

独立行政法人国際協力機構

エチオピア地質調査所

エチオピア国  
アバイ溪谷地すべり対策調査プロジェクト

ファイナルレポート  
和文要約編

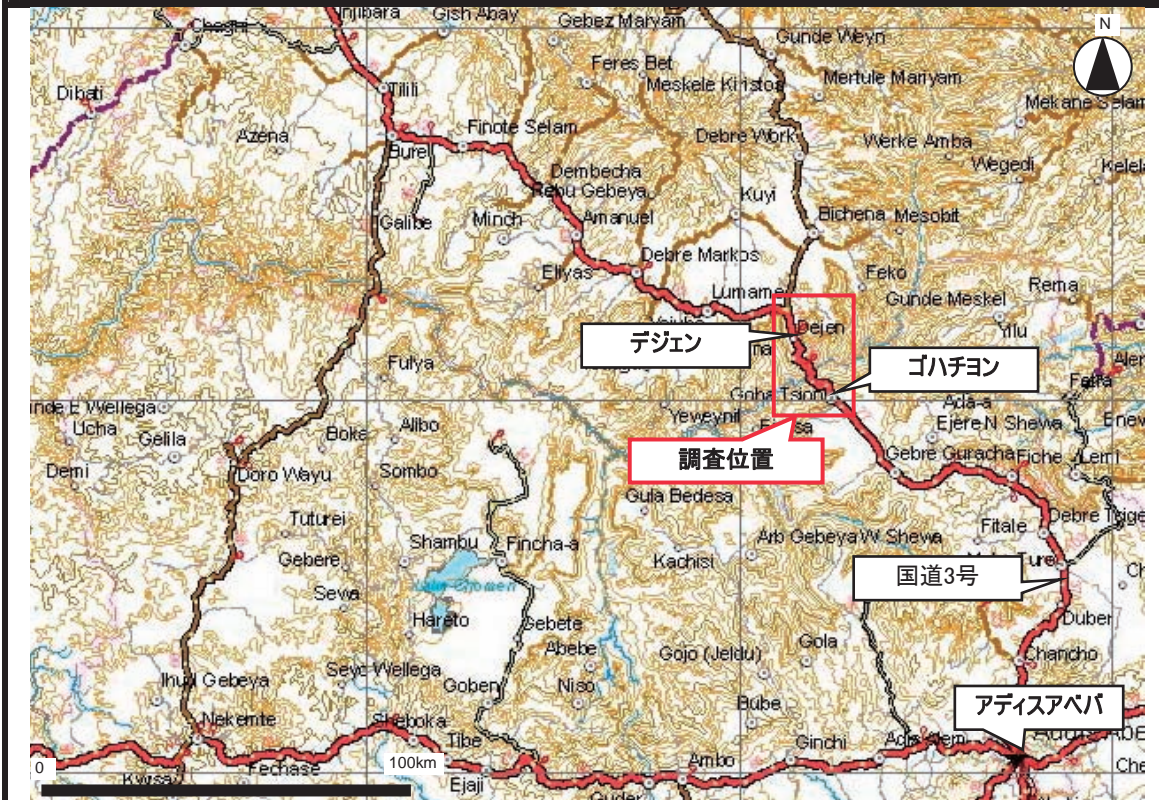
2012年1月

国際航業株式会社  
国土防災技術株式会社

### 調査位置



### 詳細図



### 調査位置図

## 通貨換算率

1 USD = 17.29 ETB  
= 77.73 JPY

1 ETB = 0.0578 USD  
= 4.4955 JPY

ETB:エチオピア・ブル

2011年12月1日時点

## プロジェクト概要

本レポートは「エチオピア共和国アバイ溪谷地すべり対策調査プロジェクト」の結果をとりまとめたものである。本プロジェクトでは、地すべり調査、モニタリング、解析ならびに対策工検討にかかる技術について、その技術移転をおこなうことに主眼をおいた。プロジェクト期間は2010年4月から2012年1月である。

プロジェクトの初期段階において、JICAの技術協力プロジェクトの進め方に対して十分な理解が得られていなかったこともあり、適切な時期にボーリング作業が行われないなど問題点はあったものの、関係諸機関との協議を経て双方の理解に至り、技術移転は順調に進んだ。その後、プロジェクトはJICA 専門家チームとカウンターパート（エチオピア地質調査所〔GSE〕ジオハザード調査部）とともに円滑に進められた。

### アバイ溪谷の自然条件

アバイ溪谷全体の地形は標高約2,400mの溶岩台地とアバイ川によって開折された斜面で、アバイ橋のある溪谷部分は海拔1,060mである。溪谷両端にはゴハチヨン村とデジェン町（道路延長40.45km）が存在し、国道3号線がいくつかの段階的な崖と斜面の合間を縫って走っている。主要な地すべり危険地区は、L/S00、L/S05、L/S27、L/S28の4地区で、調査および技術移転はこれらの地区を主体に実施された。

6月から9月は雨季にあたり、特に7月と8月で年間降雨量の50%の降雨が記録される。平均年間降雨量は1,394mm/年（デジェン：49年間）、1,195 mm/年（ゴハチヨン：34年間）である。

調査対象地域の地質は、層理の発達した堆積岩類と、それを覆う玄武岩台地に特徴づけられる。

### 地すべり調査

本プロジェクトにおける地すべり調査は、水文調査、地形測量、地形調査、地質調査、ボーリング調査、物理探査等から構成されており、結果は、カウンターパート機関であるGSEとともに作成したファイナルレポートにとりまとめた。

本プロジェクトでは地すべりモニタリング機器として、降雨と地すべり変動の関係を検討する際に必要となる時間雨量を観測する雨量計（アバイ橋とガブリエル教会付近に設置）、地すべり面を特定するための孔内傾斜計、地表面の地すべり変動を観測する地表伸縮計、地すべり地盤内の動きを観測する孔内伸縮計、正確な地下水変動を記録する地下水位計を新たに現地に設置した。

アバイ溪谷では、中生代の堆積岩類が厚く堆積しており、最上位に玄武岩台地と火砕岩が広く覆っている。地形測量、地質調査、物理探査、ボーリング調査の結果から、地

すべりの発生には、崩積土、火砕岩、玄武岩、石灰岩、シルト岩、頁岩が大きく関わっていることが判明した。

さらに、本プロジェクトではアバイ溪谷において、落石調査および土石流調査も実施し、調査結果を地区ごとの危険度評価一覧表としてまとめた。

## 地すべり解析

水文調査、地形調査、地質調査とこれらに関わる解析結果を踏まえて、アバイ溪谷のハザードマップを作成した。ハザードマップは、各斜面災害（地すべり、落石、土石流）の危険度（リスク）に応じて色分け表示とした。リスクは、地すべりそのもののハザードと道路への影響度合いを加味して評価している。なおここで、地すべりそのもののハザードは **A**：地形・地質等の災害要因、**B**：災害履歴、**C**：対策工効果を点数付けとすることにより求めた。これらのマップとリスク評価一覧はレポート中に記載されている。

リスク評価の結果、本プロジェクトの対象地域では 22 個の地すべりが「高リスク」と判断され、上述の 4 地区（L/S00、L/S05、L/S27、L/S28）は特にリスクが高いと考えられている。各地区の解析結果概要は次に示すとおりである。

### **1. L/S00（ST.0+200～1+100）地区**

本地区では、地質調査、ボーリングコア観察、モニタリング結果から、3つのすべり面が想定されている。最も大規模なものは、初生的には岩盤地すべりであった風化岩地すべりである。2つ目は、前述の大規模地すべりの一部で崩積土すべりと考えられる。3つ目の地すべりが最も活動的であり、盛土路体が活動しているもので、その誘因は地下水位上昇である。雨季の地表面における最大変位量は 42.4mm に達し、すべり面深度は 16.2m（B00-12）と 10.5m（B00-22）である。地下水位は深度 20-24m 付近に位置する。

### **2. L/S05（ST.4+800～5+600）地区**

本地区では、主に2つの主要地すべりが想定されている。1つは道路上部斜面において、背面の玄武岩急崖（古い地すべり地形）から供給されている土砂が活動する崩積土地すべりである。当該箇所である道路上部斜面は急斜面であることから、搬入が不可能でボーリング調査を実施することができなかったが、石灰岩上面（崩積土との境界）がすべり面であると考えられる。もう一つは道路下部斜面で、崩積土から構成される地すべりであり、こちらのほうが活動的である。本地すべりの活動は、地下の複数の水みちに起因するものと思われる。雨季の地表面における最大変位量は 57.6mm に達し、すべり面深度は 7.5～17.02m 付近（4本のボーリング結果より）に位置する。地下水位は深度 22-32m 付近に位置する。

### 3. L/S27-28 (ST.27+200~28+800) 地区

本地区はアバイ渓谷における最大の地すべり地帯であり、少なくとも 20 以上の地すべりの小ブロックから構成されている。初生的には岩盤すべりであったと考えられる風化岩すべりで、表層風化部ないし表層土砂が滑動することによって発生したと思われる。特に活発な地すべり土塊は玄武岩ないし石灰質の崩積土を多く含んでおり、主に道路に影響しているのはこの地すべりである。本地区では複数のすべり面が各深度で存在すると思われ、小ブロックが活動することにより、それと連動して地区全体の大規模地すべりが活動している可能性がある。雨季の地表面における最大変位量は 294.9mm に達し、すべり面深度は 8.9~24.5m 付近（7 本のボーリング結果より）に位置する。地下水位は深度 15-25m 付近に位置する。

アバイ渓谷では、地すべり変動と降雨量（雨量強度と累積雨量）の関係は明瞭である。モニタリング結果から伸縮計は累積雨量との関連性が高いといえるが、地すべり変動の誘因には雨量強度の影響が強いと思われる。例えば L/S27-28 地区では、2011 年 8 月 17 日に伸縮計の最大日変動量 7.7mm を記録し、この変動は同年 9 月 8 日まで継続し、合計 136mm の変動量に達した。なおこの期間には、最大日雨量 244.5mm の強烈な雨量強度を記録している。

日本の場合、対策工の経済性等を考慮して安定解析手法は概ね標準化されているが、本プロジェクトではヤンプ法を使った安定解析を実施した。本プロジェクトにおける安定解析は、地すべり変動における粘着力  $c$  と内部摩擦角  $\phi$  を用いた逆算法により実施し、技術移転を行った。また対象とするアバイ渓谷の地すべりにおける現況での安全率は、日本での事例を参考とし 0.98 とした。

また、落石シミュレーションおよび土石流氾濫シミュレーションについても、本プロジェクトにおいて供与したソフトウェアを使用して実施した。

### 地すべり対策

地すべり対策では、一般的に「抑制工」と「抑止工」と呼ばれる 2 つのタイプの対策が行われている。抑制工は、地すべりの誘因となる現象を緩和させるもので、例えば地下水位低減や地表排水処理がこれに当たる。抑止工は、杭やアンカーなどを使用して滑動力に抵抗するものである。エチオピアでは、地下水処理による抑制工を最初に実施することが望ましいと考えられる。

