

砂地盤を対象とした静的圧入締固め工法の応力緩和に関する研究

九州大学大学院 学 朝長 菜美 フェロー 善 功企
 同上 正 陳 光斉 正 笠間 清伸

1. はじめに

砂地盤の液状化対策に用いられている密度増大工法の一つに、コンパクショングラウチング工法（以下CPGとする）がある。CPGとは、流動性の極めて小さいソイルモルタルを地盤中に圧入して均質な固結体を連続的に造成し、周辺地盤を強化する工法である。CPGの地盤改良効果として、周辺地盤の密度を増大させる締固め効果と、側方の土圧を増大させる拘束効果の二つが挙げられる。拘束効果は、応力緩和により時間経過とともに減少することが確認されている。そこで、本文では、拘束効果および応力緩和のメカニズムを解明するため、実験的・理論的考察を行った。

2. 実験概要

実験装置および計測器はこれまでと同じものを使用し、模型地盤には豊浦硅砂を使用した。圧入材は同じ配合で作製した¹⁾。図-1に実験装置概略図を示す。また、本文では、これまでの乾燥地盤に加え、飽和地盤を用いた実験を行った。飽和地盤の作製では、まず、空中落下法を用いて相対密度60%の乾燥地盤を作製し、計測器を所定の位置に設置した。その後、土槽底面から1時間かけて浸水させ、試験地盤を飽和状態にした。地盤作製後、上載圧50kPaを空気圧により段階的に載荷し、十分に時間が経過した後、圧入材をひずみ制御によって圧入した。圧入終了後、最大6日間放置し、応力緩和の様子を観測した。実験ケースを表-1に示す。

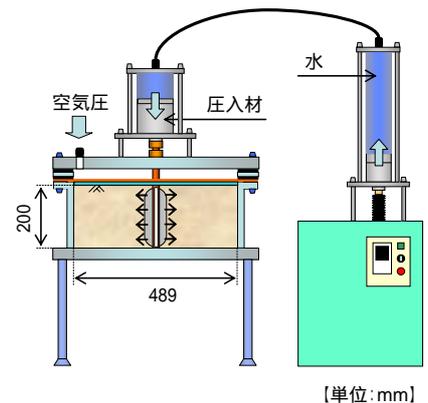


図-1 実験装置概略図

表-1 実験ケース

Case	相対密度 [%]	飽和度 [%]	注入速度 [ml/sec]
1	60	0	5.5
2	40	0	5.5
3	60	100	1.8

3. 実験結果および考察

a) 締固め効果について: 図-2に、圧入量が500[ml](注入半径33[mm])のときの r/r_0 (r : 圧入孔から変位計までの距離、 r_0 : 土槽半径244.5[mm])と地盤変位の関係を示す。これまでと同様に、地盤変位は、圧入材の圧入半径に比例して増加し、圧入終了後には変化は見られなかった。また、これまでの実験により、地盤の変位は、上載圧や地盤の相対密度には依存せず、圧入量にのみ依存することがわかってきたが、飽和度にも依存しないということが確認された。よって、締固め効果は、圧入量つまり改良率にのみ依存すると言える。

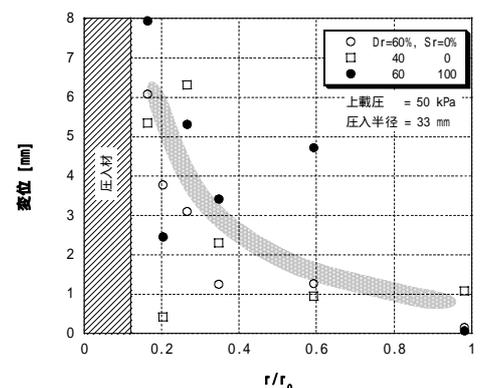


図-2 地盤の変位

b) 拘束効果について: 地盤内の水平応力の変化に着目すると、圧入終了まで圧入量に比例して増加し、圧入終了時に最大値をとった(図-3参照)。また、地盤の相対密度および飽和度に関係なく、圧入孔に近いほど最大値は大きい値をとった。水平応力は最大値をとった後、経時的に減少(応力緩和)し、ある値に収束した。

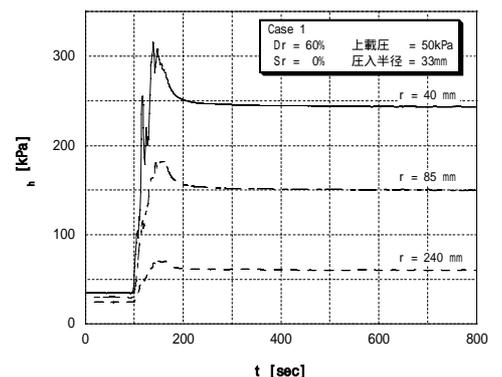


図-3 水平応力の経時変化

応力緩和の進行過程は、圧入孔からの距離や飽和度によって異なった。応力緩和速度(応力残留率を時間で微分した値)の経時変化を図-4に示す。ここでは、圧入が終了した時点をと $t=0$ とした。全体的に応力緩和速度は、時間に対して対数的に減少しているが、圧入孔からの距離に着目すると、圧入孔に近いほど初期応力緩和速度が大

