

III-34

地震時地盤安定性に関する完全非線形解析と等価線形解析の比較

(財)電力中央研究所 正会員 西 好一
同 上 正会員 金谷 守

1. はじめに 地震時における地盤の支持力・変形問題に関しては、種々のアプローチ手法によりその解明が図られている。数値計算手法の見地からみると、それらは大略、1) 等価線形応答解析結果を利用して、間接的にすべり安定性や液状化の程度、および変形を求める方法、2) 地盤材料の非弾性挙動を表現できる構成式を導入し、運動方程式を直接積分することにより地盤の変形を追跡する、いわゆる完全非線形応答解析により安定性を評価する方法、とに区分できる。これらの解析手法の比較を加速度や応力、ひずみの応答値に着目して行った数値計算は幾つかみられるが、地盤安定性評価の重要項目である過剰間隙水圧や残留変形量に関して検討した報告はあまりないと思われる。ここでは、これらの点に着目して実施した数値計算結果について記述する。

2. 構成式と解析モデル 応答解析には2種類の構成式を用いた。一つは等価線形解析用のモデルであり、他は著者らの提案する弾-塑性構成式¹⁾である。異なったモデルで計算結果の比較をする場合、動的変形・強度特性とともに差異の少ないモデルを用いる事が原則である。ここでは、図-1中の実線で示す弾-塑性構成式により算出される $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 曲線と対応する動的変形特性をHardin-Drnevich式により表示して等価線形応答解析を実施した。完全非線形応答解析では、過剰間隙水圧や残留変形量が直接算出できるようにプログラムが組み立てられている²⁾。一方、等価線形応答解析では別途モデルを設定し、応答計算結果を利用してこれらを算出することになる。ここでは著者らの提案する体積ひずみモデル³⁾を採用し、弾-塑性構成式による液状化強度と体積ひずみモデルによるそれとが一致するように材料定数を定め計算に用いている(図-2)。地盤モデルは表-1に示すように2種類設定した。対象層厚は3.0m、地下水面はGL-2mである。入力地震加速度波形としてTaftおよびEl-Centro波を採用した。また、透水係数、単位体積重量は全層一定でそれぞれ0.01cm/s、2.0t/m³とした。

3. 計算結果 図-3には、地盤モデル1に対して得られた最大応答加速度、最大せん断応力、最大せん断ひずみの深度分布の一例を、一方図-4には地表面加速度応答スペクトルの一例を示した。これらより、以下の点が指摘できる。1) 図-3によれば、入力加速度が比較的小さい時には、いずれの応答値に対しても大きな差はみられないが、入力加速度が増大するにつれて等価線形解析による結果が加速度とせん断応力は大きめに、一方せん断ひずみは小さめに評価する傾向にあることが伺われる。紙面の都合で図は省略したが、より硬質な地盤である地盤モデル2では解析手法による差は、モデル1ほど大きくはなかったことを付記しておく、

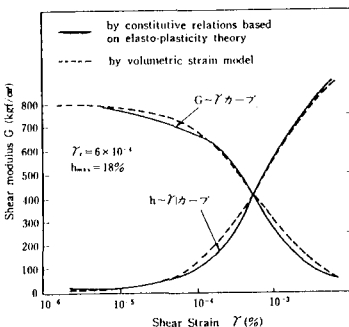


図-1 計算に用いた構成式による
 $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 曲線

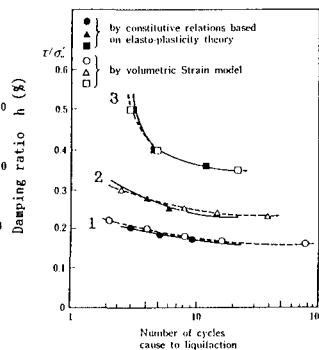


図-2 計算に用いた構成式
による液状化強度

表-1 地盤モデル

深度 (m)	物性 モデル	K_0	V_s (m/s)
0	1	0.5	100
10	3	0.7	200
20	2	0.6	300
30	3	0.7	400
	3	0.7	

上段: モデル 1
下段: " 2

2) 図-4をみると、入力加速度が60gal以下では周波数特性、加速度の大きさともに解析手法の違いによる差は大きくない。一方、非線形挙動が顕著になる200galの計算では、等価線形解析手法による応答値が大きくなる傾向を示している。これらはいずれも従来の研究で指摘されている点である。

