

報告 ポリカルボン酸系高性能減水剤を用いた遠心力成形コンクリートの性状

澤田誠一*1・西村 正*2・渡辺 清*3

要旨：ポリカルボン酸系高性能減水剤は、高流動や振動締固めコンクリートなど各種のコンクリートに使用され、その有用性や性能に関する報告は多いが、遠心力締固めコンクリート製品への適用の報告はほとんどない。本報告では、市販のポリカルボン酸系高性能減水剤を用いた遠心力成形コンクリートの性状をナフタリン系高性能減水剤のそれと比較した。その結果、本報告で用いたポリカルボン酸系高性能減水剤は、遠心力成形コンクリートへの適用が十分可能であると同時に、その製造工場におけるコンクリート洗浄排水のCODを低減できることが判明した。また、超高強度推進管の性状についてもその有用性を明らかにすることができた。

キーワード：遠心力成形、ポリカルボン酸系高性能減水剤、COD、ヒューム管、推進管

1. はじめに

近年、ポリカルボン酸系高性能減水剤は、生コンクリートはもちろんのこと、コンクリート製品用の高強度および高流動コンクリートや一般の振動締固めコンクリートなど広範囲に使用され、その有用性や効果に関して多くの報告がなされているが^{1)~3)}、遠心力成形コンクリート製品に適用した報告はほとんど見られない⁴⁾。遠心力成形コンクリートでは一般的にナフタリン系高性能減水剤が使用されているが^{5) 6)}、この場合、工場排水から検出されるCOD（化学的酸素要求量）が高いため、排水規制基準が厳し

い地域では、ナフタリン系高性能減水剤は高強度製品などの一部の製品にのみ使用されているのが現状である。

本報告では、市販の2種類のポリカルボン酸系高性能減水剤を用いたヒューム管に使用するコンクリートの各種性状および遠心力成形工場で作製したヒューム管の性状{遠心力成形中に搾り出されたスラリー（以下ノロ水と略す）のCODを含む}について、ナフタリン系高性能減水剤を用いた場合と比較検討を行った。さらに、ポリカルボン酸系高性能減水剤を用いた超高強度推進管の配合についても報告する。

表-1 実験水準および概要

No.	実験一覧	実験概要
実験-1	高性能減水剤の種類が遠心力成形コンクリートの締固めおよび性状におよぼす影響(実験室にて実施)	JIS A 1136に従って作製した遠心力成形コンクリートのフレッシュおよび硬化コンクリートの性状を高性能減水剤の種類により比較
実験-2	高性能減水剤の種類が遠心力成形コンクリートの締固めおよび性状におよぼす影響(製造工場にて実施)	工場製造ラインを使用した遠心力成形コンクリートのフレッシュおよび硬化コンクリートの性状を高性能減水剤の種類により比較
実験-3	製造工場排水中のCODの検討	工場製造ラインを使用し、ブレーンおよびポリカルボン酸系高性能減水剤(P-1)添加の遠心力成形コンクリートをそれぞれ1日間製造した時の工場廃水のCODを比較
実験-4	CODにおよぼす減水剤の種類の影響	フローを一定としたモルタルによる減水剤の種類がCODにおよぼす影響
実験-5	超高強度推進管へのポリカルボン酸系高性能減水剤の適用	ポリカルボン酸系高性能減水剤と高強度混和材を併用し、W/Bを変化した目標強度90N/mm ² の配合の検討

*1 グレースケミカルズ(株) 技術部 係長 (正会員)

*2 グレースケミカルズ(株) 技術部 部長 工修 (正会員)

*3 グレースケミカルズ(株) 技術部 次長

2. 実験水準および概要

本報告における実験水準とその概要は表-1に示す通りである。

2.1 実験-1 高性能減水剤の種類が遠心力成形コンクリートの締固めおよび性状におよぼす影響（実験室にて実施）

（1）使用材料およびコンクリート配合

セメントは普通ポルトランドセメント（3 銘柄等量混合）を使用した。細骨材は大井川旧河川砂、粗骨材は青梅産碎石 2005 を用い、それらの試験結果を表-2 に示す。膨張材はカルシウムサルフォアルミネート系の市販品を、高性能減水剤はナフタリン系市販品（N-1）およびポリカルボン酸系には 2 種類の市販品 P-1（主成分：ポリカルボン酸イミド化合物）と P-2（主成分：ポリカルボン酸エーテル系）を用いた。

