

I - B114

大ひずみレベルを想定した土の全応力解析モデルの検証

鉄道総合技術研究所 フェロ-会員 西村昭彦, 正会員 室野剛隆

1. はじめに

本研究では、著者らが提案している手法および従来からよく用いられてきた応力～ひずみモデルを用いて大型せん断土槽の乾燥砂の実験結果をシミュレーションし、各手法の特徴及び問題点を検討するとともに設計に用いるための応力～ひずみ関係が具備する特性について考察を加えた。

2. モデルの提案²⁾

モデルは、骨格曲線には広いひずみ範囲において室内試験の $\tau \sim \gamma$ 関係を Fitting できる GHE model¹⁾を適用し、履歴曲線には任意の $h \sim \gamma$ 関係を満足できるように仮定の骨格曲線と Masing 則を組み合わせたモデルである。これにより、室内試験の $G/G_{max} \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 関係を満足でき、 τ が上限値 τ_f を有するモデルとなっている²⁾。

3. 時刻歴応答波形

実験の詳細は文献 1) に詳しいので省略するが、霞ヶ浦産の砂を自然乾燥状態で用いている。ここでは非線形化が最も顕著であった G0C 波入力の場合について、観測波とシミュレーション結果を比較したのが図 1 である。最大加速度が比較

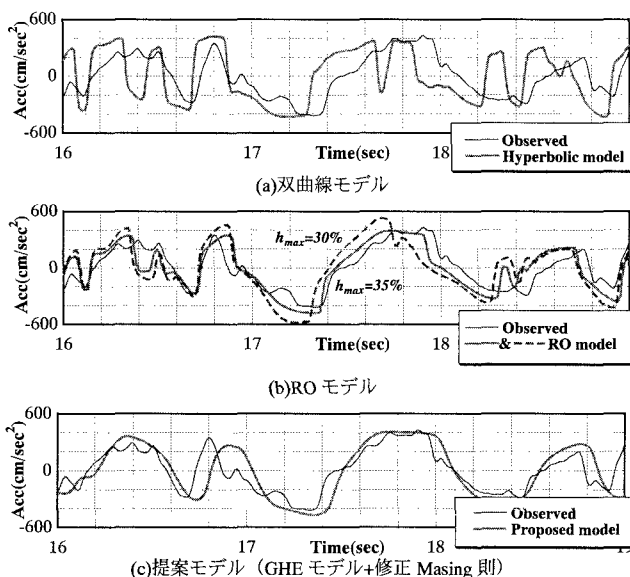


図-1 地表面の加速度応答波形の比較

的良好的な結果を示した 3 つのモデル(双曲線モデル, 修正 RO モデル, 提案モデル)についてのみ示した。 τ_f は室内試験から求め、基準ひずみ γ_r を τ_f/G_{max} により算定した。RO モデルは、 $h_{max}=0.30, 0.35$ とした。

観測値波の特徴としては、入力レベルが大きくなる 13 秒以降で、非線形化がすすみ、応答値の長周期化が明瞭に見られる。この領域の加速度波形は、400(gal)程度で頭打ちになっており、フラットな形状を有する波形となっている。双曲線モデルでは、波形が頭打ちになりフラットになる特徴は再現されているものの、位相のずれが見られる。修正 RO モデルは、鯨のヒレ状の波形となっており、特に $h_{max}=30\%$ の場合には顕著である。これは、ひずみが大きくなるとせん断応力が無限大になりせん断強度の概念が欠落しているためである。最大減衰定数 h_{max} を大きくすると、見かけ上は応力～ひずみ関係が寝てくるので、波形の形状はフラットに近づく傾向にある。これらに対して、提案モデルは波形の形状、位相ともよく似ており、概ね実験波形の特徴を捉えている。L2 レベル地震に対しても十分適用性があることが確認できた。ただし、主要動以後では、シミュレーション波の方が位相が遅れる傾向があった。工学的には問題にならないと思われるものの、大きなひずみを受けた後の履歴法則の設定に今後改良の余地がある。

4. 応力-ひずみ関係

実験結果の加速度波形から、深さ-90cm の位置での加振中の土の応力～ひずみ関係(ループ)を求めた⁴⁾のが図 2.3 である。ただし、せん断ひずみの時刻歴には基線のずれが生じるため、バンドパスフィルターを用いて低振動数を成分を除去するとともに、不必要な高振動数成分も除去した。実験結果の $\tau \sim \gamma$ 関係は上記の手法に算定したものであるが、解析結果の $\tau \sim \gamma$ 関係は解析で得られた加速波形より上記の手法で算定した

Key Words : 大型せん断土槽実験, 相互相関関数, 杭基礎, 慣性力作用, 地盤変位作用

連絡先 : 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 TEL042-573-7262 FAX042-573-7248

