

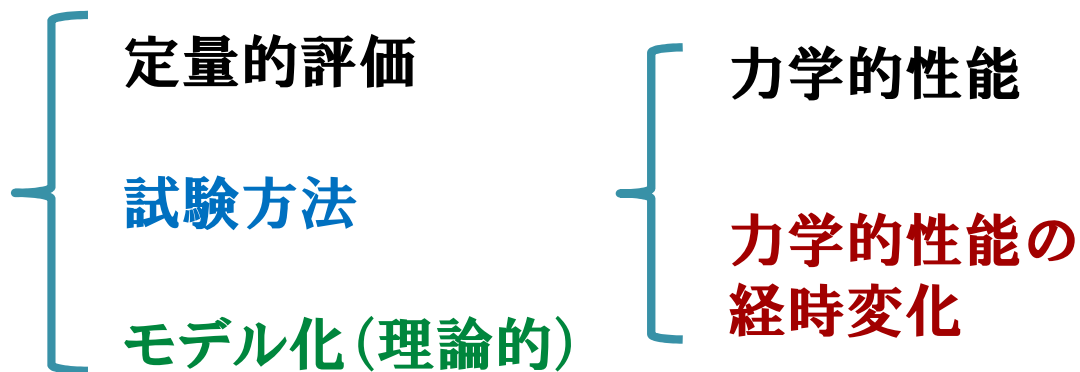
コンクリート構造物の設計、施工、 維持管理の課題と今後の展望

技術講習会（第11回）
～コンクリートの品質確保～

2017年9月4日

丸 山 久 一
（長岡技術科学大学名誉教授）

キーワード



定量的評価の意味と方法

- ★ 目標がはっきりして技術の進歩を促進する
- ★ 定量的評価のためには、適切な試験方法およびモデル（理論）に基づいた定式化が必要

鉄筋コンクリート構造物の定量的評価の現状

★ 力学的性能（耐荷性能）

{ 荷重変位関係
破壊

{ 静的
動的（疲労、耐震）

★ 力学的性能の経時変化（耐久性）

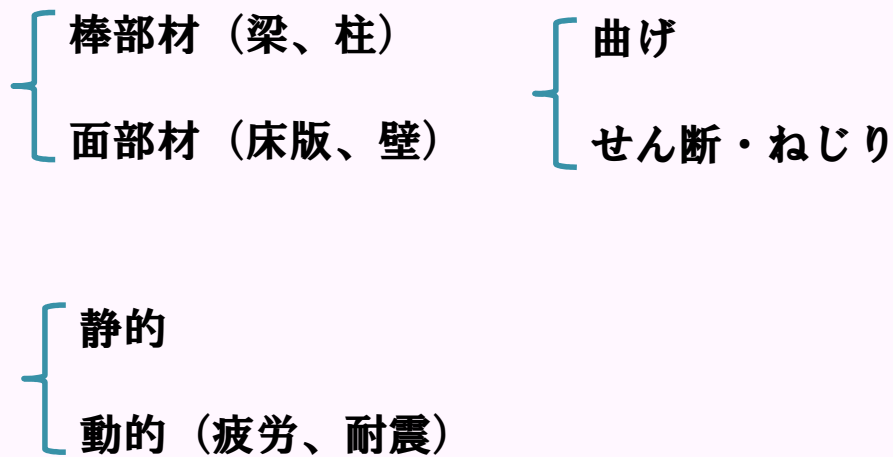
{ 材料（コンクリート、鋼材）
部材
構造物

{ 温度・湿度
塩化物イオン
化学的

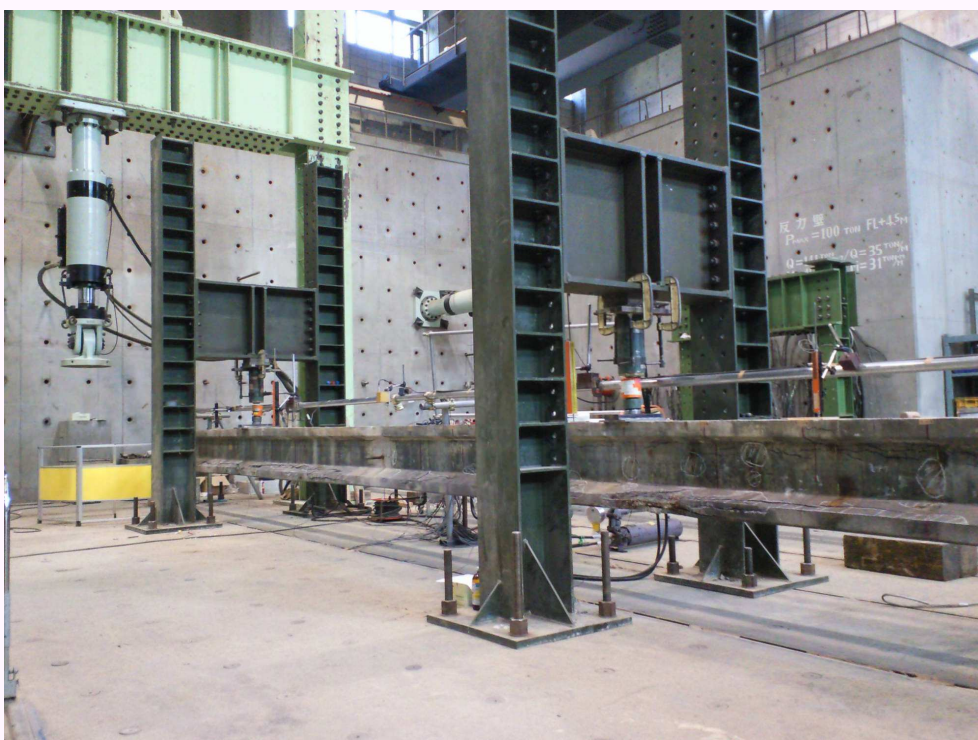
アルカリ骨材反応

1. 設 計

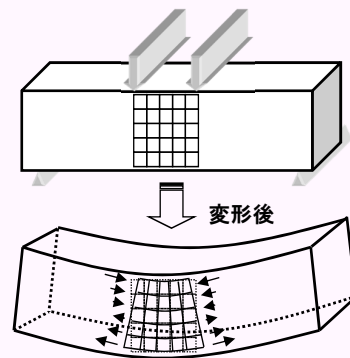
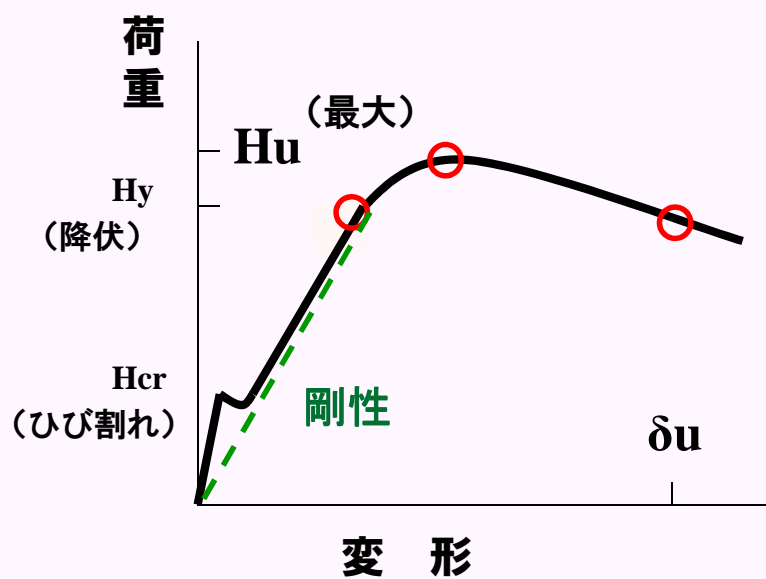
1.1 力学的性能（耐荷性能）



