

鉄道土構造物の災害復旧

Restoration of Railway Earth Structures Damaged due to Disaster

杉 山 友 康 (すぎやま ともやす)

(公財) 鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 部長

太 田 直 之 (おおた なおゆき)

(公財) 鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 主任研究員

1. はじめに

3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、及び翌12日未明に発生した長野県北部を震源とする地震では、東北および信越地方にある多くの鉄道構造物が甚大な被害を受けた。また、7月に発生した新潟・福島豪雨では、新潟県上越地方や福島県会津地方の鉄道の各所が寸断される被害が発生した。これらのような激甚災害以外にも、毎年のように発生する豪雨や地震、強風を原因として、年間数百件の斜面災害が鉄道沿線で見られている。これに加えて、東北地方太平洋沖地震に連動した断層活動の活発化や、地球温暖化に起因したゲリラ豪雨の増加など、自然災害の発生頻度が高まりを見せつつあるような印象を受ける。

本稿では、このような斜面災害が発生した場合に、鉄道で行われている土構造物の復旧の考え方を解説するとともに、減災を目的とした取り組みについて述べる。

2. 鉄道の斜面災害

2.1 災害の種類

鉄道で発生する斜面災害の多くは、盛土の崩壊、切土の崩壊、土砂流入や土石流、線路流失、落石などに分類され、この他まれに地すべりによる災害が発生している。ここで、線路流失という被災形態は鉄道特有の分類であると思われる。これは、豪雨によって河川や水路から氾濫した流水が線路に達し、道床を流失させる災害を指している。平成21年に発生した台風9号による災害では、兵庫県西部を流れる作用川流域における中小河川の氾濫により、広い範囲で図一のような氾濫水による線路流失が発生した¹⁾。

盛土、切土の崩壊と土砂流入や土石流、線路流失、落

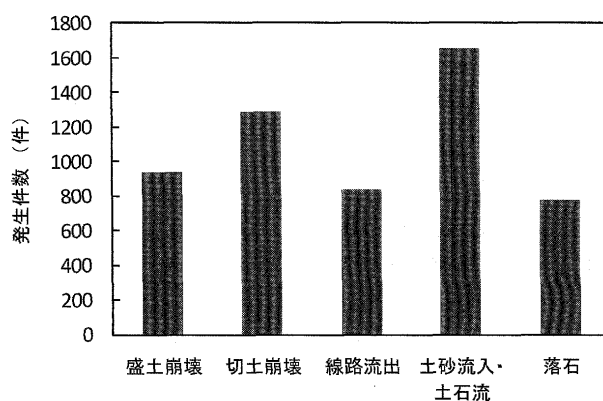


図一 線路流失の例

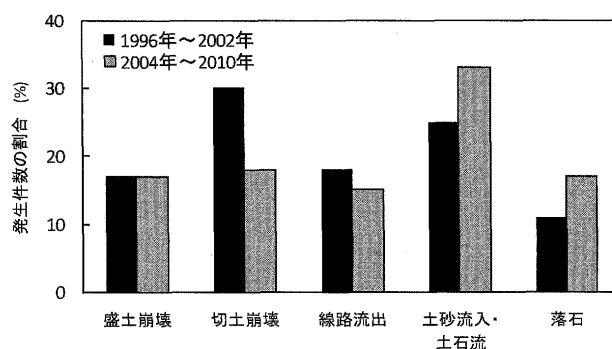
石との違いは、前者が鉄道用地内を発生源としているのに対して、後者の多くは用地外を発生源とするところにある。この差違は、後述するように、復旧対策や防災対策の策定に大きく影響を及ぼす検討事項となる。

2.2 被災形態の変化

図一2はJR旅客6社で過去15年間に発生した上記地すべりを除く5種類の災害について、種別ごとに発生件数を示したものである。これら5種類の災害については、15年間で約5500件発生しており、毎年数百件の斜面災害が発生していることがわかる。また、図一2に示したデータのうち前半および後半の各7年間で比較した結果を図一3に示す。両者の発生件数は、前半が約2300件、後半が約2900件と、近年7年間の方が増加しているが、近年、切土崩壊・変状および道床・線路流出等の割合が減少し、その一方で、土砂流入・土石流および落石・岩石崩壊の割合が増加していることがわかる。また、線路流失については、割合こそ低下しているものの、その発生件数自体は近年増加する傾向にある。この



