

粉体廃棄物を用いた河川底質の処理

DISPOSAL OF CITY RIVER BOTTOM DEPOSIT USING POWDERY WASTES

玉井 元治
by Motoharu TAMAI

1. はじめに

1960年代から都市河川の流域では、農地の急激な宅地化と工業化が進み、下水や排水を直接河川に放流したため多量の底質が河床に堆積している。この現象が継続するにつれ、河川流域において降雨の流出係数が著しく上昇し、豪雨時には河川水が氾濫する場合があります、関係者を苦慮させている。

このような現状を改善するため関係自治体は、河川流量の増加と周辺環境の保全を目的として、河床に堆積している底質を浚渫する方向にある。

本研究は、浚渫した河川底質を粉体系廃棄物のうち性状が比較的安定な下水焼却灰によって処理し、その有効利用法の開発研究を目的としている。

一般に、都市河川に堆積する底質は、有機および無機系微粒子が水に分散した高含水の汚泥状物質でありそれらの処理・処分には1m³当り 12,000円～15,000円を要し浚渫計画を立案しても、財源の関係で早急な実施が行えないのが実状である。

ここに提示する処理法は、各自治体から排出されている下水汚泥焼却灰等、粉体系廃棄物を用いた複合処理法であるため極めて合理的にして低廉な処理法と考えられ、今後実用化の方向を検討するにあたり、利用箇所に応じた詳細な調査が必要である。

本稿は、大阪寝屋川に堆積する底質の処理と処理物の適正かつ有効な再利用法の開発を目的として基礎的研究を行なうものであり、研究内容は次に示す項目より構成されている。

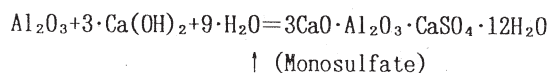
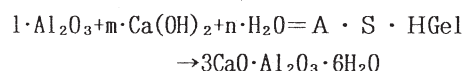
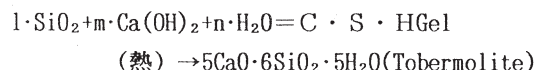
- 1) 処理材としての高温履歴粉体廃棄物の性状
- 2) 底質の化学分析および物理的試験
- 3) 底質の固化処理法

2. 高温履歴粉体廃棄物の性状

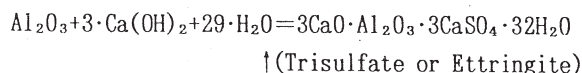
2. 1. 化学的性質

800℃以上の高温履歴した粉体廃棄物は、SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, Na₂O, MgO, K₂O等の無機系酸化物から構成され、一般にアルカリ性を示す¹⁾。そのうち、SiO₂とAl₂O₃はある程度活性化されているため、Ca²⁺とポゾ

ラン反応を起こす物質に変質している。このような背景において、水とCaOまたはCa(OH)₂が介在する場合、次のような化学式に準じて水硬性物質を生成する。



CaSO₄ (少量の石膏が存在するとき)



CaSO₄ (大量の石膏が存在するとき)

また、石灰を凝集剤とした下水焼却灰は、SiO₂, Al₂O₃, CaOを含み、焼却温度が1000℃付近になると、低水硬性のCSまたはCA化合物を生成しているようであり、一層水硬性のある灰分に改質されている場合が多い。なお高分子系凝集剤を用いた下水焼却灰の場合、CaOまたはCa(OH)₂を添加し低水硬性のある物質に改良することができる²⁾。

2. 2. 物理的性質

- 1) 真比重は大きい、嵩比重は低く 0.75±0.2程度である。
- 2) ゴミ焼却灰や高分子系凝集剤を用いた下水焼却灰の平均粒径は0.65mm以下である。石灰系凝集剤を用いた下水焼却灰の平均粒径は1.2mm程度であるが、粒状物は指で強く押すと破壊する。
- 3) 微粒子表面への付着水と吸水率は大きく、合わせて保水性が著しく大きい。
- 4) 粒状の場合はもとより、微粒子の場合も微視的に観察すると多孔体である。

3. 試料および試験方法

3. 1. 底質の試料

底質の試料は、既報³⁾と同様に大阪寝屋川水系からとし、今回は大東市鴻池水門上流 300m 付近より採取した A, A' を室内実験用に、そして、古川橋下流付近から浚渫した底質 B は性状の比較のため用いた。

3. 2. 処理材料

底質の処理材料としては、大阪府流域下水道中央処

*近畿大学教授 理工学部土木工学科 (577 東大阪市 小若江3-4-1 近畿大学 理工学部 土木工学科)

表1 下水焼却灰の化学分析結果 (wt. %)

種 類	真比重	嵩比重	平均粒径 (mm)	保水率 (%)	化学分析(%)						
					SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	その他
下水焼却灰(石灰系)	2.95	0.67	1.73	94	22.9	26.7	4.5	22.1	2.4	1.7	19.7

