

被災後の応・復旧工事实施を迅速対応するための 実施事項の調査・分析

大場 宏樹¹

¹正会員 仙建工業株式会社 盛岡支店土木部長（〒020-0033 盛岡市盛岡駅前北通4-5）

1. はじめに

レジリエンスは、防災・減災と定義¹⁾される。また、「危機耐性」²⁾は、狭義の耐震設計段階で想定していなかった事象においても構造物が規定された外力に対し、「安全性」、「使用性」、「復旧性」を高めた性能を内包するものと定義しており、計画・設計段階から、設計で配慮する事象を越えた事象への対応を考慮し、防災・減災につなげることが必要であることを表現している。

レジリエンスを示すもので代表的な事例は、2011年の東日本大震災で実施された「くしの歯作戦」などがある。東北地方整備局は、これを実現できた要因として以下の3点を挙げている。

1. 道路啓開の展開方法を明確にしたこと。
2. 災害協定に基づき、迅速に地元業者の協力が得られたこと。
3. 橋梁の耐震補強対策が進んでいたことにより、被災の程度が小さかったこと。

被災後に実施されるレジリエンスはけっして特別な考え方ではなく、常日頃から我々土木技術者が心に抱き、それに向けて知恵を絞っている内容である。

我々土木技術者は日々の設計や施工の対象としているインフラにおいてこれまで同様に、「今後も発生するであろう大規模地震・火山活動や気候変動による風水害に対しレジリエンスを高めるための危機耐性を意識すること」が必要である。

本発表ではレジリエンス（危機耐性）を高めるため配慮すべき事項について、台風による河川増水で災害を受けた鉄道路線で実施された応急工事・復旧工事と通常実施されている鉄道を跨ぐ一般橋梁補修工事各1件であるがそれぞれの施工に要した時間を

比較し、レジリエンスを高めていくため考慮すべき事項を分析していく。

2. 災害復旧工事の時間

被災後、人命救助のため緊急車両だけでも安全に通行させるための判断を明確にしていくにあたり、その基本となる考えは危機耐性である。

危機耐性について本田ら²⁾は、

狭義の設計段階で想定していなかった事象においても、構造物が単体またはシステムとして、破壊的な状況に陥らないような性質

と定義しており、従来の耐震性能で明示的に扱ってこなかった面を考慮するため、概念を拡張する必要があることから、a) 事象、b) 時間、c) 空間という3つの軸を設けることを提案している。

特にb) 時間の拡張～レジリエンスの考慮において Bruneau et al.³⁾は、社会の地震への対応力である Resilience を定量的に評価する枠組みの提案を紹介している。そこでは、概念として、社会のインフラの機能する率を $Q(t)$ と定義し、

$$R = \int_{t_0}^{t_1} [100 - Q(t)] dt \quad (1)$$

という評価関数を設けている。

これは「被災後」という時間を明示的に考慮することを示しており、被災後の復旧・復興過程におけるインフラの貢献を考慮することを意味する。

図-1において、横軸は時間、縦軸は性能を表している。復興過程におけるインフラの復旧は、段階を踏んで実現されていくものであり、その段階毎において確実に安全性を向上させることが必要である。具体的には、各構造物毎に復旧対策が実施される。

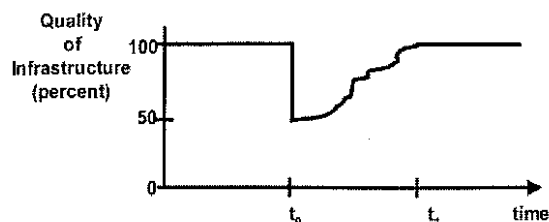


図-1 被災後のインフラの性能(%)の時間的変化の概念図。
 t_0 が被災時を表す。Bruneau et al. (2003)より引用。

図-2に復興過程における性能 Q_a と経過時間 t_a を示す。性能 Q_a は一部規制を持たせて供用開始できる性能とし、それを実現するまでの経過時間を t_a とした。

