

土木研究所資料

水中不分離性コンクリートに関する 調査試験報告書(1)

—水中不分離性コンクリートの基本的性質について—

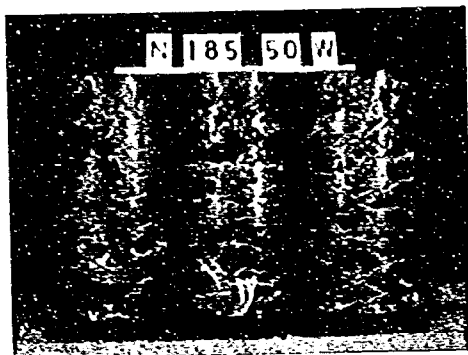
1990年1月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室

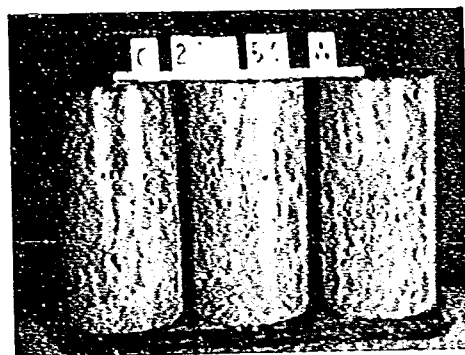
Copyright © 1990 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

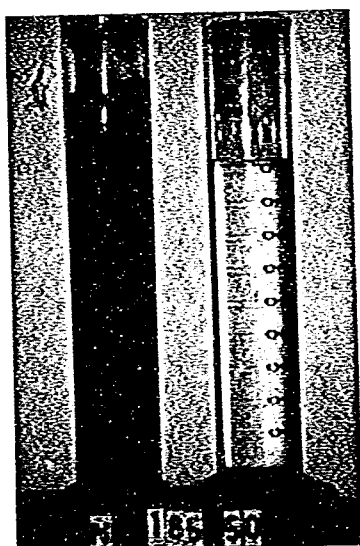


a) 普通コンクリート

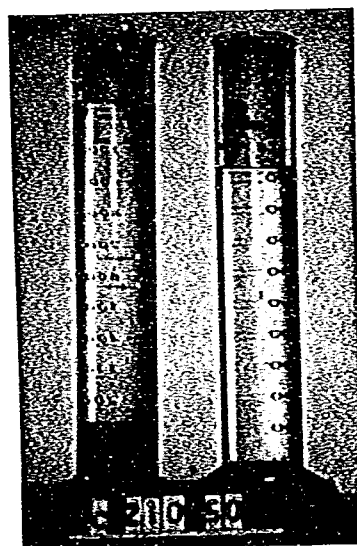


b) 水中不分離性コンクリート

写真-1 水中にて作成した供試体



a) 普通コンクリート



b) 水中不分離性コンクリート

写真-2 水中に落下させた際の水の汚濁

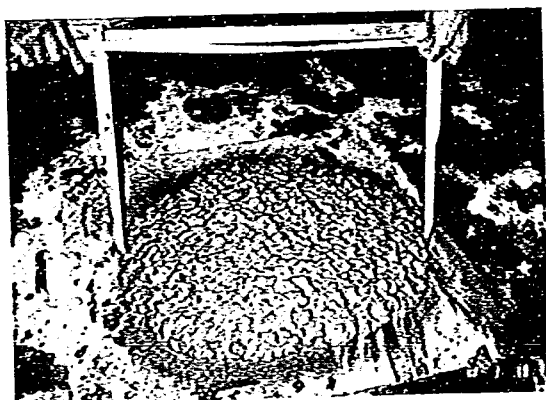


写真-3 スランプフロー測定状況

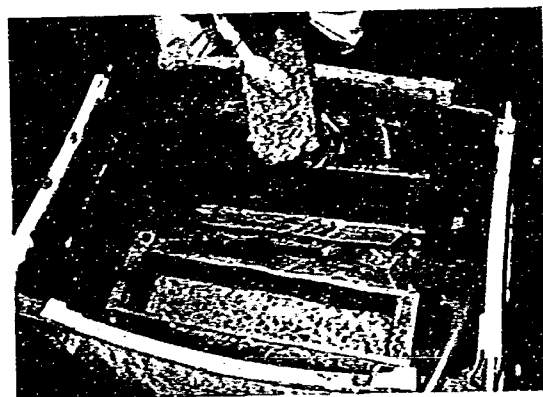


写真-4 水中採取供試体作成状況

(口 絵 解 説)

- 写真－１ 普通コンクリートを水中で落下させて作成した供試体は、コンクリートが分離して欠陥部分が生じている。一方、水中不分離性コンクリートは、材料分離を生じること無く、均一な供試体を得ることができる。
- 写真－２ 普通コンクリートを水中に落下させると、セメント粒子が流出して水が著しく濁る。一方、水中不分離性コンクリートは、水をほとんど濁らせない。(向かって左側のメスシリンダーにコンクリートを投入)
- 写真－３ 水中不分離性コンクリートのワーカビリチーの判定には、スランプ試験実施時の試料の横方向の広がり測定するスランプフロー試験が用いられる。
- 写真－４ 水中に打設されたコンクリートの強度を推定するために、水中でコンクリートを自由落下させて強度試験用供試体を作成する。

水中不分離性コンクリートに関する 調査試験報告書(1)

— 水中不分離性コンクリートの基本的性質について —

コンクリート研究室 室 長 小 林 茂 敏
研 究 員 森 濱 和 正
研 究 員 高 橋 弘 人
部外研究員 大 倉 真 人 *

要旨

近年、水中不分離性コンクリートが開発され本州四国連絡橋や関西新空港工事等において使用されてきている。しかし、水中不分離性コンクリートおよび使用する混和剤の品質規準は確立されておらず、また、基本性状についても明らかとなっていない点が残されている。

本資料は、水中不分離性コンクリートの基本性状を把握し、品質規準作成のための資料を得ることを目的に行った各種強度試験および耐久性試験結果を取りまとめたものである。

キーワード：水中不分離性コンクリート、水中不分離性混和剤、強度特性、耐久性状、材料
分離抵抗性、濁度

目 次

1. はじめに	1
2. 水中不分離性コンクリートについて	2
2.1 水中不分離性混和剤	2
2.2 水中不分離性コンクリートの諸特性	3
3. 使用材料	6
4. 練りませ方法が水中不分離性コンクリートの品質に与える影響に関する実験	8
4.1 試験方法	8
4.1.1 実験の要因と水準	8
4.1.2 練りませ方法	8
4.1.3 コンクリートの配合	8
4.1.4 試験項目および試験方法	9
4.2 試験結果および考察	11
5. 水中不分離性コンクリートの強度特性および耐久性に関する実験	16
5.1 試験方法	16
5.1.1 実験の要因と水準	16
5.1.2 練りませ方法	16
5.1.3 コンクリートの配合	18
5.1.4 試験項目および試験方法	19
5.2 試験結果および考察	23
5.2.1 フレッシュ時の性状	23
5.2.2 凝結硬化速度	26
5.2.3 強度特性	27
5.2.4 耐久性状	34
6. まとめ	37
謝 辞	38
参考文献	39

(付属資料)	41
1. 試験練り結果	43
2. 試験データ	44
3. 使用材料試験成績	46
4. 水中不分離性混和剤一覧	49

1. はじめに

近年、水中にコンクリートを自由落下させても材料分離を生じない“水中不分離性コンクリート”あるいは“特殊水中コンクリート”と呼ばれるコンクリート（以下、水中不分離性コンクリート）が開発され、海洋工事などを中心として頻繁に使用されてきている。従来の水中コンクリートは、プレパックドコンクリート工法やトレミー工法に代表されるように水とコンクリートが接触しないよう打設機械、装置を改良、工夫して水中にコンクリートを打設してきた。一方、水中不分離性コンクリートは、特殊な混和剤（以下、水中不分離性混和剤）をコンクリートに添加し、コンクリートの粘性を高めることで材料分離を生じにくいようにコンクリートの性質そのものを改良した点に特徴を有している。

水中不分離性コンクリートは、1974年に西ドイツで開発され、わが国には1981年頃に技術導入された。近年では、関西新空港や本州四国連絡橋工事等においても使用されてきている。

しかし、開発されてからの日も浅いため、品質規準、品質管理方法、施工方法に関する規準が確立されていないばかりでなく、水中不分離性コンクリートの性状についても明かとなっていない点が多々残されている。このため、水中不分離性コンクリートによる施工は、施工業者、混和剤メーカーが独自に施工方法、品質管理方法等を検討して行っているのが現状である。

このような実情を踏まえ、今回の調査研究は、水中不分離性コンクリートの規準化、品質管理方法を設定する際の資料とするべく、水中不分離性コンクリートの基本的な性状を把握することを目的とした。

本資料は、水中不分離性コンクリートと普通コンクリートについて各種強度試験並びに耐久性試験を実施し比較検討を行った結果について取りまとめたものである。

2. 水中不分離コンクリートについて

2.1 水中不分離性混和剤

水中不分離性コンクリートは、コンクリートに粘性を付与する混和剤（水中不分離性混和剤）を添加することで、コンクリートの材料分離抵抗性を高めたものである。その結果、コンクリートが水中で自由落下しても材料分離することなく、所要の品質を確保することが可能となった。このように、コンクリートの性質そのものを改善した点が、従来の各種水中コンクリート工法と大きく異なっている。また、これまでの水中コンクリート工法と比較して、打設箇所周辺の水の汚濁を低減することができ、環境保全の観点からも注目されている。

水中不分離性コンクリートに関する技術が1981年にわが国に技術導入されてから、水中不分離性混和剤は化学会社、混和剤メーカーを中心に多数開発、販売されてきている。しかし、水中不分離性混和剤の品質標準ならびに定義は、JISおよび土木学会で制定されておらず、沿岸開発技術センターおよび漁港漁村建設技術研究所が中心となって編集した“特殊水中コンクリートマニュアル”（昭和61年11月発行）に特殊水中コンクリート用混和剤品質標準（案）として提案されているに過ぎない。

以下に、水中不分離性混和剤の概略について説明する。

水中不分離性混和剤は、大別して次の機能を有する²⁾。

① 水中での分離低減効果

② フリージング抑制効果

これらの効果を得るためには、次の条件を満たす必要がある^{2) 3)}。

① 有機高分子物質であり、しかも水に溶解しやすい

② 水溶液となったときに高い粘性を示す

③ 非イオン性物質である

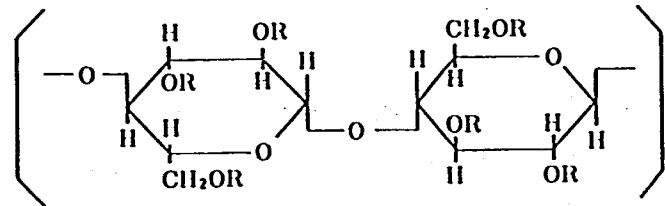
④ セメントの凝結、硬化に悪影響をおよぼさない

これらを満足するものは、表2-1、図2-1に示す、セルロース系（非イオン性セルロース系エーテル）およびアクリル系（アクリルアミド系ポリマー）の2種類に大別することができる。これらの高分子をコンクリートに添加すると分子がセメント粒子に吸着し、セメントペーストの粘性を増加させることが可能となる²⁾。

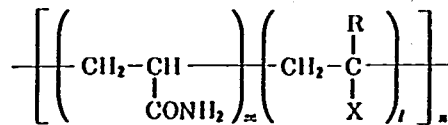
なお、水中不分離性混和剤は、これら主成分以外に併添剤として空気量の調節を行う消泡剤（セルロースエーテル類を混入したコンクリートは、空気量が大幅に増加する欠点がある⁴⁾）と凝結時間を調整する硬化促進剤（セルロースエーテル類を単身で使用すると、凝結が大幅に遅延する⁵⁾）あるいは流動化剤等を適宜添加し製造されることが多い。更に、実施工においては、コンクリートの品質、性能向上を目的として、AE減水剤、AE剤、減水剤、流動化剤等をコンクリートに添加して打設されている。

表 2-1 水中不分離性混和剤に用いられる水溶性高分子²⁾

セルロース系	ヒドロキシプロピルメチルセルロース ヒドロキシエチルメチルセルロース ヒドロキシエチルセルロース など
アクリル系	ポリアクリルアミドあるいはポリアクリルアミド変成物 ポリアクリルアミド部分加水分解物 など



セルロース系分離低減剤の化学構造式
(RはHまたはアルキル基)



アクリル系分離低減剤の化学構造式
(RはHまたはアルキル基、XはH、アルキル基以外の置換基)

図 2-1 水中不分離性混和剤の化学構造式²⁾

表 2-2 水中不分離性混和剤の基本的物性値

種 別	外 観	真比重	かさ比重	P. H
セルロース系	白色粉末	1.1~1.7	0.2~0.8	5.5~10.3
アクリル系	白色粒状	1.5~2.0	0.5~0.7	5.5~9.5

2.2 水中不分離性コンクリートの諸特性

水中不分離性コンクリートは、次のような特徴を有するとされている。

- ① 水中分離抵抗性に優れている⁵⁾
- ② 水中でも所要の強度を得ることができる⁵⁾
- ③ 水中に打設した際の水の汚濁が少ない⁵⁾

①~③は、いずれも水中不分離性混和剤を添加することで、コンクリートが増粘して水中での材料分離抵抗性が向上することに起因する。普通コンクリートは、水中に落下して水の抵抗を受けると、粘性が低いために水と混合して材料分離を起こしてしまう。一方、水中不分離性コンクリートは粘性が高いため、ゆっくり

りと変形しながら水の抵抗をかわし、水との混合を抑制する⁹⁾。なお、この材料分離抵抗性は水中不分離性混和剤の使用量が多いほど良好となる⁶⁾。一般的に水中不分離性混和剤の添加量は、水中打設されたコンクリートの強度が気中打設されたコンクリート強度の80～90%を確保することができるように決定することが多く、標準添加量は、2～4 kg/m³程度である。

④ 独特な流動性を有する⁷⁾

水中不分離性コンクリートは、普通コンクリートと比較して粘性が高いため独特な流動性状を示す。例えば、水中不分離性コンクリートのスランプ試験を行った場合、コーンを引き抜いた後、数分間（4～5分程度）にわたり変形が継続し、練り上がり時には硬練りと思えたコンクリートであっても最終的には大きなスランプを示す。

このように水中不分離性コンクリートは独特な流動性を有するため、ワーカビリティをスランプ値のみで判定することが困難となる。そこで、流動性の指標としては、スランプ試験実施時の試料の横方向の広がり測定するスランプフロー試験を採用することが多い。

水中不分離性コンクリートの標準的なスランプフロー値は表2-3に示すとおりである。水中不分離性コンクリートによる施工は、締め固めを行うこと無しに広い面積を一度に打設する事が多い。従って、表2-3に示すような流動性と充填性に富んだ軟練りなコンクリートが使用される。その結果、一般的な水中不分離性コンクリートの単位水量は200kg/m³以上になる。

表2-3 スランプフローの標準値⁷⁾

施工条件	スランプフロー値の範囲
水中での斜路の施工	30～40cm
トレミー管による施工	36～45cm
コンクリートポンプによる施工	45～55cm
特に高い流動性を必要とする場合	55cm以上

⑤ ブリージング、レイタンスが生じにくい⁸⁾

水中不分離性混和剤を添加すると、コンクリートの保水性が向上し、ブリージング、レイタンスの発生が少なくなる。なお、この性質は水中不分離性混和剤の添加量が多いほど顕著となる。従って、従来の水中コンクリートと比較して鉄筋との付着性状が良好となり、水中不分離性コンクリートは水中のRC構造物の施工にも使用されている。

