

# シルト質砂における静止土圧の増加が N 値および液状化強度に与える影響

安田 進<sup>1</sup>・原田 健二<sup>2</sup>・丹羽 俊輔<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京電機大学教授 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

<sup>2</sup>正会員 工博 不動建設(株) ジオ・エンジニアリング事業本部 (〒110-0016 東京都台東区台東 1-2-1)

<sup>3</sup>学生員 東京電機大学大学院 理工学研究科建設工学専攻 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

筆者らは  $K_0$  の増加が N 値や液状化強度に与える影響を定量的に把握するために、豊浦砂を用いて室内標準貫入試験と繰り返しねじりせん断試験を行ない、両者を組み合わせてその影響を調べてきた。<sup>1)</sup>これに引き続き、ここではシルト質砂を用いて豊浦砂の場合と同様の試験を行ない、 $K_0$  の増加が N 値や液状化強度に及ぼす影響について調べた。その結果、豊浦砂の場合とほぼ同様な結果を得られた。

*Key Words: Liquefaction, Sand compaction pile method, N-value, Earth pressure at rest, Relative density*

## 1. はじめに

サンドコンパクションパイル工法によって締め固められた地盤では砂杭の打設により杭間の地盤内の静止土圧係数  $K_0$  が増加する。 $K_0$  が増加すれば、液状化強度が増加するはずであり、また N 値自体も増加する可能性がある。さらに、通常サンドコンパクションパイル工法の対策効果は、N 値-液状化強度の関係図を用いて N 値から判断される。そこで筆者らは、 $K_0$  が N 値-液状化強度の関係にどのように影響するかを定量的に把握するために豊浦砂に対し室内模型土槽実験および繰り返しねじりせん断試験を行ってきた。これに引き続き、ここではシルト質砂について同じ室内模型土槽実験、および繰り返しねじりせん断試験をいくつかの条件で行って飽和地盤において  $K_0$  が N 値および液状化強度に及ぼす影響について調べた。

## 2. 室内標準貫入試験

### (1) 均一地盤作成方法

シルト質砂などの細粒分を含んだ試料を用いて水中落下法で模型飽和地盤を作製する場合、分級作用により比較的粒径の大きいものと細粒分が交互に堆積してしまい、均一地盤を作製することは難しい。そこで、2 重のトレミー管を用いて均一地盤作成方法に関する研究も行った。

2 重トレミー管の側面図を図-1 に示す。これは、内管の内部に土を投入すると舞い上がった細粒分が穴から再び内管に入り、上部から投入する試料と交じり合うことで、分級が避けられるといったものである。実験で用いたトレミー管の組み合わせは標準貫入試験(SPT)実験土槽との兼ね合いから、内管と外管の組み合わせは 45mm と 75mm、45mm と 115mm、75mm と 115mm の組み合わせとした。また、内管と外管の高さの差(内管をどれだけ上部にずらすか)によっても堆積状況は変わってくるため、この差を 0mm、20mm、40mm の 3 種類とし、計 9 種類の条件とした。実験は、試料の堆積状況が確認

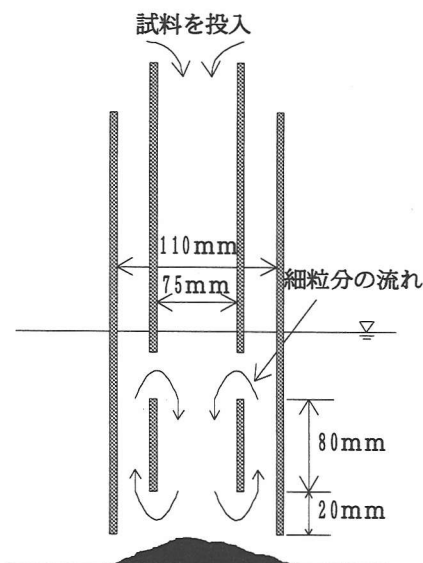


図-1 2重トレミー管側面図

できるように小型の亚克力土槽を使用し、試料を堆積させた後、側面から堆積状況を確認することでそれぞれの条件ごとの評価を行った。この結果、試料を最も均一に堆積させることが出来たのは内管75mm、外管115mm、内管と外管の差20mmのものであった。以下の標準貫入試験では、この2重トレミー管を用いて地盤の作製を行った。

