

論文 不純物混入が再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

小山 明男^{*1}・菊池 雅史^{*2}・三浦 隆広^{*3}・秋庭 淳二^{*4}

要旨：再生骨材コンクリートの製造・利用にあたっては，再生骨材の品質や原コンクリート履歴はもとより，これに含まれる不純物による影響を明確にし，コンクリート塊の受入基準，調合設計等に反映させることが肝要である。本研究では，建築仕上げ材としてコンクリート廃材に含まれると予想される不純物を 10 種類選定し，これら不純物の種類や混入率がコンクリートの品質に及ぼす影響について実験を行った。実験・検討の結果から不純物による影響を明らかにするとともに，不純物が混入した場合の再生骨材の品質を推定するための評価手法を提案した。

キーワード：再生骨材コンクリート，不純物，骨材破碎試験，圧密変位

1. はじめに

近年，建設廃棄物の中でも多量に排出されるコンクリートがらから再生骨材を製造し，コンクリートへ利用する研究がさまざまな研究機関においてなされ，実際に利用され始めている。利用の形態については，高度処理を施したのから破碎のみによるものまでである。筆者らはかねてより，破碎処理によって得られた比較的低品質の再生骨材を普通骨材に置換して用いる手法を提案¹⁾している。

コンクリートがらを再利用する際，種々の不純物が混入することが予測され，再生骨材の品質のみならず，不純物の影響が不明確では，再生骨材コンクリートの利用拡大は望めないと考えられる。

本研究は，筆者らの行っている再生骨材コンクリートの実用化に関する一連の研究の一部をなすもので，再生骨材コンクリートの品質への影響が比較的大きいとされる仕上げ材等の不純物に着目し，これら不純物の種類あるいは混入

量等がコンクリートの品質に及ぼす影響について検討したものである。

2. 不純物の混入がコンクリートの特性に及ぼす影響

2.1 実験概要

不純物が再生骨材コンクリートに及ぼす影響を明確にするために，まず不純物の種類およびその混入率による影響を普通コンクリートによって検討した。また，再生骨材コンクリートと

表-1 不純物の種類，記号，履歴および作製方法

不純物の種類および記号			不純物の履歴および作成方法
区分	種類	記号	
附着系	塗料付きコンクリート	pa	W/C=65($F_{28}=32\text{N/mm}^2$)，15 × 30cmのコンクリート供試体を厚さ2cm程度に切断し，両切断面に市販コンクリート用水性合成樹脂塗装ベント(床用)を塗布し，ジョークラッシャーで破碎したもの
	Pタイル	pt	未使用の市販反硬質床用ビニルタイル(②mm)を7,14,19mm角に切断したもの
	石膏 プaster	gp	反水石膏を水石膏比70%で練り混ぜて硬化させたのち，ジョークラッシャーで破碎したもの
	アスファルト	as	未使用のアスファルト塊を冷凍保存したのち，ハンマーで10mm以下に破碎したもの
	土	ss	覆土に使用されていたシルト質の砂
混入系	レンガ	br	未使用の市販レンガブロック(100×210×60mm)をジョークラッシャーで破碎したもの
	陶磁気質 タイル	ct	未使用の市販外装用タイル(⑦mm)をジョークラッシャーで破碎したもの
	木片	wc	解体木材を燃料用チップとしてシュレッダーで破碎したもの
	紙	pp	未使用市販ケント紙を7,12,19mm角に切断したもの
	発泡 スチロール	st	電化製品の梱包用に使われていた発泡スチロールを10mm以下に切断したもの

ジョークラッシャーのオープンセットは20mmとした。

*1 明治大学講師 理工学部建築学科 工博 (正会員)

*2 明治大学教授 理工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 前田建設工業(株) 北海道支店 工博 (正会員)

*4 前田建設工業(株) 九州支店 工修

しては粗骨材のみ再生骨材を用いた場合を対象としているため不純物は粗骨材に混入していることを想定している。

(1) 使用した不純物の種類

建設副産物に関する既往の調査報告²⁾などから、再生骨材に付着あるいは混入している不純物を付着系および混入系に大別し、各々5種類ずつ選定した。これらの履歴および作製方法を表-1に示す。また、混入率による影響の程度を明らかにするため、粗骨材への混入率を各々3水準設定し、表-2に示す合計30種類の試料骨材を用意した。なお、混入率は、発泡スチロールのみ容積比とし、他のものは質量比とした。

