

危機耐性における時間軸考慮の重要性

大 場 宏 樹¹

¹正会員 仙建工業株式会社 土木エンジニアリング部 担当部長
(〒980-0811仙台市青葉区一番町二丁目2-13)

1. はじめに

「危機耐性」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、破壊的な状況に至らないような性質と定義され、構造物やインフラのシステム自体に危機耐性機能を持たせることが求められている。

そして、「危機耐性」には、構造物やシステムに想定以上の被害が生じた場合、短期間で機能回復できることが含まれている。そのため、危機耐性を実現していくにあたって、危機耐性を **1) 事象, 2) 時間, 3) 空間** という3つの「軸」で考えることが提案されている¹⁾。

本稿においては、主に 2) 時間軸を考えるにあたっての視点を採りあげる。

2) 時間軸の視点で危機耐性を実現するに当たり、1) 事象軸との関係では、1) 事象軸で取り上げる損傷後も安定性を有する構造・条件変化に鈍（ロバスト）な構造・超高強度構造などが、被災後に損傷した、それらを本来あるべき構造に復旧するため被災現場までの移動空間また、現場到着後、実際に復旧工事を実施する際の作業ヤードの空間を 3) 空間軸と捕らえた考え方も重要であると考え、副次的に 2) 時間軸に関係する問題点等について考察する。

2. 時間軸の重要性

(1) 時間軸意識の現状

橋梁等に代表される交通インフラに危機耐性を持たせることを考える場合、被災後における役割、特に緊急輸送道などの役割を担うことから、それらに被災が生じた場合、復旧時間を短くし、徐行を条件とすることとしても交通を確保することは、社会に対

する責任であり、インフラの果たすべき役割であることは周知である。

そのことから、危機耐性を考慮するにあたり、時間軸を主軸として、被災後の時間を短くする方策を考慮した路線計画、その路線に位置する構造物の新設構造計画や既設構造物の補修構造計画を進めていくことが重要であると言える。

しかし、これまで、時間軸を意識することは、構造物の被災状態やその被災した構造物の周辺環境、その位置する路線の交通的重要度などの複雑さ、また、その被災実態把握や一体化実態把握の難しさなどが原因しているためか、明確な体系化がなされてきていないのが現状である。

(2) 示方書等における危機耐性の時間軸の考え方

危機耐性は、建設技術者にとって全く新しい概念でなく、以前から地震災害時においてインフラが果たすべき役割として認識し重要視すべきことは示方書等に示されているが、そのため具体的に何をどの程度準備すべきかについての事柄等の例示が少ない現状であると言っても過言でなく、時間軸を主軸として考えにくい状態にあるように思える。

例えば、「道路橋示方書・同解説 I 共通編」²⁾においては、「一部の部材の損傷や異常による影響によって、橋全体が不安定になったり、連鎖的に損傷範囲が拡大して橋全体が致命的な状態に至ることがない状態」と記述されており、その対策として以下の①～③が必要であるとしている。

すなわち、

- ①構造物全体としての**補完性**または**代替性の確保**。
- ②発散振動などの自励的で制御困難な現象の防止。
- ③フェールセーフ機能の付与。である。

上記①で補完性、代替性という言葉を用いているが、同書の解説では「着目する一部の部材が破壊し

ても他の同様な機能を有する部材への応力配分などでその機能が補われることに致命的な状態には至らないような場合。」又は、「着目する部材の機能喪失によって耐荷機能や構造物特性が当初と異なるものとなったとしても、橋全体としては致命的な状態となることが回避されるような場合。」としており、

- 1) 事象に関する記述である。また、
- ②発散振動などの自励的で制御困難な現象の防止
- ③フェールセーフ機能の付与

に関しても、「着目する一部の部材等の機能が喪失した場合、平常時には機能していない別に設けられた部材が機能する事で橋全体に致命的な影響が生じることを回避するようになっているもの。」としており、1) 事象に関する内容であると言える。

