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 3　構造種別ごとの復旧性の違いに関する考察）

（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　○神澤　拓　田中　浩平
（株）ジェイアール総研エンジニアリング　正会員　西村　隆義　西村　昭彦

1. はじめに

鉄道や道路などの社会基盤インフラは，地震時安全性を確保することに加えて，巨大地震に対して高い復旧性を具備することが社会的に求められる。しかしこれらの要請に答えるべく，構造物の復旧性を定量的に評価しようとした場合に，そのためのツールが十分に整備されているとは言い難い。このような背景のもと，筆者らはこれまでに，鉄道構造物の地震被災時復旧性を評価するための新たな枠組みを提案するとともに，評価において必要となる復旧性評価データベース（DB）の整備を進めてきた[1)]。本稿では，これまで構築してきた復旧性評価 DB の情報を構造種別ごとに比較することで，復旧性に関する特徴について考察した。

2. 復旧性評価 DB の概要

筆者らが提案する手法では，復旧性評価 DB を活用して，評価する構造物の復旧工事に必要な工種やリソース（人工等）の推定を行うことができる。ここで，復旧性評価 DB とは，構造種別・損傷レベルごとに「一般的な諸元」の構造物で生じる損傷と損傷範囲を設定し，復旧工事に要する工種や歩掛りを，過去の施工実績や公共単価を基に整理したものである。「一般的な諸元」は設計計算例[2)]などを参考にして設定し，想定される損傷や施工延長は過去の被災事例や基準類[3)]などを参考にした。表 1 に復旧性評価 DB で整理した構造種別（括弧内は対象延長）と損傷状態を示す。

3. 構造種別ごとの復旧性評価 DB の特徴

DB に整理した一般的な諸元の構造物について，復旧工事に要する日数－費用，日数－人数の関係を図 1，2 に示す。ここでは，損傷レベル 3 と 4 の結果のみを抜粋して示す。なお DB 内の工事費は直接工事費を意味する。また，表 1 中の「開削トンネル（せん断破壊）」の復旧日数・費用は，228 日と 1.6 億円と他と比較して数倍大きな値であったため図 1 には記載していない。

図 1 の結果から，一般的な諸元の構造物の復旧日数と工事費の関係性は 3 つのグループに分類できることがわかる。復旧日数が 40 日以内かつ 2,000 万円以内に収まるグループ①，長期の復旧日数と多額の工事費を要するグループ②，復旧日数に比して多額の工事費を要するグループ③の 3 つである。グループ①には「支承」「盛土」「開削トンネル（曲げ破壊）」が該当する。盛土については経験則とも一致しており，表 2 に示す盛土の復旧に必要な主要工種をみると土工の数量は多いものの，作業人員が多く，所要日数が少ない結果となっている。同グループの開削ト

表 1　復旧性評価 DB に整理した構造物の種別と損傷レベルごとの被害内容

構造種別	損傷レベル	損傷内容
ラーメン高架橋柱（延長：50m）	1	柱端部にひび割れ
	2	柱端部のかぶりが損傷 柱中間部にひび割れ
	3	柱端部の鉄筋が座屈
	4	柱の交換を要する致命的な損傷 （ただし落橋は想定しないものとする）
RC橋脚（1脚）	1	基部にひび割れ
	2	基部のかぶりの損傷
	3	基部の鉄筋が座屈
	4	橋脚の交換を要する致命的な損傷
杭基礎（1脚）	2	フーチング周辺に空隙
	3	杭頭部の鉄筋が座屈
	4	増し杭の打設を伴う致命的な損傷
支承（1脚）	3	桁座面、側面にひび割れ
	4	支承の交換を要する致命的な損傷
盛土（1脚）	3	斜面部に残留変形
	4	大部分に再構築を要する致命的な損傷
橋台-躯体先行破壊（1脚）	1	躯体基部にひび割れ
	2	躯体基部のかぶりが損傷
	3	躯体基部の鉄筋が座屈
	4	躯体の交換を要する致命的な損傷

構造種別	損傷レベル	損傷内容
開削トンネル-曲げ破壊（延長：30m）	1	柱端部にひび割れ
	2	柱端部にかぶりが損傷 柱中間部のひび割れ
	3	柱端部の鉄筋が座屈
	4	柱の交換を要する致命的な損傷 （ただし上床版は支持するものとする）
-せん断破壊（延長：30m）	4	柱部材のせん断破壊 上床版が沈下し、側壁も損傷
シールドトンネル（延長：30m）	1	セグメントにひび割れ
	2	セグメントの端部が損傷
	3	底面を除くセグメント全周に損傷
	4	底面を除くセグメントに交換を要する損傷 （ただし建築限界は侵さないものとする）
山岳トンネル（延長：30m）	1	部分的に小規模な剥離
	2	部分的に中規模な剥離
	3	部分的に大規模な剥離
	4	部分的に地山の崩壊を伴う大規模な崩落
擁壁-RC-L型（延長：30m）	1	擁壁基部にひび割れ
	2	擁壁基部のかぶりが損傷
	4	擁壁の交換を要する致命的な損傷
鋼板巻された柱（延長：50m）	3	柱端部の鉄筋が座屈
	4	柱の交換を要する致命的な損傷 （ただし落橋には至らないものとする）

※構造種別によっては，全ての損傷レベルの被害は想定されないものもある。たとえば「鋼板巻きされた柱」では損傷レベル 1 や 2（ひび割れなどの軽度な損傷）程度では復旧工事を実施しないと考えられるため本 DB には整理していない。

