

鉄道ネットワークに対する地震対策効果の評価シミュレーターの開発

公益財団法人鉄道総合技術研究所

鉄道地震工学研究センター ○岩田直泰・田中浩平・山本俊六
信号・情報技術研究部 鈴木崇正・尾崎尚也・深澤紀子

1. はじめに

鉄道に対する地震対策は、耐震補強に代表されるハード対策が基本となる。加えて、強い揺れにより走行列車の安全性が懸念される場合等には列車を迅速に停止させ、その後適切に構造物や軌道等の点検を行い安全が確認された後に運転を再開する運転規制と言ったソフト対策も重要である。さらに、複数路線の構造物等に被害が生じた場合、どの路線を優先して復旧作業を行うかといった鉄道ネットワークの視点に立った戦略的な対応も地震対策に位置付けられる。従来、これらのハード対策、ソフト対策、復旧戦略の対策効果は別々に評価が行われてきた。鉄道のレジリエンス性能の向上を目指し、本研究ではネットワークにおける損失輸送量の最小化を評価基準として、これらの対策効果を統合的かつ定量的に評価できるシミュレーターを開発した。

2. 対策効果の評価シミュレーターの開発および評価の手順

地震時に構造物が被災したり運転規制を発令したりした場合、図1の通り鉄道ネットワークの性能(輸送量)は一旦低下し、その後の復旧作業や点検後の運転再開等によりその性能は回復していく。本研究では、各対策による効果を損失輸送量や損失時間と関係付け、これらの積分値が最小になるよう最適化計算を行うシミュレーターを開発した。これにより、対象の鉄道ネットワークが有する強さとその性能の回復力を評価できる。

評価の手順は図2の通り、まず①路線と構造物を設定する。本研究では、試験的検討に向けて図3に示す仮定の鉄道ネットワークを対象とする。次に、②地震動と③構造物被害を算出して、事前にデータベース化した各損傷レベルに対応する復旧日数や復旧人工を用いて④復旧リソースを設定する。そして、⑤対策シナリオを設定した上で⑥最適化シミュレーションを行い、各シナリオの比較により⑦対策の効果の相対評価する。

本研究の検討は、図3の仮定鉄道ネットワークが関東平野内にあると仮定し、想定首都直下地震の1つである東京湾北部の地震を対象とした。地震動の算出は地盤特性を考慮し、気象庁緊急地震速報の震度予測式(気象庁資料, 2019)に従い計算した。構造物被害として高架橋は室野ほか(2010)および坂井ほか(2012)の手法、盛土は坂井ほか(2012)の手法により算出した。高架橋の損傷を応答塑性率により4段階、盛土の損傷を沈下量により3段階にランク分けして求めた結果、強い揺れが設定されたB駅からAC駅間の河川橋梁と高架橋、AC駅からC駅間の盛土で損傷が生じる結果を得た。なお、復旧リソースのデータベースは各種構造物を対象に、損傷状態や復旧工法ごとのコストを積算することにより構築した。また、本研究ではハード対策、ソフト対策、復旧戦略の対策効果の定量的評価に向けて4つのシナリオを設定した。各対策シナリオの条件設定の考

