

動圧密工法による間隙比変化の定量的把握

日本国土開発(株) 正会員 〇四宮圭三

山口大学工学部 正会員 村田秀一 兵動正幸 安福規之

山口大学大学院 学生員 中田幸男 丸山浩史

1. まえがき

重錘を数十mの高さから自由落下させ、地表面に大きな衝撃力を繰返し加えることによって地盤を締め固める動圧密工法は、特に残土やゴミ処理あるいは埋立地盤における地盤締め固め工法として有力視され、その需要はここ数年急速に伸びてきている。しかし、同工法は、まだ土質工学的な解釈が不十分なまま主として経験的に使われているのが現状であり、種々な条件下での適用や安全でかつ合理的な設計のために、その改良メカニズム及び改良効果の定量的評価が強く望まれている。著者ら¹⁾は、重錘落下時における地盤内要素の応力状態を再現するために、瞬時に載荷・除荷が可能な三軸圧縮試験機を試作し、種々な応力変化を繰返し衝撃圧として与え、その実験結果より砂の圧縮性を等方応力増分による成分と偏差応力増分によるものに分けて定量的に評価ができることを示した。本研究は、この観点に立ち、繰返し重錘落下をうけた砂質土の圧縮性を間隙比の変化として定量的な評価を行うものである。

2. 試料及び試験方法

試験に用いた試料は、宇部市で採取したまさ土の2mmふるい通過分であり、さらに細粒分を除去したものである。これらは、風化の進んだ砂質系のまさ土であり、実験対象としてこれらを用いた理由は、動圧密施工の対象が一般に堅固な粒子組成の土よりもむしろ破碎性の土の場合が多いことに対応するためである。供試体は、空中落下法により初期相対密度 $D_r=60\%$ で直径5cm、高さ10cmの円筒形に成形し、完全飽和状態とした。用いた試験機は、重錘落下時の地中の応力状態を再現するために試作した「瞬発載荷式三軸圧縮試験機」である。重錘落下時の地中応力増分を平均主応力増分 Δp と偏差応力増分 Δq に分けて考え、等方応力載荷試験、平均主応力一定載荷試験及び側圧一定軸圧載荷試験を行い、それぞれによる間隙比変化の評価を行った。試験は全て排水条件で行った。

3. 試験結果と考察

重錘落下時を想定した地中応力の変動による地盤内の間隙比変化の定式化を試みた。2.において述べたように地中応力変化を p 成分と q 成分に分け、間隙比変化も等方圧縮成分とダイレタンシー成分によるものと分けて考える。ここで用いた試料は破碎性の強いまさ土であるので、等方応力載荷における間隙比～平均有効主応力関係は各々回数毎にほぼ直線関係を示す。そこで、静的等方圧縮・除荷による $e \sim \log p$ 関係と比較することによって、等方載荷の繰返し載荷回数効果を調べるために次式の形で間隙比変化 Δe_1 の定式化をはかる。

$$\Delta e_1 = f(N, p_e, \Delta p) = f(N, p_e) \cdot \log [(p_e + \Delta p) / p_e] \text{ -----(1)}$$

ここに、 f は載荷回数 N 、拘束圧 p_e (kPa)の関数で、 Δp は等方応力増分(kPa)である。図-1は、載荷回数1、10、50回における間隙比変化と荷重増加比との関係を初期拘束圧別にプロットしたものである。この図より $\Delta e \sim \log (1 + \Delta p / p_e)$ 関係はほぼ直線で近似でき、載荷回数が増加するにつれ直線の勾配すなわち式(1)の $f(N, p_e)$ は大きくなっている。実験結果を整理し、各拘束圧毎の直線の勾配と載荷回数の関係を調べると、ほぼ一義的な関係が認められ載荷回数が多くなると勾配の変化量が小さくなることがわかった。図中の実線は、実験データの回帰分析を行い、回帰式によって得られた間隙比変化の予測値を示したものである。

さて、静的等方圧縮・除荷における $e \sim \log p$ 関係で p の変動に対して、載荷・除荷時ともほぼ直線関係を示したので、間隙比変化は次式で表される。

$$\Delta e_1' = (\lambda - \kappa) \cdot \log [(p_e + \Delta p) / p_e] \text{ -----(2)}$$

ここに、 λ は静的等方圧縮線の勾配、 κ は静的等方膨潤線の勾配である。式(1)の Δe_1 と式(2)の $\Delta e_1'$ の比較、すなわち $f(N, p_e) / (\lambda - \kappa)$ で静的載荷に対する動的載荷の回数効果を評価することが可能となる²⁾。

