

ブータン王国

陸上運輸局

ブータン国  
道路斜面对策工能力強化プロジェクト

事業完了報告書

2024年7月

独立行政法人

国際協力機構（JICA）

国際航業株式会社

株式会社地球システム科学

応用地質株式会社

社基

JR

24-094

為替レート（業務着手時：2018年12月） BTN 1.00 = JPY 1.626

Source: JICA, [https://www.jica.go.jp/Resource/announce/manual/form/consul\\_g/ku57pq00000kzv7m-att/rate\\_2018.pdf](https://www.jica.go.jp/Resource/announce/manual/form/consul_g/ku57pq00000kzv7m-att/rate_2018.pdf)

<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 be done at user's own risk.
- ・ Neither JICA nor the trust corporation shall be responsible for any loss or damages incurred by use of such information provided in this report.

## 写真帳



第1回JCCの様子 (2019/1/31)



第9回JCCの様子 (2024/4/29)



第1回オープンセミナーの開催 (2020/2/5)



第3回オープンセミナーの開催 (2024/5/28)



第1回本邦研修、西日本高速道路株中国支社道路  
管制センター視察の様子 (2019/9/24)



第2回本邦研修：インフラミュージアムの見学  
(2023/10/30)



第3回オープンセミナーの集合写真 (2024/5/28)



ガイドライン・ハンドブックの引き渡し  
(2024/5/29)

## 写真帳



成果 1 : 雨量計と現地通信基地局  
(2019/4/26)



成果 1 : 第 1 回技術移転セミナーにおける斜面傾  
斜センサ設置方法の解説(2019/4/26)



成果 1 : 第 1 回雨量事前交通規制の演習  
(2023/6/7)



成果 1 : 第 2 回雨量事前交通規制の演習  
(2024/4/30)



成果 2 : 植生工発芽試験の様子(2019/6/8)



成果 2 : 植生工第 1 回試験施工の完了(2020/10/31)



成果 2 : 第 2 回試験施工の完成(2023/5/3)



成果 2 : 第 3 回試験施工の完成(2024/4/13)

## 写真帳



成果3：第1回技術移転セミナーにおける地質調査道具取扱い講習の様子(2019/11/4)



成果3：SRTに係る技術講習(2023/2/14)



成果3：丁張設置に係る技術講習(2023/2/16)



成果3：切土施工サイトの完成(2023/4/27)



成果4：落石対策工施工の様子(2020/4/7)



成果4：落石対策工の完成(2020/7/8)



成果4：吹付工の施工指導(2024/3/27)



成果4：吹付工の完成(2024/4/28)

## 写真帳



成果 5 : 土石流溪流調査の様子(2019/4/15)



成果 5 : カルバート工の完成(2020/11/8)



成果 5 : カルバート工の完成 (2023/5/5)



成果 5 : 土石流対策工勉強会 (2023/2/2)



成果 6 : 第 2 回技術移転セミナー、GIS データベース作成のためのデータ収集 (2019/12/2)



成果 6 : ドローン自動航行研修, Trongsa(2022/11/14)

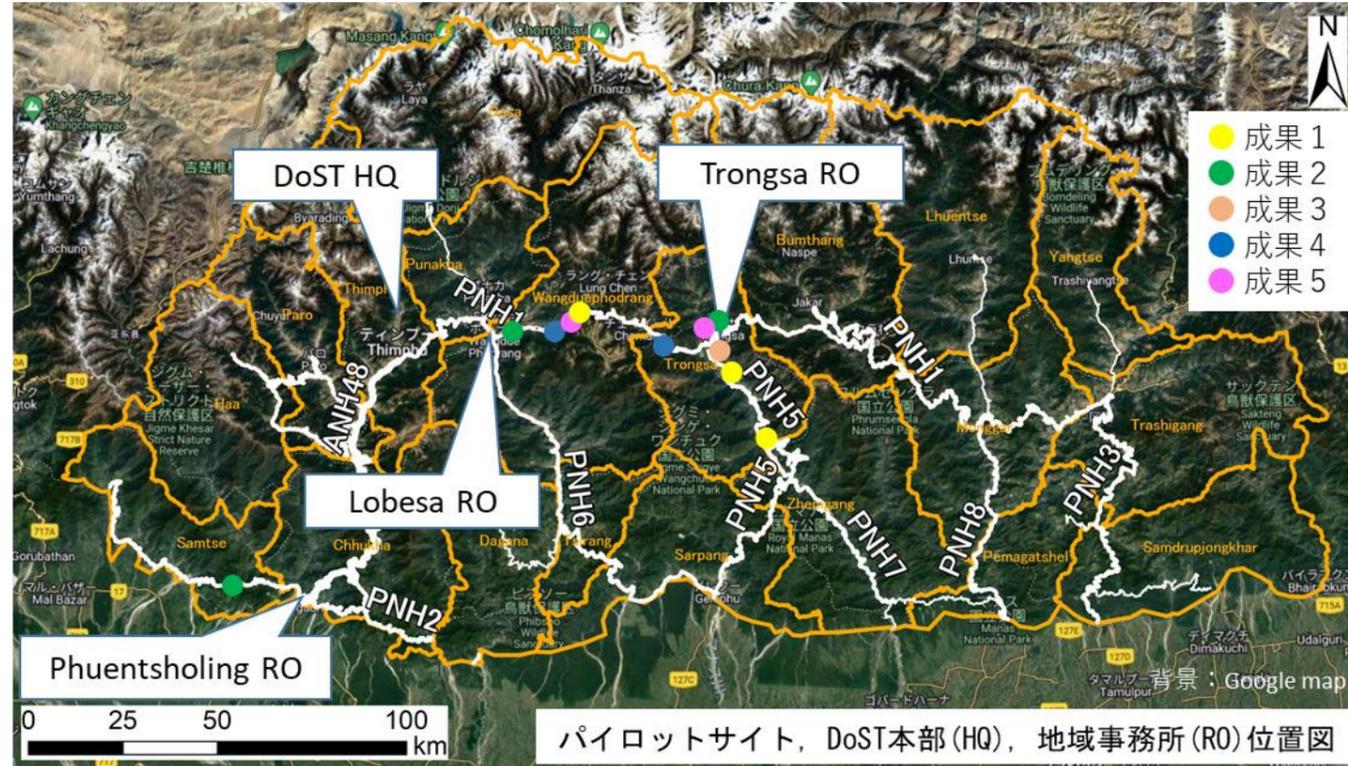


成果 6 : BRS システム開発協議 (2023/7/17)



成果 6 : ドローン計測による Samtse の 3D モデル

# ブータン国道路斜面災害対策工能力強化プロジェクト 業務完了報告書の概要



## 成果2：植生工



- ・2020年にPNH1, Lobesa RO管内のGhangtangkhaにて植生工1を試験施工
- ・2023年にPNH1, Trongsa RO管内のYangkhilにて植生工2を試験施工
- ・PNH2, Phuentsholing RO管内のGopiniにて2024年に植生工3を試験施工

- ・2020年に各地で地質調査を実施し、ブータンにおける標準切土勾配を設定
- ・2023年にPNH5, Trongsa RO管内のTeleganchuにて切土工を試験施工
- ・策定したガイドラインを用いて各ROにてセミナー及び実技指導開催

## 成果3：切土のり面勾配の改訂



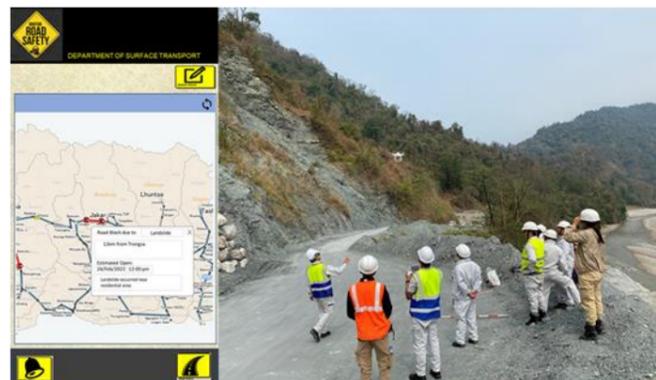
## 成果1：道路事前通行規制



- ・2019年雨量観測機器および傾斜の変化を検知するセンサーを3地区に設置し、雨量と崩壊の発生に関する情報を収集
- ・観測等から得られた情報から、各地区で事前通行規制の規制雨量を設定
- ・雨量観測情報から規制雨量を越える値が確認された場合に警報が発令されるシステムを構築
- ・事前通行規制の模擬訓練を実施

## 成果6：道路情報システムの改良

- ・Bhutan Road Safety (BRS：道路関連情報共有)システムを改良
- ・道路管理に関するGISデータを構築し、道路GISデータとして一元化
- ・ドローン操作講習会を各地で開催
- ・ドローンを利用して、道路周辺斜面の3次元地形モデルを構築し、斜面災害対策の検討等に利用



## 成果4：落石対策工



- ・2020年にPNH1, Trongsa RO管内のChendebjiにて落石対策工1を試験施工
- ・2022-23年にPNH1, Lobesa RO管内のTekizampaにて詳細設計を実施
- ・2023-25年の2乾期を通じて、Tekizampaにて落石対策工を試験施工

## 成果5：土石流対策工



- ・2020年にPNH1, Trongsa RO管内のBjeeにて土石流対策工1を試験施工
- ・2023年にPNH1, Lobesa RO管内のKhelekhaにて土石流対策工2を試験施工
- ・策定したガイドラインを用いて全ROにてセミナー開催
- ・DoSTが独自予算で横展開

C-Slopeプロジェクトで策定したガイドライン/ハンドブックの電子データのQRコード/URL

<https://www.moit.gov.bt/en/publications/acts/>





# 目次

写 真 帳  
報 告 書 概 要 版  
略 語 集

<b>第1章</b>	<b>業務の概要</b> .....	<b>1</b>
1.1	業務の背景.....	1
1.2	業務の概要.....	1
1.3	業務の範囲.....	4
<b>第2章</b>	<b>業務の実績</b> .....	<b>5</b>
<b>第3章</b>	<b>案件の活動実績</b> .....	<b>6</b>
3.1	全体に係る活動.....	6
3.2	成果1：事前通行規制の条件が明確になる.....	10
3.3	成果2：「土砂斜面崩壊」防止に適した植生工の選定.....	20
3.4	成果3：「土砂斜面崩壊」「岩盤斜面崩壊」に対する標準切土のり面勾配の改訂.....	34
3.5	成果4：「岩盤斜面崩壊（落石）」に対して適した対策工法の実施.....	47
3.6	成果5：「土石流」に対する適正な対策工の導入.....	63
3.7	成果6：道路斜面災害情報および通行規制に関する情報システムの改良.....	76
3.8	その他の活動：本邦研修・セミナー・広報活動.....	83
3.9	プロジェクト実施上の課題と工夫・教訓および提言.....	90
<b>第4章</b>	<b>プロジェクトの評価</b> .....	<b>101</b>
4.1	内部終了時評価の概要.....	101
4.2	プロジェクトの実績.....	103
4.3	DAC6 項目評価のレビュー.....	109
<b>第5章</b>	<b>プロジェクト終了後の上位目標の達成に向けて</b> .....	<b>113</b>
5.1	上位目標達成の見込み.....	113
5.2	上位目標の達成に向けた計画と実施体制.....	114
5.3	ブータン側への提言.....	115

# 目 次

図 1.1-1	ブータン道路開発に係る本件業務の役割	1
図 3.2-1	モニタリング対象斜面の位置	11
図 3.2-2	事前通行規制区間： Razhau, Lobesa-R0	12
図 3.2-3	事前通行規制区間： Dzongkalom, Trongsa	12
図 3.2-4	監視システム構成	14
図 3.2-5	事前通行規制体制のイメージ	17
図 3.3-1	発芽試験に選定した種子（左から Paspalum atratum, Ruzi grass, GM mixed）	21
図 3.3-2	日本の国土交通省：道路のり面の植生工種の選定フロー	22
図 3.3-3	日本の NEXCO：道路のり面の植生工種の選定フロー	22
図 3.3-4	植生工の施工プロセス	23
図 3.3-5	NEXCO：道路のり面の植生工種の選定フローを使用した第1回目試験施工の工種選定	24
図 3.3-6	植生工配置平面図（左：設計書、右：概念図）	24
図 3.3-7	計画全景（左）、植生工施工直後の斜面（右）（2020年5月31日）	25
図 3.3-8	第2回試験施工の土工（切土・盛土）の配置図	27
図 3.3-9	第2回試験施工の植生工の配置図	27
図 3.3-10	第2回試験施工の排水工の配置図	27
図 3.3-11	ふとん籠工植生と水路（2023年3月25日）	28
図 3.3-12	植生工施工完了（2023年5月3日）	28
図 3.3-13	試験施工完了（2023年5月3日）	28
図 3.3-14	緑化状況（2023年8月2日）	28
図 3.3-15	階段状水路とふとん籠上面の緑化状況（2023年9月2日）	28
図 3.3-16	看板設置後の様子	28
図 3.3-17	試験施工斜面位置	29
図 3.3-18	試験施工斜面全景	29
図 3.3-19	ドローン撮影（等高線を入れたもの。A-A' は断面線）	29
図 3.3-20	植生工および排水システム	30
図 3.3-21	植生工および排水システムの数量・配置見直し図	30
図 3.3-22	Overall planting at Gopini site. (Y2: 写真の右)	31
図 3.3-23	施工中の設計変更（左）と竣工後のドローン撮影画像で見る配置（右）	31
図 3.4-1	成果3 対象のり面選定フロー	34
図 3.4-2	各地質区分におけるのり面安定性 - のり面諸元（高さ・角度） 相関図	36

図 3.4-3 岩質・地質分類フロー	38
図 3.4-4 成果3 第3回技術セミナー配布資料抜粋	39
図 3.4-5 施工サイトにおける切土のり面設計図の例	42
図 3.4-6 成果3 施工サイト位置図および現況写真	44
図 3.5-1 成果4 のパイロットサイト3箇所的位置図	48
図 3.5-2 対象地の災害形態区分図	49
図 3.5-3 地表地質平面図	51
図 3.5-4 地質解析断面図	51
図 3.5-5 Tashiling Bridge 地区の地すべり地形判読図	52
図 3.5-6 地表踏査図面	53
図 3.5-7 対策工選定フロー	54
図 3.5-8 パイロットサイトの対策工設計図面（抜粋）（1）	57
図 3.5-9 パイロットサイトの対策工設計図面（抜粋）（2）	57
図 3.5-10 パイロットサイト Tekizapma の対策工設計図面	59
図 3.5-11 ハンドブックの表紙および目次	62
図 3.6-1 1回目のパイロットサイト候補箇所の位置図（Lobesa: 2, Trongsa: 8 Slopes）	63
図 3.6-2 2回目のパイロットサイト候補箇所の位置図	64
図 3.6-3 机上検討結果および現地調査（溪流内の不安定土砂量調査）の実施例（2019/4/10）	65
図 3.6-4 「Guidelines on use of Standard Work Items for Common Road Works」の排水工 に関する記載	67
図 3.6-5 Bjee サイトの施設配置図およびカルバートの正面図	69
図 3.6-6 Khelekha サイトの施設配置図およびカルバートの正面図	71
図 3.7-1 GIS データベースの層構成	77
図 3.7-2 道路情報収集共有体制のフローチャート（案）	78
図 3.7-3 トンサ地域事務所の道路線形地図（左図：2013年、右図：本活動で作成（2019 年））	79
図 3.7-4 本部と地域事務所の情報共有体制	79
図 3.7-5 ドローンによる空中写真判読プログラム研修風景	80
図 3.7-6 MoIT サーバPC の共有フォルダーアクセス利用イメージ	80
図 3.7-7 スマートフォンインターフェース	81
図 3.7-8 PC ウェブインターフェース	81
図 3.9-1 Web ミーティングによる施工進捗およびサイト状況の確認例	90
図 3.9-2 グループチャットによるやりとりの例	91
図 3.9-3 ニュースレターの作成例	92

図 3.9-4	R0 におけるドローン講習の実施例.....	92
図 3.9-5	プロジェクトで整備したハンドブックの表紙.....	93
図 3.9-6	MoIT のホームページに掲載されたガイドライン・ハンドブックと URL・QR コード	93
図 4.2-1	プロジェクトのマネジメント体制図.....	107

# 表 目 次

表 1.3-1 作成する調査報告書	4
表 1.3-2 技術協力作成資料（マニュアル・ハンドブック等）	4
表 2-1 現地作業および国内作業の要員投入実績（2019年1月11日～2024年7月31日）	5
表 3.1-1 設定されたPDMの指標一覧表（太字は業務開始後に設定された指標および期限）	7
表 3.1-2 本邦調達した資機材	8
表 3.1-3 現地調達した資機材	8
表 3.1-4 現地再委託業務の実績	9
表 3.2-1 対象路線・斜面の選定上の留意点	10
表 3.2-2 第1段階：先行プロジェクトで抽出された16斜面の検討結果	10
表 3.2-3 成果1のモニタリング斜面に選定された斜面（3斜面）	11
表 3.2-4 事前通行規制区間の位置	11
表 3.2-5 調達した機材と数量	13
表 3.2-6 設置に係る項目数量表	14
表 3.2-7 2019年の雨季に地表面傾斜センサで補足された斜面崩壊の発生時刻	15
表 3.2-8 設置当時（2019年4月）以降のデータ取得状況	16
表 3.2-9 各区間の閾値	17
表 3.3-1 試験施工サイトの選定結果	20
表 3.3-2 道路斜面の植生工を実施する上での課題	20
表 3.3-3 発芽試験に使用する種子の概要	21
表 3.3-4 発芽試験の観察結果（2019年7月24日）	21
表 3.3-5 植生工に係る試験施工の実施時期	23
表 3.3-6 第1回目試験施工で実施する3タイプの植生工	24
表 3.3-7 第1回目試験施工での植生工に係る数量表	25
表 3.3-8 主な排水工および植生工の一覧	30
表 3.3-9 Construction methods used from the first test slope to the third test slope for Bioengineering.	32
表 3.3-10 Drainage system as ancillary work to Bioengineering.	32
表 3.3-11 植生工の設計要領の目次（Ver.1）	33
表 3.3-12 植生工の施工管理要領の目次（Ver.1）	33
表 3.4-1 調査に用いた供与地質調査機材	34
表 3.4-2 斜面安定度評価のための聞き取り項目一覧	35
表 3.4-3 斜面安定度評価に用いた閾値	35
表 3.4-4 岩質・地質分類マニュアル目次	37

表 3.4-5	標準切土のり面勾配の現行と改訂案の比較	39
表 3.4-6	DoST の設計要領類	40
表 3.4-7	改訂した標準切土のり面勾配	40
表 3.4-8	標準切土のり面勾配設計要領 表紙と目次	41
表 3.4-9	切土のり面設計項目および適用した基準書	41
表 3.4-10	切土のり面に係る施工要領の目次 (出典: JET)	43
表 3.4-11	施工サイトにおける工事概要および工事費他	45
表 3.5-1	対象地 (Chendebji) で実施した調査・解析・評価の概要	49
表 3.5-2	対象地 (Tekizampa 地区および Tashiling bridge 地区) で実施した調査概要	50
表 3.5-3	対策工選定表	55
表 3.5-4	対策工選定表	56
表 3.5-5	落石対策工の設計施工監理要領および標準単価表の目次	61
表 3.6-1	1 回目のパイロットサイト候補箇所の地形・地質および対策施設の諸元	63
表 3.6-2	2 回目のパイロットサイト候補箇所の地形・地質および対策施設の諸元	64
表 3.6-3	不安定土砂量の計算シート (エクセル) の例 (No. 323 溪流)	66
表 3.6-4	谷次数ごとの不安定土砂の平均断面積	67
表 3.6-5	土石流対策の設計・施工管理要領の目次 (Ver. 1)	75
表 3.7-1	GIS 基礎研修 (第 1 回~第 4 回)	76
表 3.7-2	GIS データベースの層構成の詳細	77
表 3.7-3	道路情報を発出する際の入力情報項目	82
表 3.8-1	第 1 回本邦研修 (2020 年 9 月実施) の参加者	83
表 3.8-2	第 2 回本邦研修 (2023 年 10 月-11 月実施) の参加者	84
表 3.8-3	セミナー開催実績	85
表 3.8-4	学会・フォーラム等による発表実績	88
表 3.8-5	Web、SNS による情報発信実績	88
表 3.9-1	成果 1 に関する課題・工夫と教訓・提言	95
表 3.9-2	成果 2 に関する課題・工夫と教訓・提言	96
表 3.9-3	成果 3 に関する課題・工夫と教訓・提言	97
表 3.9-4	成果 4 に関する課題・工夫と教訓・提言	98
表 3.9-5	成果 5 に関する課題・工夫と教訓・提言	99
表 3.9-6	成果 6 に関する課題・工夫と教訓・提言	100
表 4.1-1	設定された PDM の指標一覧表 (太字は業務開始後に設定された指標および期限)	102
表 4.2-1	各成果の指標と達成状況・達成度	104
表 4.2-2	プロジェクト目標の指標と達成状況・達成度	106
表 4.3-1	DAC6 の評価項目と本プロジェクトの評価	109

表 5.1-1 設定されたPDMの上位目標.....	113
----------------------------	-----

# 写 真 目 次

写真 3.2-1	観測所の移設（2024年4月15～17日、ラチャウ、レオタラの移設とテスト）	15
写真 3.2-2	Dzonkalom 区間での模擬訓練の様子（2023年6月6日、報告、現地規制実施、結果）	18
写真 3.2-3	Razhau 区間での模擬訓練の様子（2023年6月7日、現場規制実施、結果）	18
写真 3.2-4	Dzonkalom 区間での模擬訓練の様子（2024年4月30日）	18
写真 3.3-1	植生工タイプ別の施工手順を示す Video 教材の一部	25
写真 3.3-2	植生工施工の3約か月後の斜面状況（左：2020年9月26日）	26
写真 3.4-1	地質調査実施状況	38
写真 3.4-2	標準切土のり面勾配設計要領に係る技術セミナー実施状況	42
写真 3.4-3	切土のり面の基準改訂に伴い新たに追加された工種	45
写真 3.4-4	成果3 切土のり面 施工サイト 竣工後および現在の状況	46
写真 3.5-1	補強土壁落石防護壁完成状況（2020/11/5, 出典：JET）	60
写真 3.5-2	Tekizmapa 準備工状況	60
写真 3.6-1	ブータン国で適用されている排水工の例	68
写真 3.6-2	Bjee サイトの施工前の状況（左：下流側から, 右：上流側から）（2019/4/10）	69
写真 3.6-3	Khelekha サイトの施工前の状況（左：下流側から, 右：上流側から） （2022/5/17）	70
写真 3.6-4	Bjee におけるカルバートおよび導流工の完成状況	72
写真 3.6-5	完成後のカルバート全景（3次元モデル）	73
写真 3.6-6	Bjee サイトおよび Khelekha サイトへの案内板の設置	74
写真 3.8-1	第1回本邦研修の様子	83
写真 3.8-2	第2回本邦研修の様子	84
写真 3.8-3	オープンセミナーの様子	86

## 略語表：Abbreviations

略語	英文	和文
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
BBS	Bhutan Broadcasting Service	ブータン放送
BCAA	Bhutan Civil Aviation Authority	ブータン民間航空局
BL	Base Line	ベースライン
BRS	Bhutan Road Safety	ブータンロードセイフティー
BTTV	BTTV	ブータン放送局のモバイルアプリの名称
C/P	Counter Part	カウンターパート
COVID-19	Coronavirus Disease 2019	新型コロナウイルス感染症
CREST	Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies	環境に配慮した持続可能な建設技術に関する国際シンポジウム
CST	College of Science and Technology	ブータン国科学技術大学
DCC	Directorate Coordinate Committee	DoST 連絡調整会議
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DF	Debris Flow	土石流
DGM	Department of Geology and Mines	経済省地質鉱山局
DoFPS	Department of Forest and Park Services	森林公園サービス局
DoL	Department of Livestock	家畜局
DoST	Department of Surface Transport	陸上運輸局
DoST-RO	Department of Surface Transport-Regional office	陸上運輸局地域事務所
EC	Electric Conductivity	電気伝導度
G2C	Government to Citizen	ガバメント・トゥ・シチズン
GIS	Geographic information system	地理情報システム
GISDB	Geographic Information System Data Base	GIS データベース
GMT	Greenwich Mean Time	グリニッジ標準時
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
ICL	International Consortium on Landslides	国際斜面災害研究機構
ICT	Information and Communication Technology	MoIT の情報通信技術部
IR	Inception Report	インセプション・レポート
JCC	Joint Coordinating Committee	合同調整委員会
JNEC	Jigme Namgyel Engineering College	ジグメ・ナムギェル・エンジニアリング大学
JET	JICA Expert Team	JICA 専門家チーム
JICA	Japan International Cooperating Agency	独立行政法人国際協力機構
JV	Joint Venture	共同企業体
KY	KY	危険予知活動
KUENSEL	KUENSEL	クエンセル新聞社（ブータン最大の新聞社）
LS	Land Slaide	地すべり
MoAF	Ministry of Agriculture and Forests	農業森林省
MoIT	Ministry of Infrastructure and Transport	インフラ・運輸省
MS	Monitoring Sheet	モニタリング・シート
NEXCO	Nippon Expressway Company Limited	日本高速道路株式会社
NGO	Non-governmental organizations	非政府組織
Nu	Ngultrum	ニルタム（ブータン通貨）
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OJT	On the Job Training	オン・ザ・ジョブ・トレーニング
PC	Personal computer	パソコン
PDM	Project Design Matrix	プロジェクト・デザイン・マトリクス
PNH	Primary National Highway	一級国道
PO	Plan of Operation	活動計画書
PPT	Power Point	パワーポイント
PR	Progress Report	業務進捗報告書
R/D	Record of Discussion	実施協議文書
RAMS	Road Asset Management System	道路台帳システム
RF	Rock Fall	岩盤斜面崩壊
RSTA	Road Safety and Transport Authority	情報通信省道路安全運輸局
RTK	Real Time Kinematic	リアルタイムキネマティック測位
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標

SDMD	Slope Disaster Management System	道路通行止め情報システム
SF	Debris Slope Failure	土砂斜面崩壊
SMS	Short Message Service	ショートメッセージサービス
UAV	Unmanned aerial vehicle	無人航空機
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
WB	World Bank	世界銀行
WP	Work Plan	ワークプラン
WG	Working Group	作業部会
WLF	World Landslide Forum	世界地すべりフォーラム

# 第1章 業務の概要

## 1.1 業務の背景

ブータン国の道路は、地形・地質的条件から数多くの斜面災害リスク箇所が散在しており、特に雨季には斜面崩壊・土石流といった斜面災害が頻発している。これらの災害は、国土を東西に走る国道1号線とインド国境まで南下する国道2～5号線など一級国道（PNH: Primary National Highway）においても頻繁に発生し、人の移動や経済活動に支障をきたしている。そこで、独立行政法人国際協力機構（以下、JICA）は開発調査型技術協力「道路斜面管理マスタープラン調査（2014年7月～2017年3月）」（以下、先行案件マスタープラン調査）を実施し、道路斜面管理に係る技術移転を行った。

その後、ブータン国の第12次5カ年計画（2018-2023）では、「天候に関わらないアクセス可能な強靱な道路」、「国道の移動時間の短縮」、「品質の高いインフラ施工と維持管理」を開発指標として挙げ、インフラ・運輸省（以下、MoIT）の陸上運輸局（以下、DoST）は、緑化と補強を組み合わせた道路斜面对策を講じているものの、技術および財政的な制約により十分な対策ができていない。このような背景のもと、DoSTをカウンターパート（以下、C/P）として、道路斜面对策のための斜面モニタリングや簡易・安価な対策工の施工に係る技術移転、設計・施工管理要領等の作成を支援する技術協力プロジェクト（以下、本件業務）を実施することとした。



(出典:JET)

図 1.1-1 ブータン道路開発に係る本件業務の役割

## 1.2 業務の概要

### (1) プロジェクト名

道路斜面对策工能力強化プロジェクト

対象国：ブータン国

履行期間：（当初）2018年12月28日から2023年1月31日まで（約49か月間）

（変更後）2018年12月28日から2024年7月31日まで（約67か月間）

（COVID-19の影響により、2020年3月～2022年4月までの渡航休止期間を含む）

### (2) 上位目標

ブータンにおいて道路斜面の開発・維持管理が、プロジェクトにより改善された対策を用いて適切に実施される。

### (3) プロジェクト目標

道路斜面对策に係る DoST の能力が向上する。

#### (4) 期待される成果

- 成果1： 事前通行規制の条件が明確になる。
- 成果2： 「土砂斜面崩壊」防止に適した植生工が選定される。
- 成果3： 「土砂斜面崩壊」「岩盤斜面崩壊」に対する標準切土のり面勾配が改訂される。
- 成果4： 「岩盤斜面崩壊（落石）」に対して適した対策工法が実施できるようになる。
- 成果5： 「土石流」に対する適正な対策工が導入される。
- 成果6： 道路斜面災害情報および通行規制に関する情報システムが改良される。

#### (5) 活動の概要

##### 成果1：事前通行規制の条件が明確になる。

- 活動 1-1： 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する。
- 活動 1-2： 地表変位量・降雨量モニタリング計画を策定する。
- 活動 1-3： 地表変位量・降雨量モニタリングによる基礎データを取得する。
- 活動 1-4： 通行規制区間および通行規制基準雨量値の設定に向け取得した基礎データを解析・評価する。
- 活動 1-5： 事前通行規制体制（本部、地域事務所）の現状の課題を分析し、適切な体制を構築する。
- 活動 1-6： 選定した通行規制区間において現地通行規制の模擬訓練を実施する。
- 活動 1-7： 地表変位量・降雨量モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアルを作成する。

##### 成果2：「土砂斜面崩壊」防止に適した植生工が選定される。

- 活動 2-1： 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する。
- 活動 2-2： 既往斜面における植生調査・評価、課題を整理する。
- 活動 2-3： ブータンにおける土砂斜面崩壊防止に適した植生工を検討する。
- 活動 2-4： モデル斜面において植生工の試験施工を実施する。
- 活動 2-5： 植生に関する設計・施工管理要領と標準単価表を作成する。

##### 成果3：「土砂斜面崩壊」「岩盤斜面崩壊」に対する標準切土のり面勾配が改訂される。

- 活動 3-1： 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する。
- 活動 3-2： 現地踏査等により地質性状と斜面安定度を評価する。
- 活動 3-3： 岩質・地質分類マニュアルを作成する。
- 活動 3-4： 地質性状ごとの標準切土のり面勾配を検討する。
- 活動 3-5： ブータン標準切土のり面勾配の設計・施工管理要領と標準単価表を作成する。

活動 3-6： 作成した設計・施工管理要領に基づいて施工監理を行う。

**成果4：「岩盤斜面崩壊（落石）」に対して適した対策工法の実施できるようになる。**

活動 4-1： 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する。

活動 4-2： 対策工法選定に向けた地形地質調査・解析・評価を行う。

活動 4-3： 対象路線・斜面に対して適切な対策工法を選定する。

活動 4-4： 選定した対策工の計画・設計を行う。

活動 4-5： 選定した対策工を施工する。

活動 4-6： 選定した対策工事に係る安全管理活動を実施する。

活動 4-7： 選定した対策工の設計・施工管理要領と標準単価表を作成する。

活動 4-8： 斜面崩壊対策ハンドブックを作成する。

**成果5：「土石流」に対する適正な対策工が導入される。**

活動 5-1： 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する。

活動 5-2： 土石流溪流の地形地質を踏査・評価する。

活動 5-3： 道路の排水系統に関する情報を収集・分析する。

活動 5-4： 排水工・排水施設（例：縦排水工、横断排水工、表面排水工、じゃかご工など）の計画・設計を行う。

活動 5-5： 排水工・排水施設を施工する。

活動 5-6： 排水工・排水施設工事に係る安全管理活動を実施する。

活動 5-7： 排水工・排水施設の設計・施工管理要領と標準単価表を作成する。

**成果6：道路斜面災害情報および通行規制に関する情報システムが改良される。**

活動 6-1： GIS 基礎研修を実施する。

活動 6-2： DoST の GIS データベースの現状、地域事務所との情報共有体制を把握し、課題を整理し、改良する

活動 6-3： DoST 地域事務所における道路情報※取得体制を改良する。

活動 6-4： DoST 本部における GIS データベースへの道路情報入力・管理体制を改良する。

活動 6-5： GIS データベースを用いた道路情報共有体制を改良する。

活動 6-6： GIS データベースを用いた道路情報システムに係るマニュアルを作成する。

## 1.3 業務の範囲

### (1) 対象地域

ブータン全土 / ロベサおよびトンサ地域事務所が管轄する国道（全長約 600km）※

※モデル事業（試験計測・試験施工）箇所を選定することとして、ロベサおよびトンサ地域事務所をモデル地域事務所とした。

### (2) 関係官庁・機関

本プロジェクトの中心的な C/P は DoST 維持管理課、設計課、建設課、橋梁課と全 9 箇所の地域事務所技術者となる。地域事務所の中ではロベサ、トンサの 2 箇所をモデル地域事務所とした。

直接裨益者：DoST

間接裨益者：ブータン国民

### (3) 成果品

以下に示す報告書等ならびに技術協力作成資料を作成した。

表 1.3-1 作成する調査報告書

成果品	提出時期	提出部数	記載事項・備考
業務計画書	契約締結後 10日以内	和文2部	・業務の概要 ・業務の実施方針 ・受注者の業務実施体制
Work Plan (WP)	2019年1月	英文3部	・序論(既往案件の経緯と成果、本件業務の実施背景・経緯、本件業務の目的、本件業務の範囲) ・実施方針/ 実施計画/ 実施方法/ 実施体制/ 要員計画 ・その他(現地調査に必要な資機材、先方実施機関便宜供与負担事項)
Monitoring Sheet Ver.1 - 9 (MS)	2019年2月, 8月 2020年2月, 9月 2022年4月, 10月 2023年4月, 10月 2024年6月	英文3部	・活動報告 ・成果発現状況 ・解決すべき実施上の課題・懸案事項 ・プロジェクトの進捗および成果に正または負の影響を及ぼす外部要素
業務進捗報告書	2020年12月 2022年12月 2023年12月	和文2部	・業務の進捗報告
事業完了報告書	2024年7月	英文17部 和文要約7部 英文CD-R 5枚 和文CD-R 5枚	・案件概要 ・案件実績 ・実績のレビュー ・上位目標の達成 ・その他懸案事項
業務実施報告書	2024年7月	和文3部	・事業完了報告書の概要 ・活動内容(調査) ・活動内容(技術移転) ・業務実施運営上の課題 ・工夫・教訓 ・案件実施スケジュール ・提案した業務実施計画の具体化に向けての提案

(出典:JET)

表 1.3-2 技術協力作成資料(マニュアル・ハンドブック等)

技術協力作成資料	活動	活動終了時期	提出時期	提出方法
地表変位量・降雨量モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアル	1-7	2023年12月	2024年6月	事業完了報告書に添付
植生に関する設計・施工管理要領と標準単価表	2-5	2024年6月	2024年6月	事業完了報告書に添付
岩質・地質分類マニュアル	3-3	2023年6月	2023年10月	MSIに添付
標準切土のり面勾配の設計・施工管理要領と標準単価表	3-5	2023年12月	2024年6月	MSIに添付
対策工の設計・施工管理要領と標準単価表	4-7	2024年6月	2024年6月	事業完了報告書に添付
斜面崩壊対策ハンドブック	4-8	2024年6月	2024年6月	事業完了報告書に添付
排水工・排水施設の設計・施工管理要領と標準単価表	5-7	2023年12月	2024年6月	事業完了報告書に添付
GISDBを用いた道路情報システムに係るマニュアル	6-6	2024年6月	2024年6月	MSIに添付

(出典:JET)

## 第2章 業務の実績

業務開始から業務完了時までの要員の投入実績を、以下に示す。

表 2-1 現地作業および国内作業の要員投入実績(2019年1月11日～2024年7月31日)

(担当業務)	氏名	渡航回数	現地日数 (全体計画)	現地人月 (全体計画)	国内日数 (全体計画)	国内人月 (全体計画)
業務主任/斜面モニタリング1	岩崎 智治	6	199 (199)	6.63 (6.63)	30 (30)	1.50 (1.50)
業務主任(後任)	西村 智博	2	74 (74)	2.47 (2.47)	14.2 (14.2)	0.71 (0.71)
斜面モニタリング1(後任)	戸沢 正徳	2	72 (72)	2.40 (2.40)	4.59 (4.59)	0.23 (0.23)
副業務主任/斜面モニタリング2	桑野 健	3	74 (74)	2.47 (2.47)	30 (30)	1.50 (1.50)
岩盤斜面对策	原 崇	8	203 (203)	6.77 (6.77)	20 (20)	1.00 (1.00)
岩盤斜面对策2	八島 厚	1	7 (7)	0.23 (0.23)	-	-
岩盤斜面对策3	村本 将司	3	62 (62)	2.07 (2.07)	53.67 (53.67)	2.68 (2.68)
植生・景観配慮	廣田 清治	9	304 (304)	10.13 (10.13)	17.33 (17.33)	0.87 (0.87)
地質調査・解析	大橋 憲悟	8	285 (285)	9.50 (9.50)	20 (20)	1.00 (1.00)
岩盤調査・解析	相澤 政明	5	165 (165)	5.50 (5.50)	-	-
土砂斜面对策	廣瀬 末雄	10	300 (300)	10.00 (10.00)	-	-
観測システム1	向中野 勇一	3	84 (84)	2.80 (2.80)	6 (6)	0.30 (0.30)
観測システム1(後任)	陶 尚寧	1	11 (11)	0.37 (0.37)	-	-
土石流対策	西村 智博	10	284 (284)	9.47 (9.47)	6 (6)	0.30 (0.30)
積算	杉原 千鶴	9	235 (235)	7.83 (7.83)	1.33 (1.33)	0.07 (0.07)
施工指導	田中 雅英	3	87 (87)	2.90 (2.90)	-	-
工事契約管理/施工監理	菅沼 泰久	4	150 (150)	5.00 (5.00)	25.33 (25.33)	1.27 (1.27)
施工監理2	津川 智明	1	30 (30)	1.00 (1.00)	6 (6)	0.30 (0.30)
施工監理2(後任)	川口 泰儀	2	103 (103)	3.43 (3.43)	-	-
GISデータベース	三上 創史	8	270 (270)	9.00 (9.00)	-	-
道路情報管理体制	斎藤 高	8	276 (276)	9.20 (9.20)	16 (16)	0.80 (0.80)
業務調整プロジェクトモニタリング・評価	長谷川 亮太	5	30 (30)	1.00 (1.00)	4 (4)	0.20 (0.20)
業務調整プロジェクトモニタリング・評価(後任1)	大竹 弘子	4	40 (40)	1.33 (1.33)	-	-
業務調整プロジェクトモニタリング・評価(後任2)	鶴澤 光佑	0	0 (0)	0.00 (0.00)	-	-
業務調整2プロジェクトモニタリング・評価2	中村 美都子	1	20 (20)	0.67 (0.67)	-	-
計		116	3365 (3365)	112.17 (112.17)	254.45 (254.45)	12.73 (12.73)

(出典: JET)

## 第3章 案件の活動実績

本件業務は、ブータンにおいて、事前通行規制条件の明確化、土砂・岩盤斜面崩壊および土石流対策の能力開発、道路災害および通行規制に関する情報システムの改善を行うことにより、DoST の道路斜面对策に係る能力強化を図り、もって道路斜面の適切な開発・維持管理に寄与するものである。

### 3.1 全体に係る活動

#### (1) 業務計画書・ワークプランの作成

渡航前の国内作業として、業務計画書およびワークプラン（以下、WP）（案）を英文にて作成した。それぞれの資料に本プロジェクトの基本方針、活動内容、実施体制、工程、現地活動における活動計画と手法をとりまとめた。

業務計画書・ワークプランは着手時に提出したほか、業務の進捗および設計の見直しに合わせて、プロジェクト完了までに5回の見直し・変更が行われた。

#### (2) Monitoring Sheet の作成

Monitoring Sheet（以下、MS）は、C/P と専門家が協働で作成し、Joint Coordinating Committee（合同調整委員会、以下、JCC）において内容確認および承認がなされる。MS には、指標に関するデータ収集状況、活動進捗状況、成果発現状況、課題・懸念事項、影響を及ぼす外部要素等が記載される。

MS I & II の初版に当たる‘ver. 1’は2019年1月に作成され、以降はC/Pの主体的な関与のもと、JCCの開催に合わせて概ね6ヵ月ごとに作成された。

JCCは計9回開催され、MSもver.9まで作成された。

#### (3) PDM の指標設定

PDM に記載されている指標の確定および未設定項目の具体的な数値について、JICA と協議した後にC/Pと協議を行い、2019年8月に決定された。2022年5月に決まった1年半の工期延長に伴い、活動の期限が見直された。

表 3.1-1 設定された PDM の指標一覧表(太字は業務開始後に設定された指標および期限)

目標および成果	指標
上位目標: ブータンにおける道路斜面がプロジェクトで改善された対策を用いて適切に開発・維持管理される	2 箇所の対象地域事務所 (Lobesa、Tronsa 地域事務所) の管轄内で <b>4 箇所以上</b> のプロジェクトで導入された技術を使って対策 (対策工、通行規制) ができる。
	残り 7 箇所の地域事務所全てで、プロジェクトで改善/導入した技術が <b>7 箇所以上</b> で実施されている (対策工、通行規制などのうちどれか)
プロジェクト目標: 道路斜面対策にかかる DoST の能力が向上する	プロジェクトで改善/導入した対策工を活用した斜面対策工事が <b>DoST 主体</b> で実施される ( <b>4 件/サイト以上</b> )
	DoST エンジニアの <b>70%</b> がマニュアルに沿って通行規制ができるようになる
	プロジェクトで実施した対策のための予算が <b>DoST の年間予算</b> に組み込まれる
成果 1: 事前通行規制の条件が明確になる	<b>(2022 年 12 月までに)</b> 通行規制区間が選定される
	通行規制雨量値が設定される <b>(2023 年 12 月までに)</b> 変位・降雨量モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアルが策定され、DoST (MoIT) により承認される
成果 2: 「土砂斜面崩壊」防止に適した植生工が選定される	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が適切な植生を選定、施工管理できるようになる
	<b>(2024 年 6 月までに)</b> 植生に関する設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST (MoIT) により承認される
成果 3: 「土砂斜面崩壊」「岩盤斜面崩壊」に対する標準切土のり面勾配が改訂される	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が地質性状ごとに適切なり面勾配を選定、施工監理できるようになる
	<b>(2023 年 12 月までに)</b> 標準切土のり面勾配に対する設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST (MoIT) により承認される
成果 4: 「岩盤斜面崩壊 (落石)」に対して適した対策工法が実施できるようになる	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が「岩盤斜面崩壊 (落石)」に対する適した対策工法が選定できるようになる
	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上がプロジェクトで導入した対策工を理解し、施工できるようになる
	<b>(2024 年 6 月までに)</b> 岩盤斜面崩壊 (落石) の対策設計・施工管理要領と標準単価表、およびハンドブックが策定され、DoST (MoIT) により承認される
成果 5: 「土石流」に対する適正な対策工が導入される	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が適正な排水工・排水施設の調査、設計、施工ができるようになる
	<b>(2023 年 12 月までに)</b> 排水工・排水施設の設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST (MoIT) により承認される
成果 6: 道路斜面災害情報および通行規制に関する情報システムが改善される	既存の GISDB を含む道路情報システムが改善される
	維持管理、通行規制に必要なデータが定期的に地域事務所を通じて取得できるようになる
	<b>(2024 年 6 月まで)</b> 道路情報管理マニュアルが策定され、DoST により承認される

(出典: JET)

#### (4) JCC

JCC は、2019 年 1 月 31 日に第 1 回目を開催し、その後、2024 年 5 月までの間に、COVID-19 による渡航中止期間を除いて概ね 6 か月ごとに計 9 回開催された。JCC では、プロジェクト全体および各成果の進捗状況と MS を確認するとともに、今後の活動計画やプロジェクト進行上の懸念事項、それに対する対応策などが議論された。本業務の工期延長を合意した第 5 回 JCC では、当初全 8 回の開催から全 9 回に変更することが承認された。

(5) 機材調達

本プロジェクトの実施に必要となる資機材を調達し、C/P に供与した。調達した資機材のうち、本邦調達したものおよび現地調達したものを表に整理した。

表 3.1-2 本邦調達した資機材

品名	数量	購入理由
土壌硬度計	3	成果 2: 土の緻密度を測定
検土杖(土壌サンプラー)	3	成果 2: 土壌を採取し、表土の状態を調査
pH 計	3	成果 2: 土壌の pH 値を計測
電気伝導率計	3	成果 2: 土壌の電気伝導度を計測し塩分量等を評価
簡易貫入試験機	3	成果 3: 土砂斜面・岩盤の Nd 値を測定し、地層の締まり具合を評価
ハンディ弾性波速度計	3	成果 3/成果 4: 岩盤の P 波速度を測定し、岩盤の風化程度を定量的評価
クリノメーター	3	成果 3: 切土のり面の地質性状、地質構造等を調査
レーザー測距儀	3	成果 3/成果 5: 切土のり面の勾配・高さ、溪流の勾配、地形条件等を計測
シュミット式ハンマー	3	成果 4: 岩石の強度測定し、岩盤分類を評価
ドライレコーダー	7	成果 6: 現地位置座標および現地写真・動画データの取得
雨量計	3	成果 1: 斜面モニタリングにて雨量を測定
地表面傾斜センサ	30	成果 1: 斜面モニタリングにて斜面の変動および崩壊のタイミングを検知
計測機器親機(携帯通信局)	3	成果 1: 斜面モニタリングのデータを集約・本部サーバへ送信
警報・データベースサーバ	1	成果 1: 斜面モニタリングデータを解析し、警報を発令
ドローン本体	2	成果 6: 道路および道路斜面の情報の取得、測量
フライトシミュレーターライセンス	2	成果 6: ドローンの手動飛行の訓練
オルソ画像および地形図作成・解析用ソフトウェア	1	成果 6: ドローンで撮影した画像の解析
水平器・スラントレベル	20	成果 3: 所定の切土勾配を用いたのり面工事のため
4G モデム	3	成果 1: 斜面モニタリングのデータを集約・本部サーバへ4G で送信

