

一般廃棄物焼却灰の固結メカニズムと力学特性

福岡大学工学部 佐藤 研一 福岡大学大学院○梅藤 清路
九州大学大学院 島岡 隆行 福岡大学工学部 宮脇 健太郎

1はじめに 一般廃棄物焼却灰は、その安全性の問題から有効利用されることなく、最終処分場に埋立処分されているのが現状である。処理手法の一つとして、熔融処理が最も有効と考えられているが、エネルギー消費量が大いことから、技術面はともかく経済面に問題を残す。そこで著者らは、一般廃棄物焼却灰を、将来的に地盤材料・埋立用材として直接有効利用することを目的として研究¹⁾を進めてきた。例えば、大阪湾フェニックス²⁾では、一般廃棄物焼却灰を中心とした廃棄物で広域的な管理型海面埋立がなされており、今後このような海面埋立地盤が増えていくことが予想される。その際、埋立地盤の経時的に変化する土質特性の正確な把握が重要な課題である。そこで本研究では、焼却灰内の経時的に発生する固結力の発生メカニズムに着目した。一般廃棄物焼却灰は、生成過程での化学変化や、酸性ガスの発生抑制(中和処理)のため、炭酸カルシウム等のアルカリ剤が添加されている。このため、灰中に残留したカルシウム分や無機塩類の影響で、焼却灰は地盤環境の違いにより経時的に固結力³⁾を発揮し、またそれは高いアルカリ性を示す。このことから、焼却灰が将来置かれる地盤環境を想定し、その環境に応じた養生を行った供試体について、力学特性の把握を行った。さらに、その後の試料を用いて、溶出試験を行い、力学的及び化学的側面から固結力発生メカニズムの検討を行った結果について報告する。

表1 養生条件(養生方法の違いによる影響)

地盤環境	湿潤状態	乾燥・乾燥状態	水浸(飽和)状態
養生方法	気中養生	乾燥養生	水浸養生
養生条件	練固め度 : $D=0.9$ 初期含水比 : $w_{opt}=30\%$ 温度 : 変動(小) 供試体状態 : モールドの両端をラップで密封 養生方法 : 室温20℃、湿度90%以上の養生箱に設置	練固め度 : $D=0.9$ 初期含水比 : $w_{opt}=30\%$ 温度 : 変動(小) 供試体状態 : モールドの両端を開放 養生方法 : 室温20℃、湿度90%以上の養生箱に設置	練固め度 : $D=0.9$ 初期含水比 : $w_{opt}=30\%$ 温度 : 20℃一定 供試体状態 : 水浸 モールドの両端に穴空きの栓 養生方法 : 恒温槽の養生槽(水温20℃一定)に水浸させ、設置

2. 試料及び実験概要 実験で用いた焼却灰は、前報¹⁾と同一の清掃工場で排出されたものであり、湿式物理選別法及び重金属固定化処理⁴⁾を施していない点で異なる。供試体等の制約のため、2mm ふるい通過試料を用いた。想定した地盤環境及び供試体作製方法については前報¹⁾、試料の物理・力学特性については著者ら⁵⁾の研究で報告しているので省略する。表1に養生条件を示す。養生日数は0、7、28、56、91の5条件で行い、0、91日養生の試料に対して、溶出試験を実施した。一軸圧縮試験は、供試体($h=10\text{cm}$ 、 $\phi=5\text{cm}$)に1%/minで軸圧縮を与え、圧縮量が最大値の2/3程度減少したところで、実験を終了させた。結果の養生後含水比及び一軸圧縮強さについては、3本の供試体の平均値にて評価を行った。溶出試験は、環境庁告示46号法に準じて行った。分析は、Pbはフレイムレス原子吸光法を用い、その他の重金属はICP発光分析法を用いた。ちなみに環境基準値では Cr^{6+} が指定されているが本研究ではT-Gとして測定を行った。ここで、図-1は養生を施していない試料に対して、X線回折を行った結果である。25~30°付近において、炭酸カルシウムと石英の明確なピークが現れていることが分かる。また、エトリンガイトが生成していることにより、焼却灰は水和反応を起こす材料であることが分かった。

