

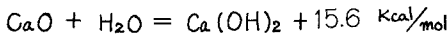
東海大学 正会員 稲田 悟穂 学生員 太田 正彦
正会員 赤石 勝 学生員 山田 道男

1. まえがき

生石灰パイルを用いた土質安定処理工法は、生石灰が粘性土中の間ゲキ水を吸収消滅し、膨張・発熱することによって地盤を圧密改良するものといわれている。また、軟弱地盤の深部にある工質を短期間に改良するためにとくに効果があるといわれている⁽¹⁾。しかし、サンドドレーン工法などにくらべ、比較的新しい工法なので、適用地盤、改良効果および改良のメカニズムなどについて、まだ明らかにされていない点が多い。今回は、室内模型実験により基礎的な研究を行ったので、その結果を報告する。

2. 生石灰パイルによる地盤改良の原理と問題点

生石灰パイルが、粘性土中に打設されると、生石灰は間ゲキ水と反応し、消石灰になる。この生石灰の反応は、つぎのようである。



2.1 消水吸水、毛細管吸水による改良効果

生石灰の化学変化を示す表-1の重量比からわかるように、生石灰は重量の32%の水を周辺地盤から吸収する。このとき生石灰は、パイル周辺地盤にサクションをおよぼし地盤の含水比を、低下させる。現在このサクションの大きさ、作用する範囲などが、不明確のため周辺地盤の強度増加量を定量的には、推定できない。

2.2 吸水膨張による改良効果

さらに生石灰は、消石灰に変化する過程で、著しく膨張するのでパイルは、周辺地盤を圧縮しながら断面積を広げてゆく。この膨張圧によって、地盤は圧密され含水比は、低下するとされている⁽²⁾。しかし、表-1の体積比から考えると、生石灰は、消滅して約198倍の体積に膨張しているが、周辺地盤からほぼ同体積の水を吸収しているので、生石灰パイルを含めた体積全体の変化はない。したがって、消水吸水と膨張圧吸水、同一の反応で二重評価してはならないという考えもできる⁽³⁾。ただし、この考え方には、生石灰の吸水量と周辺地盤の圧密量は、常に等しいという前提条件がある。すなわち、生石灰の反応によって生じるサクションは、周辺地盤の土に負の間ゲキ水圧を生じさせるので、水圧に等しい有効応力が増加する。この有効応力が等方圧密応力となり、地盤は反応の継続する間、圧密されるものと考えられる。

表-1 生石灰の化学変化

	生石灰 CaO	水 H ₂ O	消石灰 Ca(OH) ₂
分子量	56	18	74
比重	3.37	1	2.24
重量比	1	0.32	1.32
体積比	1	1.08	1.98

表-2 粘土の物理的性質

液性限界 w _L (%)	塑性指数 Ip (%)	統一分類 に分類
51.5	23.3	CH

表-3 試験条件

	生石灰		粘土
実験名	密度 (g/cm ³)	体積含水率 a _v (%)	生石灰設置 時含水比 (%)
NO.1	0.900	0.212	47.0
NO.2	0.795	0.194	47.7

3 試料および実験装置

実験に用いた試料の物理試験結果を、表-2に示す。生石灰は、市販の30~50mmの塊状のものを粉碎し、420μmのフルイを通過したものを用いた。実験に用いた土槽は、図-1に示したように内寸法、縦×横×高さ 20×80×30 cmで、底部および側面に土圧計と周

がキ水圧計を設置してある。また、土槽前面は、生石灰の膨張過程を観察できるようにアクリル製になっている。載荷圧（空気圧）は、上部よりビニールシートをかいてかけられる。

4. 実験方法

土槽に土圧計と間がキ水圧計をセットし、十分練り返した粘土を含水率 0.1% で3日間予圧した。予圧を促進するため粘土上面にドレーンクロス、側面の生石灰設置位置にサンドドレーンを設けた。粘土中の間がキ水圧計のゼロを確認したのち、ドレーン用の標準砂などを取り除き生石灰を設置した。設置後非排水状態にして再びビニールをかいて、 0.6 kg/cm^2 の圧力を加えた。生石灰の反応にともなう土圧、通刺間がキ水圧、土槽内各点の温度および生石灰の膨張量などの経時変化を測定した。粘土層上面の変位については、詳細な測定は行なわなかったが、試験後の測定によれば $20\sim 30\text{ mm}$ 程度の沈下がみられた。また、実験終了後、粘土中より一軸圧縮試験と標準圧密試験用の試料を採取し、これにより一軸圧縮強度および圧密特性の変化を調べた。

