

復旧性評価データベースによる鉄道構造物の地震時復旧性評価法の改良

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○名波健吾 坂井公俊 和田一範 田中浩平

(公財) 鉄道総合技術研究所 (現 東京地下鉄 (株)) 正会員 神澤拓

1. 背景と目的 鉄道をはじめとする社会インフラを担う構造物は、その安全性を担保するだけでなく、使用不能な状態に陥った場合にも可能な限り早期復旧することが望ましい。鉄道では 2018 年大阪北部地震、2021 年福島県沖の地震などにおいて、被害状況の把握やその後の復旧作業等に時間を要した。このとき、被害シミュレーションにより得られる個別構造物の被災状況から復旧日数が評価できれば、迅速な運行再開可否の判断が可能となる。筆者らの一部は、鉄道構造物の地震時復旧性を評価可能とするために、構造種別と損傷レベルに応じた復旧工事の人工、費用等を整理したデータベース（以下、復旧性評価 DB とする）に基づいて整理する手法を提案し¹⁾²⁾、復旧性評価 DB で用いた工種の精査や過去の復旧事例との比較を行うとともに³⁾、構造種別間での復旧性の比較を行っている⁴⁾。本稿では、復旧性評価 DB を用いた地震時復旧性評価に際して、構造種別や損傷部位を追加するとともに、復旧事例を反映して工種や作業数量を再整理した結果について述べる。

2. 地震時復旧性評価法の改良 既往の地震時復旧性評価法¹⁾による復旧日数の評価フローを図-1 に示す。まず①構造物の損傷状態を評価する。次に②復旧目標を設定し、③復旧性評価 DB から必要な工種を抽出する。最後に④周辺環境の条件を必要に応じて考慮したうえで、⑤工種ごとの作業数量を積算することで、⑥復旧日数を評価する。本稿では、復旧性評価 DB (③) の追加、構造物の損傷状態の評価 (①) の見直しと工種ごとの作業数量 (⑤) の再整理を実施した。

具体的な改良点を表-1 に示す。まず、復旧性評価 DB に含まれる対象構造物として、ラーメン高架橋の杭基礎が損傷した場合、および 2 層式ラーメン高架橋の柱と中層梁が損傷した場合を追加した (表-1(A))。次に、損傷状態の見直しとして、従来の検討では各構造物の損傷レベル 1 はひび割れ補修を要する程度の損傷を想定していたが、鉄道構造物の耐震設計時の定義⁵⁾や過去の復旧事例^{例えば6)}を参考にすると、ほぼ無損傷であったことから、点検作業のみで運行再開できるとした (表-1(B))。最後に、復旧事例を参考に、夜間作業を考慮した復旧工程の算定や、運転再開後も作業可能な工種 (足場撤去等) の削除を行うとともに、類似の構造物間の作業数量を比較して、考え方を統一した (表-1(C))。例えば、開削トンネルと 1 層式

ラーメン高架橋 (柱損傷) の各工種は類似しているため、作業延長と作業班数の割合が同程度になるように調整した。以上より、多様な構造種別において、現実的な復旧日数の評価が可能となった。

3. 復旧日数の評価結果 本章では復旧日数の評価例を示す。復旧目標は応急復旧 (徐行運転が可能なレベル) とし、周辺環境は一般的な条件とした。

まず、従来の検討と今回の検討の比較として、1 層式ラーメン高

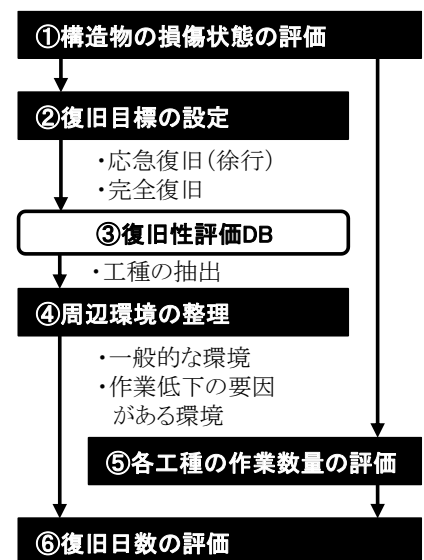


図-1 地震時復旧性評価フロー

表-1 地震時復旧性評価法の改良点

改良点	従来の検討 ^{1)~4)}	今回の検討
(A)復旧性評価 DB の追加 (図-1③)	1 層式ラーメン高架橋 (柱), RC 橋脚 (柱, 杭基礎), 盛土, 橋台 (躯体), 擁壁, 開削トンネル, シールドトンネル, 山岳トンネル	左記に, 1 層式ラーメン高架橋 (杭基礎), 2 層式ラーメン高架橋 (柱+中層梁)を追加
(B)損傷状態の見直し (図-1①)	損傷レベル 1 において, 補修を要していた	復旧事例を参照し, 損傷レベル 1 は点検作業のみとした
(C)工種ごとの作業数量の再整理 (図-1⑤)	・夜間作業は未考慮 ・運転再開後も作業可能な工種の存在 (足場撤去等) ・構造物間の工種, 作業数量の整合性は未考慮	・夜間作業の考慮 ・運転再開に必要な工種のみ限定 ・構造物間の工種, 作業数量の考え方を統一

