

論文

[1069] 一般可燃ゴミ焼却灰を添加したコンクリートの耐凍害性、乾燥収縮および中性化に関する研究

原田耕司*1・辻正哲*2・伊藤幸広*3・伊藤正憲*4

1. はじめに

一般可燃ゴミの大部分は焼却処理され減量化した後、最終的に埋め立て処分されているのが、我が国の現状である。しかし、近年の一般可燃ゴミの量の増大により最終処分地の確保難や処分地に於ける二次公害の問題も顕在化してきているため、焼却炉底部から回収される焼却灰のさらなる減量化、再資源化または無害化する新しい処理技術の開発が各方面で盛んに行なわれるようになってきている[1]~[4]。

筆者らはこれまで、焼却灰をコンクリート用混和材として有効利用することを目的として、焼却灰の再焼却（2度焼き）、粉碎、分級等の処理方法や再焼却灰をモルタルに添加した場合の強度特性について検討を行い、適当な処理を施した再焼却灰でセメントを代替したモルタルはプレーンモルタルとほぼ同等の強度が得られる等の報告[5][6][7]をしている。

本研究では、入手時期の異なる2種類の再焼却灰について化学的・物理的性質を測定し、再焼却灰をコンクリート用混和材として用いる場合の耐凍害性、乾燥収縮および中性化等に及ぼす影響について検討したものである。

2. 試験概要

表-1 (a) 細骨材の物理的性質

2.1 使用材料

セメントは、N社製の普通ポルトランドセメント

(比重=3.16、ブレン値=3330cm²/g)である。細骨材および粗骨材は、それぞれ鬼怒川産の川砂および山梨

比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)	粒度分布 (残留百分率) (%)						粗粒率
				5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	
2.60	1.32	1,666	64.9	0	8	18	47	84	98	2.55

(b) 粗骨材の物理的性質

最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)	粒度分布 (残留百分率) (%)					粗粒率
					25 mm	20 mm	15 mm	10 mm	5 mm	
20	2.65	0.92	1,566	59.6	0	8	18	47	84	6.39

産の砕石であり、その物理的性質は表-1に示すとおりである。また、コンクリートの空気量を調整するためにレジン酸ナトリウム塩のAE剤を、スランプを調整するためにナフタレンスルホン酸系の高性能減水剤を用いた。

2.2 再焼却灰の作製方法

混和材として実験で試料として用いた再焼却灰は、千葉県野田市のゴミ処理場から入手した一般可燃ごみの焼却灰を図-1に示す方法（再焼却、鉄分の除去、粉碎、分級）により再処理したものである。なお、焼却灰の再焼却は、電気炉内にゴミ処理場より入手した焼却灰を1回当り約

*1 西松建設（株）技術研究所主任研究員、工修（正会員）
 *2 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科、工博（正会員）
 *3 東京理科大学助手 理工学部土木工学科、工修（正会員）
 *4 東急建設（株）（前東京理科大学大学院）、工修（正会員）

1.2kg投入し、1時間焼却する方法とした。また、最終段階で分級するふるいの目の寸法は75 μ mとした。実験で対象とした焼却灰は、平成4年3月（入手時期a）および平成5年10月（入手時期b）の2種類である。なお、入手時期aの焼却灰については再焼却温度を600、700、800 $^{\circ}$ Cと3段階に変化させ実験を行った。本論文に示す再焼却灰の記号を表-2示す。

2.3 再焼却灰の化学的・物理的性質

実験で対象とした再焼却灰の化学的・物理的性質は表-3の通りである。なお、メチレンブルー吸着量試験はCAJS I-61に、塩分含有量試験はJIS K 0101に、電気伝導率試験は参考文献[8]に準じて行った。また、メディアン径（相対粒子量50%の粒子径）は、レーザー回折式粒度分布測定装置を用い、蒸留水中にサンプルを投入し5分間超音波を負荷後に測定を行い求めた値である。

