Japan Concrete Institute

コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, 2003

論文　廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品の諸性質

友竹　博一*1・清水　利康*2・坂本　一樹*3・鳥居　和之*4

要旨：廃瓦再生骨材のコンクリート製品への適用性を調べるために，コンクリートのフレッシュ性状，強度，耐久性に及ぼす廃瓦再生骨材の置換率の影響を実験的に検討した。その結果，廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品はフレッシュ性状，強度，耐久性が通常の天然骨材を使用した場合とほぼ同等であるとともに，廃瓦再生骨材中の微粉末のポゾラン反応によりコンクリートの長期強度の発現性が優れることを確認した。

キーワード：瓦廃材，再生骨材，コンクリート製品，フライアッシュ，ポゾラン反応

1.　はじめに

循環型社会基本法を基本的枠組み法として，建設リサイクル法やグリーン購入法など多くの個別リサイクル法が制定されている。また，解体コンクリートから製造された再生骨材および一般廃棄物や下水汚泥などの溶融スラグについては，JISの前段階である標準情報（TR）が公開された[1) 2)]。このような背景の下，コンクリート二次製品工場でも建設廃材のリサイクル利用の研究が活発に進められ，実用化も進んできている。

建設廃材における屋根瓦廃材は，屋根瓦製造工場の不良品や家屋解体工事から大量に発生しており，埋立てなどの廃棄処分が困難になってきている。その中で，越前瓦の産地として知られる福井県では，地域的なリサイクルシステムの確立が求められている。

本研究は，屋根瓦廃材より製造した再生骨材をコンクリート製品用の細骨材として活用することを目的にしており，廃瓦再生骨材を天然細骨材の内割りとして使用したコンクリートのフレッシュ性状，強度，耐久性，実機での製造性などの諸性質について検討したものである。

2.　実験概要

2.1　使用材料および配合

使用材料の品質を**表－1**，細骨材（廃瓦再生骨材および珪石骨材）の粒度を**表－2**に，フライアッシュの物理的性質および化学成分を**表－3**に示す。セメントは普通ポルトランドセメント

表－1　使用材料の品質

種別	名称	仕様
ｾﾒﾝﾄ	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ	密度 3.16 (g/cm³)
細骨材	廃瓦再生細骨材	密度 2.34、粗粒率 3.05、吸水率 3.70%
	細砂（砕砂）	密度 2.60、粗粒率 2.30、吸水率 1.34%
	粗砂（砕砂）	密度 2.58、粗粒率 3.02、吸水率 2.05%
粗骨材	15mm 砕石	密度 2.61、粗粒率 5.86、吸水率 1.00%
	20mm 砕石	密度 2.62、粗粒率 7.06、吸水率 1.02%
混和材	ﾌﾗｲｱｯｼｭ	JIS A 6201 II 種
混和剤	高性能減水剤	ﾎﾟﾘｶﾙﾎﾞﾝ酸系

表－2　細骨材の粒度

種別	通過重量百分率 (%)						FM	微粒分量 (%)※
	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
廃瓦	100	72	47	32	24	17	3.05	12
細砂	100	98	82	51	27	12	2.30	4.0
粗砂	100	85	56	33	18	6	3.02	3.6

※：JIS A 1103 骨材の微粒分量試験方法（0.075mm 以下の微粒分量）

表－3　フライアッシュの物理的性質および化学成分

密度 (g/cm³)	ﾌﾞﾚｰﾝ比表面積 (cm²/g)	化学成分（%）				
		Ig.Loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO
2.20	3700	4.2	67.4	19.5	3.5	1.0

*1 株式会社ホクコン　技術統括部　研究開発室長　（正会員）
*2 株式会社ホクコン　営業統括部　環境営業部　営業推進チーム担当課長
*3 中部復建株式会社
*4 金沢大学教授　　工学部土木建設工学科　工博　（正会員）

