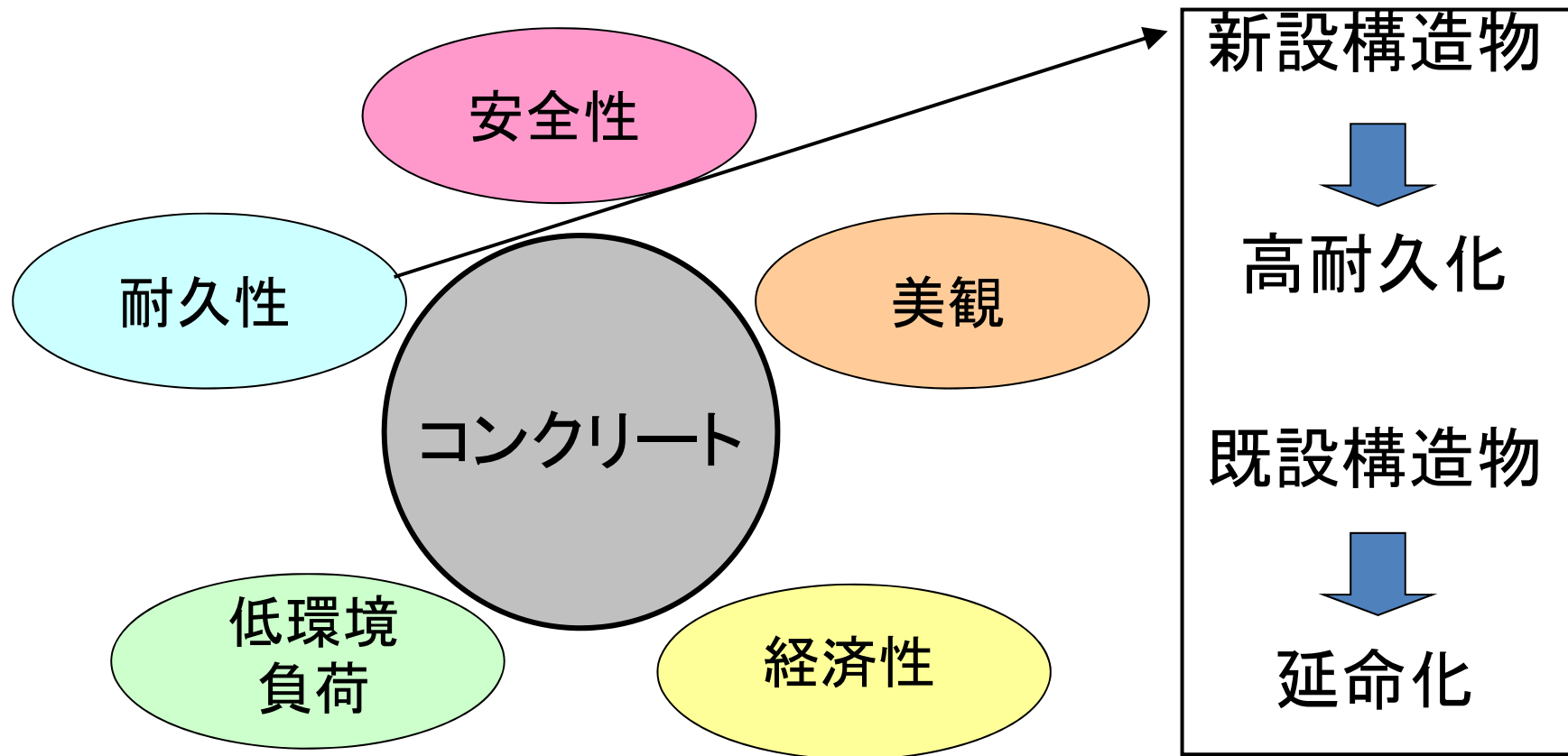


# 社会基盤メンテナンス工学

コンクリート工学研究室

岩城 一郎

# コンクリートに求められるもの



# コンクリート構造物を長持ちさせるには？

- コンクリート技術者の使命「いいコンクリート構造物をつくるためには、親切に、丁寧な」

by 吉田徳次郎先生

- 土木技術者の使命「世のため、人のため、良いものを安く造る」 by 岡村甫先生



コンクリート技術者としての誇り・責任感

# 既設構造物を延命化させるには？

## 診察(診断)

構造物の調査・点検

問診→構造物諸元

視診→目視点検

触診→ひび割れ等の測定

打診・聴診→打音検査

検査→各種非破壊検査

人間ドック→定期点検

## 治療(対策)

補修や補強などの対策

延命化のための事前対策

臨床と病理の両方を  
兼ね備えた構造物の医者  
(エキスパート)

臨床: 実構造物の調査・点検、診断・評価

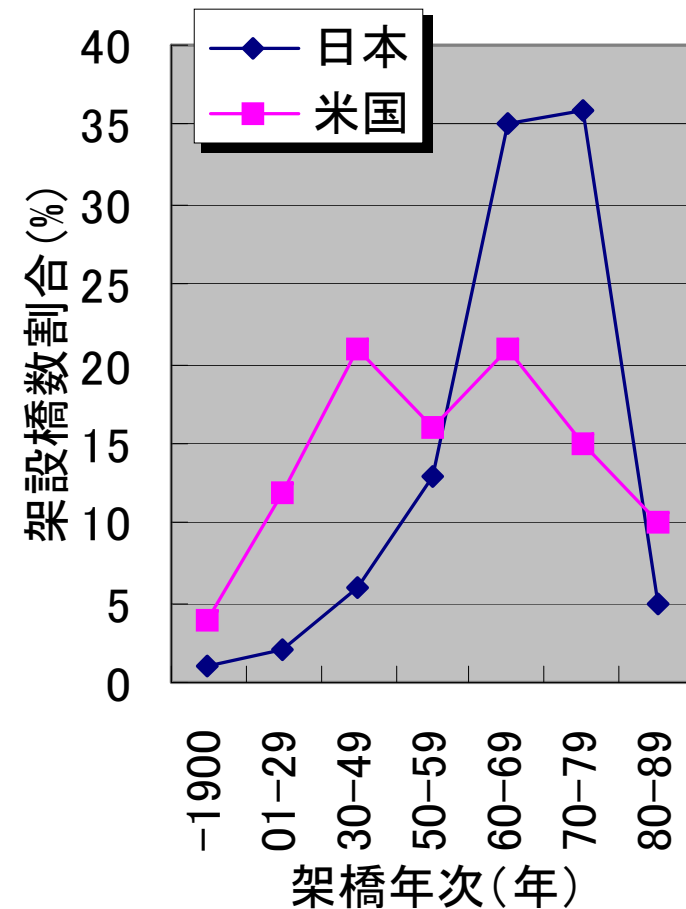
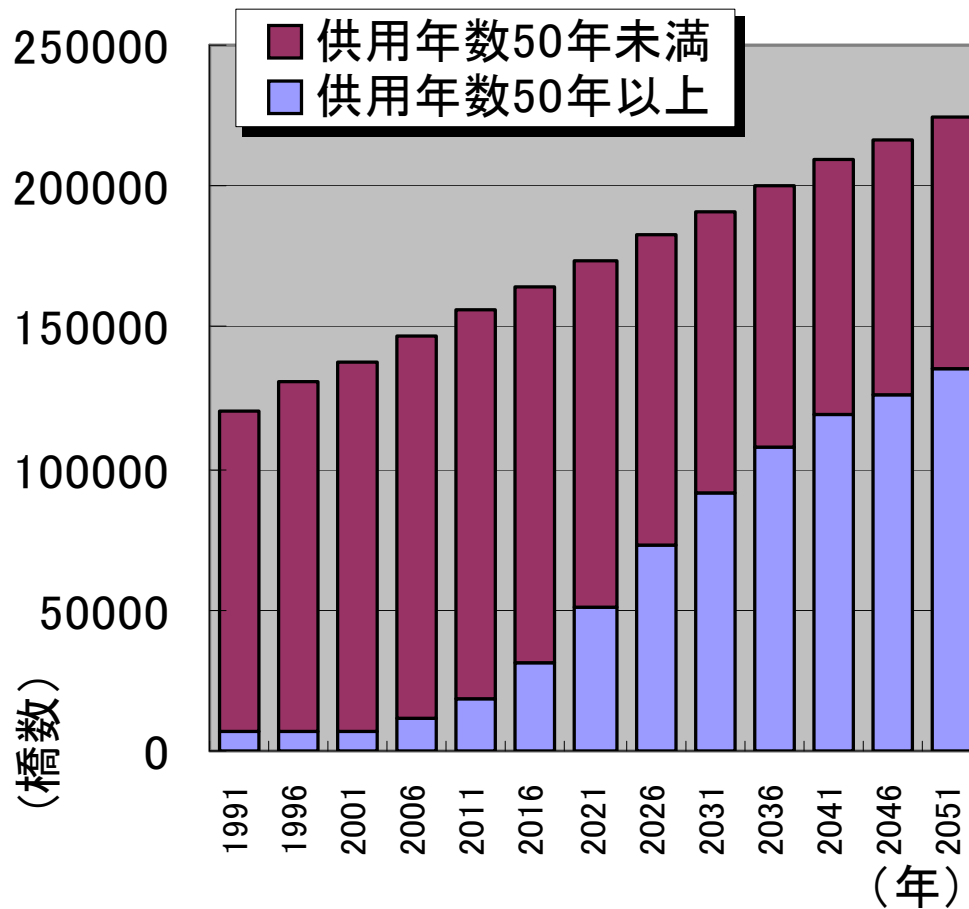
病理: 劣化要因の究明、劣化のメカニズム解明

