

土の硬化型および軟化型履歴モデルによる地震時応答の比較検討

ジェイアール東日本コンサルタンツ

正会員 ○野上 雄太

鉄道総合技術研究所

正会員 室野 剛隆

東京工業大学

正会員 盛川 仁

1. はじめに

著者らは、これまでに土の非線形履歴モデルとしてひずみ硬化型の GHE-S モデル¹⁾を提案している。このモデルは、幅広いひずみレベルに対して土の $G/G_0 \sim \gamma$ 関係、 $h \sim \gamma$ 関係を満足できるだけでなく、大ひずみ時に現れることのある S 字型の履歴曲線を表現できる特徴を有する。既往の多くのモデルはひずみ軟化型であり、S 字型の履歴曲線を表現できず、紡錘型の履歴曲線を描く。そこで、本検討では、S 字型の履歴形状が地盤の地震時応答に与える影響を把握するために、GHE-S モデルと紡錘型の履歴形状を描く既往のモデルに対して地震応答解析を実施した。

2. 検討条件

(1)地震波条件:検討に用いた地震波を図1に示す。図1の3波は、継続時間の特徴に着目して選定した。1995年兵庫県南部地震の波は継続時間が短く、単発のパルスで最大応答が決まると推測される波である。1993年釧路沖地震の波は継続時間が長く、主要動が徐々に大きくなり、最大応答が時々刻々と更新されると推測される波である。2011年太平洋沖地震の波は継続時間が長く、主要動が2つ存在する波である。

(2)地盤条件:図2に示すS波速度構造を有する地盤を解析対象とした。この地盤の固有周期 T_g は0.32sである。

(3)土の構成則:土の構成則には、ひずみ硬化型に GHE-S モデル¹⁾を、ひずみ軟化型に修正 GHE モデル²⁾を用いた。両モデルの骨格曲線は同一である。履歴曲線は幅広いひずみレベルで $h \sim \gamma$ 関係を満足する点では同じである。しかし、GHE-S モデルは S 字型の履歴曲線を描くことで $h \sim \gamma$ 関係を満足させるのに対し(図3)、修正 GHE モデルは除荷時の剛性を初期剛性から低減させて紡錘型の履歴曲線を描くことで $h \sim \gamma$ 関係を満足させる(図4)点が異なる。モデルに必要なパラメータは、多数の要素試験から求めた標準値を用いた³⁾。

