

長野縣青木湖岸地に崩壊地調査報告

尾原 信彦*

An Accidental Damage along the Margin of Lake Aoki, Nagano Prefecture

By

Nobuhiko Obara

Abstract

Water-level of Lake Aoki situated on the eastern foot of so-called N. Alps has been lowered about -20 m. this early spring, after accomplishing the civil engineering works of, the conduit for leading the lake water to an electric power-station. Meanwhile, the exposed shelf along the margin of the lake has been badly damaged by both gully erosion and landslide after a heavy rain. Collapse by gully erosion is remarkably dominant along the sandy beach, that is, NE. E. and SW. parts of the margin of the lake, whereas the earthslip is witnessed along the southern clayey shore. This clay is considered to be of the products from volcanic ash through weathering processes, and the author already has noticed on the presence of hydrated halloysite and montmorillonite therein, which are apt to provoke such landslide phenomena.

1. 緒言

鹿島川の水を迂回路路を通じて青木湖に引水落下(落差280m)させ、年間4,800万kWhの発電をしたうえ、さらに青木湖の水面を湯水期間に20m低下させて、隧道により南方12kmにある既設の発電所に導水し、年間2,100万kWhの出力増加を行う工事が、昭和29年秋に完成した。そして同年12月から湖岸西部の取水口(-20m)から水を抜いて湖面を漸次低下させたところ、30年2月になつて湖畔に露出した湖岸斜面が崩壊し始め、さらに3月には一層その崩壊が拡大し、湖畔の国道・鉄道および若干の耕地・家屋にまで災害を及ぼそうとする形勢になつた。

この種の災害について、現象の把握・原因の究明・対策の決定などを企図して、まず現地状況を踏査することとなり、筆者は30年4月18日から約1週間実状を調査し、さらに採取試料に2,3の実験を加えたので、こゝにその結果を報告する。

2. 位置および交通

青木湖は長野県北西部、北アルプスの東麓にある仁科3湖のうち、その最も北に位する湖水であつて、北側はすぐ低い分水嶺(佐野坂丘陵)を隔てて姫川の流域に接し、また同湖水の水は南流して、中綱湖および木崎湖を

經由し、高瀬川の本流に合流する。

青木湖に到るには、松本市から北上する大糸南線により大町市を経て梁場駅で下車すれば、約1kmで湖尻に達する。鉄道は青木湖の東岸を走り、前記の佐野坂の切通しを通過して姫川流域に下つている。

3. 青木湖周辺の地質・地形の概要

青木湖は丁度本州の地体構造上の大きな裂目である糸魚川—静岡構造線の通過する所に位し、したがつて湖西部と湖東部とは、その地質を全く異にしている。

3.1 湖西部

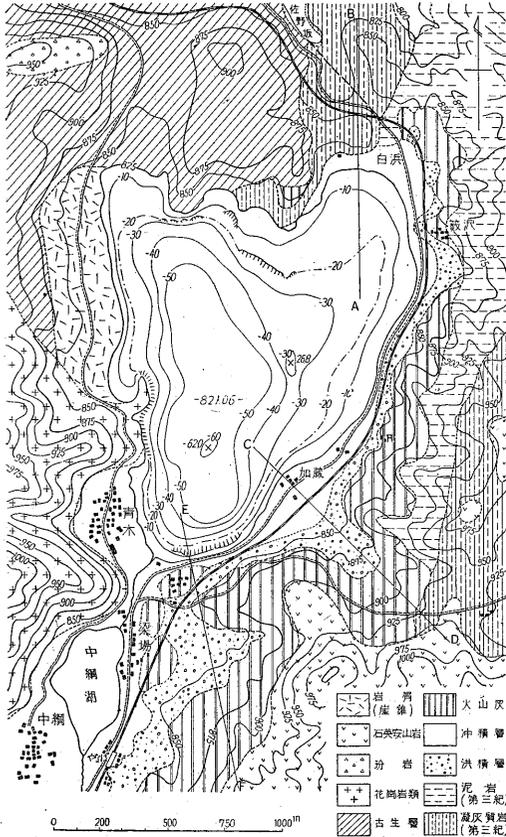
湖西の山地帯は標高の比較的低い(1,500m位)わり山が深く、そのために詳細な地質は明らかではないが、古生層・中生層に属する岩石類、およびそれに貫入した花崗岩類¹⁾で構成された山地が南北に連亘する。その山地の稜線から湖岸に達するまでの間に山麓階²⁾(Piemont Treppe)様の平坦面が存在し、そこから東はふたゝび急斜面となつて直ちに湖岸に達している。この急斜面を流下する沢の末端には新しい崖錐が南北に並んでいる。