NII-Electronic Library Service

表－4　コンクリートの配合

配合記号	※2 廃瓦置換率 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)									
				水 W	セメント C	FA	細骨材 S			粗骨材 G		混和剤	
							廃瓦	細砂	粗砂	15 mm	20 mm	C×%	単位量
0－45	0	45	47	175	389	－	0	166	663	425	520	0.70	2.722
20－45	20	45	47	170	378	－	165	165	494	431	526	0.70	2.644
40－45	40	45	47	170	378	－	322	161	322	431	526	0.70	2.644
60－45	60	45	47	170	378	－	475	158	158	431	526	0.70	2.644
80－45	80	45	46	170	378	－	606	151	0	439	536	0.75	2.833
40-45-FA	40	45	44	170	321	57	299	149	299	450	550	0.80	2.644
※1 80-41-FA	80	41	43	175	363	64	543	－	136	984	－	1.80	7.683
※1 80-45-FA	80	45	43	176	335	59	551	－	138	451	551	0.75	2.955
※1 80-37-FA	80	37	43	172	395	70	534	－	134	437	534	0.75	3.488

※空気量は 2.0%　※1 実機試験，FA はセメントの内割 15%　※2 廃瓦置換率⇒廃瓦の細骨材内割り置換率

（密度：3.16g/cm³，粉末度：3300cm²/g）を，練混ぜ水は水道水を，混和剤はポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用した。廃瓦再生骨材は，福井県の越前瓦製造工場で発生した瓦廃材（不良品）および家屋解体工事から発生した瓦廃材をジョークラッシャーによる粉砕処理と粒度調整により 5～0mm の粒度に加工したものである。

瓦廃材細骨材には微粒分が 12%程度含まれている。その微粒分は焼成カオリンからなり，良好なポゾラン反応性を有する特徴がある[3)4)]。廃瓦再生骨材を使用したコンクリートの配合を**表－4**に示す。廃瓦再生骨材は細骨材の内割りとして 0～80%（重量パーセント）の範囲で粗砂に置換え使用した。廃瓦再生骨材のアルカリシリカ反応性は，化学法（JIS A 1145）では「無害でない」と判定されるが、モルタルバー法（JIS A 1146）では「無害」であることが確認されている[4)]。また，促進モルタルバー法（ASTM C1260）の試験では，酢酸ウラニル蛍光法によりアルカリシリカゲルの生成が確認されているので，アルカリ骨材反応の抑制対策としてフライアッシュの添加も検討した。また，コンクリートの目標規格値は，設計基準強度を 30～40N/mm²，スランプを 15cm，空気量を 2%とした。

2.2 試験体の作製方法および試験項目

(1) 試験体の作製方法

コンクリートの練混ぜには，室内試験において容量 50 リットルのパン型強制練りミキサを，実機試験において容量 1.5m³ のニ軸型強制練りミキサをそれぞれ使用した。試験体の成形には，突き棒またはテーブル型振動機を使用して，圧縮強度試験に供する円柱試験体（φ10×20cm）を，長さ変化試験および乾湿繰返し環境下における耐久性試験に供する直方体試験体（10×10×40cm）を作製した。

(2) 試験体の養生条件

試験体の養生条件は蒸気養生と標準養生（水中養生）の 2 種類とした。蒸気養生のものは，昇温速度を 15℃/時間，最高温度を 60℃，保持時間を 2 時間として，型枠脱型後は，所定材齢まで屋外暴露養生（コンクリート製品と同一養生）とした。一方，標準養生のものは，コンクリート打設後翌日に型枠を脱型した後に，所定材齢まで 20℃の水中養生を行なった。

