

III-A 139 生石灰パイル液状化対策工に関する振動台実験

山口大学工学部 正会員 山本 哲朗
 山口大学大学院 学生会員 松永 雄紀
 カルシード 瀬川 和宏
 同上 朝枝 邦彦
 同上 杉山 智則

1. まえがき 飽和砂地盤の液状化対策の一つとして石灰パイル工法があるが、最近、特殊石灰パイル工法の有効性に関する研究が光成らの研究グループ¹⁾によって行われ、いくつかの興味ある知見が得られている。著者らは今回、ケルマン型せん断箱内に作った生石灰パイルを打ち込んだ径30cmの砂層について振動台実験を行い、砂層の液状化抵抗の増加とパイル径の関係を求めた。本文はその実験方法と結果を述べる。

2. 実験装置および方法 実験には図-1に示すケルマン型せん断箱を用いた^{2), 3)}。せん断箱は厚さ1cmで内径30.2cm、外径35.0cmのドーナツ状の塩化ビニール板製リングを5枚積み重ねたものである。先の実験³⁾と同様に今回の実験でも砂層の水平応力を測定するために、中央のリングには4個の小型圧力変換器（容量196kPa）をはめ込んだものを用いた。

以下の方法でその中央に所定の径の石灰パイルを有する砂層を作製した。まず、せん断箱の中央部にステンレス製パイプを置き、湿润状態の豊浦砂を少量ずつパイプ外側に張った脱気水内に詰めて、相対密度 $D_r=75\%$ の飽和砂層を作製した。パイプの内径は3.8、5.1、7.8cmの3とおりに変えた。次に、パイプ内に生石灰（粒径1mm以下）を詰めた後、慎重にパイプを引き抜き、生石灰の吸水・膨張を1時間行った。その後、砂層・パイル表面を平坦にして鉛直圧 $\sigma'_{v0}=49\text{kPa}$ の荷重を加え、砂層を1時間圧密した。豊浦砂は $G_s=2.655$ 、 $D_{max}=0.85\text{mm}$ 、 $D_{50}=0.18\text{mm}$ 、 $U_c=1.8$ 、 $e_{max}=0.929$ 、 $e_{min}=0.619$ である。

このような生石灰パイルを打ち込んだ砂層に振幅一定で振動数3Hzの正弦波状加速度を与えた。振動時には振動台の加速度、砂層のせん断変位振幅、砂層底面の中央およびそれから10cmの位置での間隙水圧、4箇所の砂層の水平応力を測定した。

3. 実験結果および考察 それぞれの径の生石灰パイルを打ち込んだ砂層の繰返し応力比 τ/σ'_{v0} と液状化までの繰返し回数

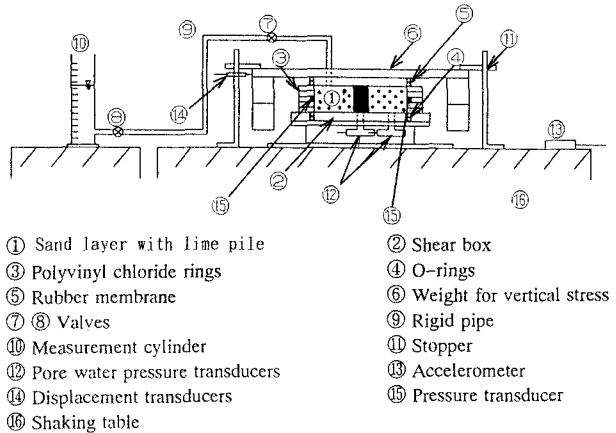


図-1 実験装置

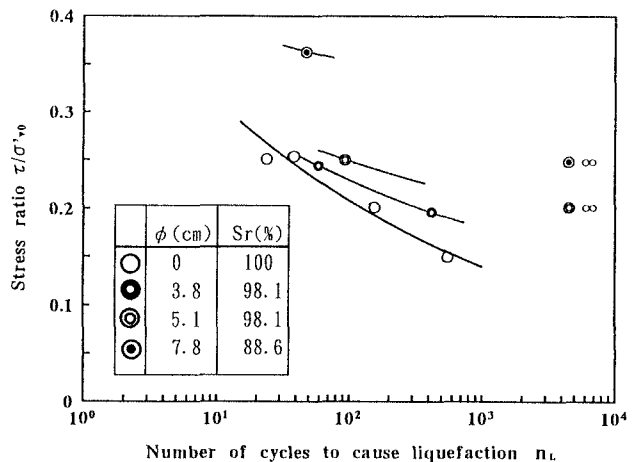


図-2 各石灰パイルを打ち込んだ砂層の液状化抵抗曲線

n_L の関係を図-2に示す。砂層の飽和度 S_r は全体の平均的な値である。図中、記号 ∞ は砂層に液状化が生じなかったことを意味する。この図から、石灰パイルの径が増加するに伴って砂層の液状化抵抗が増加しているのが分かる。特に、 $\phi=5.1\text{cm}$ の石灰パイルの場合には $\tau/\sigma'_{v_0}=0.2$ では液状化が発生せず、また $\phi=7.8\text{cm}$ の場合には $\tau/\sigma'_{v_0}=0.24$ では液状化が発生していないことが注目される。