⑥ 乾燥収縮、凍結融解抵抗性が普通コンクリートと比較して劣る^{9) 10)}

水中不分離性コンクリートは、単位水量が非常に多く、さらに保水性に優れるため、普通コンクリートと比較して乾燥収縮量は大きく、凍結融解抵抗性は劣る傾向にある。なお、凍結融解抵抗性の低下は、セルローズ系混和剤を使用した場合に著しい。これは、セルローズ系の水溶性高分子化合物は大きな径の気泡を含有する性質があり凍結融解抵抗性に有効に作用する微細な気泡の連行が困難なためだと説明されている¹¹⁾。

水中不分離性コンクリートの基本的性質は、これまで述べてきたように既往の研究等によりある程度解明

されつつある。しかし、開発されてからの日がまだ浅いため、未だ解明されていない点も多々残されている。

そこで今回の一連の実験においては、水中不分離性コンクリートの基本的な性状を把握することを目的に以下の点について検討することとした。

- ① アクリル系混和剤とセルローズ系混和剤の両者について、同一条件のもとで試験を行った例が皆無に等しく、混和剤種別が水中不分離性コンクリートの諸性質に与える影響が明確となっていない。そこで、主成分の異なる水中不分離性混和剤を使用して作成した試料について各種強度試験を行い、混和剤種別が水中不分離性コンクリートの強度性状に与える影響を検討する。
- ② 前述したとおり水中不分離性コンクリートは、乾燥収縮や凍結融解抵抗性が普通コンクリートと比較して劣るとされている。従って、干満部分や気中構造物に水中不分離性コンクリートを使用することができかどうかを耐久性の観点から検討する必要がある。そこで、水中不分離性コンクリートの乾燥収縮試験ならびに暴露試験等の耐久性試験を行い、水中不分離性コンクリートによる施工が環境条件により制約を受けるかどうかを検討する。
- ③ 水中構造物においては、波力が繰り返し荷重となって作用するものと思われる。しかし、水中不分離性コンクリート部材に繰り返し荷重を作用させた際の挙動や、疲労強度が解明されていない。そこで、水中不分離性コンクリートについて、気中並びに水中で疲労試験を行い、疲労強度を把握することとした。

次項より一連の実験について報告する。

3. 使用材料

今回の実験に使用した材料は以下に示すとおりである。

1) 普通ポルトランドセメント

以下の普通ポルトランドセメントを3社等量混合して使用した。

① 小野田セメント株式会社製 (比重=3.16)

② 徳山曹達株式会社製 (比重=3.16)

③ 住友セメント株式会社製 (比重=3.16)

2) 水中不分離性混和剤

現在、水中不分離性混和剤として使用されているものは、セルロース系とアクリル系に大別することができる。そこで、本実験においては次の2種の水中不分離性混和剤を使用して比較検討を行った。

① アスカクリーン 信越化学工業株式会社製

主成分……非イオン性セルロースエーテル

外 観……白色微粉末

② シーベター 三共化成工業株式会社製

主成分……アクリル系高分子化合物

外 観……白色粒状粉末

3) フライアッシュ

電発高砂フライアッシュ (比表面積=3600cm²/g, 比重=2.32)

4) スラグ粉末

エスメント 新日鐵化学株式会社製 (比表面積=4280cm²/g, 比重=2.89)

5) 流動化剤

UC-150 ポゾリス物産株式会社製

主成分……高縮合トリアジン系化合物

形 態……液状

比 重……1.12~1.14

6) AE減水剤

Pz-No. 70 ポゾリス物産株式会社製

主成分……リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体

形 態……液状

比 重……1.12~1.14

7) AE助剤

AE-775S ポゾリス物産株式会社製

主成分……変性アルキルカルボン酸系界面活性剤

形 態……液状

比 重……1.02

8) 練りませ水

水道水を使用した。

9) 骨材

9-1) 細骨材

富士川産川砂を使用した。物理的性質は、表3-1のとおりである。

9-2) 粗骨材

笠間産2005碎石(A碎石)と笠間産6号碎石(B碎石)を容積比で7.5:2.5の割合で混合して使用した。物理的性質は、表3-1のとおりである。

表3-1 骨材の物理的性質

種 別	川 砂	A碎石	B碎石	AB混合
産 地	富士川	笠 間	笠 間	笠 間
表 乾 比 重	2.62	2.67	2.65	2.67
吸 水 率	2.02	0.408	0.802	0.507
単位容積重量 (kg/m ³)	1812	1527	1551	1577
実 績 率 (%)	70.6	57.4	59.0	59.4
洗 い 損 失 量 (%)	3.9	0.58	0.61	0.59
粗 粒 率	2.93	7.00	6.05	6.76

4. 練りませ方法が水中不分離性コンクリートの品質に与える影響に関する実験

4.1 試験方法

水中不分離性コンクリートは非常に粘性が大きいため、普通コンクリートの製造と同一の練りませ方法では良好かつ均一な品質を確保することができないことが懸念される。

そこで、一連の実験に先立ち、練りませ時間およびミキサー容量に対する練りませ量を変化させ、それらの要因が水中不分離性コンクリートの品質に与える影響を検討した。

4.1.1 実験の要因と水準

実験は水中不分離性コンクリートならびに普通コンクリートについて練りませ時間を60, 120, 300秒、練りませ量をミキサー容量の30, 60, 90%と変化させ製造した試料について、各種フレッシュコンクリート試験および圧縮強度試験を行い比較検討を行った。

表4-1に、本実験の要因と水準を示す。

表4-1 実験の要因と水準

要 因	水 準
練りませ量	ミキサー容量×30, 60, 90%
練りませ時間	60, 120, 300秒

4.1.2 練りませ方法

練りませは図4-1に示す手順で行った。

なお、コンクリートの練りませは、容量100リットルのパン型ターボミキサー（回転数=60rpm）を使用した。

4.1.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合は、以下の条件を満足するよう試験練りを行い、表4-2に示すとおりとした。

水 セ メ ン ト 比……50%

単 位 水 量……水中不分離性コンクリートの場合 $W=210\text{kg}/\text{m}^3$

普通コンクリートの場合 $W=185\text{kg}/\text{m}^3$

水中不分離性混和剤種別……無添加, セルロース系, アクリル系

水中不分離性混和剤添加量……メーカー推奨値を参考に

セルロース系= $2.5\text{kg}/\text{m}^3$

アクリル系= $3.3\text{kg}/\text{m}^3$ とした。

混和剤種別……流動化剤, AE減水剤

目標スランブフロー値……水中不分離性コンクリートの場合; $SF=450\pm50\text{mm}$

あるいはスランブ 普通コンクリートの場合; $SL=15\pm2.5\text{cm}$

目標空気量…… $4.0\pm1.0\%$

表4-2 コンクリートの配合(練りませ方法の検討)

混和剤 種別	W/C %	s/a %	単 位 量 (kg/m ³)								
			W	C	S	G1	G2	Ad1	Ad2	Ad3*	Ad4
セルロース	50	40	210	420	647	742	244	2.5	1.05	0.0105	2.94
アクリル								3.3	1.05	0.030	3.36
無添加		47.0	185	370	810	699	230	—	0.93	0.0075	—

Ad1 ; 水中不分離性混和剤

Ad2 ; AE減水剤

Ad3 ; AE助剤 *セメント重量に対する添加率 (C×%)

Ad4 ; 流動化剤

4.1.4 試験項目および試験方法

練りませ時間, 練りませ量を変化させて製造した水中不分離性コンクリートについて, 次に示す試験を行い比較検討を行った。

1) スランブ試験 (JIS A 1101に準拠)

2) スランブフロー試験

スランブ試験実施時にスランブフロー尺を使用して試料の横方向の広がり測定しスランブフロー値とした。なお, スランブおよびスランブフロー値の測定は, スランブコーンを引き上げた後, コンクリートの流動が止まるまで静置した後(約5分)測定した。

3) 空気量試験 (JIS A 1128に準拠)

4) 圧縮強度試験 (JIS A 1108に準拠)

供試体形状…… $\phi 10\times 20\text{cm}$

試験材令……7, 28日

供試体採取方法……気中採取 (JIS A 1132に準拠)

水中採取 (図4-2参照)

5) pH試験

特殊水中コンクリートマニュアル⁷⁾に準拠し, 以下の手順で試験を実施した。

- ① 1000ccビーカーに800ccの水をいれ, そこへ水中不分離性コンクリート500gを10等分に分割して, 水面から静かに落下させる。
- ② 3分間ビーカーを静置した後, ビーカー内の水をスポイトを用いてコンクリートが混ざらないよう

に静かに600cc分取する。

③ ②の水に対し速やかにpHメーターを用いて、pH値を3回測定し、その平均をpH値とした。
今回の試験に供した水中不分離性混和剤種別および練りまぜ方法は、表4-3に示すとおりである。

表4-3 練りまぜ方法・使用混和剤一覧

練りまぜ時間 (秒)		60	120			300
練りまぜ量 (リットル)		60	30	60	90	60
混 和 剤 種 別	無添加	○		○		
	アクリル	○		○	○	○
	セルローズ	○	○	○	○	○

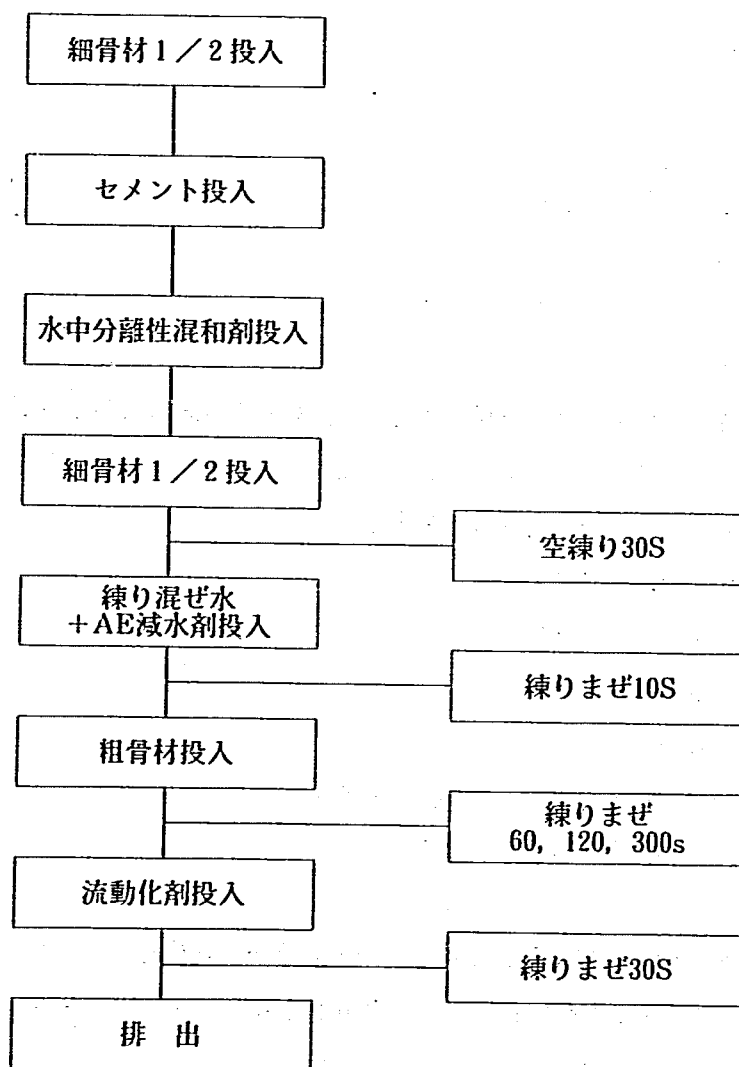


図4-1 練りまぜ方法フロー図

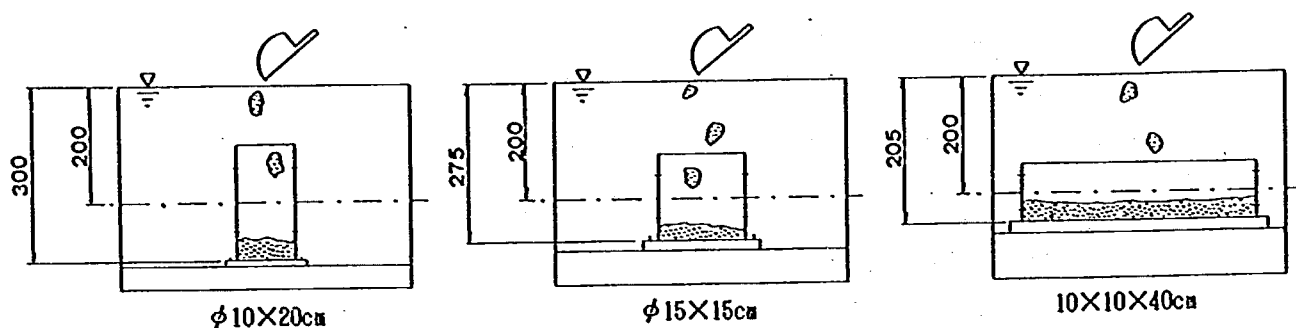


図4-2 水中採取供試体作成方法

上図に示すように、型枠の中心から20cm上まで水を張り、 $\phi 10 \times 20$ cm供試体は10分割で、 $\phi 15 \times 15$ cm供試体および $10 \times 10 \times 40$ cm供試体は15分割で試料を水面から自由落下させ型枠内に詰めた。その後、約5分間静置した後、型枠を水槽から取り出し木槌で軽く叩き成形した。

4.2 試験結果および考察

- ① 図4-3、4-4に練りませ方法が水中不分離性コンクリートの空気量およびスランプフロー値に与える影響を示す。練りませ時間が120秒でセルロース系、アクリル系の両者を用いたコンクリートともスランプフロー値は最大となり、練りませ時間がそれ以上でも、それ以下でもスランプフロー値は減少する傾向にあった。また、アクリル系混和剤を使用した場合は、練りませ時間120秒で空気量が最大となったのに対し、セルロース系を使用した場合は、練りませ時間の増加にともない空気量が増加する傾向が認められた。
 - ② 図4-5、4-6には練りませ時間および練りませ量がpH値および強度比におよぼす影響を示す。ここで強度比は、水中にて採取した供試体の圧縮強度（以下、水中強度）を気中で採取した供試体の圧縮強度（以下、気中強度）で除したものとした。この、pH値および強度比は水中不分離性コンクリートを水中に落下させた際の材料分離抵抗性の特性値とすることができる。なぜならば、材料分離抵抗性の良好なコンクリートは水中に落下させてもセメント粒子が水中に流出しないため、打設された周辺の水のpH値の上昇は少なく、また水中強度も気中強度と同等な値を得ることができると考えられるためである。セルロース系、アクリル系混和剤を使用した両者とも練りませ時間の増加にともない強度比は増加しpH値は減少する傾向が認められた。従って、練りませ時間を長くするほど水中不分離性コンクリートの材料分離抵抗性は向上するものと思われる。また、図4-6に示すように、ミキサー容量に対する練りませ量が少ないものは、pH値が大きな値を示す傾向にあった。
 - ③ 練りませ方法が同一の場合、アクリル系混和剤を使用したものは、セルロース系混和剤を使用したものと比較して強度比が小さくpH値は大きな値を示した。そこで、アクリル系混和剤の添加量を $3.3\text{kg}/\text{m}^3$ から $4.0\text{kg}/\text{m}^3$ に、練りませ時間を最大420秒にまで増加させ、材料分離抵抗性が向上するかどうかを調査した。試験結果を図4-7に示す。水中不分離性混和剤の添加量を増加させることで、強度比が上昇し材料分離抵抗性が向上することが認められた。また、練りませ時間が300秒までは練りませ時間の増加にともない強度比は増大するものの、それ以降は強度比の増大が認められなかった。
- 以上述べたように、水中不分離性コンクリートの品質に、練りませ方法がおよぼす影響はきわめて大きく、

練りませ時間やミキサー容量に対する練りませ量を適切に設定することが、水中不分離性コンクリートの材料分離抵抗性を向上させるうえで必要であると思われる。

本試験結果を踏まえ、次項より示す水中不分離性コンクリートの強度特性および耐久性状に関する実験で使用する試料の練りませ方法および水中不分離性混和剤の添加量は、以下のとおりに決定した。

