

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

神澤 拓¹・田中 浩平²・西村 隆義³・西村 昭彦⁴

¹正会員 修士（工学）（公財）鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター
（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

²正会員 博士（工学）（公財）鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター
（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

³正会員 博士（工学）（株）ジェイアール総研エンジニアリング 構造技術部
（〒186-0002 東京都国立市東1-4-13）

⁴正会員 工学博士（株）ジェイアール総研エンジニアリング 構造技術部
（〒186-0002 東京都国立市東1-4-13）

1. はじめに

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、事例に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することができない。

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-

ーション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⁵⁾。

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種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）。そして、この復旧性評価DBを用いて構造物の復旧性を評価する手法を提案する。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いる。鉄道の運転再開までに要する時間を評価する場合には、構造物の点検や軌道・付帯構造物の復旧、列車の走行試験等に要する時間を別途考慮する必要がある。

本論文の構成を述べる。まず2章では、提案する復旧性評価法の概要について説明し、3章で評価の際に必要な復旧性データベースの内容を述べる。4章ではデータベースの一例として、RCラーメン高架橋を対象とした評価例を紹介し、さらに評価した復旧日数と実際の復旧事例を比較することでその妥当性を検証した。5章では、4章と同様の検討をRC橋脚の杭基礎の損傷に対して行った。最後に6章では、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

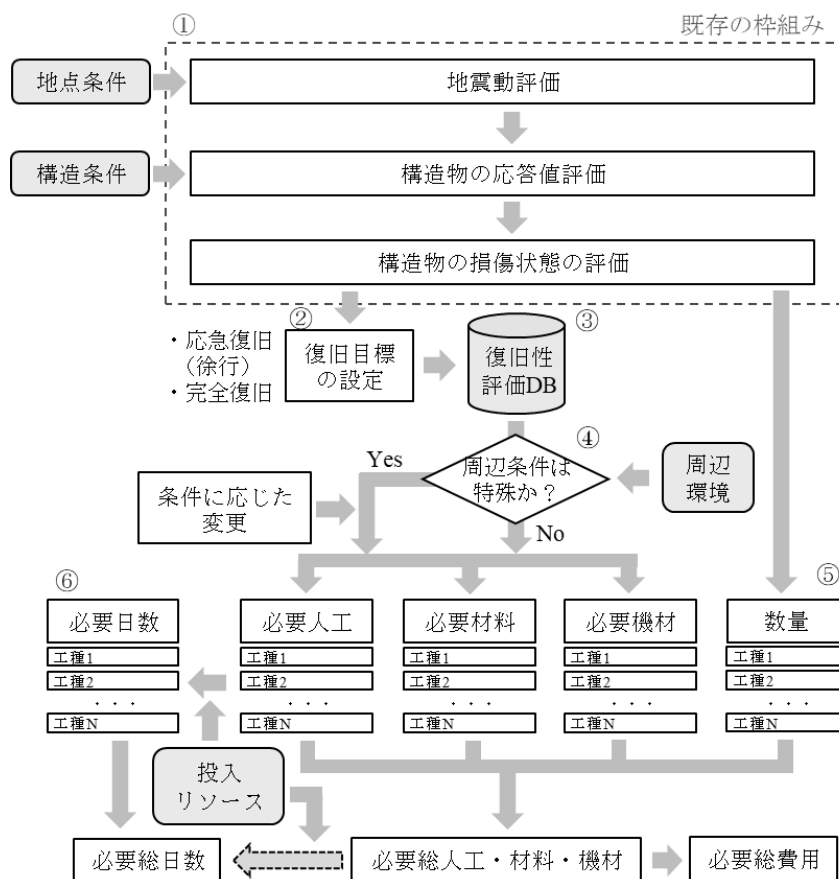


図-1 復旧性評価 DB を用いた構造物の復旧性評価フロー

表-1 評価対象構造物と想定する損傷内容

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 中間部のひび割れ
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 橋脚上部にひび割れ
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）

2. 地震時復旧性評価法の概要

個別構造物の復旧性を定量評価するための方法として、建築分野では「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（目標例：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。本評価においては，これらの特殊条件は，復旧に必要な作業工種の追加や，各種における作業効率の低下・向上などによって考慮する。

- ⑤ 構造物の損傷状態から，各工種における工事数量を評価する。

- 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な人工，材料，機材を評価する。これに対し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を作業効率として設定することで，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