本プロジェクトでは地すべり対策として、第一に地すべり土塊から地下水を排水する水平ボーリング工を提案する。水平ボーリングにより地下水位が低下すれば、すべり面の間隙水圧は低下し、地すべりの活動を抑制することができる。第二に地表水の排水処理を提案する。これにより降雨が地すべり土塊に浸透することを防ぎ、土塊中の間隙水圧を上昇させない。

一般的に地すべり対策は長期に及ぶものであり、その効果を確認しながら試行錯誤的

に進めていくことが多い。そのため、エチオピアでは現実的な対策計画に向けて、このように効果を確認しながら対策を実施していく方針で進めていくことが望ましい。なお本レポートでは提案する対策工の概略平面図を載せている。

## 技術移転

本プロジェクトは、地すべり対策にかかるカウンターパートの保有技術を高めることを目的とした。第1フェーズでは現場ならびに室内でのOJT、第2フェーズは主に室内での共同解析作業、そして第3フェーズはカウンターパートによる主体的な調査・解析作業を実施することにより、段階的に技術移転を行った。

上述した段階的アプローチを実現するため、専門家チームには各時期・各専門技術に応じた技術移転が求められたため、プロジェクト期間内に3回の技術移転セミナー、11回の地すべり技術にかかるワークショップ、そして20回以上の現地トレーニングを実施した。大部分の技術移転は、必要に応じた時期に必要な形式（現場、室内）で対応しており、セミナーやワークショップはプロジェクト期間中のカウンターパート技術力向上の指標とした。

さらに、2011年6月18日から7月8日にかけて、第1フェーズ及び第2フェーズの技術移転結果を確認するため本邦研修を実施し、地すべり現場、研究機関や関係諸機関の協力を得て日本の地すべり調査・解析技術を体験、学習した。

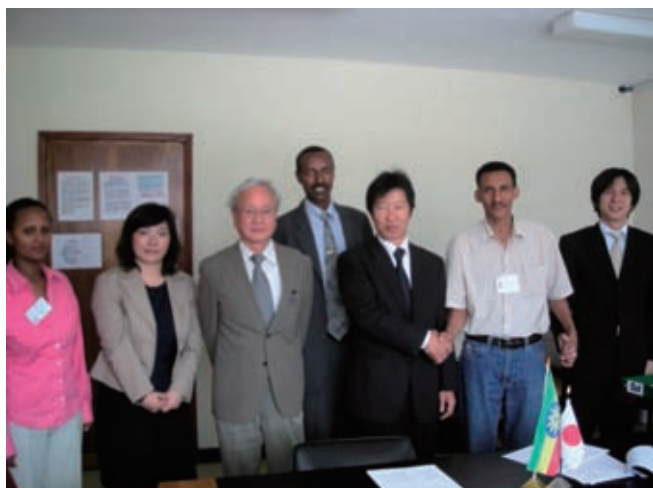
これらの技術移転の成果と進捗を把握するため、PDM手法を用いた。PDMにおける活動の成果をレビューした結果、本プロジェクトは成功裏に完了し、成果を出したといえる。

また、地すべり調査・解析に係るカウンターパートの知識体得を検証するため、キャパシティアセスメントを実施した。地すべりに関わる重要な技術について、アセスメント結果から、カウンターパートの地すべり調査・解析能力は向上したといえる（調査票項目：プロジェクトの実施、地形調査、地質調査、地すべりモニタリング及び安定解析）

プロジェクト期間中、合計5回の合同調整委員会（JCC）を開催した。この委員会を通じて、JICAの方針がカウンターパート側により良く理解され、プロジェクト期間内に発生した幾多の問題（ボーリング作業の遅延、GSE 予算の確保など）についても、関係諸機関の積極的な関与・協議のもと、解決するに至った。また本プロジェクトにおけるERAの関与もプロジェクトの成功に大きく貢献した。

カウンターパート機関（GSE）は今までの技術移転の成果と自らの技術力を検証するため、2011年11月より自らの予算で新たな地すべり調査を開始した。彼らの地すべり調査に対するチャレンジ精神、高いモチベーションはエチオピア国の地すべり調査・解析における将来にわたる自立発展性と継続性を約束するものであると考えている。

## 現場写真(1)



プロジェクト開始の締結  
2010年4月14日



第2回JCC開催  
2010年7月1日



地すべり地帯での地震波探査



伸縮計設置のための側溝掘削工事作業



地すべり地帯での伸縮計の設置作業



掘削作業（地点 ST. 0. 800）



現場写真(2)



雨量計のデータ回収作業



亀裂計測手法に関する技術移転  
2011年1月25日



亀裂箇所の描図作業に関する技術移転  
2011年1月27日



モニタリング機器のデータ回収の技術移転  
2011年2月18日



地すべり・落石・土石流解析ワークショップ  
(写真は地すべり安定解析の講義)、2011年2月25日



地すべり・落石・土石流解析ワークショップ  
(写真は地すべり断面図の検討)、2011年2月25日

現場写真(3)



地すべり解析のためのGIS利活用ワークショップ  
2011年3月18日



掘削技術の技術移転  
2011年6月4日



掘削技術移転及び傾斜計設置のためのケーシング  
パイプ組立作業の技術移転、2011年7月12日



孔内伸縮計モニタリングデータ回収作業  
2011年6月21日



伸縮計モニタリングデータ回収作業  
2011年6月21日



孔内傾斜計設置のためのケーシングパイプ  
組立作業の技術移転、2011年7月13日

現場写真(4)



孔内傾斜計設置のためのケーシングパイプ組立作業の技術移転、2011年7月13日



地下水位計設置作業の技術移転  
2011年6月22日



地すべり面の柱状コア（ボーリング地点B05-13）



地すべり及び土石流解析ワークショップ  
2011年10月7日



モニタリング及び早期警戒体制ワークショップ  
2011年10月11日～16日



現地調査及び総合解析ワークショップ  
2011年10月28日～30日

# 目 次

調査位置図
プロジェクト概要
現地写真
目次
図目次
写真目次
表目次
略語
関係者一覧

ページ:

<b>1 序 論</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 プロジェクトの概要 .....	1-1
1.2 プロジェクトの背景 .....	1-1
1.3 プロジェクトの目的 .....	1-2
1.3.1 上位目標 .....	1-2
1.3.2 プロジェクト目標 .....	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 .....	1-2
1.4.1 相手国関係者 .....	1-2
1.4.2 調査対象地区 .....	1-3
1.5 プロジェクトの計画と実施 .....	1-4
1.5.1 調査団とカウンターパート .....	1-6
1.5.2 プロジェクト特記事項 .....	1-6
1.6 地すべり調査解析マニュアル作成 .....	1-7
<b>2 アバイ溪谷の自然条件</b> .....	<b>2-1</b>
2.1 地形 .....	2-1
2.2 気候 .....	2-2
2.2.1 位置と降雨 .....	2-2
2.2.2 気温 .....	2-3
2.3 地質 .....	2-4
<b>3 地すべり調査</b> .....	<b>3-1</b>
3.1 水文調査 .....	3-1
3.1.1 既存データ整理 .....	3-1
3.1.2 降雨量モニタリング .....	3-2
3.2 地形測量 .....	3-3
3.2.1 衛星画像の取得 .....	3-3
3.2.2 地形図作成 .....	3-4

3.3	地形判読.....	3-5
3.3.1	ST.0+000～ST.1+200周辺.....	3-5
3.3.2	ST.28+200～ST.29+700周辺.....	3-6
3.4	地質調査.....	3-7
3.4.1	対象地域の地質.....	3-7
3.4.2	地表変状調査.....	3-10
3.5	地すべりモニタリング.....	3-12
3.5.1	モニタリング機器の概要.....	3-12
3.5.2	モニタリング機器の配置計画.....	3-13
3.5.3	アバイ溪谷におけるモニタリング機器.....	3-13
3.6	物理探査.....	3-15
3.6.1	弾性波探査.....	3-15
3.6.2	比抵抗法二次元探査.....	3-16
3.7	ボーリング調査.....	3-17
3.7.1	ボーリング調査計画.....	3-17
3.7.2	ボーリング調査結果.....	3-20
3.8	落石調査／土石流調査.....	3-21
3.8.1	落石調査.....	3-21
3.8.2	土石流調査.....	3-23
3.9	GIS／データベース.....	3-26
3.10	各地すべり地区における予察的検討.....	3-27
3.10.1	L/S 00地区.....	3-27
3.10.2	L/S 05地区.....	3-28
3.10.3	L/S 22地区.....	3-28
3.10.4	L/S 27地区.....	3-29
3.10.5	L/S 28地区.....	3-29

## 4 地すべり解析 ..... 4-1

4.1	水文解析.....	4-1
4.1.1	降雨の特徴.....	4-1
4.1.2	地すべり発生と誘因.....	4-1
4.1.3	水文モニタリングの解析.....	4-2
4.2	流域解析.....	4-3
4.2.1	流域系.....	4-3
4.2.2	地下水分布.....	4-3
4.3	地すべり地域の同定と評価.....	4-4
4.3.1	衛星画像判読.....	4-4
4.3.2	地すべり分布.....	4-5
4.3.3	地すべりブロック特性.....	4-5
4.3.4	地すべり危険度評価.....	4-7
4.3.5	地すべり対策優先度.....	4-8
4.4	地すべりブロックの解釈.....	4-9
4.4.1	各地すべりブロックの地質特性.....	4-9
4.4.2	地質断面図.....	4-10
4.4.3	モニタリングデータ解析.....	4-17

4.4.4	室内土質試験.....	4-17
4.4.5	すべり面の検討.....	4-19
4.5	地すべり安定解析.....	4-23
4.5.1	安定解析までの流れ.....	4-23
4.5.2	地すべり解析の安全率.....	4-23
4.5.3	パラメータの設定.....	4-23
4.5.4	安定解析の手法.....	4-24
4.5.5	安定解析結果.....	4-25
4.6	安定解析結果の活用.....	4-26
4.6.1	基本的な考え方.....	4-26
4.6.2	対策工効果の事前評価.....	4-26
4.6.3	対策工施工後の対策工効果の確認.....	4-27
4.6.4	土質パラメータの見直し.....	4-27
4.6.5	対策工効果の事前評価に関する試算.....	4-27
4.7	落石解析.....	4-29
4.7.1	斜面の条件.....	4-29
4.7.2	落石の条件.....	4-30
4.7.3	落石シミュレーション.....	4-31
4.8	土石流解析.....	4-33
4.8.1	パラメータの設定.....	4-33
4.8.2	土石流シミュレーション.....	4-33
4.8.3	シミュレーション結果.....	4-34
<b>5</b>	<b>地すべり対策.....</b>	<b>5-1</b>
5.1	地すべり対策工一般.....	5-1
5.2	アバイ地域における地すべり対策工.....	5-2
5.2.1	安定解析結果の解釈.....	5-2
5.2.2	地すべりブロックごとの対策工.....	5-2
5.2.3	実施における注意点・留意点.....	5-5
5.2.4	適切な対策工実施に必要な要件.....	5-5
5.3	警戒避難基準.....	5-7
5.3.1	降雨、水位、地すべり変動の一般的関係.....	5-7
5.3.2	日本における水位と地すべり変動の応答特性.....	5-7
5.3.3	アバイ地すべり地域における水文解析例.....	5-8
5.3.4	警戒避難基準の設定例.....	5-9
5.4	落石／土石流対策.....	5-10
5.4.1	一般的な対策工法.....	5-10
5.4.2	落石／土石流対策の適用.....	5-12
5.4.3	適切な対策工実施に必要な要件.....	5-14
<b>6</b>	<b>技術移転.....</b>	<b>6-1</b>
6.1	方法論.....	6-1
6.1.1	C/P の地すべりに対するキャパシティ向上.....	6-1
6.1.2	効果的な地すべり評価技術の向上.....	6-1
6.1.3	効果的な地すべり対策検討の支援.....	6-1

