

特殊混和剤を用いた新しい水中コンクリート（マークリート）の性状に関する研究

Fundamental Study on New Underwater Concrete Properties with Peculiar Admixture

高橋 秀樹*
Hideki Takahashi

前川 一行**
Kazuyuki Maekawa

松井 健一**
Kenichi Matsui

要 約

特殊混和剤を添加した新しい水中コンクリートは、材料分離を少なくしたもので、振動締固めが不要なことで、陸上と同様に打設できる施工性とあいまって、今後その必要性が高くなると思われる。

本研究は、その基礎性状試験において、流動特性や保水性、水中での分離抵抗性を明らかにし、それとともに配合設計の確立を目的としたものである。さらに、水槽を用いての模型実験も試み、水中コンクリートとしての適応性についても検討を加えたものである。

なお、当社では、この新しい水中コンクリートをマークリートと名付けた。

目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 新しい水中コンクリートの性状
- § 3. 水中模型実験
- § 4. まとめ
- § 5. あとがき

§ 1. まえがき

水中コンクリートの施工は、通常のコンクリートを底開き箱、トレミー管およびポンプを用いて直接打設したり、プレパックドコンクリート工法によって行われてきた。しかし、これらの工法では、施工条件によっては、水中で材料が分離し、セメント分が流出し、水質を汚染したりして品質の低下が避けられなかった。

近年の水中コンクリート工法の開発においては、コンクリートを水中で分離させない打込装置の改良に関するものが多かった。

こうした状況のもとで、最近、薬品・化学メーカー各

社は、水中での材料分離を抑制するためには、セメントペーストの粘性を高め、骨材との結合力を強めることが有効であると考え、コンクリートの品質を変えることなく、水中で分離が少なくなるような特殊混和剤を開発した。

現在、この混和剤を用いて新しい水中コンクリート工法の開発が各方面で行われている。

本研究は、新しい水中コンクリートの性状を調べるため、流動性や保水性、水中での分離抵抗性等の基礎性状試験を行った。さらに、配合を確立するため、水槽を用いての模型実験を行い、特殊混和剤の添加量について検討するとともに、打設方法による影響や流動性状を調べ水中コンクリートとしての検討を加えてみた。

§ 2. 新しい水中コンクリートの性状

2-1 特殊混和剤

水中コンクリート用の特殊混和剤は、セルロース系水溶性高分子を主成分とするものとアクリル系の水溶性高分子を主成分とするものの2種類があり、今回は、セル

*技術研究部技術研究所
**技術研究部技術研究所係長

ローズ系のものを使用した。(アスカクリーン：信越化学工業(株)製)

また、特殊混和剤を添加すると、コンクリートは粘性を増し、作業性が著しく悪くなる。これを改善するために流動化剤を助剤として用いるのが一般的である。今回の一連の実験には、メラミンスルホン酸塩系のものを用いた。

2-2 新しい水中コンクリートの配合設定

土木学会のRC示方書によると、水中コンクリートの配合は、水セメント比が50%以下、単位セメント量は370 kg/m³以上と規定されている(スランプは打設方法に応じた値となっている)。

以上の規定に基づいて、配合を計画したが、特殊混和剤を用いたコンクリートでは、所要のコンシステンシーを得るのに、単位水量が増加する傾向にあり、水セメント比を50%以下に押さえることは難しい。従って、新しい水中コンクリートの基礎性状を調べる試験の配合は、Table 1に示す条件にしたがって、特殊混和剤の添加量や単位水量を変えて、所要のコンシステンシーを得ることとした。

Table 1 配合条件

1	単位セメント量	350, 375, 400kg/m ³
2	細骨材率	42%(一定)
3	混和剤(アスカクリーン)の添加量	1.0, 2.0, 3.0kg/m ³
4	助剤(NP-20)の使用量	2%(対セメント)