(出典: JET)

表 3.1-3 現地調達した資機材

品名	数量	購入理由
ヘルメット	60	専門家・C/P が現場作業時に使用するため
安全ベスト	60	専門家・C/P が現場作業時に使用するため
複合機	1	プロジェクトに必要な資料を印刷・コピー・スキャンするため
小型プリンター	2	ブータン国内現場出張時に資料を印刷するため。Lobesa 地域事務所、Trongsa 地域事務所にそれぞれ 1 台導入
ノートパソコン	2	現地傭人がプロジェクト活動で使用するため
オフィスソフト等(Word、Excel 等)	2	上記のノートパソコン 2 台にインストールし、資料作成やデータ解析に使用する。
プロジェクター	1	会議やセミナーで使用するため
解析用デスクトップ PC	1	成果 6: オルソ画像および地形図作成・解析用ソフトウェアの運用のため。

(出典: JET)

(6) 現地再委託

本プロジェクトでは、斜面モニタリング機器の設置、第1回から第3回植生工試験施工、BRSアプリの開発に係る業務が現地再委託にて実施された。以下に完了した現地再委託業務の実績を示す。

表 3.1-4 現地再委託業務の実績

再委託項目	業務内容	工期	選定方法	受注業者
斜面モニタリング機器設置	成果1：斜面モニタリングに使用する斜面監視センサ、雨量計、現地通信基地局の、ブータン国 Razhau 地区、Dzongkalom 地区、Reotala 地区への設置業務	2019/3/28 ～ 2019/5/20	見積合わせ	M/S Trophel Construction 代表：Mr. Nimala Trophel
第1回植生工試験施工	成果2：ブータン国 Ghantangkha 地区における植生工の試験施工	2020/1/29 ～ 2020/6/15	見積合わせ	Nor-Lha Construction 代表：Sonam Tashi
第2回植生工試験施工	成果2：ブータン国 Trongsa 地区における植生工の施工	2022/12/16 ～ 2023/4/30	見積合わせ	M/s Sonam Construction 代表：Sangay Tenzin
BRS アプリ開発業務	成果6：BRS アプリ開発業務	2023/12/29 ～ 2024/5/31	見積合わせ	NGN TECHNOLOGIES PRIVATE LIMITED 代表:Dawa Sonam
第3回植生工試験施工	成果2：ブータン国 Gopini 地区における植生工の施工	2024/1/16 ～ 2024/4/15	見積合わせ	Norbu Yeabar Construction 代表者：Sonam Yezer

(出典:JET)

## 3.2 成果1：事前通行規制の条件が明確になる

### 活動 1-1 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する

道路防災点検結果および現地確認およびC/Pとの協議を通じて、事前通行規制に最適な対象路線および対象斜面をモデル地域事務所（ロベサとトンサ）の管内で選定した。

表 3.2-1 対象路線・斜面の選定上の留意点

選定上の留意点	モニタリング対象斜面
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 先行案件で実施された道路防災点検で抽出された要対策斜面</li> <li>➢ C/Pの要望(レオタラ、ボックスカット地すべり等)</li> <li>➢ 実際の被害状況、斜面崩壊・道路ブロック多発区間、長大斜面</li> <li>➢ 豪雨時に崩壊する典型的な斜面災害(殆どは土砂斜面崩壊)</li> <li>➢ 気象局や大学が設置・計画しているモニタリングとの連携</li> <li>➢ 携帯電話通信を使ったリアルタイム自動計測が可能な地域</li> </ul>	

(出典:JET)

第1段階：先行案件マスタープラン調査で検出された対策優先度の高い16斜面から、成果1のモニタリング対象斜面として適切な斜面を「選定候補」として抽出する。

第2段階：第1段階で選定候補として抽出した2斜面と、現地調査によって今回新たに危険度ランク「Rank1」と判定された斜面から、モニタリング「対象斜面」を選定する。

第3段階：選定されたモニタリング対象斜面を含む地域に、事前通行規制の「対象区間」を設定する。

#### (1) 第1段階

先行案件マスタープラン調査で検出された対策優先度の高い16斜面が、成果1のモニタリング対象斜面として適切かどうかを評価した。

表 3.2-2 第1段階; 先行プロジェクトで抽出された16斜面の検討結果

道路No.	監理事務所	管理No.	災害種別	評価項目		結果
				災害種別:SF	斜面上に多量の土砂あり	
1	Lobesa	WPP0121170	DF(土石流)			対象外
1	Lobesa	WPP0120980	RF(岩盤斜面崩壊)			対象外
1	Lobesa	WPP0120270	SF(土砂斜面崩壊)	✓	✓	候補斜面
1	Trongsa	TPP0122160	RF(岩盤斜面崩壊)	道路拡幅工事によって危険度ランクがRank1ではなくなった		対象外
1	Trongsa	TPP0121700	LS(地すべり)			対象外
1	Trongsa	TPP0120850	SF(土砂斜面崩壊)			対象外
1	Trongsa	TPP0120440	DF(土石流)			対象外
1	Trongsa	TPP0120400	SF(土砂斜面崩壊)	✓		対象外
1	Trongsa	TPP0120370	SF(土砂斜面崩壊)	✓		対象外
1	Trongsa	TPP0120180	RF(岩盤斜面崩壊)	道路拡幅工事によって危険度ランクがRank1ではなくなった		対象外
1	Trongsa	TPP0120130	DF(土石流)			対象外
4	Trongsa	TRP0450490	DF(土石流)			対象外
4	Trongsa	TRP0450470	DF(土石流)			対象外
4	Trongsa	TRP0450290	DF(土石流)			対象外
4	Trongsa	TRP0450070	LS(地すべり)			対象外
4	Trongsa	TRP0420160	SF(土砂斜面崩壊)	✓	✓	候補斜面

(出典:JET)

(2) 第2段階

第2段階の検討の結果、以下に示す3斜面が成果1のモニタリング斜面に選定された。

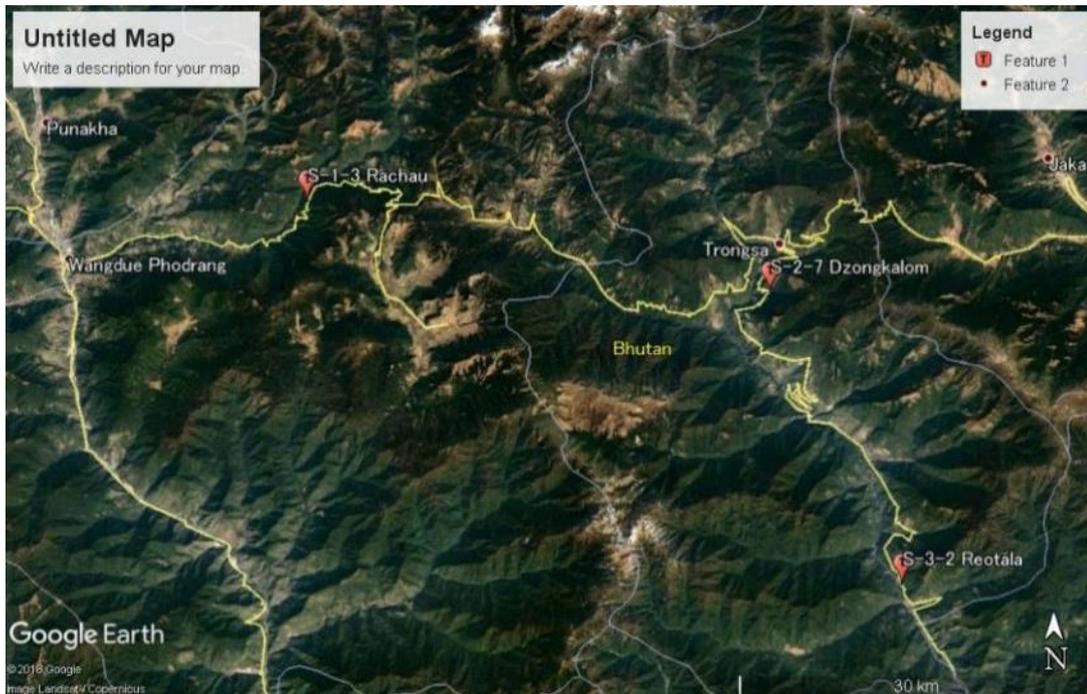
表 3.2-3 成果1のモニタリング斜面に選定された斜面(3斜面)

道路 No.	セクション	管理番号	仮番号	地名	管理事務所	GPS座標	
						緯度	経度
1	S-1	WPP0120610	S-1-3	Razhau	ロベサ	N 27 31 56.4	E 90 6 13.5
5	S-2	-	S-2-7	Dzongkalom*	トンサ	N 27 27 50.2	E 90 29 59.5
5	S-3	TRP0420160	S-3-2	Reotala	トンサ	N 27 14 22	E 90 36 45.7

(出典:JET)

\* 道路拡幅工事によって、危険度リスクランクが「Rank 1」になった斜面

第1段階および第2段階で選定されたモニタリング対象斜面の位置を図 3.2-1 に示す。



(出典:JET)

図 3.2-1 モニタリング対象斜面の位置

(3) 第3段階

事前通行規制の対象区間は、現地確認およびC/Pとの協議を通じて、対象区間選定の要件について検討した上で、モデル地域事務所(ロベサとトンサ)の管内で1箇所ずつ選定した。

表 3.2-4 事前通行規制区間の位置

国道 No.	モニタリング対象斜面	RO	対象区間・始点		対象区間・終点	
			緯度	経度	緯度	経度
1	Razhau	Lobesa	27°31'53.78" N	90° 6'13.06" E	27°32'0.36"N	90° 6'16.44"E
5	Dzongkalom	Trongsa	27°27'49.92"N	90°29'59.64"E	27°27'38.59"N	90°29'45.51"E

(出典:JET)

【ロベサ事務所管内の事前通行規制区間】



(出典:JET)

図 3.2-2 事前通行規制区間： Razhau, Lobesa-RO

【トンサ事務所管内の事前通行規制区間】



(出典:JET)

図 3.2-3 事前通行規制区間： Dzongkalom, Trongsa

## 活動 1-2 変位・降雨量モニタリング計画を策定する

ブータンの事前通行規制にコスト・質ともに最適な機器を検討・選定して、最適なモニタリング計画を策定する。

### (1) 変位・降雨量モニタリング機器の選定

変位・降雨量モニタリング機器に求められる仕様および調達機材と数量は以下のとおりである。

- 1) 計測機器の各種表示や説明書等が英語に対応していること
- 2) 地表面傾斜センサの分解能：0.005° 以上、同・精度：±0.05° 以上（0.1° 単位で基準値を設定する必要があるため）
- 3) 現地モバイル通信で計測データを自動で警報・データベースに転送できること
- 4) サーバをブータンにて設置・稼働が可能なこと（日本国内の Web サーバの利用は不可）
- 5) サーバは、データベース機能と警報機能（メールや SMS 等）を有すること
- 6) サーバは、現地顧客に応じた他の機器・システムの連携・Web 機能に係るカスタマイズを実施できること
- 7) 傾斜センサの基準値を設定できる知見・基礎データを有すること
- 8) ブータンあるいはインド等周辺国へのセンサ・サーバの導入実績を有すること

表 3.2-5 調達した機材と数量

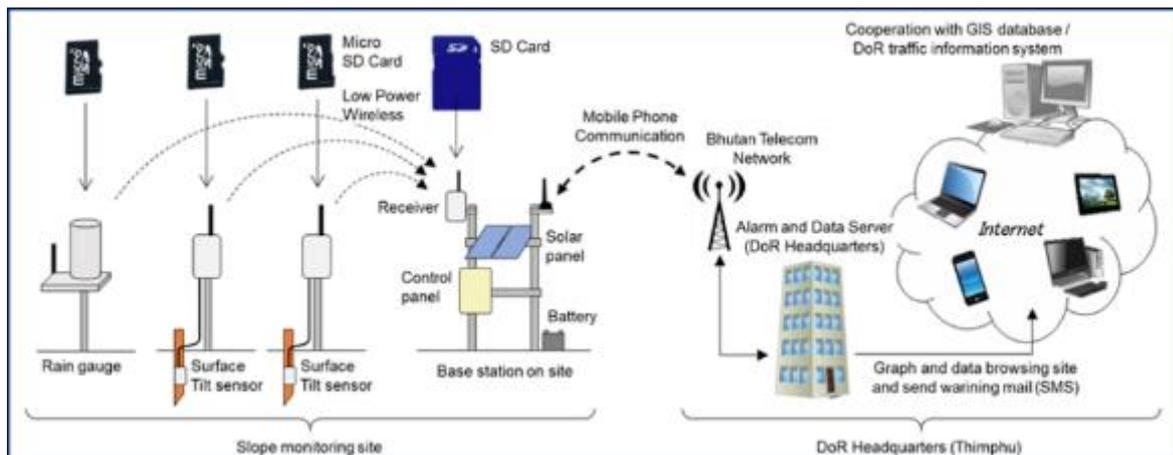
機材名	用途	数量
雨量計	雨量を計測する	3
地表面傾斜センサ	道路斜面の地表面傾斜を計測する	30
計測機器親機(携帯通信局)	雨量計・地表面傾斜センサのデータを携帯電話通信でサーバ転送する	3
警報・データベースサーバ	雨量・地表面傾斜データの一元管理・警報発令のため DoST 本部に設置	1

(出典:JET)

### (2) モニタリングシステムの構造

本プロジェクトで導入したモニタリングシステムの構成を以下に示す。3 箇所のモニタリング対象斜面に設置された地表面傾斜センサの計測データは、10 分ごとに小電力無線でモニタリング対象斜面脇に設置した基地局に送信される。

基地局は雨量計と計測機器親機（携帯通信局）からなる。基地局は、10 分ごとに地表面傾斜センサからのデータを受け取り、雨量計の観測データとともに、携帯電話回線を通じて首都ティンプーの DoST 本部に設置した警報・データベースに自動でデータを送信する。警報・データベースサーバは、あらかじめ設定された計測閾値を超える雨量や地表面傾斜角が観測された際に、関係者の携帯電話やパソコンに警報メールおよび SMS を送信することができる。



(出典:JET)

図 3.2-4 監視システム構成

### (3) 変位・降雨量モニタリング機器の配置計画

モニタリング機器の配置は、現地踏査を実施して計画した。地表面傾斜センサは、降雨に関連し発生する表層崩壊を確実にとらえることができるように、表層崩壊の発生が予測される箇所に設置した。雨量計と計測機器親機（携帯通信局）からなる基地局は、斜面崩壊の影響範囲の外の安定した地盤に設置した。基地局の配置計画に際しては、斜面に設置した地表面傾斜センサからの無線電波が十分に届く距離で、かつサーバへのデータ送信に使用する携帯電話の電波の受信状況ができるだけ良好な位置を選定した。

#### 活動 1-3 変位・降雨量モニタリングによる基礎データを取得する

変位・降雨量モニタリング機器は初年度の雨季（2019年6月～9月）の前の2019年5月までに設置し、初年度雨季の期間に降雨量および地表面傾斜センサのデータを取得した。なお、設置については現地再委託にて対応した。

変位・降雨量モニタリングによる基礎データは、変位・降雨量モニタリング機器が設置された2019年5月以降自動的に取得され、DoST本部に設置したサーバに保存されている。

表 3.2-6 設置に係る項目数量表

項目	単位	数量	備考
雨量計および計測機器親機の設置	台	3	計測機器親機には、ソーラーパネル、ソーラーバッテリーコントローラ、バッテリー、通信モデム、モデム用アンテナ、およびこれらの機器を設置する土台を含む。
雨量計および計測機器親機盗難防止用フェンスの設置	箇所	3	上面を含め全面をフェンスで囲む
地表面変位計の設置	台	30	盗難防止用の木箱を含む
盗難防止を呼びかける看板の設置	基	6	各斜面の両脇にそれぞれ1基ずつ設置

(出典:JET)

なお、2024年4月29日現在、各モニタリング機器については、2020年の斜面崩落による傾斜計の流出（レオタラ）、携帯通信網の規格変更（3Gから4Gへ）、保守のしやすさ（各地方事務所からの距離）を考慮し、ラチャウ観測所（雨量計）は、ノブディン（Nubding）にあるDoST事務所敷地内に、レオタラ観測所は、パンズール村（Pangzur）にあるDoST事務所敷地内に移設した。



（出典:JET）

写真 3.2-1 観測所の移設（2024年4月15～17日、ラチャウ、レオタラの移設とテスト）

#### 活動 1-4 通行規制区間および通行規制基準雨量値の設定に向け基礎データを解析・評価する

3箇所（Razhau, Dzongkalom, Reotala）の計測現場において、2019年の雨季に地表面傾斜センサで捕捉された斜面崩壊について、地表面傾斜センサと雨量計のモニタリングデータを検討した。2019年の雨季には、以下に示す13回の斜面崩壊が傾斜センサによって観測された。

表 3.2-7 2019年の雨季に地表面傾斜センサで補足された斜面崩壊の発生時刻

計測現場名	地表面傾斜センサ No.	斜面崩壊の発生時刻
Razhau	4	2019/7/24 14:10
Dzongkalom	17	2019/7/11 13:00
	18	2019/7/11 14:10
Reotala	21	2019/7/8 11:10
	22	2019/5/29 08:40
	23	2019/5/28 19:20
	24	2019/5/29 05:30
	25	2019/7/8 07:00
	29	2019/5/4 17:40
	30	2019/5/4 09:20
	31	2019/7/8 06:20
	32	2019/5/28 01:20
	33	2019/6/26 11:00

（出典:JET）

これらの斜面崩壊の内、明らかに降雨との関連が高いと思われる事例について、解析・評価を行った。上記の解析・評価結果が考慮しつつ、斜面崩壊時の計測データの数が少ないため、引続き計測データの蓄積を行い、事前通行規制を行う際の閾値の決定を検討していくこととした。



計によるデータの相互比較により閾値を求めた。Roetala の閾値については、参照するデータ数が少ないことから、現場での事前通行規制には使用せず、将来の観測値の蓄積により閾値を決定する精度を高めることとした。

表 3.2-9 各区間の閾値

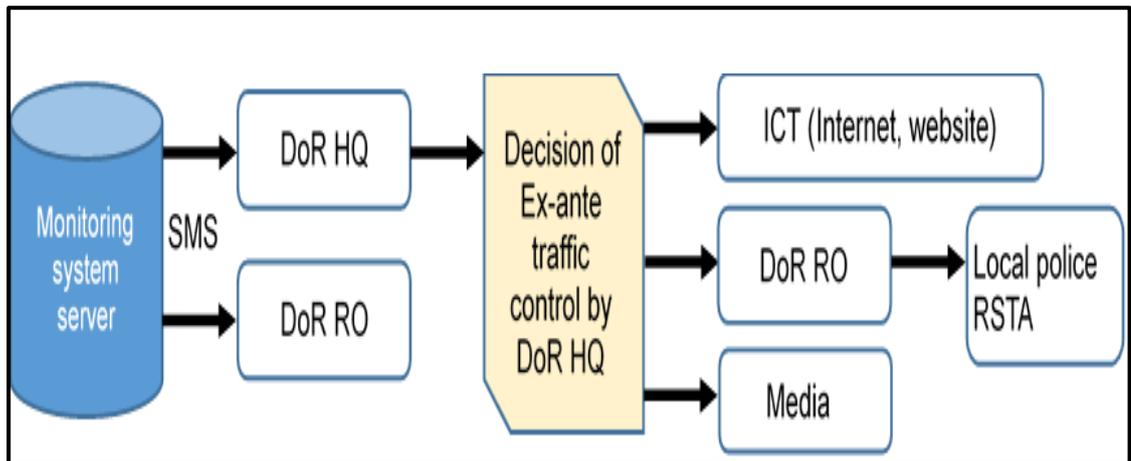
対象区間名			Razhau	Dzonkalom	Reutala
規制を準備する閾値: Yellow	A=0.8°C	連続 [mm]	62	76	94
規制を始める閾値: Red	B=0.9°C	連続 [mm]	70	85	106
崩壊と相関する閾値	C	連続 [mm]	78	95	118

(出典:JET)

**活動 1-5 事前通行規制体制（本部、地域事務所）の現状の課題を分析し、適切な体制を構築する**

雨量閾値による事前通行規制体制を構築することを提案した。既存の道路斜面災害発生時の体制を参考に、事前通行規制体制のイメージを下図に示す。この提案により、以下の効果が得られる。

1. 実際に道路斜面災害の発生情報が、道路管理者に一元的に集約された後、道路管理者が規制を実施するか否かの判断を介して、道路利用者側に伝わるという情報流通の一貫性が確立される。そのため、道路利用者側からの視点では、規制区間に入る前に規制の情報を知ることができ、移動することの意思決定と決定後の行動に効率性が与えられる（行動変容）。
2. 道路管理者側では、斜面崩壊の予測となる情報（閾値）をもとに、事前雨量規制区間における道路通行状態を考えながら規制実施・解除の意思決定を主体的に行うことになる。したがって、道路管理者側は、規制区間を含む国道の通行サービスを社会に提供する主体として、道路通行に対して規制措置を実施することに対する説明責任が伴うことで、道路土工構造物や排水施設の保全（斜面の保全）に意識が高まることが期待される。



(出典:JET)

図 3.2-5 事前通行規制体制のイメージ

活動 1-6 選定した通行規制区間において現地通行規制の模擬訓練を実施する

上記のように雨量閾値を設定した上で実施体制を組み、2023年6月6日に Dzonkalom の規制区間で Trongsa RO の職員を対象として、2023年6月7日には Razhau の規制区間で Lobesa RO の職員を対象として、事前雨量規制の模擬訓練を実施した。さらに、マニュアルに基づく模擬訓練を2024年4月29～30日に、Dzonkalom で実施した。



(出典:JET)

写真 3.2-2 Dzonkalom 区間での模擬訓練の様子 (2023年6月6日、報告、現地規制実施、結果)



(出典:JET)

写真 3.2-3 Razhau 区間での模擬訓練の様子 (2023年6月7日、現場規制実施、結果)



(出典:JET)

写真 3.2-4 Dzonkalom 区間での模擬訓練の様子 (2024年4月30日)

## 活動 1-7 変位・降雨量モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアルを作成する

変位・降雨量モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアルの目次を以下に示す。このマニュアルは、2023年4月～5月に開催された事前通行規制訓練を通じて改良・更新され、2024年4月16日に開催されたDCCにおけるコメントを受けて2024年4月30日に改訂されたもので、これが公式版のVer.1として公開された。

### **Guideline for “Ex-ante traffic control”**

#### **Contents**

#### **1. Monitoring for Ex-ante traffic control**

- 1.1. Methods of slope monitoring for Ex-ante traffic control
  - 1.1.1. Monitoring of rainfall
  - 1.1.2. Monitoring of slope disaster
- 1.2. A case in Bhutan: slope monitoring for Ex-ante traffic control
  - 1.2.1. Slope monitoring equipment
  - 1.2.2. Bhutan Road Slope Warning System (RSWS)
  - 1.2.3. Manual for the slope monitoring system
- 1.3. A case in Bhutan: Slope disaster recording system

#### **2. Setting the rainfall threshold for Ex-ante traffic control**

- 2.1. Target slope disaster type for Ex-ante traffic control
- 2.2. Data collection
  - 2.2.1. Slope disaster records
  - 2.2.2. Rainfall data
- 2.3. Setting the rainfall threshold
  - 2.3.1. Type of rainfall index for threshold
  - 2.3.2. Setting the rainfall threshold

#### **3. Procedure for Ex-ante traffic in Bhutan**

- 3.1. Total procedures of implementing the Ex-ante traffic control
- 3.2. Total procedures of lifting the Ex-ante traffic control
- 3.3. Procedures taken by the DoST HQ
- 3.4. Procedures taken by the DoST regional office (RO)
- 3.5. Procedures taken by the ICT
- 3.6. Procedures taken by the Local Police
- 3.7. Procedures taken by RSTA

#### **Appendix**

- Appendix 1: Slope Monitoring System Manual
- Appendix 2: Bhutan Road Slope Warning System (RSWS) Manual

### 3.3 成果2：「土砂斜面崩壊」防止に適した植生工の選定

#### 活動 2-1 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する

植生工の試験施工斜面（パイロットサイトとも呼ぶ）として、ロベサおよびトンサ地方事務所管内で各1箇所、そしてロベサおよびトンサ地方事務所管内と気候条件の大きく異なる南部の地方事務所管内で1箇所の計3か所を選定した。

表 3.3-1 試験施工サイトの選定結果

試験施工斜面	RO	斜面名	斜面方向	標高	備考
第1回	Lobesa	Ganhangkha	南	1193m	小規模斜面で南向き、事務所から近く第1回目の試験施工斜面として最適
第2回	Trongsa	Yangkhil	東	2060m	斜面上方の圃場の排水が不十分で豪雨時に表層が崩れやすい。今後の斜面浸食や斜面崩壊の発生により道路交通に大きな影響を与える可能性がある。 斜面成型および排水工と合わせて植生工を適用することで、斜面の安全性を確保できることから、成果2の試験施工に適当である。
第3回	Phuentsholing	Gopini	北	1475m	表層は岩層でおおわれるが、ブータン国内に同様な斜面が多くみられ、今回の試験施工で順調にいけば応用が効く植生工として期待できる。

(出典:JET)

#### 活動 2-2 既往斜面における植生調査・評価、課題を整理する

地域生態系への配慮から、植生工ではその地域に自生する植物や農耕などに使用されている植物および表土を使用することが望ましい。ここでは、植生工の設計に先立って、植生工施工に必要な材料（土壌、種子、シート等）等を調査し、課題を整理した。

表 3.3-2 道路斜面の植生工を実施する上での課題

想定される課題	<b>緑化材料【種子】</b>	: 入手可能な種子の内、その種子が道路斜面の植生工に適するかどうかを確認すること。
	<b>緑化材料【客土・肥料】</b>	: 入手可能な肥料が実際に道路斜面の植生工に有効であるかを確認する必要がある。
	<b>造成時のり面の条件</b>	: 適切な植生工の設計を実施するために、土壌硬度計による斜面表面の硬度測定および土壌の pH 計測する必要がある。

(出典:JET)

#### 活動 2-3 ブータンにおける土砂斜面崩壊防止に適した植生工を検討する

##### (1) 種子の選定

活動 2-2 の (1) 緑化材料【種子】で調査したブータンで入手が容易な種子を用いて、3回の試験施工や試験施工に合わせて事前に実施する発芽試験の結果から、ブータンにおける道路斜面の植生工に適した“乾燥に耐える”あるいは“寒冷に耐える”種子を選定した。種子の選定方法および第1回目試験施工現場（ロベサ地方事務所管内）、第2回試験施工現場（トンサ地方事務所管内）および第3回試験施工現場（プンツォリン地方事務所管内）での検討結果を以下に示す。

活動 2-2 の 10 種類の種子から次の 3 種類（Paspalum atratum, Ruzi grass, GM mixed）に絞り込み、これら 3 種類の種子を発芽試験に使用することとした。

表 3.3-3 発芽試験に使用する種子の概要

種子名称	適応標高 [m]	単年/多年	選定理由
Paspalum atratum	<1500	多年草	多年草で適応標高も適合している。また、ブータン国内で植生工として使用された実績があり、DoL が推薦する種類である。
Ruzi grass	500<2000	多年草	多年草で適応標高も適合している。また、ブータン国内で植生工として使用された実績があり、DoL が推薦する種類である。
GM mixed (Italian Ryegrass 30%, Cock's foot ver. Amba 70%)	2000<3000	多年草	多年草だが適応標高は第 1 回試験施工よりもやや高所向きである。しかし、DoL によると第 1 回試験施工周辺も含めブータン国内で最も一般的に使用されている種類である。

(出典:JET)



(出典:JET)

図 3.3-1 発芽試験に選定した種子 (左から Paspalum atratum, Ruzi grass, GM mixed)

これらの種子について、土生厚や育成方法を変えて Lobesa RO にて発芽試験を実施した。

表 3.3-4 発芽試験の観察結果 (2019 年 7 月 24 日)

Paspalum atratum		Ruzi grass		GM mixed	
客土厚 (t)	被覆率 (%)	客土厚 (t)	被覆率 (%)	客土厚 (t)	被覆率 (%)
t=0cm	10	t=0cm	0	t=0cm	3
t=1cm	45	t=1cm	85	t=1cm	60
t=3cm	90	t=3cm	96	t=3cm	85
t=5cm	90	t=5cm	76	t=5cm	69
t=0cm +JS	-	t=0cm +JS	-	t=0cm +JS	-
t=1cm +JS	90	t=1cm +JS	63	t=1cm +JS	26
t=3cm +JS	-	t=3cm +JS	-	t=3cm +JS	-
t=5cm +JS	100	t=5cm +JS	90	t=5cm +JS	30

(出典:JET)

t: thickness, JS: jute sheet

発芽試験の結果から、第 1 回目の試験施工では以下のような緒元を設定した。

- 1) *Paspalum atratum* と *Ruzi gras* の 2 種類の種子を使用する。
- 2) 斜面表面に客土する場合は、客土厚 t=3cm 以上の厚さを確保する。
- 3) 必要に応じてジュートネットで斜面表面を被覆することは可能である

Trongsa RO では、Tall Fescue も加えて発芽試験を実施したところ、標高の違いから順調に発芽・成長したのは Tall Fescue (発芽率: 53%、その後順調に成長) のみであった。そこで、Tall Fescue のみを使用して試験ヤードでの発芽試験を実施した。

試験結果の概要は次のとおりである。

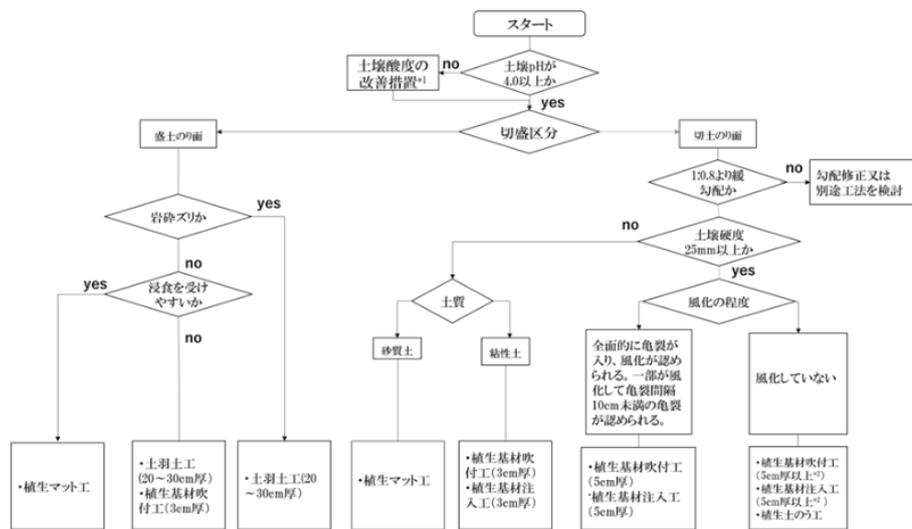
- 1) 選定した種子: Tall Fescue は、ヤード試験でも問題なく発芽・成長した。
- 2) 客土の厚さは、t = 3 cm 以上であることが望ましい。
- 3) ジュートネットの有無にかかわらず発芽したが、ジュートネットが無い方が発芽率が高い。

Phuentsholing RO の Gopini 斜面では、過去2回の実績からブータンで一般的に入手できる *Paspalum atratum* と Ruzi grass の2種類の種子の発芽試験を行った。

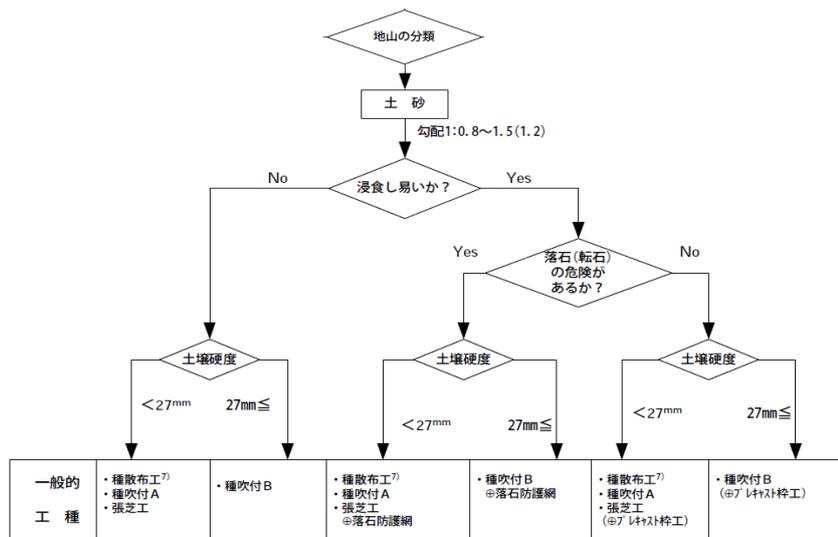
Ruzi grass および *Paspalum* の2種ともに発芽は良好であったが、現地で入手しやすい Ruzi grass の種子を選択し、Gopini サイトで使用する事とした。

(2) 工法の選定

道路切土斜面における植生工の工法選定については、本邦の国土交通省や NEXCO が長年の施工実績に基づいて選定フローを整備している。以下に国土交通省の植生工の選定フローおよび NEXCO の選定フローを示す。



(出典：国土交通省 国土技術政策総合研究所資料第 734 号から)  
 図 3.3-2 日本の国土交通省：道路のり面の植生工種の選定フロー



(出典：NEXCO 設計要領 第1集 土工偏より「土砂」地山の部分を抜粋)  
 図 3.3-3 日本の NEXCO：道路のり面の植生工種の選定フロー

本邦で適用されている工法選定フローは、必ずしもブータンに最適であるとは限らないが、成果2の試験施工に係る工法選定においては本邦の工法選定フローを参考に、現地で容易に入手できる安価な材料を用いた工法を採用した。また、最終的には試験施工を通じてブータンに最適な植生工の選定フローをC/Pとともに作成し、現地調査やセミナーを通じてC/Pに技術移転した。

(3) 切土勾配

切土のり面で土砂災害を未然に防ぐためには、植生工を行う前に適切な勾配を決める必要がある。適切な切土勾配の選定については成果3にて検討している標準切土勾配に従うものとする。

活動 2-4 モデル斜面において植生工の試験施工を実施する

植生工の施工は、植栽および種子散布を乾期の10月～翌4月頃に実施し、その後の雨季(6～9月)に植物が繁茂することを期待する。そのため、第1回目の試験施工は、2020年1月～4月頃に実施した。なお、第2回目、第3回目の施工は、同様の理由からコロナ感染拡大の影響が沈静化した2023年と2024年の1月～4月に実施した。植生工に係る試験施工の実施時期を表に示す。

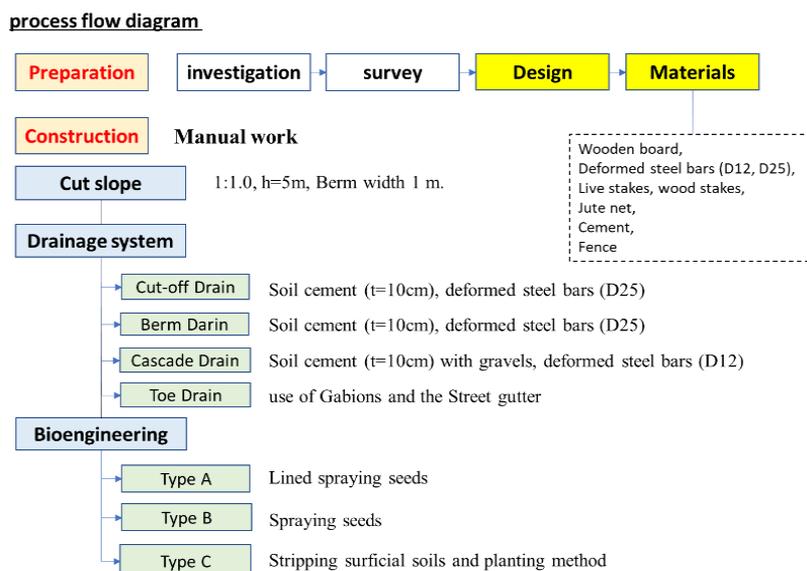
表 3.3-5 植生工に係る試験施工の実施時期

試験施工	実施期間	施工エリア	適用
第1回	2020年1月～4月	Lobesa 地域事務所管内	Veg.001, Gangthangka を選定
第2回	2023年1月～4月	Trongsa 地域事務所管内	T-veg.014, Yangkhil Resort の東隣斜面
第3回	2024年1月～4月	Phuentsholing 地域事務所管内	Samtse の Gopini を選定

(出典:JET)

(1) 第1回目試験施工

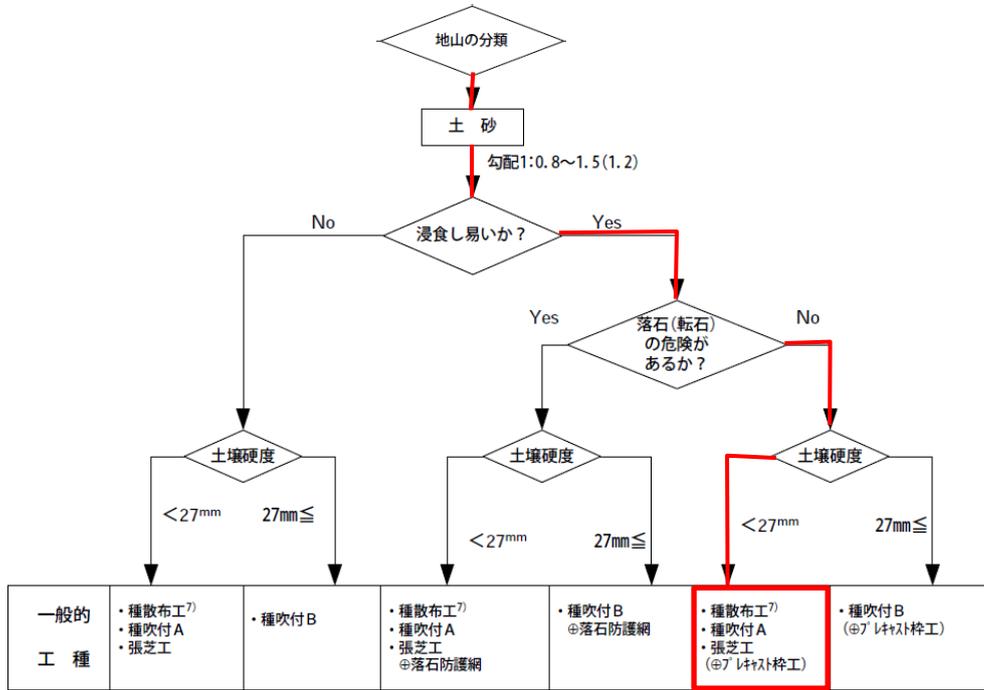
第1回試験施工は、2020年1月～4月にLobesa RO管内のVeg.001, Gangthangkaにて実施した。



(出典:JET)

図 3.3-4 植生工の施工プロセス

NEXCO の植生工種の選定フローを用いると、第 1 回目試験施工現場では種散布工・種吹付・芝張工の実施が適当と判断された。実際の試験施工では、これらの工種を基にブータンにて入手可能な材料と実施可能な施工技術を考慮し、最適な工法を提案した。



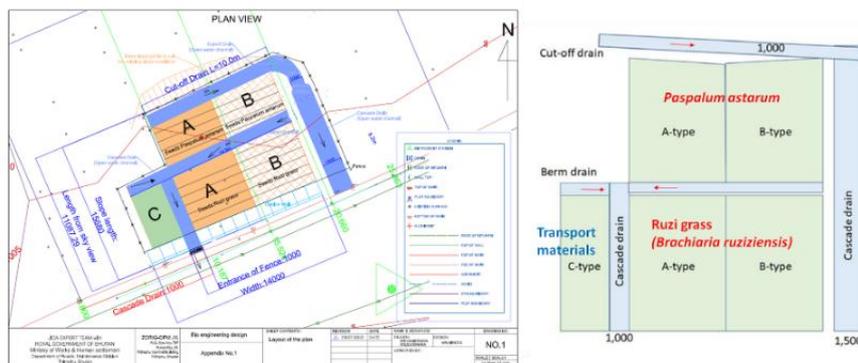
(出典：NEXCO 設計要領 第 1 集 土工編に加筆・修正)

図 3.3-5 NEXCO：道路のり面の植生工種の選定フローを使用した第 1 回目試験施工の工種選定

表 3.3-6 第 1 回目試験施工で実施する 3 タイプの植生工

工種	工法名称	概要	使用する種子	基材
Aタイプ	帯状種子散布工	散布する種子と基材を、斜面に帯状に貼るジュートネットで定着する種子散布工法。	<斜面上段> Paspalum atratum <斜面下段> Ruzi gras <散布量> 1m3 あたり 20g を散布	基材厚さ: 5 cm  現地で採集した表土に肥料 Suphala を 1m3 あたり 25g 混合した。
Bタイプ	全面種子散布工	散布する種子と基材を、斜面全面にジュートネットを貼ることで定着する種子散布工法。		
Cタイプ	張芝工	発芽試験で育成した植生を切り取り、斜面に張り付ける張芝工	Paspalum atratum, Ruzi gras, GM mixed の混合	張芝に含まれる

(出典：JET)



(出典：JET)

図 3.3-6 植生工配置平面図 (左：設計書、右：概念図)

表 3.3-7 第 1 回目試験施工での植生工に係る数量表

項目	単位	数量	備考
資機材搬入・宿泊施設の事前準備	式	1	施工に必要な資機材の搬入・宿泊施設の設営および、交通整理員・斜面監視員の雇用に係る費用。
切土・盛土工	式	1	発生土の処分に係る費用を含む。
排水設備の施工(法肩・小段法面側部縦排水)	式	1	盗難防止用の木箱を含む
フン籠工	m	13	各斜面の両脇にそれぞれ 1 基ずつ設置
動物侵入防止用フェンスの設置	式	1	施工箇所を四方から囲むように設置
植生工 A の施工	式	1	種子・肥料を含んだ土壌を 15 cm幅で水平方向に敷き、ジュートネットで覆う。これを 1m 間隔で行う。
植生工 B の施工	式	1	全面に種子・肥料を含んだ土壌を敷き、ジュートネットで覆う。
植生工 C の施工	式	1	ヤードで発芽した“発芽マット”を移植する。

(出典：JET)

現場施工においては、施工方法を図解した資料を準備するとともに、JET が現地にて直接施工指導を行った。また、COVID-19 の影響で 2020 年 3 月以降は JET による現地指導が実施できなくなったため、施工手順ビデオ教材を作成して施工担当者および DoST 職員の視覚的な理解を即すとともに、定期的に Web (Skype) を利用して日本から遠隔にて技術指導と施工管理を実施した。



(出典：JET)

写真 3.3-1 植生工タイプ別の施工手順を示す Video 教材の一部

2020 年 5 月末に完了した第 1 回試験施工について、試験施工完了後の状況を図に示す。写真は、施工完了の約 3 か月後 (2020 年 9 月 26 日) の斜面の状況である。この時点で植生が最も繁茂しているのは B タイプ：全面種子散布工 (ジュートネット張)、次いで C タイプ：張芝工である。A タイプ：带状種子散布は発芽しているものの、B タイプ下段や C タイプに比べ繁茂の状況は劣っている。



(出典：JET)

図 3.3-7 計画全景 (左)、植生工施工直後の斜面 (右) (2020 年 5 月 31 日)



(出典:JET)

写真 3.3-2 植生工施工の3約か月後の斜面状況 (左:2020年9月26日)

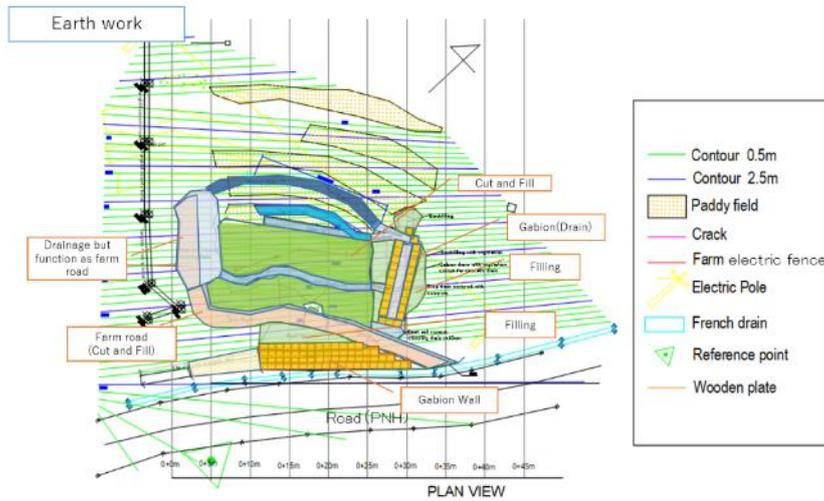
以上の結果から、第1回試験施工を行ったロベサ地方事務所管内では、Bタイプ:全面種子散布工(ジュートネット張)かCタイプ:張芝工による植生工の実施が効果的と思われる。ただし、Cタイプの場合は、施工現場以外に芝育成の広大な農場が必要になるが、ブータンにおいてはそのような広大な農地の確保が難しい。この現状を鑑みると、ブータンにおいては、Bタイプが最も現実的な植生工法と結論される。