## (2) 標準貫入試験装置および試験方法

室内 SPT 装置および土槽を図-2 に示す。SPT 装置はサンプラーにノッキングヘッドを取り付ける際、ロッドカップリングを用いて直結してある。ロッド長さは50mmである。土槽は、内径770mm、深さ921mmの鋼製の円形土槽である。また、任意の $K_0$ 条件を再現するために、模型地盤に対する水平および鉛直応力を土槽周面および底面のメンブレンを介して水圧により独立に作用させている。 $K_0$ は鉛直応力を98kPaで一定とし、水平応力を変化させることで調整した。

模型地盤は飽和地盤とし、試料は千葉県高浜の地盤にサンドコンパクションパイル工法が行われた地点から採取したシルト質砂( $G_s=2.688$ ,  $e_{max}=1.207$ ,  $e_{min}=0.677$ )を用いた。試料の粒径加積曲線を図-3に示す。また、水中落下法には前述した2重トレミー管を用いた。密度は締固め方法で分類し、①試料落下後手を加えないもの、②地盤上部に土嚢を置き圧

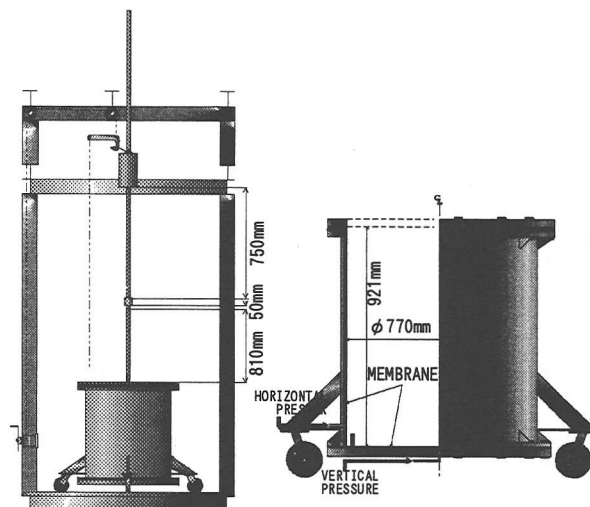


図-2 室内 SPT 装置および土槽

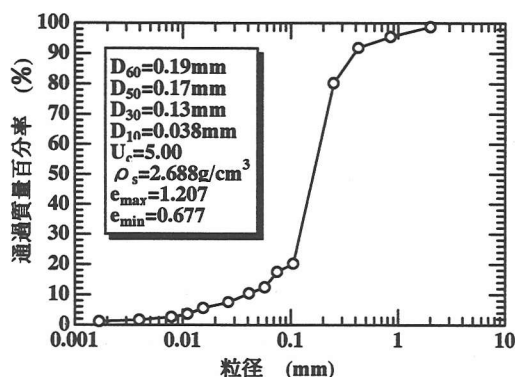


図-3 高浜砂粒径加積曲線

密させたもの、③地盤を3層に分け側面からの振動と突き固めによって締め固めたものの3種類とした。 $K_0$ は0.5, 1.0, 1.5, 2.0の4種類とし、密度の条件と合わせ計12種類の実験を行った。

模型地盤作成後は、水平・鉛直応力を加えて、それによる圧密が終了した後、土槽上部に SPT 装置を設置して標準貫入試験を行った。その際、土槽中央深度付近での N 値を得るために30cmの予備打ちを行った。本打ちでは、一打撃ごとに拘束圧の確認をして $K_0$ の値が一定値になるように調整した。また、間隙水圧計を土槽の中心である深さ方向45cmの位置に設置して貫入試験中の間隙水圧を求めた。重錘の落下方法はトンビ法とした。