- 1) セルローズ系混和剤の添加量は、 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ とする。
- 2) セルローズ系混和剤を使用した場合の練りませ量はミキサー容量に対して60～90%の範囲とする。また、練りませ時間は120秒とする。
- 3) アクリル系混和剤の添加量は、 $4.0\text{kg}/\text{m}^3$ とする。
- 4) アクリル系混和剤を使用した場合の練りませ量はミキサー容量に対して60～90%の範囲とする。また、練りませ時間は300秒とする。
- 5) 普通コンクリートの練りませ方法は、セルローズ系混和剤を添加したものと同一とする。

表4-4 練りませ方法が水中不分散性コンクリートの品質におよぼす影響

混和剤種別	練りませ方法		フルコンクリート試験結果 (流動化剤添加後)						圧縮強度試験結果					
									材令7日			材令28日		
	時間 (秒)	量 (%)	SL (cm)	S.F (mm)	Air (%)	C.T (°C)	pH		気中採取 kgf/cm ²	水中採取 kgf/cm ²	強度比	気中採取 kgf/cm ²	水中採取 kgf/cm ²	強度比
セルロース系	60	60	24.2	470	5.0	22.5	10.8		262	314	0.834	384	393	0.977
	120	30	23.0	445	5.4	21.2	10.6		271	319	0.850	401	426	0.941
		60	24.6	485	5.2	21.0	10.5		267	301	0.887	377	412	0.915
		90	24.0	485	5.2	22.0	10.1		261	294	0.888	365	399	0.915
	300	60	23.2	448	5.7	21.5	10.7		286	305	0.938	404	410	0.985
アクリル系	60	60	22.7	423	3.4	22.5	11.7		202	279	0.724	329	401	0.820
	120	60	23.2	460	3.9	21.5	11.6		211	289	0.730	338	405	0.835
		90	22.8	450	3.2	22.5	10.8		201	283	0.710	316	387	0.817
	300	60	22.6	430	2.5	22.5	11.5		244	309	0.790	353	422	0.836
無添加	60	60	15.5	—	6.8	22.0	—		—	265	—	—	399	—
	120	60	15.2	—	5.0	22.4	—		—	281	—	—	413	—

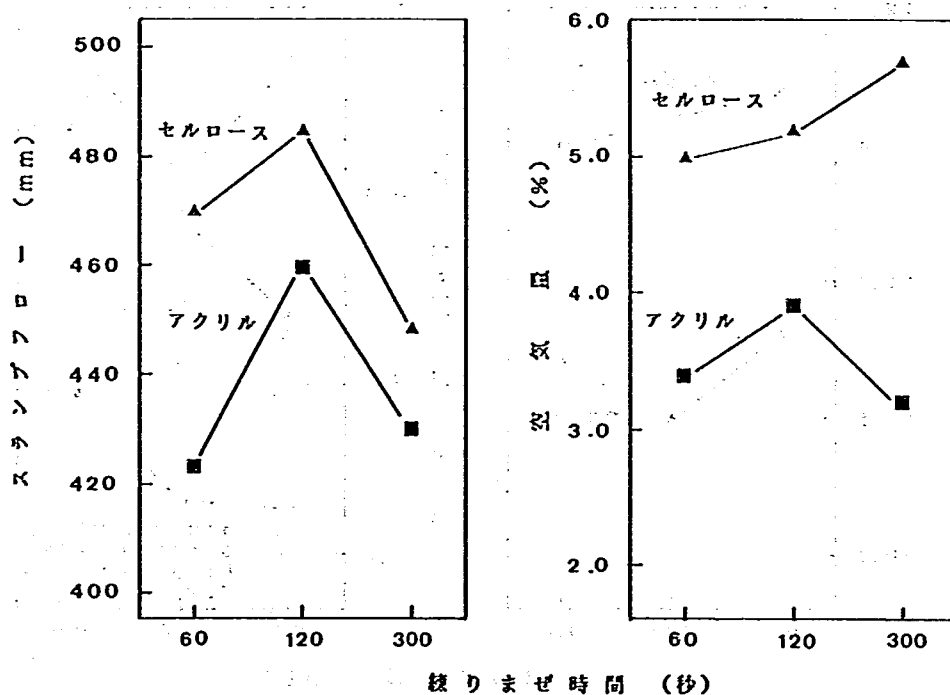


図4-3 練りませ時間とスランプフロー，空気量の関係

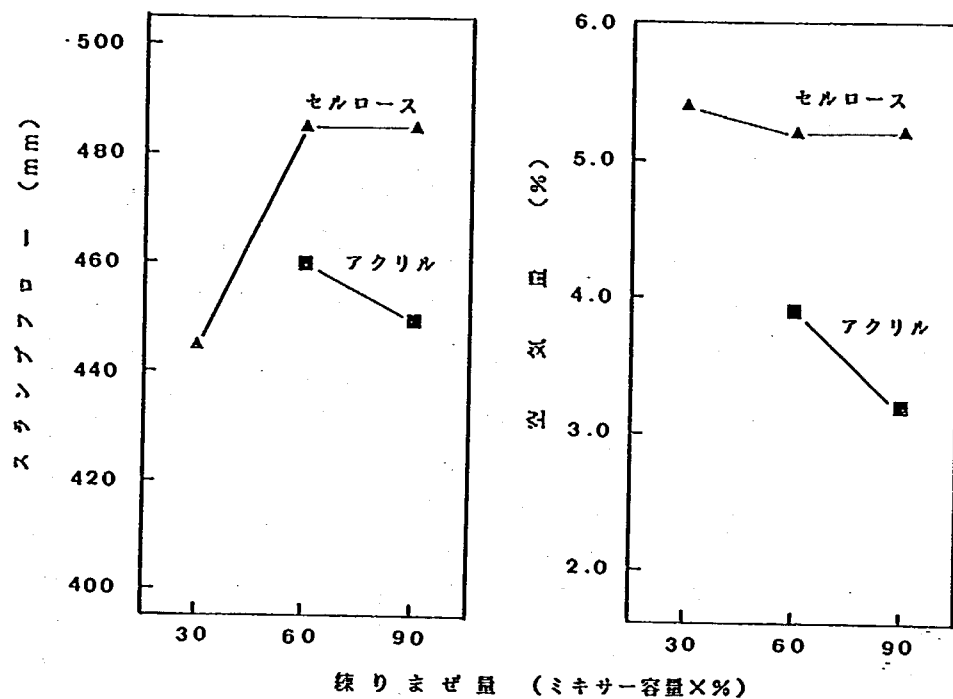


図4-4 ミキサー容量に対する練りまぜ量とスランプフロー、空気量の関係

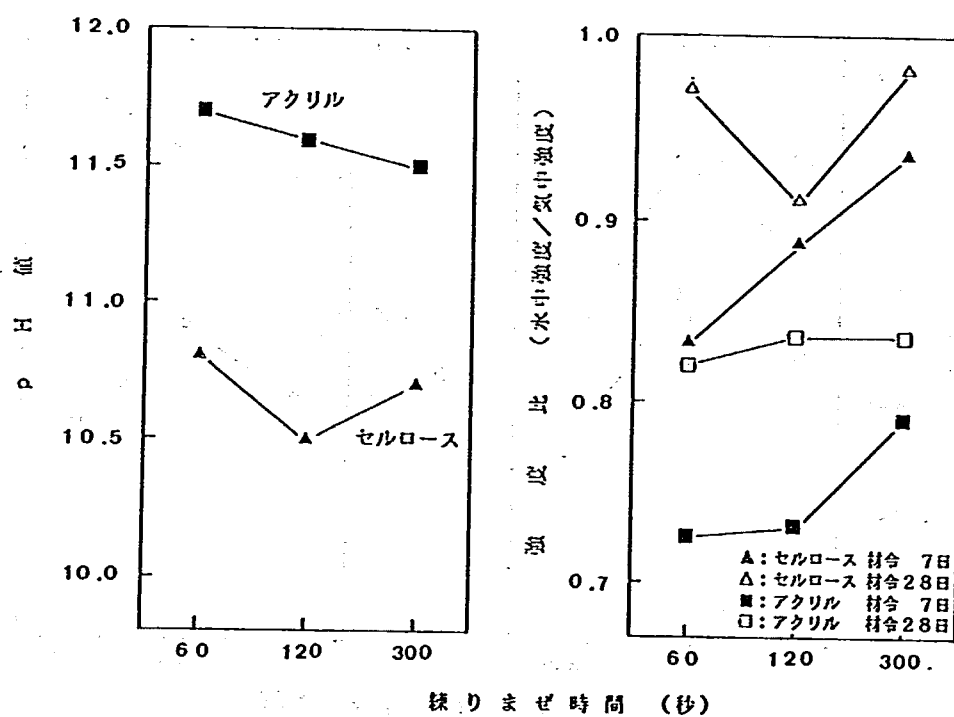


図4-5 練りまぜ時間とpH値、強度比の関係

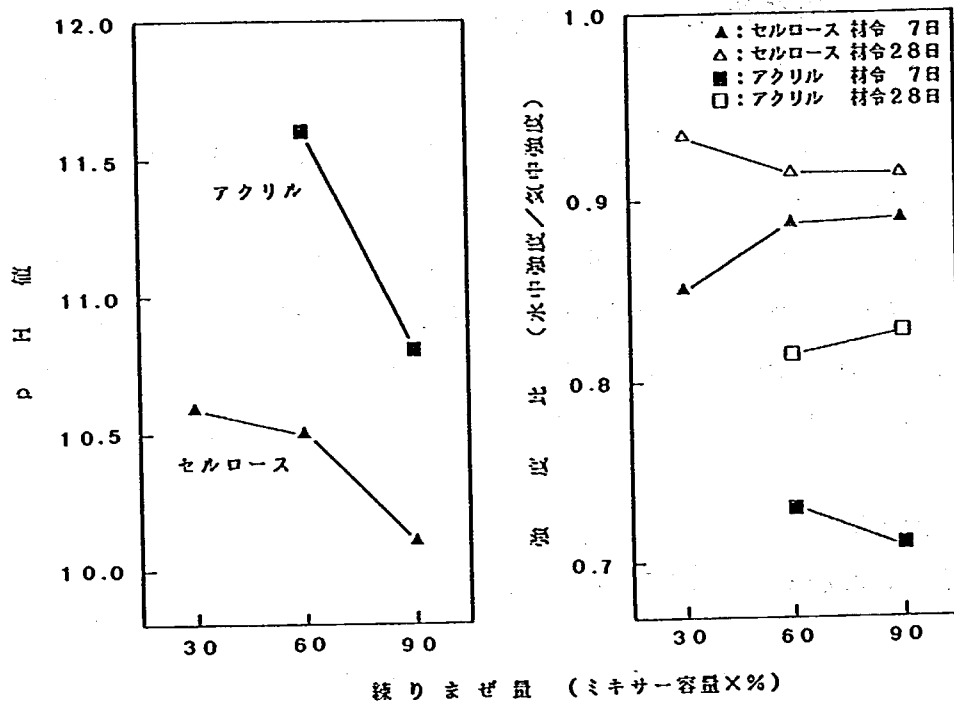


図4-6 ミキサー容量に対する練りまぜ量とpH値, 強度比の関係

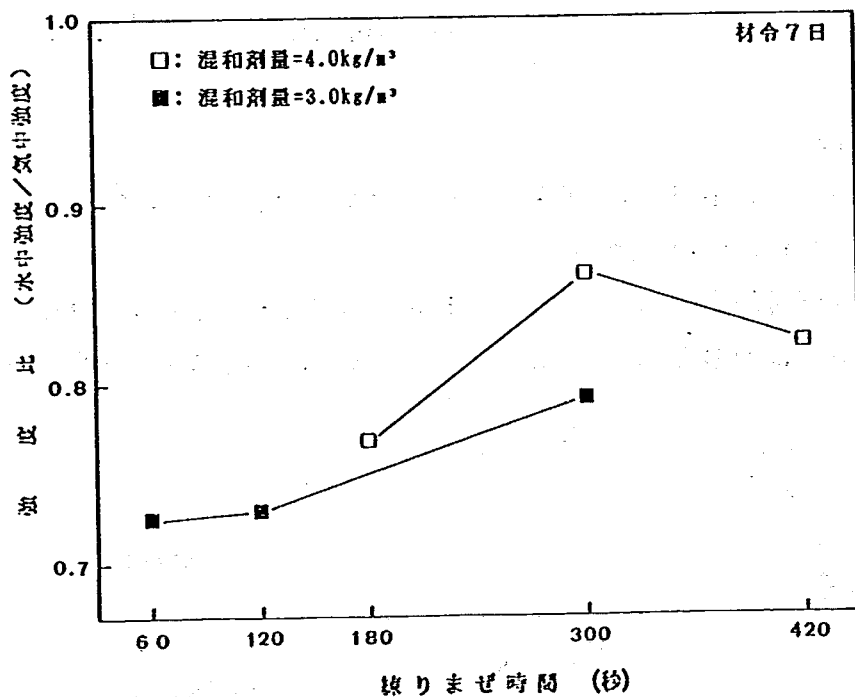


図4-7 練りまぜ時間, 混和剤添加量と強度比の関係
(アクリル系混和剤の場合)

5. 水中不分離性コンクリートの強度特性および耐久性に関する実験

5.1 試験方法

今回の実験においては、主として、水中不分離性コンクリートの基本的な強度特性、および耐久性について調査することを目的とした。

そこで、従来の水中コンクリート工法を採用する際に用いられるスランブ15cm程度の比較的軟練りな普通コンクリートと、セルローズ系およびアクリル系の水中不分離性混和剤を添加したコンクリートについて次項に示す試験を行い比較検討を行った。また、単位水量、水セメント比、使用混和材料種別を変化させ、それらの要因が水中不分離性コンクリートの品質に与える影響についての検討も行った。

5.1.1 実験の要因と水準

本実験の要因と水準は以下の表に示すとおりである。

表5-1 実験の要因と水準

要 因	水 準	
水中不分離性混和剤種別	セルローズ系, アクリル系	無添加
混和材料種別	無添加, スラグ粉末, フライアッシュ	無添加
水セメント比 (%)	40, 50, 60	50
単位水量 (kg/m ³)	190, 210, 230	185, 210

5.1.2 練りませ方法

コンクリートの練りませは、図5-1の手順で行った。なお、練りませには容量100リットルのパン型ターボミキサー（回転数=60rpm）を使用した。

練りませ時間は水中不分離性混和剤無添加およびセルローズ系混和剤を添加した場合は120秒、アクリル系混和剤を添加した場合は300秒とした。なお、練りませ量は、60リットルから90リットルの範囲とした。

