

アルミナセメントコンクリートの凍結融解抵抗性

前 川 静 男* 今 井 益 隆**

1 ま え が き

アルミナセメントコンクリートは超早強性、耐浸食性などすぐれた特性が認められながらも、ポルトランドセメントに比較して高価なこと、環境条件によっては水和生成物の結晶の転移による強度低下が起こることなど、経済的あるいは技術的問題点が少なくないところから構造物用としては、おもに補修工事など緊急を要する場合に用いられてきたにすぎない。しかし、近年における急速施工への要請によってアルミナセメントコンクリートに関する多くの研究が行なわれ、その成果によって、たとえば転移の問題についてもその発生機構、過程などの解明とともに抑制の方法などが明らかにされつつある。

凍結融解に対する抵抗性についても、転移しない場合にはきわめて耐久的事であることはすでに明らか^{1,2)}であるが、転移した場合は強度の低下現象に伴って耐久性に関しても問題があると考えられる。この報告は、国産の2種のアルミナセメントを用いたコンクリートの転移前および転移後の凍結融解抵抗性についての実験結果に関するものであり、セメントの種類、水セメント比、AE剤の使用などがコンクリートの耐久性に与える影響を検討した。

2 使用材料

実験に使用したアルミナセメントは製造方法の異なる国産のA(焼成法)とB(熔融法)の2種類であり、JIS R 5201による物理試験の結果は表-1に、また製造業者より提示された化学分析試験の結果は表-2に示すとおりである。

骨材は北海道内ではすぐれた品質をもつ静内川産の砂利(最大寸法 25 mm)と苫小牧市錦岡産の砂であり、砂利は5~15, 15~25 mmの2群にふるい分けてあるものを42.5:57.5%の割合で別々に計量して使用した。これらの試験結果を表-3に示す。

水は水道水であり、コンクリートの練上り温度を20℃とするため適宜温度を調節して使用した。

使用した混和剤はヴィンソルである。

3 試験に用いたコンクリートの品質

コンクリートはA, B 2種のセメントについて、それぞれ水セメント比を0.40, 0.50, 0.67の3種とし、スランプ5±1 cm, AEコンクリートにおける空気量4±1%を目標として表-4に示す配合を定めた。

コンクリートの練りまぜは容量約0.09 m³の可傾式ミ

表-1 セメントの物理試験結果 (JIS R 5201)

セメント	比重	粉 末 度		凝 結			フロー値 (mm)	曲げ強度 (kg/cm ²)				圧縮強度 (kg/cm ²)			
		ブレン (cm ² /g)	88μ 残分(%)	水量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)		1 日	3 日	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日
A(焼成法)	3.02	3,900	0.1	30.6	6-20	7-35	180	54.7	63.7	73.7	70.0	400	500	574	583
B(熔融法)	3.21	3,020	0.1	23.8	7-53	8-23	273	53.6	60.7	65.1	63.9	464	456	565	512

表-2 セメントの化学成分 (%)

セメント	シリカ SiO ₂	アルミ Al ₂ O ₃	酸化 第二鉄 Fe ₂ O ₃	酸化カル シウム CaO	マグネ シア MgO	酸化チ タン TiO ₂
A(焼成法)	—	60.5*	2.7	33.5	—	—
B(熔融法)	3.85	39.75	15.40	38.15	0.38	2.30

* TiO₂ を含む

表-3 骨材試験結果

骨材の 種 類	産 地	比重	吸水 量 (%)	単位容 積重量 (kg/m ³)	洗い試 験で失 なわれ る量 (%)	安定性 Na ₂ SO ₄ (%)	粗粒 率
砂	錦岡海岸	2.70	1.01	1860	0.88	1.20	2.39
砂利	静 内 川	2.76	0.99	1680	0.19	4.37	7.40

