

超軟弱地盤（沼地）対策のための高規格連結土のう工法

— 国道 125 号線（埼玉県）道路工事 —

松岡 元 ※ / 野本 太 ※※

1. まえがき

国道 125 号線道路工事区間の中に、ちょうど沼地（深さ 3~4m の超軟弱層が堆積）の上に道路を築造しなければならない箇所（道路延長にして約 25m）が出て来た。そこで、種々の対策工法を検討した結果、新しい試みとして、高規格連結土のう工法によって道路を建設することになった。ここでは、その施工過程の写真や図を示しながら、本土のう工法^{1), 2)} の持つ特異な卓越性、特に土のうに接する軟弱地盤を局所圧密・強化する特性について説明する。

2. 土のう工法の施工概要

図-1 中の網掛け部は土のう工法の施工箇所を示したものである。網掛け部の下には、沼地跡部や農業用水路の跡部があり、この軟弱部の地盤補強として土のう工法が用いられた。各施工箇所における土のう段数は、基本的な仕様（原則土のう 5 段積み）が決められていたものの、実際の地盤状態が各施工箇所によって大きく異なっていたため、本施工箇所の最軟弱部に相当する道路脇の沼地での土のう積層体上の載荷試験（5. 参照）や各施工箇所にて簡易な載荷試験を行なって最終的に決定した。特に軟弱な部分においては、計画段数 5 段の下部に数段の土のうを設置し、計画段数に対する補強を施した。土のう 1 袋の標準寸法は 40cm×40cm×高さ 8cm である。