図一2 災害種別毎の発生件数 (1996年～2010年)



図一3 災害種別の内訳の変化

ような傾向は、盛土や切土法面という鉄道用地内の斜面に対する対策が進んだことで、鉄道施設そのものの防災強度が相対的に向上したこと、またその一方で、土砂流入や土石流、あるいは落石といった鉄道用地外を発生源とする災害の割合が増加していることを示唆している。

このような、土砂流入や土石流、あるいは線路流失の増加は、雨の降り方の変化に大きく依存していると考えられる。近年、気候温暖化に伴い短時間豪雨が降る回数が増加傾向にあること、また、時間あたりの雨量そのものが増加していることが指摘されている²⁾。短時間に集中的に降る豪雨は、斜面の表層崩壊を引き起こし易く、沢上流の斜面で崩壊が発生した場合には崩土が土石流となり、沢の出口に位置する線路へ押し寄せることとなる。また、計画排水量以上の豪雨が降ることによって線路周辺の水路が溢れて道床が流されるといった災害が発生することになる。このように、被災形態の変化は雨の降り方の変化にも関係していることが推察される。

3. 災害復旧の考え方

3.1 復旧のながれ

復旧に向けた取り組みは、通常、図—4 に示すような流れに概ね沿って行われる。

(1) 状況の把握

復旧にあたっては、災害の発生原因を推定することが必要であり、そのためには、現地調査によって状況を正確に把握することが重要である。また、現地で知ることのできる情報の他に、地形・地質条件、災害発生時の気象状況、過去の災害発生履歴や検査記録などの資料も原因推定のために有効な情報となる。

また、復旧にあたっての施工条件を検討する際にも現地の状況を詳細に把握する必要がある。

(2) 緊急的な措置の必要性の判断

斜面の崩壊箇所には不安定部分が少なからず残り、これが応力開放によって崩落する場合がある。また、崩壊

によってさらにその背後の地山が不安定な状態となり、崩壊部が拡大する場合や、あるいは、先に発生した崩壊がさらに大規模な崩壊の前兆である場合もある。このような二次的な災害を避けるために、崩壊箇所周辺の亀裂や変状の有無を確認し、変状が発見された場合には可能な限り早期に測定を開始することが重要である。この場合、緊急的な対応として木杭やぬき板を用いた簡易な測定を行い、準備ができ次第順次観測態勢を充実させる。計測データは復旧対策の貴重な資料となるほか、復旧作業の中止や待避措置の発令にも使用される。

(3) 災害原因の推定

現地踏査や資料によって把握したデータを基にして災害の原因を推定する。複数の原因が推定される場合があるが、全てを勘案した上で適した対策を検討する。また、複数推定される原因の別に対策が大きく異なる場合などには、必要に応じて詳細な調査を追加して原因を絞り込む。対象調査結果や資料を整理し、災害発生原因を理論的に推定することが重要である。

(4) 応急対策

斜面災害については、崩壊箇所そのものの安定化を図る対策工（発生源対策）が基本となる。ただし、発生源対策の施工には往々にして長い時間がかかる。そこで、仮設防護柵などの待ち受け対策、崩壊検知センサーや速度規制などのソフト対策を組み合わせるなどして、比較的短期間に実施可能な応急対策を行い、十分な安全性を確保したうえで仮に復旧させる。

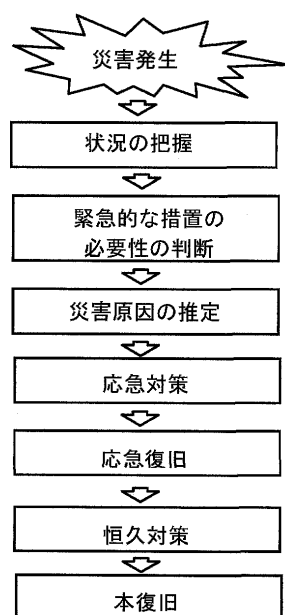
(5) 恒久対策

恒久対策は、推定された斜面の崩壊原因に応じた対策を実施し、要因を除去することを目的とする。恒久対策によって不安定要因が十分に除去されたと判断された場合、応急対策で施工された仮設の対策工や検知センサーの撤去、または徐行などの運転規制の解除が可能となる。また、災害の形態によっては、応急対策と恒久対策とが同時に施工される場合もある。

