D・Box 工法の紹介

－複合的な効果を持ち環境特性に優れた地盤改良工法－

野本　太 [*1]　　岩佐　隆 [*2]　　嶋田　宏 [*3]

*1　メトリー技術研究所株式会社　代表取締役
*2　メトリー技術研究所株式会社　土木部長
*3　メトリー技術研究所株式会社　技術部長（技術士：総監・建設・水産、工博）

1. はじめに

D・Box 工法は、D・Box を使った地盤補強工法で、振動低減、液状化被害低減等の複合効果を持ちながら、環境特性にも優れた工法である。

D・Box は扁平の直方体形状の袋状製品（LS100：1 × 1 × 0.25m、LS150：1.5 × 1.5 × 0.45m）で、袋内部に砕石などを投入して使用する。また袋内部に拘束具を配置（**写真 1**）する事により、地盤強度に関係なく D・Box 自体に強度をもたらすことができる。これにより形状保持が可能なため、一点吊り（**写真 2**）による移動、設置が出来る他、軟弱地盤上に設置した際の変形も最小となる。

D・Box の主な効果としては以下の 5 つが挙げられる。

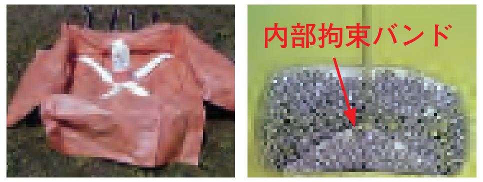
①軟弱地盤の補強が可能で、沼地、ため池、水路底等の超軟弱地盤への適応も可能。

②交通振動、機械振動、地震動等の低減効果を持つ。

③特殊な重機や施工技術は不要で、特に軟弱地盤における施工効率に優れる。

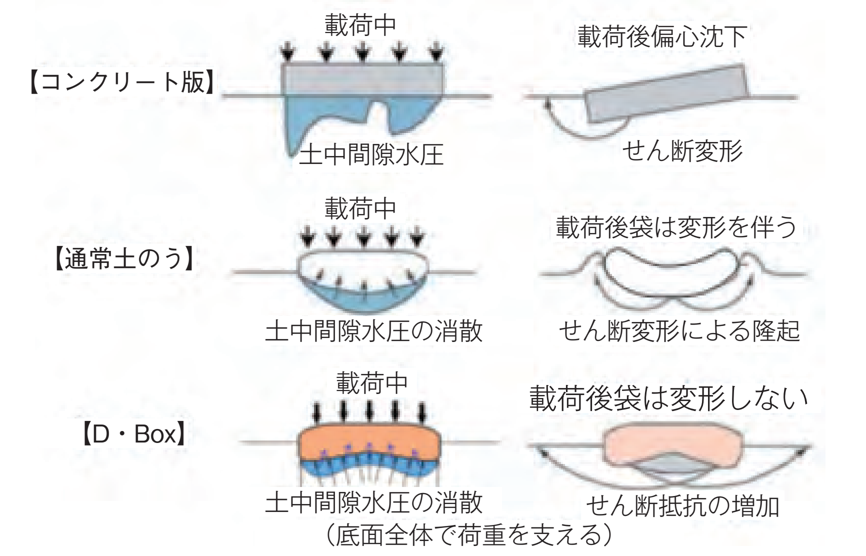
④透水性が高く、各種構造物の液状化対策、噴泥対策、排水対策が可能。

⑤セメント系固化剤を使用しないため、汚染物質の流出が無い他、CO_2 の排出量も大幅に削減できる。



■写真 1　D・Box の内部構造

■写真 2　D・Box の吊上げ状況



■図 1　各基礎のせん断抵抗の相違

■表 1　D・Box の形状

品名	寸法（mm）			容量（m^3）	備考
	縦	横	高		
D・BOX-SS45	450	450	100	0.0203	ガイドゲージ内蔵
D・BOX-SS90	900	900	100	0.0810	ガイドゲージ内蔵
D・BOX-LS100	1000	1000	250	0.2500	トラスバンド内蔵
D・BOX-LS150	1500	1500	450	1.0130	トラスバンド内蔵