写真-1 道路を横断する農業用水路のための掘削



写真-2 道路を横断する農業用水路（ボックスカルバート）下の土のうによる地盤補強

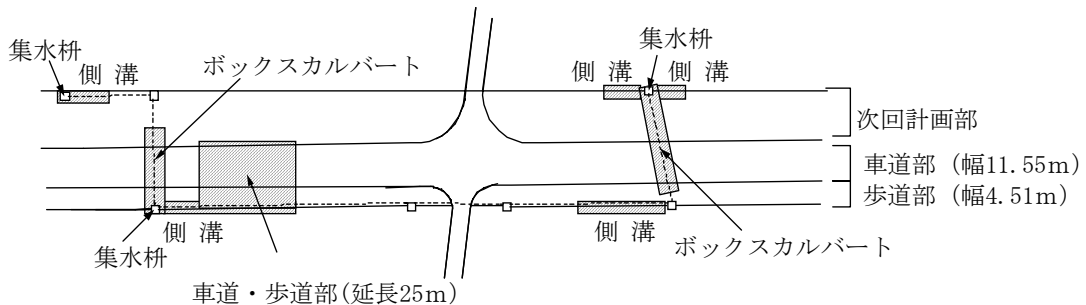


図-1 土のう工法の施工箇所（平面図）

※ MATSUOKA Hajime 名古屋工業大学名誉教授、工博、愛知県春日井市東山町 4-8-14

※※ NOMOTO Futosi メトリー技術研究所 (株) 所長、埼玉県加須市土手 1-13-18

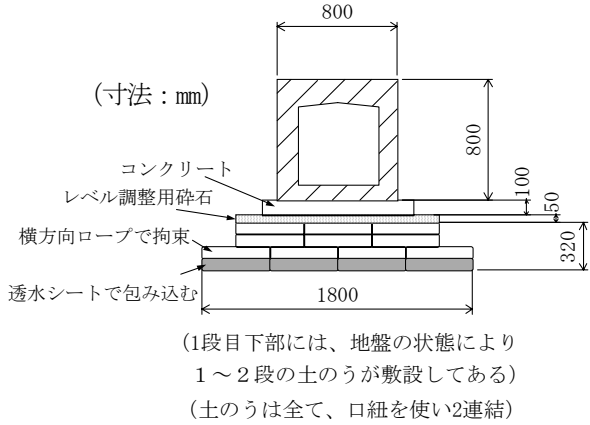


図-2 農業用水路(ボックスカルバート)下の標準土のう配置図

3. 道路を横断する農業用水路の建設と集水枡・側溝の設置

写真-1は道路を横断する農業用水路(ボックスカルバート)のために掘削した直後の地盤状況を示したものである。所々に膝上まで潜ってしまうような超軟弱部が点在していた。そのような超軟弱部では、まず土のうを1段投げ込んで足場を確保した。その上に、土のう4列を2段、さらにその上に土のう3列を2段、計4段敷設し、転圧してから水路用のコンクリート製ボックスカルバート(0.8m×0.8m)を設置した。写真-2(図-2も参照)に見られるように、透水性シートで幅4列高さ1段の土のうを包み込んだり、ひもで幅4列高さ1段の土のうを横方向にしばったりして、土のうの横方向(側方)への移動をできる限り阻止するよう努めた。図-2に農業用水路(ボックスカルバート)下の標準土のう配置図を示す。なお、地盤状態により1段目の土のうの下部に1~2段の土のうを敷設した。

写真-3は道路側道部のコンクリート製集水枡(満水時の重量5tf(約50kN))を示したものである。集水枡の下は、腰まで浸かる程の超軟弱地盤であった。そこで、土のうを1段投げ込んで足場を確保した後、図-3に示すように土のう7列を1段、その上に土のう6列を2段、さらにその上に土のう5列を2段敷設した。なお、図-3中の下から2段目の6列の土のうについては、透水シートで全体を包み込むことによって、土のうの横方向への移動と土のう間へのヘドロの侵入を阻止するようにした。図-4はコンクリート製集水枡に接続される側溝下の標準土のう配置図を示したものである。なお上記施工中に観察された興味深いことは、敷設直後は人が乗るとゆれていた超軟弱地盤上の土のう積層体が、数日の内にガチッとして来てビクともしなくなることである。この理由としては、土のうの中詰め材が透水性の高い粒状体(砕石C-30またはガラスカレット)であることから、土のう下部の軟弱地盤が局部的に圧密されて時間と共に強固になることが考えられる。このことは、道路脇の沼地で土のうを同じように配置して調べたところ、土のう直下の軟弱地盤が圧密されて固くなっていることと、土のう袋の中に非常に微細な粘土粒子が混入していることによって確認されている。高透水性の中詰め材入りの土のうは、時間と共に下部の軟弱地盤を圧密・固化しておさまりを良くする地盤補強資材になるのである。



写真-3 コンクリート製集水枡(下は図-3に示す5段の土のうで地盤補強されている)

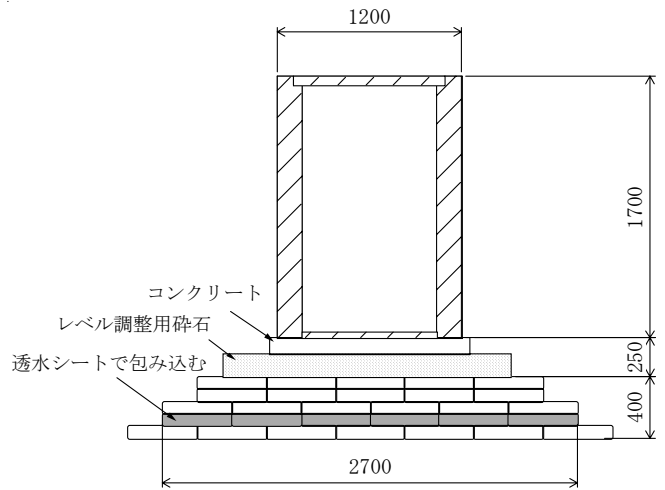


図-3 集水枡下の標準土のう配置図(寸法:mm)

