発破を用いた締固め工法におけるシルト質地盤への適用

佐藤工業（株）　正会員　○永尾　浩一　前田　幸男
古川　哲男　三野　栄作
関東学院大学　正会員　規矩　大義

１．はじめに

緩い砂地盤を発破による衝撃により締固める工法は工期が短く経済的なことから東欧及び北米で使用されている。著者らはこれまで実証実験や試験施工を行い，改良効果，安全性，周辺への影響など調査してきたが，この工法は発破し地盤を人工的に液状化させ地盤を締固めることから，緩い砂地盤を対象に施工するのが現況である。しかし本工法をシルト質地盤でも使用することが出来れば適用範囲の拡大に繋がる。シルト質地盤においては発破によって生じた水圧は砂地盤に比べ消散が遅く，砂地盤ほど締固め効果が得られないことが分かっているが，地盤内の発破により上昇した水圧を消散することが出来れば締固め効果が期待できる。そこで原位置において水圧消散杭（グラベルドレーン杭）を利用した実験を行いシルト質地盤の締固めを試みた。

２．実験概要

試験は愛知県豊橋市神野西埠頭の埋立地で行った。試験平面図を図-1 に，地盤条件を図-2 に示す。発破領域は縦 18m×横 18m の正方領域とし，発破はステージ 1（9 孔），ステージ 2（4 孔）の合計 2 回行った。発破孔は各ステージ毎に 4.5m のグリッド格子の位置に 9m 間隔で設置した。また，発破による水圧を消散させる目的で発破孔格子間に発破ボーリング孔を利用したグラベルドレーン杭（7 号砕石使用，直径 164mm，延長 19m）を設けた。

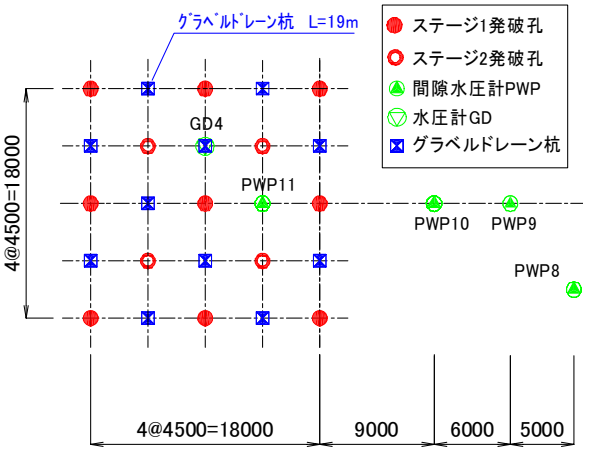

図-1　試験平面図

装薬条件はエマルジョン系含水爆薬を発破孔 1 孔当たり GL-16m に 5kg，GL-12m に 5kg，GL-8m に 4kg，GL-4m に 4kg の合計 18kg 装薬し，雷管は導火管付き雷管(NONEL)を使用した。点火は各爆薬毎に秒時差（発破孔内爆薬間 0.2 秒，発破孔間 0.2 秒）を設ける段発方式で発破を行った。

計測は発破時の発破領域内と領域外の間隙水圧，グラベルドレーン内水圧，発破振動・騒音，沈下量を測定した。過剰間隙水圧(PWP)の計測は発破衝撃圧と残留する過剰間隙水圧を調べるため，高容量と低容量の 2 つのセンサーで計測しており，計測深度をシルト層内水圧変化を調べるため GL-7m と GL-15m の 2 深度とした。またグラベルドレーン内は GL-10m に水圧計(GD4)を設置した。この他に発破時の振動・騒音レベルを測定した。

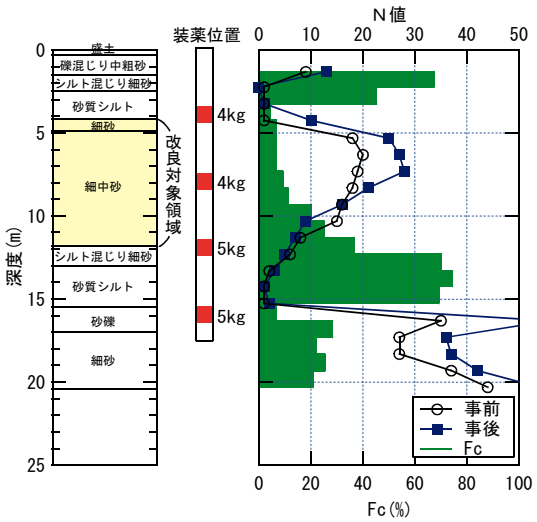

図-2　地盤調査結果

３．実験結果

図-3 にステージ 1 の発破領域外での過剰間隙水圧比の計測結果を示す。過剰間隙水圧比は発破毎に上昇し，残留水圧比 Ur/σv’は発破直後 GL-7m（砂層）で 0.5 付近まで，GL-15m（シルト質層）では 0.8 超まで増加した。これより細粒分の多いシルト質地盤でも発破の衝撃により水圧が上昇することが分かる。上昇した水圧は

キーワード：締固め，発破，衝撃的荷重
連絡先：〒243 － 0211　神奈川県厚木市三田 47-3　TEL：046-241-2171　FAX：046-241-2176

2 時間程度急激に消散した後，緩やかに消散した。Ur/σv’は 16 時間後において GL-7m（砂層）では 0 付近まで消散したが，GL-15m（シルト質層）は 0.3 程度残留した。さらに，図-4 はグラベルドレーン杭内の水圧であるが，発破時水圧は徐々に上昇するが，同時に消散するため水圧は減少し，残留水圧 Ur は発破領域内の水圧より小さくなった。

