

飯山線高場山トンネルの地すべりによる崩壊

久保村 圭 助*
山 田 剛 二**

まえがき

飯山線高場山トンネルは、昭和45年1月22日午前1時24分に地すべりによりトンネルの約半分が崩壊した。このトンネルは古くから変状が進行し、多数の調査や対策が行なわれていた。しかし、地すべりの様相が明確となったのは昭和44年8月の豪雨以降であって、それ以後トンネルの変状が著しくなった。崩壊近くなってから地すべり計、トランシットおよびレベルによる移動沈下測定、トンネル覆工の亀裂測定、補強支保工の変状観測など警戒態勢を嚴重にして、地すべりの動向を観測した。このため、地すべりの規模・崩壊時期の予測などをほぼ適確に行なうことができた。また、これらの観測から、列車運転停止基準、作業安全基準などの目安をつけることができたので、鉄道および隣の道路に対する交通安全対策を事前にほぼ適確に行なうことができた。国鉄沿線に発生した地すべりのうち、そのおもなものを列記すると表-1の通りであるが、この中には地すべりによって尊い人命が失われたり、列車が地すべりにまきこまれて脱線したものもあった。国鉄以外でも、北海道乙部村豊浜地内国道地すべりによるバス海中転落事故などがある。このような場合、もし地すべりが予知され、それに対する適当な対策がなされれば、被害を軽減することができたのではあるまいかと考えられる。現在の時点では、地すべりの予知、予報はきわめてむずかしい問題である。その前提条件として調査測定が不可欠であるが、今回の高場山トンネルの崩壊までの経過の中では、変状、移動観測が比較的時期を失わずに行なわれ、これによって崩壊時期の予知を行なうことができた。この報告はトンネル崩壊までの経過、崩壊状況、観測データの分析などをとりまとめたものである。この中に貴重なデータと思われるものもあるので、今後の地すべり対策に役立てよ

* 正会員 国鉄施設局土木課長

** 正会員 国鉄鉄道技術研究所防災研究室長

うとするものである。

1. 高場山トンネルおよび、その付近の概要と災害の記録

高場山トンネルは、飯山線越後岩沢～内ヶ巻間にあるが、この駅間を含む越後川口～十日間は昭和2年建設完了した区間で、このトンネル付近一帯は難工事であった。施工中トンネルの崩壊、切取り面の崩壊などがあり、一部予定路線を変更した所である。また、この付近は信濃川の蛇行わん曲部にあたり、急傾斜の突出部となっていて、大崩れ地域内の未崩壊の斜面であった。高場山トンネルは延長187m(ただし、昭和44年8月起点方坑口20m撤去)の単線型トンネルで、曲線半径600m

図-1 越後岩沢付近略図

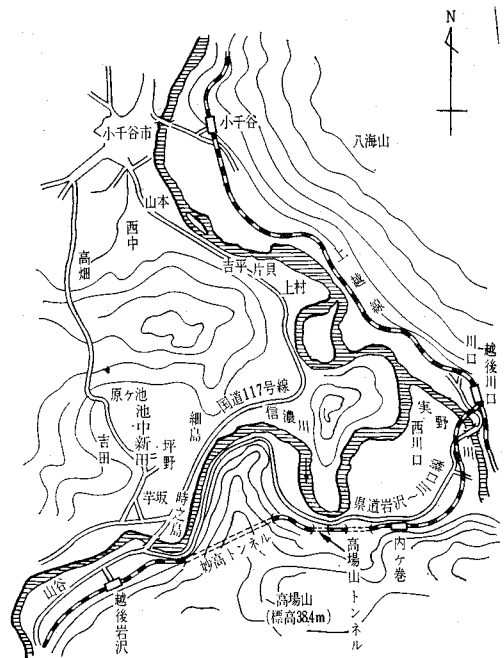
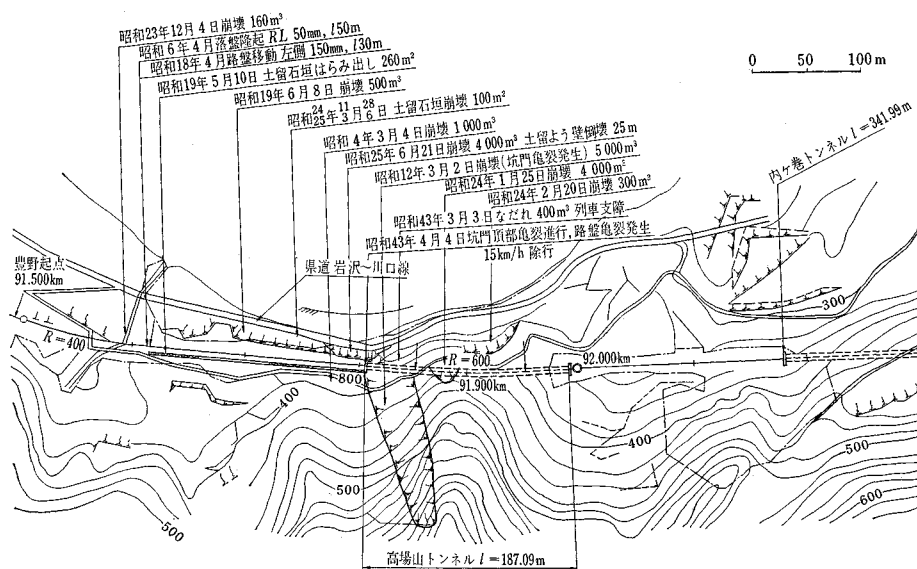


