

I-6 鉛直アレー観測記録による軟弱地盤の非線形性の同定

徳島大学大学院 学生員○吉田 哲平
徳島大学工学部 正会員 澤田 勉

香川県

曾根 洋治郎

徳島大学工学部 正会員 三神 厚

1. はじめに

沖積地盤や埋め立て地盤においては、一般に、地震時の応答加速度が地表面付近で大きく増幅されると言われており、このような地盤の応答特性を把握することは耐震工学上重要である。地盤の応答特性の把握には、等価線形化解析が実務においても多用されている。ただし、この解析法では動的荷重下におけるせん断応力とせん断ひずみの関係を適切に表現し得る履歴関数モデルを用いることが前提条件になり、多数のモデルが提案されているが、これらのモデルは軟弱地盤には適用できない問題があった。そこで、熊崎らは瞬間変形係数のひずみ依存性を考慮した土の非線形モデル（MDM モデル）を用い、液状化地盤にも適用できる等価線形解析法を提案した。本研究では、この解析手法を地盤の同定問題に応用し、地震時における地盤の規準ひずみの同定を行い、地盤の非線形性を明らかにするとともに、本研究で導入するモデルの妥当性を検討する。

2. MDM モデル

MDM モデル¹⁾においては、せん断ひずみレベル γ における瞬間変形係数 $G_{MDM}(\gamma)$ 、すなわち繰り返し荷重が反転する瞬間の変形定数(接線剛性)のひずみレベルに応じた変化を考慮している。ここで、 $G_{MDM}(\gamma)$ は次式で表わされる。

$$G_{MDM}(\gamma) = \frac{h_{\max} \cdot G_{eq}(\gamma)_{\text{experiment}}}{h_{\max} - h(\gamma)_{\text{experiment}}} \quad (1)$$

ここで、 $G_{eq}(\gamma)_{\text{experiment}}$ および $h(\gamma)_{\text{experiment}}$ はそれぞれ等価剛性、履歴減衰定数の試験結果である。しかし、実務においては $G_{eq}(\gamma)_{\text{experiment}}$ および $h(\gamma)_{\text{experiment}}$ に関するデータがない地盤での解析も多々ある。そこで、本研究ではそのデータの代用として、従来のモデルによる等価剛性、等価減衰を算出し、この値を用いて $G_{MDM}(\gamma)$ を求め、次式により MDM モデルの等価線形パラメータ $G_{eq}(\gamma)$ 、 $h_{eq}(\gamma)$ を算出する。

$$\frac{G_{eq}(\gamma)}{G_{MDM}(\gamma)} = \frac{1}{1 + \alpha \{G_{eq}(\gamma)\}^\beta} \quad \frac{h_{eq}(\gamma)}{h_{\max}} = 1 - \frac{G_{eq}(\gamma)}{G_{MDM}(\gamma)} \quad (2)$$

$$\alpha = \left(\frac{2}{\gamma_r \cdot G_{MDM}(\gamma)} \right)^\beta \quad \beta = \frac{2 \cdot \pi \cdot h_{\max}}{2 - \pi \cdot h_{\max}} \quad (3)$$

ここで、 γ_r は規準ひずみ、 $h_{\max}$ は最大減衰定数である。これらの式を用い、地盤の規準ひずみを逆解析から求め、液状化による極度の剛性低下も考慮した $G \sim \gamma$ 関係および $h \sim \gamma$ 関係の間接的な同定を試みる。

3. 同定手順

地盤の規準ひずみを同定するにあたり、図 1 に示す水平成層地盤への SH 波の鉛直入射を考える。実地盤のアレー観測記録としては、深度の異なる 2 点 p, q の記録を用いた。これらのアレー観測記録からフーリエスペクトルを求め、2 点 p, q 間のせん断波の伝達関数を求める。以上から、周波数応答倍率の観測値 $A_0(f)$ が求められる。次に深い方の観測記録を入力とし、重複反射理論と MDM モデルを導入した等価線形解析により p

点でのフーリエスペクトルを求める．これと q 点での観測記録より解析による周波数応答倍率 $A(f: \alpha)$ を求める．これら 2 つの周波数応答倍率の残差平方和を最小化することにより規準ひずみの同定を行う．

4. 同定結果

実地盤に同定問題を適用し，本研究の妥当性を検討する目的から，実地震記録が豊富で，かつ地盤構造が判明している文献 2) の国内 2 観測地点で得られた鉛直アレー観測記録を用いる．本研究では同定対象地盤として，東京大学生産技術研究所千葉実験所構内および神戸ポートアイランドの 2 地点を選択し各地点で得られた鉛直アレー観測記録に対して同定を試みる．ここでは，紙面の都合上，神戸ポートアイランドで得られた兵庫県南部地震の記録を用いた解析結果のみを示す．

