

ミャンマー国

運輸・通信省ミャンマー国鉄

ミャンマー国  
内部拘束式箱型土のうを用いた鉄道  
インフラ普及・実証事業  
業務完了報告書

平成30年10月

(2018年)

独立行政法人

国際協力機構 (JICA)

メトリー技術研究所株式会社

国内
JR(先)
18-195

<本報告書の利用についての注意・免責事項>

- ・本報告書の内容は、JICA が受託企業に作成を委託し、作成時点で入手した情報に基づくものであり、その後の社会情勢の変化、法律改正等によって本報告書の内容が変わる場合があります。また、掲載した情報・コメントは受託企業の判断によるものが含まれ、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本報告書を通じて提供される情報に基づいて何らかの行為をされる場合には、必ずご自身の責任で行ってください。
- ・利用者が本報告書を利用したことから生じる損害に関し、JICA 及び受託企業は、いかなる責任も負いかねます。

<Notes and Disclaimers>

- ・ This report is produced by the trust corporation based on the contract with JICA. The contents of this report are based on the information at the time of preparing the report which may differ from current information due to the changes in the situation, changes in laws, etc. In addition, the information and comments posted include subjective judgment of the trust corporation. Please be noted that any actions taken by the users based on the contents of this report shall

# 目次

巻頭写真	i
略語表	vii
地図	ix
図表番号	xi
案件概要	xvi
要約	xvii
1. 事業の背景	1-1
(1) 事業実施国における開発課題の現状及びニーズの確認	1-1
(1) -1 事業実施国の政治・経済の概況	1-1
(1) -2 事業実施国の政治・経済の概況	1-3
(1) -3 事業実施国の関連計画、政策（外交政策含む）および法制度	1-5
(1) -4 事業実施国の対象分野における ODA 事業の事例分析及び他ドナーの分析	1-6
(2) 普及・実証を図る製品・技術の概要	1-13
2. 普及・実証事業の概要	2-1
(1) 事業の目的	2-1
(2) 期待される効果	2-1
(3) 事業の実施方法・作業工程	2-1
(4) 投入（要員、機材、事業実施国側投入、その他）	2-3
(5) 事業実施体制	2-7
(6) 事業実施国政府機関の概要	2-8
3. 普及・実証事業の実績	3-1
(1) 活動項目毎の結果	3-1
(1) -1 総括	3-1
(1) -2 活動1：内部拘束式箱型土のう（D-Box）の実証活動	3-6
(1) -3 内部拘束式箱型土のう（D-Box）に係る技術移転モデルの検証	3-98
(1) -4 将来的な普及に向けた検討	3-110
(1) -5 盛土斜面の崩壊対応	3-111
(2) 事業目的の達成状況	3-114
(3) 開発課題解決の観点から見た貢献	3-114
(4) 日本国内の地方経済・地域活性化への貢献	3-115
(5) 事業後の事業実施国政府機関の自立的な活動継続について	3-115
(6) 今後の課題と対応策	3-115

4. 本事業実施後のビジネス展開計画 .....	4-1
(1) 今後の対象国におけるビジネス展開の方針・予定 .....	4-1
(1) -1 マーケット分析（競合製品及び代替製品の分析を含む） .....	4-1
(1) -2 ビジネス展開の仕組み（非公開） .....	4-2
(1) -3 想定されるビジネス展開の計画・スケジュール（非公開） ....	4-2
(1) -4 ビジネス展開可能性の評価（非公開） .....	4-2
(2) 想定されるリスクと対応（非公開） .....	4-2
(3) 普及・実証において検討した事業化による開発効果（非公開） .....	4-2
(3) -1 実証事業により確認した今後の事業展開による開発課題への効果 （非公開） .....	4-2
(3) -2 ビジネス展開を通じたの開発課題に対する経済効果（非公開）	4-2
(4) 本事業から得られた教訓と提言 .....	4-3
(4) -1 今後海外展開を検討する企業へ向けた教訓.....	4-3
(4) -2 JICA や政府関係機関に向けた提言.....	4-5

#### 参考文献

##### 資料編

資料-1 土質調査報告書 .....	資 1-1
資料-2 測量調査報告書 .....	資 2-1
資料-3 平板載荷試験報告書 .....	資 3-1
資料-4 振動試験結果 .....	資 4-1
資料-5 斜面補強 .....	資 5-1
資料-6 設計施工マニュアル（日本語） .....	資 6-1
資料-7 会社設立に関する法制度 .....	資 7-1
資料-8 軌道部及び載荷試験沈下観測結果.....	資 8-1

## 巻頭写真

	
<p>2016年8月 CH400 橋付近雨季施工前</p>	<p>2017年1月 CH500 付近 施工前</p>
	
<p>2017年1月 D・Box 製作</p>	<p>2017年2月 D・Box 軌道部敷設</p>
	
<p>2017年2月 D・Box 擁壁3段設置 CH550</p>	<p>2017年2月 D・Box 擁壁と軌道基礎部の D・Box 仮置 CH500</p>



2017年2月 D・Box 擁壁3段設置 CH500



2017年2月 CH520 付近枕木設置



2017年2月 CH550 D・Box 基礎設置



2017年2月 平板載荷試験実施



2017年2月 平板載荷試験：バラスト設置




2017年2月 沈下計測載荷試験



2017年2月 CH580 軌道完成状況



2017年2月 CH460 軌道完成状況

	
<p>2017年2月 現地生産D・Boxの中詰</p>	<p>2017年2月 D・Box Foundationの設置</p>
	
<p>2017年2月 マウマウ土木局長視察</p>	<p>2017年3月 CH500 転圧</p>
	
<p>2017年3月 5m間隔の軌道高検査</p>	<p>2017年3月 CH440 防砂シート敷設状況</p>
	
<p>2017年3月 CH440 防砂シート及びD・Box敷設</p>	<p>2017年3月 CH370 Foundation Bank 転圧</p>

	
<p>2017年3月 朝礼/KY活動</p>	<p>2017年3月 CH300 擁壁完成</p>
	
<p>2017年3月 軌道撤去</p>	<p>2017年3月 CH220 枕木設置</p>
	
<p>2017年3月 のり面形成 CH300 (1 : 3)</p>	<p>2017年3月 のり面形成 CH220</p>
	
<p>2017年4月 CH430 から CH580 を望む</p>	<p>2017年4月 CH470 から CH220 を望む</p>





2017年4月 完了検査 (5m 間隔高さ計測)



2017年4月 完了検査サイン



2017年4月 完成 CH440→CH220



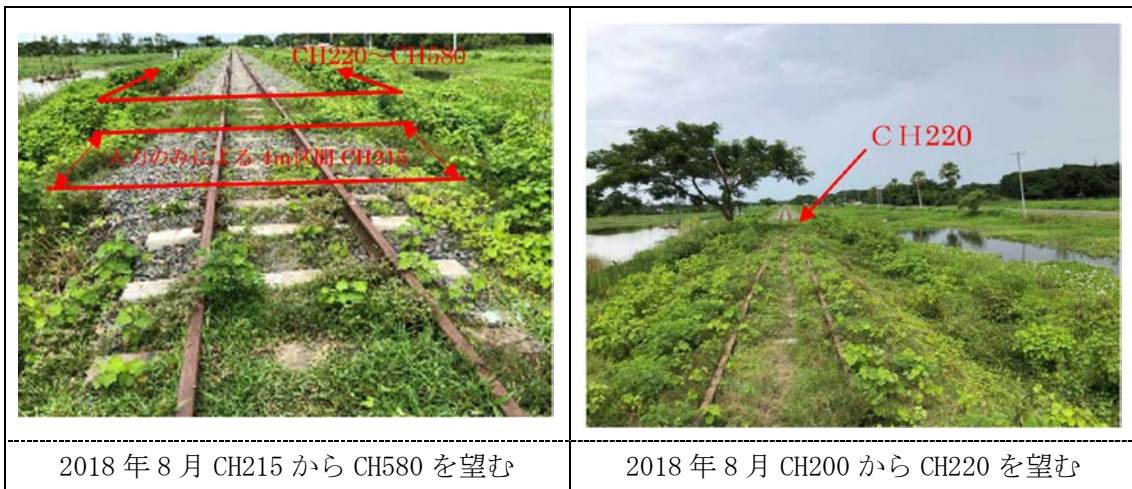
2017年4月 完成 CH470→CH580



2017年4月 CH213 人力施工状況



2017年4月 サインボード CH350 付近



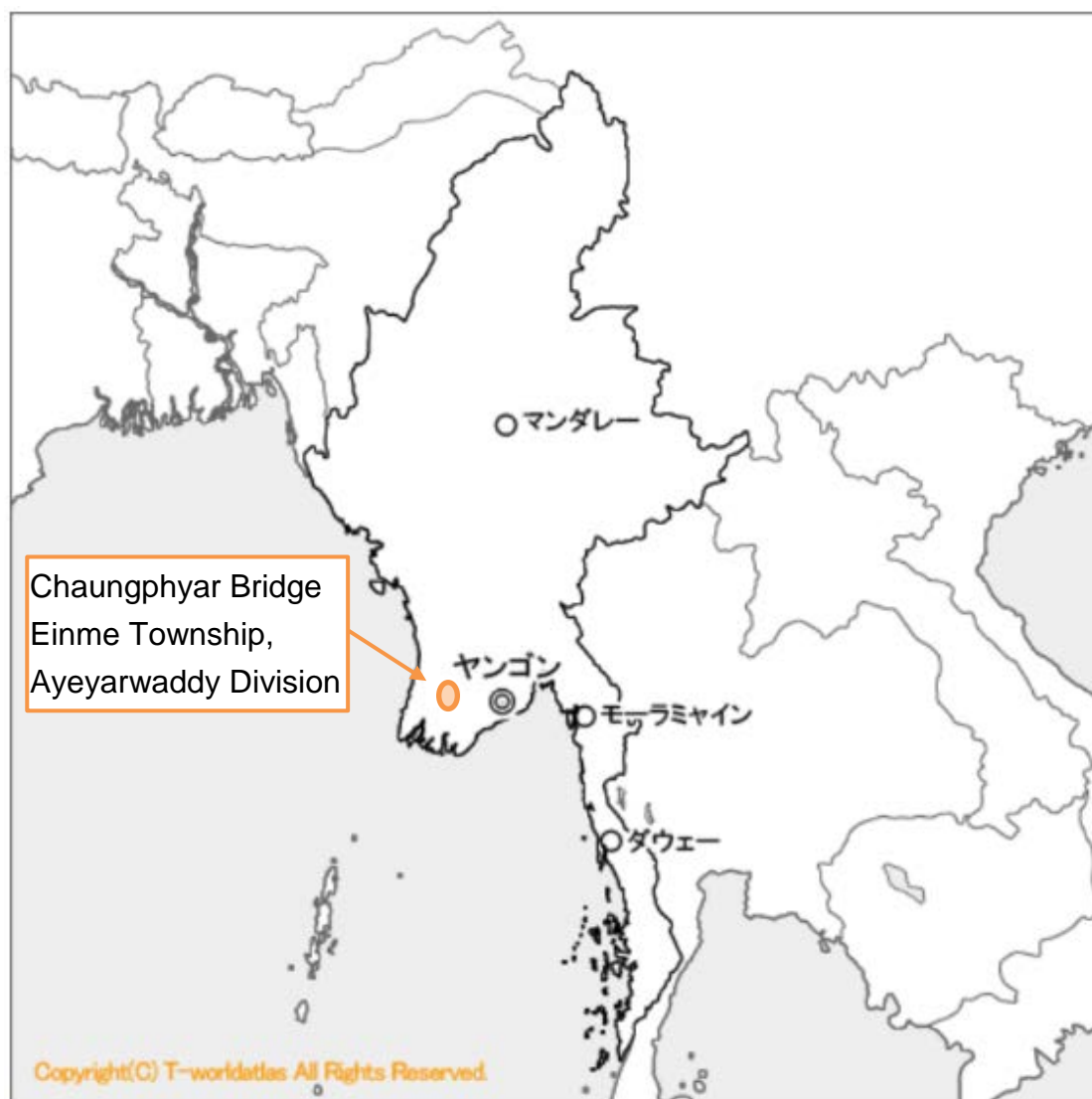
## 略語表

略語	正式名称	日本語名称
緬国	Republic of the Union of Myanmar	ミャンマー連邦共和国
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
AEC	ASEAN Economic Community	アセアン経済共同体
ASEAN	Association of South East Asian Nations	東南アジア諸国連合
BOT	Build, Operate & Transfer	
DHSHD	Department of Human Settlements and Housing Development, Ministry of Construction	ミャンマー国 建設省人間居住・住宅開発部
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
IMF	International Monetary Fund	国際通貨基金
JETRO	Japan External Trade Organization	独立行政法人日本貿易振興機構
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
L/A	Loan Agreement	円借款貸付契約
MES	Myanmar Engineering Society	ミャンマー工学会
MOC	Ministry of Construction	ミャンマー国 建設省
MOT	Ministry of Transportation and Communication	ミャンマー国 運輸・通信省
MPG	Myanmar Partnership Group	援助関係者会合
MR	Myanma Railways	ミャンマー国 運輸・通信省 ミャンマー国鉄
NDL	National League for Democracy	ミャンマー国 国民民主連盟
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OFAC	Office of Foreign Asset Control	米国財務省外国資産管理局
PGAE	Partnership Group for Aid Effectiveness	援助効率化パートナーシップ会合
PW	Public Works, Ministry of Construction	ミャンマー国 建設省公共事業庁
RGC	Rail Gang Car	軌道車
SDN	Specially Designated Nationals and blocked Persons	米国 外国資産管理法に基づく、国家の安全保障を脅かすものと指定した国や法人、自然人

TRIPS	Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights	知的所有権の貿易関連の側面に関する協定
WB	World Bank	世界銀行
WTO	World Trade Organization	世界貿易機構

## 地図

事業実施サイトは、ミャンマー国 エーヤワディ地域内、エインメ駅～ダウンジ駅間に位置するチャウンピャー橋 (Chaungphyar Bridge) 付近である。



世界地図：<http://www.sekaichizu.jp/>

図1 事業実施サイト地図

出典：世界地図：<http://www.sekaichizu.jp>



図2 Chaungphyar Site 及び Daunggyi Station の地図

出典：MR 資料

## 図表番号

### 図

図 1	事業実施サイト地図	ix
図 2	Chaungphyar Site 及び Daunggyi Station の地図	x
図 1-1	緬国の行政体系	1-2
図 1-2	ミャンマーの土壌地図	1-4
図 2-1	事業実施体制	2-7
図 2-2	事業実施国政府機関の組織図	2-8
図 3-1	5m 間隔の簡易標識	3-8
図 3-2	平面測量結果 (CH410-CH505 : Chaungphyar 橋付近) の例	3-8
図 3-3	測量断面 CH430 の例	3-9
図 3-4	ベンチマーク	3-9
図 3-5	ボーリング調査位置図	3-10
図 3-6	機械ボーリングマシン概要	3-12
図 3-7	ボーリング調査状況	3-12
図 3-8	標準貫入試験概略図	3-13
図 3-9	「スウェーデン式サウンディング試験器の概要」	3-14
図 3-10	SWS 試験状況	3-15
図 3-11	N 値と深度の関係図 Chaungphyar Station	3-16
図 3-12	N 値と深度の関係図 Daunggyi Station	3-16
図 3-13	スウェーデン式サウンディング試験結果	3-17
図 3-14	スウェーデン式サウンディング試験による N 値の算定図	3-18
図 3-15	土質柱状図 Chaungphyar Site (BH-01)	3-19
図 3-16	土質柱状図 Daungyi Station (BH-02)	3-20
図 3-17	深度別自然含水比 (Chaungphyar Station)	3-21
図 3-18	深度別自然含水比 (Daungyi Station)	3-21
図 3-19	深度別細粒分含有率 (Chaungphyar Station)	3-22
図 3-20	深度別細粒分含有率 (Daungyi Station)	3-22
図 3-21	e-log P Curve of CLAY- I for Chaungphyar Station	3-23
図 3-22	e-log P Curve of CLAY- II for Chaungphyar Station	3-24
図 3-23	軌道部 D・Box 設置フロー	3-27
図 3-24	D・Box 軌道部設置状況	3-28
図 3-25	軌道部の標準断面	3-29

図 3-26	軌道部 D・Box 施工手順 スケッチ.....	3-30
図 3-27	載荷試験位置図.....	3-32
図 3-28	載荷試験模式図.....	3-32
図 3-29	現場確認時の補修状況 CH500 付近.....	3-33
図 3-30	D・Box 制作フロー.....	3-35
図 3-31	製作後の D・Box 保管.....	3-35
図 3-32	D・Box 製作手順.....	3-36
図 3-33	D・Box 製作状況.....	3-37
図 3-34	擁壁施工フロー.....	3-38
図 3-35	擁壁施工状況.....	3-39
図 3-36	擁壁基本断面.....	3-39
図 3-37	擁壁の設置位置.....	3-40
図 3-38	擁壁の施工状況.....	3-41
図 3-39	人力施工の施工フロー.....	3-42
図 3-40	人力施工の施工状況.....	3-43
図 3-41	手作業による D・Box 軌道部敷設図 (2 個並び 4m) .....	3-44
図 3-42	施工現場写真.....	3-45
図 3-43	D・Box を含めた軌道部施工図.....	3-47
図 3-44	擁壁設置図.....	3-49
図 3-45	擁壁 1 段設置図.....	3-50
図 3-46	手作業による D・Box 軌道部敷設図 (2 個並び 4m) .....	3-51
図 3-47	振動試験 センサー設置位置.....	3-53
図 3-48	コンクリートブロックの上に置いたセンサー (左) と RGC(右) .....	3-54
図 3-49	振動試験実施場所 (CH240 (左)、CH300 (右)、CH 340 (左) .....	3-54
図 3-50	D・Box による振動低減のイメージ (D・Box による振動吸収イメージ) .....	3-55
図 3-51	D・Box 改良前の振動計測実施状況写真 (2017 年 2 月 15 日) .....	3-56
図 3-52	振動計測結果比較図 (5 回実施：軌道直角方向の振動計測結果) .....	3-56
図 3-53	エインメの Chaungphyar Site の雨季の状況 (施工前) .....	3-57
図 3-54	想定される沈下のメカニズム.....	3-58
図 3-55	現地の噴泥発生メカニズム (写真左側：2016 年 8 月右側：2016 年 11 月) .....	3-59
図 3-56	排水促進 .....	3-60
図 3-57	荷重の分散化.....	3-60
図 3-58	D・Box の底面形状による内部土の抱え込みによる鉛直荷重の低減効果 .....	3-61
図 3-59	D・Box 敷設前 (CH220 付近) 2016 年 8 月中旬 .....	3-62
図 3-60	D・Box 敷設 3 ヶ月後 雨季 2017 年 6 月末.....	3-62
図 3-61	D・Box 敷設半年後 雨季 2017 年 9 月末.....	3-63



図 3-62	D・Box 敷設 1 年後 乾季 2018 年 5 月初旬.....	3-63
図 3-63	引張試験 (日本製 D・Box) .....	3-64
図 3-64	引張試験 (ミャンマー製 D・Box) .....	3-64
図 3-65	D・Box を用いた設計支持力の理論式の定式化までの流れ .....	3-66
図 3-66	軌道及びバラスト基本形状.....	3-67
図 3-67	ボーリング調査状況.....	3-69
図 3-68	サウンディング実施状況.....	3-69
図 3-69	原位置簡易一面せん断試験状況.....	3-69
図 3-70	D・Box 基礎の支持力補強効果の模式図 .....	3-70
図 3-71	D・Box に作用する応力及びモールの応力円模式図 .....	3-72
図 3-72	D・Box 基礎の支持力補強効果の模式図 .....	3-73
図 3-73	D・Box (LS100) 基礎の支持力の設計条件.....	3-74
図 3-74	平板載荷試験 (1) PLT-K-1.....	3-75
図 3-75	平板載荷試験 (2) PLT-K-2.....	3-76
図 3-76	平板載荷試験 (3) PLT-K-4.....	3-76
図 3-77	平板載荷試験(PLT-K-4)再現解析モデル図及びシート張力分布図(載荷重 200kN/m <sup>2</sup> ) .....	3-79
図 3-78	各荷重段階におけるシートの最大発生張力.....	3-80
図 3-79	厚さ 25cm の砂置換工における平板載荷試験 (PLT-K-2 地点) .....	3-81
図 3-80	各荷重段階における D・Box (LS100) 基礎・D・Box 内部・置換工の極限支持力 .....	3-82
図 3-81	平板載荷試験結果と算定した極限支持力との比較.....	3-83
図 3-82	支持力計算のケーススタディモデル.....	3-84
図 3-83	支持力計算のケーススタディの結果.....	3-85
図 3-84	支持力計算のケーススタディの結果 (E/2) .....	3-86
図 3-85	支持力計算のケーススタディの結果 (2E) .....	3-87
図 3-86	載荷試験位置図.....	3-88
図 3-87	載荷試験模式図.....	3-90
図 3-88	載荷試験設置箇所整地状況.....	3-90
図 3-89	載荷試験設置状況.....	3-91
図 3-90	載荷試験による沈下計測結果.....	3-93
図 3-91	観測状況写真：線路の左側を 20m 間隔で計測 (CH220~CH580 : 19 箇所) ..	3-94
図 3-92	CH420 2016 年 8 月 (施工前) .....	3-95
図 3-93	CH420 2018 年 4 月 (施工完了 1 年後) .....	3-95
図 3-94	沈下グラフ (2017 年 4 月~2018 年 5 月) CH220~CH580.....	3-97
図 3-95	配布したミャンマー語の簡易施工マニュアル.....	3-98

図 3-96	施工指導に用いた施工イメージ図	3-99
図 3-97	MES アンケート回答者（64名）の所属と技術講習会の評価	3-102
図 3-98	MES による D・Box セミナーの案内	3-103
図 3-99	MES 受付でのプログラム	3-103
図 3-100	講習プログラム	3-106
図 3-101	講習の様子	3-107
図 3-102	斜面の雨季の崩壊状況（2017年7月 法勾配1:3）	3-112
図 3-103	カンシ堤（D・Box Dam）による斜面補強	3-113
図 4-1	D・Box の流通・販売促進計画（緬国）（非公開）	

## 表

表 1-1	緬国の主要経済指標の推移	1-1
表 1-2	整備が見込まれる計画体系 1-3	1-3
表 1-3	我が国の有償資金協力（主な交通インフラ関連）	1-7
表 1-4	「運輸交通」分野のプロジェクト一覧	1-8
表 1-5	有償資金協力案件一覧	1-9
表 1-6	ミャンマーにおける各ドナーの支援額の推移	1-10
表 1-7	各国 ODA の状況（道路関連）	1-10
表 2-1	作業工程表	2-2
表 2-2	要員計画総括（計画と実績）2018年7月末現在	2-3
表 2-3	要員計画表(1)	2-4
表 2-3	要員計画表(2)	2-5
表 2-4	資機材リスト	2-6
表 2-5	事業実施国政府機関側の投入	2-6
表 3-1	活動項目と目的および内容一覧	3-1
表 3-2	資機材一覧表	3-6
表 3-3	調査項目	3-11
表 3-4	調査数量一覧表	3-11
表 3-5	室内試験数量一覧表	3-11
表 3-6	調査実施工程表	3-15
表 3-7	不攪乱資料の一覧	3-16
表 3-8	含水比試験結果	3-20
表 3-9	三軸圧縮試験結果概要	3-22
表 3-10	土の圧密試験結果	3-23
表 3-11	地盤支持力の算定	3-26

表 3-12	地盤支持力.....	3-26
表 3-13	試験ケースと基礎条件.....	3-31
表 3-14	施工工程表.....	3-34
表 3-15	D・Box 製作数量.....	3-36
表 3-16	擁壁の設置延長.....	3-39
表 3-17	中詰め作業の歩掛 (120 袋当たり) .....	3-46
表 3-18	D・Box を含めた軌道部施工における 12m(1 スパン) 当たりの歩掛(120m で算出) .....	3-47
表 3-19	D・Box を含めた軌道部施工に必要な重機および世話役の数量 (1 スパン 12m/日) .....	3-48
表 3-20	施工に必要な重機および世話役の数量(12m 当たり) .....	3-48
表 3-21	擁壁施工の歩掛(5m あたり) .....	3-49
表 3-22	擁壁 (1 段) (カンシ堤) 施工の歩掛(5m 当たり).....	3-50
表 3-23	人力施工による歩掛 D・Box 敷設 4m(4×2=8 袋)(4m 当たり).....	3-52
表 3-24	実際の作業と歩掛 D・Box 敷設 4m(4×2=8 袋)[作業時間 8:00-17:45] .....	3-52
表 3-25	振動の周波の種類及び人へ影響する周波数 (Hz).....	3-54
表 3-26	振動試験の場所、日付、速度.....	3-55
表 3-27	D・Box の劣化試験結果.....	3-64
表 3-28	D・Box の基本形状・諸元.....	3-68
表 3-29	D・Box (LS100) 基礎の設計支持力.....	3-74
表 3-30	載荷試験条件.....	3-89
表 3-31	沈下試験実施工程.....	3-91
表 3-32	軌道部の天端高測量結果 (竣功時 2017 年 4 月 7 日～2018 年 5 月 2 日) ..	3-96
表 3-33	軌道部の竣功時から 1 年後の沈下量 (mm) (2017 年 4 月 7 日～2018 年 5 月 2 日) .....	3-97
表 3-34	検査時の軌道の誤差結果 (L=360m @5m) .....	3-98
表 3-35	D・Box 技術研修会の概要.....	3-101
表 3-36	D・Box 技術セミナー参加者内訳.....	3-101
表 3-37	D・Box 技術講習会の概要 .....	3-104
表 3-38	D・Box 技術講習会のアンケート結果.....	3-105
表 3-39	主な質問と回答.....	3-107
表 3-40	本実証事業の実施を通じて判明した課題と対応策.....	3-116
表 4-1	D・Box の販売計画 (非公開)	
表 4-2	事業収支計画 (非公開)	

ミャンマー連邦共和国

内部拘束式箱型土のうを用いた鉄道インフラ普及・実証事業  
メトリー技術研究所株式会社(埼玉県)

ミャンマー国の開発ニーズ

- 経済発展に伴うインフラ整備の一環として、交通網の整備が喫緊の課題。
- 軟弱層の地盤が多く、支持力不足による滑り破壊や地盤沈下等の対応が必要。
- 本邦のような軟弱地盤補強法は経済面、施工面、環境面の観点から普及しておらず、緬国の実情に合った地盤改良対策工を模索中。

普及・実証事業の内容

- 内部拘束式箱形状の袋(D-Box)を使用した地盤対策工法によるインフラ整備技術の普及・実証事業。
- エーヤワディ管内のChaugphyar Bridgeで、延長約300 mの実証事業を実施。
- 土質試験、載荷試験も同時に実施し沈下及び軌道観測を1年間継続。
- 本実証事業の結果を基に、緬国のインフラ整備関連機関等の技術者がD-Boxを用いた軟弱地盤対策を行えるよう、設計・施工マニュアルを作成。研修会を実施。

提案企業の技術・製品



内部拘束式箱型土のう  
D-Box

D-Boxの5つの効果

- 1) 軟弱地盤対策(地盤支持力増加、沈下抑制)、液状化対策
- 2) 振動対策(交通振動対策、地震対策、機械・重機振動対策)
- 3) 排水対策(地下水対策、噴泥対策、雨水対策)
- 4) リサイクル対策(中詰材にコンクリートガラ/ヘドロを利用、袋の再利用)
- 5) 斜面・擁壁としての利用

ミャンマー国側に見込まれる成果

- 地元資材の有効活用
- 現地作業員施工による雇用の創出
- 現地生産による雇用の創出
- 維持管理の低減
- 鉄道輸送サービスの向上(鉄道の運行速度の向上、安定走行、脱線事故の低減、運行速度向上による緬国民の生活向上、交通・流通の円滑化等)

日本企業側の成果

現状

- 海外での施工例はあるものの、海外拠点はまだないため、海外展開があまり進んでいない。

今後

- 積極的展開・グローバル化によるD-Box工法の普及に伴い、D-Box協会会員である国内地元企業や国内建設関連での需要増大、施工増加や雇用拡大が見込まれる。
- 現地生産により、本邦で使用するD-Boxの価格が3割程度安価になる見込み。

## 要約

I. 提案事業の概要	
案件名	内部拘束式箱型土のうを用いた鉄道インフラ普及・実証事業 Verification Survey with the Private Sector for Disseminating Japanese Technologies for Railway Infrastructure with Box shaped Soil Bag with Internal Binding System)
事業実施地	ミャンマー連邦共和国／エーヤワディ地域
相手国 政府関係機関	Myanma Railways, Ministry of Transportation and Communication (運輸・通信省ミャンマー国鉄)
事業実施期間	2016年10月～2018年12月(2年3ヶ月)
契約金額	99,777,960円(税込)
事業の目的	<p>緬国では経済発展に伴うインフラ整備の一環として、交通網の整備が喫緊の課題であり、急ピッチでの整備計画が進められている。一方、緬国は軟弱層で構成される地盤が多く、特にエーヤワディ地域を中心とするデルタ地帯では、支持力不足による滑り破壊や地盤沈下等が多く発生し、その対応が求められている。しかし、本邦で使用されている一般的な排水工法やセメント改良等の軟弱地盤補強法は、経済面(特殊重機購入)、施工面(特殊技術と重機足場の確保)、環境面(CO<sub>2</sub>・水質汚染等)の観点から緬国では普及しておらず、緬国の実情に合った地盤改良対策工法が求められている。</p> <p>本事業は上記を踏まえ、エーヤワディ地域内の軟弱地盤地域の鉄道基礎において、内部拘束式箱形土のう(D・Box)を使用した地盤対策工法によるインフラ整備技術を用いて、沈下・噴泥・振動対策の効果にかかる実証活動を通じ、D・Boxの現地の状況に適合した設計・施工マニュアルの作成等の普及活動を行う。</p>
事業の実施方針	<p>ア. 現地の状況に合わせた実証事業の実施</p> <p>事業実施に当たっては事前に地盤・土質試験を、また施工後1年間の継続的な経過観測(振動、沈下計測等)を行い十分なデータを取得し、工学的検証にも十分資する実証事業とする。また、本実証事業の結果が実証事業後の将来展開に広く適用できるよう、実証事業実施区間を約360mとし、現地状況に合ったD・Boxの設置・施工方法を実証する。</p> <p>イ. 分かりやすいツールを活用した普及促進</p> <p>本実証事業の結果を基に、緬国のインフラ整備関連機関等の技術者がD・Boxを用いた軟弱地盤対策を行えるよう、設計・施</p>

	<p>工マニュアルを作成し、普及ツールとして活用する。また、D・Box の技術的特徴や本実証事業の実際の施工状況等を撮影した紹介ビデオを緬国語で作成し、関連機関等の理解促進を図る。</p> <p>ウ. 他の ODA 事業との連携による実証事業の実施と普及促進</p> <p>現在、緬国では日本の ODA 事業として多数のインフラ整備事業や技術協力等が実施されており、これら事業と連携することにより実証事業の成果を普及に繋げていく。</p> <p>現在、ODA により計画中のヤンゴン～マンダレー間の軌道改修事業（約 620 km）に於いても、約 45 km の区間が軟弱地盤であり、排水、盛土対策が必要とのことである（2014 年 9 月設計者へのヒアリングより）。</p>						
実績	<p>1. 実証・普及活動</p> <p>(1) 機材設置状況</p> <p>エーヤワディ地域のエインメ付近の Chaungphyar Bridge を挟んだ 360m の鉄道路盤において、D・Box を軌道直下に敷設した。また、同区間ののり面を保護するべく、擁壁の施工を実施した。さらに雨季の地盤のすべりに対する D・Box による補強としてカンシ堤を施工した。</p> <p>(2) 事業実施国政府機関との協議状況</p> <p>施工期間中の 2017 年 2 月 26 日に、カウンターパート機関であるミャンマー国鉄（MR）の土木局長である U Maung Maung Thwin が現場視察を行った。その際に、直近で使用したい区間が数か所あるため、現地生産の D・Box による地盤改良の価格を提示して欲しいと要請があった。現在、LS100M（緬国製）を 20USD で提供予定である。</p> <p>(3) 実施工程</p> <table border="1" data-bbox="652 1556 1385 1991"> <tr> <td data-bbox="652 1556 911 1704">2017 年 6 月</td> <td data-bbox="911 1556 1385 1704">①効果測定 施工後、一回目の雨季に振動計測を実施</td> </tr> <tr> <td data-bbox="652 1704 911 1800">2017 年 6 月末 ～9 月初旬</td> <td data-bbox="911 1704 1385 1800">①盛土部斜面滑りに対する補修作業実施（第 1 次～第 3 次補修）</td> </tr> <tr> <td data-bbox="652 1800 911 1991">2017 年 9 月</td> <td data-bbox="911 1800 1385 1991">①効果測定 施工後、2 回目の雨季に振動計測を行い、効果を測定 ②セミナー（MR および MES）</td> </tr> </table>	2017 年 6 月	①効果測定 施工後、一回目の雨季に振動計測を実施	2017 年 6 月末 ～9 月初旬	①盛土部斜面滑りに対する補修作業実施（第 1 次～第 3 次補修）	2017 年 9 月	①効果測定 施工後、2 回目の雨季に振動計測を行い、効果を測定 ②セミナー（MR および MES）
2017 年 6 月	①効果測定 施工後、一回目の雨季に振動計測を実施						
2017 年 6 月末 ～9 月初旬	①盛土部斜面滑りに対する補修作業実施（第 1 次～第 3 次補修）						
2017 年 9 月	①効果測定 施工後、2 回目の雨季に振動計測を行い、効果を測定 ②セミナー（MR および MES）						

			<p>施工方法、施工状況、雨期を経た沈下計測の結果を用い、経過報告セミナーを実施</p>
	2018年2月		<p>①効果測定 施工後、1回目の乾季に振動計測を行い、効果を測定</p> <p>②盛土部斜面すべりに対する補修作業実施（第4次～第5次補修）</p>
	2018年5月		<p>①紫外線対策試験 2017年1月の設置後、1年間経過した製品の状況を確認するため紫外線対策試験を実施</p> <p>②セミナー（MRおよびMES） D・Box設計/施工マニュアルの普及状況、1年間計測した沈下計測のデータを用いた効果の報告セミナーを実施</p>
	<p>注記：            載荷試験及び軌道部の沈下計測は、2018年5月まで実施（1年間）した。施工マニュアル及び設計マニュアル（案）は、2018年5月に作成し、MRに緬国語のマニュアル10部を提出済。</p>		
	<p>2. ビジネス展開計画</p> <p>緬国製のD・Boxの製作を1年目は6,000袋程度を目標とし、3年目には、19,000袋、6年目以降は29,000袋を目標とし、3年目で単年度黒字、4年目で累積黒字を目標とする。</p> <p>当面の目標は、緬国での普及は、徐々に増えることを期待し、緬国製のD・Boxを国内へ5,000袋～20,000袋/年輸入し、現在のD・Boxの品質を落とした下位ランクの製品として、仮設材として活用する計画である。</p>		
課題	<p>1. 実証・普及活動</p> <p>今後、緬国において、D・Boxを用いた施工を実施する際の課題や懸念事項として、緬国の情勢変化に伴う、碎石等の材料費および人件費等の高騰、重機調達不可の場合における人力施工による工期の延伸、D・Boxの模造品を用いた施工に起因する施工不良などが考えられる。</p>		

	<p>2. ビジネス展開計画</p> <p>D・Box の販売における模倣品や技術的知識無しでの施工による悪評による風評被害などが懸念される。</p>
事業後の展開	<p>今後の緬国内の鉄道における軟弱地盤対策工法として MR の関心が非常に高い。現地生産の D・Box (LS100M) を用い安価に軟弱地盤対策が可能であり、また、本事業で 2018 年 5 月に配布したマニュアル (緬国語) により、簡易な工法であることを提示することで、今後の緬国内の鉄道インフラへの進出を目指す。</p> <p>また、MES による推薦取得及び日本国内で緬国製の D・Box を仮設材として利用・普及させるための国内機関による認証取得も、次のステップとして実行する。</p>
<b>II. 提案企業の概要</b>	
企業名	メトリー技術研究所株式会社
企業所在地	埼玉県加須市
設立年月日	2007 年 7 月
業種	建設工事に関する製品の研究・開発
主要事業・製品	建設工事に関する製品の研究・開発 製品：D・Box
資本金	3,000 万円
売上高	2016 年度：5 億円、2017 年度：14 億円
従業員数	4 人



# 1. 事業の背景

## (1) 事業実施国における開発課題の現状及びニーズの確認

### (1) -1 事業実施国の政治・経済の概況

緬国は、2015年11月に4年ぶりに実施された総選挙で、アウン・サン・スー・チー氏の「国民民主連盟（NDL）」が大勝しNDL政権が発足し、次の政策（マニフェスト）を挙げており、重要インフラの整備については、海外からの支援を期待している状況である。

- (i) 規律ある財政運営（効果的な予算の策定・執行、不要な歳出削減、徴税強化と税制改革等を通じて、財政赤字をGDP比5%未満に抑制）
- (ii) スリムで効率的な政府（省庁再編、行政組織・手続きの簡素化、各行政機関の権限・責務の明確化）
- (iii) 農業の再活性化（生産性向上、バリューチェーン改善、外国企業の協働を通じた農業の活性化）
- (iv) 安定的な金融システムの構築（企業・家計への資金供給機能の拡張、中央銀行による金融安定化）
- (v) 重要インフラの整備（外国援助・借款及び国内外の民間企業からの支援を活用したインフラ整備、市場の整備や近代的な技術の導入、海外直接投資による雇用促進・技術移転・輸出創造）

また、前政権時代の2012年4月に行なわれた管理変動相場制の導入により、貿易環境整備等が進み、サービス業と製造業を中心とした経済成長により、2015年の名目GDPは670億USD(2015年JETRO報告)、一人当たり名目GDPは1,290USDとなり、経済成長率は約7%、消費者物価上昇率も10%以上となり、高い伸びを示している。さらに、東南アジア諸国連合（ASEAN）10カ国で構成するアセアン経済共同体（AEC）により、2016年より地域内の物品関税の大部分の品目（90%以上）で物品関税が撤廃となり活発な経済活動を後押ししている。

国際通貨基金（IMF）により2018年4月に発表された緬国の経済成長率及び消費者物価上昇率は表1-1に示すように、2013年以降は高い伸びを示している。

表 1-1 緬国の主要経済指標の推移

年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
経済成長率 (%)	8.4	8.0	7.0	5.9	6.7	6.9 <sup>※</sup>
消費者物価上昇率 (%)	5.7	5.1	10.0	6.8	5.1	5.5 <sup>※</sup>

出典：International Monetary Fund , World Economic OUTLOOK Database, April 2018 ※は推計値

一方、緬国の行政体系は、図 1-1 に示すように 7 管区域（ビルマ族が多く住む地域）、7 州（少数民族が多く住む地域）及びネピドーの連邦直轄地域があり、それぞれの下に県、自治地域、自治地区に分かれており、自治区・自治管区は地方域・州に所属し、県と同様の位置付けである。

3 大都市として、ネピドー（連邦直轄地域）、ヤンゴン（ヤンゴン管区域）、マンダレー（マンダレー管区域）があり、国及び地方における開発と計画体系は表 1-2 に示すとおりである。

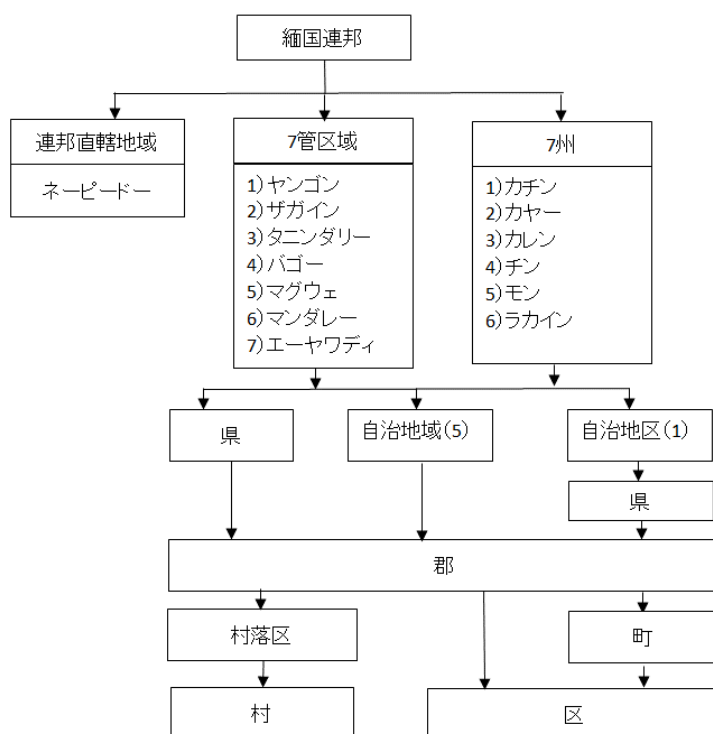


図 1-1 緬国の行政体系

出典：国土交通省国土政策局 HP 各国の国土政策の概要資料を参考に作成

表 1-2 整備が見込まれる計画体系

	空間計画	社会・経済開発計画
国レベル	国家空間開発計画 National Spatial Development Plan	国家総合開発計画(20力年長期計 画) National Comprehensive Development Plan
		短期五力年計画
管区域/ 州レベル	地域空間開発計画	国家総合開発計画(地域計画編)
郡レベル	郡空間開発計画	—

出典：ミャンマーの国土政策の概要：国土交通省国土政策局 HP

(1) -2 対象分野における開発課題

緬国の土壌構造は、図 1-2 ミャンマーの土壌地図 に示すように、北部の中国との国境付近の一部において岩石を有する固結岩屑土と成っているほかは、粘土を多く含む土壌や沿岸部の沖積土壌、塩土といった軟弱層により構成される地盤である。特に、南部のデルタ地帯のエーヤワディ地域は、面積 30,000km<sup>2</sup> の広大な低湿地帯であり、その約 1/6 は大潮時の満潮位以下である。そのため、毎年のように豪雨、高潮の被害が発生しており、常に水分を多く含む軟弱な地盤が形成され、道路、鉄道、建物等の建設においては、支持力不足や地盤沈下等の問題が発生している。しかしながら、本邦で行われているような大規模な地盤改良の施工に必要な特殊大型重機や大型重機搬入用のアクセス道路等の整備の実施は難しく、さらに対象地域が穀物地帯であることからセメント混合工法等を使用する場合には、環境への配慮も必要となる。また、実施予算及び年度内工期を守るため、地盤補強無しで、現地発生土を再利用した鉄道や道路の盛土が行われている。その結果、毎年のように盛土斜面の滑りや地盤沈下などに対する補修を実施するといった悪循環となっている。

こうした状況の中、長期的に使用可能な軟弱地盤対策技術の導入が求められており、現地の軟弱地盤対策技術の向上という観点からも、現地の技術者に技術移転を行いながらインフラ整備を実施していくことが必要である。

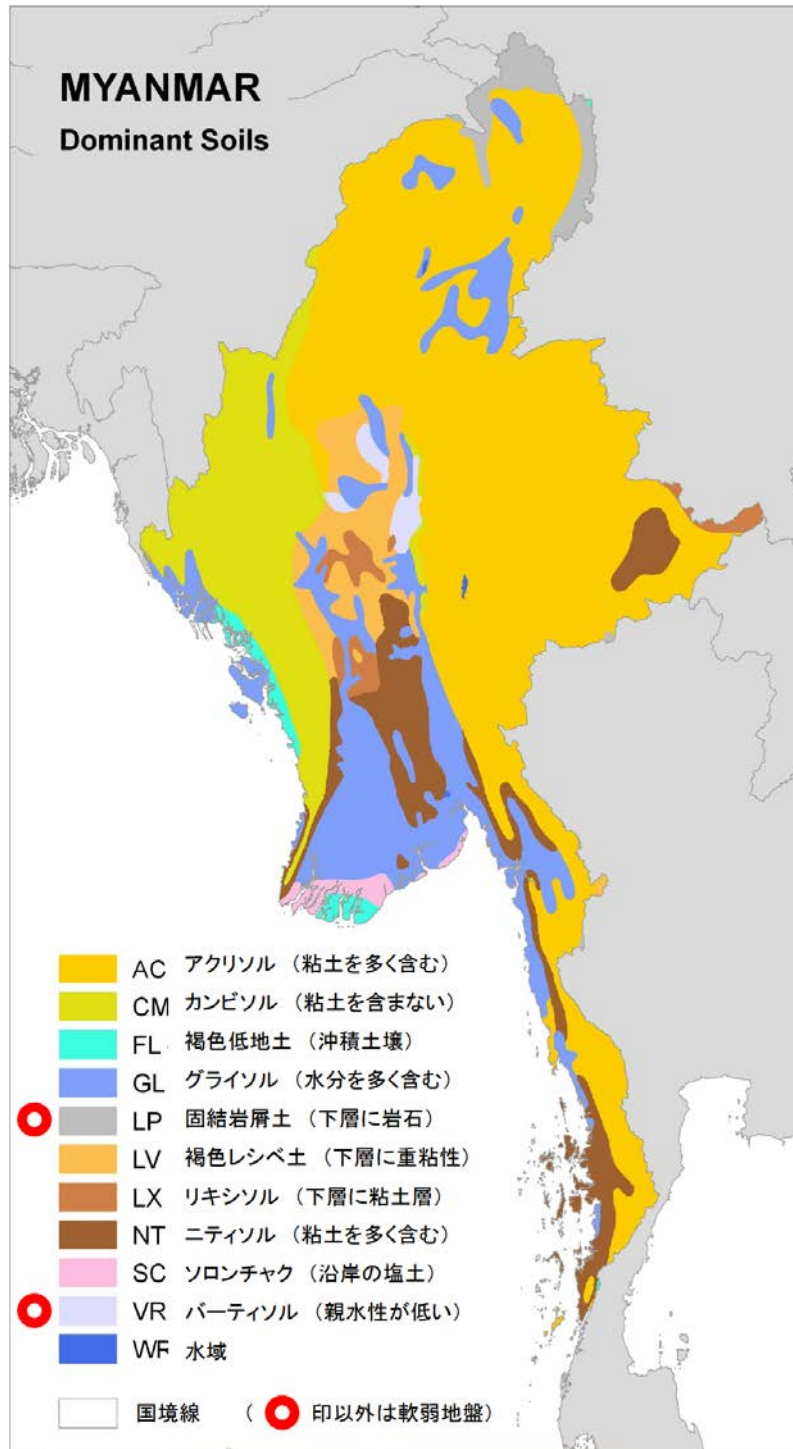


図 1-2 ミャンマーの土壌地図

出典：Army Geospatial Center ホームページ

(1) -3 事業実施国の関連計画、政策（外交政策含む）および法制度

① インフラ開発計画

1) 鉄道関連計画

鉄道については、1877年のヤンゴン～ピー間 298km が緬国で最初の鉄道で、1886年にヤンゴン～マンダレー間 623km が完成。その後は、1948年の独立から 1988年までに計 330km が敷設された。その後の 10年間では、連邦統一や国境地域開発の手段として鉄道が延伸され 1,864km が開通し、2007年時点で、3,149km となっている。