入手時期aの灰の場合、再焼却温度が高くなるに従いメチレンブルー吸着量が減少する傾向を示し、特に再焼却温度が600 $^{\circ}$ Cと700 $^{\circ}$ Cの間における減少量が

大きくなっている。また、強熱減量 (ig. loss) も同様に600 $^{\circ}$ Cと700 $^{\circ}$ Cの間で大きく減少している。これらのことより、再焼却灰においても、メチレンブルー吸着量の変化は、未燃焼炭素量の変化による可能性が高いと考えられる。

一方、灰の入手時期が異なると化学的・物理的性質は変化しており、特に塩化物イオン

量は大きく変化している。なお、近年ゴミの分別収集が徹底してきたためか、灰の中に含まれる不燃物量は著しく減少していることも確認された。

2.4 配合および練りませ方法

表-4はコンクリートの配合を示したものである。なお、水結合材重量比(W/C+B^{*1})が若干異なっているのは水と結合材の容積比が1.73と一定になるようにしたためである。再焼却灰によるセメント代替率は、再焼却温度が600 $^{\circ}$ Cの場合には結合材容積に対し内割で5%、10%および15%、700 $^{\circ}$ Cおよび800 $^{\circ}$ Cの場合には5%として行った。また、コンクリートのスランプおよび空気量はそれぞれ12 \pm 1.5cmおよび4 \pm 1.0%となるようにAE剤および高性能減水剤を用いて調整した。



*1 再焼却温度: 600 $^{\circ}$ C, 700 $^{\circ}$ C, 800 $^{\circ}$ C
*2 ふるいの目の寸法: 75 μ m

図-1 試料の調整方法

表-2 再焼却灰の種類および記号

記号	再焼却温度($^{\circ}$ C)	代替率(%)	灰の入手時期	(例)
605a	600	5	平成4年 3月	再焼却温度 代替率 灰の入手時期 610a
610a		10		
615a		15		
705a	700	5		
805a	800			
605b	600			
610b		10		
615b		15		

表-3 (a) 再焼却灰の化学的性質

再焼却温度 ($^{\circ}$ C)	入手 時期	化 学 的 性 質									
		化 学 成 分								M. B吸着量* (mg/g)	塩化物イオン量 NaCl換算(%)
		ig. loss (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	湿分 (%)		
600	a	16.9	23.6	18.1	4.3	28.6	2.5	2.45	0.96	0.438	0.351
700	a	13.3	23.7	18.8	4.1	30.6	2.7	2.47	0.55	0.034	0.418
800	a	14.1	24.8	19.0	4.1	31.1	2.7	2.31	0.85	0.017	0.147
600	b	13.2	19.4	13.6	2.0	33.2	3.0	4.69	2.00	0.034	3.276

* メチレンブルー吸着量

(b) 再焼却灰の物理的性質

再焼却温度 ($^{\circ}$ C)	入手 時期	物 理 的 性 質			
		比表面積 (cm ² /g)	比重	電気伝導率差 (mS/cm)	メディアン径 (μ m)
600	a	13.700	2.65	2.62	224.4
700	a	12.200	2.72	1.96	160.9
800	a	12.500	2.66	2.02	61.5
600	b	8.500	2.58	1.47	---

実験では公称容量50ℓの強制練りパン型ミキサを用い、1バッチの練りまぜ量を40ℓとした。練りまぜ方法は、粗骨材、細骨材およびあらかじめプレミックスしておいたセメントと再焼却灰を投入し1分間空練りした後、混和剤および練りまぜ水を加え2分間練りまぜる方法とした。

表-4 配合表

種類	W/C+B ^{*1} (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
			W	C	B ^{*1}	G	S	高性能減水剤(%) ^{*2}	AE剤(%) ^{*2}
無添加	55.0	47	187	340	0	814	935	0.15	0.025
605a	55.3			324	14			0.35	0.045
610a	55.8			306	29			0.20	0.030
615a	56.3			289	43			0.15	0.025
705a	55.2			324	15			0.20	0.040
805a	55.3			324	14			0.05	0.025
605b	55.3			324	14			0.10	0.020
610b	55.9			306	28			0.05	0.015
615b	56.4			289	42			0.00	0.015