* 前コンクリート研究室長 現室蘭開発建設部室蘭道路事務所長 ** コンクリート研究室主任研究員

表-4 コンクリートの配合

セメント	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の 範囲 (%)	空気量 の範囲 (%)	水セメン ト比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
						水 W	セメン ト C	細骨材 S	粗 骨 材 G		混 和 剤 (ヴィン ソル)
									5 mm ~15 mm	15 mm ~25 mm	
A	25	5±1	—	40	39	156	390	753	512	692	—
				50	41	154	308	824	515	697	—
				67	44	156	233	911	504	681	—
	25	5±1	4±1	40	36	145	363	676	522	706	0.581
				50	38	142	284	743	527	712	0.341
				67	41	144	215	825	516	697	0.215
B	25	5±1	—	40	39	142	355	787	535	723	—
				50	41	144	288	848	530	717	—
				67	44	147	219	933	516	697	—
	25	5±1	4±1	40	36	129	323	710	548	741	0.388
				50	38	130	260	768	545	737	0.260
				67	41	134	200	846	529	715	0.140

キサで行ない、全材料投入後3分間練り混ぜた。

単位水量はプレーンコンクリートでセメントAの場合154~156 kgであったのに対し、セメントBでは142~147 kgであり、Aに比較してBが9~14 kg少なく、またAEコンクリートではヴィンソルの混和により、セメントAで8%, Bで10%の減水を示した。

アルミナセメントの場合、製造方法の相違がコンクリートのコンシステンシーに与える影響が大きいといえる。

なお、セメントAを用いたAEコンクリートの場合にミキサより排出して成型に至る短時間の間にわずかながらこわばり現象が認められた。

4 養生方法と強度の変化

供試体は10×10×42 cmのはり型で3本1組とし、成型後20℃の湿空中で6時間養生ののち脱型して、その後20℃の水中で材令1日まで養生したもの(転移前)、および材令1日より50℃の水中で9日間養生したもの

表-5 強度に与える転移の影響

セメント	混和剤の有無	W/C (%)	転移後の強度比 ($\sigma_{10}/\sigma_1 \times 100\%$)		σ_c/σ_b	
			曲げ強度	折片による圧縮強度	転移前	転移後
A	無	40	55.7	68.9	8.0	9.9
		50	40.7	46.9	8.5	9.9
		67	22.3	24.0	9.1	9.8
	有	40	58.6	72.3	9.1	11.2
		50	41.9	41.9	8.6	8.6
		67	29.9	23.8	9.4	7.5
B	無	40	57.6	59.1	10.0	10.3
		50	55.4	42.0	11.2	8.5
		67	56.3	36.0	9.6	6.1
	有	40	67.6	71.4	8.6	9.0
		50	53.3	48.7	7.6	6.9
		67	41.0	32.4	9.2	7.3

