

MDMとSHAKEの解析結果比較によるSHAKEの適用性に関する検討

中部電力（株）

望月 俊彦

基礎地盤コンサルツ（株）正会員 川合 伸治,五十嵐 央,萩原 協仁,大橋 正

1. はじめに 等価線形解析（以下、SHAKE）は地盤の地震応答解析法として実務で多用されているが、強地震時で地盤の非線形性が顕著になる場合には、使用に適さない事が指摘されており、SHAKEの適用限界については、逐次積分解析法と比較する事で検討されている¹⁾²⁾。本稿ではMDMモデル依存非線形全応力解析³⁾（以下、MDM）と、SHAKEによる解析を行い、MDMとSHAKEで得られた加速度や液状化判定結果などを比較することにより、SHAKEの適用性について検討した。なお、本稿で用いるMDMモデル依存非線形全応力解析法による解析結果の信頼性については、10地点の鉛直アレー地震観測記録を対象にした観測加速度記録や液状化状況の良好な再現⁴⁾により、その確認がなされているものである。

2. 解析の概要 図-1に、解析対象地点の地盤構成とS波の初期速度構造を示す。入力地震波は兵庫県南部地震の「ポートランド」観測記録を引き戻した波形とし⁵⁾、最大加速度を50,100,150,200,250,300galと変えて解析した。

3. 解析条件 (1)初期速度構造の設定 S波検層で求められたせん断波速度Vsをもとに初期速度構造を設定した。

(2)地盤の非線形性 地盤の剛性と減衰のひずみ依存性は、室内動的変形試験結果に基づき設定した。なお、SHAKEにおける最大ひずみと有効ひずみの換算係数は0.65とした。

4. 液状化判定 液状化判定は、地下水位以下で深度20mまでの土層を対象に、下式により、算定した液状化安全率（以下、FL）ならびに液状化指数（以下、PL値）で評価した。

$$F_L = \frac{R_{max}}{L_{max}}, \quad L_{max} = \frac{d_{max}}{v}$$

FL:液状化安全率, R_{max}:液状化強度比（平成14年版道路橋示方書により算定）, L_{max}:最大せん断応力比, v:鉛直有効応力, d_{max}:地震応答解析で得られるせん断応力の最大値

5. 解析結果 入力地震波の最大加速度が100galと250galの場合の地表面の加速度時刻歴波形、フーリエ変換のSHAKEとMDMの比較を図-2に示す。入力地震波の最大加速度の小さい順に、せん断剛性比（以下G/G₀）の最小値、最大せん断ひずみ、地表面の最大加速度、FLの最小値、PL値のSHAKEとMDMの比較ならびに地表面の最大加速度のSHAKEとMDMの比を図-3に示す。図-4に例として、入力地震波の最大加速度が200galの場合の深度方向の最大せん断ひずみの分布図を示す。最大せん断ひずみはせん断ひずみが最大となる要素について示しており、地表から2.9mの粘土層に生じている。G/G₀の最小値は最大せん断ひずみが発生する要素を対象に、SHAKEでは収束剛性と初期剛性の比で、MDMでは最大せん断ひずみに相当するG/G₀の最小値を示す。図-5に最大せん断ひずみが発生した粘土層のG/G₀のひずみ依存性を示す。

図-2に例示したように、入力地震波の最大加速度が100galまでは、SHAKEとMDMによる地表面の加速度時刻歴波形は良く一致している。入力地震波の最大加速度が100galの場合、G/G₀の最小値は0.4程度、最大せん断ひずみは0.1%程度で、PL値はMDMとSHAKEで同程度であり、最大加速度の比も1.2程度である。これに対し、図-2に例示した最大加速度250galの場合のように、入力地震波の最大加速度が150gal