■表 2　D・Box の性能

		SS45,SS90		LS100,LS150		内蔵帯バンド
		縦	横	縦	横	
引張強度（N）		850以上	850以上	1850以上	1850以上	16000以上
伸　度（%）		18以下	18以下	18以下	18以下	25以下
繊維密度	縦	20本/5cm		30本/5cm		－
	横	20本/5cm		30本/5cm		－
材　質		ポリプロピレン（紫外線防止剤入）				

■表 3　D・Box の工事実績（民間と公共別の実施件数）

民間工事	公共工事	合計
1,774	540	2,314

■表 4　D・Box の用途別使用実績件数（2022 年 11 月）

地盤補強	液状化対策	地盤補強・振動対策	その他	合計
2,186	35	64	29	2,314

2. D・Box 工法の概要

2.1　D・Box 工法の原理

軟弱地盤におけるコンクリート版、通常土のう、D・Box の 3 タイプの基礎の比較を**図 1** に示す。

それぞれの基礎に載荷した場合、コンクリート版では偏心して不等沈下を生じる。また、通常の土のうでは底面が弓状に変形し側方流動を伴い支持力が低下して沈下する。それに対して D・Box は軟弱地盤上でも内部拘束バンドにより形状を保持し、底面の直下で上昇した水圧（過剰間隙水圧）を底面のくぼみで受け止め徐々に消散し地盤強度を増す。また、くぼみ内に入り込んだ土粒子が、D・Box 下面に抵抗面を形成し、原地盤の 3 倍以上の支持力を得ることが可能である。

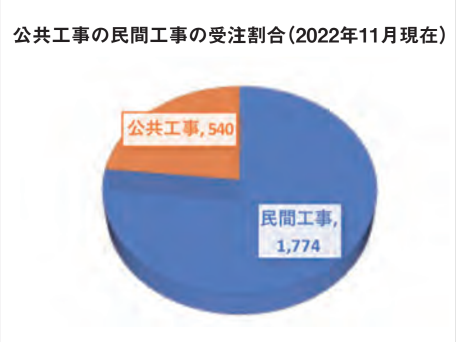
2.2　D・Box の材料形状と性能

D・Box の形状と材料特性は、**表 1 ～ 2** に示すとおりである。

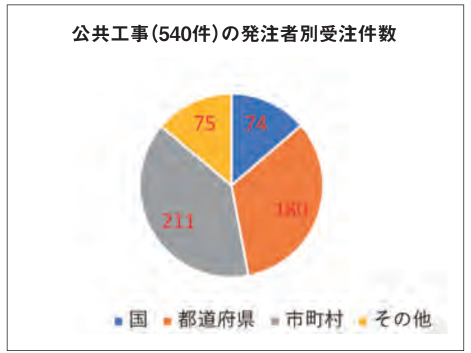
重機が使用出来ない狭隘な場所で、人力でも敷設可能な小型の SS45（0.45 × 0.45 × 0.1m）から、大型の LS150（1.5 × 1.5 × 0.45m）など 4 種類がある。

D・Box の素材はポリプロピレンであり土中で紫外線を遮断した場合の耐用年数は 50 年以上である。

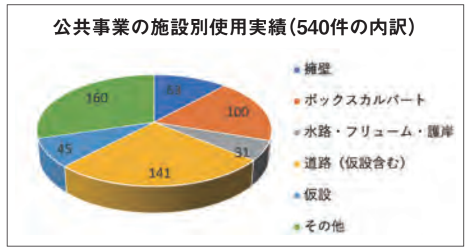
また、D・Box 生地の透水係数は 4.03 × 10^{-2}cm/s である。この値は細粒分の少ない清浄な砂の透水係数（1.0 × 10^{-2}cm/s）の 4 倍の値で、透水性に優れ、地下水等の流れを阻害せず、有害物質の溶質も無く、生物環境等へ与える影響を抑えることが可能である。



