

論文 瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性

上原 匠^{*1}・梅原 秀哲^{*2}・友竹 博一^{*3}・篠田 泰宏^{*4}

要旨：三州瓦廃材の有効利用を目的に、細骨材の一部を三州瓦廃材と置換したコンクリートを対象に実験を行い、その物性の把握を試みた。実験では、三州瓦廃材の置換率を3水準、水セメント比を3水準設定し、置換率がフレッシュ性状、硬化後の物性に与える影響について検討した。その結果、所定のフレッシュ性状の確保は混和剤の調整で可能であり、置換率が大きくなると弾性係数が若干低下する傾向を有するが、同一水セメント比における圧縮強度は天然骨材を使用した場合と同等もしくは若干強度が増すことが明らかとなった。

キーワード：三州瓦廃材, リサイクル, 細骨材, 圧縮強度, 静弾性係数

1. はじめに

愛知県三河地方で製造される三州瓦は、国内瓦総生産量の約6割を占めており、生産量の増加に伴い、厳格な品質管理が故に発生する規格外品（以下、三州瓦廃材）の発生量も全体の約5%を占めることから、その有効利用が今後の大きな課題となってきた。現在、三州瓦廃材のリサイクルに対しては愛知県陶器瓦工業組合によって組織的に進められている¹⁾。通常、三州瓦廃材は、粒径0.5mm以下の粉碎品（以下、普通シャモット）、および粒径10mm以下の破砕品（以下、特殊シャモット）や粒径40mm以下の破砕品（以下、ビット）に加工され、粉碎品は瓦用配合粘土の混入材として安定して再利用されているが、破砕品は建設資材等への利用が一部進められている状況である。ところで、リサイクルにかかる費用は粉碎品に比べ破砕品が安価であり、経済性の観点から破砕品の有効利用が求められている。

そこで本研究では、三州瓦廃材をコンクリート用細骨材に活用することを目的に、特殊シャモットを対象に、一定の割合で細骨材として混入したコンクリートに対して、フレッシュ性状

および硬化後の物性について実験を行い、その適用性について物性の把握をもとに検討した。

2. 三州瓦廃材および使用材料

三州瓦は、焼成粘土から成る天然素材の建設資材であり、三州瓦廃材も環境庁告示46号の溶出基準を満たしている。瓦破砕品の圧縮強度は78N/mm²であり、現在、特殊シャモットは用途に応じて、代表的な粒径分布で表記される10mm以下、5mm以下、2mm以下の3種類に篩分されてほぼ絶乾状態で生産されている。本研究では、リサイクル原料である三州瓦廃材のコンクリート用細骨材としての適用性について検討するために、現時点では可能な限り排出時の状態で利用することとした。

そこで本実験では、特殊シャモットの5mm以下、2mm以下に加えて、篩分機を調整して粒径0～5mmを新たに設定し、JIS A 1109に準拠して密度試験、吸水率試験、ふるい分け試験、微粒分量試験を実施し、実験対象とする特殊シャモットを決定した。写真-1に各シャモットのサンプルを示す。

表-1に各試験から得られた特殊シャモット

*1 名古屋工業大学 大学院工学研究科 社会工学専攻助教授 工博（正会員）

*2 名古屋工業大学 大学院工学研究科 都市循環システム工学専攻教授 Ph.D.（正会員）

*3 (株)ホクコン 技術統括部 研究開発室長 博（工）（正会員）

*4 愛知県陶器瓦工業組合 技術委員長

の物性値を、図－１に粒度曲線を示す。表乾密度は粒径が小さい 2mm 以下では他の粒径に比べて $2.50\text{g}/\text{cm}^3$ と大きく、吸水率も 2.21% と小さな値となった。本来なら同じ瓦の規格外品を原料にして生産されていることから密度等の差異は小さいと予想したが、今回の結果には粒径の違いにより個々に含まれる微細な空隙の影響が現れたと推察される。図－１の粒度曲線から、粒度が偏らず細骨材として土木学会の標準粒度の範囲内に収まりのよいのは、粒径 0～5mm の特殊シャモットと判断される。そこで本実験に用いる三州瓦廃材には、表乾密度 $2.25\text{g}/\text{cm}^3$ 、F.M. 3.19 の粒径 0～5mm の特殊シャモットを採用した。