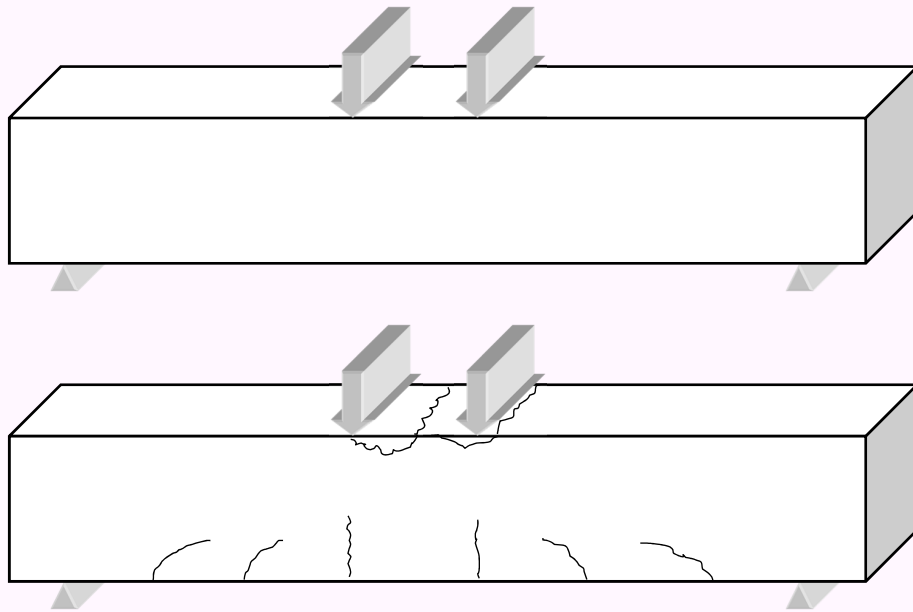
鉄筋コンクリートはりの載荷試験装置



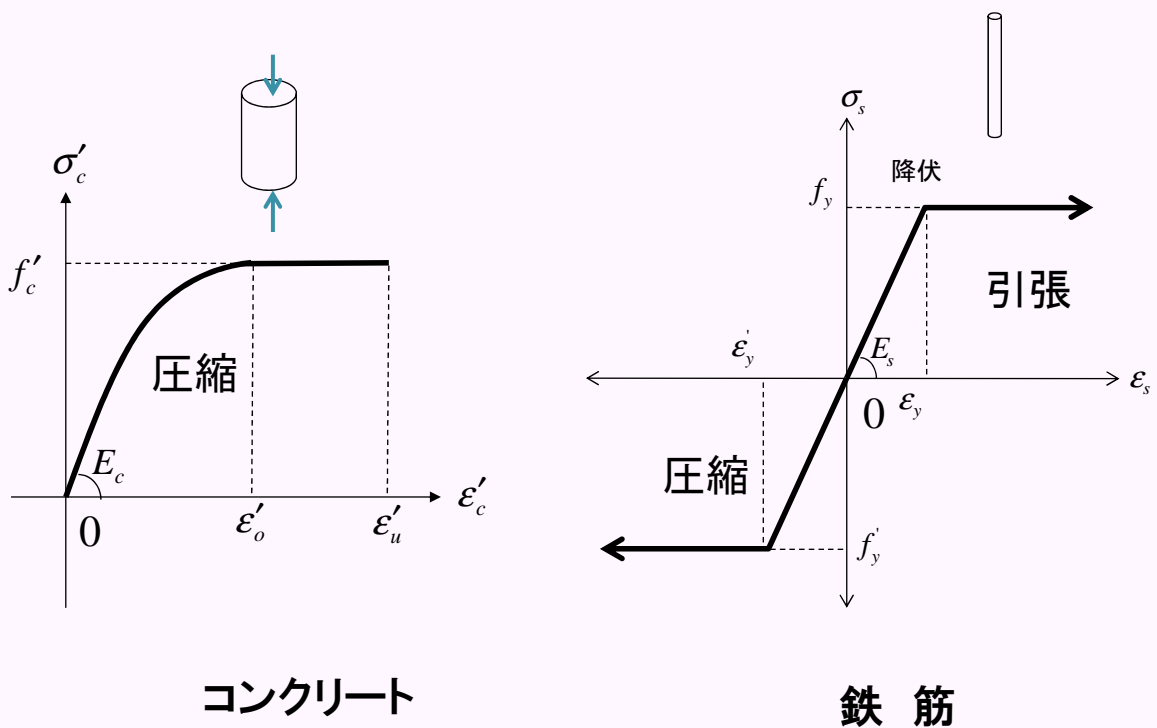
鉄筋コンクリートはりの荷重変形関係：静的載荷



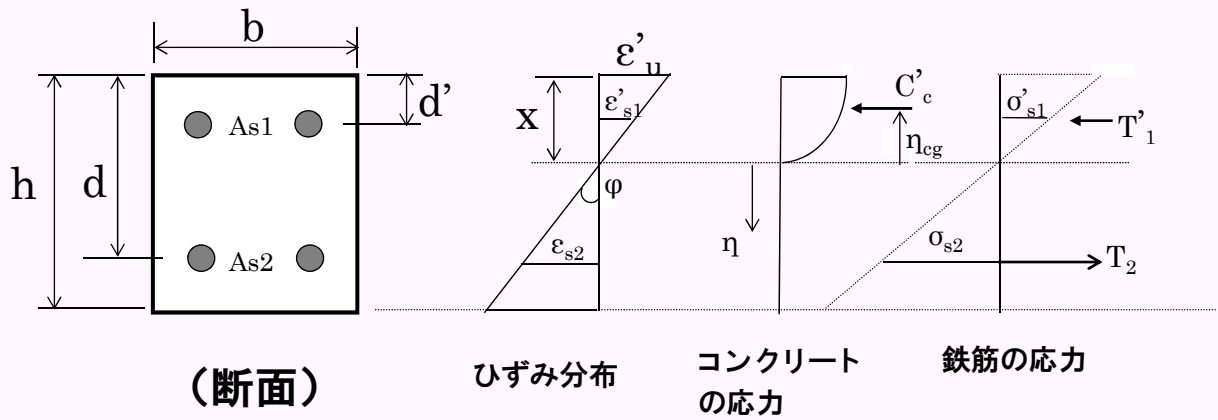
曲げ破壊



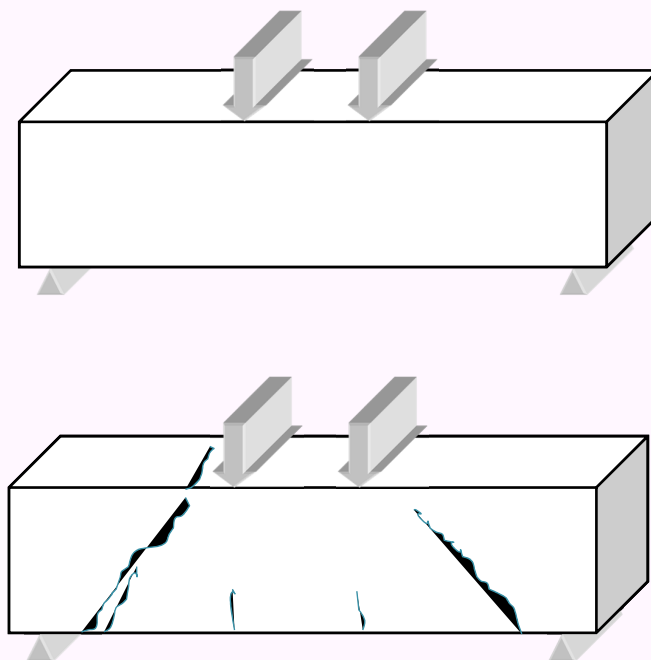
コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係のモデル化



純曲げ耐力の算定