3.2 湖東部

湖東の山地は湖西の山地より遙かに若い年代(第三紀中新世)に属する凝灰質砂岩・泥岩の互層と、それを被覆する薄い石英安山岩の熔岩流とでできた丘陵地帯であ

註1) 北アルプスの前山に相当する仁科山地。

* 地質部



第1図 青木湖周辺地質地形要図

つて¹⁾³⁾、その湖水側斜面には河川による侵蝕削磨の所産である碎屑物(洪積層)が堆積している。

この洪積層の上には、所々に最も新しい火山灰層(ローム層)がのっているのを認める。

青木湖の北東隅附近(白浜—鏡沢)には、凝灰質砂岩・泥岩(第三紀)が露出するが、さらに湖岸を南方へ加蔵部落へ向かうと、これに代つて礫混り砂層(洪積期)が現われ、その上部を覆う火山灰層も漸次顕著になってくる。

青木湖南東部に移ると、湖岸からすぐ東の比高5~10mの丘阜の存在に気がつく。これは白色の粘土性物質からなり、鏡沢・加蔵附近にみられる洪積期の未固結堆積物の層とはやゝ趣を異にし、この成因としてはかつて小川琢治が、粘土中に長石類の斑晶が顕著であるゆえをもつて、低位置水河の堆積物であろうと報じたことがあつた。筆者はこれを火山灰の風化した一種の粘土塊のようなものではないかと考えている^{註2)}。これはほとんど無層理の白色の粘土からなり、丘阜の前面の湖面下5~10m内外の箇所にて露出している粘土とほぼ同

註2) なおこれを湖成段丘であると称する人もある。

一のものである。

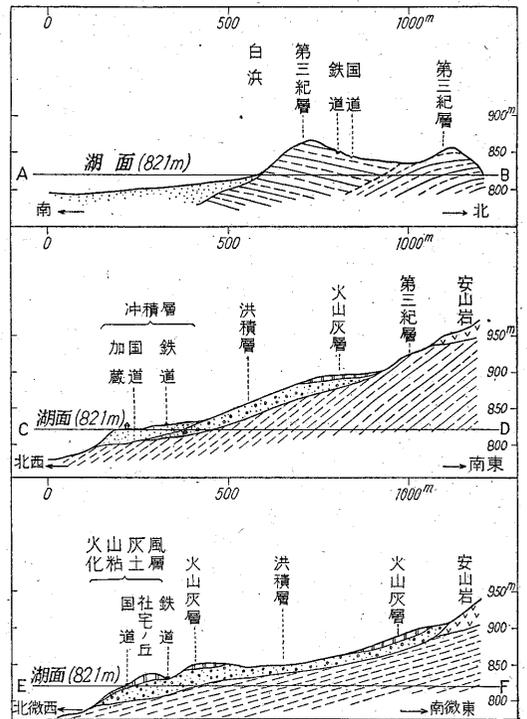
この丘阜は南方へ向かつて継続するのを追跡することができ、梁場駅の南東背後の岡もほぼ同一の粘土性物質からできている。この岡の背面にあたる区域には、火山灰層を被る洪積期堆積層があり、さらに東方へ追跡すれば次第に標高を増して、石英安山岩の山地に移り変わる。

3.3 湖北部

青木湖の北岸にある佐野坂丘陵は、東と西とから大規模な地じり起つて、姫川の古い溪谷を閉塞した際の遺物であつて、この丘陵の下半分は東側ほど厚い第三紀層の砂岩・頁岩の塊りからなり、上半分は西側からつてきた古生層粘板岩の岩塊らしいものからなつている。普通の地表調査だけでは、この「根なし地塊」の成因は説明困難であるが、たまたま筆者は湖面低下の時期に北岸を踏査して、下半分が新しい地層の塊りからできていることを観察して、上述の解釈を下すことができた。すなわちこの佐野坂丘陵は、糸魚川—静岡構造線には無関係の新しい地塊であると考えている。

青木湖は姫川本流源流部の谷が、東西から起つた地じりによつて閉塞された結果でできた堰止湖であつて、しかも青木湖の湖齢はきわめて新しい地質年代にできた——おそらく沖積期の前半頃——と推定される。

このことは田中阿歌麿の作製した青木湖深度図³⁾をみれば判然とする。すなわち、水面下の地形は北に開いた



第2図 青木湖岸断面地質予想図

河谷の地形を示しているうえ、湖底の標高と佐野坂丘陵の直ぐ北の低地(神城盆地)の標高とがほぼ同一の水準に近いことなどから推定される。

また土砂が湖底に沈積して湖水が埋没するに要する時間は、比較的きわめて短いのが常であるにもかかわらず、現在の最深点の深度が神城盆地とほぼ同一水準(-62m)を示し、しかも-50mの等深線内に包まれる面積が、全湖水面積の約1/4を占め、あまり埋没が進んでいないことはこの湖水ができてから未だそれほどの時間が経過していないこと、すなわち湖齢がきわめて若いということの証左であると考えられるのである。

