



## 略歴

- S52(1977). 3. 広島大学大学院工学研究科土木工学専攻修了
- S52(1977). 4. 川田工業(株)技術本部
- S54(1979). 4. 広島大学(工学部)
- H29(2017). 3. 広島大学 退職
- H29(2017). 4. 広島大学名誉教授

資格：工学博士，技術士（建設部門）

専門：橋梁工学，維持管理工学，鋼構造，複合構造



## 内 容

1. インフラの維持管理の現状
2. そもそも維持管理とは
3. 未来へ向けて  
    これからの技術者の役割
4. 橋梁の残存強度評価解析からみえてくること

# インフラの維持管理の現状

## 急速に進むインフラの高齢化

- 建設後50年を経過した橋梁の割合は、現在約27%だが、10年後には約52%に急増
- 建設後50年を経過したトンネルの割合は、現在約21%だが、10年後には約35%に増加

【橋梁】

【トンネル】

- 橋梁（約73万橋）・トンネル（約1万本）等は、国が定める統一的な基準により、5年に1回、近接目視による全数監視を実施
- 「点検→診断→措置→記録」のメンテナンスサイクルを実施

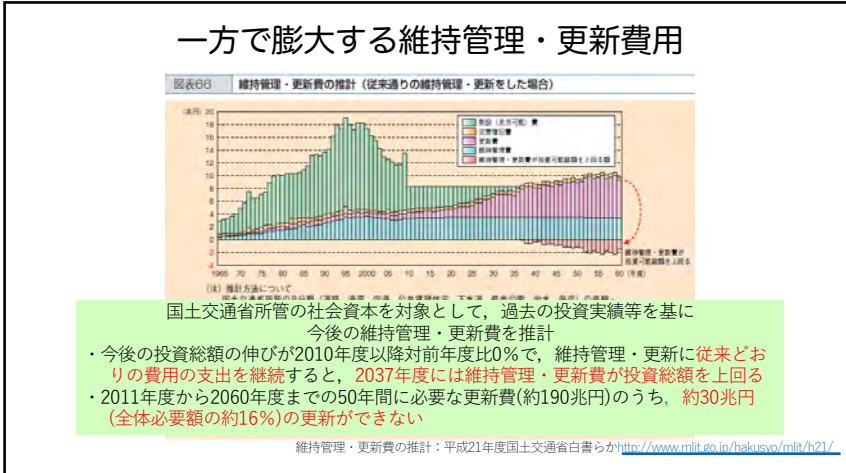
インフラマネジメントシンポジウム2020 「未来につなげるインフラメンテナンス」講演資料,2021.2.26

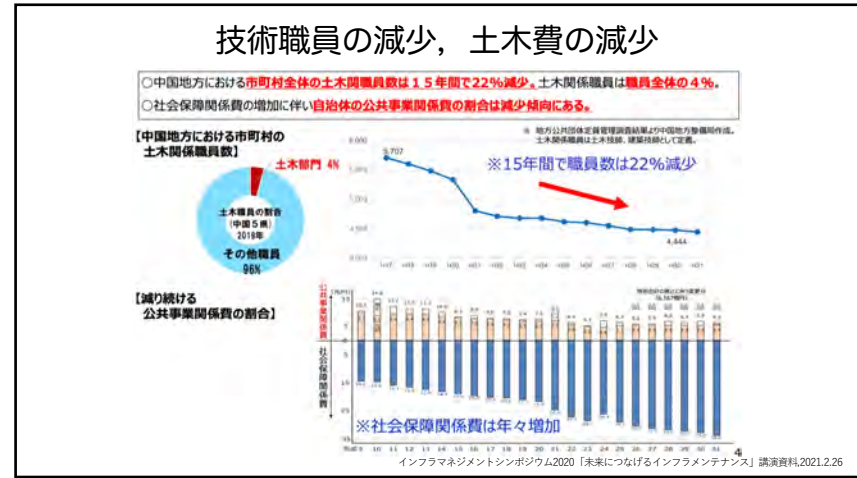
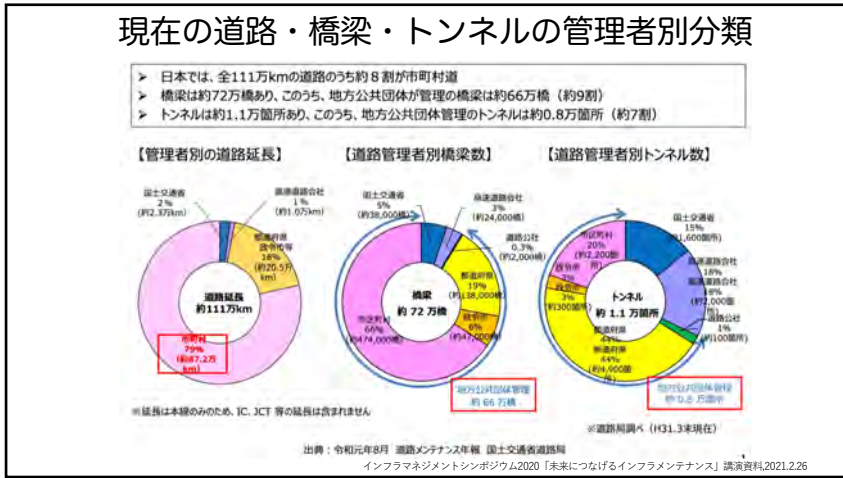
## 50年以上を経過するインフラの推移

	2018年	2023年	2033年
道路橋 【約7.3万橋 注1】（橋長2m以上の橋）	約25%	約39%	約63%
トンネル 【約1万1千本 注2】	約20%	約27%	約42%
河川管理施設（水門等） 【約1万施設 注3】	約32%	約42%	約62%
下水道管きよ 【総延長：約4.7万km 注4】	約4%	約8%	約21%
港湾岸壁 【約5千施設 注5】（水深-4.5m以深）	約17%	約32%	約58%

建設後50年以上経過する社会資本の割合  
 1.建設年度不明橋梁の約23万橋については、割合の算出にあたり除いている。  
 2.建設年度不明トンネルの約400本については、割合の算出にあたり除いている。  
 3.点検管理の施設のみ。建設年度が不明な約1,000施設を含む。（50年以内に整備された施設については概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約50年以上経過した施設として整理している。）  
 4.建設年度が不明な約2万kmを含む。（30年以内に布設された管きよについては概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約30年以上経過した施設として整理し、記録が確認できる経過年数毎の整備延長割合により不明な施設の整備延長を按分し、計上している。）  
 5.建設年度不明岸壁の約100施設については、割合の算出にあたり除いている。

[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html)





### インフラ老朽化対策が強く求められている背景

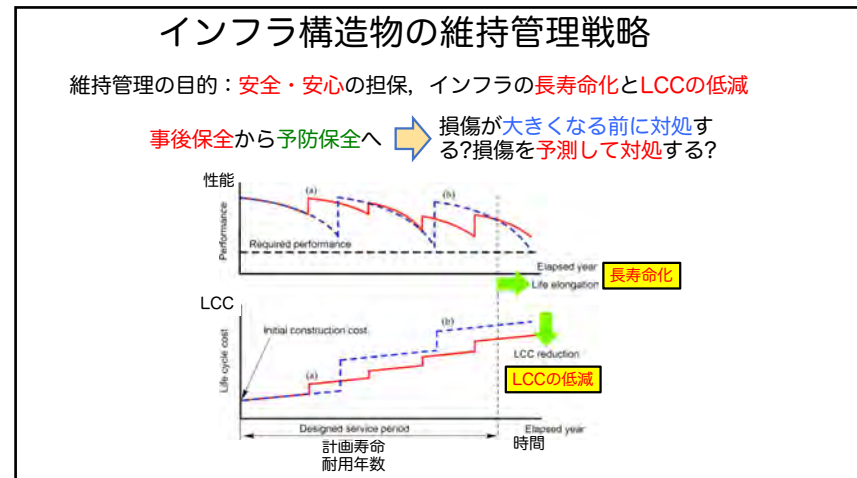
- 各種構造物（施設）において老朽化による危険性が顕在化しつつある。
- 限られた財源の範囲で不測の事態が発生するリスクを可能な限り低減しなくてはならなくなった。

