

論文 エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの気泡構造に関する基礎的検討

藤野 祐樹^{*1}・上野 敦^{*2}・石田 征男^{*3}・宇治 公隆^{*4}

要旨：本研究は、普通エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの適用性に関する検討として、凍結融解抵抗性、特にスケーリング抵抗性に着目したものである。空気連行特性として、気泡間隔係数と気泡径分布の観点から、気泡構造の制御およびスケーリング抵抗性への影響について検討を行った。また、実環境下であれば、現状エコセメントを用いた場合においても十分な凍結融解抵抗性を有していると考えられるため、実環境を模擬した環境での凍結融解抵抗性についても検討を行った。その結果、本実験の範囲内においては、エコセメントを用いた場合であっても、実環境において適用可能と推察された。

キーワード：エコセメント, RCCP, 気泡間隔係数, 気泡径分布, 凍結融解抵抗性, スケーリング

1. はじめに

持続可能な社会の形成のためには、マテリアル循環型の材料の積極的な使用が望まれており、その一例として都市ごみ焼却灰を主原料とした普通エコセメント(以下、エコセメント)が挙げられる。エコセメントは、現在主としてプレキャストコンクリートなどに使用されているが、さらなる利用促進のためには、アルカリ量や塩化物イオン量などの面¹⁾を考慮して、セメント量およびセメントペースト体積が少ないコンクリートへの適用が有効と考えられる。このことを考慮すると、密なセメントペーストを少量含む構成とできる舗装用超硬練りコンクリートが、エコセメントの適用先として有効であると考えられる。

筆者らは、エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの基礎特性として、締固め性、強度、静弾性係数および乾燥収縮ひずみについて検討し、エコセメントを用いた超硬練りコンクリートは、舗装用途に十分適用可能であることを示してきた²⁾。また、連行空気を導入した場合についても、前述の基礎特性に関して検討を行い、十分な性能を有することを示している³⁾。さらに、エコセメントを用いたコンクリートの組織構造は、普通ポルトランドセメント(以下、普通セメント)を用いた場合と比較して、粗大な細孔を多く含むが⁴⁾、超硬練りコンクリートとすることで、顕著に緻密な組織構造となることを示している⁵⁾。エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの高濃度塩化物イオン存在下での凍結融解抵抗性に関しては、空気連行を行うことにより相対動弾性係数は改善されるが、スケーリングは増大することを示している³⁾⁵⁾。

エコセメントを用いた超硬練りコンクリートの気泡構造は、普通セメントを用いた場合と比較して、耐凍害性に寄与するといわれる⁶⁾気泡径 50~500 μm 程度の微細な気泡量が少ないため⁵⁾、スケーリングが増大すると考えられる。このため、エコセメントを用いた超硬練りコンクリートのスケーリングを抑制するためには、気泡構造制御のための基礎的検討を行う必要がある。

本研究は、空気連行を行ったエコセメント舗装用超硬練りコンクリートのスケーリング抵抗性に関して、気泡間隔係数および気泡構造の観点から検討したものである。また、エコセメントを用いた場合でも、実環境下では十分な凍結融解抵抗性を有していると考えられるため、実環境を模擬した条件下での凍結融解抵抗性についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

結合材は、密度 3.16g/cm³、比表面積 3200cm²/g の普通ポルトランドセメントおよび密度 3.14g/cm³、比表面積 4120cm²/g の普通エコセメントを使用した。骨材は、表 1 に示す通りの物性を持つものを使用した。混和剤にはリグニンスルホン酸化合物を主成分とした AE 減水剤、変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤の AE 助剤(以下、AEA1)、変性アルキルカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤の AE 助剤(以下、AEA2)、ポリアルキレングリコール誘導体の消泡剤を使用した。

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの示方配合は、表 2 に示すとおりである。粗骨材の粒子間空隙体積に対するモルタル体積の割

*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科都市基盤環境学域 (学生会員)

*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科都市基盤環境学域准教授 博士(工学) (正会員)

*3 太平洋セメント(株) 中央研究所セメント・コンクリート研究部舗装技術情報チーム 工修 (正会員)