表-1 過去におけるおもな地すべりの記録

(列車不通を伴ったもの・ただし昭和45年1月未現在)

| 発生 | 線名 | 区間 | 災害状況(土量 1000 m ³) | 不通日数 | 記事(○印はルート変更) |
|---------|------|----------|-------------------------------|----------|---------------|
| 明治 43.8 | 羽越本 | 庭坂~赤岩 | 赤岩第1トンネル圧壊 | 1年4ヵ月 | ○ |
| 43.8 | 信越本 | 丸山~熊ノ | 2 | 40日 | 職員5名死亡 |
| 43.8 | 東海道本 | 島田~金谷 | 25 | 7日 | ○ |
| 大正 6.3 | 磐越西 | 喜多方~山都 | 松野トンネル圧壊 | 1年3ヵ月 | ○ |
| 昭和 4.8 | 北陸本 | 浦本~能生 | | 10日 | |
| 7.1 | 関西本 | 王寺~河内堅上 | 亀ヶ瀬トンネル圧壊 | 11ヵ月 | ○ |
| 9.2 | 北陸本 | 能生~筒石 | 900 | 9日 | |
| 13.6 | 東海道本 | 撰津本~住吉 | 90 | 28日 | |
| 21.12 | 北陸本 | 筒石~名立 | 2 | 5日 | |
| 23.9 | 土讃本 | 土佐岩原~豊永 | 1 | 16日 | 機関車脱線 |
| 25.6 | 信越本 | 熊の平駅 | 10 | 22日 | 従業員50名復旧工事中死亡 |
| 27.10 | 松浦本 | 浦崎~今福 | 2000 | 2ヵ月 | |
| 28.6 | 松浦本 | 浦崎~今福~調川 | 107 | 6ヵ月 | |
| 32.4 | 羽越 | 五十川~小波渡 | 30 | 22日 | 機関車脱線 |
| 32.8 | 飯田本 | 大嵐~小和田 | 第1西山トンネル圧壊 400 | 33日 | |
| 36.7 | 飯山 | 越後岩沢~内ヶ巻 | 800 | 64日 | |
| 37.2 | 土讃本 | 土佐岩原~豊永 | 鯉ヶ瀬落石おおい圧壊 100 | 41日 | ○職員2名死亡 |
| 37.4 | 宗谷 | 雄信内~安牛 | 11 | 20日 | |
| 37.7 | 松浦本 | 潜竜 | ボク山崩壊 110 | 79日 | |
| 37.8 | 宗谷 | 問寒別~雄信内 | 5 | 12日 | |
| 37.9 | 宗谷 | 問寒別~雄信内 | 1 | 17日 | ○ |
| 38.3 | 北陸本 | 能生~筒石 | 150 | 20日 | 機関車客車1両押し出し |
| 38.7 | 東北本 | 久田野~泉崎 | 線路延長 80 m 隆起 | 10日 | |
| 38.8 | 土讃本 | 土佐穴内 | 10 | 10日 | |
| 41.7 | 東北本 | 浅虫~野内 | 100 | 27日 | |
| 45.1 | 飯山 | 越後岩沢~内ヶ巻 | 高場トンネル圧壊 130 | 10ヵ月(予定) | ルート変更施工中 |

図-2 飯山線越後岩沢~内ヶ巻間(91.100~92.300 km) 平面図および災害発生記録



の曲線部がある。アーチはコンクリートブロック造り、側壁はコンクリート造りである。建設当初終点方 57 m のみコンクリート造りのインバートがあった。建設後も変状の徴候が認められたので、昭和 26~29 年に、インバート一部施工、昭和 41 年にレールセントル 26 基補強、昭和 43 年にインバート延長 107 m を施工している。

