

## 公共土木施設の地震防災におけるリスクマネジメントの活用と課題

国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター

地震災害研究官 松尾 修

地震防災研究室長 村越 潤

### 1. まえがき

我が国において地震防災分野におけるリスクマネジメントの役割について目が向けられるようになってきたのは、やはり1995年の兵庫県南部地震がその契機となっている。土木学会による「土木構造物の耐震性能と耐震設計法等に関する第3次提言」の中でも、リスクマネジメントの考え方を活用することの必要性が各所で謳われている。小論では、公共土木施設の地震防災の分野で、リスクマネジメントの考え方や方法論の活用が考えられる課題について、具体事例を踏まえつつ、筆者らの個人的な考えを述べることにしたい。なお、個人的事情で恐縮であるが、この分野での経験が未だ浅いため、掘り下げた議論を展開することはできないが、この点は御容赦をお願いしたい。

### 2. 期待される課題分野

地震防災分野におけるリスクマネジメントとは、将来において発生する可能性のあるいかなる大きさの地震動に対しても災害をゼロにすることはできないことを認識した上で、財政や社会環境などの現実的な制約の下で被害を最小化する方策を見いだすことにその役割が求められるものと考えられる。以下では、公共土木施設の地震防災に関して、リスクマネジメントの考え方の活用が考えられる具体的な事例を考えてみる。

#### (1) 地震防災に対する投資水準

施設等の耐震性能の確保に際しては、それらの耐震性能を向上することにより想定地震に対する被害・損失を最小化するためのリスクマネジメントと、被害が発生した場合を想定してその拡大及び影響を抑止するためのクライシスマネジメントの両面からの取り組みが必要である。地震被害をできるだけ軽減する、究極的には防止するためには、その第一原因である施設被害が起こらないように施設を十分に強くしておくことである。しかしながら、そのようなこと、すなわちリスクをゼロにすることは現実的に極めて困難であり、また合理的でないことはほぼ自明のことである。言うまでもなく、耐震性能を高めるためには費用を要し、防災対策のみに限りなく投資することはできない。ここに最適投資の問題が存在する。こうした問題の検討に当たっては、費用と効果を計量化して分析するという考え方が基本になるものと考えられるが、実務的な課題は、直接的被害と間接的（二次的）被害のうち、後者の評価がきわめて難しいことである。人命の損失や人間の心理に与える負の影響（トラウマ）等をどのように評価するのか、計量化して考えるのか、あるいは計量化できない別次元

の価値指標として捉えるのか、といったことも重要かつデリケートな課題である。

## (2) 各種対策手段の組み合わせ

地震被害を防止するという観点からは、施設の耐震強化は抜本的な対策であるが、あらゆる施設を耐震強化することは各種の事情により容易なことではない。例えば既設建造物の耐震補強では、これを順次行っていかざるを得ないことになるが、財政的な制約がある場合には、補強完了までに相当長期間を要することとなり、その間被災リスクが残存することになる。また、周辺環境や技術上の制約などにより耐震補強の実施が困難な場合もある。このような場合、施設補強以外の対策を併用する必要も生じる。このとき、所与の地震対策予算を施設補強とその他の対策に如何に配分するのが適切かという課題が生じる。ここにもリスクマネジメントの活用が期待される。

具体例として、兵庫県南部地震後の平成7年度より始められた河川堤防の耐震強化対策事業では、名目上レベル1地震動による致命的な被害を防止することを当面の目標として進められてきている。なお、ここで「名目上」というのは、既設堤防の耐震性評価および対策工の設計にかなりの安全余裕が設けられており、実際の耐震性能は名目よりかなり高いであろうことを示唆している。このような判断が選好された理由として、事業開始時点においてレベル2地震動対応の耐震強化対策を合理的に実行するための技術的手段を整備できなかったという事情もあるが、より本質的な理由としては、地震と（越水を生じるほどの）洪水が同時に（緊急復旧に要すると考えられる、地震が発生してから2ないし3週間程度の間）発生する確率は極めて低いと考えられること、財政的制約の下でレベル2地震動対応の対策を行うとすれば単位延長当たりの対策に要する費用が高くなることの結果として全国の河川堤防に通りの対策を終了するまでにより長期間を要することになる、ということがあったようである。そして、レベル2地震動により万一致命的な被害が生じる可能性に対する補完措置として、資材の備蓄を含む迅速な緊急復旧体制の整備がなされている。ここに例示した対策手段は専門家の議論等を踏まえて選択されたものであるが、リスクマネジメントの観点から見ても妥当なものであるかどうかを検討してみることも今後の何らかの類似の局面において参考になるかもしれない。

道路においては、それぞれの道路施設の耐震強化とともに、種々の道路施設が組み合わされたネットワーク特性を考慮して、一部区間が被害を受けてもネットワーク全体として機能が大きく低下しないように、耐震対策を合理的に進めていくための計画学的なアプローチが必要である。このためには、まずネットワークが有する耐震性能を明確にすることが重要であり、ネットワークとしての耐震性能を定量的な指標で表現するための方法論の構築が必要である。ネットワークとしての耐震性評価については他分野の施設システムでも検討されているが、道路が他と異なる点としては、様々な構造特性・地震時挙動特性を有する施設から構成され統一的な被害予測が難しいこと、道路被害による波及的な影響は当該地域や施設利用者の状況に大きく影響を受けること等が考えられる。地震時の交通状況や経済的損失等の

