

III-219 瞬発载荷中に発生する間隙水圧の評価

日本国土開発(株) 正員 四宮圭三

山口大学工学部 正員 兵動正幸 村田秀一 安福規之

(株) ハザマ 正員 丸山浩史

1. はじめに

これまで筆者ら¹⁾²⁾は、瞬発载荷式三軸圧縮試験機を用いて重錘落下締固め工法など動的な地盤締固めにおける地盤要素の挙動及び改良効果について定量的な評価を行ってきた。この瞬発载荷式三軸圧縮試験機は、軸圧及び側圧の任意の応力を瞬時に衝撃圧として作用させることが可能であるが、排水試験においては载荷中に間隙水圧の部分排水が生じ、供試体内の間隙水圧が不均一となることから载荷中の有効応力を評価するに当たり、この間隙水圧を的確に評価する必要性が生じた。本研究では瞬発载荷式三軸圧縮試験における等方応力载荷試験時の供試体を対象に、Biot型2相系モデルの動的FEM解析を行い、解析及び実験で生じた間隙水圧について比較を行った。

2. 実験及び解析方法

実験¹⁾は、瞬発载荷式三軸圧縮試験機により所定の初期拘束圧で圧密後、種々の大きさの等方全応力増分 Δp を与えて行ったものである。载荷時間(载荷・除荷に要する時間)は、 $t=0.8$ 秒とし間隙水圧は排水経路の反対側の供試体下部で測定した。試験に用いた試料は宇部市で採取されたまき土であり、供試体は初期相対密度60%で作成し、完全飽和状態とした。また、動的FEM解析は図-1に示すように二次元軸対称条件下で10個の4角形8節点要素に分割して行った。等方応力载荷試験状態を想定し、境界条件は下端面を鉛直方向固定・非排水境界、上端面を排水境界、軸中心部で水平方向固定とし、荷重は等分布荷重で各節点に与えている。本解析で問題となる間隙水圧の発生と消散の数値モデルは、土の構成式と水と飽和多孔質体からなる2相系運動方程式の土骨格と水との相互作用で表している。瞬発载荷時の土の挙動を評価できる構成式については、ここでは安福ら³⁾⁴⁾が提案した等方硬化型の弾塑性構成式を用いて解析を行っている。土の透水係数は $k=10^{-3}$ cm/secとし、また初期拘束圧 $p_0=1.0$ kgf/cm²を初期内部応力として各要素に与えた。

3. 実験及び解析より得られた間隙水圧の比較

等方応力载荷試験による载荷応力と間隙水圧の時間的变化を示したのが図-2である。この図から間隙水圧は、载荷と同時に急激に上昇するがピーク間隙水圧は、一部排水により载荷応力増分までは上昇せず、さらに除荷と同時に瞬時に低下し、若干の負圧が生じる様子がわかる。ここで、供試体下部において実測された間隙水圧の大きさを载荷応力の大きさとの関係で整理すると、図-3に示すように両者は比例関係にあることが認められ、この関係から载荷応力の約85%の間隙水圧が供試体下部で生じていることがわかる。次に動的解析によりえられた载荷応力($\Delta p=1.0, 2.0$ kgf/cm²)と供試体最下部要素(要素番号①⑥)における平均的な間隙水圧の時間的变化を図-4に示す。図-2の実験結果と比較すると $\Delta p=1.0$ kgf/cm²の場合の解析結果は、瞬発载荷時の間隙水圧の発生及び消散状況を良好にシミュレートしていることがわかる。また、さらに短い

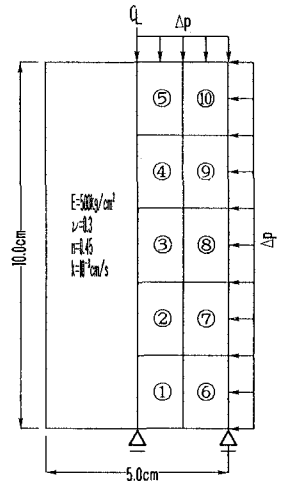
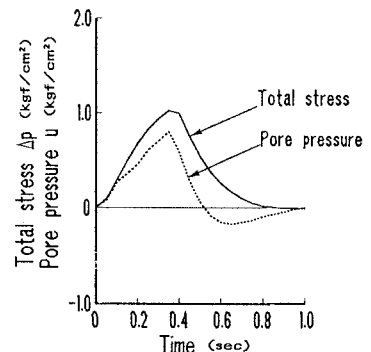


図-1 要素分割図

図-2 実験結果($t=0.8$ 秒)