社会基盤メンテナンス工学(東京大学出版会)

# 土木工事の変遷

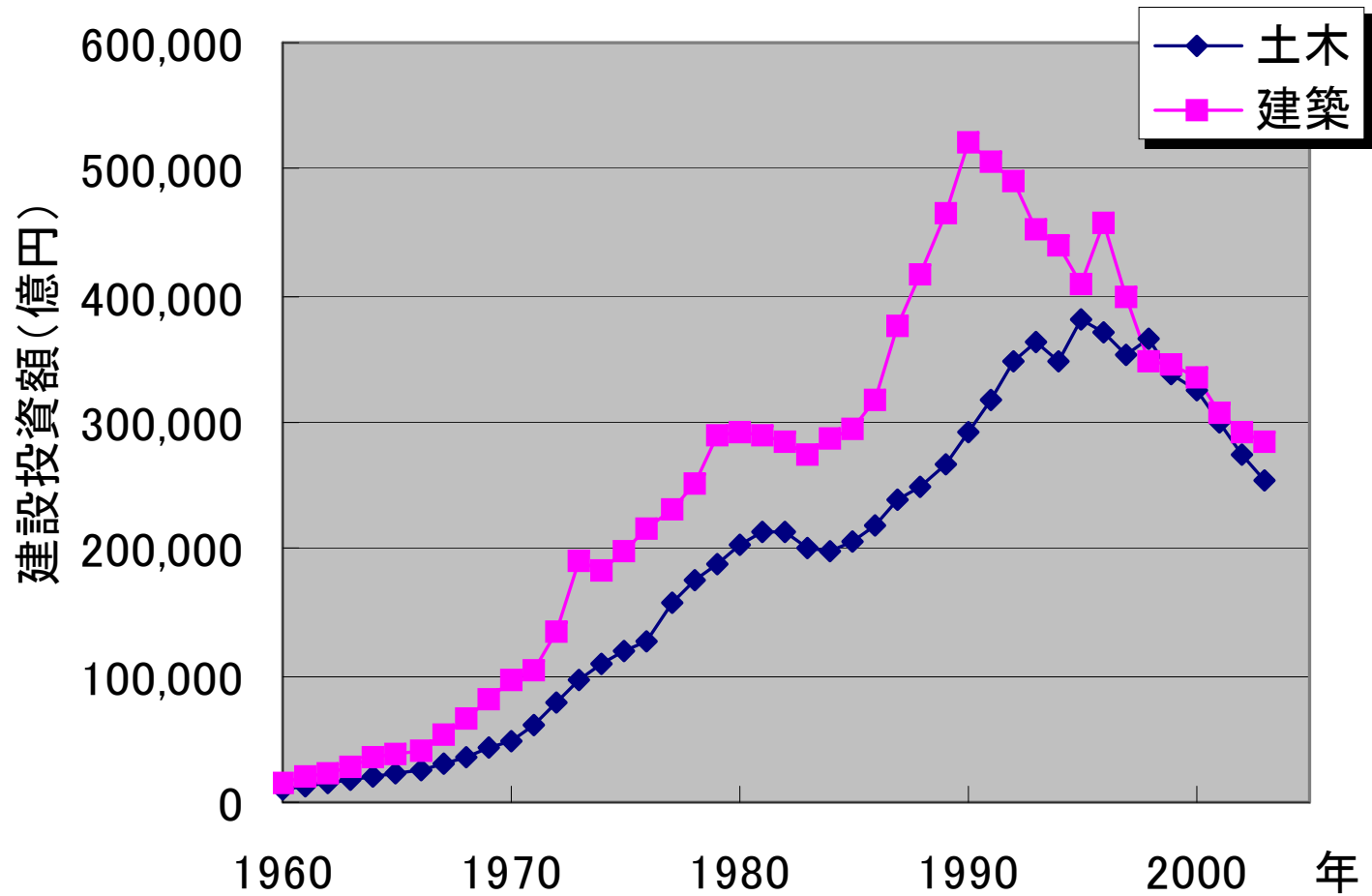
| 年代         | 我が国の土木工事  | 外国の動向および一般主要事項 |
|------------|-----------|----------------|
| 1889(明治22) |           | エッフェル塔完成       |
| 1908(明治41) | 小樽港防波堤完成  |                |
| 1929(昭和4)  |           | 世界恐慌始まる        |
| 1931(昭和6)  |           | エンパイア・ステートビル完成 |
| 1936(昭和11) |           | フーバーダム完成       |
| 1937(昭和12) |           | ゴールデンゲートブリッジ完成 |
| 1938(昭和13) |           |                |
| 1945(昭和20) |           | 終戦             |
| 1963(昭和38) | 黒四ダム完成    |                |
| 1964(昭和39) | 東海道新幹線開通  | 東京オリンピック       |
| 1965(昭和40) | 名神高速道路開通  |                |
| 1970年代     |           | 高度経済成長時代(大阪万博) |
| 1988(昭和63) | 青函トンネル開通  |                |
|            | 瀬戸大橋開通    |                |
| 1990年前後    |           | バブル経済          |
| 1997(平成9)  | 東京湾横断道路開通 |                |
| 1998(平成10) | 明石海峡大橋開通  |                |