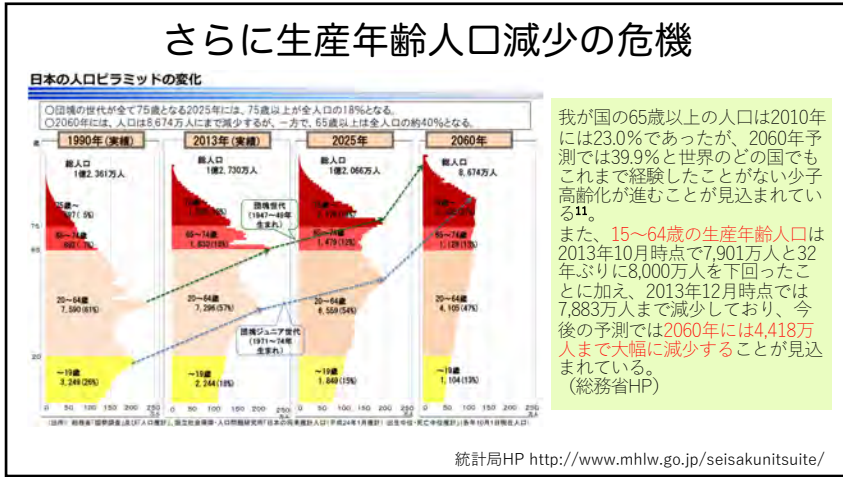
2012の笹子トンネル天井板落下事故も契機となる

↓  
そこで

**長寿命化対策**

そして、メンテナンス元年  
 インフラ長寿命化基本計画が策定された。  
 平成25年(2013年)11月  
 予防保全型の維持管理戦略が推進される





### 減少する生産年齢人口

年	1950	1970	1990	2010	2020	2040	2060
総人口	8,320	10,372	12,361	12,806	12,410	10,728	8,674
15歳～64歳	人口	4,966	7,157	8,590	8,103	7,341	5,787
	比率(%)	60	69	69	63	59	51
65歳以上人口	411	733	1,490	2,925	3,612	3,868	3,464
14歳以下人口	2,943	2,482	2,249	1,680	1,457	1,073	791

2060年には、

- ・総人口は1950年（戦後人口）とほぼ同じだが、労働力人口は終戦後よりも少なくなる
- ・高齢者（65歳以上）は、2020年以降は、徐々に減少するがあまり変化しない
- ・労働力人口（15歳～64歳）は、人口の1/2に減少
- ・労働力人口は、現在の約1/2に減少

統計局HP <http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/>  
 総務省HP <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc141210.html> から転記

要するに何が言いたいのかというと？

例えば、予防保全型であっても・・・

- ・労働力人口の減少
- ・一層厳しくなる財源
- ・技術力の低下

↓

安全なくらしができなくなるだけで無く、**国力の低下をまねく従来の維持管理姿勢では破綻の危機**

したがって

さらに**効率的な維持管理が必要**  
**ひと（人材）、もの（技術）、かね（財源）**

- ### インフラ老朽化への国の取り組み
- 2012 社会資本メンテナンス戦略小委員会設置
  - 2012 管子トンネル天井板落下事故
  - 2013 メンテナンス元年
  - 2013 インフラ長寿命化基本計画
  - 2014 橋梁定期点検要領（5年に一度の近接目視点検の義務化）
  - 2014-2019 SIP(戦略的イノベーション創造プログラム第1期)
  - 2016 インフラメンテナンス国民会議設立
    - ① 革新的技術の発掘と社会実装 ② 企業等の連携の促進 ③ 地方自治体への支援
    - ④ インフラメンテナンスの理念の普及 ⑤ インフラメンテナンスへの市民参画の推進
  - 2017 道路橋示方書の改訂（供用期間:100年を基準、適切な維持管理）
  - 2018 インフラメンテナンス国民会議「ちゅうごく」発足
  - 2019 橋梁定期点検要領の改訂（点検作業が一巡、点検の一層の効率化）
  - 2021 防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策（15兆円のうち国交省9.4兆円）
    - 1) 激甚化する風水害や切迫する大規模地震当への対策(26対策) (12.3兆円のうち国交省7.7兆円)
    - 2) 予防保全型インフラメンテナンスへの転換に向けた老朽化対策(12対策) (2.7兆円のうち国交省1.5兆円)
    - 3) 国土強靱化に関する施策を効率的に進めるためのデジタル化等の推進(24対策) (0.2兆円のうち国交省0.13兆円)

## 道路メンテナンス年報 点検1巡目の結果(2019.9 Press Release)

2014年度から5年に1度の近接目視点検が義務づけられ、2018年度に1巡目の点検が完了した。

- 1巡目で判定区分Ⅲ(早期に措置)またはⅣ(緊急措置)と診断された橋梁で、2019年度までに着手した割合は、国交省(69%)以外の管理者では30~40%と少ない
- 2014年度の点検で、判定区分Ⅰ・Ⅱの橋梁のうち2019年度にⅢ・Ⅳへ遷移した割合は、全体で5%
- 撤去あるいは廃止された橋梁255橋と増加
- ドローン等の点検支援技術の活用はまだ少ない

<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001362988.pdf>  
[https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h30/R1\\_03maint.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h30/R1_03maint.pdf)

### 早期に措置すべき施設

○「予防保全型」のインフラメンテナンスに転換するために早期に措置が必要な施設(要緊急対策施設)が多数存在。

分野	点検対象施設数*	うち、要緊急対策施設数
道路	717,391施設(H31.3.31)	約10%
トンネル	10,718施設(H31.3.31)	約81%
道路附属物等	39,873施設(H31.3.31)	約15%
河川	堤防: 約14,300km 樋門・樋管、水門: 約8,500施設(H31.3.31)	約21%
砂防	砂防設備: 約83,000基 地すべり・急傾斜: 約37,000区域(H2.3.31)	約4%
海岸(海岸防衛等)	約5,900km(H31.3.31)	約13%
下水道(管線施設)	4,274km(H31.3.31)	約0.2%
港湾	58,839施設(H31.3.31)	約17%
空港(土木施設)	約30空港(H31.3.31)	約6%
鉄道線路	2,400施設(H31.3.31)	約11%
公園	86,662施設(H31.3.31)	約25%
営繕住宅	2,162,484戸(H31.3.31)	約52%
官庁施設	9,283施設(H31.4.1)	約8%

※1: 各地域別は括弧内の時点の数  
 ※2: 重要対策施設以外(特種は除く)  
 ※3: 点検対象施設数は点検終了のものも含む  
 ※4: 点検対象施設数、要緊急対策施設数は道路施設のみ  
 ※5: 空港土木施設(防波堤等、防風林、防干波、堤防、護岸)  
 ※6: 老朽程度別とした詳細計画から、緊急を要すると判定された計画の件数