キーワード 復旧性, 鉄道構造物, 復旧事例

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7336

架橋（柱損傷）の評価結果を復旧事例とともに図-2 に示す。本図から、損傷レベル1～3においては、今回の結果が従来の評価結果よりも復旧事例の日数に近い。一方で、損傷レベル4については今回の検討結果と復旧事例に乖離が見られる。これは今回の検討が曲げ破壊による損傷を想定したものであるのに対し、復旧事例はせん断破壊であり、損傷状態が異なるためである。

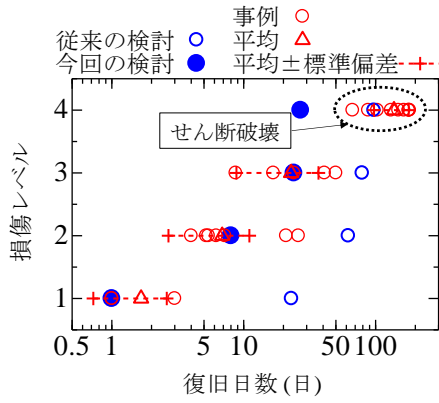


図-2 従来の方法と事例の比較例

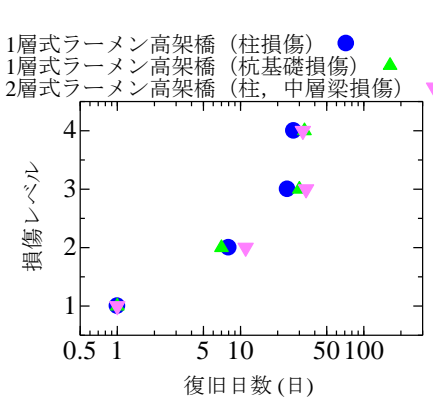


図-3 構造物毎の復旧日数の比較例

次に、新たに追加した構造種別として、1層式ラーメン高架橋（杭基礎損傷）、2層式ラーメン高架橋（柱、中層梁損傷）の復旧日数の評価結果を図-3 に示す。本図より、損傷レベル1, 2では各構造物間で有意な差は生じない。これは、点検または簡単な補修のみの工種であるためである。一方で、損傷レベル3, 4では、柱損傷の場合と比較して杭基礎損傷の場合の復旧日数が長いことが確認できる。これは、杭基礎は表層地盤を掘削して補修する必要があるためと考えられる。同様に1層式ラーメン高架橋（柱損傷）と比較して2層式ラーメン高架橋（柱、中層梁損傷）の復旧日数が長いことが確認できる。2層式は中層梁の補修が必要となることで、1層式に比べて工種が多いこと、補修範囲が広いことが要因と考えられる。このようにして評価した復旧日数の大小関係は、実際の復旧工程から想定される傾向と調和的な結果となることも別途確認している。

最後に、上記方法で各構造形式において復旧日数を評価した結果を表-2 に示す。この結果を用いることで、各構造物の損傷レベルに対応するおおよその復旧日数が把握可能となる。なお、本検討では代表的な構造種別、損傷箇所について一般的な周辺状況下での復旧日数の評価を行ったが、当然のように他の構造形式や箇所が損傷する場合や周辺状況に工程を遅延させるような制約条件があると、今回の結果をそのまま用いることはできない。これら条件が変化した場合でも、図-1 のフローに従った同様の検討を実施することで、復旧日数が評価できる。

4. まとめ 復旧性評価 DB を用いた地震時復旧性評価において、構造種別や損傷部位を追加するとともに、復旧事例を踏まえた工種、作業数量等の精査を行った。その結果、実態に近い形で復旧日数の評価を実施した。今後も復旧事例等の蓄積による手法の改良や、構造種別、損傷形態の追加による評価結果の充実を図りたい。

参考文献 1)神澤ら：復旧性評価データベースを活用した鉄道構造物の復旧性評価法の提案，第22回橋梁等の耐震設計シンポジウム，2019. 2)田中ら：復旧性評価データベースによる鉄道構造物の復旧性評価法の構築（その1 評価法の概要について），第74回土木学会年次学術講演会，2019. 3)神澤ら：復旧性評価データベースによる鉄道構造物の復旧性評価法の構築（その2 RC ラーメン高架橋を対象とした復旧性データベース），第74回土木学会年次学術講演会，2019. 4)神澤ら：復旧性評価データベースによる鉄道構造物の復旧性評価法の構築（その3 構造種別ごとの復旧性の違いに関する考察），第75回土木学会年次学術講演会，2020. 5)鉄道総研編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，2012. 6)小林ら：東北地方太平洋沖地震におけるRCラーメン高架橋柱の損傷度と復旧性に関する分析，コンクリート工学年次論文集，2012.

表-2 各構造種別の復旧日数の評価結果

損傷レベル	橋梁		1層式ラーメン		2層式ラーメン		橋台	擁壁	開削トンネル	シールドトンネル	山岳トンネル	盛土
	柱	基礎	柱	基礎	柱, 中層梁	<体						
損傷形態	曲げ破壊								せん断	欠損		残留変形
損傷箇所	柱	基礎	柱	基礎	柱, 中層梁	<体	<体	中間柱	セグメント	覆工	盛土本体	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	8	6	8	7	11	6	7	8	7	8	4	
3	22	27	24	30	34	27	26	17	18	12	5	
4	28	28	27	33	32	30	26	13	66	19	16	15