

## 性能規定化時代に求められる道路橋技術 ～これまでの地震被害を踏まえて～

国立研究開発法人 土木研究所  
構造物メンテナンス研究センター  
上席研究員 玉越 隆史

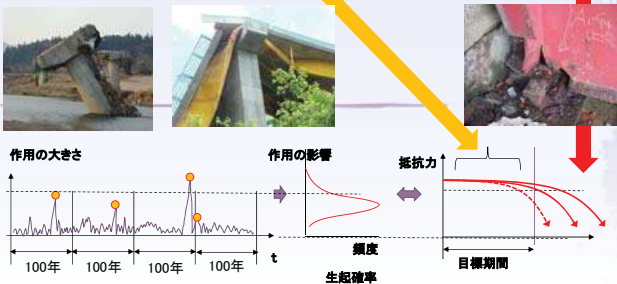


## 技術基準の性能規定化

- ① 要求性能の明確化
- ② 性能達成の見込みを保証

### ①. 要求性能の明確化

- 耐荷性能  
供用中の「任意の時刻」の耐荷力を保証
- 耐久性能  
目標期間中、耐荷性能が保持されることを保証



### 技術基準への明文化

- 耐荷性能  
所要の限界状態を越えないことを保証

- 部分的にも損傷が生じておらず、機能が損なわれていない状態。
- 部分的に損傷が生じているが、機能に及ぼす影響は限定的であり、速やかに機能の回復が行われる状態。
- 致命的でない状態

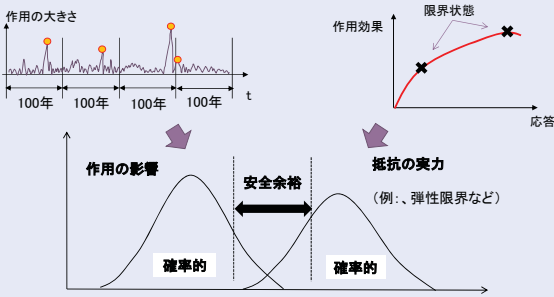
(道路橋示方書 (H29))

- 耐久性能  
設計供用期間に対する説明性を要求

- 橋の設計にあたっては、設計供用期間を定めなければならない。
- 橋の設計供用期間は100年を標準とする。(道路橋示方書 (H29))

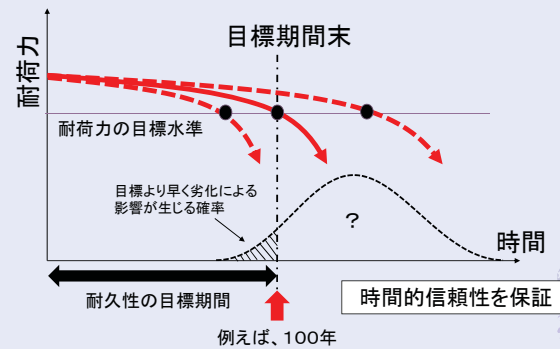
### ②. 性能達成の見込みを保証

- 耐荷性能における性能達成の見込み  
作用の影響が、抵抗の実力を上回らない可能性を保証



→ 部分係数設計法(実現の確からしさを評価)

### 耐荷性能が、目標期間末まで維持される可能性を保証

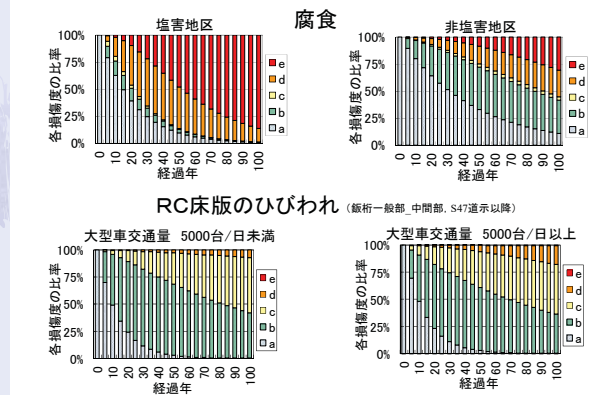


一方で、千差万別で極めて多様で厳しい実際の供用条件



➡ 外的要因、内的(構造的)要因、マクロ～ミクروسケールまで予測困難な多岐多様な環境条件に晒される

例えば、点検データから明らかになる、劣化のばらつきは大



➡ **圧倒的な不確実性**も考慮し、各種の対策が導入されてきた

■設計基準での配慮(H24～)

