

論文 環境負荷低減型セメントを用いた建築用コンクリートブロックの製造方法および諸物性に関する研究

棚野 博之^{*1}・長谷川 拓哉^{*2}・吉本 稔^{*3}・早川 隆之^{*4}

要旨：環境への負荷低減を目的として都市ゴミ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物を主原料とした再生型セメントが開発されている。本報告では、この環境負荷低減型セメントを用いた建築用コンクリートブロックの製造性および物理、力学などの諸物性を把握する事を目的とし、これらを実験的に検証したものである。結果として、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同様の方法にて製造が可能であり、諸物性についてもJISなどの全ての規格値を満足した。

キーワード：環境負荷低減型セメント 製造方法 寸法精度 圧縮強さ 気乾かさ比重 吸水 溶出

1. はじめに

環境負荷低減を目的として、都市ゴミ焼却灰および下水汚泥などの廃棄物を主原料とした再生型セメント(以下、エコセメント:ECと略す)が開発された。その用途として、コンクリート二次製品等への適用が考えられる。現在までに、エコセメントの品質およびエコセメントを使用したコンクリートの諸物性に関する報告がなされている^{1),2)}。また、コンクリート二次製品への適用を対象として、エコセメントを使用し、蒸気養生を施したコンクリートの強度特性が明らかとされている³⁾。なお、鉄筋コンクリート製品に関して、振動締め固めによる工場実機製造から試験施工および追跡調査に至るまでの報告が幾つかある^{4),5)}。しかしながら建築用コンクリートブロックに代表される即脱製品類に関しては、これらの再生セメントを使用した際の製造性や基礎的物性についてはほとんど明らかにされていない。

本報告は再生セメントを用いた建築用コンクリートブロックの製造性および諸物性を把握することを目的とし、その製造方法と基礎的物性

表 - 1 試験体の区分と種類

区分	種類
外部形状	基本ブロック
断面形状	空洞ブロック 型枠状ブロック
圧縮強さ	08(A種), 12(B種), 16(C種), 20
化粧の有無	化粧無し
寸法精度	標準精度ブロック
透水性	普通ブロック
長さ, 高さの モジュール (mm)	長さ:400, 高さ:200

について実験的に検証したものである。

2. 試験体

2.1 試験体の区分と種類

試験体に用いた建築用コンクリートブロック(JIS A 5406-2000:建築用コンクリートブロック)の区分と種類を表 - 1 に示した。

2.2 使用材料

セメント(C)は普通ポルトランドセメント(OPC:密度 3.16g/cm^3 , 比表面積 $3350\text{cm}^2/\text{g}$), 低塩分型のエコセメント(普通形エコセメントTR)EC:密度 3.18g/cm^3 , 比表面積 $4250\text{cm}^2/\text{g}$)

*1 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部材料・部材基準研究室長 工博 (正会員)

*2 独立行政法人建築研究所 材料研究グループ 工修 (正会員)

*3 太平洋セメント株式会社中央研究所 第一研究部コンクリート製品グループ (正会員)

*4 太平洋セメント株式会社中央研究所 第一研究部コンクリート製品グループ (正会員)

の2種類とした。表 - 2 にECおよびOPCの鉱物組成と化学組成を示した。表 - 3 にECおよびOPCの物理的特性を示した。骨材は、軽石(G: 表乾密度1.67g/cm³, 絶乾密度1.15g/cm³, 実積率72.0%), 川砂(S1: 表乾密度2.62g/cm³, 絶乾密度2.57g/cm³, 実積率61.4%), 3分砂(S2: 表乾密度:2.63g/cm³, 絶乾密度:2.58g/cm³, 実積率63.2%)の3種類を使用した。混和剤はコンクリートブロック用可塑剤としてノニオン系界面活性剤(Ad)を使用した。練混ぜ水(W)は上水道水を使用した。

2.3 調査

EC試験体では、表 - 4 に示すように水セメント比がA種40%, B種38%, C種36%, 型枠状35%となり、JIS製品であるOPC試験体よりも若干増加したが、何れもOPC試験体と同じ材料で製造可能であった。

2.4 製造方法

試験体の製造は、1999年10月に図 - 1 に示すフローに従いA社工場の振動加圧成型機を使用して行った。初期養生は蒸気養生(積算温度: 725 ·h)を行い、二次養生はストックヤード

