

Ⅲ-A161

非線形全応力モデルを用いた地盤の挙動予測について

電力中央研究所 正会員 ○河井 正、金谷 守
関西電力株式会社 正会員 松本恭明

1. はじめに 近年、設計に対する概念が、許容応力による設計から、性能を規定した設計へと移行しつつある。著者らはそのような状況の中、地中に埋設した鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの設計に資するため、地盤-構造物系の動的相互作用解析の方法を検討している。ここでは、その一部として、地盤の応力-ひずみ関係に関する検討結果を示す。ここで対象とする動的相互作用解析では、線形範囲を超えるひずみレベルの構造物の挙動を予測可能なことが必要であり、地盤の非線形性も考慮できることが望ましい。そこで、地盤の全応力非線形モデルとして一般に良く用いられる、Ramberg-Osgood モデルの適用性を検討した。具体的には、中空ねじり試験により各モデルに必要な物性を求め、一次元動的応答解析を実施し、模型地盤の振動台実験結果と比較した。

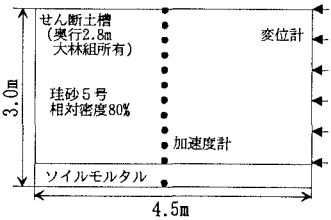


図1 実験模型図

2. 要素試験、及び模型地盤の振動台実験 図1に示すように、振動台実験ではせん断土槽（加振方向長さ4.5m、高さ3m、奥行き2.8m）に乾燥砂の地盤のみを作製した。砂層厚さは2.5m（3.0mの土槽底部に厚さ50cmのソイルモルタルを打設）とし、珪砂5号を用いて相対密度を約80%とした。加振には図2に示す漸増正弦波を用いた。

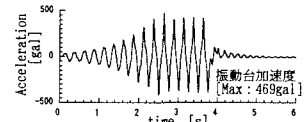


図2 入力波形

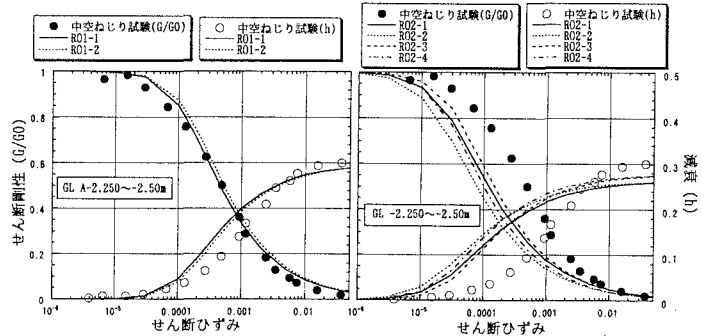


図3 せん断剛性、履歴減衰のせん断ひずみ依存性

図3に示すRO1モデルは、基準ひずみ（ γ_r ）をGがG0の1/2となるときのせん断ひずみとしたモデルであり、RO2モデルは、原・大崎によるパラメータ設定方法¹⁾を参考にしつつ、大ひずみ域（ $> 1\%$ ）でのモデル化をより重視した設定となっている。RO1、RO2とも、各物性の拘束圧依存性の考慮の方法、パラメータをフィッティングするデータのひずみレベルなどにより、複数のモデル化がなされている。図4には、加振実験前に計測された模型地盤のVsと中空ねじり試験の初期せん断剛性を換算したVsを示しているが、中空ねじりによるVsが若干小さい。

3. 一次元動的応答解析 図3に示す各モデルを用いて、時間領域における運動方程式の直接積分による動的応答解析を実施した。地盤モデルにはR-Oモデルを用いて、層厚2.5mを深度方向に15層に分割し、時間刻み0.005秒で積分

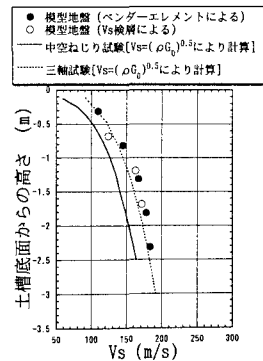


図4 せん断波速度の比較

キーワード：非線形、全応力モデル、Ramberg-Osgoodモデル、Masing則、履歴曲線
連絡先：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 TEL:0471-82-1181 FAX:0471-84-2941

