鉄道ネットワークの損失輸送量に着目した地震対策効果の一元的評価

公益財団法人鉄道総合技術研究所　○岩田直泰・丹羽健友・鈴木崇正・山本俊六

1. はじめに

地震時における鉄道のレジリエンスの向上のためには、構造物の剛性を高める耐震補強と言ったハード対策に加え、強い揺れが予測や観測された場合に列車を停止し安全確認を行った後に運転を再開する列車運転規制と言ったソフト対策も重要である。2011 年の東北地方太平洋沖地震は、広範囲にわたって強い揺れに見舞われ、複合的な被害を受けたことにより復旧に時間を要したことから、旅客や貨物の輸送量が長期間に渡り大きく低減した。このような場合、鉄道がネットワークによって構成されている点に着目し、ネットワーク全体の損失輸送量を最小化するという対応も重要になる。これを受け、鉄道総研は鉄道ネットワークに影響を及ぼす大規模な自然災害が発生した場面における、被災区間の最適な復旧戦略などを導出する「迂回・復旧計画作成支援システム」[1)]を開発した。本稿は、開発システムを地震に適用し、鉄道ネットワークの輸送量の観点から耐震補強の実施や早期地震警報の導入に代表される地震対策の効果を一元的に評価する手法について述べる。

2. 開発手法による評価手順および条件設定

開発手法による評価は、鉄道ネットワークや列車本数の条件を設定した上で、復旧作業等に要するリソースを入力し、ネットワーク全体の損失輸送量(図 1)が最小となるように最適化計算を行い、輸送率回復過程を出力する流れとなっている(図 2)。本稿では、鉄道ネットワークや列車本数、地震動を仮想的に設定(図 3 および 4)し、構造物の損傷レベル(図 5)に応じて復旧リソースを入力することにより各地震対策を評価する。なお、鉄道総研は単価表や施工実績に基づき損傷レベルに対応して復旧日数などを算定する「復旧性評価データベース」[2)]を構築しており、本研究はこのデータベースを用いて構造物損傷の復旧に対する人的リソースを与えた。

3. 仮想鉄道ネットワークによる地震対策効果の評価

本稿では、地震対策効果の評価例を示した後に、各地震対策効果の一元的評価に関する評価を行う。まず、耐震補強(ハード対策)の実施効果の評価について、耐震補強により構造物の剛性が高まり損傷が生じなくなるとして、損傷構造物(図 5)の復旧に要する人的リソースを区間ごとに設定する(表 1)。各区間を補強した場合の輸送率回復過程の算出結果(図 6 および表 1)を見ると、AC-A 間を補強した場合に累積損失輸送率(地震発生か

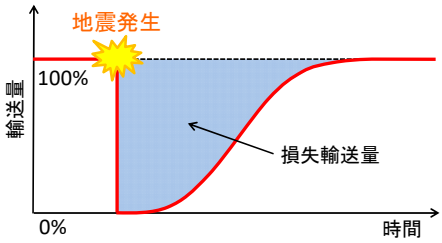

図 1　損失輸送量の概念

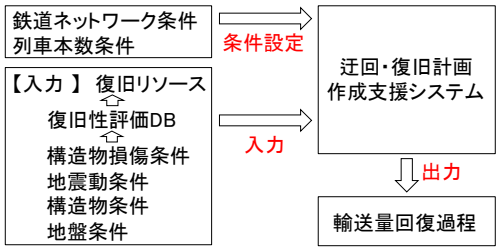

図 2　開発手法による評価手順(入出力の概要)

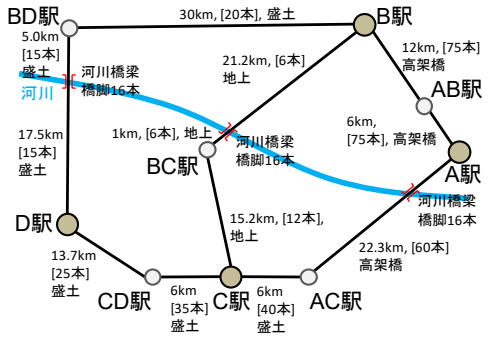

図 3　仮想鉄道ネットワークの設定
(括弧内の数字は列車本数)

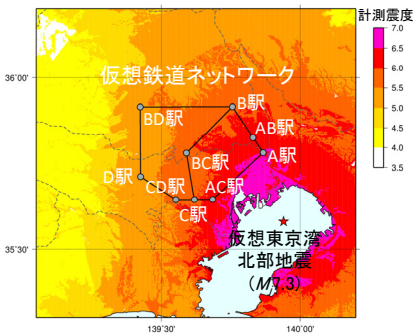

図 4　地震動の設定(計測震度)

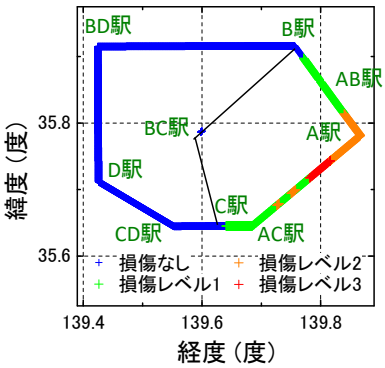

図 5　構造物損傷の設定

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

© Japan Society of Civil Engineers

表 1　復旧リソース(耐震補強実施)

