

基 調 講 演

テーマ：社会資本の高齢化対策のあり方と課題
～鋼構造物を主対象として～

講 師：広島大学大学院 工学研究院 教授 藤井 堅



略 歴

昭和 50 年 3 月 広島大学工学部土木工学科卒業
昭和 52 年 3 月 広島大学大学院工学研究科土木工学専攻修了
昭和 52 年 4 月 川田工業（株）技術本部研究室
昭和 54 年 4 月 広島大学 助手（工学部）
平成 2 年 4 月 広島大学 助教授（工学部）
平成 21 年 4 月 広島大学 教授 （大学院工学研究科）
現時に至る

研究活動・著書他

鋼構造物の座屈・耐荷力に関する研究
複合構造物の力学挙動・耐荷力，孔あき鋼板ジベルのずれ耐荷力に関する研究
高齢化鋼構造物の残存耐荷力評価および将来予測に関する研究
高齢化鋼構造物の性能回復に関する研究
（著書）
腐食した鋼構造物の性能回復事例と性能回復設計法，土木学会，2014.
腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル，土木学会，2009.
海洋環境における鋼構造物の耐久・耐荷性能評価ガイドライン，土木学会，2009.
座屈設計ガイドライン、土木学会，2005.
既設鋼構造物の耐力・耐久性診断と補修・補強に関する資料集，日本鋼構造協会，2002.
鋼・コンクリート複合構造の理論と設計、土木学会，1999.

講演概要等

現在，インフラ構造物の高齢化，老朽化が大きな社会問題となっている．一方，我が国の経済状況には，明るい兆しは依然として見えない状況にある．このような背景に鑑み，経済的かつ効率的な維持管理が強く要請されている．本講演では，社会基盤構造物のうち，鋼構造物を主な対象として，維持管理の現状，維持管理のあり方，土木技術者としての取り組み姿勢，必要な技術・知識について，また，構造物の長寿命化対策について，私見を交えながら述べる．

経済的，効率的維持管理のためには，既存構造物の安全性を柱とする残存性能の評価・把握と，それが将来においてそのように変化（劣化）していくかという予測が不可欠である．現状では，この辺りの研究は，まだまだ不十分と考えられ，関連して，高精度の評価・予測を行うために必要な点検・調査・計測技術についても，昨今の IT 技術の目覚ましい発展を考慮しつつさらに発展した新技術の開発なども必要と考えられる．また，維持管理体制においては，技術者だけでなく地域住民も一体となった，従来とは異なる態勢の構築，人員構成や人材育成が，今後は不可欠と考えられる．

社会資本の高齢化対策の あり方と課題 —鋼構造物を主対象として—

広島大学大学院工学研究院社会環境空間部門

教授 藤井 堅

(主たる専門分野:維持管理工学, 構造工学, 複合構造)

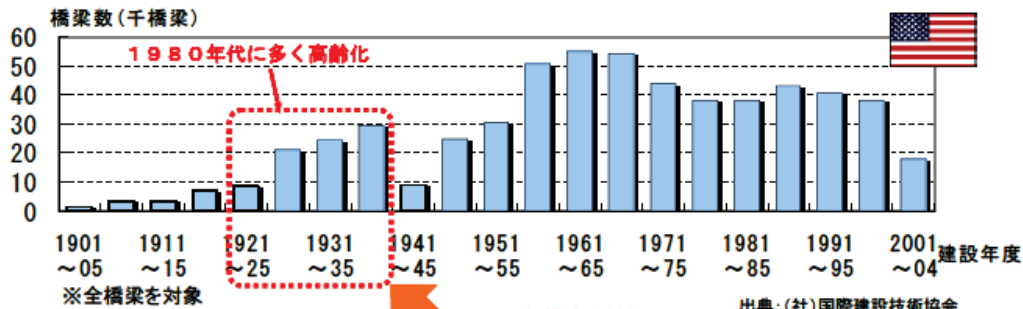
内 容

1. はじめに
2. 老朽化対策の動向
3. インフラ鋼構造物の維持管理
4. 残存耐荷性能評価の必要性
5. 余寿命評価(予測)の重要性
6. つぶやき
7. おわりに

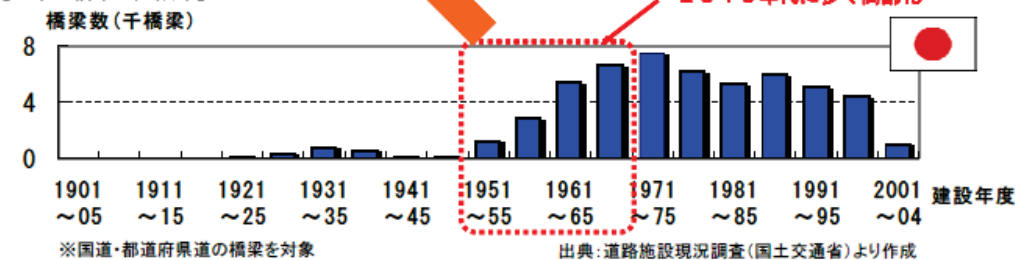
急速に進む日本の橋梁の高齢化

- ・米国では、日本よりも30年早い1980年代に多くの道路施設が高齢化。
- ・日本でも近い将来、高齢化が急速に進む。

【米国の橋梁の建設年】



【日本の橋梁の建設年】



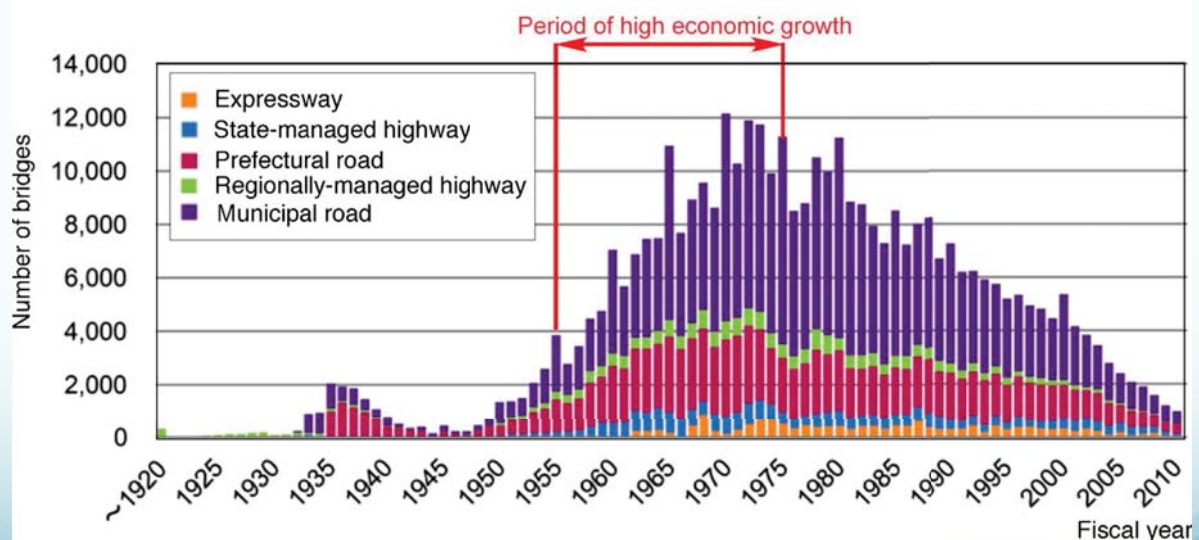
12

国交省関東地方整備局 道路構造保全官 窪田光作氏 H23・4月

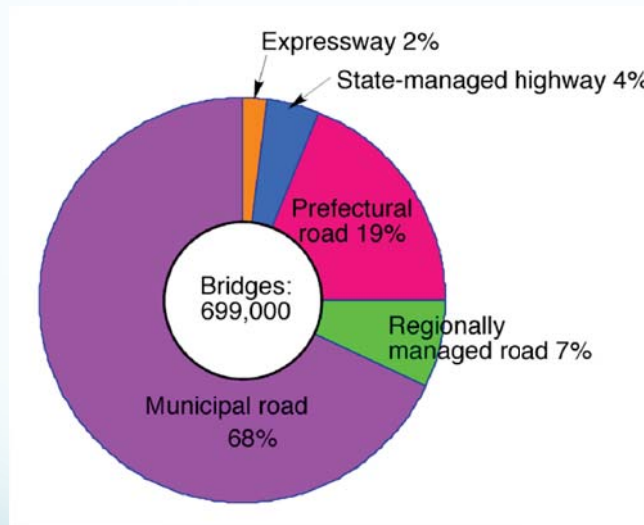
出典: 道路施設現況調査(国土交通省): H19年4月より作成 ただし、橋長15m以上

急速に進む橋梁の高齢化

- 橋長2m以上:70万橋(橋長15m以上:15万橋)



