

# 設計と防災の視点から

## Design of Buildings for Disaster Prevention and Mitigation

糸井達哉（東京大学）  
地震荷重外力小委員会 幹事  
信頼性工学応用小委員会 委員  
津波荷重小委員会 委員

## 目次

- 1. リスク情報を活用した建築物の設計と対応**
  - i. ISO2394:2015の枠組み
  - ii. リスク論に基づく性能設計体系
  - iii. 荷重指針における地震荷重設定の枠組み
- 2. リスク情報を活用した耐震設計および設計用地震動・地震荷重設定の枠組みの試案**
  - i. 全体像
  - ii. 設計用地震動および設計地震荷重の設定
  - iii. 「統計的な」荷重評価から「確率論的な」荷重評価へ
  - iv. 広域の被害想定
  - v. 性能要求と要求性能水準の決定
  - vi. 設計荷重を超える地震荷重に対する建築物の挙動
- 3. まとめと今後に向けた提案**

# 1. リスク情報を活用した建築物の設計と対応

## リスクとは？（≠確率）

- 工学的には、
  - ✓損傷・破壊に伴う望ましくない**結果**と
  - ✓その**起こりやすさ**（発生確率）の組み合わせと定義
  
- 広義のリスク情報には、
  - ✓損傷・破壊が発生する**シナリオ**
  - ✓**対策の効果**
  - ✓リスク評価の**スコープ**なども含まれる

# ISO2394:2015

## (構造物の信頼性に関する一般原則)

### 構造物の3つの設計法

#### ① リスク情報を活用した方法 (新規)

- ✓ 人命喪失や負傷、環境の質に対する損害、および金銭的損失を含むあらゆるリスクを十分考慮した設計
- ✓ 建築物のリスクアセスメントの枠組みについてはISO13824:2009に詳しいが、各種荷重に対する設計に関する標準的な考え方は確立していない

#### ② 信頼性に基づく方法

- ✓ 信頼性設計法 (目標信頼性指標 $\beta_T$ )

#### ③ 準確率的方法

- ✓ 荷重耐力係数設計法、部分係数法

5

## リスク情報を活用した (risk-informed) 構造物の設計とは？

### • 以下とは異なる

#### ✓ 信頼性設計法 (reliability-based)

- 目標信頼性指標 (目標破壊確率) を満たすように構造物を設計
- 構造物被害の結果 (社会的な影響を含む) を考慮していない

#### ✓ リスクに基づく設計 (risk-based)

- 定量的に計量される「リスク」に基づき最適な設計を導く
- 「リスクが精度良くに評価できる」、「すべてのリスクの要因を対象に、すべてのリスクに関わる要素を考慮して評価できる」ことを前提 (非現実的)

6

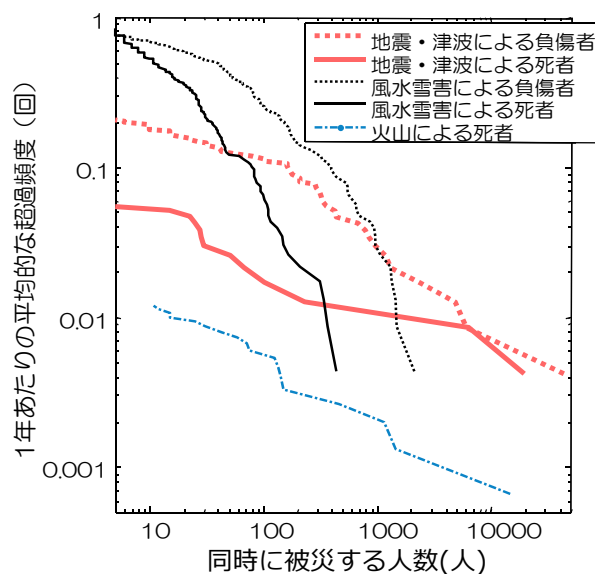
# リスク情報を活用した構造物の設計の意義

- 従来の構造物の設計の(典型的な)考え方
  - ✓ **被害経験**に基づき、設計を見直す
  - ✓ これまで経験した被害の**再発防止**という視点が強い
  - ✓ **未経験**の被害に対しては、後手を引く
- リスク情報を活用した設計
  - ✓ リスク評価で考慮されていないが重要な要因や要素は、決定論的あるいは定性的に考慮することが必要
  - ✓ 以下の不確かさを踏まえる
    - 何がいつどの程度の頻度で起こるか？
    - 設計で考える対応策は実効的か？
  - ✓ 不確かさに適応することが、被害を最小限に防ぐために必要
    - 多様な潜在シナリオを検討した上での設計

