

モーリシャス国

公共インフラ・陸上交通省(MPI)

モーリシャス国 地すべり対策プロジェクト

ファイナル・レポート 【メインレポート】

平成27年3月
(2015年)

独立行政法人
国際協力機構(JICA)

国際航業株式会社
日本工営株式会社
セントラルコンサルタント株式会社
株式会社ふたば

環境
JR
15-043

モーリシャス国

公共インフラ・陸上交通省(MPI)

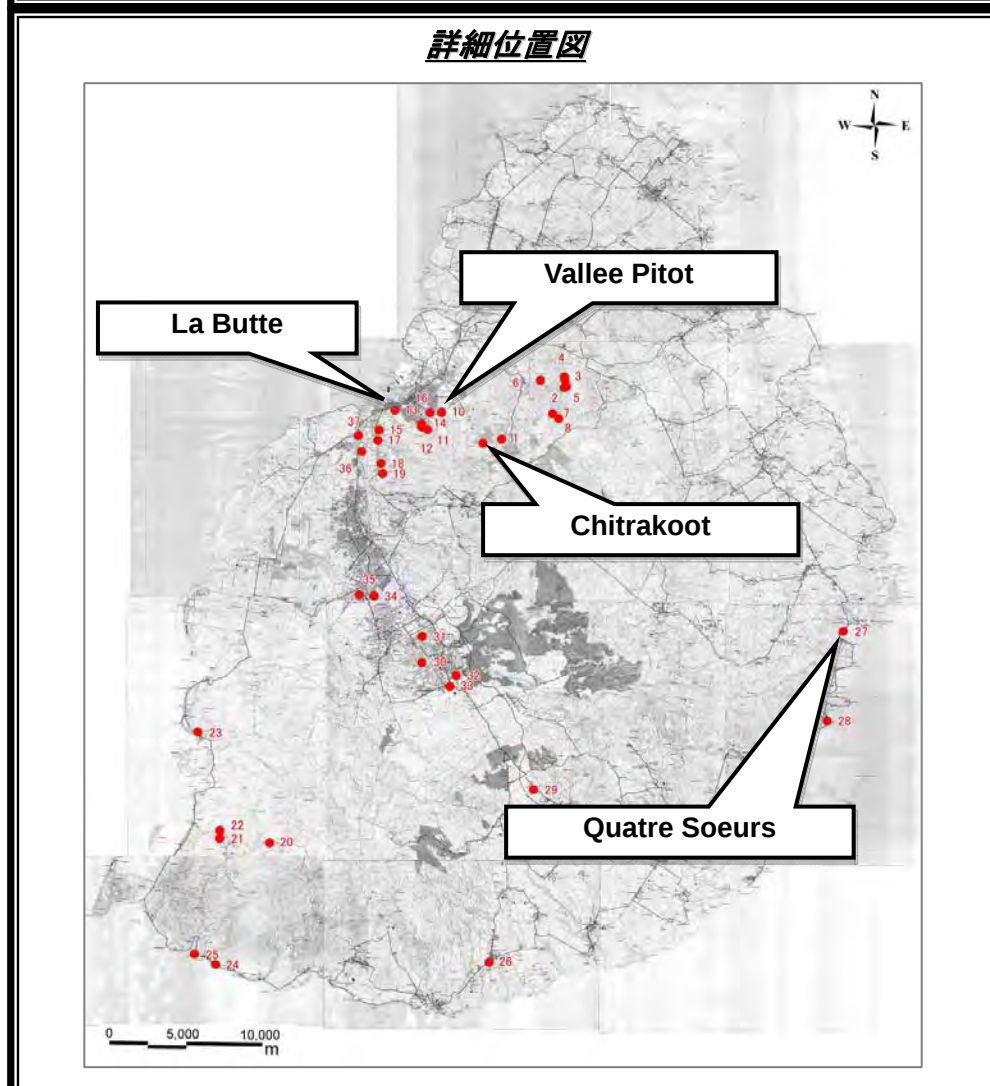
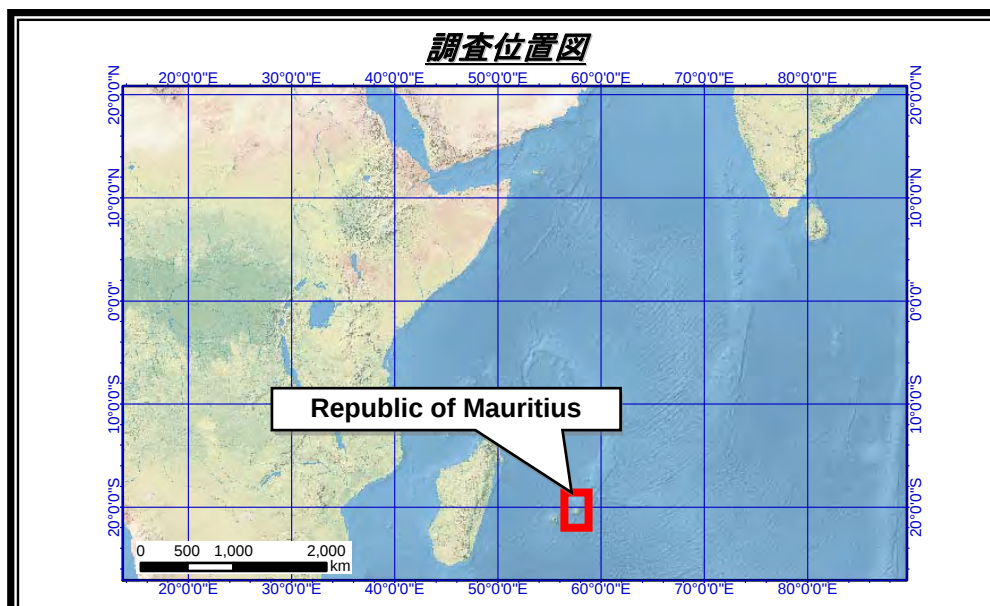
モーリシャス国 地すべり対策プロジェクト

ファイナル・レポート 【メインレポート】

平成27年3月
(2015年)

独立行政法人
国際協力機構(JICA)

国際航業株式会社
日本工営株式会社
セントラルコンサルタント株式会社
株式会社ふたば



位置図

通貨換算率

$$\begin{aligned} 1 \text{ USD} &= 34.959 \text{ Rs} \\ &= 119.68 \text{ JPY} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 100 \text{ Rs} &= 3.098 \text{ USD} \\ &= 370.75 \text{ JPY} \end{aligned}$$

Rs:モーリシャス・ルピー

2015年3月1日時点

プロジェクト写真(1)



副首相兼MPI大臣への表敬訪問, 2012年5月28日



プロジェクト開始の締結, 2012年5月30日



第1回ステアリングコミッティ, 2012年5月29日



第2回ステアリングコミッティ, 2012年11月1日



第3回ステアリングコミッティ, 2013年11月21日



第4回ステアリングコミッティ, 2015年1月19日

プロジェクト写真(2)



第1回ステークホルダー会議(Chitrakoot), 2012年9月22日



第2回ステークホルダー会議(Quatre Soeurs), 2013年4月12日



第5回ステークホルダー会議(Vallee Pitot), 2014年12月12日



第1回技術移転セミナー, 2012年10月10日



第2回技術移転セミナー, 2013年11月20日



第3回技術移転セミナー, 2015年1月20日

プロジェクト写真(3)



IOCの現場視察, 2012年6月13日



第4回技術ワークショップ【Landuse Policy】,
2012年7月30日



第5回技術ワークショップ【Aerial Photo Interpretation】,
2012年9月6日



第10回技術ワークショップ【Stability Analysis and
Countermeasures】, 2013年3月5日



第1回本邦研修, 2012年11月24日～12月15日



第2回本邦研修, 2013年8月17日～9月8日

プロジェクト写真(4)



ボーリング調査の作業状況(Quatre Soeurs),
2012年10月2日



地すべり対策工施工・水平ボーリング技術指導
(パイロットサイト: Chitrakoot), 2014年10月30日



地すべり対策工施工・第2回サイトミーティング
(パイロットサイト: Chitrakoot), 2014年9月1日



地すべり対策工の完成・水路工Type3
(パイロットサイト: Chitrakoot), 2014年12月12日



地すべり対策工の完成・橋梁Br-3
(パイロットサイト: Chitrakoot), 2014年12月12日



地すべり対策工の完成・水平ボーリング工
(パイロットサイト: Chitrakoot), 2014年12月12日

目 次

位置図
プロジェクト写真
目次
図リスト
表リスト
写真リスト
略語表

要 約

	Page
1 序論	1-1
1.1 レポートの概要.....	1-1
1.2 プロジェクトの背景.....	1-1
1.3 達成が期待される目標.....	1-2
1.3.1 活用目標.....	1-2
1.3.2 活用による達成目標.....	1-2
1.3.3 プロジェクト成果.....	1-2
1.4 プロジェクトの範囲.....	1-3
1.4.1 プロジェクト地域.....	1-3
1.4.2 カウンターパートと調査団.....	1-4
1.5 主要活動.....	1-5
2 基礎調査	2-1
2.1 地形.....	2-1
2.2 地質と降雨.....	2-1
2.3 地すべりインベントリー.....	2-5
2.3.1 危険箇所の分類.....	2-7
2.3.2 現地踏査.....	2-9
2.3.3 インベントリーと分布図.....	2-17
2.3.4 GISデータベース.....	2-20
2.4 対策工実態.....	2-24
2.4.1 構造物対策.....	2-24
2.4.2 非構造物対策.....	2-26
2.5 社会調査.....	2-27
2.5.1 基礎調査.....	2-27
2.5.2 地すべりに関する意識調査.....	2-32

Chapter 5

フイージビリティ調査
Feasibility Study

2.6	組織・制度	2-35
2.6.1	災害対策枠組.....	2-35
2.7	経済調査.....	2-38
2.7.1	モーリシャスの経済指標.....	2-38
2.7.2	モーリシャスの経済政策.....	2-39
2.7.3	「モ」国の予算方針(2014年).....	2-41
2.7.4	公共インフラ省（MPI）の予算方針（2014年-2016年）	2-42
2.7.5	地すべり対策兼修繕・復旧ユニット（LMU/RRU）の予算.....	2-43
3	地すべり管理計画1（調査と結果）	3-1
3.1	地すべり危険地の特定	3-1
3.2	測量	3-2
3.2.1	仕様	3-2
3.2.2	成果品	3-2
3.3	地質調査.....	3-6
3.3.1	地すべり地の地質.....	3-6
3.3.2	室内試験	3-11
3.3.3	水質試験	3-30
3.4	モニタリング.....	3-34
3.4.1	機器設置	3-34
3.4.2	モニタリング結果.....	3-36
3.5	物理探査.....	3-47
3.5.1	弾性波探査	3-47
3.5.2	比抵抗二次元探査.....	3-56
3.6	ボーリング調査	3-65
3.6.1	ボーリング計画.....	3-65
3.6.2	コアボーリング	3-68
3.6.3	観測機器の設置.....	3-71
3.6.4	ボーリング結果.....	3-75
3.6.5	標準貫入試験.....	3-76
3.7	現地調査.....	3-79
3.7.1	家屋の被害状況.....	3-79
3.7.2	現地踏査結果.....	3-85
3.8	防災点検.....	3-116
3.8.1	防災点検の意義と目的.....	3-117
3.8.2	防災点検の手法.....	3-118
3.8.3	防災点検の結果.....	3-119
3.8.4	防災点検に係る提言.....	3-121
3.9	災害スキームのレビューと提言	3-124
3.9.1	災害スキームのレビュー	3-124
3.9.2	災害スキームへの提言.....	3-126
3.10	開発計画政策指針のレビューと提言	3-144
3.10.1	日本の地すべり関連法.....	3-144
3.10.2	「モ」国の地すべり災害リスク管理に関する法制度・計画	3-150
3.10.3	「モ」国の地すべり危険地域の現状.....	3-153

3.10.4	PPGへの提言案	3-158
3.11	初期調査の技術ガイドライン	3-166
3.12	実務手順書（地すべり対策マニュアル）	3-168
4	地すべり管理計画2（解析と解釈）	4-1
4.1	地質解析	4-1
4.1.1	Chitrakoot	4-1
4.1.2	Quatre Soeurs	4-3
4.1.3	Vallee Pitot	4-5
4.2	モニタリング解釈	4-7
4.2.1	Chitrakoot	4-7
4.2.2	Quatre Soeurs	4-9
4.2.3	Vallee Pitot	4-10
4.3	土壌雨量指数による閾値の検討	4-11
4.3.1	解析方法	4-11
4.3.2	使用したデータ	4-13
4.3.3	解析結果	4-16
4.3.4	今後の「モ」国での土壌雨量指数の利用について	4-23
4.4	安定解析	4-25
4.4.1	地すべり安定解析の安全率	4-25
4.4.2	安定解析のための各種定数の設定	4-27
4.4.3	安定解析の手法	4-27
4.4.4	安定解析の実施	4-30
4.4.5	土の強度の評価	4-44
4.5	危険度判定	4-47
5	フィージビリティ調査	5-1
5.1	優先地域とパイロットプロジェクト地域	5-1
5.1.1	優先地域の選定	5-1
5.1.2	パイロットプロジェクト地域の選定	5-2
5.1.3	パイロットプロジェクト地域での災害シナリオ	5-3
5.2	対策方針検討	5-5
5.2.1	Chitrakoot地区対策工計画	5-6
5.2.2	Vallee Pitot緊急対応	5-15
5.2.3	Quatre Soeurs住民移転	5-21
5.3	環境影響評価(EIA)	5-23
5.3.1	環境影響評価の手順	5-23
5.3.2	パイロットプロジェクトに関するEIA	5-24
5.3.3	主要な環境社会影響と緩和策	5-25
5.4	事業評価	5-26
5.4.1	事前評価	5-26
5.4.2	中間レビュー	5-28
5.4.3	事後評価	5-29
5.5	資金調達の促進	5-32
5.6	組織強化計画	5-36

5.6.1	組織能力向上計画の策定.....	5-36
5.6.2	地すべり災害対策組織：インフラ省・地すべり対策ユニット (MPI/LMU)	5-36
5.6.3	課題と短期的、中・長期的目標の設定.....	5-38
5.6.4	各課題と目標に対する達成された成果と今後の長期計画.....	5-40
6	パイロット事業（地すべり対策）	6-1
6.1	構造物対策工.....	6-1
6.1.1	対策工の基本設計.....	6-1
6.1.2	詳細設計・積算.....	6-9
6.1.3	施工計画	6-21
6.1.4	入札図書作成と入札.....	6-23
6.1.5	施工監理	6-29
6.1.6	設計変更	6-30
6.1.7	今後の計画	6-31
6.1.8	「モ」国で実施可能な対策工.....	6-35
6.1.9	対策後の地すべり危険区域での開発について	6-36
6.2	早期警戒と避難	6-37
6.2.1	モーリシャスにおける早期警戒の現状.....	6-37
6.2.2	Chitrakoot, Vallee Pitot, Quatre Soeursの3地区における早期警戒システム の提言	6-39
6.2.3	早期警戒システムの構築.....	6-48
6.3	Information, Education and Communication (IEC)	6-53
6.3.1	本プロジェクトにおけるIEC活動の目的	6-53
6.3.2	モ国の地すべり防災分野におけるIEC活動の現状と課題	6-53
6.3.3	本プロジェクトで実施するIEC活動の検討（表6.3.2のd）	6-56
6.3.4	優先地域の住民を対象としたステークホルダー会議.....	6-57
6.3.5	住民アンケート調査の実施.....	6-66
6.3.6	プロジェクト・ニュースレターの作成.....	6-69
6.3.7	教材作成	6-69
6.4	パイロット事業における技術総括	6-70
7	技術移転	7-1
7.1	方法論	7-1
7.1.1	技術移転の目的.....	7-1
7.1.2	技術移転の方法.....	7-1
7.1.3	技術移転における基本方針.....	7-2
7.2	技術移転の体制	7-3
7.3	技術移転セミナー	7-4
7.3.1	第1回技術移転セミナー	7-4
7.3.2	第2回技術移転セミナー	7-5
7.3.3	第3回技術移転セミナー	7-6
7.4	ワークショップ	7-7
7.5	本邦研修.....	7-16
7.6	ステアリング・コミッティ	7-21
7.7	国内支援委員会	7-26

7.8	技術移転の成果	7-29
7.9	今後のMPIにおける活動と関係機関の役割分担	7-32
7.9.1	MPIにおける今後の活動.....	7-32
7.9.2	関係機関における役割分担.....	7-34
8	環境・気候変動適応及び防災.....	8-1
8.1	概要	8-1
8.1.1	「横浜宣言2013」	8-1
8.1.2	「TICAD V横浜行動計画」	8-1
8.2	気候変動適応策と地すべり対策	8-3
8.3	プロジェクトと関連組織.....	8-4
8.3.1	モリシヤス国政府機関の動向.....	8-4
8.3.2	国際開発機関の動向.....	8-5
8.4	JICA環境・気候変動対策・防災にかかるまとめ	8-8
8.5	南西インド洋諸国との技術交流.....	8-11
8.5.1	島嶼国セミナー概要.....	8-11
9	本プロジェクトにおける提言事項.....	9-1
9.1	地すべり管理計画に係る提言	9-1
9.1.1	防災点検に係る提言.....	9-1
9.1.2	災害スキームへの提言.....	9-1
9.1.3	PPGへの提言案	9-2
9.1.4	初期調査の技術ガイドライン.....	9-3
9.1.5	実務手順書（地すべり対策マニュアル）	9-4
9.2	フィージビリティ調査に係る提言	9-6
9.2.1	資金調達の促進.....	9-6
9.2.2	組織強化計画.....	9-9
9.3	パイロット事業（地すべり対策）に係る提言	9-15
9.3.1	構造物対策工 - 今後の計画	9-15
9.3.2	対策後の地すべり危険区域での開発について	9-19
9.3.3	早期警戒システムの提言	9-20
9.3.4	IEC調査の提言	9-22
9.4	他地域における地すべり管理計画に係る提言	9-24
9.4.1	「モ」国における地すべりの現状.....	9-24
9.4.2	地すべり管理計画策定に係る提言	9-25

サポーティングレポート

Volume 1

1. Minutes of Meeting on the Detailed Planning Survey for the Project
2. Minutes of Meeting on 1st Steering Committee
3. Minutes of Meeting on 2nd Steering Committee
4. Minutes of Meeting on 3rd Steering Committee
5. Minutes of Meeting on 4th Steering Committee
6. Landslide Location Map
7. Landslide Recording Sheet
8. Result of Aerial Photograph Interpretation
9. The Survey Result of Landslide Awareness of Residents
10. Regular Check Sheets and Photo Sheets
11. Bore Logs and Core Sample Photo
12. Soil Test and Water Quality
13. Review and Recommendation for the Disaster Scheme
14. Review and Recommendation for the Planning Policy Guidance
15. Result of Stability Analysis
16. Project Leaflet (Project of Landslide Management in the Republic of Mauritius)
17. Presentation Material for 1st Stakeholder Meeting
18. Presentation Material for 2nd Stakeholder Meeting
19. Minutes of 1st Technical Seminar
20. Minutes of 2nd Technical Seminar
21. Minutes of 1st Advisory Committee in Japan
22. Minutes of 2nd Advisory Committee in Japan
23. Minutes of 3rd Advisory Committee in Japan
24. Minutes of 4th Advisory Committee in Japan

Volume 2

25. Reports of Technical Advice of Individual Site for MPI
26. Soil Water Index
27. Result of Ring Shear Test
28. Calculation of Pile Work
29. Results of Stability Analysis of Slope behind the Drainage
30. Consideration of the Cross Section for Drainage
31. Drawings for the Landslide Countermeasure
32. Documents related to the Modification of Drawings
33. Cost estimation
34. Construction Supervision Report

図リスト

Page

図1.2.1	「モ」国/日本/世界の気候変動適応策取組み	1-1
図1.4.1	調査対象地区の位置図	1-3
図1.5.1	プロジェクト実施のフローチャート	1-6
図2.1.1	「モ」国の全体地図	2-1
図2.2.1	「モ」国全体の地質図	2-2
図2.2.2	典型的な地すべり（崩積土地すべり）：La Butte地すべりの断面図	2-3
図2.2.3	「モ」国年間の降水量（1971～2000年）	2-4
図2.3.1	写真判読結果・Chitrakoot地区（左:判読写真,右:地すべり分布図）	2-11
図2.3.2	地すべり地形の概略図	2-12
図2.3.3	地すべり台帳の一例（Chitrakoot地区）	2-14
図2.3.4	地すべり台帳の一例（Vallee Pitot 地区）	2-15
図2.3.5	地すべり台帳の一例（Quatre Soeurs地区）	2-16
図2.3.6	地すべり位置図	2-17
図2.3.7	GISを用いたデータベース作成の流れ	2-20
図2.3.8	行政界図と属性情報のリンクの例	2-22
図2.3.9	地すべり調査位置図（ベースマップ：道路、河川、等高線、行政界）	2-23
図2.3.10	地すべり調査位置図（ベースマップ：地形図(1:25,000)）	2-23
図2.3.11	地すべり分布図（Chitrakoot area）	2-23
図2.3.12	地すべり分布図（Quatre Soeurs area）	2-23
図2.4.1	La Butte地区の地すべり構造物対策	2-25
図2.5.1	土地利用図	2-27
図2.5.2	人口分布図	2-29
図2.5.3	貧困分布図	2-30
図2.5.4	「モ」国における主な水源の分布図	2-31
図3.2.1	Chitrakoot 平面図	3-3
図3.2.2	Chitrakoot 断面図	3-3
図3.2.3	Quatre Soeurs平面図	3-4
図3.2.4	Quatre Soeurs 断面図	3-4
図3.2.5	Vallee Pitot 平面図	3-5
図3.2.6	Vallee Pitot 断面図	3-5
図3.3.1	調査地の地形図	3-6
図3.3.2	調査地の衛星写真	3-6
図3.3.3	調査地周辺の地質図	3-8
図3.3.4	ピーク強度と残留強度の説明図	3-11
図3.3.5	各地質帯の代表的なすべり面粘土の粒度分布	3-12
図3.3.6	様々な地質帯の塑性指数と残留せん断抵抗角との関係	3-13
図3.3.7	繰返し一面せん断試験機の構造	3-14
図3.3.8	せん断応力と累積せん断変位の関係	3-15
図3.3.9	せん断箱間の摩擦力測定が可能なせん断箱	3-15
図3.3.10	$c-\tan\phi$ 図を利用した設計用強度定数の決定法	3-16
図3.3.11	すべり面せん断試験機のせん断箱周辺構造	3-16
図3.3.12	含すべり面供試体作成方法	3-17
図3.3.13	三軸試験機の構成例	3-17
図3.3.14	アッターベルグ限界	3-22
図3.3.15	土質試料採取位置（Chitrakoot）	3-24
図3.3.16	土質試料採取位置（Quatre Soeurs）	3-25
図3.3.17	土質試料採取位置（Vallee Pitot）	3-25

図3.3.18	一面せん断とリングせん断の違い	3-26
図3.3.19	正規圧密粘土及び過圧密粘土のせん断特性	3-27
図3.3.20	リングせん断試験機構図	3-27
図3.3.21	供試体見取り図	3-27
図3.3.22	リングせん断試験の試験工程	3-28
図3.3.23	ヘキサダイアグラムの例	3-31
図3.3.24	Chitrakootにおける地下水のヘキサダイアグラム	3-33
図3.3.25	Quatre Soeursにおける地下水のヘキサダイアグラム	3-33
図3.4.1	計測器の原理	3-34
図3.4.2	地すべり計器の設置場所 - Chitrakoot	3-35
図3.4.3	地すべり計器の設置場所 - Quatre Soeurs	3-35
図3.4.4	地すべり計器の設置場所 - Vallee Pitot	3-36
図3.4.5	雨量計観測結果-Chitrakoot	3-37
図3.4.6	伸縮計観測結果-Chitrakoot	3-38
図3.4.7	孔内傾斜計測定結果-Chitrakoot	3-39
図3.4.8	地すべり頭部で卓越する鉛直方向の力	3-39
図3.4.9	パイプひずみ計計測結果-Chitrakoot	3-40
図3.4.10	地下水位観測結果-Chitrakoot	3-41
図3.4.11	雨量計観測結果-Quatre Soeurs	3-41
図3.4.12	伸縮計（レーザー）計測結果-Quatre Soeurs	3-42
図3.4.13	パイプひずみ計計測結果-Quatre Soeurs	3-43
図3.4.14	BH-Q2における潮汐に連動した地下水の変化-Quatre Soeurs	3-44
図3.4.15	BH-5 地下水観測結果-Quatre Soeurs	3-44
図3.4.16	地下水観測結果（手動）-Quatre Soeurs	3-45
図3.4.17	Vallee Pitotでの伸縮計の設置	3-46
図3.4.18	伸縮計観測結果- Vallee Pitot	3-46
図3.4.19	EV2での伸長変位	3-46
図3.5.1	弾性波探査の測線位置図（Chitrakoot）	3-48
図3.5.2	地震波形	3-49
図3.5.3	地震波到達時間と地震波経路の概念図	3-49
図3.5.4	DAQ LINK II 測定システムと測定画像	3-49
図3.5.5	観測手順および観測模式図	3-50
図3.5.6	走時曲線の例（A1-1 Line）	3-52
図3.5.7	速度解析断面の例（A1-1 Line）	3-52
図3.5.8	弾性波速度構造図（A1測線）	3-54
図3.5.9	弾性波速度構造図（A2測線）	3-54
図3.5.10	弾性波速度構造図（B1測線）	3-54
図3.5.11	弾性波速度構造図（B2A測線）	3-55
図3.5.12	弾性波速度構造図（B2B測線）	3-55
図3.5.13	弾性波速度構造図（C測線）	3-55
図3.5.14	比抵抗二次元探査の測線位置図（Chitrakoot）	3-57
図3.5.15	SYSCAL R1 PLUS Switch-72測定器と電極	3-58
図3.5.16	2極法電極配置	3-58
図3.5.17	電気探査測定方法	3-59
図3.5.18	比抵抗インバーションの解析フロー	3-60
図3.5.19	解析モデル区分図の例（A1-1 Line）	3-61
図3.5.20	逆解析による比抵抗断面図（A1測線）	3-62
図3.5.21	逆解析による比抵抗断面図（A2測線）	3-63
図3.5.22	逆解析による比抵抗断面図（B1測線）	3-63
図3.5.23	逆解析による比抵抗断面図（B2A測線）	3-63
図3.5.24	逆解析による比抵抗断面図（B2B測線）	3-64

図3.5.25	逆解析による比抵抗断面図（C測線）	3-64
図3.6.1	調査位置図（Chitrakoot）	3-66
図3.6.2	調査位置図（Quatre Soeurs）	3-67
図3.7.1	Chitrakoot地区家屋被害調査結果	3-79
図3.7.2	家屋のモニタリング位置図（C1～C15がモニタリング位置）	3-81
図3.7.3	過去の新聞報道	3-84
図3.7.4	Vallee Pitot地区家屋被害調査結果	3-84
図3.7.5	当地区の斜面区分	3-100
図3.7.6	第1回目現地踏査(2012年)の地すべり平面図	3-110
図3.7.7	地すべり平面図, 第2回現地踏査, 2013年2月22日	3-112
図3.7.8	地すべり平面図, 第3回現地踏査, 2013年2月6日	3-115
図3.8.1	防災点検の状況	3-117
図3.8.2	点検チェックシートの例	3-118
図3.8.3	Chitrakoot、Vallee Pitot、Quatre Soeursを含むランクAの位置図	3-122
図3.9.1	災害スキームへの提言の概略イメージ	3-126
図3.10.1	PPGへの提言案作成のための作業	3-144
図3.10.2	日本の地すべり関連法制度	3-145
図3.10.3	土砂災害防止法制定によるソフト対策の推進のイメージ	3-147
図3.10.4	土砂災害防止法の概要	3-148
図3.10.5	PPGに関連する法制度・計画	3-152
図3.10.6	Port Louisの開発計画図	3-153
図3.10.7	Chitrakootの地すべり被害のエリアと建物分布	3-155
図3.10.8	Quatre Soeursの開発規制	3-156
図3.10.9	Port Louisの開発計画図	3-157
図3.10.10	Vallee Pitotの地すべり被害のエリアと建物分布	3-157
図3.10.11	PPGへの提言の概略イメージ	3-158
図3.11.1	初期調査のための技術ガイドラインの適用範囲	3-166
図3.12.1	実務手順書（地すべり対策マニュアル）の適用範囲	3-168
図4.1.1	Chitrakootの地すべりブロック	4-1
図4.1.2	Chitrakoot Aブロック地質断面図	4-2
図4.1.3	Chitrakoot Bブロック地質断面図	4-3
図4.1.4	Chitrakoot全体地すべり縦断面図	4-3
図4.1.5	Quatre Soeursの地すべりブロック	4-4
図4.1.6	Quatre Soeurs の地質断面図	4-5
図4.1.7	Vallee Pitotの地すべりブロック	4-6
図4.1.8	Vallee Pitotの想定地すべり面	4-6
図4.2.1	Chitrakoot Aブロックの伸縮計の記録	4-7
図4.2.2	Chitrakootにおける地下水位の変化	4-8
図4.3.1	土壌雨量指数のイメージ	4-12
図4.3.2	直列3段タンクモデル	4-12
図4.3.3	気象庁データ（日雨量）を24時間に分割した例	4-13
図4.3.4	地上雨量計データとGSMaPデータの比較	4-15
図4.3.5	土壌雨量指数において災害履歴の情報の位置づけ	4-15
図4.3.6	Chitrakoot地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係（2005年、MMS）	4-17
図4.3.7	Chitrakoot地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係（2006年、MMS）	4-17
図4.3.8	Chitrakoot地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係（2008年、MMS）	4-17
図4.3.9	Chitrakoot地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係（2005年、GSMaP）	4-18
図4.3.10	Chitrakoot地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係（2006年、GSMaP）	4-18
図4.3.11	Chitrakoot地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係（2008年、GSMaP）	4-19

図4.3.12	Quatre Soeurs地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係 (2005年、MMS)	4-21
図4.3.13	Quatre Soeurs地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係 (2008年、MMS)	4-21
図4.3.14	Quatre Soeurs地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係 (2005年、GSMaP)	4-22
図4.3.15	Quatre Soeurs地域における累積降水量及び土壌雨量指数の関係 (2008年、GSMaP)	4-22
図4.4.1	地すべり活動の誘因となる地下水位の変動と安全率の変化	4-26
図4.4.2	修正フェレニウス法の概念図	4-31
図4.4.3	Chitrakoot地域の地すべりブロック図	4-32
図4.4.4	Chitrakoot地域・Aブロックの安定解析断面図	4-33
図4.4.5	Chitrakoot地域・Bブロックの安定解析断面図	4-33
図4.4.6	Chitrakoot地域の安定解析・C-φ図	4-36
図4.4.7	原位置で採取したすべり面粘土の塑性指数と内部摩擦角の関係	4-36
図4.4.8	Quatre Soeurs地域の地すべりブロック図	4-37
図4.4.9	Quatre Soeurs地域・Aブロックの安定解析断面図	4-38
図4.4.10	Quatre Soeurs地域・Bブロックの安定解析断面図	4-38
図4.4.11	Quatre Soeurs地域の安定解析・C-φ図	4-40
図4.4.12	原位置で採取したすべり面粘土の塑性指数と内部摩擦角の関係	4-40
図4.4.13	Vallee Pitot地域の地すべりブロック図	4-41
図4.4.14	Vallee Pitot地域・A-2ブロックの安定解析断面図	4-42
図4.4.15	Vallee Pitot地域・Eブロックの安定解析断面図	4-42
図4.4.16	Vallee Pitot地域の安定解析・C-φ図	4-43
図4.4.17	Chitrakoot・AブロックのC-φ図とリングせん断試験結果	4-44
図4.4.18	Quatre Soeurs・AブロックのC-φ図とリングせん断試験結果	4-45
図4.4.19	Vallee Pitot・A-2ブロックのC-φ図とリングせん断試験結果	4-45
図4.5.1	Chitrakoot地域の家屋被害調査結果	4-48
図4.5.2	損害の大きい家屋の位置, Quatre Soeurs地域	4-49
図4.5.3	損害の大きい家屋の位置, Vallee Pitot地域	4-50
図5.1.1	AブロックとBブロックの状況	5-3
図5.2.1	地すべり対策工検討フローチャート	5-5
図5.2.2	Chitrakoot地区地すべり対策工検討対象ブロック	5-6
図5.2.3	対策工効果検討地すべりモデル-チトラクトAブロック	5-11
図5.2.4	対策工効果検討地すべりモデル-チトラクトBブロック	5-12
図5.2.5	チトラクト地区対策工計画配置図	5-13
図5.2.6	Aブロック地すべり対策工計画配置図	5-14
図5.2.7	Bブロック地すべり対策工計画配置図	5-14
図5.2.8	Vallee Pitot地区の地すべりブロックと家屋の分布	5-16
図5.2.9	Vallee Pitot地区の地すべりブロックの分布	5-17
図5.2.10	Vallee Pitot地区の水路の位置と縦断図	5-17
図5.2.11	対策スケジュール案	5-18
図5.2.12	Vallee Pitotでの応急対策工案	5-19
図5.2.13	地すべり対策としての土のうの例	5-20
図5.3.1	EIA調査の手順	5-24
図5.6.1	インフラ省組織図	5-37
図5.6.2	MPI土木局省組織図	5-37
図5.6.3	LMU人員配置図 (長期計画)	5-41
図5.6.4	緊急災害対応手順	5-45
図5.6.5	LMU内緊急時運営体制	5-46
図6.1.1	洪水用大断面水路の概略断面図	6-2

図6.1.2	安定計算断面位置図	6-3
図6.1.3	水平ボーリング工概略断面図	6-4
図6.1.4	明暗渠工概略断面図	6-4
図6.1.5	縦断排水路概略断面図	6-5
図6.1.6	既存水路拡幅および護岸概略断面図	6-5
図6.1.7	既存水路補強工概略断面図	6-6
図6.1.8	既存水路位置図	6-6
図6.1.9	落差工概略断面図	6-7
図6.1.10	橋梁概略断面図	6-7
図6.1.11	集水枡概略断面図	6-8
図6.1.12	チトラクト地区対策工配置図	6-10
図6.1.13	計画水路の集水面積	6-13
図6.1.14	Aブロック地すべりの工区分け	6-21
図6.1.15	計画工程表	6-22
図6.1.16	入札のスケジュール	6-24
図6.1.17	今後のチトラクト地区地すべり対策の流れ	6-31
図6.1.18	Aブロック地すべり地下水位観測孔位置図	6-33
図6.1.19	Bブロック地すべり地下水位観測孔位置図	6-34
図6.2.1	災害スキームに示される情報の伝達	6-38
図6.2.2	Chitrakootの伸縮計の記録	6-41
図6.2.3	地下水位と雨の関係	6-41
図6.2.4	Chitrakootの伸縮計記録	6-42
図6.2.5	Vallee Pitotの伸縮計記録	6-42
図6.2.6	伸縮計	6-43
図6.2.7	地すべりの定常ひずみ速度と崩壊までの残り時間の関係	6-44
図6.2.8	Chitrakoot地区の早期警戒システムの位置図	6-48
図6.2.9	Valle Pitot地区の早期警戒システムの位置図	6-49
図6.2.10	早期警戒システムの概念図	6-49
図6.2.11	サイレン・回転灯の構造図	6-51
図6.2.12	警報制御ボックスの構造図	6-51
図6.2.13	ソーラパネルの構造図	6-51
図7.2.1	技術移転体制	7-3
図7.9.1	緊急災害対応手順	7-36
図7.9.2	LMU内緊急時運営体制	7-38
図8.1.1	JICA環境・気候変動対策・防災プログラムのコンポーネントと対応する「モ」国 機関	8-2
図8.3.1	IOC実施プロジェクトのコンポーネント	8-6
図8.4.1	JICA対「モ」国パッケージと国際機関、「モ」国環境政策	8-8
図8.4.2	JICA気候変動適応対策・防災プロジェクト・他国際開発パートナーとの関係及び 「モ」国の最新の環境・防災政策への関与	8-10
図8.5.1	JICA、国際関連組織と「モ」国及び南西インド洋諸国との気候変動・防災にかかる 関係イメージ図	8-15
図9.1.1	災害スキームへの提言の概略イメージ	9-1
図9.1.2	PPGへの提言の概略イメージ	9-2
図9.1.3	初期調査のための技術ガイドラインの適用範囲	9-3
図9.1.4	実務手順書（地すべり対策マニュアル）の適用範囲	9-4
図9.2.1	LMU人員配置図（長期計画）	9-10
図9.2.2	緊急災害対応手順	9-12
図9.2.3	LMU内緊急時運営体制	9-13
図9.3.1	今後のチトラクト地区地すべり対策の流れ	9-15
図9.3.2	Aブロック地すべり地下水位観測孔位置図	9-17

図9.3.3 Bブロック地すべり地下水位観測孔位置図.....	9-18
---------------------------------	------

表リスト

	Page
表1.2.1 「モ」国における地すべり被害と対策の概要	1-2
表1.4.1 調査団とC/Pの名簿	1-4
表2.3.1 災害スキーム2011-2012で選定された32箇所の地すべり危険箇所一覧	2-5
表2.3.2 地すべり危険箇所の再検討後の地すべり危険箇所一覧（37箇所）	2-6
表2.3.3 危険箇所の分類	2-7
表2.3.4 災害形態の概要	2-8
表2.3.5 空中写真判読の記号	2-10
表2.3.6 空中写真のリスト	2-10
表2.3.7 空中写真判読の結果一覧	2-11
表2.3.8 地すべりハザード評価のための地すべり災害の注目点	2-12
表2.3.9 地すべりハザード評価の項目と得点	2-13
表2.3.10 地すべりハザード評価の結果	2-13
表2.3.11 地すべりインベントリー	2-18
表2.3.12 「モ」国で収集した既存のGISデータ	2-21
表2.3.13 現地調査などから作成する新規GISデータ	2-21
表2.4.1 構造物・非構造物対策の実態調査の内容	2-24
表2.4.2 地すべり危険地（6箇所）の構造物対策	2-24
表2.4.3 地すべりモニタリングの状況	2-26
表2.5.1 土地利用分類毎の変化（期間：1986～2010年）	2-28
表2.5.2 水利用の内訳	2-32
表2.5.3 住民の意識調査概要	2-32
表2.5.4 住民意識調査の調査項目・内容	2-33
表2.5.5 全サンプルの単純集計結果の概要	2-33
表2.5.6 パイロットサイト3地区の開発規制と移転に関する意識の比較	2-34
表2.6.1 防災対策本部機能	2-35
表2.6.2 地すべり対策に係る主要機関とその役割	2-37
表2.6.3 地すべり平時・緊急時に係る主要機関	2-38
表2.7.1 GDP、一人当たりGDP及びGDP成長率	2-38
表2.7.2 プログラムベースによる予算（MPI）	2-42
表2.7.3 地すべり関連予算（案）	2-43
表3.1.1 地すべり危険地の特定	3-1
表3.2.1 測量地区の数量表	3-2
表3.3.1 地層の特徴（Chitrakoot）	3-8
表3.3.2 地層の特徴（Quatre Soeurs）	3-10
表3.3.3 土の強度と力学的性質の試験法の適用	3-11
表3.3.4 試験法の種類と試験によって得られる強度特性	3-14
表3.3.5 既往報告書	3-18
表3.3.6 試験項目一覧	3-18
表3.3.7 物理試験結果(1) - Chitrakoot	3-18
表3.3.8 物理試験結果(2) - Chitrakoot	3-19
表3.3.9 一面せん断試験の結果 - Chitrakoot	3-19
表3.3.10 三軸圧縮試験結果 - Chitrakoot	3-20
表3.3.11 物理試験結果(1) - Quatre Soeurs	3-20
表3.3.12 物理試験結果(2) - Quatre Soeurs	3-20
表3.3.13 三軸圧縮試験結果 - Quatre Soeurs	3-21
表3.3.14 試験項目一覧	3-21
表3.3.15 物理試験結果(1) - Chitrakoot	3-22

表3.3.16	物理試験結果(2) - Chitrakoot	3-22
表3.3.17	物理試験結果(1) - Quatre Soeurs	3-23
表3.3.18	物理試験結果(2) - Quatre Soeurs	3-23
表3.3.19	リングせん断試験結果	3-29
表3.3.20	水質試験用の試料採取状況	3-30
表3.3.21	水質試験方法	3-31
表3.4.1	設置した地すべり観測計器	3-34
表3.4.2	月雨量、最大日雨量、最大時間雨量-Chitrakoot.....	3-37
表3.4.3	月雨量、最大日雨量、最大時間雨量-Quatre Soeurs.....	3-42
表3.5.1	弾性波探査の仕様	3-47
表3.5.2	弾性波探査の仕様と測線長	3-47
表3.5.3	使用機器一覧表	3-49
表3.5.4	はざとり法とトモグラフィ法の比較	3-51
表3.5.5	各地層の識別総括表（弾性波探査結果）	3-53
表3.5.6	比抵抗二次元探査の仕様	3-56
表3.5.7	比抵抗二次元探査の仕様と測線長	3-56
表3.5.8	各地層の識別総括表（二次元比抵抗探査）	3-62
表3.6.1	ボーリング工程表（Chitrakoot）	3-65
表3.6.2	ボーリング工程表（Quatre Soeurs）	3-65
表3.6.3	ボーリング諸元（Chitrakoot）	3-66
表3.6.4	ボーリング諸元（Quatre Soeurs）	3-67
表3.6.5	ボーリング機材・器具の仕様	3-68
表3.6.6	岩盤の風化区分（BS 5930:1999）	3-69
表3.6.7	RQDと岩盤良好度（BS 5930:1999）	3-69
表3.6.8	岩盤材料の強さの表現（BS 5930:1999）	3-70
表3.6.9	割れ目間隔の表現（ISRM）	3-70
表3.6.10	パイプひずみ計の諸元	3-71
表3.6.11	挿入式孔内傾斜計ガイドパイプの諸元	3-72
表3.6.12	水圧式水位検出器の諸元	3-74
表3.6.13	ボーリング結果諸元（Chitrakoot）	3-75
表3.6.14	地層区分と地質の関係	3-75
表3.6.15	ボーリング結果諸元（Quatre Soeurs）	3-76
表3.6.16	地層区分と地質の関係	3-76
表3.6.17	土の相対稠度と状態表現（BS 5930:1999）	3-76
表3.6.18	標準貫入試験結果 - Chitrakoot	3-77
表3.6.19	標準貫入試験結果- Quatre Soeurs	3-78
表3.7.1	家屋変状調査・損傷原因の判別表	3-80
表3.7.2	家屋のモニタリング	3-81
表3.7.3	変状の多いエリアとその特徴	3-85
表3.7.4	斜面区分の特徴	3-100
表3.8.1	災害スキーム（2011-2012）における斜面災害危険箇所一覧（37箇所）	3-116
表3.8.2	2013年雨期後の防災点検結果一覧	3-119
表3.9.1	地すべりに関する警戒レベル・発令基準・対応	3-125
表3.9.2	災害スキームへの提言に係る現状、課題、対策の方針整理結果	3-127
表3.9.3	災害スキーム現行条文、追加・修正案、追加・修正の理由・必要性	3-128
表3.9.4	災害スキームへの提言に係る協議・ワークショップ記録	3-141
表3.9.5	災害スキームへの提言に係る留意点	3-142
表3.10.1	土砂災害防止法の概要	3-147
表3.10.2	土砂災害防止に係わる関係法令	3-149
表3.10.3	モ国における土地利用政策・計画に関する法制度・計画	3-150
表3.10.4	Chitrakootでの開発規制についての聞き取り調査の結果	3-154

表3.10.5	Quatre Soeursでの開発規制についての聞き取り調査の結果	3-156
表3.10.6	PPG現行条文、追加・修正案、追加・修正の理由・必要性	3-160
表3.10.7	開発可能エリアの柔軟な見直しに関する現状、課題、対策の方針及び提言内容	3-164
表3.10.8	「行政職員への地すべり災害リスク管理に関する法制度の教育普及・能力強化」に関する現状、課題、対策の方針及び提言内容	3-165
表3.11.1	初期調査のための技術ガイドラインにおける記載内容	3-167
表3.12.1	実務手順書（地すべり対策マニュアル）における記載内容	3-169
表4.3.1	タンクモデルのパラメータ	4-13
表4.3.2	GSMaPデータの概要	4-14
表4.3.3	Chitrakoot地域における土砂災害履歴	4-16
表4.3.4	代表的な降雨イベント①～⑫の土壌雨量指数とMMS累積降水量	4-17
表4.3.5	代表的な降雨イベント⑬～⑳の土壌雨量指数とGSMaP累積降水量	4-19
表4.3.6	Quatre Soeurs地域における土砂災害履歴	4-20
表4.3.7	代表的な降雨㉑～㉒の土壌雨量指数とMMS累積降水量	4-21
表4.3.8	代表的な降雨㉓～㉔のGSMaP累積降水量と土壌雨量指数	4-22
表4.3.9	Chitrakoot地域およびQuatre Soeurs地域での地すべり発生の可能性がある土壌雨量指数	4-24
表4.4.1	現在活動中の地すべり安全率の定義	4-26
表4.4.2	地すべり安定解析手法とその選定要因	4-28
表4.4.3	現在活動中の地すべり安全率の定義	4-30
表4.4.4	Chitrakoot地域の地すべりブロックAおよびBの現況安全率	4-33
表4.4.5	室内土質試験の結果，Chitrakoot地域	4-34
表4.4.6	既存の室内土質試験の結果，La Butte地すべり	4-34
表4.4.7	Chitrakoot地域の地すべりブロックAおよびBの安定解析結果	4-35
表4.4.8	Quatre Soeurs地域の地すべりブロックA・Bの現況安全率	4-38
表4.4.9	室内土質試験の結果，Quatre Soeurs地域	4-39
表4.4.10	Quatre Soeurs地域の地すべりブロックAおよびBの安定解析結果	4-40
表4.4.11	Vallee Pitot地域の地すべりブロックAおよびBの現況安全率	4-42
表4.4.12	Vallee Pitot地域の地すべりブロックA-2およびEの安定解析結果	4-43
表4.4.13	リングせん断試験結果、粘着力Cと内部摩擦角 ϕ	4-44
表4.5.1	危険度判定の評価項目	4-47
表4.5.2	Chitrakoot地域の危険度評価結果	4-47
表4.5.3	Quatre Soeurs地域の危険度評価結果	4-48
表4.5.4	Vallee Pitot地域の危険度評価結果	4-50
表5.1.1	優先地域の選定表	5-1
表5.2.1	チトラクト地区の対象地すべり	5-6
表5.2.2	Chitrakoot地区地すべりの抑制工選定比較表	5-8
表5.2.3	チトラクト地区の対象地すべりへの抑制工の適用	5-9
表5.2.4	対策工の効果検討結果	5-12
表5.2.5	Quatre Soeurs地区の住民移転の経緯	5-21
表5.3.1	PER及びEIAが必要な事業	5-23
表5.3.2	想定される環境社会配慮影響項目と緩和策	5-25
表5.4.1	パイロット事業の概要	5-26
表5.4.2	パイロット事業の事前評価結果一覧	5-27
表5.4.3	パイロット事業の中間レビューのチェックシート	5-29
表5.4.4	パイロット事業の事後評価のチェックシート	5-30
表5.5.1	2013年度の予算内訳	5-32
表5.5.2	2014年度以降の予算申請案	5-33
表5.5.3	2015年度以降の予算申請案	5-34
表5.6.1	組織能力強化に向けた課題、目標及び活動実施内容	5-38

表5.6.2	地すべり関連予算（案）	5-41
表5.6.3	既知の災害箇所の災害種別と担当機関	5-43
表6.1.1	地すべり対策工の分類	6-1
表6.1.2	洪水用大断面水路背後斜面の安定計算条件	6-2
表6.1.3	洪水用大断面水路背後斜面の安定計算結果	6-3
表6.1.4	Aブロック地すべりの対策工（抑制工）の一覧	6-11
表6.1.5	地表面の工種別基礎流出係数	6-12
表6.1.6	降雨強度表	6-12
表6.1.7	各水路に対する集水面積	6-13
表6.1.8	各水路に対する表流水の計算条件および流入量	6-14
表6.1.9	マニングの粗度係数	6-15
表6.1.10	水平ボーリング工の排水管1本あたりの計算条件および流入量	6-16
表6.1.11	各水平ボーリング工の設計流入量	6-16
表6.1.12	各計画水路の流下能力および計算条件	6-16
表6.1.13	各計画水路の流下能力および流下量	6-17
表6.1.14	Aブロック工事用道路配置	6-18
表6.1.15	チトラクト地区ブロックA地すべり対策概算工事数量表	6-18
表6.1.16	チトラクト地区地すべり対策工ブロックA概算工事費	6-20
表6.1.17	主要資機材一覧	6-22
表6.1.18	地すべり防除工事の概要	6-23
表6.1.19	再委託業者のロングリスト	6-24
表6.1.20	現地説明会に参加した業者リスト	6-25
表6.1.21	入札会に参加した業者リスト	6-26
表6.1.22	業者選定と最低見積価格	6-27
表6.1.23	主要設計変更箇所	6-30
表6.1.24	今後の計画地すべり対策工一覧	6-32
表6.1.25	計画安全率達成のための地下水位の目安	6-32
表6.1.26	計画安全率達成のための地下水位の目安	6-33
表6.1.27	将来的に実施可能な対策工	6-35
表6.1.28	地すべり危険区域での開発行為の可否について	6-36
表6.2.1	既存の地すべり災害スキームによる危険段階	6-37
表6.2.2	警戒基準案	6-39
表6.2.3	警戒基準値案	6-44
表6.2.4	崩壊までの時間に基づく変位速度の計算	6-45
表6.2.5	崩壊までの時間に基づく警戒基準値案	6-45
表6.2.6	地すべり災害スキームにおける警報案	6-47
表6.2.7	警報機作動の仕様	6-48
表6.2.8	器材の数量一覧	6-50
表6.3.1	IECの各定義	6-53
表6.3.2	モリシャス国における地すべり防災分野でのIEC活動の現状と課題および 本プロジェクトで実施するIEC活動の各定義	6-54
表6.3.3	地すべり災害スキームにおけるIEC関連活動	6-55
表6.3.4	本プロジェクトで実施するIEC活動の検討	6-56
表6.3.5	住民を対象としたステークホルダー会議の実施計画	6-57
表6.3.6	優先地域の住民・関係省庁を対象としたステークホルダー会議の実施報告	6-59
表7.1.1	各技術移転項目における目的と投入	7-1
表7.1.2	CDにおける各発展段階	7-2
表7.2.1	専門グループ毎の各メンバーの配置	7-3
表7.4.1	ワークショップ一覧	7-7
表7.4.2	「地すべり基礎論」ワークショップ概要	7-7
表7.4.3	「地すべり現地踏査」ワークショップ概要	7-8

表7.4.4	「モニタリング機器」ワークショップ概要	7-9
表7.4.5	「地すべり災害のための土地利用政策」ワークショップ概要	7-9
表7.4.6	「地すべり空中写真判読」ワークショップ概要	7-10
表7.4.7	「地すべり調査・解析・観測特別講演」ワークショップ概要	7-11
表7.4.8	「「モ」国の土質特性と定体積一面せん断試験」ワークショップ概要	7-11
表7.4.9	「モニタリング現地訓練」ワークショップ概要	7-12
表7.4.10	「モニタリング結果と早期警戒」ワークショップ概要	7-13
表7.4.11	「PPGレビュー結果」ワークショップ概要	7-13
表7.4.12	「安定解析と対策工法」ワークショップ概要	7-14
表7.4.13	「モニタリング結果の整理と解釈」ワークショップ概要	7-15
表7.4.14	「対策工」ワークショップ概要	7-15
表7.5.1	本邦研修の概要	7-16
表7.5.2	第1回（2012年）本邦研修のスケジュール	7-17
表7.5.3	第2回（2013年）本邦研修のスケジュール	7-18
表7.6.1	SCの実施計画	7-21
表7.6.2	第1回SCの概要	7-21
表7.6.3	第2回SCの概要	7-22
表7.6.4	第3回SCの概要	7-23
表7.6.5	第4回SCの概要	7-24
表7.7.1	国内支援委員会の実施計画	7-26
表7.7.2	第1回国内支援委員会の概要	7-26
表7.7.3	第2回国内支援委員会の概要	7-27
表7.7.4	第3回国内支援委員会の概要	7-27
表7.7.5	第4回国内支援委員会の概要	7-28
表7.8.1	技術移転されたC/P	7-29
表7.8.2	本プロジェクトの範囲	7-30
表7.8.3	災害スキームにおける斜面災害箇所	7-30
表7.9.1	既知の災害箇所の災害種別と担当機関	7-34
表8.3.1	主要ドナーの実施プログラムとコンポーネント	8-5
表8.3.2	DRRの内容	8-7
表8.5.1	発表内容	8-12
表8.5.2	質疑応答内容	8-14
表8.5.3	参加者リスト	8-16
表9.1.1	初期調査のための技術ガイドラインにおける記載内容	9-3
表9.1.2	実務手順書（地すべり対策マニュアル）における記載内容	9-5
表9.2.1	2013年度の予算内訳	9-6
表9.2.2	2014年度以降の予算申請案	9-7
表9.2.3	2015年度以降の予算申請案	9-8
表9.2.4	既知の災害箇所の災害種別と担当機関	9-11
表9.3.1	今後の計画地すべり対策工一覧	9-16
表9.3.2	計画安全率達成のための地下水位の目安	9-17
表9.3.3	計画安全率達成のための地下水位の目安	9-18
表9.3.4	地すべり危険区域での開発行為の可否について	9-20
表9.3.5	警戒基準案	9-21
表9.4.1	危険箇所の分類	9-24
表9.4.2	地すべり6箇所のハザード評価の結果	9-24

写真リスト

	Page
写真2.3.1 空中写真判読の状況	2-9
写真3.3.1 地すべり地全景	3-6
写真3.3.2 地すべりの活動域内	3-7
写真3.3.3 地すべり地内の滑落崖	3-7
写真3.3.4 地すべり地の全景（地すべり地頭部付近から撮影）	3-9
写真3.3.5 地すべり地末端の道路	3-9
写真3.3.6 採取状況	3-26
写真3.3.7 採取試料	3-26
写真3.6.1 ボーリング機械・使用機材	3-68
写真3.6.2 ひずみ計設置状況	3-72
写真3.6.3 ガイド管設置状況	3-73
写真3.6.4 保孔管・水位計設置状況	3-74
写真3.7.1 House1の亀裂状況	3-82
写真3.7.2 House2の亀裂状況	3-82
写真3.7.3 House3、4.5の亀裂状況	3-83
写真3.7.4 House19の亀裂状況	3-83
写真3.7.5 校舎基礎の階段部分（東側）	3-86
写真3.7.6 校舎基礎の床部分（西側）	3-86
写真3.7.7 変状の大きい階段付近	3-86
写真3.7.8 東西方向に断続する亀裂	3-86
写真3.7.9 伸縮計E(5)に認められる段差	3-87
写真3.7.10 段差の方向（東西方向）	3-87
写真3.7.11 擁壁の破損（道路側）	3-87
写真3.7.12 道路側水路の沈下	3-87
写真3.7.13 校舎西側の洗い場(House No.19)	3-87
写真3.7.14 Chitrakoot小学校（House No.18）	3-88
写真3.7.15 校舎壁面に発生した亀裂	3-88
写真3.7.16 壁面基礎付近の亀裂	3-88
写真3.7.17 校舎隅角部の亀裂	3-88
写真3.7.18 主要道路に面する擁壁と歩道	3-88
写真3.7.19 損傷の大きい人家	3-89
写真3.7.20 損傷の大きい人家	3-89
写真3.7.21 縁石の開きと段差	3-89
写真3.7.22 小学校前の人家擁壁の亀裂	3-89
写真3.7.23 人家側の擁壁の亀裂	3-90
写真3.7.24 ベランダ端の亀裂	3-90
写真3.7.25 小学校前人家の変状	3-90
写真3.7.26 人家跡と思われるコンクリート基礎の変状	3-91
写真3.7.27 コンクリート構造物の亀裂	3-91
写真3.7.28 人家床面の亀裂	3-91
写真3.7.29 人家中央部の沈下	3-92
写真3.7.30 壁面（窓枠下）の亀裂	3-92
写真3.7.31 人家の傾斜（左側：沈下）	3-92
写真3.7.32 人家壁面の貫通亀裂	3-92
写真3.7.33 人家に続く道路（この先に伸縮計を設置）	3-92
写真3.7.34 伸縮計E(1)	3-93
写真3.7.35 保護柵基礎コンクリートの変状	3-93

写真3.7.36	人家壁面に発生した亀裂	3-93
写真3.7.37	水平に延びる開口亀裂	3-93
写真3.7.38	伸縮計E(2)	3-94
写真3.7.39	保護柵基礎コンクリートの変状	3-94
写真3.7.40	伸縮計E(2)の周辺斜面	3-94
写真3.7.41	伸縮計E(2)の周辺斜面	3-95
写真3.7.42	伸縮計E(1)から沢の間の畑地	3-95
写真3.7.43	溪岸浸食の進行状況（下流側）	3-95
写真3.7.44	溪岸浸食の進行状況（上流側）	3-96
写真3.7.45	損傷の大きい人家	3-96
写真3.7.46	人家や擁壁に開口亀裂が発生	3-96
写真3.7.47	亀裂の発生した道路	3-97
写真3.7.48	人家前の道路面	3-97
写真3.7.49	人家前のサトウキビ畑	3-97
写真3.7.50	サトウキビ畑	3-97
写真3.7.51	House No.40	3-98
写真3.7.52	壁面の貫通亀裂	3-98
写真3.7.53	House No.41	3-99
写真3.7.54	コンクリート基礎部分の空洞	3-99
写真3.7.55	壁の亀裂	3-99
写真3.7.56	壁の亀裂（入口）	3-99
写真3.7.57	調査地全景	3-100
写真3.7.58	上部斜面（下方より撮影：斜面勾配16～20°）	3-101
写真3.7.59	中部斜面（下方より撮影：斜面勾配5°）	3-101
写真3.7.60	下部斜面（下方より撮影：斜面勾配15～17°）	3-101
写真3.7.61	上部斜面全景	3-102
写真3.7.62	標高50m付近の斜面	3-102
写真3.7.63	標高70m付近の斜面	3-102
写真3.7.64	露岩箇所（標高80m付近）	3-102
写真3.7.65	過去に確認された上部斜面の変状	3-103
写真3.7.66	BH-1付近の変状（現況）	3-103
写真3.7.67	標高45m付近の変状（現況）	3-103
写真3.7.68	農道に発生した亀裂（下方より）	3-103
写真3.7.69	農道に発生した亀裂（上方より）	3-103
写真3.7.70	農道沿いの亀裂	3-104
写真3.7.71	湿地状の凹地	3-104
写真3.7.72	BH-1からの全景	3-105
写真3.7.73	谷地形上部の崩壊跡地	3-105
写真3.7.74	人家上方の道路	3-106
写真3.7.75	路面に発生している亀裂	3-106
写真3.7.76	道路終点東側斜面の状況	3-106
写真3.7.77	道路起点側の状況	3-107
写真3.7.78	道路と人家境界の擁壁の開き	3-107
写真3.7.79	壁面に水平に延びた亀裂	3-107
写真3.7.80	コンクリート基礎の開口亀裂	3-107
写真3.7.81	斜面中腹部	3-107
写真3.7.82	House19の上部斜面	3-108
写真3.7.83	House19背後の石積み擁壁	3-108
写真3.7.84	斜面内の階段	3-108
写真3.7.85	路面の隆起	3-109
写真3.7.86	コンクリート擁壁の亀裂	3-109

