

## セメント系固化材による湖成粘土の安定処理

田熊勝利\*・猪迫耕二\*・福島由香子\*\*

平成12年6月30日受付

\*鳥取大学農学部生存環境学講座, \*\*藤コンサルタンツ株式会社

## Stabilization of Lake Clay Using Cement Type Solidifier

Katsutoshi Takuma\*, Koji Inosako\*, and Yukako Fukushima\*\*

\*Department of Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-8553, Japan

\*\*Fuji consultants Co. Ltd. Nagoya 451-0025, Japan

A study was made on increasing the strength of lake clay, namely dredged clay, by mixing a stabilizer. When the lake clay called KOYAMA soil is decreased in moisture content to about 70%, a great strength increasing effect is obtained. When the KOYAMA soil is low in moisture content at the time of compaction, its dry density is high, but its strength cannot be increased if it has not enough moisture content for hydration. Regardless of the initial moisture content of the soil, the stabilizer mixing ratio developing its peak strength ranges from about 15 to 30%. Even after having been cured, the stabilized clay denotes an alkalinity as strong as higher than pH12. Thus, care should be taken to the leaching of alkalis. An increase in the stabilizer not participating in the hydration in the clay produces a reverse effect on strength increase. Therefore, it is desirable in terms of efficiency and environmental protection that the stabilization be effected by combining proper moisture content with proper stabilizer mixing.

(Received 30 June 2000)

*Key words: soil stabilization, lake clay, liquidity index, unconfined compressive strength*

### 緒 言

最近、環境負荷を考慮した再利用産業システムの考え方が、取り込まれるようになった。そして、この考えが建設現場でも応用されるようになり、建設現場から出される建設発生土（不良土）の利用率はここ数年低下しており、不良土についてのリサイクル推進の声が高まってきている。

河川、湖沼、港湾工事などで生じる浚渫土も建設発生

土の一つであるが、これらは一般に軟弱で含水比が高く、いわゆる軟弱粘土である。この粘土は不良土として取り扱われ、セメント系固化材添加により固結され産業廃棄物として処理されているのが現状である。これを建設材料として利用するにはセメント等による安定処理が必要となる[1]。建設発生土の含水比低下を促す自然処理には土を乾燥させるのに必要な放置できる広い場所と時間を要する。このことから多くは自然含水比に近い状態で処理されている。しかし環境面からは固化材の使用量を

できるだけ抑えることが望ましい。本研究では、浚渫土である湖成粘土を用いて安定処理における初期含水比と改良効果との関係を検討した。

実験方法と内容

湖山池の浚渫土である試料土（以降湖山土と称する）の土質特性を第1表に示す。湖山土は自然含水比が高く液性指数が1.0以上の軟弱な湖成粘土である。土質安定材としては、セメント系固化材「タフロック TL-3」（住友大阪セメント(株)製）を用いた。セメント系固化材は水和反応によって多量の土中水を取り込み、土粒子を固定して軟弱粘土の強度を増進させるものである。本実験では試料土を液性指数2.0, 1.2, 0.6, 0.3, 0に対応する5段階の含水比に調整し、固化材の添加率は試料土の乾燥質量に対して7, 10, 15, 20, 25, 30%とした。第2表に液性指数と含水比の組合せを示す。

第1表 試料土の土質特性

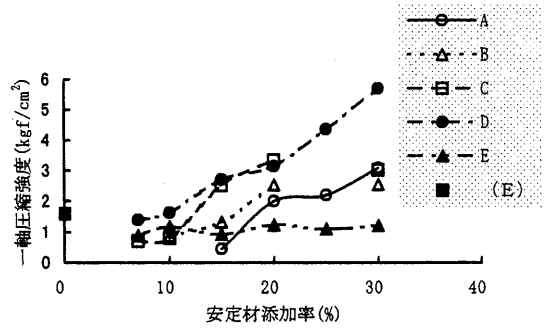
湖山土	
砂分 (%)	0.0
シルト分 (%)	46.0
粘土分 (%)	54.0
土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.616
液性限界 (%)	87.5
塑性限界 (%)	46.5
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.215
最適含水比 (%)	39.8
強熱減量 (%)	16.6
pH	5.9

第2表 所要液性指数

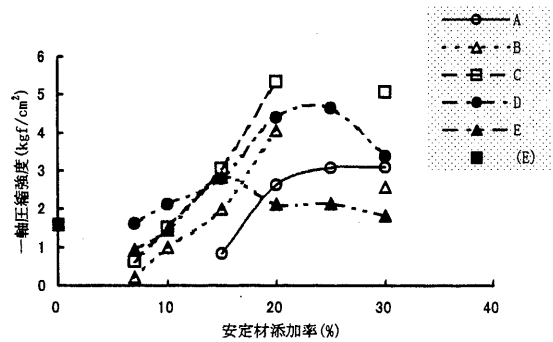
実験名	液性指数	含水比 (%)
A	2.0	128.5
B	1.2	95.7
C	0.6	71.1
D	0.3	58.8
E	0	46.5

