

災害廃棄物焼却主灰再生資材の地盤材料としての適用性の検討

福岡大学工学部 学生会員 坂田智美 宮田省吾
 福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 藤川拓朗 古賀千佳嗣

1.はじめに 東日本大震災において発生した災害廃棄物の処理が今年の3月を目標に福島県を除く各地で進められている。宮城県では、災害廃棄物を減容化のために可燃性の廃棄物は中間処理施設で焼却処理されている。平成25年12月現在の進捗状況は県処理受託量137.3万tに対し、122.5万t(89.1%)の焼却処理が完了している。しかし、県内の最終処分場で焼却処理によって発生する焼却主灰の最終処分量を全て賄うことは困難である。そこで焼却主灰を再生資源化するために、選別後の焼却主灰に薬剤と水を添加させるなどの処理を行い、復興資材としての利用の検討が進められている。一方、我が国では一般廃棄物焼却主灰を積極的に建設資材として利用した事例は少なく、今後、主灰利活用の大きな事例となる。そこで本研究では、仙台市亶理地区で処理された災害廃棄物焼却主灰の材料特性について、土質実験(物理試験、修正CBR試験、一面せん断試験)から評価する。また、C市で発生している一般廃棄物焼却主灰と比較し、今後の災害廃棄物対策や自治体から発生する主灰の土木資材としての可能性について検討した結果を報告する。

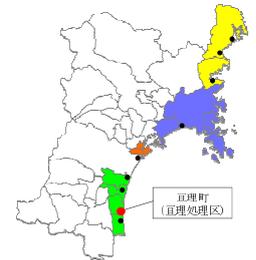


図-1 宮城県の中間処理施設位置

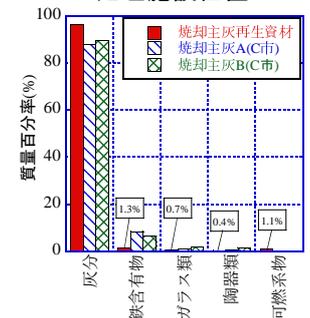


図-2 主灰の主な物理組成

2. 実験概要

2-1 焼却主灰 本研究では、宮城県仙台市亶理町の震災廃棄物仮設焼却施設(図-1)から採取した焼却主灰再生資材を13mm以下に粒度調整した試料を用いた。また、比較対象材料として2013年5月、2012年7月にC市の焼却施設から採取した一般廃棄物焼却主灰(以下、焼却主灰A、焼却主灰B)を用いた。焼却主灰再生資材はストーカ式焼却炉排出後、異物(燃え残りの木くず、金属くず等)を振動ふるいで除去し、マグネシウム固化剤を湿潤重量比で15%添加し、重金属安定処理された後、現地にて保管されたものである。図-2に主灰の主な物理組成、図-3に

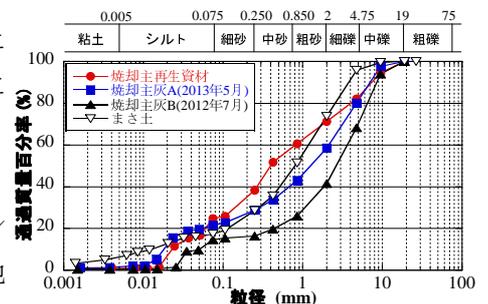


図-3 粒径加積曲線

粒径加積曲線、表-1に物理特性¹⁾を示す。また、一般的な地盤材料としてまさ土の物理特性も示している。いずれの焼却主灰とも灰分が全体の90%以上、細粒分含有率は15%~25%であることがわかる。また、環告46号法による鉛等の溶出は見られなかった。

表-1 各試料における物理特性¹⁾

試料	採取時期	粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	均等係数 U_c	曲率係数 U_c	細粒分含有率 $F_c(\%)$	最大乾燥密度 $\rho_{max}(\text{g/cm}^3)$		最適含水比 $w_{opt}(\%)$	
						A-b法	E-b法	A-b法	E-b法
焼却主灰再生資材	2013年8月	2.433	117.9	2.1	24.7	1.274	1.405	30.0	22.6
焼却主灰A	2013年5月	2.581	69.6	2.1	21.6	1.370	1.501	29.2	14.9
焼却主灰B	2012年7月	2.588	105.7	11.1	14.6	1.460	1.493	22.0	18.0
まさ土	—	2.720	166.7	2.4	17.7	1.819	—	15.3	—

