

# 橋梁の予防保全に 向けた動向

依田 照彦（早稲田大学）

2011年12月20日

第22回 鋼構造基礎講座「鋼橋の維持管理」

## 橋梁の予防保全に向けた動向

早稲田大学創造理工学部社会環境工学科  
依田 照彦

1

## 内容

- (1) 我が国の現状
- (2) 予防保全とアセットマネジメント
- (3) 予防保全の必要性
- (4) 点検と維持管理
- (5) 予防保全への期待

2

## (1) 我が国の現状

3

## 我が国の21世紀の課題

- ① 持続可能な社会の確立
- ② 人口減少への対応
- ③ 環境と経済の両立

Sustainability⇒Survivability

4

## 環境と経済の両立への課題

- ① 国土環境の変化
- ② 社会環境の変化
- ③ 少子高齢化
- ④ 災害脆弱化
- ⑤ 都市圏の過密化
- ⑥ 中山間地の過疎化
- ⑦ 社会基盤施設の老朽化
- ⑧ 人材の育成

5

## 人口の動向

- 高齢化の進行により、人口の自然増加率の低下(2005年の国勢調査時点で我が国の人口1億2777万人)
- 人口100万以上のすべての市(12市)では人口が増加
- 日本の高齢化は、その水準が高いだけでなく、進行のスピードもきわめて高い
- 2008年には、人類史上始めて世界の人口の半分以上の人々が都市に住むようになった
- 2030年には、世界の人口の約3/4が都市(住民10万人以上)に住むようになる

出典: 国土交通白書

6

## 我が国の国土の特徴

- 山岳国: 国土面積(約38万km<sup>2</sup>)の約70%が山地
- 脆弱地盤国: 可住地面積(国土の約32%)の約25%が脆弱地盤
- 多雨国: 年間雨量約1750mm、世界の平均の約2倍
- 多雪国: 国土の約50%が積雪地域
- 火山国: 地球のわずか0.25%の面積で、世界中の活火山の10%以上にあたる100を超える活火山が集中
- 地震常襲国: 地球のわずか0.25%の面積で、地震放出エネルギーは約10%
- 台風常襲国: 台風の年間平均接近数は約11個

出典: 日経BP「ゼミナー」大転換期の公共事業

7

## 災害に強い安全な国土づくり

- 治水対策
- 都市型水害対策
- 土砂災害対策
- 地震対策
- 津波・高潮・侵食・侵食等対策
- 雪害対策
- 火山砂防対策

8

## 危機管理・リスク管理

- ①Disaster: 自然災害
- ②Accident: 事故
- ③Incident: 事件
- ④Situation: 事態
- ⑤National Emergency: 有事

出典: 志方俊之先生の講演

9

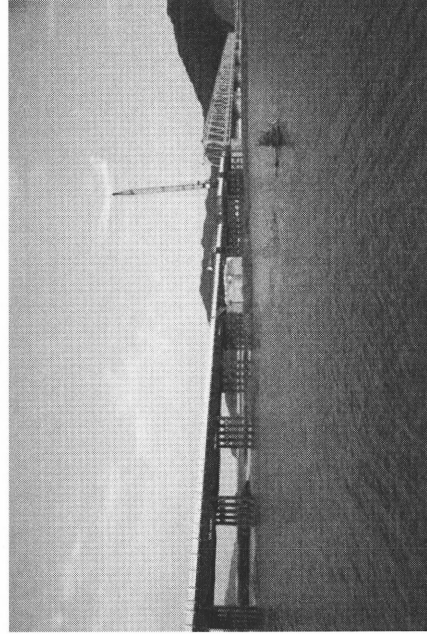
## 危機の種類

- ・Crisis = 巻き込まれる危機 = 避けられない危機
- ・Risk = 自ら招く危機 = ある程度は避けられる危機

↓  
Management : ラテン語でmanus=hand(手)  
↓  
手を使うこと

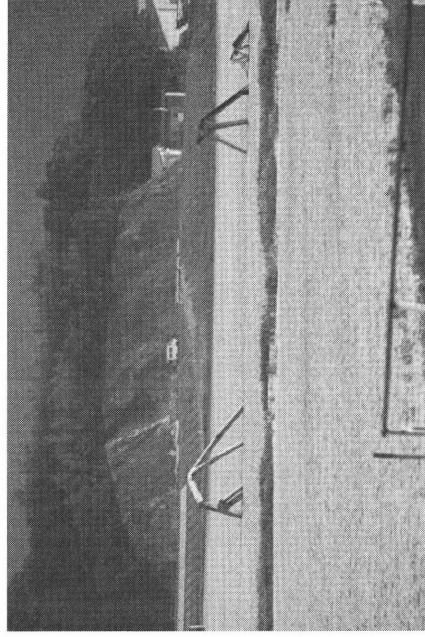
10

東日本大震災(2011年3月11日)



新北上大橋

11



東北地方太平洋沖地震の教訓: 災害に負けない国土づくり、地域づくりへの知恵として、  
永遠に引き継がなければならない(内閣府 中央防災会議 平成23年9月28日)