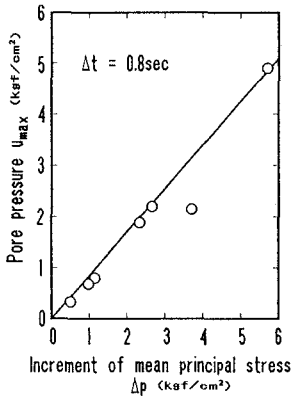


図-3 載荷応力と間隙水圧

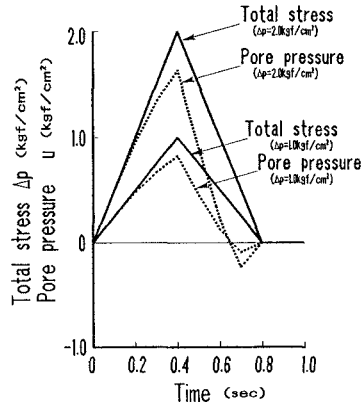


図-4 解析結果(t=0.8秒)

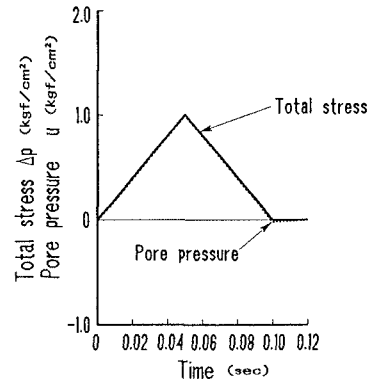


図-5 解析結果(t=0.1秒)

載荷時間 0.1秒とした解析結果を示したのが図-5である。この場合、非排水面側の要素では載荷応力にはほぼ等しい大きさの間隙水圧が発生し、除荷時には0に戻っている。また、載荷中の供試体内の間隙水圧分布を調べるために、載荷ピーク時の各要素の間隙水圧 u_{max} を載荷応力 Δp で除した値を横軸に、供試体上端面からの距離 Z (=排水距離/供試体高さ) を縦軸にとって表したのが図-6である。この図から分かるように載荷時間0.8秒における間隙水圧は、排水上端面を0とした放物線のような分布形状となり、非排水下端面では載荷応力の約82%の大きさの間隙水圧が発生しており、図-3で示した実験結果とほぼ一致する。したがって、供試体内の間隙水圧分布を例えば放物線分布として仮定することにより、瞬発載荷時の平均的な有効応力の評価が可能となる。最後に、解析結果をもとに有効応力を評価し、実験で得られた間隙比と荷重増加比の関係を載荷中に間隙水圧が消散させ有効応力を明確にした6.0秒載荷試験（載荷・除荷に要する時間は0.8秒）と比較してみた。図-7はその結果であるが、○のプロットは0.8秒載荷時の全応力で、また△は有効応力で整理した結果である。載荷中の間隙水圧を的確に評価し有効応力表示することによって、□で示した6.0秒載荷の結果にはほぼ一致していることが分かる。このことは、重錘落下時のような瞬時の載荷を受ける土中の要素の圧縮特性を定量的に評価を行う上で、間隙水圧の分布を考慮した有効応力の正確な評価が重要であることを示すものである。

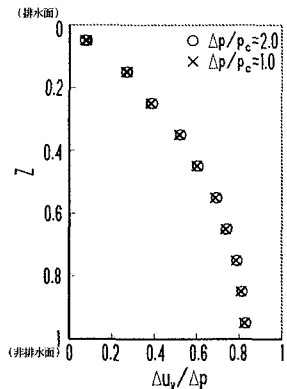


図-6 間隙水圧分布

4. おわりに

本研究では、瞬発載荷時に生じる間隙水圧を動的FEM解析により再現し、実験結果との比較を行った。解析値と実験値はほぼ一致し、これにより有効応力を的確に評価することができた。

【参考文献】

- 1) 四宮圭三他(1992): “重錘落下時における砂質土の間隙比変化”、第27回土質工学研究発表会概要集、pp. 761~pp. 762
- 2) 四宮圭三他(1992): “瞬発載荷を受けた砂質土のせん断強度特性”、第27回土質工学研究発表会概要集、pp. 757~pp. 760
- 3) 安福規之(1990): “広範な応力域における異方圧密砂の降伏特性と弾塑性構成式に関する研究”、九州大学博士論文
- 4) Yasufuku, N. et al(1991): “Anisotropic Hardening Model for Sandy Soils over a Wide Stress Region”, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu Univ., Vol. 51, No. 2,

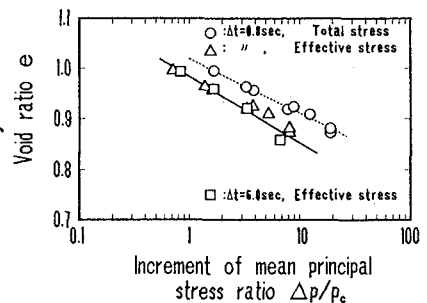


図-7 間隙比と荷重増加比