## (3) 実験結果

各 $K_0$ 条件での $D_r$ とN値の関係を図-4に示す。こ

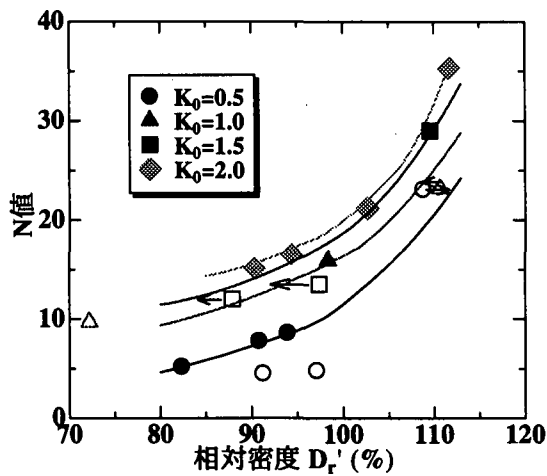


図-4  $K_0$ - $D_r'$  -N 値の関係

ここで  $D_r'$  は拘束圧を載荷した際の模型地盤の体積収縮量から相対密度を補正した値である。N 値はサンブラーを 30cm 貫入させるのに必要な打撃回数であり、累計貫入量から比例的換算して求めている。ロッド長さや打撃効率による補正は行っていない。水圧の記録から残留間隙水圧の値に注目し、平均的な値を取らないものに関しては算出した相対密度に補正を加え、シフトする方向を矢印で示した。また、貫入深度 10cm 以下で一打撃ごとの貫入量が大きくなる場合があったが、これは地盤が部分的に目標相対密度よりも緩く堆積したものと考え、貫入深度 10cm から 30cm の打撃回数を 1.5 倍することで N 値を補正した。補正した N 値および相対密度よりシルト質砂における  $K_0$  と  $D_r'$ 、N 値の関係についての提案曲線を同図中に示した。これより、 $D_r'$  が大きくなると N 値が増加することがわかり、また  $D_r'$  が等しい場合には  $K_0$  が大きいほど N 値は大きくなっていることがわかる。

### 3. 繰返しねじりせん断試験

N 値と液状化強度の関係に静止土圧がどのように影響するのか定量的に把握するために繰返しねじりせん断装置を用いて実験を行った。

#### (1) 実験装置および方法

装置は図-5 に示す繰返し中空ねじりせん断装置

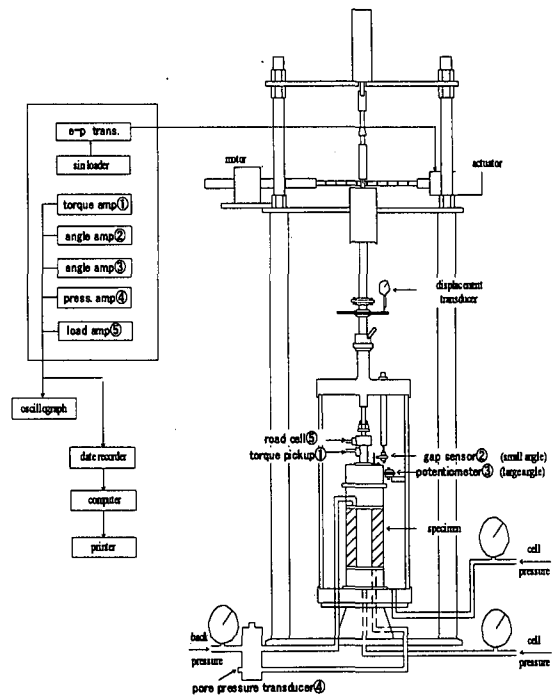


図-5 繰返しねじりせん断装置

を用いた。試料には標準貫入試験と同様のシルト質砂 ( $G_s=2.688$ ,  $e_{max}=1.207$ ,  $e_{min}=0.677$ ) を使用した。供試体の作成方法は最適含水比に調整した後、所定の相対密度となるように外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒型に突き固め法で作製した。そして、B 値が 0.95 以上になるように飽和させた後、 $K_0=1.0$  の場合は  $\sigma_v'=98\text{kPa}$ ,  $\sigma_h'=98\text{kPa}$  で圧密し、 $K_0=1.5$  の場合は  $\sigma_v'=98\text{kPa}$ ,  $\sigma_h'=147\text{kPa}$  で異方圧密した。その後、非排水状態にして一定の応力比で繰返し載荷を行った。繰返しせん断力はペロフラムシリンダーによる水平方向の動きをラックピニオンで回転方向に変えてねじり力が加わるようになっている。なお、異方応力状態で実験を行う場合、供試体の水平方向へのひずみが生じない状態で繰返し載荷を行う必要がある。そこで、繰返し載荷中の軸方向の変位を拘束するストッパーを取り付けて行った。

#### (2) 実験結果

実験結果のうち、相対密度が 85% における応力比～液状化回数関係を図-6 に示す。これに見られるように、分母を有効鉛直圧  $\sigma_v'$  とした応力比で整理すると、同じ密度でも静止土圧係数が大きくなるにつれて液状化に必要な応力比が大きくなった。