表-2 RC ラーメン高架橋柱部で想定される4つの損傷レベルと対応する復旧工事の内容

	損傷レベル 1	損傷レベル 2	損傷レベル 3	損傷レベル 4
損傷状態	柱端部にひび割れが発生	柱端部にかぶり損傷、中間部にひび割れ発生	柱端部に鉄筋座屈が発生	柱に致命的な損傷が発生
復旧工法	ひび割れ注入	かぶり修復	受け替え、断面修復	受け替え、部材交換
施工範囲	上部 1D 基部 1D	上部 1D: かぶり修復 中間: ひび割れ注入 基部 1D: かぶり修復	上部 2D: 主鉄筋交換, コンクリ再打設 中間: ひび割れ注入 基部 2D: 主鉄筋交換, コンクリ再打設	柱全体
概念図				

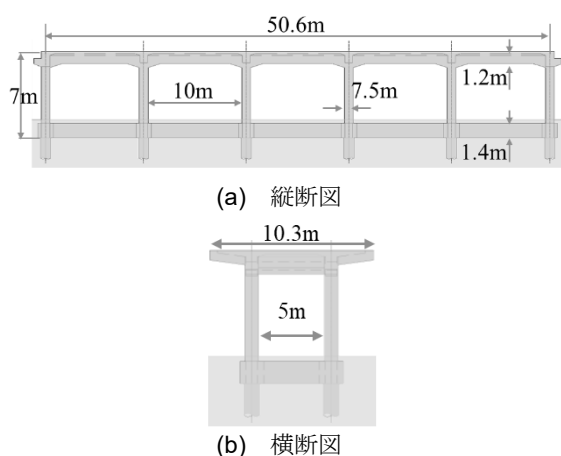


図-2 対象 RC ラーメン高架橋と主な諸元

材から投入リソースを除くことで、復旧に必要な日数を簡易に評価することもできる。

この評価法を用いることで、対象構造物の地点条件、構造条件、周辺環境、投入できるリソース量といった条件を設定すれば、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ようになる。

3. 復旧性評価データベースの概要

復旧性評価 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、前頁の表-1 に整理した。表中の数字は損傷のレベルを表しており、各損傷レベルに対して、具体的な損傷状態を設定した。ここで設定した損傷状態は、鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計⁸⁾ (以降、耐震標準) に示される各構造物で想定される損傷レベルの内容と対応している。なお、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となっ

ている。DB 構築にあたっての積算については、単価表や施工実績に基づいて実施した。

4. RC ラーメン高架橋の柱部における損傷を対象とした復旧性の評価事例

本章では、復旧性評価 DB を用いた評価の一例として、代表的な鉄道構造物である RC ラーメン高架橋の柱部に発生する損傷を対象とした結果の整理を行う。さらに、別途収集した実際に地震で被災した RC ラーメン高架橋の復旧事例と本整理結果を比較することで、作成したデータベースの妥当性を検証する。なお、前述の通り、ここで評価する復旧日数はあくまでも構造物の復旧工事を対象としており、運転再開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。

(1) 対象構造物と想定する損傷状態

評価対象の構造物は高さ 7m、延長 50.6m の RC ラーメン高架橋とした (図-2)。また、詳細な構造諸元は、鉄道総合技術研究所による RC ラーメン高架橋の設計計算例⁹⁾と同じとした。表-2 には、対象構造物の「柱部材」で想定される、地震発生時における損傷状態とそれに対応する復旧工法および復旧工事の範囲を示す。

本論文で示す結果は復旧目標を通常速度による列車運行が可能となる「完全復旧」と設定したものであるが、例えば、徐行による列車運行を目標とする「応急復旧」のデータも含まれており、この場合には「ベントによる仮受け」が終了するまでに必要な工種が示されることになる。

表-3 損傷レベル1に対する必要工種と各数量

必要工種	作業 効率 (班/日)	工事 数量	所要 総人工 (班)	所要 日数 (日)
掘削	1	21m ³	1	1.0
足場設置	4	800 掛 m ²	16	4.0
樹脂注入	4	282m	16	4.4
表面仕上げ	1	69m ²	1	1.0
足場撤去	4	800 掛 m ²	12	3.3
埋戻し	1	21m ³	1	1.0
復旧日数 (最短)		15		

