

重錘落下締固め施工における地盤改良度評価

日本国土開発㈱ 正員 ○四宮圭三

山口大学工学部 正員 兵動正幸 安福規之 村田秀一

1. はじめに

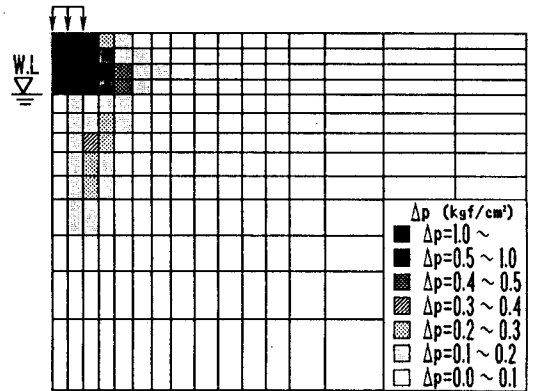
地盤締固め工法の一つである重錘落下締固め工法による地盤改良効果については、経験に基づくところが多く改良メカニズム等不明な点が多い。これまでに著者ら¹⁾は、重錘落下による地盤内要素の応力状態を再現するために瞬発載荷式三軸圧縮試験機を開発し、種々な応力を応力を瞬時に与え砂質土の圧縮性の評価を行ってきた。また、この試験機を用いて瞬発載荷試験後に静的せん断試験及び液状化試験を行い、改良効果を瞬発応力履歴との関連で議論してきた²⁾。本研究はこれらの室内試験から得られた知見を踏まえ、重錘落下締固め施工による地盤改良度の予測・評価手法を提案するものである。まず、重錘落下時の地盤内応力を、FEM動的応力解析から求め、瞬発載荷試験から得られた間隙比変化の予測式を用いて、地盤内の体積圧縮量分布の予測を行う。次に、その予測結果と瞬発載荷後の液状化強度試験結果とにより、重錘落下後の液状化強度の増加程度を推定し、改良度の評価を行う。

2. 重錘落下時の地盤内応力の推定

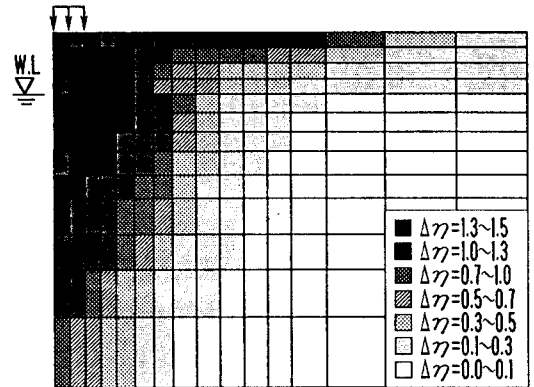
重錘落下による地盤内応力を評価するために、動的FEM応力解析を行った。解析対象は、厚さ15m、幅40mの水平地盤であり、このようなモデル地盤を軸対称条件で208要素に分割した。モデルの両端側面は、水平固定・鉛直ローラー、下端は固定とした。また外部との境界節点には、反射波を吸収するために粘性ダンパーを設けた。解析は、地盤を飽和土と水からなる2相系モデル(地下水位G.L.-2.6m)を想定して、有効応力解析で行った。地盤材料は、Mohr-Coulombの破壊基準に従う弾完全塑性体とした。地盤の初期状態は、等方圧密状態にあるものとした。載荷は、モデル上面中央付近の節点において行い、ここでは載荷重として最大衝撃力 $F(t)_{max}=1200tf$ (地表衝突時の重錘最大加速度 $\alpha_{max}=60g$ 、重錘質量 $m=20t$)、継続時間0.1秒であるようなパルス荷重を与えた。

図-1(a)(b)は、平均有効主応力増分 Δp ならびに応力比増分 $\Delta \eta$ の最大値分布を示したものである。図(a)を見ると、地下水位以下の要素においてはさほどの

平均有効主応力の増加はみられず、増加域も限られている。このことは載荷によって地下水位以下の地盤内要素に生じた等方全応力増分のその多くが間隙水圧増分となり、有効応力としてはあまり伝達されていないことを意味するものである。一方、図(b)を見るとせん断応力は地下水位以下においても深度方向及び側方に広い範囲に伝達されており、 $\Delta \eta$ は広範囲にわたって顕著に増加している様子がわかる。このことから、地下水位以下はせん断応力成分が卓越する領域と考えられ、締固めには載荷によって地盤内要素に生じるせん断応力成分が寄与するものと考えられる。



