

産業廃棄物の固化による建設材料としての有効利用

京都大学工学部 嘉門雅史
 京都大学大学院 Supakij Nontananandh
 同上 ○勝見 武

1. まえがき

近年経済の成長に伴い、廃棄物の発生は量的に増加すると共に質的にも複雑化している。現在では技術の向上により廃棄物の再利用、再資源化率は約50%に達しているが、処分地の減少等、廃棄物の再利用に関する問題は多く、これらの廃棄物を適当に固化処理して有効利用に供することが望まれる。本研究では産業廃棄物としてステンレススラグ、製紙汚泥焼却灰を取り上げ、一軸圧縮強度の面から改良効果を検討した。

2. 試料及び実験方法

本研究で用いた試料は、産業廃棄物としてステンレススラグ（ステンレス鋼を製鋼する際にその還元期において排出される電気炉スラグ）と製紙汚泥焼却灰（製紙工場から排出された汚泥を焼却処理したもの）、および海域ヘドロ（大阪港内産）である。これらの試料の物理定数を表1に、化学成分を表2に示す。ヘドロについては、表3に示す配合でステンレススラグを含む固化材を6、9、12、15%添加、混合後、一軸圧縮試験を行った。製紙汚泥焼却灰については一日材令一軸圧縮試験（予備試験）を行って、製紙汚泥焼却灰との質量比で70%の水を加え、石灰系CAS固化材を後出の配合で混合することの効果を確認した後、本実験を行った。なお、供試体の成形は土質工学会安定処理土試料作成方法に準じており、締め固めを行わないものである。

3. 結果と考察

図1(a)(b)はセメント、セメント系固化材#46及びステンレススラグを用いて固化処理したヘドロの養生の経過に対する強度変化を示している。同じ添化率ではSHCの強度はHCE、HRに比較して大きく、セメントの20%程度をステンレススラグに置き換えれば、セメントのみを用いる場合よりも非常に良好な固化効果が得られることがわかる。図(b)にステンレススラグとセメント系固化材#46の混合割合を変えた3種類の供試体について示した。スラグの割合が80%になると強度がほとんど発現せず有効利用に供することができない。また、スラグの割合が50%の場合は添加率が10%未満で強度は低く、養生の経過にともなう強度の増加も少ないが、ヘドロの原位置固化処理程度への利用が可能であろう。

図2は図1の全ての供試体についての一軸圧縮強度と変形係数の関係を示している。一軸圧縮強度と変形係数の間には線形関係がみだせ、強度の増加にともなって圧縮変形が減少していることを示す。マークは固化材の種類で分類していないが、固化材の種類が異なっても一軸圧縮強度と変形係数の関係には

表1 試料の物理定数

項目	試料	ステンレススラグ	ヘドロ	製紙汚泥焼却灰	カオリン粘土
比重		3.216	2.739	2.513	2.631
自然含水比 (%)		—	91~106	—	—
液性限界 (%)		—	110.6	—	84.7
塑性限界 (%)		—	35.6	—	35.1
塑性指数 (%)		—	75.0	—	49.6
最適含水比 (%)		—	—	60.0	—
最大乾燥密度 (g/cm ³)		—	—	0.91	—
砂分 (%)		23.2	5.5	31.2	0.0
シルト分 (%)		76.8	48.8	65.0	15.8
粘土分 (%)		—	45.9	3.8	84.2
ブレン値 (cm ² /g)		1875	11725	1650	—
強度減量 (%)		—	9.25	0.31	—

表2 試料の化学成分

化学成分	試料	ステンレススラグ	ヘドロ	製紙汚泥焼却灰
SiO ₂		14.6	60.1	44.4
Al ₂ O ₃		13.9	20.7	17.2
CaO		35.2	1.4	11.0
Fe ₂ O ₃		2.0	6.3	0.6
MgO		18.6	—	—
S		0.5	0.9	0.4

- 1) 単位は、%。
 2) ヘドロは、蛍光X線定量分析による。
 3) 製紙汚泥焼却灰は、原子吸光法による。

表3 固化材の配合

番号	固化材	セメント (%)	ステンレススラグ (%)	CAS材 #46 (%)
HCE		100	—	—
SHC		80	20	—
HR		—	20	80
HR'		—	50	50
HR''		—	80	20