# コンクリート橋の推移

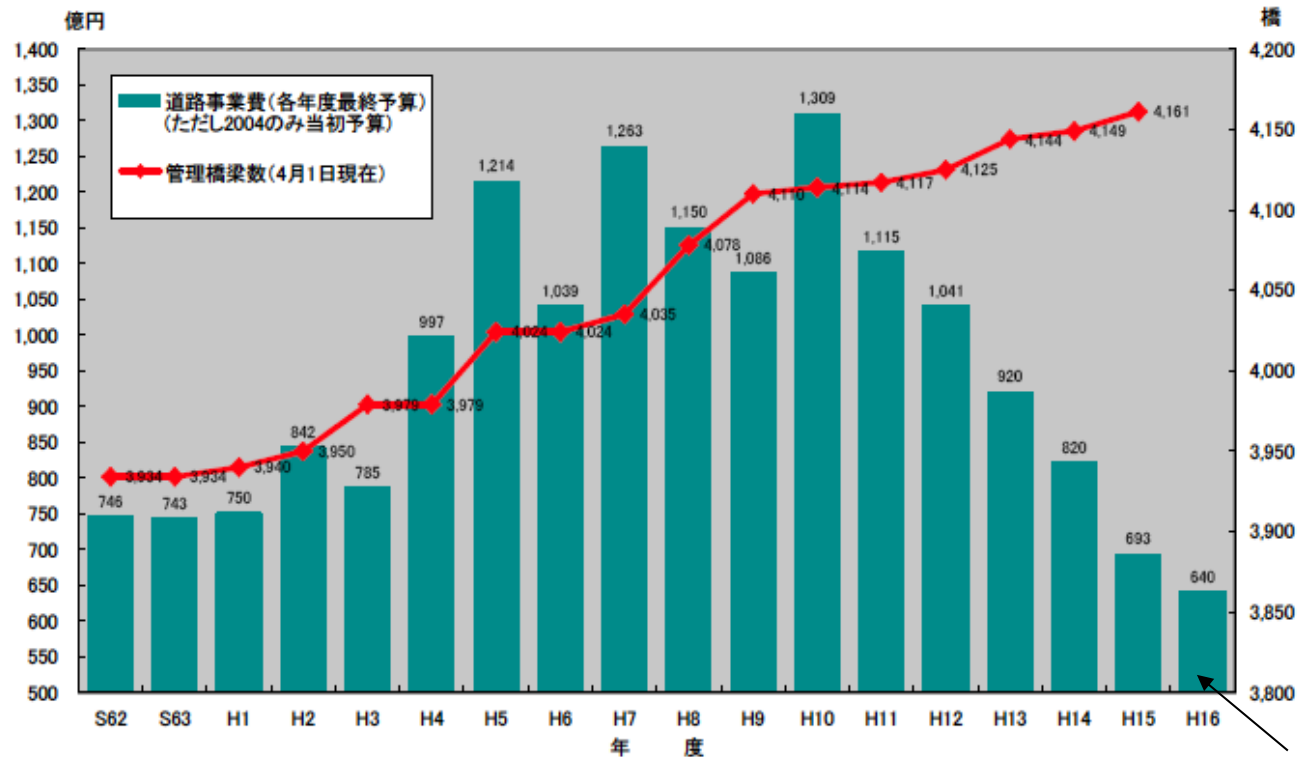


(独)土木研究所データより

# 建設投資額の推移



# 福島県の道路行政の実態



道路予算と管理橋梁数の推移

うち維持補修費  
はわずか78億円

福島県の道路管理延長5664km, 維持管理費78億円  
ちなみに首都高速道路300km, 維持管理費300億円

## これらの図表から言えること・・・

- **高度経済成長時代**: 作らなければいけないものを夢中で作った時代
- **現在**: 落ち着きを取り戻し, 将来を見据える時代(必要なものは作らない→必要なものは腰を据えて作る. メンテナンス技術の蓄積)
- **未来**: 厳しい財政下で, 増え続け, 老朽化し続ける社会基盤施設を効率的に維持していく時代(維持管理の必要性↑, 予算, 人手↓)

# 歴史を振り返る

- ローマ帝国の滅亡

「すべての道はローマに通ず」(道路, 上下水道の整備)→計画・設計・施工までは良かったが・・・  
→メンテナンス??→社会基盤施設を放棄→首都移転

- 荒廃するアメリカ

1930年代のニューディール政策(社会基盤施設の建設ラッシュ)→1970年代のオイルショック→1980年代道路構造物の劣化により道路機能の著しい低下→経済的・社会的な大損失

# 歴史を繰り返さないために

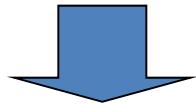
- 土木技術者としての英知を結集させる.
- 誰の仕事？  
幸か不幸か，我々の仕事
- どうせやるなら，魅力ある仕事として発展させたい.

# 社会基盤メンテナンス工学

- 2001年土木学会「メンテナンス工学連合小委員会」が設立（コンクリート委員会，構造工学委員会，鋼構造委員会，地盤工学委員会）
- 若手研究者・技術者を中心に，材料・構造形式にとらわれず，メンテナンスを工学として体系化し，魅力ある学際分野に発展させるべく活動
- 研究調査活動に基づき，「社会基盤メンテナンス工学」と題した教科書を出版

# 我が国の特殊性

- 限られた財源下での集中的なメンテナンス
- 少子高齢化時代のメンテナンス
- 複雑な地形・厳しい自然環境（島国，北海道～沖縄，地震・台風）→過酷で多様な条件



- 我が国独自のメンテナンス技術の体系化
- メンテナンス技術を通じた国際貢献
- 耐震技術，長大トンネル・長大橋の設計・施工技術に続く，国際競争力のある看板として発展

# これからのメンテナンスに求められるもの

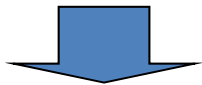
- 少ない予算で合理的な維持管理
- ニーズにあった技術開発
- メンテナンスに携わるトップエンジニアの育成
- 総合工学としての体系化：臨床だけでも病理だけでもだめ！

# 「臨床」から「病理」へ

- 現状：症例主義，経験主義，江戸時代の医学的
- 基本的な「病理」はどうなっているのか？ ウィルス性，遺伝性，生活習慣病．．．？ それに対して「薬効」は？
- メンテナンスでは，
  - － 病理＝劣化のメカニズム，物理・化学の原理
  - － 薬効＝対応する補修・補強法とその効果の予測技術
  - － 見立て＝余寿命予測
- 「臨床」のみのたたき上げ医者でも，「病理」だけの医者でも，不十分である．

