

(12) 高分子系汚泥焼却灰の土質改良材としての適用性 Applicability of Polymer-added Sludge Ash as a Soil Conditioner

松川 匡利*・三羽 宏明*・長野 健示*

Masatoshi MATSUKAWA* Hiroake SAMPA* Kenji NAGANO*

ABSTRACT: Regarding the effective use of sewage sludge ash, the lime-added sludge ash, which generates from dewatered sludge using lime, is suitable as a soil conditioner because of the hardening action of calcium oxide. However, it has been considered that the polymer-added sludge ash, which generates from dewatered sludge employing polymer coagulant, cannot apply a soil conditioner because of its low content of calcium oxide.

We tested the mixture of these two types of sludge ashes as a soil conditioning additive. The experiment indicated that this additive improved the consistency, the compaction dry density and the CBR value of the weak-strength soil. High ability on water retention of polymer-added sludge ash and the synergic effect of both ashes causes this increase of soil strength. This result confirms the applicability of polymer-added sludge ash as a soil conditioner, thereby expanding the prospect for wider use of sewage sludge ashes.

KEYWORDS: Sewage Sludge Ash, Polymer-added Sludge Ash, Soil Conditioning Additive, Conditioned Soil

1. はじめに

近年、埋立適地の減少や自然環境保護に対する関心の高まりから下水道の普及とともに増大し続ける下水汚泥の減量・減容化の必要性が叫ばれている。そして発生汚泥の約63%が焼却・溶融され、これらから発生する焼却灰・溶融スラグなどを建設資材として有効利用する調査・研究が各方面で行われている^{1) 2) 3) 4) 5)}。一方、下水道管渠布設工事などに伴って発生する掘削残土などの建設廃棄物も同様に埋立処分に困窮しているのが現状である。こうした背景の中、その両者を解決する方策として、名古屋市下水道局では建設省土木研究所と共同で下水汚泥焼却灰を掘削残土の土質改良材として利用する調査研究に取り組んできた。その成果を平成2年に「下水汚泥焼却灰の土質改良材としての利用マニュアル(案)」⁶⁾にまとめるなど、汚泥焼却灰の土質改良材としての品質評価方法や技術的な標準を提案してきた^{7) 8)}。

しかしながら、この対象となる汚泥焼却灰は焼却前の脱水工程で消石灰、塩化第二鉄等の凝集剤を添加して得られる石灰系焼却灰と呼ばれるものに限られ、脱水時に凝集剤として高分子系凝集剤を添加した場合に得られる高分子系焼却灰は適用の対象外とされてきた⁹⁾。これは焼却灰中に存在し、水和・発熱反応や、その後起こる炭酸化反応とボゾラン反応によって土質の改良・安定効果をもたらす主因のCaO含有量が石灰焼却灰に比べて極めて少なく、自硬性が少ないことに起因している^{9) 10) 11)}。一般的に土質改良方法は含水、粒度調整などの物理的改良方法と化学的安定効果による方法があるが、本研究に用いた高分子系焼却灰は高い保水性を有しており、物理的改良による土の含水比調整効果が大きいことが予想される。そこで本研究は、より汎用性の高い汚泥焼却灰の有効利用を目的として、石灰系、高分子系、両種の焼却灰を組み合わせ用いた場合の土質改良添加材としての評価と適用性について調査したものである。

* 名古屋市下水道局 (Sewerage Bureau, City of Nagoya)

2. 汚泥焼却灰の諸特性

本研究で用いた汚泥焼却灰は名古屋市下水道局山崎処理場で発生した高分子系焼却灰と宝神処理場で発生した石灰系焼却灰の2種類である。高分子系焼却灰については、調質剤として高分子系凝集剤を約0.5%添加したものをベルトプレスで脱水（含水率約78%）し、流動床炉において焼却したものであり、石灰系焼却灰は調質剤として消石灰を約35%、塩化第二鉄を約9%添加したものをフィルタープレスで脱水（含水率約63%）し、堅型多段炉において焼却したものである。

2. 1 物理的特性

1991年8月から1993年3月の間で採取した高分子系焼却灰8試料と1992年8月に採取した石灰系焼却灰1試料の諸特性を土質試験法に準じて調べた。その結果をTable 1に示す。

Table 1 Physical Properties of Polymer-added Sludge Ash

Physical Properties	Sampling No. Date	Polymer-added Sludge Ash								Lime-added Sludge Ash
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	
		'91. 8. 8	'91. 10. 30	'92. 3. 10	'92. 8. 4	'92. 10. 30	'92. 12. 16	'93. 1. 29	'93. 3. 16	
Coarse Sand Fraction 0.425~2.0 mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	53.1
Fine Sand Fraction 0.075~0.425		10.8	16.2	3.0	5.8	8.0	6.1	6.8	4.3	26.2
Silt Fraction 0.005~0.075		81.7	76.8	88.0	83.2	71.7	73.8	70.3	69.5	4.4
Clay Fraction 0.005 Under		7.5	7.0	9.0	11.0	20.3	20.0	22.9	26.2	11.0
Coefficient of Uniformity (Uc)		4.3	4.0	3.0	6.0	5.3	5.1	5.8	9.0	28.8
Water Content (%)		0.05	0.08	0.05	0.06	0.08	0.07	0.07	0.05	0.08
pH Value		6.57	5.74	6.59	6.40	6.40	6.71	7.22	7.00	10.84
Plasticity Index (PI)		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Specific Gravity	JIS R 5201	2.566	2.592	2.595	2.564	2.521	2.584	2.589	2.591	3.027
	JIS A 1202	2.661	2.685	2.681	2.658	2.669	2.665	2.647	2.665	2.967
Optimum Moisture Content (%)		64.0	65.0	59.0	58.0	60.0	55.0	53.5	53.0	42.0
Maximum Dry Density (g/cm ³)		0.884	0.828	0.886	0.932	0.878	0.892	0.946	0.948	0.984

