

生石灰パイルの膨張圧密効果

東海大学大学院 学生会員○柚原 秀年
神奈川県庁 正会員 涌井 真吾
(株)小野田ケミコ 正会員 竹田 敏彦
東海大学正会員 杉山 太宏・赤石 勝

1. まえがき

生石灰パイル工法の現行設計法では、生石灰が消石灰になる過程で生じる消化吸水作用によって、生石灰重量の 32%の吸水効果が考慮されている¹⁾。生石灰は消石灰になると体積が2倍になる。体積膨張時の圧力で圧密されれば膨張圧による改良効果も期待できるはずであるが、現在の設計法では考慮されていない。また、生石灰杭打設後の周辺粘性土地盤における間隙水圧については、生石灰パイル工法に期待される作用の1つである毛細管吸収作用の影響により負圧になると考えられていて、膨張による過剰間隙水圧は発生しないとされている。生石灰の吸水によるパイル周辺粘土の体積減少分だけ生石灰パイルの膨張があるため、膨張圧は発生しないと考えるためであろう。しかしながら、生石灰の吸水膨張過程が周辺粘土の体積減少過程とうまくバランスすることの理論的・実験的な立証はなされていないのが現状である。

この報告では、生石灰周辺粘土の含水比低下率から生石灰の吸水効果ならび膨張圧密効果を室内試験によって検討するとともに、実測膨張圧を加えた粘土の圧密計算によって含水比変化を実測値と比較した。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は沖積地盤より採取した粘土で、液性限界以上の含水比で練り返したものである。試料の物理的性質を表-1に示す。

表-1 試料の物理的性質

ρ_s (g/cm ³)	ω_L (%)	ω_P (%)	Grading (%)		
			Clay	Silt	Sand
2.642	76.3	37.8	20	60	20

実験A：直径 D=15,20,30cm の各土槽で圧密圧力 $p_0=4.9\text{kPa}$ により圧密した。圧密後粘土中心部を金属円筒 ($d=3,4,6\text{cm}$) で穿孔し、生石灰を一定密度 (1.4g/cm^3 、実験 B,C も同密度) となるように詰め、剛板を介して再度 p_0 を載荷した。圧密容器と生石灰パイル直径比は $D/d=5$ で、試料高さ H は各直径の 1/2 とした。生石灰の吸水反応終了後、生石灰パイルからの距離に応じた粘土の含水比を測定した。

実験B：直径 6cm、高さ 15cm の剛性円筒容器に詰め、 $p_0=4.9, 9.8, 14.7\text{kPa}$ で2週間一次元圧密した。高さを 10cm に調整して上部に生石灰を詰めた後再び p_0 を載荷した。高さ方向に変化する粘土の含水比を測定した。

実験C：圧密圧力 $p_0=9.81, 19.6, 39.2, 78.5\text{kPa}$ で圧密後、直径 10cm、高さ 10cm の円柱供試体を成形した。図-1の実験装置にセットして初期含水比 ω_0 の異なる各供試体の上部に生石灰を設置後 p_0 を載荷した。生石灰の吸水に伴う膨張圧ならびに間隙水圧の経時変化および粘土の含水比を測定した。

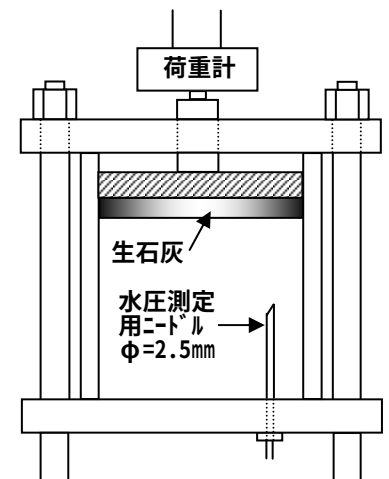


図-1 実験Cの試験装置

3. 実験結果と考察

3.1 生石灰による粘土の含水比低下

図-2は、実験Aによる消化吸水反応前後の含水比低下率 ω/ω_0 とパイル中心からの距離 R を石灰の半径 r で正規化した R/r の関係である。粘土の初期含水比 ω_0 には容器との摩擦から数%の差が生じたが、いずれも 80%から 95%まで含水比が低下している。生石灰パイル径によって軟弱地盤の改良範囲が推定できると思われる。

実験Bの含水比低下率 ω/ω_0 と石灰接触面からの距離 y の関係を調べたのが図-3である。圧密圧力 p_0 によって変化させた初期含水比 ω_0 の違いは ω/ω_0 に敏感に反応し、 ω_0 が高いもののほど接触面からより遠くまで ω/ω_0 が低下すること、生石灰の吸水反応によって急激に含水比が低下する範囲は、生石灰接触面から約 40~50mm 程度で

キーワード：長期沈下，二次圧密係数，現場データ，二次圧密係数

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 TEL 0463-58-1211

あることが分かる。両実験終了後、消石灰の含水比は石灰近傍の粘土試料と同じかやや高くなり、吸水量は理論値の32%増よりも増加していた。生石灰は、消化吸収反応に加え、膨張圧による圧密効果と毛細管吸収作用が存在するものと考えられる。

3.2 生石灰の膨張圧と粘土の間隙水圧

図-4 は、石灰の膨張圧と粘土層中心部（石灰接触面から5cm）の間隙水圧の経時変化である。膨張圧は、初期含水比 ω_0 が高いものほど大きな最大値を示し、反応開始時間も早いことがわかる。また、ピークに達した後は徐々に低下して、いずれもほぼ2日でゼロに収束している。間隙水圧は一端減少した後、増加する様子が観察される。この増加は、図-4(上)の膨張圧の経時変化に対応している。また、水圧の減少量と増加量は初期含水比と密接に関係することがわかる。粘土内部の間隙水圧は、消化吸収反応による負圧のみ発生するとして石灰の膨張による間隙水圧は無視されているが、図-4 は膨張圧による圧密効果を示唆するものである。

