

近畿大学理工学部 正員 ○玉井 元治, 川東 龍夫
大阪府水道部 柏木 俊博, 南部 政夫

1. まえがき

現在実施されている上水汚泥の有効利用法は、非熱処理では、脱水ケーキのまま農業用耕作土や土壌改良材として、また建設方面へは、石灰やセメント系を混入し埋戻し材や路床材として用いられ、 800°C 以上の熱処理を行うものでは、焼成後、土壌や土質改良材化が、 $1200^{\circ}\text{C}\sim1500^{\circ}\text{C}$ による熱処理では、軽量骨材、レンガ、瓦、セメント等の材料として一部用いられている。

本研究は、前報に引き続き、汚泥を粉砕できる程度に乾燥し、粉砕後、高炉水砕砂を混入して骨格組織を形成させ、且、汚泥中の消石灰を水砕砂のアルカリ刺激剤として再利用する方法を示し、これ等、混合物の埋戻し材や路床材としての性状につき各種実験を行い論じたものであり、本紙面では、次の諸点につき検討した。

- 1) 大阪府水道部における各浄水場より廃出する脱水ケーキの化学的および物理的性質の分析調査。
- 2) 前記の各汚泥乾燥粉砕物と高炉水砕砂混合物のX線的および機械的性質
- 3) 汚泥-水砕砂混合物の降雨水による表面崩壊の影響調査
- 4) 過去に実施した現場実験の追跡調査

2. 使用材料の性質と試験方法

水砕砂は(株)神戸製鋼所高砂工場製を用い、各残渣の化学的、物理的性質試験および混合物の機械的性質等の各試験は、従来法またはJIS法により行い、それらは既報を参照されたい。X線回折試験方法は、汚泥または水砕混合物をデシケーター内で常温乾燥し、メノウ乳鉢で約200メッシュ以下に粉砕し試料とした。その測定には理学電気社製ディフラクトメーターD-9Cを用いた。

材齢28日 湿潤養生

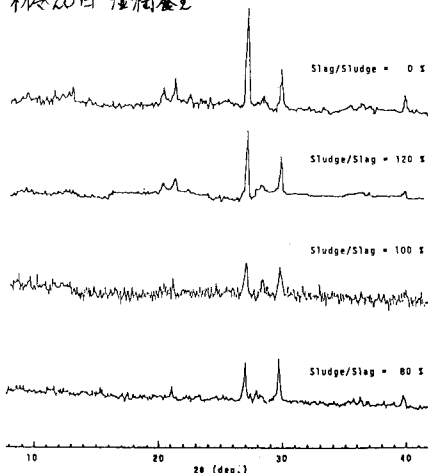


図-1. 汚泥および水砕砂混合物のX線回折試験結果

表-1 各汚泥の化学分析結果 (%)

試料名 項目	村野	大庭	庭窪	三島
SiO ₂	29-36	33.5	22.6	42.1
Al ₂ O ₃	15-16	16.0	16.0	17.0
CaO	13-20	16.7	20.3	9.0
Fe ₂ O ₃	4.0-4.9	4.0	3.6	5.5
MgO	0.81	0.72	0.71	1.04
Na ₂ O	0.68	0.78	0.56	0.84
S	0.11	0.16	0.16	0.16
灼熱減量	23-26	26	32	7.3

表-2. 各汚泥の物理的性質

試料名 項目	村野	大庭	庭窪	三島
比重	2.43	2.30	2.10	2.42
最大粒径(mm)	0.4	0.1	0.1	0.4
均等係数	16.7	6.7	5.6	14.5
曲率係数	2.3	1.1	1.0	2.2
液性限界(%)	75-101.5	165.0	149.8	78.2
塑性限界(%)	41-63	106.5	102.4	51.6

3. 実験結果と考察

1). 化学的・物理的試験結果

原水は、いずれも淀川から取水しており、取水位置は左岸上流から村野、大庭、庭窪そして右岸三島の順である。各浄水場から廃出される汚泥の化学的および物理的性質は表-1, 2のようになり、これらの値から機械的な

性質をある程度推定することができる。

2). i) X線試験結果 汚泥のX線回折パターンは、原水中に浮遊する木津川粘土に類似するものである。

汚泥中に存在すると考えられる $\text{Ca}(\text{OH})_2$, SiO_2 , Al_2O_3 のうち, SiO_2 (α -quartz) は, $d=4.25\text{\AA}$ ($2\theta=20.9^\circ$) と $3.35\text{\AA}$ ($2\theta=26.6^\circ$) 付近で確認できる。凝集剤として添加される $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ は, $\text{Al}(\text{OH})_3$ の形に変化するが、常温下では非晶質であり、確認することはできない。脱水助剤として添加される $\text{Ca}(\text{OH})_2$ はわずかに存在するが、むしろ, Ca^{2+} イオンとして粘土の層間に塩基置換したり, CaCO_3 ($d=3.04, 2.49, 2.28, 1.92, 1.87\text{\AA}$; $2\theta=29.4, 36.1, 39.5, 43.3, 47.3, 48.7^\circ$), $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ($d=9.7\sim 9.3\text{\AA}$; $2\theta=9.1\sim 9.5^\circ$) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, および CSH gel , ASH gel 等に変化するようにである。

