

現代版土のう工法としてのD・BOX工法と その「一石“多”鳥」効果〈上〉

—地盤補強・振動低減・凍上防止—

(NETIS 登録番号: KT-100098)

名古屋工業大学 名誉教授 (ソイルバッグ研究会代表) 松岡 元
メトリー技術研究所 代表取締役 野本 太

1. 土のう工法についてのこれまでの成果

先人の知恵である「土のう」を科学的に解明し、現代の工法としてよみがえらせた主な解明点は次の通りである。

1) 地盤の補強工法には様々なものがあるが、摩擦性材料である土に対する最も有効かつ究極的な補強法は、「土を完全に包み込むこと」である。完全に包み込み袋の張力で拘束することによって中詰め粒子の粒子間力が大きくなり、粒子間摩擦力も大きくなり、耐力が増大する(区画拘束原理と呼ぶ)。「土のう」はその典型的な適用例の1つである^{1), 2), 3)}。

2) 「土のう」が驚異的な耐力を発揮する力学的なメカニズムを解明し、耐力式および見掛けの粘着力cの表示式を2次元および3次元下で誘導^{1), 3), 4)}した。包んで袋に張力を生じさせるだけで、接着剤(セメント)を入れなくても、確実に粘着力cを付けることができる(補強土工法の本質的な意味はここにある)。この粘着力cが土のうの驚異的な耐力の源である。40cm×40cm×高さ8~10cmの土のう(中詰め材:碎石)の耐力は200~400kNとなり、単位面積当たりに換算すると1250~2500kN/m²となる。これは、土のう自体は60~120階建ての高層ビルの荷重に耐えることを意味している³⁾。

(注意点: 土のう袋の材料であるポリエチレンやポリプロピレンは安定した材料であるが、日光(紫外線)だけには大変弱いことが分かっている。したがって、土のうを並べたら、できるだけ早く土をかぶせるか、遮光シートで覆うようにする。そうすれば、半永久的にもつ。)

3) 碎石入りの土のうは、水は通すが土粒子はごく微細なものを除いて通さない(ちなみに十分な粘着力cを付与して、かつ透水性を確保するものは「土のう」以外にないであろう—セメント改良土は透水性が悪くなるという、時には致

命的な欠点を与える)。この結果、水浸ヘドロ状態の粘性土地盤であっても、過剰間隙水圧の消散を促し、土のう直下から「圧力球根」状に局所的に圧密させて土のう直下の周辺地盤を速やかに強化させる。これによって、人間にとつて都合の悪い圧密沈下はほぼ施工期間中に終了し、都合の良い支持力の増加が得られるという有難い特性を持つ。これを、土のうの「局所圧密・強化作用」と呼んでいる^{3), 5)}。補強のために包まれた内部の土だけでなく、その直下の軟弱地盤まで短時間で強化するとは有難い。

4) 土のうはわずかなしなやかさを有するので、交通振動や地震動のエネルギーを、目には見えない微少な袋の伸縮によって中詰め土の粒子間の摩擦熱エネルギーとして消散させる。この結果、土のう積層体は高減衰の減振装置(減衰定数0.15~0.30(免振ゴムとほぼ同じ値)、固有振動数30~40Hz)としての機能を果たす³⁾。交通振動低減については5~15dBの振動低減が観測されており、多くの計測結果や現場の住民の喜びの声がある⁶⁾。地震についても、2棟並んだ同形式の集会所(1棟は土のう工法で基礎補強している)で振動が全然違う(震度にして1度程度下がった感覚)、振動がやわらかくなった、近くの建物が倒壊したのに被害がなかったなど多くの箇所で合計100人規模の証言がある。

5) 碎石を入れた土のうは、凍上防止効果もある(中詰め粒子が大きいということは、粒子間の隙間も大きいのでパイプが太いことになり水が毛管上昇しない—水の補給がないので凍上しない)⁷⁾。

施工事例は、現在のところ国内外で1,500件以上となる。

2. D・BOXの概要⁸⁾

D・BOXとは区画分割された箱状の単位

記事 2

(Divided Box) を意味し、もはや「土のう」と呼べないほど進化しているため新たにこのように名付けた。D・BOXは土の区画拘束原理を最大限に生かすよう工夫された箱状の袋である。袋の上面は完全に開口するので現場で中詰め材の投入が容易に行え、袋の閉口はマジックテープによりワンタッチで行える。D・BOXには下記 a), b) の2系統がある。

a) D・BOX-SS (Small Sizeの略称)

袋内部にガイドゲージというプラスチック製の連結治具を設けた小型D・BOXで、重機の搬入が困難な現場などでも使用できる機動性を持ち、ガイドゲージにより構造物に合った正確な寸法で設置できる。ジョイントにより水平2方向に完全接続できるため、連続性と荷重分散効果が得られる(写真1参照)。

