

# 構造設計における想定外と危機耐性



## 横田 弘

一般財団法人 沿岸技術研究センター  
参与

### 1. はじめに

2024年の年明けとともに発生した令和6年能登半島地震は、想定を超える甚大な被害をもたらした。このような甚大な被害をもたらす可能性のある事象に対しては、その作用の大きさを想定して構造物を設計し、防災計画等を立案してきた。ここで、構造設計で「想定」している事象とは、設計供用期間内に構造物の要求性能に応じて設定される限界状態に達しない状況のことであり、「想定外」とは設計で考慮した大きさを超える作用の影響により生じる状況、または、作用は設計で考慮した大きさを超えていないものの想定と異なる構造物の挙動が生じる状況のことを示している。

構造物の性能確保に関して、想定外の事象を陽に認識する必要性、および想定外の事象に対する危機耐性の対応については、土木学会と日本建築学会が連携して作成を進めている「土木・建築構造物の設計の共通原則（仮題）」を作成する過程において日本大学・中村晋先生のリードで議論してきており、土木学会「2023年制定土木構造物共通示方書（2024年3月発刊予定）」にも反映されている。本稿は、これらを要約して紹介するものである<sup>1)</sup>。

### 2. 構造設計における「想定」と「想定外」の事象

「想定外」の事象と設計で「想定」する事象との関係をより合理的で統一的に示すことは、設計からリスク管理、防災計画に至る中で土木構造物の位置づけや機能を明確にすることにつながる。特にリスク管理およびリスク評価は、作用等の様々な不確定性を陽に取り扱い、対象構造物がその不確定性の下で、限界状態に達する確率が社会から容認される確率以下であることを確認するための行為である。この点から、作用や損傷機構の不確定性を考える上で、設計とリスク評価は対になる。このよ

うに、様々な事象における「不確定性の認知」は、「想定」と「想定外」を区分する上で重要な視点と考えられる。

設計において「想定」する事象と「想定外」の事象との関係を、「A：不確定性の認識の程度」と「B：知識や情報の不確定性の程度」の2つの指標を用いて考える。Aはある作用により構造物に被害が発生するなどの影響が生じることについて確度をもって知っているかどうかであり、Bは被害のような事象が発生する可能性を知るために必要な作用の程度や発生頻度、および構造物の損傷などの発生要因や発生機構に関する知識または情報の不確定性の程度である。本稿では、問題を単純化してAおよびBの程度は考慮せず、単に有無だけで整理を試みる。つまり、「想定」と「想定外」をAとBの有無を指標とした2×2のマトリックスで整理する。

「A：有、B：有」とは、構造物に被害などの影響が生じることの確度を適切に認識し、その影響をもたらす作用や被災機構に関する知識や情報が被害事例等を通じて充分にある状態であり、設計で「想定」する事象のことである。これらの不確定性は一定程度定量化できているため、構造物に対する要求性能の水準に応じた作用の水準と限界状態の関係を設定するという設計の基本を構築することができ、これに基づいた防災計画も立案しやすい。

「A：有、B：無」とは、発生頻度が小さい作用に起因して構造物に被害等の影響が生じる事象の確度とその影響が重大であることを十分に認識しているが、その影響が生じる作用や被災機構を定量的に評価するために必要な知識、経験、情報が少ない事象である。必要な情報等が不足し、不確定性が大きい状況にあるので、影響を定量的に評価するのは困難であるが、その影響を合理的に低く抑えることが必要となる。

「A：無、B：有」とは、その事象が生じる作用や被災機構を定量的に評価するために必要な知識は充分あるが、被害などの影響をもたらす事象が生じるとの認識が不確かというものであ

る。例えば巨大な地震が発生することは理解できるが、そのような事象が発生する確度が低いと認識する場合があてはまる。リスク自体は残ることになるので、この事象が生じた場合の対応が可能ないように防災計画を策定し、その実効性を確保するためにリスク管理を行い、緊急対応できるようにしておくことが求められる。