理場から廃出される下水焼却灰を主材とし、ポゾラン反応の増進と強度の安定な伸びを目的として、それに少量の生石灰または普通セメントを添加した。実験に供した下水焼却灰の物理的・化学分析結果を 表 1 に示す。

3. 3. 各種試験方法

底質の組成分析と有害物質 9項目の試験は従来法または環境庁告示法によった。

土としての各種物理試験、底質と処理材料との混合物の各種機械的試験は JIS 法によった。

3. 4. 分光分析

n-ヘキサン、アセトンおよびエーテルを用い前記の底質から有機物を抽出し、減圧濃縮した後、ガスクロマトグラフを用いて分析した。

試験条件

カラム：OV-17 および PEG 1,000, カラム長さ 3m,
温度 120~240°C 昇温

キャリアーガス：ヘリウムおよび水素

3. 5. X線回析試験

前記の底質をデシケーター内に挿入し、常温乾燥させた後 200メッシュ以下に粉碎し、粉末X線回析試験法により実施した。

試験条件

測定機：理学電機社製 GEIGERFLEX RAD-rA

最大負荷：60kV, 200mA

測定負荷：40kV, 100mA

MODE：Step scan

SCAN RAGE：4-60 (deg)

STEP WIDTH：0.01 (deg)

表2 底質の化学分析結果

Analytic item (dimension)	Measured value		Analytical method
	Sludge A	Sludge B	
pH (H ₂ O) (-)	7.1	7.2	Soil examination method 2-12 JIS K 0102-12
pH (KCl) (-)	6.6	6.6	
Organic matter (%)	0.94	0.93	Sewer examination method JIS K 0102-24
Sulfide matter (%)	0.17	0.19	Sludge examination method
Cd (mg/kg)	0.3	0.2	JIS K 0102-55*
Pb (mg/kg)	44	40	JIS K 0102-54*
Cr ⁶⁺ (mg/kg)	ND	ND	JIS K 0102-652*
As (mg/kg)	2.6	2.1	JIS K 0102-61*
CN (mg/kg)	ND	ND	JIS K 0102-38*
Organic P (mg/kg)	ND	ND	No. 59*
T-Hg (mg/kg)	0.1	0.1	No. 59*
Alkyl Hg (mg/kg)	ND	ND	No. 59*
PCB (mg/kg)	0.23	0.11	No. 59 JIS K 0093*
Ignition loss (%)	9.2	64.8	Sludge examination method JIS K 5202
Hydrous modulus	68.4	20.4	Sludge examination method*

*: The official notice of environmental agency

FULL SCALE：4000 (cps)

PRESET TIME：0.2 (sec)

ANGLE ZOOM：0.25 (mm/sec)

3. 6. 土としての物理試験

土粒子の比重 JIS A 1202

土の含水量 JIS A 1203

土の粒度 JIS A 1204

土の液性限界 JIS A 1205

土の塑性限界 JIS A 1206

3. 7. 底質と処理材料との混合物の試験

1) 運搬性能の試験

底質の運搬性能を判定する方法として、モルタルのフロー試験 (JIS R 5201) を用い、フロー値が、105以下のものを運搬可能とした。

2) 一軸圧縮強度試験

φ5×10cm の供試体を作成し、20±1°Cの恒温室において所定の材令まで空中または水中養生を行なった後、JIS A 1216 に準じ実施した。

3) CBR試験

JIS A 1211 の第1方法に準じモールド内径 15cm 3層 92回締固めとして実施した。試料は底質を各粉体で処理し、7日間経過したものを 10mm以下に粉碎し、水分調整して用いた。

4. 実験結果および考察

4. 1. 底質の化学分析および物理的試験

4. 1. 1. 底質の組成分析と有害物質 9項目の試験

従来の研究結果によれば、寝屋川水系の底質には健康 9項目に関する有害物質は規定値以下か、あるいは

表3 有害物質の溶出試験結果

Analytic item (dimension)	Measured value	
	Sludge A	Sludge B
Cd (mg/l)	ND	ND
Pb (mg/l)	ND	ND
Cr ⁶⁺ (mg/l)	ND	ND
As (mg/l)	ND	ND
CN (mg/l)	ND	ND
Organic P (mg/l)	ND	ND
T-Hg (mg/l)	ND	ND
Alkyl Hg (mg/l)	ND	ND
PCB (mg/l)	ND	ND

含有されていないことを既に明らかにしているが、底質の化学組成も含め分析した。その結果、表 2 に示す値が得られた³⁾。

この結果から、底質 A および B は共に健康 9 項目に関して数種微量に含有されているが特に注目すべき点は認められない。ただ、有機物の値が 9.3~9.4 mg/g となり、また硫化物の値も同様に高い値を示した。

これは底質 A および B の採取地が一般家庭排水の影響を受けやすい地区に属しているためと考えられる。一方、有害物質の溶出試験の結果によれば、表 3 のように溶出は全く認められなかった。