*4 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科都市基盤環境学域教授 博士(工学) (正会員)

表－1 使用した骨材の物性

種類		産地	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率
粗目細骨材	P.S	掛川産山砂	2.55	2.19	1.68	67.0	2.78
細目細骨材	F.S	富津産山砂	2.64	0.98	1.6	61.3	1.78
碎石5号	G _大	桜川産碎石	2.63	0.76	-	-	7.03
碎石6号	G _小	桜川産碎石	2.65	0.83	-	-	6.52
混合砂20 [*])	F.S20	-	2.57	1.98	1.66	65.9	2.57
混合砂40 [*])	F.S40	-	2.59	1.97	1.64	64.6	2.37
混合砂60 [*])	F.S60	-	2.60	1.17	1.62	63.2	2.17
碎石2005 ^{**})	G	-	2.64	0.81	1.59	60.7	6.67

*) 混合砂は、粗目細骨材に対して細目細骨材を付記した値(%)だけ体積比で置換したもの

**) 碎石2005は、碎石5号：碎石6号＝3：7(質量比)で混合したもの

表－2 コンクリートの示方配合

配合記号	W/C	Km [*])	Kp [*])	目標空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					AE助剤 種類	AE減水剤 (C×%)	AE助剤 (C×%)	消泡剤
					W	C	P.S	F.S	G				
N-A2.5	0.35	1.60	1.70	2.5	110	314	713	0	1285	AEA1	0.125	0.017	0
E-A2.5	0.35	1.60	1.71	2.5	110	314	711	0	1285	AEA1	0.125	0.027	0
E-A4.0	0.35	1.60	1.92	4.0	110	314	673	0	1285	AEA1	0.125	0.080	0
E-A6.0	0.35	1.60	2.25	6.0	110	314	622	0	1285	AEA1	0.125	0.150	0
E-A2.5-4T	0.35	1.60	1.71	2.5	110	314	711	0	1285	AEA1	0.125	0.035	4T
E-A2.5-10T	0.35	1.60	1.71	2.5	110	314	711	0	1285	AEA1	0.125	0.035	10T
E-A2.5-F.S20	0.35	1.60	1.63	2.5	110	314	569	147	1285	AEA1	0.125	0.023	0
E-A2.5-F.S40	0.35	1.60	1.54	2.5	110	314	427	295	1285	AEA1	0.125	0.020	0
E-A2.5-F.S60	0.35	1.60	1.45	2.5	110	314	285	442	1285	AEA1	0.125	0.017	0
E-A'2.5	0.35	1.60	1.71	2.5	110	314	711	0	1285	AEA2	0.125	0.081	0

表－3 実測空気量に基づいて再計算したコンクリートの配合

配合記号	W/C	Km [*])	Kp [*])	実測空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					AE助剤 種類	AE減水剤 (C×%)	AE助剤 (C×%)	消泡剤
					W	C	P.S	F.S	G				
N-A2.5	0.35	1.64	1.72	2.7	110	313	712	0	1283	AEA1	0.125	0.017	0
E-A2.5	0.35	1.63	1.71	2.5	110	314	711	0	1284	AEA1	0.125	0.027	0
E-A4.0	0.35	1.62	1.90	3.7	110	315	676	0	1290	AEA1	0.125	0.080	0
E-A6.0	0.35	1.62	2.22	5.7	110	315	624	0	1290	AEA1	0.125	0.150	0
E-A2.5-4T	0.35	1.63	1.70	2.4	110	314	712	0	1287	AEA1	0.125	0.035	4T
E-A2.5-10T	0.35	1.64	1.74	2.8	110	313	709	0	1280	AEA1	0.125	0.035	10T
E-A2.5-F.S20	0.35	1.63	1.62	2.4	110	314	570	148	1287	AEA1	0.125	0.023	0
E-A2.5-F.S40	0.35	1.63	1.55	2.7	110	313	426	294	1283	AEA1	0.125	0.020	0
E-A2.5-F.S60	0.35	1.63	1.45	2.5	110	314	285	442	1284	AEA1	0.125	0.017	0
E-A'2.5	0.35	1.63	1.71	2.5	110	314	711	0	1284	AEA2	0.125	0.081	0