波及過程には未解明な点も多く残されており、災害経験を通じて知見を蓄積するとともに、より説明性が高い指標を用いた方法論の構築に向けて研究を進めることが重要と考えられる。このような調査研究の一例として、地震発生直後の救急・救命活動に対する道路交通機能の満足度合いを耐震性能の評価指標と捉え、実地域に対する道路ネットワークの耐震性能について分析しているが、これによれば、提案した評価指標を用いることにより、経験的な視点から矛盾することなく、耐震補強や交通規制等を組み合わせてネットワークの耐震強化を計画する際の定量的な判断指標として利用可能であるという知見が得られている。

なお、地震防災の分野ではないが、「新道路技術五箇年計画」（国土交通省、平成10～14年度）において、岩盤・斜面崩壊を対象として道路施設におけるハード・ソフト対策を組み合わせた総合的なリスクマネジメント技術の開発が進められている。

### （3）対策優先度

限られた予算の中で、数多くの既存施設を必要な耐震性能を確保するように耐震強化する場合、優先付けをする必要がある。道路施設を例にとってみると、どの路線・区間を優先的に補強するか、また、異なる構成要素（橋梁、トンネル、盛土、切土・斜面など）のうちどれから優先的に手を着けるか、ということが課題となる。橋梁については、兵庫県南部地震後の平成7～9年度に震災対策緊急橋梁補強事業三箇年計画により約3万橋に近い橋梁の耐震補強が行われ、その後も平成10年度からの新道路整備五箇年計画の下で緊急輸送道路の橋梁等の耐震補強が進められている。ここで、優先的に補強の対象となっているのは、高速道路や一般国道など重要度の高い幹線道路であるが、対象となる橋梁数を勘案すると地方自治体が管理する道路橋の耐震補強は未だ道半ばであるところが多いと推定される。限られた予算の中で政策決定者が優先付けを行っていくための判断材料を提供するためのツールが今後とも必要とされるものと考えられる。

優先付けの実務的な手法としては、例えば米国連邦道路庁(FHWA)による「道路橋耐震補強マニュアル」(1995)に、幹線道路網の橋梁を対象とした手法が示されている。概括的に言えば、橋梁の構造的なせい弱性、地域の地震活動度、重要度、ネットワークの代替機能性等の要因を考慮して、重み付けをして得られる総得点方式による評価方法である。余談であるが、筆者らが最近、米国連邦道路庁(FHWA)の担当者にインタビューしたところ、本手法については、多くのエキスパートによる各種要因の重み付けを踏まえたものであり、予算配分の参考にしているとのこと、また、実際の優先付けは、事業主体（州政府、郡政府等）に委ねられているとのことであった。国内においても、一部の地方自治体では、耐震対策の効果的・効率的な実施のために、路線の重要度や各橋梁の耐震性を総合的に勘案した実務的な評価方法を検討している。

このような優先付けの手法を広く実用的なものとするためには、論理的な裏付けを積み重ねた上で、地域の実情に応じてかなりの程度の簡略化を行うことが必要であると思われる。

#### (4) 異種構造物間の耐震性水準の整合

公共土木施設の耐震基準が一貫性を有し、整合性のとれたものとなっていることは、個々の施設、それらが構成する施設システム、ひいては社会システム全体の耐震性能を確保する観点からも重要である。

道路はネットワークシステムであり、地震後も地域で要求される所要の機能を確保させようとするためには、橋梁の他、トンネル、盛土、切土・斜面などの耐震性水準を整合させておくことが本来望ましい姿であるが、現状の耐震設計では、それぞれの施設の構造・機能特性や技術動向の違い等により、異なる基準が用いられており、道路機能面から横断的に整合のとれた最適なものかどうかについては明確ではない。

