

橋梁の維持管理概論

古田 均（関西大学）

維持管理概論

関西大学
古田 均

2012.12.11

わが国の維持管理を 取り巻く環境

- ▪ 新規投資額は確実に減少
- ▪ 更新投資は増大
- ▪ 維持管理投資も増大
- ▪ 社会資本ストックは確実に増大

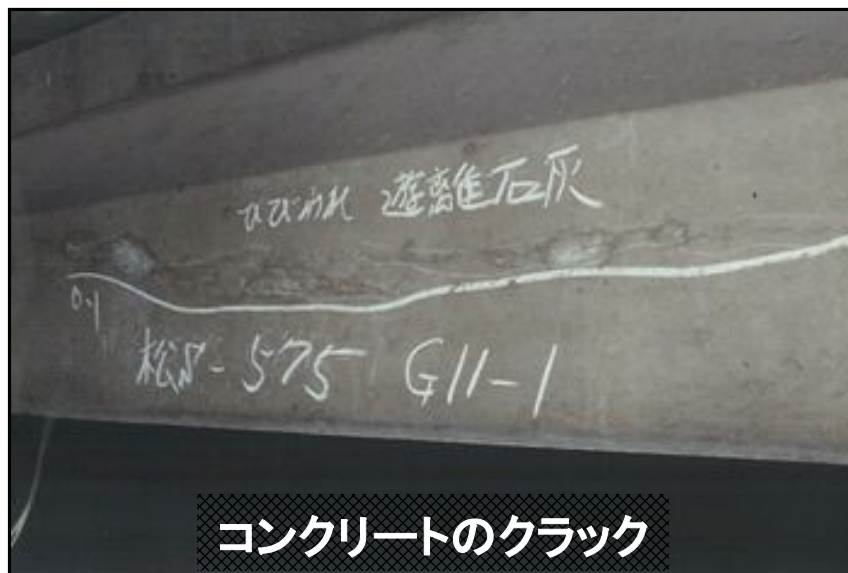
社会資本の維持管理上の問題点

- ① **経済的問題**: 膨大な社会資本を維持管理するには莫大な予算が必要。
- ② **労働力問題**: 十分な経験のある技術者、質の高い労働者を集めることは困難。
- ③ **データ不足問題**: 古い施設もあり、十分なデータが残っていない
- ④ **技術問題**: 既存施設の健全性評価は容易ではなく、適切な補修工法の選択も容易ではない。
- ⑤ **制度問題**: 発注体系、見積もり法が現実と合致していない。

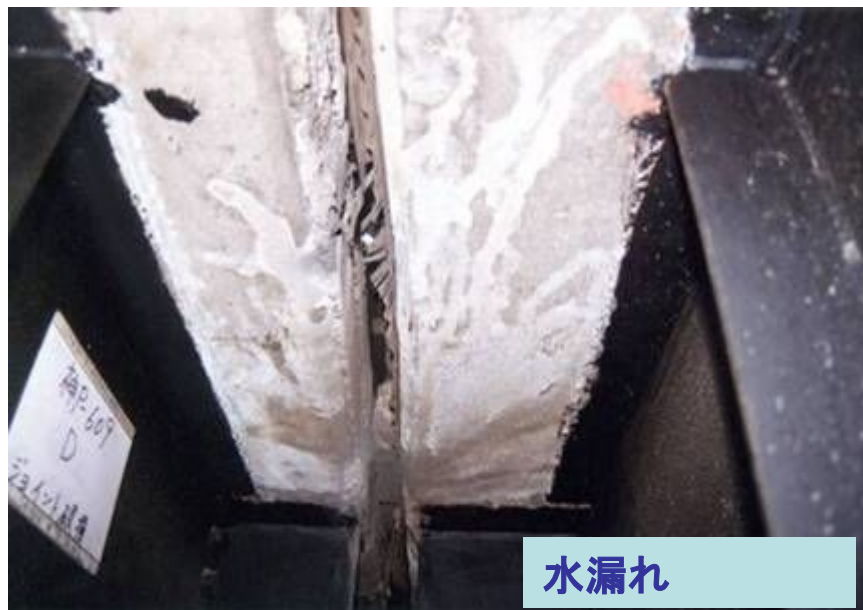




典型的な損傷

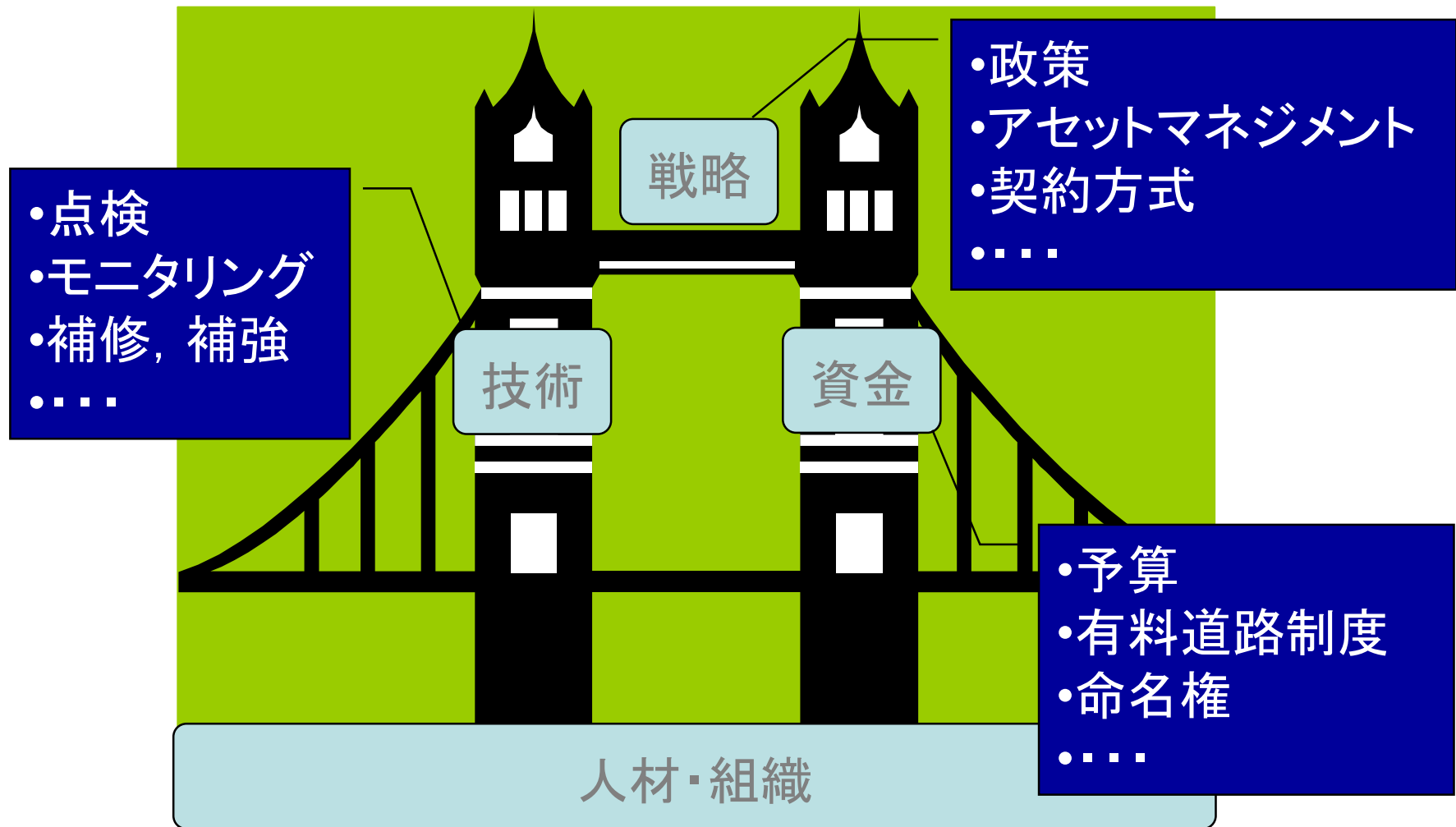


損傷(伸縮継手)



Part 1 概論

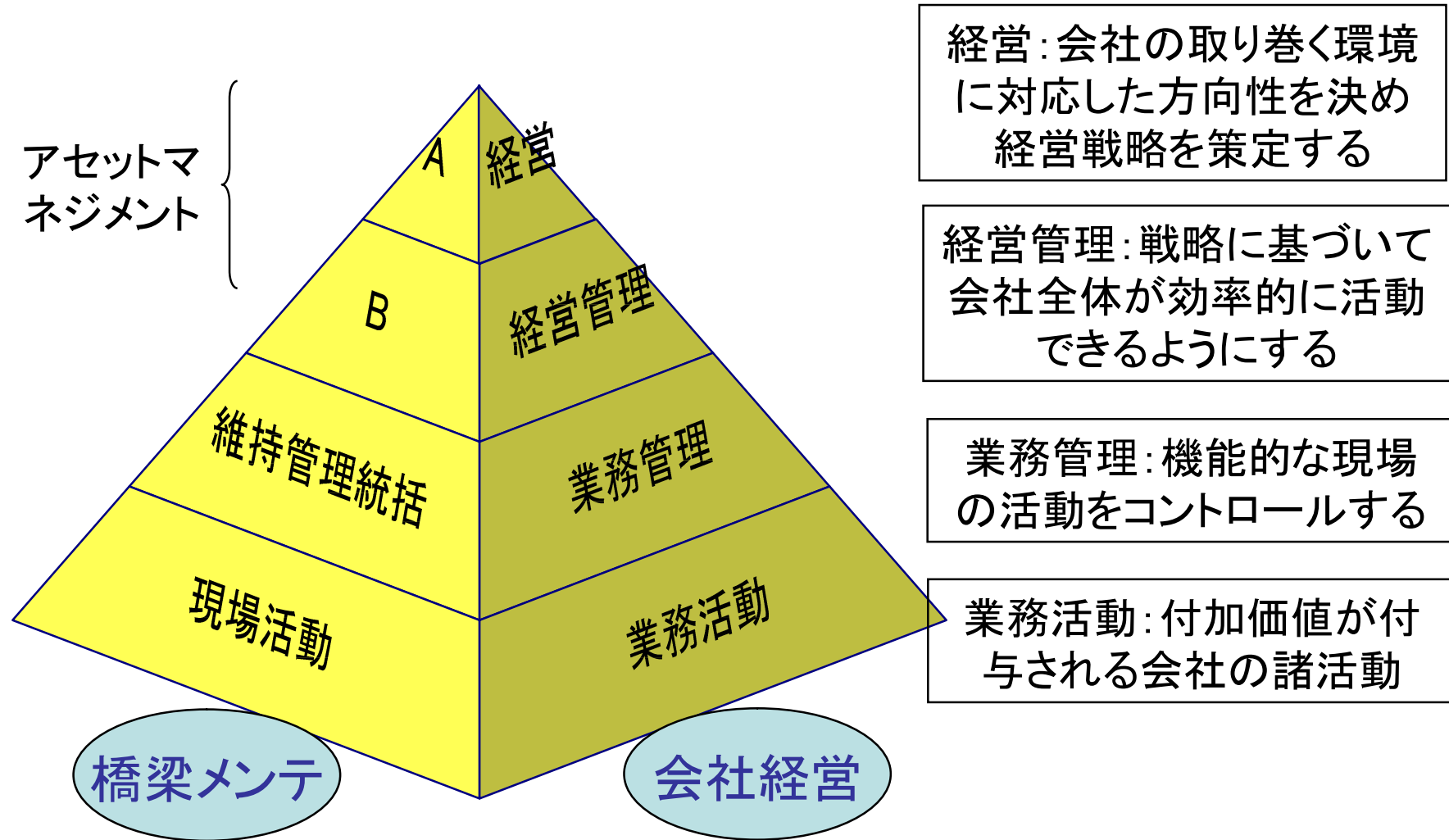
メンテナンス・マネジメントのフレーム



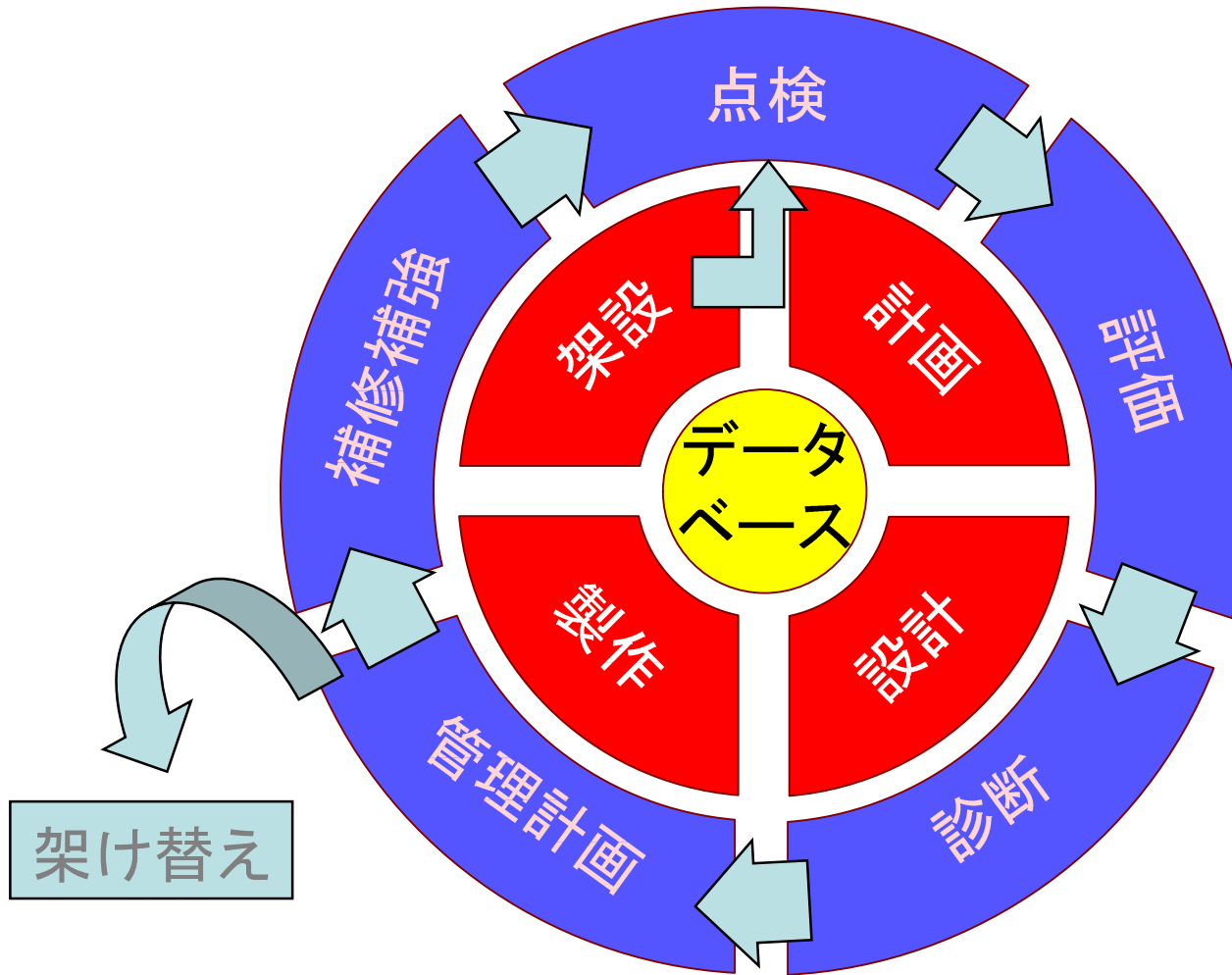
橋梁管理の目的と手段

- 目的←ミクロマネジメント(現場に即した)
 - － 安全・安心: 落橋などの終局限界状態の確保
 - － 機能維持: 使用限界状態の確保
- 手段←マクロマネジメント(財務寄り)
 - － 資産価値最大化
 - － コスト最小化・平準化