*1B:再焼却灰 *2結合材に対する重量比

2.5 試験項目および方法

- (1) 強度試験：圧縮強度および曲げ強度試験は、材齢7日、28日および56日においてそれぞれJIS A 1106およびJIS A 1107に準じて行った。
- (2) 凍結融解試験：凍結融解試験に用いた供試体は10×10×40cmの角柱供試体であり、脱型後、材齢14日まで標準養生した後、JIS A 6204の付属書2に準じて行った。
- (3) 乾燥収縮試験：乾燥収縮試験に用いた供試体は10×10×40cmの角柱供試体であり、脱型後、材齢7日まで標準養生した後、JIS A 1129のダイヤルゲージ法に準じ、乾燥材齢1週、2週、3週および7週において測定を行った。
- (4) 中性化試験：中性化試験に用いた供試体は10×10×20cmの角柱供試体であり、脱型後、材齢28日まで標準養生した後、温度20℃、相対湿度60%、CO₂濃度5%の環境下で促進させた。試験は所定の期間(12週)において、供試体を軸と鉛直方向に割裂し断面にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を塗布し、中性化深さをノギスを用いて測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 強度試験結果

図-2および図-3は、それぞれ再焼却灰の入手時期および再焼却温度の違いが圧縮強度および曲げ強度に及ぼす影響について示したものである。入手時期aの再焼却灰を添加したコンクリートでは、再焼却温度の違いによる強度の変化はほとんど見られず、いずれの場合も材齢7日および28日において無添加コンクリートとほぼ同等の強度となっている。しかし、入手時期bの再焼却灰を添加したコンクリートでは、材齢7日において圧縮強度が約16%無添加コンクリートより大きくなっているが、材齢28日になると無添加コンクリートと同等となっている。これは、入手時期bの再焼却灰の塩化物イオン量が入手時期aの再焼却灰と比較してかなり多かったことにより、初期における水和反応が促進されたことによるものと考えられる。

図-4および図-5は、それぞれ入手時期bで再焼却温度が600℃の再焼却灰の代替率が圧縮強度および曲げ強度に及ぼす影響について示したものである。なお、各強度比は同一材齢における無添加コンクリートの強度に対する比である。材齢7日では、代替率が5%付近で最も大きな強度比を示すが、5%以上では代替率と共に徐々に強度比が小さくなる傾向を示している。また、材齢が長い程、強度比は小さくなる傾向にある。なお、入手時期aの再焼却灰を用いて行ったモルタル試験結果も、材齢7日のものを除くと同じ様な傾向を示していた。

