

アルメニア共和国・全国地すべり GIS データベースの構築

A LANDSLIDE GIS DATABASE FOR THE REPUBLIC OF ARMENIA

田中健一*・衛藤正敏**・森 幹尋***・高橋信也***・細田年晃***・PETER M. REY*

Kenichi TANAKA, Masatoshi ETOH, Mikihiro MORI, Shinya TAKAHASHI, Toshiaki HOSODA and Peter M. REY

The Republic of Armenia is a landslide prone country and is located in one of the most active tectonic regions in the world as it coincides with the collision zone of three continental plates (the Arabian Plate, the Eurasian Plate, and the African Plate).

A landslide GIS database for the management of landslides in Armenia was formulated through “The Study on Landslide Management in Armenia” (The Study) undertaken by the Japan International Cooperation Agency (JICA) in 2004. A total of 2,504 landslides in Armenia was identified by interpreting relatively high resolution aerial photographs, digitized at a nominal scale of 1:100,000, and stored with relevant essential data and thematic maps in the GIS database. About 10% of all landslides that were considered to be a hazard to housing and infrastructure were checked in detail through field reconnaissance, and detailed data on these landslides were linked to the shape data for the landslide (vector data). The landslide GIS database for Armenia can provide users with basic essential data and maps for 2,504 landslides and can assist the users to plan landslide hazard mitigation and risk management quickly and easily. File formats of the vector and raster data included in the landslide GIS database can be utilized with almost any type of GIS software.

By establishing the landslide GIS for Armenia, the characteristics of landslides were identified from various points of view.

Key Words : Armenia, Landslide, Geographic Information System, GIS, database, Japan International Cooperation Agency, JICA

1. はじめに

コーカサス地方に位置するアルメニア共和国は、1991年にソ連邦の崩壊に伴って独立国となった。国土面積は約29,740km²で、本邦の四国の面積の約1.6倍に相当する。

アルメニアを含むコーカサス地方は、アラビアプレート、アフリカプレート、ユーラシアプレートの衝突するプレート会合地域にあり、いわゆるアルプス・ヒマラヤ造山帯の西側にあたる世界において現在でも活発な造山帯に位置する¹⁾。1988年にはマグニチュード6.9のスピタック地震で25,000人の死者を出すなど、アルメニアはもともと地盤災害の危険度の高い地域である^{2)・3)}。

上記のようなテクトニックな背景とともに、アルメニア国内では、旧ソ連邦時代より各地で自然・人為の両面に誘起された地すべり被害が頻発してきた。図-1にアルメニア共和国の位置を示す。

アルメニアにおいては、ソ連邦時代より地すべり分布図



図-1 アルメニア共和国の位置

* コンサルタント海外事業本部 新領域事業統括部 情報技術室
 ** コンサルタント海外事業本部 技師長グループ
 *** コンサルタント海外事業本部 都市社会事業部
 都市・環境部(旧・地図技術室)

の作成・地質調査などの基本的情報の収集が行われてきた。

しかし、旧ソ連邦時代にアルメニア国内で実行された地すべり対策の主体は、地すべり被害住民の他所への移転で

あり、そのうち代表的なものとして、ほぼ全ての村民を集団移転させたマルチロス村の事例があげられる。

ソ連邦崩壊後も、基本的にアルメニアの地すべり行政の方針に大きな変更はなく、具体的対処方法は、被害住民への移転に関し、補償費用を支払うという「金銭的な解決」に依存してきた。しかし、政府から費用を受け取ったにもかかわらず、実際には移転をしない住民が続出したことや、そもそも多数の地すべり被害住民を抱えるアルメニアにとって、すべての被害住民を金銭的に救済することは財政面で極めて困難であること、また、基本的な地すべり情報の整備が未完成な状態なことから、「移転先が（未知の）地すべり地であるかもしれない」という危険性を孕むものであった。すなわちアルメニアの地すべり対策は、地すべりそのものの予知・予防の観点を有しつつも、現実的には、地すべりの被害を可能な限り回避・軽減するという根本的な解決へ向かうものではなかった。

このため、アルメニア国政府は日本に対して、アルメニア国内に適用可能な全国地すべり管理計画の作成に関する技術支援を要請し、そしてこれは国際協力機構の開発調査案件として採択された。

