

社会インフラメンテナンス学 インフラのメンテナンス概論

コンクリート工学研究室
岩城一郎

メンテナンスの目的と役割

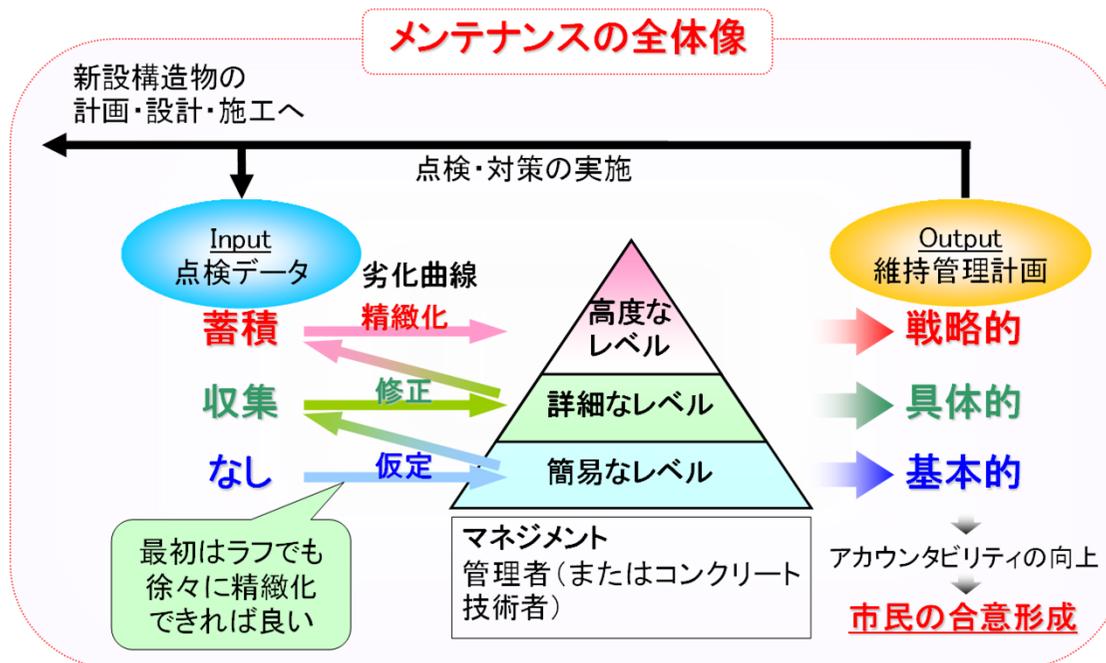
(1) メンテナンスの要諦

メンテナンスとは: 既存の構造物を合理的かつ効率的に長持ちさせるための種々の行為, あるいはその体系

構造物の寿命(≠人の寿命): 短くて数十年, 長くて数百年から数千年

メンテナンスの要諦: ライフサイクルにわたり, 構造物に要求される性能を確保した上で, LCCの最適化と予算の平準化を図る. コストに偏重しすぎない. 構造物の性能(特に安全性)を重視する.

(2) 我が国のメンテナンスの特殊性と全体像



特殊性: 少子高齢化社会, インフラの一斉老朽化, 多様な環境, 急峻な地形, 災害多発

- 点検データとその受け皿となるデータベースの構築
- 点検データのレベルに応じたマネジメントと維持管理計画
- メンテナンスのみならず新設構造物の計画・設計・施工へのフィードバック

メンテナンスの創造性と継続性

(1) メンテナンスの創造性

土木構造物のメンテナンス

構造物の状態や環境, 種々の制約条件等を踏まえ, その時々で最善の対応を見出し, 決断し, 実行する ➡ **極めて創造的な行為**

(2) メンテナンスの継続性

メンテナンスのPDCA ~1周に時間がかかることも
→担当者の異動等で思想や情報が繋がらなくなり,
PDPD...を繰り返す恐れ

➡ 基本思想 (Philosophy)