現在最も重要な路線は国土を縦断するヤンゴン～マンダレー間であるが、複線化されたのはヤンゴン～ピンマナ間 362km と、ミョーホン～マンダレー間 4km のみである。また、ヤンゴン市内では、約 47km の環状線があり、自動車の増加による渋滞や環境の悪化による環状線拡幅計画がある。さらに、2005年の首都機能移転により、ネピドーを中心に各州管区とのアクセス鉄道の整備が重点的に強化されている。

さらに、国際協力機構（JICA）は、2018年3月29日、緬国の首都ネピドーにて同国政府との間で、4事業、総額 1,170億4,000万円を限度とする円借款貸付契約（L/A: Loan Agreement）に調印した。

緬国の基礎インフラは多くの課題を抱え、地方・農村部を含めた持続的な経済成長・貧困削減や更なる投資促進のボトルネックとなっている。また、中小企業や住宅購入世帯に対する金融制度・サービスも不足しており、中小企業の経済活動の活発化や、国民への適切な住宅供給を阻害する一因となっている。

今回調印した円借款契約が対象とする事業は以下の4件であり、これらの事業を通じて、緬国の経済・社会の発展を包括的に後押しすることとしている。

- (i) 農業所得向上事業（借款金額：304億6,900万円）
- (ii) 中小企業金融強化事業（フェーズ2）（借款金額：149億4,900万円）
- (iii) 住宅金融拡充事業（借款金額：150億円）
- (iv) ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業（フェーズ2）（第一期）（借款金額：566億2,200万円）

この内、特に D・Box の適用の可能性が高いヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業（フェーズ2）（第一期）では、路線施設の改修による旅客貨物輸送需要の増大に対する対応が求められており、D・Box を用いた軌道路床の改良、振動対策への利用が期待できるものである。

## 2) 道路の関連計画

緬国建設省（MOC：Ministry of Construction）は、現在までに道路整備による裨益の大きさを認識し、1988年度に総延長22,725 kmの道路を、12年後の2000年度までに29,788 kmまで拡大した。2001年度の予算からは、1997年に緬国がASEANに加盟したことを受けて、既存の道路・橋梁をASEAN規格に適合させるための30年計画が策定された。2001年度に始まった30年計画のうち、第一次5ヵ年計画は2005年度に完了し、第二次5ヵ年計画も2010年度に完了している。この期間の計画と実績を対比すると、とくに第二次5ヵ年計画において、アスファルト舗装化の実績が計画を上回るという成果を挙げている。その大きな要因の一つは、BOT方式（Build, Operate & Transfer）の導入である。

第二次5ヵ年計画が完了した後、緬国は、2011年度から始まる第三次5ヵ年計画を前に目標設定の見直しを行い、2030年度までの第六次5ヵ年計画完了時の目標を次のように設定している。

### 【2030年度までの第六次5ヵ年計画完了時の目標：道路】

- 他のASEAN諸国に繋がる国際幹線道路をASEAN規格で整備する
- 各州・管区間を結ぶ連邦ハイウェイの改良を図る

上記に示す緬国の道路整備は、緬国建設省の下部組織である建設省公共事業庁（PW：Public Works）や建設省人間居住・住宅開発部（DHSHD：Department for Human Settlement and Housing Development）などにより、緬国の主要道路の整備、維持管理が実施されており、軟弱な路床部の改良対策として、路盤材と併用可能なD・Boxの使用が期待できる。

## (1) -4 事業実施国の対象分野におけるODA事業の事例分析及び他ドナーの分析

### ① 我が国の緬国に対するODA

2012年4月：テイン・セイン・緬国大統領が来日し、我が国は、以下の3本柱の支援を行う旨を表明している。

#### 【緬国ODAの基本方針】

- (i) 国民の生活向上のための支援（医療・保健、防災、農業等を中心に少数民族や貧困層支援、農業開発、地域開発を含む。）
- (ii) 経済・社会を支える人材の能力向上や制度整備のための支援（民主化推進のための支援を含む）
- (iii) 持続的経済成長のための必要なインフラや制度の整備等の支援

また、政権交代後の2016年11月に安倍首相とスーチー女史により取り交された「日本ミャンマー協力プログラム」では、都市部と地方を結ぶ運輸インフラ整備が挙げられており、それに関連した2012年から現在までの我が国の緬国に対する有償資金協力プロジェクトは表1-3に示すとおりである。D・Boxは軟弱地盤対策等に活用される要素技術であることから、各分野での今後の利用が期待出来る。

表1-3 我が国の有償資金協力プロジェクト  
(2012年から現在までの主な交通インフラ関連)

種別	借入契約 (L/A) 調印:	プロジェクト名	供与限度額 (億円)	概要
鉄道関連	2014年9月	ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業フェーズ1 (1)	200.00	既存鉄道路線のうちヤンゴン・タングー間における、老朽化した施設・設備の改修・近代化を支援。
	2015年10月	ヤンゴン環状鉄道改修事業	248.66	同環状線44キロメートル区間の信号システムの更新と新規車両の整備を支援。
	2017年3月	ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業フェーズ1 (2)	250.00	既存鉄道路線のうちヤンゴン・タングー間において、老朽化した施設・設備の改修・近代化を支援。
道路関連	2014年9月	ティラワ地区インフラ開発事業フェーズ2	46.13	ヤンゴンとティラワ地区を結ぶ幹線道路の拡幅・整備を支援。
	2015年10月	東西経済回廊整備事業	338.69	モーラミヤインとタイ国境 (ミャワディ) を繋ぐ東西経済回廊のうち、モーラミヤイン・コーカレー区間の3橋梁の架け替えを支援。
	2017年3月	バゴー橋建設事業	310.51	交通・物流網のボトルネックを改善するために、バゴー川を渡河する新たな橋梁を建築。

出典：JICA Web サイト資料より作成

## ② ODA 事業の事例分析

D・Boxは軟弱地盤対策等に活用される要素技術であり、今後、適用可能性のあると考えられる「水資源・防災」「運輸交通」「農業開発・農村開発」分野で2012年から現在までに実施されてきている支援活動について以下に示す。

「水資源・防災」分野では合計12件のプロジェクトがあり、うち1件が実施中のプロジェクトである。本事業で実証実験を実施したエーヤワディ地域では「エーヤワディ・デルタ輪中堤復旧機材整備計画」「沿岸部防災機能強化のためのマングローブ植林計画」が無償資金協力として実施されている。

「運輸交通」分野では、35件のプロジェクトがあり、うち14件(2018年10月時点)が実施中である(表1-4)。本事業で実証実験を実施したエーヤワディ

地域では「エーヤワディ・デルタ地域における雇用促進のための労働集約型道路整備に関する人的資源開発事業」が草の根技協（支援型）で、また「災害多発地域における道路技術改善プロジェクト」が技術協力プロジェクトで実施されていた。

これら事例より、以下のことが考察される。

基本的なインフラ整備に対する支援案件が数多くあり、これらの中には軟弱地盤地域に整備する必要があるインフラも数多くあるものと考えられる。

ODAの基本方針にもある「持続的経済成長のための必要なインフラ」とするためには、安価で且つ高品質なインフラの整備が求められるものと考えられる。特に緬国では地盤が軟弱な地域が多く、長期的な使用に耐えうる軟弱地盤対策技術の導入が重要であると考えられる。また、現地の技術向上という観点から、現地の技術者に技術移転を行いながら実施可能なインフラ整備を実施していく必要があると考えられる。

上記観点から、D・Boxを活用した軟弱地盤対策は今後の緬国のインフラ整備に大いに貢献できる可能性が高いと考えられる。

表 1-4 「運輸交通」分野のプロジェクト一覧

	案件名	スキーム	詳細分野	期間
1	運輸政策アドバイザー	有償技術支援－有償専門家	運輸交通行政	2018/05～2020/05
2	ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業フェーズ II 詳細設計調査【有償勘定事業支援】	有償技術支援－詳細設計	都市交通	2018/04～2019/11
3	金融市場インフラ整備計画	無償資金協力	都市交通	2018/04～2018/10
4	ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業（フェーズ2）（第一期）	有償資金協力	地方交通	2018/03～2024/12
5	ヤンゴン公共バスサービス改善プロジェクト	有償技術支援－附帯プロジェクト	都市交通	2018/01～2021/01
6	鉄道車両維持管理・サービス向上プロジェクト	有償技術支援－附帯プロジェクト	全国交通	2017/07～2021/06
7	ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業フェーズ I (II)	有償資金協力	全国交通	2017/03～2023/01
8	バゴ橋建設事業	有償資金協力	都市交通	2017/03～2021/03
9	バゴ橋建設事業詳細設計調査【有償勘定技術支援】	有償技術支援－詳細設計	都市交通	2016/09～2018/04
10	貧困地域における労働集約型簡易	草の根技協（パートナ	運輸交通行政	2016/04～2021/04



	舗装工事の持続的な自立実施支援事業	一型)		
11	道路橋梁技術能力強化プロジェクト	技術協力プロジェクト	全国交通	2016/04～2019/06
12	ヤンゴン環状鉄道改修事業 詳細設計調査【有償勘定技術支援】	有償技術支援－詳細設計	都市交通	2015/12～2017/03
13	東西経済回廊整備事業	有償資金協力	国際交通	2015/10～2023/03
14	ヤンゴン環状鉄道改修事業	有償資金協力	都市交通	2015/10～2020/04
15	カチン州及びピン州道路建設機材整備計画	無償資金協力	都市交通	2015/10～2018/02
16	ティラワ地区インフラ開発事業（フェーズ1）（第二期）	有償資金協力	国際交通	2015/06～2017/10
17	港湾近代化のための電子情報処理システム整備計画	無償資金協力	国際交通	2015/03～2018/03
18	都市交通政策アドバイザー	個別案件（専門家）	都市交通	2015/03～2017/03
19	ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業フェーズI（I）	有償資金協力	全国交通	2014/09～2020/09
20	次世代航空保安システムに係る能力開発プロジェクト	技術協力プロジェクト	国際交通	2014/09～2018/08
21	ティラワ地区インフラ開発事業フェーズII	有償資金協力	都市交通	2014/09～2018/07
22	新タケタ橋建設計画	無償資金協力	都市交通	2014/06～2019/12
23	ヤンゴン・マンダレー鉄道整備事業フェーズ1 詳細設計調査【有償勘定技術支援】	有償技術支援－詳細設計	都市交通	2014/05～2016/06
24	鉄道中央監視システム及び保安機材整備計画	無償資金協力	全国交通	2014/03～2018/04
25	ラカイン州道路建設機材整備計画	無償資金協力	地方交通	2014/02～2016/08
26	ティラワ地区インフラ開発事業（フェーズ1）	有償資金協力	都市交通	2013/06～2017/12
27	鉄道安全性・サービス向上プロジェクト	技術協力プロジェクト	都市交通	2013/05～2016/03
28	全国空港保安設備整備計画	無償資金協力	全国交通	2013/03～2015/11
29	ヤンゴン市フェリー整備計画	無償資金協力	都市交通	2013/03～2015/10
30	カレン州道路建設機材整備計画	無償資金協力	地方交通	2013/03～2015/08

31	軌道管理	個別案件（国別研修）	運輸交通行政	2013/03～2015/03
32	運輸交通政策アドバイザー	個別案件（専門家）	運輸交通行政	2013/02～2018/05
33	災害多発地域における道路技術改善プロジェクト	技術協力プロジェクト	その他運輸交通	2012/07～2015/06
34	エーヤワディー・デルタ地域における雇用促進のための労働集約型道路整備に関する人的資源開発事業	草の根技協（支援型）	地方交通	2012/06～2014/09
35	航空保安	個別案件（国別研修）	運輸交通行政	2012/02～2014/03

出典：JICA ナレッジサイトより調査団作成

表 1-5 有償資金協力案件一覧

件名	E/N 署名	供与限度額 (億円)	備考
債務救済措置（債務免除方式）	平成 24 年度	1,274	
社会経済開発支援計画	平成 24 年度	1,989	プログラム・ローン
債務救済措置（債務免除方式）	平成 25 年度	1,886	
ティラワ地区インフラ開発計画 (フェーズ 1)	平成 25 年度	200	ティラワ地区向け電力関連施設（変電、発電、送電等）の整備及び港湾の拡張
インフラ緊急復旧改善計画 (フェーズ 1)	平成 25 年度	141	ヤンゴン都市圏の火力発電所・変電所改修
貧困削減地方開発計画 (フェーズ 1)	平成 25 年度	170	ミャンマー全国の 7 地域及び 7 州における生活基盤インフラ（道路、電力、給水等）の新設・改修
ヤンゴン都市圏上水整備	平成 25 年度	237	
ヤンゴン～マンダレー鉄道整備		200	2013 年 12 月 15 日日緬首脳会談で表明
バゴー地域西部灌漑開発		149	〃
ティラワ地区インフラ開発（第 2 期）		46	〃

出典：外務省 HP、各種新聞記事等より調査団作成

### ③ 他ドナーの分析

緬国政府の民主化への本格的な取組を受けて、各ドナー国および国際機関も長期的な対緬国支援に着手し始めている。これにより、国連が主催する「援助関係者会合(MPG: Myanmar Partnership Group)」、ドナー・コミュニティーによる「援助効率化パートナーシップ会合(PGAE: Partnership Group for Aid Effectiveness)」等の既存の枠組みに加え、各セクターの分科会も含め、対緬国支援における活発なドナー間の協議・調整が始まっており、我が国も構成メンバーとして積極的に参加している。

表 1-6 緬国における各ドナーの支援額の推移

	2007	2008	2009	2010	2011		2007	2008	2009	2010	2011
<b>5. BILATERAL ODA COMMITMENTS: BY PURPOSE</b>						<b>REFERENCE SECTION (Continued)</b>					
Social Infrastructure & Services	70.1	74.8	105.3	88.4	109.3	<b>DAC COUNTRIES COMBINED</b>					
Education	23.3	22.4	18.1	23.2	34.8	OFFICIAL & PRIVATE					
Health & Population	28.0	20.3	57.7	22.0	29.7	GROSS:					
Water Supply & Sanitation	1.3	3.1	1.8	9.1	10.8	Contractual Lending	-	-	-	-	0.0
Economic Infrastructure & Services	2.4	2.6	3.4	5.0	12.6	Export Credits, Total	-	-	-	-	-
Energy	0.4	0.1	0.1	0.2	0.0	Export Credits, Prtv	-	-	-	-	-
Transport & Communications	1.8	1.6	3.0	4.7	4.5	NET:					
Production Sectors	6.9	14.9	13.9	25.1	42.1	Contractual Lending	-25.3	-82.5	-15.6	-5.6	-4.9
Agriculture, Forestry, Fishing	5.9	14.2	13.5	23.1	39.7	Export Credits, Total	-	-	-	-	-
Industry, Mining, Construction	0.9	0.5	0.2	1.0	0.2	PRIVATE SECTOR NET	-52.0	80.1	13.1	292.5	497.2
Trade & Tourism	0.2	0.2	0.2	1.0	2.1	Direct Investment	-68.1	59.4	190.1	261.5	491.3
Multisector	1.8	11.2	3.3	5.2	10.3	Portfolio Investment	14.1	24.2	-174.7	-1.5	-3.6
Programme Assistance	1.9	3.6	4.4	12.8	13.6	Export Credits	2.0	-3.5	-2.3	32.5	9.6
Food Aid	1.9	1	4.4	12.8	13.6	ODA COMMITMENTS	138.4	447.9	251.6	217.7	263.5
Action Relating to Debt	0.7	4.2	0.5	0.4	0.3						
Humanitarian Aid	342	303.3	99.1	55.3	72.1						
Other & Unallocated/Unspecified	8.7	10.4	6.2	1	1.4						
TOTAL	126.7	425	238.1	193.1	261.8						
<b>6. REFERENCE SECTION: INDICATORS</b>						<b>ALL DONORS COMBINED</b>					
Population (thousands)	46916	47250	47601	47963	48337	OOF GROSS	0.9	0.7	1.7	1.8	1.0
GNI (current \$ Million)	0	0	0	0	0	OOF NET	-22.5	-79.5	-11.8	-1.7	-0.9
GNI per capita (Atlas \$)	-	-	-	-	-	TC GRANTS	34.7	35.3	37.2	56.9	60.2
Energy Use (Kg oil equiv per capita)	332	331	316	-	-	ODA COMMITMENTS	262.0	546.6	330.1	370.4	356.0
Average Life Expectancy	63	64	64	65	65						
Adult Literacy Rate (%)	-	-	92	-	-						

出典：Myanmar Donor Profiles, PGAE

【他ドナーによる道路プロジェクト】

現状において、緬国においては、各国 ODA プロジェクトが進行されており、道路整備は今後更に進んでいくことになる。

表 1-7 各国 ODA の状況（道路関連）

	援助国	プロジェクト名	実施段階
1	タイ	Thinkann yinaung- Kawkareik Road Project	実施中
2	タイ	Dawey Route	実施中
3	インド	Kaladan Multimodal Transit Transport Project	実施中
4	ADB	Maximizing Transport Benefits through Community Engagement Project	実施中
5	WB	Myanmar National Community Driven Development Project	実施中
6	タイ・ADB	Mawlamyaing-Kawkareik Road Project	計画
7	タイ	Thanphyu zayat -Three Pagodas Road Project	計画
8	タイ	Myeik-Tan intharyi-Maw Taung Road Project	計画
9	中国	Kyaupyu-MuseRoad	計画
10	インド	Tiddim-Rhi Road	計画
11	インド	77s RC Bridges Construction Project on Tamu-Kalewa	計画
12	韓国	Minbu-Ann	計画
13	韓国	Hinthada 市 Bypass	計画

14	韓国	DALA Bridge	計画
15	ADB	GMS East-West Corridor Extension into Myanmar	計画
16	ADB	Developing the Asset Management Program for Myanmar Roads	計画

出典：社団法人国際建設技術協会「ミャンマーのインフラ整備現況（道路分野）」

しかしながら、軟弱地盤対策を対象とした各国 ODA プロジェクトは実施されていないのが現状である。今後進められる道路整備事業に対しても、D・Box を用いたガイドラインの整備・軟弱地盤対策技術の向上及び技術移転は、現時点で大きな課題であると言えるが、同時に D・Box を活用した軟弱地盤対策は今後の緬国のインフラ整備に大いに貢献できる可能性が高く、大きなアドバンテージがあると考えられる。

(2) 普及・実証を図る製品・技術の概要

名称	内部拘束式箱型土のう (D・Box)				
スペック (国内仕様)	製品名	D・Box LS100		D・Box LS150	
	施工寸法 (mm)	W1,000 x D1,000 x H250		W1,500 x D1,500 x H450	
	中詰材容量	0.25 m <sup>3</sup>		1.0 m <sup>3</sup>	
	本体物性値 (5 cm あたり)	縦	横	本体材質	中詰材
	(1) 引張強度 (N)	1,869	1,858	ポリプロピレン (紫外線防止剤 入)	砕石 (40 mm 以下)、 砂 等
	(2) 伸度 (%)	18	18		
特徴	<p>ア. 製品の特長</p> <p>透水性を有する繊維素材を用いた D・Box (地盤補強用内部拘束式箱形状の袋) を利用し、中詰に砕石や砂等を使用する事により超軟弱地盤上の表層部に設置して地盤補強ができる工法である。袋の張力を利用し内部の土粒子間に摩擦力を発生させ、更に袋体内部のトラスバンドを吊上げる事により、下面の地盤強度に関係なく D・Box 自体を固化させ、形状を保つ仕組みである (次ページ図参照)。施工性及び汎用性にも優れ、重機が進入できないような軟弱地盤上でも人力のみでの施工が可能である。材料がポリプロピレンであるため、現状では紫外線耐性は 700 時間の照射試験で設計値の 80% の引張強度があることが確認されているが、万全を期すため、紫外線対策 (被覆土、カバー) 等は必要である。</p> <div style="border: 1px solid orange; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p>◆主な登録等</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ NETIS : 2011 年 2 月登録 登録番号 : KT-100098-A</li> <li>➤ 埼玉県新技術、新製品紹介 2010 年 6 月紹介 登録番号 : H22-1081</li> <li>➤ 福岡市 新技術 (新製品・新工法) * 役所内部データ 2013 年 12 月登録</li> <li>➤ その他 : D-Box の特許として日本、アメリカ、EU、ロシア、中国他 43 ヶ国で特許取得。また PCT の国際優先権を有す (優先日 2013 年 9 月～) PCT/JP2013/75844</li> <li>➤ 緬国での知的財産権登記 (2013 年 9 月 3 日)</li> </ul> <p>◆主な賞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 埼玉県 : 彩の国産業技術大賞 (特別賞)</li> </ul> </div>				



実績もある。本邦での、D・Box 工法の地盤改良工費（直接工事費）は、約 7,500 円/m<sup>2</sup>（LS100 中詰砕石、袋代、人件費）程度であり、超軟弱地盤で、施工条件が悪く地盤改良用大型重機等の進入が困難な場所や、排水条件の悪い場所、環境配慮（セメント材、石灰等の使用規制）が必要な条件下で、有利な工法である。

類似製品としては、土のう工法や、ジオテキスタイル工法（シート工法）が挙げられるが、超軟弱地盤での使用については、滑りの安定性や、工事時に載る重機の作業足場などを確保する必要があり、D・Box のように単独で使用可能な工法は見当たらない。なお、2014 年 9 月の公共事業省（MOC）へのヒアリングでは、日本の援助により浅層混合の重機によるセメント混合処理機械が導入され、エーヤワディ地域での軟弱地盤上の道路改良試験施工の路床改良費に約\$23.5/m<sup>2</sup>（舗装費全体の 50%：重機代は含まず）との情報を得ている。D・Box の現地生産や中詰材に安価な砂を用いることにより、これよりも安価な費用により、特殊重機を用いない安価で排水効果の高い舗装の路床改良が可能と試算している。

**【袋に孔が開いた場合の対応】**

D・Box 内の砕石や砂の拘束は、一般の“土のう”のように表面の袋による張力による拘束ではなく、トラスバンドによる引張りにより内部の砕石や砂が拘束されていることから、袋を開いた状態でも内部の形状を保っている。過去にも D・Box に細かい孔を空けて実験した結果でも、せん断強度は変わらない結果であった。そのため少しの傷や穴では上載荷重に対するせん断抵抗力は影響しない。ただし砂の場合には、水流などによる砂の流出の影響も懸念されることから、側面の破損や紫外線による破れが無い様留意する必要がある。

国内外の 販売実績		LS100		LS150	
		国内	海外	国内	海外
	2009 年度	5,020	0	2,420	0
	2010 年度	4,390	0	8,480	0
	2011 年度	15,000	0	6,860	0
	2012 年度	225,210	600	47,270	0
	2013 年度	76,900	900	49,800	450
	2014 年度	36,870	0	75,350	0
	2015 年度	54,510	0	69,770	0
	2016 年度	118,500	1,710	23,300	50
2017 年度	13,700	0	65,200	0	
主要取引先：公共団体（国、県、市町村、鉄道、自衛隊）、民間（ゼネコン各社）					

サイズ	製品名	D・Box LS100		D・Box LS150	
	施工寸法(mm)	W1,000 x D1,000 x H250		W1,500 x D1,500 x H450	
	中詰材容量	0.25 m <sup>3</sup>		1.0 m <sup>3</sup>	
	本体物性値(5 cmあたり)	縦	横	本体材質	中詰材
	(1)引張強度(N)	1,869	1,858	ポリプロピレン (紫外線防止剤 入)	砕石(40 mm以下)、 砂等
	(2)伸度(%)	18	18		
設置場所	エーヤワディ地域内 エインメ駅～ダウンジ駅の間に位置するチャウンピャー橋(Chaungphyar Bridge) 付近の約360 m 区間				
今回設置した機材の数量	LS100=2,022 (現地生産 460 袋、日本から輸送 1,562 袋) LS150=48 袋 (日本から輸送) LS100M (現地生産) : 900 袋 (斜面補修・補強用 (追加請求無し))				
価格	製品名 (国内仕様)	D・Box LS100		D・Box LS150	
	製品原価 (円/袋)	5,373		9,931	
	販売価格 (円/袋)	7,500		13,500	
本事業での機材費総額 : 機材費 31,251 千円、輸送・関税費 5,753 千円					



## 2. 普及・実証事業の概要

### (1) 事業の目的

エーヤワディ地域内の軟弱地盤地域の鉄道基礎において、内部拘束式箱形土のう(D・Box)を使用した地盤対策工法によるインフラ整備技術を用いて、沈下・噴泥・振動対策の効果にかかる実証活動を通じ、D・Boxの現地の状況に適合した設計・施工マニュアルの作成等の普及活動を行う。

### (2) 期待される成果

- 成果 1. 実証活動として事業実施区間の鉄道基盤上にD・Boxによる軟弱地盤補強を行うことで、噴泥を防止し、それにより軌道部の不同沈下抑制が確認される。
- 成果 2. 実証活動を通じて、鉄道会社に対する「D・Boxによる軟弱地盤対策工法」に関する技術移転モデルの有用性が検証される。
- 成果 3. D・Boxによる軟弱地盤対策工法について、緬国のインフラ整備関係機関等に認知・理解される。

上記の成果により、輸送サービスの向上(脱線事故の低減、運行速度向上による緬国国民の生活向上、交通・流通の円滑化等)が図られ、持続的経済成長に寄与する。また、D・Boxによる軟弱地盤対策工法について、緬国のインフラ整備関係機関等に認知・理解されることにより、他のインフラ整備事業にも適用され、自然災害に強く、高品質なインフラサービスの提供、維持管理費用の低減、ライフサイクルコストの低減、将来の高盛土による災害時の死傷者数の軽減、早期の復興等の社会経済開発上の効果が見込まれる。

### (3) 事業の実施方法・作業工程

事業の実施方法としては、表2-1の作業工程に示すように、現地測量及び土質調査を実施し、設計図を作成後に施工計画を立てた上で、入札図書を作成した。MRの工事实績のある3社を選定し、入札を行い最も入札額の低い建設業者(Green Future)に工事を委託した(2016年12月)。工事は2017年4月初旬に竣工し、その後、約1年間に亘って載荷試験及び軌道部の沈下計測(1回/月)を行い、D・Boxの効果を確認するため沈下抑制効果、振動低減効果の検証を行った。

表 2-1 作業工程表

調査項目	2016		2017										2018												
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>活動1. 内部拘束式箱型土のう(D-Box)の実証活動</b>																									
施工計画検討・資材調達、製造及び輸送	■	■																							
現況測量調査(横断測量)	■	■																							
土質試験、地盤支持力試験	■	■		■																					
鉄道基盤上および載荷試験用のD-Box敷設			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
施工(MRの保線エンジニア、土木エンジニアを対象とした技術移転)			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
軌道車(RGC)もしくは列車による走行時の振動計測					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
D-Box設置後の雨期の噴泥状況の確認																									
紫外線対策試験(現地の紫外線によるD-Boxの劣化度確認)																									
沈下解析、支持力算定																									
載荷試験(1年間の沈下計測)																									
軌道部の沈下計測(1年間)																									
<b>活動2. 内部拘束式箱型土のうに係る技術移転モデルの検証</b>																									
D-Boxの製作方法や設置方法を示した簡易施工マニュアル(ミャンマー語)の作成	■	■																							
MRの土木エンジニアおよび保線エンジニアを対象とした簡易施工マニュアルを用いた現場立会による技術移転の実施			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
D-BOX維持管理方法について記述した製品管理マニュアルを作成し(ミャンマー語)、D-BOX本引渡し時に配布			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
D-Box設計/施工マニュアル(軟弱地盤上へD-Boxを用いた鉄道基盤の地盤補強設計および施工に関するマニュアル)の作成																									
鉄道公社関係者等を対象とした設計/施工マニュアルを用いた研修会の開催(2回)																									
本邦受入活動(実証期間の半ば頃に、1週間の予定で2名x1回。日本での鉄道の敷設例、その他のインフラ工事現場でのD-Boxの設置見学を行う)																									
<b>活動3. 将来的な普及に向けた検討</b>																									
インフラ関係機関へのPR、ミャンマー工学会(MES)でのPR活動																									
現地資機材のサプライチェーンやパートナー企業候補の確認、ビジネスモデルの検討																									
企業進出のための法規制等の調査																									

●●●●● 国内作業(予定)      ——— 国内作業(実績)  
●●●●● 現地作業(予定)      ——— 現地作業(実績)

出典：調査団作成

(4) 投入（要員、機材、事業実施国側投入、その他）

以下に、要員計画及び、機材、業務実施国側投入は次の通りであり、詳細を表 2-2～2-6 に示す。

表 2-2 要員計画総括（計画）

No.	氏名	担当業務	格付	所属	計画	渡航回数	業務日数	
							現地	国内
1	野本 太	業務主任者・総括/実証検討/機材据付①/効果測定① (振動等)/報告書対応(作成・監修)	3	Metry	計画	8	94	51
2	花屋 剛	業務主任者代理・副総括/機材据付②/設計・施工マニュアル監修/報告書対応(作成)	3	Metry	計画	1	21	37
3	大里 俊広	機材据付③/現地歩掛調査②	3	Metry	計画	1	21	0
4	北角 和子	資料準備/精算処理	6	Metry	計画	0	0	40
5	嶋田 宏	チーフアドバイザー・副総括/実証計画/発注入札/研修会/現場管理/販路開拓/事業展開/業界分析①/報告書対応(作成)	3	PCKK	計画	7	63	37
6	北浦 実	鉄道設計/現場管理(鉄道施工)/効果解析/報告書対応(作成)	3	PCKK	計画	3	21	22
7	門田 浩一	土質調査計画/土質調査管理/地盤解析/結果検証/設計マニュアル作成/講習会(設計マニュアル)/報告書対応(作成)	3	PCKK	計画	1	7	37
8	舘川 逸郎	土質調査計画/土質調査管理/地盤解析/結果検証/設計マニュアル作成/講習会(設計マニュアル)/報告書対応(作成)	3	PCKK	計画	3	21	43
9	宗片 渉	簡易施工マニュアル/擁壁監督/現地歩掛調査①/他工法との工事費比較/施工マニュアル作成/報告書対応(作成)	6	PCKK	計画	2	21	32
10	松田 悠子	発注図書作成/リスク調査・対策/販路開拓/事業展開/業界同行分析②/マニュアル普及	6	PCKK	計画	5	42	11
11	清野 隆二	現場管理(鉄道施工)	3	NSG	計画	0	0	0

所属： Metry：メトリー技術研究所株式会社 PCKK：パシフィックコンサルタンツ株式会社 NSG：株式会社日本線路技術

出典：調査団作成



表 2-3 要員計画表(2)

担当業務	氏名	所属	契約期間												人・月計						
			2018年												現地	国内					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12							
業務主任者・総括/実証検討/機材届付①/効果測定①(振動等)/報告書対応(作成・監修)	野本 太	Metry	予定	1	7					14	3	3	2	3				3.13	2.55		
			実績																2.93	1.85	
業務主任者代理・副総括/機材届付②/設計・施工マニュアル監修/報告書対応(作成)	花屋 剛	Metry	予定	1						2	2	2	3				0.70	1.85			
			実績															0.23	0.45		
機材届付③/現地歩掛調査②	大里 俊広	Metry	予定														0.70	0.00			
			実績		14					2	1						1.93	0.20			
資料準備/精算処理	北角 和子	Metry	予定	1						4	3	3	7	8			0.00	2.00			
			実績														0.00	0.80			
チャートアドバイザー・副総括/実証計画/発注入札/研修会/現場管理/版路開拓/事業展開/業界分析①/報告書対応(作成)	嶋田 宏	PCKK	予定	1													2.10	1.85			
			実績														3.80	2.95			
鉄道設計/現場管理(鉄道施工)/効果解析/報告書対応(作成)	北浦 美	PCKK	予定														0.70	1.10			
			実績														0.43	0.80			
土質調査計画/土質調査管理/地盤解析/結果検証/設計マニュアル作成/講習会 設計マニュアル/報告書対応(作成)	門田 浩一	PCKK	予定														0.23	0.15			
			実績														0.20	0.10			
土質調査計画/土質調査管理/地盤解析/結果検証/設計マニュアル作成/講習会 設計マニュアル/報告書対応(作成)	館川 逸郎	PCKK	予定	1	1	1	1	7	3	1	1	1	2	2			0.70	2.15			
			実績														2.00	1.03			
簡易施工マニュアル/権限監督/現地歩掛調査①/他工法との工事量比較/施工マニュアル作成/報告書対応(作成)	赤片 涉	PCKK	予定														0.70	1.60			
			実績														0.27	2.20			
発注図書作成/リスク調査・対策/版路開拓/事業展開/業界同行分析②/マニュアル普及	松田 悠子	PCKK	予定	7													1.40	0.55			
			実績														2.77	0.50			
現場管理(鉄道施工)	清野 隆二	MSG	予定														0.00	0.00			
			実績														0.37	0.00			
現地作業																	受注企業	人・月計(予定)	4.53	6.40	
国内作業																		受注企業	人・月計(実績)	5.09	3.30
																		外部人材	人・月計(予定)	5.83	7.40
																		外部人材	人・月計(実績)	9.84	7.58
																			人・月計(予定)	10.36	13.80
																			人・月計(実績)	14.93	10.88

■ 現地作業

□ 国内作業

所属: Metry:メトリー技術研究所株式会社 PCKK:パンフアックコンサルタル株式会社 MSG:株式会社日本総務技術

出典: 調査団作成

表 2-4 資機材リスト

・資機材リスト

	機材名	型番	数量	納入年月	設置先
1	D・Box (LS100)	LS100	1,710 袋	2017 年 4 月	Chaungphyar Site
2	D・Box (LS150)	LS150	50 袋	2017 年 4 月	Chaungphyar Site
3	オートレベル (測量器)		1 台	2017 年 4 月	Daunggyi Station
4	オートレベル用三脚		1 台	2017 年 4 月	Daunggyi Station
5	アルミスタッフ	測量用	1 本	2017 年 4 月	Daunggyi Station
6	クレーンスケール	D・Box 計測秤	1 個	2017 年 4 月	Daunggyi Station
7	JIS 割玉掛ワイヤ (ワイヤ)		4 本	2017 年 4 月	Daunggyi Station
8	パールセッター (フック)		2 個	2017 年 4 月	Daunggyi Station
9	フォームレスフォーム (網型枠)	2m×1m/枚	150 枚	2017 年 4 月	Chaungphyar Site
10	D・Box (LS100M)	LS100M (現地生産)	460 袋	2017 年 4 月	Chaungphyar Site

出典：調査団作成

表 2-5 事業実施国政府機関側の投入

・事業実施国政府機関側の投入

1	鉄道土木エンジニア	施工期間中、MR の土木エンジニア 1 名が現場に常駐した。また、最終検査のためエリア内本部から別途 1 名の参加があった。
2	測量士	施工期間中、MR の測量士 1 名が現場に常駐した。
3	バックホー (20 t)	2017 年 1 月 27 日～2 月 6 日まで MR のバックホー (含オペレーター) の提供を受けたが 2 月 6 日の事故発生 (後述) 後の供給は無い。

4	Rail Gang Car	施工期間中、資機材運搬や振動計測のため MR の Rail Gang Car1 両の提供を受けた。
5	Rail Flat Wagon	施工期間中、資機材運搬や振動計測のため MR の Rail Flat Wagon1 両の提供を受けた。
6	枕木	元々の施工区間は MR 基準の枕木の本数に達していなかったため、追加分の枕木の提供を受けた。
7	レールクリップ	施工区間への追加分の枕木分のレールクリップの提供を受けた。
8	レール	施工区間へのレール再設置の際に用いる予備用のレールの提供を受けた。 また、斜面の補強用の抑制杭として古いレールの提供を受けた。
9	タンパー	施工会社のタンパーが故障していたため、MR からタンパー 2 機、発電機 1 台の提供を受けた。

出典：調査団作成

(5) 事業実施体制

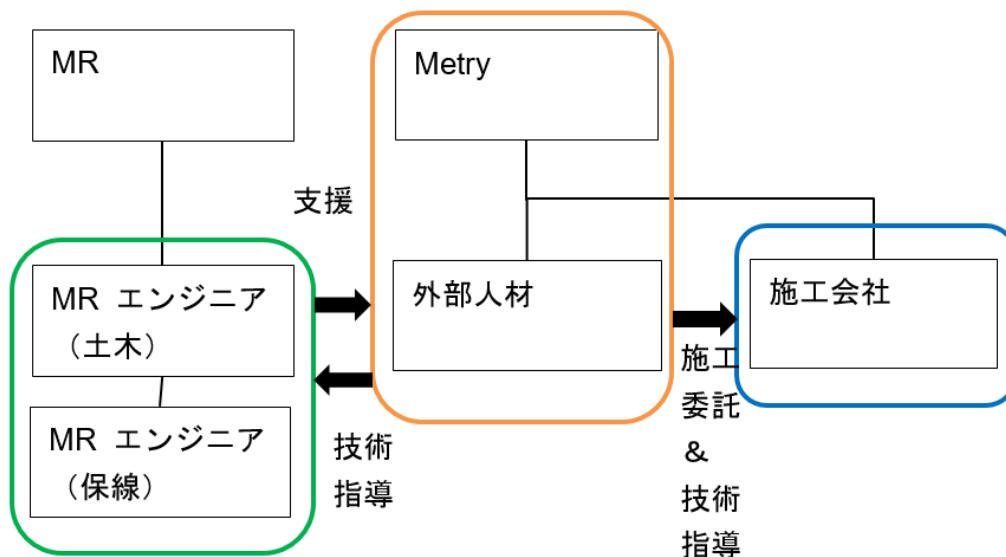


図 2-1 事業実施体制

出典：調査団作成

(6) 事業実施国政府機関の概要

組織の正式名	Myanma Railways, Ministry of Transportation and Communication, Myanmar (運輸・通信省ミャンマー国鉄)
所在地	Nay Pyi Taw Central Station Compound, Pobba Thiri Township, Nay Pyi Taw
設立年	1877年
組織の規模(資金)	758,702.1 Million MMK
組織の規模(人数)	32,053 (2014年10月時点)
組織の目的	国有鉄道の運行
主な業務内容	国有鉄道の運行

組織図

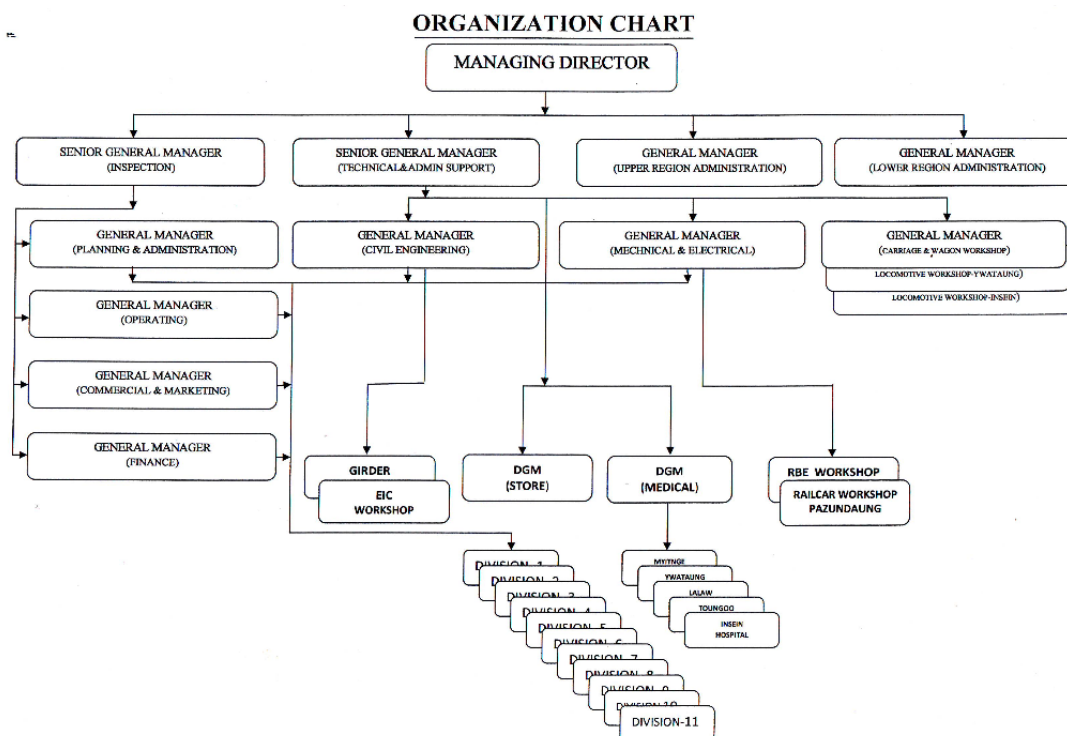


図 2-2 事業実施国政府機関の組織図

出典：MR の Website



### 3. 普及・実証事業の実績

#### (1) 活動項目毎の結果

##### (1) -1 総括

活動項目の目的と内容を表 3-1 に示し、その概要について後述するものである。

表 3-1 活動項目と目的および内容一覧

No.	活動項目	内容	実績・成果
活動-1	(1) -2 内部拘束式箱型土のう (D・Box) の実証活動		
	①施工計画検討・資材調達、製造及び輸送	実証事業の工事発注用図書として施工計画及び設計図面の作成、数量及び概算工事費を算出した後に、施工業者を選定し、資機材の調達および現地での D・Box の製造を行なった。	現地の建設会社 3 社を指名し、最低価格である Green Future が落札し、技術的指導を行ないつつ、工期限内に完了することができた。また、緬国製の D・Box も設計変更を含めて合計 460 袋を製作し、カンシ堤等に使用した。
	②現況測量調査 (横断測量)	実証事業実施区間 (CH220 ~ CH580 : L=360m) の横断測量を行なった。	2017 年 11 月に完了し、設計図面作成に反映することが出来た。
	③土質試験、地盤支持力	現地の軟弱地盤の土質条件を明確にし、支持力算定、沈下解析に必要な試験を実施した。	支持力算定は、D・Box による軟弱地盤に対する地盤支持力算定式を現場試験結果と FEM 解析により導くことが出来、今後、関係機関からの認証または、推薦を取り地盤支持力の算定式として活用していく予定である。
	④鉄道基礎上及び載荷試験用の D・Box 敷設	2017 年 1 月末~4 月初旬にかけて延長 360m 区間を対象に軌道部に D・Box を敷設した。また、Daunggyi Station にて、載荷試験用の D・Box を 2017 年 2 月中旬に敷設した。	1) 日本人による技術指導の下、軌道部 360m の D・Box の敷設および人力による 4m の敷設は工期限内に問題なく施工することができた。 2) Daunggyi Station の沈下解析は、1 年間の沈下観測を実施した。
⑤施工 (MR の保線エンジニア、土木エンジニア)	2017 年 2 月初旬に保線技術の専門家 (日本線路技術) による軌道	2017 年 4 月の竣功検査時 (MR への引渡時) に規定の基準値内に、	

<p>ジニアを対象とした技術移転)</p>	<p>部の施工及び軌道修正、維持管理について指導を実施した。</p>	<p>MR の技術者により軌道を取ることが出来ることを確認した。維持管理についても MR へ指導している。現在、列車は運行していないが、巡回しているとのことである。</p>
<p>⑥軌道車(RGC)もしくは列車による走行時の振動計測</p>	<p>D・Box 敷設前×1回、敷設後×4回の振動計測を実施した。</p>	<p>敷設前に比較して、振動が敏感な範囲(1~12.5Hz)においては、5から10dB以上の振動低減効果を検証した。但し、20Hz以上の振動数については、逆に大きくなる傾向があったため、再度の試験を試みたが、MRによるRGCの用意ができなかったことから、再度の試験は実施できず原因は解明出来なかった。</p>
<p>⑦D・Box 設置後の雨季の噴泥状況の確認</p>	<p>2017年4月の竣功後の雨季(2017年7月、8月、9月、2018年5月)に現地確認を行い、噴泥現象の無いことを確認した。</p>	<p>現地で目視による確認を行い、噴泥現象の無いことを確認し、D・Boxの噴泥対策効果を検証した。</p>
<p>⑧紫外線対策試験(現地の紫外線によるD・Boxの劣化度確認)</p>	<p>緬国での1年間の暴露試験によるD・Boxの試料の引張試験により、1年後の強度の残存率の確認を行なった。</p>	<p>D・Boxの引張り強度の残存率は、日本製は70%以上(26.6kN/m)緬国製は、60%弱(18.4kN/m)である。列車等の想定荷重は、約30kN/m<sup>2</sup>であり、その際のD・Boxの必要引張強度は2kN/m以下であることから、1年間の紫外線の照射があっても安全性は十分確保されていることを確認した。</p>
<p>⑨沈下解析、支持力算定</p>	<p>D・Boxの有無による平板載荷試験を実施し、FEM解析により支持力算定式を導入した。</p>	<p>平板載荷試験の結果とFEMによる再現結果より、目標であった支持力算定式(門田式)を導入することが出来た(資料-6参照)。</p>
<p>⑩載荷試験(1年間の沈下計測)</p>	<p>Daunggyi Stationにて、D・Boxの有無による圧密軽減効果の確認を行なった。</p>	<p>載荷試験の実施時期が工程の遅れにより、雨季から乾季となったため対象地盤が乾燥しており、D・</p>