コンクリート配合は表-3 に示すヒューム管配合で、目標スランブは $7 \pm 2\text{cm}$ 、目標空気量は $2 \pm 1\%$ とした。高性能減水剤は結合材 B（セメント+膨張材）に対して各々所要のスランブが得られる添加率とした。

（2）遠心力成形条件および蒸気養生条件

遠心力成形供試体は型枠内に所要量のコンクリートを投入し、表-4 の条件で合計 9.5 分間遠心力成形を行って作製した。

表-2 骨材試験結果

骨材の種類	粗粒率	表乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)
細骨材	2.79	2.64	1.35
粗骨材	6.56	2.70	0.53

表-3 示方配合

種類	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				高性能減水剤	
			W	C	膨張材	S	G	種類 (B × %)
高性能減水剤	40	45	170	375	50	800	1002	(N-1) 0.90 (P-1) 0.55 (P-2) 0.55
ブレン	45.2		192			774	969	- -

表-4 遠心力成形条件

項目	条件
供試体	JISA1136 外径20cm、高さ30cmの中空円筒形供試体
コンクリート投入量	15.5kg/供試体
遠心力条件	150rpm(1.5G)/0.5分→350rpm(8G)/3分→500rpm(20G)/3分→700rpm(30G)/3分(合計9.5分)

表-5 実験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブ試験	JISA1101:経時変化(静置方法/20°C、直後、20分)
空気量試験	JISA1128:練上がり直後のみ
圧縮強度	JISA1108:蒸気養生(材齢1,7,14日/20°C,60%RH,気中養生)標準養生(材齢7,14日)
膨張試験	JISA6202,付属書2,B法:蒸気養生後20°C(60±5%RH恒温室)材齢1,3,7,28日
ノロ水中のCOD測定	JISK0102:中空円筒形供試体から排出されたノロ水を同一希釈条件で測定した。

表-6 膨張率試験結果

高性能減水剤種類	膨張率試験結果 ($\times 10^{-6}$)			
	材齢1日	材齢3日	材齢7日	材齢14日
(N-1)	470	414	341	252
(P-1)	457	409	338	251
(P-2)	450	399	322	237

表-7 フレッシュコンクリートおよび圧縮強度試験結果

高性能減水剤		スランブ		空気量	C.T	圧縮強度 (N/mm ²)					
種類	添加率 (B×%)					(cm)		蒸気養生後気中養生			標準養生
		0分	20分			(%)	(°C)	振動詰め供試体(φ10×20cm)	1日	7日	14日
(N-1)	0.90	8.5	5.0	2.3	21	41.7	51.2	55.2	58.9	49.4	55.6
(P-1)	0.55	8.5	6.0	2.1	21	42.2	52.9	56.8	60.4	51.7	58.2
(P-2)	0.55	8.5	6.0	1.9	21	40.9	51.6	55.1	58.3	51.7	58.1

表-8 遠心力成形供試体から排水したノロスラッジのCOD試験結果

高性能減水剤		スランブ (cm)	空気量 (%)	排出ノロ量*1 (kg/m^3)	供試体内面未締り*2 ペースト厚(mm)	希釈水のCOD*3 (mg/L)
種類	添加率 (B × %)					
N-1	0.90	8.5	2.3	44	2	25(12)
P-1	0.55	8.5	2.1	42	1	15(2)
P-2	0.55	8.5	1.9	43	2	18(5)
-	-	8.0	1.5	44	2	13(0)

*1 排出ノロ量は遠心力供試体3本から排出したノロ量をコンクリート 1m^3 に換算した値を示す。

*2 供試体内面未締りペースト厚は排出されずに残った内面の軟らかい部分をノギスで4ヶ所測定した平均値。

*3 ノロ水のCOD()内は、高性能減水剤無添加ノロ水のCODとの差を示す。

蒸気養生は、前養生 20℃で 5 時間→昇温速度 20℃/hr→最高温度 70℃保持 4 時間→蒸気停止後自然冷却の工程とした。

(3) 実験項目および試験方法

表-5 に実験項目および試験方法を示す。

ノロ水の採取方法は、遠心力成形終了後型枠を傾けて採取した。COD の測定はノロ水の固形分を測定し、それぞれの試料を水に対し同一希釈率(40 倍)に調整し測定した。