6.2	技術移転の体制	6-2
6.3	技術移転の主な内容	6-3
6.3.1	技術移転セミナー	6-3
6.3.2	ワークショップ	6-3
6.3.3	現地トレーニング	6-4
6.3.4	本邦研修	6-4
6.4	キャパシティ・アセスメント	6-6
6.4.1	質問表の内容	6-6
6.4.2	キャパシティ・アセスメントの結果	6-6
6.5	PDM（プロジェクト・デザイン・マトリックス）	6-7
6.6	JCC（合同調整会議）	6-9
6.7	隔週ミーティング	6-9

## 資料編

1. プロジェクト S/W
2. インセプションレポート議事録
3. JCC 議事録
4. 地形図
5. 衛星画像
6. ボーリング柱状図
7. ボーリングコア写真
8. 衛星画像判読結果
9. 物理探査断面図
10. 落石調査・解析
11. 土石流調査・解析
12. モニタリング結果
13. モニタリング状況写真
14. 地質図
15. 斜面災害（地すべり、落石、土石流）分布図
16. 地すべり危険度評価一覧
17. 斜面災害ハザードマップ（点数によるマップ）
18. 斜面災害ハザードマップ（道路への影響度合いを考慮したマップ）
19. 地すべり断面図
20. 室内試験結果
21. 技術移転に係る質問表と結果



## 図目次

	ページ:
図1.4.1 プロジェクト対象地域	1-2
図1.4.2 調査対象地区の位置図	1-3
図1.5.1 地すべり調査・解析の概略フロー	1-4
図1.5.2 プロジェクトフローチャート	1-5
図2.2.1 ケッペンの気候区分	2-2
図2.2.2 平均月間降雨量	2-3
図2.2.3 アジスアベバの年間気温の変化	2-3
図2.3.1 エチオピアの一般地質図 (Teferaほか、1996)	2-4
図2.3.2 アバイ渓谷における模式地質断面図 (Ayalew & Yamagishi、2003)	2-5
図3.2.1 取得された衛星画像	3-3
図3.2.2 地形図作成の範囲	3-4
図3.3.1 ST.0+000～ST.1+200付近の衛星画像判読結果	3-5
図3.3.2 ST.28+200～ST.29+700付近の衛星画像判読結果	3-6
図3.4.1 アバイ渓谷の地質図	3-8
図3.4.2 アバイ渓谷の模式地質断面図	3-9
図3.4.3 L/S00 (ST.0+200～1+100) の地表変状	3-10
図3.5.1 地すべりモニタリング機器の種類	3-12
図3.5.2 地表伸縮計の設置概念図	3-13
図3.5.3 孔内伸縮計の設置概念図	3-14
図3.5.4 孔内伸縮計の測定原理	3-14
図3.5.5 孔内傾斜計の概念図	3-14
図3.5.6 孔内傾斜計の測定概念図	3-14
図3.7.1 L/S00におけるボーリング調査位置図	3-19
図3.7.2 L/S05におけるボーリング調査位置図	3-19
図3.7.3 L/S22におけるボーリング調査位置図	3-19
図3.7.4 L/S27とL/S28におけるボーリング調査位置図	3-19
図3.8.1 土石流の概念図	3-23
図3.8.2 土砂移動の形態の溪床勾配による目安	3-23
図3.10.1 L/S00における物理探査断面と平面位置の関係	3-27
図3.10.2 L/S05におけるボーリング調査とモニタリング結果の検討	3-28
図4.2.1 流域系	4-3
図4.3.1 古い地すべり地形の例 (L/S05-01)	4-4
図4.3.2 地すべり地形の衛星写真判読の例 (L/S26～L/S27)	4-4
図4.3.3 地すべり地形の模式図	4-6
図4.3.4 地すべり地と非地すべり地の等高線の比較	4-6
図4.3.5 地すべり危険度評価の流れ	4-7
図4.4.1 L/S00地すべりにおける模式地質柱状	4-9
図4.4.2 L/S05地すべりにおける模式地質柱状	4-9
図4.4.3 L/S22地すべりにおける模式地質柱状	4-10
図4.4.4 L/S27-28地すべりにおける模式地質柱状	4-10
図4.4.5 L/S00 (B0-12) の地すべり地質断面図	4-10
図4.4.6 L/S05 (上: B0-04、下: B0-05) の地すべり地質断面図	4-11
図4.4.7 L/S27の調査側線	4-12
図4.4.8 L/S28の調査側線	4-12
図4.4.9 L/S27/28 (B0-08) の地すべり地質断面図	4-13
図4.4.10 L/S27/28 (B0-09) の地すべり地質断面図	4-14
図4.4.11 L/S27/28 (B0-14) の地すべり地質断面図	4-15
図4.4.12 L/S27/28 (B0-15) の地すべり地質断面図	4-16

図4.4.13	粒度分析の累積分布	4-18
図4.4.14	地すべり調査と地すべり解析の流れ	4-19
図4.6.1	計画段階における地すべり対策工法と数量による安全率の変化	4-26
図4.6.2	地下水位の低下高さと安全率の関係	4-28
図4.7.1	地形・地質と落石の形態	4-30
図5.1.1	地すべり対策工の種類	5-1
図5.1.2	地すべり対策工の模式図	5-1
図5.2.1	L/S00地域で期待される地すべり対策工の配置図	5-3
図5.2.2	L/S05地域で期待される地すべり対策工の配置図	5-3
図5.2.3	L/S27地域で期待される地すべり対策工の配置図	5-4
図5.2.4	L/S28地域で期待される地すべり対策工の配置図	5-4
図5.3.1	降雨、水位、地すべり変動の関係	5-7
図5.3.2	地すべり形態別の水圧と地すべり変位速度との関係図	5-8
図5.3.3	降雨、水位、地すべり変動との関係の模式図	5-9
図5.4.1	土石流対策施設の代表例	5-12
図5.4.2	落石防護工の適用範囲の目安	5-13
図6.2.1	技術移転体制	6-2
図6.3.1	本邦研修概念図	6-5

## 写真目次

	ページ:
写真3.10.1 対岸からの地すべり22-01状況	3-28

## 表目次

	ページ:
表1.5.1 調査団とC/Pの名簿.....	1-6
表1.6.1 地すべり調査・解析マニュアルの内容.....	1-7
表2.3.1 アバイ渓谷における地質分類（Teferaほか、1996）.....	2-4
表3.1.1 既存データ一覧.....	3-1
表3.1.2 アバイ渓谷における新規雨量計.....	3-2
表3.1.3 降雨量モニタリングの観測期間.....	3-2
表3.4.1 各層の標高および層厚.....	3-7
表3.5.1 地すべりモニタリングの区分.....	3-12
表3.5.2 モニタリング機器の設置状況.....	3-13
表3.7.1 ボーリングおよびモニタリング計画一覧.....	3-18
表3.7.2 ボーリングおよびモニタリング結果一覧.....	3-20
表3.10.1 L/S00における地震波探査結果とボーリング調査結果の比較.....	3-27
表3.10.2 L/S27における地震波探査結果とボーリング調査結果の比較.....	3-29
表3.10.3 L/S28における地震波探査結果とボーリング調査結果の比較.....	3-29
表4.1.1 アバイ渓谷における地すべり発生.....	4-1
表4.1.2 モニタリング箇所および情報.....	4-2
表4.3.1 地質別地すべり密度.....	4-5
表4.3.2 地すべりハザード判定項目と評価点.....	4-7
表4.3.3 地すべりの道路へのリスク評価.....	4-8
表4.4.1 地すべりモニタリング結果の概要.....	4-17
表4.4.2 XRDの結果一覧.....	4-18
表4.4.3 アバイ地域における水文地質構造と地すべり運動.....	4-22
表4.5.1 地すべりの現状安全率の設定値.....	4-23
表4.5.2 安定解析結果（せん断抵抗角 $\phi'$ ）.....	4-25
表4.7.1 斜面の分類と $\mu$ （等価摩擦係数）値.....	4-29
表4.7.2 Dr.Spang版落石シミュレーションのパラメータ選定表.....	4-29
表4.7.3 落石シミュレーションの検討断面と落石規模.....	4-31
表4.7.4 落石シミュレーションによる道路側の最大エネルギーと最大跳躍高.....	4-32
表4.8.1 土石流シミュレーションに必要なパラメータ.....	4-33
表4.8.2 土石流シミュレーションの検討断面.....	4-34
表4.8.3 土石流シミュレーションの選定パラメータ.....	4-34
表4.8.4 土石流シミュレーションの検討結果.....	4-34
表5.2.1 対策工の検討案.....	5-2
表5.3.1 警戒避難基準の設定例.....	5-9
表5.4.1 落石予防工の例.....	5-10
表5.4.2 落石防護工の例.....	5-11
表5.4.3 土石流対策施設の種類.....	5-12
表6.1.1 各発展段階におけるキャパシティ・ディベロップメントの方法.....	6-1
表6.2.1 専門グループ毎の各メンバーの配置.....	6-2
表6.3.1 ワークショップ一覧.....	6-3
表6.3.2 現地トレーニング一覧.....	6-4
表6.3.3 到達目標毎のカリキュラム構成.....	6-5
表6.5.1 技術移転の効果.....	6-7
表6.5.2 活動結果.....	6-8

## 略語

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、能力評価
DED	District Engineer Division	地方技術課
DEM	Digital Elevation Model	地理標高モデル
DRMC	District Road Maintenance Contractor	地方道路運営維持請負者
EMA	Ethiopian Mapping Agency	エチオピア地図局
ERA	Ethiopian Roads Authority	エチオピア道路公社
GIS	Geographical Information System	地理情報システム
GOE	Government of the Federal Democratic Republic of Ethiopia	エチオピア連邦民主共和国政府
GOJ	Government of Japan	日本国政府
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
GSE	Geological Survey of Ethiopia	エチオピア地質調査所
JCC	Joint Coordination Committee	合同調整会議
JICA	Japanese International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
L/S	Landslide	地すべり
M/M	Minutes of Meeting	会議議事録
MM	Ministry of Mines	鉱山省
MME	Ministry of Mines and Energy	鉱山・エネルギー省
MoFED	Ministry of Finance and Economic Development	金融・経済開発省
NGO	Non Governmental Organizations	非政府組織
NMSA	The Ethiopia National Meteorological Services Agency	エチオピア気象サービス局
PCM	Project Cycle Management	プロジェクト・サイクル・マネジメント
PDM	Project Design Matrix	プロジェクト・デザイン・マトリックス
S/C	Steering Committee	ステアリング・コミッティ
S/W	Scope of Work	業務指示書
The Project	Developing Countermeasures against Landslides in the Abay River Gorge	アバイ渓谷地すべり対策調査プロジェクト
The Study Team	Japanese Study Team organized by JICA	調査団
WWIS	World Weather Information Service	世界気象情報サービス