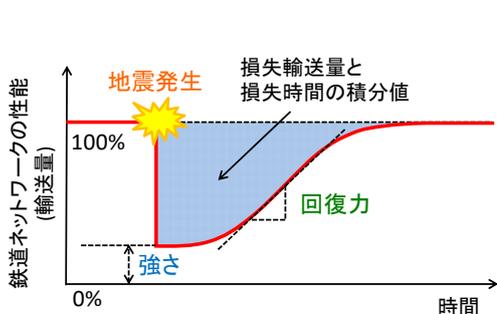


図1 性能低下の概念

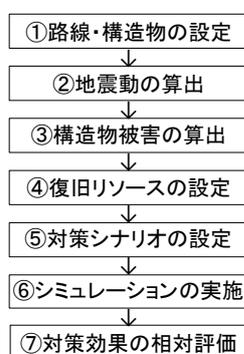


図2 評価の手順

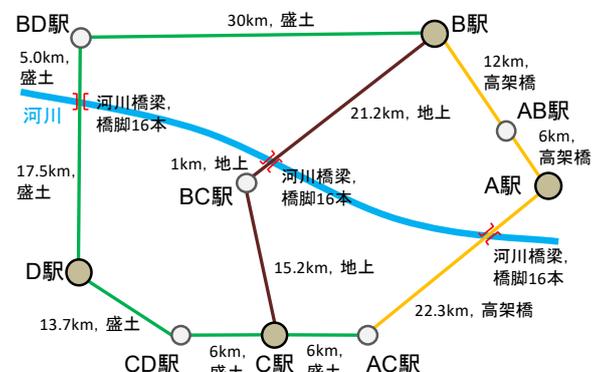


図3 設定した仮定鉄道ネットワーク

キーワード 鉄道ネットワーク, 地震対策, 耐震補強, 運転規制, 復旧戦略, 最適化

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・地震解析研究室 TEL 042-573-7273

え方を表 1 に示す。最適化シミュレーションをそれぞれのシナリオで行い、結果を比較した。

表 1 対策シナリオの条件設定の考え方

対策シナリオ	条件設定の考え方
初期シナリオ	対策を未実施。
ハード対策シナリオ	耐震補強等のハード対策により構造物が被る損傷は少なくなる。復旧に要するリソースを低減させることによりその効果を評価する。
ソフト対策シナリオ	早期地震警報等のソフト対策により早期運転停止によって脱線を防止できる。また、路線上の詳細な地震動の把握により、点検箇所での絞り込みを図ることができる。復旧作業開始までのリソースを低減させることによりその効果を評価する。
復旧戦略シナリオ	被った損傷に対する復旧作業の投入リソースを調整することにより、例えば主要路線に多くのリソースを優先的に投入する等の復旧戦略を評価する。

3. 仮想鉄道ネットワークによる評価事例

本研究の初期シナリオの条件設定を表 2 に例として示す。表中のリソースの単位は人・日である。必要復旧リソースや復旧作業の人数上限などを変更することにより、各対策の実施に関する設定を行う。この他にネットワーク全体の復旧作業人数の上限を設定する。本研究では、A 駅から AC 駅間の被害が大きくこの区間はまず徐行運転で仮復旧した後に、被災前と同じ運行率で本復旧する条件を設定した。

初期シナリオ、ハード対策シナリオ、復旧戦略シナリオによる輸送量回復の状況を図 4 に示す。なお、ここで示す復旧戦略シナリオは表 2 の復旧作業における上限人数を半数に制約した結果を示している。ハード対策シナリオは耐震補強により損傷が低減したことから復旧リソースを減少させた条件となり、輸送量回復の程度が最も早く 5 日で完全復旧する。また、復旧戦略シナリオは復旧作業のリソースを制約していることから輸送量回復の程度は遅い。初期シナリオは 18 日で完全復旧のところ、復旧戦略シナリオはリソースの制約により 23 日を要する結果となった。初期シナリオからの差分により対策効果の定量的比較を行うことができると考える。

表 2 条件設定の例(初期シナリオ)

起点方 駅名	終点方 駅名	必要復旧 リソース (徐行中)	必要復旧 リソース	復旧作業 の人数 上限(人)
B	AB	0	392.5	1000
AB	A	0	795	1000
A	AC	1700	8665	1000
AC	C	0	1200	1000
C	CD	0	0	1000
CD	D	0	0	1000
B	BC	0	0	1000
BC	C	0	0	1000
B	BD	0	0	1000
BD	D	0	0	1000

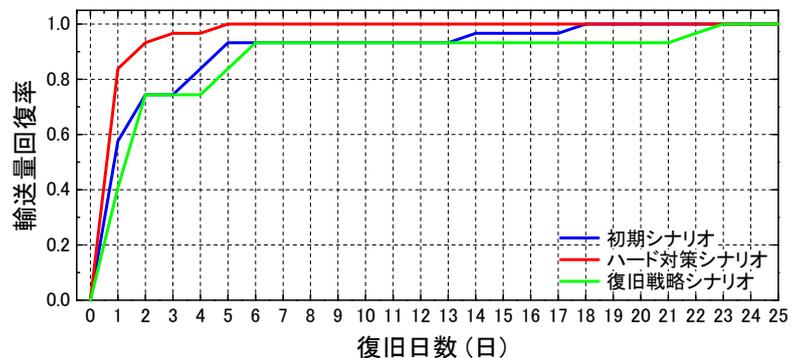


図 4 シナリオ別の輸送量回復状況の例

4. おわりに

東北地方太平洋沖地震の後、構造物等について壊滅的な被害を回避すると共にしなやかな回復力を期待する「レジリエンス」という概念が広まりつつある。地震時における鉄道ネットワークのレジリエンス性能を向上させるためには、限られた資源の中でハード対策、ソフト対策、復旧戦略のバランスを取ることが重要となる。本研究で開発したシミュレーターを用いることにより、その対策効果を統合的かつ定量的に評価可能となり、その対策実施の判断に活用できると考える。今後、本シミュレーターを実際の鉄道ネットワークおよび既往被災地震へ適用し各対策の有効性を検証する。

参考文献

気象庁資料：緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料， <https://www.data.jma.go.jp/svd/eww/data/nc/katsuyou/reference.pdf>

坂井公俊・室野剛隆・京野光男 (2012)：鉄道盛土の地震被害簡易推定手法の提案，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，68，3，542-552。

坂井公俊・室野剛隆 (2015)：地震動の最大加速度と最大速度を用いた土木構造物の地震被害推定ノモグラムの改良，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，71，4(地震工学論文集第 34 巻)，I_32-I_39。

室野剛隆・野上雄太・宮本岳史 (2010)：簡易な指標を用いた構造物および走行車両の地震被害予測法の提案，土木学会論文集 A，66，3，535-546。