これに対し「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」³⁾においては、「仮に橋に機能的な損傷が生じても、できる限り早期に復旧できるような構造形式を採用すること。またその復旧のための計画や資材等の整備について事前に検討しておく等の配慮を講じる等、ソフト及びハードの両面から総合的に検討することが重要である。」と記述があり、「できる限り早期に復旧」という記述から 2) 時間軸を考慮することの必要性が示されている。

「鉄道構造物等設計標準・同解説」⁴⁾においては、構造物要求性能において、「復旧性」という言葉が示され、定義として「想定される作用のもとで、構造物の機能を使用可能な状態に保つ、あるいは短期間で回復可能な状態に留めるための性能」と記述され、その解説の中で「機能回復に必要な時間や経費、構造物の損傷等に対する修復の難易度のみならず、被災時の構造物の進入路、作業ヤードの確保や高架橋下の利用状況などの構造物周辺の環境状況に大きく作用される」と記述されている。

危機耐性という言葉では表されいないが、その内容は、震災後、短時間で復旧することを意識することを表現していると言える。

以上、上記に記したそれぞれのされる示方書では明確に「時間軸」という言葉を用いていないが、「時間軸」を重要視した考え方となっており、時間軸を意識しなければ、危機耐性を持たせることができない内容となっている。

(3) 危機耐性における時間軸と空間軸

地震発生時の危機耐性の 1) 事象で考慮することは、対象構造物が想定される地震動に対して損傷が発生したとしても、「橋全体としては致命的な状態となることを回避する」また、「その構造物の損傷

を短期間で機能回復可能な状態に保つ」ことである。そのため、構造物周辺の環境状況を考慮し、適用可能な技術により、妥当な経費で機能回復できる範囲内に構造物の機能をコントロールすることになる。

しかし、地震災害の特徴として、被災が広域に渡る場合が多いことまた、インフラ構造物の特徴として線状に位置することが一般的である。そのため、「機能回復できる範囲内に構造物の機能をコントロールする」言い換えれば、「短期間で回復可能な構造とする」、「復旧しやすい状態とする」など言葉では簡単に言うことができるが、被災直後の状況は被災前と周辺状況等が全く異なり、被災現場までの**移動空間（特に移動径路）**、現場での**作業ヤードの空間（ガレキの山）**、などは悲惨な状況にあることを認識しておく必要がある。したがって、被災した構造物に「短期間で回復可能」な性能を持たせることを現実のものにしていくためには、**移動空間、作業ヤードの空間の問題を解決することを考慮する必要がある。**

(4) 被災直後から復旧工事着手するまでの時間

被災直後から復旧工事着手するまでの時間を短縮することが必要である。しかし、余震が頻繁に発生し、電話等の連絡手段もままならぬため、関係者の安否確認や住居、食事の確保さえ困難を極めるなかで、できるだけ早く橋梁等のインフラの被災状況を調査し、その復旧のための指示や復旧工事を実施することは容易でない。復旧指示方針は被災状況により変化し複雑である。しかし、この被災直後から復旧工事着手するまでの時間、言い換えれば「初動」が、スムーズに実施できるか否かが重要であり、初動をスムーズに実施するための準備をしておくことが重要である。

以下、連絡体制の準備等については割愛し、調査から復旧工事におけるスムーズな初動を妨げる事項について、これまでの事例を基に記述する。

3. 時間軸の有効利用の困難さと解決策

以下、時間軸の有効利用を妨げた事例または妨げる考えられる事象と解決例や解決策案を記述する。

(1) 河川を横断する多径間橋梁の橋台・橋脚に損傷が発生した場合。

a) 出水期の対応の問題

河川を横断する橋梁の問題として提起したいのは、出水期の問題である。日本国内では、5月～9月末

期はほとんどの河川が出水期であり、異常出水時の被害の考慮から、通常の工事においても制限されている。たとえば、8月上旬に災害が発生した場合、各管理者間で災害協定が結ばれ、調査を実施し、被災状況が把握できたとしても、応急・復旧工事の工事着手は、非出水期となる9月末までの1ヶ月程度となる場合もある。このように、河川を横断する橋梁の震災復旧工事の実施については、施工時期が制限されると考えなければならない。

b) 出水期の対応の問題の対応策・解決策

河川を横断する橋梁の危機耐性を実現刷るためには、出水期でも施工制限を受けない形で復旧できる構造の採用を考慮しておく必要がある。例えば、
①河川堤体内に橋台・橋脚を設置しない径間割を採用する。