現在の橋梁の管理者別分類

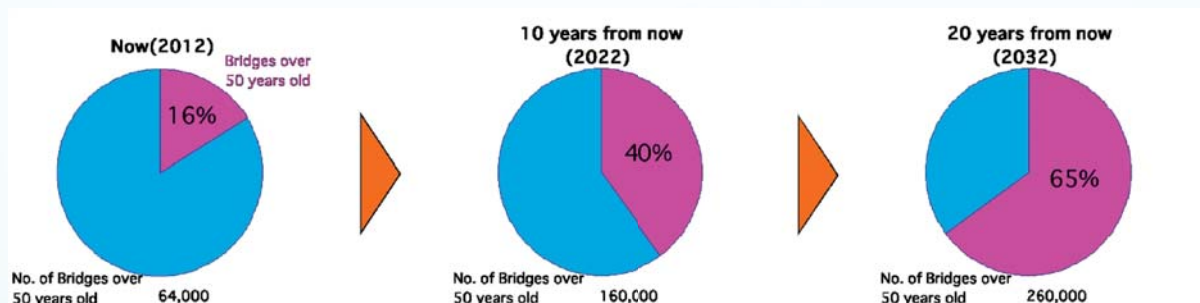


- 橋長2m以上:70万橋
- 高速道路:2%
- 直轄国道:4%
- 都道府県道:19%
- **市町村道:68%**

約70%の橋梁は地方自治体が管理しており、厳しい経済状況から「見ない」「見過ごし」「先送り」の状態であった。

>> **長寿命化修繕計画策定事業費補助制度 (H19年度) により点検が実施されている**

50年以上経過橋梁の将来の推移



- 50年以上経過橋梁(2m以上)は、現在は**16%**であるが、10年後は40%, 20年後には**65%**と急速に増加

広島の橋梁でも・・・

広島県の橋梁の現状（2012年度）

- 管理橋梁: **4118**橋
- 対策が必要な橋梁: **1670**橋(うち**88**橋は緊急対応が必要)
- 補修済橋梁: **88**橋梁, 対策が必要な橋梁: **127**橋(約10%程度)

50年以上経過する橋梁

- 2009年度: **1182**橋
- 2019年度: **2134**橋(2009年度の約倍)
- 2009年度から60年間の補修経費: **約900億円**が必要

上水, 工業用水用送水管: **400km**のうち**103km**は40年以上経過

中国新聞2012年12月15日

図表66 維持管理・更新費の推計（従来通りの維持管理・更新をした場合）

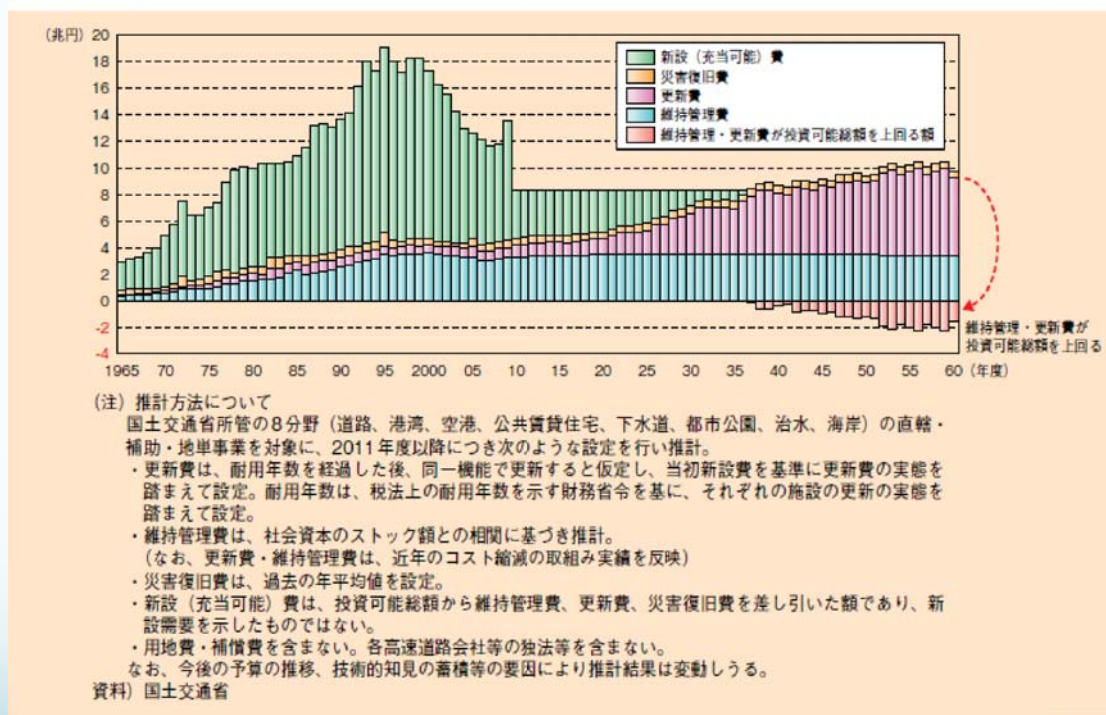


図1 維持管理・更新費の推計: 平成21年度国土交通省白書から
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h21/>

平成21年度国土交通白書

－ 国土交通省

国土交通省所管の社会資本(道路, 港湾, 空港, 公共賃貸住宅, 下水道, 都市公園, 治水, 海岸)を対象に, 過去の投資実績等を基に今後の維持管理・更新費(災害復旧費を含む. 以下同じ)を推計したものである.

今後の投資総額の伸びが2010年度以降対前年度比0%で, 維持管理・更新に**従来どおりの費用の支出**を継続すると仮定すると, **2037年度には維持管理・更新費が投資総額を上回る**ことになる

つまり, 2011年度から2060年度までの50年間に必要な更新費(約190兆円)のうち, **約30兆円(全体必要額の約16%)の更新ができない**と試算している.

<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h21/>

そして

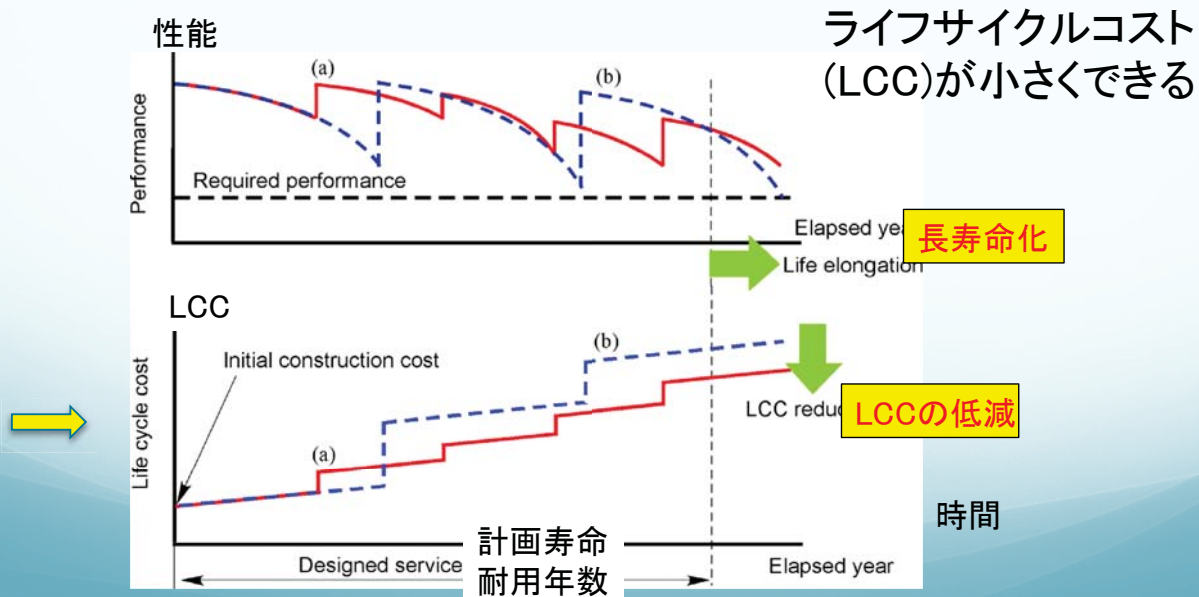
事後保全から予防保全へ
長寿命化へ向けた対策

予防保全型の維持管理戦略が強く推進されつつある

インフラ構造物の維持管理戦略

維持管理の目的: 安全・安心の担保, インフラの長寿命化,
LCCの低減

事後保全から予防保全へ → 損傷が大きくなる前に対処する.
損傷を予測して対処する.