*) Km：粗骨材空隙体積に対するモルタル体積の割合、Kp：細骨材空隙体積に対するペースト体積の割合

合(Km)を1.60、単位水量を110kg/m³、水セメント比(W/C)を0.35とした。このように、単位水量、W/C、単位粗骨材量が一定となるため、連行空気をセメントペーストの一部とすると、空気量の増加によって細骨材量が減少し、細骨材の粒子間空隙体積に対するペーストの割合(Kp)が増大することとなる。検討は、AE助剤量を増加させ、連行空気量を増加させたシリーズおよび細骨材の粒度を細粒側へ変化させ、連行空気泡の径を小さくすることを念頭に置いたシリーズに大別される。また、粗大な空気泡を減らすことを目的とした消泡剤併用シリーズ、空気連行が困難な超硬練りコンクリートに対する

空気連行性の検討のための、AE助剤の種類を変化させたものについても検討した。

表－3は、実測空気量に基づいて再計算したコンクリートの配合である。

2.3 供試体の作製方法

(1) 円柱供試体の作製方法

円柱供試体の寸法はφ100×200mmとし、表－3から算出した単位体積質量に基づき、実測空気量を含めて充填率が100%となる量の試料を用いて作製した。試料の型枠への投入は、振動台(50Hz)上で振動を加えながら、材料分離が生じないように留意して行った。試料を投入

後、上部に錘（4kg）をのせ、充填率 100%を目標として振動締めを行った。最後に、振動台から型枠を取り外し、振動機（140～180Hz）をコンクリート表面に押し当て、表面を仕上げた。

(2) 平板供試体の作製方法

平板供試体は、寸法 300×300×60mm の型枠に充填率が 100%となるように計量した試料を用いて作製し、硬化後にコンクリートカッターを用いて供試体寸法が 300×200×60mm となるよう成形した。試料の型枠への投入は、振動台（50Hz）上で振動を加えながら、材料分離が生じないように留意して行った。試料投入後、振動タンパ（50Hz）をコンクリート表面に押し当てて、所定の体積になるまで締めを行った。締め終了後は、コテを用いて上面を仕上げた。

2.4 試験項目

(1) 締固め性

超硬練りコンクリートの締固め性は、JSCE-F 508（超硬練りコンクリートの締固め性試験方法）によって試験し、充填率が 98%となるのに必要なエネルギー（E98）および達成可能充填率（Cf）によって評価した。

(2) フレッシュコンクリートの空気量

フレッシュコンクリートの空気量の測定は、(財) 全国土木コンクリートブロック協会が規定する CBA-2「超硬練りコンクリートの空気量試験方法」に準拠して行った。

(3) 硬化コンクリートの気泡間隔係数と気泡径分布

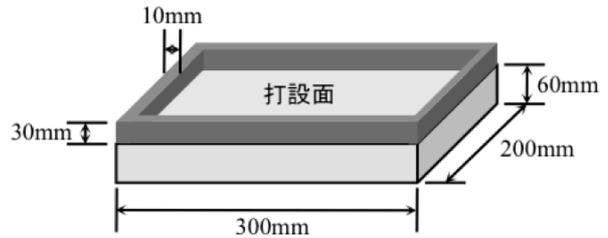
作製したφ100×200mm の円柱供試体を 20℃の水中で材齢 28 日まで養生後、供試体中心部から厚さ約 10mm の試験片を採取し、前処理として 150, 240 および 800μm の研磨粉で研磨した。その後、ASTM C 457 に準拠して、硬化コンクリートの空気量、気泡間隔係数および気泡径分布を求めた。なお、本研究では、気泡の測定において、球形でない空隙は除いている。