□設計の基本理念

橋の設計にあたっては、… **維持管理の確実性及び容易さ**、…を考慮しなければならない。

□構造設計上の配慮

供用期間中の点検及び事故や災害時における橋の状態を評価するために、**行う調査並びに計画的な維持管理を適切に行うために必要な維持管理設備の設置。**

供用期間中に更新することが想定される部材については、維持管理の方法等の計画において、**あらかじめ更新が確実かつ容易に行えるよう考慮**しなければならない。

(道路橋示方書(H24))

■法定点検(H26～)

…必要な知識および技能を有する者が行うこととし、**近接目視により、5年に1回の頻度**で行うことを基本とする

(道路法施行規則(省令))

■設計基準での配慮 (道路橋示方書(H29))

□耐久性が確保できる見込みの**具体的説明を要求**

	戦略の選択肢	考えられる例
方法1	着目部材そのものについて時間的信頼性を具体的に設計で考慮	応力による疲労照査 塩害かぶり
方法2	着目部材を、それ以外で保護保護策の補修・更新も考慮	塗装
方法3	着目部材を、(実質)劣化の心配のないものとする	十分な高耐食材料

↑ 不確実性も考慮したうえで、「**耐久性能達成戦略の宣言**」を要求

⇒ 信頼性の向上による、経済的で合理的な対策の実施を期待

しかし、長期の供用中には想定を超える作用の可能性も



➡ 道路橋では、ネットワークの一部として社会的要請などからも設計上の想定によらず、長期に確実な機能が期待され得る

特に、大規模地震による作用や影響には不明な点も多い。

道路橋では、性能達成の見込みを保証するには、

過去の地震被害も踏まえて、地震の不確実性に配慮した、設計の高度化が鍵

技術開発の方向性

- (1) 「不確実性」に対する包容力
- (2) 設計意図の再現を確実にする橋梁技術

(1) 「不確実性」に対する包容力

道路橋の耐震設計の基本：  
 既往最大級の地震の影響を考慮  
 振動による影響に対して抵抗力を確保



しかし、「上限が不明」という圧倒的不確実性  
 例：  
 ・想定を越える大きな地震の可能性  
 ・巨大津波や大きな地盤変位が生じる可能性



「不確実性に対する包容力」の向上  
 のための技術開発

- ① 制御困難な事象が生じにくい構造  
 → 抵抗特性の明確化
- ② 制御困難な事象の影響をも軽減できる性質  
 → 粘り強さ、冗長さ、緩和策

例①：中空コンクリート橋脚の塑性化制御の信頼性向上

中空化による軽量化  
 ・経済性  
 ・慣性力低減

制御レベルの向上

方法論の一般化

充実部確保  
 ハンチ  
 充実部確保  
 示方書に反映  
 柱化配筋

・塑性化領域は充実を要求  
 ・中空部の靱性確保構造（配筋仕様）  
 ・局部応力の緩和策（ハンチ部確保）

中空部での破壊挙動は極めて複雑

大型実験による破壊に至る挙動の解明

耐力力を保持  
 最大強度後耐力力が低下

充実断面の鉄筋コンクリート橋脚  
 中空断面の鉄筋コンクリート橋脚  
 （高軸圧縮応力となるケース）

高軸力下にある中空橋脚の破壊位置と形態を既往の知見で信頼性の高い条件に限定

熊本地震の復旧にも反映（阿蘇長陽大橋の復旧）



中空断面を貫通しているひび割れ、耐力力の低下  
 →余震などで損傷が進展すると致命的な損傷に至る可能性



塑性化する可能性が高い部位は充実化で信頼性を向上するとともに、繊維補強などにより制御困難なせん断破壊のリスクを低減

例②-1：不測の地盤変位を念頭にした基礎構造

単列化  
 ・経済性  
 ・施工量削減

方法論の一般化

靱性の付与

■地盤変動等に対する補完性の観点から、杭の配列について検討することを規定  
 例：斜面の変状の影響が想定される箇所に杭基礎を設置する場合は、複数柱とすることなど