一方、水砕砂は、ゲーレナイトやアケルマナイト等の固溶体であるとされているが、製造過程で溶融状態から急冷されるため殆どのがガラス化し、X線回折パターンは、顕著なピークは存在せずブロードなパターンとなり化合物の判定は不可能である。故に、汚泥-水砕砂混合物のX線パターンは、水砕砂の混入率が増加するに従いピークは低くなり、汚泥が水砕砂により希釈されたようなX線パターンに移行する。これ等混合物の経時変化の影響は、X線回折パターンから解析した結果では大きな変化はなく、比較的安定であることを確認した。

ii). 汚泥-水砕砂混合物の機械的性質

各汚泥-水砕砂混合物の締め試験結果によると、最適含水比 (W_{opt}) および最大乾燥密度 ($\gamma_{d,max}$) は、表-3 のように土の工学的な性質は左岸側では上流ほど良いことを示している。また、いずれの汚泥においても水砕砂の混入率が多くなるに従い、 W_{opt} を下げ、 $\gamma_{d,max}$ を高め砂質土化することが可能となる。

圧縮試験は普通締め法によって求めた W_{opt} を用い、 $\gamma_{d,max}$ 程度になるように $\phi 5 \times 10\text{cm}$ の円柱供試体を作成し、強度と材令の関係を調査した。この結果、空中、湿潤養生下とも、汚泥の性状による影響があるが、湿潤下においては比較的強度差が小さいことがわかる。CBR試験の結果からも含め、水砕砂混合物の機械的性質は、脱水汚泥の物理的性状にある程度依存することが明らかとなった。

3). 降雨水による表面崩壊の影響

汚泥/水砕砂=100, 120%の混合物と山砂(生駒山産)を用い、CBR締め25回、55回、5層により作成した供試体に 200mm/h に相当する滴下水を

与え表面崩壊の状態を調査した。この結果、締め回度が高い程、降雨に対し抵抗が大きくなり、また、汚泥-水砕砂混合物は、山砂より降雨に強いことが明らかになった。

4). 2年4ヶ月前に路床材として用いた現場実験の追跡調査によれば、アスファルト舗装下において汚泥-水砕砂混合物は、施工当初に比べ、含水比が10%程度上昇していたにもかかわらず、乾燥密度、ユーン指数、現場CBR、平板載荷試験結果 (K_{30}) とともに大きな低下はみられず、実用に供することを確認した。

1) 玉井・永田・高木; 上水道残渣(汚泥)の有効利用に関する研究, 土木学会第36回年講1981, II-65 pp 129, 130

表-3, 各汚泥-水砕砂混合物の締めめおよびCBR試験結果

締めめ法	汚泥/水砕砂	試料名	村野	大庭	庭窪	三島
普通法	120%	W_{opt} (%)	27.2	43.3	39.9	32.0
		$\gamma_{d,max}$	1.409	1.128	1.090	1.330
	100	W_{opt}	26.1	40.3	38.2	29.2
		$\gamma_{d,max}$	1.432	1.152	1.109	1.368
	80	W_{opt}	25.3	37.0	37.2	26.6
		$\gamma_{d,max}$	1.454	1.202	1.156	1.413
CBR法	100	W_{opt}	20.2	30.6	30.8	22.6
		$\gamma_{d,max}$	1.577	1.323	1.300	1.523
		CBR (%)	70.8	70.4	40.9	53.6

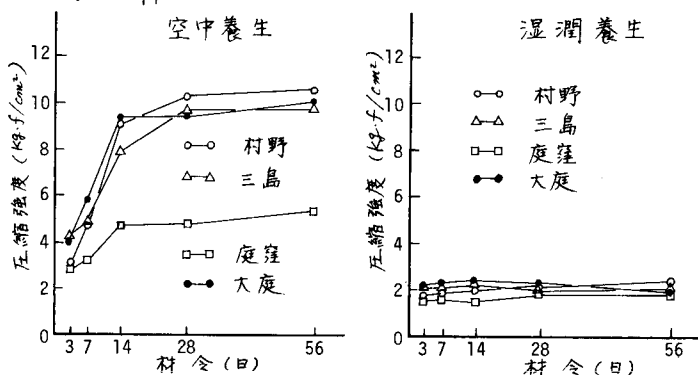


図2. 汚泥-水砕砂混合物の強度特性