(2) 試料コンクリート

使用材料は、セメントとして普通ポルトランドセメントを、細骨材に川砂を、粗骨材には表-2に示す30種類の不純物混入粗骨材を用いた。なお、混和剤としてリグニンスルホン酸系のAE減水剤ならびに樹脂酸塩系空気連行補助剤を用いた。試料コンクリートの調合概略を表-3に示す。水セメント比を45,55および65%の3水準とし、合計90種類の不純物混入コンクリートを、また比較用に3種類の普通コンクリートを用意した。なお、不純物混入コンクリートの混和剤添加量は、水セメント比ごとの比較用普通コンクリートにおいてスランプ18±2cm、空気量4.5±1.5%（凍結融解試験体は5±1.5%）が得られた添加量と同量とした。

(3) 試験項目および試験方法

コンクリートの試験項目および試験方法の概略を表-4に示す。再生骨材として製造した段階で不純物が付着または混入していることから、実用上の配慮から骨材の一部として不純物を扱い、表-2に示した不純物の物性については、密度および吸水率の測定はJIS A 1110によった。ただし、骨材と同様の方法で吸水率の

表-2 不純物混入骨材の種類および特性

粗骨材の種類および概要				骨材および不純物の物性			
区分	記号	使用不純物の種類	不純物混入率 ¹ (%)	絶乾密度 ² (g/cm ³)	吸水率 ² (%)	400kN破砕値 ² (%)	
普通粗骨材	GA	-	0	2.62	0.60	10.9	
不純物混入粗骨材	付着系	pa2	2	2.21	6.15	9.2	
		pa3	3			9.7	
		pa6	6			10.5	
		pt2	2	2.09	0.68	10.1	
		pt3	3			10.5	
		pt6	6			10.1	
	gp2	2	1.04	48.80	12.2		
	gp3	3			13.2		
	gp6	6			14.1		
	as2	2	0.99	-	-		
	as3	3			-		
	as6	6			-		
	ss2	2	1.35	31.00	12.5		
	ss3	3			11.9		
	ss6	6			14.0		
	混入系	br	br2	2	2.11	7.00	11.9
			br3	3			12.9
			br6	6			13.8
		ct	ct2	2	2.31	0.32	10.8
			ct3	3			10.7
ct6			6	10.6			
wc		wc2	2	0.43	93.50	11.7	
		wc3	3			11.8	
		wc6	6			11.8	
pp		pp0.2	0.2	0.78	72.70	11.6	
		pp0.5	0.5			11.8	
		pp1.0	1.0			12.1	
st		st2	2	0.02	-	11.5	
		st6	6			11.2	
	st10	10	12.0				

1: 骨材重量×混入率(°/wt), stは骨材容積×混入率(°/vol)
2: 密度および吸水率は混入前の値, 400kN破砕値は混入後の値

表-3 試料コンクリートの調合概略

	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位セメント量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)
45GA	45	170	378	45
55GA	55		309	
65GA	65		262	

表-4 試験項目および試験方法の概略

試験項目	試験体形状 (cm)	試験方法 ¹	養生条件
フレッシュコンクリート	スランプ	JIS A 1101	温度: 20 湿度: RH60%
	空気量	JIS A 1128	
	単位容積質量	JIS A 1116	
硬化したコンクリート	10 × 20	JIS A 1108	所定材齢まで20 水中
		コンプレッソメーター法	
	10 × 10	フェノールフタレイン法	材齢2週まで20 水中後, 所定材齢まで20, RH60%気中
		フルオレセインナトリウム法	
	10 × 40	JIS A 1129	材齢1週まで20 水中後, 所定材齢まで20, RH60%気中
		コンパレーター法	
	凍結融解	ASTM C 666A	14日間20 水中
		JIS A 1127	

