

B-57

エネルギーの釣合に基づく液状化地盤の損傷評価に関する研究

その1 エネルギー～最大せん断ひずみ関係の検討

Study on Evaluation of Damage in Liquefaction Based on the Energy Balance in Liquefiable Sandy Ground

Part 1 Considerations on relationship between Energy and Maximum Shear Strain

○藤森圭祐¹, 安達俊夫², 山田雅一², 朝枝亮太³*Keisuke Fujimori¹, Toshio Adachi², Masaichi Yamada², Ryouta Asaeda³

Abstract: The purpose of this study is to establish for evaluation between damage in sand deposits following liquefaction based on energy balance. This report is evaluation between relationship accumulate plastic strain energy and maximum shear strain, consideration was tested cylindrical torsional.

1.はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、東京湾岸において多くの液状化被害を引き起こした。今回の地震は、本震の直後に最大マグニチュード7.7という大きな余震が生じ、それにより液状化被害が大きくなったとも言われている。このような事態を想定して、余震も含めた沈下量の推定を行うため、筆者らはエネルギーに基づいた沈下量の推定法を提案している。

秋山らは、Housnerのエネルギー釣合いの概念¹⁾を基本とした上部構造の耐震設計法を提案し告示²⁾に至っている。一方、下村らは秋山の提案した概念を地盤に適用し、地盤の沈下や地盤の水平変位、過剰間隙水圧の上昇など地盤の損傷程度を推定する手法を提案している^{3,4)}。

筆者らは、規準化累積塑性ひずみエネルギーと体積ひずみの関係を報告した⁵⁾。本報では規準化累積塑性ひずみエネルギーと最大せん断ひずみ関係について報告をする。また本報その2において規準化累積塑性ひずみエネルギーと過剰間隙水圧比の関係を報告する。

2. 試験概要

表1に試験条件を示す。試料として豊浦砂と霞ヶ浦砂-a、霞ヶ浦砂-bを用い、一定振幅の応力制御により繰返し载荷を行った。表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%に達した時のせん断応力比)やその他条件を示す。

Table1. Test Condition

試料	相対密度 Dr(%)	有効拘束圧 (kN/m ²)	液状化強度 R ₁₅
豊浦砂	40	49	0.163
	60		0.201
	80		0.259
霞ヶ浦砂-a	60	49	0.242
	80		0.344
霞ヶ浦砂-b	40	98	0.170
	60		0.210
	80		0.258

せん断試験は中空ねじりせん断試験装置を用いた。供試体は高さ10cm、外径直径10cmの中空円筒供試体である。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、初期拘束圧49と98kN/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)の水位を差圧計により測定した。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分程度で排水量は一定値に収束しており、この排水量を以後の検討に用いた。

3. 試験結果

試験結果の時刻歴の一例(霞ヶ浦砂Dr=80%)を図1に示す。最大せん断ひずみを求める際に、応力-ひずみ関係のループの閉じたところを対象とし最大せん断ひずみについて検討を行った。非排水繰返し試験から得られた各砂における繰返し回数ごとの最大せん断ひずみ γ_{max} と規準化累積ひずみエネルギー W_p/α の関係を図2～図4に示す。各図より、規準化累積塑性ひずみエネルギーが大きくなるにつれて、最大せん断ひずみが急増する傾向が見られる。相対密度40%と60%の場合においては、規準化累積塑性ひずみエネルギーと最大せん断ひずみ関係に差異が見られないが、相対密度80%の場合と比較すると最大せん断ひずみがエネルギーに対して小さくなっていることが分かる。そこで下村は次式(1)を用いて累積塑性ひずみエネルギーと最大せん断ひずみの関係を近似している⁵⁾。

$$\gamma_{max} = b \left(\frac{W_p}{\sigma_c'} \right)^2 \quad (1)$$

ここに b : 係数, α : 有効拘束圧, W_p : 累積塑性ひずみエネルギーである。

この係数 b を文献⁵⁾では相対密度を指標としていたが, 本報では砂の種類を変えて検討を行っているため, 表1に示す R_{15} を指標とした. 図5に係数 b と液状化強度 R_{15} の関係を示す. 同図には最小二乗法の回帰式も併せて示した. 液状化強度により係数 b は大きく異なることがわかる. 従って, 図5より液状化強度から係数 b を推定できる。

4.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最大せん断ひずみの関係について検討を行った. その結果以下の知見が得られた。

- 1) 最大せん断ひずみは規準化累積塑性ひずみエネルギーの上昇に伴って増大していき, それに伴って最大せん断ひずみは急上昇していく。
- 2) 最大せん断ひずみと規準化累積塑性ひずみエネルギーの関係から, 試料ごとの液状化強度 R_{15} から最大せん断ひずみを推定することができる。

