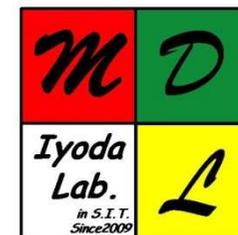


維持管理工学

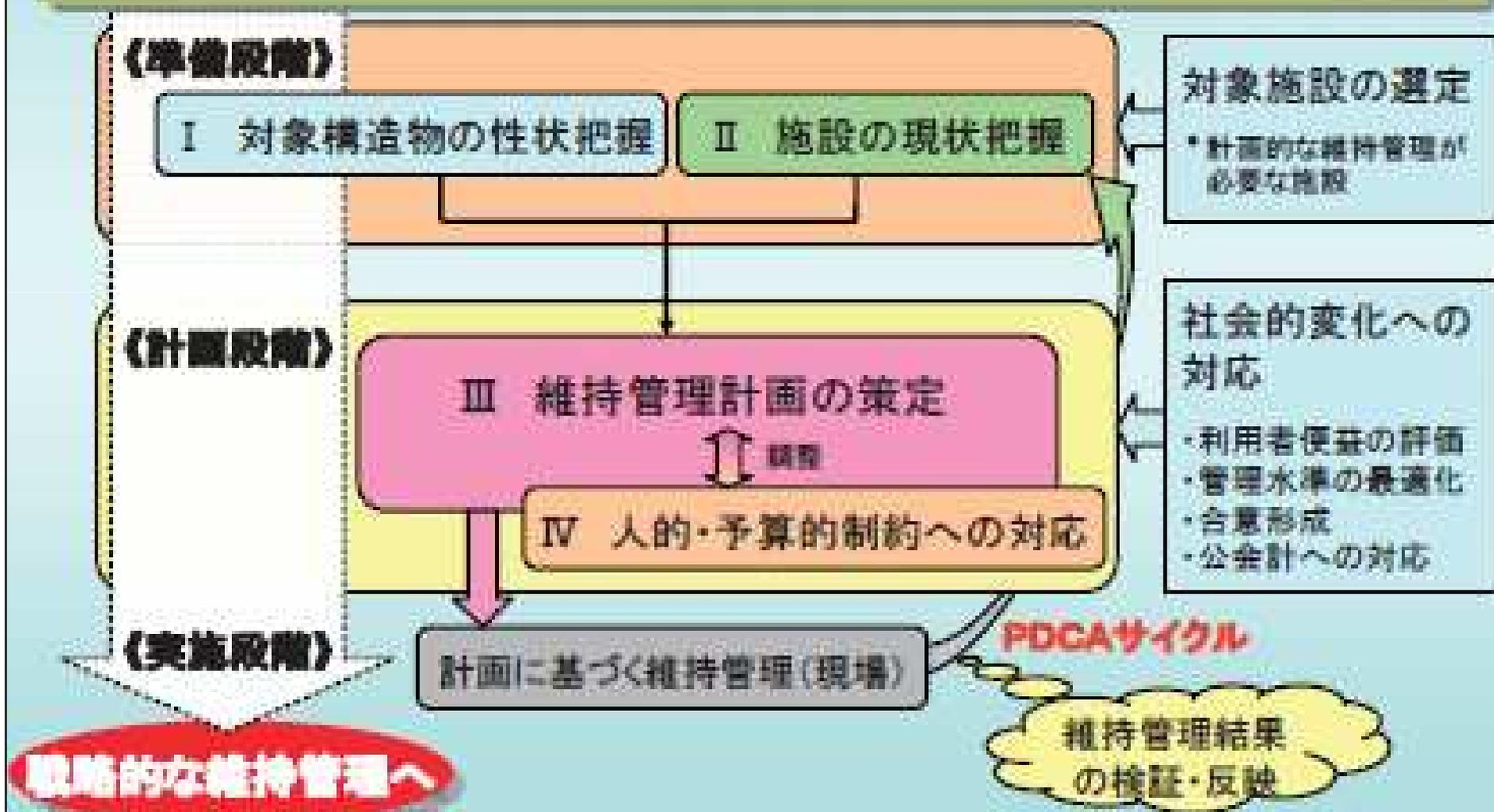
～第七回 維持管理手法～

マテリアルデザイン研究室
伊代田 岳史



戦略的維持管理の基本

・維持管理費の総額抑制や、構造物の的確な補修、更新等を図るためには戦略的な維持管理を進めることが必要



I 対象構造物の性状把握

維持管理に当たって、対象構造物がどのような性質を有しているのかを把握する(研究)