			Boxの有無による圧密低減効果を 確認することは出来なかった。 資料-8 参照
	①軌道部の沈下計測 (1年間)	Chaungphyar Siteにて、軌道部の 高さの測量を1年間20m間隔で実 施し、D・Boxによる沈下抑制効果 を確認した。	橋梁取付け部の一部(6cm)を除い て、その他の区間の沈下は3cm以 内に収まっており、D・Boxによる 軌道の沈下抑制効果を検証する ことが出来た。  なお、橋梁取付区間の沈下は、元 から在った空洞部の沈下、また は、コラプス現象 <sup>*1</sup> によるものと 考えられる。
活動-2	(1)-3 内部拘束式箱型土のう(D・Box)に係る技術移転モデルの検証		
	①D・Boxの製作方法 や、設置方法を示し た簡易施工マニュアル (緬国語)の製作	英語、緬国語の簡易マニュアルを 作成し、現場にて実践を行いつつ 説明した。	緬国語でのマニュアルと現地の 実践指導により、製作は1日120 袋と日本と変わらないスピード でD・Boxの製作を可能とし、十分 に施工技術は伝わっていること を検証した。
	②MRの土木エンジ ニアおよび保線エン ジニアを対象とした 簡易施工マニュアル を用いた現場立会に よる技術移転の実態	英語、緬国語の簡易マニュアルを 作成し、現場にて実践を行いつつ 説明した。	現場での専門家による、技術的な 指導により、所定の誤差以内で軌 道の設置を可能とした。  下記の許容値内で竣工時の検査 に合格する水準となっているこ とを検証した。  ・5m毎の軌道高誤差±5mm  ・5m毎の軌道幅±10mm  ・5m毎の軌道設計高±10mm
	③D・Box維持管理方 法について記述した 製品管理マニュアル を作成し(緬国語)、 D・Box本引渡時に配 布	英語、緬国語の簡易マニュアルを 作成し、引渡時に配布し説明し た。	現地にて維持管理は定期的に実 施されており、竣工1.5年後の 2018年10月時点での、軌道の状 態は良好であったことから、維持 管理面での問題は無いことを確 認した。
	④D・Box設計/施工	Chaungphyar Siteでの実証事業	設計施工マニュアル(緬国語)を

	マニュアル（軟弱地盤上へのD・Boxを用いた鉄道基礎の地盤補強設計および施工に関するマニュアル）の作成	(360m)での実績を元に、設計/施工マニュアルを日本語、英語、緬語で作成し、MRには、英語版×5部、緬語版×10部を渡している。	もとに、MR及びMESにて講習会を行い、具体的なD・Boxに関する質問が出ており、内容が理解されていることを検証した。 マニュアルは資料-6参照
	⑤鉄道公社関係者等を対象とした設計/施工マニュアルを用いた研修会の開催(2回)	英語、緬語のマニュアルを作成し、ネピドー(MR職員)およびヤンゴン(土木技術者、建築関係者)にて講習会を2017年9月と2018年5月の各2回合計4回実施した。ヤンゴンのMESでの講習会では、2回ともに、100名以上の参加者があった。	MRの2回の研修会では、それぞれ約10名の技術者が参加し、D・Boxの具体的な、使用場所についての質問が出た。MESでの建設会社の土木技術者が大半をしめる講習会では、10項目以上のD・Box使用に当たっての質問がでており、MES側よりCPD研修として認定してもらい、非常に盛況な講習会との評価をいただき、研修会によるD・Boxに対する技術移転の効果を確認した。
	⑥本邦受入れ活動(2名×1週間)	2018年6月中旬に、MRの技術者2名が、1週間程度でD・Boxの国内の設置現場状況を見学するとともに、座学によりD・Boxの設計/施工マニュアルの講習を受けた。	研修後のアンケート結果より、D・Boxの各種地盤における適応性の広さや、長期的な効果の持続性も理解された。さらに2名の参加者は、今後ヤンゴン～マンダレー間の最も主要な本線に従事する予定とのことであり、今後のD・Boxの普及において大いに期待できるものである。
活動-3	(1)-4 将来的な普及に向けた検討		
	①インフラ関係機関へのPR、ミャンマー工学会(MES)でのPR活動	MESにて講習会を2017年9月と2018年5月にD・Boxの設計/施工マニュアルに基づく講習会を行い、D・Boxの効果についてPRを行った。	2回の講習会の参加者は、大半が建設関係の土木技術者であり、2回とも参加者も100名以上を越え非常に盛況であったことや、D・Boxの使用に当たっての具体的な質問が止まなかったことから、その関心の高さを確認した。 今後、MESでのD・Boxの軟弱地盤

			に対する推薦状を取得するなどして、施工法/設計法を鉄道以外の分野に広げることを考えている。
	②現地資機材のサプライチェーンやパートナー企業候補の確認ビジネスモデルの検討	メトリー技術研究所の会社規模から、ミャンマーにてD・Boxの販売と技術指導が可能な代理店を探し、その代理店と代理店契約を結ぶことを検討中である。	D・Boxの現地生産については、本事業で実証したことから、今後の目途が立っているが、D・Boxの販売については、上記に示したMESによる推薦状を取得後に検討することを考えている。
活動-4	(1) -5 盛土斜面の崩壊対応		
		MRの責任範囲である盛土部の斜面の法面の崩壊に伴う、斜面の補強工としてのカンシ堤による斜面補強効果の確認	斜面の抑制効果としてのカンシ堤の最終的な効果確認は、2018年の雨季が過ぎてから検証した。2018年2月に実施した追加分のカンシ堤を含む斜面の崩壊は発生していないことを2018年10月初旬に現場にて確認した。

※-1：コラプス現象：乾燥した粘性土が吸水により圧縮変形して沈下する現象

出典：調査団作成

当初の計画では、MRの列車運行がエインメ⇄パティン間を朝夕1往復する予定であったが、事業開始後に列車の点検および軌道補修のため運行が休止した。そのため、列車運休中に工事を進めることとなり、当初の完成予定よりも約3週間早い2017年4月初旬に完了することが出来た。

列車の運行は、その後も他工区の橋梁の破損や軌道補修により、2018年10月の時点でも再開には至っていない状況である。

列車の運行は無いものの、1年間以上に亘る軌道の沈下計測結果や、目視調査による噴砂対策の効果、D・Boxによる補強（カンシ堤）により斜面は安定を保っている状況を確認することにより、D・Boxによる地盤補強、噴泥対策及び斜面補強の有用性は十分に実証されたと考えている。

(1) -2 活動1：内部拘束式箱型土のう（D・Box）の実証活動

① 施工計画検討・資材調達、製造及び輸送

施工計画を立案し、入札図書として発注図、仕様書、契約書を作成（添付資料-5）するとともに、日本からの機材として以下の資機材を輸送した。

表 3-2 資機材一覧表

品目	数量
D・Box（LS100）	1,710 袋
D・Box（LS150）	50 袋
オートレベル（測量器）	1 台
オートレベル用三脚	1 脚
アルミスタッフ	1 本
クレーンスケール	1 台
JIS 割玉掛ワイヤ	4 本
パールセッター	4 個
フォームレスフォーム	150 枚

また、現地縫製工場で生産した機材を以下の通り製造搬入し、実用上問題が無いことを検証した。

品目	数量
D・Box（ミャンマー製 LS100M）	460 袋

出典：調査団作成

② 現況測量調査（横断測量）

1) 測量の目的

D・Box を用いた噴泥対策、沈下対策、振動対策としての鉄道軌道部の設計、擁壁の必要範囲、及び盛土/切土の設計数量の算出に必要な現況地盤や既存工作物の現況を把握するため、平面測量および断面測量を実施した。

2) 測量の方法

測量対象範囲は、設計対象区間の CH220～CH580<sup>1</sup>区間をカバーするため、CH200～CH600 の 400m の範囲を対象とした。設計の基本断面は、20m 間隔での断面図を作成することとし、擁壁（Retaining Wall）の設置位置を明確にするため、断面測量は、縦方向 5m 間隔で、MR の所有地である、軌道の両側にある溝（片側約 10m）までを対象とした。なお、測量断面の両側 5m

<sup>1</sup> CH（チェーンージ）は軌道の延長方向の基準距離を示す。本施工では Chaunghyiar 駅を起点 CH 0mとしており、Chaunghyiar Bridge が CH 440mとなる。

ごとに木杭を打ち込み CH が確認できるようにした。

また、縦断方向では、既設工作物である Chaungphyar 橋両側の擁壁の平面及び断面測量を実施した。

3) 実施内容

(A) 実施期間

2016 年 11 月 7 日～11 月 12 日

(B) 作業内容

A)	延長範囲は Chaungphyar 橋周辺の CH200～CH600 延長 400m の範囲とする。
B)	CH の測量間隔は 5m を基本とする。
C)	軌道延長 400m の軌道部の中心線に直角な各断面の測量範囲は水路端部（軌道側）までの範囲（片側約 10m ずつ）とする。
D)	水準測量 5m 間隔 CH200-CH600 1 断面の測量箇所は両端部、変化点、線路路肩、枕木端部、枕木中央部、レール（2 本）とし、貸与する CAD 図を元に作成する。Chaungphyar 橋の断面測量は両端部、変化点、枕木両端部、枕木中央部、レール部とする。
E)	各 CH の両端（センターから約 5m）に CH がわかる仮設の表示標を両側に設置する。
F)	Chaungphyar Site の基準標準高点（BM）は EL+10.0m とし、現場にて場所を指示する。
G)	平面測量は、CH200-CH600 の範囲とし、記載事項は、平面図に記載できる程度とし、既存のコンクリート擁壁平面、橋の平面、斜面の崩壊状況、崩壊した簡易擁壁、を対象とする。
H)	各 CH の断面図作成 貸与した CAD 図を参考に 5m 間隔での断面図を作成する。
I)	工事時に使用する標高を示したベンチマーク（BM）の設置



図 3-1 5m 間隔の簡易標識

出典：調査団撮影

4) 測量結果

測量結果として、平面図及び断面図の例を以下に示す。

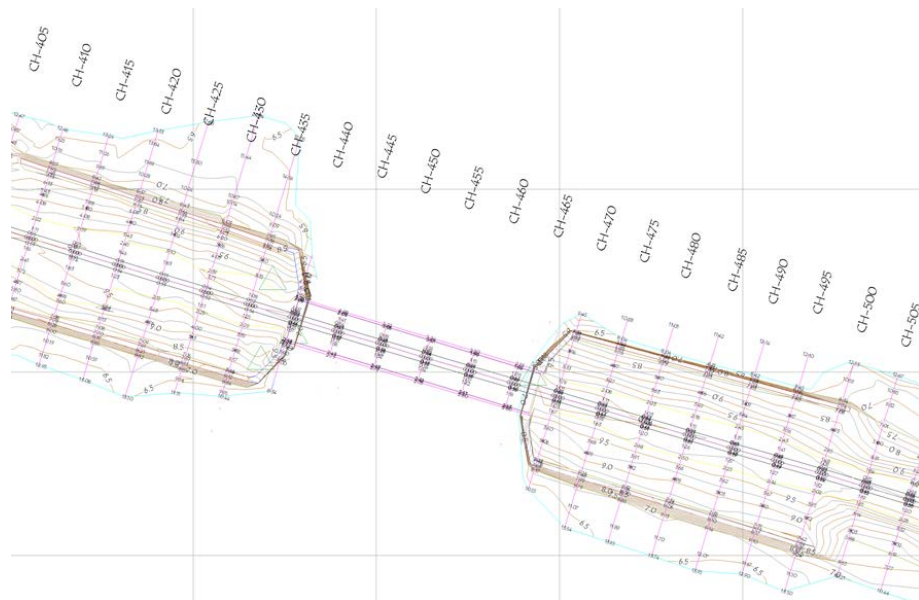


図 3-2 平面測量結果 (CH410-CH505 : Chaungphyar 橋付近) の例

出典：調査団作成





図 3-3 測量断面 CH430 の例

出典：調査団作成

Benchmarks				
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
1			10.0000	BM
27			10.0000	BM




Point Summary					
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code	Photo Notes
1			10.0000	BM	
2			10.6140	TBM-1	
3			9.6233		
4			9.7144		
5			9.5425		
6			9.3075		
7			9.5094		
8			9.6796		
9			9.4711		

図 3-4 ベンチマーク

出典：調査団作成（平面測量レポート）

③ 土質試験、地盤支持力試験

1) 調査目的

本調査は、施工箇所周辺において、ボーリング調査を行い、現地の地質状

況および土質基礎情報を入手することを目的とした。なお、得られた土質基礎情報は、地質調査に併せて実施した平板載荷試験（地盤支持力計測）および、載荷試験（圧密沈下計測）の結果整理に用い、D・Box の効果検証を検討する。

## 2) 調査位置

Daunggyi Station と Chaungphyar Site (CH370 付近) の 2 か所でボーリング調査を実施した。

Daunggyi Station では、平板載荷試験および載荷試験実施箇所の地質状況の確認のため、平板載荷試験および載荷試験実施予定地でボーリング調査を実施した。

Chaungphyar Site においては、施工現場近くの地質状況を確認するため、また、Daunggyi Station における地質状況と比較するためにボーリング試験を実施した (CH370)。Chaungphyar Site における調査位置は、軌道から安全な離隔 (3m) を確保し、斜面が長く、植生のない調査可能な箇所においてボーリング調査を実施した。

調査箇所を下図に示す。

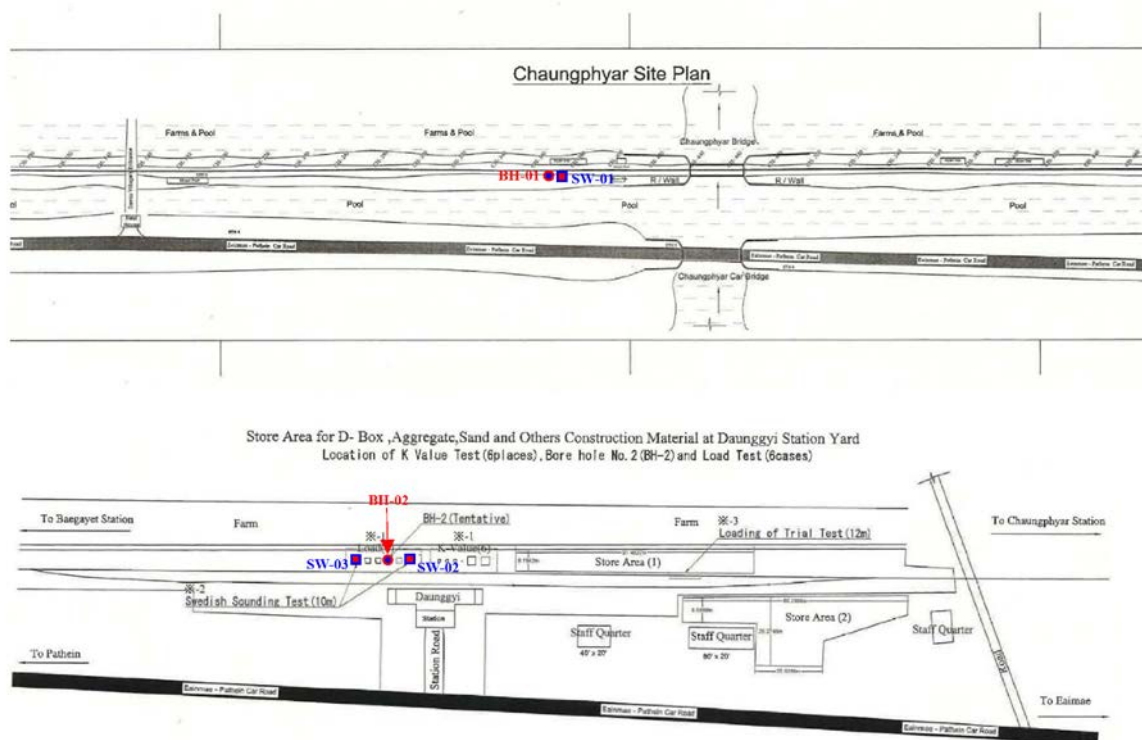


図 3-5 ボーリング調査位置図  
(上 Chaungphyar Site、下 Daunggyi Station)

出典：調査団作成

3) 調査実施内容

(A) 調査項目

調査項目を下表に示す。

表 3-3 調査項目

調査ボーリング φ64, φ112mm	2 孔 ΣL=10m×2=20m (鉛直)
標準貫入試験 14 回 (N 値)	
スウェーデン式サウンディング試験	3 箇所
乱れの少ない試料の採取	6 試料
室内物理試験	
✓ 土粒子の密度試験	20 試料
✓ 含水比試験	31 試料
✓ 粒度試験 (フルイ+沈降分析)	20 試料
✓ 液性限界・塑性限界試験	13 試料
✓ 湿潤密度試験	6 試料
✓ 三軸圧縮試験 (UU)	3 試料
✓ 三軸圧縮試験 (CUbar)	1 試料
✓ 圧密試験	6 試料

出典：調査団作成

表 3-4 調査数量一覧表

No.	BH. No.	Soil Drilling (m)			Standard Penetration Test (Nos)	Undisturbed Sampling (Nos)	Water Sample (Nos)	Swedish Sounding Test (10.0m)
		Ø 112 mm	Ø 64 mm	Total				
1	BH-01	2.0	8.0	10.0	7	3	1	1
2	BH-02	2.0	8.0	10.0	7	3	1	2
<b>Total</b>		<b>4.0</b>	<b>16.0</b>	<b>20.0</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

出典：調査団作成 (ボーリング調査レポート)

表 3-5 室内試験数量一覧表

BH-No.	Physical Properties Test						Engineering Properties Test			
	Natural Moisture Content Test	Specific Gravity Test	Particle Size Analysis Test		Atterberg Limits Test		Unit Weight	Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test	Consolidated Undrained Triaxial Compression Test	One Dimensional Consolidation Test
			Sieve Analysis Test	Hydrometer Analysis Test	Liquid Limit Test	Plastic Limit Test				
BH-01	16	10	10	10	7	7	3	2	1	3
BH-02	15	10	10	10	6	6	3	1	-	3
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>6</b>

出典：調査団作成 (ボーリング調査レポート)

(B) 調査方法

A) 調査ボーリング

調査ボーリングはロータリー式ボーリングマシンを用い、地層構成を確認した。調査ボーリングマシンの概要は図 3-6 および図 3-7 に示すとおりである。本調査の調査ボーリングの規格等については下記を想定している。

- 調査ボーリング 延長計 20m (2 孔)
- 孔 径：φ 64mm、φ 112mm
- せん孔方向：鉛直

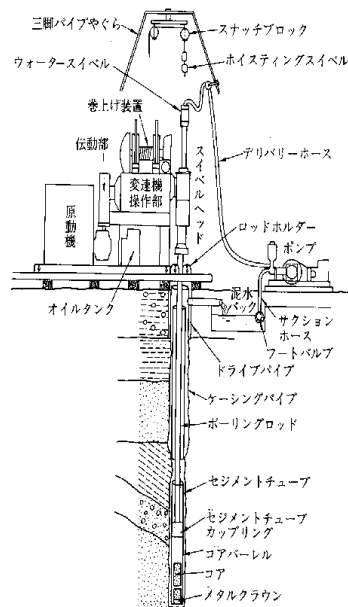


図 3-6 機械ボーリングマシン概要

出典：「地盤調査法」地盤工学会



図 3-7 ボーリング調査状況

出典：調査団撮影

## B) 標準貫入試験

標準貫入試験は、原位置における土の硬軟、締まり具合または土層の構成を判定することを目的として実施した。ロッドの先端(上端) に取付けた標準貫入試験用サンプラーを、ロッド・ノッキングヘッドを介して、高さ  $76 \pm 1.0$  cm から標準ハンマー（質量  $63.5 \pm 0.5$  kg）の自然落下による打撃によって、試験地盤中に 30cm を打込む時の回数を測定した。試験用サンプラーの貫入は、①15cm の予備打ち、②ハンマー落下高さ  $76 \pm 1$  cm による 30cm の本打ち、③5cm の後打ちの 3 段階からなる。このうち本打ちによってサンプラーを 30cm 打ち込むのに要した打撃回数を N 値とし、その際、貫入量 10cm ごとの打撃回数を記録する。また、打撃回数は 50 回を上限とし、50 回を越える場合は 50 回打撃時の累計貫入量を記録する。なお、ハンマー落下方法は手動落下式とした。試験は、原則掘進長 1.0m 毎で実施した。

標準貫入試験の概要を下図に示す。

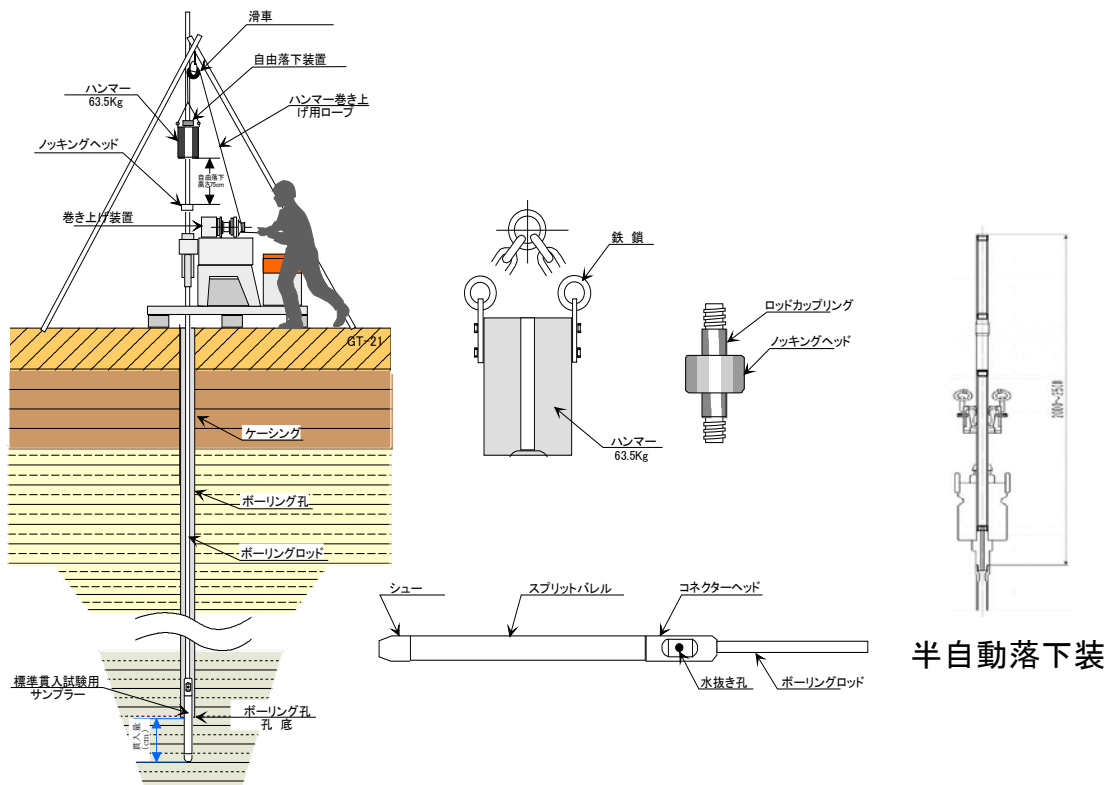


図 3-8 標準貫入試験概略図

出典：「地盤調査法」地盤工学会

C) スウェーデン式サウンディング試験(SWS 試験)

サウンディングは、ボーリング調査の補足として、ボーリング実施周辺箇所の地盤状況を確認することを目的に実施した。

以下に試験概要を示す。また試験機の概要および試験状況を図3-9 および図3-10 に示す。

<p>1. 試験はスクリーポイント調査地点上に設置した後、50kNの荷重を載荷し、この荷重でロッドが地中に貫入するかどうかを確かめ、貫入した場合には貫入が止まった時の貫入量を測定する。</p> <p>2. その後は次々と荷重を増加させ、それぞれの荷重に対する貫入量 (Wsw) を測定した。荷重の段階は 50N, 150N, 250N, 500N, 750N および 1kN とした。最大荷重 (1kN) での貫入が終了した後、ロッドを回転させ、貫入量と半回転数を記録した。</p> <p>3. 回転数は半回転数とし、ロッドに鉛直方向の力が加わらないように行った。回転途中で、貫入速度が急激に増大した場合には、回転を停止して、荷重のみでの貫入量を測定した。</p> <p>4. 試験の終了は、地盤面から 10m 程度とした。(ただしスクリーポイントが硬い層に達し、貫入量 5cm 当たりの半回転数が 50 回以上となった場合や、大きな石に当たり、その上で空転したような場合は終了とする。)</p> <p>5. 貫入量と半回転数は、次式によって貫入量 1m 当たりの半回転数に換算する。</p> $N_{sw} = (100/L) * N_a$ <p>Nsw : 貫入量 1m 当たりの半回転数 (回/m) Na : 半回転数 (回) L : 貫入量 (cm)</p>
---

図 3-9 「スウェーデン式サウンディング試験機の概要」

出典：「地盤調査法」地盤工学会

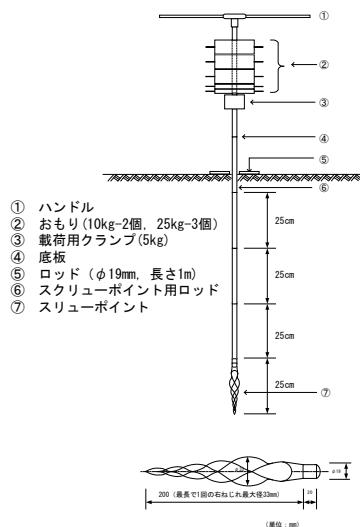


図 3-10 SWS 試験状況

出典：出典：「地盤調査法」地盤工学会、調査団撮影

(C) 実施工程

実施工程を表 3-6 に示す。

表 3-6 調査実施工程表

項目	2016.11							2016.12							2017.01						
	23	25	26	27	28	29	30	1	~	5	~	28	29	30	31	1	2	3	4	5	
準備																					
搬入																					
ボーリング試験 スウェーデン式サウンディング試験			BH-02																		
			SW-02 & 03																		
						BH-01															
撤去																					
室内試験																					

ボーリングマシン搬入
 ボーリングマシン撤去
  
 ボーリングマシン移動(BH-02→BH-01)

出典：調査団作成

(D) 調査結果

A) ボーリング調査およびスウェーデン式サウンディング試験

ボーリング調査結果を図 3-11～図 3-12 に示す。また、スウェーデン式サウンディング試験結果を図 3-13 および図 3-14 に示す。

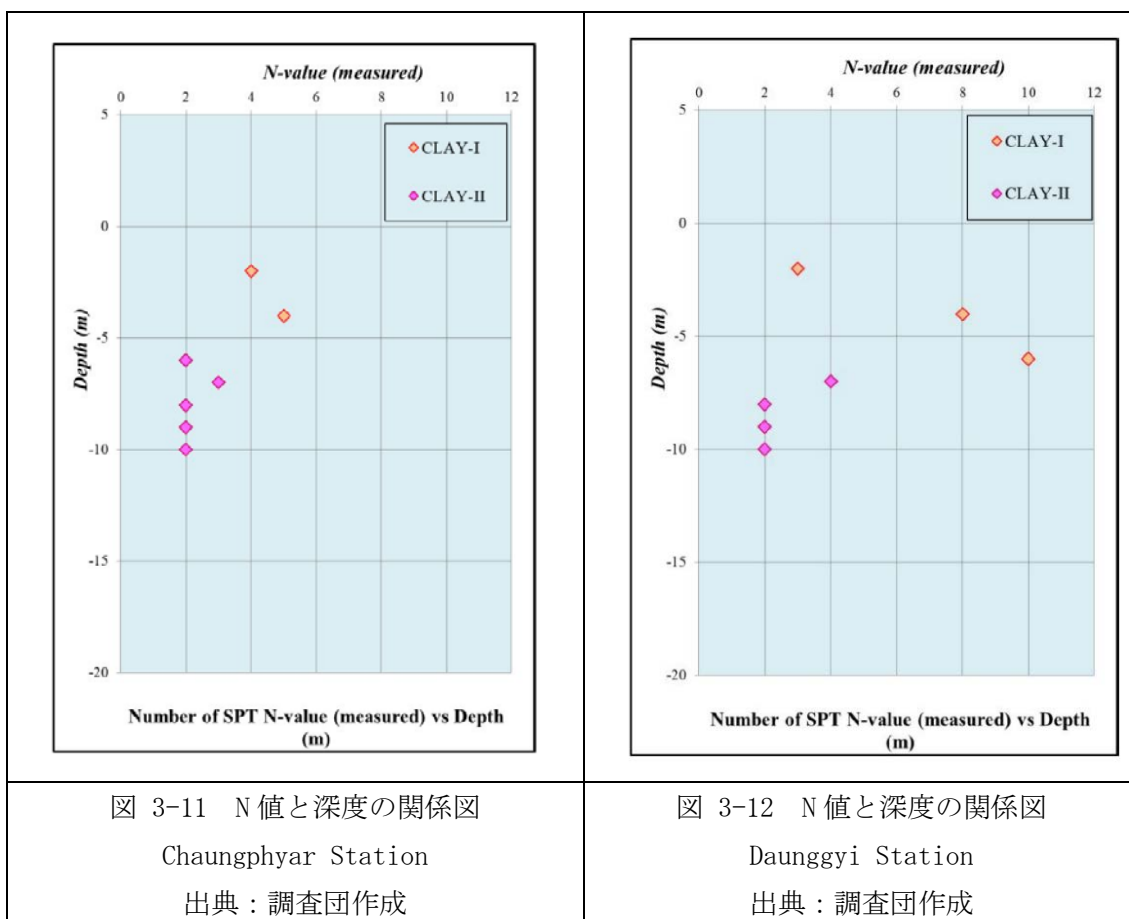


表 3-7 不攪乱資料の一覧

Sr. No	Borehole No.	Date	Sample No.	Depth (m)	Soil Type	Recovery	Type of Sampler
1	BH-01	26.11.16	T-1	0.50 ~ 1.15	CLAY	80%	Piston sampler
2			T-2	2.50 ~ 3.00	CLAY	60%	
3			T-3	5.00 ~ 5.80	CLAY	100%	
4	BH-02	28.11.16	T-1	0.50 ~ 1.05	CLAY	68%	
5			T-2	2.50 ~ 2.95	CLAY	55%	
6			T-3	5.00 ~ 5.45	CLAY	55%	

出典：調査団作成（土質調査レポート）



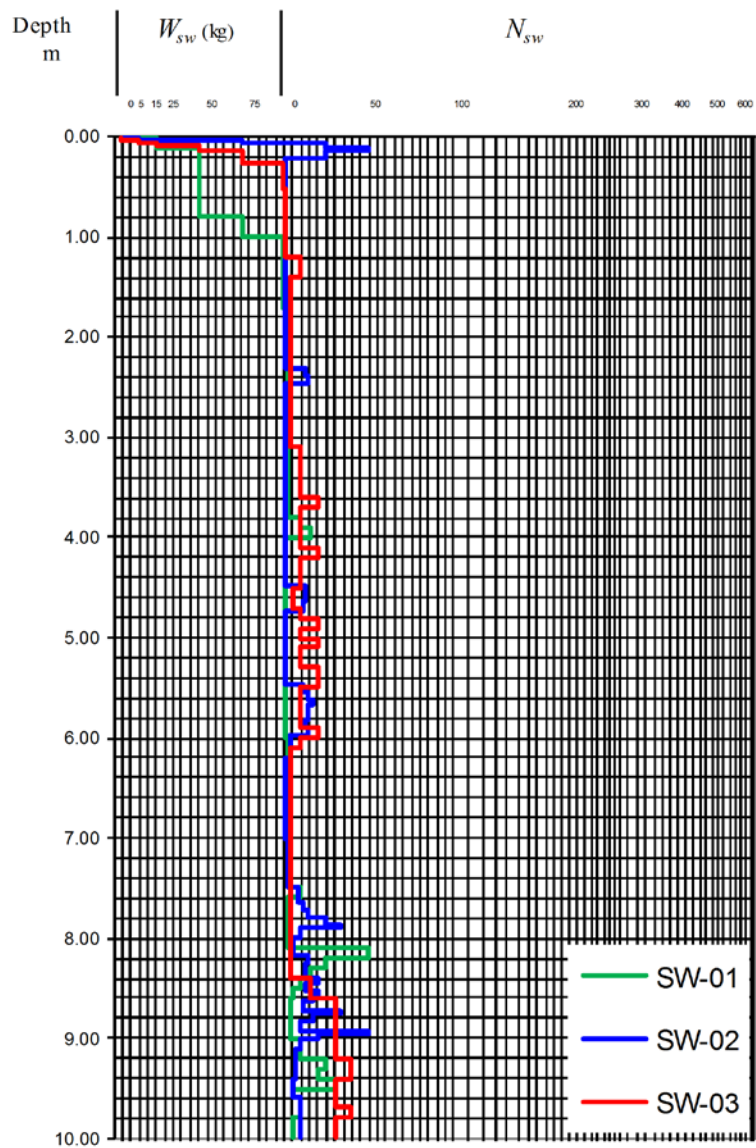


図 3-13 スウェーデン式サウンディング試験結果

出典：調査団作成（土質調査レポート）

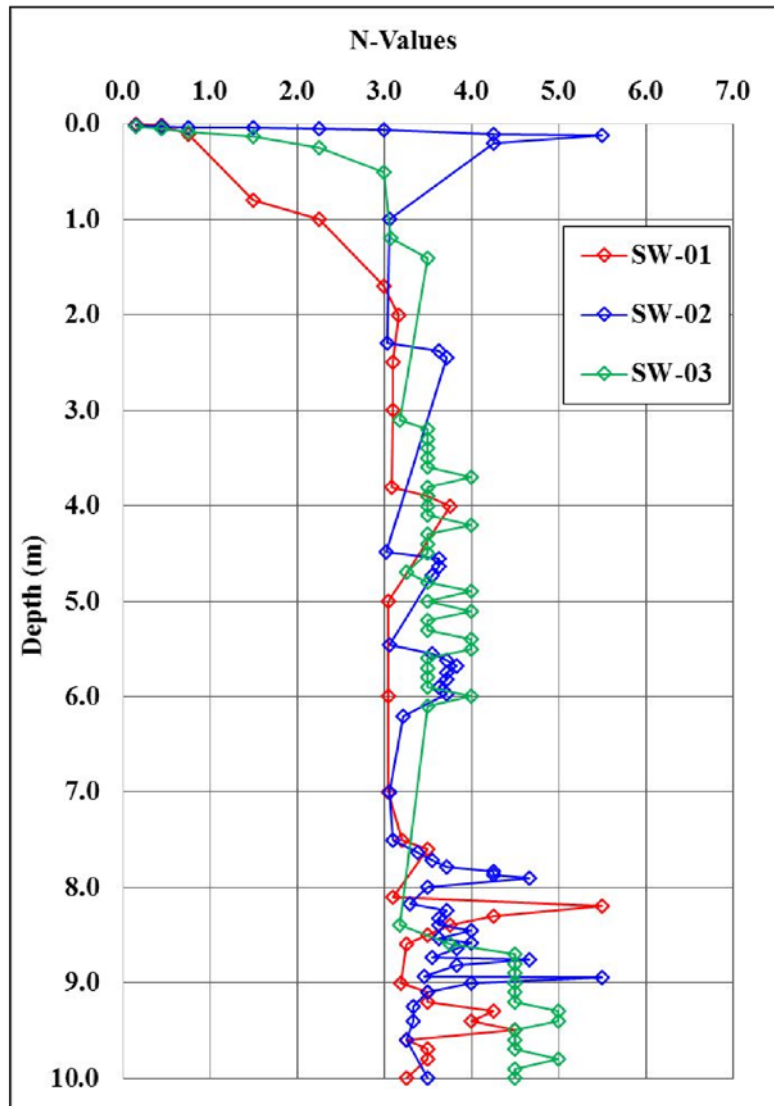


図 3-14 スウェーデン式サウンディング試験による N 値の算定図  
 出典：調査団作成（土質調査レポート）

ボーリング調査結果およびスウェーデン式サウンディング試験結果より得られた各調査地点における地盤状況を下記に示す。

(a) Chaungphyar Site (CH370 付近)

➤ CLAY-1 層

深度 5m 程度まで、層厚 5m 程度の灰茶色の粘性土層が分布する。CLAY-1 層は、N 値 4~5 程度の中位の硬さの粘性土層である。

➤ CLAY-2 層

深度 5m 以深は、層厚 5m 以上の灰色の粘性土層が分布する。  
 CLAY-2 層は、N 値 2~3 程度のやわらかい粘性土層である。

(b) Daungyi Station

➤ CLAY-1 層

深度 5m 程度まで、層厚 5m 程度の灰茶色の粘性土層が分布する。CLAY-1 層は、N 値 4~5 程度の中位の硬さの粘性土層である。

➤ CLAY-2 層

深度 5m 以深は、層厚 5m 以上の灰色の粘性土層が分布する。  
 CLAY-2 層は、N 値 2~3 程度のやわらかい粘性土層である。

(c) Chaungphyar Site と Daungyi Station の比較

Chaungphyar Site および Daungyi Station における地層状況は、CLAY-1 層では N 値が Daungyi Station の方が大きい結果となっているが、乾燥状況の影響が考えられる。また、CLAY-2 層は、両箇所ともに概ね N 値の差が 0 となっており、同様の地層であると考えられる。

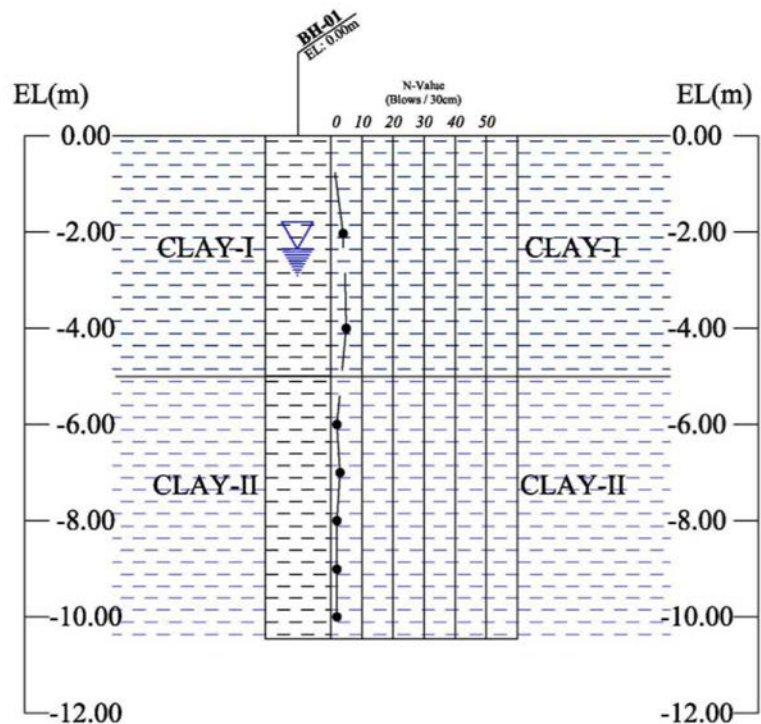


図 3-15 土質柱状図 Chaungphyar Site (BH-01)

出典：調査団作成（土質調査レポート）

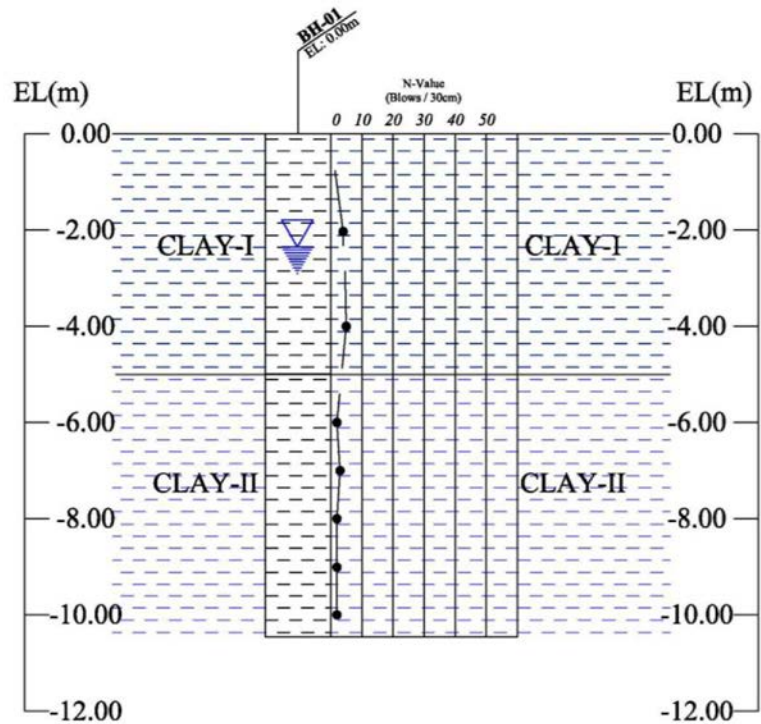


図 3-16 土質柱状図 Daungyi Station (BH-02)

出典：調査団作成（土質調査レポート）

B) 室内土質試験結果

(a) 含水比試験

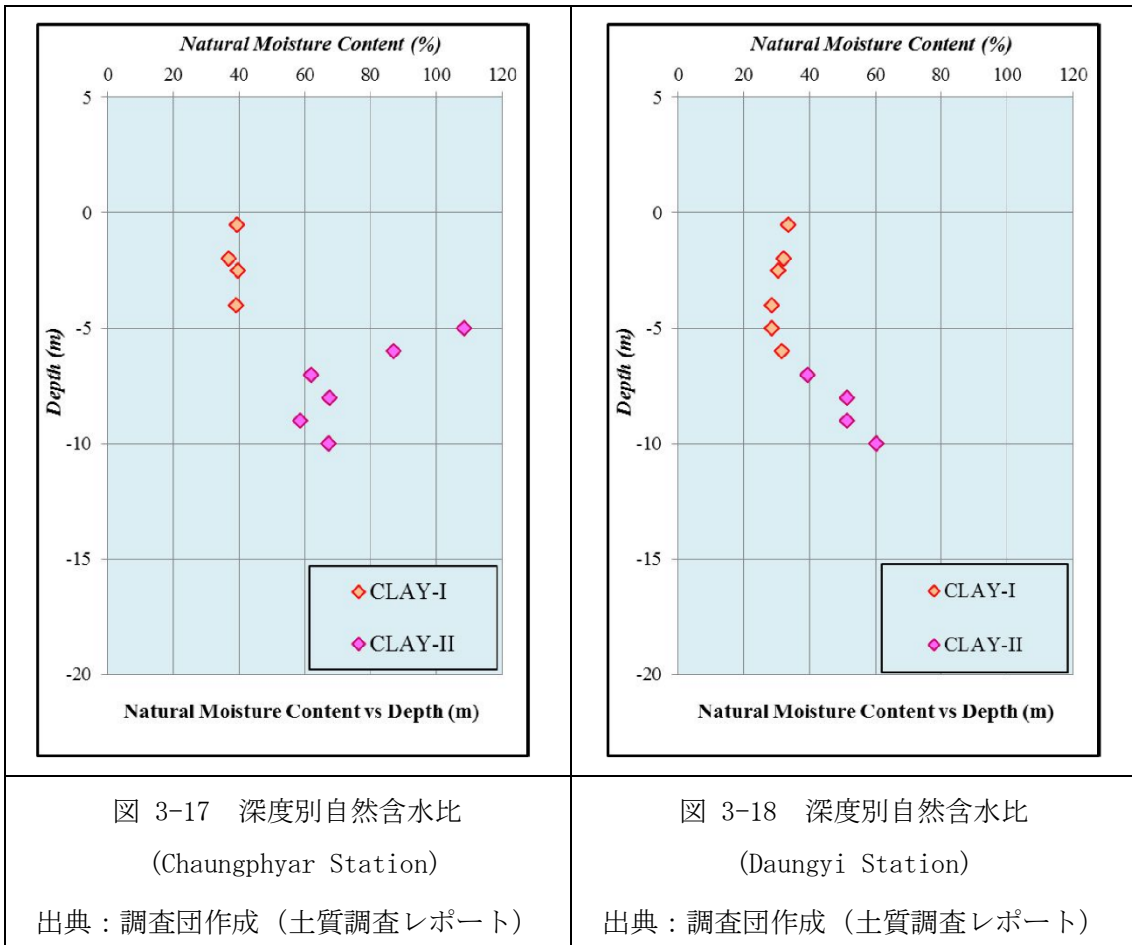
各層における含水比試験結果を表 3-8 に示す。

両箇所ともに CLAY-1 は CLAY-2 に比べ、含水比が小さい結果となった。この結果より、CLAY-1 は地表面付近の層であるため、CLAY-2 に比べ乾燥していることがわかる。

表 3-8 含水比試験結果

No.	タイプ	自然含水比 (%) (Chaungphyar Site)	自然含水比 (%) (Daunggyi Station)
1	CLAY-1	36.85~39.71	28.42~33.36
2	CLAY-2	58.67~108.53	39.49~60.34

出典：調査団作成



(b) 粒度試験

各層における粒度試験結果を図 3-19～図 3-20 に示す。  
 両箇所の試験結果ともに、CLAY-1 および CLAY-2 の細粒分含有率は  $F_c \geq 90\%$  の粘性土であり、粒度特性が概ね一致している。