4. 1. 2. 有機物の分光分析試験

1) ガスクロマトグラフによる抽出液の検討

多種数のピークが現われ、その含有量は極めて低く個別の分取は困難であった。また、n-ヘキサンからエーテル区分のピークパターンとメタノール区分のパターンとは明確に違いが現われ、底質 A には比較的極性の低い物質が含まれているようである。これらのピークのうち大きなもの 4 種についてガスクロによる分取を行い、この分取物について、赤外吸収スペクトル (日本分光 IR-2 型) により構造解析を行った。

2) 赤外吸収スペクトル

これらの試料は多種類の有機物の混合物と考えられ個々の詳細な構造解析や定量は期待できないが、含有される有機物中の各種官能基については以下のように判明した。即ち、直鎖パラフィン(3,000-2,840 cm^{-1} 、1,200-800 cm^{-1})メチル基およびメチル連鎖(1,375 cm^{-1} 、1,500-1,400 cm^{-1})、単環および多環芳香族(1,600-1,585 cm^{-1} 、900-675 cm^{-1})、水酸基(3,650-3,540 cm^{-1} 、1,100-1,000 cm^{-1})、エステルおよびカルボニル基(1,780-1,680 cm^{-1})およびアミド類(1,680-1,580 cm^{-1})等が認められる。この他、ニトロ基、メルカプタンに基づく吸収、有機ケイ素による吸収などが認められ、これらを個々に解析することは不可能である。しかし、窒素、硫黄、炭水化物および炭化水素などがかなりの割合で含有されていることが明らかになった。

3) 燃焼法による抽出有機物の検討：スポット試験

上記の抽出有機物をケルダールの装置内で酸素の存在下に燃焼(650 $^{\circ}\text{C}$)させ、発生した気体を水酸化カルシウムと反応させた後、生成ゲル状物質をニッケル・ルツボ中で強熱分解し、これを水中に投じて水溶液とした。これを検体として硝酸銀による塩素の定性、水酸化バリウムによる硫化物の定性を行ったところ、かなりの量の硫黄が認められた。

一方、抽出有機物のエーテル溶液に金属ナトリウムを加えて直火で強熱し、これを水中に投じて得た水溶液についてニトロプルシッドナトリウムのアルコール溶液による窒素の定性を行なった。この場合も陽性の

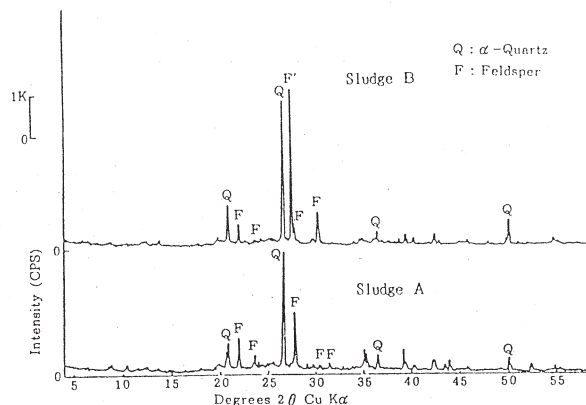


図 1 底質の X 線回折試験結果

反応が現われ相当量の窒素の存在が認められた。

4) n-ヘキサン抽出区分の元素分析試験

底質を n-ヘキサン抽出した区分を減圧濃縮し、最終残渣(油状)の元素分析(CHN Corder MT-2 型)を行なった。この結果、C=74.87%、H=11.40%、N=6.44%を得、残りの 7.28% は酸素と硫黄などから成るものと推定される。

以上のように、底質に含有する有機物は、炭素、水素、窒素および硫黄を主な構成元素とするものでありスペクトル的には多種多様の有機化合物の混合物であることがわかる。

4. 1. 3. X 線解析試験

前報と同様の手法で底質 A、B を X 線解析試験すると図 1 のようになり、底質 A は石英(α -Quartz)が $d=4.25$ ($2\theta=20.9^{\circ}$)、 3.35 (26.6°) に確認でき、また長石(Feldspar)も $2\theta=27.9^{\circ}$ 、 22.0° 、 29.7° 、 30.4° 、 35.4° 等のピークから確認でき長石の割合が多いようである。

底質 B は同様に、石英、および長石が確認されるがその他に、 $2\theta=27.5^{\circ}$ 、 30.3° 付近に長石に類似したピークを示す鉱物が含有されていることを示す。