(1) 所要強度について

所要強度は施工特性と地盤特性の両面から決定した。



第1図 材令3日強度



第2図 材令7日強度

施工特性とは作業機械の走行性などを、地盤特性とは各用途に応じた地盤強度を意味する。

施工時の走行性に関して、最も強度を要求されるダンプ走行にはコーン指数  $q_c \approx 10 \sim 15 \text{ kgf/cm}^2$  以上の値が必要である。また、改良土を路床・理戻材などに利用するには、 $\text{CBR} = 10\%$ 以上の地盤強度が必要である。コーン指数  $q_c$  と一軸圧縮強度  $q_u$  との間には  $q_c \approx 5.0 \times q_u$ 、 $\text{CBR}$  値と一軸圧縮強度  $q_u$  の間には  $\text{CBR} \approx 4.5 \times q_u$  の相関があることから、改良土の品質は一軸圧縮強度  $q_u$  で評価できるとし、材令7日における一軸圧縮強度  $q_u = 2.2 \text{ kgf/cm}^2$  以上を所要強度とした。

(2) 供試体の作製

供試体は、試料土と固化材を均一になるように5分間混合した後、モールド（直径6.4cm、高さ11.5cm）に3層ずつ、ランマーで各層25回突固めて（ランマー質量2.5kg、落下高さ11.1cm、突固めエネルギーはStandard Proctorによる）作成した。供試体はラップで覆い、20℃の恒温室で養生した後、ラップを外して所定期間の最後に24時間水浸させ、これを一軸圧縮試験に用いた。また、供試体作成時から一軸圧縮試験終了後までの含水比およびpHを測定し、乾燥密度と合わせて改良効果との関連を

検討した。

結果および考察

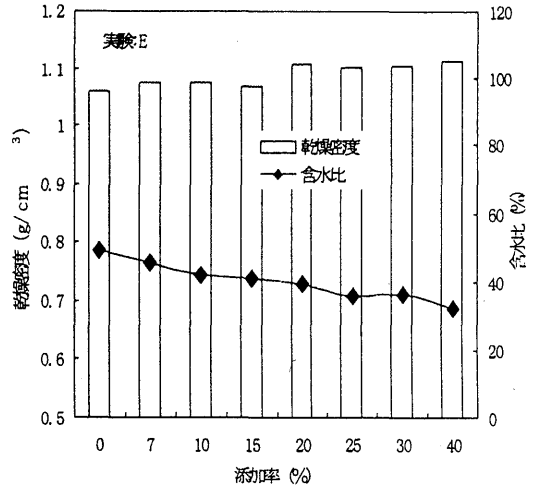
(1) 一軸圧縮強度について

供試体は、3, 7, 28日(28日は添加率10, 20%のみ)の各材令について一軸圧縮試験を行い、強度を中心に改良効果の検討を行った。材令3日および7日における強度をそれぞれ第1, 2図に示す。なお、安定材添加率0%におけるEの強度(養生せず)を他の添加率の場合と比較するため、この値を図中に(E)として加えた。含水比の低いDは、材令7日強度の添加率10%で所要強度2.2kgf/cm<sup>2</sup>に達する。その他の含水比については、塑性限界であるEが添加率15%でのみ所要強度に達し、高含水比になるにつれ、添加率の増加と共に強度が増加し添加率25%前後でピーク強度を示している。B, C, Dでは10~20%の間で強度の著しい増加が見られた。特に、最大の強度が得られた添加率20%のCについては、3日目ですでに所要強度に達しており、その後7日目までに強度が大きく伸びている。第2図から、土の初期含水比に関わらず、概ね添加率15~30%で強度のピークが現れると考えてよい。

