

室内試験による生石灰パイルの圧密膨張特性

東海大学 学生会員 ○桑原 孝幸, 峯島 孝幸
(株)NTT データシステムズ 正会員 柚原 秀年
東海大学 正会員 杉山 太宏, 赤石 勝

1. まえがき

生石灰パイル工法に関する現設計法は、生石灰の吸水効果が改良後の周辺地盤の含水比を低下させ強度を支配するという考えに基づいている^{1),2)}。生石灰が急激に水と反応して消石灰になる際、拘束のない状態では体積が約2倍に膨張し、膨張圧を生じることが確認されている³⁾⁻⁵⁾。しかし、膨張圧は拘束条件や拘束圧ならびに時間の影響を受けるので、現設計法ではこの膨張圧による圧密効果を考慮していない。生石灰が膨張する代償として体積比で1.06倍の水を吸収し、パイルの膨張量と周辺粘土の体積減少量が常にバランスするとの考えによるものである。

本研究では、まず既往の研究⁴⁾を参考に生石灰単独の膨張量と膨張圧の関係を調べ、両者の定式化を行った。次に、直径22cmの円筒土槽で圧密した粘性土試料の中央に生石灰をパイル状に設置して反応させ、粘土内の水圧と土圧の経時変化を測定した。また、反応後に試料の含水比を測定して現設計法による計算値と比較した。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、液性限界以上の含水比で十分練り返したシルト質粘土で、表-1に物理的性質を示す。粒径0.85mm～2mmと2mm～4.75mmをの生石灰を1:2の割合で混合して、生石灰の初期密度 ρ_c 1.0g/cm³となるように調整して以下の実験を行った。

実験A(膨張圧測定):乾燥炉で絶乾した直径6cmの一次元圧密試験機に、生石灰を高さ約1.0cm(設置後正確な高さを測定)に詰めた後、図-1のように上蓋のロッドと荷重計の隙間を0から1.0cmまで0.1cm刻みで調整して膨張長を変化させた。水浸箱に静かに水を入れて膨張率 ϵ_v (=膨張量/膨張前高さ)と膨張圧の関係を調べた。

実験B(パイル実験):セル内径21.8cmの実験装置(図-2)で初期含水比 w_0 の異なる高さ約11cmの供試体を作成後、供試体中心部をD=5.2, 6.6cmの金属円筒で穿孔し生石灰を詰めて(改良率 a_s =5.7%, 9.2%)剛板を載せ固定する。生石灰の反応に伴う間隙水圧(底部4ヶ所、側部3ヶ所)と膨張圧(底部3ヶ所、側部2ヶ所)の経時変化を測定し、4日後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。

4. 実験結果と考察

4.1 生石灰の膨張圧

表-2は、最大膨張圧と水和反応によって消化した消石灰の物性値を示す。水和反応による重量比を理論値と比較すると、表-2に示した反応水量(消石灰の乾燥重量 W_{sd} と生石灰重量 W_q の差)と理論値($0.32 \times W_q$)の比は、83%

表-2 実験A(膨張圧測定)試験結果

膨張率 ϵ_v	最大膨張 圧Pe (kPa)	反応水量 と理論値 の比 (%)	生石灰					消石灰		
			ρ_c (g/cm ³)	ω (%)	e	n^* (%)	Sr (%)	ρ_c (g/cm ³)	ω (%)	Sr (%)
0.0	1359.9	89.8	1.007	34.1	0.753	42.9	101.4			
0.1	777.9	89.5	1.020	42.9	0.950	48.7	101.2			
0.2	455.1	87.5	1.001	50.5	1.102	52.4	102.6			
0.3	282.5	88.2	0.988	55.8	1.251	55.6	100.0			
0.4	158.4	86.4	1.005	62.6	1.465	59.4	95.7			
0.5	121.0	87.1	1.003	67.7	1.632	62.0	92.9			
0.6	75.2	87.3	1.000	71.5	1.801	64.3	88.9			
0.7	43.8	86.2	0.999	81.4	1.983	66.5	91.9			
0.8	26.5	89.1	0.999	86.1	2.136	68.1	90.3			
0.9	12.2	82.7	1.001	91.8	2.367	70.3	86.9			
1.0	7.3	82.9	1.000	95.9	2.541	71.8	84.5			

表-1 試料の物理的性質

ρ_s (g/cm ³)	ω_L (%)	ω_P (%)	Grading (%)		
			Clay	Silt	Sand
2.638	67.0	36.0	11	55	34