## 関係者一覧

Organization	Name	Title	Mobile	Email	
JICA Ethiopia Office	Koji OOTA	Chief Representative		Ota.Koji@jica.go.jp	
	Makoto SHINKAWA	Senior Representative		Shinkawa.Makoto@jica.go.jp	
	Atsushi NAKAGAWA	Representative	09 11 21 37 85	Nakagawa.Atsushi@jica.go.jp	
JICA Study Team	Kensuke ICHIKAWA	Chief Advisor	09 12 06 67 87	kensuke@geotimer.com	
	Shigekazu FUJISAWA	Hydrological Survey/Analysis	09 20 53 88 86	fujisawa_kazu10@yahoo.co.jp	
	Takeshi KUWANO	Geological Survey/Analysis 1	09 20 53 87 34	kuwanota@gmail.com	
	Kazuo FURUKATA	Project Coordinator	09 20 72 18 16	furukata@tkd.att.ne.jp	
	Takashi SUZUKI	Drilling Techniques	09 10 37 17 95	etasuzuki@nifty.com	
	Shozo SHIMODA	Topographic Survey	09 20 72 18 15	ssmn@jasmine.ocn.ne.jp	
	Masami TAKAHATA	Project Coordinator	09 20 53 87 33	masamin1979@hotmail.com	
	Yoshimizu GONAI	GIS/Database		yoshimizu.gonai@gmail.com	
	Satoru TSUKAMOTO	Geomorphological Analysis 1/ Hazard Map		satoru_tsukamoto@jcom.home.ne.jp	
	Mitsuya ENOKIDO	Geomorphological Analysis 2		mitsuyaenokida@gmail.com	
	Makito NODA	Geological Survey/Analysis 2			
	Naohiro ISOGAI	Geophysical Exploration		naohiro.isogai@gmail.com	
	Shoji TSUCHIYAMA	Landslide Monitoring/Early Warning system			
	Masao YAMADA	Landslide Integrated Analysis		yamada4468@jcom.home.ne.jp	
	Yoji KASAHARA	Rockfall/Debris Flow Survey/Analysis		ice001578@gmail.com	
Yerom Moges	Assistant	0913-355055	cookieyer@yahoo.com		
GSE	Masresha G/ Selassie	Director General		geology_institute@ethionet.et	
	Getnet Mewa	Head of Geo-hazard Core process	0911-428675	geophysics@ethionet.comgtmewa@yahoo.com	
	Leta Alemayehu	Engineering Geologist	0911-147429	Letal05@yahoo.com	
	Haile Selassie G/Selassie	Geophysist	0911-168391		
	Melkamu Tegegne	Engineering Geologist	0913-879062	Melk2000@yahoo.com	
	Yewubnesh Bekele	Geologist	0913-047332		
	Solomon Gera	Mapping and Remote Sensing	0913-499358	sol_gerra@yahoo.com	
	Tekalegne Tesfaye	Geologist	0910-923686		
	Demis Alamirew	Hydrologist	0911-476280	demisala2002@yahoo.com	
	Tadesse Lema	Engineering Geophysist	0911-767008		
	Sisay Alemayehu	Engineering Geologist	0920-476280		
	Ezra Tadesse	Seismologist	0910-584903		
	Bayu Wedajo	Drilling Engineer	0911-940969	Wedaj.bayu2@gmail.com	
	Biruk Abel	Engineering Geologist	0911-874620		
	Habtamu Eshete	Geologist	0911-103980		
	Debebe kifle	Engineering Geologist	0910-510288	debebekifle@yahoo.com	
	Yohannes Belete	Head, Ground water resource assessment	0911-156512	abkJohny@yahoo.com	
	Samuel Molla	Engineering Geologist	0911-422676	Samgreat96@yahoo.c	
	Berehe G/Sellassie	Head, Mineral exploration & Evaluation	0911-363817	berhegasa@yahoo.com	
	Tadesse Alemu	Head, Basic Geoscience			
	Yeheyis AmdeBerhan	Head, Drilling Service Center	0911-393524	amdebrhan_yihevis@yahoo.com	
	Solomon Kebede	Head, Geothermal Resrouce Assessment			
	ERA	Alemayehu Ayele	Highway Research Team	0911- 638033	
		Solomon Shanko	Central Region Design Implementation		
		Kalid Abdurazak	Landslide Unit	0911-808806	
EMA	Degelo Sendabo	Head RS&GIS	0916-825673	degelo@yahoo.com	
AAU	Elias Lewi	Director, Institute of Geophysics, space science and astronomy	0911-110744	elias_lewi@yahoo.com	

# 第1章

---

## 序 論

# 1 序論

## 1.1 プロジェクトの概要

本レポートは「エチオピア共和国アバイ渓谷地すべり対策調査プロジェクト」の結果をとりまとめたものである。本プロジェクトはエチオピア国地質調査研究所（Geological Survey of Ethiopia：以下、GSE）ならびに独立行政法人国際協力機構（Japanese International Cooperation Agency：以下、JICA）の間で、関連機関である財務経済開発省（以下、MoFED）ならびにエチオピア国道路公社（Ethiopian Roads Authority：以下、ERA）の立合のもと、締結された協議議事録（M/M）に基づき実施された。

JICA は 18 名からなる地すべり調査・解析に関係する専門家（専門家チーム）を派遣した。プロジェクト期間は 2010 年 4 月から 2011 年 12 月であり、主に GSE のメンバーからなるカンターパートとの協力によって行われた。

## 1.2 プロジェクトの背景

エチオピア連邦民主共和国（以下、「エ」国）の主要幹線道路の一つである国道 3 号線は、首都アディスアベバとスーダンを結ぶアフリカ縦断回廊の一部であり、「エ」国の生活・経済にとって不可欠な路線である。国道 3 号線上のアバイ渓谷を通過する区間は、道路延長 40km の間に約 1,500m 標高差がある険しい渓谷であり、雨季（6 月から 9 月）には地すべりが繰り返し発生している。地すべりは幅 2km に及ぶ大規模なものもあり、道路機能を脅かしている。この課題の根本的な解決のためには、当該区間の地すべり発生要因を解明した上で、適切な地すべり対策工を行う必要がある。

一方、「エ」国では国内各地で地すべりが見られるにもかかわらず、これまで地すべりを調査する機関がなかったが、2009 年 4 月に鉱山・エネルギー省（Ministry of Mines and Energy：以下、MME）内の地質調査研究所内に、ジオハザード調査業務プロセス（Geo-hazard Investigation Business Process）としてジオハザード調査部（Geo-hazard Investigation）という専門部門が設けられた。そこで、地質調査、地図作成、地すべりの原因・メカニズムの究明、地すべり対策工の検討を実施していくため、MME からこれら専門部門に対する技術及び人材育成を目的とした要請が、日本政府に対してなされた。

これを受けて JICA が 2009 年 12 月に実施した詳細計画策定調査において、2009 年 12 月 16 日、GSE との協議を終了し、実施細則（S/W）及び協議議事録（M/M）の署名を行った。本件はこの S/W に基づき実施するものである。なお、本プロジェクトの結果を活用した地すべり対策の実施は、「エ」国道路維持管理機関である ERA が行うこととなる。

## 1.3 プロジェクトの目的

### 1.3.1 上位目標

国道3号線アバイ渓谷における地すべり発生メカニズムが解明され、適切な対策が実施されることにより、人的・経済的被害が軽減される。

### 1.3.2 プロジェクト目標

- アバイ渓谷における地すべり発生メカニズムを解明する
- GSE が地すべり調査・解析技術を習得する

### 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。

- 調査実施体制を整備する
- 地すべり災害状況を把握する
- 地すべりの地形・地質状況を把握する
- 地すべりの季節的変化の特徴を把握する
- 地すべりのメカニズムを解明する
- 地すべり以外の土砂災害調査・解析を行う
- 地すべり調査・解析業務を相手国関係機関に定着させる