■図 2　D・Box の民間と公共の使用実績



■図 3　発注者別の件数（公共工事）



■図 4　D・Box 公共工事の施設別使用実績

2.3　D・Box 工法の実績

D・Box のこれまでの使用実績は 2,314 件である（**表 3**：2022 年 11 月）。その内の 540 件（23%）が公共工事であり市町村が 40% を占めている（**図 2 ～ 3**）。また、全体の 9 割（2,186 件）が地盤補強を目的として使用されている（**表 4**）。

公共工事 540 件の用途別の使用実績では、その他が 160 件（建築基礎、防火水槽基礎等）と道路 141 件で全体の半数以上を占めている（**図 4**）。

なお、農業農村関連では 20 件以上の使用実績があり大部分が水路の基礎の地盤支持力補強として用いられている。

3. D・Box の活用例

3.1 D・Box を用いて出来ること

D・Box 工法は、**図 5** に示すように、①軟弱地盤補強対策、②振動低減対策、③液状化被害低減対策、④噴泥対策、⑤ CO_2 削減効果などの 5 項目の地盤改良効果を期待できる工法である。また、地盤補強対策と液状化被害低減対策、振動低減対策等に対して同時に対応することも可能な複合的効果を持つ工法である。

■図 5 D・Box を用いた対策工

3.2 D・Box の活用事例の紹介

①軟弱地盤補強対策

軟弱地盤上の基礎として変形追従性に優れ、上部構造物の荷重を均等に分散させ、安定した地盤の補強が可能である。

②振動低減対策

道路の下層路盤に D・Box を敷設することにより、交通振動等を低減（6 ～ 7dB：振動エネルギーを 1/4 ～ 1/5 に低減）することが期待できる。

③液状化被害低減対策

地震時の道路等の液状化による被害低減対策が可能である。

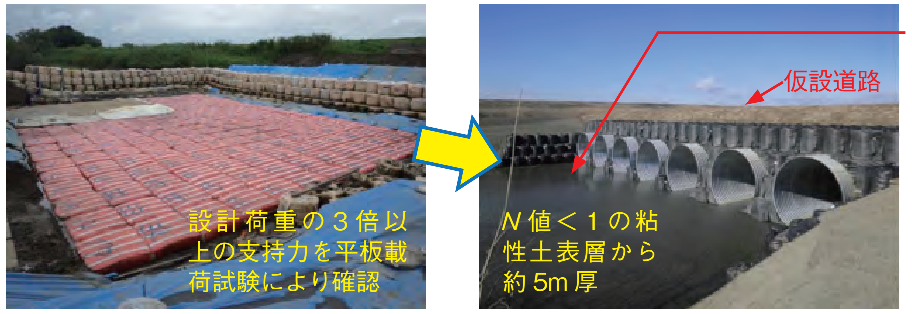
④噴泥対策

D・Box の持つ、砂と同程度以上の透水性と軟弱地盤上での地盤支持力の増加（3 倍以上）及び、振動低減効果の利用により、鉄道や道路等での噴泥対策が可能である。

【D・Box の活用事例】

①軟弱地盤補強対策事例

渡良瀬遊水地の軟弱地盤上（N 値＜ 1）に、撤去可能な仮設の水路横断道路の基礎として、D・Box を使用した例を**写真 3** に示す。



■写真 3 渡良瀬遊水地仮設道路基礎

②振動低減対策事例

滋賀県の迂回路での振動低減例では、**写真 4** に示すように、大型車の振動で苦情の出ている住宅前の軟弱地盤上の道路の下層路盤に D・Box を延長 80 m で敷設した。その結果、**表 5** に示すように 6 ～ 7dB の振動を低減し、対象住宅の住民から感謝された。