コンクリートの練り混ぜは、20ℓの傾胴式ミキサーで行った。

なお、混和剤の添加方法は、粉体の混和剤を水に溶かし、スラリー状にして添加する方法もあるが、今回は、すべて粉体のまま添加した。

2-3 まだ固まらない新しい水中コンクリートの性質

(1) コンシステンシーおよびワーカビリティ

新しい水中コンクリートのコンシステンシーをスランプ試験によって測定する場合、スランプコーンを引き上げると徐々に形を変えてゆく。これは、新しい水中コンクリートが特殊混和剤の影響で粘性が高くなり、さらに、助剤の効果で流動性に富み、プラスチックなコンクリートとなるからである。

一般に使用する範囲では、最終的なスランプ値は20~25cm程度となるが、最終スランプ値が同一であっても、それに達する時間は特殊混和剤や助剤等の添加量によって異なる。このため、スランプ値ではワーカビリティの適否を評価し難い。そこで、このようなコンクリート

の性状を的確に表すためには、外力を加えてコンクリートの拡がりを見るスプレッド試験(DIN 1048)が用いられることが多い。この試験方法をFig.1に示し、試験状況をPhoto 1に示す。

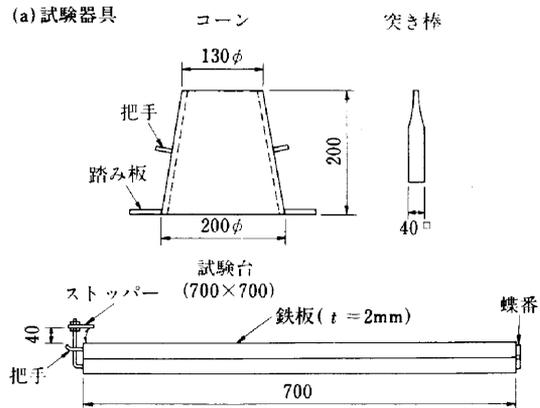


Fig.1 スプレッド試験



Photo 1 スプレッド試験(DIN 1048)

次に、スランプ値とスプレッド値の関係をFig.2に示す。Fig.2から、スランプ値が20~25cmのとき、スプレッド値は35~50cmとなり、数倍の鋭敏さでコンクリートのコンシステンシーを表現できる。

また、スランプの拡がりであるスランプフローとスプレッドの関係調べてみると、Fig.3のようになり、スランプフロー値とスプレッド値はほぼ同様な値を示す。従って、現場などでの品質管理には、スランプフローで代用できると思われる。

