論文 環境配慮型材料を用いた舗装用超硬練りコンクリートの凍結融解抵 抗性およびすべり抵抗性に関する検討

水井 唯宇太*1・上野 敦*2・七尾 舞*3

要旨:本研究は,エコセメントおよび再生骨材 M 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および摩耗に伴うすべり抵抗性の変化に着目したものである。凍結融解抵抗性については,高炉スラグ微粉末の混合によるソルトスケーリング抵抗性の改善,および空気連行特性として気泡間隔係数との関連性を検討した。すべり抵抗性については,動的摩擦係数と表面粗さとの関連性について検討を行った。その結果,高炉スラグ微粉末の使用および再生骨材の品質向上が凍結融解抵抗性の向上につながること,また,再生骨材を用いた超硬練りコンクリートが普通骨材使用時と同等のすべり抵抗特性をもつことが示された。 キーワード:エコセメント,再生骨材,超硬練りコンクリート,凍結融解抵抗性,すべり抵抗性,表面粗さ

1. はじめに

資源循環型かつ環境配慮型社会の形成を目的に、マテ リアル循環型材料の積極的な利用が望まれている。建設 業においては、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)や再生骨材がこの材料 に含まれる。エコセメントは塩化物イオン量が若干多く、 再生骨材は吸水率が高く、これを用いたコンクリートの 強度およびヤング率が低くなるという特徴を有している。 これら両材料の特徴を考慮すると、セメント量が少なく、 密なセメントペーストで単位粗骨材量の多い構成とでき る超硬練りコンクリートが、エコセメントおよび再生骨 材の適用先として有効であると考えられる。

エコセメントを用いた超硬練りコンクリートの基礎特 性については、これまでにいくつかの検討^{1),2)}が行われ、 締固め性や力学的特性は、舗装用途として十分に適用可 能であることが報告されている。また、凍結防止剤散布 環境を想定した NaCl 3%溶液中において、エコセメント を用いた場合、凍結融解抵抗性が低下することが確認さ れたが、混和材として高炉スラグ微粉末および石灰石微 粉末を結合材の一部に置換して使用する³ことで改善す ることが明らかとなった。

筆者らは、エコセメントおよび再生骨材 L を用いた舗

装用超硬練りコンクリートの,締固め性,力学的特性, 乾燥収縮特性および凍結融解抵抗性について検討⁴⁾し, 舗装用途として概ね適用可能であったが,凍結融解抵抗 性の著しい低下を報告した。この検討で使用した再生骨 材は,JISA 5023 附属書Aの再生骨材Lに分類されるも のであったこと,また,再生骨材を用いた場合に,有効 な連行空気量の検討が課題となったことから,再生骨材 の品質向上および空気連行特性と凍結融解抵抗性の関係 についても確認する必要がある。

本研究は、エコセメントおよび JIS A 5022 附属書 A で 再生骨材 M に分類される再生骨材を用いた超硬練りコ ンクリートの凍結融解抵抗性に関して、気泡間隔係数と の関連性について検討したものである。また、舗装版と しての耐久性および機能維持の観点から、摩耗作用に伴 うすべり抵抗性の変化および表面の粗さとすべり抵抗性 の関係について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

結合材には,密度 3.15g/cm³のエコセメント(EC),密 度 3.16g/cm³の普通ポルトランドセメント(NC),および 密度 2.91g/cm³の高炉スラグ微粉末 6000(以下,BFS)を

種類	記号	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	F.M.
再生細骨材L4)	RS-L	2.26	10.71	1.35	66.0	2.90
再生粗骨材L4)	RG-L	2.41	6.47	1.40	61.9	6.80
再生細骨材M	RS-M	2.43	5.86	1.40	60.9	2.82
再生粗骨材M	RG-M	2.56	2.75	1.48	59.2	6.73
山砂	NS	2.57	2.21	1.72	68.5	3.05
砕石2005	NG	2.65	0.65	1.60	60.4	6.62

表一1 骨材の物性

*1 首都大学東京 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 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) 中央研究所第2研究部コンクリート舗装技術チーム 修士(工学) (正会員)