維持管理の階層化

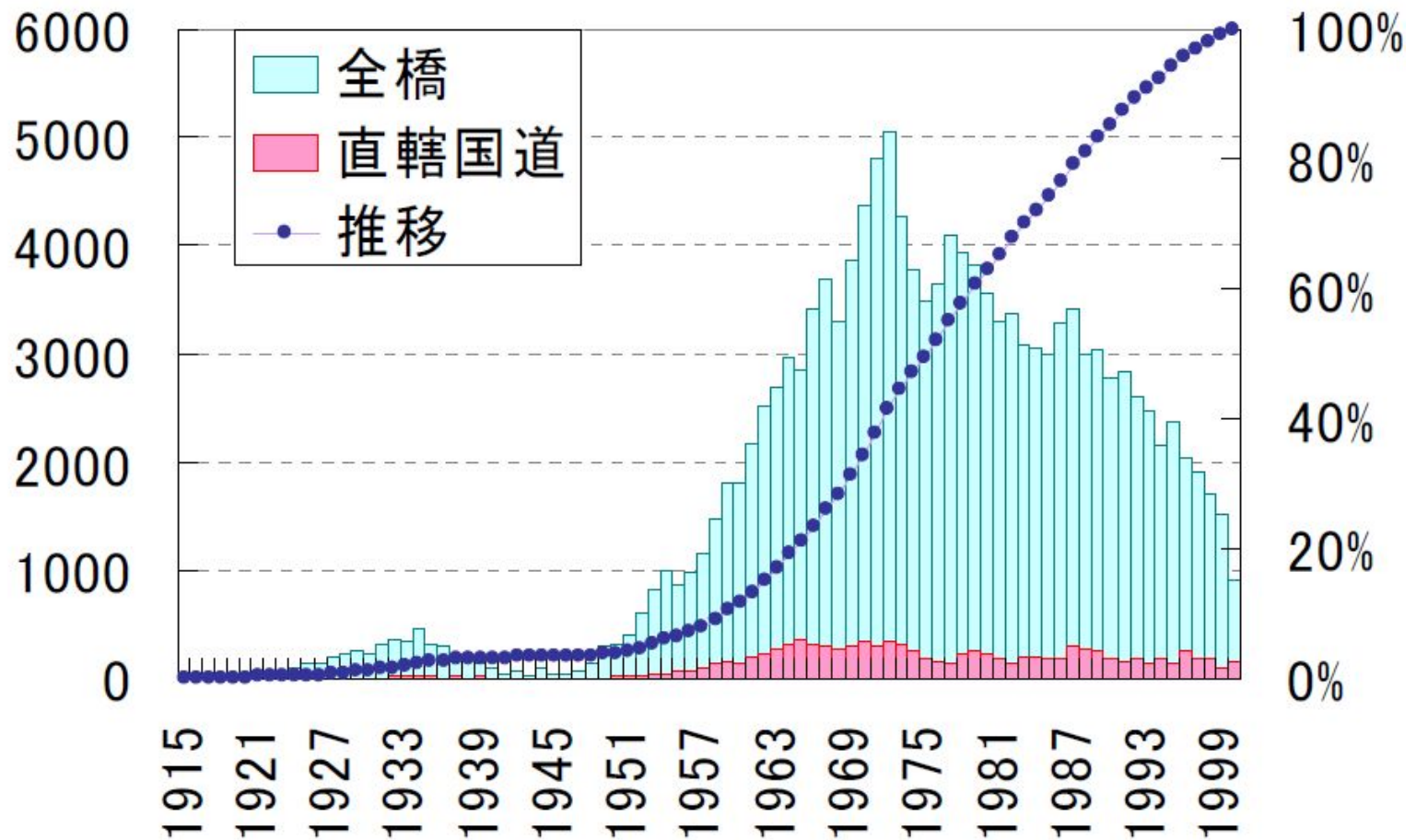


ライフタイムマネジメント



Part 2 現状把握

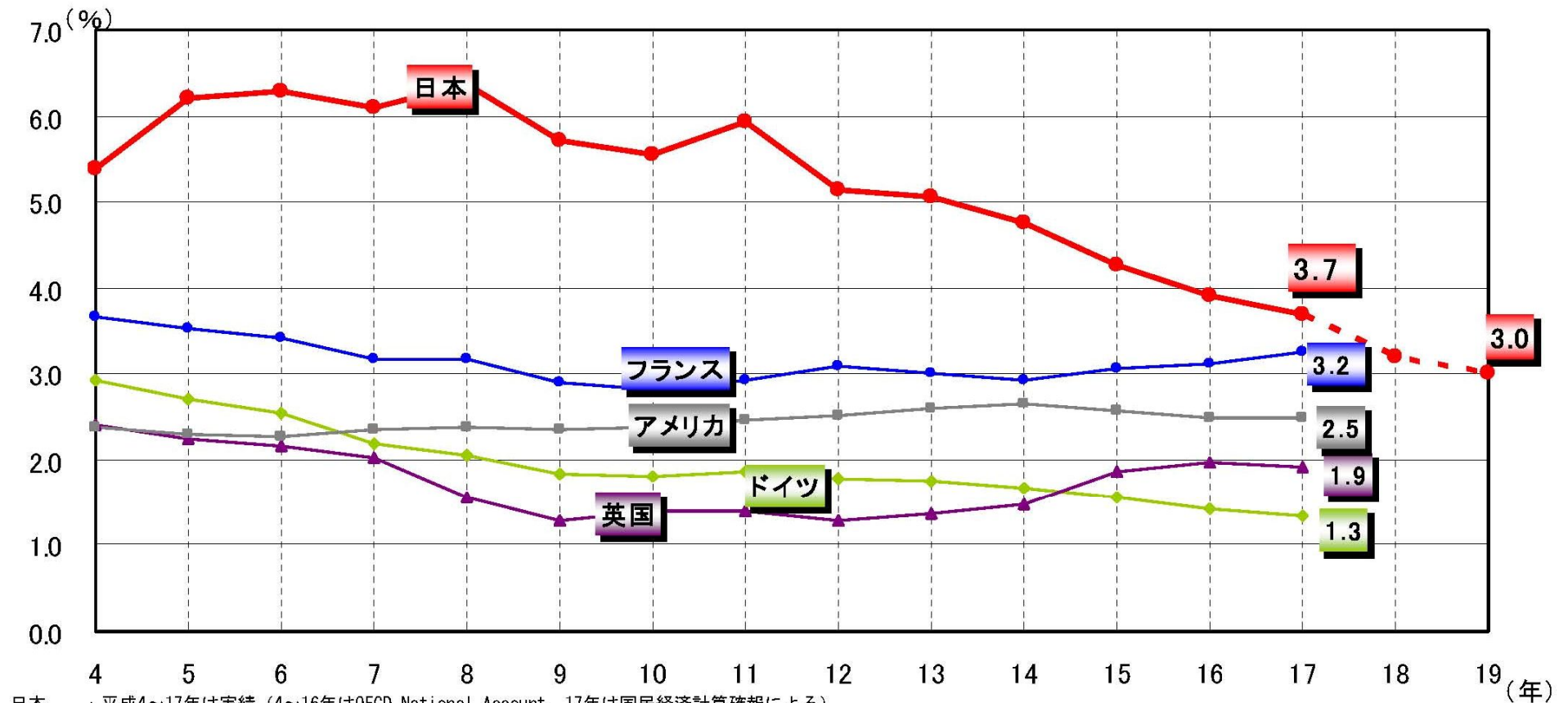
道路橋のストックは？



出典：国総研資料No.294

社会資本整備に係る投資水準の国際比較

- 我が国の一般政府総固定資本形成(一般政府Ig)の対GDP比は欧米諸国と同等の水準。
- 我が国は脆弱な国土、厳しい自然条件により、防災関係投資が不可欠であること、欧米に比べ工事コストが割高になることの特殊性を有しており、一般政府Igが押し上げられている。

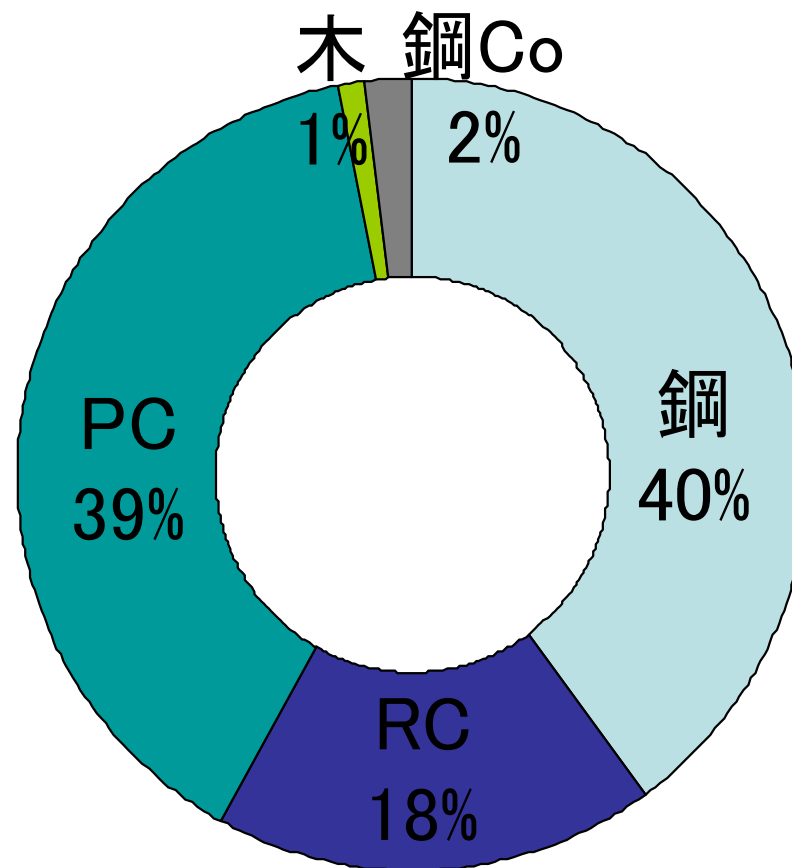


日本 : 平成4～17年は実績 (4～16年はOECD National Account、17年は国民経済計算確報による)

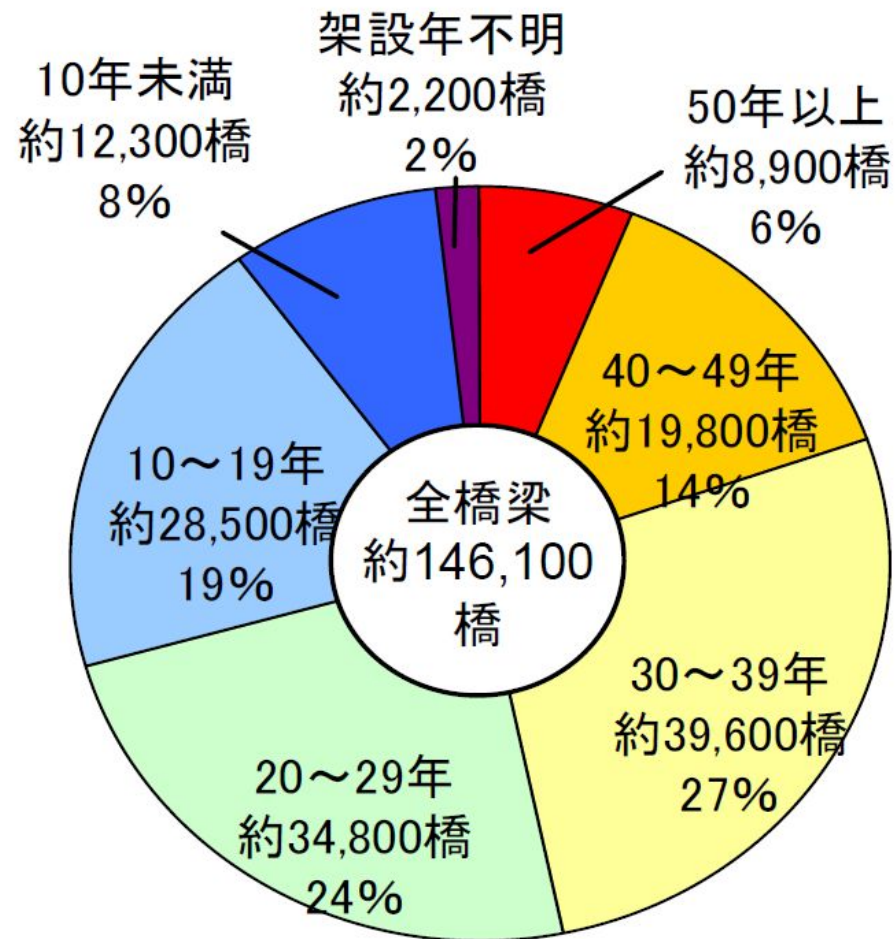
平成18～19年は推計 (内閣府資料及び政府経済見通しより推計 (年度ベース))

欧米諸国 : 平成4～17年は実績 (4～17年はOECD National Accountより)