(3) 試験項目

試験項目は，圧縮強度，静弾性係数，長さ変化率（乾燥収縮），乾湿繰返し環境下における耐久性などの諸性質と実機試験でのコンクリート製品の製造性および強度，耐久性の確認である。乾燥収縮は，乾燥環境下（20℃，RH60%）にて長さ変化および重量変化を測定した。乾湿繰返し環境下における耐久性では，3 日間の湿潤（40℃，RH95%）と 4 日間の乾燥（40℃，RH50%）の繰返しの環境下にて長さ変化，重量変化および動弾性係数を測定した。また，圧縮試験後の破断面より採取した試料を使用して，

NII-Electronic Library Service

SEM-EDX により硬化体組織の内部を観察した。また，工場での実機試験により，ボックスカルバート，L 形擁壁および自由勾配門形側溝を実際に製造し，充填性や成形性などの製造性，強度および屋外暴露試験により耐久性を評価した。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートのフレッシュ性状

フレッシュコンクリートの試験結果を**表－5**に示す。廃瓦再生骨材を使用したコンクリートのスランプおよび空気量は，目標規格値を満足した。フレッシュコンクリートの性状は，廃瓦再生骨材の置換率が大きくなると，廃瓦再生骨材のやや角張った粒形と微粒分の増加により，ワーカビリティーが若干低下する傾向にあったが，廃瓦再生骨材置換率 80%でもコンクリート製品の製造に支障をきたすことはなかった。また，廃瓦再生骨材を使用したコンクリートの単位水量は 5kg/m^3 小さくなった。

3.2 コンクリートの圧縮強度

水中養生および蒸気養生を実施したコンクリート（水セメント比 45%）の圧縮強度と材齢の関係を**図－1**および**図－2**に示す。水中および蒸気養生ともに廃瓦再生骨材の置換率の増加に比例してコンクリートの圧縮強度が大きくなった。また，コンクリートの圧縮強度の増加率は初期材齢よりも長期材齢にて増大した。

通常，廃瓦再生骨材をコンクリート骨材として使用すると強度が小さくなる場合が多いが，本廃瓦再生骨材を使用したコンクリートはコンクリート製品の強度規格値などをすべて満足した。この理由は，本実験で使用した越前瓦は焼成温度が 1,200～1,250℃と通常の瓦よりかなり高いことから瓦自身の強度が大きいことと，5～0mm に粉砕したことによる扁平形状の改良および脆弱部分の除去効果によるものである[5]。

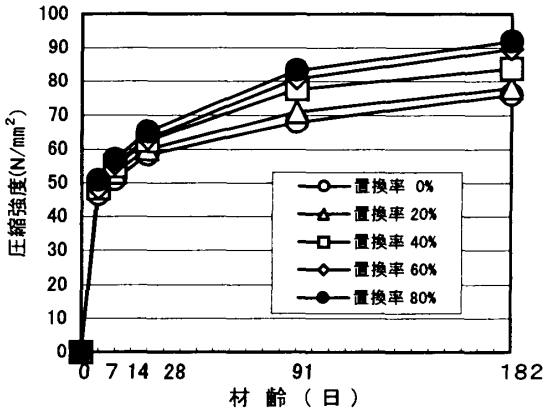
3.3 セメント硬化体の内部組織と反応生成物

コンクリート（廃瓦再生骨材置換率 40%，水セメント比 45%，蒸気養生）の圧縮強度終了後の試験体破断面より採取した試料の SEM-EDX による内部組織の観察結果を**写真－1**に示す。コンクリート硬化体には，モノサルフェート水和物，エトリンガイト，C-S-H ゲルなどの水和生成物が多数生成しており，緻密な内部組織が

