

エネルギーの釣合に基づく液状化地盤の沈下予測に関する研究
その1 体積ひずみに関する実験的検討

Study on Prediction of Ground Settlement in Liquefaction Based on the Energy Balance
Part 1 Experimental Study on Volumetric Strain

○藤森圭祐¹, 安達俊夫², 山田雅一², 下村修一³, 朝枝亮太⁴

*Keisuke Fujimori¹, Toshio Adachi², Masaichi Yamada², Shuichi Shimomura³, Ryota Asaeda⁴

Abstract: The purpose of this study is establish for estimation of settlement in sand deposits following liquefaction based on energy balance. This report is experimental investigation of relationships between volumetric strain resulting from dissipation of pore water pressures and accumulate plastic strain energy by cylindrical torsional test.

1. はじめに

秋山は Housner のエネルギーの釣合の概念を基本とした上部構造の耐震設計法を提案¹⁾し, 告示²⁾に至っている. 一方, 著者らは秋山の概念を地盤分野に展開し, 地盤の損傷程度(地盤変形・液状化時の過剰間隙水圧等)を評価する手法の構築を進めている^{3,4)}. 本手法は地盤全体に入力するエネルギーから各層への分配エネルギーを推定し, 各層毎にこのエネルギーによる損傷程度を評価するものである. Fig.1 にエネルギーの釣合に基づく液状化地盤の沈下予測の概念図を示す. 沈下をエネルギーで評価するには, 次の 3 つを明らかにする必要がある. ①地震動による地盤全体への総入力エネルギー量, ②地盤の各層が吸収するエネルギー量, ③地盤の沈下量(ひずみ)とエネルギーの関係である. ①は地盤の非線形化による振動周期の変化を考慮した有効周期と弾性系のエネルギースペクトルにより算出する³⁾. ②は各層の初期有効拘束圧, 1 次モードと変位応答スペクトルから求まる有効せん断ひずみ及び地盤材料の粘り強さを表す規準ひずみなどを用いることで算出する⁴⁾. ③は累積塑性ひずみエネルギー W_p と体積ひずみ ϵ_v の関係が必要である.

そこで本研究では, 飽和砂地盤の液状化による損傷程度を直接的に評価する沈下量(体積ひずみ)と累積塑性ひずみエネルギーの関係について室内要素試験結果から検討を行う.

2. 試験概要

試験は中空ねじりせん断試験装置を用いて, 応力制御, 非排水繰返し载荷で行った. 供試体は空中落下法により作製し, CO₂, 脱気水を通し, 背圧を与え B 値が 0.96 以上であることを確認した後, 初期有効拘束圧 49kN/m² で等方圧密を行った. 試験は, せん断ひずみがゼロになったことを確認してから終了させ, 体積ひ

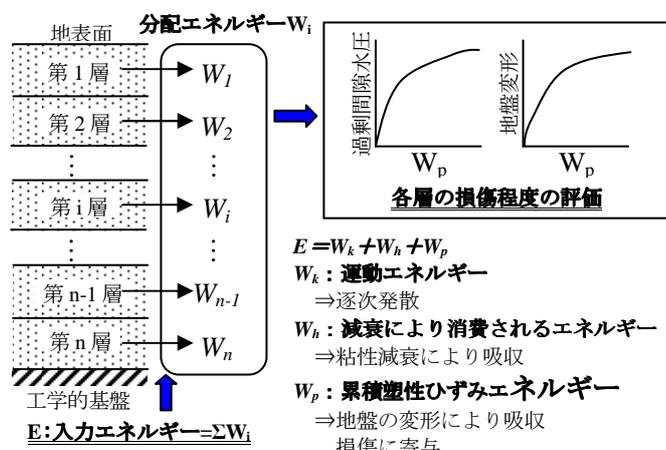


Fig.1 Prediction flow of ground settlement in liquefaction based on energy balance

ずみは, 各試験の終了後に供試体からの間隙水の排水量を計測することで求めた. 排水量は二重管ビューレット(容量 50cm³)の水位を差圧計を用いて測定した. 排水量を測定する際は, まずビューレットに繋がる排水バルブを開き排水した後, 軸変位ストッパーを解除して再圧密を行った. 排水開始後 30 分程度で排水量は収束しており, この時の排水量を以後の検討に用いた.