4. 今次の湖岸崩壊について

4.1 災害の概要

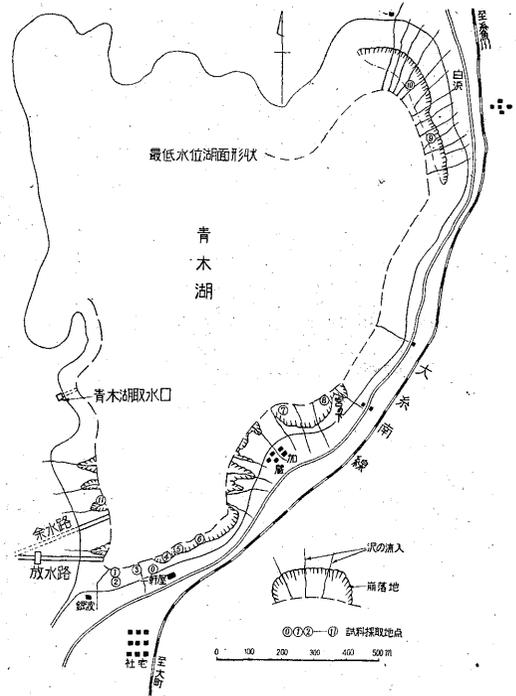
青木湖の湖面低下事業の通水は、昭和29年12月を期して湖西の取水口(湖面下-20m)から導水隧道によって開始された。しかし、減水の結果露出した湖岸に、30年1月中旬頃亀裂を生じ、まもなく湖岸斜面に滑り落ちる箇所を生じ、さらに2月下旬には、折からの豪雨による雪解水が湖岸の根雪の下を潜って湖中に注いだため、到る所で土砂が崩れ落ちるに至った。この頃湖面の低下は、最大計画量である-20mに達していたのである。その後漸次湖面水位は回復に転じたが、3月になって沢水の水量が増加するに伴ない、前記の崩壊地点における災害の拡大は止まらなかつた。筆者の踏査した4月18日から下旬にかけては、湖面は約-15m位になっていたが、天候も回復して晴天が続く、また応急措置が漸く効を奏し始め、一応崩壊の進行は止まって安定状態を呈するに至り、たゞ湖畔に生々しい崩土の跡が認められるのみであつた。

4.2 踏査当時の状況

踏査当時の災害状況はおよそ第3図に示す通りである。すなわち湖北の白浜附近から湖東の加蔵にかけての1帯の地は、急傾斜の砂浜をもつた湖棚に注入する沢水が、この砂浜を異常に深く侵蝕して砂を湖中に流し去り——いわゆる地隙侵蝕現象註3) 6)——、その跡は幾条かの雨裂地形となつていた。この種の崩壊地形は青木湖南西部の青木部落前面の湖岸斜面にも生じた。

青木湖南隅の湖尻附近には、すでに第3章で詳説したように、湖畔に粘土層からなる丘阜が迫り、平水位のときの汀線に沿って国道が通じている。この国道の水準から下方は、今回の湖面低下の結果初めて判明したのであるが、湖棚斜面もまた粘土層からできていた。これは予想外のことであつて、田中阿歌磨の作った深度図には湖底の底質が記号をもつて記入されてあるが、この地点は

註3) Gully erosion. 加速侵蝕ともいう。



第3図 青木湖岸災害状況図
数字は試料採取地点

明瞭に岩盤^{註4)}として記載されてあつた註4)。

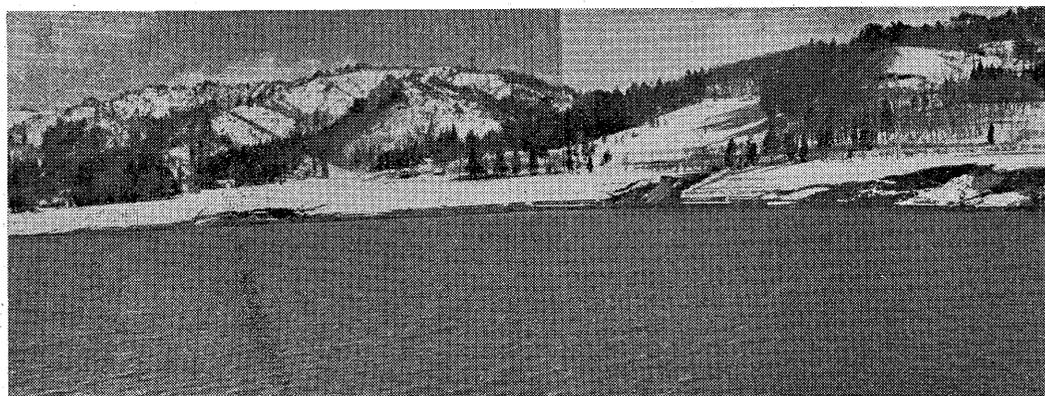
この露出した急斜面の粘土層は、後に述べるような理由から、湖面低下が著しくなるにつれて不安定となり、遂に湖中へ向かつて滑動^{註5)}を惹起するに至り、大量の粘土が水中に落下没入した。さらにこの地じりは背面へ向かつて進行し、順次後方へ亀裂を生じ、安息角まで崩れる形勢となつていた。しかし応急の措置——杭打ち工法・しがら蛇籠の埋設・玉石張りなど、昼夜兼行の突貫工事——が進められたために、この地点の地じりは理想的の安定ではなかつたが、ともかく暫定的な着着きを取戻し、筆者の踏査当時には平穩静止の状態を示していた。たゞ玉石張りを施行した箇所は、その後も粘土の緩慢な膨脹のために、玉石の垣が突出して所々緩みを生じていたので、玉石の張替を施して危険を防止する措置を必要としていた。