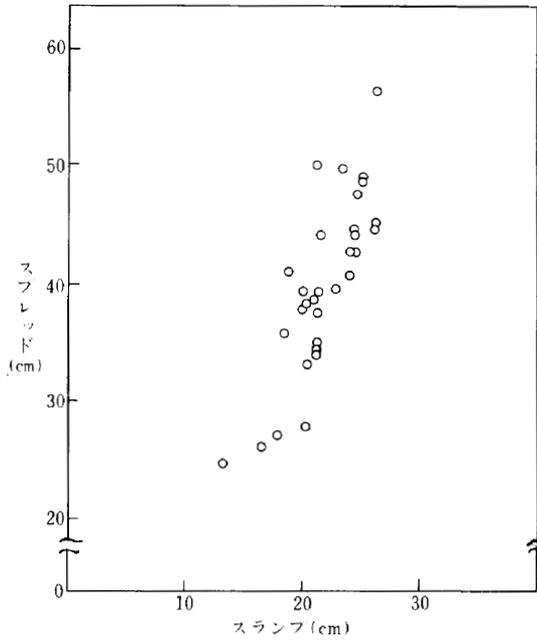


Fig.2 スランプとスプレッドの関係

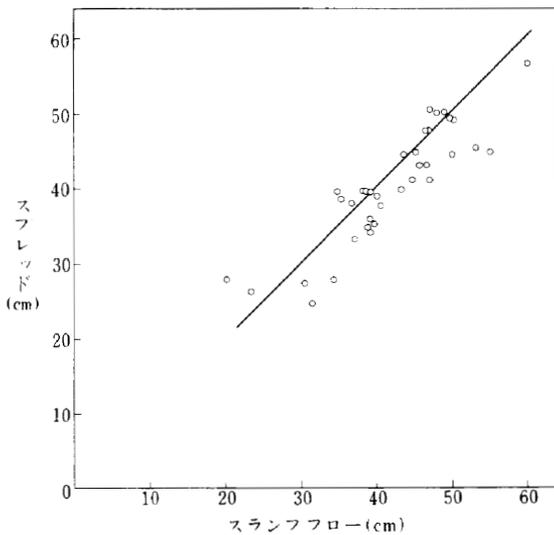


Fig.3 スランプフローとスプレッドの関係

(2) 流動性

まだ固まらない新しい水中コンクリートでは、セルフレベリング性^{*1}に優れ、自重だけで小さな空隙部や鉄筋の間などの狭い空間にも十分充填できる。

また、新しい水中コンクリートは、スプレッド試験後、徐々に変形を続け、特殊混和剤の添加量が多くなるほど安定するまでの時間が長くなる。これをFig.4に示す。

(3) ブリージング

Fig.5は、新しい水中コンクリートのブリージング試験の結果を示すものである。特殊混和剤の添加量が1.0 kg/m³(単位セメント量の約0.3%)でも、ブリージング

*1. セルフレベリング性：自らの重量で骨材を巻き込んだまま、平らになろうとする性質。

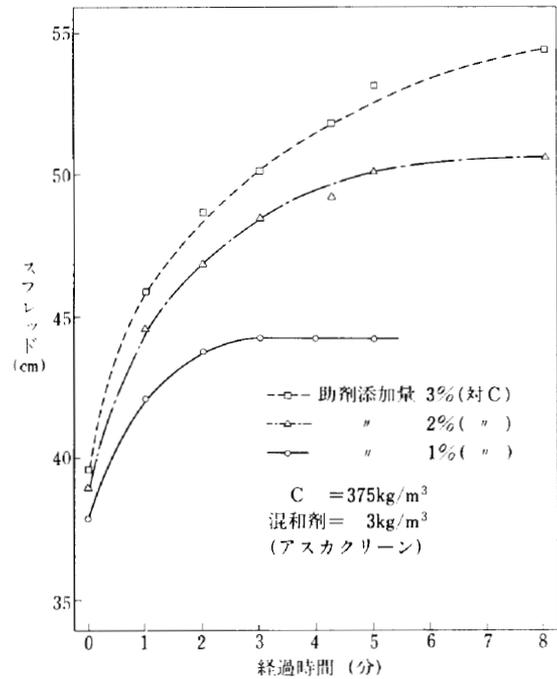


Fig.4 スプレッドの経時変化

は認められなかった。

このブリージングを生じないという現象は、特殊混和剤の添加によって、コンクリートの保水性が高くなり、分離抵抗性が増加したためと考えられる。従って、レイタンスの発生はなく、優れた打継面を形成できる。この特長は、先に述べたセルフレベリング性とあいまって、水平鉄筋等との付着が良好となり、水中での打継ぎやRC構造物の施工が可能になることを示している。

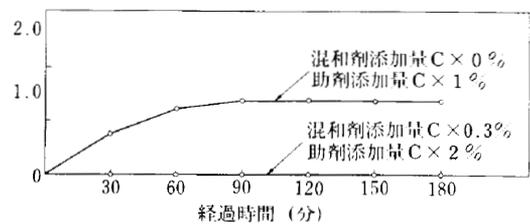


Fig.5 ブリージング試験結果

(4) 水中分離抵抗性

新しい水中コンクリートの打設に伴う周囲の水質汚濁状態は、それぞれの条件により異なり、その状況を一般的な実験で捉えるには困難である。従って、今回の実験では、特殊混和剤の添加量の違いによる濁りの状況観察と、汚濁状況の一つの判断基準として、ポリバケツに満たした水中に、新しい水中コンクリートを50cm自由落下させ、バケツ中央の水を採取して水質を調べた。

① 汚濁観察実験

特殊混和剤の添加量を変えて水中に自由落下させた状況をPhoto 2に示す。

《従来の水中コンクリート》 《新しい水中コンクリート》
(特殊混和剤 0kg/m³) (特殊混和剤 5kg/m³)