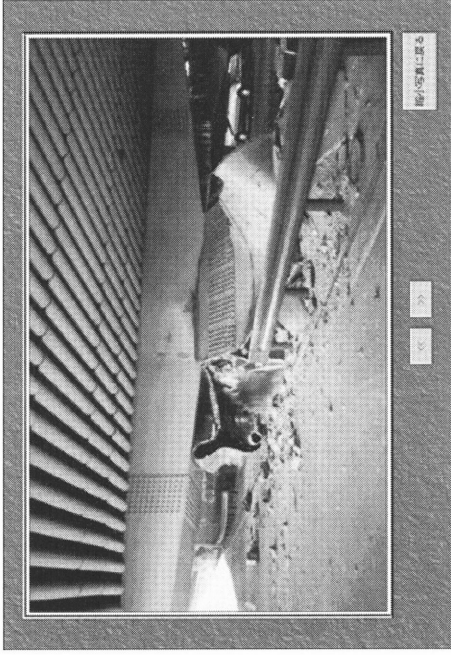
12

### 阪神淡路大震災(1995年1月17日)

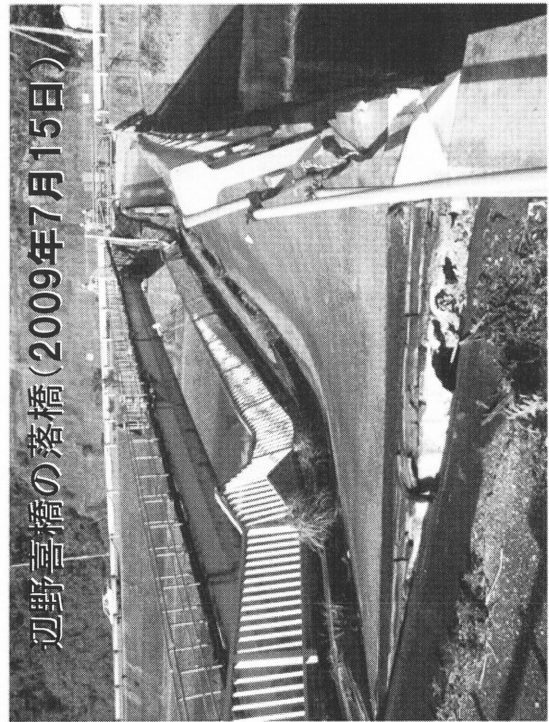


構造物・施設等の耐震設計に当たっては、供用期間中1~2度程度発生する確率を持つ一般的な地震動、及び発生確率は低いが直下型地震又は海溝型巨大地震に起因する更に高レベルの地震動をともに考慮の対象とするものとする。(中央防災会議)

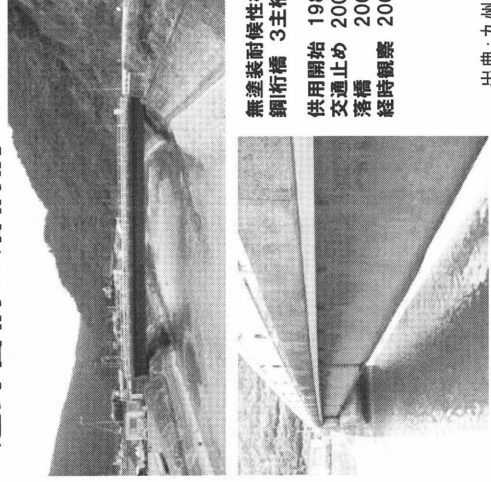
### 鋼製橋脚の崩壊(兵庫県南部地震)



### 辺野喜橋の落橋(2009年7月15日)

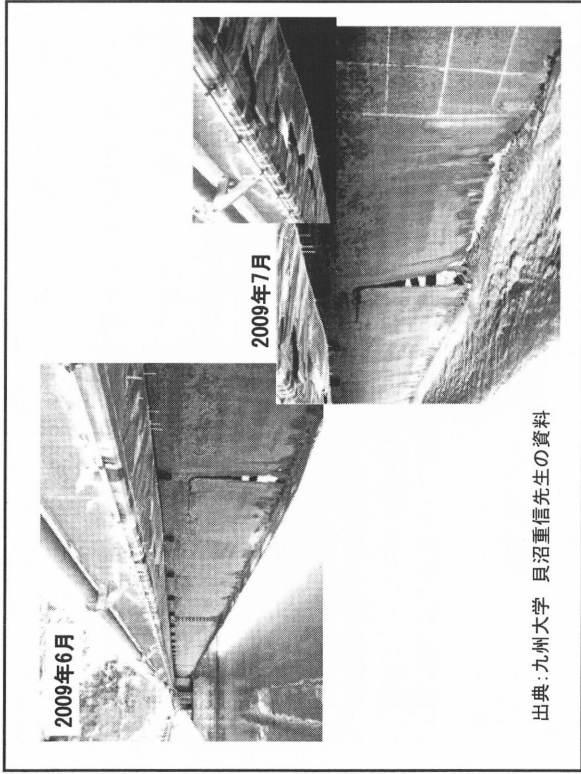


### 辺野喜橋の落橋前



無塗装耐候性橋梁  
鋼桁橋 3主桁  
供用開始 1981/8  
交通止め 2004/11(日本橋梁建設協会)  
落橋 2009/7/15  
経時観察 2005/6~落橋

16  
出典:九州大学 貝沼重信先生の資料



### 橋梁崩壊事故から学ぶこと

- ケベック橋のラチス材が崩壊するとき、キークー泣いたという。さぞ痛かったろうと廣井勇博士が述べていた。
- じわじわと進行する破壊には必ず前兆がある。
- 我々が、構造物の痛みを感じとらなければいけない(聴診)。

19

### (2) 予防保全とアセットマネジメント

20

## 道路橋の経緯とストック量の推移

- ・1950年の道路橋は0.5万橋
- ・1960年代の高度経済成長期から架設数が急増
- ・1960年代の経済性を追及する競争設計により剛性の小さい橋が増加
- ・1970年頃からPC橋が増加
- ・道路橋の技術体系は、災害や損傷機構の解明によって適宜、道路橋示方書や道路橋補修便覧等で拡充
- ・我が国の橋梁(15m以上)は約15万橋(146,100橋)
- ・高速道路及び直轄国道で1.8万橋、県管理が4.4万橋、市町村管理が8.4万橋
- ・建設後50年以上の橋梁が6%存在。10年後には20%、20年後には47%
- ・現在は、米国の1970年頃の状況と類似

