

3 1. リサの地回り

(1) はじめに

この話題を紹介する前に、まず位置関係を説明しておく。題名にある Rissa (リサ) は図 1 のようにノルウェーの首都オスロから北に向かって約 400km 離れた Trondheim (トロンハイム) 市の近くにある。トロンハイムはノルウェーの中央部に位置し、人口は 15 万人でオスロ、ベルゲンに次ぐノルウェー第 3 の都市である。またノルウェー王国最初の首都でもある。この都市からトロンハイムフィーヨルドをフェリーで渡ったところが今回の話題の場所である。



図 1 トロンハイムの位置

筆者がこの場所に興味を持ったのは今から 40 年ほど前のことである。土質工学会（現在の地盤工学会）の研究発表会の折に上映された Norwegian Geotechnical Institute（ノルウェー地質工学研究所）の制作による記録映画「The Rissa Landslide – Quick Clay in Norway」を見たのが切っ掛けである。

これはクイッククレイが分布する地域で発生した地回りの記録で、多分この国でも稀にしか発生しない大規模なものと思われる。

地回り発生のトリガーとなったのは、ボトネン湖という湖に面したある農家で納屋を建設するため、土を掘り起こし、そ

の土を湖岸に盛土したことにあるとなっている。

クイッククレイというのは図 2 にある北欧やカナダなどのように氷河期に厚い氷床で覆われていたところが後氷期に入って氷が解けるとともに、荷重が解放されて地盤が隆起し、その過程で堆積した海成あるいは汽水成のシルト層～粘土層である。この粘土層は海水や汽水環境では粘土粒子間の結びつきが強く、安定しているが、地盤が隆起して間隙水が淡水と入れ替わっている状態では僅かな外力が加わっただけで液状化するといった、きわめて鋭敏性の高い粘土である。この地回りは、盛土によって力学的なバランスが崩れたのが切っ掛けになったというわけである。この場所は湖のまわりに分布する緩傾斜地の一部で、永年にわたって農場として使われてきたところである。地回りの面積は 33 万 m^2 、土量は 500～600 万 m^3 に達する規模であった。



左図はスカンディナビア半島を中心とした最終氷期（Weichsel Glacial Stage）における氷床の分布図で、太線はその最大期のもの（NGU 資料による）。図中●印が今回の話題の場所。

図 2 最終氷期における氷床の分布

さて、以下に引用した動画はノルウェー地質工学研究所（Norwegian Geotechnical Institute）が作成したものである。地すべりの実態映像はたまたま現場に居合わせた 2 人のアマチュアカメラマンによって記録されたもので、それぞれ別の方角から撮った映像が収められている。ここにあるのはその一部を抜き出したものであるが、この種の地這りの特徴がよく示されている。地表面付近はハードクラストがベルトコンベアのように家に乗せたまま移動し、その速度は時速 30km に達したと言う。なおこの出来事は 1978 年 4 月のことであり、背後の山々はまだ雪に覆われていたものと思われる。

(2) トロンハイムへの旅

1993 年 7 月 IAH の国際会議がオスロで開催されることになり、これに出席する機会に恵まれた。会議期間中に IAH 主催によるエクスカージョンが組まれていたが、私は迷うこと



写真 1 車窓の風景

ことなく自分自身のエクスカージョンを実行することにした。地這りが発生したりサへは前後 2 日間の行程である。アポイントもホテルの予約もなしの“どうにかなるだろう”の一人旅である。唯一の頼りは昔のこととはいえ、稀な出来事だったのでトロンハイムまで行けば誰かは覚えているだろう、という期待だけであった。

そしてその予想は見事に的中した。トロンハイムの駅を出て最初に行ったホテルの女主人がまずよく知っていた。しかし、よく考えると幸運でもなんで

もなかったのかも知れない。静かで、事件も余り起こりそうもないこの静かな街では、地代りは記憶に残る稀な出来事だったということなのであろうか。親切な女主人はまだ薄暗い早朝に出港するフェリーの時間に合わせて、トロンハイムの港までとリサに着いてから現地でのタクシーの手配、そして早朝の食事等々と心配してくれた。あり難いことにタクシーの運転手は当時の新聞の切抜きまで用意して来てくれ、ビデオの撮影時には英語でナレーションまで入れてくれた。

7月だというのにこの辺りの山々には写真1のように残雪が見られた。融雪水は亀裂の多い岩盤に浸透し、また湿地帯を形成する。このような水の存在も地代りの拡大要因になっていると見なければならぬだろう。