Taft波、最大入力加速度60、200galの例をとり、等価線形解析手法と体積ひずみモデルによる過剰間隙水圧の発生、消散解析を組み合わせた計算および完全非線形応答解析手法による計算で過剰間隙水圧に関する結果を示したのが図-5である。図によれば、入力加速度が200galで地盤モデル-1の場合に良い一致がみられるが、地盤モデル-2で60galの場合を除けば、いずれも等価線形応答解析手法を利用した解析の方がより大きな値を与えるようである。一方、図-6には地表面沈下量と最大入力加速度との関係を示した。過剰間隙水圧の計算結果からも推定できるように、完全非線形応答解析手法による計算結果が等価線形応答解析手法による計算結果を下廻る結果が示された。体積ひずみモデルによる過剰間隙水圧の算定は、等価線形応答解析によるせん断応力の時刻歴波形を用いて行われる。したがって、これらの結果は先に述べたようにこれが完全非線形応答解析手法によるせん断応力よりも大きくなることに起因しているものと考えられる。

4. おわりに 一般に用いられている等価線形解析手法は、せん断ひずみを除いて完全非線形解析手法による計算値よりも大きめの値を与える。したがってせん断ひずみの累積による残留変形が問題とならない場合には、安全サイドの評価をすること、多自由度の問題が簡単に処理できること、などの点から地震時安定性の検討に有効に利用できる実務的な方法の一つと思われる。

“参考文献”

- 1) 西：第22回土質工学研究発表会、1987 2) 西他、電研研究報告 1987(刊行予定) 3) 西他、電研研究報告 No.U86002, U86003, 1986

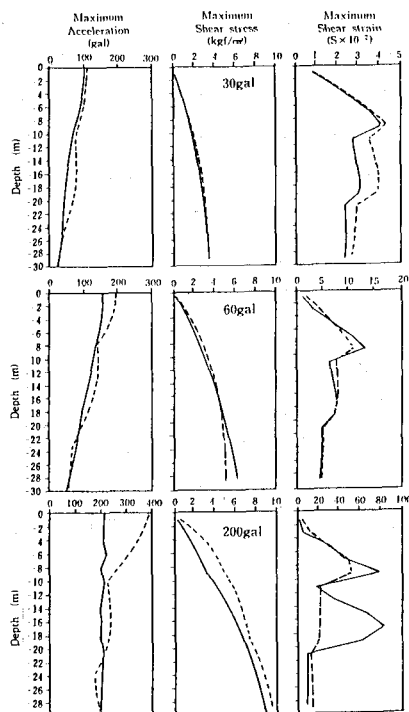


図-3 等価線形解析(---)と完全非線形解析(—)との比較

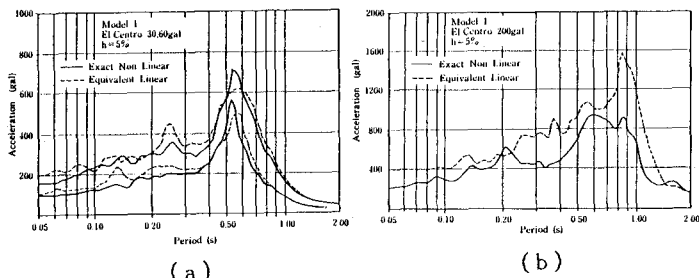


図-4 応答スペクトルの比較

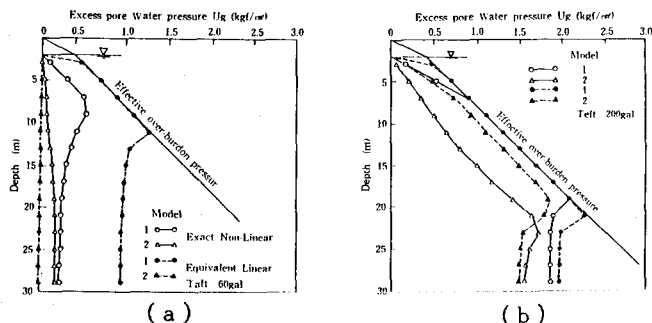


図-5 過剰間隙水圧の比較

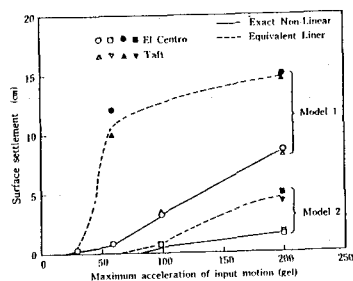


図-6 地表面沈下量の比較