(4) 実験結果および考察

実験結果は表-6、表-7 および表-8 に示す。

ポリカルボン酸系高性能減水剤 P-1 および P-2 の添加率は両者ともナフタリン系のものの約 6 割と少ない。いずれの供試体においてもコンクリートの強度発現性は、3 種類の高性能減水剤とも同等であり、また、膨張率についても高性能減水剤の違いは認められない。

供試体の遠心力成形性に関して見ると、ポリカルボン酸系の P-1 および P-2 の供試体内面の未締りペースト厚は、ナフタリン系のそれと同様であった。また、P-1 と P-2 のノロスラッジ水の COD は、ナフタリン系のものより著しく小さく、遠心力成形脱水中の COD の低減効果が認められた。

2.2 実験-2 高性能減水剤の種類が遠心力成形コンクリートの締固めおよび性状におよぼす影響（製造工場にて実施）

ポリカルボン酸系高性能減水剤 P-1 とナフタリン系の N-1 を用いたヒューム管（下水道推進工法用鉄筋コンクリート管 1 種、以下推進管 1 種と略す）を製造ラインにてそれぞれ成形し、

表-9 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16(g/cm ³)
細骨材	砕砂	表乾密度:2.65(g/cm ³)
粗骨材	碎石(2005)	表乾密度:2.65(g/cm ³)
高性能減水剤	ナフタレン系(N-1)	密度:1.22(g/cm ³)
	ポリカルボン酸系(P-1)	密度:1.05(g/cm ³)

表-10 コンクリート配合

管種	W/C (%)	s/a (%)	(kg/m ³)				混和剤	
			W	C	S	G	種類	(C×%)
50N	39	44	184	470	742	962	N-1	1.00
							P-1	0.60

表-11 実験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ試験	JIS A1101
空気量試験	JIS A1128
圧縮強度試験	JIS A1108
製品外圧試験(ひび割れ荷重)	JIS A5372 付属書2
遠心力成形性	貫入抵抗及び成型時間

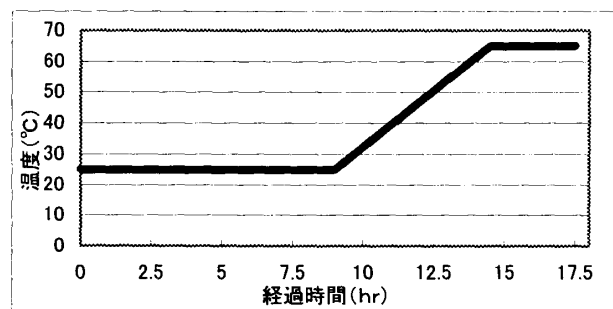


図-1 蒸気養生条件

高性能減水剤の違いによる推進管 1 種の性状（成形性や強度など）を調査した。

(1) 使用材料およびコンクリート配合

使用材料およびコンクリート配合は、表-9 および表-10 に示す。

(2) 実験項目および蒸気養生条件

実験項目および蒸気養生条件を表-11 および

表-12 フレッシュコンクリートの性状と製品ひび割れ荷重試験結果

管種	設計 スランプ (cm)	設計 空気量 (%)	高性能減水剤		スランプ(cm)		空気量 (%)	養生方法:製品同一養生 ^{*1}		
								φ10×20cm ^{*2} 圧縮(N/mm ²)	製品ひび割れ荷重(kN/m) ^{*3}	
			種類	(B×%)	直後	30分			規格荷重	試験荷重
									材齢 21日	
50N	7±2	2±1	N-1	1.0	8.5	4.8	2.9	52.8	41.2	41.4 (ひび割れ発生なし)
			P-1	0.6	7.0	4.9	2.9	54.3		41.4 (ひび割れ発生なし)

*1 製品同一養生:蒸気養生後管脱型後は屋外自然養生

*2 φ10×20cm:製品と同一養生したテストピースの圧縮強度値

*3 外圧荷重試験(製品ひび割れ荷重):ひび割れ荷重値に有効長Lを乗じた値まで管体に荷重を加え、管体に幅0.05mmを超えるひび割れの状態を調べる。

図-1 に示す通りである。

なお、コンクリートの遠心力成形性はテンションゲージ($\phi 6\text{mm}$, 加圧力 10 kg)を用い、2 層に分けて打ち込まれたコンクリートの各層の高速回転終了後、それぞれの層の貫入抵抗値を測定する方法によった。貫入抵抗値が 3.46N/mm^2 ($10\text{ kg} \div 28.3\text{mm}^2$) に達すれば締固めが十分であると判断した。

