

# 特殊水中コンクリートの練り混ぜ方法に関する実験(連続ミキサの適用)

## Experimental Study on Mixing of Underwater Concrete (Application of Concrete Mobile)

松井 健一\*  
Kenichi Matsui

高橋 秀樹\*  
Hideki Takahashi

### 要 約

本報告書は、あらかじめ特殊水中混和剤をセメントに混合したプレミックスセメントを用い、練り混ぜに連続ミキサを使用して製造した特殊水中コンクリートの品質および性状試験の結果について報告し、このシステムの利用の可否などについて検討したものである。

実験は、連続ミキサでの練り混ぜ性能の評価と、プレミックスセメントを使用した特殊水中コンクリートの品質と流動特性の確認について行った。

実験の結果、これらの製造システムと従来の方法に関して次のようなことが確認できた。

- ①プレミックスセメントは特殊水中コンクリートの製造にたいへん有効である。
- ②特殊水中コンクリートの練り混ぜに連続ミキサの使用が十分可能である。
- ③スランプフローが50cm程度の特殊水中コンクリートを水中に打設したときの、硬化後の流動勾配は約1/15程度であった。

### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 実験概要
- §3. 実験結果
- §4. まとめ
- §5. おわりに

## §1. はじめに

特殊混和剤を添加した特殊水中コンクリートは関西新空港建設工事など大型海洋工事にも採用されており、その需要は今後一層増加するものと思われる。

当社においてもこの特殊水中コンクリート工法を「マークリート」工法と称し、鳴門出張所など多くの施工実績を有している。

この特殊水中コンクリートは粘性が非常に大きいため、ミキサやアジテータトラックへの付着が著しく、洗浄等が煩雑となり、製造・運搬の効率が低下するといわれている。このため中小規模の工事では、生コン工場での製造がネックとなっている場合が多いようである。

そこで改善策として、特殊水中コンクリートを現場で簡便に製造することを考え、その方法として連続ミキサの適用を考えた。しかし、特殊水中コンクリートは水中での分離抵抗性の向上のために、2～3kg/m<sup>3</sup>の特殊混和剤と施工性の改善のために流動化剤を添加するものである。連続ミキサではその構造上、少量の特殊混和剤をコンクリート中に均一に十分分散させたり、また複数の混和剤を添加するような練り混ぜは困難とされてきた。このため特殊水中コンクリートの練り混ぜに連続ミキサを用いることを考えた場合、一旦連続ミキサで練った普通コンクリートに、再練り用連続ミキサを用いてさらに特殊混和剤を添加し練り混ぜを行っている。

小野田セメント(株)によってセメントの中にあらかじめ特殊混和剤をプレミックスする技術が開発され、特殊混和剤の添加の不安が解消された。

そこで、このプレミックスセメントを用いて、連続ミキサで特殊水中コンクリートを製造することについて検討を行った。

## §2. 実験概要

\*技術研究部技術研究所係長

2-1 プレミックスセメントの性状

特殊水中コンクリートはセルロース系またはアクリル系の特殊混和剤を1㎡当り2~3kg添加し、コンクリートに粘性を与え水中での分離抵抗性を向上する。このため混和剤の効果を十分に発揮させるためには十分な練り混ぜが必要となる。

特殊水中コンクリートの練り混ぜにおいては、特殊混和剤の添加量が少量であるため、骨材やセメント等の計量とは別に特殊混和剤を計量しミキサーに直接投入したり、また混和剤がコンクリート中に均一に分散するように、ミキサーでの十分な空練り作業が必要となる。

これらの作業の合理化およびコンクリート品質の向上を目的として、特殊混和剤をあらかじめセメントに混合したプレミックスセメントが開発された。

このプレミックスセメントを用いた特殊水中コンクリートの品質について、特殊混和剤をコンクリートプラントで別に添加する従来法のものと比較した。コンクリートの練り混ぜは、いずれもバッチミキサーを用いて行った。試験の結果を Table 1 に示す。試験の結果より次のことが考えられる。

