

各種混和剤が硬化コンクリートの耐凍害性に及ぼす 気泡相系の影響について

東洋大学 学生会員 石橋 登志雄
東洋大学 正会員 坂本 信義

1、まえがき

硬化コンクリートの耐凍害性に関する多くの研究報告がされており、硬化コンクリートの凍結融解に対する耐久性は気泡の量だけでなく、その粒径、間隔及び気泡間セメントペースト平均厚さ等に密接な関係があるとされている。

これまでの硬化コンクリート中の空気量の測定を対象とした測定方法は、コンクリート中に含まれる気泡断面と交差する部分、すなわち弦の長さの総延長と総数を測定してコンクリート中に含まれる気泡が全て同一の直径を持つ球であると仮定して気泡、その他について求めたものである。

本実験では岩崎¹⁾が研究解析された粉状物質と結合組織から成る複合物質についての確率論に基づく算出法を用いて、三次元的な組織を切断面の光学的あるいは画像処理との関係からコンピューターによるデータ解析処理を開発したプログラムシステムによって解析した結果を報告する。

2、実験概要

混和剤の性質を考慮して用いた各種混和剤は、AE剤V、高性能AE減水剤としてT種及びS種の混和剤を使用した。また、混和剤を用いない通常コンクリート(PL)も作成した。コンクリートの配合に用いた各材料の密度は、セメント密度:3.16 g/cm³、細骨材密度:2.61g/cm³、粗骨材密度:2.62g/cm³である。細骨材の粗粒率:2.70、粗骨材の粗粒率:7.59で骨材の最大寸法は20mmとした。尚、コンクリートの配合に当り、スランプの値は8±1と全てのコンクリートに対して同じ値のスランプ値を用いた。また、セメント量を310kg/m³～319kg/m³の範囲に調整し配合した。

表2-1 実験に使用した各種混和剤とコンクリートの配合

1m ³ 当たりの配合設計	混和剤V-4%	混和剤V-6%	混和剤V-8%	混和剤T-4%	混和剤T-6%	混和剤S-4%	混和剤S-6%
水セメント比W/C (%)	50.0	48.0	48.0	46.0	45.5	49.0	49.0
細骨材率s/a(%)	44.0	44.0	43.0	41.0	41.0	44.0	45.0
単位水量W (kg/m ³)	157.0	153.0	149.5	143.0	143.0	151.9	151.9
空気量 (%)	4±1	6±1	8±1	4±1	6±1	4±1	4±1
単位セメント量C (kg/m ³)	314.0	318.8	311.5	310.9	314.3	310.0	310.0
骨材の絶対容積a (kg/m ³)	703.6	686.1	671.9	718.6	697.5	710.0	710.0
単位細骨材量S (kg/m ³)	808.1	788.0	754.1	769.0	746.4	815.4	833.9
単位粗骨材量G (kg/m ³)	1032.4	1006.7	1003.5	1110.8	1078.3	1041.7	1023.1
混和剤量 (%)	0.04	0.09	0.10	0.40	0.55	0.30	0.40
補助剤量 (%)	0	0	0	0.07	0.07	0.01	0.04

凍結融解試験に用いた供試体の形状を図2-1に示した。図2-2は気泡相を測定するための切断面と位置を図示した。実験は、JIS A 6204-2000 附属書2 (規定) 4.2 に、試験開始及び終了に関して凍結融解試験は、供試体を温度20±2 の水槽中で材齢14日まで養生した後、直ちに開始することが規定されているが、硬化コンクリートの環境条件を厳しく想定し、供試体打設の翌日から、凍結融解試験を開始した。50サイクル毎に供試体に質量、動弾性係数を測定し、400サイクル終了後に圧縮強度試験を実施した。図2-3に凍結融解試験の繰り返し作用による径時変化を示した。JIS A 6204-2000 附属書2 (規定) 4.1.3 参照

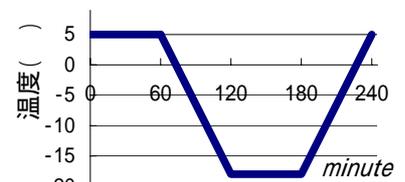
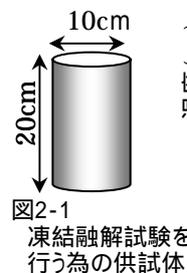


図2-3 凍結融解試験
1サイクルの温度変化

気泡相の解析は、図2-3に示した供試体を3断面に切断し、各断面の上と下面の計6断面に表面処理を施しデジタルカメラで撮影した後、コンピューターに取り込み画像解析により、各断面10000mm² (100mm×100mm)当りの気泡相を測定し、6断面の平均値に関する特性値について解析を行った。尚、気泡相の測定は直径0.02mm～2.00mmを測定範囲とした。