写真2 フェリーボート
(早朝のためか乗客は数人)



写真3 早朝のトロンハイムフィヨルド

(3) 地代り地近傍の地形と地質

図3のようにボトネン湖周辺の地質は北東—南西方向の褶曲構造が発達しており、湖は

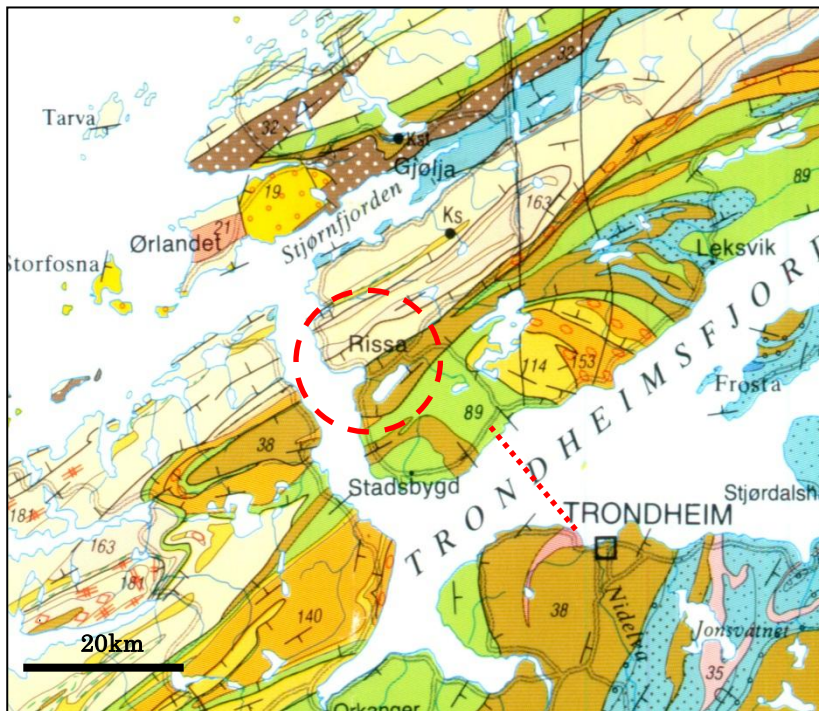


図3 周辺の地質 (Bedrock map of Norway(1992)より一部抜粋)

ちょうどその向斜軸にあたる。周辺の岩石はほとんどが花崗岩、輝緑岩、角閃岩などの結晶質岩で、写真6のように大きく開いた亀裂が目立つ。

この5mほどの崖は原地盤が移動した(というより流動といった方がよいかもしれない)ことによって現れたもので、地すべり土塊は写真の右側から左側方向に移動した。なおこの災害後、地盤改良を含めた大規模な復旧工事が行われたため、災害発生直後の面影は全くない。

地すべり地の後背地は写真 5 や図 5 の地形図に見るように、標高 200~300m のなだらかな山々が連なり、その麓から湖に向かってクイックレーを含む海成堆積物からなる緩い傾斜地が展開している。なお付近の山々や平地のいたるところに湿地帯が存在し、全体として水気の多いところという印象を受ける。付近はほとんどが畜産農家で、何の変哲もない静かな土地である。

図 4 に青点線で示した部分が地回り土塊の移動方向と推定される。湖に流れ込んだ大量の土塊は津波を起こし、その津波は 6km 以上離れた対岸（図の北東方向）の Leira という集落を襲って家々に被害を与えた。

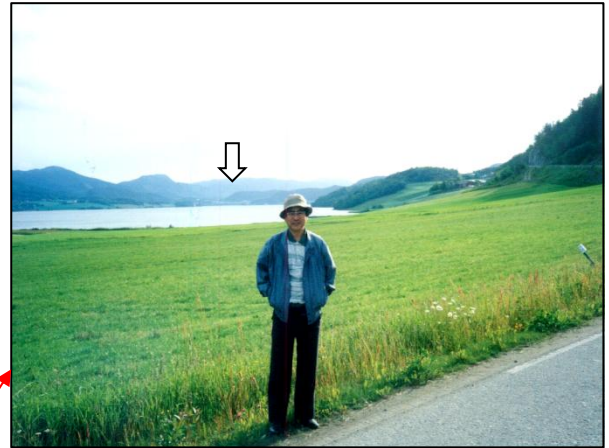


写真 4 ボトネン湖と遠方のライラの集落 (矢印)
(地すべり発生時に流れ込んだ土砂により津波が発生)