(4) 凍結融解試験（JIS）

凍結融解試験は、JIS A 1148 の水中凍結融解試験法（A 法）に準拠して行った。本研究では 20℃の水中で材齢 28 日まで養生したφ100×200mm の円柱供試体を用いた。また、本研究では寒冷地における凍結防止剤散布を想定して、試験溶液に NaCl3%溶液を用いた。また、相対動弾性係数に関してはエコセメントを用いた場合でも問題ないことがすでに報告されているため^{3) 5)}、本研究では質量減少率のみ評価した。

(5) 実環境を模擬した凍結融解試験

2.3(2)に従って作製した平板供試体を 20℃の水中で材齢 28 日まで養生後、乾燥を防ぐ目的で打設面を除く 5 面をアルミテープでシールした。その後、図一 1 に示すように幅 10mm 高さ 30mm の土手を供試体打設面に設置した。試験溶液は寒冷地における凍結防止剤の散布量 30、



図一 1 平板供試体概要図

表一 4 締固め性試験結果一覧

配合記号	E98 (J/L)	Cf (%)
N-A2.5	218.51	98.03
E-A2.5	54.48	98.33
E-A4.0	28.65	98.82
E-A6.0	30.67	99.00
E-A2.5-4T	41.95	99.87
E-A2.5-10T	40.60	99.02
E-A2.5-F.S20	測定不能	97.60
E-A2.5-F.S40	73.02	99.02
E-A2.5-F.S60	115.00	98.76
E-A'2.5	116.52	98.55

500 および 2000g/m²を考慮し、濃度 0.2, 4, 15%の NaCl 溶液を 800g 投入した。試験は恒温恒湿槽を用いて行い、温度履歴は過去の八王子市の気象データを基に-10℃：4 時間、+10℃：2 時間の計 6 時間/サイクルとし、質量減少率によって評価した。

3. 結果および考察

3.1 締固め性

表一 4 に各コンクリートの E98 および Cf を示す。E98 は充填率 98%を達成するために必要なエネルギーを示し、この値が小さいほど締固めしやすいことを示す指標である。Cf は達成可能充填率を示しており、非常に大きなエネルギーを与えたときの推定充填率を示す指標である。N-A2.5 と比較して、エコセメントを用いた場合 E98 は小さくなり、Cf は若干高く、既往の報告^{3) 5)}どおりの結果となっている。E-A2.5 と比較すると、空気量を増大した E-A4.0 および E-A6.0 は締固め性が良好となっている。これは配合上 Kp が顕著に高くなったためと考える。

細骨材粒度を変えた E-A2.5-F.S シリーズは、E-A2.5 と比較して E98 が増大する結果となった。これは、細目砂の混合率の増加に伴い、混合細骨材の実積率の減少による Kp の低下が影響しているものと考えられる。また、E-A2.5-F.S20 に関しては E98 が測定不可能となった。加賀谷らは連行空気量を 2%以上かつ締固め率を（充填率と同義）97%以上確保することで、凍結融解抵抗性において耐久性指数 60 以上を確保可能であると報告しており⁷⁾、E-A2.5-F.S20 の Cf は 97%以上である。以上のことから、充填率の面では本研究の超硬練りコンクリートは、

いずれも十分な耐凍害性を有することが予想できる。

3.2 コンクリートの硬化前後の空気量と気泡間隔係数

各配合のフレッシュコンクリートの空気量、硬化コンクリートの空気量および気泡間隔係数の測定結果一覧を表一5に示す。

(1) 硬化前後の空気量

フレッシュコンクリートの空気量測定においては、大きな空隙は水で満たされるため、測定されないが、硬化コンクリートの空気量測定においては、締め固め不足による残存空隙も測定してしまう可能性があることが指摘されている⁷⁾。そのため硬化後の空気量が過大に評価された場合、残存空隙を含む可能性が高くなる。本研究でのコンクリートの硬化前後の空気量は同等もしくは硬化前が若干大きい。すなわち十分に締め固められているものと考えられる。