表－２に使用材料を示す。本研究では、コンクリート 2 次製品への利用を想定して、混和剤には遅延性抑制および粘性低下作用を有する高性能減水剤を、また、施工性と耐久性の向上に配慮してフライアッシュ II 種（密度 $2.18\text{g}/\text{cm}^3$ ）を単位セメント量の 15% を一律外割置換で混入した。なお、材料搬入時期の違いにより、フライアッ

シュは異なるロットからの 2 種類を使用することとなったが、同じ密度のフライアッシュを使用した。

3. 実験概要

3.1 配合設計

実験は 2 シリーズに分けて実施した。先ずシリーズ 1 では、圧縮強度と水セメント比の関係の把握を目的に、水セメント比を 35%、40%、45% の 3 水準設定するとともに、細骨材との三州瓦廃材の容積置換率を 0%、50%、80% の 3 水準設定し、計 9 配合を対象に実施した。次にシリーズ 2 では、圧縮強度、引張強度、曲げ強度の把握を目的に、目標圧縮強度を $60\text{N}/\text{mm}^2$ に設定し、シリーズ 1 の結果を考慮して水セメント比 40% を対象に置換率 3 準の計 3 配合に対して

表－１ 特殊シャモットの物性値

	粒径 (mm)	表乾密度 (g/cm^3)	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粗粒率 F. M.	微粒分量 (%)
特殊 シャ モ ット	2	2.50	2.45	2.21	1.96	15.01
	5	2.25	2.05	10.01	4.72	1.11
	0～5	2.25	2.03	10.40	3.19	11.22



2mm 以下

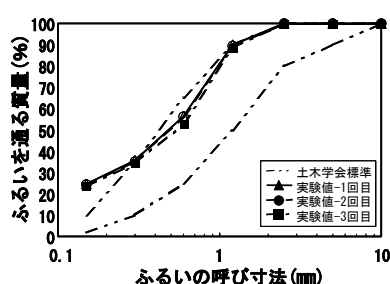


5mm 以下

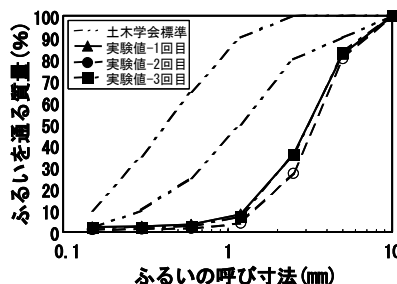


0～5mm

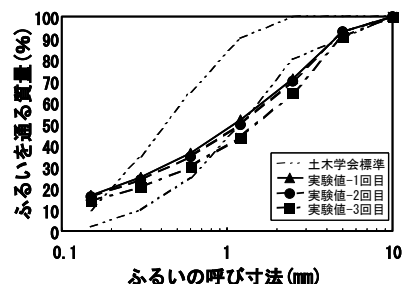
写真－１ シャモットの一部



2mm 以下



5mm 以下



0～5mm

図－１ 粒度曲線

各種強度試験を実施した。

表－３にコンクリートの配合を示す。各配合とも単位水量は 175kg/m^3 一定とし、目標スランプは $15\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は二次製品を想定して $2.0\pm 1.0\%$ と設定した。なお、高性能減水剤の使用量は、シリーズ１とシリーズ２は使用したフライアッシュのロットが異なるため、所定のフレッシュ性状が得られた配合に用いた値を示す。

3.2 供試体の作製方法および

試験項目

練混ぜは容量 0.05m^3 のパ

ン型強制練りミキサを使用し、練混ぜ容量は 0.03m^3 とした。全材料投入後の練混ぜ時間は２分間とし、排出後直ちにコンクリートを切り返してフレッシュコンクリートの試験を実施し、所要の状態が得られたことを確認した後、供試