野口 (2017) に基づき修正<sup>7</sup>

## 災害をリスクの観点からみる

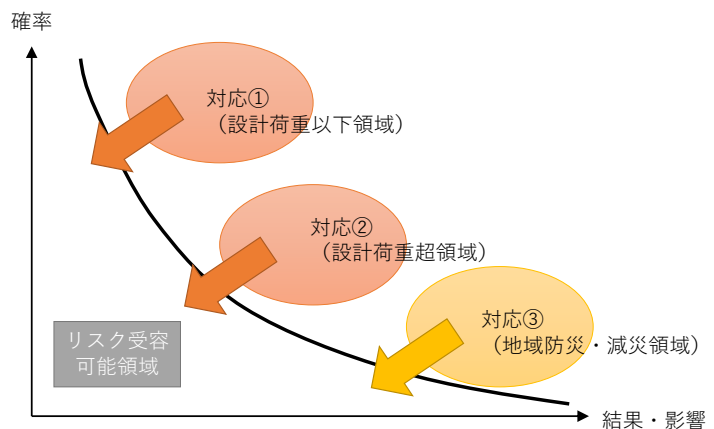
- リスク曲線
- 高頻度低影響災害と低頻度巨大災害では対策が異なる
- さまざまな自然災害を横並びに比較することで、その特徴に応じた対応策の議論が可能に



わが国における自然災害の死傷者数  
(地震・津波：理科年表 (1965年～2011年)，風水雪害：理科年表 (1965年～2010年)，火山：気象庁HP (1701年～2000年))

# リスクの観点からみた 建築物の包括的な性能検討の体系

- 対応①、②、③まで含めた包括的で一貫したリスク低減の取り組みが重要
  - ✓ハザード評価等の不確かさへの対処
- 土木分野では、耐震設計において冗長性や頑健性等を付与する「危機耐性」という概念を導入
  - ✓建築物の設計においても同様の考え方が求められている



リスク情報を活用した  
多段階のリスク対応スキーム  
(高田に加筆・修正)

9

## 荷重指針における地震荷重設定の枠組み (1) 荷重指針における荷重全般の取り扱い

- 各種の荷重を横並びに取り扱う（荷重指針の根幹）
  - ✓1993年版から年超過確率1%（**再現期間100年**、一生のうち少なくとも一度起こるか否かの確率が50%程度）の荷重を基本値
- 建築物の要求性能に応じた設計荷重を設定
  - ✓設計荷重算定では、**要求性能水準**と**荷重の不確定性**に応じた**荷重係数**を乗じる
- 課題
  - ✓荷重指針では、**リスク情報を活用した設計体系**は対象外
  - ✓**発生確率が小さい荷重の取り扱いが不明確**であり、どの程度の**再現期間**で荷重を評価するのが適切なのか、従来の発生頻度の高い荷重とは別の枠組みで議論が必要
    - 津波荷重**（荷重指針で新たに考慮）
    - 火山噴火による**降灰・積灰**等（今後、必要性について議論が必要）
    - 地震想定に対する関心の変化（一生のうち一度起こるかわからないような**巨大地震**や**内陸直下地震**等についても想定） など
    - 竜巻荷重**

10

# 荷重指針における地震荷重設定の枠組み

## (2)荷重指針における設計地震荷重の設定

### •2015年の改定

- ✓従来は想定されなかったような統計的に扱うことが難しい極めてまれな事象について、**偶発事象**として扱う枠組み
- ✓設計用地震動を用いた応答解析では、地震応答解析の標準的な方法として、地震動評価の不確定性の取り扱いや評価結果の妥当性確認など**品質確保**などの必要性が新たに記載された。