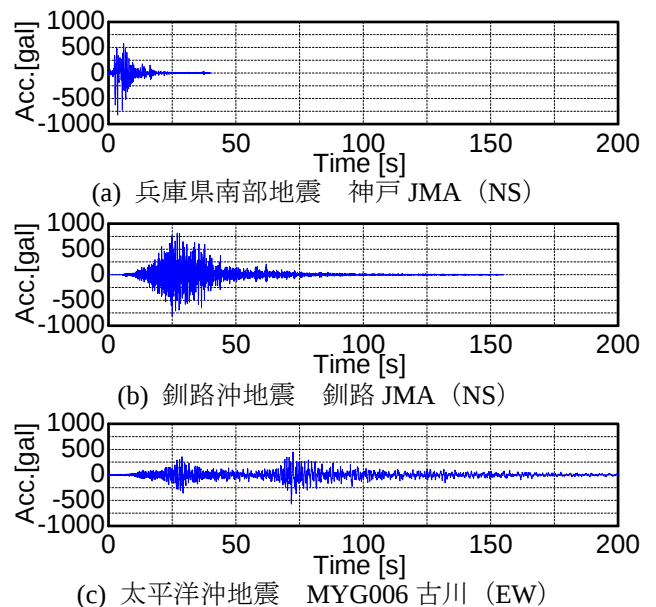


図1 入力地震波

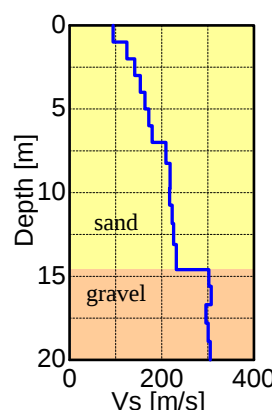


図2 検討に用いた地盤

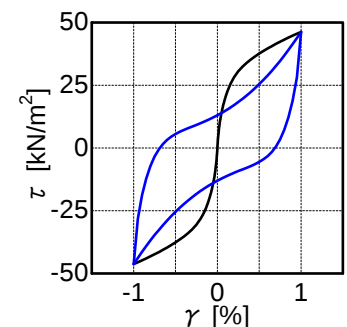


図3 GHE-S の履歴形状

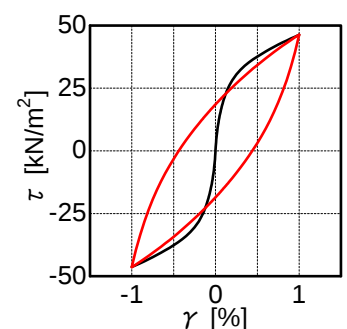


図4 修正 GHE の履歴形状

3. 検討結果

解析結果の例として、神戸 JMA 波を入力したときの地表面加速度時刻歴波形を図5に示す。図中の(a)

は全時間の波形を、(b)は2~10s間を拡大した波形を示している。図5(b)より、4s付近で最大応答が決定しており、両モデルで差が無い。図6に最大加速度および最大変位の深さ方向分布を示すが、入力地震波によら

キーワード: S字型履歴曲線, せん断剛性, ひずみ軟化, ひずみ硬化

連絡先: 〒170-0021 豊島区西池袋1-11-1 メトロポリタンプラザ ジェイアール東日本コンサルタンツ TEL03-5394-7245

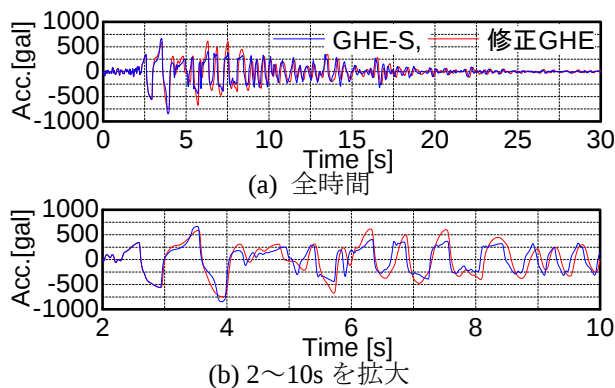


図5 地表面加速度時刻歴波形(神戸 JMA)

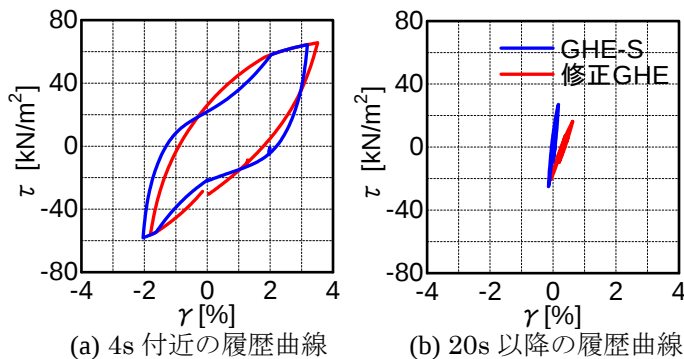


図7 GL-7.0m の土層の履歴曲線

ず最大値にはほとんど差がない．ここで，神戸 JMA 波を入力したときを例に，大きく非線形化した GL-7.0m の土層の履歴曲線のうち，最大値を経験する 4s 付近の履歴を図 7(a)に示す．図 7(a)からも分かるとおり，両モデルは同じ骨格曲線を用いており，かつ最大値はせん断応力が骨格曲線上を辿る時に発生するため最大値に差がないと考えられる．