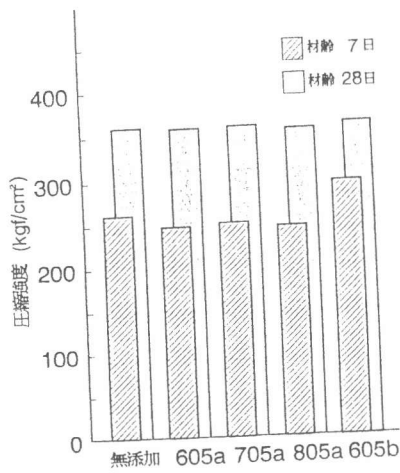


図-2 再焼却温度別の圧縮強度

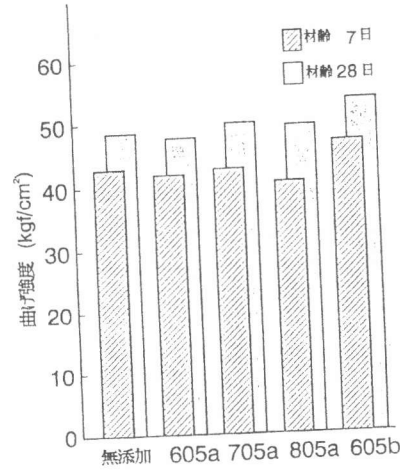


図-3 再焼却温度別の曲げ強度

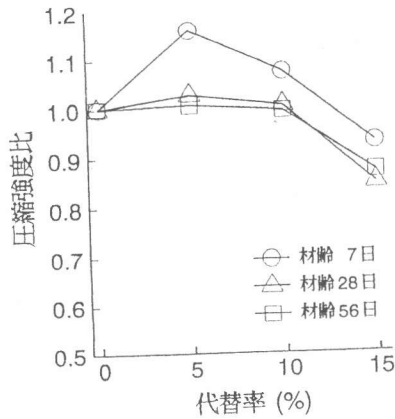


図-4 代替率と圧縮強度比の関係

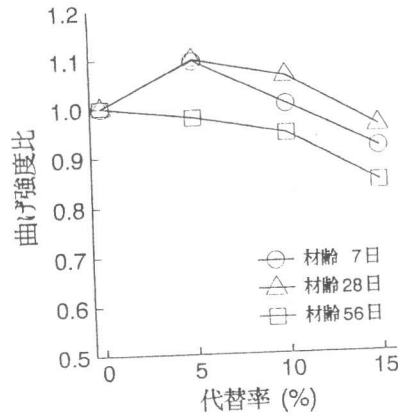


図-5 代替率と曲げ強度比の関係

3.2 凍結融解試験

図-6および図-7は、それぞれ入手時期がaの再焼却灰を添加したコンクリートの凍結融解サイクル数と相対動弾性係数および質量減少率の関係を示したものである。代替率および再焼却温度の違いによる影響はほとんど見受けられず、300サイクルにおける耐久性指数は無添加コンクリートが97%であるのに対し、再焼却灰を添加したコンクリートも94~96%と高い値を示していることから、再焼却灰を添加したコンクリートであっても、無添加コンクリートと同様に空気量が3.0%程度以上あれば十分耐凍害性があると考えられる。

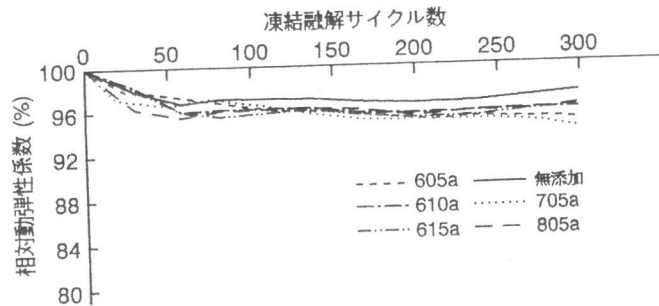


図-6 凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係

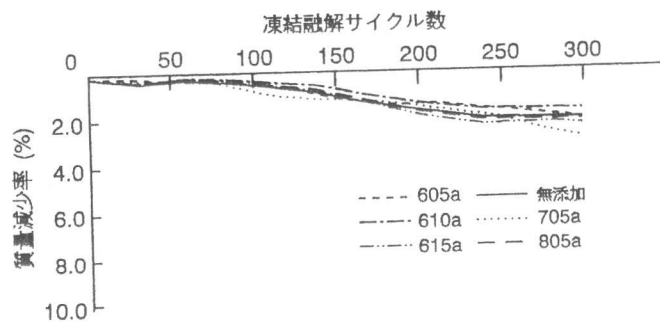


図-7 凍結融解サイクル数と質量減少率の関係

3.3 乾燥収縮試験

図-8は、入手時期aの再焼却灰を添加したコンクリートについて、再焼却温度別に乾燥材齢と長さ変化率の関係を示したものである。再焼却温度を600℃(605a)および700℃(705a)とした場合では、無添加コンクリートとほぼ同じ傾向で乾燥収縮が進行している。しかし、再焼却温度を800℃(805a)とした場合、長さ変化率は、乾燥材齢14日以降無添加コンクリートよりも若干大きくなり、さらに乾燥材齢が経過するに従いその差は大きくなる傾向を示している。