2-2 実験概要 1) 路床・路盤材料としての評価

本研究では、焼却主灰再生資材の路床・路盤材としての適用性についての検討を行うため、修正CBR試験(JIS A 1211)を行った。

2) せん断特性の把握

本研究では、焼却主灰再生資材の盛土材・埋立て盛土材等としての適用性を検討するために、定圧一面せん断試験を行った。また、締固め密度を80%、90%、95%と変化させることによって、締固め密度の違いがせん断特性に及ぼす影響に着目して検討を行った。焼却主灰再生資材は土質材料と比較して、2mm以上の様々な粒径の大きなものが含まれているため、せん断箱が直径20cm、高さ7cmと大きく、最大せん断荷重及び最大垂直荷重はそれぞれ50kN、30kNまで測定可能な中型一面せん断試験装置を用いた。供試体は表-2に示す実験条件より作製した。本実験では、載荷圧力 $\sigma_v=50, 100, 150\text{kPa}$ とし、せん断速度は0.3mm/minとしている。

表-2 実験条件(定圧一面せん断試験)

試料	供試体作製方法	試料の状態	締固め密度 $D_c(\%)$	載荷圧力 (kPa)
焼却主灰再生資材	2.5kgランマー法	湿潤(最適含水比)	80, 90, 95	50, 100, 150

3. 実験結果及び考察

3-1 路床・路盤材料としての評価 図-4 に修正 CBR 試験結果、表-3 に修正 CBR 値を示す²⁾³⁾。日本道路協会⁴⁾の要求値と比較すると、焼却主灰再生資材は上・下層路盤材として適用可能であることがわかる。また、災害廃棄物の焼却主灰修正 CBR 値は C 市の一般廃棄物の焼却主灰とほぼ同値を示していることもわかる。

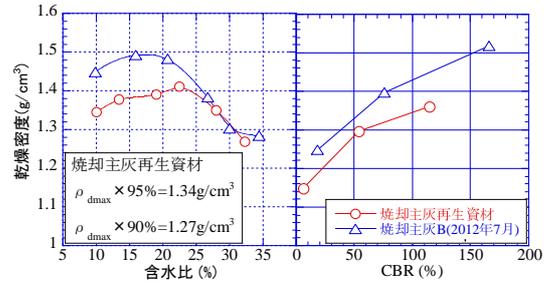


図-4 修正 CBR 試験結果

表-3 修正 CBR 値

	修正 CBR	
	締固め度 90%	締固め度 95%
焼却主灰再生資材	43	86
焼却主灰再生資材A ²⁾	44	75
焼却主灰B ³⁾	56	85
日本道路協会 ⁴⁾ (要求値)	上層路盤	80以上
	下層路盤	30以上

3-2 焼却主灰再生資材のせん断特性の比較

3-2-1 一面せん断特性

図-5 に締固め密度の異なる 3 種類($D_c=80, 90, 95\%$)における一面せん断試験結果を示す。焼却主灰再生資材の一面せん断挙動は、供試体密度の増加に伴って、せん断に伴うせん断応力が大きくなる傾向を示している。また、 $D_c=90, 95\%$ ではせん断応力がピーク強度を示した後に残留強度に至っている。図-6 に締固め密度と一面せん断試験から得られる焼却主灰再生資材の強度定数の関係について示す。締固め密度の増加に伴い、強度定数は大きくなる傾向にあることがわかる。この結果より、焼却主灰再生資材は任意の強度が望め、十分に土質材料の代替材として使用可能な材料であることが示唆される。