インフラマネジメントシステム2020「未来につなげるインフラメンテナンス」講演資料,2021.2.26

### 橋梁の損傷事例

国土交通省

**判定区分Ⅲ** 早期措置段階「構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態」



国管理 床版鉄筋露出  
※床版 橋の基礎



地方自治体管理 主桁腐食



地方自治体管理 支保腐食

---

**判定区分Ⅳ** 緊急措置段階「構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が高く、緊急に措置を講ずべき状態」



国管理 主桁腐食・横



地方自治体管理 床版鉄筋露出



地方自治体管理 橋脚洗掘

### 判定区分Ⅲ、Ⅳの橋梁の修繕等措置の実施状況

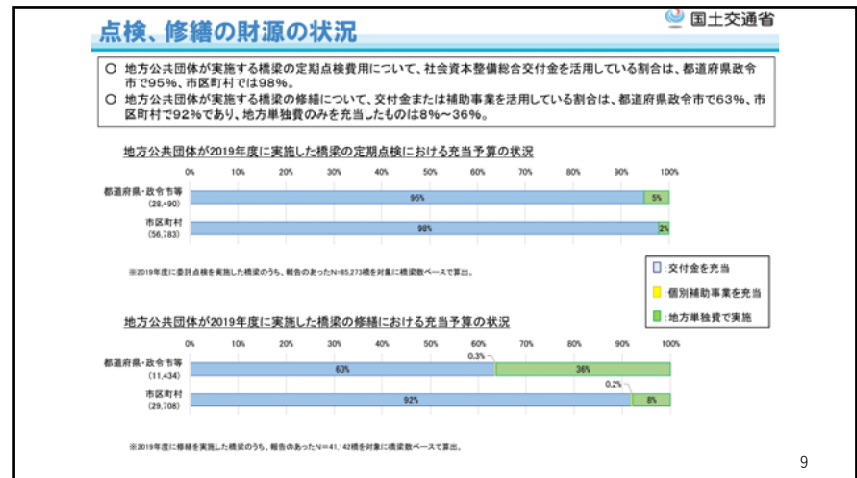
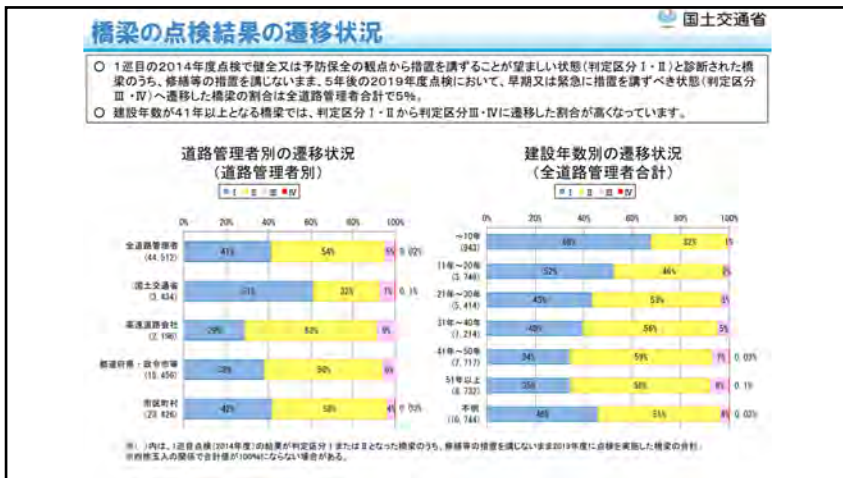
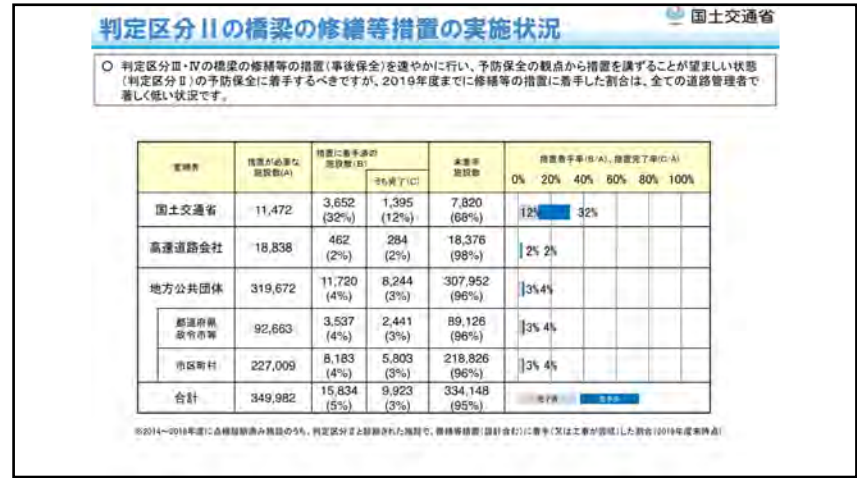
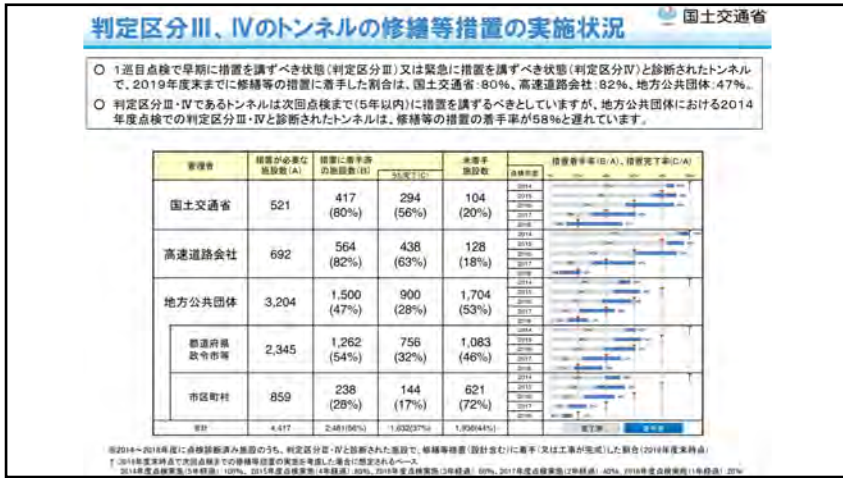
国土交通省