内に静置し適時散水しながら多湿状態に7日間保ち、何れもOPC試験体(JIS製品)と同様の養生方法で製造可能であった。なお、各試験に供した試験体は、その後7日間室内で静置し表乾状態にしたものを使用した。

3. 試験方法

実施した試験は、JIS A 5406に規定される

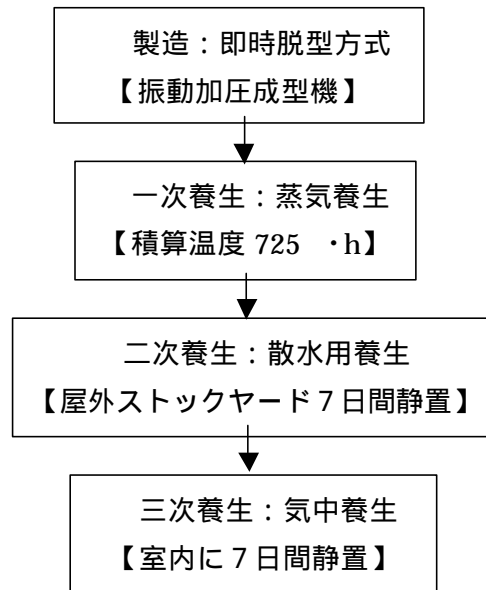


図 - 1 製造のフロー

表 - 2 セメントの化学成分と鉱物組成

種類	化学成分 (%)										鉱物組成 (%)			
	lg. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl ⁻	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
EC	1.1	17.8	7.2	4.1	61.1	1.8	3.9	0.3	0.054	49	12	14	13	
OPC	1.5	22.2	5.1	3.2	65.1	1.4	2.0	0.7	0.004	52	23	8	10	

表 - 3 セメントの物理的性質

項目 種類	密度 (g/cm ²)	比表面積 (cm ² /g)	凝結			安定性	圧縮強さ(N/mm ²)			水和熱(J/g)	
			水量 (%)	始発 (h-min)	終結 (h-min)		3d	7d	28d	7d	28d
EC	3.17	4250	28.5	2-12	3-13	良	30.4	41.3	53.0	361	419
OPC	3.16	3350	27.6	2-15	3-35	良	29.2	44.3	60.9	329	374

表 - 4 試験体に用いた建築用コンクリートブロックの調査

種類	W/C (%)	単体量 (kg/m ³)							空隙率 (%)
		水 W	セメント C	川砂 S ₁	3分砂 S ₂	軽石 G	混和剤 Ad		
空洞	A種	40	104	260	212	-	1099	0.52	8
	B種	38	106	280	582	293	684	0.56	7
	C種	36	95	270	1383	597	-	0.54	7
型枠状	35	112	319	1399	477	-	0.78	8	

表 - 5 試験実施項目

試験評価項目		種類				規格
		08(A種)	12(B種)	16(C種)	20(型枠)	
基本物性	圧縮強さ試験*				-	JIS A 5406:2000 建築用コンクリートブロック *)OPC試験体は圧縮強さ試験のみ実施
	吸水率試験					
	気乾かさ比重試験					
	各部寸法測定					
	溶出試験	-	-		-	平成3年8月環境庁告示第46号

基本物性4項目ならびにECが廃棄物を主原料とする事から有害物質の環境基準を確認するための溶出試験,計5項目(表-5)である。表中の印はJIS A 5406に実施の規定があるもの,印は同JISに規定はないが試験を実施したもの,-印は試験を実施しなかった項目である。

3.1 寸法試験

測定方法は,規定の養生が終了した試験体をランダムに3個抽出し,長さ,厚さ,高さ,フェイスシェルとウェブの正味肉厚,鉄筋を挿入する空洞部の最小幅の寸法を精度が0.1mm以上のノギスを用いて測定した。試験体の断面形状を図-2に示した。試験体の長さ,高さ,正味厚さの寸法精度を表-6に示した。また,試験体のフェイスシェルとウェブの正味肉厚,鉄筋を挿入する空洞部最小幅の規定値を表-7に示した。

