンを載せたもので、砂利を詰めた型わくを吊りおろし、または吊りあげた。



写真—2 起重機船

6.2 プラント船

ミキシングプラントは作業船に装備した。船首にディーゼルエンジンによる発電機を載せ、船の中央部に足場丸太で作業台を組み、台上の後部に4切複槽のミキサーを設置した。セメント・フライアッシュ・エイド等は、当初から台上に積み、砂はベルトコンベアで台上に運搬した。ミキサーの下部には電動グラウトポンプを設置した。



写真—3 プラント船

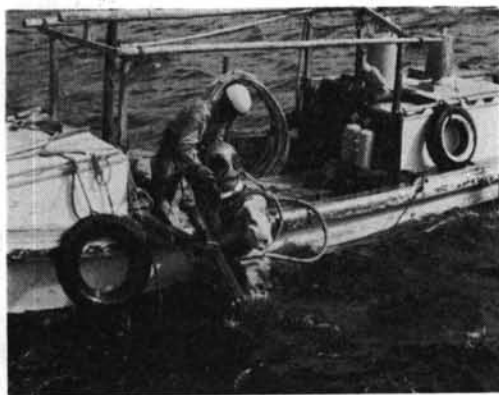
作業船は十分な広さがあり、船上で各種試験および準備作業を行なうことができた。風を避けるためには試験体を船底に格納することができた。



写真—4 船上のミキシングプラント

6.3 潜水夫

海中の作業はすべて熟練した潜水夫によった。ポンプ船はつねにプラント船に接して連絡をとった。



写真—5 潜水夫

§7. 実験 I —— プレパクトモルタル 注入試験

7.1 注入試験

この試験は単に深海での注入で、完全なプレパクトコンクリートができるかどうかを見るためである。

90cm×90cm×90cmの組立式鋼製型わくに、陸上で、粗骨材を詰め、クレーンで-39mの海底に沈めて、プレパクトモルタルをプラント船より送って注入した。



写真—6 鋼製型わく

注入モルタルはA₁配合、A₂配合のものを各1個ずつ注入した。

注入後約3週間を経過して海中より引揚げ、東京に送り、型わくを取払って表面状態を観察した。90cm立方体の各面とも豆板らしいものも見られず、良好に注入せられたものと思われた。観察後このコンクリート塊より圧縮試験用のコアを切抜いた。

7.2 打継ぎ試験

高さの大きい構造物をプレパクトコンクリートでつくる場合、1リフトの高さが制限されることがある。この場合かならず水平面の打継ぎができることになる。この打継ぎがどのような状態になるか観察するために、打継ぎ試験を行なった。

型わくは鋼製組立式で、90cm×90cm×高さ180cmとし、所定高さに打継ぎをつくるため、高さ90cmの位置にモルタルの流出するパイプを取付けた。注入パイプを2段に建込み、第1日は下段のパイプからプレパクトモルタルを注入し、流出孔以上にあがったモルタルは自由に流出させた。第2日に流出孔を木栓でふさぎ、上段のパイプから型わく上端まで注入した。型わく底部および打継面にはモルタル注入直前に、打継ぎ用セメントペーストを1パッチずつ注入しておいた。セメントペーストの配合

は次のとおり。

セメント	フライアッシュ	海 水	エ イ ド	W/(C+F)
100	40	63.6	1.2	45.4%

観察：注入の約3週間後に海底より引揚げ、東京に運搬し、型わくを取りはずした。上下のコンクリートとも完全であったが、打継ぎ目にはレイトンスが積もり、上下のコンクリートが密着しているとはいえない。配合A₁、A₂の打継ぎ状況を写真に示す。画面中色の濃い部分は水分を含んでおり、大部分はレイトンスで掻き落とすことができた。レイトンスの厚さは最大約1cm程度であった。