表 4 底質の土としての一般物理試験

Item	Sample name	Sludge A	Sludge B
Grading property	Gravel fraction (2000 μm) %	0	2
	Sand fraction (74~2000 μm) %	32	51
	Silt fraction (5~74 μm) %	39	24
	Clay fraction (5 μm under) %	29	23
	Maximum particle diameter	2.0	4.8
Consistency	Liquid limit (wl) %	79.8	68.4
	Plastic limit (wp) %	39.1	33.7
	Plasticity index (Ip)	40.7	34.7
C. C.	Japan soil classification	CH	SC
	Soil name	Caly	Caly Sand
S. G.	Specific gravity Gs	2.643	2.516
Natural condition	Water content (wn) %	105.96	103.40
	Color	Black	Black
	Smell	H ₂ S Smell	H ₂ S Smell

4. 1. 4. 土としての一般物理試験

底質 A, A', B の物理試験の結果、含水比は、それぞれ 106.0, 57.1, 103.4%、比重は、それぞれ 2.643, 2.640, 2.516 となった。次に、粒度試験結果から判定した土質分類と土質名は A, A' が CH (粘土) となり B が SC (粘土質砂) となる。その他、土の液性限界 (LL), 塑性限界 (PL), 塑性指数 (PI) 等のコンシステンシー特性、色相および臭気等を取りまとめ表 4 に示した。以上のようにこれらの底質は、石英、長石を主とした微粒鉱物とその他岩石の風化した粘土鉱物と種々の有機物を含有し、それらが水中で相互に凝集し高濃度のフロックを形成しているものと考えられる。

4. 2. 底質の固化処理法

底質の固化処理法は、主として土木施工で実施されている物理的方法と固化材料を混合する化学的方法に大別できるが、本稿では廃棄粉体を用いた底質の複合処理法を行いその有効性につき検討した。なお比較のため化学的処理法のうち普通セメントおよび生石灰による処理も実施した。

4. 2. 1. 一軸圧縮強度試験

1) セメントおよび生石灰による処理

実験に使用したセメントは〇社製の普通ポルトランドセメントを、生石灰は U 社製のものを用いた。底質 A, A' に対しセメントは 10, 20, 30wt% 混入し、生石灰は 20wt% 混入する配合とした。生石灰を 25wt% 以上混入すると供試体が膨張し、強度に悪影響を与える傾向があり 30wt% の混入は除外した。供試体の寸法は $\phi 5 \times 10$ cm の円柱形とし、その作成方法は 3 層に分け各層をランマー (2.5kg, 落下高さ 30cm) にて 4 回突固め、ナイフで上面仕上げを行い即時脱型とした。

供試体の養生は $20 \pm 1^\circ \text{C}$ の恒温室において所定の材令まで湿潤または空中養生を行い、強度試験の方法は JIS A 1261 に準じて実施した。

底質 A にセメントを 10, 20, 30% 混入し、湿潤または空中養生すると材令 3, 7, 14, 28 日における圧縮強度は、図 2 に示すようにセメントの添加量に比例しかつ材令の進行と共に高くなることを示している。

同様に底質 A' に混入すると、初期の材令から強度の上昇は底質 A を処理した場合より大きく、図 3 のように固化処理が容易なることを示している。これらの強度は、一般に被処理物の含水比に反比例の関係を示すという過去の知見と一致する。

続いて生石灰による処理は、高含水物にしてボゾラン反応の背景を持つもの、即ち無機系底質の処理に適しており、その機構については既報を参照されたい。

当実験では、底質 A, A' に対し生石灰を 20% 混入

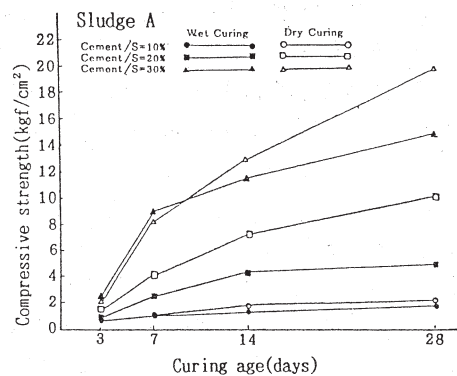


図2 処理物の圧縮強度と材令の関係

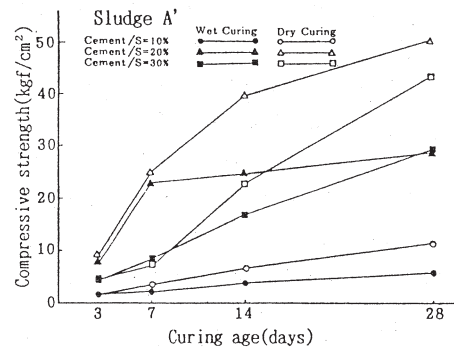


図3 処理物の圧縮強度と材令の関係

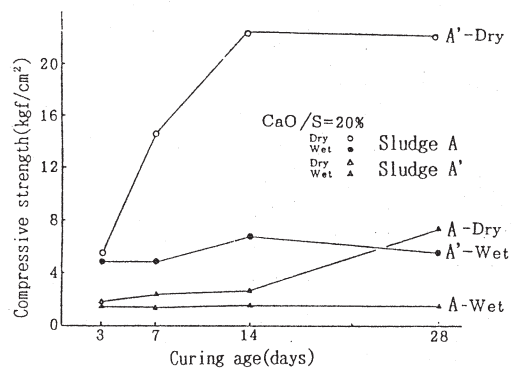


図4 処理物の圧縮強度と材令の関係

し、湿潤および空中養生下における材令 3, 7, 14, 28 日の圧縮強度を示すと図 4 のようになる。

以上の結果から、生石灰によって処理を行なうと、初期材令から強度を大きくさせるが、長期の伸びが悪く、既報¹⁾と同様に安定な強度の上昇を必要とする場合にはセメントによる処理が優位なることを示す。