1: 中性化および塩分浸透深さは、薬品噴霧した試験体割裂面の周囲16箇所を測定した値の平均値
2: 促進に使用した恒温湿湿槽は、CO₂濃度5%, 温度30, 湿度RH60%
3: 人工海水(NaCl濃度3%)と乾燥器(温度30, 湿度RH60%)中に12時間ずつ入れ替え, 24時間を1サイクルとした。

測定が困難なアスファルトおよび発泡スチロールは測定していない。

2.2 不純物および不純物混入粗骨材の物性

(1) 不純物の物性

作製した不純物の特性を表-2 に示す。不純物の絶乾密度は、 $0.02 \sim 2.31\text{g/cm}^3$ の範囲にあり、いずれも比較用とした砕石に比べて小さい。また、吸水率は石膏プラスター、土、木片および紙で大きく、破砕処理のみで製造される再生粗骨材の吸水率（5%程度）の5～20倍である。

(2) 不純物混入粗骨材の物性

表-2 によると、不純物を混入した粗骨材の400kN 破砕値は、不純物の種類および混入率の影響を受ける。塗料付きコンクリート、P タイル、および陶磁器質タイルのように砕石の破砕値を下回るものもみられたが、概ね不純物の混入によって破砕値は大きくなる。また、不純物混入率の増加にともない骨材強度が低下する傾向が認められた。

木片、紙のように圧密によって破砕されにくいものや、P タイルのように破砕しても小片となりにくいもの、あるいはアスファルトのように載荷圧力により骨材に付着してしまい破砕後にふるいを通しにくくなるなど、400kN 破砕値が不純物混入による影響を表すとはいい難い。そこで、図-1 のように 400kN 破砕試

験時の載荷荷重と圧密変位の関係から検討を行う。図-1 によると、破砕値で比較できない不純物においても圧密変位が大きくなるなどの影響が認められることから、この関係は骨材の品質低下の評価指標に有用と考えられる。

2.3 不純物混入コンクリートの物性

(1) フレッシュ性状に及ぼす影響

不純物混入コンクリートのスランブを図-2 に示す。スランブは、不純物の種類および混入率の影響を受け、多くの場合で普通コンクリートのスランブを下回る。なかでも土、木片および紙屑を混入したものはスランブが大きく低下する。なお、木片を除くほとんどの不純物の混入によって空気量は低下した。

(2) 強度特性に及ぼす影響

図-3 は、不純物混入コンクリートの圧縮強度およびヤング係数を同水セメント比の普通コンクリートに対する比で示したものである。いずれの不純物を混入した場合でも、混入率の増加

