

VII-305

堆積底泥の固化処理に関する実験的研究

早稲田大学 学生員 佐藤大輔・正会員 遠藤郁夫
足利工業大学 正会員 桃井徹
国土総合建設KK 正会員 福島徳良

1. 緒言

閉鎖性水域，とくに港湾，湖沼等の堆積底泥（以下ヘドロとする）の固化処理を行い，固化処理土の有効利用を目指して，実験的研究を行った。

2. 固化対象土の性質

表-1 処理対象土の主な物性値

固化処理実験に使用したヘドロは，霞ヶ浦ヘドロである。表-1にその物性値を示す。土質工学的分類は粘土であった。

（1）CaOによる固化処理土の力学的性質

CaOの混合割合（乾燥重量比）と一軸圧縮強度との関係を図-1に示した。その全体的傾向は，

25%付近に変曲点を持つシグモイド曲線（Sigmoid Curve）型の複合曲線に類似している。一軸圧縮強度は，CaOの混合割合10%位までは漸増し，10-20%で飽和傾向となり，30%以上から急激に増加している。しかし，その一軸圧縮強度は非常に小さく，CaO20%および30%ではそれぞれ0.056kgf/cm²，0.096kgf/cm²であった。

図-2はヘドロにCaO30%（乾燥重量比）を混合した場合の経過時間と一軸圧縮強度との関係である。図示のように，実験の範囲では一軸圧縮強度の経時変化は全く認められなかった。

図-1および図-2のような現象が生じた理由につき，つぎのように考察される。一つは含泥率が32.3%と極めて小さいことがあげられる。ヘドロ中の水分が多いので，CaOの混合割合が低いと，ヘドロ粒子と反応して強度発現に寄与するはずのCa²⁺の濃度が非常に低下してくるため一軸強度が小さくなった。CaOの混合割合が30%以上になって，はじめて強度発現に寄与できるCa²⁺濃度が確保され，一軸圧縮強度が直線的に増加した。つぎにヘドロの強熱減量が14.8%と高いことがあげられる。ヘドロの強熱減量が極めて高いことから，ヘドロ中には，土壤有機物としてのフミン物質が含まれていると理解される。これから，イオン化したCa²⁺がこれらの酸類に捕捉され，強度発現に関与するCa²⁺が不足するために一軸圧縮強度が低くなると推察される。また，フミン酸カルシウムの疎水層が，石灰粒子の表面に形成されるため，水和反応が遅延し，強度増加が起こらなかったとも考えられる。

（2）普通ポルトランドセメントにより固化処理したヘドロの力学的性質

セメントの混合割合（乾燥重量比）と一軸圧縮強度との関係を図-3に示した。セメント混合割合が15-40%の範囲で，一軸圧縮強度は直線的に増加している。この関係は高い相関性をもって，次式（1）で示すことが出来た。

項目	霞ヶ浦ヘドロ
自然含水比	205
液性限界 (%)	195
塑性限界 (%)	59.8
粘土分 (%)	58.0
シルト分 (%)	36.1
砂分 (%)	5.9
D ₅₀ (mm)	0.0036
ρ_s (g/cm ³)	2.50
ρ_t (g/cm ³)	1.22
強熱減量 (%)	14.8

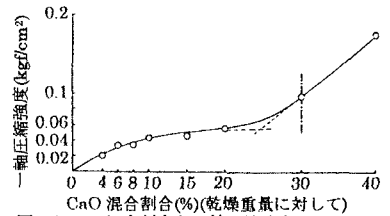


図-1 CaO混合割合と一軸圧縮強度との関係（霞ヶ浦ヘドロ，気間被覆養生20℃，材令6日）

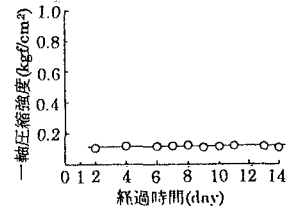


図-2 CaO30%混合した場合の経過時間と一軸圧縮強度との関係（霞ヶ浦ヘドロ，気間被覆養生20℃）

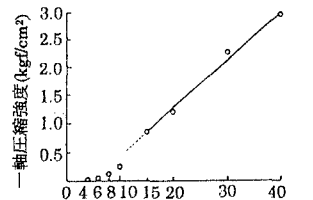


図-3 セメント混合割合と一軸圧縮強度との関係（霞ヶ浦ヘドロ，気間被覆養生20℃，材令6日）

$$\sigma_e = -0.443 + 0.0858x \quad (r=0.99) \quad (1)$$

σ_e : 被覆養生 20℃, 材令 6 日の一軸圧縮強度 (kgf/cm²)

x : セメント混合割合 (%) (乾燥重量比 15~40%)