## (2) 第2回目試験施工

第2回目の試験施工は、Trongsa ROのYangkhil斜面にて実施した。

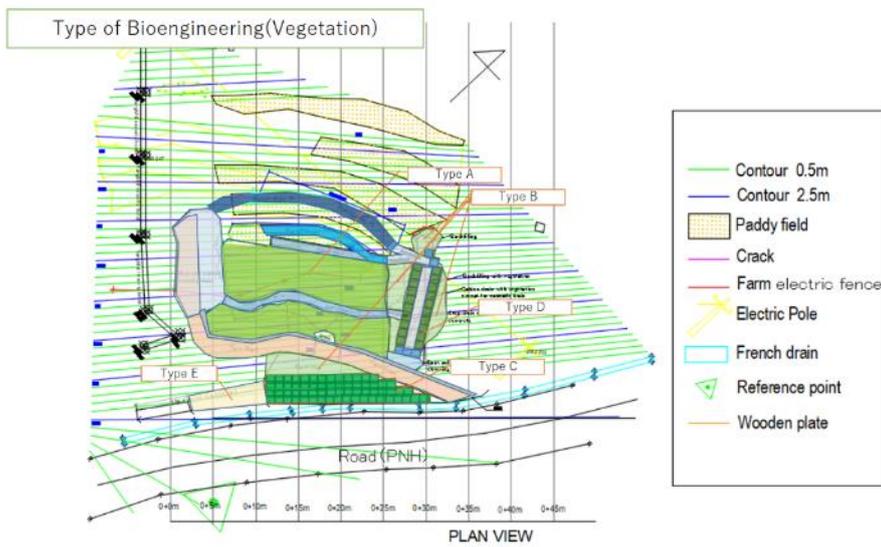
斜面全体の施工計画を下図に示す。斜面中央の斜面崩壊箇所は切土工により標準切土勾配に整形され、植生工が実施される。また、斜面右端と左端に位置する地表面浸食箇所は立て排水路として整備し、斜面上部および斜面背後には地表面排水路と暗渠排水路(フレンチドレーン)を、斜面途中に設ける小段には小段排水を整備し、斜面背後および斜面内の多量の地表水と地下水を効果的に斜面外に排出する配置とした。斜面末端には4段のふとん管を配置し、その背後を埋め戻すことで大規模な斜面崩壊に対する押え盛土(カウンターウェイト)ととして機能するとともに、盛土部に農業用小道を配して地元住民の生活上の利便性を確保することとした。

なお、多数設置するふとん管の上面にも植生工を実施することで、斜面全体の緑化率を向上させて、斜面の安定性確保だけでなく環境面に最大限配慮した設計とした。



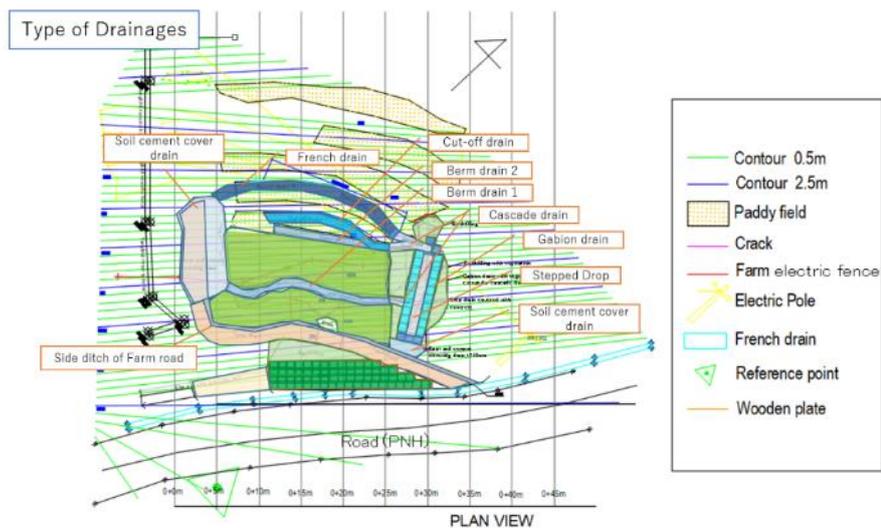
(出典:JET)

図 3.3-8 第 2 回試験施工の土工 (切土・盛土) の配置図



(出典:JET)

図 3.3-9 第 2 回試験施工の植生工の配置図



(出典:JET)

図 3.3-10 第 2 回試験施工の排水工の配置図

第2回試験施工は、2023年1月～5月に実施された。



図 3.3-11 ふとん籠工植生と水路((2023年3月25日)



図 3.3-12 植生工施工完了(2023.年5月3日)



図 3.3-13 試験施工完了(2023年5月3日)



図 3.3-14 緑化状況 (2023年8月2日)

植生工完了後3カ月経過した斜面状況を観察すると、緑化が順調に行われているのが分かる。



図 3.3-15 階段状水路とふとん籠上面の緑化状況 (2023年9月2日)



図 3.3-16 看板設置後の様子 (2023年9月3日)

### (3) 第3回目試験施工

第3回試験施工は、Phuentsholing RO 管内の Samtse, Gopini 北斜面で実施した。現地は45度よりも緩傾斜の斜面からなり、過去の地すべりにより地表は岩屑で覆われている。したがって、標準切土勾配の1割勾配での切土は不要であり、岩屑斜面をいかに緑化させるかが問題である。これらの調査結果に基づいて、植生工およびそれに付帯する斜面災害対策工について、詳細設計、積算、特記仕様書の検討を行った。DoST から植生工施工としてチャレンジングな場所で、類似の斜面への応用となることが期待されている。



図 3.3-17 試験施工斜面位置



図 3.3-18 試験施工斜面全景

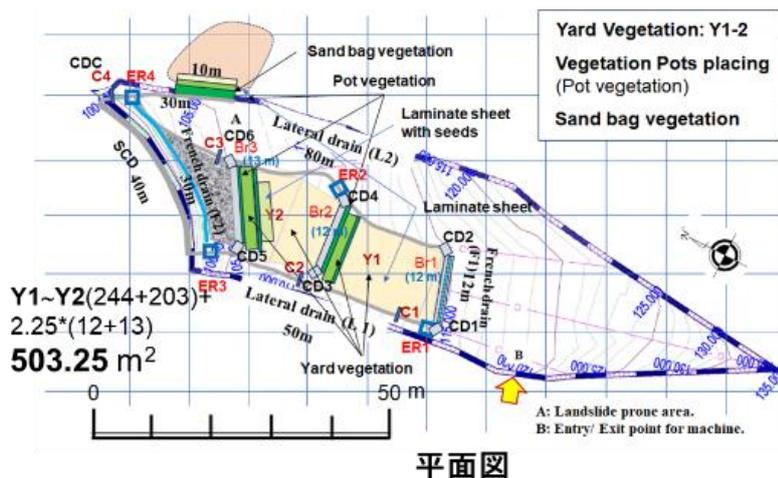
また、JET および C/P により、必要に応じて現地ドローン撮影を行い、施工管理（出来形管理）および維持管理に活かす方針とした。



(出典: JET)

図 3.3-19 ドローン撮影（等高線を入れたもの. A-A'は断面線）

斜面全体の施工計画を下図に示す。



平面図

(出典:JET)

図 3.3-20 植生工および排水システム

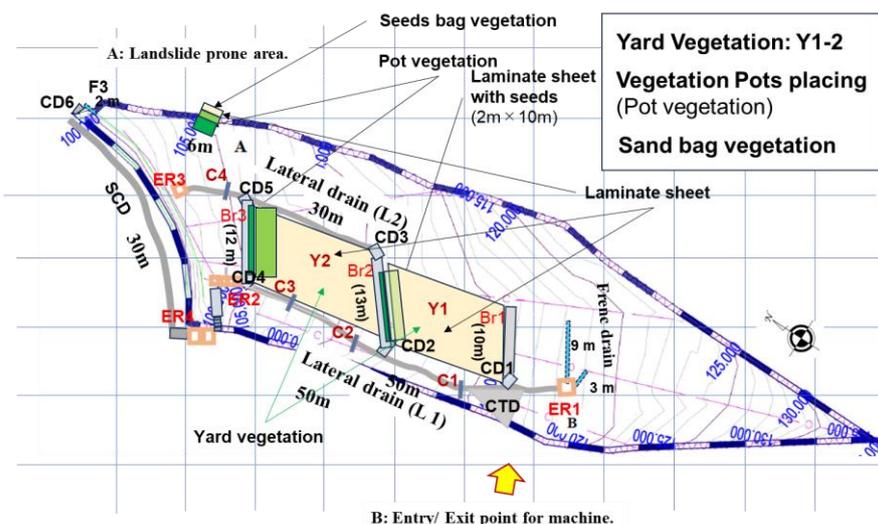
以下、主な排水工および植生工の工種について一覧で示す。

表 3.3-8 主な排水工および植生工の一覧

排水システム	単位	数量	備考	植生工	単位	数量	備考
Berm drain (Br)	m	37.0	承水路	Yard vegetation	m	503.	447+ pot 間の 2.25x(12+13)
Lateral drain (L)	m	160.0	縦排水	Vegetation pots placing	pcs	133	23 pieces on the Br2, 25 pieces on the Br3 12 pieces at Y1 13 pieces at Y2 60 pieces at Landslide prone area
Cascade drain (C)	m	12.0	承水路から縦排水への繋ぎ	Sand bag vegetation	pcs	400	Landslide prone area 200 bags with seeds and 200 bags without seeds
French drain (F)	m	42.0	暗渠排水				
Check dam (CD)	pcs	6	流水の減勢				
Energy reducer (ED)	pcs	4	流水の減勢				

第3回試験施工は、2024年1月～4月に実施した。

ドローン画像により現地で確認・計測したのち、設計内容および数量を見直した。



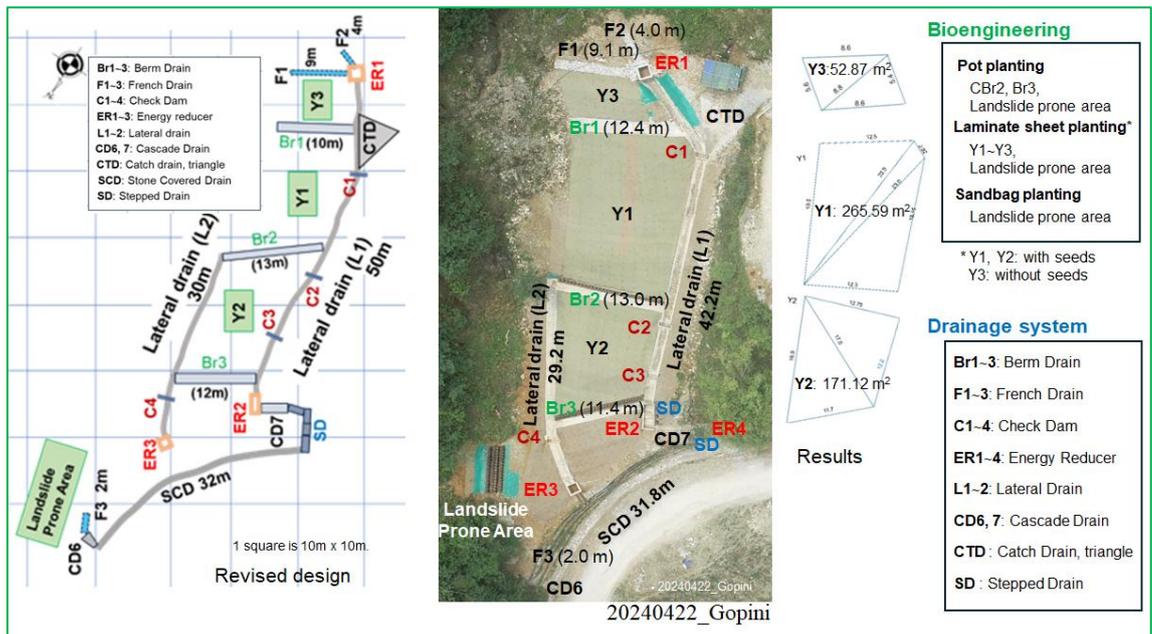
(出典:JET)

図 3.3-21 植生工および排水システムの数量・配置見直し図



(出典: JET)

図 3.3-22 Overall planting at Gopini site. (Y2 : 写真の右)



(出典: JET)

図 3.3-23 施工中の設計変更 (左) と竣工後のドローン撮影画像で見る配置 (右)

(4) 3つのサイトにおいて導入した植生工のまとめ

試験施工を行った3箇所（Gangthanka, Yangkhil, Gopini）で導入した植生工および排水工の一覧を示す。様々な工種を試験施工することにより、効果的に技術移転を行い、プロジェクト後もこれらを応用して植生工の展開ができるものとする。

表 3.3-9 Construction methods used from the first test slope to the third test slope for Bioengineering.

Vegetation work/ methods	1 <sup>st</sup> test slope Gangthanka	2 <sup>nd</sup> test slope Yangkhil	3 <sup>rd</sup> trial slope Gopini	Memo
1) Linearly planting	<b>Linearly planting</b>	—	—	Vegetation for long term
2) Overall planting	<b>Overall planting</b>	<b>Overall planting</b> with jute net, <b>Overall planting</b> with laminate sheet (no seeds)	<b>Overall planting</b> with laminate sheet (with seeds, no seeds)	Highly versatile, Long term Effective
3) Transplantation of a germination bed	<b>Transplantation of a germination bed</b>	—	—	Effective
4) Cap planting	—	<b>Cap planting</b> on gabion	—	Effective
5) Stepped planting	—	<b>Stepped planting</b>	—	Effective
6) Pot planting	—	—	<b>Pot planting</b>	Effective
7) Sandbag planting	—	—	<b>Sandbag planting</b>	Effective

(出典:JET)

表 3.3-10 Drainage system as ancillary work to Bioengineering.

Drainage system	1 <sup>st</sup> test slope Gangthanka	2 <sup>nd</sup> test slope Yangkhil	3 <sup>rd</sup> test slope Gopini	Memo
1) Cut-off drain	<b>Cut-off drain</b>	<b>Cut-off drain</b>	—	
2) Berm drain	<b>Berm drain</b>	<b>Berm drain</b>	<b>Berm drain</b>	
3) Cascade drain	<b>Cascade drain</b> with cobble stone	<b>Cascade drain</b> (joint type)	<b>Cascade drain</b> , Lateral drain (Cascade drain)	Lateral is used due to placement
		Catch drain (slightly concaved)	Catch drain (slightly concaved)	Surficial
		Stepped drain	Stepped drain	
4) French drain	—	<b>French drain</b>	<b>French drain</b>	
5) Energy dissipator (Energy reducer, sump) *	—	Energy reducer (Box type)	Energy reducer (Box type, U-shaped)	
		Check dam (stepped drain)	Check dam (stepped drain)	Function
6) Toe drain	Gabions to Road gutter	Gabions to Road gutter	Stone covered drain as Road gutter	

\*: Names in parentheses are synonymous.

(出典:JET)

## 活動 2-5 植生に関する設計・施工管理要領と標準単価表を作成する

要領の内容は、植生工の「計画」、「調査」、「設計」、「施工」、「維持管理」を含む内容とした。本要領を活用したセミナーを開き、植生工に関する理解を促し、植生工計画ならびに施工ができるように技術移転を行った。

植生工に関する設計・施工管理要領の目次を下表に示す。

表 3.3-11 植生工の設計要領の目次 (Ver.1)

Design/Implementation Guideline for Bio-engineering Works in Bhutan I : Planning, Investigation and Design (Ver.1)	
第1章	総則
1.1	植生工ガイドライン策定の背景
1.2	植生工ガイドラインの目的
1.3	法面保護工としての植生工
第2章	植生工の概要
2.1	植生工の種類と特徴
2.2	植生工の選定
第3章	ブータン国の植生工と設計
3.1	植生工斜面の選定
3.2	植生工の種類と工法選定
3.3	植生工の設計
第4章	植生工の施工と維持管理
4.1	植生工の施工計画
4.2	植生工の施工
4.3	植生工の維持管理
資料1 : 植生工の例 (Lobeysa R.O., Trongsa R.O., Sarpang R.O.)	
資料2 : 植生工の積算と標準単価	

(出典:JET)

表 3.3-12 植生工の施工管理要領の目次 (Ver.1)

Design/Implementation Guideline for Bio-engineering Works in Bhutan II : Construction Management (Ver.1)	
Chapter-1	Construction Plan
1	Description
2	Requirement
Chapter-2	Quality Control
1	Quality Control for each work
2	Field Checklist
3	As Built Control
4	Progress Control
Chapter-3	Safety Control
1	Preface
2	Prevention of occupational accidents due to slope failure in cut slope construction
3	Safety Plan
4	Meeting with the Client
5	Dairy Works
6	Work Item
7	Field Checklist
Appendix-1: Sample of Construction Plan	
Appendix-2: A Field Checklist on Quality Control for Construction (DRAFT)	
Appendix-3: Sample of Weekly Meeting Report	
Appendix-4: Sample of Daily Construction Report	

(出典:JET)

### 3.4 成果3：「土砂斜面崩壊」「岩盤斜面崩壊」に対する標準切土のり面勾配の改訂

#### 活動3-1 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する

標準切土のり面勾配を検討するためには、様々な条件下（地質条件や安定度）にある切土のり面を調査対象とする必要がある。選定は、1)机上スクリーニング、2)現地確認調査の2ステップからなり、机上スクリーニングにおいては、前回のプロジェクト「道路斜面管理マスタープラン」で抽出された対策優先度の高い斜面に加えて、本プロジェクト開始時に実施されたC/Pと共同で行われた現地視察結果（以下、共同現地視察）をもとに、対象とするのり面を抽出した。次に実際に現地を確認する現地確認調査を行い、抽出されたのり面における本活動での適用性について検討した。なお、現地確認調査の際、本活動に適すると判断された未抽出のり面についても、本活動の対象のり面として新たに追加した。

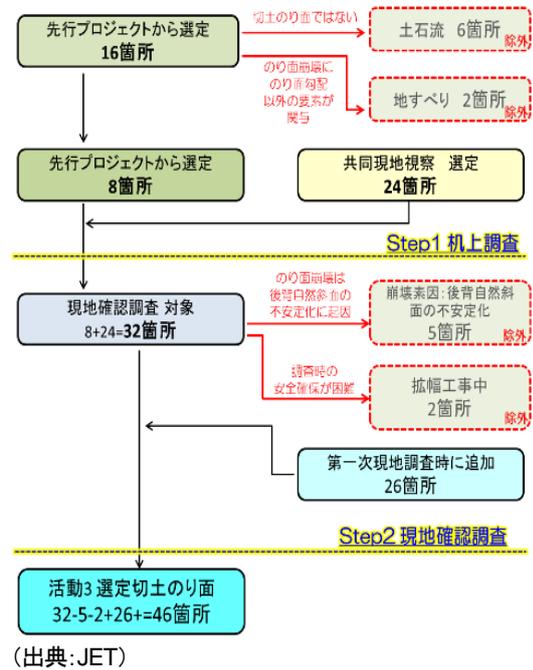


図 3.4-1 成果3 対象のり面選定フロー

#### 活動3-2 現地踏査等により地質性状と斜面安定度を評価する

ブータンにおける切土のり面の地質性状と斜面安定度を評価するため、C/Pと共同で実施した地質調査結果を整理/解析し、道路管理者であるC/Pへの聞き取り調査で得られた情報を用いて、それぞれの相関関係を整理した。

##### (1) 地質性状の評価

下表に示す供与機材を用いて各種地盤の物性値を収集・整理し、のり面の諸元や斜面安定度との対比資料ならびに土質/岩盤分類の基礎資料とした。なお、各管内での調査実施前には、調査機器取り扱いのためのセミナーを実施している。

表 3.4-1 調査に用いた供与地質調査機材

機器名	適用	得られる情報 / 物性値	実施数量
簡易貫入試験機	土砂および強風化岩	地盤の締めり具合 / Nc 値	25 該当斜面 19 箇所: 斜面当たり/1~4 地点
ハンディ弾性波速度計	風化岩盤~新鮮岩盤	岩盤の風化程度 / P 波速度	102 該当斜面 46 箇所: 斜面当たり/1~6 箇所

(出典:JET)

地質性状の評価については、後述する岩質・地質分類マニュアルや切土のり面勾配改定に係る活動にも関連することから、共通で適用しやすい土質/岩級分類に着目し行った。

本活動では、4区分で整理を行うものとし、各区分を 1) Hard Rock、2) Soft Rock、3) Hard soil、4) Ordinary soil としているが、これはブータンの現行基準にて定義されている分類区分であり、C/P にとってなじみの深い区分といえる。

区分に用いる各種閾値は、以下に示す日本国内における既存資料とブータンでの露頭状況や調査で得られた値とを比較したものであり、ブータンの地質分布状況に沿うように努めた。また、その分類方法については、後述する岩質・地質分類マニュアルで活用する。

## (2) 斜面安定度の評価

本来であれば日本国内の類似調査にならい、道路管理者による維持管理日誌や工事記録等を分析したデータを斜面安定度の検討に用いるデータとすべきであるが、DoST ではそれらを保持していないため、代替調査として C/P からの聞き取り調査を実施し、年間を通じた災害発生状況等を収集した。聞き取り項目は次表に示す項目とし、各項目に評点を付与することによって対象のり面の災害発生状況≒斜面安定度を点数化し、極力定量的な評価となるよう努めた。

表 3.4-2 斜面安定度評価のための聞き取り項目一覧

項目(大分)	項目(細分)		記載・選択例等 ( )内は評点
発生頻度	a	発生時期	全期間(3点) / 雨季(1点) / 降雪時(1点)
	b	発生頻度	発生時期における発生回数 (頻度に応じて1~8点)
災害規模	c	通行止め規模	全線(3点) / 片側(2点) / なし(1点)
	d	土砂除去に要した時間	路上に堆積した土砂の撤去時間 (時間に応じて1~4点)
	e	土砂除去に要した手段	重機(2点) / 人力(1点)

斜面安定度評価点の算出方法 = 災害発生頻度+災害発生規模=(a×b) + (c×d×e)

(出典:JET)

各項目で得られた点数を、発生頻度と災害規模で整理し、各のり面における評点を算出し、次表に示す閾値を用いて斜面の安定度を評価した。

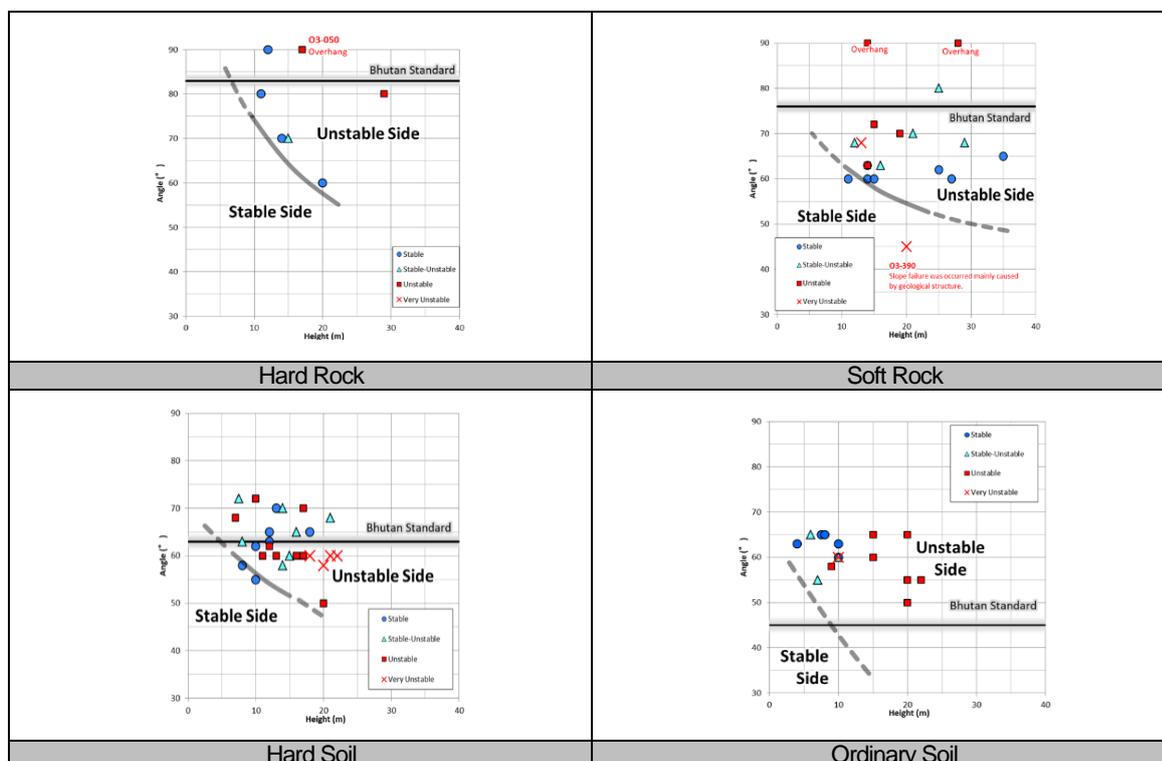
表 3.4-3 斜面安定度評価に用いた閾値

評価点	評価	該当するのり面の状態	該当のり面数
0	安定	・現在まで災害の発生が報告されていない。	10
10 以下	安定-不安定	・発生頻度が低い(1回/年~数年) ・災害発生規模がさほど大きくない。(最大でも片側規制)	11
20 以下	不安定	・発生頻度が低い(1回/年~数年) ・災害発生規模が中~大規模。(大半が片側規制)	19
20 以上	非常に不安定	・災害発生は少なくとも年一回発生 ・災害発生規模が大きい。 (全車線通行止め:要土砂除去時間 24 時間以上)	6
計			46

(出典:JET)

### (3) 地質性状と斜面安定度の関係

地質性状の評価における4区分毎で、垂直軸に切土勾配、水平軸に切土高さを用いた切土の諸元に関する相関図を作成する。次にこれら相関図に、聞き取り調査で得られたのり面の安定性評価を加味することにより、地質性状毎における切土のり面の安定領域/不安定領域を推定することが可能となる。下図に相関グラフを示すとともに、ブータンにおける現行切土のり面基準の問題点を次頁にまとめる。



\*1 諸元(横軸:のり面高さ 縦軸:のり面勾配)  
 \*2 安定度(丸:安定、三角::安定-不安定、四角:不安定、x:非常に不安定)  
 (出典:JET)

図 3.4-2 各地質区分におけるのり面安定性 – のり面諸元(高さ・角度) 相関図

これらの相関図より読み取れる区分ごとの現行切土のり面基準の問題点は以下の通りである。

#### 【Hard Rock】

- のり面高さが少なくとも15m以下程度であれば、安定性を確保できるものと考えられる。一方、現行のブータン基準ではのり高に関する規定はない。

#### 【Soft Rock】

- 現行のブータン基準よりも緩い切土勾配でも不安定なのり面が散見されることから、現行基準ののり面勾配は適正勾配よりも急であると考えられる。
- 高さ10mを超えるのり面において、不安定な状態なものが散見されるが、現行の基準では他の分類と同様、のり面高さの基準はない。
- オーバーハングを呈す切土のり面は、いずれも不安定な状態にあるといえる。
- のり面勾配が緩くても崩壊が発生しているが、これは流れ盤といった地質構造が素因となって発生しているものであり、異常値といえる。ただし、安定性に関して重要な

ファクターであり、切土のり面施工に際して考慮する必要がある。

#### 【Hard Soil】

- 現行のブータン基準よりも緩い切土勾配でも不安定なりのり面が散見されることから、現行基準のりのり面勾配は適正勾配よりも急であると考えられる。
- 上記2区分と異なり、10m以下の低いりのり高の箇所でも不安定な状態なものが確認され、20mを超えるのり面においては安定した状態のものを確認できない。なお、他区分同様、現行の基準ではのり面高さの基準はない。

#### 【Ordinary Soil】

- いずれの切土勾配も現行のブータン基準である45°を超えている。これは、区分の難しさから、本分類である【Ordinary Soil】と上記【Hard soil】が分類されていない状況にあることを裏付けるものである。
- 本分類は相対的に脆弱であるにも関わらず、【Hard soil】と同程度の勾配で施工されているため、10mを超えるのり面の場合、ほとんどが不安定化している状態にある。
- 上記の通り、本分類として施工された切土のり面が存在しないため、“安定”-“不安定”の境界の推定が困難であるが、少なくとも現行のブータン基準を否定するようなデータは存在しない。

これらの問題点を考慮し、後述の活動3-4において、切土のり面基準に係る基準の見直しを行った。

### 活動3-3 岩質・地質分類マニュアルを作成する

本活動は、(1) 岩質・地質分類マニュアルの作成、(2) マニュアルの適用、(3) マニュアルの改訂の3つの項目からなる。以下に各項目について記す。

#### (1) 岩質・地質分類マニュアルの作成

活動を通じて得られたブータンにおける地質特性を考慮し、岩質・地質分類マニュアルを作成し、C/Pと共有した。

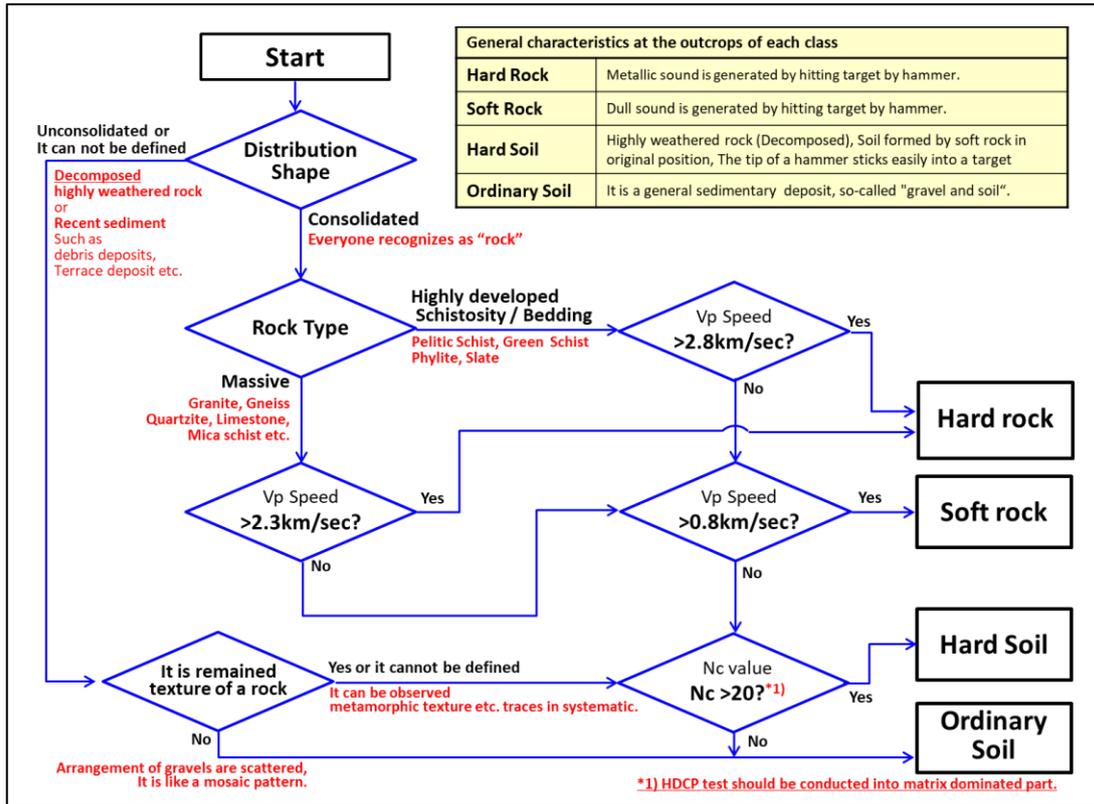
マニュアルは、ブータンに分布する地質の概説から、地質調査機器の取り扱い、それらを活用した岩質・地質分類の方法である。

マニュアルの目次を表3-39に示すとともに、マニュアルに掲載した岩質/地質分類フロー図を次図に示す。

表 3.4-4 岩質・地質分類マニュアル目次

1	Basic knowledge of geology in Bhutan
1.1	General
2	Engineering geology in a cut slope construction
2.1	What are the Rock / Soil Classification? The relationship between the rock / soil
2.2	classification and the cut slope specifications
3	Geological survey for rock/soil classification
3.1	Type of survey and the Methodology
3.1.1	General geological survey equipment
3.1.2	Handy dynamic cone penetration test
3.1.3	Handy elastic wave meter
3.1.4	Seismic Refraction Tomography
Appendix: The actual example of geological survey in cut slope construction	

(出典：JET)



(出典:JET)

図 3.4-3 岩質・地質分類フロー

(2) 岩質・地質分類マニュアルの適用

本マニュアルを適用し、施工サイトで地質調査を実施した。調査の目的は、詳細設計のための基礎資料の収集、および実務でのマニュアル運用である。この地質調査は、計画から設計までの一連の流れを経験できる実践的な調査であり、マニュアルへの理解度や関心を高める効果が期待できる。

以上の背景のもと、他成果の技術者にも調査への参加を呼びかけ、技術指導を行った。



(出典:JET)

写真 3.4-1 地質調査実施状況

本活動で得られた調査結果は、詳細設計の基礎資料としたほか、第3回技術セミナーの議題として説明を行った。このセミナーにより、岩質・地質分類に関する基礎知識およびマニュアルの存在について、多くのDoST技術者と共有できたと考える。

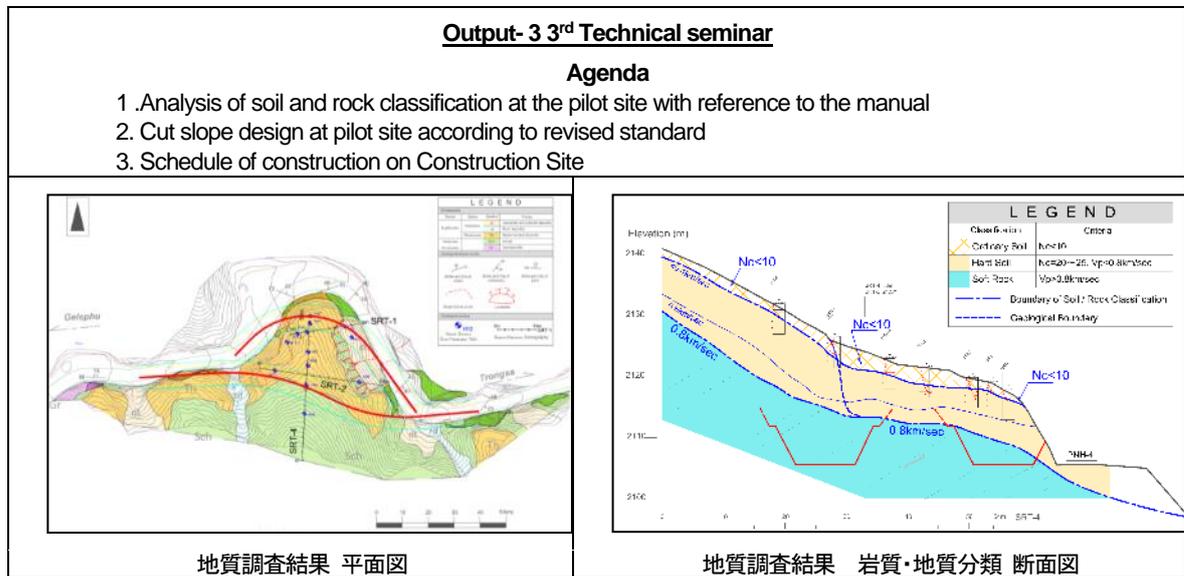


図 3.4-4 成果3 第3回技術セミナー配布資料抜粋

(3) 岩質・地質分類マニュアルの改訂および承認

C/P側からの要望を収集し、マニュアルを改訂した。改訂内容は、「DoST所有の弾性波探査機の使用法」に関する項目の追加である。岩質・地質分類マニュアルは2024年4月に実施されたDCCにおいてDoSTより承認された。

活動3-4 地質性状ごとの標準切土のり面勾配を検討する

活動3-2の評価結果および活動3-5で収集した資料をもとに、ブータン国の標準切土のり面勾配に関する基準（Road Survey & Design Manual, June 2005, MoIT Department Roads）をレビューした。さらに、現地切土のり面の地質調査、のり面の崩壊事例および道路維持管理担当者からのヒアリングを整理し、4種類の地質区分に対して図3.4-3の相関図を作成した。その相関図を基に現行のブータンの標準切土のり面勾配を改訂した。以下に改訂案を示す。

表 3.4-5 標準切土のり面勾配の現行と改訂案の比較

岩盤・土質区分	現行ブータン基準 <sup>1)</sup>	本活動での改訂案
Hard Rock	1:0.12 (83°) 切土のり面高さの定義なし	1:0.26 (75°) 切土のり面高さ 10m
Soft Rock	1:0.25 (76°) 切土のり面高さの定義なし	1:0.46 (65°) 切土のり面高さ 10m
Hard soil	1:0.50 (64°) 切土のり面高さの定義なし	1:0.70 (55°) 切土のり面高さ 7m
Ordinary soil	1:1.0 (45°) 切土のり面高さの定義なし	1:1.0 (45°) 切土のり面高さ 7m

(出典: JET)

1) DoR Road Survey & Design Manual, 2005

現行の標準切土のり面勾配からの改訂点は、1) 切土のり面勾配および2) 切土のり面高さの2点である。

### 活動 3-5 ブータン標準切土のり面勾配の設計・施工管理要領と標準単価表を作成する

本活動は、切土のり面工事に係る 1) 標準切土のり面勾配の設計要領、2) 標準単価表、3) 施工管理要領の3項目に係る活動からなる。以下に各項目における活動実績を示す。

#### 1) 標準切土のり面勾配設計要領

##### 【既存資料の収集 / 分析】

表 3.4-13 に示す DoST で運用されている基準書を収集するとともに、C/P から切土のり面施工に関するヒアリングを行った。

表 3.4-6 DoST の設計要領類

タイトル	発行年
Guideline-to-Road-Drainage-System	2021 年 11 月
Guidelines on use of Standard Work Items for Common Road Works	2010 年 8 月
Road Survey & Design Manual	2005 年 6 月
Road Maintenance Manual	2005 年 5 月
Design and Construction of Stone Masonry Retaining Walls – A Quick Guide	—

(出典: JET)

活動 3-4 に記載の通り、現行の標準切土のり面勾配は、4 種類の地質区分により規定されており、切土のり面高さが規定されていないため、既存道路の切土のり面では小段が設置されていない。

また、道路設計を担当する設計部からのヒアリングによると、入札図書の道路横断面図では切土勾配は 1V: 0.12H と 1V: 0.50H の 2 種類を表示しているが、工事で出現する実際の地質条件に従って工事中に各 RO のサイトエンジニアの指示により切土勾配を変更しているとの回答であった。しかし、現地調査の際に、Ordinary soil に相当する箇所においても、Hard Soil の基準である 1V: 0.50H の勾配が適用されており、地質調査から設計、施工管理といった一連の業務において適切な管理がなされていない様子が見て取れた。本活動では、活動 3-4 にて提案した標準切土のり面勾配について、設計者、施工者及び施工監理者が切土のり面を設計するために必要な要素を盛り込み、標準切土のり面勾配設計要領を作成した。さらに、標準切土のり面勾配設計要領は、2024 年 4 月 16 日に実施された DCC において DoST より承認された。

表 3.4-7 改訂した標準切土のり面勾配

岩盤・土質区分	現行ブータン基準 <sup>1)</sup>	本活動での改訂案
Hard Rock	1:0.12 (83°) 切土のり面高さの定義なし	1:0.26 (75°) 切土のり面高さ 10m
Soft Rock	1:0.25 (76°) 切土のり面高さの定義なし	1:0.46 (65°) 切土のり面高さ 10m
Hard soil	1:0.50 (64°) 切土のり面高さの定義なし	1:0.70 (55°) 切土のり面高さ 7m
Ordinary soil	1:1.0 (45°) 切土のり面高さの定義なし	1:1.0 (45°) 切土のり面高さ 7m

(出典: JET)

1) DoST Road Survey & Design Manual, 2005

【設計要領の作成】

標準切土のり面勾配設計要領は、活動 3-4 に記載した 4 種類の土質分類からなる標準切土のり面勾配を主とし、小段、排水施設及び排水計算の実施例を盛り込み要領化した。

次に標準切土のり面勾配設計要領の構成を示す。

表 3.4-8 標準切土のり面勾配設計要領 表紙と目次

<p>Design Guideline for Standard Slope Gradient of Cut Slopes</p> <p>March 2024</p>  <p>JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY</p> <p>THE PROJECT FOR CAPACITY DEVELOPMENT ON COUNTERMEASURES OF SLOPE DISASTER ON ROADS IN BHUTAN</p>	<p>Contents</p> <p>1. Introduction ----- 1</p> <p>2. Standard Slope Gradient of Cut Slopes in Bhutan ----- 1</p> <p>3. Berms ----- 2</p> <p>4. Rounding of Cut Slopes ----- 4</p> <p>5. Management of Water ----- 5</p> <p>5.1. Management of surface water ----- 5</p> <p>5.2. Management of spring water ----- 5</p> <p>6. Cross Section ----- 7</p> <p>6.1. Standard cross section ----- 7</p> <p>6.2. Methods to control the height of cut ----- 8</p> <p>7. Comparison of Standard Slope Gradient of Cut Slopes ----- 10</p> <p>8. Drainage Design of Cut Slopes ----- 11</p> <p>8.1. Drainage design ----- 11</p> <p>8.2. Calculation methods for rainwater discharge volume ----- 13</p> <p>8.3. Design of drainage facilities ----- 14</p> <p>8.4. Calculated examples ----- 15</p> <p>Appendix</p>
---	---

(出典:JET)

【設計要領の運用】

作成した標準切土のり面勾配設計要領および DoST で運用されている既存の基準書を用いて、施工サイトにおける切土のり面主とする道路設計を行った。設計項目および適用した基準種別を以下の表に示すとともに設計図を示す。

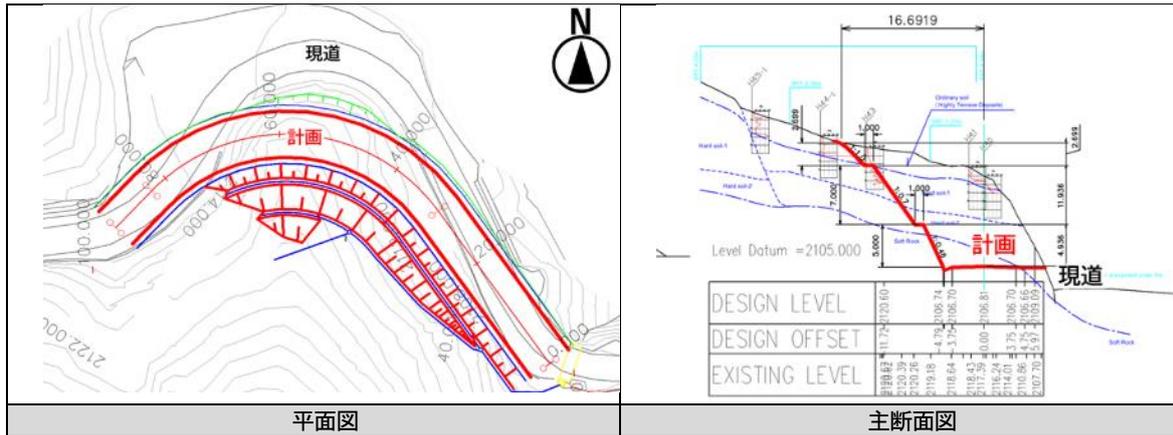
表 3.4-9 切土のり面設計項目および適用した基準書

設計項目	適用した基準	設計担当
道路線形	Road Survey & Design Manual 他 DoST で運用されている既存基準書	DoST 技術者
道路規格		
切土のり面	本活動で作成した標準切土のり面勾配設計要領 Guideline to Road Drainage System	DoST 技術者 +日本人専門家の技術支援
排水施設(法肩、小段、路肩)		

(出典:JET)

道路線形の設定等、DoST の通常設計業務で行われている項目については、DoST の技術者により設計された。

一方、複数段の切土や小段の表面排水工といった、DoST が今までに経験をしていない項目については、日本人専門家が技術支援を行い、DoST 技術者とともに道路設計を実施した。



(出典:JET)

図 3.4-5 施工サイトにおける切土のり面設計図の例

また、本活動では、次表に示す説明会や各種技術セミナー等を通じて本要領の普及を図っており、第5回技術セミナーでは、標準切土のり面勾配設計要領のより広い範囲での普及を目指し、受講対象者を DoST の全ての地方事務所及び本部にて実施した。セミナーの内容は以下の3項目を実施した。

- ① Explanation of the Design Guideline for Standard Slope Gradient of Cut Slopes.
- ② Training on how to draw cross sections.
- ③ Training on drainage calculations.