次に，最大値を経験した後の波形に着目する．図 5(b)より，両モデル間で位相がずれ始め，例えば 8.5s 付近に着目すると修正 GHE モデルの方が長周期化している．ここで，GL-7.0m の土層の履歴曲線のうち，20s 以降の履歴を図 7(b)に示す．図 7(b)より，明らかに剛性が異なっており，修正 GHE モデルは長周期化していることが確認できる．また，瞬間接線剛性比 G/G_0 の時刻歴波形を図 8 に示すが，瞬間接線剛性比 G/G_0 は，両モデルとも主要動を経験すると一気に剛性が低下する点では同じ傾向にある．しかし，GHE-S モデルでは地震が終了するまでに剛性が 1.0 に近づいており回復している．一方，修正 GHE モデルでは剛性が回復していないことが確認できる．このことから両モデルの位相がずれ，修正 GHE モデルの方が長周期化していることが分かる．一波のみの入力では，剛性回復が応答に与える影響は小さかったが，続けて余震を考慮するような場合には，余震の開始時点での剛性が大きく異なることから，応

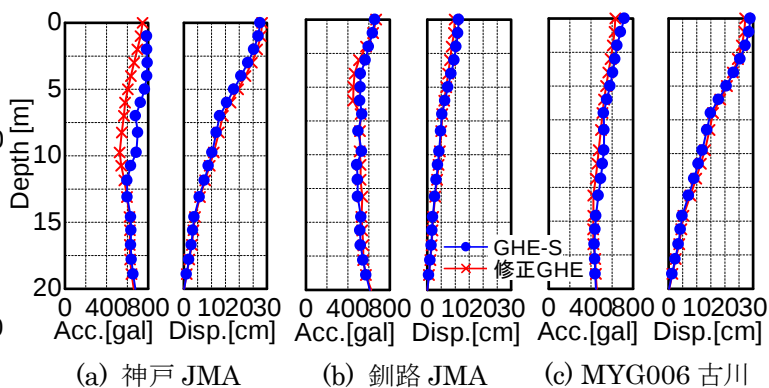


図6 深さ方向最大値分布

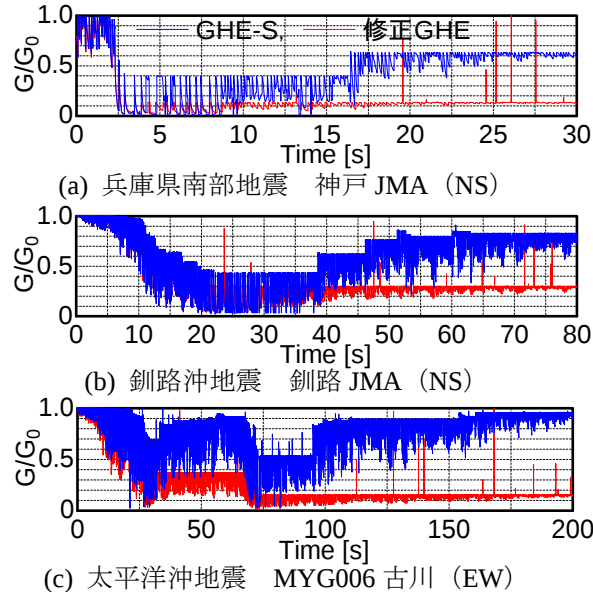


図8 瞬間接線剛性比 G/G_0 の時刻歴波形

答に差が出てくることが推察される．

4. おわりに

本検討では，履歴形状のみが異なる硬化型と軟化型の履歴モデルを用いた地盤の地震応答解析を実施した．その結果，最大応答はほぼ同じであるが，最大応答後は，両モデルで位相がずれること，地震終了後には GHE-S モデルは大きく剛性回復しているのに対し，修正 GHE モデルは剛性回復しないことが明らかになった．実際の土の要素試験においても，最大値を経験後の内部ループは剛性が回復することから，余震群を本震に続けて検討する際には，地震終了後の剛性を正確に表現する必要があると考えられる．よって，今後は，本震-余震群に対する検討を実施する予定である．

謝辞：本研究は，気象庁及び防災科学技術研究所の記録を使用させていただきました．ここに記して謝意を表します．

参考文献：1) 室野剛隆，野上雄太：S 字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力～ひずみ関係，第 12 回日本地震工学シンポジウム，2006．2) 西村昭彦，室野剛隆：GHE モデルと簡易な履歴則を用いた土の非線形モデルの提案と実験的検証，第 25 回地震研究発表会，1999．3) 野上雄太，室野剛隆：S 字型履歴曲線を有する土の非線形モデルとその標準パラメータの設定，第 30 回地震工学研究発表会，2-0014，2009．