- (1) まだ固まらないコンクリートのコンシステンシーを比較すると、プレミックスセメントを用いたコンクリートのスランプフローが約5cm程度小さくなっている。これは添加した混和剤量が同量でも、混和剤の混合状態が良好であるため、コンクリートの粘性が増大し、スランプフローが小さくなったものと思われる。
- (2) 空気量は混和剤の添加方法および練り混ぜ時間に余り左右されず、試験ではいずれも3%程度であった。
- (3) 特殊水中コンクリートの分離抵抗性の指標となる試験として、水中落下による濁度・pH試験がある。試験方法は、1000cc用のビーカに800ccまで水を入れたものに、特殊水中コンクリートを500g投入し、その濁り水を採用

し濁度とpHの測定を行うものである。従来法の練り混ぜでは、空練りを行うと濁度は50ppmであるが、空練りを行わないコンクリートでは300ppm以上となる。一方プレミックスセメントを用いたものは、練り混ぜ時間が30秒でも濁度は70ppmとなり、特殊混和剤の効果がより一層発揮されていると考えられる。

(4) コンクリートの圧縮強度は、従来法のは練り混ぜ時間が長いほど、また空練りを行ったものの方が大きな強度を示している。しかし、プレミックスセメントを用いると練り混ぜ時間の長短にかかわらず、圧縮強度は従来法の空練りを行ったもの以上であった。また、強度比(気中作成供試体強度に対する水中作成供試体強度)は、空練りを行わない従来法では約65%であったが、プレミックスセメントを用いたものや空練りを行う従来法のもののは80%を越えていた。

以上のことから、コンクリートの分離抵抗性はプレミックスセメントを用いたものが優れていると考えられた。

また、特殊水中コンクリートの製造にプレミックスセメントを用いると、空練りを行わなくても特殊混和剤の均一な練り混ぜが可能となり、練り混ぜ時間も短縮できると考えられた。

2-2 使用材料と配合

実験に用いた材料を Table 2 に示す。

セメントは普通ポルトランドセメントにセルロース系特殊水中コンクリート用混和剤をセメント重量に対して0.7%の割合でプレミックスしたものを、流動化剤は高縮合トリアジン系のものを用いた。

特殊水中コンクリートの配合は、連続ミキサーの練り混ぜ性能を検討するため、軟練り(スランプフローが50cm程度のもの)と中硬練り(40cm程度のもの)の2種類を選定した。

Table 1 プレミックスセメントの性能評価試験

混和剤の添加方法		従 来 法			プレミックスセメント使用		
		空練 30s 本練120s	本練120s	本練60s	本練120s	本練60s	本練30s
測定項目	No.	1	2	3	4	5	6
スランプフロー (cm)		50.0	55.7	53.6	50.2	47.8	46.7
空気量 (%)		3.0	3.0	2.8	3.1	3.2	2.7
pH		11.21	11.94	11.98	10.93	11.07	11.07
濁度 (ppm)		53	310	500	49	54	72
圧縮強度 $\sigma_{28}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	気 中	295	282	268	320	301	309
	水 中	248	189	176	266	242	246
	水中/気中	0.84	0.67	0.66	0.83	0.80	0.80

Table 2 使用材料

材 料	種類・名柄	メーカー・産地	備 考
セメント	水中セメント	小野田セメント(株)	普通ポルトランドセメント+特殊混和剤(0.7%)
(特殊混和剤)	エルコン	(株)小野田	セルロース系
流動化剤	UC-150	ボゾリス物産(株)	高縮合トリアジン系
粗骨材	川砂利(G <sub>25</sub> )	相模川産	比重=2.68, 吸水率=0.80, FM=7.16
細骨材	川砂	相模川産	比重=2.56, 吸水率=1.67, FM=3.31
混練水	飲料水		

Table 3 コンクリートの配合

配合	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプフロー値(cm)	空気量の範囲(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
						水(W)	セメント(C)	細骨材(S)	粗骨材(G)	特殊混和剤	流動化剤
A	25	50	3 ± 1	53.2	42	210	400	714	966	2.8	12
B	25	40	3 ± 1	45.7	42	180	400	748	1013	2.8	12