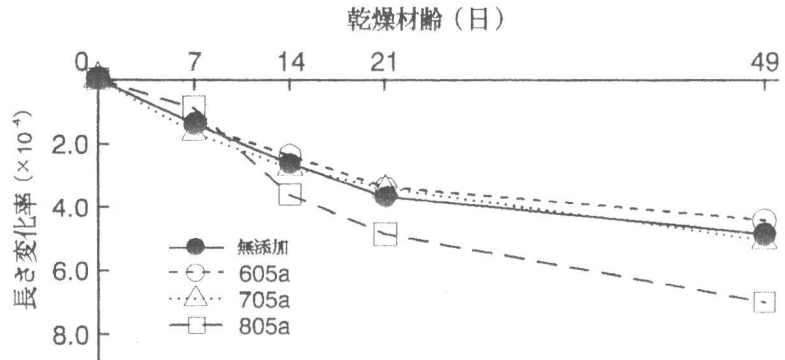


図-8 再焼却温度別の材齢と長さ変化率の関係

図-9は、入手時期bの再焼却灰を添加したコンクリートについて、再焼却灰の代替率別に乾燥材齢と長さ変化率の関係を示したものである。今回の試験では代替率と長さ変化率の間には、明確な関係は見られない。これらのことより、再焼却灰は、コンクリート用混和材としての実用性が高いと考えられる再焼却温度600℃~700℃程度では、再焼却灰によりセメントを代替しても乾燥収縮にはほとんど影響しないと考えられる。

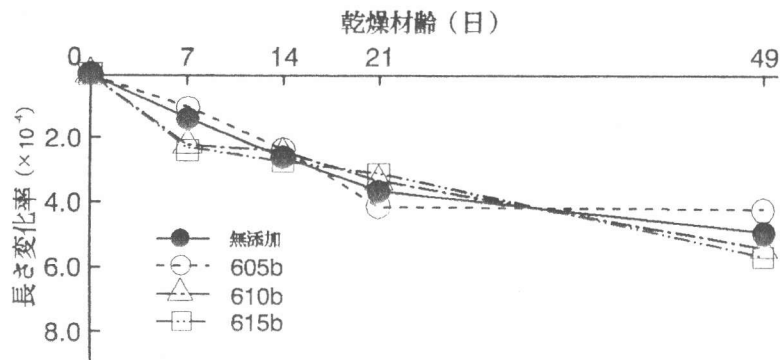


図-9 代替率別の材齢と長さ変化率の関係

3.4 中性化試験

図-10および図-11は、それぞれ入手時期aの再焼却灰を添加したコンクリートについて、再焼却温度別の中性化深さおよび代替率別の中性化深さを示したものである。

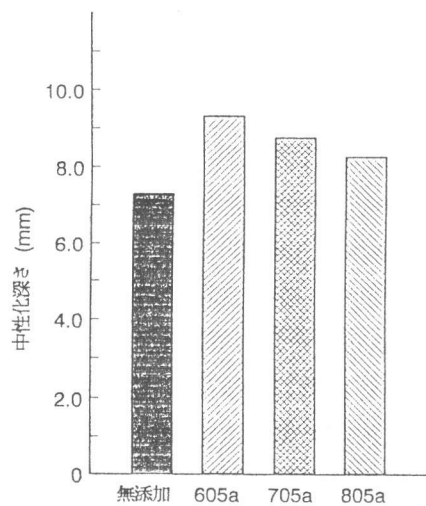


図-10 再焼却温度別の中性化深さ (促進期間12週)