・神戸ポートアイランドの同定結果

図 2，図 3 に神戸ポートアイランドの地盤で同定された，MDM モデルを用いた場合と従来モデルを用いた場合の観測と解析の伝達関数を示す．また，図 4 に規準ひずみと最大ひずみの深さ方向の分布を示す．図 2 と図 3 の比較より，MDM モデルを用いたほうが観測と解析の周波数応答倍率がよく一致していることがわかる．このことから MDM モデルを用いることにより，液状化地盤のように非常に非線形性が強いケースについても，等価線形解析を適用できることがわかる．しかし規準ひずみの同定値は 5×10^{-5} 付近となり，室内試験と整合しない結果となった．

5. まとめ

本研究では，瞬間変形定数のひずみ依存性を考慮した地盤物性モデル (MDM モデル) を用いて，規準ひずみの同定問題を定式化した．この方法は規準ひずみを同定することにより地盤各層の剛性および減衰のひずみ依存性を間接的に同定するものである．提案した手法を用いて，国内 2 地点の観測点で得られた鉛直アレー観測記録から実地盤の規準ひずみを同定し，若干の考察を加えた．その結果，観測と解析の周波数応答倍率は比較的よい一致を示した．規準ひずみについては室内試験より砂で 5×10^{-4} ，粘土で 3×10^{-3} 程度になることが知られているが，今回の規準ひずみの同定値は 5×10^{-5} 付近となり，室内試験と整合しない結果となった．これらについては，今後検討が必要である．

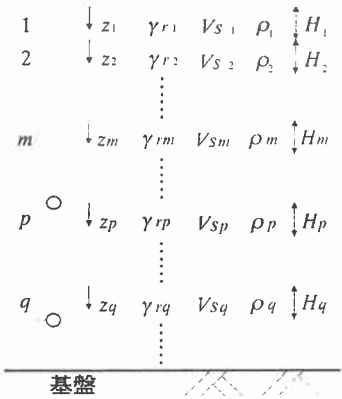


図 1 水平成層地盤

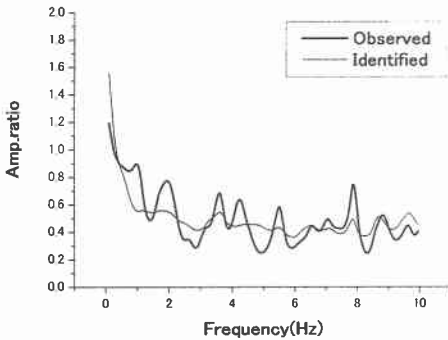


図 2 観測記録および収束解に対する周波数応答倍率 (ポートアイランド, GL. 0m/-16. 0m) (MDM モデルの場合)

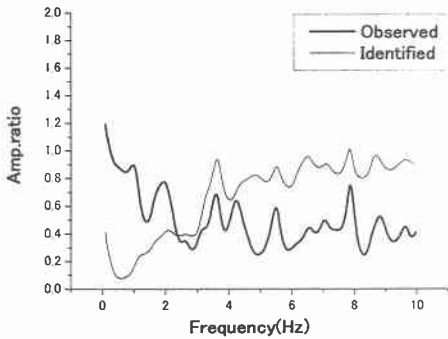


図 3 観測記録および収束解に対する周波数応答倍率 (ポートアイランド, GL. 0m/-16. 0m) (従来モデルの場合)

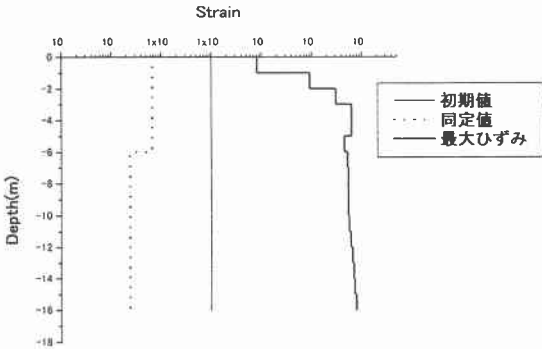


図 4 規準ひずみと最大ひずみの同定結果

参考文献

- 熊崎幾太郎：Chaos in Dynamic Deformation Properties of Nonlinear Elements and Prediction of their Constitutive Relation, 博士論文，京都大学，1998.
- (財)地震予防協会：強震動アレー観測記録データベース，No.1，1993，No.2，1995，No.3，1998