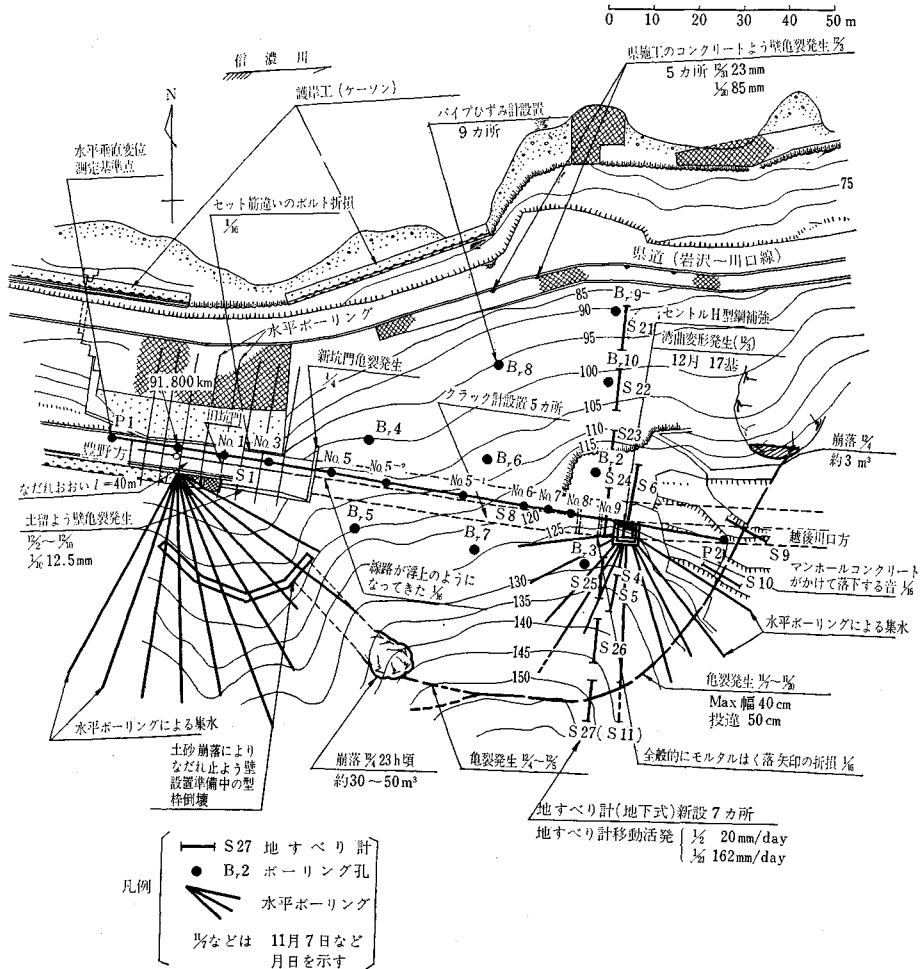
このように古くから変状が認められたため、種々の補

強工が行なわれているが、昭和 44 年 8 月の豪雨以前では変状は主として起点側坑門(開きく施工部分)にあらわれ、その時期も毎年融雪期に限られていた。

この付近の災害記録は図-2の通りであるが、そのおもなものは下記の通りである。

- ① 昭和 12 年 3 月 2 日、トンネル上部の土砂崩壊(土量約 5000 m³)により坑門に亀裂発生。
- ② 昭和 24 年 1 月 15 日、トンネル上部の土砂崩壊

図-3 飯山線高場山トンネル地すべり変状記録と計器位置



(土量約 4 000 m³) により、トンネル中央部覆工に亀裂発生。

③ 昭和 25 年 6 月 21 日、信濃川の増水によりトンネル入口付近を中心とした土砂崩落 (土量約 4 000 m³) により県道も崩落。

これらの災害に対して種々の対策が施工されたが、とくに信濃川の増水による洗掘が崩壊の原因とも思われ、県道に護岸工 (井筒工) が施工された。

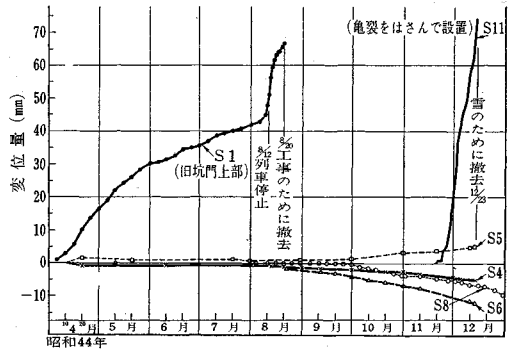
2. 崩壊に至るまでの経過

地すべり計設置位置、ボーリングによる地質調査の地点などは 図-3 に示す通りで、図-3 を参照しながら、地すべりの状況、調査方法、測定結果、対策工法などを説明する。

(1) 昭和 44 年 4 月から 12 月までの変状の経過

坑口付近の変状は例年 3~4 月の融雪期に発生してい

図-4 昭和 44 年 4 月~同 12 月地すべり計の動き



たが、昭和 44 年 4 月の融雪期には例年にくらべて変状が激しく、地すべり計 (S1) の動き、坑門上部の亀裂の開口、食違いは大きく、入口付近が川側へ移動していることが認められた。地すべり計 (伸縮計) の記録は 図-4 に示す通りである。移動の大きいのは坑口付近の S1 のみで、91.900 km 付近斜面中腹に設置した地すべり計 S4, S5, S6 などは、ほとんど動いていない。

次に、昭和 44 年 8 月頃から北陸、新潟地方をおそった記録的大雨 7 月 20 日から 8 月 11 日までの降雨量 618 mm により坑門口付近の変状は急進し、坑門上部コ

ンクリートの亀裂の開きは 1 日 17 mm に増加し、地すべり計 S1 の移動も急進したので、8 月 12 日 11 時 30 分運転を停止し、バス代行運転を行なった。当時の判断