3. 実験結果及び考察

3.1 一軸圧縮特性

(1) 養生方法の違いによる影響 図-2に養生方法

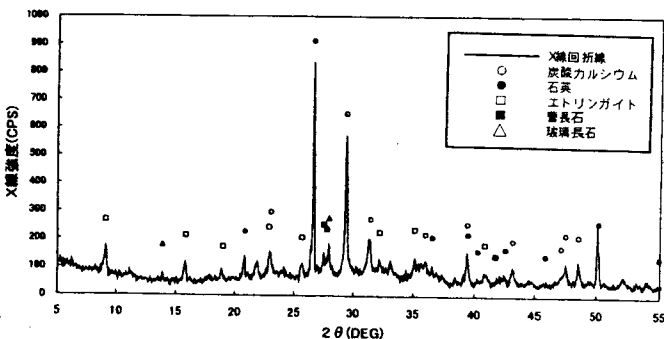


図-1 養生を施していない焼却灰のX線回折図

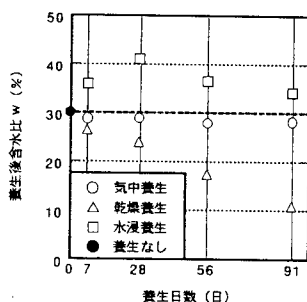


図-2 養生後の含水比と養生日数の関係

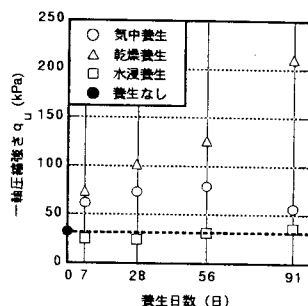


図-3 一軸圧縮強さと養生日数の関係

の違いによる養生後の試料の含水比と養生日数の関係、図3に一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。気中養生の供試体は、含水比が一定にもかかわらず、早期に強度発現が見られるが、56日養生まで増加傾向を示した後、91日養生では減少傾向に転じた。

乾燥養生の供試体は、養生日数の経過に伴い含水比は低下していき、強度は増加している。水浸養生の供試体は、水浸状態であるにもかかわらず、28日を境に含水比は低下し、強度はわずかに増加傾向に転じた。総合的に考察すると、焼却灰に含まれる無機塩類のほとんどは水溶性のものであり、それが含水比の低下に伴い析出し、構造骨格の形成に加わると考えられる。水浸養生において養生後の状況を観察したところ、モールドの栓の部分に塩類の付着が認められた。これより、水浸養生において、弱材齢では、塩類が氷溶することにより強度は減少するが、養生日数の経過に伴い塩類が析出し、それが供試体の通水を妨げ、軽度の水和反応が起こり、含水比の低下及び強度増加を引き起こしたのではないかと推測される。

②乾燥・水浸繰返しの影響 焼却灰の固結が水溶性無機塩類によるものがどうかを調べるため、図4に示す養生を行い、考察を行った。ここで、養生は乾燥と水浸を繰返し行うので、前出の乾燥養生とは若干養生方法が異なっている。水浸養生は同様である。図5に養生後の含水比と養生日数の関係、図6に一軸圧縮強さと養生日数の関係を示す。方法①と方法②の養生を比較すると、乾燥養生により得られた固結力が、水浸養生により消失していることが分かる。これは、焼却灰の固結力発生メカニズムが水溶性無機塩類の影響を強く受けていることを示している。方法②と方法③の養生を見ると、前述と同様の傾向を示しており、水浸養生期間が伸びているにも関わらず、含水比が低下し

ている。方法①と方法④の養生を比較すると、含水比の高い方法④の方が強度が大きい。このことから、焼却灰の固結力は水溶性無機塩類の析出のみならず、X線回折により示された水和反応によるエトリンガイトの生成の影響を受けることが考えられる。