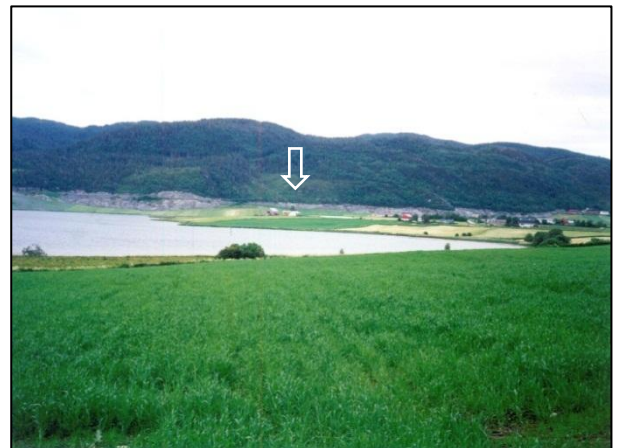


写真 5 前方ボトネン湖と背後の地すべり地 (矢印)



写真 6 ボトネン湖周辺山地の基盤岩
(手前は地回り跡地、矢印はその移動方向)

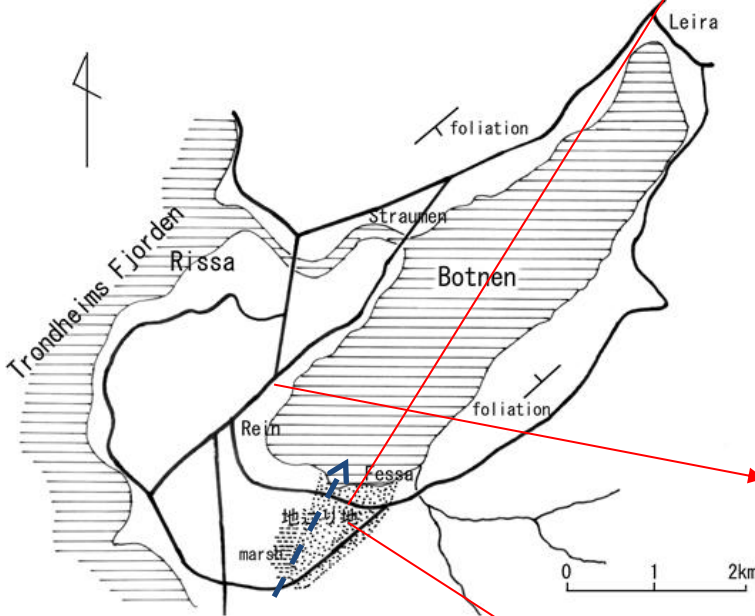


図 4 地すべり地周辺

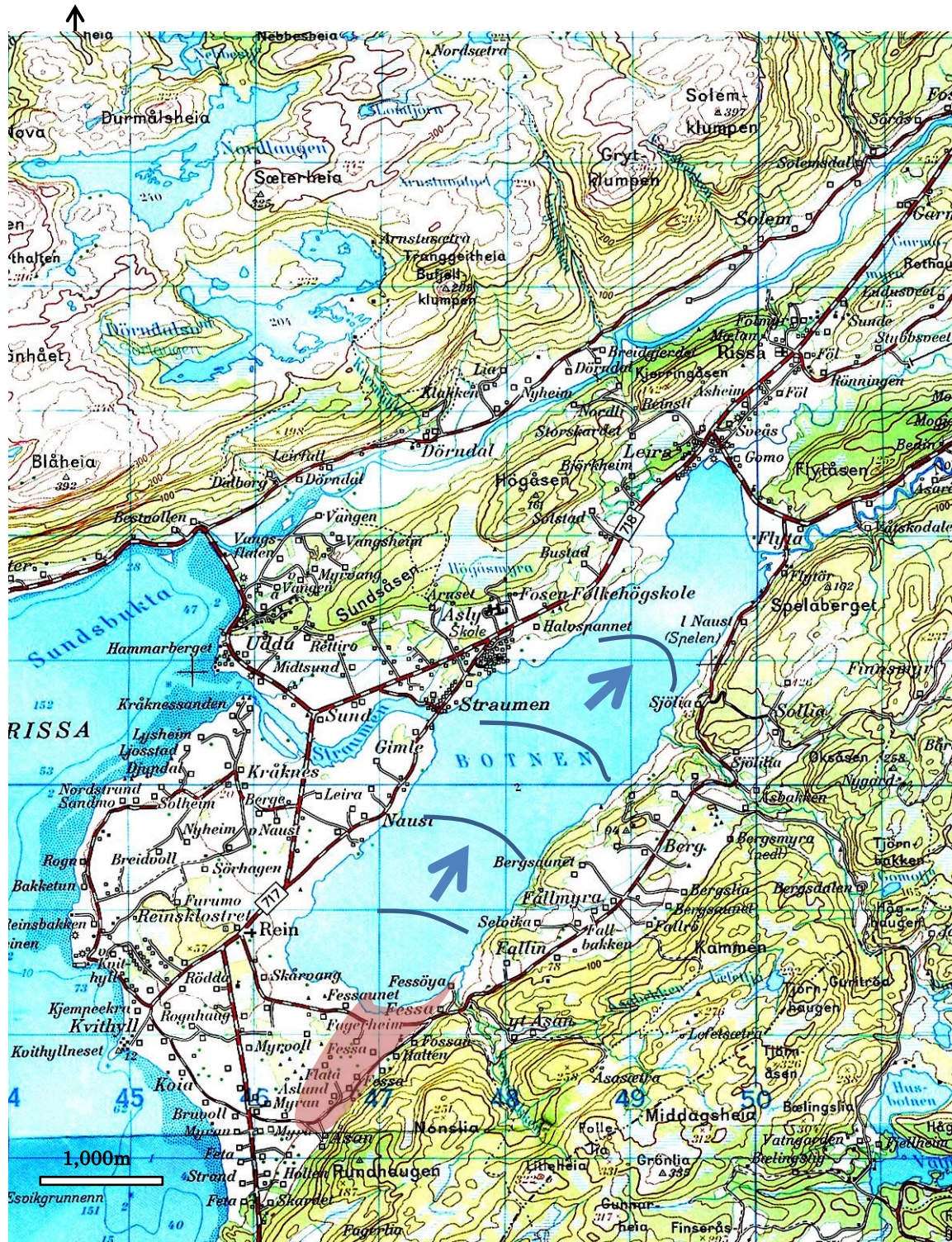
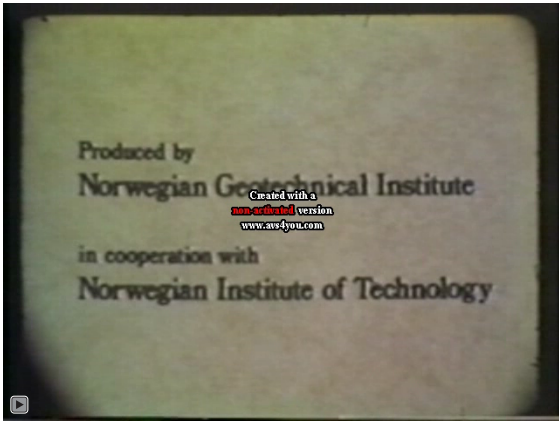


図5 ボトネン湖とその周辺の地形

(地すべり土塊の湖への流入によって発生した津波は対岸の集落に被害を与えた)



注：枠の中をクリックして開いてください。なお音声が切れ切れになっているので聞き辛い場合は消音してください。内容は次の流れになっています。(映写時間：3分半)

- ① 地すべりの爪痕
- ② 氷河後退期の北歐
- ③ 水循環による塩水の洗い出し
- ④ クイッククレイの特質
- ⑤ 地すべり発生地の原地形
- ⑥ 地すべりの発端
- ⑦ 地すべり状況

(4) 被災

