

I-465 地震時における土の履歴吸収エネルギー解析

武蔵工業大学大学院 学 東山 晃
 武蔵工業大学 正 片田 敏行
 北海道大学大学院 三浦 康成

1. まえがき

地震時に表層地盤が液状化、地割れあるいは地滑りなどの破壊現象を生じるとそこに存在する土木構造物は大きな損傷を被る。それゆえ、強震動によって表層地盤が破壊するかどうかの検討が重要となる。ところで、地震時における構造物の損傷の程度を表す指標のひとつに履歴吸収エネルギー（ひずみエネルギーとも呼ばれる）がある。エネルギー量を用いて地盤破壊の程度を論ずるための基礎的研究として、本研究では地震時に土にどのように履歴エネルギーが吸収されるかを解析する。このとき、土の非線形復元力モデルとして、修正Ramberg-Osgoodモデル（R. O. G. モデル）、修正Hardin-Drnevichモデル（H. D. R. モデル）、Bi-Linearモデルを用いて数値解析する¹⁾。

2. 履歴吸収エネルギーの算出方法

履歴吸収エネルギーを算出するためには地震時における土の復元力と応答速度が必要である。これらを求めるため、表層地盤の地震時挙動の数値解析を行う。簡単のため表層地盤を1自由度系のバネ・質点系で表現する。解析の流れとしては①加速度記録の地震波を入力し線形加速度法により応答加速度・応答速度・応答変位を算出する②応答変位よりひずみを求める③非線形復元力モデルを用いて求めたひずみからせん断応力を求める④応力値・応答値より履歴吸収エネルギーを求める。入力地震波として日本海中部地震(1983.5.26.; M=7.7)における秋田港で記録されたEW成分の地震加速度波(S1567)の最大値を200galに修正して用いている。

1自由度系の非線形振動方程式よりエネルギー平衡式は以下のように得られる。

$$\int_0^t m \ddot{x} \dot{x} dt + \int_0^t c \dot{x} \dot{x} dt + \int_0^t R \dot{x} dt = - \int_0^t m \ddot{y} \dot{x} dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、m：質量、c：減衰係数、R：表層地盤の復元力、

$\ddot{x}$ ：応答加速度、 $\dot{x}$ ：応答速度、x：応答変位、 $\ddot{y}$ ：入力加速度

（1）式の左辺第3項が履歴吸収エネルギーである。本研究ではこのエネルギー量を用いて土の破壊程度を論ずる。

3. 非線形復元力関数モデルを用いた数値解析結果

本研究は同一の入力波に対して、3つの非線形復元力モデルを用いて、土の履歴吸収エネルギーを求める。用いる非線形復元力モデルによりパラメータが異なるため厳密に同条件で、応答特性を比較するのは難しい。しかし、なるべくパラメータの違いにより応答結果が変わらないように考慮して、表-1のように決定した。

表-1 用いたパラメータの一覧

数値解析共通パラメータ		R. O. G. モデル	H. D. R. モデル	Bi-Linearモデル
層厚	1000cm	初期最大	初期最大	弾性限界変位 0.2cm
粘性減衰定数	0.1	履歴減衰係数 0.32	せん断剛性 913kgf/cm ²	
地盤の固有振動数	2.2Hz	初期最大	初期最大	弾塑性傾斜率 0.1
間隙比	0.7	せん断剛性 913kgf/cm ²	せん断応力 0.269kgf/cm ²	
静止土圧係数	0.6	初期最大		地盤バネ定数 0.7kgf/cm
単位体積重量	1.8gf/cm ³	せん断応力 0.269kgf/cm ²		
内部摩擦角	30°			