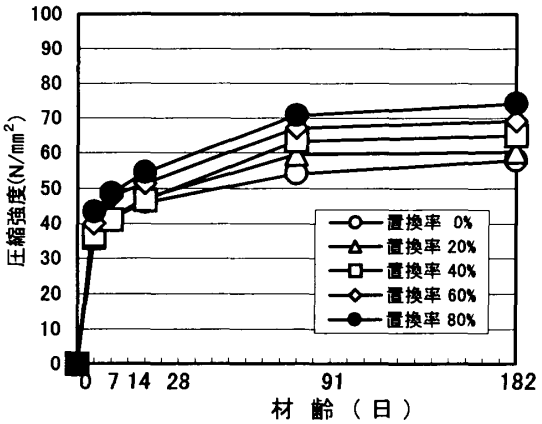
表－5 フレッシュコンクリートの試験結果

配合記号	※2 廃瓦置換率 (%)	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
0－45	0	45	15.5	1.7	21.0
20－45	20	45	13.0	1.4	20.0
40－45	40	45	14.5	1.6	20.0
60－45	60	45	17.5	1.7	22.0
80－45	80	45	15.0	1.8	20.0
40-45-FA	40	45	15.0	1.6	22.0
※1 80-41-FA	80	41	19.0	1.5	23.0
※1 80-45-FA	80	45	15.0	1.6	30.0
※1 80-37-FA	80	37	16.5	2.1	16.5

※1 実機試験,FA はｾﾒﾝﾄの内割 15%
※2 廃瓦置換率⇒廃瓦の細骨材内割り置換率

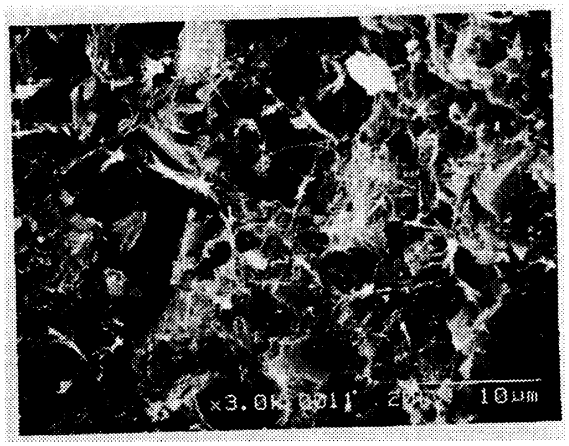


図－1 コンクリートの圧縮強度と材齢（水中養生，W/C＝45%）

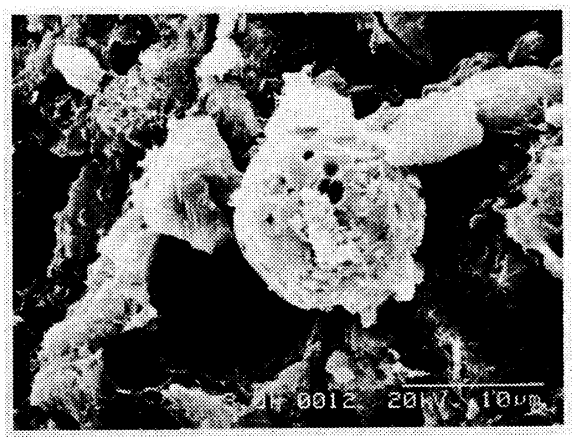


図－2 コンクリートの圧縮強度と材齢（蒸気養生，W/C＝45%）

NII-Electronic Library Service



写真－１ 瓦廃材微粉末周囲の反応生成物

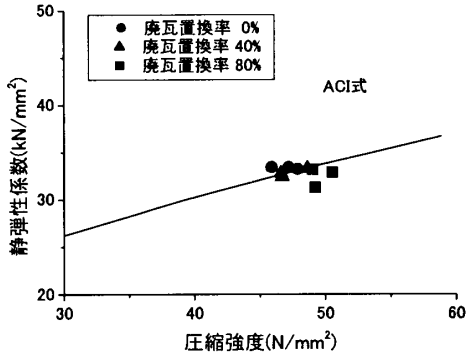


写真－２ フライアッシュ周囲の反応生成物

形成されていた。これは，前述したように，廃瓦再生骨材中に含まれる微粒分のポゾラン反応が進行したことによるものである。廃瓦再生骨材を混入したコンクリートの長期強度の発現には微粉末のポゾラン反応と瓦再生骨材の界面の付着性状の改善が有効に寄与していると考えられた。一方，写真－２に示すように，フライアッシュを混入したものは，廃瓦微粉末と同様にフライアッシュ自身のポゾラン反応も進行しているのが確認された。