過去の地盤変状を伴う下部構造の被災事例の収集・分析

複数化で変位抑制・抵抗増加

地盤のすべりに対する基礎の抵抗力の解析例

可動壁  
 複型杭  
 可動壁  
 複型杭  
 可動壁  
 複型杭  
 可動壁  
 複型杭

進心模型実験による滑り力の評価

熊本地震の復旧にも反映（戸下大橋の復旧）



急斜面に設置された単列杭基礎が傾斜、耐力力の低下  
 →余震などで損傷が進展すると安定を急速に失う可能性も



増し杭により耐力力を回復させるとともに、斜面と地盤構成を考慮して杭の複数化により、致命的な状態になりにくい構造

### 例②-2: 津波に対する影響緩和策1

**目標**  
津波の影響を受けにくい構造形式の開発

5連車線PCボステンハ桁橋  
5連車線PCプレテンハ桁橋  
3径間連続鋼床版架設桁橋

H23東北地方太平洋沖地震での津波被災事例

津波を受けても流出しない(受け流す構造的)工夫  
主な着目  
・桁高など構造形式  
・フェアリングによる水圧が作用しにくくなる構造的工夫

フェアリングなし 半円フェアリング

流れが滞っている 曲面部に沿って流れている

支保部に生じる鉛直反力

時間(s)

### 例②-2: 津波に対する影響緩和策2

**目標**  
耐力コントロールしやすい支保構造の開発

H23東北地方太平洋沖地震での津波被災事例

津波を受ける場合にも被害を最小限にする工夫(最終的な破壊モードを制御)

主な着目  
・津波(揚力)作用に対する破壊形態の誘導  
・耐力コントロールする部材の選定

損傷制御型支保

ポイントブローチ(後述制御部材)

既来のSP-s支保 脆弱位置の鉛直変位(mm)

時間(s)

### 「設計意図の確実な再現」のための技術開発

- ① ダメージコントロール(望ましい損傷形態への誘導)
  - 設計と実際の乖離の縮小
    - ・再現性の高いモデルによる設計法の開発
- ② ダメージコントロール(望ましくない損傷形態の回避)
  - 抵抗特性の差別化
    - ・避けるべき破壊モードが現れにくい設計技術
      - ・・・構造形式
      - ・・・耐力階層化ルール

### 例①: トラス格点のダメージコントロール

ヒンジを仮定する設計モデル

乖離の縮小

定式化 構造細目

過去の被災形態の分析

塑性化制御の可能性の解析的検討

主な着目  
・ガセット板厚式  
・塑性化順序・部位の制御  
・残存耐力(変形能)

実大実験による検証

### 実橋部材による破壊実験と解析的検討

■ 斜材の局部座屈先行

■ ガセットの局部座屈先行

構造条件と崩壊挙動の関係は極めて複雑

既設の診断、新設の設計の両観点で格点で実現すべき塑性化条件とその照査法を検討

### 例②: 支点上主桁のダメージコントロール

圧縮性の耐力方式

産屈パラメータ

抵抗特性の差別化

定式化 構造細目

FEM解析による再現と試算

過去の被災形態の分析

復旧困難な損傷が現れにくい構造細目 + 破壊モード毎の耐力荷力の差別化

試験橋梁を用いた水平耐力実験結果の例

## まとめ

□ 性能規定化により、明確となった要求性能に対して  
技術開発余地は大きい

□ 求められる技術のキーワードは

- 「不確実性」に対するより大きな余裕
- 設計意図のより確実な再現
- 現実のニーズへの的確で迅速な反映

□ 設計意図のより高度な実現の競争を期待し、  
信頼性に基づく設計基準高度化の研究を加速  
不測も念頭に、安全安心の向上に資する技術を開発  
ニーズの把握に、各方面との連携を推進