(出典:JET)

写真 3.4-2 標準切土のり面勾配設計要領に係る技術セミナー実施状況

## 2) 標準単価表の作成

切土のり面工事は DoST で一般的な業務であり、本活動で作成する標準単価表は、DoST で運用されている現行の標準単価表 (Bhutan schedule or rates-2021) および、積算歩掛り Labour and material coefficients 2021 Civil が骨子となる。この骨子に、先行実施された施工サイト工事を通じて得られた知見、切土のり面基準の改訂を反映させ、標準単価表を作成した。以下の表に切土のり面工事に係る積算項目および検討事項をまとめた。

### 【先行切土のり面工事からの知見】

先行して実施された事例とは、ロベサ管理事務所内で実施された成果2 施工サイトおよびトンサ管理事務所管内で実施された成果4 における切土のり面工事である。成果2 では人力施工、成果4 では機械施工について参考にした。この工事中、ブータン国における切土のり面工事の実態が明らかとなるとともに、積算を含めて改善すべき問題点が抽出された。主な問題点は、安全や切土のり面の品質管理に関連する項目であり、本活動で改善案や追加すべき見積もり項目を提示している。

### 【切土のり面基準の改訂】

切土のり面基準の改訂に伴い出現した、新たな工種や工法について、日本人専門家による技術支援のもと、新たに標準単価を設定した。

上記の活動によって作成された標準単価表は、成果3 での施工サイトに適用され、切土工事に係る工事費が算出された。

### 3) 施工管理要領の作成

標準単価表の作成と同様、先行して実施されたパイロットサイトでの経験を踏まえて切土のり面工に係る施工管理要領を作成した。この施工管理要領は成果3 施工サイトにおいて運用が開始されている。次表に施工管理要領を示す。

表 3.4-10 切土のり面に係る施工要領の目次 (出典:JET)

Design/Implementation Guideline for Standard Cut Slope Angles in Bhutan II : Construction Management (Ver.1)	
Chapter-1	Construction Plan 1 Description 2 Requirement
Chapter-2	Quality Control 1 Quality Control for each work 2 Field Checklist 3 As Built Control 4 Progress Control
Chapter-3	Safety Control 1 Preface 2 Prevention of occupational accidents due to slope failure in cut slope construction 3 Safety Plan 4 Meeting with the Client 5 Dairy Works 6 Work Item 7 Field Checklist
Appendix-1: Sample of Construction Plan Appendix-2: A Field Checklist on Quality Control for Construction (DRAFT) Appendix-3: Sample of Weekly Meeting Report Appendix-4: Sample of Daily Construction Report	

### 活動 3-6 作成した設計・施工管理要領に基づいて施工監理を行う

本活動の主目的は、活動を通じて作成された各種要領を実際の施工現場で試験運用し、その効果や適用性を確認するとともに、安全かつ安定した切土のり面工事に係る技術移転を行うことである。

本活動は、1)施工監理を実施する施工サイトの選定、2) 各種要領に基づき施工サイトで施工監理

を行う の2つのステップからなり、以下に各ステップにおける活動の詳細を記す。

### 1) 施工サイトの選定

トンサ管内PNH5に存在する、視認不良区間を施工サイトの候補地とした。選定の背景や条件等について以下に記す。

#### 【選定の背景】

当該路線を選択した理由として、狭小な道路が山地を縫うように走るため、視認不良箇所が多く、道路交通事故の発生リスクが高い状況にあることが挙げられる。この“視認不良箇所の解消”を工事の目的として設定した。

#### 【選定条件】

一方で、本活動の目的は、“切土のり面の安定性を確保するため、現行の切土勾配を改訂することであり、試験施工後における切土のり面の安定性について、切土勾配以外の要素が関与すると思われる箇所、例えば、切土のり面上に分布する浮石が落石発生源となり、落石対策工等を併用しない限り安全な交通を確保できない箇所等については、施工サイトとして適さないものと判断した。また、本工事はC/P機関の予算によって実施されるものである。そのため、長大切土等、莫大な工事費が必要となる箇所についても、実現可能性の担保が取れないため、施工サイトとして選定を見送った。



図 3.4-6 成果3 施工サイト位置図および現況写真

施工方法に関して、A) 道路拡張、B) 線形改良の2工法がC/P側より提案され、それぞれの概略設計および事業費の積算を行った。この結果を基にDoSTと協議を行った結果、経済性からA) 道路拡張案が採用された。その後、先述した設計要領ならびに標準単価表を用いて詳細設計ならびに

積算が行われ、DoSTによって入札が行われた。下表に工事内容および工事費、落札した施工業者を示す。

表 3.4-11 施工サイトにおける工事概要および工事費他

施工の概要	工期	落札金額	施工業者名
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 施工延長≒90m</li> <li>▪ 最大3段切土 最大比高差≒15m</li> <li>▪ 最上段 植生工併用(成果2による)</li> <li>▪ 法肩/小段/道路排水工</li> </ul>	2023/2/1 ~ 2023/5/15	Nu. 4,481,256.20	Blue Heaven Construction Private Limited

(出典:JET)

2)各種要領に基づき施工サイトで施工監理を行う

活動 3-3 および活動 3-5 を通じて作成された各種要領に基づき施工監理を行った。本工事は切土のり面工事に係る改訂基準を適用する初めての工事であり、小段の設置や各のり面で切土勾配が異なる等、C/Pが初めて経験する工種が含まれている。

くわえて、日本における施工監理と同等の品質確保が求められることから、日本人技術者による支援が必要不可欠であり、日本人技術者とC/Pが共に施工管理を行える体制を構築した。

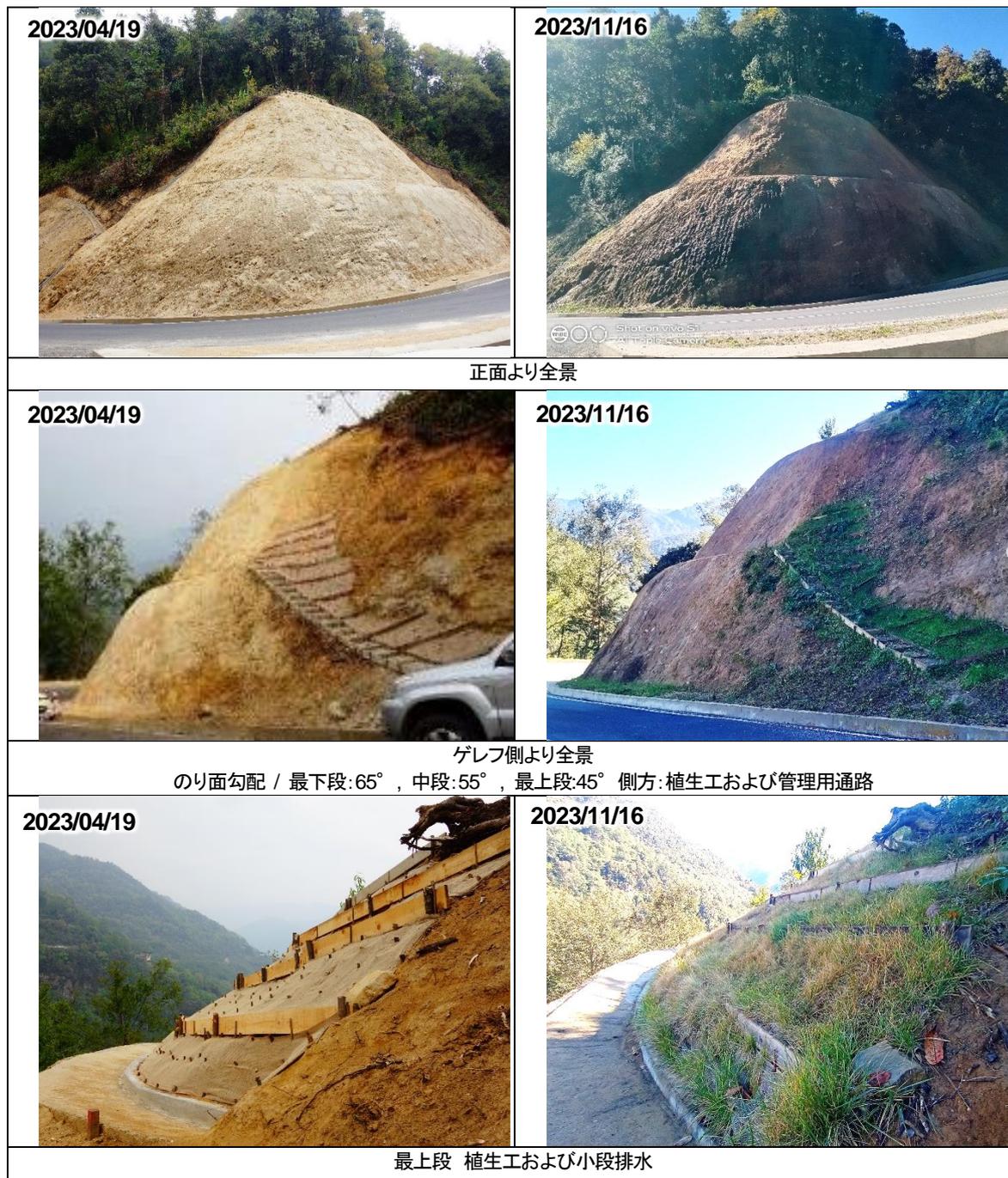


(出典:JET)

写真 3.4-3 切土のり面の基準改訂に伴い新たに追加された工種

C/Pは、工事着手前の丁張の設置から竣工検査まで、切土工事に係る一連の工程で施工管理に参加し、実務に即した技術移転が行なえたと考える。

また、施工管理要領に従い、作業前の危険予知活動や適切な交通規制の実施等、安全管理にも留意して施工管理を行った。



(出典:JET)

写真 3.4-4 成果3 切土のり面 施工サイト 竣工後および現在の状況

この施工サイトで実施された切土のり面工事は、切土のり面工事に係る一連の業務（地質調査・設計から実際の施工）を、本プロジェクトで作成された各種要領に沿って C/P とともに実施したものである。施工までの工程を一貫して経験することにより、より実践的な技術移転となり各種要領についての理解が深まったと同時に、その実効性についても示せたものとする。

### 3.5 成果4：「岩盤斜面崩壊（落石）」に対して適した対策工法の実施

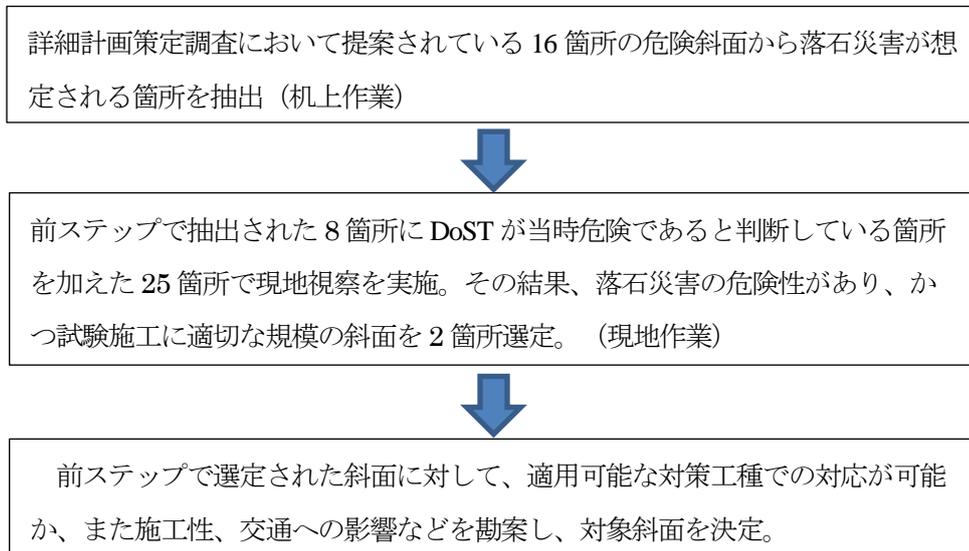
#### 活動4-1 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する

##### 【パイロットサイト1】

第1回JCCにおいてOutput4の活動内容をブータン側と確認したことを受け、1箇所目の試験施工箇所の選定作業を行った。選定した箇所は2020年（FY 2019-2020 of Bhutan）の試験施工対象斜面となった。試験箇所の選定条件は以下の通りである。

- 1) 2020年に施工する斜面を選定
- 2) 2016年の道路防災マスタープラン調査で実施した斜面点検でランク1と評価
- 3) 落石災害を想定
- 4) ブータンで実施が可能な待ち受け式落石対策工種で対応が可能

対象箇所選定は以下のステップを通して行った。



本プロジェクトの詳細計画策定調査での協議にて、Output4の試験施工における落石対策工種は、落石防護壁と決定されている。この工法を適用するために適切な斜面として、構造物として許容できる落石エネルギーをもつ落石災害の危険性が高いこと、構造物を設置する十分なスペースがあること、そして地すべりなどの大規模な斜面災害の可能性が低いことが挙げられる。上記ステップによる選定作業の結果から、Chendebjiの候補地がこれらの条件に当てはまると判断された。従って、Chendebjiの候補地をOutput4での第1回目の落石対策試験施工対象地として選定した。

##### 【パイロットサイト2,3】

Output4の対象は落石対策であったが、斜面崩壊も対策工事の対象として加えるようDoSTの要望が上がった。これを受けて、パイロットサイト2および3については落石斜面だけでなく斜面崩壊箇所からも選定することとなった。よって、残りの2箇所のパイロットサイトを選定するために、

DoST から提案された 8 箇所の危険斜面を候補地として現地概査と道路斜面防災点検を成果 4 のワーキンググループメンバーで実施した。各候補地の防災点検結果による危険度と緊急度、および想定される対策工種と概算工事費、工期を推定した。

この調査結果が2022年5月13日に開催されたDoST内のDCCにて諮られ、DCCとしてTekizampa地区、Tashiling Bridge地区、Drupchu地区を最終候補地とすることが決定された。この結果を受け、2022年5月17日に開催された第5回JCCにおいて、この3箇所の最終候補地からTekizampa地区（Lobesa 地方事務所管轄）とTashiling Bridge地区（Trongsa 地方事務所管轄）の2箇所がパイロットサイトとして選定され、承認された。

なお、今回選定されたTashiling Bridge地区では2020年の災害で破壊された橋梁の架け替え工事をDoSTが計画しており、この架け替え工事の範囲にこの崩壊斜面も入っている。このことを受け、Tashiling Bridge地区の崩壊斜面については、対策工の設計および対策工事は橋梁架け替え業務で実施されることとなり、本プロジェクトでは現地踏査を行い、地質図と斜面崩壊分布図作成を作成し、DoSTへの地質的アドバイスを行うこととなった。Tekizampa地区の崩壊斜面については調査から設計、施工まで実施する。

以下に、最終的に選定されたパイロットサイト3箇所の位置を示す。



(出典：JET、基図：Google Earth)

図 3.5-1 成果 4 のパイロットサイト 3 箇所の位置図

## 活動 4-2 対策工法選定に向けた地形地質調査・解析・評価を行う

【パイロットサイト：Chendebji 地区】

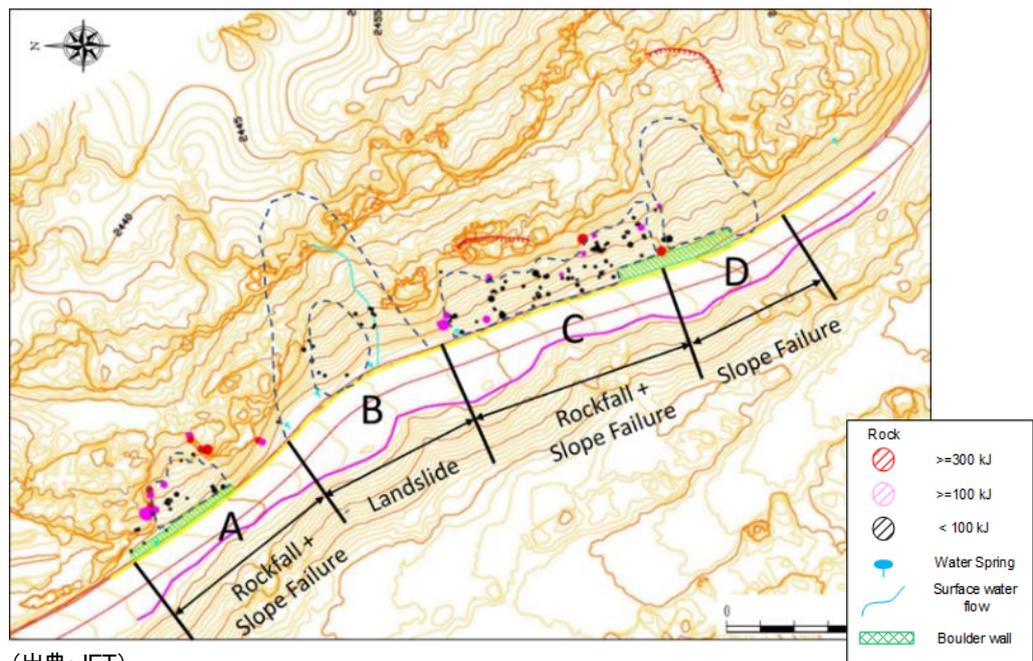
活動 4-1 で第 1 回試験施工の対象斜面として選定した Chendebji 地区の斜面で C/P とともに活動を実施した。現地作業では、活動 4-3 で実施する設計の際の基礎資料とするため、山側斜面および谷側の斜面の状況に関して、現地踏査および斜面の安定度を評価するための調査を実施した。なお、解析および評価については、今回は C/P には初めての作業となるため、主に JET 側が主導でとりまとめ、その手法および結果を C/P へ共有した。表 3.5-1 に主に実施した調査・解析・評価の概要を示した。各調査の概要は以下の通りである。

表 3.5-1 対象地（Chendebji）で実施した調査・解析・評価の概要

調査項目	内容	
現地作業	1.聞き取り調査	・過去の被災状況(時期、規模、頻度、場所)を確認。
	2.地表踏査	・対象地を含む広域の範囲で変状、湧水等を確認。
	3.のり面および道路面の観察	・斜面上(特に山側)に位置する浮石/転石の状況(位置、大きさ)を確認、また、変状の有無や湧水の有無を確認。
	4.簡易貫入試験	・斜面上に堆積する土砂の層厚、強度を確認。
室内作業	5.現地調査結果の整理	・現地で実施した踏査、観察および試験結果を平面図および断面図に整理しプロット。
	6.解析作業	・現地で計測した浮石/転石のサイズおよび位置を整理し、落石エネルギーを算出*1
	7.評価作業	・現地および解析作業結果より、現地斜面の災害形態区分および落石/浮石の安定度評価を行う。

\*1 落石対策便覧 平成 29 年 12 月 公益社団法人 日本道路協会」の式を使用  
(出典:JET)

現地調査結果および落石エネルギーの解析作業より対象地の斜面について想定される災害形態および浮石の全運動エネルギーを勘案した浮石の分布について取りまとめた。対象地を図 3.5-2 に示した A~D の 4 区分に分類した。下図からも読み取れるように、転石および浮石は A と C の 2 区間で特に集中していることがうかがえる。



(出典:JET)

図 3.5-2 対象地の災害形態区分図

【パイロットサイト：Tekizampa 地区および Tashiling Bridge 地区】

パイロットサイト 2 とパイロットサイト 3 として選定された下記 2 か所の斜面で C/P とともに活動を実施した。

- Tekizampa 地区 (ロベサ地方事務所管轄)
- Tashiling bridge 地区 (トンサ地方事務所管轄)

前述の通り、Tashiling bridge については、DoST の Bridge division で新設の橋梁調査および工事が計画されていることから、本プロジェクトでは地表踏査のみ実施し、必要に応じて DoST へ地質に関するアドバイスを実施することとした。

これまででの現地作業では、地質分布および斜面崩壊危険箇所の特異性、災害発生メカニズムを解明するための基礎情報収集を目的に対象地区で地表踏査を実施した。また、2022 年 11 月末から 12 月初旬には、DoST が業務委託したコンサルタントによって Tekizampa 地区でボーリング調査と弾性波探査調査が実施された。下表に実施した調査概要を示した。

表 3.5-2 対象地(Tekizampa 地区および Tashiling bridge 地区)で実施した調査概要

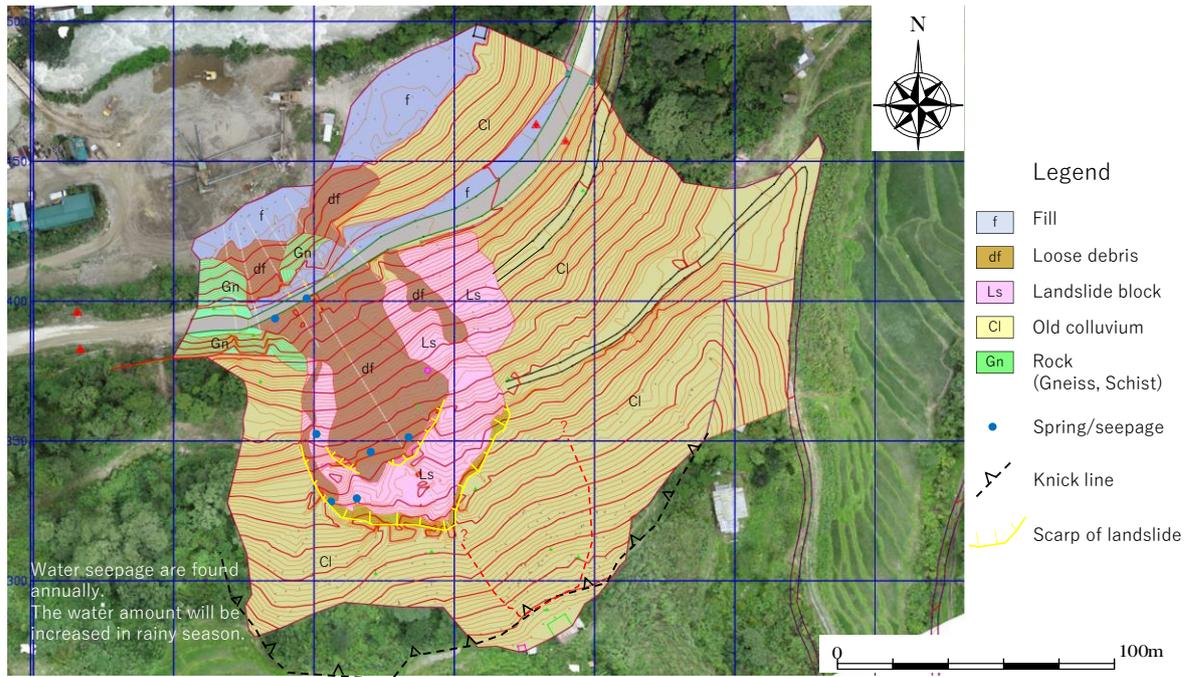
調査項目	内 容	
現 地	1.地形測量	・DoST の測量チームと成果 6 ワーキンググループが UAV を用いて対象地区の地形図面を作成。 ・植生の繁茂によりドローンで捉えきれない地形を現地でトータルステーション等を用いて平面図へ補完。 (Tekizampa 地区および Tashiling bridge 地区)
	2.地表踏査	・対象地を含む広域の範囲で崩壊地形やクラックなどの変状、湧水等を確認 ・地質分布および地質構造の測定 ・Tekizampa 地区の崩壊箇所の追加データ取得。
	3.縦横断測量	・DoST の測量チームにより工事の仮設計画、対策工の配置などを検討するための簡易な横断面図面を作成。(Tekizampa 地区のみ)
	4.ボーリング調査	・崩壊斜面上に堆積する土砂の地盤構成、層厚を確認。(Tekizampa 地区のみ)
室 内	5.弾性波探査調査	・ボーリング調査結果と合わせて、斜面上に堆積する崩壊土砂の分布範囲、層厚を確認。(Tekizampa 地区のみ)
	6.地盤調査(委託)	・ボーリング調査および弾性波探査などの地盤調査を DoST が発注するための技術仕様書作成支援(Tekizampa 地区のみ)
	7.現地調査結果の整理	・現地で実施した地表踏査結果を整理し、図面にプロット。また、現地状況写真の整理。
	8.解析作業	・現地調査会社実施のボーリング調査および弾性波探査調査の結果をレビューし、災害地質平面図や地質断面図を作成。(Tekizampa 地区)
	9.評価作業	・現地および解析作業より、対象地斜面の安定度評価を行う(Tekizampa 地区のみ)

(出典:JET)

※ 調査項目 1 および 2 は、DoST の測量班が主体となって実施。調査項目 3～8 については、JICA 専門家チームおよび DoST の成果 4 ワーキンググループメンバーで実施した。

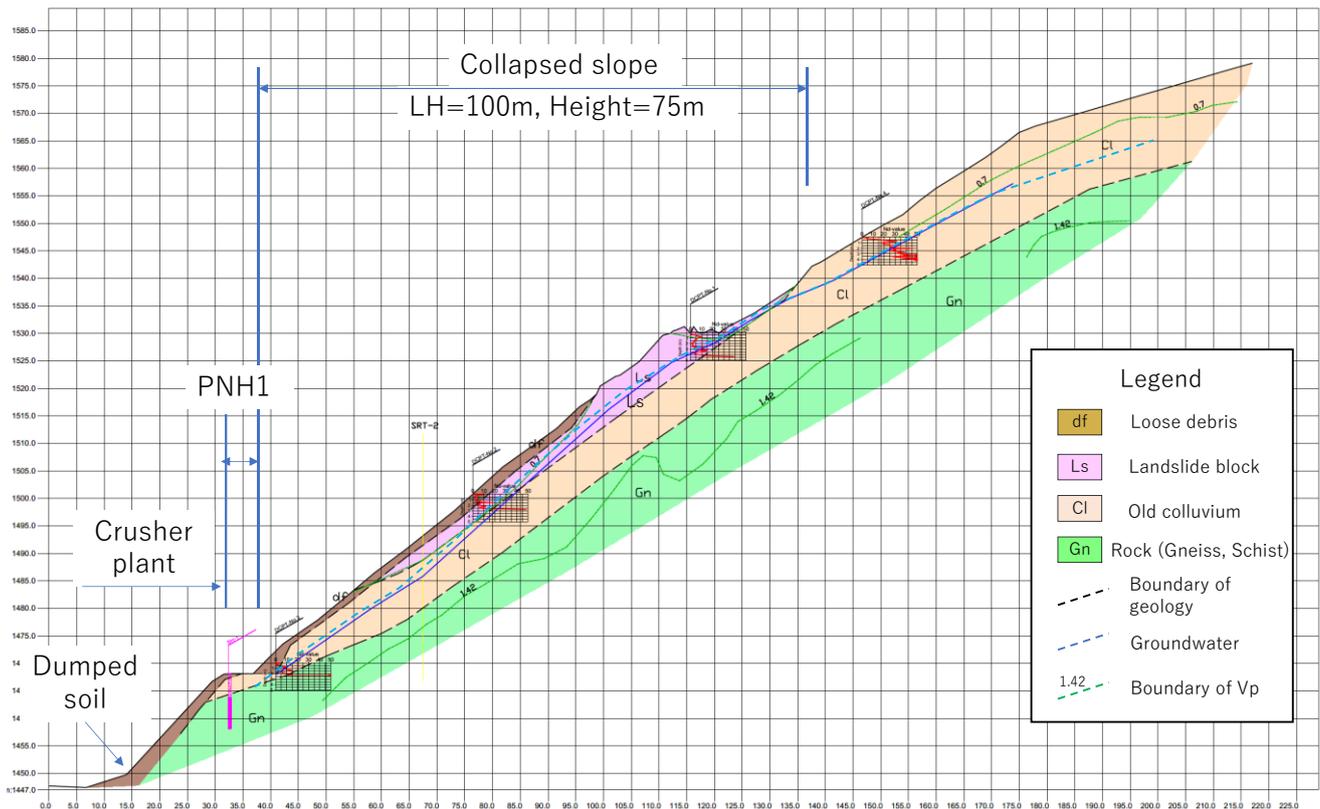
【パイロットサイト：Tekizampa 地区】

現地踏査およびボーリング調査、弾性波探査の結果から、対象斜面の地表地質平面図および地質断面図を作成した。



(出典:JET、基図:Google Earth)

図 3.5-3 地表地質平面図



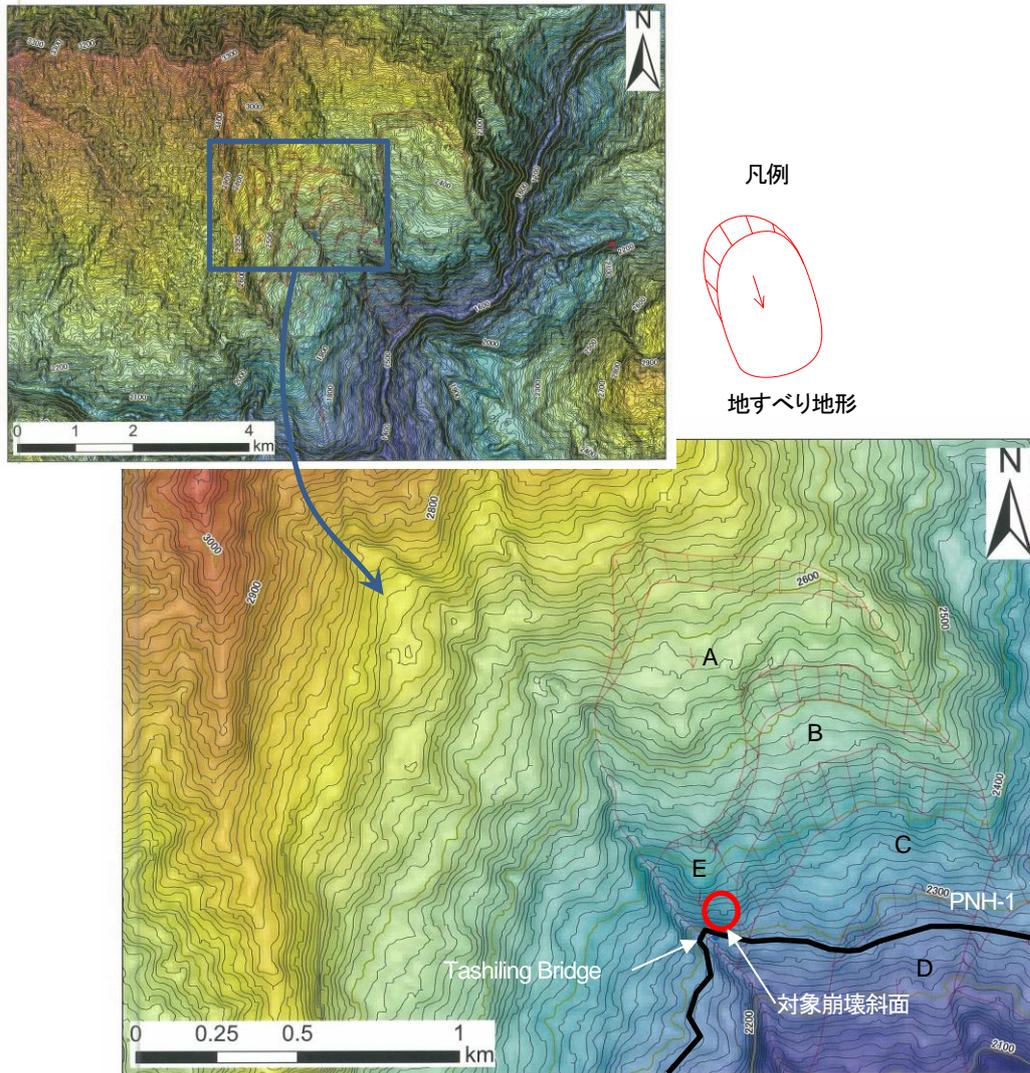
(出典:JET)

図 3.5-4 地質解析断面図

これを基に対策工の検討を行った。

### 【パイロットサイト Tashiling bridge 地区】

現地の調査結果について、以下の通りとりまとめた。また、現地状況の写真をとりまとめた。



(出典:JET)

図 3.5-5 Tashiling Bridge 地区の地すべり地形判読図

- 標高 3300m の主稜から 1500m の Mangdechu に至る (図 3-13 上図参照)。巨大な地すべりブロックが密集している。巨大ブロックの上部・下端の地形は不明瞭である。
- 対象斜面は主要な地すべりブロック A の側方にあたり、この地すべりブロックは対象斜面西側の溪流による谷の下刻の進行に伴い不安定化した地すべりブロックである。特に、溪流の左岸側にあたる地すべりブロック A の側部が 2 次的に活動しているように見える (地すべりブロック E)。これに加え、国道の拡幅工事に伴う切土工によりさらに斜面が不安定化したと考えられる。
- 溪流の左岸側斜面は新しい亀裂が多く発達しており、溪流に向かって斜面崩壊が発生しており、極めて不安定な状態である。



(出典:JET、基図:Google Earth)

図 3.5-6 地表踏査図面

対象斜面内には崩壊土砂や岩塊が残留しており、将来的に不安定化し崩落する可能性がある。また斜面内には常時湧水が確認され、これにより斜面地盤が軟弱化し、地盤への浸透により地下水へ供給されていると考えられる。

崩壊斜面西側の溪流では、溪流の右岸側（西側）の斜面勾配はほぼ垂直に近い岩盤斜面であり崩壊箇所は確認されず、斜面は安定していると判断される。一方、左岸側（東側）の斜面勾配は30～40度となり、表層崩壊箇所が多く確認され、崩壊土砂が溪流まで達している。先述の片理の示す走向・傾斜から、左岸側斜面の岩盤構造は沢側に傾斜（流れ盤）しており、崩壊しやすい状況にあると考えられる。一方で右岸側斜面の岩盤構造は逆勾配に傾斜（受け盤）しているため高角度の斜面を形成しているが、斜面崩壊も起きにくい条件であると言える。

DoSTのBridge Divisionが発注した調査・設計業務の報告書案が提出された。この調査報告書についてレビューを行った。主に以下の点についてコメントを行い、Bridge Divisionの担当者に共有、説明を行った。

- 崩壊箇所の範囲および分布位置の確認
- ボーリング調査結果および分布する地層の解釈について
- 弾性波探査結果との整合性

#### 活動4-3 対象路線・斜面に対して適切な対策工法を選定する

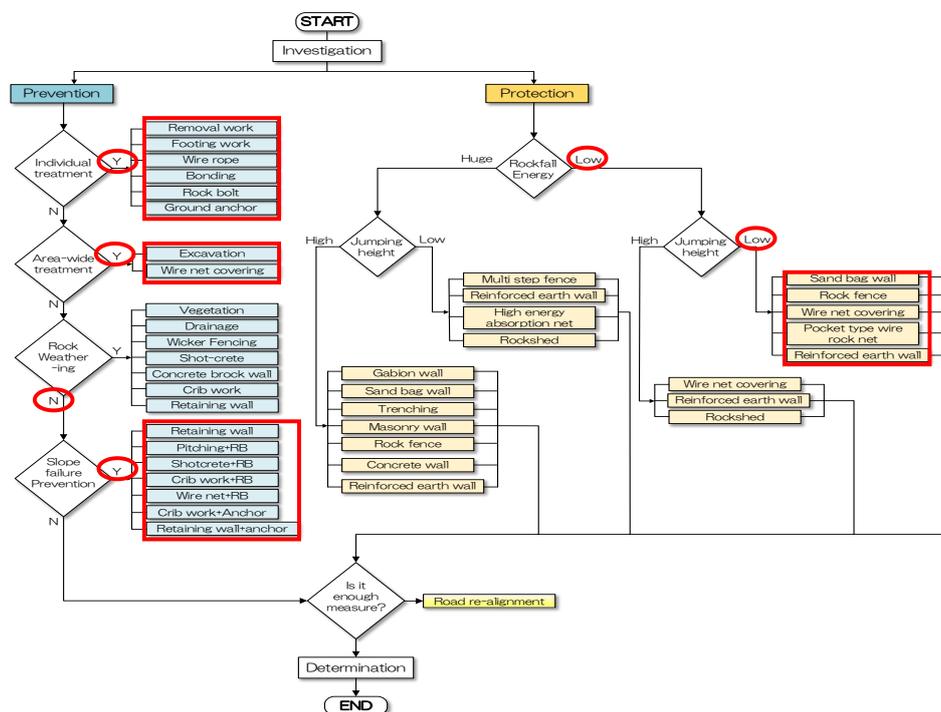
【パイロットサイト Chendebji 地区】

対策対象地選定作業の中で、詳細計画策定調査で決定していた落石防護壁の設置について改めて

DoST 側と協議を行い、第一回目の試験施工に待ち受け式の落石防護工を適用することについて了解を得た。詳細計画策定調査では、大型土のうを使った落石防護工法の適用が想定されていたが、DoST 側から、設置スペースの確保が困難、景観を損なう外観、土のうが海外（日本）からの輸入になるため従来工法より経済的に不利という理由から、大型土のう以外の材料を用いた落石防護工法を検討することになった。前述した調査結果を基に、DoST と協議をして以下の対策工の選定方針を決定した。

- 1) 対策工は落石および小規模な表層崩壊を対象とする。これに再活動型地すべりは含まれない。
- 2) ブータン国内で入手可能な資材を極力活用する。
- 3) 現在の道路線形は変えない。
- 4) 既存の対策工（Boulder wall）は手を付けない。
- 5) 落石の衝撃力が 300kN 以下に対応できる構造物とする。
- 6) それ以上の落石エネルギーを有する浮石は可能な限り除去する
- 7) 斜面末端部の安定性確保も考慮する
- 8) 施工による斜面安定性への影響を最小限になる工法とする
- 9) 排水対策工を併用する。

これら条件や前述の調査結果から、Section A と Section C を対象に対策工を検討することとした。対策工選定は、以下に示す日本で一般的に用いられている落石対策工選定フローを基に行った。



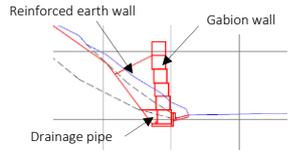
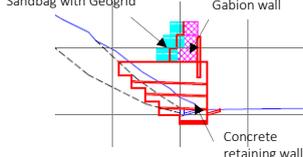
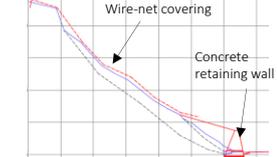
(出典：落石対策便覧、日本道路協会)

図 3.5-7 対策工選定フロー

協議した対策工選定方針と上記の選定フローを基に、当パイロットサイトでの対策工として 3 案を選定し、比較検討を行った。以下に対策工選定表を示す。選定した 3 案は、「第 1 案：ジオグリッドを用いた補強土壁による落石防護壁」、「第 2 案：コンクリート擁壁+土のうによる落石防護壁」、

「第3案：コンクリート擁壁＋落石防護網工」である。比較検討項目は、「対策工の効果」、「施工性」、「経済性」の3点である。比較検討の結果、作業性と施工による斜面安定性への影響度、ブータンでも入手が容易な素材の仕様などの面から、第1案がもっとも有利である結論を得た。よって、1回目のパイロットサイトの対策工として、ジオグリッドを用いた補強土壁による落石防護壁を採用することとした。

表 3.5-3 対策工選定表

	PLAN 1	PLAN 2	PLAN 3
Schematic drawing of Planned countermeasure			
Purpose of method	The plan is to retain the unstable slope and to protect from rockfall by absorption of rockfall energy by reinforced earth wall.	The plan is to retain the unstable slope by retaining wall, and to protect from rockfall sandbag wall with geogrid. Gabion wall is support of sandbag.	The plan is to retain the unstable slope by retaining wall and backfill as counter-weight. The unstable rocks on the slope are settled by the wire-net.
Feature of Measure	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ The reinforced earth wall using geotextile absorbs the impact of falling rocks without greatly expanding the road on the valley side and contributes to the stability of the back slope itself.</li> <li>■ A pocket for falling rocks is secured by inclining the upper surface to the mountain side.</li> <li>■ Since the amount of excavation is relatively small, there is small impact on slope stability.</li> <li>■ It is difficult to treat high-energy rockfalls.</li> <li>■ It can be constructed with materials available almost in Bhutan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ By making a concrete base, it can be secured a space and pocket for the rock fall protection wall in the upper part without greatly expanding the road on the valley side. The concrete base also contributes to slope stability.</li> <li>■ The rockfall protection wall itself uses a sandbag, so it is easy to be constructed and maintained.</li> <li>■ It is difficult to treat high-energy rockfalls.</li> <li>■ It will affect landscape relatively due to large concrete structure.</li> <li>■ It can be constructed with materials available almost in Bhutan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Adopt wire net work with protective and preventive functions. Therefore, the rocks on the slope can be kept on the original position, or rockfall kinetic energy can be reduced.</li> <li>■ The effectiveness for rockfalls with relatively large kinetic energy can be expected.</li> <li>■ The work can contribute to the stability of the debris on the slope surface.</li> <li>■ Material costs and construction costs for wire nets will be expensive.</li> <li>■ Periodic maintenance to removal of debris behind the net is required.</li> </ul>
Validity/Effectiveness	By removing rocks that are assumed to be high energy, it can be expected to protect against most rocks on the slope. It is also expected to prevent the collapse of unstable sediment on the slope.	By removing rocks that are assumed to be high energy, it can be expected to protect against most rocks on the slope. It is also expected to prevent the collapse of unstable sediment on the slope.	Wire net covering work can be expected to have effectiveness of protective and preventive work. Stabilization of rockfall and slope surface can be expected.
Workability	It is more lightweight than a concrete structure and can be constructed with ordinal machineries. Since slope excavation required, excavation and embankment laying must be done carefully and by stages.	Since the amount of excavated soil at the lower part of the slope is the largest in the three plans, excavation and concrete placement work must be done carefully and by stages. Quality control of concrete is important.	Since the excavation area on the slope is small, there is little impact on slope stability, and it is easy to ensure safety during work under the slope. On the other hand, wire net work requires work in high places, so safety must be ensured.
Economic efficiency	80,000 BTN/m The plan is the cheapest method among the three plans. Imported geotextile is a relatively expensive material, but other materials can be procured in Bhutan.	210,000 BTN/m The materials can be procured in Bhutan. Although the expected effectiveness is almost the same as PLAN 1, but the unit price is higher than PLAN 1 due to the large amount of concrete work.	1,100,000 BTN/m Although the concrete retaining wall construction cost for slope countermeasures is cheaper than PLAN2, the material cost and construction cost of the wire net are expensive.
Evaluation	○	△	×

○: Reasonable, △: Moderate, ×: Poor

(出典: JET)

【パイロットサイト Tekizampa 地区】

調査および解析により、対象斜面の不安定箇所を特定した。この不安定箇所に対して対策工を検討した。対策工を検討する上で、不安定土塊を①除去する、②原位置に固定する、の2つの案が考えられた。

これらの2つの計画について具体的な対策工種および有利な点、課題、概算工費を検討し比較をした。それぞれの計画の概要を以下に示す。

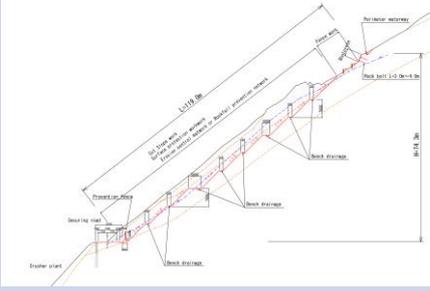
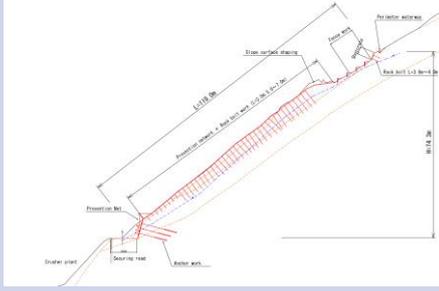
■ Plan1

不安定土塊を切土工により除去し、地質に応じて適切な切土勾配を形成する。頭部の滑落崖部はモルタル吹付工と鉄筋挿入工により補強する。切土後の斜面上には排水路工を敷設し、斜面内の表流水を適切に排除する案である。

■ Plan2

不安定土塊を構造物（アンカー工および鉄筋挿入工）により押さえ、原位置に固定する。頭部の滑落崖部はモルタル吹付工と鉄筋挿入工により補強する。排水路工は対象斜面周辺に敷設し、斜面外からの斜面内部への流入を防ぐ。

表 3.5-4 対策工選定表

	Plan 1 To stabilize by changing to stable shape (remove all unstable part)	Plan 2 To stabilize by structural force (mechanical countermeasure)
Standard cross section		
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stability of the slope can be secure after countermeasures due to removing all unstable part.</li> <li>Maintenance after work is easy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduce the risk of secondary slope failure during construction due to minimal removal of unstable part</li> </ul>
Issue	<ul style="list-style-type: none"> <li>A long-term construction period will be required.</li> <li>It is difficult to ensure the safety of the national highway during cutting work (road closure measures are required)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Material and machinery may be brought from out of country (construction costs will increase)</li> <li>Maintenance of the structures is required regularly after completion of the construction</li> </ul>
Rough cost	<b>51,000,000 (Nu)</b>	<b>250,000,000 (Nu)</b>

