

Ⅲ-238

地震による粘性土地盤の沈下解析

横浜国立大学工学部 正会員 ○ブラダン テージ

学生員 塩川 元章

学生員 ダム ローン

1. まえがき 地震の作用により、地盤内要素にせん断応力が加わり、過剰間隙水圧が上昇する。砂地盤では液状化によって急激に沈下するが、粘性土地盤では水圧の消散に伴う長期にわたった沈下が生じる。粘性土地盤でのこのような沈下はメキシコ地震においても確認されている。地震による被害を最小限に抑えるためにも沈下量を予測する課題は重要であり、これまでに沈下予測方法がいくつか提案されている¹⁾。

本研究では粘性土の非排水ねじり単純せん断試験の結果より得られた過剰間隙水圧の推定式に基づき、地震動による粘性土地盤の最終沈下量の推定を試みた。また、不規則波形の処理には3種類の方法を用い、方法による沈下量の比較検討を行った。

2. 解析方法 岩盤からの入力地震波によって地盤内要素に加わるせん断応力を求めるため、非線形的地盤物性を考慮した一次元地震応答解析モデルSHAKEを用いた。過剰間隙水圧比の推定に以下の式を用いた²⁾。

$$\Delta u / \sigma_v' = \Delta u / \sigma_v'_{n=1} + A_u (\log N)^{\alpha} S R^{\beta}$$

ここに σ_v' は有効上載圧で $\Delta u / \sigma_v'_{n=1}$ は $n=1$ のときの過剰間隙水圧比、 N は繰返し回数であり、 A_u 、 α 、 β は実験定数である。

解析方法は以下の3種類を用いた。

①修正累積損傷度理論：応力比の不規則波形に対し各サイクルでの損傷度を算出し、その累積から不規則波形と等価な一様波形の繰返し回数を求める理論であり、一般に液状化強度を求めるために用いられる。ここでは不規則波形に対する Δu を計算できるようにこの理論を修正した。この方法では Δu の最終値のみが得られる。

②等価繰返し回数法³⁾：不規則波形の各サイクルごとに Δu の累積から逆算した等価な一様波形の繰返し回数を求め、 Δu の値を加算していく方法であり、波形の時刻歴の影響を考慮し得るという点で優れている。しかしこの方法では大きな波形の後に小さな波形がきた場合、 Δu の蓄積が極端に小さくなるという欠点もある。

③修正等価繰返し回数法：この欠点を解決するため、各サイクルで算出した等価繰返し回数と1サイクル前の等価繰返し回数を比較し、前者が大きいたときには算出した等価繰返し回数を用いず、後者の値に1を加えたものを用いて水圧の増加を考慮できるように修正した。

累積した過剰間隙水圧の消散にともなう沈下ひずみ ε_v は動的圧縮係数 C_r^* 及び初期間隙比 e_0 を用いて以下の式で与えられる。

$$\varepsilon_v = C_r^* / (1 + e_0) \log [1 / (1 - \Delta u / \sigma_v')]$$

ここに C_r^* は実験結果に基づき、以下のように水圧の関数とした。

$$C_r^* = A_{cr} [1 / (1 - \Delta u / \sigma_v')]^{\lambda}$$

ここに A_{cr} 、 λ は実験定数である。

3. 解析条件 地盤モデルとして図1のメキシコ市地盤を用いた。この地盤は平均で含水比が200%以上で、非常にゆるい地盤である。初期剛性率 G_0 は、国生ら⁴⁾の式を用いて計算した。

$$G_0 = 9 * (7.32 - e)^2 / (1 + e) \sigma_v'^{0.6}$$

ここに e は間隙比である。

depth(m)	土層断面	Vs(m/s)	Go(t/m²)	density (t/m³)
0.0		34.9	160.0	1.29
LAYER1				
5.0				
LAYER2		37.6	174.0	1.21
10.0				
LAYER3	39.2	186.0	1.19	
15.0				
LAYER4		41.3	210.0	1.21
20.0				
LAYER5				
25.0				
LAYER6		43.4	232.0	1.21
30.0				
		500.0		2.00