長期供用, やがて取替, 10年後に再対策等々

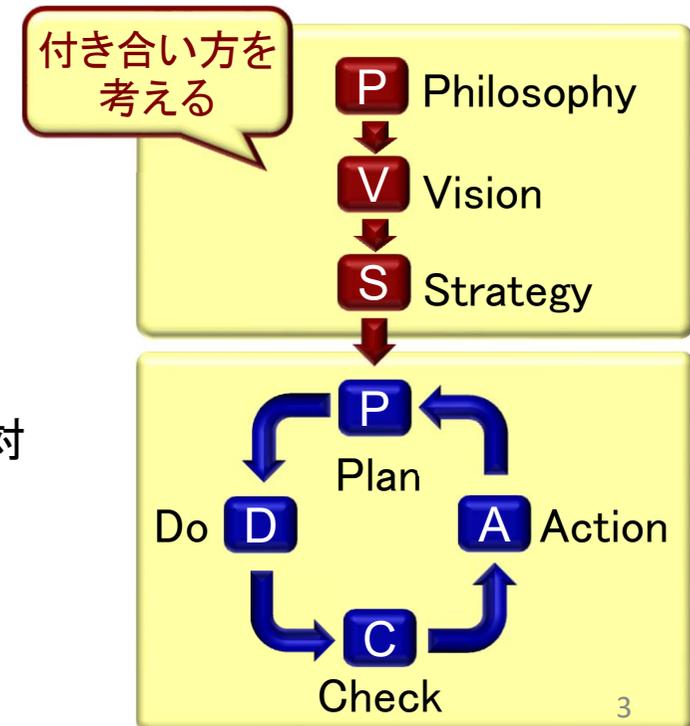
先見性 (Vision)

構造物の状態や組織・制度・費用等を踏まえた対策レベルの目標設定等々

具体的な計画 (Strategy)

具体的な対策方法の計画と実施

を決めた上で行う **PVS-PDCA** が重要



メンテナンスと人との関わり

(3) メンテナンスと技術者との関わり

- **メンテナンスの主役はコンピュータではなく人**: コンピュータは支援ツール, 対策の要否や優先順位といった判断は人(技術者)
- **医療**: iPS細胞等の再生医療(先端医療) ⇔ 病気にかからないための予防医療.
- **インフラ**: 新幹線や高速道路をメンテナンスする高度な技術 ⇔ 地域の小規模橋梁をメンテナンスする簡易な技術. → **ハイテク**(高度な技術)と**ローテク**(簡易な技術)の使い分け, **メリハリ**の効いた**身の丈**に合ったメンテナンス(**意識改革**)

(4) メンテナンスと地域住民との関わり

- **地域の実状**: 過疎化・高齢化, 財政力・技術力の不足 → 行政主導によるメンテナンスの限界
- **住民による橋の歯磨き**: (水に着目した) 排水枡の清掃, 堆積土砂の撤去, 欄干の塗装など.
- **住民の無関心を関心, 愛着へ**
- 各地のメンテナンスに関する**好例**を他地域へ**水平展開**



技術者としてメンテナンスにどう関わり、どう貢献するか

(1) 設計者

設計者は、その構造物を取り巻く背景、重要性および設計の詳細について、最も精通している立場にある技術者の一人である。したがって、**構造物が完成した時点で役割が終了するのではなく、設計者としてメンテナンスにも積極的に関与していく責任がある。**

(a) 合理的な維持管理計画を策定する

- ・点検の頻度だけでなく、**弱点となる個所の選定や、将来起こりうる劣化や変状の種類、その部位などを明確にし、劣化予測を合理的に行うための情報を提案**

(b) 壊れない構造物でなく、構造物の弱点を理解し、うまく壊す

- ・壊れない構造物を構築することだけでなく、**構造物の弱点を十分に理解し、壊れるとしたらどこが壊れるのかといった視点も重要である。**

(c) 設計思想を明確にし、うまく伝える

- ・**構造物の維持管理まで考慮した設計思想**を明確にし、さらに施工、維持管理の段階までうまく伝達することが必要である。

(d) 既往の事例(成功事例および失敗事例)に学ぶ

- ・先人たちが経験した成功事例および失敗事例を教訓に、**経験を知識化し、共有することが重要である**。また、すみやかに次の構造物の設計への**フィードバック(PDCAサイクルの構築)**が必要である。

(e) 施工、維持管理の各段階の難しさを考慮する

- ・**施工や維持管理における難しさ**を設計者は理解しなければならない。良い設計であっても、施工時の不具合を生じさせるリスクが高いものであれば意味がない。

(f) 安全だけでなく安心できる構造物を設計する

- ・安全な構造物の構築はもちろんのこと、**安心な構造物の構築が求められている**。**使用者(市民)が不安に感じるような構造物や附属物の設計は避けなければならない**。

