

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 31 April, 1967

- コンクリート用減水剤の比較試験（第1報）……………赤塚雄三・関 博
浅岡邦一・津端雅史
小野寺幸夫
- 昭和40年度港湾工事におけるコンクリートの
品質に関する調査……………赤塚雄三・津端雅史

昭和42年4月

運輸省港湾技術研究所



総 目 次

コンクリート用減水剤の比較試験（第1報）	赤塚雄三・関 博 浅岡邦一・津端雅史 小野寺幸夫	3
昭和40年度港湾工事におけるコンクリートの 品質に関する調査	赤塚雄三・津端雅史	19

コンクリート用減水剤の比較試験(第1報)

赤塚 雄三

関 博

浅岡 邦一

津端 雅史

小野寺 幸夫

コンクリート用減水剤の比較試験 (第1報)

目 次

概 要	
1. まえがき	7
2. 比較試験の方法	7
2-1 比較試験の概要	7
2-2 使用材料とコンクリートの配合	7
2-3 コンクリートの練りまぜと供試体の製作	9
2-4 試験方法	10
3. 比較試験結果とその検討	12
3-1 試験結果	12
3-2 空気連行効果について	12
3-3 減水効果について	16
3-4 凝結時間とブリージングについて	16
3-5 乾燥収縮について	16
3-6 圧縮強度と曲げ強度について	17
4. 結 論	17
5. あとがき	18
参 考 文 献	

Comparison Tests on Water Reducing Admixtures for Concrete (1st Report)

Yuzo Akatsuka, Dr. Eng.*
Hiroschi Seki, B. Sc.**
Kuniichi Asaoka**
Masashi Tsubata**
Sachio Onodera**

Synopsis

Comparison tests were carried out on nine kinds of water reducing admixtures for concrete in market. The tests were made according to the JSCE Tentative Specification for Water Reducing Admixtures for Concrete 1966 on unit water content, bleeding, time of setting, compressive and flexural strengths, and drying shrinkage of concretes. Based on the results, the effects of the admixtures upon the concrete properties were discussed and the applicability of the above specification newly adopted was evaluated.

* Chief, Materials Laboratory, Structures Division

** Members, Materials Laboratory, Structures Division

コンクリート用減水剤の比較試験 (第1報)

赤塚 雄三*
関 博**
浅岡 邦一**
津端 雅史**
小野寺 幸夫**

概要

市販のコンクリート用減水剤9種について比較試験を行なった。試験は土木学会規準減水剤規格(案)1966に準じ、単位水量、ブリージング量、凝結時間、圧縮強度、曲げ強度、乾燥収縮等について行ない、その結果に基づいて供試減水剤の効果と新しく採用された上記規格(案)の適用性を検討した。

1. ま え が き

コンクリート用混和剤として数多くの減水剤(注)が市販されているが、その効果については、十分に確かめられていないものも少なくない。

一方、減水剤を含む混和剤一般の選択、使用はたとえば、土木学会コンクリート標準示方書に規定されたごとく、主任技術者の判断にゆだねている場合が多い。

これは混和剤の効果がコンクリート材料の品質と配合および施工方法によって著るしく影響されるためばかりでなく混和剤の品質評価の規準が定められていないことにもよる。

混和剤のうち、AE剤については、たとえば土木学会AE剤規格(案)があり、その品質規準が設けられているが、これを、そのまま減水剤に適用することは必ずしも適当ではなく新たな品質評価規準の制定が要望されていた。

このような要望に応じて、土木学会減水規格(案)²⁾が発表された。

本報告は、上述の減水剤規格(案)の適用性を確かめ

注) セメント粒子を分散させることによって、コンクリートの所要のワーカビリティを得るために必要な単位水量を減らすことを主目的とした材料を言い、分散作用だけをもつもの、AE剤と併用したもの、等がある。

* 構造部、材料施工研究室長

** 構造部、材料施工研究室

ると共に市販減水剤の品質に関する資料を得ることを目的として行なった比較試験を取り纏めたものである。

2. 比較試験の方法

2.1 比較試験の概要

土木学会の減水剤規格(案)は、最大寸法25mmの粗骨材を用い、単位セメント量を 300 Kg/m^3 、スラブを $7 \pm 1 \text{ cm}$ として、減水剤を用いたコンクリートの単位水量、ブリージング量、圧縮強度、曲げ強度、乾燥収縮および相対耐久性係数を試験し、これを同等の配合条件の、減水剤を用いないコンクリートについての結果と比較して、減水剤の品質を相対的に評価すること規定したものである。

ただし供試コンクリートの空気量は減水剤を用いた配合では4.0~4.5%、減水剤を用いない配合では2%(エンドラップドエア)以下としている。

本比較試験は上述の規格(案)に準じて、それぞれの項目について行なったものであるが空気量は 4.0 ± 0.5 %とし、付着強度と相対耐久性係数については試験を省き、同規格(案)に規定されていない項目としてコンクリートの凝結時間を取り上げ、ASTMの試験方法ASTM C403-65T "貫入抵抗による凝結時間の暫定試験方法"に準じて試験した。