2006年4月時点

21

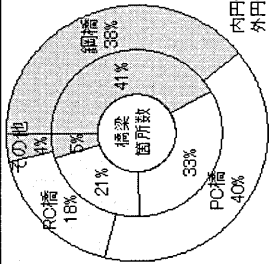
## 橋梁ストックの現状

- ・我が国の社会資本は、高度成長期に集中的に整備された
- ・橋長15m以上の道路橋：約15万4000橋
- ・橋長2m以上の道路橋：約68万橋
- ・今後、建設後50年以上経過する橋梁が急増
- ・自然環境、社会状況などにより、劣化が急速に進行し、その対策が急務
- ・適切な定期点検及び補修等が十分に実施されておらず、重大な損傷事例が発生

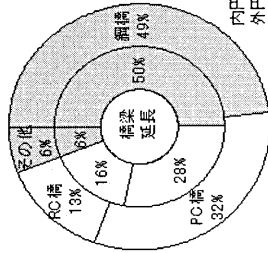
(総務省 平成22年2月5日)

23

## 鋼橋の比率



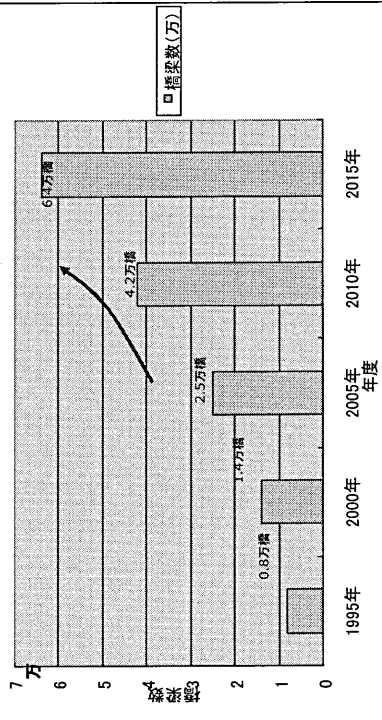
内円...1990年、120,271箇所  
外円...2003年、146,082箇所



内円...1990年、6,705km  
外円...2003年、8,867km

出典: 国土交通省 道路統計年鑑  
日本鉄鋼連盟のホームページより引用

## 橋齢40年以上の橋梁数の推移



国土交通省統計

24

## キーワード 長寿命化・技術者育成・予算確保

- ①高齡橋は20年後に約4倍増
- ②技術者は20年後に約2割減
- ③維持費用は20年後に約6割増

国土交通省、文部科学省の統計

25  
25

## 予防保全がなぜ必要か

- 社会資本ストックの高齡化
- 構造物の損傷の顕在化
- 事後保全から予防保全への転換
- 維持修繕コストの軽減
- 環境問題への配慮
- 建設市場・技術者の減少
- 国民の安全・安心への期待

26

## 橋梁の保全・管理に関する指摘

- ①点検、補修は行われているが「統合情報」がない。
- ②「延命化等のポイント」や「橋梁群の全体像」が不明。
- ③補修対策は「モグラ叩き」状態で「劣化予測もなく無計画」。
- ④橋梁保全のマーケットが未成熟で、人材も不足している。

(平成16年8月 道路橋マネジメントの手引き)

27  
27

## 道路橋の予防保全に向けた提言

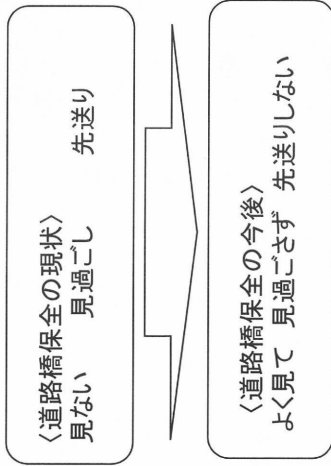
- 1) 点検の制度化:  
点検→診断→措置⇒次回点検
- 2) 点検および診断の信頼性確保
- 3) 技術開発の推進
- 4) 技術拠点の整備
- 5) データベースの構築と活用

道路橋の予防保全に向けた有識者会議(2008年5月16日)より

28



## 道路橋の予防保全に向けた提言



平成20年5月16日 道路橋の予防保全に向けた有識者会議

29

## 日本の高速道路・直轄国道における橋梁の保全

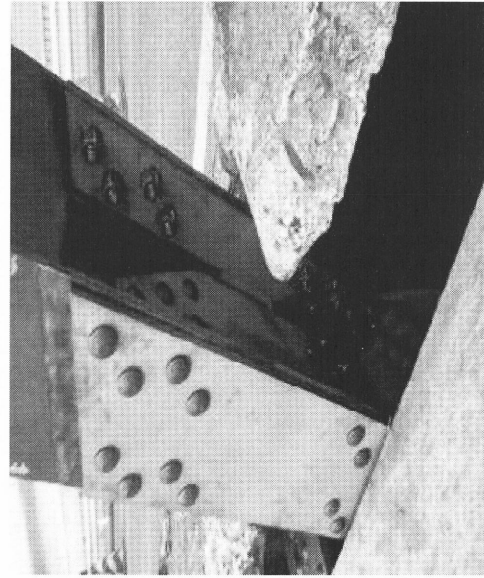
全橋梁を対象に5年毎に点検を実施し、損傷状況を確認  
(※高速道路及び直轄国道に架かる全橋梁)

近接目視  
【主な点検項目】  
・鋼材の腐食状況  
・鋼材の亀裂の有無  
・ボルトの脱落の有無  
・コンクリートのひび割れの有無  
・コンクリートの鉄筋露出の有無  
・基礎の洗掘、傾斜の有無  
・支承の損傷の有無  
など