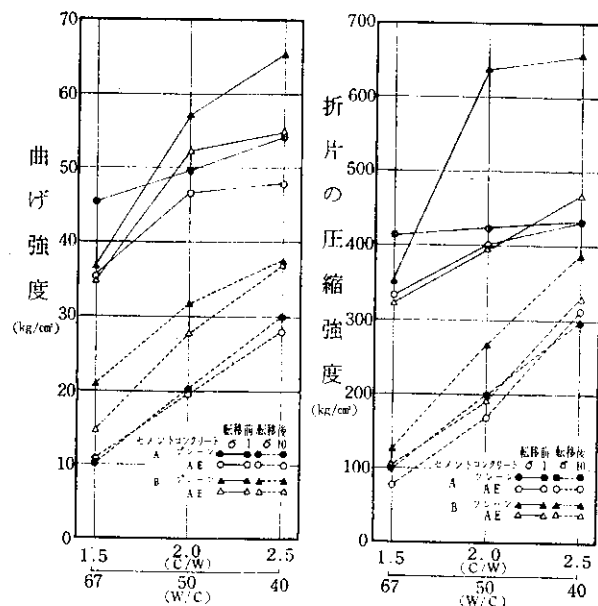


図-1 C/Wと曲げ強度の関係

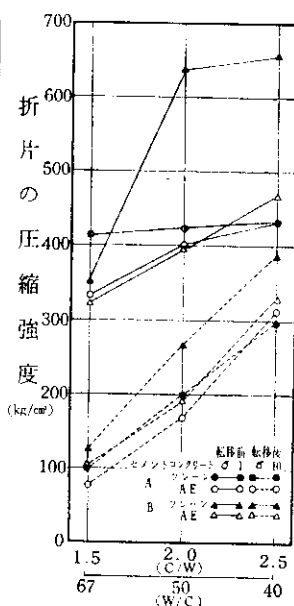


図-2 C/Wと折片の圧縮強度の関係

(転移後)の2種類の養生方法とした。

水セメント比と強度の関係を図-1, 2に, 転移後の強度比を表-5に示す。

これらによると転移による強度低下の程度は, 曲げ, 圧縮とも水セメント比, セメントの種類などによって異なるが, 水セメント比が大きいほど強度低下が大きく, セメントAの場合, 水セメント比0.40で約40%の強度低下に対し, 0.67では約75%と水セメント比の影響が顕著であった。セメントBの場合はAに比較して水セメント比が大きい場合の強度低下の割合は小さく, 水セメント比の影響が比較的少ないといえる。この傾向はプレーンコンクリート, AEコンクリートの場合も同様に認められる。

5 凍結融解に対する抵抗性

材令1日(転移前)と材令10日(転移後)よりASTM C 666に準じて凍結融解試験を行なった。

試験は前述のとおり10×10×42cmのはり型供試体(3本1組)を用い, 試験中供試体の周囲が絶えず水あるいは氷で覆われるように保護して, 供試体中心部温度が凍結時-18℃, 融解時+4℃で300回の凍結融解を繰返した。凍結融解によるコンクリートの劣化状況は, 約30回ごとに供試体重量と動弾性係数の測定を行ない(図-3参照), 約50回ごとに供試体外観の変化を写真に記録した(写真-1, 2参照)。なお, この実験での凍結融解速