種類：SS45（寸法：45cm×45cm×高さ8cm）と
SS90（寸法：90cm×90cm×高さ8cm）

b) D・BOX-LS (Large Sizeの略称)

袋内部にトラスバンドという補強バンドを有する吊上げ設置式の大型D・BOXで、中央のリフトバンドを吊上げることによって、内部の土を強固に拘束し直方体形状を維持したままで吊上げ移動ができる。このため設置作業の大幅な効率化が図れる(写真2参照)。



(a) 使用されるパーツ

(b) 設置例

写真1 D・BOX-SS45と設置状況



(a) 吊上げ状況

(b) 設置例

写真2 D・BOX-LS150と設置状況

種類：LS100（寸法：100cm×100cm×高さ25cm）
とLS150（寸法：150cm×150cm×高さ45cm）

3. D・BOX工法による超軟弱地盤対策

(1) 道路脇の沼地でのD・BOX上の載荷試験

道路建設箇所の沼地とつながっている道路脇の沼地において、図1に示すようにD・BOX-SS45を積層して配置し、その上にコンクリートの平板(1枚の重量約225N、寸法40cm×40cm×高さ6cm)を載せて載荷試験を行った⁵⁾。なお、図1の最下段の3個×3個=9個の土のうは人が立つための足場用のものであり、無連結状態の土のうを適当に配置した。その後、この上段にD・BOX-SS45、3個×3個=9個を2段と、2個×2個=4個を1段設置した。これらは、それぞれガイドゲージによって連結されており、袋の間にヘドロが隆起してD・BOXの袋に作用する張力が減少するのを抑制している。中詰め材には砕石(C30)を用い、袋を閉じた後プレートコンパクターで転圧した。このD・BOX-SS45を沼地に設置してから12日後に上記のコンクリート平板(4枚×10段)約9kNを載荷し、さらに約90日後に約9kNを追加して計約18kNとし、さらに約80日後に約9kNを追加して計約27kNとした。写真3は、このときの様子を示したものである。4枚のコンクリートの平板を30段積み上げているが、コンクリートの平板は単に置いた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(高さ約1.9m)が、沼地上の正味3~4段のD・BOX-SS45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、この沼地は深さ約2mのヘドロ層で、人が立つと腰まで沈むような超軟弱地盤である。

D・BOXの下の沼地へ手を突っ込んでみると非常に固くなっている。D・BOX直下の軟弱地盤が局所的に圧密されて固化しているのがうかがわれる。図2に示す沈下量(mm)～時間(週=7日)関係図からわかるように、27kN載せた時点での沈下量は約7cmであり、9kN載せるごとに2~2.5cmずつ沈下している。地盤の軟弱さを考慮すれば、沈下量は小さいように思われる。さらに興味深いのは、各荷重(9kN)を載荷することに発生する主要な沈下がおさまる日数が1~4週間とほぼ通常の施工期間内に対応することである。すなわち、主要な沈下は施工期間中にはほぼ終了してしまった。

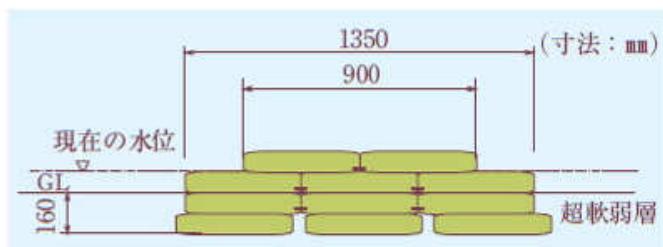


図1 沼地載荷試験でのD・BOX配置図

写真3 沼地（深さ約2mのヘドロ層）載荷試験でのD・BOX上のコンクリート平板の積層状態
(80cm×80cm×高さ約1.9m)

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。図3は正方形等分布荷重による圧力球根図を概念的に描いたものであるが、このような分布でD・BOX層直下から圧密をはじめ、D・BOX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効率的な方法である（サンドドレーン工法やペーパードレーン工法は、軟弱地盤を場合によっては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と言える）。

その後、コンクリート平板ではこれ以上積み上げられないため、コンクリート平板を鉄板に置き換えて荷重を上げていった。図2からわかるように、コンクリート平板の荷重27kNと同じ鉄板の

荷重27kNの時にはほとんど沈下せず、35kN、45kN、54kNと沈下がほぼ止まったと判断した時点での荷重を上げていった。27kNの2倍の荷重54kNの時の最初からの総沈下量はほぼ9.6cmであった。なお、このとき土のうの重量も考慮すると、土のう最下面（地盤面）に働く荷重は約64kNとなり、単位面積当たりに換算すると約35kN/m²となる。一方、下記(2)の沼地上の道路建設事例における交通荷重も考慮した5段の土のう最下面（地盤面）に作用する想定荷重は約33kN/m²と見積もられる。道路脇の沼地で道路での想定荷重以上まで載荷試験を行った。