堤体内にある橋台や橋脚が損傷した場合、復旧作業には、堤体掘削の作業を伴うことが多く、堤体を切崩すことは、異常出水時に洪水を引き起こす原因となりかねない。したがって、河川堤体内に橋台・橋脚を設置しない径間割の採用が望ましい。

②堤外地（河川上水敷、下水敷）に位置する橋脚等は、損傷が発生する部位を橋面上からオーバーハング式高所作業車で復旧作業できる位置に誘導する。

異常出水時は別として、出水期であっても通常は道路等の交通は供用している。このことから、橋面上からオーバーハング式高所作業車を利用しての補修施工は可能である。しかし、このオーバーハング式高所作業車の作業半径外、特に、損傷位置が作業半径より下に位置する場合や作業半径より奥側である橋梁中心部などでは、施工不能となる場合がある。そのような場合は、非出水期を待ち、復旧作業を実施することになるため、復旧時間が長くなる。

また、オーバーハング式高所作業車上での作業は、当然の事ながら人力作業となるため、仮受けベント材や落橋防止装置・支承等のデバイスは、小型軽量であることが望ましく、これを考慮していくことが重要である。

(2) 被災現場または、損傷位置まで到着することができない場合。

被災現場または、損傷位置まで到着することができない場合は、大きく現場に至るルートが震災により寸断しており到達できない場合と構造物の近くに建物等があり、復旧作業実施が不能となる場合が考えられる。

a) 現場に至るルートが震災により寸断しており到達できない場合

被災直後の復旧工事は、現場まで到着・到達できることが前提で、震災直後は、被災地沿線にある様々なインフラや家屋等が変状・倒壊・流出しており、現場までスムーズに到達できないことを前提としなければならない。

b) 現場に至るルート問題の対応策・解決策

①地元建設業者の活用

東日本大震災では「くしの歯作戦」と呼ばれる「道路啓開（道を切開く）」が実施され、早期の災害復旧が実現した。「くしの歯作戦」が成功した背後要因は、地元建設業者の活用である⁵⁾。

その理由は、地元業者の持つ「地の利」である。地元業者は、抜け道や迂回ルートの情報が豊富である。また、これまでの施工経験や生活経験からルート上の危険がどこにあるなどの情報があり、危険を回避できる。

また、施工機械や緊急資材の調達や備蓄などを期待することができる。したがって、災害協定を地元業者と結び、災害発生直後には、地元業者を参集し、復旧工事を開始できる体制を確保していくことが重要である。

c) 構造物の近くに建物等があり、復旧作業実施が不能となる場合。

近年特に都市部やその周辺においては、鉄道駅部や住宅地の再開発などが行われ、構造物周辺の環境が変わることは大いにある。具体的には、これまで駐車場として利用してきた土地にビルが建設されることや主要道路脇に民家が立ち並ぶことなどである。これにより構造物に近寄れない状況となり、復旧工事が実施できない場合もある。

d) 構造物の近くに建物等があり、復旧作業実施が不能となる事態を防ぐ対策。

①管理用道路の確保

東日本大震災時のJR東日本東北新幹線早期運転再開を実現した背景には、路線に沿った管理用道路の存在が大きい。また、ネクスコ東日本で管理する高速道路においても、路線に沿った管理用道路の存在があり、早期復旧を実施できた。

この両管理者は、「危機耐性」を發揮させるべき重要構造物（点の場合、線の場合がある）までのアプローチ道およびその周辺地域の土地利用の変化制限することをこれまで実施してきたと言える。

したがって、既設ルートを災害復旧路線として管理していく場合、構造物に至るルートの有無を確認しておくことが必要である。また、時には構造物に至るルート周辺の土地利用の変化を敏感に捉え、土地利用の変化を制限するなどの強い規制を行うこと

