

## Ⅲ-227

## 砂レキの液状化試験とそのシミュレーション解析

(株) 大林組 正会員 大井 高志  
 同上 濱野 正光  
 同上 鳥井原 誠  
 同上 平間 邦興

**1. まえがき** 近年、大規模埋立に伴う人工島や臨海地盤の液状化現象が問題となっている。その中でも、従来液状化しにくいとされてきた粒径の大きい砂レキ層が、先の兵庫県南部地震において液状化し、多大な被害を及ぼしたのは記憶に新しいところである。そこで、細砂のみならず砂レキおよびレキの液状化特性について調べることは、極めて重要であると考えられる。

本研究では、粒径の異なる4種類の砂レキの液状化試験を行い松岡モデル<sup>1)</sup>を導入した有効応力解析手法によりそのシミュレーション解析を行った。また、細砂の解析を行う場合と比較して解析パラメーターの違いについて若干の考察を行った。

**2. 試験および解析の概要** 今回行った試験の一覧を表-1に示す。4種類の砂レキの液状化試験には振動三軸試験機を用いた。また、解析パラメーターを決定するために、等方圧縮・除荷試験（CD試験）および三軸圧縮試験（CD試験）を行った。また、細砂の解析パラメーターとの比較を行うために、細砂についても等方圧縮・除荷試験および三軸圧縮試験を行った。静的試験より得られた解析パラメーターの一覧を表-2に示す。図-1に今回の試験に用いた試料の粒径加積曲線を示す。試料A B C Dの粒径は2 mm以下の粗砂から2 cm以下のレキまでの分布となっている。

今回の解析は2次元四角形要素を用い、せん断応力 $d\tau$ を時々刻々加えていく方法で行った。液状化試験は三軸試験機で行ったため、解析と試験で応力経路が異なることになるが、液状化強度については比較できるものと考えた。

**3. 結果および考察** 図-2に試験および解析により得られた有効応力経路の一例を示す。液状化波数は試験と解析で若干異なるものの、変相後のサイクリックモビリティなどの挙動ををよく表していると言える。

図-3に今回の試験および解析により得られた液状化強度曲線を示す。試験による液状化強度は多少ばらついているが、粒径のより大きい試料の方が液状化強度も大きい。解析による液状化強度曲線は、試験によるものと比べて若干勾配が急になっているが、やはり粒径の大きい試料の方が液状化強度が大きくなっており、試験の傾向をおおむねよく表していると言える。

さて、表-1を見ると、静的試験より求めた解析パラメーターが砂レキと細砂では大きく異なっている事に気づく。その中でも解析結果に重大な影響を及ぼすダイレイタンスパラメーター $\lambda$ 、 $\mu$ と硬化係数 $k_s$ に

表-1 行った試験の一覧

|                        |                                                |
|------------------------|------------------------------------------------|
| 砂レキ及びレキ<br>(試料A B C D) | 液状化試験（振動三軸）<br>三軸圧縮試験（CD試験）<br>等方圧縮・除荷試験（CD試験） |
| 細砂                     | 三軸圧縮試験（CD試験）<br>等方圧縮・除荷試験（CD試験）                |

表-2 解析パラメーター一覧

|                                 | A     | B      | C      | D       | 細砂     |
|---------------------------------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 圧縮係数 $C_c$                      | 0.026 | 0.021  | 0.017  | 0.017   | 0.017  |
| 除荷係数 $C_e$                      | 0.01  | 0.008  | 0.007  | 0.006   | 0.01   |
| ヤング率 $E$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 456   | 542    | 619    | 682     | 461    |
| 間隙率 $e$                         | 0.822 | 0.808  | 0.753  | 0.705   | 0.945  |
| 内部摩擦角 $\phi$ (°)                | 38.5  | 39     | 41     | 43      | 38     |
| ダイレイタンスパラメーター $\lambda$         | 0.93  | 0.93   | 0.93   | 0.93    | 1.17   |
| ダイレイタンスパラメーター $\mu$             | 0.40  | 0.40   | 0.40   | 0.40    | 0.25   |
| 硬化係数 $k_s$                      | 0.001 | 0.0005 | 0.0003 | 0.00015 | 0.0014 |