写真3.7.87	道路に面した石積み擁壁	3-109
写真3.7.88	House19から海側の全景.....	3-110
写真3.7.89	被害家屋・House(1)	3-111
写真3.7.90	主滑落崖と末端部の地すべり境界	3-111
写真3.7.91	被害家屋・House(2).....	3-111
写真3.7.92	地すべりの被害を受けた家屋の外壁	3-112
写真3.7.93	地すべり活動によってHouse (1)と隣家との隙間	3-113
写真3.7.94	House (1)の室内の床の段差	3-113
写真3.7.95	House (1)の室内の開口クラック	3-113
写真3.7.96	House (1) の外壁の倒壊状況	3-114
写真3.7.97	House(1)の上方（山側）で見つかった新しい開口クラック	3-114
写真3.10.1	Vallee Pitot地区における斜面地への開発の進行（スプロール化）	3-158
写真4.2.1	BPP(13)での湧水	4-9
写真5.2.1	ふさがれた水路の上流部分	5-15
写真5.2.2	ふさがれた水路の下流部分	5-15
写真5.2.3	ふさがれた部分からやや下流の状況	5-15
写真5.2.4	ふさがれた部分のやや上流の状況	5-15
写真6.2.1	早期警戒システムの器材.....	6-50
写真6.2.2	Chitrakoot地区での早期警戒システムの設置状況.....	6-52
写真6.2.3	Vallee Pitot地区での早期警戒システムの設置状況.....	6-52
写真6.3.1	住民アンケート調査.....	6-66
写真6.3.2	地すべり防災ハンドブック	6-69
写真7.3.1	第1回技術移転セミナー.....	7-4
写真7.3.2	第2回技術移転セミナー	7-5
写真7.3.3	第3回技術移転セミナー.....	7-6
写真7.4.1	「地すべり基礎論」ワークショップ写真	7-8
写真7.4.2	「地すべり現地踏査」ワークショップ写真	7-8
写真7.4.3	「モニタリング機器」ワークショップ写真	7-9
写真7.4.4	「地すべり災害のための土地利用政策」ワークショップ写真	7-10
写真7.4.5	「地すべり空中写真判読」ワークショップ写真	7-10
写真7.4.6	「地すべり調査・解析・観測特別講演」ワークショップ写真	7-11
写真7.4.7	「「モ」国の土質特性と定体積一面せん断試験」ワークショップ写真	7-12
写真7.4.8	「モニタリング現地訓練」ワークショップ写真	7-12
写真7.4.9	「モニタリング結果と早期警戒」ワークショップ写真	7-13
写真7.4.10	「PPGレビュー結果」ワークショップ写真.....	7-14
写真7.4.11	「安定解析と対策工法」ワークショップ写真	7-14
写真7.4.12	「モニタリング結果の整理と解釈」ワークショップ写真	7-15
写真7.4.13	「対策工1」ワークショップ写真.....	7-15
写真7.5.1	第2回本邦研修の状況	7-20
写真8.5.1	セミナー会場の様子（2015年3月5日）	8-12
写真8.5.2	近隣諸国代表者によるプレゼンテーションの様子（2015年3月5日）	8-12
写真8.5.3	MPI職員によるChitrakoot地域の地すべりモニタリングシステムと対策工の概要 説明（2015年3月6日）	8-13
写真8.5.4	Grand Sableの実証試験地域、フレキシブル緩傾斜被覆護岸での合同写真（2015年 3月6日）	8-13

略 語 表

略語	英語	日本語
AAP	Africa Adaptation Programme	アフリカ気候変動適応支援プログラム
AC	Advisory Committee	支援委員会
AF	Adaptation Fund	適応基金
AFD	Agence Française de Développement	フランス開発庁
AFP	Adaptation Fund Programme	適応基金プログラム
BA	Building Act	建築法
BLUPG	The Building and Land Use Permit Guide	建築土地利用申請の手引き
C/P	Counterpart	カウンターパート
CA	Capacity Assessment	キャパシティ・アセスメント
CADMAC	Climate Change Adaptation and Disaster Management Committee	気候変動適応策・防災対策調整委員会
CC	Crisis Committee	危機委員会
CCD	Climate Change Division	気候変動室
CCIC	Climate Change Information Center	気候変動情報センター
CD	Capacity Development	キャパシティ・ディベロップメント
CD	Consolidated Drained test	圧密排水試験
CDEMA	Caribbean Disaster Emergency Management Agency	カリブ災害緊急管理機関
CEB	The Central Electricity Board	中央電力委員会
CONDC	The Cyclone and Other Natural Disasters Committee	サイクロン・自然災害対策委員会
CONDS	Cyclone and Other Natural Disasters Scheme	災害スキーム
CSO	Central Statistics Office	統計局
CU (CU-bar)	Consolidated Undrained test	圧密非排水試験
CWA	The Central Water Authority	中央水道局
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DRR	Disaster Risk Reduction	災害リスク低減(プログラム)
EU	European Union	欧州連合
F/S	Feasibility Study	フィージビリティ調査
FAS	First Aid Service	救急サービス
Fs	Safety Factor/Factor of Safety	安全率
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Government Information Service	政府情報サービス
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GL	Ground Level	地盤高
HFA	Hyogo Framework for Action	兵庫行動枠組
IC/R	Inception Report	インセプションレポート
ICZM	Integrated Coastal Zone Management	統合的沿岸域管理
IEC	Information, Education, and Communication	情報・教育・コミュニケーション
IOC(COI)	Indian Ocean Commission (Commission de l'Océan Indien)	インド洋委員会
IP	Plasticity Index/(Index of Plasticity)	塑性指数
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JET	JICA Expert Team	JICA 専門家チーム/調査団

JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人 国際協力機構
JICE	Japan International Corporation Center	財団法人 日本国際協力センター
LDRM	Landslide Disaster Risk Management	地すべり災害管理
LGA	Local Government Act, 2003	地方自治法
LL	Liquid Limit	液性限界
LMU	Landslide Management Unit	地すべり対策ユニット
M/M	Minutes of Meeting	協議議事録
Mauritius	The Republic of Mauritius	モーリシャス共和国
MBC	Mauritius Broadcasting Corporation	モーリシャス放送局
MEHR	Ministry of Education and Human Resources	教育省
MESDDBM	Ministry of Environment, Sustainable Development, Disaster and Beach Management	環境持続防災ビーチ管理省
MGCW	Ministry of Gender Equality, Child Development and Family Welfare	男女平等・児童開発・福祉省
MHL	Ministry of Housing and Lands	住宅・土地省
MHQL	Ministry of Health and Quality of Life	厚生省
MID	Maurice Ile Durable	モーリシャス持続可能な島戦略
MLG	Ministry of Local Government & Outer Islands	自治省
MoESD	Ministry of Environment and Sustainable Development	環境・持続開発省
MoFED	Ministry of Finance and Economic Development	財務・経済開発省
MPI	Ministry of Public Infrastructure and Land Transport	公共インフラ・陸上交通省
MMS	Mauritius Meteorological Services	気象庁
MSS	Ministry of Social Security, National Solidarity and Reform Institutions	社会保障省
MTEF	Medium-Term Expenditure Framework	中期支出枠組み
MTL	Ministry of Tourism and Leisure	観光省
MTSRT	Ministry of Tertiary Education, Science, Research and Technology	文部科学省
NDOCC	National Disaster and Operations Coordination Centre	国家災害対策運営調整本部
NDRRMC	National Disaster Risk Reduction and Management Centre	国家災害危険低減管理センター
NDS	National Development Strategy	国家開発戦略
NDU	National Development Unit	国家開発ユニット
NGO	Non-Governmental Organization	非政府組織/民間公益団体
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OPS	Outline Planning Schemes	地域計画
P.Fs	Planning/Designed Factor of Safety	計画安全率
P/R	Progress Report	プログレスレポート
PBB	Programme-Based Budgeting	プログラムベースの予算編成
PDA	Planning and Development Act	開発計画法
PEFA	Public Expenditure and Financial Accountability	公共支出と財政アカウンタビリティ論
PFM	Public Financial Management	公共財政管理
PIU	Planning and Implementation Units	計画・実施ユニット
PL	Plastic Limit	塑性限界

PMO	Prime Minister's Office	首相府
PMS	Performance Management System	パフォーマンスマネジメントシステム
PPG	Planning Policy Guidance	開発計画政策指針
PS	Permanent Secretary	事務次官
PVC	Polyvinyl Chloride	ポリ塩化ビニル
R/D	Record of Discussion	討議議事録
RRU	Repair and Rehabilitation Unit	修繕・修復ユニット
SC	Steering Committee	ステアリングコミッティ
SIDS	Small Island Developing States	小島嶼国開発途上国
SPT	Standard Penetration Test	標準貫入試験
SWI	Soil Water Index	土壌雨量指数
TAS	Treasury Accounting System	財務会計システム
TCPA	Town and Country Planning Act	地域計画法
The Disasters Scheme	the Cyclone and Other Natural Disasters Scheme	サイクロンと自然災害スキーム/災害スキーム
The Project	The Project of Landslide Management in the Republic of Mauritius	本プロジェクト/モーリシャス国地すべり対策プロジェクト
TICAD IV	The Fourth Tokyo International Conference on African Development	第4回アフリカ開発会議
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission	熱帯降雨観測衛星
UNDP	The United Nations Development Programme	国連開発計画
WCDR	World Conference on Disaster Reduction	国連世界防災会議

要約

本レポートは、開発計画調査型技術協力「モーリシャス共和国（以下「モ」国）海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト及び地すべり対策プロジェクト」のうち、「地すべり対策プロジェクト（以下、本プロジェクト）」の分野における現地活動結果をとりまとめたファイナル・レポート（F/R: Final Report）である。

第1章では「序論」として、プロジェクトの背景、達成が期待される目標、プロジェクトの範囲、スケジュール、主要活動の概要を記載している。

本プロジェクトは公共インフラ・陸上交通省（MPI: Ministry of Public Infrastructure and Land Transport）ならびに独立行政法人国際協力機構（JICA: Japanese International Cooperation Agency）の間で、締結された討議議事録（R/D: Record of Discussion）に基づき実施された。JICA は 14 名からなる地すべり調査・解析・設計・施工に係る専門家（調査団、JET: JICA Expert Team）を派遣した。プロジェクト期間は 2012 年 5 月から 2015 年 3 月であり、MPI の RRU/LMU (Repair and Rehabilitation Unit/ Landslide Management Unit) のメンバーからなるカウンターパート（C/P: Counterpart）との協力によって行われた。

本プロジェクトの目的は、1) 地すべりのモニタリング体制を構築するための地すべり管理計画が策定されること、2) 具体的なアプローチを検討・実施・習得するために F/S とパイロット事業が実施されること、3) RRU/LMU スタッフ及びその他関係機関担当者の地すべり管理に関する技術能力が強化されることである。

第2章では「基礎調査」として、「モ」国全域にわたる地形、地質、地すべりインベントリー、対策工の実態、社会調査、組織・制度、経済調査を記載している。

「モ」国は火山起源とする島国であり、火口周辺には標高 300～400m の溶岩台地から成る外輪山が形成されており、全域に玄武岩類が分布する。島の誕生は約 1000 万年前とされており、地形・地質において 2 期の火山活動により形成された。年間雨量は平均で約 2000mm であるが、その 70% が雨季である 12～5 月に集中する。雨季には大型サイクロンが襲来すること多いため、斜面災害のほとんどはこの時期に発生している。

「災害スキーム 2011-2012」で選定されている 32 箇所の地すべり危険箇所について調査を実行し、適宜、複数個所に分割し 37 箇所とした。危険箇所 37 箇所は、地すべり、斜面崩壊、落石、土石流、溪岸侵食、盛土被害、擁壁被害、家屋被害、洞穴に細分され、空中写真判読および現地踏査、対策工の実態調査から、地すべりインベントリーを作成し、ハザード評価を行った。

「モ」国の土地利用、人口分布、貧困分布、水源等の基礎的な社会状況、また GDP 等の経済指標、経済政策、予算方針等の経済状況を整理するとともに、全国 300 世帯に対してアンケートを行い、地すべり災害や対策・避難などの住民意識調査を行い、対策検討の基礎資料とした。

地すべり対策に係る組織・制度として、「災害スキーム 2014」には、災害発生時の対策の流れに沿って、7 省庁・11 組織の役割分担と責任が記載されており、特に国家防災センター（NDRMC: National Disaster Risk Reduction and Management Centre）が首相府内に設置され、中央・地方すべてのレベルにおける防災計画やとりまとめを中心的に行うほか、防災戦略を立案することとなっている。RRU/LMU は、恒常的地すべり防災の要であるモニタリングの強化、地すべり調査の実施、地すべり災害対応を実施する。

第3章では「地すべり管理計画 1（調査と結果）」として、地すべり危険地の特定、測

量、地質調査、モニタリング、物理探査、ボーリング調査、家屋調査、防災点検、災害スキームのレビューと提言、開発計画政策指針（PPG: Planning Policy Guidance）のレビューと提言、初期調査のためのガイドライン概要、地すべり対策マニュアル概要を記載している。

本プロジェクトで対象とする地すべりは、ハザード評価および「モ」国側要望から Chitrakoot、Quatre Soeurs、Vallee Pitot の 3 地区とし、下表に示す調査を実施した。

表 優先地域 3 地区における調査一覧(出典:JICA 調査団)

		Chitrakoot	Quatre Soeurs	Vallee Pitot
測量	平面図 (1/500)	1.8 km ² (1800m×1000m)	0.16 km ² (400m×400m)	0.005km ² (70m×70m)
	横断面図 (1/100)	3 測線	1 測線	1 測線
現地踏査		一式	一式	一式
室内試験	物理試験	6 試料	2 試料	
	力学試験	3 試料		
	水質試験	10 試料	7 試料	
モニタリング	雨量計	1	1	
	伸縮計	4	2	2
	孔内傾斜計	2		
	ひずみ計	2	2	
	地下水位計	2	2	
	地下水位（手動）		6	
物理探査	弾性波探査	6 測線（1955m）		
	比抵抗二次元探査	6 測線（1925m）		
ボーリング調査		6 孔（260m）	2 孔（42m）	
家屋被害調査		一式	一式	一式

上記した調査に加えて、災害スキームに記載されている 37 箇所の危険箇所に対して防災点検を行い、危険度のランク付け（A, B, C）を行ったほか、既往の災害スキームの課題を整理し、地すべりに係る警報・避難プロトコルの提案を行った。同様に PPG についても課題を整理し、地すべりに係る開発規制の提案を行った。また、「初期調査のためのガイドライン」と「地すべり対策マニュアル」をとりまとめた。

第 4 章では「地すべり管理計画 2（解析と解釈）」として、地質解析、モニタリング解釈、土壌雨量指数、安定解析、危険度判定を記載している。

前章で示した調査結果に基づいて優先地域 3 地区の地すべり特性と対策方針を考察した。

Chitrakoot では、2005 年と 2008 年に活動したと推定される全体すべりブロックは現在安定しており、小規模な A ブロック（長さ 300m、幅 150m 程度）・B ブロック（長さ 100m、幅 200m 程度）で活動が認められる。基盤岩（玄武岩）と軟弱な表土・崩積土の境界である GL-6m 程度がすべり面と推定され、降雨に伴う地下水上昇で断続的に活動が活発化する。降雨時のみ活動するため、安全率 F_s は 0.98 程度と推定される。当該地域では、表面排水不全のため、豪雨時には雨水氾濫となり流下し、地すべり土塊に大量の地下水が供給されることが誘因であることから、地表面排水・地下水排除工の整備が急務と判断される。

Quatre Soeurs では、地形判読から全体すべりブロックがあるようにも見えるが不明瞭

であり、現在は安定している。2005 年と 2008 年の累積 230mm を越える雨量で小規模な A ブロック（長さ 60m、幅 50m 程度）・B ブロック（長さ 150m、幅 100m 程度）が活動したと推測されるが、本プロジェクト期間中には顕著な活動は認められなかった。現時点では活動がないことから、安全率 F_s は 1.00 程度と推定される。当該地域では、表面排水不全のため、豪雨時には雨水氾濫となり流下し、地すべり土塊に大量の地下水が供給されることが誘因であると思われる。

Vallee Pitot では、もともと小規模な A ブロック（長さ 40m、幅 40m 程度）が活動中であったが、本プロジェクト期間中の 2013 年 2 月に全体すべりブロック（長さ 80m、幅 100m 程度）で活動が開始された。崩積土内の表層すべりが主要な活動形態と推定され、降雨時に活動が活発化すると思われる。安全率 F_s は 0.98 程度と推定される。当該地域では、表面排水不全のため、豪雨時には雨水氾濫となり流下することが誘因であると思われる。

また、過去の地すべり発生履歴がある Chitrakoot と Quatre Soeurs においては、「モ」国気象庁のデータならびに衛星降水全球マップ（GSMaP: Global Satellite Map of Precipitation）データを使って、土壌雨量指数を用いた早期警戒避難の基準値に係る考察を加えた。

第 5 章では「フィージビリティ調査」として、優先地域とパイロット地域の選定、優先地域 3 地区の対策方針検討、環境社会影響評価、事業評価、資金調達の促進、組織強化計画を記載している。

パイロット地域は、地すべり調査結果、危険度評価、災害（損害）規模、対策費用、MPI からの要求等に基づいて、Chitrakoot とした。Chitrakoot のうち特に活動が著しい A ブロックにおいて、地表水・地下水の過剰供給防止ならびに安全な排除を行うことを目的に、地表面排水工、明暗渠工、水平ボーリング工からなる構造物対策を計画した。構造物対策の実施にあたり、環境社会影響調査を実施しその緩和策を検討するとともに、妥当性、有効性、効率性、インパクト、持続性の観点からパイロット事業の事業評価（実施前、実施中、実施後）を行った。

Quatre Soeurs では、「モ」国政府が対象地区の全世帯の住民移転を前提に交渉を進めており、2010 年以降、10 回以上にわたり政府・住民との協議が実施され、プロジェクト期間中は MPI の資料作成・協議を支援した。なお、政府側はすでに移転先を提案しているものの、一部の住民が合意しないことから、住民移転は未だ実行されていない。

Vallee Pitot では、2013 年 2 月から 5 月にかけて地すべりブロックが活動して、下部水路を 20m 以上にわたり破壊し、水路を完全に塞いでいる状態である。そのため、早急に応急対策を実施するとともに、地質調査とモニタリングを実施した上で恒久対策を実施する必要がある旨を MPI 側に提案した。調査団は MPI とともに対策実施方針を協議した。その後、MPI は地質調査を実施してモニタリング計器を設置し、現在、対策工を検討中である。

災害スキームに記載されている 37 箇所の危険箇所（優先地域 3 地区含む）に対して、それぞれ調査方針および対策方針を提案することにより、2014 年度以降の「モ」国の予算確保（資金調達）を促進した。MPI は、37 箇所の調査・解析・対策工設計・施工に対して、2014 年度に 16,500,000 Rs、2015 年度に 55,650,000 Rs、2016 年度に 40,100,000 Rs、2017 年度に 44,700,000Rs の予算申請を行った。

組織強化計画として、現状の RRU/LMU の課題と目的を整理した上で、実施すべきタスクを提言した。今後の中長期目標を、技術力向上、人員確保、管理能力向上等の観点から整理し、6 名の専属技術者の要請、地すべり対策予算要請、他機関との役割分担の明

確化を実現させた。なお、C/P から数名が、日本への大学院留学（2 年）と地すべりを含む総合防災管理研修（2 ヶ月）に派遣され、技術力向上が図られている。

第 6 章では「パイロット事業」として、Chitrakoot の構造物対策、優先地域 3 地区の早期警戒システムと避難、IEC（Information, Education and Communication）を記載している。

Chitrakoot の構造物対策は、地すべり地内への地表水の流入抑制ならびに地すべり地外への地表水・地下水の安全な排除を目的として、洪水用大断面水路工、水平ボーリング工、明暗渠工、表面排水路工、暗渠工、既存河川改修（拡幅および護岸工）、付帯工（橋梁・集水枡）の基本設計・詳細設計、積算、施工計画立案、入札・契約、施工、施工監理を C/P と共同で実施した。なお、「モ」国では対策工事の用地交渉に時間を要する（1 年程度）ため、安全性を考慮した上で対策工に優先順位を付け、2014 年 12 月（雨季）までに完了でき、かつ優先度の高い工事を本プロジェクトのパイロット事業とし、残りの工事は雨期明け後に MPI が独自の予算で実施することとした。本パイロット事業では競争入札とし、2014 年 6 月に MPI において入札会を実施して、最低価格 14,045,723Rs（48,766,750 円）（税抜）で地元建設会社と契約した。契約後、2014 年 8 月に工事を開始し、約 5 ヶ月の工期で同年 12 月に完工した。工事中には地権者の要望等から、軽微な水路構造・線形の変更、植生工の変更、現河川（最下流部）改修工事の一部中止（L=47m）を行ったが、中止された最下流部の改修工事については、次年度に MPI が、担当工事と合わせて実施することとなった。今後は、これまで実施していた地下水位や伸縮計、パイプひずみ計を用いたモニタリングを継続し、対策工の施工前と施工後の違いを確認し、対策工の効果判定を行う予定である。

「モ」国の早期警戒システムに関して、既存の災害スキームにおける早期警戒への対応方法の課題を整理した上で、本プロジェクトでのモニタリング結果を踏まえて、新たに、伸縮計と家屋変状を基準値とした早期警戒システムを提案した。提案基準値は、伸縮計 20 mm /月もしくは家屋の新規クラック発生等を「準備（プレステージ）」、伸縮計 5mm/時間もしくは家屋のクラック開口等を「警戒（ステージ 1）」、伸縮計 20mm/時間もしくは家屋・周囲の追加クラック発生等を「避難（ステージ 2）」、伸縮計 0mm/時間もしくは家屋異常なし確認を「解除（ステージ 3）」とするもので、本基準値に基づいて、対象住民が自主的に避難できるように、回転灯（黄色と赤色）と警報機（サイレン）を伸縮計に追加設置した。「警戒（ステージ 1）」時に黄色回転灯が作動し、「避難（ステージ 2）」時に赤色回転灯と警報機（サイレン）が作動する。また回転灯や警報機が発動した場合の住民から警察・MPI 等への連絡体制・連絡係を設定し、避難経路や避難場所を明示した手順書を作成した。今後とも MPI は、平時には対象住民に対して地すべりに係る啓蒙活動を行うほか、警戒時には現地を確認し、自然災害の避難を管轄する NDRRMC に対して技術的助言を行っている。

本プロジェクトでは、IEC として、情報の送り手となる行政が、受け手である住民に対し、各種媒体を通じて地すべり災害、警戒・避難、開発行為等に関する情報を伝える様々な活動を行った。主要な IEC 活動である、優先地域 3 地区の住民を対象としたステークホルダー会議は MPI と共同で、プロジェクト開始時、事業実施計画（案）の作成後、事業実施計画の最終化前、パイロット事業実施前、パイロット事業終了時の 5 回開催して、対象住民の理解を得た。合わせて、優先地域 3 地区の住民に対して地すべりの避難に係るアンケート調査を実施することにより、早期警戒システムや避難勧告発令時の対応への理解度を把握し、行政側が今後必要となる対応策や活動案を提言した。また、プロジェクトのニュースレター（英文・仏文：第 1 版～第 5 版）を作成し関係機関と対象住民に配布したほか、地すべりそのものに関する基礎的情報や減災の重要性や緊急（警戒避難）時の対応情報を取りまとめた「地すべり防災ハンドブック」を英文・仏文で作成し、同様に優先地域の対象住民や関連行政機関に提供した。

第 7 章では「技術移転」として、技術移転の方法論、技術移転の体制、ワークショップ、技術移転セミナー、本邦研修、ステアリングコミッティ、国内支援委員会について記載している。

本プロジェクトの技術移転における OJT（On-the-Job Training）、パイロット事業、本邦研修等の目的と投入を予め整理した上で、技術移転実施の方法や方針を検討し、効果的な活動を行った。円滑な技術移転の実施に向けて、JET は業務管理、調査・解析、設計・施工、ソフト対策の 4 グループを形成し、グループでの技術移転を基本としたが、C/P は JET 全体（全グループ）から技術移転を受けられるようにしたことで、C/P は特化した 1 つの専門性だけでなく、地すべり管理・対策全体の技術を俯瞰的に理解することができた。

OJT に加えて、本プロジェクト期間を通じて、総合的な地すべり対策技術の移転セミナーを 3 回、特定テーマ（空中写真判読や安定解析など）に関するワークショップを 13 回実施した。本邦研修は 2012 年 11 月 20 日（火）～12 月 15 日（土）と 2013 年 8 月 14 日（水）～9 月 8 日（日）（いずれも 26 日間）でそれぞれ 5 名ずつ合計 10 名の C/P が参加した。また本プロジェクトの活動方針と調査結果を関係機関で検証すべく、ステアリングコミッティおよび国内支援委員会をそれぞれ 4 回ずつ実施した。

第 8 章では「環境・気候変動適応及び防災」として、気候変動適応策と地すべり対策、本プロジェクトと関連組織との関連を概説した。

第 9 章では「提言事項」として、本プロジェクトにおける提言事項を項目ごとにとりまとめた。また、対象 3 地域以外の他地域における地すべり対応に係る提言について以下のとおり言及した。

1. 地すべりの活動度・規模・範囲・周辺との関係性を把握するために、基礎調査を確実に実施する。
2. 基準値設定やソフト対策検討にあたり、関連する法令や規制（災害スキーム、開発計画政策指針（PPG: Planning Policy Guidance））をレビューする。
3. 調査結果に基づいて地すべり断面図を作成し、安定解析を実施することにより、現状の活動度を推定する。
4. モニタリング結果から、地すべり活動と地下水位、降雨量の相関関係を各地すべりごとに特定する。
5. 地すべりの活動度・緊急度と住民要望、予算等を踏まえて、ハード対策とソフト対策の適切な組み合わせを検討する。
6. ハード対策では、地表水の状況と地下水の流れ（推定）から、適切な地表水・地下水排除工を選定する。特に水平ボーリング工はパイロット事業の結果から排水効果が高いと思われ、選定にあたり考慮する。
7. ソフト対策では、各地すべりごとに特性に合った基準値を設定して、早期警戒・避難システムを運用する。またハード対策が完了するまでの間、ソフト対策は有効である。

Chapter 1

序論

Introduction

1 序論

1.1 レポートの概要

本レポートは開発計画調査型技術協力「モーリシャス共和国 海岸保全・再生に関する能力向上プロジェクト及び地すべり対策プロジェクト」のうち、「地すべり対策プロジェクト（以下、本プロジェクト）」の分野における現地活動結果をとりまとめたファイナル・レポート（F/R: Final Report）である。

本プロジェクトは公共インフラ・陸上交通省（MPI: Ministry of Public Infrastructure and Land Transport）ならびに独立行政法人国際協力機構（JICA: Japanese International Cooperation Agency）の間で、締結された討議議事録（R/D: Record of Discussion）に基づき実施された。

JICA は 14 名からなる地すべり調査・解析・設計・施工に関係する専門家（調査団、JET: JICA Expert Team）を派遣した。プロジェクト期間は 2012 年 5 月から 2015 年 3 月であり、MPI の RRU/LMU（Repair and Rehabilitation Unit/ Landslide Management Unit）のメンバーからなるカウンターパート（C/P: Counterpart）との協力によって行われている。

1.2 プロジェクトの背景

国連世界防災会議（WCDR: World Conference on Disaster Reduction）「兵庫行動枠組（HFA: Hyogo Framework for Action）」で加盟国は「災害リスクの視点を効果的に統合し防災に重点をおく」ことを戦略目標とし、この枠組で 10 年間にわたる防災活動を行うこととなった。これを受け、日本政府は防災協力イニシアチブに重点をおき、かつ第 4 回アフリカ開発会議（TICAD IV: Tokyo International Conference on African Development IV）「横浜行動計画」で環境・気候変動問題への対応を優先事項とし、同会議「議長サマリー」においては、島嶼国に対する特別な配慮につき言及した。他方、図 1.2.1 に示すとおり、モーリシャス国（以下、「モ」国）に対し日本政府と国連開発計画（UNDP: United Nations Development Programme）、インド洋委員会（IOC: Indian Ocean Commission）等が主体となって様々な気変動適応策プログラムを実施している。

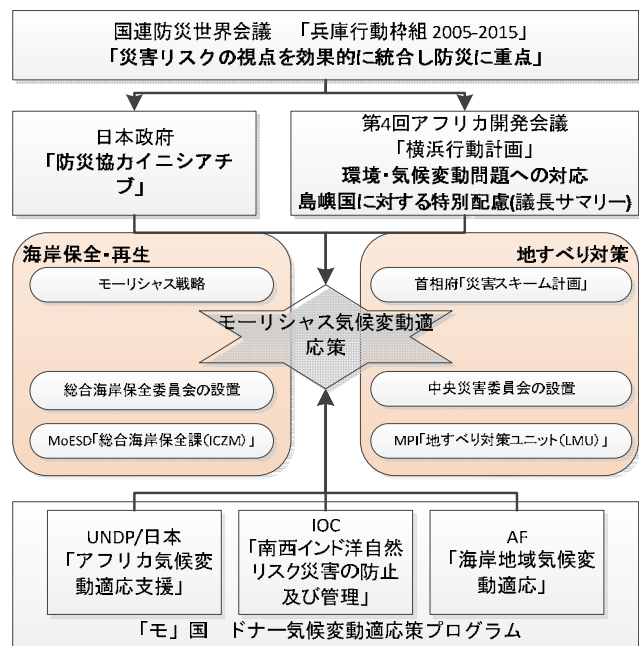


図1.2.1 「モ」国/日本/世界の気候変動適応策取組み
（出典: JICA 調査団）

このような全世界的な状況のもと、気候変動に対し脆弱な「モ」国では、近年の環境変化によりもたらされる自然災害、急斜面での観光・宅地開発による構造物増加等の影響を受けて、特に地すべりが深刻化している。これらに対し「モ」国は表 1.2.1 に示すとおり防災対策に取り組んできており、環境負荷や安全管理を踏まえた、科学的・技術的根拠のある計画策定、リスク把握、対策実施を行いたいと考えている。しかしながら専門家や技術者の不足、コミュニティに対する気候変動適応策・防災行政の周知不足から抜本的な解決策を見いだすに至っていない。

表1.2.1 「モ」国における地すべり被害と対策の概要（出典：JICA 調査団）

西暦	地すべり対策
1986	La Butte 地区で大規模地すべり発生(家屋 1500 軒破損、主送水管 4 本と高压電線が切断)
1989	JICA「ポートルイス市地すべり対策計画調査」開始(～1990)
1994	JICA「ポートルイス市防災対策事業」承諾(1998 完工)
2005	Chitrakoot で大規模な地すべりが発生(家屋 54 軒破損) Quatre Soeurs で地すべりが発生(家屋 11 軒被災)
2006	Chitrakoot で地すべり再発(家屋 14 軒破損)
2007	Chitrakoot の地すべり危険地帯にある小学校を閉鎖
2008	Chitrakoot と Quatre Soeurs で地すべり再発(モニタリング開始)
2009	災害スキーム策定 MPI 省内に「地すべり対策ユニット(LMU)」設置

以上の背景に基づき「モ」国政府は「地すべり対策」の技術協力を我が国に要請し、本プロジェクトを実施するに至った。

1.3 達成が期待される目標

1.3.1 活用目標

地すべり管理計画およびフィージビリティ調査がモーリシャス政府によって承認され、関係機関により実施される。

1.3.2 活用による達成目標

地すべりおよびその他斜面災害のリスクが減少し、地すべり危険地域の住民の安全が確保される。

1.3.3 プロジェクト成果

プロジェクトの実施により期待される成果は、以下のとおりである。

- 1) 地すべりのモニタリング体制を構築するための地すべり管理計画が策定される。
- 2) 具体的なアプローチを検討・実施・習得するために F/S とパイロット事業が実施される。
- 3) RRU/LMU スタッフ及びその他関係機関担当者の地すべり管理に関する技術能力が強化される。

1.4 プロジェクトの範囲

1.4.1 プロジェクト地域

プロジェクトの対象地域は、モーリシャス本島全土であり、「災害スキーム」¹で示された 37 ヶ所の土砂災害地域を優先する。

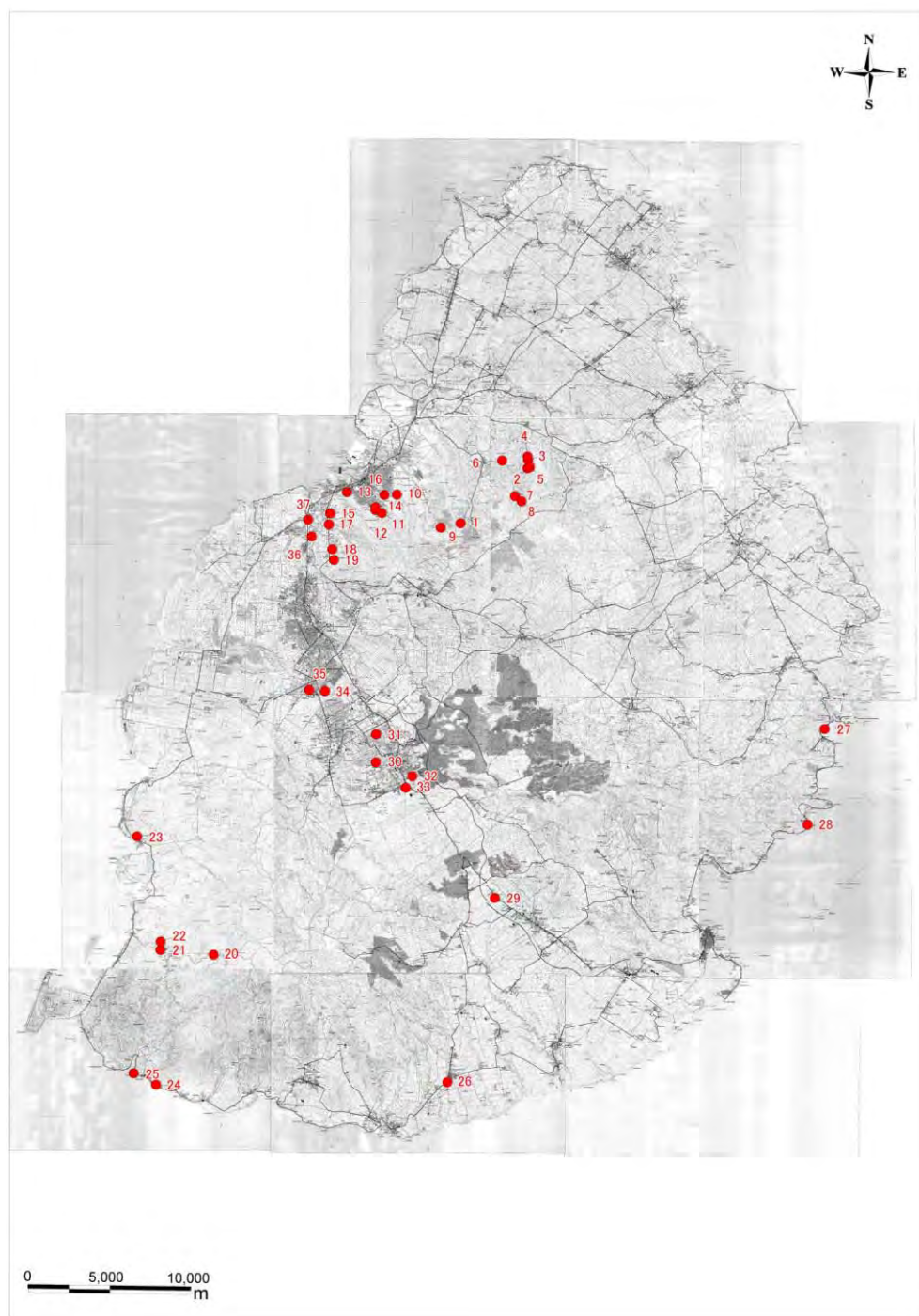


図1.4.1 調査対象地区の位置図（出典：JICA 調査団）

¹毎年（10月前後）に首相府より発行される、サイクロン、集中豪雨、地すべり、津波災害時の行動指針と担当省庁の役割・権限を明記したプロトコールに関する公文書。地すべりの予警報・避難基準と各段階で主要ステークホルダーの役割が記載されている。

1.4.2 カウンターパートと調査団

本プロジェクトにおけるカウンターパート機関は、MPI であり、C/P メンバーは MPI 土木局 RRU/LMU からなる。

JICA 専門家チーム（JET: JICA Expert Team）と C/P の名簿を下表に示す。

表1.4.1 調査団と C/P の名簿（出典: JICA 調査団）

No	調査団	専門	カウンターパート (MPI)
1	市川 建介	総括	Mahmad Reshad JEWON Deevarajan CHINASAMY Vishwahdass RAMDHAN Selvanaden Pearia ANADACHEE Mohammad Khalid MOSAHEB Rameswurdass RAMDHAN Lalitsingh BISSESSUR Bhoopendra DABYCHARUN
2	桑野 健	副総括/地すべり対策計画	
3	岩崎 智治	地すべり調査・解析	
4	横尾 文彦	地すべりモニタリング	
5	笠原 洋二	物理探査	
6	杉田 昌美	GIS/測量	
7	原 崇	施設設計/積算	
8	倉田 隆喜	水質管理/環境社会配慮	
9	郷内 吉瑞	都市計画/土地利用政策・計画	
10	市川 真吾	組織/制度分析/キャパビル1	
11	川畑 友里江	IEC	
12	山本 陽介	業務調整/地すべり対策計画補助	
13	吉田 悠	業務調整/組織/制度分析/キャパビル2	
14	徳田 誠	業務調整/都市計画/土地利用政策・計画補助	

1.5 主要活動

2012 年 5 月にプロジェクトが開始された後、本 DF/R までの間に以下のコンポーネントが実施されてきた（図 1.5.1）。

- コンポーネント 1「基礎調査」
- コンポーネント 2「地すべり管理計画」
- コンポーネント 3「優先地域におけるフィージビリティ調査（F/S: Feasibility Study）の実施」
- コンポーネント 4「パイロット事業の実施」

基礎調査（第 2 章）は、収集した各関連資料に基づいて、37 箇所の地すべり箇所の現地踏査ならびに現地の構造物・非構造物対策を調査し、取りまとめた。また資料調査および聞き取り調査を中心として、社会調査、組織・制度に係る調査、経済調査を実施した。なお社会調査では、住民に対するアンケート調査を実施し、地すべり対策・管理に係る住民意識を取りまとめた。

地すべり管理計画（第 3～4 章）では、基礎調査に基づいて対象とする地すべり危険地 3 箇所を特定した後、ボーリング調査ならびモニタリング調査を実施した。現地ボーリング調査およびモニタリング分析、物理探査に基づいて、地すべりの安定解析、危険度判定、地すべり対策計画の策定を順次行った。さらに調査結果を反映させて、初期調査のための技術ガイドライン、および実務手順書をそれぞれ策定した。また既存指針や法令・制度などのレビューを実施した上で、警報・避難手順の提言、PPG の提言、組織強化計画の策定を行い、総合的な地すべり管理計画を策定した。

優先地域における F/S の実施（第 5 章）では、地すべり対策をハード対策（構造物による対策）とソフト対策（予警報システムを利用した避難対策）の両観点から、対象 3 地区の対策方針を検討した上で、環境影響評価、技術面・経済面・社会面からの事業評価、資金調達の促進に係る調査・提言、持続可能な組織強化計画の検討を実施した。

パイロット事業（第 6 章）としては、対象地域を Chitrakoot に選定し、ハード対策（構造物対策）の基本設計・詳細設計・積算を行い、流路工および水平ボーリング工から対策工事を実施した。対策工事の実施に伴い、関係各機関に対し情報共有・教育・相互連絡（IEC: Information, Education and Communication）を徹底したほか、地域住民に対するステークホルダー会議を複数回実施して住民の理解を得ながら工事を行った。また、対象地区に対してモニタリング装置を導入し、早期警戒避難システムを導入した。避難体制プロトコルについては「災害スキーム」に提言した。

技術移転（第 7 章）としては、プロジェクト期間中の OJT（On-the-Job Training）に加えて、特定テーマに関するワークショップ、総合的な地すべり対策技術の移転セミナーを実施した。また本プロジェクトの活動方針を関係機関で検証すべく、ステアリングコミッティおよび国内支援委員会も実施した。なお、当初予定されていた 2 回の本邦研修は予定どおり完了した。

上記した本プロジェクトの活動を踏まえて、環境・気候変動適応及び防災（第 8 章）の観点から、地すべり対策と気候変動適応策について考察するとともに、同テーマにおける「モ」国の今後の展望について提言した。

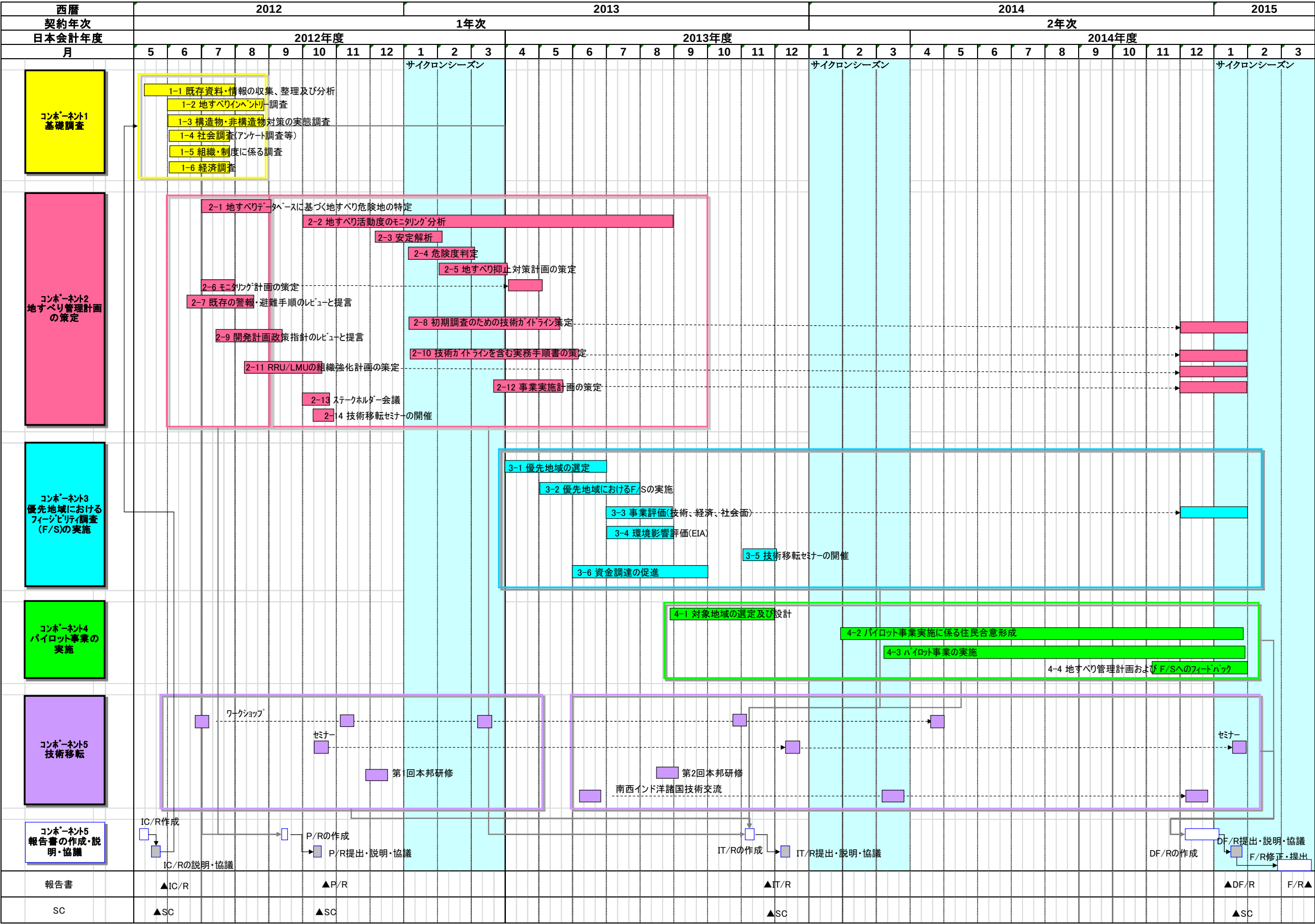


図1.5.1 プロジェクト実施のフローチャート（出典：JICA 調査団）

Chapter 2

基礎調査

Basic Survey

2 基礎調査

2.1 地形

図 2.1.1 に「モ」国の全体地図を示す。「モ」国は火山起源とする島国であり、島の南北に火口が連なって分布する。火口周辺には標高 300～400m の溶岩台地から成る外輪山が形成されており、島の西南部には「モ」国最高峰であるラ・プチ・リヴェール・ノワール山（標高 828m）が位置する。急斜面な外輪山とは異なり、海岸部では比較的に平坦な地形が形成される。また、外輪山周辺では NNE-SSW 及び NW-SE 方向の断層が分布し、火山活動により形成されたと考えられる。



図2.1.1 「モ」国の全体地図 1

2.2 地質と降雨

図 2.2.1 に「モ」国全体の地質図を示す。「モ」国は火山起源とする火山島であり、全域に玄武岩質が分布し、古期溶岩系、中期溶岩系と新期溶岩系に区分される。島の誕生

は約 1000 万年前とされており、地形・地質において 2 周期の火山活動により形成された。第 1 周期は南部を中心とした火山活動で、古期溶岩系の玄武岩質及び角礫岩から構成され、溶岩大地を形成した。第 2 周期は北部を中心とした火山活動により、中期溶岩系と新期溶岩系の玄武岩質及び凝灰質粘土を伴い、古期溶岩系層の上位に堆積した。その後、風化により急峻な外輪山から供給された崩積土や火山碎屑物が山間部の麓に堆積し、崩積土や凝灰質粘土層の地すべりが認められる。図 2.2.2 には「モ」国において典型的な地すべり（崩積土地すべり）：La Butte 地すべりの断面図を示す。

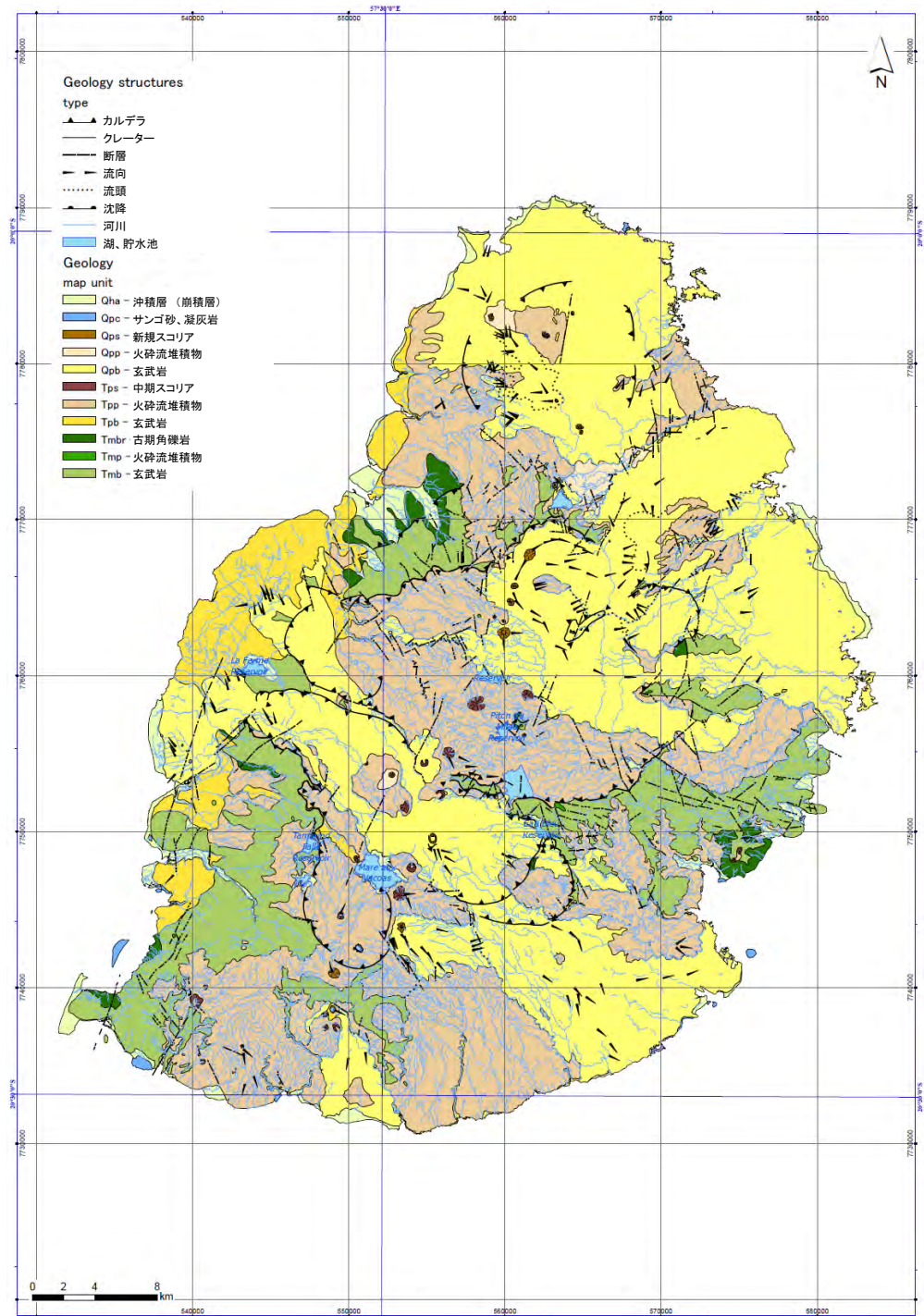


図2.2.1 「モ」国全体の地質図²

崩積土は玄武岩から成る山体から供給されて、火山砕屑物とともに山麓に堆積している。この崩積層と火山砕屑物は脆弱なため、豪雨や人為的開発行為（宅地造成や道路建設など）によって地すべりが発生することがある。

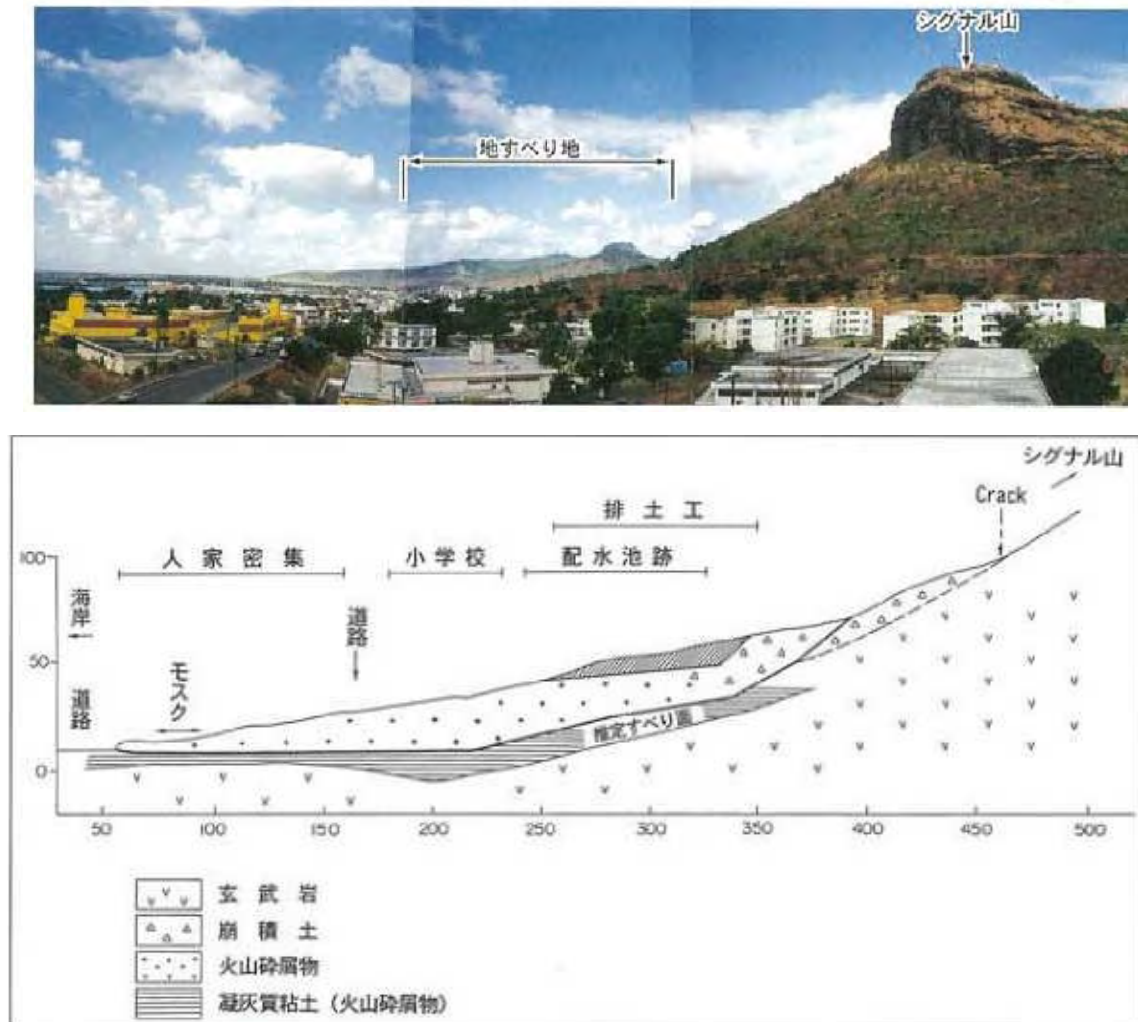


図2.2.2 典型的な地すべり(崩積土地すべり): La Butte 地すべりの断面図³

図 2.2.3 に「モ」国の年間降水量（1971～2000 年）を示す。「モ」国の年間雨量は平均で約 2000mm であるが、その 70%が雨季である 12～5 月に集中する。雨季には大型サイクロンが襲来すること多いため、斜面災害のほとんどはこの時期に発生している。また、島中央の山間部では年間水量が 4000mm を超え、近年山間部への生活圏の拡大に伴い、斜面災害の増加の要因となっている。

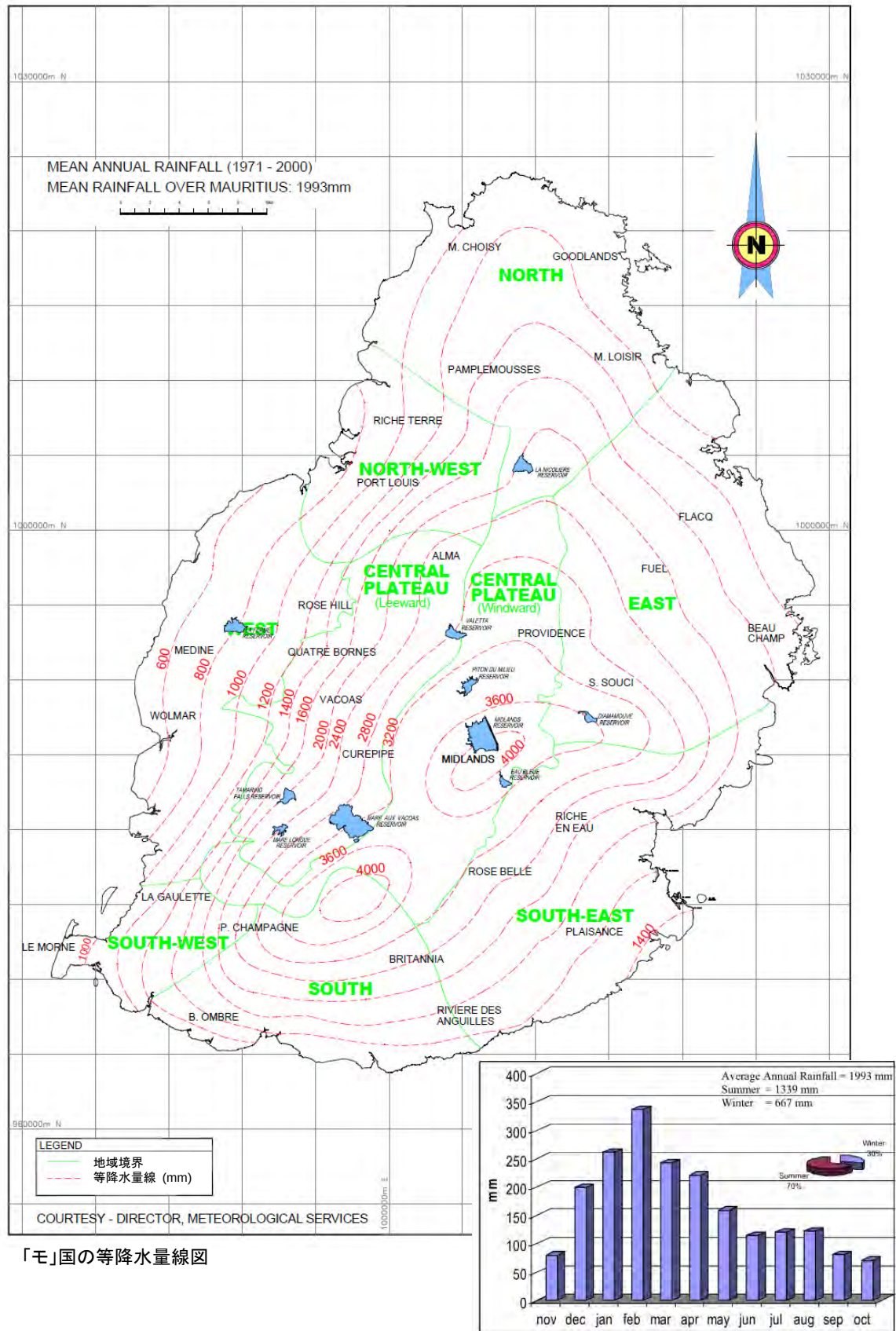


図2.2.3 「モ」国年間の降水量(1971～2000 年)⁴

2.3 地すべりインベントリー

地すべりの特徴や評価結果、対策工の種類・規模等を一覧記載し、データベースを作成し、地すべり情報を一元管理して、「モ」国の地すべりの理解と効率的な防災管理を促進する。

地すべりインベントリー調査では、「災害スキーム 2011-2012」で選定されている 32 箇所（箇所の地すべり危険箇所）について調査を実行した（表 2.3.1）。ただし、現地を調査した結果、1 箇所と記載されている危険箇所を複数箇所に分割する場合があったため、32 箇所の地すべり危険箇所は 37 箇所に増加した。表 2.3.2 に地すべり危険箇所を再検討した後、37 箇所の地すべり危険箇所一覧を示す。

表2.3.1 災害スキーム 2011-2012 で選定された 32 箇所の地すべり危険箇所一覧⁵

1.	PAMPLEMOUSSES/RIVIERE DU REMPART DISTRICT COUNCIL
	Temple Road, Crève Coeur
	Congomah Village Council (Ramlakhan, Leekraj, Frederick and Blackburn Lanes)
	Les Mariannes Community Centre
	L'Eau Bouillie
2.	MUNICIPALITY OF PORT LOUIS
	Chitrakoot, Vallée des Prêtres
	Vallée Pitot (near Eidgah)
	Le Pouce Street
	Justice Street (near Kalimata Mandir)
	Morcellement Hermitage, Coromandel
	Mgr. Leen Street and nearby vicinity, La Butte
	Pouce Stream
	Old Moka Road, Camp Chapelon
	Montée S, GRNW
	Boulevard Victoria, Montagne Coupé
3.	BLACK RIVER DISTRICT COUNCIL
	Pailles :
	(i) access road to Les Guibies and along motorway, near flyover bridge;
	(ii) access road to Morcellement des Aloes from Avenue M. Leal (on hillside); and
	(iii) soreze region
	Morcellement Hermitage, Coromandel.
	Plaine Champagne Road, opposite "Musée Touche Dubois"
	Chamarel, near Restaurant Le Chamarel
	Grande Rivière Noire Village Hall
4.	GRAND PORT/SAVANNE DISTRICT COUNCIL
	Baie du Cap : (i) Near St François d'Assise Church
	(ii) Macondé Region
	Rivière des Anguilles, near the bridge
	Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Street, Old Grand Port
	Bambous Virieux, Rajiv Gandhi Street (near Bhavany House), Impasse Bholoa
5.	MUNICIPALITY OF CUREPIPE
	Trou-aux-Cerfs
	River Bank at Cité L'Oiseau (Rivière Séche)
	Louis de Rochecouste (Rivière Eau Bleu)
	Pope Hennessy Avenue, Curepipe (River Morcellement Piat)
6.	MUNICIPALITY OF QUATRE BORNES
	Candos Hill at Lal Bahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues
	Cavernous Area at Mgr Leen Avenue and Bassin.