## 1.4 プロジェクトの範囲

### 1.4.1 相手国関係者

#### カウンターパート機関

- 鉱山省エチオピア地質調査研究所（GSE）

#### 関係機関

- エチオピア道路公社（ERA）
- エチオピア地図作成機構（EMA：Ethiopian Mapping Agency）等

#### 受益者

- 直接裨益者：ERA

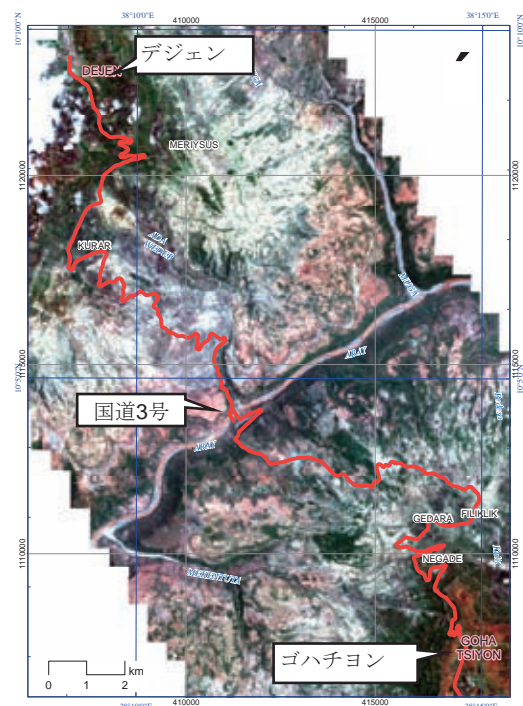


図1.4.1 プロジェクト対象地域



### 1.4.2 調査対象地区

- 1 L/S00 地区
- 2 L/S05 地区
- 3 L/S22 地区
- 4 L/S27 地区
- 5 L/S28 地区

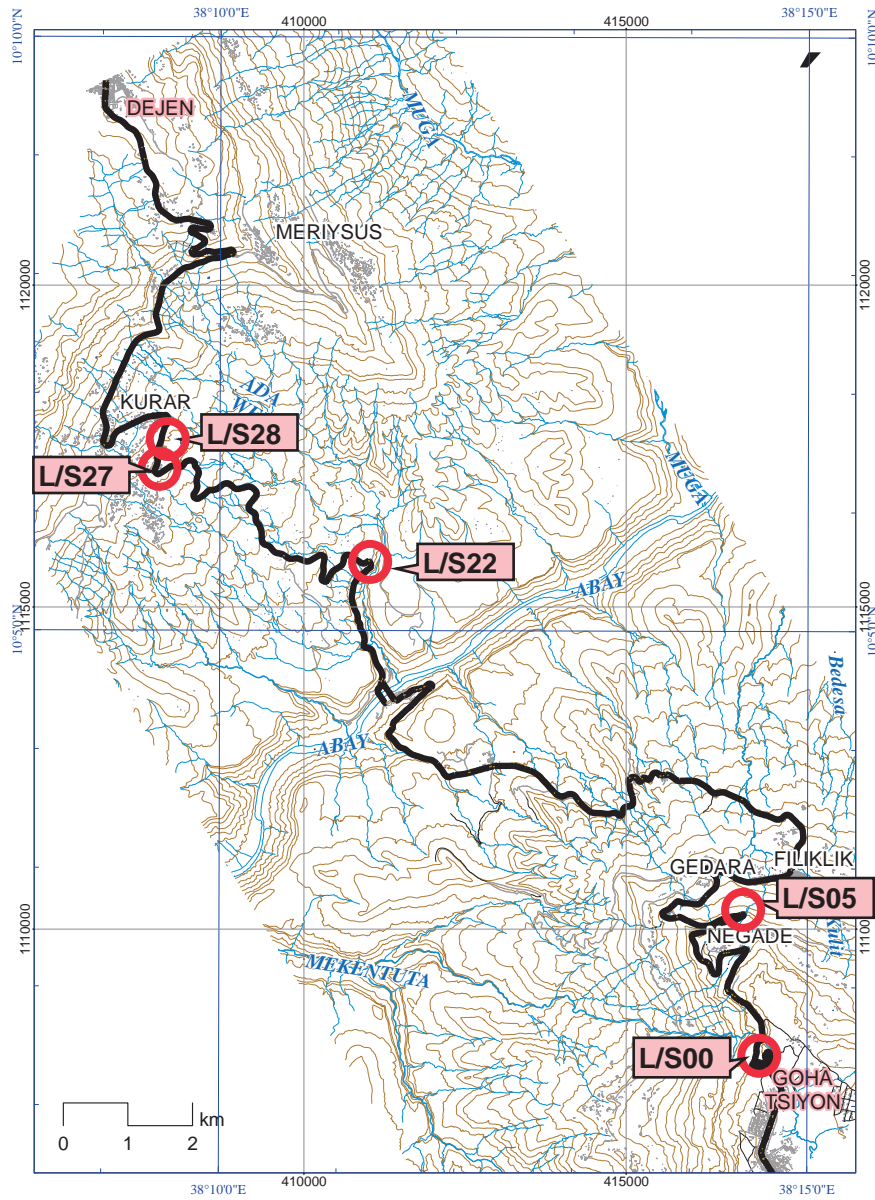


図1.4.2 調査対象地区の位置図

## 1.5 プロジェクトの計画と実施

本業務は、2009年12月16日にアディスアベバで合意された実施細則（S/W）及び同協議議事録（M/D）に基づき実施するものであり、その内容を十分に理解し、検討を加えた上で業務の実施方法を取りまとめる。

業務実施にあたっては、以下に示す地すべりにおける調査・解析の概略フロー（図1.5.1）を十二分に考慮した上で、効率的かつ効果的な技術移転を行う。図1.5.2にプロジェクトの詳細フローチャートを示す。

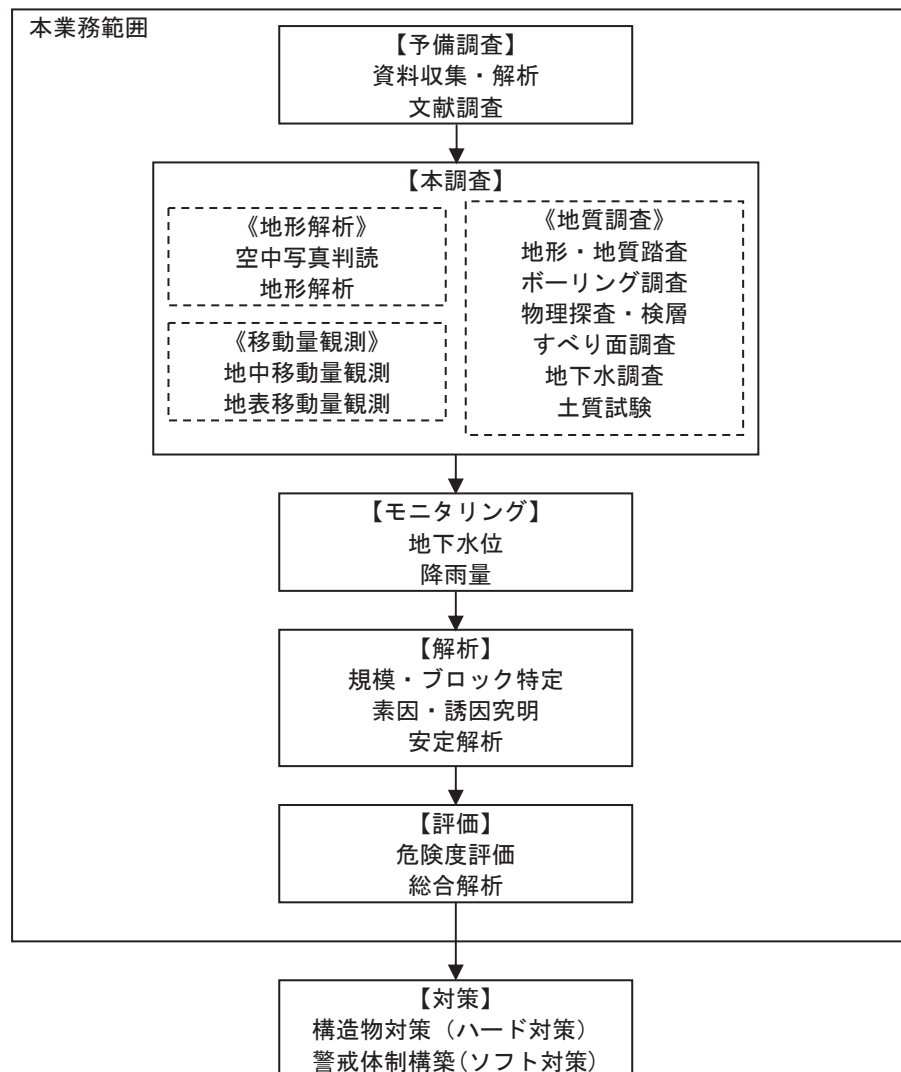


図1.5.1 地すべり調査・解析の概略フロー

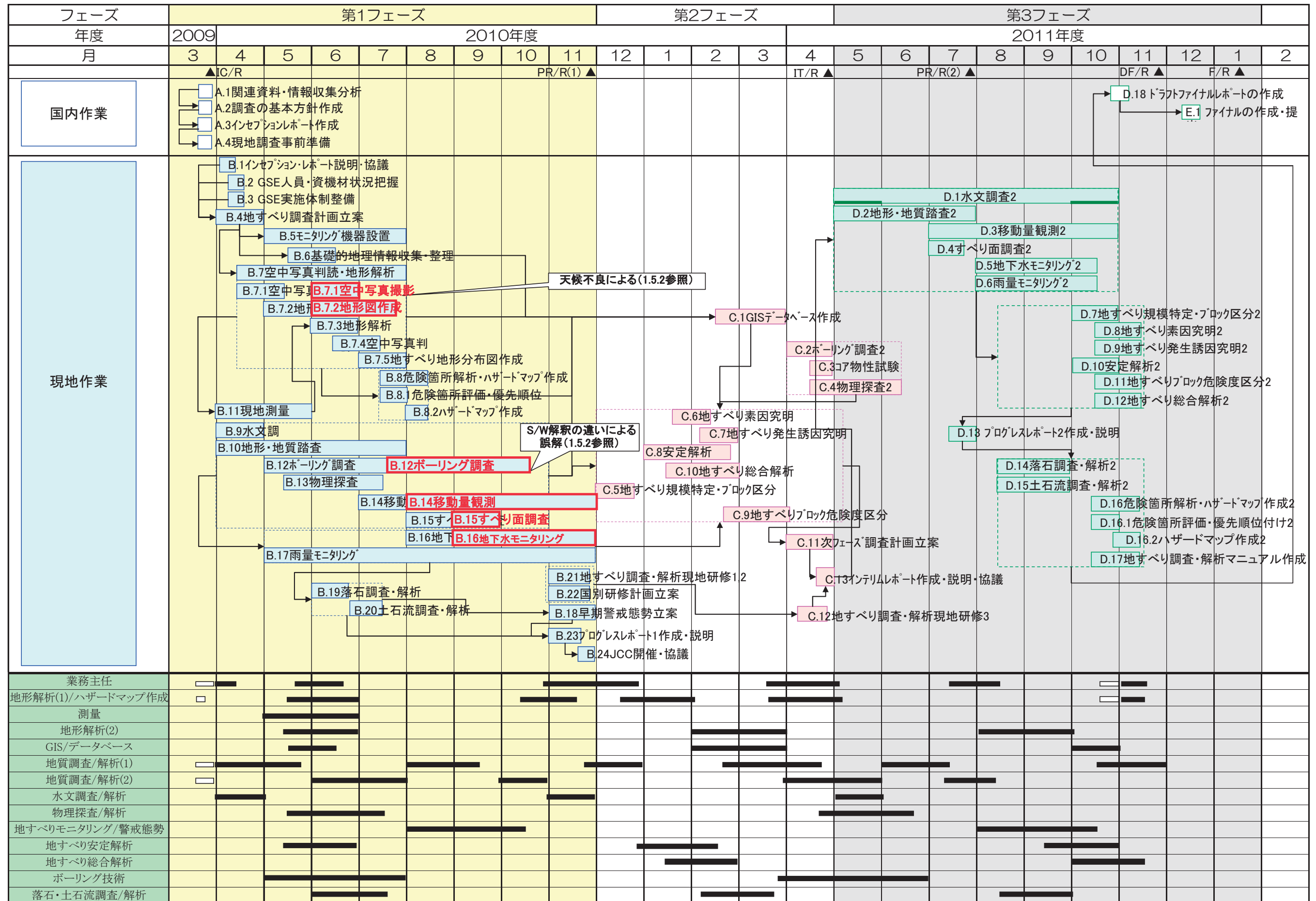


図1.5.2 プロジェクトフローチャート

### 1.5.1 調査団とカウンターパート

調査団と C/P の名簿を下表に示す。表では各団員の専門とともに、C/P の役職を記載する。

表1.5.1 調査団と C/P の名簿

No	調査団	専門	カウンターパート (GSE)	役職
1	市川建介	業務主任	Getnet Mewa	上級職
2	塚本 哲	地形解析(1)/ハザードマップ作成	Leta Alemayehu	上級職
3	下田省三	測量	Haile Selassie G/Selassie	上級職
4	榎田充哉	地形解析(2)	Melkamu Tegnge	下級職
5	郷内吉瑞	GIS/データベース	Yewubnesh Bekele	下級職
6	桑野 健	地質調査/解析(1)	Solomon Gera	上級職
7	野田牧人	地質調査/解析(2)	Zulfa Abdurahman	上級職
8	藤澤成一	水文調査/解析	Tesfaye Shewa	上級職
9	磯貝尚弘	物理探査/解析	Demis Alamerew	上級職
10	土山正二	地すべりモニタリング/警戒体制	Tadesse Lema Sisay Alemayehu	上級職 下級職
11	藤澤成一	地すべり安定解析	Zulfa Abdurahman	上級職
12	山田正雄	地すべり総合解析	Yewbnesh Bekele	下級職
13	鈴木高志	ボーリング技術	Bayu Wedajo	上級職
14	笠原洋一	落石・土石流調査/解析	Biruk Abel	下級職
15	古堅和男	業務調整	(Tadesse Lema)	
16	高畑正美	業務調整/資材調達	(Leta Alemayehu)	
17	山本陽介	業務調整/ボーリング技術(1)	(Leta Alemayehu)/ ( Bayu Wedajo)	
18	山尾深佳	ボーリング技術(2)	( Bayu Wedajo)	