■写真 4 D・Box 敷設状況（下層路盤）

調査地点	振動レベルの評価	測定結果 施工前① H21年6月	測定結果 施工後② H22年1月	レベル差②-①（対策工の低減量）
A1 道路付近	上位10位ピーク平均値	63	57	−6
	全車両ピーク平均値	60	53	−7
A2 建物付近	上位10位ピーク平均値	61	55	−6
	全車両ピーク平均値	57	50	−7
A3 家屋2階	上位10位ピーク平均値	60	54	−6
	全車両ピーク平均値	57	50	−7

D・Boxによる振動低減効果②-①

■表 5 Box 敷設前後の振動計測結果

③液状化被害低減対策事例

茨城県 K 市の液状化被災に対し、市道の路床部に液状化対策工として、D・Box を使用した例を**写真 5** 及び**図 6** に示す。

■写真 5 道路の液状化被災と対策工

■図 6 液状化対策道路の断面

④噴泥対策事例

噴泥により頻繁に発生する鉄道軌道の沈下対策として D・Box 使用例を**写真 6 ～ 9** に示す。D・Box 敷設後、数年経つが沈下は発生していない。

■写真 6 噴泥部の掘削前の状況

■写真 7 噴泥原因の水分を含む軟弱粘土

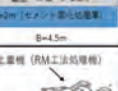
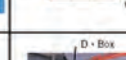
■写真 8 路床への D・Box 敷設状況

■写真 9 バラスト締固、復旧状況

⑤ CO_2 削減効果比較試算例

N 値 1 程度の軟弱地盤上に 10 t ダンプが走行可能な工事用道路を 100 m 設置した場合（**表 6**）について、セメント固化処理工法と D・Box 工法の CO_2 排出量を試算し、両者の比較を行った。比較検討の結果、1m^2 当たりの CO_2 発生量は**表 7** に示すように、セメント系固化処理工法に対し D・Box 工法では、346kg-CO_2/m^2 ⇒ 18.8kg-CO_2/m^2 と大幅に削減（約 1/18）することが可能となる。

■表 6 セメント系固化処理工法と D・Box 工法との比較

比較項目	セメント固化処理工法	D・Box工法（LS150）
軟弱地盤上の工事用道路の改良イメージ ・幅4.5m ・延長100m ・N値 0〜1 ・C=6.3kN/m2	ダンプトラック 11t級  盛土 砕石 t=1.0m t=2m（セメント固化処理） B=4.5m	D・Box ダンプトラック 11t級  敷鉄板 H=0.45m
工法イメージ	泥上車構（RM工法処理機） 	D・Box
施工概要	・泥上車により原地盤をセメント固化処理を厚2mで改良し、硬化後、盛土（t =1 m）で行い、その上を工事用道路として、ダンプトラック11 t の通行が可能となる。	・原地盤にD・Boxを敷設し、その上に敷鉄板を設置することでダンプトラックの通行は可能となる。

■表 7 D・Box 工法を用いた場合の CO_2 削減効果

【CO_2削減量の比較結果】

D・Box工法はセメント固化処理工法の約1/18までにCO_2の排出量を大幅に削減する効果が期待できる。

①従来工法（一般的な浅層混合処理工法）のCO_2排出量
・155, 620 kg-CO_2/450m^2
・346kg-CO_2/m^2

②D・Box工法（内部拘束型容器による地盤改良工法）のCO_2排出量
・8, 480kg-CO_2/450m^2 CO_2削減効果②/①=約1/18
・18. 8 kg-CO_2/m^2 ①/②=346/18. 8=18. 4

（単位：kg-CO_2）

ライフステージ	項目	製造段階	運搬段階	施設段階	使用段階	廃棄段階	合計
①浅層混合処理工法（従来工法）450m²（900m³）	450m²のCO2	153,945	1,032	643			155,620
	1m²あたりのkg-CO2	342	2.3	1			346
	1m³あたりのkg-CO2	171	1.1	0.7			173
②D・Box工法 450m²（900m³）	450m²のCO2	6,492	728	1,260			8,480
	1m²あたりのkg-CO2	14.4	1.6	2.8			18.8
	1m³あたりのkg-CO2	7	0.8	1.4			9.4
						比率①/②=	18.4

