

地盤の動的履歴モデルの改良と一考察

関西電力 総合技術研究所 副田 悦生
ニュージェック 港湾空港部 前川 太

1. まえがき

地震時において、地盤表層応答の非線形性を把握することは設計上重要である。1次元成層地盤とせん断波の鉛直入射を前提とする応答解析法は大別すると3つになる。即ち、等価線形解析法・全応力非線形解析法・有効応力解析法である。長短はあるが、実設計にはそれぞれに有用である。ここでは、全応力非線形解析法を取り上げて、その問題点を改良する方法を考案した。この方法は等価線形解析法と同じく、有効応力の考え方をいないので、学術的価値が低いと考えられてきた。しかし、兵庫県南部地震以降、レベル2地震に対して実際に設計を行う必要が避けられなくなった現在、その問題点を見直し、改良の余地があるかどうか、踏み込んだ研究が待たれている。そこで、履歴モデルを改良し、試験室データである歪み依存物性曲線を逸脱することなく、忠実にトレースすることが出来れば、これまでのHDモデルやROモデルに較べて、歪みに依存する物性のフィッティングが良くなり改良が出来ると考えられる。そこで、私達は双曲線を無理矢理に当て填めたりするようなことをせず、試験室データをあがままに使って解析できるように工夫した。

2. 一般的な非線形解析法の問題点

図-1に示すように、一般的な非線形モデルでは、 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線はフィッティングできても、 $h \sim \gamma$ 曲線を再現することが困難である。また逆に $h \sim \gamma$ 曲線にフィッティングした場合は、せん断剛性が大きくなることは明らかである。このように減衰が試験値を再現できないが、これは、Masing 則における応力反転時の応力へひずみ関係における勾配が G_0 を用いていることに起因している。実際の動的変形試験結果についても、ひずみが大きくなると応力反転時の勾配は G_0 よりも小さくなる傾向にある。

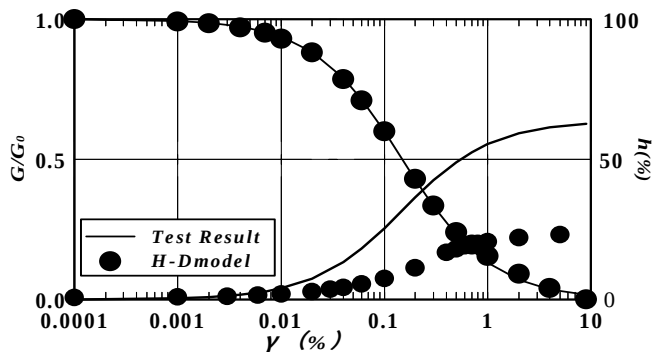


図-1 H-D モデルによるフィッティング例

3. 非線形解析手法への新たな導入式

ここで、基準ひずみや G_0 を新たに、動的基準ひずみ γ_{rd} および動的初期せん断剛性 G_{0d} と呼ぶこととする。さて、新たに定義した物性を用いると、以下の式を満足する必要がある。

$$\tau = \frac{G_{0d}\gamma}{1 + \gamma/\gamma_{rd}} \quad (1)$$

また所期の目的である減衰比を小さくすることを考えると、せん断ひずみ γ が増加すると γ_{rd} の増加する関数形が設定できれば良い。単調増加を示す関数形はいろいろあるが、本研究では最も簡単な、一次関数形を定義する。