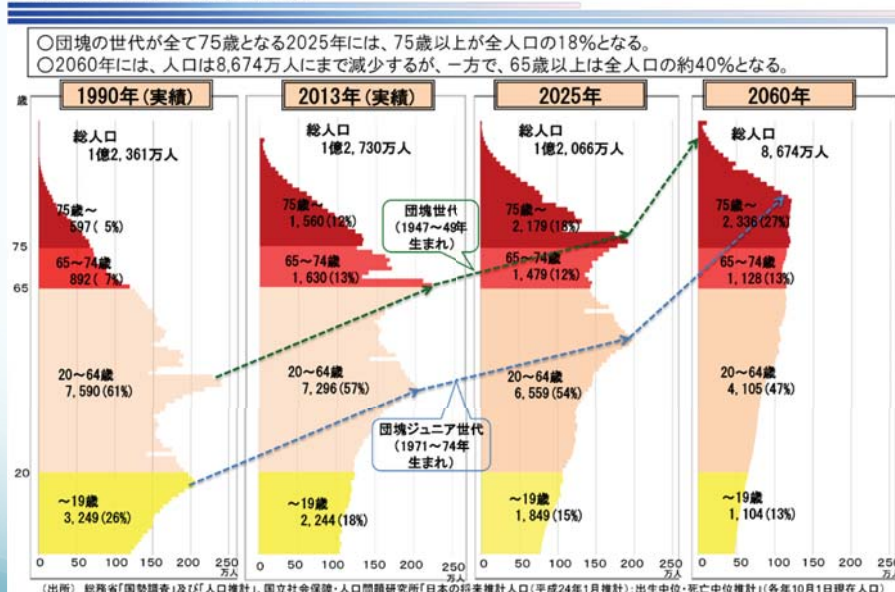
今日、社会資本の老朽化対策 が強く求められている背景

- 各種施設において老朽化による危険生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.

しかし、さらに

未曾有の高齢社会の到来

日本の人口ピラミッドの変化



1930:6445万人

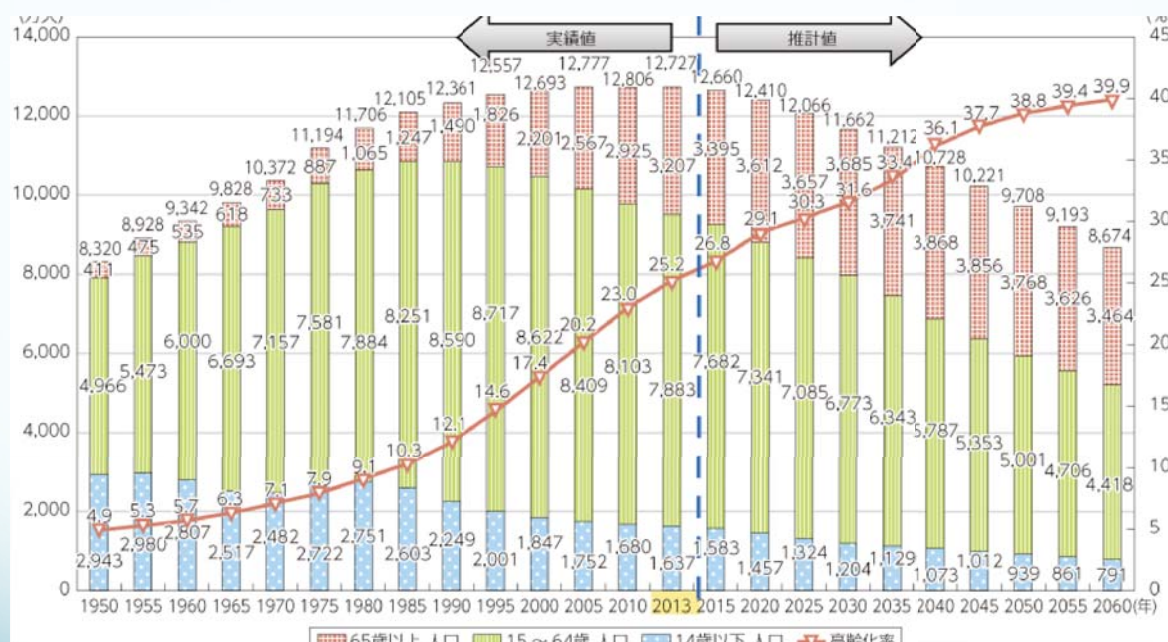
2007:12777万人

2055:8993万人

・労働者人口の減少

統計局HP <http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/>

労働力人口の急激な減少と高齢者の増加



我が国の高齢化の推移と将来推計 総務省HP

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc141210.html>

我が国の労働力人口と非労働力人口

我が国の65歳以上の人口は2010年には23.0%であったが、2060年予測では39.9%と世界のどの国でもこれまで経験したことがない少子高齢化が進むことが見込まれている¹⁾。

また、15～64歳の生産年齢人口は2013年10月時点で7,901万人と32年ぶりに8,000万人を下回ったことに加え、2013年12月時点では7,883万人まで減少しており、今後の予測では2060年には4,418万人まで大幅に減少することが見込まれている。

(総務省HP)

問題は、高齢者の増加では無く、労働力人口(15歳～64歳)の急激な減少かも？
いずれにしても今後は、財政面でさらに厳しくなるのは必至

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

技術の継承は誰にするのか？(西川和廣氏談)



従来の維持管理態勢では破綻の危機

したがって

さらに効率的な維持管理手法の確立が不可欠
ひと(人材)、もの(技術)、かね(財源)

2. 老朽化対策の動向(マニュアル)

- 道路点検必携 平成27年度版
(日本道路協会)
- 橋梁定期点検要領 平成26年6月
(国土交通省 道路局)

点検: 2m以上の道路橋については, **5年に一度の近接目視点検**

実際に施行するのは, とくに地方自治体では困難であるのが現状

2. 老朽化対策の動向(技術)

- SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)(2014年度~2018年度)
インフラ維持管理/更新/マネジメント技術

「維持管理に関わるニーズと技術開発のシーズとのマッチングを重視し、**新しい技術を現場で使える形で展開し、予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現させることを目指す。**これにより、国内重要インフラを高い維持管理水準に維持するだけでなく、**魅力ある継続的な維持管理市場を創造すると共に、海外展開の礎を築く**」

- (1)点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- (2) 構造材料・劣化機構・補修・補強技術の研究開発
- (3)情報・通信技術の研究開発
- (4) ロボット技術の研究開発
- (5)アセットマネジメント技術の研究開発

採択課題: 60件

- H28年度追加公募:

「アセットマネジメントに関わる技術の**実用化・事業化のための出口戦略強化**の取り組み」

採択課題: 11件

2. 老朽化対策の動向(技術)

●インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト(H26~H30)

「インフラの維持管理・更新等における財政問題及び人材・技術不足の解決に寄与」

インフラ状態モニタリング用センサシステム開発, インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発, etc.4テーマ



NEDO HP

2. 老朽化対策の動向(技術)

●モニタリング技術の開発

光ファイバ, 圧電素子, レーザー, ...

●ロボット技術の開発

UAV, 検査ロボット, 修復ロボット, ...

●IoT (Internet of things)の活用

種々のものをネットワークを介して社会や生活を支援する
常時モニタリング, ...

●メガデータ, ビッグデータの活用

2. 老朽化対策の動向(人材)

●ME(メンテナンスエキスパート)養成講座(岐阜大学)

「4週間:座学(アセットマネジメント基礎科目), 演習(社会基盤設計実務), フィールド実習(点検・施行・維持管理実習)」

●道守養成ユニット(インフラ長寿命化センター)(長崎大学)

「道守, 特定道守, 道守補, 道守補助員, の4水準, 技術者OBや市民を含めた維持管理要員の育成」

●福島インフラ長寿命化研究会(日本大学)

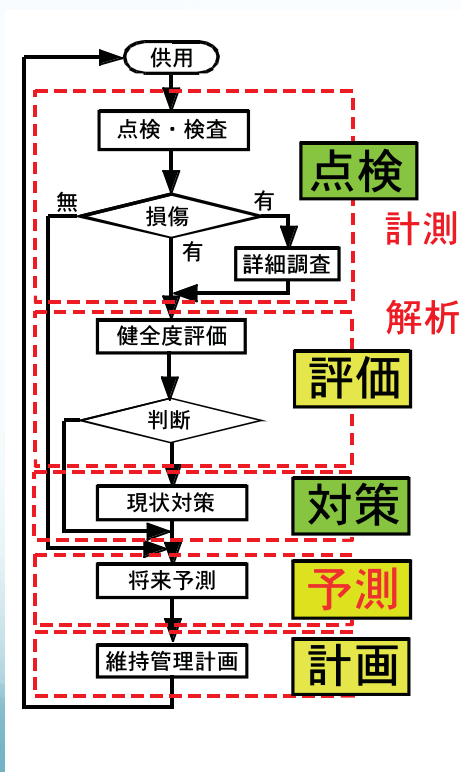
「大学, 自治体, 地元建設業, 市民一体となった維持管理の取り組み. 橋守育成プログラムやワークショップ開催により, 橋への愛着と関心を喚起」

いずれもSIPでの新技術の実装プログラムに関与

引用:平成28年度土木学会全国大会研究討論会

「インフラ維持管理/更新におけるイノベーションの創造とインフラマネジメント」

3. インフラ構造物の維持管理



点検:(点検マニュアル)

- ・日常点検, 定期点検, 異常時点検, 詳細調査
- ・目視点検(遠望, 近傍)
- ・簡易な器具による点検(ノギス, 板厚計, ...)

評価:

- ・損傷のグレード評価

対策:

- ・補修, 補強, モニタリング

将来予測・将来計画:

- ・劣化曲線(直感?)