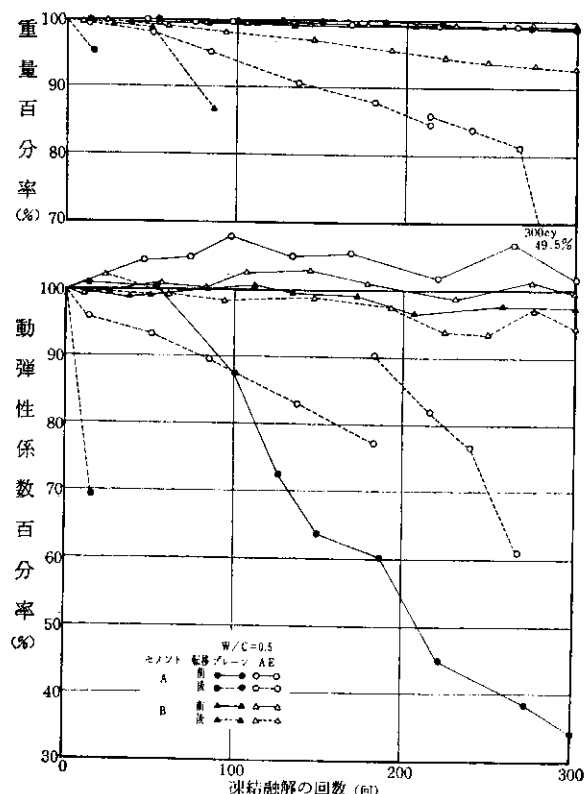


図-3 コンクリートの凍結融解試験結果

度は1日約7~8回となった。

(1) セメントの種類による影響

凍結融解試験の結果を表-6に示す。

表-6 凍結融解試験の結果

セメント	混和剤	転移	W/C (%)	試験終了時		耐久性指数	残存強度化	
				凍結融解回数	重量百分率 (%)		曲げ強度 (%)	圧縮強度 (%)
A	無	前	40	300	100.3	99.6	101.8	137.6
			50	300	99.1	37.6	22.8	82.8
			67	300	89.5	22.6	2.6	16.7
		後	40	66	73.8	10.2	—	—
			50	16	95.2	4.0	—	—
			67	<35	—	3.0	—	—
	有	前	40	300	100.2	101.7	108.8	128.2
			50	300	99.1	101.6	77.4	105.2
			67	300	97.1	94.5	81.7	66.6
		後	40	300	58.8	50.6	—	14.4
			50	300	49.5	45.6	—	15.5
			67	76	74.4	9.5	—	—
B	無	前	40	300	99.8	100.0	99.7	86.4
			50	300	99.2	97.4	87.6	78.4
			67	300	94.2	56.8	20.7	37.7
		後	40	173	83.4	21.0	—	—
			50	87	80.6	13.0	—	—
			67	80	60.8	11.2	—	—
	有	前	40	300	99.7	101.3	107.9	117.3
			50	300	99.2	99.7	85.5	111.6
			67	300	95.5	83.6	70.4	48.5
		後	40	300	96.0	98.1	103.0	50.6
			50	300	93.1	94.6	78.5	50.8
			67	243	59.2	43.9	—	—

表-6によると, セメントAを用いたコンクリートの耐久性は, 転移前のAEコンクリートでセメントBと同程度の結果を示したほかは, プレーンコンクリートの転移前, 転移後, AEコンクリートの転移後など, いずれもBに比較して耐久性が劣った。特に転移後の耐久性は, セメントの種類による影響が大きく, 図-3でも明らかにようにAEコンクリートの場合, 水セメント比0.50でBが300回の凍結融解で7%程度の重量減少を示したのに対し, Aでは214回で1本が折損し, 他の2本も300回終了時には約50%となり, 耐久性指数もBの94に対し, Aでは45と大きな差を示した。