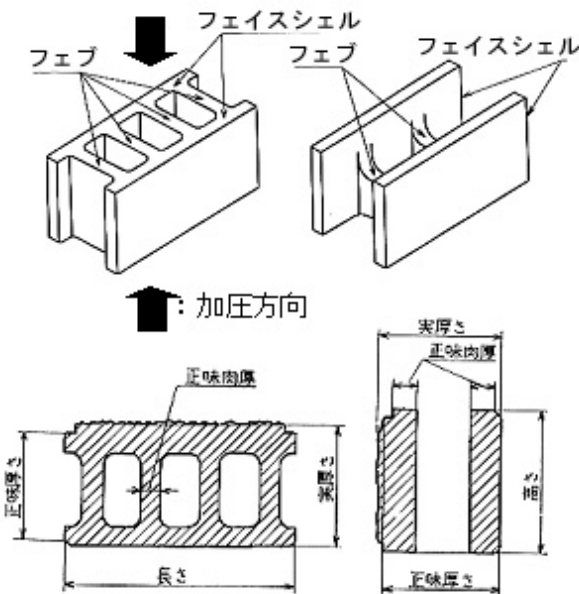


図 - 2 試験体の断面形状

表 - 6 長さ,高さ,正味厚さの寸法精度

区分	標準精度ブロック	
	規格値 (mm)	寸法精度 (mm)
長さ	390	±2.0
正味厚さ	100	±2.0
高さ	190	±2.0

表 - 7 フェイスシェル,ウェブの正味肉厚および鉄筋を挿入する空洞部最小幅の規格値

測定部位	項目	断面形状による区分	
		空洞	型枠状
正味肉厚 (mm)	フェイスシェル	20~30	20以上
	ウェブ	20~35	28以上
鉄筋(縦筋)を挿入する空洞部(cm)	最小幅	5以上	7以上

3.2 全断面による圧縮強さ試験

試験方法はJIS A 5406に準拠した。なお,本試験では空洞ブロックのみの評価のみであるため,全断面積に対する圧縮強さの性能で評価した。試験体はブロック本体そのままの形状とし,加圧面を研磨により平滑に仕上げたものとした。球接面をもつ加圧装置を用い,加圧速度は加圧面の断面積に対し0.2N/mm²とした。圧縮強さの算出方法は,以下の式(1)に従うものとした。

$$\text{圧縮強さ (N/mm}^2\text{)} = P / A_2 \quad (1)$$

ただし、P：最大荷重(N)

A₂：試験体の全断面積(mm²)

3.3 吸水率試験

試験方法はJIS A 5406に準拠し,試験体はブロック全形とした。絶乾質量の測定は,試験体を温度105±5の乾燥機内に静置し,ほぼ一定質量になるまで乾燥した後取り出し,常温

まで冷却して測定を実施した。表乾質量の測定は、試験体を15～25の清水中で約24時間吸水させ、水中から取り出し、水を切って布で目視できる水膜をぬぐった後直ちに測定した。吸水率は以下の式(2)に従い算出した。

$$\text{吸水率(\%)} = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100 \quad (2)$$

ただし、 m_1 : 試験体の絶乾質量
 m_0 : 試験体の表乾質量

3.4 気乾かさ比重試験

試験方法はJIS A 5406に準拠し、試験体はブロック全形とした。養生終了後、室温20、湿度60%の室内に1週間保存してからその質量を測定した。気乾かさ比重の算定は以下の式(3)に従い算出した。なお、正味体積は、表乾質量と水中質量の差として算出した。水中質量は、試験体が完全に水中に浸漬する容器に水温20の水を満たし、試験体の空洞部にひもを取り付けて測定した。

$$\text{気乾かさ比重} = M / V \quad (3)$$

ただし、 M : 試験体の気乾質量(g)
 V : 試験体の正味体積(ml)

3.5 溶出試験

試験方法は平成3年8月環境庁告示第46号に準拠し、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、銅、亜鉛の8種類について実施した。試料は、フェイスシェル部から数百グラムの小片をはつり取って使用した。試験検査項目および試験方法を表-8に示した。