表－２ 使用材料

材料	名称	記号	物性・諸元
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度： 3.16 g/cm^3
細骨材	三州瓦腐材 (特殊シャモット0～5mm)	CH	密度： 2.25 g/cm^3 ，吸水率：10.40%， 微粒分量：11.22%，粗粒率：3.19
	山砂（瀬戸産）	S	密度： 2.55 g/cm^3 ，吸水率：1.30%， 微粒分量：2.10%，粗粒率：2.81
粗骨材	砕石（瀬戸産）	G	密度： 2.71 g/cm^3 ，吸水率：0.31%， 微粒分量：0.66%，粗粒率：6.78
フライアッシュ	JIS A 6201Ⅱ種	FA	密度： 2.18 g/cm^3
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系

表－３ 配合表

	配合名	CH 容積置換率 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)						
					W	C	S	CH	G	FA	SP (g)
シリーズ１	35CH-0	0	35	37	175	500	579	—	1046	75	4773
	35CH-50	50		39			303	268	1014		3853
	35CH-80	80		41			128	452	978		3450
	40CH-0	0	40	40		438	648	—	1035	66	4082
	40CH-50	50		42			342	302	1000		3276
	40CH-80	80		44			143	504	965		2772
	45CH-0	0	45	43		389	719	—	1014	58	3665
	45CH-50	50		45			375	331	976		2906
	45CH-80	80		46			153	542	959		2414
シリーズ２	40CH-0	0	40	40	175	438	648	—	1035	66	3629
	40CH-50	50		42			342	302	1000		2974
	40CH-80	80		44			143	504	965		2470

表－４ コンクリート試験結果（シリーズ１）

配合名	CH 容積置換率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	単位容積質量 (kg/l)	圧縮強度 (N/mm^2)		静弾性係数 (kN/mm^2)	
						材齢28日	材齢91日	材齢28日	材齢91日
35CH-0	0	14.5	1.6	31.0	2.37	73.6	88.0	41.4	44.4
35CH-50	50	13.5	2.2	30.5	2.32	75.1	92.3	38.9	42.4
35CH-80	80	14.0	1.9	30.5	2.31	75.0	89.4	34.6	39.3
40CH-0	0	15.5	1.6	29.5	2.35	67.2	82.7	38.9	43.3
40CH-50	50	15.0	2.0	29.5	2.30	66.7	85.6	36.6	40.0
40CH-80	80	13.0	1.7	30.0	2.29	69.6	82.2	33.9	37.9
45CH-0	0	14.0	1.9	30.0	2.33	58.9	74.2	36.1	41.8
45CH-50	50	16.0	2.0	29.0	2.29	59.7	75.6	35.1	38.2
45CH-80	80	16.0	2.0	29.0	2.28	59.7	76.3	33.6	36.8

体を作製した。蒸気養生設備がないことから、今回供試体は試験材齢まで標準養生とした。

試験項目は、JIS による試験方法に準拠したスランブ試験、空気量試験、単位容積質量試験、圧縮強度試験、静弾性係数試験とし、シリーズ 2 では割裂引張強度試験、曲げ強度試験も実施した。

4. 実験結果および考察

4.1 シリーズ 1

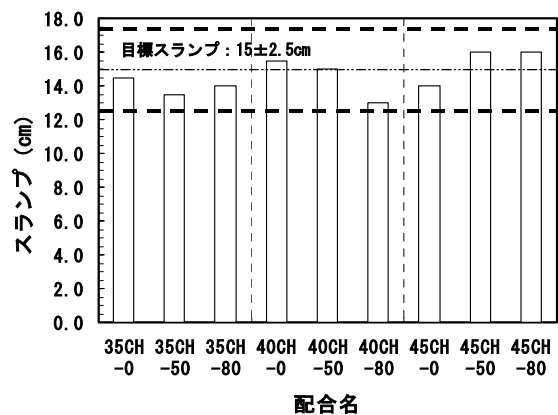
(1) フレッシュ試験結果

表－4 にシリーズ 1 の試験結果を示す。各水セメント比での空気量は、山砂を用いた場合(置換率 0%) に比べ、三州瓦廃材を混入すると若干増える傾向を示したが、いずれの配合においても目標許容範囲内に収まった。したがって、通常の細骨材と同様に取り扱うことで問題ないと言えよう。単位容積質量試験結果から、各水セメント比での置換率が増加するに従い単位容積質量が若干小さくなる傾向が確認される。各水セメント比とも、置換率 0% に比べ置換率 50% の場合、約 2.0% ($\Delta 0.05\text{kg/l}$)、置換率 80% の場合、置換率 0% に比べ約 2.4% ($\Delta 0.06\text{kg/l}$) 減少している。