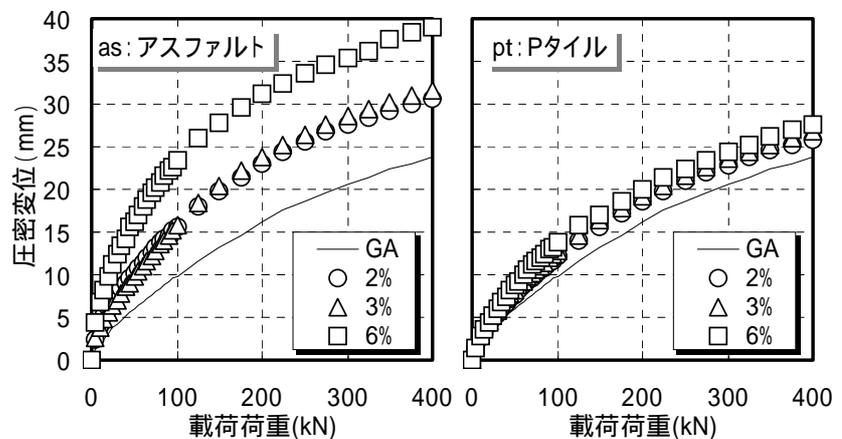


図-1 破砕試験における載荷荷重と圧密変位の関係

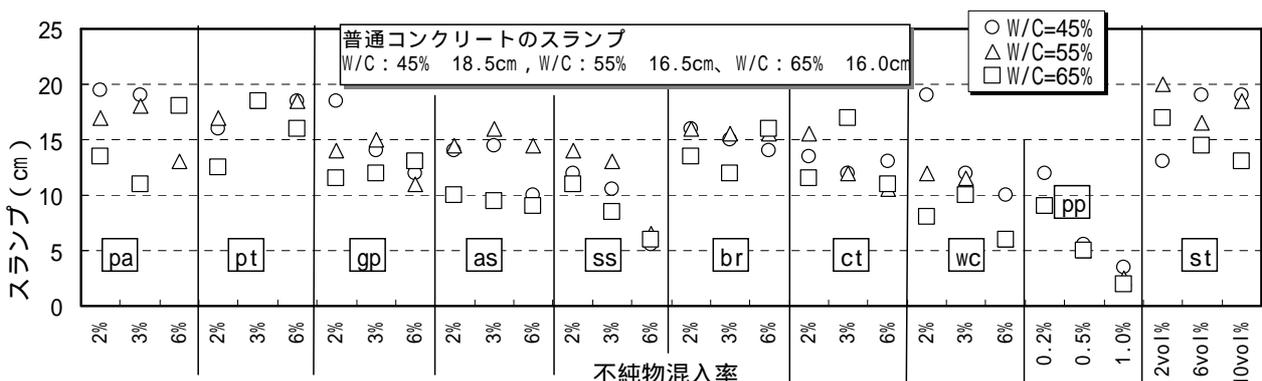


図-2 不純物混入コンクリートのスランブ

にともない圧縮強度は低下する傾向が認められる。特に、P タイル、石膏プラスター、アスファルトおよび木片を混入した場合は、圧縮強度の低下が顕著である。また、ヤング係数についても圧縮強度と同様の傾向が認められる。

(3) 乾燥収縮に及ぼす影響

図-4 に示すように、不純物混入コンクリートの材齢 26 週時の乾燥収縮率は、 $6 \sim 9.2 \times 10^{-4}$ の範囲にあり、普通コンクリートに比べて大きくなる。特に、石膏プラスター、木片の混入は、乾燥収縮に及ぼす影響が大きい。

(4) 中性化および塩分浸透に及ぼす影響

図-5 は、中性化および塩分浸透深さを示したものである。中性化深さは、石膏プラスターを除けば、普通コンクリートと同等であった。一方、塩分浸透深さは、石膏プラスター、木片および紙屑を混入したもので大きくなる。

(5) 耐凍結融解性に及ぼす影響

図-5 に示すように不純物混入コンクリートは、いずれも 300 サイクル時の耐久性指数が 90 を超えており、適切な空気量が確保されれば耐凍結融解性に不純物が及ぼす影響は小さい。

3. 不純物混入が再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

3.1 実験概要

(1) 不純物種類および調整方法

本実験での不純物は、前節における実験を基にコンクリートの品質に及ぼす影響の大きい 5 種類(石膏プラスター、アスファルト、木片、紙屑およびスチロール)の不純物につ

いて容積比で等量となるよう混合して用いた。

1996 年度・建設省総プロ²⁾では、再生骨材の品質区分のなかで「不純物量を有機系 1%以下」と規定している。本実験では、これを受けて再生粗骨材置換率を 15~100%としたとき、全粗骨材質量(普通+再生)に対して不純物量が 1%以下とすることが可能なように不純物の混入量を 2, 3 および 6%に設定した。ただし、実験は比較用に他の組み合わせも行っている。再生粗