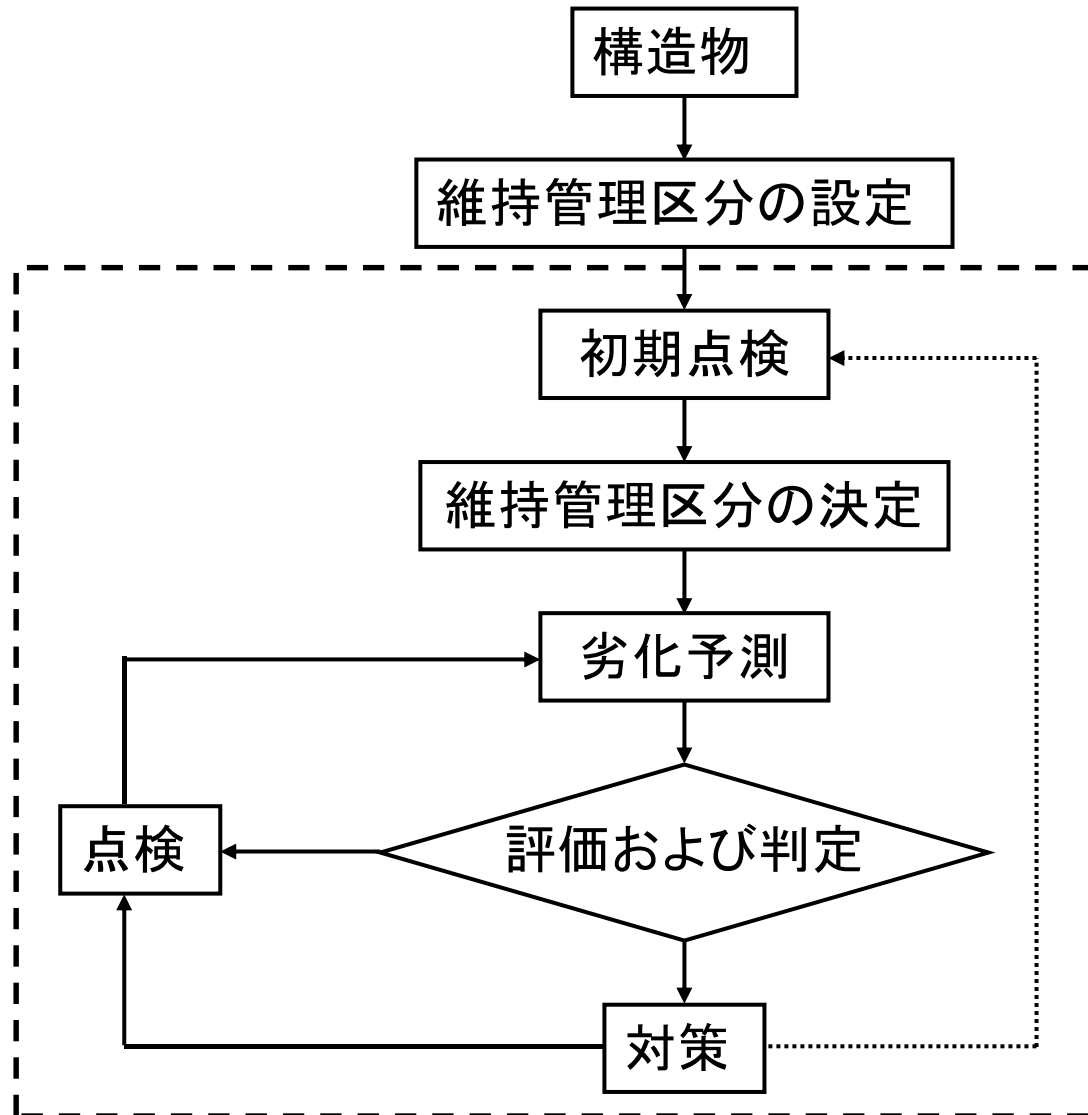
# メンテナンスの最新技術

- 新材料(各種高性能・高機能コンクリート, FRP, ポリマー等々)
- 補修・補強技術(電気防食, 表面被覆, 断面修復, 連続繊維シート補強, 外ケーブル)
- 構造物の劣化予測モデル(Computer Simulation)
- マネジメントシステム(DB, LCC, AM, RM)
- モニタリング(光ファイバセンサ)
- 構造物の非破壊検査技術(超音波, 電磁波, 欠陥再構成)



- シーズはいくらでもある. シーズを組み合わせ, ニーズにいかにか合わせるができるか?

# 維持管理（メンテナンス）の手順



維持管理区分：

A：予防維持管理（**予防保全**を基にした維持管理）

B：事後維持管理（**事後保全**を基にした維持管理）

C：観察維持管理（目視観察を主体とした維持管理）

D：無点検維持管理（点検を行わない維持管理）

# 用語の定義

## 点検(Inspection)

目視, 非破壊試験等により, 構造物に変状が生じていないか確認する行為. その手法, 頻度, 精度に応じて, 「日常点検」「定期点検」「詳細点検」「初期点検」「臨時点検」に分かれる.

## モニタリング(Monitoring)

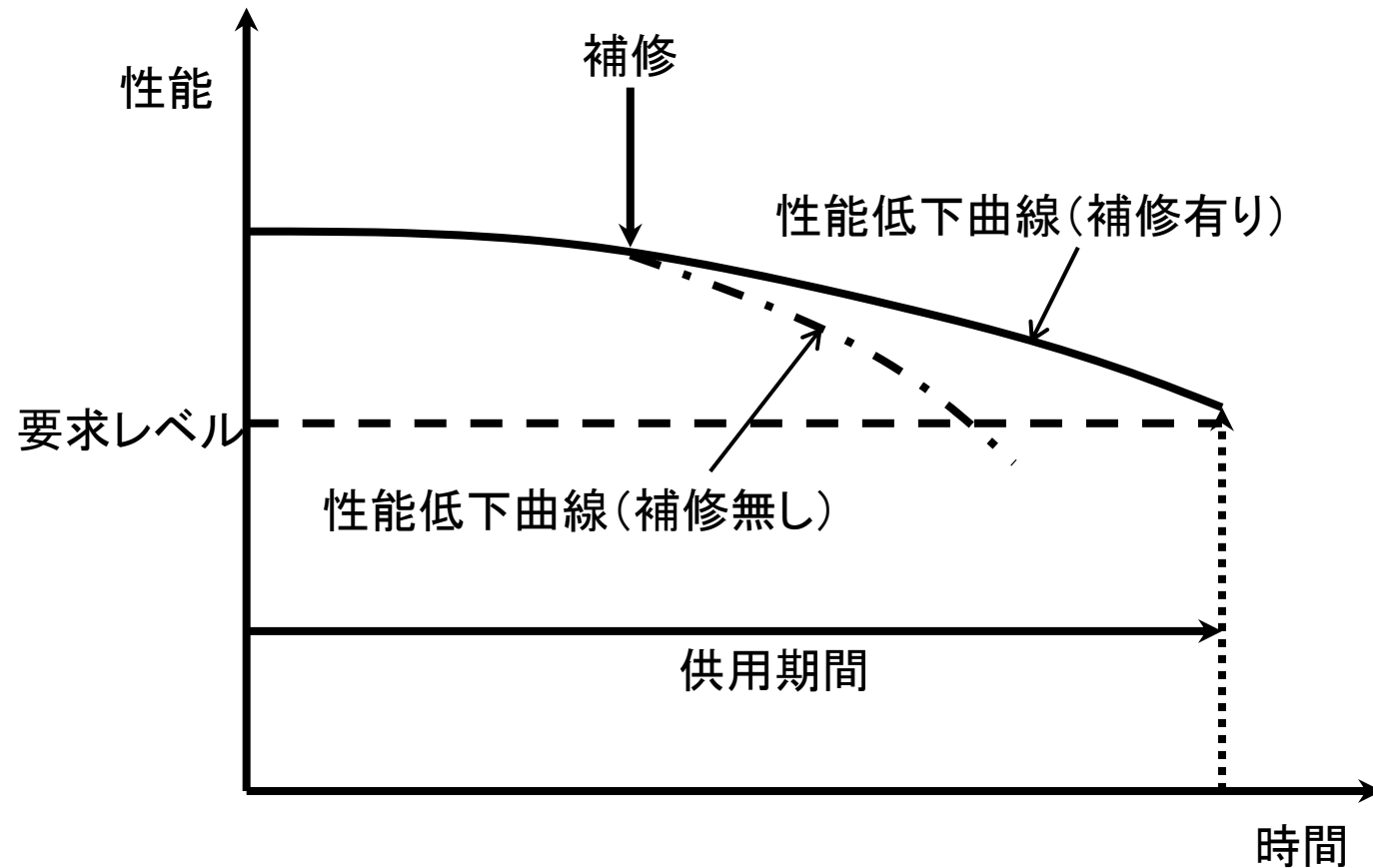
構造物の性能を直接的に反映している項目について, 適切な方法により常時観察する行為.