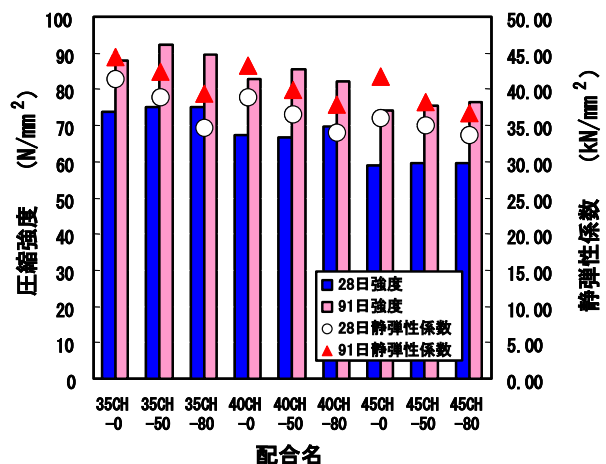
図－2 にスランブ試験結果を示す。スランブは全て許容範囲内にあり、三州瓦廃材を使用しても混和剤による制御が可能であることが明らかとなった。また、表－3 に示す混和剤量から、置換率の増加に伴い混和剤の使用量は減少し、経済的な配合になると言えよう。

(2) 圧縮強度試験および静弾性係数試験結果

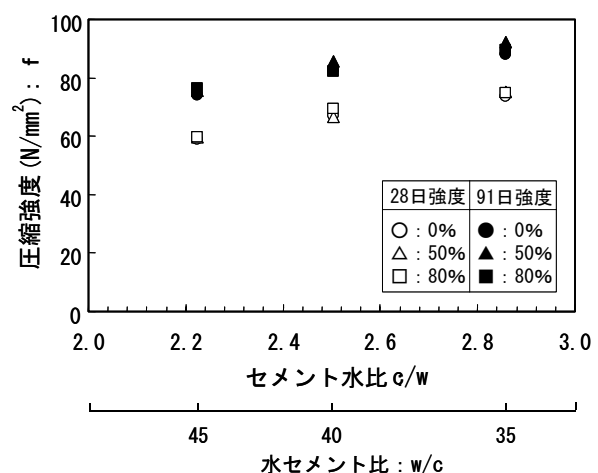
図－3 に材齢 28 日、91 日での圧縮強度試験結果、および静弾性係数試験結果を示す。各水セメント比において両材齢の圧縮強度は、山砂を用いた場合と同等もしくは若干強度が増す傾向が明らかとなった。今回の試験結果では、三州瓦廃材の置換率に拘わらず、水セメント比 35% の圧縮強度は材齢 28 日で 75 N/mm^2 程度、水セメント比 40% の圧縮強度は 68 N/mm^2 程度、水セメント比 45% の圧縮強度は 59 N/mm^2 程度、



図－2 スランブ試験結果 (シリーズ 1)



図－3 圧縮強度および静弾性係数試験結果 (シリーズ 1)



図－4 圧縮強度と水セメント比の関係

同様に、材齢 91 日では各水セメント比に対して、 90 N/mm^2 程度、 84 N/mm^2 程度、 75 N/mm^2 程度の値となった。なお、材齢 91 日強度が 28 日強度より 20～30% 強度増進したのはフライアッシュのポゾラン効果によるものと考えられる。瓦廃材微粉末にもポゾラン反応性を有するとの報

表－５ コンクリート試験結果（シリーズ２）

配合名	C/H 容積置換率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	単位容積質量 (kg/l)	圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (kN/mm ²)		引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
						材齢28日	材齢91日	材齢28日	材齢91日	材齢28日	材齢28日
40CH-0	0	15.5	1.6	29.0	2.35	61.4※	77.2	39.1※	43.0	4.2	9.2
40CH-50	50	15.0	1.8	30.0	2.31	65.8	81.3	36.7	39.8	3.8	8.4
40CH-80	80	13.0	1.7	29.5	2.28	63.4	80.5	35.3	38.8	3.8	8.4

