

世界の地すべり現象とその対策

藤沢和範*

1. はじめに

地震によって発生する地すべりや滑落する地すべりの動画がテレビで放映されるなど日本では地すべり災害に対する認識が高まりつつある。しかし地すべりは日本だけに発生しているものではなく、世界にはたくさんの地すべりが発生し人々を苦しめているが、一般にはあまり知られていないようである。そこで、世界で発生している地すべりを概観するとともに地すべりとの付き合い方の現状と日本の貢献できる技術について述べる。

2. 世界の地すべり現象の分類

2.1 分類の方法

地すべり現象の分類方法としてはいくつかの方法が提案されている。そのうち、もっとも有名な手法はVarnesによるものである。これは地すべり現象を、地すべりを構成する材料と運動の形式の組み合わせによって分類したものである。これ以外にも、地すべりの移動する速度による分類等も知られている。しかし、これらは分類の客観性には優れているものの世界のどの地域でどのような地すべりが発生しているのかを分かりやすく示すものではない。そのため、ここでは地域別の地すべり現象の特徴が把握できるような分類を示し、その後事例を示しながら説明する。

2.2 造山運動と氷河の影響を指標とした分類

日本をはじめ、台湾、フィリピン、インドネシアなどの環太平洋地域には巨大な地すべりが発生している。また、中央アジアの国々でも同様である。これらを総括する因子としてはプレートの沈み込み、あるいは大陸プレートの衝突による「新期造山運動」を考えることが出来る。これらの地域では山脈の成長とそれに伴う河床の下刻作用が活発であり頻繁に地すべりが発生すると共に、時としてその規模が大きくなる特徴がある。インドプレートの衝突により隆起する中央アジアの国々

は、比較的乾燥した地域であり、地震を起因とした大規模な初生地すべりの発生が顕著に見られるのに対して、アジアモンスーン地帯に位置する日本や台湾では地震による大規模な初生地すべりの発生も見られるが、豪雨あるいは融雪による再活動型の地すべりが多数発生することも特筆すべき特徴である。すなわち、アジアモンスーン地帯では降水と地震により、大小取り合わせた地すべり災害を受けやすい自然条件が整っていることになり、そこで高度な土地利用を行っている国にあっては、災害に対する十分な予防措置と発災後の迅速な復旧が求められている。

もう一つの因子としては氷河の成長と衰退によって形成された地域で発生する地すべりがある。一つはクイッククレイ（鋭敏粘土）に代表される氷河によって削り取られた細かな岩層が堆積した地域で発生する地すべりである。ほぼ水平な平地でも地震動やわずかの土地改変を誘因として地すべりが発生している。また、数キロの厚さに堆積した氷河が消滅したことによって地盤の隆起が現在も緩やかに進行していることも地すべりを発生しやすくしている要因の一つである。すなわち氷河の後退によって出現した大起伏で急峻な斜面では応力の解放によるリバウンドからシーティングの形成や、本来岩盤の中に発達した層理、節理、割れ目などの弱面が氷食によって地表面近くに位置するようになったことが地すべりの原因と考えられる。