\*藤澤は、水文調査/解析と地すべり安定解析を兼任する。そのため調査団の合計人数は 17 名。

### 1.5.2 プロジェクト特記事項

計画した作業は特に問題なく進捗し、技術移転も円滑に行われた。しかし 2009 年 12 月に調印された M/M や S/W についての見解の相違ならびに自然条件から、作業に遅れなどの問題が生じた。主要な問題を以下に示す

- a. 地形図作成の遅延
- b. ボーリング作業の遅延
- c. 2012会計年度の予算配分 (GSE)
- d. 追加ボーリングの準備と実施

## 1.6 地すべり調査解析マニュアル作成

本プロジェクト結果に基づいて、地すべり調査・解析に関わるマニュアルを作成した。マニュアルの基本的な構成は、下表の通りである。

表1.6.1 地すべり調査・解析マニュアルの内容

項目	マニュアルの内容
1. 予備調査	予備調査の概要と目的。文献調査、地形解析調査など基本的な調査の方法。
2. 概査	概査の概要と目的。現地踏査保全対象の特定と地すべりの範囲や規模、移動状況の確認方法。また、モニタリング機器材の種類や設置位置に関する方法。
3. 精査	精査の概要と目的。地形調査、地質調査、すべり面調査、地表変動調査、地下水調査、土質試験等詳細な観測機器材の種類や使用目的、使用方法等。
4. 解析	精査において取得したデータの取り扱い方法及びそれらの解析に関する法方。並びに現地調査結果を含めた総合的な解析手法。
5. 計画	解析結果を施設設計等に反映させる手法。
6. 維持管理	観測機器材の維持管理の方法

# 第2章

---

---

## アバイ溪谷の自然条件

## 2 アバイ溪谷の自然条件

### 2.1 地形

アバイ溪谷全体の地形は標高約 2,400m の溶岩台地（始新世）とアバイ川によって開折された斜面で構成されている。アバイ橋のある溪谷部分は海拔 1,060m である。谷幅は溶岩台地の縁から約 15～20km である。溶岩台地の縁からの斜面平均勾配は、谷幅が最も狭い地点で約 9° である。

アバイ溪谷の側方斜面はいくつかの段階的な崖、崩積土斜面、浸食斜面から構成されている。全部で 7 つの平坦面があり、それらの崖は浸食に対して高い抵抗力を持っている。最上部の 3 つの崖は玄武岩溶岩からなる。そして中央の 3 つの崖が石灰岩と頁岩からなる。最下部の 2 つの崖は砂岩からなっている。崖の上には削剥された平坦地を形成している。非常に薄い土層と上部斜面から洗い落とされたいくつかの崩積土がこれらの平坦面の上に堆積している。崖脚部で崖からの落石がある緩斜面では、広い崩積地を形成している。数多くの転石が斜面上に認められるが、崖からの距離が遠くなるに従ってその大きさは小さくなっていく。これらの緩斜面は広大でアバイ溪谷の下方まで広がっており、ちょうど石灰岩と頁岩の分布域に相当する。またこれらの緩斜面は崩積土で広く覆われており、いくつか地すべりが認められる。

ゴハチヨン側の斜面における主要な支流は、マカンツナ川ともう一つの川（無名）である。マカンツナ川は、ST.1+150 地点で道路を横切り、西寄りの方向に流れている。複数の小さい水路がフィリクリック村で道路を横断している。この地域全体の斜面が凹斜面を形成していることから、小さい水路がこの凹斜面を流れ、その大部分がアバイ川に合流している。無名の川は、険しい砂岩崖である ST.17km と ST.18km の間の道路と平行に流れている。デジェン側の斜面の主な支流は、アドウェデブ川とその支流である。砂岩崖が発達する ST.20km から ST.22km において、アドウェデブ川は道路と平行に流下する。ST.22km からデジェンにおいては、小規模な水路がアドウェデブ川の流域を通り、数箇所道路を横断している。

## 2.2 気候

### 2.2.1 位置と降雨

エチオピアは北緯 3 度～15 度、東経 33 度～48 度に位置し、周囲を 5 カ国（ソマリア、スーダン、ケニア、エリトリア、ジブチ）に囲まれた内陸国である。

日本の国土の約 3 倍の広さを持ち、国土の 2/3 は海拔 1500m～4000m を超える標高の高山帯にあり、斜面の厳しい山岳国である。エチオピア高山帯はケッペンの気候区分にはない区分で、後にトレワース等による修正版において高山気候（記号 H）として加えられた。高山気候は低緯度地域では、気温の年較差が小さいという低地の熱帯気候の特徴を保ったまま、全体的に気温が下がるため、緯度の割には 1 年を通じて涼しい、いわゆる「常春」と呼ばれる気候になる。

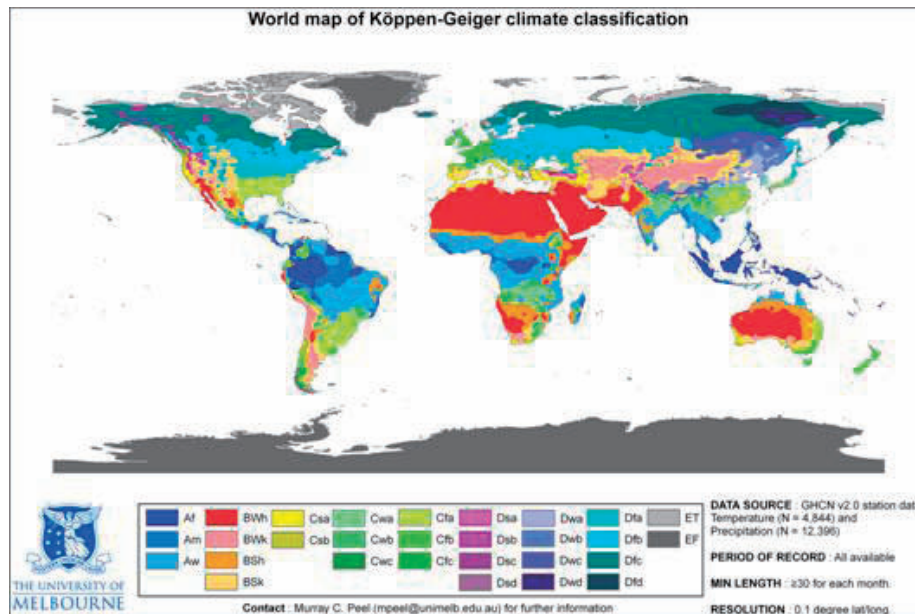


図2.2.1 ケッペンの気候区分

本プロジェクトの対象であるアバイ渓谷は、世界で最も長い大河であるナイル川の源流部に位置し、全体流量の約 85% がエチオピアのタナ湖に源を発している。

アバイ渓谷近郊の既存雨量観測記録（デジェン 49 カ年、フィリクリック 34 カ年）によれば、アバイ渓谷の降雨期は 6 月～9 月頃で、特に 7 月および 8 月で年間雨量の 5 割を占めている。なお年平均雨量は、デジェンで 1,394mm/year、フィリクリックで 1,195mm/year である。



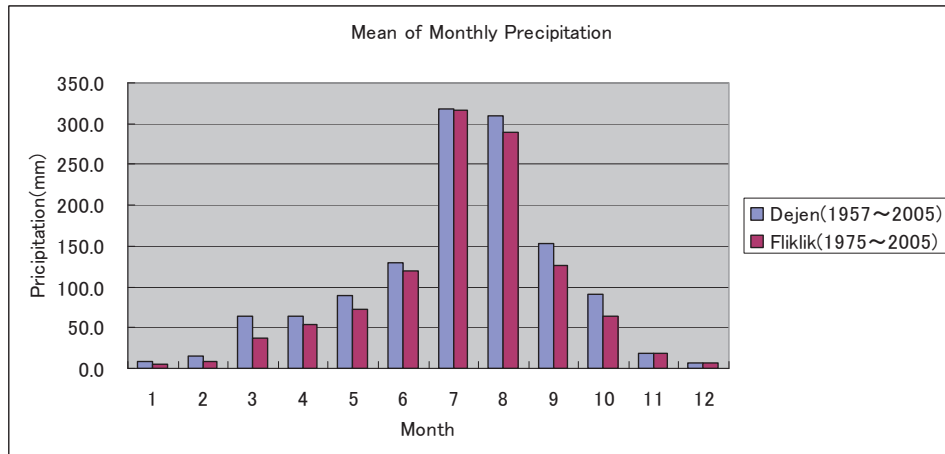


図2.2.2 平均月間降雨量

## 2.2.2 気温

世界気象情報サービス WWIS (World Weather Information Service) のデータによれば、アジスアベバの気温は図 2.2.3 の通りである。最低気温および最高気温は、概ね 15°C から 25°C の間に分布している。

アバイ渓谷は高所から低所の高度差が約 1,000m ある。一般的に高度による温度変化が 100m につき 0.6°C~0.7°C といわれていることから、高所と低所の温度差は約 6°C~7°C のということになる。