4. 試験結果

4.1 寸法精度

(1) 長さ、正味厚さ、高さ

測定したEC試験体の長さ、厚さ、高さの寸法精度を図-3、図-4、図-5に示した。

長さの寸法精度はA種、B種、C種全て-0.5mmで安定した値であり、型枠状においても標準偏

表-8 溶出検査項目

検査項目	基準
カドミウム	JIS K 0102-1998 55.2 フレイム原子吸光法
鉛	JIS K 0102-1998 54.2 フレイム原子吸光法
六価クロム	JIS K 0102-1998 65.2.1 ジフェニルカルバジド吸光光度法
砒素	昭和46年12月環境庁告示 第59号付表2に掲げる方法
総水銀	昭和46年12月環境庁告示 第59号付表4に掲げる方法
セレン	昭和46年12月環境庁告示 第59号付表2に掲げる方法
銅	JIS K 0102-1998 55.2 フレイム原子吸光法
亜鉛	JIS K 0102-1998 53.2 フレイム原子吸光法

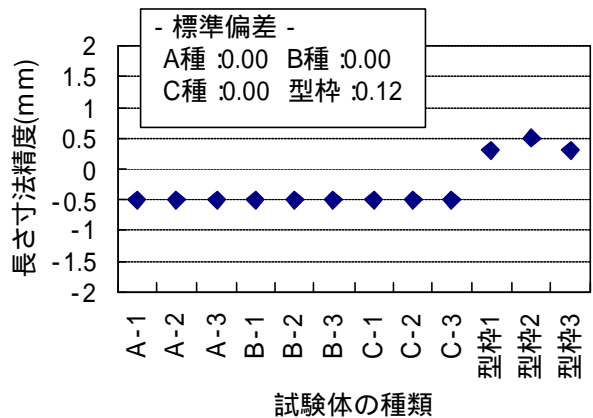


図-3 長さの寸法精度

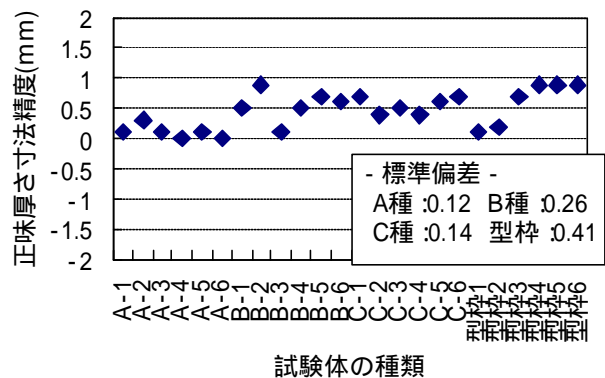


図-4 正味厚さの寸法精度

差は0.12安定した測定結果が得られた。正味厚さは測定点数を6点としたが、全て寸法精度の規定値を満足した。高さの測定値は、各種試験体において若干のバラツキを生じ、標準偏差はそれぞれ0.49、0.29、0.70、0.57であったが、全て寸法精度の規定値を満足した。

(2)フェイスシェルとウェブの正味肉厚,鉄筋の挿入する空洞部の最小幅

測定した試験体のフェイスシェルとウェブの正味肉厚,鉄筋の挿入する空洞部の最小幅の寸法を精度図-6,図-7,図-8に示した。EC試験体のフェイスシェル正味肉厚寸法は試験体の種類にかかわらず安定した測定結果が得られ