配合			目相	目標空気	単位量(kg/m³)							AE減水剤	AE助剤	単位容積	
記号	W/B	Km	Кр	重 (%)	W	NC	EC	BFS	NS	RS-M	NG	RG-M	(B×%)	(B×%)	質量(kg/L)
NNN	0.35		2.16	2.5	120	343	—		654	_	1304	_	0.125	0.015	2.421
ENN	0.35		2.16	2.5	120		343	_	653	_	1304	—	0.125	0.015	2.420
ENR	0.35	1.6	2.05	2.5	120		343	_	690	_		1223	0.125	0.015	2.376
ERR	0.35		1.48	2.5	120		343	_	—	652		1223	0.125	0.015	2.338
EBRR	0.35		1.52	2.5	120		213	131		644		1223	0.125	0.040	2.330

表-2 コンクリートの計画配合

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		IZ IZ	V V	V	IZ	V	V	V	17	17	17	TZ.	TZ.	17	IZ.			実測空気		単位量(kg/m³)								AE助剤	単位容積
記号	W/B	Кm	Кр	里 (%)	W	NC	EC	BFS	NS	RS-M	NG	RG-M	(B×%)	(B×%)	質量(kg/L)														
NNN	0.35		2.22	3.2	119	340			650	—	1294		0.125	0.015	2.404														
ENN	0.35		2.21	3.0	119		341		650	_	1297	—	0.125	0.015	2.407														
ENR	0.35	1.6	2.07	2.7	120		342		688	_		1220	0.125	0.015	2.370														
ERR	0.35		1.48	2.6	120		343	_		652		1222	0.125	0.015	2.337														
EBRR	0.35		1.49	2.1	121	—	213	131	_	646		1228	0.125	0.040	2.340														

使用した。

骨材は, 表-1 に示すとおりの物性を持つものを使用 した。使用した再生粗骨材は, JISA 5022:2018 附属書A・ 附属書 D【再生粗骨材 M の凍結融解試験】に準拠し, F.M. 凍害指数 0.08 以下を満たすもの,再生細骨材は JIS で再 生細骨材 M に分類されるものとした。

2.2 コンクリートの配合

表-2 にコンクリートの計画配合を示す。図中の記号 NS, RS-M, NG, RG-M は, それぞれ普通細骨材, 再生 細骨材 M, 普通粗骨材, 再生粗骨材 M を表している。水 結合材比(W/B)は0.35一定とし、十分な締固め性が得 られるよう、単位水量を120kg/m³、粗骨材の粒子間空隙 体積に対するモルタル体積の割合(Km)を1.65とした。 また、超硬練りコンクリートの場合、連行空気量を2.0% 以上とし,十分な締固めを行うことにより,耐久性指数 60以上を確保しやすくなるのことが知られており、本検 討では、目標空気量を2.5%とした。これらの条件のもと、 EC と NS および NG を使用したもの (ENN), EC と NS および RG-M を使用したもの (ENR), EC と RS-M およ び RG-M を併用したもの (ERR), EC の 40%を BFS で置 換し, RS-M および RG-M を併用したもの (EBRR) およ び NC と NS および NG を使用したもの (NNN) の 5 水 準を作製した。なお、EBRR については、凍結防止剤散 布環境下でのスケーリング抵抗性の改善を目的としてい る。本検討では、連行空気をセメントペーストの一部と 仮定しているため、連行空気の導入によって細骨材量が 少なくなり、細骨材の粒子間空隙体積に対するペースト 体積の割合(Kp)が大きくなる。

表-3 に実測空気量に基づいて再計算したコンクリートの配合を示す。本検討では,連行空気をセメントペーストの一部としているため,実測空気量が大きな配合では,Kpが大きくなっている。

2.3 供試体の作製方法

(1) 円柱供試体の作製方法

(2) 角柱供試体の作製方法

100×100×400mmの型枠中に,各配合の単位容積質量から計算した充填率 100%に相当する質量の試料を充填した。試料の型枠への投入は、円柱供試体の場合と同様の 手順で行った。試料を投入後,振動台から型枠を降ろし、 振動タンパ(50Hz)をコンクリート表面に押し当て、所 定の体積になるまで締め固めた。締固め終了後,振動機 とこてを用いて上面を仕上げた。