転移後のプレーンコンクリートは, A, Bいずれも200回未達の凍結融解で破壊に至っているが, 写真-1に示し

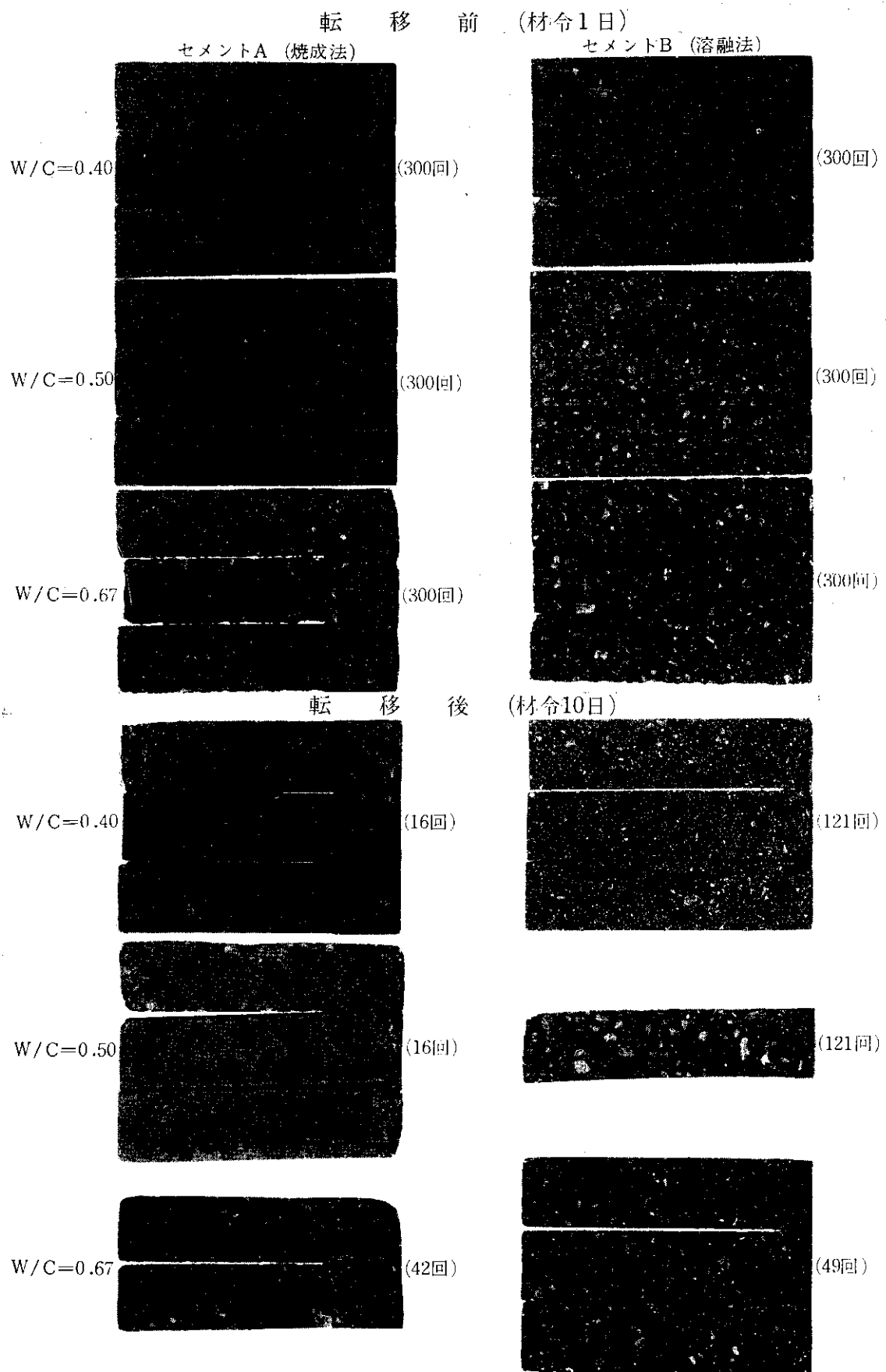


写真-1 供試体製作時上面の外観変化状況 (ブレンコンクリート)