写真7はタクシーの運転手が持ってきた当時の新聞記事、また写真8は地すべりによって生じた崖である。この人の記憶によると 20軒ほどの家が地這りで流され、女性1人が湖に流されて死亡した外は大きな被害はなかったが、下の新聞のように湖の水棲動物は津波による衝撃のために死滅したものが多かったということである。



この湖はフィヨルドと水路でつながっていて大きな魚や場合によっては海獣類も往来している可能性がある。写真の生き物は魚にしては大きすぎるので海獣の可能性もある。

地すべり土塊によって抉られた崖、高さは優に10mはあろう。鮮明さを欠くが左下にボートが見える。

写真7 新聞記事（白く見えるのは津波の衝撃で死んだ海獣？）



写真8 地這りが残した爪跡（出典：NGIのホームページ）

(5) 地すべりその後

地すべりは図 6 のように内陸に向かって凡そ 1km まで進んだところで終息した。その時の状況は写真 9 に残されている。その後政府の手によって大掛かりな調査、地盤改良が行われた。まず、まだ残っていたクイッククレイを爆破によって崩し、土地は平らに均された。土塊の移動を阻止するために湖の湖岸には写真 10 にあるように環境に配慮して大～巨礫が積まれた。周辺にも同じような危険地域があるのではないかと綿密な調査が行われたが当所以外には存在しないことが確かめられた。