橋梁構造物における判定区分の例

道路橋の健全度の判定区分	
判定区分	構造物の状態
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある。
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
OK	点検の結果から、損傷は認められない。

使用性・安全性等を基軸に現在の状態に基づき判定される



過去の損傷事例に基づき、経験的、定性的な判定が多い

鉄道橋の健全度の判定区分		
健全度	構造物の状態	
A		運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす、またはそのおそれのある変状等があるもの
	AA	運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす変状等があり、緊急に措置を必要とするもの
	A1	進行している変状等があり、構造物の性能が低下しつつあるもの、または、大雨、出水、地震等により、構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2	変状等があり、将来それが構造物の性能を低下させるおそれのあるもの
B	将来、健全度Aになるおそれのある変状等があるもの	
C	軽微な変状等があるもの	
S	健全なもの	

損傷の判定区分と損傷事例



下フランジに腐食あり
判定区分: OK～IV



支承に機能異常あり
判定区分: II～III

写真により損傷基準を決める工夫をしたマニュアルが多い

判定区分: I



腹板・下フランジ断絶

維持管理の課題(私見)

- 点検から得られるものは

「**損傷状態**」「**使用性**」,「**第3者被害の可能性**」

◇構造物が**健全**であるかどうか(**健全性**)は判断できない

(目的の明確化:強度or使用性)

- 評価・判断

◇「**損傷不可**」は安全であるが.....

損傷があると危険？

損傷があっても安全？



一層厳しくなる財源

定量的な残存耐荷性能評価が必要

「**損傷不可**」 → 「**損傷許容**」

4. 残存耐荷性能評価の必要性

鉄道構造物

$$\text{現有応力比}(SR) = \frac{\text{保守限応力度}(\sigma_m)}{\text{実働荷重によって部材に生じる最大応力度}(\sigma)}$$

σ : 当該線区の許容最高速度で車両が入線した際に部材に発生する最大応力度
(現断面に対して実働荷重が作用した時の応力)

σ_m : 既存構造物を評価する時に用いられる許容応力度
(引張部材に対しては、鋼材の設計許容応力度.
通過する列車の本数及び桁に発生する応力の影響を考慮して決定)

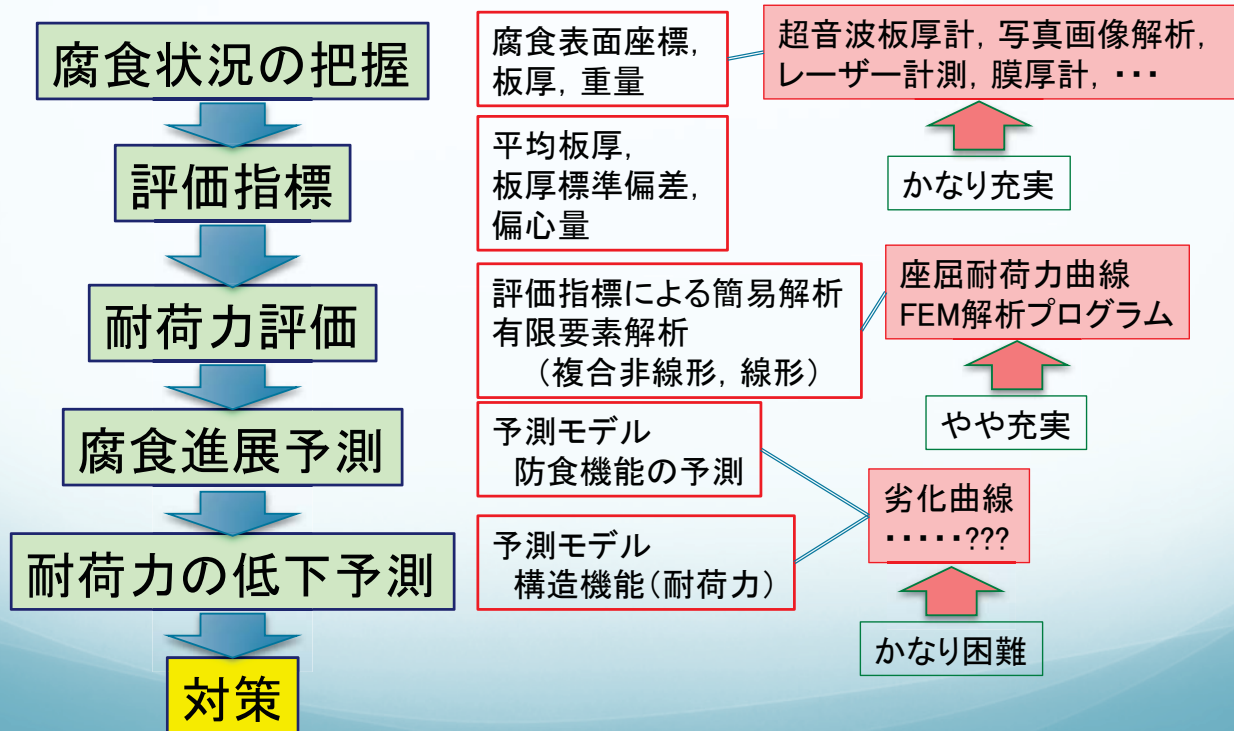
現有耐力比率に対する健全度判定区分の目安

健全度判定区分	現有応力比率 (SR%)	旧実耐率の参考値 (B)
A A	$SR \leq 100$	おおよそ80%以下
A 1 または A 2	$100 < SR \leq 120$	おおよそ80~100%
B	$120 < SR \leq 150$	おおよそ100~120%
C または S	$SR > 150$	おおよそ120%を超える

$$\beta = \frac{1200 - \frac{\sigma_d}{r}}{\frac{\sigma_l(i+i)}{r}} \times 100$$

r : 現存断面積/設計断面積
 i : 設計最高速度に対する衝撃係数
 σ_d : 死荷重時応力(kgf/cm²)
 σ_l : 活荷重時応力(kgf/cm²)

残存耐荷力の評価・予測の流れ



残存耐荷力評価の原則

様々な破壊のトリガー

曲げ座屈 ねじれ座屈 横ねじれ座屈 飛び移り座屈 せん断座屈 局部座屈
降伏、延性破壊 疲労破壊 クリープ破壊 脆性破断 遅れ破壊 応力腐食割れ
.....

残留応力
応力集中

リダンダンシー
破壊プロセス

荷重の最小値

破壊

残存耐力評価の原則

- 破壊形式の推定・把握

破壊モードを考慮した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



的をはずすと危ない

残存耐力評価・将来予測のための技術開発

- 評価・予測のための計測技術の開発

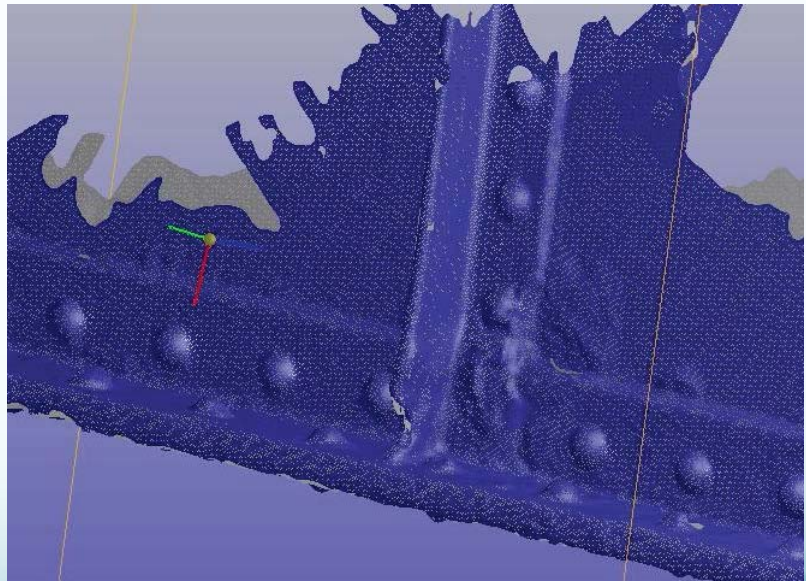
目的に応じた計測項目と精度

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

計測は詳しいほど高精度となる



3Dレーザーによる表面座標計測



31

残存耐荷力評価

有限要素法

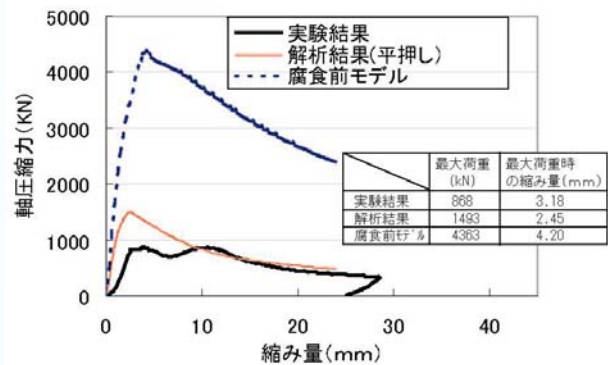
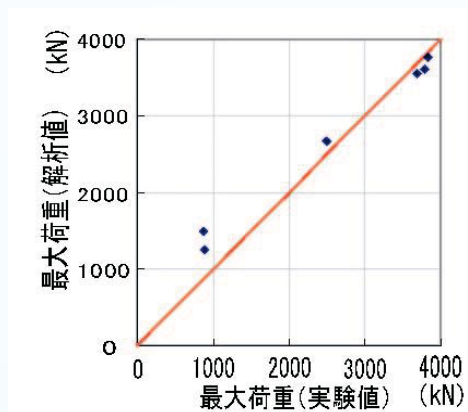
- ・高度な**複合非線形解析**が可能
- ・複雑な**形状**に対応できる
- ・構造物の**全体解析**が可能(部分構造解析も可能)
- ・部材の解析も可能(この場合, 多くは安全側の評価となる)

