

鉄道沿線の斜面崩壊の復旧とその実例

Disaster Rehabilitation Work of Slope along Railway and Its Examples

岡田 勝也 (おかだ かつや)

国土館大学教授 工学部

光中 博彦 (みつなか ひろひこ)

四国旅客鉄道株式会社 工務部 工事課 副長

杉山 友康 (すぎやま ともやす)

北海道総合技術研究所 主任研究員

白川 富規 (しらかわ とみのり)

北海道旅客鉄道株式会社 札幌構造物検査センター 所長

1. はじめに

線状構造物である鉄道や道路の沿線に存在する橋梁構造物や盛土や切取りのような土構造物は膨大な数量に上る。これらの構造物の多くは、近代的な設計基準によって設計施工されたものもあるが、明治から大正にかけて建設された、いわゆる旧式構造物も多い。それらは新しい危険度評価手法によって検査され、必要によっては保全工事がなされてきたが、未だ豪雨や地震によって崩壊するものもある。

ここでは、そのような自然災害を受けた土構造物などを例に挙げ、災害復旧対策の考え方と2, 3の実例について述べる。

2. 事前・事後防災からみた斜面对策工のフロー

2.1 防災投資と災害発生との関係

災害時期と対策工の施工時期の前後関係という時間をパラメーターに分類すると、事前防災対策工と事後防災対策工の二つに分けることができる。

明治から大正にかけて建設された鉄道は、多くは盛土や切取りで構築され、橋梁も根入れの浅い旧式構造物が多い。さらに第二次大戦後しばらくは、戦後の増加する輸送力に対して構造物の維持管理のための投資を行えないのが実情であった。そのため、災害が発生してから初めて対策工を行うという事後防災対策に依らざるを得なかった。いわゆる、災害復旧工事が主流であった。

しかし、1960年代以降の社会資本整備の拡充に伴って、維持補修の投資も増加するようになったが、都市化による環境変化と高度成長による産業構造の変化によって新たな災害形態も出現した。こうした環境の中、事前防災によってこのような自然災害を積極的に防止する施策がとられるようになってきた。これによって、旧来の自然災害の質と量は急激に減少してきた。JR (旧・国鉄) における防災投資 y (10⁸円/年) と災害件数 x (10³件/年) の関係¹⁾は、戦後の1962年から約25年のデータに基づけば、およそ

$$y = 1200/x \quad \dots\dots\dots (1)$$

で表すことができ、防災投資を行うことによって、災害件数は減少することがわかる。

2.2 事前対策工のフェーズ

事前対策工には、三つのフェーズがある。それらは、災害発生防止工、被害防止工と災害の回避、である。

(1) 災害発生防止工

災害発生防止工は、災害発生原因となる素因と誘因を解消することであるが、斜面災害の誘因と考えられる降雨や融雪を除去することは不可能に近い。一方、素因と考えられる地表水による浸食や地下水位の上昇などを極力起こさせないようにする抑制工や、あるいは杭工などによって力学的な抵抗力を付加させる抑止工を危険箇所事前に施工することは、災害発生の防止からみて重要な施策である。

(2) 被害防止工

被害防止工は、①上述の災害発生防止工では十分な効果が期待できない場合、②地形条件や地盤条件の関係で災害発生防止工を施工できない場合、あるいは、③斜面崩壊を起こさせても対象物には被害が及ばない場合、などに施工される。

鉄道や道路の沿線の一部に急な自然斜面がある場合、この自然斜面に若干の崩壊は許すが、通行車両への被害を食い止めるために、路線上に施工する覆工や待ち受け擁壁などが、これに当たる。

(3) 災害の回避

災害の回避は、①道路や鉄道の沿線に斜面災害危険地帯が連続して存在する区間において、上述の斜面発生防止工や被害防止工を個々の斜面に施工したのでは、莫大な工事費がかかる場合、あるいは、②斜面危険度が連続して、しかも大規模であると想定される場合に、ルート変更によって災害を回避させるものである。

2.3 事後対策工のフェーズ

事後対策工には、二つのフェーズがある。それらは、応急復旧工と恒久復旧工である。これらは同時に設計・施工が行われることもあるが、早期災害復旧という社会的要請のもとで、それぞれ別に行われる場合もある。

(1) 応急復旧工

応急復旧工は、特に、早期復旧が望まれる場合に施工される。道路や鉄道のような恒久輸送路の遮断を起こす斜面災害の場合には、その早期開通が至上命令となることが多い。しかも、応急復旧はまだ降雨が続いている危険な状態でも施工しなければならないこともあり、さら

