

9. 甚之助谷地すべり区域の地質学的考察及び

第5号堰堤倒壊防止工について

建設省北陸地方建設局手取川工事事務局

吉 岡 良 朗
天 野 宣 武

(1 1) 甚之助谷の概要

甚之助谷は石川県手取川左支牛首川左支柳谷上流にあり、その水源を白山とこれに並ぶ別山（ $2,399m$ ）の中間鞍部より発している。白山は中部日本を縦断する山岳地帯の西縁、加賀、美濃山地の南端にあり、コニーデ型の休火山で数個の火口湖を有し、その主峰は御前峰と呼ばれ標高は $2,702m$ である。この他石川、岐阜、富山及び福井の各県との県境をなしている諸峰を水源として牛首川及尾添川が手取川上流流域を形成している。牛首川上流では甚之助谷、万才谷、別当谷、赤谷等が合して柳谷となるが、このうち甚之助谷と別当谷及び赤谷上流部は崩壊、地すべりによる荒廃が著しく、中でも甚之助谷は広範囲に及ぶ地すべり地帯を擁し、激しい崩壊も加わつて他の溪谷と様相を異にしている。その東南側（左岸側）は、白山の火山活動によつて流出した熔岩が約 $100m \sim 150m$ の急崖をなしており、その崩落した土砂が左岸に約 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の傾斜をなして堆積している。北西側（右岸側）は厚い崩積土に被われ、これが別当谷との分水嶺を形成している。甚之助谷はこの崩積土の上を流過してこれらを洗掘し、そのために溪岸はV字型をなして二次的に欠潰し、地形はますます急峻になっている。甚之助谷に合流する万才谷の下流部は、噴出時期を異にする二段の熔岩を侵蝕して不動滝と呼ばれる二段の滝をもっている。右岸側の崩積土層の下部には砂岩及び頁岩の互層が風化及び破砕して露出している。

手取川上流々域は過去70年間に少くとも5回の大災害を奏しており、特に昭和9年7月のものは規模が最も大きかったと言われている。此等の災害の都度、水源山地には多数の崩壊を発生して多量の土砂を生産流送して、下流に多大の被害を与えてきた。特に別当谷には数百万 m^3 にも及ぶ大地すべり性崩壊があり、昭和9年にはその流下土砂が別当谷を埋めて甚大な被害を与えている。

これらの対策として大正10年以降、甚之助谷には砂防工事が施工され、万才谷との合流点より始つて下流部に19基、上流部に23基程度の階段状堰堤群、及び流路工、山腹水路工、植栽工、谷上工等が施工された。此等の構造物の中、流路工、山腹工等はその後災害によつて殆んど失われ、又、甚之助第7、8号堰堤は昭和5年の災害時に完全に埋没し、第15、17号堰堤は倒壊破損している。此等の堰堤群の基礎堰堤の役割をなしている甚之助谷第5号堰堤（高16.36m、長55.36m、水通天端幅4.5m）は大正末期に建設されたものであるが、完成後間もなく左岸袖部に亀裂を発生すると共に左岸岩盤との間に食い違ひを生じ、以後、現在までの36年間に約11m下流側に移動し両袖部に数ヶ所の大亀裂を生じ、右岸では袖の一部が本体と完全に分離し、又、左岸では岩盤と全く分離して袖の一部を欠損している。又、滑動と共に前橋を始め、竣工當時の下流法が1分であったものが、現在は逆法が1分程度ついて今やまさに倒壊寸前の如き様相を示している。この堰堤が倒壊した場合、その堆砂地盤上に基礎を持つ17 ～ 23基の堰堤群がその基礎を失つて將棋倒しになる可能性があり、膨大な土砂を下流に流下せしめて、手取川下流に重大な災害を与える可能性も考えられる。

(2-1) 甚之助谷附近の地質構造

手取川中流以上において地殻を構成する岩石は、基盤となっている飛騨片麻岩類とこれを不整合に被う中生代の手取統及び第三紀層とこれ等を貫く種々の岩脈類があり、最上部には白山火山の噴出物である熔岩、角礫岩及び凝灰岩等が白山を中心として次第に厚さを減じながら被っている。又、手取川中流部以下では多くの河岸段丘が数段に発達し、中には現河床より20mも高い所に存在するものもある。これ等の地層を上部のものから順に列記すると次の通りである。

- (a) 熔岩、角礫岩及び凝灰岩、又は段丘堆積物
- (b) 緑色凝灰岩及び凝灰質礫岩
- (c) 赤岩砂岩層上部及び下部
- (d) 糸島砂岩頁岩互層
- (e) 五味島礫岩層
- (f) 飛騨片麻岩類

この内、甚之助谷附近には(a),(c),(d)が主として分布しているがそのほかにこれ等を貫く岩脈類があり(b),(e),(f)の露頭はみられない。又、甚之助谷では段丘堆積物の一種と考えられる岩屑層が比較的広く分布しており、これが地すべりに大きな役割を果している。次に甚之助谷に分布する岩石、地層について簡単に記述すると、

i) 熔岩、角礫岩及び凝灰岩、又は岩屑層

これらはすべて第四紀、即ち沖積紀又は洪積紀に堆積してもので、本地域に発達する各種地層の中で最も新しいものである。この内、熔岩、角礫岩及び凝灰岩は、勿論白山火山の噴火に伴うもので、岩質は榎礫石及び角閃石を含んだ石英安山岩が多く、甚之助谷より下流では次第にその厚さを減じている。一方、段丘は上流部ではあまり発達せず、手取川中流部以下に数段に広く発達する。角礫石、凝灰岩等火山砕屑物は未だ充分に固結していないため、しばしば大崩壊を惹起する

事がある。この他に甚之助谷及び別当谷の一部には、前述の火山碎屑物や後述の頁岩及び砂岩の風化変質した岩片が雜然と入り混って形成された岩層層が比較的広く分布している。

ii) 赤岩砂岩層上部及び下部

本層の生成時期については、いろいろの説があるが、これは本層に化石が乏しく決定的な研究が未だなされていないためであるが筆者は本層を白堊紀初期のものと考えている。この地層は上部と下部に分けられ、上部のものは主として、花崗質灰色中粒又は粗粒の砂岩で、所により非常に淘汰琢磨の良い古生層由来の円礫を多産する。一方、下部のものは後述の糸島砂岩頁岩互層の漸移帯ともみられる特徴をもち、上部層に近づくにつれ次第に花崗質灰色の砂岩に漸移し、上部層と同様、ところにより円礫を多産する。本層の分布は手取川上流に限り、下流部では全くみられない。甚之助谷上流部にも存在するが、亀裂に富み著しい変質を受けている。本層の厚さは200m～300m位と推定される。

iii) 糸島砂岩頁岩互層

手取統は手取川上流地域では、上部から赤岩砂岩層、糸島砂岩頁岩互層、五味島礫岩層の三層からなっており、糸島砂岩頁岩互層は、この手取統の主要部をなしている。本層は手取川中流部より最上流部に迄広く分布し、厚さは150m～200m位で植物及び動物化石を多産し、後述の五味島礫岩層の上に整合的に累層している。本層は黒色細粒の砂岩と頁岩の互層で、多くの断層のため著しく攪乱され、それに伴う風化と変質のため本層の発達する各所で地すべりを惹起している。本層の生成された時期はジュラ紀で、その産出する化石等から判断して湖成堆積物であるとされている。