(3) 実験結果および考察

a) フレッシュコンクリート性状、製品外圧ひび割れ荷重および圧縮強度

高性能減水剤 P-1 および N-1 を使用した推進管 1 種用コンクリートのフレッシュ性状および供試体の圧縮強度、さらに、製造ラインで作製した製品のひび割れ荷重実験の結果を表-12 に示す。なお、一連の実験は、気温 28°C 下で行われた。表-12 から、高性能減水剤 P-1 および N-1 とともに製品ひび割れ荷重規格を満足し、供試体の圧縮強度は、両者とも 50N/mm^2 を超えている。

b) 遠心力成形性(締固め性)

ナフタリン系の N-1 を添加した場合の 1 層と 2 層の貫入抵抗値が 3.46N/mm^2 にそれぞれ達する時間の合計(成形時間)は 75 分であった。一方、ポリカルボン酸系高性能減水剤 P-1 を用いた場合は 70 分であり、遠心力成形の工程時間を 5 分短縮することが可能となった。

2.3 実験-3 製造工場排水中の COD 測定

(1) 実験条件

一般にナフタリン系高性能減水剤を使用した遠心力成形コンクリート工場からの排水は COD の値が高くなる傾向がある。

そこで、ポリカルボン酸系(P-1)配合コンクリートによるヒューム管製造工場の排水とプレーンコンクリートのそれを比較するために、一日目は配合の種類(管種)に関係なく、P-1 を $B \times 0.45\%$ とした。翌二日目は同じ条件下で、すべてプレーンコンクリートで製造した。

表-13 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	密度: $3.15\text{ (g/cm}^3\text{)}$
細骨材	砕砂	表乾密度: $2.60\text{ (g/cm}^3\text{)}$
粗骨材	砕石(2005)	表乾密度: $2.60\text{ (g/cm}^3\text{)}$
膨張材	カルシウムサルフォアルミネート系	密度: $2.94\text{ (g/cm}^3\text{)}$
高性能減水剤	ポリカルボン酸系(P-1)	密度: $1.05\text{ (g/cm}^3\text{)}$

表-14 コンクリート配合例

種類	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					高性能減水剤	
			W	C	膨張材	S	G	種類	(B×%)
高性能減水剤	34.8		165	432		811	913	(P-1)	0.45
プレーン	39.4	47	187		43	785	885	—	—

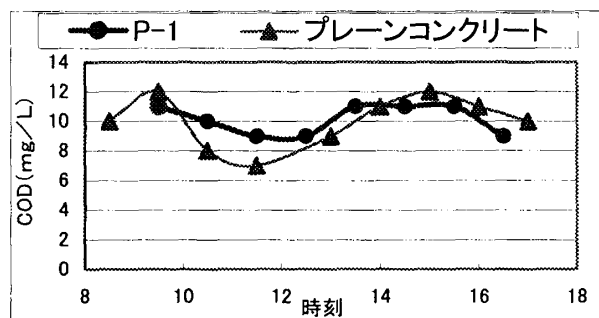


図-2 工場稼働時間の排水 COD の推移

製造工場の排水を運転稼働時から約 1 時間ごとに採取し、その COD を測定した。実験に使用した材料とコンクリート配合の一部を表-13 と表-14 に示した。

なお、COD の規制値は各地方自治体で異なるが、当工場の規制値は 15 mg/L 以下で管理することを地方自治体と締結している。

(2) 実験結果および考察

ポリカルボン酸系高性能減水剤 P-1 を用いたコンクリートの排水の COD とプレーンコンクリートのそれを同一時刻で示した結果を図-2 に示す。ヒューム管製造ラインの運転状況により、同時刻の排水中の COD には若干の変動はあるが、P-1 を使用した日と使用しない日(プレーン)における COD の違いはほぼ同程度であることが確認できた。