アルメニア全国地すべり管理計画に関する国際協力機構による本格調査は、国際航業株式会社・日本工営株式会社の共同企業体によって受注され、2004 年からの約 2 年間にわたって実施された。

本報告は、全国地すべり管理計画の策定のために 2004 年に構築されたアルメニア国全国地すべり GIS データベース、ならびに地すべり GIS データベースから得られたアルメニア共和国の地すべり実態を広く紹介することを目的とするものである。

その他本格調査で実施された内容および成果については、上記の共同企業体より国際協力機構へ提出された当該報告書^{4) 5)}に詳しいので、参照されたい。

2. アルメニア全国地すべり GIS データベース

(1) ソフトウェア

アルメニア GIS データベースの構築に使用した GIS ソフトウェアは次の通りである。

- 1) 基本ソフトウェア：ESRI ArcGIS 8 (ArcView8.3)、ArcView3.3
- 2) 拡張プラグイン：Spatial Analyst, 3D Analyst (バージョン 3.3、8.3 いずれとも)
データ形式はデータの性質に応じて以下の通りとした。
- 3) ベクターデータ：ESRI Shapefile 形式（全国的に平面的な連続性を伴わない地物；地すべり、道路など）

- 4) ラスターデータ：ESRI Shapefile 形式（全国的に平面的な連続性を持つもの 例）地質図、植生図、土地被覆図など）、GeoTIFF 画像（縮尺 1:100,000 地形図・ランドサット衛星画像用）

(2) 基準地図

旧ソ連邦が作成した縮尺 1:100,000 の地形図を地すべり GIS の基本図とした。この規格の地図は、アルメニア全土を 34 枚の図葉で網羅している。縮尺 1:100,000 の地形図に採用されている座標系は、ガウス・クリューゲル座標系 (GK 座標系) であり、投影に必要なパラメータ項目は、各国の地図投影座標として使用されている UTM 座標系と同一である。

GK 座標系は現在でもアルメニア国内で広く適用されているが、本調査においては、世界測地基準との整合性を考慮し、地すべり GIS のすべてのデータレイヤーの基準座標として UTM38 帯に統一した。アルメニアの測量・地図局より提供を受けた 34 枚の地形図（画像）もすべて UTM38 帯へ座標変換を行った。図-2 に 34 枚の地形図の図郭を示す。

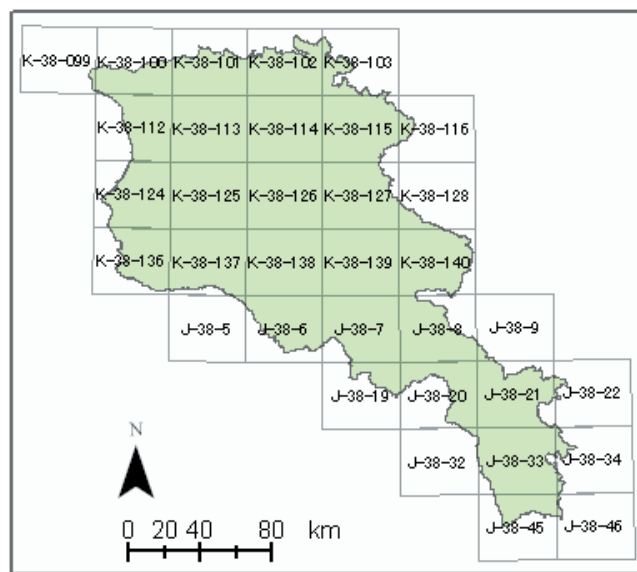


図-2 アルメニアの地形図(縮尺 1:100,000)の図郭割り

(3) 地すべり分布図

面積が約 20ha 以上の大規模な地すべりについて、縮尺 1:100,000 地形図を判読して、予察的にその分布を確認した。この作業では既存の地すべり地に関する調査資料など^{2) 3) 6)}も参考にした。これに加えて、アルメニア全土をカバーする旧ソ連邦時代に撮影された縮尺 1:10,000～1:12,000 の空中写真・衛星画像をくまなく判読し、被害報告のあった箇所の踏査を実施し、把握可能なすべての地すべり崖および地すべり本体の形状を縮尺 1:100,000 地形図