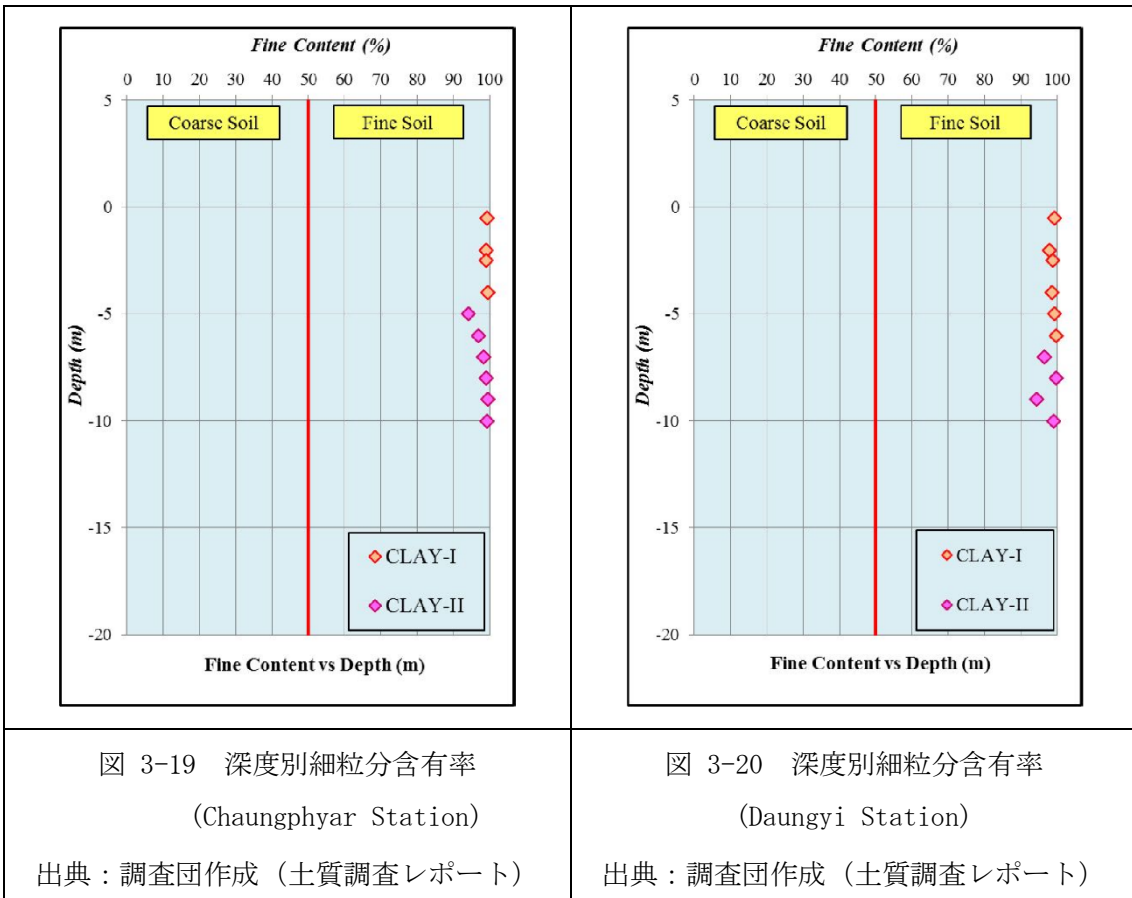


図 3-19 深度別細粒分含有率  
(Chaungphyar Station)

出典：調査団作成（土質調査レポート）

図 3-20 深度別細粒分含有率  
(Daungyi Station)

出典：調査団作成（土質調査レポート）

(c) 土の非圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験

土の非圧密非排水三軸圧縮試験結果を表 3-9 に示す。

この試験の結果より CLAY-1 には、砂分が混ざっている結果に対し、CLAY-2 は純粋な粘土であることが分かる。また、それぞれのせん断強度は、ある程度の強度を持った土である。しかしながら、雨季に水分を吸収した場合には、表層のせん断強度は低い値になると想定される。

表 3-9 三軸圧縮試験結果概要

No.	Soil Types	Cohesion ( $C_{UU}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )	Friction Angle ( $\phi_{UU}$ )°	Remarks
		Range	Range	
1	CLAY-I	16.10	9.95	Chaungphyar Station
2	CLAY-II	17.80	0.00	
3	CLYA-I	12.50	15.14	Daunggyi Station

出典：調査団作成（土質調査レポート）

(d) 土の圧密試験

土の圧密試験結果を表 3-10 に示す。

対象粘土の CLAY-1 は非常に乾燥しているため、初期間隙比  $e$  が小さく荷重の増加に伴う体積変化はこの状態では、沈下は少ないが、雨季に水分を吸収して間隙比が増加した後の沈下は増大すると想定される。また、CLAY-2 は下の層であるにもかかわらず、間隙比  $e$  は、2.73 と大きいことから、沈下は、CLAY-1 の倍以上になると想定される。

表 3-10 土の圧密試験結果

No.	Soil Type	Initial Void Ratio ( $e_0$ )	Consolidation Yield Stress $P_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Compression Index ( $C_c$ )	Remarks
1	CLAY-I	1.080	228.9 ~ 251.4	0.308 ~ 0.335	Chaungphyar Station
2	CLAY-II	2.730*	78.5*	1.388*	
3	CLAY-I	0.820 ~ 0.880	221.1 ~ 311.5	0.215 ~ 0.281	Daunggyi Station

出典：調査団作成（土質調査レポート）

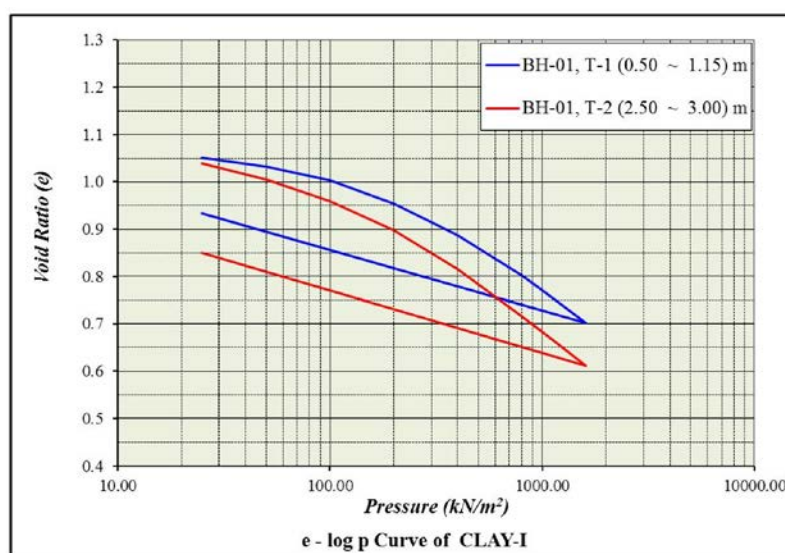


図 3-21 e-log P Curve of CLAY-I for Chaungphyar Station

出典：調査団作成（土質調査レポート）

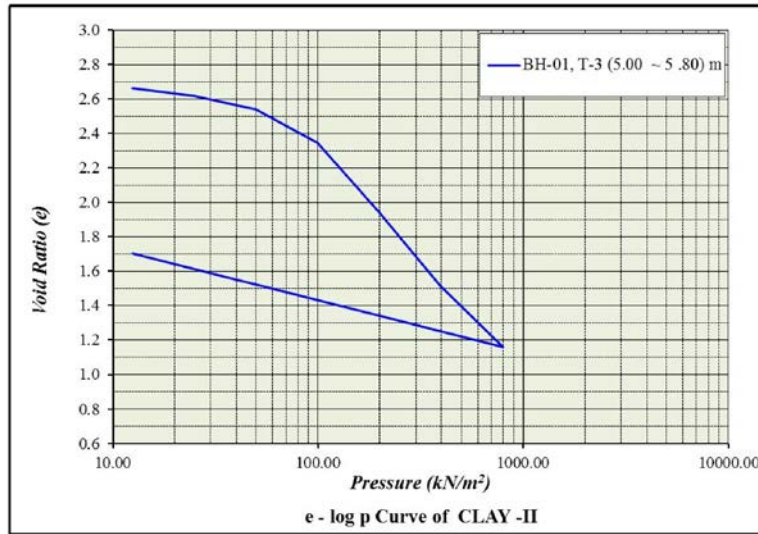


図 3-22 e-log P Curve of CLAY-II for Chaungphyar Station  
出典：調査団作成（土質調査レポート）

#### 4) 地盤支持力の算定

以上の調査結果より、当該地の地盤支持力は次のように算定される。  
Chaungphyar Site 及び Daunggyi Station の表層の CLAY-1 は、表 3-9 より

$$C_1 = 16.1 \text{ kN/m}^2 \text{ (Chaungphyar Site)}$$

$$C_2 = 12.5 \text{ kN/m}^2 \text{ (Daunggyi Station)}$$

であることから、次の支持力算定式より

$$qa = \frac{1}{3} (i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot Nc + i_\gamma \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N\gamma \cdot i_q \cdot \gamma_2 \cdot Df \cdot Nq)$$

支持力の計算は、国土交通局告示 1113 号の支持力計算式に準拠している。

- qa : 許容支持力 (kN/m<sup>2</sup>)
- c : 基礎底面化にある地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $i_c i_\gamma i_q$  : 基礎に作用する荷重の鉛直方面に対する傾斜角に応じて以下の式によって計算した数値

$$i_c = i_q = (1 - \theta / 90)^2 \quad i_\gamma = (1 - \theta / \varphi)^2$$

$\varphi$  : 内部摩擦角  $\theta$  : 基礎に作用する鉛直方向に対する傾斜角

※木造 2 階建て程度の建物を対象とするので、傾斜角  $\theta = 0^\circ$  とみなす。

従って  $i_c = i_\gamma = i_q = 1.0$  とする。



$\gamma_1$	:	基礎底面下にある地盤の単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_2$	:	基礎底面より上方にある地盤の平均単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
$\alpha, \beta$	:	基礎形状係数 ( $\alpha=1.0$ $\beta=0.3$ を採用)
$N_c, N_\gamma, N_q$	:	基礎底面下にある地盤の内部摩擦 $\phi$ に応じた <b>支持力係数</b>
B	:	基礎底面の最小幅 (m)
L	:	基礎底面の最大幅 (m)
Df	:	基礎に近接した最低地盤面から基礎底面までの深さ (m)

#### 粘性土地盤の場合の支持力の計算方法

##### (A) 粘性土地盤の場合

粘性土とは、土室分類法により細粒土として分類され、75  $\mu\text{m}$ 以下の細粒分含有量が50%以上の土を対象として、シルト・粘土・砂混じりシルト・砂混じり粘土・関東ロームなどが分類されている。

メトリー技術研究所株式会社では、粘性土地盤における支持力の算出にあたり、内部摩擦角を  $\phi = 0^\circ$  としている。

従って、粘性土地盤においては、粘着力  $c$  だけを考慮し計算していく。

項目	数値
粘着力 ( $c$ )	表面波速度より一軸圧縮強度を算出 一軸圧縮強度より粘着力を算出
基礎の形状係数 ( $\alpha, \beta$ )	長辺、短辺の長さに応じて決定する
支持力係数 ( $N_c, N_\gamma, N_q$ )	内部摩擦角 $\phi = 0^\circ$ $N_c = 5.1$ $N_\gamma = 0.0$ $N_q = 1.0$

表 3-11 地盤支持力の算定

場所	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$	i <sub>c</sub>	i <sub>q</sub>	$\alpha$	$\beta$	$\gamma 1$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma 2$ (kN/m <sup>3</sup> )	B(m)	L(m)	N <sub>c</sub>	N <sub><math>\gamma</math></sub>	N <sub>q</sub>	D f (m)	q <sub>a</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
Chaungphyar Site	16.1	9.95	1	1	1	0.3	18	18	1	1	5.1	0	1	0	27.37
Daunggyi Station	12.5	15.14	1	1	1	0.3	18	18	1	1	5.1	0	1	0	21.25

出典：調査団作成（土質調査レポート）

表 3-12 地盤支持力

場所	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$	q <sub>a</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	備考
Chaungphyar Site	16.1	9.95	27.37	D-Box LS100使用時
Daunggyi Station	12.5	15.14	21.25	D-Box LS100使用時

出典：調査団作成（土質調査レポート）

建物形状が不明である場合、形状係数は最小値 ( $\alpha=1.0$ 、 $\beta=0.3$ ) を用いて計算する。

④ 鉄道基礎上及び載荷試験用の D・Box 敷設

1) 鉄道基礎上の D・Box 敷設

軌道部の D・Box 敷設は、1 工程 60m～70m とし、図 3-23 に示す施工フローに従い設置した。D・Box の敷設は日本の技術者による指導を行ない、さらに、軌道部レールの設置および微調整については、本邦の保線の専門家による指導を行い設置基準値内での施工を可能とした。図 3-24 に D・Box の敷設状況写真を示す。

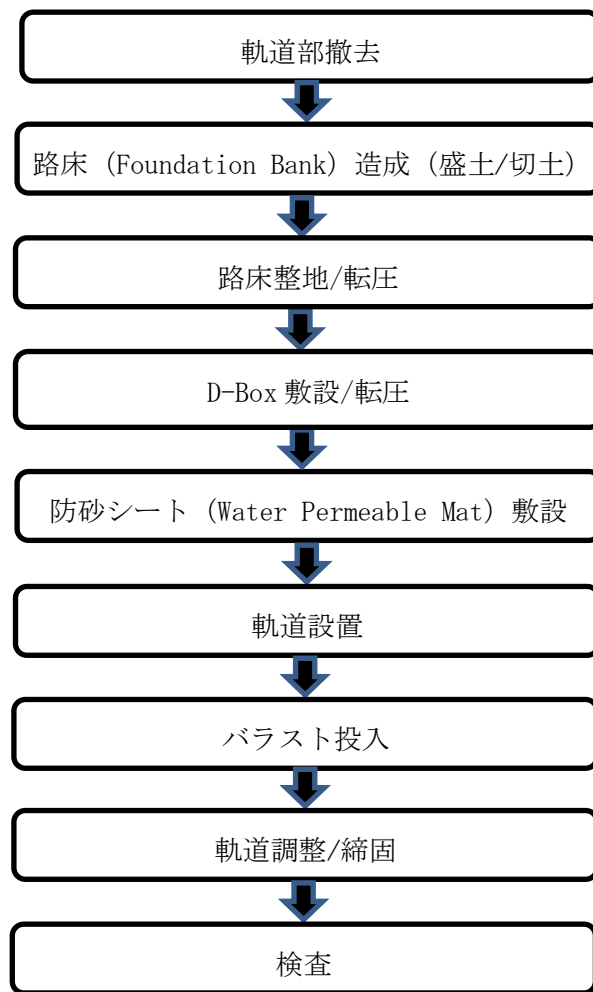


図 3-23 軌道部 D・Box 設置フロー

出典：調査団作成



	
<p>軌道部撤去</p>	<p>路床転圧/整地</p>
	
<p>D・Box 設置</p>	<p>防砂シート敷設、軌道設置</p>
	
<p>バラスト投入</p>	<p>軌道調整/タンパーによる締固</p>
	
<p>ランマーよる締固</p>	<p>軌道検査</p>

図 3-24 D・Box 軌道部設置状況

出典：調査団撮影

以下に、軌道部の標準断面（図 3-25）と施工手順スケッチ（図 3-26）を示す。

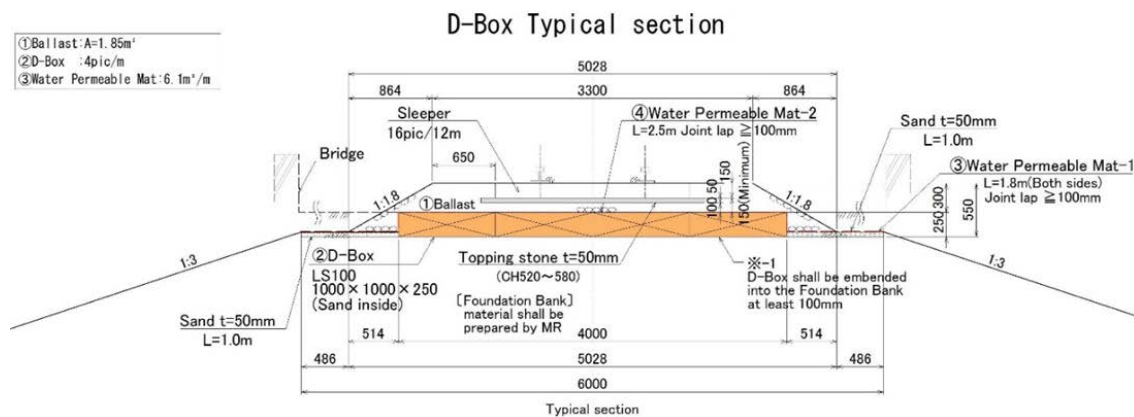
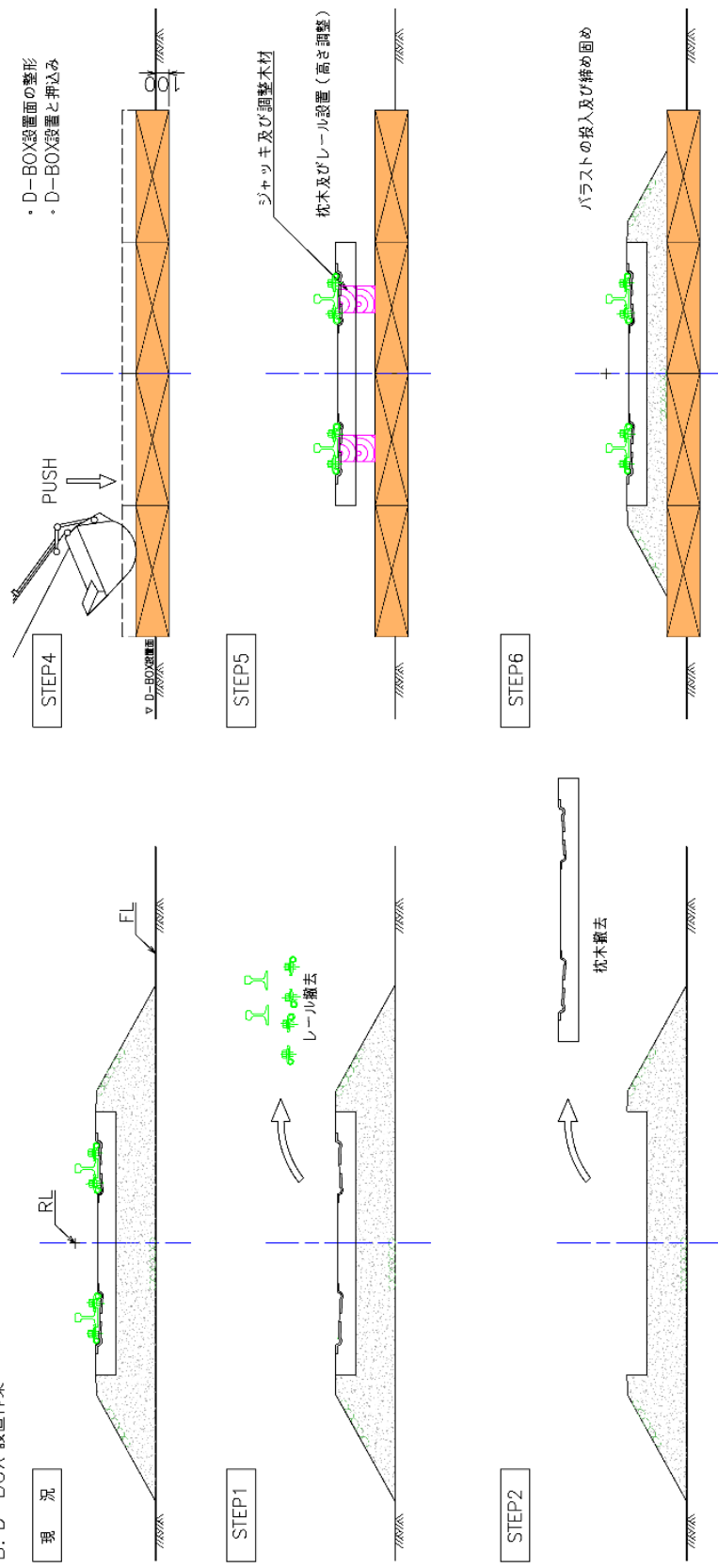


図 3-25 軌道部の標準断面

出典：調査団作成

B. D-BOX 設置作業



C. 計画線形への縦断補正  
D-BOX設置後、バラスト投入により計画縦断に補正する

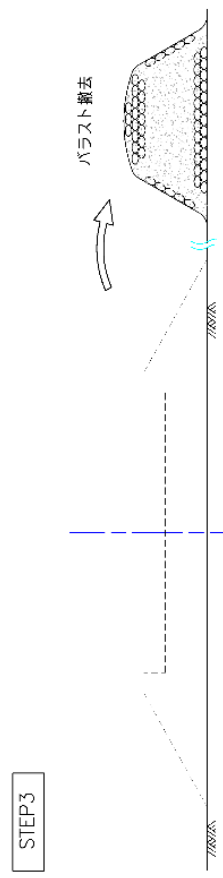


図 3-26 軌道部 D-Box 施工手順 スケッチ

出典：調査団作成

## 2) 載荷試験用 D・Box の敷設

### (A) 試験目的

D・Box による沈下抑制効果の検証を目的とし、表 3-13 に示す条件の異なる 6 種類の基礎に対する沈下観測を行なった。なお、そのうち 3 種類が D・Box 基礎である (L-4~L-6)。また、載荷荷重として、D・Box (LS150) を 8 段積上げ圧密沈下計測を 1 年間実施した。

試験ケースと基礎条件を表 3-13 に示す。

表 3-13 試験ケースと基礎条件

試験ケース	地盤 (D・Box)	備考
L-1	原地盤 (粘性土)	
L-2	砂	
L-3	碎石 (バラスト)	
L-4	D・Box (砂)	
L-5	D・Box (砂)	D・BOX を原地盤に押し込みを行なった。
L-6	D・Box (原地盤 (粘性土))	

出典：調査団作成

載荷試験に用いる荷重は、鉄道盛土時と同程度として、D・Box (LS150) を 8 段 ( $W=18\text{kN}/\text{個} \times 8 \text{ 段} = 144\text{kN}$ ) 設置した。

### (B) 試験実施位置及び概要

載荷試験実施位置を図 3-27 に示す。また、試験概要を図 3-28 に示す。

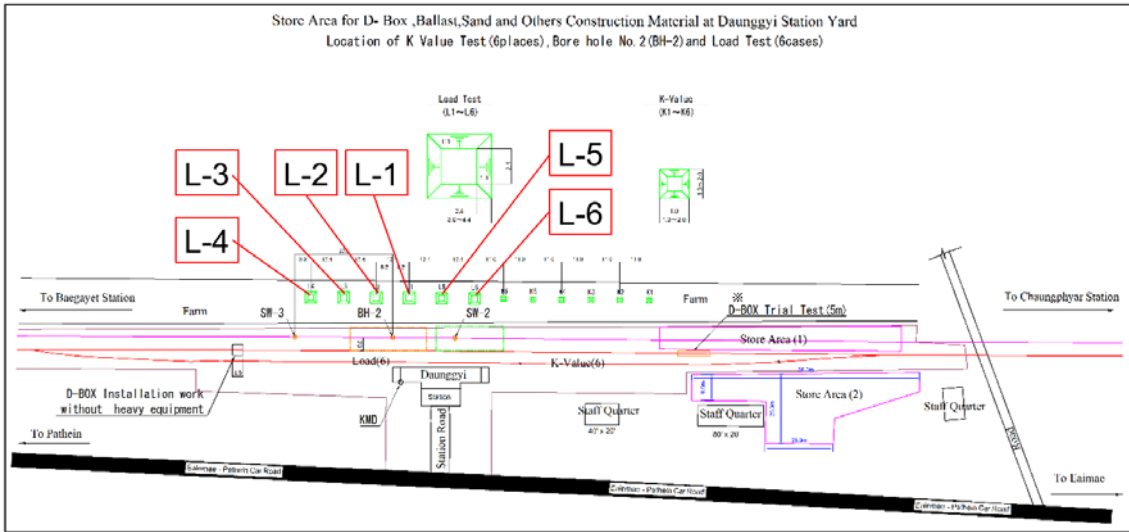


図 3-27 載荷試験位置図

出典：調査団作成

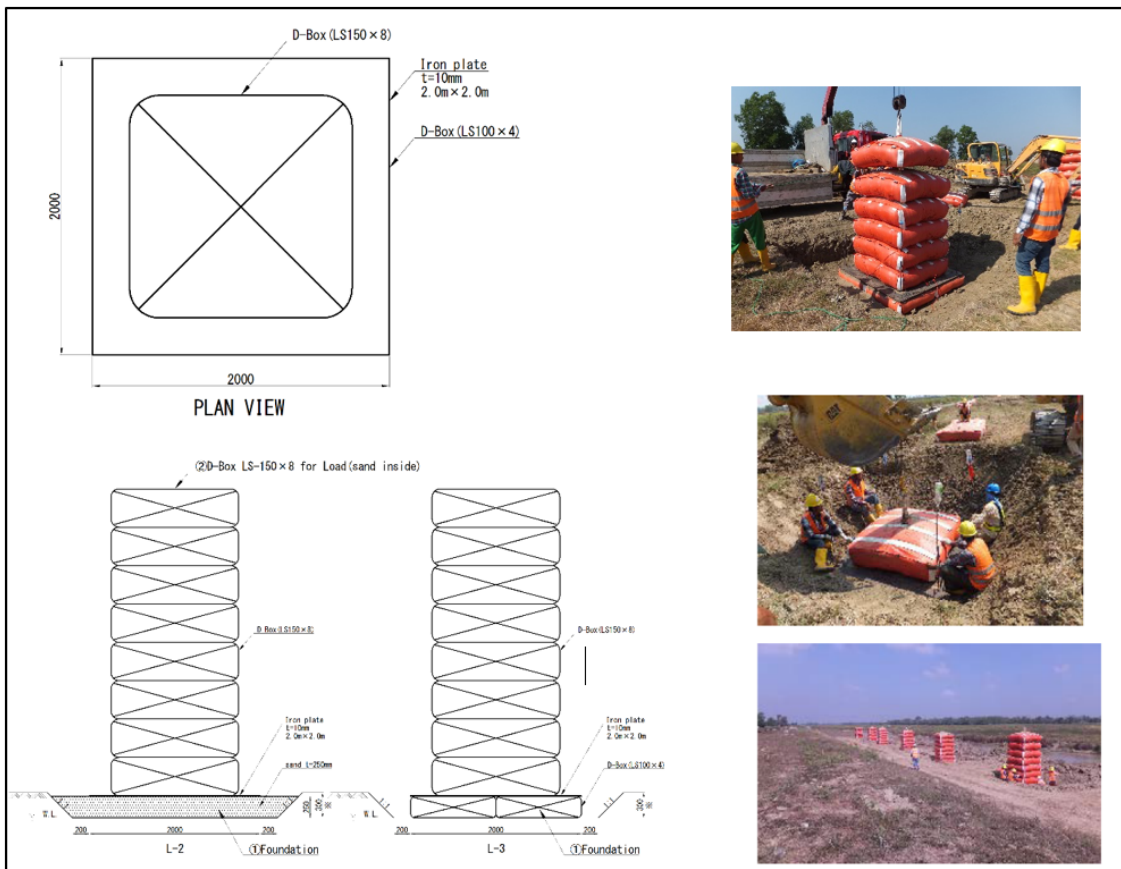


図 3-28 載荷試験模式図

出典：調査団作成



⑤ 施工（MR の保線エンジニア、土木エンジニアを対象として技術移転）

1) はじめに

当初の施工計画では、MR からの要望で、施工区間の列車の運行を止めることは出来ないとのことから、日々の朝夕 1 往復（エインメ→ダウンジ駅 朝 6:30 頃通過、ダウンジ駅→エインメ 夕方 17 時頃通過）の安全な列車走行のため、毎日、工事完了後に、その日の施工区間に対して MR の技術者からの検査を受け、仮引渡しを行う予定であった。

一方、2017 年 1 月 17 日に当該現場の確認を行った際に、施工対象区間の軌道部の補修を MR が実施しており（図 3-29）、ヒアリングの結果、対象区間の列車運行は、2016 年 8 月より列車の点検及び、軌道補修のため運行中止となっていることが判明した。

その状況を MR に説明し、本事業の軌道整備が完了する 2017 年 3 月末まで運行中止の継続をお願いし、承認された。そのため、当初計画していた日々の仮引渡しの計画を変更し、約 60～70m 区間毎に軌道を撤去して、造成→D・Box の設置→軌道設置→バラスト投入→軌道調整の手順で施工を行った。それに伴い、当初予定していた列車運行を想定した、ダウンジ駅構内での D・Box 敷設のトライアル工事は割愛した。



図 3-29 現場確認時の補修状況 CH500 付近

出典：調査団撮影

2) 施工工程

本事業の実際の施工工程を表 3-14 に示す。工事の完了は、当初 2017 年 4 月末までを考えていたが、実際の施工は、上述の通り、列車運行が休止していたことから、当初の完成目標である 4 月末から、約 3 週間早く完了す

ることが出来た。

MR への引渡し検査は、2017 年 4 月 7 日に完了し、MR の U Maung Maung Thwin 土木局長から、引渡しについて 4 月 10 日にサインを受領した。

表 3-14 施工工程表

項目	内容	数量	2017年			
			1月	2月	3月	4月
<b>契約</b>			2016年12月23日			
<b>1.重機搬入/ヤード準備片付け</b>						
1-1重機等搬入/撤去			■			■
1-2現場作業ヤード整地/復旧			■			■
<b>2.D-Box製作</b>						
2-1 LS-100	日本製	1831		■	■	
2-2 LS150	日本製	48	■			
2-3 MLS-100	ミャンマー製(260)	260		■	■	
2-4 MLS-100	追加分(200)	121			■	
<b>3.D-Box敷設(バックホウ0.25m<sup>3</sup>)</b>						
		<b>合計360m</b>				
3-1 CH468-CH520	1)造成/法面形成 2)整地転圧 3)D-Box敷設/転圧 4)レール設置 5)バラスト投入 6)レール調整 7)バラスト転圧	72	■	■		
3-2 CH520-CH580		60		■		
3-3 CH440-CH468(橋梁部)		28	■			
3-4 CH370-CH440		70		■		
3-5 CH300-CH370		70		■		
3-6 CH220-CH300		80			■	
<b>4.D-Box Restaining Wall(擁壁)</b>						
4-1 L1(左側)	CH318-CH323	5		■		
4-2①Additional Retainig Wall(左側追加)	OH305-CH318	13		■		
4-3 L2(左側)	OH387.5-CH402.5	15		■		
4-4 L3(左側)	CH502.5-CH517.5	15	■	■		
4-5 L4(左側)	CH526-CH576	50	■	■		
4-6 R1(右側)	CH347-CH382	35		■		
4-7 ②Additional Retainig Wall(右側追加)	OH312-CH347	35		■		
4-8 R2(右側)	CH502.5-CH517.5	15	■	■		
4-9 R3(右側)	CH547.5-CH552.5	5	■	■		
<b>5.載荷試験関連</b>						
		<b>箇所</b>				
5-1 平板載荷試験(地盤支持力)	K-30(D-Boxの有無と中詰めによる地盤強度比較)	6		■		
5-2 沈下載荷試験(圧密沈下)	沈下予測と実測比較	6		■		
<b>6 人力施工によるD-Box敷設</b>						
4月5日(1日)		<b>m</b>				
D-Box2列による施工		4				■
<b>7 ③ Additional D-Box Foundation</b>						
		<b>m</b>				
7-1D-Box 1段のみ法面に設置	CH220-CH300	80			■	
8.JICAプロジェクト看板設置						
Retaining Wall (R1)へのプロジェクトのペイント						■
9.その他						
9-1 列車走行振動試験	1)2/15(1回目) 2)4/4(火)	3箇所/回		▼2/15		▼4/4
9-2追加スロープ	のり勾配1:1.5→1:3				■	
10 引渡し検査(4月10日にマウマウ局長へ引渡しサイン受領)		1)4月4日(仮検査) 2)4月7日(本検査)				仮4/4 ▼ 本4/7

出典：調査団作成

### 3) 施工概要

本業務の施工工種は次の 4 工種であり、図 3-32 に示す簡易マニュアルにより、現場にて技術指導を行いつつ施工した。

- D-Box 製作
- 軌道部 D-Box 敷設
- 擁壁施工
- 手作業のみによる軌道部 D-Box 敷設

各工種の施工概要と施工フローを以下に示す。

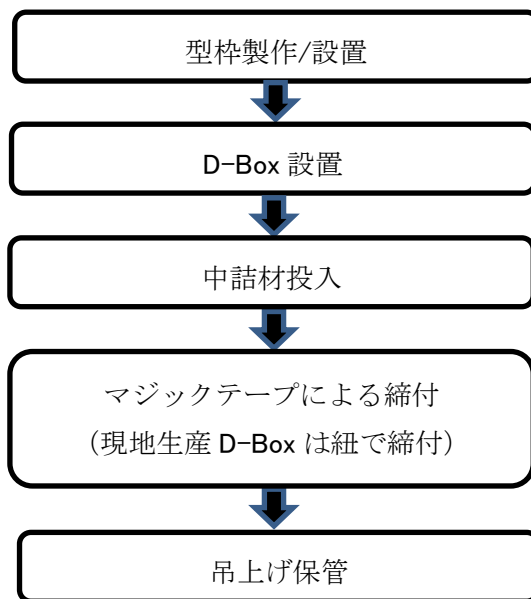


図 3-30 D-Box 制作フロー

出典：調査団作成



図 3-31 製作後の D-Box 保管

出典：調査団撮影





Formwork	Set the D-Box (bag) into the Formwork	After filling	Closing & Lifting
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Set the Formwork onto leveled ground.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● The corners of bottom of the bag should be set to the corner of bottom of the Formwork.</li> <li>● Lifting band of the bag should be positioned center of the bag by using pipe etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Be sure to trample the gravel well to fill the gravel to edge and corner of the bag.</li> <li>● Level the top of the filling material by hand or by shovel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Close the closing band not to cause opening.</li> <li>● The lifting band is doubled structure. Be sure to set hook to doubled lifting band.</li> </ul>

図 3-32 D・Box 製作手順

出典：調査団作成

D・Box の製作数量は表 3-15 に示すとおりであり、合計 2,035 袋の D・Box をダウンジ駅にて製作を行なった。なお、中詰め材の投入目安を作業員に示すため、重量計測器により、開始時に重量を計測し LS100 では、重量が 380kg/個以上を目安に製作を行なった（なお、砂の湿り具合により重量は左右されるため、中詰め量の目安として使用）。

表 3-15 D・Box 製作数量

D-Box	①Stocked amount	②usage	③Design Amount	④Installed (as of 3 Mar,2017)	Remark
Japan made		under railway	1,368	1368	L=220+112m+10m*2
		trial	20	0	10m*2=20
		K-Value+Load test	14	14	4*3place(Load Test)+2(K-Value)=14
		Original Soil K+Load Test	9	9	
		Retaining Wall	255	255	L=15+50+15+5=85m, No=85*3=255
	1,710	Sub-total	1,666	1646	
Local Made	260	Retaining Wall	165	165	L=5+15+35=55m N=55*3=165p
additional Wall	200	Additional Wall	144	144	13m+35m=48m 48*3=144
		Additional Slope Foundation	80	80	L=80m
	460	Sub-total	389	389	
total	2,170		2,055	2,035	

出典：調査団作成



図 3-33 D・Box 製作状況

出典：調査団撮影

4) 軌道部 D・Box 敷設

「④鉄道基礎上及び載荷試験用の D・Box 敷設」に前述しており、割愛する。

5) 擁壁施工

当該地は、雨季に何度も斜面が崩壊している箇所であり、斜面の安定にも D・Box の活用が求められたため、擁壁の施工は軌道部の造成に先立ち行なった。

施工箇所は、追加工事分も含め、CH220 から CH580 に向かって、左側 98m、右側 90m の合計延長 188m に渡って設置した。

設置に当たっては、最初に基礎部の整地を行なった後、D・Box を 1 段設置しランマーにて転圧する。その後、型枠代わりとなる Form-net を設置し、D・Box 間に挟まれる鉄筋と結束し、固定する。

この作業を D・Box3 段の設置まで繰り返した後、丸太を D・Box 上に設置し、D・Box と固定した後、排水管を 1m 間隔で設置し、モルタルを 3 回塗りし施工は完了となる。

なお、擁壁の一部は 2017 年 5 月以降の雨季により、盛土内の粘性土のせん断強度が大幅に低下し盛土斜面の崩壊に伴い延長 188m のうち約 30m が崩壊し、2017 年 7 月～2018 年 2 月にかけて補強工事を実施した。詳細は (1) -5 の「盛土斜面の補強対策」に示す。

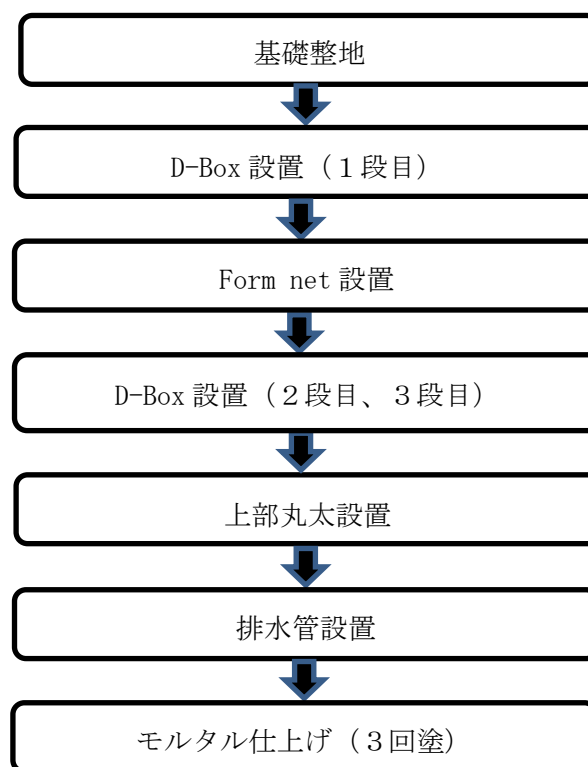


図 3-34 擁壁施工フロー

出典：調査団作成




	
<p>D・Box 設置</p>	<p>Form net 及び排水管設置</p>
	
<p>モルタル塗付 (3回塗)</p>	

図 3-35 擁壁施工状況

出典：調査団撮影

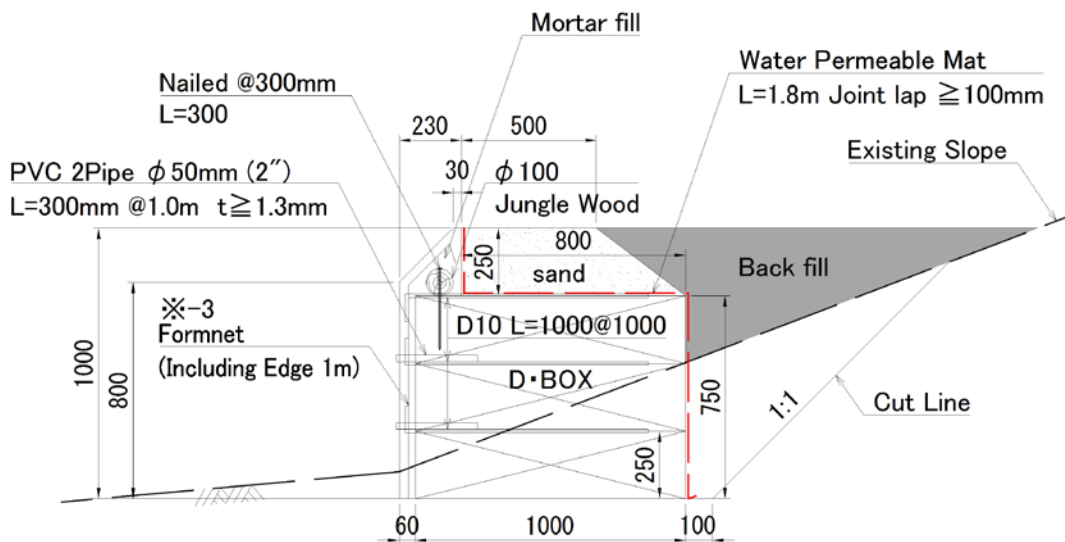


図 3-36 擁壁基本断面

出典：調査団作成

表 3-16 擁壁の設置延長

No.	L (m)	EL1 (m)	EL2 (m)	雨季による被災と対応 (m)
①	13	-	8.34	被災無し
②	35	-	8.18	被災無し
③	80	-	6.8	被災無し
L1	5	9.24	8.24	被災無し
L2	15	9.43	8.43	崩壊 15m
L3	15	8.88	7.88	崩壊 5m (その他補強)
L4	50	9.05	8.05	崩壊 10m (その他補強)
R1	35	9.08	8.08	補強
R2	15	8.82	7.82	補強
R3	5	9.38	8.38	被災無し

出典：調査団作成

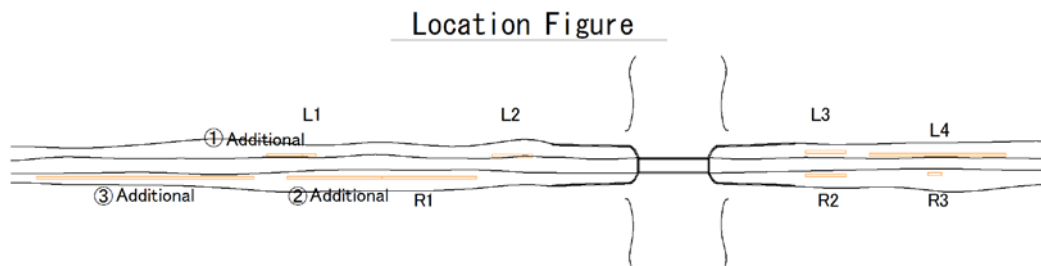


図 3-37 擁壁の設置位置

出典：調査団作成

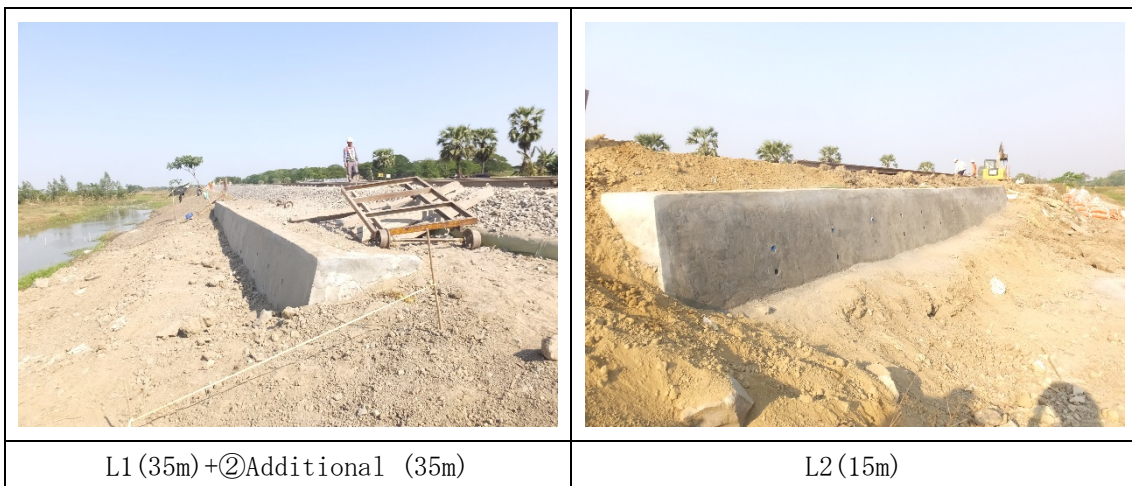






図 3-38 擁壁の施工状況

出典：調査団撮影

6) 手作業のみによる軌道部 D・Box 敷設

今後の MR の噴泥及び軟弱地盤の場所における軌道整備を、重機（バックホー等）が無くても人力のみで施工できるかどうかの実証を行った。具体的には、CH212～CH216 の 4m の区間において、掘削を枕木下部から 0.4m 行い、D・Box を 2 個並びでの設置を行なった。