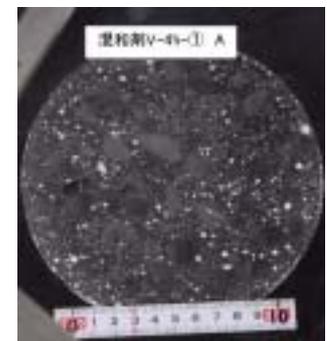
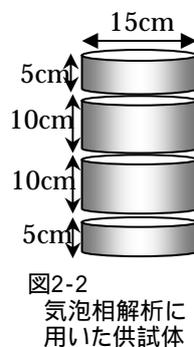


写真2-1 供試体画像解析処理
に使用した切断面

3、実験結果の概略について

材齢28日で標準養生した供試体の動弾性係数を基として凍結融解試験400サイクル終了後の相対動弾性係数と各種混和剤との関係を図4-1に示した。相対動弾性係数の損失率は混和剤を用いた場合に空気量4%の時それぞれ最も凍害による劣化が少なかった。またV-8%、S-6%では30%近い損失率となった。PLの損失率は150サイクル時点で50%を越え最終的に約90%と著しく低い値を示した。

キーワード:凍結融解、混和剤、平均気泡純間隔、気泡間セメントペースト平均厚さ

連絡先 : 東洋大学 工学部 環境建設学科 コンクリート研究室 tell 049 - 239 - 1410

気泡平均個数と各種混和剤による空気量との関係を示したのが図3-2である。気泡平均個数は空気量が多いほど増加する傾向にあることがわかる。10000mm²当りの気泡平均個数はPLでは混和剤を使用した場合に比べ少ないことがわかる。V種の混和剤では同じ空気量を混入しても他の混和剤より300～500個程度多くV-8%では3000個に達した。

図3-3は、平均気泡純間隔(気泡間隔係数)と各種混和剤との関係を示した。平均気泡純間隔は、一般に報告されているように空気量が多く平均個数が多い場合に小さくなり、混和剤を使用した場合その種類や空気量の変化に対して約170～220μmの範囲になることがわかる。

気泡間セメントペーストの平均厚さと各種混和剤による空気量との関係について図示したのが図3-4である。気泡間セメントペースト厚さは、各種混和剤の空気量が多くなるとセメントペーストの平均厚さは薄くなるのがわかる。また、気泡平均個数が少なく平均気泡純間隔が大きいPLでは最も厚い1.10mmを示した。

図3-5は、硬化コンクリートの品質の程度を評価する指標として用いられている圧縮強度と各種混和剤による空気量との関係を示した。各種混和剤で空気量4%使用した場合、耐凍害性に対する圧縮強度維持への有効性を示した。空気量が増えた場合V-8%、S-6%が各々の空気量4%の時に比べ1/3以下の強度となり相対動弾性係数の最も低かったPLと同程度の値となっている。

図3-6は、図3-2に示した気泡平均個数を100%として気泡平均粒径の分布と気泡平均個数との関係を示したもので結果の値は表3-1に示した。各種混和剤の場合にも0.00～0.02mmの平均気泡粒径分布が最も多く分布して空気量の増加と共にその割合は減少している。それに伴い0.61mm以上の粒径の割合が増加している。このような平均粒径の分布状況から耐凍害性に対しては0.00～0.02mmの粒径分布が多く0.61mm以上の粒径分布が少なくなるよう空気混入の調整ができれば効果的と言える。

気泡間セメントペースト平均厚さと各断面の気泡個数との関係を図3-7に示した。気泡相の個数とセメントペースト平均厚さとの関係は混和剤の種類や空気量に影響していて、この実験の範囲からは、ほぼ反比例の関係になっている。最もセメントペーストの平均厚さが厚いPLでは、各断面の気泡個数が少なく、平均気泡純間隔も大きい。耐凍害性を得るためには気泡の平均個数にも関係があり気泡の平均個数が1600個以上必要であり、気泡間セメントペースト平均厚さが1.8mm以上の範囲にあることが適切であると推定される。

