

論文

[1005] 水中不分離性コンクリートの基本性状について

正会員○大倉真人（飛鳥建設研究開発部）

正会員 小林茂敏（建設省土木研究所）

正会員 森濱和正（建設省土木研究所）

正会員 高橋弘人（建設省土木研究所）

1. はじめに

近年、関西新空港や本州四国連絡橋工事に、水中不分離性コンクリートを使用した施工方法が採用され、注目を集めている。しかし、我国に水中不分離性コンクリートに関する技術が導入されてから10年程度と日が浅く、基本的な性状について明らかとされていない点が残されている。

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。しかし、両者について、同一の試験条件で比較を行い、水中不分離性混和剤種類の相違がコンクリートの性状に与える影響を検討した例はほとんどない。そこで我々は、セルロース系と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、各種フレッシュコンクリート試験ならびに強度試験を実施し比較検討を行った。本報は、得られた試験結果をまとめ、若干の考察を加えたものである。

2. 試験方法

2. 1 使用材料

本試験に使用した材料を表-1に示す。水中不分離性混和剤は、A社製のセルロース系高分子を主成分とするものと、B社製のアクリル系高分子を主成分とするものの2種類を使用した。

2. 2 試験項目

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) フレッシュコンクリート試験

- ① スランプ試験；JIS A 1101に準拠
- ② スランプフロー試験；特殊水中コンクリートマニュアル¹⁾に準拠して、スランプ試験実施時の試料の横方向の広がりを見、スランプフロー値とした。
- ③ 空気量試験；JIS A 1128に準拠
- ④ pHおよび濁度試験；特殊水中コンクリートマニュアル¹⁾の濁度・pH測定試験に準拠して試験液を採取し、pHはガラス電極法で、濁度については透過散光光度法で測定した。

2) 凝結試験；ASTM C 403に準拠

3) 強度試験

- ① 圧縮強度試験；JIS A 1108に準拠（気中作成、水中作成、試験材令1,3,7,14,28,91日）
- ② 曲げ強度試験；JIS A 1113に準拠（気中作成、水中作成、試験材令7,28日）

表-1 使用材料

使用材料		備 考
セメント	普通ポルトランドセメント	3社等量混合、比重=3.15
細骨材	川 砂	富士川産、比重=2.62、F.M=2.93
粗骨材	2005砕石	空閑産、比重=2.67、F.M=6.76
混和剤	水中不分離性混和	セルロース系高分子化合物
		アクリル系高分子化合物
	A E 減水剤	ポリカルボン酸化合物・リオン複合体
	流動化剤	高縮合トリアルキル系化合物
混和材	高炉スラグ微粉末	比表面積=4280cm ² /g、比重=2.89
	フライアッシュ	比表面積=3600cm ² /g、比重=2.32

③ 割裂強度試験；JIS A 1106に準拠（気中作成，水中作成，試験材令7,28日）

④ 静弾性係数試験；圧縮強度の1/3応力時のセカントモジュラスを静弾性係数として算出した。

2. 3 練りまぜ方法

コンクリートの練りまぜは、容量100リットルのパン型ターボミキサーを使用して、図-1に示す方法で行った。練りまぜ時間は、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ものは120秒、アクリル系混和剤を使用したものは300秒とした。