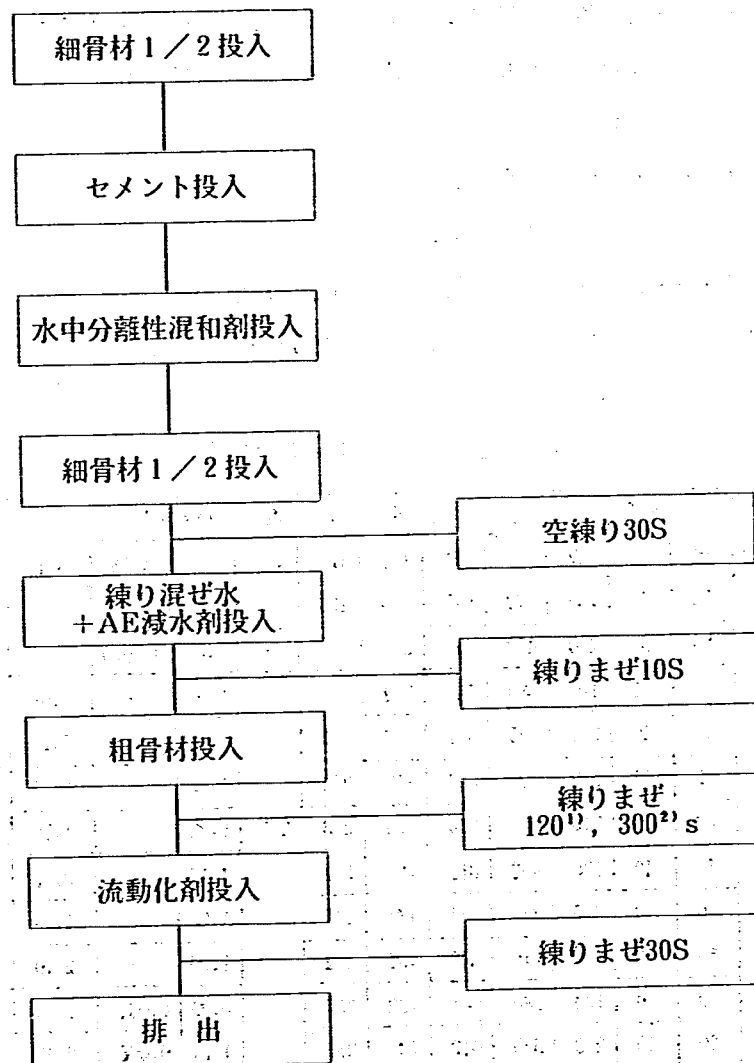


図5-1 練りませ方法フロー図

- * 1) 普通コンクリートおよびセルローズ系混和剤を使用した場合
- 2) アクリル系混和剤を使用した場合

5.1.3 コンクリートの配合

試験に使用したコンクリートの配合は、下に示す条件を満足するよう、試験練りを行い表3-5のように決定した。

水セメント比……40, 50, 60%

単位水量……水中不分離性コンクリートの場合； $W=190, 210, 230\text{kg/m}^3$

普通コンクリートの場合； $W=185, 210\text{kg/m}^3$

目標スランプフロー値……水中不分離性コンクリートの場合；スランプフロー $=450\pm 50\text{mm}$

あるいはスランプ 普通コンクリートの場合；スランプ $=15\pm 2.5\text{cm}$

目標空気量…… $4.0\pm 1.0\%$

水中不分離性混和……セルローズ系； 2.5kg/m^3

添加量 アクリル系； 4.0kg/m^3

フライアッシュ添加率……セメント重量に対して内割で20%添加した。

スラグ粉末添加率……セメント重量に対して内割で50%添加した。

表5-2 コンクリートの配合

配合名	Ad 種別	V/C %	s/a %	単位量 (kg/m ³)										
				W	C	S	G1	G2	Ad1	Ad2	Ad3†	Ad4	Flyash	Slag
N-185-50	無 添 加	50	48	185	370	827	686	226	—	0.93	0.0024	—	—	—
N-210-50		50	53	210	420	857	582	191	—	1.05	0.0030	—	—	—
C-190-50	セ ル ロ ー ス 系	50	40	190	380	681	782	257	2.5	0.95	—	7.98	—	—
C-210-40		40	40	210	525	612	703	231		1.31	—	5.25	—	—
C-210-50		50	40	210	420	647	742	244		1.05	—	2.94	—	—
C-210-60		60	40	210	350	670	769	253		0.88	—	1.75	—	—
C-230-50		50	40	230	460	612	703	232		1.15	—	0.92	—	—
C-210-50-F		50	40	210	336	637	731	241		1.05	—	1.68	84	—
C-210-50-S		50	40	210	210	640	735	242		1.05	—	2.10	—	210
A-190-50	ア ク リ ル 系	50	40	190	380	681	782	257	4.0	0.95	0.081	9.50	—	—
A-210-40		40	40	210	525	612	703	231		1.31	0.066	8.40	—	—
A-210-50		50	40	210	420	647	742	244		1.05	0.081	4.20	—	—
A-210-60		60	40	210	350	670	769	253		0.88	0.078	2.45	—	—
A-230-50		50	40	230	460	612	703	232		1.15	0.081	2.30	—	—
A-210-50-F		50	40	210	336	637	731	241		1.05	0.165	3.78	84	—
A-210-50-S		50	40	210	210	640	735	242		1.05	0.153	4.20	—	210

Ad1；水中不分離性混和剤
Ad2；AE減水剤

Ad3；AE助剤
Ad4；流動化剤

†結合材重量に対する添加率（×%）

5.1.4 試験項目および試験方法

今回実施した試験項目および試験方法は、以下に示すとおりである。

1) スランプ試験 (JISS A 1101に準拠)

2) スランプフロー試験

スランプ試験実施時にスランプフロー尺を使用して試料の横方向の広がりを測定しスランプフロー値とした。なお、スランプおよびスランプフロー値の測定は、スランプコーンを引き上げた後、コンクリートの流動が止まるまで静置した後(約5分)測定した。

3) 空気量試験 (JISS A 1128に準拠)

4) pHおよび濁度試験

- ① 1000ccビーカーに800ccの水をいれ、そこへ水中不分離性コンクリート500gを10等分に分割して、水面から静かに落下させる。なお、落下は10~20秒の間に終了させるものとする。
- ② 3分間ビーカーを静置した後、ビーカー内の水をスポイトを用いてコンクリートが混ざらないように静かに600cc分取する。
- ③ ②の水に対し速やかに水質チェッカーを用いてpH試験および濁度を測定した。なお、使用した水質チェッカーは、pH値についてはガラス電極法で、濁度については透過・散乱比光度法を用いて測定するものである。

5) 圧縮強度試験 (JIS A 1108に準拠)

供試体形状…… $\phi 10 \times 20\text{cm}$

試験材令……1, 2, 3, 7, 14, 28, 91, 182, 365日, 2, 3, 年

供試体採取方法……気中採取 (JIS A 1132に準拠)

水中採取 (図4-2参照)

6) 静弾性係数の測定

圧縮強度試験実施時にコンプレッソメーターにてひずみを検出し、圧縮強度の1/3の応力に対するセカンドモジュラスを静弾性係数とした。

7) 割裂強度試験 (JIS A 1113に準拠)

供試体形状…… $\phi 15 \times 15\text{cm}$

試験材令……7, 28, 91, 182, 365日

供試体採取方法……気中採取 (JIS A 1132に準拠)

水中採取 (図4-2参照)

8) 曲げ強度試験 (JIS A 1106に準拠)

供試体形状…… $10 \times 10 \times 40\text{cm}$

試験材令……7, 28, 91, 182, 365日

供試体採取方法……気中採取 (JIS A 1132に準拠)

水中採取 (図4-2参照)

9) 屋外暴露試験

水中不分離性コンクリートの耐久性を把握する目的で、屋外に水中不分離性コンクリートを暴露し、長さ変化率、中性化深さの測定および圧縮強度試験を実施した。

9-1) 長さ変化率試験

供試体形状…… $10 \times 10 \times 40$ cm

試験材令……1, 3, 6, 12, 24, 36ヶ月

供試体採取方法……気中採取および水中採取

養生方法……標準水中養生を28日間行った後、建設省土木研究所内の屋外暴露場で暴露した。

なお、供試体の含水状態が長さ変化率におよぼす影響を低減させるため、所定の試験材令の3日前から供試体を 20°C の水中に静置した後、長さ変化および供試体重量の測定を行った。

測定方法……供試体に、標点間隔が300mmとなるよう、ゲージプラグを埋め込み、コンタクトゲージを使用して所定の材令で測長した。

9-2) 中性化深さ試験

供試体形状…… $\phi 10 \times 20$ cm

試験材令……1, 3, 6, 12, 24, 36ヶ月

供試体採取方法……気中採取および水中採取

養生方法……標準水中養生を28日間行った後、建設省土木研究所内の屋外暴露場で暴露した。

なお、試験を実施する3日前から供試体を温度 20°C 、湿度60%の室内に静置した後、試験を実施した。

測定方法……供試体を割裂し、その断面にフェノールフタレインの1%アルコール溶液を噴霧した。その際、赤色しない部分をノギスを用いて測定し、その平均値を中性化領域とした。

9-3) 圧縮強度試験

供試体形状…… $\phi 10 \times 20$ cm

試験材令……1, 3, 6, 12, 24, 36ヶ月

供試体採取方法……気中採取および水中採取

養生方法……標準水中養生を28日間行った後、建設省土木研究所内の屋外暴露場で暴露した。

試験方法……JIS A 1108に準拠して所定の材令で試験を実施した。

10) 中性化促進試験

供試体形状…… $\phi 10 \times 20$ cm

供試体採取方法……気中採取および水中採取

養生方法……標準水中養生を28日間、その後 20°C 、60%の室内で28日間養生した後、中性化を促進させた。

試験方法……供試体両端面をエポキシ樹脂系塗料でシールした後、試験槽内に供試体を静置し、槽内を5%濃度の二酸化炭素で充満させ中性化を促進させた。なお、中性

化促進槽は温度20℃、湿度60%の室内に設置した。促進中性化期間は1, 2, 3ヶ月とし、所定の期間経過後供試体を取り出し温度20℃、湿度60%の室内で24時間静置した後、割裂した。その後、その断面にフェノールフタレインの1%アルコール溶液を噴霧し赤色を呈さない部分を中性化領域としてノギスにより深さを測定した。

11) 塩化物浸透試験

供試体形状…… $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$

試験材令……1, 3, 6ヶ月

供試体採取方法……気中採取および水中採取

養生方法……標準水中養生を28日間、その後温度20℃、湿度60%の室内で28日間養生した後試験を実施した。

試験方法……供試体上面および下面をエポキシ樹脂系塗料でシールした後、試験液中に浸せきした。試験液は、塩化ナトリウム $\text{NaCl} = 32.6 \text{ g}$ を蒸留水に加え、試験液総量が1リットルとなるよう調製したものを使用した。塩化物イオン浸透深さの測定は、供試体を割裂後、供試体断面に0.1%フルオレセインナトリウム水溶液および0.1N硝酸銀溶液を噴霧し、蛍光を発しない部分を未浸透域として、ノギスを用いて測定した。

12) 凝結試験

試験方法……コンクリートを、5mmフルイでウェットスクリーニングして得られたモルタルを試料とし、ASTM C 403に準拠して試験を実施した。なお、貫入抵抗の測定は、スプリング反力型の貫入試験機を使用した。

13) 疲労強度試験

供試体形状…… $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$

供試体採取方法……気中採取および水中採取

試験方法……コンクリートの疲労強度は、環境条件、主として湿度条件により差異が生じるとされている¹²⁾。そこで、今回の試験においては環境条件を水中および気中として疲労試験を行い比較検討を行うこととした。また、応力レベルは、下限応力を 10 kgf/cm^2 と各配合とも一定とし、上限応力は静的圧縮強度の40%~80%の間で変化させた。なお、繰り返し荷重の波形は正弦波形とし、10Hzの載荷速度で試験を実施した。

表5-3に配合種別毎の試験項目の一覧を示す。

表5-3 配合種別毎試験項目一覧

水中不分離性混和剤種別		無 添 加		セルロース系混和剤							アクリル系混和剤						
混和材種別		無 添 加		無 添 加					slag	ash	無 添 加					slag	ash
単位水量		210	185	190	210			230	210	210	190	210			230	210	210
水セメント比		50	50	50	40	50	60	50	50	50	50	40	50	60	50	50	50
圧縮強度試験	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	W	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
割裂強度試験	A	○	○		○	○	○					○	○	○			
	W				○	○	○					○	○	○			
曲げ強度試験	A	○	○		○	○	○					○	○	○			
	W				○	○	○					○	○	○			
暴露試験	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	W					○							○				
塩化物浸透試験	A	○	○		○	○	○		○	○		○	○	○		○	○
	W					○							○				
疲労試験	A	○				○							○				
	W					○							○				
中性化促進試験		A	○	○		○							○				
凝結試験		○	○			○			○	○			○			○	○

A：気中採取 W：水中採取

5.2 試験結果および考察

5.2.1 フレッシュ時の性状

- ① 図5-2に、単位水量および水セメント比が流動化剤添加前の水中不分離性コンクリート（以下ベースコンクリート）のスランプに与える影響を示す。当然のことながら単位水量、水セメント比の減少にともないスランプは小さな値を示した。また、普通コンクリートで単位水量を 210kg/m^3 、水セメント比を50%としたN-210-50配合のスランプが22.6cmであるのに対し、単位水量および水セメント比が同一のコンクリートにセルロース系混和剤を添加したもののスランプは20.0cm、アクリル系混和剤を添加したものは15.8cmとなり、水中不分離性混和剤を添加することでコンクリートのスランプは小さな値を示した。また、同一配合条件であれば、アクリル系混和剤を用いたものはセルロース系混和剤を用いたものと比較してベースコンクリートのスランプは小さな値を示し、所定の流動性を得るために必要な流動化剤添加量がセルロース系を使用した場合の1.2~2.5倍となった。
- ② アクリル系混和剤を使用した場合、普通コンクリートの20倍以上のAE助剤を添加しなくては、所要の空気量(4%)を連行することができなかった。さらに、混和材料としてスラグおよびフライアッシュを使用すると、空気はますます連行しにくくなる傾向にあった。一方、セルロース系混和剤を使用した場合は、AE助剤を添加することなく所要の空気量を得ることができた。ただし、連行された空気は主として練りまぜ時に生じるエントラップトエアールと考えられる。従って、AE剤を添加することにより得られる微細な空気泡と同様にコンクリートの耐久性やワーカビリティの向上に寄与するものであるかどうかを検討する必要がある。また、普通コンクリートにおいては、フライアッシュを添加すると空気は連行しにくくなるとされているが、セルロース系混和剤とフライアッシュを併用した場合、他の配合と比較して練り上がり時の空気量が増加する傾向が認められた。
- ③ 図5-3に、濁度とpH値の関係を示した。今回は、試験体数が少ないため両者の間に明確な相関を認めることはできなかったが、pH値は濁度の増大にともない大きな値を示す傾向にあった。これは、水中不分離性コンクリートを打設した際に生じる水の汚濁は、主としてセメント粒子の流出によるところが大きいと思われる。図中に参考のため、既往の研究報告¹³⁾によるpH値と濁度の関係を示した。また、アクリル系を使用したものは、セルロース系を使用したものと比較し濁度、pH値は大きな値を示した。特に、濁度は、セルロース系を用いたものの10倍程度の値となった。
- ④ 図5-4に単位セメント量と濁度の関係を示した。今回の実験のように単位水量や単位セメント量の増減に関わらず水中不分離性混和剤の単位量を一定とした場合、単位セメント量の増加にともない濁度は低下する傾向にあった。これは、単位セメント量の増加がコンクリートの粘性に寄与し、材料分離が生じにくくなったためと思われる。

表5-4 フレッシュコンクリート試験結果一覧

配合名	流動化剤添加前				流動化剤添加後					
	SL (cm)	S.F (mm)	Air (%)	$\{T\}$ (°C)	SL (cm)	S.F (mm)	Air (%)	$\{T\}$ (°C)	p.H	濁度 (ppm)
N-185-50	13.5	—	3.8	21.5	—	—	—	—	12.4	301
N-210-50	22.6	413	3.9	22.2	—	—	—	—	12.5	235
C-190-50	17.5	255	4.7	23.2	23.8	425	4.7	23.2	11.2	42
C-210-40	17.7	293	4.2	22.3	22.9	440	4.2	22.3	10.7	6
C-210-50	20.0	336	4.5	21.6	24.7	470	4.3	21.5	11.1	14
C-210-60	21.4	388	5.0	21.2	23.4	445	5.0	21.2	10.9	16
C-230-50	21.5	375	4.6	23.2	23.3	430	4.6	23.2	11.2	18
C-210-50-F	22.0	385	6.4	22.4	23.0	418	6.3	22.4	10.5	12
C-210-50-S	21.7	355	4.8	22.3	23.7	427	4.5	22.3	10.5	36
A-190-50	8.0	—	4.3	21.5	24.6	463	4.6	21.5	11.8	147
A-210-40	12.0	—	4.4	22.3	25.0	490	4.4	21.5	11.8	118
A-210-50	15.8	—	5.1	22.0	23.6	476	4.8	22.0	11.6	121
A-210-60	17.5	330	6.0	21.2	23.1	448	4.8	21.2	12.1	220
A-230-50	18.0	340	5.3	21.5	23.3	421	4.8	21.5	11.8	110
A-210-50-F	17.0	—	5.1	22.2	22.6	410	4.3	22.5	11.8	132
A-210-50-S	16.5	—	4.9	22.5	23.4	415	4.8	22.5	11.5	139