コンクリートの単位セメント量は400kg/m<sup>3</sup>とし、従って特殊混和剤量は2.8kg/m<sup>3</sup>になる。流動化剤の量はセメント重量の3%に固定し、所要コンシステンシーを得るための水量はバッチミキサによる試験練りによって決定した。

実験に用いた特殊水中コンクリートの配合を Table 3 に示す。

2-3 コンクリートの練り混ぜ

特殊水中コンクリートの練り混ぜは Fig. 1 に示すような連続ミキサを用いて行った。

連続ミキサは、セメント、骨材のホップや水、混和剤などのタンクと、これらの材料を容積計量する機構及びミキサ部から構成される。各材料を容積計量するため、これらの量の制御にベルトフィーダーにカットゲートや調整用バルブ等が設けられている。

実験に先立ち、実際に使用する各材料について、容積計量装置の目盛りと所定時間に供給される材料の実測質量の関係を求める現場キャリブレーションを行い、材料供給量の調整を行った。

実験に用いた連続ミキサ(CM-250)の仕様を Table 4 に示す。

Table 4 連続ミキサの仕様

型 式	CM-250 (定置式)	
混練能力	25 m <sup>3</sup> /h	
総重量	7800kg	
ホップ容量	セメント	1.4 m <sup>3</sup>
	砂	4.0 m <sup>3</sup>
	砂利	4.0 m <sup>3</sup>
	水	1.4 m <sup>3</sup>

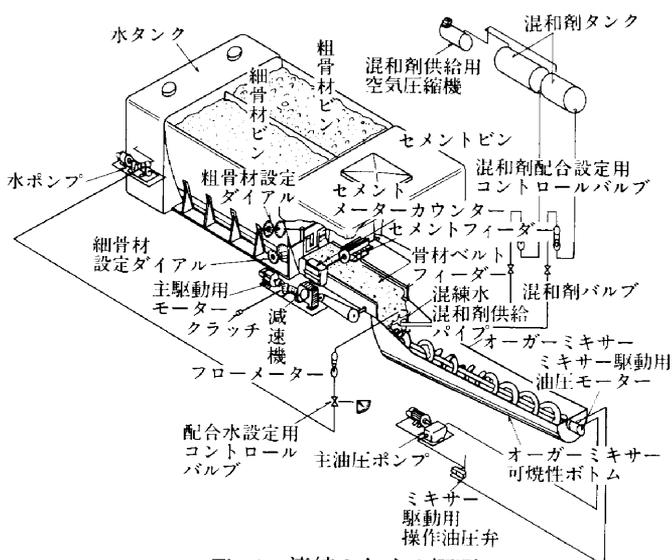


Fig.1 連続ミキサの概要

練り混ぜ実験におけるコンクリートの時間当りの製造量は、特殊水中コンクリートが単位セメント量の多い粘性の大きいものであることから、予備実験によってミキサの公称能力の1/2 (12.5m<sup>3</sup>/h) とした。

また、製造されたコンクリートの性状を、試験室で100ℓの強制練りミキサを用いて練り混ぜを行ったコンクリートと比較を行った。

2-4 実験項目と方法

連続ミキサによる特殊水中コンクリートの練り混ぜに関する実験は、次の項目について行った。

(1) ミキサの練り混ぜ性状試験

連続ミキサは材料の容積計量と練り混ぜを連続して行うため、製造されたコンクリートの均等性について確認する必要がある。そこで、土木学会規準「連続ミキサの練り混ぜ性能試験方法(案)」に準拠して、次のような方