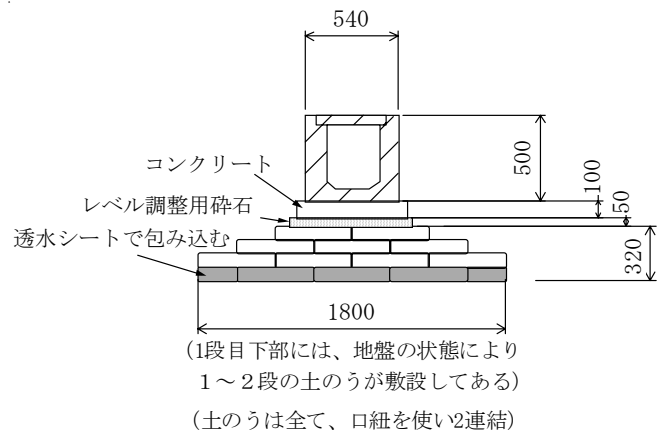


図-4 側溝下の標準土のう配置図(寸法:mm)

4. 車道部下の沼地対策のための高規格連結土のう工法

図-5は、下が沼地である部分の車道部下の標準的な土のう配置図を示したものである。基本的には後述するガイドゲージ付き連結土のう2段とその上の角土のう（口ひもでもしぼるのではなく規定量の中詰め材を入れた後に、口を自動的に縫い付けた正方形の土のう）3段、計5段で補強するが、交通車両の幅を想定して一定の間隔で、あるいは水が出て来るような超軟弱箇所には、土のうを2~5段あらかじめ押し込んだ（道路幅は10.25mであり、両サイドの縁石を含め11.55mが車道部となる。下方向に突起した補強部分の縦積み土のうは1.8mピッチに設けられており、車両のタイヤが接地する幅に合わせて施工されている。また車道部分の下部は、図-5を1つの単位としたパターンが、横方向に3度繰り返す形となっている）。

写真-4は、プラスチック製のガイドゲージが土のう袋にセットされた状態を示している。写真右上のパーツを用い、写真右下に示すようにワンタッチで4側面の中央部の接続口に挿入できるようになっている。この結果、このガイドゲージ付き土のうは水平2方向に何袋でも必要なだけ連結できるのである。図-6はガイドゲージの詳細を示したものである。ガイドゲージ単体の寸法は外寸で420mm×420mm×高さ18mmであり、ジョイント用パーツを用いて現場で接続する。ゲージ間には、袋に必要な張力が得られるように30mmの隙間が開けられているため、ガイドゲージをジョイントした土のう袋の外寸は450mm角となる（水平2方向を450mmピッチで正確に接続することができる）。

写真-5は、このガイドゲージ付き高規格連結土のうの作業状況を示したものである。軽いので連結後も手で持って設置できる。土のう間隔がガイドゲージによりあらかじめ規定されているので寸法通りに正確に設置できるのも利点である。なお、中詰め材は上側から投入し、上部で口をしぼるようになっている。

写真-6は、上側から中詰め材（碎石C-30）を投入した後、口をしぼって転圧したガイドゲージ付き高規格連結土のうの設置状況を示している。このように水平2方向に整然と接続されているので、道路面の交通荷重の分散効果も上昇すると考えられる。写真-7は、図-5に示す角土のうの最上面を12tf（約120kN）タイヤローラーで転圧している様子を示している。ここで、大きく沈下しなければ成功と考えられる。事実、現場CBR試験結果は、17.6%（設計基準は12%以上）、平板載荷試験結果は219.5N（22.4kgf）/cm³（設計基準は176.4N（18kgf）/cm³以上）となり、十分設計基準値を上回っていた。

5. 道路脇の沼地での土のう積層体上の載荷試験

施工箇所の最軟弱部に相当する道路脇の沼地を使って、図-7に示すように土のう積層体を配置し、その上にコンクリート平板（1枚の重量221N（22.5kgf）、寸法40cm×40cm×高さ60cm）を載せて載荷試験を行った。なお、図-7の最下段の土のうは人が立つための足場用の土のうであって、適当に置いたものであり連結されていない。それ