図-1 メキシコ市地盤のモデル化

なお、剛性率と減衰係数のひずみ依存性は、Hardinらが提案した双曲線関数によるものとして定めた。

岩盤に入力する地震波として(a)メキシコ地震、(b)エルセントロ地震、(c)十勝沖地震を用いた。最大入力加速度 α_{max} はそれぞれ95.8gal、330.3gal、221.1galである。またそれぞれの α_{max} を0.5、1.5倍としたもの、 α_{max} を100galとしたものについても解析をおこなった。

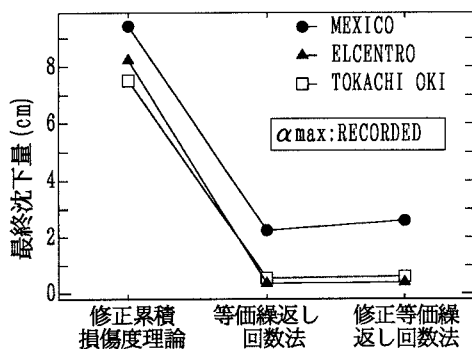


図-2

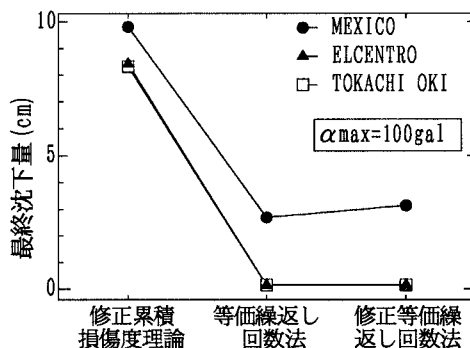


図-3

4. 解析結果 図2は各予測方法による観測地震波を用いた場合の最終沈下量を示す。各入力波では α_{max} がそれぞれ違うにも関わらず、最終沈下量はそれほど変わらない。しかし、最終沈下量は各方法間では異なる。図3は地震波形の違いによる影響を $\alpha_{max}=100\text{gal}$ について示している。ここではエルセントロ地震、十勝沖地震は性質が類似した波形であるといえる。観測波形に対して α_{max} を変化させ、 α_{max} による沈下量に対する影響を調べた。図4は修正累積損傷度理論の解析における最終沈下量と α_{max} の関係を示している。ここでは α_{max} の増加に伴う最終沈下量の増加が、波形によって大きく異なることが分かる。メキシコ地震波の場合は特に α_{max} の微妙な差が沈下量に大きな影響を及ぼすことが分かる。

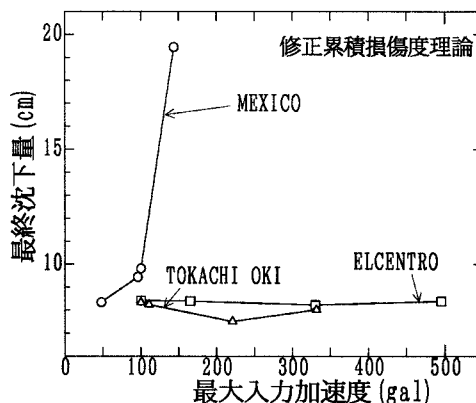


図-4

5. 結論 本研究では以下の結論が得られた。1) 修正累積損傷度理論による最終沈下量は、観測波では他の方法に比べ大きな値を示す傾向がある。2) メキシコ地震のような波形の場合は、 α_{max} の違いが最終沈下量に大きく影響する。

参考文献: 1) Matsuda et al. (1990): Geotechnical aspects of earthquake induced settlement of clay later, Marine Geotechnology, Vol. 9. 2) Dam (1995): Ph.D thesis, Yokohama National Univ. 3) Sarma & Jennings (1980): Int. Sympo. on soils under cyclic and transient loading, Swansea. 4) 国生ら (1982): 土と基礎、33号、11番から引用。