(2) 施工者

土木構造物は様々な要因により劣化するが、現場で施工するコンクリート構造物はもちろんのこと、鋼構造の現場溶接や塗装など、施工時の不具合や、施工段階での配慮が不十分であることにより劣化する場合も多い。製造・施工に関与する非常に多くの人間の技術力と熱意が構造物の品質に大きく影響することを深く認識するとともに、具体的には以下の点に留意する必要がある。

(a) 設計や維持管理にフィードバックすることを前提にする

適切な施工がなされた構造物のデータが蓄積され、分析される必要がある。施工の現場で生じる不具合や、供用後の構造物に生じる劣化の原因を分析し、設計、施工、材料、検査等に適切にフィードバック

(b) 施工の影響を理解し、低減のための配慮をする

(c) 劣化しにくい新設構造物を目指す

設計および施工段階で十分な配慮を行うことで、厳しい環境作用下においても劣化しにくい構造物を造る

(d) 適切な施工記録を蓄積する

新設構造物のみならず、構造物の修繕の施工の記録が適切に蓄積され、分析されることで、再劣化のしない修繕技術の確立につながる。

技術者としてメンテナンスにどう関わり、どう貢献するか

(3) 維持管理者 (a) マネジメントする人

実行可能な維持管理計画を立案し、責任を持って運営する

合理的な維持管理体制構築のために考慮すべき要素

1. 物理的状況 (どんな橋を持っているか)

橋梁の数, 種類, 長さ, 配置, 経年, 置かれる環境 etc.

2. 社会的状況 (どういう風に使われるか)

利用度, 重要度, 人口推移, 都市の将来像 etc.

3. 管理者能力 (どんな人で管理するか)

技術者(担当者)数, 技術力, 財政, 協力体制 etc.



3要素のバランスを考慮するのが良い



管理者ごとに異なった管理体制が必要

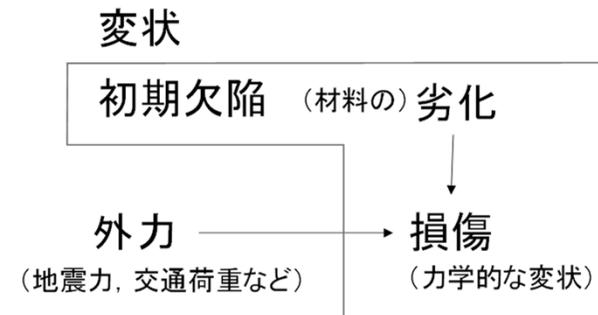
国・県や技術センターの支援, 周辺自治体との連携, 民間委託なども活用⁸

技術者としてメンテナンスにどう関わり、どう貢献するか

(3) 維持管理者

点検する人

- ・力学的な影響を含めて判断する
→同じような変状でも構造物への影響は大きく異なりえる
- ・スキルアップをはかる
→実地講習の受講など
- ・診断に必要な情報が何かを考える
→診断に役立つ調査項目の選定



診断する人

診断: 劣化グレードの判定, 劣化メカニズムを特定, 劣化予測, 対策決定

健康状態の把握

病名の特定

処方

設計, 施工, 維持管理の幅広い知識が必要

対策する人

対策の目的 = 構造物の延命・機能増強
補修設計時の劣化想定 ≠ 実際の劣化状態
既存構造物の設計・施工を熟知しておく



目的達成のため、
臨機応変・誠実に対応する能力が必要

メンテナンスの流れ

メンテナンスの中核が“診断”