3.2 溶出特性 表2に養生方法の違いによる溶出試験結果を示す。ここでこれらの結果は、各養生方法における平均的な検体の結果である。常時空気に触れた状態の乾燥養生に、エージング効果は見られなかった。含水比の増加に伴い、pHの値は大きくなっており、溶出量が若干増加する傾向が見られる。しかし、今回の結果からは、固結の有無による溶出特性の違いは見られなかったため、今後様々な条件の検体について試験を行わなければならない。

4.まとめ ①X線回折の結果から、焼却灰は水和反応を起こす材料であることが分かった。②焼却灰の固結力の発生は、水溶性無機塩類の析出に伴う、構造骨格の形成が主であると考えられる。③固結力の発生には、エトリンガイトの生成も寄与していると考えられ、今後のX線回折及びSEM観察の結果が期待される。④固結力の有無による、溶出特性の違いは見られなかった。

【謝辞】本研究は平成12年度文部省科学研究助成金（基礎研究（c）（2）課題番号126050501）、（財）前田記念工学振興財団研究助成金をもとに実施したものであり、ここに感謝の意を表します。また、本研究を行うに当たりご協力頂いた地方自治体に心より感謝いたします。

【参考文献】1) 佐藤ら；「一般廃棄物焼却灰の力学特性に及ぼす地盤環境の影響」、第4回環境地盤工学シンポジウム、pp.55～58、2001。2) 松井ら；「大阪フェニックス事業における埋立地盤の特性」、土と基礎、Vol.45、No.7、pp.17～20、1997。3) 島岡ら；「埋立廃棄物の力学特性と埋立構造物の安定性に関する実験」、土と基礎、Vol.45、No.7、pp.24～26、1997。4) 花嶋ら；「物理処理処理による一般廃棄物焼却灰の有効利用について～選別処理焼却灰の性状～」、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.410～412、1998。5) 佐藤ら；「固結メカニズムに着目した一般廃棄物焼却灰の圧縮・せん断特性」、平成13年度土木学会西部支部研究発表会投稿中

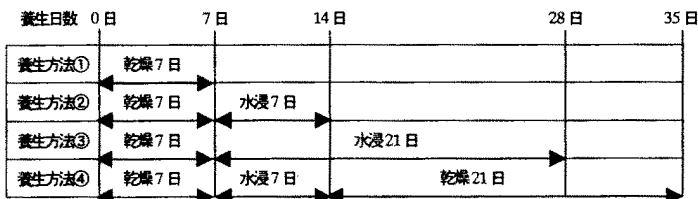


図3 乾燥・水浸繰返しの影響を考慮した養生方法

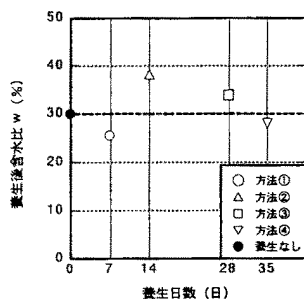


図5 養生後の含水比と養生日数の関係

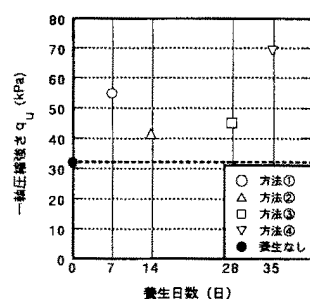


図6 一軸圧縮強さと養生日数の関係

表2 養生方法の違いによる溶出試験結果 (mg/l)

養生方法	Zn	Cd	Fe	T-Or	Pb	pH
養生なし(0日)	ND	ND	0.01	ND	0.01	9.89
気中養生(91日)	0.01	ND	0.01	ND	ND	11.13
乾燥養生(91日)	ND	ND	ND	ND	0.02	9.98
水浸養生(91日)	0.03	ND	ND	ND	0.04	11.39
養生箱内の水	0.02	ND	0.01	ND	0.01	8.07
土壌環境基準	—	0.01	—	(0.05)	0.01	
定置下環境	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	

※定置下環境以下の濃度はすべてND (Not Data) とした。
養生なしは、一軸圧縮試験の試料ではなく、試験前の乾燥処理された試料である。
養生箱の水とは、水浸養生の際に用いた水を言う。