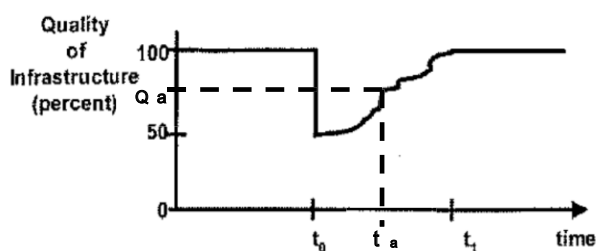


図-2 復興過程における性能 Q_a と経過時間 t_a

危機耐性を考えるにあたり性能 Q_a の値をどこにおくかが課題となる。図-3に示すとおり、性能 Q_a まで達する時間を短くするすなわち、

$$t_a - t_0 > t'_a - t_0 \quad (2)$$

とすることを目指すべきであり、

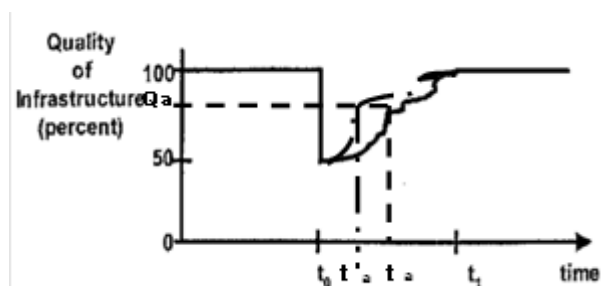


図-3 性能 Q_a を固定した場合の t_a への要求

また、到達時間 t_a を固定した場合、図-4に示す

とおり、性能 Q_a を向上させ、全体の復興までの時間を短縮することが求められる。すなわち、

$$Q_a < Q'_a \quad (3)$$

とすることを整備して行くことが必要と考える⁴⁾。

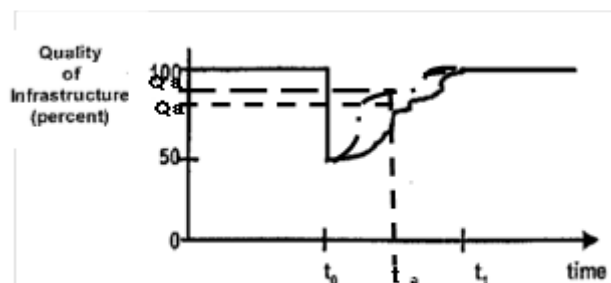


図-4 経過時間 t_a を固定した場合の Q_a への要求

3. 災害復旧工における施工時間

(1) 河川増水災害応急・復旧工事例

この事例の内容は、台風の通過による降雨で河川の増水で発生した盛土崩壊及び切土区間ののり面崩の応・復旧工事である。被災内容は鉄道路線5.27kmの区間で、大小規模の路盤流出、盛土のり面崩壊、切土のり面からの土砂流入、道床流出等が発生し、列車の運行が不能となった。この事例の時系列を表-1、表-2に示す。

a) 応急工事の内容

8月9日に降雨災害が発生した。被災の次の日8月10日に被害箇所調査が実施され、被害箇所数量とその被害程度を把握している。被害箇所調査の結果では、被災箇所は30箇所であった。

表-1 河川増水災害応急工事の時系列

月日	災害箇所数	工事着手数	準備日数	応急日数	記事
8/9発生					
8/10調査開始	30				洪水が引けてからの調査開始
8/11工事着手		12			小規模の土砂流入撤去は着手(7ヶ所可能) 小規模の盛土流出は着手(7ヶ所可能)
8/11~8/20 調査継続			11		調査継続、復旧方針検討。 応急工事復旧工事の区分分け
8/20工事開始	18	18		20	搬入路必要箇所・地主了解・復旧方針決定箇所
9/10応急完了					

表-2 河川増水災害応急・復旧工事の時系列

	日累計	実日数	日累計	
災害発生	0			8月9日
調査開始	1			8月10日
工事着手1	2	1	1	8月11日
運転再開	2	1	2	8月12日 運行開始
工事着手2	11	9	11	8月20日
工事完了(応急)	32	21	32	9月10日
復旧工事契約	50	18	50	9月28日
工事開始	63	13	63	10月10日
ヤード工	79	16	79	10月26日
本工事	98	19	98	11月13日
ヤード撤去	103	5	103	12月2日