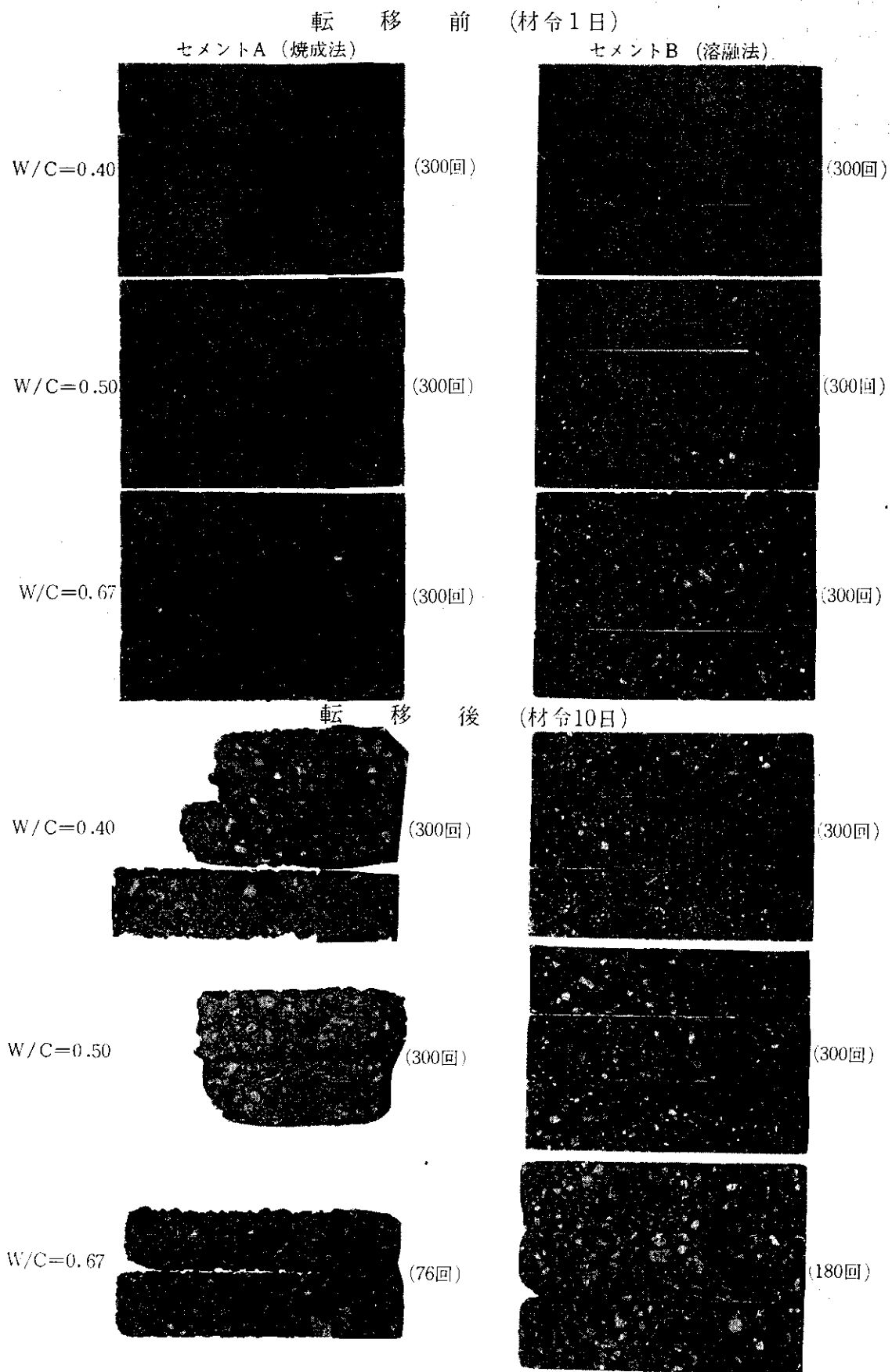


写真-2 供試体製作時上面の外観変化状況 (AE コンクリート)

たとおりセメントAでは供試体表面のはく離が著しく進んで折損したのに対し、セメントBでは全体にひびわれを生じて破壊した。

セメントBがAに比較して耐久であった原因としては、同一水セメント比の場合、前述したとおり単位水量が9～14 kg 小さく、凍結融解開始時の強度が大きいことなどのほかに、コンクリートに含まれる気泡の性質の影響も大きいと考えられる。

(2) 水セメント比および強度による影響

アルミナセメントの場合でもポルトランドセメントの場合と同様に水セメント比が大きいほど、耐久性が小さくなった(図-4 参照)。

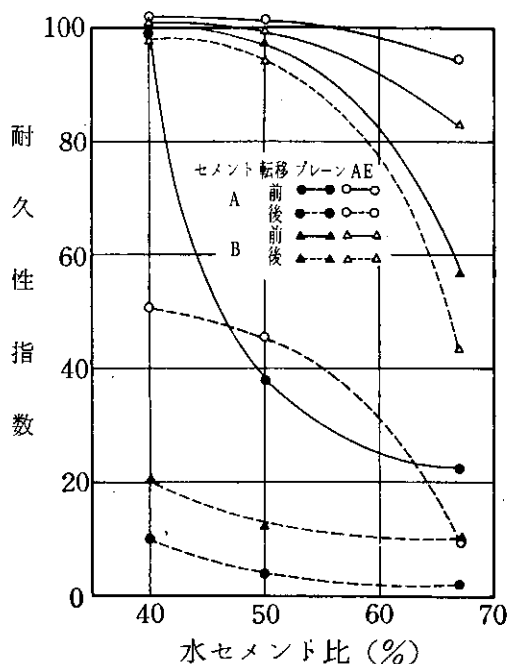


図-4 水セメント比と耐久性の関係

特に、セメントAを用いたプレーンコンクリートは、転移前の場合に水セメント比の影響が顕著であり、水セメント比0.50で300回の凍結融解終了時では外観の変化がほとんど認められないにもかかわらず耐久性指数は38、試験終了時の曲げ強度も開始時の強度の23% (残存強度比) と低下した。