以上が甚之助谷附近に分布する各地層のあらましであるが、此等白山

火山基盤となつてゐる各地層を切つて多くの断層が発達している。その大きな特徴は上流部ではその方向が略 N ~ S であるのに下流になるほど NE ~ SW に変向し、更に下流である鶴来町附近では殆んど E ~ W の方向性をもつ様になる。これに対して中流部から上流部にかけて NE ~ SW の方向性をもつ別系統のものがいくつか見られる。しかも注目に値するのは、この兩者共現在の手取川上流地域の地形を決定した比較的新しい断層であると推定される事である。甚之助谷ではこの兩者が交錯しているものと考えられる。即ち、甚之助谷を縦断する N ~ S 性のものと柳谷から竜ヶ馬場溪へ抜ける NE ~ SW 性のものがあり、更にこの他にも落差の小さい急傾斜のもの及び層理に平行したものが無数に発達しており、これ等の断層は多くの場合、石英玢岩、輝緑玢岩等の岩脈を伴ふことがある。褶曲は一般にゆるやかで、普通は 20° ~ 30° 前後の傾斜でゆるいうねりを示している。甚之助谷附近は到る所鉱泉が湧出するが湧出箇所は基盤の手取層群とこれを被う白山火山碎屑物や岩屑層との間であることが多く、鉱泉の湧出の密な所は破碎、角礫化（岩屑化）が著しい。以上のような断層、褶曲、及び温泉の湧出等が原因となって甚之助谷は激烈な破碎を受け温泉、鉱泉によつて風化変質し、遂に現在の地すべり地を形成するに至つたものとみられる。

(2 - 2) 甚之助谷の地すべり機構

i) 糸島層の破碎と風化

糸島層は本地域では大体沢沿いに発達し山陵部では殆んどみられない。この層は沢の縦侵蝕を受け易く V 字形の溪谷をつくる傾向があり、細互層で頁岩の本末の性質から細かい岩片に割れ易いので岩屑化する事が多い。断層、褶曲等による破碎に対して極めて脆弱で、モザイク状に碎け、特に断層による破碎に対しては砂状に粉碎してしまう。このうち、モザイク状の破碎は本地域に分布する本層の殆んど全部が該当する。又、これに加えて本地域各所に湧出する鉱泉が本層中に滲透して、この岩片を風化変質して更に軟弱化している。これにより破碎を受けた糸島層の多くは、温泉変質のため黄褐色又は黒灰色の温泉粘土度を挟在している。この様にしてモザイク状又は砂状、及び温泉粘土化した糸島層は非常に多量の地下水又は雨水を吸収して著しくプラスチックとなり、わずかな誘因によって容易に崩落又は滑動して、以前からの崩壊土に加えて新たな岩屑を形成するのである。

ii) 赤岩層の破碎と風化

赤岩層が岩屑化する過程は糸島層と著しく対照的である。即ち赤岩層は灰白色花崗質の砂岩で、所により淘汰、琢磨の良い円礫を伴って礫岩になっている。したがってこの種類の岩石の性質として、一般に亀裂に乏しく比較的崩壊し難く、崩落する時には一辺 ~ 10 m に及ぶ大塊のまま累積し天然の砂防ダムを形成する事がある。即ち機械的な崩壊に対しては抵抗性が強く、糸島層と対照的である。ところが温泉変質に対する抵抗性は糸島層よりむしろ弱く、山陵部を除いて沢沿いの赤岩層は到る所で温泉変質を受けて砂状から温泉粘土状に風化変質している。この場合糸島層の様に岩片として残っているものは少く、赤岩層に含まれる円礫を除いては殆んどが白色又は黄色の砂又は粘土となっている。その変質の仕方は、亀裂又は表面等の鉱泉と接触する

箇所より次第に深部に及ぶ、更にこれは糸島層及びその他の岩石地層に対してもしえる事であるが、冬期間の凍結（霜の作用）による機械的風化作用がこれに拍車をかけている。この様にして母岩より崩落して、糸島層の岩屑や安山岩の岩屑及び火山碎屑物等と入り混り、孔隙の多い未固結で極めてルーズな新堆積物となる。

iii) 甚之助谷の地すべり機構

甚之助谷地すべりは単一なすべり面をもつ普通の地すべりとは著しくその機構を異にする。即ち大きく分けて三種類の性質の異なる地すべりよりなっており、第一の型は糸島層又は赤岩層の地層内において特に破碎及び温泉変質の激しい部分で、頁岩又は砂岩の砂状化、粘土化が進み、これに豊富な地下水が滲透してすべり面を形成する。この場合、地層内の層理に平行した断層が大きな役割を果たしている様である。この型のものは、そのすべり面の深度が最も深く、地表から15m以下75m位迄の間に数枚存在するものと考えられる。その異動速度も方向も必ずしも同質のものではなく、例えはある断面をとつてみた場合、最深部のものがその上にあるすべり面より活発な運動を示す事もあり、それよりも上部にあるものは前者より緩慢であるが、方向を前二者と異にする。という事もある訳である。従つてこの場合、地表面で測定した速度と方向は、数枚のすべり面による滑動速度と方向が合成された結果に他ならない。

地すべりの第二の型は前章に述べた岩屑層中にみられる。これは岩屑物の厚い堆積層の比較的下部に形成された数枚のすべり面によるものである。この型が形成される過程は恐らく次の様な理由によるものであろう。即ち、岩屑物が次々に堆積した過程で、ある時期に温泉変質より生成された粘土を主とした岩屑が層をなした場合と、ただ雖然と岩屑が堆積し、その下部で何等かの刺激によりその堆積層のもつとも軟弱な部分が少しでも移動した場合、風化変質して砂状になっていた頁岩又は砂岩は、極めて容易に微粒子化して粘土となる。この事は

簡単な実験によつて確認されている。即ち、風化変質し砂状になった岩屑を二等分して、一方はそのままで粒度分析し、もう一方は指先又はヘラで軽くすり合せてから粒度分析した結果を比較する事により明瞭にその粒度組成の違いが認められた。

第三の型は同じく岩屑層の上部に認められるものである。これは岩屑層の上部の孔隙の多い全く未固結でルーズな部分が、すべり面を形成する事なく重力方向に向つて匍行運動を行なう場合である。これは本地域の地すべりの中で最も表層的なもので、その生産土砂の絶体量は少ないが、一面においては最も活動的であり、豪雨、雪崩等により匍行運動から一挙に地すべり性の崩壊という過程をたどるものもいくつか認められている。

以上に述べた様に甚之助谷地すべりの機構として三種類の型があるが、そのいずれの場合にもその活動力の立役者となっているのは、地すべり地特有の地下水又は伏流水である。特に岩屑層の風化の進んだものは含水量が多く、例えば甚之助谷左岸で第5号堰堤上流約100m附近に堆積した岩屑は、足がすぶすぶと沈む程で、その稜線上でさえ、指で孔を開けると直ちに水が溜まる位である。この保水力の良さは、この岩屑層の主体となっている温泉変質による黒灰色粘土にその原因があるとみられる。そして岩屑層のうちでもこの黒灰色の温泉粘土を含む量が少ない所では、透水性がやや大きいため含水量も少なく比較的固結度が高くなっている。又、甚之助谷地すべりの特徴の一つとして、前述したように地下水は多くの場合、保水能力の大きい粘土混りの岩屑中に一様に含まれており、又、伏流水は実際には極く河床に近い部分の地下では水脈として明瞭に認められるものもあるが、他の部分では水脈といえる程のものは現在迄にあまり発見されていない。然るにこの溪流に面した所では至る所に湧水があり、この地すべり地帯も他の例に洩れず地下水又は、伏流水が豊富である事は明白である。この説明として筆者は次の様に考察した。即ち、当地域に於ける調査が未だ不充分で、大きな水脈も現在