せん断破壊



★ 曲げ性状が卓越する場合

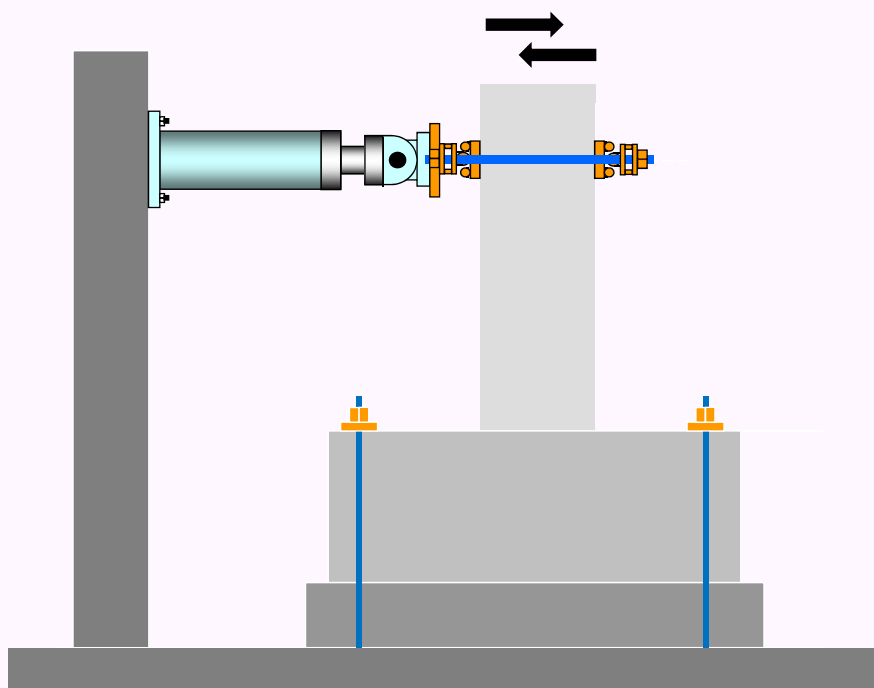
コンクリートのひび割れによる応力集中の度合いが鉄筋により緩和されるため、性状が理論的なものに近くなり、一般的なモデルの適用性が高く、予測精度も高い。

★ せん断性状が卓越する場合

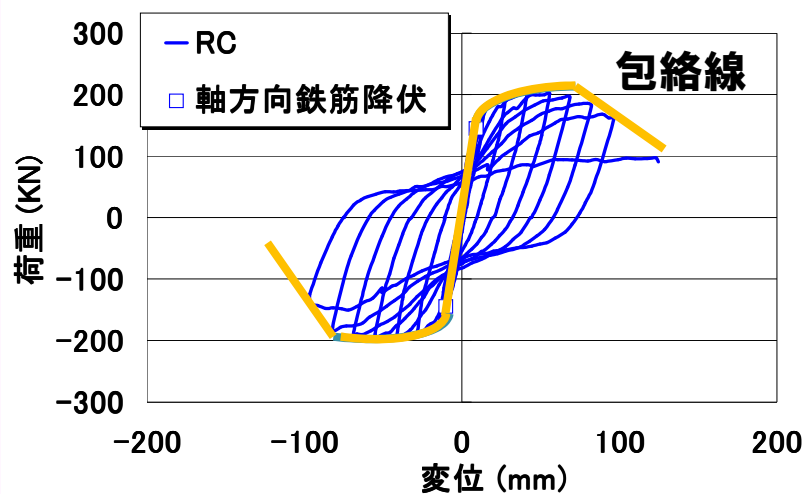
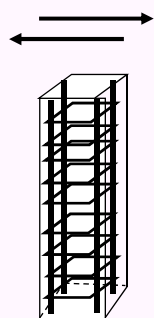
コンクリートのひび割れによる応力集中が卓越するため、ひび割れ発生位置の予測精度が全体解析の精度に大きく影響する。