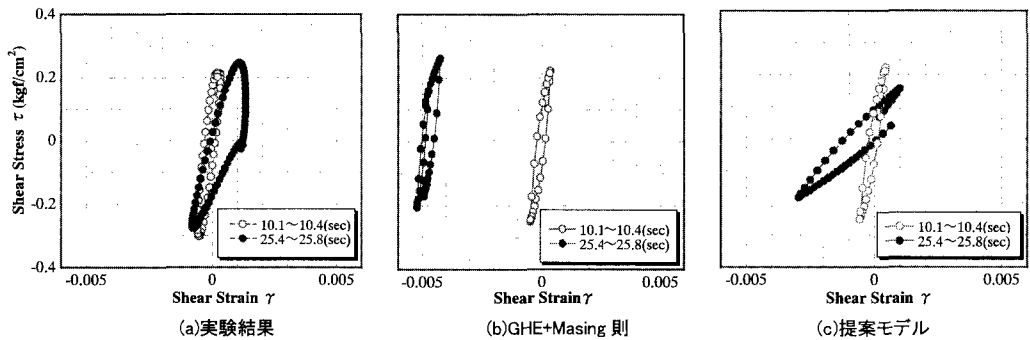


図2 中ひずみレベルにおける履歴ループの比較

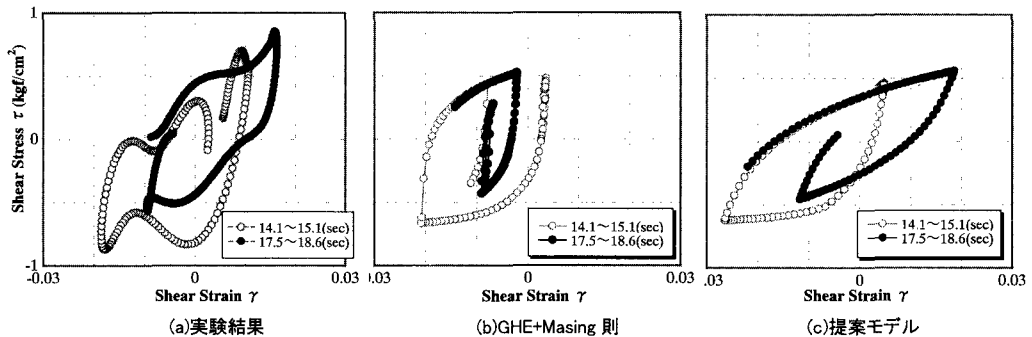


図3 大ひずみレベルにおける履歴ループの比較

ものでなく、直接得られた $\tau \sim \gamma$ 関係を図示したものである。実験結果のひずみが小さくなっているのは、フィルター処理をしたことによるものである。なおシミュレーションは提案法と骨格曲線には GHE モデルを採用し、履歴は通常の Masing 則を適用したものを比較している。

図2は10.1～10.4秒と25.4～25.8秒の間のループである。両者は、せん断応力 τ がほぼ等しいにもかかわらず、剛性が大きく異なることが分かる。Masing 則では、応力レベルが等しければ、剛性も等しく、このような特性は表現できないが、提案法では概ねこの傾向は再現できる。ただし、3.でも述べたように、大ひずみを経験した後の剛性は過小に評価しすぎている。図3は、ひずみレベルが最も大きい付近のループである。剛性が著しく低下するとともに、せん断応力が頭打ちになっている。また、履歴ループは細目のループを形成しており、提案法のループと傾向が似ている。Masing 則では大きな紡錘型のループを描いてしまい、減衰を過大に評価している。その結果、変位も過小評価している。また、Masing 則では戻りの初期勾配は G_{max} に戻るために一方に偏った傾向が顕著に現れている。

5. おわりに

本研究では提案法と既存の代表的な土の応力～ひずみモデルを用いた振動実験のシミュレーションを行った。その結果、 $\tau \sim \gamma$ 関係のみならず、 $h \sim \gamma$ 関係を満足する必要がある、両者を満足できるモデルを採用すれば概ね地盤の挙動を正確に捉えることができることが分かった。なお、提案モデルを用いた地盤-杭系のシミュレーションも行っており、⁹⁾ 構造物の挙動という観点からもその適用性は確認済みである。

謝辞：本実験を行うにあたり、科学技術庁・防災研究所の大型せん断土槽を利用させていただきました。科学技術庁防災研究所の箕輪氏、東京ソイルリサーチの阿部氏に多大な協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献：1) 澁谷・龍岡ら：地盤材料の広い範囲のひずみでの応力～ひずみ関係、第26回地盤工学研究発表会、2) 王、室野ら：大型せん断土槽振動実験における地盤応答特性、第10回日本地震工学シンポ、3) 室野、西村ら：1次元地盤応答解析のための土の非線形モデルとその有効性、第34回地盤工学研究発表会、4) Zeghal, M., Elgarnal, A.-W., Tang, H. T. and Stepp, J. C.: Lotung Downhole Array II: Evaluation of Soil Nonlinear Properties, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, Vol.121, No.4, pp.363-378, 1995 5) 長谷川、室野ら：杭基礎の地震時挙動に与える慣性力作用と地盤変位作用に関する実験的検討、第54回土木学会年講（投稿中）