

V—3 セメントの品質がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響

北見工業大学 正会員 菅 雅 弘
北見工業大学 正会員 鮎 田 耕 一
北見工業大学 正会員 桜 井 宏
北見工業大学 正会員 猪 狩 平三郎

1. はじめに

近年、建造からあまり年数の経過していないコンクリート構造物に劣化が生じたという事例が報告されることがあり、社会的に反響を起こしている。

このような構造物の劣化の原因は、外的要因と内的要因に大きく分けられる。外的要因としては、凍結融解、すりへり、荷重や乾燥によるひびわれなどの物理的作用、あるいは塩害による鉄筋の腐食、化学物質による侵食、コンクリートの中性化などの化学的作用が考えられる。また、内的要因としては、不適切な材料の使用や施工方法が考えられる。不適切な材料としては、良質な天然骨材が少なくなっていることから骨材の品質が問題にされることが少なくないが、一方で最近セメントの品質がコンクリートの耐久性を損なわせているのではないかと指摘されている¹⁾。外的要因による劣化や内的要因のうち骨材の品質に関する研究成果は多いが、セメントの品質がコンクリートの諸特性に与える影響に関しては不明な点が少ない。

そこで本研究では、セメントの品質がコンクリートの主に耐凍害性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、製造会社、工場の異なる12種類のセメントを用いて検討したので、その結果について報告する。

2. 使用材料と実験方法

表—1 セメントの内訳と品質

(1) セメント

実験に用いたセメントは、7社12工場で製造された普通ポルトランドセメントである。その内訳と品質を表—1に示す。

製造会社		A		B		C		D		E		F		G		平均
製造工場		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
記 号		A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	平均
比 重		3.15	3.15	3.15	3.15	3.16	3.16	3.16	3.16	3.15	3.15	3.16	3.16	3.16	3.16	
比表面積 (cm ² /g)		3470	3480	3290	3310	3690	3490	3470	3540	3580	3870	3420	3400	3400	3500	
化 学 成 分 (%)	Fe ₂ O ₃	2.30	2.42	2.20	2.23	2.35	2.25	2.56	2.36	2.40	2.29	2.16	2.36	2.32	2.32	
	Al ₂ O ₃	5.16	5.16	5.10	4.73	4.82	5.12	5.25	4.97	4.35	4.88	4.52	4.46	4.88	4.88	
	MgO	3.98	3.80	3.78	3.98	3.77	3.69	3.49	3.69	3.92	3.83	3.85	3.42	3.77	3.77	
	SO ₄ ²⁻	0.69	0.63	1.08	0.86	0.77	0.73	0.74	0.92	0.83	0.79	0.86	0.67	0.80	0.80	
	Na ₂ O	0.24	0.26	0.18	0.20	0.28	0.30	0.38	0.32	0.31	0.30	0.10	0.28	0.26	0.26	
	K ₂ O	0.35	0.35	0.62	0.64	0.38	0.52	0.40	0.41	0.56	0.53	0.27	0.53	0.46	0.46	
R ₂ O		0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.3	0.6	0.6	0.6	

(2) 骨材、混和剤

骨材は、札内川産の川砂（比重 2.64、吸水率 2.40%）、川砂利（比重 2.66、吸水率 1.63%、最大寸法 25mm）、混和剤はアニオン系のAE減水剤および補助AE剤を用いた。

(3) 配合

配合は、単位セメント量(260kg)を一定とし、W/Cが0.55以下で、練りあがり性状がスランプ 8±1cm、空気量 4.5±0.5%、コンクリート温度 20±2℃となるように試し練りによって求めた。配合および練りあがり性状を表—2に示す。

(4) 試験項目と方法

1) 凍結融解試験

凍結融解試験は、ASTM C 666 のA法に準拠して、1サイクル4時間の水中における急速試験を行った。供試体（10×10×40cm）の中心温度は -18～+5℃ の範囲になるように制御した。供試体は各条件に対して2個または3個とし、材令28日まで水中養生（20±2℃）し、試験に供した。

2) 暴露試験

供試体（10×10×40cm）を材令28日まで水中養生（20±2℃）後、本学土木工学科実験棟（RC造平屋）屋上

に打ち込み面を上にしてスラブに直接静置した。なお、暴露開始時期は昭和61年1月上旬であり、供試体の数は、各条件3個である。暴露状況を写真-1に示す。

3) 測定項目

供試体の質量、ダイヤルゲージによる長さおよび動弾性係数の変化を求めた。なお、暴露試験の供試体は4時間浸水した後測定した。また、このほかに円柱供試体(φ10×20cm)を用いて圧縮強度を求めた。試験は JIS A 1108 によって行い、材令は28日および1年である。