大きく、遠い位置よりも大きく緩和することがわかった。また、飽和度に着目すると、飽和度が大きいものほど応力緩和速度は小さい値をとった。80%の応力緩和終了には、飽和地盤において、最も近い位置では約1時間、遠い位置では2時間30分、乾燥地盤では、最も近い位置で約1分、遠い位置で約40分を要した。すなわち、応力緩和は圧入孔に近い位置ほど、また飽和度が小さいほど、短時間で終了する傾向が見られた。

圧入終了後から、十分な時間が経過した後の、地盤内の水平応力の値(σ_{hr})と r/r_0 の関係を図-5 に示す。乾燥地盤における収束値は、最大値と同様に、圧入孔に近いほど大きい値をとる傾向が見られた。一方、飽和地盤では、圧入孔から最も遠い点で最大値をとった。

応力緩和終了後の、側圧係数 K 値(水平応力を鉛直応力で除した値： σ_{hr}/σ_v)と r/r_0 の関係を図-6 に示す。模型地盤の全域で、圧入前に対して、側圧係数の増大が見られた。応力残留率の最も小さい圧入材近傍においては、0.5 程度の K 値しか得られていない。この位置では、応力緩和により拘束効果が減少しても、締固め効果が期待されるため、地盤は改良されたと判断できる。

4. 理論的考察

著者らは、水平応力が経時的に減少する原因として、圧入材の乾燥収縮、地盤の見かけの粘着力の影響力を挙げている。新坂らは、を「リバウンド作用」と定義し、この原因を低流動性材料特有のものと考えている²⁾。有限要素法を用いて解析を行った結果、リバウンド作用による応力の減少は短時間で終了したことから、圧入直後の応力の減少は、リバウンド作用に起因するところが大きいと言える。しかしながら、その後の応力緩和は、飽和度によって応力緩和速度が違うことを考慮すると、固体摩擦やかみ合いおよびサクシオンなどの見かけの粘着力に起因すると考えられる。

5. 結論

本文では、条件の異なる地盤に対して圧入材圧入を行い、以下の結果を得た。(1) 締固め効果は、圧入量すなわち改良率にのみ依存する。(2) 最大水平応力は、どのような地盤条件でも圧入孔に近いほど大きい。(3) 応力残留率は、圧入孔に近いほど、飽和度が大きいほど小さい。(4) 拘束効果は時間の経過とともに減少するが、圧入前より大きい K 値の確保が可能である。

今後の課題として、応力緩和の理由を解明する必要があるが、そのためには、圧入材のリバウンド作用に加え、砂地盤の見かけの粘着力を考慮する必要がある。

【参考文献】

- 1) 朝長菜美ら：モルタル注入による砂地盤の締固め効果に対する実験的考察，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，-71,pp509-511,2005.3
- 2) 新坂孝志ら：液状化対策としての静的圧入締固め工法に関する研究，博士論文，pp80-82, 2005

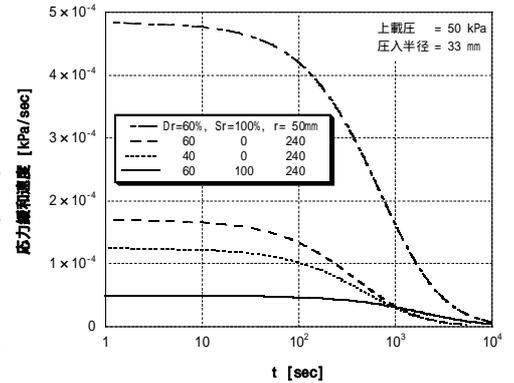


図-4 応力緩和速度

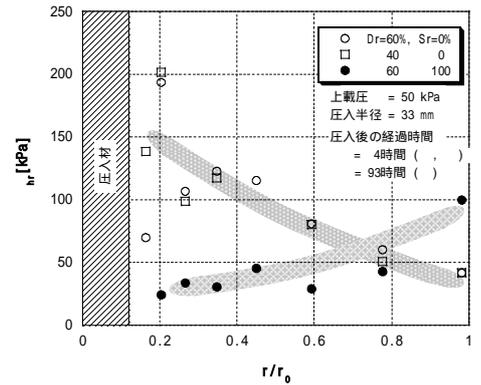


図-5 水平応力 (収束値)

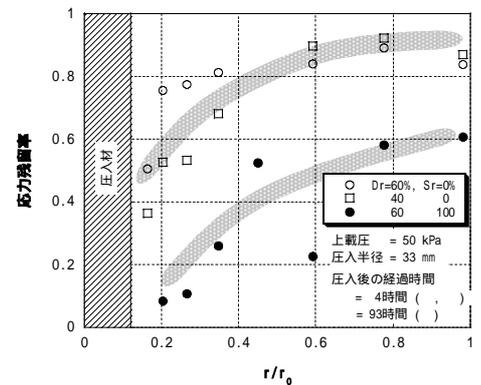


図-6 応力残留率

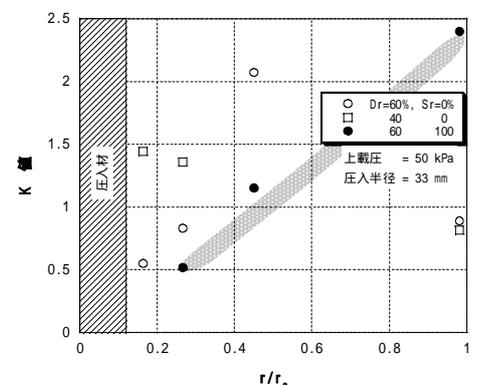


図-7 最終的な K 値