

落橋防止システムによる不測の事態への対応と ISO2394:2015 における risk-informed design の比較

土木研究所 正会員 ○河原井 耕介, 大住 道生, 廣江 亜希子

1. はじめに

現在の道路橋の設計は、一定の水準で設定した設計作用に対して性能の照査を行うものであり、実現象としては、構造物が設計での想定と異なる作用を受ける可能性は残る。特に不確実性の大きい自然災害に対しては、これが無視できない問題となる。

現在の道路橋示方書¹⁾(以下、「H29 道示」と呼ぶ)では、このような自然災害による作用も含め、不測の事態に配慮する必要性が強調され、計画や設計において不測の事態によるリスクを低減することが求められている。しかし、リスクに対する対応の体系的な整理はなされておらず、不測の事態に対して構造物がどの程度の安全余裕を有しているかを考察することは難しい。リスクに対する設計を体系的に整理できれば、構造物の安全性についての説明性の向上や設計の高度化に資する枠組みになると考えられる。

本稿では、道路橋における不測の事態によるリスクに対する設計体系の整理に向けた検討の端緒として、H29 道示における不測の事態への対応と、構造物の信頼性に関する国際規格である ISO2394:2015 General principles on reliability for structures²⁾(以下、「ISO2394:2015」と呼ぶ)におけるリスク情報に基づく設計手法との比較考察を行った。

2. 道路橋の設計におけるリスク対応

H29 道示では、道路橋の性能を耐荷性能、耐久性、橋の性能を満足させるために必要なその他の性

能(以下、「その他性能」と呼ぶ)の3つに区分している。耐荷性能の照査は部分係数法を用いて実施される(図-1)。部分係数法は、作用や抵抗等の不確実性も考慮したうえで、作用が抵抗を上回る可能性が一定の確率以下となるよう照査を行うものであり、作用が抵抗を上回る領域(図-1における $Z < 0$ の領域)は、設計状況として考慮する一般的な状況においてはその影響が無視できると考えられている。

一方、地震をはじめとする自然災害を受ける状況に対しては、作用が抵抗を上回る可能性は同様に極めて低いものの、その影響が無視できない程度に甚大であるために、 $Z < 0$ の領域への対応が問題となる。この領域は、損傷が生じている領域であり、性能を確保するのではなく、復旧によりリスクに対応しようとする領域と言える。H29 道示においては、その他性能の一つとして、 $Z < 0$ の領域のような状態も含めた不測の事態への配慮が求められている。

H29 道示における不測の事態への対応は、表-1 に示すような3レベルに分類して考えることができる；1) 路線ネットワークや地域防災計画等の広域計画レベルでの対応、2) 橋梁位置や橋梁形式、支間割等の構造計画のレベルでの対応、3) 粘り強い構造とするような構造系レベルでの対応。

表-1 は、ISO2394:2015 との比較を念頭に一つの見方として整理した。ISO 2394:2015 におけるリスク情

表-1 不測の事態によるリスク対応のレベル

道路橋示方書	ISO2394:2015, JCSS (2008)
広域計画レベル (道路ネットワークにおける橋の位置付けや、地域防災計画等と整合を図った対策の検討)	道路ネットワークレベルでのリスク評価(直接的結果: 道路構造物の損傷, 間接的結果: ネットワーク機能の低下等)
橋梁基本計画レベル (橋梁の位置や形式、支間割等の基本計画レベルでの対応)	構造系レベルでのリスク評価(直接的結果: 部材の損傷, 間接的結果: 構造物の倒壊, 機能喪失等)
構造系レベル (粘り強い構造とする等の構造設計上の配慮による対応)	部材レベルでのリスク評価(直接的結果: 部材の構成要素の損傷, 間接的結果: 部材の破断等)

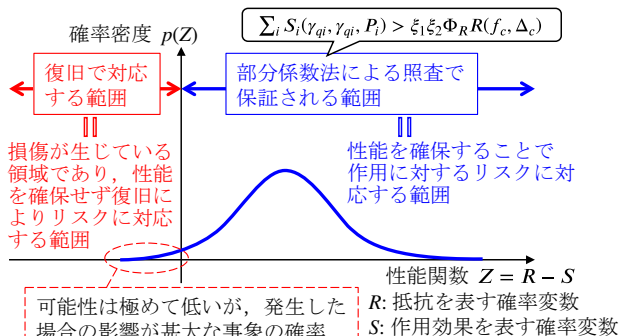


図-1 部分係数法による設計とリスク対応の関係

キーワード リスク, 不測の事態, risk-informed design, リスクシナリオ, 落橋防止システム

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL029-879-6773

報を活用した手法を橋の設計に適用するためには未だ多くの課題があるが、道路橋のリスクに対する設計の枠組みを考える上で参考になると考えられる。

また、H29 道示では、不測の事態に対する構造設計上の配慮として、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ることや、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可能性を念頭に対策を検討する必要性が解説されている。対策の具体的な方法の一つとしてフェールセーフ機能の付与が位置づけられており、落橋防止システムがその代表的な対策として示されている。