NP ; Non Plastic

Table 1 より、採取（搬出）直後の含水比は何れも0.1%未満のほぼ絶乾状態にあるが、焼却灰は吸湿性に富んだ材質であるため、保管等により含水比が変化することが予想される。焼却灰のpH値は石灰系焼却灰が10以上の高アルカリを示すが、高分子系はCaO含有量の差から5.74~7.22（平均6.58）の弱酸性または中性を示した。比重は試験法の違いにより異なった値を示し、石灰系ではCaOが水和反応によって体積膨張し比重は低下するが、高分子系の場合は水和による体積膨張の比重低下がほとんど無いようである。水和後の比重は石灰系が2.97と高い値を示したのに対し、高分子系では主成分が一般土と同様に二酸化ケイ素（SiO₂）、酸化アルミニウム（Al₂O₃）であるため比重2.65程度を示した。粒度組成は石灰系焼却灰が0.425mm以上の粒子が50%以上の粗粒土であるのに対し、高分子系焼却灰は最大粒径が0.425mm程度で細粒分（75μm未満）が85%以上の均等粒度（Uc<10）を呈している。また高分子系の細粒分の大部分がシルト分（5~75μm）となつてはいるが、No.4とNo.5の間で粘土分（5μm以下）の比率が増加変動している傾向も見られる。粒度組成と塑性指数から土の統一分類法に照合すると石灰系はシルト質砂、高分子系はシルトに分類されるが、粘土分の特性を調べる液・塑性限界試験では、通常のシルトより保水性が高く、高含水状態でも成形不可能であるため塑性指数はNP（Non-plastic）となり、一般土質でいうシルトや粘土とは異なり土質的には特殊土として扱う必要があると考える。

2. 2 力学的特性

一般土質と同様に突固めによる締固め試験を行うと、Table 1に示したような最適含水比と最大乾燥密度が得られた。高分子系の最適含水比は53~65%、最大乾燥密度は0.83~0.95g/cm³と石灰系に比べて最適含水比が10~20%高く、最大乾燥密度は逆に0.05~0.15g/cm³低い状態にある。また、最適含水比が低下す

るにつれ、最大乾燥密度が大きくなる傾向にある。最適含水比付近とその前後±10%に加水調整した高分子焼却灰単体（No.4）の非水浸CBRと4日水浸CBR及び吸水膨張試験を行った結果をTable 2 に示す。

Table 2 Results of Test for CBR of Polymer-added Sludge Ash

Water Content		45 %	55 %	65 %	Notes
Compaction Dry Density (g/cm ³)		0.851	0.923	0.904	Compaction = 3 Layers 67 Blows
Expansion Ratio by Water Absorption (%)		3.00	2.35	1.88	No. 4 Sample Wopt=58.0 γ _{dmax} =0.932 Test Method for Compaction = E. b
C B R (%)	non immersion	14.2	23.4	3.6	
	4 Days immersion	2.4	6.9	1.6	
Water Content After immersion (%)		79.1	71.7	68.0	

供試体作成直後（非水浸）のCBRは、最適含水比より低い含水比においては10～20%の比較的高いCBR値を得ることができるが、最適含水比を超えると3.6 %と急激にCBR値は低下する。また水浸による吸水膨張比は非常に大きく、石灰系焼却灰のように自硬性がないため、CBR値は極端に低下し、2～7 %程度となることから、単味での利用は困難と考えられる。

2. 3 化学的特性

本研究に用いた石灰系焼却灰と高分子系焼却灰（No.4）の化学的成分をTable 3 に示す。高分子系焼却灰の酸化カルシウム（CaO）含有率は5.5 %で石灰系焼却灰の7分の1程度であり、逆に二酸化ケイ素（SiO₂）と酸化アルミニウム（Al₂O₃）が2倍の成分率である。さらに五酸化りん（P₂O₅）が12%程度と多く、りん酸カルシウムとなつていられると思われる。また石灰系では三酸化イオウ（SO₃）が5.6%含まれており、酸化カルシウムも多いところから一部に石膏を生じていると思われる。

Table 3 Chemical Composition of Sludge Ash

Chemical Composition		Polymer-Added Sluge Ash	Lime-Added Sluge Ash
Si O ₂	%	42.14	22.21
Ca O	%	5.49	38.81
Al ₂ O ₃	%	17.67	8.06
P ₂ O ₅	%	12.03	5.16
Fe ₂ O ₃	%	11.39	14.72
Mg O	%	2.13	1.66
Na ₂ O	%	1.23	0.39
K ₂ O	%	1.56	0.39
SO ₃	%	0.77	5.60
Ig. loss	%	2.31	2.68