## 診断(Diagnosis)

構造物の健全度について, 構造物の要求性能を満足するか, 補修・補強を必要とするか等について判定を行う行為.

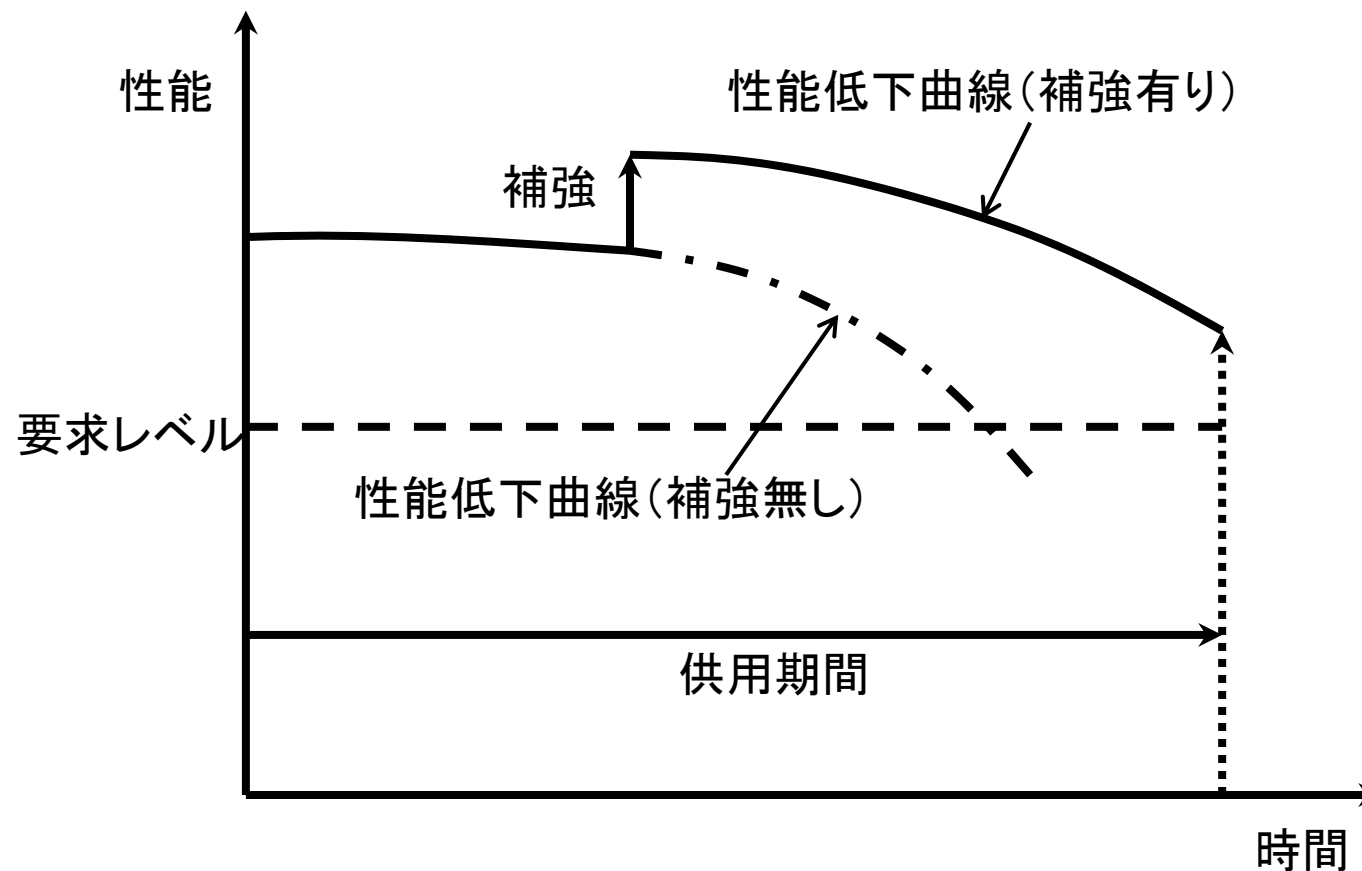
# 補修の定義

補修： 構造物の寿命を長くする、または、  
耐久性を回復・向上させるための対策



# 補強の定義

補強： 構造物の耐荷力や剛性などの力学的性能を回復・向上させるための対策



# 補修工法の種類

表1 耐久性の回復あるいは向上を目的とした補修工法<sup>4)</sup>

|      |           |          |        |
|------|-----------|----------|--------|
| 補修工法 | ひび割れ補修工法  | ひび割れ被覆工法 |        |
|      |           | 注入工法     |        |
|      |           | 充てん工法    |        |
|      | 表面保護工法    | 表面処理工法   | 表面被覆工法 |
|      |           |          | 表面含浸工法 |
|      | 電気化学的防食工法 | 断面修復工法   |        |
|      |           | 電気防食工法   |        |
|      |           | 脱塩工法     |        |
|      |           | 再アルカリ化工法 |        |
|      |           | 電着工法     |        |

山本, 宮川, 表面保護工を中心としたコンクリート構造物のアップグレード技術の現状と将来展望, 材料, 2011.11

# 補強方法の種類

表2 力学的な性能の回復あるいは向上を目的とした補修・補強工法<sup>4)</sup>

|         |            |             |
|---------|------------|-------------|
| 補修・補強工法 | 打換え工法      |             |
|         | 増設工法       | はり（桁）増設工法   |
|         |            | 支持点増設工法     |
|         | 増厚工法       | 上面増厚工法      |
|         |            | 下面増厚工法      |
|         | 巻立て工法      | コンクリート巻立て工法 |
|         |            | FRP 巻立て工法   |
|         |            | 鋼板巻立て工法     |
|         | 接着工法       | FRP 接着工法    |
|         |            | 鋼板接着工法      |
|         | プレストレス導入工法 | 外ケーブル工法     |