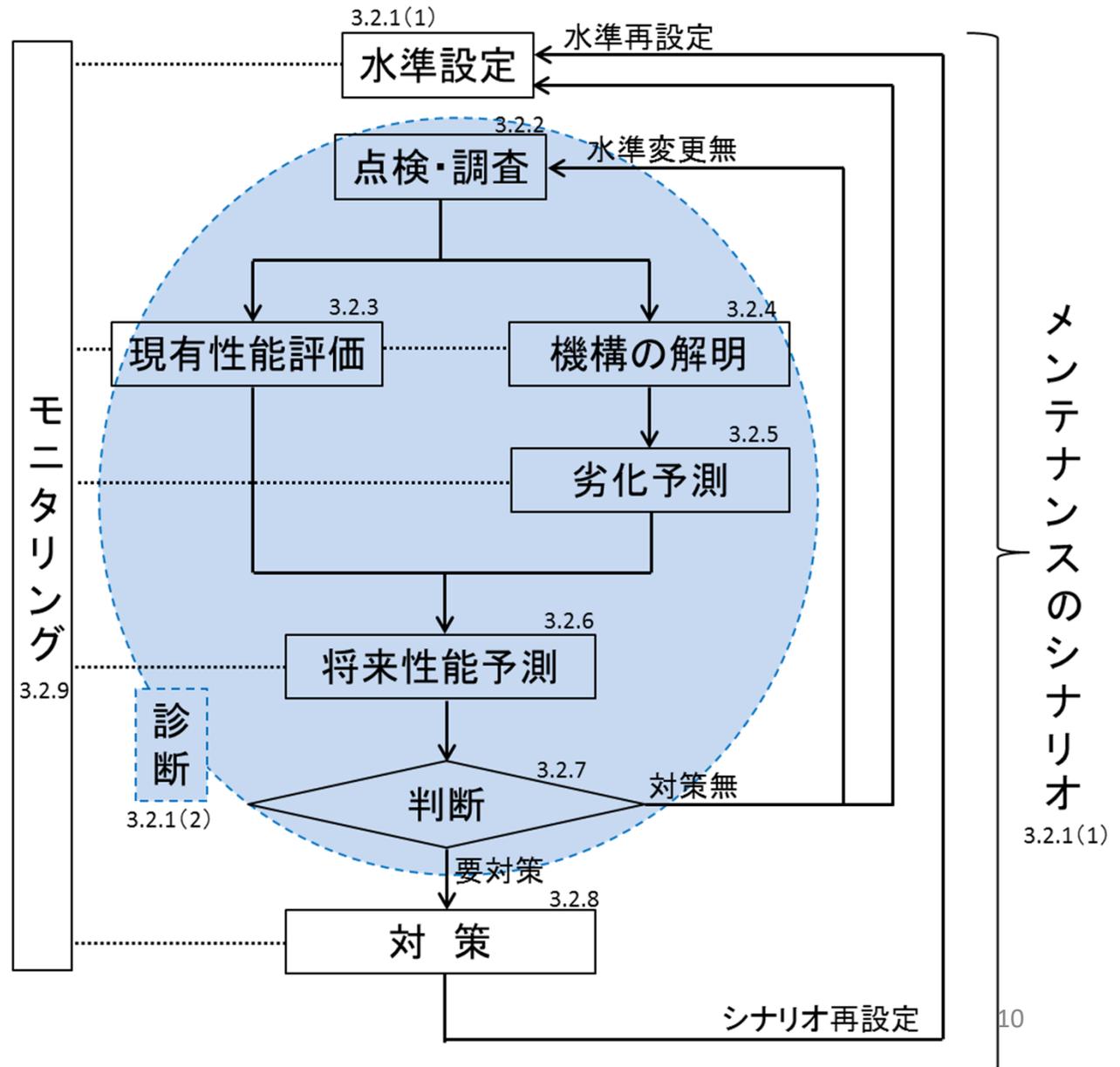
診断に含まれる行為

- ・点検・調査
- ・現有性能評価
- ・機構の解明
- ・劣化予測
- ・将来性能予測
- ・判断
- ・モニタリング

診断の種類

- ・経験的な判断
- ・特定のデータ指標に基づく判断

総合的な知識と
高度な判断力が必要



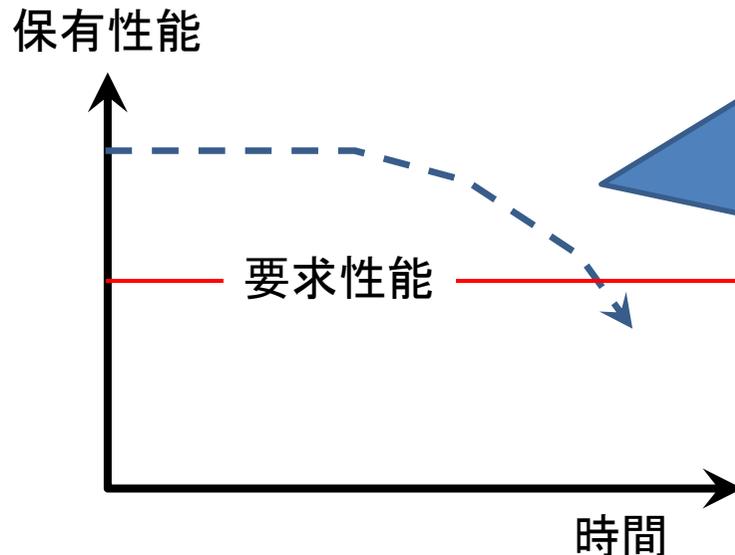
メンテナンスのシナリオ・水準

インフラのライフサイクルに渡るメンテナンスのシナリオ

将来の社会情勢は予測不可能なので、100%正しいシナリオは作成できない
→ 予測できないからシナリオ作成をあきらめるのか？

シナリオが無い場合
場当たりの対処で
反省・フィードバック等無し
→ 成長しない

シナリオが有る場合 
PDCAサイクル
→ 成長, 他への事例として活用
(知のストック)