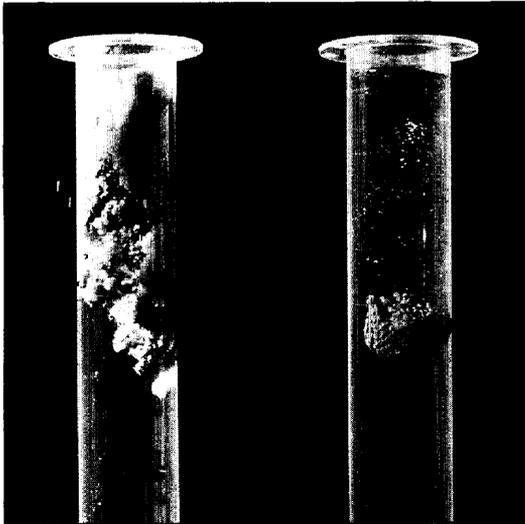


Photo 2 水中での分離状況

特殊混和剤を全く添加していない従来のコンクリートでは、骨材とセメントが完全に分離して、水を著しく汚濁させている。それに対し、特殊混和剤の添加量が5 kg/m³のコンクリートでは、水を全く濁らせず、しかも、分離のない良好なコンクリートとなっている。

② ポリバケツによる実験

実験結果をFig.6,7に示す。濁りは、積分球式濁度計、PHは、デジタルPH計を用いて測定した。

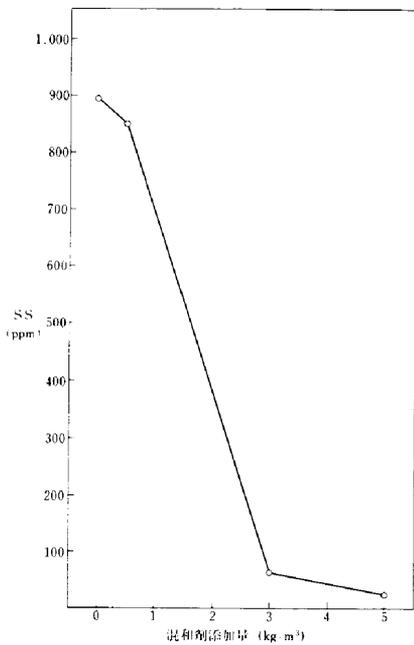


Fig.6 混和剤添加量とSS

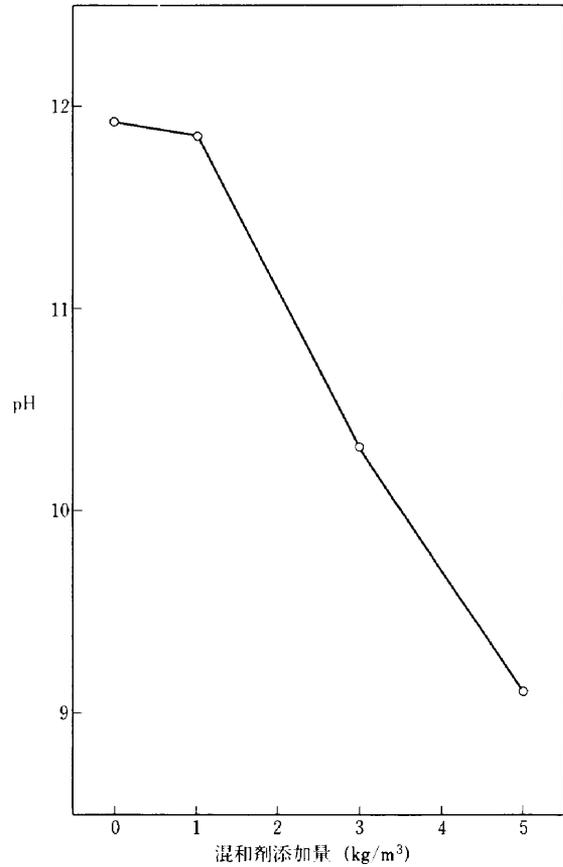


Fig.7 混和剤添加量とpH

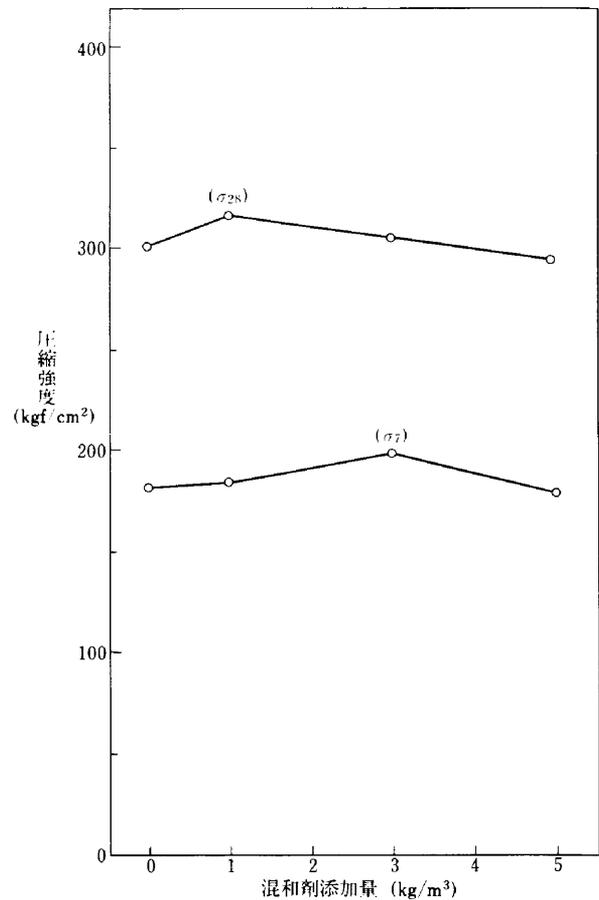


Fig.8 混和剤添加量と圧縮強度

Fig.6,7から、特殊混和剤を $1.0\text{kg}/\text{m}^3$ 添加した新しい水中コンクリートでは、濁り、PHとも従来のコンクリートとほとんど差がないが、添加量が増加するにつれてどちらも著しく減少し、周囲の水質への影響が少ない。従って、周囲の水質汚濁を防止するためには、施工状況にもよるが、 $3\text{kg}/\text{m}^3$ 程度の添加が必要である。