2.2 使用材料とコンクリートの配合

(1) 減水剤

比較試験に供した減水剤は、表-1に示した9種の市

表一 比較試験に用いた減水剤の諸性質

減水剤名	界面活性剤の種類	主成分	外観	標準使用量*	製造会社名
ボゾリス No.5 L	アニオン型	リグニンスルホン酸カルシウム塩	暗褐色液体	C×100cc**	日曹マスタービルダース社 K.K.
ホルゼックス A	アニオン型	リグニンのソーダ塩, 可溶性珪酸塩珪酸質混和剤	黒褐色液体	C×0.15%	日之出工業 K.K.
セビアン A	アニオン型	リグニン可溶性珪酸塩	黒褐色液体	C×0.15%	栄和化学工業 K.K.
プラストクリート	アニオン型	リグニンスルホン酸, 芒硝食塩エチレンアミンテトラアセテート	暗褐色液体	C×0.4%	海外通商 K.K.
チェリー	アニオン型	リグニンスルホン酸	暗褐色液体	C×1.0%	K.K. 日本建材研究所
サンフロー S	アニオン型	リグニスホル酸誘導体	褐色粉末	C×0.25%	山陽パルプ K.K.
マイティ 150R	アニオン型	ポリアルキルスルホン酸塩	黒褐色液体	C×5 cc**	花王石鹼 K.K.
サンモール ED-4	非イオン型	ポリプロピレングリコールエチレンオキサイドブロック重合体	無色透明液体	C×0.08%	日華化学工業 K.K.
サンモール ED-5	非イオン型	ポリプロピレングリコールエチレンオキサイドブロック重合体	無色透明液体	C×0.04%	日華化学工業 K.K.

* メーカーの推奨する標準使用量

** セメント 1Kg に対する減水剤使用量

販品であって、マイティ 150R を除く 8 種は、空気連行効果を有する減水剤である。

これら減水剤を界面活性剤としての種類(注) に分類すると、アニオン型のもの 7 種と非イオン型のもの 2 種である。

アニオン型の減水剤には、パルプ廃液中に含まれるものを、分離、精製して得られるリグニン誘導体を主成分または一成分として含有したものが多い。

非イオン型の界面活性剤は水溶液中でイオン化しないために酸、アルカリに対比較的稳定であるといわれるが、サンモール ED-4 とサンモール ED-5 は主として染色助剤として利用されていたもので、分子量 1200 以上のポリプロピレングリコールを疎水基として、その左右にエチレン・オキサイドを水に可溶性になるまで付加重合した高分子系の非イオン型界面活性剤である³⁾。

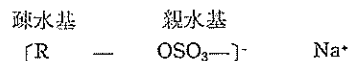
メーカーの指定する標準使用量だけを用いても、所定の空気量 (3.5~4.5%) が得られない減水剤については、各メーカーの市販 A E 剤を併用することを原則とした。しかしホルゼックス A とセビアン A については、該当する A E 剤がないため日曹マスタービルダース社の No. 114 を用いて、空気量を調整した。またマイティ 150R については該当 A E 剤として MX 1482 が市販されているが、標準の使用量の 10 倍量を用いても、所定の空

気量を得られないので、やむを得ず上述の No. 114 を添加した。プラストクリートに対しては、シーカ A E R を添加した。

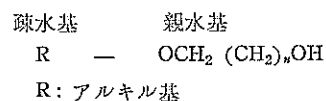
注) 界面活性剤は、温度、圧力などを調整しないで、2 種の異なる物質間に介在して、両者の親和性を向上あるいは低下させる物質であり、水溶液中では、界面活性剤分子中の 2 種の相異なる性質を有する親水基、疎水基がその作用の主因となる。

界面活性剤は水に溶解したときのイオン電離によって、アニオン型、カチオン型、非イオン型、両性イオン型の 4 種に分けられるが、減水剤として一般に市販されているものは、アニオン型が多く、イオン解離しない、非イオン型の減水剤も数種市販されている。これら界面活性剤は基本的には、次のような構造体を持つと言われている。

アニオン型界面活性剤



非イオン型界面活性剤



(2) セメントおよび骨材

セメントは、住友セメント社四倉工場製の普通ポルトランドセメントを用いた。

細骨材は、静岡県富士川産の砂を用い、表面水量1%程度の状態で保存し、表面水量を正確に測定して用い

た。

粗骨材は、神奈川県酒匂川産の砂利を表面乾燥飽水状態として用いた。

これらの材料の試験結果は、表-2~4 に示した通りである。

表-2 セメントの諸性質

比重	粉末度		凝 結			安定性	曲げ強さ (Kg/cn)			圧縮強さ (Kg/cn)		
	ブレン (cn/g)	88 μ (%)	水量 (%)	始 発 終 結			3 日	7 日	28日	3 日	7 日	28日
				(時-分)	(時-分)							
3.18	3050	2.5	21.5	2-26	3-31	良	32.1	48.0	71.9	127	220	413

化 学 成 分 (%)

Loss	Insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
0.6	0.7	22.0	5.1	3.2	64.5	1.7	1.6	99.4

住友セメント社 四倉工場製 普通ポルトランドセメント

表-3 細骨材の物理的性質

比重	吸水量 (%)	フルイに留まるものの重量百分率 (%)						粗粒率
		フルイの呼び寸法 (mm)						
		5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
2.63	2.0	1	12	31	57	86	96	2.83

静岡県富士川産

表-4 粗骨材の物理的性質

比重	吸水量 (%)	フルイに留まるものの重量百分率 (%)						粗粒率
		フルイの呼び寸法 (mm)						
		30	25	20	15	10	5	
2.65	1.0	0	11	27	39	78	95	7.00