2. 4 コンクリートの配合

コンクリートの配合は、以下に示す条件を満足するよう試験練りを行い、表-2のとおりに決定した。

① 目標スランプあるいはスランプフロー値

普通コンクリート；SL=15±2.5cm

水中不分離性コンクリート；SF=450±50mm

② 目標空気量；Air=4.0±1.0%

③ 水セメント比

普通コンクリート；W/C=50%

水中不分離性コンクリート；W/C=40, 50, 60%

④ 単位水量

水中不分離性コンクリート；W=190, 210, 230kg/m³

⑤ 水中不分離性混和剤添加量

セルローズ系；2.5kg/m³，アクリル系；4.0kg/m³

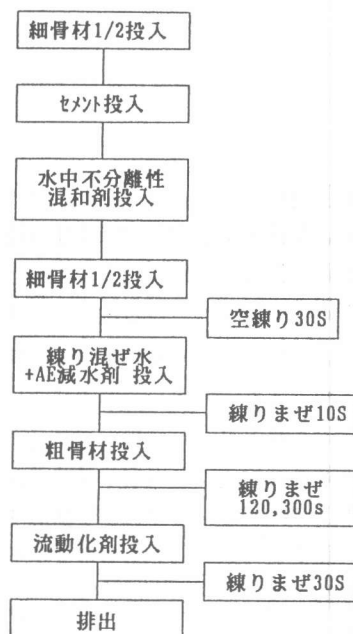


図-1 練りまぜ方法フロー図

表-2 コンクリートの配合

配 合 名	A d	W / C	s / a	単 位 量 (kg/m³)								
	種 別	%	%	W	C	S	G	Ad1	Ad2	Ad3	Flyash	Slag
N-185-50	無 添 加	50	48	185	370	827	912	—	0.93	—	—	—
N-210-50		50	53	210	420	857	773	—	1.05	—	—	—
C-190-50	セ ル ロ ー ス 系	50	40	190	380	681	1039	2.5	0.95	7.98	—	—
C-210-40		40	40	210	525	612	934		1.31	5.25	—	—
C-210-50		50	40	210	420	647	986		1.05	2.94	—	—
C-210-60		60	40	210	350	670	1022		0.88	1.75	—	—
C-230-50		50	40	230	460	612	935		1.15	0.92	—	—
C-210-50-F		50	40	210	336	637	972		1.05	1.68	84	—
C-210-50-S		50	40	210	210	640	977		1.05	2.10	—	210
A-190-50	ア ク リ ル 系	50	40	190	380	681	1039	4.0	0.95	9.50	—	—
A-210-40		40	40	210	525	612	934		1.31	8.40	—	—
A-210-50		50	40	210	420	647	986		1.05	4.20	—	—
A-210-60		60	40	210	350	670	1022		0.88	2.45	—	—
A-230-50		50	40	230	460	612	935		1.15	2.30	—	—
A-210-50-F		50	40	210	336	637	972		1.05	3.78	84	—
A-210-50-S		50	40	210	210	640	977		1.05	4.20	—	210

記号の説明

○-○-○-○-○-○

混和材料 (F:フライアッシュ, S:スラグ)

水セメント比 (%)

単位水量 (kg/m³)

混和剤種別 (N:無添加, C:セルローズ, A:アクリル)

使用混和剤

Ad1: 水中不分離性混和剤

Ad2: AE減水剤

Ad3: 流動化剤 (外割使用)

3. 試験結果

3. 1 フレッシュコンクリートの性状

① 図-2に、濁度とpH値の関係を示す。水中不分離性混和剤を添加することで、濁度およびpH値を低減させることが可能であった。特に、セルローズ系混和剤を使用したものは、アクリル系混和剤を使用したものと比較して、水質の汚濁を低減させる効果は大きいようである。濁度を比較した場合にその傾向は顕著であり、セルローズ系混和剤を使用したものの濁度は、アクリル系混和剤を使用したものの、1/10程度であった。また、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。従って、コンクリートを水中に落下させた際の水の汚濁は、主としてセメント粒子の流出により生じるものと考えられる。

② 図-3に、単位水量および水セメント比が流動化剤添加前のコンクリートのスランプにおよぼす影響を示す。水中不分離性コンクリートも普通コンクリートと同様に、単位水量や水セメント比の低下にともない、スランプは低下した。また、今回の試験では水中不分離性コンクリートと普通コンクリートでは細骨材率が異なるため一概に比較はできないが、単位水量および水セメント比が同一であれば、水中不分離性コンクリートの方が普通コンクリートと比較してスランプは小さな値を示す傾向にあった。特に、アクリル系混和剤を使用した場合にその傾向は顕著であった。