将来性能予測(3.2.6参照)に基づき、設計供用期間と要求性能から、LCC(3.3.1参照)が最適となる対策の種類(3.2.8参照)と実施時期を設定し、そのシナリオに応じて維持管理限界を設定し、シナリオを実現するための点検の方法と頻度(3.2.2参照)を設定

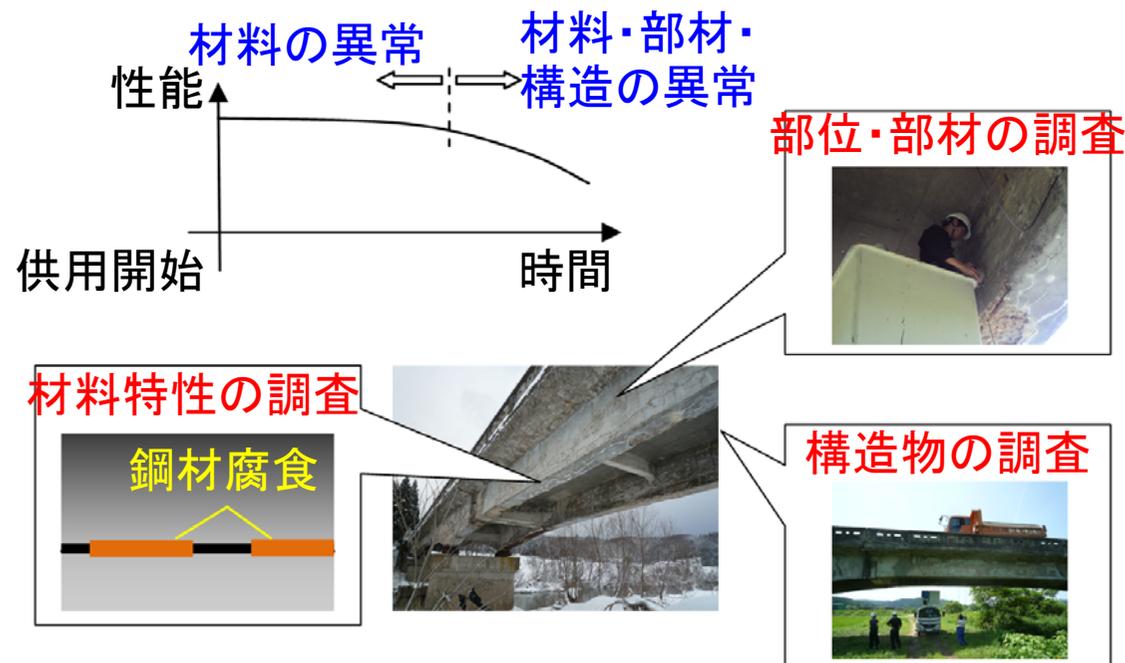
点検・調査

サンプリングと非破壊試験の併用

構造物の状態や材料物性を調べるためには、**サンプリング**と**非破壊試験**の併用が望ましい。

損傷状態に応じた点検・調査の選択

損傷が著しいほど、**材料**→**部位・部材**→**構造物**の状態把握と**性能評価**が必要になる。各種点検・調査方法の特徴を考えて、組み合わせることが重要である。



現有性能評価

評価手法の種類と特徴

- ・構造物の現況に応じて適用可能な評価手法を選定する

外観変状に基づく評価手法: 十分な経験的データが必要 安全側に評価する

設計時の性能照査式: 高度な技術的判断が必要 適用範囲が限定される

非線形数値解析: 適切なモデル化が必要 信頼性を確保すれば定量的評価が可能

表 構造物の性能評価手法の例

評価手法		評価レベル	適用条件	評価の方法
非線形解析	有限要素モデル	定量的	—	応答値と限界値の比較
	線材モデル			
性能照査式			構造細目・仕様等を満足	
外観変状に基づく評価手法 (グレーディング手法)		半定量的	経験的データの蓄積	健全度(グレード)と 性能低下の対応表