⑤ CO_2 削減効果

軟弱地盤（粘性土）の道路等の路床部の補強対策として、D・Boxはセメント系の固化処理工法と比較した場合、CO_2 排出量の大幅な低減が可能となる。

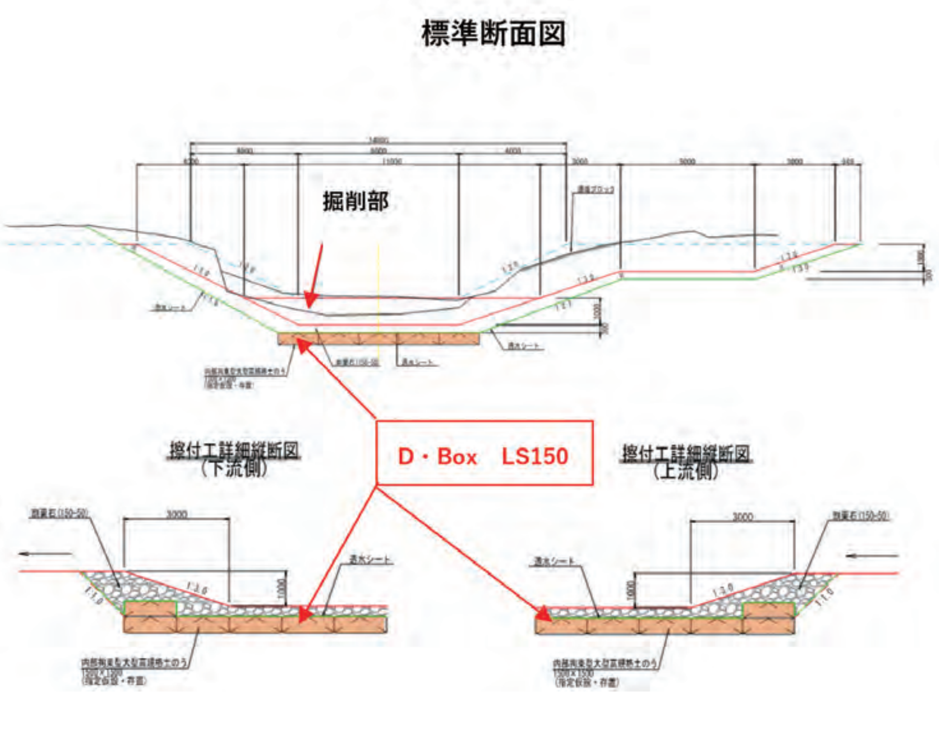
4. 農業関係の事例紹介

4.1 軟弱地盤の排水路での活用事例

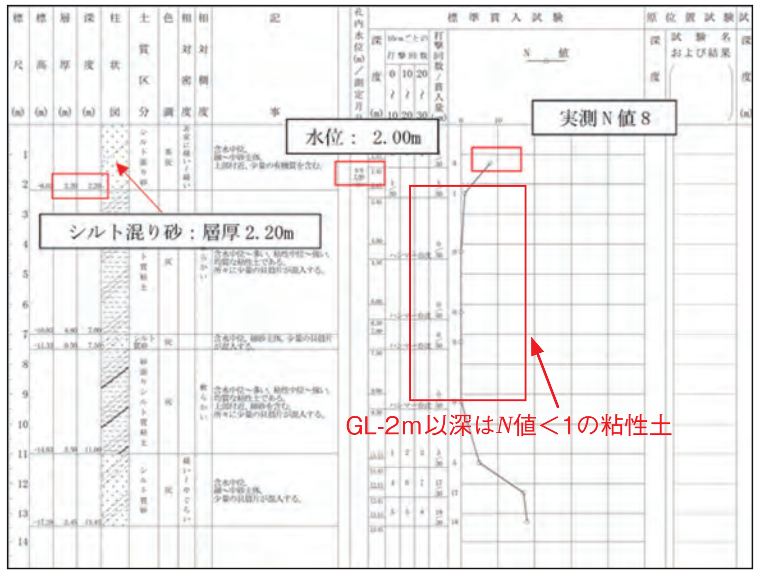
超軟弱地盤（**図7、図8**）での排水路改修では、**写真10** に示すようにD・Boxを用いた仮設足場を提案し、D・Box上からのバックホウによる掘削と運搬用道路として利用した。