§ 8. 実験Ⅱ——圧縮強度試験

8.1 プレバクトモルタルの圧縮強度

試験体の作製：陸上注入というのは、鉄製モールドφ50×100に普通にモルタルを詰め、上面には載荷しな

No.	圧縮強度 (kg/cm ²)	平均
A ₁ -1	223.4	226.8
A ₁ -2	211.7	
A ₁ -3	245.4	
A ₂ -1	125.5	121.1
A ₂ -2	130.6	
A ₂ -3	107.1	

(φ50×100 陸上注入、水槽養生)

表一七 プレバクトモルタルの圧縮強度

No.	圧縮強度 (kg/cm ²)	補正強度 (kg/cm ²)	平均
A ₁ -4	223.0	226	177.7
A ₁ -5	189.5	192	
A ₁ -6	115.1	117	
A ₂ -4	177.6	180	176.5
A ₂ -5	159.2	162	
A ₂ -6	184.9	188	

(φ43×100 陸上注入、深海底養生)

表一八 プレバクトモルタルのコアの圧縮強度

った。脱型後、水温20±2℃の養生水槽に入れて養生した。このほかに海底で水圧を受けた状態で養生した試験体を製作した。18ℓの石油缶にプレバクトモルタルを詰め、直ちに海底におろし、3週間後に引揚げ、コアを採り試験をした。結果は表一七、表一八のとおり。

試験体製作日：41年2月15日

試験日：41年3月15日(28日強度)

養生：普通水槽養生(水温20±2℃)

8.2 プレバクトコンクリートの圧縮強度

試験体の作製：試験体は鉄製モールドを使用し、粗骨材を先詰めし、モルタルを注入管により自然流下させて作製したものと、深海底で注入したブロックからコアを採したものと比較した。



写真一七 クレーンで型わくを吊り下ろす

No.	重量 (kg)	圧縮強度 (kg/cm ²)	平均
A ₁ -1	12.45	189	173.3
A ₁ -2	12.53	147	
A ₁ -3	12.43	184	
A ₂ -1	12.03	144	138.0
A ₂ -2	12.10	116	
A ₂ -3	12.02	154	

(φ150×300 陸上注入、水槽養生)

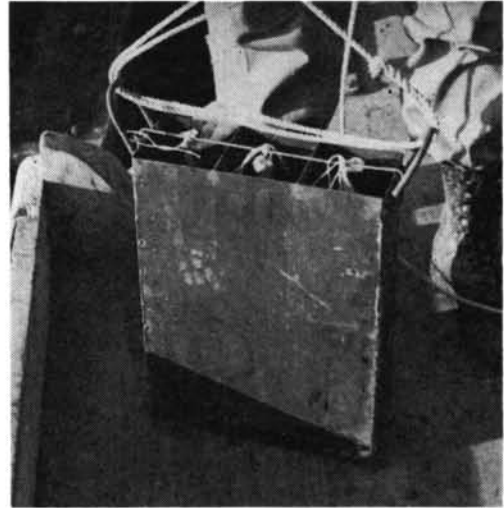
表一九 プレバクトコンクリートの圧縮強度

No.	重量 (kg)	圧縮強度 (kg/cm ²)	平均
A ₁ -4	12.77	168	160.7
A ₁ -5	12.73	157	
A ₁ -6	12.55	157	
A ₂ -4	12.56	164	171.0
A ₂ -5	12.39	175	
A ₂ -6	12.56	174	

(φ150×300 深海底注入および養生)

表一10 プレパクトコンクリートのコアの圧縮強度

その試験結果は表一9, 表一10のとおりである。
 試験体製作日: 41年2月15日
 試験日: 41年3月15日
 養生: 普通試験体: 水槽養生 (水温20±2℃)
 養生: コア : 39mの海底 (水温6~7℃)