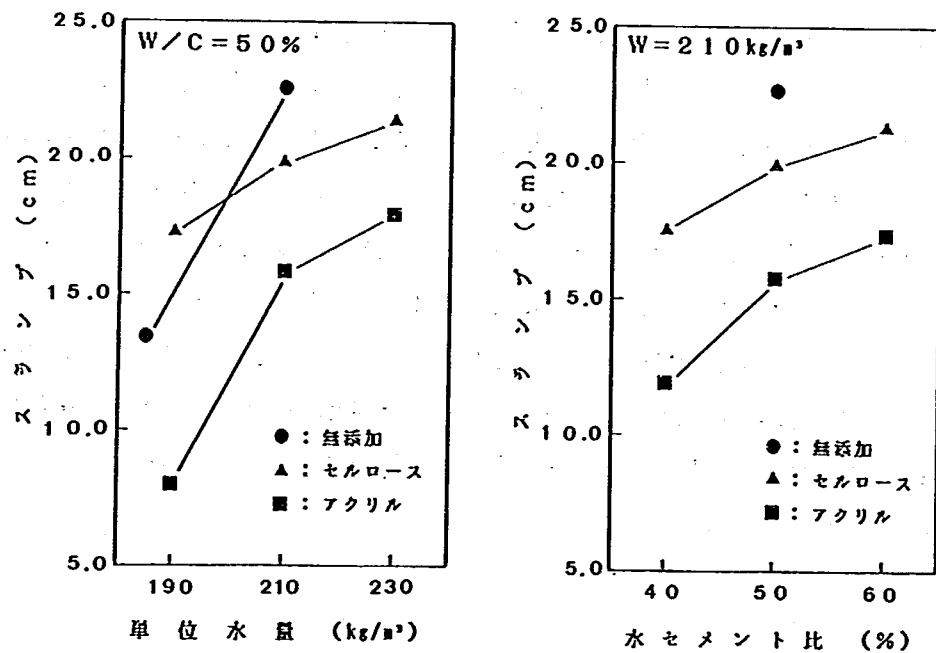


図5-2 単位水量および水セメント比がスランプにおよぼす影響

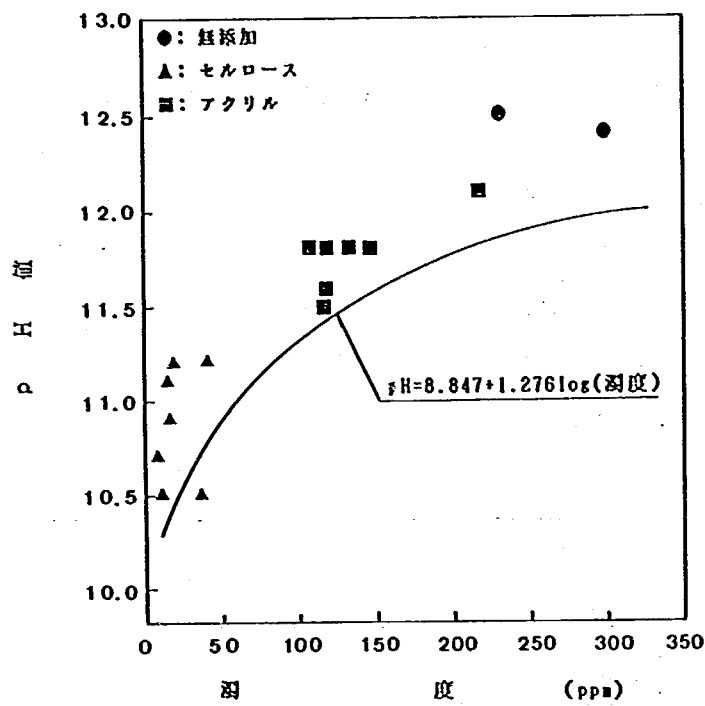


図5-3 濁度とpH値の関係

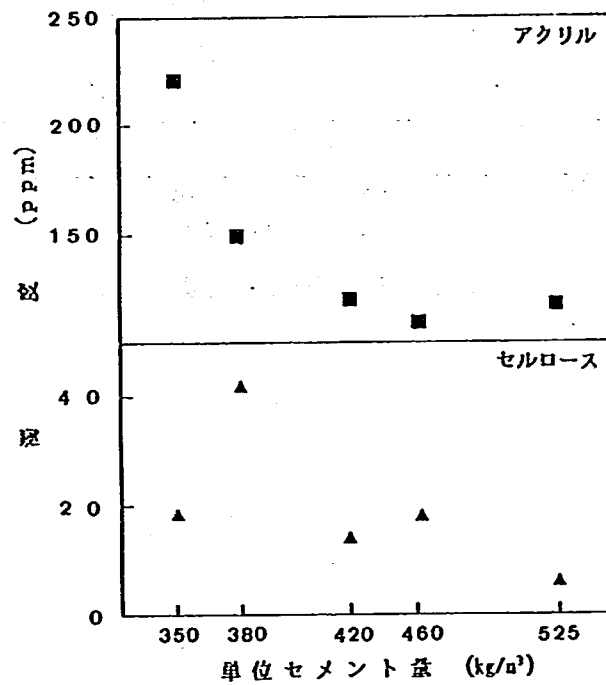


図5-4 濁度と単位セメント量の関係

5.2.2 凝結硬化速度

① 凝結試験結果を図5-5に示す。普通コンクリートと比較して、アクリル系混和剤を用いた場合で2～3時間、セルローズ系混和剤を用いた場合は7～8時間凝結は遅延した。また、水中不分離性混和剤とスラグ、フライアッシュを併用することで、凝結は更に遅延し、セルローズ系を用いた場合は終結までに20時間以上を要した。従って、水中不分離性コンクリートは普通コンクリートと比較して運搬が可能な時間および打継ぎ可能時間を比較的長時間に設定することが可能となるものの、硬化までに長時間を要するため、流水や波力が作用することによるセメント分の流出ならびにコンクリートの洗掘、変形等を防止するための養生には十分な留意が必要なものと思われる。なお、今回の試験は、流動化剤を添加した水中不分離性コンクリートを試料として使用したため、流動化剤を添加したことにより生じる凝結遅延の影響が加味された結果となっている。既往の研究によれば、セルローズ系を使用した場合は凝結の遅延が生じるが、アクリル系混和剤のみをコンクリートに添加しても遅延しないとの報告もある¹⁾。

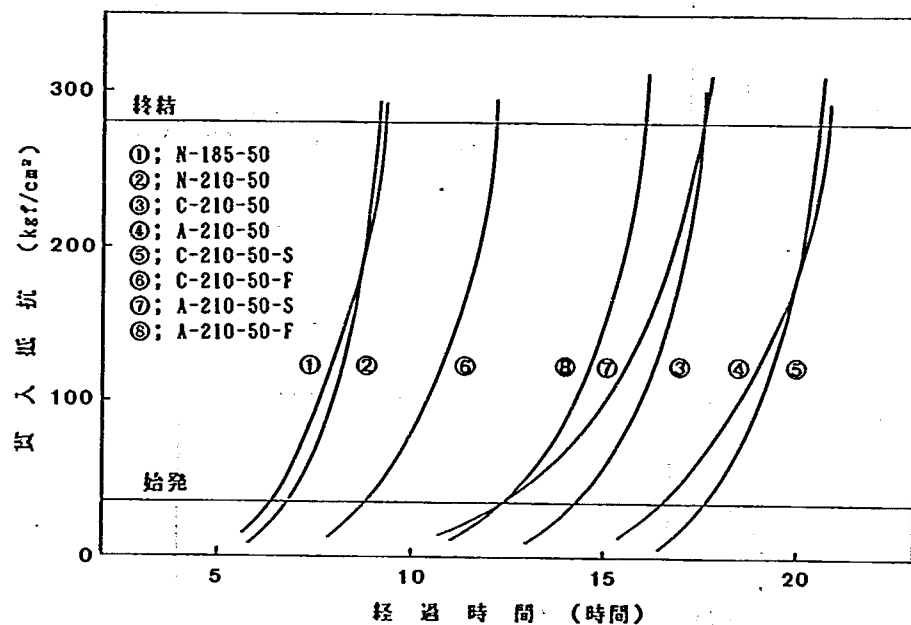


図5-5 凝結試験結果

5.2.3 強度特性

- ① 図5-6にセメント水比と圧縮強度（気中強度）の関係を示す。水中不分離性混和剤を添加しても、セメント水比の増大にともない圧縮強度は増大し、セメント水比の法則が適用できるものと思われる。
- ② 図5-7に、単位水量および混和剤種別が圧縮強度に与える影響を示す。水中不分離性コンクリートの気中強度は、ごく僅かではあるものの普通コンクリートと比較して小さな値を示した。既往の研究によれば、水中不分離性混和剤を添加することによる圧縮強度の低下は、水中不分離性混和剤を添加することによりブリージングが抑制され、供試体コンクリートの水セメント比の減少が抑えられたためだと説明されている¹⁾。なお、単位水量が水中不分離性コンクリートの圧縮強度に与える影響は顕著に認められなかった。また、図5-8には混和材料種別が水中不分離性コンクリートの圧縮強度におよぼす影響を示す。
- ③ 図5-9に、濁度と材令28日での圧縮強度比（水中強度／気中強度）の関係を示す。セルローズ系、アクリル系両者の混和剤を使用した場合とも、試験値にばらつきがあるものの濁度の上昇にともない強度比が低下する傾向が認められた。また、アクリル系混和剤を添加したものは、セルローズ系混和剤を添加したものと比較して濁度がきわめて大きな値を示したにも関わらず、強度比は全配合とも0.8以上の値を得た。
- ④ 図5-10～図5-12に材令と圧縮強度の関係を示す。水中不分離性混和剤を添加することで、前述したとおり凝結は遅延するものの、材令1～2日で水中不分離性混和剤添加の有無による大きな圧縮強度の差異は認められなかった。従って、水中不分離性混和剤はコンクリートの凝結を遅延させるものの、その後の強度発現に悪影響はおよぼさないものと思われる。また、スラグ、フライアッシュを添加すると、初期材令での強度発現はきわめて緩慢となる。しかし、スラグをセメントに対して50%添加した場合は材令28日で、フライアッシュを20%添加した場合は材令91日程度で、混和材無添加のコンクリートとほぼ同等の圧縮強度を得ることができるようである。
- ⑤ 図5-13に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図中に普通コンクリートについて適応が可能なACI提案式を示すが、水中不分離性コンクリートの静弾性係数は普通コンクリートと比較して小さいようである。材令28日の圧縮強度（ σ_{28} kgf/cm²）と静弾性係数（ E_c kgf/cm²）の関係を近似すると以下のとおりとなる。
- セルローズ系 気中採取； $E_c = 13600 (\sigma_{28})^{1/2}$ 水中採取； $E_c = 12900 (\sigma_{28})^{1/2}$
アクリル系 気中採取； $E_c = 12800 (\sigma_{28})^{1/2}$ 水中採取； $E_c = 11300 (\sigma_{28})^{1/2}$
- このように、圧縮強度が同程度であっても混和剤種別や供試体採取方法により静弾性係数に差異が生じ、セルローズ系を使用したものはアクリル系を使用したものよりも、また、気中採取したものは水中採取したものよりも静弾性係数が大きな値を示す傾向にあった。
- ⑥ 図5-14に、圧縮強度と割裂強度の関係を示す。割裂強度は、ある程度までは圧縮強度の増大にともない増加するが、それ以降は頭打ちの状態となり、圧縮強度の1/10～1/13程度の値を示した。
- ⑦ 曲げ強度は図5-15に示すよう割裂強度と比例関係にあり、普通コンクリートについて適応が可能なセメント協会式 $F_t = 1.26F_c + 11.9$ （ここで F_c ：曲げ強度 F_t ：割裂強度）により近似することが可能なようである。

表 5 - 5 強度および静弾性係数試験結果一覧

(kgf/cm²)

配 合 名	供 試 体 作製方法	材 令 7 日				材 令 2 8 日				材 令 9 1 日			
		圧縮強度	割裂強度	曲げ強度	ヤング率	圧縮強度	割裂強度	曲げ強度	ヤング率	圧縮強度	割裂強度	曲げ強度	ヤング率
N-185-50	気中採取	321	34.4	52.6	271000	439	36.7	61.8	306000	477	32.6	59.5	333000
N-210-50	気中採取	317	30.9	52.8	251000	425	33.6	61.8	300000	483	38.9	54.3	320000
C-190-50	気中採取	297			247000	424			273000	418			336000
	水中採取	264			226000	367			270000	417			286000
C-210-40	気中採取	403	38.6	57.7	276000	537	42.3	60.6	310000	586	38.2	64.5	329000
	水中採取	413	35.0	52.3	253000	548	41.7	55.4	299000	571	35.5	61.5	323000
C-210-50	気中採取	293	29.5	50.0	244000	412	35.6	57.6	281000	470	33.1	54.4	290000
	水中採取	304	25.7	44.2	279000	407	33.8	51.3	279000	436	32.0	53.9	297000
C-210-60	気中採取	224	23.1	40.5	213000	302	28.4	44.2	259000	347	28.8	47.5	269000
	水中採取	185	19.7	33.3	195000	289	26.4	41.2	237000	311	26.9	43.9	223000
C-230-50	気中採取	296			233000	404			272000	405			279000
	水中採取	283			215000	389			253000	414			280000
C-210-50-F	気中採取	211			183000	330			240000	399			289000
	水中採取	202			195000	318			236000	414			273000
C-210-50-S	気中採取	197			173000	403			267000	538			313000
	水中採取	204			166000	391			253000	510			290000
A-190-50	気中採取	272			228000	424			268000	444			289000
	水中採取	229			199000	356			234000	394			270000
A-210-40	気中採取	415	35.6	58.9	264000	493	36.9	64.7	293000	591	44.8	62.6	315000
	水中採取	395	36.5	52.3	249000	514	37.3	57.2	267000	570	44.0	56.6	299000
A-210-50	気中採取	284	30.2	50.1	210000	398	33.2	54.9	248000	427	37.8	58.9	287000
	水中採取	220	24.0	42.0	183000	331	29.5	47.2	227000	350	31.7	51.1	233000
A-210-60	気中採取	185	19.9	38.3	147000	277	24.9	44.7	217000	274	29.4	47.2	228000
	水中採取	140	19.4	30.2	163000	244	21.4	39.3	191000	297	29.6	45.2	249000
A-230-50	気中採取	253			187000	382			244000	427			259000
	水中採取	222			183000	344			226000	398			239000
A-210-50-F	気中採取	200			203000	305			228000	419			279000
	水中採取	168			168000	279			208000	389			244000
A-210-50-S	気中採取	180			145000	369			243000	473			299000
	水中採取	152			133000	322			255000	421			277000