材料は？

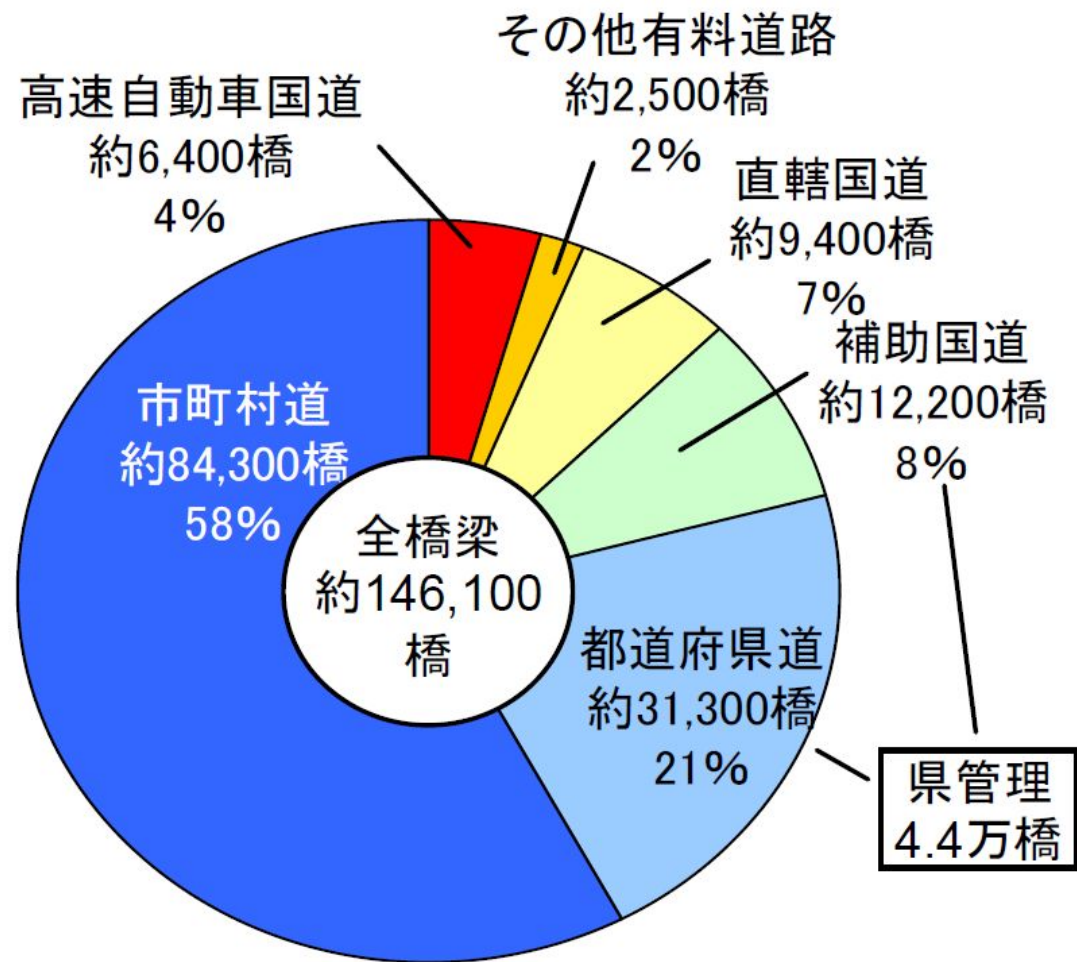


橋齡は？



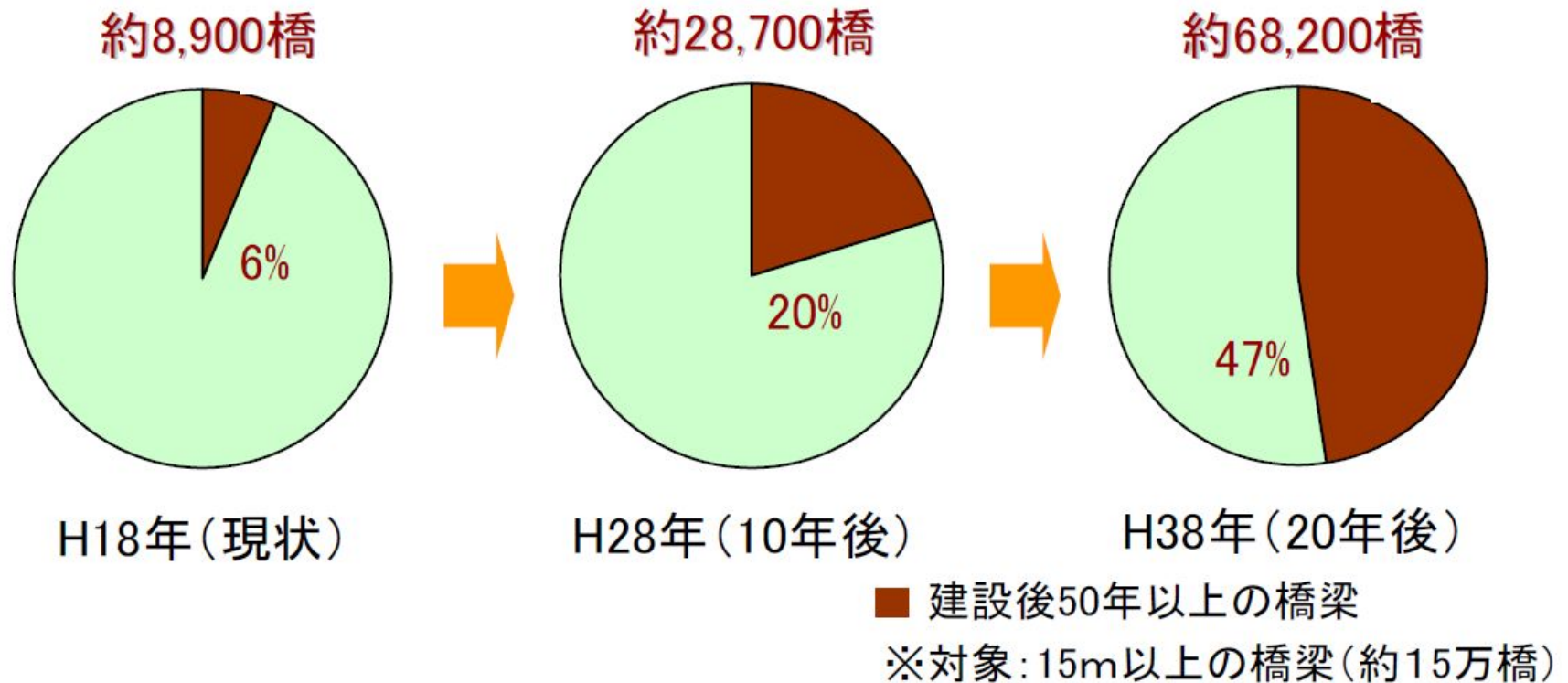
出典：有識者会議

管理者は？



出典：有識者会議

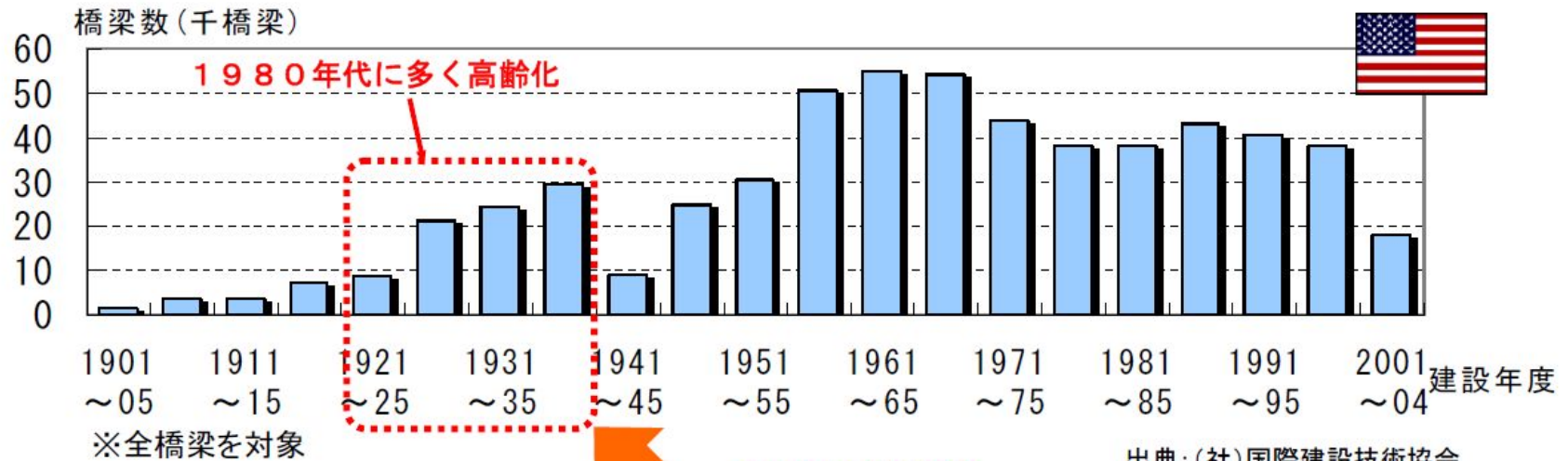
橋齢50年以上の比率は？



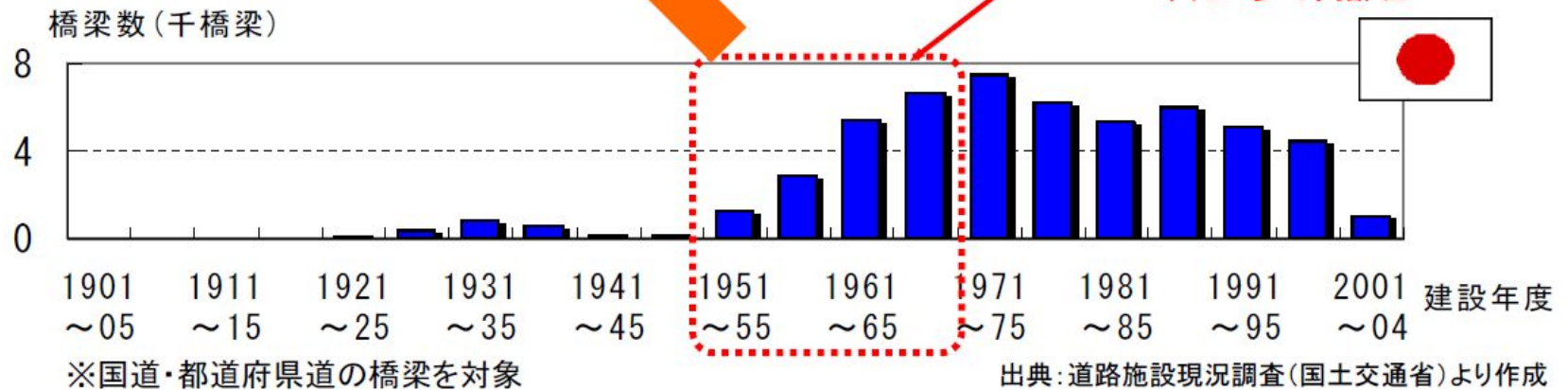
出典: 国土交通省HP

アメリカとの比較

【米国の橋梁の建設年】



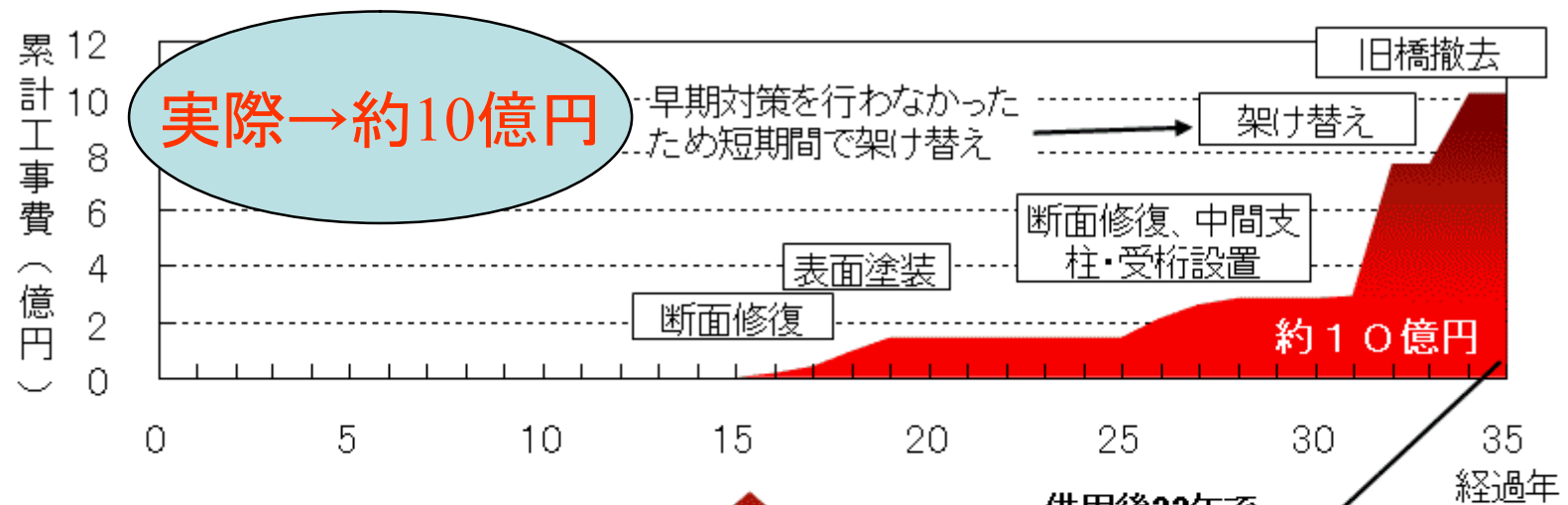
【日本の橋梁の建設年】



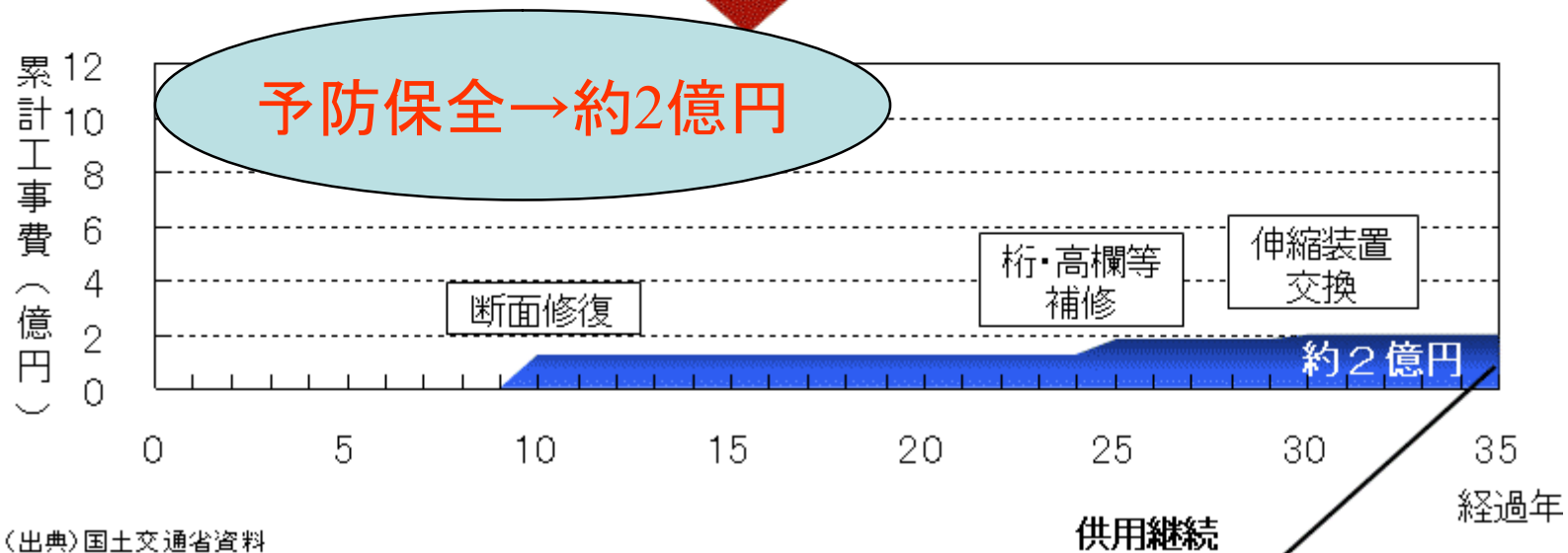
出典:有識者会議

損傷の代表は

- 塩害
 - コンクリート構造物の補強材である鉄筋やPC鋼線が塩化物イオンにより腐食するとともにコンクリートひびわれ・剥離が生じたり, 補強材が破断する
- アルカリ骨材反応
 - コンクリートの骨材がアルカリ性の水分と反応し膨張することで, ひび割れや鉄筋破断を生じる
- 疲労亀裂



約5倍



(出典)国土交通省資料

Part 3 寿命の定義

構造物の寿命

- 寿命の定義 “Life time”

「構造物として使用されてから何らかの理由により使用が停止されるまでの期間, あるいは構造物をこれ以上使用できない終わりの段階」

- 耐用年数の定義 “Expected lifetime”

「構造物が使用されてから要求性能を満足しつつ, 物理的な耐荷力, 使用性を保持することを期待する期間」

■機能(function)と性能(performance)の区別

- ・更新を先送りできる技術は
「長寿命(延命)化技術」とすべき.
- ・機能を果たさなくなった状態(例: 損傷が著しい, 通行規制など)は長寿命化と言えない.
- ・機能:「車が通る」は維持するが, 性能:「8t車が通る」は状況に応じた対応を可とする.
- ・耐震・車両大型化等の外力や基準の変更(補強)に伴う対策は, 長寿命化技術とは別とする.
- ・敢えて耐力を落とすことで外力を逃がすような対策(例: 免震)は, 「性能向上策」とする.