図-5 路盤変位測定結果

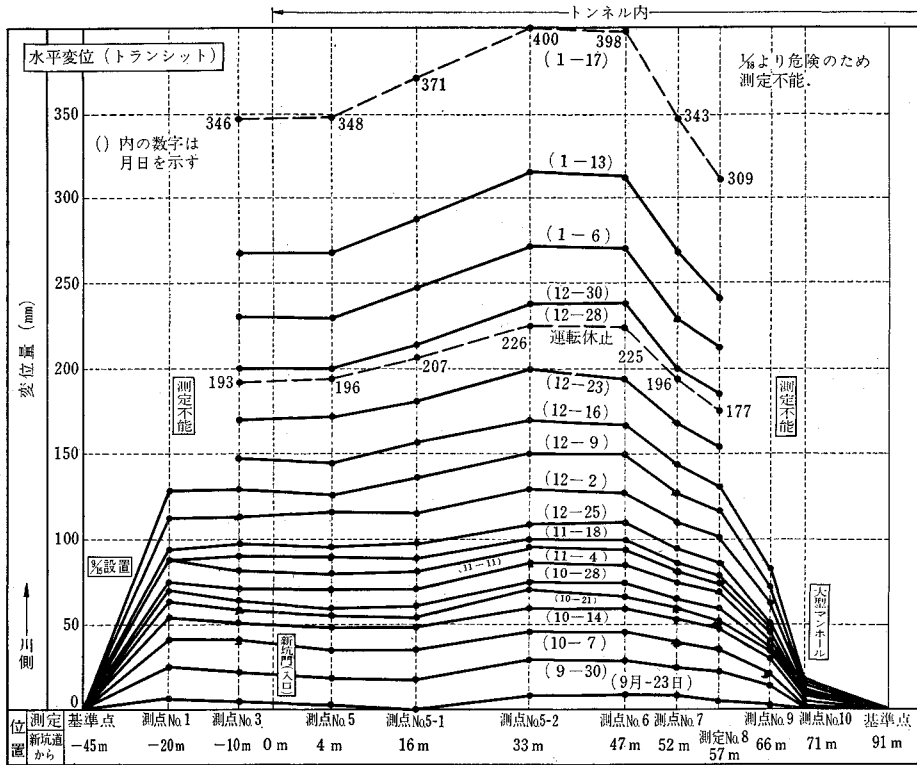


図-6 トンネル内の水平変位と垂直変位の推移

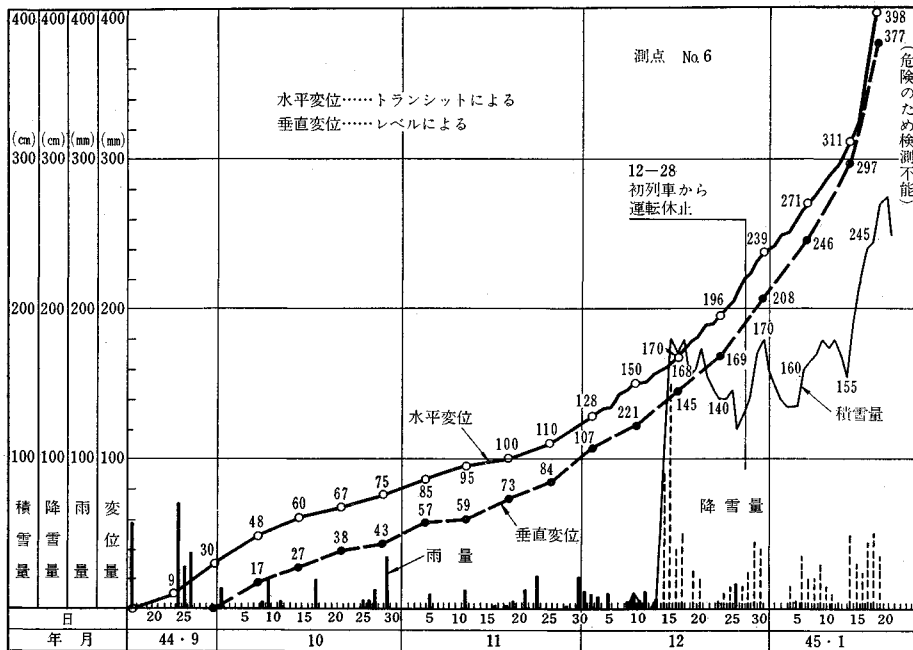
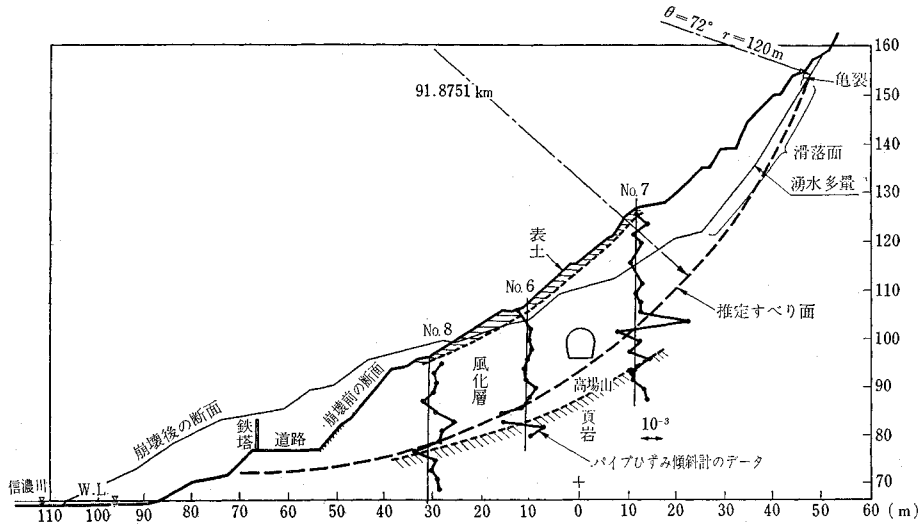


図-7 崩壊断面図



では、坑口付近川側の斜面が軟弱で、川側へ沈下移動していると考えられ、大規模な地すべりと結びつく判断要素は少なかった。

運転休止後の対策工事としては、トンネル入口付近（開さく施工部分）20m を撤去して、なだれ覆い鋼造り40m を新設し、また入口付近川側の急斜面（張コンクリート部分）に土留よう壁を新設した。さらに、地すべり対策として坑口付近の斜面およびトンネル内マンホールから排水ボーリングを行なった。