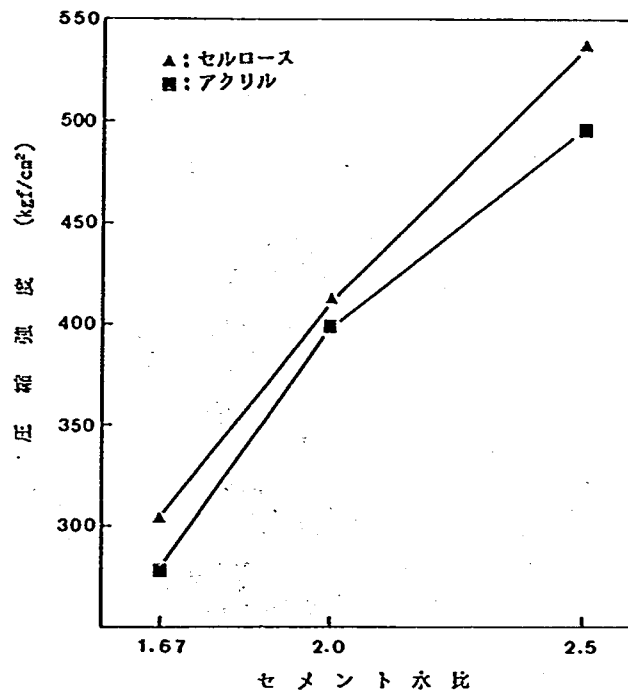


図5-6 セメント水比と圧縮強度（気中強度）の関係

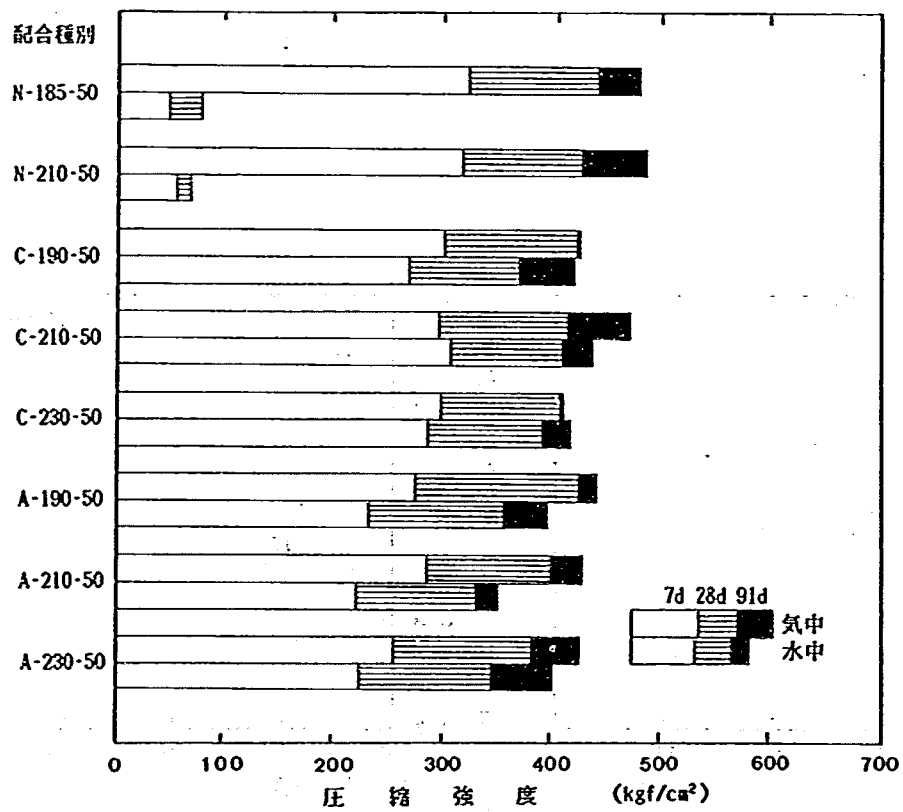


図5-7 混和剤、単位水量が圧縮強度におよぼす影響

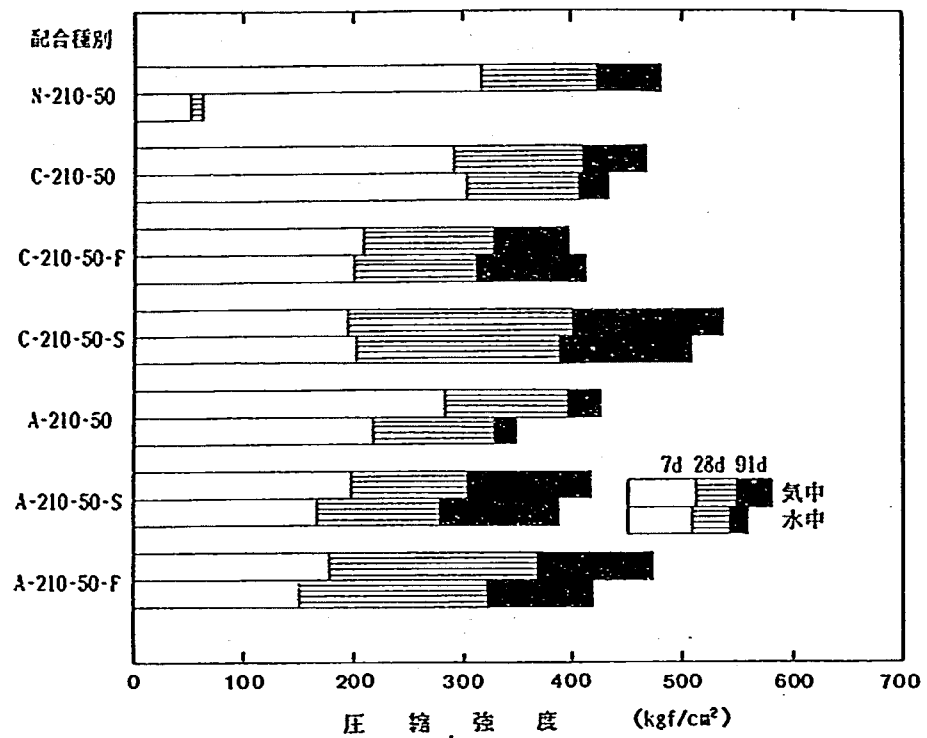


図 5-8 混和材料が圧縮強度におよぼす影響

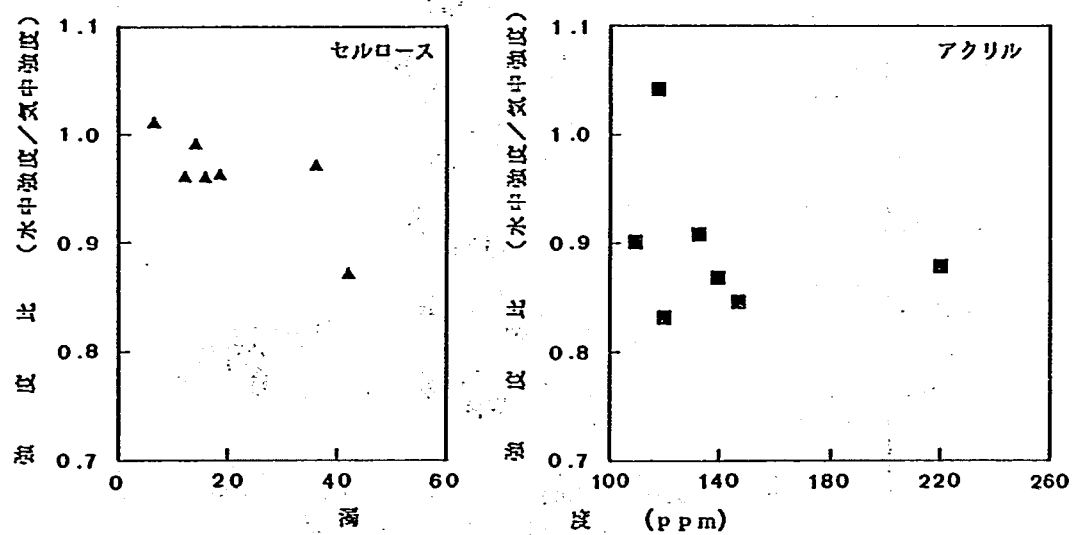


図 5-9 濁度と強度比の関係

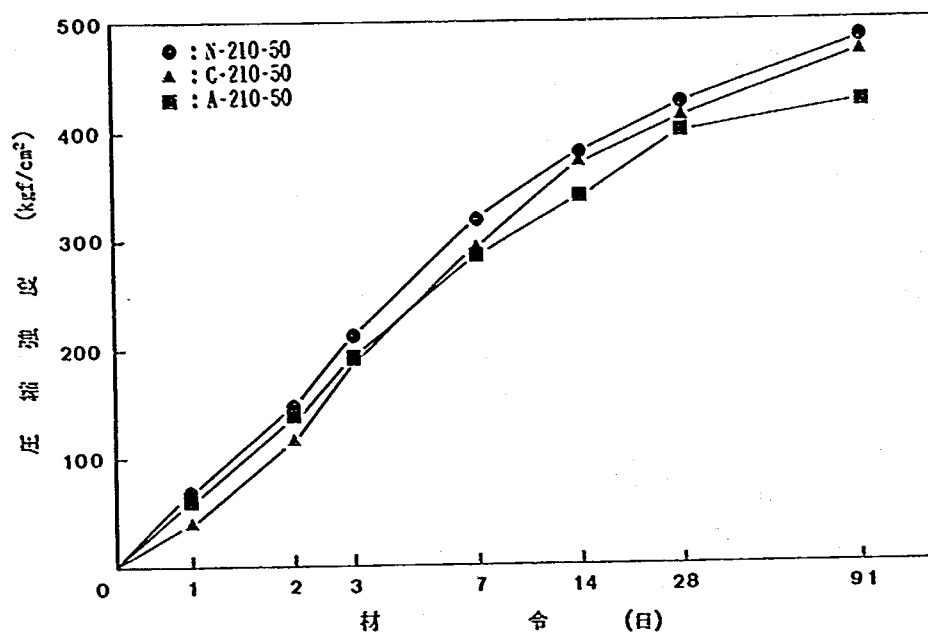


図5-10 材令と圧縮強度（気中強度）の関係（混和剤種別の影響）

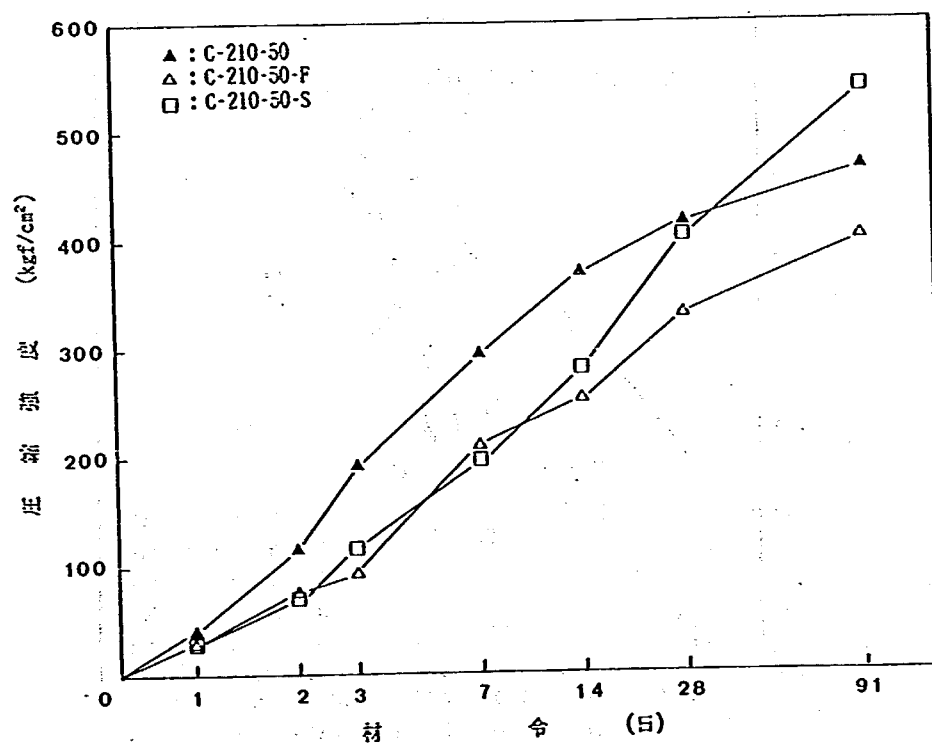


図5-11 材令と圧縮強度（気中強度）の関係（セルローズ系）

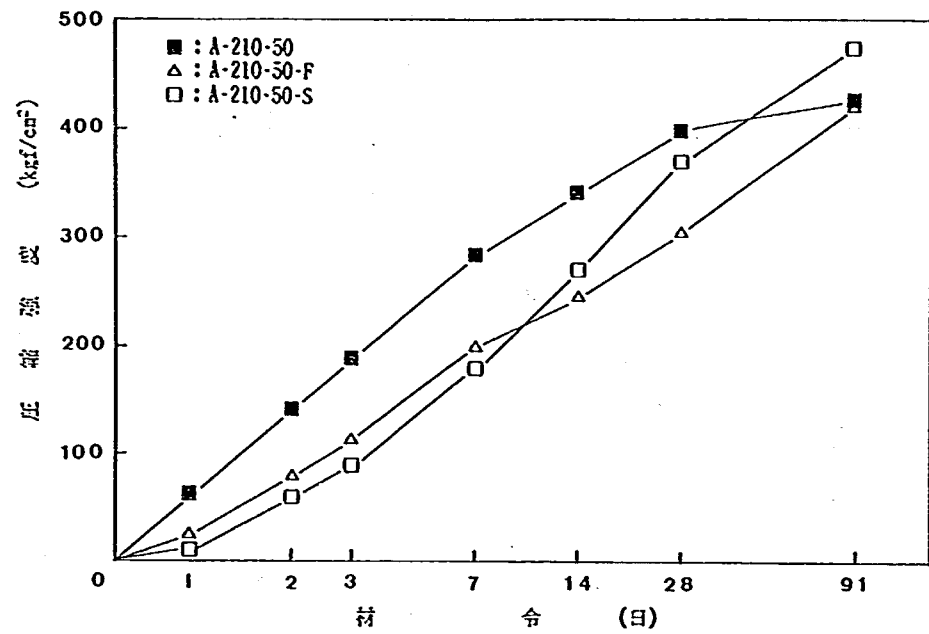


図5-12 材令と圧縮強度（気中強度）の関係（アクリル系）

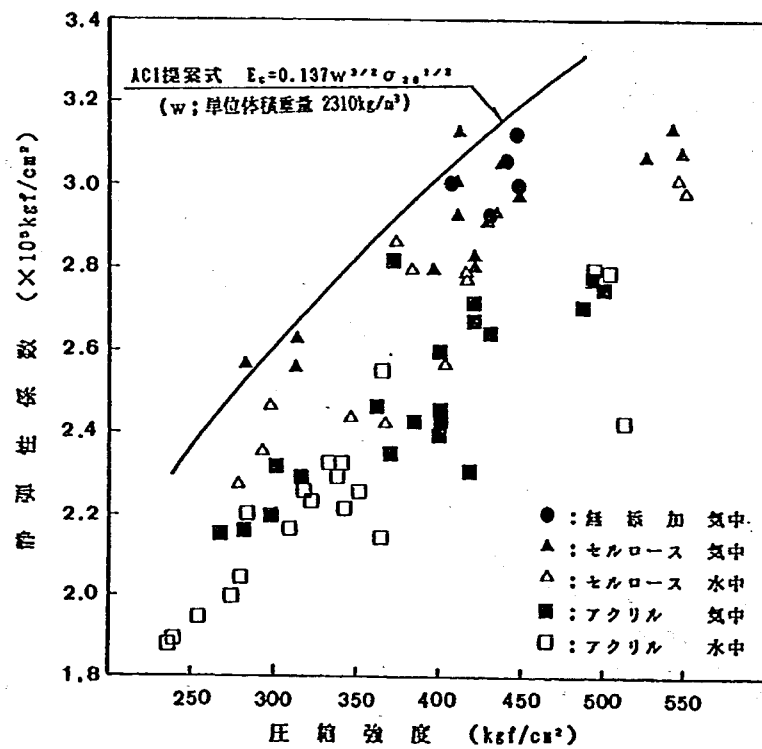


図5-13 圧縮強度と静弾性係数の関係

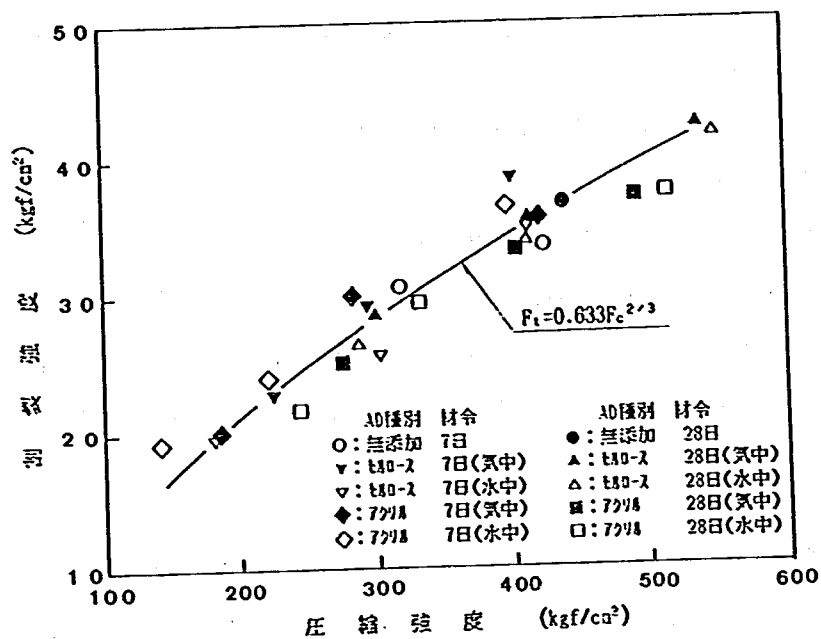


図 5-14 圧縮強度と割裂強度の関係

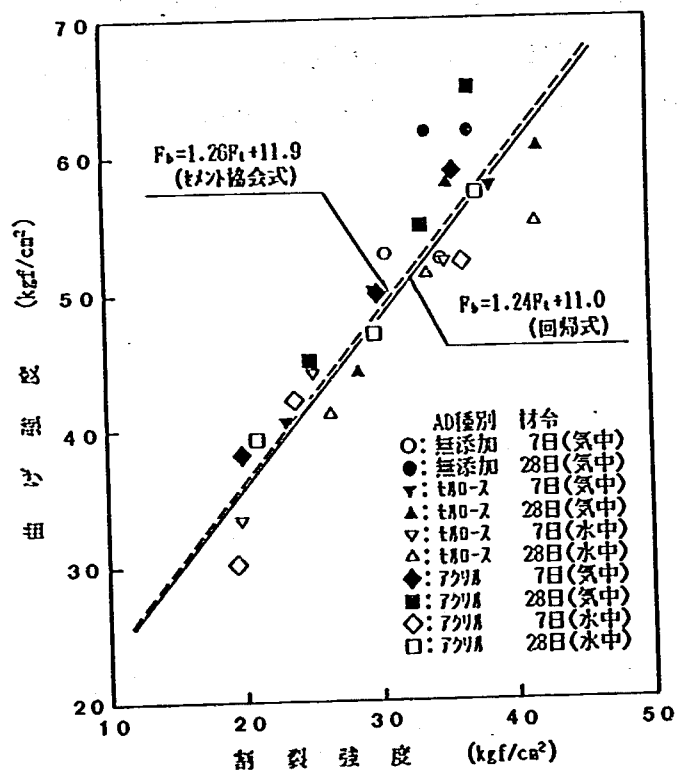


図 5-15 割裂強度と曲げ強度の関係

5.2.4 耐久性状

- ① 乾燥期間3ヶ月までの乾燥収縮試験結果を図5-16、5-17に示す。セルローズ系混和剤を用いたコンクリートの乾燥収縮量は、単位水量が同一である普通コンクリートとほぼ同等の値を示した。一方、アクリル系混和剤を使用したものは、セルローズ系混和剤を使用したものと比較して30～40%程度乾燥収縮量が大きくなった。なお、アクリル系混和剤を使用したものはセルローズ系混和剤を使用したものと比較して流動化剤の添加量（練りませ水に対し外割使用）が多いため、乾燥収縮量の増大に影響をおよぼしているものと思われる。また、スラグ粉末およびフライアッシュ添加の有無による乾燥収縮量の差異は、乾燥期間3ヶ月においては顕著に認めることができなかった。
- ② 図5-18に中性化促進試験結果を示す。水中不分離性混和剤添加の有無や混和剤種別の相違による中性化深さの差異は、明確に認められなかった。ただし、他の配合と比較して単位水量の少ない、N-185-50配合のみ、中性化深さは小さな値となった。
- ③ 図5-19に浸せき期間3ヶ月までの塩化物イオン浸透深さ試験結果を示す。セルローズ系混和剤を添加したC-210-50配合は、混和剤無添加のN-210-50配合と比較して、塩化物浸透深さは大きな値を示した。特にその傾向は、浸せき期間が3ヶ月の場合に顕著となった。一方、アクリル系混和剤を添加したA-210-50配合は、N-210-50配合とほぼ同等の値となった。また、セルローズ系、アクリル系どちらの混和剤を使用した場合も、水中採取供試体の塩化物浸透深さは、気中採取供試体と比較して大きな値となった。なお、塩化物の浸透深さは、水セメント比を小さくしたり、スラグ粉末や、フライアッシュ等の混和材を併用することで、低下させることが可能なようである。

中性化速度や塩化物の浸透速度は、セメント硬化体の細孔径分布の影響を大きく受けると考えられるため、今後、水中不分離性コンクリートの細孔構造を明確にしていく必要があるものと思われる。

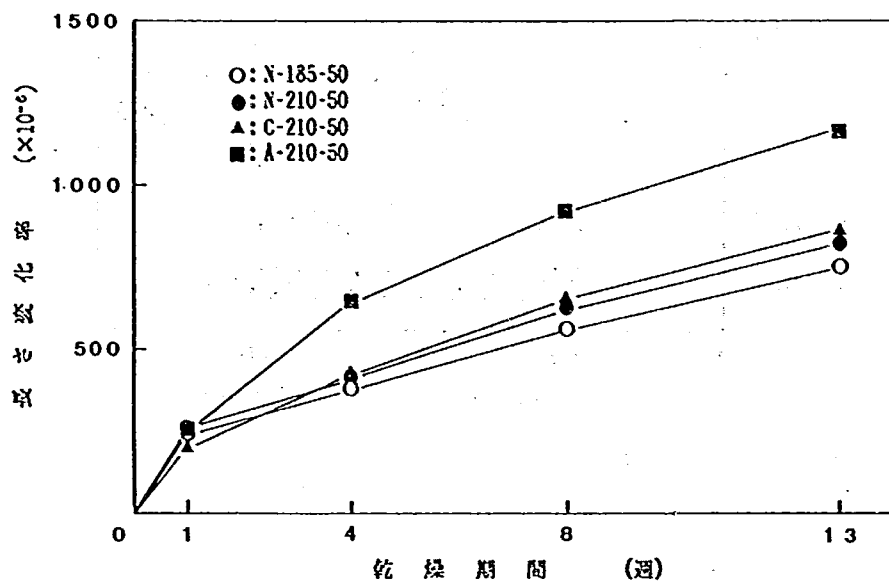