最後に、「A：無、B：無」は、構造物に被害などの影響をもたらす事象の発生や規模についての認識やその発生可能性に関する知識が極めて低い事象（未知の未知の事象）である。その事象が及ぼす影響のシナリオやそれをもたらす作用と被害の関係を設定できないので、設計あるいは防災計画において想定外の事象となることは言うまでもない。

### 3. 「想定外」の事象への対応と危機耐性

「想定外」の事象により社会が破局的な状態に至る可能性を十分小さくするために構造物に求める性能を危機耐性と呼ぶ。例えば避難や救助、生活物資の移動、復旧等を支える構造物の機能喪失がこれらを著しく困難にする可能性を小さくするための性能である。危機耐性に基づく対応が必要な「想定外」の事象とは、その事象に対する高い認識を有している前述の「A：有、B：無」に相当する。

危機耐性と類似の概念としてレジリエンスがある。レジリエンスは、頑健性、冗長性、復旧（修復）性等として考慮されるが、個別の構造物やシステムのハード面のみならず、消防、警察などによる救急対応、さらに病院、情報ネットワークなども含む社会面への影響と対応を含む社会全体として要求されている概念である。危機耐性とは、そのような社会全体からの要求を踏まえているものの、構造物や構造物により構成されるシステムを対象とした要求性能である。

### 4. 構造設計における危機耐性と性能評価

「想定外」の事象については、被災事例、実験結果等から得られた知識の情報を踏まえ、構造物に頑健性や冗長性を持たせるといった考え方で構造細目等に配慮することで、これまで対応してきた。「想定外」の事象の存在を陽に認識し、起こりうるシナリオを踏まえた上で、構造形式・詳細の見直しなどの対応を行うことが設計において重要となる。そのためには、設計に関する十分な経験と想定外の事象に関する知識が必要不可欠となる。

設計において危機耐性への対応の効果を定量的に評価する方

法として、設計条件下で偶発作用の影響を評価するストレステストや得られたシナリオに基づくリスク分析等がある。また、対象となる作用の影響が社会に及ぼすリスクを評価し、対応策に応じたリスク低減の程度について相対評価を行うこともある。頑健性や冗長性のような性能のみならず、耐余震性や復旧性などのレジリエンスに関わる性能を総合的に評価し、危機耐性という指標を評価している。

危機耐性の性能を定量評価するためには、構造物の特性に応じた評価項目を抽出し、それらのリスクを個別および総合的に評価することが、それらの許容値の設定と合わせて必要となる。また、危機耐性に関する対応は、リスクの低減、費用対効果に対して過剰な安全要求とならないように、総合的に評価することが必要であるとともに、そのリスクの計量化に用いられた事象は、現状の知識、経験レベルで仮想が可能な範囲のものであることに留意が必要である。さらには、危機耐性に関する対応は、それが設計供用期間中に機能することや、災害情報や技術の向上等の新しい知見に基づく見直しに努めることも必要である。

### 5. おわりに

設計では事象の不確定性の認知の程度を踏まえて「想定」を行うが、想定境界を超える「想定外」が生じるということを確認することが必要である。その上で、設計から防災・減災までシームレスに「想定」とともに「想定外」の事象で起こりうる影響を想像する力も重要である。さらに、危機耐性は、安全性と復旧性を主として「A：有、B：無」の事象まで拡張して適用する性能であり、「想定」する事象との区分によりその位置づけが明確になる。不確定性に対する認知の程度に基づいた設計事象の区分は、危機耐性の対応を社会に合理的に説明する上でも有意と言える。

今後、地震災害のみならず台風や豪雨による災害の激甚化、さらに複数の原因が複合した災害の発生も予測される。このような自然環境の変化に対して、今後、不確定性に関する認知の程度に応じた「想定」と「想定外」の事象の関係を絶えず見直すことが必要である。さらに、設計から防災・減災に至るシームレスな対応が、様々な「想定外」の事象による災害を低減する上でも重要である。

1) 中村晋、北原武嗣、横田弘：土木構造物の設計における想定外の事象と危機耐性、第10回構造物の安全性および信頼性：構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム論文集、pp.337-340、2023。  
[https://doi.org/10.60316/jcossar.10.0\\_337](https://doi.org/10.60316/jcossar.10.0_337)