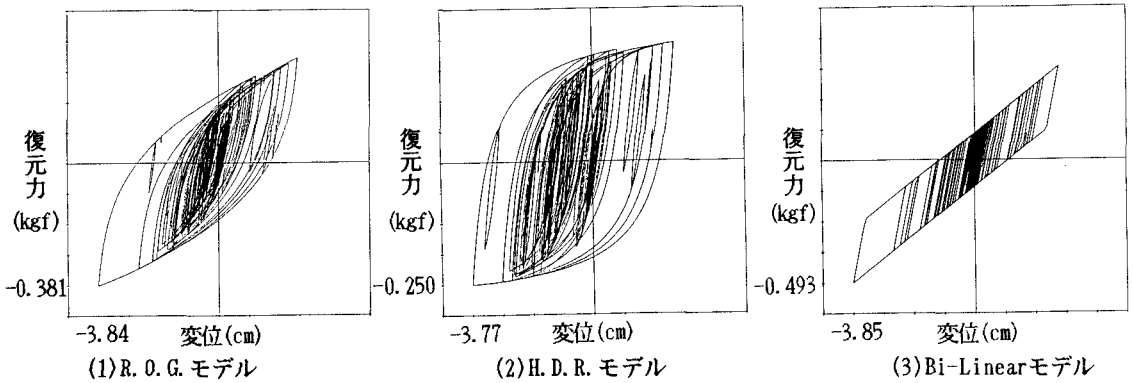


図-1 応答解析の結果より得られた履歴曲線

図-1に応答解析の結果得られた履歴曲線を示す。また、図-2に数値解析による応答結果より算出した履歴吸収エネルギーを時刻歴と比較したものを示す。振動の初期にはあまり変形しないので履歴吸収エネルギーは小さく、変位の増大にともない非線形性が進行し、エネルギーも大きくなる。その後入力波の減衰とともに履歴吸収エネルギーの増加の割合は小さくなる。最終のエネルギー量は各復元力モデルにより最大せん断応力の値に違いが見られるが、振動の過渡状態の時多少異なるだけでほぼ等しくなった。

4. オンライン地震応答載荷実験結果²⁾との関係

乾燥砂に関するオンライン地震応答載荷実験結果より算出した履歴吸収エネルギーの状況²⁾と数値解析結果（図-2）とを比較した。両者は同一の入力波を用いた応答解析結果より履歴吸収エネルギー量を算出している。また、地盤モデルもできる限り同一となるように設定した。履歴吸収エネルギー量の増加状況は良く似ている。この履歴吸収エネルギーの増加状況と入力波の波形特性を比較すると両者の間には相関性が見られる。

また、飽和砂が液状化する場合には履歴吸収エネルギーは増加せず一定となる²⁾。液状化を飽和砂の破壊とすれば、破壊すると履歴吸収エネルギー量は一定となる。したがって、土の種類ごとに破壊に要する履歴吸収エネルギー量が明かになれば、履歴吸収エネルギー量によって土の破壊程度が推定できることになる。

5. おわりに

本研究で地震時における土の履歴吸収エネルギー量を土の非線形復元力関数モデルを用いた数値解析により求めた。そして、モデルの違いによる履歴吸収エネルギー量の違いについて考察した。

土が完全に破壊しせん断応力が無くなれば、履歴吸収エネルギーが増加しないという限界値が存在するはずである。非線形復元力関数モデルを用いた数値解析では、破壊状態までの応答解析が困難なため、この値を求めるのは難しい。この値が求まれば、土の破壊程度を定量的に捉えることが可能になると思う。今後に残された課題であろう。

参考文献

- (1) 足立・龍岡：新体系土工学18土の力学（Ⅲ）－圧密・せん断・動的解析－、技報堂出版、1981.8.25.
- (2) 東山・片田・成山：地震時に土に蓄積するひずみエネルギー量、第14回土木学会関東支部技術研究発表会、1987.4.8.

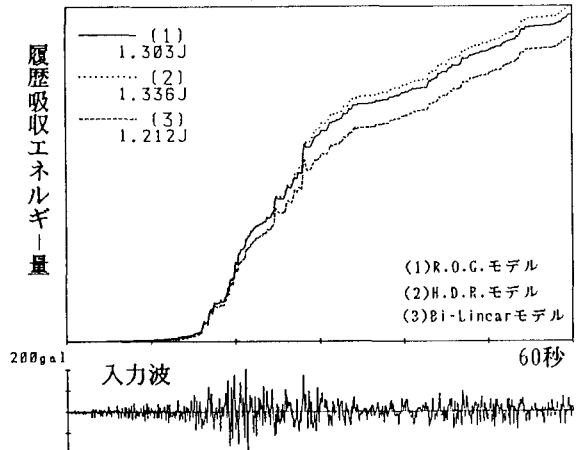


図-2 履歴吸収エネルギーの算出結果