4.まとめ

- 1) 気泡平均個数と平均気泡純間隔及び気泡間セメントペースト平均厚さの関係は相反する関係にあって、その値が大きければ耐凍害性及び圧縮強度維持に効果的である。しかし気泡平均個数が極端に少ない場合に著しい耐凍害性に関わる効果の減少がみられた。
- 2) 気泡平均個数の粒径分布は0.00～0.02mmの範囲の粒径分布が強度に対しての影響があって、気泡平均個数が2000個前後で0.00～0.02mmの粒径分布が多いAEコンクリートが凍害に対する抵抗性を示している。
- 3) 耐凍害性を得るためには気泡の平均個数にも関係がして気泡の平均個数が約1600個以上必要であり、気泡間セメントペースト平均厚さが1.8mm以上の範囲にあることが条件となるものと考えられる。
- 4) 全般に注視すると、耐凍害性に関わる適切な効力は、各種混和剤を使用した空気量4%と各諸特性値を満たした空気量6%のAEコンクリートが凍害に対する耐久性を有効に作用させるものと思われる。

今後、耐凍害性に有効な気泡相系の諸特性値に当てはまる混和剤の開発が促進されれば耐凍害性に対するコンクリート構造物の品質向上と保全の維持に貢献出来るものとする。

謝辞：本論文の解析手法に際しては、東洋大学名誉教授岩崎訓明博士に詳細な御指導を賜りました。

ここに謹んで感謝の意を表します。

参考文献：1)岩崎訓明：確率論に基づいた硬化コンクリート中の気泡径分布、空気量及び気泡相諸特性の測定方法の提案 土木学会論文集 No. 557/V-34, pp55～pp64 1997.2

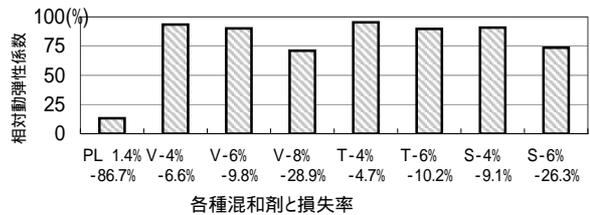


図3-1 相対動弾性係数と各種混和剤の損失率

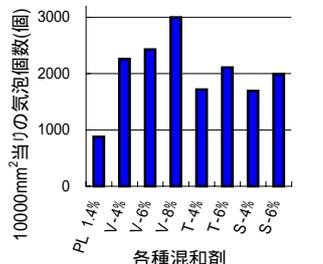


図3-2 各種混和剤の気泡個数

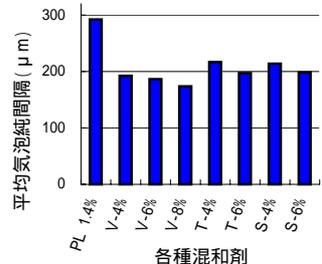


図3-3 平均気泡純間隔

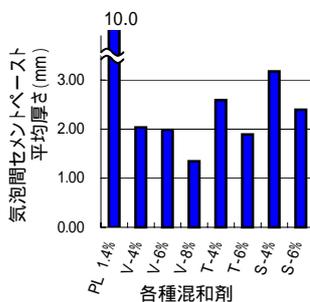


図3-4 気泡間セメントペースト平均厚さ

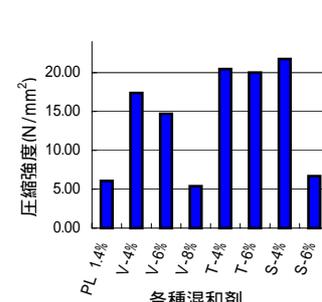


図3-5 圧縮強度

表3-1 各種混和剤気泡総数を100%とした時の気泡粒径分布表(%)

(mm)	PL	V-4%	V-6%	V-8%	T-4%	T-6%	S-4%	S-6%
1.21～2.00	1	2	3	3	2	2	2	3
0.81～1.20	9	14	16	17	15	15	12	19
0.43～0.80	10	13	13	14	13	13	12	15
0.03～0.42	22	22	22	25	24	25	22	25
0.00～0.02	59	48	47	41	45	45	52	38

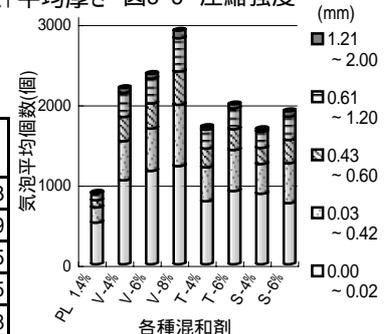


図3-6 気泡粒径の粒度分布状況

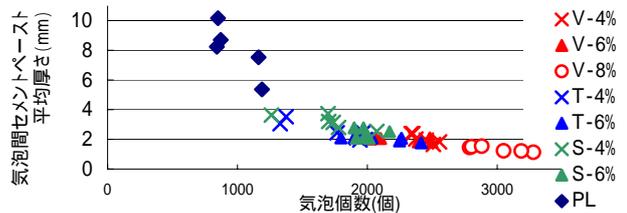


図3-7 気泡個数と気泡間セメントペースト平均厚さの関係