断面解析においては、コンクリートの寄与分は実験式に頼らざるを得ない。従って、部材(柱・はり、床版、壁)ごとに耐力算定式が用いられている。

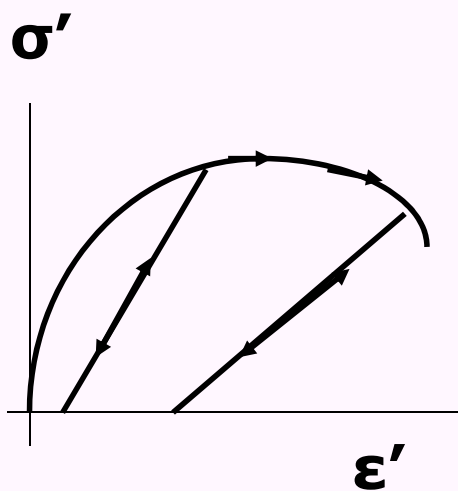
鉄筋コンクリート柱の載荷試験装置



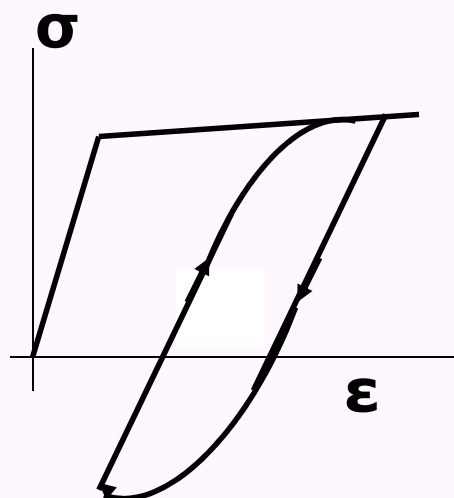
鉄筋コンクリート柱の荷重変形関係：繰返し載荷



材料の履歴モデル

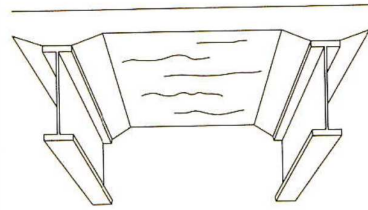


コンクリート

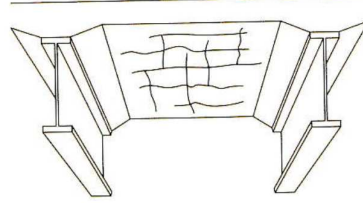


鋼材

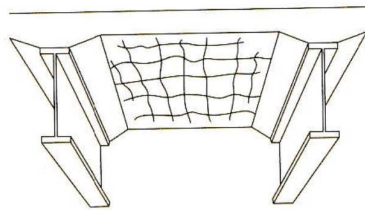
鉄筋コンクリート床版



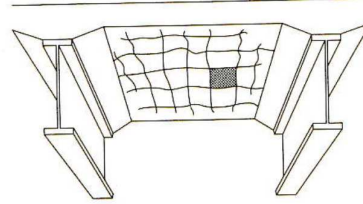
(a) 1方向ひび割れの発生



(b) 2方向ひび割れの発生



(c) ひび割れ網の発達
と角落ちの発生



(d) 床版の陥没

(松井繁之：道路橋床版、森北出版)

鉄筋コンクリート床版の載荷試験装置

初期には定点で繰返し載荷する試験装置が開発されたが、実床版の耐荷状況・破壊を表現できず、実現象を模擬した輪荷重走行試験装置が開発された。



繰返し載荷によるコンクリートのひび割れ進展をモデル化した有限要素解析手法が開発されている。

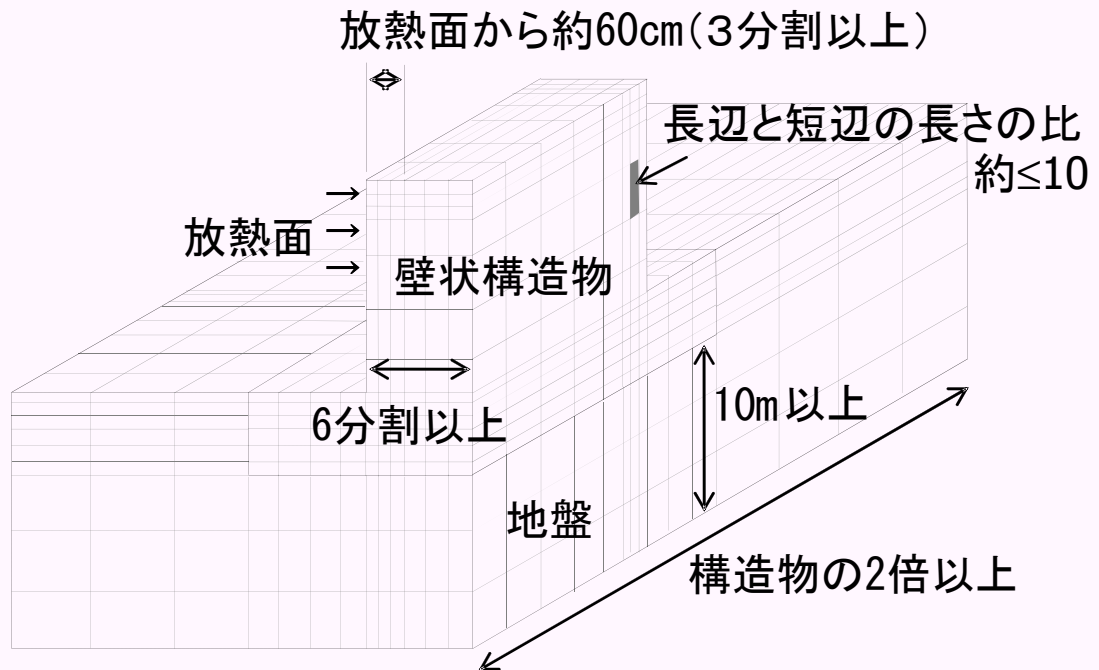
ただ、実務レベルでは、新しく提案された床版の設計や補修・補強された床版については、輪荷重走行試験で疲労耐久性を確認している。

マスコンクリートの温度応力解析

ダムコンクリートのひび割れ対策として、発熱量を抑えるコンクリート配合、冷却方法、施工方法等が種々開発されてきたが、近年、コンクリートの熱物性の解明とともに、コンクリートの強度発現のモデルの精度が向上したことから、有限要素解析で精度のよいひび割れ発生確率が求められるようになり、ダムのみならず、一般の大規模なコンクリート構造物のひび割れ対策の有効性が適切に評価できるようになった。