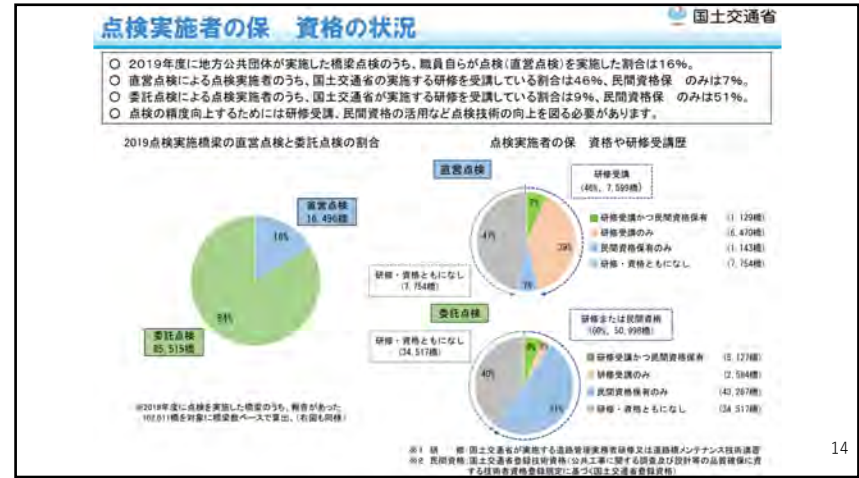
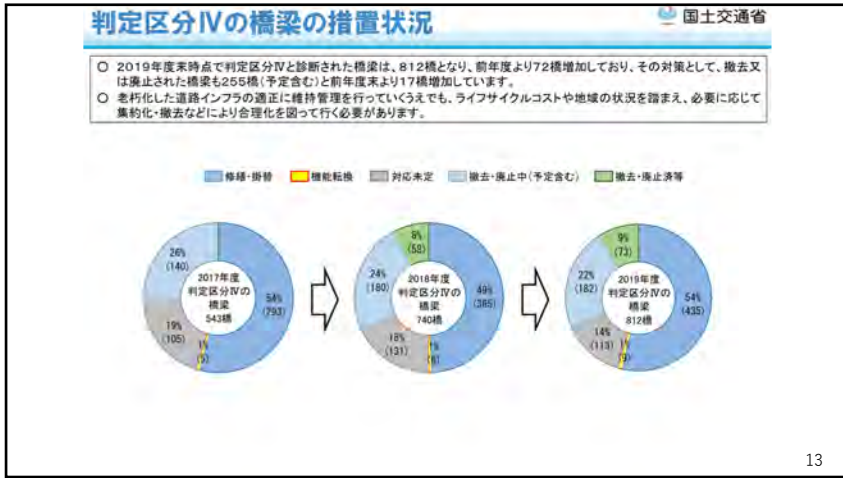
○1巡目点検で早期に措置を講ずべき状態(判定区分Ⅲ)又は緊急に措置を講ずべき状態(判定区分Ⅳ)と診断された橋梁で、2019年度末までに修繕等の措置に着手した割合は、国土交通省: 69%、高速道路会社: 47%、地方公共団体: 34%。

○判定区分Ⅲ・Ⅳである橋梁は次回点検まで(5年以内)に措置を講ずるべきとしていますが、地方公共団体における2014年度点検での判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された橋梁は、修繕等の措置の着手率が52%と遅れています。

実施者	措置が必要な施設数(A)	措置に着手済みの施設数(B)		未着手施設数	点検年度
		35歳以下	35歳以上		
国土交通省	3,427	2,359 (69%)	1,071 (31%)	1,068 (31%)	2014-2019
高速道路会社	2,538	1,202 (47%)	705 (28%)	1,336 (53%)	2014-2019
地方公共団体	62,873	21,376 (34%)	12,869 (20%)	41,497 (66%)	2014-2019
都道府県政令市等	20,535	9,052 (44%)	5,057 (25%)	11,483 (56%)	2014-2019
市区町村	42,338	12,324 (29%)	7,812 (18%)	30,014 (71%)	2014-2019
合計	68,838	34,937(51%)	14,642(21%)	43,901(64%)	2014-2019

※2014～2018年度に点検診断済み施設のうち、判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された施設で、修繕等措置(設計含む)に着手(又は工事が発注)した割合(2019年度末時点)  
 ※2014年度末時点「判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された施設のうち、措置に着手済みの割合」(2014年度末時点)  
 ※2014年度末時点「判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された施設のうち、措置に着手済みの割合」(2014年度末時点)





## 国交省における橋梁の予防保全の狙い

- 道路橋の健全性診断の区分ⅢとⅣに対して、措置を講じ、予防保全により区分ⅠとⅡを保つ (区分Ⅲ以上にはしない)

しかし、  
対応は十分には進んでいないのが現状  
予防保全のための蓄積データは未だ不十分？

## そもそも維持管理とは

そもそも維持管理とは

要求される期間（耐用年数）  
 構造物の保有性能が  
 要求性能を  
 常に上回るように保つ行為

**保有性能R > 要求性能S**

上の条件が満たされるとき、**構造物は健全（安全）**であると判断される

そもそも維持管理とは

- ・生活の中で使っていれば、悪くなったときにすぐわかる（点検）
- ・愛情を持って、きれいに掃除し、大事に使っていれば（継続）、長持ちする。（長寿命化）
- ・**観ていない箇所**は、悪くなくてもわからない **事後保全**

**重要!** ただし **事後保全**  
したがって、予防保全のためには

「起こりうる損傷の因果関係を知り、損傷を把握するための点検・計測を行って、対策する」という姿勢が重要

維持管理に必要なもの

起こりうる損傷の因果関係を知る(基礎知識)

そのための点検・計測と対策 **➡** 予防保全が可能  
損傷許容で飛んでいる飛行機

外れたとき(想定外) **➡** 事後保全しかできない

防止策は、**豊富な経験と応用力**

予防保全とは？

起こりうる損傷に対して、**損傷が軽微なうちに対策**することによって、健全性を保つこと

結果的に  
**LCCの低減と長寿命化が可能**

しかし  
 「予防保全」は「**想定内**」でないとできない。

今後は  
 「想定内」の**範囲を拡大**していくことが不可欠



## 長寿命化とは？

設定されている**要求寿命**を超えて要求性能を満たすようにすること

経年にもよって、必ずどこかに損傷が現れます。

➡そして、それを新設時の状態にもどすのは不可能

「損傷を許容しつつインフラと**うまく付き合う**」ことが重要

しかし寿命は必ず訪れる

といいつつも、やっぱり愛情でしょ！

- 維持管理の原点は  
大切に使う思い、愛着、慈しみ
- 金が無いからメンテが必要  
「予算がないからメンテできない」はダメ
- みんなで大事に使いましょう！

## 未来へ向けて これからの技術者の役割

## 未来へ向けて（私見）

- 将来の急激な労働力人口の減少は、経済力のみならず技術力の低下を招き、国力そのものが低下する危険をはらむ。したがって、いま以上のメンテナンスの**効率化**、国民全体の**意識改革**、**産官学民全体の協働体制**、が必要  
(JCIM(インフラメンテナンス国民会議)がそのコアとなれば嬉しい)
- 実効的な技術開発、技術革新が必要：他分野との連携、新概念の導入  
日本全体が**一丸となって**、**国際競争力**を蓄える必要がある  
管理者と開発者の連携、パイロット事業の試み  
**技術の公開・企業間の協働・協力**  
技術の囲い込みをやめ、**国民協働体制が不可欠**
- 点検は一巡した。その結果に基づいた検討がなされ、具体化した次の段階が見え始めてきた。  
それは、金の話ではなく、人に関する話(密接な人の連携・意識の問題で、技術力、人口)がメイン。インフラの整備は、とくに重要な役割を持っている。

## 今後の取り組み(人・もの・金) (私見)

### 1) 人

一般市民との協働・連携

一般市民の意識改革と住民参加の維持管理

技術者のみならず一般市民を含めた維持管理体制の構築

人材育成 (技術者育成, 技術者のレベルアップ, 資格制度)

国境を越えて労働力の確保

### 2) もの (人の仕事を省力化)

新技術の開発 (点検・モニタリング・計測・ロボット・UAV)

DX, 情報技術 (IT, AI) の応用・適用 (診断・予測・データベース)

施工技術の開発 (情報化施工・新補修技術・新補強技術)

37

## 今後の取り組み(人・もの・金) (私見)

### 3) 金

新技術の適用・省力化・効率化・・・による経費縮減

運営システムの改善 (PFI, PPP)