写真一9 ポリエチレン袋の養生箱

・2月15日の注入に使用したモルタル
 気温2℃, 水温6℃

§9. 実験Ⅲ——モルタルの膨張およびブリージング

注入モルタルの膨張率およびブリージング率を測定した。



写真一8 船上でブリージングおよび膨張の測定

測定方法は、ポリエチレン袋とメスシリンダーを使用する方法と、メスシリンダーに直接モルタルを入れる方法の2種類を行なった。しかし、練り混ぜ時のモルタル温度も低く、気温および水温もきわめて低く、膨張には不利であったこと、海中養生の場合も測定は船上に引揚げて行なったので、当然圧力の変化を受けているので、正しい値を示していない場合もある。したがってここでは養生条件と測定結果のみを示すにとどめる。

9.1 ポリエチレン袋法による測定

小野田セメント使用, 船上養生 (%)

No.	配 合 時 間	A ₁ 配 合		A ₂ 配 合	
		3時間	20時間	3時間	20時間
1	ブリージング	1.11	8.00	3.87	2.70
	膨 張	6.36	9.05	8.84	10.50
2	ブリージング	2.92	5.81	1.21	0
	膨 張	3.49	7.56	8.49	9.10
3	ブリージング	2.78	5.55	0.64	—
	膨 張	2.22	5.55	8.98	—

表一11 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率 (1)

小野田セメント使用, 深海底養生 (%)

No.	配 合 時 間	A ₁	A ₂
		3時間	3時間
1	ブリージング	2.79	2.11
	膨 張	6.14	5.26
2	ブリージング	4.90	2.60
	膨 張	6.52	6.50
3	ブリージング	2.72	1.88
	膨 張	6.55	8.13

表一12 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率 (2)

小野田セメント使用, 深海底養生 (%)					
No.	配 合 時 間	A ₁		A ₂	
		20時間	20時間	20時間	20時間
1	ブリージング	6.30	3.90		
	膨 張	-2.28	0		
2	ブリージング	2.22	3.23		
	膨 張	-8.90	0		
3	ブリージング	5.37	2.65		
	膨 張	-3.33	1.59		

表-13 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率 (3)

・2月16日試験練りモルタル
気温7℃, 水温6℃

アサノセメント使用, 船上養生 (%)					
No.	配 合 時 間	A ₁		A ₂	
		3時間	20時間	3時間	20時間
1	ブリージング	4.05	4.73	1.27	0.64
	膨 張	5.40	4.73	9.55	7.06
2	ブリージング	2.84	4.55	1.87	0.63
	膨 張	5.11	5.68	10.00	8.75
3	ブリージング	5.10	5.10	1.90	0.63
	膨 張	7.00	5.73	9.50	8.23

表-14 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率 (4)

アサノセメント使用, 海中-19m養生 (%)

No.	配 合 時 間	A ₁		A ₂	
		3時間	3時間	3時間	3時間
1	ブリージング	1.78	0		
	膨 張	6.51	5.15		
2	ブリージング	0.62	5.34		
	膨 張	4.94	6.94		
3	ブリージング	1.90	0		
	膨 張	5.06	6.11		

表-15 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率 (5)

9.2 メスシリンダー法による測定

容量1000ccのメスシリンダーにモルタル800ccを入れ、ブリージング率および膨張率を測定した。

アサノセメント使用, 深海底養生 (%)					
No.	配 合 時 間	A ₁		A ₂	
		3時間	3時間	3時間	3時間
1	ブリージング	3.48	0.57		
	膨 張	4.16	6.86		
2	ブリージング	3.33	2.16		
	膨 張	4.02	5.95		
3	ブリージング	—	0.57		
	膨 張	—	6.86		

表-16 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率(6)

アサノセメント使用, 深海底養生 (%)					
No.	配 合 時 間	A ₁		A ₂	
		20時間	20時間	20時間	20時間
1	ブリージング	0.59	1.17		
	膨 張	-2.36	5.26		
2	ブリージング	0.62	2.50		
	膨 張	3.70	2.50		
3	ブリージング	0	3.53		
	膨 張	-3.33	3.53		