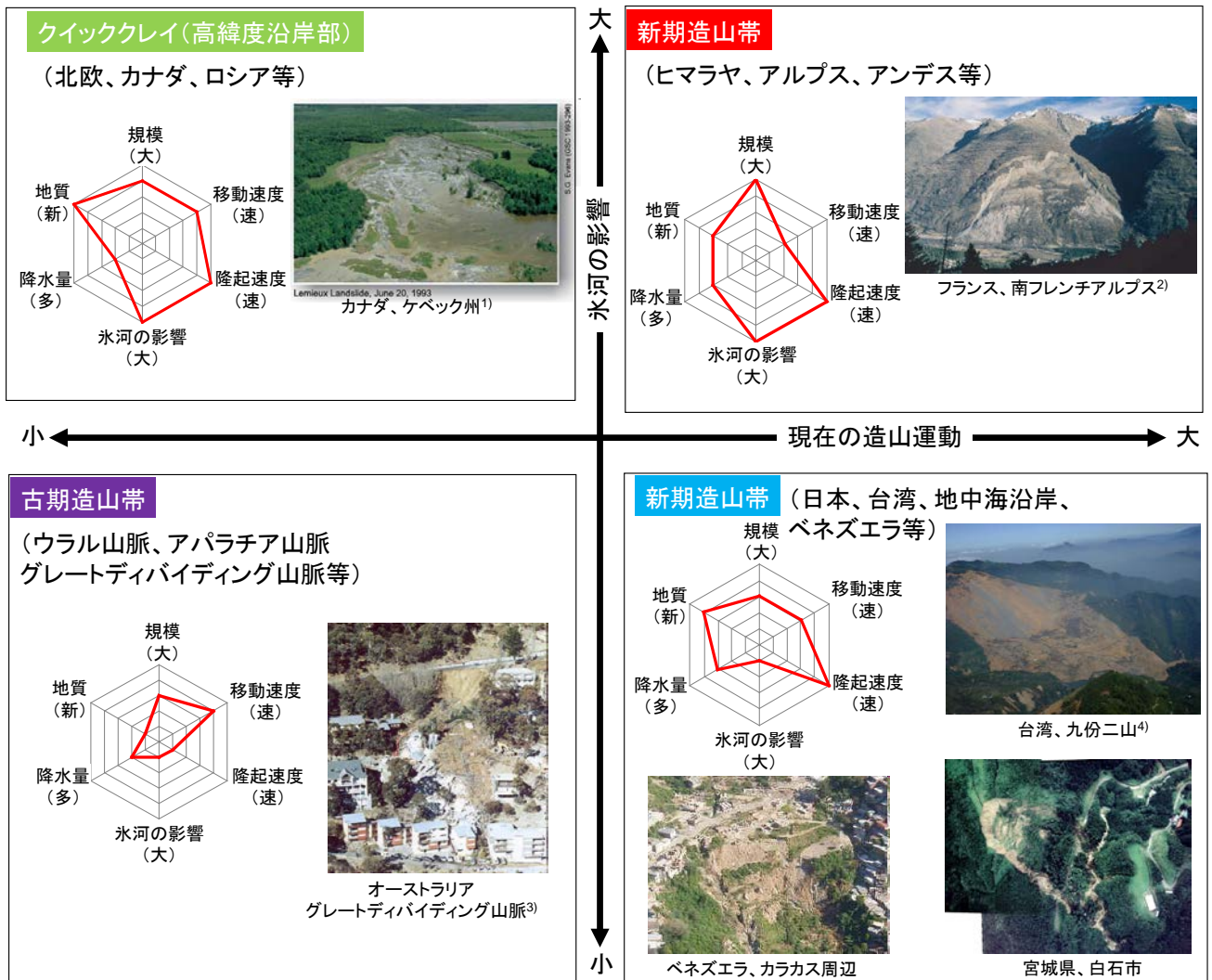
これらの二つの因子によって世界の地すべりの分類を試みたものが図-1である。これらの自然要因のほかに鉱山開発等の人為的な要因によっても地すべり現象の発生および再活動が助長されることがある。

3. 世界の地すべりの対策

3.1 世界の地すべり対策の概要

地すべり対策は、各国の経済力と土地利用の状況によって相違が見られる。日本は地すべりの動きを抑止し災害の予防あるいは災害後の復旧対策

*Typical characters and classification of the landslide in the world and the mitigation process.



レーダーグラフでの各軸の最大値の目安は以下の通り：「規模」は地すべり土塊が 10^8m^3 以上、「移動速度」は地すべり移動速度が 5m/sec 以下、「隆起速度」は年 10^0mm 以上、「氷河の影響」は最終氷期に覆われていた氷河の厚さが 10^0km 以上、「降水量」は年 3000mm 以上、「地質」は新第三紀以降

図-1 世界の地すべり分類

を最も積極的に行っている国の一つであるが、このような国は世界では少数派である。一般には、やむを得ずに一時的な対策を講じて引き続き土地利用を継続するケースが多く、地すべりによって被災を受けた場所から退避する場合も見られる。

(1) 恒久的な対策を実施する場合

地すべりの規模が比較的小さく、保全対象も重要で移転することも出来ず、さらに対策に要する費用を捻出する余裕のある国では積極的に地すべり対策が実施されている。地すべりの規模が比較的小さいことは、再活動型の地すべりであることが多く、上述の分類で述べたように主に多雨地域の国々が相当する。また保全対象が重要であることは、経済が発展し高度な土地利用が行われていること、また地すべり対策に要する多額の費用が