5. 実験結果および考察

5.1 生石灰の膨張量、膨張圧と温度変化

図-2、図-3、図-4はそれぞれ生石灰の膨張量、膨張圧と生石灰および粘土中の温度の経時変化を示したものである。膨張量と温度の変化から、生石灰の反応は、10時間程度でピークに達し150時間前後で終了しているようである。生石灰の膨張圧が増大し、垂直方向に加えた上載空気圧（ $P=0.6\text{ kg/cm}^2$ ）より高くなっても、生石灰は、ほとんど粘土層の水平方向にのみ膨張した。また、粘土内にスベリ面が形成された形跡もなかった。このことから粘土と生石灰の境界面の圧力 6×3 は、時間とともに増大しているが、生石灰のサクションによるものと考えられる。測定中 6×3 、 6×1 とも記録器ガスケットオーバーしてしまったが、まだ増加しそうな傾向がうかがえた。この傾向は、消石灰水後の毛細管吸水効果によるものと思われるが、実験方法とともに今後さらに検討する必要がある。温度は、生石灰内で約 30°C 、境界

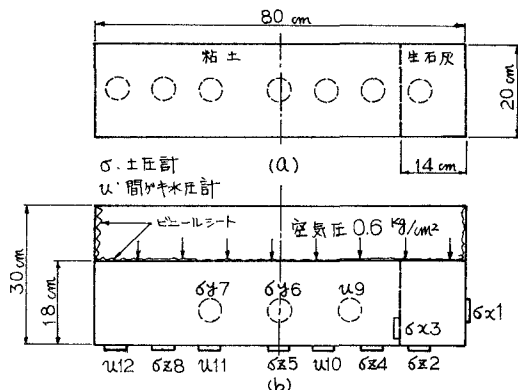


図-1 土槽機略図 (a) 平面図 (b) 断面図

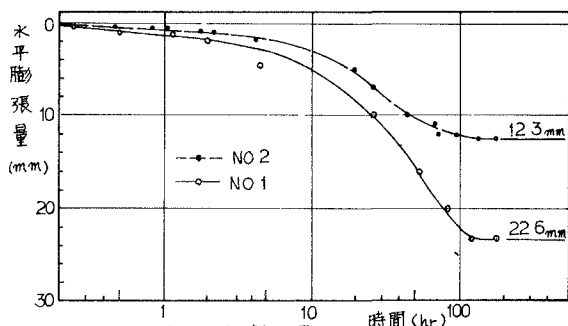


図-2 水平方向膨張量～時間曲線

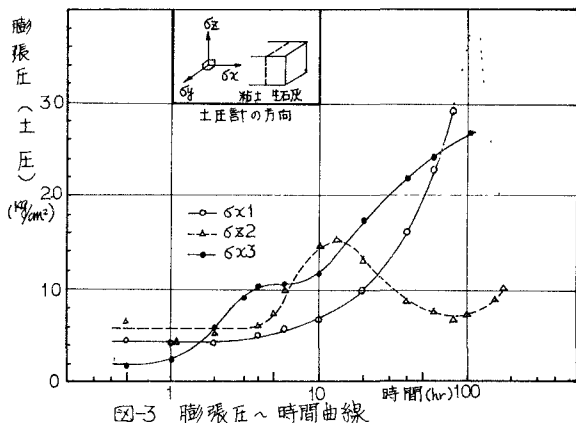


図-3 膨張圧～時間曲線

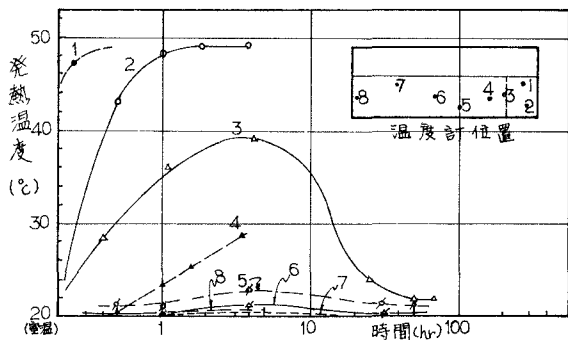


図-4 温度～時間曲線

面付近で約20%程度上昇しているが、粘土内の温度変化は、あまり大きくない。熱伝導率の高い鋼製の土槽から外部に放出される量などもあり、正確には把握できなかった。

5.2 粘土中の土圧および間ゲキ水圧

図-5、図-6 は粘土中の土圧および間ゲキ水圧の経時変化を示したものである。生石灰に近いところの土圧計 σ_{x4} が、わずかに上昇しているが σ_{x5} の大きな変化はない。また σ_{x5} は、圧縮の進行とともに当初の値の $1/2$ 程度の値まで減少している。石灰に最も近い間ゲキ水圧計は、生石灰を設置して30時間で負圧を示した。ただし、今回の実験では、間ゲキ水圧計の負圧に対する検定ができなかったので、正の間ゲキ水圧に対する校正係数をそのまま代用した。負圧に対しては、校正係数が変化しないという保証がないため、負の間ゲキ水圧測定値は、あまり正確なものとはいえない。間ゲキ水圧の測定値にこのような問題があり、また土圧も各点で方向測定していない、とくに生石灰から遠い位置における σ_x が測定されていないが、後で述べる q_u と σ_m の関係を加えて、