この工法は、施工性も良く工程を短縮することが可能であり、撤去作業も容易である。

なお、一般的にはD・Boxの上に鉄板を敷設し、仮設道路兼仮設足場として利用するが、この現場では鉄板の代わりに栗石を使用した。

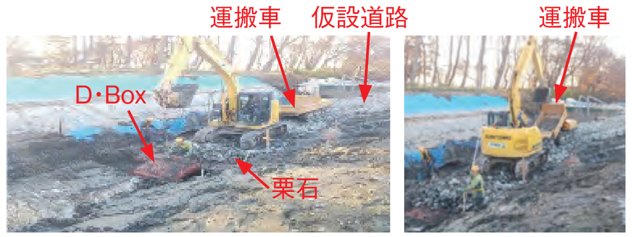


■図7　排水路改修工事断面とD・Box



■図8　土質柱状図（GL-2m：N 値＜1）

D･Box敷設状況



D･Boxを仮設足場及び運搬用仮設用道路として利用

■写真10　D・Boxを利用した沈砂池の掘削状況

4.2 排水管渠の施工例と手順

A県での農業用排水管渠の軟弱地盤上の基礎としてD・Boxを用いた施工例を**写真11** に示す。

地盤状況は**表8** に示すように N 値2程度の粘性地盤である。

この工事の計画断面は**写真11** ①に示すように管渠の基礎部にD・Box LS150を地盤補強として、設置するものである。

施工手順は次のとおりである。

【D・Boxの製作】

まず、D・Box（LS150 1.5 × 1.5 × 0.45m）をヤードにて製作用型枠に設置し（**写真11** ②）、バックホウにて砕石（RC40）を投入し（**写真11** ③）、マジックテープで固定する（**写真11** ④）。次にバックホウにて吊上げ（**写真11** ⑤）、トラック等に積込み敷設現場に運搬する。

【D・Boxの敷設と転圧】

管渠部の掘削終了後に（**写真11** ⑥）、D･Boxを隙間無く敷設し（**写真11** ⑦）、打撃ランマーで十分に転圧する（**写真11** ⑧）。

D・Boxの敷設及び転圧が完了後に（**写真11** ⑨）、管渠の敷設を行った（**写真11** ⑩）。

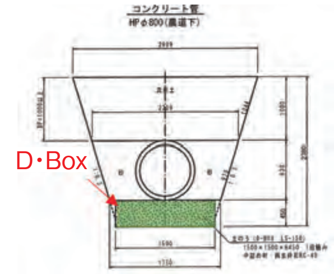
表8　対象地の地盤状況粘性土 N 値≒2

スウェーデン式サウンディング試験　記録用紙

測点番号：S-1(0+28)　標高：EL=14.42m　者：成田 拡

調査年月日：2012年11月20日　天候：くもり

荷重 Wsw (kN)	半回転数 Na	貫入深さ D (m)	貫入量 L (cm)	1m当たりの半回転数 Nsw	記事	土質区分	換算N値 (回)	換算qu値 (kN/m²)
0.25	0	0.15	0.15	0		粘土	1	11.3
0.50	0	0.25	0.10	0		粘土	2	22.5
0.75	0	0.60	0.35	0		粘土	2	33.8
0.50	0	1.90	1.30	0	ゆっくり自沈	粘土	2	22.5
0.75	0	2.80	0.90	0	〃	粘土	2	33.8
1.00	0	2.90	0.10	0		粘土	3	45.0
1.00	4	3.00	0.10	40		粘土	5	75.0
1.00	9	3.25	0.25	36	砂音	砂	4	
1.00	46	3.50	0.25	184	〃	砂	14	
1.00	30	3.75	0.25	120	〃	砂	10	
1.00	54	4.00	0.25	216	〃	砂	17	