損傷状況把握

補強の実施により耐力を確保  
・鋼材の腐食→鋼板(あて板)の設置  
・コンクリートのひびわれ→鋼板の接着  
など

30  
30



あて板補強 (日本橋梁建設協会 鋼橋技術の変遷)

31

## 道路橋の保全等に係る施策の方向性

- 国は、社会資本整備重点計画法(平成15年法律第20号)に基づき、社会資本整備重点計画を策定し、社会資本の効率的・計画的な維持管理を推進
- 国土交通省は、公共事業のすべてのプロセスをコストの観点から見直す「国土交通省公共事業コスト構造改革プログラム」(平成15年3月)において、道路におけるアセットマネジメントシステムの構築・運用を推進

(総務省 平成22年2月5日)

32

## アセットマネジメントとは

アセットマネジメント(Asset Management)とは、資産管理のこと。

資産管理とは、資産・負債の状況を分析し、収入の増減やリスクの許容力を予測・判断し資産価値を維持、増加させる運用・管理行為。

(ぎょうせい:橋があぶない)

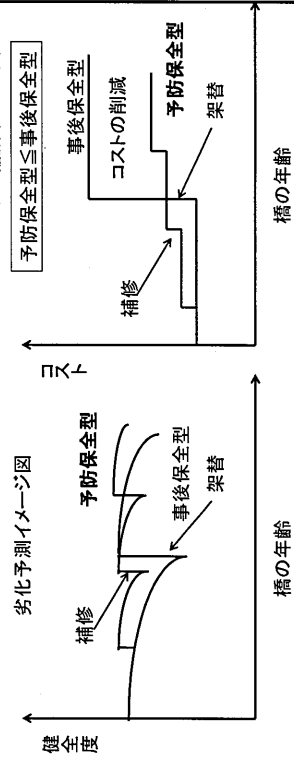
33

## アセットマネジメントの効果

個々の橋梁の損傷・劣化等を把握  
↓  
補修等の最適な時期・方法を判定  
↓  
最も効率的な維持管理計画に基づく  
ライフサイクルコストの最小化・維持管理費用  
の平準化を実現

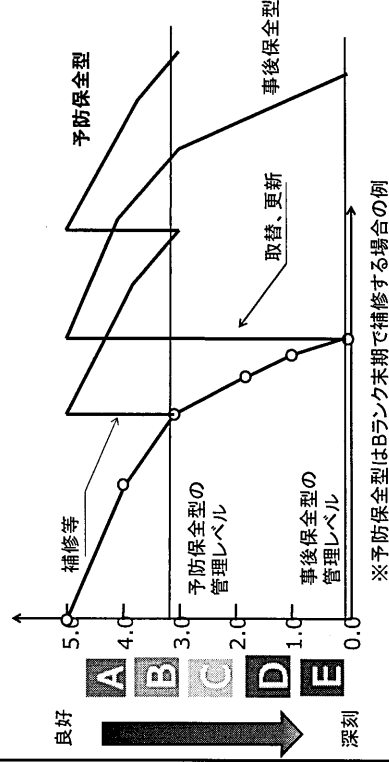
(総務省 平成22年2月5日)

34



## ライフサイクルコストのイメージ

35



## 部材毎の管理レベルのイメージ図

那珂川町地域整備部建設課の資料

36

劣化形態	劣化形態図 t: 時間 P: 損傷率	保全方式		
		時間計画保	予防保全 状態監視全	事後保全
損傷率増加形		◎	○	×
損傷率一定形		×	◎	○
損傷率減少形		×	◎	×

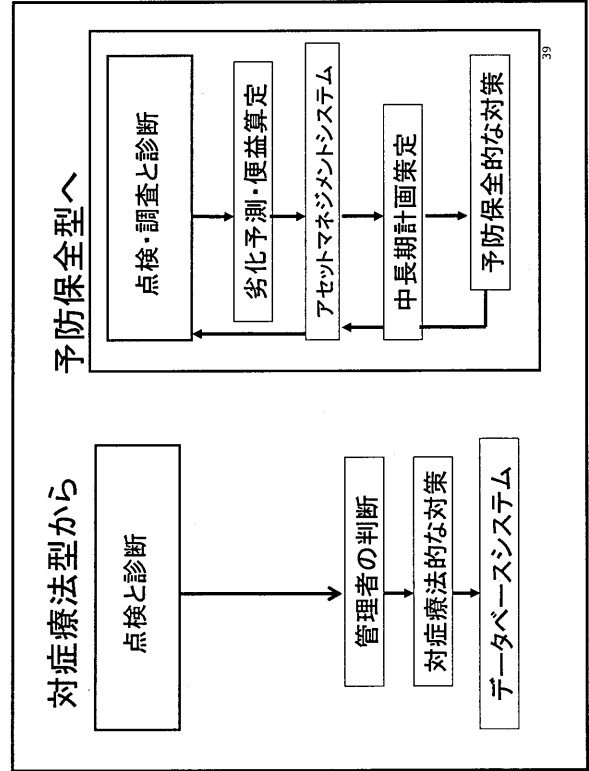
注) ◎:最適 ○:適 ×:不適

構造物の劣化形態と保全方式(国土交通省)

### 橋梁アセットマネジメントの取り組み

- 国土交通省は、道路橋の維持管理・更新について、従来の「事後保全」から「予防保全」に転換し、更新時期を平準化し、ライフサイクルコストを縮減するためのアセットマネジメントの取組(長寿命化)を推進する。
- 直轄道路橋の中長期的なライフサイクルコストの最小化を図るため、引き継ぎ点検データの収集・蓄積を行い、確度の高い劣化予測や最適な補修工法の選定が可能となるよう橋梁マネジメントシステムの高度化を図る。
- 地方公共団体と連携・協働し、長寿命化修繕計画による効果(ライフサイクルコストの縮減効果等)を算出するための手法等の検討を進める。

