

I-553 有効応力理論による地盤の地震応答解析法

東京都土木技術研究所 正会員 小川 好

提案された解析法¹⁾は地盤の液状化解析を比較的簡単におこなうことを目的としている。土の構成式を決めるパラメータは骨格曲線と体積膨張・収縮を規定する2つの定数であり、所定の液状化強度をもつ土を簡単にシミュレートすることができる。

1. 弾塑性体のモデル 全応力状態で土の応力とひずみの関係は、バネとクーロン・スライダから構成されるIwanの力学的モデル²⁾によって表現されている。このモデルはMasingの規則を常に満足することが知られており、Masingの規則にしたがう骨格曲線はすべて変換することができる。

力学的モデルの特徴のひとつは、モデルがバネとスライダという物理的に意味のある要素から構成されているため、エネルギー損失はスライダの移動量から、弾性エネルギーはバネの伸縮量からそれぞれ計算できることにある。また、ヒステリシス・ループ上の反転点を直接、記憶する必要はなく、適当な精度で(骨格曲線の離散化の程度にしたがって)ヒステリシス・ループを描くことができる。骨格曲線を双曲線関数で近似するときは、初期剛性率と最大せん断応力から力学的モデルを構成することができる。

2. せん断応力と有効拘束応力との関係についての仮定 動的なせん断応力は有効拘束応力の n 乗に比例し、 n はひずみが大きくなるにしたがい1.0に近づくことが実験的に知られている。しかし、今のところこの現象を十分に説明できる力学的モデルが作れないことから、ここでは“せん断応力はせん断面に垂直な有効応力に比例する”という仮定をおくことにする。有効応力解析で特に問題となるのは、土の大ひずみ領域での変形特性であることを考えれば、この仮定はさほど無理のあるものではないであろう。

この仮定にしたがうと、有効応力が σ' のときのせん断応力 τ は、間隙水圧が発生していない初期状態での力学的モデル(ここでは初期状態モデルとよぶことにし、拘束応力を σ とする)から求められるせん断応力(ここでは T とおく)に σ'/σ をかけた値になり τ/σ' とひずみの関係は常にMasingの規則を満足する。有効応力が σ' でのモデルのバネ定数と摩擦力も初期状態モデルでの値に σ'/σ をかけたものと等しくなる。この結果、計算過程ではモデルのバネ定数と摩擦力を有効応力にしたがって変化させる必要はなくなり、エネルギー損失と弾性エネルギーは初期状態モデルでの値に σ'/σ をかければよいことになる。

3. 負のダイレタンシー量とエネルギー損失との関係についての仮定 “土の骨格構造が収縮するのに要するエネルギーはせん断過程でのエネルギー損失に比例する”と仮定する。

$$\varepsilon_N^2/m_v/2 = E_L' \cdot \alpha$$

ここで ε_N^2 は体積収縮ひずみ、 m_v は土の骨格構造の体積圧縮係数、 E_L' は σ' の状態で累積されたエネルギー損失、 α はエネルギー損失にしろる体積収縮エネルギーの割合をしめす係数で1.0以下の値となる

4. 正のダイレタンシー量と弾性エネルギーとの関係についての仮定 “土の骨格構造が膨張するときの仕事は弾性エネルギーに等しい”と仮定する。

$$\sigma' \cdot \varepsilon_p = -E_p' \cdot \beta$$

ここで ε_p は体積膨張ひずみ、 E_p' は σ' での弾性エネルギー、 β は比例定数であり1.0となることが期待される。

5. 過剰間隙水圧の算定 非排水状態では骨格構造の体積変化はほとんど無視できることから、体積ひずみは有効応力の減少にともなう骨格構造の膨張によるひずみと等しいとおける。

$$p = K(\varepsilon_N + \varepsilon_p)$$

ここで p は過剰間隙水圧、 K は土の骨格構造の体積弾性率である。

この構成式では過剰間隙水圧のパラメータとして体積収縮係数と体積弾性率、 α 、 β の4つがあるが、これらのパラメータは相互に関連しており、独立な変数としては2つだけである。