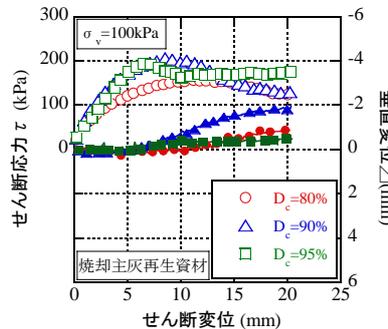


図-5 締固め密度の影響

3-2-2 一般廃棄物焼却主灰との比較

図-7 (a), (b) に垂直応力 $\sigma_v=50, 100, 150\text{kPa}$ における締固め密度 $D_c=90\%$ の焼却主灰再生資材及び焼却主灰 A の一面せん断試験結果を示す。いずれの焼却主灰においても垂直応力の増加とともに、せん断挙動に明確なピーク強度が見られなくなっていることがわかる。また、垂直変位量も垂直応力の増加とともに小さくなっている。これは灰の持つ破碎性と圧縮性が実験結果に表れた結果といえる。図-8 に $D_c=90\%$ における各主灰と比較材料としてのまさ土の最大せん断応力と垂直応力 σ_v との関係を示す。いずれの焼却主灰においても内部摩擦角が 50° 以上あり、まさ土より大きな強度定数を示している。また、可燃性の災害廃棄物及び一般廃棄物を焼却した主灰はせん断特性がほぼ同等であることもわかる。

4. まとめ

1) 焼却主灰再生資材は採取時期の影響に関係なく下層路盤材以上の路盤材への有効利用ができる可能性がある。2) 焼却主灰再生資材は、任意の強度が望め土質材料として使用可能な材料であることが示唆される。また、物理組成の異なる一般廃棄物焼却主灰と同等のせん断特性を持つことが明らかになった。焼却主灰には焼却時に石炭が混入しているため、時間の経過とともに固化する自硬性を有していることが知られている。今後はこの自硬性を考慮した検討が必要である。

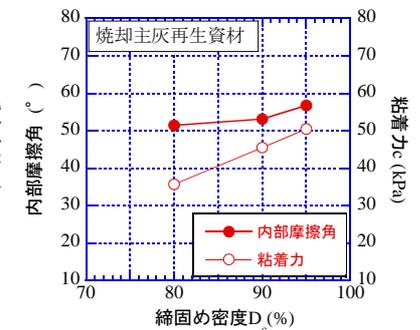
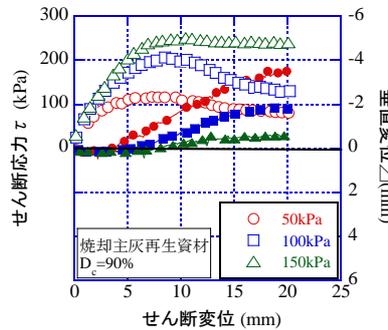
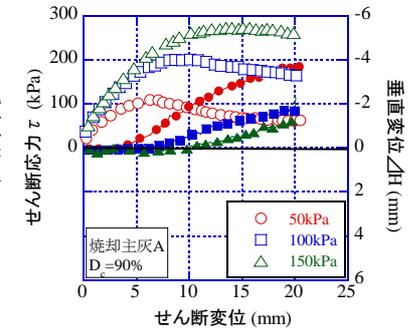


図-6 締固め密度と強度定数の関係



(a) 焼却主灰再生資材



(b) 一般廃棄物焼却主灰

図-7 一面せん断試験

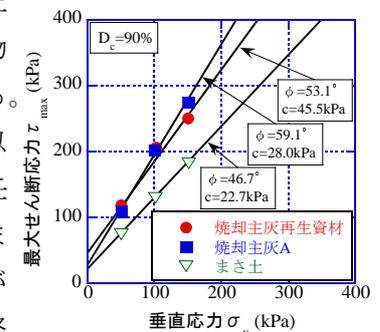


図-8 最大せん断応力と
載荷応力の関係

【参考文献】1) 宮田ら：一般廃棄物焼却灰の地盤材料としての有効利用の検討，第 10 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp191-194，2013. 2) 倉倉ら：災害廃棄物焼却主灰を原料とする再生資材の地盤材料利用を対象とした物性評価スキームの提案，第 10 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp.419-426，2013. 3) 隈本ら：解砕処理焼却灰の地盤材料としての適用性の検討，平成 24 年度土木学会西部支部，pp.529-530，2012. 4) 社団法人 地盤工学会：土質試験の方法と解説，p.280，2000.