(2) D・BOX工法による沼地上の道路建設事例

国道125号線の道路建設区間の中に、ちょうど沼地（深さ3~4mの超軟弱地盤層が堆積）の上に道路を築造しなければならない箇所が生じた。そこで、種々の対策工法を検討した結果、土のう工法（一部D・BOX工法-SS45を使用）によって道路を建設することになった^{5), 8)}。

図4中の黄色部は本工法の施工箇所を示したものである。黄色部の下には、沼地跡部や農業用水路跡部があり、この軟弱部の地盤補強として土のう工法が採用された。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

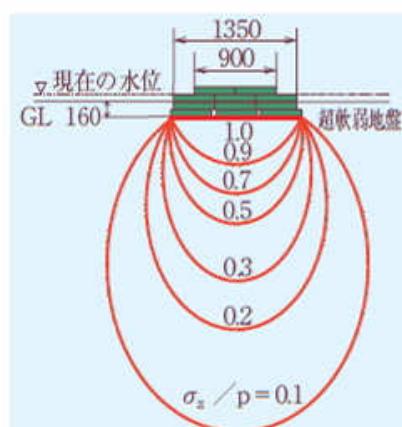
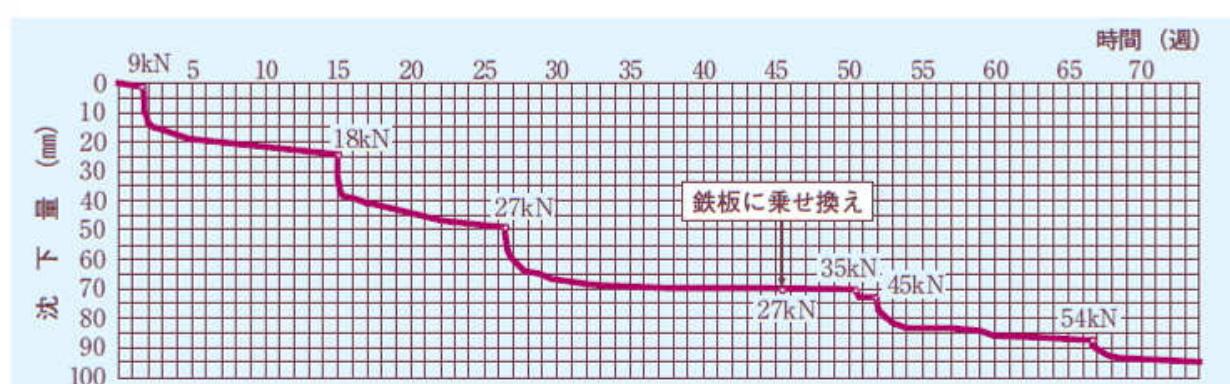


図3 D・BOX下の圧力球根図

図2 沼地載荷試験による沈下量（mm）～時間（週=7日）関係
(46週目にコンクリート平板を鉄板に置き換えた)

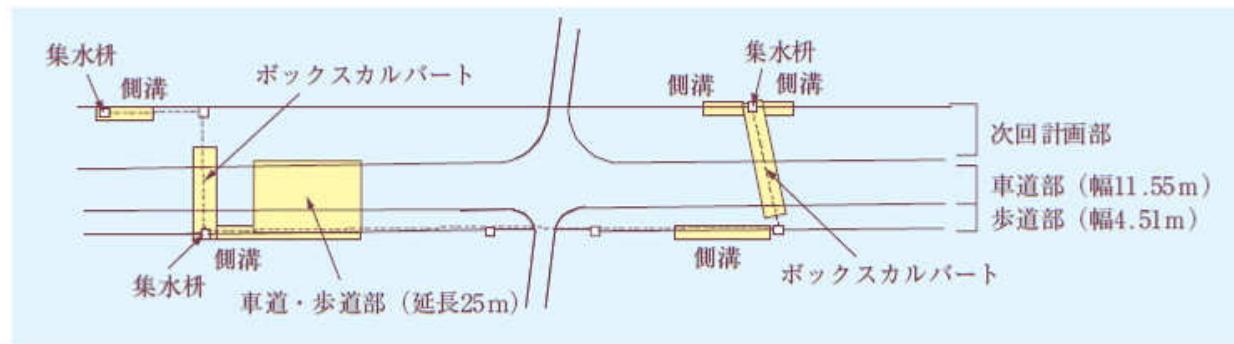


図4 土のう工法の施工箇所（平面図）

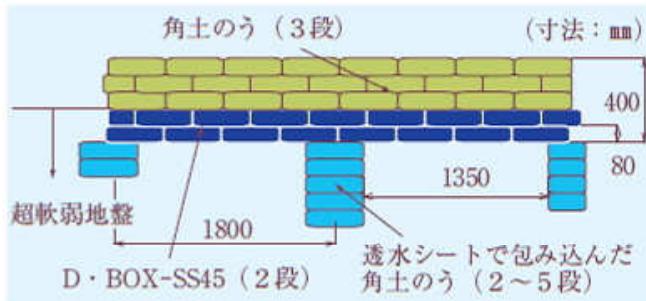


図5 車道部下の標準土のう配置図

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、本施工箇所とつながる道路脇の沼地でのD・BOX積層体上の載荷試験（前述の(1)参照）や各施工箇所において簡易な載荷試験を行って最終的な段数を決定した。