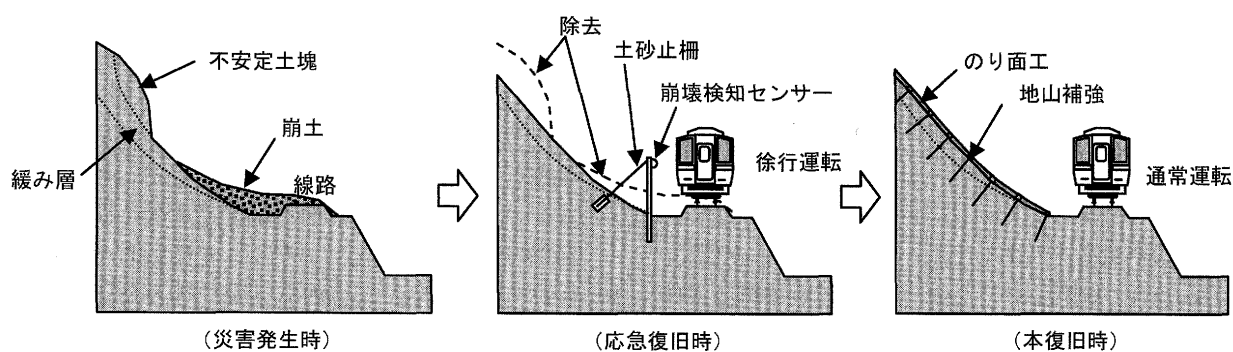
3.2 復旧の種類

上述のように、鉄道では、早期運行再開の観点から、復旧対策を応急復旧と本復旧とに分けて考えることを基本としている。応急的なハード対策と崩壊センサーの仮設や徐行措置などを併用し、十分な安全性を確保した上で列車の運行を再開することを応急復旧と呼んでいる。また、災害前と同等か、あるいは災害以前よりも高い安全性を確保した復旧状態を本復旧とよんでいる。本復旧のほうが応急復旧よりも必然的に長い時間を必要とするため、早期復旧が求められる鉄道にあっては、応急復旧で運行を再開させることを第一の目標として計画し、さらに対策を追加施工した上で本復旧を行う。

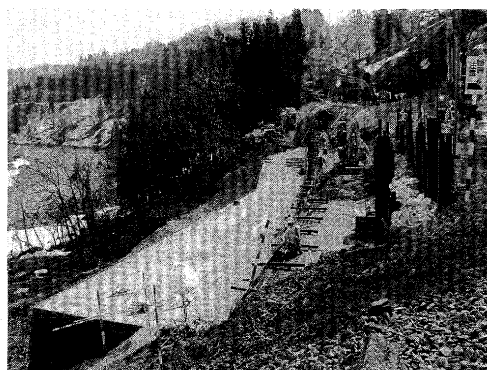
例えば、図—5 に示した斜面崩壊による土砂流入のような被災形態の場合、線路上に堆積した土砂を除去することで、列車を走らせることはできる。しかし、発生源に対策が施工されていない状態では、再び崩壊が発生し崩土が線路に到達する可能性が考えられる。そこで、一定量の崩土に対する土砂流入防止を目的とした土砂止柵