1	損傷劣化のメカニズムの解明	施設がどのように損傷・劣化していくのか？ そのメカニズムを把握する
2	点検・診断手法の確立	施設がどのように損傷・劣化していくのか？ そのメカニズムを把握する
3	補修工法の開発・評価	施設毎に様々な補修工法が開発されているが、それら各種工法による延命効果を把握する
4	健全度評価指標の策定	点検・診断結果を基に構造物の健全度を定量的に評価する手法を確立し、構造物の現状把握を行う
5	損傷劣化の予測	対象構造物の損傷劣化がどのように進むのか予測技術を確立する

Ⅱ 施設の現状把握

維持管理を行う対象構造物の存在を的確に把握する(現場)

1	既存施設のデータ蓄積	どのような施設がどこにどれだけあるのか？ データの蓄積方法を確立し、整理する
2	データベース構築・運用	整理されたデータをストックし、関係者が自由に閲覧できる、また、データの更新方法がマニュアル化され常に新しい情報がストックされている状態を構築する



錆汁を伴うひび割れ

Ⅲ 維持管理計画の策定 と Ⅳ 人的・予算的制約への対応

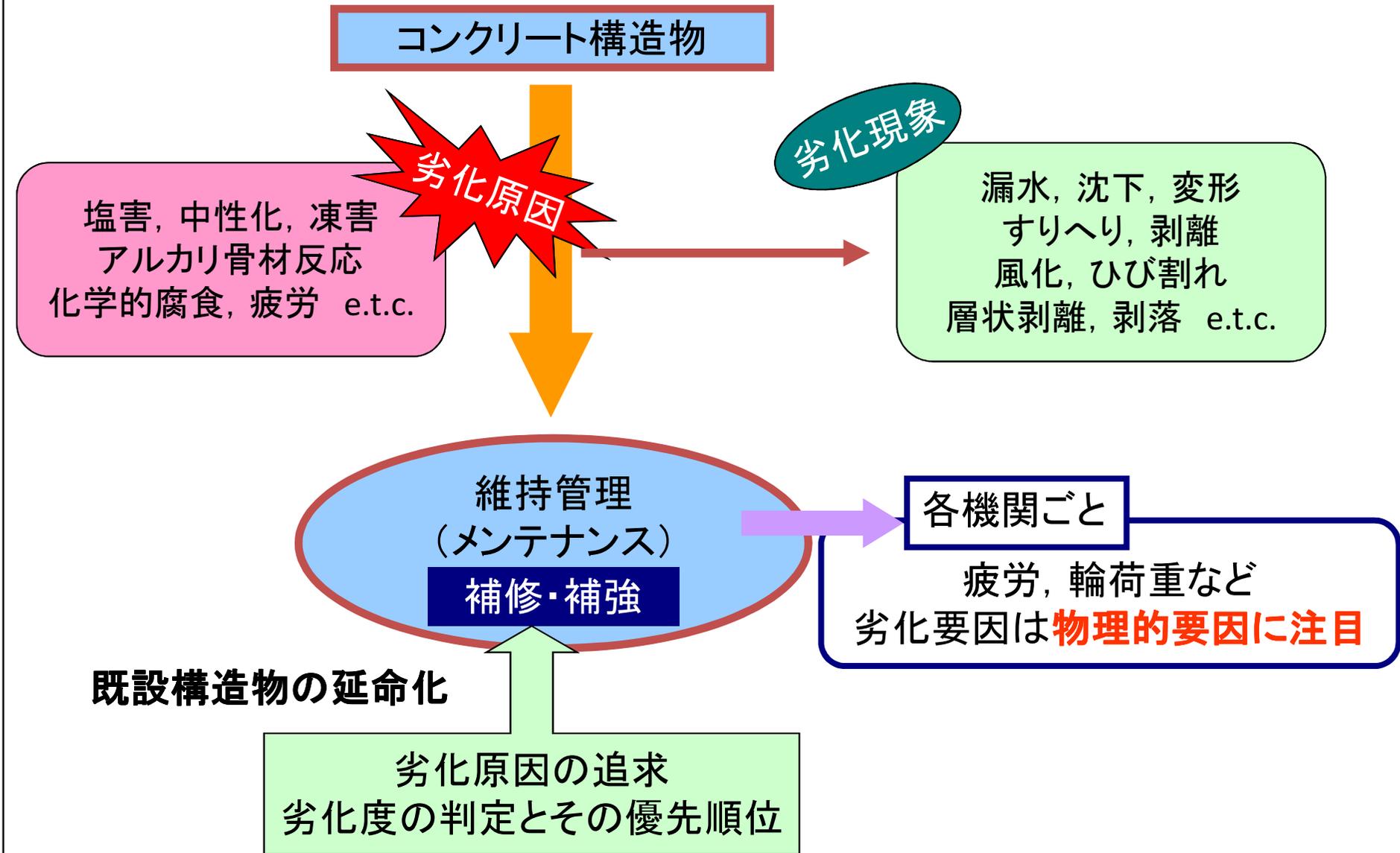
維持管理計画を策定 (現場)