施工は、作業員 12 名、世話役 1 名で午前 9 時～午後 6 時の正味 7 時間（昼休み 2 時間）で完了した。

なお、バラストの締固には、タンパーが必要である（JICA から MR へ供与した日本製タンパーを使用）。施工手順は以下に示す。

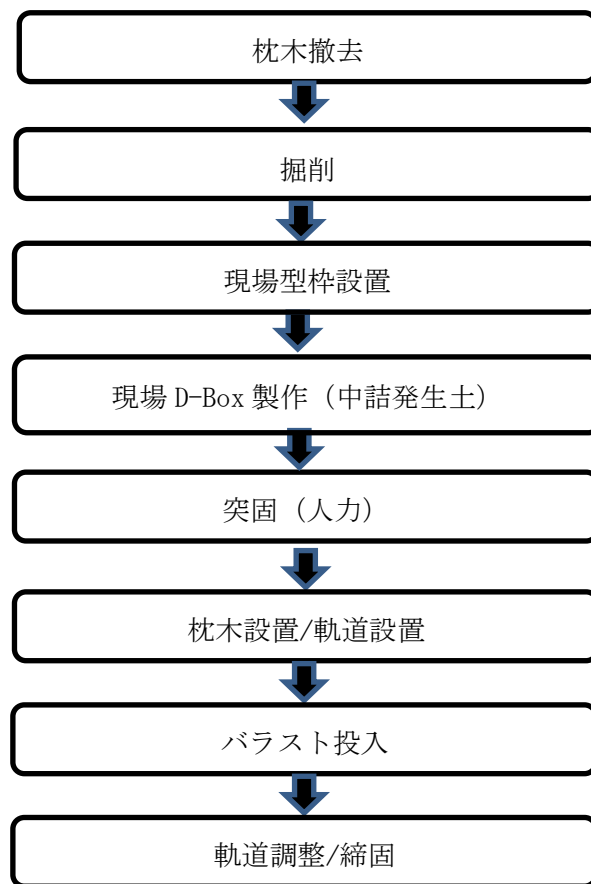


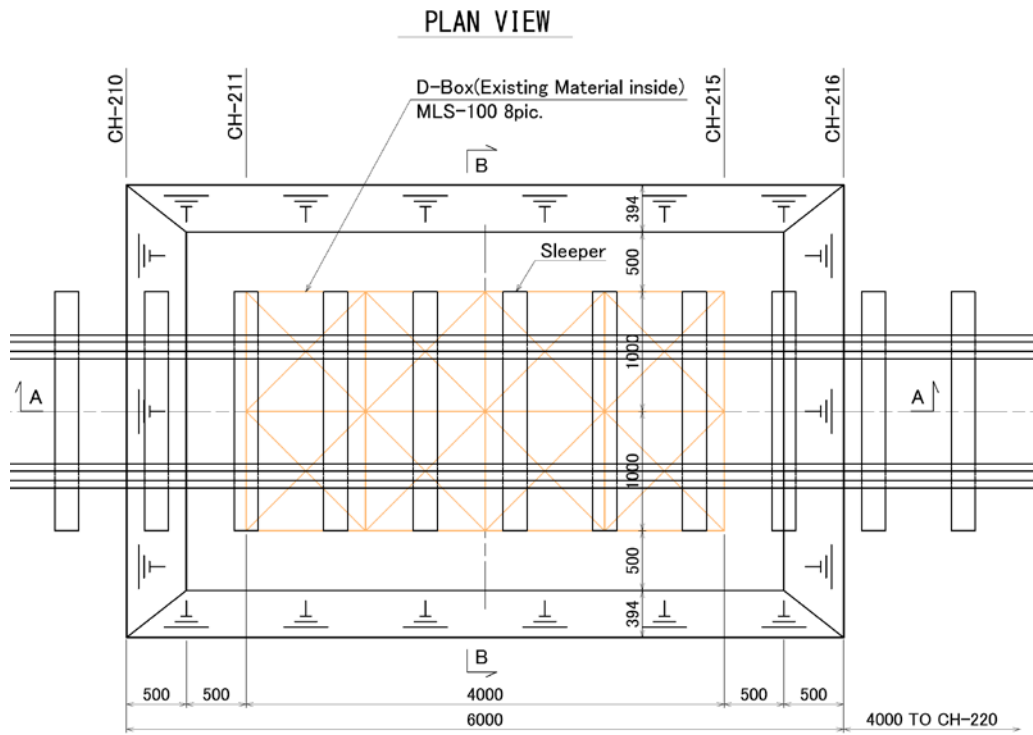
図 3-39 人力施工の施工フロー

出典：調査団作成

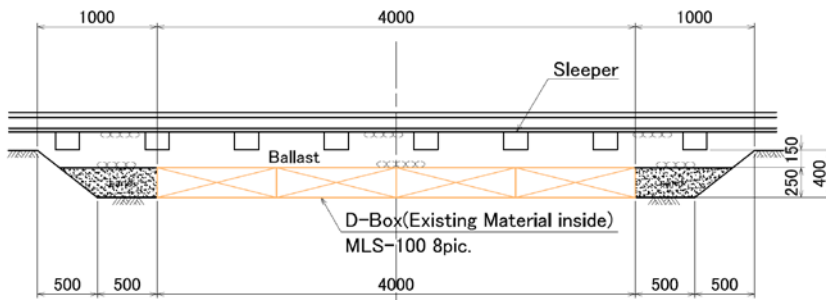
	
<p>枕木撤去、掘削</p>	<p>現場 D・Box 製作（中詰：発生土）</p>
	
<p>D・Box 設置完了</p>	<p>人力による転圧</p>
	
<p>バラスト投入</p>	<p>完成（赤枠部が人力による施工後の状況）</p>

図 3-40 人力施工の施工状況

出典：調査団撮影



**Section A-A**



**Section B-B**

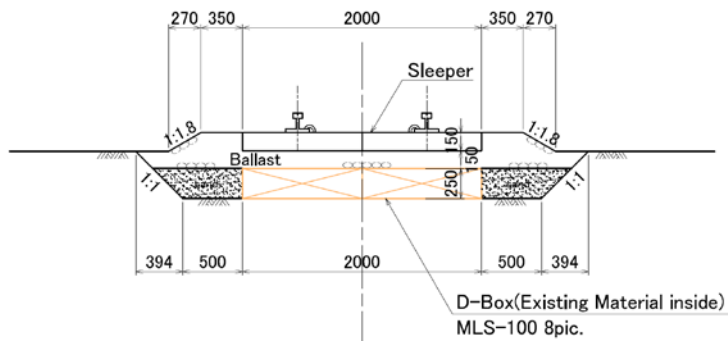


図 3-41 手作業による D・Box 軌道部敷設図 (2 個並び 4m)

出典：調査団作成






	
<p>CH180 から CH220 (左側の木) を臨む 2017年1月24日 (左は仮設トイレ)</p>	<p>CH500 付近から CH470 (Chaungphyar 橋) を 望む 2017年1月20日</p>
	
<p>CH470 (Chaungphyar 橋) から CH580 を臨む 2017年1月24日</p>	<p>CH320 付近 から Chaungphyar 橋 (RGC) を 臨む 2017年1月24日</p>
	
<p>擁壁 (L3 施工状況 : D・Box3 段設置と型枠 Formnet)</p>	<p>JICA プロジェクトのサインボード 2017年4月</p>

図 3-42 施工現場写真

出典：調査団撮影

7) 歩掛調査

今後、同様の施工を実施する際に必要な歩掛を、本業務における施工実績やヒアリング等により設定した。

本歩掛調査では、下記を参考に歩掛設定を実施した。

- ✓ 歩掛設定の根拠
- 本業務における施工実績
- 施工業者へのヒアリング
- 材料提供者へのヒアリング 等

(A) D・Box 製作作業（中詰め）

施工に用いる D・Box 作成作業として、D・Box へ土質材料の中詰めを実施する。

中詰め作業の歩掛は、本業務における中詰め作業の実績より設定する。

LS100 の中詰め作業の実績は、120 袋/日であった。

表 3-17 中詰め作業の歩掛（120 袋当たり）

	作業項目	項目	数量	単位	備考
1	中詰（LS100）	作業員	9	人	重機使用
		オペレータ	1	人	バックホーオペレータ
		バックホー補助	1	人	旗振り
		世話役	1	人	
		砂	30	m <sup>3</sup>	0.25m <sup>3</sup> /袋
		D・Box	120	袋	
		バックホー	1	台	

出典：調査団作成

(B) D・Box を含めた軌道部施工

鉄道盛土における軌道下部に D・Box を設置する。D・Box を含めた軌道部施工の歩掛は、現地での実績および施工業者へのヒアリングを基に設定する。D・Box を含めた軌道部施工図を図 3-43 に示す。表 3-18 に D・Box を含めた軌道部施工における歩掛を示す。

歩掛設定範囲

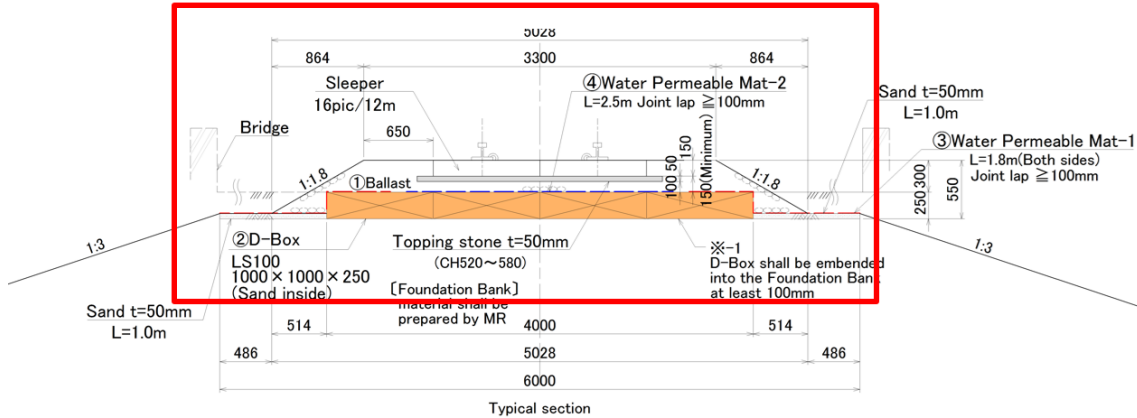


図 3-43 D・Box を含めた軌道部施工図

出典：調査団作成

表 3-18 D・Box を含めた軌道部施工における 12m(1 スパン) 当たりの歩掛(120m で算出)

	作業項目	人員	数量	単位	作業量(m/日)	120m当たり	備考
						人工	
1	レール撤去	作業員	16	人	60	32	
2	枕木撤去	作業員	16	人	60	32	
3	切土	作業員	5	人	50	12	
4	盛土	作業員	5	人	50	12	
5	D-BOX敷設	作業員	6	人	40	18	
6	転圧	作業員	5	人	30	20	遮水シート敷設含む
7	枕木設置(仮)	作業員	16	人	40	48	
8	レール設置(仮)	作業員	16	人	40	48	バラストの量(現場確保量)に依存
9	バラスト設置	作業員	16	人	60	32	バラストの量(現場確保量)に依存
10	レール調整	作業員	16	人	60	32	バラストの量(現場確保量)に依存
11	バラスト締固め	作業員	8	人	60	16	
合計(120mあたり)						302	
合計(12mあたり)						31	

出典：調査団作成

なお、本施工では次頁の表に示す重機を用いて施工を実施した。

表 3-19 D・Box を含めた軌道部施工に必要な重機および世話役の数量（1 スパン 12m/日）

項目	数量	単位	備考
世話役	1	人	作業全般の監理
バックホー(8t)	1	台	D-BOX等の運搬
RGC	1	台	D-BOXの運搬
ユニック	1	台	D-BOXの運搬
タンパー	2	台	バラストの締固め
ランマー(60kg)	1	台	盛土およびD-BOXの締固め

出典：調査団作成

以上より、現時点において確認できている項目の歩掛設定を表 3-20 に示す。

表 3-20 施工に必要な重機および世話役の数量(12m 当たり)

項目	数量	単位	単価(kyt)	金額	単位	備考
作業員	31	人	5,000	155,000	kyt	
世話役	1	人	10,000	10,000	kyt	
バックホー	1	台	270,000	270,000	kyt	オペレータ・燃料含む
ユニック	1	台	150,000	150,000	kyt	運転手・燃料除く
タンパー	2	台	不明	不明		JICA 寄贈（別業務）
ランマー	1	台	不明	不明		重量 60kg
バラスト	12	m <sup>3</sup>	38,100	457,200	kyt	1m <sup>3</sup> /mとして算出
D-BOX	48	袋	27,000	1,296,000	kyt	4袋/m、\$20/袋
合計(12m 当たり)				2,338,200	kyt/12m	
1m あたりの直接工事費				194,850	kyt/m	
				16,240	円/m	12kyt/円として換算
				150	ドル/m	1350kyt/ドルとして換算

出典：調査団作成

(C) 擁壁施工

鉄道盛土において、のり面の安定勾配が確保できない箇所に対して擁壁の設置施工を実施する。



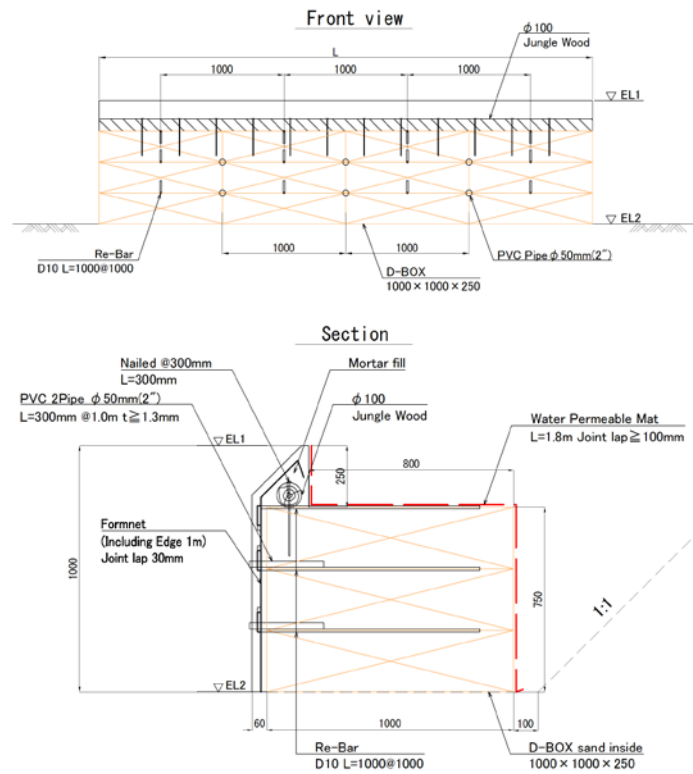


図 3-44 擁壁設置図

出典：調査団作成

擁壁施工の歩掛は、本業務における実績により設定する。擁壁施工は、現地の実績では、概ね5日/5mであった。

表 3-21 擁壁施工の歩掛(5mあたり)

	作業項目	人員	数量	単位	作業時間	備考
1	掘削					重機使用
2	設置面整地	作業員	6	人		散水含む
3	D-BOX設置	作業員	5	人		バックホー(1分/袋)、ユニック(2分/袋)
4	裏込め	作業員	3	人		バックホー・ランマー・タンパー使用(人力による散水・調整含む)
5	ネット設置	作業員	8	人		
6	2段目の設置	作業員	-	-		3-5の繰返し
7	3段目の設置	作業員	-	-		3-5の繰返し
合計(擁壁[セメント除く])					2日	
8	セメント仕上げ	作業員		人	3日	3層仕上げ
合計(擁壁)					5日	

出典：調査団作成

(D) 擁壁（1段）施工（カンシ堤）

鉄道盛土において、のり面の安定勾配が確保できない箇所に対して擁壁（1段）の設置施工を実施する。

Sample of ③Additional D-BOX foundation  
(L=80) CH220-CH300

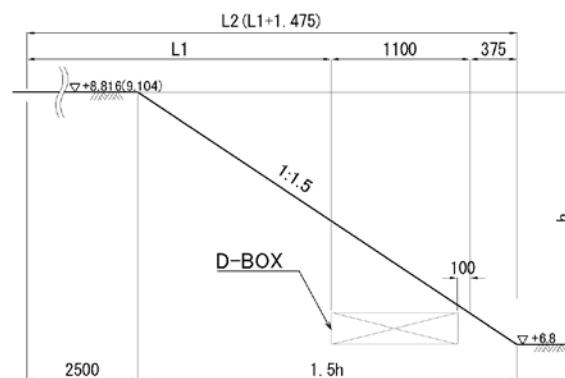


図 3-45 擁壁 1 段設置図

出典：調査団作成

擁壁（1段）施工の歩掛は、本業務における実績により設定する。

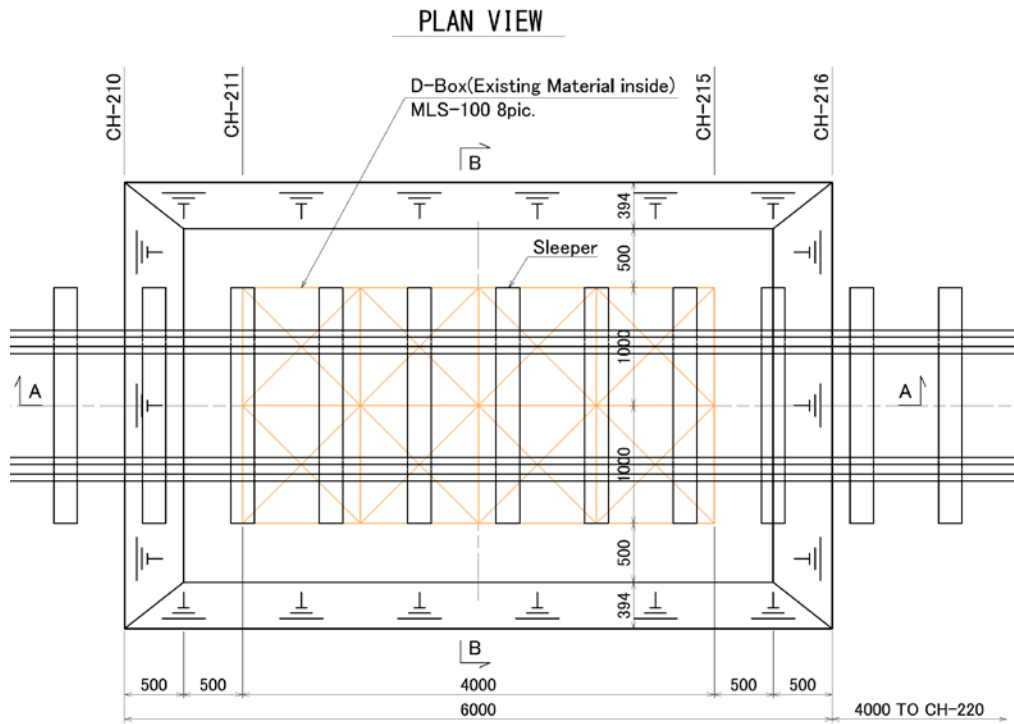
表 3-22 擁壁（1段）（カンシ堤）施工の歩掛(5m 当たり)

	作業項目	人員	数量	単位	作業時間	備考
1	掘削					重機使用
2	設置面整地	作業員	6	人		散水含む
3	D・Box 設置	作業員	5	人		バックホー（1分/袋）、ユニック（2分/袋）
4	裏込め	作業員	3	人		バックホー・ランマー・タンパー使用（人力による散水・調整含む）

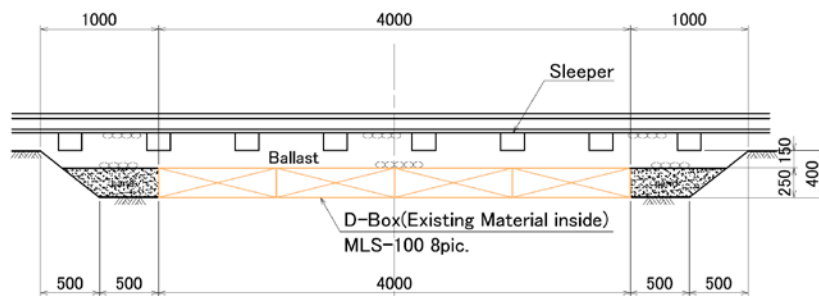
出典：調査団作成

(E) 手作業のみによる軌道部 D・Box 敷設（人力施工）

鉄道に D・Box を用いる際に通常使用する重機が調達できない場合、人力施工となる。人力施工による D・Box 軌道部敷設図を図 3-46 に示す。



### Section A-A



### Section B-B

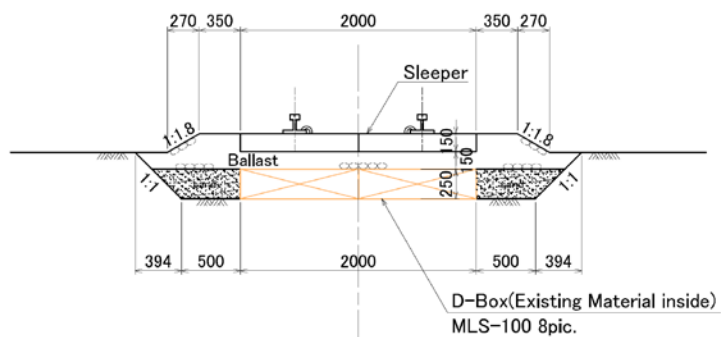


図 3-46 手作業による D・Box 軌道部敷設図 (2 個並び 4m)

出典：調査団作成

人力施工は、本業務における実績により設定する。表 3-23 及び 3-24 に  
人力施工における実施作業と実際の作業時間を示す。

表 3-23 人力施工による歩掛 D・Box 敷設 4m(4×2=8 袋)(4m 当たり)

No.	項目	内容	単位	数量		備考
1	枕木撤去	(12m 当たり) 16	本	6	本	9:00-10:00
2	掘削	5*3m*0.5	m <sup>3</sup>	7.5	m <sup>3</sup>	10:00
3	D・Box 敷設	8	袋	8	人	現場型枠、中詰(現地発生土)
4	鉄道作業員	8	人	8	人	
5	D・Box 設置作業員	8	人	4	人	
6	転圧	4	人	8	m <sup>2</sup>	
7	バラスト	8	人	3	m <sup>3</sup>	

出典：調査団作成

表 3-24 実際の作業と歩掛 D・Box 敷設 4m(4×2=8 袋)[作業時間 8:00-17:45]

時刻	作業内容	人員	数量	単位	時間	内容	備考
9:00	掘削作業	作業員	12	人	1 時間	線路枕木取り外し、 掘削 5*3*0.5=7.5 m <sup>3</sup>	内 4 人は型枠作成
10:40							
10:40	D・Box 設置	作業員	12	人	1 時間	D・Box LS100 現地製作 2 個	
11:30							
休憩							
14:07	D・Box 設置	作業員	12	人	50 分	D・Box LS100 現地製作 6 個	
14:55							
14:55	D・Box 転圧	作業員	8	人	1 時間	手作業による転圧	
15:50							
15:50	枕木設置	作業員	8	人	40 分	6 本	
16:20							
16:20	バラスト 投入	作業員	8	人	1 時間 25 分	約 3 m <sup>3</sup>	タンパーによる締固め 高さ調整含む
17:45							

出典：調査団作成

## ⑥ 軌道車 (RGC) による振動計測

### 1) 目的

D・Box 設置の効果を検証するため、D・Box 設置前 1 回、設置後 4 回（施工完了時、雨季 2 回、乾季（完了 10 カ月後：2018 年 2 月））の計 5 回に渡って軌道車（RGC：Rail Gang Car）による走行時の振動計測を行った。

振動低減により、地盤に伝わる振動も低減されることから、軌道路床部の噴泥及び液状化現象が抑制されることとなる。

### 2) 測定方法

D・Box による振動低減効果を実証するため、D・Box 設置前と設置後の振動計測を軌道車を時速約 30km/hr で走行させ、3 カ所（CH220、CH300 及び CH340）で振動計測を行った。なお、計測は、軌道中心から 1.5m の地点にコンクリートブロックを設置し、その上にセンサーを置き、進行方向横振動：X、進行直角方向横振動：Y、進行方向縦振動：Z の計測を行った。（図 3-47 及び図 3-48、表 3-25 参照）

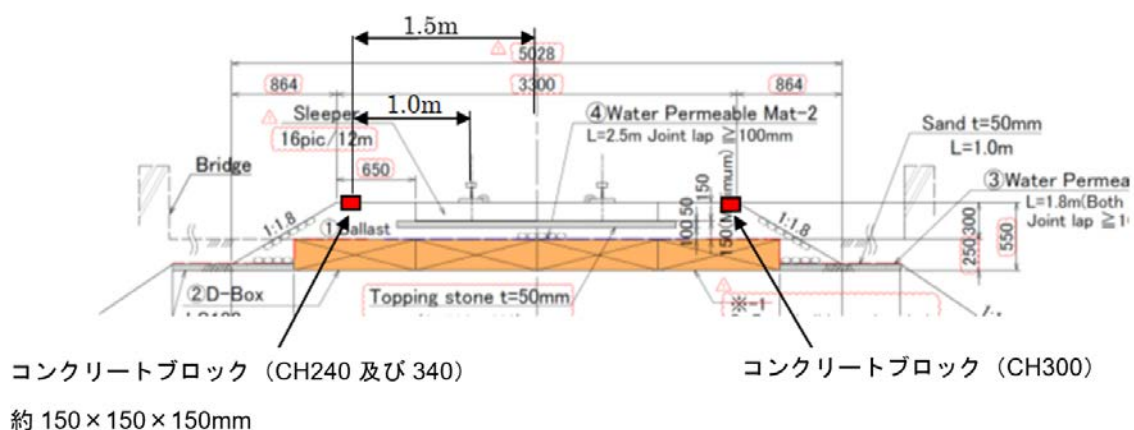


図 3-47 振動試験 センサー設置位置

出典：調査団作成



図 3-48 コンクリートブロックの上に置いたセンサー（左）と RGC(右)  
出典：調査団撮影

表 3-25 振動の周波の種類及び人へ影響する周波数 (Hz)

方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
振動の周波の種類	縦波	横波	表面波
振動の周波の方向	列車の進行方向と 同じ	列車の進行方向に 対して垂直	縦方向
人へ影響する周波数	1~2 Hz	1~2 Hz	4~12.5 Hz

出典：公害等調整委員会事務局「振動に関わる苦情への対応」の資料を参考に作成

### 3) 計測位置

計測位置は、図 3-49 に示すように、3ヶ所にセンサーを載せるためのコンクリートブロックを設置した。

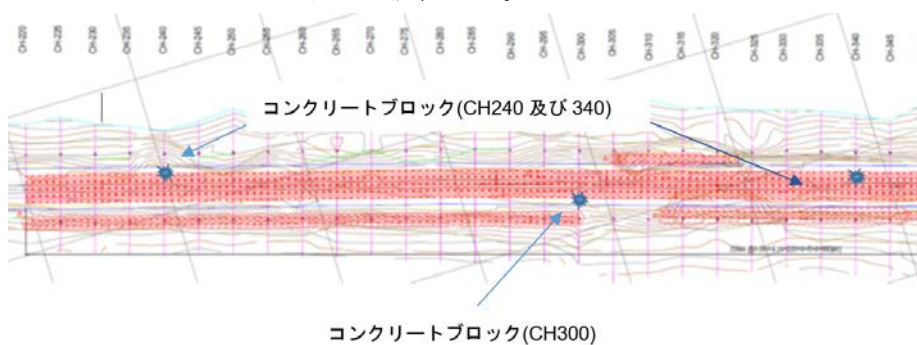


図 3-49 振動試験実施場所 (CH240 (左)、CH300 (右)、CH 340 (左))  
出典：調査団作成

#### 4) 振動計測の実施

RGC による走行時の振動試験の実施状況は表 3-26 に示すとおりであり、合計 5 回の振動計測を行なった。施工 1 年後の経過を確認することと、20Hz 以上の振動数が低減されていない理由を確認するため、2018 年 5 月 2 日に振動試験を予定していたが、MR による RGC が用意できなかったため、2018 年 2 月の振動試験を最終計測とした（資料-4 参照）。

なお、RGC の走行は時速約 30km/hr で計測している。

表 3-26 振動試験の場所、日付、速度

No.	日付	CH340 (左側)	CH300 (右側)	CH240 (左側)
① D・Box 設置前	2017 年 2 月 15 日	30 km/ hr	30 km/ hr	30 km/ hr
② 施工完了時	2017 年 4 月 4 日	31 km/ hr	29 km/ hr	31 km/ hr
③ 雨季経過後	2017 年 6 月 12 日	32 km/ hr	32 km/ hr	32 km/ hr
④ 雨季経過後	2017 年 9 月 20 日	31 km/ hr	31 km/ hr	30 km/ hr
⑤ 乾季経過後	2018 年 2 月 6 日	30 km/ hr	30 km/ hr	30 km/ hr
施工完了 1 年後	2018 年 5 月 2 日	中止	中止	中止

(RGC が搬入されなかったことによる中止)

出典：調査団作成

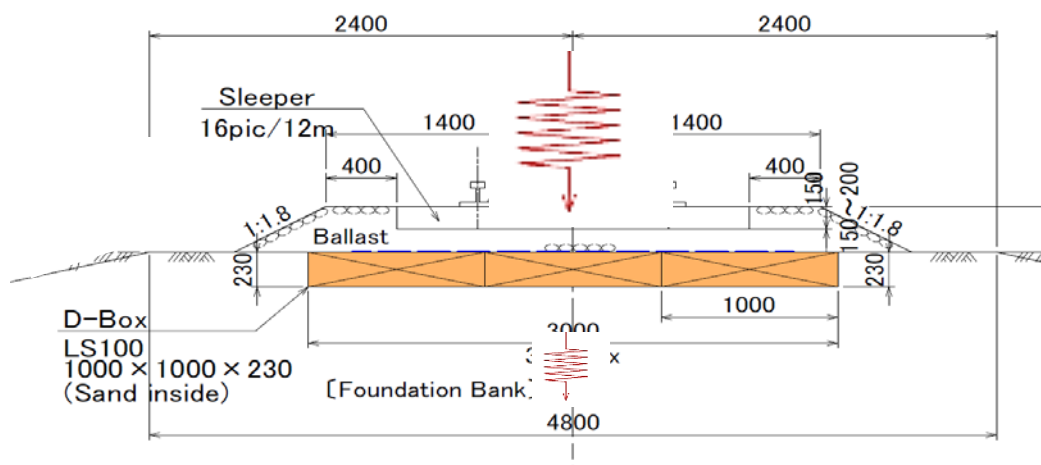


図 3-50 D・Box による振動低減のイメージ (D・Box による振動吸収イメージ)

出典：調査団作成

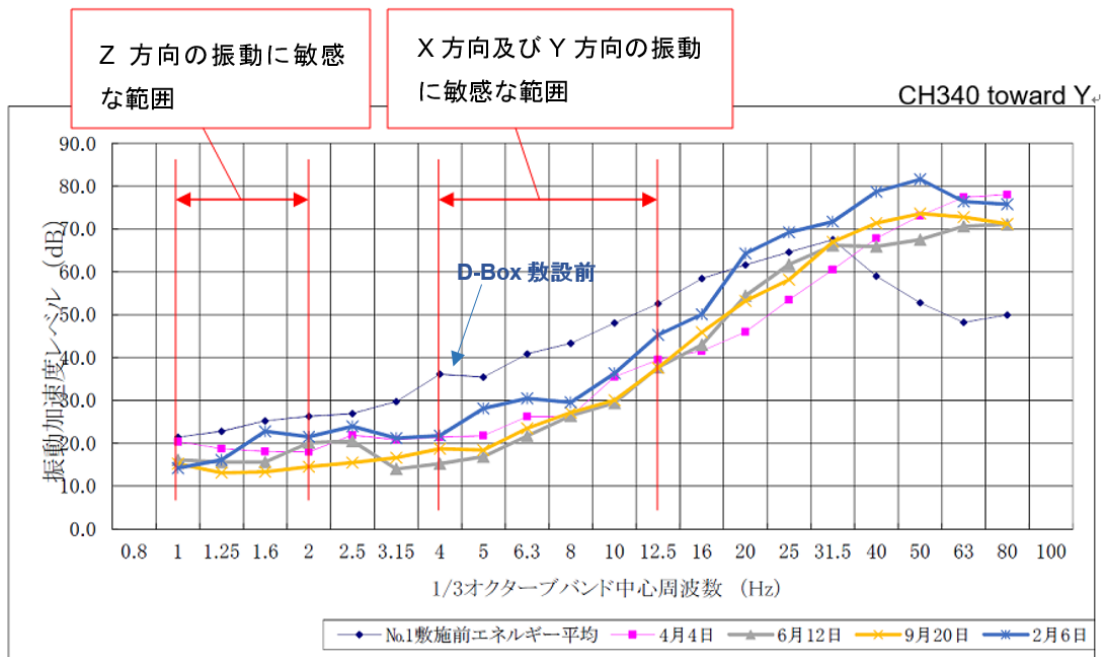


図 3-51 D・Box 改良前の振動計測実施状況写真 (2017 年 2 月 15 日)

出典：調査団撮影

5) 振動計測結果

振動計測結果の代表的な X 方向の計測結果は図 3-52 に示す通りであり、振動に敏感な範囲の周波数においては、約 10dB 程度の振動低減結果となっており、D・Box を敷設することにより、地盤への振動が抑えられ、振動による噴泥への影響を低減することが検証された。



Vertical line: Vibration acceleration level (dB)

Horizontal line: Center frequencies of 1/3 octave bands (Hz)

● : Average energy before D-Box Installation (No.1)

■ : Apr. 4, 2017 ▲ : Jun. 12, 2017 ✖ : Sep. 20, 2017 \* : Feb. 6, 2018

図 3-52 振動計測結果比較図 (5 回実施：進行方向横振動 (X) 方向の振動計測結果)

出典：調査団作成



⑦ D・Box 設置後の雨季の噴泥状況の確認

1) 噴泥現象

鉄道線路の噴泥とは、道床中より線路上面へ路盤土が泥土として噴き出る現象を言う。造成基礎地盤に粘性土が含まれている場合には、列車通過時の振動等により液状化現象と同様に、水分とともに、細かい粘土の粒子が浮き上がり、軌道部の基礎地盤支持力を低下させる現象である。



図 3-53 エインメの Chaungphyar Site の雨季の状況 (施工前)

出典：調査団撮影

2) 軌道下への D・Box の設置目的

緬国のエーヤワディ地域の大部分はデルタ地帯であり、雨期になると軌道近くまで水位が増加する。これにより盛土区間の法面は、水分を吸収した粘土が軟弱化し、且つ、水位低下による流砂現象により、法面が崩壊する。また、列車の通過に伴う振動による地下水位の上昇や、乾季による粘性土の乾燥収縮によるひび割れによって出来た隙間に雨季に大量の水が浸透し、軟弱化した路盤(Foundation Bank)にバラストが食い込み、軌道狂いが発生する。これまでの工法では、バラストの食込みを抑制することが難しいことから、これらの現象の抑制を目的として D・Box を設置した。

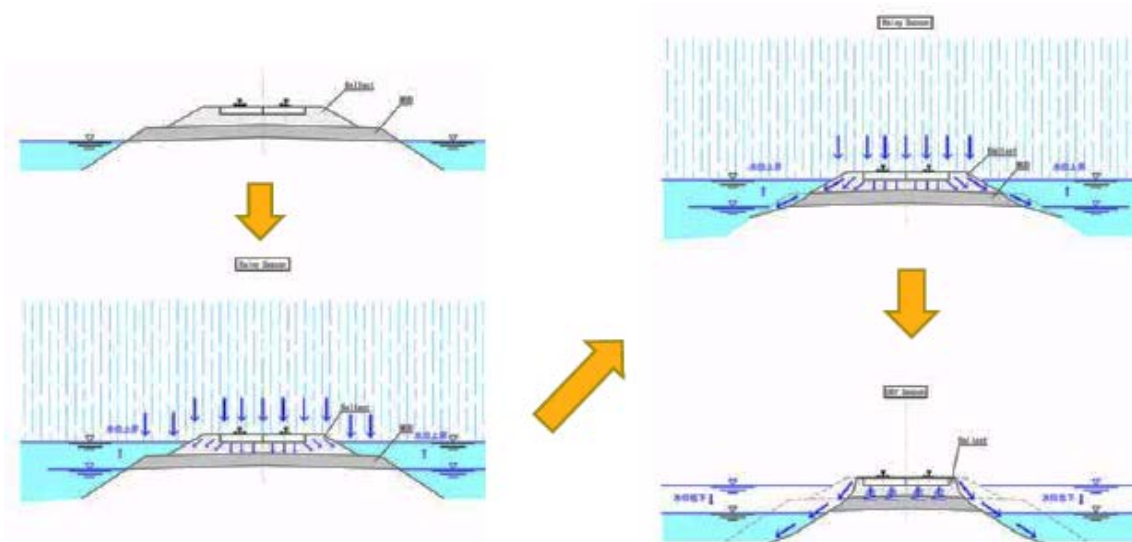
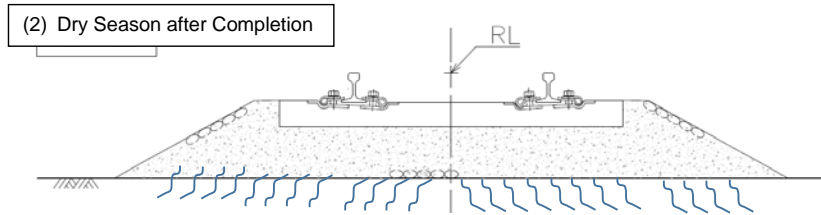
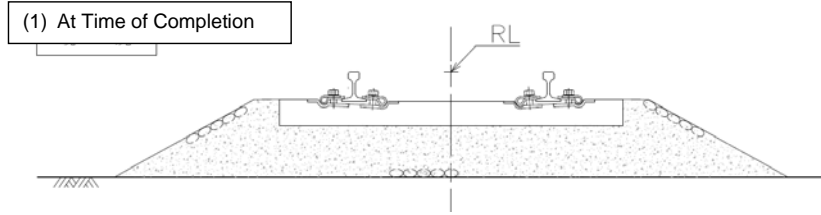
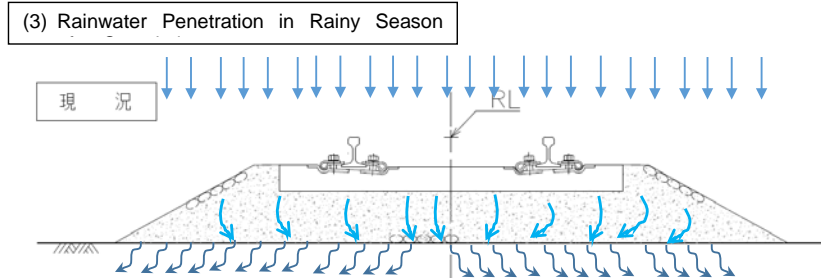


図 3-54 想定される沈下のメカニズム  
 出典：調査団作成

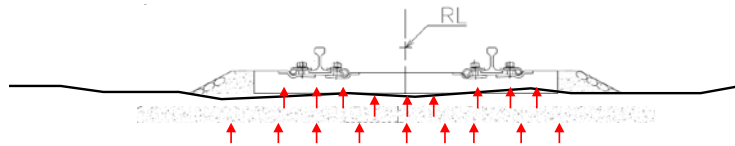
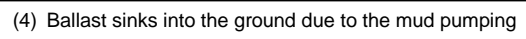
Existing Mud Pumping Countermeasure



Small cracks occur due to the drying shrinkage of the railway subgrade (clay) in dry season.



Rainwater penetrates into cracks at the railway subgrade in rainy season; the ground becomes soft ground.



The vibration caused by the train operation leads the mud pumping.  
Ballast sinks into the ground due to such mud pumping; clay appears on the surface of the ground.

図 3-55 現地の噴泥発生メカニズム (写真左側：2016年8月右側：2016年11月)

出典：調査団作成

### 3) D・Box の期待される成果

D・Box には、地盤内の排水促進と局所荷重に対する分散化、D・Box 下の土の側方変形の拘束、振動抑制効果などが期待される。各項目に対する具体的な機能として以下が挙げられる。

#### (A) 排水促進：

軌道上に降る雨をより効率的に排水することで、路盤部分の軟弱化を抑制する（バラスト食い込み防止）。

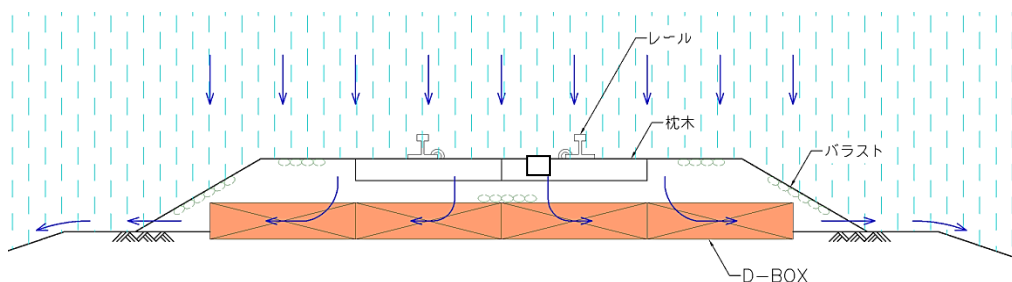


図 3-56 排水促進

出典：調査団作成

#### (B) 荷重の分散化

D・Box は、第 3 章の設計マニュアルで前述したように、①広範囲に分散化が進む事、②D・Box シートの引張力により拘束された中詰材のせん断抵抗力向上で、作用荷重を分担する。③軟弱地盤の排水効果により、圧密された表層地盤の支持力向上（局部圧密効果）により支持力向上が図られる。

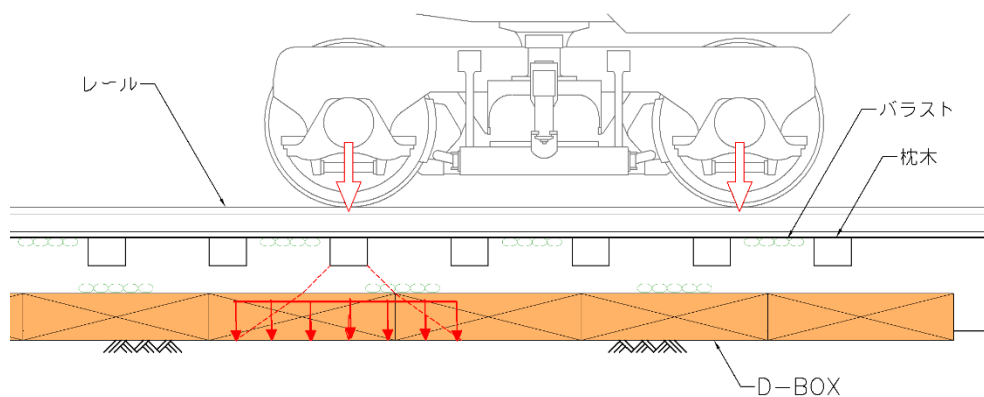


図 3-57 荷重の分散化

出典：調査団作成

(C) 側方変形の抑制拘束

D・Box は、柔軟性を持ち凹型の下面側は、上部からの荷重により土を抱え込み、側方への変形が抑制される。そのため、水位低下時においても D・Box 下の地盤は、崩壊しないと予想される。

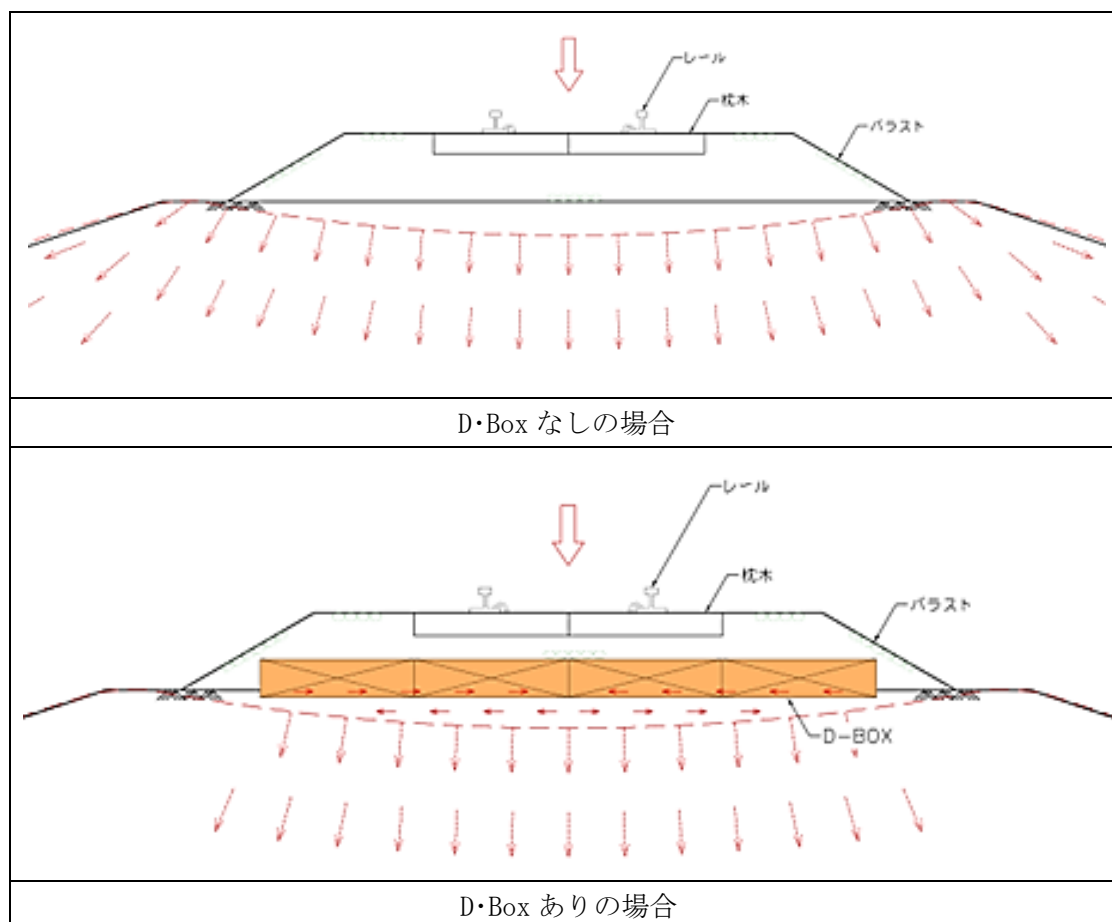


図 3-58 D・Box の底面形状による内部土の抱え込みによる鉛直荷重の低減効果  
出典：調査団作成

4) D・Box 設置後の雨季の噴泥状況の確認

D・Box 敷設後の軌道部の噴泥状況は以下の写真 (図 3-59 から図 3-62) に示すように、D・Box 敷設前に課題であった噴泥及び、盛土の粘性土の乾燥収縮によるひび割れ後のバラストの食込み等の発生は無く、D・Box 工法による噴泥対策効果を検証した。