迄に見られていないという考え方、もう一つは、糸島層の特性である所の、地表に近い或部分の頁岩層の場合はモザイク状に破砕している為、地下水はある一定の通路を通らずモザイク状の頁岩の空隙を縫って細脈となって流過し、比較的湧出孔に近い所で合流しており、又、岩層層中においては地下水が一様に含まれているため水脈は全く存在せず前者との境界面においても前者の中に滲透してしまうため水脈と言える程のものに発達しないという考え方で、今の所そのどちらともいえないが後者である様に思われる。

(2 - 3) 甚之助谷の地すべり対策(全般)

甚之助谷の地すべりに対してどのような処置を施したらよいかという事はすでに「昭和35年度甚之助谷地すべり調査報告書」にも記載されているが、それはそれとしてここでは筆者として補足したい事を述べて置きたい。まずこの地すべり対策として大きく分けて積極的な方法と消極的な方法とがあり、前者は排水ボーリング、水路工等により地すべりを停止又は緩和せしめる方法であり後者は前者によっても尚滑動を続ける場合に供給される有害な土砂の流下を阻止する方法である。

積極策として考えられる事は、この地すべりを停止せしめる事であるが、本地すべりは甚之助谷の殆んど全域と別当谷左岸に至る甚大な範囲に亘るもので構造物によつてこれを完全に停止せしめる事は不可能であり、又、排水ボーリング等によつても河床から30m以下にすべり面をもつような地すべりを停止する事も不可能に近い。それよりも第2章3節において述べた、乗島層及び赤岩層から生成された岩屑層及び破碎された乗島層及び赤岩層に対して、その排水を計り移動を停止せしめてこの溪谷内への土砂の供給を遮断してしまう事が急務と考える。この場合温泉粘土を含んだ岩屑層に対しては、この層が保水能力が大きく、地下水は比較的一様性のある分布を示すことから排水ボーリングの際の排水管には、できるだけ多数のストレーナーをつける事が望ましい、又、他の透水性の大きい岩屑層又は破碎された乗島層及び赤岩層に対しても明瞭な水脈があまり認められない事から、細脈となって伏流する地下水をできるだけ吸収するため排水管には前者と同様の処置が必要である。尚、この排水管については、その材質及び挿入方法等について目下研究中である。

この地すべり地域のように一般に地下水が一様性のある分布を示す場合には、集水井を設けて、そこに溜った地下水を側面から排水管(ストレーナーのないもの)で排出する方法も有効であろう。側面からの排水の困難な箇所ではポンプにより上方から排水する事も可能である。この

様な方法で排水された地下水の再滲透及び雨水の滲透を防止する目的で水路工を完備する事も積極策の一つであろう。

一方、消極策として最も重要なのは、現在危険な状態に直面している甚之助谷第5号堰堤の倒壊防止策(第3章)がある。又、此等の諸工事を施工しても、尚且つ生産される土石流、及び万一、甚之助谷第5号堰堤が補強されたにもかかわらずこれを破壊された場合に発生すると考えられる約80万 m^3 の土石流に対処するために柳谷下流部に新堰堤群を設置すること等が考えられている。

(3-1) 甚之助谷第5号堰堤の移動

§ 甚之助谷堰堤の移動状況

甚之助谷堰堤の移動は昭和2年に左岸袖部に小亀裂を発生した事によって初めて移動の懸念が抱れ、同年6月に左岸の砂岩岩盤上に不動基準点を設け袖上の一点と対応せしめて観測を開始した。次いで昭和3年10月には左岸袖取付部に亀裂が発生して移動が確認され、以降35年間に約10m下流側に移動すると共に堤体に数ヶ所の大亀裂を生じ右岸では袖の一部が本体と縁切れとなり、左岸では堤体が岩盤と全く分離して袖の一部を欠損している。また滑動と共に隆起と前傾を始め、隆起量は約80cmとされ、前傾は竣工当時下流法が1分であつたものが逆法1分程度になっているのが甚之助谷堰堤の現状である。

甚之助谷堰堤の平面的移動の観測は昭和2年以降断続的に石川県土木部とそれに引き続いて直轄調査により行われて来たがその方法は3段階になっている。即ち

- ① 昭和2年6月に左岸の強固な岩盤(砂岩)上に不動基準点を定め、これと右袖部上の一点とを対応せしめて、昭和29年に堰堤の隆起運動激しく、基準点を見失う迄行つた下流方向への移動量調査。
- ② 昭和29年以降32年に観測方法を変更する迄、左岸岩盤上に基準点を、堰堤の比較的近傍の右岸に見通し点を設け、この見通し線より左及び右袖前法肩の定点と水通し中心前法肩点を測角して移動量と方向を算出する方法をとつた。これは31年になって右岸見通し点が地すべり区域に入っていることが判り、事実見通し点の一部が損壊されたので32年より方法を切替えた。
- ③ 昭和32年より、堰堤から遠く離れた地すべりの影響のない左岸の台地に基準点を設け、また右岸の横線上に不動見通点を定め、2本の見通し線から右袖部上のA点及び左袖部上のB点を測角し、移動距離と方向とに校正する方法をとつている。

表3-1-1には昭和2年から35年迄の累加移動量があげてある。

観測方法の異なる数値を累計することに難点があるが33年間にノロないしノノ m 移動したのだという概略の数値を示すものとして見て戴きたい。またXの値については、昭和29年8月13日から11月14日迄の93日間に4.5 cm 即ち月平均0.48 mm の移動量であるから約20 cm という事になる。

従って甚々堰堤の移動量測定で最も精密に測定されたのは昭和32年以後であるが、これも残念ながら34～35年の冬の間にB₁点を亡失し、35年にB₁点を設置替えしているので、この間のB₁点の移動量がわからず、ここで連続量が中断している。32年より35年迄の成果を表3-1-2に示す。表3-1-2をみると、月平均移動量のバラツキ範囲はかなり広く、或る一年内の観測期間内に於てもバラツキは甚だしくて、甚々の移動量即ち地すべりの動きが年々活発になつて来ているとか不活発になつて来ているということはこの資料からはいえないようである。表3-1-2で全般的にA₁の日平均移動量が大きい時はB₁の日平均移動量も大きい。これはおそらく降雨による浸透水の影響であろうと考える。一般に地すべりは雨量に関係があるといわれているが、甚々助谷のような機構の複雑な地すべりでは簡単に移動量と雨量との相関を求める事は出来ず、初期損失のようなものを考慮して求めるにしても仲々困難であると思われる。それはさておき、A₁とB₂の同じ調査期間内での移動量を比較してみると、その反対の場合も出て来るが概してB₁の方が大きな値が出ている。ということは左岸部の移動速度が相対的に右岸部より早いという事である。これは昭和29年の成果にも表われている。もつとも前述のように29年は些か信頼性に欠けるが、一応成果を述べると、8月13日より11月14日まで93日間に右岸袖前法着定点で17 cm 、水通し部中心前法着で4.5 cm 、左岸袖部前法着で6.5 cm となつていて、日平均量にすると夫々0.18 mm 、0.48 mm 、0.7 mm となつている。これは右岸部を軸として平面的に回転運動があるを示している。