6. 解析結果

新潟市川岸町の地盤は新潟地震(1964)の際に激しい液状化がみられ、また土質工学会によって共通のデータで解析した結果が報告されている³⁾ことから、比較の意味もふくめ解析の対象とした。地盤の概要と計算パラメータを図1に示す。力学的モデルの骨格曲線はHardin-Drnevichの双曲線とし、エレメントの数は20とした。砂層の液状化抵抗応力比について、設定値と計算値を比較したものを図2に示す。入射波は土質工学会の共通仕様にしたが、開放基盤での最大加速度を120galとしている。

応答仮定で発生した過剰間隙水圧は図3に示されるように4層目の地層で最も激しく、約5.2秒で100%に達している。地表面での最大加速度は136gal、最大相対速度は11.7cm/sec、最大相対変位は2.57cmとなった。4層でのせん断応力とひずみ、有効拘束応力の履歴図を図4に示す。この層での最大せん断ひずみは1.6%であった。また、この層でのエネルギー損失は応答終了時で88J/m³であった。解析結果は土質工学会による比較解析の結果ともよく合っており、解析法の妥当性が確認された。

参考文献 1)小川 好(1989):有効応力理論による地盤の地震応答解析法と東京低地での解析例、都土木技研年報 2)Iwan W.D.(1966):A Distributed-Element Model for Hysteresis and Its Steady-State Dynamic Response, J. of Applied Mechanics 3)地盤と土構造物の地震時の挙動に関する研究委員会(1987):地盤と土構造物の地震時の挙動に関するシンポジウム、土質工学会

層番号 (13)	土質	S波速度 (m/sec)	密度 (t/m ³)	液状化抵抗 応力比		初期過剰水 圧比	φ (度)	体積圧縮 係数×10 ⁻¹ (oil/kgf)	体積弾性率 (kgf/oil)	定数 α	定数 β
				N=5	N=20						
2	粘土	110	1.9	3	0.10	0.09	222	30	8000	200	1.0
2							176	31	6970	229	
2	中砂	150	1.9	8	0.15	0.11	364	35	5480	275	1.0
2							398	35	5000	300	
10	3	185	1.9	11	0.2	0.14	660	37	2720	322	1.0
20	4	230	2.1	30	0.7	0.5	717	44	2500	350	0.02
30	7	270	2.2	30	0.9	0.6	770	45	2330	376	0.005
70		350	2.3								

図-1 新潟市川岸町の地盤概要と計算パラメータ

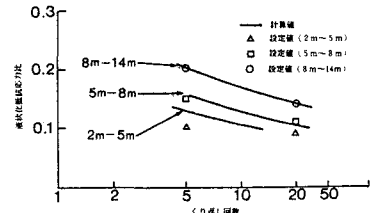


図-2 液状抵抗応力比の実験値と計算値の比較(新潟市川岸町の地盤)

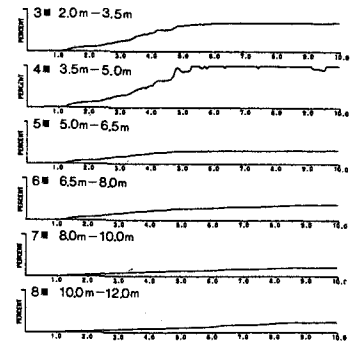


図-3 応答によって発生した過剰間隙水圧(川岸町 スケールは100%)

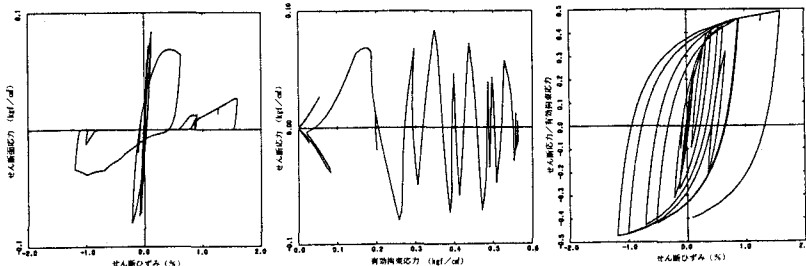


図-4 4層(3.5m~5.0m)でのせん断応力とひずみ、有効拘束応力の履歴図(川岸町の地盤)