上に図示した。

これら手書きの地すべり分布図を、スキャナで読み取って一旦、画像（ファイル）化し、画像ファイルを GIS に読

み込んで画像位置補正を行った後、地すべり崖ならびに地すべり本体の形状をデジタイズすることにより、ベクターデータとして保存した。

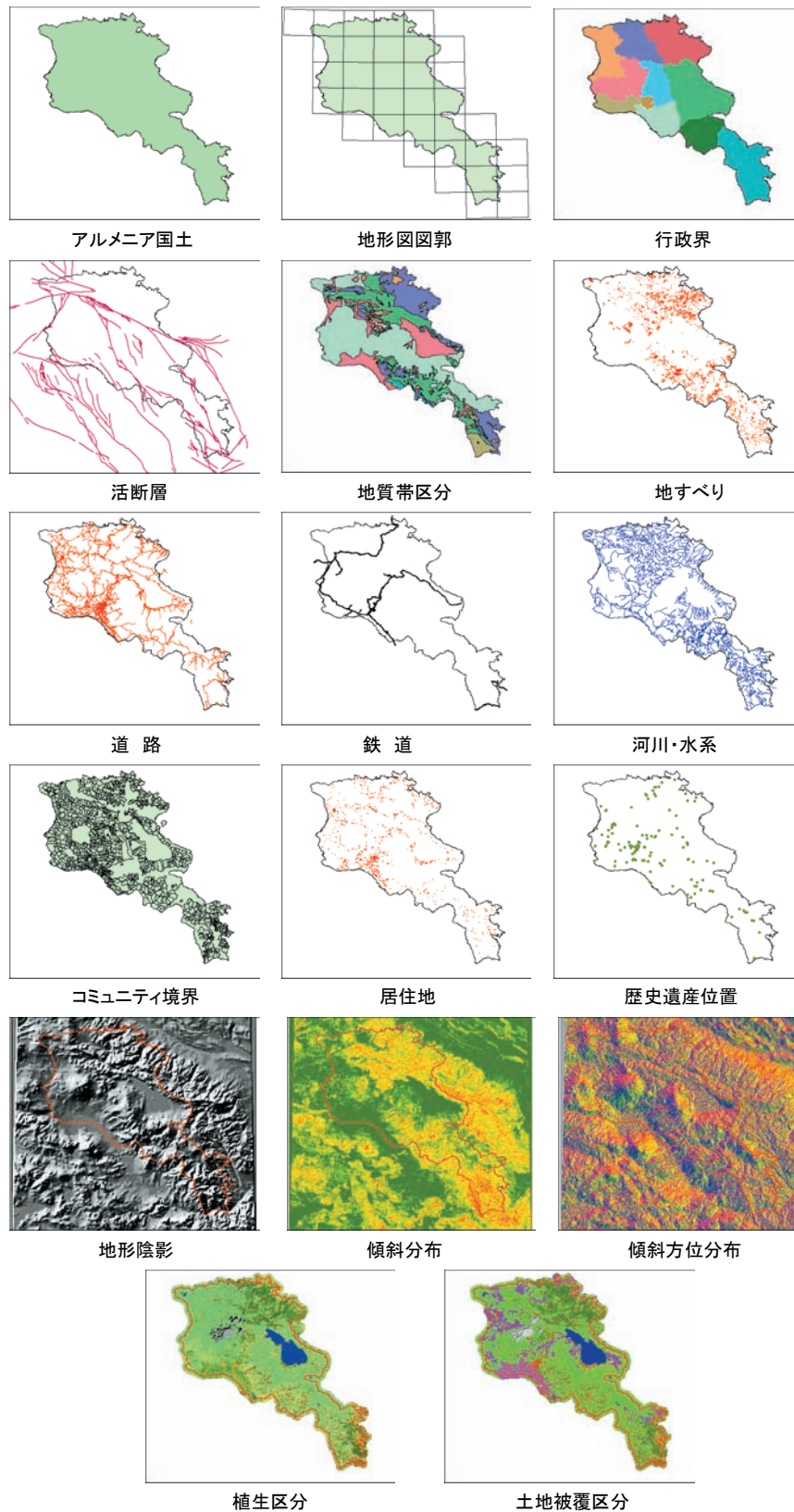


図-3 地すべり GIS 用に作成した主要データレイヤー

なお、縮尺 1:100,000 の地形図上に、その形状を図示できる地すべりの規模は 2ha 程度であるため、2ha 以上の地すべり地については多角形（ポリゴン）データとして、2ha 未満の地すべり地については点（ポイント）データとしてデジタル化した。