山本, 宮川, 表面保護工を中心としたコンクリート構造物のアップグレード技術の現状と将来展望, 材料, 2011.11

# 表面保護工法概念図

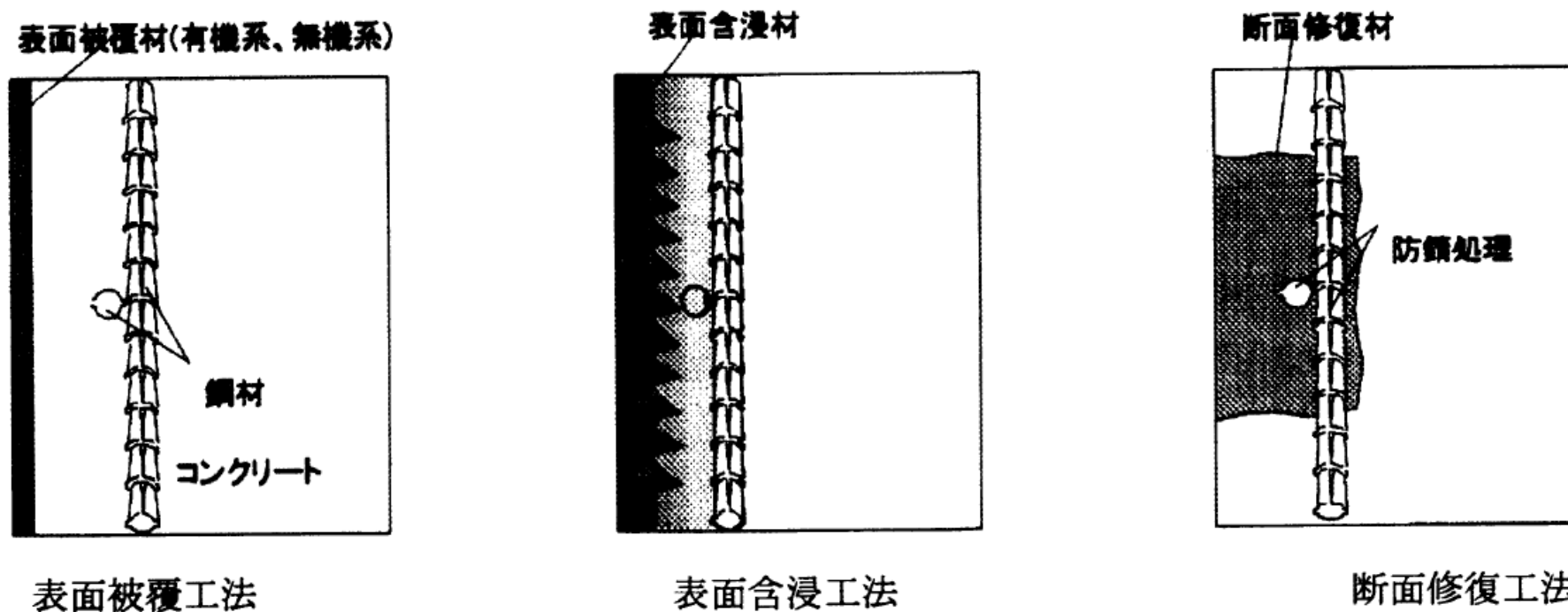
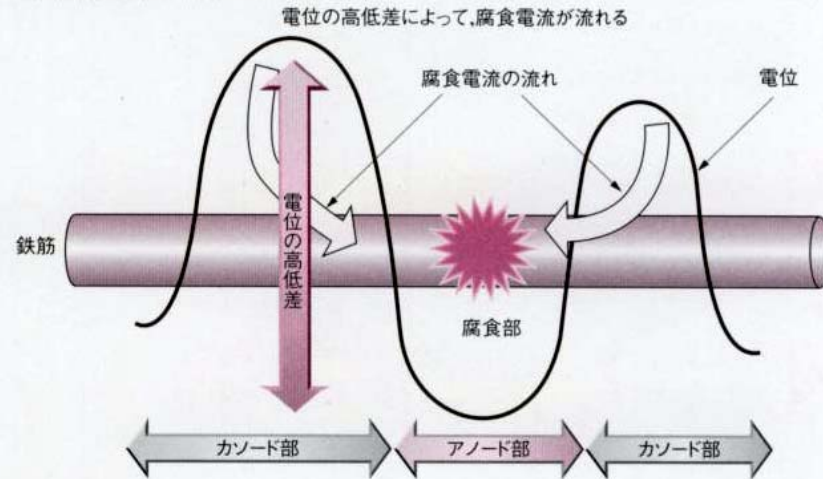


図6 表面保護工の概念図<sup>2)</sup>

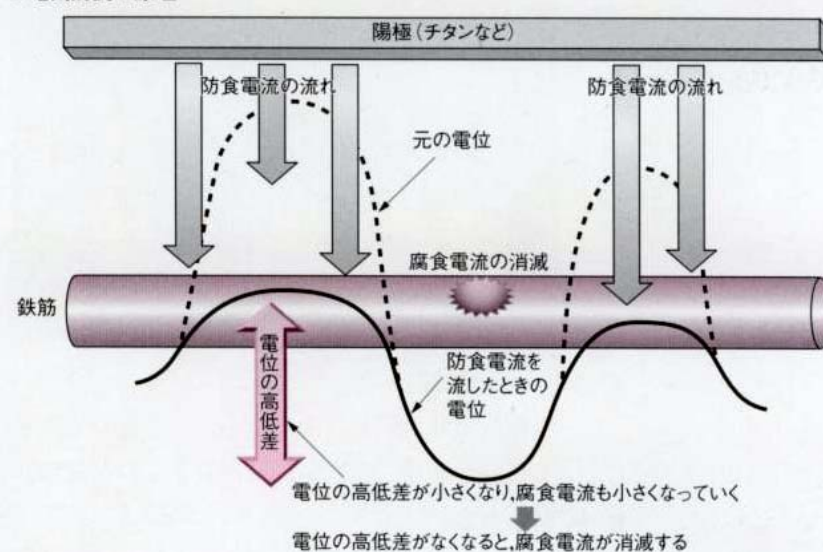
山本, 宮川, 表面保護工を中心としたコンクリート構造物のアップグレード技術の現状と将来展望, 材料, 2011.11