2) 高温履歴型廃棄粉体を用いた処理⁴⁾

ここに示す処理法の主要点は、粉体系に底質の水分を吸収させ、また、それらに含有している SiO_2 や Al_2O_3 と Ca(OH)_2 とのボゾラン反応を進行させ固化するものである。

下水焼却灰のうち、汚泥の脱水工程において消石灰を凝集剤として使用している場合は、焼却灰自体にカルシウムシリケートまたはカルシウムアルミネート系化合物が含有されており弱水硬性を示し、高含水汚泥

の固化材として良好な性状を保持しており、これを利用することは極めて有効である。

固化処理材である廃棄粉体の混入量は、混合後即時ダンブトラックで運搬可能な状態、即ち JIS R 5201 によるフロー値が 105 以下となる配合とした。それらの配合は、底質 A に対しては焼却灰 (Ash) を 30 wt%, および焼却灰に対し生石灰またはセメントを 5~15% 添加したものとした。底質 A' に対しては、Ash を 20 wt% 混入とし以下同様の添加物を加えた。

まず、底質 A に対し焼却灰を 30%, 底質 A' に対し焼却灰を 20% 混合し、湿潤および空中養生を行い、材令 3, 7, 14, 28 日における圧縮強度を測定すると

図 5 のようになり、養生方法では湿潤養生より空中養生の方が強度を大きくし、また、底質の含水比が小さい程強度を増加させることを示している。以上の結果から底質を即時運搬できる程度に処理する配合とすると、処理物は、材令 3 日においても底質 A では 1.2 kgf/cm^2 以上を、底質 A' では 2.0 kgf/cm^2 以上の強度を示し、建設工事用の埋戻し材以上の材料として利用可能である。

次に、焼却灰のポゾラン反応を一層促進させる目的で、焼却灰に対し生石灰を重量比にして 5, 10, 15% 添加した混合系を用いて前述と同様の方法により底質 A に対しては 30%, A' に対しては 20% 混合し処理すると、それらの強度と材令の関係は図 6, 図 7 のようになる。これらの結果によれば焼却灰単体による処理よりも初期強度を大きくする。しかし生石灰の混入量が 15% にもなると、A' のように含水比が低い場合膨張の影響を受け強度が不安定になる傾向を示す。

続いて処理物の安定な強度の伸びを計る目的で、焼却灰に対しセメントを重量比にして 10% 添加した混合系を用い、底質 A に 30%、A' に 20% 混合して処理すると、生石灰を混入した場合より、初期において強度はやや低いが長期的に緩やかな上昇傾向を示した。

これらの結果によれば底質の含水比に関係なく、焼却灰を即時運搬可能な程度混入すると、初期材令においても 1.8 kgf/cm^2 以上の強度を示し、表記の目的が達成されているようである。

4. 2. 2. 処理物の CBR 試験

前述の方法によって処理した底質を埋戻し材や路床材料として利用する場合、その良否を判定する方法には各種方法があるが、信頼性の高い CBR 試験により処理効果を判定することにした。

試験法は JIS A 1211 の第 1 方法に準じ、モールド内径 15cm, 3層 92 回締固めとして実施した。試料は底質 A, A' を各材料で処理し 7 日間以上経過したものを 10mm 以下になるよう粉碎し水分調整して用いた。