(3) 版供試体の作製方法

400×400×100mmのプラスチック製型枠中に,各配合の 単位容積質量から計算した充填率 100%の相当する質量 の試料を充填した。コンクリートを敷き詰め,振動タン パで振動締固めを行った後,こて仕上げを行い供試体表 面の平たん性を確保した。

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-F508「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 97%となるのに必要なエネルギー(E97) 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



写真-1 摩耗促進試験機の回転部

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」に従って行った。

(3) 力学性試験

圧縮強度および静弾性係数は,JISA 1108:2018 および JISA 1149:2017 に従って, φ100×200mmの円柱供試体を 用いて試験した。曲げ強度は,JISA 1106:2018 に従って, 100×100×400mmの角柱供試体を用いて試験した。供試体 はすべて材齢 28 日まで 20℃の水中で養生を行った後に 各種試験に供した。

(4) 凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148:2010 水中凍結融解試験(A 法)を参考にして行い、本検討では、材齢28 日まで20℃ の水中で養生を行った φ 100×200mm の円柱供試体を用 いた。動弾性係数は、JIS A 1127:2010 に従って、縦振動 の一次共鳴振動数を測定することにより算出した。また、 本検討では、寒冷地等での凍結防止剤散布環境を想定し て、試験溶液に NaCl 3%溶液を使用した。

(5) 硬化コンクリートの空気量と気泡間隔係数

材齢 28 日まで 20℃の水中で養生を行った ¢ 100×200mmの円柱供試体の中心部から,厚さ 10mmの試 験片を採取し,前処理として 150,240 および 800µmの 研磨粉で表面研磨した。その後,ASTM C457 リニアトラ バース法に従い,硬化コンクリートの空気量および気泡 間隔係数の算出を行った。

(6) すべり抵抗性試験と表面粗さ評価

400×400×100mm 版供試体は, 材齢 28 日までの水中養 生後,外気との接触を遮断し,湿潤状態を保ったまま 1 年間静置した。その後,写真-1 に示す摩耗促進試験機 (洗い出し前接地圧 1.2MPa,洗い出し後接地圧 1.8MPa) で10万回の摩耗試験を行い,それに伴い,舗装調査・試 験法便覧の S021-3「回転式すべり抵抗測定器による動的 摩擦係数の測定方法」(以下,DFT)に準拠して,すべり 抵抗性試験,およびレーザ変位計による表面粗さ測定を 行った。表面粗さの評価は,既往の研究⁷⁾を参考に,算 術平均高さ Sa (マクロテクスチャの指標)および Sa'(マ イクロテクスチャの指標)で評価した。なお,10万回の 摩耗試験終了後,版供試体表面に対し高圧洗浄機によっ て洗い出しを行って骨材を露出させ,再度 10 万回の摩

表-4 締固め性試験の結果

配合 記号	Cf(%)	Ci(%)	E97(J/L)	締固め効率 Ce (1.00J/L)
ENN	99.50	75.39	17.69	3.360
ENR	98.28	75.34	16.90	3.552
ERR	97.91	76.98	23.18	3.182
EBRR	97.61	73.19	27.56	3.549
NNN	98.34	78.34	16.44	3.115

表-5 各種強度試験の結果

#7 A	曲げ強度	圧縮強度	静弹性係数				
凹(合)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)				
NNN	6.44	63.5	34.7				
ENN	7.08	60.0	37.1				
ENR-M	6.57	58.8	35.9				
ERR-M	5.96	50.3	31.1				
EBRR-M	6.23	52.5	31.1				
ENR-L ⁴⁾	5.69	49.8	33.3				
ERR-L ⁴⁾	4.96	45.6	25.2				
EBRR-L ⁴⁾	-	52.1	27.9				

耗試験とそれに伴う各種測定を行った。これにより,版 供試体の表面粗し前と,骨材露出時でのすべり抵抗性お よび表面粗さを比較した。

3. 結果および考察

3.1 締固め性

表-4 に、各配合の締固め性試験の結果を示す。これ までの検討では、充填率98%に達するまでに要したエネ ルギーE98 を締固め性の指標としてきたが、本検討にお いて、達成可能充填率 Cf が一部の配合で98%に満たな かったため、本検討の締固め性評価には、便宜上E97 を 用いることとした。E97 は、値が小さいほど締固めが行 いやすいことを示している。なお、加賀谷らのは、超硬 練りコンクリートは充填率を97%以上とすることで耐久 性指数60以上を確保しやすくなることを報告している。 なお、Ci は初期充填率を表している。