表-4 損傷レベル2に対する必要工種と各数量

必要工種	作業 効率 (班/日)	工事 数量	所要 総人工 (班)	所要 日数 (日)
掘削	1	21m ³	1	1.0
足場設置	4	800 掛 m ²	16	4.0
はつり	2	43m ³	12	3.4
コンガラ搬出	1	5m ³	0.4	0.4
樹脂注入	4	1066m	38	16.4
帯鉄筋組立	2	1.30t	6	3.1
型枠工	1	69m ³	1.8	1.8
断面修復	2	5026 リットル	10	5.0
表面仕上げ	1	150m ²	1	1.7
足場撤去	4	800 掛 m ²	4	3.3
埋戻し	1	21m ³	1	1.0
復旧日数 (最短)		40		

なお、ここで示す損傷数量や所要総人工は、対象ラーメン高架橋において、全ての柱で表-2に示す被害が発生したと想定した場合のものである。

(2) RC ラーメン高架橋の復旧性 DB の整理結果

表-3～表-6 に対象構造物に対する復旧性評価 DB の整理結果を示す。損傷レベルごとに、必要な工種とそれら工種の作業効率、作業数量、所用総人工、所用日数を示している。効率的に作業を行える最小グループの構成人数は、工種ごとに異なるため、人工はこれらの班の数で表現することとした。各工種には、1 構造物に対して 1 日に投入できる最大の作業班を「作業効率」として設定している。つまり各工種の最短の所用日数は、所用総人工を「作業効率」で除した値となる。

表-3～表-6 の結果から、今回対象とした構造物について、各損傷状態で必要な復旧日数（最短）は、損傷レベル順に 15 日、42 日、87 日、87 日となった。損傷レベルが大きくなるほど復旧日数が長くな

表-5 損傷レベル3に対する必要工種と各数量

必要工種	作業 効率 (班/日)	工事 数量	所要総 人工 (班)	所要 日数 (日)
ベント設置	2	24 基	38	19.4
掘削	1	21m ³	1	1.0
足場設置	4	800 掛 m ²	16	4.0
はつり	4	67m ²	32	8.1
コンガラ搬出	3	29m ³	0.8	0.8
ジャッキアップ	- ※	1 式	- ※	6.0
樹脂注入	4	498m	30	7.6
鉄筋修正	4	10.24t	32	8.2
型枠工	2	138m ²	3.6	1.8
コンクリート打設	1	28m ³	7	7.0
グラウト注入	1	867 リットル	3	3.5
表面仕上げ	1	81m ²	1	1.2
足場撤去	4	800 掛 m ²	12	3.3
ベント撤去	2	24 基	28	13.9
埋戻し	1	21m ³	1	1.0
復旧日数 (最短)		87		

※過去の記録や経験値より設定

表-6 損傷レベル4に対する必要工種と各数量

必要工種	作業 効率 (班/日)	工事 数量	所要総 人工 (班)	所要 日数 (日)
ベント設置	2	24 基	38	19.4
掘削	1	21m ³	1	1.0
足場設置	4	800 掛 m ²	16	4.0
コンクリート壊し	3	42m ³	42	14.0
コンガラ搬出	4	46m ³	4	1.0
ジャッキアップ	- ※	1 式	- ※	6.0
鉄筋組立	4	14.98t	44	11.3
型枠工	2	220m ²	5.8	2.9
コンクリート打設	1	46m ³	7	7.0
グラウト注入	1	433 リットル	1	1.7
足場撤去	4	800 掛 m ²	12	3.3
ベント撤去	2	24 基	28	13.9
埋戻し	1	21m ³	1	1.0
復旧日数 (最短)		87		

※過去の記録や経験値より設定

る傾向にあるものの、損傷レベル3と4は復旧工事に要する日数が同じになっている。以下に、この理由について考察する。

損傷レベル3と4では、復旧に必要な工種のうち「ベント設置・撤去」、「掘削」、「足場設置・撤去」、「ジャッキアップ」、「コンクリート打設」、「埋戻し」が同じで、それぞれの工種に要する日数も同じになっている。一方で、損傷レベル3と4で必要な工種のうち違いみられる工種は、表-5、表-6でハッチングしたものである。損傷レベル3では、

樹脂注入，グラウト注入，表面仕上げに時間を要し，一方で損傷レベル 4 では，コンクリート壊しや鉄筋組立などに時間を要する内容となっている．これらは異なる工種，数量であるものの，日数を合計するとほとんど同程度となるため，損傷レベル 3, 4 の場合の全体復旧日数が同程度となっている．