1	維持管理水準の設定	地域のニーズや地震による外力等、管理に当たって必要な様々な事項を考慮した管理水準を設定する
2	維持管理計画の策定	費用や健全度データに基づき、維持管理計画を立案し、必要に応じて時点修正を行う

戦略的な維持管理を実践 (現場)

1	維持管理体制の確立	施設を診断し、診断結果をデータベースとして整理し、データを基に維持管理計画を策定し、適切に補修を行うための体制を整備する。 また、管理者に適切な人材がない場合、人材育成や人材の確保を図っていく。
2	更新等による予算の集中の回避	維持管理計画に基づき、管理施設群の更新や補修の時期の集中度合い等を把握し、必要に応じて補修工事の一部前倒しなどを進めることによって予算の集中回避を行う。

維持管理の方法



現在の劣化診断とその問題点

各機関(JR, JHなど)ごとに行われている

コンクリート構造物

第一次調査

第二次調査

構造物の診断

補修・補強の要否判定

補修・補強

データの記録

点検・調査

診断

補修・補強

データ管理

日常点検
定期点検
臨時点検

→ 目視検査

詳細点検

→ 非破壊検査

専門家による診断・判定

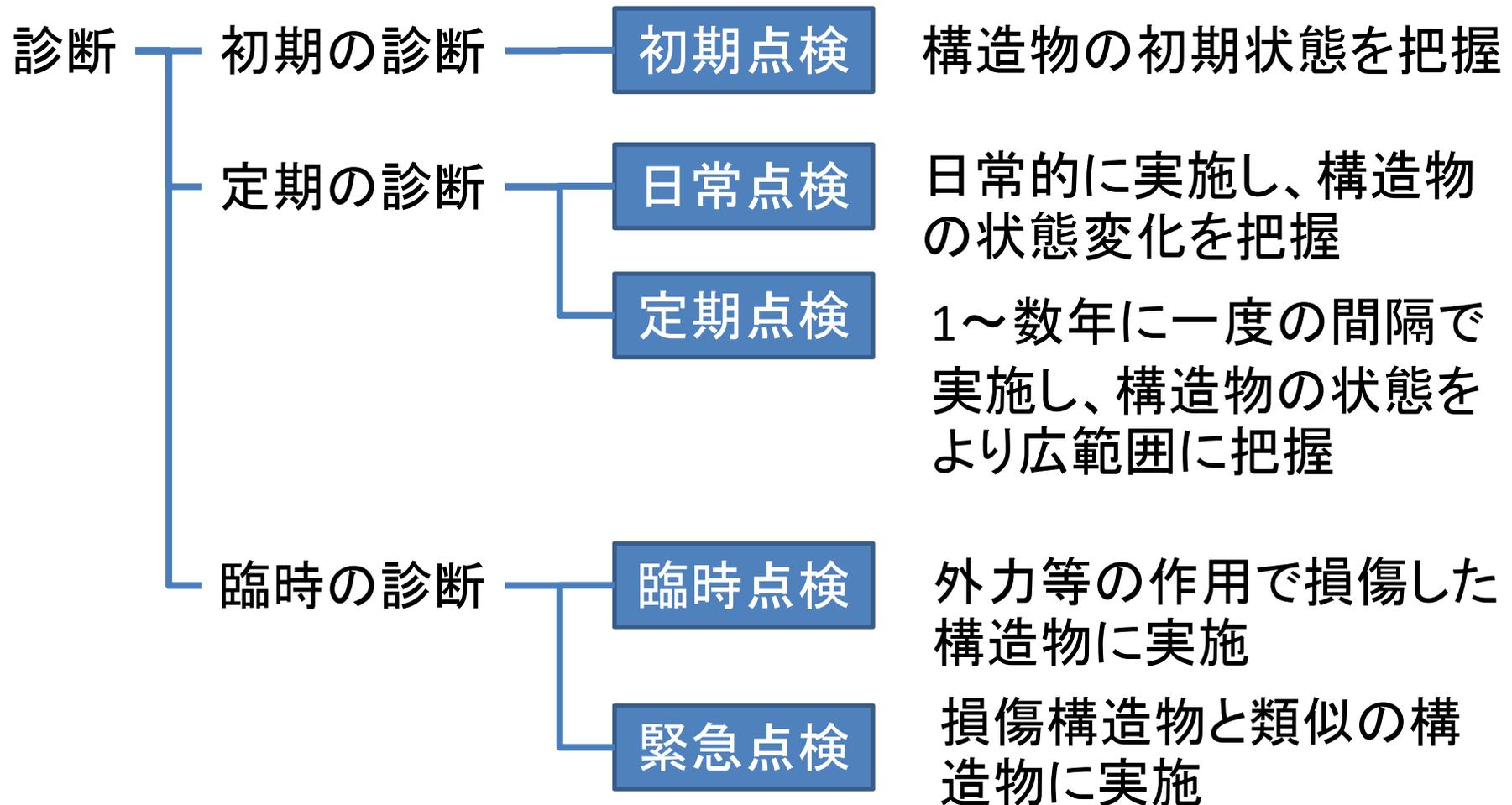
- ・コストパフォーマンスの悪さ
- ・機器類が大きい
- ・信頼性の低さ
- ・イニシャルの取り方 e.t.c.