(国土交通省)



### 予防保全型に向けて

(メンテナンス大国JAPAN)

- ①メンテナンス
  - ・戦略的で積極的なメンテナンス
  - ・技術の高度化・深度化
  - ・優れたエンジニアの育成
- ②マネジメント
  - ・アセットマネジメントの導入 (New Public Management)
  - ・保全事業への予算のバックアップ
  - ・PDCAサイクルの活用

(ぎょうせい:橋があぶない) 40

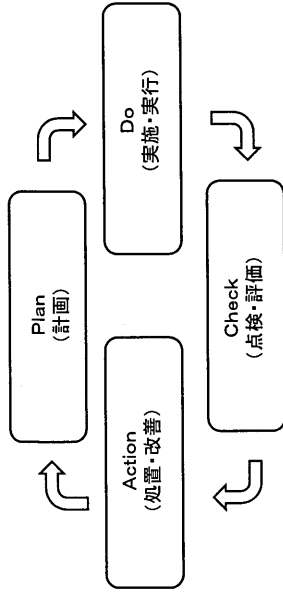
## New Public Management の可能性

- ① 責任・権限を委譲(トップダウンからボトムアップ)
- ② 競争原理の導入
- ③ 便益、顧客満足度によって定量的に評価
- ④ 手続き、努力重視から成果重視へ転換

高木千太郎氏の講演より

41

## 【PDCAサイクル】の活用



- Plan(計画)  
: 新規あるいは既存橋梁の維持管理方針策定  
○ Do(実施・実行)  
: 維持管理の実施  
○ Check(点検・評価)  
: 管理橋梁の点検、補修・補強工法の妥当性を確認  
○ Action(処置・改善)  
: 現状を把握し、補修・補強計画の策定・見直し

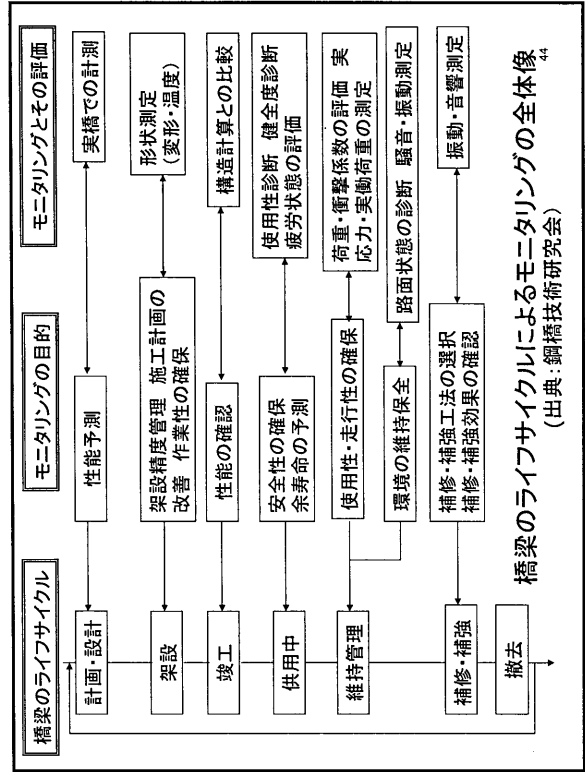
42

## アセットマネジメントに必要なルール

- 点検、調査技術: 現況の把握、損傷・劣化分析
- 健全度診断技術: 健康状態の診断
- 劣化予測技術: 施設の劣化予測、予測式の決定
- 資産価値の算出: 費用便益分析(社会的便益)
- 民間型投資判断法の採用: 正味現在価値(NPV)法
- IT技術: データベースと最適化シミュレーション
- 高度な判断をする技術者: エンジニアの育成

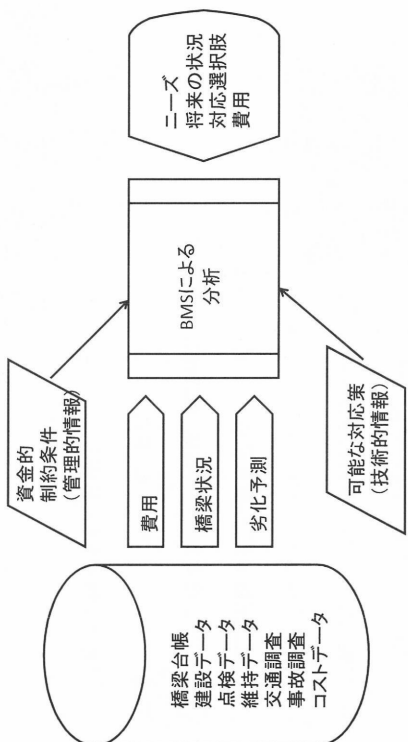
高木千太郎氏の講演より

43



橋梁のライフサイクルによるモニタリングの全体像  
(出典: 鋼橋技術研究会)