表-17 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率(7)

小野田セメント使用, 船上養生 (%)								
配 合	時 間(分)	15	30	60	90	120	150	180
		A ₁	ブリージング	0.40	1.00	1.05	1.18	1.58
膨 張	0		0	1.32	2.63	3.55		5.27
A ₂	ブリージング	0.63	1.12	—	—	1.25	2.00	2.50
	膨 張	0.63	1.25	—	—	3.75	5.12	6.25

表-18 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率(8)

アサノセメント使用, 船上養生 (%)								
配 合	時 間	15	30	60	90	120	150	180
		A ₁	ブリージング	0.62	—	0.37	1.00	1.88
膨 張	0		—	2.24	5.35	7.45	—	9.30
A ₂	ブリージング	—	—	0.63	0.63	0.38	—	0.76
	膨 張	—	—	5.28	7.55	8.55	—	10.70

表-19 プレパクトモルタルのブリージング率及び膨張率 (9)

- ・ 2月16日試験練りモルタル
 気温 8℃, 船上養生
 採取直後のモルタルの温度 0.9℃

(表—18, 表—19参照)

§ 10. 試験結果の検討

10.1 膨張率およびブリージング率について

(1) 膨張率の測定にアサノセメントと小野田セメントの2種類を使用したのは、数年前大船渡湾内において、小野田セメント大船渡工場の1万トン棧橋工事で、プレパクトコンクリートを施工したさい、プレパクトモルタルの膨張率がはなはだしく小さかったので、今回は標準としてアサノセメントでも試験を行なってみた。

試験結果の諸表に示すように、アサノセメントの方が膨張率大きい、小野田セメントの場合もブリージング後にもモルタルの実体積の膨張率も得ているので、注入後粗骨材の下端に付着不充分的箇所を生じ、そこに余剰水のたまるおそれがないことが判明した。

(2) イントルジョンエイドの量を、標準量としたときをA₁配合とし、2倍量使用したときをA₂配合として両者の比較を行なった。エイド量を2倍にすれば、モルタルの流動性に影響し、水量も減少するが、それらを考慮せず、同じ配合でエイド量のみを変化させた。試験結果から見れば深さ40mの海底では、4 kg/cm²の水圧を受けているがA₁配合で充分良好なモルタルであることが判明した。

(3) 4 kg/cm²程度の圧力下では、エイド中のAl粉末とセメント中のアルカリ分の化学反応はほとんど抑制されないといわれている。しかし一応化学反応によって生じた水素ガス気泡は、ボイル・シャルルの法則によって体積が減少するので、膨張率に影響する。これらは厳しい条件下の現場の試験では正確な結果が得られないので、室内実験で確かめたい。

(4) 混練後3時間経過と20時間経過のモルタルは、後者が体積減少しているものがあるが、これは3時間経過した場合、試料を海中から引上げて計測するため、圧力を解放した状態となるのと、20時間経過は凝結完了後と考えられ、引揚げても圧力変化の影響を受けなかったものと推定される。

(5) 膨張率等の管理は、現場ごとに行なうもので、今回の膨張率等の試験結果だけから深海プレパクトコンクリートの適否を判断すべきではなく、配合、粗骨材粒度、セメントの種類、気温、水温、注入条件等から各現場に

おいてその工事に最も適当な膨張率等をもったモルタルを製造すべきであり、また可能である。

10.2 プレパクトモルタルおよびコンクリートの圧縮強度

船上および深海底で養生されたプレパクトモルタルと、そのモルタルを注入して作られたプレパクトコンクリートの圧縮強度を比較すると次表のとおりである。

	配合	コンクリート 圧縮強度(kg/cm ²)	モルタル 圧縮強度(kg/cm ²)	注入時 温度
深海底 注入	A ₁	160.7	177.7	水温 6℃
	A ₂	171.0	176.5	〃
船上 注入	A ₁	173.3	226.8	気温 2℃
	A ₂	138.0	121.1	〃