多角形で表現できる規模の地すべり地のうち、滑落崖が判読できるものについては、滑落崖線を線（ライン）データとして作成した。滑落崖線は三次元的な上下位置関係を区分するため、地すべり頭部に向かって時計回りに（左端から右端へ）デジタル化した。

上記の作業で作成した地すべり地を表現するためのベクターデータには、固有の地すべり地 ID を属性値として付与した。

また、地すべりの活動度について、活動度の高い順に A、B、C、D の 4 つに区分した。活動度は、空中写真判読および現地踏査、既存資料などに基づいて判定したものである。表-1 に地すべり GIS データの属性を示す。

表-1 地すべり GIS データの属性

属性フィールド
地すべり ID 番号
行政名称略号
1:100,000 図郭番号
連番号
標高
地すべりの緯度
地すべりの経度
地すべり面積
地質区分
傾斜角度区分
傾斜方位区分
地すべり位置 X 座標値(UTM)
地すべり位置 Y 座標値(UTM)
地すべり活動度区分

(4) 植生図・土地被覆図

地すべり地の植生ならびに土地被覆に関する特性を把握するため、ランドサット五号機によって撮影された対象地域の衛星画像を入手し、衛星画像処理ソフト（RSI ENVI 4.0）を用いて、植生図・土地被覆図を作成した。

植生図はランドサット衛星画像データのうち、アルメニア国の植生・土地被覆特性を最も顕著に表現するバンド 3・4・5 の画像を構成し、「教師無し分類」を行ったうえで、さらに肉眼による目視判読によって、明らかな誤分類結果と考えられる値を修正することによって作成した。結果は ESRI GRID 形式のラスターデータとして保存した。

ソフトウェアを使った植生分類・土地被覆分類結果のみでは、誤分類箇所を多く含む可能性が高いので、アルメニア国内の代表的な幹線ルートに沿って、簡易な現地踏査を行い、実際の植生・土地被覆状況と、一時的に作成した分類結果との比較を行ったうえで、必要な修正処理を施した。

土地被覆図は GIS を用いて植生図をデジタル的处理によって再分類するとともに、衛星画像の目視判読を実施することによって、植生図と同様、ラスターデータとして保存した。

表-2 に、作成した植生図ならびに土地被覆図の分類項目を示す。

表-2 植生図・土地被覆図の分類項目

植生図	土地被覆図
1: 水域	1: 水域
2: 裸地	2: 湿地
3: 疎らな草地	3: 市街地
4: 草地	4: 集約的耕地(集約農業)
5: 灌木地	5: 粗放的耕地(粗放農業)
6: 疎らな森林	6: 裸地
7: 中間的森林	7: 草地
8: 密な森林	8: 灌木地
9: 降雪地	9: 針葉樹林
10: 雲	10: 落葉樹林
11: 影	11: 降雪地
12: その他	12: 雲
	13: 影（斜面・雲の影）
	14: その他

(5) 傾斜区分図・斜面方位図・陰影図

地すべりと地形特性との関係を把握する目的で、スペースシャトルによって取得され、インターネット上で公開されている SRTM-DEM データを入手し、ESRI ArcView8.3・Spatial Analyst エクステンションによって、傾斜区分図、斜面方位図、陰影図を作成し、ESRI GRID 形式で保存した。使用したオリジナルの SRTM-DEM は、緯度経度で記録されている約 3 秒間隔の矩形グリッドデータであり、UTM38 帯に投影すると約 90m 間隔の標高グリッドデータとなる。

表-3 斜面区分

分類項目	斜面傾斜角度
I	水平～5°未満
II	5°以上～10°未満
III	10°以上～20°未満
IV	20°以上～30°未満
V	30°以上～40°未満
VI	40°以上

表-4 斜面方位区分

分類項目	斜面方位角度（時計回り）
1 北向き	337.5°～360°(0°); 0°～22.5°
2 北東向き	22.5°～67.5°
3 東向き	67.5°～112.5°
4 南東向き	112.5°～157.5°
5 南向き	157.5°～202.5°
6 南西向き	202.5°～247.5°
7 西向き	247.5°～292.5°
8 北西向き	292.5°～337.5°