石灰パイルによる砂層の液状化抵抗の増加は1)石灰の吸水による砂層の飽和度の低下、2)石灰の膨張による砂層の静止土圧係数 K_0 の増大の相乗効果によってもたらされる、と一般に説明されている。本実験結果について、この点を若干考察する。図-3はパイル径 ϕ と砂層の K_0 値の関係を示す。砂の液状化抵抗は初期平均主応力 σ'_{m_0} に比例する⁴⁾。そこで、図-3の曲線から求めた K_0 値を、式(1)に代入して得た σ'_{m_0} から τ/σ'_{m_0} を求めた。表-(a)、(b)それぞれに $n_L=50$ および500の時の τ/σ'_{m_0} の値を τ/σ'_{v_0} と比較して示した。

$$\sigma'_{m_0} = (1 + 2K_0)/3\sigma'_{v_0} \quad (1)$$

表-1(a)、(b)から分かるように、砂層単味の τ/σ'_{m_0} は石灰パイルを打ち込んだ砂層のそれよりも大きく、石灰パイルによる砂層の液状化抵抗の増加は、 K_0 値の増加からほうまく説明することはできない。豊浦砂供試体($Dr=60\%$)の繰返しねじりせん断試験機による一連の液状化実験によって、液状化抵抗に与える供試体の飽和度の影響が明確にされている⁵⁾。それによれば、 $S_r=90\%$ の砂の液状化抵抗($n_L=20$ での応力比)は $S_r=100\%$ のそれに比較して $0.42/0.19=2.2$ 倍も大きい。本実験での $S_r=88.6\%$ の砂層($\phi=7.8\text{cm}$ の石灰パイル)の液状化抵抗は、 $S_r=100\%$ の砂層単味のそれよりも $0.38/0.27=1.4$ 倍ほど大きくなっているに過ぎない。

以上のように、 $\phi=5.1\text{cm}$ の生石灰パイルによって、砂層の液状化抵抗はかなり増加することは確認されたが、その機構は実験データも限られていることもあって十分に説明できなかった。

4. まとめ 砂地盤の液状化対策としての石灰パイル工法の基礎的研究として、ケルマン型せん断箱に作製した生石灰パイルを打ち込んだ直径30cmの砂層の振動台実験を行った。その結果、パイル径が5.1cmの場合でも砂層の液状化抵抗はかなり増加することが分かった。今後、石灰パイルを打ち込んだ砂層の圧密時間を長くした実験を行うことも含めて、実験データの蓄積に努めたい。

文献 1) 例えば光成高志他7名(1995):特殊石灰パイル改良地盤の相対密度及び土圧と液状化強度の関係、第30回土質工学研究発表会講演集、pp.2279-2280。 2) T. Yamamoto, S. Ōhara and M. Ishikawa(1994):Liquefaction characteristics of saturated sand deposits under nonuniform vertical stresses, Soils and Foundations, Vol.34, No.3, pp.11-20。 3) 大原資生・山本哲朗(1989):繰返しせん断をうけているときの砂の土圧係数について、土木学会論文集、第412号/Ⅲ-12、pp.89-97。 4) 吉見吉昭(1991):砂地盤の液状化(第二版)、技報堂出版社、pp.33-34。 5) Y. Yoshimi, K. Tanaka and K. Tokimatsu(1989):Liquefaction resistance of a partially saturated sand, Soils and Foundations, Vol.29, No.3, pp.157-162。

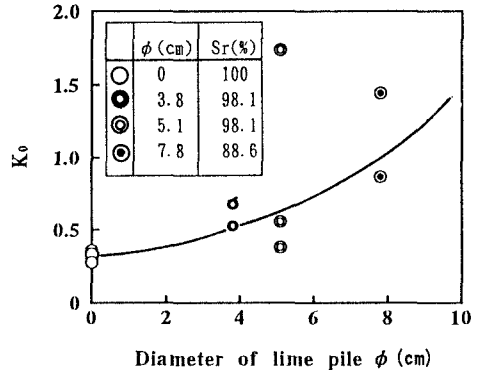


図-3 石灰パイル径と K_0 値の関係

表-1(a) $n_L=50$ の時の τ/σ'_{v_0} と τ/σ'_{m_0}

Pile ϕ (cm)	K_0	τ/σ'_{v_0}	τ/σ'_{m_0}
0	0.30	0.22	0.41
3.8	0.57	0.24	0.33
5.1	0.68	0.26	0.35
7.8	1.04	0.35	0.34

表-1(b) $n_L=500$ の時の τ/σ'_{v_0} と τ/σ'_{m_0}

Pile ϕ (cm)	K_0	τ/σ'_{v_0}	τ/σ'_{m_0}
0	0.30	0.15	0.28
3.8	0.57	0.18	0.25