今回は図4中の車道・歩道部（延長25m）下の沼地対策のために用いられたD・BOX工法について説明する。事前に現場のヘドロ地盤上に土のうを並べてその上に人が乗り、土のうの連結の有無によるヘドロの動きを観察した。これより、超軟弱地盤での沈下抑制効果を上げるには、土のう間へのヘドロの隆起を抑え、隆起した土圧による袋の張力の減少を抑えることが、効果的であることがわかった。さらに交通車両による点荷重の荷重分散効果を上げることも考慮して、水平2方向に連結可能なD・BOX-SS45を原則5段積みの下2段に用いることにした。



写真4 ガイドゲージがD・BOXにセットされた状況

図5は、下が沼地である車道部の下の標準的な土のう配置図を示したものである。基本的にはガイドゲージ付きD・BOX-SS45を2段とその上に角土のう（口ひもで縛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形状の土のう）を3段、計5段で補強する。さらに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、両サイドの緑石を含めて車道部幅は11.55m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。また車道部の下には、図5を1つの単位としたパターンが、横方向に3度繰り返す形になっている。なお、図5に示す土のう5～10段の厚さは、ヘドロが3～4m堆積する超軟弱地盤の表層わずか40～80cmにすぎない。

写真4は、プラスチック製のガイドゲージがD・BOX内にセットされた状態を示している。写真右上のパーツを、写真右下に示すように4側面の中央部の接続口にワンタッチで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のD・BOX-SS45は水平2方向に何袋でも必要なだけ連結できる。図6はガイドゲージの詳細を示したものである。ガイドゲージ枠単体の寸法は外

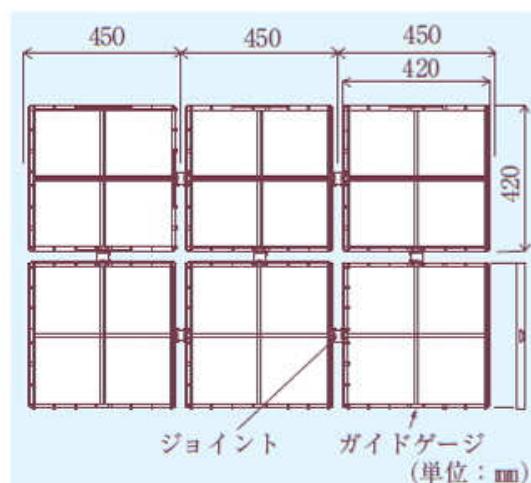


図6 プラスチック製ガイドゲージの詳細



写真5 D・BOX-SS45の作業状況



写真6 D・BOX-SS45の敷設状況

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D・BOXの外寸は450mm角（高さ80mm）となり、水平2方向に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D・BOX-SS45の作業状況を示したものである。プラスチック製で軽いので連結後も手で持てて設置できる。写真6は、上側から中詰め材（碎石C30）を投入した後、口を閉じて転圧したD・BOX-SS45の設置状況を示している（プレートコンパクター等で



写真7 タイヤローラーで転圧中の角土のうの最上面

激しく転圧しても、この弱いプラスチック製のガイドゲージが破損しないのは、中詰め材を入れて区画拘束することによって見掛けの粘着力を付与することによる）。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3段の最上面を120kNの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224kN/cm²（設計基準は180kN/cm²以上）となり、設計基準値を十分上回っていた。なお、開通後の10ヶ月間における本工法を採用した約25mの区間（沼地区間）の平均地表面沈下量が約2cmであったのに対して、同じ期間の隣接する通常施工区間（沼地のない区間）の平均沈下量は約7cmであった。反対ではないかと勘違ひする人がいる程である。