3. 実験結果と考察

(1) セメントの化学成分

本研究に用いたセメントの化学成分を表-1で示した。セメントの主成分である Fe_2O_3 および Al_2O_3 は、どのセメントも普通ポルトランドセメントの一般的な比率 (Fe_2O_3 : 2~4%、 Al_2O_3 : 4~9%) の範囲内であり、2次成分である MgO も JIS R 5210 で定められている5%以内である。また、セメントの全アルカリ ($R_2O=Na_2O+0.658K_2O$) は、一種を除いて0.6%以下(アルカリ骨材反応の対策用として JIS R 5210 で定められた低アルカリ型セメントの規制値)である。

(2) フレッシュコンクリートの性状と圧縮強度

本研究で用いたコンクリートは、配合条件を $C=260kg$ の一定とし、 W/C は、耐凍害性を確保する目的から55%以下を目標とした。その結果、表-2に示したように、 $W=140\sim142kg$ 、 $W/C=53.8\sim54.6\%$ 、補助AE剤量はセメントの質量当り 0.013~0.016%となった。これらの結果からセメントの違いがコンクリートのワーカビリティ、空気連行性に及ぼす顕著な影響は認められない。

図-1に 20℃水中養生材令28日と暴露試験後の材令

表-2 コンクリートの配合、練りあがり性状

セメント の記号	配 合							練りあがり性状				試 験 項 目
	単 位 量 (kg)				セメントに対する割合(%)		W/C (%)	s/a (%)	スラフ [°] (cm)	空気量 (%)	温 度 (℃)	
	セメント	水	細骨材	粗骨材	AE減水剤	補助AE剤						
A 1	260 260	141 140	649 650	1284 1286	0.2 0.2	0.014 0.013	54.2 53.8	34 34	8.5 7.0	4.6 4.0	19.0 19.0	凍結融解用 暴 露 用
A 2	260	141	649	1284	0.2	0.016	54.2	34	7.5 7.5	4.2 5.2	20.0 19.0	
B 1	260	141	649	1284	0.2	0.013	54.2	34	8.5 7.5	4.2 4.5	18.0 18.0	凍結融解用 暴 露 用
B 2	260	140	650	1286	0.2	0.013	53.8	34	8.0 9.0	4.2 4.3	19.0 18.5	
C 1	260	141	649	1285	0.2	0.015	54.2	34	7.5 7.5	4.6 4.7	20.0 20.0	凍結融解用 暴 露 用
C 2	260	142	648	1283	0.2	0.015	54.6	34	8.0 8.0	4.6 4.6	20.0 20.0	
D 1	260	142	648	1283	0.2	0.015	54.6	34	7.0 9.0	4.5 5.0	18.0 18.5	凍結融解用 暴 露 用
D 2	260	142	648	1283	0.2	0.015	54.6	34	8.0 8.5	4.5 4.0	18.5 19.0	
E 1	260 260	142 141	648 649	1282 1284	0.2 0.2	0.015 0.015	54.6 54.2	34 34	8.0 7.0	4.2 4.5	20.0 19.5	凍結融解用 暴 露 用
E 2	260	142	648	1282	0.2	0.015	54.6	34	7.5 7.0	4.5 4.5	21.0 20.0	
F 1	260	142	648	1283	0.2	0.015	54.6	34	8.0 8.5	4.4 4.5	19.0 18.5	凍結融解用 暴 露 用
G 1	260	142	648	1283	0.2	0.015	54.6	34	7.5 7.5	4.8 4.1	19.0 19.5	