前述のように、今回の青木湖畔の災害は次のように2つの種類に分けて考察する必要がある。

(1) 砂地斜面に生じた雨裂式流失崩壊

例：白浜・藪沢・加蔵・青木附近に生じたもの

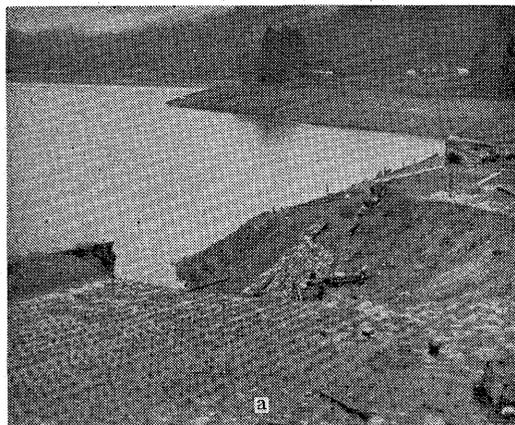
註4) 田中の測深調査時に用いられた採掘器具は非常に幼稚な円筒式鑽泥錘であつて、勾配の急な湖底ではサンプルが上つてこないで、その際は通常岩盤とするのが常識であつたから、この種の誤りが生じたものと推察される。



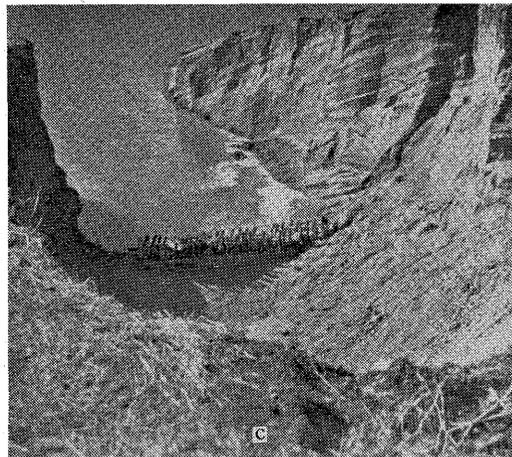
↑加蔵部落

↑鉄道に接近する部分

図版1 青木湖南隅の湖畔災害の状況

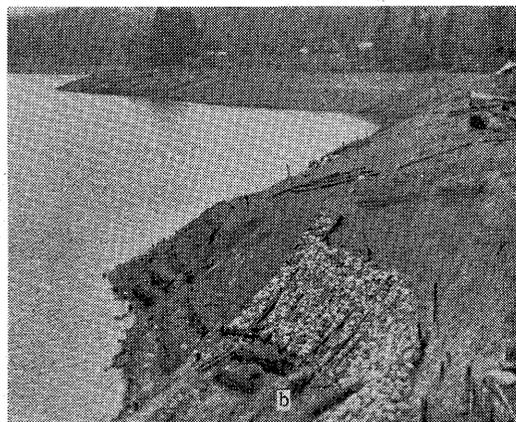


a. 水田に波及した箇所(地沈性崩壊) 地点6.



c. 雨裂性侵蝕の状況 地点9.

図版2 一軒屋から加蔵にかけて生じた災害の状況
(昭和39年5月) 水位 -16m



b. 粘土質部の地沈性崩壊箇所[地点4.]