3. 焼却灰の混合による土質改良特性

名古屋市内で発生した粘性土と砂質土の2土質を用い、石灰系焼却灰と高分子系焼却灰（No.4）をTable 4 に示した混合比と添加率（乾燥重量比）で配合し、物理的特性、強度特性の各種試験を行った。

Table 4 Mix Ratio in Additives Addition and the Ratio of Sludge Ash for Testing Soil

Mix Ratio in Additives	Ratio of Sludge Ash										Notes
	5 %		10 %		15 %		20 %		25 %		
1 : 0	5.0	0.0	10.0	0.0	15.0	0.0	20.0	0.0	—	—	Cohesive Soil 5 - 15 %
1 : 1	2.5	2.5	5.0	5.0	7.5	7.5	10.0	10.0	—	—	
1 : 2	1.7	3.3	3.3	6.7	5.0	10.0	6.7	13.3	—	—	Sandy Soil 5 - 20 %
1 : 3	1.3	3.8	2.5	7.5	3.8	11.2	5.0	15.0	—	—	
1 : 4	1.0	4.0	2.0	8.0	3.0	12.0	—	—	5.0	20.0	Cohesive Soil
0 : 1	0.0	5.0	0.0	10.0	0.0	15.0	0.0	20.0	—	—	Sandy Soil

Left; Lime-Added Sluge Ash, Right; Polymer-Added Sluge Ash

3. 1 試験対象土の土質性状

本試験に用いた対象土質2種の土質性状をTable 5 に示す。

Table 5 Soil Quality for Testing Soil (1)

Object Soil	Water Content (%)	p H	Consistency			Design C B R (%)	Grain Size Distribution (%)			
			LL (%)	PL (%)	PI		Gravel	Coarse Sand	Fine Sand	Fine
No. A	30.2	5.30	50.7	24.9	25.8	1.3	13.2	21.1	19.4	46.3
No. B	18.2	6.74	—	—	N.P	1.0	12.7	42.1	34.8	10.4

Table 5 から両土質ともC B R値は2%未満であり、そのままでは埋戻し材として不適の要改良土と判定されるものである。試料No. Aは粘土質砂(SC)に分類されるが、細粒分が46%と多いうえ、液性限界が50%以上であるため粘性土として取り扱った。試料No. B はシルト混じり砂(S-M)に分類され比較的良質土と思われたが、自然含水比がこの土質にとっては非常に高い状態であり要改良土と判断し以後、砂質土として取り扱った。

3. 2 物理的改良特性

(A) 含水比の改良

焼却灰添加率と含水比の変化をFig.1 に示す。

Fig.1 から石灰系、高分子系ともに絶乾状態であ

るため、土との混合においては添加率に比例して含水比は顕著な低下を示す。石灰系と高分子系の割合との関係は、砂質土においては顕著な差が見られないものの、粘性土においては、高分子系の混合割合の増加とともに含水比の低下が大きい傾向が見られた。これは、石灰系に比べ高分子系が微細粒で比表面積が大きいため、混合時に土の吸着水の脱水が起こり易く蒸発したものと推定する。含水比の低下は高含水掘削土の締固め特性を改善し、強度増加につながる重要な要素の一つとなり、高分子系の改良材としての適用メリットの一つと考える。反面、Fig.2 に示すようにC B R供試体の水浸後の増加含水比を見ると、両土質とも焼却灰の添加率の増加に比例して水浸後の供試体含水比が増大する傾向も見られた。

(B) 粒度の改良

焼却灰添加後の粒度は両土質とも原料土と焼却灰の合成粒度となるが、生石灰添加時の吸水によって見られるような粘土粒子の団粒化(凝集化作用)は確認されなかった。また、石灰系は砂粒土、高分子系は細粒土であるため、Fig.3 に示すように石灰系焼却灰単味の場合、改良後は粗粒化するが、高分子系焼却灰の割合が増加するにつれ細粒化(75 μ m 通過量の増加)する傾向にある。