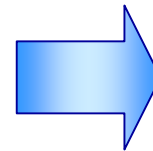
□ 寿命の分類

- ◆ 物理的寿命
- ◆ 機能的寿命
- ◆ 経済的寿命

- ・ 耐荷力が低下，使用面で不具合など
- ・ 要求機能の変化（拡幅，大型車）
文化的機能（景観）も含む→経済性は無関係
- ・ 性能向上費用と取替費用との経済的比較より

橋全体・部材単位の概念の整理

- 部材の取替えが可能か？



橋全体：寿命
舗装，床版：補修間隔
（非修理系）

- ここでは
物理的＋経済的寿命を対象とする。

□ 寿命の概念

■ 物理的寿命

時間とともに低下していく保有性能が使用限界性能(要求性能)と一致した時点あるいは初期時点から一致した時点までの期間。途中で補修や補強を行って性能回復を行う場合もある。

■ 機能的寿命

途中で要求される機能が変化して要求性能が上がり、保有性能が要求性能を下回った時点

■ 経済的寿命

こまめに補修を繰り返し、保有性能は要求性能より高い水準にあるが、今後の補修・補強に要する費用が取り替えに要する費用を上回った時点。

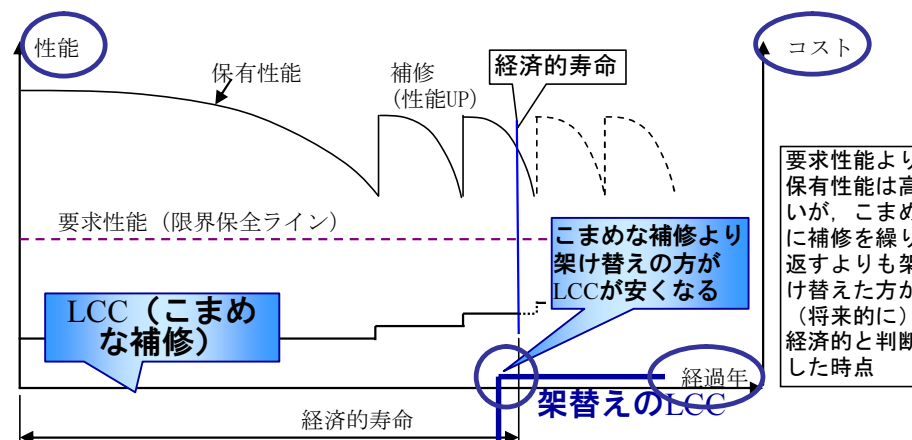
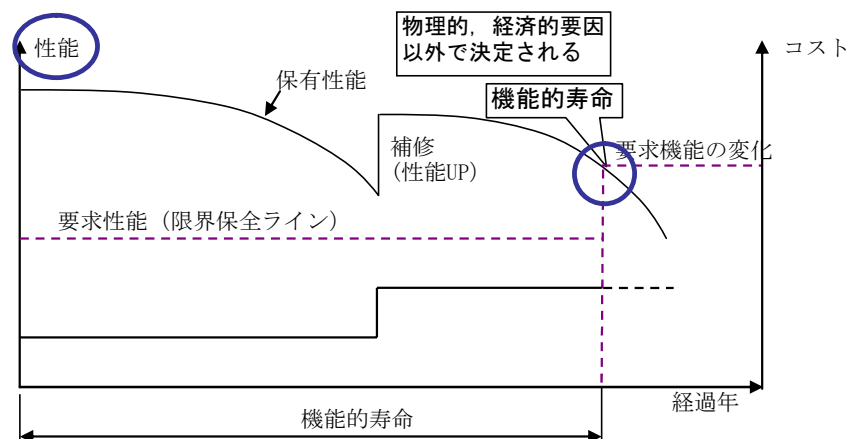
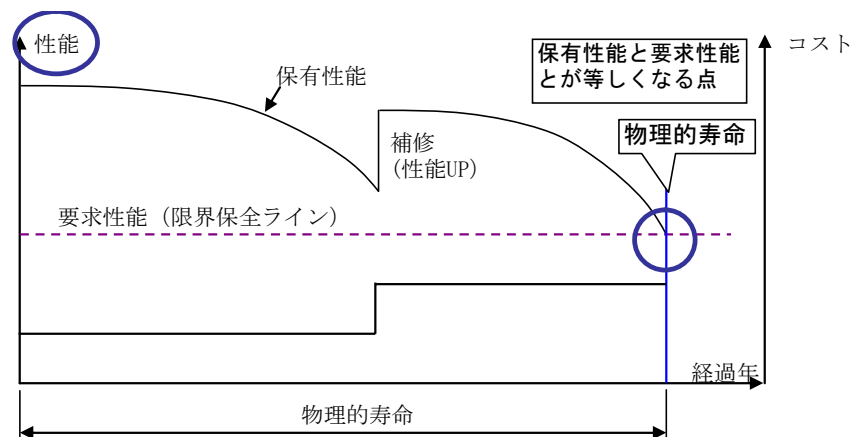


図-2 構造物の寿命の概念図

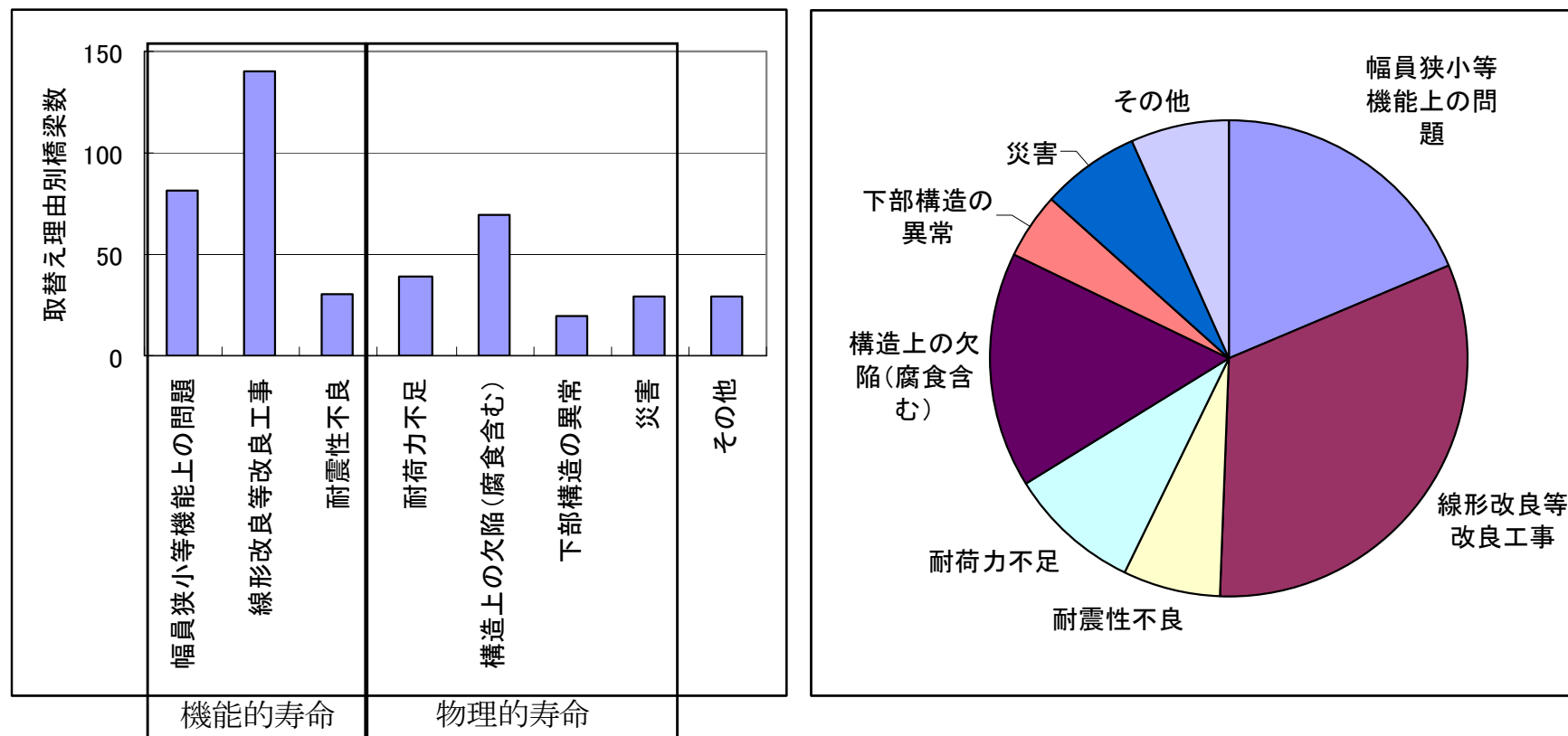
★寿命の考え方

	特徴	寿命の判断	適用		経済性 判断(コ スト比 較)
			橋 全 体	構成要素 (主桁, 床 版など)	
物理的 寿命	使用できなくなる 限界	点検・調査, 健全 度評価による	×	○	なし
機能的 寿命	機能を満足してい ないと判断する指 標や実施時期を 決定することが難 しい.	予算との兼ね合 いになり, 予算が 確保できないと寿 命は延びること になる	○	×	なし
経済的 寿命	補修より取り替え た方が経済的と判 断された場合の時 期, 経済的判断が 入る	健全度評価の結 果, 措置が必要と なれば必ず経済 性比較と意思決 定が入る	○	○	あり
		○: 該当する, ×: 該当しない			

●具体例

	橋全体	部材（主桁，床版等）
物理的 寿命	外力に耐えられずに通行止め， 放置，廃棄された場合，使用停 止状態．取り替え可能な部位以 外の寿命と等しくなる．	部分的な補修では耐 力が向上せず，更新 しか方法がない場合
機能的 寿命	幅員が狭い，道路線形が良くな い，河川改修工事に，景觀がよ くないなど物理的・経済的要因 以外で決定される．	幅員や道路線形は橋 全体に関係する．景 観は部分的な修復も ありうる．
経済的 寿命	こまめな部分補修よりも架け替 えのほうが経済的になると判断 した時点，あるいは何回補修し ても性能が回復しない場合．	同左

■橋の取り替え理由の推移



図－3 道路橋の架け替え理由別橋梁数内訳（昭和 52～61 年）³⁾

H 8での架け替え理由

- ・損傷を受けて架け替えを行った橋梁は全体の1/5程度しかない.
- ・ほとんどが道路線形改良や河川改良工事、交通混雑の緩和のための幅員拡幅などの機能上問題により架け替えを実施
- ・機能的寿命による架け替えの割合は昭和61年で57%, H8年で76%と増加している(10年間)

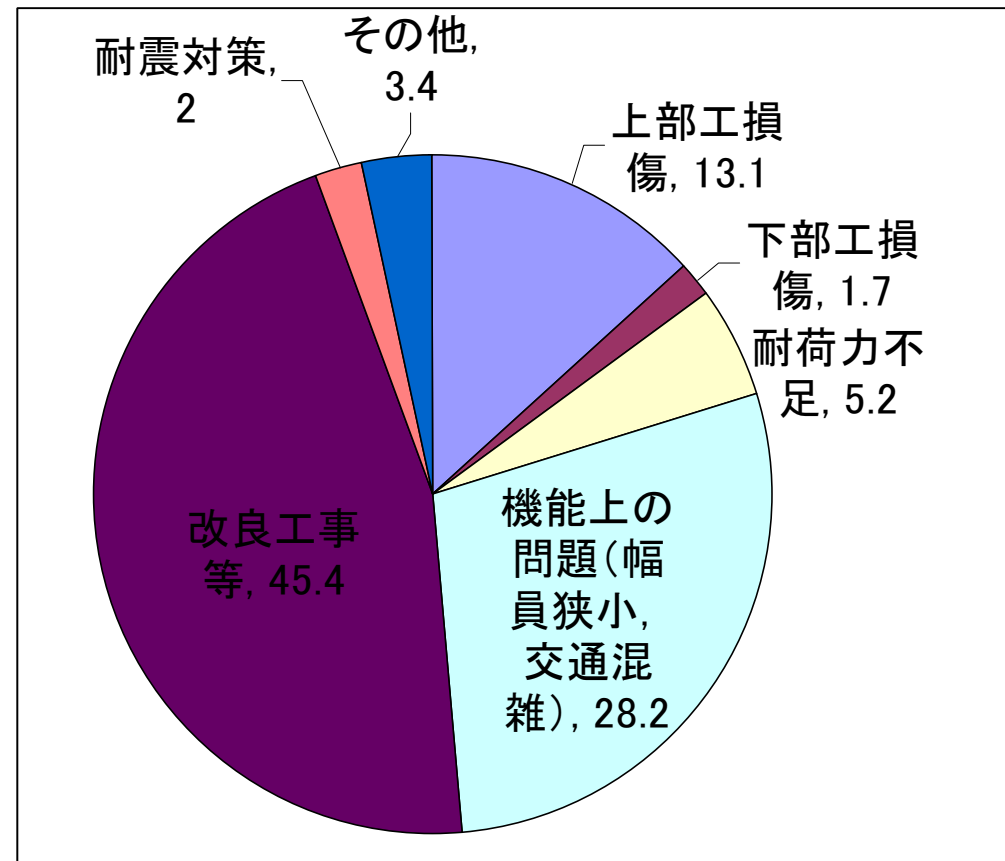


図-4 橋梁架け替えの理由 (H8) 10)

Part 4 長寿命化技術

■長寿命化技術の定義

長寿命化技術とは

想定耐用年数を超えて更に延命化させるための補修技術、マネジメントの仕組み全て（点検方法、体制、時期、判定、措置、期間、予算など）をさす。

※耐用年数：大蔵省令第15号（減価償却資産の耐用年数に関する省令）にその記述がある。例えば、道路橋梁は60年、トンネルは30年、舗装道路は15年、コンクリート製護岸は50年、ダムは50年などと示されている。しかし、これらはあくまで税務・会計上の取り決めであることに注意する必要がある。



供用年数50年以上の橋を全て更新するとなると、高度成長期に要した建設費以上のコストが発生する。
 + 維持管理費
 = 財政的破綻

長寿命化技術に関するキーワード

- ストックの増加
 → 全て更新というシナリオは予算上成立しない
- 国の方針（予防保全の推進〔有識者会議提言〕，自治体への補助）→ 長寿命化 = 予防保全（橋の耐用年数を100年に）
- 新設と既設とでは長寿命化技術は異なる。
- 性能規定化の推進
 → 長寿命化の促進（技術開発，新技術の積極的採用）

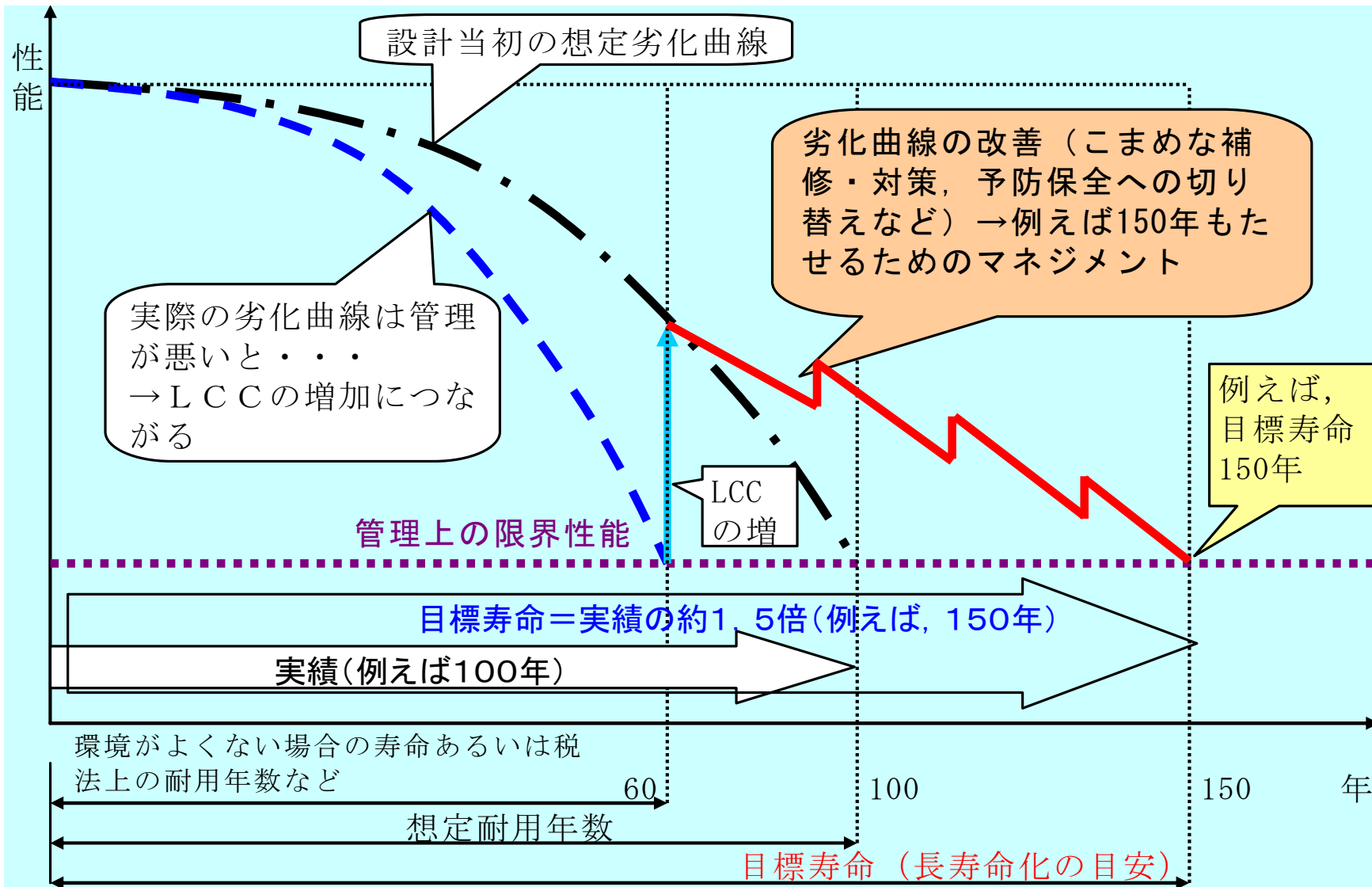
■目標寿命を何年と設定するか？

構造物の目標寿命は橋が決めるのではなく、
人（管理者）が決める。

＜論点＞

- ・耐用年数や寿命は設定するものでなく、
管理者の意識の問題（世論の要請）である。
- ・管理上の限界性能も、その時代の要求性能に応じて変わる。
- ・理論上は、鋼構造物は永久構造物といえる。
（コンクリートは歴史が浅く明確な言及は困難）
- ・長寿命化の目安という意味の「目標寿命」は、
これまでの実績の**1.5倍程度**を目指すものとする。
- ・「目標寿命」を迎えても十分な健全度を保持していれば、
誰もその橋を更新するとは言わない。

長寿命化のマネジメント



目標寿命は管理者の管理方法の差によって，設計当初の耐用年数より長くも短くもなる。

鋼橋の寿命に関する設定

国土技術政策総合研究所資料：道路橋の寿命推計に関する調査研究，No.223，2004.12.