①管渠計画断面

⑥管渠掘削状況

② D・Box 型枠設置

⑦ D・Box 敷設状況

③中詰砕石（RC40）投入

⑧ D・Box 転圧状況

④製作完了

⑨ D・Box 敷設・転圧完了

⑤ D・Box 吊上状況

⑩管渠設置状況

■写真11　D・Boxを利用した農業用排水管渠の施工例

5. その他の活用例

5.1 林道の豪雨時の浸食対策

豪雨時に出現する山側からの滝により、通行不能となっていたF県A寺が保有する、保安林道路の浸食対策としてD・Boxを用いた補修例を**写真12**に示す。

■写真12 豪雨時の滝による浸食対策例

D・Boxはポリプロピレン及び中詰砕石により構成されている。また、地中への有害物質の溶出が無く、砂以上の透水性があることから地下水等の流れを遮断しないなど地中環境への影響を最小限に抑えることが可能である。

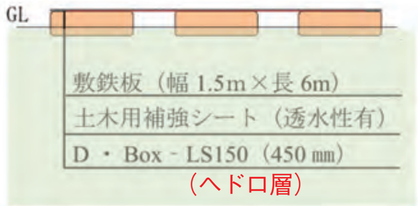
5.2 ダム湖底部での施工例 [1]

S県にあるダム湖底の老朽化した水門を改修する工事では、湖底にヘドロが3m以上堆積している（**写真13**）。

ここに約200mの仮設道路を設置し、水門前には120tクレーンの作業ヤードを設置する計画である。

このような地盤条件（*N*値＜1）でも対応可能な、D・Box LS150を**図9**に示すように1段で敷設し、

■写真13 ダム湖底のヘドロ状況と仮設道路



■図9 D・Boxによる仮設道路

上部には敷鉄板を敷設した。

施工の主な手順は、①軟弱な地盤面にD・Boxを直接設置した後、重機（0.8m³バックホウ）のバケットでD・Boxを出来るだけ地盤に圧入する。②これを長さ6mの敷鉄板に合わせ、鉄板の両端部と中央部に計3袋のD・Boxを配置する。③D・Boxの設置後、上部に透水性のある土木用シートを敷設する。④上面部に敷鉄板を敷設する。⑤鉄板敷設後、重機が乗入れ①～④の作業を反復しながら施工を進めた（**写真14～15**参照）。

さらに水門前面には120tクレーンの作業足場を設置した（**写真16**）。また、工事終了後にはすべての資材の撤去を行った。

■写真14 仮設道路（近景）

■図15 仮設道路（遠景）

■写真16 仮設道路とクレーン作業足場

5.3 ため池での施工例 [2]

F県にある国定公園内のため池の中央部に浮島があり、その外周護岸を補強する工事である（**写真17**）。

普段は周辺の水田のため池として使われているため、水位が下がる冬場を待っての施工を行った。しかし水が完全に無くなるわけではなく、底部は腐葉土が堆積した超軟弱な地盤であり、水の汚染は許されないことに加え、施工後には現状復旧が必要であった。

このような厳しい条件下においてD・Box工法が選定されたが、バケツで汲み取れる状態の地盤であったため、現場で試験施工として、敷設したD・Box上部への重機の乗入れ確認や、作業手順の確認を実施し、安全を確認した上で、本施工を行った。施工の手順は仮設道路幅が3mであったため、D・Boxの間は空けずに敷設した。D・Boxの上面をシートで覆い、その上に敷鉄板を縦横方向に設置した。**写真18**はその施工状況で、手前に見えるのが敷設したD・Boxの上部に設置された横手方向

■写真17 ため池地中央部の浮島

の敷鉄板で、奥にあるのが地盤面に直接敷設されたD・Boxである。**写真19**は、仮設道路の施工が完了した後の状況である。上部に縦の敷鉄板が敷かれているのが分かる。