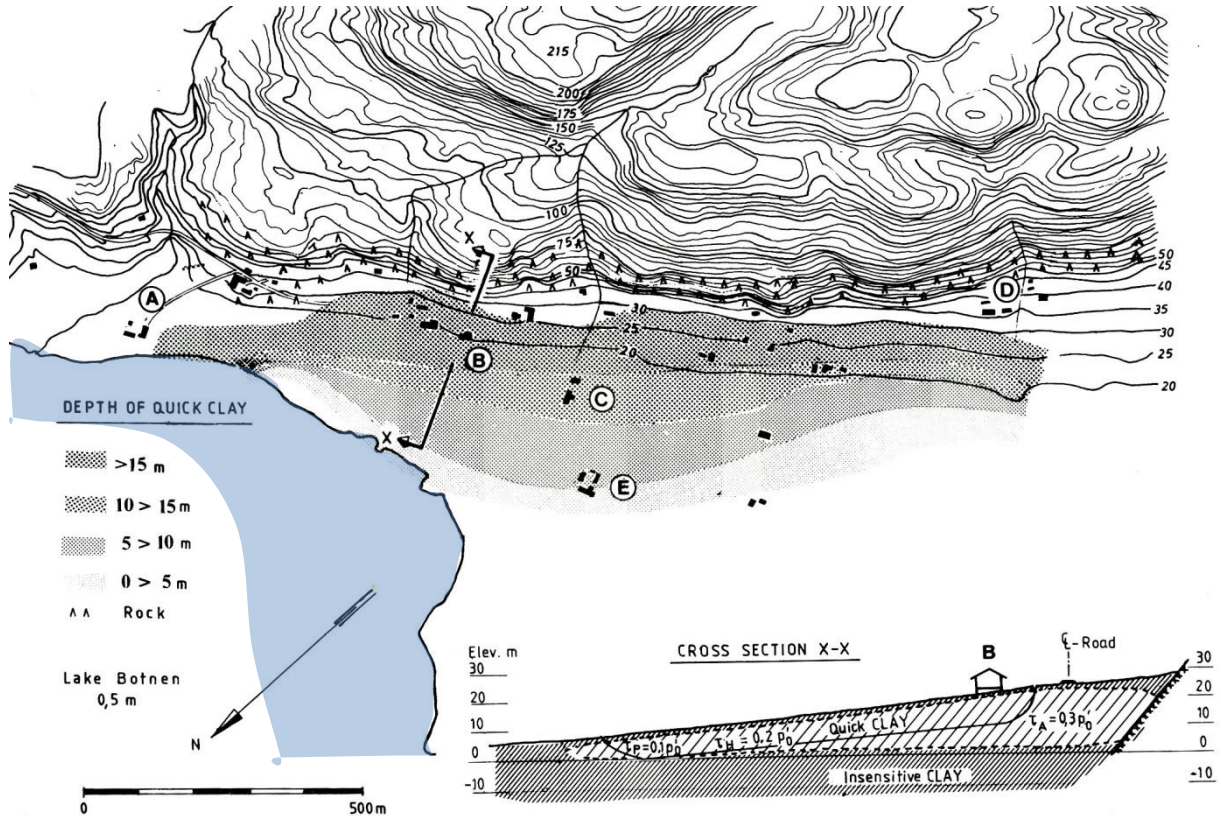


図 6 クイッククレイの分布と断面

(出典 : O.Gregersen(1981) : The Quick Clay Landslide in Rissa, Norway. The Sliding Process and Discussion of Failure Modes)



写真 9 地すべり終息時の状況 (出典 : 図 6 に同じ)

地すべりは内陸側へ 1 km あまり進んで終息した。その底面には地下水を水源とする水流がみられ、原地盤は元々水気が多かったことが推定される。



写真右側がボトネン湖。左側が地すべり跡。前方の家は地すべり後建て直されたもの。

写真 10 環境に配慮した石積みの護岸

地すべり跡地には写真 11 のように安定処理されたクイッククレイの残骸が残っているが、遠景は写真 12 や写真 13 のように地じりの痕跡は全く見られない。その多くは、現在は牧草地として利用されている。