●寿命分布曲線の作成方法

- ①縦軸を架替橋梁数，横軸を架替年次とし，架設年代別に架替の実績をプロット
- ②寿命分布曲線が正規分布と仮定し，平均寿命と標準偏差をパラメータとして，実績との誤差が最小となるように架設年代ごとにパラメータを設定

表-2.4.4 架設年代ごとの特性(Ⅱ-B, 鋼橋)

架設年次	平均寿命	標準偏差	備考
1920 ~ 1930	50	10	
1931 ~ 1940	40	10	
1941 ~ 1950	30	10	第二次世界大戦中
1951 ~ 1960	60	20	
1961 ~ 1970	70	20	
1971 ~ 1980	70	20	
1981 ~ 1990	100	30	架替データが少ない
1991 ~ 2000	100	30	架替データが少ない

1%超過，
5%超過，
10%超過
で検討

高度成長期に架設
→平均寿命は70年，標準偏差20年

95%の非超過確率（ 1.65σ ）を考慮すると $20 \times 1.65 = \text{約}35$ 年の延命化（実績の1.5倍）

近年に架設
→平均寿命は100年，標準偏差30年

95%の非超過確率（ 1.65σ ）を考慮すると $30 \times 1.65 = \text{約}50$ 年の延命化（実績の1.5倍）

鋼橋の寿命年数

- 「国総研資料：道路橋の寿命推計に関する調査研究」
－ 土研資料橋梁架け替え調査1～3

における調査結果を再集

計

- － 鋼橋に関する平均寿命（物理的＋機能的架替）

表-2.4.4 架設年代毎の特性

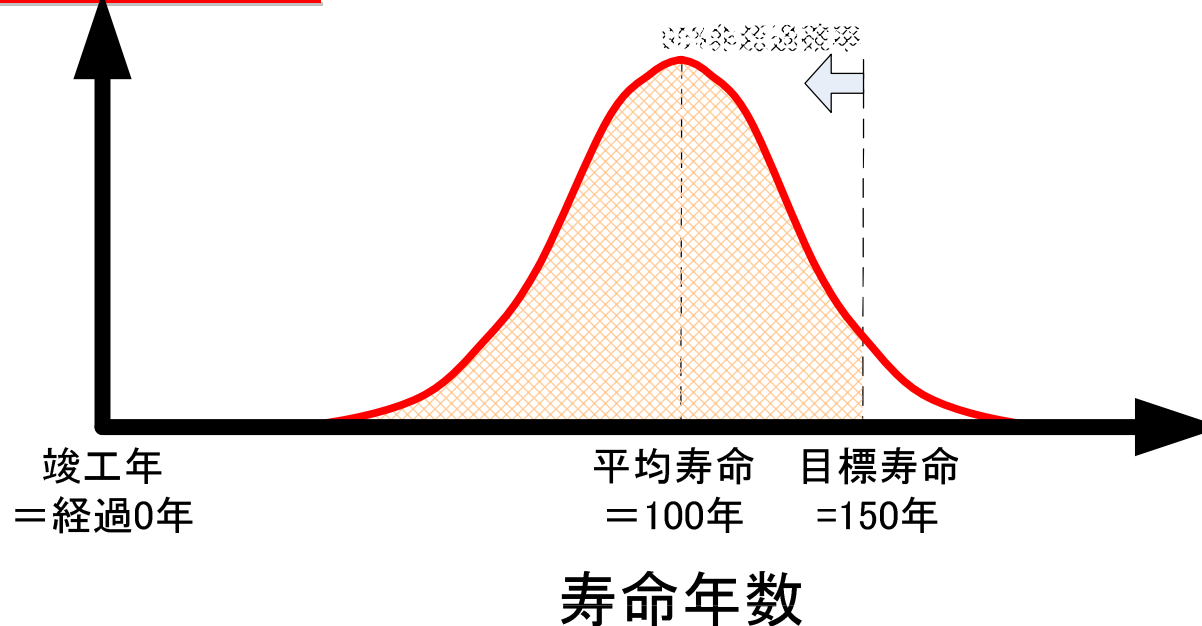
架設年次	平均寿命	標準偏差	備考
1920～1930	50	10	
1931～1940	40	10	
1941～1950	30	10	第二次世界大戦中
1951～1960	60	20	
1961～1970	70	20	
1971～1980	70	20	
1981～1990	100	30	架替データが少ない
1991～2000	100	30	架替データが少ない

鋼橋の平均寿命年数とばらつき

年代	平均 寿命	非超過確率		
		90%	95%	99%
1960年代 ～1970年代	70年	96年	103年	117年
1980年代以降	100年	139年	150年	170年

鋼橋の目標寿命年数

- 近年(1980年代以降)に架設された鋼橋の平均寿命は100年
- 非超過確率95%程度を目標とすると、鋼橋の目標寿命は150年(+50年)



まとめ

- 「寿命」と「耐用年数」の定義
- 寿命を3つに分類
 - 「物理的寿命」 「機能的寿命」 「経済的寿命」
 - 経済比較による判断が入るかどうか？
- 橋全体の寿命と部材の寿命とは異なる
- 「長寿命化技術」の定義
 - マネジメントの仕組み全てを指す
- 目標寿命は人（管理者）が決める

Part 5 長寿命化施策

道路橋の予防保全に向けた提言

道路橋の予防保全に向けた有識者会議

現状

1. 高齢化: 2015年には6万橋が橋齢40年超える
2. 要求性能高度化: 巨大地震対応, 最新基準対応等

保全の現状

1. 見ない
2. 見過ごし
3. 先送り

放置すれば

1. 落橋, 通行規制, 大規模補修, 架け替え
2. 人命の危険, 社会的損失, 膨大な費用

提言内容

目的

1. 国民の安全安心の確保
2. ネットワークの信頼性確保
3. ライフサイクルコストの最小化
4. 構造物の長寿命化

方策

1. 点検の制度化
2. 点検及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

早期発見・早期対策の予防保全システム

点検の制度化

- すべての道路橋で点検を制度化する。そのための仕組み（資金，人材，技術）を充実する。
- 点検，診断の結果に基づき措置が適切に実施できるサイクルを確立する。
- 重大な損傷などが発見された場合には緊急点検を実施するなど再発防止の仕組みを構築する。

点検および診断の信頼性確保

- 機能，通行規制，迂回路を勘案して路線の管理レベルを設定する．管理レベル，交通量などに応じた点検を可能とする基準を作成する．
- 点検者および診断者の技術能力と責任を明確にする資格制度により信頼性を高める．また更新により最新知見を取り入れる．
- 道路管理者については，診断結果に基づきの確な措置ができるよう教育，研修を充実する．
- 維持管理分野の技術力を適正に評価するなど，優秀な技術者が育成されて活躍する場が与えられる仕組みを構築する．

技術開発の推進

- 良質かつ負担の少ない維持管理に向けて技術開発を国が中心となって推進する.
- 疲労による劣化予測など高度な技術力を要する分野の技術開発を推進するとともに、部材性能が橋全体の健全性に与える影響を適切に評価できる手法に関する技術開発を推進する.
- 親設、既設の補修補強における設計、施工、維持管理の品質管理に関する改善や技術開発を推進する.

技術拠点の整備

- 高度な専門性を要する損傷の点検，診断，補修補強について技術支援を行う拠点を中央，およびブロック毎に整備する．技術支援におけるノウハウや対応事例などを集積し，全国の管理者へ最新情報を提供する．
- 中央の拠点は損傷の原因解明と再発防止等の検討を最高水準の技術を結集して行い，全国の管理者等を支援する．
- 維持管理に特有の知見と判断能力を有する高度な専門技術者の育成を技術拠点で支援する．

データベースの構築と活用

- 全国の道路橋に共通するデータベースを構築する. ここで集積された損傷事例や補修事例などを活用することにより, 効率的で確実な維持管理を実行する.
- 既設橋からの知見を新設橋の計画, 設計, 施工, 維持管理に反映し, 管理がしやすく適切に施工された橋の建設マネジメントサイクルを確立する.
- 健全度などの状態に関する情報を国民と共有できるよう, 的確な指標を設定するとともに, わかりやすい情報として速やかに公表する.

情報（データ）の活用と保守

1. インハウスエンジニアによる1次点検
2. 危ない橋のあぶり出し
3. 点検結果の公開, ビジュアル化→自らのため, 市関係者のため, 市民のため
4. 将来の予想（損傷状態と費用）

1. 一貫して保守する人が必要
2. データの共有がポイント
3. データの精度がポイント
4. データの加工がポイント

データ共有化の将来

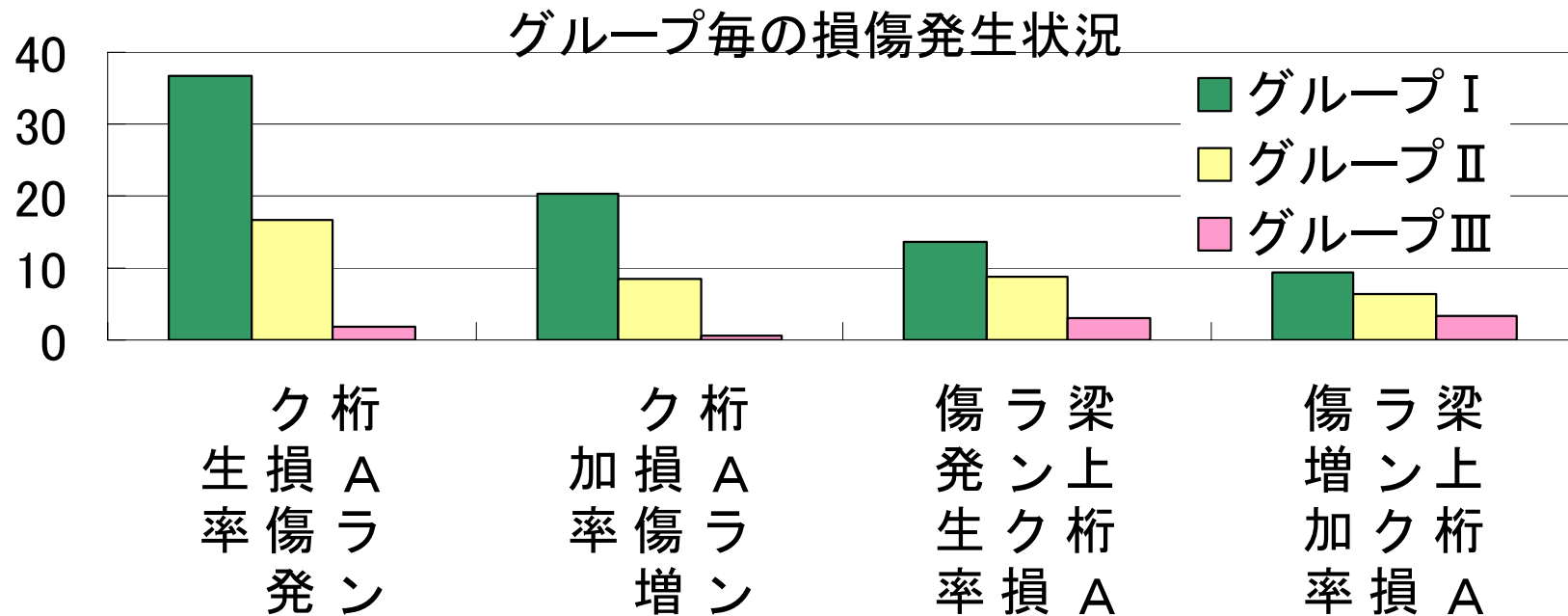
1. たとえば, 鋼桁Aランク→写真1, 2, 3...
2. たとえば, 1965年に架設された橋の健全度は?
3. たとえば, 劣化モデル(データの過不足を補う)
4. たとえば, 財務当局に他市と比較して状況の優劣を説明(ビジュアルに)
5. 専門家も他機関事例と同じ土俵にて診断行為ができる

連携，スケールメリット，その他

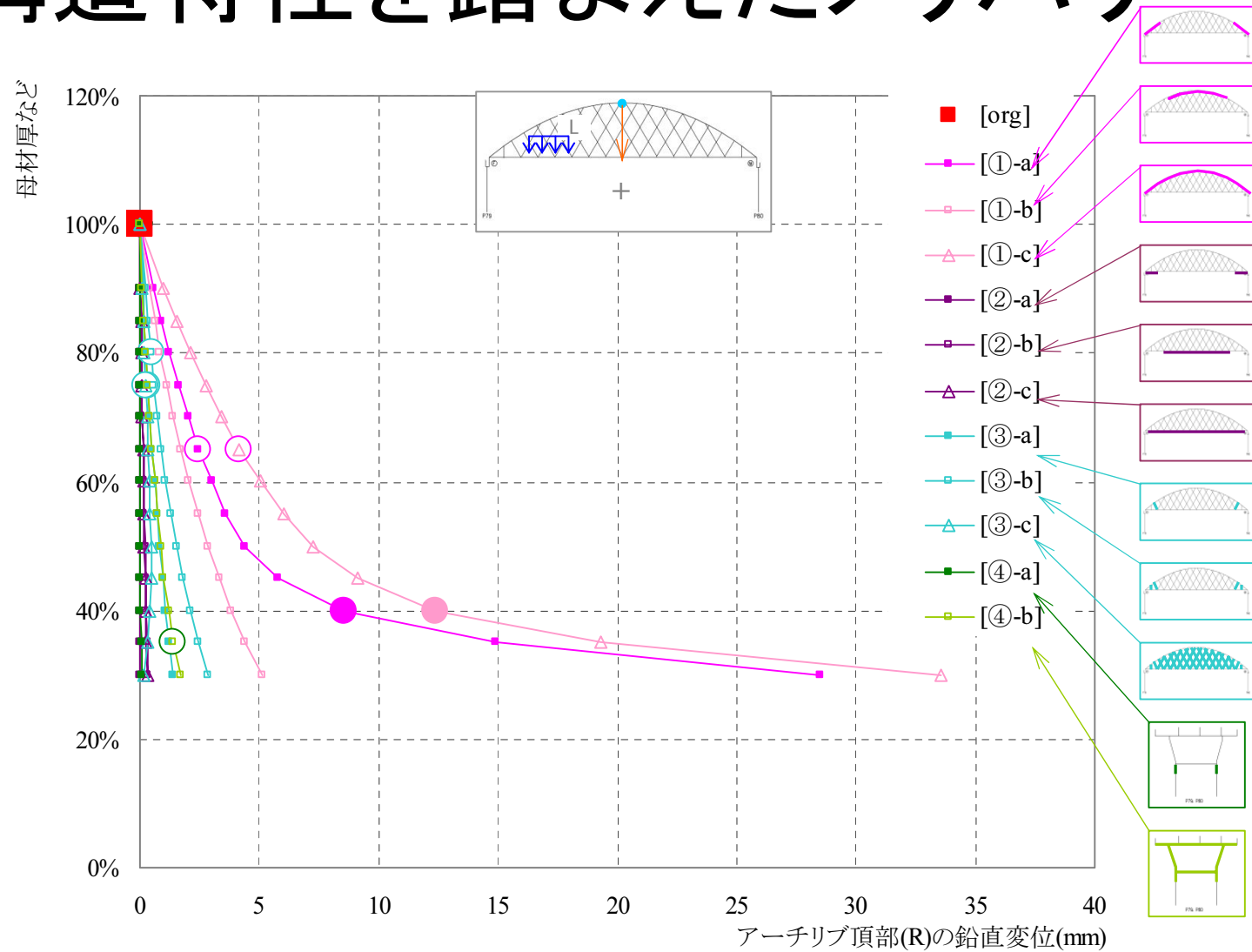
1. 情報集約，分析は連携により一元化→精度向上，費用低減の実現
2. 意思決定は各自治体
3. 複数年契約→コスト縮減，事業の継続性確保，品質確保，発注事務作業軽減
4. 技術評価
5. 点検精度向上→資格制度