1) セメントおよび生石灰による処理物の性状

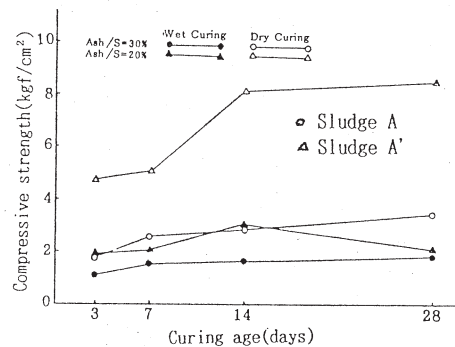


図 5 処理物の圧縮強度と材令の関係

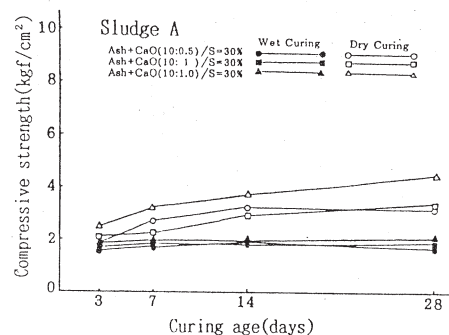


図 6 処理物の圧縮強度と材令の関係

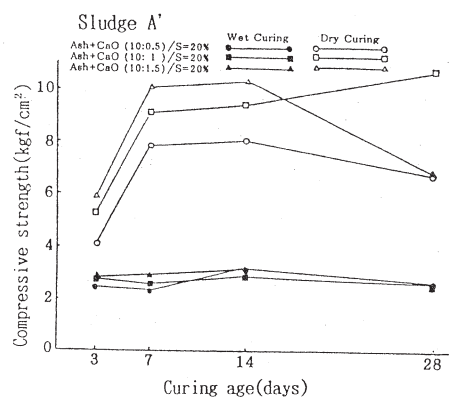


図 7 処理物の圧縮強度と材令の関係

処理物を水分調整して CBR 締固め特性を調査するとセメント処理では、最適含水比 (W_{opt}) は、底質 A, A' では 22.1~23.6%、最大乾燥密度 ($\gamma_{d_{max}}$) は、 $1.45 \sim 1.53 \text{ g/cm}^3$ となり、生石灰で処理したものは、 W_{opt} は、20.5~24.5%、 $\gamma_{d_{max}}$ は、 $1.39 \sim 1.49 \text{ g/cm}^3$ となる。

上記の条件に水分調整し、CBR 試験を行うと、 $CBR_{2.5}$ および $CBR_{5.0}$ は、セメント処理では 30~78% となり、生石灰処理では 41~87% となった。

2) 廃棄粉体を用いた処理物の性状

底質 A および A' を処理する配合は、一軸圧縮強度を試験した配合と同一とし、処理後 7 日間経過したものを水分調整し CBR 試験を実施した。

まず、焼却灰だけで処理すると、 W_{opt} は、23.0~25.5% となり $\gamma_{d_{max}}$ は $1.38 \sim 1.52 \text{ g/cm}^3$ となり

表5-1 処理物のCBR法によるWopt, γd_{max}とCBR値 (試料A)

Mix Proportion(%)	Wopt(%)	γd _{max} (g/cm ³)	CBR _{2.5} (%)	CBR _{5.0} (%)
Cement/S=30	23.6	1.45	75.1	78.5
CaO/S=30	24.5	1.39	41.3	43.3
Ash/S=30	25.5	1.38	42.9	44.8
(Ash+Cement)/S=30	30.1	1.28	24.3	27.6
(Ash+CaO)/S=30	25.0	1.32	41.7	45.1

*S:Sludge, Wopt:Optimum Moisture Content, γd_{max}:Maximum Dry Density

表5-2 処理物のCBR法によるWopt, γd_{max}とCBR値 (試料A')

Mix Proportion(%)	Wopt(%)	γd _{max} (g/cm ³)	CBR _{2.5} (%)	CBR _{5.0} (%)
Cement/S=20	22.1	1.53	30.0	37.1
CaO/S=20	20.5	1.49	85.1	87.1
Ash/S=20	23.0	1.52	24.3	26.2
(Ash+Cement)/S=20	19.0	1.57	48.9	48.6
(Ash+CaO)/S=20	20.0	1.54	74.3	74.3

CBR_{2.5} および CBR_{5.0} は、24.3～42.9% となる。同様に、焼却灰に生石灰を10%加えたものではWopt は19.3～24.1%, γd_{max} は、1.29～1.39g/cm³ となりCBR_{2.5} およびCBR_{5.0} は41.7～74.3%となる。同様に焼却灰に少量のセメントを加えたものではWoptは17.4～30.2%, γd_{max} は1.28～1.35g/cm³ となり CBR_{2.5} および CBR_{5.0} は24.3～48.9%となる。以上の結果を取りまとめると 表 5-1、表5-2 のようになる。

これらの結果から、総じていえることは、底質の性状が変化しても、焼却灰を主材とする系で処理するとWopt は高く、γd_{max}を低くするがCBR値は高い状態を保持することができ、即時運搬できる程度に処理したものは 7日後、建設省土質選定基準から評価しても、埋戻し材や路床材等に充分利用できることが明らかになった⁵⁾。

