オーストリア及びスカンジナビアの地すべり

Landslides in Austria and Scandinavia

佐々恭二*

Kyoji SASSA

Summary

The author had a chance to visit landslides in Austria, Scandinavia, England and Czechoslovakia with the fellowship of the Japan Society for the Promotion of Science and the subsidy of the Disaster Prevention Research Association during June 1977-June 1978.

The landslides in Czechoslovakia and England were already reported in this journal. Therefore, the author will report the four types of landslides and their examples in Austria and Scandinavia as written below.

- 1) The landslide in Moraine; Embacher Blaike and Schesatobel
- 2) The landslide in Crystalline schist; The Graden Bach landslide
- 3) The landslide in Marl; Gschliefgraben
- 4) The landslide in Quick clay; The Romerike landslide and the Tuve landslide

1. まえがき

昭和52年6月より一年間、日本学術振興会、防災研究協会の援助により、英国のインペリアル・カレッジに10カ月学び、アルプス諸国、スカンジナビア諸国の地すべり、砂防を約2カ月視察する機会を得た。筆者が訪れた地すべりの中で興味深かったのは、オーストリアの結晶片岩の地すべり、氷河堆積物 (Moraine) の地すべり及び泥灰岩 (Marl) の地すべりとスカンジナビアのクイック・クレイ (Quick clay) の地すべりである。またチェコの地すべりや英国の地すべりにも興味あるものがあるが、前者については中村 (浩之)⁸⁾、西田⁹⁾、湊元⁷⁾、寺

川⁶⁾などの報告があり、後者については酒井⁴⁾が報告しているチョークの地すべり (参13等の報告がある) とソリフラクシヨンの地すべり (参14, 18等の論文がある) 以外は三紀層地すべりに似た oxford clay や Kimmeridge clay の地すべりが目につくが、特に印象深いものはないので先にあげたオーストリアの三つの地すべりとスカンジナビアの Quick clay の地すべりについて知見したことを報告する。

2. オーストリアの地すべり

図-1にオーストリアの地質の概略²⁰⁾と以下に述べる地すべりの位置を示す。オーストリアの地すべり及び土砂

図-1 オーストリアの地質の概略と地すべりの位置

Fig. 1 Outline of the Austrian geology and the locations of landslides

* 京都大学農学部

災害は 1)モレーン (Moraine) 氷河堆積物の地域, 2) フィリッテ (Phyllite), シーファー (Schiefer) と呼ばれる結晶片岩, 片岩の地域, 3) マール (Marl, Mergel) と呼ばれる泥灰岩の地域, 4) フリッシュ (Flysch) と呼ばれる砂岩・泥岩の互層の地域, の4つに分けられる。これらのうちオーストリアで地すべり, 土石流, 土砂流出などの大規模な土砂害を引き起しているのはモレーンと結晶片岩の地域である。フリッシュはチェコ等ではかなり問題になっているが, オーストリアでは分布面積があまり広くないためか, それほど問題ではないようであった。またマールはモレーン, 結晶片岩にくらべると問題は少ないが, 日本にはないものであり, その地すべりは興味深い。したがって次にオーストリアの地すべりとして, モレーンの地すべり, 結晶片岩の地すべり, マールの地すべりの三つをあげ, その各々のタイプの地すべりの例を報告する。

2-1 モレーン (Moraine) の地すべり

モレーンはオーストリア全域に広く分布しているが, 堆積年代が新しく固結度が低いことから, 各地で表面浸食, 土石流, 地すべりを引き起している。次に示す地すべりは Zell am see の近くの国道 311 号線に面した Embacher Blaike (図-1) と呼ばれる地すべりである。この地すべりは結晶片岩 (Kristalline Schiefer) の上にモレーンが堆積し, 主としてそのモレーンがすべっていると言われている。しかし上端滑落崖には結晶片岩の層が露出していることから, すべり面は片岩の層にも入っていると思われる。規模は長さ 600m, 幅 400m, 深さは不明だが, 上端滑落崖の高さは 60m である。記録に残っている最初の大きな動きは 1592 年であり, その後, 約 100 年ごとに大きな動きをくり返し, 1698 年, 1794 年, 1935 年に大きく動き, 末端の Taxen Bach 川に土砂を押し出し, 川をせき止めた。最大のものは 1794 年のものであり, 幅 100~150m, 高さ 35m の自然ダムができた。約 100 年ごとに動くということは地下浸食, 深層風化による土層強度の低下スビー