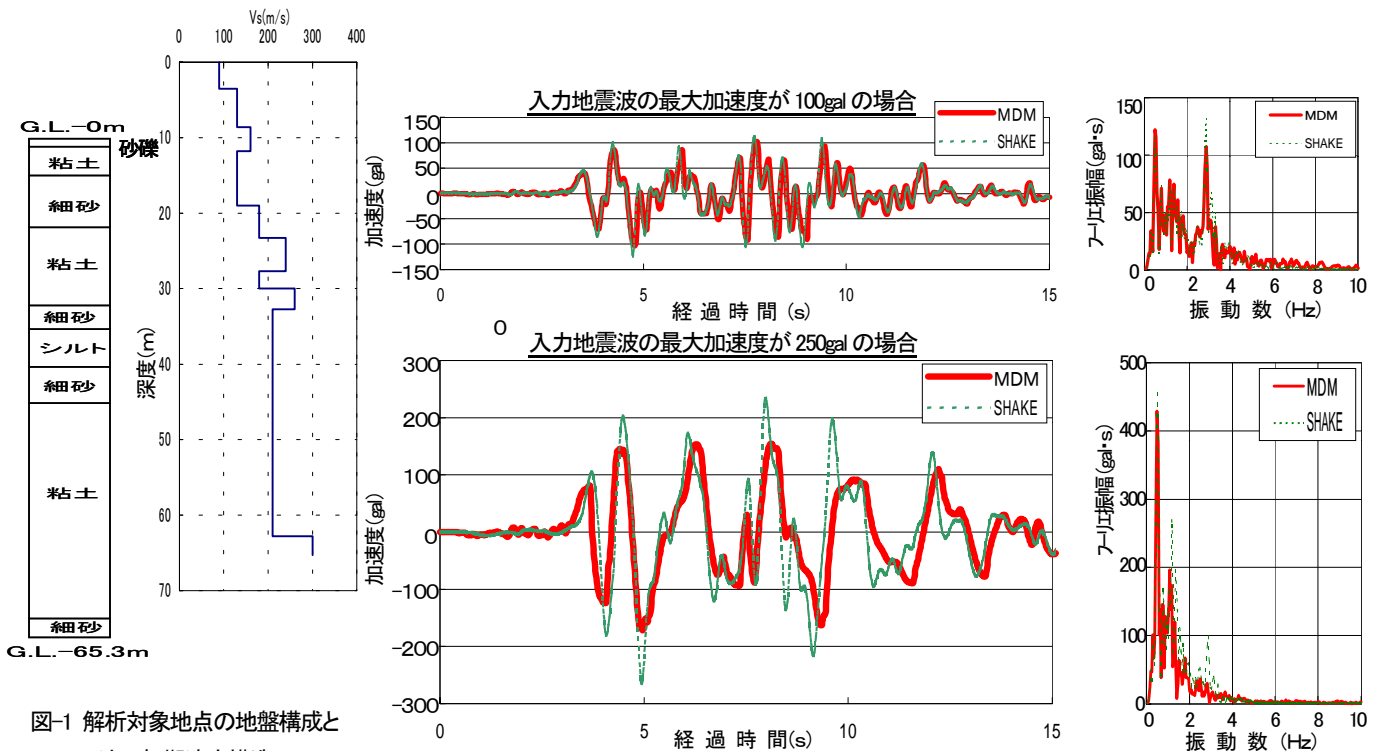


図-1 解析対象地点の地盤構成とS波の初期速度構造

図-2 地表面の加速度時刻歴波形、フーリエ変換のSHAKEとMDMの比較例

キーワード：SHAKE, MDM, 適用限界, 加速度, 液状化判定

連絡先 〒451-0044 名古屋市中区西区菊井2丁目14番24号 基礎地盤コンサルツ（株）中部支社 TEL052-589-1058 FAX052-589-1275

