

中型一面せん断試験装置を用いた一般廃棄物焼却灰のせん断特性

福岡大学工学部 学生会員 ○前原圭邦
 福岡大学工学部 正 会 員 佐藤研一 山田正太郎 藤川拓朗

1.はじめに

日本における一般廃棄物は、そのほとんどが焼却処分され、最終処分場に廃棄されている。新しい最終処分場の建設が困難な状況の中、処分場の延命化を考える上で、欧米と同様に焼却灰を地盤材料として用いる事は重要な課題である。焼却灰を地盤材料として用いる場合、材料の物理・力学特性を正確に捉える事は、必要不可欠である。そこで本研究では、焼却灰のせん断特性を調べるために、粒径範囲が広い燃え殻の特性を考えた、新しい中型一面せん断試験装置を製作し、検討を行った。報告では、砂と 2 種類の締固めた焼却灰の圧縮せん断特性について考察する。

2.実験概要

2.1 実験に用いた試料 実験は、13mm以下に粒度調整されたF市焼却灰（清掃工場から採取）と 6mm以下に粒度調整された英国焼却灰（イギリス北部焼却灰リサイクル工場から採取）を用いた。また、豊浦標準砂を用い、新しく製作した一面せん断試験装置の性能確認と焼却灰との比較検討を行った。

表-1 物理的性質^{1),2)}

試料	粒子密度 ρ_s	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	最適含水比 w_{opt}
F市焼却灰 (13mm以下)	2.30	1.58	18.0
英国焼却灰 (2mm以下)	2.70	1.52	20.0
豊浦砂	2.63	$e_{max}=0.978$ $e_{min}=0.640$	-

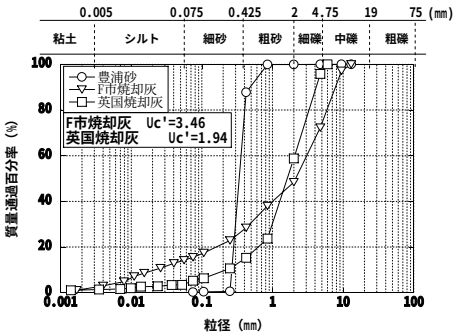


図-1 材料の粒径分布

2.2 中型一面せん断試験装置 図-2 に中型一面せん断試験装置の概略図を示す。この装置は、焼却灰のような粒径の大きな試料に対応できるように、せん断箱の寸法は直径 20cm、高さ 7cmとなっている。また、せん断箱は下部可動型かつ周りには供試体を水浸させることができるように水槽の設置がなされている。最大せん断荷重及び最大垂直荷重はそれぞれ 50kN、30kNまで計測可能で、垂直荷重は上下のロードセルによって反力板及び荷重板側において計測可能である。荷重及び変位はコンピューターによる自動計測可能といった特徴を有している。

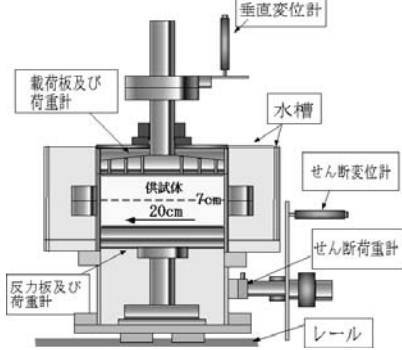


図-2 中型一面せん断試験装置

2.3 実験条件 実験条件を表-2 に示す。供試体作成方法は、砂においては空中落下法、F市焼却灰は 2.5kgランマー法、英国焼却灰については試料の量的な問題から、タンピング法により密度調整を行った。ただし、F市焼却灰のD=0.74 については 2.5kgランマー法での試料作成が困難であったため、タンピング法で行った。実験は、定圧一面せん断試験法で行い、せん断時の鉛直荷重の荷重方法は反力板荷重一定圧法³⁾で行った。供試体初期密度の管理は、供試体密度と締固め試験の最大乾燥密度 γ_{dmax} との比を用いて、締固め度D (γ_d / γ_{dmax}) により行った。また、豊浦砂については相対密度Drによって行っている。湿潤状態における焼却灰