一般的に土の強度は粗粒土>細粒土であるため、高分子系の添加増大

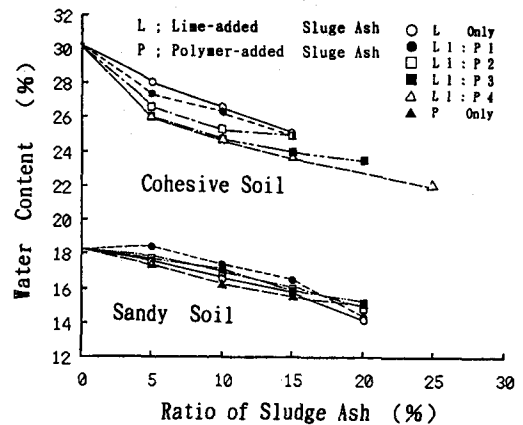


Fig.1 Change of Water Content

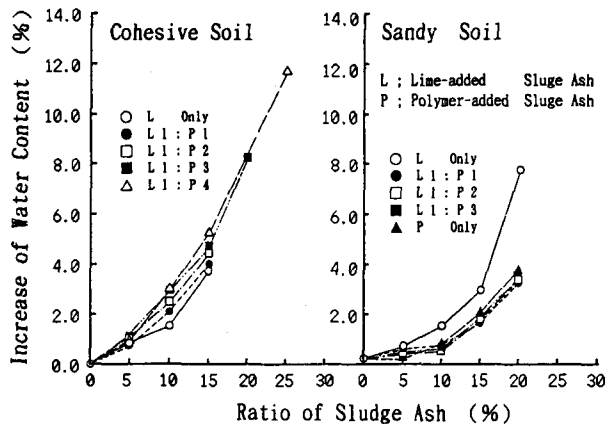


Fig.2 Change of Increase of Water Content by Immersion

は粒度面からすればマイナス要因に働くと考えられる。

(C) コンシステンシーの改良

Fig.4, Fig.5 に粘性土についてのコンシステンシーの変化を示す。焼却灰添加率の増加につれて塑性限界が大幅に上昇する傾向を示したため、塑性指数が大きく低下した。この傾向は高分子系焼却灰の混合割合が増加するにつれ効果は大きく、細粒土の硬軟や安定の度合いを示すコンシステンシー指数も大きく変化して改良土は安定化する傾向を示している。

土のコンシステンシーは細粒土の工学的な性質と密接に関係し、塑性指数の低下は含水比増加にもとづく流動化を示さない範囲が広がった事を意味し、高分子系焼却灰が粘性土の改良に適用できる可能性を示している。

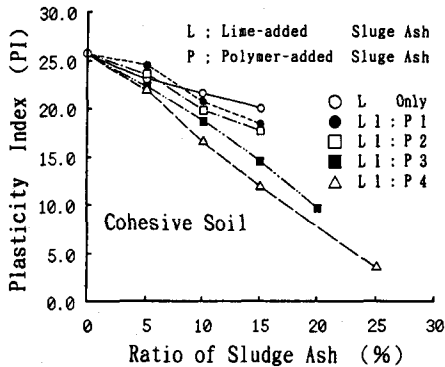


Fig.4 Change of Plasticity Index (Cohesive Soil)

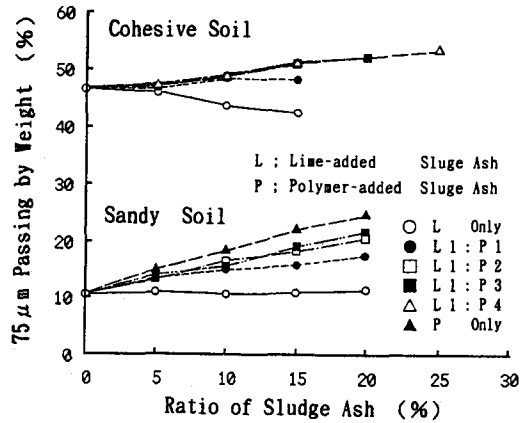


Fig.3 Change of 75μm Passing by Weight

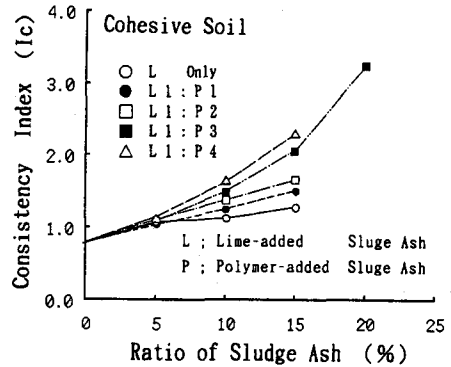


Fig.5 Change of Consistency Index (Cohesive Soil)

(D) pH値の変化

改良後のpH値の変化をFig.6に示す。Fig.6から焼却灰添加率の増加とともに両土質ともpH値は上昇傾向を示す。これは高アルカリの石灰系焼却灰の実質添加率の増加によるものであるが、弱酸性または中性の高分子系焼却灰の混合割合が増すにつれpH値の上昇する度合いが鈍くなり、石灰系：高分子系=1:3の15%以上の配合では、ほぼ横ばいで推移する。石灰土質安定処理における硬化反応は高アルカリ側が有利とされ、高分子系焼却灰の割合が多い場合は、この点が不利に働くと考えられる。

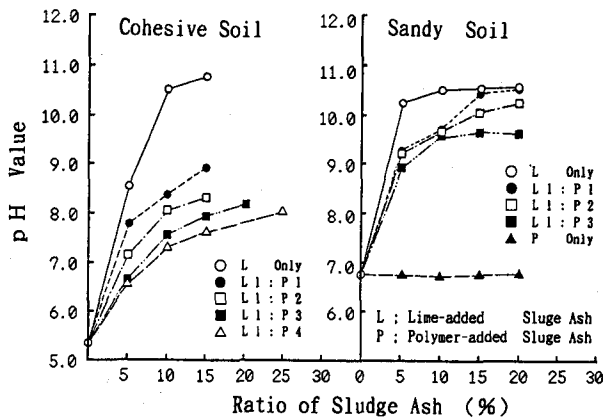


Fig.6 Change of pH Value of Conditioned Soil

(E) 締固め特性の変化

焼却灰添加率とCBR供試体密度の変化をFig.7に示す。Fig.7から粘性土、砂質土ともに焼却灰添加率の増加につれてCBR供試体密度は5～10%程度までは増加し、それ以上の添加率では密度が低下する傾向を示す。これは焼却灰の添加増量にともなう含水比の低下とコンシステンシーの変化が締固め特性を改良させ、締まり易い材質になった結果であるが、焼却灰の単位体積重量が非常に小さい（石灰系=0.85、高分子系=0.64）ために、重量比で添加した場合の体積は非常に大きく、15%以上の添加率では焼却灰が余剰し始め、逆に空隙率を増す結果が乾燥密度の低下の原因と思われる。