(2) 気泡間隔係数

加賀谷らは、十分な耐凍害性を得られる気泡間隔係数は、一般的なコンクリートが200~250 μm 以下であるのに対し、超硬練りコンクリートは300 μm 以下であると報告している⁷⁾。本研究で用いた超硬練りコンクリートの気泡間隔係数は300 μm より十分に小さい。このことから、気泡間隔係数の面でも、いずれも十分な耐凍害性を有することが予想できる。筆者らはすでに、エコセメントを用いた超硬練りコンクリートの気泡間隔係数は普通セメントを用いた場合と比較して若干大きくなることを報告しているが⁵⁾、本研究ではN-A2.5よりもE-A2.5の気泡間隔係数が小さくなった。空気量を増加させたことにより気泡間隔係数は小さくなるが、E-A4.0とE-A6.0の気泡間隔係数が同等であることから、E-A6.0では大きな気泡が形成されていると考えられる。消泡剤を添加したことによる気泡間隔係数への影響は明確となっていない。細骨材粒度を変えたE-A2.5-F.Sシリーズに関してはE-A2.5と比較して、いずれも気泡間隔係数が大きな値となった。これは使用した細骨材の実積率が低下したことにより、細骨材の粒子間空隙が大きくなったためではないかと考える。E-A'2.5の気泡間隔係数はE-A2.5と比較して大きな値となったため、エコセメントを用いた超硬練りコンクリートであっても使用するAE助剤の主成分の違いにより形成される気泡構造も変化するといえる。

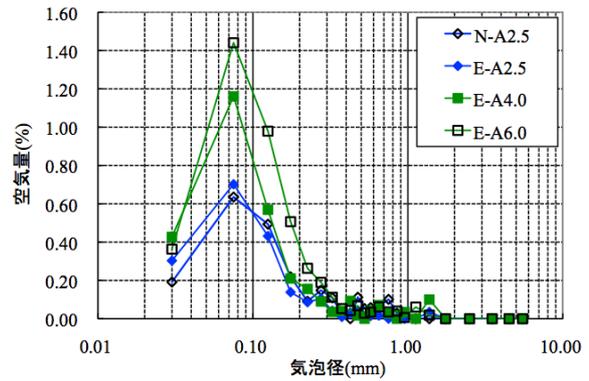
3.3 コンクリートの空気泡分布性状

図-5~7に各コンクリートの気泡径分布図を示す。比較の対象として全てのグラフにN-A2.5およびE-A2.5を表示している。

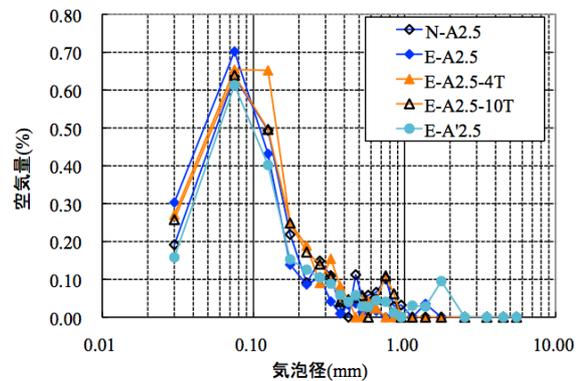
筆者らは、すでに、エコセメント(E)を用いた超硬練りコンクリートは普通セメント(N)を用いたものと比較して気泡径0.1mm程度の気泡量が顕著に少ないと報告しているが⁵⁾、本研究では、両者はほぼ同等となっている。

表一5 各コンクリートの空気量測定結果一覧

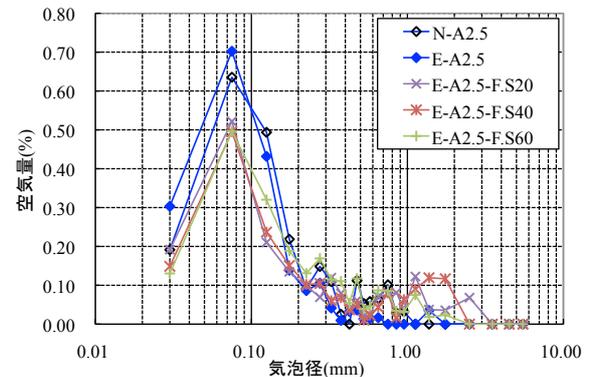
配合記号	空気量 (%)		気泡間隔係数 (μm)
	硬化前	硬化後	
N-A2.5	2.7	2.6	170
E-A2.5	2.5	2.2	139
E-A4.0	3.7	3.5	118
E-A6.0	5.7	4.9	117
E-A2.5-4T	2.4	2.8	146
E-A2.5-10T	2.8	2.7	155
E-A2.5-F.S20	2.4	2.3	195
E-A2.5-F.S40	2.7	2.2	209
E-A2.5-F.S60	2.5	2.5	209
E-A'2.5	2.5	2.3	181