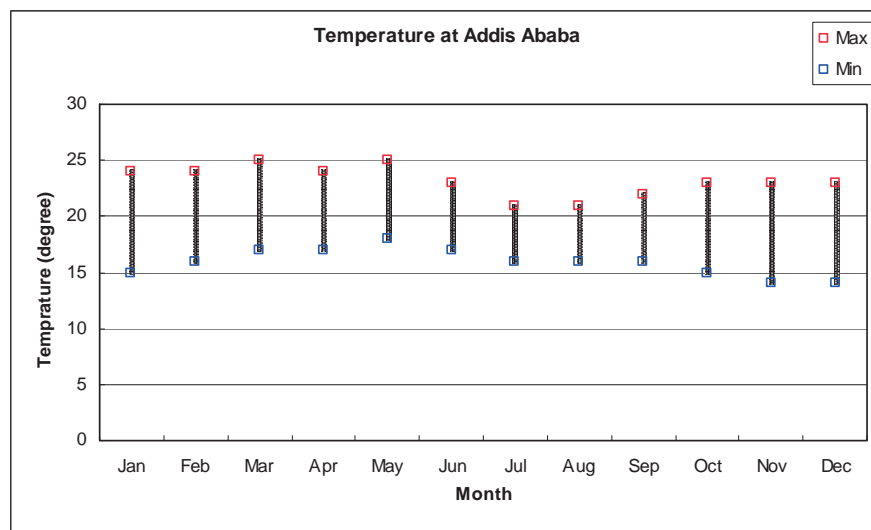


図2.2.3 アジスアベバの年間気温の変化

## 2.3 地質

アバイ渓谷の地質は、層序の発達した堆積岩類と玄武岩台地で特徴づけられる。図 2.3.1 はエチオピアの一般地質図である（Tefera ほか、1996）。

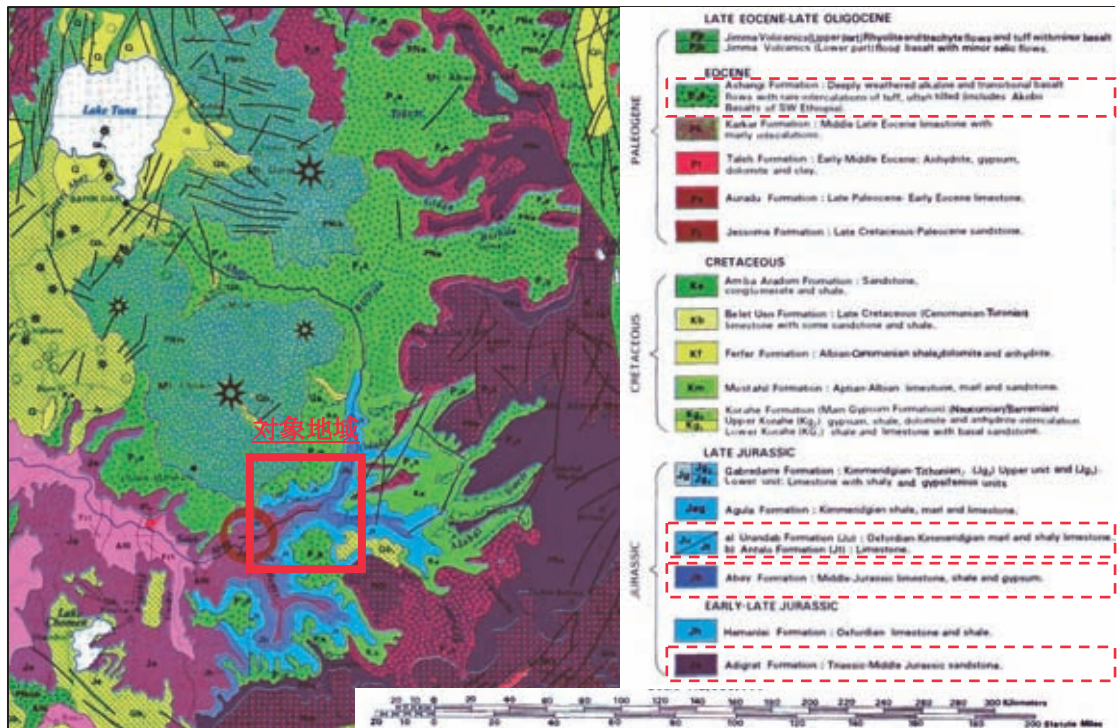


図2.3.1 エチオピアの一般地質図(Tefera ほか、1996)

Jepson & Athearn (1961) および Tefera ほか (1996) によれば、対象地域の地質は4つの累層に分類される。表 2.3.1に対象地域の地質分類を示す。

表2.3.1 アバイ渓谷における地質分類(Tefera ほか、1996)

地質年代	層名	地質特性
古第三紀	アシャンギ累層	強風化アルカリ玄武岩。凝灰岩の薄層を挟む。
ジュラ紀	アンタロ累層	石灰岩。
	アバイ累層	ジュラ紀中期の石灰岩、頁岩、石膏。
	アディグラット累層	三畳紀～ジュラ紀中期の砂岩。

アバイ川を挟んで両岸で堆積岩と火山岩が広く対称的に露出しているが、詳細な構造などについては違いが認められる。対象地域における層序は、断層等による大きな乱れはなく、概ね水平に堆積している。しかしながら、1-2m 程度の段差を持つ小規模な断層が多数確認される。図 2.3.2 は、アバイ渓谷地域の模式的な地質断面を示している（Ayalew & Yamagishi、2003）。各地層の詳細な記載については Almaz & Tadesse (1994) を参照されたい。

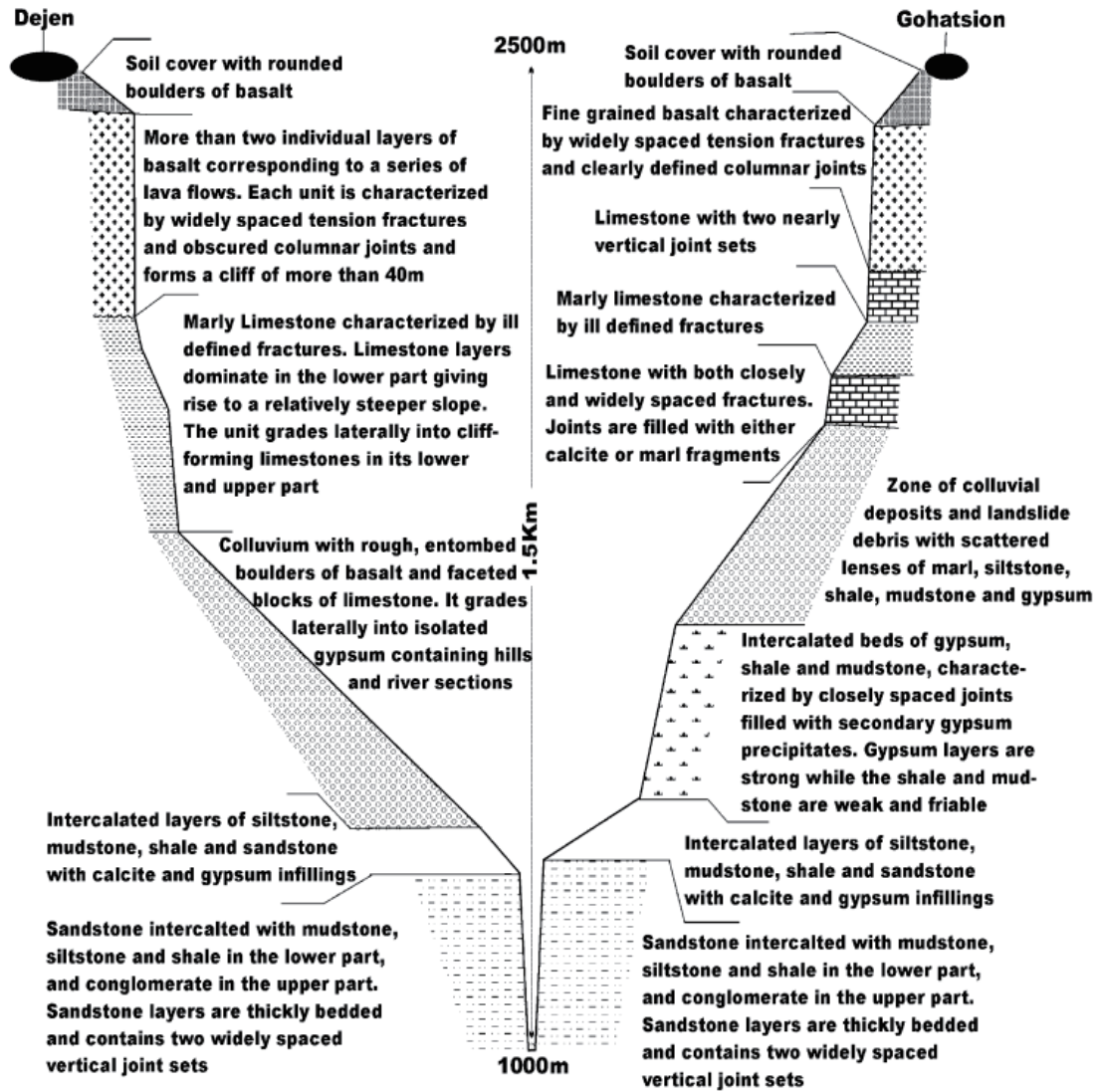


図2.3.2 アバイ渓谷における模式地質断面図 (Ayalew & Yamagishi, 2003)

# 第3章

---

---

## 地すべり調査

### 3 地すべり調査

#### 3.1 水文調査

##### 3.1.1 既存データ整理

当調査対象範囲の近傍気象観測所は以下の通りである。

表3.1.1 既存データ一覧

観測地点名	北緯	東経	標高 (m)	観測項目
ゴハチヨン	10° 00.408'	38° 14.755'	2,500	降雨量、気温
フィリクリック	10° 03.200'	38° 14.886'	1,860	降雨量、気温
デジェン	10° 10.2638'	38° 09.0359'	2,420	降雨量、気温
アバイ シェレコ	10° 06.7507'	38° 09.4057'	1,819	降雨量、気温
イエトノラ	10° 14.696'	38° 14.696'	2,430	降雨量、気温、放射線量、日照時間、蒸発量、湿度、風向・風速

上記観測所はエチオピア国立気象サービス局がデータ管理を行っており、観測者は一日1回朝8時頃に観測し、1ヶ月単位で気象サービス局にデータを届けている。気象サービス局では観測記録をパソコンで管理しており、適宜整理して販売等を行っている。ただし、データ整理に当たり、観測間違いや記載間違い等のチェック体制等は、完全ではなく一部計測ミスと思われる異常な記録値も見受けられる。

ゴハチヨン観測所の月雨量の平均値及び年最大日雨量と年間雨量の再現期間を図 3.1.1 に示す。

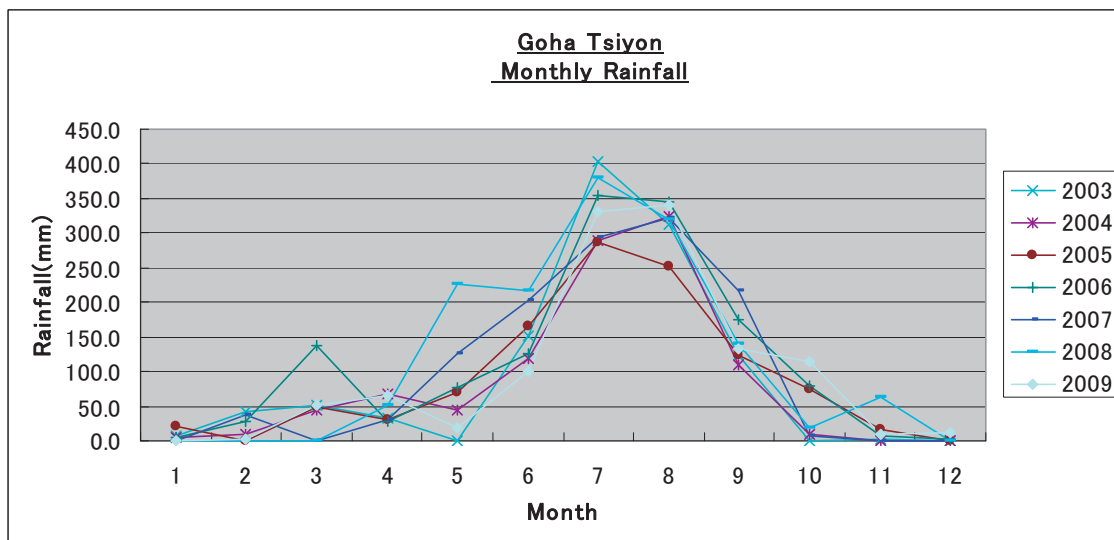


図3.1.1 月間降雨量(ゴハチヨン)