表2.3.2 地すべり危険箇所の再検討後の地すべり危険箇所一覧（37 箇所）（出典：JICA 調査団）

No.	Area name
Pamplemousses/Riviere du Rempart District Council	
1	Temple Road, Creve Coeur
2	Congomah Village Council (Ramlakhan)
3	Congomah Village Council (Leekraj)
4	Congomah Village Council (Frederick)
5	Congomah Village Council (Blackburn Lanes)
6	Les Mariannes Community Centre (Road area)
7	Les Mariannes Community Centre (Resident area)
8	L'Eau Bouillie
Municipality of Port Louis	
9	Chitrakoot, Vallee des Pretres
10	Vallee Pitot (near Eidgah)
11	LePouce Street
12	Justice Street (near Kalimata Mandir)
13	Mgr. Leen Street and nearby vicinity, La Butte
14	Pouce Stream
15	Old Moka Road, Camp Chapelon
16	Boulevard Victria, Montague Coupe
Black River District Council	
17	Pailles : (i) access road to Les Guibies and along motorway, near flyover bridge
18	Pailles : (ii) access road Morcellement des Aloes from Avenue M.Leal (on hillside)
19	Pailles : (iii) soreze regin
20	Plaine Champagne Road, opposite "Musee Touche Dubois"
21	Chamarel : (i) near Reataurant Le Chamarel
22	Chamarel : (ii) Roadside
23	Gremde Riviere Noire Village Hall
24	Baie du Cap : (i) Near St Francois d'Assise Church
25	Baie du Cap : (ii) Maconde Region
GRAND PORT/SAVANNE DISTRICT COUNCIL	
26	Riviere des Anguilles, near the bridge
27	Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Streert, Old Grand Port
28	Bambous Virieux, Rajiv Gandhi Street (near Bhavaury House), Impasse Bhooloa
29	Cave in at Union Park, Rose Belle
MUNICIPALITY OF CUREPIPE	
30	Trou-AUX-Cerfs
31	River Bank at Cite L'Oiseau
32	Louis de Rochecouste (Riviere Seche)
33	Piper Morcellement Piat
MUNICIPALITY OF QUATRE BORNES	
34	Candos Hill at LalBahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues
35	Cavernous Area at Mgr Leen Avenue and Bassin
MUNICIPALITY OF BEAU BASSIN/ROSE HILL	
36	Morcellement Hermitage, Coromandel
37	Montee S, GRNW

2.3.1 危険箇所の分類

「災害スキーム 2011-2012」で選定されている 37 箇所の地すべり危険箇所には、本プロジェクトの対象の地すべりだけでなく、その他複数の種類の災害が含まれている。そこで、37 の危険箇所を表 2.3.3 に示す 9 種類の災害に分類した。また、9 種類の災害の概要を表 2.3.4 に示す。

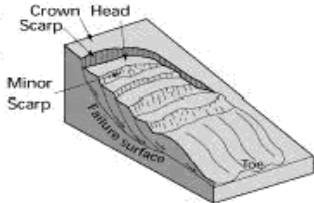
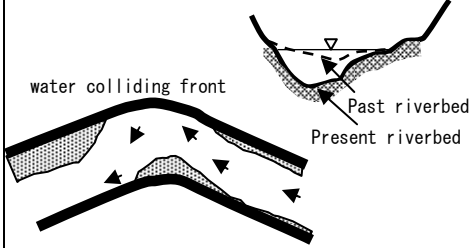
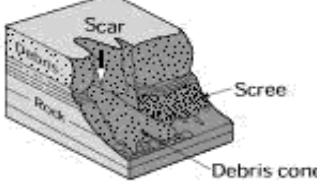
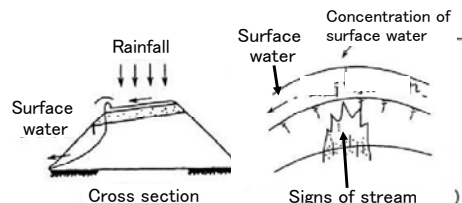
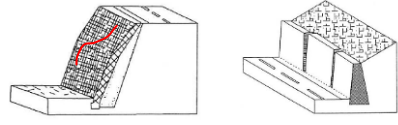
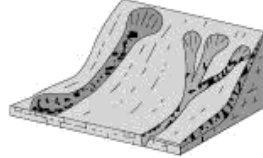
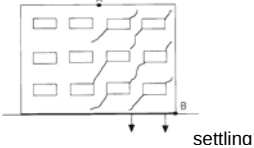
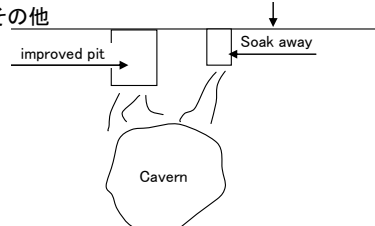
＜大分類＞・・・まず、「災害スキーム 2011-2012」で選定されている 37 箇所の危険箇所を、斜面災害(Slope disaster)とその他災害(Other disaster)の 2 種類に分類した。

＜細分類＞・・・次に、斜面災害は、地すべり(Landslide)・斜面崩壊(Slope failure)・落石(Rock fall)・土石流(Debris flow)の 4 つに分類した。その他災害は、溪岸浸食(Stream erosion)・盛土被害(Damage of embankment)・擁壁被害(Damage of wall)・家屋被害(Damage of house)・空洞(Cavern)の 5 つに分類した。

表2.3.3 危険箇所の分類（出典：JICA 調査団）

大分類			細分類			摘要
災害	斜面 災害	15箇所	地すべり	6箇所	地すべり危険地の判定対象 地すべりではないため、地すべり危険地の判定の対象から除外する	
			斜面崩壊	7箇所		
			落石	1箇所		
			土石流	1箇所		
	その他の災害	22箇所	溪岸侵食	10箇所		
			盛土被害	4箇所		
			擁壁被害	5箇所		
			家屋被害	1箇所		
			洞穴	2箇所		
合計			37箇所			

表2.3.4 災害形態の概要（出典：JICA調査団）

斜面災害		その他の災害	
地すべり	地すべりは、地中深くにあるすべり面の上を土塊が徐々に移動する現象で、豪雨や地震、河川侵食、土工により発生する。 斜面崩壊と比較して、大規模で緩やかに移動する。地すべり斜面の傾向角度は比較的小さく、およそ5～30度である。 	溪岸侵食	溪岸侵食は、河岸の土が川の流れによって侵食される現象で、主に水衝部で生じる。流量の増加時には越流する可能性もある。 
斜面崩壊	斜面崩壊は、土塊が急な斜面や崖から地表面に沿って剥離する現象で、せん断変位を殆どあるいは全く伴わない。地すべりと比較して、小規模で急速に移動する。斜面崩壊の傾向角度は比較的大きく、30度以上である。 	盛土被害	道路盛土の崩壊は、降雨や地下水の浸透、地表水による侵食、局所的な水の貯留によって発生する。盛土材料が脆弱であったり、土の締め固め不足に起因することもある。 
落石	落石は、基盤岩や露岩のクラックが拡大し、葉状に分離した岩や砂利が斜面から落下する現象である。 	擁壁被害	擁壁の災害は、落石などのような突発的な変化はなく、比較的大きな時間をかけて変形する。調査内容は以下に示す通り。 ・ 擁壁の周囲の状態の調査 ・ 擁壁本体に関する調査 ・ 関連する履歴の調査 
土石流	土石流は、土と巨礫が地表水や地下水によって液状になり、溪流を急速に流下する現象である。 	家屋被害	家屋の壁面が生じる原因は、以下の通り。 ・ 地耐力不足 ・ 基盤地面の沈下 ・ 施工不良 ・ 他 
		洞穴	洞穴は、以下の原因によって起こります。 ・ 浸透枴からの水の浸潤 ・ 集水ビットからの水の浸潤 ・ その他 

2.3.2 現地踏査

現地踏査では、「災害スキーム 2011-2012」で抽出されている 37 箇所の地すべり危険箇所について、災害の着目点をチェックして地すべりハザード評価を行う。また、地すべりと斜面崩壊に対しては、空中写真判読を実施して地すべり地形の分布を確認する。

a. 空中写真判読

大部分の活発な地すべりは、特定の地すべり地形を形成している。空中写真によって、広範囲の地形と地形の年代順配を把握し、それらの地形的特徴と地すべりの関係を検討することができる。

立体鏡を用いて、ステレオ・タイプ空中写真からステレオ・イメージを見ることができ、地すべり運動と地形学的な特徴の関係を確認できる。



写真2.3.1 空中写真判読の状況（出典：JICA 調査団）

地すべりは、以下のような典型的特徴を示す。

- ・ 地すべりの縦断形状は、上から下に向かって、急峻（地すべり上部滑落崖）～なだらか（地すべり中間部）、急峻（地すべり末端部）となる。
- ・ 地形図の等高線は、平行でなく湾曲して不規則になる
- ・ 滑落崖、ステップ、クラック、段差、池と沼などが緩傾斜の斜面で見られる
- ・ 地すべりの側方に、地表水の流下経路（小溪流）が時々認められる

空中写真判読の記号を表 2.3.5 に示す。表 2.3.6 には、住宅・土地省（MHL: Ministry of Housing and Lands）から入手した空中写真のリストを示す。空中写真の縮尺は 1:1,0000 程度である。

表2.3.5 空中写真判読の記号（出典：JICA 調査団）

	A. 冠頭部の新鮮な滑落崖あるいは側方崖
	B. 冠頭部の開口
	C. 斜面上部あるいは背後に滑落崖を伴う明瞭な地すべり土塊
	D. 滑落崖や冠頭地形のない地すべり
	E. クラック、段差
	F. 湧水
	G. 水系、水みち

表2.3.6 空中写真のリスト（出典：JICA 調査団）

整理 No.	行政単位	年	写真 NO.	写真枚数
1	LES MARIANNES	1998 1998 1999	R 717 - R 728 R 748 - R 752 1926 - 1929	16
2	CREVE COEUR	1998 1999 1991	R 741 - R 747 1920 - 1925 53 - 55	16
3	G.R.N.W - PORT LOUIS	1997 1999 1999	0501 - 0503 1911 - 1915 1916 - 1919	12
4	QUATRE - BORNES	1997 1998 1999	608 - 613 507 - 510 1776 - 1782	18
5	CUREPIPE	1998 1997 1997	R 534 - R 538 1340 - 1343 1393 - 1396	13
6	UNION PARK	1999	1718 - 1719	2
7	RIVIERE DES ANGUILLES	1997 1997 1997	0139 - 0242 1513 - 1515 1527 - 1529	10
8	LA MIVOIE	1991 1991	180 - 182 199 - 200	5
9	CHAMAREL	1999 1998	2072 - 2074 R 650 - R 659	13
10	BAIE DU CAP	1998	R 297 - R 300	4
11	GRANDE RIVIERE SUD EST	1991 1991	R 243 - R 244 1568 - 1569	4
	Total			113

地すべりのための写真判読は、37 箇所の危険箇所のうち地すべりと斜面崩壊に分類された 13 箇所に対して実施した。ただし、災害箇所の規模が小さい場合や、災害が写真の撮影年度より新しい場合には、空中写真判読を実施できないことがあった。空中写真判読の結果から、写真判読図と地すべり分布図(1:25,000)を作成した(図 2.3.1)。表 2.3.7 に、空中写真判読の結果一覧を示す。

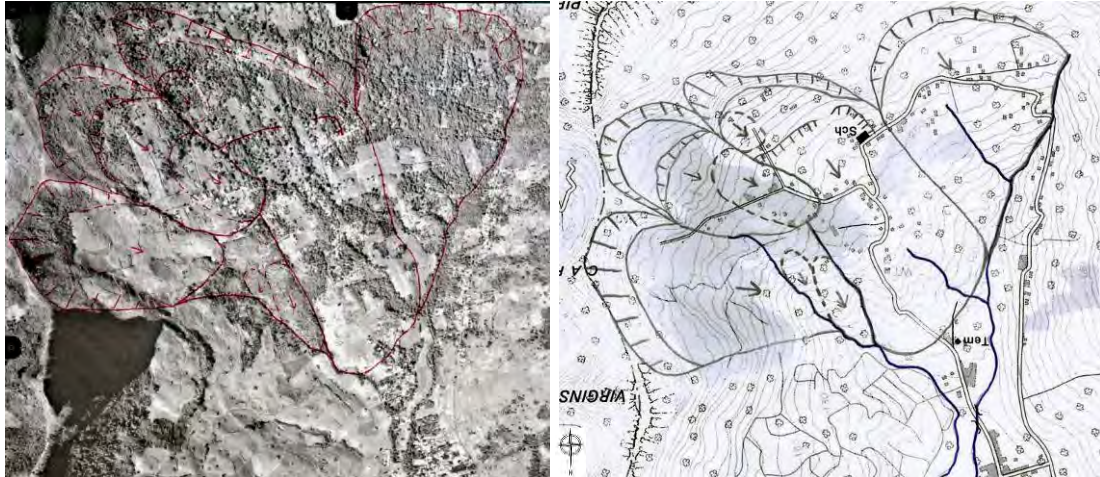


図2.3.1 写真判読結果・Chitrakoot 地区（左:判読写真,右:地すべり分布図）（出典：JICA 調査団）

表2.3.7 空中写真判読の結果一覧（出典：JICA 調査団）

管理 No	箇所名	災害種別		写真判 読	写真 No. (撮影年)	空中写真判読結果の概要
		大分類	細分類			
6	Les Mariannes Community Centre (Road area)	斜面	斜面崩壊	実施	R720-R721 (1998)	道路沿いの斜面崩壊箇所の背後に、明瞭な滑落崖を伴わない不明瞭な地すべり地形が認められる。
9	Chitrakoot, Vallee des Pretres	斜面	地すべり	実施	1922-1923 (1999)	主たる地すべり、及びその周辺のいくつかの地すべり境界が判読された
10	Vallee Pitot (near Eidgah)	斜面	地すべり	不可	1919-1920 (1999)	対象エリアが非常に小さいため判読できなかった。対象エリアの周辺に明瞭な地すべり地形は確認できなかった。
13	Mgr. Leen Street and nearby vicinity, La Butte	斜面	地すべり	実施	1917-1918 (1999)	1986 年に発生した La Butte 地すべりである。空中写真で、明確な地すべり地形を判読できた。
15	Old Moka Road, Camp Chapelon	斜面	地すべり	実施	1916-1917 (1999)	地すべり地形は不明瞭だが、地すべり土塊を確認できた
17	Pailles : (i) access road to Les Guibies and along motorway, near flyover bridge	斜面	斜面崩壊	不可	1913-1914 (1999)	対象エリアが非常に小さいため判読できなかった。対象エリアの周辺に顕著な地すべり地形は確認できなかった。
19	Pailles : (iii) soreze regin	斜面	斜面崩壊	不可	0502-0503 (1997)	崩壊発生が空中写真撮影年よりも後のため、当該箇所の判読不可。周辺に地すべり地形は確認できなかった。
20	Plaine Champagne Road, opposite "Musee Touche Dubois"	斜面	斜面崩壊	実施	R656,R657 (1998)	斜面崩壊エリアの周辺に崩積土が分布している。斜面崩壊の原因はこの崩積土の強度が弱いと思われる
27	Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Streert, Old Grand Port	斜面	地すべり	実施	R243,R244 (1991)	災害エリアの周辺に、いくつかの明瞭な地すべりが確認できた
28	Bambous Virieux, Rajiv Gandhi Street (near Bhavaury House), Impasse Bholoa	斜面	斜面崩壊	不可	1568-1569 (1991)	対象エリアが非常に小さいため判読できなかった。対象エリアの周辺に明瞭な地すべり地形は確認できなかった。
30	Trou-AUX-Cerfs	斜面	斜面崩壊	不可	1395-1396 (1997)	崩壊発生が空中写真撮影年よりも後のため、当該箇所の判読不可。周辺に地すべり地形は確認できなかった。
34	Candos Hill at LalBahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues	斜面	地すべり	不可	1780-1781 (1991)	対象エリアが非常に小さいため判読できなかった。対象エリアの周辺に明瞭な地すべり地形は確認できなかった。
36	Morcellement Hermitage, Coromandel	斜面	斜面崩壊	不可	1914-1915 (1999)	対象エリアが非常に小さいため判読できなかった。対象エリアの周辺に明瞭な地すべり地形は確認できなかった。

b. 現地踏査による地すべりハザード評価の方法

現地踏査では、災害の注目点をチェックして地すべりハザード評価を行う。表 2.3.8 に地すべりハザード評価のための地すべり災害の注目点示す。活動的な地すべりは特徴的な地すべり地形を伴うので、現地踏査で地すべり地形を確認する。その他にも、地すべり対策工や家屋の被害について把握する。

表2.3.8 地すべりハザード評価のための地すべり災害の注目点（出典：JICA 調査団）

項 目	注 目 点
現場状況	滑落崖（主または2次，馬蹄形を呈す） 横断クラック（引っ張り又は圧縮） 池、沼 湧水 段差地形 地すべり上部での盛土 地すべり末端部での切土 河川による洗掘 構造物・家屋の被害 モニタリング機器
履 歴	既存の地すべり記録(文章または伝承)
対策工	対策工なし 対策工の効果

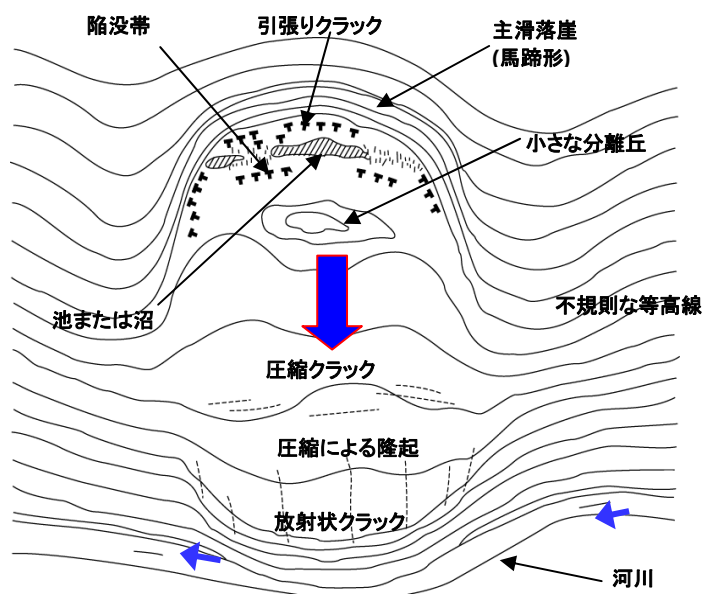


図2.3.2 地すべり地形の概略図（出典：JICA 調査団）

c. 現地踏査の結果

現地踏査の結果は地すべり台帳に整理し、災害の注目点の他に、位置や規模、現場写真、現場の状況説明を記録した。地すべり台帳は、概要情報シート、評価シート、写真

シートからなる。各シートに記録する内容は次の通りである。

＜概要情報シート＞ 住所、位置座標、概略スケッチ、案内地図（1:25,000）を記録する。

＜評価シート＞ 災害の注目点のチェックと現場の説明文を記録する。

＜写真シート＞ 現場の被害状況や地すべり地形の写真を記録する。

37箇所 の地すべり台帳を巻末に添付するとともに、図 2.3.3～図 2.3.5 に地すべり台帳の例を示す。また、現地踏査による地すべりハザード評価の項目と得点を表 2.3.9 に示す。

現地踏査による地すべりハザード評価の結果、高得点（合計 6 点）を示したのは、Chitrakoot 地区、Vallee Pitot 地区、Quatre Soeurs 地区の 3 地区であった（表 2.3.10）。

表2.3.9 地すべりハザード評価の項目と得点（出典：JICA 調査団）

項 目			得点	説 明
現場の状況	地すべり地形、地すべりの特徴	明らか	2	明確な地すべり
		わずか	1	不明確な地すべり、または斜面崩壊
		なし	0	地すべりではない
	家や構造物のダメージ	明らか	2	ダメージが大きく、緊急である
		わずか	1	ダメージが小さく、緊急ではない
		なし	0	ダメージが無い
履歴	既存の地すべりに関する記録 （文章や伝承）	明らか	2	明確な伝承がある
		わずか	1	不明確な文書と伝承がある
		なし	0	既存の記録はない

表2.3.10 地すべりハザード評価の結果（出典：JICA 調査団）

整理 no.	Area name	災害種別		地すべりハザード評価のスコア			
		大分類	細分類	地すべり 地形、特 徴	家や構造 物のダメ ージ	地すべり に関する 記録	合計
9	Chitrakoot, Vallee des Pretres	斜面	地すべり	2	2	2	6
10	Vallee Pitot (near Eidgah)	斜面	地すべり	2	2	2	6
13	Mgr. Leen Street and nearby vicinity, La Butte	斜面	地すべり	2	1	2	5
15	Old Moka Road, Camp Chapelon	斜面	地すべり	2	1	0	3
27	Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Streert, Old Grand Port	斜面	地すべり	2	2	2	6
34	Candos Hill at LalBahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues	斜面	地すべり	2	1	0	3

G	O	R	N
Marginal number	0	0	0
Evaluation sheet	Report's name:	Tomofaru IWASAKI	

[check Point]

Category	Check✓	
Scarp (Main or Minor , Horse shoe shape)	✓	
Transverse Cracks (Tension or Compression)	✓	
Pond and Swamp		
Spring Water		
Topography with the Step	✓	
Eembankment at the upper		
Cut Slope at the toe		
Wash out by rivers		
Damage on construction and houses	obvious (number : over 10 houses) None (number :)	✓ ✓
Monitoring Equipment	There is it (name: Extensometer , number: 3) There is it (name: number:) none	✓
Existing record of Landslide (documents or patrimony)	Obvious (Document, 2007) slight none	✓
There is no Countermeasure		✓
Effectiveness of Countermeasure	No effect Some effect High effect	

[Description]

A clear landslide was confirmed in this site and the characteristics are as follows;

- (1) Main Scarp (Horse shoe Scarp),
- (2) Some Minor Scarps,
- (3) Steps and Tension Cracks.

A clear landslide was confirmed. A landslide was reported to have damaged houses and a school after heavy rain in 2005. Boring investigation and monitoring has been carried out, but not sufficiently. No countermeasures were implemented. Therefore, a detailed investigation and monitoring are necessary while the countermeasures are expected in future. L=1500m, W=700m

Exisiting record of Landside(documents); GEOTECHNICAL INVESTIGATION AT CHITRAKOOT VALLEY DES PRETIRES; FOR MINISTRY OF ENVIRONMENT & NATIONAL DEVELOPMENT UNIT_ 2007

Management Number										Photo sheet										Date		June 5, 2012											
0	0	0	0	0	0	0	0	0	9																								
																																	
Ph-1 Main scarp										Ph-2 Minor Scarp										Ph-3 Minor Scarp													
																																	
Ph-4 Damage on school (By the damage of the landslide, a part of the school cannot use)										Ph-5 Damage on house (it's relocated)										Ph-6 Damage on house (it's relocated)													

図2.3.3 地すべり台帳の一例(Chitrakoot 地区) (出典:JICA 調査団)

General Information Sheet (Slope)			
Management number	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Reporter's name	YUKIKASAHARA
Address	Vallee Pitot (near Edenah)	Type	Landslide
Schematic sketch		Location map (Scale: 1:25,000)	Date of report
			June 22, 2012
* Description of "Type" Rock fall: Rock fall is a phenomenon where isolated rocks and gravel fall down a slope. It is often caused by weathering of rocks in the bedrock or outcropped rocks start to fall down a slope. Slope failure: The slope failure mass detached from steep slope cliff along surface with little or no clear displacement. Compared to landslide, the quick slope moves on a small scale, the inclination angle of the slope failure is a relatively high angle (over 30 degrees). Landslide: A landslide is a phenomenon where the soil mass on failure surface deep in the ground gradually shifts downward, triggered by heavy rain or earthquake, tree removal, etc. Compared to slope failure, the greater slope moves on a large scale, the inclination angle of the landslide is a relatively low angle (about 5-30 degrees). Debris flow: A debris flow is a phenomenon where soil and boulders are liquefied by surface water or groundwater and tend to flow downward rapidly through a mountain torrent.			

Evaluation sheet		Reporter's name																										
Management number	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	YUKIKASAHARA																										
[check Point] <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Scarp (Main or Minor, Horse shoe shape)</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Transverse Cracks (Tension or Compression)</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Pond and Swamp</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Spring Water</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Topography with the Step</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Embankment at the upper</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Cut Slope at the toe</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Wash out by rivers</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Damage on construction and houses</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Monitoring Equipment</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>History</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Countermeasure</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Category	Check	Scarp (Main or Minor, Horse shoe shape)	✓	Transverse Cracks (Tension or Compression)	✓	Pond and Swamp	✓	Spring Water	✓	Topography with the Step	✓	Embankment at the upper	✓	Cut Slope at the toe	✓	Wash out by rivers	✓	Damage on construction and houses	✓	Monitoring Equipment	✓	History	✓	Countermeasure	✓	Structure of a landslide after Varney, 1978
Category	Check																											
Scarp (Main or Minor, Horse shoe shape)	✓																											
Transverse Cracks (Tension or Compression)	✓																											
Pond and Swamp	✓																											
Spring Water	✓																											
Topography with the Step	✓																											
Embankment at the upper	✓																											
Cut Slope at the toe	✓																											
Wash out by rivers	✓																											
Damage on construction and houses	✓																											
Monitoring Equipment	✓																											
History	✓																											
Countermeasure	✓																											
[Description] Lately, housing developments are growing rapidly in this area. A landslide boundary of 35m x 20m was clearly detected. Several houses have been damaged and some cracks were observed. The situation of the damage was also reported in the newspaper. The type of landslide is debris-slide caused by house construction in the upper slope and out-slope at the toe. In addition, the incompleteness of the surface drainage is a problem. The landslide is not stable. A landslide investigation and monitoring are necessary while the countermeasures are expected in future. L=35m, W=20m.		Une maison dangereuse pour ses occupants Croissance de 0,7 % de la population en 2006																										

Photo sheet		Date
Management Number	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	June 22, 2012
Ph-1 Main scarp		
Ph-2 The broken steps		
Ph-3 Observed cracks		
Ph-4 Damage on house (Caused by landslide)		
Ph-5 Direction of landslide movement		
Ph-6 Cracks at bank protection		

図2.3.4 地すべり台帳の一例 (Vallee Pitot 地区) (出典: JICA 調査団)

General Information Sheet (Slope)			
Management number	000000027	Reporter's name	Tomoharu WAKASAKI
Date of report	June 18, 2012	Latitude	-20.424394
Longitude	57.417014		
Address	Quatre Soeurs, Mare Auxjars, Humman Street, Old Grand Port	Type	Landslide
Schematic sketch			
Description of "Type"	Rock fall: Rock fall is a phenomenon where isolated rocks and gravel due to enlarged cracks in the bedrock or outcropped rocks start to fall down a slope. Slope failure: The slope failure means detached from steep slope cliff along surface with little or no clear displacement. Compared to landslides, the quick slope moves on a small scale. The inclination angle of the slope failure is a relatively high angle (over 30 degrees). Landslide: A landslide is a phenomenon where the soil mass on failure surface deep in the ground gradually shifts downward, triggered by heavy rain or earthquake, river erosion, etc. Compared to slope failure, the gentle slope moves on a large scale. The inclination angle of the landslide is a relatively low angle (below 30 degrees). Debris flow: A debris flow is a phenomenon where soil and boulders are triggered by surface water or groundwater and tend to flow downward rapidly through a mountainous forest.		

Evaluation sheet																													
Management number	000000027	Reporter's name	Tomoharu WAKASAKI																										
(check Point)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Check</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Scarp (Main or Minor, Horse shoe shape)</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Transverse Cracks (Tension or Compression)</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Pond and Swamp</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spring Water</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Topography with the Step</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Embankment at the upper</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cut Slope at the toe</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Wash out by rivers</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Damage on construction and houses</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Monitoring Equipment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>History</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Countermeasure</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Category	Check	Scarp (Main or Minor, Horse shoe shape)	✓	Transverse Cracks (Tension or Compression)	✓	Pond and Swamp		Spring Water		Topography with the Step	✓	Embankment at the upper		Cut Slope at the toe	✓	Wash out by rivers		Damage on construction and houses		Monitoring Equipment		History		Countermeasure	
Category	Check																												
Scarp (Main or Minor, Horse shoe shape)	✓																												
Transverse Cracks (Tension or Compression)	✓																												
Pond and Swamp																													
Spring Water																													
Topography with the Step	✓																												
Embankment at the upper																													
Cut Slope at the toe	✓																												
Wash out by rivers																													
Damage on construction and houses																													
Monitoring Equipment																													
History																													
Countermeasure																													
	[Description] Landslide activity has been confirmed at the Quatre Soeurs area where many houses have been damaged. This landslide shows some typical characteristics as follows. (1) Scarps (Horse shoe shape). (2) Steps on Tension Cracks. (3) Cut Slope at toe (for road and house). The groundwater level at the lower part of the landslide is high and is causing instability in the landslide. Drilling investigation and monitoring have been carried out, but not sufficiently. Further investigation and monitoring are necessary while the countermeasures are expected in future. L=300m, W=400m. Existing record of Landslide (documents): GEOTECHNICAL REPORT FOR SUSPECTED LANDSLIDE AT QUATRE SOEURS, MPI, 2011.																												

Photo sheet			
Management Number	000000027	Date	June 18, 2012

図2.3.5 地すべり台帳の一例(Quatre Soeurs 地区) (出典: JICA 調査団)

2.3.3 インベントリーと分布図

現場踏査の結果として、地すべりの特徴や評価結果等を取りまとめ、地すべりインベントリー（表 2.3.11）、および地すべり位置図（図 2.3.6）を作成した。

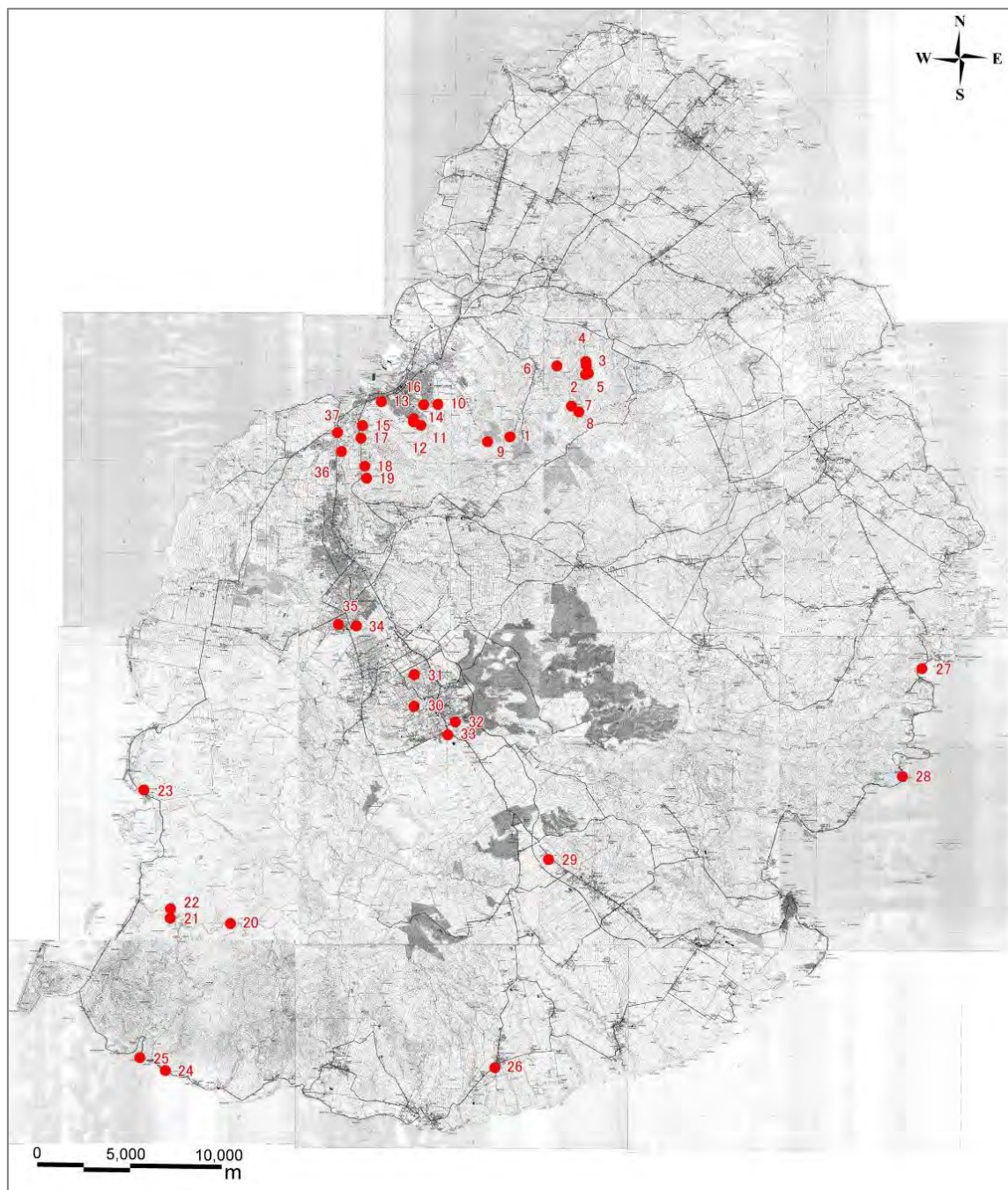


図2.3.6 地すべり位置図（出典：JICA 調査団）

表2.3.11 地すべりインベントリー（出典：JICA 調査団）

(1): 地すべり地形、地すべりの特徴, (2): 家や構造物のダメージ, (3): 既存の地すべりに関する記録

№	箇所名	間取り調査および現地踏査結果の概要	災害種別		地すべりハザード評価のスコア			
			大分類	細分類	(1)	(2)	(3)	合計
1	Temple Road, Creve Coeur	庭先の盛土（車庫スペース）の変形によりブロック壁や家屋に変形が見られる。また、別の問題として、地表面排水の不全により、豪雨時に山からの大量の地表水が家屋に直接衝突する。	その他	擁壁被害	—	—	—	—
2	Congomah Village Council (Ramlakhan)	小規模な河川が道路横断部に埋設されたコンクリートパイプ管渠の径不足により豪雨時に溢水するとともに、溪岸浸食が発生している。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
3	Congomah Village Council (Leekraj)	高さ1m盛土部に設置された擁壁に傾倒が見られるとの報告があったが、現状は安定している。	その他	擁壁被害	—	—	—	—
4	Congomah Village Council (Frederick)	道路沿いの擁壁が、雨季の激しい地表水流により侵食され、擁壁の一部が崩壊している	その他	擁壁被害	—	—	—	—
5	Congomah Village Council (Blackburn Lanes)	道路の路肩の盛土部が崩壊している	その他	盛土被害	—	—	—	—
6	Les Mariannes Community Centre (Road area)	2010年に道路脇の斜面が小規模崩壊が発生した。その後、被害を受けた道路および崩壊斜面の復旧工事が実施され、現在は安定している。	斜面	斜面崩壊	—	—	—	—
7	Les Mariannes Community Centre (Resident area)	河川の断面不足による豪雨時の溢水と溪岸浸食が認められる。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
8	L'Eau Bouillie	盛土部の路盤の支持力不足により道路面にクラックが発生している。現在、クラックは補修されている。	その他	盛土被害	—	—	—	—
9	Chitrakoot, Vallee des Pretres	明瞭な地すべり地形が認められ、2005年の豪雨時には多数の家屋や学校の建物に被害が生じている。ボーリング調査と地すべりモニタリングが一部で行われているが、十分ではない。今後の重点的な調査・対策が望まれる。L=1500m, W=700m	斜面	地すべり	2	2	2	6
10	Vallee Pitot (near Eidgah)	最近になって急速に宅地開発が進んでいる地域で、35m×20m程度の地すべりが発生し、地すべり境界は明瞭に認められる。著しい家屋への被害が認められ、被害状況が新聞で報道された。	斜面	地すべり	2	2	2	6
11	LePouce Street	表面排水が不全のため、豪雨時に谷地形部の道路・家屋部分に地表水が集中して流れ、道路や家屋軒先の侵食が発生。現時点で被害は軽微だが、表面排水の整備が必要。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
12	Justice Street (near Kalimata Mandir)	土地の造成に伴う盛土施工により擁壁が押し出されて変形している。背後の地山の表面排水は不全のため、擁壁の背後に地下水が溜りやすいことも擁壁の変形の原因のひとつと思われる。	その他	擁壁被害	—	—	—	—
13	Mgr. Leen Street and nearby vicinity, La Butte	「La Butte地すべり」。1998年に日本の援助により地すべり対策工が施工され、現在は大きな変状は認められない。しかし、ポートルイス市は今後もモニタリングを行いたいと考えている。	斜面	地すべり	2	1	2	5
14	Pouce Stream	コンクリートの三面張り河川である。豪雨時にはコンクリート護岸の上端まで水位が達し、その背後の侵食が発生するため、現在は布団かごが積まれている。現状は大きな被害はないが、一部でコンクリート壁の老朽化や高さ不足があるようで、今後の詳細調査と対策が望まれる	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
15	Old Moka Road, Camp Chapelon	地すべり地形は明瞭ではないが、家屋の被害や湧水箇所がある程度の広さの範囲に集中することから、この範囲で表層崩壊が発生している可能性が高い。ただし、一般的な地すべりか、表層の軟弱層のクリープ変形かの判断は難しく、今後の調査が望まれる。	斜面	地すべり	2	1	0	3
16	Boulevard Victria, Montague Coupe	道路建設に伴い形成された切土斜面である。布団かご（7～8段）が擁壁状に設置されている。災害履歴はなく、現在は安定しているように見えるが、勾配が急なため今後の観察が肝要である。	その他	擁壁被害	—	—	—	—
17	Pailles : (i) access road to Les Guibies and along motorway, near flyover bridge	ハイウェイ脇の道路切土（高さ5m程度）の表層崩壊である。表層の風化により豪雨時などに浸食が進行している。	斜面	斜面崩壊	—	—	—	—

18	Pailles : (ii) access road Morcellement des Aloes from Avenue M.Leal (on hillside)	貯水タンク基礎部分が、雨水排水の不全により浸食されている。雨水排水の整備が急務である	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
19	Pailles : (iii) soreze regin	斜面の上部では落石と小崩壊、ガリが多発している。斜面の中腹および下部では、道路や住宅の建設にともない表層崩壊が発生している。現在、比較的軽微ではあるが、表層崩壊による道路変状および家屋のクラックが認められる	斜面	斜面崩壊	—	—	—	—
20	Plaine Champagne Road, opposite "Musee Touche Dubois"	斜面崩壊の箇所に対策工として擁壁が建設されている。擁壁の一部にクラックが認められるが、顕著な斜面変動はなく、比較的安定している。擁壁の構造的に弱い可能性がある。	斜面	斜面崩壊	—	—	—	—
21	Chamarel : (i) near Reataurant Le Chamarel	道路の路肩が沈むことにより、路面のアスファルトにクラックが発生している。	その他	盛土被害	—	—	—	—
22	Chamarel : (ii) Roadside	盛土で作られた道路路肩の変状。盛土部は石積あるいは石積擁壁で盛り立てられており、支持力が不足していると思われる	その他	盛土被害	—	—	—	—
23	Gremde Riviere Noire Village Hall	Village Hallの基礎付近に水平クラックがあり、近傍のバスケットコート端のコンクリートにも切れるが多数見られる。しかし、周辺の塀や他の構造物には特に変状はなく、地すべりによる被害とは考えにくい。むしろ、基礎地盤の支持力の問題（不等沈下）や建物の構造上の問題の可能性が高い	その他	家屋被害	—	—	—	—
24	Baie du Cap : (i) Near St Francois d'Assise Church	土石流が発生しており、現在護岸工が建設されている。また、周辺の段丘崖で、表層の小崩壊が散見される。	斜面	土石流	—	—	—	—
25	Baie du Cap : (ii) Maconde Region	道路沿いに連続する岩盤の急崖から、落石や小規模な岩盤崩壊が頻発している。	斜面	落石	—	—	—	—
26	Riviere des Anguilles, near the bridge	岩盤急崖上に家屋が密集している。急崖は風化が激しく、頻繁に河川浸食が発生しているため、崖に近接する家屋の移転を検討する必要があると思われる。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
27	Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Streert, Old Grand Port	「カトルスール地すべり」。明瞭な地すべり地形を呈し、地すべり末端部の数軒の家屋で破損が著しい。地すべり末端部は地下水位が非常に高く、地すべりの不安定化に関連していると推察される。ボーリング調査と地すべりモニタリングが一部で行われているが、十分ではない。今後の重点的な調査・対策が望まれる。L=350m	斜面	地すべり	2	2	2	6
28	Bambous Virieux, Rajiv Gandhi Street (near Bhavaury House), Impasse Bhooloa	家屋裏の道路斜面の小崩壊。家屋まで崩壊土砂が迫ったものの建物に被害はなし。現在、家主が自主的に土留擁壁を構築中。	斜面	斜面崩壊	—	—	—	—
29	Cave in at Union Park, Rose Belle	住宅敷地内に空洞（4m×4m×深3m）が発生した。現在は、土砂で埋め立て済み。家屋の被害はない。道路路向かい空き地にも同様の空洞あり。	その他	洞穴	—	—	—	—
30	Trou-AUX-Cerfs	火山の火口斜面の表層崩壊。2005年の豪雨で発生。背後への崩壊拡大の危険性は低いが、周辺横方向への崩壊拡大が予想される	斜面	斜面崩壊	—	—	—	—
31	River Bank at Cite L'Oiseau	雨季に溪岸浸食と溢水が顕著。特に水衝部に当たる左岸護岸の侵食が著しく、現在は石積擁壁による護岸工が構築されている。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
32	Louis de Rochecouste (Riviere Seche)	雨季に溪岸浸食と溢水が顕著。家屋の基礎が浸食され、家屋擁壁が傾倒。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
33	Piper Morcellement Piat	雨季に溪岸浸食と溢水が顕著。左岸の護岸は住民が自力で構築。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—
34	Candos Hill at LalBahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues	住宅の背後に、比較的最近に発生したと思われる明瞭な地すべり地形・滑落崖が形成され、湧水も確認されている。この地すべりは、40m×35m程度と規模が小さく、すべり範囲に家屋は無く、今のところ近接する擁壁に小規模なひびが入る程度の軽微な被害である。	斜面	地すべり	2	1	0	3
35	Cavernous Area at Mgr Leen Avenue and Bassin	家屋建設時に空洞が発見されたが、現在はコンクリートで埋め戻してあり、危険は無い。	その他	洞穴	—	—	—	—
36	Morcellement Hermitage, Coromandel	2010年に道路の路肩崩壊が発生し、地元コンサル（GIBB）が調査・対策工設計を行い擁壁を建設。現在擁壁の上面の石積部にクラックが発生しているが、擁壁背後の埋戻土の転圧不足による沈下が原因と思われる。擁壁前面には特に変状はなく、安定している模様。	斜面	斜面崩壊	—	—	—	—
37	Montee S, GRNW	両岸とも風化岩が露岩しており、雨期には溪岸浸食が著しい。	その他	溪岸侵食	—	—	—	—

2.3.4 GISデータベース

地すべり調査から対策工の計画及び施工に至る一連の作業では長期的に地形・地質などの空間情報と調査・計画・設計の各作業から得られる各種情報を維持管理することが求められる。そこで GIS（地理情報システム: Geographic Information system）を利用し、管理することが最適と考える。

本プロジェクトでは関連のプロジェクト（Development of a DDR Strategic Framework and action Plan）や「モ」国で多く使用され、さらに他の GIS ソフトウェア（MapInfo, AutoCAD, Quantum GIS, etc.）との互換性が高い ESRI 社の ArcGIS を利用し、GIS データベースを構築する。

なお、地形情報の座標系（Coordinate System）は「モ」国で多く使用している下記の座標系に従って GIS のデータを作成する。既存の GIS データは ArcGIS の機能を用いて下記の座標系に変換し利用することとする。新たに作成する GIS データは下記の座標系により作成する。

座標系(Coordinate System) : Projection Universal Transverse Mercator
UTM40S zone
Geographic Coordinate System GCS_WGS_1984

「モ」国関係機関より提供を受けた既存の各種 GIS データと現地調査などから得られる各種の GIS データから、新規の主題図を作成する概要を図 2.3.7 に示す。

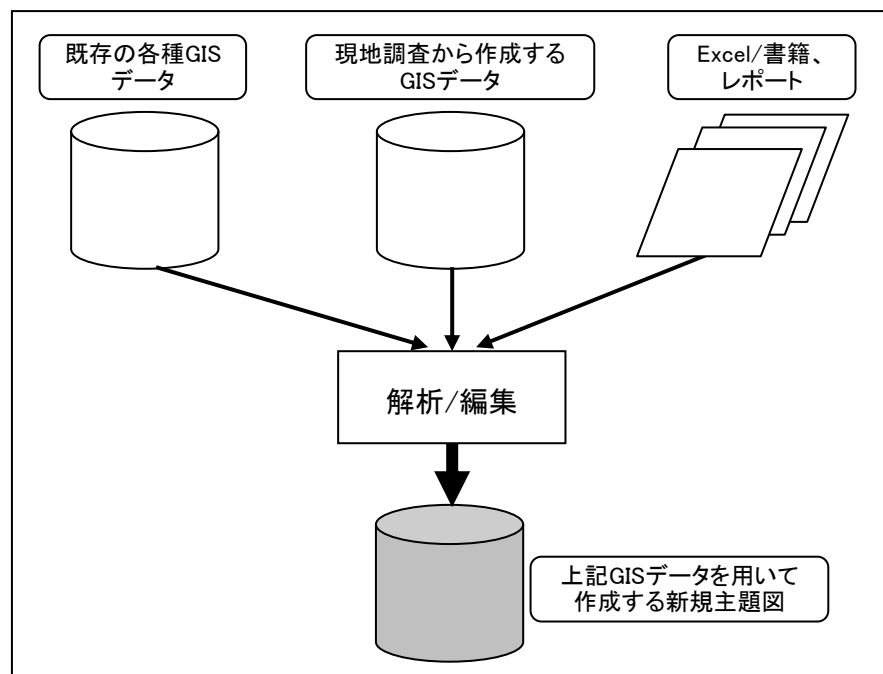


図2.3.7 GIS を用いたデータベース作成の流れ（出典：JICA 調査団）

GIS を利用した地すべりデータベースは図形情報と図形情報とリンクする属性情報の組み合わせで構成される。

a. 図形情報

図形情報は次の2つのタイプに分類することができる。

表2.3.12 「モ」国で収集した既存の GIS データ（出典：JICA 調査団）

No	主題図名称	データ形式	データタイプ	入手先
1	地形図(1:25,000)、航空写真、衛星写真(セルサイズ:0.15ピクセル)	Raster	Tiff/Jpeg	MoESD MHL
2	道路、河川、等高線	Vector	Line	MoESD
3	地質図、国境、県境	Vector	Polygon	MoESD

表2.3.13 現地調査などから作成する新規 GIS データ（出典：JICA 調査団）

No	主題図名称	データ形式	データタイプ	入手先
1	地すべり位置図	Vector	Point	本プロジェクトで作成したデータ
2	地すべり分布	Vector	Polygon	

b. 属性情報

属性情報は、図形情報とリンクする文字情報や数値、数量情報が DBF ファイル形式で作成されている。例えば1つの行政界内には、名称や人口など属性情報が入力されている。また、地質図は、1つのポリゴンに地質名称や地質コード、または大分類、小分類に分けた名称、コードが属性情報として入力されている。これらのほかにも属性情報として個別の多くの情報が付加されている。これらの属性情報を利用して、データ検索機能や図形表示、また、図形表示の際の表示方法（色や太さ、または大きさ）の設定などを行うことが可能である。

次に、図形情報と属性情報のリンクについて、図2.3.8の行政界の例を用いて説明する。図の右側には、小さな行政界で構成された行政界図が表示されている。小さな領域(Polygon)1つ1つには領域に関係する名称、緯度・経度、面積等の属性情報(Attribute Data)とリンクしている。これら属性情報を図の左側に表示している。属性情報の項目から行政界図の表示を操作することが可能であり、属性情報と行政界図を相互に検索ができる。この図は、属性情報の上から3段目のデータをクリックした時に、行政界図の表示画面の1つの領域(Polygon)の色が変化し、その位置を地図上に表示している例である。

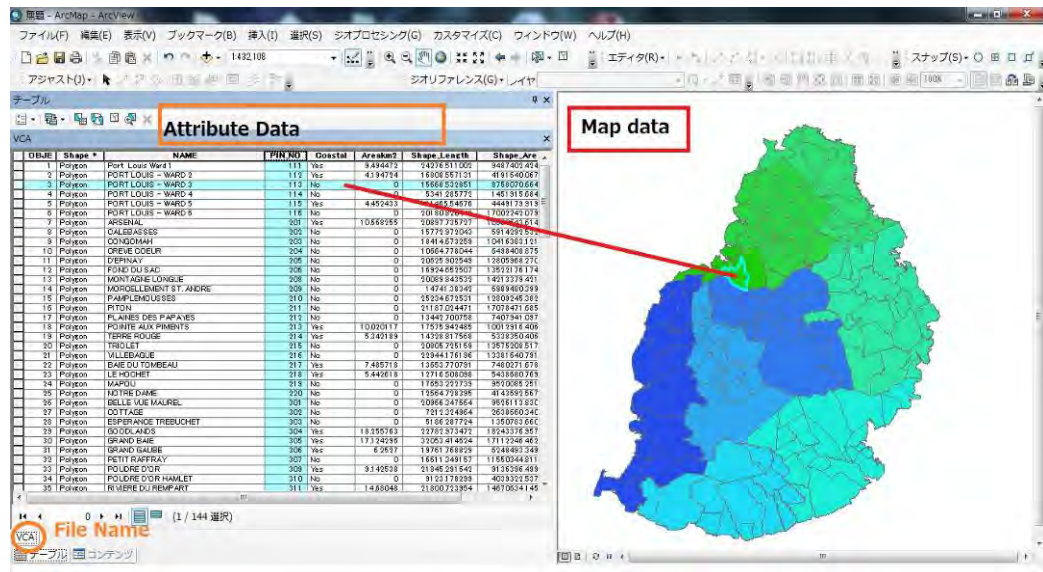


図2.3.8 行政界図と属性情報のリンクの例（出典: JICA 調査団）

c. 各種機能

GIS ソフトウェアの機能を用い、データベースを利用して地すべりインベントリーの作成や地すべり台帳の表示などを行うことが出来る。そのほかにも次の機能を有する。

- ・地すべり台帳の表示
- ・地すべり位置図の表示
- ・地すべり分布図
- ・パイロットサイトの地すべり分布図
- ・特定の範囲の地すべり危険箇所数
- ・特定範囲の地すべりブロックの面積
- ・GIS データの CAD 対応ファイルへのコンバート
- ・GIS データベースの修正、追加などの編集

d. 新規の主題図作成

現地調査より得た情報や既存情報、新たに作成した情報等を組み合わせ、目的とする主題図を新規に作成することができる。この新規の主題図には地すべり位置図・地すべり分布図等が該当する。これまでに得られた情報をもとに作成した地すべり管理に活用可能な新規の主題図の例を図 2.3.9～図 2.3.12 に示す。

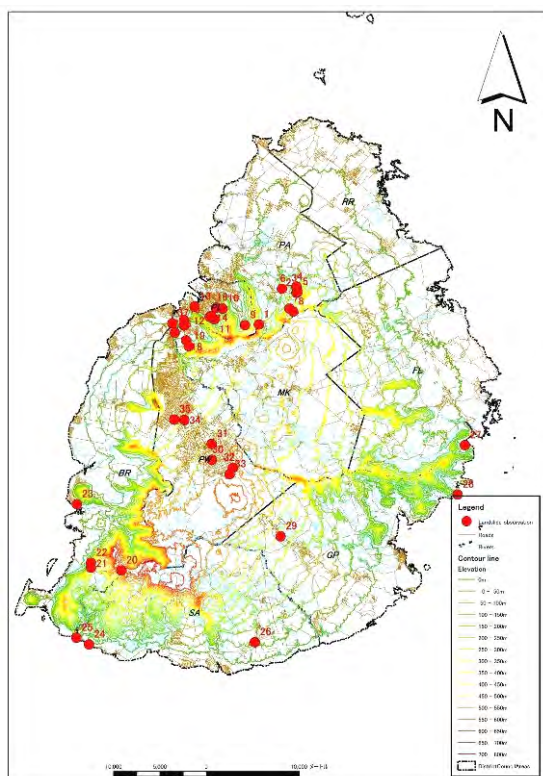


図2.3.9 地すべり調査位置図(ベースマップ:道路、図2.3.10 地すべり調査位置図(ベースマップ:地形図(1:25,000)) (出典: JICA 調査団)

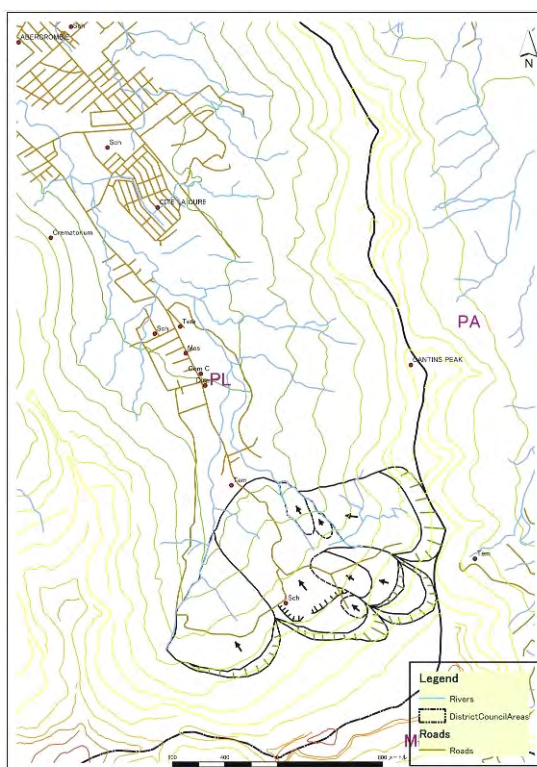


図2.3.11 地すべり分布図(Chitrakoot area)
(出典: JICA 調査団)

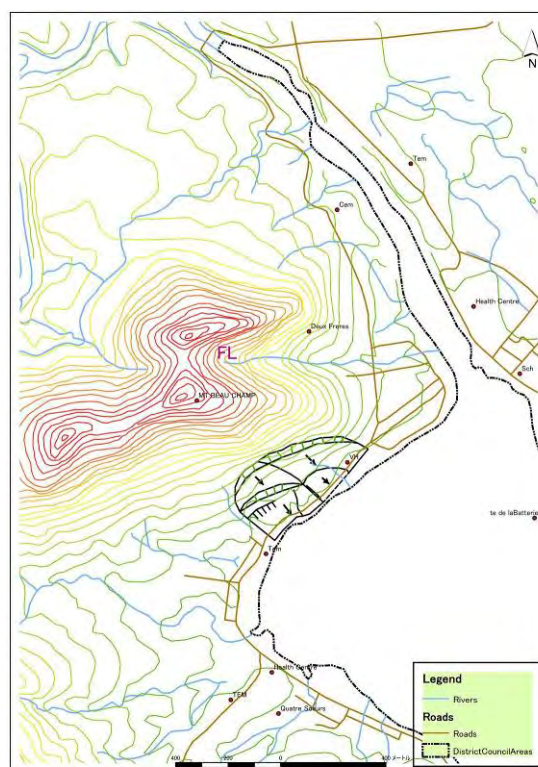


図2.3.12 地すべり分布図(Quatre Soeurs area)
(出典: JICA 調査団)