(a) 平均有効主応力増分 Δp の最大値分布



(b) 有効応力比増分 $\Delta \eta$ の最大値分布

図-1 応力解析結果

3. 重錘落下時における地盤の改良度評価

(1) 地盤の体積圧縮量の評価

重錘落下によって生じる間隙比変化 Δe は、等方応力増分による成分とダイレタンシー成分との重ね合わせで表現できるものと考えられる。応力解析において重錘落下時における地盤内の応力状態が各要素の Δp と $\Delta \eta$ の最大値として得られているので、その結果と瞬発載荷試験結果から得られた間隙比変化予測式¹⁾を組み合わせることによって、地盤内の圧縮量分布を載荷回数を考慮にいたった形で推定することができる。図-2は、載荷回数50回とした場合の地盤内の間隙比変化量の分布図である。重錘落下にともなう間隙比変化は、重錘直下から深さ方向にかけて大きく生じ、側方に離れるほどその量は小さくなることわかる。

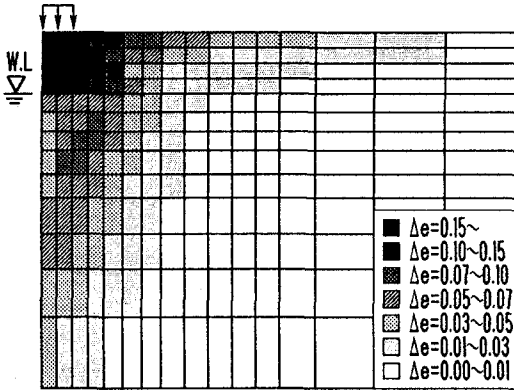


図-2 間隙比変化量の分布

(2) 地盤の液状化強度の評価

重錘落下締固め工法を地震時の液状化防止の目的で施工した場合の地盤改良度の判定は、施工前後での液状化に対する抵抗率の増加が目安となる。そこで、瞬発載荷前及び載荷後の液状化試験結果（軸ひずみ両振幅 $\Delta A=5\%$ で液状化破壊を定義）から、繰返し回数20回に相当する繰返し応力比を液状化強度 R_L として求め、載荷前後の液状化強度比 $R_{L(after)}/R_{L(before)}$ と間隙比変化量との関係で整理したのが図-3である。この関係を用いて、予測された間隙比変化量から地盤内の液状化強度の増加程度を推定したのが図-4である。ここでは、応力解析の結果からも推察されるように、地下水位以下の要素においてはせん断応力の増加が顕著なことから、せん断履歴による改良効果と考えて、液状化強度増加比を求めた。これを見ると重錘直下に

おいては液状化強度の増加は深部にまで及んでおり、全体的に改良範囲は重錘落下地点から鉛直方向に長い半楕円形状に広がっていることが分かる。このように本提案手法によると地盤改良度を液状化強度の増加域及び増加量として定量的な評価が可能である。

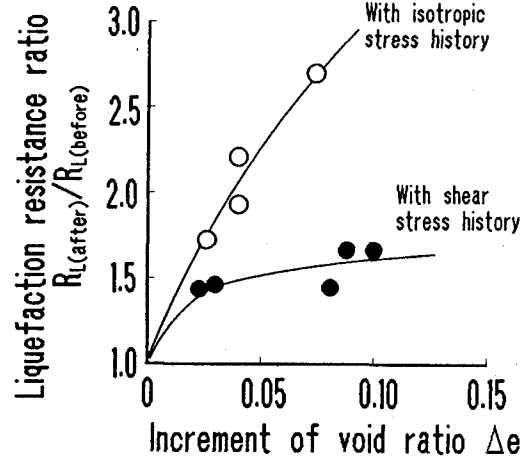


図-3 瞬発載荷後の液状化試験結果

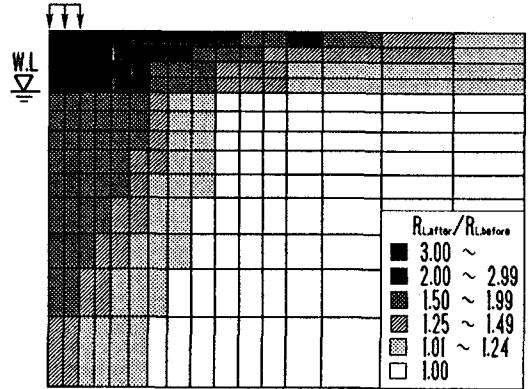


図-4 重錘落下による液状化強度の増加

4. おわりに

本研究では、応力解析と瞬発載荷試験結果を用いて、重錘落下締固めによる地盤改良度を定量的に予測・評価した。この手法は重錘落下締固め工法の設計・施工方法の合理化を図る上で活用できるものと思われる。

参考文献

- 1) 四宮他：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，pp. 761-762，1992。
- 2) 丸山他：瞬発載荷履歴を受けた砂の液状化強度特性、第28回土質工学研究発表会，pp. 939-942，1993。