Table.1 に試験条件を, Fig.2 に液状化試験結果を示す. 試料は豊浦砂と霞ヶ浦砂を用い, 一定応力振幅により载荷した. Table.1 には試料の液状化強度 R_{15} (繰返し回数 15 回で過剰間隙水圧比が 95%に達する時のせん断応力比)を示した.

Table.1 Test case

試料	相対密度 Dr(%)	初期有効拘束圧 (kN/m ²)	せん断応力振幅	液状化強度 R_{15}
豊浦砂	40	49	一定	0.167
	60			0.201
	80			0.246
霞ヶ浦砂	60			0.242
	80			0.347

1: 日大理工・学部・建築 2: 日大理工・教員・建築 3: 鹿島建設株式会社 4: 日大理工・院・建築

3. 試験結果

Fig.3 に累積塑性ひずみエネルギーと体積ひずみの関係を示す。累積塑性ひずみエネルギーは初期有効拘束圧で除して規準化している。同図より、体積ひずみは規準化累積塑性ひずみエネルギーに比例して増大し、ある体積ひずみに達するとそれ以降はほぼ一定値に収束することが分かる。

4. $W_p/\sigma'_0 \sim \epsilon_v$ 関係の定式化

Fig.3 の関係を式(1)のように近似した。 $\epsilon_{v,max}$ に達した以降の ϵ_v は $\epsilon_{v,max}$ の値で一定とした。

$$\epsilon_v = a \left(\frac{W_p}{\sigma'_0} \right) \quad (\epsilon_v < \epsilon_{v,max}) \quad (1)$$

$$\epsilon_v = \epsilon_{v,max} \quad (\epsilon_v \geq \epsilon_{v,max})$$

ここに、 a : 再圧密係数、 $\epsilon_{v,max}$: 最大体積ひずみである。 Fig.3 に液状化強度 R_{15} と最大体積ひずみ $\epsilon_{v,max}$ および再圧密係数の関係を示す。これらの関係を近似すると式(2), (3)となる。

$$\epsilon_{v,max} = 0.002R_{15}^{-1.7} \quad (2)$$

$$a = 0.005R_{15}^{-3.6} \quad (3)$$

ここに、 R_{15} : 液状化強度である。

最大体積ひずみ $\epsilon_{v,max}$ については、既往の研究⁵⁾により、地盤の補正 N 値 N_a との関係が示されている。 Fig.5 に同一補正 N 値 N_a における最大体積ひずみの既往の研究と実験結果の比較を示す。同図より、式(2)により推定した最大体積ひずみ $\epsilon_{v,max}$ は既往の研究とほぼ同等の値を示している。

5. まとめ

本研究では、室内要素試験により累積塑性ひずみエネルギーと体積ひずみの関係について検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 体積ひずみは規準化累積塑性ひずみエネルギーに比例して増大し、一定値に収束する。
- 2) 累積塑性ひずみエネルギーと体積ひずみの関係は、液状化強度ごとに異なり、同一エネルギーでは液状化強度が低いほど体積ひずみは大きく、両者の関係はバイリニアで表される。

【参考文献】

- 1) 秋山 : 建築物の耐震極限設計, 東京大学出版会,1980
- 2) 国土交通省告示第 631 号
- 3) 下村・安達・酒匂:エネルギーの釣合に基づく地盤の地震時挙動の評価に関する研究-飽和砂地盤の損傷程度及び入力エネルギーの評価-,日本建築学会構造系論文集,Vol.75,No.650, pp.807-815,2010.4.
- 4) 下村・安達・酒匂:粘性減衰により吸収されるエネルギー及び多層地盤のエネルギー分配率の評価-エネルギーの釣合に基づく地盤の地震時挙動の評価に関する研究 その 2-,日本建築学会構造系論文集,Vol.76, No.661,pp.553-562,2011.3.
- 5) Tokimatsu,K. and Seed,H.B: Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 8, pp861-878, 1987