表-2 実験条件

試料	供試体作成方法	試料の状態	D	Dr(%)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)
豊浦砂	空中落下法	乾燥	0.88	40	0	1.41
			0.91	60	0	1.46
			0.96	80	0	1.55
			0.98	92	0	1.58
		飽和	0.88	37	0	1.43
			0.91	60	0	1.46
			0.96	83	0	1.55
			0.92	-	18.0	1.17
福岡市焼却灰	2.5kgランマー法	湿潤	0.85	-	17.6	1.36
			0.92	-	18.9	1.46
			0.85	-	17.2	1.36
		飽和	0.92	-	17.5	1.46
			0.74	-	20.8	1.13
			0.85	-	19.8	1.29
英国焼却灰	タンピング法	湿潤	0.92	-	20.8	1.40
			0.74	-	20.2	1.13
		飽和	0.85	-	20.4	1.29
			0.85	-	20.4	1.29

の含水比は、それぞれ最適含水比（F市焼却灰 w_{opt} =18%、英国焼却灰 w_{opt} =20%）に調整している。また、載荷圧力 σ_v はそれぞれ、50kPa、100kPa、200kPaでそれぞれステップ載荷により所定の圧密を行った。ここで圧縮終了後の供試体密度をDcで表す。また、全てせん断速度は、0.3mm/minとした。

3. 実験結果及び考察

3.1 砂のせん断特性 図-3 (a)、(b) に $\sigma_v=50\text{kPa}$ における 3 種類の密度で行った豊浦砂のせん断試験結果を示す。砂のせん断挙動は供試体密度の影響を受け、密度の増加に伴い、明確なピーク強度が現れている。体積変化は、せん断直後に収縮傾向を示すが、ピーク強度を示した後、膨張傾向を示していることが分かる。その傾向は供試体密度の増加に伴い顕著になっている。

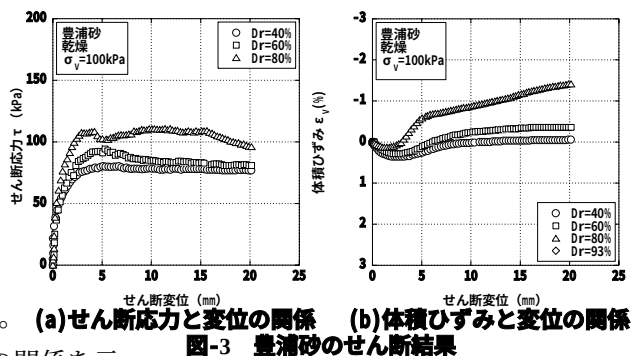


図-4 に供試体密度と最大せん断応力時における内部摩擦角との関係を示す。

豊浦砂における内部摩擦角は供試体密度の増加に伴い大きくなっている。しかしながら、求められた内部摩擦角はせん断箱内に生じる周面摩擦力の影響を受け、他機関が一面せん断試験機で求めた値³⁾より若干大きな値を示していることが分かる。

3.2 焼却灰のせん断特性 図-5(a)、(b)にF市及び英国焼却灰における $\sigma_v=50\text{kPa}$ の密度の違いによるせん断変位とせん断応力の関係を示す。F市焼却灰は密度の増加に伴い、明確なピーク強度が現れる。一方、英国焼却灰は密度が増加しているにもかかわらずせん断強度に明確なピークを示さず、残留強度を示している。

これはタンピング法による、供試体作成時の締固めエネルギーの違いが、結果に現れたと考えられる。図-6(a)、(b)にF市及び英国焼却灰のせん断中の体積変化を示す。焼却灰も供試体の密度増加に伴い、著しい正のダイレイタンスを示している。また、 $D=0.84$ と $D=0.92$ はほぼ同じ傾向を示しており、豊浦砂と異なった挙動を示している。これは、圧密による影響と、砂に比べ、粒径分布が良いため、良く締る焼却灰の特性だと考えられる。図-7 に焼却灰における供試体密度と内部摩擦角及び粘着力の関係を示す。焼却灰の内部摩擦角は 50° を越えており、砂と比べ大きな値を示している。これらの値も摩擦力の影響を考えると、 40° 後半と考えられる。また、密度増加による強度増加は、粘着力成分の増加による事が分かる。砂と同様に供試体密度の増加に伴い、内部摩擦角及び粘着力は大きくなる。

3.3 焼却灰の違いによる影響 F市及び英国焼却灰の $D=0.74$ は、同一締固めエネルギーで供試体を作成している。焼却灰の違いによるせん断挙動は、ピーク強度に若干の違いがでていることが分かる。これは、F市焼却灰の方が粒径が大きいことが、同一ひずみにおけるせん断強度の増加に現れたと考えられる。