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

ンネル（曲げ破壊）は，上床版の沈下がなく柱部材のみの損傷というシナリオを設定したため，「ベントの設置・撤去」といった比較的時間を要する工種があるものの，全体的な損傷数量が少ない（表 3）ためこのような結果となった。次に，グループ②と③には，復旧工事費は大きく変わらないが，復旧日数には明確な違いが見られる。これは，図 2 からわかるように，②が③に対して復旧人数が多い，すなわち 1 現場で同時に復旧作業を行える作業員が多いことを表しており，トンネルのような連続的な形式②と橋脚のような独立的な形式③の違いが現れている。連続的な形式であるものの復旧人数が比較的少ない「シールドトンネル・損傷レベル 4」は，作業員の増加による日数の短縮ができない「コンクリート打設」が復旧作業の大半を占める（表 4）ことが特徴的である。なお，グループ③については，過去に類似の損傷事例が少ないことから，評価対象に対する損傷・復旧シナリオの類似性を確認した上で用いる必要がある。形式的な特徴としては支承を除く①についても，②と同様に連続的な形式を有しており，同時作業が行える中でも特に復旧性が高いものとして位置づけられる。個別の結果では，「鋼板巻き柱」などで，損傷レベル 3 が 4 よりも復旧日数や費用を要するものがみられ，構造種別によっては残存躯体を活かして再構築する復旧法が，全て壊して新設する復旧法よりも，復旧性が悪くなる場合があることを示している。

本稿では構造種別ごとに対象延長が若干異なるものを比較している。復旧作業延長は長くなるほど工事数量，費用は増えるが，作業する人数も増やせる場合には日数には大きく変わらないといった影響があると考えられるが，本比較程度の延長の違いによる増減は小さいと考え，ここでは大まかな特徴把握を目的として考察を行った。

4. まとめ

復旧性評価 DB の整理により，復旧性には構造種別ごとに特徴があることがわかった。これらの特徴は，路線リスクの平滑化や復旧工事の優先順序付け，あるいはより復旧性を高める事前補強投資や人材配置戦略の検討への活用が期待される。今後は，本手法をこれらの用途に活用するためのシミュレーションツール等の開発も進める。

参考文献：1)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. 73-80，2019．2)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 RC ラーメン高架橋．2)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.

謝辞 本研究の一部は，国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した．

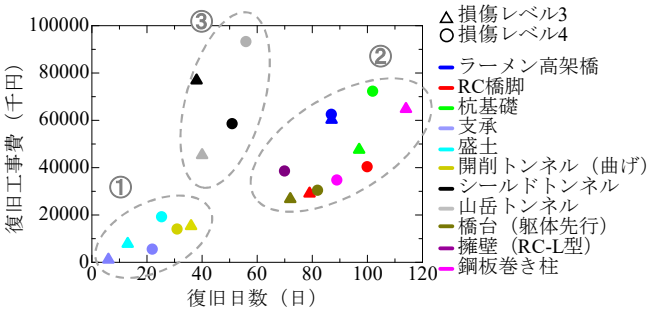

図 1　復旧日数と復旧工事費の関係

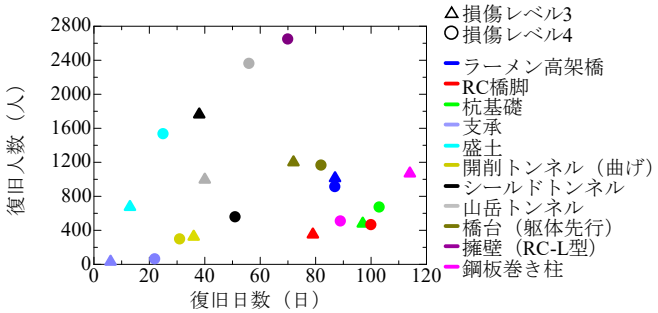

図 2　復旧日数と復旧人数の関係

表 2　盛土・損傷レベル 4 の復旧工事主要工種

主要工種	数量	所要日数	人数	費用(千円)
盛土工(盛土全体)	1791 m^3	8	57	2,552
盛土掘削	2304 m^3	7	41	2,009
盛土工(表土2m分)	460 m^3	5	129	2,904
上部路盤設置	197 m^3	2	14	648
下部路盤設置	170 m^3	1	711	1,263
合計		25	1533	19,127

表 3　開削トンネル・損傷レベル 4 の復旧工事主要工種

主要工種	数量	所要日数	人数	費用(千円)
ベント設置	8 基	7	54	5,544
コンクリート打設	8 m^3	7	7	330
ベント撤去	8 基	6	36	–
足場設置	318 掛m^2	3	22	1,334
足場撤去	1 式	2	15	0
合計		31	296	13,946

表 4　シールドトンネル・損傷レベル 4 の復旧工事主要工種

主要工種	数量	所要日数	人数	費用(千円)
コンクリート打設	108 m^3	29	122	5,416
足場設置	1038 掛m^2	6	73	4,353
ｾｸﾞﾒﾝﾄ製作搬入組立	1 式	6	93	40,121
足場撤去	1 式	4	49	–
ｾｸﾞﾒﾝﾄ解体搬出	1 式	4	54	1,388
合計		50	556	58,482

表 5　鋼板巻き柱・損傷レベル 4 の復旧工事主要工種

主要工種	数量	所要日数	人数	費用(千円)
ベント設置	12 基	19	109	21,924
ベント撤去	1 式	14	73	–
鋼板撤去(こわし)	246 m^2	12	30	898
鉄筋組立	15 t	11	69	3,177
コンクリート壊し	46 m^3	9	37	1,235
合計		89	507	34,673

© Japan Society of Civil Engineers