解析手法

有限要素法や有限差分法等の数値解析法を用いる場合



温度ひび割れ発生の評価方法：ひび割れ指数

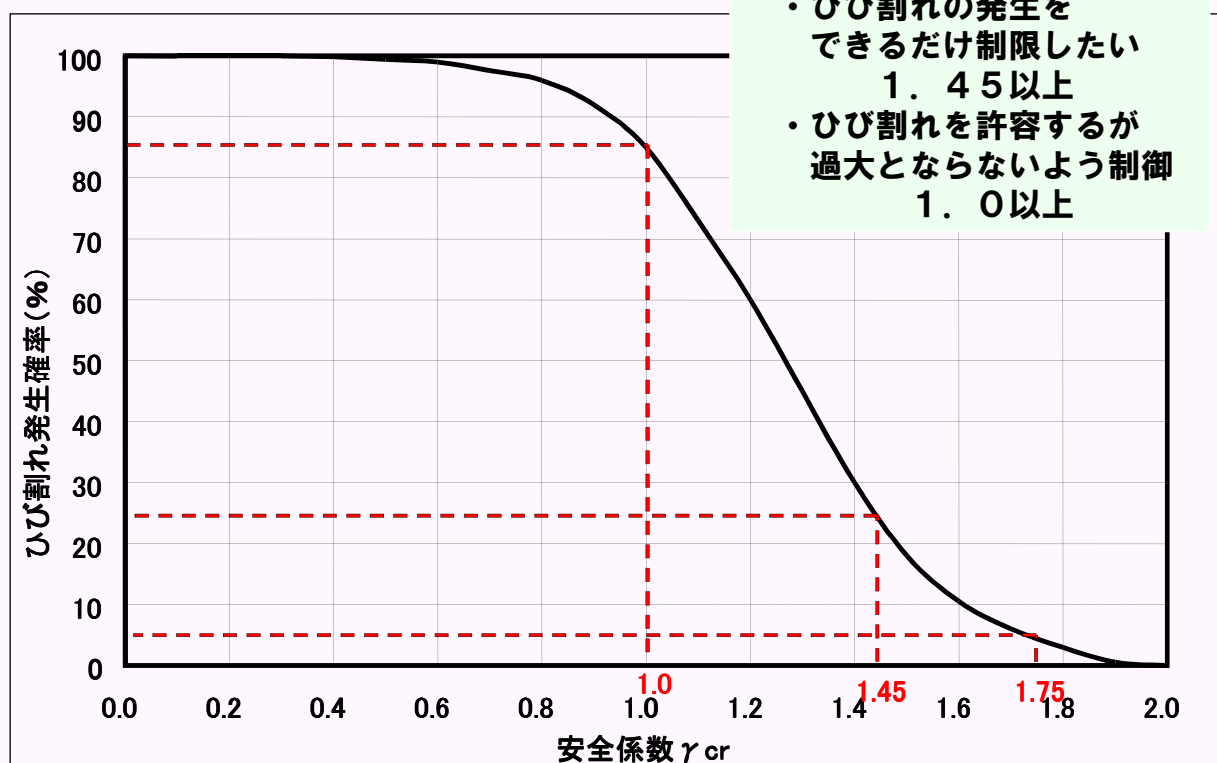
$$I_{cr}(t) = \frac{f_{tk}(t)}{\sigma_t(t)} \geq r_{cr}$$

$f_{tk}(t)$: コンクリートの引張強度 (t : 材齢)

$\sigma_t(t)$: 温度による発生引張応力 (t : 材齢)

r_{cr} : 安全係数 (1.0 ~ 1.8)

温度ひび割れ発生と安全係数



- ・ ひび割れを防止したい
1.75以上
- ・ ひび割れの発生をできるだけ制限したい
1.45以上
- ・ ひび割れを許容するが過大とならないよう制御
1.0以上