神奈川県酒匂川産

(3) 配 合

コンクリートの配合は、各減水剤ごとに試験練りを行なってスランプ、空気量および単位セメント量が所定の値となるように定めた。

試験練りに用いた配合とその試験結果および比較試験に用いた配合とその試験結果を 表-5 および 表-6 に示す。

2.3 コンクリートの練りまぜと供試体の製作

(1) コンクリートの練りまぜ

試験練りは、容量 70ℓの強制練りミキサ (KOKEN FP-70) を用いて行った。1バッチの容量は約 30ℓである。

比較試験に用いたコンクリートは、容量 200ℓの強制練りミキサ (KOKEN FP-200) を用いて練りまぜた。

表—5 試験練りに用いたコンクリートの配合

減水剤記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	w/c (%)	s/a (%)	1 m ³ 当りの 使用量					
						w (Kg)	c (Kg)	s (Kg)	G (Kg)	減水剤	A E 剤
減水剤なし	25	5.2	1.2	56.6	38.9	172	304	762	1214	—	—
	25	9.9	1.4	57.7	38.9	173	300	762	1216	—	—
A—1	25	7.3	3.6	50.0	37.2	152	304	732	1253	3040 ^{cc}	—
B—1	25	9.2	2.9	52.8	37.1	162	307	719	1237	460 ^g	—
	25	8.5	5.2	54.2	37.1	160	295	706	1215	442 ^g	704 ^{cc}
C—1	25	7.1	2.2	52.1	37.2	162	311	734	1257	466 ^g	—
	25	6.5	5.9	50.8	37.2	153	301	709	1215	452 ^g	636 ^{cc}
D—1	25	15.0	3.2	46.2	37.3	140	303	730	1251	1212 ^g	—
	25	8.9	4.7	43.7	37.3	132	302	730	1249	1208 ^g	31 ^g
E—1	25	7.5	4.5	45.5	37.3	138	303	732	1250	3030 ^g	—
F—1	25	6.2	6.4	42.6	37.3	127	298	720	1231	745 ^g	—
	25	5.5	4.4	40.0	32.4	122	305	640	1358	762 ^g	—
	25	6.2	5.1	42.1	35.5	128	304	683	1261	760 ^g	—
G—1	25	6.7	2.4	47.6	37.2	146	307	741	1269	1535 ^{cc}	76 ^{cc}
	25	10.2	2.4	47.4	37.2	145	306	738	1264	1530 ^{cc}	230 ^{cc}
	25	10.0	3.0	46.7	37.2	143	306	737	1263	1530 ^{cc}	765 ^{cc}
H—1	25	6.4	3.8	51.2	37.2	154	301	727	1242	241 ^g	—
I—1	25	6.8	3.6	51.3	37.3	154	300	724	1237	120 ^g	—

注) 1 バッチの練りまぜ量 約 30ℓ

最初に粗骨材、セメント、細骨材を投入して、1分間空練りを行ない、続く30秒であらかじめ減水剤を溶解した水を所定量投入し、全材量投入後3分間練りまぜた。

各配合のコンクリート量は、ほぼ 320ℓで、これを3度に打ち分けた。

練りまぜ後、ただちにそれぞれのバッチについて、スランブ、単位容積重量、空気量を測定すると共に、単位容積重量と各材料の計量重量をもとにして、それぞれの材料の単位使用量を求めて、示方配合と一致することを確認した。

コンクリートの打込みには、恒温高湿作業室（温度 20°C、湿度 100% R, H.）で行なった。

(2) 供試体の製作

各バッチから、スランブ、空気量、ブリージングおよび乾燥収縮試験用供試体各1個と、圧縮強度試験用供試

体を5個、曲げ強度試験用供試体を3個製作したほか、凝結試験用供試体として、第1バッチのコンクリートを5mmフルイでふるって得られたモルタルで3個の供試体を製作した。

供試体は、棒状バイブレーターを用い、表—7に示した方法で締め固めた。

乾燥収縮および曲げ強度試験用供試体については、さらにスペーシングを行ない、木づちで型枠側壁を数回たたいた後、表面を仕上げた。

強度試験および乾燥収縮試験用供試体は、打込み約6時間後にその表面をぬれむしろでおおい、約24時間後に脱型して養生水槽（水温 21°C）に移し、以後所定の材令まで水中養生を行なった。

2.4 試験方法

コンクリートのスランブ、空気量、単位容積重量およ

表-6 各種減水剤を用いたコンクリートの配合

減水剤記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	w/c (%)	s/a (%)	1 m ³ 当りの使用量					
						w (Kg)	c (Kg)	s (Kg)	G (Kg)	減水剤	A E 剤
減水剤なし	25	7.2 } 9.0 } 8.4 } 8.2	1.3 } 1.3 } 1.5 } 1.4	56.8	38.8	170	299	760	1218	—	—
A-1	25	7.6 } 8.2 } 9.0 } 8.3	3.9 } 4.2 } 3.9 } 4.0	47.2	37.2	142	301	734	1256	3010 ^{cc}	—
B-1	25	6.5 } 6.6 } 7.2 } 6.8	4.7 } 4.6 } 4.6 } 4.6	49.2	37.2	150	305	717	1232	458 ^g	381 ^{cc}
C-1	25	8.8 } 7.0 } 8.1 } 8.0	4.1 } 4.1 } 4.0 } 4.1	47.7	37.2	144	302	725	1243	453 ^g	338 ^{cc}
D-1	25	5.0 } 6.0 } 8.7 } 6.6	4.2 } 3.5 } 4.3 } 4.0	43.9	37.2	133	303	736	1260	1212 ^g	18 ^g
E-1	25	5.7 } 9.0 } 8.6 } 7.8	4.3 } 4.2 } 4.7 } 4.4	44.4	37.2	134	302	736	1260	3020 ^g	—
F-1	25	7.6 } 8.0 } 6.7 } 7.4	5.1 } 6.3 } 5.1 } 5.5	42.0	35.6	127	302	681	1249	755 ^g	—
G-1	25	9.1 } 5.0 } 6.8 } 7.0	2.9 } 2.4 } 2.9 } 2.7	44.3	37.2	137	309	746	1278	1545 ^{cc}	292 ^{cc}
H-1	25	6.8 } 7.2 } 7.7 } 7.2	3.1 } 3.7 } 3.7 } 3.5	48.3	37.3	146	302	731	1250	242 ^g	—
I-1	25	5.8 } 6.2 } 7.2 } 6.4	3.7 } 3.7 } 3.9 } 3.8	48.0	37.2	146	304	733	1254	122 ^g	—