大胆に土槽内応力状態の時間変化を描いたのが、図-7である。平均主応力 $\bar{\sigma}_m$ 、間ゲキ水圧 $\bar{u}$ は、生石灰を標準砂で置き換えたサンドドレーンの実験から得られた圧縮係数 C_{α} と土圧係数 $K = \bar{\sigma}_z / \bar{\sigma}_x$ などの値を用いて計算したものである。 $\Delta \bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_x$ の値が、 $\Delta u = \bar{u} - u$ の値に等しいが、

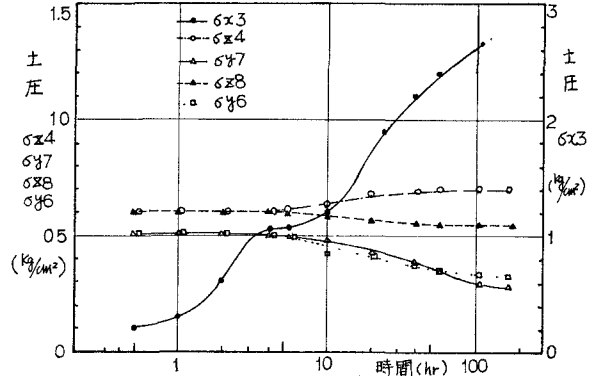


図-5 粘土中の土圧～時間曲線

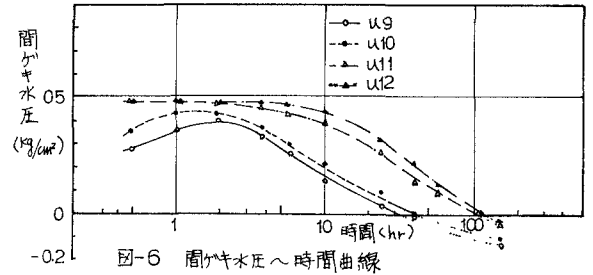


図-6 間ゲキ水圧～時間曲線

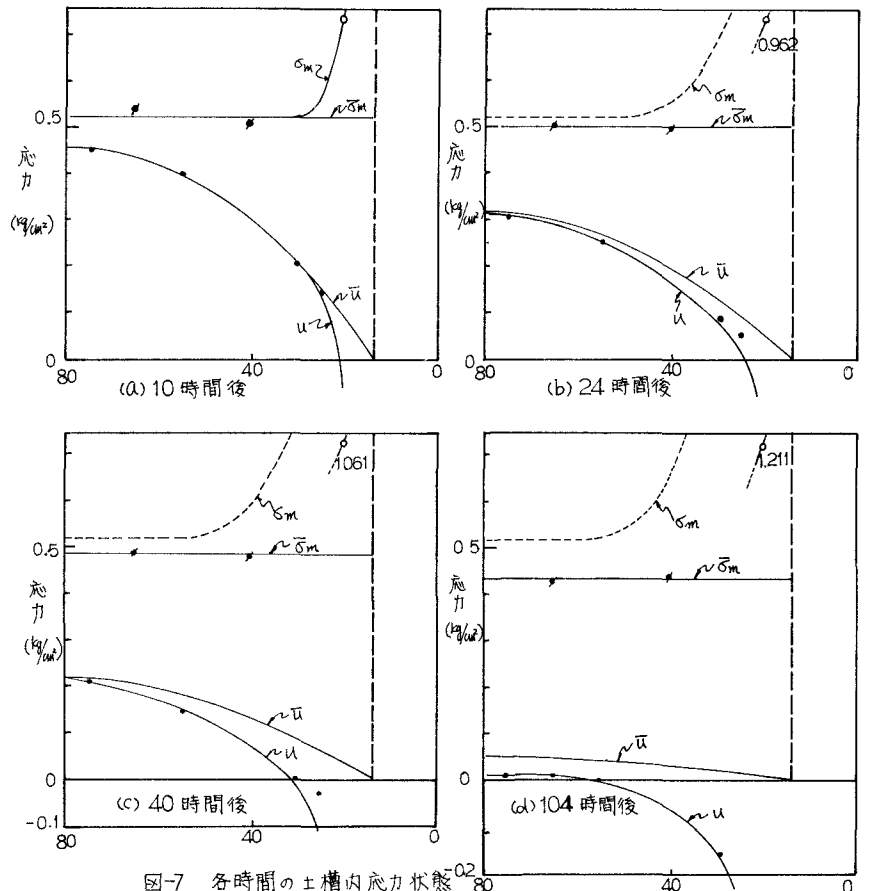


図-7 各時間の土槽内応力状態

それ以下であれば、生石灰の膨張による粘土の圧密現象は、生じていないことになる。生石灰の反応とともに、サクションの影響が生石灰近くからしだいに粘土内深くまで、広がってゆくのが図-7から観察できる。負の間ゲキ水圧測定の問題から、非排水状態で荷重増分 ΔP に対する過剰間ゲキ水圧の変化よりサクション効果を判定しようとしたことが、現象をさらに複雑なものとしてしまった。したがって、今回の実験では、消水吸水によるサクションと、生石灰膨張によって生じるであろう過剰間ゲキ水圧の変化を明確に分離することは、むしろ今後の課題としたい。

5.3 粘土の強度増加