点検のメリハリ

グループⅠ：S46以前の基準による建設路線→4年
 グループⅡ：S46～53の基準による建設路線→6年
 グループⅢ：S53以降の基準による建設路線→8年



構造特性を踏まえたメリハリ



まとめ

1. 体制作り(自治体連携, 継続人事...), 分業と連携を明確に
2. 橋の諸元データを確実に→電子化し情報開示を
3. 初期点検はインハウスエンジニアで
4. 怪しい橋, 損傷は1次判断
5. 諸元データ, 点検データなどは一元管理で効率化を
6. 詳細検討, 点検は外注
7. 高度なものは学識者や専門家に相談
8. PDCAを回すことが重要
9. 点検はメリハリをつけて合理化を
10. 詳細点検は, 塗装・舗装工事, 大規模補修工事と同時に
11. 詳細点検結果はリアルタイムで管理し, 即補修の判断を

Part 6 長寿命化技術の今

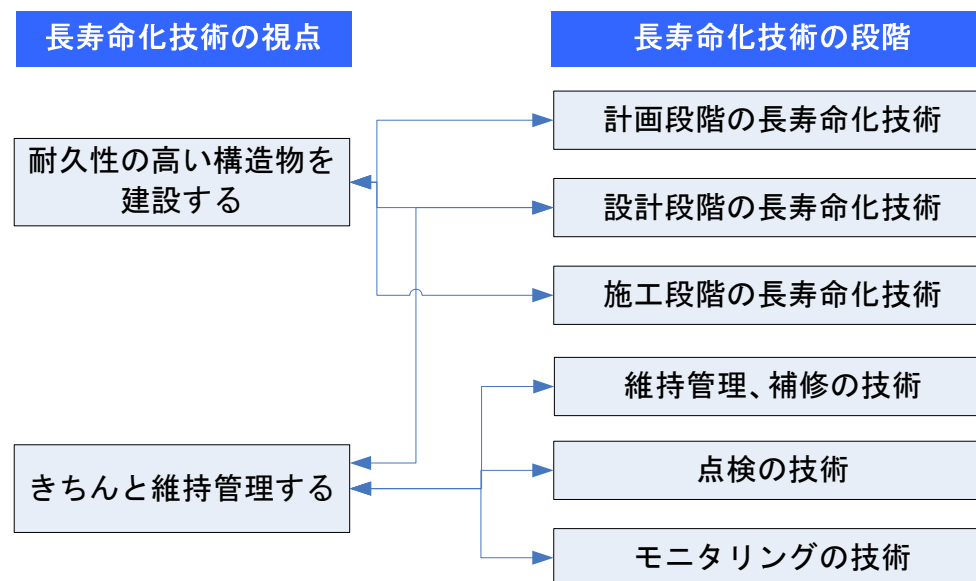
長寿命化技術の今

- 社会的要請の変化

「建設後に耐用年数が来れば壊して再構築する」から、「耐久性の高い構造物を建設」し、「きちんと維持管理」することにより、最大限に長寿命化する

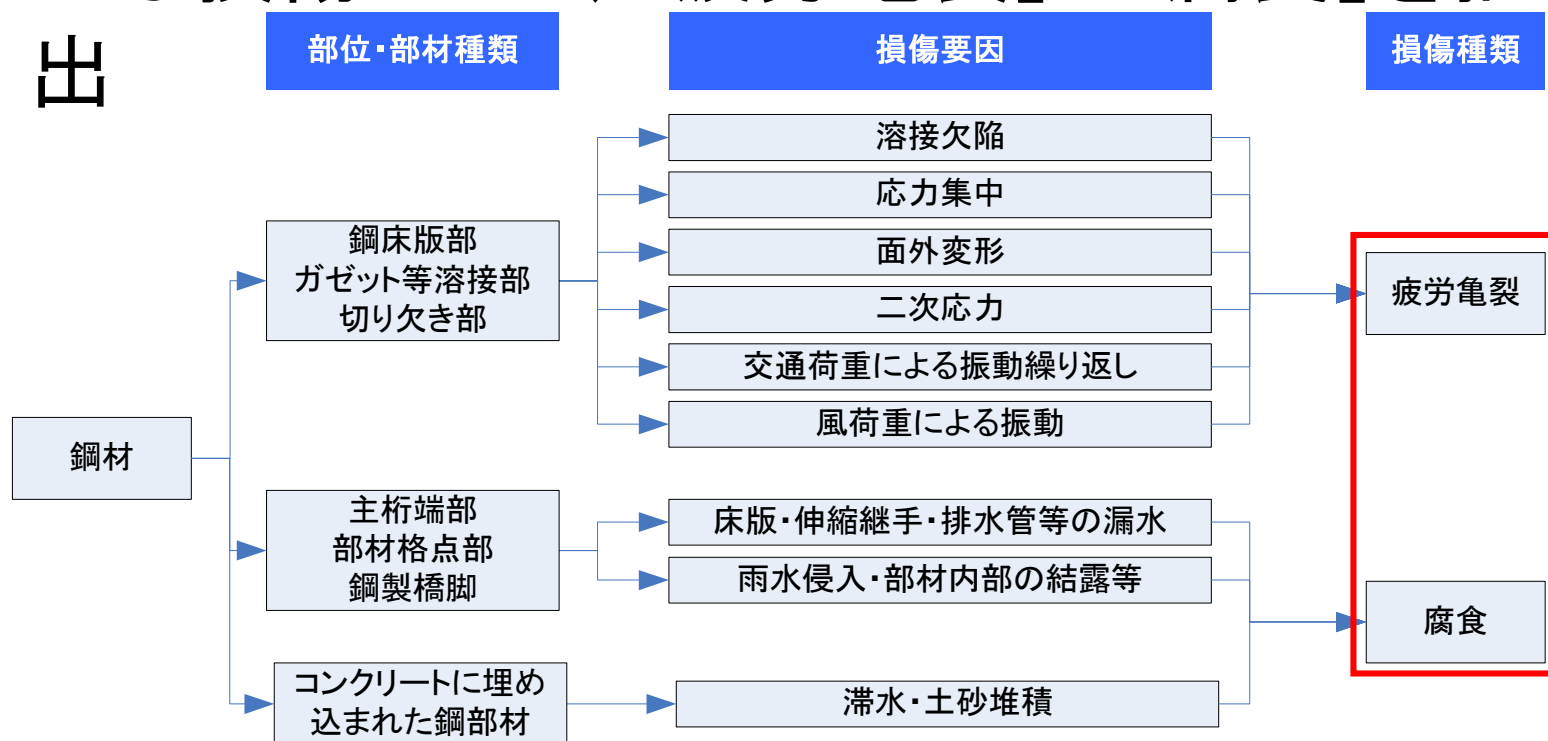
- 長寿命化技術の段階

計画～設計～施工～維持管理段階における長寿命化技術を体系化



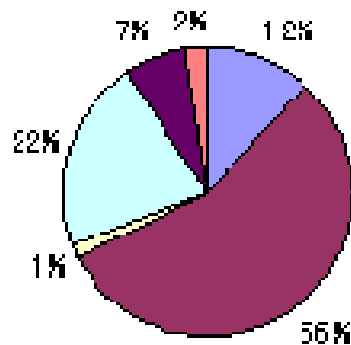
- 鋼橋の主な損傷種類を体系化

構造的、環境特性による損傷要因がある
主な損傷として、「疲労亀裂」と「腐食」を抽出

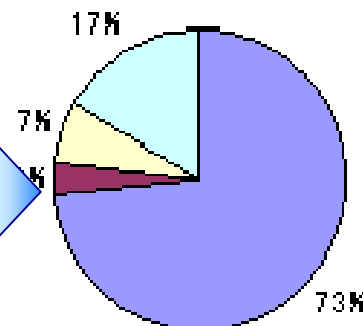


• 長寿命化に関する新技術開発の動向

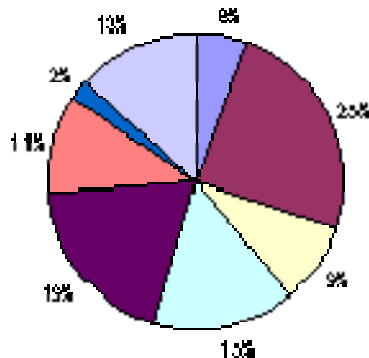
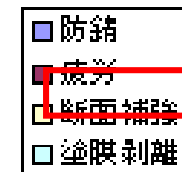
新技術情報提供システム NETISにおいて、
長寿命化技術を検索:248件



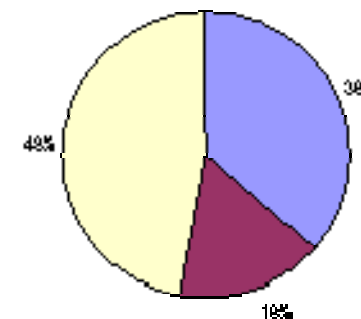
NETISの新技術の分布



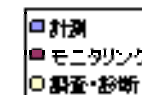
鋼構造に関する新技術の分布



コンクリート構造に関する新技術の分布



点検に関する新技術の分布



耐疲労技術

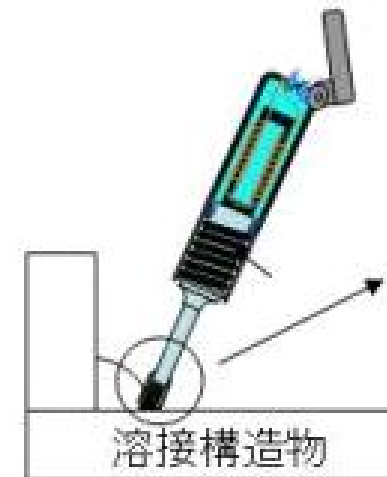
- 耐疲労新技術

1. 耐疲労鋼

- 鋼材自身に、耐疲労特性を与える（化学成分の調整、金属組織の調整）

2. 超音波衝撃処理（UIT）

- 溶接部に超音波振動による打撃を加える
 1. 引張残留応力を圧縮残留応力に変える
 2. 形状をなめらかにし、応力集中を軽減
 3. 表面硬度の向上

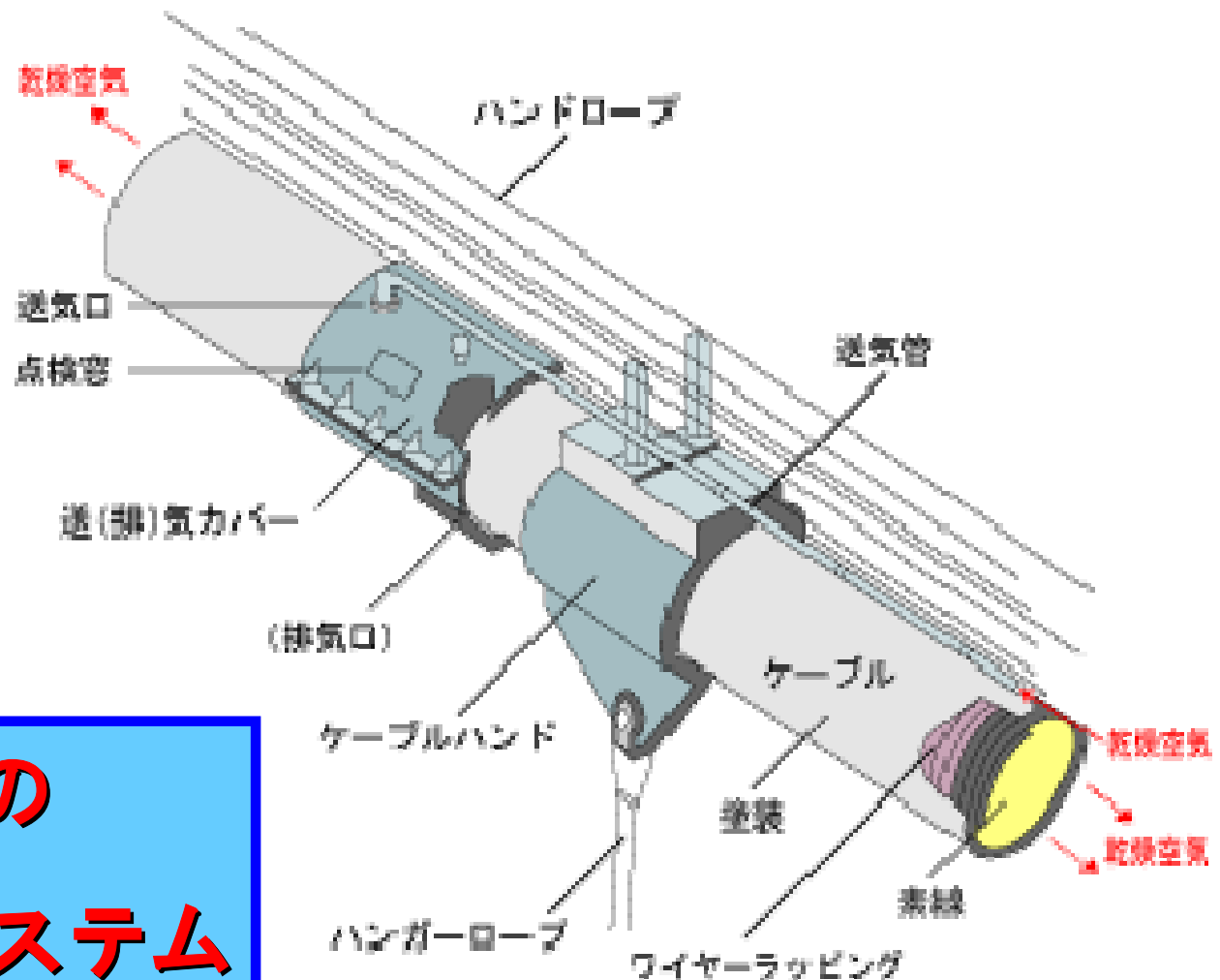


防食技術

- 腐食環境の改善による方法
 1. 桁内部などの除湿による防食
結露の防止、除湿器、換気装置、調湿剤
 2. 橋梁洗浄技術
表面の汚れや、塩分などを除去
- 電気防食による方法
 1. 流電電極法による電気防食
外部電源を必要としない、電気防食法
 2. 電着防食法
 3. 気中における電気防食の適用
大気中にあっても、電気防食を行う工法
- その他
 1. チタンカバープレート
 2. 耐海水性ステンレス鋼ライニング