2-4 硬化した新しい水中コンクリートの性質

(1) 特殊混和剤と圧縮強度

特殊混和剤の影響を調べるために、添加量を変化させ、気中で作成した供試体によるコンクリートの圧縮強度(σ_{28})を比較した。これを、Fig.8に示す。

Fig.8から、特殊混和剤の添加量が増加しても、強度の低下はみられず、従って、圧縮強度に対して、特殊混和剤の影響はほとんどない。

§ 3. 水中模型実験

3-1 新しい水中コンクリートの打設実験

(1) 実験概要

新しい水中コンクリートが、実際に水中打設された場合、打設方法、特殊混和剤の添加量の違いが圧縮強度に及ぼす影響や、水中落下の距離に伴う強度の低下程度を調べるため、以下に示す3ケースの実験を行った。

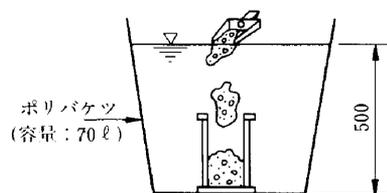
Case 1 水中落下50cm (ポリバケツ：水深50cm)

Case 2 " 1m (水槽 A： " 1m)

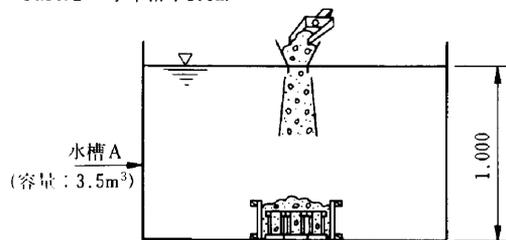
Case 3 ①バケツ打設 (水槽 B： " 2m)