用意できることを示している。これらに該当する国等は、主に日本、台湾、イタリアであり、公共事業として地すべり対策が実施されている。また、大きな収益事業に関連する場合には、事業者が積極的に地すべり対策を行っている。例えば、アメリカでは開発された住宅地等が被災した場合には開発業者、パナマ運河周辺で発生する地すべり対策にはパナマ運河管理公社、石油パイプラインを保全するためにはロシア石油公社等、発展途上国であっても保全対象がきわめて重要な場合には国際機関からの援助を受けて構造物による地すべり対策が実施されている。これらの国々は、日本と情報交換等を行って地すべり調査、計画、対策等の技術向上が相互に可能である。

(2) 応急的な対策を実施する場合

発展途上国で一般に見られる手法であり、再度災害の発生が懸念されるが、他に方法がなくやむを得ず行われている。地すべりにより被災した場合には、山岳道路の路面に堆積した土砂を除去して交通を再開する、埋没した農業用水路を新たに掘削して利用する、被災後に再び地すべり地に住宅を建設するといった事例が見られる。これらの国々では、日本の高価な地すべり対策工は適用できないが、今後想定される地すべり現象や被害の予測、被害軽減手法についての研修等を通じた技術移転が可能である。

(3) 保全対象を危険地域から移転する場合

アメリカやカナダのように広大な土地を有し移転適地がある場合には、鉄道や道路を大きく迂回して地すべり対策を行うことなく再度災害の発生を予防することができる。また、行政の強力な指導によって地すべり地からの住宅の移転が行われている国もわずかに見られる。例えばコロンビア等の中南米ではゲリラ等に追われて都市部の斜面に違法に建築された住宅が地すべりにより被災する事例がある。しかし移転先の住宅を行政が手当てできたとしても国内難民の発生予防と合わせて対策を講じないと再び新たな難民が違法に住み着き、再度災害を受けることが懸念される。これらの国々へは、地すべり危険度マップの作成技術を提供することが出来る。

(4) 土地利用規制によって被災予防を図る場合

過去の地すべり被災の記録や地形判読から地すべりの発生と土砂の到達する地域を明らかにして土地利用の規制を図ろうとする手法が例えばイタリアやスイス等の西欧や日本で行われている。比較的新しい手法であり、十分に活用されているとはいえない。しかし、地すべりの危険性の高い地域での開発規制等の法的な仕組みについて情報交換することが出来る。

3.2 いくつかの国の地すべり対策の事例

日本は世界で最も積極的に地すべりを止めようとしている国であるが、巨大な地すべりに対しては物理的に地すべりを抑止することにはおのずと限界がある。今後は、ハード対策から土地利用規制や開発事業の計画段階からの管理体制の強化による危険性の除去やソフト対策による危機管理の充実が求められる。

次に、地すべりの多発する地域の地すべりと被

害およびその対策の状況について述べる。

(1) 台湾

台湾は日本とよく似た気象・地象環境下にあることや経済状況、土地利用状況も近似していることから世界でも最も積極的に構造物によって地すべり対策を実施している国の一つである。比較的大規模な地すべりであっても排水トンネル、集水井、アンカー工を施工している。台風による豪雨により地すべり災害が頻発しており、また地震によっても巨大な地すべりが発生している。地すべり対策への取り組み方は日本と似ている。

(2) カザフスタン、パキスタン等の中央アジア

インド亜大陸の衝突によって地震の発生する国々の中で降水量が少ない乾燥地帯では再活動型の地すべりは目立たず、地震による巨大な地すべりの発生が目につく。定住者が疎なこともあって、多くの場合それらは放置されて調査・研究の対象である。一方、四川大地震で見られたように中国でも巨大な地すべりが地震によって幾度となく発生している。被災者数が膨大な数に上るが本格的な対策は実施されていない。

(3) ヨーロッパ

ヨーロッパアルプスの周辺地域は新期造山帯に属し、地震の発生も多く、岩盤地すべりの発生が見られる。イタリアでは道路トンネルを保全するために排水トンネルによる対策や調査研究が行われている。また、氷河によって形成されたモレーンが緩傾斜面を形成し、スキー場あるいはリゾート地として利用されている緩斜面でも地すべりの発生が見られる。これらの地すべりの動きは緩慢なため、計測器を設置して斜面の監視が行われている。また教会に残る地すべり災害の記録や地形解析による地すべりハザードマップの作成も積極的に行われている。