長寿命化技術の概要

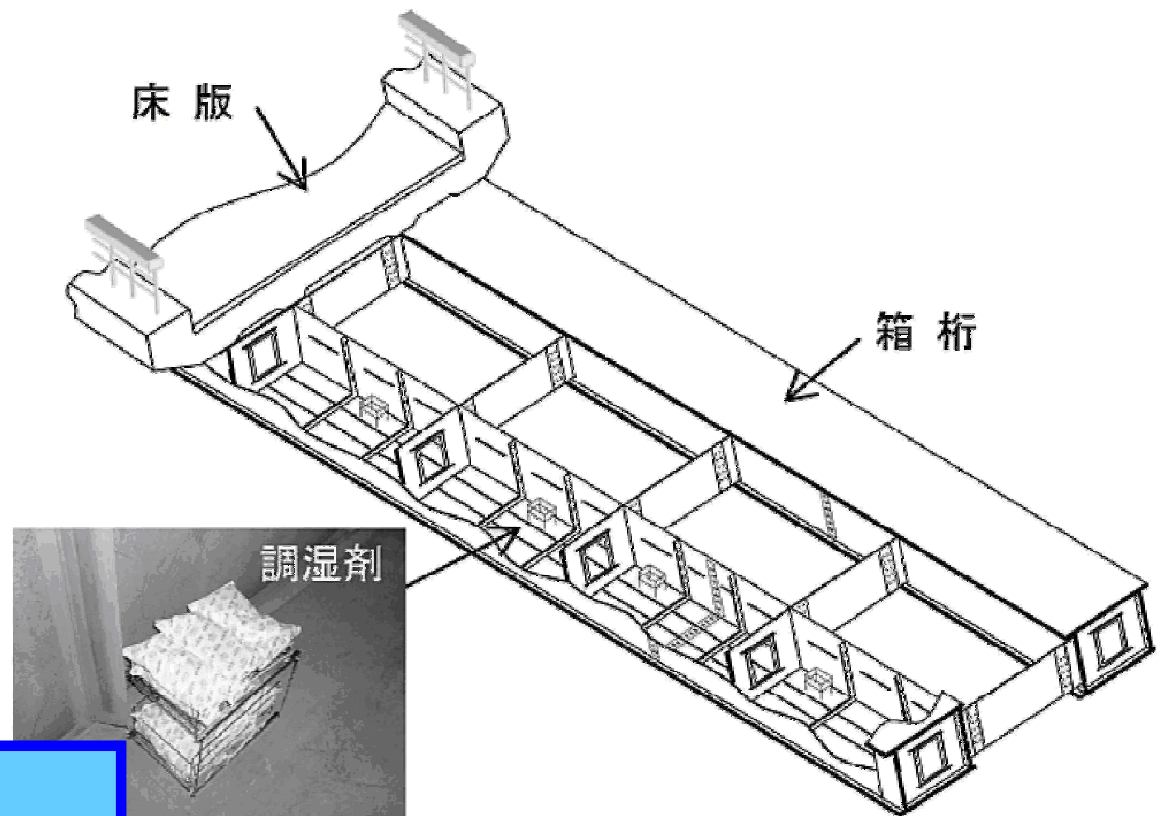
< 防食技術 >



吊橋ケーブルの 送気システム

長寿命化技術の概要

< 防食技術 >

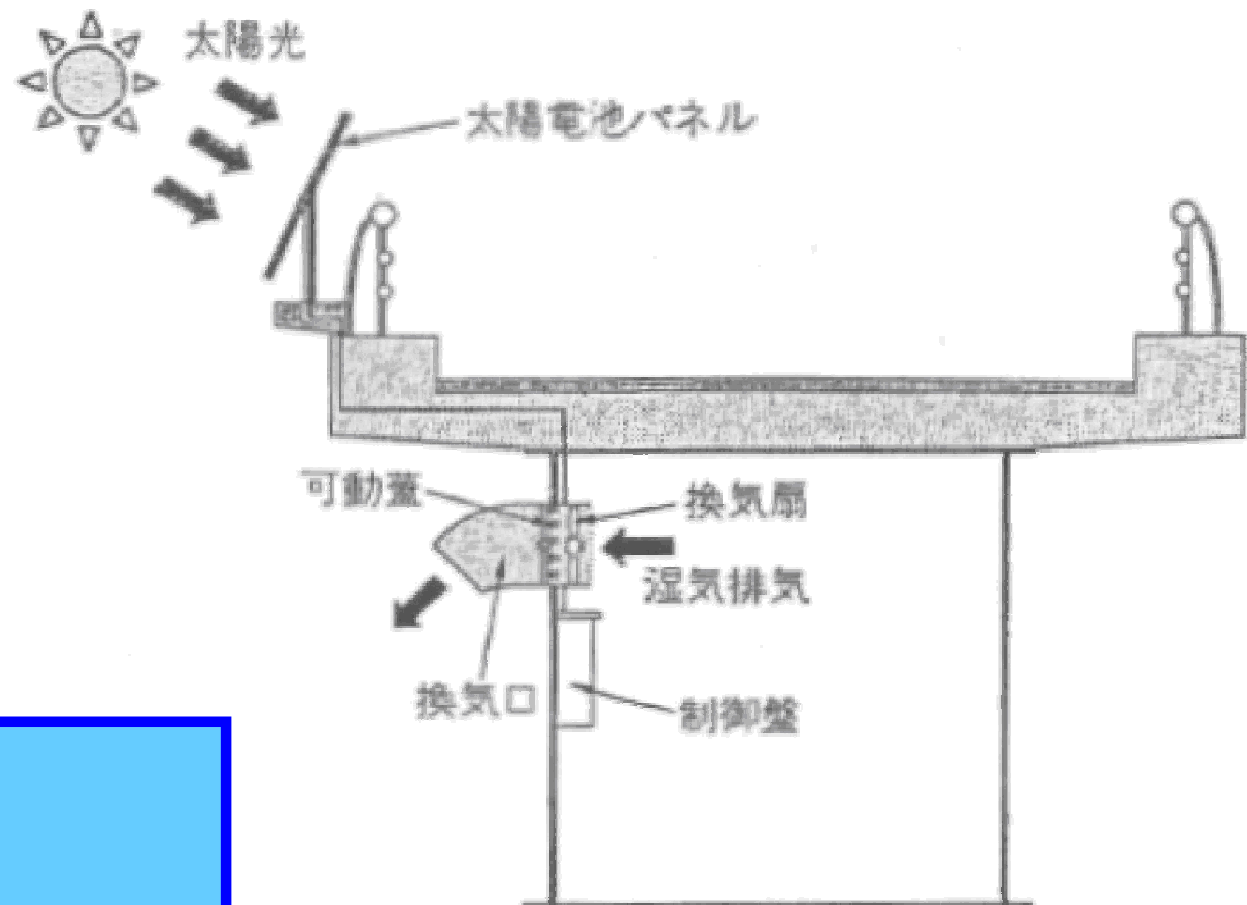


箱桁内面

防錆システム

長寿命化技術の概要

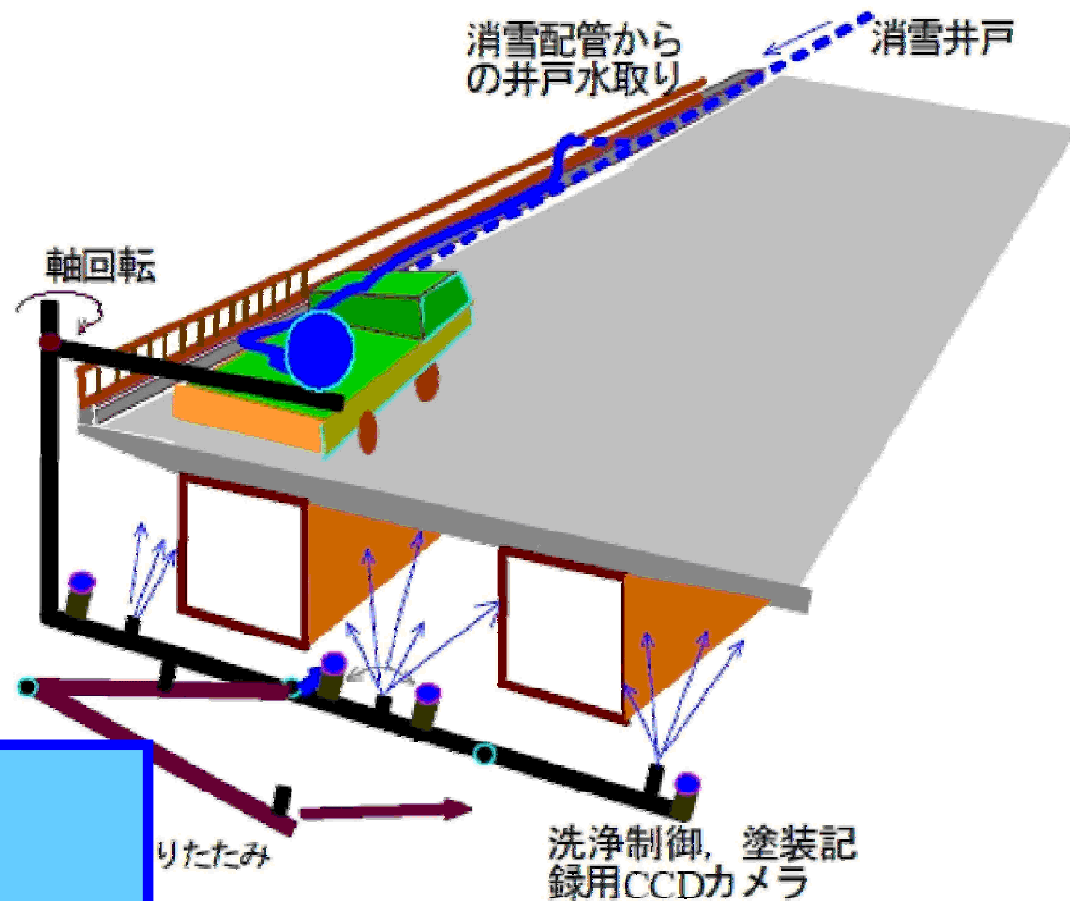
< 防食技術 >



鋼製箱桁内の
換気システム

長寿命化技術の概要

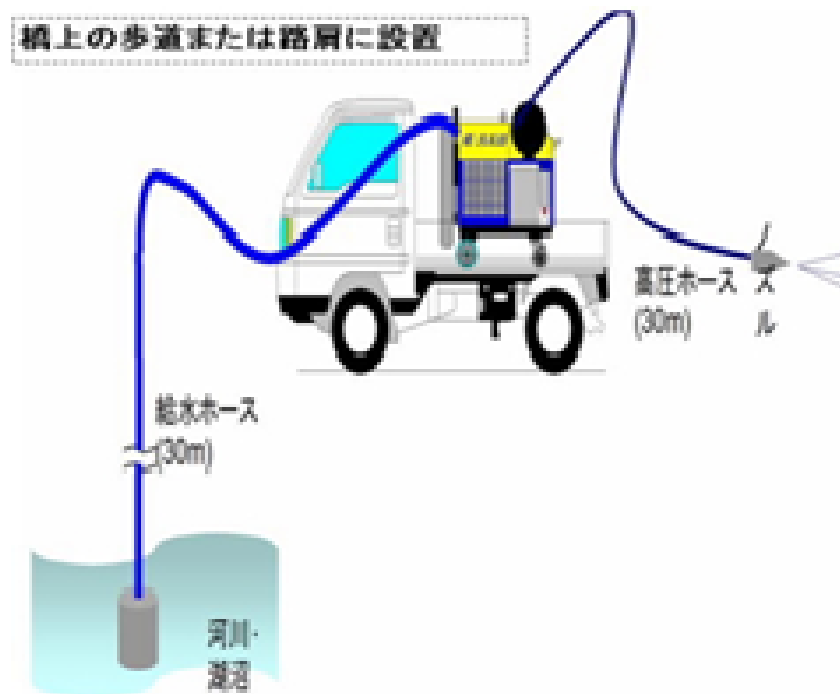
< 防食技術 >



橋梁洗浄技術

長寿命化技術の概要

< 点検技術 >



トラス橋洗浄前



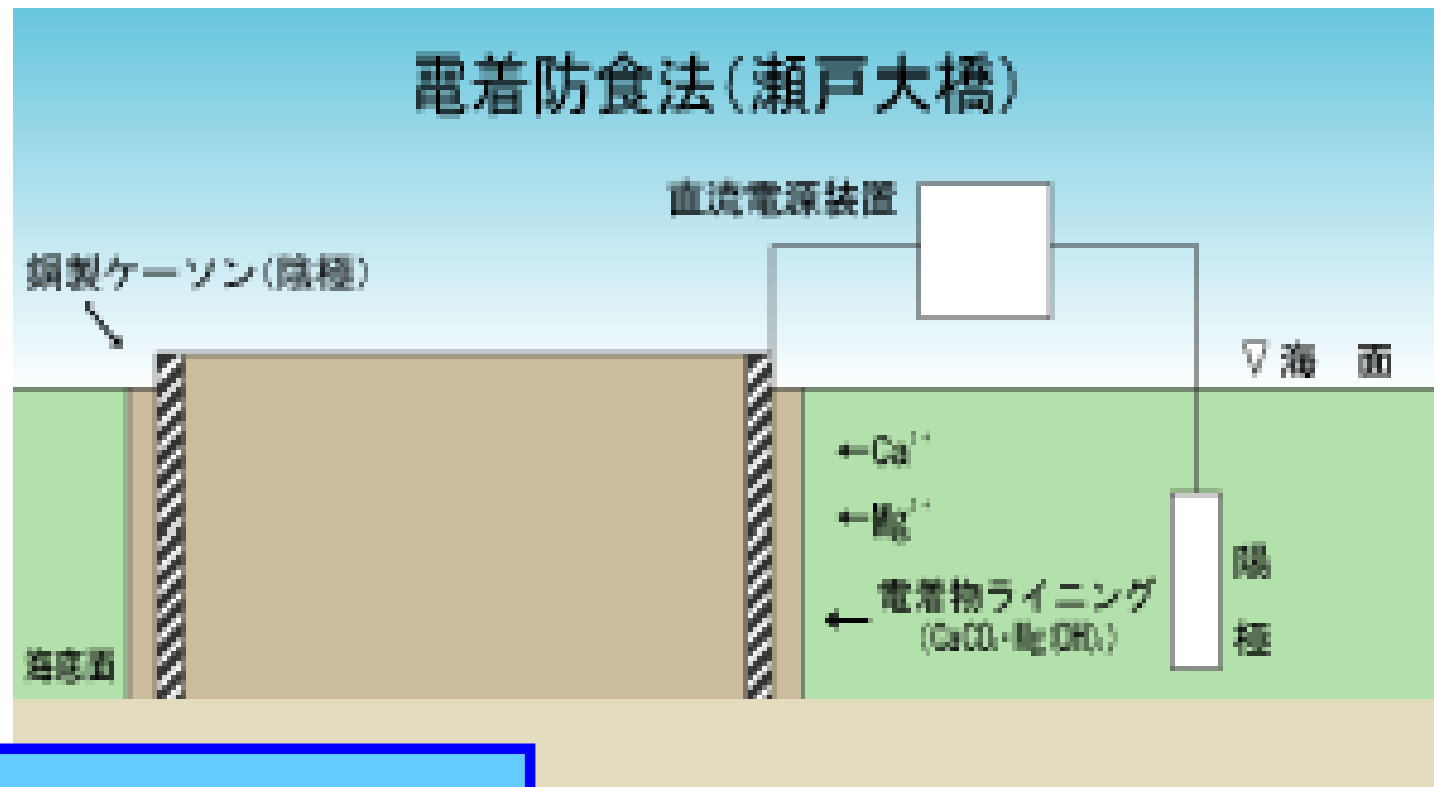
トラス橋洗浄中

橋梁簡易洗浄装置による洗浄工法

(HR-070021-A)