3.4 コンクリートの静弾性係数

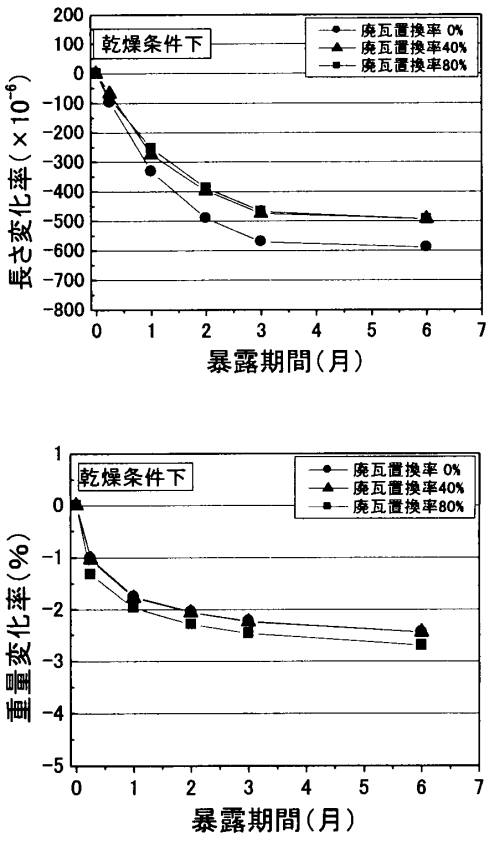
蒸気養生を実施したコンクリート（水セメント比 45%）の 14 日材齢における圧縮強度と静弾性係数の関係を**図－３**に示す。コンクリートの静弾性係数は 30～35kN/mm^2 の値を示し，廃瓦再生骨材の置換率よる影響をほとんど受けなかった。図中の曲線は ACI 基準の式（Standard 318-71）である。廃瓦再生骨材および天然骨材を使用したコンクリートはほぼ曲線上に分布しており，廃瓦再生骨材を使用しても圧縮強度と静弾性係数の関係への影響は認められなかった。



図－３ コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係

3.5 コンクリートの乾燥収縮性状

蒸気養生したコンクリート（水セメント比 45%）の乾燥収縮の試験結果を**図－４**に示す。コンクリートの重量変化率はほぼ同じであったにもかかわらず，コンクリートの乾燥収縮量は廃瓦再生骨材置換率 40%および 80%のものは天然骨材のものよりも 15%程度小さくなった。これは，瓦骨材自身の強度および弾性係数が比較



図－４ コンクリートの乾燥収縮試験の結果

NII-Electronic Library Service

的大きいことと，廃瓦再生骨材を使用したコンクリートの単位水量が5kg/m³減少したこと，が大きく寄与している。

3.6 コンクリートの乾湿繰返し環境下における耐久性

蒸気養生したコンクリート（水セメント比45%）の乾湿繰返し環境下における耐久性の結果を**図－5**に示す。コンクリートの重量変化率および動弾性係数は，廃瓦再生骨材の置換率よる相違は認められず，いずれのコンクリートも暴露期間の初期に一定の値に収束した。一方，乾湿繰返し環境下に置かれたコンクリートは，乾燥収縮試験と同様に収縮する傾向を示したが，廃瓦再生骨材を使用したものは天然骨材のものよりも収縮量が若干小さくなった。また，廃瓦再生骨材を使用したコンクリートは，ひび割れやポップアウトの発生もなく，乾湿繰返し環境下での耐久性が良好であることが確認できた。