注) 1 バッチ練りまぜ量 約 105ℓ

表-7 コンクリートの締め固め方法

試験項目	供試体寸法 (cm)	打込み層数	各層のバイブレーター使用回数 (回)*
スランブ	∅10×∅20×30	3	**
空気量	∅24×22	3	**
ブリージング	∅25×25	2	7
凝結	∅15×14	1	3
乾燥収縮	10×10×80	1	8
圧縮強度	∅15×30	2	3
曲げ強度	15×15×53	1	8

* バイブレターの使用時間はコンクリートの表面が水光りを帯び始める程度 (約10秒) とした。

** 標準棒突法

ブリージング量は、それぞれ J I S A 1101 (スランブ試験方法), J I S 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 (空気室圧力方法)), J I S A 1116 (コンクリートの単位容積重量試験方法および空気量の重量による試験方法 (重量方法)) および J I S A 1123 (コンクリートのブリージング試験方法) に準じて試験した。

ただし単位容積重量の試験には、空気量試験用の鋼製容器 (容量約 7ℓ) を用いた。

コンクリートの凝結時間は、ASTM C 403-65 T “貫入抵抗によるコンクリートの凝結時間の暫定試験方法” に準じて試験した。5mm フルイでふるい分けしたモルタル試料を ∅15×15cm の紙製型枠に 90% 程度を充てんし、練りまぜの注水時を基準として、3~4 時間後よ

りモルタル凝結の程度に応じて、断面積が $1/40$, $1/20$, $1/10$, $1/4$, $1/2$ および 1 in^2 の 6 種の貫入針のうち適当な針を用い、これを 1 in 貫入するに要する荷重を測定した。

貫入抵抗は、この荷重を貫入針の断面積で除して求め、これが 500 psi および 4000 psi となる時間を以て、それぞれのコンクリートの凝結始発および終結時間とした。

供試体は貫入抵抗の測定時以外はその表面をビニールでおおい、水分の蒸発を防止した。

図-1 に貫入抵抗試験装置を示す。

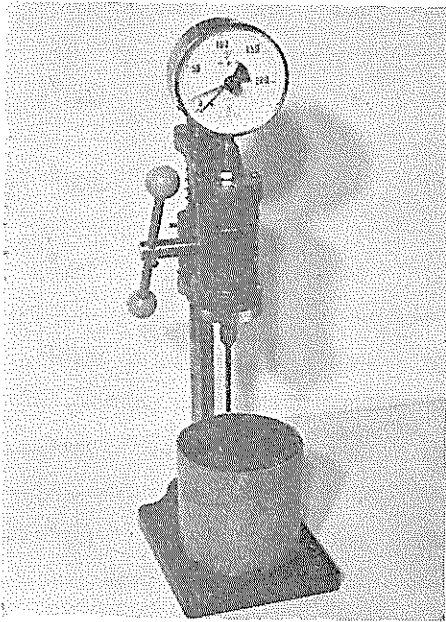


図-1 貫入抵抗による凝結時間測定装置

コンクリートの乾燥収縮は 図-2 に示したように、両端面中央に、鋼製のゲージプラグを埋め込んだ $10 \times 10 \times 80 \text{ cm}$ の供試体を用い、試作した水平型コンパレータ（丸東製作所製作）を用いて測定した。

供試体の第 1 回の測長は、コンクリートの打込み後、24 時間で脱型した際に行ない、ただちに 21°C の水中に浸漬し、材令 7 日で第 2 回の測長を行なった。

供試体は第 2 回測長後、低温恒温室 (20°C , $45 \pm 5\% \text{ R.H.}$) に移して保存した。

長さ変化率の基準長としては、第 2 回の測定長を用いた。

第 2 回以後の測長は、乾燥養生開始後 1, 2, 3, 5, 10, 24 時間, 2, 3, 4, 5 日, 1, 2, 4, 8 週, 3, 4, 5,

6 月の各時点において行なった。

圧縮強度は、紙製型枠を用いて製作した $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ の供試体について、J I S A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) に従って、材令 3 日, 1 週, 4 週および 6 月で試験を行なった。

曲げ強度は、 $15 \times 15 \times 53 \text{ cm}$ の供試体を用い、J I S A 1106 (コンクリートの曲げ強度試験方法) に従い、材令 3 日, 1 週および 4 週で試験した。

3. 比較試験結果とその検討

3.1 試験結果

比較試験結果は 表-8 に示した通りである(注)。

表-9 は減水剤規格(案)の規定に従い、減水剤を用いないコンクリートを基準として減水剤を使用したコンクリートの諸性質を百分率で表示したものである。

ただし乾燥収縮と凝結時間については減水剤を用いないコンクリートとの差で表示した。

3.2 空気連行効果について

試験練りの段階では、減水剤 B-1, C-1, D-1 および G-1 についてはメーカー指定の標準使用量だけを使用した場合には、空気量は所定量に達せず、このため比較試験では A E 剤を添加して空気量を調整した。

減水剤 B-1, C-1 はそれ自体の空気連行効果は乏しく、かつ特定の A E 剤をもたない減水剤である。

これらについては空気量を調整するため No. 114 を添加して所定の空気量を得た。

減水剤のみを用いた配合の単位水量と、A E 剤を添加したときの単位水量との差から空気連行による単位水量の減小量を求めると、空気量 1% について単位水量 0.9 Kg および 2.4 Kg (減水剤なしの場合の単位水量を基準にすると空気量 1% について 1.9% および 2.5% 減) 程度が減少し、A E 剤の作用による効果は、必ずしも一定していない。