2.4 対策工実態

地すべり管理計画策定に必要となる構造物・非構造物対策に関する情報を下記内容で調査する。

表2.4.1 構造物・非構造物対策の実態調査の内容（出典：JICA 調査団）

調査項目	調査内容
既存の地すべり対策工	過去にどこでどのような対策工が実施され、どのような効果・課題が得られているかについて、設計資料や関係者への聞き取り調査を行う。
地すべりモニタリングの状況、警報基準、伝達手段、避難支援体制	敷設・運用中のモニタリング機器の種類・数量・スペック、計測方法、体制、分析方法について関係者を対象とした調査を行う。加えて、どのような基準で警報が出され伝達されるか、また、避難支援体制についても明らかにする。
住民意識、住民移転状況	住民の斜面災害に関する意識を把握するため、過去の被害の有無、警報情報の認識、地すべり前兆現象の認識、危険箇所・避難場所の認知といった内容について調査を行う。また、住民移転の内容や経緯、その際の問題等を調査する。
危険地における土地利用規制	土地・建物利用、地すべりに関する法制度、開発規制、上位・関連計画などについて関連資料・図面を収集し、必要に応じて関係機関へのヒアリング調査を行う。

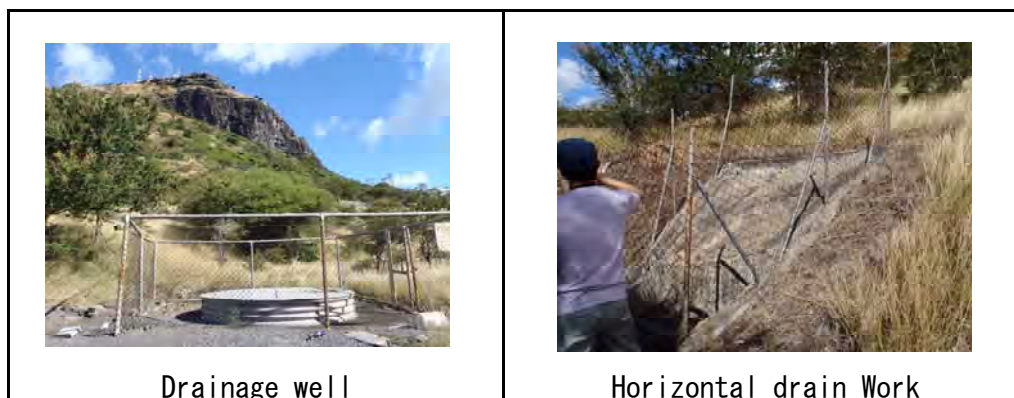
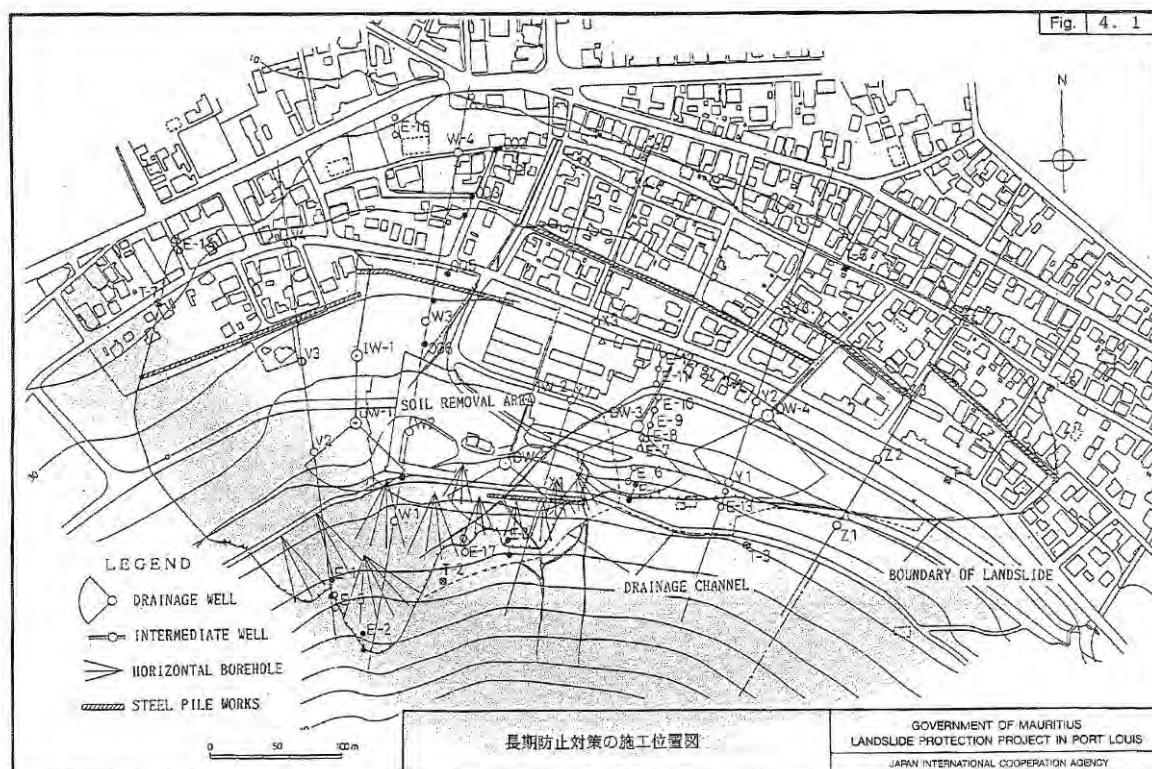
2.4.1 構造物対策

構造物対策調査では、過去にどこでどのような対策工が実施され、どのような効果・課題が得られているかについて、設計資料や関係者への聞き取り調査を行う。

構造物対策が実施されている地すべりは、La Butte 地区だけである（表 2.4.2）。La Butte 地区の地すべりは 1986 年に発生し、多くの家と学校が被害を受けた。この地すべりの構造物対策は 1998 年に日本の援助により実施され（図 2.4.1）、現在は安定している。ただし、ポートルイス市は、将来この地すべりのモニタリングを続けたいと考えている。

表2.4.2 地すべり危険地(6箇所)の構造物対策（出典：JICA 調査団）

管理 No	箇所名	災害種 別	構造物での対策
9	Chitrakoot, Vallee des Pretres	地すべり	なし
10	Vallee Pitot (near Eidgah)	地すべり	なし
13	Mgr. Leen Street and nearby vicinity, La Butte	地すべり	杭工:6 列 集水井:4 基 水平排水工:42 本
15	Old Moka Road, Camp Chapelon	地すべり	なし
27	Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Streert, Old Grand Port	地すべり	なし
34	Candos Hill at LalBahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues	地すべり	なし



文 献	「モ」国 ポートルイス市地すべり対策計画調査最終報告書 要約:国際協力事業団, 1990
プロジェクト名称	GOVERNMENT OF MAURITIUS LANDSLIDE PROTECTION PROJECT IN PORT LOUIS : JICA
構造物対策の数量	杭工:6 列、集水井:4 基、水平排水工:42 本

図2.4.1 La Butte 地区の地すべり構造物対策⁶

2.4.2 非構造物対策

災害スキームで抽出されている地すべり危険箇所の非構造物対策調査として、地すべりモニタリング機器、警報基準（雨量、移動量など）、情報伝達方法、避難の支援、住民意識、危険地における土地利用規制について調査を行った。

地すべりモニタリング機器については、Chitrakoot、Quatre Soeurs、La Butte でのみ存在が確認された。この内容を下表に示す。

表2.4.3 地すべりモニタリングの状況（出典：JICA 調査団）

地区名	モニタリング
Chitrakoot	5基の伸縮計が確認された。その内、2基は計測可能な状態であり、「モ」国の建設会社により計測が行われている。
Quatre Soeurs	6基の水位観測孔が確認された。これらの水位観測孔は2011年3月に掘削・設置され、その後同年5月まで(2ヶ月程度)モニタリングが続けられた。現在もモニタリング可能な状態だが、モニタリングは行われていない(出典：Ministry of Public Infrastructure Land Transport and Shipping (2011): Geotechnical Report for Suspected Landslide at Quatre Soeurs)
La Butte	16基の伸縮計の設置・計測が続けられていたが2001年から計測・維持管理は行われていない。2006年時点で16基中2基の伸縮計、7基中3基の傾斜計、10基中2基の地下水観測用圧力メーターのみが計測可能な状態にある(出典：Dr. A. Chan Chim Yuk, Faculty of Engineering, University of Mauritius (2006): Monitoring of Geotechnical Works at the Site of the La Butte Landslide)

今回の調査対象である災害スキームで選定されている地すべり危険箇所では、本プロジェクト開始時点で、地区独自の警報基準、情報伝達方法、避難支援は確認されなかった。

「モ」国全域を対象とした警報基準としては、「災害スキーム」の中に「地すべり緊急対応計画」があり、その中に、警報基準、情報伝達方法、避難の支援に関する内容が示されている。これについては、6章の「早期警戒システムと避難」で報告する。また、住民意識については2章の「社会調査」で、危険地における土地利用規制については3章の「開発計画政策指針へのレビューと提言」でそれぞれ報告する。

2.5 社会調査

2.5.1 基礎調査

PPG への提言や IEC 活動、優先地域におけるフィージビリティ調査、パイロット事業の実施などに係る基礎情報収集を目的として、関連する基礎情報の収集・整理を行った。この結果を下記に示す。

a. 土地利用

図 2.5.1に土地利用図を示す。また、1986 年から 2010 年の土地利用分類毎の変化を表 2.5.1に示す。

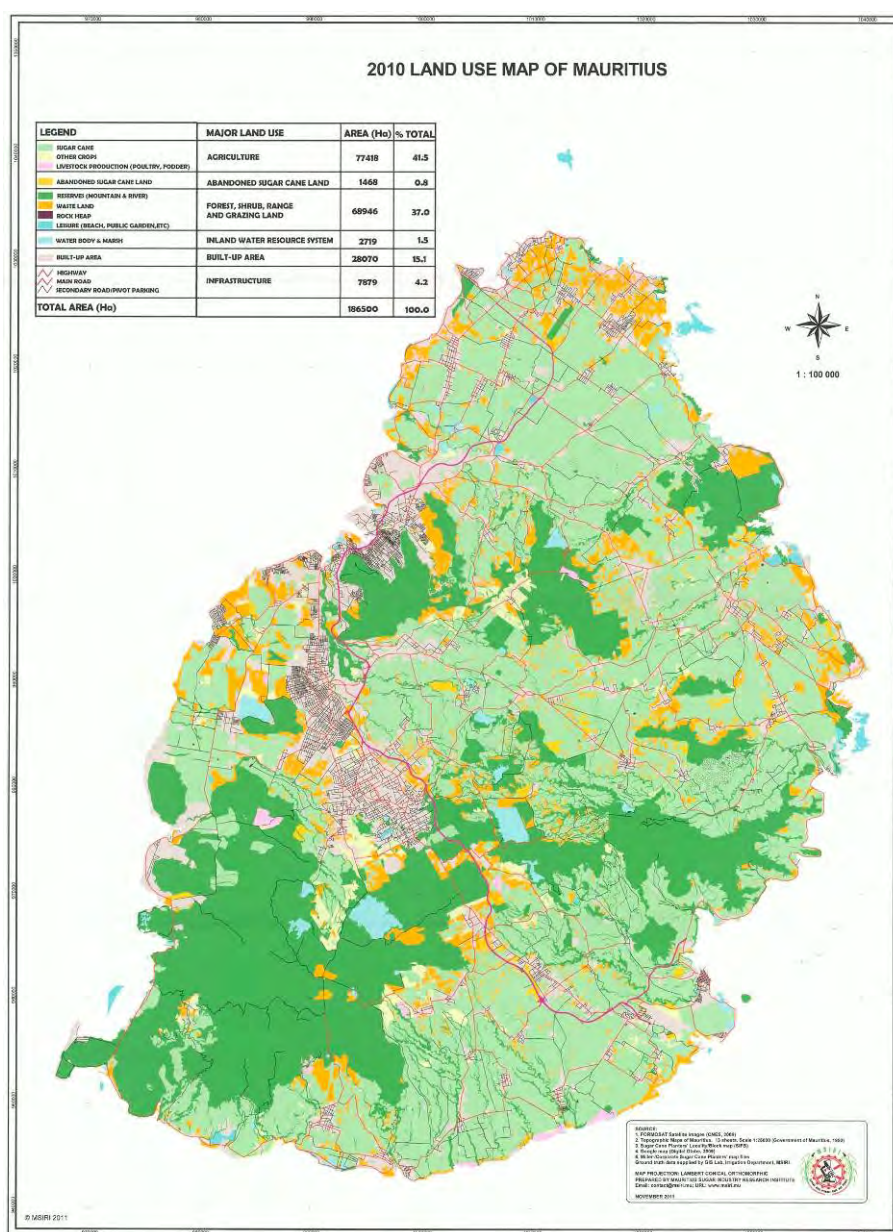


図2.5.1 土地利用図⁷

1986年から2010年の25年間に、農地が14%減少した一方、森林・低木・牧草地は5%、水源（湖沼、貯水池など）は4%増加している。市街地は12%、道路などの基盤施設は127%増加している。道路網は水平方向に拡張・開発されるが、市街地は土地の高度利用化で、水平方向よりも垂直方向への開発の傾向がある。そのため、道路と市街地を比較した場合、市街地の増加量は少ない。当該期間中、「モ」国は既存道路の延長や中央分離帯付き幹線道路へ改修・性能向上、新規道路建設などに重点を置いてきたことも道路面積の増加の一因と考えられる。農地減少の主たる要因としては、住宅地・不動産開発、道路開発などが考えられる。

表2.5.1 土地利用分類毎の変化(期間:1986～2010年)⁸

土地利用分類	面積 (ha)			変化[%]
	1986年	2010年	差	
農地 (さとうきび、他)	90,000	77,418	-12,582	-14
さとうきび耕作放棄地	n/a	1,468	1,468	n/a
森林、低木、牧草地	65,400	68,946	3,546	5
市街地	25,000	28,070	3,070	12
基盤施設 (道路、歩道など)	3,465	7,879	4,414	127
水源(湖沼、貯水池など)	2,610	2,719	109	4
計	186,475	186,500		

b. 人口分布

図 2.5.2に人口分布図を示す。首都の Port Louis から、Curepipe へ主要幹線道路沿いに都市が発展、人口が分布していることが分かる。これら地方都市には公共施設・民間商業施設などが整備され、利便性が高まったことがこのような人口分布の主たる要因の 1 つと考えられる。

一方、首都や主要幹線道路から離れた地方でも、Flaq、Maebourg、Goodlands のように、急速な経済拠点開発により、人口 1 万～3 万人規模の集落が存在する。

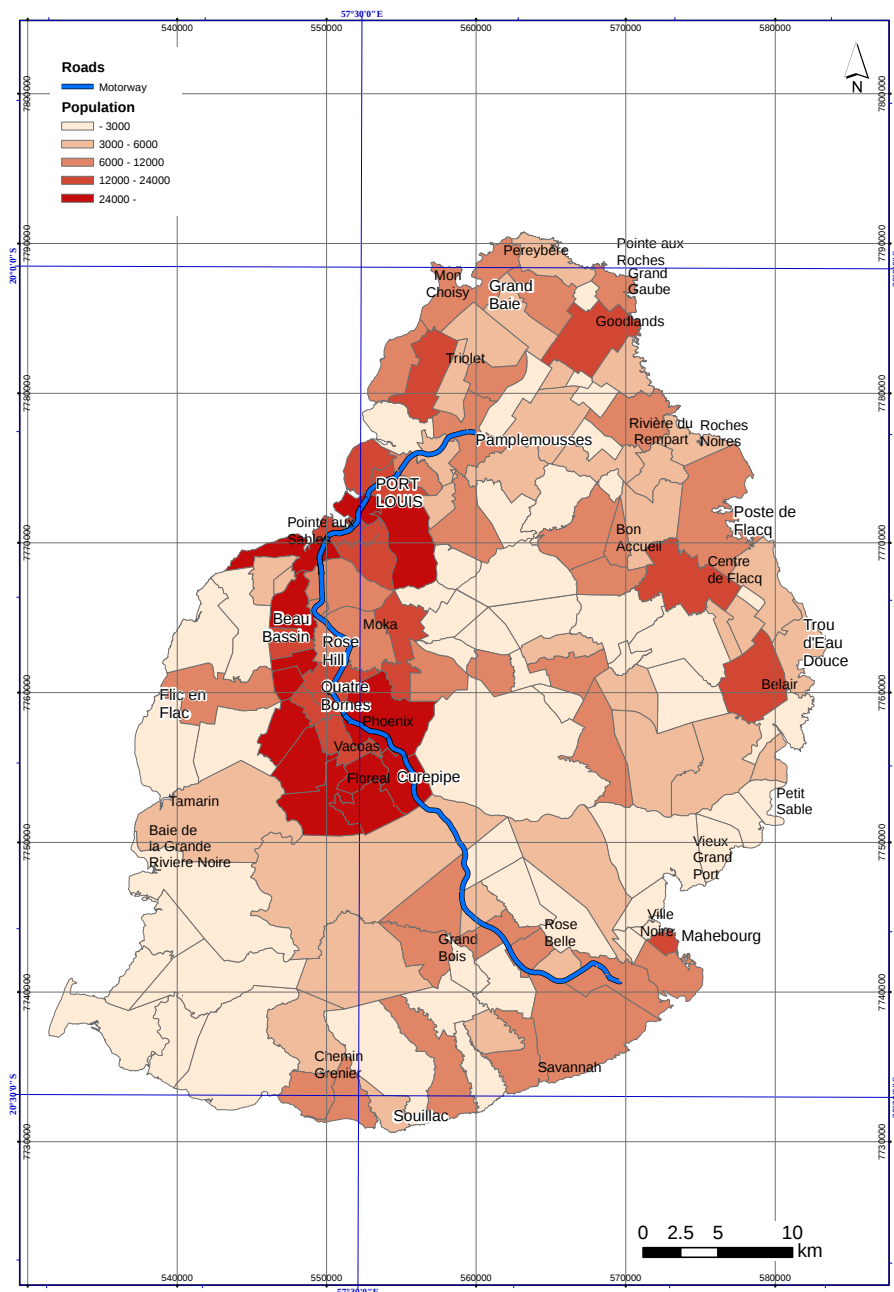


図2.5.2 人口分布図⁹

c. 貧困分布

図 2.5.3に「モ」国統計局による貧困分布図を示す。この貧困分布図は貧困指標の空間分布を地域別に表したものであり、「モ」国における貧困レベルの概観を捉えることに主眼を置いている。各行政界は貧困レベルに応じて4段階に分類・色分けされている。

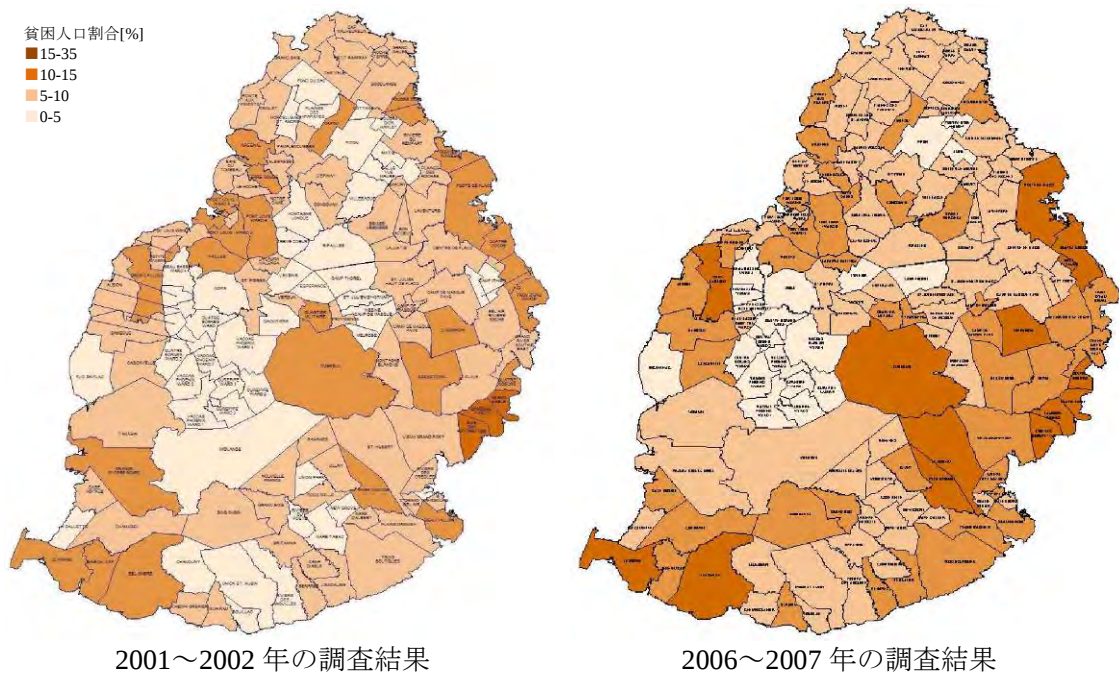


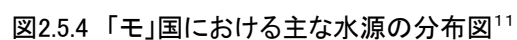
図2.5.3 貧困分布図¹⁰

2001～2002年の調査結果と2006～07年の調査結果の比較から下記のようなことが読み取ることが出来る。

- Quatre Bornes 1区・2区, Beau Bassin / Rose Hill 4区、Vacoas / Phoenix 3区に着目すると、2001～2002年、これら「モ」国における主要都市の貧困レベルは低い（貧困者数の割合が少ない）ことが分かる。しかし、Vacoas / Phoenix 1区については、2001～2002年の調査では貧困割合2.6%であったが、2006～2007年の調査では4.7%となった。
- 2001～2002年と2006～2006年の調査結果を比較すると、「モ」国主要都市における貧困レベル5%以下の行政界の数は48から20に減少した。一方、貧困レベル15%以上の行政界の数は4から15に増加した。
- 貧困度レベルが改善された26の行政界のほとんどはRivière du Rempart県にある。一方、貧困レベルが悪化した行政界のほとんどは「モ」国東部・南部に位置している。

d. 水源

図2.5.4に「モ」国における主な水源の分布図を示す。「モ」国の主たる水源は、湧水、貯水池、河川、井戸である。家庭用給水、農業用水、工業用水の需要は年々増加傾向にある。ほとんどの家庭用水は中央高原に建設された貯水池から供給されている。地下水掘削孔のほとんどは中央高原西側と北部平原に位置しており、これらは家庭用の水を供給している。いくつかの河川には家庭用水供給のため、関が建設されている。La Ferme、La Micoliere 及び Midlands ダムの一部は農業灌漑用水に使われている。



2-31

表2.5.2 水利用の内訳¹²

用途	表流水		地下水	合計
	河川取水	貯水		
家庭用、工業用、観光	38	48	113	199
工業用（民間掘削孔）	-	-	10	10
農業用	370	76	22	468
水力発電	131	174	-	305
計	539	298	145	982

（単位：百万立米/年）

2.5.2 地すべりに関する意識調査

開発計画政策指針（PPG: Planning Policy Guidance）への提言や IEC（Information, Education, and Communication）の活動（住民の防災意識啓発活動や避難訓練など）のための基礎情報収集を目的として、住民の意識調査を実施した。この調査概要を下記に示す。

表2.5.3 住民の意識調査概要（出典：JICA 調査団）

項目	内容
期間	2012年8月上旬～9月中旬
対象・回答票数	「モ」国全域：約300世帯
スケジュール	<7月中旬> - 調査への協力を得るため、関係機関との協議・調整、調査員確保など - MPI：調査協力機関の紹介、調査内容について協議 - MHL：調査内容について協議 - MLG（自治省：Ministry of Local Government & Outer Islands）：自治体・調査対象（コミュニティ）の紹介依頼 - CSO（統計局：The Central Statistics office）：調査方法、段取り、注意点などについて助言を得る。 - 各自治体：調査協力依頼、調査内容についての協議 <7月下旬> - 調査員を対象とした調査方法確認のための説明会 - 地すべり土地利用政策ワークショップにて、MPI、MHL、自治体職員と調査方法・内容について検討 <8月上旬～9月中旬> - 調査員を対象とした調査方法確認のための説明会 - 調査実施、集計
方法	聞き取り調査：調査員による対面聞き取り調査
備考	*1:大部分の設問に対する記入がない場合、また、誤記や矛盾、問題があると考えられる回答票は除いた。 *2: 集計に当たっては、可能な限り多くの意見を把握することを念頭に置いた。このため、各設問の回答合計数が回答票数以下となる場合がある。 *3: 調査開始前に、MLG・自治体を通して、議員、住民、警察、メディアへの周知を行った

< 調査対象の設定について >

調査対象の分布に偏りが出ないように、「モ」国を構成する 9 つの地方自治体毎に調査対象の配分を検討した。

MPI、MHL、MLG、Port Louis 市議会、Grand Port/Savanne 地方議会との協議の結果、調査対象については、地域の状況や地域住民の意向を把握している「Social Worker」と呼ばれる住民が望ましいとのアドバイスが得られた。「Social Worker」は政治や宗教、人種などに影響されず、住民の意見を行政に伝えることもある。以上を踏まえ、本調査では、自治体の協力を得ながら可能な限り上記「Social Worker」を対象とし、それが難しい地域では、無作為に抽出された住民を対象とした。

調査項目及び内容を下表に示す。

表2.5.4 住民意識調査の調査項目・内容（出典：JICA 調査団）

調査項目	調査内容
基礎情報	年齢、性別、居住歴、土地所有、建物所有
地すべりに関する意識	地すべりの認識、地すべり被害の経験、地すべり被害の懸念
「モ」国既存の警戒体制	「モ」国の警戒体制の認識、警戒体制の必要性、必要な防災情報
「モ」国既存の開発規制	開発・建築規制の認識、斜面地での開発規制の認識
地すべり警戒区域の設定	警戒区域の設定、行政による説明の必要性
ハザードマップの整備	ハザードマップ公表の必要性
地すべり警戒区域での規制	開発・建築規制の必要性、建築指導の必要性、移転の必要性、移転に関する補助、移転の動機
避難訓練	地すべり発生時の避難行動、避難訓練への参加経験、避難訓練への参加意思、避難訓練への参加の動機付け
自由記述・コメント	地すべり災害に関するコメント

紙幅の関係から、本レポートでは下記について報告する。各質問の集計結果については、巻末資料を参照されたい。

- ・ 全サンプルの単純集計結果の概要
- ・ パイロットサイト 3 地区（Chitrakoot、Quatre Soeurs、Vallee Pitot）の集計結果の比較

a. 全サンプルの単純集計結果の概要

全サンプルの単純集計結果の概要として、単純集計結果から得られた主なポイントを下表に示す。

表2.5.5 全サンプルの単純集計結果の概要（出典：JICA 調査団）

調査項目	調査内容
基礎情報	・ 回答票数が少ないエリアが一部あったものの、ほとんどのエリアから偏り無く回答が得られた ・ 年齢・性別ともに偏り無く回答が得られた ・ 居住歴：11～30年と31～50年がそれぞれ3割程度で最も多い ・ 土地所有・建物所有：85%以上の回答者が土地・建物を所有

地すべりに関する意識	- 地すべりの認知度: 約7割が地すべりを知っている。 - 地すべりに関する情報の入手方法: 主な情報入手方法は: TV、ラジオ、新聞、口頭でのコミュニケーション
「モ」国既存の警戒体制	- 回答者の約6割は「モ」国の警戒体制を知らない - 警報システムの必要性: 97%の回答者が必要だと回答している - 警報システムに求められる情報: 避難所、自宅周辺の危険箇所、避難のタイミング、避難路
「モ」国既存の開発規制	86%の回答者が開発・建築申請システムを知っている - 開発申請制度に関する情報の入手手段: 口頭でのコミュニケーションが最も多く、次いで、テレビ・ラジオ、新聞 - 斜面地での開発規制の認知度: 開発・建築申請システムの認知度と比較すると10%程度低い
地すべり警戒区域の設定	約97%の回答者が警戒区域の設定に賛成
ハザードマップの整備	約97%以上の回答者がハザードマップの公開に賛成
地すべり警戒区域での規制	- 警戒区域での開発・建築規制、行政による建築指導導入: 約95%の回答者が賛成 - 地すべり危険地からの移転: 約9割の回答者が賛成 - 移転のために求められる公的支援・援助: 金融支援、移転先の土地建物の確保
避難訓練	- 災害発生時に取る行動として多かった意見: 自治体への報告、自主的避難、呼びかけによる避難 - 約9割の回答者が避難訓練の参加意志を持っている

b. パイロットサイト3地区（Chitrakoot、Quatre Soeurs、Vallee Pitot）の集計結果の比較

パイロットサイト3地区（Chitrakoot、Quatre Soeurs、Vallee Pitot）の集計を比較する。今後、詳細な分析が求められるが、ここでは、開発規制と移転に関する質問の単純集計結果のポイントをまとめ、比較した。3地区とも開発・建築規制、移転について、基本的には肯定的に捉えており、受け入れる用意があると考えられる。3地区とも開発・建築規制、移転について肯定的だが、その度合いを比較した場合、下表のとおりとなる。

表2.5.6 パイロットサイト3地区の開発規制と移転に関する意識の比較（出典: JICA 調査団）

	開発規制	移転
Chitrakoot	肯定的意見を持つ住民が多い	公的支援・補助の有無にかかわらず前向きな持つ住民が多い
Quatre Soeurs	強い肯定的意見を持つ住民が多い	公的支援・補助の有無にかかわらず移転についても強い肯定的意見を持つ住民が多い
Vallee Pitot	- どちらかといえば肯定的 3地区の中では強い肯定的意見を持つ住民は最も少ない	- どちらかといえば肯定的 - 否定的意見を持つ住民も1～2割程度いる - 公的支援・補助があれば、肯定的意見を持つ住民の割合が増える - 強い前向きな意見を持つ住民は3地区中最も少ない

2.6 組織・制度

2.6.1 災害対策枠組

「モ」国において、自然災害対策には多くの省庁・組織が関わっている。毎年更新される「災害スキーム 2014」によると、地すべりについては、災害発生時の対策の流れに沿って、7 省庁・11 組織の役割分担と責任が記載されている。

a. 災害対策本部

「モ」国における総合防災対策本部として、「サイクロン・自然災害対策委員会 (Cyclone and Other Natural Disasters Committee (CONDC))」が首相府管轄下の警察本部内に、30 年以上前に発足している。CONDC は、21 省庁、9 つの地方行政府、14 の官民組織から構成されている¹³。CONDC は「モ」国の明確且つ実効的な災害対策管理体制を構築する上で重要な役割を担ってきたが、2013 年 10 月に「国家防災協議会 (National Disaster Risk Reduction and Management Council)」が設置され、CONDC の機能が移行した。「災害スキーム 2014」によると、国家防災協議会は、防災政策・戦略実施に向けた各機関の調整や安全管理の促進にかかる役割を担うこととなっている。また、国家防災センター (National Disaster Risk Reduction and Management Centre (NDRRMC)) が首相府内に設置され、中央・地方すべてのレベルにおける防災計画やとりまとめを中心的に行うほか、防災戦略を立案することとなっている。NDRRMC は常設であるが、災害発生時には緊急対策本部 (Emergency Operation Command (EOC)) が設置され、早期警戒・災害対応・復旧時の対応を行う。災害の大きさによっては危機管理委員会 (Crisis Committee) が設置され、災害対応実施機関の管理や災害対応方針の決定、避難指示の発令等を実施する。また、地域防災センター (Local Disaster Risk Reduction and Management Centre (LDRRMC)) も各地方自治体の下に設置され、各地区における防災関連機関の調整や、津波・高波、豪雨及び地すべりに対する避難訓練を行う²⁾ (表 2.6.1)。

表2.6.1 防災対策本部機能（出典：JICA 調査団）

組織	稼働時期と構成	災害対策における役割概略
国家防災協議会 (National Disaster Risk Reduction Council)	➤ 常設 ➤ 構成 - 内閣官房長官 - 財政書記官 - 首相府SO - 警察庁長官 - エネルギー省SO - 環境・持続開発省SO - 地方行政・島嶼部省SO - 公共インフラ省SO - 社会保障省SO - 男女平等・児童開発・福祉省SO - ロドリゲス島最高行政官 - 島嶼部開発法人代表 - 消防署長 - 気象庁長官 - 経営者団体代表 - 経済協議会代表 - 赤十字代表 - NGO代表 (※SO: Supervising Officer)	➤ CONDC の機能を 2013 年 10 月に移行 ➤ 防災政策・戦略実施に向けた各機関の調整 ➤ 安全管理促進
首相府 (PMO)		
「国家防災セン	➤ 常設	➤ 中央・地方すべてのレベルにおける防

組織		稼働時期と構成	災害対策における役割概略
	ター」 (NDRRMC)		➢ 災計画策定・取りまとめ ➢ 防災戦略の立案
	緊急対策本部(EOC)	➢ 災害発生時のみ ➢ 構成 各省庁代表 各官民機関代表 NGO代表 民間企業代表	➢ 早期警戒、災害対応、復旧時における調整
	危機管理委員会(Crisis Committee)	➢ 災害発生時のみ ➢ NDRRMC長官の要請により招集 ➢ 構成 官房長長官 警察庁長官 NDRRMC長官 その他(災害の種類により決定)	➢ 災害対応実施機関の管理 ➢ 災害対応方針の決定 ➢ 避難指示の発令
	■政府情報局	➢ 常設	➢ 外部との公的情報交信の窓口 ➢ 適切な公的支援が受けられるよう適切な情報の流布 ➢ 適切な政府決定に必要な情報の政府への提供 ➢ 中央政府と地方行政機関及び国際報道機関との仲立ち
	地域防災センター(LDRRMC)	➢ 常設 ➢ 9地区の地方自治体の下に設置 ➢ 構成 地方自治体長官(市長) 公共インフラ省代表 社会保障省代表 環境・持続開発省代表 教育省代表 地方行政・島嶼部省代表 男女平等・児童開発・福祉省代表 気象庁代表 警察代表 消防署代表 地方自治体代表 町会代表 中央電力公社代表 中央水道局代表 道路開発公社代表 水管理局代表 エネルギー省水資源部代表 赤十字代表	➢ 各地区の防災にかかる機関の調整 ➢ 津波・高波、豪雨及び地すべりに対する避難訓練実施

参考:首相府(2014)「災害スキーム 2014 (National Disasters Scheme 2014)」

b. 「地すべり」災害対策に関する組織¹⁴

恒常的地すべり防災の要であるモニタリングの強化を図る為、国家開発ユニット (the National Development Unit、NDU)から地すべり対策機能を分離し、2009年9月、インフラ省の土木・建築課に地すべり管理兼修繕・復旧ユニット(Landslide Management Unit/Repairs and Rehabilitation Unit (LMU/RRU)) が設置された。地すべり対策における主要組織を下表に示す。

表2.6.2 地すべり対策に係る主要機関とその役割(出典: JICA 調査団)

組織	稼働時期	地すべり対策における役割概略
公共インフラ・国家開発・陸上交通・海運省、国家開発ユニット (MPI)	常設	➤ 国家開発ユニット(NDU) - 地すべり調査の実施 - 河川における地すべり災害対応 ➤ 地すべり対策ユニット(LMU) - 恒常的地すべり防災の要である“モニタリング”の強化を図る - 地すべり調査の実施 - NDU及びRDAの担当以外の地すべり災害対応 ➤ 道路開発公社 (RDA) - 地すべり調査の実施 - 道路にかかる地すべり災害対応
国家防災センター (NDRRMC)	常設	➤ 地すべり災害情報の取りまとめ ➤ 地すべり災害発生時、関係機関の調整を行うほか、危機管理委員会を設置して警報発令等を行う ➤ 災害スキームの発行
警察	常設	➤ 緊急時、住民への警戒呼びかけ、住民避難のサポート
気象庁 (MMS)	常設	➤ 雨量データの提供
地方自治体	常設	➤ 地すべり調査の実施 ➤ モニタリング実施
住宅・土地省 (MHL)	常設	➤ 開発計画政策指針 (Planning Policy Guidance (PPG)) の更新
厚生省 (MHQL)	常設	➤ 地すべり災害発生時、けが人の応急処置場所・医療品・医療従事者の確保
社会保障省	常設	➤ 早期警戒・災害発生時、緊急避難場所の確保
男女平等・児童開発・福祉省	常設	➤ 早期警戒・災害発生時、緊急避難場所の確保
教育省	常設	➤ 災害発生時、教育機関の閉鎖
情報コミュニケーション技術省	常設	➤
政府情報局	常設	➤ 地方自治体、MPI、NDRRMC 等と協働で地すべり啓発活動用のポスターや短編フィルムを作成
消防局	常設	➤
中央水道局	常設	➤
中央電力公社	常設	➤
モーリシャス放送局 (MBC)	常設	➤ 緊急時、住民への警戒呼びかけ
赤十字	常設	➤
セント・ジョン救急車	常設	➤

参考: 首相府 (2014) 「災害スキーム 2014 (National Disasters Scheme 2014)」

表2.6.3 地すべり平時・緊急時に係る主要機関(出典: JICA 調査団)

		公共インフラ省(MPI)	NDRMC	警察	気象庁(MNS)	地方自治体	住宅・土地省(MHL)	厚生省(MHOL)	社会保障省(MSS)	男女平等・児童開発・福祉省	教育省(MEHR)	情報コミュニケーション技術省	政府情報局	消防局	中央水道局	中央電力公社	モーリシャス放送局(MBC)	赤十字	セント・ジョン救急車
平時																			
緊急時	Stage I																		
	Stage II																		
	Stage III																		

* ■: 平時及び緊急時(Stage I～Ⅲ)において役割が明記されている組織

参考: 首相府 (2014) 「災害スキーム 2014 (National Disasters Scheme 2014)」

2.7 経済調査

2.7.1 モーリシャスの経済指標

「モ」国の人口は 2012 年から 0.4%の成長率を示し、2013 年の人口は 1,296,303 人となっている。2013 年の 0 歳～14 歳の人口は総人口の 20%を占めており、15 歳～64 歳の人口、65 歳以上の人口は総人口のそれぞれ 71 パーセント、9%となっている¹⁵。

「モ」国財務省の統計によると、「モ」国の失業率は、2006 年に過去 30 年間で最も高い 9.6%を記録した。その後、2008 年には 7.2%まで減少したが、2012 年には 8.1%に再び上昇している¹⁶。

「モ」国における国内総生産（GDP）、国民一人当たりの GDP 及び GDP 成長率は以下のとおり。

表2.7.1 GDP、一人当たり GDP 及び GDP 成長率¹⁷

	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
GDP(米ドル)	9,718,331,363	11,252,405,860	11,442,063,228	11,938,403,909
一人当たり GDP (米ドル)	7,587	8,750	8,862	9,210
GDP 成長率	4.1	3.9	3.2	3.2

上記の表 2.7.1 に示されているように、「モ」国の経済は堅調であり、GDP 成長率は年間 3%以上を維持している。外国からの投資も積極的で、2012 年には GDP の 3.4%にあたる 3.6 億米ドルを記録した。また、経済は輸出志向型（2012 年は 60 億米ドル、GDP の 55%）となっており、統制のとれた政府組織で、2013 年における国の透明性を示す国際的指標で 52 位となっている。更に、2014 年世界銀行のビジネスレポートによると、ビジネス向け事業環境はアフリカではトップランクで、世界でも 20 位となっている。

「モ」国は、砂糖、繊維、観光、金融サービスの 4 分野を経済の中心としている。そ

のため、経済の変動は受けにくく、競争力及び政策強化により経済成長を遂げてきた。さとうきび産業は現在でも「モ」国経済の重要な位置を占めており、2012 年の輸出量は 2011 年に比べて 3.5%増加している¹⁸。また、観光業は 2013 年に 11.5%の成長率を示している。金融サービスも重要となっており、特別基金 5,000 万ルピー使って金融市場の拡大を図っている¹⁹。

1992 年から 2013 年における、「モ」国のインフレ率は 10%以下を維持している。2006 年から 2008 年のインフレ率は約 9%を記録し、過去 30 年間で比較的高いインフレ率となった²⁰。2010 年から 2013 年のインフレ率は 3%から 6.5%で推移しており、2010 年のインフレ率は 2.9%、2011 年は 6.5%、2012 年は 3.9%、2013 年は 3.5%となっている²¹

モーリシャスの歳入及び歳出は年々増加傾向にあり、2010 年の歳入が 655 億 Rs であったのに対し、2013 年の歳入は 783 億 Rs にまで増加している。また、歳出は、2010 年が 750 億 Rs、2013 年が 911 億 Rs となっている²²。

「モ」国における 2013 年の財政赤字は GDP の 3.7%となっており、その 97%が投資支出によるものとなっている。公共部門債務は GDP の 54.8%で、「モ」国政府は 2018 年までに GDP の 50%まで下げることを目標としている²³。

2.7.2 モーリシャスの経済政策

「モ」国政府は、2006 年にマルチセクター改革アジェンダに着手し、経済社会における競争力強化をはかる事を目標とした。これらの改革は失業を減らし、新たな分野の開発を通じた経済の多様化を加速・成長させ成功を収めた。これら改革は、世界的な金融危機によるマイナスの影響を緩和させ、2009 年初めの包括的で一時的な反循環的政策を実行し、当局にとって財政的な余裕となった。この財政刺激策は、2007/08 年の世界金融危機による衝撃を吸収し、2010 年 8 月に一旦強化され、ユーロ安の影響を緩和するための国内総生産（GDP）の 4 パーセント程度の景気刺激となった。

2010 年以来、「モ」国政府は、より多様な輸出市場に遷移して「モ」国の競争力強化するため、次世代の改革プログラムに着手した。この改革の主要要素として、(i)公務員や公営企業を含む公共サービスの改善、(ii) 重大なボトルネック克服のためのインフラ開発（特に運輸）、(iii) 生産性向上による能力開発、人材育成、(iv) 社会的保護、(v) 更なる自由化としている。

財務・経済開発省（Ministry of Finance and Economic Development (MoFED)）によるプログラムベースの予算編成（Programme Based Budgeting (PBB)）の導入で、予算プロセスが改善され、「モ」国の予算管理が向上した。焦点は構造改革が徐々に浸透し、政策の優先順位に応じた資源配分を深化させる事である。

プログラムベースによる予算編成により、公的資金の使用に対する透明性と説明責任が担保された。実際、それは戦略的な管理および意思決定ツールが公共サービスをより効率的かつ効果的となるため、プログラムベースの予算編成は今後も運用されると予想する。

短期的には、国家の予算編成プロセスの改善させるための手段として、一般財政フレームワークの一部として、以下の分野で実施される。

- 2つの重要法律の草案作成：すなわち、公的資金使途の透明性と説明責任に関連する (a) 財政管理法 (b) 公開監査法案

- 常に計画・実施ユニット（Planning and Implementation Units (PIU)）を設定するよう関係省庁に促し、計画と予算とのリンクを強化する。基本的な目的は、公共サービスの実施にあたり、省・部署の可能な財源や人的資源を考慮しながら、戦略に基づいた計画の策定を図り、如何なる計画であっても確実に実行する好機を得る事が重要である。
- プログラム設計とパフォーマンス指標を更に改善する。
- PBB の計画・実施、関連するキャパシティ・ビルディング・プログラムの構築により、公共部門の利害関係者へのトレーニングを実施でき、PBB に対する理解が深まり、更には、戦略的マネジメントツールとして利用する。
- 予算編成と支出の分析を強化する予算プロセスを自動化し、プロジェクトを実施する。
- 調達過程の障害やボトルネックをプロジェクト調達の段階で抽出され、スピードと透明性の適切なバランスを保ちつつプロジェクト実施を図る。そのため、PBB をサポートするために必要な調達システムの更なる改良を実施する。
- プロジェクト開発と実施の正確な評価のため MoFED でプロジェクト設計・監視ユニットを設定する。
- 政府内監視およびレポート作成機能の向上のため、非財務データの報告を含め更なる財務会計システム（Treasury Accounting System (TAS)）の開発を進める。
- PBB のフレームワークと進行中のパフォーマンスマネジメントシステム（Performance Management System (PMS)）とリンクさせる。

また、戦略的な計画に財政政策と中期支出枠組み（Medium-Term Expenditure Framework (MTEF)）をリンクさせるプロセスにより、支出の上限を遵守・改善させ、全体の予算プロセスのフロントエンドを徐々に強化する。

- 支出の上限を決める戦略を決め、収入、負債、赤字、支出を統合、完全な財政フレームとして作成
- 早期に政策の優先順位を決定する事により、政策の優先付けと資源配分との連携強化

また、公共支出と財政アカウンタビリティ論（Public Expenditure and Financial Accountability (PEFA)）による公共財政管理（Public Financial Management (PFM)）システムを評価する事が予想される。評価については、i) PFM による定量的および定性的な評価、ii) 現在のパフォーマンスについての政府のレビューが含まれる事になる。

RFM 変更プログラムと PEFA 評価の 2007 年の基礎情報との比較を通して、iii) 更なる PFM の改革活動、iv) 設計へのキー入力可能がパートナーに PFM 改革の更なる協力の開発を議論する政府のため、必要な受託者と調達のレビューを提供する。

省レベルの戦略計画を策定する過程において、年間予算計画に沿った改善を予定する。計画立案の機能を二重にする必要性はないが、計画の改善は省庁間の計画レベルを促進

し、サービス提供に向け十分にリンクされ予算化される事を目的とする。更には、計画の質は時間の経過により改善され、マネジメント体制は、競合する政策やプログラムとその財務的影響を評価に当たり、投資、再発性、人材等の点でよい立場にあり、政策立案者による意思決定を支援するために、適切な分析が可能となる。

また、PBB に加え、2013 年には公共財政管理改善のための新たな取り組みが導入された。具体的な取り組みとしては、各省庁は 10 年単位の長期的な成果・指標と、中期的な活動計画を基に 3 ヶ年計画を立案するようになったことや、公共財政管理の法的な枠組み強化、リスク管理戦略の立案、予算執行のモニタリング評価制度の構築等が挙げられる²⁴。

2.7.3 「モ」国の予算方針(2014年)

2013 年 11 月に発表された予算演説 2014 では、「モ」国は政府は高所得国になることを目標に掲げ、投資及び経済成長の促進と社会保障の戦略を打ち出している。

a.1 投資及び経済成長の促進

「モ」国政府は投資及び経済成長の促進を図るため、2014 年は以下の分野の強化を図ることとしている。

- マクロ経済の安定化と経済成長の促進
- 公共部門投資：空港建設や漁港整備を進め、人・物・サービスの移動を促進することにより、経済活性化を図る。
- 新規経済分野の開拓及び伝統産業の支援：上述の 2.7.1 モーリシャスの経済指標にあるとおり、「モ」国では、砂糖、繊維、観光、金融サービスの 4 分野が経済の中心となっている。今後も同 4 分野の支援を行うとともに、海洋・再生エネルギー等新たな分野の開拓にも力を入れる。
- 中小企業支援：中小企業金融枠組やローン等を導入し、中小企業を支援する。
- 人材育成：経済成長には人材育成が欠かせないことから、教育分野への予算を 148 億 Rs 確保し、未就学レベルから初・中・高等教育、生涯学習レベルまで支援する。
- 労働環境整備：外国人労働者も含む労働者の労働環境を整備する。
- 公共部門の強化：公共部門のアカウンタビリティや実績を強化し、行政サービスをより効果的・効率的にする。

a.2 社会保障

社会保障に焦点を当てた 2014 年の政策は以下のとおり。

- 医療制度改善：「モ」国政府は、医療分野に 92 億 Rs の予算を割り当て、医療従事者の人材育成、二大疾患（糖尿病及び癌）の削減及び病院建設を進める。
- 自然災害対策：近年、自然災害の被害が拡大していることを踏まえ、国家防災センター（NDRRMC）の適切な人員配置、IT を活用した早期警戒や緊急警報システム、緊急対応の資金の確保等を促進する。

- 社会的弱者支援：高齢者の年金増額や子供への手当、貧困家庭・障がい者・女性等への支援の充実化を図る。
- スポーツ・文化振興：スポーツ施設の建設・改修や楽器の配布を行う。
- 生活向上：公共住宅の整備やローン条件の改善等を行い、生活向上を図る。
- 市民向け行政サービスの向上：最先端技術の導入に 2 億 Rs を割り当て、手順の効率化を進める。
- 消費拡大：特定の商品の付加価値税還元等を行い、国民の購買力を高め、経済活性化につなげる。
- ロドリゲス島及びアガリガ島における開発：観光業の活性化や社会経済開発を促進する。

2.7.4 公共インフラ省(MPI)の予算方針(2014年-2016年)

上述のとおり、「モ」国では 3 ヶ年の PBB 予算編成が導入されており、2013 年 11 月に 2014 年から 2016 年の 3 年間ににおける MPI の予算方針が発表された。右 3 年間ににおける MPI の戦略は以下のとおり。

- 交通網強化のための道路維持管理計画の採択
- より効率的な公共交通サービスを提供するための鉄道システムの導入
- 持続可能なモーリシャス（Maurice Ile Durable）に沿った持続可能な方針の立案
- 道路安全監査導入による道路の安全強化
- 車両検査の民政化
- 排水設備建設及び維持管理を統一して実施するための国家排水機関の設置
- スポーツ施設等を含む公共施設の改修・建設²⁵

表2.7.2 プログラムベースによる予算(MPI)²⁶

コード	プログラム名	2013 年 予測	2014 年 予測	2015 年 計画	2016 年 計画
321	公共インフラ政策・戦略立案	149,205,000	146,790,000	149,090,000	151,875,000
322	庁舎建設・維持管理	376,534,000	561,694,000	529,310,000	529,277,000
32202	インフラ関連の建築物設計・施工監理	135,481,000	156,616,000	165,641,000	168,991,000
32203	建築物の維持管理・改修	241,053,000	300,848,000	254,259,000	248,945,000
32204	公共施設における電気系統の設計・施工・維持管理	-	104,230,000	109,410,000	111,341,000
323	道路・橋梁の建設・維持管理	5,432,500,000	912,000,000	1,197,200,000	1,372,400,000
32301	道路・橋梁の建設・改修	5,152,500,000	-	-	-
32302	道路・橋梁の維持管理	280,000,000	-	-	-

324	陸上交通管理	1,535,947,000	1,465,989,000	1,404,934,000	1,413,838,000
32401	道路交通管理	1,310,541,000	1,258,569,000	1,257,364,000	1,260,730,000
32402	交通管理・道路安全	225,406,000	207,420,000	147,570,000	153,108,000
325	海上保安	65,839,000	91,376,000	72,681,000	71,426,000
404	地域密着型のインフラ整備	597,200,000	441,702,000	341,594,000	334,257,000
405	土地排水・流域管理	-	430,217,000	317,001,000	242,213,000
	合計	8,157,225,000	4,049,768,000	4,011,810,000	4,115,286,000

(単位:Rs)

2.7.5 地すべり対策兼修繕・復旧ユニット(LMU/RRU)の予算

LMU/RRUにおいて、地すべりにかかる2015年から2017年までの年間予算は、以下を予定している。

表2.7.3 地すべり関連予算(案) (出典:JICA調査団)

項目	災害種	2015	2016	2017
対策工事用付加価値税				
Chitrakoot (Block A) - Section 1	地すべり	2,250,000		
対策工事におけるコンサルタント費				
Chitrakoot (Block A) - Section 2	地すべり	400,000		
Vallee Pitot (near Eidgah)	地すべり	450,000		
Morcellement Hermitage, Coromandel	斜面崩壊	250,000		
L'Eau Bouillie	盛土被害	250,000		
Pailles access road to Les Guibies and along motorway, near flyover bridge	斜面崩壊	350,000		
Pailles Soreze region	斜面崩壊	500,000		
Riviere des Anguilles, near the bridge	溪岸侵食	450,000		
Post Relocation Works at Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Streert, Old Grand Port	地すべり	250,000		
Piper Morcellement Piat	溪岸侵食	150,000		
Temple Road, Creve Coeur	擁壁被害	100,000		
Congomah Village Council (Ramlakhan)	溪岸侵食	100,000		
Congomah Village Council (Leekraj)	擁壁被害	100,000		
Congomah Village Council (Frederick)	擁壁被害	100,000		
Congomah Village Council (Blackburn Lanes)	盛土被害	100,000		
Les Mariannes Community Centre (Road area)	斜面崩壊	100,000		
Les Mariannes Community Centre (Resident area)	溪岸侵食	100,000		
Le Pouce Street	溪岸侵食	100,000		
Justice Street (near Kalimata Mandir)	擁壁被害	400,000		
Pouce Stream	溪岸侵食	300,000		
Pailles access road Morcellement des Aloes from Avenue M.Leal (on hillside)	溪岸侵食	150,000		
Plaine Champagne Road, opposite "Musee Touche Dubois"	斜面崩壊	100,000		
Chamarel near Restaurant Le Chamarel and Road Side	盛土被害	100,000		
Baie du Cap: (i) Near St Francois d'Assise Church	土石流	100,000		
Bambous Virieux, Rajiv Gandhi Street (near Bhavaury House), Impasse Bhola	斜面崩壊	100,000		
Trou-Aux-Cerfs	斜面崩壊	100,000		
River Bank at Cite L'Oiseau	溪岸侵食	100,000		
Louis de Rochecouste (Riviere Seche)	溪岸侵食	100,000		

Montee S, GRNW Chitrakoot (Block B)	溪岸侵食 地すべり	100,000	400,000	
対策工事費				
Chitrakoot (Block A) - Section 2	地すべり	8,000,000		
Vallee Pitot (near Eidgah	地すべり	9,000,000		
Maconde Region Baie du Cap - Phase 2	落石	10,000,000		
Boulevard Victoria, Montagne Coupe	擁壁被害	7,000,000		
Chitrakoot (Block B)	地すべり		6,000,000	
L'Eau Bouillie	盛土被害		5,000,000	
Pailles: (i) access road to Les Guibies	斜面崩壊		7,000,000	
Pailles: (iii) Soreze region	斜面崩壊		3,000,000	
Riviere des Anguilles, near the bridge	溪岸侵食		9,000,000	
Piper Morcellement Piat	溪岸侵食		3,000,000	
Temple Road, Creve Coeur	擁壁被害			詳細調査により決定
遠隔モニタリング費				
Chitrakoot, Vallee Pitot, Quatre- Soeurs and La Butte	地すべり	7,000,000		
調査にかかるコンサルタント費				
Old Moka Road, Camp Chapelon	地すべり	575,000		
Candos Hill, LallBahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues	地すべり	125,000		
ハザードマップ作成にかかるコンサルタント費		1,500,000	2,000,000	1,500,000
民間コンサルタント雇用費		2,500,000	2,500,000	1,000,000
LMU職員残業・休日出勤手当		1,200,000	1,200,000	1,200,000
機材維持管理費		1,000,000	1,000,000	1,000,000
合計		55,650,000	40,100,000	44,700,000

参考：MPI 聞き取り調査

(単位:Rs)

また、前述した表 2.7.2 公共インフラ省全体予算にあるプログラム 322「庁舎建設・維持管理」は、修繕・復旧ユニット（RRU）に関連しており、優先目的及び主要な業務内容は以下のとおりとなっている。なお、修繕・復旧ユニットの職員は地すべり対策ユニットも兼務している。

プログラム 32203: 建築物の維持管理・改修

- 優先目的：適切な改修と定期的な維持管理を実施することにより、政府庁舎の耐用年数を確実にする。
- 主要業務内容：基準に従って、政府庁舎の維持管理を実施する²⁷。

＜第2章の参考文献＞

- ¹ ウィキメディア・コモン：(Wikimedia Commons)
- ² Directorate of overseas surveys (UK) (1962): Soil Map of Mauritius, Public Works and Survey Department, Port Louis Mauritius
- ³ 財団法人砂防・地すべり技術センター、Vol.64 p.5
- ⁴ 「モ」国・エネルギー省HPより引用
- ⁵ 災害スキーム（Cyclone and Other Natural Disasters Scheme、2010-2011）、「モ」国首相府、2011年
- ⁶ ポートルイス市地すべり対策計画調査最終報告書概要, JICA, 1990
- ⁷ 2010 Land use map of Mauritius, 2010, Mauritius Sugar Industry Research Institute
- ⁸ 同上
- ⁹ Housing and Population Census, 2000, Central Statistical Office (under the aegis of the Ministry of Finance & Economic Development), Mauritius
- ¹⁰ Poverty statistics, 2006, Central Statistical Office (under the aegis of the Ministry of Finance & Economic Development), Mauritius
- ¹¹ The School Atlas of Mauritius, 2012, A. Cader Kalla, Osman Publishing
- ¹² V. Proag, Water resources management in Mauritius, 2006, European Water 15/16
- ¹³ 首相府（2011）「災害スキーム（Cyclone and Other Natural Disasters Scheme）、2010-2011」、環境・持続開発省（2012）「災害リスク削減戦略開発及び行動計画」、環境・持続開発省（2009）「モーリシャスにおける環境保護関連法・組織体制」、関係機関聴取
- ¹⁴ 首相府（2014）「災害スキーム2014（National Disasters Scheme 2014）」
- ¹⁵ 世界銀行（2014）「人口統計」、<http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- ¹⁶ モーリシャス統計（2014）「失業率1992-2012」<http://Mauritius.africadata.org/>
- ¹⁷ 世界銀行（2014）「GDP」、<http://dataworldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>
- ¹⁸ 「モ」国財務省（2013）「農業統計（2012）」、
<http://statsmauritius.gov.mu/English/Publications/Documents/Regular%20Reports/annual%20digest/annualldig12.pdf>
- ¹⁹ 「モ」国財務省（2013）「予算演説（2014）」、
<http://mof.gov.mu/English/Documents/Budget2014/BudgetSpeech2014.pdf>
- ²⁰ 「モ」国統計（2014）「インフレ率1992-2013」、<http://Mauritius.africadata.org/>
- ²¹ IMF（2014）「経済金融調査」、
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/weodata/index.aspx>
- ²² 同上
- ²³ 「モ」国統計（2014）「インフレ率1992-2013」、<http://Mauritius.africadata.org>
- ²⁴ 「モ」国財務省（2013）「予算演説2014 序文」、
<http://mof.gov.mu/English/Documents/Budget2014/PBB2014/Foreword.pdf>
- ²⁵ 「モ」国財務省（2013）「予算演説2014 公共インフラ省予算」、
<http://mof.gov.mu/English/Documents/Budget2014/PBB2014/VPMMPI.pdf>
- ²⁶ 同上
- ²⁷ 「モ」国財務省（2013）「予算演説2014 公共インフラ省予算」、
<http://mof.gov.mu/English/Documents/Budget2014/PBB2014/VPMMPI.pdf>