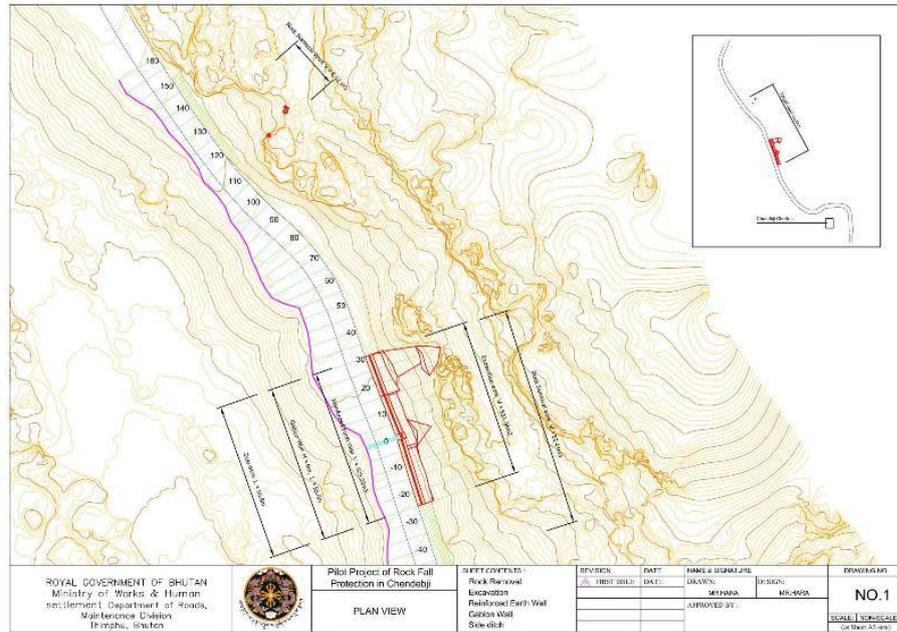
比較検討の結果、Plan2 はブータン国内の施工業者にあまり経験がない工法であり、Plan1 に比べ工費が約5倍となるため、Plan1 を採用することを提案し、2023年1月31日のDCCにおいて決定した。

#### 活動 4-4 選定した対策工の計画・設計を行う

活動 4-3 で比較検討を行い選定した対策工の設計を行った。

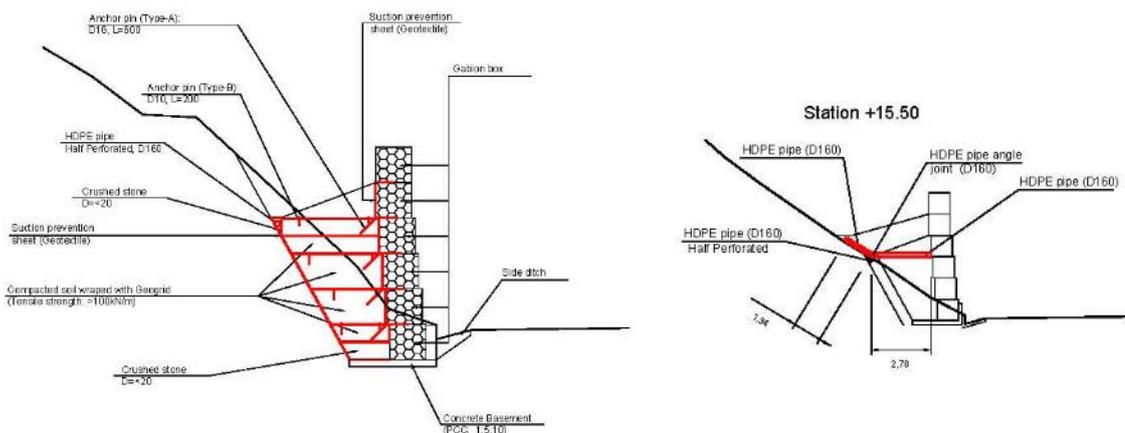
#### 【パイロットサイト Chendebji 地区】

- 1) 浮石除去工
- 2) 補強土壁+Gabion壁
- 3) 排水工



(出典:JET)

図 3.5-8 パイロットサイトの対策工設計図面(抜粋) (1)



左:補強土壁標準断面図、右:排水工

(出典:JET)

図 3.5-9 パイロットサイトの対策工設計図面(抜粋) (2)

## 【パイロットサイトTekizampa地区】

### (1) 採用した対策工

- 1) 切土工
- 2) 斜面保護工
- 3) 小段水路工
- 4) モルタル吹付工+鉄筋挿入工
- 5) 地下水排除工
- 6) 木柵工
- 7) 落石防護柵
- 8) 道路拡幅工

### (2) 施工上の課題

#### ■ ブータン国内では一般的ではない工事の施工

今回採用した工種のうち、モルタル吹付工や鉄筋挿入工、地下水排除工は国内での施工実績はあるものの、多くはなく、また多くは外国の施工業者による施工実績が主体となる。しかし、施工のための材料は国内または輸入により比較的容易に入手でき、施工機械を保有する国内業者はあるため、施工業者へのそれぞれの工種に対して施工指導を行うことで、実施は可能であると判断した。

#### ■ 長期的な工期

パイロットサイトの施工範囲はこれまでのパイロットサイトと比べ広く、工事量も多いため、少なくとも2年はかかることが予想される。

#### ■ 土捨て場の確保

今回の工事の主体は切土工となる。その工事により発生する土量は約30,000m<sup>3</sup>となるため、この土砂を排出する土捨て場の確保が重要となる。現時点では、工事現場から約900mの位置にある道路斜面を確保し、森林局より土砂投棄の許可を得ている。

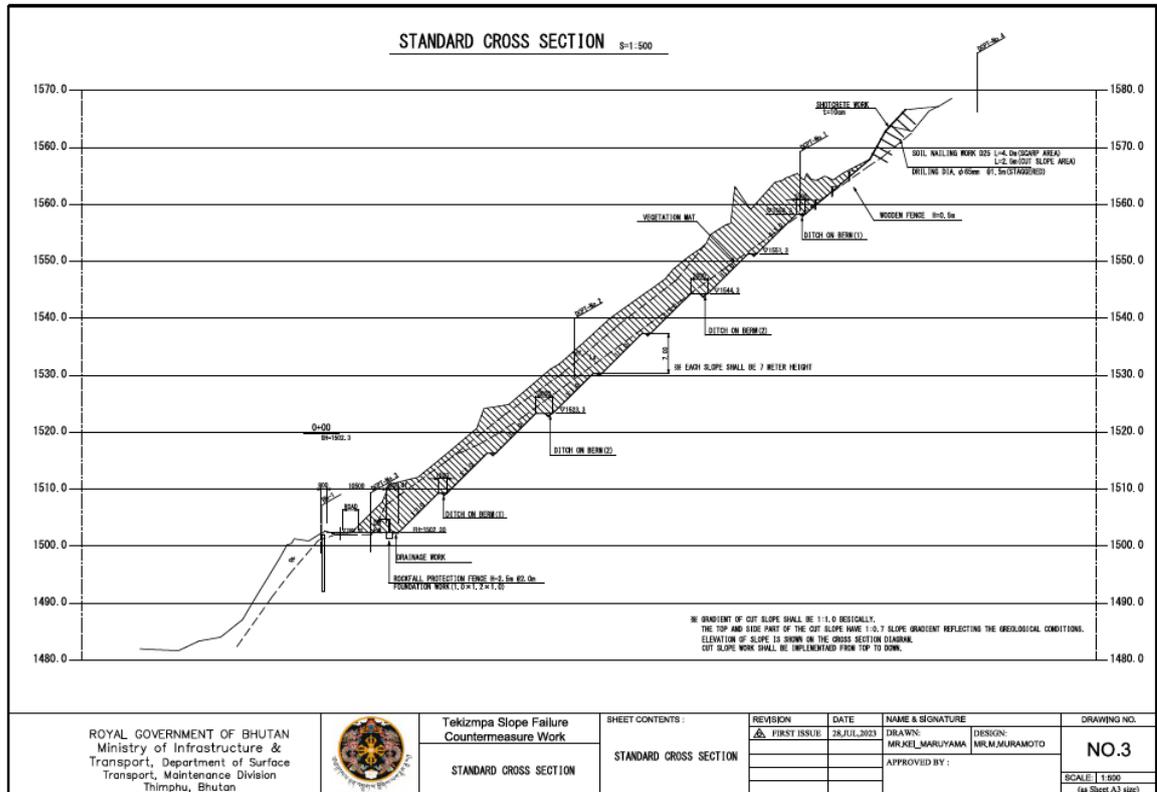
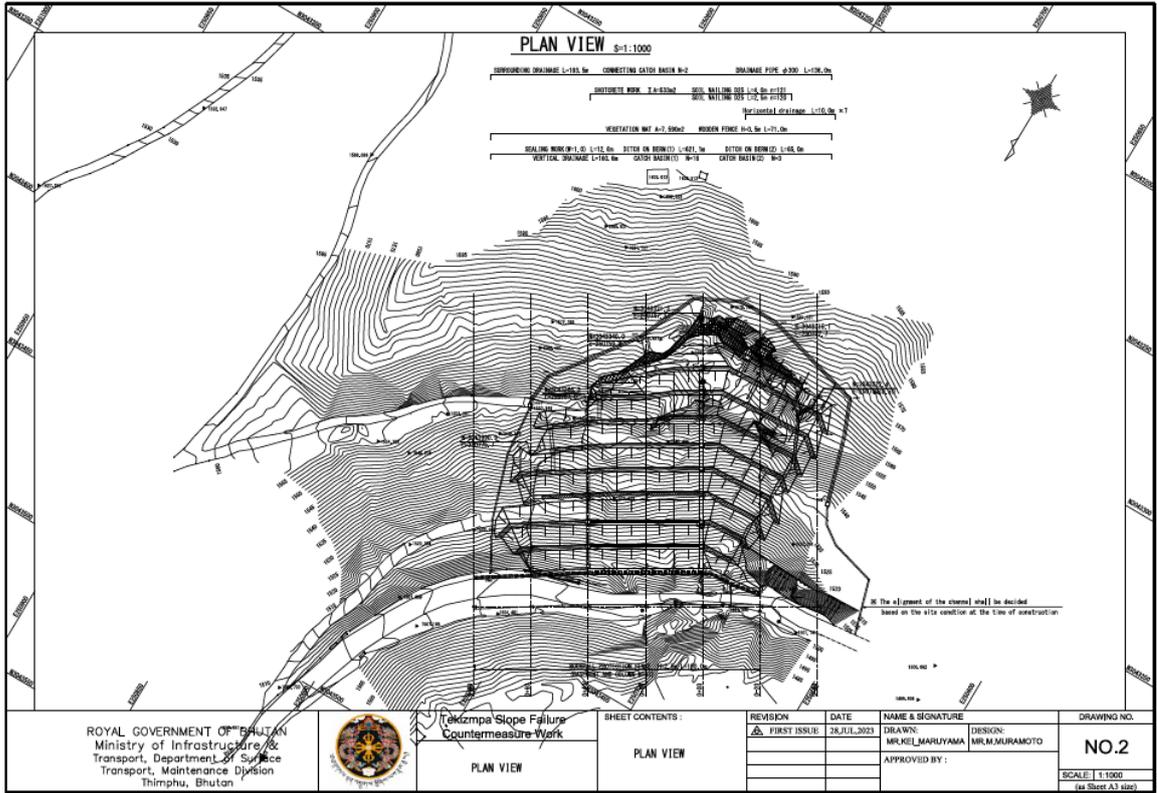


図 3.5-10 パイロットサイトTekizmpaの対策工設計図面

#### 活動 4-5 選定した対策工を施工する

##### 【パイロットサイト Chendebji 地区】

DoST によりブータンの調達法に則り施工業者の入札が行われた、この入札の結果、Druk Rabgyal Construction が落札し、施工業者として DoST との施工契約が 2020 年 2 月上旬になされた。施工監理は、DoST の Trongsa 地方事務所の監督官と日本人専門家チームの施工管理担当者および現地で雇用された現場代理人で実施した。

工事は当初 4.5 ヶ月の工期を想定していたが、COVID-19 の感染拡大によりインドからの資材調達ができず、またブータン国内でも外出禁止令が発出されたことにより、工程に遅れが生じた。これらの工程の遅れにより、工事期間がモンスーン期にずれ込むこととなり、さらに工事進捗速度は低下した。インドから調達予定の資材については DoST が保有していた同等の仕様を持つ資材を使って実施した。この工事は 2020 年 11 月に完了した。工事期間中には、設計時に想定されていなかった事象が明確化、および発生した。これらの状況に対応するために 3 回の設計変更を行った。



写真 3.5-1 補強土壁落石防護壁完成状況 (2020/11/5, 出典:JET)

##### 【パイロットサイト Tekizampa 地区】

DoST によりブータンの調達法に則り施工業者の入札が行われた、この入札の結果、Rigsar Construction Private Limited が落札し、施工業者として DoST との施工契約が 2023 年 11 月 7 日になされた。施工監理は、DoST の Lobesa 地方事務所の監督官と日本人専門家チームの施工管理担当者および施工指導担当者、現地で雇用された現場代理人である。11 月下旬から工事が開始され、2024 年の雨期（6 月）までに第 1 フェーズ（上位から 3 段目までの切土のり面まで施工）を完了させる工程で施工を実施した。なお、第二フェーズ（上位から 4 段目より下方）は 2024 年秋からの乾季に DoST が主体となって実施される予定となっている。



アクセス道路の建設



第 1 フェーズの施工完成間近(2024/6/14)

写真 3.5-2 Tekizampa 準備工状況

#### 活動 4-6 選定した対策工事に係る安全管理活動を実施する

今回のパイロットサイトにおける対策工事で実施した安全管理活動の内容は以下の通りである。

- (1) ヘルメットの着用の義務化
- (2) 危険予知活動 (KY 活動) の実施
- (3) 交通誘導員 (Watchman) の配置
- (4) ブルーシートによる斜面の保護

#### 活動 4-7 選定した対策工の設計・施工管理要領と標準単価表を作成する

落石対策工の設計・施工管理要領および標準単価表は、3 箇所で開催される落石対策工工事において作成した施工手順や対策工の設計図面および図書・施工監理指示書を基に、設計・施工管理要領と標準単価表を作成した。2020 年にパイロットサイト 1 箇所目の対策工事が完了したことを受け、当技術要領の目次および作成方針を検討し、設計施工監理要領(ver.1)を作成した。この要領は、調査設計編と施工監理編の分冊とした。また、パイロットサイト 2 箇所目の作業は継続しているものの、第一フェーズを進める段階で、設計・施工管理要領はアップデートされた。

表 3.5-5 落石対策工の設計施工監理要領および標準単価表の目次

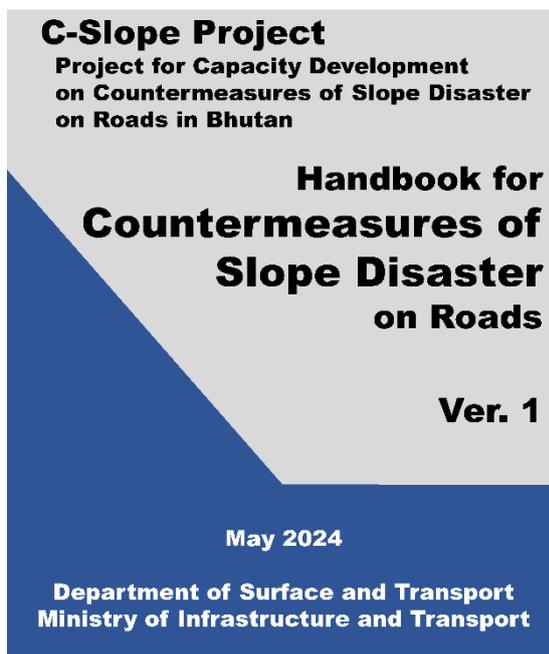
Design/Implementation Guideline for Rock Slope Failure Countermeasure Works in Bhutan I : Planning, Investigation and Design (Ver.1)		Design/Implementation Guideline for Rock Slope Failure Countermeasure Works in Bhutan II : Construction Management (Ver.1)	
1	Basic study procedure	Chapter-1	Construction Plan
2	Investigation and Analysis for Rock slope	1	Description
	2.1. Topographical survey and Cross-sectional survey	2	Requirement
	2.1.1. Topographical survey	Chapter-2	Quality Control
	2.1.2. Cross-sectional survey	1	Quality Control for each work
	2.2. Investigation method for Rock slope	2	Field Checklist
	2.2.1. Interview survey	3	As Built Control
	2.2.2. Site reconnaissance	4	Progress Control
3	Design for rock slope countermeasure	Chapter-3	Safety Control
	3.1. Calculation method of kinetic energy of rockfall	1	Preface
	3.2. Calculation method of Impact force of rockfall	2	Prevention of occupational accidents due to slope failure in cut slope construction
	3.3. Selection of countermeasure for Rockfall disaster	3	Safety Plan
	3.4. Design of countermeasure construction of rock protection wall	4	Meeting with the Client
	3.4.1. General	5	Dairy Works
	3.4.2. Material	6	Work Item
	3.4.3. Procedure of design of geogrid reinforced earth wall	7	Field Checklist
	3.4.4. Set the conditions and structural calculation		
	Appendix 1: Structural calculation sheet of the reinforced earth wall in case of Slope in Chendebji	Appendix-1:	Sample of Construction Plan
	Appendix 2: Design drawings of rockfall countermeasure work in case of Slope in Chendebji	Appendix-2:	A Field Checklist on Quality Control for Construction (DRAFT)
	Appendix 3: Quantity survey for the construction of Rockfall countermeasure work on the slope in Chendebji	Appendix-3:	Sample of Weekly Meeting Report
	Appendix 4: Cost Estimation for the Rockfall countermeasure work on the slope in Chendebji	Appendix-4:	Sample of Daily Construction Report

(出典:JET)

## 活動 4-8 斜面崩壊対策ハンドブックを作成する

対策ハンドブックには成果 1 から 5 までの活動および対策工事についてまとめられている。このハンドブックは、DoST の技術者が斜面制御対策を実施する際の参考資料となることを意図している。また、斜面对策を実施する上で実施すべき活動のヒントとなるような内容を記載している。したがって、調査から設計、対策工の選定まで詳しい記述ではなく、広く一般的な内容となる。それぞれの詳しい内容については各成果で作成されたガイドラインを参照することとなる。

ハンドブックの表紙および目次を示す。



### Contents

Preface .....	1	3.2.4 Required dimension for flowing debris .....	75
<b>Chapter 1. Soil slope failure.....5</b>		<b>3.3 Selection of countermeasure work .....</b>	<b>76</b>
1.1 Evaluation of slope hazard.....5		3.4 Concept of counterwork.....	78
1.1.1 Inspection.....5		<b>Chapter 4. Ex-ante Traffic Control.....81</b>	
1.1.2 Evaluation.....7		4.1 Monitoring for ex-ante traffic control.....81	
1.2 Survey and investigation.....7		4.1.1 Monitoring of rainfall.....81	
1.2.1 Topographical survey.....7		4.1.2 Monitoring of slope disaster.....81	
1.2.2 Site investigation.....9		4.1.3 A case in Bhutan, 2019-2024: slope monitoring for ex-ante traffic control.....83	
1.2.3 Analysis.....24		4.1.4 A case in Bhutan, 2020-: Slope disaster recording system.....84	
1.3 Selection of countermeasure work.....28		<b>4.2 Setting the rainfall threshold for ex-ante traffic control.....85</b>	
1.4 Concept of counterwork.....30		4.2.1 Target slope disaster type for ex-ante traffic control.....85	
1.4.1 General.....30		4.2.2 Data collection.....85	
1.4.2 Concept of design of countermeasure.....31		4.2.3 Setting the rainfall threshold.....87	
<b>Chapter 2. Rock slope failure (Rockfall).....41</b>		<b>4.3 Procedure for ex-ante traffic in Bhutan.....89</b>	
2.1 Evaluation of slope hazard.....41		4.3.1 Total implementing procedures of ex-ante traffic control.....89	
2.1.1 Inspection.....41		4.3.2 Total lifting procedures of the ex-ante traffic control.....91	
2.1.2 Evaluation.....43		<b>4.4 Ex-ante traffic control drill, and resetting of the procedures/rainfall thresholds.....93</b>	
2.2 Survey and investigation.....43			
2.2.1 Topographical survey.....43			
2.2.2 Site investigation.....46			
2.2.3 Analysis.....51			
2.3 Selection of countermeasure work.....58			
2.4 Concept of counterwork.....61			
2.4.1 Protection work.....61			
2.4.2 Prevention works.....63			
<b>Chapter 3. Debris flow.....67</b>			
3.1 Evaluation of slope hazard.....67			
3.1.1 Inspection.....67			
3.1.2 Evaluation.....69			
3.2 Survey and Investigation.....70			
3.2.1 Desk study.....70			
3.2.2 Field survey.....72			
3.2.3 Calculation of estimated volume of flowing debris.....73			

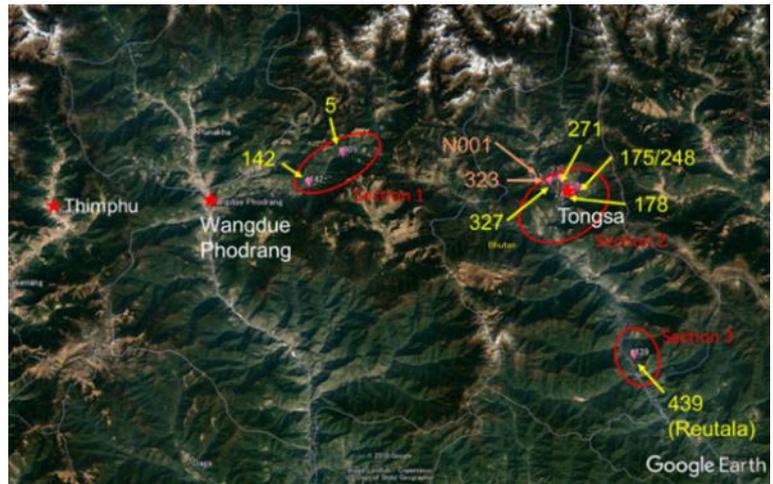
図 3.5-11 ハンドブックの表紙および目次

### 3.6 成果5：「土石流」に対する適正な対策工の導入

#### 活動5-1 道路防災点検結果に基づいて対象路線・斜面を選定する

##### 1) 1回目のパイロットサイトの選定

先行案件のマスタープラン調査において、ロベサおよびトンサ事務所管内で土石流対策工の試験施工候補地として6渓流が抽出されていた。また、これらの管内では、DoSTが道路拡幅事業実施中ないし今後計画している路線において、最近土砂流出が4渓流で発生したという情報が得られた。パイロットサイトの選定にあたっては、これら計10渓流について、机上にて流域面積、溪床勾配、地質等の諸元をとりまとめて渓流のタイプ区分を行った。また、候補渓流の全数について詳細な現地確認を行い、対象斜面をCPとともに選定した。パイロットサイト候補箇所的位置図およびパイロットサイトの選定にあたって整理した諸元の一覧を以下に示す。



(出典:JET)

図 3.6-1 1回目のパイロットサイト候補箇所の位置図 (Lobesa: 2, Trongsa: 8 Slopes)

表 3.6-1 1回目のパイロットサイト候補箇所の地形・地質および対策施設の諸元

No	Office	Sec.	ID No.	PNH	Cross Section Num	Max Channel Order	φ Max	Maximum Volume of Unstable Soil (m3)	Volume of Soil that can be Eroded by Estimated volume of Rainfall (m3)	Estimate Volume of Debris Flow (m3)	Peak Flow Rate (m3/s)	Cross-Sectional shape of Debris Flow		Minimum Drainage Facility #1		Current Status #2				2-1 Judge	Widening	Proposed site for Pilot Construction 17/Apr/2019	
												W	D	W	D	W	D	φ	L				Condition
1	Lobesa	1	142	1	3	0	1.2	2,440	15,070	2,440	27.1	2.4	1.4	2.4	2.0	-	-	1.0	200	Erosion on the lower downstream side. 0.3 m sink.	NG	Complete	B
2	Lobesa	1	5	1	5	2	1.2	22,180	72,010	22,180	246.4	5.0	3.2	5.0	4.0	1.5	1.5	-	6.0	Half of the downstream side is a bridge	NG	Complete	B
3	Trongsa	2	327	1	1	0	1.2	1,000	5,510	1,000	11.1	2.4	0.8	2.4	1.4	1.0	1.5	-	8.0	2/3 on the upstream side is buried with soil	NG	In progress	B
4	Trongsa	2	323	1	9	2	1.6	28,910	151,240	28,910	321.2	6.0	3.9	6.0	4.7	3.0	3.0	-	8.0	Countermeasures to be implemented	NG	In progress	A
5	Trongsa	2	N001	1	1	0	0.8	1,000	25,790	1,000	11.1	2.0	0.9	2.0	1.5	-	-	-	-	Countermeasures to be implemented	NG	In progress	B
6	Trongsa	2	271	1	9	2	2.4	11,360	167,770	11,360	126.2	5.0	2.4	5.0	3.2	3.0	3.0	-	8.0	New construction	NG	In progress	C
7	Trongsa	2	248	4	2	0	1.0	2,540	19,400	2,540	28.2	2.0	1.6	2.0	2.2	1.8	3.0	-	7.0	1/2 on the upstream side is buried with soil	NG	Undecided	C
8	Trongsa	2	175	4	1	0	0.6	1,000	8,270	1,000	11.1	2.0	0.9	2.0	1.5	1.5	1.5	-	6.0	1/2 on the upstream side is buried with soil	NG	Undecided	C
9	Trongsa	2	178	4	3	1	1.4	7,590	59,510	7,590	84.3	4.0	2.1	4.0	2.7	1.5	1.5	-	5.0	1/2 on the upstream side is buried with soil	NG	Undecided	B
10	Trongsa	3	439	4	2	0	1.6	1,000	6,890	1,000	11.1	3.2	0.7	3.2	1.6	1.5	1.5	-	7.0	Most of the upstream side is buried with soil	NG	Undecided	C

(出典:JET)

これらの結果、トンサから若干ロベサ側の北向き斜面に位置する No.323 (Bjee サイト) がパイロットサイトとして最適と判断された。

2) 2回目のパイロットサイトの選定

1回目のパイロットサイト選定後、COVID-19の影響を受けて2020年4月からプロジェクトが休止している間に複数の溪流で土石流や土砂流出が発生した。2回目のパイロットサイト選定にあたっては、これらの状況も踏まえて、これまでに候補としていた溪流も含めた18溪流について、机上にて流域面積、溪床勾配、地質等の諸元をとりまとめて溪流のタイプ区分を行った。これらの結果や現況の排水施設等の状況、災害発生時の影響度、すでに調査を実施した箇所等を勘案して、7溪流について追加して詳細な現地確認を行い、対象斜面をC/Pとともに選定した。2回目のパイロットサイト候補箇所の位置図およびパイロットサイトの選定にあたって整理した諸元の一覧を以下に示す。

(出典:JET)

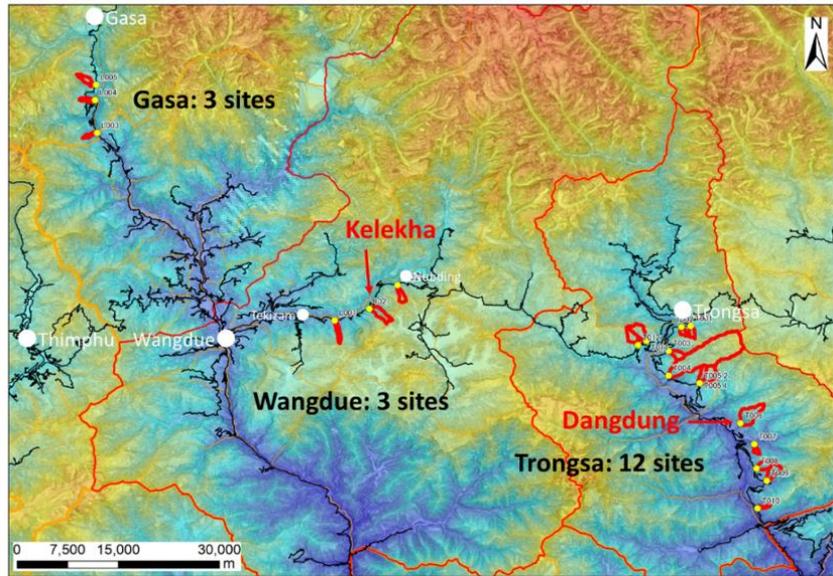


図 3.6-2 2回目のパイロットサイト候補箇所の位置図

表 3.6-2 2回目のパイロットサイト候補箇所の地形・地質および対策施設の諸元

Selection of Candidate Site for Debris Flow Countermeasure														Result					
Basic Information														Volume of expected debris flow (m <sup>3</sup> )	Cross-sectional shape of positive countermeasure facilities (Example)	Priority Order of Site Candidates (under consideration)			
No	ID	Name/Place	RO	NH No	Selected by	Intersection point	Catchment Area	Channel Trace	Maximum Stream Order	No. of Survey points	Priority of Survey	Intersection point	Current culvert size				Unstable soils on the channel	Photo for 3D-model	Note
1	T001	Near Teregangshou bridge	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	2	5	A	Done	1.6x1.0m	Done	Done	Requires special construction because it is directly under a substation.	13,120	4.0x3.6m	B
2	T002	Near garbage disposal site	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	1	4	D	Done	1.6x1.2m	Done	Done	No space for inlet	7,990	4.0x2.7m	B
3	T003	Before Dam Colony/MIFA	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	2	5	A	Done	1.6x1.0m	Done	Done	Suitable for study	19,030	5.0x4.0m	A
4	T004	After Kungrapoten (Truss Bridge)	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	4	20	C	Done	3x4.0m	Not planned	Done	Crossing by Truss Bridge			D
5	T005.1	Samchoing	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	1	3	B	Done	3.0x1.3m	Planning	Done	Merging after road crossing. Bridges are needed.	No Data		B
6	T005.2	Samchoing	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	1	2	B	Done	2.8x1.2m	Planning	Done	Merging after road crossing. Bridges are needed.	No Data		B
6	T006	2019 Debris flow at Tshongkhaog	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	2	13	D	Done	Hume pipe 0.9m	Done	Done	Hume pipe only	39,720	6.0x5.7m	A
7	T007	Opposite bank of Dangdung	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	0	1	C	Done	Hume pipe 0.9m	Not planned	Not Planned				C
8	T008	After DoR Kestala Office	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	2	6	A	Done	No culvert	Done	Done	No space for inlet	27,670	6.0x4.2m	B
9	T009	2019 Debris flow	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	1	5	D	Done	4.0x5.1m	Done	Done	There is a relatively large culvert. Recommend removal of old culvert.	11,510	4.0x3.6m	A
10	T010	Reutala	Trongsa	PNH6	Kinrang	Done	Done	Done	0	1	C	Done	2.4x1.2m	Done	Not Planned				C
11	T011	2020 Debris flow	Trongsa	PNH1	Nishimura	Done	Done	Done	2	12	B	Done	1.6x1.0m	Not planned	Done	Culverts are restored			C
12	T012	2020 Debris flow at Tashiling zam	Trongsa	PNH1	Nishimura	Done	Done	Done	2	8	B	Done	Hume pipe 0.9mx2	Done	Done	Bridge planning in progress	22,300	6.0x4.2m	D
13	L001	Big boulder	Lobesa	PNH1	Ashack	Done	Done	Done	1	5	A	Done	2.6x0.9m	Done	Done	Suitable for study	16,040	6.0x3.6m	B
14	L002	Near Quarry	Lobesa	PNH1	Ashack	Done	Done	Done	2	10	A	Done	1.4x1.4m	Done	Done	Suitable for study	22,500	6.0x4.1m	A
15	L003	Before Nubding	Lobesa	PNH1	Ashack	Done	Done	Done	2	5	B	Done	1.6x1.6m	Planning	Done	Suitable for study	No Data		B
16	L004	Near Gasa gate	Lobesa	SNH	Ashack	Done	Done	Done	2	5	C	Planning	Hume pipe 1.2mx2	Not planned	Not Planned				C
17	L005	Barsha	Lobesa	SNH	Ashack	Done	Done	Done	2	6	C	Planning	Hume pipe 0.9mx1	Not planned	Not Planned				C
18	L006	Dampi	Lobesa	SNH	Ashack	Done	Done	Done	3	7	C	Planning	Hume pipe 0.9mx1	Not planned	Not Planned				C
											A	High						High	A
											B	Middle						Middle	B
											C	Lo						Lo	C
											D	Done						No required	D

(出典:JET)

候補となった 18 箇所のうち、プロジェクト対象範囲外の斜面や 1 次谷より規模の大きな谷を含まない斜面（小規模な斜面）として机上検討段階で除外された 8 箇所を除く 10 箇所について、溪流内に堆積している不安定土砂量を詳細に調査した。これらの結果、PNH1 の Wangdue-Nobuding 間に位置する L002 (Khelekha サイト) および PNH5 のトンサ南部に位置する T006 (Dangdung サイト) において、近年土石流による通行止めを伴う大規模な災害が発生していることから、パイロットサイトとして排水施設の改善を検討することが急務と判断された。

これら 2 箇所について、2022 年 6 月 6 日に開催された DCC にて議論された結果、災害により路盤が流出する被害を受けた L002 (Khelekha サイト) を改良する優先度がより高いと判断され、2 回目のパイロットサイトとして選定された。

### 活動 5-2 土石流溪流の地形地質を踏査・評価する

1 回目のパイロットサイト候補箇所 10 箇所および 2 回目のパイロットサイト候補箇所 7 箇所について、詳細な机上調査および現地調査を実施し、地形地質状況を把握した。机上検討では、Google Earth 画像等から流域内の植生および崩壊地の分布状況、流域周辺の地形区分、溪床部の土砂堆積状況等について詳細に把握した。また、現地調査では、机上調査結果の確認とともに、断面形状や溪流の縦断勾配等を簡易なレーザー測距儀等を利用して計測し、浸食可能土砂量と運搬可能土砂量を算出して、計画流出土砂量を決定した。土砂量等の算出にあたっては、必要なパラメータを入力するだけで土砂量が算出できるエクセル計算シートを作成した。

これまでに調査を実施した 17 溪流 88 地点の横断調査の結果から、谷次数ごとの不安定土砂の平均断面形状を整理した。C/P と共同で調査数を増やし、将来的には地域・流域タイプ・地質を区分することで標準的な侵食可能土砂量を算出できる方法を検討するなど、C/P が理解・利用しやすく将来の横展開が容易に行えるような環境を整備した。



(出典: JET)

図 3.6-3 机上検討結果および現地調査(溪流内の不安定土砂量調査)の実施例 (2019/4/10)

表 3.6-3 不安定土砂量の計算シート(エクセル)の例(No.323 溪流)

Calculation Sheet of the Volume of Unstable Soil in mountain channel (1)							Calculation Sheet of the Volume of Unstable Soil in mountain channel (2)															
Road No.		1		Distance Mark(km)			0		Road No.		1		Distance Mark(km)			0						
Management Office							Trongsa						Management Office							Trongsa		
Check List No.		323		Management No.			0		Check List No.		323		Management No.			0						
Reference Point		Latitude		Longitude			0		Reference Point		Latitude		Longitude			0						
Point Name	Stream Order	Width (m)	Depth (m)	Sectional Area (m2)	Stream Order	Average Sectional Area (m2)	Top 10 Rock Diameter (m)															
2_01	2	8.2	1.5	12.0	4	0.00	Data No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
2_02	2	11.2	1.7	19.4	3	0.00	Point Name	2_01	2_02	2_03	2_04	2_05	2_06	1_01	1_02	0_03	0					
2_03	2	7.8	1.1	8.5	2	10.13	Max_01	1.2	0.4	0.6	0.4	0.6	1.4	0.6	0.4	0.8						
2_04	2	4.2	0.7	2.7	1	7.05	Max_02	1.2	1.2	1.0	0.4	0.8	1.2	0.4	0.6	0.4						
2_05	2	12.0	0.9	10.9	0	1.40	Max_03	0.8	1.0	0.8	0.6	1.2	0.6	0.8	1.0	0.6						
2_06	2	7.0	1.0	7.2	Basic Information		Max_04	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	1.2	0.6	1.6	0.6						
1_01	1	8.0	1.2	9.5	Field Work		Max_05	0.8	0.8	0.4	1.0	0.8	0.6	0.8	0.2	0.8						
1_02	1	4.0	1.2	4.6	Desk Work		Max_06	0.8	0.6	0.6	1.6	0.6	0.4	0.6	0.6	1.4						
0_03	0	2.4	0.6	1.4	Blue Letter Japanese Standard		Max_07	0.6	1.0	0.4	1.2	0.4	0.6	0.6	1.2	0.6						
				0.0			Max_08	0.6	0.6	0.6	1.0	0.6	0.4	0.6	0.6	0.4						
				0.0			Max_09	0.8	0.8	0.6	0.6	1.0	0.6	0.6	0.2	0.8						
				0.0			Max_10	0.8	1.0	0.6	0.8	1.4	0.4	0.6	1.2	1.0						
				0.0			Data No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
				0.0			Point Name	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
				0.0			Max_01															
				0.0			Max_02															
				0.0			Max_03															
				0.0			Max_04															
				0.0			Max_05															
				0.0			Max_06															
				0.0			Max_07															
				0.0			Max_08															
				0.0			Max_09															
				0.0			Max_10															
Stream Order	Channel Length (m)						Maximum Rock Diameter (φ Max)															
	Route A	Route B	Route C	Route D	Total		1.6 m															
4							2 x Maximum Rock Diameter (2 φ Max)															
3							3.2 m															
2	2,286	2,286	1,316	2,286																		
1	689	317	545	1,880																		
0	636	601	870	6,074																		
Volume of Unstable Soil(m3)	28,910	26,240	18,400	0	44,910																	
Maximum Volume of Unstable Soil in a Channel (m3;Min=1000)	28,910				Route A																	

Calculation Sheet of the Volume of Unstable Soil in mountain channel (3)							Calculation Sheet of the Volume of Unstable Soil in mountain channel (4)															
Road No.		1		Distance Mark(km)			0		Road No.		1		Distance Mark(km)			0						
Management Office							Trongsa						Management Office							Trongsa		
Check List No.		323		Management No.			0		Check List No.		323		Management No.			0						
Reference Point		Latitude		Longitude			0		Reference Point		Latitude		Longitude			0						
Calculation of slope up to 200 m upstream							Peak Flow Rate of debris flow															
Horizontal Distance H(m)	Vertical Distance V(m)	tan θ	θ (rad)	Slope up to 200 m upstream θ (°)	Slope up to 200m upstream (Measurement)		Concentration Rate per volume of Soil at Channel C*	Soil Concentration Rate Cd'	runoff by one debris flow Vdqp (m3/s)	Total Volume of Debris Flow ZQ (m3)	Peak Flow Rate of Debris Flow Qsp (m3/s)											
200	70	0.35	0.34	19.29	H=200m, V=70m		0.6	0.54	28,910	32,122	321.2											
Catchment Area A(km2)	Expected Daily Rainfall Pp (mm/Day)	Slope up to 200 m upstream θ (°)	Slope up to 200 m upstream (tan θ)	Water density ρ (t/m3)	Rock density σ (t/m3)	Internal friction angle of soil φ (°)	Roughness factor	Slope up to 200m upstream θ (°)	Slope up to 200m upstream sin θ	Parameter	Peak flow rate that can flow down Qsp(m3/s)											
3.66	140.8	19.29	0.35	1.2	2.6	35	0.10	19.29	0.33	0.10	321.2											
Coefficient (Japanese Standard)							Examination of cross-sectional shape that can flow peak flow															
Outflow rate Kf2	Outflow rate (Correction) Kf2'	Soil Concentration Cd	Soil Concentration (Correction) Cd'	Roughness factor n	Soil concentration per unit volume C*	Porosity Kv	Flow width of the Bda(m)	Depth of debris flow Dr (m)	Area of Cross Ad (m2)	Velocity of debris flow U (m/s)	Peak flow rate that can flow down Qsp(m3/s)	Judge 2φ Max	Judge Dr									
0.15	0.15	0.86	0.54	0.1	0.6	0.4	1.0	11.2	11.20	28.8	322.2	NG	OK									
Volume of soil that can be transported by Estimated volume of rainfall (m3)							Adjust the value and judge "OK" or "NG"															
151,240							$U = \frac{1}{K_s} \cdot D_s^{0.75} (\sin \theta)^{0.75}$ $Q_{sp} = U \cdot A_c$ $D = A_c / B_a$															
Maximun Volume of Unstable Soil (m3)							28,910															
Volume of soil that can be transported by Estimated volume of rainfall (m3)							151,240															
Estimate volume of debris flow (m3)							28,910															
$V_{dy2} = \frac{10^3 \cdot P_p \cdot A \cdot C_d}{1 - K_s} \left( \frac{C_d}{1 - C_d} \right) K_{f2}$																						

(出典:JET)

表 3.6-4 谷次数ごとの不安定土砂の平均断面積

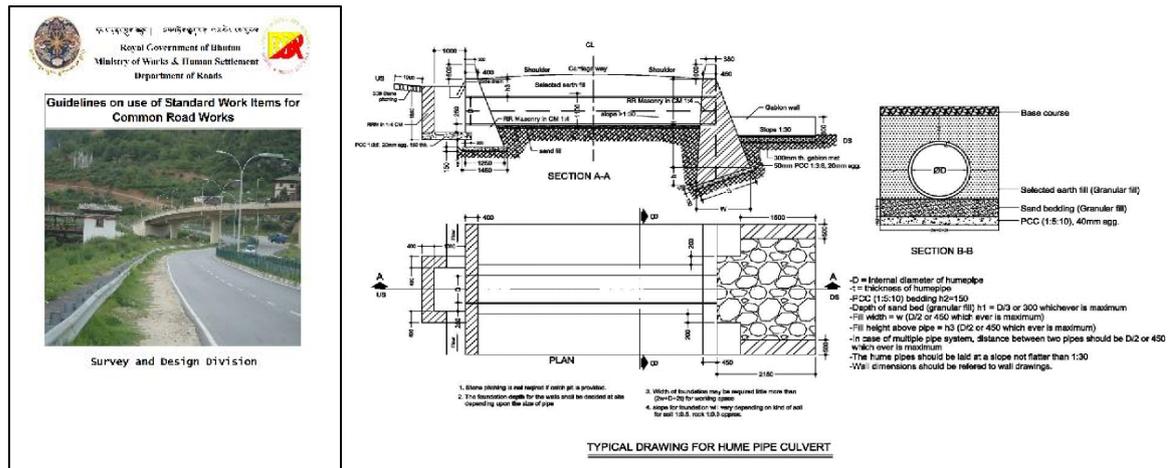
Channel Order	Trongsa		Lobesa		Total	
	Number of Survey	Average Cross-Sectional Area (m2))	Number of Survey	Average Cross-Sectional Area (m2)	Number of Survey	Average Cross-Sectional Area (m2)
4	0	-	0	-	0	-
3	1	17.40	0	-	1	17.40
2	23	8.65	7	8.43	30	8.60
1	24	7.14	6	9.58	30	7.63
0	21	4.50	6	4.65	27	4.54

(出典:JET)

### 活動 5-3 道路の排水システムに関する情報を収集・分析する

ブータン国の基準 (Road Design Manual 等) を精査し、排水システムの標準的な設置基準を把握した。ブータン国では、道路の設計・建設にあたっては DoST が策定した「Guidelines on use of Standard Work Items for Common Road Works」が参照されており、これらに標準的な排水工について記載がある。このガイドラインでは、PNH について標準的な断面が示されており、全幅員を 10.50m 確保した上で、斜面側には幅 1.0m の L 字排水工を設けることが求められている。また、路線を横断する排水工としてヒューム管による施工事例が掲載されている。

ただし、事例としては以下の標準断面図が掲載されているのみで、集水域や勾配等によって変化する排水量の検討等に関する記載は見られない。



(出典: Guidelines on use of Standard Work Items for Common Road Works)

### 図 3.6-4 「Guidelines on use of Standard Work Items for Common Road Works」の排水工に関する記載

また、道路を横断する排水工に着目して現地調査を実施した結果、ブータン国では少なくとも以下の 4 種類の工種が適用されていることが確認された。



\*1 左上:ヒューム管 \*2 右上:ボックスカルバート \*3 左下:アーチカルバート \*4 右下:橋梁  
(出典:JET)