減水剤 F-1 を用いた配合では、メーカーの指示量 ($C \times 0.25\%$) を使用する限りでは、空気量が過大となる傾向が認められた。すなわち、 s/a をかなり減少する場合には空気量をほぼ所定の範囲に止め得るが、コンクリートのプラスチックチーを失う。

注) 減水剤記号 A-1, B-1, ……は今回が減水剤の第 1 回の比較試験である事を表わす。

今後、実験を継続して行なっていく場合、減水剤の記号を A-2, B-2, ……、A-3, B-3, ……と記することとする。

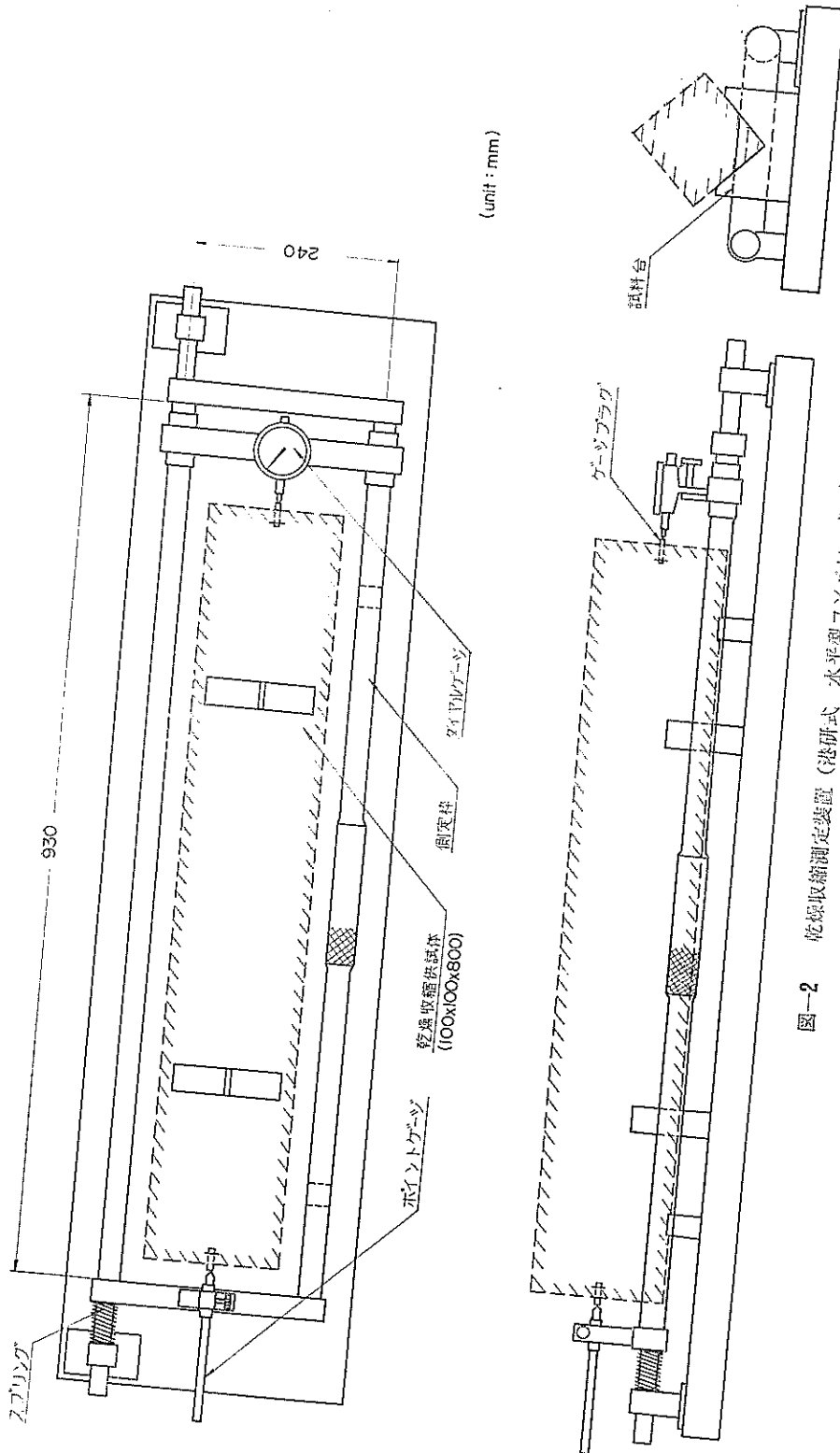


図-2 乾燥収縮測定装置 (港研式 水平型コンパクター)