Chapter 3

地すべり管理計画 1 (調査と結果)

*Landslide Management Plan 1
(Survey and Results)*

3 地すべり管理計画 1(調査と結果)

3.1 地すべり危険地の特定

優先的に対応する地すべり危険箇所は、基礎調査および地すべり管理計画の成果と共に、C/P および関係者との協議に基づき「モ」国側の要望を考慮して 3 箇所を選定した。優先箇所の選定に際して評価した項目は、次の通りである。

- ・ 現地踏査における地すべりハザード評価で、高得点のエリアを優先的に選定する
- ・ 「モ」国側の要望を考慮する
- ・ 技術移転の観点から、できるだけ規模の異なる地すべりを選定する（国内支援委員会からの助言）

優先的に対応する地すべり危険箇所は、Chitrakoot 地区、Quatre Soeurs 地区、Vallee Pitot 地区である。

＜Chitrakoot 地区＞活発な大規模地すべり (L=1500m, W=700m)。家屋の被害が 10 箇所以上あり、早急な対策が必要、MPI からの調査・対策の要請あり

＜Quatre Soeurs 地区＞活発な中規模地すべり (L=350m, W=400m)。家屋の被害が数箇所あり、早急な対策が必要。MPI からの調査対策要請あり。

＜Vallee Pitot 地区＞活発な小規模地すべり (L=35m, W=20m)。3 箇所の家屋に被害があり、新聞でも報道されたため、早急な対策が必要。典型的な都市開発型の地すべり。

表3.1.1 地すべり危険地の特定（出典：JICA 調査団）

箇所名	地すべり危険地選定の項目			選定結果	摘 要
	地すべりハザード評価スコア	MPI からの要望	地すべりのサイズ		
Chitrakoot, Vallee des Pretres	6	あり	大規模 (L=1500m, W=700m)	○	地すべり危険地に特定: 活発な大規模地すべり (L=1500m, W=700m)。家屋の被害が 10 箇所以上あり、早急な対策が必要。MPI からの調査・対策の要請あり
Vallee Pitot (near Eidgah)	6	なし	小規模 (L=35m, W=20m)	○	地すべり危険地に特定: 活発な小規模地すべり (L=35m, W=20m)。3 箇所の家屋に被害、新聞報道されたため、早急な対策が必要。典型的な都市開発の地すべり。
Mgr. Leen Street and nearby vicinity, La Butte	5	なし	中規模 (L=350m, W=600m)	×	対象外: 既に日本国の支援による地すべり対策工が完成。現在は地すべり活動は殆ど無いので、対応の緊急性は低い。
Old Moka Road, Camp Chapelon	3	なし	中規模 (L=200m, W=100m)	×	対象外: 地すべり性の変状は認められるが、Chitrakoot や Quatre Soeurs に比較すると地すべり活動は緩慢で、崩壊範囲内の家屋の変状度合いは低く、今後の経過観察は必要だが、対策の緊急性は低い。
Quatre Soeurs, Marie Jeanne, Jhummah Streert, Old Grand Port	6	あり	中規模 (L=350m, W=400m)	○	地すべり危険地に特定: 活発な中規模地すべり (L=350m, W=400m)。家屋の被害が数箇所あり、早急な対策が必要。MPI からの調査対策要請あり。
Candos Hill at Lalbahadoor Shastri and Mahatma Gandhi Avenues	3	なし	小規模 (L=40m, W=35m)	×	対象外: 規模が小さく、崩壊範囲内に家屋等の保全対象が無い。今後の経過観察は必要だが、対策の緊急性は低い。

3.2 測量

地すべり調査及び解析を行うためには、小縮尺の平面図、及び横断測量データを必要とする。本調査では次の 3 地区について横断測量と平面図の作成を行った。概要は次のとおりである。

表3.2.1 測量地区の数量表（出典：JICA 調査団）

名 称	平 面 図(面積)	横 断 図
Chitrakoot	1.8km ² (1,800m × 1000m)	3方向の横断図
Quatre Soeurs	0.16km ² (400m × 400m)	1方向の横断図
Vallee Pitot	0.005km ² (70m × 70m)	1方向の横断図

3.2.1 仕様

横断測量と平面図は次の仕様に従って作成する。

● 横断測量

垂直方向：縮尺：1/100

水平方向：縮尺：1/100

使用機材：トータルステーション

座標系及び高さの基準：UTM40S ゾーン、測量地域に最も近い「モ」国の基準点を使用

計測：セクションライン上の間隔 5m ごとの計測（X,Y,Z）及び変化点位置を計測

● 平面図

縮尺：1/500

コンター間隔：1 m

3.2.2 成果品

作成するクロスセクション図と平面図は AutoCAD の DXF または DWG フォーマットとする。成果品は次のとおりである。

- すべての観測データと計算結果データ
- クロスセクション図面
- 平面図
- 報告書

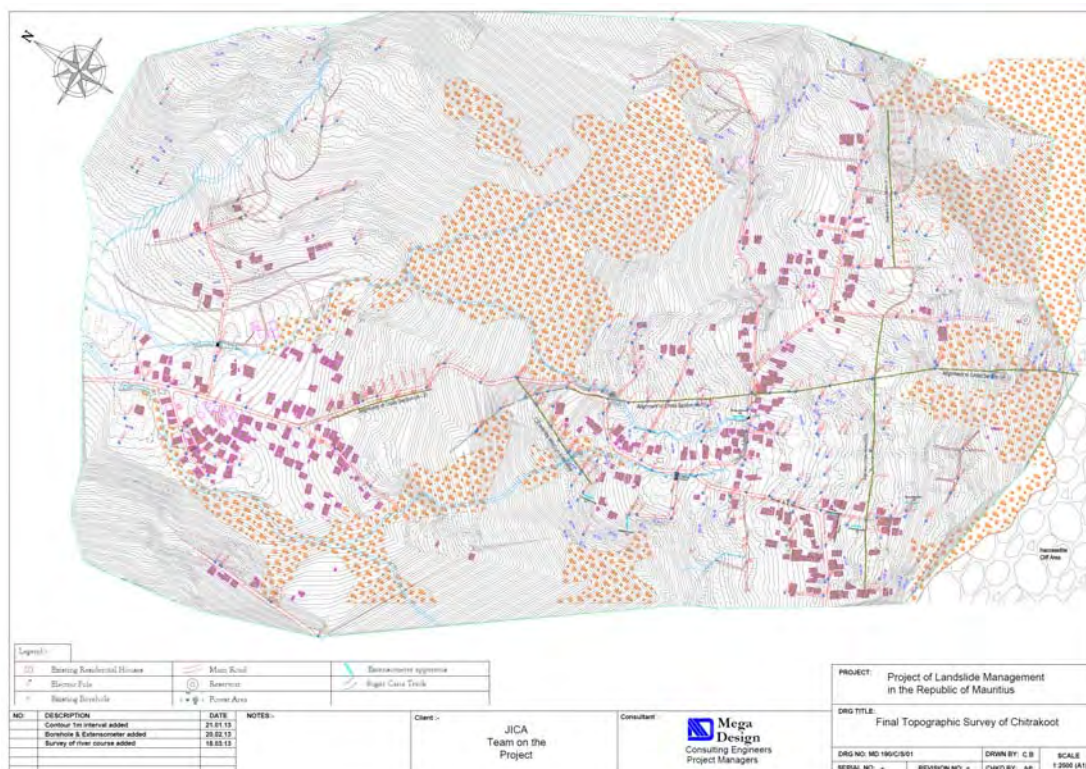


図3.2.1 Chitrakoot 平面図（出典:JICA 調査団）

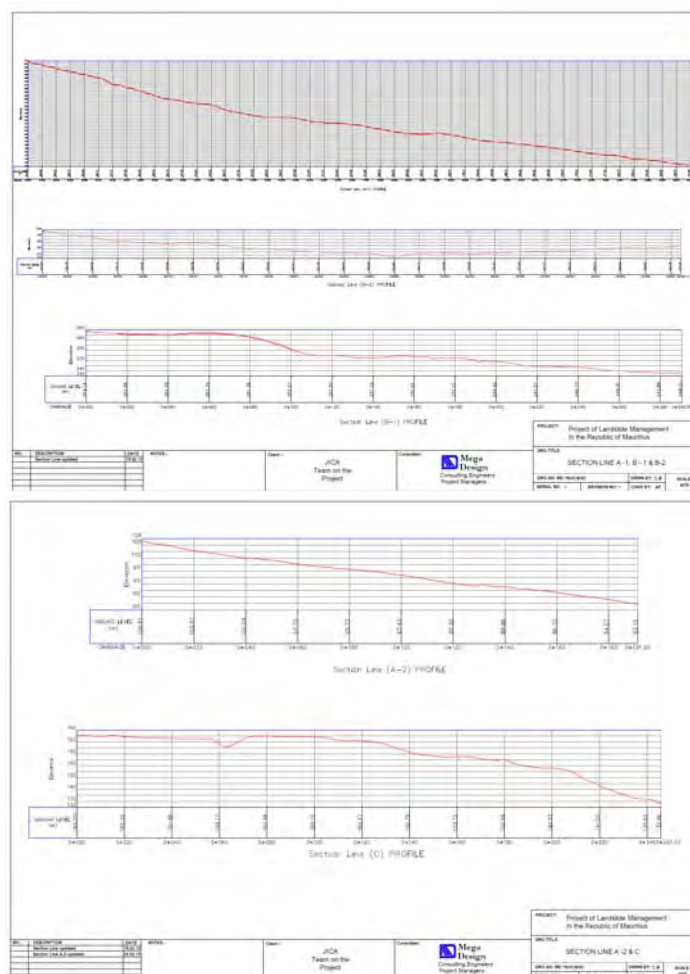


図3.2.2 Chitrakoot 断面図（出典:JICA 調査団）

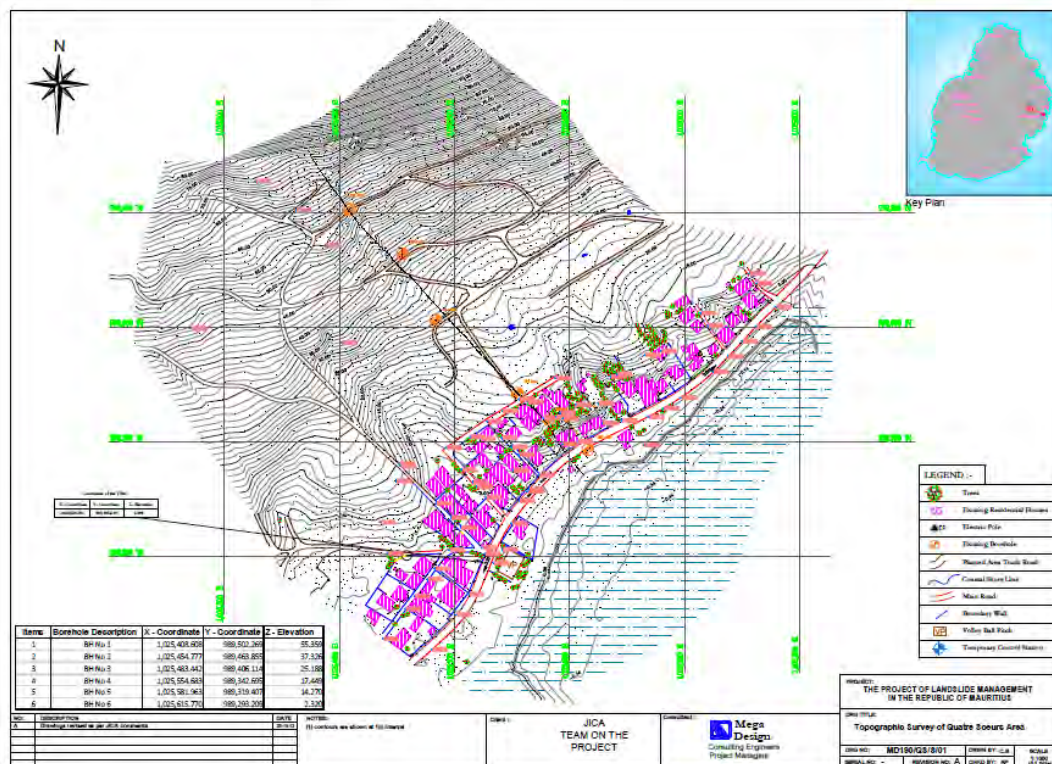


図3.2.3 Quatre Soeurs 平面図（出典: JICA 調査団）

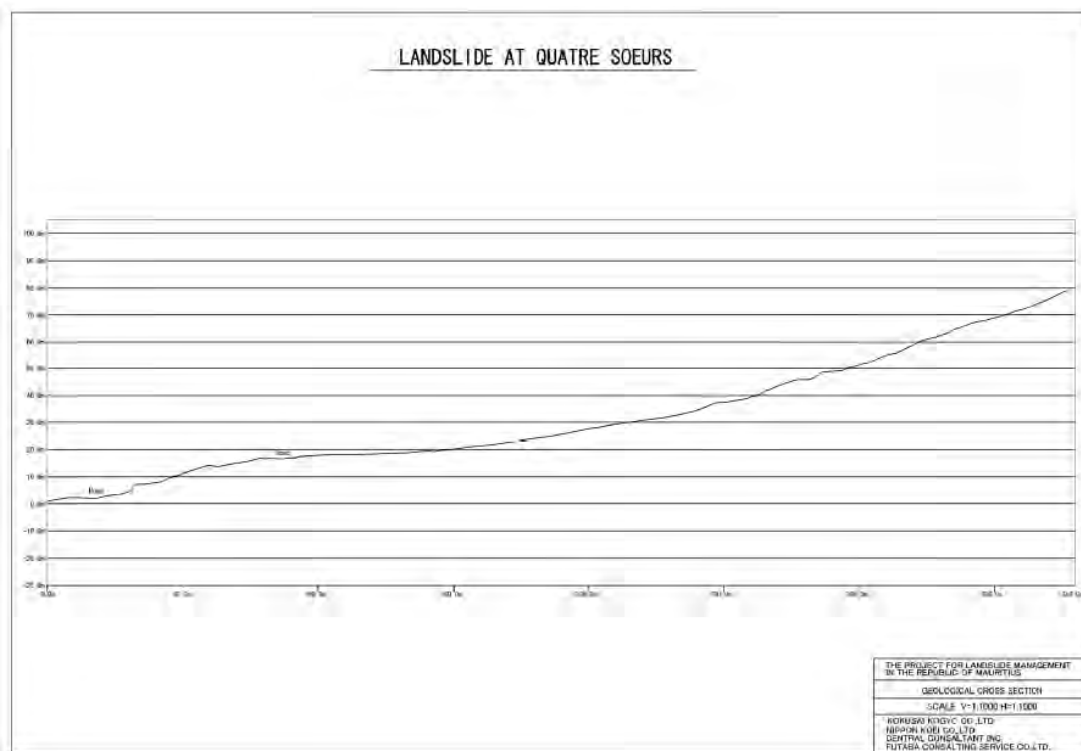


図3.2.4 Quatre Soeurs 断面図（出典: JICA 調査団）

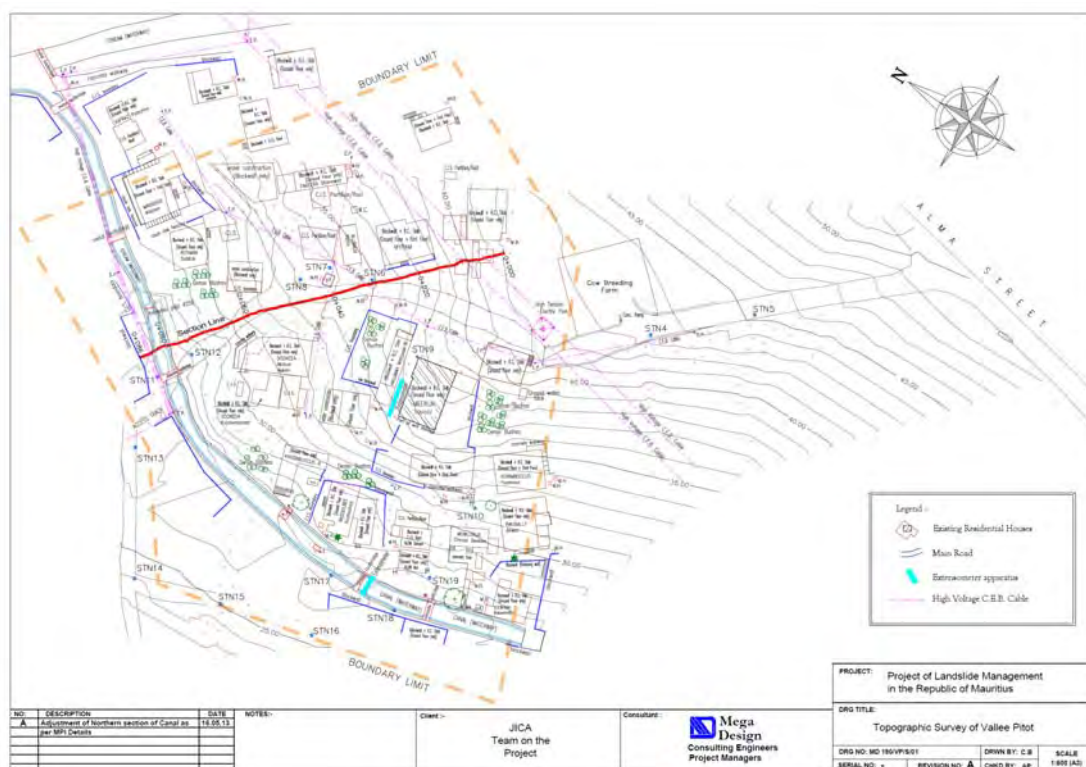


図3.2.5 Vallee Pitot 平面図（出典：JICA 調査団）

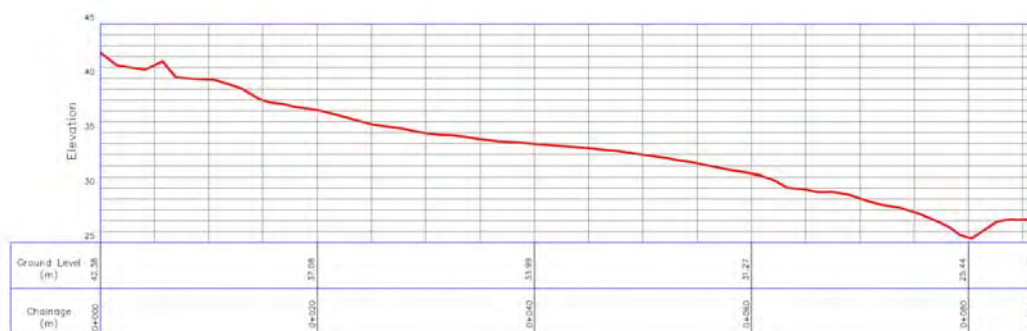


図3.2.6 Vallee Pitot 断面図（出典：JICA 調査団）

3.3 地質調査

3.3.1 地すべり地の地質

a. Chitrakoot

Chitrakoot は、基盤岩の急崖の直下に広がる緩斜面に位置している。基盤岩は玄武岩質溶岩や火山噴出物を主体とし、緩斜面とほぼ平行する節理が発達する。また、緩斜面の末端部は軟質な土砂が分布し、湧水も多数認められている。



写真3.3.1 地すべり地全景(出典:JICA 調査団)

図 3.3.1 調査地の地形図

図 3.3.2 調査地の衛星写真

に Chitrakoot の地形図を、図 3.3.2 に地すべり地形の衛星写真を示す。

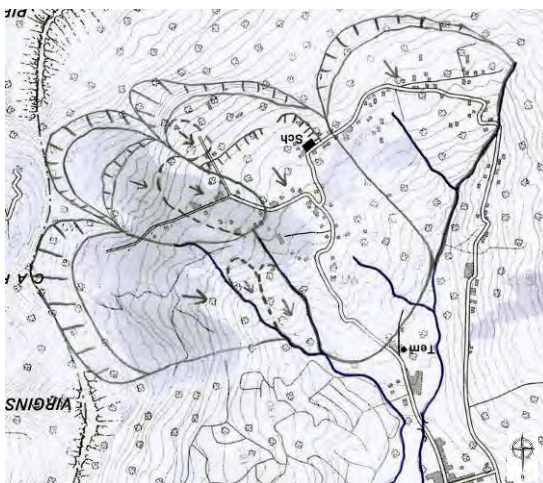


図3.3.1 調査地の地形図



図3.3.2 調査地の衛星写真

(出典:JICA 調査団)

Chitrakoot は明瞭な地すべり地形を示しており、不明瞭ながら幾つかの地すべりブロックに分類される。図 3.3.2 に示す赤波線は地形図で判読される明瞭な地すべり地形、赤実線は活動的と判断される地すべり範囲である。

活動的と判断される地すべり地内には家屋の変状や擁壁の亀裂などが確認される。また、地すべりブロックの頭部には滑落崖や小規模な段差が認められる。



写真3.3.2 地すべりの活動域内



写真3.3.3 地すべり地内の滑落崖

（出典：JICA 調査団）

既往調査による Chitrakoot の地質概要を以下に示す。

- ・ 表土は極薄い粘土層で、30～70cm の層厚で変化する。
- ・ 第二層は主に石や礫を含む茶～薄茶色の強風化シルト及び粘土土塊からなる。この崩積土は塑性粘土と湿潤粘土と併せて互層を成している。厚さは1～数メートルで変化する。
- ・ その下の地層は茶色系～淡褐色の強風化玄武岩が連続し、古い時代の玄武岩が風化する過程で生成された塑性粘土を伴う。これらの地層は3～4m の層厚で、風化の程度や色調が変化する。また、幾つかのボーリング孔で細かい火山灰を含む黄色～茶色の風化凝灰岩が確認される。
- ・ いくつかのボーリング孔で、崩積土と硬質玄武岩との間に1～2m層厚の砂と礫の沖積層が時折見られる。
- ・ 各ボーリング孔の孔底には、弱風化した破碎質な玄武岩が続き、下層で明瞭に硬質となる。硬質玄武岩には2種類あり、1種類は堅く緻密な玄武岩質礫岩で灰色から赤色を呈し、沸石を含む。もう1種類は、破碎質な玄武岩からなる細粒子で灰色から黒色を呈す。

表3.3.1 地層の特徴（Chitrakoot）¹

種類	層厚 (m)	地層の特徴
表 土 & 崩積土	0.3～0.7	表土と茶色のシルト・粘土
	1.0～数m	茶色、極度の湿潤塑性粘土
		崩積土：茶色のシルト～礫・塑性粘土を含むシルトに変わる
風化岩 & その他	3.0～4.0	脆弱、多彩な強風化玄武岩
		脆弱、赤～茶色の強風化玄武岩
		脆弱、茶色の薄層粘土を挟む黄色～茶色の強風化玄武岩質礫岩
		脆弱、小かんらん石を含む強破碎質玄武岩
		脆弱、かんらん石を含む強破碎質玄武岩
		脆弱、茶色または赤色の強風化旧表土
		火山灰を挟む黄色～茶色の風化凝灰岩
岩 盤	—	灰色～黒色の破碎質玄武岩の細粒子
		堅固、4～5cmの小片からなる灰色破碎質玄武岩
		灰色、玄武岩質の細粒子
		堅固、灰色、中程度に破碎した玄武岩質細粒子
		茶色～灰色、0.2-3cmの細かい礫からなる 硬質、沸石を含む灰色の緻密な玄武岩質礫岩

b. Quatre Soeurs

「モ」国の地質図によると、この地域には Beau Champ Mountain 上部斜面の古い玄武岩質溶岩の崩壊によってできた主に礫や小石からなる崩積土が薄く分布している。また、Beau Champ Mountain の構成は急斜面（海に向かって 48°の傾斜）で、風化と浸食によって形成された岩脈や入り江などが特徴づけられる。丘の勾配は海側でほぼ平坦であり、内陸側は急崖になっている。

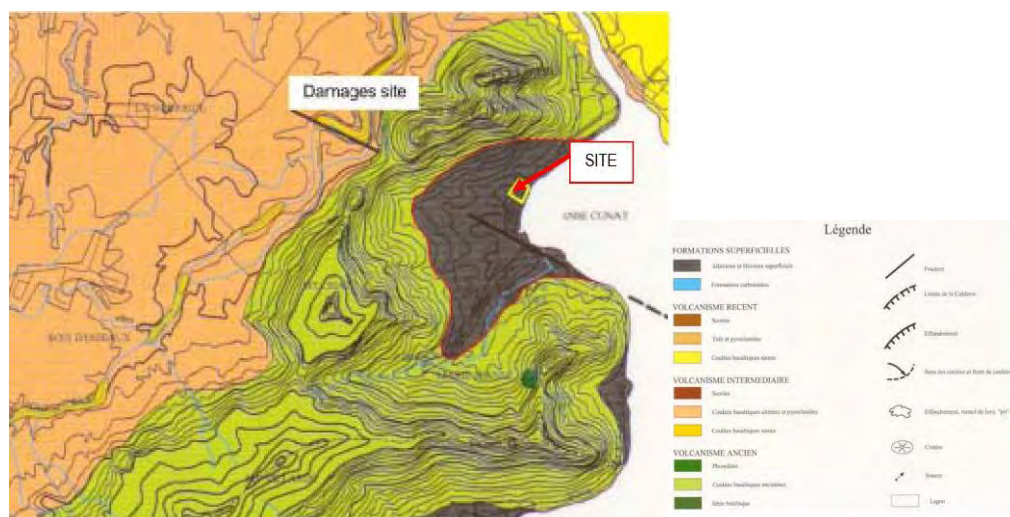


図3.3.3 調査地周辺の地質図²

Quatre Soeurs の沿岸域は、砂やシルト、河口に分布する円礫を含む泥土からなる砂浜を含む。Saddul は調査位置の約 1 k m 北に位置する Grand River の河口から Mahebourg まではタイプ D（または、Old Series）海岸線と名付けている。タイプ D 海岸線の基本的特徴は、5km 以上の広い大陸棚と風化が進む古い山体が挙げられる。この一帯は海岸線に近く、豊富な堆積物を沿岸域に供給している。

「モ」国の土壤図によると、調査地の主な土壤分類は、茶色～赤褐色のシルト質粘土または粘土を主体とする Mountain Slope Complexes である。上部斜面は固結した岩屑土で覆われており、この一帯に見られる起伏の激しい山地や溪谷、風化が進行していない岩盤台地をなしている。



写真3.3.4 地すべり地の全景（地すべり地頭部付近から撮影）（出典：JICA 調査団）



写真3.3.5 地すべり地末端の道路（出典：JICA 調査団）

調査地の地質は古い時代の玄武岩質溶岩を基質とした角礫岩層と地理的な状態に応じて厚さが異なる崩積土からなる。

地層の特徴を以下に示す。

表3.3.2 地層の特徴（Quatre Soeurs）³

種類	層厚(m)	地層の特徴
表土・盛土	平均 0.5m	表土は、玉石や根を含む茶色系の礫混じり中間塑性粘土。この層は珊瑚の断片や根およびビニール袋を時折含み、非常に軟質～締まった礫質な中・高塑性粘土で構成される。
崩積土	上部斜面 1.0m 下部斜面 4.8m	時折玉石を含む、軟質～締まった茶色系の礫質中・高塑性粘土で構成される。
角礫岩の崩積土	0.71～9.0m	軟質～締まった礫質高塑性粘土で構成される。粘土の色調は紫、黄色、橙色、灰色まだらの茶色系を呈す。
沖積層・海成層	0.85～2.44m	沖積層は時折玉石を含む中程度に風化した玄武岩基質の粘土質礫である。色調は黄色く変色した濃い灰色を呈す。海成層は黒色まだらの茶色を呈し、非常に軟質で珊瑚の断片を時折含む高塑性の礫質粘土である。
強風化角礫岩	平均 3.0m	軟質～堅い中・高塑性の礫質粘土である。色調は紫、灰色、黄色～橙色の斑点を有す茶色を呈す。
風化玄武岩	平均 4.0m	完全強風化～強風化玄武岩は灰色を呈し、堅い高塑性粘土と灰色～黄乳色を呈す弱～中程度に弱い中粒状玄武岩からなる。 強～中程度の風化玄武岩は中程度に弱い～中程度に強い中粒状玄武岩からなる。色調は灰色で、節理には黄褐色粘土が満たされている。 中程度に風化した玄武岩は、中程度に弱い～中程度に強い灰色の粒状玄武岩からなる。 弱風化玄武岩は中程度に強い～強い灰色の粒状玄武岩からなる。
風化角礫岩	0.2～4.0m	風化角礫岩は、中程度に弱い中粒状角礫岩。色調は黄色とクリーム色の変色する紫灰色を呈す。 弱風化角礫岩は、中程度～強いかんらん石系中粒状角礫岩。色調は白色の点在する紫灰色を呈す。

3.3.2 室内試験

地盤調査では調査目的に応じて様々な土質試験が行われる。この中で地すべり調査に関連する土質試験として、地すべりの安定度評価に係るすべり面の強度特性を求める力学試験と、その試験結果の考察や地盤特性検討のために実施する各種物理試験がある。

地盤材料のせん断強度は図 3.3.4に示すように、せん断変形の進行に伴ってピーク強度から残留強度に低下していく。明瞭な地すべり地形を呈す地すべりや、移動量の大きな活動的な地すべりは、すべり面が過去に大きな変位を経験していることから、残留強度がすべり面の強度により近いと考えられている。また地すべりの活動履歴に応じて、完全軟化強度に近い状態や、完全軟化強度と残留強度の間にある地すべりもあるとされている。表 3.3.3に示すように、すべり面を構成する粘土の残留強度を求めるためには、繰返し一面せん断試験やリングせん断試験などの大変位直接せん断試験が行われる。土の力学試験を行うためには、原位置における土の状態をできるだけ維持して土を採取する必要がある。

力学試験を行うためには調査ボーリングにおいて①固定ピストン式サンプラー、②ロータリー式多重管サンプラー等により採取した、乱されていないコア試料や、地すべり地内の露頭、対策工事中に切土面や集水井の切羽などに確認されたすべり面をブロックサンプリングした試料などを用いて試験を実施する。

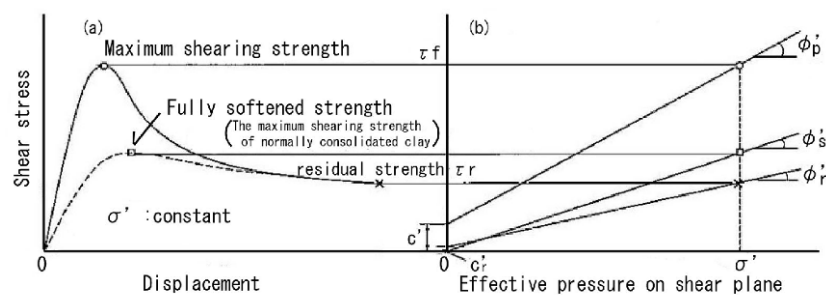


図3.3.4 ピーク強度と残留強度の説明図⁴

表3.3.3 土の強度と力学的性質の試験法の適用⁵

Test item for mechanical properties	Method		
	triaxial shear test	box shear test	ring shear test
Residual strength ^{*1}	△ ^{*2}	○ ^{*3}	○
Fully softened strength ^{*4}	○	○	△
Peak strength of undisturbed sample	○	△	△

○: most appropriate test method.

△: appropriate test method

*1: Residual strength are not so much affected by stress record, because of this, it is able to acquire enough correct value even from disturbed sample.

*2: When it estimate of residual strength from the sample, it need particular machinery, that is why, it is better to apply the box shear method or ring shear method for this kind of investigation

*3: When it estimate of residual strength by box shear test, it require a cyclic shear tests.

*4: This strength is after to reach the maximum shearing strength by slurry sample or peak strength by massive sample, then at last the sample indicate neither water content increase nor volumetric strain difference by dilatancy.

a. 物理試験

a.1 粒度試験

粒度試験（Particle size distribution : ISO 17892-4）は、すべり面を構成する土の粒度分布を把握するために実施する。細粒分の粒度分布を得るためにはフルイ分析に加え、沈降分析が必要となり、土粒子の密度（Density of fine grained soils and solid particles : ISO 17892-2, ISO 17892-3）と含水比（Water content : ISO 17892-1）も実施する必要がある。

図 3.3.5に日本における各地質帯の代表的なすべり面粘土の粒度分布を示す。第三紀層や温泉地帯の地すべりでは粘土含有率が高く、結晶片岩地帯の地すべりは、砂分・礫分を多く含む事例が多い傾向にある。すべり面粘土は厚みが非常に薄い場合もあり、すべり面からの距離が離れると粒度構成が大きく変化するため、試験試料を選定する場合にはすべり面部位から厳密に試料を採取する必要がある。また、攪乱（スラリー）試料を用いて残留強度試験を実施する場合、液性限界や塑性指数といったコンシステンシー特性との比較のため、425 μm 以下粒径分でフルイ処理した試料がよく用いられるが、現場のすべり面材料の粒度分布と大きく乖離した状態で試験を実施すると適切な試験結果が得られない場合がある。試料選定の妥当性や粒度調整などの試験条件の検討、力学試験結果の考察を行う上で、粒度分布の情報が必要となる。

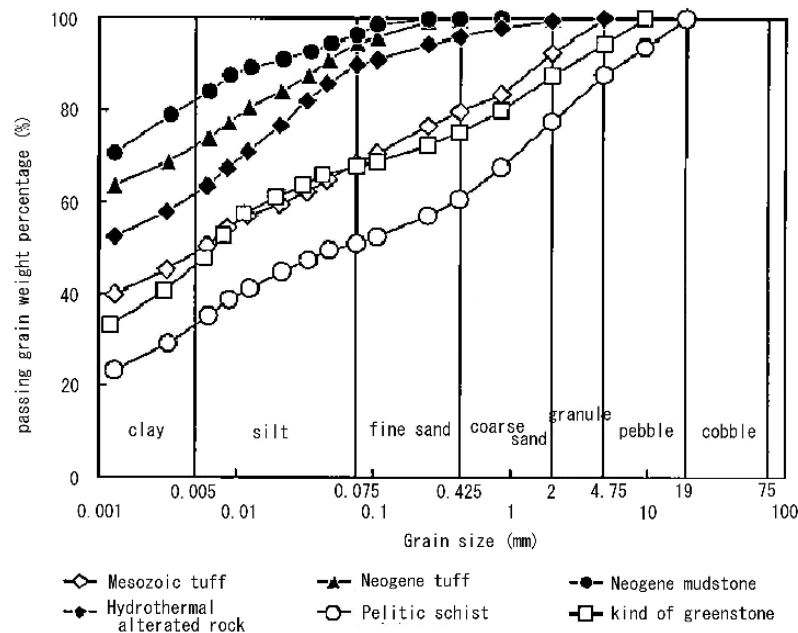


図3.3.5 各地質帯の代表的なすべり面粘土の粒度分布⁶

a.2 液性限界・塑性限界試験

土の液性限界・塑性限界試験（ISO 17892-12）は、すべり面を構成する土のコンシステンシー特性を調べるために実施する。図 3.3.6は様々な地質帯のすべり面粘土の塑性指数 IP とリングせん断試験から得られた残留せん断抵抗角 ϕ_r' との関係図である。425 μm 以下の粒径分で実施した試験結果での比較であるが、一般的に IP が高い高塑性な粘土ほど ϕ_r' が低い傾向があり、地質によっても ϕ_r' の分布や IP との関係にバラツキも認められる。また、試料の活性度（IP/2 μm 以下粒径分含有率）は膨潤性粘土鉱物の多さの目安になる。

本試験結果は粒度分布の特徴などと併せて、力学試験結果を考察する資料として利用する。

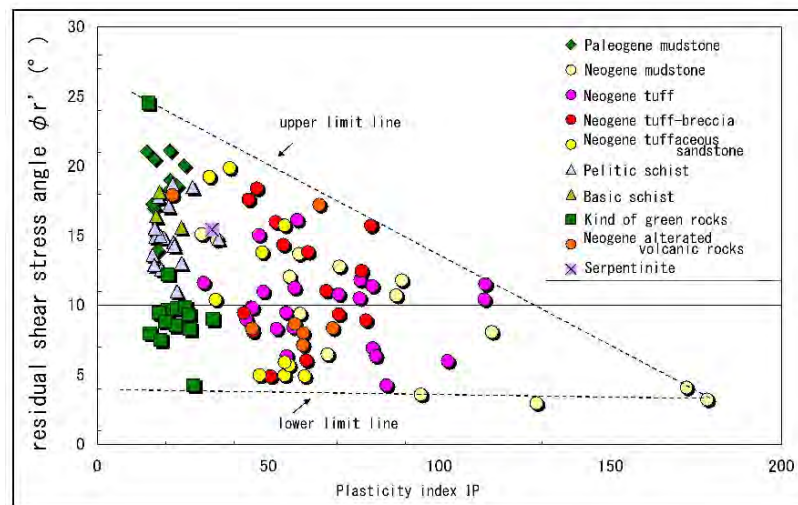


図3.3.6 様々な地質帯の塑性指数と残留せん断抵抗角との関係⁷

b. 力学試験

力学試験は主に地すべりの安定度の評価に必要なすべり面の強度特性を求めるもので、それぞれのすべり面におけるせん断の状態によりせん断強度がピーク強度、完全軟化強度、残留強度と変化する。地すべりの安定解析においていずれかの強度をすべり面のせん断強度を表すパラメータとして選択する必要がある。しかしこれらの中、どの値を実際の地すべりの安定解析に適用すべきかについては、調査研究がなされてはいるものの明確な答えは得られていない。また、すべり面を構成する土粒子間のせん断強度のバラツキも想定される。土質強度定数によっては、地下水排除工の効果の評価が大きく異なる場合もあり、実用においては土質試験によるせん断強度定数は参考値に留める場合が多く、日本ではいわゆる逆算法を用いることが多い。

下表は、試験試料に応じた強度別の試験機選定について示している。ピーク強度は、不攪乱試料を用いて三軸圧縮試験により求める場合が多いが、繰返し一面せん断試験、リングせん断試験でも可能である。完全軟化強度は、スラリー試料を用いた三軸圧縮試験により求める場合が多いが、スラリー試料または不攪乱試料を用いた繰返し一面せん断試験、リングせん断試験でも求めることは可能である。残留強度は、三軸圧縮試験では測定不可能であり、繰返し一面せん断試験、リングせん断試験のいずれかを用いて計測する必要がある。また、すべり面を含んだ試料は、すべり面の強度状態をより現実的に再現できるが、試験機へのセットが困難であるという難点がある。これらについては、地すべりの活動状況などから判断し、実施する。

表3.3.4 試験法の種類と試験によって得られる強度特性⁸

強度 試料	ピーク強度	完全軟化強度	残留強度	せん断試験法
不攪乱	○、 $\overline{CU}$	×	×	三軸圧縮
	△、 CD 、Ⅲ	△、 CD 、Ⅱ	○、 CD 、Ⅰ	繰返し一面せん断
	△、 CD 、Ⅲ	△、 CD 、Ⅱ	○、 CD 、Ⅰ	リングせん断
スラリー	×	○、 $\overline{CU}$	×	三軸圧縮
	×	△、 CD 、Ⅲ	○、 CD 、Ⅰ	繰返し一面せん断
	×	△、 CD 、Ⅲ	○、 CD 、Ⅰ	リングせん断
プレカット	×	×	×	三軸圧縮
	×	×	○、 CD 、Ⅱ	繰返し一面せん断
	×	×	○、 CD 、Ⅱ	リングせん断
含すべり面	△、 $\overline{CU}$ 、あるいは CD			三軸圧縮
	○、 CD 、Ⅱ			繰返し一面せん断
	○、 CD 、Ⅱ			リングせん断

測定強度

○：利用可能

△：場合によっては利用可能

×：利用不可能

試験条件

$\overline{CU}$ ：圧密非排水

（間隙水圧測定）

CD ：圧密排水

せん断変位量

Ⅰ：かなり大きくする

Ⅱ：大きくする

Ⅲ：少なくてもよい

b.1 一面せん断試験

一面せん断試験（ISO 17892-10）は、上下に分かれたせん断箱に供試体を収め、垂直応力を載荷した状態でせん断箱の一方を他方に対して直線的に水平移動させてせん断する試験である。通常、複数の供試体に対して異なる垂直応力の条件で試験を行って、ピーク強度（あるいは完全軟化強度）および残留強度を求める。ピーク強度や完全軟化強度を求めるためには通常の一面せん断試験で充分だが、残留強度を求めるためには繰返しせん断試験を行う必要がある。また、鏡肌状を呈しているような残留状態にあるすべり面の場合には、すべり面を含む不攪乱試料を用いてすべり面強度を直接計測する方法も行われている。

図 3.3.7および、図 3.3.8に繰返し一面せん断試験機の代表的な構造図と、せん断応力と累積せん断変位の関係図を示す。ピーク強度を求めるためには不攪乱試料を用い、完全軟化強度を求めるためには正規圧密した攪乱（スラリー）試料を用いる。残留強度はどちらの試料を用いても本質的には同じ値になる。

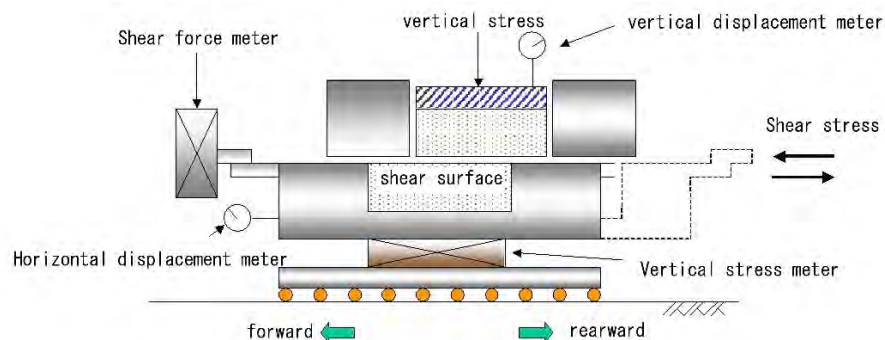


図3.3.7 繰返し一面せん断試験機の構造⁹

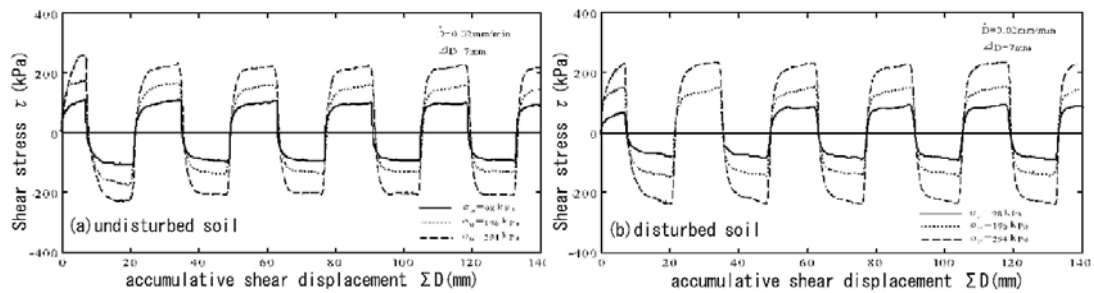


図3.3.8 せん断応力と累積せん断変位の関係¹⁰ : (a)不攪乱土, (b)攪乱土

図 3.3.9は、せん断箱と供試体せん断面間の摩擦力と試料漏れによるせん断箱間の摩擦力を測定することにより、精度良くせん断強度を評価できるようにした試験機の構造図である。上下せん断箱の4箇所小型の高剛性ロードセルが内蔵されている。

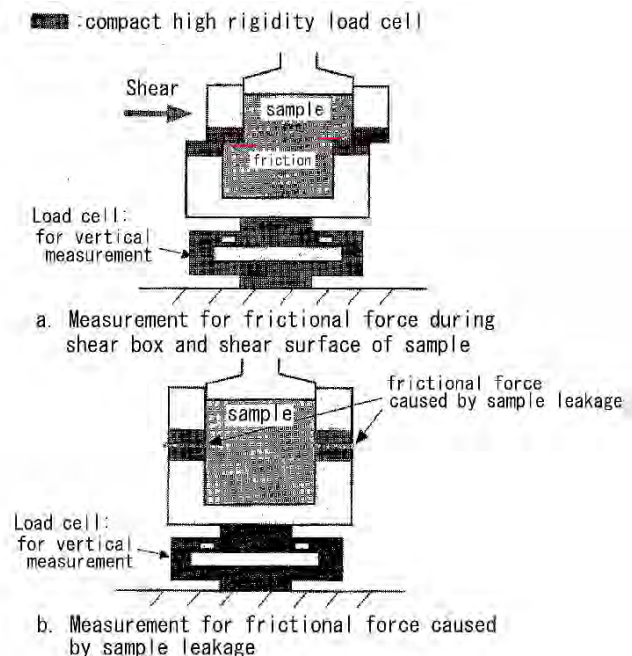


図3.3.9 せん断箱間の摩擦力測定が可能なせん断箱¹¹

Mitachi et al.(1999)は、繰返し一面せん断試験で求めたピーク強度、完全軟化強度および、残留強度を用いて対象地すべり地の $c\text{-tan}\phi$ 図から設計用の強度定数を検討する方法を提案した。図中の A 点はピーク強度、B 点は完全軟化強度、C 点は残留強度であり、この3点を結ぶ直線と $c\text{-tan}\phi$ 図の直線が交わる D 点の値を設計に用いるという方法である。

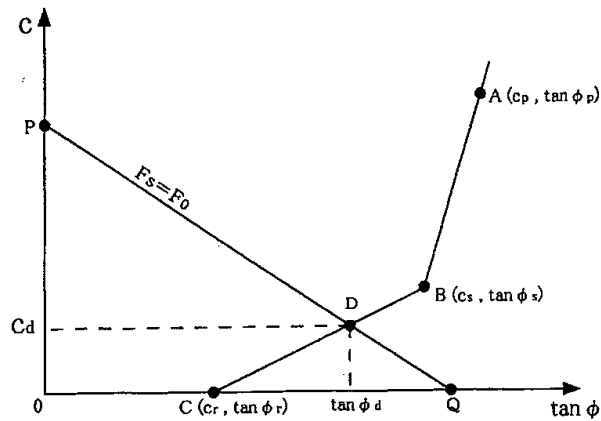


図3.3.10 c-tan ϕ 図を利用した設計用強度定数の決定法¹²

また、図 3.3.11は、再滑動型の地すべり地において採取された試料について、一面せん断試験機のせん断面にすべり面そのものを一致させることで、すべり面のせん断強度を直接計測することができる試験機（すべり面せん断試験機）の構造図である。

せん断箱周辺部の部材がアクリル製で可視型になっており、供試体の高さ位置が調整可能な構造であり、せん断時にすべり面をせん断面位置にしっかり合致させることで試験精度の向上を図っている。

図 3.3.12はすべり面を含んだ供試体の作成方法を示したものである。Skempton (1985) は、現場のすべり面に沿って直接せん断させて計測した強度を、現場残留強度（Field residual value）と呼んでいる。すべり面せん断試験機は、この現場残留強度を評価する点で理想的な試験機と言える。

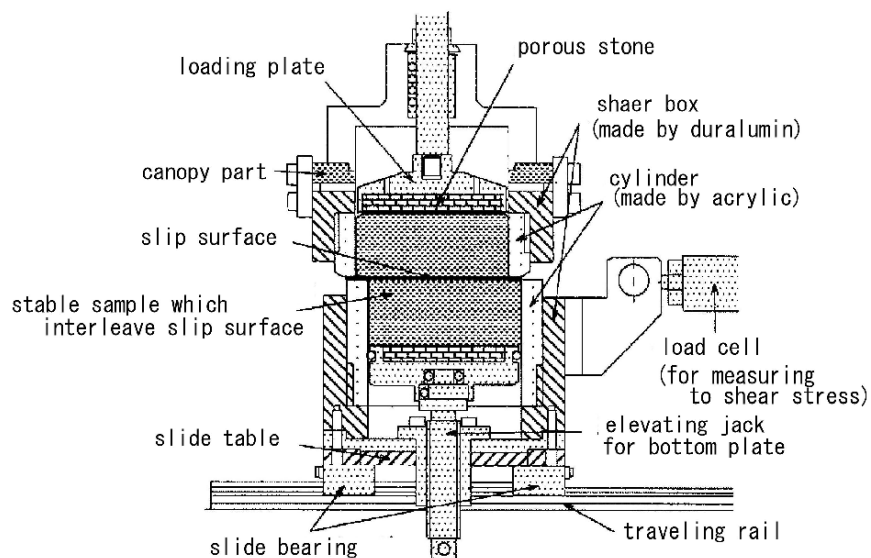


図3.3.11 すべり面せん断試験機のせん断箱周辺構造¹³

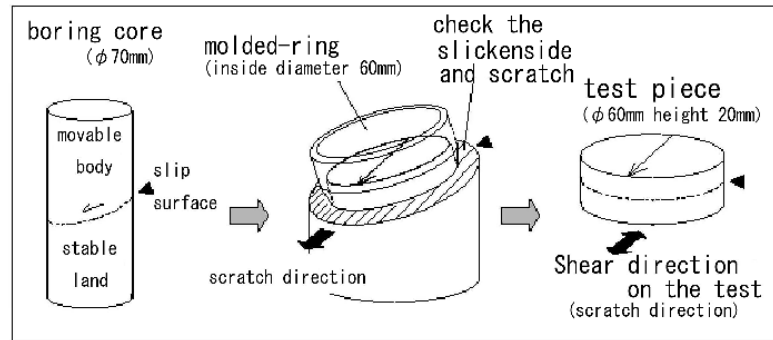


図3.3.12 含すべり面供試体作成方法¹⁴

b.2 三軸圧縮試験

三軸圧縮試験(Unconsolidated triaxial test: ISO 17892-8, Consolidated triaxial test: ISO 17892-8)は、円柱状の供試体を三軸圧力室と呼ばれる圧力円筒中に置き、ゴム膜などの不透水膜を介して供試体に等方的な流体圧を加えた（圧密過程）後、軸力を増加していき供試体をせん断破壊させる（せん断過程）試験である（図 3.3.13）。

不攪乱試料や攪乱試料を用いてピーク強度や完全軟化強度を求めることに適しているが、繰返し一面せん断試験やリングせん断試験のように供試体に変位を与えることが容易でないため、残留強度を求めることには適していない。しかし、すべり面を含む不攪乱試料を採取し、すべり面を破壊面の角度（ $45+\phi/2^\circ$ 前後）に合わせて成形することができれば残留強度を計測することも可能である。

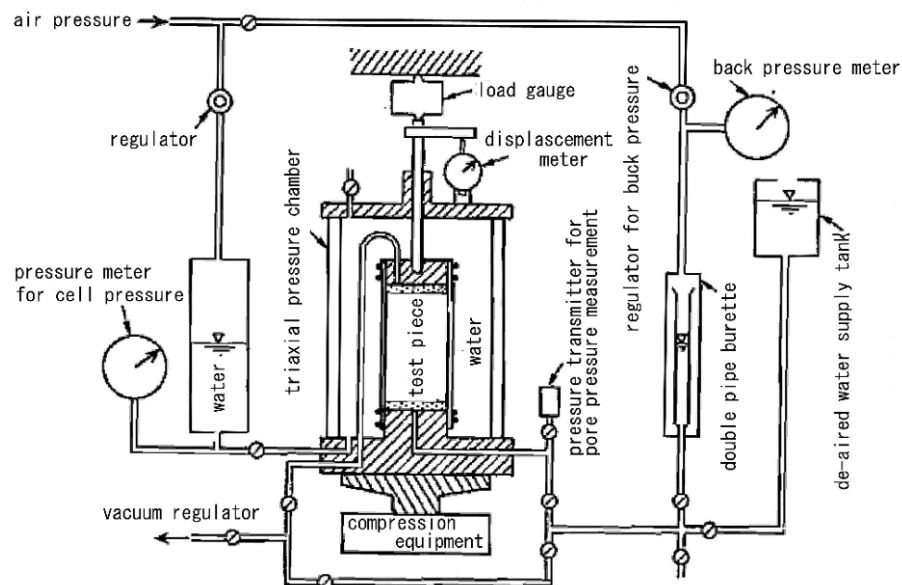


図3.3.13 三軸試験機の構成例¹⁵

c. 既往調査による土質試験結果

Chitrakoot および Quatre Soeurs では、過去に以下の調査が実施されており、表 3.3.6に

示す土質試験が行われている。

表3.3.5 既往報告書（出典：JICA 調査団）

No	調査報告書	調査会社
1	GEOTECHNICAL INVESTIGATION AT CHITRAKOOT VALLEE DES PRETRES	SOTRAMON LIMITEE
2	GEOTECHNICAL REPORT FOR SUSPECTED LANDSLIDE AT QUATRE SOEURS	WATER RESEARCH CO.LTD

表3.3.6 試験項目一覧（出典：JICA 調査団）

項目	試験名	Chtrakoot	Quatre Soeurs
1	土粒子の密度試験	○	○
2	自然含水比試験	○	○
3	アッターベルグ限界(コンシステンシー)	○	○
4	粒度試験	○	○
5	一軸圧縮試験	○	○
6	一面せん断試験	○	—
7	三軸圧縮試験	○	○
8	密度試験	○	○

c.1 Chitrakoot

既往調査による土質試験結果を以下に示す。

表3.3.7 物理試験結果(1) - Chitrakoot（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	地 質	土粒子 の密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	コンシステンシー		湿潤密度 (kN/m ³)
					LL (%)	PL (%)	
BPP5	2.00～2.50	崩積土	2.790	42.0	89.0	34.0	17.84
	7.00～8.00	強風化玄武岩	2.780	38.0	65.0	35.0	18.20
BPP6	7.25～7.80	強風化玄武岩	2.810	52.0	58.0	39.0	16.69
BPP8	4.50～5.00	崩積土	2.780	50.0	61.0	31.0	17.37
	8.00～8.50	強風化玄武岩		31.0	49.0	29.0	18.91
	12.00～12.75	強風化玄武岩	2.670	52.0	54.0	30.0	17.22
BPP9	2.60～2.93	強風化玄武岩	2.640	42.6	74.0	30.0	16.61
	4.10～4.54	風化玄武岩	2.780	38.0	60.0	32.0	17.48
	7.30～7.85	強風化玄武岩	2.750	26.0	56.0	35.0	17.76
BPP13	1.53～2.20	崩積土	2.780	38.0	60.0	32.0	18.88
	3.30～3.66	崩積土	2.780	36.0	71.0	31.0	18.81
	5.50～6.00	強風化玄武岩		34.0			
BPP14	4.85～5.40	崩積土		42.0	72.0	44.0	
BPP15	7.50～8.00	崩積土		35.0	55.0	32.0	
	9.00～9.50	崩積土		27.0	59.0	30.0	
BPP16	3.15～3.65	湿潤塑性粘土		40.0	64.0	33.0	17.98
	5.00～5.50	湿潤塑性粘土		33.0	57.0	25.0	18.83
	7.00～7.50	風化凝灰岩		51.0			
BPP18	3.00～3.50	崩積土		35.0	57.0	34.0	
	5.50～6.00	風化凝灰岩		34.0	77.0	46.0	17.88

（参考：GEOTECHNICAL INVESTIGATION AT CHITRAKOOT VALLEE DES PRETRES）

表3.3.8 物理試験結果(2) - Chitrakoot（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	地 質	土粒子の 密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	コンシステンシー		湿潤密度 (kN/m ³)
					LL (%)	PL (%)	
BPI2	8.00～8.40	崩積土	2.820	30.0	75.0	34.0	
	12.05～12.70	強風化玄武岩		29.0	67.0	38.0	
BPI4	5.40～6.00	強風化玄武岩		54.0	66.0	34.0	17.06
BPI9	3.10～3.65	崩積土	2.800	41.0	66.0	39.0	
	6.00～6.50	風化凝灰岩		44.0	73.0	37.0	
	8.40～9.00	強風化玄武岩		47.0	73.0	37.0	
	10.00～10.56	風化凝灰岩		55.0	73.0	37.0	
BPI10	3.00～3.50	崩積土		29.0	63.0	35.0	
	4.50～5.00	強風化玄武岩		45.0	70.0	45.0	
	5.50～6.00	強風化玄武岩		49.0	75.0	50.0	
	6.50～7.00	強風化玄武岩		39.0	75.0	48.0	
	8.00～8.40	風化凝灰岩	2.780	36.0	82.0	46.0	17.33
	9.00～9.50	風化凝灰岩		38.0	65.0	46.0	
	10.00～10.50	強風化玄武岩		27.0	58.0	38.0	

（参考：GEOTECHNICAL INVESTIGATION AT CHITRAKOOT VALLEE DES PRETRES）

表3.3.9 一面せん断試験の結果 - Chitrakoot（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	地 質	含水比 (%)	湿潤密度 (kN/m ³)	せん断強度パラメータ			
					ピーク強度		残留強度	
					C ₁ (kN/m ²)	φ ₁ (°)	C _{1r} (kN/m ²)	φ _{1r} (°)
BPI-4	5.40～ 6.00	粘土・ シルト	39.6	17.06	11	22	14	21
BPI-10	8.00～ 8.40	風化 凝灰岩	36.9	17.33	27	25	19.5	23
BPP-6	7.25～ 7.80	強風化 玄武岩	52.0	16.63	12	28		
BPP-8	4.50～ 5.00	崩積土	50.0	17.24	28.5	29		
BPP-8	12.00～ 12.75	強風化 玄武岩	52.0	17.08	26	30		

（参考：GEOTECHNICAL INVESTIGATION AT CHITRAKOOT VALLEE DES PRETRES）

表3.3.10 三軸圧縮試験結果 - Chitrakoot（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	地 質	含水比 (%)		圧密前		せん断強度パラメータ	
			試験前	試験後	湿潤 密度 (kN/m ³)	乾燥 密度 (kN/m ³)	C ₁ (kN/m ²)	φ ₁ (°)
BPP5	8.35～ 8.85	強風化 玄武岩	38.3	39.6	19.2	13.9	38.7	30.5
PP8	11.00～ 11.50	強風化 玄武岩	55.2	53.4	17.8	11.5	94.0	14.3