3. 2 凝結時間

① 図-4に、凝結試験結果を示す。普通コンクリートと比較して、アクリル系混和剤を使用した場合は2~3時間、セルローズ系混和剤を使用した場合は7~8時間、

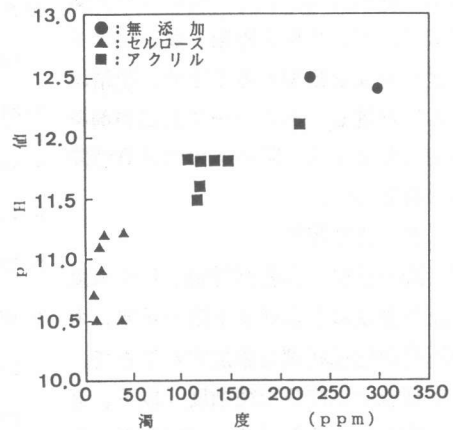


図-2 濁度とpH値の関係

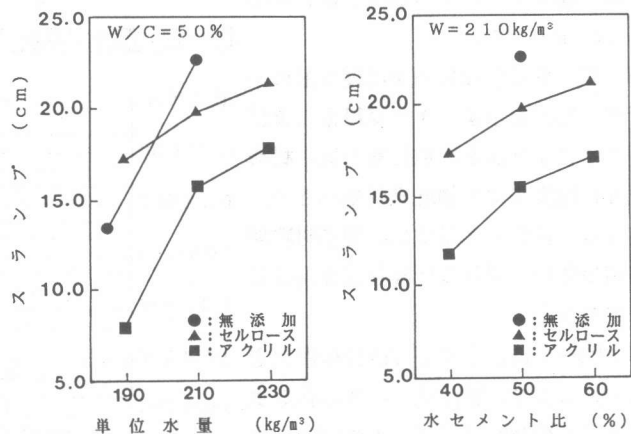


図-3 単位水量・水セメント比とスランプの関係

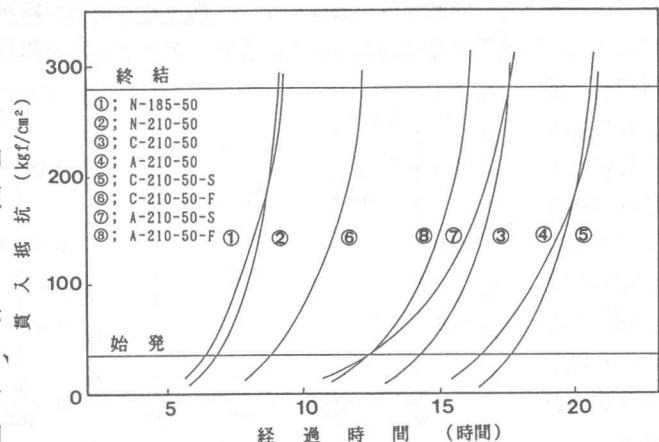


図-4 凝結試験結果

凝結が遅延した。また、高炉スラグ微粉末（以下、スラグ粉末）およびフライアッシュを添加することで、凝結はさらに遅延し、セルロース系混和剤を使用したものは、終結までに20時間以上を要した。

3.3 強度特性

① 図-5に、混和剤種別、単位水量が圧縮強度におよぼす影響を示す。水中不分離性混和剤を添加することで、気中作成供試体の圧縮強度（以下、気中強度）は若干低下する傾向にあった。また、単位水量や、混和剤種別の相違が気中強度に与える影響は、顕著に認められなかった。

② 図-6に混和材料が圧縮強度におよぼす影響を示す。スラグ粉末およびフライアッシュを用いたものは、材令28日程度までの強度発現は小さい。しかし、材令91日では、混和材料無添加のものと同程度の圧縮強度を得ることができた。