	耐震補強区間				
	補強なし	A-AB間補強	AB-B間補強	C-AC間補強	AC-A間補強
A-AB間	795	0	795	795	795
AB-B間	392.5	392.5	0	392.5	392.5
C-AC間	1200	1200	1200	0	1200
AC-A間	11065	11065	11065	11065	0
累積損失輸送率	3.50	2.70	3.03	3.30	1.28

表 2　復旧リソース上限値(復旧人員配分)

	復旧リソース上限値(人・日)	
	一律配分	戦略的配分
A-AB間	500	250
AB-B間	500	250
C-AC間	500	1000
AC-A間	500	250
累積損失輸送率	4.18	3.91

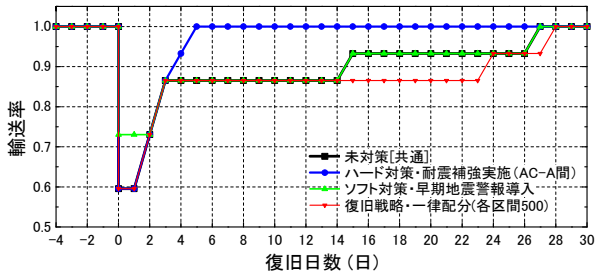

図 8　各地震対策の一元的評価の例

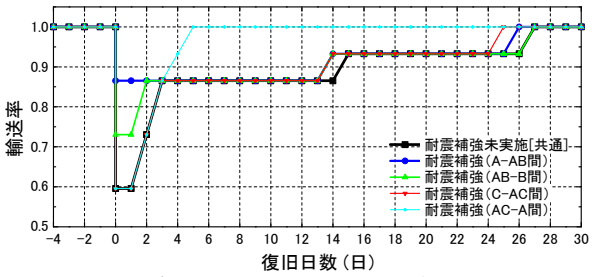

図 6　輸送率回復過程(耐震補強実施)

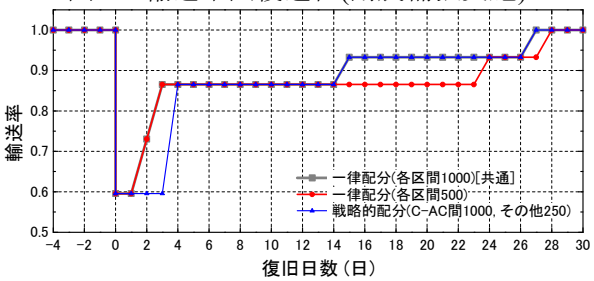

図 7　輸送率回復過程(復旧人員配分)

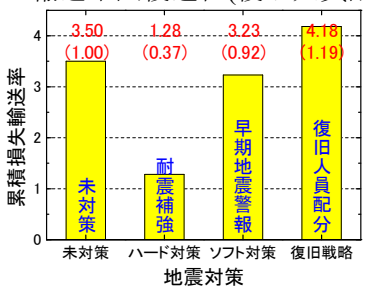

図 9　各地震対策の累積損失輸送率
(括弧内の数字は未対策を基準とする累積損失輸送率比)

ら復旧までの損失輸送率(=1-輸送率)の積分値、輸送率は平常時の輸送量で正規化した値)が最小となる。よって、耐震補強を実施する効果は AC-A 間が最も高いと評価できる。次に、復旧人員配分(復旧戦略)に関して、損傷構造物(図 5)の復旧作業に要するリソースを戦略的に配分する効果を把握する。ここでは、各区間に設定するリソースの上限値を設定することにより検討を行った。リソースの上限値を各区間とも一律配分した場合と、被害が大きく列車本数も多い C-AC 間に戦略的に配分した場合(表 2)を比較する。算出した輸送率回復過程の結果(図 7)から、3 日目までは一律配分の方が回復は早いが 14 日目以降は戦略的配分の方が回復は早くなり、累積損失輸送率も戦略的配分の方が小さくなる(表 2)ことから、リソース配分の効果を確認できる。

開発手法の対策効果は統一的に輸送率回復過程で示されるため、その効果を一元的に評価できる。図 8 にはハード対策、ソフト対策(ここでは、早期地震警報の導入により復旧作業開始までのリソースを低減した事例)、復旧戦略(ここでは、投入できる復旧リソースの制約によりリソースが不足している状況の事例)の輸送率回復過程を同一の図に示しており、図 9 はそれらの累積損失輸送率を比較した結果である。これらの図の通り、開発手法により地震対策の特性や効果を一元的に評価できるため、定量的な比較が可能となる。

4. おわりに

本研究で開発した、鉄道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輸送率回復過程を算出する手法を用いることにより、各地震対策効果を一元的に評価可能となる。開発手法による輸送率回復過程の計算結果は、地震に対する事前対策の投資計画や事後復旧工事の計画策定などに活用でき、地震時における鉄道のレジリエンスの向上に向けて戦略的な対策に検討できると考える。

参考文献

1) 奥田大樹・鈴木崇正・深澤紀子・尾崎尚也：大規模災害発生後の鉄道輸送の復旧戦略決定支援手法の基礎検討，鉄道総研報告，第34巻，第2号，pp.5～10，2020.
2) 神澤拓・田中浩平・西村隆義・西村明彦：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講演論文集，pp.73～80，2019.

© Japan Society of Civil Engineers