再生細骨材を使用した配合(ERR, EBRR)でCfが98% に満たなかったが,この要因として,ERR およびEBRR のペースト細骨材空隙比Kpが1.5以下と,他の配合と 比較して低かったことが挙げられる。E97は,再生細骨 材を使用した場合に,他の配合と比較して増大する傾向 を示したが,全配合で30J/Lを下回った。通常の超硬練 りコンクリートのE98がおよそ100~500J/Lであること を考慮すると,全体的に高い締固め性を有している。

3.2 力学的特性

表-5 に、各種強度試験の結果を示す。なお、比較の ため再生骨材 L を用いた既往の検討結果(ENR-L, ERR-L, EBRR-L)⁴も併せて記載している。再生骨材 M を用



図-1 凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の変化

いた(本研究での配合記号に「-M」を付して表示)こと で、再生骨材Lを用いた既往の検討と比較してすべての 配合で力学的特性が向上した。本検討の範囲内では、各 種強度は、NNNと比較して、ENNおよび ENR-M がわず かに低かったが、ほぼ同等であった。耐凍害品用の再生 粗骨材 M を用いれば、普通粗骨材と同等の力学的特性を 有すると考えられる。一方、ERR-M および EBRR-M の 各種強度は、普通細骨材を用いた場合と比較して低下し た。これは、再生細骨材自体のヤング率が小さく、普通 細骨材と比較して疎な構造を持った細骨材であるためと 考えられる。EBRR-M の圧縮強度および曲げ強度が、 ERR-M より増加したが、これは、BFS の潜在水硬性によ るものと考えられる。

3.3 凍結融解抵抗性

図-1に、NaCl 3%溶液中での凍結融解サイクルに伴う 相対動弾性係数の経時変化を、図-2に NaCl 3%溶液中 での凍結融解サイクルに伴う質量減少率の経時変化を示 す。なお、比較のために再生骨材 L を用いた既往の検討 結果 4)も併せて記載している。両グラフとも、再生骨材 L を用いた既往の結果は、白抜きプロットと破線で示し ている。

図-1から, ENN の相対動弾性係数は, NNN と比較し て同等であり,セメント種類による違いは確認できなか った。ENR-M に着目すると,250 サイクル近傍までは普 通骨材を使用した場合と同等であり,その後低下するこ とがわかった。これは,耐凍害品用の再生粗骨材 M を使 用したことで,NaCl 3%溶液中でも,高い水準で相対動弾 性係数を維持できたものと考えられる。しかし,表-1に 示すように,再生粗骨材 M の吸水率が普通粗骨材と比較 して高いために,保有する自由水が多くなり,NNN およ び ENN よりも早い段階で内部劣化が進行したと考えら れる。ERR-M および EBRR-M に着目すると,普通細骨 材を使用した場合と比較して顕著に低下することがわか る。そして,ERR-M および EBRR-M は,それぞれ 150 サ イクルおよび 280 サイクル近傍で低下がみられた。細骨



図-2 凍結融解サイクルに伴う質量減少率の変化

表-6 気泡間隔係数の測定結果一覧

			311131010.000		20
配合 記号	気泡間 隔係数 (×10 ⁻⁶ m)	気泡 個数 (個)	硬化後 空気量 (%)	フレッシュ 空気量 (%)	骨材修正係 数補正前
NNN	171	645	3.6	3.2	_
ENN	283	365	3.1	3.0	_
ENR	215	478	3.0	2.7	3.1
ERR	200	548	3.4	2.6	3.3
EBRR	287	351	2.9	2.1	2.8

材はコンクリート中に均等分散に近い状態で内在するた め、再生細骨材 M と普通細骨材との吸水率の違いによる 影響が顕著となったと考えられる。急激に相対動弾性係 数が低下する箇所については、凍結融解の繰り返し作用 によって、再生細骨材を起点としてコンクリート内部で 生じた複数の微細なひび割れ同士が繋がることで、急激 な内部劣化を引き起こしたと考えられる。また、EBRR-M は ERR-M と比較して相対動弾性係数の低下が緩やか である。これは、BFS の水和により、コンクリート内部 への塩化物イオンの浸透が抑制されたためと考えられる。