表-8 滅水剤比較試験結果

滅水剤記号	ブリージング量 (cm ³ /cm ²)	凝		結		乾燥収縮 (×10 ⁻⁶)								圧縮強度 (kg/cm ²)				曲げ強度 (kg/cm ²)			
		始 (時-分)	発 (時-分)	終 (時-分)	1日	8週	3月	6月	3日	1週	4週	6月	3日	1週	4週	6月	3日	1週	4週		
																				0日	1週
滅水剤なし	0.077	4-06	4-22	7-12	76	0	214	462	631	779	847	166	252	421	400	29.5	39.2	51.8			
	0.077	4-24	4-36	7-06	7-12	7-18	0	0	0	0	0	153	248	406	402	24.2	38.2	48.3			
	0.085	4-06	4-36	7-18	7-12	7-18	0	0	0	0	0	170	267	404	442	27.4	38.2	50.7			
A-1	0.087	6-09	6-11	8-46	41	0	271	553	720	822	865	228	334	450	497	37.7	49.8	52.0			
	0.077	6-00	6-11	8-42	8-41	8-35	41	0	0	0	0	243	341	425	457	39.5	46.8	55.3			
	0.084	6-24	6-11	8-35	8-41	8-35	41	0	0	0	0	237	327	462	469	39.6	46.8	53.2			
B-1	0.067	5-21	5-14	7-51	49	0	240	503	651	806	867	164	260	392	392	29.2	39.7	43.4			
	0.056	5-06	5-14	7-54	7-51	7-48	49	0	0	0	0	181	276	391	428	33.0	38.2	48.3			
	0.047	5-15	5-14	7-48	7-51	7-48	49	0	0	0	0	157	279	383	434	25.8	35.7	48.4			
C-1	0.083	4-32	4-35	7-31	24	0	237	472	614	781	820	172	277	377	397	32.0	43.0	50.2			
	0.045	4-38	4-35	7-00	7-13	7-08	24	0	0	0	0	174	250	394	426	32.2	41.7	54.6			
	0.057	4-36	4-35	7-08	7-13	7-08	24	0	0	0	0	195	271	384	449	30.6	43.7	50.0			
D-1	0.049	6-05	6-12	8-43	63	0	244	513	674	776	790	250	306	481	488	39.3	47.3	50.2			
	0.059	6-10	6-12	8-34	8-36	8-32	63	0	0	0	0	251	312	457	434	38.0	46.2	54.6			
	0.065	6-21	6-12	8-32	8-36	8-32	63	0	0	0	0	250	322	398	463	39.2	50.2	50.0			
E-1	0.046	6-31	6-34	9-14	114	0	203	449	668	715	814	232	313	420	479	32.7	44.2	48.4			
	0.080	6-35	6-36	9-16	9-14	9-12	114	0	0	0	0	211	303	446	470	36.7	44.3	53.5			
	0.081	6-36	6-36	9-12	9-14	9-12	114	0	0	0	0	208	299	441	475	30.7	46.8	52.2			
F-1	0.058	7-39	7-50	11-12	3	0	174	420	609	706	770	230	318	449	427	35.4	42.4	49.0			
	0.067	7-52	7-50	11-14	11-19	11-31	3	0	0	0	0	231	280	402	450	32.2	39.5	48.0			
	0.065	8-00	7-50	11-31	11-19	11-31	3	0	0	0	0	189	334	429	491	32.7	37.2	59.1			
G-1	0.112	6-19	6-19	9-20	72	0	174	404	574	685	738	228	313	459	546	35.1	47.0	57.4			
	0.053	6-15	6-19	9-24	9-24	9-27	72	0	0	0	0	238	330	486	525	34.6	45.6	56.1			
	0.070	6-23	6-19	9-27	9-24	9-27	72	0	0	0	0	246	338	459	552	36.2	52.2	57.9			
H-1	0.070	4-26	4-27	6-38	44	0	165	421	609	714	762	216	272	399	463	29.5	39.6	55.1			
	0.068	4-27	4-28	6-41	6-36	6-30	44	0	0	0	0	204	278	380	449	26.4	40.1	51.4			
	0.083	4-30	4-30	6-30	6-36	6-30	44	0	0	0	0	211	261	391	453	29.4	42.1	47.3			
I-1	0.058	4-42	4-35	7-04	62	0	212	462	651	756	790	216	291	432	422	29.4	41.5	52.7			
	0.046	4-34	4-35	7-01	7-08	7-18	62	0	0	0	0	200	214	283	444	29.1	38.7	51.2			
	0.045	4-30	4-30	7-18	7-08	7-18	62	0	0	0	0	226	307	448	468	29.3	45.4	57.3			

注) すべて3個の供試体を用いた。
* 材令1週を基準とする。

表-9 滅水剤を使用しない場合を基準として比較した滅水剤の比較試験結果

滅水剤 記号	単 位 水 量 比	プ リ ー ジ ン グ 量 比	* 凝 結		* 乾 燥 收 縮 ($\times 10^{-6}$)				* 圧 縮 強 度 比				* 曲 げ 強 度 比					
			始 発	終 結	1 週	4 週	8 週	3 月	6 月	3 日	1 週	4 週	6 月	3 日	1 週	3 日	1 週	4 週
A-1	84	104	-1-49	1-29	+57	+91	+89	+43	+18	145	130	109	114	144	127	106		
B-1	88	71	-0-52	0-39	+26	+41	+20	+27	+20	102	106	95	103	108	99	87		
C-1	85	78	-0-13	0-01	+23	+10	-17	+2	-27	110	104	94	103	117	111	97		
D-1	78	72	-1-50	1-24	+30	+51	+43	-3	-57	153	122	108	113	144	124	102		
E-1	79	86	-2-12	2-02	-11	-13	+37	-64	-33	133	119	106	114	124	117	102		
F-1	75	79	-3-28	4-07	-40	-42	-22	-73	-77	133	121	104	110	124	103	103		
G-1	80	98	-1-57	2-12	-40	-58	-57	-94	-109	145	129	114	130	131	125	114		
H-1	86	92	-0-06	0-36	-49	-41	-22	-65	-85	129	106	95	108	105	105	102		
I-1	86	62	-0-13	0-04	-2	0	+20	-23	-57	131	115	104	107	109	109	107		
規格値	90以下	70以下	/	/	100以下	/	/	/	100以下	/	100以上	100以上	90以上	/	95以上	95以上		

注) * 滅水剤を使用しない場合に対し、記号+、記号-は、それぞれ凝結時間の早い場合、遅い場合を表わす。
 ** 乾燥発生後の材令における乾燥収縮の差を示す。

このため比較試験では、他の減水剤に対しては、 $s/a=37.2\%$ を用いたが減水剤F-1に対しては $s/a=35.6\%$ (減水剤なし : 38.9%) として、 5.1% の空気量を得た。