（参考：GEOTECHNICAL INVESTIGATION AT CHITRAKOOT VALLEE DES PRETRES）

c.2 Quatre Soeurs

既往調査による土質試験結果を以下に示す。

表3.3.11 物理試験結果(1) - Quatre Soeurs（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	地 質	自然含水比 (%)	コンシステンシー			湿潤密度 (kN/m ³)
				LL (%)	PL (%)	PI	
BH1	1.00～1.50	完全強風化 角礫岩	42.0	76.0	38.0	17	
	3.00～3.50	完全強風化 角礫岩	44.0	68.0	42.0	16	
BH3	1.00～1.50	崩積土	59.0	90.0	37.0		
	2.50～3.00	崩積土	63.0	95.0	33.0		
BH4	3.00～3.50	崩積土	38.0	68.0	36.0		
	4.00～4.50	完全強風化 角礫岩	43.0	65.0	31.0		
	12.56～15.00	沖積層	16.0	79.0	40.0		
BH5	3.00～3.50	崩積土	59.2				16.24
	5.00～5.50	崩積土	68.7				16.02
	5.50～6.00	崩積土	58.0	94.0	32.0		
BH6	2.50～3.00	崩積土	42.0	72.0	28.0	18	
	4.50～5.00	崩積土	56.0	102.0	33.0	21	16.88

（参考：GEOTECHNICAL REPORT FOR SUSPECTED LANDSLIDE AT QUATRE SOEURS）

表3.3.12 物理試験結果(2) - Quatre Soeurs（出典：JICA 調査団）

試 掘	深 度 (m)	地 質	自然含水比 (%)	コンシステンシー			収縮限界
				LL (%)	PL (%)	PI	
Tp1	1.40	強風化角礫岩	46.6	96.1	37.0	22.5	59.1
Tp3	2.00	強風化角礫岩	38.4	62.5	33.1	16.4	29.4
Tp4	1.50	粘土	49.2	91.8	47.4	20.7	44.4
Tp5	3.00	粘土/崩積土	37.2	69.3	34.3	19.6	35.0
Tp6	1.00～1.50	粘土/崩積土	56.1	75.0	46.2	18.6	28.8
	1.50～1.80	粘土/崩積土	24.8	102.4	64.5	23.2	37.9

（参考：GEOTECHNICAL REPORT FOR SUSPECTED LANDSLIDE AT QUATRE SOEURS）

表3.3.13 三軸圧縮試験結果 - Quatre Soeurs（出典：JICA 調査団）

試掘	深度 (m)	地質	含水比(%)		圧密前		せん断強度	
			試験前	試験後	湿潤 密度 (kN/m ³)	乾燥 密度 (kN/m ³)	C ₁ (kN/m ²)	φ ₁ (°)
BH5	3.0~ 3.5	崩積土	50.2	49.7	18.7	12.5	0.4	1.4

（参考：GEOTECHNICAL REPORT FOR SUSPECTED LANDSLIDE AT QUATRE SOEURS）

d. 本調査による物理試験結果

本調査で実施した物理試験の一覧を表 3.3.14 に示す。試験対象層は主に表層の崩積土とした。

表3.3.14 試験項目一覧（出典：JICA 調査団）

項目	試験名	数量	
		Chtrakoot	Quatre Soeurs
1	土粒子の密度	6	2
2	自然含水比	6	2
3	アッターベルグ限界(コンシステンシー)	4	2
4	粒度	6	2
5	嵩密度	2	1

d.1 Chitrakoot

崩積土の粒度特性は、細粒土の含有が最も多い。次いで砂利や砂の含有が多い。土粒子の密度は、一般的な無機質な土であれば 2.6～2.8g/cm³ を示す。既往の土質試験結果においても、概ねこの範囲の値を示す。本試験値は 2.0 ～3.0g/cm³ の範囲にあり、ややバラツキが大きい。

自然含水比は細粒土で高く、粗粒土で低い傾向を示す。試験値は概ね 50%前後で、軟質な粘性土に相当し、細粒分含有率の高さが影響している。既往の土質試験結果に比べると若干高い傾向にある。

アッターベルグ限界は、液性限界、塑性限界、収縮限界を総称して言う。粘性土は含まれる水の量によって、変形特性が変わり、含水比の基準は図 3.3.14 に示す 4 つに分類される。BH-C4 および BH-C5 の試料は他の試料に比べて、液性限界が高く、塑性指数が大きい傾向にある。

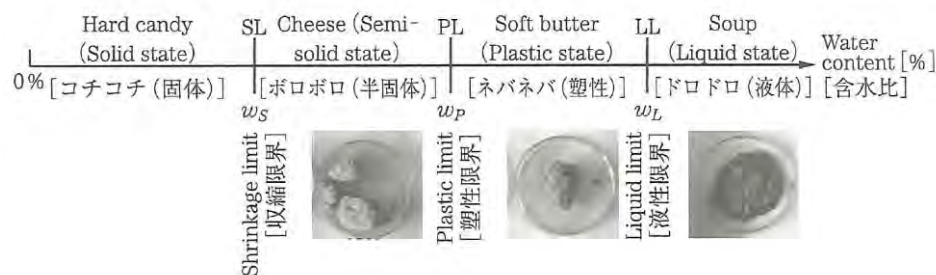


図3.3.14 アッターベルグ限界¹⁶

密度試験は2試料のみで 1.60g/cm^3 、 1.80g/cm^3 であった。既往の土質試験とほぼ同じ値であり、密度の大きい試料は砂利の含有が多い。

試験結果の一覧を以下に示す。

表3.3.15 物理試験結果(1) – Chitrakoot（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	地 質 名	粒 径 分 布				サンプル タイプ
			細粒土	砂	砂利	礫	
BH-C1	3.00～3.45	崩積土	43.0	15.0	42.0	0	STP20
BH-C2	4.80～5.25	崩積土	52.7	10.3	37.0	0	U2
BH-C3	6.60～7.05	崩積土	70.0	29.0	1.0	0	U2
BH-C4	6.35～6.80	崩積土	65.0	10.0	25.0	0	SPT28
BH-C5	4.25～4.70	崩積土	97.0	4.0	3.0	0	SPT56
BH-C6	5.30～5.75	崩積土	77.6	18.9	3.5	0	SPT25

表3.3.16 物理試験結果(2) – Chitrakoot（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	土粒子の密度 (g/cm^3)	自然含水比 (%)	コンシステンシー特性			嵩密度 (g/m^3)
				LL (%)	PL (%)	PI	
BH-C1	3.00～3.45	1.94	50.0				
BH-C2	4.80～5.25	2.98	51.2	78.0	42.9	35.1	1.80
BH-C3	6.60～7.05	2.57	43.8	73.0	45.1	27.9	1.60
BH-C4	6.35～6.80	2.98	61.8	89.5	45.0	44.5	
BH-C5	4.25～4.70	2.67	47.7	110.5	41.7	68.8	
BH-C6	5.30～5.75	2.10	41.3				

d.2 Quatre Soeurs

試験は、崩積土と硬いシルト質粘土を対象とした。

崩積土の粒度特性は、細粒土の含有が最も多く、次いで砂利の含有が多い。一方、シルト質粘土は砂利の含有が多く、次いで細粒土の含有が多い。

土粒子の密度は、一般的な無機質な土であれば $2.6 \sim 2.8 \text{g/cm}^3$ を示す。試験結果は両試料とも 2.90g/cm^3 前後で、密度の大きい鉱物を含んでいる可能性がある。

自然含水比は細粒土で高く、粗粒土で低い傾向を示す。崩積土の自然含水比は 56%、シルト質粘土のそれは 100% を超え、細粒分含有率の高さが影響している。特にシルト質粘土は採取深度が深く、飽和状態にあるため極めて高い傾向にある。

アッターベルグ限界は、BH-Q1 および BH-Q2 試料とも大きな違いは認められない。

密度試験はシルト質粘土の 1 試料のみで、 1.58g/cm^3 であった。粘性土相当のやや低い値を示している。

試験結果の一覧を以下に示す。

表3.3.17 物理試験結果(1) – Quatre Soeurs（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	地 質 名	粒径分布				サンプル タイプ
			細粒土	砂	砂利	礫	
BH-Q1	1.00～1.45	崩積土	70.0	10.0	20.0	0	STP10
BH-Q2	9.00～9.40	シルト質粘土	35.5	8.5	52.0	0	U2

表3.3.18 物理試験結果(2) – Quatre Soeurs（出典：JICA 調査団）

孔 番	深 度 (m)	土粒子の密度 (g/cm^3)	自然含水比 (%)	コンシステンシー特性			嵩密度 (g/m^3)
				LL (%)	PL (%)	PI	
BH-Q1	1.00～1.45	2.98	55.8	88.0	34.17	53.83	
BH-Q2	9.00～9.40	2.83	105.6	86.5	35.0	51.5	1.58

e. 本調査によるリングせん断試験結果

e.1 土質試料の採取

リングせん断試験に供する土質試料は各地すべり地内の崩積土を対象にシャベルやピック等を使用し、地表面下 0.5-2.0m 付近より乱した状態で採取した。採取後は、耐熱ビニール袋に密封し、航空便により国内へ輸送した。また、輸入時には横浜植物防疫所において高圧滅菌処理を実施し、土質試験室へ運搬した。

土質試料の採取位置および採取時の状況写真を以下に示す。

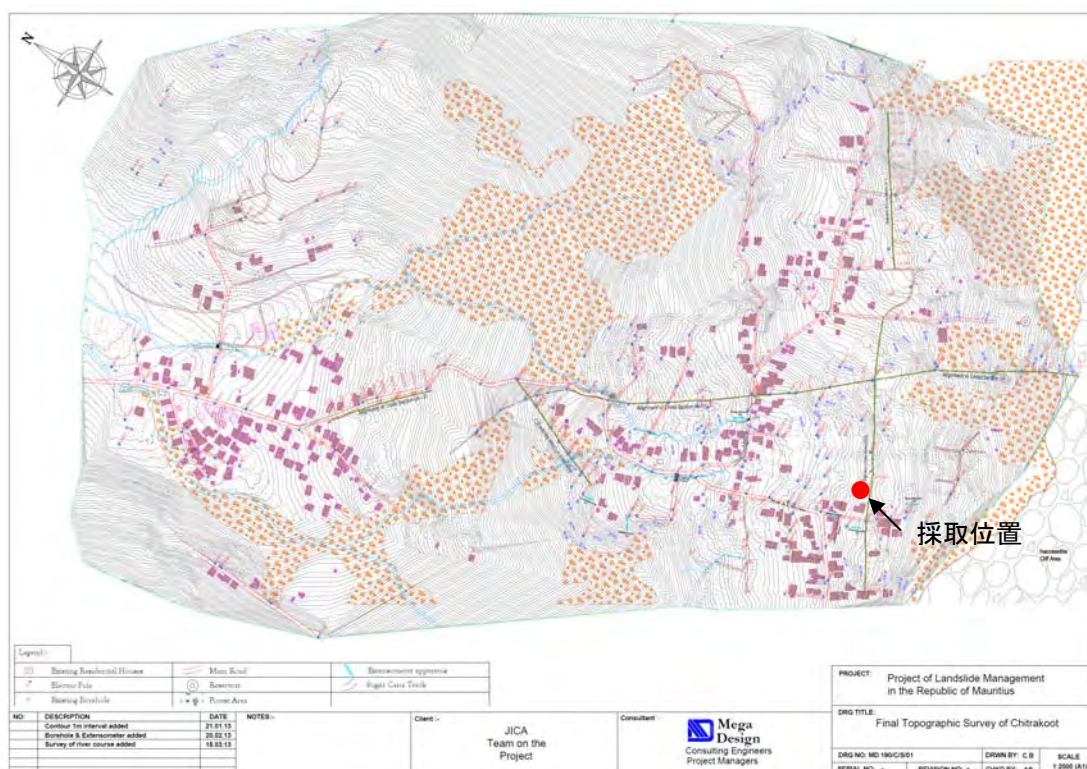


図3.3.15 土質試料採取位置(Chitrakoot)（出典: JICA 調査団）

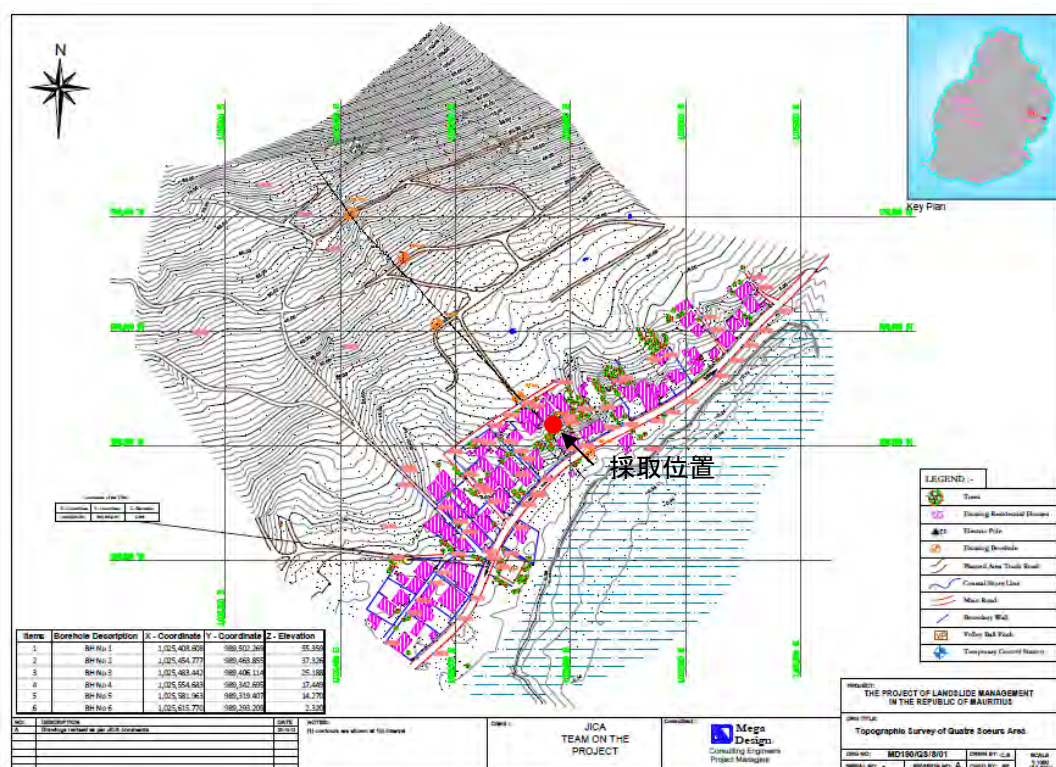


図3.3.16 土質試料採取位置(Quatre Soeurs)（出典：JICA 調査団）

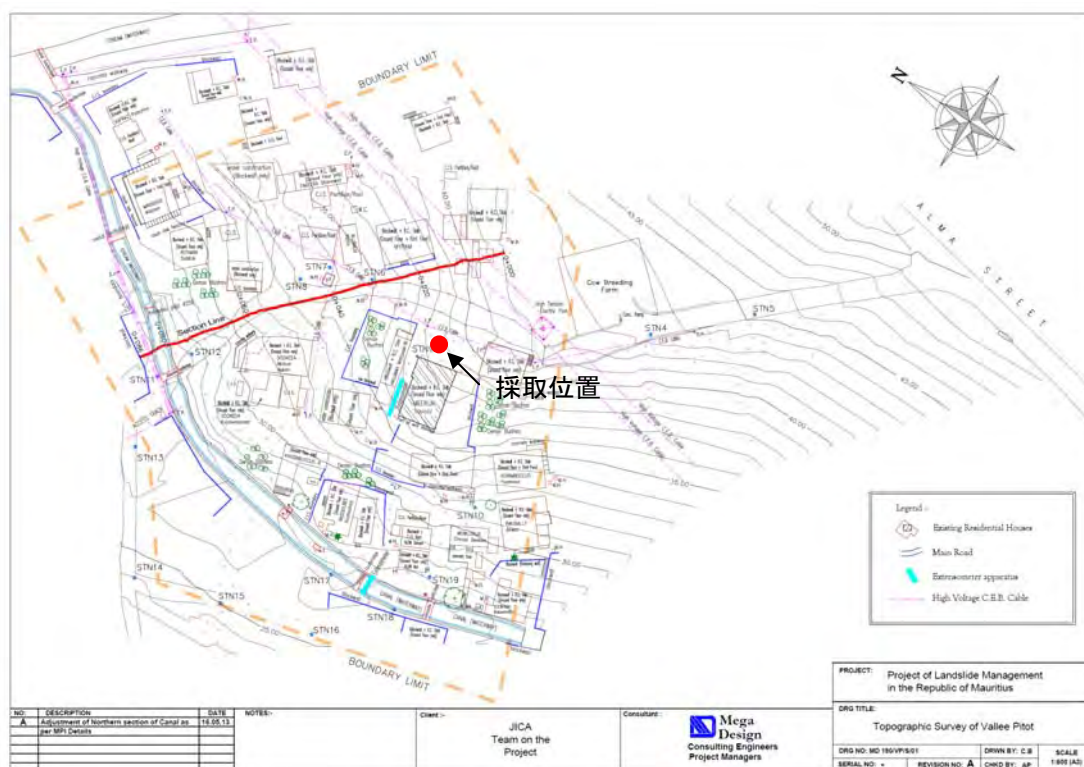


図3.3.17 土質試料採取位置(Vallee Pitot)（出典：JICA 調査団）



写真3.3.6 採取状況(出典:JICA 調査団)



写真3.3.7 採取試料（出典:JICA 調査団）

e.2 試験概要

リングせん断試験機は一面せん断試験機と同様に直接せん断型試験機に分類される。ただし、リングせん断試験機は一面せん断試験機とは違い、回転せん断を行うことによって一様なひずみを与えながら、せん断変位を無限に大きくとることが可能な試験機である。これにより、図3.3.18に示すような粘土の残留強度を得ることが可能となる。

図3.3.19(a)には、ある垂直応力 σ' での排水せん断試験における応力-ひずみ曲線が示され、また、

図3.3.19 (b)には異なる垂直応力におけるせん断応力を直線回帰することでピーク強度、残留強度が決定されることが模式的に示されている。

つまり、従来の一面せん断試験がせん断変位の制約によりピーク強度（過圧密粘土）と完全軟化強度（正規圧密粘土）の計測に限定されたものであったのに対し、リングせん断試験は変位不足を解消することで従来計測不能であった残留強度の測定を可能にしている。

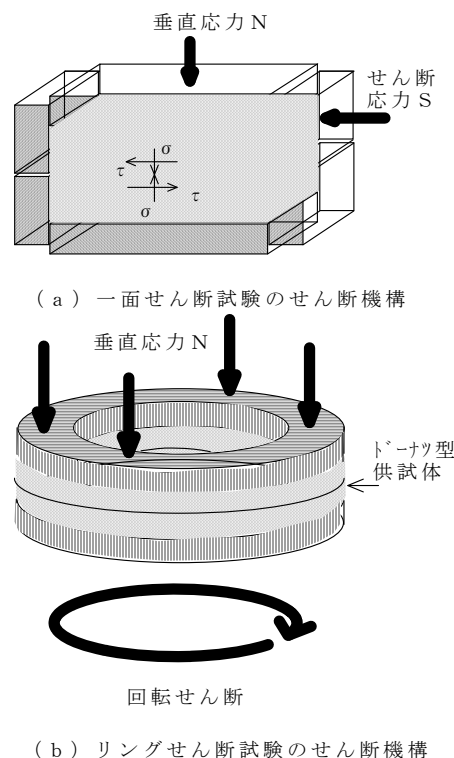


図3.3.18 一面せん断とリングせん断の違い（出典:JICA 調査団）

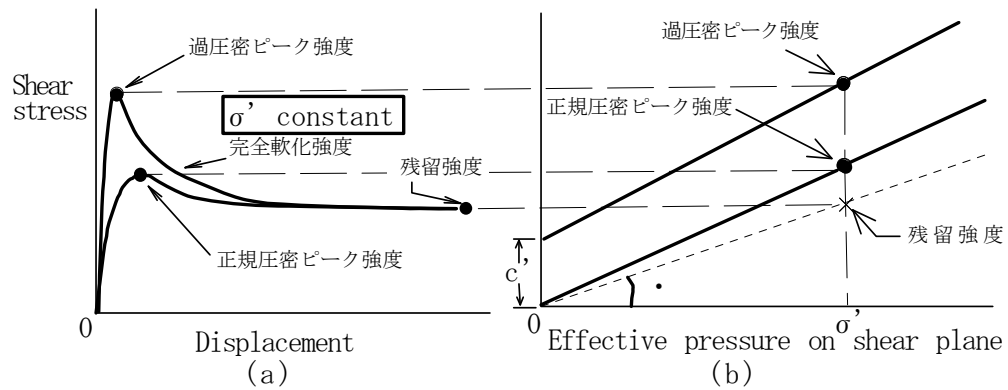


図3.3.19 正規圧密粘土及び過圧密粘土のせん断特性¹⁷

e.3 試験装置

図 3.3.20 リングせん断試験機構造図

にリングせん断試験機の構造図（本体部分）を、

図 3.3.20 リングせん断試験機構造図

に供試体の見取り図を示す。

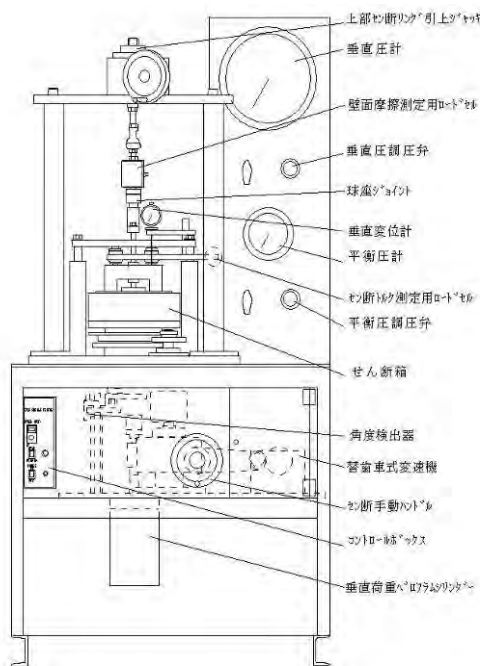


図3.3.20 リングせん断試験機構造図¹⁸

図 3.3.21 供試体見取り図

図 3.3.21 供試体見取り図

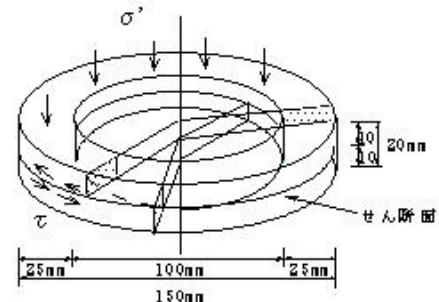


図3.3.21 供試体見取り図

（出典：JICA調査団）

e.4 試験方法

リングせん断試験の試験工程（0.425mm以下粒径分試料の場合）は、図3.3.22に示す通りである。

残留せん断状態を確認後に垂直応力を300→250→200→150→100→50kPaと変更し、残留強度の強度定数（ c_r' ， ϕ_r' ）を求めた。

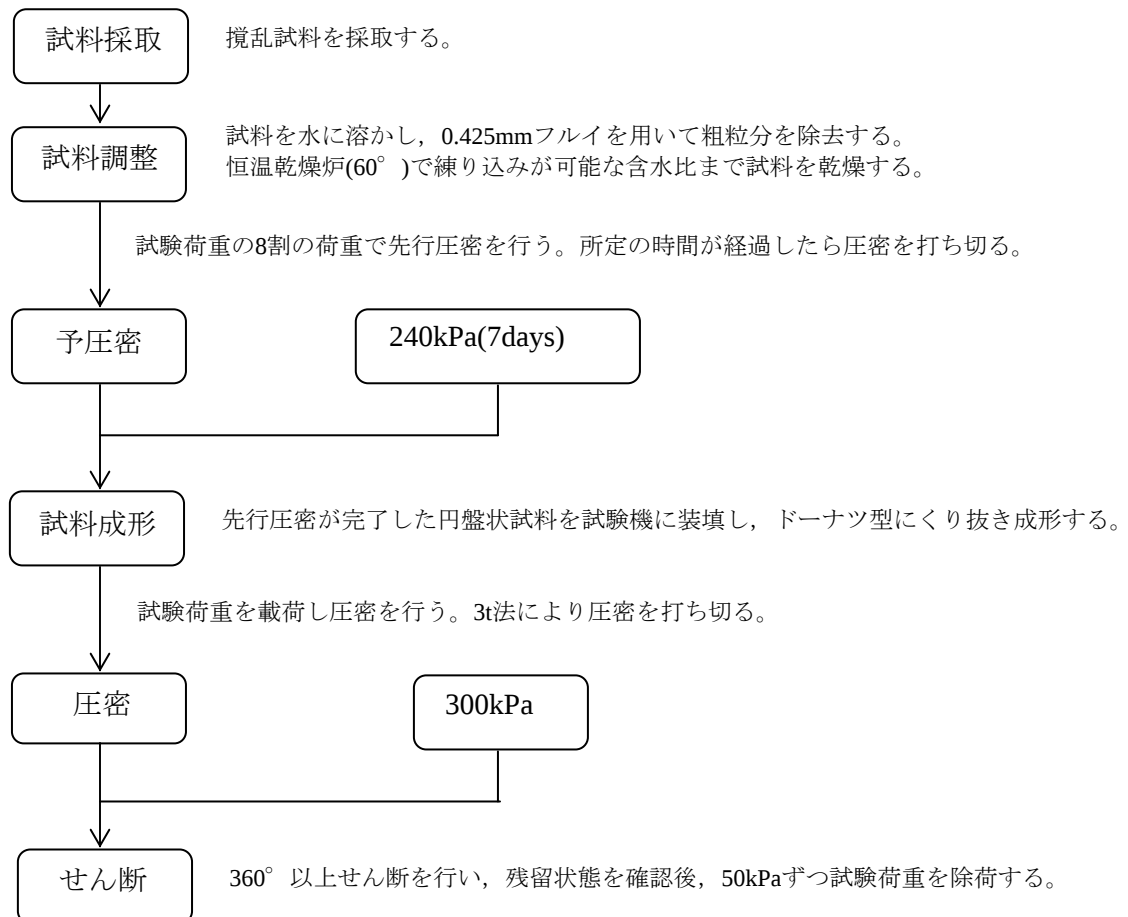


図3.3.22 リングせん断試験の試験工程(出典:JICA 調査団)

e.5 試験条件

せん断試験数……3試料（各1供試体）

供試体サイズ……外径150mm，内径100mm，厚さ20mm

せん断速度……0.02mm/min

最終変位量……360° 以上

試験荷重……300kPa [残留せん断状態確認後に300→250→200→150→100→50kPa]

圧密条件……正規圧密（OCR=1.0）

排水条件……圧密排水試験（CD試験）

e.6 試験結果および考察

試験の数値データや強度定数を決定する応力経路などの図表はデータシートにとりまとめた。

表3.3.19にリングせん断試験結果一覧表を示す。

表3.3.19 リングせん断試験結果（出典：JICA 調査団）

採取場所	試料名	採取深度 (GL-.m)	残留粘着力 Cr'(kPa)	残留せん断抵抗角 Φ' (°)
Chitrakoot	S-1	1.5-2.0	18.7	11.8
Quatre Soeurs	S-2	0.5-1.0	5.7	12.2
Vallee Pitot	S-3	0.5-1.0	3.5	6.4

ChitrakootおよびQuatre Soeursの残留せん断抵抗角 ϕ' が 11.8° , 12.2° となり, Vallee Pitot の ϕ' が 6.4° と低い値となった。

Vallee Pitotの土質は、ChitrakootやQuatre Soeursに比べると見かけ上、粘土質であり、粘土鉱物の含有などが影響している可能性もある。

なお、試験で得られる残留粘着力 c_r' については、試験機との摩擦の影響や試験の条件によって過大に計測される例もある。

実際の地すべり安定解析では、すべり面形状や地下水条件の推定誤差、地すべり周縁部の抵抗力の影響（縁端効果）など、様々な不確定要素が存在するため、せん断抵抗角 ϕ' を採用し、逆算法により c' を決定する方法が適している。見かけ上、逆算される c' にこれらの不確定要素の影響を加味することを提案する。

3.3.3 水質試験

水質分析の目的は、地すべり調査の一環として、調査地域における地下水の分布を明らかにし、地下水系統（流脈）を明らかにすることである。

a. 調査方法

水質分析用試料は、調査地域の2地区（Chitrakoot および Quatre Soeurs）において以下のようなサイトから合計 17 試料を採取した。サンプリングは、地すべり活動期に当る雨期に Chitrakoot が 2013 年 3 月末に、Quatre Soeurs が 2013 年 2 月 19 日に実施された。水質分析用の試料採取状況を示す。

表3.3.20 水質試験用の試料採取状況（出典：JICA 調査団）

水質試験試料の位置		水温(°C)	状 況
Chitrakoot	BH-C1	23	ボーリング孔内
	BH-C3	25	ボーリング孔内
	BH-C4	26	ボーリング孔内
	BH-C5	27	ボーリング孔内
	BBP(13)	24	既存ボーリング孔内
	BBP(6)	25	既存ボーリング孔内
	BBP(11)	24	既存ボーリング孔内
	P-C1	28	地表水 (小池)
	R-C1	24	地表水(溪流)
Quatre Soeurs	R-C2	23	地表水(溪流)
	BH-Q1	29	ボーリング孔内
	BH-Q2	27	ボーリング孔内
	BH-2	27	既存ボーリング孔内
	BH-3	28	既存ボーリング孔内
	BH-4	29	既存ボーリング孔内
	BH-%	26	既存ボーリング孔内
	RQ-1	28	地表水(溪流)

なお、ボーリング孔からの試料採取は、ボーリング孔に入る排水器（ペーラー）で実施する。既存水源（沢水）の試料採取はプラスチックバケツで採取する。これらの採取試料は、直ちにポリエチレンボトルに移され、分析室に持ち帰る。

b. 水質試験

水質試験の項目は、通常の地下水、地表水に含まれる主要溶存成分とする。下表には各項目の水質試験方法を示す。

表3.3.21 水質試験方法（出典：JICA 調査団）

項目		単位	方法
水温	-	°C	温度計
全硬度 (Total Hardness)	-	mg/l	滴定法
Ca 硬度 (Calcium Hardness)		mg/l	滴定法
Mg 硬度 (Magnesium Hardness)		mg/l	滴定法
P 硬度 (Phenolphthalein alkalinity)		mg/l	滴定法
M 硬度 (Methyl Orange Alkalinity)		mg/l	滴定法
塩素イオン	Cl	mg/l	滴定法/イオンクロマトグラフ法
硫酸イオン	SO ₄	mg/l	吸光光度法/イオンクロマトグラフ法
ケイ酸(シリカ)	SiO ₂	mg/l	吸光光度法
ナトリウム	Na	mg/l	原子吸光光度法
カリウム	K	mg/l	原子吸光光度法

c. 水質試験による地下水の解析方法と解析結果

水質分析による地下水系統（流脈）を把握するために、主要溶存成分の分析結果は、分析値の図式表現を行って整理した。具体的には、ヘキサダイアグラムを作成して地質断面図上にプロットし、水質組成の変化を解析した。

c.1 ヘキサダイアグラム

ヘキサダイアグラムは、縦軸の左右に設けられた meq/l 濃度を軸に、左側に陽イオン、右側に陰イオンをプロットし、各点を直線で結んで六角形の図形として表現したものである。

この図形の形により、地下水系の区分や、地下水の移動に伴う水質変化を解析する。また、ヘキサダイアグラムは、両サイドに大きい図形は、これらの成分濃度が高く、逆に細い図形は成分濃度が少ないことを表している。したがって、地下水の溶存成分が多いということは、地下水が長時間流動してきたことを意味している。

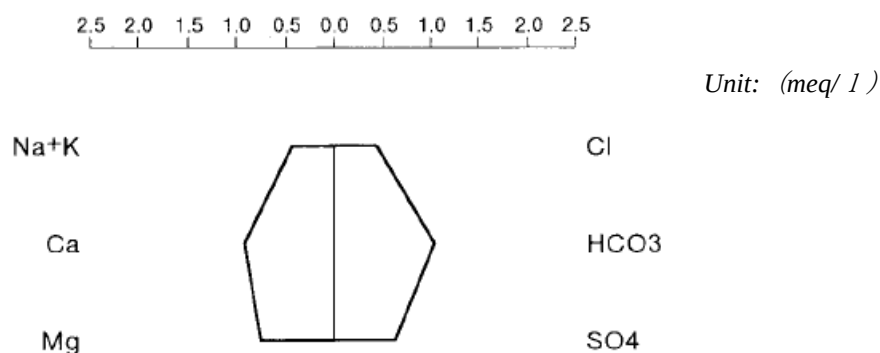


図3.3.23 ヘキサダイアグラムの例（出典：JICA 調査団）

c.2 解析結果

2 地区における各水源のヘキサダイアグラムは、以下に示すとおりである。

Chitrakoot

- 全地点で主要溶存成分量は少なく（10 meq/l 以下）、地下水は地表水とほぼ同じ成分構成を示している。また、地下水の水温は、全地点で 23℃以上と高い。

Quatre Soeurs

- BH-4 を除く全地点で主要溶存成分量は少なく、地下水は地表水とほぼ同じ成分構成を示している。また、地下水の水温は、全地点で 28℃以上と高い。なお、BH-4 は、 Na^+ と Cl^- が多く溶存し、海水が混入している可能性が示唆された。

以上の結果から、地すべり活動に起因する地下水は、浅層地下であり、降雨とよく連動すると推察される。

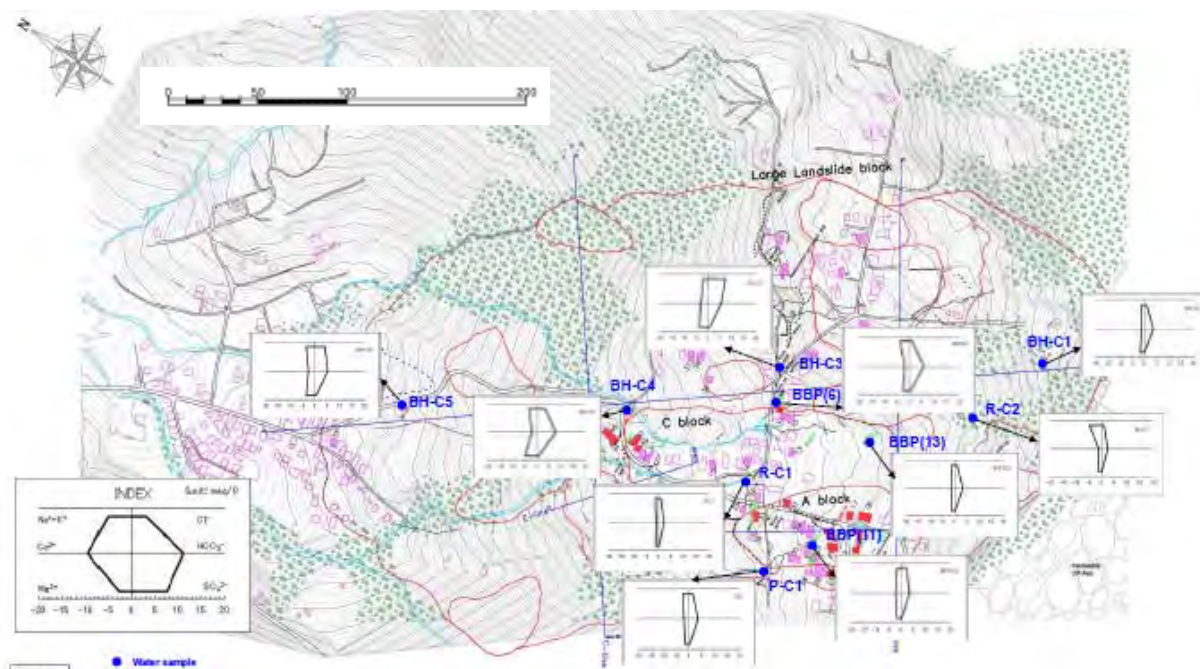


図3.3.24 Chtrakoot における地下水のヘキサダイアグラム（出典: JICA 調査団）

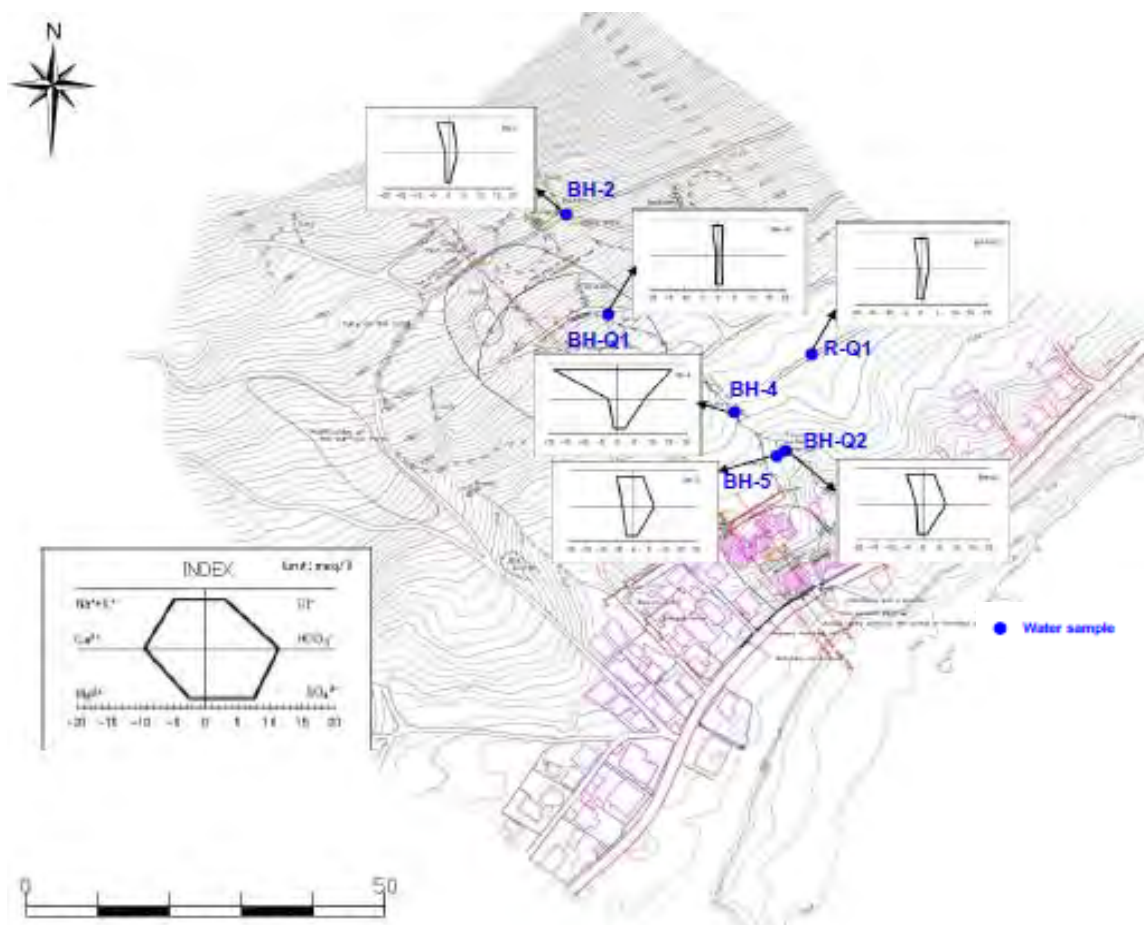


図3.3.25 Quatre Soeurs における地下水のヘキサダイアグラム（出典: JICA 調査団）

3.4 モニタリング

3.4.1 機器設置

地すべりの動きおよび周囲の環境（地下水、降雨など）の変化を、計器を使って監視するモニタリングを行っている。本プロジェクトにおけるモニタリングの主目的は以下の2点である。

- 地すべりの性状（大きさ、形、活動度、原因）を知る ⇒ 対策の検討資料
- 早期警戒

モニタリングを実施している地区（対象地すべり）は3地区（Chitrakoot、Vallee Pitot、Quatre Soeurs）である。本プロジェクトでのモニタリングは以下の計測器を使用した。

表3.4.1 設置した地すべり観測計器（出典：JICA 調査団）

計器	目的	センサーモデル	ロガーモデル	製造	設置場所
伸縮計	地表の地盤変位（2点間の距離、自動）	SLG-100	センサーに込み (1時間毎)	オサシテクノス	Chitrakoot, Quatre Soeurs, Vallee Pitot
レーザー距離計	地表の地盤変位（2点間の距離、手動）	DIST D3aBT	手動 (1回/月)	Leica	Quatre Soeurs
孔内傾斜計	地中の地盤変位（最深部との相対的横方向変異）	KB-10HC	TC-32K (1回/月)	東京測器研究所	Chitrakoot
ひずみ計	地中の地盤変位（地中に発生するひずみ）	SKF-6070	TCR-25 (1回/月)	東京電機	Chitrakoot, Quatre Soeurs
自動地下水位計	地下水位の変位（地下水中の水圧変化、自動）	DS-1	WLG-01 (1時間毎)	オサシテクノス	Chitrakoot, Quatre Soeurs
手動地下水位計	地下水位の変位（地表と地下水位面の距離、手動）		手動 (1回/月)		Quatre Soeurs
雨量計	降水量	RS-2	Net LG-201E (1時間毎)	オサシテクノス	Chitrakoot, Quatre Soeurs

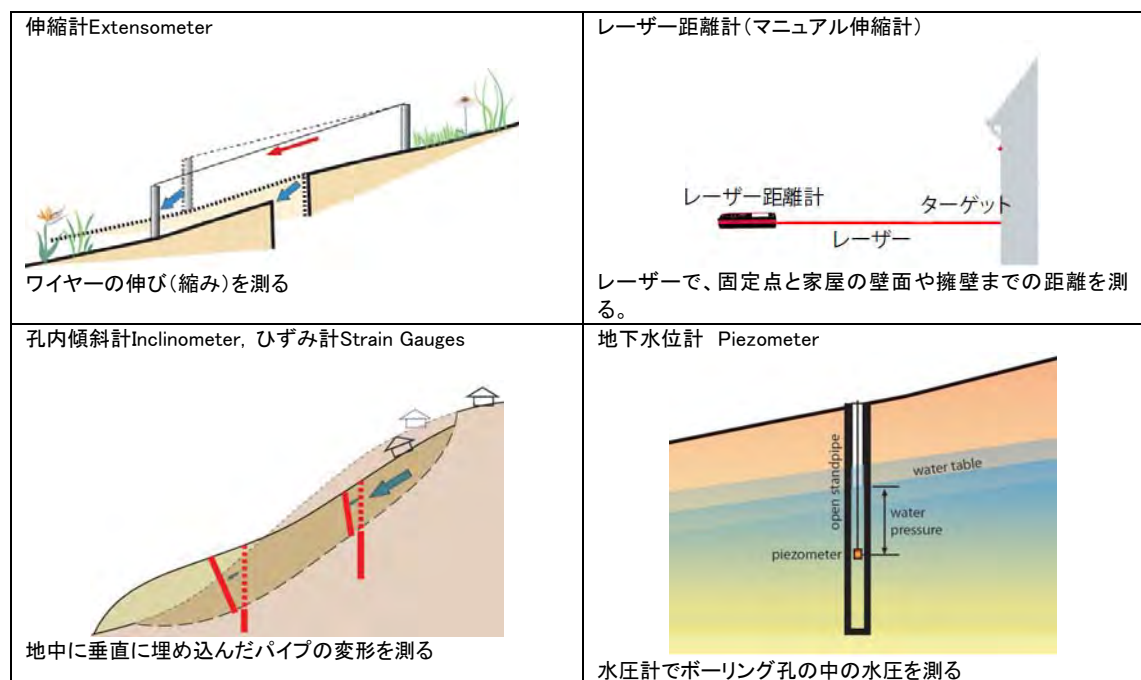


図3.4.1 計測器の原理（出典：JICA 調査団）

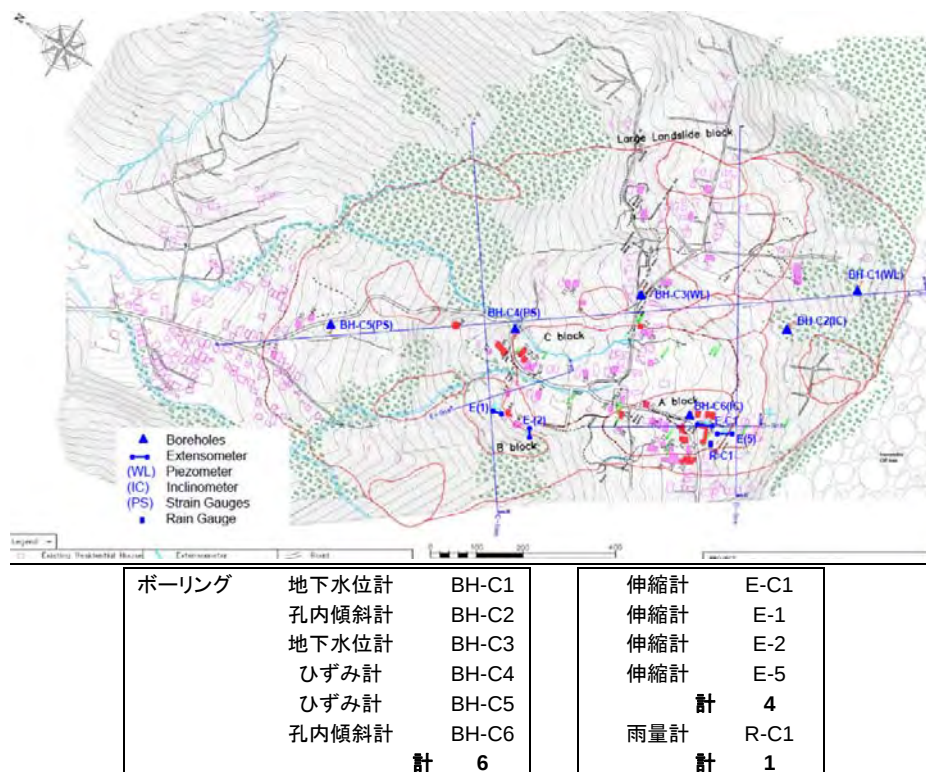
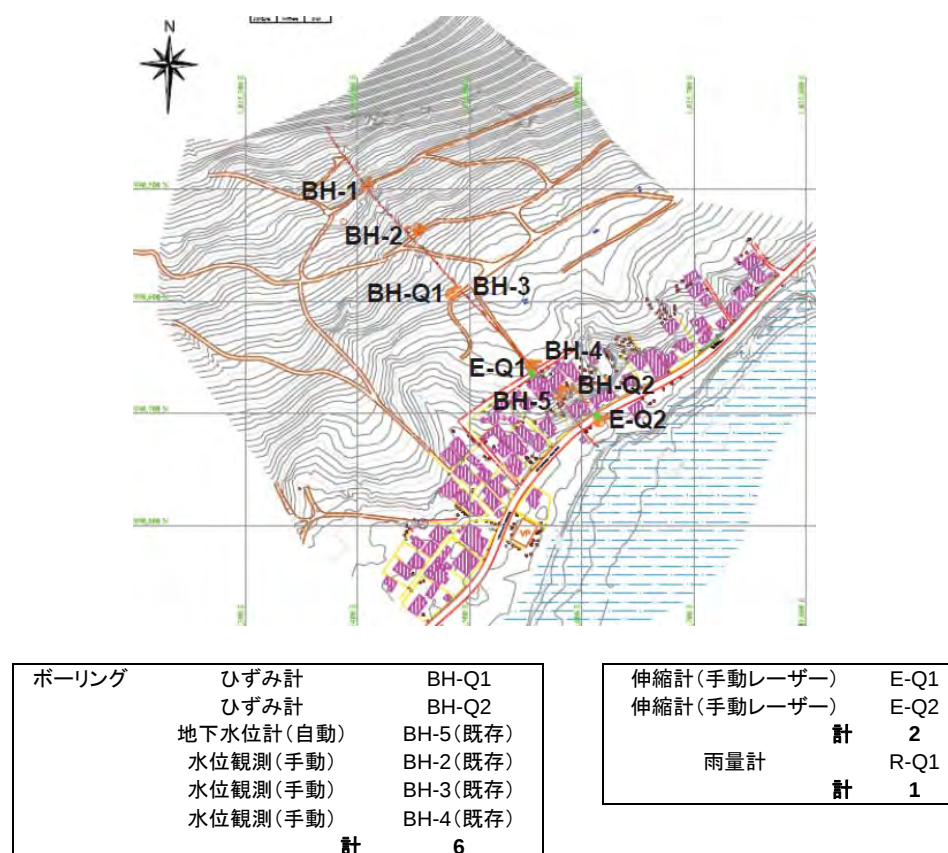


図3.4.2 地すべり計器の設置場所 - Chitrakoot（出典: JICA 調査団）



● 雨量計は上図の範囲外の公民館に設置

図3.4.3 地すべり計器の設置場所 - Quatre Soeurs（出典: JICA 調査団）

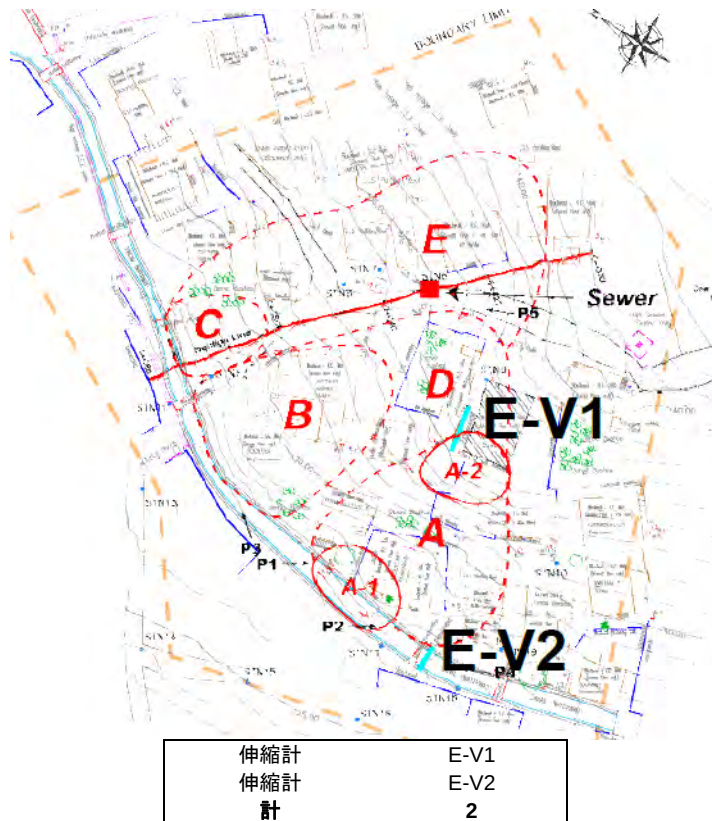


図3.4.4 地すべり計器の設置場所 - Vallee Pitot（出典:JICA 調査団）

3.4.2 モニタリング結果

a. Chitrakoot

a.1 雨量計

雨量計は、チトラクート地すべりの南西端付近に設置している。

観測期間中（2013年2月26日-2015年3月4日）、雨期の11月から4月までの間の雨量が多く記録されている。最も雨量の多い月は2014年12月で450.0mmであり、最も雨量の少ない月は2013年9月で8.5mmであった。観測開始以降、日雨量が50mmを超えた日は10日あった。

日雨量が100mmを越えた日は2013年3月30日、2014年3月21日、2014年12月16日の3回である。2014年12月16日には6時間で133.0mm、最大時間雨量77.0mmという激しい降雨が記録されている。2014年3月21日には日雨量132.0mm、最大時間雨量50.0mmという激しい降雨が記録されている。2013年3月30日は日雨量106.5mmであったが、翌日31日の雨量を合わせた連続雨量は152.5mmと多量の降雨を記録した。この間の最大時間雨量は、31日に25.5mmを記録している。

2014年の年間降雨量は、1881.5mmであった。

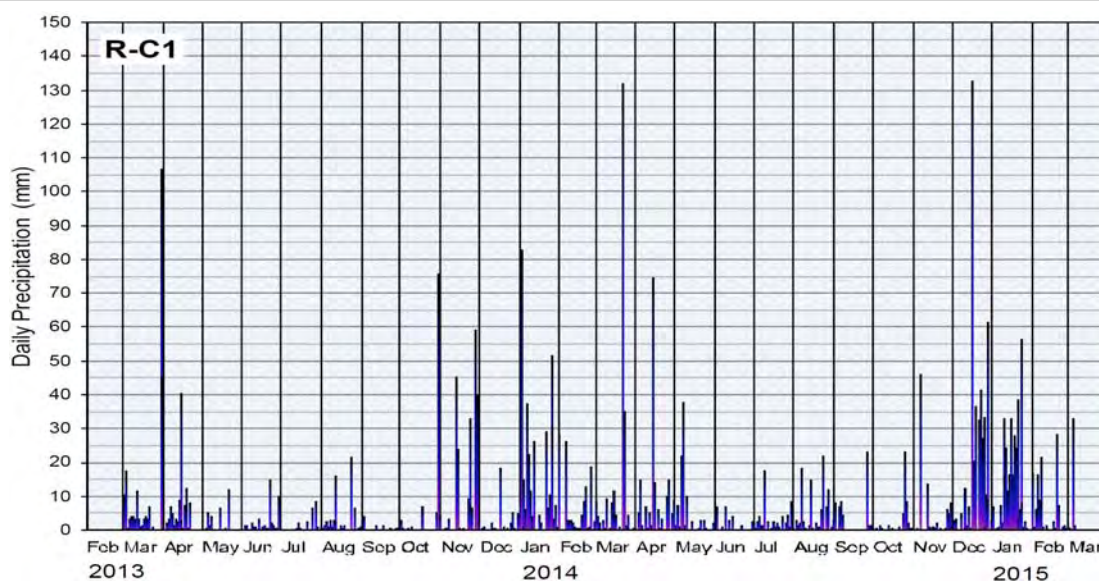


図3.4.5 雨量計観測結果-Chitrakoot(出典:JICA 調査団)

表3.4.2 月雨量、最大日雨量、最大時間雨量-Chitrakoot(出典:JICA 調査団)

2013 年

月	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月雨量 mm	244.5	115.0	35.0	47.5	23.5	65.5	8.5	97.0	233.5	41.0
最大日雨量 mm	106.5	40.5	12.0	15.0	8.5	21.5	4.0	76.0	59.0	18.5
最大時間雨量 mm	26.0	4.5	4.0	7.5	3.0	8.5	1.0	21.0	25.0	9.5

2014 年

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月雨量 mm	422.5	115.0	234.5	175.5	95.0	26.0	69.0	102.0	57.0	46.5	88.5	450.0
最大日雨量 mm	83.0	26.5	132.0	74.5	38.0	7.0	17.5	22.0	23.0	23.0	46.0	133.0
最大時間雨量 mm	29.0	8.5	50.0	25.0	8.5	3.5	14.0	10.0	3.5	8.0	26.0	77.0

2015 年

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月雨量 mm	367.0	116.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大日雨量 mm	56.5	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大時間雨量 mm	30.0	7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

a.2 伸縮計

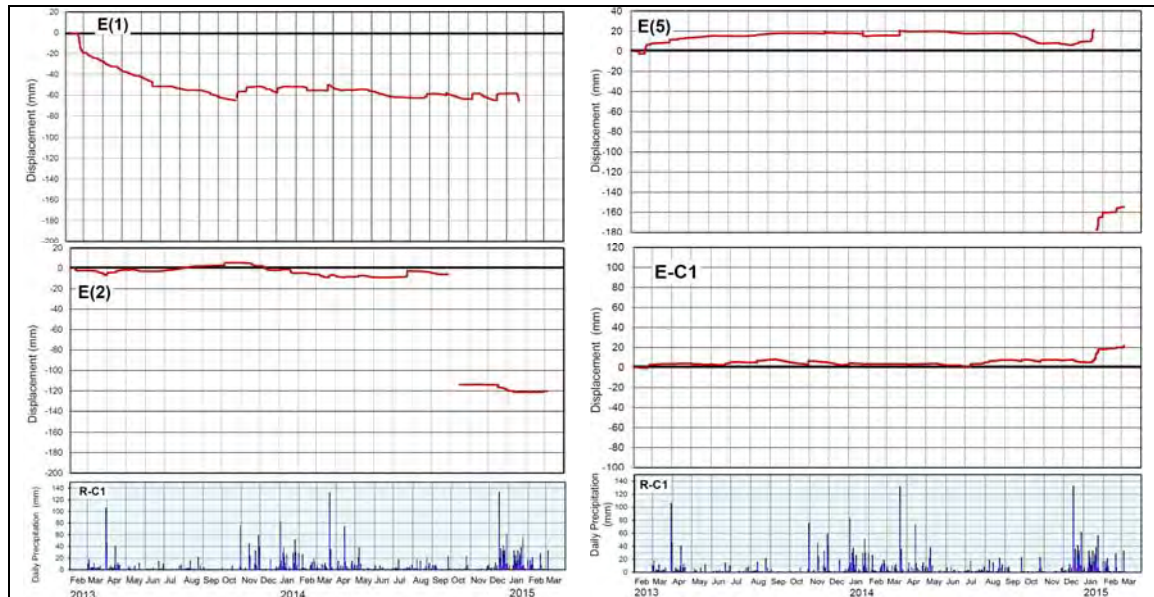
E(1)は地すべり末端部に設置されている。圧縮変位が 2013 年 10 月頃まで続いたが、それ以降は大きな変異はない。現場の状況から、2013 年 10 月までの圧縮変位は、周囲の地盤や近傍の家屋に変状がなく、保護カゴの基礎にのみ圧縮の変形が見られることから、地すべりの変位ではなく、ごく浅い表層のクリープ変位と思われる。

E(2)は地すべり末端部に設置されている。変位はわずかであるが引っ張りと圧縮が交互に出ている。変位量がプラスマイナス 10mm 以内であることから、地すべりの範囲は緩慢である。時々、5mm 以内の小さな変位が記録されている。2014 年 9 月に異常が発生し 10 月に回復したが、この間の変位量が 100mm 以上となっている。これは、計器に衝撃があったための人為的な異常で、地すべりの変位を示しているものではない。

E(5)は地すべりの頭部に位置する学校の近くに設置した。2013 年 3, 4, 5 月に計 16mm

の伸長変位が記録されているが、それ以降は大きな変異はなく、地すべりの活動は極めて緩慢である。2015 年 1 月に 100mm 以上圧縮側に変位が記録されているが、計測中の人為的な異常で、地すべりの変位を示しているものではない。2015 年 1 月に 20mm 程度の引張り変位が記録されている。