ここで甚々堰堤の運動全体についてあらためて述べると

- ① 谷の下流方向への移動
- ② 堤体の転倒運動
- ③ 隆起運動
- ④ 回転運動
- ⑤ 左岸方向へ向う運動

の5ヶに分けられる。①については移動量測定の通りである。②については大正ノ4年竣工時に前法ノ分であつたものが背面からの土圧によつて転倒運動を行つており、現在は逆法ノ分の状態になつている。また背面からの土圧によつて堰堤中心部が下流に膨れ出して、特に堤冠部で著しいようである。③については竣工以来 80cm 隆起したといわれ、昭和8年の水準測量と29年のとを比較すると $1567.15 - 1566.51 = 0.64\text{m}$ の隆起となつている。30年の測量では29年と同一で隆起はみとめられず、これ以後水準測量は行われていないが現在では隆起は殆んど停滞しているように思われる。もつとも堤体が下流方向へ移動するという事は必然的に高さの減少を伴うにも関わらず同じ高さにある事は甚々堰堤の場所では地すべりが隆起現象を起している事である。④については移動量測定で述べた通りである。⑤については量的に測定されてはいないが右岸側からの地すべりによつて不動である左岸側に押されている現象がみられる。

これら、地すべりの結果として現われた甚々堤体の運動と原因としての地すべり土塊の関係は次のようになると思ふ。

§ 地すべりとの関係

昭和30年から行つて来た垂直ボーリングの成果によつて土砂に於て甚々助谷の縦断方向のすべり層を土研に於て想定したのが図3-1-1である。また、甚々堰堤下流 11m 及び 9m で行つたボーリング成果を甚々堰堤軸線横断面及び下流 10m の横断面と対比して書いたのが図3-1-2である。

この2ヶの図より甚々堰堤の附近では地下30m以内では必ずすべり層として次にあげるものがある。

1 甚々堰堤貯砂線内に水通し天端より7〜8mの深さに堤体背面を基点として上流に向つて河床勾配と同程度の傾きを持つ相当長く連続したすべり層がある。これをすべり層 A と名付け、これの上部にある土塊の地すべりを、地すべり A と名付けることにする。

(B以下これに従つて名付ける)

2 堤底下にすべり層 A とほぼ平行して長く連続するすべり層があり深さは水通天端下20〜24m位である。これを B とする。

但しすべり層 A と平行してというのは溪流の縦断方向の線として見た場合で面としての平行をいうのではない。

3 図3—1—2からは右岸より左岸にかけて傾斜するすべり層が2層ありその浅い方を C とする。

4 深い方を D とする。

ここですべり層 C がすべり層 A に、すべり層 D がすべり層 B に、或はすべり層 C がすべり層 B に連続するものか否かを決定するには甚々堰堤の上流にあると2本のボーリングを試みなければならぬが、今の処4者とも別個のものであると考えたい。特に地すべり層 C が地すべり層 A と連続のものでない事は、甚々堰堤のすぐ上流にある甚々堰堤、甚々堰堤の右岸袖が側圧を受けて袖が水通しの高さで剪断されて河心に向つて押し出されている点をみると、すべり層 C は溪流の縦断方向には急な勾配であつて、すべり層 A の勾配と異なるという点、また甚々堰堤の附近の右岸は大正8年7月豪雨による土石堆であつて、地すべり C はその時の堆積物がすべつていていると考える事が出来るが、すべり層 A は明らかに堰堤群の竣工後に形成されたものであるということの2つの点からいえると考える。

このように考えれば甚々堰堤の運動は地すべり A, B, C, D の力の合成によつて表現されたものといつて支障ない。即ち、

- ① 堰堤が下流へ移動するのは地すべり B が主因である。
- ② 堰堤の転倒運動は地すべり A の土圧が主因となる。
- ③ 堰堤の隆起は、地すべり A の終端部に堰堤が位置すること、及び地すべり D の堰軸方向への分速度が、地すべり C の分速度より速く（右袖だけが特別に隆起しないで全体として隆起する点）、また地すべり D 及び C が堰堤左岸の不動岩盤によって終点とされるため分散される土圧力のうち上方へ向う成分による。
- ④ 回転運動は地すべり B によって下流に向う堰体に、地すべり D 及び C が堰堤左岸の不動岩盤によって終点とされる為分散される土圧力のうち溪の下流に向う成分が干渉する。
- ⑤ 左岸方向への運動は地すべり C 及び D の運動による土圧力の堰軸方向への成分による。
と考えるものである。

§ 甚々堰堤の現状に於ける安定の検定と背面の土圧の推定

甚々堰堤背面の土圧を推定して倒壊防止工に働く外力決定の資料とし、併せて甚々堰堤の現状に於ける安全度をチェックすることにした。

先ず昭和34年に天端の中心に於て行なつたボーリングの結果より、堰堤の単位長当りの重量を推定する。ボーリングによると玉石コンクリートの部分は表面より大体2～3mまでで、その下部ではコンクリートが殆んど見当らずあたかも河床堆積物中を掘削している如くであつた。このコンクリートの殆んど見当らないという事であるがこれは堰堤の運動によって剥落して粉々になつたものか、或は元からこの堰堤が混合積で施されたものか、古いものであるから記録がない。但し、築立時の総立積 927.06 立坪のうちコンクリート 52.0 立坪という記録がある。現況では、53%を占めた筈のコンクリートが殆んど見当らずそれが砂礫及び粘土で置換されているのであるから堰体の単位容積重量は次のようになる。

$$\frac{53.3}{100} \times 1.8 + \frac{46.7}{100} \times 2.3 = 2.03 \text{ (ton/m}^3\text{)}$$

ここで 土砂の単位容積重量 1.8 ton/m^3

中埋石の “ 2.3 ”

そうすると標準断面での堤体単位長当り重量は 270 ton/m^3 となる。

次に堰堤背面の土圧を推定するに当り、大きさと分布を与えてくれる条件として次の項目があげられる。

- (A) 土圧は堰堤を転倒せしめ得る大きさのものである。
- (B) 土圧は堰堤を滑動せしめ得ない程度の大きさのものである。
- (C) 垂直ボーリングの成果を甚く堰堤附近にあてはめて考えた場合、水通し天端より約 8 m にすべり面を含むと考えられる地層がある。
- (D) 同じく、水通し天端より 8 m 以下 16 m までは地下水の溜出が見られない。

(A) から考えると転倒に関する合モーメントが大きくなって来ていることが考えられ、(B) によれば土圧の水平成分 P_H は

$$P_H \leq (W + W_s) f$$

ここで W は 堤体単位長当り自重、別途計算により 270 ton/m^3

W_s は 堤体上流法面上の土砂重量、単位容積重量を 1.8 ton/m^3 として別途計算により 102 ton/m^3

f は 堤体と地盤との擁壁係数

$$0.45$$

$$\text{即ち、} P_H \leq (270 + 102) \times 0.45 = 167.4 \text{ ton/m}$$

となり、土圧の水平成分は 167 ton/m を越えることはない。

次に (C) 及び (D) によつて土圧の分布を作図すると図 3-1-3 のようになる。此の場合の計算は水通し天端から 8 m 迄は水中の土圧とし、水の単位容積重量 $W_0 = 1.0$ 土砂の単位容積重量 $W_1 = 1.8$ 、土圧係数は、空気中での土砂の息角 $\phi_1 = 30^\circ$ とすると、物部博士によ