(2) 粘土斜面に生じた地沈性の崩壊

例：湖の南東隅の俗称「銀波裏」から「一軒屋」
東方一帯にかけて生じたもの

4.3 雨裂式流失崩壊

南九州地方のシラス地帯の災害とほぼ同一の様式のもので、あまり固結していない砂・礫・火山灰などの堆積

地に特徴的に発生し易い。豪雨が降り続き、地中が水で飽和し、傾斜面を流水が急激に流下する際に、水蝕作用と飽水堆積物の揺変現象註5)とが、両々相俟って地表面の平衡を破壊し、水が鉛直方向に異常に浸透し、彫刻が内方へと加速度的に進行して行く現象である。そして流水方向の左右両側面は切り立って垂直に近い崖状を呈し、下刻 (deepning) が進むにつれて、両側面は崩れ落ちて、裂目の幅は広くなる。この加速侵蝕が始まると、きわめて短時間のうちに大量の土砂が流失してしまい、他方では下刻の進むにつれ樹枝状の谷が後方へ延びる。

この種の災害は、まず流水がこないようあらかじめ水路統制をして、崩壊の進展を防止することが必要であり、必ず樋溝のようなもので水を導き、さらに地表を固める工法を考案すれば一層完全に抑えることができる。

註5) thixotropy. 攪乱すると強度を減じ、含水量不変のまま放置すればふたたび強度を回復する現象をいう。



↑一軒屋

(昭和30年2月20日撮影) 湖面低下 -18.53 m

↑粘土性の丘阜

筆者が踏査した当時には、白浜・加蔵・青木においては、とりあえずブリキ製の樋溝が設けられ、一時的ながら流水統制がすでに実施されていた。異常な豪雨でも降つて流水が樋溝から溢れない限り、雨裂性崩壊は拡大しないようになっていた。しかし湖面が平水位に戻れば、その後の波浪と、それに伴つて生ずる沿岸流のために、前記の仮製樋溝は漂砂により埋没するであろうから、今年の冬にふたたび湖面低下が行われるまでには、あらかじめ少なくとも半永久的な措置を講じておかなければならないであろう。

4.4 地之性崩壊

この現象は一般的にいえば、斜面が重力に対する平衡を失い、傾斜角度を減じようとする作用である。

自然に発生する斜面の地之りの運動は比較的緩慢なのが常であるが、青木湖南東隅の場合は、湖面低下が割合に急激(0.2 m/day)に行われたために、異常なショックを与えたこととなつた。すなわち湖岸斜面下の土中に被圧水を飽和させたまま、徐々に空中にさらされて行つたことは、斜面を境として土中が相対的に漸次加圧されて行つたと同じ効果を与えたことになる。しかも粘土の場合は透水係数が砂に較べて遙かに小さい(1/500~1/5,000)ので、0.2 m/day位の速さで水面を低下させて行けば、粘土中の被圧水は粘土層から砂層の場合のように脱出することができず、粘土は一番圧力の弱い方向、すなわち露出した斜面の方向に膨脹するほかはない。このことは粘土がその方向へ向かつていくから移動する形をとることになる。しかも-20mに達した際には、-20m水準の箇所が最も強い加算された圧力を受けることになつて、こゝで地之りが起つたのであるから、大体粘土の粘性(引張り強度の限界)+摩擦力に打勝つた力が作用したことが明らかである。これは Terzaghi 教授の地之りの分類で過重流失というカテゴリーに属するものに該当する⁸⁾。

ある地点における土の粘性係数を算出するには相当面倒な各種の測定と演算を必要とするが、かりにそれができて、水面降下量の安全限界を決定しても、湖面を-20 m下げるといふ青木発電計画そのものを制約するようなことになつては無意味となるから、この種の解析研究は打切つておく。

5. 土質試験および成土物質の鉱物成分

踏査の際に採集した災害地点の砂・粘土類の標本12個につき、粒度分析・比重・含水量・液状限界の測定を行つた(第1表参照)。また地之りを起した地点の粘土標本5個のうち、とりあえず1個(一軒屋の南方15m, 平均湖水面から-5 m附近で採取)について電子顕微鏡撮影を行い、他の4個についても遠からず撮影を終了することになつている。

5.1 試験方法概説

粒度分析は篩分けとピペット法を並用し、第1表の第1欄のように百分比を出し、これより粒子加積曲線を試料ごとに作り、第4図に纏めた。この図から国際方式にしたがつて砂(1.0~0.05 mm)・シルト(0.05~0.005 mm)・粘土(<0.005 mm)の量をふたたび読取り、3成分を3角坐標にあてはめて、土砂の呼称を決めて参考に供した(第1表第2欄)。