なる災害の発生を極力抑制するとともに、安全にしかも緊急に復旧工事を行うことができる工法の選択が必要である。

(2) 恒久復旧工

恒久復旧工は、応急復旧によって仮開通をした後に、所定の安全性を確保できるようにさらにグレードをアップするものである。このとき、応急復旧から恒久復旧へと設計・施工の連続性が求められる。手戻りのない施工が必要である。したがって、応急復旧の工法の選択には、恒久復旧の工法を念頭に置いて、実施する必要がある。

3. ルート変更による事前対策工の事例

3.1 関西本線・亀の瀬付近の地すべり災害

奈良盆地から大阪平野に流れる大和川右岸に位置する亀の瀬は、万葉集に畏（かしこ）の坂と詠まれたように、古代から地すべりで有名である。この地すべりは、原川累層（凝灰岩）などを境とする新期ドロコロ溶岩が地すべり土塊となっているもので、その概念図は図-1のようである。

ここに大阪鉄道（後の関西本線）が建設されたのは1890年であり、図-2 (a)に示すように、柏原から河内堅上にかけて大和川の右岸を走行した。途中の亀の瀬では短いトンネルを掘削したが、それは亀の瀬地すべりの土塊の中を貫通していることが発見された。1903年に地すべりが原因で大和川の河床が隆起し、さらに1931年には約32 haに及ぶ地すべりが発生し、図-1に示す亀の瀬トンネルも崩壊した。同時に隆起した河床が原因で、翌年の1932年には豪雨災害も引き起こすことになった。

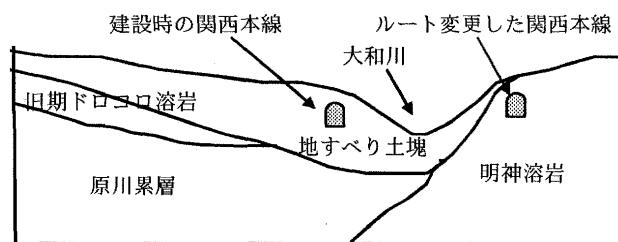


図-1 亀の瀬地すべりを避けてルート変更された関西本線

3.2 災害の回避のためのルート変更

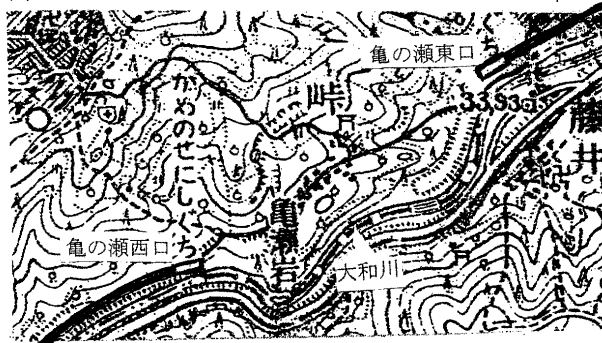
地すべり中に掘削された図-1の亀の瀬トンネルは1931年の地すべりによって圧壊したので、鉄道輸送は分断された。そのため、図-2 (b)地すべりをまたぐ両端に亀の瀬東口と亀の瀬西口の両停車場を設け、峠を越える約1.4 kmは徒歩連絡とし、30分の待合わせて列車に連絡した²⁾。

亀の瀬地すべりは今後も引き続いて起こることが予測され、このルートのままでは災害を回避できないと判断された。そこで、図-2 (c)に示すように大和川左岸に鉄道のルートを変えることが計画され、大和川を横断する2本の橋梁と明神山トンネルを含むすべての工事が1933年に竣工した。これによって地すべり災害は回避される