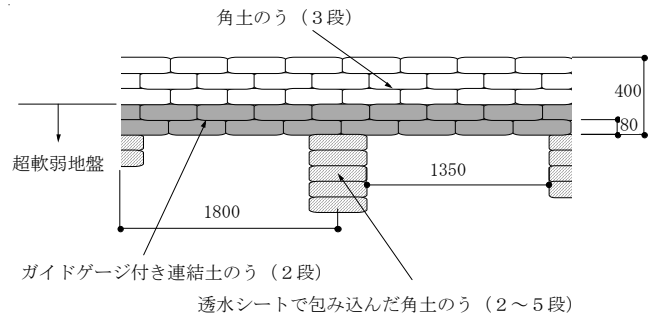


図-5 車道部下の標準土のう配置図（寸法：mm）



写真-4 ガイドゲージが土のう袋にセットされた状況

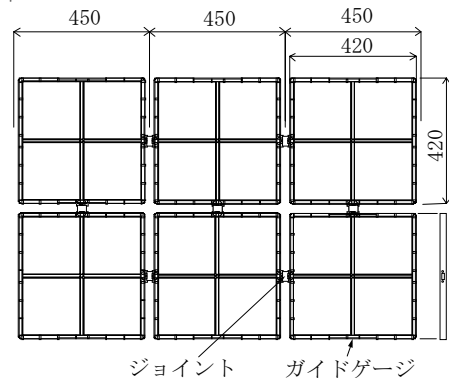


図-6 プラスチック製ガイドゲージの詳細（寸法：mm）



写真-5 ガイドゲージ付き高規格連結土のうの作業状況



写真-6 中詰め材を投入・転圧後のガイドゲージ付き高規格連結土のうの状況



写真-7 12 t f (約 120kN) タイヤローラーで転圧中の角土のうの最上面

から上の段の土のう 3 個×3 個=9 個の 2 段と、2 個×2 個=4 個の 1 段は、それぞれガイドゲージを用いて連結されている。中詰め材は砕石 (C-30) である。これらの土のう積層体を沼地に設置してから 12 日後にコンクリート平板 (4 枚×10 段) 8.82kN (900kgf) を載荷し、さらに約 90 日後に 8.82kN を載荷し、さらに約 80 日後に 8.82kN を載荷して、現時点で合計 26.46kN (2,700kgf) が載っている (写真-8、図-8 参照)。4 枚のコンクリート平板を 30 段積み上げているが、コンクリート平板は単に置いてだけで互いに連結されていない。このような不安定な形のコンクリート平板積層体が、沼地上の正味 3~4 段の土のうの上に傾くことなく安定して立っているのは驚くべきことである。しかも、この沼地は人が立つと腰まで沈むような超軟弱地盤である。

土のうの下の沼地へ手を突っ込んでみると非常に固くなっており、土のうの下部が局部的に圧密されて固化しているのがうかがわれる。26.46kN 載せた現時点での最初からの総沈下量は 6.5cm 程度であり、8.82kN 載せる毎に 2~2.5cm ずつ沈下している。さらに、興味深いのは図-8 の沈下量 (mm) ~時間 (週) 関係図を見ると各荷重 (8.82kN) を載荷する毎に、主要な沈下がおさまる日数が 1~3 週間と短いことである。すなわち、主要な沈下は施工期間中にほぼ終了してしまい、必要とする地盤強度の増加・支持力の増大だけが得られるということである。土のう層直下から圧密を始め、土のう層直下の強度の最も必要な所から地盤強度を増加させるというのは賢い方法である (サンドドレーン工法やペーパードレーン工法は軟弱地盤を不必要な所も含めて“一様に”圧密し、大きな沈下量をもたらす工法である)。なお、この沼地から試料を採取し圧密試験を行って得た圧密係数の値 $c_v = 2000 \sim 10000 \text{ cm}^2 / \text{日}$ から、沼地の深さを 3m として圧密度 $U = 90\%$ に相当する日数を計算してみると、8~40 日となった。上記の 1~3 週間にほぼ対応する値である。