EC-1 は学校の敷地内である。設置後から大きな変異はなく、変位量は 10mm 以内である。地すべり活動は極めて緩慢である。と言える。時々、5mm 以内の小さな変位が記録されている。2015 年 1 月に 15mm 程度の引張り変位が記録されている。



（プラス：伸長変位、マイナス：圧縮変位）

図3.4.6 伸縮計観測結果-Chitrakoot(出典:JICA 調査団)

a.3 孔内傾斜計

BH-C2 で軸方向（垂直方向）の 13m 以深で軸方向の圧縮と思われる屈曲変位が現れている。軸方向の圧縮は、地中の垂直方向の圧縮を示しているものと考えられるが、このような変位はしばしば地すべりの頭部で見られる。地すべり頭部で鉛直方向の力が強いために傾斜計パイプが屈曲する。屈曲はグラウト（砂充填）がよくなかった箇所強くあらわれていると思われる。すべり面は 15m 付近の可能性がある。

BH-C6 は 6-7m での変位が大きく、初期値（2013 年 1 月）と 1 回目（2013 年 2 月）の計測後に測定ができなくなった。深度 6-7m にすべり面のある地すべりの動きを表しているものと思われる。1 か月間に計測が不可能になるほどの変位は、この地点の地すべりの活動はかなり活発であることを示す

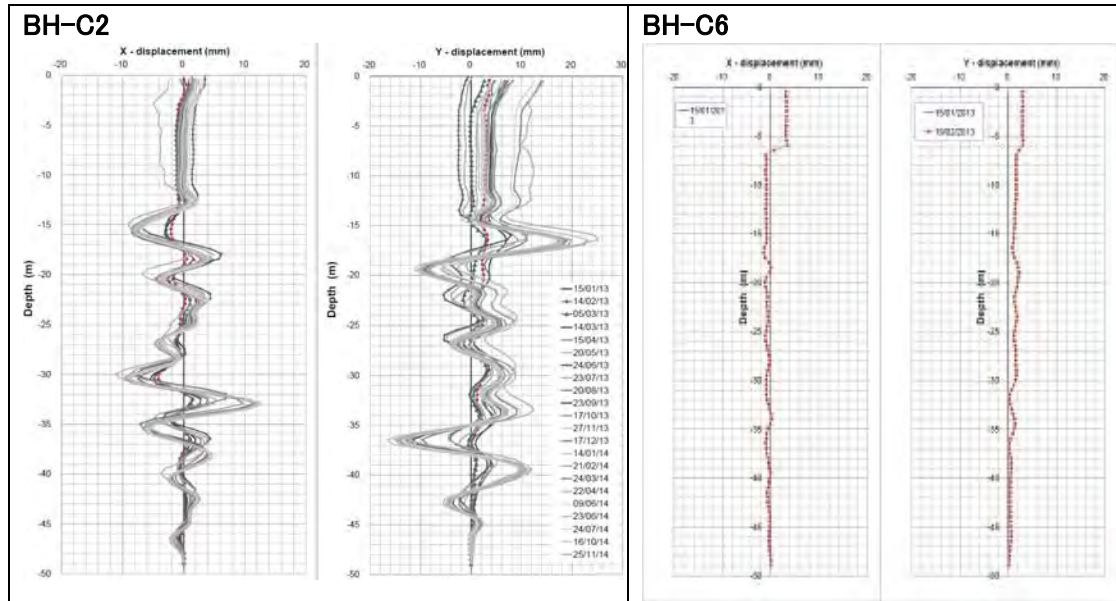


図3.4.7 孔内傾斜計測定結果-Chitrakoot（出典：JICA 調査団）

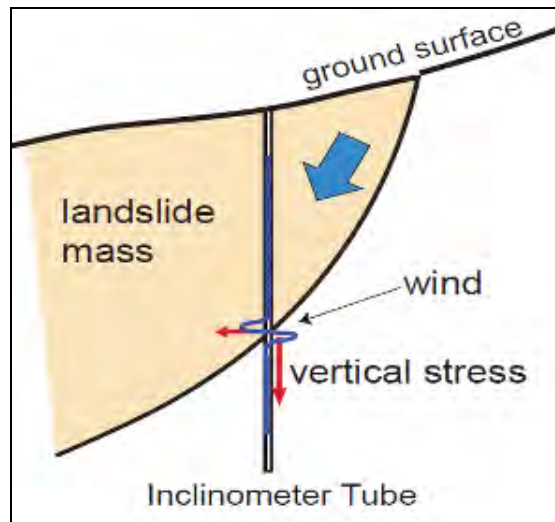


図3.4.8 地すべり頭部で卓越する鉛直方向の力(出典：JICA 調査団)

a.4 パイプ歪計

BH-C4 は 13m 付近、21m 付近、6m 以浅でわずかに変位が見られる。変位量は小さいので地すべりの変位とは言えないが、今後も注視する必要がある。

BH-C5 は特記すべき変位はなく、地すべりの活動はとらえられていない。

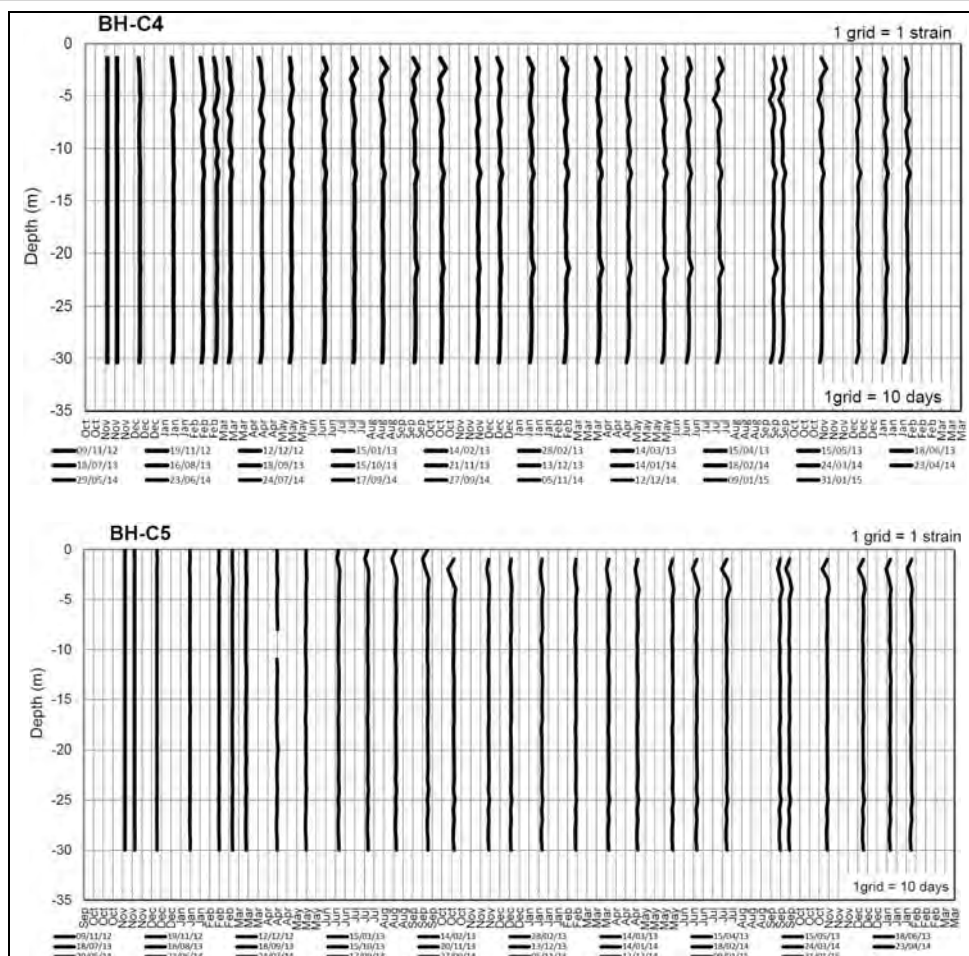


図3.4.9 パイプひずみ計測結果-Chitrakoot(出典: JICA 調査団)

a.5 地下水位計

BH-C1, BH-C3 に水位計を設置した。BH-C3 は地下水位が 40m 付近あり地すべりとの関係がない地下水位と判断したため、既存ボーリング BH-11 に設置した。

BH-C1 では、12 月または 1 月に深度 10m 程度まで水位が上昇し、6 月に水位は低下するという、年変化が明瞭に表れている。この変化は、11 月頃から降水量が多くなり 4 月頃まで続く雨期とは、1-2 か月ほど後ろにずれている。このことは、この地域の地下水は、動きが緩慢であることを表していると考えられる。またこのことからこの地域の地盤の透水性は悪いと考えることができる。2013 年 8 月から 11 月までは計測器の異常による欠測である。

BH-11 は、2013 年 2 月 1 日から観測を開始したが、2 月 14 日に地表の計測器の深度まで地下水位が上昇したため計測器が水没した。そのため 2013 年 2 月 14 日から 2014 年 2 月 18 日までは欠測となっている。2014 年 2 月から 2014 年 6 月まで地下水位は地表面にあった。2014 年以降地下水位は徐々に低下している。BH-11 の地表面の孔口からの湧水が観察されていることから、この孔の地下水は、雨期には被圧しているものと思われる。水圧計でとらえられる地下水位は地表面までなので（地下水が孔口からあふれてしまうため）、水圧計では 2014 年 2 月から 6 月には地下水位は地表に一定しているが、この間の地下水は被圧し、水位は降雨にともない地表面より上まで上昇しているものと思われる。

観測はしていないが BH-C3 の水位は、深度 40m 付近と非常に深い位置にあることが

2012 年 11 月に確認されている。

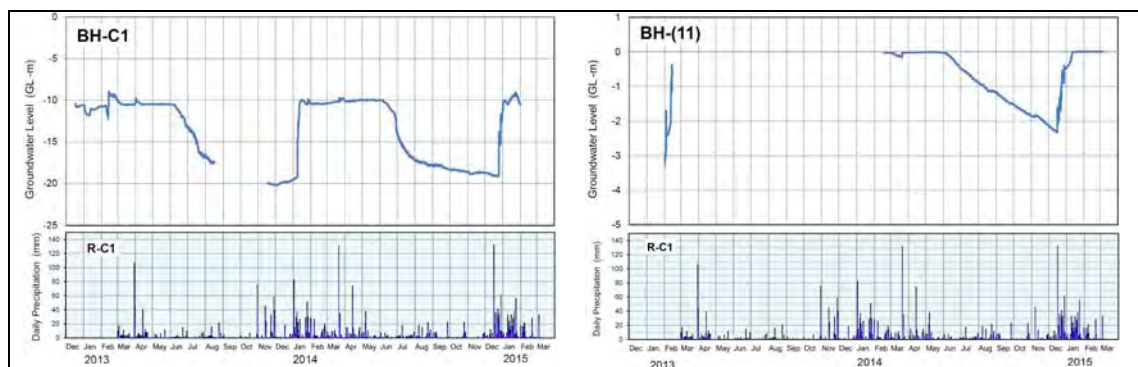


図3.4.10 地下水位観測結果-Chitrakoot(出典: JICA 調査団)

b. Quatre Soeurs

b.1 雨量計

雨量計は、Quatre Soeurs 地すべりから南に直線で約 0.5km の位置に設置してある。

観測期間中（2013 年 4 月 2 日-2015 年 3 月 4 日）、雨期の 11 月から 4 月までの間の雨量が多く記録されている。最も雨量の多い月は 2015 年 1 月で 392.0mm であり、最も雨量の少ない月は 2013 年 5 月で 13.0mm であった。観測開始以降、日雨量が 50mm を超えた日は 7 日あった。日雨量が 100mm を越えたのは 2014 年 12 月 17 日の 1 日だけであった。

2014 年 12 月 17 日に日雨量 118.5mm、最大時間雨量 58.0mm と激しい降雨が記録されている。2014 年 3 月 21 日に日雨量 98.0mm、最大時間雨量 39.0mm と激しい降雨が記録されている。翌日 22 日にも降雨は連続し、合計連続雨量は 117.5mm と 100mm を超えていた。2013 年 11 月 14 日に日雨量 94.5mm が記録されている。観測期間で 3 番目に多い降雨である。この前日の 13 日より降雨が始まり、前日からの合計連続雨量は 121.5mm であった。ただ、最大時間雨量は 19.0mm で雨の強度はあまり強いものではなかった。

2014 年の年間降雨量は、1541.0mm であった。

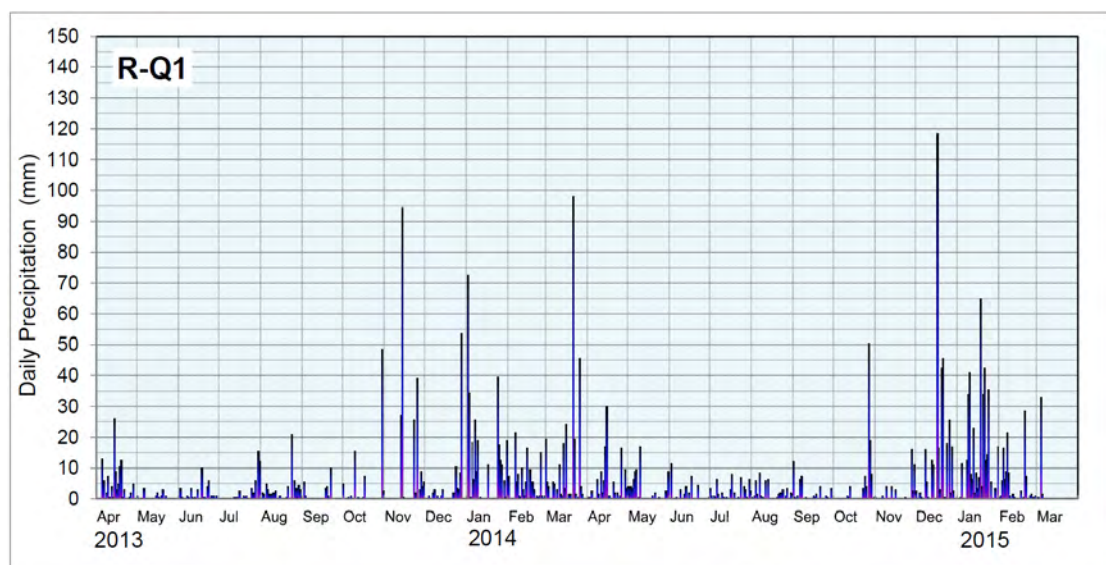


図3.4.11 雨量計観測結果-Quatre Soeurs(出典: JICA 調査団)

表3.4.3 月雨量、最大日雨量、最大時間雨量-Quatre Soeurs(出典: JICA 調査団)

2013 年

月	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月雨量 mm	-	111.0	13.0	38.0	47.5	67.0	25.0	81.5	210.0	92.0
最大日雨量 mm	-	26.0	3.5	10.0	15.5	21.0	10.0	48.5	94.5	53.5
最大時間雨量 mm	-	7.5	1.5	5.5	6.0	6.0	6.5	12.0	19.0	23.0

2014 年

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月雨量 mm	304.0	118.0	275.0	116.5	72.0	35.0	54.0	43.0	40.0	98.5	42.5	342.5
最大日雨量 mm	72.5	21.5	98.0	30.0	17.0	11.0	8.0	8.5	12.0	50.5	16.0	118.5
最大時間雨量 mm	18.0	4.5	39.0	8.0	9.0	5.0	4.5	4.5	5.0	37.0	10.0	58.0

2015 年

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月雨量 mm	392.0	116.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大日雨量 mm	65.0	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大時間雨量 mm	12.0	7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

b.2 伸縮計（レーザー距離計）

レーザー距離計を使用し、2点間の距離を測る伸縮計である。記録は1か月ごとのマニュアル観測である。斜面の上方にある E-Q1 は引張り変位、下方にある E-Q2 は圧縮変位がでることが予想された。

E-Q1 と E-Q2 とともに、10mm 以内の変位であり、変位はほとんど記録されていないと言える。E-Q1 は冬に伸長側に変位し、夏に圧縮側に変位しているように見える。E-Q2 は E-Q1 にやや遅れているものの、E-Q1 と同じような傾向を示している。温度変化による変位の可能性をとらえている可能性がある。

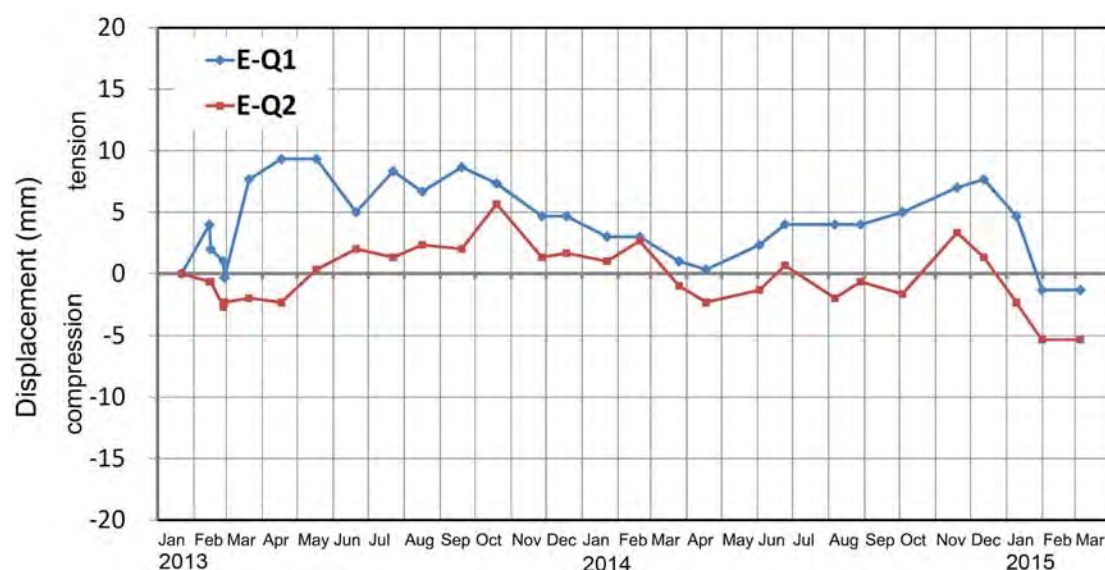


図3.4.12 伸縮計（レーザー）計測結果-Quatre Soeurs(出典: JICA 調査団)

b.3 パイプ歪計

BH-Q2 では、深度 2、7、11 付近に若干のひずみが見られるが、地すべりのすべり面と確定するほどの大きなひずみではない。

BH-Q1 では、特記すべき変位はない。

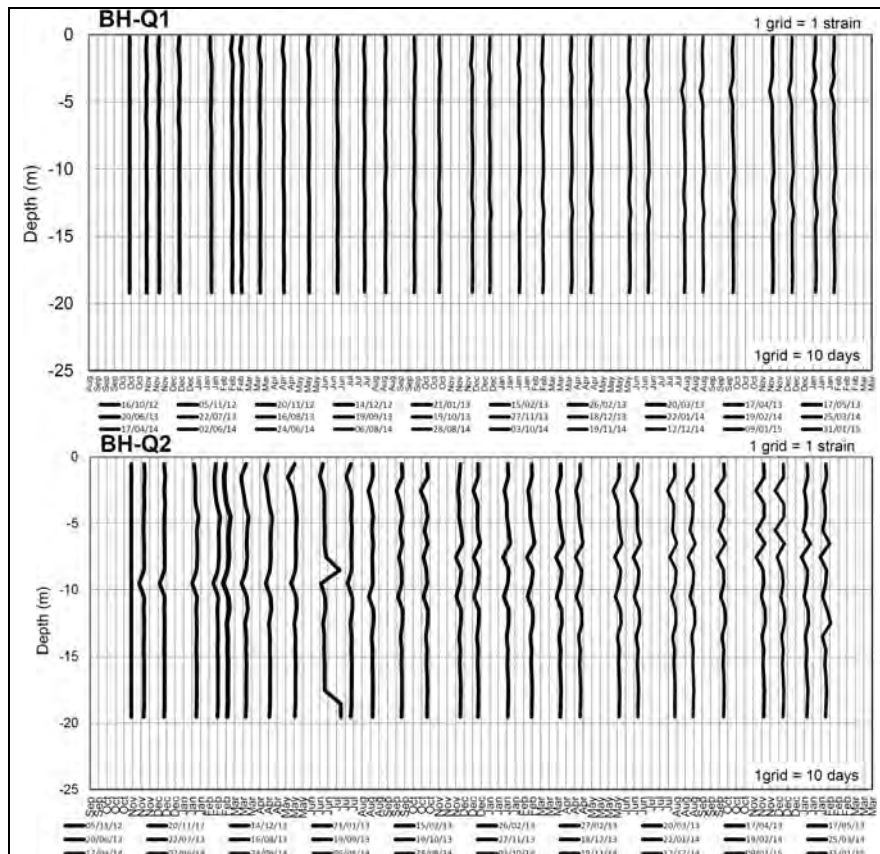


図3.4.13 パイプひずみ計計測結果-Quatre Soeurs(出典: JICA 調査団)

b.4 地下水位計（自動計測）

BH-Q2 での地下水は海水と連動したものであり（図 3.4.15）、地すべりの動きとは関連がないと判断した。水位計を BH-5 に移設した。

BH5 では、4 月中の地下水位は雨と密接に変位している。わずかな日雨量でも地下水は深度 0.5m 程度まで上昇している。基底水位は深度 3.5m～4.0m で、雨期に 3.5m 付近、雨期以外に 4.0m 付近に変化する。地下水位の変化が速いことから、BH-5 でとらえている地下水は地表近くの透水性の高い層を流れる浅い地下水と考えられる。

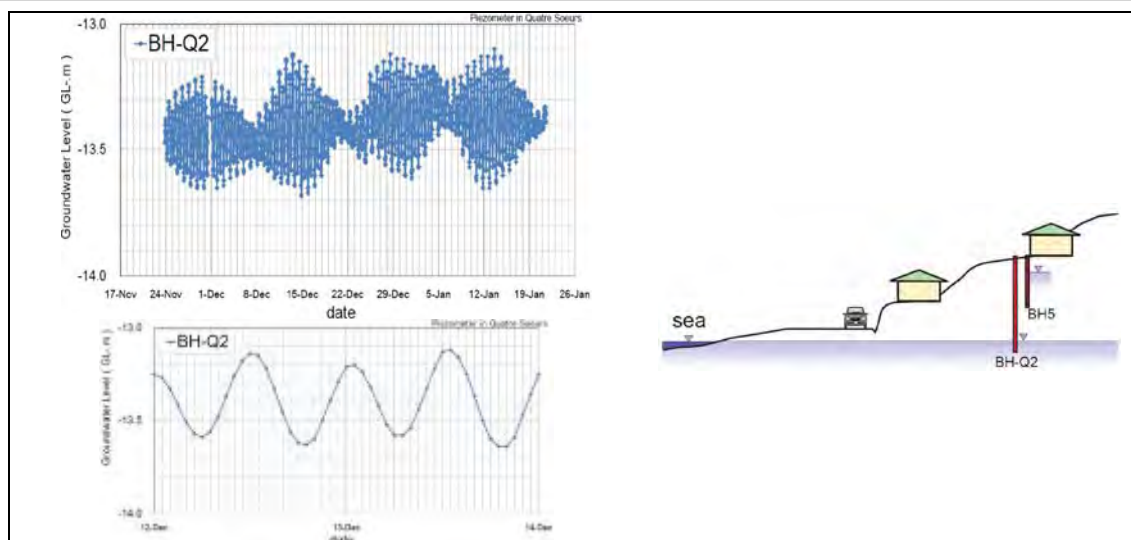


図3.4.14 BH-Q2 における潮汐に連動した地下水の変化-Quatre Soeurs(出典: JICA 調査団)

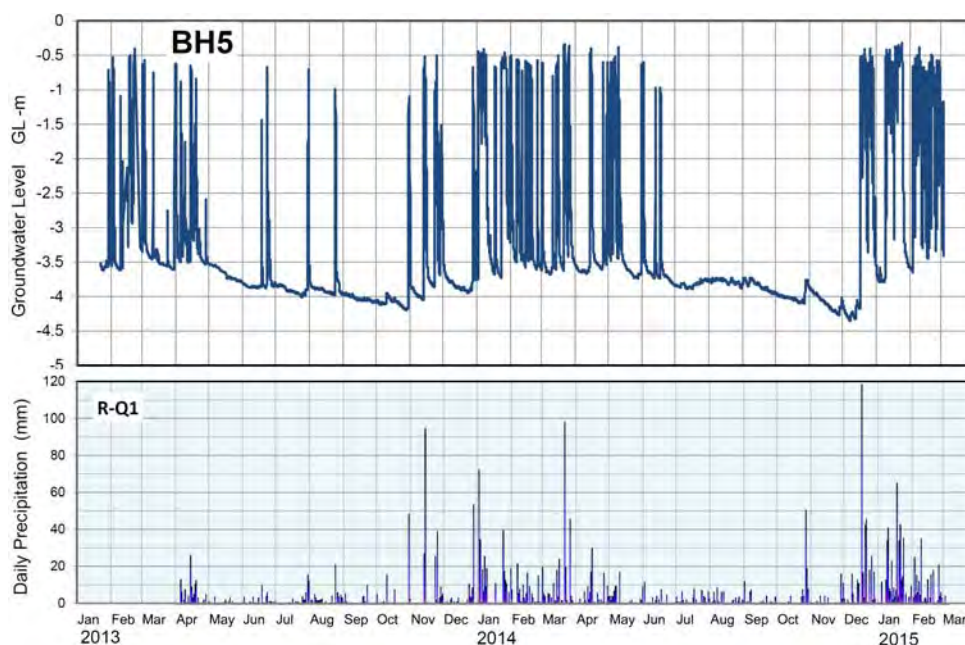


図3.4.15 BH-5 地下水観測結果-Quatre Soeurs(出典: JICA 調査団)

b.5 地下水位計（手動計測）

手動地下水位計を使っての地下水位観測は6孔で1回/月行われた。BH-Q1、BH-3 以外の地下水位変化が少ないが、原因はストレーナーの目詰まりと、孔内のたまり水と思われる。またデータがないところは、水位が孔底以下に下がり実際の水位が測定できていないためである。地下水位を反映していると思われる BH-Q1 では、乾期に深度 14m 付近にある水位は雨期の 2013 年 2 月には深度 1m 程度まで、2014 年 3 月には深度 5m 程度まで上昇している。BH-Q1 における雨期と乾期との間の地下水位の変動幅は 10m 以上あることから、この地区の地下水位の変動は大きいと言える。

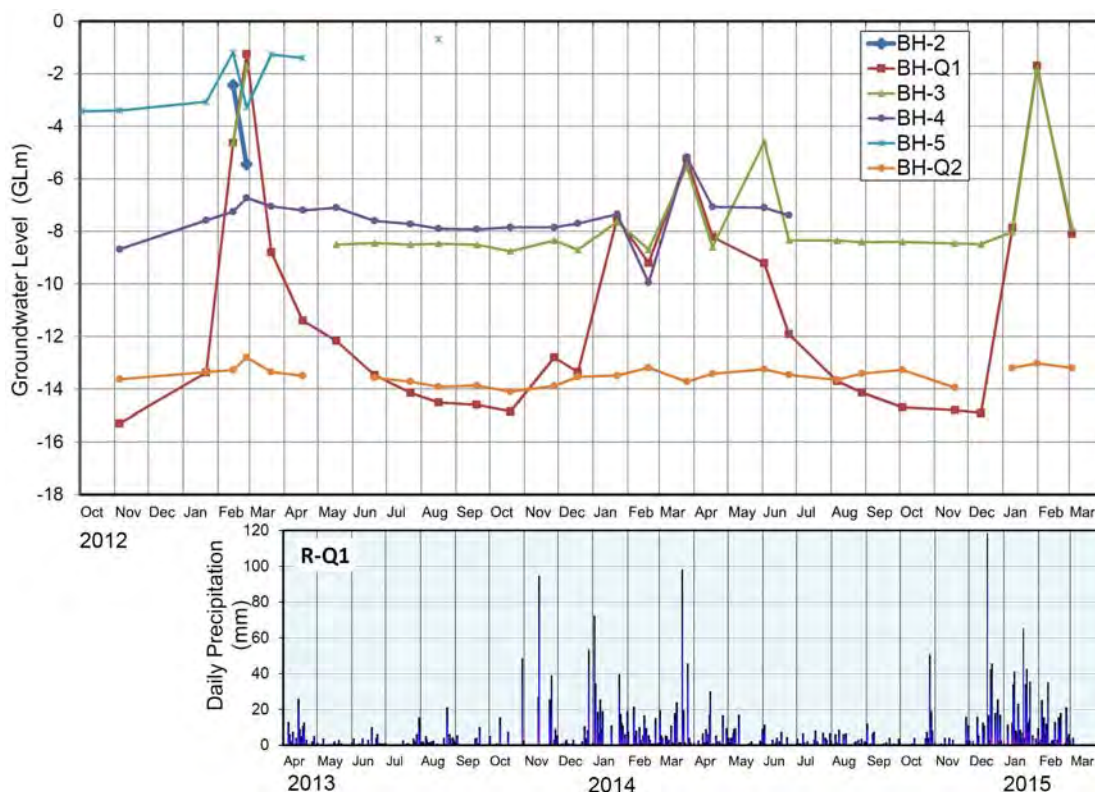


図3.4.16 地下水観測結果(手動)-Quatre Soeurs(出典: JICA 調査団)

c. Vallee Pitot

Vallee Pitot では、2 台の伸縮計が地すべりの頭部 (EV1) と末端部 (EV2) に 1 カ所ずつ設置した。

EV1 は、2013 年 2 月の設置直後に大きな伸長変位があられ、その後も降雨と連動して、わずかな伸長変位が出ていた。2014 年 1 月以降には、変位は 10mm 以内と変位は小さくなっている。2013 年 12 月の大きな変位は、伸縮計ワイヤーに触れたための人為的な変位である。2015 年 1 月に 60mm 近くの大きな伸長変位が記録された。この動きは地すべり活動によるものであり、付近の住宅にも変状が現れた。

EV2 は、2013 年 2 月の設置直後から圧縮変位が出ていたが、2013 年 5 月から 10 月まで伸長変位に変わっている。2013 年 10 月以降は、穏やかな伸長と急激な圧縮を繰り返す傾向が続いている。EV2 は水路をまたいで設置されているため、図 3.4.19 のように水路の変形をとまなう局所的な動きを示していると思われる。圧縮は斜面上方からの地すべりによる変位、伸長は水路の変形による局所的な変化と思われる。EV1 では 2015 年 1 月に大きな変位が記録されたが、EV2 では変位はほとんどなかった。

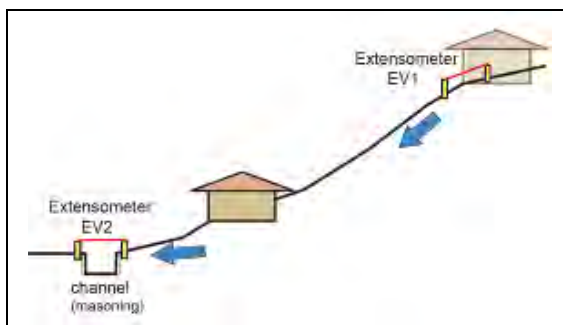
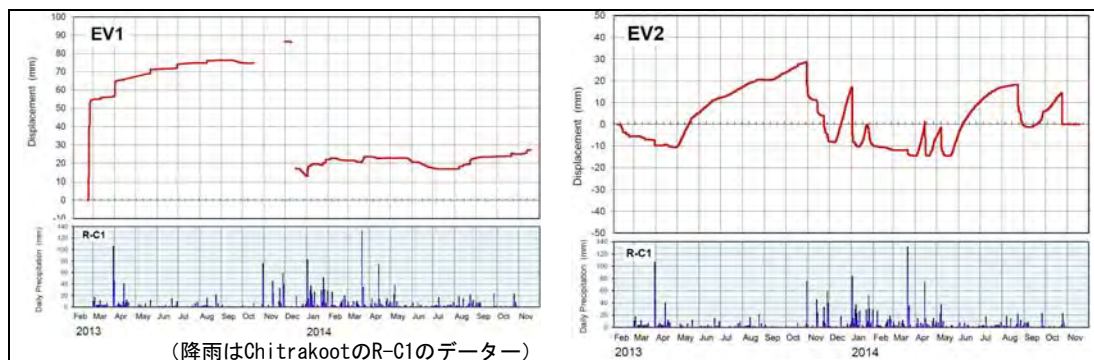


図3.4.17 Vallee Pitot での伸縮計の設置（出典：JICA 調査団）



（プラス：伸長変位、マイナス：圧縮変位）

図3.4.18 伸縮計観測結果- Vallee Pitot(出典：JICA 調査団)

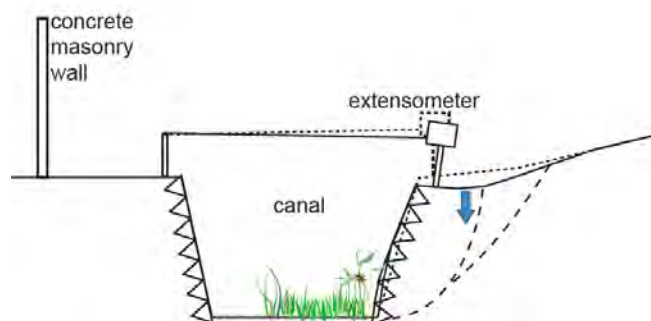


図3.4.19 EV2 での伸長変位（出典：JICA 調査団）

3.5 物理探査

3.5.1 弾性波探査

a. 探査の目的

弾性波探査は、地震探査とも言われ、大地に弾性波を発生させて伝搬速度を測定し、比較的浅い地質構造を明らかにする方法である。地すべり調査では、地すべり地の風化土層や風化の程度を推定したり、地層の層序や断層・破碎帯を把握する場合に利用する。また、地下構造を推定して地下水排除工計画の基礎資料とする。弾性波探査の測線は一般に、地すべりの移動方向や地層の走向傾斜の方向に設定し、測線長は探査深度の少なくとも6～7倍以上、15倍以内とする。

b. 数量および仕様

表3.5.1に弾性波探査の仕様を、表3.5.2に各測線の内訳、測線長を示す。

探査方法は、調査地が住宅地であることより、ハンマー打撃によるスタッキング法を採用した。受振点および起振点間隔は一般値に基づくものである。

測線は地すべり地縦断方向をA測線、横断方向をB測線、C測線とした。A測線、B測線については、測線上に障害物や私有地があり、細分して設定した。C測線については、ほぼ直線上での設定が可能であった。

表3.5.1 弾性波探査の仕様（出典：JICA 調査団）

探査方法	屈折法弾性波探査(P波)
仕 様	スタッキング法
起 振 法	ハンマー打撃
受振点間隔	5 m
起振点間隔	約 30 m

表3.5.2 弾性波探査の仕様と測線長（出典：JICA 調査団）

測 線	内 訳	測線長(m)
A1測線	連続8測線、測線長各115m (A1-1～A1-8測線) ボーリング孔BH C1、BH C4が隣接	920
A2測線	重複2測線、測線長各115m (A2-1とA2-2測線) ボーリング孔BH C5が隣接	230
B1測線	連続2 測線、測線長各115m (B1-1とB1-2測線)	230
B2A測線	重複 2測線、測線長各115m (B2A-1とB2A-2測線)	230
B2B測線	測線長115m (B2B測線)	115
C測線	連続2測線、測線長各115m (C-1とC-2測線)	230
合 計		1,955

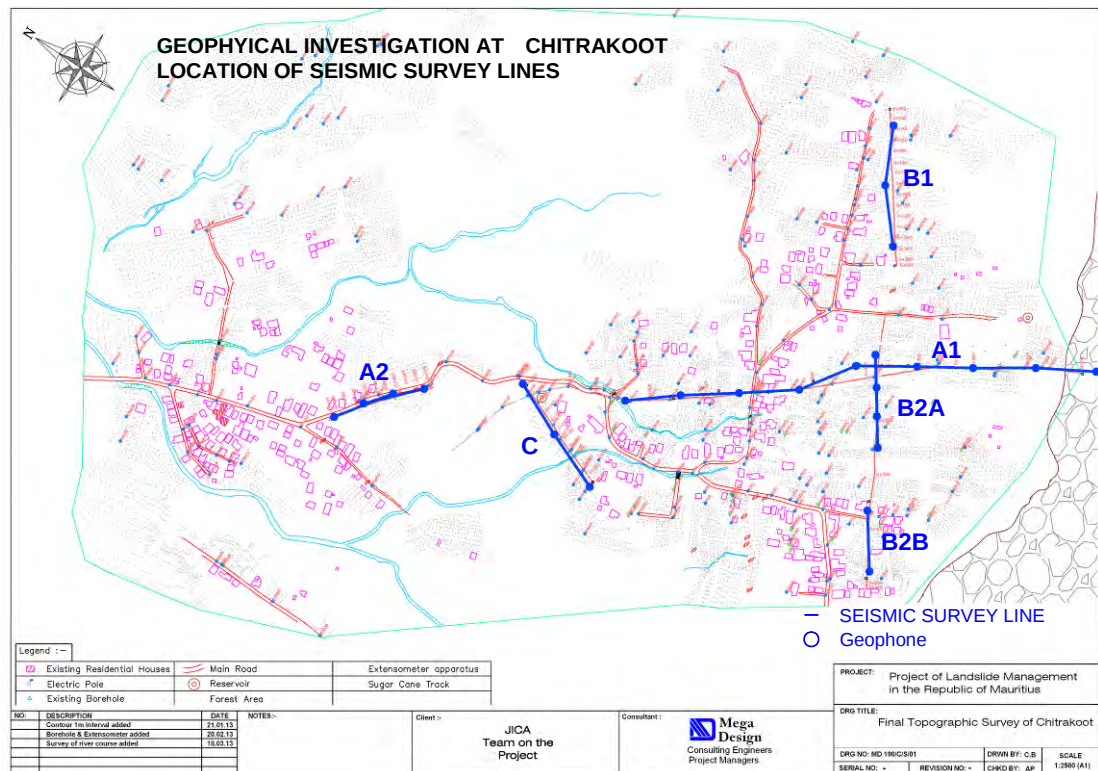


図3.5.1 弾性波探査の測線位置図(Chitrakoot)（出典:JICA 調査団）

c. 探査方法

c.1 原理

一般に、弾性波速度は以下のような地質との間に密接な関係がある。

- ・地層の生成年代
- ・地層の成因
- ・地層の変質程度
- ・地層の割れ目の発達程度
- ・地層の含水状態

弾性波速度は、固結度が高い岩盤では速いが、仮に固結程度が同じであっても、割れ目が発達して変質した岩盤では低下する。屈折法弾性波探査は、この原理を利用する。

具体的には、人工的（ハンマーによる打撃や破砕薬の破裂）に発生させた地震動（弾性波動）のうち、縦波（P波）や横波（S波）が直接、または異地層間で屈折して地層中を伝わっていく状況を地表で観測する。この観測結果を基にして、地下の地質状況を調査する方法が屈折法弾性波探査である。

図3.5.2に一例として、24個の受振器で観測した地震波形を示す。震源は測線上の28.7mで、受振器は2.5m間隔に設置している。測線長は57.5mである。

図3.5.3には、各受振器の地震波到達時間と表層を通過する地震波経路の概念図を同時に示した。震源に近い受振器では地震波の到達が早く、地層によって地震波の到達時間に違いがあることがわかる。

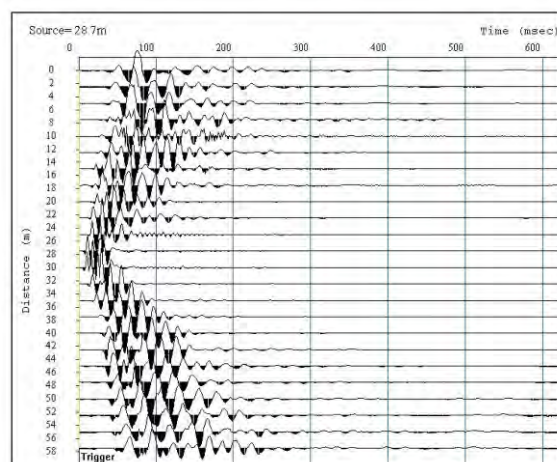


図3.5.2 地震波形

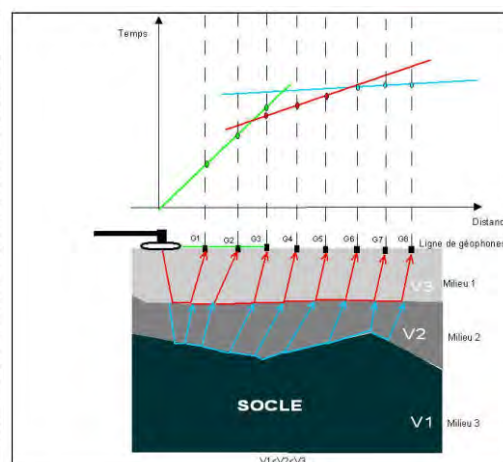


図3.5.3 地震波到達時間と地震波経路の概念図

（出典：JICA 調査団）

c.2 使用機器および解析ソフト

弾性波探査に使用する機器および解析ソフトウェアを以下に示す。

表3.5.3 使用機器一覧表（出典：JICA 調査団）

名称	タイプ	仕 様	数量	製造元
デジタル記録器	DAQ LINK II System	高分解能24ビットΔ-Σ A/Dコンバーター	1台	Seismic Source Company, USA
受振器	GSR	GPS受振器内蔵 2.4GHzの無線通信	24 個	Seismic Source Company, USA
解析ソフトウェア	反射法計測車 DAQ VScope-PC			
その他	大ハンマ			

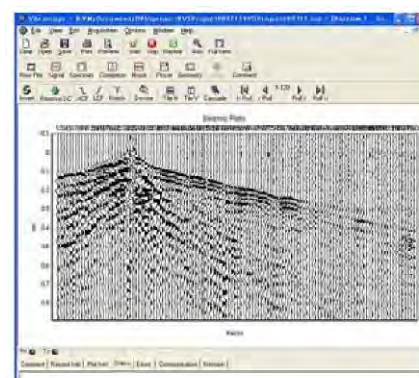
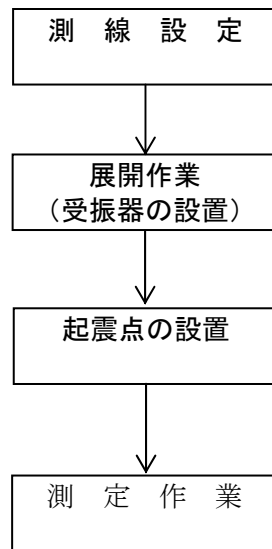


図3.5.4 DAQ LINK II 測定システムと測定画像¹⁹

c.3 観測手順



地すべり地の踏査結果を基に、探査用の測線を設定する。

測線の端部から観測線を配線し、測点ごとに受振器を設置し、受振器を観測線へ接続する。

1展開あたり6～7点の起震点を設ける。ハンマーで起震する場合は、地面に置いた鉄板をハンマーで打撃する。打撃時刻はハンマーに取り付けたハンマースイッチにより記録器本体へ送信される。

弾性波探査器内の増幅器により、交通振動や風などによるノイズを最小にするように調整する。測定本部から適時指示して、1点ごとの地面を起震し、その受振波形を記録する。

以上の一連の作業（展開→起振→測定）を順次繰り返して1展開の測定作業が終了する。他の測線においても同様の作業を実施し、全測線の測定作業が完了する。

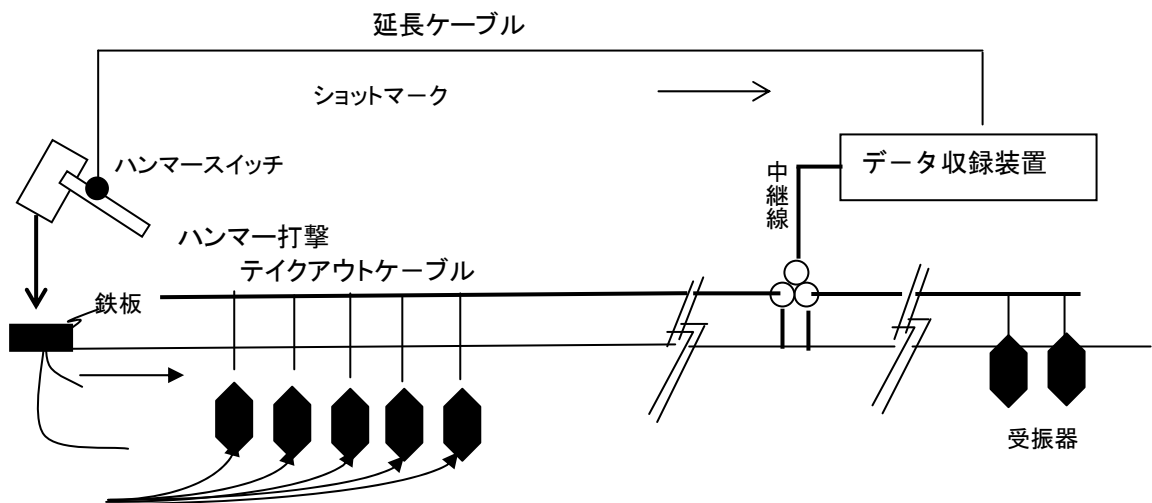


図3.5.5 観測手順および観測模式図（出典：JICA 調査団）

d. 解析方法

解析には走時曲線を用いる。走時曲線は、測定記録（サンプリングタイム500 μ s）の中から、起振点から各受振点までの弾性波初動の到達時間（走時）を1/1000秒単位で読み取り、走時曲線を作成する。

走時曲線の形状は地下の速度構造が反映されている。走時曲線の勾配は見かけ上の弾性波速度の大きさ（曲線の勾配が小さいほど速度値は大きい）を表している。走時曲線上において同一層として示されている層であっても、層厚が変化すると速度も変化する。この走時曲線の変化から、地下の速度構造を推定することができる。

走時曲線を基にした主な解析方法としては、従来から土地地質調査に最もよく利用されている「萩原の方法（はぎとり法）」と、最近開発された「トモグラフィ的解析方法（トモグラフィ法とする）」の2つがある。「はぎとり法」は、層状の地下構造を高い精度で反映する。「トモグラフィ法」は、塊状構造（マトリックス構造）や速度が徐々に変化する構造等に適している。2つの解析方法の主な相違点と特長を表3.5.4に示す。本解析においては、「はぎとり法」により、速度構造を求めた。

表3.5.4 はぎとり法とトモグラフィ法の比較（出典：JICA 調査団）

項 目		はぎとり法 (萩原の方法)	トモグラフィ法
弾性波種別		直接波＋屈折波	直接波＋屈折波＋透過波
速度構造の 制約	構造	深部ほど速度地は大きくなると仮定	原則的に同左 立体的測定で、速度逆転層も検出可能
	速度値	1つの層内は同一速度	1つの格子内は同一速度
弾性波の 伝わり方		層の境界に沿って下位層の速度で弾性波が伝わる（臨界屈折波）。	各格子内を、各格子内の速度で弾性波が伝わる。
地形や速度境界面の凹凸による影響		大きい 凸の場合は、見かけの高速度 凹の場合は、見かけの低速度	小さい
特 長		・堆積層などの層構造に適用性が高い。 ・風化帯のゾーニング（大区）に適用性が高い。	・硬軟互層構造のほか、火成岩や断層など塊状や脈状構造に適用性が高い。 ・わずかな速度変化を捉えやすいため、詳細な解釈が可能。

e. 探査結果

e.1 解釈

測定で得られたデータは、走時の読み取り、走時曲線の作成、はぎとり法による解析を行い、弾性波速度構造図に作成する。走時曲線の作成時には、往復走時の一致、原点走時の一致、走時曲線の平行性などに留意する。また、はぎとり法では、走時曲線をもとに弾性波速度や速度境界を求める。

弾性波探査による走時曲線および速度構造図の代表例（A1-1Line）を以下に示す。

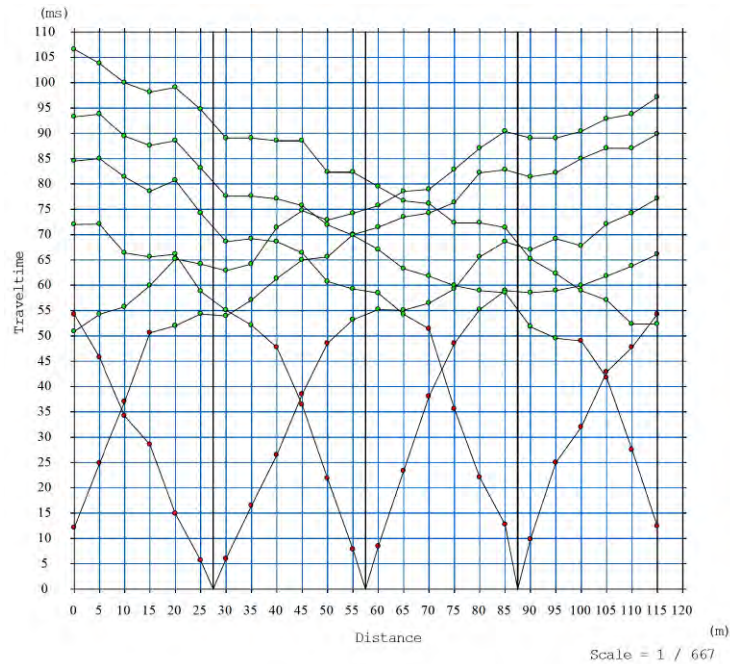


図3.5.6 走時曲線の例(A1-1 Line)（出典：JICA 調査団）

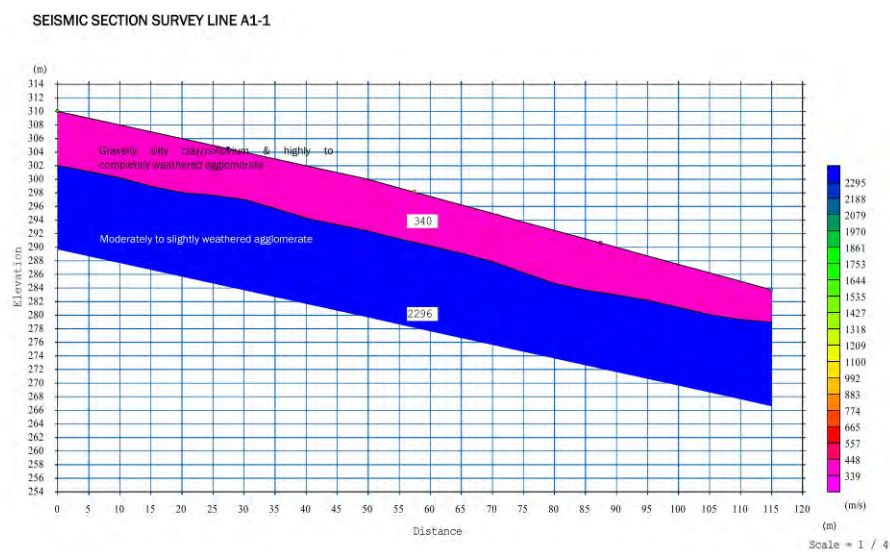


図3.5.7 速度解析断面の例(A1-1 Line)（出典：JICA 調査団）

e.2 結果解釈

弾性波探査結果から得られた弾性波速度と推定される地層および層厚の関係を表 3.5.5 に示す。また、各測線の速度構造図を図 3.5.8～図 3.5.13に示す。

全体に速度構造は 2～3 層に区分され、表層は弾性波速度 500m/s 程度以下の崩積土と推定される。層厚は約 20m 以下で、調査地全体に一樣に分布する。基盤の弾性波速度は、表層の速度に比べて 3 倍以上で 1700m/s～3900m/s の値を示す。玄武岩からなる硬質の岩盤で、速度のバラツキは玄武岩に内在する亀裂や破碎の多さに影響している。

なお、崩積土と玄武岩はコアの状態や硬さが明瞭に異なり、弾性波速度も両者の違いが現れた結果となった。

表3.5.5 各地層の識別総括表(弾性波探査結果) (出典: JICA 調査団)

測 線	厚 さ (m)	弾性波速度 (m/s)
A1測線	礫質・シルト質粘土/崩積土と 強風化～完全風化玄武岩 /集塊岩:3～15m	310 ～ 790
	中程度～弱風化玄武岩/ 集塊岩: 12m以深	1742 ～ 2343
A2測線	礫質・シルト質粘土/ 崩積土:層厚0 ～7m	346 ～ 463
	強風化～完全風化玄武岩/集塊岩: 4 ～12m	878 ～ 1320
	弱風化玄武岩/ 集塊岩: 7～10m	3722 ～ 3843
B1測線	礫質・シルト質粘土/ 崩積土と 強風化～完全風化玄武岩/集塊岩:5 ～15m	442 ～ 484
	弱風化玄武岩/ 集塊岩: 15m以深	2283 ～ 2285
	礫質・シルト質粘土/ 崩積土:5～8m	389 ～ 393
B2A測線	強風化～中程度風化玄武岩/ 集塊岩: 7～20m	1033 ～ 1201
	弱風化玄武岩/ 集塊岩: 20m 以上	2568 ～ 3630
B2B測線	礫質・シルト質粘土/崩積土と 強風化～完全風化玄武岩/ 集塊岩:9 ～19m	472
	中程度～弱風化玄武岩/ 集塊岩: 15m以上	1998
C測線	礫質・シルト質粘土/崩積土と 強風化～完全風化玄武岩/ 集塊岩:4 ～15m	443 ～ 492
	中程度～弱風化玄武岩/ 集塊岩: 10～15m	2154 ～ 2174

COMPLETE SURVEY LINE A1 (survey lines A1-1 to A1-8)

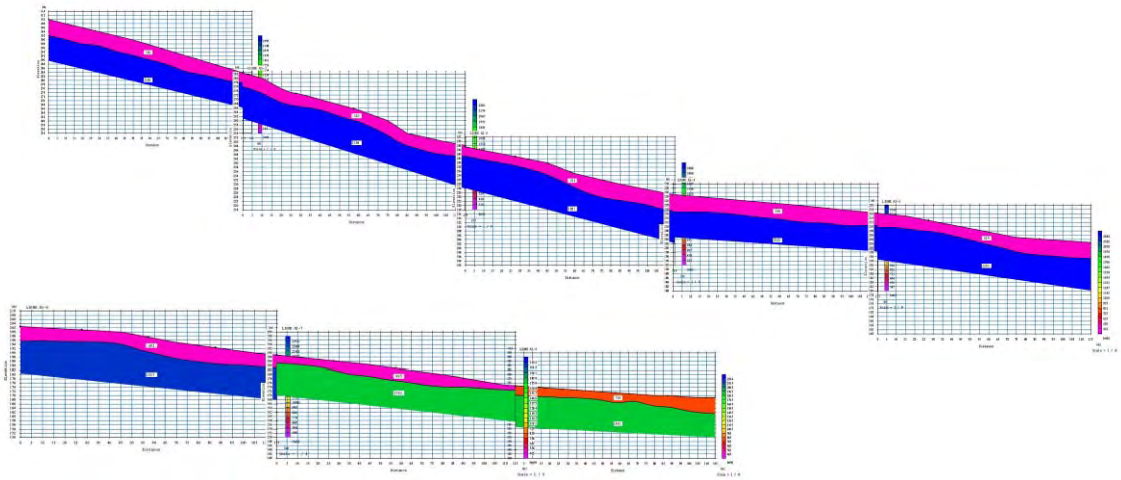


図3.5.8 弾性波速度構造図(A1 測線)（出典:JICA 調査団）

COMPLETE SURVEY LINE A2 (survey lines A2-1 & A2-2)

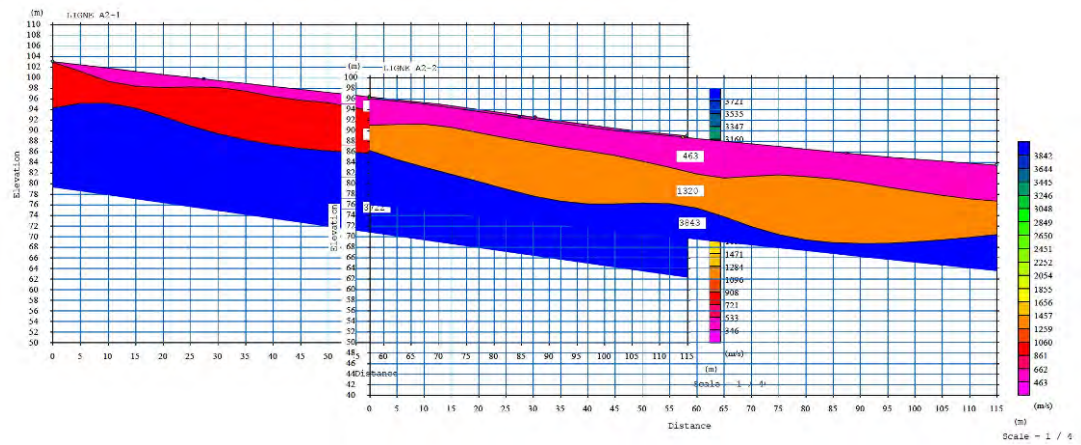


図3.5.9 弾性波速度構造図(A2 測線)（出典:JICA 調査団）

COMPLETE SURVEY LINE B1 (survey lines B1-1 & B1-2)

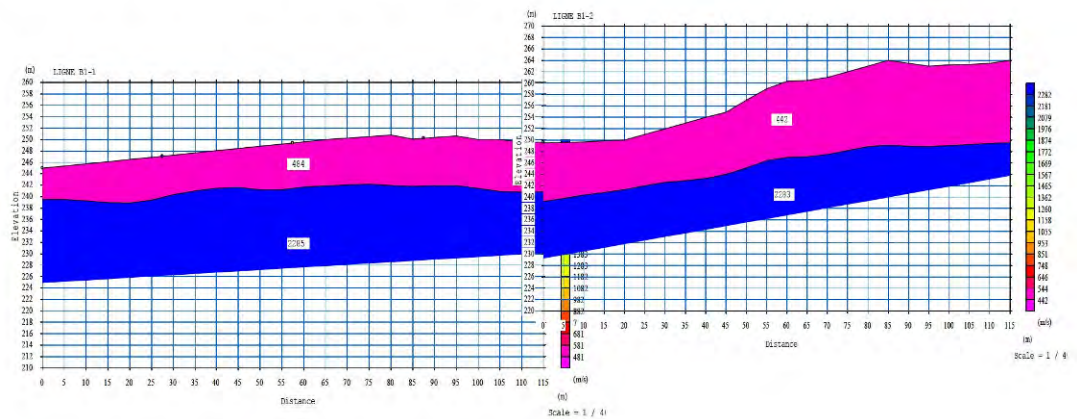


図3.5.10 弾性波速度構造図(B1 測線)（出典:JICA 調査団）

COMPLETE SURVEY LINE B2A (survey lines B2A-1 & B2A-2)