法で練り混ぜ性能の評価を行った。

①試料の採取

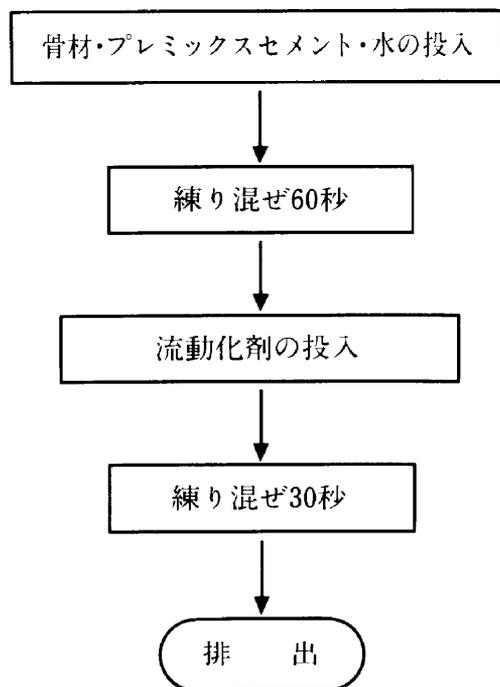
試料は、ミキサの標準廃棄量として約50ℓのコンクリートを排出したのち、約100ℓの量のコンクリートを第1回目の試料として採取する。ついでコンクリートを4分間排出(約800ℓ)したのち、第2回目の試料採取を行う。

②試験項目

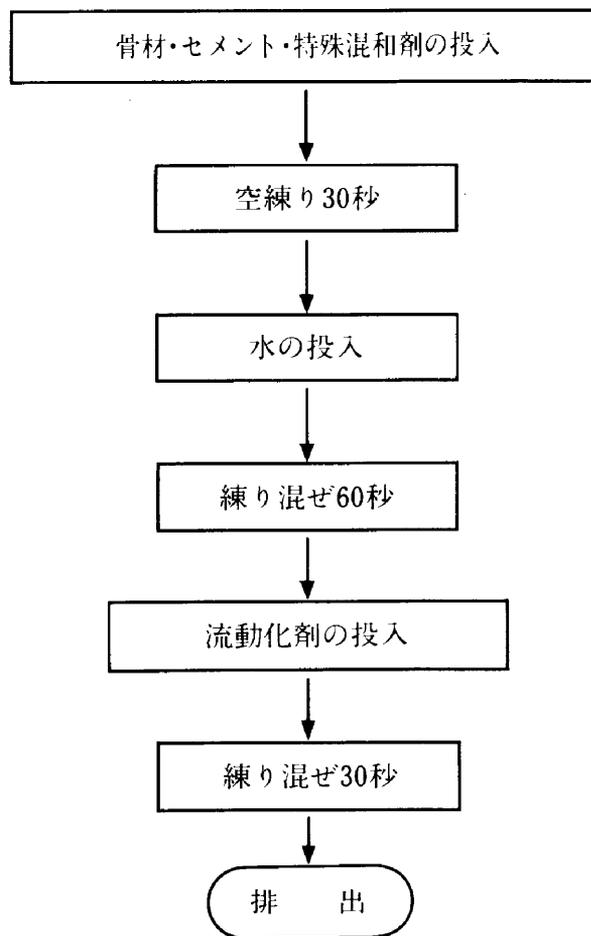
採取した2つの試料について次の項目の試験を行う。

- (a)空気量試験 (JIS A 1128「まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法」に準拠)
- (b)スランプフロー試験(「特殊水中コンクリートマニュアル」に準拠)
- (c)モルタルの単位容積質量差 (JIS A 1119「ミキサで練り混ぜたコンクリートの中のモルタルの差および粗骨材量の差の試験方法」に準拠)
- (d)単位粗骨材量差 (JIS A 1119に準拠)
- (e)圧縮強度試験 (JIS A 1108「コンクリートの圧縮

(プレミックスセメント使用)



(従来法)



強度試験方法」に準拠)

③練り混ぜ性能の評価

ミキサ練り混ぜの最初と最後の部分から採取した2つの試料について、上記の試験によって両者のコンクリートの性状の差を比較し、土木学会規準に示されている規準値によって練り混ぜ性能の評価を行う。

(2) バッチミキサとの性状比較試験

連続ミキサとバッチミキサによって練り混ぜた特殊水中コンクリートの性状比較を、スランプフロー、空気量、圧縮強度について行った。また、特殊水中コンクリートの水中分離抵抗性については、水中で作成した供試体の圧縮強度によって評価した。