斜面は傾斜角度に応じて、表-3 のように I～VI の 6 つのクラスに区分した。

斜面の向き（方位）は時計回りに、表-4 に示す八方位に分類した。

陰影図は、リニアメント、地すべり地形などを判読する際の補助資料として作成した。

(6) 地質図

地質図は、既存の 1:1,000,000 縮尺の地質図⁷⁾を再編し、これを GIS へ入力後、ESRI Shapefile 形式で保存した。

また、アルメニア全土の活断層（線）データは、GeoRisk 社が既に作成していたベクターデータ（ラインデータ）⁶⁾⁸⁾を、GK 座標から UTM 座標へ変換することによって、GIS データベースに入力した。

(7) 歴史的遺構・文化遺産

アルメニアの NGO (ICOMOS: International Council on Monuments and Sites)によって選定された重要な歴史的遺構・文化遺産の位置は、点（ポイント）データとして GIS データベースに入力した。

(8) 雨量データ

アルメニア自然保護省の気象観測点位置を点（ポイント）データとして、また、各観測点における雨量・気温データを属性値として GIS データベースへ入力した。

(9) 交通網

アルメニアの地すべりは、鉄道、道路などの交通インフラにも被害を与えており、輸送・流通といった経済活動を阻害してきた。これら交通網に影響を与える地すべりの実態を数量的に明らかにするため、縮尺 1:100,000 地形図上に図示されている道路・鉄道の中心線を線（ライン）データとして入力した。

(10) 住居地

地形図（縮尺 1:100,000）に示されている住居地を多角形（ポリゴン）データとして GIS へ入力した。

(11) GIS データベースの構成概念

図-3 に、作成した主要な GIS データレイヤーを示す。

また、上述の方法によって作成された地すべり GIS データベースの構成概念を図-4 に示す。

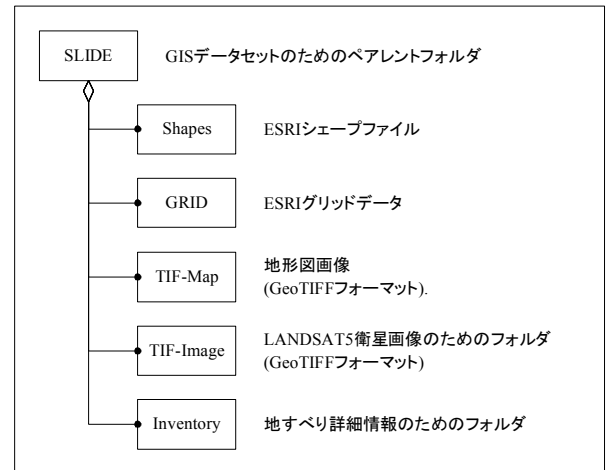


図-4 地すべり GIS データの構成

3. GIS で分析されたアルメニアの地すべりの特徴

(1) 地すべりの総数と面積

今回の調査において、アルメニア国内に 2,504 箇所の地すべり地の存在を確認した（約 2ha 未満の地すべりには判読できなかったものもある）。確認された地すべり地の総面積は、アルメニアの国土面積の約 4%に相当する約 121,575ha であり、アルメニア最大の自然湖であるセバン湖の大きさに匹敵する（表-5）。

アルメニアの地すべりで最大規模のものは、首都エレバンの南東約 52km の地点に位置する地すべりで、その面積は 1,968ha に達する。

表-5 アルメニアの地すべり地の面積

地すべりの総数	2,504 箇所
地すべりの面積と数（以下）	総計 121, 575ha
50ha 未満	1,925 箇所
50ha 以上～100ha 未満	305 箇所
100ha 以上～200ha 未満	166 箇所
200ha 以上～400ha 未満	77 箇所
400ha 以上	31 箇所

(2) 地すべり地の基盤地質

アルメニアは地質学的に先にカンブリア代～現世に至る、さまざまな種類の岩石・堆積物より構成される。

そのうち、古代三系～中生界の堆積岩類は、北西－南東方向の構造トレンドを示し、セバン湖北の北部山塊、および、南西部山塊を構成する。北部山塊は、セバン湖の北側を北西－南東方向に走る活断層群によって、北東部と南西部に分断され、断層群近傍の岩石は断層運動に伴い強く剪断され、変形・変質を被っており、地質的に脆弱化したゾーンとなっている。