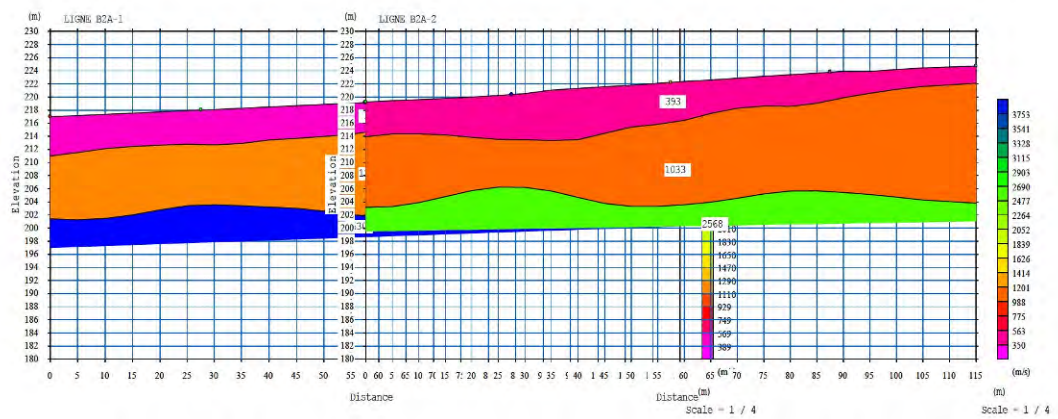


図3.5.11 弾性波速度構造図(B2A 測線)（出典:JICA 調査団）

SURVEY LINE B2B

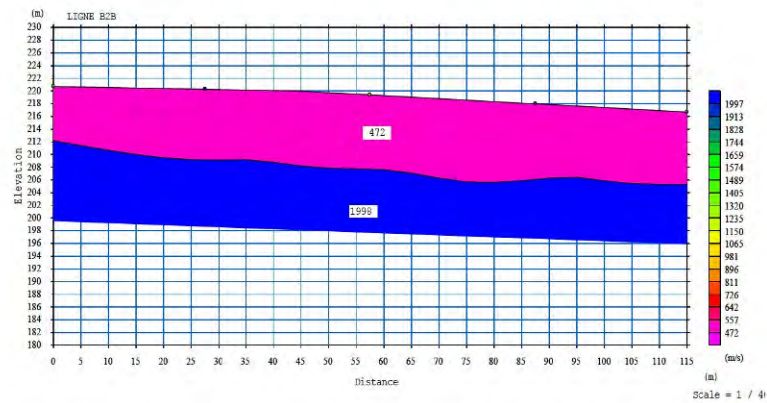


図3.5.12 弾性波速度構造図(B2B 測線)（出典:JICA 調査団）

COMPLETE SURVEY LINE C (survey lines C-1 & C2)

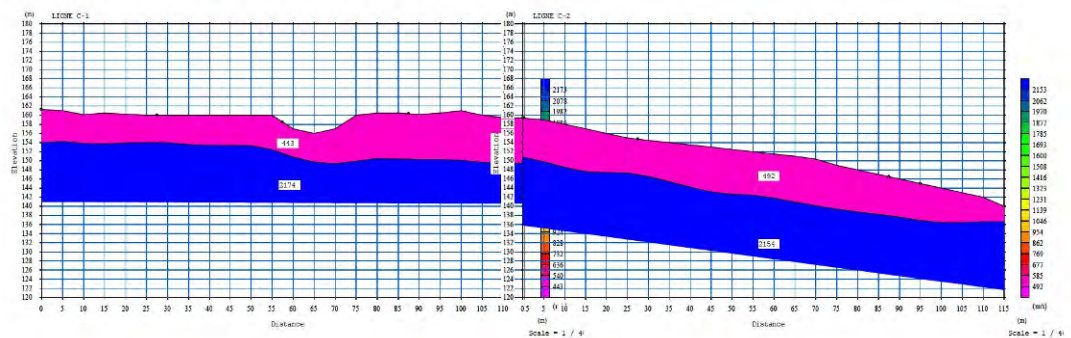


図3.5.13 弾性波速度構造図(C 測線)（出典:JICA 調査団）

3.5.2 比抵抗二次元探査

a. 探査の目的

電気探査は、大地に直流電気を流し、それにより形成される電位から地下の比抵抗分布を明らかにする方法である。すなわち、岩石の電気的な性質がそれぞれ異なること、あるいは異なるために自然に生じている現象を利用して、地表下の岩石・地質の比抵抗を調べ、地下水の状況及び地質構造を明らかにすることである。

地すべり調査では、地盤比抵抗の二次元的分布から、地すべり斜面の風化層、基岩層、透水層の層準および連続性、断層等の存在や連続性を推定し、地下水排除工計画の基礎資料とする。比抵抗法二次元探査は、測線上に5m間隔で配置した電極を用いて高密度の電位測定を行い、得られた電位データをコンピュータで逆解析（インバージョン）して、測定電位データを満足させる比抵抗分布を求める。

b. 数量および仕様

表 3.5.6に比抵抗二次元探査の仕様を、表 3.5.7に各測線の内訳、測線長を示す。

探査法は一般的に用いられる二極法を採用した。測線設定は弾性探査とほぼ同じであるが、測線長は弾性波探査の全延長に比べて若干短い。

表3.5.6 比抵抗二次元探査の仕様（出典：JICA 調査団）

探査方法	比抵抗法二次元探査(二極法)
電極間隔	5 m
探査深度	40 m

表3.5.7 比抵抗二次元探査の仕様と測線長（出典：JICA 調査団）

測 線	内 訳	測線長(m)
A1測線	電極72 列,間隔5m+6巻-電極18個に沿って 連続測定(3,598-4電極),調査標準深度:40m	900
A2測線	電極36列,間隔5m 連続測定(306-4電極),調査標準深度:30m	175
B1測線	電極60列, 間隔5m 連続測定(8,528-4電極),調査標準深度:40m	295
B2A測線	電極36 列, 間隔5m 連続測定(306-4電極),調査標準深度:35m	175
B2B測線	電極30列, 間隔5m 連続測定(207-4電極),調査標準深度:30m	145
C測線	電極48列, 間隔 5m 連続測定(562-4電極),調査標準深度:40m	235
合 計		1,925

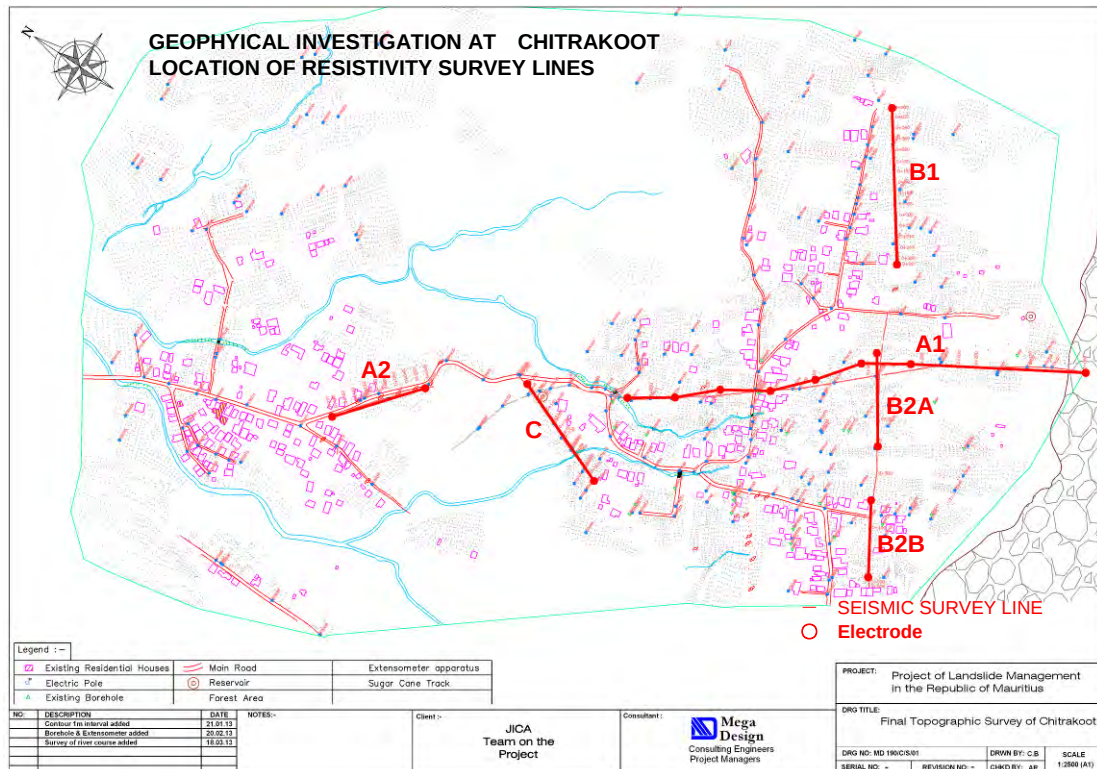


図3.5.14 比抵抗二次元探査の測線位置図(Chitrakoot)（出典:JICA 調査団）

c. 探査方法

c.1 原理

一般に地山の比抵抗は次のような傾向を示す。

- ・ 花崗岩のような粗粒鉱物よりなる岩の比抵抗が大きいのにに対して、泥質起源の岩石の比抵抗値は小さい。
- ・ 同一地質であれば、新鮮岩に対して風化変質岩は低比抵抗値を示すことが多い。
- ・ 含水量が大きいほど比抵抗値は低くなる傾向を示す。
- ・ 断層や破碎部あるいは変質部の比抵抗値はその周辺と比較して低下している場合が多い。
- ・ 礫層と粘土層を比較すれば礫層の比抵抗値が大きい。

上記のような傾向が認められるものの、一般に地山の比抵抗値は電気を通しやすい鉱物（粘土鉱物など）の含有量、間隙率、水分含有量・飽和度、間隙水の水質（比抵抗）、温度といった多くの要因に左右される。また、比抵抗は地層・岩石の違いのみならず、むしろ同一地層・岩体内の岩相変化、風化・熱水変質の程度、含水状況などを端的に表していることが多い。

c.2 使用機器および解析ソフト

比抵抗二次元探査に使用した機器および解析ソフトウェアを以下に示す。

- ・ SYSCAL R1 PLUS Switch-72
- ・ RES2DINV or RESIX-2DI(PC) for pseudo-section inversion to true resistivity(and IP) 2D section
- ・ 電極棒（ステンレス丸棒）
- ・ 電極ケーブル、バッテリー



図3.5.15 SYSCAL R1 PLUS Switch-72 測定器と電極²⁰

c.3 観測手順

図3.5.16に示すように、電流電極C、C ∞ に電流 I を流し、P、P ∞ の電圧差Vを測定することにより、半無限媒質の電位理論から次式より見掛け比抵抗 ρ を求める。

$$\rho = 2\pi a \times V / I (\Omega m)$$

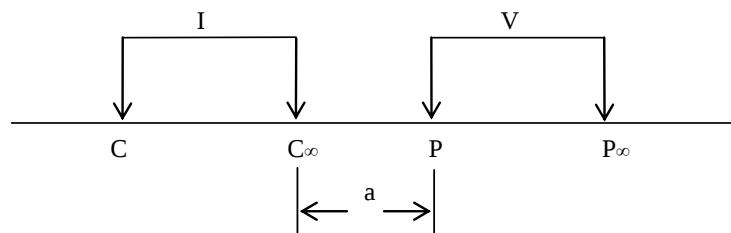


図3.5.16 2 極法電極配置（出典：JICA 調査団）

図3.5.17に示すように、あらかじめ設定された測点間隔に打設された電極群から無誘導ケーブル、電極スキャナー等を介して比抵抗器により見掛け比抵抗を測定する。

本調査では、電極スキャナーを使用せず一対の電流電極C1とP1を測線沿いに移動・展開してマニュアル測定する。

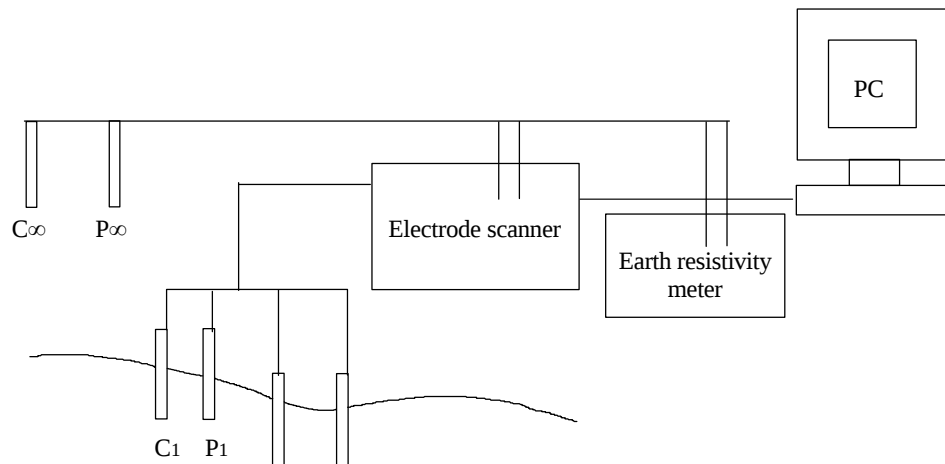


図3.5.17 電気探査測定方法（出典：JICA 調査団）

d. 解析方法

測定した多量の電位データから地下の比抵抗断面図を求めるため、「非線形最小二乗法」を用いて逆解析（インバージョン）を行う。

図3.5.18に比抵抗インバージョンの解析フローを示す。解析および計算の手順は以下のとおりである。

- 1) 測定データから比抵抗分布の初期モデルを作成する。
- 2) その比抵抗分布に基づき理論電位を有限要素法により求める。
- 3) 測定電位と理論電位との差（残差）を計算する。
- 4) 残差が最小になるように、初期モデルを修正しながら理論電位を計算する。
- 5) 残差が収束するまで、2)～4)を繰り返し計算し、最終比抵抗モデルを得る。

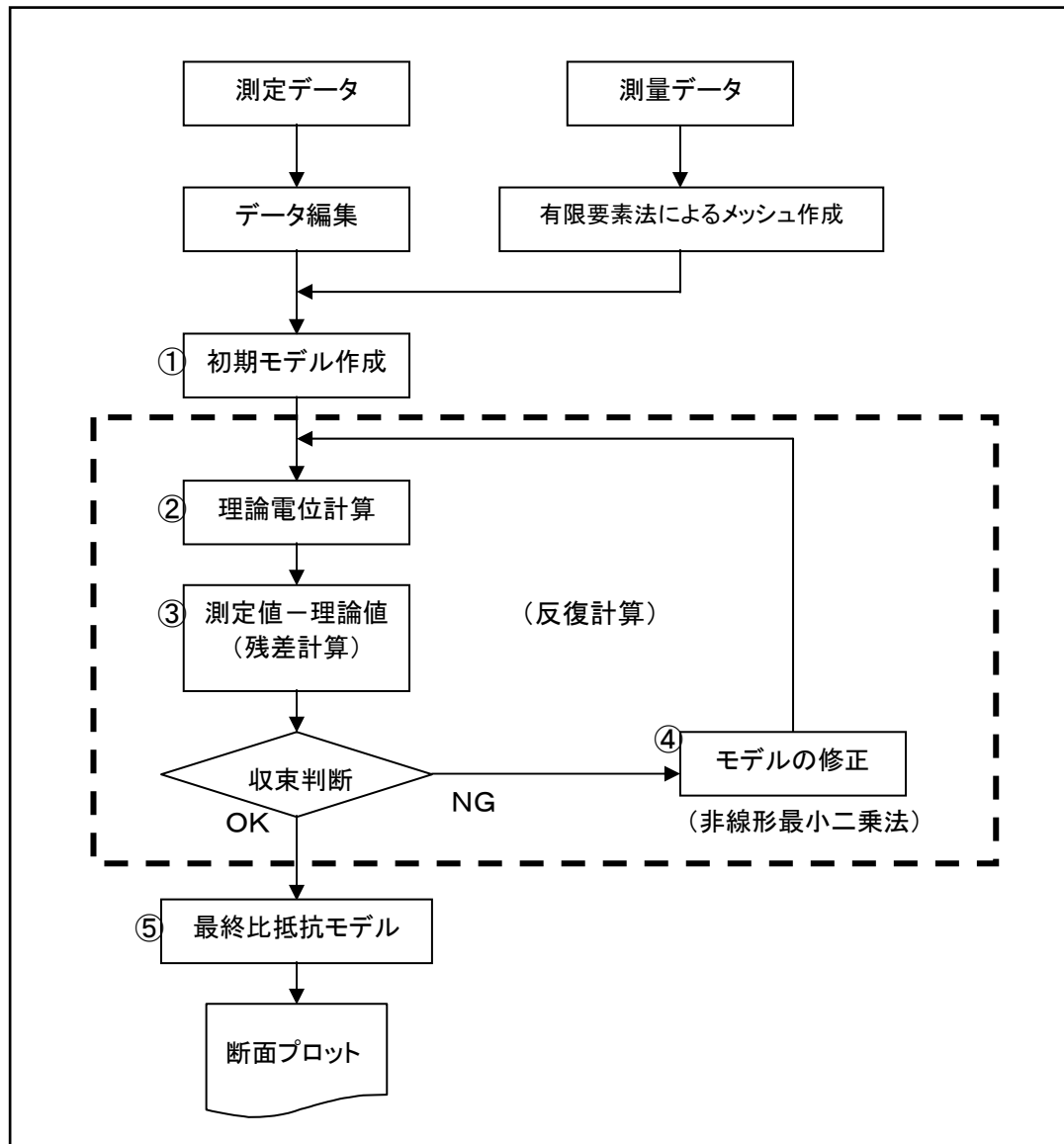


図3.5.18 比抵抗インバージョンの解析フロー（出典：JICA 調査団）

e. 解析結果

e.1 解釈

測定で得られたデータは、電位減衰曲線などを利用して、異常データの抽出と除外を行う。その後、地盤を小領域の要素に分割して比抵抗モデルを作成する。解析は、非線形最小二乗法を用いて、各ブロックの比抵抗を逐次修正する逆解析により、各ブロックの比抵抗値を決定する。

二次元比抵抗探査による解析モデル区分の例（A1-1Line）を以下に示す。

RESISTIVITY SURVEY LINE A1

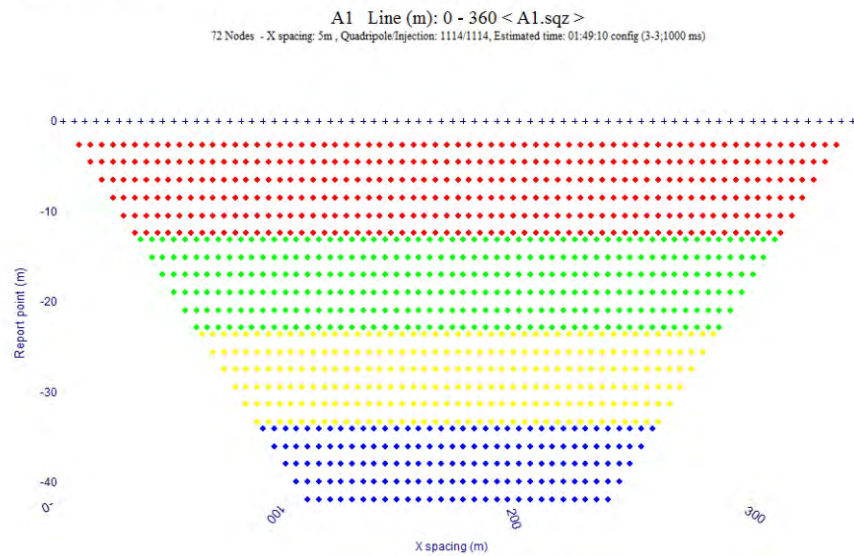


図3.5.19 解析モデル区分図の例(A1-1 Line)（出典：JICA 調査団）

e.2 結果解釈

二次元比抵抗探査結果から得られた比抵抗値と推定される地層および層厚の関係を表 3.5.8に示す。また、各測線の比抵抗断面図を図 3.5.20～図 3.3.25に示す。

全体に比抵抗分布は2～3層に区分され、表層は50ohm.m程度以下の崩積土と推定される。層厚は約20m以下で、調査地全体に様に分布する。なお、A1測線には、風化帯または地下水流動を示す比抵抗の落ち込みが3箇所認められる。基盤の比抵抗値は、表層の比抵抗値に比べて高く、50～1000ohm.mまたは1000ohm.m以上の値を示す。玄武岩からなる硬質の岩盤で、玄武岩の比抵抗値に影響しているものと推測される。

弾性波探査結果と同様、崩積土と玄武岩の違いが明瞭に現れた結果となっている。なお、A1測線に認められる比抵抗の落ち込みについては、地下水位などの観測データからも検証することが望ましい。

表3.5.8 各地層の識別総括表（二次元比抵抗探索）（出典：JICA 調査団）

測 線	厚 さ(m)	比抵抗 (ohm.m)
A1測線	礫質・シルト質粘土/崩積土と 強風化～完全風化玄武岩 /集塊岩:3～15m	0 ～ 50
	中程度～弱風化玄武岩/ 集塊岩: 12m以深,深度35mに出現	50 ～ 1000
A2測線	礫質・シルト質粘土/ 崩積土:層厚0 ～7m , 測線の終点15mにおいて窪みあり	0 ～ 10
	強風化～完全風化玄武岩/集塊岩: 4 ～12m	10 ～ 150
	弱風化玄武岩/ 集塊岩: 7～10m	150 ～ 1000
	破碎質玄武岩: 22m以深, 深度15mに出現	>1000
B1測線	礫質・シルト質粘土/ 崩積土と 強風化～完全風化玄武岩/集塊岩:5 ～15m	0 ～ 50
	弱風化玄武岩/ 集塊岩: 15m以深, 深度25mに出現	150 ～ 1000
B2A測線	礫質・シルト質粘土/ 崩積土:5～8m	0 ～ 10
	強風化～中程度風化玄武岩/ 集塊岩: 7～20m	10 ～ 50
B2B測線	弱風化玄武岩/ 集塊岩: 20m 以上,深度 17mに出現	150 ～ 1000
	礫質・シルト質粘土/崩積土と 強風化～完全風化玄武岩/ 集塊岩:9 ～19m	0 ～ 50
C測線	中程度～弱風化玄武岩/ 集塊岩: 15m以上,深度15mに出現	50 ～ 1000
	礫質・シルト質粘土/崩積土と 強風化～完全風化玄武岩/ 集塊岩:4 ～15m	0 ～ 50
	中程度～弱風化玄武岩/ 集塊岩: 10～15m	50 ～ 1000
	破碎質玄武岩: 27m以深, 深度15m～20mに出現	>1000

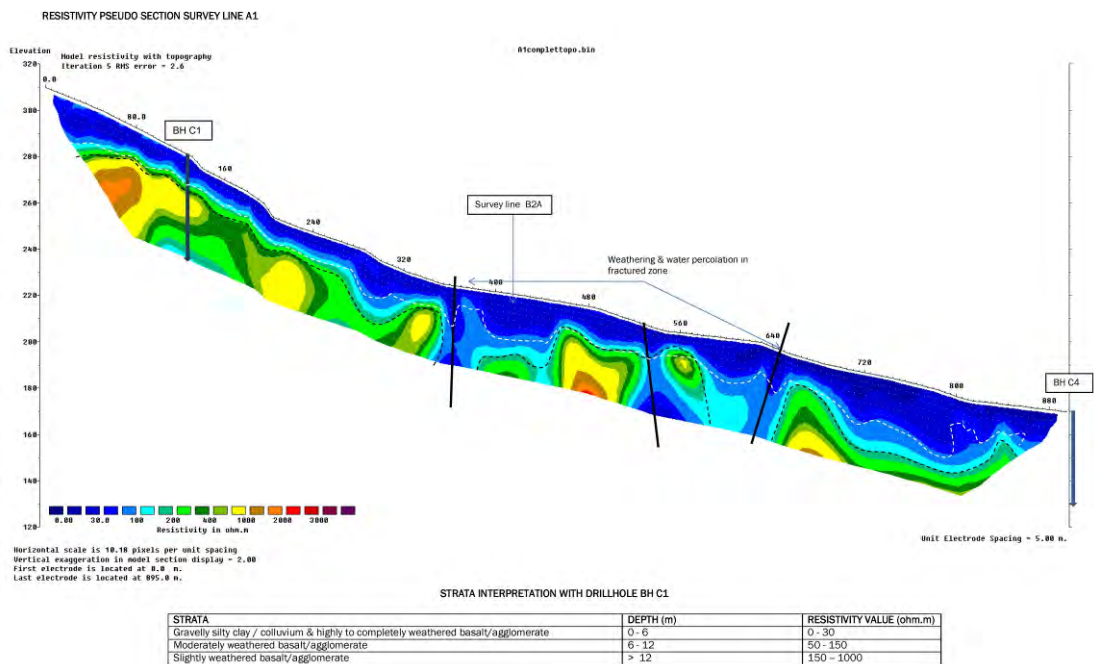


図3.5.20 逆解析による比抵抗断面図(A1 測線)（出典：JICA 調査団）

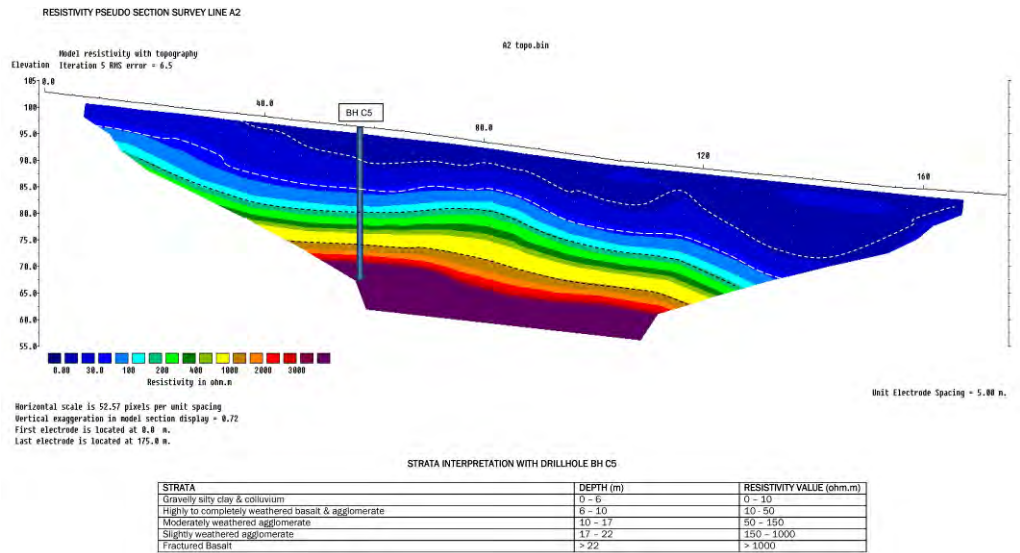


図3.5.21 逆解析による比抵抗断面図(A2 測線) (出典: JICA 調査団)

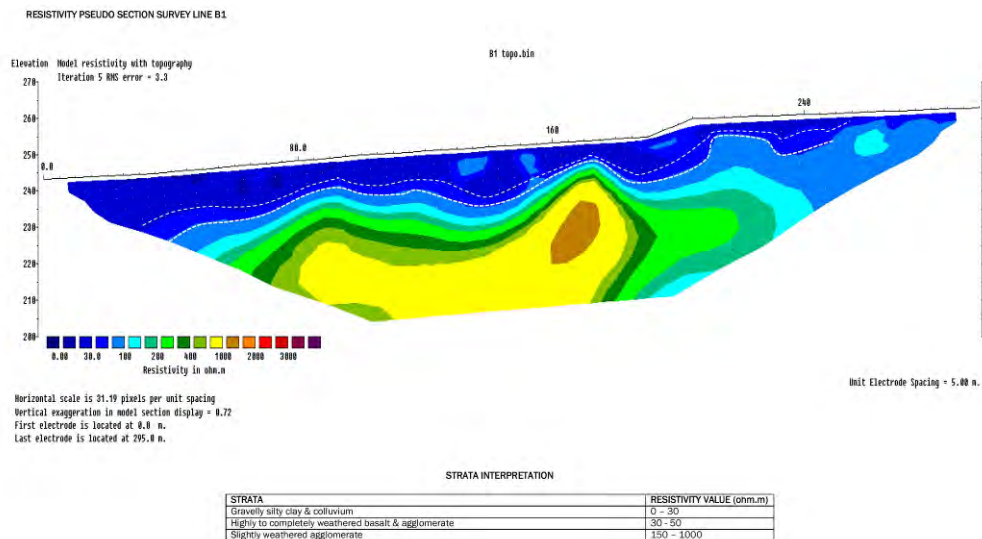


図3.5.22 逆解析による比抵抗断面図(B1 測線) (出典: JICA 調査団)

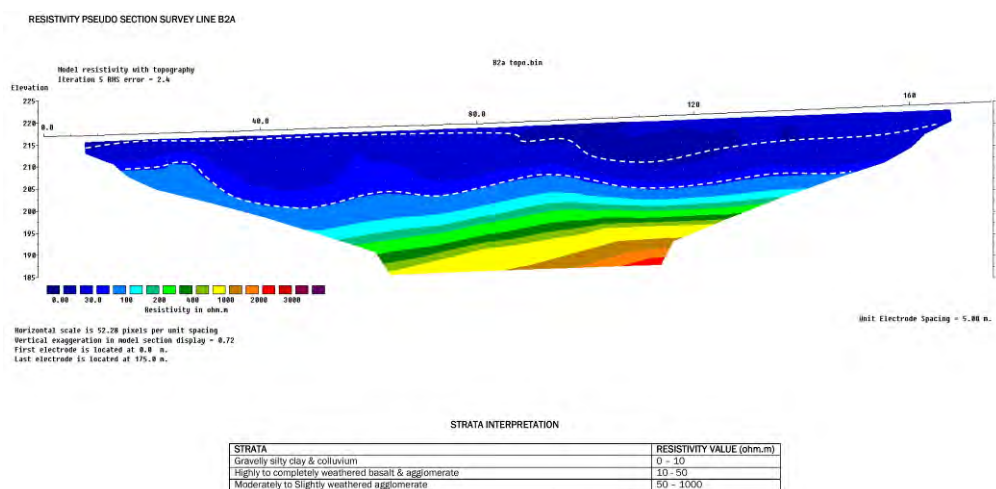


図3.5.23 逆解析による比抵抗断面図(B2A 測線) (出典: JICA 調査団)

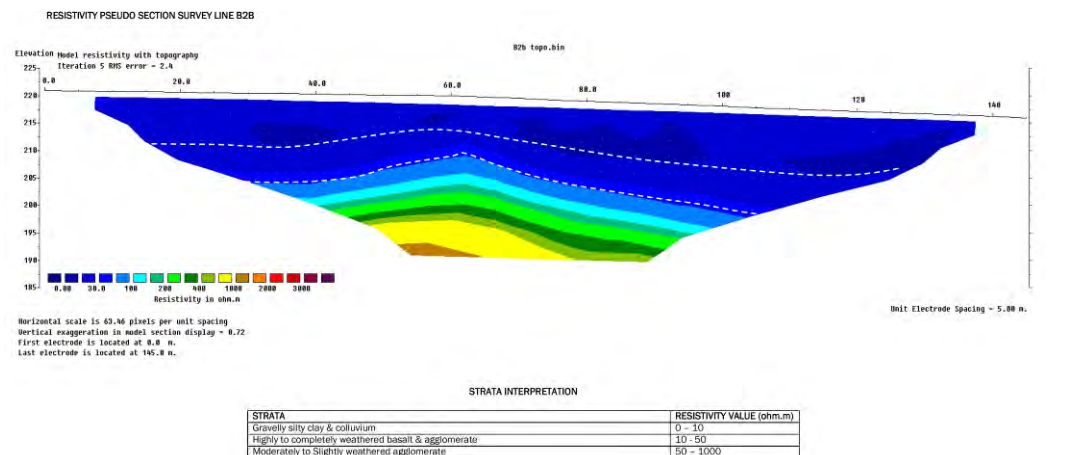


図3.5.24 逆解析による比抵抗断面図(B2B 測線)（出典:JICA 調査団）

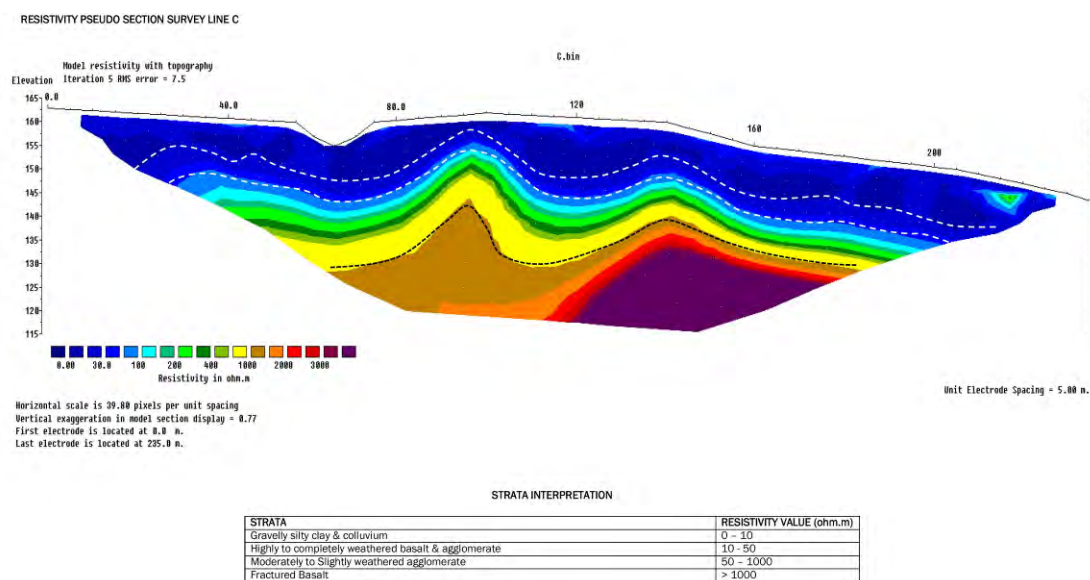


図3.5.25 逆解析による比抵抗断面図(C 測線)（出典:JICA 調査団）

3.6 ボーリング調査

3.6.1 ボーリング計画

ボーリング調査はすべり面および地質、地質構造を把握するため、地盤から直接コアを採取する。本プロジェクトでは、オールコアサンプリングとし、コア径は76～101mmとした。

a. ボーリング工程

Chitrakoot および Quatre Soeurs のボーリング工程を以下に示す。

a.1 Chitrakoot

BH-C3～BH-C6 のボーリングは 10 月下旬に開始し、11 月中旬に終了した。BH-C1 および BH-C2 については、地権者の確認に時間を要したため、12 月初旬に開始し、中旬に終了した。ボーリング工程は当初計画に比べ、約 2.5 ヶ月の遅れが生じた。

なお、各ボーリングの調査日数は、1 週間以内で完了した。

表3.6.1 ボーリング工程表(Chitrakoot)（出典：JICA 調査団）

ボーリング No.	深度 (m)	10月			11月			12月			設置計器
		10日	20日	30日	10日	20日	30日	10日	20日	30日	
BH-C1	48.86							12	15		水位計
BH-C2	50.0							4	9		孔内傾斜計
BH-C3	50.0				5	8					-
BH-C4	30.0			30	1						パイプひずみ計
BH-C5	30.0		23	26							パイプひずみ計
BH-C6	50.0				12	16					孔内傾斜計

a.2 Quatre Soeurs

2012 年 10 月上旬に開始し、中旬に終了した。ボーリングに要した日数は 4 日であった。

表3.6.2 ボーリング工程表(Quatre Soeurs)（出典：JICA 調査団）

ボーリング No.	深度 (m)	10月			11月			12月			設置計器
		10日	20日	30日	10日	20日	30日	10日	20日	30日	
BH-Q1	21.0	10	13								パイプひずみ計
BH-Q2	21.0	2	5								パイプひずみ計

b. 数量および位置

b.1 Chitrakoot

ボーリング調査数量を表 3.6.3に示す。調査位置およびモニタリング位置を図 3.6.1に示す。

表3.6.3 ボーリング諸元(Chitrakoot)（出典：JICA 調査団）

ボーリング位置	ボーリング名	孔径(mm)	深度(m)	原位置試験	設置計測器
Chitrakoot	BH-C1	76	48.86	標準貫入試験	水位計
	BH-C2	101	50.0	標準貫入試験	孔内傾斜計
	BH-C3	76	50.0	標準貫入試験	—
	BH-C4	76	30.0	標準貫入試験	パイプひずみ計
	BH-C5	76	30.0	標準貫入試験	パイプひずみ計
	BH-C6	101	50.0	標準貫入試験	孔内傾斜計

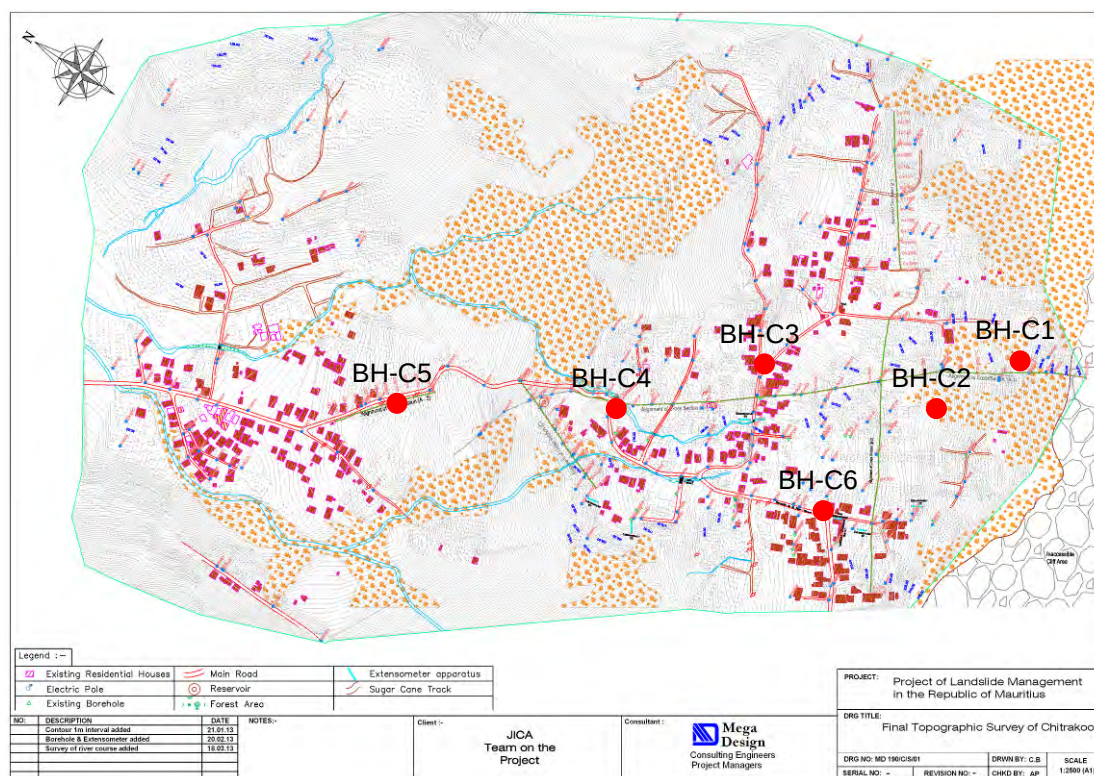


図3.6.1 調査位置図(Chitrakoot)（出典：JICA 調査団）

b.2 Quatre Soeurs

ボーリング調査数量を表 3.6.4に示す。調査位置およびモニタリング位置を図 3.6.2に示す。

表3.6.4 ボーリング諸元(Quatre Soeurs)（出典：JICA 調査団）

ボーリング位置	ボーリング名	孔径 (mm)	深度 (m)	原位置試験	設置計測器
Quatre Soeurs	BH-Q1	76	21.0	標準貫入試験	パイプひずみ計
	BH-Q2	76	21.0	標準貫入試験	パイプひずみ計
	BH-5(既存)	76	NA	—	水位計

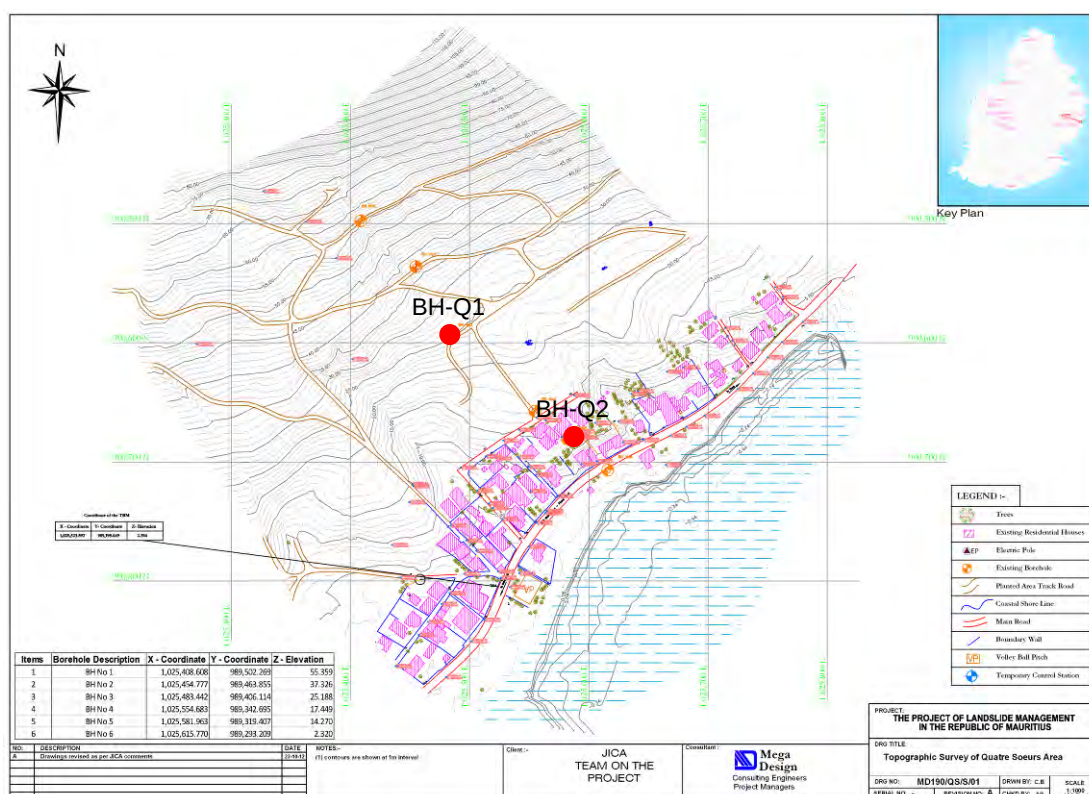


図3.6.2 調査位置図(Quatre Soeurs)（出典：JICA 調査団）

3.6.2 コアボーリング

a. 仕 様

コアボーリングに使用したボーリング機材・器具の一覧および写真を以下に示す。

表3.6.5 ボーリング機材・器具の仕様（出典：JICA 調査団）

ボーリング機械	APAFOR38 , APAFOR48
掘進方法	Rotary coring-T2-101
コアバレル	NMCL トリプルチューブ
ケーシング	89mm,114mm



写真3.6.1 ボーリング機械・使用機材（出典：JICA 調査団）

b. 評価基準

ボーリングコアの評価基準を以下に示す。

b.1 風化の程度

岩盤の風化度は下表が目安とされている。ボーリング柱状図はこれらを参考に地層区分を行った。

表3.6.6 岩盤の風化区分（BS 5930:1999）

記述表現	破碎状況	表面の特徴	原組織/粒子状態
新鮮な玄武岩	密着している	変化なし	保持/堅い
弱風化 玄武岩	変色し、薄く 充填物を含む	一部変色 / 脆弱でない	保持/堅い
中程度風化 玄武岩	変色し、薄く 充填物を含む	一部～完全に変色/ 固結度の低い部分 を除くと脆くない	保持/一部開口
強風化 玄武岩	変色し、中程度～ 薄く充填物を含む	脆 い	主として保持/ 一部開口
完全風化 玄武岩	—	土砂状	部分的に保持/ 完全に分離

b.2 TCR・SCR・RQD

TCR（Total Core Recovery）、SCR（Solid Core Recovery）、RQD（Rock Quality Designation）は、岩盤の品質や良否を判断するための指標になる。特に、RQD と岩盤良好度には、以下のような関係がある。

$$RQD = (10\text{cm 以上のコアの総長} / 1 \text{ 掘進長}) \times 100\%$$

表3.6.7 RQD と岩盤良好度（BS 5930:1999）

RQD(%)	岩盤良好度の表示
0 to 25	非常に悪い
25 to 50	悪 い
50 to 75	普 通
75 to 90	良 い
90 to 100	非常に良い

b.3 岩盤強度・節理の間隔

コアの硬軟と強度との関係については、下表が目安とされている。

表3.6.8 岩盤材料の強さの表現（BS 5930:1999）

記述表現	現場判別	一軸圧縮強さ(Mpa)
非常に弱い	礫大の塊は、指で破砕することができる	<1.25
弱い	礫大の塊は、力をいれると手で半分に砕くことができる	1.25 to 5
中程度に弱い	薄い部分または端の部分は手の力で割ることができる	5 to 12.5
中程度に強い	手に持ってハンマーの打撃で破砕することができる	12.5 to 50
強い	ハンマーを表面において、打撃で破砕することができる	50 to 100
非常に強い	ハンマーで強く叩くと岩片状になる	100 to 200
特に強い	ハンマー叩くと金属音がする	>200

また、節理の開き・間隔による区分は以下を参考とする。

表3.6.9 割れ目間隔の表現（ISRM）

表 現	割れ目間隔
極めて狭い	2cm以下
非常に狭い	2～6cm
狭い	6～20cm
普通	20～60cm
広い	60cm～2m
非常に広い	2 ～6m
きわめて広い	6m以上

3.6.3 観測機器の設置

ボーリング孔には、パイプひずみ計、孔内傾斜計、水位計の 3 種類の観測計器を設置した。

a. パイプひずみ計の設置

パイプひずみ計は、以下の手順で設置した。

- ①所定の深さまでボーリング孔を掘削し、パイプひずみ計を繋ぎながら挿入する。その際、パイプの表面の合わせマークを地すべりの移動方向に一致させ、方向がずれないように注意する。
- ②パイプ歪計は基岩に十分根入れして設置する。深さは 3～5m とされているが、岩盤すべりが想定されるケースでは、少なくとも 1 孔は岩盤内を 10～20m 以上掘削して設置することが望ましい。一般に、ひずみゲージの間隔は 1～2m とされているが、すべり面を確実に把握するには、ひずみゲージの間隔は 1m 以下にする。本プロジェクトでは、全て 1m 間隔とした。パイプと孔壁との空隙は、砂で充填した。パイプひずみ計を埋設した後は、リード線をロガーに接続した。

表3.6.10 パイプひずみ計の諸元（出典：JICA 調査団）

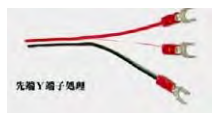
材 料	型 式	性 能
パイプひずみ計本体  コート先端 	VP40 (20m用) VP40 (30m用)	方式:1方向2ゲージ、ひずみゲージ方式 測定範囲: $\pm 25,000 \times 10^{-6}$ ひずみ 分解能: 1×10^{-6} ひずみ 精度:指示値の0.5% 温度保証範囲: $-20^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 調整数値: $\pm 700 \times 10^{-6}$ ひずみ 有効長1m、フィルター巻、ストレーナー加工、 ケーブル余巻2m、立上1m





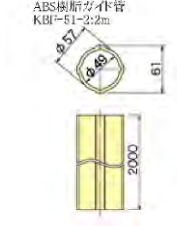
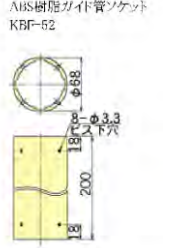
写真3.6.2 ひずみ計設置状況（出典：JICA 調査団）

b. 孔内傾斜計の設置

孔内傾斜計は、以下の手順で設置した。使用機材の一覧および、設置状況の写真を以下の表に示す。

- ①所定の深さまでボーリング孔を掘削し、その際、基岩の深さを確認する。
- ②ガイドパイプは基岩に十分根入れして設置する。考え方はパイプひずみ計と同様である。
- ③ガイドパイプのガイド溝の一方を想定される地すべり移動方向に一致させ、ガイド溝同士がスムーズに繋がるよう、ガイドパイプを接続する。
- ④初期たわみの発生を避けるため、ガイドパイプの挿入にあたっては無理に押し込まず、ガイドパイプの下端を基岩に固定して、パイプがまっすぐに伸びるよう挿入する。なお、ガイドパイプの周りには砂を少しずつ充填し、締固めながら設置した。

表3.6.11 挿入式孔内傾斜計ガイドパイプの諸元（出典：JICA 調査団）

材 料	型 式	材 料	型 式
 ABS樹脂製ガイド管 2m	KBF-51-2	 ABS樹脂製ガイド管ソケット	KBF-52

底部キャップ KBF-54-2  ABS樹脂製ガイド管用底部キャップ	KBF-54-1	頭部キャップ KBF-54-1  ABS樹脂製ガイド管用底部キャップ	KBF-54-2
---	----------	--	----------

	
ガイド管	ガイド管挿入
	
ガイド管建て込み	ガイド管接続状況
	
ガイド管設置完了	ガイド管保護箱設置

写真3.6.3 ガイド管設置状況（出典：JICA 調査団）

c. 水位計の設置

水位計は、以下の手順で設置した。

- ①所定の深さまでボーリング孔を掘削する。その際、地下水位の深度を確認する。
- ②スクリーン加工した保孔管を挿入し、孔壁との間に砂を充填する。
- ③予想される水位変動幅を考慮し、水圧式水位検出器の設置深度を決定する。
- ④水圧計を水中で一定深さ上下させ、その深さ変化に対応する水圧変化が測定されてい

るかどうか確認する。

使用機材の一覧および、設置状況の写真を以下に示す。

表3.6.12 水圧式水位検出器の諸元（出典：JICA 調査団）

材 料	型 式	性 能
	DS-1 (ケーブル長 20m) DS-1 (ケーブル長 さ30m)	測定範囲:0~10m 測定精度:0.1%FS 温度特性:±0.09%FS/10°C 温度補償範囲:0~30°C 本体材質:SUS316L ケーブル材質:ポリウレタン(大気開放パイプ 内蔵) 受圧部材質:ハステロイ 寸法、重量:φ25×130mm、約120g

	
保孔管	保孔管設置完了
	
水位計設置状況	水位計設置完了

写真3.6.4 保孔管・水位計設置状況（出典：JICA 調査団）

3.6.4 ボーリング結果

a. Chitrakoot

ボーリング結果は、ボーリング柱状図およびコア写真にまとめ、巻末資料に添付した。下表にボーリングによるコア採取率、固体コア採取率、RQDを示す。なお、地層は大きく3層に区分できる。

表3.6.13 ボーリング結果諸元（Chitrakoot）（出典：JICA 調査団）

ボーリング No.	深度 (m)	地層 区分	深度 (m)	層厚 (m)	コア 採取率 (%)	固体コア 採取率 (%)	RQD(%)
BH-C1	48.86	1	5.00	5.00	100	0	0
		2	10.15	5.15	100	0-50	0-45
		3	48.86	38.71	100	45-100	12-100
BH-C2	50.00	1	8.00	8.00	100	0	0
		2	9.70	1.70	100	0	0
		3	50.00	40.30	100	14-100	0-100
BH-C3	50.00	1	6.00	6.00	100	0	0
		2	15.00	9.00	100	0-43	0-30
		3	50.00	35.00	100	80-100	65-100
BH-C4	30.00	1	7.55	7.55	100	0	0
		2	15.00	7.45	100	0-77	0-77
		3	30.00	15.00	100	82-100	60-100
BH-C5	30.00	1	5.75	5.75	100	0	0
		2	16.00	10.25	100	0-56	0-35
		3	30.00	14.00	100	65-100	60-100
BH-C	50.00	1	7.00	7.00	100	0	0
		2	13.00	6.00	100	0	0
		3	50.00	37.00	100	10-100	0-100

表3.6.14 地層区分と地質の関係（出典：JICA 調査団）

地層区分	地質状況
1	表土，崩積土，沖積土： 礫と巨石を時折混入するシルト質粘土 茶～暗茶、暗灰 弱い～硬い
2	強風化/強風化～中程度/強風化～完全風化玄武岩/集塊岩 茶～明茶，灰 弱い/弱い～中程度
3	弱風化玄武岩/集塊岩 灰/灰～紫がかった灰 強い～非常に強い

b. Quatre Soeurs

ボーリング結果は、ボーリング柱状図およびコア写真にまとめ、巻末資料に添付した。

下表にボーリングによるコア採取率、固体コア採取率、RQDを示す。なお、当該地区の地層は大きく5層に区分できる。

表3.6.15 ボーリング結果諸元（Quatre Soeurs）（出典：JICA 調査団）

ボーリング No.	深度 (m)	地層 区分	深度 (m)	層厚 (m)	採取率 (%)	コア採取率 (%)	RQD(%)
BH-Q1	21.00	2	2.00	2.00	100	0	0
		3	7.80	5.80	100	0-33	0-33
		5	21.00	13.20	100	44-100	30-100
BH-Q2	21.00	2	18.75	18.75	100	0	0
		3	21.00	2.25	100	0-18	0

表3.6.16 地層区分と地質の関係（出典：JICA 調査団）

地層区分	地質状況
1	盛土
2	崩積土
3	強風化角礫岩/玄武岩
4	風化角礫岩/玄武岩
5	弱風化玄武岩/角礫岩

3.6.5 標準貫入試験

標準貫入試験は、原位置における地盤の硬軟、締まり具合または土層の構成を判定するためのN値を求める目的で行う。試験方法は、BS 1377に準拠して実施した。

なお、土の堅さや稠度の目安は下表に示すとおりである。

表3.6.17 土の相対稠度と状態表現（BS 5930:1999）

コンシステンシー（状態表現）	現場における判別方法
非常に軟らかい	親指でたやすくへこませることができる
軟らかい	親指をたやすく押し込める
中位の	親指でへこませることはできる/かなり力を入れないと親指は押し込めない
硬い	親指でへこませることはできる
非常に堅い	親指のつめはたやすく入る
固結した	親指のつめも入らない

a. Chitrakoot

各ボーリング孔で実施した標準貫入試験結果を表 3.6.18に示す。

試験を行った地質は大半が崩積土である。コンシステンシーは「非常に硬い」が大部分で、一部「硬い」または「締まった」状態にある。崩積土には礫が多く含まれていることから、礫の打撃によって、N 値が過大になった可能性がある。

ボーリング BH-C3 や BH-C6 の表層の N 値は 10 以下で比較的軟らかい。礫の混入は不規則であるが、崩積土深部で多くなる傾向にある。なお、土質試験結果より、本層の基質は細粒土を主体としていることから、礫を含まない粘性土については、N 値の低下が認められる。

表3.6.18 標準貫入試験結果 - Chitrakoot（出典: JICA 調査団）

ボーリング No.	深度 (m)	標準貫入 試験深度 (m)	N 値	推定一軸圧縮強さ qu(kpa) (Jennings and AI,1973)	推定 粘着力 Cu(kpa)	コンシステンシー (状態表現)
BH-C1	48.86	3.00	20	150-300	75-150	非常に硬い
BH-C2	50.00	2.20	33	150-300	75-150	非常に硬い
		3.35	23	150-300	75-150	非常に硬い
		6.55	21	150-300	75-150	非常に硬い
		8.00	19	150-300	75-150	非常に硬い
		1.00	8	40-80	20-40	中位の
BH-C3	50.00	2.55	14	75-150	37-75	硬い
		4.10	16	150-300	75-150	非常に硬い
		5.45	19	150-300	75-150	非常に硬い
		8.10	33	150-300	75-150	非常に硬い
		9.65	41	150-300	75-150	非常に硬い
		11.51	>51	礫/巨石の可能性あり		
		2.55	26	150-300	75-150	非常に硬い
BH-C4	30.00	5.00	10	75-150	37-75	硬い
		6.35	28	150-300	75-150	非常に硬い
		8.00	36	150-300	75-150	非常に硬い
		9.35	34	150-300	75-150	非常に硬い
		1.25	>51	礫/巨石の可能性あり		
BH-C5	30.00	2.80	31	150-300	75-150	非常に硬い
		4.25	>51	150-300	75-150	非常に硬い
		5.75	貫入不能	礫/巨石の可能性あり		
		2.00	8	40-80	20-40	中位の
BH-C6	50.00	3.85	5	40-80	20-40	中位の
		5.30	23	150-300	75-150	非常に硬い
		7.00	14	75-150	37-75	硬い
		8.80	32	150-300	75-150	非常に硬い
		10.65	26	150-300	75-150	非常に硬い

b. Quatre Soeurs

各ボーリング孔で実施した標準貫入試験結果を表 3.6.19に示す。

試験を行った地質は崩積土である。コンシステンシーは「硬い」または「締まった」状態にある。N 値はボーリング BH-Q1 を除けば 10-20 の範囲にあり、ほぼ一様である。Chitrakoot と同様、崩積土には礫が多く含まれており、N 値は礫の影響を受けている。また、基質は細粒土を主体としており、礫を含まない粘性土については、N 値の低下が認められる。

表3.6.19 標準貫入試験結果- Quatre Soeurs （出典：JICA 調査団）

ボーリング No.	深度 (m)	標準貫入 試験深度 (m)	N 値	推定一軸圧縮強さ qu(kpa) (Jennings and AI,1973)	推定 粘着力 Cu(kpa)	コンシステンシー (状態表現)
BH-Q1	21.00	1.00	6	40-80	20-40	中位の
BH-Q2	21.00	1.13	12	75-150	37-75	硬い
		2.20	17	75-150	37-75	硬い
		3.55	15	75-150	37-75	硬い
		5.00	15	75-150	37-75	硬い
		6.75	14	75-150	37-75	硬い
		10.35	16	75-150	37-75	硬い
		13.45	貫入不能	礫/巨石の可能性あり		