図-4 はセメント 20% (乾燥重量比) 混合のヘドロでの経過時間と一軸圧縮強度との関係である。一軸圧縮強度は, 材令 2 日までは急激に増加し, 材令 7 日で 1.2kgf/cm² 程度となる。一軸圧縮強度は材令とともにさらに増加し, 材令 14 日では $\sigma_{14}=1.4\text{kgf/cm}^2$ に達する。

図-5 はセメント 20% (乾燥重量比) 混合のヘドロでの経過時間とコーン指数との関係である。この実験では, 全養生期間中の最後の 4 日間は水中養生 20℃ とし, その前日までは被覆養生 20℃ としている。図によれば, コーン指数はヘドロのみの 0.1 から, 材令 1 日では 8 に達し, その後さらに増加し 14 程度に落ちついた。この $q_c=14$ から, 固化処理しない未処理の土ではほとんどの施工機械が運行可能とされる。これから, このヘドロにセメント 20% を混合するとき, その施工性は相当程度改良されるものと推察される。ただ, 固化処理したヘドロのトラフィカビリティについては未だ不明な点も多く, これは今後の検討課題である。

図-6 に, ヘドロのみおよびセメント 20% (乾燥重量比) 混合のヘドロに関し, 材令 1 日, 7 日及び 28 日で一面せん断試験を行ったときの結果を示す。ヘドロのみでは内部摩擦角が現れず, セメント 20% を混合すると材令に関わりなく 30° ほどの内部摩擦角を持つようになる。また粘着力は材令 1 日では 0.16kgf/cm² とかなり小さいものの, 材令 7 日と 28 日では 0.32kgf/cm² までに増加している。

図-7 に, ヘドロのみおよびセメント 20% (乾燥重量比) 混合のヘドロに関し, 材令 1 日, 7 日, 14 日及び 28 日で圧密試験を行ったときの, 圧密圧力と間隙比との関係を示す。ヘドロのみの場合は圧密荷重が増大すると間隙比は直線的に減少している。セメントを混合すると, 材令に関わりなく, 1.4kgf/cm² 付近の圧密荷重のところで変曲点が認められるようになる。これはあたかも過圧密粘土が正規圧密状態に至ったかのように見える。しかし, この変曲点での圧密荷重はこの固化処理土の一軸圧縮強度とほぼ同程度であることおよびセメントを混合すると内部摩擦角が現れることなどを勘案すると, 固化処理土にある程度の骨格構造が形成され, そのために上のような変曲点が現れたとも考えられる。この変曲点を過ぎると, ヘドロのみの場合よりも圧縮性が増大し, 圧密が速やかに進行する傾向にある。この現象についても, 固化処理土に構造が変化し, 透水性が増すことが原因と考えられた。

3. 総括および結論

今回の実験では, 霞ヶ浦ヘドロを酸化カルシウムおよび普通ポルトランドセメントを用いて固化処理した。その結果, 今回実験の霞ヶ浦ヘドロではセメントがより有効と認められ, その力学的性質も一定程度明かになった。ただ, 固化処理土のトラフィカビリティの問題については, 今後の課題として残した。

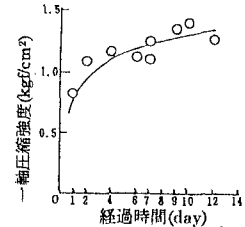


図-4 セメント 20% 混合した場合の経過時間と一軸圧縮強度との関係 (霞ヶ浦ヘドロ, 気間被覆養生 20℃)

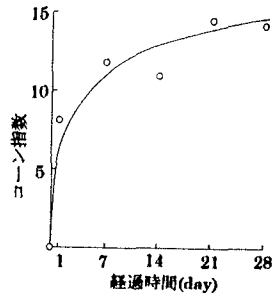


図-5 セメント 20% 混合した場合の経過時間とコーン指数との関係

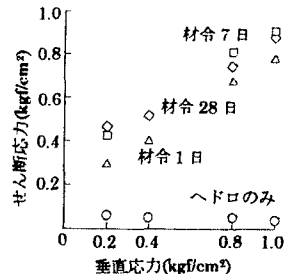


図-6 一面せん断試験 (CD) 結果 (歪み速度 0.02mm/min)

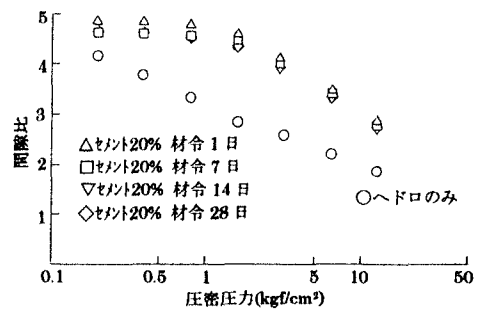


図-7 圧密圧力と間隙比との関係