以上より、砕石入り土のう層は圧密時の透水層として機能して、比較的短期間 (施工に要するであろう期間) のうちに圧密沈下の主要な部分を沼地の底部までほぼ終わらせ、地盤強度の増加・支持力の増大をもたらすことがわかった。

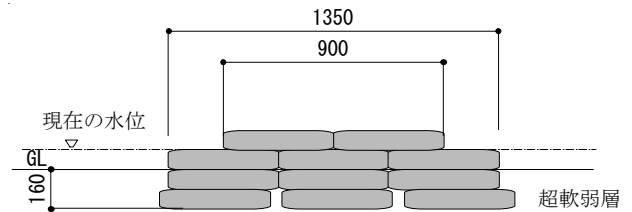


図-7 沼地載荷試験での土のう配置図 (寸法 : mm)



写真-8 沼地載荷試験での土のう上のコンクリート平板の積層状態 (80cm×80cm×高さ約 1.9m)

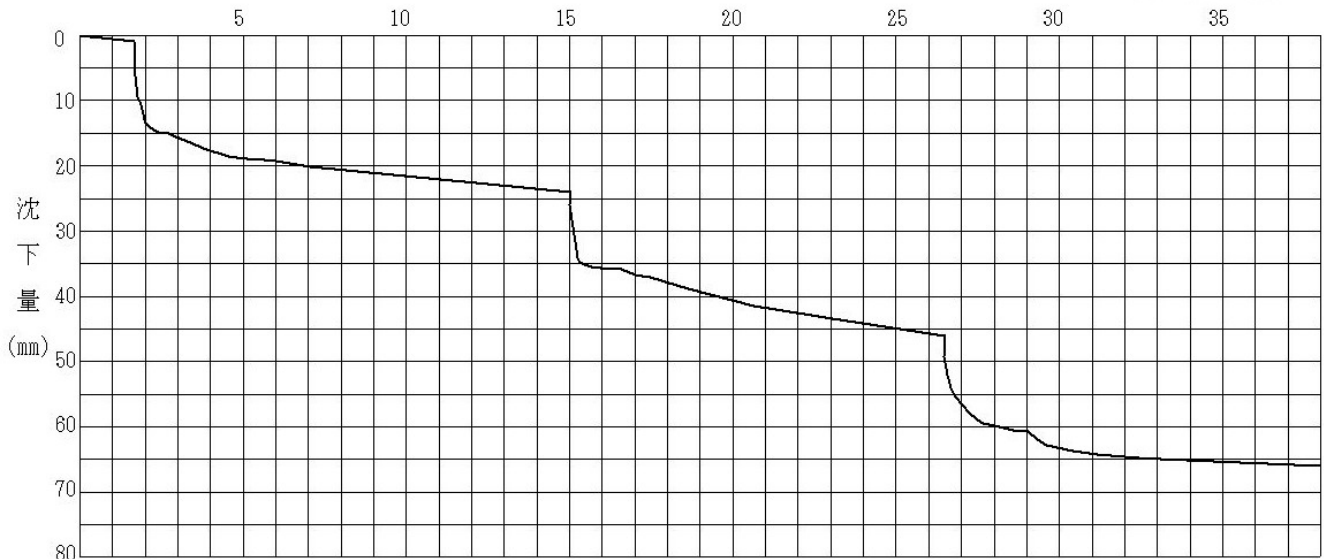


図-8 沼地載荷試験による沈下量 (mm) ~時間 (週 : 7日) 関係
(載荷重 8.82kN×3回=26.46kN (2,700kgf))