表—20 プレパクトモルタルおよびコンクリートの圧縮強度比較表

一般にコンクリートの圧縮強度は、使用されたモルタルの圧縮強度よりもいくらか低いといわれているが、上表のとおりほとんど差がない。これは注入が完全に行なわれ、良質なコンクリートができていていることを示す。

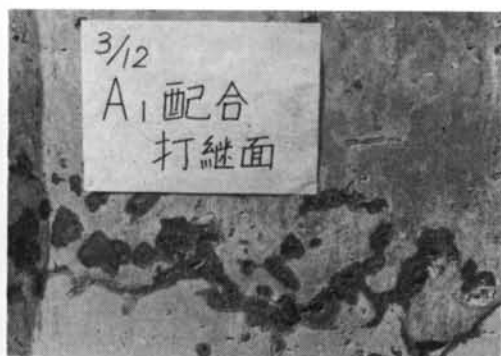
また試験結果の圧縮強度は全体に低いが、これは養生温度が低いため、長期材令では強度の伸びが期待できる。また船上注入したA₂配合はモルタル・コンクリートとも強度が低いのは、圧力を受けない陸上注入の場合はエイド量が過多で、膨張率が大き過ぎ、圧縮強度に影響したものと考えられる。

10.3 打継ぎ面の観察

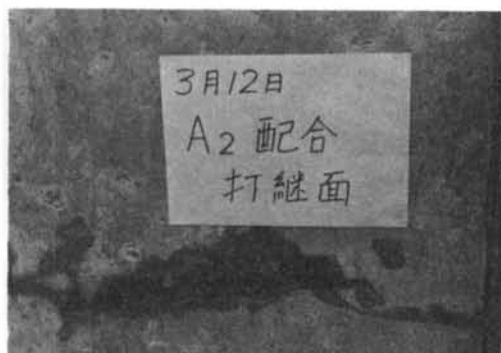
(1) 型わくの中間の高さにモルタルの流出孔を設けて、第1日は粗骨材を詰めた型わくの下半にモルタルを注入し、余分のモルタルを流出させて木栓でプラグし、翌日別の注入パイプからモルタルを送った。打継ぎ面にはレイタンスがたまり、上下のプレパクトコンクリートが完全に打継がれていないであろうと予想された。深海底で21日間養生した後、引揚げて脱型し、打継ぎ部を観察した。写真に示すとおりである。

レイタンスは最高1cm程度であった。打継ぎ面を含むコアを採取することは困難なので、曲げ強度試験は行なわなかった。

(2) 打継ぎ面のレイタンスの除去は、深海プレパクトコンクリートの今後に残された最大の問題点であろう。上下の普通に打設した部分は外観上何ら欠点のないものであった。



写真一10 A₁配合打継ぎ面



写真一11 A₂配合打継ぎ面

10.4 試験方法について

試験方法は土木学会のプレパックドコンクリート試

験方法(案)およびプレパクト社の General Specification for PREPAKT Concrete によったが、これらの方法では深海底におけるプレパクトモルタルの諸性質を十分に表わし、それによって管理されたモルタルの注入によって完全なコンクリートが得られるかどうか、さらに検討される必要がある。

§ 11. 後 記

深海コンクリートの本実験によって、-40mでも完全なプレパクトコンクリートができ、-80m程度でも信頼できる見とおしを得た。しかし打継ぎ面の問題、試験方法と施工管理の関係等今後解決すべき事項も一層重要であることがわかった。また本実験では観察できなかったが、被圧下の流動性の問題も、今後の実験にまたなければならぬ。

試験方法については、現在実施中の『高圧下のプレパクトモルタルおよびコンクリートの性質』の諸実験によって、ある程度の目安を得られる見込みである。

本実験に大きな援助をいただいた、大船渡湾防波堤工事現場の石黒工事課長ほか関係者の方々に感謝の意を表します。

