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構築
（その１　評価法の概要について）

（公財）鉄道総合技術研究所　　正会員　　田中　浩平　○神澤　拓

1.　背景と目的

鉄道，道路，ガス，水道，電気といった社会基幹インフラは，地震時の安全性の確保はもちろんのこと，各機能の維持，早期復旧できる性能を具備することについての社会的な要請が高い．鉄道では，2018 年大阪北部地震，2018 年北海道胆振東部地震といった大都市近郊で発生した地震において，事前に定められた手順を適切に実施したものの，運転再開に係る対応に関してさらなる改善の方向性が議論されはじめている[1)]．

このような社会インフラに対して機能復旧や事業継続性を評価するためのシミュレーション手法が各種提案されている．これらの手法では，復旧に要する日数を，過去の被災地震における復旧事例に基づいて統計的に決めているものが多い．例えば，区間ごとの運休事例と震度の関係から個別構造物を特定せずに復旧日数を評価するもの[2),3) など]，構造種別と 2 段階の被害レベルから個別構造物の復旧時間を統計的に評価するものがある[4)]．被災事例から復旧日数を評価する場合には，事例が限られていることから被害状況の分類が大雑把にならざるを得ない．そのため，被害シミュレーションをどれだけ精緻に行っても，その結果が復旧性評価に反映されることがない．

近年，地点依存の地震動評価手法や個別構造物の応答評価を大規模に実施するような被害シミュレータ[5) など]が構築されている．また，個別条件を考慮した上で復旧シミュレーションが実施できるような手法も提案されている[6)]．そこで本研究では，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に応じて，復旧日数や人工等の情報をきめ細やかに評価できる方法を提案する．具体的には，構造種別，部材の損傷状態，復旧工法ごとに復旧工程のシミュレーションを行い，必要となる工種を積算していくことで，復旧日数や人工に関する情報を整理した（これを復旧性評価 DB と呼ぶ）．なお，ここで示す復旧性評価 DB は鉄道構造物の復旧工事のみを対象としており，運転再開までには構造物の点検時間や軌道，付帯構造物の復旧工事，列車の走行試験等を別途考慮する必要がある．

2.　地震時復旧性評価法の概要

建築分野では，個別構造物の復旧性を定量評価するための方法として，「新たな構造性能評価システム」[7)] が提案されている．この方法では，設計において安全性だけでなく，災害発生後の機能維持や早期回復が可能となるような評価の枠組みを構築することを目的とする．特徴的な点は，従来の外力評価，応答値評価に加えて，応答値から判断される損傷状態，復旧方法の組合せから，復旧に必要な日数や人工，費用を，事前に構築した修復性評価データベースを用いて評価する点にある．

上記の提案手法を参考に，鉄道構造物における復旧性を評価するためのフローを作成した（図-1）．

① これまでに提案されている被害評価シミュレーションから，個別の構造物の損傷状態を評価する．

② 復旧目標を設定する（例：徐行での早期運行再開を目指す応急復旧，通常速度を目指す完全復旧等）．

③ 鉄道構造物用に作成した復旧性評価 DB から，復旧に必要な人工，材料，機材を抽出する．これらの情報は，復旧工種ごとに与えられており，簡易評価の場合はこれらを合算した総合値で評価することもできる．

④ DB の数値は，標準的な構造条件，復旧条件に対して評価されたものであるため，特殊な条件の場合には，抽出した結果に変更を行う必要がある．復旧を遅らせる特殊条件としては，例えば，復旧作業に必要なヤードを十分に確保できない地点，被災箇所へのアクセス道路が整備されていない地点，河川内構造物が挙げられる．復旧を早める特殊条件として，機材・材料等の備蓄地点が挙げられる．復旧性の評価においては，これらの特殊条件は，復旧に必要となる作業工種の追加や，各工種における作業効率の低下などによって考慮する．

⑤ 構造物の損傷状態から，各工種における作業数量を評価する．

⑥ ③で抽出した数値と⑤の数量から，工種ごとに復旧に必要となる人工，材料，機材が評価できる．これに対し

キーワード　復旧性，鉄道構造物，レジリエンス
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 042-573-7394

© Japan Society of Civil Engineers

て実際に投入できる量を設定することで，必要日数が評価できる．この際に工種ごとに投入できるリソースの上限（作業効率）を設定することで，復旧日数が極端に短くなることを防いでいる．また，全工種を積算した総人工，材料，機材から投入リソースを除すことで，復旧に必要な日数を簡易に評価することもできる．

この評価法では，構造物の地点条件，構造条件，周辺環境，投入リソースといった条件を設定することで，構造物ごとに復旧日数や費用を精緻に評価することができる．評価には，復旧性評価 DB を構築する必要がある．

3. 復旧性評価データベースの概要

復旧性 DB を作成するにあたって対象とする構造種別・部材について，表-1 に整理した．それぞれに対して，具体的な損傷状態を設定した．いずれの構造種別・部材も，最終的な損傷状態は新設，取替えを必要とする致命的な損傷である．DB 構築にあたっての積算は，単価表や施工実績に基づいているが，別途収集した被災事例と比較することで DB の妥当性を確認する．表-2 に検証に用いる復旧事例数を示す．事例の収集にあたっては，兵庫県南部地震[8]，新潟県中越地震，中越沖地震，十勝沖地震，東北地方太平洋沖地震等の鉄道構造物の被害を収集している．