(a) 鉄道開業時のルート



(b) 災害直後の鉄道ルート



(c) 災害後のルート変更

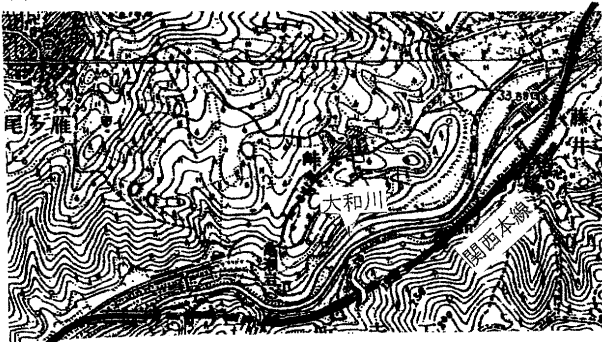


図-2 災害の回避を目的とした鉄道ルートの変更^{3),4)}

ことになったが、これは2.2(3)に示した事前対策工のうちの災害の回避に相当するフェーズである。

4. 排土工による恒久復旧事例

4.1 災害の概要

1998年9月25日、高知地方を襲った豪雨により各地で土砂災害が各地で発生した。JR土讃線においても切土崩壊、盛土崩壊などの斜面崩壊をはじめする多数の被害を受けた。中でも繁藤駅から土佐山田駅間だけで大小あわせて22箇所斜面崩壊が発生し、当該区間の全面復旧までに3ヵ月間を要した。ここでは、地すべり性の崩壊を防止するために以前より表面排水工が施工されていた箇所が、再滑動した箇所に対し、斜面上部の排土工を行うことによって安定を確保した事例⁵⁾を述べる。

4.2 被災時の降雨状況

瀬戸内海付近に停滞した秋雨前線の活動が24日早朝から活発化し、高知地方を中心に広い地域で豪雨をもたらした。JR土佐山田駅で観測された雨量データを図-3に示す。24日20時から25日5時までが降雨のピーク

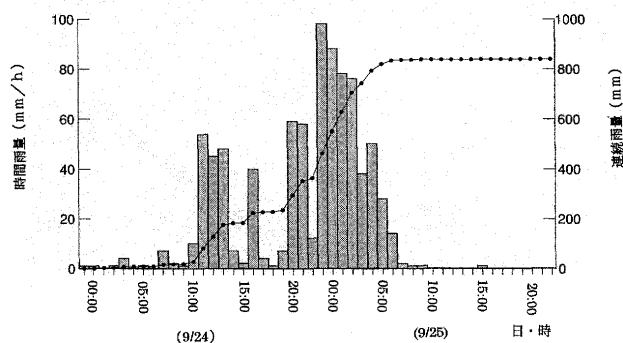
論文

で、この間に40 mm/hを超える時間雨量を断続的に記録し、24日23時には時間雨量98 mm/hを記録した。降り始めから降り止みまでの連続雨量は838 mmに達した。

4.3 災害箇所の状況

災害箇所は、JR土讃線新改・土佐山田間108 k 800 m付近の斜面であり、標高160 m程度の山の裾部に位置している。地質は、軟弱なシルトを含む泥岩であった。自然斜面末端部は一部が切土され線路が敷設されている。切土部分には表面防護工として張りコンクリートが施工されていた。その上部の自然斜面には、過去に地すべり性の滑動の兆候がみられたためか、数条の暗渠による排水工が施工されていた。JR発足以降は、今回のような豪雨は経験しておらず、これらの対策で安定が保たれていた。

この豪雨による被害は、張りコンクリートが施工してあった切土部分の一部が崩壊したもので、崩壊土量は約500 m³と比較的小規模な崩壊であるかのようにみられた。しかし、災害直後の調査で切土部より上部の自然斜面内に幅30～100 cm、段差50～100 cm、長さ10～15 mの亀裂が数箇所発見された。ここしばらくは安定していた地すべり土塊内部で当該豪雨が地下水上昇をもたらし、押し出しによる斜面末端部の崩壊であった。

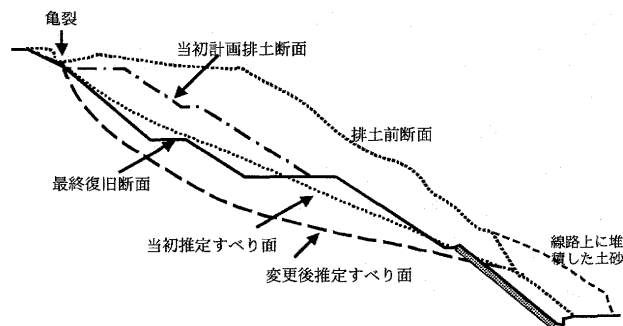


図—3 JR雨量計の観測記録⁵⁾

4.4 対策工の選定と施工

地すべり土塊のほとんどが斜面上に残されていることもあり、杭工による抑止工法が提案された。しかし、復旧現場に大規模な施工機械を搬入することが不可能であったこと、四国の南北を結ぶ大動脈である土讃線を早期に復旧させる必要があることから、早期竣工できる確実な工法とする必要性から、これを変更し、すべり土塊頭部の排土工による抑制工が採用された。