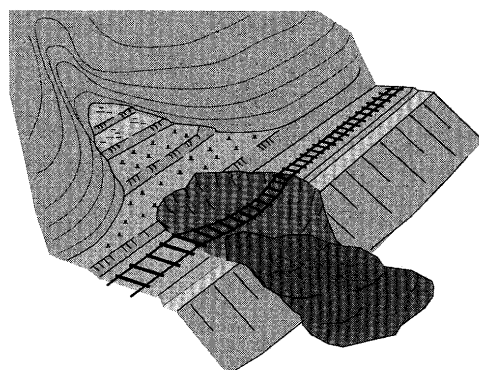
図—4 基本的な復旧までのながれ



図一5 応急復旧と本復旧の例



図一6 盛土補強土工法による復旧状況



図一7 沢の出口に位置する盛土の崩壊

を線路脇に施工する。また、予想を越える規模で崩壊が発生して土砂止柵が倒れ、崩土が線路に到達する場合を想定して崩壊検知センサーを設置しておき、このような場合でも列車を安全に停車できるように措置しておく。このような不測の事態に対する備えを講じた上で、十分な安全が確保されたと判断されれば応急復旧として列車の運行再開を行う。この場合、応急復旧までの対策は、崩土および発生源の不安定箇所を除去、土砂止柵および崩壊検知センサーの設置であり、短時間での応急復旧が可能となる。この後、列車を運行させながらより詳細な調査を行い、これを基に崩壊要因を除去するための崩壊発生源に対する補強対策を行うなど、恒久的な安定化対策（恒久対策と呼ぶ）を実施する。恒久対策が終了した後に土砂止柵および崩壊検知センサーを除去し、徐行を解除することで崩壊以前の運行状態に戻すことができ、本復旧が完了となる。

また、応急から本復旧という段階を踏まずに、最初から本復旧を行う場合がある。例えば、盛土の復旧に図一6に示すような盛土補強土工法を適用した場合がこれにあたる。従前、盛土を復旧する場合その盛立てに工期が掛かるため、鋼材等を用いて仮設の橋台や橋脚を構築し、応急的に復旧させる場合があった。このような復旧方法に替えてRRR工法を適用し、応急復旧を経ずに一気に本復旧を目指す方法が近年多く採用されている。RRR工法は、盛土の急勾配化が可能であるため施工土量を抑えることができ、急速施工が可能である。また、施工にあたって大型の機械を必要としないことから、山間地を走る鉄道の復旧にも有利な工法といえる。運行再開までに要する期間は、応急復旧を実施した場合よりも若干長

い時間を要すると考えられるが、本復旧までに掛かる時間を総合的に考えた場合、当初から本復旧を目指した方が有利となる。このような利点から、2004年に発生した新潟県中越地震の復旧工事³⁾で採用され、これ以降、多くの盛土の災害復旧で採用されている。

また、RRR工法を用いた復旧では、被災前の盛土より安定度の高い盛土が構築されるため、結果として強化復旧が実現されることになり、このような観点からも同工法は有効な復旧方法といえる。一方、国や自治体から災害復旧費の補助を受ける場合、原形復旧が基本とされる。このことから、上記のような性能強化につながる工法の採用が見送られることがある。鉄道という公共性の高いインフラストラクチャーにあって、同様の災害を繰り返さないよう安全性を高めるためには、災害復旧時に改良あるいは強化復旧を目指すことを基本とすべきであり、今後制度の改善が望まれる。

3.3 復旧対策の計画にあたっての留意事項

鉄道に限ったことではないが、斜面災害の復旧にあたっては、必ず災害要因に応じた対策を施工する必要がある。原因が地震なのか、降雨なのか、老朽化なのか、その原因に応じて施工すべき対策が異なる。例えば、豪雨時に発生した盛土の崩壊については、多くの場合、災害発生前の水の処理が適切であったかどうかで復旧対策のポイントとなる。図一7は豪雨による盛土崩壊の代表的事例といえる谷渡り盛土の崩壊例を模式的に示している。崩壊箇所の山側は、沢を埋めた棚田状の地形をなしているが、現況は休耕地であり荒廃地となっている。旧棚田の上方は湛水しているが、下方の線路際は湛水していません。したがって、常時には線路周辺を

流れる表流水はなく盛土表面も比較的乾燥した状態にあるため、この箇所では盛土を横断する排水設備は設置されていない。このような箇所では崩壊が発生した場合、崩壊面底部で湧水が発生していることが多く、通常から盛土下を伏流していた沢水が、豪雨によって水量が増加したため盛土内の地下水位が上昇して崩壊に至った可能性が考えられる。すなわち、沢水による地下水位上昇という不安定化の素因を有している箇所に降雨という誘因が作用し崩壊が発生したと推定される。