本論文では具体的な数値を示していないが，周辺環境における特殊因子，たと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では，復旧に必要なとなる作業工種の追加や，各種における作業効率の低下・向上などによって考慮する．例えば，十分な復旧ヤードが確保できない場合には，作業ヤードが狭隘になる影響を受ける作業工種の作業効率を減じる（1 日に作業可能な班数を減じる）．また，資材・機材を搬入する側道がない場合には，「運搬路の確保」や「機材の分解・組立て」といった工種を追加することが考えられる．

(3) 復旧事例との比較

復旧性評価 DB で評価した結果と過去に被災したラーメン高架橋の復旧事例を比較することで DB の妥当性を確認する．今回復旧性 DB で評価した構造物と復旧事例では，各部材の損傷数やその他復旧性に影響を与える因子（特殊な構造諸元，周辺環境）が一致しないが，ここでは，損傷レベルを指標として復旧事例を分類し，全体の復旧日数による大まかな比較を行うこととした．

復旧事例については，兵庫県南部地震¹⁰⁾，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対象として文献調査によって収集した．表-7 に上記の地震時に生じた被害について，復旧性 DB で作成した構造物を対象に，被害レベルで分類してまとめた該当件数を示す．なお，事例における日数も復旧のために必要な“工事の日数”を示している．

表-8，図-3 には比較結果を示す．事例をみると，同じ損傷区分であってもその復旧日数にはばらつきがあることがわかる．これは，柱部材の損傷状態に基づいて被害レベルを分類しても，その損傷量に大きなばらつきがあるためである．今回 DB で評価した構造物は，対象エリアにおける全柱で同様の被害が生じたケースを想定しており，事例と比較して復旧に必要な工事数量は多いと思われる．実際に，図-3 をみてわかるように，DB による評価結果は事例の上限に近い値が評価されており，復旧事例と調和的であることがわかる．

表-7 復旧事例の件数

損傷レベル	1	2	3	4
ラーメン高架橋	4	7	4	11
RC 橋脚	1	4	7	3
橋脚基礎	-	-	1	2
橋梁支承	12	17	-	-
盛土	12	2	-	-

表-8 復旧性評価 DB による整理結果と復旧事例その 1

損傷	復旧性評価 DB	復旧事例
1	15 日	1～4 日 (4 件)
2	42 日	21～50 日 (7 件)
3	87 日	26～69 日 (6 件)
4	87 日	53～90 日 (11 件)

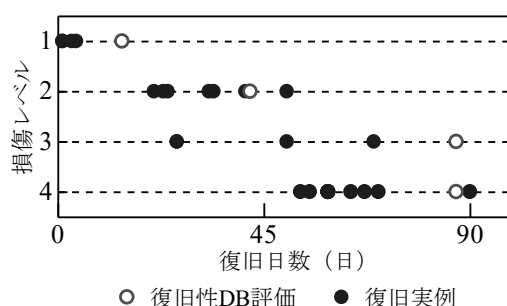


図-3 復旧性評価 DB による整理結果と復旧事例その 2

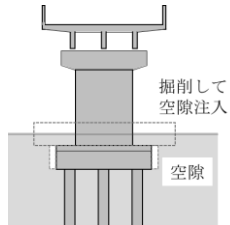
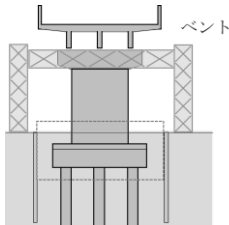
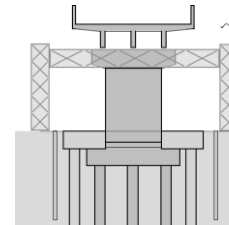
損傷レベルごとに比較結果を考察すると，まず損傷レベル 1 では評価結果が事例よりも長い．これは DB ではひび割れに対する「樹脂注入」以外に，「足場」の搬入搬出に要する日数を含んでいるのに対して，事例ではこれらの準備工を含んでいないためである．表-3 に示すように「樹脂注入」に必要な日数だけをみると事例の範囲に一致している．

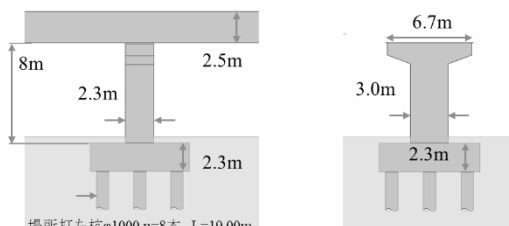
また，損傷レベル 2, 3, 4 は，事例の上限に近い日数が評価できており，概ね妥当な評価ができていることを確認した．