北部山塊および南西部山塊の間の中軸帯は、アルメニア最大の天然湖であるセバン湖を取り囲む丘陵・高原地帯であり、新生界の火山岩類・火砕流堆積物より構成される。

図-5 にアルメニアの地質区分と地すべり位置の分布を示す。

地すべりが多く分布するのは北部山塊および南西部山塊である。すなわち、地すべり箇所数は中軸帯の火山岩・火砕流堆積物コンプレックス地帯よりも、古第三系～中・古生界が分布する北部山塊と南西部山塊において圧倒的に多

く、二つの山塊における地すべり地の面積は、アルメニア全土の地すべり地面積の 7 割近くを占める。

中軸帯における地すべり地の面積は、アルメニア全土の地すべり地面積に対して、その 3 割程度に留まる。この地域は新しい新生界火山岩類からなり、風化や浸食がさほど進行しておらず地すべりも未発達である可能性がある。

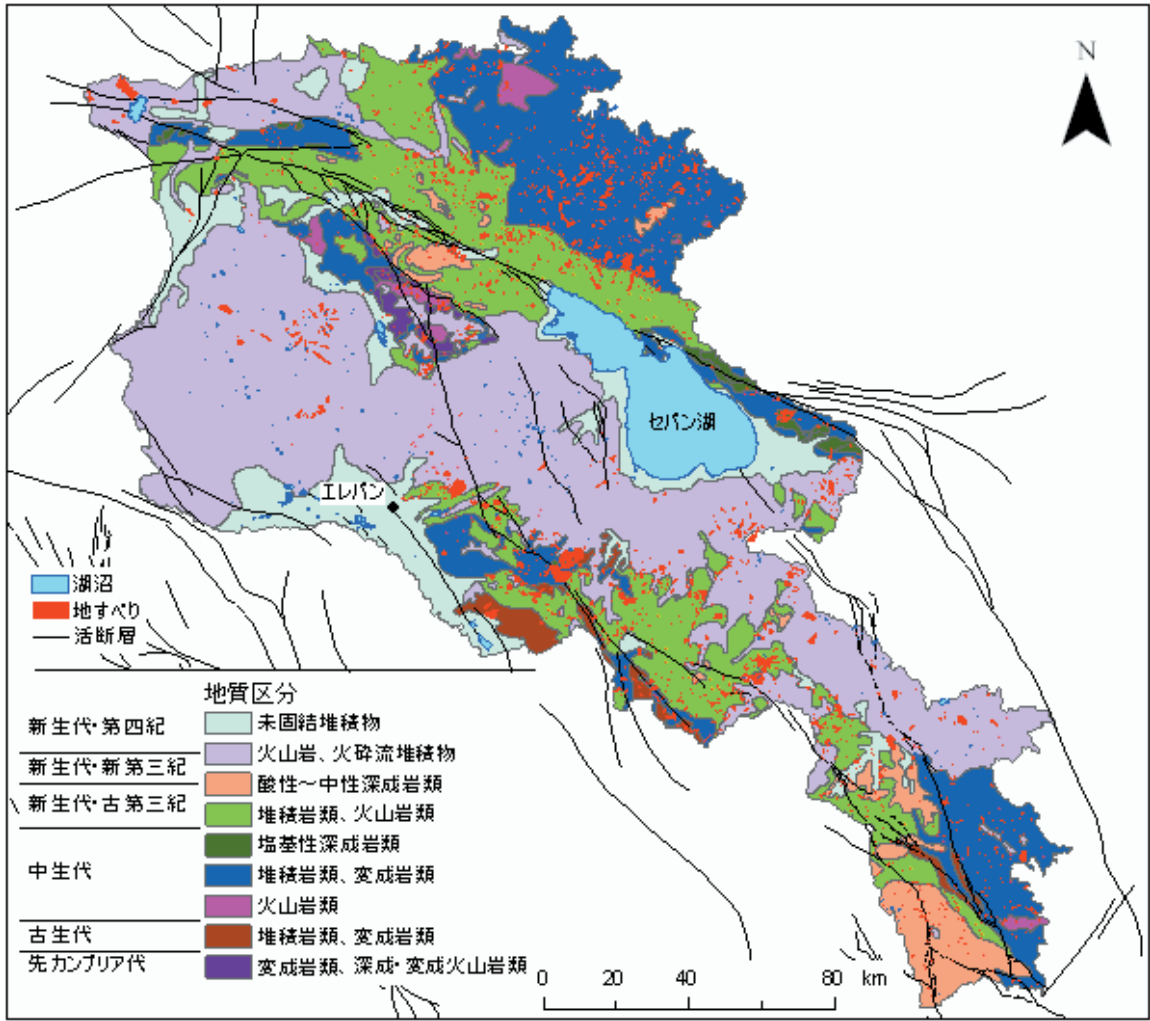


図-5 アルメニア共和国内の地すべり分布および地質区分

表-6 地質区分と地すべり面積の対比

地質区分	地すべり箇所数と地すべり地の面積		
	箇所数	地すべり面積(ha)	地すべり全体面積に占める割合(%)
1	80	3,331	2.7
2	457	33,717	27.7
3	126	3,037	2.5
4	868	38,302	31.5
5	14	1,428	1.2
6	840	35,479	29.2
7	40	1,703	1.4
8	48	3,318	2.7
9	29	1,192	1.0
10	2	68	0.1

[地質区分]1: 未固結堆積物(第四紀)、2: 火山岩類・火砕流堆積物(新第三紀～第四紀)、3: 酸性～中性深成岩類(第三紀)、4: 堆積岩類・火山岩類(古第三紀)、5: 塩基性深成岩類(中生代)、6: 堆積岩類・火山岩類(中生代)、7: 火山岩類(中生代)、8: 堆積岩類・変成岩類(古生代)、9: 変成岩類・深成岩類・変成火山岩類(先カンブリア代)、10: その他

(3) 傾斜区分と地すべり

表－7に示すように、土地の傾斜が10～20度の緩斜面に地すべり地の分布密度が高い。傾斜が大きな地域では今後地すべりが発達し、緩斜面化が進展すると考えられる。

表－7 土地の傾斜と地すべり

傾斜区分	地すべり 箇所数	当該地すべ りの総面積 (ha)	全地すべり面 積に対する割 合(%)