図 3-59 D・Box 敷設前 (CH220 付近) 2016 年 8 月中旬  
出典：調査団撮影



図 3-60 D・Box 敷設 3 ヶ月後 雨季 2017 年 6 月末  
出典：調査団撮影



図 3-61 D・Box 敷設半年後 雨季 2017 年 9 月末  
出典：調査団撮影



図 3-62 D・Box 敷設 1 年後 乾季 2018 年 5 月初旬  
出典：調査団撮影

⑧ 紫外線対策試験（現地の紫外線による D・Box の劣化度確認）

緬国における D・Box の 1 年間の劣化試験結果は、表 3-27 に示すように、日本製の D・Box は、引張強度の残存率は、70%~90%であるのに対し、緬国製の D・Box は、60%弱である。

試験日：2018 年 3 月 22 日（試料採取日：2017 年 4 月 8 日）

試験方法：JIS L 1096-8.14.1 A 法に準用

試験体：幅 5 cm つかみ間隔 20 cm

引張スピード：20 cm/min

表 3-27 D・Box の劣化試験結果

D・Box 種類		未使用品 N/5cm			12 ヶ月使用済 N/5cm		残存率	k N/m	備考
オレンジ	縦	1,800	(基準値)	36	1,655	(実測値)	91.9%	33.1	載荷重 800 k N/m <sup>2</sup> 時の最大発生張力は 20 k N/m である。
	横	1,800	(基準値)	36	1,329	(実測値)	73.8%	26.6	
黒	縦	1,600	(基準値)	32	949	(実測値)	59.3%	19	
	横	1,600	(基準値)	32	921	(実測値)	57.6%	18.4	

出典：調査団作成

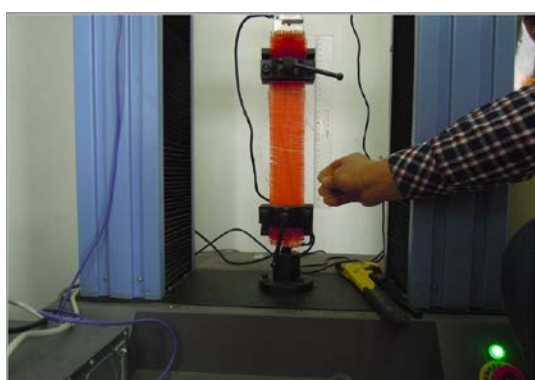


図 3-63 引張試験（日本製 D・Box）

出典：調査団撮影



図 3-64 引張試験（緬国製 D・Box）

出典：調査団撮影



## ⑨ 沈下解析、支持力算定

### 1) 理論式の定式化までの流れ

本節では、沈下解析と支持力算定を行うが、圧密に対する D・Box の効果は、後述する⑩載荷試験（1年間の沈下計測）で示すように、D・Box (LS150) を8段（約120kN）載荷させたが、対象地盤が乾燥しており圧密沈下は生じていない。そのため、ここでは、鉄道路床を対象とした D・Box を用いた軟弱地盤の支持力対策設計における設計支持力算定のための理論式について述べる。

理論式の定式化までの流れを図 3-65 に示す。

D・Box の支持力機構を、平板載荷試験結果と FEM による再現解析によって解明した。次に、この再現解析から設定した解析モデルを拡張し、異なる条件の変形計算の定式化を行った。そして、破壊に関する支持力算定式を設定し、設計計算ケーススタディを実施して、設計マニュアルを作成した。

D・Box の支持力機構は、原地盤の強度・変形特性を変化させることなく、砂置換工法による荷重分散効果に加え、D・Box 外側の“袋の張力”と“拘束された中詰土の強度・変形特性向上”による荷重分散効果によって成り立っている。このため、荷重の増加に対して、現地盤も含めた安全率が 1.0 のまま、地盤と D・Box の変形は増大するが、D・Box を構成する部材が破壊に至るまで続くことで破壊荷重が増大する。このことは D・Box の平板載荷試験結果から確認された。こうした D・Box による複数の構成部材の挙動を解析し、複雑な支持力機構を定量的に表現するため、FEM 解析を実施した。

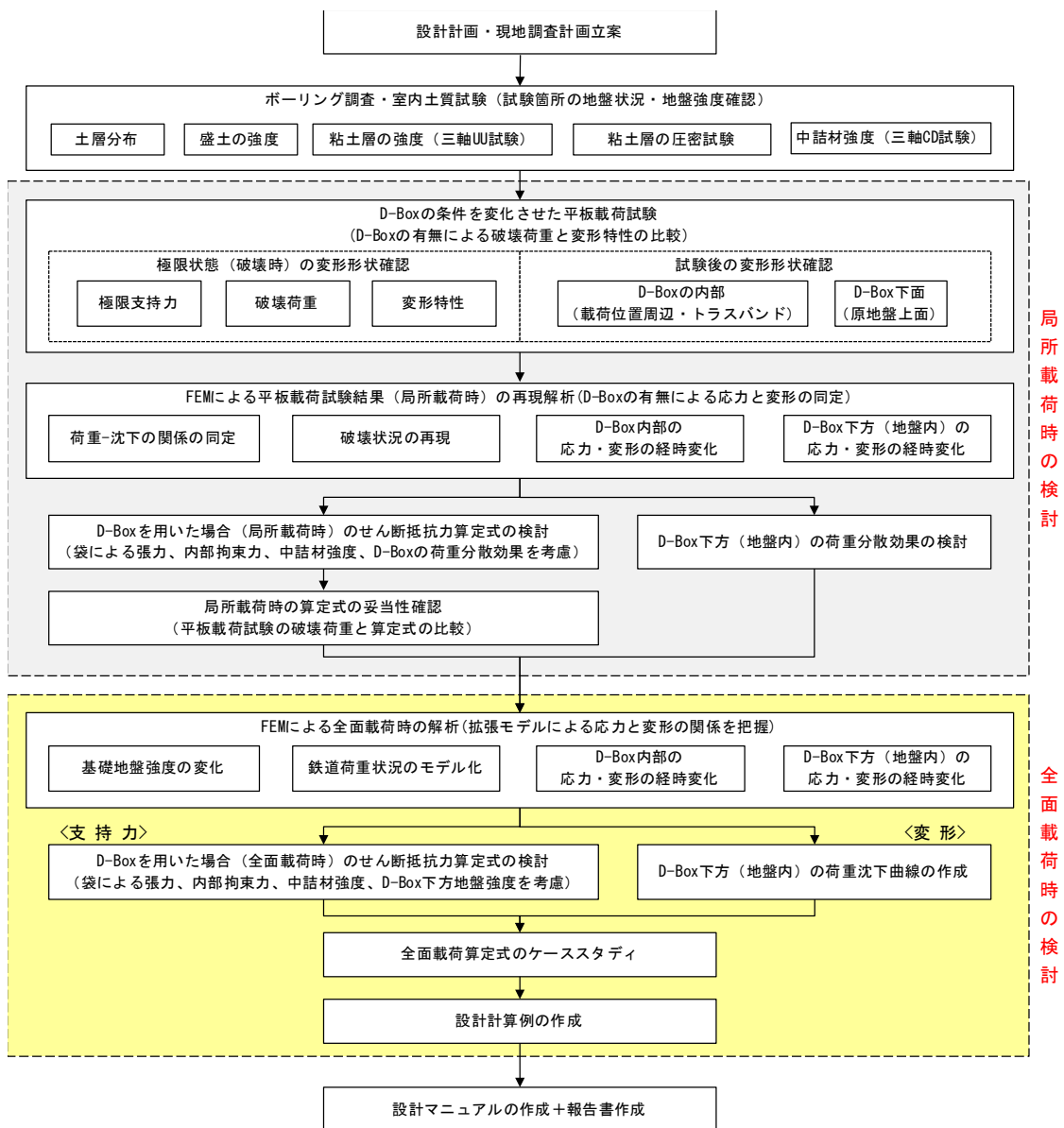


図 3-65 D・Box を用いた設計支持力の理論式の定式化までの流れ

出典：調査団作成

## 2) 設計の考え方

鉄道路床を対象としてのD・Boxを用いた支持力対策は、想定する作用に対して無対策で安定性が確保困難な場合に検討する。

D・Boxを用いた支持力対策設計に当たっては、D・Box外部地盤の破壊に関する安全性、D・Box構成部材毎の破壊に関する安全性、D・Boxが支持する構造物の許容変位の3つが満足できるよう検討を実施する。

3) 設計条件

対象とする鉄道路床において、D・Box を用いた支持力対策設計に用いるための支持力理論式を定式化する上で、想定される設計条件を以下に整理する。

(A) 軌道及びバラスト基本形状

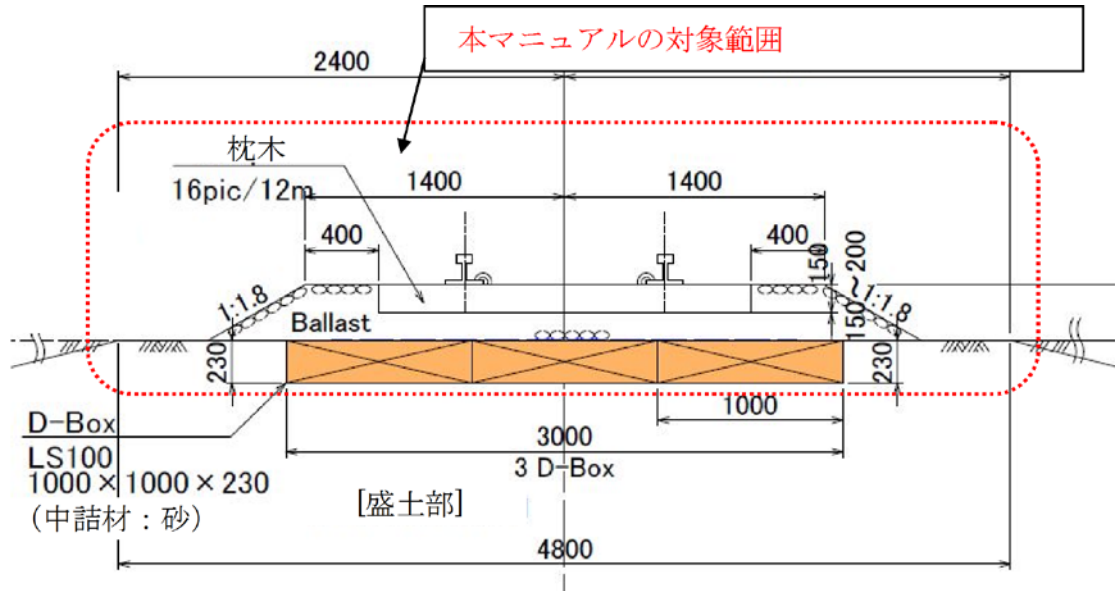


図 3-66 軌道及びバラスト基本形状

出典：調査団作成

(B) D・Box への作用荷重：列車荷重および軌道荷重より算出した。(上載荷重：28.2 kN/m<sup>2</sup>)

但し、列車重量：77t [幅 2 m 長さ 20 m]，軌道荷重：15 kN/m<sup>2</sup>

[車両荷重：17.4 kN/ m<sup>2</sup>]

$$(q=WT/(LT \times LB)=80 \times 9.8 / (20 \times 2.25)=17.4 \text{ kN/ m}^2)$$

q : 車両荷重 (17.4kN/ m<sup>2</sup>)

WT : 一車両の重量 (80ton)

LT : 一車両長 (20m)

LB : 枕木幅 (2.25m)

[軌きょう荷重：2.0kN/ m<sup>2</sup>]

$$(5.0\text{kN/ m}^3 / 2.25\text{m} = 2.2\text{kN/ m}^2)$$

[バラスト：8.6kN/ m<sup>2</sup>]

$$(19.0\text{kN/ m}^3 \times 0.45\text{m} = 8.6\text{kN/ m}^2)$$

以上より、上載荷重 : 28.2 kN/m<sup>2</sup>

(C) D・Box 基本形状・諸元・配置

D・Box の基本形状・諸元：表 3-28 参照。鉄道路床としては LS100 を使用。

表 3-28 D・Box の基本形状・諸元

項目	内部拘束式土のう (D・Box)				
仕様	製品名	D・Box LS100M		D・Box LS150 (日本製)	
	サイズ (mm)	縦 1,000×横 1,000×高 250		縦 1,500×横 1,500×高 450	
	内部容量 (m <sup>3</sup> )	0.25 m <sup>3</sup>		1.0 m <sup>3</sup>	
	製品特性	縦方向	横方向	製品材質	中詰材
	張力 (N/5cm) ( ) は緬国製	1,800 以上 (1,600)	1,800 以上 (1,600)	ポリプロピ レン	碎石 (C40 未 満)、砂
	延性 (%)	18%未満	18%未満		

注記：張力試験の試験速度は 20cm/分

出典：調査団作成

D・Box の配置： 鉄道路床として、D・Box (LS100) の配置は一段とする。  
但し、盛土を構築する場合は 2 段以上とする。

中詰材の材料と特性： 材料としては碎石、砂を用いる。(均等に十分に締め固めたもの)  
締め固め後の単位体積重量を求め、強度・変形係数は室内土質試験(単位体積重量試験、三軸圧縮強度試験)を実施して設定する。また、三軸圧縮強度試験供試体は、実際の中詰材を用い、締め固め後の単位体積重量・含水比になるように作成した。

4) 対象となる路床の原地盤強度(せん断強度)・変形係数とその確認方法

路床の下方地盤においても、路床下面に作用する荷重に対して十分な支持力を有することが必要となる。また、乾燥した粘性土は吸水によって長期的にみて強度が著しく低下するため、必要な支持力を期待できる場所(原地盤で適切な位置・深度)に D・Box は設置する必要がある。しかし、現地状況から、D・Box を設置する地盤は軟弱な粘土地盤の場合がほとんどであり、粘土地盤の支持力照査が必要となる。このため、深い位置では原地盤の強度をボーリング調査・サウンディング、もしくは、浅い位置では原位置簡易一面せん断試験等の地盤調査により確認する必要がある。



図 3-67 ボーリング調査状況

出典：調査団撮影



図 3-68 サウンディング実施状況

出典：調査団撮影



図 3-69 原位置簡易一面せん断試験状況

出典：調査団撮影

## 5) D・Box 基礎の設計支持力算出方法の検討（理論式の検討）

### (A) D・Box 基礎の支持力

D・Box を用いた基礎は、図 3-70 に示すように、上載荷重の分散の効果、及びシートの張力に拘束された中詰材のせん断抵抗力の効果によって補強される。よって、D・Box 基礎の支持力は、「荷重分散効果による支持力 ( $q_a \cdot B_a$ )」と「D・Box 内部のせん断抵抗力の効果による支持力 ( $S \cdot H$ )」を合わせたものであり、その支持力補強効果は、式 (1) の関係式で示される。

$$\begin{aligned}
 q_i \cdot B_i &= q_a \cdot B_a + S \cdot H = q_a (B_i + 2H \cdot \tan \psi) + 2\tau_n \cdot H \\
 &= q_a (B_i + 2H \cdot \tan \psi) + 2H \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_P}} \left( \frac{B}{H} K_P - 1 \right) \cos \phi + \left( \frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\}
 \end{aligned}$$

…式(1)

式 (1) より、分散荷重  $q_a$  を基礎地盤（軟弱地盤）の極限支持力  $q_{sa}$  として置換えると、D・Box 基礎の極限支持力  $Q$  は式 (2) の関係式で示される。

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T}{B \sqrt{K_p}} \left( \frac{B}{H} K_p \cdot 1 \right) \cos \phi + \left( \frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\} \quad \dots \text{式(2)}$$

ここに、 $Q \geq q_i$

なお、D・Box のせん断抵抗力及び支持力算定式の検討に際して、以下の技術資料を参考にした。

式 (2) は「マットレス工法の支持力計算式」と「土のう工法のせん断抵抗力の計算式」を組合わせた新しい支持力計算式（門田の提案式）である。

【参考資料】

○土のう工法の強度算定式

・「地盤工学の新しいアプローチ 構成式・試験法・補強法」：松岡 元、  
京都大学学術出版会

2003 年 6 月

○マットレス工法の支持力算定式

・「マットレス工法 技術資料—設計編—」：特許公開資料（公開番号：2010-255247 号）

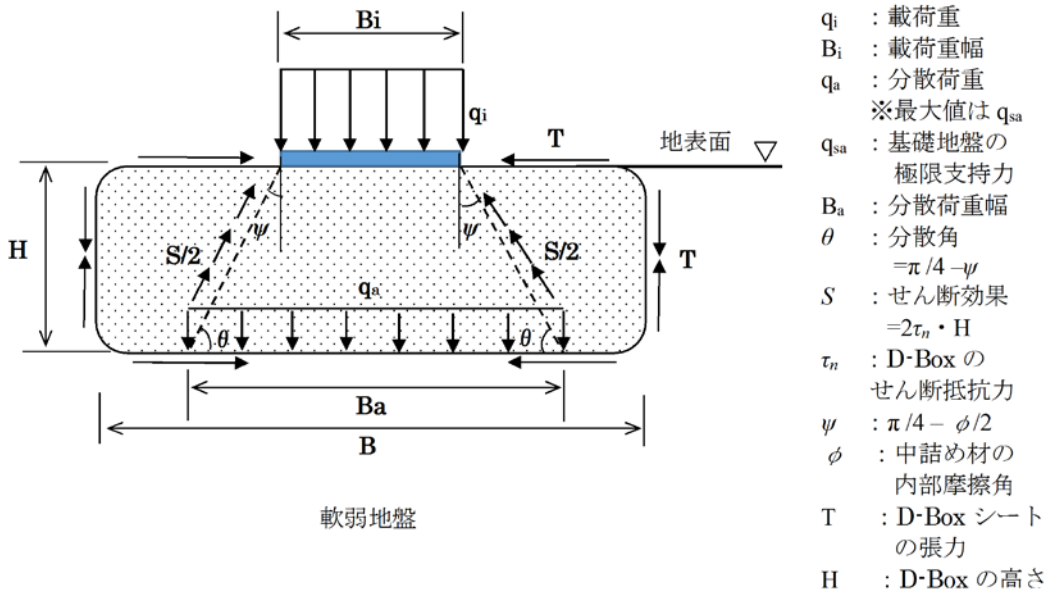


図 3-70 D・Box 基礎の支持力補強効果の模式図

出典：調査団作成

(B) D・Box 基礎の支持力計算式の解説

A) D・Box のせん断抵抗力の算定方法

D・Box の破壊時の主応力は、式 (3) で示される。

$$\sigma_1 + \frac{2T}{B} = K_P \left( \sigma_3 + \frac{2T}{H} \right) \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

ここに、 $K_P = (1 + \sin\phi) / (1 - \sin\phi)$

図 3-71 のモールの応力円より、

$$\sigma_3 = \sigma_1 \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} - 2c \frac{\cos\phi}{1 + \sin\phi} \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

式 (4) より

$$\sigma_1 = \sigma_3 K_P + 2c \sqrt{K_P} \dots\dots\dots \text{式(5)}$$

式 (3) 及び式 (5) より、D・Box シートの拘束力による見掛けの粘着力  $c_D$  は、

$$c_D = \frac{T}{B\sqrt{K_P}} \left( \frac{B}{H} K_P - 1 \right) \dots\dots\dots \text{式(6)}$$

図 3-71 のモールの応力円より、せん断抵抗力  $\tau_n$  及び主応力差 ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) は、式 (7) 及び式 (8) で示される。

$$\tau_n = \cos\phi (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \dots\dots\dots \text{式(7)}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 2 \times c \times \cos\phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin\phi \dots\dots\dots \text{式(8)}$$

式 (7) 及び式 (8) より、せん断抵抗力  $\tau_n$  は式 (9) で示される。

$$\tau_n = \frac{\cos\phi}{1 + \sin\phi} \left( c \times \cos\phi + \sigma_1 \times \sin\phi \right) \dots\dots\dots \text{式(9)}$$

式 (9) の  $c$  を  $c_D$ 、 $\sigma_1$  を  $\frac{2T}{B} + q_i$  (載荷重) に置替えると、D・Box

のせん断抵抗力  $\tau_n$ は、

$$\tau_n = \frac{\cos\phi}{1+\sin\phi} \left\{ c_D \times \cos\phi + \left( \frac{2T}{B} + q_i \right) \times \sin\phi \right\} \dots\dots\dots \text{式(10)}$$

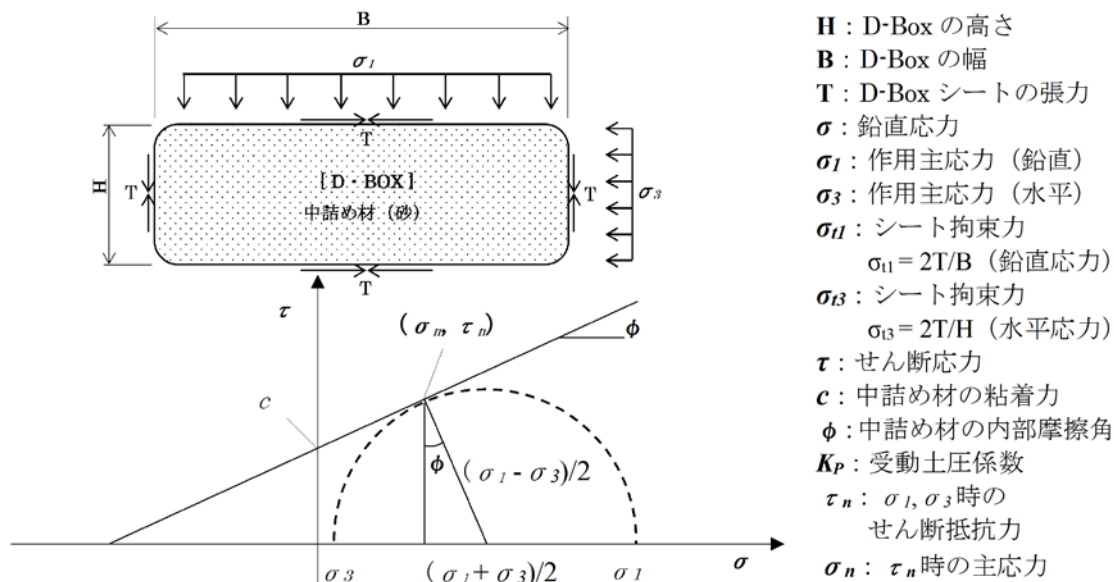


図 3-71 D・Box に作用する応力及びモールの応力円模式図

出典：調査団作成

B) D・Box 基礎の支持力の算定方法

D・Box 基礎の支持力は、「荷重分散効果による支持力 ( $q_a \cdot B_a$ )」と「D・Box 内部のせん断抵抗力の効果による支持力 ( $S \cdot H$ )」を合わせたものである。荷重分散効果は載荷幅及び D・Box 高さ等の影響を受け、せん断抵抗力の効果はシート張力及び中詰め材の内部摩擦角等の影響を強く受ける。図 3-70 より、D・Box 基礎による支持力補強効果は、式 (11) の関係式で示される。

$$q_i \cdot B_i = q_a \cdot B_a + S \cdot H = q_a (B_i + 2H \cdot \tan\psi) + 2\tau_n \cdot H \dots\dots \text{式(11)}$$

また、式 (6) 及び式 (10)を式 (11)に代入すると、式 (12) の関係式となる。

$$q_i \cdot B_i = q_a (B_i + 2H \cdot \tan\psi) + 2H \frac{\cos\phi}{1+\sin\phi} \left\{ \frac{T}{B\sqrt{K_p}} \left( \frac{B}{H} K_p - 1 \right) \cos\phi + \left( \frac{2T}{B} + q_i \right) \sin\phi \right\} \dots\dots \text{式(12)}$$



式 (12) より、分散荷重  $q_a$  を基礎地盤（軟弱地盤）の極限支持力  $q_{sa}$  として置換えると、D・Box 基礎の極限支持力  $Q$  は式 (13) の関係式で示される。

$$Q = q_{sa} \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \psi}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \left\{ \frac{T}{B \sqrt{K_p}} \left( \frac{B}{H} K_p \cdot 1 \right) \cos \varphi + \left( \frac{2T}{B} + q_i \right) \sin \varphi \right\}$$

……式(13)

また、許容支持力は、安全率を  $F_s=3$  とすると、式 (14) となる。

$$(Q_a)_{D-BOX} = \frac{1}{F_s} \times Q = \frac{1}{3} \times Q \dots\dots\dots \text{式(14)}$$

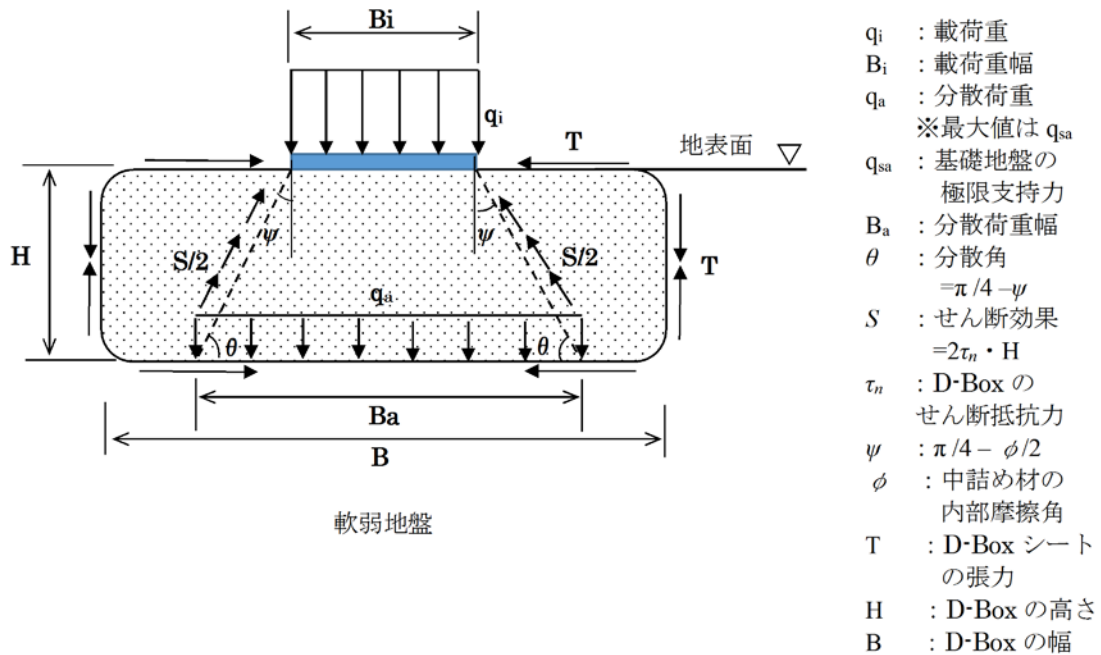


図 3-72 D・Box 基礎の支持力補強効果の模式図

出典：調査団作成

C) D・Box (LS100) 基礎の設計支持力

(a) D・Box (LS100) 基礎の極限・許容支持力

D・Box (LS100) 基礎の支持力は、式 (1) に示すように、載荷重の幅及び D・Box を設置する基礎地盤（軟弱地盤）の支持力の影響を受ける。平板載荷試験及び FEM 解析より求めた、D・Box 基礎の設計支持力、設計条件を表 3-29 及び図 3-73 に

示す。また、D・Box (LS100) 基礎の設計支持力は、同じ厚さ・材料の置換工の設計支持力の約 1.0~2.5 倍である。

表 3-29 D・Box (LS100) 基礎の設計支持力

載荷重の幅 $B_i$ $B_i=B$ $B$ : D・Box 幅	極限支持力 $Q$ $\text{kN/m}^2$	100	170	270
	許容支持力 $Q_a$ $\text{kN/m}^2$ $Q_a=Q/F_s=Q/3$ $F_s$ : 安全率	33	56	90
	基礎地盤の粘着力 $c$ $\text{kN/m}^2$	5~10	10~15	15~20
載荷重の幅 $B_i$ $B_i \leq B/3$ $B$ : D・Box 幅	極限支持力 $Q$ $\text{kN/m}^2$	210	360	570
	許容支持力 $Q_a$ $\text{kN/m}^2$ $Q_a=Q/F_s=Q/3$ $F_s$ : 安全率	7	120	190
	基礎地盤の粘着力 $c$ $\text{kN/m}^2$	5~10	10~15	15~20

出典：調査団作成

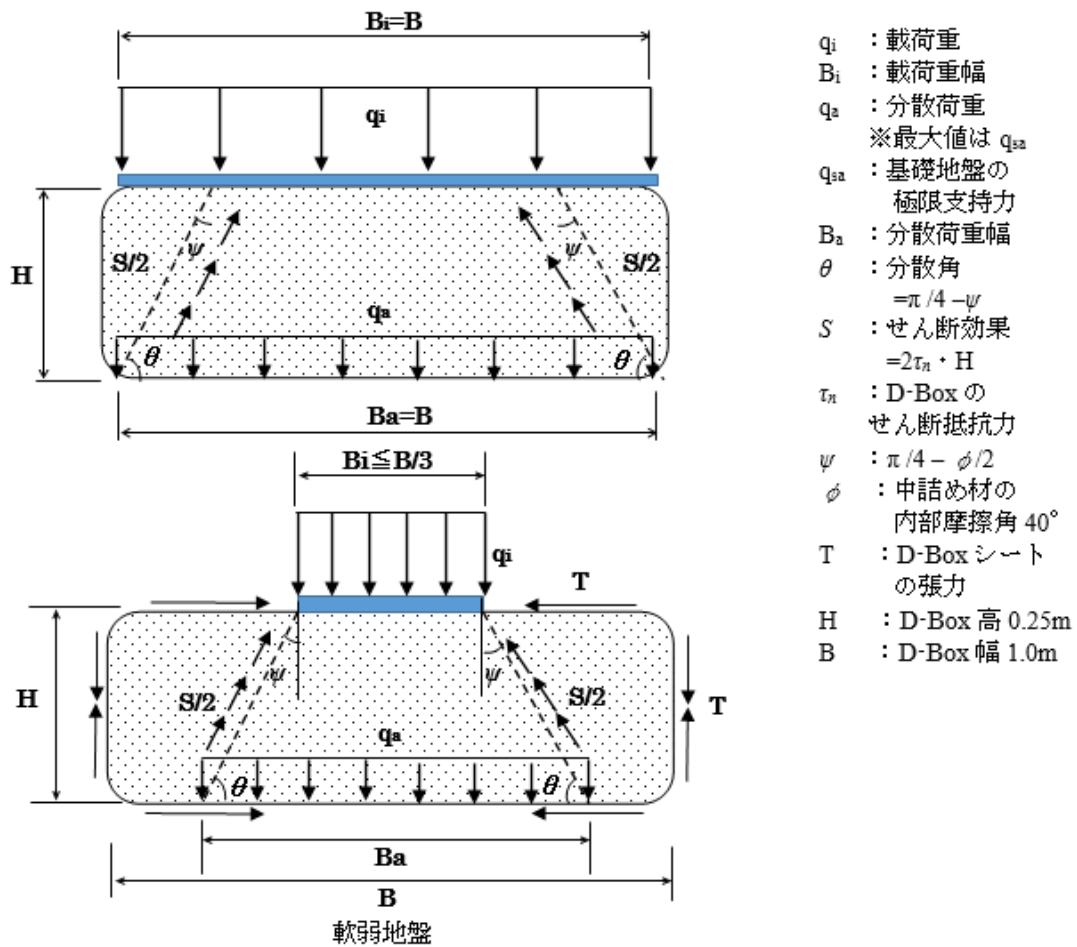


図 3-73 D・Box (LS100) 基礎の支持力の設計条件

出典：調査団作成

(b) D・Box (LS100) 基礎の極限・許容支持力の解説

通常 D・Box を設計する際は、上部構造物の荷重が D・Box 全面にかかり、D・Box 全体の張力が効果的に機能するように計画するが、今回の試験では D・Box の特性を顕著化させるため、あえて変形の最も大きい中央部（内部拘束具が作用し難い）に点荷重をかけた試験としている。

a) 平板載荷試験結果の再現計算による検証

平板載荷試験結果及び FEM による再現解析結果（平板載荷試験）より、式 (1) に示す支持力計算式、及び表 3-29 に示す D・Box (LS100) 基礎の設計支持力の妥当性について検証する。

(i) 平板載荷試験の条件

平板載荷試験は、図 3-74～図 3-76 に示す条件で実施されている。

PLT-K-1 基礎地盤（粘性土）の上で直接平板載荷試験  
⇒極限支持力の測定及び基礎地盤の強度定数の算出

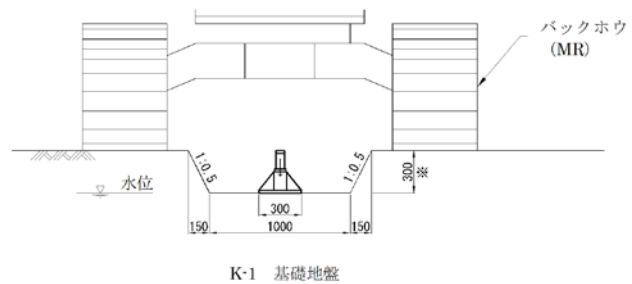
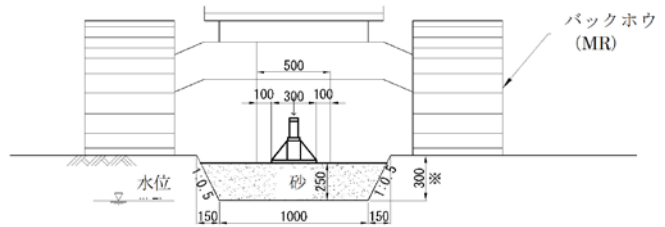


図 3-74 平板載荷試験 (1) PLT-K-1

出典：調査団作成

PLT-K-2 基礎地盤を厚さ 25cm の砂で置換え、その上で平板載荷試験

⇒ 極限支持力の測定及び砂の強度定数の算出



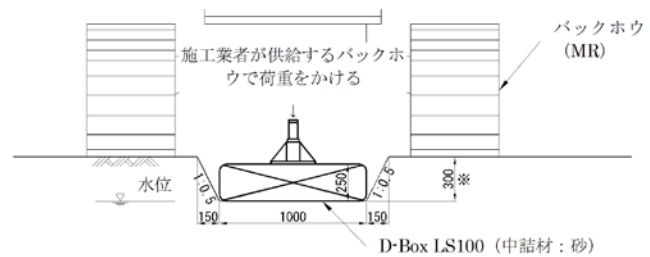
K-2 砂 t=250

図 3-75 平板載荷試験 (2) PLT-K-2

出典：調査団作成

PLT-K-4 基礎地盤(粘性土)の上でD・Box(高さ 25cm)を設置し、その上で平板載荷試験

D・Box の中には砂を入れる⇒ 極限支持力の測定及び強度定数の算出



K-4 中詰材：砂

図 3-76 平板載荷試験 (3) PLT-K-4

出典：調査団作成

(ii) 設計計算条件

支持力計算式は、帯状基礎場合のモデルに基づいて導かれているため、載荷試験の結果を帯状基礎と仮定して、計算式の検証を行う。

○D・Box の中詰砂の設計定数

中詰砂の排水三軸試験結果より、中詰砂の内部摩擦

角  $\phi$  及び分散角  $\phi$  は、

$$\phi_s = 41.4^\circ,$$

$$\psi = 45^\circ - \phi/2 = 24.3^\circ$$

○D・Box (LS100) のシート強度

➤ 生地 of 引張強度

縦・横とも引張強度 (製品基準強度) は  
1,850N/5cm 以上

$$\Rightarrow 37\text{kN/m}$$

➤ 帯 (上面)

帯の引張強度 (製品基準強度) は 19,000～  
21,000N/7cm  $\Rightarrow$  19～21kN/7cm

縦・横とも 4 本の帯が配置されている。

$$\Rightarrow 76\sim 84\text{kN/m}$$

➤ 帯 (下面)

縦・横の引張強度 (製品基準強度) は

$$(1/\sqrt{2}) \times 19\sim 21\text{kN/m} = 13.4\sim 14.8\text{kN/m}$$

シート強度の合計

上面の引張強度 (製品基準強度)  $\Rightarrow$  生地 + 帯 = 112～  
122kN/m

下面の引張強度 (製品基準強度)  $\Rightarrow$  生地 + 帯 = 49.4  
～52.8kN/m

小さい方の値を用いて、 $T=50\text{kN/m}$  とする。

$\rightarrow$  許容値は、製品基準強度の 2 分の 1 と仮定すると、

$$T_A = 50 \div 2 = 25.0\text{kN/m}$$

○平板載荷試験及び D・Box (LS100) 基礎の形状

・ 載荷板の基礎幅  $B_i = 0.3\text{m}$

・ D・Box の高さ  $H = 0.25\text{m}$

・ D・Box の幅  $B = 1.0\text{m}$

○D・Box (LS100) 基礎の支持力計算式

D・Box 基礎 (LS100) の極限支持力  $Q$  は、式 (15) に  
上記設計条件を代入すると

極限支持力  $Q = (\text{荷重分散効果}) + (\text{シート張力による中詰め材のせん断抵抗増加の効果})$

$$Q = q_a \cdot \frac{B_i + 2H \cdot \tan \phi}{B_i} + \frac{2H}{B_i} \cdot \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \left\{ \frac{T_s}{B \sqrt{K_p}} \left( \frac{B}{H} K_p \cdot 1 \right) \cos \phi + \left( \frac{2T_s}{B} + q_i \right) \sin \phi \right\}$$

$$= 1.75 \times q_a + 5.7 \times T_s + 0.5 \times q_i$$

……式(15)

ここに、 $q_a$  : D・Box を設置する基礎地盤の支持力

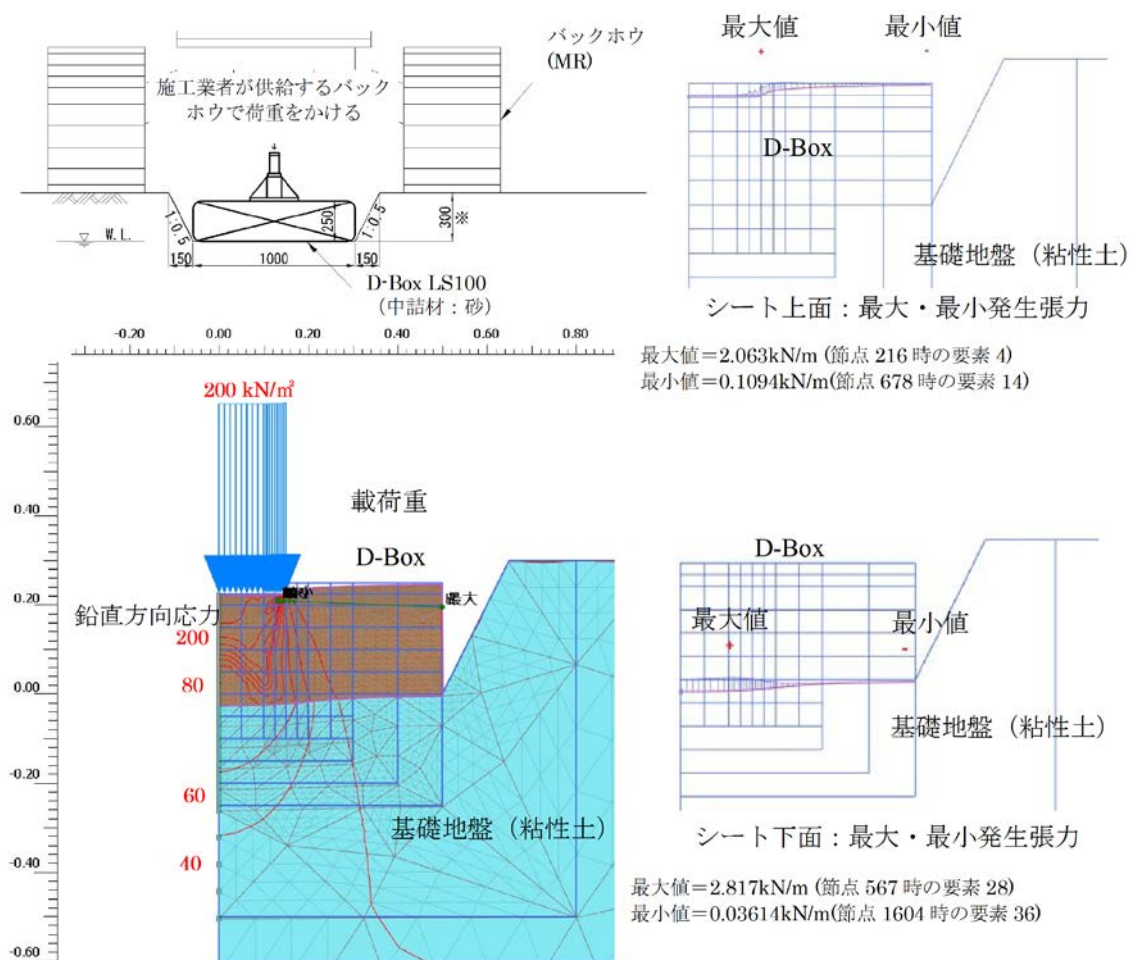
→ 平板載荷試験結果 (PLT-K-1) より、

$$q_a = 84.88 \text{ kN/m}^2$$

$T_s$  : シートの設計張力 (シートの許容値ではない)

(iii) シートに発生する張力

図 3-77 に示す FEM による平板載荷試験の再現解析結果より、荷重段階毎のシートに発生する張力を整理した。解析モデル図及びシート張力の計算結果図を図に示し、載荷重と張力 (各載荷段階における張力の最大値) の関係をまとめて図 3-78 に示す。



(a) 解析モデル図・鉛直方向応力コンター図 (b) シート張力の分布図

図 3-77 平板载荷試験 (PLT-K-4) 再現解析モデル図及びシート張力分布図  
(载荷重 200kN/m<sup>2</sup>)

出典：調査団作成

FEM による再現解析の結果、荷重段階に応じて、シートに発生する張力は増加している。

载荷重が 900kN/m<sup>2</sup> 程度になると、シートに発生する張力は許容値の 25kN/m 程度になる。また载荷重が 1,400kN/m<sup>2</sup> 程度になると、製品基準強度に近い張力が、シートに発生すると推定される。

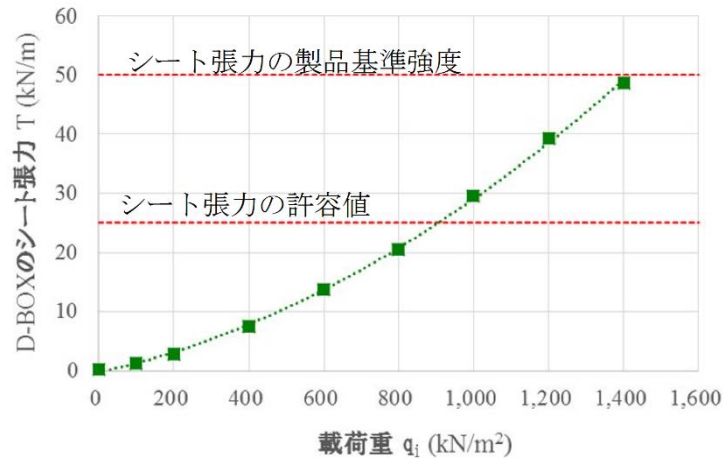


図 3-78 各荷重段階におけるシートの最大発生張力  
出典：調査団作成

(iv) 提案式による支持力計算

FEM 解析で求めたシート張力を設計張力  $T_s$  として、式 (16) に代入し、各荷重段階における D・Box (LS100) 基礎の極限支持力を計算して、図 3-80 に整理した。また、同図には、式 (16) を用いて D・Box 内部の支持力を算定し、D・Box 基礎及び置換工の支持力を合わせて明示した。さらに、極限支持力と平板載荷試験結果の「鉛直荷重～鉛直変位関係」を合わせて、図 3-81 に整理した。

D・Box 内部の極限支持力  $Q_D = (\text{形状係数 } a) \times (\text{支持力係数 } N_c) \times (\text{粘着力 } cd)$

$$= 1.2 \times 5.14 \times \frac{T_s}{B\sqrt{K_P}} \left( \frac{B}{H} K_P - 1 \right) = 1.2 \times 5.14 \times 8.4 \times T_s = 51.81 \times T_s \text{ (kN/m}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{式 (16)}$$

D・Box (LS100 : 高さ 25cm) の荷重分散効果による極限支持力は  $q_1 = 148.54 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  であり、この値は高さ 25cm の砂置換工における平板載荷試験結果 (PLT-K-2 地点) の極限支持力  $141.47 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  と同程度である。砂置換工の平板載荷試験は、荷重分散効果による支持力増加を確認する目的の試験であることから、計算式  $(1.75 \times q_a)$  は妥当であると判断される。



(PLT-K-2 地点)

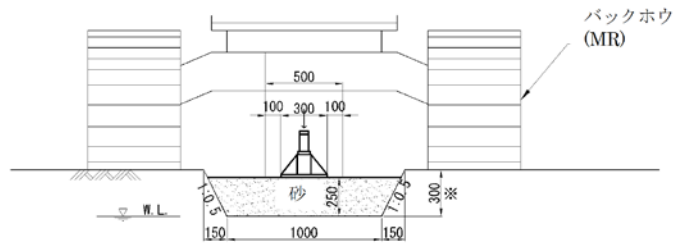


図 3-79 厚さ 25cm の砂置換工における平板载荷試験  
(PLT-K-2 地点)

出典：調査団作成

次にシート張力によるせん断効果を加えた、D・Box (LS100) 基礎の極限支持力と载荷重の関係を見ると、载荷重が  $380 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  に達すると極限支持力と同じになり、安全率 1 の状態となっている。その後は、载荷重の増加とともにシート張力が増加し、極限支持力も増加するが、基礎地盤 (軟弱地盤) の塑性化の影響を受け、安全率 1 未満の状態が続いている。ただし、D・Box 内部の極限支持力は大きく増加し、载荷重以上の支持力を示しており、D・Box 自体は安定状態である。なお、鉛直変位は  $5\text{cm} \sim 25\text{cm}$  程度と载荷重の増加及び基礎地盤の塑性化の進行とともに増加している。