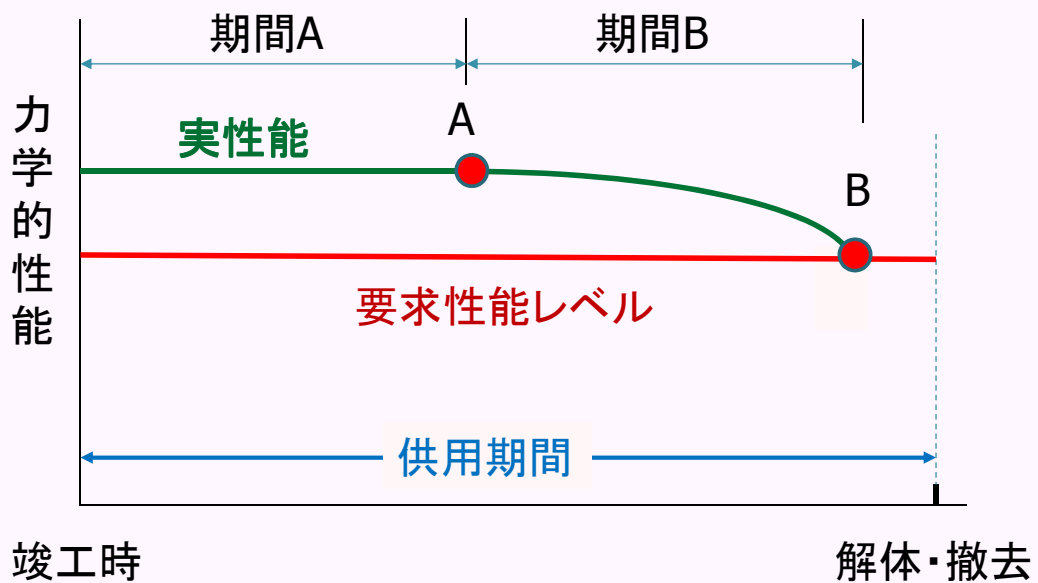
1.2 力学的性能の経時変化

材料 (コンクリート、鋼)
部材 (桁、橋脚、床版)
構造物

荷重 (疲労)
水
塩害
中性化
凍害
化学物質
アルカリ骨材

劣化速度 {
メカニズム
影響因子の強度
材料の品質
施工の良否
その他

力学的性能の経時変化



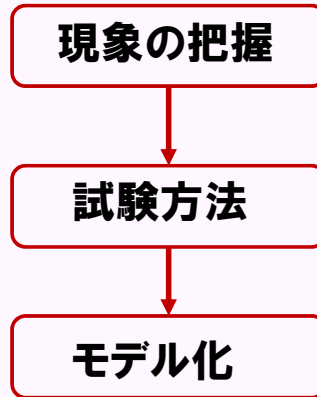
定量化すべき項目

- 実性能
- 点Aまでの期間
- 点Aからの劣化速度

メカニズム
影響因子の強度
材料の品質
施工の良否
その他

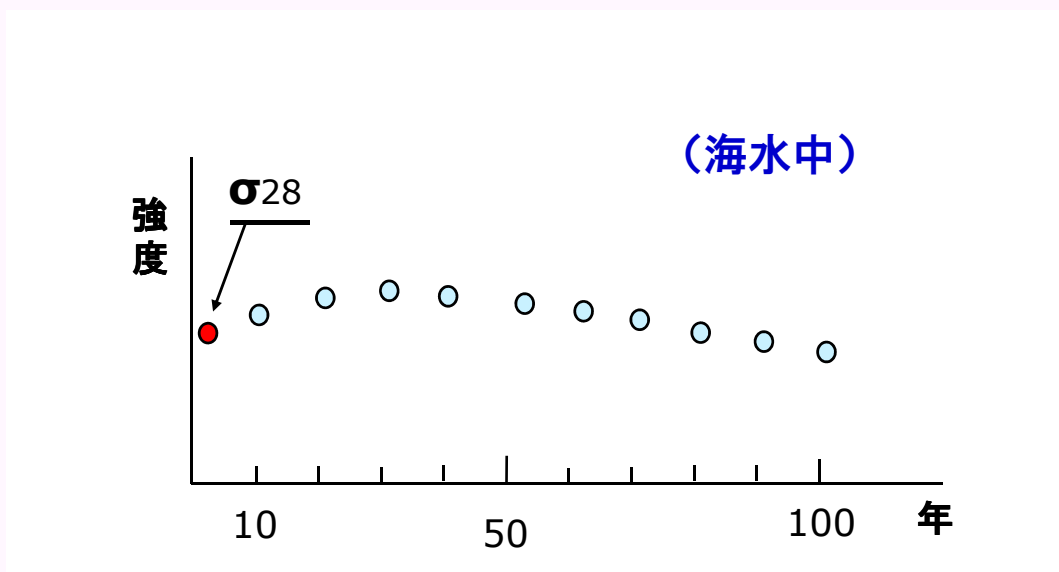
環境要因と劣化メカニズム

荷重の繰返し
水
塩害
中性化
凍害
化学的腐食
アルカリ骨材反応
その他

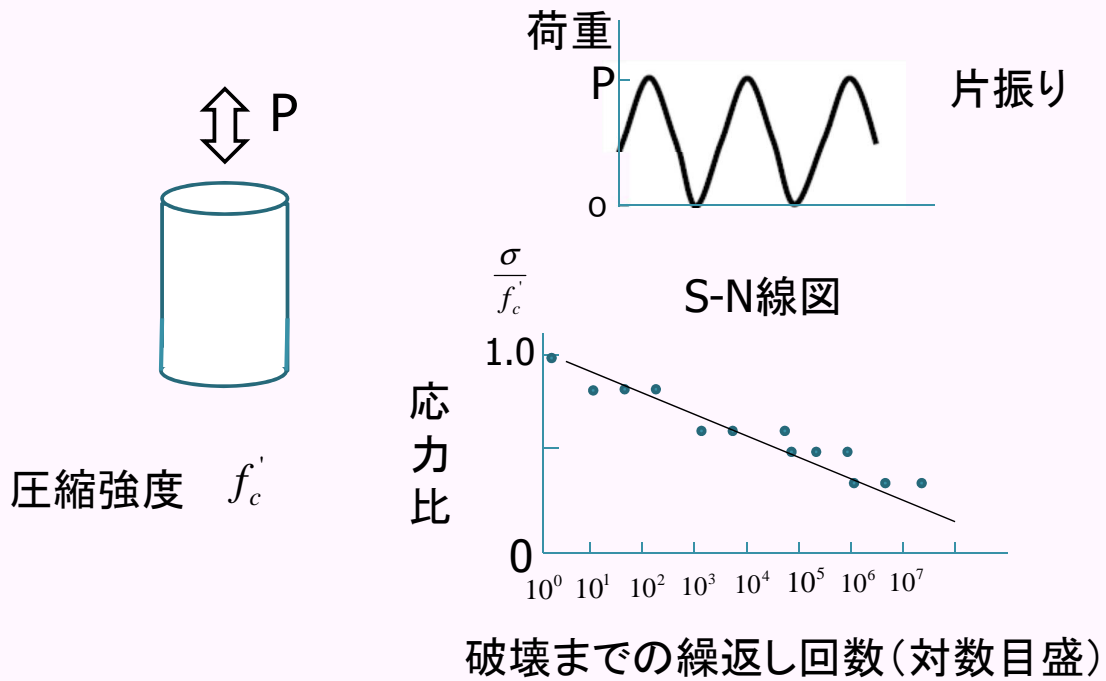


モデル化のプロセス

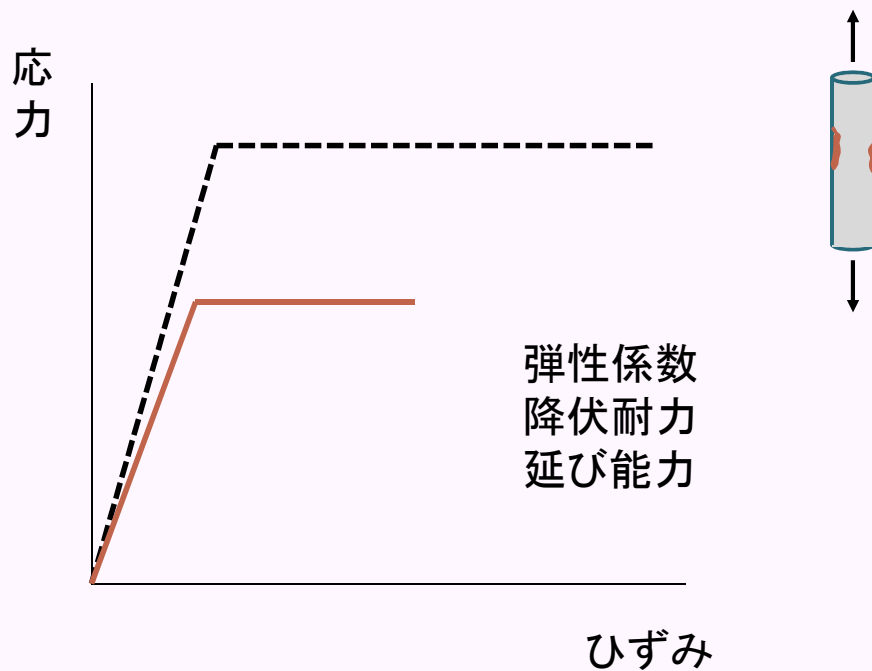
経年変化:小樽港のコンクリート強度



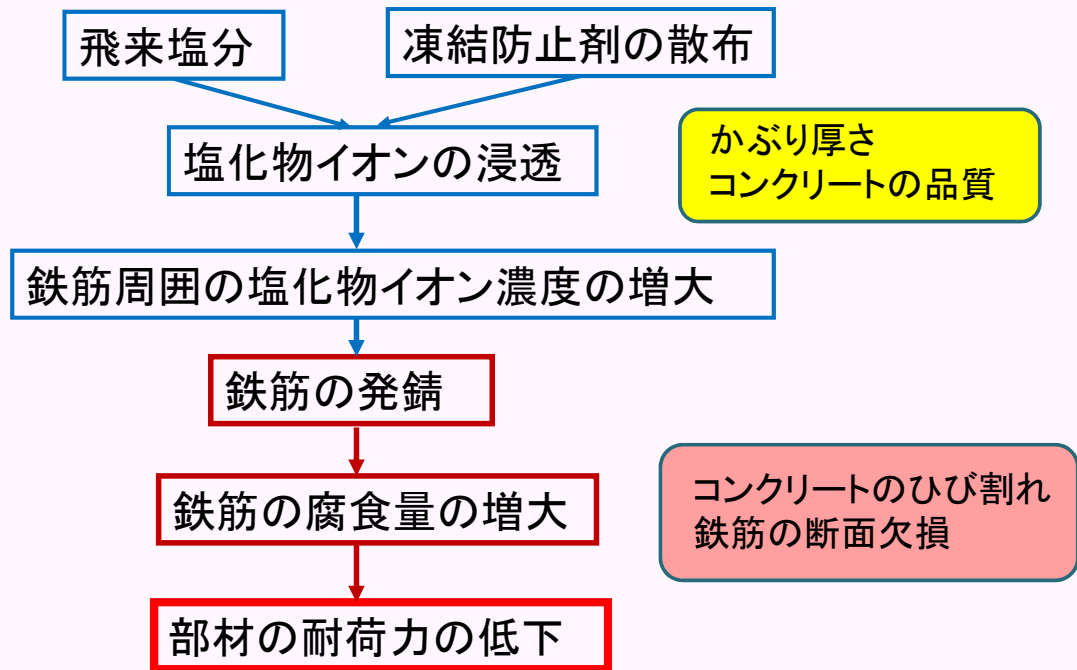
荷重の繰返し:コンクリートの疲労強度



腐食した鉄筋の応力ひずみ曲線



メカニズム：塩害



2. 施工

2.1 コンクリート材料

配合設計・製造時

強度、スランプ、スランプフロー、
空気量

施工時

流動性、材料分離抵抗性

完成後

