

福岡大学工学部 正員 ○大和竹史

山下一友

下田 努

1. まえがき セメントコンクリートの耐凍性を評価する際には従来の促進試験とあわせて、凍結膨張量(ディレーション)、残留膨張ならびに凍結可能水量の測定を行ない多面的に検討することが必要である。さらに試験期間の短縮も必要であろう。本報告は、まずモルタルについて、1サイクル凍結融解にともなう凍結膨張量と示差熱を同時測定し、両者より耐凍性を評価しようとするものである。

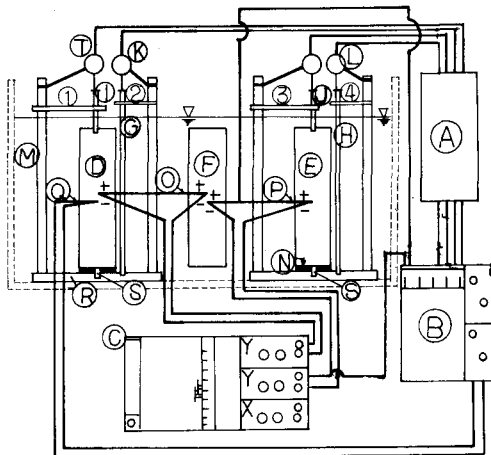
2. 試験方法 使用したセメントは早強ポルトランドセメント(三菱社製, 比重3.13)で細骨材として壺浦標準砂を絶乾状態にして使用した。モルタルの配合を表-1に示す。空気量測定は容積法にて2種のモルタル試料について行なった。50NON(呪=50%, プレーンモルタル)はエアが5.0%と異常に大きいがエントラップドエアがはいったためと考えられる。練りまぜは強式試験方法(JIS R5201)の規格改正案に準じ、機械練りにより行なり、養生は20℃, 湿度90%以上にて行なった。モルタル供試体は断面が40mm平方の長さ160mmの角柱で、試験材令は1日と7日の2通りである。所定材令の供試体の表面水を布でふきとり、テロシン槽内の枠にセットし供試体の中心温度を18.5℃より-18.5℃まで一定の冷却速度5℃/分で下げ、-18.5℃に1時間保った後、加熱速度5℃/分で18.5℃まで融解した。この1サイクルにおいて、凍結膨張量と示差熱

表-1 モルタルの配合表

TYPE	W/C %	W CC	C GRAMS	S GRAMS	AIR %
65AE	65	661.3	1017.4	2034.7	12.0
65NON	65	751.5	1156.1	2312.2	1.5
50AE	50	557.0	1114.0	2228.0	12.0
50NON	50	632.9	0265.9	2531.7	5.0

を測定した。モルタルの長さ変化は図-1に示すように、石英ガラスとの示差変位として測定した。長さ変化-温度曲線において、モルタルの線膨張係数 α は18.5℃から0℃までの冷却過程のデータより計算し、凍結膨張量は図-2に示すように一時的ディレーション(D_t)と最終ディレーション(D_f)の二者を定義した。示差熱分析における標準供試体は耐火レンガをカッターでモルタル供試体と同寸法に仕上げたものであり、モルタルおよび耐火レンガ標準供試体の中心部に温度と示差熱測定用テフロン被覆CA熱電対を埋込んだ。示差熱は高感度XYレコーダ(50 μ m)のY軸に記録し、X軸は1 $\frac{mm}{min}$ のチャートスピードで時間掃引した。

3. 実験結果および考察 図-3に長さ変化-温度曲線の一例を示し、表-2に測定結果をまとめて示す。線膨張係数 α は材令1日において $0.68 \sim 1.59 \times 10^{-5}$, 材令7日で $1.32 \sim 1.45 \times 10^{-5}$ となり、若材令でばらつきが大きい値となった。一時的ディレーション(D_t)の開始温度は-1.2~-3.8℃で、一時的ディレーションおよび最終ディレーション(D_f)のいずれも、総体的にみて、水セメント比の相違、AE剤の有無あるいは材令の経過にともない大小の傾向がでているが、 D_f の方に、より明確な差がみられる。モルタル中の水分の凍結膨張圧を緩和するだけの運行空気泡が不足している場合には組織の破壊点ともなうディレー



A: 動ひずみ計, B: サーボコーダー, C: XYレコーダー
D, E: 供試体, F: 標準供試体, G, H, I, J: 石英ガラス棒
K, L: 変位変換器, M: ステンレス棒, N: ゴム
O, P, Q: 銅コンスタンタン, R: しんちゅう板
S: ステンレス棒, 1, 2, 3, 4: ガイド

図-1 測定装置

ションが生じ融解後も残留膨張が残る。たとえば65NONでは材令1日において、大きい正のディレイションが生じ、残留膨張は約 560×10^{-6} であった。一方、65AEは材令1日において、負の $D_f = 125 \times 10^{-6}$ (平均値)が生じAE剤の効果があらわれている。DTA (示差熱) 曲線において、凍結過程の示差熱は凍結開始温度(-4.4~-3.1℃)で急激に生じ、以後、凍結がしばらく続く過冷却状態を示し、融解過程では最低値-7.6℃から徐々に、示差熱が生じ0℃付近でピークが明確にあらわれた。