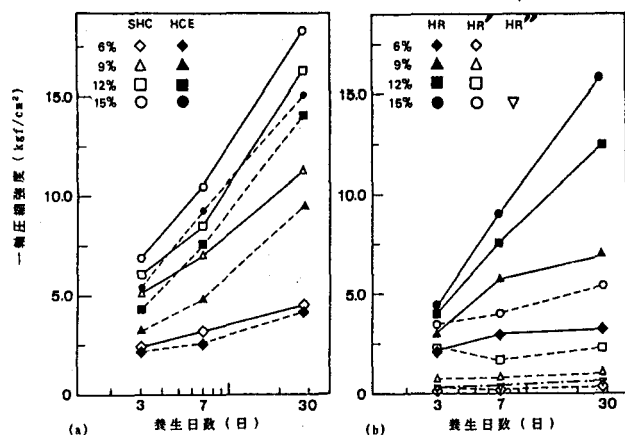


図1 固化処理したヘドロの養生日数と一軸圧縮強度の関係

(a)セメントを用いた場合

(b)セメント系固化材#46を用いた場合

差異が認められない。したがって、ステンレススラグを含む固化材を用いて固化処理した場合、セメントのみを用いた場合と同様の処理効果が期待できると考えられる。

図3にはCAS材によって固化処理した製紙汚泥焼却灰の養生の経過に対する強度変化を示している。白いマークは混合、成形時のコンシステンシーを得るために製紙汚泥焼却灰にカオリン粘土を加えてそれをCAS材で固化したものである。用いたカオリン粘土の物理定数は表1に示した。カオリン粘土を添加したものをしないものと比較すると、材令の初期においては強度は劣るが、長期の材令に至っては同等あるいはそれ以上の強度を得ている。粘土分の非常に少ない製紙汚泥焼却灰にカオリン粘土を5%添加することによって材料の粒度を改善しボゾラン反応を継続できたと考えられる。路床土だけでなく、下層路盤等に有効利用が可能である。

図4には図3と同じ供試体について一軸圧縮強度と変形係数の関係を示している。一軸圧縮強度と変形係数の間には強い直線関係があり、固化処理することによって強度特性、変形特性の双方が改善されている。また、カオリン粘土を添加したものとしないものを比較すると、同じ一軸圧縮強度に対して変形係数はカオリン粘土を添加したものの方が大きい。以上、変形特性の面からみても粘土鉱物を添加した方が優れた処理効果が期待できる。

4. あとがき

上述のように、ステンレススラグはセメント等と共用することによって土質安定材として、製紙汚泥焼却灰は路床材等として有効利用が可能であるという結論に達した。しかし、ステンレススラグの吸水膨張特性等、適用に際しては慎重な検討を要する問題も残されており、今後解明していく必要があると思われる。

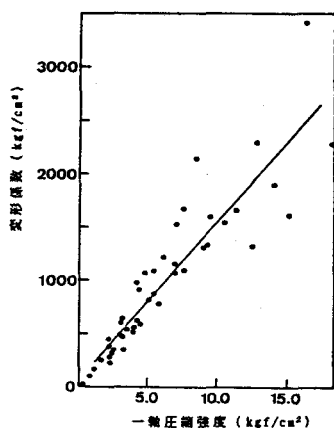


図2 固化処理したヘドロの一軸圧縮強度と変形係数の関係

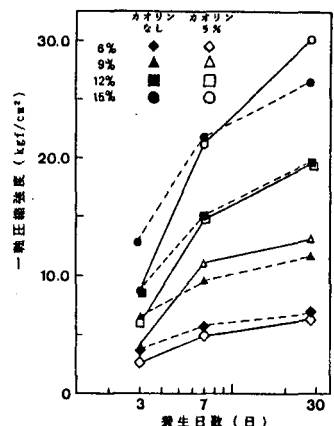


図3 CAS材No. 4により固化処理した製紙汚泥焼却灰の養生日数と一軸圧縮強度の関係

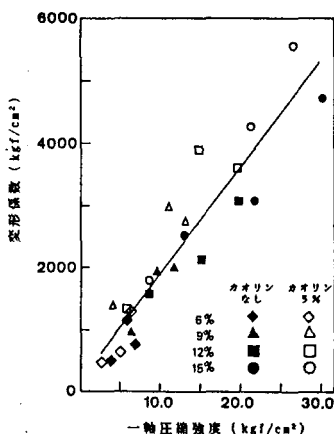


図4 CAS材No. 4により固化処理した製紙汚泥焼却灰の一軸圧縮強度と変形係数の関係