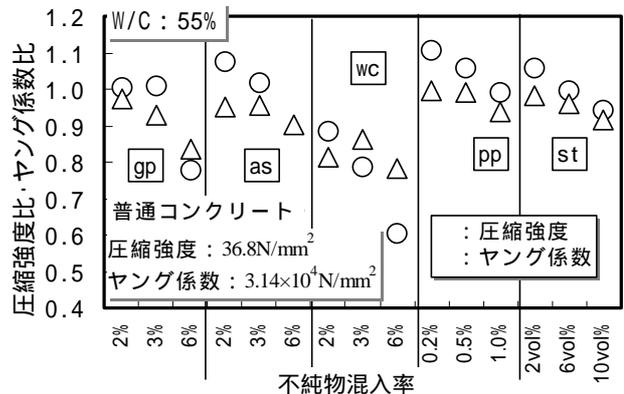


図-3 不純物混入コンクリートの圧縮強度およびヤング係数

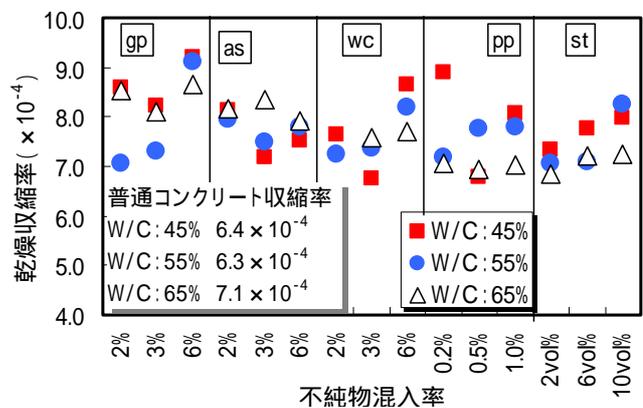


図-4 不純物混入コンクリートの乾燥収縮

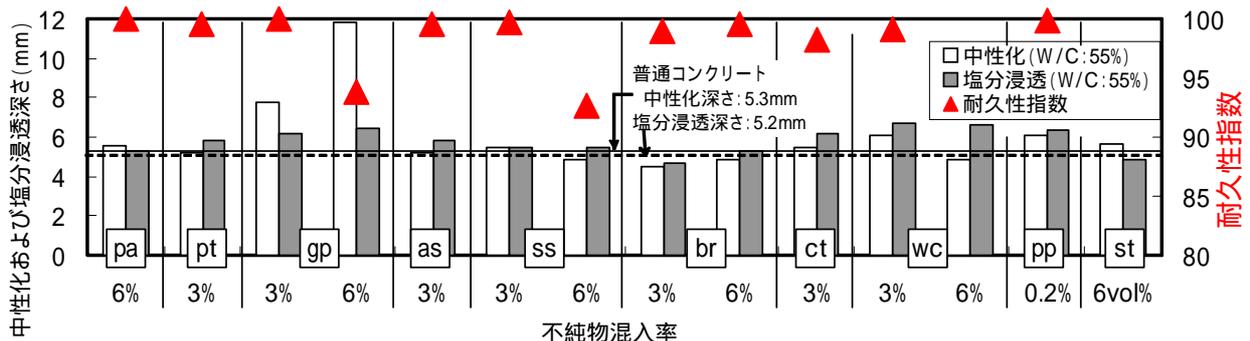


図-5 不純物混入コンクリートの耐久性

骨材による置換率と再生粗骨材中の不純物の関係を表-5に示す。

(2) 試料コンクリート

再生粗骨材は、水セメント比 55%および 65%の原コンクリートから製造した 2 種類の再生粗骨材（記号：RG2，RG3）を用いた。骨材の主要物性を表-6に示す。水セメント比を 55%とし、再生骨材置換率ならびに不純物混入率を変化させ計 25 種類の試料を用意した。試料コンクリートの調合概略を表-7に示す。なお、不純物を含まない比較用の普通コンクリートまたは再生骨材コンクリートのスランブが 18 ± 2cm となるよう混和剤添加率を調整し、不純物を含むものも同じ添加率で混和剤を加えた。

(3) 試験項目および試験方法

コンクリートについては、フレッシュ性状（スランブ，空気量，単位容積質量）および、硬化性状（圧縮強度，ヤング係数，乾燥収縮）を前節に示す試験方法と同様に実施した。

3.2 不純物混入が再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

(1) フレッシュ性状に及ぼす影響

図-6は、スランブに及ぼす不純物混入の影響を示したものである。再生骨材置換率が 15%であれば、再生粗骨材に含まれる不純物率が 6%でも、全骨材に対する比は 1%未満となり、不純物の影響は小さい。しかしながら、再生骨材置換率 30%以上となると不純物混入率が大きくなるとスランブの低下も大きくなる。

(2) 強度およびヤング係数に及ぼす影響

図-7に、全粗骨材に対する不純物混入率と圧縮強度およびヤング係数の関係を普通コンクリートに対する比で示す。再生粗骨材置換率による影響もあるが、全体的に不純物混入率が増加するほど圧縮強度およびヤング係数は低下し、その低下割合はヤング係数よりも圧縮強度の方で大きい。また、この関係から、不純物を多く含む再生骨材