利用上の注意事項

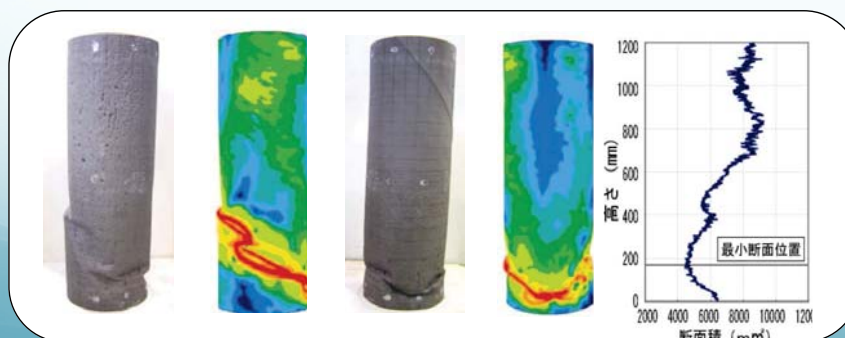
- ・適する要素の選定(shell要素, solid要素……)
崩壊形式を表現できる有限要素の選定
- ・適する要素分割
崩壊形式を再現できる要素数, 要素の大きさ
圧縮の場合: shell要素(要素幅1cm以下), 平均板厚
- ・適する**境界条件**の設定
特に非線形解析で, 極めて重要

高額な解析費用

解析例：腐食した円形鋼管の残存圧縮耐力



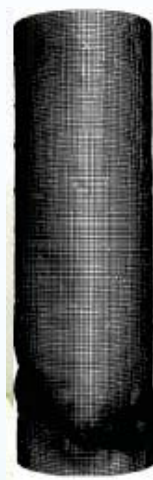
飛沫帯No.1



解析例：残存耐荷力解析結果



(a)実験結果



(b)実測結果を用いた解析



(c)腐食予測モデルを用いた解析

腐食した鋼管杭の破壊形態

複合非線形FEMにより精度のよい耐荷力評価が可能

残存耐荷力評価の基本姿勢

維持管理とは

構造物の保有性能 $\geq$ 要求性能(安全性・使用性)

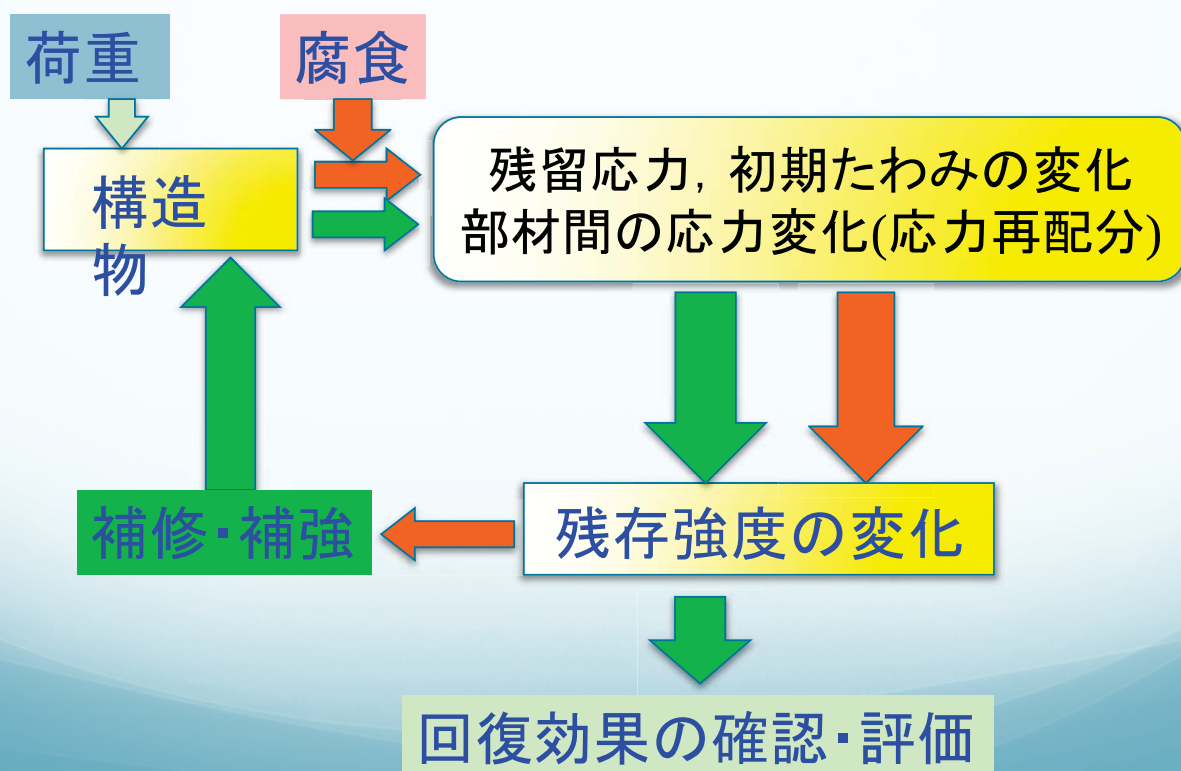
を供用期間にわたって保持する行為

- ・構造物に要求される性能: 構造全体系
- ・初期設計: 部材設計

部材強度と全体強度は異なる!

維持管理における残存耐荷力評価は
構造全体の耐荷力が基本となる

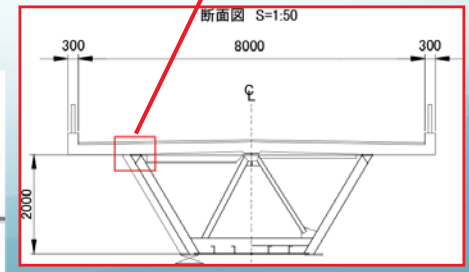
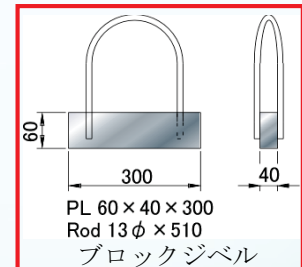
本当は難しい構造全体の強度評価



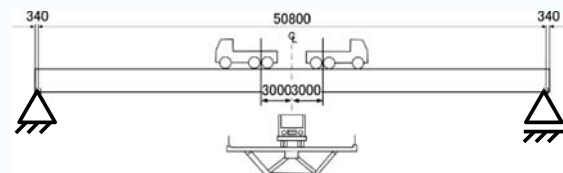
解析例：合成箱桁橋の残存強度評価

■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



現地載荷実験

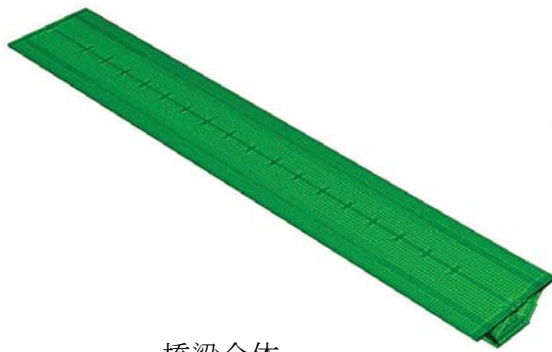


載荷条件（Case-1）

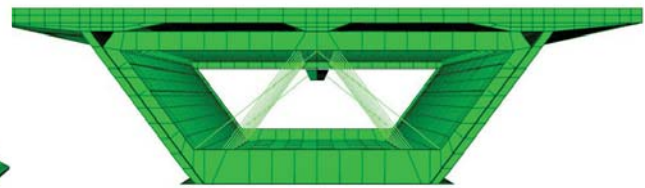


載荷条件（Case-4）

複合非線形有限要素解析



橋梁全体



橋梁断面

表一要素・節点数

Solid要素数	26304
Shell要素数	15176
Beam要素数	39
節点数	48057

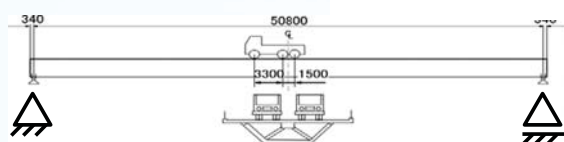
要素分割図

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。

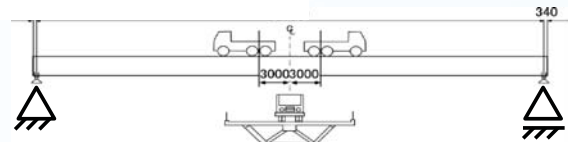
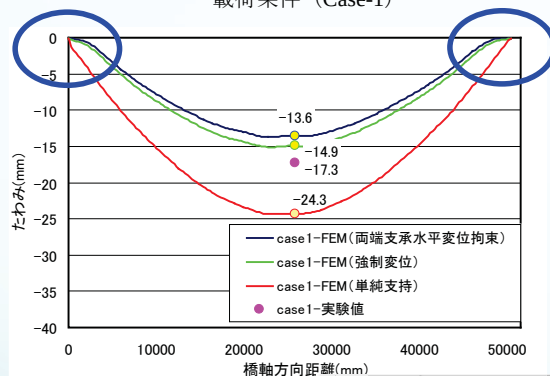
39