▶▶次号へ続く▶▶

【参考文献】――

- 1) 松岡 元：地盤工学の新しいアプローチー構成式・試験法・補強法－，京都大学学術出版会，pp.228-311，2003.
- 2) Matsuoka, H. and Liu S.:A new earth reinforcement method using soilbags, Taylor & Francis, pp.1-111, 2006.
- 3) 松岡 元：土のう（ソイルバッグ），技術手帳，地盤工学会誌, Vol.56, No.11, pp.47-48, 2008.
- 4) 山本春行, 松岡 元：ソルバック工法における中詰め材の3次元拘束効果について, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 20226, pp.451-452, 2003.
- 5) 松岡 元, 野本 太：土のうによる超軟弱地盤の「局所圧密・強化」工法, 第43回地盤工学研究発表会講演集, 301, pp.601-602, 2008.
- 6) 松岡 元：土のう（soilbag）による地盤環境振動対策工法, 地盤環境振動対策工法講習会, 地盤工学会, pp.45-59, 2010.
- 7) 鈴木輝之, 山下 聰, 松岡 元, 山口啓三郎：袋詰めした砂利の凍上抑制効果, 第35回地盤工学研究発表会講演集, 308, pp.609-610, 2000.
- 8) 松岡 元, 野本 太：D・BOX工法による超軟弱地盤対策および環境振動対策, ジオシンセティックス論文集, Vol.24, pp.143-150, 2009.

**現代版土のう工法としてのD・BOX工法と
その「一石“多”鳥」効果 〈下〉**

—地盤補強・振動低減・凍上防止—
(NETIS 登録番号: KT-100098)

名古屋工業大学 名誉教授 (ソイルバッグ研究会代表) 松岡 元
メトリー技術研究所 代表取締役 野本 太

▶▶▶前号より続く▶▶▶

4. D・BOX工法による環境振動対策

(1) D・BOXによる振動低減特性⁶⁾

ジョイントで連結された2個×2個=4個のSS45を3段積層したもの、1個のSS90を3段積層したもの、1個のLS100の1段のもの、1個のLS150の1段のもの、それと比較のため、連結されていない2個×2個=4個の通常の土のうを3段積層したものを並べて、それらの上面中心部に振源を置いて振動実験を行った(写真8(a), (b)参照)。振動計測器は、上記のD・BOXおよび土のう積層体中心位置より1.5m離れた位置にセットした。振源は、質量60kgのプレートコンパクターをフルスロットルで稼働させた状態(振動数: 95Hz)とし、10秒毎の最大振動レベル(dB: 鉛直方向)を計測した。以下の表中の計測値は、い

ずれも5回の計測の平均値を意味する。なお、振源を地盤上に直接置いた状態で、1.5m離れた位置での振動計測も行い比較した。表1より、振源を地盤上に直接置いた場合と比べて、従来の土のうを3段積層したものが数dBしか低減しないのに対して、SS45, SS90を3段積層したものは約10dB, LS100, LS150については10dB以上低減しているのが見られる。SS45やSS90が通常の土のうよりも大幅に振動低減する理由としては、内蔵されているプラスチック製のガイドゲージによる拘束効果と連結効果のためと考えられる(SS90の中には、45cm角のガイドゲージが4個連結して内蔵されている)。また、大型D・BOXのLS100やLS150が1段でも10dB以上も振動低減することは、袋の微少なしなやかさに基づく振動低減のメカニズム、すなわち振動エネルギーが振動時の袋のごく微少な伸縮によって生じる中詰め土粒子間のズレに基づく摩擦熱エネルギーとして消散されるというメカニズムが卓越していることを意味している。このようにD・BOXは、振動エネルギーの消散メカニズムを内蔵する高減衰の減振装置と考えることができる。



(a) 手前がSS45



(b) 手前よりLS100, SS90, 土のう, LS150

写真8 各種D・BOXの振動実験

表1 各種D・BOXおよび土のう積層体の
振動レベルの比較
(単位: dB)

| 地盤上直 | 土のう | SS45 | SS90 | LS100 | LS150 |
|-------|------|------|------|-------|-------|
| 計測平均値 | 72.0 | 69.8 | 61.3 | 62.2 | 59.8 |
| 振動低減量 | - | 2.2 | 10.7 | 9.8 | 12.2 |

表2 通常の土のう1個の多段積層体の
振動レベルの比較
(単位: dB)

| 地盤上直 | 土のう3段 | 土のう4段 | 土のう5段 |
|-------|-------|-------|-------|
| 計測平均値 | 72.0 | 71.1 | 69.9 |
| 振動低減量 | - | 0.9 | 2.1 |

表3 SS45 1個を1～3段積層した状態でのガイドゲージの有無の影響（単位：dB）

| | 地盤上直 | ガイドゲージ 無 | | | ガイドゲージ 有 | | |
|-------|------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | | SS45 1段 | SS45 2段 | SS45 3段 | SS45 1段 | SS45 2段 | SS45 3段 |
| 計測平均値 | 72.0 | 70.2 | 68.0 | 66.0 | 68.2 | 66.0 | 65.8 |
| 振動減衰量 | - | 1.8 | 4.0 | 6.0 | 3.8 | 6.0 | 6.2 |