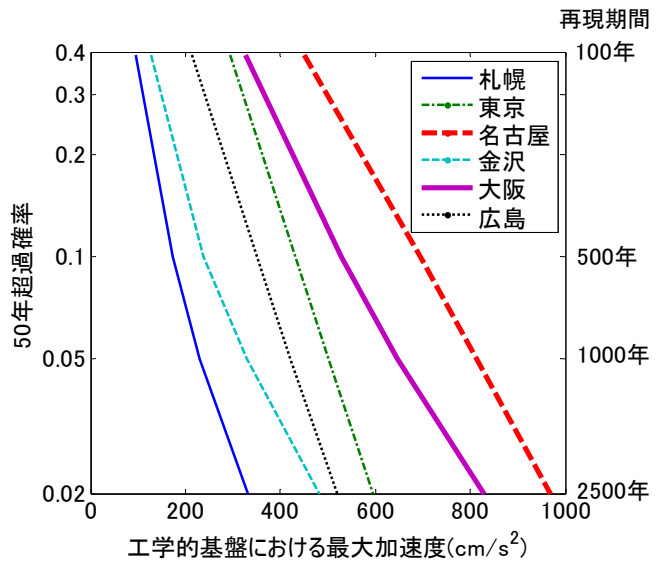
### •課題

- ✓**偶発事象の定義**がやや不明確
  - （参考）港湾施設「確率統計的手法による予測が困難であるか、またはその年超過確率が変動作用に比較して小さいものの特性値の大きさが非常に大きいため社会的に無視できない作用」と定義
- ✓**品質確保**の具体的な方法論（後述）

## 2.リスク情報を活用した耐震設計および設計用地震動・地震荷重設定の枠組みの試案

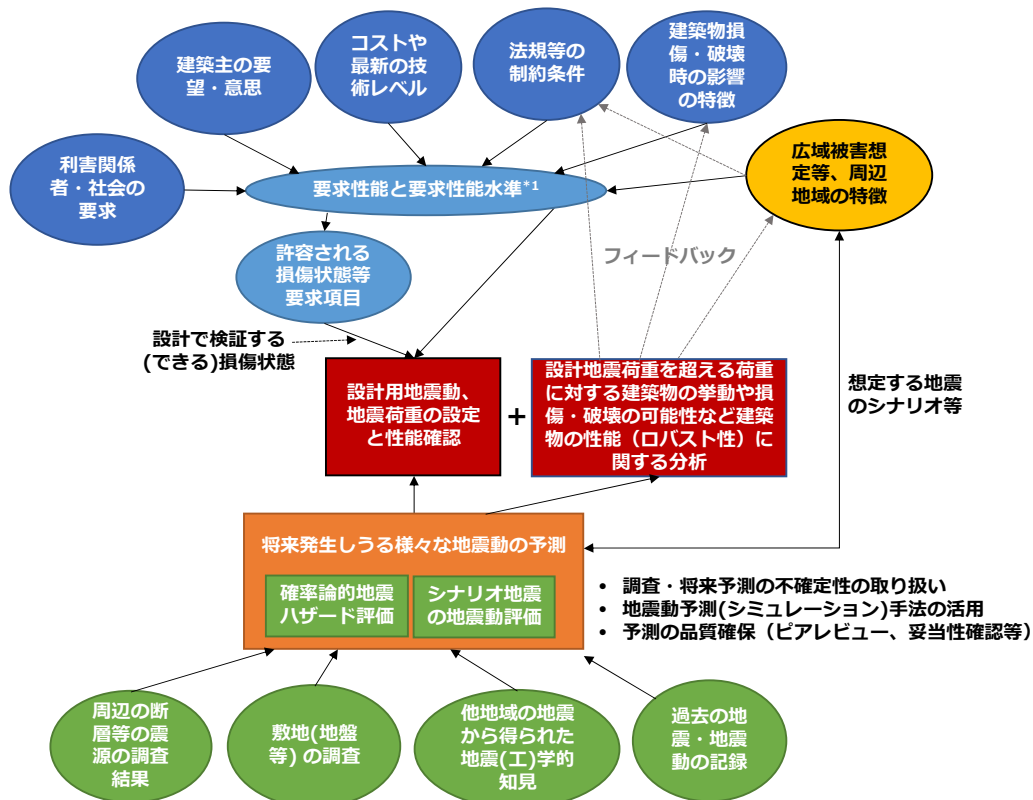
# 地震ハザードの特徴・地域性

- 極めて大きい揺れであっても小さい確率で発生する
- 設計地震動の設定とそれを満足する設計では不十分
- ハザード評価自体の精度（不確かさ）の問題
  - 地震ハザードに関する知識は、経験によって更新されてきたという事実



工学的基盤における最大加速度を指標とした地震動ハザード曲線  
(建築物荷重指針・同解説、2015)