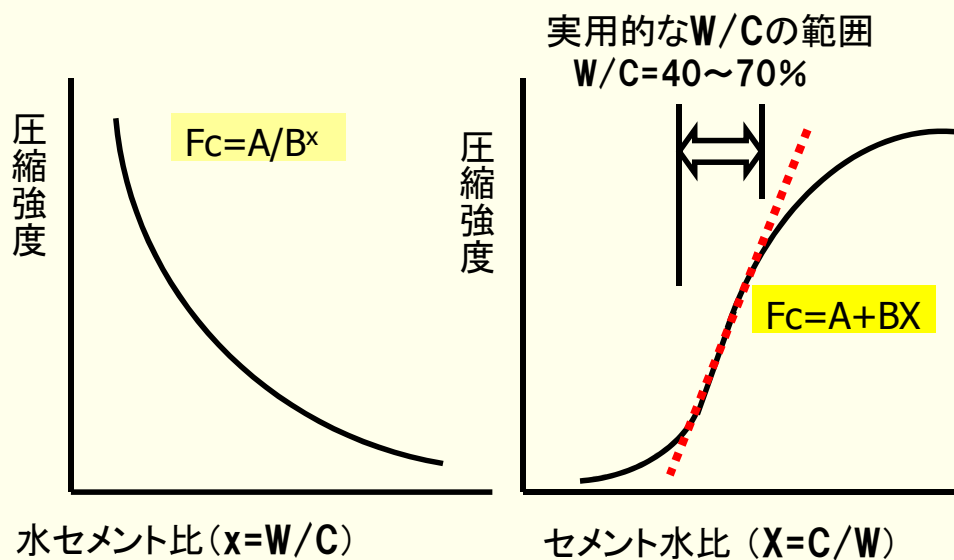
強度、空気量、均質性、
密実性、所要寸法

試験方法

モデル化

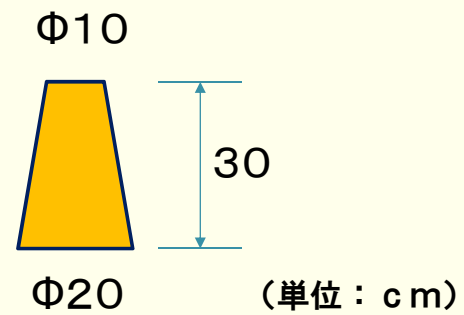
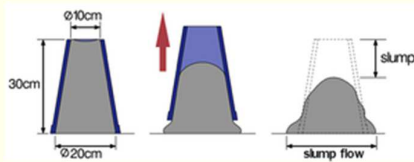
配合設計・製造時：圧縮強度

水セメント比説とセメント水比説



配合設計・製造時:スランプ

スランプ試験装置



スランプコーン

図: ウィキペディア

写真: 土木学会コンクリートライブラリー126号

配合設計・製造時:空気量

空気量試験装置

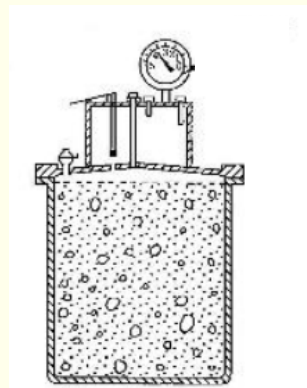


写真: (株) マルイ

施工時：流動性

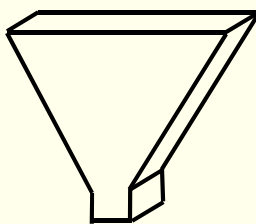
スランプ試験

スランプフロー試験 (高流動コンクリート)

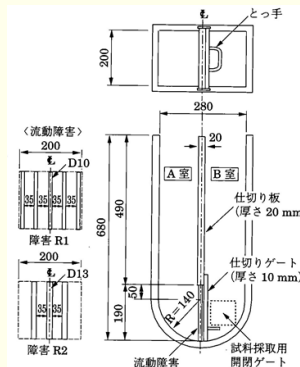
施工時：材料分離抵抗性

いろいろな試験方法が提案されているが、まだ定まったものはない

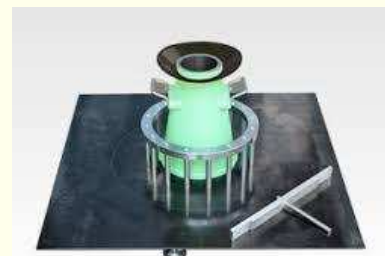
高流動コンクリートは、特に、材料分離抵抗性が重要であるので、種々の試験方法が試みられている。



流下時間



間隙通過性



(写真：(株) マルイ)

完成後

強度:コア供試体、テストハンマー、弾性波

空気量:

均質性:

