

武蔵工業大学 学生会員 東山 晃
武蔵工業大学 正会員 片田 敏行
武蔵工業大学 正会員 成山 元一

1、まえがき

地震による土木構造物の損傷は破壊的であり、直接人命と関わることが多い。また土木構造物は地盤上あるいは、地盤中に建設されるので、地盤が破壊するかどうかが問題となる。そこで、地盤の破壊の程度を定量的に抑えることが必要となる。本研究はそのひとつの基礎的研究としてひずみエネルギーという概念を導入してどこまで破壊のメカニズムを把握できるかを検討する。対象として、砂地盤、関東ローム地盤、軟弱地盤をとりあげ、オンライン地震応答載荷実験法によりひずみエネルギー蓄積量を算出する。その算出結果より地盤の破壊の程度あるいは破壊のメカニズムを検討する。

2、ひずみエネルギー蓄積量の算出方法

本研究では振動三軸試験機とマイクロコンピュータをオンラインで結合した、いわゆるオンライン地震応答載荷実験法を用いて解析を行った。振動三軸試験機中にセットする供試体は地下10mの応力状態と等しい拘束圧である1.5kgf/cm²とする。入力地震波として昭和58年(1983)年日本海中部地震(1983.5.26., M=7.7)における秋田港で記録された地震加速度波(S1567)のEW成分波を用いている。オンライン地震応答載荷実験結果からエネルギー蓄積量を求める式は以下のように得られる。1自由度系の振動方程式は次式で与えられる。

$$m \ddot{x}(t) + c \dot{x}(t) + R(t, x) = -m \ddot{y}(t) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、m：質量、c：減衰係数、R：実復元力、
x：応答加速度、 \dot{x} ：応答速度、x：応答変位、y：入力加速度

(1)式から1自由度系のエネルギー平衡式を導くために、(1)式の両辺に $\dot{x}(t)dt$ を乗じ、時刻tまで積分したのが次式である。

$$\int_0^t m \ddot{x}(t) \dot{x}(t) dt + \int_0^t c \dot{x}(t) \dot{x}(t) dt + \int_0^t R(t, x) \dot{x}(t) dt = -\int_0^t m \ddot{y}(t) \dot{x}(t) dt \dots\dots\dots (2)$$

(2)式左辺第三項をひずみエネルギー蓄積量と定義する。このようにして求めたひずみエネルギー蓄積量は、オンライン地震応答載荷実験の特徴である実際の地震現象と同じ動的環境で得られたエネルギー量ということができる。

3、土の種類の違いによるひずみエネルギー蓄積状況の違い

土の種類の違いによるひずみエネルギー蓄積状況を明らかにするため表-1に示す3種類の土に関して4ケースの供試体について解析する。図-1は、時刻歴でひずみエネルギー蓄積量を比較したものである。共通の傾向は振動の初期にはあまり塑性ひずみを生じないのでひずみエネルギー蓄積量は小さく、強制変位の増大とともに非線形性が進行し、ひずみエネルギー蓄積量も大きくなる。供試体の違いによりひずみエネルギーの蓄積状況が異なっている。関東ローム(CASE(1))は変位・反力とも大きく、結果として最もひずみエネルギー蓄積量が大きくなった。乾燥ゆる詰め砂(CASE(2))では振動の初期段階は密詰め砂(CASE(3))にくらべてひずみエネルギー蓄積量は小さいが、非線

表-1 供試体の物理状態

CASE(1)	関東ローム	$\rho = 1.37 \text{gf/cm}^3$	含水比 72.0%
CASE(2)	豊浦標準砂	$D_r = 17.7\%$	気乾状態
CASE(3)	豊浦標準砂	$D_r = 82.7\%$	気乾状態
CASE(4)	軟弱土	$\rho = 1.50 \text{gf/cm}^3$	含水比 76.5%

形性が進行し、ひずみエネルギー蓄積量も大きくなる。供試体の違いによりひずみエネルギーの蓄積状況が異なっている。関東ローム(CASE(1))は変位・反力とも大きく、結果として最もひずみエネルギー蓄積量が大きくなった。乾燥ゆる詰め砂(CASE(2))では振動の初期段階は密詰め砂(CASE(3))にくらべてひずみエネルギー蓄積量は小さいが、非線

形性の進行が速いので後半逆転して大きくなっている。軟弱土 (CASE(4))はこの入力波に対してほとんど反力を示さないが変位は大きく、4ケース中最もひずみエネルギー蓄積量は小さい。