### (3) 予防保全の必要性

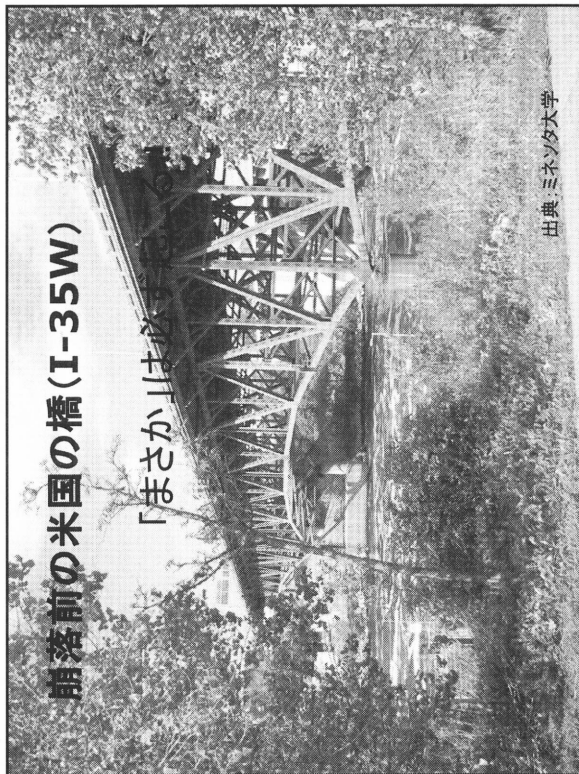


BMSの概念(例) : BMSの概念 : OECD報告より 45

予防保全に互恵(5K)あり

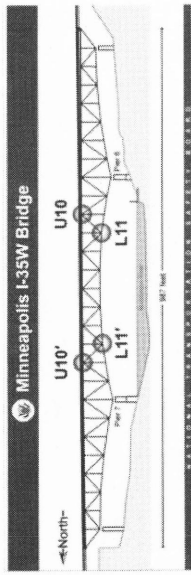
観・感・勘・鑑・看

崩落前の米国の橋 (I-35W)



出典: ミネソタ大学

### 過小サイズのカセットプレートの位置

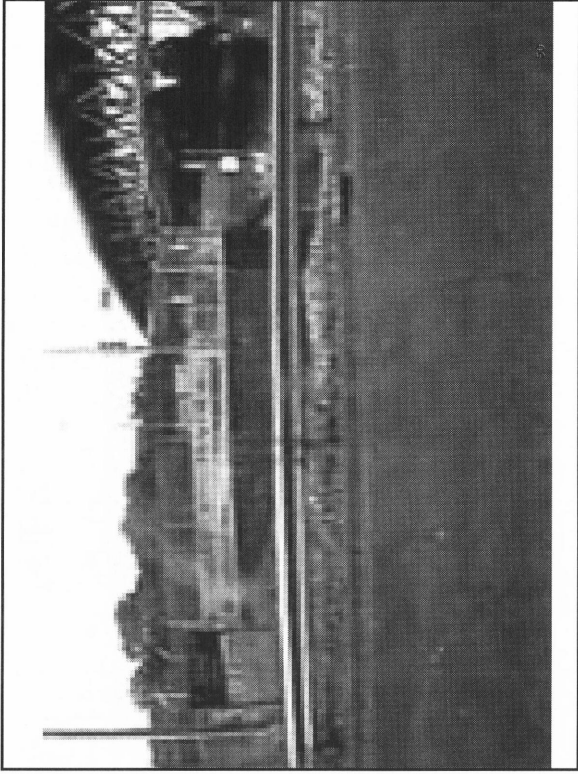


出典: NTSB記者発表(2008年1月15日)

上流側から見ている

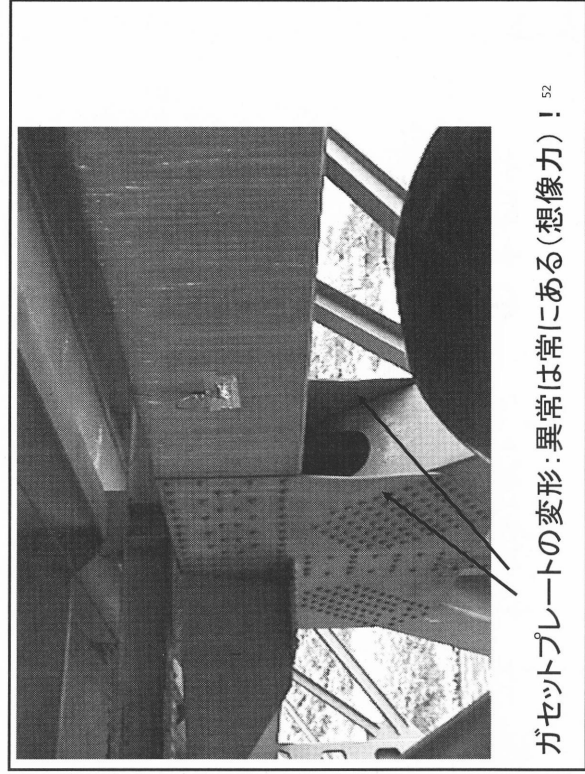
49

ビデオ参照



事故現場の状況(2007年8月2日) (出典: MN・DOT)

51



カセットプレートの変形: 異常は常にある(想像力)!

## 事故・損傷の原因

- 無知
- 儉約
- 過失または不注意
- 異常事態
- 不十分な技術

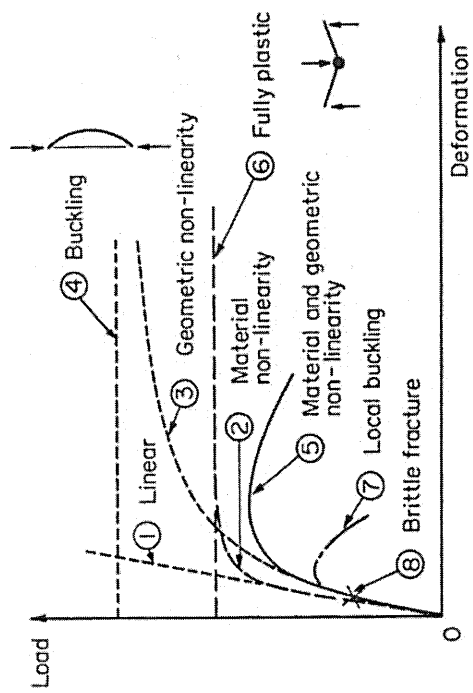
53

## リダンダンシーの大切さ

リダンダンシー = 構造的豊かさ  
 Fast Food → Slow Food  
 Fast Damage → Slow damage  
 Residual capacity > Residual demand