法制度の改善と整備による経費削減

### 4) 国際競争力の強化

技術の輸出・水平展開

38

読売新聞社説2021.2.24

### 地方行政とAI

職員減克服のカギとなるか

- 全国市区町村職員数の減少  
2040年は2013に比べて10~20%減少
- AIを活用した住民サービス
- AIの導入率  
都道府県：68%，市区町村：8%
- いくつかの自治体が協同導入して経費負担の軽減，AI精度の向上を期待
- AI導入：国が標準仕様を定めるべき
- 国と自治体の連携を密にし，デジタル化と行政手続きの効率化を加速

## さらに効率的な維持管理に向けて

- 安全・安心の担保 (残存耐荷力を基本)  
残存保有耐荷力 > 要求耐荷力
- 部材ではなく，構造物全体を対象 (構造物としての安全性)  
目前に具体構造物がある
- 当初設計 (部材設計) とは異なる維持管理
- 要求寿命を勘案した維持管理  
様々な修復技術，多様な対策が可能となる  
そのためには，予測が不可欠

## さらに効率的な維持管理に向けて

- 個々の構造物に見合う維持管理  
 身の丈に合った維持管理, 捨てる勇氣  
 元々強い橋も弱い橋もある. 橋の居住環境も影響  
 金持ちもいれば貧乏もいる
- 損傷を許容する維持管理 (予測技術)  
 「腐食の発生はダメ」は, 大きく現状と異なるし,  
 実際無理! → 老化 (劣化) は必ずやってくる
- 適する補修・修復  
 板厚が減肉したから減肉分の当て板をする  
 その根拠は? 場合によっては無意味かも

## インフラ維持管理に係わる技術者に求められること

- 損傷原因を特定する鋭い洞察力
- 的確な診断力, 今後どうなるかのできるだけ正確な予想力
- 原因を排除するための新しい着想, 発想
- DXテクノロジー(AI, IOT等)の利活用

そのためには

未だAIではできないあるいはまだできていない重要分野  
(AI結果の判断, 健全性診断・予測, 性能回復法, 性能回復効果判断・予測)  
 すなわち

インフラに対する強い愛情と使命感  
 豊富な経験: 現場100回 必ず現場へ行き, 周辺の環境も含めて調査, 理解  
 気象・海象, 地理, 歴史, 化学, 経済などの幅広い教養と総合力  
(鋼材の歴史やコンクリートの変遷 (使用され始めた年代) など)  
 構造物の設計概念を理解できる基礎学力, 力学理論に基づく検証力と判断力  
(破壊形式の推定, 部材の役割の理解と全体への影響評価, 補修・補強対策後の他部材への影響度評価など)

### 約50年経過のRC橋梁

海砂による鉄筋の腐食とコンクリート片の落下





案内人の話  
 「同時代に作った他の橋梁には,  
 損傷は無かったけど, この橋だけ・・・」

## 効率的な維持管理に配慮した新設インフラ設計

- 容易な維持管理ができる **構造形式**  
 点検が容易な構造詳細, 点検が容易な付属物
- 取り替え部材の採用

王泊大橋のハンガーロッドの定期的破断 → 維持管理可能



単径間2ヒンジ補剛吊橋  
 橋長: 151.75m  
 塔高: 29.43m  
 完成: 昭和32年

王泊大橋

## 耐候性鋼橋梁

### LCCとして有利

耐候性鋼材は「安定さび」を形成することで腐食による板厚減少が生じない鋼材で、これを使用した橋梁はメンテナンスフリーとなる

この認識は間違い

- ◆ 耐候性鋼材は腐食する  
耐候性鋼材は腐食速度を遅くし、期待する耐用年数を維持させる
- ◆ 耐候性鋼橋梁ではメンテナンスは必須  
良好でないさびの早期発見と原因の排除



## 耐候性鋼橋梁

### LCC低減に有利

耐候性鋼材は「安定さび」を形成することで腐食による板厚減少が生じない鋼材で、これを使用した橋梁はメンテナンスフリーとなる

この認識は間違い

- ◆ 耐候性鋼材は腐食する  
耐候性鋼材は腐食速度を遅くし、期待する耐用年数を維持させる
- ◆ 耐候性鋼橋梁ではメンテナンスは必須  
良好でないさびの早期発見と原因の排除



## 耐候性鋼橋腐食事例(1)

層状剥離さび



伸縮装置からの漏水

## 土木学会コンクリート標準示方書

### コンクリート構造物の維持管理の必要性

- 設計条件はあくまでも設計時の想定であり、設計耐用期間内での状況を確認には想定しきれない条件もある。
- 現状の技術レベルでは、完成した構造物の品質を絶対的に保証できない。
- 社会情勢が変化し、構造物の用途・機能が変更された場合には、補修や補強等の対策の実施を検討する必要がある。

群馬県平成27年度現場実務研修「コンクリート（構造物の維持管理）研修」  
2016.2.4コンクリート構造物の維持管理と  
品質確保の重要性半井 健一郎

**土木学会コンクリート標準示方書**

コンクリート構造物の効果的な維持管理

- 供用期間中の維持管理を効果的に行なうには、定期的に診断を行い、構造物に変状や性能の低下が生じていないことを確認する

**維持管理の基本は「点検」**

**維持管理の「点検」**

**でみるべきものは「水」**

**コンクリート構造物の(早期)劣化**

コンクリート片の剥落  
広島県内をはじめ各地で数多くの報告あり



2015/6/19平和大橋



2015/4/22黄金橋



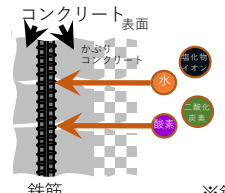
2015/1/21福山市立赤坂小学校  
2015/5/15第二神明道路

**コンクリート構造物の(早期)劣化**

多くの場合、  
コンクリート構造物中の鉄筋腐食  
→コンクリート片の剥落  
→構造物の性能低下  
→最悪の場合には崩壊




**コンクリート構造物の(早期)劣化**



コンクリート表面  
かき分けコンクリート  
鉄筋  
鉄筋  
鉄筋

※鉄筋のさびは数倍の体積膨張

不動態被膜の破壊



2015/1/21福山市立赤坂小学校

鉄筋の健全全部減少 → 性能低下

剥落 → 第三者被害

鉄筋腐食とひび割れ進展

## 橋梁の残存強度評価解析から みえてくること

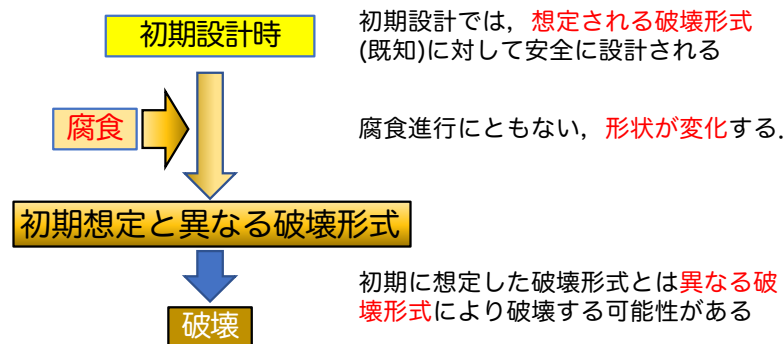
ところで、  
少しくらい錆びても強さは変わらないよ！

現実、確かにそうですね。 そうだとすれば・・・

- 構造全体の耐荷力は、かなりの余裕（隠れた安全率）を持っている。 損傷があっても橋が壊れないのは、この余裕を食いつぶしているから!?
- 桁端に孔があくほどの損傷があると、部材の取り替えや当て板を行う。これは必要なのか？  
時には防食だけで十分  
場合によっては改悪（新たな損傷を誘引）