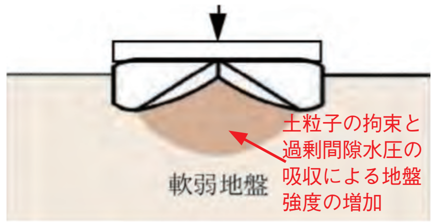
■写真18 D・Box敷設状況

■写真19 仮設道路完成状況

6. 終わりに

6.1 軟弱地盤でのD・Boxの効果

D・Box工法は基本的に締固め工法である。D・Boxが持つ形状保持の特性を利用し、軟弱地盤上に設置したD·Boxを打撃ランマー等にて転圧する事により、D・Box直下の地盤を局所的に締固めるものである。また沼地のようなヘドロ状の粘性地盤であっても、D・Boxの敷設が可能となる。その理由としては、前述した形状保持に加え、D・Boxの持つ高い透水性により載荷時や転圧時に発生する過剰間隙水を吸水し、底面の粘性土の粘着力は増加する。さらにD·Box下面部に形成される凹形状特性により軟弱な粘土を拘束することにより、せん断抵抗が増大する。

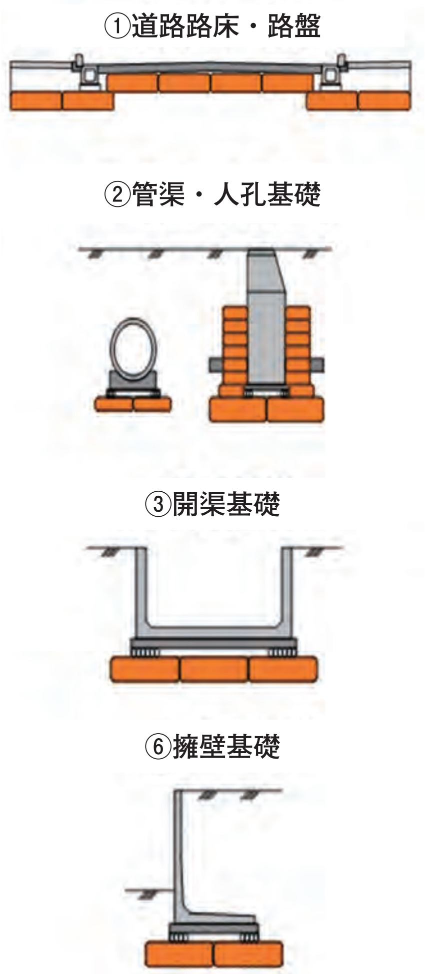


■図10 軟弱地盤上のD・Box底面の凹形状による土粒子の拘束と締固めによる強度増加

D·Box直下のせん断抵抗の様子を示したイメージを**図10**に示す。なお、この特性は砂質地盤であれば、砂の相対密度が増大し、液状化の軽減にも有効である。

6.2 D・Boxの構造別活用イメージ

各構造物に対するD・Boxの構造別活用イメージを**図11**に示す。



■図11 D・Boxの構造別活用イメージ

6.3 D・Boxの概算単価

【概算直接工事費】

D・Boxの製作、敷設及び中詰材を含む現場の直接工事費は現場状況により異なるが、概算で13,000円～16,000円/㎡である（送料、技術指導料は別途）。

【歩掛】

D·Box協会発行のD·Box設計施工マニュアルを参照のこと。

【問合わせ先】

詳細及びお問合せについてはメトリー技術研究所株式会社の下記HPを参照ください。

https://www.metry.jp

引用文献

1) 野本太：D・Boxを用いた軟弱地盤対策工 ジオシンセティックス技術情報 2020.11.
2) 基礎工 2022.12 pp12-1～12-4.

参考資料

1) 第8回ジャパン・レジリエンス・アワード（強靭化大賞）メモリアルブック 2022 pp10～11、pp16～17.
2) 一般財団法人沿岸技術研究センター 2019年3月 評価証第18006号.
3) 一般財団法人日本建築センター 2020年2月 BCJ－審査証明-266.