## リスク情報を活用した耐震設計／耐震性能評価と地震荷重設定の枠組みの全体像



\*1: 要求性能水準は、1年(50年)あたりの確率等であらわすのが一般的

# 「統計的」から「確率論的」荷重評価へ

## (1) 荷重の将来予測とシミュレーションの活用

- 従来の荷重指針
  - ✓ 荷重に関する過去の記録を整理し、**統計的**にまとめる
  - ✓ そのため、統計データが存在しない低超過確率の事象は確率が評価できない／しにくい事象（≒偶発事象）として扱われる
- しかし、設計や荷重の評価は、**過去の統計ではなく、将来発生しうる事象の予測**である（つまり、過去の統計値が存在しない場合もある）
  - ✓ **数値シミュレーション**による荷重評価が重要な役割
    - 予測結果に関する**品質確保**（ピアレビュー、妥当性確認等）
    - 予測結果の**不確かさ**の評価
    - 荷重間で**統一した考え方**の整理が必要
    - ただし、荷重評価結果において、**品質確保が難しい場合でも、その荷重評価をしないという考え方**をとるべきではない。
    - 多様な情報をなるべく活用することを前提に、**活用の度合いに応じた程度の品質確保**を行うという考え方が重要

15

# 「統計的」から「確率論的」荷重評価へ

## (2) 多面的な検討の必要性

（例えば、確率論的地震動ハザード評価とシナリオ地震に対する地震動評価の融合）

- **確率論的地震動ハザード評価**
  - ✓ 地震のシナリオを包括的に検討
  - ✓ 最大加速度や応答スペクトルなどの地震動強さを指標として揺れを確率論的に予測
- **シナリオ地震に対する地震動評価**
  - ✓ （一般に）限られた地震発生シナリオを検討
  - ✓ 震源断層における破壊、地震波の伝播、地下構造による地震波の増幅などを解析的に評価
  - ✓ 地震動の加速度波形の予測

➤ 一般に、**不確実な**現象を予測し対処するためには、様々な観点から**多面的な**予測を行い、その結果を**統合**して判断する枠組みとすることが合理的

16



# 広域の被害想定と耐震設計

- 地震被害は**広域的に同時発生**することが特徴
- 災害時に機能が期待されるなどの**重要建築物に対する要求性能**
  - ✓ 継続使用や早期復旧など**周辺建築物との関係からの要求性能**
- 一般建築物に対する要求性能
  - ✓ 都市規模での被害からみた制約はないか？
- 内閣府中央防災会議等による**広域地震被害想定**
  - ✓ 一方で、**どの程度起こりやすいシナリオ**を対象として被害想定を行うべきかなど解決すべき課題も残る
  - ✓ また、被害想定でなされる仮定が、実務設計と乖離していることも課題
- 現状、あまり接点がない個別の建築物の設計と広域の防災・減災の対応を連続的に捉えるような視点も、荷重評価において重要

17

# リスクコミュニケーション

- 建築物の設計および荷重設定
  - ✓ 法規等の制約条件を前提
  - ✓ 利害関係者の要求等も踏まえて、設計者との議論のもと、建築主の責任で決定
  - ✓ **リスクコミュニケーション**が重要な役割
- リスクコミュニケーションで用いるリスク情報
  - ✓ 設計地震荷重の**超過確率値**や建築物の**損傷・破壊確率**だけではない
  - ✓ 以下のような**シナリオ**に関する情報も重要な情報
    - 設計地震荷重を超える荷重下で建築物がどのように挙動するか？
    - その際、周辺地域はどのような状況となると考えられるか？
  - ✓ 評価の不確実さ（**わからないこと**）に関する情報

➤ 荷重指針およびその参考書である荷重指針を活かす設計資料においては、そのような観点で参考になる情報を提供することが必要

18

## 3.まとめと今後に向けた提案

### まとめと今後に向けた提案

- 設計と防災（広域の被害想定と対応）の視点から、10年後の荷重指針の改定に向けたポイントを整理
- 広域の被害想定の利用も含めた建築物に対する多様な要求性能の洗い出しと、それを検証するための設計法および荷重評価の方法論の構築
  - リスク情報を活用した設計法の標準化
  - 偶発荷重も含めた荷重評価へのシミュレーション技術の活用のための枠組みの標準化
  - 偶発事象の定義の再検討とその設計・評価法の検討
  - 広域被害想定と個別建築物の要求性能および設計荷重の関係の検討
  - レジリエンスを規範とした設計体系（本発表では割愛）