

非線形解析による地盤応答に及ぼす履歴挙動の影響について

応用地質		竹島 康人
応用地質	正会員	○澤田 俊一
応用地質		藤井 紀之
応用地質	正会員	吉田 望

1. はじめに

最近、建築物や土木構造物の耐震設計に考慮される地震動が大きくなり、実務において地盤の非線形解析が頻繁に実施されるようになってきている。非線形解析に用いる土の応力ひずみ関係として、実務では双曲線モデルや Ramberg-Osgood モデルがよく使われている。しかし、双曲線モデルは Masing 則を適用すると、ひずみの大きな領域で履歴減衰が大きくなり、応答値が過小評価される可能性が指摘されている¹⁾。また、Ramberg-Osgood モデルを用いても室内試験で得られた地盤材料のひずみ依存性 (G/G_0 , $h-\gamma$ 関係) を精度よくトレースすることはできない。より精度の高いモデルも提案されており^{1), 2)}、ここでは、そのモデルを用いて Hardin-Drnevich³⁾の提案するひずみ依存性を考慮した解析を実施し、双曲線モデルで得られる応答値との比較を行った。

2. 解析条件

解析には、佐藤ら⁴⁾の検討に用いられた地盤モデルを使用した。土の応力ひずみ関係の骨格曲線は双曲線で表し、履歴挙動は Hardin-Drnevich の提案によるもの（以下、「H-D」と呼ぶ）と、Masing 則にしたがうもの（以下、「双曲線」と呼ぶ）の2通りとした。両者のモデル化によるひずみ依存性の違いを図-1に示す。入力地震波には、千葉県東方沖地震（1987年12月17日、 $M_j=6.7$ ）の際に観測された地表加速度記録を工学的基盤に引き戻した図-2に示す2波形を用いた。同図の波形(a)は、最大振幅相当の荷重の繰返し回数が多い振動型、(b)は繰返し回数が少ない衝撃型の波形として選定した。なお、入力加速度波形の最大振幅は一律 $800(\text{m/sec}^2)$ (2E) に調整し、両者のモデルの違いが大きく表れる数%オーダーのひずみ応答が得られるようにした。

3. 解析結果

最大加速度およびせん断ひずみの深度分布を図-3に示す。衝撃型の入力地震波では「H-D」と「双曲線」に差

はないが、振動型では大きなひずみ応答が得られる深度で「双曲線」の加速度応答が大きくなる傾向にある。地表面の加速度時刻歴を図-4に示す。加速度振幅の最大値はいずれも $2.0(\text{m/sec}^2)$ 程度であり、地盤の非線形挙動により頭打ちとなっている。このため、振動型の波形では「H-D」と「双曲線」で加速度振幅の差は明瞭ではないが、全体的に「双曲線」は「H-D」に比べて高周波の成分の波が多くなっている。一方、衝撃型では、非線形挙動の影響が少ない加速度時刻歴の前半部分で「H-D」と「双曲線」の差はないが、非線形挙動の卓越する後半部分では、「双曲線」の応答が大きくなっていることが明瞭に分かる。地表加速度時刻歴の応答スペクトルを図-5に示す。加速度応答スペクトルは、いずれの地震動についても、概ね周期 1.0 秒前後で「双曲線」と「H-D」の傾向は異なり、短周期側では、「双曲線」の応答が大きく、長周期側では、「H-D」の応答が大きくなっている。図-6には代表的な深度における応力ひずみ関係を示す。「双曲線」は除荷時の立ち上がりで接線剛性が高く、終局強度付近で急激な剛性低下を示す傾向にあり、一方、「H-D」は「双曲線」に比べて接線剛性の変化がなめらかである。すなわち、両者の挙動の差は、履歴減衰というよりもむしろ履歴法則によって決まる除荷時の剛性の違いによって生じたものと考えられる。振動型の波形では、最大せん断ひずみの生じる方向も異なっており、履歴法則の違いによって地盤の挙動そのものに違いを生じる可能性も考えられる。