ドの一つの目安と思われ, 地すべりの周期を考える上で興味ある事実である。図-2はこの地すべりの平面図である。写真-1は対岸より 200mm の望遠で地すべり上部を写したものである。地すべり上端の平地はモレーンの堆積面であり, この平地を流れる小川 Salater Bach から地すべりへ地下水が供給されているとのことであった。地すべり全体

の崩壊土量は最初の地形からすると 300~400万 m^3 だろうと考えられている。

次にブルーデンツ (Bludenz) の近くにあるシェサトーベル (Schesatobel) をあげる (図-1)。ここは表面浸食, 溪岸浸食, 斜面崩壊, 地すべり, 土石流と砂防に関することが何んでも起っている町で, 土砂移動量の点でヨーロッパ最大と言われている。この谷は 180 年前まではごく小さな野溪だったが, 1796 年に大規模な伐採が行われたため, 流出率が増大し, 渓床での浸食, 溪岸崩壊が活発化し, 急激に谷が拡大し, 1899 年に砂防工事が始まる

図-2 Embacher Blaike の地形図
Fig. 2 The map of Embacher Blaike

写真-1 Embacher Blaike の上端滑落崖 (200mm 望遠, 対岸より)
Ph. 1 The scarp of Embacher Blaike (200mm telephoto-lens, from the opposite bank)

写真-2 Schesatobel の源頭部の全景及び近接写真
Ph. 2 A general view and a close view of top of the Schesatobel

時には長さ 1800m, 最大幅 700m, 谷の深さは最大 200 m, 面積 60ha の荒廃地が形成され, 移動した土砂量は 4000万 m^3 に達した。その後, 砂防ダム の設置と側方からの地すべりにより溪床は平均 40m, 最大 70m 上昇した。写真-2は Schesatobel の源頭部を写したものである。写真-3が1965年に側壁で起った 80万 m^3 の地すべりであり, 溪床にあった一連の砂防ダムが埋没した。この地すべりは砂レキ層の大崩壊で, 原因としては溪岸の横浸食が考えられるが, 他に Schesatobel のモレーンの下にあると言われる Lake deposit の影響があるかもしれない。Schesatobel では Lakedeposit の露頭を見ることができなかったが, Even See の近くの Offen See Bach では白色粘土の Lake deposit の上ですべるモレーンの地すべりをいくつか見ることができた。

2-2 結晶片岩の地すべり

オーストリアには花崗岩・片麻岩よりなる中央アルプスが隆起した際に広域変成作用を受けてできた結晶片岩, 準片麻岩, 正片麻岩の地域が広く分布している (図-1 Crystalline の所)。オーストリアの視察では土石流・土砂流出のあった Niedersiller, 上流で 1965年 7ha の地すべりが起り, 著しく河床が荒廃した Silver Tal 他いくつかの結晶片岩地帯の土砂災害地を訪れたが, もっとも感銘を受けたのは Villach の砂防の所長ストリツル博

写真-3 Schesatobel 側壁の地すべり
Ph. 3 A landslide in a side slope of Schesatobel

士に案内していただいた Mödritsch Graben と Graden Bach の地すべりである。Mödritsch Graben は氷河時代の後に, 氷河の消失による徐荷によって動き出したと言われ, 動きは年平均 2 cm 程度と推定されているが, 1882年, 1966年には大きく動き, 多量の土砂が流出し災害をひき起した。日本の結晶片岩の地すべりと同じく, どこがどう動いているか明確でないとのことであった。動きは少ないが, すべりは深く, 推力が大きいのでコントロールは困難と述べていた。次に Graden Bach を視察した。この地すべりは恐らくオーストリアでもっとも調査されている地すべりの一つと思われる。これは全長 (水平距離) 1400m, 高低差 1000m, 平均斜度 28° の地すべりで, 規模・勾配はちょうど筆者等が調査している結晶片岩型地すべり・善徳地すべりと同じである。すべり深さはまだ確定しておらず, 視察に来る研究者は100~200m と言っているとのこと(筆者には大きすぎるように思われた), 現在ボーリング調査が行われている。工事は溪床の床固めと表面排水以外はなされていないが, 移動量の測量による測定, 水文調査 (雨量, 湧水量), 地質調査等がなされている。写真-4は地すべりの全景を国道から写したもので地すべりの上端滑落崖 (かなり硬い岩の中にすべり面がある) と末端崩壊がみられる。写真-5は地すべり上端と末端である。写真-6は床固めが地すべりによる圧縮と隆起で破壊されている状況である (数十基の床固めがほとんど破壊されており, 無事なものはその袖の取り付け部の岩が破壊している)。写真-7は地すべり末端にみられる泥質片岩 (Phyllite) である。地層はこの他, 石灰岩質片岩 (Kalkphyllite) や一部珪質片岩 (Quarzphyllite) がある¹⁵⁾。図-3は地すべり横断移動形状を測定するために, 上, 中, 下3測線を設置し,