このような箇所に対しては、常時に流水はなくても異常時対応として横断排水工を施工する必要がある、また、盛土内の浸透水を円滑に排出する対策が必要と考えられる。したがって、盛土の復旧にあたっては、横断排水工の設置の他に、排水プランケットの設置や排水パイプの打設など、浸透水の積極的な処理といった不安定要因を排除するための対策を欠かすことはできない。また、状況に応じて上方の沢水をきり廻す水路工を検討する必要がある。

このように、復旧にあたってはその災害を引き起こした原因を除去する対策を施工することが重要である。

4. 減災の取り組み

地震や豪雨などの自然の外力は強大であり、それらから引き起こされる自然災害を完全に防ぐことは、極めて困難である。したがって、各鉄道事業者では、減災の観点から切土や盛土などの土構造物に対する検査を実施して予め弱点箇所を抽出し、必要に応じた措置を講じる取り組みを行っている。

土構造物に対する検査は、平成19年1月に国土交通省鉄道局長より通達された「鉄道構造物等維持管理標準」を基にして、各鉄道事業者が作成した実施基準に則り実施されている。なかでも全般検査は定期的な実施を義務づけられた検査であり、これによって検査対象とする土構造物の健全度を評価している。健全度は、表1のような大きく4種類の判定区分に分けられている。Aと判定されたものについては、列車の正常な運行を脅(おびや)かすとされ、緊急度に応じた対策が講じられる。このような判定は、対象構造物に現れた変状だけでなく、その構造物の立地条件等から想定される不安定要因からも評価される。例えば、図7のような谷渡り盛土は不安定要因を有する盛土と考えられ、盛土に湧水等が確認されればA判定、湧水や湿潤な状態が確認されなくてもB判定、沢からの流入水の処理等対策が施工されており、かつ、湧水等が確認されなくてはじめてC判定となる。

このような検査を定期的に行うことにより、崩壊が発生する可能性がある箇所を選定し、計画的に措置を講じることによって災害を未然に防ぐ努力がなされている。

表1 構造物の状態と標準的な健全度の判定区分

健全度	構造物の状態
A	運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす、またはそのおそれのある変状等があるもの
	AA 運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす変状等があり、緊急に措置を必要とするもの
	A1 進行している変状等があり、構造物の性能が低下しつつあるもの、または、大雨、出水、地震等により、構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2 変状等があり、将来それが構造物の性能を低下させるおそれのあるもの
B	将来、健全度Aになるおそれのある変状があるもの
C	軽微な変状等があるもの
S	健全なもの

また、このような土構造物の維持管理に関する検査は、台風などの広範囲に及ぶ外力による被災箇所を少なくする効果があり、災害復旧作業の軽減にもつながる取り組みといえる。

また、維持管理標準では、基本的な適用範囲を鉄道事業者が管理している土構造物としている。一方、前述のような部外用地を発生源とする被災形態が増加する傾向にあることから、より広範囲斜面に対する適切な安定度評価が求められている。

5. おわりに

本稿では、鉄道における災害復旧の考え方を中心に述べた。鉄道は道路とは異なり迂回路を設けることができないため、災害復旧にあたっては、早期運行再開を基本にした復旧方法を適用する必要がある。また、災害を未然に防ぐため、あるいは災害が発生してもその規模を最小限に抑える措置を講じておくための日常的な検査が重要であることを述べた。

昨今、気候変動に起因する自然外力の変化により、災害形態の多様化や拡大がみられるようになっている。このような状況の下、早期復旧のための省力化工法と、弱点箇所の適切な評価・抽出技術の開発を継続的に進めることが、山間線区の多い我が国の鉄道の災害復旧にとって必要不可欠であると考えられる。

参 考 文 献

- 金子幸弘：平成21年度台風9号災害による姫新線播磨徳久・美作間土砂災害，日本鉄道施設協会誌，Vol. 48，No. 6，pp. 26～28，2010.
- 太田直之・杉山友康：災害の推移と今後の防災，日本鉄道施設協会誌，Vol. 47，No. 6，pp. 17～19，2009.
- 谷口善則・森島啓行・齋藤 貴：新潟県中越地震における鉄道土構造物の被害と復旧，地盤工学会誌，Vol. 56，No. 7，pp. 28～31，2008.
- 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）土構造物（盛土・切土），丸善，2007.

（原稿受理 2011.8.24）