③ 図-7に、濁度と強度比の関係を示す。ここで、強度比は、水中作成供試体の圧縮強度（以下、水中強度）を気中強度で除したものとした。セルロース系、アクリル系両者の混和剤を使用した場合とも、強度比は、濁度の上

昇にともない低下する傾向にあった。また、アクリル系混和剤を添加したものは、セルロース系

混和剤を添加したもの
と比較して
濁度が極めて大きいにも関わらず、
全配合とも
0.8以上の
強度比を
得た。

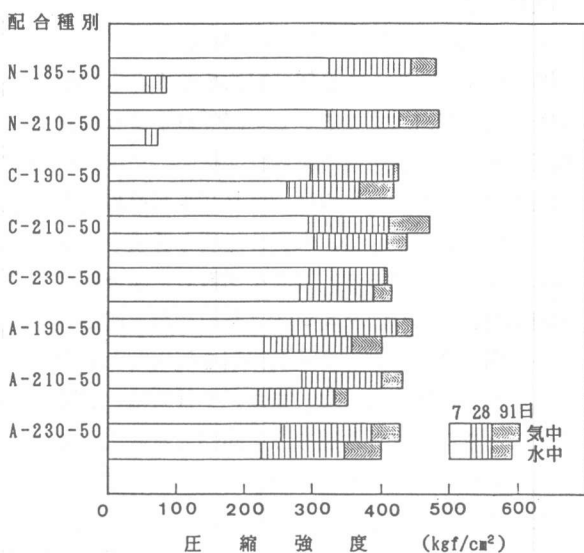
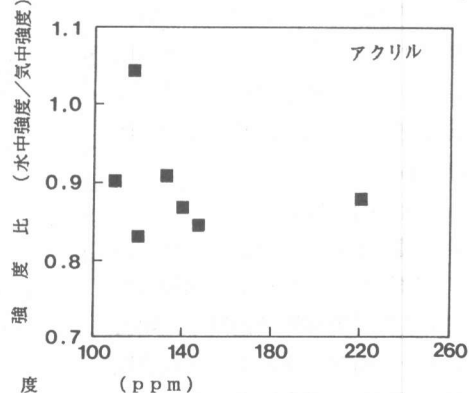
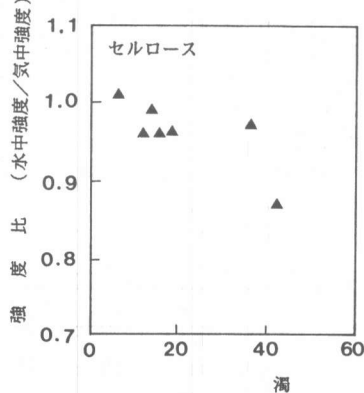


図-5 混和剤種別・単位水量が圧縮強度におよぼす影響

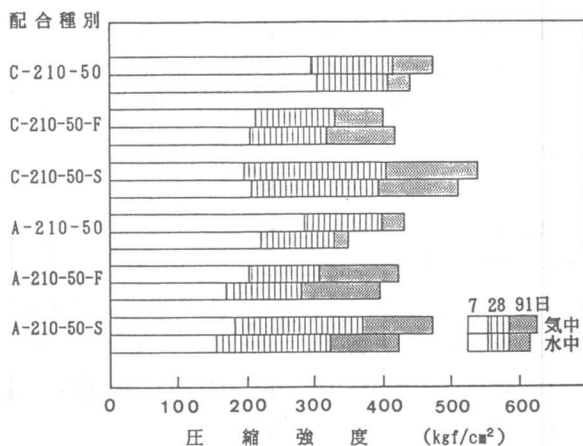


図-6 混和材料種別が圧縮強度におよぼす影響

図-7 濁度と強度比の関係

④ 図-8に材令と圧縮強度（気中強度）の関係を示す。セルローズ系混和剤を使用したものは、普通コンクリートおよびアクリル系混和剤を使用したものと比較して初期強度の発現は、緩慢であった。しかし、材令3日以降は、セルローズ系混和剤を用いたものも、順調に強度が発現し、水中不分離性混和剤の添加の有無や混和剤種別の相違が圧縮強度の履歴におよぼす影響は認められなかった。