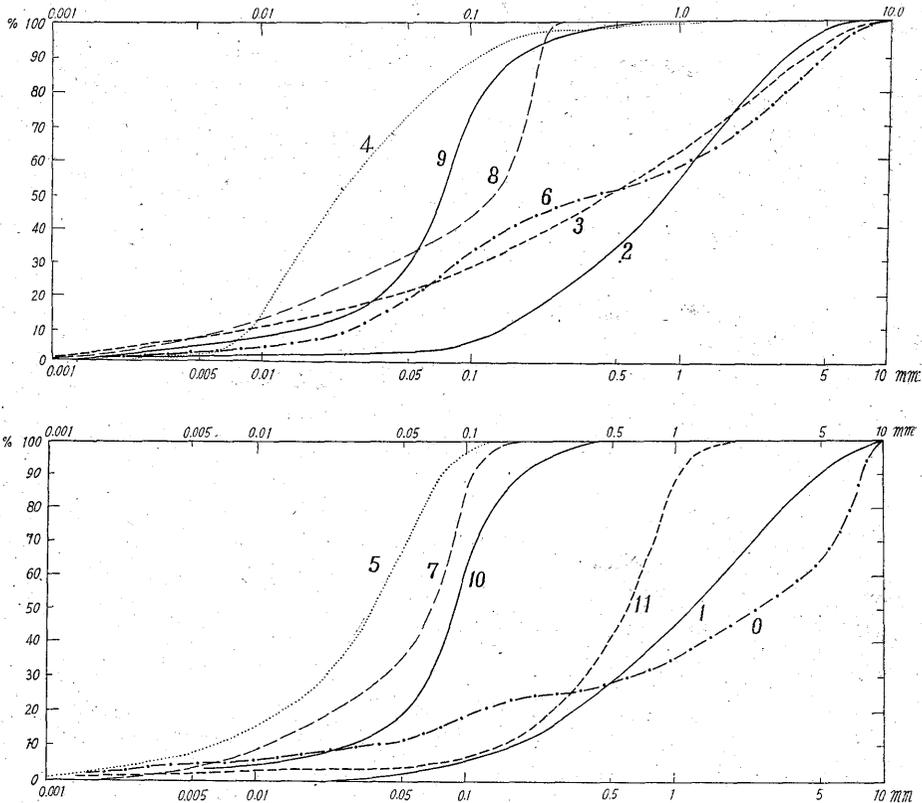
真比重はピクノメーターで測り、見掛比重は10ccの秤量瓶に容れて天然状態のまま重量を測つて算出した(第1表第3欄)。

含水量は電気乾燥器で水分を蒸発させた前後の測定値から算出したものである。これらの測定値から孔隙率も算出した。

液状限界(liquid limit)は蒸発皿中に試料を採り、規定通りのV字溝をへらで描き、10回皿を上下させる方法を用い、底部が合致したときの含水比を測つて決定したものである。

第1表 青木湖畔災害地採取試料土質試験結果

試料採取点	粒度分析 %					名称 (国際式)	比重		孔隙比 %	含水比 %	液状限界 %
	礫 >2.00 mm	粗砂 2~0.25 mm	細砂 0.25~ 0.05mm	シルト 0.05~ 0.01mm	粗粘土 <0.01 mm		真比重	見比 掛重			
0	53	22	13	6	6	砂質ローム	2.32	2.22	20.8	13.4	
1	34	51	13	2		砂	2.56	2.08	28.0	11.2	
2	23	58	17	1	1	〃	2.47	2.28	16.0	6.8	
3	24	36	19	11	10	シルト質砂	2.32	2.13	20.5	13.3	
4		3	25	59	13	砂質シルト	2.31	1.53	61.6	42.0	73.6
5			31	53	16	〃	2.02	1.42	65.5	50.8	91.3
6	31	24	26	14	5	シルト質砂	2.10	1.82	34.5	24.2	
7			63	28	9	〃	2.44	1.74	50.5	30.7	40.9
8		1	67	19	13	〃	—	1.29	—	70.0	
9		5	67	20	8	〃	2.20	1.70	46.5	30.5	42.8
10		5	75	15	5	砂	2.08	1.89	37.5	30.9	
11		72	24	2	2	〃	2.50	2.10	26.5	12.2	



第4図 青木湖畔周壊地採取試料の粒度加算曲線 (12試料)

5.2 測定結果の吟味と解釈

真比重については、試料12個のうち腐植土 (Loc. 8) を除けば、いずれも 2.0~2.5 間の値をとり、大体において災害の烈しい箇所の方が比較的低い値をとる傾向

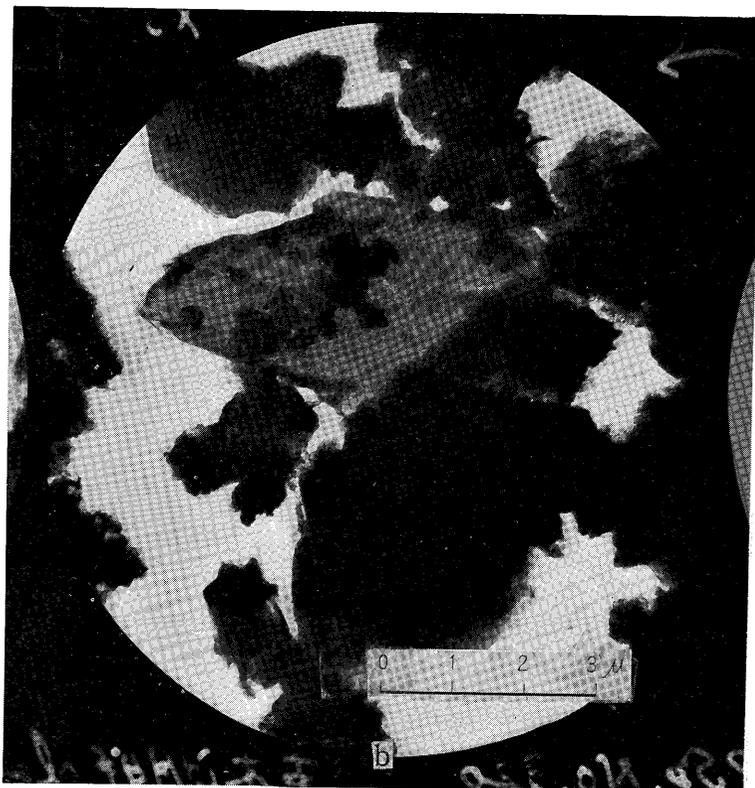
をもっているといえないこともないが、絶対的な意義があるわけではなく、単に石英粗面岩質の火山灰起源を暗示する位の意味しかないようである。