②トレミー打設 (" : ")

Case.1 水中落下50cm

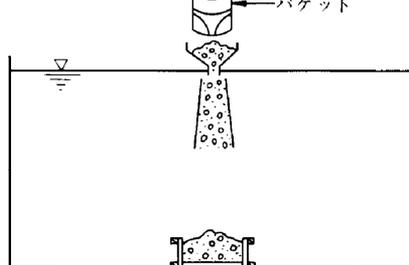


Case.2 水中落下1.0m



Case.3 水中落下2.0m

① バケツ



② トレミー

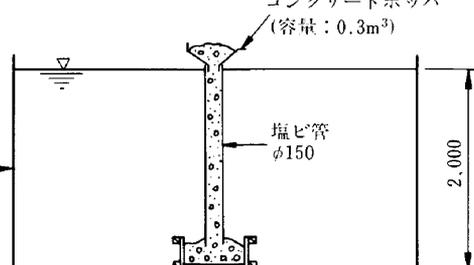


Fig.9 水中打設実験概略図

実験の概略をFig.9に示す。また、実験状況をPhoto 3に示す。



Photo 3 水中模型実験

なお、Case 1, 2の水中供試体は、それぞれ、ポリバケツ(容量70ℓ)、水槽 A (1.25m×2.5m×H1.25m)の底に設置された型枠(φ10cm×H20cm)に、ハンドスコップで、コンクリートの水中落下が50cm、1mになるようにして作成した。Case 3については、水槽 B (2.0m×4.0m×H2.0m)に箱(60cm×60cm×H30cm)を設置し、トレミー管(φ150塩ビ管)によって、30cm自由落下させる方法と、コンクリートホップ(容量0.3m³)から2m自由落下させる方法とした。また、供試体は、ポータブルのボーリングマシンで径10cmのコアを抜き、長さを20cmに切断して作成した。

打込方法の違いによる水中コンクリートの品質について

ては、圧縮強度および静弾性係数で比較した。

(2) 配合

新しい水中コンクリートの基礎性状試験から、特殊混和剤の添加量と所要のコンシステンシー(スプレッド値で45cm前後)を得るための単位水量が求まり、基本的な配合設計が可能になった。従って、この実験における配合は、標準添加量を求めるため、Table 2に示す4通りとした。なお、特殊混和剤を用いない従来の水中コンクリートは、規定に従い、水セメント比が50%以下、スランプの目標を13~18cmとしたもので、新しい水中コンクリートとの比較用である。

なお、コンクリートの練り混ぜは、100ℓの強制練りミキサを使用した。

(3) 試験結果と考察

特殊混和剤の添加量や、打設方法の違いが圧縮強度(σ_{28})に及ぼす影響を調べた結果をFig.10(a)に、また、新しい水中コンクリートの水中落下による圧縮強度の低下状況をFig.10(b)に示す。