調査終了後の応急工事の方針は、徐行による運転再開が急務であることまた、通常速度による運転開始できるだけ急ぐことであった。方針の沿って翌日の8月11日から開始された応急工事内容は、徐行運転を可能とすることを目標とし、調査により把握した30箇所のうちから12箇所が選定された。選定された12箇所の作業内訳は、線路内土砂流入箇所の土砂撤去や線路を支える路盤が流出した箇所への盛土などであり、そのなかで11箇所は鉄道路線へ側道から重機械乗込みが可能な箇所であった。しかし、残りの1箇所は大規模な鉄道路線盛土崩壊が発生しており、道路からのアプローチが不可能であったため、河川内からのアプローチに変更し、河川の瀬回を実施し河川水量を低下させることで重機の搬入を可能とした。応急対策として盛土崩壊箇所に大型土のう約1,000袋を1:1.5の勾配で積上げた。この箇所をA箇所と表す。列車を徐行で通せるまでの機能を回復させるため、昼夜を徹して作業を実施し、2昼夜施工で8月12日に徐行運転を開始することができた。



写真-1 A箇所降雨災害状況



図-6 応・復旧全体工事日数

残り18箇所の被災状況は、盛土のり面下部や切土のり面崩壊などで、河川流水等の影響はあるものの列車荷重を直接支持する位置から外れていたため、徐行運転開始後の8月13日から再調査や復旧計画が行なわれた。その結果、他の管理者

(河川管理者・道路管理者等)及び地権者と搬入路、実施工の日程、時間帯及び最終構造物の形状等の協議を実施する必要があることが判明し、協議により、施工合意が得られたのは、8月19日で、被災から11日が経過していた。施工開始は8月20日となり、施工日数18日を要した。応急工事が完了したのは、9月10日で、被災から32日で被災から約1ヶ月後の要した(表-2、図-5)。しかし、A箇所は通常速度での列車運転に必要な機能(横抵抗力)が満足されないため、この区間の徐行解除ができず、鉄道は全面通常速度の営業できない状態であった。

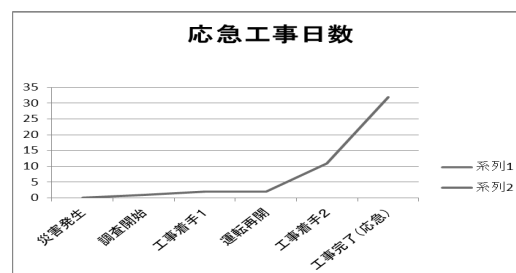


図-5 応急工事日数

b) 復旧工事の内容

復旧工事はA箇所の恒久対策をであり、復旧工事を実施しながら調査・計画が進められた。最終形状が決定し復旧工事に着手したのは10月10日であり、災害発生から63日を要している。また、復旧工事完了は、12月2日であり、災害発生から103日の約3ヶ月と10日を要している。図-6にA箇所の復旧計画断面を写真-3復旧状況写真を図-7に応・復旧全体工事日数を示す。

