

生石灰パイルの圧密・膨張効果に関する室内試験

東海大学大学院 学生会員 ○ 桑原 孝幸
小野田ケミコ(株) 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

生石灰は消石灰になる過程で生じる消化吸収作用により生石灰重量の 32%の吸水効果があり、また拘束がない状態で体積が 2 倍に膨張する。この吸水効果と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^{1)~3)}。しかし、現行設計法では体積膨張による圧密効果は考慮されていない^{4),5)}。パイル周辺粘土の体積減少分だけ生石灰パイルが膨張し膨張圧は発生しないと考えるためであろう。生石灰の吸水膨張過程と粘土の体積減少過程とが常にバランスするという理論的・実験的な立証はなされていない現状である。

筆者らはこれまでに膨張圧や消化吸水反応による圧力変化を室内実験で確認し、改良効果を簡単な圧密計算で再現できること、周辺にはいくつものクラックが発生することなどを報告している^{3),6)}。本研究では、石灰パイルのこれまでの実験の再現性を確かめる意味で、2 種類の粘土試料に対して室内試験を行うとともに現行設計法による改良効果(含水比の低下)との比較を行った。

2. 試料および実験方法

実験試料は宮崎粘土と笠岡粘土(市販品)で、それぞれ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。

実験 A(一次元試験)

セル内径 9.9cm の土槽(図-1)に試料を投入し、圧密圧力 $P_v=5, 10, 20\text{kPa}$ で高さ 8cm になるようそれぞれ一週間圧密した。粘土上部に生石灰を 1cm 敷き詰めた後、再度 P_v を載荷して生石灰の反応に伴う膨張圧と間隙水圧(中間部と底部)の経時変化(7 日間)と試験後の粘土の含水比を測定した。

実験 B(パイル試験)

セル内径 21.8cm の土槽(図-2)に試料を詰め、圧密圧力 $P_v=5, 10, 20\text{kPa}$ のもと両面排水で高さが約 11cm になるように一週間圧密を行った。圧密後供試体中央に金属円筒を挿入して直径 5.2cm に穿孔し、そこに生石灰を詰めた。写真を撮るため厚さ 3cm のアクリル板を載せて再度 P_v を載荷して 3ヶ所(CH10, CH11, CH12)の間隙水圧と土圧の経時変化(7 日間)と、ならびに試験後の含水比変化を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 実験 A(一次元試験)

図-3(a)は $P_v=5, 10\text{kPa}$ の石灰による膨張圧と水圧の経時変化である。宮崎粘土と笠岡粘土ともに全ての実験において膨張圧と過剰間隙水圧(正圧, 負圧)の発生が観察された。図から、圧密圧力や試料によらず膨張圧の最大値よりも間隙水圧の最大値は小さいこと、石灰に近い中間部の過剰間隙水圧は底部の過剰間隙水圧より正圧は小さく、負圧は大きくなることがわかる。また宮崎粘土は約 600 分(10 時間)で膨張圧がピークとなるが、笠岡粘土では約 1000 分(17 時間)でピークを迎え、過剰間隙水圧にも明確な時間差が生じている。これは、粘土分の多い笠岡粘土の透水係数が宮崎粘土に比べ 1 オーダー以上小さいことによるものと考えられる。

表-1 粘性土物理的性質

	ρ_s (g/cm^3)	W_L (%)	W_p (%)	Grading (%)		
				Clay	Silt	Sand
宮崎	2.673	52	32	35	55	10
笠岡	2.674	70	24	53	42	5

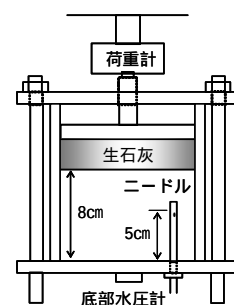


図-1 一次元試験装置 (実験 A)

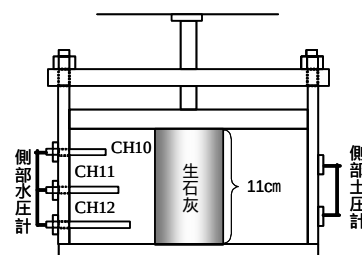


図-2 パイル試験装置 (実験 B)

キーワード：生石灰，膨張圧，圧密

連絡 先：〒259 - 1292 神奈川県平塚市北金目 1117 TEL 0463 - 58 - 1211 E-mail : 6acdm002@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

3.2 実験 B(パイル試験)

図-4 は $P_v=10\text{kPa}$ の試験から得られた水圧の経時変化を比較したものである。間隙水圧は、圧密終了後直径 4mm のニードルをアクリル円筒側部から挿入し計測している。石灰の膨張による正の水圧は、宮崎粘土では実験 A と同程度が測定されたが、笠岡粘土では測定されていない。しかし、毛細管作用による負圧はしっかりと測定されている。一次元条件の実験 A より実際に近いと思われる本実験でも、粘土内部の圧力変化が測定されたことから、圧密効果の可能性が確認された。