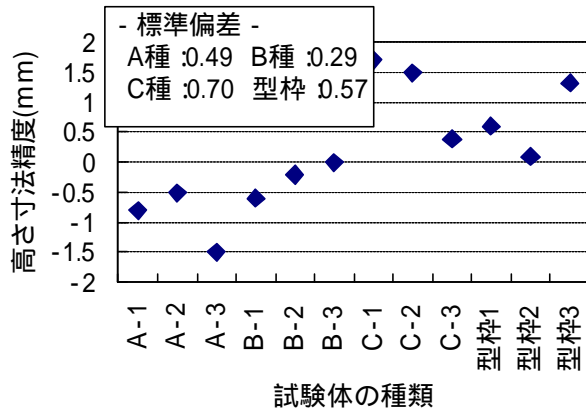


図-5 高さの寸法精度

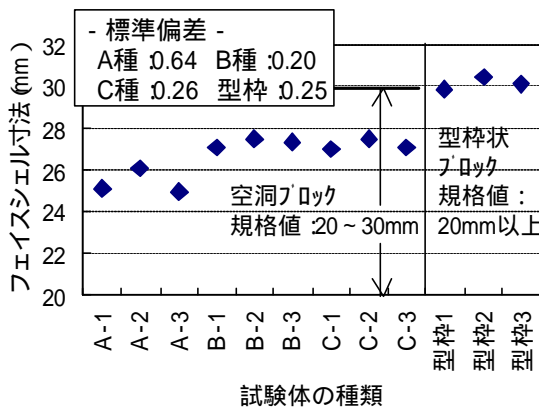


図-6 フェイスシェルの寸法

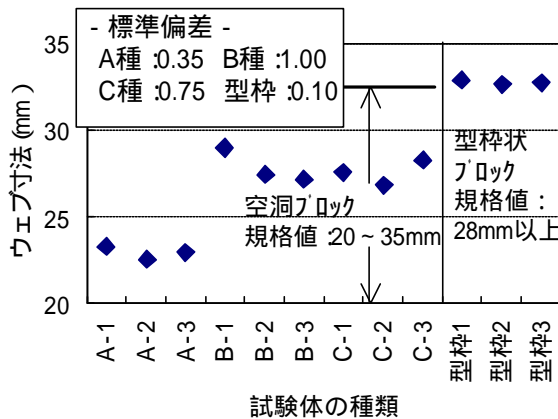


図-7 ウェブの寸法

た。ウェブ正味肉厚寸法および鉄筋の挿入する空洞部の最小幅の寸法は,B種において若干のバラツキを生じたが全て寸法精度の規格値内であった。

4.2 全断面による圧縮強さ試験

全断面による圧縮強さ試験結果を図-9に示した。また,図-10にEC試験体のOPC試験体

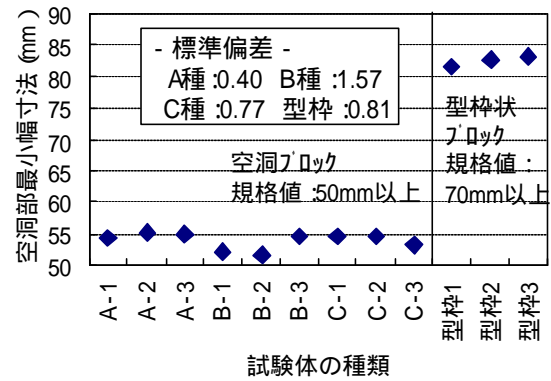


図-8 鉄筋を挿入する空洞部の最小幅寸法

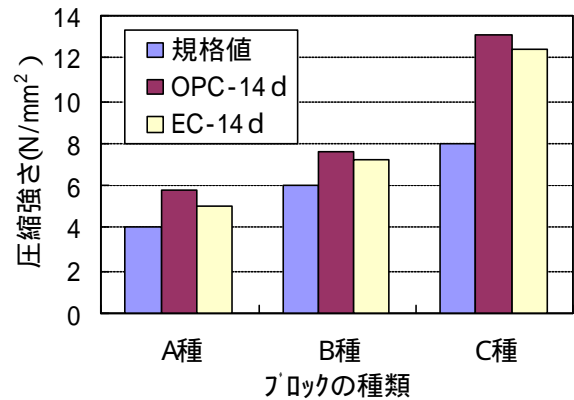


図-9 圧縮強さ結果

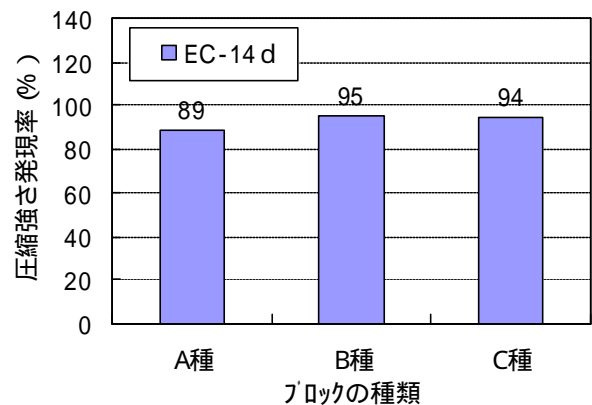


図-10 OPCに対するECの圧縮強さ発現率

表 - 9 溶出試験検査結果

試料名	検査項目							
	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr6+ (mg/l)	As (mg/l)	T-Hg (mg/l)	Se (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
建築用コンクリート ブロック種	検出 されず	検出 されず	検出 されず	検出 されず	検出 されず	検出 されず	検出 されず	検出 されず
定量下限値	0.01	0.01	0.02	0.01	0.0005	0.005	0.01	0.01