2.4 実験-4 排水の COD におよぼす高性能減水剤の種類の影響

(1) 使用材料およびモルタル配合

使用材料は実験-1 と同様である。高性能減水剤は、ポリカルボン酸系の P-1 および P-2 のほ

かに P-3(ポリカルボン酸系化合物), さらに, 他の成分としてメラミン系およびリグニン系の減水剤を用いた。モルタルの配合は, 流動性を考慮して, ヒューム管配合の砂利を取り除いた $W/C=33\%$, $C/S=1/1.43$ である。各種減水剤の添加率は, 同一フロー ($200 \pm 5\text{mm}$) が得られるように調整した。

(2) 実験方法

- 練上がり直後のモルタル 500g を採取し, モルタルと等量の精製水で希釈混合した。
- 2 時間静置後, モルタル上澄水を採取し, 精製水で 5 倍希釈して試料とした。
- COD の測定は表-5 に示す方法とした。

(3) 実験結果および考察

表-15 に示す実験結果から明らかなように, いずれのポリカルボン酸系高性能減水剤もその COD は, ナフタリン系, メラミン系およびリグニン系のそれより低い値である。このことは, ポリカルボン酸系高性能減水剤の主成分の違いや減水性能の違いによる同一フローを得るためのセメントに対する添加量 (有効成分量) の差に因るものと推察される。また, ポリカルボン酸系高性能減水剤の中でも種類により COD 値に差が表れる。

2.5 実験-5 超高強度推進管 (目標強度 $90\text{N}/\text{mm}^2$) 配合へのポリカルボン酸系高性能減水剤の適用

(1) 使用材料

セメントは A 社製を使用し, 表-9 に示す使用材料に加え, 高強度混和材 (エトリンサイト系, 密度 $2.7\text{ g}/\text{cm}^3$) を使用した。

(2) コンクリート配合および練混ぜ

表-17 に示す配合のコンクリートを二軸強制

表-15 減水剤の種類による COD 値測定結果

No.	減水剤		COD値 (mg/L)	減水剤無添加 との差 (mg/L)
	種類	添加率		
1	混和剤無添加	—	7	—
2	ポリカルボン酸系(P-1)	$C \times 0.40\%$	8	1
3	ポリカルボン酸系(P-2)	$C \times 0.40\%$	12	5
4	ポリカルボン酸系(P-3)	$C \times 0.45\%$	13	6
5	ナフタレン系(N-1)	$C \times 0.65\%$	20	13
6	メラミン系	$C \times 0.85\%$	16	9
7	リグニン系	$C \times 1.10\%$	30	23

表-16 実験項目と試験方法

実験項目	試験方法
スランプ試験	JIS A1101
空気量試験	JIS A1128
圧縮強度試験	JIS A1108(材齢1,7,21日)
供試体養生条件	蒸気養生後20℃,60%R.H.気中養生

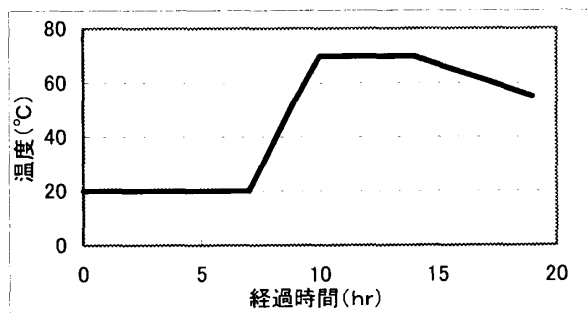


図-3 蒸気養生条件

ミキサ (容量 55L) を用い, 砂, セメントおよび高強度用混和材を投入後 10 秒間空練りを行い, 水と高性能減水剤を投入し 3 分間, さらに, 粗骨材を加えた後 2 分間の練混ぜを行った。

(3) 蒸気養生条件

蒸気養生方法を図-3 に示すように, 前置き時間を 7 時間とし, $17^\circ\text{C}/\text{hr}$ で 70°C まで昇温させこれを 4 時間保持し蒸気を停止した。降温は $3^\circ\text{C}/\text{hr}$ で 18 時間後に供試体を脱型し, その後気中養生 (20°C , R.H.60%以上) とした。