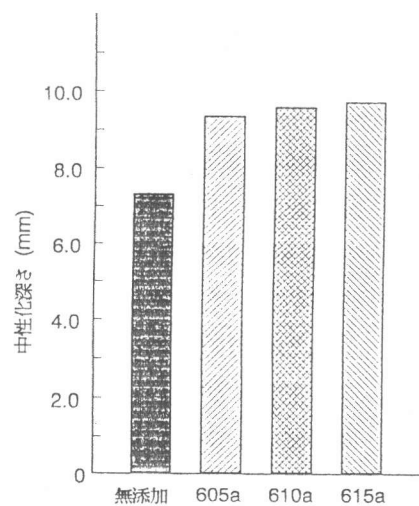


図-11 代替率別の中性化深さ (促進期間12週)

再焼却灰を添加したコンクリートは、無添加コンクリートに比べて中性化深さは大きく

なり、また代替率が大きくなるに従い中性化深さは若干大きくなる傾向を示している。これは再焼却灰のポゾラン反応により水酸化カルシウムが消費されたためではないかと考えられる。また、再焼却温度が高くなるに従い中性化深さは小さくなる傾向が見られた。

4. まとめ

本実験の範囲内で得られた結果は、以下の通りである。

- (1)再焼却灰の化学的性質、特に塩化物イオン量は入手時期によりかなり変動する。
- (2)耐凍害性は、空気量が3.0%以上であれば今回対象とした再焼却灰によるセメント代替率の範囲では、無添加コンクリートとあまり変わらない。
- (3)長さ変化率は、実用の可能性が高いと現在考えている再焼却温度600℃～700℃程度の灰を混和材として用いても、無添加コンクリートとほぼ等しい。
- (4)中性化は、再焼却灰を混和材として用いると、無添加コンクリートと比較して若干大きくなる傾向がある。

今回の試験では、一般可燃ゴミを入念に焼却することにより、コンクリート用混和材として利用できる可能性があることが確認できた。しかし、ゴミの性質が入手時期により変動するため、当面は対象とする構造物を比較的重要度の低いものに限定する必要があると考えている。

謝辞

今回実験を行うに当たり大室高伸君、大谷芳久君（東京理科大学卒研究生）、山川ジョージ君（國學院大学）の御協力を得た。また野田市より焼却灰を提供して頂いた。ここに付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 福永 勳：ごみ焼却灰の処理処分に関する問題点とその対策、環境技術、Vol. 21、No. 4、pp. 219-229、1992
- 2) 大久保全陸・浦川洋介：ゴミ焼却灰を混入したモルタル・コンクリートの圧縮強度特性に関する基礎的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第443号、pp. 1-9、1993
- 3) 小島 昭・田辺直樹：飛灰の安定化処理、第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集Ⅱ、pp. 893-896、1993
- 4) 鍋島淑郎・上原 明：都市ごみ焼却飛灰の安定化処理（セメント固化処理）について、第3回廃棄物学会研究発表会講演論文集Ⅰ、pp. 335-338、1992
- 5) 辻 正哲・伊藤幸広・佐々木健一・伊藤正憲：混和材としての灰の適用性に関する研究、土木学会第47回年次学術講演会、pp. 694-695、1992. 9
- 6) 辻 正哲・伊藤正憲・橋本真幸：一般可燃ゴミ焼却灰を添加したコンクリートの基礎的性質に関する研究、第20回関東支部技術研究発表会講演概要集、pp. 546-547、1993. 3
- 7) 辻 正哲・伊藤幸広・伊藤正憲・橋本真幸・佐治芳宏：一般可燃ゴミ焼却灰を添加したコンクリート諸性質に関する研究、第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集、Ⅱ、pp. 901-904、1993
- 8) Luxan, M. P., et al. : Rapid Evaluation of Pozzolanic Activity of Natural Products by Conductivity Measurement, Cement Concrete Research, Vol. 19, pp. 63-68, 1989