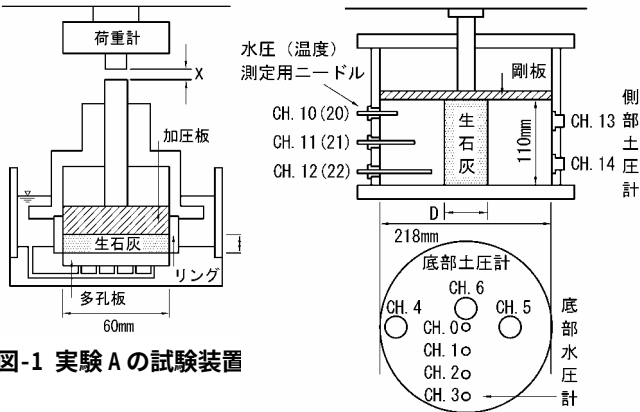


図-1 実験Aの試験装置

図-2 実験Bの装置概要

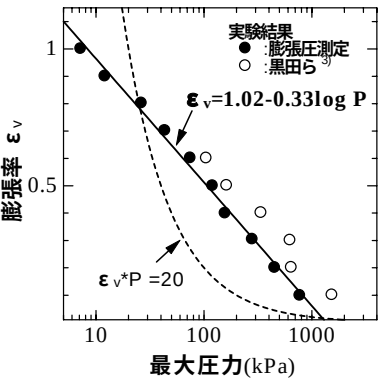


図-3 膨張率と最大圧力

から 89%の値を示しており、膨張率には影響されないことがわかる。理論値よりも 10%程度低くなったのは、使用した生石灰の品質（CaO 含有率や焼成温度）の影響と考えられる。

図-3 は膨張率と最大膨張圧を片対数軸にプロットしたもので、○印は CBR モールドによる黒田らの結果を³⁾、破線は旧設計式 $\varepsilon_v = 20/P_e$ ($P_e \leq 200\text{kPa}$) を示している。得られた結果は黒田らの結果に近く、膨張率と膨張圧の相関性は極めて高いことが再確認された。破線の旧設計式では特に膨張率の低い場合の圧力を過小評価する可能性があると言える。

4.2 石灰パイルによる土槽実験

実験 B で得られた結果の一例が図-4 である。図は計 12 箇所のセンサーで測定した粘土内部の圧力の経時変化で、膨張圧の発生、正圧の後に負圧となる間隙水圧の変化、石灰に近いほど圧力の反応が早いことを表している。

試験後の供試体を撮影したのが写真-1 である。写真の黒い筋は石灰の膨張によって発生したクラックである。過去の研究を調べた限り、パイル工法によるクラックの発生を指摘した論文が僅かにあるものの、現場の観測事例は見当たらなかった。そこで、粘土の含水比を可能な限り高くして予圧密したりパイル径（改良率 a_s ）を小さくしても、今回の実験では必ずクラックが発生した。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ったため指摘される。

図-5 は、試験後の石灰からの距離による含水比の変化を調べたものである。石灰に近いほど含水比の低下量は多い。また、クラック近傍とクラックから離れた位置の含水比に大きな違いはなかった。図中の理論値（予測値）は試験条件と消石灰の物性から計算したものである。今回は計 9 つの条件で実験を行ったが、全てにおいて理論式による予測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を行い、含水比低下量が理論値よりも少なくな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²⁾。更に調査が必要だが、今回の結果は現場でもクラックが発生する可能性を示唆するものと言えることができる。

5. まとめ

本研究で得られた知見をまとめて以下に示す。

- 1) 石灰の膨張率 ε_v と最大膨張圧 P_e には、片対数軸上で非常に高い相関性が認められた。旧設計式である $\varepsilon_v = 20/P_e$ ($P_e \leq 200\text{kPa}$) では、膨張率の低い場合の膨張圧を過小評価する可能性がある。
- 2) 石灰パイルによる全ての土槽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。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.

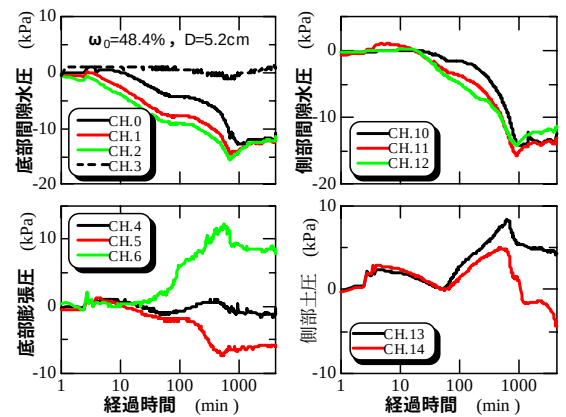
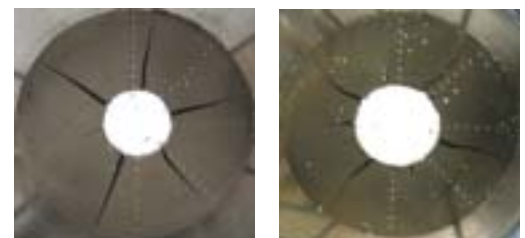
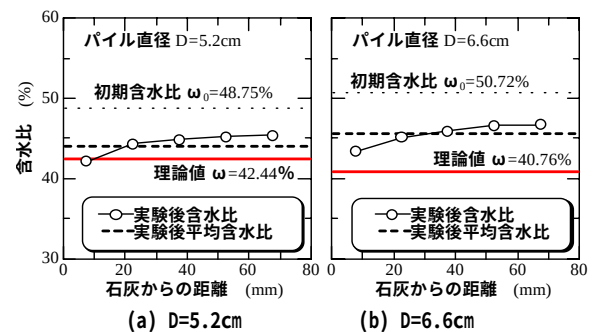


図-4 膨張圧と間隙水圧の経時変化（実験 B）



(a) D=5.2cm (b) D=6.6cm
写真-1 クラックの発生状況



(a) D=5.2cm (b) D=6.6cm
図-5 含水比の分布と理論値との比較