写真-1 暴露状況

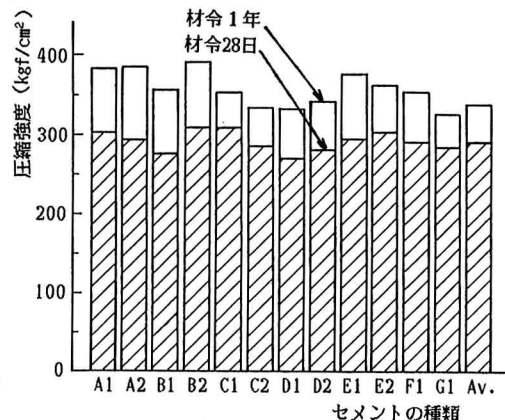


図-1 コンクリートの圧縮強度

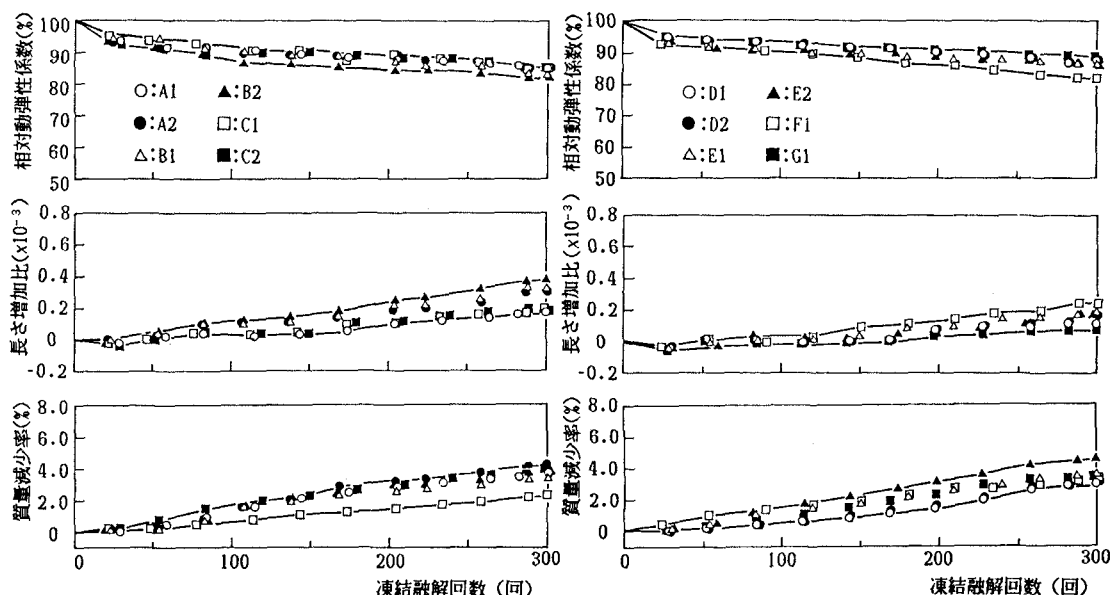


図-2 凍結融解試験結果

1年のコンクリートの圧縮強度を示した。材令28日のコンクリート圧縮強度は 271~309kgf/cm²、平均 291 kgf/cm²で、材令1年のものは、326~390kgf/cm²、平均 358kgf/cm²であり、セメントの違いによる差は顕著には認められない。

(3) セメントの品質が耐凍害性に及ぼす影響について

1) 急速凍結融解試験による評価

図-2に各セメントを用いたコンクリートの急速凍結融解試験の結果を、また図-3に300サイクルにおける耐久性指数、長さ増加比、質量減少率を比較した結果を示した。長さ増加比は内部組織のゆるみを、質量減少率はスケーリングによる影響を主に表している。

これらの結果によれば、いずれのセメントを用いたコンクリートも耐久性指数は60を大きく上回る81.7~88.0、平均 85.1であり、長さ増加比、質量減少率の変化も少なく、セメントの違いによる差もごく僅かである。このことから、水中で急速凍結融解作用を受けたコンクリートの耐久性に及ぼすセメントの違いによる影響は認められず、いずれも良好な耐凍害性を示しているといえよう。

2) 暴露試験による評価

図-4に暴露試験中の動弾性係数、相対動弾性係数、長さ変化比、質量変化率の変化を示した。材令がまだ1年程度しか経っていないこともあり、どの指標も大きな変化を示していない。3.(2)で述べたように、暴露供試体の材令1年の圧縮強度もセメントの違いによる特に大きな差がなく、各セメントを用いたコンクリートの暴露試験による耐凍害性の差は材令1年経過の時点では、認められない。