被害直後には伸縮計による地表面移動量測定を行うとともに、ボーリング調査、周辺の詳細踏査を実施した。すべり面の位置はこれらの調査結果に基づき推定した。推定した地すべり断面に対し、通常行われる逆解析によって土質定数を決定した後、頭部排土によって安全率 $F_s \geq 1.2$ が確保できるような断面を決定した(図—4)。排土工は伸縮計による監視のなか続けられたが、最上段を排土中に伸縮計にすべりの兆候がみられたため、一時工事を中断し、追加ボーリング調査を実施した。その結果、すべり面が当初推定していた位置より深いことが判



図—4 計画排土工断面図

明し、図—4に示す断面で排土するように変更した。

この事例は、排水工によって安定を確保していた箇所に対し、小崩壊を契機として抜本的な対策を施し、恒久対策とした事例である。

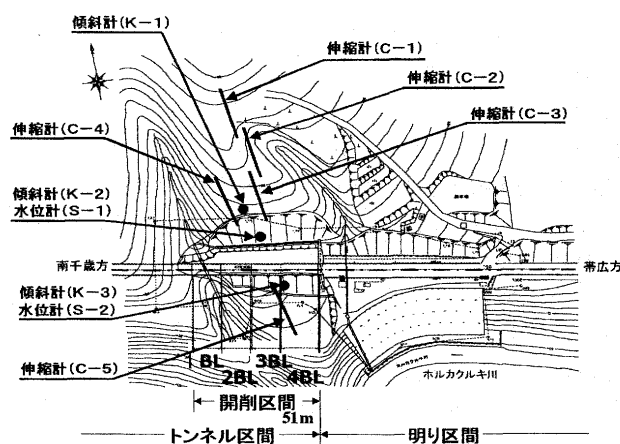
5. 地すべりによるトンネル変状対策事例

5.1 災害の概要

石勝線新夕張・楓間にある第4紅葉山トンネル出口付近では、1982年頃より融雪期に軌道狂いやトンネル覆工の断面縮小等の変状が見られていた。融雪期のみに変状の進行がみられるため、融雪による地すべりの影響と考えられていた。このため、当該箇所を特別な注意地区として図—5に示すように伸縮計による地表面の移動量、坑内傾斜計、地下水位などの地すべりに関する各種の観測やトンネル内の詳細な変状調査が行われ、原因の究明が進められていた。2000年5月には覆工の変形が急速に進行する現象が認められた⁶⁾。このときの冬の積雪量は特に多くはなく平年並みであったが、5月上旬に日雨量約100 mmというこの時期としては比較的多い降雨を観測したため、上部斜面の地すべりの滑動が活発化したものと考えられた。この事例で興味深い点は、トンネルの変状パターンにあり、この変状状態から地すべりのすべり方向とすべりの端部を推定し対策を実施したことである。

5.2 トンネルの変状状態と変状のメカニズム

当トンネルの出口付近は、標高350 m前後の夕張山地西縁端部とホルカルクキ川で形成された谷地形との境界



図—5 第4紅葉山トンネル出口平面図⁶⁾

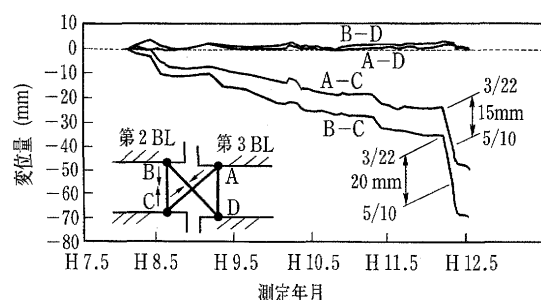
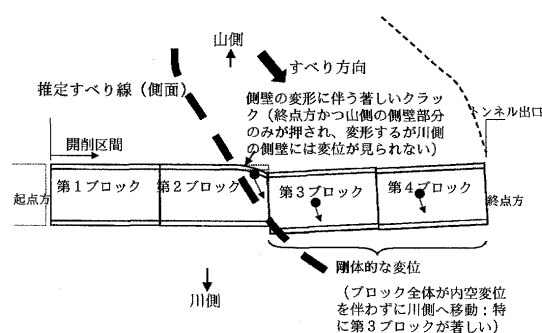
図-6 トンネル内空変位の経時変化⁶⁾