れは水中の土砂の安息角は $\phi_2 = 15^\circ$ となるから夫々 $Ce_1 = 0.33$, $Ce_2 = 0.59$ とした。8m 以下については地下水の溜出が無いので単に土圧のみを考えた。この分布によつて計算を行うと、総土圧は $182.57 \approx 183 \text{ ton/m}$ で、作用点は水通天端より 10.98 m の点となり、 $2/3$ 点 11.53 m より 0.55 m 高い所にある。総土圧の働く方向は、作用点に立つ垂線より擁壁角 22° 下向きの方角となる。これにより現状に於て堤体の安定を検定すれば図 3 / 3 に併記するとおりで、外力と自重の合力作用線はかろうじて堤底を通り、転倒寸前の危険な状態にある。元にかえつて総土圧より水平分力 P_H 及び P_V を計算すれば夫々 $P_H = 158.1 \text{ ton/m}$, $P_V = 91 \text{ ton/m}$ となり、(A) ~ (D) の条件を満足するので、倒壊防止工の外力を計算するに当り、この $P_H \times \text{arm}$ より大なる転倒モーメントを取る設計条件を与えればよい。

(3—2) 甚之助谷第5号堰堤倒壊防止工

甚之堰堤の倒壊防止工を考えるに当り、「甚之堰堤上流の推定すべり面上にある土砂量は現在約ノ850万 m^3 と推定されるので、この莫大な土砂量の移動を阻止する役割までも倒壊防止工に負わせることは不可能で、倒壊防止工はあくまで甚之堰堤の倒壊を阻止するのみである。防止工自身が地すべりの上に築造されるものであるから、必ず防止工も甚之堰堤と同様な運動をするようになるだろうけれども、防止工がその機能を果たしつつ移動している間に地すべり防止対策を完了すれば「よい」というのが根本的な考え方となっている。

此の線に沿って考えれば倒壊防止工の構造は、

- ① 長期間の運動に対して防止工自身が絶対に転倒してはならない。
- ② 運動によって構造物が変形するとしても破壊されず、尚①の条件を満すものでなければならない。
- ③ 構造物は溢流を許すものでなければならない。
- ④ 甚之堤体に張り合せて造る構造物にあつては基礎掘削を要しない構造をとる事。

という条件を満すものでなければならない。

これらの条件を満す構造としては、重力式コンクリートダムか、拌ダムか或は特殊な型式で流水を処理し得るようなフィルタイプダムがある。

地すべり地内に於てはコンクリートダムのような剛なものよりも柔軟性のある拌ダムを利用するのもよい方法であるが転倒に対して安全性を強調する為に前法を緩にしたい事と溢流を許す事とを併せ考える時、断面決定が困難である。石川県土木部では前法を落差式として、厚肉ヒューム管を以つて一辺2mの連続拌を5層に組んで拌内には石礫をてん充した拌ダムを昭和34年に甚之堰堤前面に設置したが落下水壓により洗掘されて甚之溢流部の前面に設けた部分は失敗した。てん充した石礫の粒径が小さいのと、天井に拌を以てふたをしなかったのが原因と考える。

土木研究所では、昭和35年の報告書に「高17m、水通し天端巾3m、前法2分、裏法6分のコンクリート堰堤を甚々堰堤と離して設置し、新旧両堰堤の間は土砂を以て埋め立てその上に鉄筋コンクリート水路を設ける。新堰堤は地すべりによって移動するのであるから左岸の岩盤を掘削して堰体をくわん入させる必要はなく、ただ岩盤に密着していればよい。その他甚々を嵩上げて副堰堤とせしめ、更に水制工を設けてこの保護にあたらしめる」ことを提案している。この提案は大体において条件を満たしたよい案であると思うが、ここで一応問題としたいのは通常の砂防堰堤の通り前法2分をもっている点であつて、新堰堤も甚々堰堤と同じ運動をする可能性のあるものであるから、転倒について安定であるよう計算された断面でも、計算外の地すべりによる外力により、かなり長期間にわたつて後に地すべり対策事業が完了する頃には前傾して不安定な形となるおそれもあり、その対策として腹付け等が必要になる場合もあると私は予想する。重力式コンクリートダムの場合には転倒に対する安全の為に安定計等で算出した断面に加えて前法を2分より後にして3分としておきたい。甚々助谷では平水流量は大体 $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、甚々堰堤上流に現在35基の谷止工が階段状に入っているので土石流の懸念は少なく、また洪水流に大転石を含むとは考えられず流域の小さい(約 0.7 km^2)ことから高水継続時間も短いので前法面に対衝撃性、対磨耗性の材料を用いることによつて前法を増加した事が救済されると考える。重力式コンクリート堰堤の場合は設計条件として、溢流水を載荷重とする土圧と滲透水圧とを外力として考慮すれば外力水平成分のモーメントは前述の転倒モーメントより大となつて安全側となつた。その他、堰堤前面に水平に鉄筋を埋設し、背面下部には背面勾配に平行に縦鉄筋を埋設しておく必要がある。

また、新旧堰堤の間は、大径の岩石で埋め立て、その上に水路を張ることを廃して、防止工堰体には出来る限り暗渠を多く設けて、平水時に於ても、洪水時に於ても溢流量を減少せしめ、滲透水として堰体の低所から流去せしめることとする。