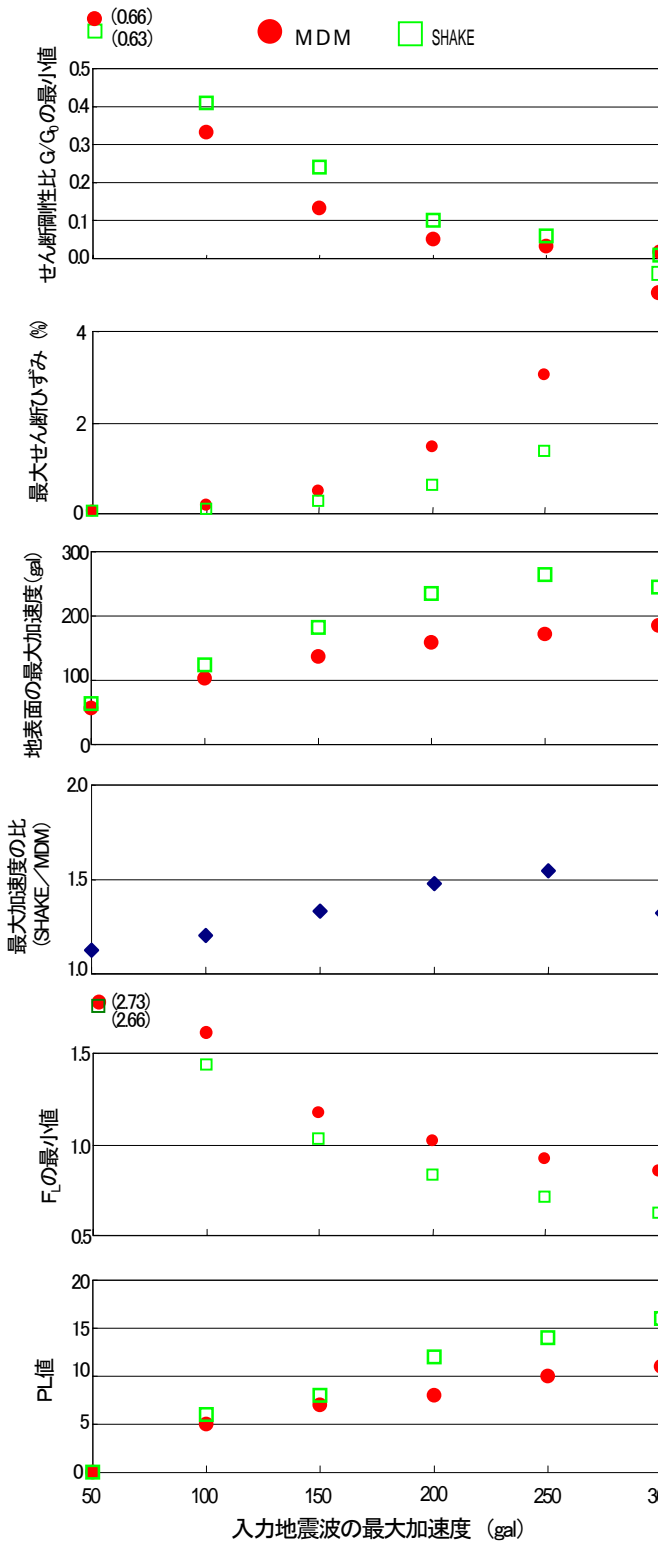


図-3 セン断剛性比 G/G_0 の最小値, 最大せん断ひずみ, 地表面の最大加速度, F_L の最小値, PL値の SHAKE と MDM の比較ならびに地表面の最大加速度の SHAKE と MDM の比

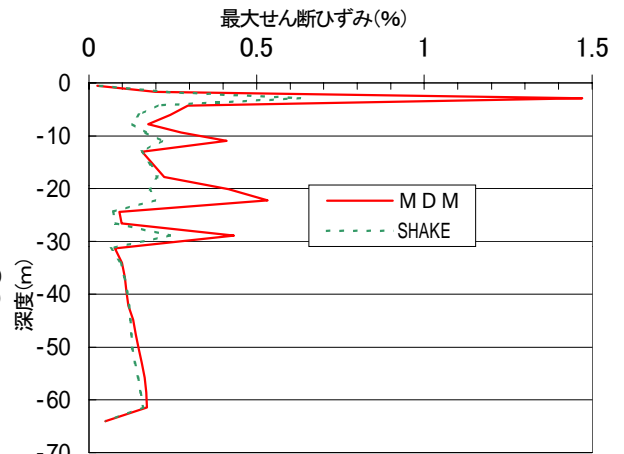


図-4 深度方向の最大せん断ひずみの分布 (入力地震波の最大加速度が 200gal の場合)

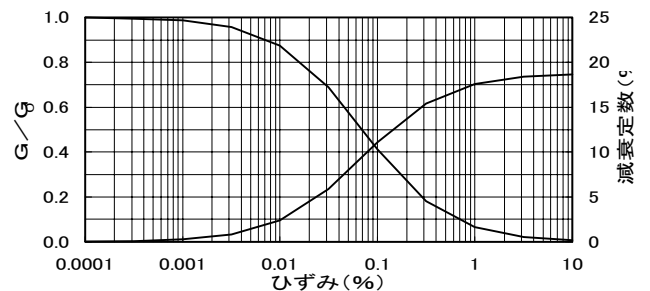


図-5 セン断剛性比と減衰のひずみ依存特性(粘土層)

以上になると, SHAKE と MDM による加速度時刻歴波形は大きく異なってくる. 入力地震波の最大加速度が 150 gal 以上になると, G/G_0 の最小値は 0.2 程度を下回り, 最大せん断ひずみも 0.3% 程度以上と大きくなり, SHAKE は MDM に比べて, G/G_0 の最小値が大きく, 最大せん断ひずみが小さい. そして入力地震波の最大加速度が大きくなるほど, SHAKE は MDM に比べて地表面の最大加速度が大きく, F_L の最小値が小さく, PL 値は大きくなる. すなわち, SHAKE は MDM に比べて地表面の最大加速度が, 30~50% 程度大きく, 液状化に対し安全側の結果となっている. 文献⁶⁾では, 10 地点の鉛直アレー観測記録の SHAKE と MDM による再現解析結果に基づき SHAKE の適用性について検討したが, 本稿でも概ね同様の結果が得られた.

6. まとめ 本稿で対象とした地点における検討の範囲においては, 地盤の地震応答, 液状化判定結果が SHAKE と MDM で同程度なのはせん断剛性比 G/G_0 が 0.4 程度, 最大せん断ひずみが 0.1% 程度までの範囲であった. SHAKE ではこの範囲を超えると最大加速度は 30~50% 程度大きく, 液状化に対し安全側の結果を与える事が確認された.

参考文献 1) 吉田望 实用プログラム SHAKE の適用性 軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム発表論文集, 1994. 2) 船原秀樹, フリカキ シュウ 藤井俊二 軟弱粘性土地盤の地震応答解析(等価線形化法と非線形逐次積分法の適用性の検討), 第 32 地盤工学研究発表会, 1997. 3) 熊崎幾太郎, 上田稔 瞬間変形係数のひずみ依存性を考慮した履歴モデルの定式化, 第 54 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 1999. 4) 上田稔, 今枝靖博, 恒川和久: MDM モデル依存非線形全応力解析による 10 地点のアレー観測記録の再現と液状化判定, 第 37 回地盤工学研究発表会, 2002. 5) 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), (財)沿岸開発技術研究センター, 1997. 6) 上田稔, 虎谷健司, 山崎浩之, 恒川和久: 10 地点のアレー観測記録の再現解析に基づく SHAKE の適用限界に関する検討, 第 37 回地盤工学研究発表会, 2002.