4. おわりに

双曲線モデルに Masing 則を適用した場合、ひずみの大きな領域では地盤の応答を過大に評価する可能性があること、履歴減衰よりも履歴法則によって決まる除荷剛性の違いが応答に影響することが分かった。大ひずみ領域を扱う非線形解析では、除荷剛性を適切に評価することが重要と考えられる。

キーワード 非線形解析, せん断剛性, 履歴減衰, ひずみ依存性

連絡先 〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町 2-61-5 TEL : 048-667-9141

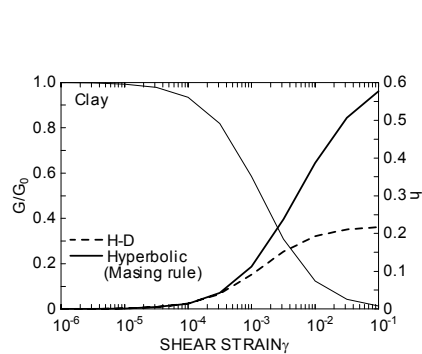
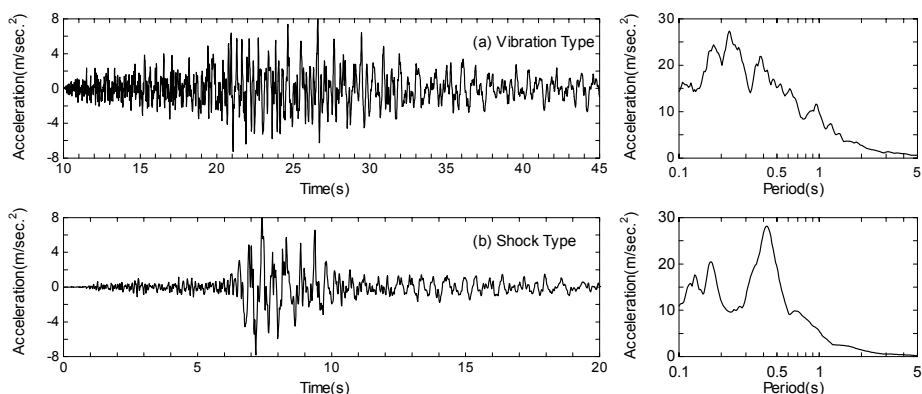
図-1 G/G_0 , h - γ 関係

図-2 入力地震動

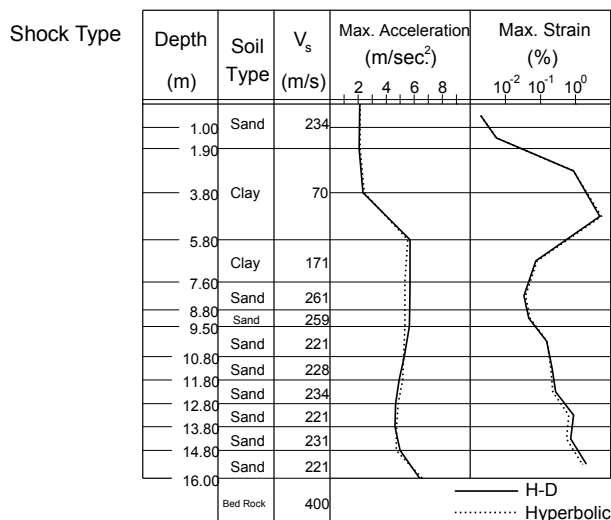
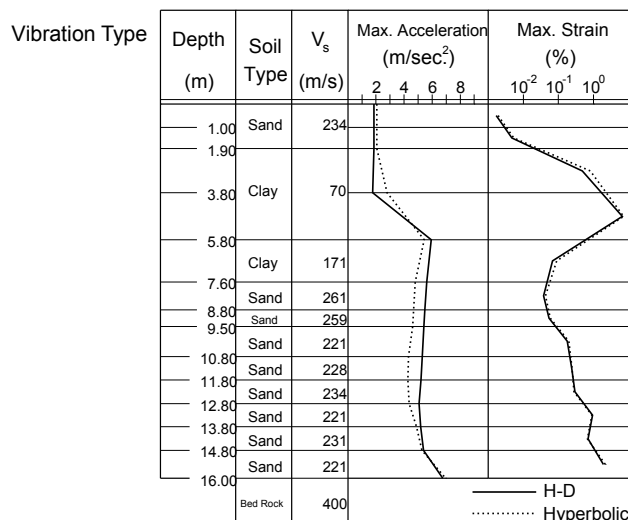