このことは、メーカーの指示する標準使用量は、今後の検討を必要とすることを示すものと思われる。

減水剤 G-1 は主成分がポリアルキルスルホン酸塩で、他のアニオン型減水剤と相違し、G-1 の減水剤と同一メーカーのAE剤を標準の10倍量使用して、所定の空気量が得られなかった。

この場合、スランプは 6.7cm から 10.2cm に増加しているため、このAE剤自体も、ある程度の減水効果をするものと考えられる。

このような試験練りの結果に基づいて、比較試験では、AE剤としてNo.114を用いたが、空気量は所定の量に達するには至らなかった。

比較試験における3パッチの空気量測定値はいずれもバラつきが少なく、特に減水剤 A-1, B-1, C-1, D-1, E-1 および I-1 は空気量が安定していた。

3.3 減水効果について

表-9に示したように、試験した減水剤はいずれも相当の減水効果を持ち、単位水量は $15\sim 20\%$ 程度減少するようである。

スランプ $7\pm 1\text{cm}$ 空気量 $4\pm 0.5\%$ の試験条件を満足する7種 (減水剤F-1とG-1を除く) を使用したコンクリートの単位水量の平均は 142Kg であり、これに対し減水剤B-1の単位水量は 150Kg で、その減水効果はやや劣る。

減水剤G-1の空気連行効果はほとんど期待出来ないが、単位水量の減少は著しい。

一方、減水剤F-1を用いた配合の単位水量が、他と比較してかなり少ないのは、空気量が多いためと思われる。

上述のごとく試験した減水剤の減水効果は概して良好であるが、この減水効果はコンクリートの他の諸性質の改善とは必ずしも直結しない点に注意する必要がある。

3.4 凝結時間とブリージングについて

図-3は各種の減水剤を用いたコンクリートの凝結の始発および終結時間を図示したもので減水剤を使用しないコンクリートと比較して凝結が概して遅延する傾向が認められる。

特にリグニン誘導体を主成分としたアニオン型の減水剤を用いた配合の遅延時間は概して長い。

本実験では減水剤によるブリージング量は、その減

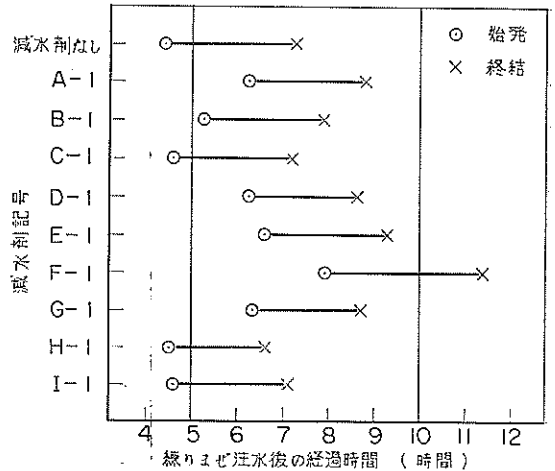


図-3 各種減水剤を用いたコンクリートの凝結の始発および終結時間

水効果から期待される程度には減少せず、減水剤を用いない場合の $70\sim 90\%$ 程度である。

これの主因としては、前述のように減水剤の使用による凝結が考えられ、凝結遅延の少ないものほどブリージング量が少ないのはこれを裏付けるものと思われる。

減水剤によるブリージングの減少には、進行空気泡にブリージング水が吸収される場合、セメント粒子の分散によってセメント粒子に水が吸着される率が高まる場合等が考えられるが、本実験では、空気量の多いものほどブリージング量も少なく、空気連行によるブリージング減少も無視し得ない要因と思われる。

3.5 乾燥収縮について

図-4~6に乾燥による長さ変化率の時間的変化の状態を图示した。

脱型後、材令7日までの水中養生によって、どの供試体についても、 50×10^{-6} 程度の膨張が認められた。

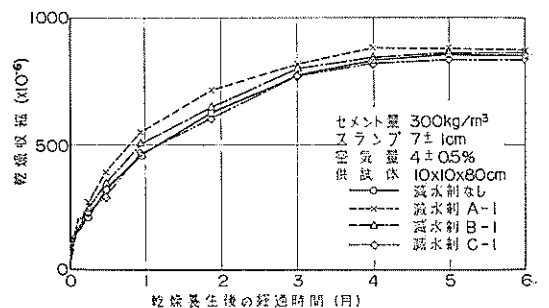


図-4 各種減水剤を使用したコンクリートの乾燥収縮 (1)

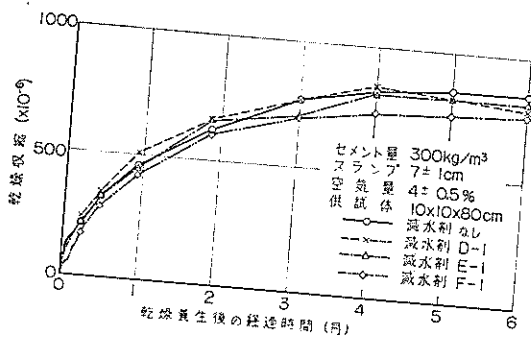


図-5 各種減水剤を使用したコンクリートの乾燥収縮 (2)

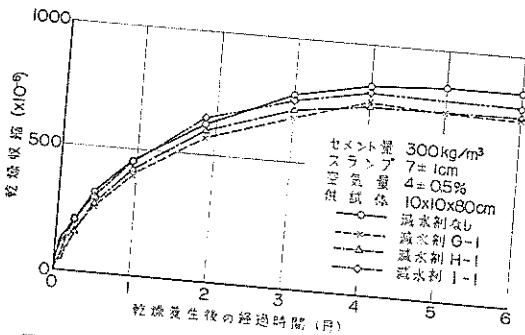


図-6 各種減水剤を使用したコンクリートの乾燥収縮 (3)