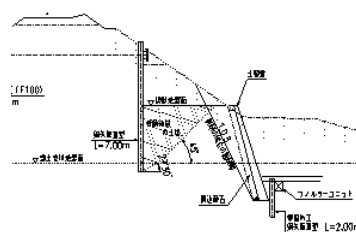


図-6 A箇所復旧断面図



写真-3 A箇所復旧状況

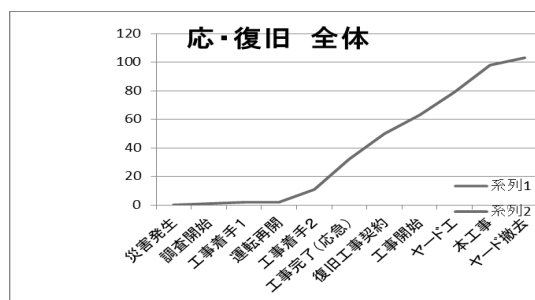


図-7 応・復旧全体工事日数

4. 一般修繕（橋梁）工事における施工時間

(1) 一般修繕（橋梁）工事における工事事例

この事例は、鉄道と上空交差する国道（橋長約30m, 鋼桁, 5主桁）の耐震補強工事であり、通行荷重制限を実施しない計画で実施された。主たる工種は、落橋防止工・変位制限工各10組設置、剥落防止工、桁塗装工、支承防錆工である。施工に当たり、桁下全面吊足場を設置した。工事受注から足場撤去まで148日、約5ヶ月弱を要している。橋梁の補修工事の特徴はこの事例にも見られるように、足場設置後に、主桁及び橋台・橋脚の表面劣化状況や配筋状況を再調査し、設計図に示されたデバイス取付け形状が現場実態に即するか否かを確認する。現場実態に即さない場合、デバイスの再設計その後、製作、そして現場に納入され設置される。したがって、各部位の形状や劣化状態により、工種や数量が変化し工期に伸縮が生じる。工期が延伸する事例として、支承などの劣化が当初計画より進行し交換が必要と判断された場合は、一時橋梁の死荷重及び活荷重をジャッキ等で支持し、支承を交換するため、既設主桁間に横桁を増設するなどの増工が必要となる。

表-3・図8に一般修繕（橋梁）工事の所要日数を示す。

表-3 一般修繕工事（橋梁）の所要日数

	日累計	実日数
準備工日数	10	10
仮設道路・ヤード	15	5
仮設足場設置	50	35
調査日数	57	7
本工事日数	128	71
足場撤去	148	20

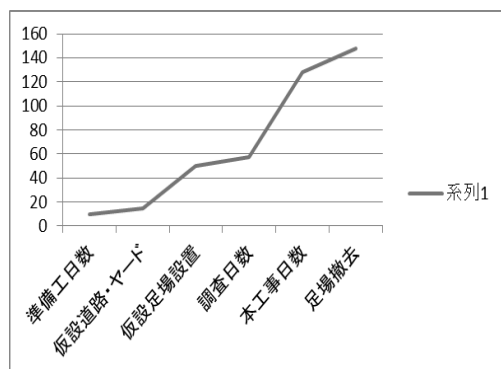


図-8 応・復旧全体工事日数

5. 災害復旧工事と一般修繕（橋梁）工事の施工時間の比較

前掲した災害復旧工事内容は降雨災害であり対象が土工造物である。また、一般修繕工事は橋梁の修繕工事である。各々の工事内容や工事規模が違うため、工事日数だけ比較するには共通性に欠けるが、単に災害復旧と一般工事の日数に着目する。

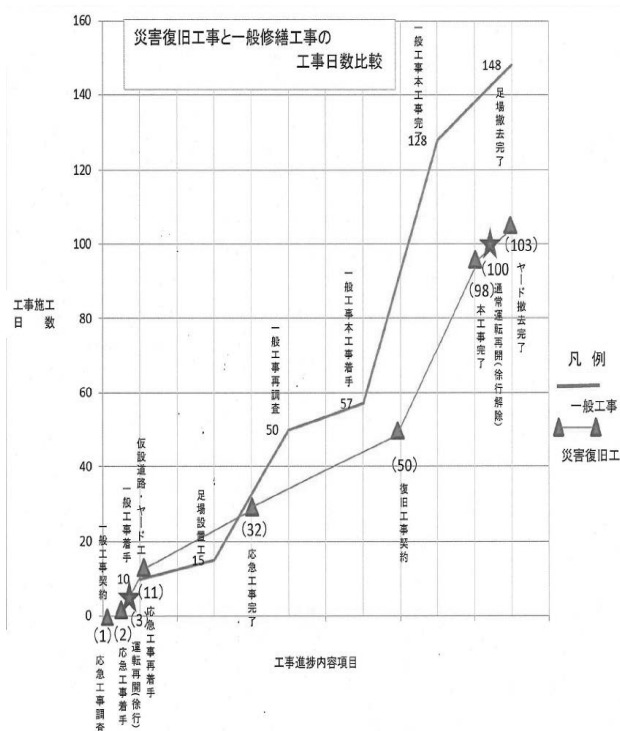


図-9 災害復旧工と一般修繕工事の工事日数比較

災害復旧事例は大きく応急工事と復旧工事に区分され実施されている。この事例においても応急工事を開始し、災害発生から3日後に徐行による運転再開が実施された。その後、徐行運転を実施しながら被災箇所の復旧応急工事の形で実施している。応急工事完了までは32日である。その後、復旧工事として、被害が大きかったA箇所において、徐行運転が開始された被災3日後から再調査・設計が行われ、災害発生から50日経過した時点で工事開始している。復旧工事日数は、準備工13日、ヤード工16日、本工事19日、ヤード撤去5日の53日間であった。応急工事、復旧工事を合計した総工事日数は、103日であった。