土の締固め密度の増加は、土粒子相互の接触点を多くして移動に対する抵抗（摩擦抵抗）を高め、強度増加につながる事を意味するが、逆に空隙率の増加は水浸吸水率を大きくすることも考えられ、高分子系焼却灰の添加率はこれらの事を考慮しなければならないことが分かった。

ここで、Fig.8の焼却灰添加率と空気空隙率の変化に、一般土質の密度管理試験で用いられている空気空隙率による規定（2～10%）を当てはめると、焼却灰合計添加率10～15%が限界添加率となるようである。

3. 3 力学的改良特性

Fig.9、Fig.10に土質別に焼却灰添加率と10日養生（6日空中4日水浸）CBR値の変化を示す。Fig.9、Fig.10から、①土質別に発現強度（CBR）差はあるが、粘性土、砂質土とも何れの焼却灰混合比におい

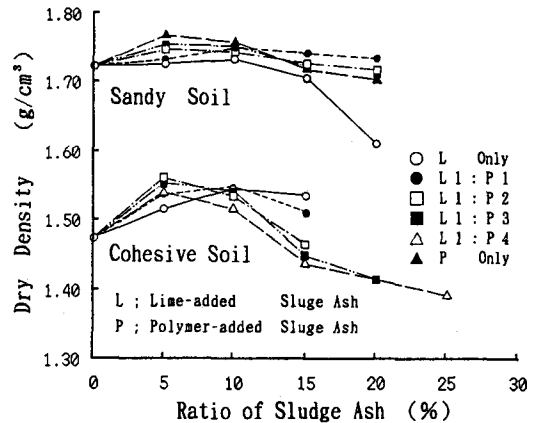


Fig.7 Change of Compaction Dry Density

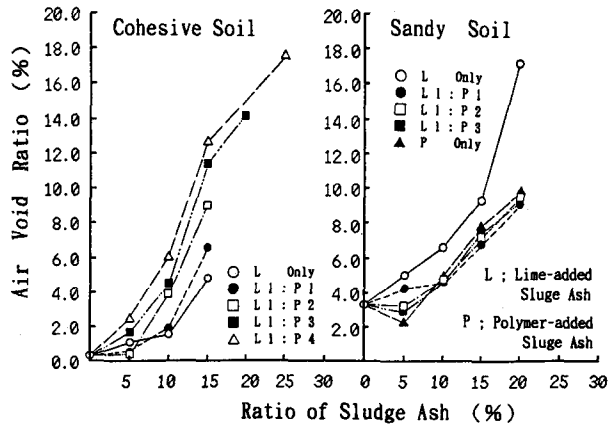


Fig.8 Change of Air Void Ratio

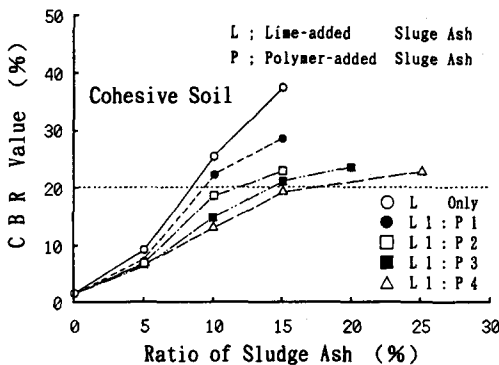


Fig.9 Change of CBR Value after 10 Days (Cohesive Soil)

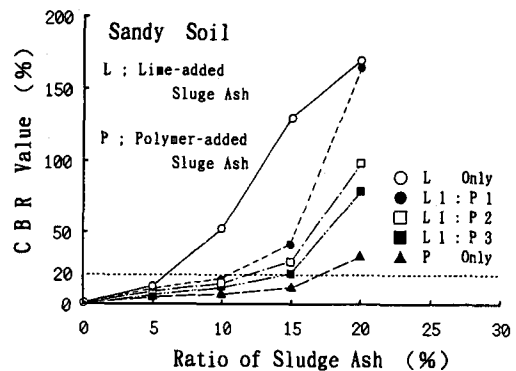


Fig.10 Change of CBR Value after 10 Days (Sandy Soil)

ても焼却灰添加率の増加とともにCBR値は増加した。② 高分子系焼却灰の混合比が増すほど発現強度（CBR）そのものは小さくなるが、含有カルシウム量とは、明確な関係のない強度増加もみられた。③ CBR値の増加傾向は粘性土の場合、15%以上の配合では横ばいで推移するのに対し、砂質土では何れの混合比においても顕著な強度増加を示した。④ 高分子系焼却灰単味においても添加率増加にともなう強度増加を示した。