性能評価の方法

- ・評価手法に応じた評価指標を用いて実施する
- ・材料の状態ではなく、構造性能を評価する

劣化予測

社会インフラ施設群の全体推移の把握

大量のストックに対して統一的に評価できる指標(目視点検など)により施設群の全体推移を統計的に把握する。

- ✓ 中長期的な**予算計画**
- ✓ 詳細検討箇所の抽出, **スクリーニング(管理のメリハリ)**
- ✓ **劣化要因の分析**と新設, 更新作業への**フィードバック**

統計解析に基づく劣化予測における留意点

①データベースの適切な構築と継続的な更新

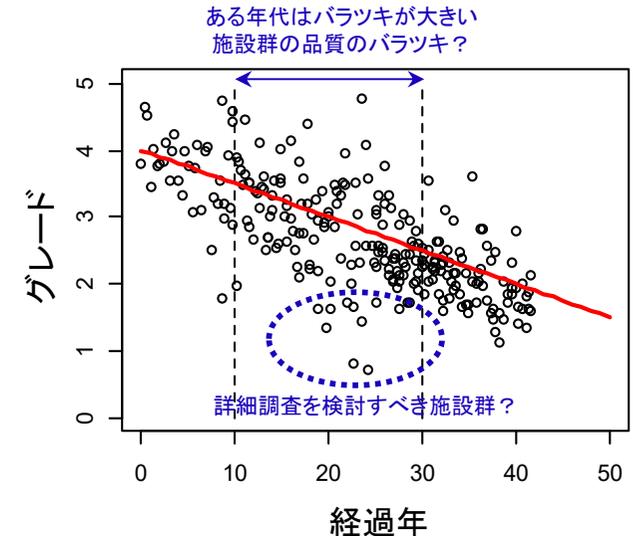
- ✓ 「諸元」, 「点検結果」, 「補修・補強履歴」, 「損傷・事故履歴」などの一元的整備

②適切なグルーピング

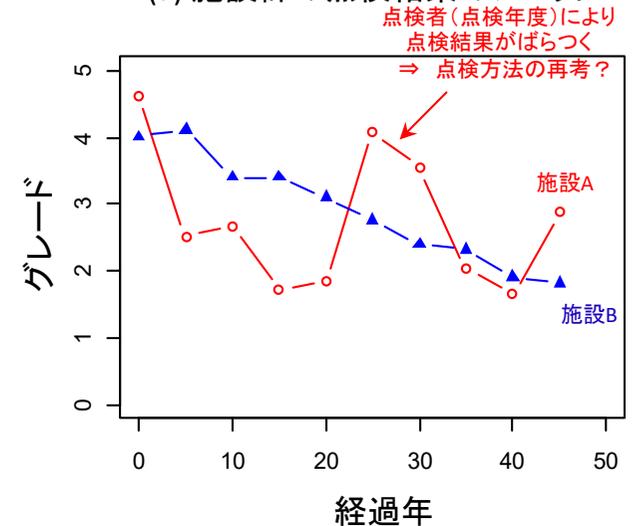
- ✓ 細目**チェックリスト**の有効活用(総合評価値だけでなく)
- ✓ 変状**スケッチ**, 写真などの**定性的情報の有効活用**
- ✓ 変状のメカニズム推定とそれに基づく**グルーピング**

③統計解析とその解釈

- ✓ 平均(トレンド)と分散(**バラツキ**)の分析
 - **バラツキこそが多くの情報を持っている**
- ✓ 技術者がモデルの妥当性を**工学的に解釈できる方法**を選択すべき(過度に複雑にしない)



(a) 施設群の点検結果のプロット



(b) ある1施設に着目した点検結果の経時変化プロット

将来性能予測

構造性能評価

新設構造物・・・存在していない

材料特性, 構造諸元, 供用用条件 → 仮定する

不確実性の考慮が必要 → 安全率を設定

既設構造物・・・存在している

材料特性, 構造諸元, 供用用条件 → 現地で測定できる

情報収集により, 予測精度が向上できる

数値解析による性能評価

意義: 劣化機構の解明, 支配因子の抽出, 将来予測への活用, 設計・施工へのフィードバック

将来予測
への活用

建設当初の情報がない場合が多い → 将来予測の精度が悪くなる

現在の劣化情報をインプット(データ同化) → 精度向上

設計・施工
へのフィードバック

数値解析の結果を咀嚼 → 簡易な設計手法や構造細目, 施工へ反映

コストが高い

数値解析結果の有効活用

対策

対策の種類

対策のポイント

点検強化

- ・ただちに補修, 補強等の対策ができない場合
- ・経済的に有利でない場合 → 例
 - ・残りの供用期間が少ない場合
 - ・重要度の小さいもの
 - ・設計より実際の作用が小さいもの