6. まとめ

本工事区間は2007年3月10日の開通日より1日平均5千台以上の交通車両が通過している。開通後の10ヶ月間における本高規格連結土のう工法を採用した約25mの区間(沼地区間)での平均地表面沈下量が約2cmであったのに対し、同じ期間の隣接する通常施工区間での平均地表面沈下量は約7cmであった。道路を横断している農業用水路、集水枡や側溝も安定しており有害な沈下を起こしていない。ゆれて振動を起こしながら走行して来るキャリアカー(大型トレーラー)なども、この土のう工事区間に入ると急に振動が止まってスムーズに走るのが観察されている。

この土のう積層体の振動低減効果(4~15dB低下)は、道路や鉄道で何回も計測されており、その理由も明らかにされている(土のう積層体は、固有振動数30~50Hz、減衰定数0.15~0.3(免震ゴムとほぼ同じ値)の防振・免震装置と考えられる^{3), 4)})。

なお、本土のう1袋(中詰め材: 砕石C-30)の耐荷重は392kN(40tf)以上である。これは、1m²に換算すると2450kN/m²(250tf/m²)以上ということになり、土のう自体は125階建てのコンクリートビルの荷重にも耐えることになる(これは実験値であり理論値もそうなる)。

さて、本土のう工法の施工と隣接する沼地での実験などを通して得られた見解を以下にまとめる。

- (1) 高規格連結土のう工法によって、土のう積層体の一体化された大きな板と突起を形成し、ヘドロの上方や側方への侵入を防いで沈下を抑えることができる。また、道路面上の荷重の分散効果も大きくなると考えられる。
- (2) 透水性の高い砕石や砂などを中詰め材とする土のう積層体は、それ自体が地盤補強体になるだけでなく「圧密促進透水層」となって、接する下部の軟弱地盤を圧密・固化させる。この圧密・固化によって、土のう積層体が安定化するだけでなく、

最も必要とする直下の地盤のせん断強度を増加させて地盤の支持力を増大させる。この結果、下の軟弱地盤に対する新たな荷重増分が少なくなり圧密が抑えられる。また、深くなるほど土のう面からの距離(排水距離)が長くなるので圧密速度が遅くなる(圧密速度は距離の2乗に反比例する)。

- (3) 土のうによる下部の軟弱地盤の圧密促進効果、特に施工期間中に圧密沈下の主要部分が終了するかどうかは、土のう中詰め材の透水係数、土のう袋の細粒粘土分による目詰り、下部軟弱地盤の圧密係数や施工期間の長さ、軟弱地盤の層厚や施工面積の広さなどに影響されるので十分注意を要する。

以上、土のう積層体のもつ興味深い特性と、超軟弱地盤(ヘドロ沼地)対策としての実施例を紹介した。先人の知恵であり、安価で自然にやさしい土のう工法が、新たな軟弱地盤対策工法「軟弱地盤の局所圧密・強化工法」として活用されることを願っている。

参考文献

- 1) 松岡 元: 地盤工学の新しいアプローチ—構成式・試験法・補強法—, 京都大学学術出版会, pp.227~311, 2003.
- 2) H. Matsuoka & S. Liu: A New Reinforcement Method Using Soilbags, Taylor & Francis, pp.1~111, 2006.
- 3) 山本春行, 松岡 元, 島尾 陸, 長谷部智久, 服部真人: 土のう積層体の繰返しせん断特性と減衰定数, 第38回地盤工学研究発表会講演集, 1136, pp.2271~2272, 2003.
- 4) 松岡 元, 早川 清, 川中洋和, 伊藤啓介, 門田浩一, 芦刈義孝: 砂地盤における土のう積層体の振動低減特性—その2: 起振機が土のう積層体の背後にある場合(伝搬経路での対策)—, 第42回地盤工学研究発表会講演集, 485, pp.969~970, 2007.