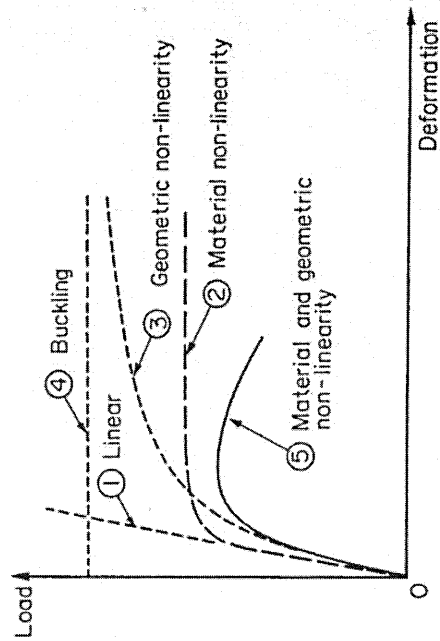
- 損傷の対策には、リダンダンシー
- ミスへの対応には、ダクティリティ

54



部材の挙動 (Trahair, N.S.)

55



構造物の挙動 (Trahair, N.S.)

56

## 構造解析のレベル

照査レベル	照査式	構造解析法
作用レベル (荷重レベル) 【構造物レベル】	$\gamma_d P_d \leq P_u$ (システムとしての安全係数)	非線形骨組解析 非線形有限要素解析
断面カレベル	$\frac{S_d}{\gamma_s R_d} \leq 1$ (部分係数: 限界状態設計)	線形骨組解析(格子解析)
【部材レベル】		
応力レベル	$\sigma_{max} \leq \sigma_u / \gamma_s$ (強度低減係数)	線形有限要素解析
【構造細目レベル】		

57

## (4) 点検と維持管理

58

## 橋梁の長寿命化の方向性

橋梁の長寿命化には

- ・劣化対策
  - ・重大事故の撲滅
  - ・防災強化
- が重要である。

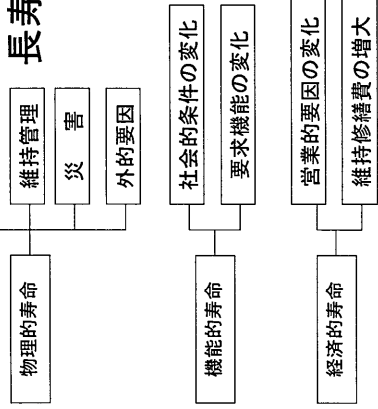
だが、その前に計画・設計・施工を通じて

- ・品質管理
  - ・品質確保・保証
- をすべきである。

59

## 橋の寿命

### 長寿命化が可能



60



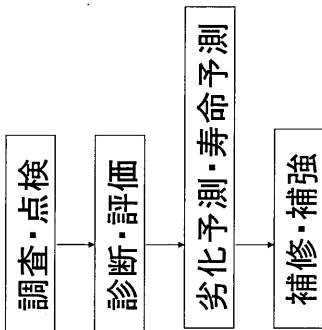
## 社会基盤施設の寿命を決定する要因

- ①設計要因
  - 鋼構造物: 疲労、腐食など
  - コンクリート構造物: 塩害、アルカリ骨材反応など
- ②施工要因
  - 品質確保
  - 品質保証
- ③維持管理要因
  - 劣化対策

61

61

## 社会基盤施設の維持管理



62

62

## 橋梁点検の5つの目的

- ・安全性、使用性、耐久性の確保
- ・損傷や変状の早期発見
- ・健全度の把握
- ・第三者への事故防止
- ・橋梁の不正使用・不法占拠等の調査及び指導取締り

橋梁の管理に関する中長期計画(東京都建設局)

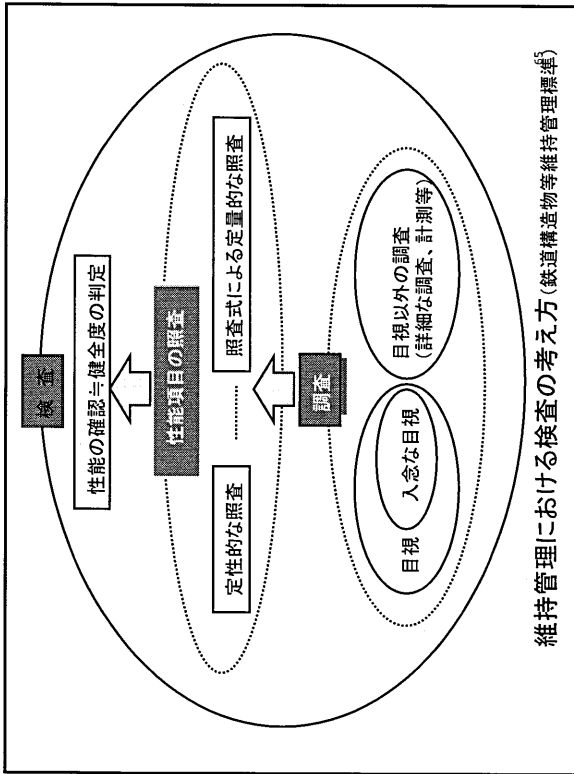
63

## 点検の問題点

- ①建設初期値がない
- ②点検の頻度が必ずしも十分でない
- ③点検項目と構造物の性能との関係が必ずしも明確でない。
- ④点検の方法が標準化されていない。
  - …点検のためのマニュアル作り
  - …劣化度の判定