坑口付近の改築後、9月13日から運転を再開したが、この頃からトンネル中央部の内面の亀裂が目立ってきたので、路盤に測点を設置し、トランシットおよびレベルにより水平および垂直の変位の検測を行なった。路盤上の各測点の経日変化は図-5に示す通りであり、その中の測点 No. 6 の水平、垂直変位の経日変化は図-6に示す通りである。変状の進行は、9月25日から10月初旬にかけて若干急進したが、その後11月下旬までは一応小康状態を保っていた。しかし、変位速度は1.0~1.5 mm/日程度で継続的に進行していた。移動の範囲は、旧坑門付近からトンネル中央部（91.900 km）まで、約90m 間が一様に移動し、トンネルの変状は移動部と不動部との境界付近が著しく、この傾向は崩壊まで変らなかつた。これは、この付近が地すべりの境界面にあたり、トンネルはせん断変形を受けたためと思われる。このように、トンネルの移動変状は明らかであったが、10月までは山腹の斜面には亀裂変状は認められず、斜面に設置してあった地すべり計にも移動の徴候は認められなかつた（図-4参照）。

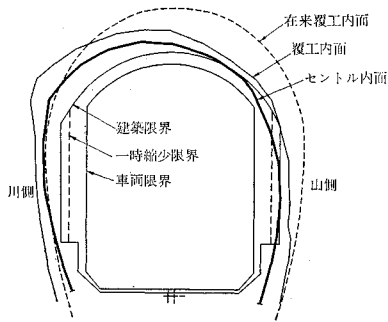
11月7日頃、トンネル上部斜面 91.920~91.930 km 付近水田上に亀裂が発生していることを発見、さらに

900m 付近の山腹（線路中心から山側に40m）にその亀裂が続いていることを発見した。この亀裂の最大幅40cm、段違い50cm に達していた。ただちに亀裂をはさんで地すべり計3台（S9, S10, S11）を増設して監視を強化した。

一方、地すべりの規模、深さなどを確認するため、6月以降トンネルの左右および道路寄りにボーリング計10本を行ない、地質調査およびパイプひずみ計そう入を行なって地すべり面を調査した。その結果を代表崩壊断面図で示せば図-7の通りである。

これらの結果から、地質的には表土の下に15~20mの厚さの風化した砂岩、頁岩の互層があり、その下に頁岩があり、パイプひずみ計のデータから推定して、地すべり面は風化層と頁岩のほぼ境界にあたり、トンネルはトンネル入口からトンネル中央部まで約100m が地すべり土塊内にあり、トンネルは地すべり土塊と一緒に移動していることが明らかとなった。しかし、11月25日以降地すべりは活発化し、亀裂をはさんで設置した地すべり計（S11）は3~6 mm/日、トランシットによるトンネル移動は1日3mm以上となった（図-4, 5, 6参照）。11月30日から12月3日にかけて断続的に49mmの雨が降り、12月3日県施工の道路山側のコンクリートよう壁に5ヵ所の亀裂が発生、トンネル内91.900 km 付近のセントルが8基変状した。12月4日には山腹亀裂が入口側に延伸し、入口方付近斜面に30~50 m³、終点側の亀裂付近で約3 m³の崩壊があった。この頃には、坑内改築時に新設した山側土留よう壁にも亀裂が発生した。またトンネルアーチ部からはく脱が目立ち、セントルの変形本数も増加した。覆工の変形は、図-8に示すように全体が川側に移動すると同時にアーチ部分が川

図-8 覆工変形状況の例



側に押され、セントルの座屈現象が見られた。これに対して、セントルの増設、補強による対策を講ずるとともに警戒観測を続行していたが、12月14日の降雪以降、移動および変状が急進したため、25日急きょ星埜東大教授を団長とする調査団に依頼し、地すべり状況および対策について現地調査を行なった。

一方、変状速度からみて、中央部における覆工のはく落、建築限界の支障により列車運行は危険であるとの結論に達し、12月28日初列車から再び全列車の運転を休止し、隣接県道を通るバス代行輸送を開始した。

(2) 運転休止後の地すべりの進行と崩壊状況

12月14日から例年より早い大雪となり、積雪量2mに達した。そのため地すべり記録器は埋没使用不能となったので、急きょ地下埋設式遠隔自記記録式地すべり計

(S21~S27)を新設し、12月31日から測定を再開した。この測定は崩壊に至る瞬間までデータがとれた唯一のもので、これによって崩壊時期の予知ができた。測定結果は図-9に示す通りである。図-9中S27は亀裂をはさんで設置したもので、この移動は大きい、地すべり土塊中に設置した地すべり計(S21~S26)の移動は小さい。

運転休止(12月28日)以後の変状については、1月上旬まで、移動は水平、垂直とも5mm/日程度、地表亀裂の進行はS27によれば15mm/日前後で暫増の傾向にあった。1月4日には、改築した新坑門に亀裂が発生した。1月14日すべり計は40mm/日、トンネルの移動は20~30mm/日に達し、危険防止のため15日から作業をすべて中止し、県道の交通止めも行なった。トンネル内は91.900km付近で全般的にモルタルのはく落、矢板の折損を生じ、また鋼製なだれ覆いのボルトが折損し、坑口付近の路盤の盛上がりが生じ、トンネル内道床が沈下、まくらぎが浮上る状態となり、セントル頂部の継目が開くのがみられた。20~21日にはセントル継目ボルトの折損、切断、覆工の落下する音が聞えた。地すべり計は162mm/日の移動を示した。1月21日15~17時に11mm/h、17~19時には15~16mm/hと急激に進行し、22日の夜半に崩壊するであろうと判断され、さらに24時の時点では22日1時30分頃崩壊するであろうと予想された。トンネル内の変状音はたえまなく聞えたが、地表面の変状は積雪もあるため崩壊直前まで全然