減水剤 A-1, B-1, C-1 および D-1 を使用したコンクリートは、減水剤を使用しない場合に比べて、乾燥による長さ変化率が增加了が、その差は乾燥養生開始後 4 週で 90×10^{-6} 程度以下である。

減水剤の使用の有無によるコンクリートの乾燥収縮の差は長期材令に於ても概して小さく、特に問題となることはないようである。

3.6 圧縮強度と曲げ強度について

表-9 の試験結果によると、いずれの減水剤を用いたコンクリートでも初期強度は大きく、減水剤を使用しない場合を基準とした時の圧縮強度比は、材令 3 日および 1 週で、それぞれ 130~140% (平均 131%) および 110~130% (平均 117%) であり、曲げ強度比は 120~140% (平均 124%) および 110~130% (平均 113%) である。

特に減水剤 A-1, D-1 および G-1 を使用したコンクリートでは、圧縮強度比が、材令 3 日で 140~150%, 材令 1 週で 120~130% であって早強性が著しい。たとえば、材令 3 日で、4 週圧縮強度の約 55%, 4 週曲げ強度の 70% に達している。

しかし材令、4 週の強度比はかなり減少し、圧縮強度比で 109~94%, 曲げ強度比で 114~87% となつて、100% 以下、すなわち減水剤を用いない場合よりも強度が低いものすら現われている。

このように、一般に著しい早強性を示すのは、市販の減水剤一般に、たとえば塩化カルシウムのような混和剤が相当量添加されているためと考えられ、この種の減水剤はたとえ減水効果が顕著であっても必ずしも良好な減水剤とは評価し難い。

4. 結論

土木学会規準として、新たに制定された減水剤規格(案)の適用性を検討すると共に、市販の各種の減水剤の性能の比較試験を行なった。

コンクリートは、粗骨材最大寸法 25 mm, 単位セメント量 300Kg/m³, スラブ 7±1cm, 空気量 4.0±0.5% (減水剤を使用しない場合 2% 以下) として、減水剤の使用が単位水量、ブリージング、乾燥収縮、圧縮強度および曲げ強度に及ぼす影響について調べ、これを減水剤を使用しないコンクリートと比較した。本実験の範囲内で次のことが言い得るものと思われる。

1. 試験に供した 9 種の減水剤の減水効果は 15~20% 程度で、概して良好である。

しかしブリージング量は、この減水効果より予想される程度には減少せず、リグニン誘導体を主成分とする減水剤は凝結時間を遅延する傾向がある。

乾燥収縮については、減水剤の有無によって特に問題になるほどの差は認められない。

減水剤を用いたコンクリートの強度は一般に早強性で、特に圧縮強度において著しい。

減水効果は必ずしも強度の増加とは結びつかず、材令 28 日以降では強度比が 100% 以下となるような減水剤も数例認められた。

また、強度比は個々の減水剤でかなり異なり、使用に先立って試験が重要なことを示している。

2. 以上の試験結果を総括すると、本実験と同等の条件で使用する限りでは、減水剤 A-1, D-1, E-1, F-1 および I-1 は、付着強度、相対耐久性係数、ブリージング量を除いては土木学会減水剤規格(案)の規定を満足するものと考えてよいであろう。

また、以上の試験結果などから、土木学会減水剤規格(案)について、次のことが言えると思われる。

3. 試験した試験項目(単位水量、ブリージング量、圧縮強度、曲げ強度、乾燥収縮)それぞれについて、減水剤の有無および減水剤の種類によって、かなりの差が認められること。

4. 従来の試験結果と使用実績によって品質が良好と評価されている減水剤は、いずれも規格(案)の品質規準にも合格する傾向がある。

また、これを諸外国の同種の規格値たとえば、ASTM 494-65T(コンクリート混和材)の規定と比較すると、個々の事項については、必ずしも一致しないが概して同水準の値を規定している。

これらの諸点を考慮すると、本規格(案)の規定は、ほぼ適当なものと思われ、また、施工に予定されている材料を用いて試験する限りでは、本規格(案)によって特定工事に対する減水剤の適否をほぼ的確に評価し得るものと思われる。

5. 本実験と平行して行われた減水剤の共通試験(東京付近所在の各大学や試験研究機関によるもの、非公開)の結果によると、同一種の減水剤を用いても、使用材料、特にセメントおよび砂によって著しい差を示す試験項目(たとえばブリージング量と圧縮強度比)もある。

従って、単一種のコンクリート材料を用いた試験のみで、減水剤の品質の一般的な評価を行ない得ないことは明らかであるが、これは、コンクリート材料一般についても言えることで、本規格(案)の適用性を損うものではない。

あとがき

港湾工事材料に関する試験研究の一環としてコンクリート用減水剤を取り上げ、9種の市販減水剤の比較試験を実施した。

先にも述べたように、本実験は市販減水剤の品質に関する資料を得ることを主たる目的の一つとしたものであるが、使用材料、減水剤の種類などを変えて、今後この種の実験を続け、港湾工事用材料としての減水剤の品質評価資料を提出する予定である。

参考文献

- 1) 赤塚雄三, "混和剤がコンクリートの圧縮強度、乾燥収縮および亀裂傾向に及ぼす影響について"
港湾技研資料, No. 7, pp. 9~20, 1964年3月
- 2) "土木学会規準, 減水剤規格(案)", 土木学会ブレパックドコンクリート施工指針(案), pp. 35~38, 1966年10月
- 3) 三雲次郎, 浅原照二, 今井怡知朗, 石鹼・界面活性剤(工業化学全書 11), 第6版, pp. 139~140, 昭和41年4月