目視検査

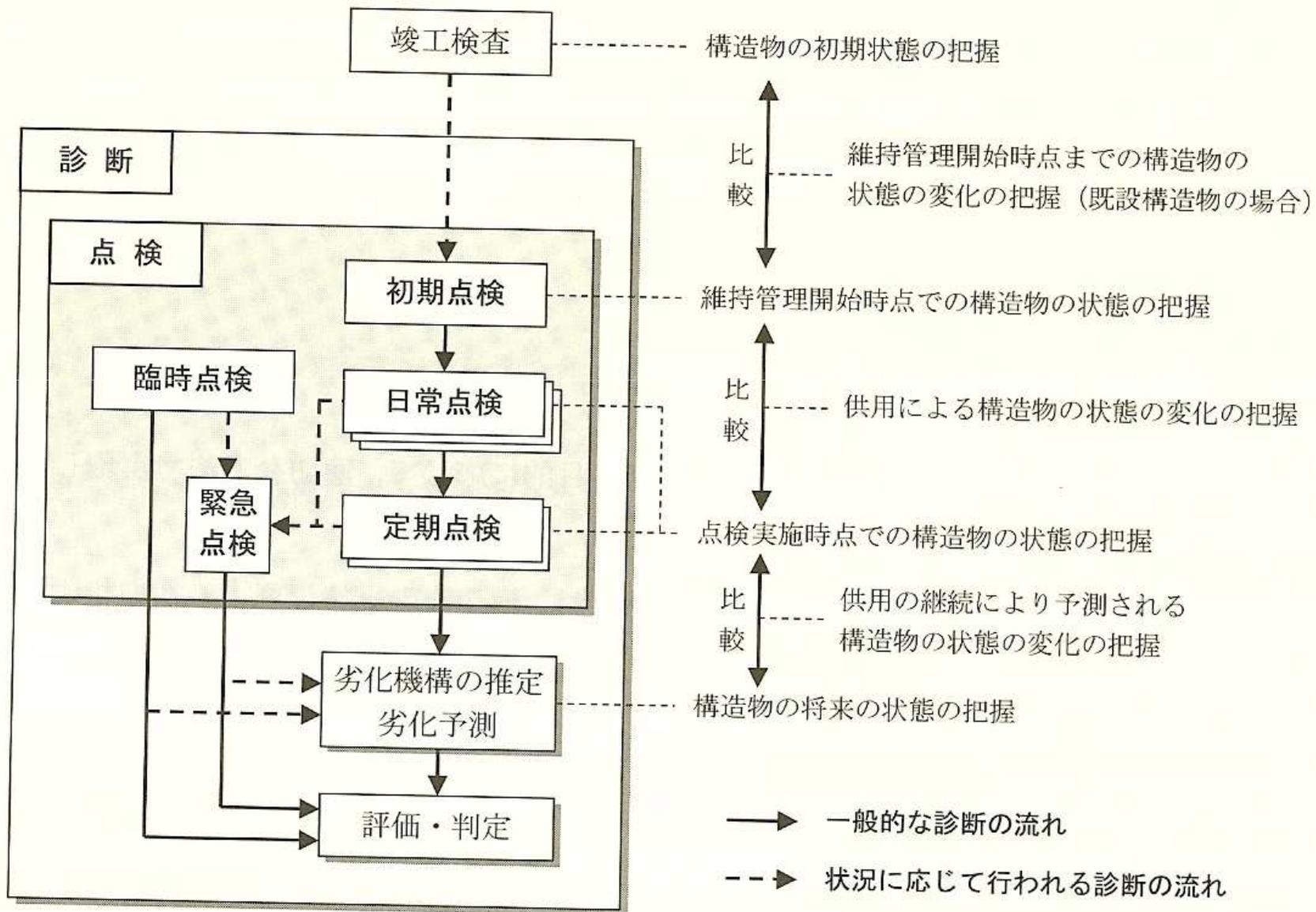
- ・**専門家不足**
- ・**主観的な判断**
- ・**統一化されていない判定基準**