図一5 空気量を増大させたコンクリートの気泡径分布図



図一6 消泡剤を添加した、またはAE助剤を変化させたコンクリートの気泡径分布図



図一7 細骨材粒度を変化させたコンクリートの気泡径分布図

図一 5 から、空気量を増加させた場合、気泡径 0.1mm 程度の空気量が顕著に増加するが、同時に気泡径 1mm 程度の粗大な気泡の空気量も若干増加する傾向となる。

図一 6 から、消泡剤を用いた場合、AE 助剤の種類を変化させた場合ともに微細な気泡の空気量が若干減少し、粗大な気泡の空気量が若干増加する傾向となっている。

図一 7 から、細目の細骨材を用いると、気泡径 0.1mm 程度の空気量が顕著に減少し、気泡径 1mm 程度の空気量が増加することがわかる。

3.4 凍結融解抵抗性 (JIS)

図一 8 に凍結融解サイクルに伴うコンクリートの質量減少率の変化を示す。300 サイクル近傍の質量減少率と耐凍害性に寄与する寸法範囲の 50~500 μ m に相当する気泡径 75~475 μ m の空気量の関係を図一 9 に、300 サイクル近傍の質量減少率と気泡径 525 μ m 以上の空気量の関係を図一 10 に示す。ここで、気泡径 525 μ m 以上の空気量は硬化後の空気量から測定した気泡径 3~475 μ m の空気量を引くことで算出した。本検討での NaCl3%溶液を用いた水中凍結融解試験法は、通常の実水での凍結融解試験法よりも極めて厳しい試験条件であることに留意が必要である。

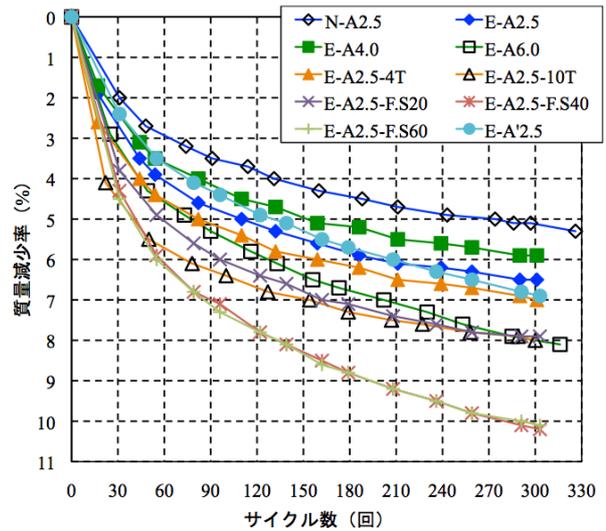
前述のとおり図一 8 において N-A2.5 と E-A2.5 を比較すると、気泡構造に明確な差は見られなかったが、既往の報告どおり^{3) 5) 8)}エコセメントを用いたことによりスケーリングは増大している。エコセメントを用いたときのスケーリング増大の要因が気泡構造以外にも存在することが考えられる。

図一 9 から、一般に、微細な径の気泡の空気量の増大によってコンクリートの質量減少率が小さくなるが、E-A6.0 ではスケーリングが増大している。これは、微細な気泡の増加よりも粗大な気泡の増加による質量減少率への影響が卓越したためだと考えられる。同様に、消泡剤を加えた配合や AE 助剤を変えた配合、細骨材粒度を細粒側へ変化させた配合に関しても、E-A2.5 と比較して微細な気泡の空気量は同程度であるが、粗大な気泡の空気量が増加したためスケーリングも増大する結果となっている。