図-2から、ENN の質量減少率がNNN と比較して増 大した。凍結融解試験における試験溶液に、NaCl 3%溶液 を用いることで、真水の場合と比較してエコセメント使 用時の質量減少率が低下することが,これまでの検討^{2),} 8)で確認されており、本検討においても概ね同様の傾向 となった。凍結防止剤に含まれる塩化物イオンが凍結融 解抵抗性、特にスケーリング抵抗性に及ぼす影響につい ては、諸説あるものの、そのメカニズムは未だ明らかと なっていない。ENR-Mの質量減少率は、ENNと比較し て若干増大している。また, ERR-M の質量減少率は, 200 サイクル近傍までは ENR-M と同等であり、その後若干 増大した。また, EBRR-M の質量減少率は, 300 サイク ル近傍まで ENN と同等であり, ENR および ERR と比較 して小さい。これは、相対動弾性係数の経時変化と同様 に、BFS の水和によるコンクリート表層部への塩化物イ オンの抑制効果に起因していると考えられる。ソルトス ケーリングは、コンクリート表層部の性状に影響を受け



やすいと考えられるため、使用骨材によらず、BFSのようにペースト層の性状を向上させることによって抑制が可能であると考えられる。

3.4 気泡間隔係数と硬化後空気量

表-6 に、フレッシュコンクリートおよび硬化コンク リートの空気量および気泡間隔係数の測定結果を示す。 全配合で、硬化後空気量がフレッシュ時の空気量を上回 り、特に再生細骨材を使用した ERR および EBRR で顕 著な増加となった。また、再生骨材を用いた配合におけ る骨材修正係数による補正前の空気量と硬化後空気量が 概ね一致している。このことから、再生細骨材および再 生粗骨材に付着するモルタル塊の気泡が、硬化後空気量 の測定時に含まれたと考えられる。

図-3 に、各配合の気泡間隔係数と耐久性指数の関係 を示す。超硬練りコンクリートは、気泡間隔係数 300µm 以下とすることで、耐久性指数 60 以上を確保しやすく なるという知見 のがあり、本検討の範囲においては、概 ね同様の傾向を示しており、高い水準同士の比較となっ ている。しかし、ERR は ENR と、EBRR は ENN とそれ ぞれ比較すると、気泡間隔係数が同等もしくは小さい場 合にも、耐久性指数は低下している。このことから、硬 化後空気量を増大させた付着モルタル中の気泡が、気泡 間隔係数を小さくする要因となったものの、表-4 で示 した静弾性係数の低下からもわかるとおり、付着モルタ ル自体の脆弱性により、気泡間距離が近い場合にもコン クリート内部の劣化が助長されたものと考えられる。



3.5 摩耗作用に伴うすべり抵抗性と表面粗さ

図-4に、摩耗促進試験機の回転数に伴うDFTより得られる動的摩擦係数の変化を示す。表面粗し前は破線で、 表面粗し後は実線でそれぞれ示している。表面粗し前については、両配合とも初期値が、維持修繕要否判断の目標値となる 0.25 を下回った。これは、単位水量が 120kg/m³と超硬練りコンクリートとしては比較的セメントペースト量が多く、版供試体の作製時に、こて仕上げ を行ったことで、表層部がペースト層に覆われたためと 考えられる。摩耗回数に伴いDFT(µ60)が低下し、10万 回終了時点で、両配合のすべり抵抗性は同等となった。 なお、この時点における目視での表面の摩耗は確認でき なった。表面粗し後については、洗い出しを行ったこと でDFT (µ60)が増加した。また、摩耗回数に伴ってDFT (µ60)が低下したが、その低下傾向については、両配合 間で概ね同様の傾向を示した。骨材露出後も両配合間で すべり抵抗性の低下傾向が同様であることから、再生骨 材を用いた舗装用超硬練りコンクリートであっても、普 通骨材を用いた場合と同等のすべり抵抗性を有すると考 えられる。