载荷重と支持力の釣合い及び沈下量等を踏まえると、平板载荷試験による D・Box (LS100) 基礎の極限支持力  $Q$  は、初めに载荷重と支持力が等しくなる (安全率 1 の状態) 荷重  $q=380 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  が妥当であると考えられる。この時のシート張力の計算値は  $T=7\text{kN/m}$ 、平板試験時の鉛直変位は  $7\text{cm}$  である。

上記より、D・Box (LS100) 基礎の極限支持力は、 $Q=380 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  を採用する。

許容支持力は、安全率を  $F_s=3$  とすると式(17)となり、 $(q_a)_{\text{D-BOX}} = 126.67 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  となる。

$$(Q_a)_{D\text{-BOX}} = \frac{1}{F_s} \times Q = \frac{1}{3} \times Q \dots\dots\dots \text{式 (17)}$$

また、D・Box の中詰め材と同じ材料の置換工の極限支持力は、平板載荷試験結果（PLT-K-2 地点）より、141.47(kN/m<sup>2</sup>)である。安全率を3とした許容支持力は47.16(kN/m<sup>2</sup>)となる。すなわち、D・Box (LS100) 基礎の許容支持力は、同じ厚さ・材料の置換工の許容支持力に対して、約2.7倍の支持力増加が期待できると判断される。

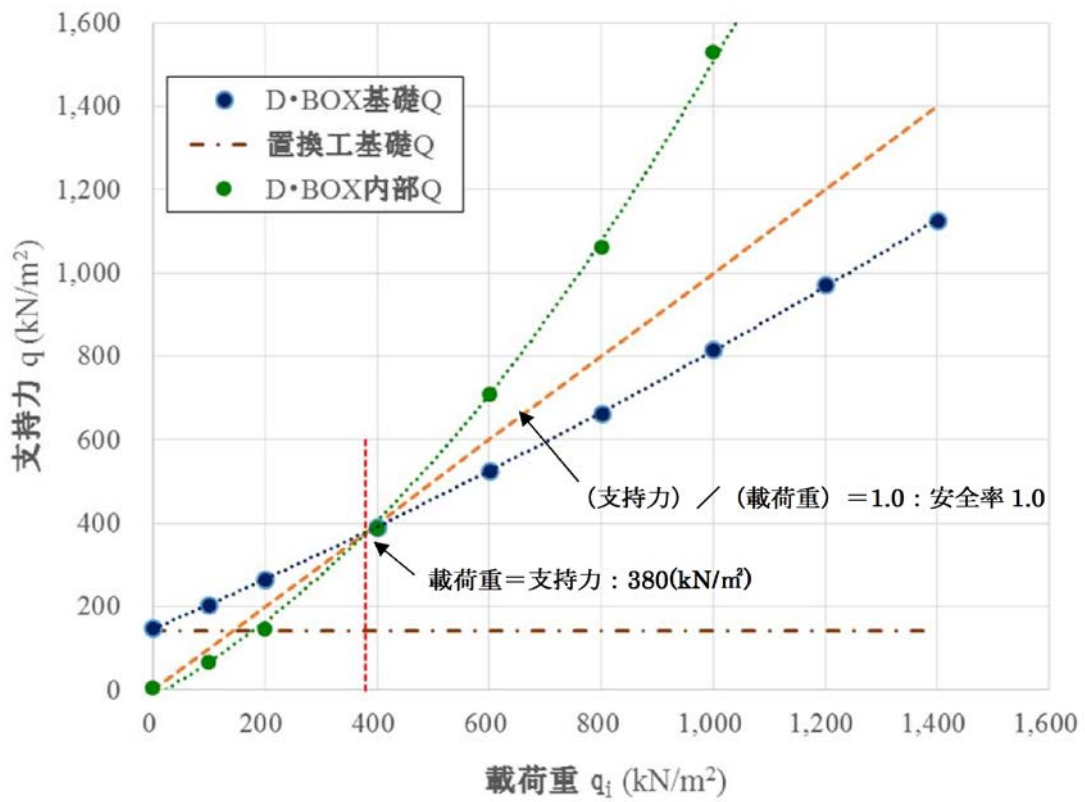


図 3-80 各荷重段階における D・Box (LS100) 基礎・D・Box 内部・置換工の極限支持力  
出典：調査団作成

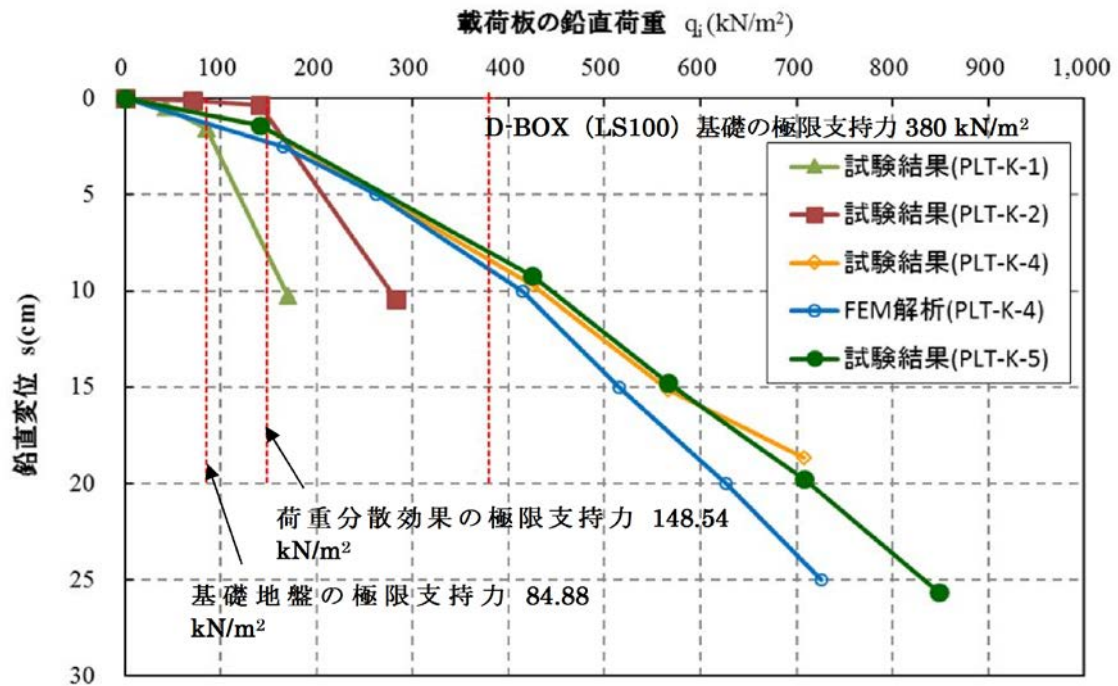


図 3-81 平板載荷試験結果と算定した極限支持力との比較

出典：調査団作成

- b) 載荷幅及び基礎地盤支持力を変更した場合の支持力計算のケーススタディ

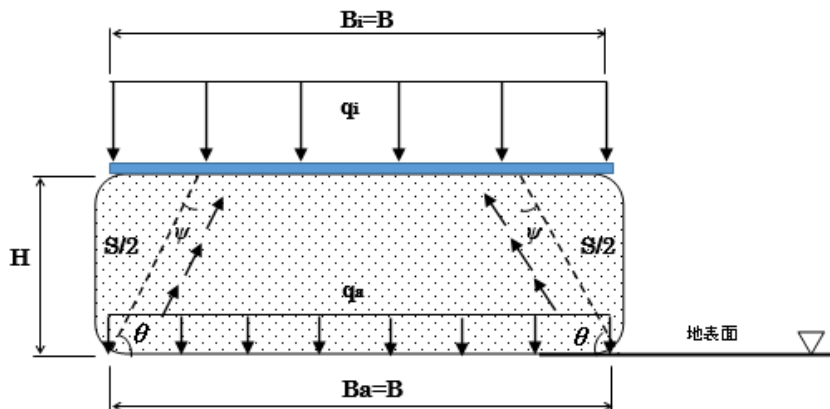
FEM 解析により、D・Box に作用する載荷幅及び基礎地盤支持力を変更した場合のケーススタディを実施し、置換工 (D・Box 中詰め材と同じ材料・同じ高さ) を用いた場合の支持力と比較した。

載荷幅は D・Box の支持力補強効果が小さくなる、全幅載荷 (D・Box 基礎幅と同じ幅の載荷) とし、その他、ケーススタディの条件は以下のとおりである。

○D・Box (LS100) 基礎及び置換工基礎の形状

- ・D・Box の高さ  $H=0.25\text{m}$ 、D・Box の幅  $B=1.0\text{m}$
- ・置換工の高さ  $H=0.25\text{m}$
- ・D・Box (LS100) 基礎及び基礎は地表面に設置

<D・Box (LS100) 基礎モデル>



<置換工基礎モデル>

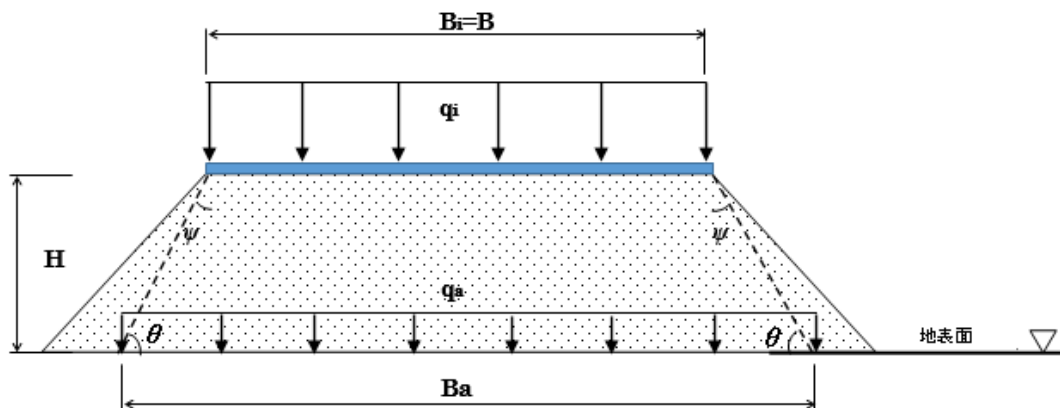


図 3-82 支持力計算のケーススタディモデル

出典：調査団作成

○基礎地盤の支持力及び粘着力ケース

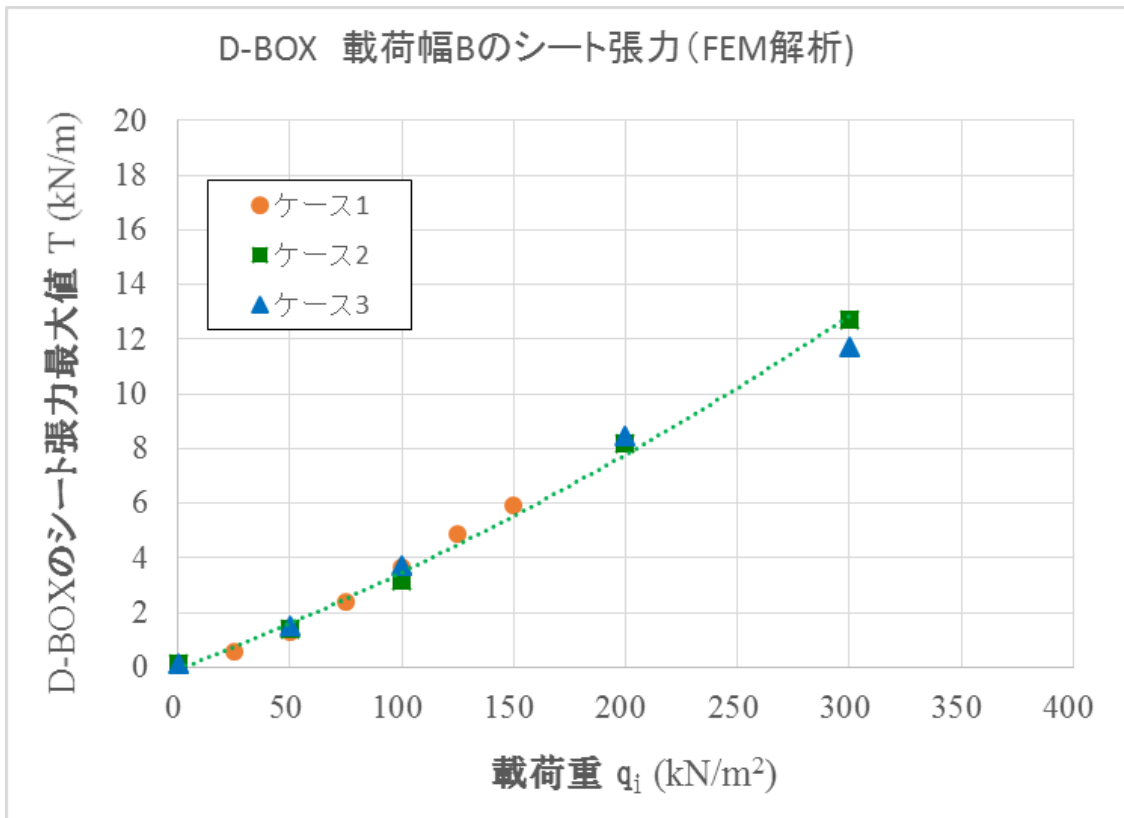
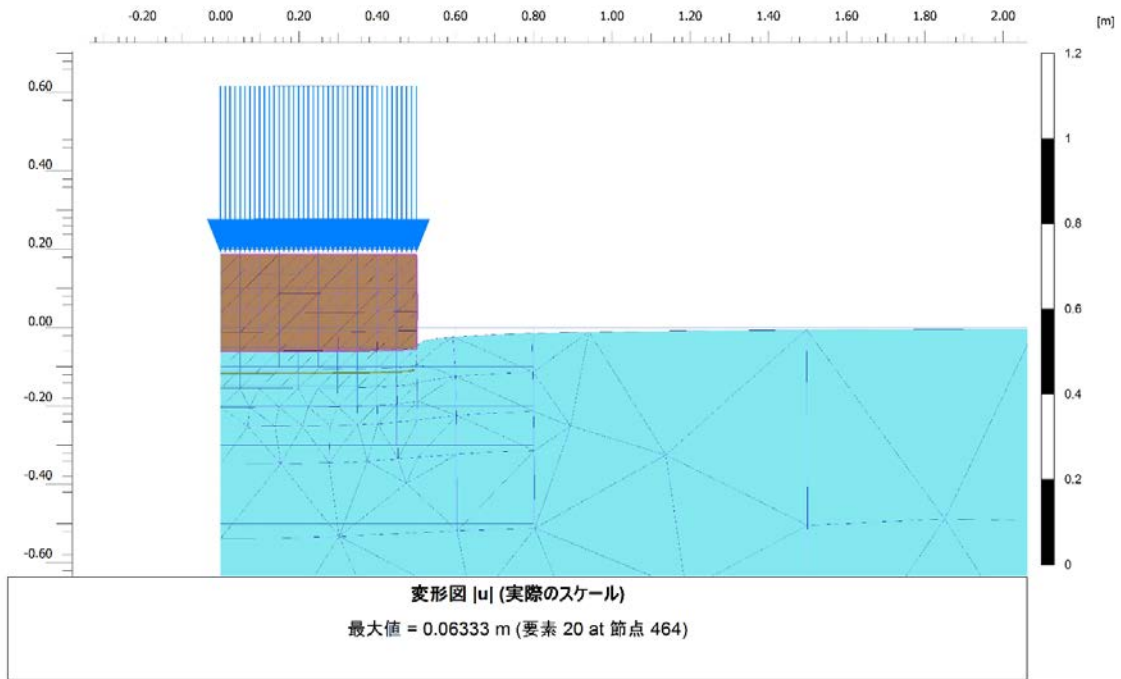


図 3-83 支持力計算のケーススタディの結果

出典：調査団作成

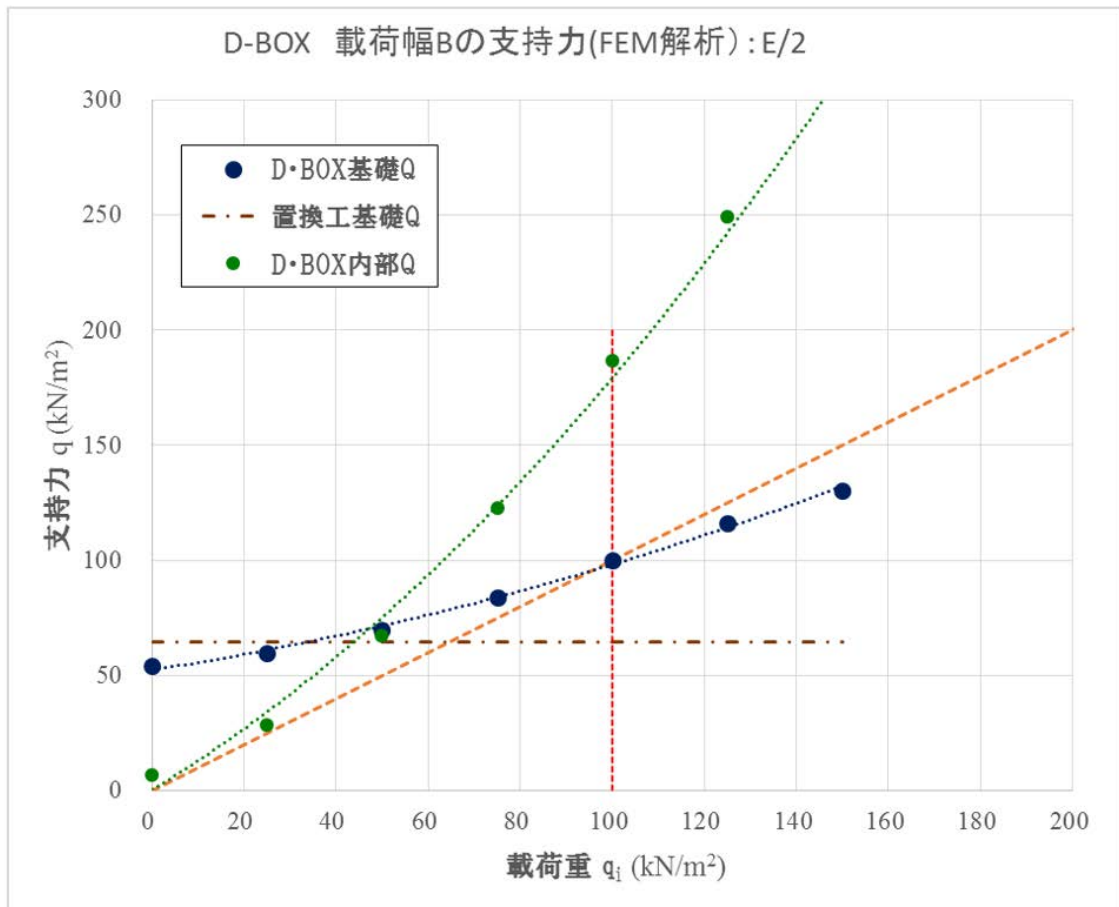


図 3-84 支持力計算のケーススタディの結果 (E/2)

出典：調査団作成

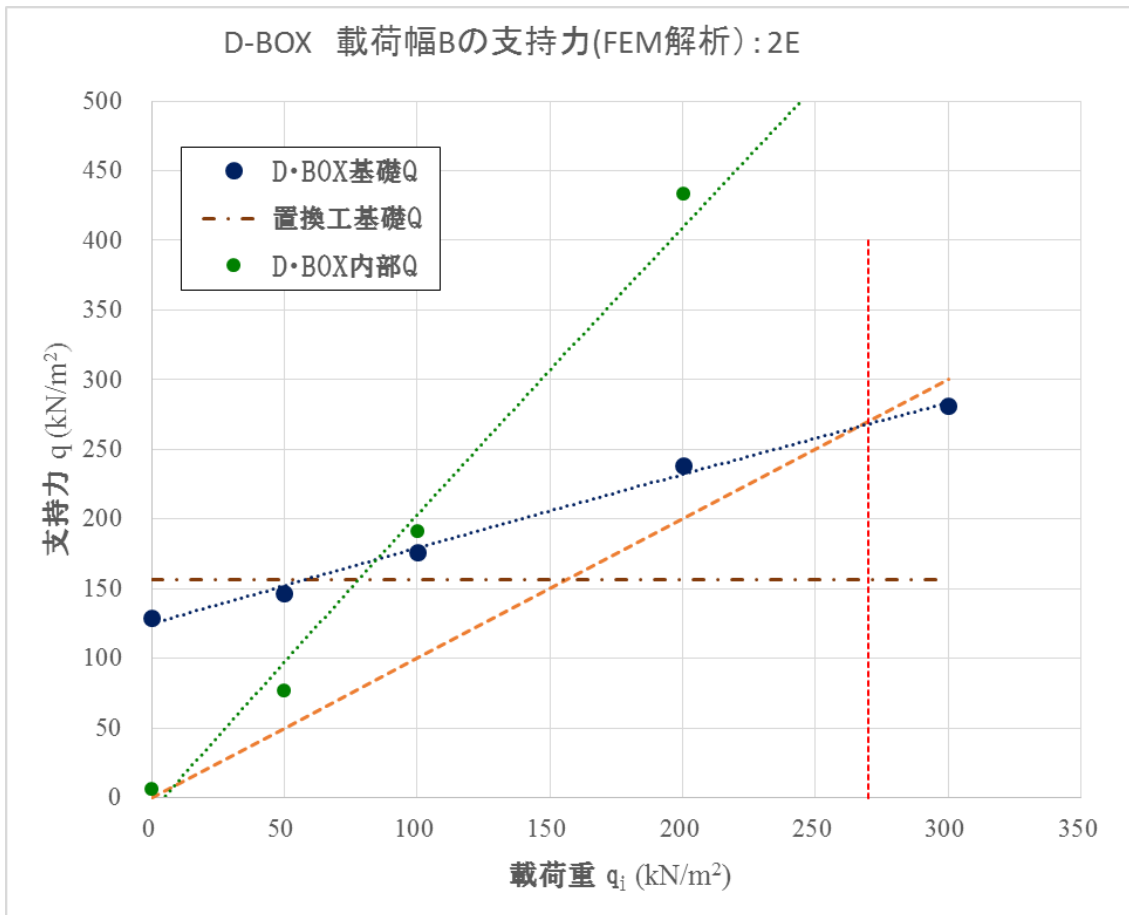


図 3-85 支持力計算のケーススタディの結果 (2E)

出典：調査団作成

## ⑩ 載荷試験（1年間の沈下計測）

### 1) 試験目的

雨期における水位上昇に伴い、現地盤の粘土（CLAY-1）の強度低下が生じる。この強度低下によって、鉄道盛土下方の支持力不足に起因する不等沈下およびすべりの発生が懸念される。このため、施工可能な乾季において、D・Box 設置による沈下抑制効果の確認及び圧密低減効果を確認することを目的とし、載荷試験を実施するための敷地が確保可能でほぼ同様の土質条件である Daunggyi Station 構内で行った。

載荷試験に用いる荷重は、鉄道盛土時と同程度とし、施工性を考慮し、安価で安定性および耐久性を備える D・Box を利用する。また、荷重として D・Box を設置する際には、平坦性の確保と荷重分散を確実に図るため、鉄板を敷設した。

なお、載荷重としては、D・Box（LS150）を8段積み上げ（約3.6m）、盛土高約2m分の荷重を載荷した。

### 2) 試験実施位置

載荷試験実施位置を図 3-86 に示す。（Daunggyi Station 構内）

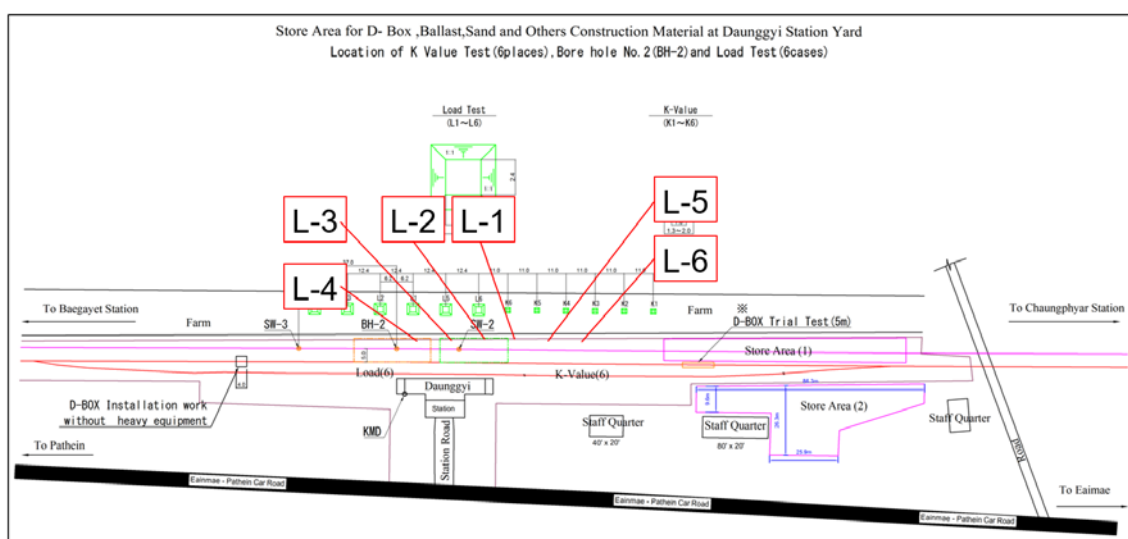


図 3-86 載荷試験位置図

出典：調査団作成

### 3) 調査実施内容

#### (A) 試験項目

各試験条件を表 3-30 に示す。なお、載荷試験実施箇所は、雨季に水位が上昇するため、乾季と雨季で載荷重が異なることが想定されるが、



沈下に及ぼす影響はほとんど無い状況であった。

表 3-30 載荷試験条件

検討条件			載荷重	
ケース	条件	D・Box 材料	P (kg)	P (kN/m <sup>2</sup> ) ※
L-1	原地盤 (粘性土)	-	11,585	28.4
L-2	砂	-	11,312	27.7
L-3	碎石 (バラスト)	-	11,499	28.2
L-4	D・Box	砂	11,785	28.9
L-5	D・Box	砂 (D・Box 押し込み)	11,624	28.5
L-6	D・Box	現地発生土 (礫混じり粘性土)	12,085	29.6

※面積 4m<sup>2</sup>として算出

出典：調査団作成

(B) 試験方法

載荷試験は、地表面より 1.0m 程度の深度で実施した。試験実施時期は、乾季であり、地表面付近の地盤は乾燥していたため、乾燥が生じていない粘性土層まで掘削し、試験を実施した。図 3-87 に載荷試験の模式図を示す。

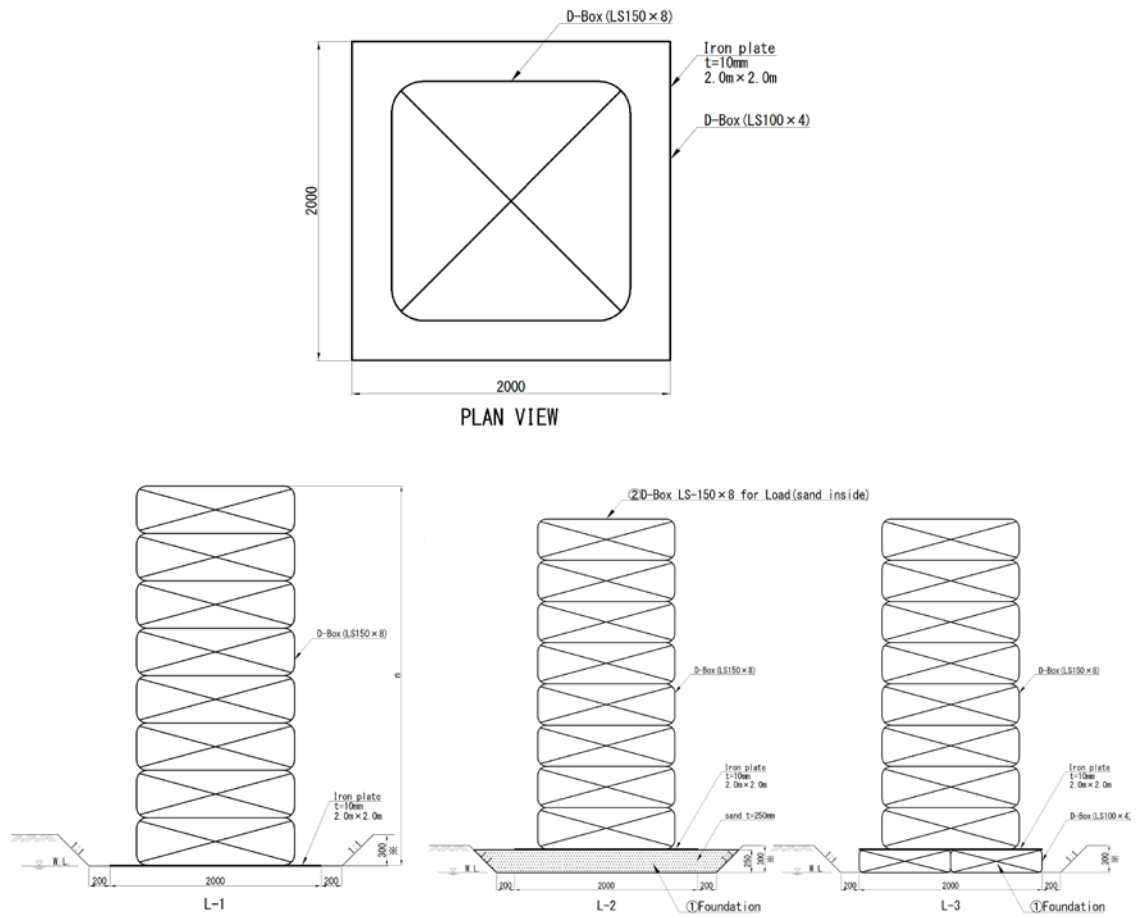


図 3-87 載荷試験模式図

出典：調査団作成



図 3-88 載荷試験設置箇所整地状況

出典：調査団撮影



図 3-89 載荷試験設置状況

出典：調査団撮影

(C) 実施工程

実施工程を表 3-31 に示す。載荷試験は、雨季における沈下抑制効果の確認を目的とするため、沈下計測期間を 2018 年 5 月までとした。

表 3-31 沈下試験実施工程

項目	2017年												2018年				
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
準備載荷試験設置	■																
沈下計測	■	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	<b>測定頻度</b>																
	毎日	1回/週					1回/月										
載荷試験撤去																■	

※2017/2/9 - 2/15：準備（載荷試験設置）

出典：調査団作成

(D) 調査結果

乾季における地盤条件では、本試験における荷重では、圧密沈下は生じないものの、試験箇所は雨季になると地下水位面が上昇し、乾燥状態である粘性土地盤が湿潤（水浸）状態に変化することで、体積膨張と強度低下、最悪の場合には、コラプス現象が生じることが懸念さ

れる。そのため、年間を通じて観測を実施し、雨季における粘土地盤の沈下傾向の変化と雨季における D・Box 沈下抑制効果の確認を行っており、計測を継続している。

載荷試験結果（経過時間と沈下量の関係）を図 3-91 に示す。載荷試験開始（2017/2/17）から約 40 日後（2017/3/28）までの乾季における各ケースにおける沈下量は、概ね 0～2cm 程度である。CLAY I の圧密降状応力  $P_c=240\text{kN/m}^2$  程度に対し、載荷重は  $30\text{kN/m}^2$  程度であり、著しい過圧密の状態である。このため、載荷開始時点から 65 日後までの期間は、概ね圧密沈下は生じておらず、弾性沈下のみが生じたと想定される。

約 70～320 日後（2017/5/1～2018/1/1）までの雨季における各ケースにおける沈下量は、概ね 1.7～4cm 程度である。荷重は雨季の水位上昇に伴って浮力を受け荷重は減少したにもかかわらず沈下はわずかながら増加している。但し、D・Box の有無による顕著な沈下量の違いは認められない。

この理由は、載荷開始時点で載荷面（粘性土の原地盤）が乾燥の影響を受けているとはいえ、湿潤状態であるため、コラプスによる沈下は生じておらず、粘土盛土地盤が雨季の給水の影響によって地盤強度が低下して沈下が増加したと考える。また、D・Box の有無による違いは殆ど見られず、沈下量の差は調査位置の地盤のばらつきに起因すると判断する。

約 330 日以後（2018/1/7～）の雨季が明けた後における沈下量は、各ケースとも隆起へと傾向が変わっている。この理由としては、雨季による水の増加荷重により沈下した分が乾季には水が抜けたことで、弾性沈下分が隆起したものと考えられる。

これらの結果から、現粘土地盤でも乾燥していない部分ではコラプス現象が生じないと判断できる。以上より、乾燥状態の粘性土盛土が湿潤（水浸）状態に変化することで、強度低下を生じるが、湿潤状態であれば強度低下を生じないことが確認できた。

図 3-90 載荷試験による沈下計測結果

Place	NO	2017/2/17	2017/2/18	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
				2017/5/1	2017/6/1	2017/7/1	2017/8/1	2017/9/1	2017/10/1	2017/11/1	2017/12/1	2018/1/1	2018/1/7	2018/2/5	2018/3/5	2018/4/2	2018/5/2
L-1 Direct Loading	①	7.76	7.762	7.738	7.740	7.741	7.730	7.745	7.743	7.741	7.743	7.761	7.76	7.764	7.763	7.762	7.762
	②	7.75	7.738	7.729	7.731	7.734	7.720	7.732	7.73	7.729	7.730	7.756	7.753	7.758	7.759	7.758	7.759
	③	7.748	7.733	7.723	7.722	7.720	7.715	7.725	7.725	7.724	7.723	7.716	7.743	7.746	7.747	7.747	7.748
	④	7.713	7.704	7.693	7.690	7.693	7.690	7.695	7.695	7.693	7.693	7.691	7.746	7.713	7.719	7.719	7.719
L-2 Sand t=250mm	WL			no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water
	①	7.944	7.942	7.927	7.925	7.930	7.920	7.928	7.927	7.912	7.918	7.936	7.948	7.952	7.95	7.950	7.95
	②	7.938	7.933	7.918	7.915	7.921	7.910	7.914	7.914	7.912	7.911	7.918	7.933	7.943	7.941	7.942	7.942
	③	7.922	7.92	7.902	7.907	7.910	7.890	7.891	7.911	7.91	7.91	7.912	7.901	7.921	7.928	7.926	7.927
L-3 D-Box(Sand)	④	7.909	7.903	7.888	7.891	7.893	7.880	7.895	7.892	7.892	7.891	7.892	7.903	7.927	7.926	7.928	7.924
	WL			no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water
	①	7.958	7.96	7.937	7.935	7.938	7.935	7.933	7.932	7.932	7.931	7.930	7.921	7.958	7.962	7.958	7.959
	②	7.968	7.969	7.950	7.951	7.953	7.950	7.953	7.953	7.951	7.951	7.955	7.909	7.963	7.967	7.969	7.970
L-4 D-Box(Soil from site)	③	7.962	7.923	7.907	7.910	7.911	7.895	7.911	7.909	7.908	7.914	7.91	7.923	7.928	7.927	7.928	7.926
	④	7.948	7.947	7.936	7.935	7.939	7.930	7.940	7.939	7.939	7.938	7.923	7.948	7.955	7.952	7.950	7.952
	WL			no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water
	①	8.062	8.063	7.874	8.042	8.046	8.010	8.041	8.041	8.039	8.039	8.045	8.051	8.055	8.061	8.055	8.053
L-5 D-Box(Sand+ Press 100mm)	②	8.015	8.015	7.991	7.990	7.992	7.970	7.989	7.988	7.985	7.991	7.986	7.986	7.986	7.991	7.990	7.990
	③	8.038	8.032	8.014	8.017	8.020	8.018	8.021	8.019	8.018	8.023	8.001	8.038	8.049	8.047	8.048	8.047
	④	8.012	8.008	7.993	7.998	8.002	7.975	7.998	7.996	7.995	7.995	8.000	8.046	7.998	8.002	8.003	8.003
	WL			no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water
L-6 D-Box(Soil from site+Press100mm)	①	7.881	7.881	7.863	7.860	7.865	7.855	7.863	7.862	7.861	7.865	7.866	7.873	7.88	7.879	7.879	7.879
	②	7.887	7.870	7.850	7.869	7.873	7.860	7.871	7.87	7.87	7.870	7.864	7.878	7.885	7.887	7.885	7.885
	③	7.871	7.850	7.832	7.852	7.855	7.850	7.851	7.85	7.85	7.853	7.853	7.868	7.877	7.877	7.876	7.876
	④	7.868	7.850	7.834	7.854	7.853	7.850	7.857	7.857	7.855	7.854	7.858	7.857	7.863	7.876	7.876	7.875
L-6 D-Box(Soil from site+Press100mm)	WL			no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water
	①	8.075	8.005	8.005	8.007	8.009	8.006	8.005	8.005	8.004	8.003	8.016	8.023	8.029	8.029	8.030	8.029
	②	8.04	8.020	8.024	8.025	8.025	8.006	8.029	8.028	7.998	7.998	8.023	8.008	8.034	8.034	8.035	8.034
	③	8.017	7.997	7.999	7.998	7.998	7.995	7.997	7.997	7.997	7.996	7.995	8.006	8.028	8.034	8.034	8.035
L-6 D-Box(Soil from site+Press100mm)	④	8.023	8.002	8.009	8.007	8.007	7.990	8.006	8.006	8.004	8.008	8.016	7.923	8.026	8.026	8.027	8.027
	WL			no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water	no water

出典：調査団作成

## ⑪ 軌道の沈下観測

### 1) 観測概要

D-Box による軟弱地盤対策として、噴泥や地盤沈下抑制効果を確認するため鉄道軌道部のレールの高さを 20m 間隔で 2017 年 4 月（竣工時）から 2018 年 5 月まで毎月 1 回の観測を行なった。橋梁付近の一部の沈下（CH420）が大きく、その後のMRによる維持管理状況を確認するため、1 年半後の 2018 年 10 月に再度沈下計測を実施した。



図 3-91 観測状況写真：線路の左側を 20m 間隔で計測  
(CH220～CH580：19 箇所)

出典：調査団作成

### 2) 観測結果と今後の対応

軌道が完成した MR への引渡日の 2017 年 4 月 7 日の軌道の計測高を基準高とし、その後の 1 年間の線路の沈下計測を行なった（表 3-32 及び表 3-33 参照）。1 年の 2018 年 5 月の線路の沈下量は一部（端部の CH220 と CH400 及び CH420）を除けば 3cm 以内であることから、簡易な維持管理により線路の高さ調整を行なうことにより 40km/hr 程度の速度での列車の通行に対しては、問題は無い状態を確保することが可能であると判断した。

一方、2018 年 5 月時点での CH420 は、図 3-34 及び表 3-94 に示すように 18cm 程度の沈下となり、CH400 も 6cm 軌道が下がっている（CH220 も約 6cm 沈下しているが、これは、既存の CH210 が約 8cm 沈下しており、それに追従したためと考えられる）。この原因として考えられることは、写真(図 3-92)に示すように、施工前のこの部分の盛土高さは、Chaungphyar Bridge よりも約 70cm 程度低い位置にあったことや既存擁壁に囲まれており、MR がこれまでの実施した例を見ると、木材でヤグラを組立て、軌道の高さを確保した後に、盛土を行なう方法が使われており、今回も、橋梁付近の盛

土の下に空洞があった可能性がある。本事業では、盛土部はMRの責任において造成することになっていたことから、この点については確認できていない。

なお、MRによる軌道の維持管理状況を確認するため、2018年10月9日に現地にて、軌道部の20m間隔での沈下確認のための測量を行なった。その結果、最大沈下量は5月時点で18cmであった箇所が、7cmとなり、軌道を維持管理していることを確認した。

今後の対応としては、盛土部はD-Box設置前に、土以外のものを取り除いた上で、十分に転圧を行なうことが必要である。



図 3-92 CH420 2016年8月

(施工前)

出典：調査団撮影



図 3-93 CH420 2018年10月

(施工完了1年半後)

出典：調査団撮影

表 3-32 軌道部の天端高測量結果 (竣功時 2017 年 4 月 7 日 ~ 2018 年 10 月 9 日)

CH	① Design EL RL(m)	② 7Apr.2017	19Apr.2017	1May.2017	1June.2017	1July.2017	1August.2017 017	15September.2 017	1October.2017	1November.2017	7January.2018	5 February.2018	5 March.2018	12 April.2018	2 May.2018	③ 9Oct.2018	③ ② (m)		
210	9.26	9.511		9.493	9.508	9.515	9.511	9.511	9.522	9.529	9.502	9.482	9.448	9.447	9.434	9.467	-0.04		
215	9.22	9.493		9.495	9.500	9.507	9.501	9.502	By Manual work								9.446	9.472	-0.02
220	9.486	9.488	9.483	9.487	9.486	9.495	9.486	9.494	9.497	9.503	9.488	9.480	9.455	9.468	9.431	9.469	-0.02		
240	9.430	9.428	9.424	9.423	9.423	9.440	9.431	9.445	9.444	9.449	9.436	9.432	9.414	9.426	9.416	9.434	0.01		
260	9.507	9.503	9.490	9.487	9.489	9.524	9.511	9.528	9.523	9.527	9.518	9.513	9.497	9.502	9.501	9.509	0.01		
280	9.644	9.643	9.629	9.628	9.631	9.649	9.635	9.654	9.644	9.65	9.642	9.636	9.624	9.631	9.629	9.632	-0.01		
300	9.780	9.775	9.772	9.772	9.770	9.786	9.773	9.787	9.784	9.787	9.782	9.776	9.764	9.768	9.768	9.777	0.00		
320	9.917	9.915	9.910	9.907	9.910	9.913	9.901	9.912	9.914	9.917	9.908	9.902	9.892	9.891	9.891	9.894	-0.02		
340	10.054	10.050	10.038	10.036	10.039	10.050	10.04	10.056	10.049	10.049	10.042	10.036	10.025	10.031	10.036	10.037	-0.01		
360	10.191	10.186	10.157	10.158	10.161	10.191	10.199	10.191	10.187	10.189	10.183	10.178	10.168	10.167	10.164	10.172	-0.01		
380	10.326	10.324	10.290	10.288	10.287	10.318	10.324	10.318	10.314	10.32	10.311	10.306	10.300	10.296	10.294	10.302	-0.02		
400	10.464	10.461	10.429	10.428	10.430	10.444	10.429	10.44	10.431	10.431	10.425	10.416	10.405	10.404	10.401	10.401	-0.06		
420	10.601	10.598	10.574	10.571	10.570	10.562	10.565	10.556	10.544	10.541	10.519	10.494	10.462	10.463	10.421	10.531	-0.07		
440	10.703	10.706	10.702	10.702	10.702	10.703	10.713	10.702	10.7	10.702	10.701	10.697	10.694	10.694	10.691	10.697	-0.01		
460(bridge)	10.737	10.732	10.734	10.735	10.730	10.728	10.728	10.724	10.727	10.727	10.724	10.725	10.723	10.724	10.725	10.724	-0.01		
480	10.717	10.712	10.704	10.705	10.708	10.709	10.713	10.71	10.71	10.716	10.702	10.702	10.699	10.698	10.696	10.685	-0.03		
500	10.558	10.560	10.551	10.55	10.553	10.574	10.572	10.573	10.57	10.573	10.566	10.563	10.558	10.557	10.551	10.551	-0.01		
520	10.346	10.342	10.319	10.316	10.320	10.351	10.347	10.346	10.35	10.346	10.344	10.341	10.335	10.339	10.331	10.338	-0.00		
540	10.099	10.099	10.097	10.094	10.095	10.119	10.122	10.119	10.151	10.123	10.113	10.111	10.106	10.109	10.106	10.126	0.03		
560	9.967	9.962	9.958	9.959	9.960	9.969	9.977	9.971	10.003	9.972	9.965	9.962	9.957	9.961	9.958	9.966	0.00		
580	9.834	9.830	9.830	9.829	9.828	9.855	9.862	9.857	9.892	9.864	9.853	9.848	9.840	9.839	9.838	9.852	0.02		
590	9.770					9.878		9.881							9.808	9.856	0.09		



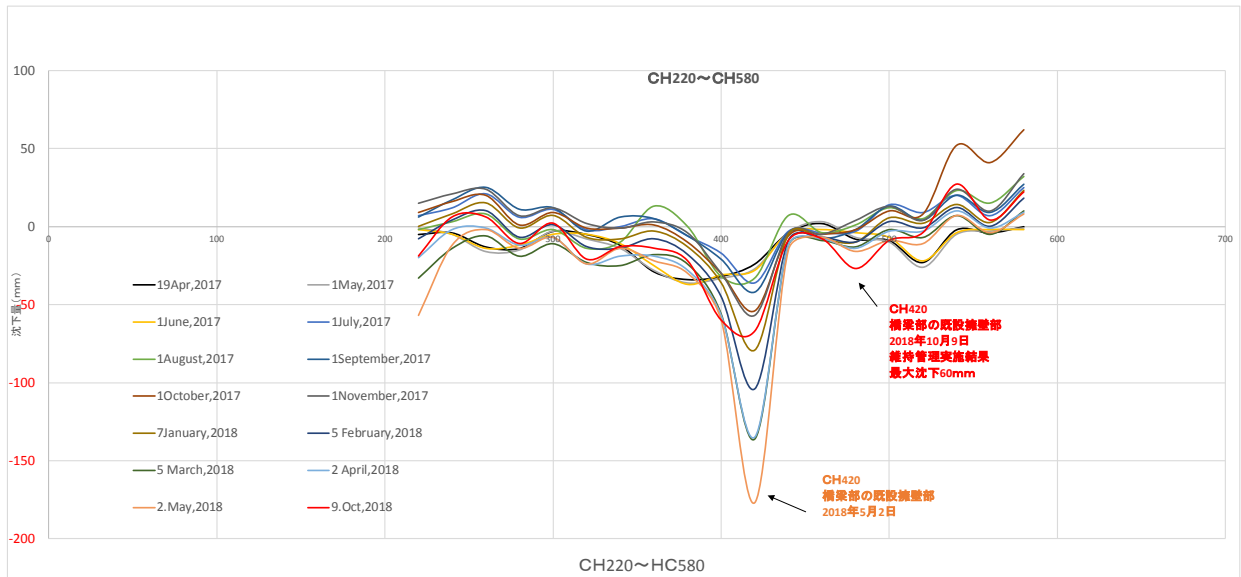


図 3-94 沈下グラフ (2017 年 4 月~2018 年 10 月) CH220~CH580

出典：調査団作成

表 3-33 軌道部の竣工時から 1 年後の沈下量 (mm) (2017 年 4 月 7 日~2018 年 10 月 9 日)