5. RC 橋脚（杭基礎）における基礎部の損傷を対象とした復旧性の評価事例

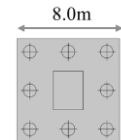
ここでは，図-4 に示す杭基礎を有する RC 橋脚において基礎部に損傷が発生した場合の復旧性を評価する．高架橋や橋梁における基礎部は，被災した場合に復旧工事が困難であることが多く，基本的には設計時に「上部工先行破壊型」とすることが一般的であるが，基礎が損傷する構造物の復旧性がどの程度劣るのかを定量的に評価する．構造諸元の詳細は，設計計算例¹¹⁾と同じものとした．データベースは橋

表-9 橋脚基礎部における損傷レベルごとの損傷概要、復旧工事内容・および概念図

	損傷レベル 1	損傷レベル 2	損傷レベル 3	損傷レベル 4
損傷概要	-	フーチング周辺に隙間が発生	基礎杭の頭部に鉄筋の座屈を伴う損傷が発生	基礎に致命的な損傷が発生
復旧内容	-	掘削、空隙へのモルタル注入、埋戻し	受け替え、シートパイル土留め、躯体の断面修復	受け替え、基礎の改築（フーチング・杭で新設、受け替える）
施工範囲	-	フーチング全周に 200mm	杭頭部 2D	基礎全体の新設
概念図	-			



(a) 平面図・断面図



(b) 平面図

図-4 対象構造物（基礎橋脚）と主な諸元

脚一脚を対象にして評価している。表-9 には、杭基礎の橋脚部で想定される地震時の被害状況を損傷レベルで区分した内容と、それに対する復旧工事の内容を示す。

損傷レベル 1 の構造物にひび割れが生じる程度の変位が出る状態⁸⁾では、全体系としては損傷が小さく、復旧工事は必要ないものとした。

最終的に算出される対象構造物の復旧日数の評価は、対象橋脚における全ての杭で表-9 に示す被害が発生した場合を想定して損傷数量を設定している。

表-10 に、復旧性評価 DB による橋脚基礎部の復旧日数の整理結果を示す。また表-11～表-13 には、各損傷レベルに対して復旧に必要な工種とそれぞれの工種に対する作業効率、工事数量、所要人工・日数を示す。表-10 の結果から、基礎部に損傷が生じる損傷レベル 3 と 4 は、評価対象が 1 脚のみであるにも関わらず、長期の復旧日数を要することがわかる。

続いて、復旧性評価 DB で評価された結果を検証する。ここでは、1995 年兵庫県南部地震で被災した西宮高架橋¹⁰⁾の被災事例と対比して考察する。復

表-10 復旧性評価 DB による整理結果

損傷レベル	2	3	4
復旧日数(日)	2	97	103

表-11 損傷レベル 2 における必要工種と各数量

必要工種	作業効率 (班/日)	工事数量	所要総人工(班)	所要日数 (日)
掘削	1	16m ³	0.7	0.7
空隙注入	1	15m ³	0.8	0.8
埋戻し	1	16m ²	0.3	0.3
復旧日数（最短）			2	

表-12 損傷レベル 3 における必要工種と各数量

必要工種	作業効率 (班/日)	工事数量	所要人工 (班)	所要日数 (日)
ベント設置	1	6 基	24.1	24.1
土留め工	1	114 枚	9.9	9.9
掘削	1	479m ³	14.7	14.7
土留め支保工	1	8.9t	1.5	1.5
均しコン壊し	1	6m ³	3.0	3.0
コンクリート壊し	1	12m ³	6.3	6.3
型枠工	1	48m ²	1.3	1.3
鉄筋修正	1	2.73	2.5	2.5
コンクリート打設	1	12m ³	0.2	0.2
グラウト注入	1	314 リットル	2.1	2.1
土留め支保工撤去	1	8.9t	0.9	0.9
埋戻し	1	485m ³	4.5	4.5
ベント撤去	1	6 基	17.1	17.1
土留め撤去	1	114 枚	4.4	4.4
残土運搬	1	248m ³	3.0	3.0
殻運搬	1	18m ³	1.2	1.2
復旧日数（最短）			97	