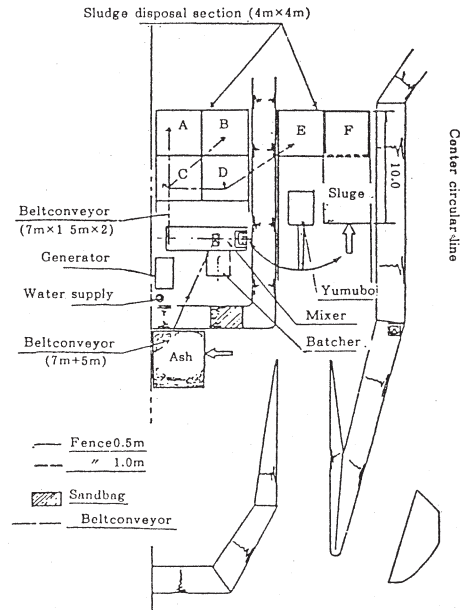


図8 現場実験の機材の配置図

5. 現場規模の実験

室内実験である程度の成果が得られたので、現場規模の実験を行った。

5. 1. 実験概要

一般に粉体系固化材を高含水比の底質に混合すると含水比が低下するに従い、混合物は塑性状態になりバッチ式の強制ミキサーを使用すると、攪拌羽の境界部でアーチング現象を起こし、攪拌は不可能となる場合が多い。本実験では、この問題を解決する目的で流動化コンクリート用のレミキサーを改良した連続ミキサーを使用した。実験には試料Bの底質を用いた。機材の配置は図8に示すように、底質と処理材を自動計量機を用いてミキサーに投入攪拌し、それぞれの混合物はベルトコンベアーを介してA～Eヤードに即時挿入した。なお屋外で行った現場実験場の全景を写真1に示し、底質と各種処理材の配合は即時運搬可能な状態になる配合としそれらを表6に示す。

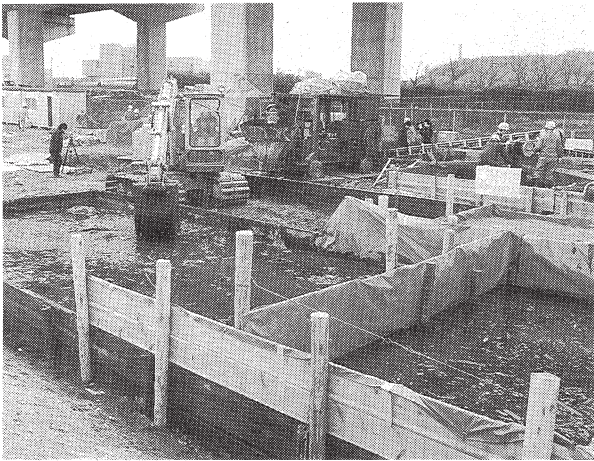


写真1 現場実験場の全景

表6 現場実験の底質と処理材の配合

Section	Sludge	Ash	Admixture	Total volume
A	7.1m ³ (8.42t)	4.25m ³ (2.55t)		8.0m ³ (10.97t)
B	6.84m ³ (8.2t)	5.47m ³ (3.28t)		8.0m ³ (11.48t)
C	7.0m ³ (8.4t)	4.2m ³ (2.52t)	CaO 0.13m ³ (0.128t)	8.0m ³ (11.05t)
D	7.0m ³ (8.4t)	4.2m ³ (2.52t)	Cement 0.13m ³ (0.128t)	8.0m ³ (11.05t)
E	6.7m ³ (8.0t)	5.2m ³ (3.1t)	CaO 0.2m ³ (0.2t)	8.0m ³

表7 現場乾燥密度と含水比

Section	Dry density (g/cm ³)	Water content (%)
A	1.27	30.4
B	1.15	38.1
C	1.11	32.0
D	1.11	30.5
E	1.07	28.8

5. 2. 実験結果

表6の配合で処理した混合物は何れも即時ダンブトラックで運搬できる状態に処理でき、そのうちA区画の混合物の状態を写真2に示す。

各処理区画の土としての物理的性状のうち材令1日の現場乾燥密度と含水比を調査すると表7に示すように、それぞれ現場乾燥密度は $1.07 \sim 1.27 \text{ g/cm}^3$ 、含水比は28.8~38.1%の結果が得られた。

次に施工後7日後の改良土の性状をみると、表8のようになり、日本統一土質分類と土質名は何れもSM（シルト質砂）に改良されていることを示した。

各区画の処理土の機械的性質のうちコーン指数(qc)を材令の進行に従い調査した。その結果、表9に示すように固化材を添加していないA、B区画においても材令の経過と共に強度が上昇しポソラン反応の進行が確認された。C、D区画の生石灰とセメントを添加したのも同様の傾向を示すが、焼却灰に5%の生石灰を加えたものを、底質にたいし40%混合したE区画のqcは、ポソラン反応も加わり含水比を低下させ、パサパサの状態になったため強度低下をきたしたものと考えられる。これらの結果から、当現場と同程度の底質を処理する場合、仮置きが可能な現場では、底質に対しここで用いた焼却灰と同程度の処理材を20~25%添加すれば、数日後には埋め戻し等に利用可能な良質土に改良できるものと考えられる。さらに安定性を望むならば、生石灰やセメント等の水硬性素材を少量添加することが望ましい。

