

III-250

重錘落下法による砂地盤の改良効果の評価について

山口大学工学部 正員 ○兵動正幸 村田秀一 安福規之
日本国土開発（株） 正員 中村哲也 渡辺篤

1. まえがき

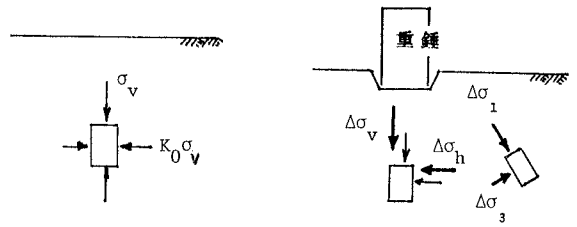
わが国に重錘落下工法が導入されて十数年を経、その需要は増加の傾向にある。しかしながら、同工法による地盤改良メカニズムについてはまだ不明な点が多い状況にある。そこで今回、重錘落下による地盤の改良効果や波動伝播特性などを調べるために、現位置での重錘落下実験が行われた。現場は風化の進んだまき土による盛土地盤であり、重錘落下による高压の負荷を含む応力変化に対して、粒子破碎を伴う地盤変形が生じていることが推察された。本研究は、この現場実験を対象に地盤の締固め効果を定量的に評価することを目的としたものであり、重錘落下において生じる地中応力を想定して、高压及び低压の三軸圧縮試験を行うことにより地盤変形を土の圧縮及びせん断の観点からとらえるものである。

2. 重錘落下による地盤内応力

初期及び重錘落下時の地盤内応力状態は図一1の概念で表される。改良前の応力状態は、図(a)に示されるように有効上載圧と静止土圧による K_0 圧密状態にあると考えられる。重錘の落下により地盤内には瞬時に応力が増加し、図(b)のような応力状態となることが想像される。すなわち、重錘落下直下部付近では初期の主軸と同方向にかなり大きな鉛直応力と側方応力の増加が考えられる。荷重点より側方に離れると、初期の主軸から幾分傾斜した方向に主応力の増加が生じる。いずれにしても、これらの応力増分は等方成分 p と偏差成分 q に分けられ、次のように表される。

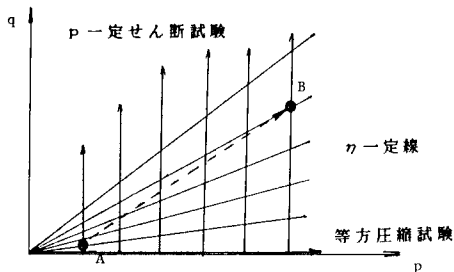
$$\Delta p = (\Delta \sigma_1 + 2\Delta \sigma_3) / 3 \quad (1) \quad \Delta q = \Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3 \quad (2)$$

ここで、 p 軸を横軸、 q 軸を縦軸とした $p-q$ 座標平面で考えると、初期及び重錘落下時における地中の応力状態はいずれの地点においても、図一2のように K_0 圧密状態の初期点Aと重錘落下時の点Bの2点でそれぞれ表すことができる。主軸の方向の変化による影響を無視すると、このAからBに至る地中応力の変化に対して地盤の締固め特性は、 p 成分に対する等方圧縮と q 成分に対するせん断のそれぞれによる体積圧縮量の重ね合わせにより表現が可能と思われる。この様な考えから以下のような三軸圧縮試験を行った。