一般修繕工事事例は、契約日から10日間の準備期間を置き、仮設道路・ヤード工に着手している。その後、桁下全面吊足場設置に35日、調査に7日間を要した後に本工事が実施された。現場取付けに合致する形状で製作された落防止工、変位制限工などのデバイスが製作完了後、納入され現場設置する

ための本工事日数は71日である。足場撤去は20日間であり、準備工から足場撤去までの日数は148日であった。

6. 災害発生後のレジリエンス（危機耐性）を高めるための実施事項の分析

災害復旧事例は、被災後3日で徐行運転を開始できたことに大きな特徴があり、レジリエンスが発揮できたといえる。

要因の1つは、降雨により被災した内容が、列車走行に日必要な軌道その他電気・信通設備に対する被害が3日で復旧できる程度であったことである。

大規模な鉄道路線盛土崩壊のA箇所は、増水した河川と並走している区間であるが、軌道敷と河川の高低差は、平水位で高低差が10m程度、増水時の高低差は5m程度であった。そのため、護岸工に損傷が生じたが、軌道・その他電気・信通ケーブルへの損傷少なかった。

また、切土のり面に沿う軌道敷きの区間は、一般国道が高低差1m程度で併送している箇所が多く、切土のり面から流入した土砂・流木等を撤去するための搬入路として利用することができ、作業を迅速に行うことができた。

以上インフラの設置位置や形状に関わる項目は、設計当初からレジリエンスのため考慮すべき項目と考える。

要因の2つめは、災害発生直後の復旧方針が即座に決定されたことである。列車を早期に開通させるための方針が災害調査直後に打ち出され、そのため早急に復旧すべき位置が決定され、その箇所に限定し、集中的な復旧工事が実施されたことである。

要因の3つめは、復旧作業に従事する技術者・作業員が短時間で招集できたことおよび、復旧資機材の入手時間が短時間で実施することができたことである。本災害復旧事例は、降雨災害であるため入手が必要な復旧資機材が容易に入手できるもの（常備材）に限定された事例であるといえる。

しかし、応急工事完了から復旧工事開始までが、50日（約2ヶ月）となっている。即ち、恒久構造物設計及び積算等の発注準備に50日の時間がかかっている。本工事が完了した11月13日まで（運転再開8月12日から93日、約3ヶ月間）徐行運転が継続された。これは、構造物が本来持つべき（最終形としての）耐力まで回復するのに必要な時間であることを認識する必要がある。

7. 橋梁のレジリエンス（危機耐性）を高める配慮事項の具体例

地震で発生する橋梁の損傷は、杭を含む下部工、杓座、上部工の各部位にである。一度損傷が発生すると、本来持つべき機能まで回復させるには多くの時間が必要である場合が多い。その要因の1つは橋梁の設置位置である。橋梁の設置目的は交通時間短縮であるため、河川や溪谷また、道路や鉄道等と横断している。そのため、何らかの損傷が生じた場合でも河川管理者の調査や復旧工事を行うための了解を得る必要性や現地盤と橋梁の高低差があるため容易に接近できない場合があり、復旧に時間を要する場合が多い。しかし、降雨災害事例と同様に、災害時の復旧工事は、第一次緊急輸送路となる路線（橋梁等）は、災害発生からできるだけ短い時間で交通開放する必要があることから、予め路線上の各構造物の復旧シナリオを作成し準備することが必要である。復旧シナリオで必要な内容は以下であると考ええる。

- ①応急対応で、徐行による交通開放させる。そのための時間を短縮する。
- ②徐行開始から徐行解除までの時間、荷重制限した状態で持つべき耐力まで回復させるまでの時間を短縮する。
- ③構造物が本来持つべき耐力すなわち、最終形としての耐力まで回復する時間の短縮する。