図-9 昭和44年11月から崩壊までの地すべり計の動き

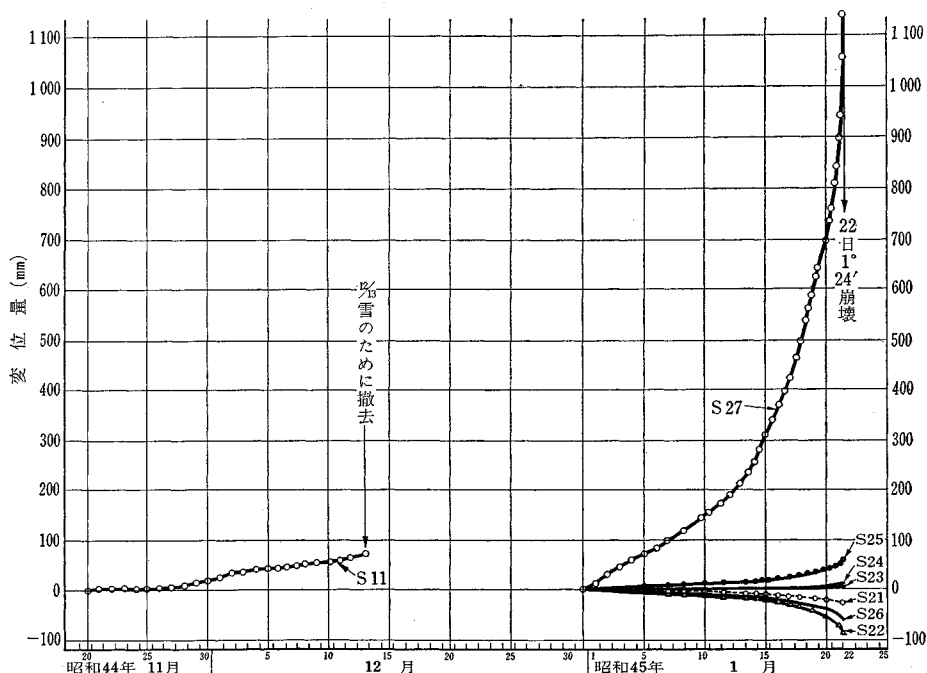


図-10 飯山線高場トンネル地すべりの範囲

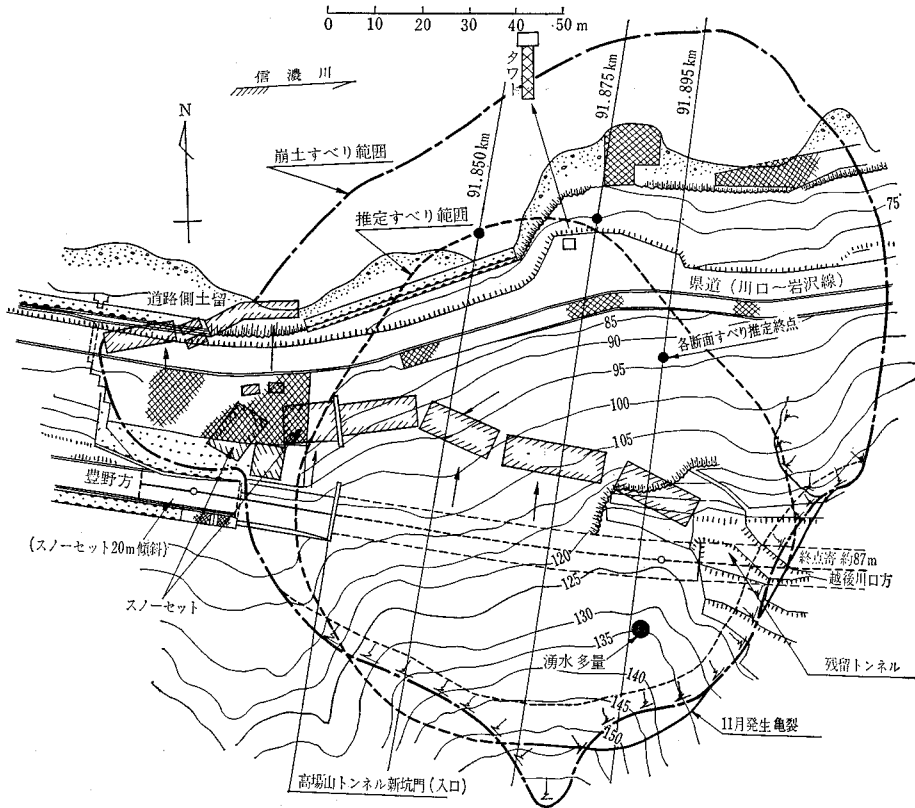
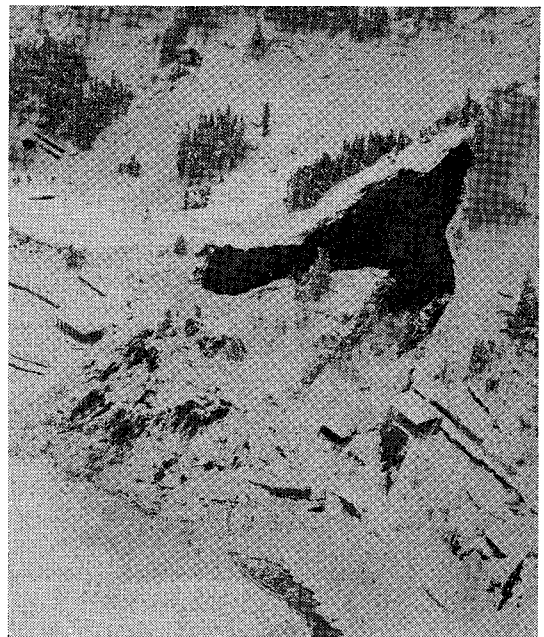