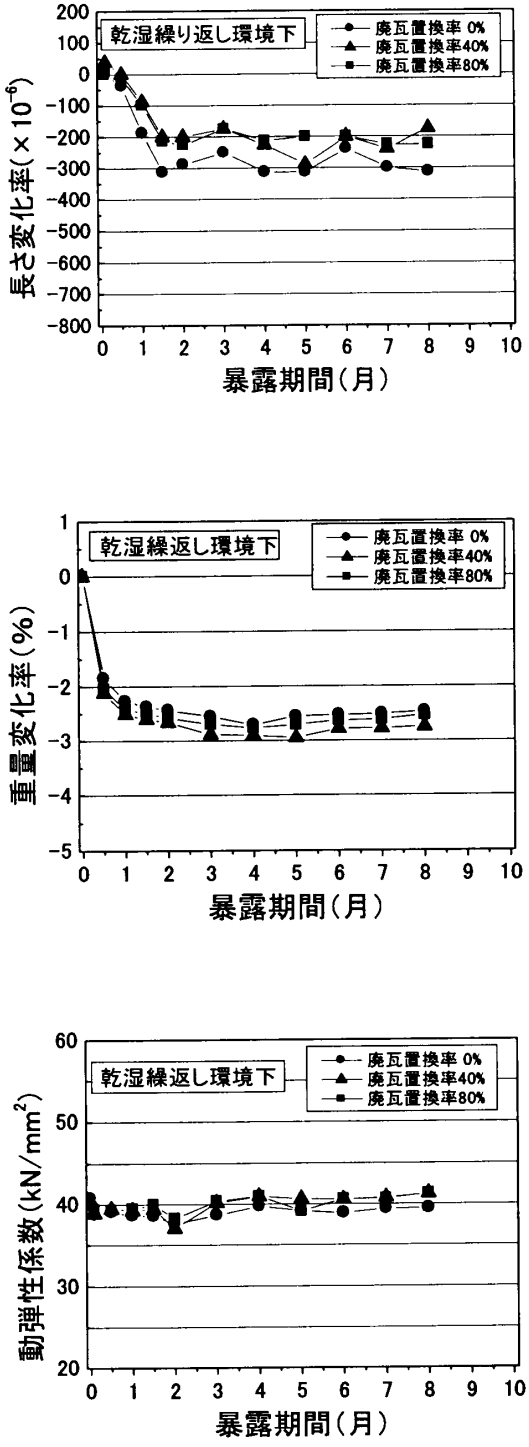
4. コンクリート製品の実機試験

4.1 コンクリート製品の製造性

コンクリート製品の製造性は，コンクリート製品工場での実機試験により，ボックスカルバート，L形擁壁および自由勾配門形側溝を実際に製造して評価した。廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品は，**写真－3**に示すとおり従来品と比べて作業性，成形性，充填性および美観において遜色のないことが確認できた。

4.2 コンクリート製品の強度および耐久性

コンクリート製品の曲げ強度の試験結果を**表－6**に示す。廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品は曲げ強度の規格を満足した。また，屋外の環境下（積雪寒冷地）に1年間暴露した結果では，コンクリート製品にひび割れやポップアウトの発生がなく，製品の耐候性も良好であると確認できた。