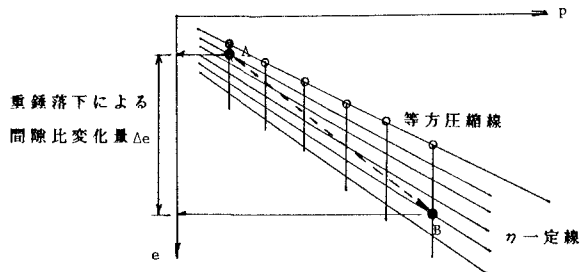


(a) 初期応力状態 (b) 重錘落下時の応力状態

図一1 初期及び重錘落下時の地中応力状態



(a) 地中応力の変化と試験法



(b) 応力成分 p 及び q の変動による間隙比変化

図一2 重錘落下による地中応力変化と間隙比変化の概念図

3. 三軸圧縮試験

重錘落下により生じる地中応力の増加に対する土の体積圧縮量を評価するために三軸圧縮試験を行った。その際、重錘落下直下部においては数MPa もの高い応力が作用することが現位置実験において確認されたので、高圧三軸試験も導入し以下のような実験を行った。試料は、現位置実験現場より採取した乱したまき土であり、その物性値を表-1に示す。先にも述べたように、重錘落下による応力増加量を平均主応力の増分と偏差応力の増分に分けて評価を行う。前者は、土に圧縮変形を後者はせん断によるダイレイタンスを生じさせる。密度の低いゆるい地盤においてはいずれによっても体積収縮の結果となるので、重錘落下時の応力増加による体積収縮量をこれらの重ね合わせにより評価する。実験としては、等方圧縮試験と平均主応力一定試験をそれぞれ独立に行い、それぞれの体積収縮量を求める。

4. 重錘落下による地盤の間隙比変化の定式化

結果は、図-3のようにまとめ、間隙比・平均主応力関係として p と q の変化に対応して締固めに関する定量値が得られる形とした。 p 一定せん断試験は、40kPa~6MPa の11種の等方圧で圧密後、それぞれについて行った。せん断に伴うダイレイタンスはすべての拘束圧で圧縮側に生じ、拘束圧が大きい程大きく現れた。図中の最上部の曲線が等方圧縮によるものであり、その下に応力比 η (q/p) 一定の曲線群が描かれている。縦に並ぶプロットは、一連の p 一定せん断試験結果であり、等方圧密後破壊に近付くまでの結果が示されている。 η 一定曲線は、各せん断試験の同一の η における値を連ねたものである。次に、図-3に示した重錘落下による応力変動による間隙比変化の定式化を試みた。まず p の変動に対して $e-\ln p$ 図上で載荷、除荷時とも直線関係を示したので、これから傾き λ および κ を求めた。また、 p 一定のせん断時において図-3のように、間隙比は応力比 η の増加と共に減少し、またその減少の程度は p に依存していることが認められた。この間隙比変化 Δe を p 及び η の指数関数で表したところ次のような関係式を得た。

$$\Delta e = a p^b \eta^c \quad (5) \quad \text{等方圧縮及び } p \text{ 一定せん断の結果を重ね合せると次式が与えられる。}$$

$$e = e_0 - (\lambda - \kappa) \ln(p/10) - a p^b \eta^c \quad (p \text{ は、kPa 単位を使用}) \quad (6)$$

式中のパラメータとしては、本試料について、 $e_0=0.86$ ($p=10\text{kPa}, q=0$ のとき)、 $\lambda=0.064$ 、 $\kappa=0.0215$ 、 $a=0.019$ 、 $b=0.271$ 、 $c=1.585$ という値になった。式(6)は、地中の任意の点で p 及び η がわかれば間隙比の変化が容易に計算可能な形式となっている。したがって、この式を有限要素法などによる応力解析と組み合わせて用いることにより、地盤内の間隙比の変化、すなわち締固め度が定量的に評価できる。式(6)を用いて $e-\ln p$ 面上にプロットすると図-4のような直線群が描かれる。

表-1 試料の物性値

G_s	2.687
e_{max}	1.043
e_{min}	0.650

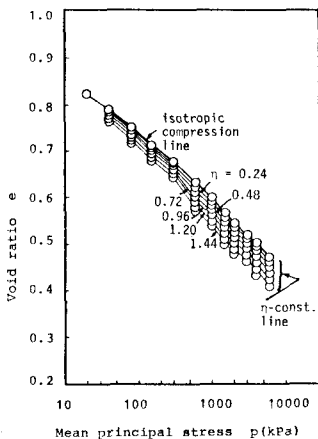


図-3 等方圧縮及び p 一定せん断における間隙比の変化

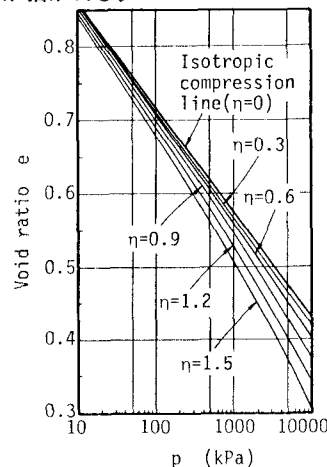


図-4 任意の応力変化による間隙比変化を表す予測式から求めた $e-\ln p$ 関係