実験結果と解析結果の比較(桁中央たわみ)

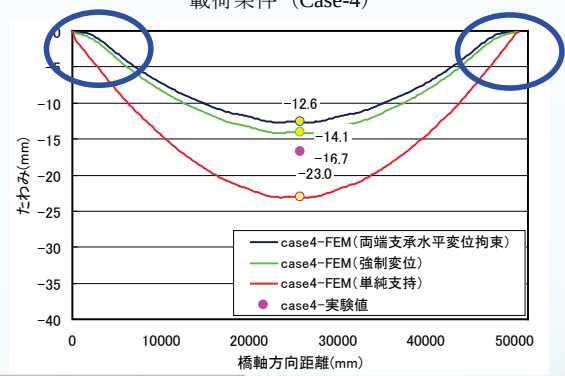
たわみ角が拘束されている



载荷条件 (Case-1)



载荷条件 (Case-4)

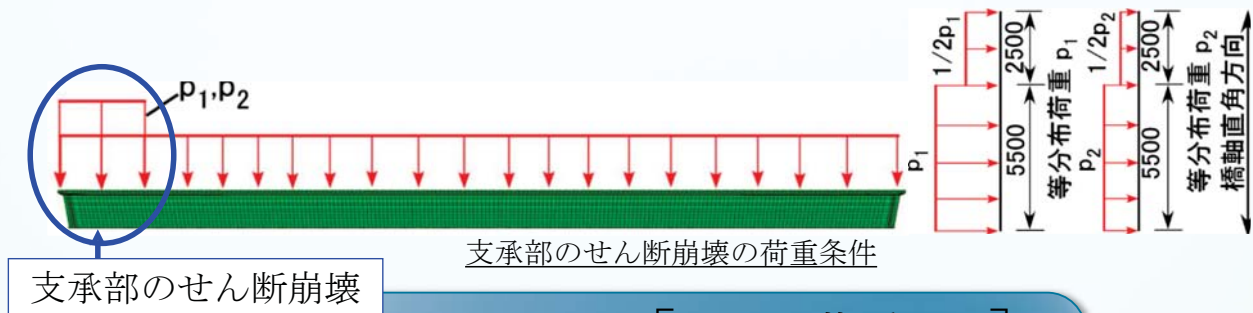


载荷条件	桁中央断面たわみ(mm)			
	実験	FEM		
		単純支持	両端水平変位拘束	強制変位
Case-1	17.3	24.3	13.6	14.9
Case-4	16.7	23.0	12.6	14.1

実験でたわみ等が小さくなるからといって、橋梁が健全であると必ずしもいえない。
健全度調査のための実験は、総合的に評価しなくてはならない。

残存耐荷力評価 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。



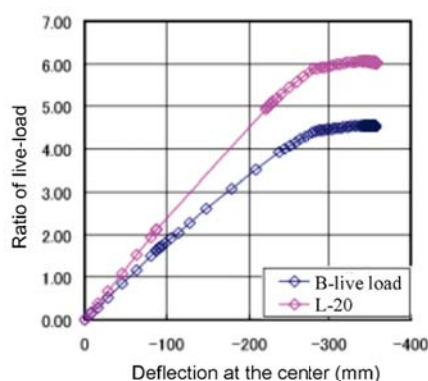
$$L = L_d + \alpha L_\ell$$

L_d : 死荷重
 L_ℓ : B活荷重
 α : 活荷重倍率

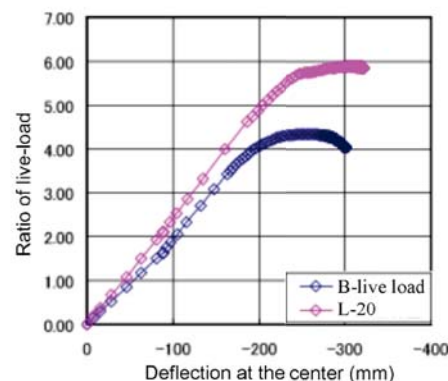
活荷重倍率とは、B活荷重が作用した時に、その何倍の荷重まで耐えうるかを示す指標であり、B活荷重に対する安全率とみなすことができる。

41

解析結果(健全な場合)



(a) Bending collapse



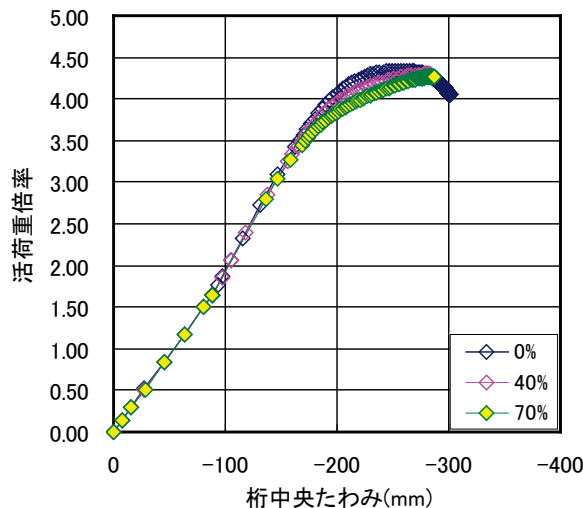
(b) Shear collapse

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

(桁端せん断耐荷力)



活荷重倍率－たわみ曲線

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= α_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

43

そうだとすると？（個人的つぶやき）

- 構造全体の耐荷力は、かなりの余裕を持っている。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!?
- 桁端に孔が空くほどの損傷があると、部材の取り替えを行う。これは、絶対必要なのか？
防食だけで十分？
場合によっては、改悪にもなりかねない

結局、自信が無いから直しちゃう!?

5. 余寿命評価(予測)の重要性

- この橋は大丈夫なの？(残存性能評価)

現状が**健全化どうかを判断**し、健全で無ければ補修・補強を実施する。

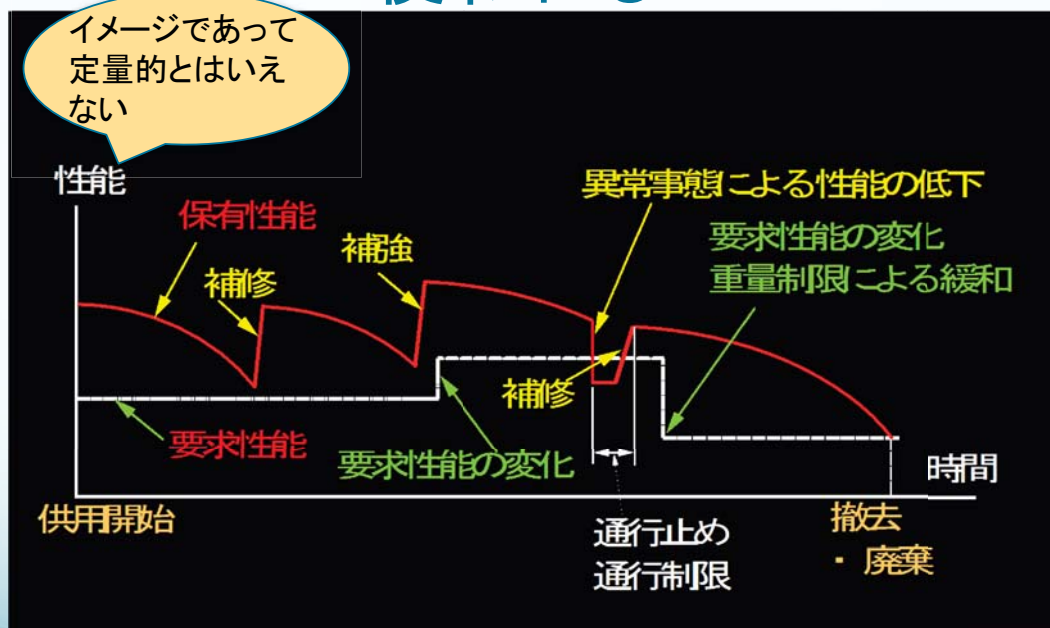
現状では、この判断基準は明確ではないように見える

- この橋は後何年もつの？(性能予測)