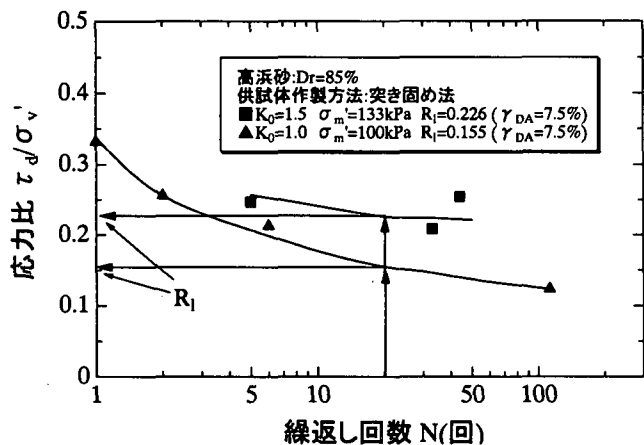


図-6 繰り返しねじりせん断試験における  
応力比～液状化回数関係

#### 4. 静止土圧の増加がN値および液状化強度に与える影響

図-6 より 20 回の繰り返し荷载で液状化する応力比を液状化強度比  $R_L$  として、相対密度と静止土圧係数との関係をまとめると図-7 の上半分となった。同図の下半分には図-5 をプロットしてあるが、これらの上下の関係図より同じ相対密度での  $N$  値と  $R_L$  を読みとって図示すると図-8 となった。この図に示されるように、 $K_0$  値によって  $N$  値～液状化強度比関係が異なってきた。そして、同じ  $N$  値でも  $K_0$  が大きいと液状化強度比は大きくなる結果となった。

#### 5. 結論

シルト質砂における静止土圧の増加が  $N$  値および液状化強度に与える影響について検討するために実験を行い、その結果以下のことがわかった。

- ・ 静止土圧が増加することにより、 $N$  値、液状化強度比はともに大きくなる。
- ・ 同じ  $N$  値でも  $K_0$  の値が大きくなると、液状化強度比も大きくなる。

よって、SCP 工法などで杭を打設し、地盤の水平応力が増大した場合、液状化強度も増加する効果がある事がわかった。

今後は、データ数を増やし他の  $K_0$  条件や相対密度

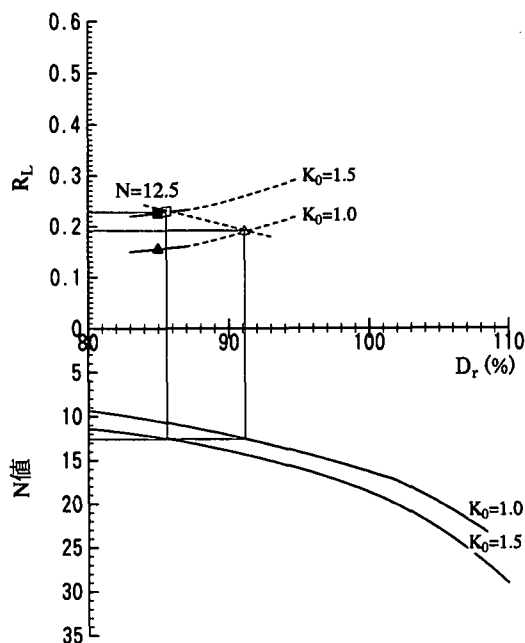


図-7  $K_0$ - $D_r$ - $R_L$ - $N$  値の関係

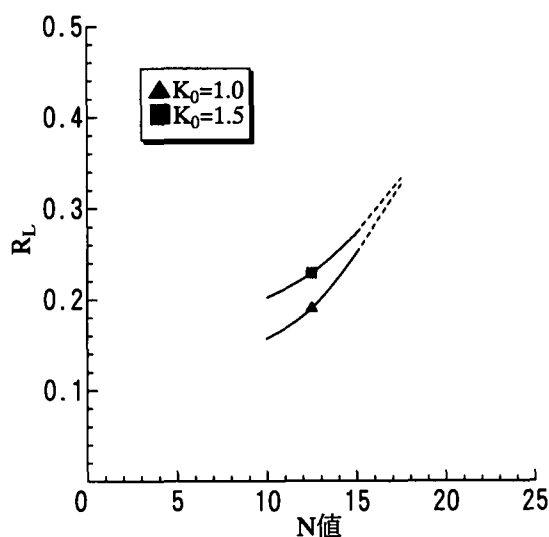


図-8  $N$  値-液状化強度比の関係

実験を進めたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 安田進・原田健二・荒井大介・風見健太郎・佐藤賢紀・杉本佳彦：飽和地盤における  $N$  値と密度、静止土圧係数の関係、第 35 回地盤工学研究発表会, pp. 1435-1436, 2000
- 2) 松尾修・安田進・山本実・原田健二・橋本隆：レベル 2 地震動における改良地盤の評価に関する実証的研究、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.273-276, 1997.