図-5に、摩耗回数に伴う算術平均高さSa(マクロテ クスチャ)の変化を示す。表面粗し後の算術平均高さSa は摩耗回数に伴うばらつきが大きい。これは、所定の回 数ごとの表面粗さ測定時に、レーザ変位計の走査線上の 骨材の有無によるものと考えられる。また、図-6に、 摩耗回数に伴う算術平均高さSa'(マイクロテクスチャ) の変化を示す。表面粗し前後ともに、摩耗回数に伴いSa' が若干低下した。表面粗し後のSa'の低下傾向に着目す ると、両配合とも概ね同様の傾向を示した。以上より、 骨材露出後も、再生骨材を用いた超硬練りコンクリート は、普通骨材を用いた場合と同程度の路面テクスチャを 保持すると考えられる。

図-7に、算術平均高さ Sa' (マイクロテクスチャ)と DFT (µ60) の変化を示す。図中には,配合別に最小二乗 法で近似した直線も示している。コンクリート舗装のす べり抵抗性に対しては、マクロテクスチャおよびマイク ロテクスチャのうち、マイクロテクスチャによる影響が 大きくなるとされており 7,本研究においても、マイク ロテクスチャの増加に伴いすべり抵抗性が増加した。表 面粗し前後を比較すると、表面粗し前の方が Sa'の増加 に伴う DFT (µ60) の増加量が大きいとわかる。このこと から、マイクロテクスチャが増加することで、すべり抵 抗性の増加が鈍くなることが示唆された。表面粗し後に ついては、洗い出しの度合いによって両配合間のマイク ロテクスチャ量は異なるが、グラフの傾きは同様である。 以上より,再生骨材を用いた超硬練りコンクリートは, 普通骨材を用いた場合と同様の路面テクスチャ、および 路面テクスチャとすべり抵抗性の関係を有すると考えら れる。

4. まとめ

本研究は、エコセメントおよび再生骨材 M 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およびすべ り抵抗性に関して検討を行ったものである。本研究の範 囲で、次のことが明らかとなった。

- (1) 再生骨材をLからMに変更することで、力学的特性 が向上する。
- (2) 再生骨材をLからMに変更することで、凍結防止剤 散布環境下での凍結融解抵抗性が向上する。
- (3) 凍結防止剤散布環境下において、エコセメントの一

部を高炉スラグ微粉末で置換することでスケーリン グ抵抗性が向上する。

- (4) 再生骨材の付着モルタルにより気泡間隔係数が見かけ上小さくなるが、同時に耐久性指数の低下の要因となる。
- (5) 再生骨材を用いた超硬練りコンクリートのすべり抵 抗性は,普通骨材を用いた場合と同等となる。
- (6) 再生骨材を用いた超硬練りコンクリートの路面テク スチャは、普通骨材を用いた場合と同等であり、摩耗 作用に伴う変化も同等となる。
- (7) 再生骨材を用いた超硬練りコンクリートのマイクロ テクスチャとすべり抵抗性の関係は、普通骨材を用 いた場合と同様の傾向を示す。

謝辞:摩耗作用に伴うすべり抵抗性に関する検討では, 一般社団法人セメント協会研究所,泉尾英文氏,瀧波勇 人氏の多大なるご協力を得た.

参考文献

- 木村順哉ほか: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, 2010
- 2) 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
- 飯塚亮太ほか:普通エコセメントを用いた超硬練り コンクリートの耐凍害性の向上に関する研究,第69 回土木学会年次学術講演会講演概要集,第5部, pp.1075-1076,2014.9
- 水井唯宇太ほか:エコセメントおよび再生骨材を用いた超硬練りコンクリートの特性,第72回土木学会年次学術講演会講演概要集,第5部,pp.1037-1038,2017.9
- 5) 原田駿平ほか:再生粗骨材を用いた超硬練りコンク リートの特性に関する研究,コンクリート工学年次 論文集, Vol.33, No.1, pp.101-106, 2011
- 6) 加賀谷誠ほか: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,コンクリート工学年次論文集, Vol.20, No.3, pp.21-31, 2009
- 7) 泉尾英文ほか:舗装路面のテクスチャとすべり抵抗 性に関する一検討,第71回セメント技術大会講演 要旨,pp.186-187,2017
- *村順哉ほか: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