試験後の地盤調査結果を以下に示す。図-5 は沈下計測結果である。沈下は発破領域を中心としてすり鉢状に発生した。図-2 の試験前後の標準貫入試験結果では，細粒分の少ない砂層地盤は事前の N 値が 20 程度と比較的大きかったものの，GL-4m から GL-9m 及び GL-16m から GL-20m において最大 10 程度の N 値の増加が認められた。一方，細粒分の多いシルト質地盤では N 値の増加はほとんど見られず，発破時のグラベルドレーン杭による排水は砂層地盤を中心におきていた可能性がある。しかし，密度増加には地盤の透水係数も大きく関与すると考えられ細粒分の多い地盤は長期的に沈下を計測し強度増加を調べる必要がある。

図-6 は過剰間隙水圧比と水圧測定地点の沈下量から求めた体積ひずみの関係を既往の実験結果をもとにまとめたものである。図より過剰間隙水圧比の増加に伴い体積ひずみ量は大きくなり，過剰間隙水圧比 0.5 付近で急変する。逆に過剰間隙水圧比 0.5 程度以下ではほとんど体積ひずみが発生しない。このことより過剰間隙水圧比を制御することが出来れば改良効果や周辺の沈下も抑制できると考えられる。また，既往の試験結果より，体積ひずみは Na 値が小さい（液状化しやすい地盤）ほど大きく図の想定線のような体積ひずみの発生が予測される。なお，Na 値は道路橋示方書の液状化判定で用いられる粒度及び上載圧を考慮した補正 N 値[1)]である。

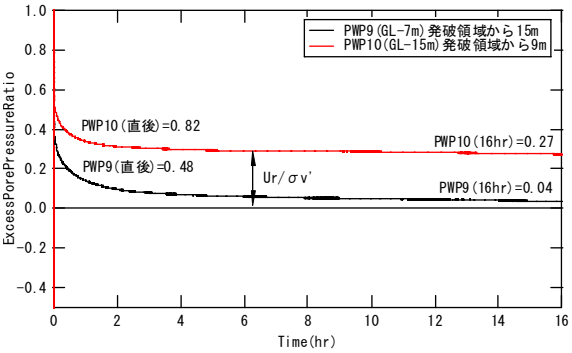

図-3　過剰間隙水圧比結果

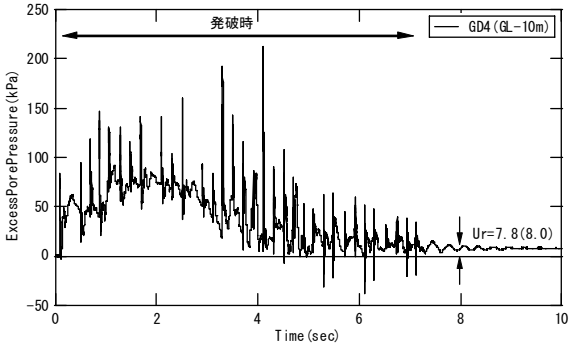

図-4　ドレーン内水圧結果

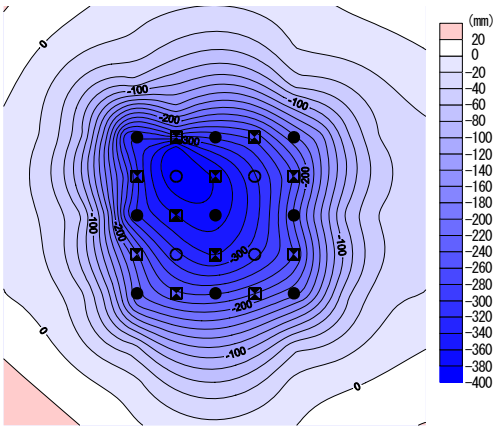

図-5　沈下測定結果

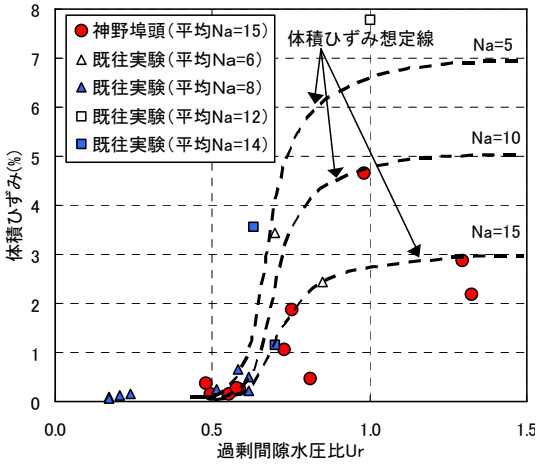

図-6　過剰間隙水圧比と体積ひずみ

4．おわりに

発破工法のシルト質地盤での適用を目的として，原位置試験を行った。その結果，シルト質地盤内にグラベルドレーン杭を設置することにより圧密促進の可能性を調べた。また，既往実験結果をもとに地盤 Na 値における過剰間隙水圧比と体積ひずみの関係を示した。現在，発破領域の長期調査を行っており，今後これらの結果をふまえシルト質地盤への適用性について検討していきたい。

謝辞

本試験に際し，ご協力および試験場所をご提供いただいた愛知県三河港務所はじめ関係者の方々に末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

1)（社）日本道路協会：道路橋示方書Ⅴ耐震設計編，平成 14 年 3 月．p120-p123