

# 細粒分を含む地層地盤の液状化の評価に関する一考察

山口大学大学院  
山口大学工学部  
(株) ソイル・ブレーン  
山口大学大学院

学正会員 ○木村真也  
正会員 兵動正幸 吉本憲正  
正会員 河村志郎 藤山敦  
学正会員 市川昌治 井上孝一

**1. はじめに** 2001 年芸予地震では、過去大きな地震に見舞われたことのなかった山口県内において、小規模ではあるが液状化が確認された。地震時に生じる液状化現象は地盤やその上の構造物に大きな被害を生じさせることから、液状化被害の程度を把握することは、液状化対策や地震後の対応を適切に行うためにも非常に重要なことである。本研究では図-1 に示す山口県徳山市の港湾地区における地盤に対して、原位置試験で得られた N 値と粒度特性、および原位置で採取した不攪乱試料を用いて液状化判定を実施し、これらの結果を基に、現行の液状化判定手法の適応性について検討を行った。

**2. 地盤概要** 図-1 に地盤柱状図を示す。当敷地は、山口県徳山市の港湾に位置し厚いシルト層の上に細粒分を含む砂層からなる地層構成となっている。地下水位は G.L.-1.4m と浅く、G.L.-20m 付近まで N 値 10 以下の層が堆積しており活性の低いシルト層及び上層砂層で地震時には液状化が懸念される。そのため、地下水位以下の Um、Uc 層に着目し液状化判定を実施した。なお、図-1 における T-1～T-3 は試料を採取したサンプリング位置を示しており、深度はそれぞれ G.L.-2.00m～2.52m、G.L.-5.40m～6.25m、G.L.-8.80m～9.15m となっている。

**3. 液状化判定** **a. N 値・粒度による液状化判定** 表-2 は深度 2.00～2.52m 部分の T-1 における道路橋示方書<sup>1)</sup>（以下、道路橋）および建築基礎構造設計指針<sup>2)</sup>（以下、建築）を用いて実施した液状化判定結果を示したものである。判定を行うにあたり、シルト層が厚く堆積していることからⅡ種地盤とし、地震動はレベルⅡを想定した。これを見ると両手法とも液状化安全率 FL は 1.0 以下となっており液状化の可能性が高いと判定された。なお、T-2、3 に関しては塑性指数  $I_p > 15$  であり規定範囲外にあったため判定は行わなかった。

**b. 不攪乱試料を用いた液状化判定** 原位置より採取した不攪乱試料を用いて繰返し三軸試験より求めた液状化強度比  $R_{max}$  と、地震応答解析（以下、SHAKE）により算出したせん断強度比  $L_{max}$  を用い  $FL = R_{max}/L_{max}$  の算定を試みた。図-2 に T-1～T-3 における粒径加積曲線を示す。図中の破線は、港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>3)</sup>（以下、港湾の基準）の中で「特に液状化の可能性あり」、「液状化の可能性あり」とされている範囲である。この破線は、試料すべてが均等係数  $U_c > 3.5$  であったため、それに適用するものを示している。港湾の基準では塑性指数に関する制限はなく、これを見ると T-2、3 の関しても液状化の可能性のあることから、ここでは T-2、3 においても判定を行う。まず、 $R_{max}$  の算出を行う。図-3 に繰返し三軸試験により求めた、軸ひずみ

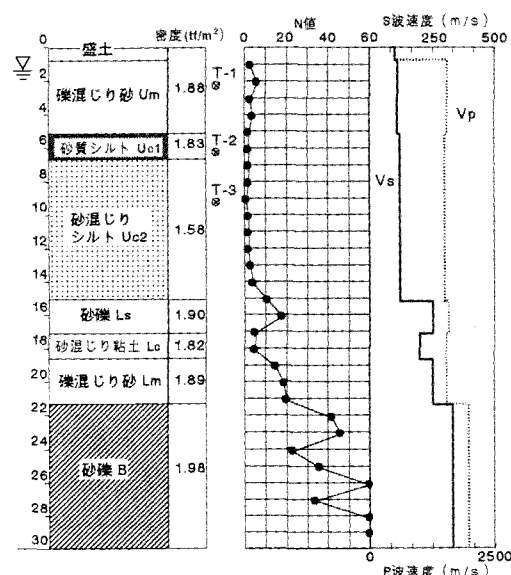


図-1 地盤概要

表-1 不攪乱試料の概要

| サンプリングNo.                              | T-1       | T-2       | T-3       |
|----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 深度 (G.L.-m)                            | 2.00～2.52 | 2.00～2.53 | 2.00～2.54 |
| N値                                     | 6         | 2         | 2         |
| 細粒分含有率 $F_c$ (%)                       | 19.4      | 61.2      | 78.8      |
| 塑性指数 $I_p$                             | N.P.      | 18.7      | 28.5      |
| 有効上載圧 $\sigma_v'$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 42.18     | 64.67     | 80.43     |