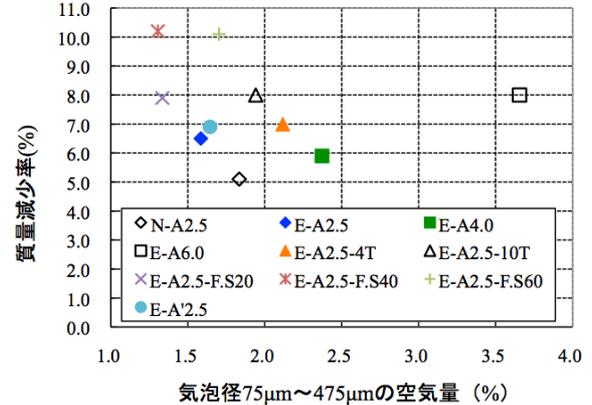
本研究においては、図一 10 のとおり、概ね、粗大な気泡の空気量の増加に伴い、コンクリートの質量減少率も増大する傾向にある。すなわち、エコセメントを用いたときのコンクリートのスケーリングの抑制には微細な気泡の増加と同時に、粗大な気泡の低減が重要であると考えられる。

3.5 実環境を模擬した凍結融解抵抗性

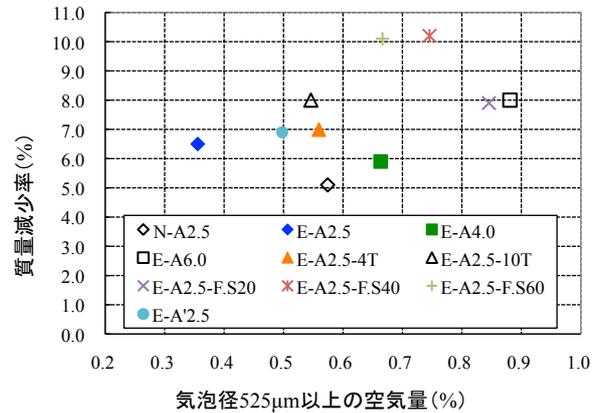
図一 11 に実環境を模擬した凍結融解サイクルに伴うコンクリートの質量減少率の変化を示す。凡例の N は N-A2.5, E は E-A2.5 であり、末尾の数値は使用した試験



図一 8 凍結融解サイクルに伴う質量減少率の変化



図一 9 微細な気泡の空気量と質量減少率の関係



図一 10 粗大な気泡の空気量と質量減少率の関係

溶液の NaCl 濃度 (%) を示している。また、末尾に JIS と記したものは、試験溶液に NaCl3%溶液を用いて JIS 法で試験した図一 8 と同じデータである。JIS 法と平板による方法は、供試体の接水状態 (面積, 面数) が異なり、かつ温度条件も異なっている。試験方法間の比較のため、図一 11 にも表示している。

JIS に準拠して試験したものと比較して、実環境模擬の試験体の場合、どの NaCl 溶液濃度でもスケーリング劣化はほとんど生じていない。この要因として、NaCl

溶液存在下で凍結融解作用を受ける面が打設面のみであること、与えた温度履歴の設定した最低気温が JIS の規格と比較して高いことが考えられる。NaCl 溶液の凝固点降下の影響により、濃度 4%および 15%のものに関しては、凍結融解環境であっても溶液の表層部が凍結するに留まり、コンクリートは凍結融解作用をほとんど受けていないと予想できる。濃度 0.2%のものについても所定の温度履歴により凍結融解作用が働いているが、目視にて表面に若干の剥離が確認できる程度である。以上のことから、本実験の範囲内では、明確な劣化は確認できなかったため、エコセメントを用いた超硬練りコンクリートであっても、凍結防止剤が散布されている環境において、適用可能と推察される。

4. まとめ

本研究は、エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの気泡構造の制御およびスケーリング抵抗性に関して基礎的な検討を行ったものである。本研究の範囲で、次のことが明らかになった。