写真 3.6-1 ブータン国で適用されている排水工の例

#### 活動 5-4 排水工・排水施設の計画・設計を行う

##### 1) 1回目のパイロットサイト (Bjee サイト)

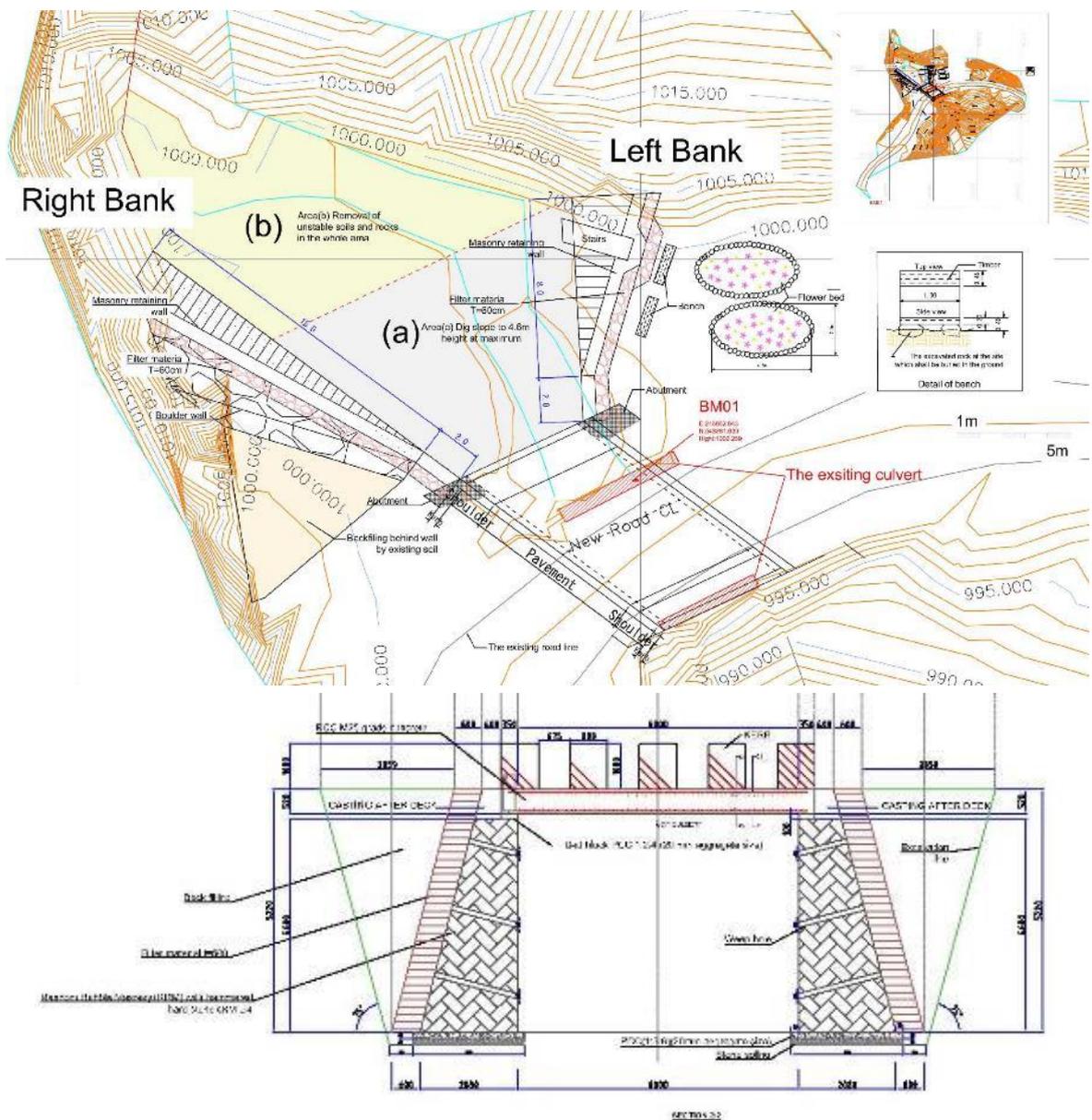
パイロットサイトとして選定された No.323 溪流について、土石流のピーク流量に対して十分な断面を有した導流工・暗渠工（道路横断水路）等の計画・設計を行った。導流工および管渠工等の設計にあたっては、「土石流・流木対策設計技術指針（国土交通省砂防部、2016年改定）」を準用し、これらの考え方がC/Pにも十分理解されるセミナー等の機会を設けた。また、これらの計画・設計にあたっては、現地の建設業者でも十分施工対応できるよう、利用する資材や機材について十分留意した。また、共用後に土砂等が堆積することによって本来の機能が失われることのないよう、点検やメンテナンス等維持管理についても検討を行い、C/Pはじめ関係者の知識を深める機会を設けた。

No.323 溪流では、机上検討段階で集水域に数多くの地すべり地形が確認されていたが、詳細な現地調査の結果、流出土砂量が 28,910 m<sup>3</sup>、ピーク流量が 321.2 m<sup>3</sup>/s と想定された。これらから土石流の模式的な断面形状は、流下幅 6.0m の場合、最大水深 3.8m と想定されるが、対策施設の余裕高を考慮して、幅 6.0m、高さ 4.6m のボックスカルバートを計画・設計することとした。また、カルバート設置予定箇所の上流側約 20m の地点には落差約 15m の滝が位置しており、これらの間は大きく屈曲する自然流路となっていることから、土石流が確実にカルバートに流入するようにこの区間に導流工を計画した。カルバートおよび導流工は、ブータンで施工実績の多い石積工を基本とし、スラブについては鉄筋コンクリート造とすることで、特殊な資材、技術を用いずに施工できるようにした。



(出典:JET)

写真 3.6-2 Bjee サイトの施工前の状況(左:下流側から, 右:上流側から)(2019/4/10)



(出典:JET)

図 3.6-5 Bjee サイトの施設配置図およびカルバートの正面図

## 2) 2回目のパイロットサイト (Khelekha サイト)

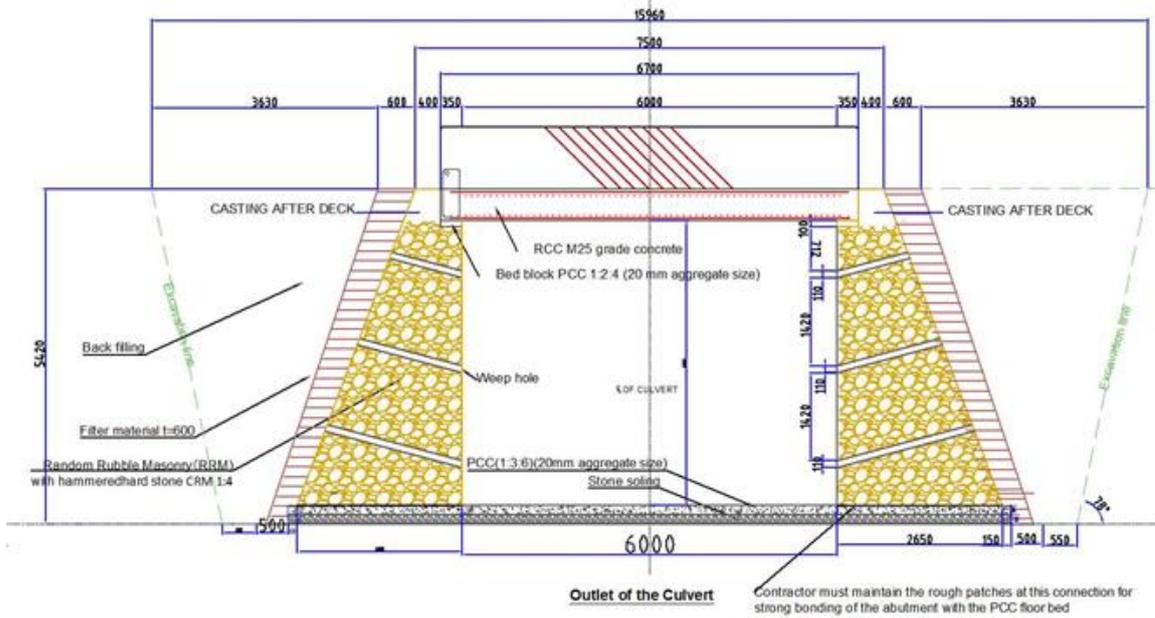
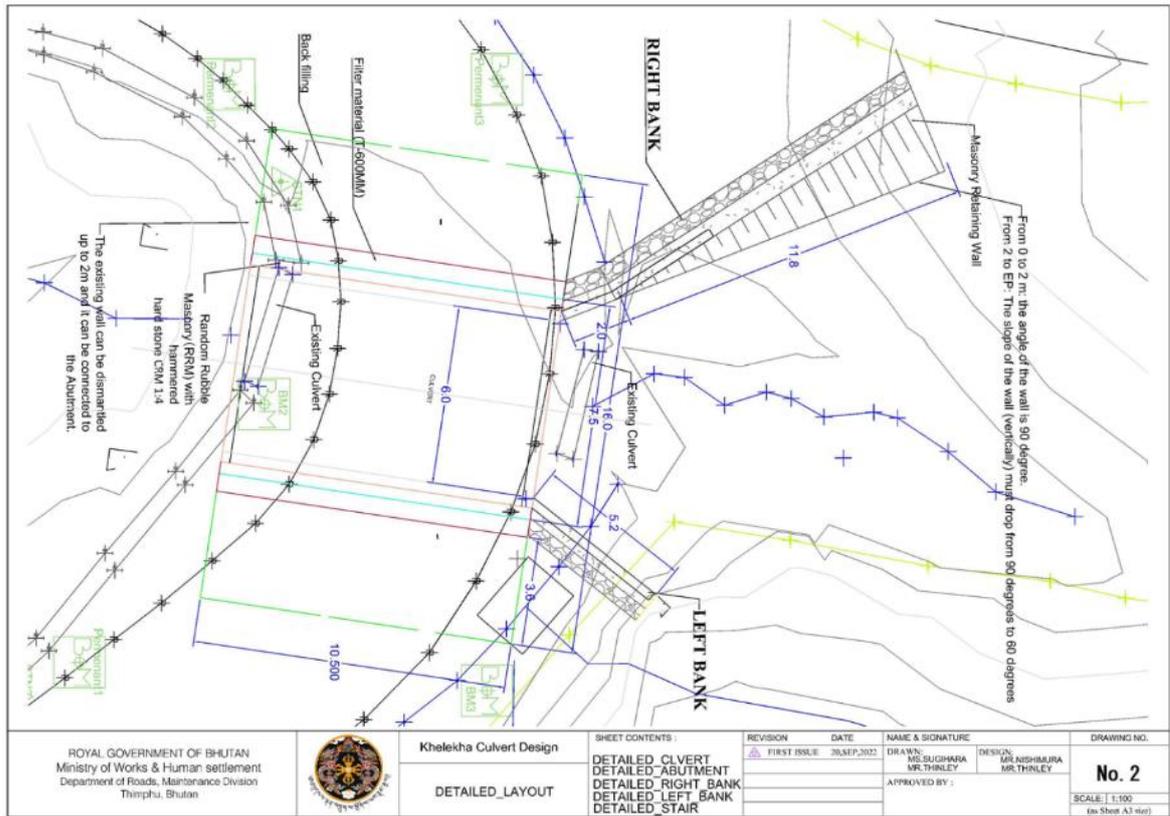
パイロットサイトとして選定された L002 溪流について、土石流のピーク流量に対して十分な断面を有した導流工・暗渠工（道路横断水路）等の計画・設計を行った。導流工および暗渠工等の設計にあたっては、「土石流・流木対策設計技術指針（国土交通省砂防部、2016年改定）」を準用した。また、これらの計画・設計にあたっては、現地の建設業者でも十分施工対応できるよう、利用する資材や機材について十分留意した。また、共用後に土砂等が堆積することによって本来の機能が失われることのないよう、点検やメンテナンス等維持管理についても検討を行い、C/P はじめ関係者の知識を深める機会を設けた。

L002 溪流では、机上検討段階で集水域に数多くの地すべり地形が確認されていたが、詳細な現地調査の結果、流出土砂量が 25,530 m<sup>3</sup>、ピーク流量が 250.3 m<sup>3</sup>/s と想定された。これらから土石流の模式的な断面形状は、流下幅 6.0m の場合、最大水深 3.3m と想定されるが、対策施設の余裕高を考慮して、幅 6.0m、高さ 4.1m のボックスカルバートを計画・設計することとした。また、カルバート設置予定箇所の上流側は直線的な流下区間となっているが、谷幅が約 20m とやや広がっていることから、土石流が確実にカルバートに流入するようにこの区間に導流工を計画した。カルバートおよび導流工は、1 回目のパイロットサイトと同様、ブータンで施工実績の多い石積工を基本とし、スラブについては鉄筋コンクリート造とすることで、特殊な資材、技術を用いずに施工できるようにした。



(出典:JET)

写真 3.6-3 Khelekha サイトの施工前の状況(左:下流側から, 右:上流側から)(2022/5/17)



(出典:JET)

図 3.6-6 Kheleka サイトの施設配置図およびカルバートの正面図

## 活動 5-5 排水工・排水施設を施工する

### 1) 1 回目のパイロットサイト (Bjee サイト)

活動 5-4 で計画・設計した暗渠工および導流工等の施設について、2019 年 10 月以降に予定されていた PNH の道路拡幅事業の機会を利用して施工した。乾季の 2020 年 2 月に施工を開始し、雨季が始まる前の同年 5 月中に工事を完了する工程計画で着手した。施工監理に際しては、成果 5「土石流対策」の担当者だけでなく「工事契約管理/施工監理」要員と協働してブータンで問題が指摘されている施工監理技術の移転に努めた。

なお、工事着手後の 2020 年 3 月 18 日、COVID-19 の世界的な流行を受けて JICA 専門家に帰国指示が出されたことから、それ以降の直接的な施工監理は現地庸人が実施し、専門家は日本から毎週の定例 Web ミーティングおよび随時のチャットにより現地の管理を行った。

試験掘削では基礎部付近に露出すると想定されていた基盤岩が露出しなかったことから、施工開始後に基礎の設計を変更するなどの変更を行った。また、コントラクターの資金力や資材の調達能力、作業員・重機の確保に課題があり、作業期間中も休工日が多発したことに加え、COVID-19 の流行によるロックダウンや雨季の増水による施工箇所の被害とその復旧などにより、工程が大きく遅延した。なお、コントラクターによる施工は 2020 年 11 月中旬に概ね完了した。



(出典:JET)

写真 3.6-4 Bjee におけるカルバートおよび導流工の完成状況

## 2) 2回目のパイロットサイト（Khelekha サイト）

活動 5-4 で計画・設計した暗渠工および導流工等の施設について、2022 年 12 月から 2023 年 5 月の乾季に施工を実施した。施工監理に際しては、成果 5「土石流対策」の担当者だけでなく「工事契約管理/施工監理」要員および現地庸人と協働して、ブータンで問題が指摘されている施工監理技術の移転および安全管理意識の醸成に努めた。

試験掘削では基礎部付近に露出すると想定されていた基盤岩の形状がやや深く、傾斜・凹凸が見られたことから、施工開始後に基礎の設計を変更するなどの対応を行った。当初計画では工事期間中の通行を確保するためにカルバートを 2 分割して施工する予定であったが、コントラクターから施工範囲とは別のエリアに仮設道路を設置することにより分割しないで施工することが提案・実施されたことから、施工期間の短縮が図れた。

また、カルバートの規模拡大（河床の低下）に伴い、近隣農家が利用していた灌漑施設が利用できなくなってしまうことから、カルバート施工位置の上流 50m 地点に新たに取水堰を設け、既設水路までの区間に新たに水路を施工した。

なお、コントラクターによる施工は 2023 年 5 月上旬に完了し、DoST に引き渡された。



(出典:JET)

写真 3.6-5 完成後のカルバート全景(3次元モデル)



**活動 5-7 排水工・排水施設の設計・施工管理要領と標準単価表を作成する**

活動 5-6 までで実施したパイロットサイトにおける計画・設計、施工および安全管理活動の結果から、ブータン国内で横展開が可能となるよう排水工・排水施設の設計・施工管理要領（Ver.1）を作成した。

また、MoIT では定期的に標準単価表を発行しているが、一般的な工事しか掲載されていない。そこで、本件業務で実施する土石流対策工の実績を基に、各工法の標準単価および工事歩掛りを作成した。下表に Ver.1 における目次を示す。

これらのガイドラインは、2024 年 4 月 16 日に開催された DCC にて承認を受け、公表された。

**表 3.6-5 土石流対策の設計・施工管理要領の目次(Ver.1)**

Design/Implementation Guideline for Debris Flow Countermeasure Works in Bhutan I : Planning, Investigation and Design (Ver.1)	
1	What's Debris Flow?
2	Type of Debris Flow Countermeasures
3	How to identify valleys with the potential for debris flow may flow down?
4	How to estimate the volume of Debris Flow?
5	Study of drainage facilities to safely flow down debris flow
6	Channel Works
Reference	
Appendix	
1.	Cross Sectional Survey Data Recording Form
2.	Excel sheet for volume and peak flow rate calculations for debris flow
3.	Excel sheet for calculating probable annual maximum daily rainfall
4.	Excel sheet for Channel work check sheet
5.	Safety check list for field survey
Endnotes	
1.	Specific examples related to the study of debris flow countermeasures in C-Slope project > 1st Pilot site: Bjee (Trongsa RO)

Design/Implementation Guideline for Debris Flow Countermeasure Works in Bhutan II : Construction Management (Ver.1)	
Chapter-1	Construction Plan
1	Description
2	Requirement
Chapter-2	Quality Control
1	Quality Control for each work
2	Field Checklist
3	As Built Control
4	Progress Control
Chapter-3	Safety Control
1	Preface
2	Prevention of occupational accidents due to slope failure in cut slope construction
3	Safety Plan
4	Meeting with the Client
5	Dairy Works
6	Work Item
7	Field Checklist
Appendix-1: Sample of Construction Plan	
Appendix-2: A Field Checklist on Quality Control for Construction (DRAFT)	
Appendix-3: Sample of Weekly Meeting Report	
Appendix-4: Sample of Daily Construction Report	

(出典:JET)

### 3.7 成果 6：道路斜面災害情報および通行規制に関する情報システムの改良

#### 活動 6-1 GIS 基礎研修を実施する

第 1 回から第 3 回までの研修では、地域事務所職員が GPS 装置やドライブレコーダーを使って道路線形等の道路情報を現場で取得し、それらの情報を GIS 化するための一連の技術移転を実施した。また、第 4 回の研修では、本プロジェクトにて開発した BRS (Bhutan Road Safety) アプリの使用方法について研修を行った。

第 1 回から第 4 回までの研修内容を以下に示す。

表 3.7-1 GIS 基礎研修(第 1 回～第 4 回)

研修回	期間	対象 C/P	研修項目	研修による成果・成果物
第 1 回	2019/5/17 (トンサ地域事務所)  2019/5/21 (ロベサ地域事務所)	・DoST Maintenance Division ・トンサ地域事務所 ・ロベサ地域事務所	・QGIS の基礎知識・基本操作 ・GPS・ドライブレコーダーを使った道路線形取得 OJT 研修 ・UAV 空撮測定の紹介	・パイロット地域事務所職員の GIS 基礎知識の習得 ・地域事務所職員の GPS デバイス・ドライブレコーダーによるデータ収集方法の理解 ・DoST Maintenance Division 職員とパイロット地域事務所職員の UAV 空撮から地形図作成までの手法理解と DoST 組織への導入案創出
第 2 回	2019/12/2～4 (ロベサ地域事務所)  2019/12/9～11 (トンサ地域事務所)	・DoST Maintenance Division ・トンサ地域事務所 ・ロベサ地域事務所	・GPS・ドライブレコーダーを使った道路線形取得演習 ・収集したデータの PC への取り込み・GIS 等での表示方法	・パイロット地域事務所職員の GPS デバイス・ドライブレコーダーによるデータ収集と PC に取り込む方法の習得
第 3 回	2019/2/10～11 (トンサ地域事務所)  2019/2/12～13 (ロベサ地域事務所)	・トンサ地域事務所 ・ロベサ地域事務所	・道路線形地図の作成 ・地形データ(DEM)を使った断面作成方法	・トンサ・ロベサパイロット地域事務所の道路線形地図の作成 ・DoST 本部維持管理事務所とパイロット地域事務所の地形データを利用した断面図作成方法の習得
第 4 回	2024/5/13-14 (トンサ地域事務所) 2024/5/16-17 (リミタン地域事務所) 2024/5/20-21 (ブンツォリン地域事務所)	・トンサ地域事務所 ・リミタン地域事務所 ・ブンツォリン地域事務所	・BRS の使用方法	・全国の地域事務所職員

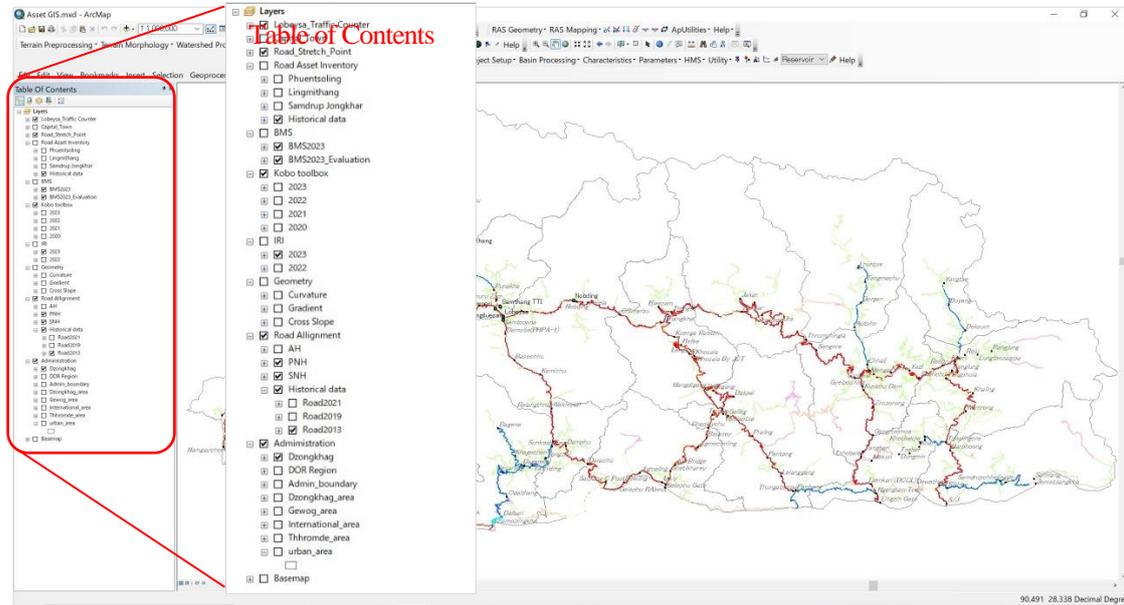
(出典:JET)

#### 活動 6-2 GIS データベースの現状、地域事務所との情報共有体制を把握し課題を整理・改良する

本活動期間では Road Asset Management GIS database を構築した。以下の通り各 GIS データベースの情報 (レイヤー構成) について記載する。これまでの活動では、GIS データベースを構築するための情報である Road Asset Management System(RAMS)や ROMDAS データを地域事務所と共に収集してきた。特に RAMS 作成過程では、DoST 本部維持管理部職員と地域事務所の役割分担と情報共有体制の整備が重要な課題であったことから、本プロジェクト活動での技術移転を通じて確立してきた。本活動期間では次の過程として、本部職員と地域事務所が収集したデータに加工を行い GIS データベースへ取り込む手順について、技術指導と GIS データベース構築を行った。

■ GIS データベースの層構成（レイヤー構成）と情報内容（Table of Contents）

GIS データベースに格納されている層構成と格納されている情報を図 3.7-1 および表 3.7-2 に示す。各層は最新の情報のみならず、過去に収集したデータを「Historical Data」として蓄積していく形で構成されている。



(出典:JET)

図 3.7-1 GIS データベースの層構成

表 3.7-2 GIS データベースの層構成の詳細

層(レイヤー)	データ内容	
Capital Town	Dzongkhag (県)の県庁所在地	県庁所在地の点データを地図化
Road Strech Point	道路管理区間の起点終点位置	DoST 設計部が作成および管理している道路台帳に基づき点データとして地図化
Road Asset Inventory	道路構造物情報	DoST 本部維持管理部および地域事務所が収集した道路構造物情報(排水路、横断管、斜面对策工等)
BMS	橋梁維持管理システム	DoST 橋梁部が管理する橋梁管理データベース
Kobo toolbox	災害発生箇所記録	DoST 地域事務所が収集した災害発生箇所記録。災害履歴としてデータを蓄積する。
IRI	国際ラフネス指数	世界銀行による供与された ROMDAS によって計測された路面の凹凸状況記録
Geometry	道路情報	ROMDAS によって計測された道路の形状記録。縦断勾配、横断勾配、R 値(曲線半径)
Road Alignment	道路線形	ROMDAS と本プロジェクトによる供与したタブレットで計測された道路線形データ
Administration	行政区画	National Land Commission(NLC)により作成された行政区画の境界線

(出典:JET)

### 活動 6-3 DoST 地域事務所における道路情報取得体制を改良する

#### 1. 道路情報取得の技術移転と取得体制の構築

本活動は DoST 地域事務所職員が道路情報データを取得できるようになることと、DoST 本部と各地域事務所が連携して道路情報収集業務を実施するための体制作りである。「活動 6-2」で抽出された課題と改良方針を考慮しつつ、DoST 職員能力とブータンの自然環境に適したデータ収集手法を提案し、技術移転を行った。

当初、本プロジェクトで供与したドライブレコーダー（Transcend DrivePro 520）のみで道路舗装状況と構造物位置を取得することを提案したが、GPS 精度がうまく確保できないことと、DoST 内で定着しつつあるエクセル集計表 Road Asset Management System（RAMS）への対応も不十分であったため、より GPS 精度を確保できるデバイスを比較検討しながら選定し、RAMS へ対応できる手法を提案した。

- 1) 道路情報データを取得するための機材選定
  - ・GPS 精度検証
- 2) タブレット端末とドライブレコーダーを併用したデータ収集と整理
- 3) RAMS（エクセルシート）へのデータ入力
- 4) DoST 本部維持管理部と地域事務所との道路情報収集共有体制の構築

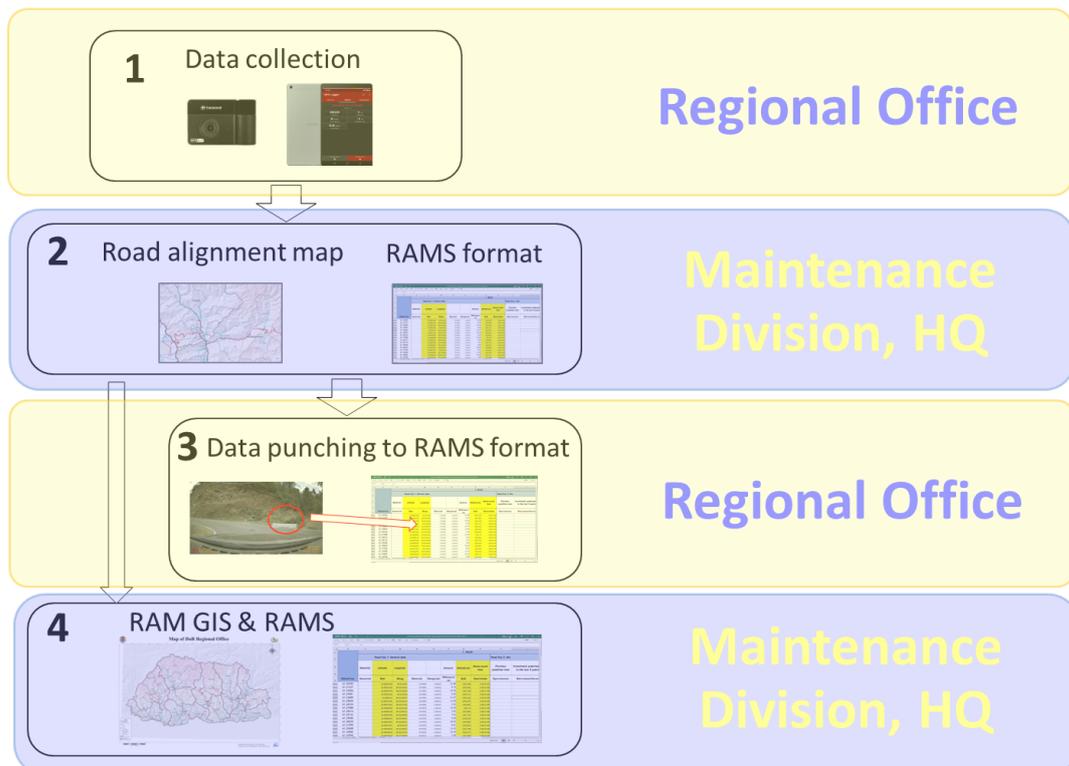
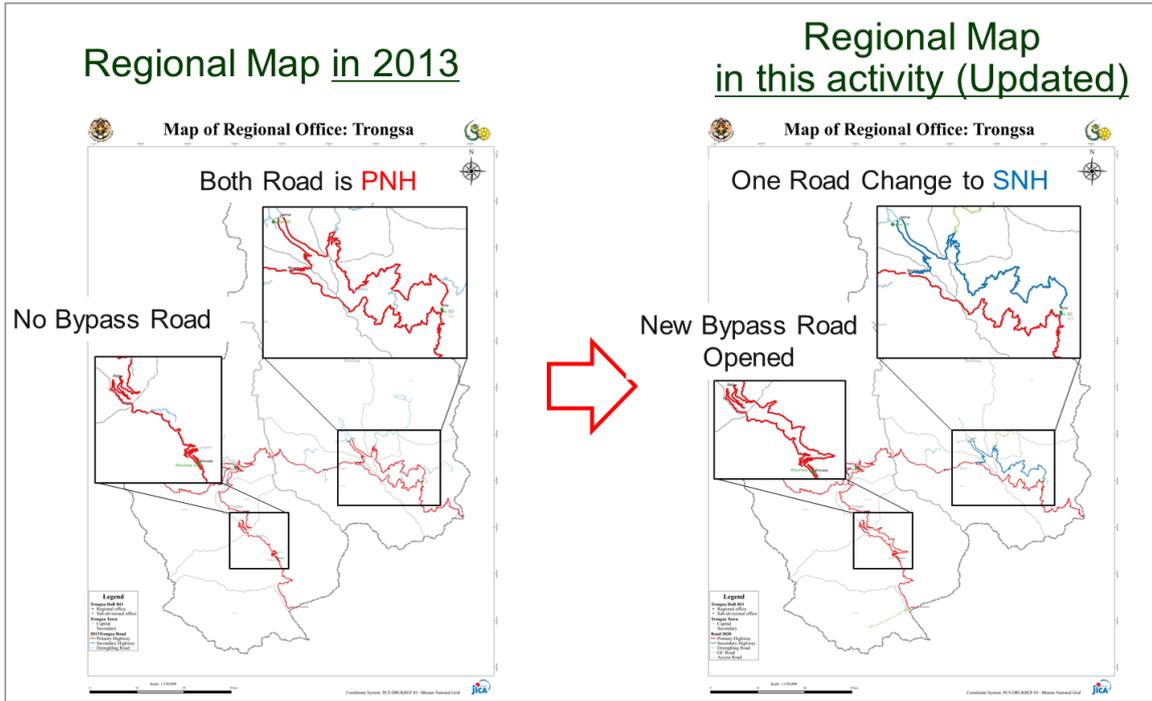


図 3.7-2 道路情報収集共有体制のフローチャート(案)

#### 5) GIS データベースの構築（QGIS）

- ・道路線形整備と地図化

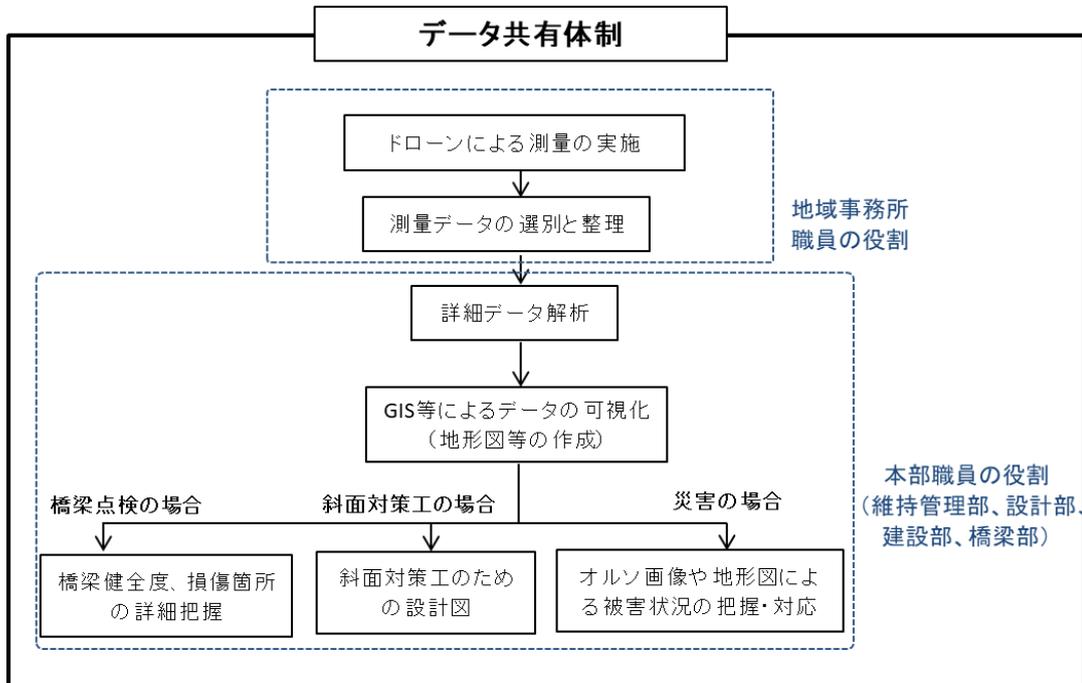


(出典: JET)

図 3.7-3 トンサ地域事務所の道路線形地図(左図:2013年、右図:本活動で作成(2019年))

2. ドローンによる空中写真測量の手法に関する技術移転

DoST 地域事務所職員が道路情報を取得するための手法の1つとして、ドローンによる空中写真測量の手法に関する技術移転を実施した。



(出典: JET)

図 3.7-4 本部と地域事務所の情報共有体制



ドローン操作実地研修(DoST ロベサ地域事務所)  
(出典:JET)



データ解析研修(DoST ロベサ地域事務所)

図 3.7-5 ドローンによる空中写真判読プログラム研修風景

#### 活動 6-4 DoST 本部における GIS データベースへの道路情報入力・管理体制を改良する

DoST 維持管理部が構築した GIS データベースを DoST の他部署（建設部、橋梁部、設計部）が閲覧でき、必要な情報を収集できるように、MoIT が管理するサーバ PC に共有フォルダーを作成し、その中へ GIS データベースを格納した。これにより、必要な情報を各部署からアクセスできる体制を整えた。サーバ PC の共有フォルダーは、イントラネットとして MoIT 建物内のインターネット回線を経てアクセスすることができるように設定した。

1. 共有フォルダーへのアクセス

2. GIS データベース操作

- ・ 設計部、建設部  
道路線形、IRI、道路アセットマネジメント情報、地形情報の利用
- ・ 橋梁部  
BMS 位置情報（地図化）と諸元情報の確認

(出典:JET)

図 3.7-6 MoIT サーバ PC の共有フォルダーアクセス利用イメージ

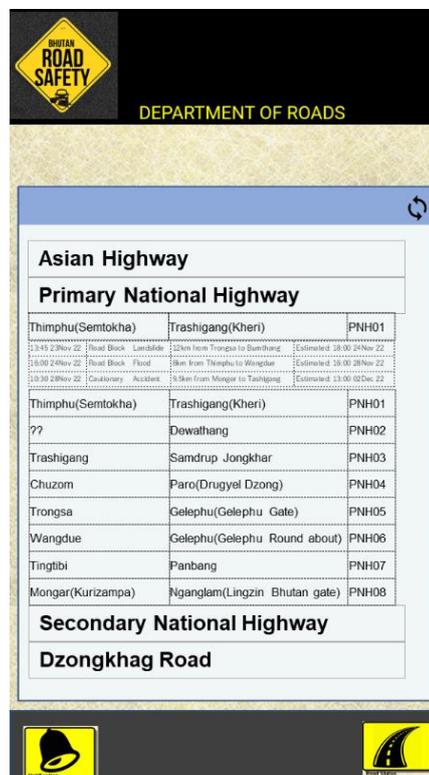
## 活動 6-5 GIS データベースを用いた道路情報共有体制を改良する

本活動では、活動 6-2 で構築した Asset Management GIS database を基にした地図機能を装備した Bhutan Road Safety Application を開発した。



地図機能(デザイン)

(出典:JET)



リスト表示機能(デザイン)

図 3.7-7 スマートフォンインターフェース

## Bhutan Road Safety



(出典:JET)

地図機能(デザイン)

図 3.7-8 PC ウェブインターフェース

表 3.7-3 道路情報を発出する際の入力情報項目

項目	内容	形式
Information Type	道路情報の種類	「通行止め情報(Road Block Information)」、「道路メンテナンス情報(Road Maintenance Activity)」、「通行注意情報(Cautionary Information)」から選択
Type Category	道路情報の素因	自然災害、道路維持管理、ストライキ等情報。設定機能より項目を設定する。(現時点では未設定)
Type		
Place Type	シンボル表示種類	「点」、「区間」、「点群」を選択
HW No	道路名	「Asian 国道」、「第 1 国道」、「第 2 国道」、「県道」に分類された道路名を選択
Section	区間	道路情報地点の区間を選択
Nearest Chainage Point(km)	区間内の距離標	道路情報地点の区間内での距離標を選択
GPS Coordinate	緯度経度情報	道路情報地点の緯度経度を入力。地図から地点を選択することも可能
Location	地点情報	手動で地点情報を入力
Date, Time of Occurrence	事象発生日時	日時を入力
Expected Date, Open of Occurrence	道路情報解除予定日時	日時を入力
Action Taken	事象に対して DoR が実施した内容	手動にて記載
Remarks	備考	手動にて記載
Photo	状況写真	写真をアップロード

(出典:JET)

#### 活動 6-6 GIS データベースを用いた道路情報システムに係るマニュアルを作成する

本プロジェクトでは、Road Asset Management GIS database と Bhutan Road Safety に関するマニュアルを作成した。

##### 1. Road Asset Management GIS database のマニュアル

##### 2. Bhutan Road Safety のマニュアル

- ①BRS 操作マニュアル
- ②BRS 地図機能更新のためのマニュアル
- ③BRS システム更新用マニュアル

### 3.8 その他の活動：本邦研修・セミナー・広報活動

#### (1) 本邦研修

本邦研修は、日本の道路斜面防災および管理体制について、研修員が日本の道路管理体制および災害対策技術を理解・習得し、帰国後もプロジェクトの中で実務にフィードバックされることを目的とし、行政機関や研究者、道路管理技術者等幅広い分野の専門家からの道路斜面防災に関する講義や、現場研修・高速道路および国道の管理体制の講義・道路管制センターの見学等を実施した。

第1回本邦研修は、2019年9月15日～9月28日に実施された。同研修の内容は成果1、5、6に関連することから、参加者は、DoSTのTenzin局長、DoST Maintenance DivisionのDorji Gyeltshen P課長、並びにWGの成果1、5、6担当者10名を合わせた計12名とした。

表 3.8-1 第1回本邦研修(2020年9月実施)の参加者

No.	名前	所属
1	Mr. Tenzin	MoIT, DoST 局長
2	Mr. Dorji Gyeltshen P	MoIT, DoST, Maintenance Division 課長
3	Mr. Yeshey Penjor	MoIT, DoST, Maintenance Division
4	Mr. Tashi Tenzin	MoIT, DoST, Maintenance Division
5	Mr. Dhan Raj Chhetri	MoIT, DoST, Maintenance Division
6	Ms. Phuntsho Wangmo	MoIT, DoST, Maintenance Division
7	Mr. Rinchen Gyeltshen	MoIT, DoST, Maintenance Division
8	Mr. Ashok Rai	MoIT, DoST, Maintenance Division
9	Mr. Thinley Dorji	MoIT, DoST, Maintenance Division
10	Mr. Barun Kumar Sanyasi	MoIT, DoST, Maintenance Division
11	Mr. Phuntsho	MoIT, DoST, Maintenance Division
12	Mr. Sonam Dorji	MoIT, DoST, Maintenance Division

(出典:JET)

第1回本邦研修では、本プロジェクトの成果1、6に関連する道路情報の取得やシステムの管理、道路情報を基にした事前通行規制等について学ぶため、国土交通省関東地方整備局や西日本高速道路(株)中国支社の道路管制センター、道路斜面モニタリングを実施している東海北陸自動車道の視察を行った。また、成果5に関連する内容として、土石流災害発生時の現場対応について2018年7月豪雨により土石流被害を被った山陽自動車道の視察を行った。その他にも、岐阜大学や土木研究所での講義等を通じ、日本の斜面災害防止技術について学習した。



西日本高速道路(株)中国支社道路管制センター見学の様子  
(2019/9/24)



西日本高速道路エンジニアリング中国(株)による  
土石流発生現場の説明の様子 (2019/9/25)

(出典:JET)

写真 3.8-1 第1回本邦研修の様子

【第2回本邦研修】

第2回本邦研修は、2023年10月20日(金)～2023年11月3日(金)（在日期间）に実施された。同研修の内容は成果2、3、4の主に道路斜面对策工の施工に関連することから、第2回本邦研修の参加者は、DoSTの斜面对策の調査・設計・施工・維持管理に係る技術者計10名とした。

表 3.8-2 第2回本邦研修(2023年10月-11月実施)の参加者

No.	名前	所属
1	Mr. Gyeltshen Wangdi	MoIT, DoST ロベサ地域事務所・建設班 主任技師
2	Mr. Nar Bdr Jogi	MoIT, DoST トンサ地域事務所(トンサ支区ツァンカ区) 技師補
3	Mr. Tshewang Dorji	MoIT, DoST 本部、設計・地盤工学課 主席技師(研修員リーダー)
4	Mr. Kinzang Chopel	MoIT, DoST トンサ地域事務所・維持管理班 上席技師
5	Mr. Aita Tenzin Doya	MoIT, DoST トンサ地域事務所(トンサ支区ブブジャ区) 技師補
6	Ms. Naley	MoIT, DoST トンサ地域事務所(コーシャラ支区ダンドゥン区) 技師補
7	Mr. Leki Drakpa	MoIT, DoST トンサ地域事務所・建設班 技師
8	Mr. Sangay Ngedup	MoIT, DoST 本部、設計・地盤工学課 技師
9	Mr. Thinley Wangchuk	MoIT, DoST 本部、維持管理課 技師
10	Mr. Yeshe Wangchuk	MoIT, DoST ロベサ地域事務所 技師補

(出典: JET)

第2回本邦研修では、本プロジェクトの成果2、3、4に関連する道路斜面对策工の施工および道路維持管理について学ぶため、国土交通省の国道や山口県・岐阜県・奈良県の県道・市道、西日本高速道(株)中国支社の高速道路において、道路斜面对策工の施工状況や道路斜面モニタリングに係る講義や現場視察を行った。また、西日本高速道(株)中国支社では、道路管制センターを見学し、我が国の最新の道路管制システムに係る講義や実際の道路管制を見学した。その他にも、岐阜大学や山口大学の教授による講義等を通じ、日本の斜面災害防止技術について学習した。



山陽自動車道尾道 JCT・斜面对策工施工現場  
見学の様子(2023/10/25)



岐阜大学八嶋教授によるインフラメンテナンスの講義  
(2023/10/30)

(出典: JET)

写真 3.8-2 第2回本邦研修の様子

(2) セミナー、広報活動

【セミナー】

本件業務では、C/P の活動内容のより一層の理解を促し、また、内容に合わせてブータン国警察や RSTA、MoAF、DGM 等の関連機関を適宜取り込むことによる他機関との連携強化や広報活動を目的としてセミナーを実施している。案件開始から 2024 年 6 月までの間に、成果 1~6 のセミナー 26 回とオープンセミナー 3 回の計 29 回のセミナーが実施された。各セミナーの開催時期、参加者、議題を以下に示す。

表 3.8-3 セミナー開催実績

No.	開催時期	参加者	主な議題	対応する成果							
1	2019	2月	DoST	活動の目的および調査手法の概要、調査対象溪流の選定					5		
2		2月	DoST	標準勾配と植生工の種類、図学演習、現地実習	2						
3		4月	DoST	排水工・排水施設の計画・設計、メンテナンス計画の検討					5		
4		4月	DoST、RSTA	事前通行規制の概要、モニタリング計画、機器の設置研修	1						
5		5月	DoST、DGM	活動の目的および調査手法の概要		3					
6		5月	DoST	既存 GISDB の紹介、GISDB 構築実施方針の紹介						6	
7		10月	DoST、MoAF	植生工工種の種類選定方法、第 1 回試験施工の計画・設計	2						
8		10月	DoST、MoAF	落石対策工工種の種類選定方法、第 1 回施工の計画・設計				4			
9		10月	DoST、	排水系統・地形・地質状況情報分析、土石流対策マニュアル					5		
10		11月	DoST、DGM	岩質・地質分類マニュアル(案)の説明、現場演習		3					
11		12月	DoST	GISDB からの情報取得、GISDB 閲覧方法基礎研修						6	
12	2020	2月	DoST、RSTA、CST、JNEC、WB、UNDP、BBS、Nor-Lha Construction、JICA	第 1 回オープンセミナー	全体						
13		2月	DoST	道路情報取得方法、GIS を使用した断面作成方法						6	
14	2022	9月	DoST	土質・岩盤分類の解析、切土勾配設計		3					
15		11月	DoST	ドローン飛行訓練、取得データ解析演習						6	
16		12月	DoST	落石対策の計画・調査				4			
17	2023	1月	DoST	工事の種類と施工上の注意点	2						
18		2月	DoST	丁張設置に係る技術講習		3					
19		2月	DoST	土石流対策工の調査・計画・設計(西部 RO 対象)					5		
20		4月	DoST	切土法面工事における地盤調査・設計、施工管理に関する基礎知識		3					
21		4月	DoST、RSTA、CST、JNEC、JICA	第 2 回オープンセミナー	全体						
22		5月	DoST	土石流対策工の調査・計画・設計(東部 RO 対象)					5		
23		5月	DoST	降雨閾値の設定/事前交通規制方法/訓練実施手順	1						
24		9月・12月	DoST	標準切土勾配設計ガイドラインの説明(2回に分けて開催)		3					
25		2024	4月	DoST	成果 3: 地質調査に係る追加技術講習		3				
26			4月	DoST	第 3 回植生工における工法の基礎知識	2					
27	4月		DoST	事前通行規制に係る模擬訓練の実施	1						
28	5月		DoST、RSTA、CST、JNEC、WB、UNDP、BBS、Contractors、JICA	第 3 回オープンセミナー	全体						
29	6月		DoST	BRS システムの操作に関するセミナー						6	

(出典:JET)

### 【オープンセミナー】

オープンセミナーは、本プロジェクトの内容がブータン国に広く認知され、また、JICA、DoST と他ドナー、大学等の密接な連携が図られることを目的とする。第1回オープンセミナーを2020年2月に開催した。第2回オープンセミナーは2023年4月に開催した。第3回オープンセミナーは2024年5月に開催した。