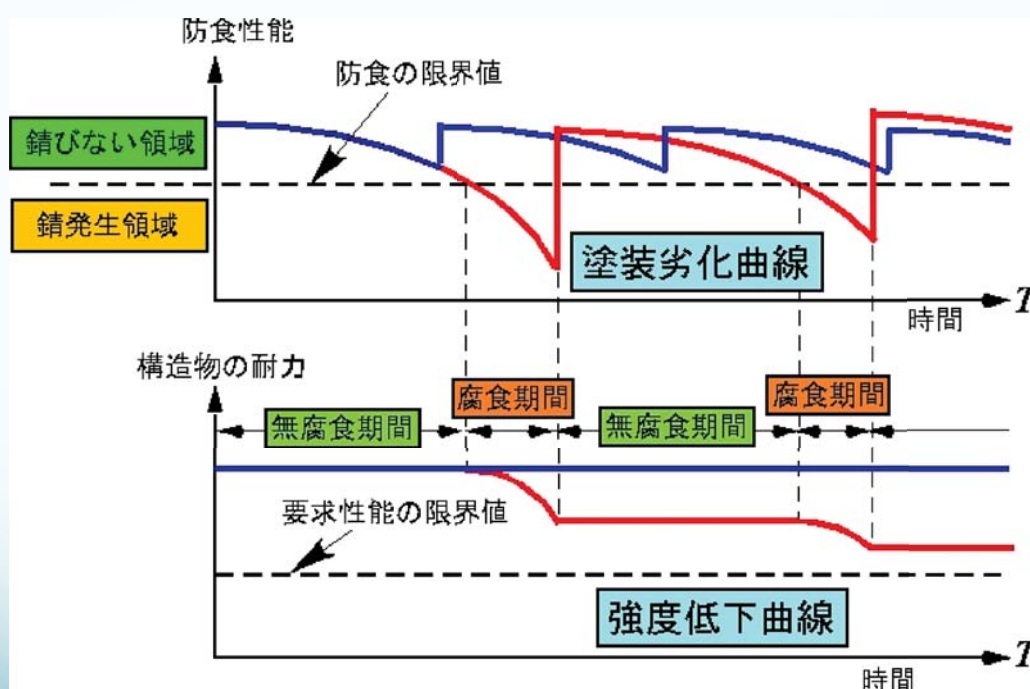
今後の健全度の推移を予測し、維持管理計画を策定する。したがって、予測は、維持管理において大変重要

いつ直して、いつ廃棄するかなどの計画

安全性の経時変化は劣化曲線がよく使われる。



鋼構造物(2段構えの劣化曲線)

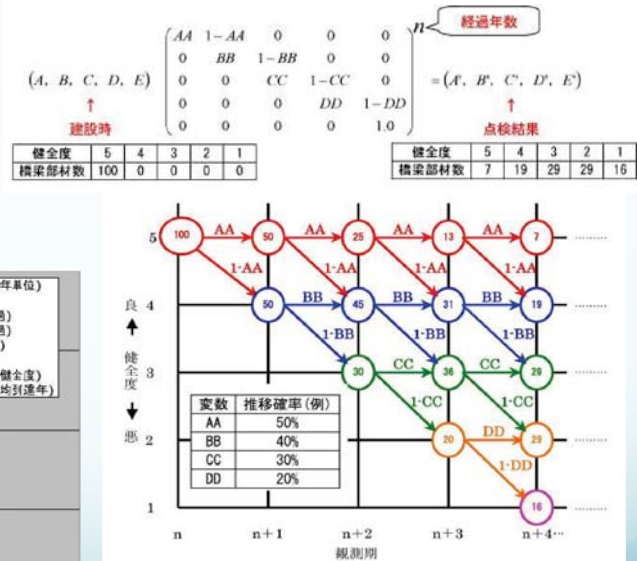
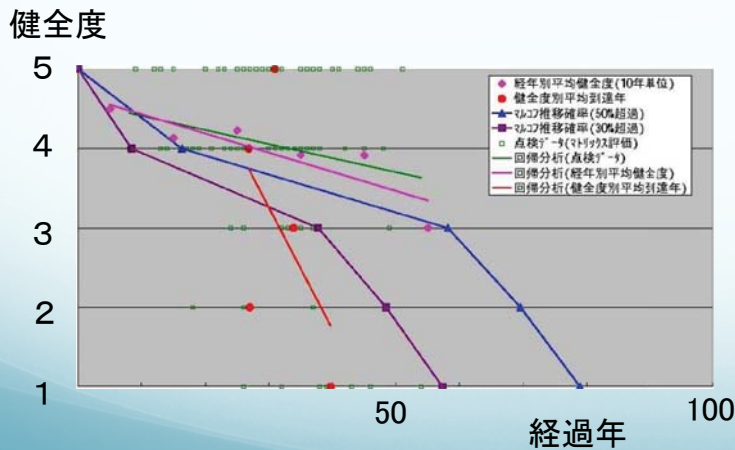


広島県の橋梁アセットマネジメント 健全度評価

健全度	判定内容
5	損傷は認められない
4	損傷は小さく、交通に支障ないため、経過観察を行う。(必要に応じて追跡調査)
3	交通に支障はないが、損傷が進行しているため、対策の要否を検討する必要がある。(必要に応じて詳細調査)
2	交通に支障はないが、損傷が大きく、健全度1へ進展する可能性があるため、対策を検討する必要がある。(必要に応じて詳細調査)
1	損傷が著しく、このまま放っておくと、構造上または交通傷害や第3者への被害の恐れが懸念され、緊急対策の必要がある。

広島県の橋梁アセットマネジメント 損傷度の劣化曲線

- 回帰分析
- マルコフ推移確立



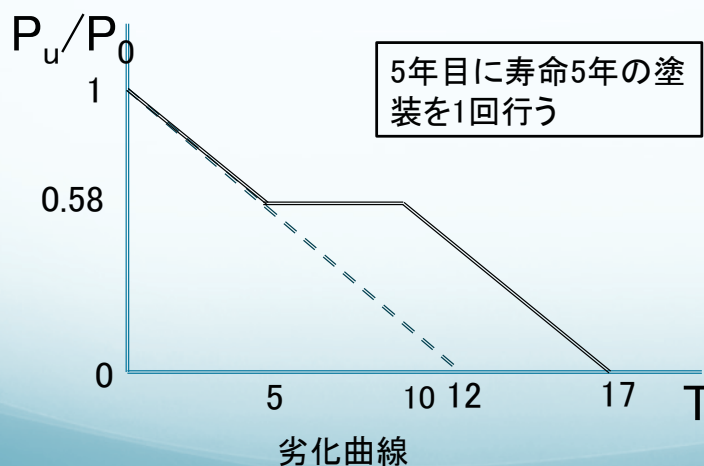
柱の圧縮耐荷力の劣化曲線

P0:元の耐荷力
T:年数

問題は、モデルの仮定、条件が実現象と整合するか？

板厚 t (元板厚 $t_0=12\text{mm}$)は
毎年1mm減少: $t=12-T$

強度 P_u は断面積
 $A(=t \times b, b:\text{板幅})$ に比例
する



実計測結果
からモデルを
設定

経済性についてはライフサイクルコストの考え方がよくつかわれる

LCCの算定式

$$LCC = C_c + C_m + C_r + \sum P_D C_D$$

C_c : 初期建設費用

C_m : 維持管理費用  点検費用＋補修費

C_r : 撤去・架け替え費用

P_D : 被害の発生確率

C_D : 被害損失額

LCCミニマムとは、現時点での
最善策を講じて、コスト縮減を図ること

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。

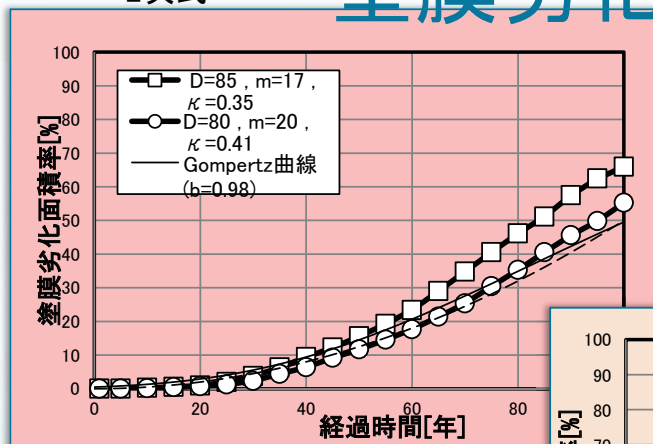
問題は、

- 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

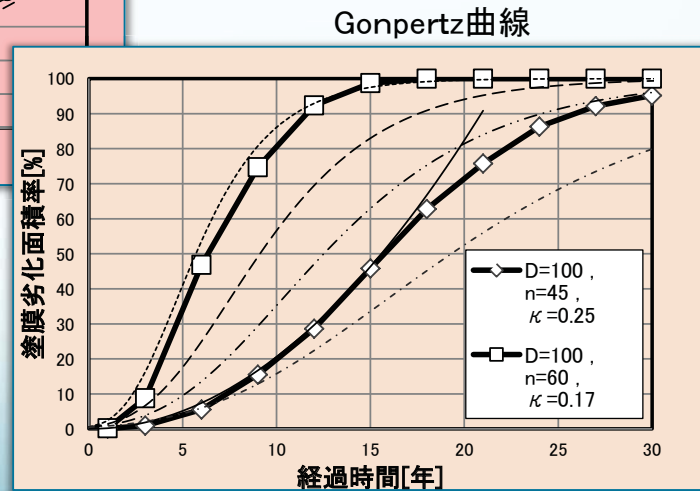
解析例(鋼管杭の耐荷力の劣化曲線)