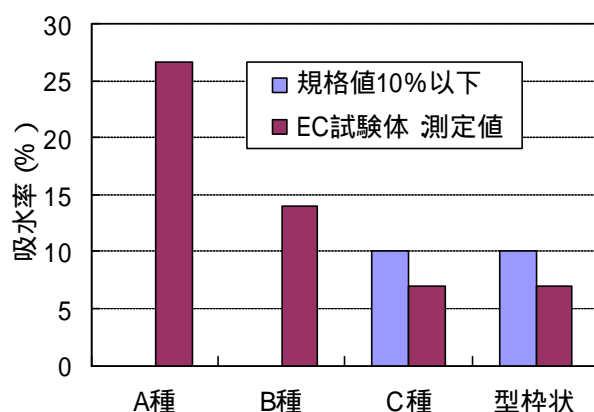


図 - 1 1 吸水率試験結果

に対する圧縮強さの発現率を示した。EC試験体 A種, B種, C種の圧縮強さは, OPC試験体の圧縮強さに対し, それぞれ89%, 95%, 94%であった。これは, OPCとECの強度発現の差が原因の一つと考える。なお, 各試験体の圧縮強さは, 全て規格値を満足した。

4.3 吸水率試験

吸水率試験の結果を図 - 1 1 に示した。試験体の吸水率はA種, B種, C種, 型枠状それぞれにおいて26.6, 14.0, 6.94, 6.87%であった。C種, 型枠状に関しては吸水率の規格値10%以下を満足する結果が得られた。

4.4 気乾かさ比重試験結果

EC試験体の気乾かさ比重は, A種, B種, C種, 型枠状ブロックにおいてそれぞれ, 1.30, 1.73, 2.11, 2.19g/mlであった。A種, B種に関してはそれぞれの規格値である1.7, 1.9 g/ml未満を満足する結果が得られた。

4.5 溶出試験

平成3年8月環境庁告示第46号に従い実施した溶出試験の結果を表 - 9 に示す。溶出検査項目8種類について試験を実施した結果, 測定値は全ての項目において定量下限値を下回っており, 規格値を十分に満足した。

5. まとめ

エコセメントを用いた建築用コンクリートブロックの製造およびJIS A 5406に規定される諸物性について検討した結果、以下のような結論が得られた。

- (1) OPCとは鉱物組成や物理的性質が異なるECを使用した場合でも、既存の製造技術と同様の方法で製造可能である。
- (2) JISに規定される各部の寸法精度はECを使用したものでも、十分規格値を満足するものであった。
- (3) 圧縮強さはOPCを使用した場合とほぼ同等であり、吸水率、気乾かさ比重についても全て規格値を満足するものであった。
- (4) 都市ゴミ焼却灰を主原料とするECであるが、有害物質の溶出に代表される耐環境性についても、環境庁告示を十分に満足するものであった。

参考文献

- 1) 棚野博之, 阿部道彦ほか: 環境負荷低減型セメントの品質に関する検討 第54回セメント技術大会講演要旨, pp.460 ~ 461, 2000.
- 2) 棚野博之, 阿部道彦ほか: 環境負荷低減型セメントを使用したコンクリートのフレッシュ時の性状と強度, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.469-474, 2000.
- 3) 吉本稔ほか: 普通形エコセメントの蒸気養生特性に関する研究 第55回土木学会年次学術講演大会, pp.264 ~ 265, 2000.
- 4) 吉本稔ほか: 普通形エコセメントを用いた道路製品の試験施工 第56回土木学会年次学術講演大会, pp.428 ~ 429, 2001.
- 5) 早川隆之ほか: 普通形エコセメントを用いた大型道路用コンクリート製品の試験施工 第56回土木学会年次学術講演大会, pp.430 ~ 431, 2001.