図-3 最大応答値の深度分布

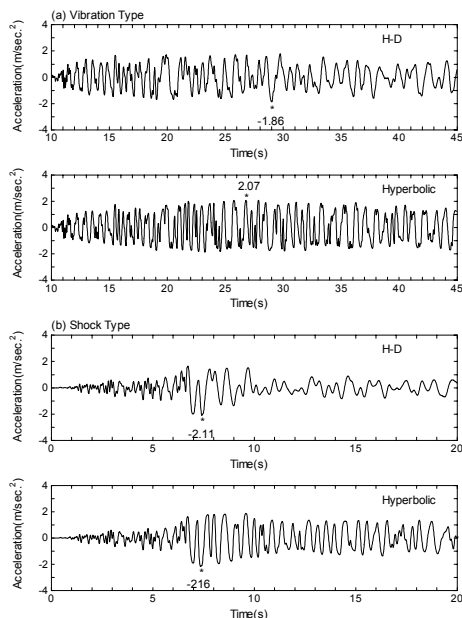


図-4 地表面加速度時刻歴

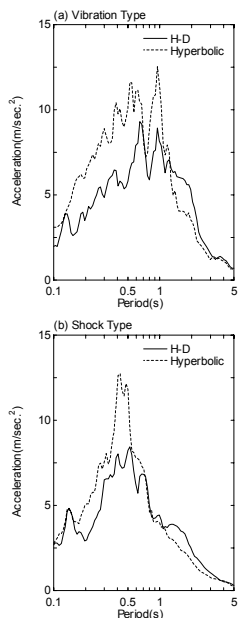


図-5 加速度応答スペクトル

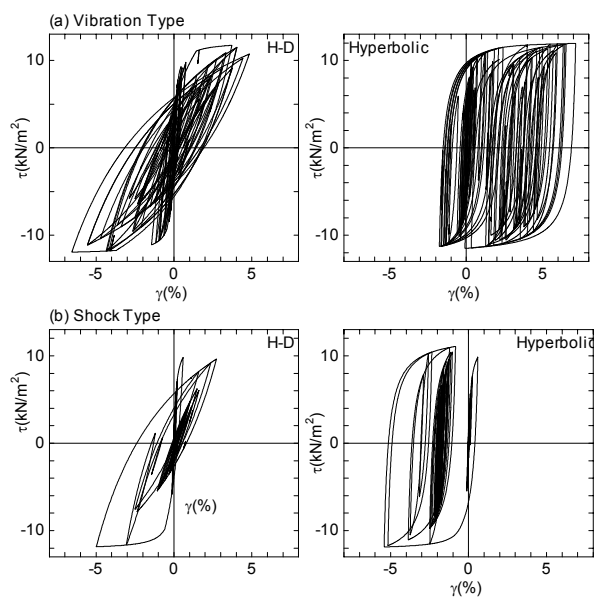


図-6 応力ひずみ履歴

参考文献

- 1) 鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，平成 11 年 10 月
- 2) Ishihara, K., Yoshida, N. and Tsujino, S.: Modelling of stress-strain relations of soils in cyclic loading, Proc. 5th International Conference for Numerical Method in Geomechanics, Nagoya, Vol. 1, pp. 373-380, 1985
- 3) Hardin, B. O. and Drnevich, V. P. Shear modulus and damping in soils: design equations and curves, Proc. of the ASCE, Vol.98, No.SM7, pp.667-692, 1972.
- 4) 佐藤正行, 安田進, 吉田望, 増田民夫：地盤の地震時せん断応力の簡易推定法, 土木学会論文集 No.610/Ⅲ-45, pp.83-96, 1998.12.