を実施した。図5～8には、解析結果のうち、加速度、せん断応力、変位、ひずみの最大値深度分布を示す。せん断応力を除き、併せて模型実験の結果も示している。図5の加速度最大値は、破壊時のひずみを7.5%と仮定したRO2-2,4を除けば、実験結果とそれほど大きな差を生じていない。また図6のせん断応力に関しては、全てのモデルが同程度の値を示している。しかしながら、図7, 8の変位、せん断ひずみの最大値は、RO1とRO2とで大きな差を生じている。両者の差は、模型実験で得られた約1%のひずみレベルでのモデル化の差に起因すると考えられ、 $G, h-\gamma$ 関係においてこのひずみレベルを重視したRO2の方が実験結果との差が小さい。ところで、一次元的解析では、履歴法則として骨格曲線を2倍($n=2$)に引き延ばしたMasingの法則を適用しているが、この法則が現実の土の挙動と必ずしも一致しないことが指摘されている²⁾。図9はMasing則のようにRO1-1及びRO2-1の骨格曲線を n 倍したものと、反転点を原点に移動した中空ねじり試験の各ひずみレベルにおける履歴曲線を示している。この図を見ると、実験結果の履歴曲線の応力-ひずみ関係は、反転点のひずみレベルにより大きく異なっている。すなわち、履歴曲線として骨格曲線を n 倍したものを使用する場合、全ひずみレベルに対する同じ倍率の適用は不適切である。したがって、モデル化手法の高精度化により対処することが必要となり、実際にその方法が既に提案されている(例えば、文献2、3)が、一般にモデルを高精度化するためには、モデルの複雑化、より詳細な地盤情報などが求められることになる。したがって、モデルの高精度化に関する検討の一方で、より単純なモデルの適用性に関する限界を把握しておくことも必要であると考えられる。今後は、例えば今回のようにより大ひずみ域での物性を重視したモデル化など、対象とするひずみ域を限定して、それ以外の部分では多少精度の劣る地盤のモデル化をした場合の、地盤-構造物系の動的相互作用解析による構造物の挙動予測の可能性に関して検討して行く予定である。謝辞：本研究は電力9社と日本原子力発電(株)による電力共通研究の一部として実施した。本研究の関係各位に謝意を表する次第である。参考文献：1) 大崎順彦, 原昭夫, 清田芳治：地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例, 第5回日本地震工学シンポジウム, pp.697-704, 1978, 2) K.Ishihara, N.Yoshida & S.Tsujino: Modelling of stress-strain relations of soils, Fifth Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics, pp.373-380, April, 1985, 3) 吉田望, 辻野修一, 石原研一：地盤の1次元非線形解析に用いる土のせん断応力-せん断ひずみ関係のモデル化, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.1639-1640, 1990

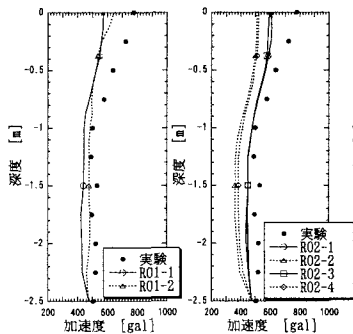


図5 加速度最大値深度分布

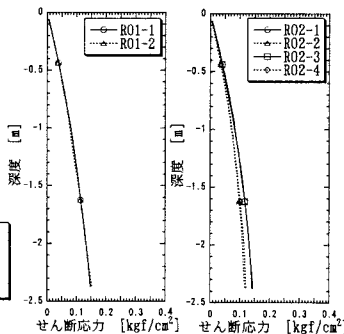


図6 せん断応力最大値深度分布

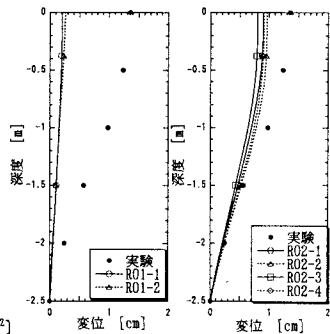


図7 水平変位最大値深度分布

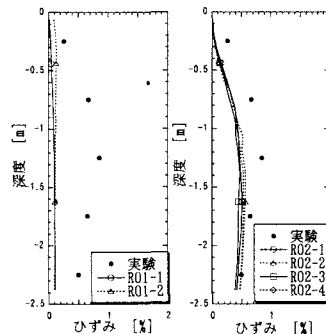


図8 せん断ひずみ最大値深度分布

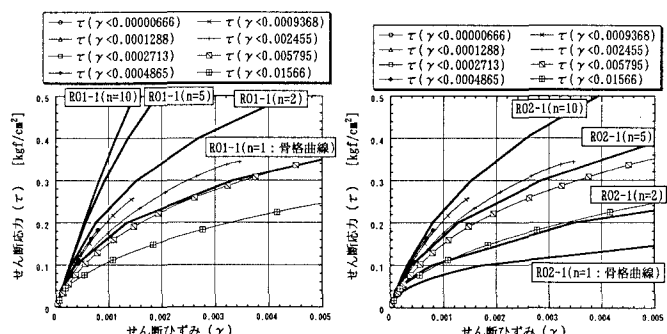


図9 解析モデルと中空ねじり試験結果の履歴曲線の比較