### 3.1.2 降雨量モニタリング

本プロジェクトにおいて転倒桁式雨量計を 2 基設置した。既存の雨量計は概ね国道から近い位置に設置されており、新規雨量計は基本的には観測しやすく盗難等に対する備えができる場所で、既存の雨量計を補間できる位置を選定した。新規雨量計の設置位置は以下の通りである。

表3.1.2 アバイ渓谷における新規雨量計

観測地点名	北緯	東経	標高 (m)
アバイ橋梁	10°04.6498'	38°11.4483'	1,079
ガブリエル教会	10°06.4308'	38°09.5496'	1,739

2 箇所の雨量計により、これまで収集した観測期間は表 3.1.3 の通りである。

表3.1.3 降雨量モニタリングの観測期間

観測地点名 <sup>e</sup>	観測開始	欠損期間	欠損理由
アバイ橋梁	2010/6/29	2010/8/13～2010/9/3 2011/2/15～2011/3/26 2011/4/26～2011/7/4 2011/7/27～2011/8/18	データ損失 ケーブル接続不具合
ガブリエル教会	2010/7/2	2010/7/14～2010/7/23 2010/8/23～2010/10/18 2010/12/7～2011/2/1 2011/8/3～2011/9/19	電池切れ 電源接触不良 データロガー不具合

## 3.2 地形測量

### 3.2.1 衛星画像の取得

本プロジェクトの地形測量（1/10,000 及び 1/5,000）は、高解像度衛星画像 Geo-Eye1（解像度 0.5m）を用いて行われた。衛星画像は2010年6月3日と6日に、雲量ほぼ0の状態にて撮影された。撮影された画像とデータの詳細を下記に示す。

- ステレオカラーペア 2セット（計4シート）
- 座標系: WGS84
- 投影法: UTM
- ファイル形式: GeoTiff
- RPC ファイルを含む

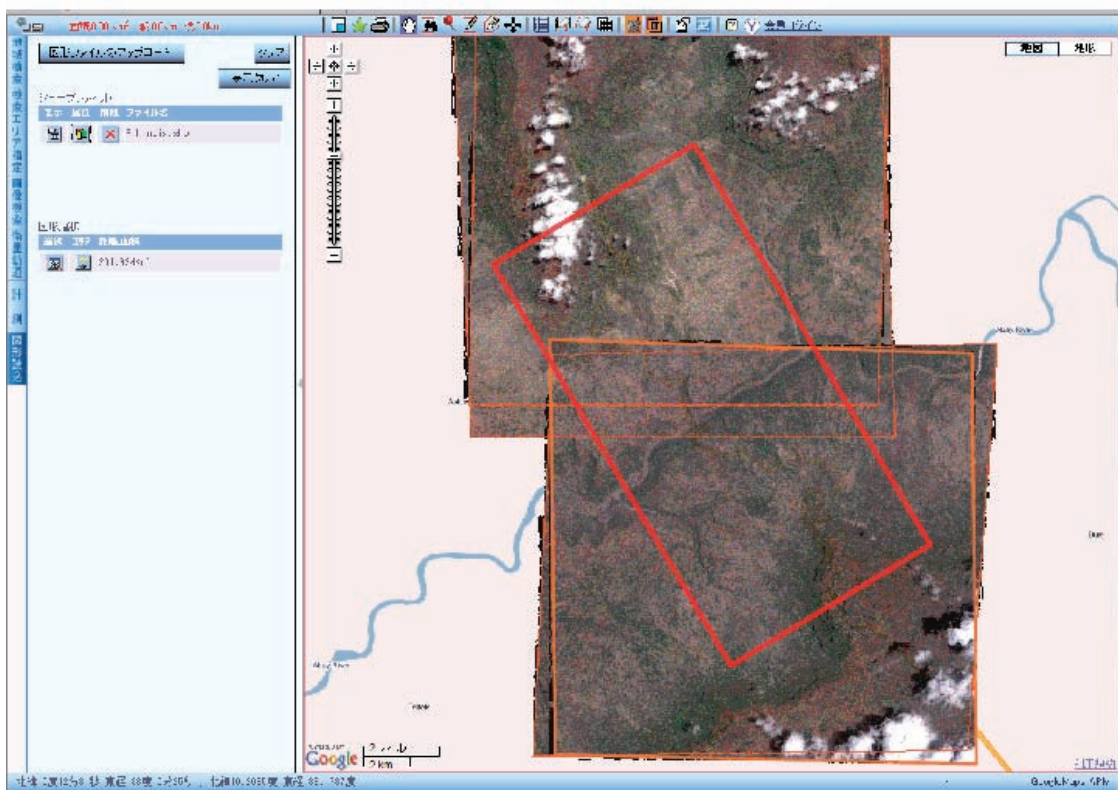


図3.2.1 取得された衛星画像

### 3.2.2 地形図作成

#### a. 地形図作成のための基準点調査

本プロジェクトでは、航空三角測量に必要となる基準点を Goha Tsiyon・Dejen 間の国道 3 号 42km に沿って設置した。51 日以上（2010 年 5 月 12 日～7 月 1 日）の現場作業によって下記の基準点が設置された。

- i) GPS による基準点測量: 10 点
- ii) トータルステーションによるトラバース測量: 60 点
- iii) 地上基準点測量: 20 点
- iv) 通常水準測量: 84 点

#### b. デジタル地形図作成

上述の衛星ステレオ画像や現場調査を基に、下記範囲のデジタル地形図を作成した。

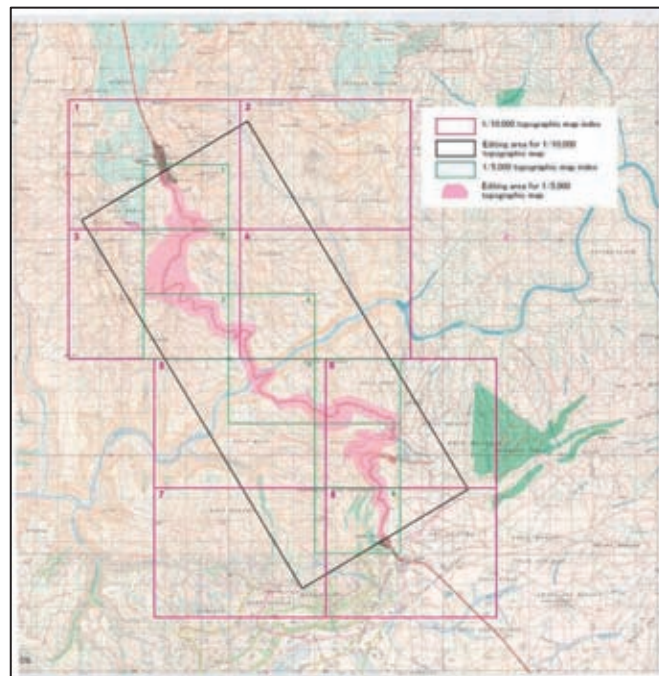


図3.2.2 地形図作成の範囲

#### c. 横断面測量

物理探査や地すべり安定解析のための基礎情報として横断面測量を実施した。横断面測量の基本的仕様を下記に示す。

- 調査範囲：本調査による既存及び想定されるモニタリングエリア
- 調査項目（断面位置仕様）：調査済み地すべりの頭部・末端部から最大 500m
- 縮尺：水平方向 1/100、垂直方向 1/200



### 3.3 地形判読

#### 3.3.1 ST.0+000～ST.1+200周辺

ST.0+000 付近の S 字カーブの道路を取り囲む馬蹄形の凹地形全体 (A) が古い地すべりが抜け落ちた地形である。その中にその後活発化したと考えられる小さな地すべり地形が複数判読できる。その1つの地すべり地形の中に更に小さな地すべり地形が形成されている箇所もある (B)。

地すべり地形 (C) は移動体の末端付近の盛り上がり状況から判断して道路と直行する方向から西南西の方向に多少斜行して移動していると判読した。

この範囲の水系はゴハチヨンの町から流れる河川 (D) のみである。



図3.3.1 ST.0+000～ST.1+200 付近の衛星画像判読結果

### 3.3.2 ST.28+200～ST.29+700周辺

この範囲は複数の地すべり地形が重なるように複数存在している。滑落崖や亀裂が新しい地すべり地形が多く存在し、複数の地すべりが継続的に活動していると考えられる。水系は地すべり地形全体を取り囲むように複数の水系が確認できる（A、B）。その他小さな水系がいくつか存在する。

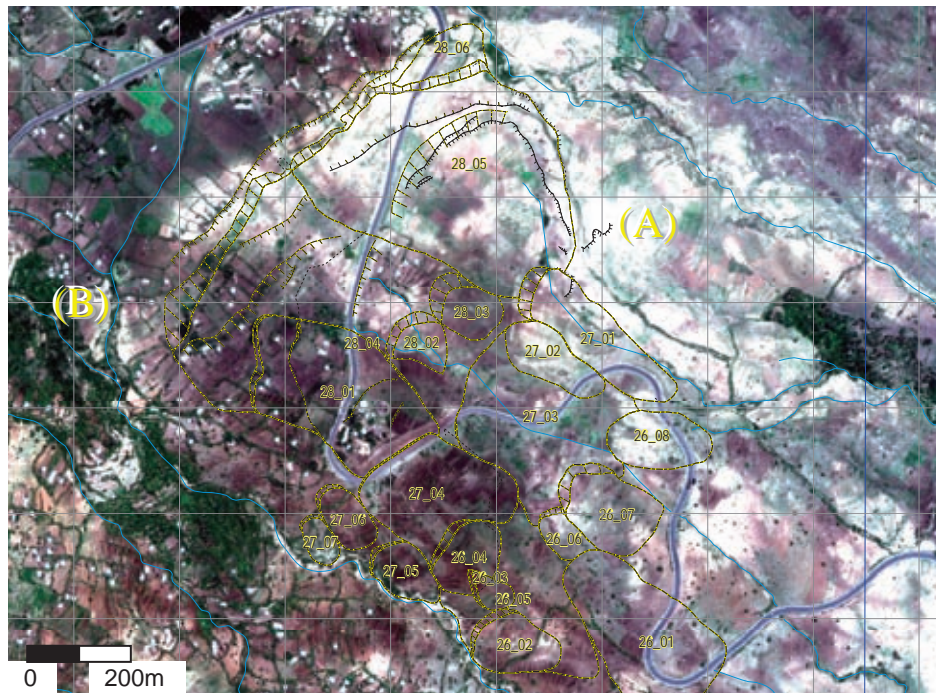


図3.3.2 ST.28+200～ST.29+700 付近の衛星画像判読結果