表-2 T-1 における液状化判定

|     | せん断強度比 $L$ | 液状化強度比 $R$ | $FL = R/L$ |
|-----|------------|------------|------------|
| 道路橋 | 0.80       | 0.34       | 0.57       |
| 建築  | 0.27       | 0.16       | 0.59       |

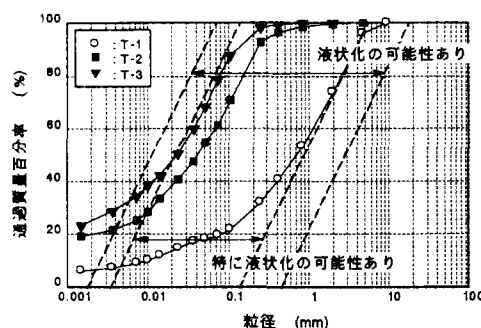
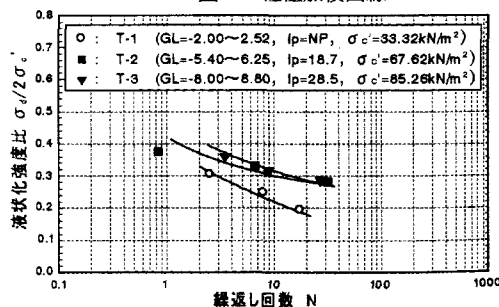


図-2 粒径加積曲線



両振幅  $\varepsilon_{DA}=5\%$  に至るに必要な液状化強度比と繰返し回数との関係を示す。実験においては、拘束圧を各深度の有効上載圧に近く、それを下回らない大きさと与え、0.1Hz の正弦波を繰返し応力として載荷した。図より、T-1~T-3 における繰返し回数  $N=20$  回での液状化強度比  $\sigma_d/2\sigma_c$  は、それぞれ 0.18、0.28、0.29 となっているのが見て取れる。ここで得られた  $\sigma_d/2\sigma_c$  値に対して、原位置の応力条件および地震波の多方向性、不規則性に関する補正を行い  $R_{max}=(0.9/0.55) \cdot (1+2K_0)/3 \cdot (\sigma_d/2\sigma_c)^4$  により  $R_{max}$  を求めた。つづいて、 $L_{max}$  の算出を行う。 $L_{max}$  に関しては SHAKE により算出した地盤各層の最大せん断応力  $\tau_{max}$  を有効上載圧  $\sigma_v'$  で割ることにより求めた。SHAKE を行うにあたり、サンプリング位置や地盤の状況を考慮し 13 層に分割したモデルとした(図-4)。最大ひずみと有効ひずみの換算係数は 0.65 とし、剛性と減衰のひずみ依存性は、港湾の基準により定められているものを用いたものと、試料 T-2、3 による室内動的変形試験結果より得られたものの 2 通りとし、非線形性の拘束圧依存性を考慮して深度ごとに設定した。また、入力地震動は 2 種類の加速度レベルと周波数成分の異なる波形として、十勝沖地震の際に八戸港で観測された最大加速度 232Gal のもの、および兵庫県南部地震の際にポートアイランドで観測された最大加速度 570Gal のものとした。図-4 に、港湾の基準および動的変形試験結果を用いた SHAKE の結果として最大せん断ひずみの深度分布を示す。これより、八戸波入力においては両者に違いが見られないが、大ひずみの発生している神戸波入力に関しては  $U_m$  層から  $U_c$  層にかけて大きく異なることが見て取れる。図-5 に T-3 における動的変形試験結果と港湾の基準で規定されているものをあわせて示す。この図を見ると片振幅せん断ひずみ 0.1% 付近までは両者ともよく対応しているが、0.1% を超えたあたりから違いが出てきていることが認められる。同様の傾向が T-2 においてもみられた。これが神戸波での SHAKE の結果に大きく影響したものと考えられる。図-4 に  $FL=R_{max}/L_{max}$  により求めた FL の結果を示す。これより砂層においては、いずれの地震動においても液状化の可能性があることが見て取れる。八戸波入力においては港湾の基準と動的変形試験結果にかかわらず両者同じ FL 値を示すが、神戸波に関しては動的変形試験結果を加えることで 3 層すべてが FL 値 1.0 を下回る結果となった。本来液状化しないとされている塑性を有する  $U_c$  層において  $FL<1.0$  という結果になったのは、繰返し三軸試験で得られた繰返しせん断強度  $R_{max}$  が軸ひずみ 5% を基準にしているためであり、必ずしも砂の液状化現象と同じではないということも留意する必要がある。