次に、表2は、通常の土のう1個を3段積層したもの、4段積層したもの、5段積層したものと、振源を地盤上に直接置いた状態のものとの振動レベル値を比較したものである。この表より、通常の土のうを積層する場合は、振源によるが4～5段以上積層することが望ましいと言える。

表3は、SS45 1個を1～3段積層した状態でのガイドゲージの有無の影響を調べたものである。積層段数1段と2段においては、ガイドゲージ有りのほうがガイドゲージ無しと比べて2 dB多く低減しており、袋の中に内蔵されているガイドゲージによる拘束効果が効いていると思われる。なお、SS45の袋の上面は4辺からの4枚のフタを折りたたんでマジックテープで止めるため、袋材が4重に重なった構造になっていて剛性が高いと考えられる。

表4は、LS150の振動低減特性に及ぼすトラスバンドの有無の影響を調べたものである。この場合、振源を地盤上に直接置いたときは約73dB、トランスバンド無しのLS150の上に置いたときは約66dB、トランスバンド有りのLS150上に置いたときは約58dBであった（写真9参照）。トランスバンドの有無で約8 dBも低減量が異なるのは興味深い。トランスバンド有りのほうが、土粒子の拘束効果が大きいため、土粒子間の摩擦力も大きくなり、土粒子間の摩擦熱エネルギーによる消散が大きくなると考えられる。

表4 LS150の振動低減特性に及ぼすトラスバンドの影響（単位：dB）

| | 地盤上直 | トラスバンド無 | トラスバンド有 |
|-------|------|---------|---------|
| 計測平均値 | 73.0 | 66.3 | 58.2 |
| 振動低減量 | - | 6.7 | 14.8 |



写真9 トランスバンド有無のD・BOX-LS150の様子

表5 連結された2個×2個=4個のSS45を1～3段積層した場合の振動レベルの比較（単位：dB）

| | 地盤上直 | SS45 1段 | SS45 2段 | SS45 3段 |
|-------|------|---------|---------|---------|
| 計測平均値 | 72.0 | 68.2 | 62.7 | 61.3 |
| 振動低減量 | - | 3.8 | 9.3 | 10.7 |



写真10 ジョイントで連結されたD・BOX-SS45

表5は、写真10に示すようにジョイントで連結された2個×2個=4個のSS45を1～3段積層した場合の振動低減の様子を示したものである。この表より、2段以上積層すれば、振動低減効果が大きいのが見られる。

最後に、表6は、写真11に示すようにLS150の上にSS90を2段積層した場合の振動低減量を調べたものである。この表よりわかるように、振動

表6 LS150の上にSS90を2段積層した場合の振動低減量（単位：dB）

| | 地盤上直 | LS150+SS90 2段 |
|-------|------|---------------|
| 計測平均値 | 72.0 | 56.9 |
| 振動低減量 | - | 15.1 |



写真11 LS150の上にSS90を2段積層した場合の振動実験の様子

記事 4

低減量は15.1dBであった。プレートコンパクターは片手で軽く支える程度で安定しており、振動をあまり感じない。このような簡単な方法で15dBも振動低減できるのは興味深い。

(2) D・BOX工法による道路交通振動の対策事例1

Y県のダム工事の進入路の地盤改良・振動低減工法としてD・BOX工法が採用され、振動計測も行ったので報告する⁶⁾。写真12はD・BOX工法(LS150)の施工中の写真を示したものである。振動計測は、10tトラックに土砂を満載した計20t(約200kN)の車両を時速5kmで走行させ、測定箇所通過時の最大振動レベル(dB:鉛直方向)を計測した。1回目の計測は施工前の現状地盤で行い、2回目の計測はD・BOX-LS150を1段敷設し、その上に厚さ20cmの上層路盤(碎石C40)を施工し、さらにその上に厚さ4cmのアスファルト舗装を施工した状態で行った。振動計測ポイントと道路断面図を図7に示す。計測ポイントは、発振源(車両)中心より、P1:1.5m, P2:3.1m, P3:6.2m, P4:8.4m離れた点である。また、1回目と2回目の計測時の道路面の写真を写真13に示す。

表7は、対策工施工前後の各計測ポイントにおける最大振動レベルの測定値(6回の計測の平均値)を示したものである。最終的な舗装状態(2回目)では現状地盤状態(1回目)と比べて、20dB以上も振動低減しており極めて有効な振動低減工法であることが実証された。ところで、2回目の計測は、舗装後供用されて4カ月近く経つ