写真 11 現在も農地の所々に残存するクイッククレイ



写真 12 地すべり跡

(地じり土塊は手前の斜面の牧草地を湖の方に向かって流動していった。地じりによって抉り取られたガリイは埋め立てられているが、その跡は辿ることができる。右前方矢印が津波被害を蒙った Leira 部落)



写真 13 対岸から望んだ地じり地

(5) 無数にあるクイッククレイ地盛り跡

図 7 はノルウェイ地盤工学研究所の Farrokh Nadim 氏の論文から引用した同国における過去 1,000 年間に発生した地盤災害分布図である。この図で、黄色で示したものが地すべり発生地で、その多くがクイッククレイに関係している。氏によれば、ノルウェイの国土の約 5,000 km² が軟弱な海成堆積物で被われ、その 20%の地域に鋭敏性の高いクイッククレイが堆積している。

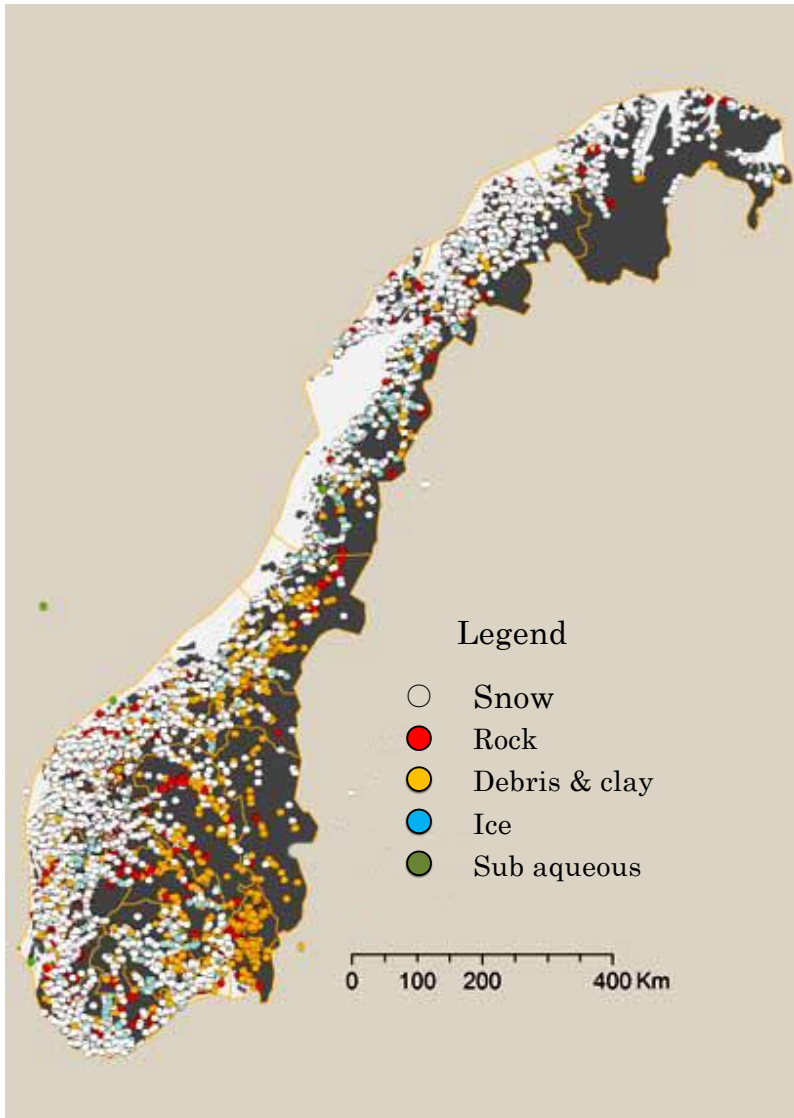





図 7 ノルウェイにおける過去 1,000 年間の地盤災害
 出典：Farrokh Nadim (Director of International Centre for Geohazards Norwegian Geotechnical Institute) : Isostasy and climate change the landslide and avalanche problem in Norway.