補修・補強

- ・劣化や損傷などで低下した性能を向上させる行為
 - 〔 補修: 当初のレベル以下まで回復
補強: 当初のレベル以上に向上させる場合 〕
- ・調査結果と現実とは異なる → 補修設計・施工時のリスク管理が必要
- ・データの蓄積, 分析 → フィードバック, スパイラルアップ

更新

メリット

- ・不確定要素が少ない
- ・維持管理の手間・リスクを省ける

デメリット

- ・高コスト
- ・更新時の代替機能の確保

供用制限

- ・制限の程度 → 性能評価・劣化予測が不可欠

供用停止

- ・崩壊による周辺への影響検討
- ・撤去計画の立案・実行

コストの視点 (ライフサイクルコスト, トータルコスト)

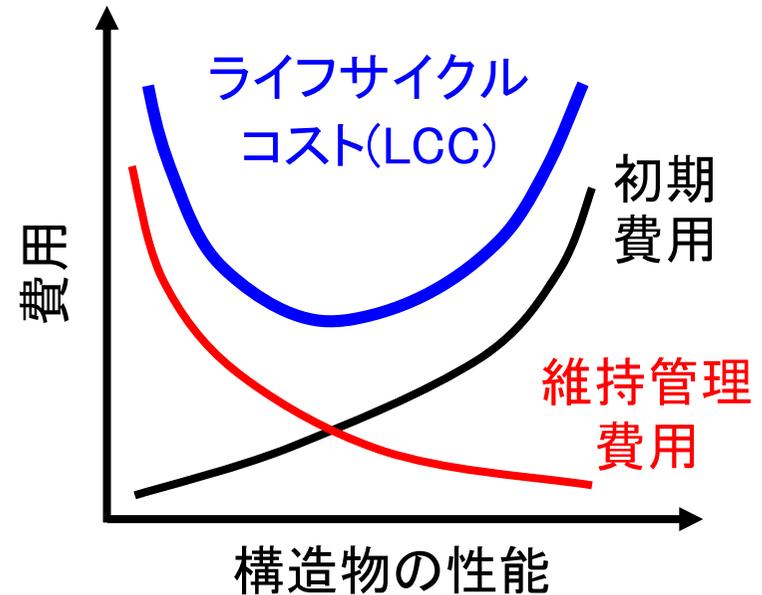
所要の性能を構造物の生涯(ライフサイクル)にわたり発揮することを前提条件



初期の建設費用だけでなく、維持管理費用・撤去費用も含めた総費用を意識する必要がある

ライフサイクルコスト(LCC)を意識した動き

- ・維持管理に関する責任を含む設計・施工一括発注
より丈夫で長持ちする構造物の計画・設計・施工の動機付けとLCCの低減が図られる
- ・予防保全とLCCの関係
変状や劣化が顕在化する前の予防保全はLCCの低減に寄与



留意点

- ・適切な算定モデルが必要
- ・LCCの算定期間に応じて最適な対策は変化
- ・構造物単体と地域の構造物群とでLCCの最適解は変化し得る
- ・物価や社会的割引率は経済情勢に大きく依存

情報の蓄積・統合化

情報の蓄積

構造物の維持管理 → 情報の蓄積が重要

医療分野 検査データの蓄積 → 病気の発見, 治療に役立っている

情報の蓄積は, 目的でない
→ 維持管理に活用するための手段
→ 目的にかなった情報を選別, 収集

情報の統合化

維持管理データの分析と意思決定
→ 情報の統合化(一元化)が必要

他機関, 日本全体のデータベースとの
互換性確保が必要

例: XML (eXtensible Markup Language)