- (1) エコセメントを用いた超硬練りコンクリートの締固め性は普通セメントを用いた場合と同等以上となる。
- (2) エコセメントを用いた場合の気泡構造は普通セメントを用いた場合とほぼ同等となった。
- (3) 空気量を増加させたことにより気泡径 50~500 μm の空気量は顕著に増加するが、同時に気泡径 500 μm 以上の空気量も増加した。
- (4) 消泡剤を添加したことによる気泡構造への明確な影響は確認されない。
- (5) 細粒の細骨材を用いると、気泡径 50~500 μm の空気量は減少し、気泡径 500 μm 以上の空気量が増加する。
- (6) 主成分の異なる AE 助剤を使用することで、気泡構造は若干変化することが確認できた。従って、一般的なコンクリートと同様に⁹⁾、超硬練りコンクリートであってもエコセメントと相性の良い混和剤を選定する必要があるといえる。
- (7) エコセメントを用いた場合のスケーリングは普通セメントを用いた場合と比較して増大する。しかし、気泡径 50~500 μm の空気量が同程度であることや、粗大な気泡の空気量は普通セメントを用いた場合の方が多いため、エコセメントを用いたことによるスケーリング増大の要因は、気泡構造以外にも存在すると予想できる。
- (8) エコセメントを用いた超硬練りコンクリートのスケーリング抵抗性を改善させるためには、気泡径 50~500 μm の空気量を増加させるだけでなく、気泡径 500 μm 以上の空気量を減少させる必要がある。
- (9) 実環境において冬季の最低気温が-10 $^{\circ}\text{C}$ 程度ならば、

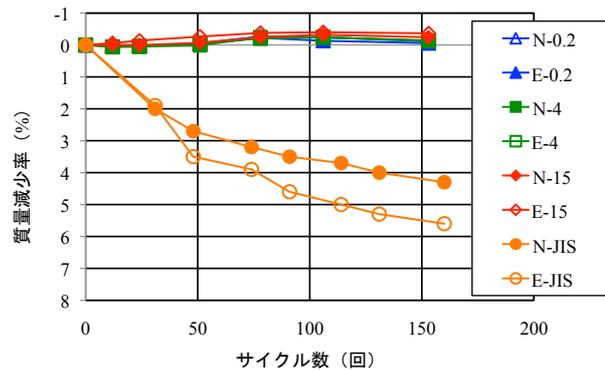


図-1 1 実環境を模擬した凍結融解サイクルに伴う質量減少率の経時変化

凍結防止剤の使用下でも、エコセメントを用いた超硬練りコンクリートは適用可能と推察される。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：エコセメントコンクリート利用技術マニュアル，技報堂出版，pp5-9，2003
- 2) 木村順哉，上野 敦，宇治公隆，梶尾 聡：エコセメントおよび再生粗骨材の舗装用超硬練りコンクリートへの適用性，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.251-256，2011.2
- 3) 藤野祐樹ほか：エコセメントと再生粗骨材の超硬練りコンクリートへの適用性に関する検討，土木学会年次学術講演会講演概要集 第 5 部，Vol.66，pp.1199-1200，2011
- 4) Park Kwangmin，三島直生，畑中重光：エコセメントを用いたコンクリートの長期強度特性に及ぼす養生湿度の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.69-74，2007.6
- 5) 木村順哉，上野 敦，石田征男，宇治公隆：エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1486-1491，2012
- 6) 長谷川寿夫，藤原 正：コンクリート構造物の耐久性シリーズ「凍害」，技法堂，pp.34-41，1988
- 7) 加賀谷誠，西原康夫，城門義嗣：超硬練りコンクリートの空気連行特性と凍結融解抵抗性に関する実験的研究，コンクリート工学論文集，Vol.20，No.3，pp.21-31，2009.9
- 8) 遠藤裕丈，田口史雄，嶋田久俊：塩化物水溶液による長期凍結融解作用を受けたコンクリートのスケーリング特性，土木学会論文集，No.725/V-58，pp.227-244，2003.2
- 9) 棚野 博之ほか：普通エコセメントを使用したコンクリートの調合，力学特性および耐久性に関する研究，コンクリート工学，Vol.40，No.70，pp.16-24，2002.7