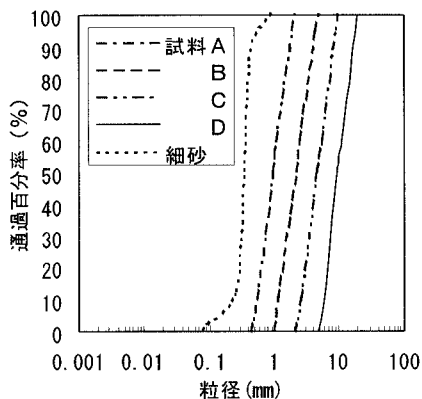


図-1 粒径加積曲線

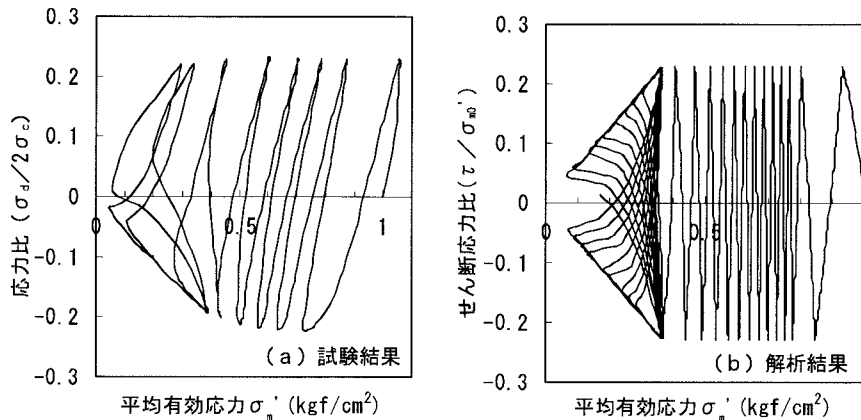


図-2 試験および解析の有効応力経路

注目してみる。

三軸圧縮試験より求めた、砂レキ（試料A B C D）および細砂のストレス・ダイレイタンスー関係を図-4に示す。試料A B C Dについてはストレス・ダイレイタンスー関係に有為な差は見られず、ほぼ一本の直線に乗っているが細砂については大きく異なっていることが分かる。これは、三軸圧縮試験では砂レキの方が正のダイレイタンスーが卓越するためである。

硬化係数  $k_s$  は解析モデルでは次のように表される。

$$d\epsilon_1^P - d\epsilon_3^P = \frac{k_s \sin \phi_f^2}{(\sin \phi_f - \sin \phi_{mo})^2} d(\sin \phi_{mo})$$

$\sin \phi_f$       内部摩擦角  
 $\sin \phi_{mo}$     現応力状態での摩擦角

上式より  $k_s$  は塑性ひずみの大きさを決定するパラメーターであると言える。砂レキと細砂と比べた場合、砂レキの方が塑性ひずみが出にくいので、砂レキの  $k_s$  の方が小さくなるのである。

**4. まとめ** 本研究は砂レキの液状化特性を明らかにすることと、有効応力解析をする際に用いる砂レキのパラメーターについて検討することを目的として行い、以下の成果を得た。

①粒径の大きいものほど、液状化強度も大きくなり、解析においてもこの傾向を表現することができた。

②細砂と砂レキの材料特性の違いによる、解析パラメーターの違いを得ることができた。

今後は、シルト質砂の解析パラメーターについても考察を行い、構成則を境界値問題に適用する際の参考としたい。

**参考文献** 1) H.Matsuoka and K.Sakakibara : A constitutive model for sands and clays evaluating principal stress rotation. Soils and Foundations, vol.27, No.4, pp73-88

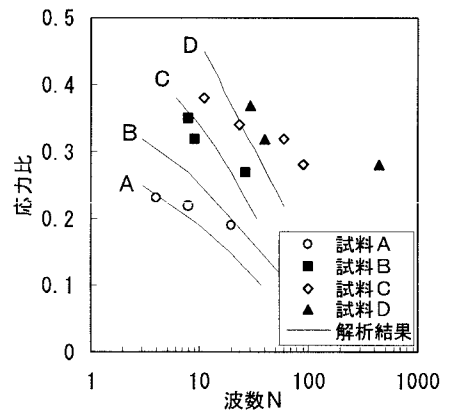


図-3 試験および解析の液状化強度曲線

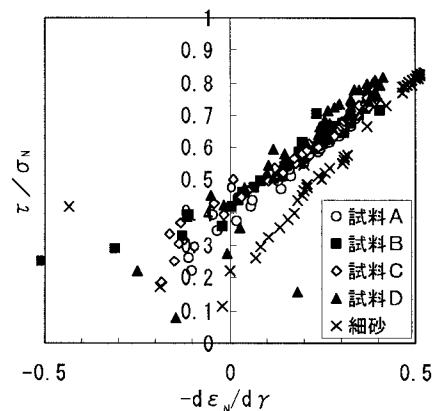


図-4 ストレス・ダイレイタンスー関係