$$\gamma_{rd} = a\gamma + b \quad (2)$$

次には、動的せん断剛性について関数形を検討するが、これについては、経験式である R-O モデルを参考とし、次式で与える。

$$G_{0d} = \frac{G_0}{1 + \alpha(\gamma/\gamma_{rm})^\beta} \quad (3)$$

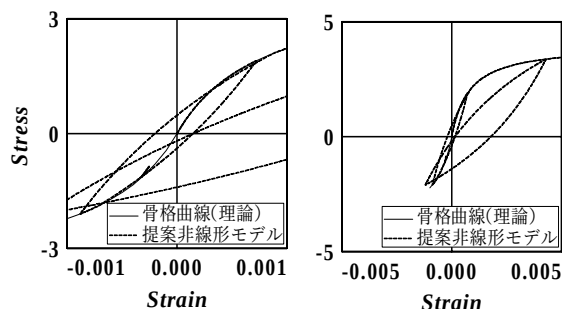


図-2 骨格曲線に対する提案非線形モデルの検証

キーワード：地震応答解析, 全応力非線形解析, 非線形解析モデル, 土の動的変形特性, 応力歪み履歴曲線

連絡先：〒661-0974 尼崎市若王寺 3-11-20 関西電力(株)総合技術研究所 Tel 06-6494-9707 Fax 06-6494-9727

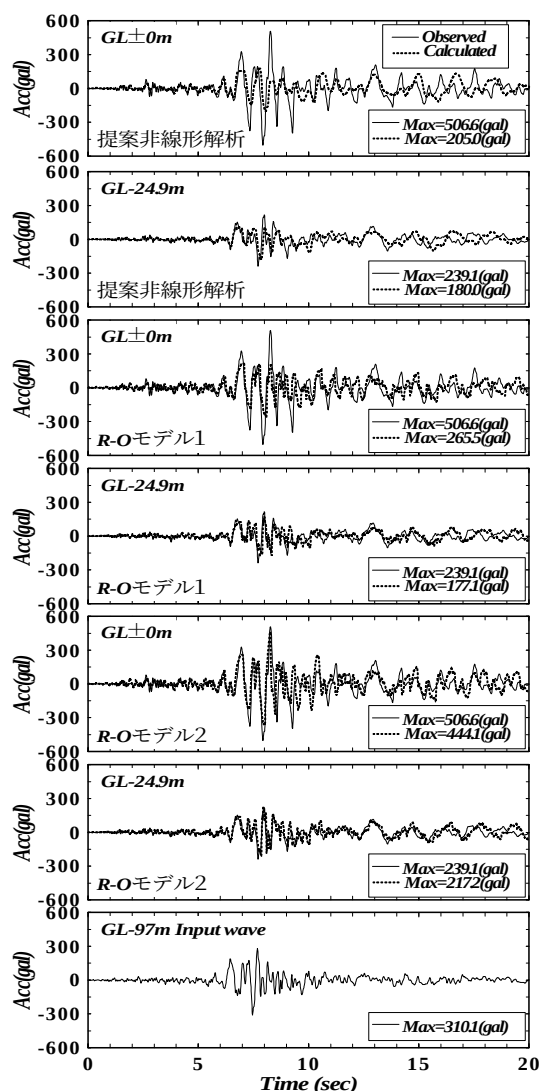


図-3 SGK 地点の解析結果

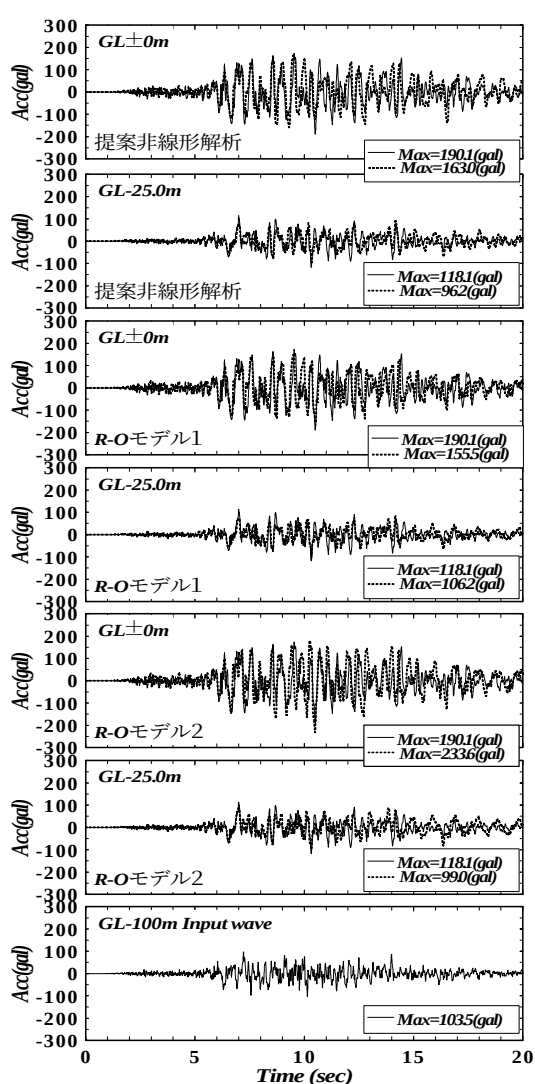


図-4 TKS 地点の解析結果

4. 骨格曲線に対する提案非線形モデルの検証

提案非線形モデルによる解析結果は、繰返し载荷を受け、骨格曲線にほとんど誤差なく戻ることがわかる。

5. 鉛直アレー観測記録による検証

SGK 地点の提案非線形解析結果は R-0 モデルの解析結果に比較して、地表面での再現性が特に悪い。R-0 モデル 1 も同じであるが、主要動と考えられる 1 波目で観測値の大きな加速度を再現できていない。これに対し、TKS 地点の解析結果は R-0 解析と比較しても、遜色のない結果が得られている。むしろ、TKS 地点の解析結果は、対象地点の動的変形特性を比較的忠実に再現していると言った意味では、R-0 モデルよりも高い精度を有しているものと考えられる。

さて、提案解析手法は、動的変形特性を忠実に再現することを目的として考案したが、適用する記録によっては、予測精度の高いものと低いものもある。したがって、土質試験は精度良く再現できても、適用できるものとできないものがあるということである。この原因として考えられるのは、本研究で実施したモデル検討が、繰返し回数 10 回の試験結果に対応しているためである。即ち、動的変形試験は同じ応力振幅载荷を受けると、繰返し回数により、せん断剛性が低下し、減衰定数が増加する傾向にある。明らかに SGK 地点の加速度波形と TKS 地点の加速度波形は、その波数が異なっていることから、TKS 地点の方が、試験で採用されている繰返し回数 10 回に近い地震動であったと判断される。また、SGK 地点の主要動の 1 波目から解析が追従できない理由も 10 波目の繰返し回数から設定された解析パラメータであるため、大きな地震荷重を受けて、大きなひずみが発生したため、現実よりも小さなせん断剛性と大きな減衰定数で応答したためと考えられる。