表-13 損傷レベル4における必要工種と各数量

必要工種	作業 効率 (班/日)	工事 数量	所要総 人工(班)	所要 日数 (日)
ベント設置	1	6基	24.1	24.1
土留め工	1	174枚	13.1	13.1
基礎杭工	1	16本	15.7	15.7
掘削	1	423m ³	5.1	5.1
足場設置	1	149掛 m ²	2.4	2.4
基礎工	1	125m ²	0.8	0.8
均しコンクリート	1	12m ²	0.2	0.2
型枠工	1	134m ²	3.4	3.4
鉄筋組立	1	16.3t	6.0	6.0
コンクリート打設	1	303m ³	1.1	1.1
足場撤去	1	149掛 m ²	2.0	2.0
埋戻し	1	79m ³	1.3	1.3
ベント撤去	1	6基	17.1	17.1
土留め撤去	1	174枚	5.6	5.6
残土運搬	1	335m ³	4.0	4.0
殻運搬	1	6m ³	0.4	0.4
復旧日数（最短）	103			

表-14 西宮高架橋における復旧工事¹⁰⁾

工種	工期(概算)
① はつり撤去工	75日
② 基礎杭打設・土留め鋼矢板打設	
③ 掘削・既設フーチングはつり撤去 杭頭処理	
④ 鉄骨組	70日 ※
⑤ 地中梁コンクリート打設	
⑥ 支保工組・柱・スラブコンクリート打設	
⑦ 軌道・電気工事同時施工	30日 ※
復旧日数	131日

※ラップ期間を含む。

旧性 DB で評価した対象が橋梁であるの対して被災事例は高架橋としているが、西宮高架橋は地中梁のない1線1柱式構造であることから、基礎部の損傷形態は橋脚の場合と概ね同様であったと考え、両者の復旧日数を比較することとした。

西宮高架橋は1線1柱式、延長1.6kmのRCラーメン高架橋で、高架橋の柱512本のうち490本が何らかの形で損傷し、特に52本については完全に横倒しになる状態で破壊した。また場所打ち杭で建設された基礎部については、フーチング基礎の浮き上がりや亀裂、基礎部の折損、接合部の破断が生じたことが報告されている。柱の倒壊や桁の崩落を含む大規模な被災であり様々な損傷が想定されるが、基礎部は損傷レベル4に該当する被害が生じていた事例であることがわかる。

この被害の際に行われた復旧工事の手順および各工種に要した日数を表-14に示す。表-14において、①から③までの工種が基礎部の復旧に関する工種であり、所要日数は約75日となっている。ここで、復旧性評価DBで整理された損傷レベル4の評価結果である表-13の結果と比較すると、「ベント設置」から「コンクリート打設」のハッチングした部分が表-14の①から③に該当する工種と考えられ、それらの所要日数の合計は72日となり整合している。このように、基礎部の損傷を対象として比較できる被災事例の内容からも、復旧性DBによる評価は概ね妥当なものと考えられる。

6. まとめ

鉄道構造物の復旧性を評価する手法として、復旧性評価DBを用いた復旧性評価手法を提案した。DBの一例として、RCラーメン高架橋の柱およびRC橋脚（杭基礎）の基礎部において生じる被害に対して作成した結果を示した。4段階に区分された損傷レベルごとに最短での復旧日数を算定し、この結果を別途収集した同様の構造物の被災事例における復旧日数と比較することで、評価結果が概ね適切であることを確認した。また、本研究に関する今後の検討内容として以下のものがある。

- ①復旧性評価DBの対象構造物として、開削トンネル、山岳トンネル、シールドトンネル、橋台、擁壁などを追加検討する。
- ②復旧性評価DBを有効に活用するためには、構造物の地震時応答評価の結果と、具体的な損傷状態や損傷量を関連付ける方法を整備する必要がある。
- ③現状では鉄道構造物の復旧工事のみを対象とした評価となっている。今後は、運転再開までに必要な構造物の点検時間や軌道、付帯構造物の復旧工事にかかる日数の推定手法についても整理を行う。
- ④本手法を用いることで、構造物単体の復旧日数を推定するだけでなく、鉄道ネットワーク全体を対象とした復旧性評価を可能となる。ネットワーク全体の復旧性を定量的に評価することで、復旧性を高めるための最適な復旧機材・材料の配置計画等を検討する。

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.
- 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) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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 鉄筋コンクリート橋脚（杭基礎），2003年