CH	19Apr.2017	1May,2017	1June,2017	1July,2017	1August,2017	1September,2017	1October,2017	1November,2017	7January,2018	5 February,2018	5 March,2018	2 April,2018	2.May,2018	9.Oct,2018
220	-5	-1	-2	7	-2	6	9	15	0	-8	-33	-20	-57	-19
240	-4	-5	-5	12	3	17	16	21	8	4	-14	-2	-12	6
260	-13	-16	-14	21	8	25	20	24	15	10	-6	-1	-2	6
280	-14	-15	-12	6	-8	11	1	7	-1	-7	-19	-12	-14	-11
300	-3	-3	-5	11	-2	12	9	12	7	1	-11	-7	-7	2
320	-5	-8	-5	-2	-14	-3	-1	2	-7	-13	-23	-24	-24	-21
340	-12	-14	-11	0	-10	6	-1	-1	-8	-14	-25	-19	-14	-13
360	-29	-28	-25	5	13	5	1	3	-3	-8	-18	-19	-22	-14
380	-34	-36	-37	-6	0	-6	-10	-4	-13	-18	-24	-28	-30	-22
400	-32	-33	-31	-17	-32	-21	-30	-30	-36	-45	-56	-57	-60	-60
420	-24	-27	-28	-36	-33	-42	-54	-57	-79	-104	-136	-135	-177	-67
440	-4	-4	-4	-3	7	-4	-6	-4	-5	-9	-12	-12	-15	-9
460	2	3	-2	-4	-4	-8	-5	-5	-8	-7	-9	-8	-7	-8
480	-8	-7	-4	-3	1	-2	-2	4	-10	-10	-13	-14	-16	-27
500	-9	-10	-7	14	12	13	10	13	5	3	-2	-3	-9	-9
520	-23	-26	-22	9	5	4	8	4	2	-1	-7	-3	-11	-4
540	-2	-5	-4	20	23	20	52	24	14	12	7	10	7	27
560	-4	-3	-2	7	15	9	41	10	2	0	-5	-1	-4	4
580	0	-1	-2	25	32	27	62	34	23	18	10	9	8	22

沈下が顕著な箇所

出典：調査団作成

(1) -3 内部拘束式箱型土のう (D・Box) に係る技術移転モデルの検証

- ① D・Box の製作方法や設置方法等を示した簡易施工マニュアル (緬国語) の作成  
 施工会社 (Green Future)、MR の土木エンジニア及び保線エンジニアへ D・Box の製作方法や設置方法等を提供するため、緬国語の簡易施工マニュアルを作成し、施工初日に配布し現場にて製作指導を行なった。  
 製作指導の結果、製作状況は良好であり、日本での製作同様の作業能力である 120 袋/日 (LS100) を製作した。

ပုံစံသွင်းဘောင်	ဘောင်အတွင်း D-Box အိတ်ကို နေရာချပါ။	Filling လုပ်ပြီးနောက်	Closing နှင့် Lifting
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>ပုံစံသွင်းဘောင်ကို ညီညာအောင် ညှိထားသော မြေပြင်ပေါ်တွင်ထားပါ။</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>အိတ်အောက်ခြေထောင့်များကို ပုံစံသွင်းဘောင်၏ အောက်ခြေရှိ ထောင့်များအတွင်းသို့ သေချာစွာ ထည့်ပါ။</li> <li>ပိုက်စသည်တို့ကိုအသုံးပြုပြီး ဖင့်မရန်အသုံးပြုသောကြိုးစာ (Lifting band) ကို အိတ်၏အလယ်ဗဟိုတွင် ထားရှိရမည်။</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>အိတ်ထောင့်များ၊ အစွန်းနေရာများအတွင်းသို့ သေသေချာချာ ဖြည့်နိုင်ရန်အတွက် ကျောက်စရစ်များကို နှင်းချောင်းဖြည့်ခြင်းကို ကောင်းမွန်စွာ လုပ်ဆောင်ရန် လိုအပ်သည်။</li> <li>ဖြည့်ထားသောအပေါ်ဆုံးမျက်နှာပြင်ကို လက် (သို့မဟုတ်) ဂေါ်ပြားဖြင့် ညှိပေးရမည်။</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ပိတ်ရန်ကြိုး ပြား (closing band) ကို ဖွင့်မကျခွားစေရန် ပိတ်ပေးရမည်။</li> <li>Lifting band သည် နှစ်ထပ်ပုံစံဖြင့် သောကြောင့် ချိတ်ကို ချိတ်ရာတွင် ကြိုးပြားနှစ်ခုလုံးကို သေသေချာချာ ချိတ်ရန် လိုအပ်သည်။</li> </ul>

ထုတ်လုပ်နိုင်မှုစွမ်းအား စံနှုန်း -- back-hoe ဖြင့်  
 D-Box LS100 -- ၁၂၀ အိတ်/ရက် (အလုပ်သမား ၃ ဦး)  
 D-Box LS150 -- ၈၀ အိတ်/ရက်(အလုပ်သမား ၃ ဦး)



図 3-95 配布した緬国語の簡易施工マニュアル

出典：調査団作成

- ② MR の土木エンジニアおよび保線エンジニアを対象とした簡易施工マニュアルを用いた現場立会による技術移転の実施

本活動は「活動 1 (1) -2 ⑤施工 (MR の保線エンジニア、土木エンジニアを対象とした技術移転)」と同じものであり、軌道の引渡時の検査実績は、表 3-34 の範囲に収めることが出来た。

なお、技術移転用の説明に使用したスケッチ (日本語) を図 3-96 示す。

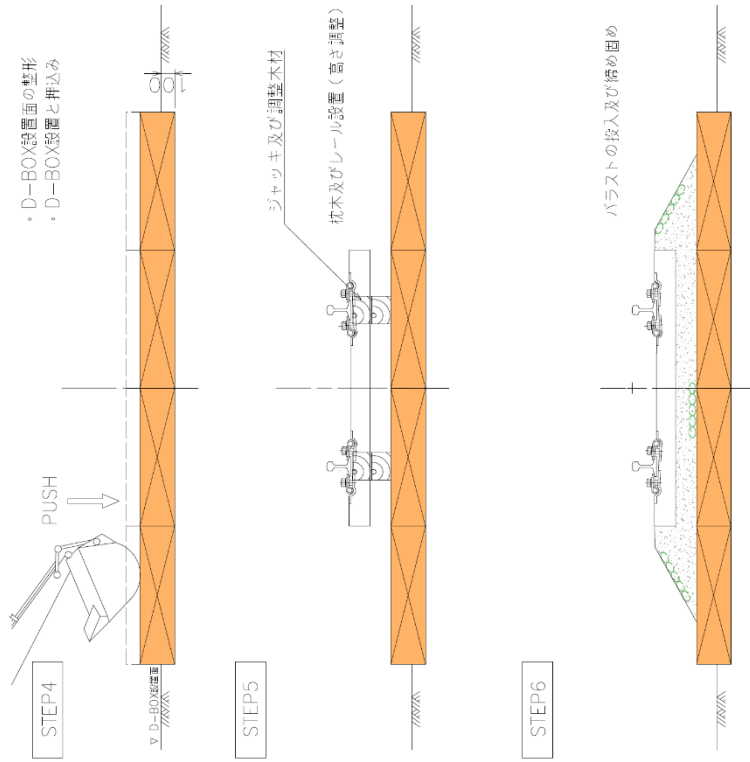
表 3-34 検査時の軌道の誤差結果 (L=360m @5m)

1)	5m ごとの軌道高低相対誤差	± 5 mm
2)	5m ごとの軌道幅	± 10 mm
3)	5m ごとの設計高	± 10 mm

出典：調査団作成

A. 前回までに対象範囲前後の暫定縦断計画と軌道修正

B. D-BOX設置作業



C. 計画線形への縦断補正  
D-BOX設置後、バラスト投入により計画縦断に補正する

図 3-96 施工指導に用いた施工イメージ図 出典：調査団作成

- ③ D・Box 維持管理方法について記述した製品管理マニュアル（緬国語）を作成し、D・Box 本引渡し時に配布

施工完了後の D・Box 維持管理は MR が行うため、D・Box 維持管理方法について記述した製品管理マニュアルを作成し、D・Box 本引渡し時（2017 年 4 月）に MR へ配布し、今後の適切な維持管理が行われるよう要請した。

- ④ D・Box 設計・施工マニュアル（軟弱地盤上へ D・Box を用いた鉄道基盤の地盤補強設計および施工に関するマニュアル）の作成

Chaungphyar Site での実証事業を基に、D・Box 設計/施工/品質管理/維持管理マニュアルの作成を行なった。マニュアルは、2017 年 9 月に初版を作成し、現場竣功後 1 年後の現場状況を反映した最終版（案）を 2018 年 5 月に作成した。

その後、多少の修正を行ない、最終版として、2018 年 10 月に MR に英語版を 2 部、緬語版を 7 部納品した。

なお、マニュアルは、日本語、英語、緬国語で作成した。

添付資料-6 の D・Box 設計/施工/品質管理/維持管理マニュアル（日本語版）参照のこと

- ⑤ 鉄道公社関係者等を対象とした設計・施工マニュアルを用いた研修会の開催（ヤンゴン×2 回、ネピドー×2 回）

1) D・Box 第 2 回 2017 年 9 月の研修会報告

D・Box の実証事業として実施した緬国エインメの施工状況の説明及び、MR に提出する設計及び施工マニュアルの中間報告会を兼ねた技術講習会を 2017 年 9 月 22 日（ネピドー、於 MR）及び 9 月 23 日（ヤンゴン、於ミャンマー工学会（MES : Myanmar Engineering Society）の 2 ヶ所で実施した。参加人数は、表 3-35 に示すように MES では、受付記載人数で 125 名の参加があり、MES 事務局長（CEO）の U Myint Soe によれば、近年稀に見る好評な講演とのことであった。なお、Ms. Mya Mya Win（MES 中央執行委員）に MES での講演の冒頭挨拶を頂いた。表 3-36 に参加者の内訳及びセミナー後のアンケート結果を示す。半数以上のアンケート回答者から高い評価（Very Interesting）を受けた。

表 3-35 D・Box 技術研修会の概要

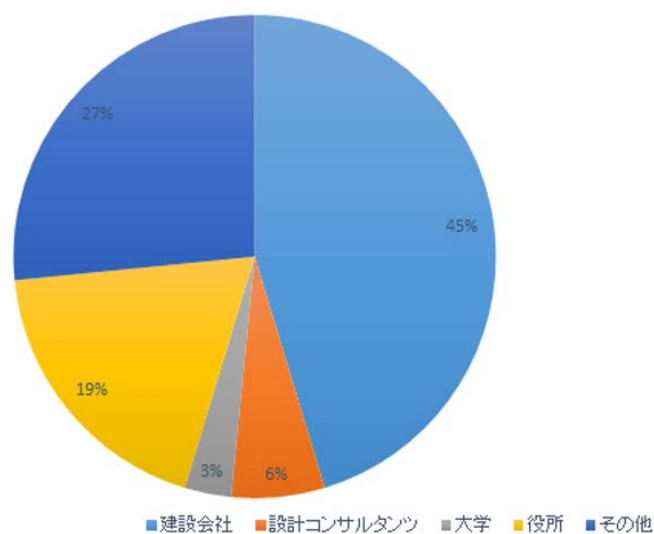
	MR (NPT)	MES (Yangon)	備考
開催日	2017. 9. 22	2017. 9. 23	
開催時間	12 : 00-13 : 30	13 : 30-16 : 00	
参加者数 (受付記載数)	7	125	受付人数
アンケート回答数		64	

出典：調査団作成

表 3-36 D・Box 技術セミナー参加者内訳

項目	詳細	MR (NPT)	MES (ヤンゴン)
1.参加数(受付)		7	125
2.所属MR		7	3
3アンケート回答数			64
4. 所属(アンケート)	4-1 建設会社		29
	4-2 コンサルタンツ		4
	4-3 役所(MR, MC)		12
	4-4 大学		2
	4-5 その他		17
	小計		64
5.セミナーの評価(アンケート回答)	5-1 Very Interesting		36
	5-2 Intersting		28
	5-3 普通		0
	5-4 つまらない		0

MES 参加者内訳 (アンケート回答者より N64 人)



出典：調査団作成



MES での発表状況（ほぼ満席状態）

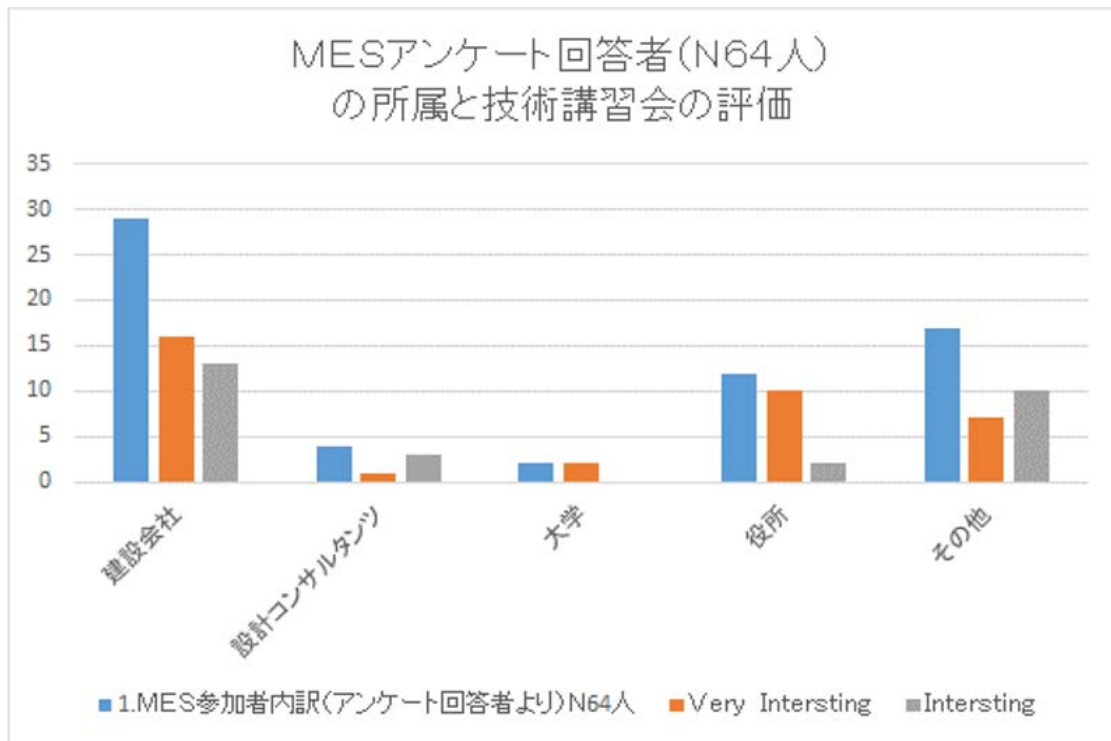


図 3-97 MES アンケート回答者（64 名）の所属と技術講習会の評価

出典：調査団撮影、作成



図 3-98 MES による D・Box セミナーの案内  
出典：MES の Facebook

## "D-Box Technology, What is D-Box"

Place    MES Function Hall

Time Schedule For Seminar    13:00 to 16:00

1)	13:30-13:40 :Session greeting
2)	13:40-14:10: What is D-Box? :Mr. Futoshi NOMOTO(Metry)
3)	14:10-14:50: <b>Construction procedure of D-Box at Chaungphyar site near Ainne</b> :Mr. Hiroshi SHIMADA(PCKK)
4)	14:50-15:05: Coffee Break
5)	15:05-15:45 : <b>Design Manual of D-Box</b> :Mr. Itsuro TATEKAWA(PCKK)
6)	15:45-16:00 :Questionnaire




図 3-99 MES 受付でのプログラム  
出典：調査団作成

2) D・Box 第2回 2018年5月の研修会報告

2017年1月～4月に行なったD・Boxを用いた鉄道軌道の路床改良実証事業の結果を基に、D・Boxを用いた設計/施工/品質管理/維持管理マニュアルを作成した。

そのマニュアルを中心とした技術講習会をMRの本部のあるネピドー(NPT)にて2018年5月4日(金)に行い、翌日5日(土)には、土木技術者を中心にヤンゴンのMESにて行なった。

特にMESの講習会では、3時間のCPDの認定技術講習会と認められ、約100名の参加者があり、アンケート回答者70名(表1-2)の結果から分かるように、本講習会は、1)非常に興味深い(47%)、2)興味深い方(51%)との回答結果であり、D・Boxについて高い評価を得ることできた。

表3-37 D・Box 技術講習会の概要

項目	ミャンマー国鉄(MR)	ミャンマー工学会(MES) CPD 3時間	備考
開催場所	ネピドーMR本部	ヤンゴンMES	
開催日	2018年5月4日(金)	2018年5月5日(土)	
開催時間	10:00～12:00	9:30～12:00	
参加人数(受付記録)	9	88	MESの実際の参加者は約120名程度あり
アンケート回答数	9	61	表-2参照

出典：調査団作成



表 3-38 D・Box 技術講習会のアンケート結果

アンケート項目	2018.5.4のMRセミナー	5月5日のMESセミナー	合計	備考
1.参加人数	9	88	97	受付記録
2.年齢層				
20代	3	6	9	13%
30代	5	4	9	13%
40代	1	20	21	30%
50代		17	17	24%
60代		12	12	17%
70代		1	1	1%
80代		1	1	1%
計	9	61	70	100%
3.所属				
建設会社		20	20	29%
コンサルタンツ		11	11	16%
港湾公社(MPA)		11	11	16%
その他役所		5	5	7%
MR	9	2	11	16%
学生		2	2	3%
その他		10	10	14%
計	9	61	70	100%
4.職業				
Civil Engineer	8	45	53	76%
検査技師	1		1	1%
PE		1	1	1%
建築技師		3	3	4%
学生		2	2	3%
その他		10	10	14%
計	9	61	70	100%
5.講習会評価				
1) very interesting	2	31	33	47%
2) Interesting	7	29	36	51%
3) Common		1	1	1%
4) not interesting			0	0%
計	9	61	70	100%

出典：調査団作成

3) 講習内容

(A) 講習プログラム (5月4日のMRは同様の内容で10:00~12:00)

**Date: 5<sup>th</sup> May, 2018 (9:00~12 : 00)**

9:00~9 : 30 Reception and a receptionist distribute a questionnaire

1) 9:30-10:00 : Introduction of D-Box Effectiveness Project with Video movies in Japan and Myanmar

:Mr. Futoshi NOMOTO (Metry Technical Institute Co., LTD)

2) 10:00-10:45: Construction procedure of D-Box at Chaungphyar site near Ainme :Dr. Hiroshi SHIMADA

3) 10:45-11:00: Coffee Break

4) 11:00-11:45 Design Manual of D-Bo :Mr. Itsuro TATEKAWA

5) 11:45-11:55: Questions and answers and request to fill in the questionnaire. All presenters.

6) 11:55-12:00: The greeting of a closing

Mr. Futoshi NOMOTO (Metry Technical Institute Co., LTD)

図 3-100 講習プログラム

出典：調査団作成



2018. 5. 4 MR での講習状況



2018.5.5 MES での講習



休憩時間での D・Box の模型説明 (MES)



MES 講習状況



MES 参加者 (約 100 名参加)

図 3-101 講習の様子

出典：調査団撮影

(B) 主な質問と回答

時間の関係上 MES では質問が多く、時間制限を行なった次第である。

表 3-39 主な質問と回答

【MES】

Q-1 :	D・Box の対応年数はどの程度か？ →紫外線対策をしていれば、100 年以上持つ
Q-2 :	D・Box の値段？ → \$ 20 を考えている。LS100M
Q-3 :	D・Box を使用したい場合どこに連絡すればよいか？ →メトリーに連絡して欲しい。
Q-4 :	D・Box の材料は何か、環境に影響はないか？ →プロポリピレンであり、環境への問題はない。
Q-5 :	D・Box の中詰材料によってせん断強度はことなるか？ →内部摩擦角により影響をうける。砂よりも碎石の方がせん断強度は高い。

Q-6 :	D・Box の中詰材料は単一粒径または、異なる粒径が良いか？ →異なる粒径が適当に混ざり合っていることが望ましい。
Q-7 :	D・Box は日本ではどのような所に使用されているのか？ →軟弱地盤上の駐車場や仮設道路、鉄道の噴泥対策、道路の振動対策、軟弱地盤上のお墓の基礎などで使われている。
Q-8 :	D・Box はどこで購入できるか？ →ある程度の量が必要なので、メトリー技術研究所株式会社に相談して欲しい。
Q-9 :	D・Box を用いて設計する場合には、どのようにすればよいか？ →メトリーに連絡して欲しい、相談に乗る。
Q-10 :	D・Box の中詰め材の砕石の大きさはどの程度が最大か？ →拳大程度（10cm 程度である）

【MR】

Q-1 :	D・Box をヤンゴン～マンダレー間で使用したい箇所があるが、D・Box を使用したいので分けてもらえないか？ →6 月中旬頃に、再度現場にて走行振動試験を行なう計画なので、その際に D・Box を使用する現場を見せてもらい対応を考えたい。
-------	---

出典：調査団作成

- 4) 本邦受入活動（実証期間の半ば頃に、1 週間の予定で 2 名 x 1 回。日本での鉄道の敷設例、その他のインフラ工事現場での D・Box の設置見学を行う）

(A) 概要

MR より 2 名の受け入れを実施、実施期間は 2018 年 5 月 19 日～26 日。当初は受け入れ活動の主体を、D・Box の実際の施工状況を視察する事により、具体的な D・Box の施工状況を確認しながら、D・Box の構造及びその施工に関する知識を深めてもらう事を考えていた。しかし、MR の都合により受入時期が大きく変更された事から、D・Box の実際に工事をおこなっている現場での見学は出来なかった。そのため鉄道、道路、施設、2 次製品等の対象構造物及び、粘性土、液状層といった各種地盤に設置した D・Box の施工後の状況を確認する事により、幅広い用途での使用が出来る事を理解してもらうと共に、長期的にその効果が持続する事も、合わせて確認する事とした。

また各現場とも D・Box は埋設されているため、講習時に見学先の現場状況及び敷設方法等を、写真、動画、図面などを使い説明した。なお、日本語の出来る緬国人の通訳が同行した（費用はメトリー負担）

(B) アンケート結果

短期間ではあったが、D・Box の各種地盤における適応性の広さや、鉄道だけでなく、各種インフラ事業においても、D・Box が適応できる事を理解してもらったことは成果であった。また鉄道においては、現在も D・Box 敷設隣接地において噴砂等がある中、施工後 5 年以上経過した軌道部に全く変位他の異常が無かった事で、D・Box の長期的な効果の持続性についても確認、理解してもらう事ができた。

以上のアンケート結果により、今後の事業推進における一つの有効な工法として理解してもらえたと同時に、単純ではあるが、きちんとした技術的スキルを理解する事が、重要である事も伝える事ができた。

(1) -4 将来的な普及に向けた検討

① インフラ関係機関への PR

1) MES での PR 活動

D・Box の緬国における将来的な普及活動として、2017 年 9 月及び 2018 年 5 月に MES で D・Box の講習会を実施し、D・Box の効果及び施工性、適用場所等についての PR 活動を行なった。2018 年 5 月の講習会への参加者約 100 名の内、土木技術者が 76%を占めており、インフラ関係機関への PR としては、十分な成果を挙げる事が出来たと考えている。

なお、講習会において、D・Box の利用に関する質問として、コスト、耐用年数、利用場所、環境への影響、中詰め材料、日本での使用場所、購入場所等についての具体的な質問が挙げられた。MES での講習の参加者は、建設会社やコンサルタント、役所が大半を占めており、この講習会により、D・Box の PR 活動は、十分な成果を挙げる事が出来たと判断している。

2) MR での PR 活動

MR への D・Box のマニュアルを中心とした 2 回の講習会（2017 年 9 月、2018 年 5 月）の中で、D・Box の効果及び施工性、適用場所等についての PR 活動を行なった。

Chaungphyar Site での実際に D・Box を使用した軌道部の軟弱地盤対策効果を示すことにより、MR の他の地区（ヤンゴン～マンダレー線）などへの D・Box の使用可能性についての具体的な質問等がでており、十分な PR 活動をおこなう事が出来た。

② 現地資機材のサプライチェーンやパートナー企業候補の確認ビジネスモデルの検討

D・Box の製作については、本業務実施時に、一部を現地において D・Box を製作し、その生産能力と性能確認と製作費用の実証を行なった。その結果、本業務において斜面の安定確保や、人力による軌道路盤への利用を行い使用上問題のないことを確認している。

一方、パートナー企業候補については、現在模索中である。

(1) -5 盛土斜面の崩壊対応

① 概要

緬国の鉄道では、河川を横断する場合の橋の高さは周辺地盤よりも 3m～5m 高くするため盛土が必要となり、エーヤワディ地域のデルタ地帯では、周囲の軟弱粘土を掘削して盛土を行なっている。

この盛土部は、乾季は硬い粘土となり、乾燥収縮により、ところどころにクラックが生じ、雨季にはクラックの隙間から水が浸透し水分を吸収し軟弱な粘土となる。そのため Chaungphyar Bridge 周辺では、1990 年の建設以来、毎年のように軌道部直下のバラストが噴砂現象により沈下するだけでなく、斜面崩落の補修工事が行なわれて来ている。2017 年 4 月に行なった斜面の形成において法勾配を 1:3 として安定を図ったが、雨季の集中豪雨時には、斜面にクラックが入り、すべりが生じる結果となった。

この原因としては、Chaungphyar Site では、乾季に盛土部の粘土が乾燥してひび割れを起こし、その後の雨季の集中豪雨により、ひび割れ部の隙間に水が浸透したことにより、粘土のせん断強度（粘着力）が著しく低下したことによると考えられる。このような状況から、斜面崩壊が部分的に生じたため斜面の補強を行なった。

斜面補強では、抑止杭（古レール）による方法や、D・Box 擁壁等の対策を行なったが、最も効果的な工法は、法面の先端にカンシ堤（D・Box Dam）として D・Box を斜面の法先部に延長 80m で設置した区間であり、設置後 1 年以上が経過したが、斜面の崩壊は全く生じていない。そのため、この実績を基に、カンシ堤（D・Box Dam）として D・Box を 2 段で埋込む工法を斜面对策としてその他の斜面の補強工法として、約 450 m の法面の補強を行なった。また、一部の擁壁クサビ杭として MR の廃レール（L=3m）を 0.5 m～1 m 間隔で打設する補強を行なった。

なお、施工後 6 ヶ月以上を経過しているが、斜面の崩壊は確認されていない。詳細は、資料-5 参照のこと。



図 3-102 斜面の雨季の崩壊状況（2017 年 7 月 法勾配 1 : 3）

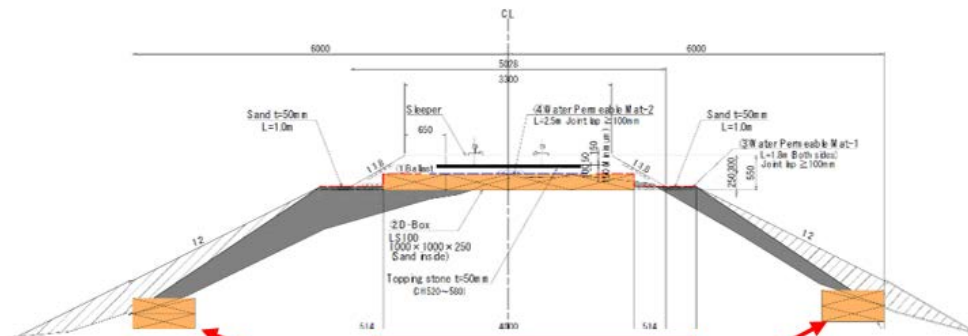
出典：調査団撮影

② カンシ堤による斜面補強

D・Box による斜面補強の対策としてのカンシ堤 (D・Box Dam) の補強状況を図 3-103 に示す。なお、擁壁の前面には、図 3-104 に示すように廃レールを用いたクサビ杭 (L=3m) により斜面のすべり対策を行ない斜面对策としている。

カンシ堤の設置時に地盤が乾燥している場合には、図 3-105 に示すように十分に散水した後にバックホーによる D・Box への転圧と斜面埋め戻し後の転圧を十分に行なうことが必要である。





D・Box 設置後の散水と転圧



D・Box および周辺への散水



D・Box Dam 設置後のバックホーによる転圧



D・Box Dam 斜面転圧完了

図 3-103 カンシ堤 (D・Box Dam) による斜面補強

出典：調査団作成、撮影

## (2) 事業目的の達成状況

本事業の目的は、軟弱地盤地域の鉄道基礎において、沈下、噴泥、振動等に対する効果を D・Box を用いた実証活動により検証し、設計施工マニュアルの作成による D・Box の普及活動を行うことである。

各項目の事業目的の達成状況については、表 3-1 にまとめて記載したとおりであり、一部の載荷試験による圧密抑制効果は検証できなかったが、その他の事項については、大いに満足できるものであった。当初の目的である軌道部の沈下対策、軌道部の噴泥対策、軌道部の振動対策に対する D・Box の効果を検証することができた。

また、実証活動に基づく、設計施工マニュアルも日本語、英語、緬国語の 3 部作を完成させることが出来たことから、当初の目的はほぼ達成することが出来たと考えている。

さらに、緬国語による D・Box の効果と本事業を紹介した 10 分間の紹介ビデオを製作し、研修会、説明会等で紹介し、D・Box の更なる普及活動を行なった。

MES で実施した D・Box の講習後のアンケート回答（回答者 60 名以上）では、ほぼ全員が、D・Box に対する興味を持っているとの回答結果から判断できるように D・Box に対する理解は緬国語によるプロモーションビデオを用いることにより、理解を一層深めることを可能とした。

## (3) 開発課題解決の観点から見た貢献

緬国のエーヤワディ河口部の広大なデルタ地帯は 5m 以上の軟弱粘土層が堆積しており、道路、鉄道等に必要な盛土や、海岸堤防や河川堤防の建設に必要な盛土、さらには工場や住宅建設に必要な盛土造成等のインフラ整備には、地盤の支持力不足に対する補強が必ず必要になる。

このような地盤における我が国の対策例としては、地盤改良工事によるセメントを混合させた個化处理工法や、サンドコンパクション工法（砂杭による地盤の締固工法）及び、盛土によるプレロードを伴う圧密促進工法等の大規模で、且つ、特殊重機が必要な工法が採用されている。しかしながら、このような工法を採用するためには、経験のある技術者や、特殊重機及び軟弱地盤上にアクセス路の確保が必要となり、さらに、対象地域の周辺が農地であることから、経済性（特殊重機の購入）や技術面（特殊技術と重機足場の確保）および環境面（CO<sub>2</sub>・水質汚染等）を考慮に入れると、緬国における迅速な対応は難しい状況である。

一方、D・Box を用いた工法は、特殊技術が不要なため、簡単な技術指導に基づき、特殊な重機を必要とすることなく一般作業員による施工が可能であり、さらに環境面へ影響を与えることもないことが本事業により実証されている。

D・Box を用いた工法の適用は、一般作業員の雇用を促進することが期待できるた

め、緬国の開発課題の重要な項目である雇用促進に貢献することが期待される。

さらに、D・Box は現地生産することが可能なため、縫製工場における雇用を促進しつつ、外貨に頼らない安価な供給によりインフラ整備における経済面にも貢献すること期待される。

以上より、D・Box を用いた工法は、緬国の軟弱地盤におけるインフラ整備に必要な軟弱地盤補強対策工法として貢献することが可能であると言える。

#### (4) 日本国内の地方経済・地域活性化への貢献

本実証事業の実施において、メトリー技術研究所は、地方自治体からの発注業務に加え、平成 28 年度から JICA からの業務も実施していることで、国内での信用も得ることができ、国内の D・Box の売上も順調に伸びており、メトリー技術研究所の所在地である埼玉県加須市への経済貢献に寄与できたと考えている。

さらに、日本の地方に設置した D・Box の販売/施工組織である、D・Box 協議会へ与える社会的信用度への影響度も大きく、我が国の国内の D・Box の販売額も拡大している。

#### (5) 事業後の事業実施国政府機関の自立的な活動継続について

D・Box を敷設した軌道部の維持管理は、MR により竣功引渡後も、定期的に巡回しており、必要に応じて軌道の調整、斜面の補強対策を実施している。

今後、ヤンゴン～マンダレー間の軟弱地盤区間においても D・Box を使用したいとの意向を MR 土木局の局長から聞いており、具体的な場所についての相談が持ちかけられている状況である。ただし、財務的な枠組については、現在のところ不明である。

#### (6) 今後の課題と対応策

本実証事業の実施を通じて判明した課題と対応策は表 3-40 に示すとおりである。

表 3-40 本実証事業の実施を通じて判明した課題と対応策

課題	内容	対応	備考
D・Box の模造品	D・Box の商標登録及び知的財産登録は、2013年10月に取得しているが、緬国では、特許法が十分に整備されていないことから、D・Box の模造品が出回り、D・Box の技術的信用が失われる。	模造品が出回るのは、D・Box が市場に十分普及した後であることや、模造品に対する取締りも十分ではないと想定されることから、D・Box の緬国での販売は、大手の業者（建設会社、設計会社等）を対象とし、ライセンス契約として普及させることで、模造品の拡大を防ぐことを考えている。	
D・Box の信用失墜	D・Box の普及や模造品の使用に伴い、正しい施工法をマスターせずに施工した場合の施工不良によるD・Boxの信用失墜	上述したように、D・Box の販売は、ライセンス契約とし、D・Box の使用に当たっては技術指導を行い使用ライセンスを発行することを考えており、国内同様に、認証又は推薦されたもののみがD・Box の施工を実施できるシステム構築を考えている。	国内では、D・Box 協会を立上げ、協会による技術講習会を実施し、その後の試験に合格した会社のみが D・Box の施工を実施できるシステムを構築している。緬国にても同様のシステムを考えている。

課題	内容	対応	備考
D・Box の紫外線対策	緬国の紫外線量は、我が国の数倍以上であり、緬国製のD・Box 品質の保証が懸念される。	日本製と緬国製のD・Box の1年間の紫外線による劣化を確認するため、暴露試験を実施し、緬国製のD・Box でも約6割の引張強度(18kN/m)を確保していることを確認した。	設計上必要なD・Box の引張り強度は、約2kN/mであり緬国製を1年間暴露状態にした場合でも十分な強度(9倍)があることを確認しており、紫外線対策をしっかりと行うことにより対応である。
会社設立における課題	外国企業が緬国に進出する際には、投資法、新会社法、また関連省庁による関連法を考慮する必要がある。進出形態によりいずれの法に基づくかが異なり、またいずれの法に基づくかによって税制優遇措置の付与の有無が異なる。	現在、まだ法規制が出揃っていない状況であるため、進出形態に応じて最新の情報を注視する必要がある。	新会社法は細則が未交付のため、まだ詳細が不明であり、今後の情報を注視しつつ進出形態を選択する必要がある。

出典：調査団作成

## 4. 本事業実施後のビジネス展開計画

### (1) 今後の対象国におけるビジネス展開の方針・予定

#### (1) -1 マーケット分析（競合製品及び代替製品の分析を含む）

##### ① 鉄道分野

鉄道事業は今後推進が急務なインフラ事業の一つであり、また敷設される対象地は、湿地帯及び粘性土の体積する軟弱な地盤が数多くあり、D・Box が活用される条件は大いにある。ただし、現状でのMRの考えでは、D・Boxの機動性を生かし、当面重機の搬入が困難な個所や、応急の復旧工事等での活用を考えているようである。

現在、ODAにより計画中のヤンゴン～マンダレー間の軌道改修事業(約620km)に於いても、約45kmの区間が軟弱地盤であり、排水・盛土対策が必要とのことである。その全体の1割程度の区間で利用されると想定すると、約5kmがD・Boxの敷設延長対象となる。想定される使用数量はLS-100が3列/mのため、3列/m×5,000m=15,000袋が当面の使用数量となる。また実際の路線で実績が評価されれば、在来線における維持管理に毎年5km程度の区間で使用された場合、年間10,000～20,000袋の需要は十分に見込める分野である。(15,000袋×20USD/袋=300,000USD/年)

##### ② 道路分野

鉄道分野での展開が動きだした際、同時に供給できる分野としては、一般道路が考えられる。特に都市部から離れた農村地帯など、十分な施工環境に無い地域でのD・Boxの利用は効果的だと考える。地盤が軟弱であり、施工設備も不十分で、また施工期間が限られる事から質の悪い舗装が応急的に行われているため、簡便な施工でより効果的な地盤改良が可能なD・Box適応の可能性は大きい。

まずは今回事業を行ったエインメ近辺での試験施工等を実施し、1km程度の試験施工を目指す。最終的にD・Boxの効果が認知され、地方道路の整備に適応された場合、年間10km程度の延長にD・Boxが利用されたとして、幅6m(6袋)×10,000m=60,000袋程度が見込める分野となる。(60,000袋×20USD/袋=1,200,000USD/年)

##### ③ 住宅分野

現状では緬国全土での住宅事情は十分とは言えず、今後民主化及び市場化が進むにつれ、住環境の整備は必ず必要になる。当面はインフラ整備が優先されるが、近い将来確実に伸びる分野である。

現在、日本における住宅一戸当りのD・Box使用個数は、概ね30袋程度であり、緬国ではこの半数が使用されると想定する。現在のエーヤワディ地域の人口は6.1百万人であり、その30%相当の住宅数を算定しても、一世帯4人を平均と

すれば約 46 万戸と想定される。このうち 2% に D・Box が採用された場合、9,200 戸×15 袋≒138,000 袋/10 年=13,800 袋/年程度が市場として見込める。

(13,800 袋/年×20USD/袋=276,000USD/年)

#### ④ 災害対策分野

特に雨季に見られる河川の増水は緬国全土で起こりうる現象で、事前対策としては、道路や生活地の基本地盤レベルを河川水位より上げておく必要がある。また、土堤体が多く点在しており、これも雨季の大雨により倒壊するリスクが高い。こうした箇所は、安全にかつ、簡便に施工できる D・Box の利用が適した分野である。現状での市場規模は測れないが、実際に活用されれば、少なく見ても年間数千袋規模での需要が見込める分野である。

以上を合計すると、D・Box の将来的な年間需要量は下記に示すように約 9 万袋/年となる。

- ・鉄道分野：15,000 袋/年
- ・道路分野：60,000 袋/年
- ・住宅分野：13,800 袋/年
- ・災害分野：3,000 袋/年
- 合計：91,800 袋/年

#### (1) -2 ビジネス展開の仕組み

### 非公開

#### (1) -3 想定されるビジネス展開の計画・スケジュール

### 非公開

#### (1) -4 ビジネス展開可能性の評価

### 非公開

#### (2) 想定されるリスクと対応

### 非公開

#### (3) 普及・実証において検討した事業化による開発効果

##### (3) -1 実証事業により確認した今後の事業展開による開発課題への効果

### 非公開

##### (3) -2 ビジネス展開を通じての開発課題に対する経済効果

### 非公開

#### (4) 本事業から得られた教訓と提言

##### (4) -1 今後海外展開を検討する企業へ向けた教訓

本実証事業を実施するに当たりの教訓は次のとおりである。

###### ① D・Box の普及

MR からの D・Box に対する評価は高く、実際に使用したい場所の要望があっても、予算が無く、D・Box の購入に至らない。そのため、ODA 関係のプロジェクトで、軟弱地盤補強対策等が必要な場合に導入して貰う必要があるが、緬国及び国内の基準での設計/施工上の認証又は推薦が関係機関から取得されていないため、具体的な導入が難しい状況であった。そのため、関係機関からの認証又は推薦取得作業を次年度以降に実施していく必要がある。

###### ② 知的財産権

既に、緬国において 2013 年 9 月に商標・特許を登記し、2016 年にも再登記しているが、緬国では、知的財産法が制定されていないため、将来的に D・Box が普及した場合には、模倣品が出回り、品質面のみならず、設計面や、施工面でのトラブルが発生する可能性が懸念される。

模倣品が氾濫することは、D・Box 工法が広く普及した場合であるため、現在は具体的な対応を行っていない。将来模倣品が氾濫しないように、D・Box の普及に伴い緬国の提携会社が模倣品の氾濫を抑止できる規模の企業との業務提携を考えている。

###### ③ 会社設立と税制度

当初、メトリー技術研究所株式会社が緬国で子会社を作り、D・Box の普及、技術指導、D・Box の供給を考えていたが、現時点では下記の理由により、子会社を作ることは控えている。

###### 【子会社設立の見合せ理由】

2016 年 10 月 18 日に投資法が成立・施行され、2017 年 12 月 6 日には、新会社法が成立し、2018 年 8 月 1 日に施行された。新会社法では、外資比率 35%以下の会社は内資企業と見なされるが、外資企業が規制対象となっている事業を行うことができるかは、当該事業を管轄する監督省庁に確認する必要がある。そのため、進出形態によりいずれの法に基づくかが異なり、その法により税制優遇措置の付与が異なる。

(1)-4-②で述べたように、当面は D・Box の緬国での普及を第一に考え、緬国内の D・Box の販売は、取扱販売業者である提携企業に任せ、同社は D・Box の市場が拡大し安定するまでは、製品の在庫や、代理店契約、特許料等の負荷を強いらず、技術面を日本からサポートする体制を取り、現地での営業等の活動を支援する計画である。そのため、進出の時期は(1)-2-②ビジネス展開のステップ 1 の実績を基に検討する。



④ 本業務の JICA による提案書採択から本契約に至るまでの対応

本業務の提案書が JICA により採択されたのが、2015 年 1 月であり、カウンターパートである MR とのエインメでの実証事業の実施に至るまでの Minute of Meeting での同意を得たのが、2016 年 10 月 12 日であり、その後 JICA とメトリー技術研究所株式会社との契約締結は 2016 年 10 月 28 日であり、2 年近くの対応が必要であった。そのための交渉として、外部委託者であるパシフィックコンサルタンツともども、現地へ 6 回以上も足を運び、MR との交渉や MR からの要望による場所の変更依頼にも対応し、計画書の修正等を何度も行なう必要があった。

今後、海外展開を希望する中小企業の方にあつては、現地政府との交渉は、非常に困難であり、緬国にあつては JICA に提案が採択された後でも実施に至ることは難しいとこのことを聞いていることから、経験のあるコンサルタンツとともに、忍耐力と時間的、経済的な余裕を持って対応することが肝要である。

⑤ 安全衛生教育の徹底

2017 年 2 月初旬(工事開始から 3 週間目)に現地建設会社の新規雇用予定者が、下見のため無断で D・Box 製作ヤードに立ち入り、本人の不注意により重機に挟まれ死亡する事故が発生した。

それまでも現地建設会社を通して、安全衛生管理には注意していたが、事故後は更に徹底し、無事に工事が完了した。事故再発防止の具体的な取組としては、工事発注者である調査団員が毎日の朝礼に参加するようにし、作業員に対して KY 活動(危険予知活動:現場での作業を始める前に危険要因を見つけ出し、特に重点として実施する安全対策を決定し、確実に実施をするもの)を行った。また、部外者の立ち入りを防止するために、安全看板及び囲いを設置するとともに、ヘルメット、防護靴及び安全ベストを着用していない者は立入禁止としたり、重機に安全員(旗振り役)を配置したりした。また、健康起因の事故防止のため、熱中症対策として飲料水の配布等を行ったり、昼休み時間を延長(12~14 時)したりした。



写真 朝礼の様子

本事業のように現地の建設会社を使用する場合は、現地の建設会社は日本企業に比べて安全衛生に対する認識が低いことから、日本人の指導のもとで、徹底した安全衛生教育を実施することが必要である。

(4) -2 JICA や政府関係機関に向けた提言

① 現地政府関係機関との交渉等

上記の④で示したように現地の関係機関との実証事業の実施における交渉には多大な時間と努力を要したが、JICA の現地事務所からの関係政府機関へのアポイントメントや、会議への同席、助言は非常にありがたかったことから、今後も同様の対応を御願いできれば幸いです。

② D・Box の実証事業での施工会社との入札における助言と対応

D・Box の実証事業の施工会社を選定するための入札に際し、JICA 緬国事務所に場所を提供頂いた。中小企業にあつては、現地では不案内なため、今後このような配慮をしていただければ大いに助かります。

③ 実証事業で示した製品の ODA での普及への助言

軟弱地盤に対する D・Box の効果を実証事業で示したが、ODA で実施している他の業務(例：ヤンゴン～マンダレー線)の軟弱地盤への D・Box の活用には至っていない。今後、このような実証事業により評価された製品や工法等については、JICA を通じて関係機関への紹介や口添え等をいただければ、更なる普及活動が可能となることから、今後、実証事業の成果については積極的に PR 等をしていただければ幸いです。

## 参考文献

公益社団法人地盤工学会(1995) 『地盤調査法』 丸善

松岡 元(2003) 『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  
『マットレスエ法技術資料－設計編－』, 「特許公開資料(公開番号: 2010-255247号)」