4. 振動中に破壊しない場合と破壊する場合のひずみエネルギー蓄積量の違い

飽和砂は加振中に液状化、すなわち供試体は破壊する。これに対して乾燥砂では液状化ほど明確な破壊が見られない。そこで両者のひずみエネルギー蓄積状況の違いを比較してみる。乾燥砂の場合は入力加速度が大きくなるにつれてひずみエネルギー蓄積量は、級数的に大きくなっていく (図-2)。これは入力加速度が大きくなると、履歴曲線の面積が大きくなりひずみエネルギー蓄積量が増大したものと考えられる。しかし、破壊までには至っていない。一方、飽和砂は完全に液状化した後は大変位するが、反力は無くなりひずみエネルギーは蓄積しなくなる。それゆえ入力加速度を増加させても蓄積量は、ほぼ一定の値をとる。

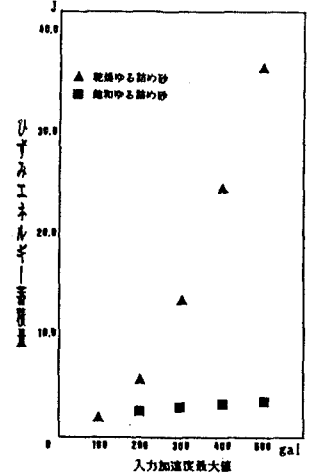


図-2 入力の高さとひずみエネルギー蓄積量

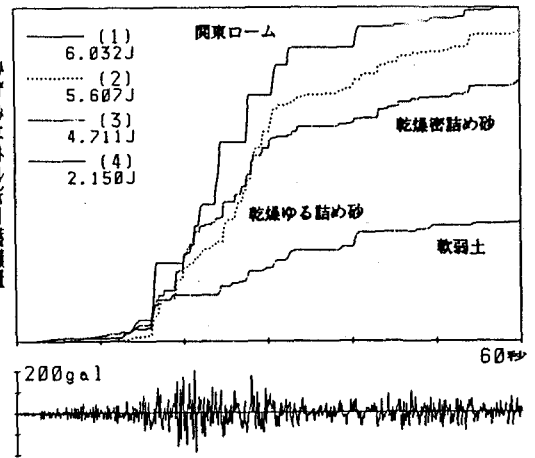


図-1 土の種類の違いによるひずみエネルギー蓄積状況の違い

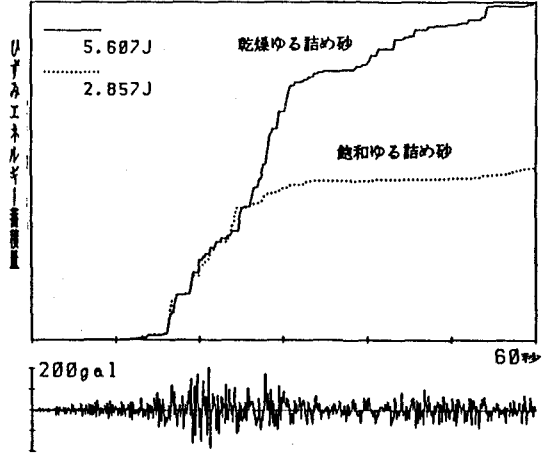


図-3 乾燥砂と飽和砂のひずみエネルギー蓄積状況

比較すると明確である。飽和砂の場合完全液状化までのひずみエネルギー蓄積状況は乾燥砂とほぼ等しい。しかし、液状化後はひずみエネルギーはほとんど蓄積されない (図-3)。

5. あとがき

本研究は3種類の土に対してオンライン地震応答載荷実験を行い、その結果を用いてひずみ蓄積状況を明らかにしている。更に、ひずみエネルギー蓄積状況と供試体の破壊の関係を考察している。すなわち供試体が破壊するとひずみエネルギーは蓄積せず一定となる。従ってひずみエネルギー蓄積状況によって破壊の程度を知ることができる。今後、条件の異なる土のひずみエネルギー蓄積状況や入力特性との関係を調べていきたい。

謝辞 本研究の実験に当たっては、本学の卒論生亀井俊 山浦一樹の両君の助力に負うところが大きであり、記して謝意を表する次第です。

参考文献 片田敏行・阿部幸樹・富山哲次・東山晃: 飽和砂地盤の液状化過程のエネルギー考察、第7回日本地震工学シンポジウム、pp.655~660, 昭和61年12月