※：供試体の成形不良のため2本の平均値

告があるが、本試験の結果からは明確にはならなかった²⁾。

図－３に示す材齢 28 日、91 日での静弾性係数試験結果から、各水セメント比における静弾性係数は、置換率が増加するに従い若干小さな値を示す傾向が確認される。これは、三州瓦廃材の密度が小さいこと等の物性値に起因していると推察される。

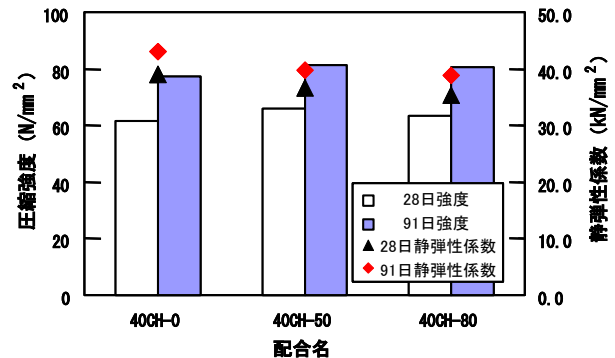
(3) 圧縮強度と水セメント比の関係

図－４に圧縮強度と水セメント比の関係を示す。三州瓦廃材を細骨材と容積置換しても置換率 80%までは、無置換のコンクリートと同じ傾向を示しており、三州瓦廃材を細骨材の一部と置換しても通常の細骨材を使用する場合と同様な圧縮強度と水セメント比の関係が成り立つことが明らかとなった。そこで、シリーズ２では目標圧縮強度を 60 N/mm² に設定していることから、水セメント比 40%，置換率 3 水準の計 3 配合に対して各種強度試験を実施した。

4.2 シリーズ 2

(1) フレッシュ試験結果

表－５にシリーズ２の試験結果を示す。シリーズ２ではロットの異なるフライアッシュを使用した、スランプおよび空気量はシリーズ１と同様にいずれの置換率でも化学混和剤を適量使用することで目標許容範囲内に収まることが明らかとなった。単位容積質量もシリーズ１と同様に置換率が増加するに従い単位容積質量が小さくなる結果が確認された。シリーズ１の結果と同様な結果が再現されたことから、三州瓦廃材を細骨材の一部と置換して用いても、通常の細骨材と同様にフレッシュの状態を制御する



図－５ 圧縮強度および静弾性係数試験結果（シリーズ２）

ことが可能であることが明らかとなった。

(2) 強度試験結果および静弾性係数試験結果

図－５に材齢 28 日、91 日での圧縮強度試験結果、および静弾性係数試験結果を示す。材齢 28 日における 40CH-0 の圧縮強度は、供試体の成型不良から 2 本の平均値を示す。静弾性係数も同様である。無置換の配合を含め、いずれの材齢の圧縮強度もシリーズ１と比較して全般に若干小さな値を示したが、材齢 28 日における目標強度 60 N/mm² を満たしており、シリーズ１での圧縮強度と水セメント比の関係式を目安にすることで所定のコンクリートが製造可能と言えよう。今回の試験結果でも三州瓦廃材の置換率増加に伴い、若干強度が増す傾向が確認された。なお、シリーズ１と同様に材齢 91 日強度は 28 日強度より 20～30%程度強度が増進した。