6. 結 び

以上底質の各種性状と、それを粉体廃棄物のうち比較的性状が安定な下水焼却灰によって処理した処理物の物性につき検討したが以下のように要約できる。

大阪寝屋川水系に堆積する底質は石英、長石を主とした微粒鉱物と種々の有機物からなり、それらが水中で相互に凝集し、高度のフロックを形成しているものと考えられる。

粉体廃棄物のうち下水焼却灰のような高温履歴型のものは、それらに有害性がないか、添加物の混入により有害物質の固定化が可能な場合には、それらの特徴を考慮して再資源化を図る必要がある。特にこれらは、化学的にはポソラン活性があり、物理的には微粒子の捕捉を含む吸水性と保水性が大きいため、処理処分が困難とされている河川底質や建設用廃泥水等の処理材料として有効利用が可能なることを示した。なお粉体中に Ca^{2+} を含有していない場合には、それらを適量添加し改質することによって高含水性廃棄物との複合処理が可能なることを示唆するものである。



写真2 A区画の混合即時における処理土の状態

表8 施工7日後の混合物の性状

Section name		A	B	C	D	E
Grading property	Gravel fraction (2000 μm) %	11	4	5	5	12
	Sand fraction (74~2000 μm) %	60	68	58	62	68
	Silt fraction (5~74 μm) %	15	17	22	19	15
	Clay fraction (5 μm under) %	14	11	15	14	14
	Maximum particle diameter mm	19.1	9.5	9.5	9.5	9.5
	Uniformity coefficient U_c	210.0	109.5	363.6	244.4	154.8
	Curvature coefficient U_c	6.7	6.3	6.9	6.2	16.2
Specific gravity G_s		2.739	2.812	2.701	2.743	2.805
Water content W_n %		26.1	26.2	30.1	26.1	18.2

表9 各区画の材令とコーン指数(qc)の関係

...	...	A			B			C			D			E			F		
		3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28
0	...	23.4	28.1	30.5	12.9	14.1	16.4	9.3	10.5	11.7	19.9	21.1	22.3	2.3	3.5	3.5	4.7	8.2	12.9
5	...	21.6	28.1	30.5	28.1	29.3	36.3	10.5	11.7	12.9	21.6	25.8	32.8	7.0	8.2	9.4	5.9	11.7	18.8
10	...	25.8	30.5	35.2	28.1	29.3	36.3	16.4	17.6	19.9	24.6	25.8	32.8	5.9	7.0	8.2	5.9	11.7	22.3
15	...	27.0	30.5	29.3	22.3	24.6	25.8	16.4	18.7	19.9	25.7	28.1	30.5	7.0	4.7	5.9	7.0	16.4	25.8
20	...	27.0	30.5	31.6	14.1	15.2	17.6	23.4	25.8	28.1	25.7	28.1	30.5	7.0	5.9	7.0	7.0	16.4	23.4
25	...	25.8	30.5	30.5	14.1	15.2	17.6	19.9	19.9	22.3	28.1	30.5	32.8	7.0	5.9	7.0	7.0	18.8	28.1
30	...	21.1	22.3	25.8	11.7	12.9	15.2	15.2	14.1	18.7	18.7	21.1	21.1	7.0	8.2	8.2	5.9	18.8	31.6
35	...	25.8	27.0	29.3	11.7	12.9	15.2	18.7	23.4	23.4	11.7	12.9	14.1	8.2	8.2	8.2	7.0	23.4	38.7
40	...	28.1	30.5	32.8	28.1	30.5	34.0	17.5	18.7	19.9	10.5	11.7	11.7	7.0	8.2	7.0	15.2	25.8	38.7
45	...	16.4	17.6	18.7	28.1	30.5	34.0	14.0	16.4	17.6	10.5	11.7	11.7	7.0	7.0	7.0	21.1	28.1	35.2

* Section name
 ** Curing age (Days)
 *** Depth from surface (cm)

参考文献

- 1) 玉井元治：ダスト・残灰の処理と材料化、廃棄物の処理と再利用(土木学会関西支部講習会テキスト)、pp. 55-70, 1981
- 2) 前嶋俊壽、玉井元治、他：粉体廃棄物の再資源化に関する研究(第11)——粉体廃棄物による都市河川底質の処理とその有効利用——、近畿大学環境科学研究所研究報告、第16号、pp. 189-202, 1988
- 3) 前嶋俊壽、玉井元治、他：粉体廃棄物の再資源化に関する研究(第8報)——粉体廃棄物による都市河川底質の処理とその有効利用——、近畿大学環境科学研究所研究報告、第13号、pp. 165-177, 1985
- 4) 玉井元治、本多淳裕、杉浦勝善：高温履歴焼却灰の有効利用、第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集I、pp. 377-380, 1993
- 5) 玉井元治：建設汚泥の処理と再利用について、積算資料(臨時増刊)建設副産物、'94-1, pp. 77-82, 1994