従って、焼却灰の有効利用においては、粒径と締固め方法の管理が必要であることが示される。また、英国ではすでにこの焼却灰が、有効利用されていることを考えると、F市焼却灰のせん断強度は、英国焼却灰より大きいので、有害物質の制御を行えば、有効利用の可能性があると考えられる。

4. まとめ 1)新しく製作した中型一面せん断試験装置において、豊浦砂の内部摩擦角が $38^\circ \sim 45^\circ$ となり、有用性が確認された。2)焼却灰のせん断特性は締固めエネルギー、密度と粒径に大きく影響を受けることが明らかになった。また、密度増加に伴う、せん断強度の増加は、粘着力成分として現れる事が明らかになった。3)焼却灰の強度定数から考えると、地盤材料として十分有効利用できる材料であると示された。

(参考文献) 1) 佐藤研一, M.C.R. Davies : Bearing capacity of shallow foundation in incineration bottom ash from municipal waste, Proc. of BGA International Conference Foundation, pp.787-795. 2) 古賀千佳嗣ら: 一般廃棄物の地盤材料としての評価に関する研究, 第 59 回土木学会年次学術講演会概要集, 第 3 部門, pp591-592, 2004. 3) 社団法人地盤工学会, 土質試験の方法と解説, pp563-581, 2000.

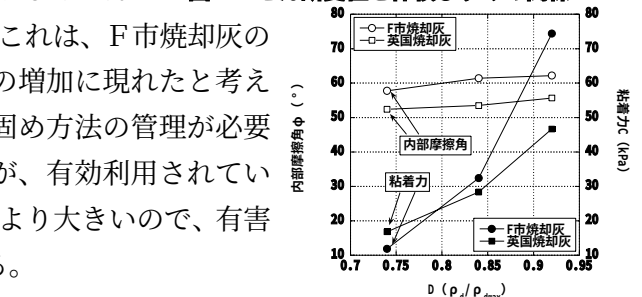
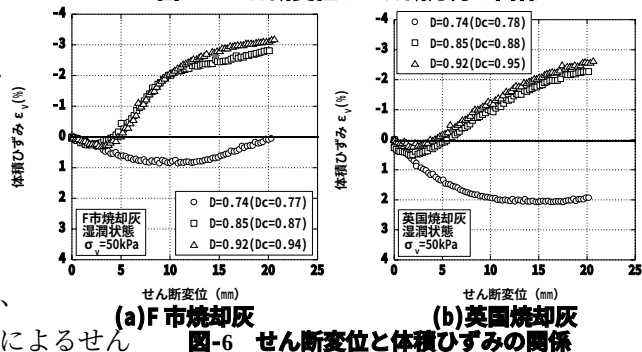
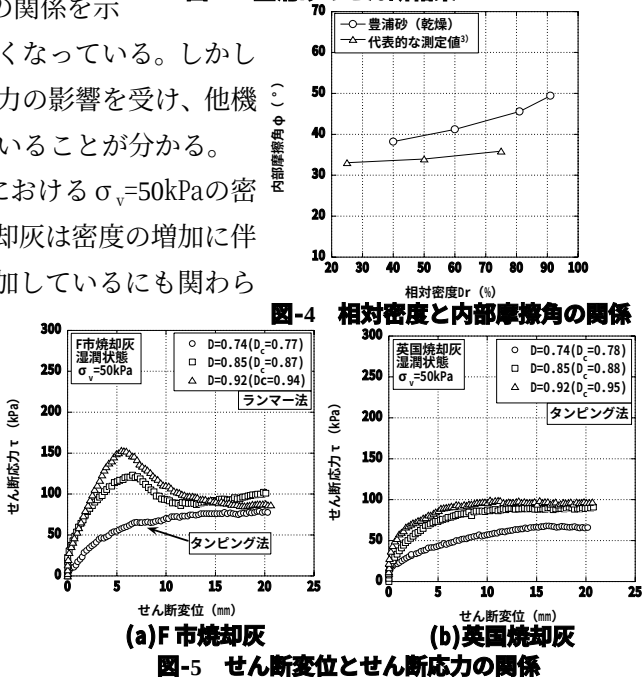


図-7 供試体密度と内部摩擦角の関係