橋梁を優先的に補強することについては、万一落橋に至る被害があった場合には、通行車両の転落等による人的被害の発生が予想され、また、復旧に要する期間は盛土が被災した場合などに比べてはるかに長期間が予想され、通行支障に伴う経済的影響が大きいことから、容易に首肯されるものである。橋梁以外の道路施設、特に土工構造物についての対処はいくつか困難な課題がある。それは、①橋梁と異なり線状の施設であるため、延長が膨大である、②土を主要構成材料とする施設であり、耐震性の定量的評価が困難である、③構造物本体の建設費用に対する対策費用の比率が大きい傾向にある、などである。このうち、②と③は今後の技術開発努力によりある程度改善されることが期待されるが、一般的な傾向は当面変わりないものと予想される。さらに、特に道路土工部については従来から言われているが、万一被災しても復旧が容易（橋梁の落橋などの緊急復旧に比べてかなり短期間での緊急復旧が可能）という特性がある。このことは、土工部の耐震設計・耐震補強が従来ほとんどなされてこなかったことの主要因の一つである。兵庫県南部地震の後に改訂された道路土工指針においては、道路盛土の目標耐震水準として、路線の重要度および復旧の難易度に応じて、大規模地震動対応、中規模地震動対応、従来の構造規定による、と3段階が示されているが、その判断は事業者に委ねる形がとられている。これを読み替えれば、重要度があまり高くない路線で、万一被災した場合に復旧が容易であると判断され、従来の構造規定により築造された道路盛土は、大規模地震動あるいはレベル2地震動を受けると致命的な損傷が生じることもあり得ることを暗に認めているとも読みとれる。ちなみに、その諸特性を挙げれば、橋梁のような鋼・コンクリート構造物に比べて、①復旧が容易、②通行車両および乗員が犠牲になる可能性が低い（従来の地震で、盛土が崩壊した場所に走行車両が突っ込んだ事例が散見されるが、幸いにして死者は発生していない）、③耐震対策に要する費用が高い（例えば基礎地盤の液状化対策を施すと、その費用は本体築造に要する費用の半分程度になることも多い）、などである。このように、同じネットワークを構成する道路施設であっても、全く同レベルの耐震性水準（何をもちいて定義するかの議論はあるが）にするのは必ずしも容易でないことがわかる。

以上の現状を認識した上で、施設システムとしての横断的な耐震性水準（この中には、例えば地域の安全・安心といった防災のサービス水準が含まれると考えられる。）をどのよう

に設定するか、またシステム全体として信頼性を高めていくためにどのような対策手段を組み合わせて実施するのがよいか、についてリスクマネジメントの方法論が貢献できる部分があると考えられる。

#### (5) 各種災害間の防災水準の整合

土木学会第2次提言では、レベル2地震動に対しても人命を損なわないことが、ミニマムの要求耐震性能の一つとして謳われている。他方、豪雨災害は毎年全国のどこかで発生しており、土砂災害や水害などで確実に犠牲者が生じている。例えば、治水整備事業では、大河川では再現期間100ないし200年程度、中小河川では30ないし50年程度の河川流量に対して安全に流水を流下させることを当面の整備目標として進められている（実際には「余盛り」などの安全代がある。）。レベル2地震動は再現期間で言えばこれらよりはかなり長くなるものと思われる。住民の立場から見れば、自然災害は地震だけでなく雨もあり、むしろその頻度からすれば雨による災害ははるかに身近なものである。豪雨災害と地震災害、この2つはその様相はかなり異なる。無論、同程度の再現期間を有する地震動および豪雨に対して同程度の防災性を確保すべきという単純な問題ではないであろう。両者の防災性水準を如何にバランスさせるのが妥当であるのか、あるいは存外バランスがとれているのか、意外にこれまで検討されていないように思われる。今後の長期的な防災政策を考えるにあたって取り組んでおかなければならない課題であるように思う。

### 3. あとがき

小論では、公共土木施設の地震防災の分野におけるリスクマネジメントの考え方や方法は方法論の活用が期待されると考えられる課題について、具体的な事例や筆者らの所属する部署で現在進めている研究事例を踏まえつつ、幾つか述べてきた。

これらに対する答えを得るためには、地震動の発生確率評価、施設等の耐震性評価と被害予測、二次被害の様相の予測、被害の定量的評価、各種防災対策の効果の評価等に関する多くの要素技術が必要になる。また、実用的かつ説明性の高い手法とするためには、ある程度の簡略化も必要とされると思われる。

リスクマネジメントの方法論は、合理的な防災対策手段を見い出すとともに、それを納税者たる国民に説明する材料を提供することにその有用性があるものと考えている。できるだけ簡便かつ実用的な手法を開発すべく今後努めていく所存である。同時に、各方面での研究開発に期待したい。

#### 【参考文献】

- 1)(社)土木学会：耐震基準等に関する提言集，1996.5.
- 2)(社)土木学会 土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会：土木構造物の耐震設計法等に

関する第3次提言と解説, 2000.6.

3)(社)土木学会 土木計画学研究委員会 災害リスクマネジメント研究小委員会：災害リスク研究の最前線と社会への提言, 土木計画学シンポジウム, 2000.7

4)建設省 構造物の耐震安全性向上に関する技術検討会：構造物・施設等の耐震安全性向上に関する課題と今後の取り組みについて, 1998.2.

5)(社)日本道路協会：道路土工のり面工・斜面安定工指針, 1999.3.

6)FHWA：Seismic Retrofitting Manual for Highway Bridges, Publication No. FHWA-RD-94-052, 1995

7)佐伯光昭：地震災害軽減方策のあるべき姿と今後の課題, 土木学会論文集, No.658/VI-48, 1-18, pp.65～81, 2000.9.

8)杉田秀樹、野崎智文：道路ネットワーク耐震性能評価指標を用いたケーススタディ、土木学会土木計画学研究・講演集23(2), pp.553～556, 2000.11.