実験終了後、粘土の一軸圧縮試験を実施した。この結果を示したのが図-8である。さらに比較のため、大型圧密試験(高さ7 cm, 至20 cm)を行なって圧密の終わった試料の q_u と圧密荷重 P_0 の関係を示したのが、図-9の $q_u \sim P_0$ 線で見られている。また、この場合の平均主応力 $\bar{\sigma}_m$ と q_u の関係を示したのが、破線である。この $q_u \sim \bar{\sigma}_m$ を用いて、土槽内各点の q_u 測定時における $\bar{\sigma}_m$ を推定したが、図-8の q_u より求めた $\bar{\sigma}_m$ 線である。 q_u から推定した $\bar{\sigma}_m$ は、石灰に近い粘土内での測定値 $\bar{\sigma}_m$ にくらべると、かなり高く示されるが、その理由は明らかでない。

6 あとがき

初めての実験であり、かつ実験器具技術上の問題もあり十分な結果を得ることは、できなかった。今後、これらの経験をもとにして、生石灰パイルによる地盤改良のメカニズム、とくに生石灰パイルの消水吸水によるサクション効果の検討を行ないたいと考えている。また、試料の土質条件、載荷条件として生石灰の設置位置などを考えて実験をやる必要があるだろう。

本実験を卒業研究の一部として、実施協力してくれた本学 稲田 力、北川 泉、斎藤一三君の労に感謝します。

7. 参考文献

- (1) 河野 要 "生石灰ゲイエ法について" エと基礎 Vol.22, No.5, 1974
- (2) 小野田セメントK.K. "ケミコライムによる土壌安定シリーズ"
- (3) 千本弥三郎 "生石灰ゲイによる地盤改良効果とその問題点" エと基礎 Vol.22, No.5, 1974

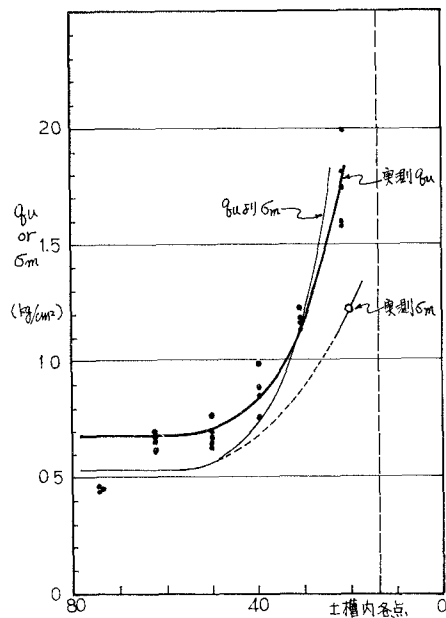


図-8 土槽内各点における q_u or $\bar{\sigma}_m$

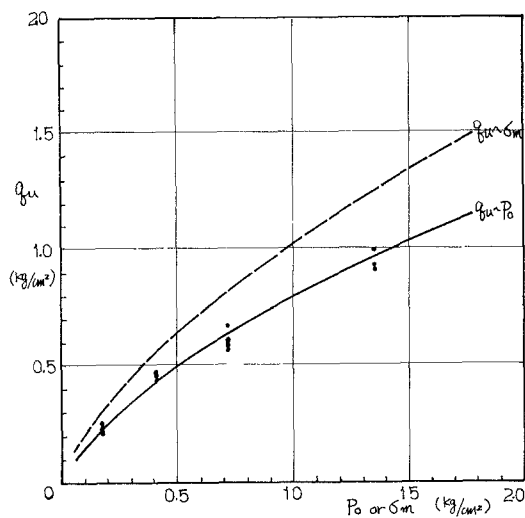


図-9 圧密圧力 P_0 or 平均主応力 $\bar{\sigma}_m$ と一軸圧縮強度 q_u