写真-1 高場山トンネル崩壊状況
(昭和45年1月22日撮影・朝日新聞社提供)



1) 道路側土留壁, 全延長 51 m にわたり起点方は傾斜, 終点方は転倒し, いずれも川側に約 20 m 水平移動

変化が認められなかった。大崩壊は1時24分に始まり、約2分間静かにすべり、1時26分に終わった。崩壊時の監視員の観察および道路側から崩壊過程を撮影した写真などから崩壊時の様相を整理すると次の通りである。22日1時22～23分まで地表状況に全然変化がなかった。しかし連続写真を調べると22～23分に地すべり地上部で小さいなだれがあり、ついで滑落面が大きくなり、道路上の工事用鉄塔が川側に滑落し道路側よう壁が移動した。24分25秒頃、鉄塔から終点側で山腹土塊がかぶさるように押し出してきた。したがって、地すべりの末端は鉄塔位置で道路から下、川より上と考えられる。したがって、地すべり上部滑落面付近がまず滑動し、それがかなり進行してから下方土塊を川側に押し出す経過をたどったと判断される。

崩壊後の建造物の状況は、図-10および写真-1を参照して説明すると次の通りである。

① トンネル全延長 167 m のうち、入口から 80 m はスノーセットに接続して崩落、斜面中腹まで移動、破壊している。残留部 87 m は健全である。

② スノーセット全延長 40 m のうち、起点寄り 20 m は変形して残留している。

③ 土留壁

している。

2) スノーセット裏側よう壁は、トンネル寄り 20 m はスノーセットといっしょに転落、起点方 20 m は亀裂変状している。

3) 県側土留壁は埋没のため詳細不明、県道上の鉄塔は地すべり末端まで移動、転倒、頭部を山側にしている。

④ 崩壊断面は図一7に示す通りである。滑落面は褐色の風化した頁岩がみえ、平滑な節理面がある。滑落面下部に1ヵ所パイプから吐出するような湧水があり、この量は数 10 l/min 程度である。すべり土塊は大部分もまれることなく、積雪、樹木をのせたままであるが、末端部はふくれ上がり、亀裂が多数みられる。

以上が崩壊の状況であるが、地すべりの規模（地すべり面、範囲、土量）および崩壊時期などは、予想とほぼ一致した。

3. 崩壊時期の予知、運転規制などの方法

今回の地すべりでは、地すべり調査としてトンネルの移動測定、地すべり計による地表面移動、ボーリング孔を利用したパイプひずみ計による地すべり面調査などが行なわれたが、地すべりの様相が確実視されたのは昭和44年11月以降である。結果的に判断すると、44年8月の豪雨以降にトンネルの移動、パイプひずみ計の記録などに地すべりの徴候が認められる。しかし、斜面の表面に亀裂が発生したのは11月初旬以後である。昭和44年融雪期以後、警戒ならびに観測を強化してきたが、変状進行の観測データによる運転休止、および作業の中止、退避の基準を次のように定め、また、地すべり計の移動量から崩壊の時期の予知を行なった。

(1) 列車運転停止基準（昭和44年4月19日・飯山保線区）

次のような変状があったときは、ただちに列車運転停止の手配をとる。

① 地すべり計の読みが1日 20 mm 以上、または1時間 4 mm 以上を記録したとき（4 mm/日の移動で警報ベルが鳴る）

② トンネル坑門の亀裂の開きが1日 5 mm 以上になったとき

③ 路盤移動量が1日 10 mm 以上になったとき

④ トンネル内の変状（覆工、支保工、軌道狂、建築限界支障）などが著しくなったとき

⑤ その他危険が認められたとき

8日の豪雨後の列車運転停止は主として②項が、また12月28日の列車運転停止には③、④項がこれに該当し

た。

(2) 作業安全基準（待避基準）（昭和44年12月27日・飯山保線区）

次の項目を目安とし、これらを総合判断して決定する。

① 地すべり計の移動が1日 60 mm（警報ベル1日3回鳴動）以上記録したとき

② トンネル内の水平、垂直変位が1日 20 mm 以上になったとき

③ トンネル変状（覆工、支保工）の進行が著しくなったとき

④ 水平ボーリング排水口からの水量、水質が異常になったとき

⑤ その他、異常により危険と認められたとき

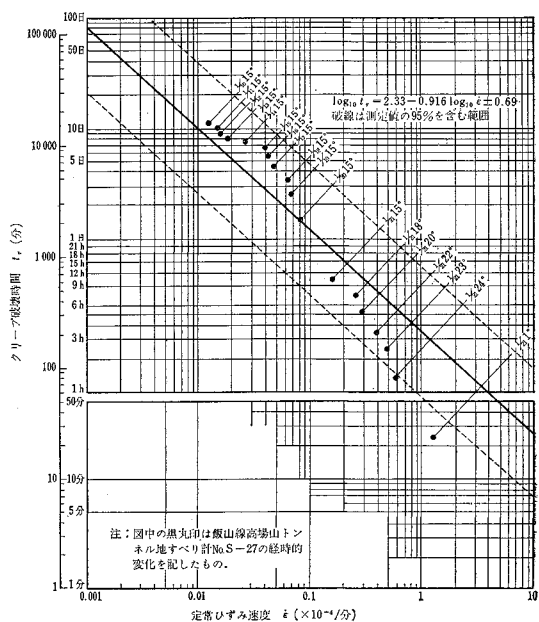
この基準により、崩壊前1週間1月15日から補強工事、トンネル内観測などの作業を中止して退避し、県道バス代行路線を変更し、かつ県道の一般交通止を申し入れた。

