

II - 452

堆積底泥（ヘドロ）の固化処理に関する実験的研究

早稲田大学理工学部 学生員 佐藤 大輔
早稲田大学理工学部 正会員 遠藤 郁夫
足利工業大学工学部 正会員 桃井 徹

1. はじめに

河川、湖沼、都市部の運河水域などでは、都市活動に伴う流入負荷の増大、特に合流式下水道からの流入がある感潮河川域では、降雨時には汚濁物質が流入し、諸物質を含め微細な土粒子が堆積して、底泥を形成する。所謂ヘドロである（以下ヘドロとする）、このような水域におけるヘドロは汚染源として大きな社会問題或いは環境問題となっている。本研究は東京湾に堆積しているヘドロを対象として、安定処理剤（固化処理剤）として石灰系材料、安定処理助剤（固化助剤）としてフライアッシュ、クリンカーアッシュおよび木炭等を用いて、安定処理実験を行い、若干の知見を得たものである。

2. ヘドロの性質

ヘドロの粒径加積曲線を図-1に示した。ヘドロの分類はシルト質細砂と考えることが出来た。また、最大粒径 2mm 、平均粒径 $D_{50}=0.11\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=6.82$ 、ヘドロ粒子の密度 $\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$ 、透水係数 $k=3.0\times 10^{-4}\text{cm/sec}$ であった。ヘドロの含水比 $w=121.6\sim 123.9\%$ 、含泥率は $44.2\sim 44.7\%$ であった。また、ヘドロ、フライアッシュ、およびクリンカーアッシュの化学的組成を表-1に示した。

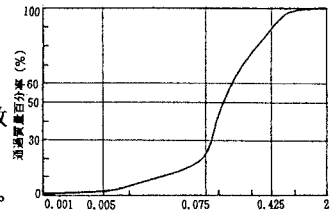


図-1 ヘドロの粒径加積曲線

3. 安定処理における安定処理剤と助剤との関係

安定処理剤としてセメント系、石灰系、アスファルト系、高分子系および水ガラス系が考

表-1 ヘドロ、フライアッシュおよびクリンカーアッシュの化学的組成

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)	無機炭素 (%)	有機炭素 (%)	水分 (%)	灰分 (%)
東京湾ヘドロ	54.1	16.6	6.88	2.48	2.57	0.90	2.11	3.42	5.4	2.46	0.054	0.0095
フライアッシュ	47.2	24.1	5.19	2.52	10.5	1.59	0.94	1.36	—	—	—	—
クリンカーアッシュ	52.2	23.9	4.56	2.17	9.06	1.52	0.66	0.69	—	—	—	—

られるが、無公害性、固化強度、施工性、経済性、および長期安定性などの諸点からすれば、主として、セメント系および石灰系が考えられる。本実験では、安定処理剤として、 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、安定処理助剤として、フライアッシュ、クリンカーアッシュおよび木炭等を使用した。その粒径加積曲線を図-2に示した。また粒径組成および吸水量を表-2に示した。

表-2 安定処理剤の粒径組成および吸水量

	フライアッシュ	クリンカーアッシュ	木炭
最大粒径 (mm)	2	9.5	4.75
D_{50} (mm)	0.048	1.21	0.72
D_{10} (mm)	0.039	1.12	0.64
D_{30} (mm)	0.036	0.70	0.48
D_{15} (mm)	0.034	0.13	0.18
均等係数 U_c	1.41	9.31	4.00
曲率係数 U_c	0.79	3.12	1.78
密度 ρ_s (g/cm ³)	2.24	2.36	1.48
吸水量 (ml/g)	0.62	0.83	3.71
吸水量 (木屑液)	—	—	2.88

(1) ベンテストによる CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ とフライアッシュ、クリンカーアッシュ、および木炭との関係

安定処理剤として CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を用い、助剤としてフライアッシュ、クリンカーアッシュ、および木炭等を使用した。 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ は、ヘドロの乾燥重量に対して0~20%までとし、助剤としてのフライアッシュ、クリンカーアッシュ、および木炭等の添加割合は実験的検討の結果7.5%とした。平均室温 20°C ($19\sim 21^\circ\text{C}$)、被覆養生材令5日におけるベンテストによるせん断強度試験結果を図-3に示した。 CaO および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とフライアッシュ(7.5%)

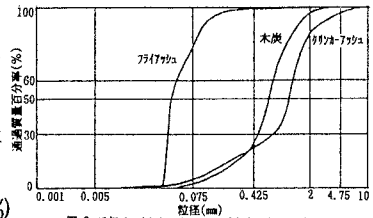
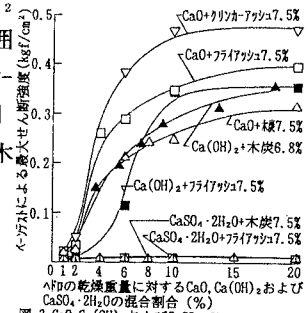


図-2 フライアッシュ、クリンカーアッシュ、および木炭の粒径加積曲線

との関係は混合割合の増加とともにせん断強度は急激に増して、 CaO と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の混合割合10%以上ではせん断強度は飽和曲線を示し、 $0.35\sim 0.41\text{kgf/cm}^2$ の範囲となった。特に CaO では混合割合6%以上で飽和傾向が認められた。 CaO とクリンカーアッシュはせん断強度の発現が著しいことが認められた。すなわち、 CaO の混合割合10%で飽和傾向が見られ、 $0.4\sim 0.47\text{kgf/cm}^2$ となった。 CaO および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と木炭との関係は混合割合10%以上で飽和曲線となり、せん断強度の挙動は、フライアッシュの場合とほぼ同様で、その強度は $0.3\sim 0.35\text{kgf/cm}^2$ の範囲であった。せん断強度の発現は CaO と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ との間で有意の差は必ずしも認められなかった。 $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ とフライアッシュおよび木炭との関係では強度の発現が見られなかった。