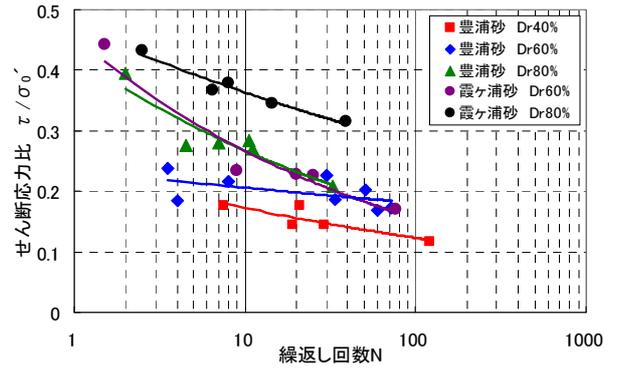


Fig.2 Result of liquefaction test

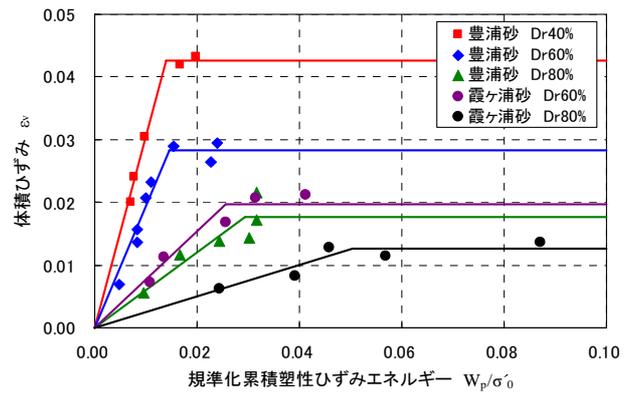


Fig.3 Relationship between W_p/σ'_0 and ϵ_v

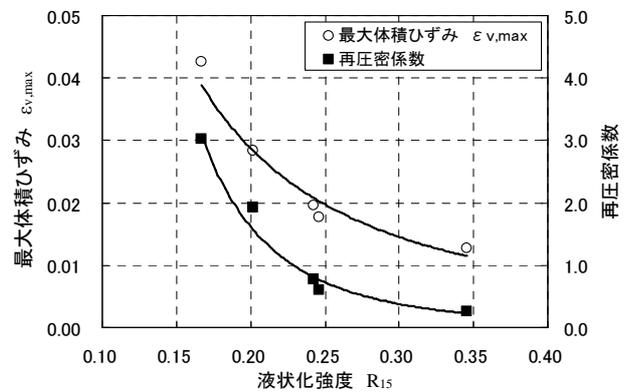


Fig.4 Relationship between R_{15} and $\epsilon_{v,max}$ or reconsolidation coefficient

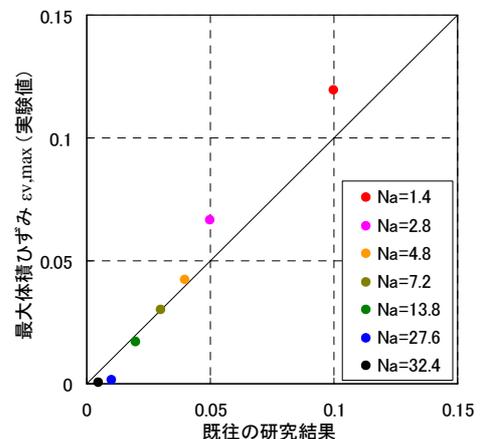


Fig 5. Comparison of $\epsilon_{v,max}$