加算曲線の傾きが急な試料は比較的粒径が均一な試料

図版 3 青木湖耐災害地において検出された粘土鉱物の電子顕微鏡写真 (砂川技官撮影)



a. 加水ハロイサイト(松葉状のもの), 地点0 (一軒屋の西北西 70m), 倍率×75,000倍



b. モンモロロナイト (木判状のもの), 地点 5(一軒屋の北北東 80 m), 率倍×10,000 倍

c. モンモロロナイト (平行 4 辺形のもの), 地点 7 (加蔵の北 100 m), 倍率×9,300 倍



第 2 表

試料採取地	液状限界 (L)	含水比 (M)	M/L	備考
4	73.6	42.0	0.571	湧水あり
5	91.3	50.8	0.557	"
7	40.9	30.7	0.750	"
9	42.8	30.5	0.712	"

を意味するが、同曲線の緩い勾配の試料(異質の土砂)に較べて、その地点における災害の烈しさが認められた。このことはある程度の目安となるようであり、かつまた意義があるといえないこともない。

液状限界の測定を行ったものは、12個の試料のうち第2表に示す4個のみであった。なおこの表には液状限界と対照される天然含水比(M)を掲載しておいた。両者の比(L/M)は、一応その試料の安定度を示す目安となるものといわれているが、試料の採取日が4月21日であつて、湖岸の斜面が干上つてから約100日以上を経過しているのて、数字のうえからみても割合に安定しているのであろう。

なお地点4と地点5は含水比の値がやゝ高いので、あるいは最も地氾りを起し易いといわれる粘土鉱物モンモリロナイトが若干混在しているのではないかとこの予想がたてられる⁹⁾。

5.3 電子顕微鏡による粘土鉱物の判定

一軒屋の南15m、平均湖水面から5m下つた玉石張りをした箇所であつた試料を、本所鉱床部鉱石課砂川技官に依頼し、電子顕微鏡で10,000倍に拡大して撮影し、さらに引伸して写真判定をしたところ、大体「加水ハロイサイト」、「モンモリロナイト」であろうとのことである。

加水ハロイサイトの化学式は $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$ であつて、きわめて微晶性のもので、火山灰から一旦アロフェーンとなり、さらにこのものに進化成長したもので、一層時間がたてばモンモリロナイトとなる¹⁰⁾。地氾地の粘土中にはこの加水ハロイサイトがしばしば含まれていることが知られ、信州茶白山の地氾地からもこれが検出されたと報告されている¹¹⁾。なお示差熱分析を施せば、同時に混在する他の粘土鉱物の完全な検出が可能となるであろうが、まだ試みていないのではつきりしたことはわからない。

いずれにせよ、青木湖南東隅の地氾性崩壊箇所には、地氾りの原因となる粘土鉱物が検出されたから、いままで行つてきた応急措置はともかくとして、今後はこの地点の粘土について抜本的な対策を樹立することが緊急の課題であると考えられる。

6. 対策について

筆者は土木技術者ではないが、以上論じてきたことから一応所見を述べておく。

青木湖南東隅の地氾性崩壊箇所は、現在応急の措置で地氾りは静止しているが、このまゝでは毎年湖面を低下するたびに同じような災害を発生させる可能性がある。したがつて被害を受ける対象である国道を移転させることが一番早道ではないかと考える。もし地氾土塊の除去をしたり、あるいはコンクリートで地氾土塊を固結することなどは、現地の状況が急勾配であり、工事対象がきわめて大きいので費用が嵩むし、難工事となることは必至である。道路のつけかえならば用地買収費と道路建設費だけで済み、地形からいつて社宅のある岡をさらに迂回する路線ならば、僅か600m位でしかも難工事にはならず、したがつて建設費もきわめて少額で済みそうである。