図－5 コンクリートの乾湿繰返し試験の結果

5. まとめ

廃瓦再生骨材を使用したコンクリートのフレッシュ性状，強度および耐久性とコンクリート製品の実機製造性を検討した。

本研究により得られた主要な結果をまとめると，次のようである。

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

(1) 廃瓦再生骨材を使用したコンクリートのフレッシュコンクリートの性状は細骨材置換率 80%でも十分に満足されるものであった。

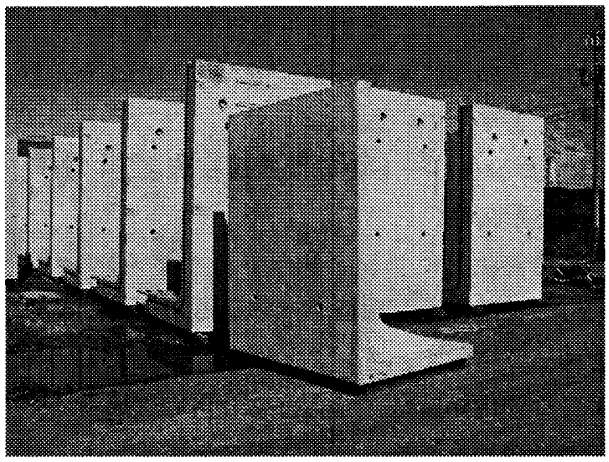
(2) 廃瓦再生骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は，水中および蒸気養生ともに廃瓦再生骨材置換率の増加に比例して大きくなった。コンクリートの長期強度の発現は廃瓦再生骨材中の微粒分のポゾラン反応の発揮によるものであった。

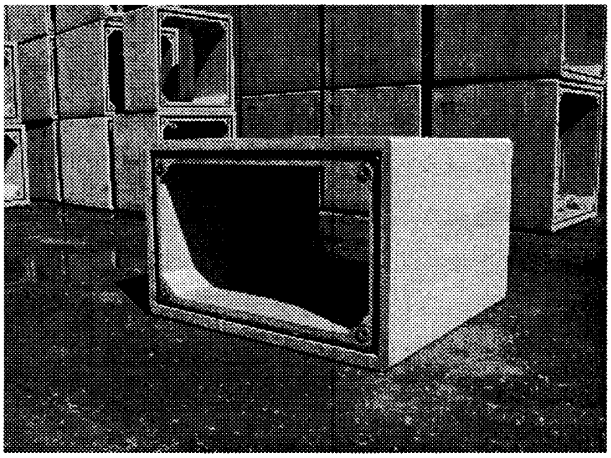
(3) 廃瓦再生骨材を使用したコンクリートの静弾性係数は天然骨材使用のものと同程度であった。

(4) 廃瓦再生骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮量は天然骨材使用のものよりも15%程度減少した。

(5) 廃瓦再生骨材を使用したコンクリートは，乾湿繰返し環境下でもひび割れやポップアウトの発生がなく，耐久性は良好であった。

(6) コンクリート製品の実機試験では，作業性，成形性，充填性および美観において従来品と同様であり，曲げ強度および耐候性も良好であると確認できた。





写真－３ 廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品の外観

表－６ ｺﾝｸﾘｰﾄ製品の曲げ強度試験の結果

製 品	材齢(日)	曲げ強度荷重 (kN)		
		規定荷重	ひび割れ発生荷重	破壊荷重
自由勾配門形側溝	14	32	60.2	133
ボックスカルバ-ト	14	131	160	603
L 形擁壁	14	21.1	34.0	55.0

謝辞：

本研究の遂行に当たり，ご協力いただいた，福井県福祉環境部廃棄物対策課，福井県瓦工業協同組合および福井県工業技術センターの寺尾主任研究員に感謝の意を表する。

参考文献

1) 再生骨材を用いたコンクリート，TR A 0006，財団法人日本規格協会 2000. 11

2) 一般廃棄物，下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材，TR A 0016，財団法人日本規格協会 2002. 7

3) 露本伊佐男ほか：都市ゴミ焼却灰，産業廃棄物，及び三宅島火山灰の建設材料への有効利用，第 45 回日本学術会議材料研究連合講演会講演論文集，pp. 130-131，2001. 9

4) 友竹博一ほか：建設廃材微粉末のコンクリート混和材としての有効利用，セメント・コンクリート論文集，No.56，2002.

5) 寺尾奉ほか：北陸の瓦の歩み，社団法人日本セラミック協会北陸支部，pp. 116～138，2001. 1

NII-Electronic Library Service