**5. まとめ** 本研究では、山口県徳山市内での地質調査結果や採取した不攪乱試料を基に液状化判定を行った。その結果、礫混じり砂  $U_m$  層に関しては液状化の可能性が高いことがわかった。また、港湾の基準を用いレベル II 相当の直下型地震に対する液状化の評価をするにあたり、塑性を有する粘性土に対し繰返し三軸試験を実施する場合、そこで得られるせん断応力比の評価を適切に行う必要性があり、その結果が FL の判定結果を大きく左右することが明らかとなった。

1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説VI耐震設計編 2)日本建築学会：建築基礎構造物設計指針 3)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準(平成 11 年 4 月) 4)沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック

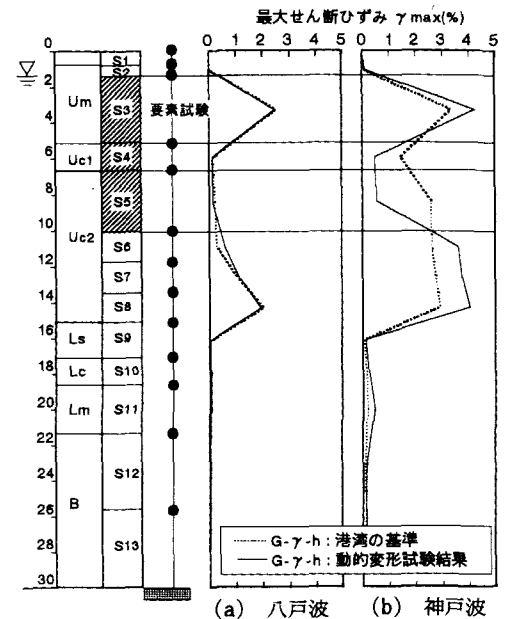


図-4 深度分布

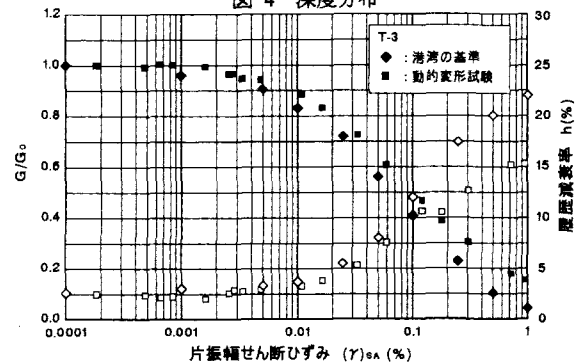


図-5  $G/G_0 \cdot \gamma \cdot h$

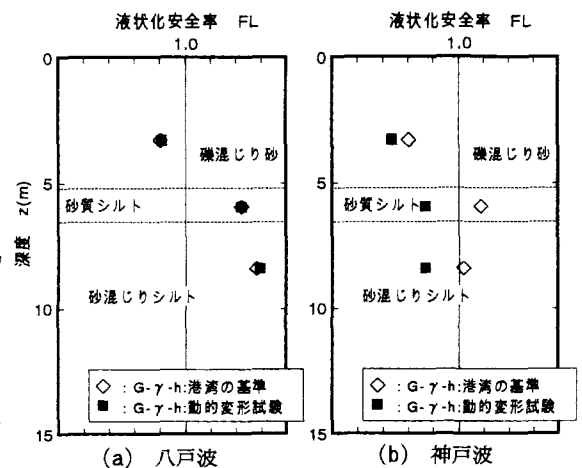


図-6 FLの算定