鉄道線路が最も崩壊地に接近する箇所は、幾分湖岸斜面の勾配が緩くなつており、また長尺の杭打ちも可能であるから、部分的には悪質の粘土塊を除去してコンクリートで置換え、その他は鉄筋コンクリートで地固めするようにすれば、大体災害は防止できるのではないかと考える。なお地下水状況をよく調べ、排水工事を完全にしておく必要がある。

加蔵から白浜まで、ならびに青木部落先の雨裂式崩壊箇所は、沢水の流水を1~2本の溝に統制・集約し、しかも半永久的に施行することとし、なお別に砂地の表面をなんらかの新方法(薬液注入など)で固結することが望ましいが、将来の研究を期待したい。

7. 結 語

1) 青木湖が糸魚川-静岡構造線の通過する所に位している関係で、同湖周辺にはその影響が地形・地質に露われているけれども、これらが今次の災害に直接的な因果関係をもっているという事実は、ほとんど見当らなかつた。

2) たゞ、青木湖の現水面下に保存されている旧姫川上流部の急峻な谷壁地形と、湖水埋没過程の所産である堆砂^{註6)}、あるいは湖南瀕岸部にある粘土性物質からなる丘阜^{註7)}との間に、湖面の人為的低下という衝動(shock)を通じて、今次の土地災害の発生する素地が醸成されたということは認められる。

3) 青木湖畔の崩壊災害は、白浜・加蔵・青木部落前面の砂地にてきた雨裂性侵蝕現象と、湖水南東部の粘土土塊の地氾性崩壊との2種類に区別される。

註6) 湖棚に沈積する未固結の土砂類をさす。

註7) 成因は湖岸段丘であるか、または火山灰層の風化して残存したものか、いまのところ不明である。

4) 前者は砂地の湖岸斜面に雪融水が急激に流下したために生じた gully erosion であつて、南九州のシラス地帯における災害とほぼ同一の性格のものである。これに対しては、沢水の自然注入を制御・集約するような半永久的な1~2本の溝の構築を促進し、併せて砂地表面を簡単に固結するような、なんらかの研究^{註8)}が行われることが望ましい。

5) 後者は湖水南東部に粘土でできた急勾配の丘阜が湖畔に迫り、しかもこの粘土は湖面以下でもほとんど勾配を変えずに-50mの湖底にまで続いている。この斜面の土質は「加水ハロイサイト」・「モンモリロナイト」からなることが明らかとなつた。これらの粘土鉱物は元来地じりを誘発し易いものである。

湖面低下の工事を行い水を抜けば、それまで水圧で平衡状態にあつた斜面の粘土中の被圧水が膨張しようとする運動を起し、遂に斜面の粘土の粘着力に打勝つてこれを破り、こゝに地じりが発生するに至つたものである。

6) 後者においては 現在杭打ち・蛇籠・しがらの埋没・玉石張りなどの応急処置により、地じりは一応停止しているが、毎年水位低下を繰返せばその都度同様の地じりを起すことが予想される。

7) したがつて今年末までに前述の丘阜を迂回する約600mの新道を建設し、地じりの再発による直接の災害を防止するのが最も経済的な対策であると考えられる。

現在湖畔を通つている国道はそのまま地じりによつて崩壊落下するに任せることとし、たゞ鉄道の最も湖畔に接近する部分のみは湖岸斜面の勾配もやや緩いから、悪

註8) アルミン酸ソーダによる砂の固結のようなもの。

質粘土部分を撤去し、コンクリートを注入して地固めする工事を急がねばならない。

(昭和30年4月調査)

参考文献

- 1) 横山次郎：日本地方地質誌「中部地方」, 第4版, 朝倉書店, p. 89~91, 166~174, 1954
- 2) 辻村太郎：新考地形学, Vol. 1, 第14版, 古今書院, p. 245~251, 1942
- 3) 笹倉正夫：姫川上流沿岸の地質概報, 地球, Vol. 17, p. 33~44, 85~100, 1932
- 4) 小川琢治：中央日本の洪積世水河作用について, 地球, Vol. 16, p. 321~332, 401~408, 1931
- 5) 田中阿歌麿：日本北アルプス湖沼の研究, 信濃教育会発行, 古今書院刊, p. 140~145, 1930
- 6) 南九州シラス地帯調査連絡協議会：シラス地帯, 熊本農地事務局計画部発行, p. 27~29, 1955
- 7) 田中阿歌麿：前掲書, p. 144
- 8) 福岡正巳：地じりとその対策, 第2版, オーム社刊, OHM 文庫 No. 303, p. 4~5, 21, 1955
- 9) Grim, Ralph E: The composition in relation to the properties of certain soils. "Report of Investigations" No. 146, State Geol. Survey of Illinois, p. 15, 1950
- 10) 須藤俊男：粘土鉱物, 岩波全書, 178, p. 188, 192, 196, 1955
- 11) 福岡正巳：前掲書, p. 19