も必要である。

(3) 復旧工事開始が遅れる場合

震災直後は、連絡網の混雑や寸断、管理責任者の不在などにより、復旧工事開始指示の判断が遅れ、復旧工事の開始に遅れが発生する場合がある。

a) 復旧工事の開始に遅れが発生してしまう場合

復旧工事開始指示の判断が遅れの背景には、構造物の被災後の安全性に関して明確な判断を下すことが容易でないため、「将来の本復旧を見据えて応急復旧をどこまで実施するか。」などのジレンマや、「二重投資にならないよう、設計の検討が必要」などの考え方が先行するためと考える。確かにその判断基準は、明確に存在するわけでもなく、複雑であるため容易でなく、判断の決定には、強い意思と決断力が必要である。

b) 復旧工事の開始に遅れが発生させない対策案

対策案として、危機耐性の時間軸を以下に区別することが必要でありまた、それぞれの時間を最短で実施することが必要であると考え。すなわち、
①復旧までの間、荷重制限した状態で持つべき耐力まで回復させる時間。

②構造物が本来持つべき（最終形としての）耐力まで回復する時間。である。

また、危機耐性の時間軸の区別の考え方の好事例として、2011年の東日本大震災において東北新幹線が49日で運転再開できた事例⁶⁾や2016年の熊本地震における九州自動車道の木山川橋において、2週間で一般開放させた事例⁷⁾をあげることができる。この2例の共通点は、「設計せずに復旧のゴーサイン」を行ったことにある。

2016年の熊本地震における九州自動車道の木山川橋の急速施工例は、西日本道路の対応緊急車両を通すための対応をしていた前震と本震の合間に、応急復旧工事のスタートを切った。「前震の次の朝には、現場に施工者を呼び寄せ、担当割付けの決定し、落橋防止のためのベント（仮支柱）の設置を指示した。」この時の具体的な施工条件事項は、

①安全率考慮し、上部構造の荷重と車載荷重を伝えたこと。

②支承から脱落した桁は、鋼材によるサンドル設置座屈した桁に補強材を設置することだけであった。

その施工指示を限定することができた背景には、「ベントが支えるべき荷重を伝えれば、施工者は何を用意すべきか分る。」⁷⁾と判断したことであったと言う。

また、2011年の東日本大震災において東北新

幹線が49日で運転再開できた例においても、施工者及びコンサルタントの補修設計・補修工事経験を活用し、まず、荷重制限した状態で持つべき耐力まで回復させ、その後、不安定状態（段取り替えによる荷重支持低下状態）をなくすため、仮設部材の一部を利用して構造物が本来持つべき（最終形としての）耐力まで回復する設計（仮設備を利用した永久構造物への設計）と施工を実施した。

4. まとめ

地震発生直後に求められるのは時間軸である。危機耐性において2) 時間軸を主軸とし、1) 事象軸、3) 空間軸を考えることが重要である。

しかし、現状では、2) 時間軸の考え方の重要性について浸透が充分でない。それは時間軸考え方に関する情報の少なさであり、行政側技術者、新設構造物及び構造物の保守に携わる管理者、コンサルタントの設計技術者、施工技術者、点検・診断技術者らの知見を結集させる環境が整備されていないためであると考え。

今後の大地震が発生に備え、その構造物持つべき危機耐性として時間軸を考慮するため、建設に携わる各分野における技術者相互の知識をまとめ、その役割を明確にしていくことが必要である。

参考文献

- 1) 本田利器・他：「危機耐性」を考慮した耐震設計体系(1) 試案構築にむけての考察，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.72(2016)No.4p.1-459 - 1-472.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，pp.10-13，丸善出版，2012.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 pp.6-9，丸善出版，2012.
- 4) 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，pp.15-17，丸善出版，2012.
- 5) 夏山英樹，神田佑亮，藤井聡：東日本大震災「くしの歯作戦」についての物語描写研究～啓開・復興における地元建設業者の役割～，土木学会論文集F5（土木技術者実践），Vol.69, No.1, 14-26, 20-13.
- 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，pp. 275 - 278, 2016
- 7) 日経コンストラクション：「追跡熊本地震 挑む!スピード復旧」2016年9月26日号