# 電気防食工法の概念図

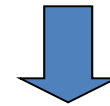
## ●鉄筋が腐食するメカニズム



## ●電気防食の原理



- 電位の高低差 大  
→ 腐食電流 大



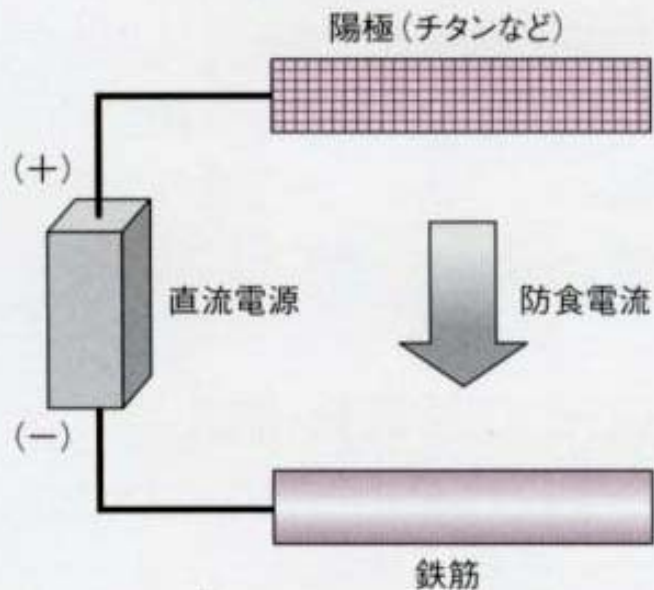
- コンクリート表面に陽極を設置. コンクリート中の鋼材を陰極とし防食電流を流す. → 電位の高低差を減少.

「コンクリート補修講座」  
日経コンストラクションより

# 電気防食工法の種類

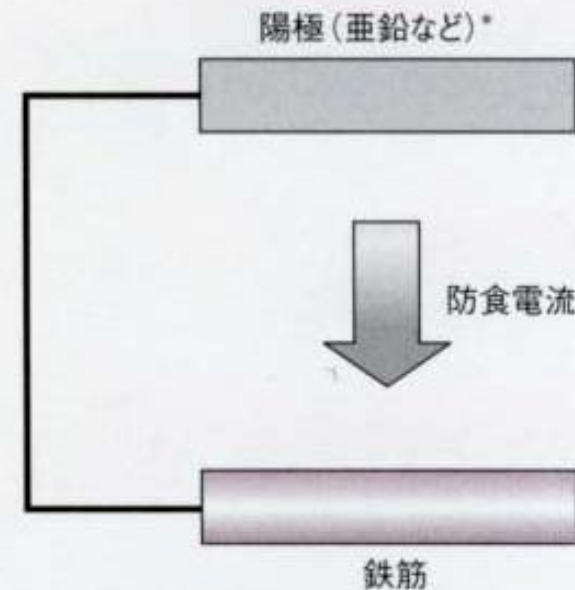
## ●電気防食工法の分類

### 外部電源方式



- ・チタンメッシュ方式
- ・チタンリボンメッシュ方式
- ・チタングリット方式
- ・内部挿入陽極方式
- ・チタン溶射方式
- ・導電性塗料方式

### 流電陽極方式

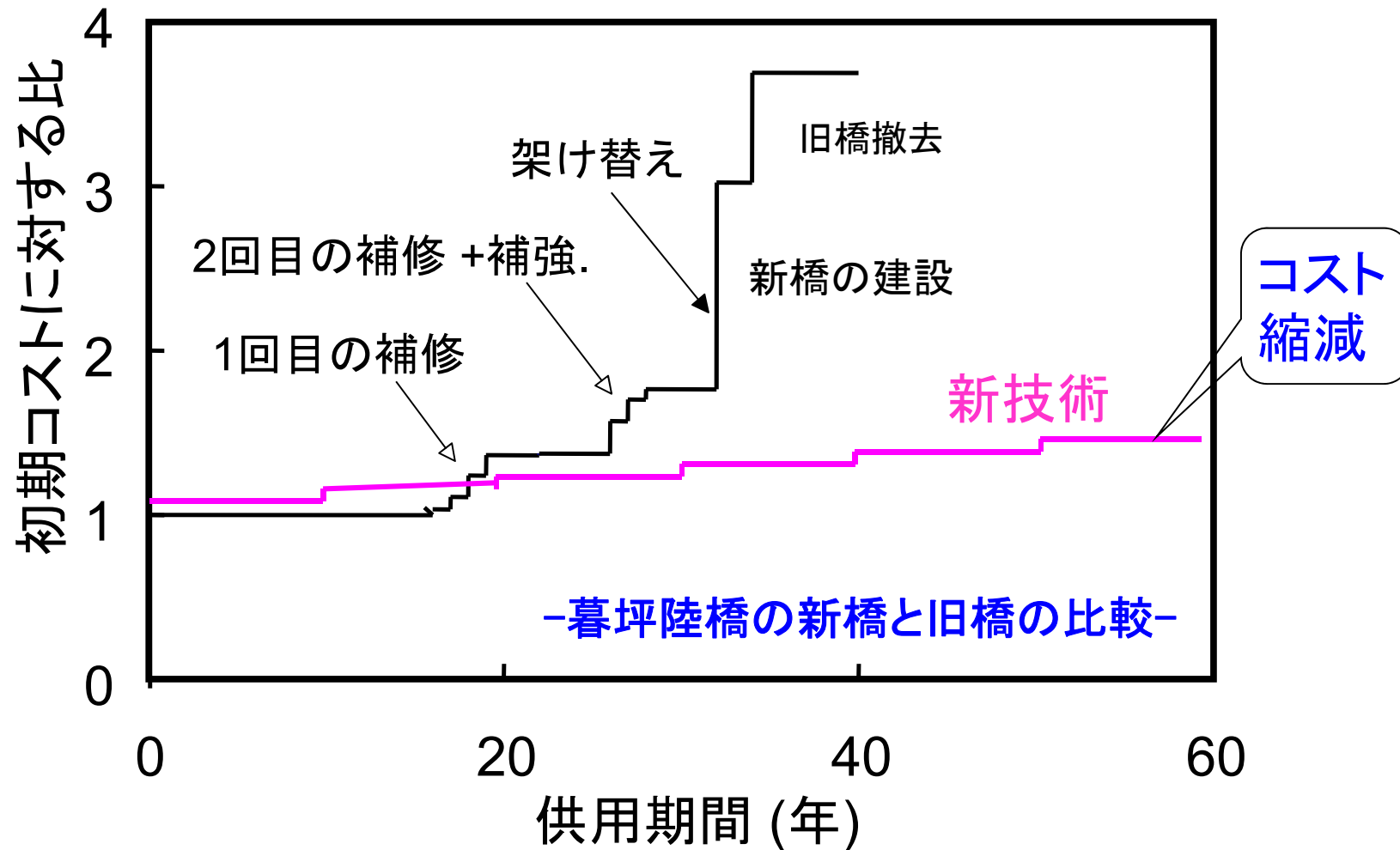


- ・亜鉛シート方式
- ・亜鉛溶射方式

\*鉄よりもイオン化傾向の大きい金属を接続すると、電源装置がなくても自然に電気が流れる

# 適切な維持管理を行うためには？

－LCC(ライフサイクルコスト)の概念の導入－



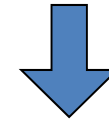
(土木学会誌2001年12月号河野氏)