凍結融解開始時のコンクリートの曲げ強度と耐久性指数の関係は図-5に示すとおりである。試験条件が同一であれば一般に強度の大きいコンクリートほど耐久であるが、図-5によるとアルミナセメントコンクリートの場合、セメントの種類、混和剤の有無、転移前後などの諸条件に大きく支配されることが明らかであり、特にAE剤混和の有無の影響が著しいといえる。

A, B 2種のセメントが凍結融解に対する耐久性に、それぞれ異なった効果を及ぼしたことは、セメントの製

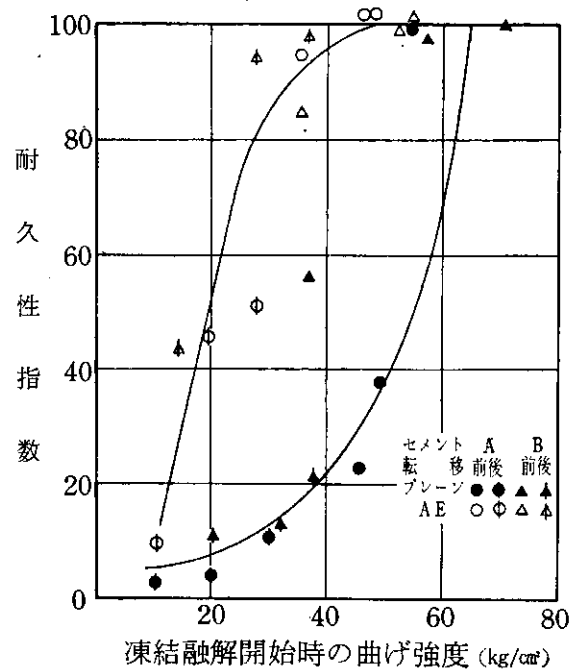


図-5 凍結融解試験開始時の強度と耐久性の関係

法の相違によるものが大きいと思われる。しかし、塚山らの実験⁷⁾ではこの実験結果とは逆に、焼成法で作ったアルミナセメントが溶融法で作ったものよりもコンクリートの凍結融解抵抗性がすぐれているという結果が得られており、この差異についてはさらに検討しなければならない。

6 結 語

製造方法の異なる2種の国産アルミナセメントを使用したコンクリートについて、水和物の転移が凍結融解に対する抵抗性に与える影響を検討した結果、次のことがいえる。

- (1) 同一コンシステンシーを得るために必要なコンクリートの水量は、セメントA (焼成法) に比較してB (溶融法) の場合が少なく、プレーンコンクリートでは約11 kg, AEコンクリートでは約13 kgの差異となった。
- (2) 転移による強度低下は水セメント比によって異なり、水セメント比が大きいほどその低下率が高い。また低下の程度はセメントの種類によって相違するが、セメントAの場合その影響が顕著である。
- (3) アルミナセメントコンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、ポルトランドセメントの場合と同様に水セメント比の増加に伴って低下するが、その程度はアルミナセメントの種類、AE剤混和の有無、転移の前後で異なり、転移前はプレーンコンクリートでも水セメント比0.40できわめて耐久である。しかし、転移後の耐久性

はセメントの種類によって著しく異なり、AEコンクリートとした場合に水セメント比0.40でも耐久性がかなり低下するものがあり、また、水セメント比0.50で耐久的なものもある。いずれの場合もAE剤の混和は耐久性の改善に効果がある。

アルミナセメントコンクリートの耐久性は、過去に実施した試験結果でも転移しない場合プレーンコンクリートで3,300回以上の繰返しに耐えた例もあり²⁾、本実験の結果、水セメント比、セメントの種類、混和剤の有無、転移前後などの諸条件によって耐久性が左右されることから、コンクリートの気泡の寸法、分布など内部機

構による影響についても検討する必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 塚山・山下：寒中工事用アルミナセメントコンクリートの研究，セメント技術年報（昭和42年）
- 2) 林・前川・今井・渡辺：アルミナセメントコンクリートの力学的諸性質と凍結融解抵抗性に関する研究，セメント技術年報（昭和43年）
同，土木試験所報告第53号（昭和45年）