バッチミキサでの特殊水中コンクリートの混練方法は Fig. 2 のように行った。

なお、水中での供試体は「特殊水中コンクリート用混和剤品質規準(案) (沿岸開発技術センター) に拠り、型枠 (φ10cm×H20cm) 底面までの水深を50cmにして、およそ2ℓのコンクリートをほぼ等しい量ずつ15回に分けて水面からの自由落下で作成した。

Fig.2 特殊水中コンクリートの練り混ぜ方法

(3) 流動性実験

特殊水中コンクリートは粘性が大きくプラスチックシーに富み分離が少なく、セルフベリング性・充填性にも優れている。

連続ミキサで練り混ぜた特殊水中コンクリートのベリング性状並びに水中での流動によるコンクリートの品質劣化を検討する目的で、Table 3 に示す A 配合(軟練り)のコンクリートを使用して、一次元方向での流動性実験を行った。

連続ミキサによって練り混ぜられた特殊水中コンクリートを、水を張った水槽(L10m×B0.6m×H0.6m)の中央部より、水槽内に設けたホップからコンクリートの水中自由落下高が20~50cm程度になるようにして打設した。

なお、特殊水中コンクリートの障害物に対する越流の状況を調べるために、水槽の片側には端部と中央の中間の位置に高さ20cmの堰を設けた。

実験では、コンクリート打設後に各測点におけるコンクリート天端高さの測定を行い、打設箇所からの流動勾配を求めるとともに、各測点でコンクリートコアの採取を行い、打設位置からの距離と圧縮強度との関係について調べた。

§ 3 . 実験結果

3-1 ミキサの練り混ぜ性状試験

連続ミキサでの練り混ぜの初期と終わりの部分で採取した2つの試料の性状を Table 5 に示す。

Table 5 ミキサの練り混ぜ性状試験結果

項目	A 配合		B 配合	
	初めの部分	終りの部分	初めの部分	終りの部分
スランプフロー (cm)	48.1	49.7	41.0	40.4
空気量 (%)	2.9	2.7	2.6	2.5
モルタルの単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	2067	2071	2096	2089
単位粗骨材量 (kg/m <sup>3</sup> )	1072	1017	1100	1118
圧縮強度(σ <sub>28</sub> ) (kgf/cm <sup>2</sup> )	250	260	381	364

両者の性状を比較して土木学会規準(案)の練り混ぜ性能の評価を行った結果を Table 6 に示す。

試験の結果、軟練り(A配合)、中硬練り(B配合)のコンクリートとも、練り混ぜ性能は土木学会の規準値を満足しており、コンクリートは均等に練り混ぜられてい

Table 6 練りませ性能の評価

配合の種類	A	B	土木学会規準評価
空気量差 (%)	0.2	0.1	1.0以下
スランプフロー差 (cm)	1.6	0.6	-
コンクリート中のモルタルの単位容積重量差 (%)	0.1	0.2	0.8以下
コンクリート中の単位粗骨材重量差 (%)	2.6	0.8	5.0以下
圧縮強度差 (%)	2.0	2.3	2.5以下

ると考えられる。また、排出されたコンクリートのスランプフローの差も2cm以内の範囲にあり、連続ミキサで練り混ぜられるコンクリートのコンシステンシーも安定しているものと考えられる。

以上のことから、プレミックスセメントを用いた特殊水中コンクリートは、連続ミキサによって十分なる品質のコンクリートの練り混ぜが行えることが確認できた。

3-2 バッチミキサとの性状比較試験

連続ミキサとバッチミキサによって練り混ぜられた特殊水中コンクリートの性状比較を Table 7 に示す。

Table 7 コンクリートの性状比較

配合	混練方法	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度σ <sub>28</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )		強度比水中/標準
				標準	水中	
A	連続ミキサ	48.9	2.8	255	246	0.96
	バッチミキサ	51.9	2.5	283	261	0.92
	連続ミキサ			0.90	0.94	
	バッチミキサ					
B	連続ミキサ	40.7	2.6	373	351	0.94
	バッチミキサ	39.4	2.4	405	380	0.94
	連続ミキサ			0.92	0.92	
	バッチミキサ					