図-3 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ とフライアッシュ、クリンカーアッシュ、および木炭との関係

(2) 一軸圧縮試験

図-4は平均室温20℃(19~21℃)において被覆養生6日後におけるCaOの混合割合(ヘドロの乾燥重量に対して)と一軸圧縮強度との関係を示した。圧縮強度はCaO 8%まで急激に上昇し、8~20%の範囲では飽和的傾向が認められた。このことから、CaO 8%混合した場合の圧縮強度の経時変化を図-5に示した。強度の発現は打設後6日までは急激に上昇し、7日以降はplateau領域を示していることが認められた。図-6は安定処理剤CaO8%混合した場合、助剤としてのフライアッシュ、木炭、およびクリンカーアッシュの一軸圧縮試験におよぼす影響について示したものである。圧縮強度の増加に対してはフライアッシュの効果が最も大きく、特に4%以上では5~6kgf/cm²に達した。木炭では助剤効果は5%以上で、4.5~5kgf/cm²まで増加した。クリンカーアッシュの助剤効果はほとんど認められなかった。図-7は粘着力に対する助剤の影響である。フライアッシュの効果が最も大きく、6%以上ではほぼ1.4~1.8kgf/cm²に達している。クリンカーアッシュと木炭の助剤効果は、事実上有意の差異は認められなかった。図-8は内部摩擦角に対する助剤の影響を示した。その効果は必ずしも明確ではないが、CaOのみの場合は30°位と考えられ、少なくとも助剤効果が若干あるものと考えられた。

(3) pH

図-5から初期の第一段階における石灰と粘土鉱物との化学的反応は打設後ほぼ6日で完了するものと考えることができた。この時点におけるpHの変化は、CaOの場合、混合割合2~20%ではpH=11.0~12.7の範囲、CaO 8%で助剤としての木炭混合割合1~20%ではpH=12.2~12.5の範囲、同様の混合割合のフライアッシュではpH=12.3~12.5、クリンカーアッシュではpH=12.6~12.8の範囲であった。一般的に安定処理におけるpHは、いずれの工法でもこの範囲である。環境に対するアルカリ汚染が深く憂慮される問題である。今回は中和剤として強化木酢(CH₃COOHで強化)を消石灰の中和理論量の0.4~1.0倍を木炭

に湿潤させ、初期硬化反応がほぼ完了すると考えられる6日後以降に、再度練り返すことによって、中和効果を試みた。再度練り返し、更に材令(被覆養生)7日後の一軸圧縮試験を行なって表-3に示した。材令6日後に練り返すよりも、13日後に練り返した場合には中和効果および圧縮強度も大きいことが認められた。しかしながら、圧縮強度は1/30~1/50程度に減少することも認められたが、表-3から中和後の材令の増加によって、圧縮強度はある程度回復するものと考えられる。

4. 総括および結論

東京湾のヘドロについて、安定処理剤としてCaO, Ca(OH)₂およびCaSO₄・2H₂O, 助剤としてはフライアッシュ、クリンカーアッシュ、および木炭等を用いて安定処理実験を行ない、ベンテストによるせん断試験、一軸圧縮試験等から、圧縮強度、粘着力、内部摩擦角およびpHの調整等について若干の知見を得ることができた。すなわちフライアッシュはCaOと粘土鉱物の化学反応に活性化を、木炭は吸水性による圧縮強度、内部摩擦角の増加、更に中和調整用素材となった。このようなことから、安定処理土の埋め立て、或いは盛土等への利用方法、更に、植生土のための客土材料としての可能性等について多くの示唆を得ることができた。

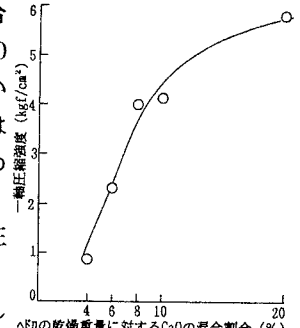


図-4 ヘドロの乾燥重量に対するCaOの混合割合と圧縮強度との関係

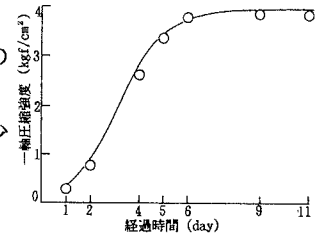


図-5 ヘドロの乾燥重量に対してCaOを8%混合した場合の圧縮強度の経時変化

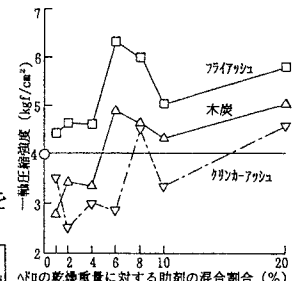


図-6 ヘドロの乾燥重量に対してCaOを8%混合した場合の圧縮強度に対する助剤の影響

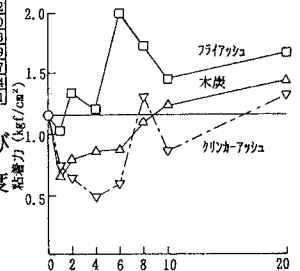


図-7 ヘドロの乾燥重量に対する助剤の混合割合(%)

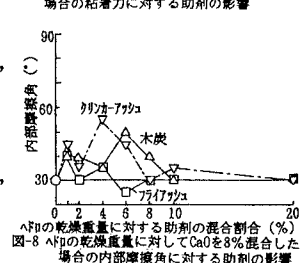


図-8 ヘドロの乾燥重量に対してCaOを8%混合した場合の内部摩擦角に対する助剤の影響