写真12 D・BOX工法(LS150)の施工状況

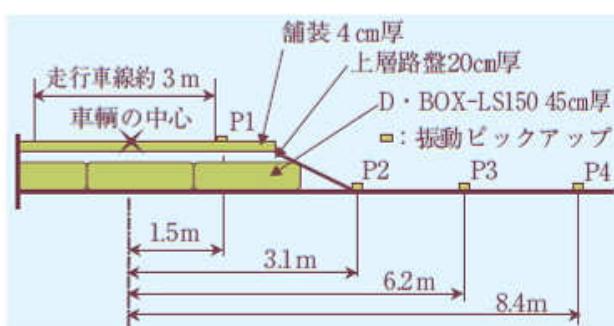


図7 振動計測ポイントと道路断面図



(a) 1回目計測時の地盤面



(b) 2回目計測時の地盤面

写真13 対策工施工前後の振動計測時の道路面の状態

表7 各計測ポイントにおける振動レベルの比較
(単位: dB)

| 1回目 | 現状地盤 | | | |
|-------|-----------|------|------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 |
| 計測平均値 | 63.3 | 57.5 | 53.6 | 53.3 |
| 振動低減量 | - | - | - | - |
| 2回目 | 舗装(4cm厚)後 | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 |
| 計測平均値 | 38.8 | 37.7 | 32.8 | 31.0 |
| 振動低減量 | 24.5 | 19.8 | 20.8 | 22.3 |

た時点のものであり、ダンプカーが1日に100回以上往復するという過酷な荷重状態を経験した後のものである。舗装厚さがわずかに4cmでも、このような重量ダンプカーの頻繁な往来に十分耐えて、道路端部の破壊や道路面の亀裂が全く生じなかつたことは特筆に値する。路床・下層路盤部の補強材としてのLS150の威力がいかんなく発揮されたと考えられる。なお、路床はトラックが一度走ると、深い轍(わだち)ができるような軟弱地盤であった。

(3) D・BOX工法による道路交通振動の対策事例2

S県H市においてセメントによる路床改良を行ったにもかかわらず、住民による交通振動の強い苦情が出た区間で、地盤改良・振動低減工法としてD・BOX工法が採用され、事前事後の振動計測も行ったので報告する。写真14はD・BOX工法施工前の道路状況を、写真15はアスファルト舗装を剥がした後の水浸地盤の軟弱さを、写真16

はその水浸軟弱地盤上にD・BOX-LS100（寸法：100cm×100cm×高さ25cm）を原則1段敷設している状況を、写真17はほぼD・BOXの敷設が終わってジャンピングランマーとローラーで転圧している状況を、写真18はその上に上層路盤（厚さ150mm）と舗装（厚さ100mm）を施工した道路完成時の状況を示したものである。

D・BOX-LS100の敷設は原則1段としたが、セメントによる路床改良がほとんど効いていないような水浸軟弱箇所には、部分的に2段敷設した。D・BOX-LS100の施工速度は極めて速く、1日で約580袋敷設でき、延長約100mの施工区間を、掘削から舗装完了までわずか3日間で完成さ



写真14 施工前の道路状況



写真15 施工前の地盤状況



写真16 D・BOXの敷設状況



写真17 D・BOX敷設後の転圧状況



写真18 完成時の道路状況

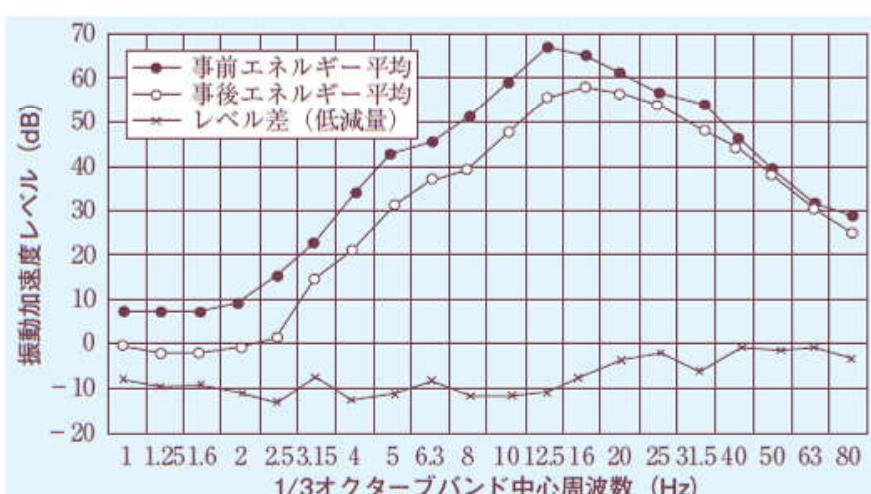


図8 事前と事後における振動加速度レベルの周波数特性の比較

記事 6

せた。図8は、事前（写真14の状況）と事後（写真18の状況）における振動周波数特性の比較（鉛直方向：上位5ピークのエネルギー平均による振動加速度レベル）を示したものである。計測地点は、振動被害の最も大きかった民家のすぐ横の道路脇である。同図より、人体が特に感じやすい周波数（5Hz付近）を含む広い周波数帯（1～12.5Hz）で振動加速度レベルがほぼ10dB程度低減しているのが見られる。このような大幅な振動低減の理由としては、振動エネルギーが袋の微少な伸縮に伴う中詰め粒子間のズレに基づいた摩擦熱エネルギーとして消散されることが考えられる。最後に今回の施工における振動低減効果を示す逸話として、このD・BOX内蔵道路の完成後、振動苦情を強く訴えていた住民より、発注機関に対して「振動をほとんど感じなくなって良く眠れるようになった」との喜びとお礼の電話があったことを紹介する。