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) 藤森・安達他: エネルギーの釣合に基づく液状化地盤の損傷評価に関する研究-累積塑性ひずみエネルギーと体積ひずみ関係-2012年度地盤工学会大会学術講演会, pp1555~1556, 2012
- 6) 下村: エネルギーの釣合に基づく地盤の液状化に伴う沈下予測に関する研究 p.82

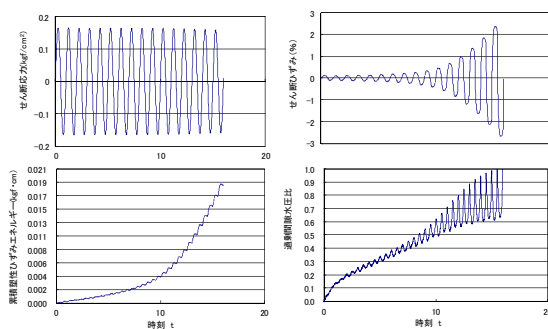


Fig1 Test result (Kasumigaura sand Dr80%)

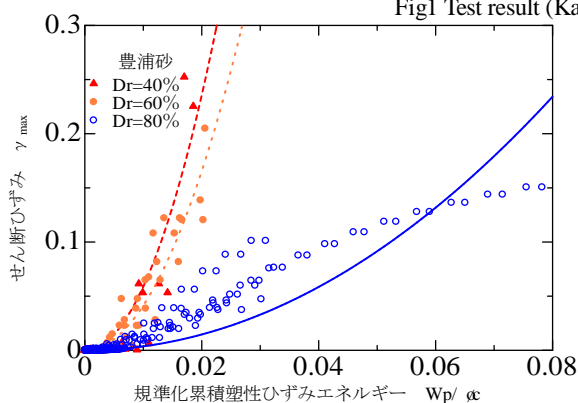
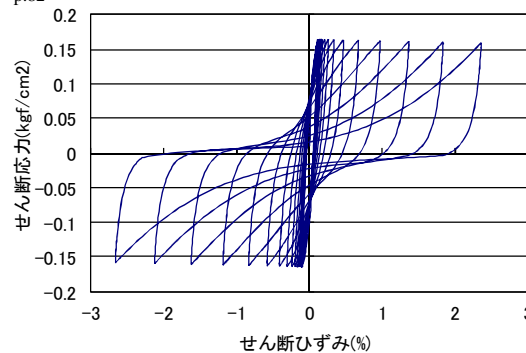


Fig2 Relationships between plasticity strain energy and maximum shearing strain (Toyoura sand)

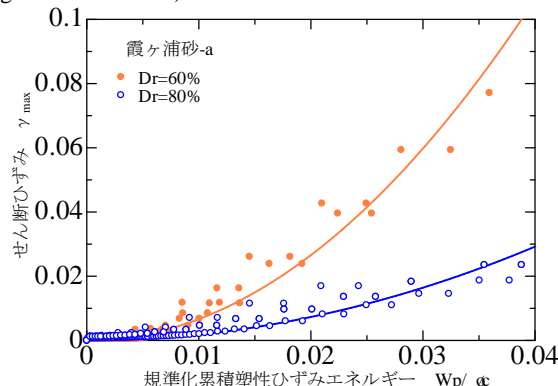


Fig3 Relationships between plasticity strain energy and maximum shearing strain (kasumigaura sand-a)

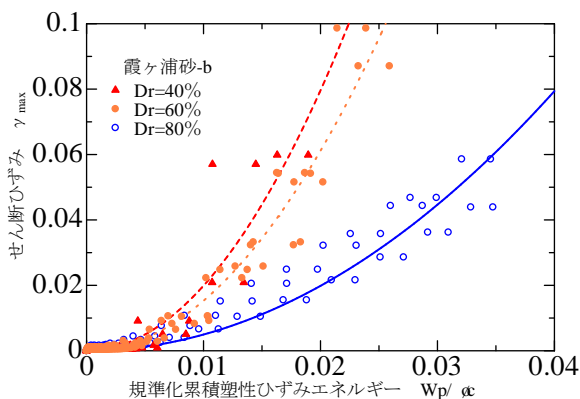


Fig4 Relationships between plasticity strain energy and maximum shearing strain (kasumigaura sand-b)

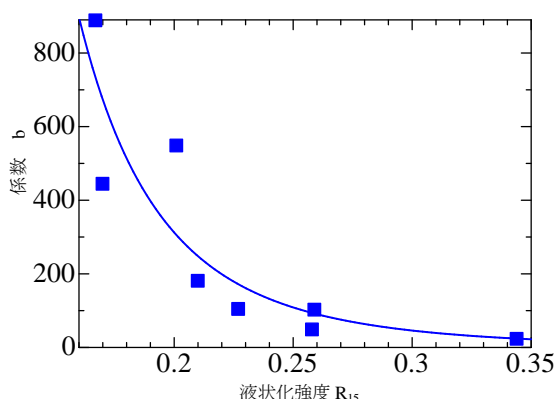


Fig5 Liquefaction intensity and Coefficient δb