(3) 地表面移動速度による崩壊時期の予知

斜面表面の移動状況を把握するため、地すべり計による観測を継続した。とくに12月31日以降は、斜面上部の亀裂から下方道路側よう壁までの斜面方向の一断面内に7個の遠隔式自記記録地すべり計を設置した（図一3、図一9）。

これにより、土塊の移動状況を把握することができた。移動量の大きいのは上部亀裂ををさんだS27だけ

図一11 判定図



で、すべり土塊中の地すべり計の伸縮は小さい。全体的に見れば、地すべり土塊は各部分において多少のひずみを生ずるが、土塊が一体となって移動していくことが確かめられた。崩壊の予知には S 27 の移動が大いに役にたった。今後も崩壊予測のために地すべり計を用いるときは、地すべり上部に発生する亀裂をはさんで設置することが必要である。

崩壊時期の予知には齋藤博士¹⁾の第二次クリープ定常ひずみ速度、および第三次クリープ移動速度による理論を適用した。移動曲線からある時点で崩壊時期を予知するには、その時点で定常(二次)クリープであるか第三次クリープであるか判断は困難なので、常に両者を併用して検討した。

a) 二次クリープによる崩壊予知

1月10日以後のひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ とクリープ破壊時間 t_r との関係のプロットしたのが 図-11 判定図である。定常ひずみとみなして判定図を用いていることは無理があるが、適合性はかなり高く、実用的価値があると考えられる。

b) 三次クリープによる崩壊予知

三次クリープ曲線上に三時点 t_1, t_2, t_3 をとり、その間の変位量を等しくとると、ある時点 t_1 から崩壊の時点 t_r との差、すなわち崩壊余裕時間 $t_r - t_1$ は次式で求められる。

$$t_r - t_1 = \frac{\frac{1}{2}(t_r - t_1)^2}{(t_2 - t_1) - \frac{1}{2}(t_3 - t_1)}$$

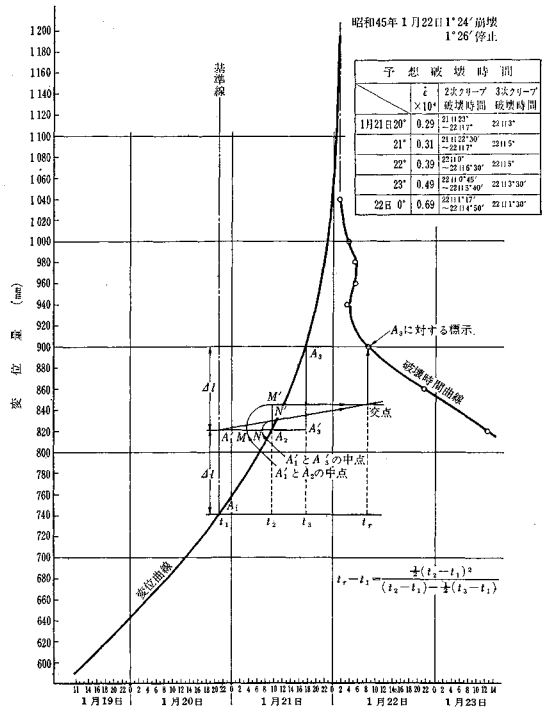
この関係を図式で求めたものが 図-12 である。

図-12 では1月20日を基準線に崩壊までの時間を求めたもので、21日23時の時点で崩壊は22日3時頃、24時の時点で1時30分との計算結果が得られた。実際の崩壊時間22日1時24分と比較すれば高い精度で予知することができた。崩壊の予知には二次クリープ判定図により大略の崩壊時間を推定し、より精確な予知には三次クリープ曲線を用いるべきであろう。三次曲線を用いる場合、基準線の取り方が問題となるが、この例では基準線を任意にとっても崩壊予知の時間の誤差はせいぜい1日程度であり、数時間まえのデータを用いれば数十分以内の精度で予知が可能であることを証明している。

あ と が き

以上、高場山トンネルの変状から崩壊に至るまでの経

図-12 S 27 地すべり計データによる破壊時間の予知 (三次クリープ)



過を説明したものであるが、復旧対策として別線トンネル案が決定され、昭和45年12月を完成目標として施工中である。

今回の地すべりに際しては、比較的早期から種々の観測態勢、警戒監視が確立されたので、列車運転規制、県道交通止、作業安全退避などが順調に行なわれ、崩壊の予知も的確に行なうことができた。困難な客観状況の中で運転事故、傷害事故、交通事故のなかったことは不幸中の幸いであった。とくに、観測、警戒に献身的な努力をされた長野鉄道管理局の方々、飯山保線区の方々のご苦勞を謝するとともに、親しく現地を視察して、調査、対策に有益、適切なご意見を賜った東大星埜教授、丸安教授、新潟大西田教授、建設省土木研究所渡地すべり研究室長に誌上をかりて心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 齋藤迪孝: 斜面崩壊発生時期の予知, 土と基礎, Vol. 17, No. 2, 1969, 2
- 2) 齋藤迪孝: 斜面崩壊発生時期の予知, 鉄道技術研究報告, No. 6 26, 1968 2

(1970.4.11 受付)