4. まとめ

鉄道構造物の被害シミュレーション結果から，個別構造物の被災状況を考慮して，復旧性を評価するための枠組みを構築した．その 2 では復旧性 DB の作成事例として，RC ラーメン高架橋における DB について説明する．

参考文献 1) 国土交通省：大阪北部地震における運転再開等に係る対応に関する連絡会議の開催について，http://www.mlit.go.jp/common/001240621.pdf, 2018.6, 2) 高浜勉，翠川三郎：地震時の鉄道運休時間の推定方法，日本地震工学会論文集，第 11 巻，第 2 号，pp.40-54，2011，3) 上原康平，丸山喜久：既往地震データに基づく高速道路の復旧予測に関する統計分析，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.72，No.4，pp.I_110-I_116，2016，4) 他谷周一，翠川三郎：地震による鉄道の運休期間の推計手法，日本地震工学会論文集，第 16 巻，第 9 号，pp.67-85，2016，5) 井澤淳，坂井公俊，本山紘希，室野剛隆：地震災害シミュレータの開発，日本鉄道施設協会誌，Vol.52，No.3，pp. 228-230，2014，6) 堀宗朗，弓削田恭平，市村強，Lalith Wijarthne：ライフライン地震被害に対する復旧過程のマルチエージェントシミュレーションの開発，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.67，No.1，pp.I_165-I_176，2011，7) 森田高市，向井智久，福山洋，加藤博人，斉藤大樹：災害後の建築物の機能維持・早期回復を目指した構造性能評価システムの開発，平成 23 年度国土交通省国土技術研究会，http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h23giken/program/kadai/pdf/ippan/ippan1-06.pdf，2011, 8) 運輸省鉄道局：よみがえる鉄路-阪神・淡路大震災鉄道復興の記録-，山海堂，p.451，1996.

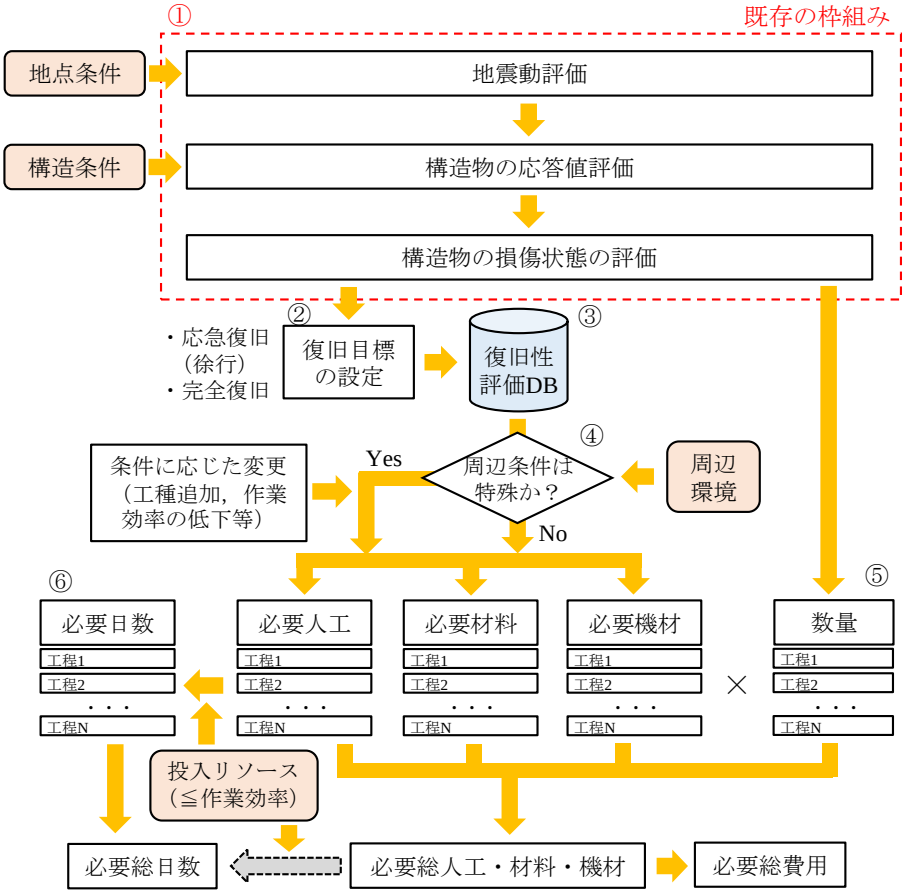

図-1 評価フロー

表-1 評価対象構造物

ラーメン高架橋（柱）	
1	柱端部のひび割れ
2	柱端部のかぶり損傷
3	柱端部で鉄筋座屈
4	致命的な損傷（要新設）

RC橋脚（躯体）	
1	橋脚基部にひび割れ
2	橋脚基部にかぶり損傷
3	橋脚基部に鉄筋座屈
4	致命的な損傷（要新設）

杭基礎	
1	フーチング周辺に空隙
2	杭頭部に鉄筋座屈
3	致命的な損傷

支承	
1	桁座面，側面にひび割れ
2	致命的な損傷（要取替）

盛土	
1	斜面部の残留変形
2	致命的な損傷（再構築）

表-2 復旧事例数（箇所）

損傷	1	2	3	4
ラーメン高架橋	4	7	6	12
RC橋脚	1	4	7	3
基礎	2	1	4	-
支承	12	17	-	-
盛土	12	2	-	-

© Japan Society of Civil Engineers