写真-4 Graden Bach 地すべり全景
① 上端滑落崖, ② 末端崩壊

Ph. 4 A general view of the Graden Bach landslide.
① Main scarp ② Toe slip

写真-5 Graden Bach 地すべりの上端滑落崖と末端崩壊の
近接写真 (200mm 望遠レンズ)

Ph. 5 The close views of the scarp and the toe slip
in the Graden Bach landslide

各測線に10点程度の測量杭を設置し、3角測量により移動量を測定したものである¹⁶⁾。期間は下の測線が1968～1975年、上・中の測線が1969～1975年である。図には一年毎の移動形状が示されている。地すべり末端で大きい時は年2.5m、小さい時で10cmほど動いている。結晶片岩型地すべりでは地すべりの境界や地すべりの移動形態、移動状況が踏査ではわかりにくいので、筆者らは徳島県善徳地すべり地においてセン断変位計を製作し、

写真-6 Graden Bach 地すべりによる床固工の破壊
① 圧縮 ② 隆起

Ph. 6 Failures of check dams by the Graden Bach landslide.
① Compression ② Vpheaval

写真-7 Graden Bach 地すべり末端に見られる Phyllite
Ph. 7 Phyllite outcropped in the toe of the Graden Bach landslide

地すべり横断水平動・上下動の計器観測を続けているが¹²⁾、オーストリアにおいても同様な地すべり横断移動形状の測定が行われているのに興味深かった。また移動量自体も、善徳の場合も年数10cm⁵⁾、大きい時は数

図-3 Gradenbach の地すべりとその移動形状 (Kronfellner Kraus による)

Fig. 3 The Gradenbach Landslide and its movement (after Kronfellner-Kraus)

m動いて県道が落ちたこと¹²⁾など共通点が多い。また地すべり移動の計器測定、防止工事法などの点で日本における研究・経験がオーストリアにおいてかなり役立て得るものと思われた。話しが少しそれるが、私が見て回った英国、ノールウェー、スウェーデン、オーストリア、チェコ、ユーゴなどと比較すると、地球物理学的な日本の地すべり移動測定はもっともレベルが高いように思われた。

2-3 マールの地すべり

マールは地学事典¹¹⁾によれば粘土質成分と炭酸塩成分との混合した堆積物であるが、これが風化し、水を含むときわめて軟弱になり、泥流状になる。チェコにおいて、このマールの上に砂岩がのったまま動くのがみられたが²¹⁾⁷⁾、次にあげる Gschliefgraben もマールの地すべりの一例である。Gschliefgraben は図-1 では Flysch のゾーンにあるが、この部分

は飛び石的にマールが出ている所である。その上端部の模式図が図-4¹⁹⁾で下にマールがあり上に角礫岩がのっている。そしてマールと共に角礫岩の塊も流動している。

案内していただいた Aulitzky 教授はこのような岩のことを Swimming Rock と呼んでいた。Gschliefgraben は全長 3.0km ほどの谷であるが、その上半分では水が表面に出ず、地すべりの形で年数mずつ土層が流下し、下半分では勾配の減少により mass movement が止まり、通常の溪流になり、時折土石流を発生させる。写真-8は地すべりの流動状況、写真-9は一時的に地すべりが停止している所、写真10は谷の下流で地すべりが停止し、水が表面に出て通常の溪流に変わった所である。水が出てくるのが5度前後、地すべりとして動いているのが10度前後である。日本の三紀層地すべりの末期に似ているが、上に角礫岩をのせている点と上は地すべり、下は溪流になっている点がおもしろい。

3. スカンジナビアの地すべり

3-1 Quick Clay の地すべり

図-4 Gschliefgraben の模式図 (Gmunden 砂防事務所による)

Fig. 4 Schematic sketch of Gschliefgraben (after Gmunden Torrent Control Office)