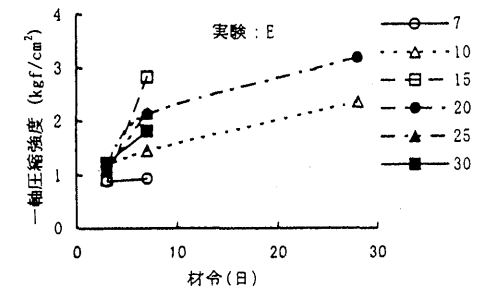
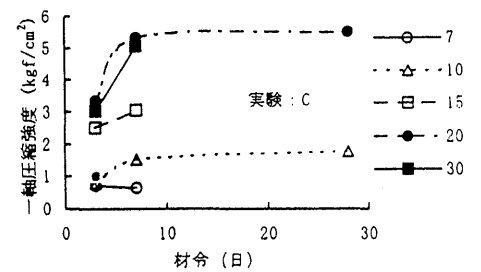
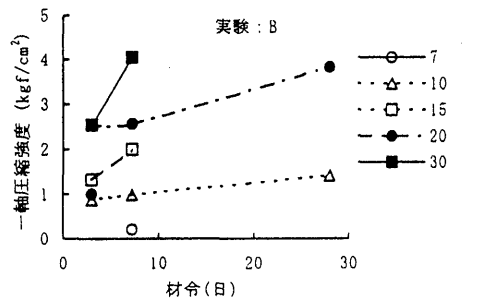
最も含水比の高いAについては添加率を10%以下にした場合、20日以上経過しても硬化が進まず、添加率15%でかろうじて自立するものの、強度は無視できるほど小さかった。また、Aは添加率20%で所要強度に達するが、添加率の増加に伴う強度変化が小さく、改良効果は低いと言える。Eで添加率7%の強度が0%に比べ低下した原因としては、①固化材が強度増加を期待できる量に満たなかった、②締固め時の含水比が最も高い乾燥密度を得られる最適含水比を下回ったなどが考えられる。添加率40%では土が粉状になり、突固め後すぐに崩れた。

第3図にEの締固め時における含水比と乾燥密度の関係を示す。添加率の増加に伴い含水比は低下しているが、乾燥密度にはほとんど変化が見られない。初期含水比の低いEでは、添加率が15%を越えると水和反応に必要な水分が不足すると同時に、水和反応に関与しない安定材が増加する。その結果、土と安定材との結合力が弱まるのが考えられる。B, C, Dについても、強度のピーク時を越えると固化材を増やしても強度の増加は期待できず、逆に強度は低下している。B, C, Eにおける強度の経時変化をそれぞれ第4図に示す。

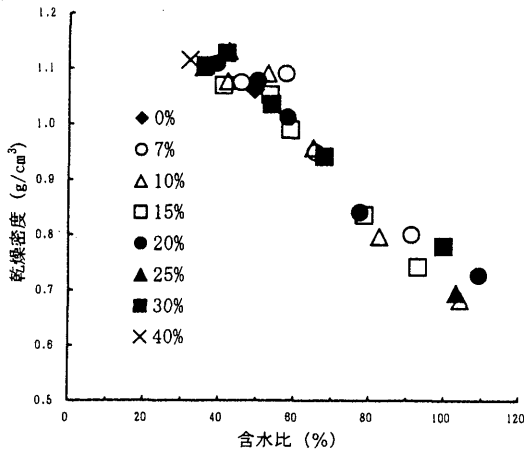
Cに関しては、3日から7日にかけて強度が著しく増加し、7日以降から変化が小さいことから、早い時期に強度がピークに達したと言える。BとEはC比べて強度の発現が遅い。その原因として、Eでは初期含水比が低いために、



第3図 締固め時の含水比と乾燥密度



第4図 一軸圧縮強度の経時変化



第5図 締固め時の含水比と乾燥密度

水和反応に必要な水分が不足していることが考えられる。また高含水比の B では、水分が十分に存在するため、最適含水比より湿潤側にあるためと考える。そして養生日数に伴う強度の大きな変化は見られないが、土中に十分な水分を含むため、養生日数が進むにつれて強度も少しずつ増加していくことが推測できる。

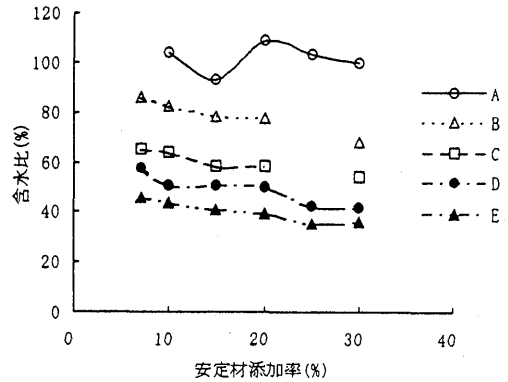
(2) 安定材添加による含水比

安定材と土粒子間隙水との間で水和反応が進むにつれて含水比は低下する。このことから含水比を改良効果の目安の一つとして、安定材添加前、添加後 20 分および一軸圧縮試験後の含水比測定を行った。