I 0-5度	163	12,189	10.0
II 5-10度	584	39,573	32.6
III 10-20度	1,264	54,820	45.1
IV 20-30度	451	13,672	11.2
V 30-40度	41	1,274	1.0
VI 40度以上	1	47	0.0

(4) 斜面方位と地すべり

北向き斜面に地すべり地が若干卓越する。北側斜面では、冬季には、日中の融雪量が小さく積雪量が大きくなるが、春の気温上昇により一気に発生する大きな実質降水量（融雪水）が地すべりの発達を促している機構が推察される（表－8）。

表－8 土地の傾斜方位と地すべり

斜面方位	地すべり 箇所数	当該地すべ りの 総面積	全地すべ り面積に 占める割 合(%)	各斜面方位 地域内 地すべり地 の面積率
北	417	17,280	14.2	5.2
北東	368	14,524	11.9	4.2
東	294	12,317	10.1	3.4
南東	263	13,153	10.8	3.5
南	244	14,463	11.9	3.5
南西	250	15,868	13.1	3.7
西	282	16,705	13.7	4.5
北西	386	17,265	14.2	5.1

(5) 地すべりと植生

アルメニアの国土面積の約65%は、植生図上で草地に分類され、また、全地すべり地面積の約62%が草地に一致する。次いで、中～高密度の森林が全地すべり地面積の約20%を占めている。

(6) 土地被覆分類と地すべり

土地被覆分類図上では、地すべり地の総面積の約60%が草地に分類され、次いで、約23%が落葉樹地帯に分類される。地すべり地の約3.2%が住居地に一致する。

(7) 住居地に関連する地すべり

前述の1:100,000地形図には、1,022箇所の住居地が示されている。これら住居地の面積は概ね32,000haであり、234箇所の地すべり地が住居地と重なる。その総面積は

1,744haであり、住居地の面積の約5%が地すべり地に相当する。

(8) 道路に関連する地すべり

1:100,000地形図に示される道路の総延長は約7,142kmであるが、そのうちの約3%にあたる238kmの区間が地すべり地を通過する。幹線道路と交差する地すべり地の箇所数は291である。