64

64

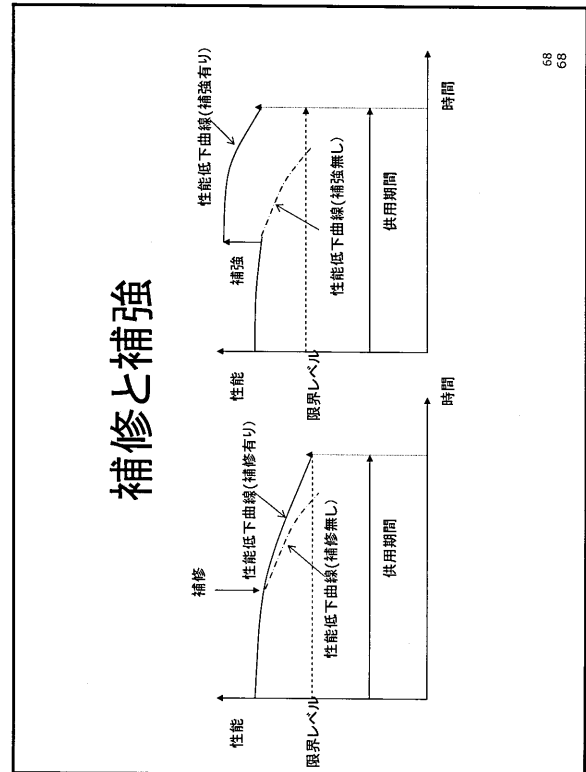


### 橋梁状態、情報源、評価手法、対応

状態	情報源	評価手法	標準的対応: 「何もしない」を除く
使用性	検査、解析、台帳	査定	補修、修繕、取替え、交通の再編成
脆弱性		等級づけ	専門的検討、補強、改造、修繕、取替え、通行止め
潜在的危険	検査、解析、NDT&E、診断	フラグ	通行止め、専門的検討、補修、監視
状態評価		状態等級、優先度等級	専門的検討、補修、修繕、取替え、緊急補修、荷重等級、メンテナンス
荷重等級		台帳と運用等級	重量制限、補強、通行止め

B. ヤーネフ著/藤野陽三ほか訳「橋梁マネジメント」より

- ### 維持管理の方向
- ① 調査・点検の合理化・効率化
  - ② 構造物の診断、評価手法の確立
  - ③ 維持管理データベースの構築
  - ④ 補修・補強方法の改善
  - ⑤ 更新への取り組み



## 維持管理のツボ

- ・見えないものを視る技術
- ・見えないところを診る力

親切・丁寧・正直

愛橋心⇒愛郷心

69  
69

## 鋼部材の損傷

種類	劣化原因	症状
塗膜の劣化 (発錆)	紫外線、塩分、風雨等による劣化	塗膜の剥・退色、割れ、ふくれ、はがれ、鋼板の錆等
断面減少	腐食	鋼材が腐食により徐々に薄くなる
変形・亀裂	過大外力	過大な外力により部材が変形したり、亀裂を生じる
疲労亀裂	疲労	繰り返し荷重により部材に疲労亀裂が入る
遅れ破壊	化学的作用等による鋼材の劣化	ある期間を経過した後、高力ボルト(FIT)等が脆性破壊する

70

## (5) 予防保全への期待

### 維持管理しやすい橋梁を目指す

- ・ 維持管理技術者と設計者・施工者との有機的な連携

(例) 地震・津波に強いまちづくりでは、  
地域防災計画と都市計画の有機的な連携により、  
長期的な視点で安全なまちづくりを推進  
(内閣府 平成23年9月28日)

- ・ 耐震補強と維持管理との有機的な連携も

72

72

## あらゆる可能性を考える

- ・ 地震
- ・ 津波
- ・ 火災
- ・ 衝撃

リダンダンシー(構造的豊かさ)を持たせることが必要  
ダクティリティー(構造的強靭さ)を持たせることが必要  
ヒューズ機能(構造的快復性)を持たせることも重要  
フェイルセーフ(構造的制御性)を持たせることも重要  
セーブライフ(人命救助性)を想定することが重要

73

## 常時考える異常時

- ① 予知 → ① 危険を予知するための検討
- ② 防災 → ② 被害の発生を少なくする検討
- ③ 減災 → ③ 被害をできる限り少なくする検討
- ④ 快復 → ④ 早期に復旧させるための検討

設計では、作用・反作用の法則

補修・補強では、作用・反作用以外に  
副作用を考える必要がある(想像力)!

74

## 橋梁の予防保全の課題

- 点検・診断の強化・充実
- 予防保全システムの構築
- リダンダンシー・ダクティリティーの向上
- 優先度の高いところから集中的に長寿命化の事業を行う「選択と集中」により、戦略的な維持管理を進めることが重要

↓

全体(マクロ)と部分(ミクロ)の両方  
を見る必要がある(想像力)!

75

## 橋梁の予防保全に必要な力

完成前の計画・設計では、  
創造力が大切

完成後の維持管理・補修補強では、  
想像力が大切(想定外はない?)

76

1に人材、2に人材、・・、5に人材

レオナルド・ダヴィンチ:

人間は3種類に分けられる

- ・見える者
- ・人から見せてもらえれば見える者
- ・見ようとしない者

77

維持管理は技術と芸術の融合である

- ・ Recreative Engineering
- ・ Remaking(オバマ大統領の言葉)

- ・ 心(文化)⇒伝える化
- ・ 技(技術)⇒見える化
- ・ 体(橋体)⇒分かる化

(ぎょうせい:橋があぶない)

78

## おわりに

サー・ウインストン・レナード・スペンサー・チャーチルの言葉

- ・その国の高齢者(高齢橋)の状態を見ると、その国の文化の状況がわかる  
⇒不撓不屈
- ・過去を遠くまで振り返ることができれば、未来もそれだけ遠くまで見渡せるだろう  
⇒温故知新

79