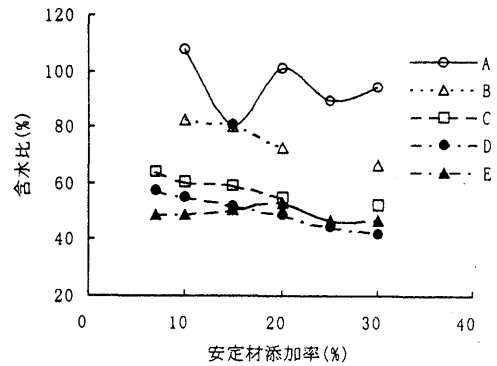
第 5 図に締固め時=供試体作成時(添加 20 分後)の含水比と乾燥密度との関係を示す。添加率の多少に関わらず、含水比の低下に伴い、乾燥密度は増加する傾向にあると考える。このことは湖山土に安定材添加した土の所要含水比がその最適含水比より湿潤側にあるためと推定する。

第 6, 7, 8 図にそれぞれ締固め時, 3 日および 7 日養生後の含水比と添加率の関係を示す。締固め時の含水比が初期含水比よりも低いことから、安定材を添加した直後から水和反応による硬化が始まっていることを示す。含水比は添加率の増加に伴い、また養生日数が進むにつれ、低下することが分かる。初期含水比の低い D や E では水浸後に若干含水比の増加が認められた。D や E の供試体は密でないため、水浸中に水が供試体の間隙に入り込んだものと考えられる。

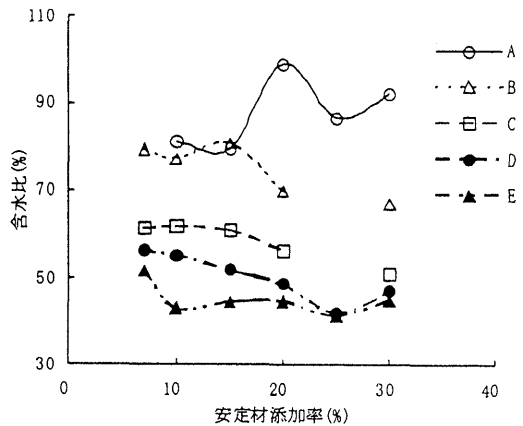
A に関して述べると、20%以上の高い添加率においても締固め時から含水比はほとんど低下していないが、第 2 図が示すように 7 日目には所要強度に達している。この



第6図 安定材添加率と初期含水比



第7図 3日養生後の含水比



第8図 7日養生後の含水比

ことから含水比が低いことがそのまま高い改良効果に結びつくとは言えない。

(3) pH について

固化反応が持続するためには処理土の pH が 11 以上に保たれる必要がある。このことから、安定材添加直後と

一軸圧縮試験後に pH の測定を行った。E で添加率の低い供試体が他と比べてやや低い値 (pH=11.5) を示したが、A-E 間で大差はなく、ほぼ一定の値 pH=12.5 を示し、一軸圧縮強度との相関は特に認められなかった。全体的に養生日数が進むにつれ、pH 値は低下する傾向にある。

### 総 括

河川、湖沼、港湾工事などで生じる浚渫土は産業廃棄物として処理されている。この浚渫土（湖山土）を再利用することを考える。浚渫土である湖成粘土を用いて安定材添加により湖山土の初期含水比と強度の改良効果とに検討を加えた。

湖成粘土である湖山土は、含水比 70%前後まで低下させると、高い改良効果が期待できる。締固め時の含水比が低いと、乾燥密度は高くなるが、水和反応に必要な水分量を満たさなければ強度の増加は期待できない。強度発現がピークとなる固化材の添加率は概ね 15~30%であり、土の初期含水比に関わらずほぼこの範囲内でピークが現れる。セメント系固化材は、もともと高含水比の土に対応した安定処理材であるため、添加率を増やせば

かなりの高含水比の土でも改良が可能である。しかし、処理土は養生後もほぼ pH=12 以上の強アルカリ性を示すことから、施工後の雨水等によるアルカリの溶出についても考慮すべきである。安定材は粉状で、それ自体の強度はあまり期待できず、水和反応に関与しない固化材が土中に増えることは、強度発現の面で逆効果である。よって、適正な含水比と添加率を組み合わせる施工することが、効率と環境の両面から望ましい。

### 謝 辞

実験に使用したセメント系固化材はライト工業㈱より提供していただいた、記して、深謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 上 俊二, 藤原東雄, 竹内 潤, 福田 靖, 酒井敏明, 柳原勝也: セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質, 土木学会論文集, No. 582/III-41, 217-228 (1997)