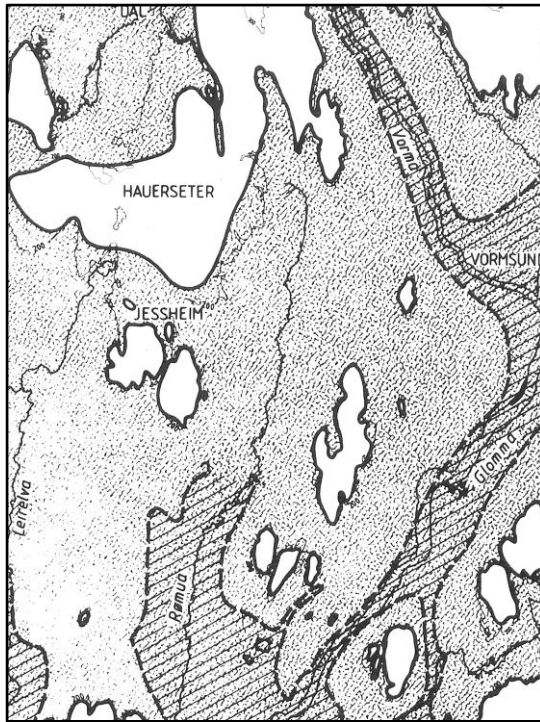
ノルウェイでは、クイッククレイに関係した地すべり災害は 4 年に 1 回の割合で発生しており、大きなものでは地すべり土塊は数 100 万 m³ に達する。本文で紹介したリサの地すべりは 20 世紀最大のものと言われ、面積は 330,000 m² 以上に達した。


ノルウェイにおける歴史上、最大規模の一つとされるクイッククレイ地すべりは 1893 年、トロンハイム北部の Verdal で発生したもので、土量は 5,500 万 m³ に達し、死者は 116 人を数えた。

さて図 8 はノルウェイ全土をカバーしている第四紀地質図の一例で、オスロから北東へ 70 km ほどのところにある Ullensaker 図幅である。図中青色系で塗色された部分は解氷期の氷河前線デルタ～海成の細粒堆積物からなる地域で、図幅の大部分はこれによって占められている。また図 9 はその時代の海岸線の位置で、これらの地域には後氷期にいたって、河川、クリーク、クイッククレイ地すべりなどに

よって削剥された痕跡が残されている。

その特徴はこの図 8 の一部を切り出して拡大した図 10 によく示されている。図中特に注目されるのは Slide scarp と説明されている “” のマークで囲まれている地域が数多くみられることで、これには Clay slide material (J) のマークが記入されている。さらに無数の Gully 記号 “” のほか、人工を加えて土地を平坦化した “” 記号の地域も目立つ。周辺には下部から上部へ、緑～薄緑部分のモレーン (Marginal moraine) ～漂礫土 (Till)、黄褐色部分の洪水堆積物 (Flood deposit)、褐色部分の泥炭 (Peat) ～沼地



 Shore-line during the deglaciation

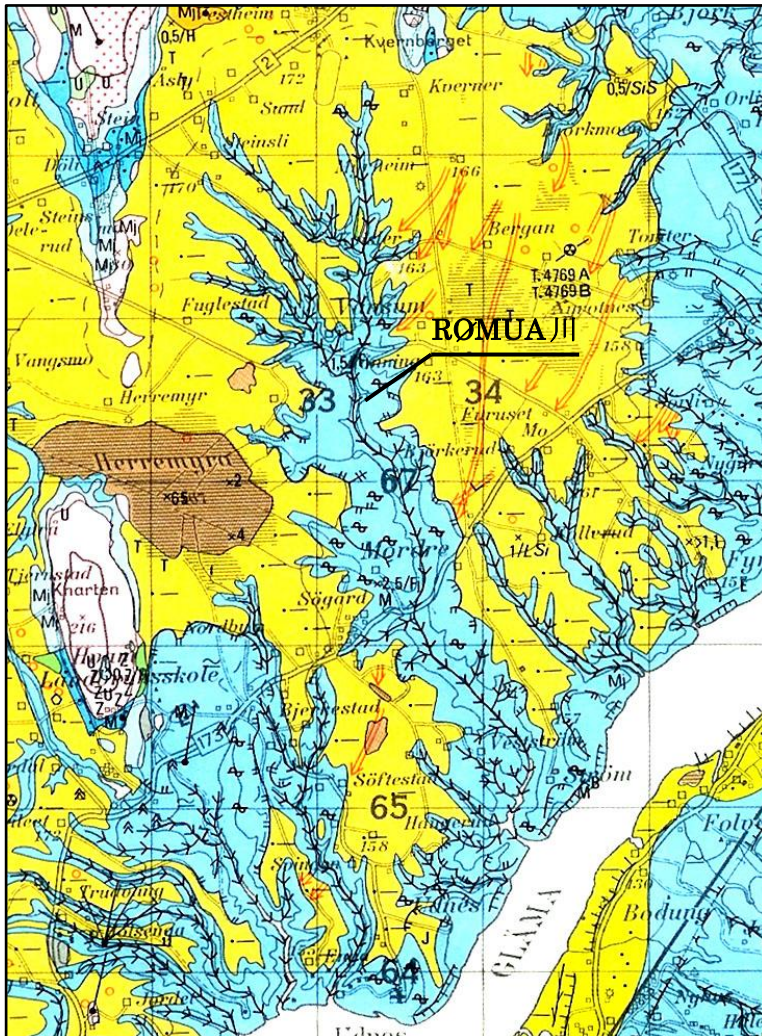
 Shore-line c. 9200 years B.P.