とはいえ腐食を甘く見てはいけない（いつかは危くなる）

ということで、  
腐食鋼構造物の残存耐荷力を解析してみました



## 残存耐荷力評価の基本

- 破壊形式の推定・把握  
破壊モードを考慮できる解析でないと正確な評価は不可能  
【例】 局部座屈破壊の有限要素解析：はり要素ではダメ
  - 破壊を支配する指標を考慮する  
破壊モードに応じた支配パラメータ（断面積、曲げ剛性、腐食凹凸）を把握する  
【例】 座屈破壊する場合、断面積を把握してもダメ
- 破壊モードを推定し、その支配指標を計測、解析を行う  
→ 的はずすと危ない

### 残存耐荷力の支配因子と計測

- ・評価・予測のための計測技術の開発  
**目的に応じた計測項目と精度**

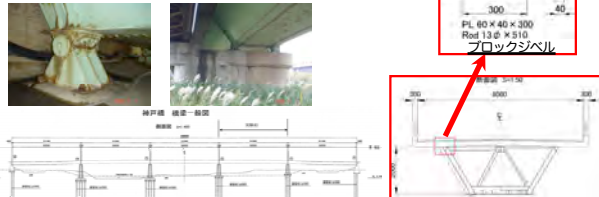
荷重状態	破壊形式	破壊の主要因
圧縮	座屈	剛性
引張	降伏 塑性変形	断面積 表面凹凸形状
疲労	腐食表面形状	応力集中

### 残存耐荷力を評価するには

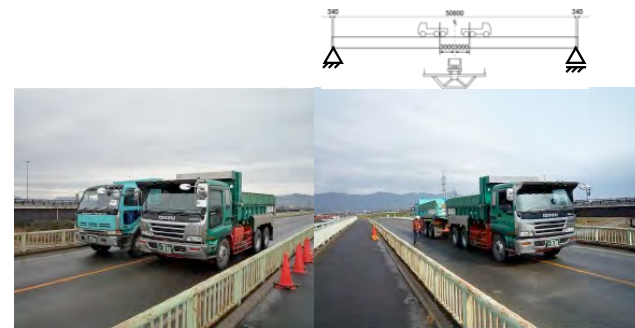
- ・ 構造物をどのように**モデル化**するか  
 使用するモデルにより**考慮できる破壊形式**が異なる  
 1本のはりでは**局部変形**は考慮できない
- ・ 構造・材料特性をどのように**仮定**するか  
 弾性・塑性, **線形**・非線形(幾何学および材料学的), . . . .  
 境界条件(単純支持, 固定支持, 移動支承, バネ支持, . . . .)
- ・ どのような解析を行うか  
 はり理論, 板理論, 薄肉シェル理論, FEM, . . . . .  
 FEM: どのような要素を使うかにより変形様式等が異なる.  
 何でもFEMというのは**労力と経費**の面で割に合わない  
**目的に応じて適するモデルと仮定を選択**

### 橋梁の残存耐荷力評価

- 橋梁概要
  - 構造形式: 5径間単純複合箱桁橋(各橋桁は、床版がRC、ウェブおよび下フランジが溶接とリベット併用で組み立てられた開断面箱桁で、RC床版と鋼桁が合成された逆台形断面合成箱桁)
  - 橋長: 258m
  - 幅員: 8m(2車線)
  - 支間長: 50.8m
  - 床版厚: 190mm(ハンチを入れた中央部では355mm)
  - 供用年: 昭和39年の供用開始から約40年供用



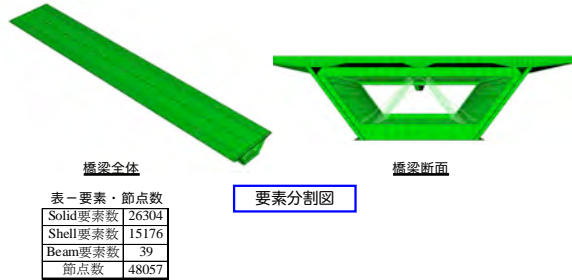
### 現場載荷実験(Proof Load Test)



載荷条件 (Case-1)

載荷条件 (Case-4)

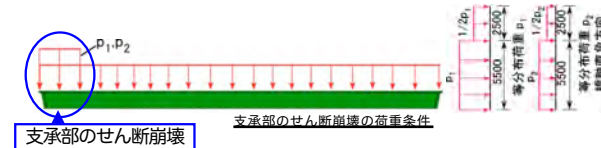
### 複合非線形有限要素解析



RC床版と鋼桁上フランジ間のブロックジベルの接合状態は、完全合成と仮定。

### 荷重条件(せん断力)

死荷重を作用させた後、支承部がせん断力により崩壊する荷重配置で道路橋示方書で規定されているB活荷重を増加させて終局状態まで解析した。



$$L = L_d + \alpha L_l$$

$L_d$ : 死荷重  
 $L_l$ : B活荷重  
 $\alpha$ : 活荷重倍率

活荷重倍率とは、B活荷重が作用した時に、その何倍の荷重まで耐えうるかを示す指標であり、B活荷重に対する安全率とみなすことができる。

### 解析結果(健全な場合)

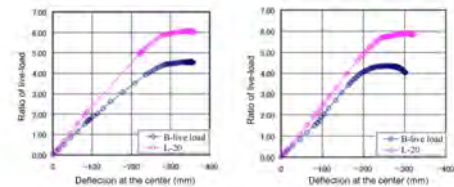
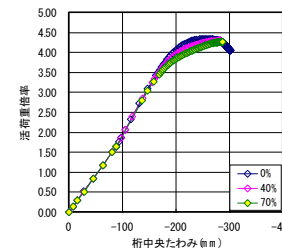


Fig. 11 Relationship between live load and deflection at the center

- ・ 構造全体が有する強度は、活荷重の4~6倍
- ・ 孔の開くような重篤損傷でも何とか持っている理由?

### 腐食による強度の低下

(桁端せん断耐力)