写真-8 Gschliefgraben の流動状況

Ph. 8 Flow of the Gschliefgraben landslide

写真-9 地すべりの一時的な停止
Ph. 9 A temporary stop of the landslide

写真-10 Gschliefgraben の下流
Ph. 10 The downstream of Gschliefgraben

スカンジナビアの地すべりと言えば、厚い氷河に過圧密されてできた粘土 Quick Clay の地すべりである。この粘土はいったんかく乱されると強度が著しく低下するため、斜面が動き出すと同時に斜面土層が液状化し、泥流状になって流出する。日本の三紀層の泥岩の地すべりや英国の粘土の地すべりでは粘土層はじわじわ動いてもスプーのようになって流動化はしない。日本では斜面崩壊により流動化するの、むしろ水沢新田の地すべりや兵庫県一宮の大崩壊のような砂質の地すべり、あるいは土石流である³⁾。

ノールウェーのオスロ近郊には沢山の Quick Clay の地すべりの跡があり、お盆のような形で土がぬけており、その跡にはまた家が建ったり、畑になったりしている。N. G. I の Jørstad 氏にいろいろ案内していただ

いたが、やはり Quick Clay のすべりの写真としてもっともいいのは1953年の Romerike の地すべりの写真とされるので、氏の好意により写真-11にそれを示す。この地すべりは他の多くの Quick Clay の地すべりと同じく、川の河岸浸食により、まず河岸で幅 30m、長さ 40 m 程度の小崩壊が発生し、その後約16時間後にそれを含む幅 150m、長さ 190m、平均深さ 9 m、土量10万m³の地すべりが起り、滑動土塊は液状になって幅 40m の出口から川へ流出した¹⁷⁾。

筆者がロンドンにいた昭和52年11月30日スウェーデン第二の都市 Göteborg 郊外の Tuve 地区で地すべりが起り、40~50戸の家が破壊されたとのニュースが入った。そこで昭和53年5月に Göteborg を訪れ、Prof. B. Broms 氏の紹介により、Chalmers Tekniska Högskola の Dr. G. Sällfors 氏にこの地すべりを案内してもらった。この地すべりについてはスウェーデンの新聞報道をもとに藤田が地すべり学会誌のニュースで報告している¹⁰⁾。

地すべりの地質は基岩が片麻岩でこの岩は地すべりの両端で上昇し、地すべり地は埋没谷の形になっている。基岩の上には1~2 m の砂レキ層があり、その上が鋭敏比5~600の過圧密粘土であり、地表から2~3m は clay crust と呼ばれる乾燥した硬い粘土である。地すべりは歩く速度~かけ足ぐらいの速度で約 150m 動き、ほぼ水平に近い状態で停止した。そこで土層中の間ゲキ水圧が測定された所、図-5のように流動した過圧密粘土層内で水圧はほぼ全応力に等しく、レキ層では静水圧のレベルに低下していた (Sällfors 氏談)。このことはすべり後数ヵ月たってもまだ粘土層が液状になっていることを示していると考えられる。地すべりの原因としては雨とか、地すべり地内を通っていた下水道からの漏水とかいくつか考えられているが、まだ不明である。次に家屋の被災状況と防止工事を示す。写真-12は家屋の被災状況で、中央の写真は地すべりにより地階、一階、二階がばらばら

写真-11 Romerike の地すべり (N. G. I. の好意による)
Ph. 11 The Romerike landslide (by courtesy of N. G. I.)

図-5 Göteborg 近の Tuve 地すべりの間ゲキ水圧の分布 (Dr. G. Sällfors 談)

Fig. 5 Schematic figure of the pore pressure in the Tuve landslide near Göteborg (after G. Sällfors)

写真-12 Tuve 地すべりの被災状況
Ph. 12 Destroyed houses by the Tuve landslide

写真-13 Tuve 地すべりにける排水工事
Ph. 13 Drainage of the ground water in the Tuve landslide

写真-14 Tuve 地すべりにける地すべり防止埋設ダム工
Ph. 14 A buried dam to prevent houses from The expansion of the landslide

になった家の二階の部分である。写真-13は排水工事でボーリングしてその中に紙をまいた波状のプラスチックを入れたもので、毛管張力によって地下水の排除を行うものである。写真-14は地すべりの拡大を防ぐために人家と地すべりの間に幅 15m の溝をすべり面 (7~8m) まで掘削し、両側にシートパイルを打込み、中に栗石をつめたもので埋設ロックフィルダムみたいなものである。斜面上端に近いこともあり、地すべり拡大防止には十分と思われた。

4. おわりに

以上の報告をまとめるにあたってお世話になった方々とその内容を次に示し、ここに感謝の意を表します。

オーストリア

Prof. H. Aulitzky (ウィーン農科大学教授): オーストリアにおける視察計画の立案, Gschliefgraben の案内, Schesatobel, 及び Embacher Blaike の資料提供