図 5-16 乾燥収縮試験結果 (混和剤種別がおよぼす影響)

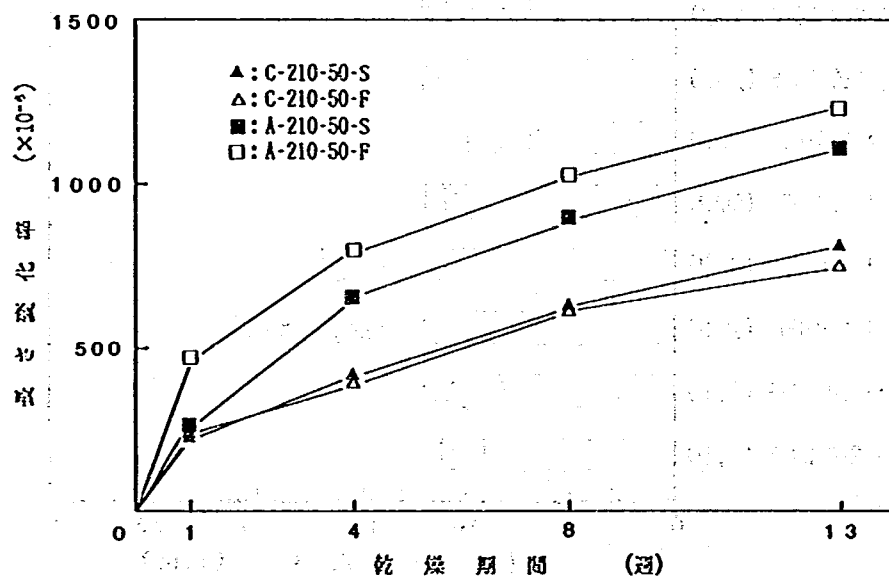


図 5-17 乾燥収縮試験結果 (混和材種別がおよぼす影響)

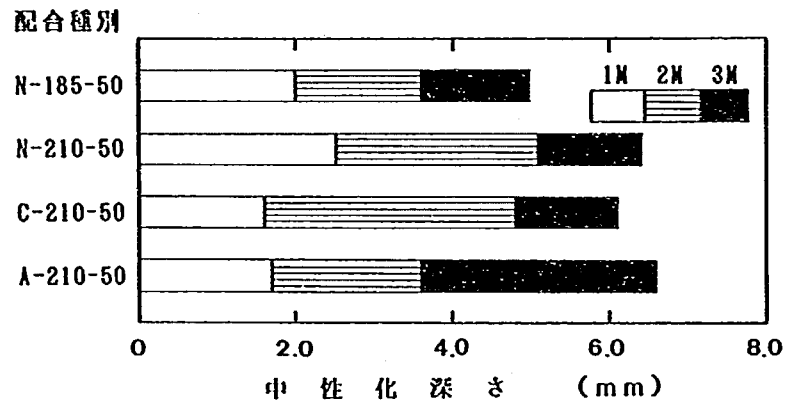


図5-18 中性化促進試験結果

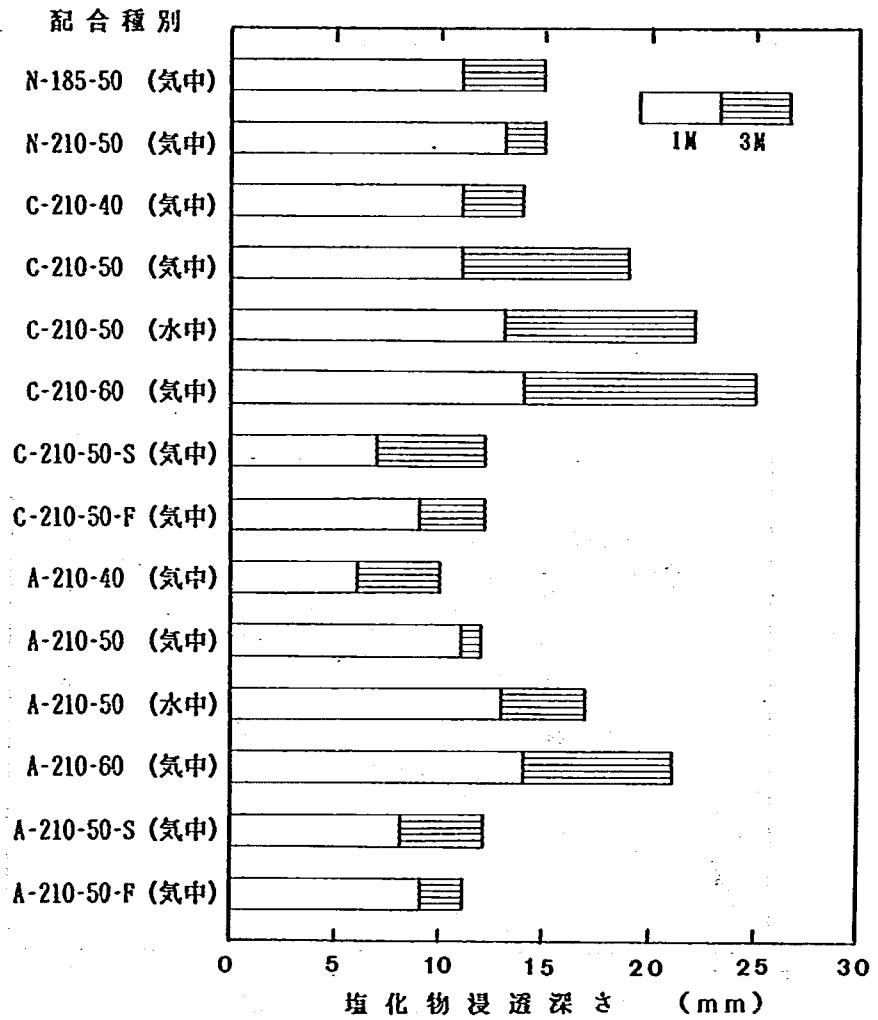


図5-19 塩化物浸透試験結果

6. ま と め

今回の実験結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① 水中不分離性コンクリートの材料分離抵抗性に、練りませ時間やミキサー容量に対する練りませ量等の練りませ方法がおよぼす影響はきわめて大きい。良好な材料分離抵抗性を確保するためには、練りませ時間を長くすることが有効である。
- ② 水中不分離性混和剤を添加すると、スランプおよびスランプフロー値は低下する。特に、その傾向は、アクリル系混和剤を添加した場合に顕著となる。
- ③ アクリル系混和剤を使用したものはセルローズ系混和剤を使用したものと比較し、打設した周辺の水のpH値および濁度の上昇が大きい。
- ④ アクリル系混和剤を使用した場合空気はきわめて連行しにくく、AE助剤の使用量が普通コンクリートの10倍以上を要する。セルローズ系混和剤の場合、AE助剤を添加せずに所要の空気量を連行することが可能であったが、連行された空気がAE助剤により連行される微細な空気泡と同様にコンクリートの耐久性等品質の向上に寄与するものであるかどうかについての検討を要する。
- ⑤ 水中不分離性コンクリートの凝結は、普通コンクリートと比較してセルローズ系混和剤を使用したもので7～8時間、アクリル系混和剤を使用したもので2～3時間遅延する。
- ⑥ 水中不分離性コンクリートの圧縮強度は、セメント水比と比例関係にあり、普通コンクリートと同様にセメント水比の法則を適用することが可能である。ただし、水中不分離性混和剤を添加すると僅かながら圧縮強度は低減する傾向にある。
- ⑦ 水中不分離性コンクリートの静弾性係数は、圧縮強度が同等の普通コンクリートと比較して若干小さい。特に、水中に打設されたコンクリートはその傾向が顕著である。
- ⑧ 割裂強度は、圧縮強度の $1/10 \sim 1/13$ 程度、また、曲げ強度と割裂強度は比例関係にあり、普通コンクリートと同様な相関が認められる。
- ⑨ 水中不分離性コンクリートの乾燥収縮量は、通常使用されるコンクリートと比較して若干大きい。なお、セルローズ系混和剤を使用したものの乾燥収縮量は、単位水量および水セメント比が同一の普通コンクリートとほぼ同等である。しかし、アクリル系混和剤を使用したものは、30%程度大きな値を示した。また、スラグ粉末およびフライアッシュの添加の有無が乾燥収縮量に与える影響は認められなかった。
- ⑩ 水中不分離性コンクリートの中性化速度は、単位水量ならびに水セメント比が同一の普通コンクリートと同等である。しかし、水中不分離性コンクリートは単位水量が大きいので、通常使用されるコンクリートと比較すると中性化速度は速いようである。
- ⑪ セルローズ系混和剤を使用したものの塩化物浸透深さは、普通コンクリートと比較して大きい。一方、アクリル系混和剤を使用したものは、普通コンクリートとほぼ同等である。また、水中採取供試体の塩化物浸透深さは、気中採取供試体よりも大きな値を示す。なお、水セメント比を小さくしたり、スラグ粉末、フライアッシュを添加することで塩化物浸透深さを低下させることが可能なようである。