材令が若く、水セメント比が小さいモルタルにおいて凍結可能水量が多く生じているが材令1日において、NON AEの方が配合水が多いにもかかわらずAEよりも凍結可能水量が少ない。これはAE剤添加による硬化遅延が原因ではないかと考える。凍結可能水量の多少は直接、モルタルの耐寒性をあらわすものではない。たとえば、材令1日の65AEと65NONの結果を比較すると判るように、凍結可能水量がより多くても凍結膨張を緩和する空気泡が存在すれば正のディレイションは生じない。したがって、DTA 単独では耐寒性の評価は出来ないため、劣化指標として従来から使用している動弾性係数の変化や、凍結膨張量(ディレイション)ならびに残留膨張量と併行して測定すれば有用な方法となろう。ウェズレイによるとSpellsはKearとKulpの示差曲線のピーク面積をあらわす式の修正式として

$$\frac{M(AH)}{gK} = \int \Delta T dt$$
 と与えている。ここでMは反応物質質量、AHは反応熱、 γ は容器の形状係数、 k は試料の熱伝導率、 ΔT は示差温度、 a と b は積分の上下限値である。表-2に示す凍結可能水量は上式の右辺を $\mu V \cdot min$ であらわしたものである。本実験にあたり、福岡大コンクリート実験室の皆様のお力を得た。付記して、謝意を表する。

参考文献のウェズレイ、ウェズレイ、熱的分析法、第4版、産業図書

(2) Philip D. Cady, Mechanisms of Frost Destruction in Concrete, Pennsylvania State Univ. 1967

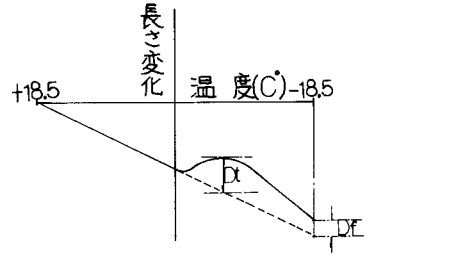


図-2 一時的ディレイションと最終ディレイションの定義

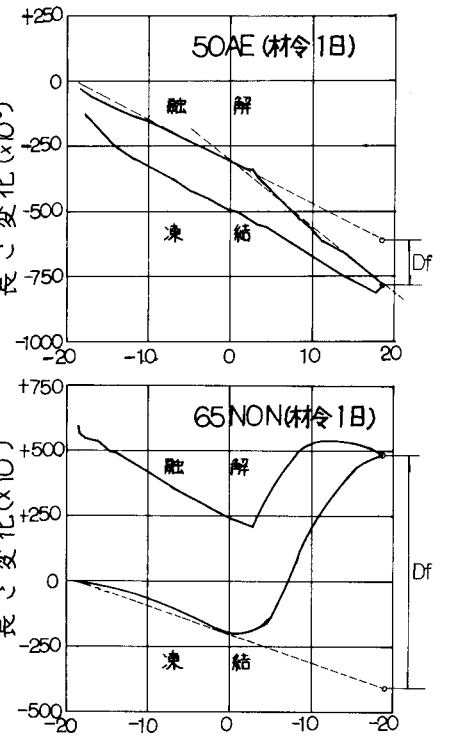


図-3 供試体中温度(°C)

表-2 測定結果

モルタル の 種 類	材令 (日)	圧 縮 強 度 kg / cm ²	ディレイションテスト					D T A 凍 結 過 程					D T A 融 解 過 程				
			線膨張 係数 ×10 ⁻⁶	Dt ×10 ⁶	Df ×10 ⁶	Dt開 の 始度 ℃	示差熱 面 積 mg	継続 時間 min	凍結開 始温度 ℃	ピーク 温 度 ℃	凍 結 水 量 μV	示差熱 面 積 mg	継続 時間 min	融解開 始温度 ℃	ピーク 温 度 ℃	融 解 水 量 μV·min	
65AE	I	108	0.68	31.3	-8.1	-1.5	22.0	I47	-0.8	-2.0	2750	30.0	I32	-7.6	1.5	3750	
			1.62	31.3	-169	-2.0	24.0	I30	-0.8	-2.0	3000	33.5	I47	-7.6	1.5	4188	
	7	259	1.41	37.5	-213	-2.5	9.0	I27	-2.0	-2.2	I125	9.0	72	-3.2	-0.3	I125	
			-	-	-	-	8.0	I29	-2.0	-2.2	I000	8.5	77	-3.2	-0.3	I063	
65NON	I	162	1.08	838	881	-3.0	20.0	I27	-3.1	-2.6	2500	23.0	I28	-7.3	0.2	2875	
			1.08	919	888	-1.6	16.0	I44	-3.1	-2.6	2000	23.0	I12	-7.3	0.2	2875	
	7	340	1.45	56.3	44	-1.6	9.0	I68	-2.4	-4.3	I125	11.0	64	-3.5	0	I375	
			-	-	-	-	11.0	I49	-2.4	-4.3	I375	9.0	81	-3.5	0	I125	
50AE	I	184	1.59	12.5	-175	-1.8	12.0	I19	-2.7	-2.7	I500	11.5	68	-5.4	-0.2	I438	
			1.15	0	-69	-	17.0	I19	-2.7	-2.7	2125	14.0	85	-5.4	-0.2	I750	
	7	360	1.32	37.5	-263	-1.8	1.0	37	-0.4	-0.9	I25	4.0	74	-5.9	-1.6	500	
			-	-	-	-	0.5	I4	-0.4	-0.9	63	4.0	81	-5.9	-1.6	500	
50NON	I	235	1.45	25.0	-56	-3.8	12.0	I25	-2.7	-3.3	I500	12.0	81	-4.9	0.4	I500	
			1.59	18.8	-50	-2.4	13.0	I37	-2.7	-3.3	I625	11.0	68	-4.9	0.4	I375	
	7	404	-	-	-	-	1.0	27	-0.6	-0.9	I25	3.0	44	-1.8	0.7	375	
			1.39	12.5	-131	-1.2	1.0	22	-0.6	-0.9	I25	2.0	31	-1.8	0.7	250	