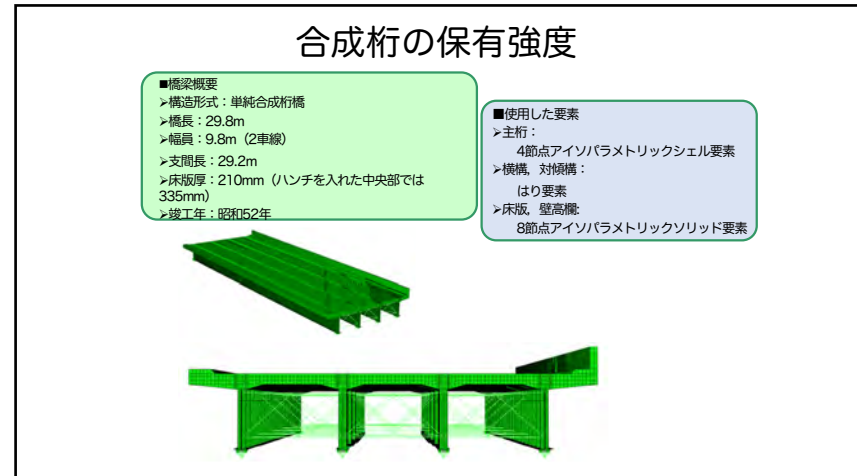
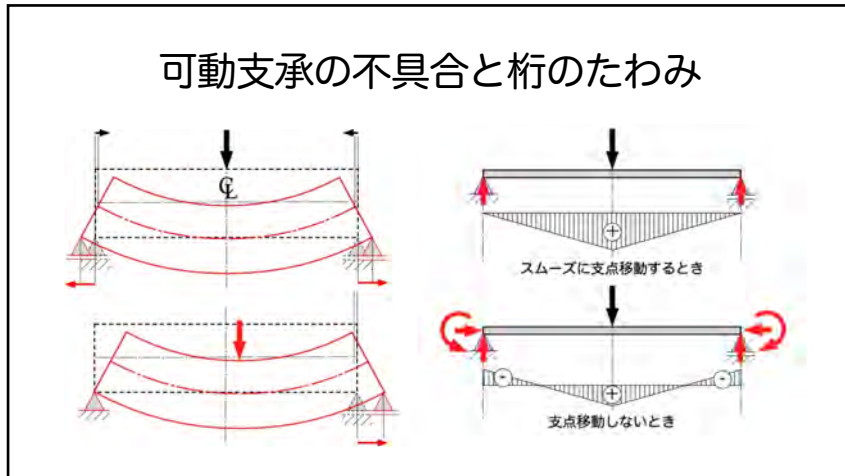
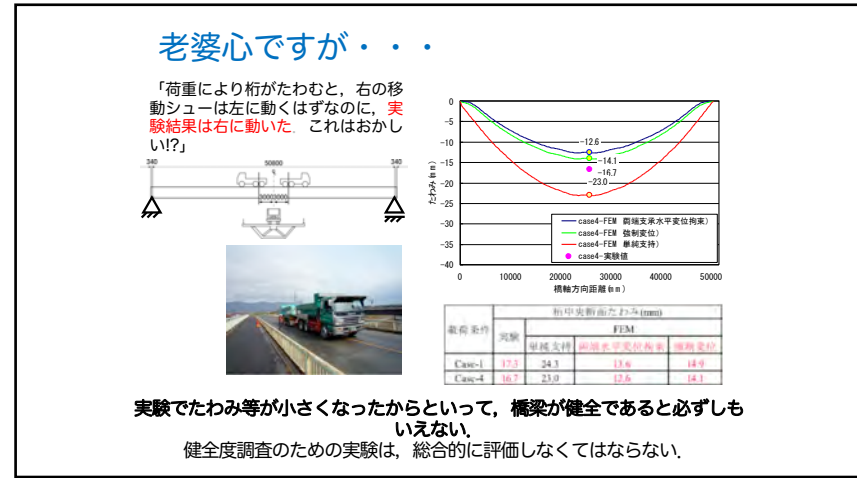
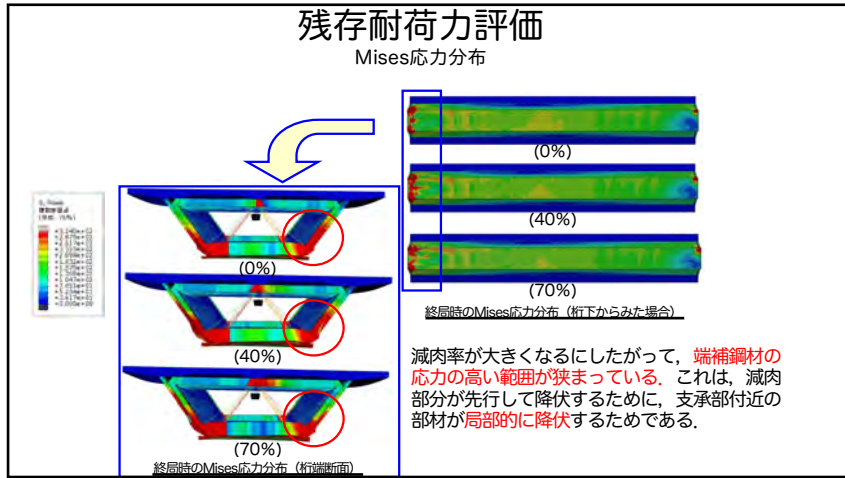


終局時の活荷重倍率は腐食減肉率に関係なく約4.3となった。これは、支承部で局部座屈が発生しても、後座屈強度と座屈後の応力再配分があるためと考えられる。

しかし、40%以上の減肉があると荷重が低い段階からたわみが増加することがわかる。これは、支承部ウェブの減肉量が大きくなるにしたがって、その部分が早期に局部座屈を起こすためである。

減肉率	死荷重時( $\alpha=0.0$ )	設計活荷重時( $\alpha=1.0$ )	終局時( $\alpha=\alpha_u$ )	
	桁中央たわみ (mm)	桁中央たわみ (mm)	桁中央たわみ (mm)	活荷重倍率 $\alpha_u$
0	88.1	128.2	259.4	4.34
40	88.2	128.5	281.3	4.29
70	88.3	128.9	286.8	4.27





### 解析結果 (活荷重倍率)

**L-20**

桁番	支点からの距離				
	0	1/8	1/4	3/8	1/2
G1	7.21	7.42	7.45	6.22	5.77
G2	7.86	8.36	7.84	6.51	6.1
G3	7.38	8.28	7.21	5.95	5.67
G4	7.34	7.48	6.85	5.71	5.34


**B活荷重**

桁番	支点からの距離				
	0	1/8	1/4	3/8	1/2
G1	5.80	5.80	5.28	4.51	4.23
G2	6.60	6.60	5.71	4.72	4.45
G3	6.55	6.55	5.21	4.35	4.12
G4	5.89	5.89	4.98	4.11	3.95

B活荷重倍率とL20の活荷重倍率の比 (B活/L-20)

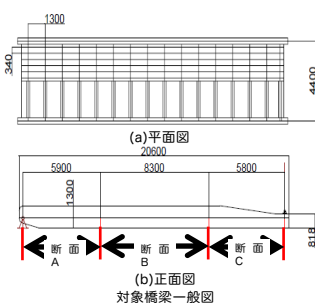
桁番	支点からの距離				
	0	1/8	1/4	3/8	1/2
G1	0.80	0.78	0.71	0.73	0.73
G2	0.84	0.79	0.73	0.73	0.73
G3	0.89	0.79	0.72	0.73	0.73
G4	0.80	0.79	0.73	0.72	0.74

### フェリー渡橋の残存強度



渡橋で典型的な腐食損傷  
⇒海塩粒子の付着によって腐食しやすい**主桁下フランジ**を腐食減肉させる

構造形式	単純2主中路式 鋼桁橋
支間長 [m]	20.0
床版	Steel
材質	SS400



(a) 平面図  
20600  
5000 8300 5800  
340 4400  
断面 A 断面 B 断面 C  
(b) 正面図  
対象橋梁一般図

### 解析モデルの概要

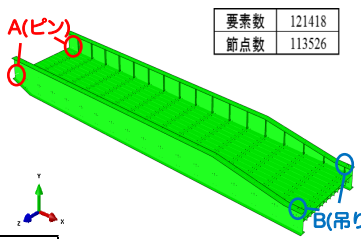
**◆使用要素**

4節点6自由度アイソパラメトリックシェル要素

要素の大きさ：  
最大50×50mm

**◆境界条件**


要素数	121418
節点数	113526



**◆鋼材の材料特性**

弾性係数 [N/mm <sup>2</sup> ]	降伏応力 [N/mm <sup>2</sup> ]	ポアソン比 [-]	単位体積重量 [kN/m <sup>3</sup> ]
210000	253.2	0.3	78.5