5.まとめ

碎石入りD・BOXはそれ自体が大変強固である^{1), 2), 3)}。耐荷重はSS45で約340kN（約1,700kN/m²）、SS90で約1,300kN（約1,600kN/m²）、LS100で約1,900kN（約1,900kN/m²）、LS150で約2,400kN（約1,100kN/m²）と算定される⁴⁾。それに加えて、圧密促進透水層としても働き、最も強度を必要とするD・BOX直下の軟弱地盤を3次元的な“圧力球根”状に局所的に圧密・強化して直下の軟弱地盤の支持力を増大させ沈下を抑制する。主要な沈下がおさまる期間が比較的短く、ほぼ通常の施工期間内に対応することも沼地での載荷実験から実証された（軟弱地盤の層厚や圧密係数他の条件による）。このことは、人間にとって都合の悪い沈下は施工期間中にほぼ終了し、都合の良い地盤強度の増加・支持力の増大が得られることを意味する。補強材の内側だけでなく、直下の軟弱地盤をも短期間に強化するというのは興味深い。

本D・BOX工法を採用して超軟弱地盤（沼地）上に道路建設を行い成功した。沼地の深さ3～4mのヘドロ層に対して、D・BOX-SS45 2段を含む土のう段数5～10段、厚さにして40～80cmでおさめた。開通後の10カ月間の本D・BOX工法採用区間（沼地区間）での平均地表面沈下量が約2cmであったのに対して、同期間の隣接する通常施工区間（沼地のない区間）での平均地表面沈下量は約7cmであった。

さらに、本D・BOX工法は、地盤補強だけでなく振動低減工法としても有望であり、10～15dBという振動低減の計測事例が得られた。特に、D・BOX-LS100やLS150が1段でも10dB以上低減するということは、振動エネルギーを袋の

微少な伸縮に伴う中詰め粒子間の摩擦熱エネルギーとして消散させるというメカニズムが卓越していることを示唆している。

以上より、本D・BOX工法が軟弱地盤対策と環境振動対策の両方に有効な工法であることが検証されたが、このように一度の施工で複数の効果（凍上防止効果⁷⁾も入れると、まさに一石二鳥効果）をもたらす同工法のコストパフォーマンスの高さは注目に値する。

| D・BOX参考単価 | 設計単価／袋 | 直工費 (材工含む)／m ² |
|-------------|---------|------------------------------|
| D・BOX-SS45 | 600円 | 12,000円 |
| D・BOX-SS90 | 2,000円 | 8,920円 |
| D・BOX-LS100 | 6,000円 | 7,220円 |
| D・BOX-LS150 | 12,000円 | 7,420円 |

*直工費はSS45・90がそれぞれ3段積み、LS100・150は1段で施工した場合の価格。

【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.228-311、2003。
- 2) Matsuoka, H. and Liu S.: A new earth reinforcement method using soilbags, Taylor & Francis, pp.1-111, 2006.
- 3) 松岡 元：土のう（ソイルバッグ）、技術手帳、地盤工学会誌、Vol.56、No.11、pp.47-48、2008。
- 4) 山本春行、松岡 元：ソルバック工法における中詰め材の3次元拘束効果について、日本建築学会大会学術講演会梗概集、20226、pp.451-452、2003。
- 5) 松岡 元、野本 太：土のうによる超軟弱地盤の「局所圧密・強化」工法、第43回地盤工学研究発表会講演集、301、pp.601-602、2008。
- 6) 松岡 元：土のう（soilbag）による地盤環境振動対策工法、地盤環境振動対策工法講習会、地盤工学会、pp.45-59、2010。
- 7) 鈴木輝之、山下 聰、松岡 元、山口啓三郎：袋詰めした砂利の凍上抑制効果、第35回地盤工学研究発表会講演集、308、pp.609-610、2000。
- 8) 松岡 元、野本 太：D・BOX工法による超軟弱地盤対策および環境振動対策、ジオシンセティックス論文集、Vol.24、pp.143-150、2009。

本誌記事を読み、学習することは「土木学会」「建設コンサルタンツ協会」のCPD教育形態の「自己学習（学会誌等の購読）」に相当し、単位を取得できます。
※詳細は各団体により異なりますので、ご確認ください。