写真-1 の黒い筋は、全ての試験において石灰の膨張により発生したクラックである。このクラックは、石灰投入後約 1 時間後から入り始め、時間とともに拡大しながら 7 日後に写真のようになった。現場においてクラックの報告事例は見当たらないが、均一な試料による室内試験で土の種類や初期応力状態(含水比)によらず発生するクラックは、現場でも生じている可能性が高いと言えよう。このクラックの発生は急激な膨張圧の発生を裏付けるもので、石灰の膨張と周辺土の収縮が常にバランスするという現設計法の問題点があらためて指摘される。

図-5 は、試験後に測定した粘土内部の含水比分布の一例である。石灰に近いほど含水比の低下量は多く、各試料とも初期含水比から平均で約 8%の含水比低下が認められた。図-6 は測定した含水比 w を初期含水比 w_0 で除し P_v で比較したもので、図中の理論値(予測値)は試験条件と消石灰の物性から次式で計算したものである。

$$\Delta w = \Delta w_1 + \Delta w_2 = \frac{100 + w}{\rho_t} a_s \left\{ h \rho_c + n'(1 + \varepsilon_v) \frac{S'_r}{100} \right\} \quad (1)$$

紙面の都合上、記号の説明は省略するが、全ての試験において理論式による予測値は過大な含水比低下を見込む結果を与えた。田中らは、羽田空港建設に伴う石灰パイル施工現場の土質調査から、含水比低下量が理論値よりも少なかった理由をパイルの膨張による周辺の破壊(クラックの発生)によるものと推論している⁴⁾。以上の結果から、現場でもクラックが発生する可能性と、現設計法見直しの必要性が指摘できる。

4. まとめ

試料によらず生石灰の膨張圧と過剰間隙が測定された。また、石灰パイルによる全ての土層実験でクラックが発生した。急激な膨張圧の発生を裏付けるもので、石灰の膨張と周辺土の収縮が常にバランスするという現設計法には見直すべき点が存在する。クラックが入ってしまった理由には、温度も関係しているのではないと思われるので、生石灰の反応による周辺地盤の温度変化も測定したい。

参考文献

- 1) 稲田倍穂 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。
- 2) 黒田栄三：生石灰パイルの膨張圧について，第 11 回土質工学研究発表会講演集，No.278，pp.1093-1096。
- 3) 深見史郎 他：生石灰パイルの膨張圧密効果，第 40 回地盤工学研究発表会平成 17 年度講演集(CD-ROM)，pp.775-776。
- 4) 田中洋行：生石灰杭工法によって改良された地盤の特性，港湾技術研究所報告，第 27 巻，第 4 号，pp.201-223，1988。
- 5) 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。
- 6) 桑原他：室内試験による生石灰パイルの圧密膨張特性，第 33 回関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM) 2006.3

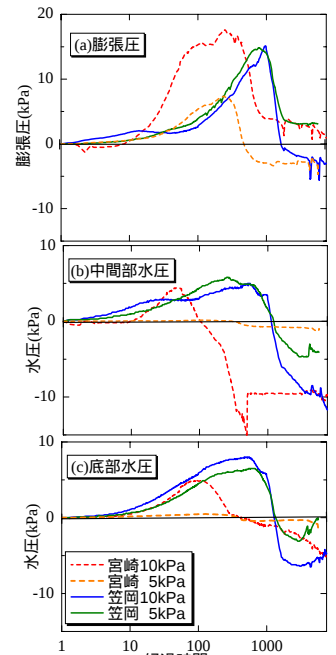


図-3 膨張圧と間隙水圧の経時変化(実験 A)

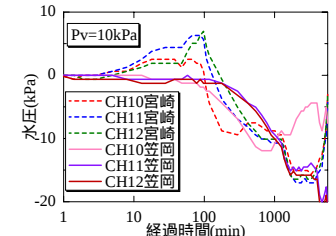


図-4 水圧の経時変化(実験 B)

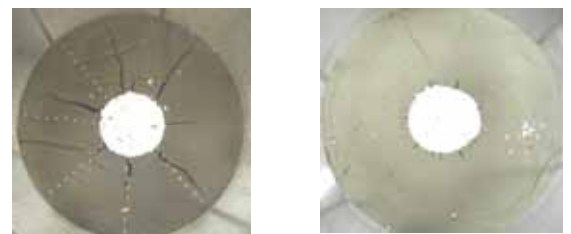


写真-1 各試料クラック発生状況 $P=10\text{kPa}$ (実験 B)

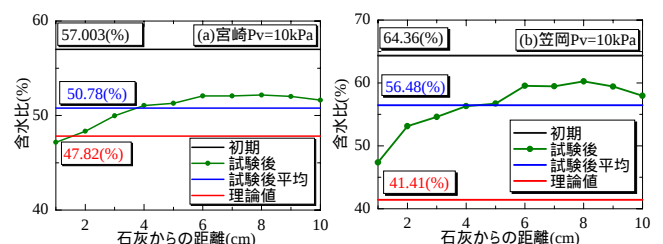


図-5 試験後の粘土内含水比分布

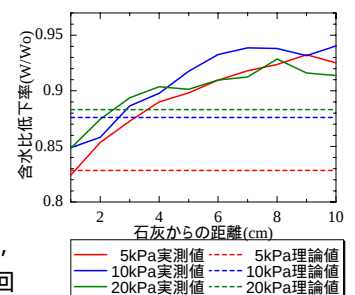


図-6 宮崎含水比低下率(実験 B)