(4) 実験項目および試験方法

実験項目および試験方法を表-16 に示す。

(5) 実験結果および考察

実験結果は表-17 に示す通りである。

表-17 高強度推進管配合および試験結果

No.	セメント 銘柄	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/㎡ ³)					高性能減水剤 P-1(B×%)	スランプ(cm)		空気量 (%)	C.T (℃)	圧縮強度 (N/mm ²) / 材齢		
				W	C	高強度混和材	S	G*1		直後	15分後			1日	7日	21日
1	A社	26.0	40	143	500	50	700	1049	1.45%	6.5	5.5	1.9	22	91.1	97.5	98.8
2		28.0	42	143	460	50	747	1034	1.50%	8.5	7.5	2.0	22	82.1	93.5	97.7
3		30.0	44	150	450	50	779	994	1.30%	9.5	9.0	2.2	22	80.8	90.0	93.8

目標スランプ: $8 \pm 2\text{cm}$, 目標空気量 $2 \pm 1\%$

*1 粗骨材最大寸法 15mm

本実験に用いた使用材料で良好なワーカビリティのコンクリートが得られた。スランプ保持性は、練上がり直後で6.5cmから9.5cmと固練りのコンクリートであるが、15分後のスランプロスが1.0cmから0.5cmとスランプロスが非常に少ない。単位水量が小さい配合であるにもかかわらず、ポリカルボン酸系高性能減水剤 P-1 のスランプ保持性は良好であることが確認できた。

圧縮強度について見れば、すべての実験配合において、材齢7日で目標強度が得られている。さらに、強度発現性は、材齢1日で7日強度の90%程度を示し、また、材齢21日では材齢7日からの強度増進が小さい傾向を示している。このことは、エトリンガイト系高強度混和材の蒸気養生における強度発現促進効果によるものと考えられる。

3. まとめ

本報告では、市販のポリカルボン酸系高性能減水剤を用いた遠心力成形コンクリートの基本的な性状、製造ラインにおける成形性および遠心成形により脱水されるノロ水の COD、工場排水の COD について、ナフタリン系高性能減水剤と比較した。さらに、ポリカルボン酸系高性能減水剤 P-1 使用の超高強度推進管 90N/mm² 配合の開発についても検討した。以下にそれらの結果を要約する。

(1) 本実験で用いたポリカルボン酸系高性能減水剤 P-1 および P-2 は、それを用いたコンクリートの性状および遠心力成形性の結果から、従来のナフタリン系のものに代わって遠心力成形コンクリートに十分適用できると考えられる。

(2) 本実験で取上げたポリカルボン酸系高性能減水剤を使用したコンクリートの排水の COD は、ナフタリン系減水剤のそれより著しく小さく、排水規制や環境問題などを考慮すると、ポリカルボン酸系、特に、P-1 は遠心力成形コンクリート製品用に有用であると考えられる。

(3) スランプロスの少ないポリカルボン酸系高

性能減水剤 P-1 とエトリンガイド系高強度混和材の併用により超高強度推進管の開発が可能であると考えられる。

今後の検討項目としては、ヒューム管用に開発した 90N/mm² 超高強度推進管配合の製造ラインを使用した実験を実施すると共に、さらに、各種の遠心力成形コンクリート製品の性状や成形性の長期間における調査が必要である。

謝辞: 本実験を行うに際し、多大なご協力およびご指導を戴いた藤村ヒューム管株式会社 館林工場 梅田技術課長ならびに中川ヒューム管工業株式会社 土浦工場 湯原工場長、さらに、電気化学工業株式会社の諸氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 児玉和己：高強度化のための材料（混和剤），コンクリート工学, Vol.32, No.7, pp.23-27, 1994.7
- 2) 伊達重之，平井国典，篠原知行，新井廣行：プレキャスト製品への早強型高流動コンクリートへの適用，コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.165-170, 1996
- 3) 坂井悦郎，大門正機：コンクリート用化学混和剤の変遷，コンクリート工学，Vol.37, No.6, pp.4-7, 1999.6
- 4) 新田智博，村山重春，新沼文敏，亀岡篤雄：高強度コンクリートを用いた推進管の開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17, No.1, pp.1079-1084, 1995
- 5) 山本常夫：高性能減水剤，コンクリート工学, Vol.26, No.3, pp.32-38, 1988.3
- 6) 福澤公夫，沼尾達弥，川名信政，清田章二：遠心力締固めコンクリートの特性に及ぼす各種要因の影響，コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.331-336, 1998