表-5 全骨材中の不純物量と再生骨材置換率の関係

置換率	不純物	再生粗骨材中の不純物率 (%)					
		1	(2)	(3)	4	5	(6)
再生粗骨材の置換率 (%)	(15)	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90
	(30)	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80
	(50)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
	70	0.70	1.40	2.10	2.80	3.50	4.20
	100	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00

注：網掛け部分は不純物1%の規定に対する適合範囲
() 内の数字は本研究で採用した実験水準

表-6 本実験に用いた骨材の主要物性

骨材試験項目	粗骨材			細骨材	
	普通	再生骨材		陸砂	
	GA	RG2	RG3	NS	
粗粒率 (F.M.)	6.66	6.63	6.76	2.78	
密度	絶乾	2.61	2.29	2.25	2.66
	表乾	2.64	2.42	2.40	2.71
吸水率 (%)	1.00	2.35	6.32	2.03	
実積率 (%) 1	61.4	56.9	57.9	65.6	
洗い損失量 (%)	0.20	2.65	3.02	1.91	
安定性 (%)	12.6	32.4	48.2	-	
強度	400kN破砕値 (%)	16.5	26.7	26.5	-
	10%破砕力	23.7	9.5	8.8	-

1:ジッキング法による測定値

表-7 試料コンクリート種類と調合概略

試料	粗骨材の組み合わせ			調合概略		
	普通	再生骨材		W/C (%)	単位水量 (kg/m³)	細骨材率 (%)
	GA	RG2	不純物混入率 (%)			
GA	100	0	-	55	170	45
55RG2-15	85	15	0, 2, 3, 6			
55RG2-30	70	30				
55RG2-50	50	50				
55RG3-15	85	15				
55RG3-30	70	30				
55RG3-50	50	50				

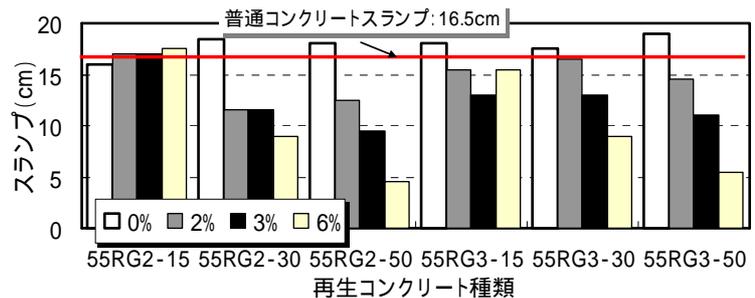


図-6 再生骨材コンクリートのスランブ

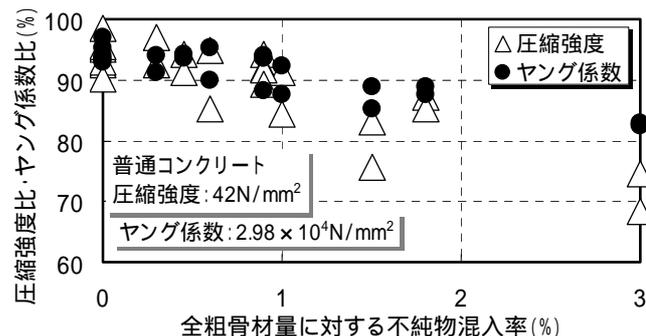


図-7 再生骨材コンクリートの圧縮強度、ヤング係数

を利用する際には、再生骨材置換率を小さくすることで対処すれば良いと考えられる。なお、不純物混入率が全粗骨材の1%以下であれば、普通コンクリートに対する圧縮強度およびヤング係数の低下割合は5~15%程度である。