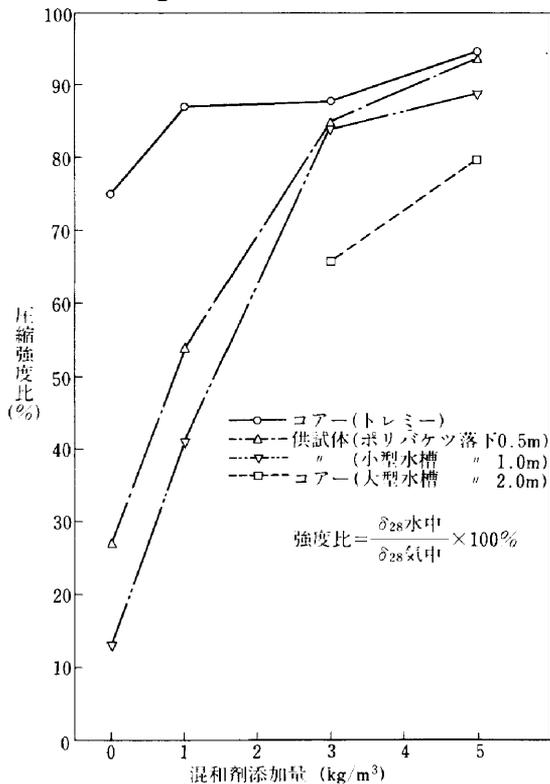


Fig.10 (a) 混和剤添加量と圧縮強度比

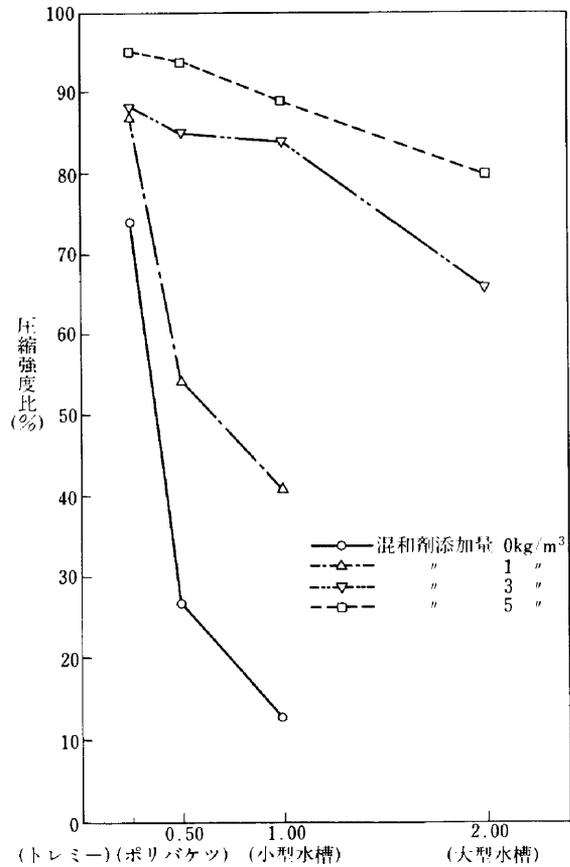


Fig.10 (b) 落下距離と圧縮強度比

これより、トレミー打設の場合、特殊混和剤を使用しない従来のコンクリートでは、圧縮強度は気中で作成したものの75%程度に低下するが、特殊混和剤を用いたものは、1.0kg/m³の添加で、気中で作成したものの85%以上の強度が確保できた。

ポリバケツや水槽(A)でコンクリートを水中自由落下させた場合には、特殊混和剤の添加により、強度が大きく影響を受ける。すなわち、添加量が3.0kg/m³以下では分離が大きく、3.0kg/m³の添加で、強度比は80%となった。

さらに、大型の水槽(B)を用いて、水中落下を2mとした場合には、特殊混和剤の添加が1.0kg/m³では、コアの採取が不可能なほどコンクリートが分離する。特殊混和剤の添加量が5.0kg/m³で、強度比が80%程度となった。

Table 2 基本配合

配合番号	目標スランプ (cm)	目標スプレッド (cm)	目標空気量 (%)	骨材最大寸法 (mm)	水セメント比(W/C) (%)	細骨材率 (S/a) (%)	単 位 量(kg/m³)					(ℓ/m³)
							セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	
							(C)	(W)	(S)	(G)	(アスカクリン)	
0	13~18	—	3.0±1.0	25	49.9	42	375	187	703	1,028	0	5.6
1	—	45±2.5	3.0±1.0	25	50.7	42	375	190	698	1,020	1.0	7.5
2	—	45±2.5	3.0±1.0	25	61.3	42	375	230	655	958	3.0	7.5
3	—	45±2.5	3.0±1.0	25	64.0	42	375	240	644	942	5.0	7.5

このように、新しい水中コンクリートでは、圧縮強度は、混和剤の添加量と打込方法の影響を受ける。

いま、水中でのコンクリートの強度を気中の80%程度確保するためには、打込みにトレミー管を用いるならば、特殊混和剤の添加量は1.0kg/m³程度を、水中を1.0m程度落下させるような施工では、添加量3.0kg/m³以上、さらに、水中の落下が2mにもなる場合には、特殊混和剤の添加量は5.0kg/m³が必要となる。