Fig.11、Fig.12 は焼却灰合計添加率10%時における焼却灰混合比と即時、10日（6日空中、4日水浸）養生、30日（26日空中、4日水浸）養生の各CBR値を土質別に示したものである。この結果からは、① 両土質とも高分子系焼却灰を添加した時の即時CBR値は混合比に関係なくほぼ一定値を示し、初期強度は増大した。② 何れの配合も養生（10日）することによって強度増加を示したが、高分子系の多い配合では強度増加は低く、また粘性土で石灰系：高分子系＝1：2、砂質土では1：1以上の混合比、即ち高分子系の多い配合においては長期的（30日）強度増加はほとんどなかった。

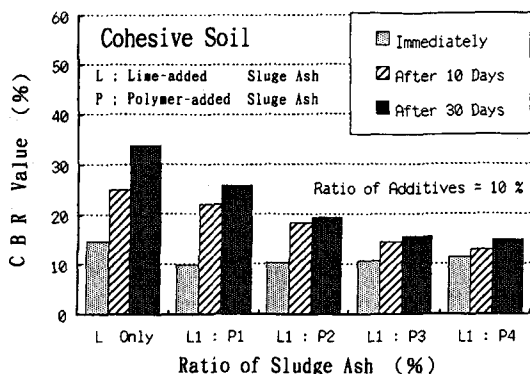


Fig.11 A Change with the Passage of Time of CBR Value (Cohesive Soil)

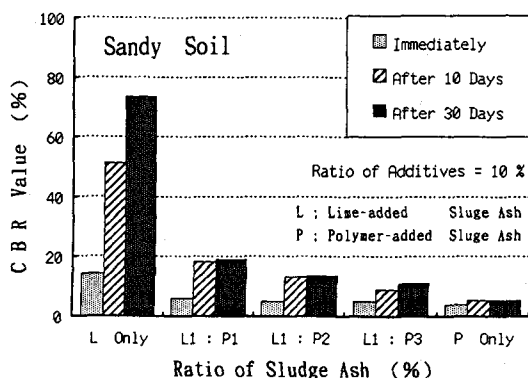


Fig.12 A Change with the Passage of Time of CBR Value (Sandy Soil)

Fig.9、10、11、12 から、高分子系焼却灰を石灰系焼却灰と組み合わせて用いた場合、石灰系単味の発現強度を上回るほどの強度は期待できないが、添加率に比例して2種の土質は強度増加（土質安定）を示すことが分かった。その強度増加は主として焼却灰添加による粒度、含水比、コンシステンシー、締固め特性など物理的特性の変化による効果が考えられ、これは単に高分子系焼却灰が含水比低下などの増量材的な役割だけでなく、Fig.4、5に示す高分子系焼却灰特有の性質が強度面に関与していると考えられる。すなわち、高い保水性を有する高分子系焼却灰の微細粒子による水分の吸水や、粒度組成の変化等により、土粒子相互の接触抵抗が増して塑性移動を抑え、せん断抵抗を高めるものと推定できる。ただし、その効果は土質によって異なり、粘性土の場合は粘着力によるせん断抵抗力も同時に失うことが考えられ、適量を越えた配合で強度増加は示さなくなるようである。

本CBR値の結果では、改良土の強度増加に対する限界添加率は明確に現れなかったが、締固め密度の低下等マイナス要因も認められ、一定の上限があるものと考えられる。

4. 他種類の対象土に対する改良特性と最適添加率の検討

焼却灰を添加材とした改良土プラントの実稼働に向けて、実用的な配合と最適添加率を得る目的の配合試験を行った。改良土の製造は名古屋市内で発生する要改良掘削土5種（統一土質分類＝GC、SM、OH、CL、SC）を原料土とし、各々の自然含水比とさらに2段階に含水調整した試料において石灰系と高分子系（NO.4）の混合焼却灰を添加した。混合比と添加率は、前項の結果を基に石灰系焼却灰を5%の一律添加率とし、高分子系焼却灰を0、5、10、15%と変化させた。

4. 1 試験対象土の土質性状

本試験に用いた対象土質5種の土質性状を Table 6に示す。試験対象土は何れもC B R 値が2 %前後であり、そのままでは埋戻し材として不適の要改良土と判断されるものである。

Table 6 Soil Quality for Testing Soil (2)

Soil Classification	Water Content (%)	p H	Ignition Loss (%)	Consistency			Design C B R (%)	Grain Size Distribution (%)				
				LL (%)	PL (%)	PI		Gravel	Coarse Sand	Fine Sand	Silt	clay
GC	15.4	5.88	3.8	37.8	20.7	17.1	2.4	37.8	17.8	15.0	8.6	20.8
SM	17.3	6.62	1.8	27.2	21.5	5.7	2.3	10.3	24.3	34.3	20.7	10.4
OH	44.4	5.99	5.0	62.0	31.8	30.2	0.6	2.2	5.9	9.7	43.4	38.8
CL	28.5	6.62	4.5	42.3	22.7	19.6	2.0	3.6	9.2	18.5	22.7	46.0
SC	18.1	5.38	3.1	42.2	19.2	23.0	2.2	23.1	24.1	16.7	11.5	24.6