図-7 トンネル変状と地すべりの関係

部に位置しており、この出口から51 m 間は開削トンネル（4ブロック）として施工されている。地質は、古第三紀幌内層群の泥岩層である。変状の著しい区間は開削区間4ブロックのうちほぼ中間に位置する第2ブロックと第3ブロックであり、他のブロックに大きな変状は見られていない。図-6は第2ブロックと第3ブロックの過去5年間の内空変位の経時変化である。従来、融雪期には図のA-C間、B-C間に変化が見られたが、2000年の春には、B-C間の内空変位が20 mm 縮小するといった急激な変動を示した。この第2、第3ブロックの内空変位は大変複雑な動きを示した。すなわち、A-C間、B-C間に大きな縮小が見られるが、A-D間、B-D間にはほとんど変化が見られない。当該箇所の斜面地表部には目視確認できる地盤の変状は見られず、地すべりの方向や範囲が特定できずにいた。この変形パターンと斜面内に設置された傾斜計から地すべりの方向が推定された。すなわち、トンネルで計測された変状から、図-7に示すように、地すべり側面が第2ブロックと第3ブロックの間にあり、第2ブロックの山側側壁だけが移動土塊内にあるために押されて変形する。しかし、川側の側壁は不動土塊内にあるために、このブロックの終点方B-C間には縮小が見られる。一方、第3ブロック全体がすべり土塊の中にあるために、第3ブロック内の内空変位（A-D間）は見られないものの、このブロック全体が川側に押され、第2ブロックの川側側壁との間（A-C間）には縮小がみられる。すなわち第2ブロックと第3ブロックの境界部にすべりの端部が位置し、その方向はおおむねトンネルとほぼ45°の角度で交差していると推定された。

5.3 対策工

覆工の損傷が著しい上に内空変位の急激な縮小がみら

れた第2ブロックには、応急対策としてセントル補強を行った。斜面には横ボーリングによる緊急的な水抜きが行われた。その後、恒久対策工として、(1)斜面上部の排土による荷重軽減、(2)切土部分に対し、地山復元による安定性確保（押さえ効果）、(3)杭工やグラウンドアンカーによる抑止工、の3案が対策案としてあげられた。斜面上部が保安林や墓地として利用されていることや、切土部の地山復旧は損傷を受けている覆工に付加をかけることなどの危険性が指摘されたため、(3)案による対策が選定された。地質調査結果や傾斜計のデータからすべり面を推定し、所要安全率 $F_s=1.2$ が確保できるように、杭径 $\phi=2.0$ m、杭長 $L=17$ m、杭ピッチ3.0 m、本数 $n=13$ 本とする深礎杭とグラウンドアンカー12本の併用工法による対策工を実施した。図-8は対策工の概

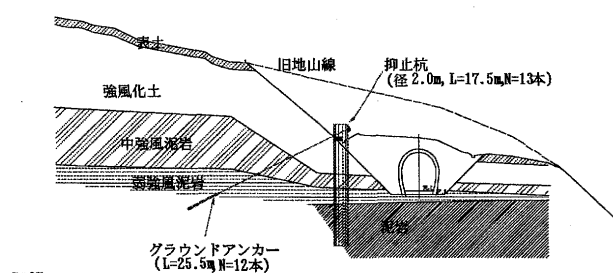


図-8 地すべり抑止杭断面図

要図である。

6. おわりに

鉄道沿線で受ける斜面災害に対する対策工の基本的な考え方を示すとともに、比較的災害規模が大きい三つの事例を紹介した。鉄道ではこれよりも小規模な災害を受ける頻度が多いが、災害復旧に対する考え方は、被害の大小にかかわらず同じである。近年、事前防災投資の考え方が定着し、災害発件数は減少していると同時に、被害を受けた場合に即座に対応できる経験ある技術者も減少しつつある。こうした意味では、災害復旧事例は貴重な資料となるものであり、今後は小さな復旧事例についても残す方策を考える必要があると思われる。

参考文献

- 1) 岡田勝也：自然災害に対する鉄道防災の研究開発の回顧と展望，鉄道総研報告，Vol. 9, No. 3, pp. 1～6, 1995.
- 2) 昭和7年5月号（時刻表）：大阪仕入案内，p. 36/39, 1932.
- 3) 「信貴山」，「大和高田」1/2.5万地形図：大日本帝国陸地測量部（大正15年発行），地理調査所（昭和26年発行）.
- 4) 「大阪東南部」1/5万地形図：地理調査所（昭和21年発行）.
- 5) 四国旅客鉄道株式会社：平成10年度土讃線豪雨災害復旧記録誌.
- 6) 山内 淳：地すべりに伴う第4紅葉山トンネル変状の計測監視と対策工，平成13年度総合技術講演会（建造物検査）講演概要集，(株)日本鉄道施設協会，pp. 13～16, 2001年10月.

（原稿受理 2003.5.8）