しかし、特殊混和剤の添加量を増加すると、コンクリートの分離抵抗は増加すると同時に、コンクリートのワーカビリティにも影響を与え、施工の環境や方法の条件を考慮して配合を定めなければならない。

なお、これら水中コンクリートの静弾性係数は、従来の水中コンクリートと特に差は認められなかった。

3-2 新しい水中コンクリートの流動実験

標準的な配合の新しい水中コンクリートの流動性に関する実験を行った。

実験は、大型の水槽(B)中に設置した型枠(W0.3m×L2.2m×H0.5m)の一方から、トレミーを用いて打設したコンクリートの流動状況を観察したものである。

配合は、コンシステンシーをスプレッド値で45~50cmとし、圧縮強度は240kgf/cm²を確保できるものとした。これをTable 3に示す。

実験時のコンシステンシーは、スプレッド値が45.5cmであり、幾分固めであった。このために、コンクリート上面の勾配は、Fig.11に示すように約8%となった。

しかし、水中供試体より採取したコアの圧縮強度の平均は、材令28日で263kgf/cm²となった。

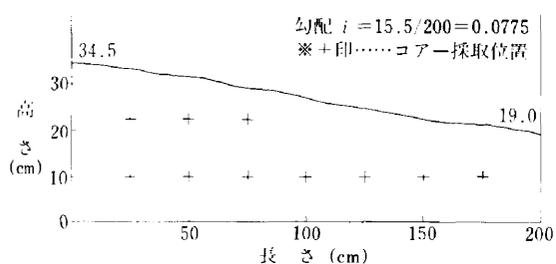


Fig.11 流動勾配

§4. まとめ

本実験から、新しい水中コンクリートに関して、次のことが明らかになった。

- (1) コンクリートは、高粘性であるため、水中を自由落

下させても、材料分離が少なく、均質なコンクリートを打設することができる。

- (2) 流動性に優れているため、振動締固めを行わなくても、狭い空間に充填が可能である。
- (3) 保水性に優れ、ブリージングがないため、コンクリートの上面にレイタンスの発生がない。その結果、水中での打継ぎが容易となる。
- (4) 特殊混和剤と助剤の添加量を調節することにより、構造物に要求される強度を確保した上で、汚染規制に対する材料分離の防止や、打設方法に応じた流動性を得ることができる。

§5. あとがき

本実験研究は、特殊混和剤を使用した水中コンクリートの基礎性状の把握と水槽を用いた打設実験により、水中での性状を調べたもので、その結果、新しい水中コンクリートは、水中コンクリートとしての適用性が十分高いことが認められた。

今後、RC構造物への適用に際し、鉄筋に対する付着性状、逆打ちコンクリートにおける打継性状等、解明すべき事項がいくつかある。

また、生コンプラントやコンクリートポンプでの特殊混和剤の添加方法や、打設方法に応じたコンクリートのコンシステンシー等、解決しておかなければならない問題点もある。

今後は、これら残された課題について、他の種類の特殊混和剤(アクリル系)をも用いて、研究を進めていく予定である。

この報告が、新しい水中コンクリート施工の参考になれば幸いである。最後に、実験に御協力・応援を頂いた平塚工場の方々に深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 玉田他「分離低減剤を用いたコンクリートに関する研究」土木学会年次講演会 1984
- 2) 草野他「高分子を添加した特殊コンクリートの性状」五洋建設技報 Vol.12 1983
- 3) 江川他「新しいコンクリート工法(水中コンクリート)」土木技術 36巻12号 1981
- 4) 黒沢「アクアコンクリートとその応用」セメントコンクリート No.488 1986

Table 3 配合

配合番号	目標スプレッド (cm)	目標空気量 (%)	骨材最大寸法 (mm)	水セメント比(W/C) (%)	細骨材率(S/a) (%)	単 位 量(kg/m ³)					(ℓ/m ³)	
						セメント		水		混和剤		助剤
						(C)	(W)	(S)	(G)			
3-1	45~50	3.0±1.0	25	62.1	42	375	233	649	950	3.0	7.5	