図－５に示す材齢 28 日、91 日での静弾性係数試験結果から、シリーズ１と同様に、静弾性係数は置換率が増加するに従い若干小さな値を示す傾向が確認された。

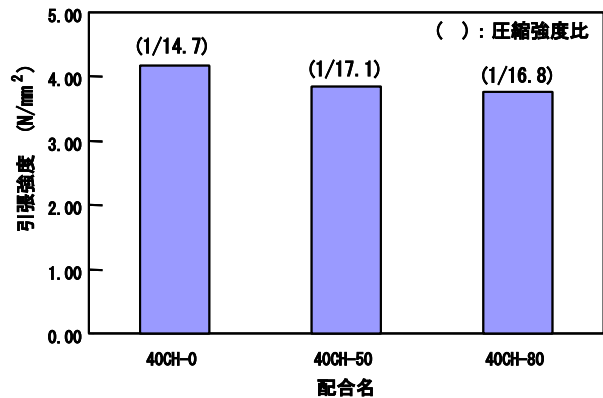
図－６に引張強度試験結果を示す。置換率が

増加するに従って引張強度は若干小さくなる傾向を示した。三州瓦廃材を細骨材の一部と置換してコンクリートに使用した場合、圧縮強度は増加する傾向を示すのに対して、引張強度は小さくなったが、その要因については今回の試験結果からは考察できなかった。圧縮強度比はそれぞれ、1/14.7、1/17.1、1/16.8 であり、無置換の配合でも一般的な 1/10～1/13 より小さな値を示した。これは圧縮強度が 60N/mm² を超える高強度コンクリートに区分される範囲であることが要因と推察され、一般的なコンクリートへの利用においては問題ないと言えよう。

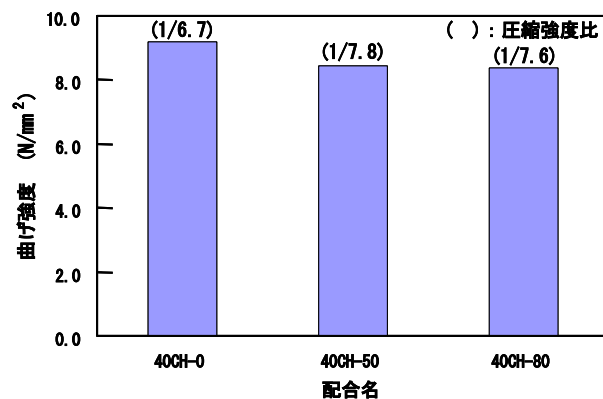
図－7 に曲げ強度試験結果を示す。曲げ強度試験結果も引張強度試験結果と同様に、置換率が増加するに従って曲げ強度は若干小さくなる傾向を示した。曲げ強度が小さくなる要因に関しては実験データが少なく考察できなかったが、圧縮強度比はそれぞれ、1/6.7、1/7.8、1/7.6 となり、一般的な 1/5～1/8 の範囲内であることから、一般的なコンクリートへの利用においては問題ないと言えよう。

5. まとめ

- (1) 三州瓦廃材を混入したフレッシュコンクリートのスランプは、山砂を用いた場合と同様に化学混和剤の調整により制御可能である。空気量に関しても通常の細骨材と同様に取り扱うことで問題ないと言えよう。
- (2) 単位容積質量は、三州瓦廃材の置換率が増加するに従い若干減少するが、圧縮強度は置換率に関わらず山砂を用いた場合と同等もしくは若干強度が増す傾向が見られ、その影響はほとんど無いと言えよう。
- (3) 圧縮強度と水セメント比の関係は、三州瓦廃材を細骨材と容積置換しても置換率 80% までは、無置換のコンクリートと同じ傾向を示しており、三州瓦廃材を細骨材の一部と置換しても通常の細骨材を使用する場合と同様に水セメント比説が成り立つ。
- (4) 静弾性係数は、材齢に関わらず置換率が増



図－6 引張強度試験結果



図－7 曲げ強度試験結果

加するに従い若干小さな値を示す傾向が見られる。また、引張強度および曲げ強度も、置換率が増加するに従い若干小さな値を示す傾向が見られるが、一般的なコンクリートへの利用においては問題ないと言えよう。

実用化に向けては、保管時の含水状態の制御や耐久性の把握が挙げられる。今後の課題としたい。

謝辞

本研究の遂行にあたり、愛知県陶器瓦工業組合ならびに竹本油脂株式会社のご協力を頂きました。ここに記して深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 愛知県陶器瓦工業組合：リサイクル原料シャモット・ビット、シャモット工場等、愛知県陶器瓦工業組合発行カタログ
- 2) 友竹博一・清水利康・坂本一樹・鳥居和之：廃瓦再生細骨材を使用したコンクリート製品の諸性質、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.1, pp.1355～1360, 2003.7