4. 実測膨張圧による粘土の一次元圧密計算

実験Cの $\omega_0=55.7\%$ で測定された膨張圧の経時変化を外力として、漸増载荷による一次元圧密解析を行う。その支配方程式は式(1)で、右辺第二項が膨張圧の経時変化を与える。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial \sigma}{\partial t} \tag{1}$$

図-3 によれば、粘土の含水比は石灰の近傍で初期含水比の80%（ $\omega=44.6\%$ ）、遠いところで95%（ $\omega=52.9\%$ ）に低下している。この含水比変化と計算結果が一致すれば、生石灰パイル工法による地盤の含水比低下は、膨張圧密効果にも依存するものと考えられる。差分法により排水距離10cmの片面排水で、表-2の条件で計算した結果が図-5である。時間の経過とともに含水比が低下し、275分以降では、膨張圧の減少によって排水面近傍に含水比の増加が認められる。2000分経過後、膨張圧がほぼゼロになった時の含水比分布が図中の実線である。図-3の実測値に極めて近い結果となり、石灰による含水比低下には膨張圧による圧密効果も影響し、地盤の含水比は圧密計算によって推定可能と思われる。

5. あとがき

室内実験と一次元圧密解析により生石灰パイル膨張圧の圧密効果について検討した。現場の含水比分布が推定できれば強度予測にも役立つので、土性の違いや軸対称の解析等を行う予定である。

参考文献

- 奥村樹郎：生石灰杭工法の設計法について、第11回土質工学研究発表会講演集、No.278、pp.1097-1100、1976。
- 稲田他：生石灰による土質および地盤の改良について、土と基礎、Vol.15、No.5、pp.5-13、1967。

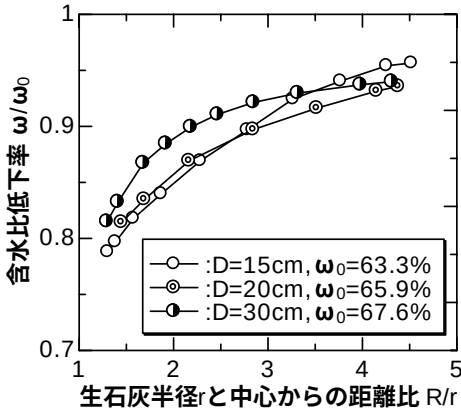


図-2 試料の含水比低下率 (実験A)

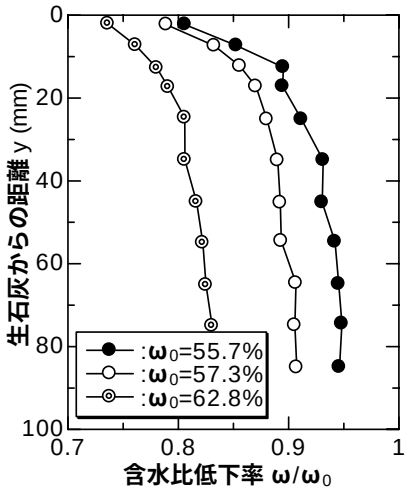


図-3 初期含水比の違いによる含水比低下率 (実験B)

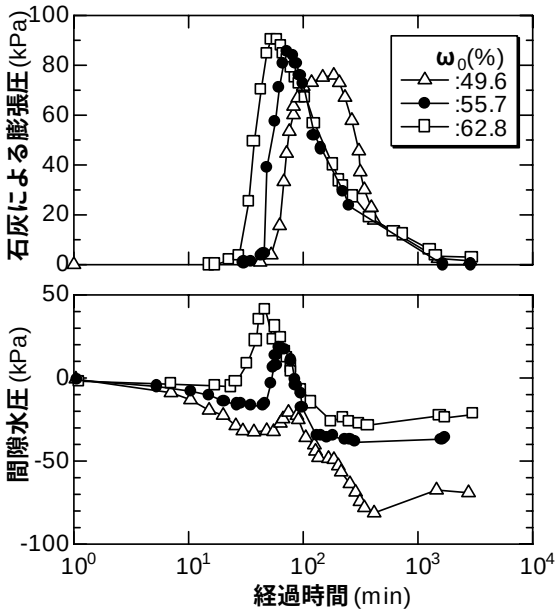


図-4 膨張圧と間隙水圧の経時変化 (実験C)

表-2 試料の圧密定数と計算条件

p_0 (kPa)	Δp_{max} (kPa)	e_0	C_v (cm ² /min)	C_c	C_s
14.9	86.3	1.47	0.1	0.46	0.12

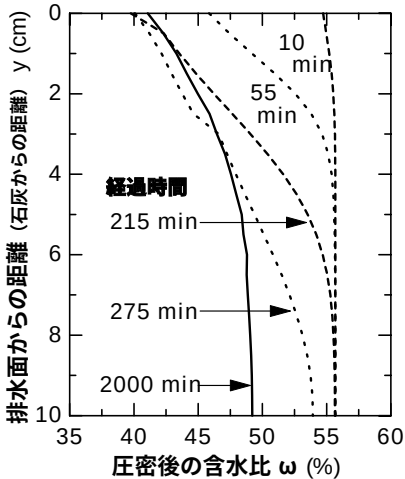


図-5 実測膨張圧による一次元圧密計算から求めた含水比の分布