解氷期以後の最初の 1,000 年ばかりの間に図示の地域は陸化し、それとともに其処は激しい浸食の場にさらされることになった。残った堆積物は安定を失い、その後の無数の地すべりの発生に繋がった。

図 11 の RØMUA 川の流域面積 20km² の範囲内で、このような過程で発生した地すべりは 270 か所で確認されているが、実際にはそれ以上に達するものと考えられている。

図 9 解氷期の海岸線の位置

(図 8 の図幅に対応)



図にみる谷はいずれも地盛り崖で囲まれており、大規模なものではその谷の延長は 4km 以上に達する。

複数の地盛り地が連結して全体として谷状になったものと推察される。このエリアの中には集落も存在することから、地盛りは現在では終息し、今はその痕跡を留めているに過ぎない。






-  Fluvial erosion scarp
-  Abandoned channel
-  Gully
-  Slide scarp
-  Hill leveling

図 10 クイックレー性地すべりの跡 (図 8 の一部を拡大)

図 11 は図 10 の中央にみる RØMUA 川の横断面図で、断面線のうち、細い線は推定される平坦な原地形、凹凸の激しい太線は現在の地形である。NGU (Geological Survey of Norway, 1987) によれば、この起伏の激しい断面は地辻りによって堆積物が取り去られてできた地形である。

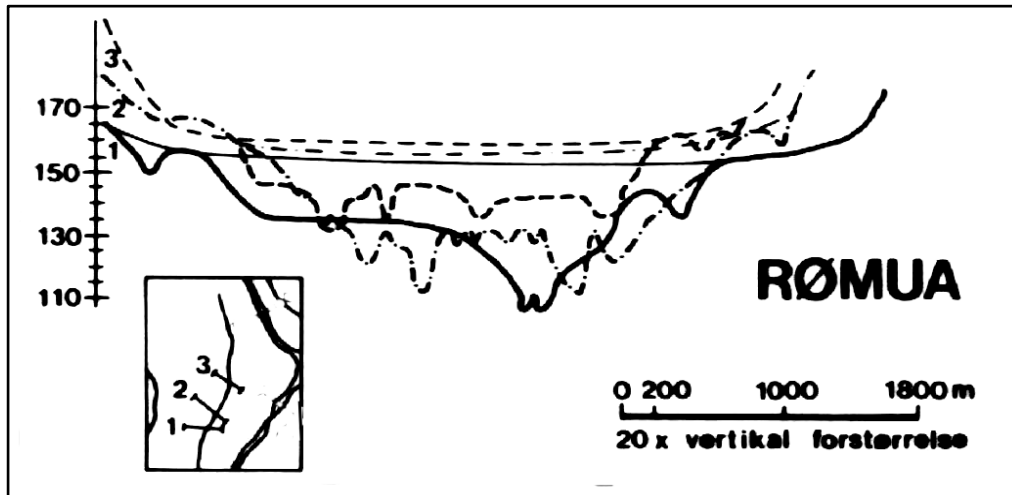


図 11 RØMUA 川の横断面

写真 14 は同じく NGU の資料から引用したものであるが、クイッククレイ地辻りの特徴と地辻り発生前の原地形が推定できる点で貴重なものといえる。

写真から原地形はマウンド状の高まりであったことが推定されるが、このような高まりは僅かであっても元々存在していた塩分濃度の高い間隙水の、融雪氷や天水の浸透による溶脱にとっては都合が良く、これが地辻りの要因の一つに繋がっていることはあり得ることである。



写真から原地形はやや小高いマウンド状をなしていたことが推察される。

液状化した地辻り土塊はガリィをつくって右の方向に向かって流れた。

写真 14 1954 年 5 月ノルウェー東南部 Borgen で発生したクイッククレイ地辻り

あとがき

本文は以前別のホームページに掲載した同名の稿に、その後得た情報を加えて加筆したものである