# 不適切な維持管理の事例 -再劣化-



日本海に面した道路橋のRC桁

塩害により劣化



塩分を残したまま表面被覆



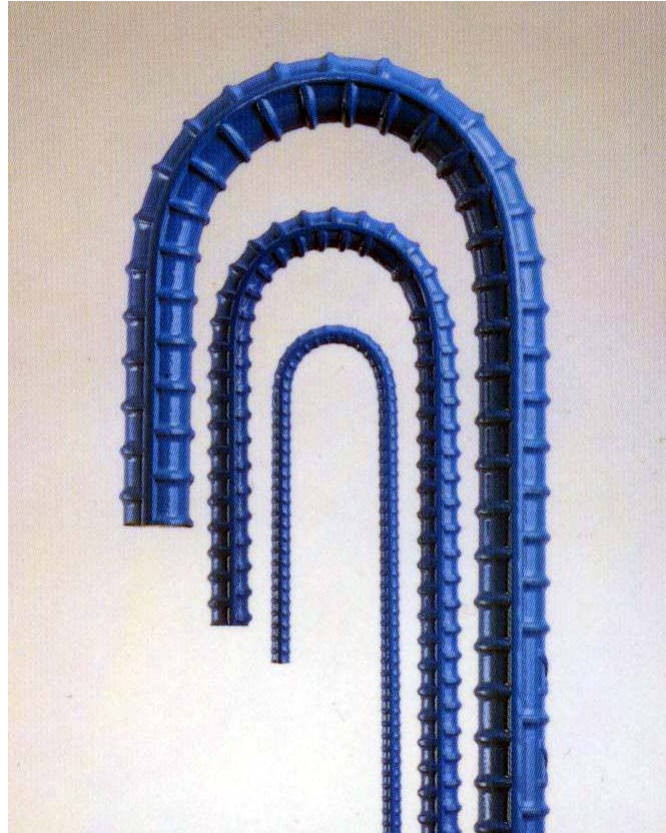
鉄筋の腐食進行

無駄  
使い！



ひび割れの再発

# エポキシ樹脂塗装鉄筋の導入



安治川鉄工建設(株)パンフレットより

- 塩害による早期劣化を抜本的に改善する工法として注目.
- 鉄筋表面にエポキシ樹脂を静電粉体塗装により塗膜厚約 $200\mu\text{m}$ で塗装.
- 要求性能:耐食性, 曲げ加工性, 付着性等.
- 厳しい塩分環境下で採用→顕著な鉄筋腐食の事例なし.
- 2003年度, 性能照査型への移行, 国際化への対応を目的とした指針の改定を完了

# エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用例



JH北陸自動車道親不知高架橋



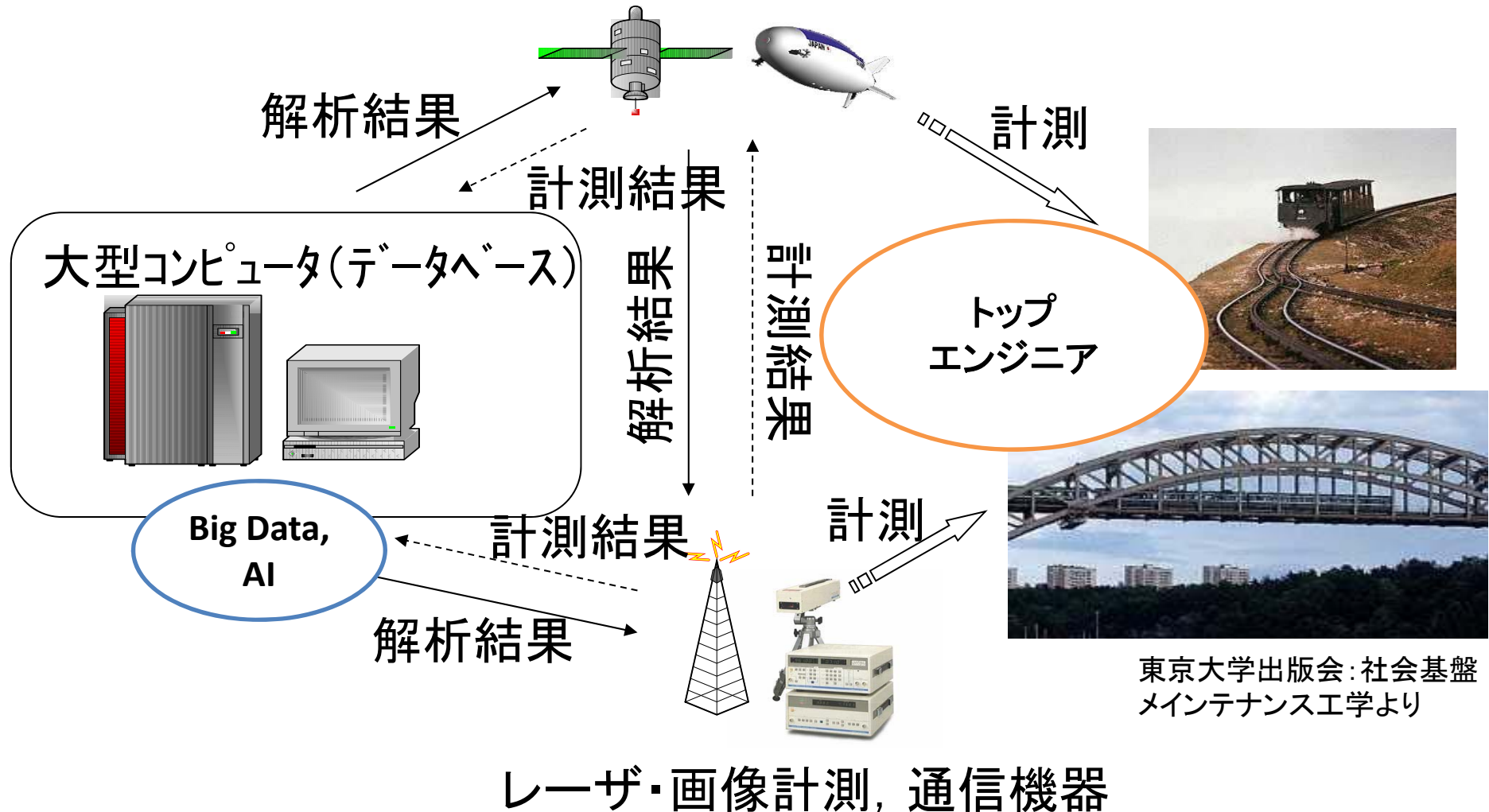
関西国際空港



写真: 安治川鉄工建設(株)パンフレットより

# 近未来のメンテナンス像

人工衛星, 成層圏プラットフォーム



# ドローンによる橋梁点検技術の開発

橋梁点検車による橋梁点検



# 橋梁点検の現状



橋梁点検車による橋梁点検



ポールカメラによる  
間接近接目視点検



# 自治体で管理している橋梁(アーチ橋)



# 葛尾村における橋梁



# 現状のドローン技術-1



1倍



17.5倍



30倍



1倍



13.4倍(斜材 リベット)



# 現状のドローン技術-2



情報工学科  
中村和樹准教授提供



# 将来構想 ～金山橋への挑戦～



## 金山橋

- 国道49号阿武隈川にかかる橋
- 日本大学工学部から約1km
- 鋼ゲルバートラス橋
- 橋長: 191.7m
- 供用開始日: 1958年4月1日 (約60年)