密実性:透気試験、吸水試験

所要寸法:かぶり厚さ計測

2.2 施 工

コンクリート標準示方書[施工編:本編]

コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]

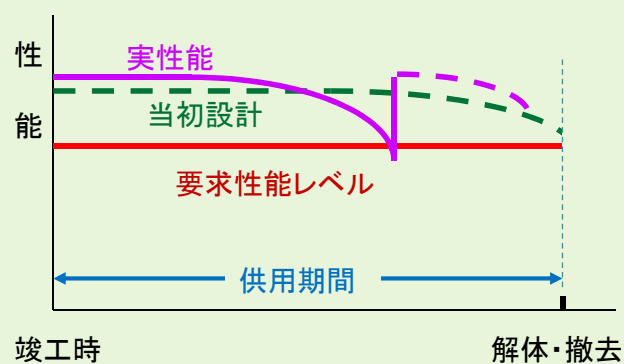
コンクリート標準示方書[施工編:検査標準]

設計図書で示されたコンクリート構造物を構築するための
注意事項が仕様規定として示されているが、施工の良否を
定量的に判断する方法は明記されていない

3. 維持管理

維持管理上の技術的課題—その1

- 1) 実性能の絶対値
- 2) 実性能の経時変化
- 3) 補修・補強の効果
- 4) 補修・補強後の経時変化

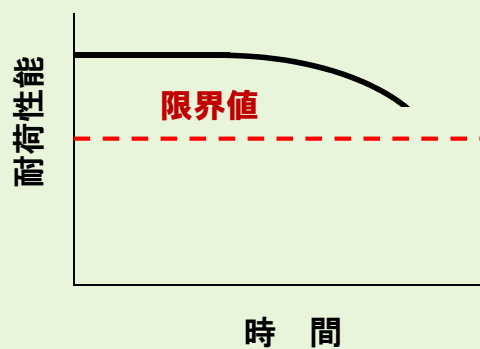
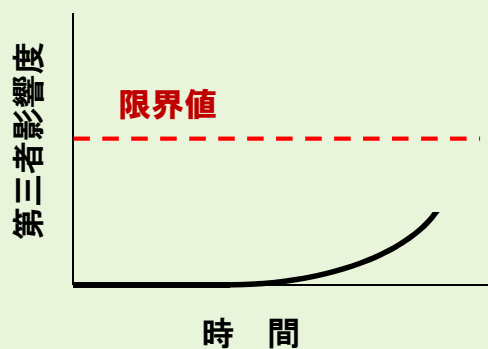


維持管理上の技術的課題—その2

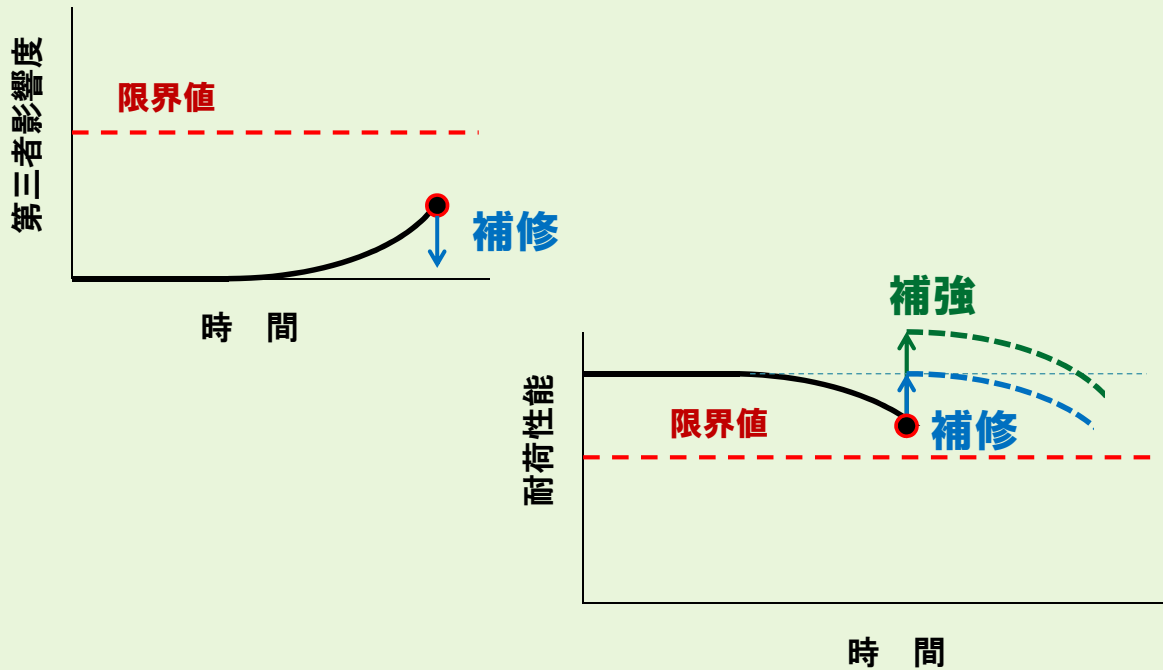
- 1) 点検
- 2) 診断

異常の有無 **点検マニュアル・チェックリスト**
前回点検時と違っている箇所の違いと程度

継続使用の可否 **診断技術**

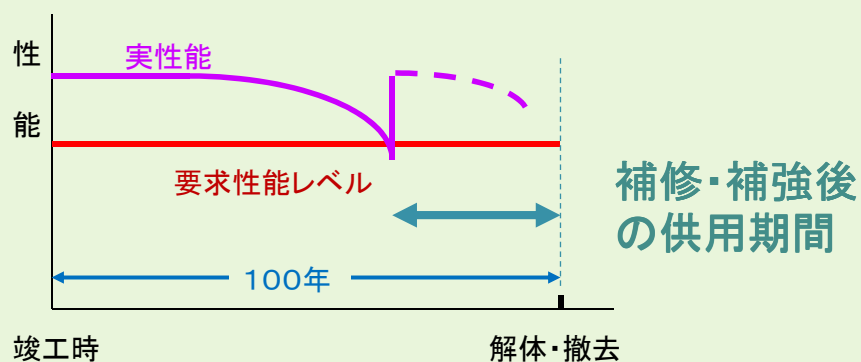


補修と補強



維持管理のあり方

- 1) 当該構造物の供用期間を設定する。
- 2) 検討時点以降の供用期間を対象として、補修・補強効果およびその後の経時変化を想定し、必要な経費を踏まえて補修・補強あるいは解体・撤去(改築・更新)を判断する。
- 3) 供用期間は新設後100年を一応の目標としてはどうか



まとめ

定量化の進捗度合

設計

力学的性能



経時変化



施工

材料



施工



維持管理



ご清聴ありがとうございました