維持管理で必要となる情報の種類

項目	概要
環境条件, 使用条件	立地している環境条件, 交通量等
設計記録(設計図書)	設計図面等
使用材料	工事において使用した材料, 品質管理記録等
工事(施工)記録	施工方法, 気象条件等, 出来形検査結果等
竣工検査記録	竣工検査記録(初期欠陥の記録を含む)等
点検・調査記録	点検調書等
補修・補強記録	点検・診断記録, 補修・補強記録工事内訳等

マネジメント(1)

(a) 維持管理計画

① 維持管理計画の現状と課題

- ・道路橋等多くのインフラにおいて長寿命化修繕計画の策定が進められている
- ・しかし、施設や管理者によって取組の進捗や計画内容にバラツキが大きい
⇒計画を策定し実行していくためのノウハウ(優先順位付け手法など)を共有

② 維持管理計画のあり方

- ・住民や利用者への明確な説明 ⇒財政の透明性向上、メンテナンスの必要性を説明
- ・管理者内部への説明 ⇒戦略的な維持管理に必要な予算や人員の確保
- ・維持管理の持続的な実施 ⇒維持管理のPDCAサイクルのスパイラルアップ

(b) 優先順位、予算平準化

① 優先順位、予算平準化の必要性

- ・限られた予算の中で施設の健全性・安全性を確保しつつ、継続的に維持管理を実施
⇒優先順位の高い施設より戦略的に対策を実施していくことが重要

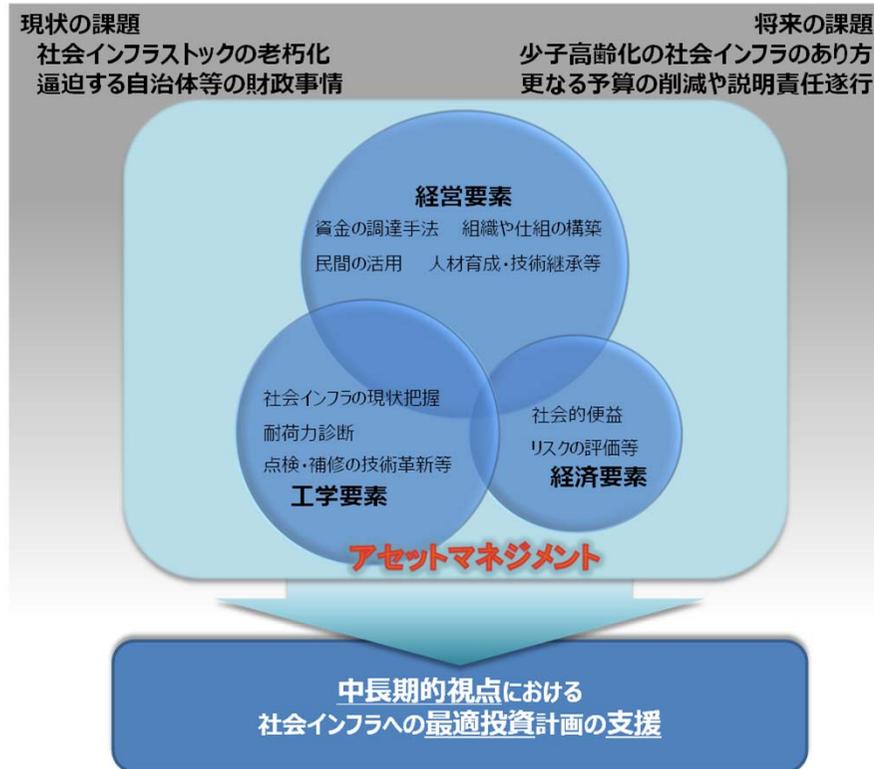
② 優先順位、予算平準化のあり方

- ・同種施設間(例:橋梁)の優先順位付け(現状)⇒全管理施設横断の優先順位付けへ
課題: 各施設の役割・機能は様々であり、異なる施設間で優劣を判定するのは難しい
⇒共通の評価指標(例えば、維持管理上のリスクに着目など)の検討が必要

マネジメント(2)

(2)アセットマネジメント

アセットマネジメントの背景と 目的を示す概念図



アセットマネジメントのポイント

- ・ アセットマネジメントは、メンテナンス工学の延長ではない。工学のみならず、経営・経済的見地から構造物を資産とし、最適維持管理する仕組み。
- ・ 時間軸を重視。インフラのライフサイクルを対象に投資効果を最大化する仕組み。
- ・ 工学的新技術の採用、民間資金導入や民間経営手法活用、あるいは地域住民との協働等を維持管理サイクルに取り込み、スパイラルアップさせる仕組み。