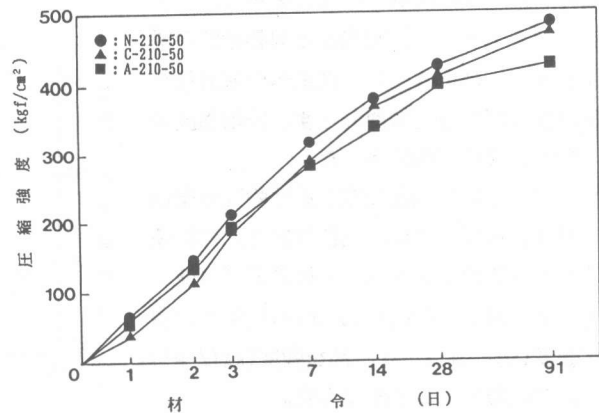


図-8 材令と圧縮強度の関係

⑤ 図-9に、セメント水比と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、圧縮強度はセメント水比の増大にともない大きな値を示し、セメント水比の法則を適用することができるようである。

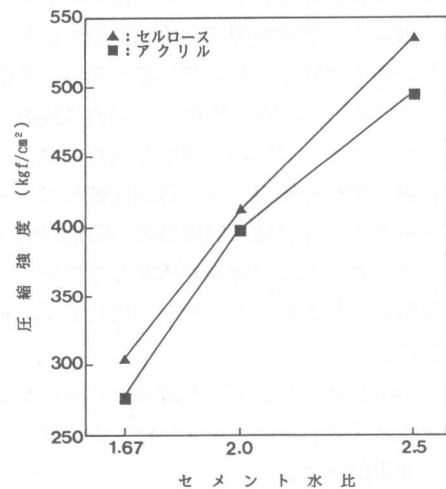


図-9 セメント水比と圧縮強度の関係

⑥ 図-10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式 ($E_c = 0.137W^{3/2}\sigma_{28}^{1/2}E_c$; 静弾性係数(kgf/cm²), W ; 単位体積重量(2310 kg/m³), σ_{28} ; 材令28日での圧縮強度(kgf/cm²)) を示すが、水中不分離性コンクリートの静弾性係数は、圧縮強度が同程度の普通コンクリートと比較して小さいようである。材令28日における圧縮強度と静弾性係数の関係を回帰すると以下のとおりとなる。

セルローズ系混和剤の場合

気中作成; $E_c = 13600 (\sigma_{28})^{1/2}$

水中作成; $E_c = 12900 (\sigma_{28})^{1/2}$

アクリル系混和剤の場合

気中作成; $E_c = 12800 (\sigma_{28})^{1/2}$

水中作成; $E_c = 11300 (\sigma_{28})^{1/2}$

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作成方法により静弾性係数には差異が生じ、セルローズ系混和剤を使用したものはアクリル系混和剤を使用したものよりも、また、気中作成した供試体は水中作成した供試体よりも、静弾性係

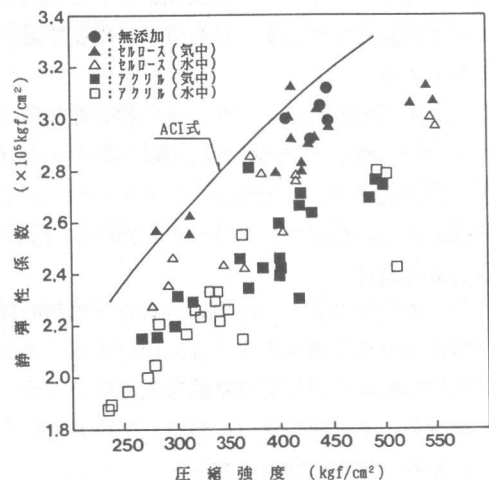


図-10 圧縮強度と静弾性係数の関係

⑦ 図-11に、圧縮強度と割裂強度の関係を示す。割裂強度は、供試体作成方法や使用混和剤の種別に関わらず、圧縮強度の $1/10 \sim 1/13$ の範囲にあった。