(9) 鉄道に関連する地すべり

1:50,000地形図に示される鉄道線路の総延長は、約930kmであるが、そのうちの約5kmの区間が地すべり地内にある。鉄道に関連する地すべり地の数は14である。

現在アルメニア国内の鉄道は、首都エレバンとアルメニア第二の都市ギュムリ間の幹線が営業するのみだが、この区間には地すべり地は認められない。

(10) 歴史遺産と地すべり

アルメニアにおいてリストアップされる歴史・文化遺産の総数は132である。そのうちの6箇所が地すべり地内に位置する。

(11) 河川と地すべり

1:200,000地形図に示される河川・溪流の中心線から100m以内に存在する地すべり地の数は1,046である。



写真－1 地すべりの例（ゴッシュ村の地すべり）

4. GIS で整理された地すべり分布図などの資料の活用

GIS により、地すべり地の分布を統合的に整理し、社会基盤との関係把握を効率的に行うことができた。

アルメニア国においては、地すべり地内での無警戒な導水や、土工が地すべりを活性化させた事例が多く認められている。アルメニア国は、年降水量が 400mm~1,200mm 程度の乾燥気候の国土であり、この条件下で安定を保っている斜面は、導水による地盤の湿潤化により鋭敏に負の影響を受け易いと考えられる。

山地の集落は緩斜面で水が集まり易い地域に分布している場合が多く、こうした地域に地すべり地が一致していることが多い。古くからアルメニアの山村集落では、地すべり地特有の豊富な地下水や厚い表土を自然の恵みとして利用してきたからである。

アルメニア国では、今後地域間道路と広域灌漑が主要な開発分野となっており、開発計画の策定・設計にあたり GIS で整理された地すべり分布図などが活用され、新たな地すべりの活動を引き起こさず、事業費が最小化されることが重要な課題である。

GIS で整理された地すべり分布図などの各種情報は、英語・アルメニア語の地すべり技術情報誌⁶⁾としてまとめられ、アルメニア国内の関係者に広く提供された。

謝辞：本論の執筆にあたり国際協力機構・地球環境部の皆様より御指導を賜った。アルメニア全国地すべり管理計画調査団の塚本哲総括（国際航業㈱）、江川良武副総括（日本工営㈱・当時）からは調査を通じて、常に御指導を賜った。その他、地すべり分布図は、調査団団員各位、日本工営㈱の若手技術者の皆さんの御協力を仰いだ。以上の関係各位に対して、著者らは厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) Trifonov V., Karakhanian A. and Kozhurin Major A. : Active faults of the collision area between the Arabian and the Eurasian plates, *Continental Collision Zone Earthquakes and Seismic Hazard Reduction*, Yerevan, pp. 56-79, 1994
- 2) United Nations Development Program : *GIS for landslide hazard and risk in Armenia*, 2000
- 3) Ministry of Urban Development, Republic of Armenia : *Landslides: Hazard and Risk*, 1998
- 4) 国際協力機構（国際航業・日本工営）：アルメニア国 地すべり災害対策・管理計画調査最終報告書（和文要約），2006
- 5) Japan International Cooperation Agency (Kokusai Kogyo Co., Ltd. and Nippon Koei Co., Ltd.) : *The study on landslide disaster management in the Republic of Armenia : final report*, Vol. 1-7, 2006
- 6) Karakhanyan A., Trifonov V.G., Philip H., Avagyan, A., Baghdassaryan H. and Arakelyan S. : *Map and database for active faults in the territory of Armenia (S=1:100,000)*, 2001.
- 7) Kharazian E. : *Geological Map of the Republic of Armenia (S=1:1,000,000)*, (published year: unknown)
- 8) Ministry of Science, Republic of Armenia : Active faults, Seismogeodynamic Zoning of the territory of the Republic of Armenia, *Assessment of Geological Hazards (earthquakes, volcanism, landslides) Project 96-131*, 2000
- 9) Japan International Cooperation Agency (Kokusai Kogyo Co., Ltd. and Nippon Koei Co., Ltd.) : *The study on landslide disaster management in the Republic of Armenia : final report*, Vol. 7, 2006