北欧では氷河の影響により形成された堆積物であるクイッククレイの地すべりと氷河の後退による地盤のリバウンドによる岩盤地すべりの発生が見られる。クイッククレイはわずかな土地の改変でも地すべりを誘発することがあり、平地を形成しているために一旦地すべりが発生すると社会・経済的に大きな被害を伴うことが多い。しかし有効な対策は見当たらず、地すべりの発生予測も困難な状況である。ノルウェーでは、氷河によって形成されたフィヨルドに岩盤地すべりが崩落し、

海岸沿いの集落が津波による被害を受けている。

東欧ではルーマニア、チェコなどで地すべりが発生している。ルーマニアの海岸沿いの地域は粘土、砂等からなる新第三紀の若い地層からなり小規模で浅層の地すべりが発生している。これによって中山間地の道路や農地、建築物が被害を受けているが地すべり対策は行われていない。しかし、地すべり対策の必要性は認識されているため、地すべりの調査手法についての研究が行われている状況である。

(4) アメリカ大陸

北米ではロッキー山脈を中心にして地すべりが多発している。広大な土地があるため、鉱山開発や住宅開発、水資源開発に伴って被害が顕在化するものが多い。ハイウェイや鉄道が地すべりにより被災することもあり、アラスカでは港湾施設が海底へとつながる地すべりによって海中に運び去られる事例も見られる。対策としては、地すべりを回避する方法や地下水位の低下、杭・アンカーにより地すべりを停止させる方法が取られている。また、地すべり地を保存し、博物館を建設し、教育・啓蒙の場としている事例もある。

中南米でも地すべりは多発している。特に、都市部への人口集中により貧困層が山腹斜面にまで住み着いているため、そこで地すべりが発生すると被害も大きなものになっている。違法に人家が集積した地域では生活排水の処理も満足に行われることもなく、粗末な土側溝に流され地すべりの発生を助長しており、地すべりが発生した場合でも復旧対策は取られていない。斜面への新たな住宅の侵入を抑える方策や違法に建設された建築物を取り除く努力が行われているが、国内難民の対策と合わせて講じなければ有効に機能するとは思えない。コロンビアでは J I C A の支援の下に違法建築物の移転と移転跡地への新たな建築物の侵入を抑止する方策が採られた（表紙写真参照）。

中米のパナマでは、パナマ運河の開削により多数の地すべりが誘発された。現在でも地すべりのモニタリングと地すべり対策工事が行われている。さらに運河を航行する船舶の増加に伴って、本運河に近接して第二パナマ運河の建設計画が進行し

ている。パナマ運河は黒字経営が続いているため、十分な準備と調査、対策が実施されると思われるが、運河の掘削により不安定化する斜面の予測と予防対策が重要な課題になる。

(5) その他

地すべりは海底でも発生している。海底の地形測量からハワイ沖やノルウエー沖等の海底には陸上の地すべりをはるかに凌ぐ巨大な地すべりの存在が知られている。固体として蓄積されているメタンハイドレードが気化することによって地すべりを誘発することが原因の一つと考えられている。

海底地すべりは津波の原因になるばかりでなく、海底に敷設された光ファイバーケーブル網の切断の恐れがあり、また海底資源を開発する場合にもその安全性の検討が必要である。

4. まとめ

世界にはその規模も速度も被害の形態も様々な地すべりが存在する。なかでも日本は地すべりの発生頻度の高い地域であるため、地すべりの危険度ランク付けの技術を用いて、外国の土地開発の計画段階から地すべり災害の危険性を指摘し、回避あるいは予防対策に貢献することが出来る。

なお、本報告の写真の一部は以下のHPから引用している。

- 1) http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/maps/environment/naturalhazards/landslides/fig_23_land_lemieux.jpg/image_view
- 2) <http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/clapiere.php>
- 3) <http://www.shirley.net.au/Case/Forensic/Landslides/images/Thredbo1.shtml>
- 4) <http://geot.civil.metro-u.ac.jp/archives/eq/99taiwan/>

藤沢和範*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
地すべりチーム上席研究員
Kazunori FUJISAWA