完全弾塑性



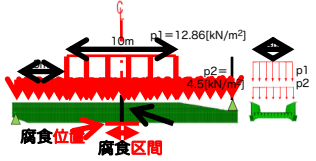
### 解析条件

**◆主桁下フランジの腐食**

腐食箇所：桁中央と桁端付近の2ケース

減肉の状態⇒減肉率R [%]

※R=100%：フランジが無い状態

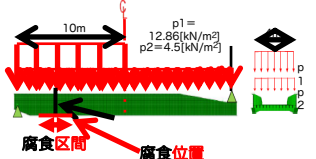


**◆荷重条件**

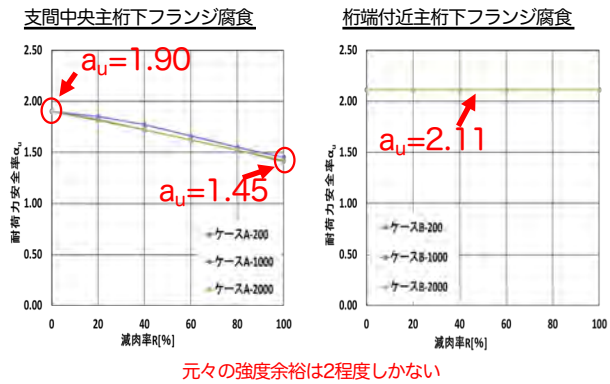
腐食部が最も不利となる荷重配置

$$L_{all} = L_d + \alpha \cdot L_l$$

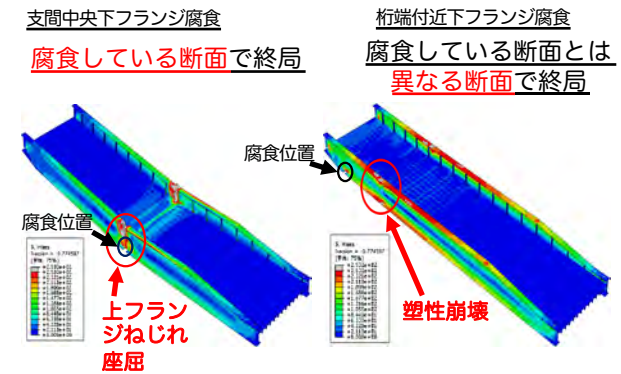
L<sub>d</sub>：死荷重  
L<sub>l</sub>：活荷重  
α：活荷重倍率



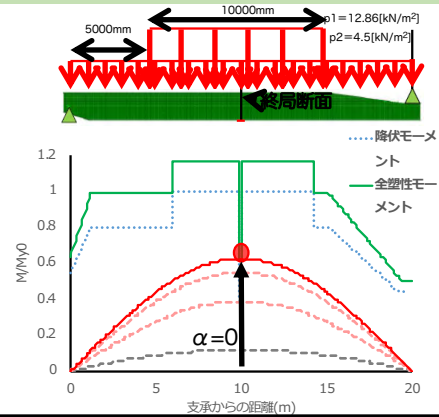
### 腐食に伴う強度低下



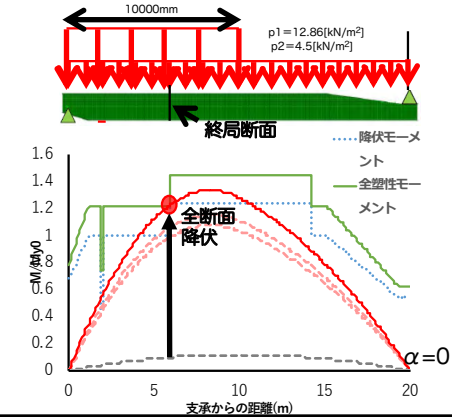
### 終局状態



### 現象の説明 (支間中央下フランジ腐食)



### 現象の説明 (桁端付近下フランジ腐食)



## そうだとすれば

- 構造全体の耐荷力は、かなりの余裕（隠れた安全率）を持っている。損傷があっても橋が壊れないのは、この余裕を食いつぶしているから!?
- 桁端に孔があくほどの損傷があると、部材の取り替えや当て板を行う。これは必要なのか?  
 時には防食だけで十分  
 場合によっては改悪（新たな損傷を誘引）

## まとめ

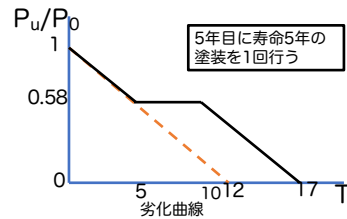
- 一般の道路橋は、かなり大きな安全余裕がありそうだ。
- 重篤な腐食損傷があっても現状で落橋していないのはこの余裕があるから
- フェリー棧橋などはこの余裕が無い（元々弱い構造物）ので注意すべき
- 腐食箇所で破壊（崩壊）するとは必ずしもいえない。腐食箇所を闇雲に補修しても強度は変わらない場合がある。

この場合補修しても効果無し

予測：簡単といえば至極簡単  
 複雑といえば極めて困難

P<sub>0</sub>:元の耐荷力  
 T:年数

板厚t (元板厚 to=12mm) は毎年1mm 減少: t=12-T	強度P <sub>u</sub> は断面積 A(=t×b, b:板幅)に比例する
-------------------------------------	--



問題は、モデルの仮定、条件が実現象と整合するか?

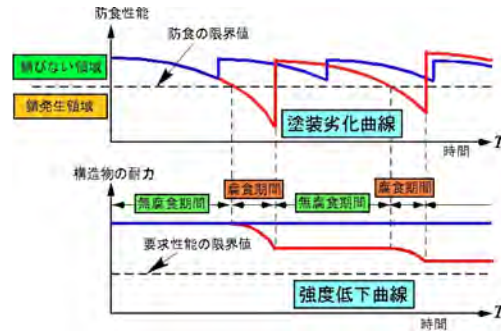
実計測結果からモデルを設定

## 余寿命評価（予測）

- この橋は大丈夫なの？（残存性能評価）  
 現状が健全かどうかを判断し、健全で無ければ補修・補強を実施する。  
 現状では、この判断基準は明確ではないようにみえる
- この橋は後何年もつ？（性能予測）  
 今後の健全度の推移を予測し、維持管理計画を策定する。したがって、予測は、維持管理において大変重要  
 いつ直して、いつ廃棄するかなどの計画

劣化曲線を求めることにほかならない

### 鋼構造物（2段構え）の劣化曲線



### 劣化曲線の書き方

- 単なる決めごとと思えば至極**単純**
- 実現象を正確に捉えるには**極めて複雑**

つまり、  
 1) 性能（損傷のグレード?や耐荷力）をどのよ**うな基準**で評価するかを決め、  
 2) 補修等の**対策の基準**を決める。

問題は、  
 • そこで得られた結果が**現実と合っているか**が重要  
 • 他人が聴いて**納得できるか**どうかの説明力の有無

### 性能回復対策の基本

原因の除去



激しく腐食した床桁



### 性能回復対策の基本概念

性能回復で何を保証するのか？

設計荷重 or 部材の全強？

→ 要求性能の明確化が不可欠

目的とする耐用年数により  
 対策法は異なる



激しく腐食した床桁