次に、 p 一定載荷試験における間隙比の変化を Δe_2 とし、 Δe_2 と有効応力比増分 $\Delta \eta$ の関係を示すと図-2のようになる。ここでは、 Δe_2 は $\Delta \eta$ の増加とともに増加し、その増加の程度は p に依存している。この間隙比変化 Δe_2 を p (kPa)及び $\Delta \eta$ の指数関数として回帰を行った結果が図中の実線である。

任意の負荷応力に対する間隙比変化 Δe の予測式は、等方圧縮による間隙比変化 Δe_1 とダイレタンシー成分による間隙比変化 Δe_2 を重ね合わせる($\Delta e = \Delta e_1 + \Delta e_2$)と得られ、 Δp 及び $\Delta \eta$ 共に変動すると考えられる側圧一定軸圧載荷試験結果とこの予測式による結果を図示したのが図-3である。予測値と実験値には若干のずれが認められるが、全体的な傾向としてはよく対応している。このような定式化がなされており、それを用いることによって重錘落下時の地盤内における任意の地点で、 p_0 、 Δp 、 $\Delta \eta$ が分かれば、その点での各載荷回数における間隙比変化を計算できる。

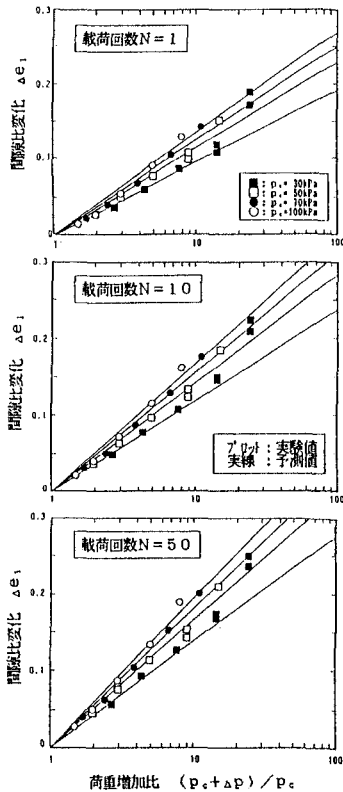


図-1 間隙比変化と荷重増加比(等方応力載荷)

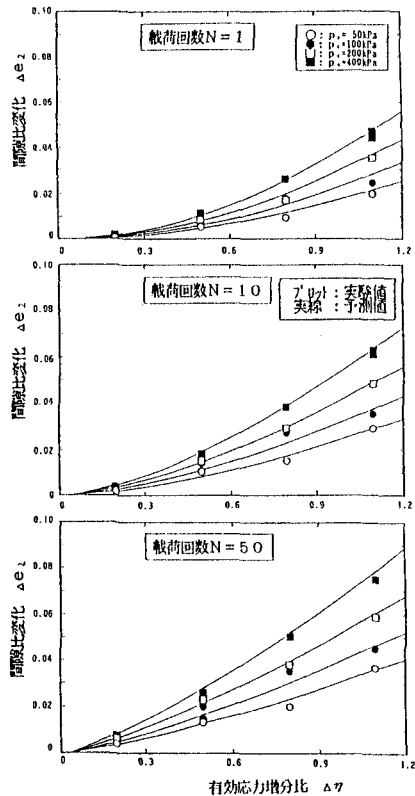


図-2 間隙比変化と有効応力比増分(p一定載荷)

4. まとめ

重錘落下時の地中応力増分を Δp と偏差応力増分 Δq に分けて考え、等方応力載荷、平均主応力一定載荷及び側圧一定軸圧載荷試験をそれぞれ行い、各々による間隙比変化の評価を行った。本報では、各々の試験結果を重ね合わせ、重錘落下時の応力変動に対応し得る間隙比変化の実験式を作成した。(参考文献)

- 1) 兵動他(1990):瞬発荷荷式三軸圧縮試験機による砂質土の圧縮特性、第25回土質工学研究発表会講演集、pp. 845-pp. 848
- 2) 四宮他(1991):砂質土の動圧密時における圧縮性の評価、地盤と建設、Vol. 9, No. 1, pp. 1-pp. 13

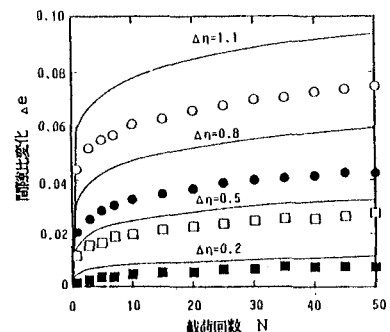


図-3 側圧一定軸圧載荷による間隙比変化