第1回オープンセミナー CST Sangey Pasang氏による講演の様子 (2020/2/5)



第1回オープンセミナー後の記念撮影 (2020/2/5)



第2回オープンセミナー Tenzin 局長による開会あいさつの様子 (2023/4/21)



第2回オープンセミナー後の記念撮影 (2023/4/21)



第3回オープンセミナー Phuntsho Tobgay MoIT 長官による開会あいさつの様子 (2024/5/28)  
(出典: JET)



第3回オープンセミナー後の記念撮影 (2024/5/28)

写真 3.8-3 オープンセミナーの様子

## 【広報活動】

本プロジェクトでは、業務の意義、活動内容、成果がブータンおよび日本国内で各層に正しく理解され、成果発現の向上が図られることを目的として、以下の広報活動を実施した。

### i. オープンセミナーの開催

プロジェクトの広報および関連機関との連携強化を目的として、第1回オープンセミナーを2020年2月5日に、第2回を2023年4月21日に、第3回を2024年5月28日に実施した。WB、UNDPといった他ドナーや、CST・JNECの講師の参加があり、情報共有と意見交換がなされた。

### ii. メディアによる情報発信

Bhutan Broadcasting Service (BBS) の2020年2月8日のニュース番組にて、第1回オープンセミナーの様子が約4分間報道された。また、2023年10月31日第2回本邦研修の様子が中建日報新聞（中国地方の建設業界紙）に掲載された。2024年4月に実施した事前通行規制に係る活動については、DoSTをはじめブータン国内で事前通行規制に係る活動を広く周知することを目的として、模擬訓練の様子を動画に整理し、Youtube上で公開した。

### iii. ニュースレターの作成

本プロジェクトの内容と進捗をまとめニュースレター第1号を、2020年2月4日に発行した。また、2023年4月の第2回オープンセミナーに合わせて第2号を、2023年10月の日本週間inブータンに合わせて第3号を、2024年5月の第3回オープンセミナーに合わせて第4号を発行した。

### iv. 学会・フォーラム、学会誌等による情報発信

学会・フォーラムおよび、学会誌等による発表の実績を以下に示す。

表 3.8-4 学会・フォーラム等による発表実績

No	名称	発信日	発信者	主な内容
1	環境会議 2019 年秋号(学術雑誌)	2019/9/5	岩崎	本プロジェクトの紹介
2	社会インフラテック 2019(学会)	2019/12/4	岩崎	成果1 事前通行規制技術を紹介するポスターの展示
3	日本土木学会誌	2020/6/1	岩崎	ブータン国道斜面災害対策のための技術支援プロジェクトでの本邦技術の実装、土木学会誌 2020 年 6 月号、pp24-25
4	Understanding Risk Forum 2020(学会)	2020/12/3	長谷川 岩崎・桑野	成果1 斜面モニタリング技術について WB との合同セッションで講演
5	CREST2020	2021/3/11	廣田	ブータン国道1号線斜面災害の特徴に関する発表
6	第五回斜面防災世界フォーラム	2021/11/4	Tempa Thinley	ブータンの道路斜面災害の説明と本プロジェクトの概要紹介
7	第五回斜面防災世界フォーラム	2021/11/4	原	本プロジェクトの成果4で実施した岩盤斜面对策工の紹介
8	地すべり学会 2022	2022/9/28	廣田・西村・ 杉原・岩崎	ブータンの斜面对策の紹介
9	2022 ICL-KLC 合同会議	2022/11/25	廣田	リモートでの植生工指導に関する発表
10	砂防学会 2023 研究発表会	2023/5/10	西村	3次元モデルを利用した土石流対策施設の施工監理
11	地すべり学会 2023	2023/9/20	廣田	ブータンにおける斜面災害対策の紹介
12	日本週間 in Bhutan	2023/10/30	PJ	ブータンで開催された「日本週間」でPJレターを展示
13	中建日報新聞記事	2023/10/31	PJ	第2回本邦研修の様子が地方紙に掲載された
14	CREST2023	2023/11/22	西村	ブータンにおける土石流対策工の検討事例の紹介
15	5 <sup>th</sup> Geotech-Hanoi	2023/12/14- 15	PJ	ベトナム・ハノイ市で開催された国際会議でポスター展示

(出典:JET)

## v. Web、SNS 等による情報発信

Web、SNS 等による本プロジェクトの情報発信の実績を下表に示す。

表 3.8-5 Web、SNS による情報発信実績

No	媒体	発信日	主な内容	URL
1	DoST HP	2019/2/1	プロジェクト紹介	<a href="https://www.MoIT.gov.bt/en/capacity-development-on-countermeasures-of-slope-disaster-on-roads-in-bhutan/">https://www.MoIT.gov.bt/en/capacity-development-on-countermeasures-of-slope-disaster-on-roads-in-bhutan/</a>
2	JICA ブータン Facebook	2019/9/13	第1回本邦研修渡航前ミーティング	<a href="https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2254199754678496">https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2254199754678496</a>
3	JICA 東京 Facebook	2019/9/18	第1回本邦研修の開始	<a href="https://www.facebook.com/jicatokyo/posts/2654171014602705">https://www.facebook.com/jicatokyo/posts/2654171014602705</a>
4	JICA ブータン Facebook	2019/10/22	成果 2,4,5 対策工詳細設計について	<a href="https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2328071900624614">https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2328071900624614</a>
5	JICA ブータン Facebook	2020/2/5	第3回 JCC の開催	<a href="https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2545517478880054">https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2545517478880054</a>
6	DoST Facebook	2020/2/5	第3回 JCC の開催	<a href="https://www.facebook.com/DoSTinform/posts/3179916952234365">https://www.facebook.com/DoSTinform/posts/3179916952234365</a>
7	BBS HP	2020/2/8	第1回オープンセミナーの開催	<a href="http://www.bbs.bt/news/?p=128036&amp;fbclid=IwAR2n0D0UKINZ16grSx2fDSkk2VbO_h820rPG7CIBehvE5s7EchE24svs5s">http://www.bbs.bt/news/?p=128036&amp;fbclid=IwAR2n0D0UKINZ16grSx2fDSkk2VbO_h820rPG7CIBehvE5s7EchE24svs5s</a>
8	JICA ブータン Facebook	2020/2/8	第1回オープンセミナーの開催	<a href="https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2555548574543611">https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2555548574543611</a>
9	JICA ブータン Facebook	2020/7/13	成果2 植生工の完了	<a href="https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2907234172708381">https://www.facebook.com/JICABhutan/posts/2907234172708381</a>
10	DoST Facebook	2020/7/13	成果2 植生工の完了	<a href="https://www.facebook.com/DoSTinform/posts/3343861042506621">https://www.facebook.com/DoSTinform/posts/3343861042506621</a>
11	JICA HP	2020/10/21	プロジェクト紹介	<a href="https://www.jica.go.jp/oda/project/1802020/index.html?fbclid=IwAR3adheKWipGoxVLLDcbQif5HeVg7qUjdhtywhBqvSavfANKsiehizJUdqY">https://www.jica.go.jp/oda/project/1802020/index.html?fbclid=IwAR3adheKWipGoxVLLDcbQif5HeVg7qUjdhtywhBqvSavfANKsiehizJUdqY</a>
12	JICA HP	2020/10/22	成果1 道路斜面モニタリング技術の紹介	<a href="https://www.jica.go.jp/activities/issues/transport/ramp/technical-cooperation.html">https://www.jica.go.jp/activities/issues/transport/ramp/technical-cooperation.html</a>

No	媒体	発信日	主な内容	URL
13	MoIT HP	2022/5/18	第5回 JCC の開催	<a href="https://www.MoIT.gov.bt/en/5th-joint-coordination-committee-meeting/">https://www.MoIT.gov.bt/en/5th-joint-coordination-committee-meeting/</a>
14	DoST Facebook	2022/5/18	第5回 JCC の開催	<a href="https://www.facebook.com/DoSTInform/posts/310501174590347">https://www.facebook.com/DoSTInform/posts/310501174590347</a>
15	KUENSEL HP	2022/11/1	ドローン機器のハンドオーバー	<a href="https://kuenselonline.com/drones-to-be-used-for-surveying-slope-disaster/">https://kuenselonline.com/drones-to-be-used-for-surveying-slope-disaster/</a>
16	MoIT HP	2022/11/2	第6回 JCC の開催	<a href="https://www.MoIT.gov.bt/en/capacity-development-on-countermeasures-of-slope-disaster-on-roads-in-bhutan/">https://www.MoIT.gov.bt/en/capacity-development-on-countermeasures-of-slope-disaster-on-roads-in-bhutan/</a>
17	DoST Facebook	2022/11/2	第6回 JCC の開催	<a href="https://www.facebook.com/DoSTInform/posts/pfbid0BnWfEcid7yqakJBNfGH4hCL7UP4VxK7WFGmzFPtLwV5xNFMdVf5ctyuUvFzKl">https://www.facebook.com/DoSTInform/posts/pfbid0BnWfEcid7yqakJBNfGH4hCL7UP4VxK7WFGmzFPtLwV5xNFMdVf5ctyuUvFzKl</a>
18	BTTV (mobile app)	2022/11/6	成果6ドローン研修の開催	BBS モバイルアプリ内動画
19	BBS HP	2022/11/7	成果6ドローン研修の開催	<a href="http://www.bbs.bt/news/?p=177036">http://www.bbs.bt/news/?p=177036</a>
20	JICA HP	2022/11/9	第6回 JCC の開催・ドローン機器のハンドオーバー	<a href="https://www.jica.go.jp/bhutan/office/information/20221109.html">https://www.jica.go.jp/bhutan/office/information/20221109.html</a>
21	Kuensel Online	2023/04/27	第7回 JCC の開催	<a href="https://kuenselonline.com/japanese-expertise-to-help-reduce-slope-disasters-on-bhutanese-roads/?fbclid=IwAR2C2Ov1kB_-WYJzckbsHY0ISZFRqGEgn80NUJex3-BFTUxKfX822btvQ">https://kuenselonline.com/japanese-expertise-to-help-reduce-slope-disasters-on-bhutanese-roads/?fbclid=IwAR2C2Ov1kB_-WYJzckbsHY0ISZFRqGEgn80NUJex3-BFTUxKfX822btvQ</a>
22	DoST Facebook	2023/05/10	成果2 植生工の現場紹介	<a href="https://www.facebook.com/rotrongsadoR/posts/pfbid02aT3fPeestvgPZUI6umLhJUr2YgAurH7X4FForWTUwP8tMP63XcxwT9ZNGuSVKj">https://www.facebook.com/rotrongsadoR/posts/pfbid02aT3fPeestvgPZUI6umLhJUr2YgAurH7X4FForWTUwP8tMP63XcxwT9ZNGuSVKj</a>
23	DoST Facebook	2023/06/19	成果1 事前通行規制訓練の紹介	<a href="https://m.facebook.com/DoSTMoIT/posts/pcb.555334680105696/?photo_id=555333546772476&amp;mids=%2Fphotos%2Fviewer%2F%3Fphotoset_token%3Dpcb.555334680105696%26photo%3D555333546772476%26profileid%3D100053910961079%26eav%3DAfa2hO84I9EcdxhT2XWcFeCrQzqyL4osX8h1eCO9C3qKqVvYJLT8MRTCHll6hQXPK%26paipv%3D0%26source%3D48%26refid%3D52%26_tn_%3DEH-R%26cached_data%3Dtrue%26tid%3D&amp;mdp=1&amp;mf=1">https://m.facebook.com/DoSTMoIT/posts/pcb.555334680105696/?photo_id=555333546772476&amp;mids=%2Fphotos%2Fviewer%2F%3Fphotoset_token%3Dpcb.555334680105696%26photo%3D555333546772476%26profileid%3D100053910961079%26eav%3DAfa2hO84I9EcdxhT2XWcFeCrQzqyL4osX8h1eCO9C3qKqVvYJLT8MRTCHll6hQXPK%26paipv%3D0%26source%3D48%26refid%3D52%26_tn_%3DEH-R%26cached_data%3Dtrue%26tid%3D&amp;mdp=1&amp;mf=1</a>
24	DoST Facebook	2023/11/28	第8回 JCC の開催	<a href="https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=pfbid062CT4uTbF4RL7oUcnNYXxpRfF3zUrNq1fm3CZzXaYnG5UPagcCSYWWFCp9FcheI&amp;id=100068914012059&amp;mibextid=WC7FNe">https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=pfbid062CT4uTbF4RL7oUcnNYXxpRfF3zUrNq1fm3CZzXaYnG5UPagcCSYWWFCp9FcheI&amp;id=100068914012059&amp;mibextid=WC7FNe</a>
25	DoST Facebook	2024/5/1	成果1 事前通行規制訓練(座学、現場実施)の報告	<a href="https://www.facebook.com/share/p/H11RveS3wZgT5oq1/?mibextid=WC7FNe">https://www.facebook.com/share/p/H11RveS3wZgT5oq1/?mibextid=WC7FNe</a>
26	Bhutan Broadcasting Service Facebook 公式 HP	2024/5/1	成果1 事前通行規制訓練(座学、現場実施)の報告	<a href="https://www.facebook.com/share/dp/Q2Csy9rSvImSCR?mibextid=WC7FNe">https://www.facebook.com/share/dp/Q2Csy9rSvImSCR?mibextid=WC7FNe</a> <a href="https://www.bbs.bt/news/?p=203024&amp;fbclid=IwZxh0bqNhZV0CMTAAAR004kZb28jccqbmI6BoVUxg46c6hQBmZbneb7k2VnWV/djQnkxetUqjNuo_aem_AaForkQXCZCQiyK15of0LCOYum2IRykp750B_R-qluZz4sG1lulGWkoX4HGDmCn-hqBkr-eZBiS0SqtPWHzAq-c">https://www.bbs.bt/news/?p=203024&amp;fbclid=IwZxh0bqNhZV0CMTAAAR004kZb28jccqbmI6BoVUxg46c6hQBmZbneb7k2VnWV/djQnkxetUqjNuo_aem_AaForkQXCZCQiyK15of0LCOYum2IRykp750B_R-qluZz4sG1lulGWkoX4HGDmCn-hqBkr-eZBiS0SqtPWHzAq-c</a>
27	JET Youtube	2024/5/8	事前通行規制訓練の取り組みを学ぶための教材 C-slope PJ Record of Ex-ante Traffic Control 2nd Mock Drill in Trongsa	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=fCQ07ZISB4">https://www.youtube.com/watch?v=fCQ07ZISB4</a>
28	Bhutan Broadcasting Service Facebook 公式 HP	2024/5/28	第3回オープンセミナーの開催	<a href="https://www.bbs.bt/news/?p=204256&amp;fbclid=IwZxh0bqNhZV0CMTAAAR1SD-N8gPFCZT07dAF_Ax7JG9RUILZ-iebTJ1sFG0hQsDPO8DMZfsbdjOU_aem_ARUnN0ob89kGia1G_84C7krsOZCk2IDuBz6CfRfHvBPMMTcxdMjREQLTnaKZyqJ6tdwQhnSJYOv8rYOL1NkG">https://www.bbs.bt/news/?p=204256&amp;fbclid=IwZxh0bqNhZV0CMTAAAR1SD-N8gPFCZT07dAF_Ax7JG9RUILZ-iebTJ1sFG0hQsDPO8DMZfsbdjOU_aem_ARUnN0ob89kGia1G_84C7krsOZCk2IDuBz6CfRfHvBPMMTcxdMjREQLTnaKZyqJ6tdwQhnSJYOv8rYOL1NkG</a>
29	Kuensel Online	2024/5/28	第3回オープンセミナーの開催	<a href="https://kuenselonline.com/moit-to-start-website-and-app-for-real-time-roadblock-alerts/?fbclid=IwZxh0bqNhZV0CMTAAAR2ewZdb9K1msl5raQQKY_IrSitJT6H-HNDxuaRa6WfSA_KlLneXWW3oHl-4_aem_AbUJCWM8q7T06QXM-ccXgihw-JvNf_VZ9zJmDU6orEYhEtiARzeiNZwBY4SwiXz5e3Vcdj3s8Po1dG8IDYxML">https://kuenselonline.com/moit-to-start-website-and-app-for-real-time-roadblock-alerts/?fbclid=IwZxh0bqNhZV0CMTAAAR2ewZdb9K1msl5raQQKY_IrSitJT6H-HNDxuaRa6WfSA_KlLneXWW3oHl-4_aem_AbUJCWM8q7T06QXM-ccXgihw-JvNf_VZ9zJmDU6orEYhEtiARzeiNZwBY4SwiXz5e3Vcdj3s8Po1dG8IDYxML</a>

(出典: JET)

### 3.9 プロジェクト実施上の課題と工夫・教訓および提言

本プロジェクトの活動全般を通じて、随時課題を指摘、改善してきたが、根本的な課題も浮き彫りになってきた。これらを改善するためにC/Pと一緒に工夫してきた内容や提言について、それぞれの活動と関連させて整理した。

#### 1)全般

##### (1)COVID-19 の影響

①課題：本プロジェクトは2018年12月に着手し、2024年7月に完了した。この間、COVID-19の世界的な流行の影響を大きく受け、プロジェクト中盤（2020年3月～2022年4月）に2年余りの渡航中断を余儀なくされた。成果2,4,5では、2020年の年明けからそれぞれ第1回目の試験施工に着手した直後であったため、これらの施工監理を通じた学習の機会や、施工中のサイト見学などの研修の機会が大きく損なわれた。

②工夫：一方、COVID-19の影響により、多くのミーティングがバーチャルで開催されるようになり、老若男女問わず全てのC/PがWebミーティングを抵抗なく実施できるようになったことから、これを大いに活用した活動を行った。プロジェクトでは、2020年3月の緊急帰国に先立ってWebにて週次の施工監理ミーティングを行うことを決定し、成果ごとに現場状況および今後の作業方針について継続的に協議・指導を行った。この際、施工監理要員として現地駐在していた現地庸人が仲介役を務めることにより、現場状況の理解や指導に大きな役割を果たした。

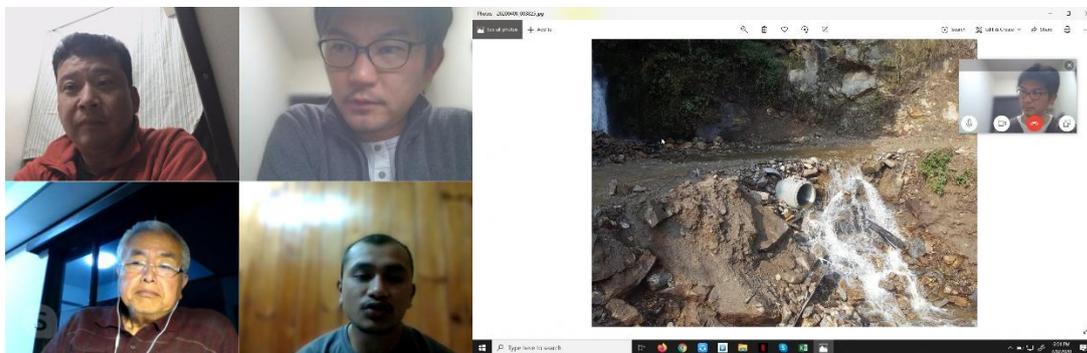


図 3.9-1 Web ミーティングによる施工進捗およびサイト状況の確認例

③教訓・提言：COVID-19の流行およびこれに伴う渡航制限は、プロジェクト当初には全く予想していなかった事態であった。技術協力プロジェクトは人材育成を主な目的とするプロジェクトであるため、人との接触やセミナーの開催などが制限される事態は、プロジェクトを運営するうえで大きな支障となった。しかし、Webミーティングなどの新たな技術を果敢に採り入れることにより、プロジェクトを止めることなく継続することができた。

想定外の事態に際して、その時にできる最善の手法を常に模索し、改善を加えつつ試行することが重要と考える。

## (2)グループチャットを利用した情報共有

①課題：施工期間中、施工サイトを管理している地方事務所（RO）のC/Pは現地の最新情報を得ることが容易で、職務上、現地を頻繁に訪問することができた。一方、本部（HQ）や他のROのC/P、その上司、およびJICA 専門家は現地に常駐することが難しく、現地状況や作業進捗の把握が困難であった。また、これに伴いプロジェクトへの関心が次第に低下し、当事者意識が薄れていく要因ともなっていた。

②工夫：現地における朝礼および週例ミーティングとは別に、C/P、JICA 専門家、現地庸人、コントラクター等の施工関係者全員をメンバーとするグループチャットを形成し、当日の作業状況や課題、その対応策などを頻繁にやりとりした。これらのやりとりは、当日の作業内容の確認・共有だけに留まらず、施工の進捗を振り返る記録としても貴重な情報となった。

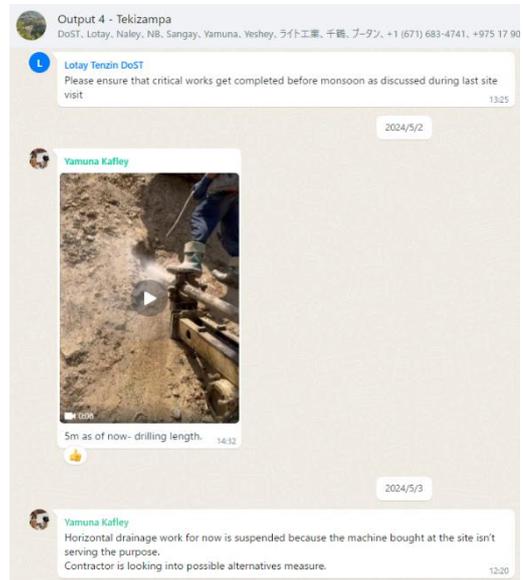


図 3.9-2 グループチャットによるやりとりの例

③教訓・提言：E-mail や SNS など様々なコミュニケーションツールが存在する中、個人対個人でのやりとりを行う機会が増えているが、作業進捗や課題、その対応策を多くのメンバー間でリアルタイムに意見交換し、その状況を共有することにより、関係者全員が当事者意識をもってプロジェクトに携わることができた。また、チャットのやりとりを振り返ることにより、いつどのような作業が行われていたか追体験が可能となり、作業の記録としても有効である。

写真や動画・音声など臨場感のある資料とともに関係者の行動や思考を記録するツールとして、今後も SNS を活用することが有効と考えられる。

## (3)ニュースレターによる情報発信

①課題：プロジェクトの活動状況を外部に発信する機会が、オープンセミナー開催時などに限られていた。

②工夫：プロジェクトの活動状況を定期的にニュースレターとしてとりまとめ、オープンセミナーや JICA ブータン事務所の広報活動時に配布した。ニュースレターは計 4 回発行し、一部は DoST の Facebook にも掲載された。

③教訓・提言：本プロジェクトで作成したようなニュースレターを定期的に作成して、機会があるごとに関係者に配布するとともに、JICA の現地事務所や C/P のホームページなどにも掲載することにより、プロジェクトの広報ツールとして積極的に活用していくことが、プロジェクトや JICA の活動の理解を深めるうえで重要である。

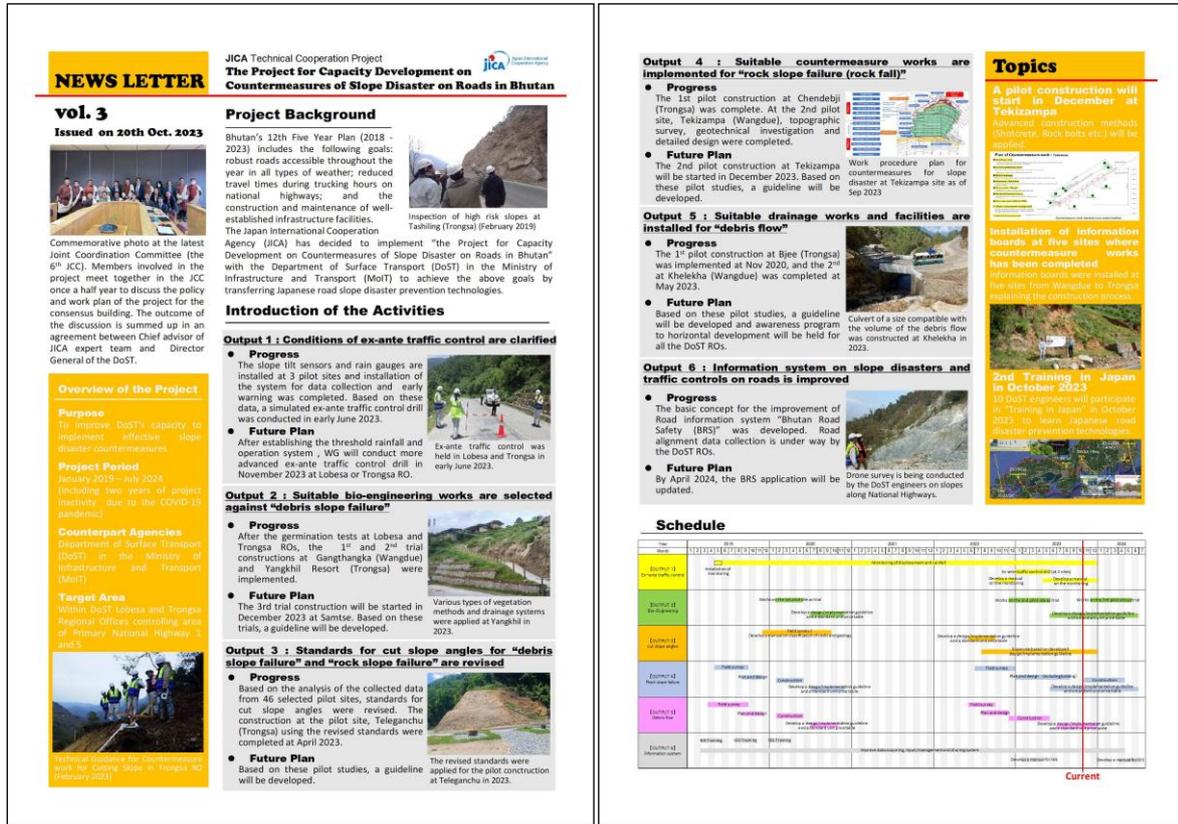


図 3.9-3 ニュースレターの作成例

(4) 機材供与

①課題：本プロジェクトでは、現地調査で使用するための機材を数多く供与した。この中には、ブータンではまだ数少ない高スペックのドローンなども含まれていたが、機材が高額ゆえに供与機材数が2機に限られ、C/Pの中でもHQの限られたメンバーしか操縦する機会が得られないなどの課題が残った。また、このためにドローンを使用した撮影や計測の機会が限定的なものとなってしまった。

②工夫：ドローンの基礎知識から操縦実習、空撮の基礎知識に関するセミナーをすべてのROの代表者を対象に実施した。このため、すべてのROにドローンの操縦技能を有した技術者が配置されていることになった。また、このセミナー受講者には受講証を発行し、ブータン国内で航空局に申請を行い、公式に運航できる体制を整えた。



図 3.9-4 ROにおけるドローン講習の実施例

③教訓・提言：本プロジェクトでは、高スペックで高価な機材を少量供与して技術の普及を図ったが、機材に限られる故に運航できるメンバーも限定的となってしまった。ベーシックな機能のみの安価な機材を多数供与したほうが、より多くのC/Pに操縦や実運用の機会が与えられ、基礎的な技術の広範な向上につながったと考えられる。

(5) 人材の流出

①課題：プロジェクト期間中、数多くのC/Pやプロジェクト関係者がブータン国外へ流出ないし転職・転勤等でプロジェクトから離脱した。特にCOVID-19の流行以降、ブータンからオーストラリアへ留学ないし就労にて移住するケースが多く、本プロジェクトだけでなくブータン全体で社会問題化している。長期にわたって技術移転を進めてきたC/Pが流出することは、プロジェクトを進めるうえで大きな支障となった。

②工夫：第2回本邦研修実施にあたっては、メンバーの選出にあたり「研修参加後1年間は離職しないこと」を条件として、DoST内部で誓約書を取りつけた。ブータン政府としても優秀な人材の流出を抑制するため、VISAの発給要件を厳しくする対応が始まっている。プロジェクトによる技術移転の成果を継続的なものとするため、過去の教材やセミナーの内容はアーカイブ化・マニュアル化を行い、新任のC/Pにはこれらを用いてプロジェクト内容の説明を行った。また、プロジェクトの活動成果はガイドライン・ハンドブックとしてとりまとめ、これらを参照することによって技術が適切に伝達されるようにした。

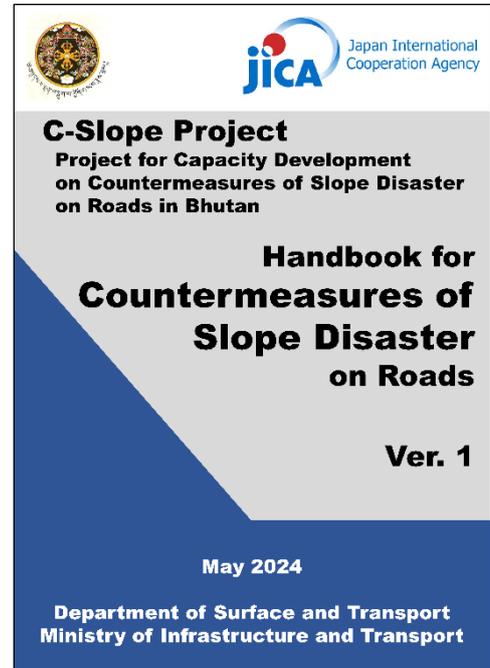
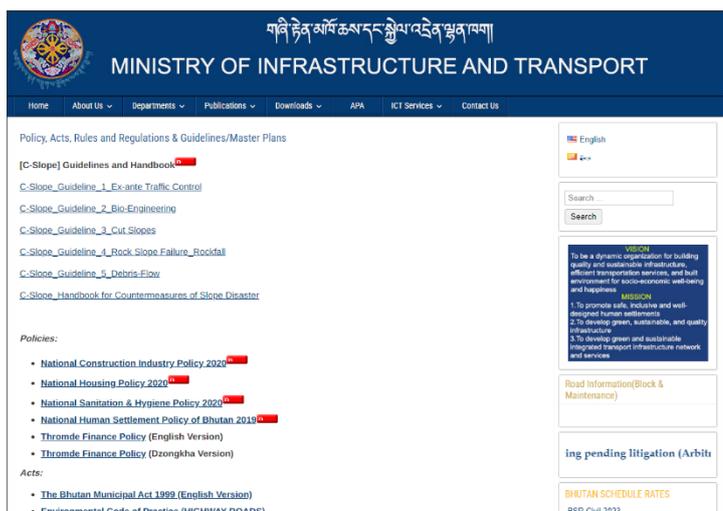


図 3.9-5 プロジェクトで整備したハンドブックの表紙

③教訓・提言：プロジェクト期間中の人事異動や退職も考慮に入れて、教材やセミナーの内容は随時アーカイブ化・マニュアル化していくことが必要である。また、技術移転した成果はガイドラインやハンドブックとしてとりまとめ、プロジェクト終了後も参照できるように整備しておく必要がある。

なお、本プロジェクトで作成したガイドラインやハンドブックは、印刷物としてC/Pに引き渡したほか、DoSTの上位機関であるMoITのホームページにも掲載され、必要な時にいつでも参照できるようになっている。



<https://www.moit.gov.bt/en/publications/acts/>

図 3.9-6 MoIT のホームページに掲載されたガイドライン・ハンドブックと URL・QR コード

本プロジェクトでは、道路斜面災害対策に関する様々な対策法について技術移転を行ったが、斜面災害対策は定型のものだけでは十分ではないケースが多く、現地の地形・地質状況や降雨量に応じて臨機応変に対応を検討しなければならない。

本プロジェクトで得た基礎的な知識をベースに、より実践的、発展的、継続的に技術を研鑽していく必要がある。

## 2)成果1（事前通行規制）

雨量観測と崩壊発生記録から崩壊が発生する可能性のある雨量の閾値を設定し、今後は雨量の閾値を用いて事前通行規制を実施する。

本プロジェクトでは、雨量・崩壊観測システムを設置したうえで、5年にわたって雨量・崩壊データを収集した。これらの記録に基づいて、雨量の閾値を設定して、事前通行規制にかかる情報伝達体制を構築し、模擬訓練を通じて事前通行規制を実施する場合の一連の流れを習得した。

表 3.9-1 成果1に関する課題・工夫と教訓・提言

課題	<p>①災害が発生し、通行不能になって初めて通行止になり、啓開活動が完了するとすぐに開通するという現状の運用から、災害が起きる前に降雨量のみで道路を通行止にするという運用が道路利用者に受け入れられるか未知数。</p> <p>②災害発生の可能性のある降雨量の閾値を設定するために、十分な降雨データや災害記録が残されていない。</p> <p>③雨量観測機器のメンテナンスに要する予算が確保されていない。</p>
工夫	<p>①本プロジェクトでは日本の考え方をを用いて、降雨量が閾値を超過した段階で道路を通行止にする模擬訓練を行ったが、前後の議論の中では、ブータンの実情に合わせて、通過車両に注意喚起を行うのみに留める運用や、より長区間を一律で通行止として、危険な箇所を特定させない運用等についても検討した。</p> <p>②プロジェクトでは、崩壊が予想される斜面内に傾斜計を設置し、降雨と斜面の挙動の関係についてデータを取得した。DoSTでは、独自にKoboシステムの運用を開始し、道路メンテナンス情報のデータベース化を進めている。また、今後、本プロジェクトで開発したBRSシステムにも災害情報が蓄積されることになっている。</p> <p>③基本的にはメンテナンスフリーの機材を導入し、プロジェクト期間中はJICA専門家によって機器のメンテナンス・維持管理を行った。引き渡し前にバッテリー交換も含めフルメンテナンスを実施した。</p>
教訓・提言	<p>①事前通行規制（予防措置）の重要性および有効性について、ブータン国内で社会的な認知度と理解を高める活動を継続する必要がある。事前通行規制区間について、案内標識等を設置して普段から周知しておく必要がある。</p> <p>②災害データのみならず、その際の雨量情報も記録し、雨量と災害発生の関係性について長期的にデータを収集する仕組みを構築する必要がある。</p> <p>③継続的な機材・観測機器を導入する際には、プロジェクト完了後も適切に維持管理されるよう、C/P機関にメンテナンスの予算確保を働きかけておく必要がある。</p>

### 3) 成果2 (植生工)

植生工により、斜面の侵食および表流水の浸透を抑制し、斜面の安定化を図る。

本プロジェクトでは、Lobesa, Trongsa, Samtse の3箇所では試験施工を行い、それぞれ異なるタイプの植生工を施工した。

表 3.9-2 成果2に関する課題・工夫と教訓・提言

課題	<p>①植生工単体では十分な斜面安定効果が効果が発揮されない。</p> <p>②プロジェクト期間内だけでは植生の繁茂・回復が十分に確認できず、植生工の効果が十分に検証できていない。</p> <p>③ブータンで数多く見られる極急斜面や岩盤斜面、高標高地域の斜面に適用可能な植生工が提示できていない。</p>
工夫	<p>①3箇所における試験施工では、植生工の施工に先立って斜面の安定に寄与する各種排水工およびガビオンなどを施工した。通常の植生工の適用限界が勾配 45 度程度までであることから、これより緩勾配の斜面を造成して試験施工を行った。また、成果3および成果4の試験施工サイトにて、植生工が適用可能な斜面が生じた場合には、成果2で検討した技術を応用して植生工を施工した。</p> <p>②植生工の施工にあたっては、撒種ではなく、外部からの種子による植生の自然回復を意図した施工を行った箇所がある。このような箇所については、C/P に継続的な観察を依頼した。</p> <p>③本プロジェクトでは、ブータンで頻出するタイプの斜面を優先的に選定して植生工の試験施工を実施した。</p>
教訓・提言	<p>①ガイドラインやハンドブックを通じて、植生工単体ではなく、切土工や岩盤斜面・落石対策工、排水工等と組み合わせて施工することを検討するよう指導する。</p> <p>②長期的な観察による評価が必要な工種については、C/P に定期的な観察とその結果の報告を依頼するなど、長期的に職責の回復や繁茂状況をモニタリングできる体制を構築する必要がある。</p> <p>③ブータンにて植生工が必要な斜面の主要なパターンに対して試験施工の箇所数が限られているため、頻出するタイプから優先して検討を行ったが、本プロジェクトの検討を参考として、今後も継続的に全地域で適用可能な植生工のバリエーションを検討していく必要がある。</p>

#### 4)成果3 (切土工)

現地の地質状況を反映して適切な勾配の切土および小段の配置を行うことにより、安定した切土斜面を創出する。

本プロジェクトでは、Trongsa の1箇所試験施工を行い、異なる地質に対して異なる勾配の切土工を施工した。

表 3.9-3 成果3に関する課題・工夫と教訓・提言

<p><b>課題</b></p>	<p>①ブータンでは、プロジェクト以前から切土勾配基準が設定されていたが、急峻な地形条件や、施工効率等を優先して、基準が順守されてこなかった。</p> <p>②切土勾配の規定はあるものの、現地にてそれを確認しながら施工する習慣がなく、勾配は重機オペレータの経験と勘に頼って行われていた。</p> <p>③切土斜面周辺の排水について考慮されていなかった。</p>
<p><b>工夫</b></p>	<p>①本プロジェクトでは、詳細な地質調査を実施したうえで、想定地質断面図を作成し、地質区分ごとに切土勾配を設定して切土工を実施した。</p> <p>②斜面の切土勾配については、丁張を設置して確認を行う方法を指導した。また、スラントを用いて切土斜面の勾配を確認し、適切な勾配で施工が行われているか確認を行う体制を構築した。</p> <p>③切土斜面が一定の高さを越える場合、小段および排水工を設置して安定化を図るための基準を策定し、ガイドラインに記載した。</p>
<p><b>教訓・提言</b></p>	<p>①ブータンでは、切土工のみで対処できる緩傾斜の斜面はそれほど多くなく、他の対策工と組み合わせた施工が主となる。切土工と他の対策工とを組み合わせた対策工について、調査・設計・施工の技術移転が必要である。</p> <p>②丁張の設置については各地でセミナーを開催し、RO 職員に直接指導を行ったが、勾配を正確に計測する機材が少なく、常に施工現場で勾配が確認できる体制が構築できていない。追加して機材の供与を行うなど、末端まで考え方を浸透させる努力が必要である。</p> <p>③切土勾配等の基準はガイドラインとしてとりまとめられたが、これらを順守した施工が行われるよう、RO のサイトエンジニア、コントラクター、オペレータまで、継続的・反復的に考え方を浸透させる機会が必要である。</p>

#### 5) 成果4 (岩盤斜面崩壊・落石対策工)

現地の地形・地質状況を反映して適切な岩盤斜面崩壊対策ないし落石対策工を施工することにより、安全な通行を確保した。

本プロジェクトでは、Trongsa および Lobesa で各1箇所、岩盤斜面崩壊・落石対策工を施工した。当初3箇所では試験施工を行う予定であったが、Trongsa における1箇所目の施工後、C/P から残る施工は小規模な斜面2箇所ではなく難易度の高い斜面1箇所に集中したいとの要望があり、Lobesa にて中規模の斜面1箇所に集中して施工を行った。

表 3.9-4 成果4に関する課題・工夫と教訓・提言

<p>課題</p>	<p>①ブータンでは、斜面内の不安定な岩塊の調査やその落下による衝撃力を考慮した落石対策工は施工されたことがなかった。</p> <p>②斜面の調査を実施するにあたり、精度の高い地形図・地形データが存在しなかった。また、DoST による地形測量も斜面对策工の設計を行うレベルに達していなかった。</p> <p>③部材の強度や耐久性に期待した斜面災害対策工の設計を行ったが、資材の管理が十分ではなく、錆の発生や部材の繰り返し屈伸による強度低下の可能性が考えられた。</p>
<p>工夫</p>	<p>①斜面内の不安定岩塊調査を実施し、それぞれの大きさや高さ、斜面の勾配等を考慮した衝撃力を算出して、それに耐えうる対策工を設計・施工した。また、対策工で補足しきれない規模の岩塊については、施工前に除去した。</p> <p>②一部の斜面では、測線間隔・位置を指定して測量を実施し、詳細な地形データを取得した。また、成果6にて導入したドローンを利用して空中写真を撮影し、得られた画像から3次元地形モデルを構築して対象斜面周辺の微地形を把握した。</p> <p>③現場で使用する資材の受け入れに際して検品を行い、既に錆びたり折り曲げられている鉄筋や、製造から時間が経過したセメントなど、必要な強度が得られない可能性がある部材については受け入れを拒否して品質を確保した。また、受け入れた部材についても管理を徹底し、錆の発生を抑制したい部材には防錆処理を施す方法について指導するなどの対策を行った。</p>
<p>教訓・提言</p>	<p>①斜面内の不安定岩塊による衝撃を考慮する方法について技術移転を行った。同様の斜面にて継続的に調査・設計を行うことにより、技術の定着、水平展開が図れるものと考えられる。</p> <p>②調査・設計にあたって、詳細な地形情報が重要であることが再認識された。データ取得の方法も様々提示したことから、反復的に同様の作業を繰り返し、現地状況に応じて適切に地形データが取得できる技術を身に着けることが望まれる。</p> <p>③現場で使用する部材については、工事完成時のみならず長期的に効果が継続できるよう、適切に受け入れ・管理を行う必要がある。</p>

## 6)成果5（土石流対策工）

想定される規模の土石流に対して、安全に流下させる規模の対策工を施工することにより、安全な通行を確保した。

本プロジェクトでは、Trongsa および Lobesa で各 1 箇所、土石流対策工を施工した。

表 3.9-5 成果5に関する課題・工夫と教訓・提言

課題	<p>①ブータンでは、溪流内の不安定な土砂の調査やその流下による土石流の規模を考慮した土石流対策工は施工されたことがなかった。</p> <p>②溪流調査を実施するにあたり、精度の高い地形図・地形データが存在しなかった。</p> <p>③カルバートやその付帯施設の施工は規模の小さな工事となり、小規模クラスのコントラクターが受注・施工を担当した。小規模クラスのコントラクターは機材や人員の調達能力が十分ではなく、作業工程の大幅な遅延を引き起こした。</p>
工夫	<p>①道路から上流の溪床に存在する不安定土砂の検討や地域の降雨量から、今後発生する可能性のある土石流の規模を想定したうえで、必要な対策施設の規模を設定した。これら一連の調査手法をガイドラインとしてとりまとめた。</p> <p>②先行プロジェクトで整備された衛星画像から生成された DEM を利用して、溪流内の地形や不安定な斜面の分布状況を把握した。</p> <p>③施工着手前には、工程計画も含む施工計画書を取り交わし、こまめに工程を確認しながら施工を進めた。2 回目の試験施工では、DoST から施工実績のある中規模のコントラクター数社を紹介してもらい、入札を行った。</p>
教訓・提言	<p>①DoST 内でガイドラインの水平展開が図られており、独自予算で新たな土石流対策工の施工が始まっている。これらの流れ（技術的・予算的）を継続的に支援していく必要がある。</p> <p>②先行プロジェクトで整備された地形データの利用普及に努めるとともに、詳細な地形データから災害に関連する情報を読み解く能力の開発が望まれる。</p> <p>③工程計画（特に雨期を避けた施工）を順守する習慣を身に付けさせるため、施工計画書の策定やそれに沿った施工監理の重要性を理解させる機会を継続的・広範にわたって設けていく必要がある。</p>

## 7) 成果6 (情報システム)

DoST が独自に収集した道路情報や、各ドナーから提供された機材による道路情報等を一元的に管理する DB を構築し、さらに位置情報については GIS 上で管理するシステムを構築した。道路通行規制等に関する情報を公開する BRS (Bhutan Road Safety) アプリを開発した。また、ドローンによる地形データや災害状況の情報取得に関する機材および技術を導入した。

表 3.9-6 成果6に関する課題・工夫と教訓・提言

課題	<p>①ブータン政府の情報通信関連アプリの開発・管理ポリシーが大きく変更となり、DoST から GovTech に開発・管理の権限が引き渡された。</p> <p>②DoST 内部には、道路管理に関する様々な情報が集積しているが、さまざまなドナーのプロジェクトによって整備されたもので、統合して管理できる状況になかった。</p> <p>③斜面崩壊等の災害が発生した場合でも、道路際の状況のみの確認で対策を検討していたため、上方斜面から再度崩壊が発生するなど、安全・安心な通行を確保するには程遠い調査体制であった。</p>
工夫	<p>①システム検討段階から GovTech を交えて協議を行うことにより、設計・構築をスムーズに進めた。</p> <p>②様々な情報を道路の位置情報をキーとして紐づけることにより、道路に関する情報を統合した DB を構築した。</p> <p>③本プロジェクトにてドローンを導入し、ドローンの操縦や空中写真測量の実施方法、地形モデルの構築まで指導を行った。災害等が発生した場合には、安全な場所から斜面上部や周辺の状況が確認できるようになった。</p>
教訓・提言	<p>①開発したアプリケーションの更新・改訂にあたっては、常に GovTech と協議する必要がある。開発当時の設計書や仕様書を適切に管理し、管理者が交代しても引き継げる体制を構築する必要がある。</p> <p>②膨大な情報を DB として整備したが、これらを継続的に利用するためには、運用および管理を適切に行う必要があり、専門の職員と一定の予算が必要となる。</p> <p>③ドローンの安全な運航や、適切な地形モデルの構築を行うための撮影方法、地形モデルの構築手順など、普段 DoST が扱う業務とは異なる知識や技能が必要となる。継続的に技術研修を行い、より多くのメンバーがこれらの作業に携われるようにしておく必要がある。</p>