2次式

塗膜劣化面積率



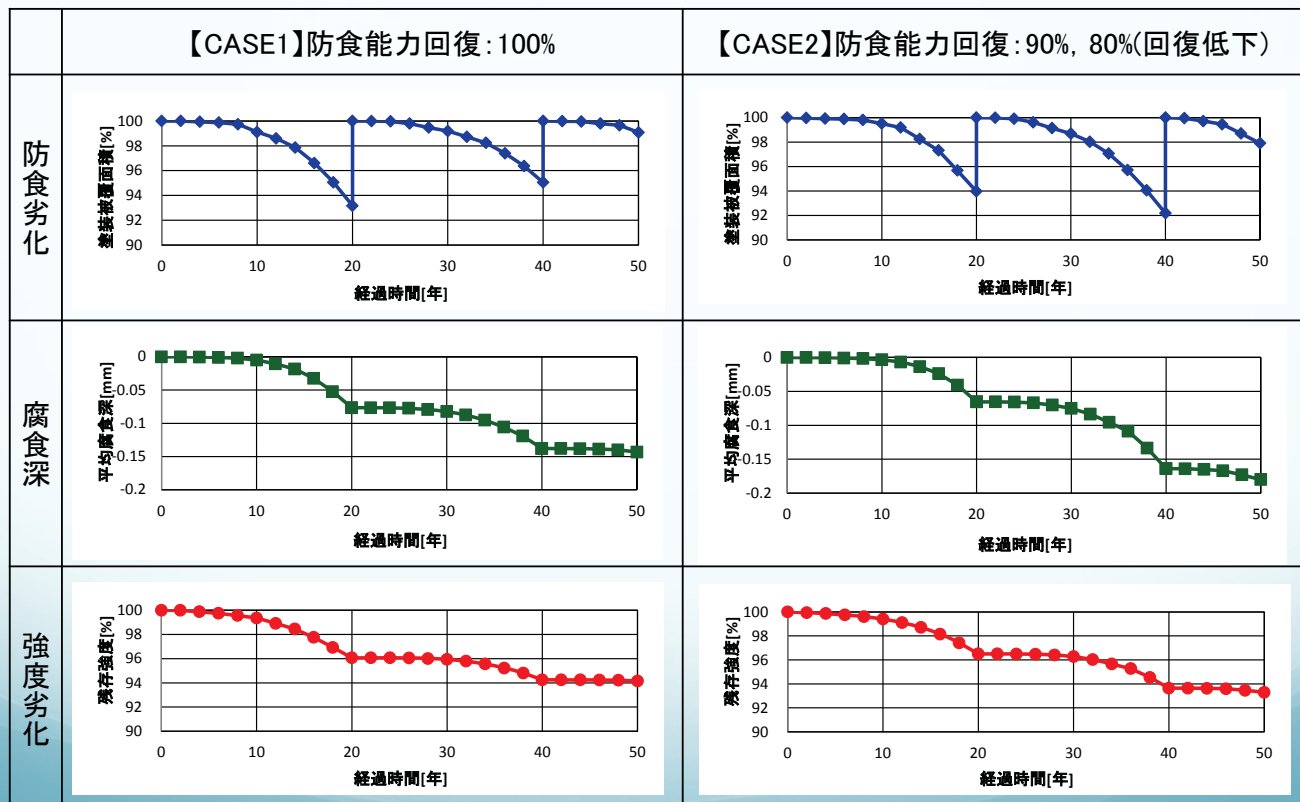
(a) マイルド環境



(b) 飛来塩分環境

解析例(鋼管杭の耐荷力の劣化曲線)

鋼管板厚: 9mmの場合(防食回復能力100%と90, 80%段階低下)



【鋼管】鋼種: STK490 直径: 400mm 板厚: 9mm 降伏応力: 315N/mm² 弾性係数: 2.0×10^5 N/mm²

ついでに性能回復について 性能回復の考え方

●合理的な補修方法

不適切な補修は改悪につながる

●補修のグレード

1)現状を維持し、劣化の進行を止める

例:コンクリートの補修, 鋼構造物の塗装替え

2)強さをいくらか回復させ, 使用に支障の無い状態にする

3)元の強さあるいはそれ以上に補強する

性能回復の基本姿勢

1)損傷状況の把握

2)損傷要因の推定 (推定)

3)損傷要因の除去

- ・水分, 塩分の浸入防止

(防食機能の向上, 構造詳細の改善)

- ・応力集中の緩和, 欠陥の除去

- ・荷重制限

4)適する性能回復施術

- ・応力の開放 (バイパス工法など)

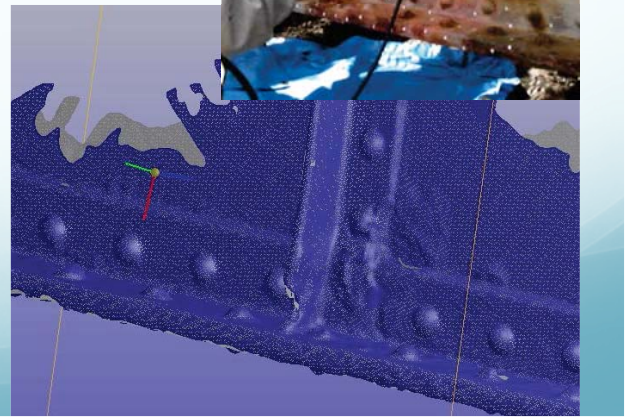
6. つぶやき

- 維持管理には**費用**が必要(いつ, ビジネスベース?)
- 効率的な点検手法(ひと, もの, かね対策)

第3者被害の防止,**年限を定めた**維持管理

必要な点検・計測, 新計測技術の活用

(UAV, 画像解析, レーザー計測...)



- 橋を新設する以上の**知識**と**経験**が必要(山田健太郎先生)

【力学的素養】

- ◇**損傷原因を特定**する能力と知識
- ◇損傷が引き起こす**破壊形式**の推定(破壊/崩壊のトリガー)
- ◇構成**部材の役割**の理解とその全体への影響度の評価
- ◇補修・補強対策後の**他部材への影響度**の推定

【地理, 歴史等の知識と応用力】

- ◇鋼材の歴史やコンクリートの変遷(使用され始めた年代)
- ◇地理的条件, 気象・海象の地域的特徴

【その他諸々】化学, 流体力学,

- 意識改革

意味のない点検は予算の無駄遣い

「金が無いからできない」は無い。「金が無くても・・・」

ただし、身の丈にあった維持管理と住民の理解が必要

- 実際に現場を観て状況を把握すべき

現場100回、愛情を持って！

- IT技術を活用したデータベースの構築と活用

活用できないデータベースは不要

橋梁カルテの充実

将来的に有益な計測データの保存

（供用初期に固有振動数などを計測しておく等）

- 捨てる勇気 リダンダンシーの確保

トレードオフの関係

住民参加の維持管理

- 住民の意識改革

インフラの厳しい現状を理解してもらう(情報の公表)

住民のインフラへの愛着、思い入れを喚起

- 地域住民と一体となった維持管理体制・システム作り

制度的な問題解決(規制緩和)が必要

- 「インフラ母親プロジェクト」

母親、技術者、有識者の役割分担

一般住民による簡易で基本的な点検、地域の橋守

地域と大学が一体となった市民向け技術セミナー

- 技術者OBの活用

その他

- 産官学一体となった人材育成活動
若年技術者への教育活動・技術の継承
ペーパードライバーはダメ
- 新設構造物:維持管理し易い構造設計
- 地域の技術者の技術力レベルアップ
コンクリートの不具合はほとんどが初期の不良
よくない補修法の選択による改悪
➡ 知識の欠如に起因
技術, 基礎知識の修得, 向上
- 新技術の開発と活用
点検UAV, 補修作業ロボット, 背負ってブラスト
レーザーケレン

安全面での今後解決すべき課題 計測技術

大容量, 高速, 簡易, 高精度な計測技術の開発

残存耐荷力評価技術の開発

解析手法(FEMの活用), 評価手法の開発

構造全体の性能評価, 部材の性能評価

予測技術の開発

予測モデルの構築, 実証方法の開発

性能回復設計法の確立

性能回復効果の評価・確認方法の確立

7. おわりに



激しく腐食した床桁



維持管理により長寿命化が可能
軽微な損傷のうちに手当をする

ご静聴ありがとうございました
FIN