(3) 乾燥収縮に及ぼす影響

図-8に、再生コンクリートの乾燥収縮率を示す。強度ほど明確ではないが、再生骨材置換率および不純物混入率の増加により乾燥収縮率も大きくなる傾向にある。

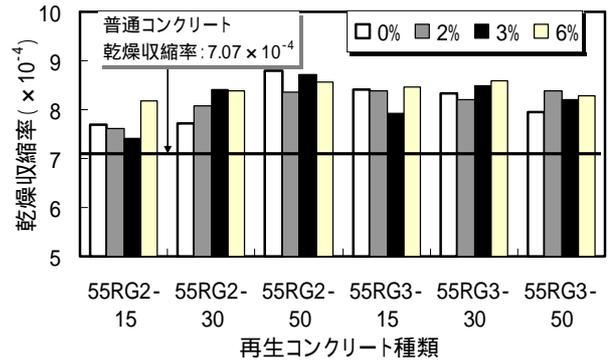


図-8 再生骨材コンクリートの乾燥収縮

3.2 不純物が混入した再生骨材コンクリートの評価方法

筆者らが実施した一連の研究³⁾では、再生骨材コンクリートの品質評価は、骨材(普通骨材および再生骨材)の相対吸水率および相対400kN 破砕値によって行ってきた。しかし、既に示したように不純物を含むと400kN 破砕値による評価は、困難をとまなう。そこで、本論文では破砕試験時の荷重-圧密変位の関係を詳細に検討した結果から、50kN 時の圧密変位を特性値とし、骨材の品質評価を行う。

図-9に、50kN 時圧密変位と圧縮強度、ヤング係数および乾燥収縮の関係を示した。乾燥収縮率に対する相関は若干低いながら、圧縮強度およびヤング係数に対する相関はかなり高い。よって、本手法は不純物を含んだ再生骨材をコンクリートに用いる際に活用できると考えられる。

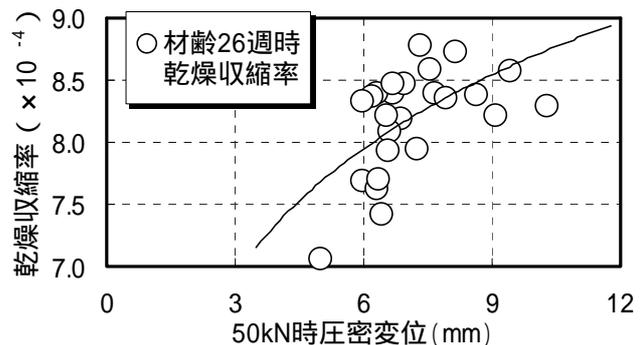
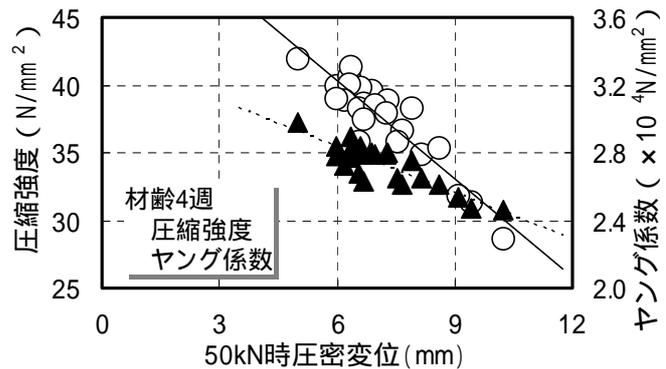


図-9 不純物を含む再生骨材コンクリートの50kN 時圧密変位による評価

4. まとめ

検討の結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 不純物の種類および混入率がコンクリートの品質に及ぼす影響を明らかにした。
- (2) 不純物を含んだ再生骨材の品質を評価するための手法を提案した。

参考文献

- 1) 菊池雅史, 道正泰弘ほか: 再生骨材の品質が再生骨材コンクリートの品質に及ぼ

す影響, 日本建築学会構造系論文集, 第474号, pp.11-20, 1995

- 2) 建設省: 建設副産物の発生抑制・再利用技術の開発 平成7年度報告書, (財)国土開発技術研究センター, 1996

- 3) 道正泰弘, 菊池雅史, 増田彰, 小山明男: 原コンクリートの性質が再生コンクリートの品質に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第485号, pp.1-10, 1996

謝辞

本研究に際し、東京電力(株)成川匡文氏ならびに道正泰弘氏、明治大学建築材料研究室1997~1999年度卒論生に多大なご協力を頂きました。ここに厚く謝意を表します。