現在、塩化物浸透試験、疲労試験、乾燥収縮試験および暴露試験については、試験を遂行中であり、結果は追って報告する予定である。

今回の一連の実験により、水中不分離性コンクリートと普通コンクリートの強度特性や、耐久性状の相違をある程度把握することができた。今後、水中での自由落下距離や流動距離等の施工方法が水中不分離性コンクリートの品質に与える影響を検討する予定である。

謝 辞

現在、土木学会において水中不分離性コンクリートの設計施工指針を作成中であり、本実験もその一環として水中不分離性コンクリートの基本的な性質の整備拡充を目的として実施したものである。実験の遂行に当たっては、土木学会特殊水中コンクリート委員会（委員長 長滝重義教授）室内試験分科会（主査 国分勝郎助教授）の皆様にも多大なる御助言並びに使用材料の提供等の御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 吉井, 上野: 特殊水中コンクリートマニュアル (仮称) について 橋梁 Vol22, No. 5, 5, 1986, P. P38~48
- 2) 内田, 早川: 新・コンクリート用混和材料 技術と市場 シーエムシー出版 1988, 6, P. P125~140
- 3) 和泉: セメントコンクリートの化学とその応用 セメントコンクリート No. 478, 12, 1986, P. P40~45
- 4) 河井: 特殊水中コンクリート用混和剤 コンクリート工学 Vol26, No. 3, 3, 1988, P. P45~49
- 5) 早川: 材料分離防止効果により広範でユニークな施工を可能にする水中コンクリート用混和剤
第1回新しい材料工法機械講習会講演概要 土木学会 土木施工研究委員会 1, 1986, P. P36~42
- 6) 児玉: コンクリート用混和剤 コンクリート工学 Vol24, No. 3, 3, 1986, P. P19~22
- 7) 特殊水中コンクリートマニュアル (設計・施工)
(財)沿岸開発技術研究センター, (財)漁港漁村建設技術研究所 1986, 1
- 8) 黒澤: 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. 468, 2, 1986, P. P2~7
- 9) 福留, 喜多, 他: 特殊水中コンクリートの乾燥収縮, クリーブ特性
土木学会第42回年次学術講演会 1987, P. P356~357
- 10) 宮野, 喜多, 他: 高炉微粉末を混入した特殊水中コンクリートの耐凍結融解性
コンクリート工学年次論文報告集・1987, P. P111~114
- 11) 杉山, 阿部, 他: 特殊水中コンクリート“シーベター”の技術 橋梁 Vol22, No. 5, 5, 1986, P. P50~55
- 12) 岸谷, 西澤, 他: コンクリート構造物の耐久性シリーズ 疲労 技報堂出版 1987, 9
- 13) 川崎, 川上, 他: 特殊水中コンクリート施工における品質管理の合理化 セメントコンクリート No. 508, 6, 1989, P. P52~60

(付 属 資 料)

付表-1 試験練り結果一覧

配合名	G _{max} mm	S.F mm	Air %	W/C %	s/a %	単 位 量 (kg/m ³)										流動化剤添加前				流動化剤添加後				
						W	C	S	G1	G2	Ad1	Ad2	Ad3#	Ad4	Ad5	SL	S.F	Air	C.T	SL	S.F	Air	C.T	
N-185-50	20	15.0	4.0	50	47	185	370	810	699	230	—	0.93	0.0015			12.5	—	3.6	—	—	—	—	—	
N-210-50		—		50	53	210	420	857	582	191	—	1.05	0.0039	—	—	21.8	403	4.4	22.5	—	—	—	—	
C-210-40				40	40	210	525	612	703	231		1.31	0.009	5.25	—		19.2	280	5.3	22.5	23.6	445	—	21.6
													0.000	5.25			17.6	290	4.3	23.0	24.7	475	4.0	22.5
C-210-50				50	40	210	420	647	742	244		1.05	0.015	2.10	—		21.1	335	5.6	22.0	23.5	420	—	—
													0.0105	2.94			20.5	340	5.5	22.0	24.0	485	5.2	22.0
C-210-50-F				50	40	210	336	637	731	241		1.05	0.0150	2.94	84		20.5	365	7.3	22.0	22.0	475	6.2	22.0
													0.0000	2.52			22.8	403	6.4	—	25.0	525	6.4	—
C-210-50-S				50	40	210	210	640	735	242		1.05	0.0000	2.94	210	20.0	354	4.6	22.0	23.1	467	4.0	22.0	
A-210-40				40	40	210	525	612	703	231		1.31	0.0360	6.30	—	12.5	—	4.6	21.5	—	510	4.6	21.5	
A-210-50				50	40	210	420	647	742	244		1.05	0.0000	4.20	—		14.3	220	2.9	21.5	25.0	505	1.9	21.5
													0.0090	3.36			16.0	240	3.4	21.5	—	—	—	—
													0.0300	3.36			16.0	230	4.6	21.5	23.2	460	3.9	21.5
A-210-50-F				50	40	210	336	637	731	241		1.05	0.0900	3.36	84	19.0	317	5.3	20.5	21.8	465	4.5	20.5	
A-210-50-S				50	40	210	210	640	735	242		1.05	0.0300	3.36			19.2	—	3.4	20.5	21.9	467	3.4	20.5
													0.0600	3.36			18.0	300	4.9	20.5	22.5	453	3.6	20.5

Ad1: 水中不分散性混和剤

Ad2: AE減水剤

Ad3: AE助剤 *セメント重量に対する添加率 (C%)

Ad4: 流動化剤

Ad5: 混和材料 (高炉スラグ粉末またはフライアッシュ)

(付属資料-2) 試験データ

付表-2 凝結試験データ

配合種別	N-185-50	N-210-50	C-210-50	C-210-50-S	C-210-50-F	A-210-50	A-210-50-S	A-210-50-F
始発(時分)	7-00	6-30	14-15	16-50	17-50	9-00	12-30	12-30
終結(時分)	9-10	9-15	17-30	20-50	20-35	12-10	17-30	16-00

付表-3 材令に伴う圧縮強度の履歴

(kgf/cm²)

配合名	1日	2日	3日	7日	14日	28日	91日
N-185-50	76.2	159	228	321	403	439	477
N-210-50	68.0	147	212	317	377	425	483
C-210-50	41.5	114	190	293	370	412	470
C-210-50-F	29.0	77.2	93.5	211	248	330	399
C-210-50-S	30.3	70.3	115	197	279	403	538
A-210-50	65.5	139	192	284	341	398	427
A-210-50-F	25.6	80.2	115	200	244	305	419
A-210-50-S	12.0	60.9	92.4	180	269	369	473

付表-4 乾燥収縮試験データ

配合名	長さ変化率 ($\times 10^{-6}$)				重量減少率 (%)			
	1週	4週	8週	13週	1週	4週	8週	13週
N-185-50	245.0	387.5	610.0	750.0	1.2	2.0	2.6	3.0
N-210-50	235.0	412.5	633.3	820.0	1.3	2.1	2.7	3.2
C-210-50	213.3	413.3	645.0	852.5	1.5	2.2	3.0	3.4
C-210-50-S	297.5	625.0	831.7	975.8	2.2	3.1	3.5	4.1
C-210-50-F	233.3	554.2	754.2	862.5	2.8	3.7	4.2	4.7
A-210-50	251.7	651.7	943.3	1178.3	1.6	2.9	3.3	3.9
A-210-50-S	475.0	804.2	1028.3	1231.3	2.8	3.4	3.9	4.5
A-210-50-F	254.2	645.8	900.0	1116.7	3.2	3.9	4.4	4.9

付表-5 中性化促進試験結果

中性化 促進期間	中 性 化 深 さ (mm)			
	N-185-50	N-210-50	C-210-50	A-210-50
1ヶ月	2.0	2.5	1.6	1.7
2ヶ月	3.6	5.1	4.8	3.6
3ヶ月	5.0	6.4	6.1	6.6

付表-6 塩化物浸透試験結果

配 合 名	供試体 採取方法	塩化物浸透深さ (cm)		・ 吸水率 (%)	
		1ヶ月	3ヶ月	1ヶ月	3ヶ月
N-185-50	気中採取	1.1	1.5	1.84	1.90
N-210-50	気中採取	1.3	1.5	1.97	2.01
C-210-40	気中採取	1.1	1.4	1.28	1.47
C-210-50	気中採取	1.1	1.9	1.59	1.90
	気中採取	1.3	2.2	2.13	2.22
C-210-60	気中採取	1.4	2.5	2.80	2.84
C-210-50-S	気中採取	0.7	1.2	1.70	1.90
C-210-50-F	気中採取	0.9	1.2	2.64	2.84
A-210-40	気中採取	0.6	1.0	1.24	1.54
A-210-50	気中採取	1.1	1.2	1.94	2.94
	気中採取	1.3	1.7	1.25	2.82
A-210-60	気中採取	1.4	2.1	2.71	2.97
A-210-50-S	気中採取	0.8	1.2	1.72	2.06
A-210-50-50-F	気中採取	0.9	1.1	1.75	1.96

* 吸水率は、次式により算出した。

$$\text{吸水率} = \frac{(\text{浸せき}n\text{ヶ月後の供試体重量}) - (\text{浸せき直前の供試体重量})}{(\text{浸せき直前の供試体重量})}$$

(付属資料-3) 使用材料成績表

実験に使用した材料の物理試験および化学分析試験結果を以下に示す。

3.1 普通ポルトランドセメント

付表-7 物理試験結果

会社名	比重	比表面積 cm ² /g	凝 結				曲げ強さ (kgf/cm ²)			圧縮強さ (kgf/cm ²)		
			水 量 %	始 発 h-m	終 結 h-m	安定性	3 日	7 日	28日	3 日	7 日	28日
小 野 田	3.16	3380	27.4	2-16	3-17	良	35	47	70	148	239	412
徳 山	3.16	3300	27.7	2-20	3-30	良				151	255	424
住 友	3.16	3390	27.2	2-20	3-50	良	40	55	71	167	268	412
3社混合	3.16	3260	27.5	2-35	3-52	良	40	52	71	166	266	426

付表-8 化 学 成 分

(%)

会社名	強 熱 残 量	不 溶 残 分	二酸化 けい素	酸 化 アルミナ	酸 化 第二鉄	酸 化 カルシウム	酸 化 マグネシウム	三酸化 硫 黄	塩 素	酸 化 ナトリウム	酸 化 カリウム	全 灰分
小 野 田	1.4						1.6	2.0	0.005	0.19	0.54	0.55
徳 山	0.8						1.7	2.0	0.005	0.25	0.53	0.60
住 友	1.4	0.2	21.8	5.4	2.6	63.5	2.1	1.8	0.008	0.22	0.59	0.61
3社混合	1.4	0.2	21.6	5.1	2.7	63.5	1.9	1.9	0.007	0.23	0.55	0.59

3.2 フライアッシュ (電発高砂フライアッシュ)

付表-9 試 験 成 績

物理試験結果			化学成分試験結果 (%)		
比 重	比 表 面 積 cm ² /g	単 位 水量比 %	二酸化 けい素	湿 分	強 熱 減 量
2.32	3600	96.2	50.5	0.1	1.7

3.3 高炉スラグ微粉末（新日鐵化学㈱社製 エスメント）

付表-10 物理試験結果

比 重	比 表 面 積 cm ² /g	活性度指数		
		7 日	28日	91日
2.89	4280	62	97	109

付表-11 化学成分試験結果

強 熱 減 量	二酸化 けい素	酸 化 アルミニウム	酸化鉄	酸 化 カルシウム	酸 化 マグネシウム	三酸化 硫 黄	潮基度
1.9	31.6	13.3	0.3	42.9	5.9	2.0	1.96

3.4 水中不分離性混和剤

3.4.1 セルローズ系水中不分離性混和剤（信越化学㈱社製 アスカクリーン）

付表-12 アスカクリーンの基礎物性

主 成 分	セルローズエーテル
真 比 重	1.3
見かけ密度 (g/cm ³)	0.20~0.30
粒 度	425 μ on 5%以下
水 分	5%以下
水溶液粘度 (1%, 20℃)	2000~3000cp

3.4.2 アクリル系水中不分離性混和剤（三共化成工業㈱社製 シーベクター）

付表-13 シーベクターの基礎物性

主 成 分	アクリル系高分子
外 観	白色ないし類白色の粒状粉末
乾燥減量	10%以下
比容積 (cc/g)	静 1.5~2.0 動 1.3~1.7

3.5 AE減水剤（ボソリス物産(株)社製 Pz-No. 70)

付表-14 Pz-No. 70の基礎物性

主 成 分	リグニンスルホン酸化合物 ポリオール複合体
外 観	赤褐色透明液体
比 重	1.24~1.26 (20℃)
pH	7 以上

3.6 AE助剤（ボソリス物産(株)社製 AE-775S)

付表-15 AE-775Sの基礎物性

主 成 分	変性アキルカルボン酸化 化合物陰イオン界面活性剤
外 観	赤褐色透明液体
比 重	1.02 (20℃)
アルカリ量 (%)	1.7
塩素イオン量 (%)	0.01

3.7 流動化剤（ボソリス物産(株)社製 UC-150)

付表-16 UC-150の基礎物性

主 成 分	高縮合トリアンジン系化合物
外 観	液 状
比 重	1.12~1.14 (20℃)
アルカリ量 (%)	2.2
塩素イオン量 (%)	0.06

(付属資料-4) 水中不分離性混和剤一覧

現在販売されている水中不分離性混和剤および水中不分離性コンクリート名称を以下に示す。

付表-17 水中不分離性混和剤, コンクリート一覧

No.	水中不分離性混和剤			水中不分離性コンクリート	
	商品名	主成分	販売会社	コンクリート名	施工会社
1	アスカクリーン	セルロース系	信越化学工業	アクアコンクリート ケイクリート TSLコンクリート トビクリーン アクアクリート ハイビスコン マークリート	大林組 熊谷組 大成建設 飛島建設 戸田建設 りんかい建設 西松建設
2	UWB	セルロース系	三井石化物資	ハイドロクリート	鹿島建設 前田建設 日本海上工事
3	セルクリートH	セルロース系	ダイセル化学	ポリミック	五洋建設
4	マリンキープ	セルロース系	徳山曹達	ハイミック	東洋建設
5	ユニショットA10	セルロース系	第一工業製薬	シーコン	東亜建設工業
6	エルコン	セルロース系	小野田	SKコンクリート	佐藤工業
7	アクリス12	セルロース系	ボゾリス物産	ジョイラック	清水建設
8	オーシャンSP12	セルロース系	日商岩井ケミカル	オーシャンクリート	間組
9	シーベターAD	アクリル系	三共化成	シーベター	竹中土木 竹中工務店
10	アロンシークリートW アロンシークリートS	アクリル系 セルロース系	東亜合成		鴻池組
11	ファインコーラル	セルロース系	住友セメント		
12	アクアセッター		竹本油脂		

水中不分離性コンクリートに関する
調査試験報告書 (1)

－水中不分離性コンクリートの基本的性質について－

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2842号
1990年1月

小林 茂敏, 森濱 和正
高橋 弘人, 大倉 真人

要 旨 近年、水中不分離性コンクリートが開発され本州四国連絡橋や関西新
空港工事等において使用されてきている。しかし、水中不分離性コンクリート
および使用する混和剤の品質規準は確立されておらず、また、基本性状につい
ても明らかとなっていない点が残されている。

本資料は、水中不分離性コンクリートの基本性状を把握し、品質規準作成の
ための資料を得ることを目的に行なった各種強度試験および耐久性試験結果を
取りまとめたものである。

キーワード：水中不分離性コンクリート、水中不分離性混和剤、強度特性、耐久
性状、材料分離抵抗性、濁度

郵便はがき

は 切
つ 手
て を
さ 下
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

コンクリート研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2842号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印