GC; Clay Mingle Gravel, SM; Silt Mingle Sand, OH; Organic Clay, CL; Lean Clay, SC; Clay Mingle Sand

4. 2 C B R 値の変化

Fig. 13に各土質の焼却灰添加率と各含水比における10日養生(6日空中4日水浸) C B R 値の関係を示した。なお、図中の含水比の状態は、Natural; 各土質の自然含水状態、Wet ①; 各土質の自然含水比に対して1割加水調整した状態、Wet ②; 各土質の自然含水比に対して2割加水調整した状態、Dry ; 有機質粘土(OH)に対して実施したもので自然含水比に対して1割乾燥させた状態である。

Fig. 13 の結果をまとめると、

① 土質によって発現強度に差は生じたものの、高分子系焼却灰の増量に伴い何れもC B R 値は増加傾向を示した。② 自然含水比においては、発現強度の鈍い有機質粘土(OH)を除いて、15%の添加率即ち高分子系添加率10%を境に低下に転じた。

③ 加水した状態では発現強度そのものは低くなるが、焼却灰添加率を増加することでC B R 値は増加し、自然含水比の状態と変わらなくなり、ある添加率を境に急激な増加する傾向を示した。以上の結果より高分子系焼却灰を主に添加した時の土の強度増加は次のように考えられる。

高分子系焼却灰の微細粒子は

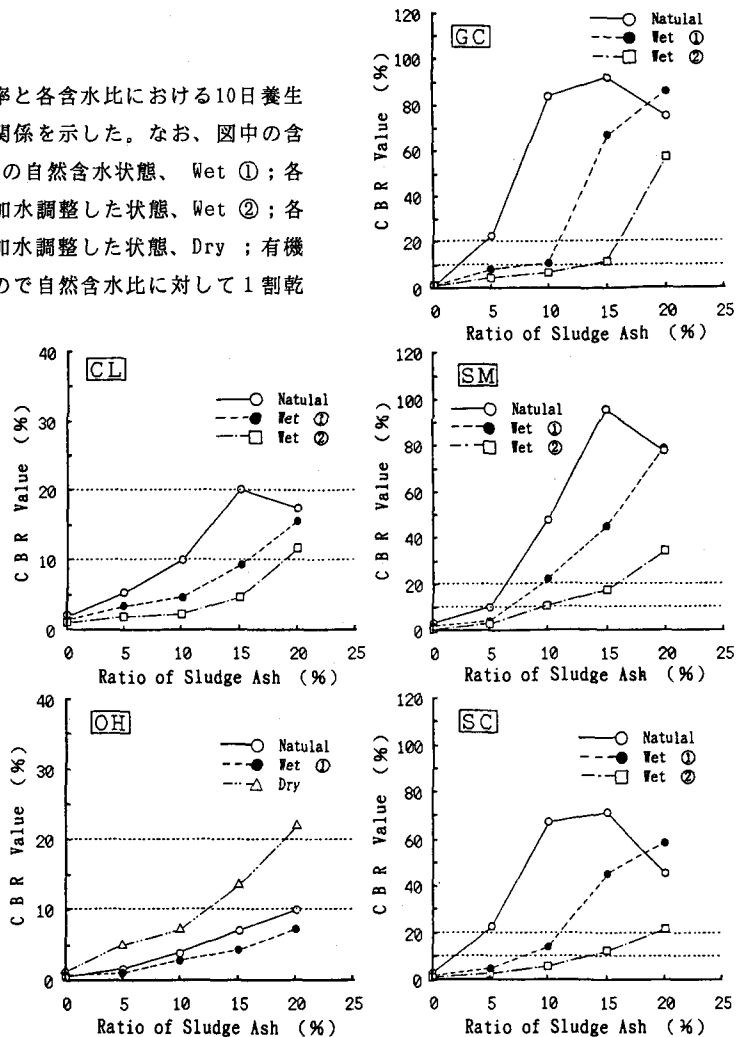


Fig.13 Relationship between the Ratio of Sludge Ash and CBR Value after 10 Days in Each Soil

土粒子に付着して、吸水により接触部の毛管張力を上昇させ、土は塑性が減少してせん断抵抗が増加する。しかし、焼却灰添加率の増大とともに改良土の含水比が締固めに適した含水比より小さくなった場合には発現強度が抑えられると考えられる。さらに焼却灰粒子が被覆する以上の添加率になり、高分子系焼却灰が余剰始めると、灰そのものの性質が強く発揮されることにより、単体時で見られたように水浸後の強度低下を招くかたちになると考えられる。

4. 3 含水比と焼却灰添加率の関係

前述したように対象土の含水比が高いほど発現強度は鈍く、所要強度を得るのに必要な添加率も増加する結果となった。この最適添加率は、対象土質によって異なるものの、実際の改良土プラントを稼働するためには、より簡便な添加率決定方法が望まれる。そこで名古屋市における土質改良土の基準CBR値(10%)を目標とした場合の対象土の含水比と焼却灰添加率の関係を検討し、Fig.14に示した。