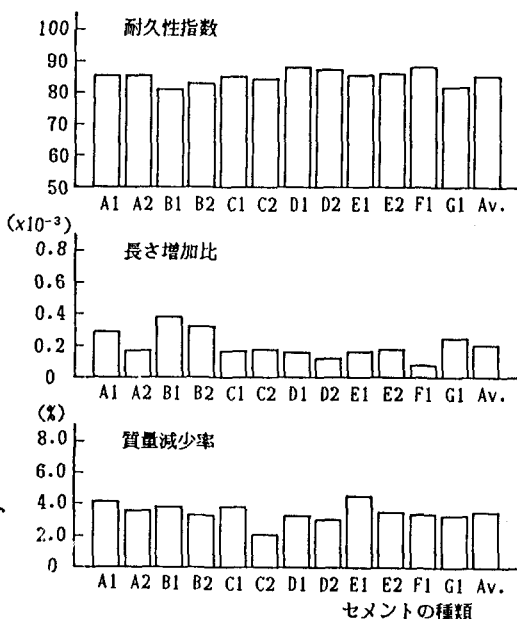


図-3 凍結融解300サイクルにおける結果

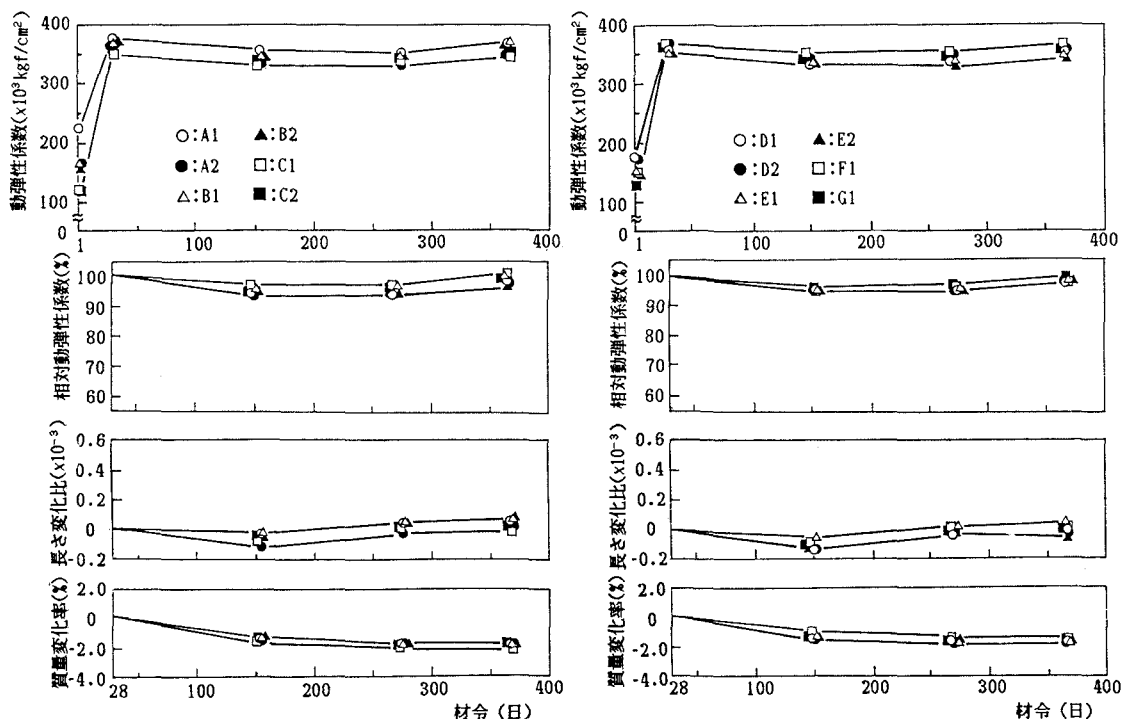


図-4 暴露試験結果

4. まとめ

本研究では、7製造会社12工場の普通ポルトランドセメントを用い、製造工場によるセメントの違いがコンクリートの主として耐凍害性に及ぼす影響を明らかにするための実験を行い、その結果以下のことが明らかになった。

(1) 各セメントの化学成分に明確な差異はみられなかった。

(2) 所定のスランプ、空気量を得るのに必要な単位水量、補助AE剤量は、どのセメントを用いた場合ともほぼ同じであり、セメントの違いがコンクリートのワーカビリティ、空気連行性に及ぼす影響は認められなかった。

(3) 各セメントを用いたコンクリートの標準養生材令28日における圧縮強度は、 $290 \pm 19 \text{ kgf/cm}^2$ 、材令1年の暴露供試体の圧縮強度は、 $358 \pm 32 \text{ kgf/cm}^2$ であって、セメントの違いが圧縮強度に及ぼす影響は認められなかった。

(4) 各セメントを用いたコンクリートの水中における急速凍結融解試験で得られた耐久性指数は、81.7～88.0の間にあり、また長さ増加比、質量減少率の変化も小さかった。1年間の暴露試験中におけるコンクリートの性状変化は少なく、いずれのセメントを用いたコンクリートの耐凍害性も良好であった。

以上の実験結果から、実験に用いたセメントは、大きな品質の相違はなく、従ってコンクリートの耐凍害性、圧縮強度などに及ぼす影響は、ほとんどないことが明らかになった。

本研究は、昭和60年度文部省科学研究費補助金(総合研究A、代表 小林一輔 東京大学教授)の交付を受けて行われたものであり、セメントの成分分析は、名古屋工業大学 鈴木一孝 教授によるものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小林一輔：コンクリート構造物の早期劣化とセメントの品質，土木学会論文集 No.354/V2 1985.2