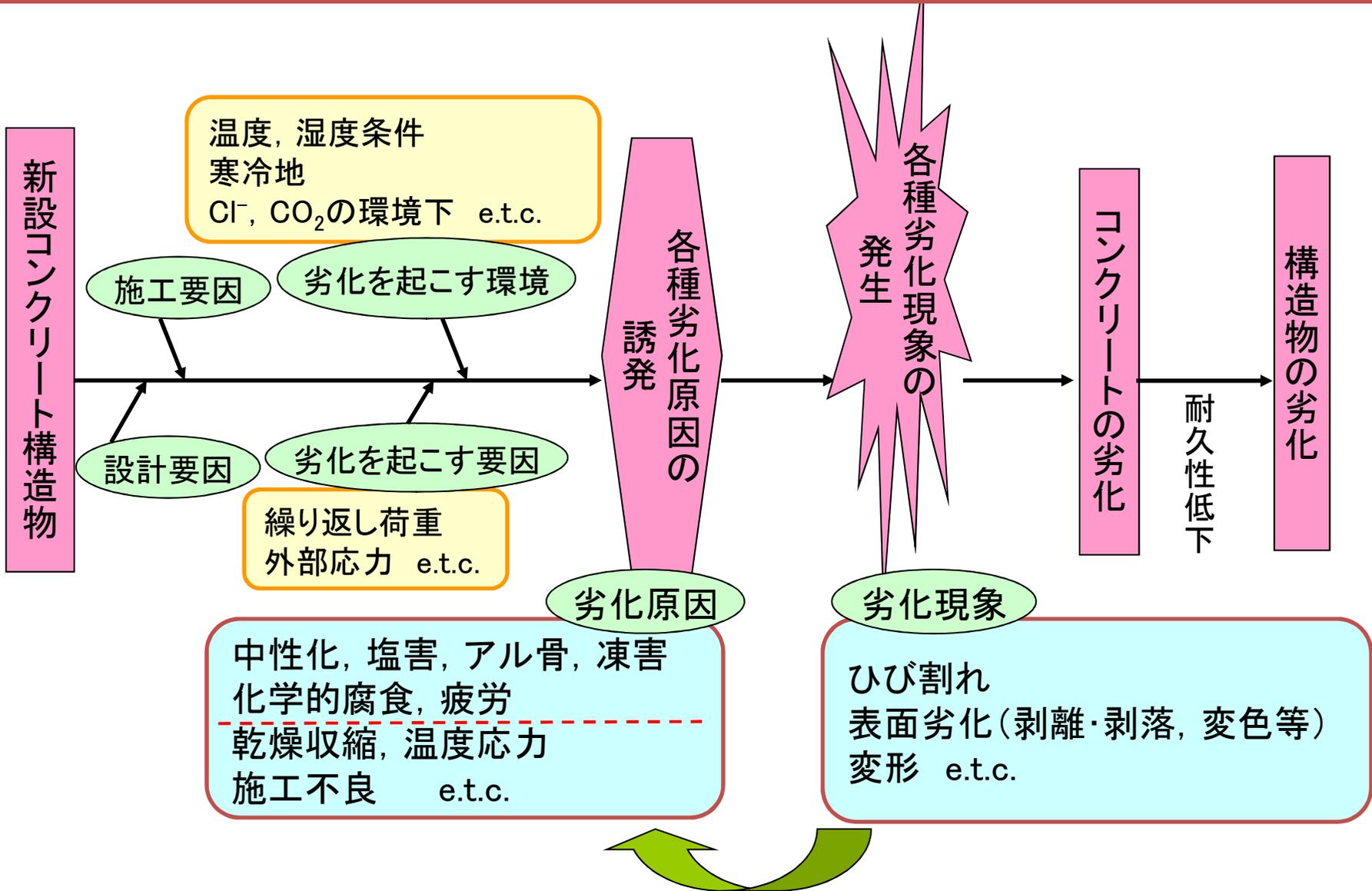


点検の種類