Fig.14より含水比と焼却灰添加率は良い相関が認められ、対象土の含水比によ

り却灰添加率をある程度決定することができる。ここで、対象土としたものに共通にみられた強度低下点である高分子系焼却灰の添加率は10%を上限とした運転を行った場合、石灰系5%添加では、Fig.14により対象土の含水比が約35%以内の土質に対して適用できると考えられる。

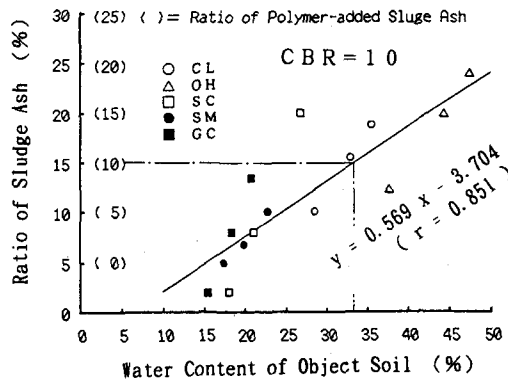


Fig.14 Relationship between Soil Water Content and the Ratio of Sludge Ash

5. ま と め

高分子系焼却灰の諸特性と石灰系焼却灰と混合して用いた場合の土質改良特性について調査し、土質改良材としての適用性について検討した結果をまとめると次のとおりである。

高分子系焼却灰単体の性状は石灰系焼却灰と比較すると、① 比重や単位体積重量は小さいが保水性は高い。② CaO含有量は7分の1程度であり、pH値は低い(弱酸性～中性)。③ 自硬性がなく水浸による強度低下が大きい。などの性状を示すものであった。また諸性状の季節的な変動は小さく、ほぼ一定な品質であった。

一方、土との混合においては、高分子系焼却灰の添加率が増すにつれて含水比、塑性指数が低下して締固め特性が改良されるなどの改良効果が見られる。そのメカニズムは具体的には明らかでないが、高分子系焼却灰の微細粒子が土中の余剰水を保水したり間隙を充填することによる土粒子相互の接触抵抗の増加と塑性流動の抑止作用及び土粒子とのイオン交換反応と考えられる。この効果は締固め養生した後に水浸しても強度増加を示していることから、単に乾燥粉体を土に添加した場合は大きく異なる点である。ただし、高分子系焼却灰の添加率の過多は、高分子系そのものの性質を発揮すると同時に石灰系焼却灰がもたらす化学的な硬化作用を鈍化させることから、安定した土質改良効果を得るには一定の上限があることが分かった。また所要強度に達する添加率を得る方法としては、改良対象土の含水比が焼却灰添加率を決定する指標の一つとなることも分かった。

このように高分子系焼却灰は土質改良材として十分適用できることが明らかとなった。その優位な点の一つとして、化学的硬化作用に大きく依存する生石灰改良土で見られるような初期強度不足の解消が挙げられる。改良土の初期強度は埋戻し復旧路面の沈下発生量に大きく関与しているという報文^{8) 12)}もあり、こう

した点からも高分子系焼却灰を土質改良材へ適用する意義は大きい。今後は本研究を参考にして積極的な汚泥焼却灰と掘削残土の有効利用が望まれる。

【 参 考 文 献 】

- 1) 安崎裕、吉兼秀典：下水汚泥再生材の舗装への適用性，土木技術資料，29-4，pp.27～32，1987
- 2) 京才俊則、櫻井克信、河野広隆：下水汚泥スラグ骨材のコンクリート利用技術の開発，土木技術資料，29-4，pp.33～38，1987
- 3) 渡辺春樹：建設資材化に関する研究開発，設立15周年記念シンポジウム講演集，下水汚泥資源利用協議会，pp.127～135，1992
- 4) 金子宣治：石灰系焼却灰の土質改良材利用，下水道協会誌，Vol.27，No.315，pp.5～9，1990
- 5) COVEY J.N：Fly ash disposal with sludge，Natl Conf Munic Ind Sludge Util Dispos，pp.207～211，1980
- 6) 下水汚泥焼却灰の土質改良材としての利用マニュアル（案），建設省土木研究所資料第2908号，1990
- 7) 松川匡利、鎌田修：下水汚泥焼却灰の土質改良効果及び実用化に関する研究，下水道協会誌，Vol.30，No.357，pp.74～84，1993
- 8) 松川匡利、鎌田修、長野健示：石灰系焼却灰の埋戻し実証工事における力学的特性に関する研究，下水道協会誌，Vol.30，No.357，pp.85～91，1993
- 9) 嶋津晃臣、塚田幸広、岩瀬真二：石炭灰・下水汚泥焼却灰等の深層混合処理への適用性，土木技術資料，29-4，pp.22～26，1987
- 10) 久楽勝行、三木博史、林義之、大島吉雄、増田隆司：下水汚泥焼却灰の土質改良効果判定手法，土木技術資料，33-6，pp.49～55，1991
- 11) 増田隆司、白石隆、大島吉雄、桜井克信：石灰系焼却灰の水和特性および土質改良効果に関する研究，下水道協会誌，Vol.28，No.330，pp.48～59，1991
- 12) 川本毅一、伊藤達雄、奥田求、高橋清美：名古屋道における石灰改良土の埋戻し実証工事について第15回日本道路会議論文集（特定課題論文集），pp.103～105，1983