上述の①～③を実現させるためには、災害箇所までのアクセス道と作業ヤードの確保、応急材料の準備と仮設工事から本設工事への移行の工夫が不可欠である。災害箇所までのアクセス道については、新設時に使用した工事用道路を供用開始後も管理用道路として残置しておくことが得策である。また、河川を跨ぐ橋梁の場合設計時点から、災害復旧工事においても治水完全性を損なうことは許されないため、河川橋脚の復旧工事には復旧工法、仮締切、仮栈橋の設置において厳しい制限条件を受けるため、迅速施工時間が行えないことを考慮する必要がある。したがって、図-10に示すように構造計画段階から河

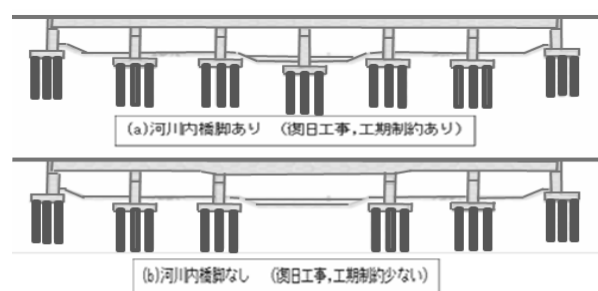
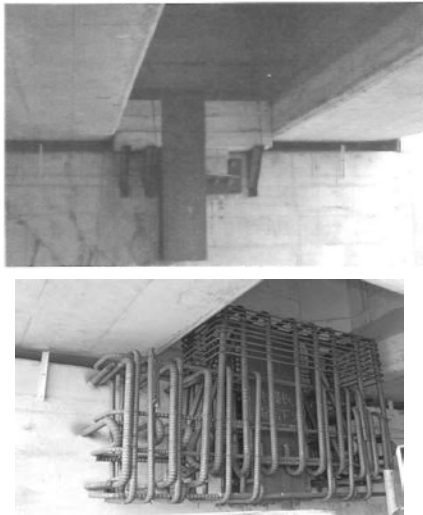


図-10 渡河橋における考慮の一例

川内橋脚を避ける案で検討しておく必要がある。⁵⁾

応急資材の準備については、前掲した一般修繕（橋梁）工事事例でも示したとおり、橋梁のデバイスであるダンパー・横変位制限等は、受注生産であるため、多くの時間が必要となる。したがって、できるだけ現地調達が可能で軽微な応急材料で、応急工事ができる対策を講じることが得策となる。写真－４に H 鋼と木材による仮設ストッパーの事例を示す。この H 鋼は撤去せず、本設に使用された⁶⁾。



写真－４ 現地調達可能復旧資材使用例

8. まとめ

橋梁のレジリエンス（危機耐性）特に、時間短縮の側面から、今後、調達可能材料による復旧部材による復旧ができるようなデバイスの構造計画・設計が必要である。また、重機を用いず人力で作業できる材料の選定（軽量または小部材の組立可能）を行っていくことが必要である。

各インフラの管理者、設計者、施工者、一般の方々の創意工夫や協力が必要であり、日々の業務において、何がレジリエンス（危機耐性）を高めることにつながるのか、意識していくことが必要である。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所：戦略的イノベーション創造プログラム（SPI） 課題「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」を推進する

研究責任者の意思決定について

- 2) 本田ら：「危機耐性」を考慮した耐震設計体系－試案構築に向けての考察－,土木学会論文集 A 1（構造・地震工学）,Vol.72,No.4（地震工学論文集第 35 巻）,I_459－I_472, 2016.
- 3) Bruneau,M., S.E.Chang, R.T.Eguchi, G.C.Lee, T.D. O'Rourke, A.M. Reinhorn, M. Shinozuka, K. Tiernei, W.A.,Wallance, and D. von Winterfeldt : A Framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, Earthquake Spectra, Vol.19, No.4,pp.733 - 752,2003
- 4) 大場宏樹：地震発生直後における緊急輸送道確保のための橋梁部の対策の事例, 第 21 回性能に基づく橋梁等の設計に関するシンポジウム講演論文集,pp.63 - 66. 2018.
- 5) 公益社団法人土木学会 地震工学委員会 性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する小委員会活動報告書 平成 30 年 3 月,第 I 編,4サイクルにおける危機耐性の考慮.
- 6) 大場宏樹：大規模地震発生に備えた重要路線橋梁の復旧シナリオ作成の必要性, 第 19 回性能に基づく橋梁等の設計に関するシンポジウム講演論文集, pp275－278.2018.