## 第4章 プロジェクトの評価

### 4.1 内部終了時評価の概要

#### 1) 目的と手法

内部終了時評価は、「技術協力プロジェクトの終了間際に、プロジェクト目標の達成度、事業の効率性、自立発展性の見通し等の視点から評価」し、プロジェクトの自己評価を行い、その結果から「協力終了の適否や協力延長などフォローアップの必要性を判断する」ことを目的とする（JICA 事業ハンドブック（Ver.2.0），2021年3月：以後「事業評価ハンドブック」とよぶ）。また、相手国側が事業を継続する場合の留意点や類似プロジェクトへの教訓にも活用される。

JICA 事業評価ハンドブックによると、終了時評価では「プロジェクトの直接的な便益であるアウトカムの達成度を、経済協力開発機構（OECD）の開発援助委員会（DAC）が提唱する評価6基準（妥当性、整合性、有効性、インパクト、効率性、持続性）のうち、特に“有効性”で評価する」としている。また有効性の評価においては、「期待された事業の効果の、目標年次における目標水準の達成度（施設、機材の活用を含む）」を、「受益者間において達成度や結果に違いがあるか否か」について注意して検証することが求められている。

したがって、本プロジェクトにおける終了時評価では、プロジェクト目標「道路斜面对策に係る DoST の能力が向上する。」の達成度について、受益者である DoST の本部や地方事務所のエンジニアの能力向上の達成度や違いに留意しながら主に有効性の評価基準から検討する。またプロジェクトの投入（人的、物的、予算的）が計画通り実施されたか、その結果アウトプット（プロジェクトが生み出す資本財及びサービス）が想定通り生み出されたか、その結果アウトカムであるプロジェクト目標が達成されたかについて、PDM に基づき、実績、実施プロセス、因果関係について検証した。

終了時評価の調査手法としては、PDM の指標の検証方法（Means of Verification）に示されているように、これまでの報告書、BL,EL 調査の結果や本プロジェクトで整備した各種ガイドライン、ハンドブックの活用状況を分析するとともに、受益者である DoST のエンジニアに対するインタビューを実施し、評価を行った。

#### 2) PDM の検証

ログフレーム（PDM）と評価については、事業評価ハンドブックによると、ログフレーム/PDM から評価できる事項と、ログフレーム/PDM から評価できない事項があると記載されている。ログフレーム/PDM に基づいて評価できる事項は、プロジェクトの結果や、計画と実績の比較検討、プロジェクトデザインの適切性があげられ、ログフレーム/PDM に基づいて判断できない事項は、プロジェクトのプロセスや実施体制、上位目標以外のインパクトや持続性があげられている。本節では、ログフレーム/PDM に基づく評価に先立ち、ログフレーム/PDM について検証する。本プロジェクトのログフレーム/PDM を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 設定された PDM の指標一覧表(太字は業務開始後に設定された指標および期限)

目標および成果	指標
<b>上位目標:</b> ブータンにおける道路斜面がプロジェクトで改善された対策を用いて適切に開発・維持管理される	2 箇所の対象地域事務所(Lobesa、Tronsa 地域事務所)の管轄内で <b>4 箇所以上</b> のプロジェクトで導入された技術を使って対策(対策工、通行規制)ができる。 残り7箇所の地域事務所全てで、プロジェクトで改善／導入した技術が <b>7 箇所以上</b> で実施されている(対策工、通行規制などのうちどれか)
<b>プロジェクト目標:</b> 道路斜面対策にかかる DoST の能力が向上する	プロジェクトで改善／導入した対策工を活用した斜面对策工事が DoST 主体で実施される ( <b>4 件</b> ／サイト以上) DoST エンジニアの <b>70%</b> がマニュアルに沿って通行規制ができるようになる プロジェクトで実施した対策のための予算が DoST の年間予算に組み込まれる
<b>成果 1:</b> 事前通行規制の条件が明確になる	( <b>2022 年 12 月までに</b> )通行規制区間が選定される 通行規制雨量値が設定される ( <b>2023 年 12 月までに</b> )変位・降雨量モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアルが策定され、DoST (MoIT)により承認される
<b>成果 2:</b> 「土砂斜面崩壊」防止に適した植生工が選定される	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも2人以上が適切な植生を選定、施工管理できるようになる ( <b>2024 年 6 月までに</b> )植生に関する設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST (MoIT)により承認される
<b>成果 3:</b> 「土砂斜面崩壊」「岩盤斜面崩壊」に対する標準切土のり面勾配が改訂される	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも2人以上が地質性状ごとに適切なり面勾配を選定、施工監理できるようになる ( <b>2023 年 12 月までに</b> )標準切土のり面勾配に対する設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST (MoIT)により承認される
<b>成果 4:</b> 「岩盤斜面崩壊(落石)」に対して適した対策工法が実施できるようになる	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも2人以上が「岩盤斜面崩壊(落石)」に対する適した対策工法が選定できるようになる DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも2人以上がプロジェクトで導入した対策工を理解し、施工できるようになる ( <b>2024 年 6 月までに</b> )岩盤斜面崩壊(落石)の対策設計・施工管理要領と標準単価表、およびハンドブックが策定され、DoST (MoIT)により承認される
<b>成果 5:</b> 「土石流」に対する適正な対策工が導入される	DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも2人以上が適正な排水工・排水施設の調査、設計、施工ができるようになる ( <b>2023 年 12 月までに</b> )排水工・排水施設の設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST (MoIT)により承認される
<b>成果 6:</b> 道路斜面災害情報および通行規制に関する情報システムが改善される	既存の GISDB を含む道路情報システムが改善される 維持管理、通行規制に必要なデータが定期的に地域事務所を通じて取得できるようになる ( <b>2024 年 6 月まで</b> )道路情報管理マニュアルが策定され、DoST により承認される

(出典:JET)

ログフレーム/PDM の骨子である縦の論理については、プロジェクトの実施中及び終了時においても、アウトプットとして期待された内容とプロジェクト目標、また上位目標へのロジカルな流れは整合的で、後述の通り、アウトプットの達成はプロジェクト目標の達成に貢献し、プロジェクト目標の達成が今後上位目標の達成につながると予測できる。

指標については、各成果の指標はおおむね達成を図るのに適切な設定がなされており、各成果ともプロジェクト完了時にこれらの指標にて評価が可能であった。

一方で、プロジェクト目標の指標については、若干の課題が見られた。「指標 2 : DoST エンジニアの 70%がマニュアルに沿って通行規制ができるようになる。」について、ガイドラインや模擬訓練およびこの時の様子を簡潔にまとめた動画の視聴等により、DoST の多くの職員に対して事前通行規制の概念や手順についての技術移転は進んだと考えられるが、実際に観測された雨量に基づいて事前通行規制が実施可能な区間が2 地方事務所の 3 区間のみに限られるため、実践的な運用を通じて理

解を深め、ブータンに適した運用法の議論を行う機会を与えることができていない。

本プロジェクトは COVID-19 の流行を受けて、プロジェクト中盤の 2020 年 3 月から 2 年余りの休止を余儀なくされた。休止期間中に 1 箇所目の試験施工が進み、施工中の現場を利用したセミナー等の開催が実施できないという事態にも陥った。しかし、2022 年 5 月のプロジェクト再開後、2 箇所目以降の試験施工を通じて技術移転を進め、各成果ガイドラインの策定も精力的に行われたことから、期初に設定した各成果の指標およびプロジェクト目標の指標はおおむね達成されたと考えられる。

なお、上位目標の指標の課題については、「第 5 章 プロジェクト終了後の上位目標の達成に向けて」で詳細に述べる。

## 4.2 プロジェクトの実績

### 1) 実績の確認

#### (1) 各成果の達成状況

各成果の達成度を表 4.2.1 にまとめた。

6 つの成果の指標はいずれも 100% の達成度を示しているが、一部のアウトプットは予定よりも若干の遅れがあった。成果 1,4,5 の各ガイドラインは、2023 年 12 月までに DoST の承認を得て公式化される予定であったが、成果 2,4 のガイドラインとまとめて DoST の承認を受けることとなり、完成時期としては遅延した。ただし、これらのガイドラインのコンテンツは 2023 年中に概ね完成しており、ガイドライン（案）を利用したセミナーを各地の RO で開催するなどして技術の普及に活用された。

以上の指標の評価から、6 つの成果の達成度は全て「高い」と評価される。

表 4.2-1 各成果の指標と達成状況・達成度

指標	達成状況	達成度	補足
<b>成果 1: 事前通行規制の条件が明確になる</b>			
(2022 年 12 月までに)通行規制区間が選定される	3 箇所の区間が選定された。	100%	
通行規制雨量値が設定される	3 箇所で通行規制雨量値が設定された。	100%	
(2023 年 12 月までに)変位・降雨量モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアルが策定され、DoST により承認される	変位・降雨モニタリングおよび事前通行規制に係るマニュアルが策定され、2024 年 4 月に DoST により承認された。	100%	他のガイドラインとまとめたため、承認が遅れた
<b>成果 2: 「土砂斜面崩壊」防止に適した植生工が選定される</b>			
DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が適切な植生を選定、施工管理できるようになる	DoST の職員 3 名が、適切な植生工を選定、施工監理できるようになった。	100%	
(2024 年 6 月までに)植生に関する設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST により承認される	植生工に関する設計・施工監理要領と標準単価表が策定され、2024 年 4 月に DoST により承認された。	100%	
<b>成果 3: 「土砂斜面崩壊」「岩盤斜面崩壊」に対する標準切土のり面勾配が改訂される</b>			
DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が地質性状ごとに適切なり面勾配を選定、施工監理できるようになる	DoST の職員 4 名が、地質性状ごとに適切なり面勾配を選定、施工監理できるようになった。	100%	
(2023 年 12 月までに)標準切土のり面勾配に対する設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST により承認される	標準切土のり面勾配に対する設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、2024 年 4 月に DoST により承認された。	100%	他のガイドラインとまとめたため、承認が遅れた
<b>成果 4: 「岩盤斜面崩壊(落石)」に対して適した対策工法が実施できるようになる</b>			
DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が「岩盤斜面崩壊(落石)」に対する適した対策工法が選定できるようになる	DoST の職員 4 名が、「岩盤斜面崩壊(落石)」に対する適した対策工法が選定できるようになった。	100%	
DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上がプロジェクトで導入した対策工を理解し、施工できるようになる	DoST の職員 4 名が、プロジェクトで導入した対策工を理解し、施工できるようになった。	100%	
(2024 年 6 月までに)岩盤斜面崩壊(落石)の対策設計・施工管理要領と標準単価表、およびハンドブックが策定され、DoST により承認される	岩盤斜面崩壊(落石)の対策設計・施工管理要領と標準単価表、およびハンドブックが策定され、2024 年 4 月に DoST により承認された。	100%	
<b>成果 5: 「土石流」に対する適正な対策工が導入される</b>			
DoST 本部および各地域事務所の担当職員のうち少なくとも 2 人以上が適正な排水工・排水施設の調査、設計、施工ができるようになる	DoST の職員 4 名が、適正な排水工・排水施設の調査、設計、施工ができるようになった。	100%	
(2023 年 12 月までに)排水工・排水施設の設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、DoST により承認される	排水工・排水施設の設計・施工管理要領と標準単価表が策定され、2024 年 4 月に DoST により承認された。	100%	他のガイドラインとまとめたため、承認が遅れた
<b>成果 6: 道路斜面災害情報および通行規制に関する情報システムが改善される</b>			
既存の GISDB を含む道路情報システムが改善される	既存の GISDB を含む道路情報システム BRS (Bhutan Road Safety) が改善され、運用を開始した。	100%	
維持管理、通行規制に必要なデータが定期的に地域事務所を通じて取得できるようになる	RAMS システムの運用や BRS へのデータ登録指導を通じて、必要なデータ取得が行われるようになった。	100%	
(2024 年 6 月まで)道路情報管理マニュアルが策定され、DoST により承認される	道路情報管理マニュアルが策定され、2024 年 6 月に DoST により承認された。	100%	

(出典: JET)

## (2) プロジェクト目標の達成状況

プロジェクト目標の達成度を設定された各指標に基づいて評価する。各指標の達成度は以下のとおりである。各指標の達成度の概要を表 4.2-2 にまとめた。

### ①プロジェクトで改善／導入した対策工を活用した斜面对策工事が DoST 主体で実施される (4 件／サイト以上)

本プロジェクトでは、パイロット地方事務所 2 事務所を設定して、その管内で成果 2,3,4,5 の試験施工を実施した。成果 2 (植生工) の試験施工 3 箇所は JICA 予算で実施されたが、成果 3 (切土工) は 1 箇所、成果 4 (岩盤斜面崩壊 (落石) 対策工) は 2 箇所、成果 5 (土石流対策工) は 2 箇所、合計 5 箇所はそれぞれ DoST の予算により、DoST が主体的に実施した。

加えて、プロジェクトで整備したガイドラインに沿って、プロジェクト対象以外の Samdrup Jongkhar 地方事務所にて、DoST の予算により、DoST が独自に 1 箇所ですべて土石流対策工の施工を行った。

プロジェクトで改善／導入した対策工を活用した斜面对策工事が DoST 主体ですべて 6 箇所実施された状況から、本指標については 100%の達成度と評価する。

### ②DoST エンジニアの 70%がマニュアルに沿って通行規制ができるようになる

2023 年 4 月に成果 1 の WG のメンバーおよびパイロット RO の職員計 10 名を対象として、Lobesa RO および Trongsa RO にて事前通行規制の手順を確認する実地訓練を実施した。また、2024 年 4 月に、Trongsa RO にて雨量警報に基づく事前通行規制の模擬訓練を実施した。この模擬訓練には 9 つの RO および HQ の各部門の代表 1-2 名および Trongsa RO およびメンテナンス部の職員、交通警察など約 30 名が参加した。彼らは終日の模擬訓練を通じて、事前通行規制の考え方や実際の運用方法を理解した。また、模擬訓練当日の様子を 5 分程度の動画としてとりまとめ、Youtube にて公開した。模擬訓練参加者は、各 RO/HQ に帰任した後、各 RO/HQ の職員にこの動画の視聴を勧め、視聴して内容を理解した場合には「いいね」ボタンを押下するように指導を行った。これらの結果、2024 年 5 月末時点で 300 ビュー以上の閲覧、47 の「いいね」を獲得した。また、模擬訓練参加者は、本プロジェクトで作成したハンドブックおよびビデオを利用して、各 RO および HQ でミニセミナーを開催し、各事務所でそれぞれ 10 名程度 (計 100 名) の参加があった。

これらの活動により、DoST のエンジニア (約 200 名) の 20% (40 名) が模擬訓練に参加し、模擬訓練参加者からのレクチャーにより 50% (100 名) が事前通行規制について理解を深めた。さらに動画の視聴により、ほとんどのエンジニアが通行規制の方法について一定レベルの知識を得たと考えられる。

これらの事項から、本指標については 100%の達成度と評価する。

③プロジェクトで実施した対策のための予算が DoST の年間予算に組み込まれる

プロジェクト着手当初、DoST が本プロジェクト内で主体となって実施する対策工は 1 件当たり 5,000,000BTN 程度、4 年間のプロジェクト期間中に合計 6 箇所施工で 30,000,000BTN 程度の予算（年平均 7,500,000BTN 相当）を想定していた。

2020 年度に実施した成果 4（落石対策工）、5（土石流対策工）のそれぞれ 1 回目の試験施工および 2023 年度に実施した成果 3 の切土工は、概ね当初予算に沿った規模の工事が実施された。

一方、2023 年に着手した成果 4 の第 2 回目の試験施工にあたっては、DoST からより難易度の高い斜面の対策に挑戦したいとの要望があり、第 2 回目と第 3 回目の予算を統合したうえ、さらに上積みして、2023-2024 年度の 2 ヶ年で 30,000,000BTN（年間 15,000,000BTN 相当）の予算を投入することとして実施中である。2023 年度の施工については本プロジェクト内の活動として、2024 年度以降の施工については DoST 単独で実施することになっており、約半分の予算はプロジェクト外のものとして計上されている。また、これとは別に、本プロジェクトで策定した土石流対策工のガイドラインに沿って、各 RO で各 1 箇所以上の溪流で試験施工するための予算として、2023 年度に 6,000,000BTN が計上され、東部 2RO に配分された。Samdrup Jongkhar RO ではこの予算を基に土石流対策工の設計・施工が進められ、2024 年 5 月末に完工した。

これらの事実から、DoST が本プロジェクトで実施した対策のための予算が 2023 年度および 2024 年度の予算に組み込まれたと確認できることから、本指標については 100%の達成度と評価する。

表 4.2-2 プロジェクト目標の指標と達成状況・達成度

指標	達成状況	達成度	補足
<b>プロジェクト目標: 道路斜面対策にかかる DoST の能力が向上する</b>			
プロジェクトで改善／導入した対策工を活用した斜面対策工事が DoST 主体で実施される(4 件／サイト以上)	プロジェクトで改善／導入した斜面対策工事が、DoST が主体となって 6 箇所実施された。	100%	
DoST エンジニアの 70%がマニュアルに沿って通行規制ができるようになる	事前通行規制の模擬訓練等へ直接参加した技術者(全エンジニアの 20%)と、その記録動画の視聴および参加報告会等によって通行規制を行う流れを理解した技術者(同 50%以上)を合わせて、70%以上のエンジニアが事前通行規制の概念や手順について理解した。	100%	
プロジェクトで実施した対策のための予算が DoST の年間予算に組み込まれる	プロジェクトで予定していた対策工の予算以外に、岩盤崩壊対策工(落石対策工)が 2023-2024 年度の複数年度の予算として、2 箇所分の土石流対策工が 2023 年度の予算として組み込まれた。	100%	

(出典：JET)

## 2) PDM の変遷

第1回 JCC (2019年1月) に提示した PDM に記載されている指標の確定および未設定項目の具体的な数値について、JICA 本部にて協議を行った後に C/P と協議を行い、2019年8月に決定された。この後は、2022年5月に決定した1年半の工期延長に伴い、活動の期限が見直された。

## 3) 実施プロセスの確認

### (1) プロジェクトのマネジメント体制

プロジェクトのマネジメント体制は、DoST 本部の下に合同調整委員会 (JCC) が設置され、DoST 局長 (Director General) が Project Director として議長を務めた。その傘下にあるメンテナンス部長 (Chief Engineer, MD) が Project Manager としてグループを指揮し、HQ およびパイロット RO に在籍する担当技術者 (Focal Person) が成果1~6の WG メンバーとしてプロジェクトを実施した。

日本側は JICA 専門家チーム (JET) が各成果の WG を指導する体制で構成された。JET は WG と密接に連携し、定期的なワークショップ・セミナーや会議、現地実習等を開催し、プロジェクトの進捗や成果の確認を行った。

図 4.2-1 にプロジェクトのマネジメント体制を示す。

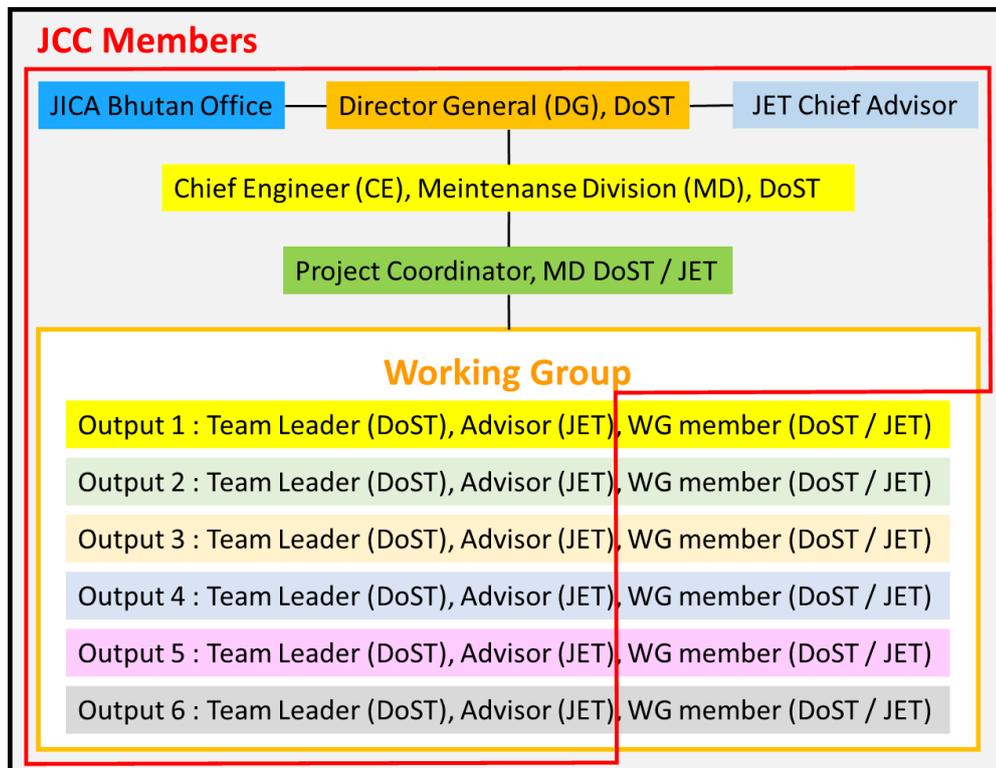


図 4.2-1 プロジェクトのマネジメント体制図

## (2) 技術、知見、ノウハウ、経験の共有状況

本プロジェクトの活動を通じて、DoST 本部 (HQ) および DoST 各地方事務所(RO : 特にパイロット RO となった Trongsa および Lobesa RO)のエンジニアは、斜面災害対策の基礎知識となる地形・地質に関する知見や、植生工、切土工、岩盤斜面崩壊(落石)対策工、土石流対策工における調査、設計、積算の実践的なトレーニングや、試験施工サイトにおいて施工監理、品質・安全管理を JET 指導の下に実施してきた。また、GIS やドローンの基礎的な操作方法や BRS システムを通じた道路管理情報の共有など、道路管理のデジタル化に関する幅広い技術、知識、経験を得た。

DoST のエンジニアがこれまでに培ってきた技術、知見、ノウハウ、経験の共有状況について、以下に整理する。

技術の共有に関して、HQ とパイロット RO にてプロジェクトに参加していた WG メンバーは同程度の技術を得たと考えられる。試験施工実施時には、日々の作業進捗や作業上の課題などの情報が SNS を通じて大量に WG メンバーに共有されていたことから、頻繁にサイトを訪問できないメンバーでも、技術的課題やその解決方法、作業進捗を理解することが可能であった。一方、これらの事務所に所属する他のエンジニアやパイロット RO 以外の RO への技術共有の機会はセミナー開催時などに限られたことから、断片的ないし限定的な理解に留まっている可能性が高い。成果 3,5 など一部の成果では、すべての RO (ないし一部合同) を対象としてそれぞれ数日間のセミナーを開催し、現地実習も含めて実践的な技術移転が図られたが、その他の成果では概論的なセミナーが開催されたに過ぎない。今後、本プロジェクトで策定した各成果のガイドラインを利用して、各 WG のコアメンバーが主体となって、より実践的なセミナーや実際の施工を通じた技術の横展開および深化が期待される。

知見の共有に関して、本プロジェクトでは 8 箇所斜面災害対策工の試験施工を実施した。第 1 回目の施工(2020 年 1 月着手の 3 箇所)は COVID-19 の影響を大きく受け、着手直後に国内移動や集会が事実上禁止される事態となったことから、施工中のサイト見学などの機会を設けることができなかった。第 2 回目以降の施工(2022 年 12 月以降)では、積極的にサイト見学の機会を設けたが、ブータン国特有の各地へのアクセスの悪さから、実際に施工中のサイトを見学できるエンジニアの数は限定的であった。プロジェクトの設計やパイロットサイトの選定時に、よりブータン各地に試験施工サイトが配置できるような配慮が必要であったかもしれない。

ノウハウや経験の共有に関しても、ブータンの国民性ないし組織の特性が表れていると考えられる。2019 年 10 月および 2023 年 10 月の 2 回、本邦研修を実施した。様々な日本の新しい技術やブータンと類似した山岳地帯の道路斜面災害対策工の施工サイトを視察して十分に習得してきている。しかし、任地へ戻り日本での視察で得た経験や新しい技術、ノウハウ等の共有は、帰国後の各所属先での報告会や JCC における報告など限定的であったと思われる。このような中で、岐阜大学のインフラ・ミュージアムを見学した際に、「施工現場が限られるブータンにこそこのような実物大の施工モデルを設置すべきだ」という意見の今後を期待したい。

## 4.3 DAC6 項目評価のレビュー

業務の実施結果について、表 4.3-1 に示す DAC の 6 つの評価基準の観点からレビューを行う。

表 4.3-1 DAC6 の評価項目と本プロジェクトの評価

項目	評価の視点	本プロジェクトの評価
妥当性	介入の目的やデザインが、受益者のニーズ、政策、優先事項に対応し、状況の変化に応じて対応し続ける度合い。	③ 高い
整合性	国、セクター、組織に対する当該介入と他の介入との適合性。	③ 高い
有効性	介入の目的と結果の達成又は達成見込みの度合い(諸集団の異なる帰結を含む)。	③ 高い
インパクト	介入により生じた又は生じると予期される、重要な正又は負の、意図された又は意図されない、高次の効果の度合い。	③ 大きい
効率性	経済的かつタイムリーな方法で結果を生む又は生むような介入実施の度合い。	③ 高い
持続性	介入の純便益が継続する又は継続する可能性の度合い。	③ 高い

出典：「JICA 事業評価ハンドブック (Ver. 2.0) 2021 年 3 月」に本プロジェクトの評価を加筆

### 1) 妥当性：③「高い」

妥当性の評価項目では、プロジェクト目標、計画やアプローチがブータン国の開発政策や計画、ターゲットグループである DoST のニーズとの適合性を主に評価する。

C-Slope プロジェクトは、ブータン国の開発政策と整合している。第 11 次 5 年計画 2013-2018 では、道路セクターの重要課題として、「交通安全」「建設の質」「建設された広大な道路網を維持するための財政的持続性」が示されている。また、第 12 次 5 年計画 2019-2023 においても、「人口増や増加する交通量に対して、信頼性の高い交通システムへの投資」が掲げられており、道路網の計画・建設・維持管理能力を向上させるための戦略が求められていた。

本プロジェクトのプロジェクト目標「道路斜面对策にかかる DoST の能力が向上する」は、DoST が求める重要成果分野の一つであり、「プロジェクトで改善/導入した対策工を活用した斜面对策工事が DoST 主体で実施される」、「DoST エンジニアの 70% がマニュアルに沿って通行規制ができるようになる」、「プロジェクトで実施した対策のための予算が DoST の年間予算に組み込まれる」が主要なパフォーマンス指標 (KPI) として設定されている。

C-Slope は、DoST 管轄下の道路斜面对策工の建設や維持管理に携わるエンジニアの能力を開発・向上させることにより、斜面災害への対処能力の向上のニーズに応えるために計画された。したがって、本プロジェクトはブータン国の開発政策、DoST のニーズ、道路維持管理セクターの問題や課題への取り組みという視点から、妥当性は「③：高い」と評価できる。

### 2) 整合性：③「高い」

整合性の評価項目では、主に日本政府や JICA をはじめ、他の援助国・機関の開発援助方針やプロ

ジェクト、国際的な枠組みとの整合性を審査する。

日本政府の 2015 年 5 月の対ブータン国開発援助方針では、都市部と農村部のバランスを取りながら自立かつ持続可能な開発を行うことを基本方針として支援するとし、重点分野の一つである持続的経済発展を達成するために、地域の生活の質の向上のための道路・橋梁整備の必要性を指摘している。また、2018 年 4 月の JICA の対ブータン国事業開発計画では、道路インフラの不足と質の低さが、社会・市場アクセスや経済活動の妨げとなり、開発の大きな制約であると指摘されている。そのため同計画では、JICA はブータン国政府のインフラの設計・建設、維持・管理のための能力開発を引き続き支援するとしている。第二の優先分野である災害に対する脆弱性の軽減に関しては、雨季の洪水や地滑りに対してインフラに必要な対策の実施を支援することを目的としている。

C-Slope プロジェクトは、これらの日本政府の開発援助方針及び JICA の事業展開計画に沿って、PNH1 及び PNH4（プロジェクト実施期間中に PNH5 に変更）の橋梁架け替えや橋梁の維持管理能力向上プロジェクトなどの基礎インフラ整備・維持管理のためのプロジェクトと並行して実施された。

国際的な枠組みの観点からは、C-Slope プロジェクトは、“持続可能な開発目標(SDG)9 レジリエントなインフラの構築、包括的で持続可能な産業化の促進、イノベーションの促進を図る”に整合している。特に、“ターゲット 9.A アフリカ諸国、後発開発途上国、内陸開発途上国、小島嶼開発途上国への資金、技術、技術支援の強化を通じて、開発途上国における持続可能で強靱なインフラ開発を促進する”の達成に貢献できる。

以上より、本プロジェクトは、日本政府や JICA の政策、国際的な枠組みとの整合性は「③：高い」と評価できる。

### 3)有効性 : ③「高い」

有効性の項目は、プロジェクト実施の結果、プロジェクト目標が達成されたかどうかを評価する。

ここでは、本プロジェクトにおいて、成果 1~6 の各活動を実施した結果、「道路斜面对策にかかる DoST の能力が向上する」というプロジェクト目標が達成されたかどうかについて、3つの指標から評価した。

「プロジェクトで改善／導入した対策工を活用した斜面对策工事が DoST 主体で実施される」、「DoST エンジニアの 70%がマニュアルに沿って通行規制ができるようになる」、「プロジェクトで実施した対策のための予算が DoST の年間予算に組み込まれる」の 3つの指標の分析の結果、プロジェクト目標は、ほぼ 100%の水準で達成されたことから、有効性は「③：高い」と評価する。

「4.2 プロジェクトの実績」に記載したとおり、当初計画よりも多くの箇所で行斜面对策工事が実施され、模擬訓練およびその様子を記録した動画により DoST エンジニアの大半が事前通行規制について理解を深め、対策工事のための予算が DoST の年度予算に組み込まれるようになったことから、すべてのアウトプットは、多少の問題や完成の遅れがあったものの、プロジェクト完了時点では 100%の水準で達成された。その結果、DoST の技術者の斜面災害対策に関する能力は大幅に向上した。

また、斜面災害対策工に関する4つの成果（成果2,3,4,5）では、日本の各種マニュアル・ガイドラインをベースとして、ブータンにおける試験施工を通じて得られた経験を加えて新たなガイドラインが策定された。これらはDoSTの承認を受け公式化されたことから、今後新たな道路斜面災害対策のスタンダードとしての活用が期待される。本プロジェクトにWGメンバーとして参加した職員はガイドラインの内容を熟知していることから、彼らが現職にいるうちに、ブータン各地で新たな対策施設の施工等を通じて技術の横展開が図られることが望まれる。

#### 4)インパクト：③「大きい」

これまでの分析から、本プロジェクトは、DoSTの組織と技術者の斜面災害対策に関する能力と意識の向上、施工品質と安全確保のための意識の向上、道路管理データの収集・分析能力の向上、事前通行規制という新しい概念の導入や道路災害対策関連予算の確保に大きなインパクトを与えたといえる。本プロジェクトは、斜面災害対策に対する技術者の意識を変え、DoST、特にHQおよびパイロットROから各成果のWGに参加した技術者の斜面災害対策能力を大きく向上させた。

また、本プロジェクトによって策定された各種ガイドラインは、DoSTにより公式化されたことから、今後も改訂を行いながら斜面災害対策工の実施に活用されることが期待されるなど、ブータンの斜面災害対策工の技術基準に与えたインパクトも大きい。これらのガイドラインは、DoSTが実施する道路斜面災害対策のみならず、DzongkhagやGewogが管理する道路にも適用可能である。また、地質調査手法や地形情報の取得に関する技術は、道路斜面災害対策だけでなく、新たな路線の計画や概略調査・詳細調査に応用できるなど、汎用性の高い技術として根付くことが期待される。

なお、本プロジェクトにおいて、環境、経済、ジェンダーに対する負の影響はない。

プロジェクト終了後、これらのインパクトが適切に維持・強化され、必要な資源と予算が配分され続けると仮定するならば、上位目標である「ブータンにおける道路斜面がプロジェクトで改善された対策を用いて適切に開発・維持管理される」が達成できる可能性は大である。

一方、エンジニアの能力・意欲を維持するためには継続的なトレーニングや段階的な技術向上の機会の創出が必要であり、人材の離職率を下げ、能力・知識・経験の継続性を確保するための組織的な取り組みも必要と考えられる。

これらの検討から、本プロジェクトがブータン国およびDoSTに与えたインパクトは「③:大きい」と評価できる。

#### 5)効率性：③「高い」

日本側の事業費は、ドローンおよび3次元モデル解析ソフトの導入、簡易貫入試験機・ハンディ弾性波速度計などの地質調査機器、雨量計および地表面傾斜センサ等の追加機材費、成果2（植生工）の3サイトにおける試験施工等により、当初契約時の436,892,000円（税込み）から6回の契約変更を経て506,868,077円（同）に約16%増額した。また、COVID-19の世界的流行により2年余りの作業中

断を余儀なくされ、この影響でプロジェクト期間が2024年7月まで1年半（37.5%）延長された。

専門家の投入は116.90人/月から125.20人/月と約7%増加した。また、第2章で示したように、何名かの専門家の投入量が変更された。変更理由としては、各成果の進捗や難易度が当初想定から変更になったための団内のアサイン調整や、その他の補足的作業などの必要が生じたことによる。

これらのプロジェクトコスト、インプット、期間に関する変更は、プロジェクトのアウトプットを生み出すために必然的に生じたものや、本プロジェクトがCOVID-19の影響を大きく受けたことによるものである。

したがって、本プロジェクトの効率性は「③：高い」と評価される。

## 6) 持続性 : ③「高い」

プロジェクトがもたらした効果の持続性について、政策・制度、実施機関の体制、能力、資金面の4つの観点から評価した。

政策・制度面では、PNHおよびSNHはブータンの交通の根幹をなす重要インフラとの認識のもと、道路斜面災害に対する安全性の向上が重要課題として認識されており、地方におけるアクセシビリティ確保のための優先課題の一つであることから、プロジェクト効果の維持が望まれている。

実施機関の組織的な観点については、人事異動や民間企業への転職、海外への人材流出による技術継承の点から、プロジェクト効果の持続性に懸念がある。技術者の能力や斜面災害対策に関する意識は大きく向上したが、質の高い技術者の離職はDoSTないしブータン国にとって深刻な問題であり、人的資源の流出防止ないし拡充が必要である。また、ROを代表して各種セミナー等により技術移転を受けた技術者の異動は、ROの技術能力に悪影響を及ぼす可能性がある。

技能・知識・技術の観点からの持続性に関しては、斜面災害対策に関する継続的な研修と知識の更新が必要である。特に、すべてのROの技術者が同じ質と基準で斜面災害対策の調査・設計・施工ができるように、本プロジェクトで整備した各種ガイドライン、ハンドブックを活用したセミナーなどを定期的に関開くなど、DoST全体の技術力の底上げを図る必要がある。この点について、最終回のJCCでは水平展開に関する議論が行われ、今後も継続的にセミナー等を開催していくことが確認された。

財政の視点については、プロジェクト効果の持続性を考える上で大きな不安要素である。斜面災害対策を継続的に実施し、少しずつでも安全・安心に通行できる区間を延ばしていくためには、継続的に斜面災害対策に関する予算を配分することが必要である。また、すでに施工した斜面災害対策工を適切に維持管理するための予算も必要になる。財務的な側面は、効果の持続性にとって最も重要である。最終回のJCCでもこの点について懸念の声が上がったが、DoSTとしては斜面災害対策の重要性を認識し、今後も予算の獲得を目指していく意思が表明された。

これらの観点から総合的に判断すると、本プロジェクトによる効果の持続性は「③：高い」と判断される。

## 第5章 プロジェクト終了後の上位目標の達成に向けて

### 5.1 上位目標達成の見込み

本プロジェクトでは、以下の上位目標を掲げて各種の活動を行ってきた。

表 5.1-1 設定された PDM の上位目標

目標および成果	指標
上位目標: ブータンにおける道路斜面がプロジェクトで改善された対策を用いて適切に開発・維持管理される	2 箇所の対象地域事務所 (Lobesa, Trongsa 地域事務所) の管轄内で 4 箇所以上のプロジェクトで導入された技術を使って対策 (対策工、通行規制) ができる。 残り 7 箇所の地域事務所全てで、プロジェクトで改善/導入した技術が 7 箇所以上で実施されている (対策工、通行規制などのうちどれか)

これまでの分析・評価から、本プロジェクトの上位目標である「ブータンにおける道路斜面がプロジェクトで改善された対策を用いて適切に開発・維持管理される」が達成できる可能性は大であると推察される。しかし、上位目標の達成を確実にするためには、「4.3 DAC6 項目評価のレビュー」の「4) インパクト」や「6) 持続性」などで述べた課題やリスクに対処するためのフォローアップが必要である。技術力やモチベーションの維持などの課題に対応するため、継続的に研修を実施する必要がある。一方で、外部環境を考慮しつつ斜面災害対策の予算を継続的に確保し、調査・設計・施工の実験を重ねながら技術力の向上や蓄積、伝承に必要な措置を講じていくことが重要である。これらの認識については、最終回の JCC でも再確認された。

上位目標の2つの指標のうち、「2 箇所の対象地域事務所 (Lobesa, Trongsa RO) の管轄内で 4 箇所以上のプロジェクトで導入された技術を使って対策 (対策工、通行規制) ができる。」については、すでに本プロジェクトの各成果の活動にて斜面災害対策が必要な斜面が複数把握されており、一部は対策工の規模や工種まで検討が進んでいることから、予算措置さえ講じられれば達成は容易と推測される。

また、もう一方の「残り 7 箇所の地域事務所全てで、プロジェクトで改善/導入した技術が 7 箇所以上で実施されている (対策工、通行規制などのうちどれか)」についても、切土工や土石流対策工は既にすべての RO で現地調査を含む数日間のセミナーを実施しており、各 RO における課題箇所やモデル検討箇所が選定されていることから、予算条件さえ整えば達成は可能と考えられる。土石流対策工については、既に一部の RO を対象にパイロットプロジェクトを実施するための予算が確保され、Samdrup Jhongkhar RO では本プロジェクトで整備したガイドラインに沿った土石流対策工の施工が進められていることから、上位目標の達成に向けた取り組みは既に始まっていると言える。

## 5.2 上位目標の達成に向けた計画と実施体制

### 1) 新規斜面災害対策工施工サイトにおけるガイドラインの活用と横展開

今後 DoST が施工を行う新規の斜面災害対策工については、本プロジェクトで策定し、公式化された新たなガイドラインに沿って調査・設計・施工が行われることとなる。これらの取り組みにあたっては、本プロジェクトの WG に参加した HQ およびパイロット RO の技術者が指導役となり、ガイドラインの内容や実作業の詳細について横展開を図っていく。

### 2) 災害復旧サイトにおけるガイドラインの活用

ブータンでは毎年のように土砂災害による通行止が発生し、その都度災害復旧工事を行っている。当初は通行を確保するための応急復旧的な工事が主体であるが、本格復旧工事にあたっては本プロジェクトで策定したガイドラインに沿って調査・設計・施工を行うなど、適切な斜面災害対策を行う。

### 3) 雨量観測情報に基づく事前通行規制・情報提供の推進

本プロジェクトでは、3 箇所雨量情報に基づく事前通行規制の閾値を設定した。ブータンでは、現実に土砂災害が発生する以前に道路を通行止にすることについて、近隣住民や道路利用者の理解が得られないという懸念がぬぐい切れないことことから、当初は「いつ土砂災害が発生してもおかしくない雨量に達している」ことを通行車両に周知して、危険を理解したうえで通過を認めるなどの運用を行うなど、ソフトな運用からの導入を検討する。また、雨量と斜面災害発生の関係について、長期にわたるデータ収集を通じて閾値の信頼性がある程度確実なものになった段階で、通行規制を伴う運用に移行するなど、DoST の技術者や社会の事前通行規制に対する理解の醸成状況に応じた柔軟な運用を行う。

### 4) BRS システムを活用した道路災害情報の収集と情報発信

本プロジェクトで構築した BRS システムに道路災害情報を集約し、災害が繰り返し発生している箇所を特定したうえで、それらの箇所の地形・地質的特性や降雨との関係を解析することにより、より効率的・効果的な斜面災害対策を実施するための基礎資料を蓄積する。

また、道路災害情報の収集・発信について、BRS システムの運用方法を適宜ブラッシュアップしていく。

### 5) 継続的な斜面災害対策予算の確保

上記の活動を継続するには、その裏付けとなる斜面災害対策予算の確保が大前提となる。本プロジェクトを通じて斜面災害対策の重要性を認識した DoST は、今後、これにかかる予算を計画的・継続的に確保する。

## 5.3 ブータン側への提言

### 1) 斜面の地形・地質特性に応じた対策の検討

斜面災害の多くは、斜面周辺の地形・地質特性に応じて発生している。本プロジェクトでは、広範な斜面災害対策工について、ガイドラインやハンドブックで基本的な対処法を紹介したが、自然条件はさまざまであり、箇所状況に応じて様々な技術を組み合わせ、または応用した対応が必要となる。

ガイドラインに示された調査法に沿って、対象とする斜面の地形・地質的特性を十分に検討・把握したうえで、最適な対策工を検討することが望まれる。また、対策工による対応以前に、道路の新設や拡幅事業にあたっては、周辺斜面の地形・地質状況を慎重に調査し、斜面の特性を十分に把握したうえで適した工法を選定することにより、斜面が不安定化することのないように配慮することも重要である。

### 2) 本プロジェクトで策定したガイドライン・ハンドブックの有効活用とアップデート

本プロジェクトでは、日本の各種マニュアル・ガイドラインをベースに、ブータン国内の数箇所で行った調査や試験施工を通じて得られた経験を踏まえてガイドライン・ハンドブックを策定した。プロジェクト終了後は、WGに参加したメンバーが同じポジションに在職しているうちに、これらを活用したセミナー、勉強会を実施し、横展開および技術の深化を強力に推進する必要がある。

また、ブータンには標高の低い土地から高い土地、温暖湿潤な地域から寒冷乾燥する地域まで、狭い国土に気象・気候条件が大きく異なる地域が混在していることから、今回整備したガイドラインがすべての斜面に適用可能とは限らない。今後、ガイドラインに即して調査・設計・施工を進めていく中で、ブータンの風土や習慣、技術に適合しない事象が生じた場合には、適宜ガイドラインに追記・修正を加えて、よりブータンの斜面災害事情に適合したものに改訂していく必要がある。

また、斜面災害対策の技術は日進月歩で進化しているため、少なくとも5年に一度はガイドラインの見直しを行い、常に最新の技術を取り込んだものにアップデートしていく必要がある。

### 3) 小規模な斜面災害対策工による継続的・広範な調査・設計・積算・施工技術の普及

本プロジェクトで整備した各種ガイドラインでは、ブータンの在来工法で施工可能な技術を数多く紹介している。大規模な斜面災害対策工は費用も巨額になり、調査・設計も複雑になるため数多くの実施は難しいが、基本的な技術で対応可能なレベルの小規模な斜面災害対策工を数多く、広範・継続的に実施することにより、調査・設計・積算・施工に関する技術力の底上げや経験の蓄積が可能となる。特に若手技術者にこのような現場を多数経験させることにより、業務への関心ややりがいの心が醸成され、DoSTの中心技術者として成長し、未永く活躍していくことが期待される。

#### 4)すべての RO でパイロットサイトにおける調査・設計・積算・施工技術の研鑽と経験の蓄積

本プロジェクトでは、主に HQ および Trongsa、Lobesa の 2 つのパイロット RO からプロジェクトの各 WG に参加した技術者に対して集中的に技術移転を行った。これらの技術者は、プロジェクト期間中、数多くのセミナーや講習会、本邦研修に参加し、プロジェクト終了時点ではブータンにおける斜面災害対策工の第一人者といえるレベルまで成長した。

彼らの経験をより広範に伝授し、ブータン国全土でプロジェクトの効果を発現するには、プロジェクト終了後速やかに彼らを講師とした横展開を推進する必要がある。ただし、これらの技術は座学だけでは簡単に身に付かないことから、すべての RO にて本プロジェクトの成果を踏まえたパイロットサイトを設定し、調査・設計・積算から施工まで一連の検討を行うことにより、生きた技術の研鑽と経験の蓄積を図っていく必要がある。

#### 5)プロジェクト終了後から事後評価までのモニタリング計画

JICA の技術協力プロジェクトでは、プロジェクト終了後から数年のうちにプロジェクトの効果の発現程度を評価するための「事後評価」が実施される。

「事後評価」のためだけでなく、ブータンのすべての道路が安心・安全にいつでも通行できる状態を確保するために、本プロジェクトの成果を利用した斜面災害対策の実施状況を定期的にモニタリングすることを提案する。

モニタリングの指標としては、以下が考えられる。

- (1)斜面災害対策工の実施数（多いほど効果大）
- (2)斜面災害対策を実施した RO の数（多いほど効果大）
- (3)斜面災害の発生数（少ないほど効果大）
- (4)通行止の回数（少ないほど効果大）
- (5)事前通行規制の実施回数（多いほど効果大）
- (6)斜面災害対策に関する予算規模（多いほど効果大）
- (7)斜面災害対策の検討に従事した技術者の数（多いほど効果大）

ブータンにおける道路斜面災害対策は緒についたばかりである。本プロジェクトを通じて導入された概念や技術、得られた経験、収集された情報が大いに活用され、根付き、発展していくことを祈念したい。