3. ISO2394:2015 における risk-informed design

ISO2394:2015 では、新設構造物の設計及び既設構造物のアセスメントの枠組みとして、次の3つのレベルを規定している；レベル 1) risk-informed approach / リスク情報を活用した方法、レベル 2) reliability-based approach / 信頼性に基づく方法、レベル 3) semi-probabilistic approach / 準確率論的手法。

リスク情報を活用した方法は、全てのリスクを確率論的に定量評価し、受容可能リスクを制約条件、リスクとコストの和を目的関数として設計における決定を最適化問題として解決しようとする手法である。具体的には、構造物に影響を与える原因を抽出し、その影響にさらされた状態（暴露状態）から、部材損傷等の直接的な結果（direct consequence）、及び直接的結果から派生する連鎖的な損傷の広がりや構造物の

機能の喪失等（間接的な結果、indirect consequence）に至るシナリオを整理し、シナリオの各事象の確率モデルに基づき、影響の程度をリスクとして定量評価する（図-2 上段）。このリスクシナリオは、ネットワークレベル、構造物レベル、部材レベル、と階層構造でとらえることができる（表-1）。

4. 落橋防止システムによる不測の事態への対応と risk-informed design の比較

H29 道示における不測の事態に対する設計の具体例である落橋防止システムは、地震により支承部が損傷し上部構造が落下することで甚大な被害を生じるリスクが経験的に大きいことから設置されるものと解釈できる。これを ISO2394:2015 によるリスクシナリオに重ねると、地震の影響（暴露事象）に対して、支承部の損傷（直接的結果）、上部構造の落下（間接的な結果）というリスクシナリオを経験的・定性的に評価し、よりリスクの小さい別のシナリオに誘導するものと捉えることができる（図-2）。

ISO2394:2015 におけるリスク情報に基づく設計は、全てのリスクが確率論的に評価できる前提での体系ではあるが、リスクをシナリオとして捉えて評価する方法論は、落橋防止システムの思想に類似なものと言える。今後は、道路橋を対象とした、フェールセーフを始めとする不測の事態への対応の体系的な整理に向けて、ISO 2394:2015 等の知見も参考に検討を進める予定である。

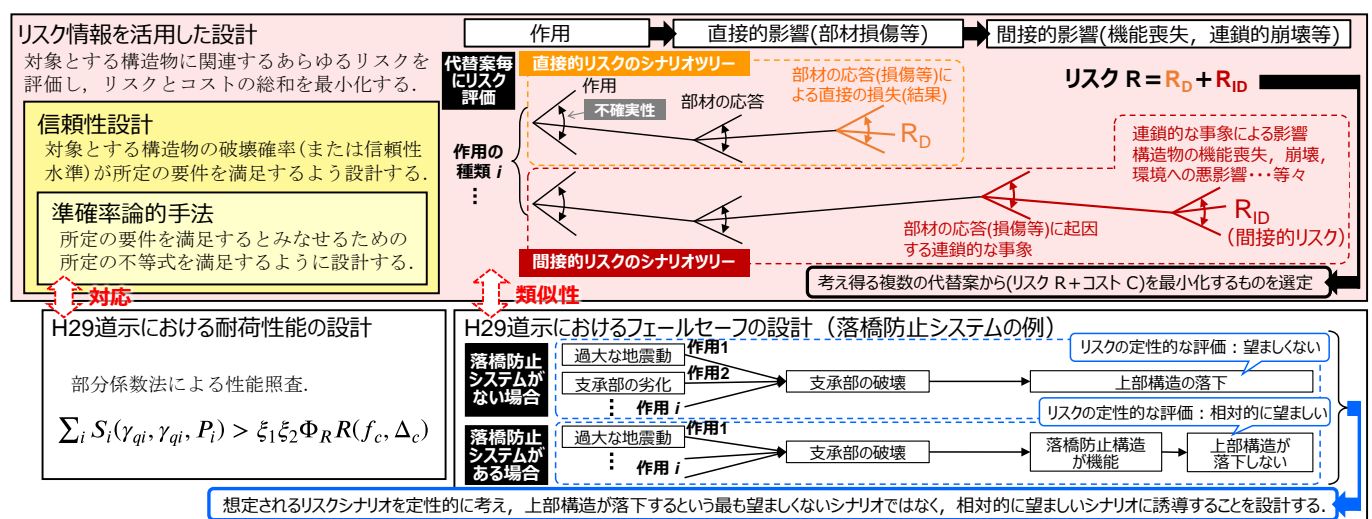


図-2 リスク情報を活用した設計と H29 道示における落橋防止システムの設計の比較

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，同 V 耐震設計編，2017.
- 2) International Organization for Standardization: ISO 2394:2015(E) General principles on reliability for structures, 2015.