Chief. Hattinger (オーストリア砂防部長): 視察計画立案, 手配, コースの説明

- Dr. J. Stritzl (Villach 砂防事務所所長) : Graden Bach, Mödritsch Graben の案内, 資料提供
 Dr. A. Fischer (Bludenz 砂防事務所所長) : Schesatobel の案内, 資料提供
 Mr. Lerperger (砂防技師) : Embacher Blaike の案内
 Mr. F. Kretschmer (砂防技師) : Gschlifgrabene の案内
 Dr. C. Dietrich (Vorarlberg 広報局) : Vorarlberg 内での独一英通訳

スカンジナビア

- Prof. B. Broms (The Royal Institute of Technology) : スウェーデン内の視察の手配
 Dr. G. Sällfors (Chalmers Tekniska Högskola 助教授) : Göteborg の地すべり案内
 Mr. F. Jørgstad (N. G. I の地質研究者) : Romerike 地すべりの案内 (整地されていたが), 資料提供
 上にあげた方々には上にあげた所以外も案内していただき, また上にあげた方々以外の方にもオーストリア, スカンジナビアの他の地すべりを案内していただき, いずれも大変参考になりました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐々, 仲野・武居: 破碎帯地すべりにおける地すべり横断移動形状 (水平動, 上下動) の測定結果について — 試作したセン断変位計64台の設置結果より —, 京都大学演習林報告 No. 47, 1975
- 2) 佐々, 武居, 小橋: 三波川片岩類地帯の地すべり移動形態の特徴 — 善徳地すべりにおける現地観測の結果より —, 第12回自然災害科学総合シンポジウム, 1975
- 3) 佐々・武居: 鉛直方向側面破壊の検討Ⅱ — その実例一, 地すべり Vol. 14 No. 3, 1977
- 4) 酒井: 英国における代表的な地すべり (Folkestone warren landslide) について, 地すべり Vol. 12 No. 4, 1976
- 5) 武居・佐々他: 徳島県善徳地すべり地調査報告Ⅰ～Ⅵ, 防災研究協会, 1973～1978
- 6) 寺川: 学会後の巡検紀行, 地すべり Vol. 14, No. 4, 1978
- 7) 湊元: Pre-symposium tour について, 地すべり, Vol. 14, No. 4, 1978
- 8) 中村 (浩之): チェコスロバキア, オーストリアにおける地すべり等の 2, 3の問題点, 地すべり Vol. 12, No. 4, 1976
- 9) 西田: チェコスロバキアに見られる地すべりの地質環境 — 特にカルパチア地域について —, 地すべり Vol. 14, No. 4, 1978
- 10) 藤田: Tuve 地すべり, 地すべり Vol. 14, No. 4, 1978
- 11) 地学事典: 平凡社, 1973
- 12) 善徳地すべりについて: 徳島県土木部砂防課, 1971
- 13) Hutchinson J. N.: A reconsideration of the coastal landslides of Folkestone warren, Kent, Géotechnique 19, 1969
- 14) Hutchinson J. N.: Periglacial Solifluxion; An approximate mechanism for clayey soil, Géotechnique 24, 1974
- 15) Häusler H.: Gutachten über die ingenieurgeologischen Untersuchungsergebnisse über die kritischen Massenbewegungen im Grudental, Technisches Büro für Angewandte Geologie -Theoretische Geologie und Anthropogeologie, 1975
- 16) Kronfellner-Kraus: Die Wildbacherosion in allgemeinen und der Talzuschub im besonderen, 100 Jahre Forstliche Bundesversuchsanstalt, 1974 (図-3 には1973～1975の移動量測定結果をつけ加えた)
- 17) Kenney T. & Drury P.: Case Record of the Slope Failure that Initiated the Retrogressive Quick-clay Landslide at Ullensaker, Norway, Géotechnique 23, 1973
- 18) Skempton A. W. & Weeks A. G.: The Quaternary history of the Lower Greensand escarpment and Weald Clay near Sevenoaks, Kent, Phil. Trans. Royal Society of London A-283, 1976
- 19) Exkursionführer "Gschlifgrabene"; Wildbach-und Lawinnenverbauung Gebietsbauleitung Gmunden, 1976
- 20) Geologische Übersichtskarte Der Republik Österreich 1/500,000; Verlay Freytag-Berndt und Artaria, 1963
- 21) Landslides and other mass movements in north-western and eastern Bohemia; Guide to the pre-symposium excursion, IAEG, Prague, 1977

(原稿受理日 昭和53年9月21日)