両者のコンクリートを比較すると、スランプフローや空気量については、特に練り混ぜ方法の差は認められなかった。

特殊水中コンクリートの水中打設における分離抵抗性の指標となる強度比(気中作成の供試体強度に対する水中作成の供試体強度)には、練り混ぜ方法による差は認められず、またその値も0.92~0.96と、水中作成による圧縮強度の低下は少なかった。これはプレミックスセメントを使用することにより、特殊混和剤がコンクリート中に均一に分散し、水中での分離抵抗性が十分発揮されたためと思われる。

3-3 流動性実験

連続ミキサによって練り混ぜられた特殊水中コンクリートを水槽内へ打設し、硬化後コンクリート高さの測定

を行い、さらにコアボーリングによって試料を採取し圧縮強度試験を行った。

打設したコンクリートは Table 5 の A 配合とし、打設後14日間の潭水養生後、コンクリート面のレベル測定とコアボーリングを行った。供試体は材令28日まで20°Cの水中養生を行い試験に供した。連続ミキサによるコンクリートの打設の状況を Photo 1 に、実験結果を Fig. 3 及び Table 8 に示す。

水槽へ打設したコンクリートの流動勾配は、打込み場所から 4 m 離れた場所までは 1/15 程度であった。

また、水槽内に設置した仕切り板に対して、コンクリートはその越流部で板より約 5 cm 程度高かった。これは特殊水中コンクリートが粘性に富み、表面張力も大きいために生じた現象と思われる。

なお、水槽の先端部における流動勾配は 1/20 であっ

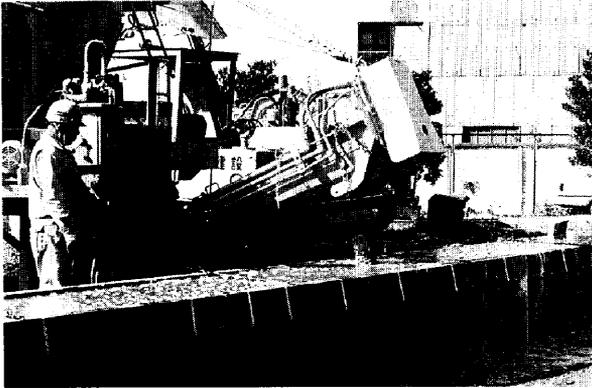


Photo 1 コンクリートの打設状況

たが、これは流動したコンクリートが水槽端部ではね返り、勾配が緩やかになったものと考えられる。

コンクリートの圧縮強度は、打設位置から 2 m 離れた地点まではほとんど変わらず、水中作成の供試体の強度を超えていた。しかし、3 m 離れた地点での強度は打設地点の強度に較べて 8 割に、また 4 m 地点では 7 割と減っていた。

本実験は特殊水中コンクリートの一次元方向での流動性状について検討したが、実際の施工におけるコンクリートは広範囲の二次元方向の流動となる。

一次元方向の実験では、水槽側面での摩擦抵抗や打設

Table 8 流動性実験結果

測点	打設地点からの距離 (m)	打設コンクリート高 (cm)	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
①	0.5	42.5	255
②	打設地点	45.0	256
③	0.5	42.0	239
④	1.0	38.0	230
⑤	1.5	33.5	242
⑥	2.0	30.5	240
⑦	3.0	24.0	212
⑧	4.0	17.5	175
⑨	5.0	18.0	—
標準供試体	(気中作成)		261
	(水中作成)		235