長寿命化技術の概要

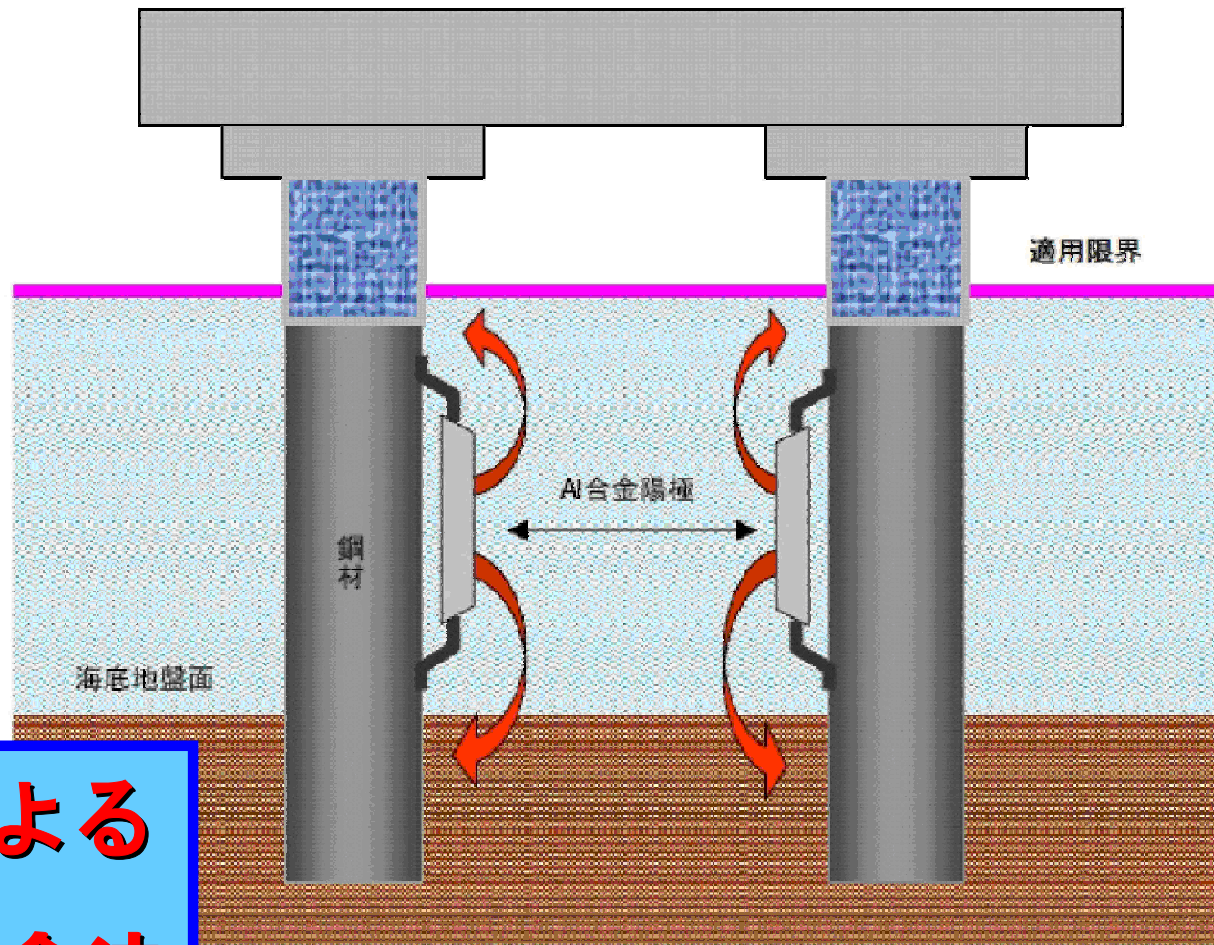
< 防食技術 >



電着防食工法

長寿命化技術の概要

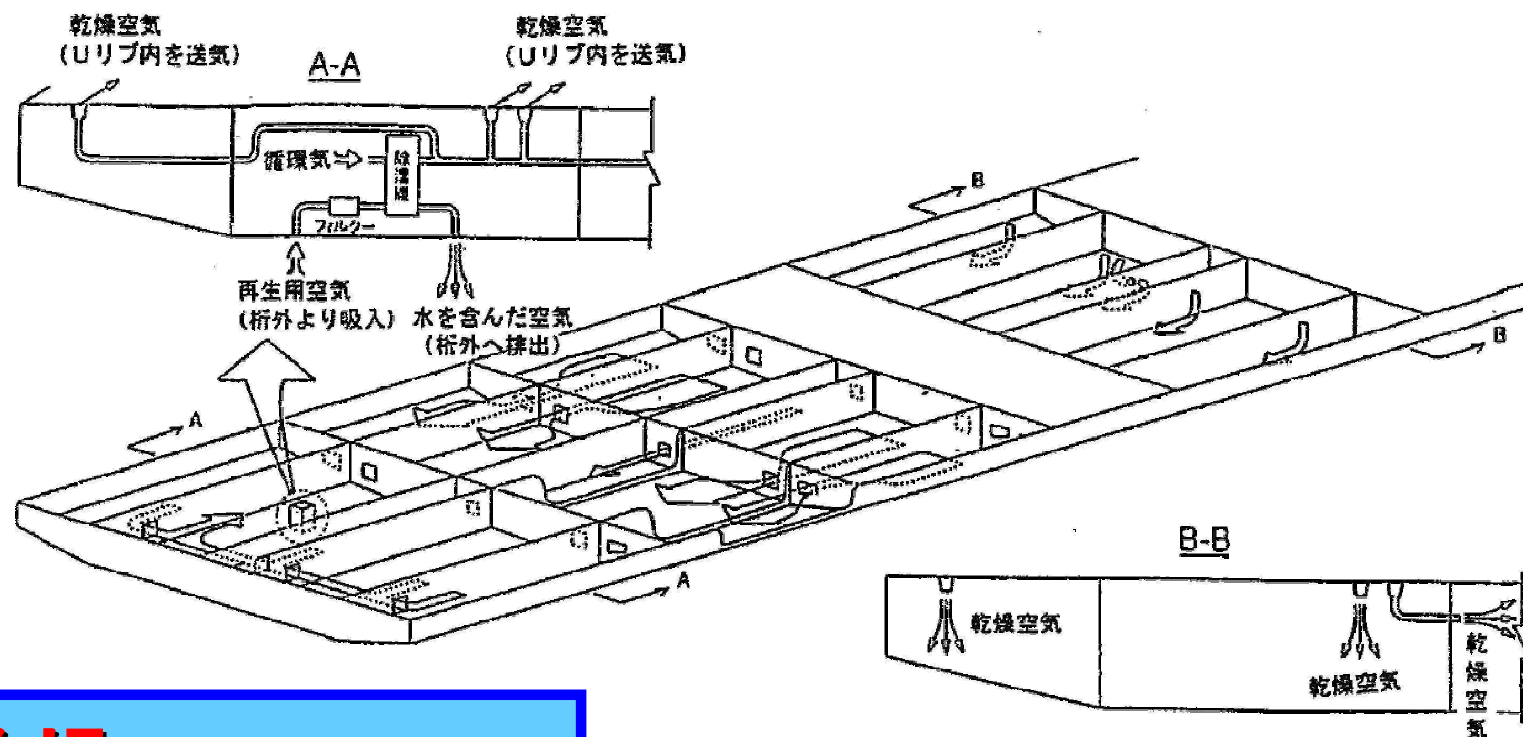
< 防食技術 >



流電陽極方式による
電気防食法

長寿命化技術の概要

< 防食技術 >

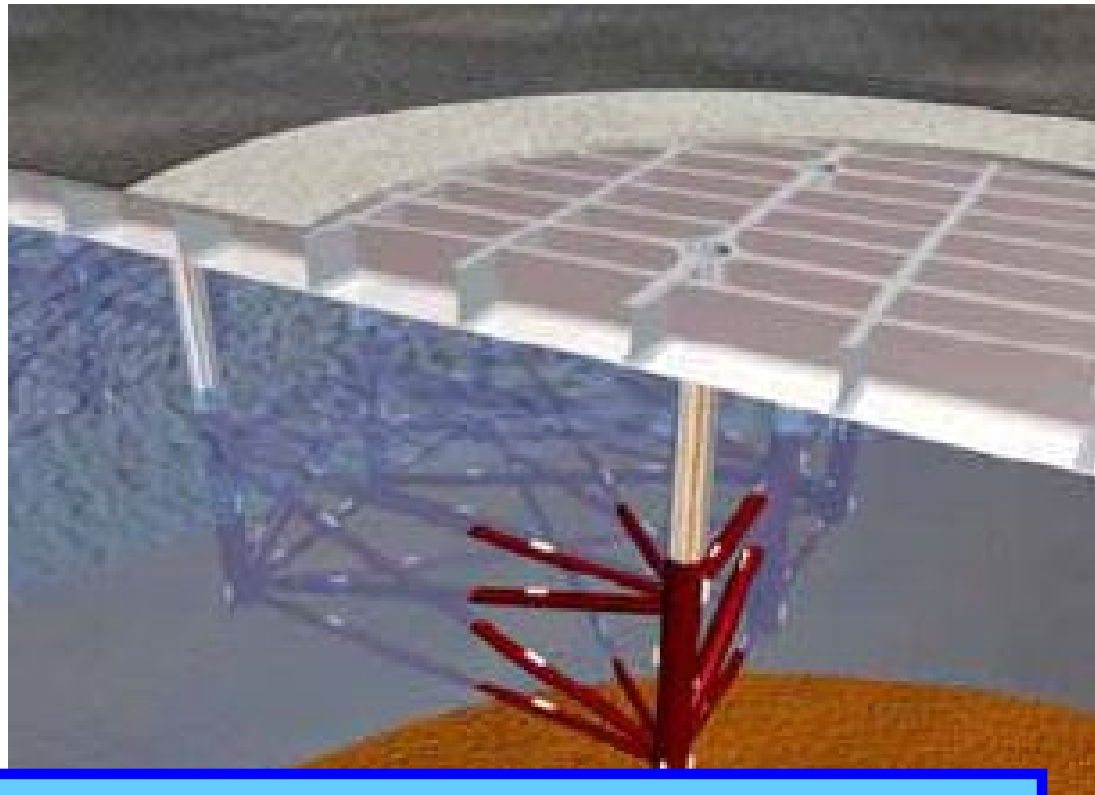


桁内乾燥

空気除湿システム

長寿命化技術の概要

< 防食技術 >



チタンカバープレート(HR-030027-A)

耐海水性ステンレス鋼ライニング

その他の技術

- 計画・設計段階の技術

- 構造物の建設位置や、構造形式の選定段階から、ライフサイクルコストの視点に立った評価が必要

- 点検技術について

1. 疲労亀裂点検技術：従来の亀裂点検は目視により塗膜割れなどの変状を確認後、探傷試験を実施しており、コスト、手間大、目視が困難な箇所では、発見できない
⇒亀裂予想箇所に無線ICタグを設置することにより、遠隔からの亀裂発見が可能な技術
2. 腐食点検技術
コンクリート中の鋼材等の、目視ができない箇所の腐食発見技術

長寿命化技術の概要

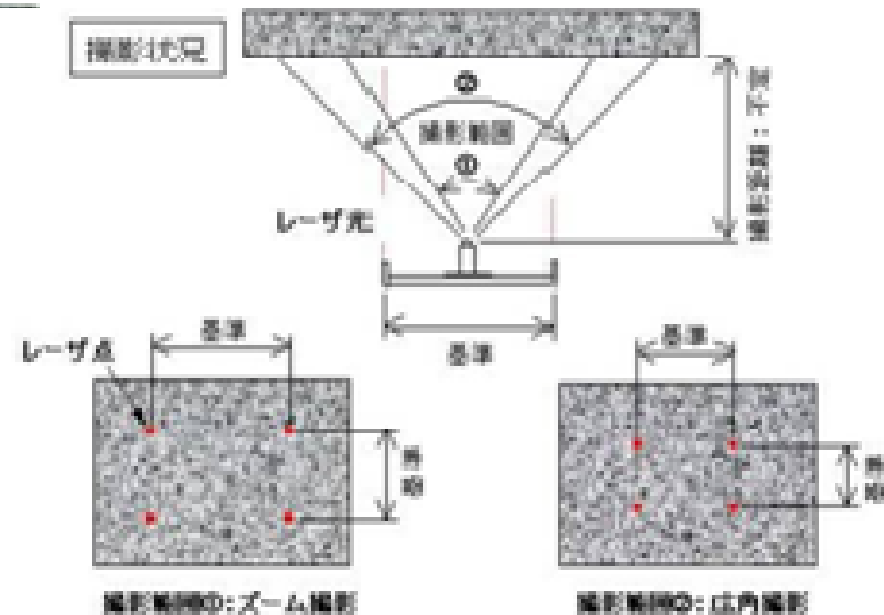
< 点検技術 >



橋電

長寿命化技術の概要

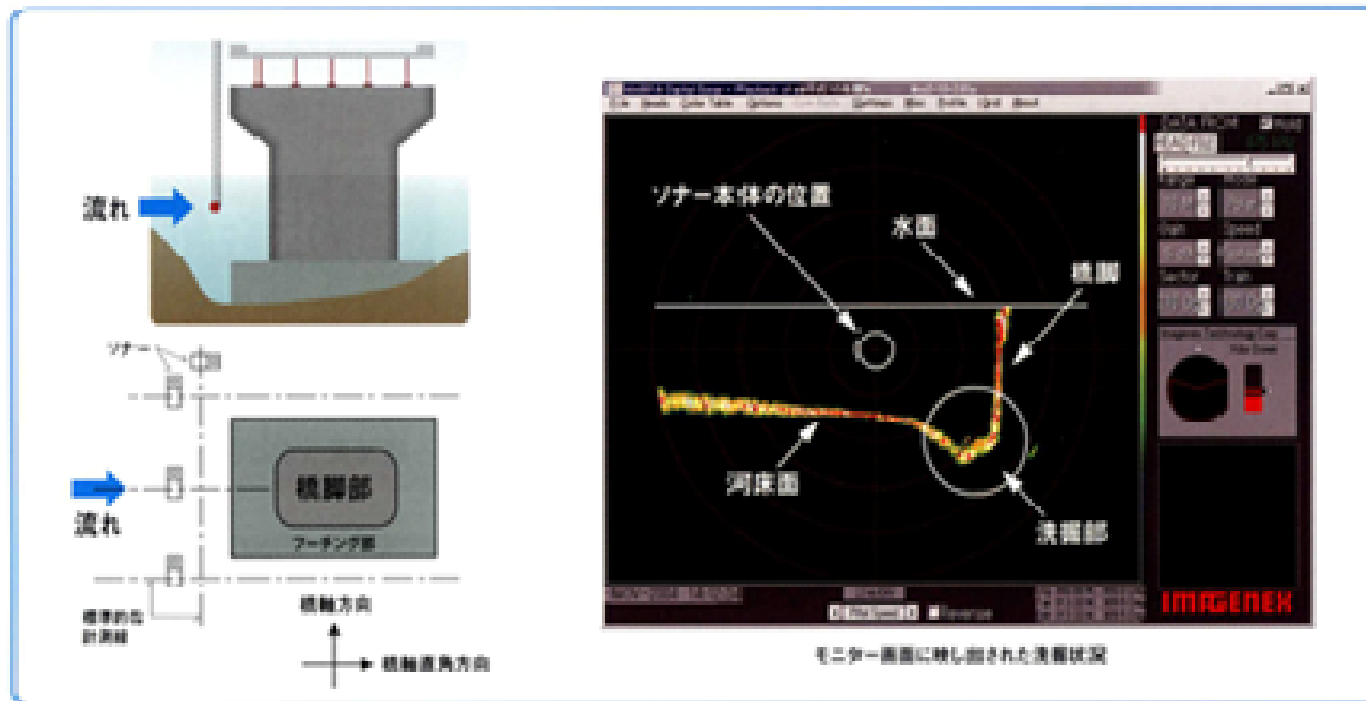
< 点検技術 >



桁下診断システム
(SK-010029-V)

長寿命化技術の概要

< 点検技術 >



ソナーによる橋梁下部工洗掘調査

(CB-060017-A)

長寿命化技術の概要

< 点検技術 >



橋梁点検調査カメラシステム

(多機能型) BIS2001S

まとめ（シーズとして）

- 疲労対策

道路橋において疲労設計の本格導入は、近年のこと
疲労対策とは、応力集中低減、残留応力低減
それらは維持管理段階だけではなく、計画・設計段階
からの配慮が必要

- 防食対策

土木・建築分野以外の分野でも、無機系塗料の開発
などが積極的に行われてきている
公共構造物への採用は、実績重視で拡がりが遅い
新材料の積極的な採用が必要

まとめ（シーズとして）

- 土木鋼構造物は、環境条件が多種多様
- どのような新技術、新材料が開発されたとしても、メンテナンスフリーは非現実的である
- 建設時から維持管理に配慮した耐久性の高い構造物を建設し、さらに、きちんと維持管理することが肝要
- 維持管理の現場に普及する新技術は、経済性・簡便性・効率性を同時に実現可能なもの