〔注〕 第1章及第2章

天 野 担 当

第3章

吉 岡 担 当

参 考 文 献

甚之助谷地すべり調査報告書

昭和31年3月

建設省土木研究所

〃 〃

昭和32年3月

建設省土木研究所

〃 〃

昭和33年3月

建設省中部地方建設局

建設省土木研究所

〃 〃

昭和34年3月

建設省北陸地方建設局

建設省土木研究所

〃 〃

昭和35年3月

建設省北陸地方建設局

建設省土木研究所

〃 〃

昭和36年3月

建設省北陸地方建設局

建設省土木研究所

図 1-1

甚之助谷平面図（略図）

縮尺 1/10,000

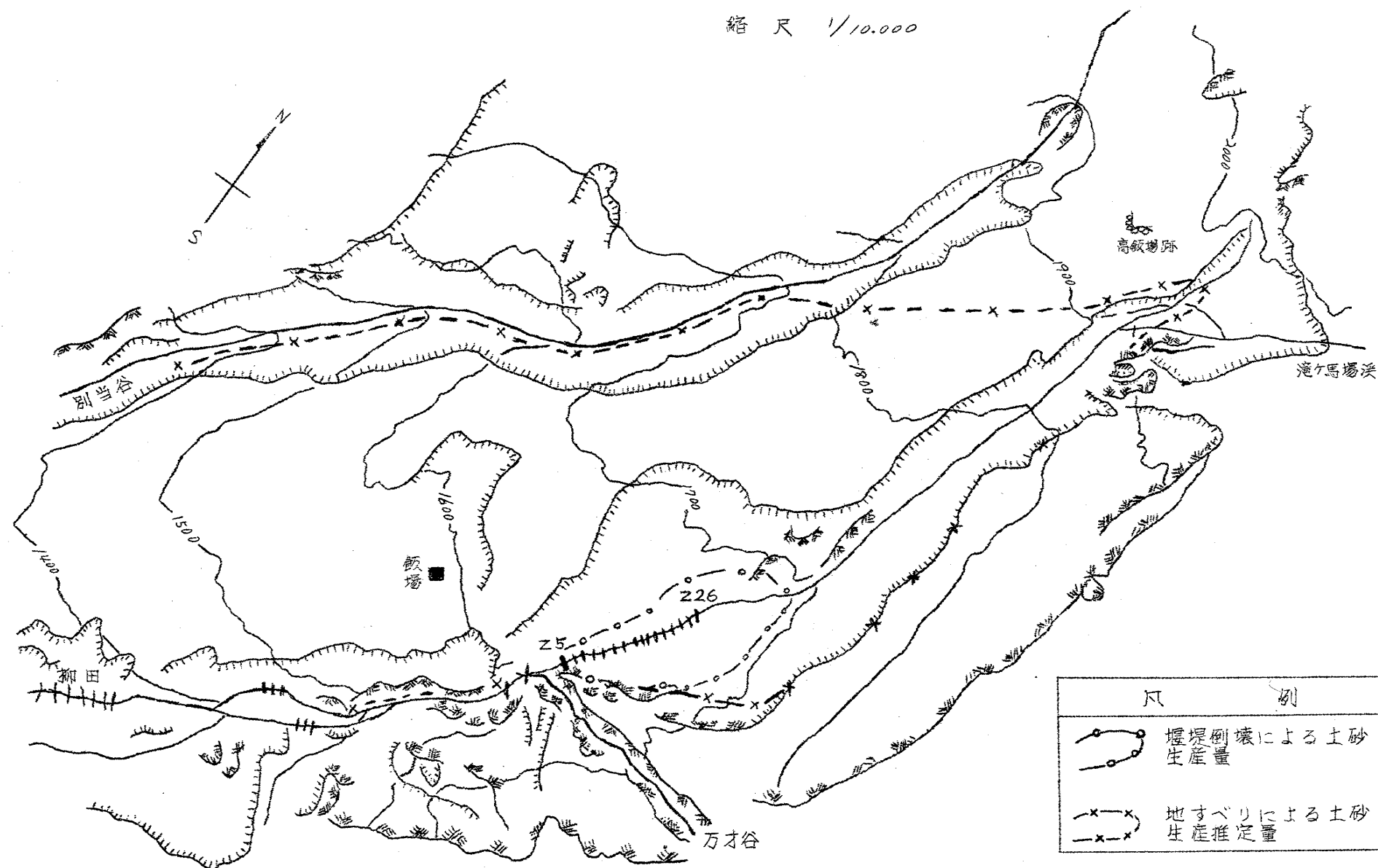


表 3-1-1

甚之助谷第5号堰堤移動状況表

(単位 m)

判定年月日	期間移動量	累加移動量	摘 要
昭和2年6月 日	0	0	左岸岩盤に不動基準点を設けて堰堤 左岸袖取付部の移動量を測定
" 4 6	0.40	0.40	
" 5 5	0.31	0.71	
" 9 10 28	0.59	1.30	
" 12 5 22	1.40	2.70	
" 13 9 6	0.50	3.20	
" 14 9 6	0.24	3.44	
" 15 9 26	0.40	3.84	
" 16 10 6	0.37	4.21	
" 17 9 9	0.22	4.43	
" 26 10 23	3.35	7.78	
" 28 10 5	0.74	8.52	
" 29 8	X	8.52 + X	
" 30 10	0.20	8.72 + X	
" 31 10	0.28	9.00 + X	
" 32 10	0.40	9.40 + X	29年における上方移動が激しく観測基準点 を見失なり、28～29の連絡がなくな った。 左岸に基準点より右岸見通点を視準 して左右袖及び水通部の中心に ある定点の移動量を測定。見通点は 突は地より地内にあつた。 値は水通し部中心の移動量
" 33 9	0.31	9.71 + X	
" 34 9	0.43	10.14 + X	
" 35 9	0.39	10.53 + X	

Xは約0.2となる。

表 3-1-2

甚ヶ堰堤A₁及びB₁点移動量表

(単位cm)

年度	期 間		A ₁		B ₁		摘 要
			期 間 移動量	日平均 移動量	期 間 移動量	日平均 移動量	
32	7.25	9.5	5.45	0.141	5.75	0.144	31年10月より40cm (A ₁)
	9.5	10.7	3.15	0.117	3.35	0.124	
	10.7	10.24	1.00	0.046	1.10	0.050	
	10.24						
33	6.13		14.70	0.064	14.90	0.068	32年10月より31.2cm (A ₁)
	6.13	7.27	4.30	0.098	4.80	0.109	
	7.27	8.5	6.70	0.088	6.00	0.075	
	8.5	8.18	0.60	0.046	1.10	0.085	
	8.18	8.29	0.90	0.068	0.90	0.082	
	8.29	9.4	1.10	0.220	1.20	0.240	
	9.4	9.8	0.70	0.175	0.80	0.200	
	9.8	9.29	2.20	0.105	1.00	0.048	
	9.29						
34	7.12		29.2	0.099	27.5		33年9月より43.4cm (A ₁)
	7.12	7.21	5.7	0.63	3.0	0.33	
	7.21	7.27	0.3	0.05	1.8	0.30	
	7.27	8.3	0.8	0.10	1.9	0.27	
	8.3	8.29	1.8	0.06	4.5	2.21	
	8.29	9.6	2.4	0.34	2.1	0.30	
	9.6	9.22	1.9	0.12			
	9.22	10.9	1.3	0.07			
35	10.9						亡失の為新B ₁ 点設置
	7.11		26.0	0.055			
	7.11	7.16	0	0	1.8	0.360	
	7.17	7.21	1.1	0.275	2.2	0.550	
	7.22	8.6	7.9	0.526			
	7.22	7.31			0.6	0.066	
	8.1	8.6			0.8	0.16	
	8.7	8.20	0	0	0.5	0.038	
	8.21	8.25			1.6	0.4	
	8.21	9.1	4.0	0.363			
	8.26	9.6			0.2	0.018	
	9.6						
							34年10月より390cm (A ₁)