⑧ 図-12に割裂強度と曲げ強度の関係を
示す。曲げ強度は、割裂強度と比例関係
にあり、普通コンクリートに適応が可能な
セメント協会式($\sigma_b = 1.26 \sigma_t + 11.9$ σ_b ; 曲
げ強度(kgf/cm²), σ_t : 割裂強度(kgf/cm²))
により近似することができた。

① 水中不分離性混和剤を添加すると、コンクリートの粘性が増しスランプは低下する。その傾向はアクリル系混和剤を使用した場合に顕著である。

② 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、不分離性が小さく、打設箇所周辺の水の汚濁が大きい。

③ セルロース系混和剤を添加したコンクリートの凝結は、普通コンクリートと比較して大幅に遅延する。

④ 水中不分離性混和剤を添加したコンクリートの気中強度は、普通コンクリートと比較して若干低下する傾向にある。

⑤ スラグ粉末、フライアッシュを添加した水中不分離性コンクリートの強度発現は、初期材令に

においては緩慢であるが、材令91日程度で混和材料無添加のコンクリートと同等の強度を得ることができる。

⑥ 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。また、使用混和剤の種別や供試体作成方法の影響を受ける。

⑦ 割裂強度は、圧縮強度の $1/10 \sim 1/13$ 程度である。また、曲げ強度は割裂強度と比例関係にあり、普通コンクリートと同様な関係が認められる。

今回の実験により、水中不分離性混和剤の種別の相違や、混和剤添加の有無がコンクリートの性状にあたえる影響をある程度把握することができた。現在、水中不分離性コンクリートの各種耐久試験ならびに疲労試験を実施中であり、結果については追って報告する予定である。

最後に、本実験の遂行に当たり御協力をいただきました土木学会特殊水中コンクリート委員会の関係者の皆様に感謝の意を表します。

(参考文献)1)特殊水中コンクリートマニュアル (財)沿岸開発技術研究センター, (財)漁港漁村建設研究所 1986.1

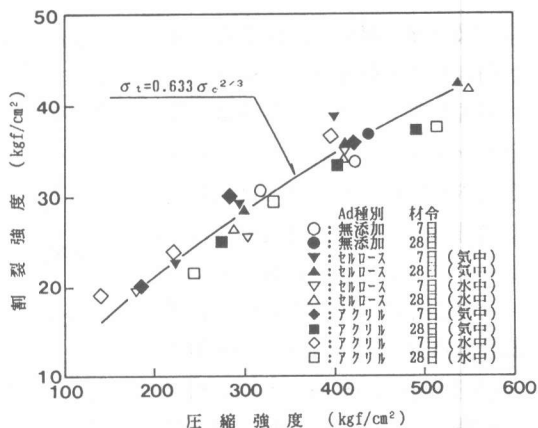


図-11 圧縮強度と割裂強度の関係

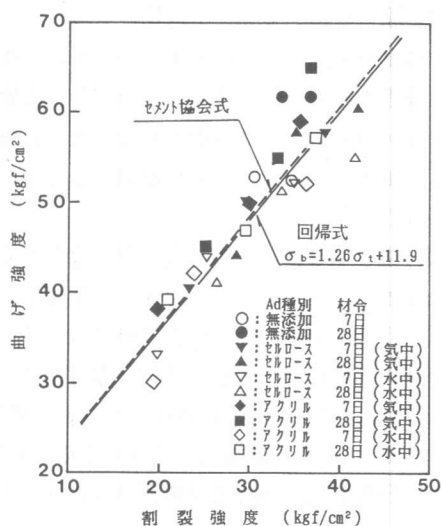


図-12 割裂強度と曲げ強度の関係