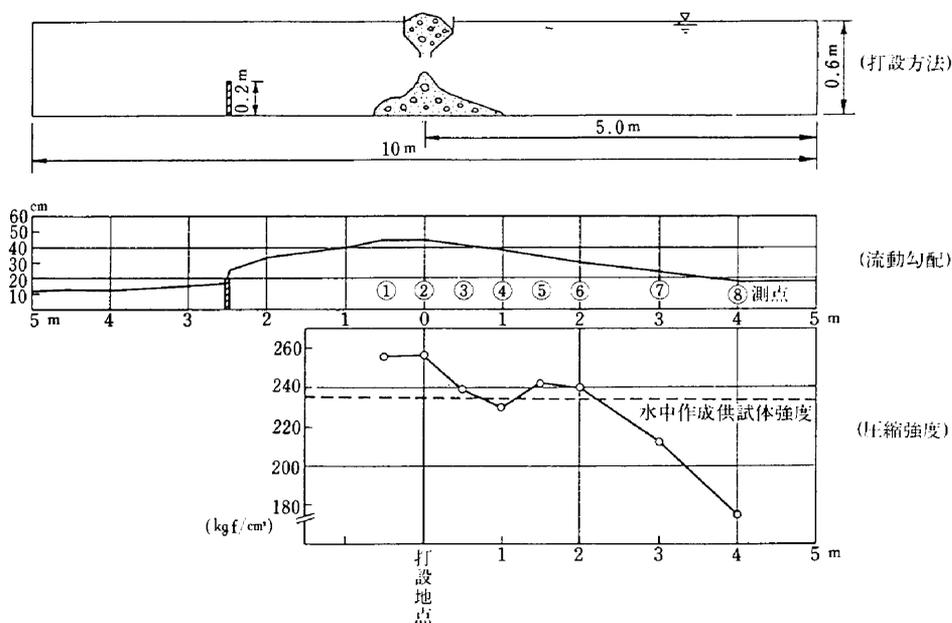


Fig.3 流動性実験

したコンクリートの水槽面でのね返りによる分離等が生じるため、実施工に比べ流動勾配は急となり、またコンクリートの品質もやや低下するものと考えられる。

#### § 4. まとめ

従来の特殊水中コンクリートの練り混ぜでは空練りが必要であり、連続ミキサを使用する場合は、別に専用のミキサを設置しなければならなかった。また、連続ミキサを用いて特殊水中コンクリートを製造した場合は、水中コンクリート用特殊混和剤の均一な練り混ぜが不十分であると、コンクリート品質のバラツキが大きくなり、そのため特殊混和剤の使用量もバッチミキサ使用時より約2、3割多く必要としていた。

しかし、特殊混和剤をプレミックスしたセメントを用いると、空練りを行わなくても均質のコンクリートを製造できることが確認された。また、連続ミキサで製造した特殊水中コンクリートの性状は、バッチミキサのものと較べほとんど品質の変わらないものが得られた。

特殊水中コンクリートの流動性実験では、スランプフロー50cm程度のコンクリートの流動勾配は1/14~1/15程度と推測されたが、高いレベリング性が要求される場合にはスランプフローで55~60cm程度のものを考慮する必要があると思われる。

また、流動距離と圧縮強度との関係では、本実験では打設箇所から4 m離れた場所ではコンクリートの圧縮強度は70%に低下しており、実施工などでの1本のトレミー管の受持ち面積を決めるのに参考になると思われる。

#### § 5. おわりに

本実験では、特殊混和剤をプレミックスしたセメントを使用することにより、特殊水中コンクリートの製造を連続ミキサで行うことが可能であることを確認した。

しかし、プレミックスセメントや混練り方法に対しては今後の問題や課題として次のことが掲げられよう。

##### (1) プレミックスセメントの品質確認

プレミックスセメントは工場特殊混和剤を混合したものであるため、その混合率を確認する簡易な試験が必要になると思われる。また、保存中の品質劣化に対しても、セメントと混和剤の両者についての確認が必要となる。

##### (2) 配合変更の対応

プレミックスセメントには一定量の混和剤が添加され

ているため、施工途中での配合の変更に対しては問題がある。

本実験にあたり、小野田セメント(株)中央研究所の伊藤主任研究員をはじめ、(株)小野田並びに当社平塚製作所の諸氏に多大な御指導、御協力をいただきました。この紙面を借りて謝意を表します。