図 3-1-1 甚之助谷下流地すべり面予想図

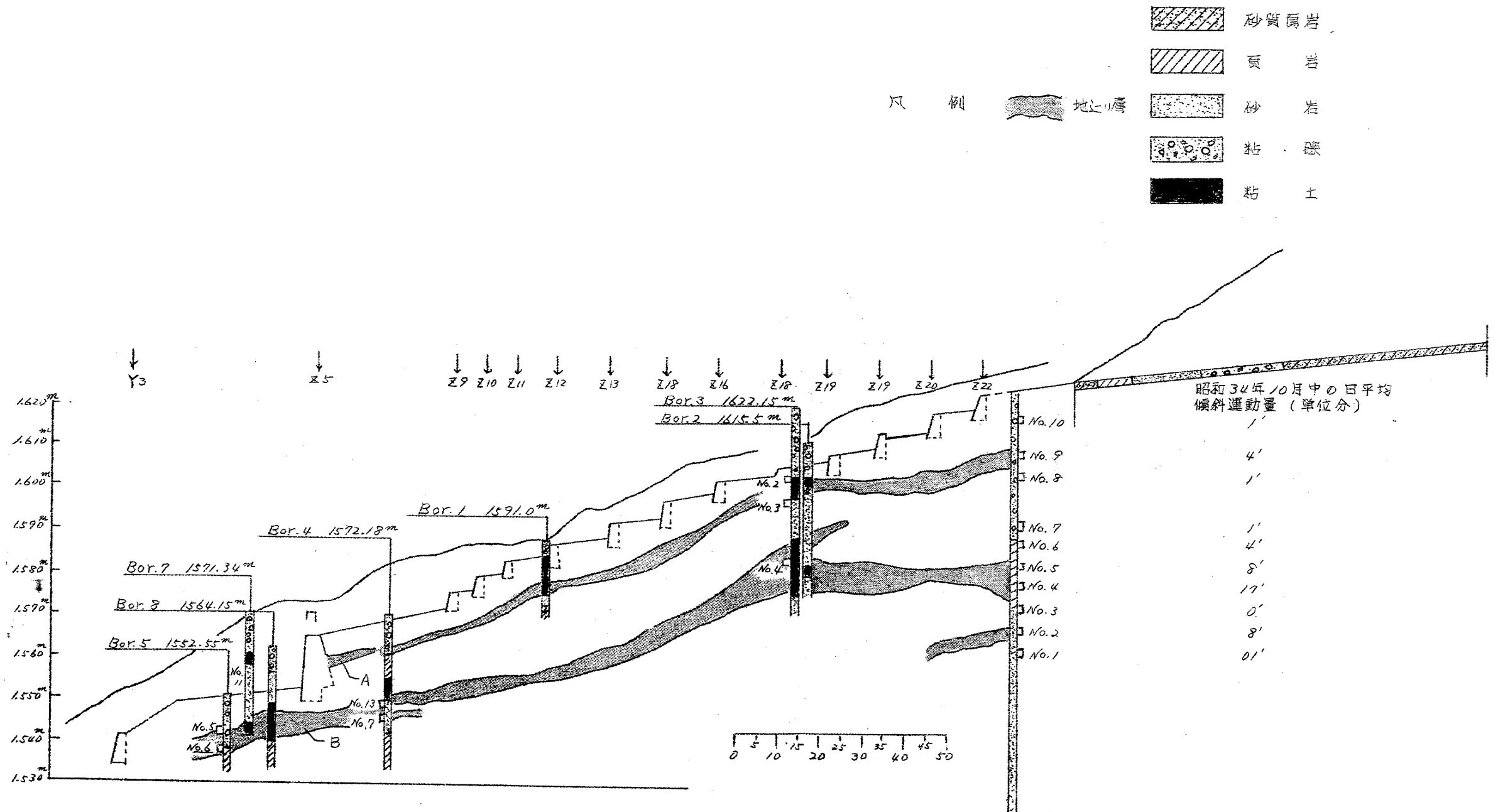


図 3-1-2 甚之助谷下流地すべり面予想図

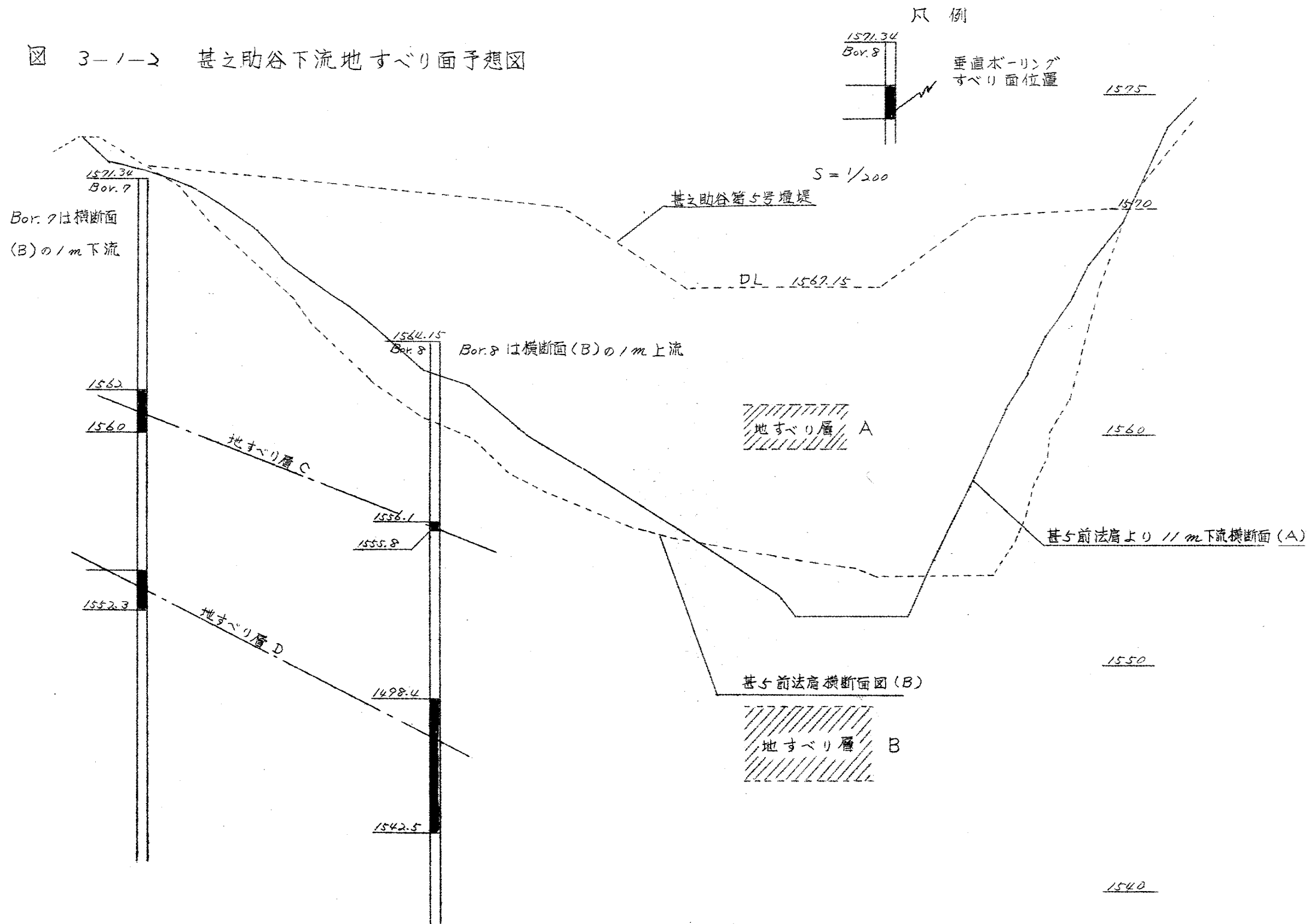
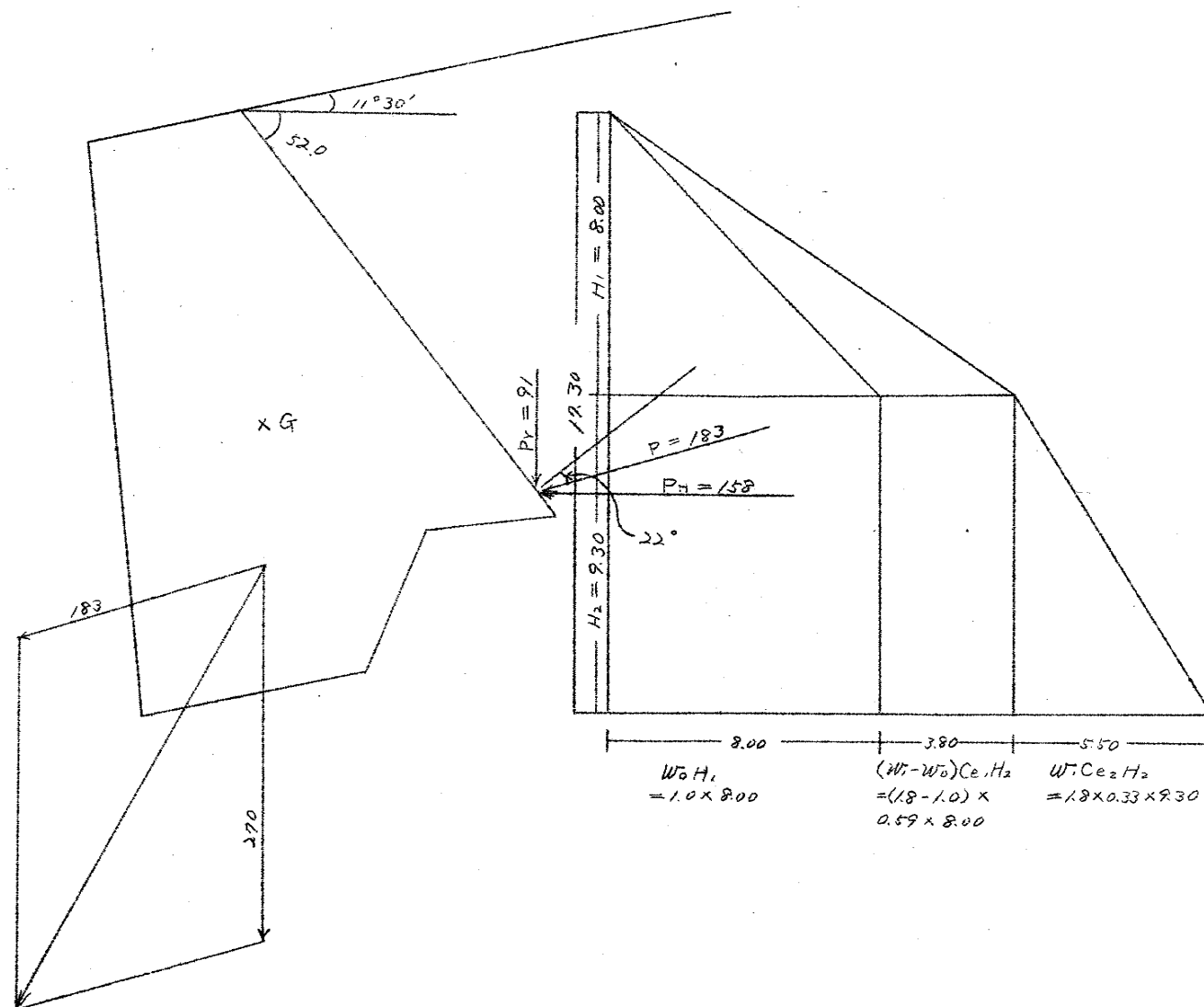
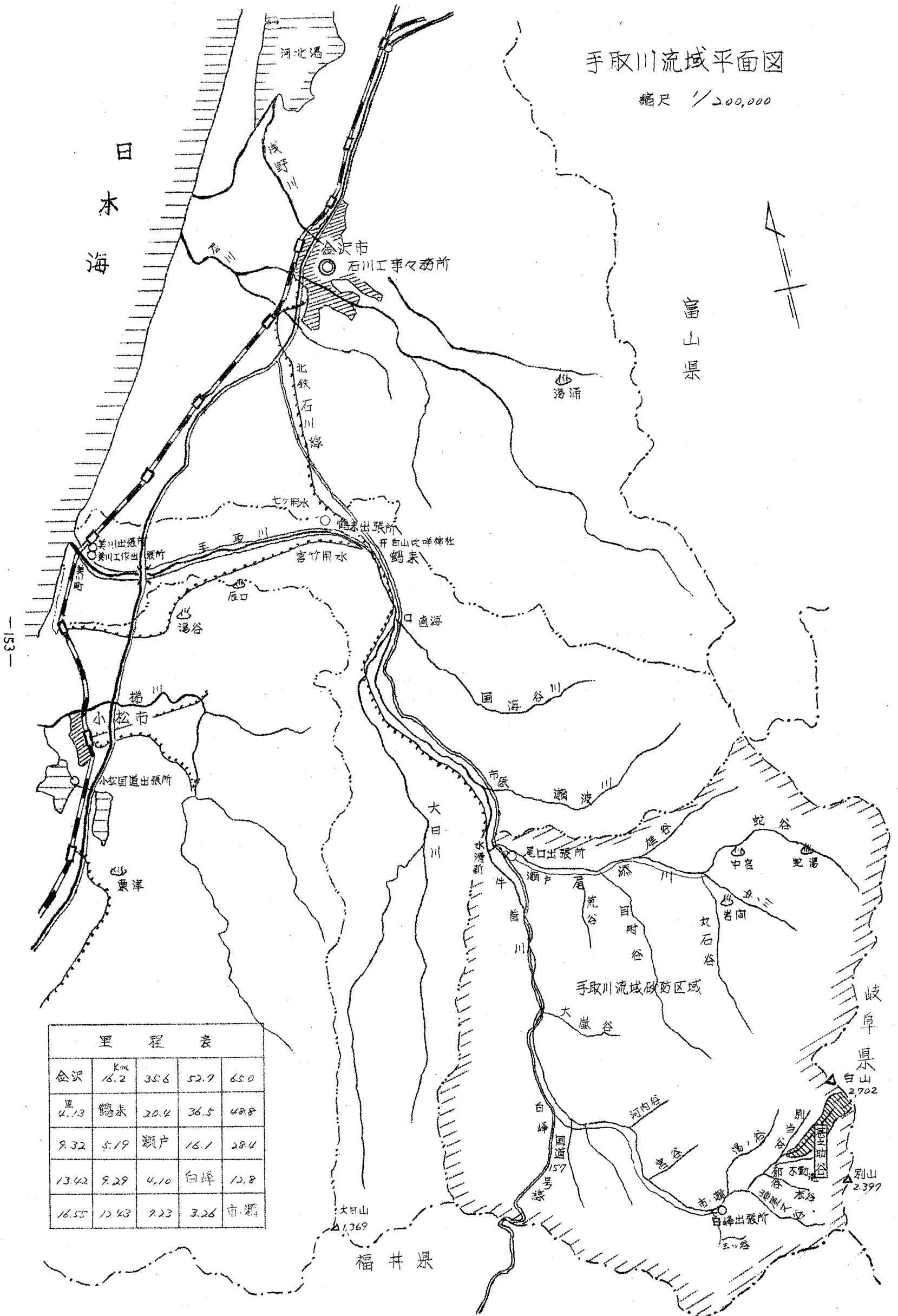


図 3-1-3 甚く堰堤の安定と背面の土圧分布



手取川流域平面図

縮尺 1/200,000



里 程 表				
金沢	km 16.2	35.6	52.7	65.0
里 4.13	鶴巻	20.4	36.5	48.8
9.32	5.19	瀬戸	16.1	28.4
13.42	8.29	4.10	白峰	12.8
16.55	12.43	7.23	3.26	市瀬