点検種類と把握される内容

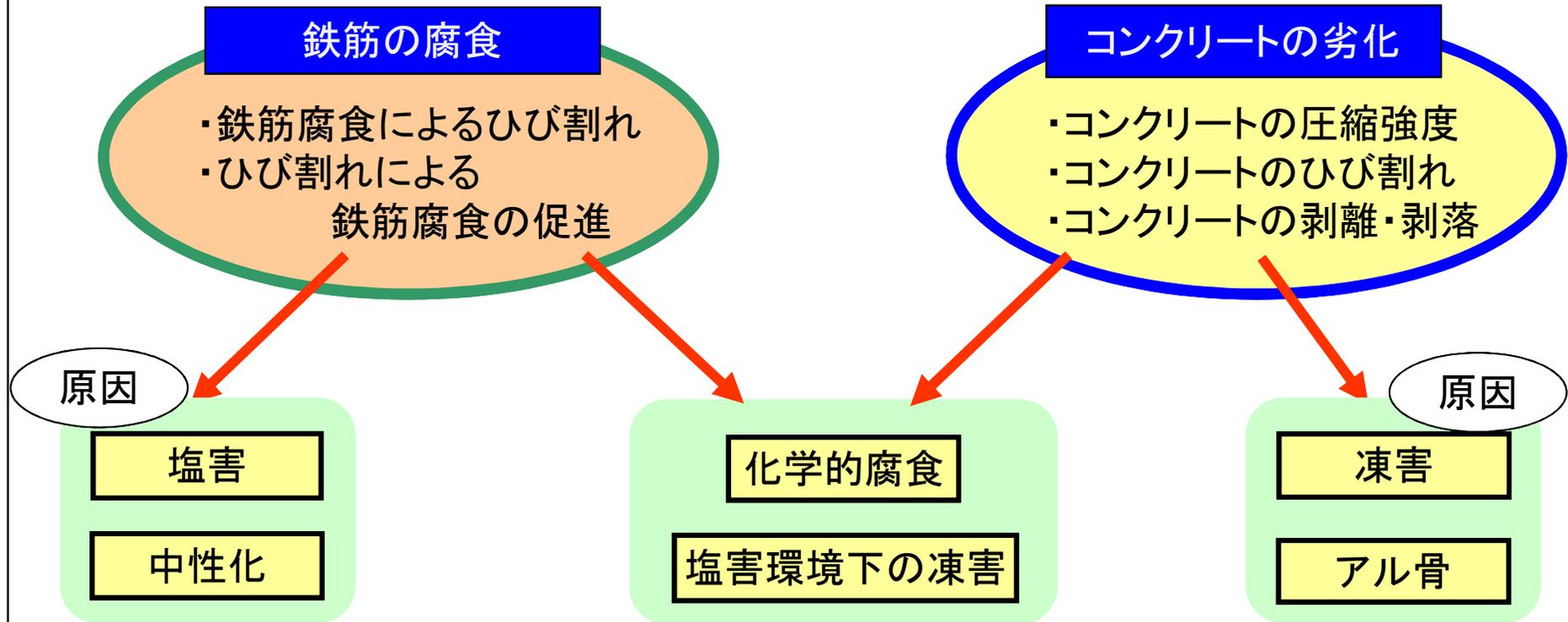




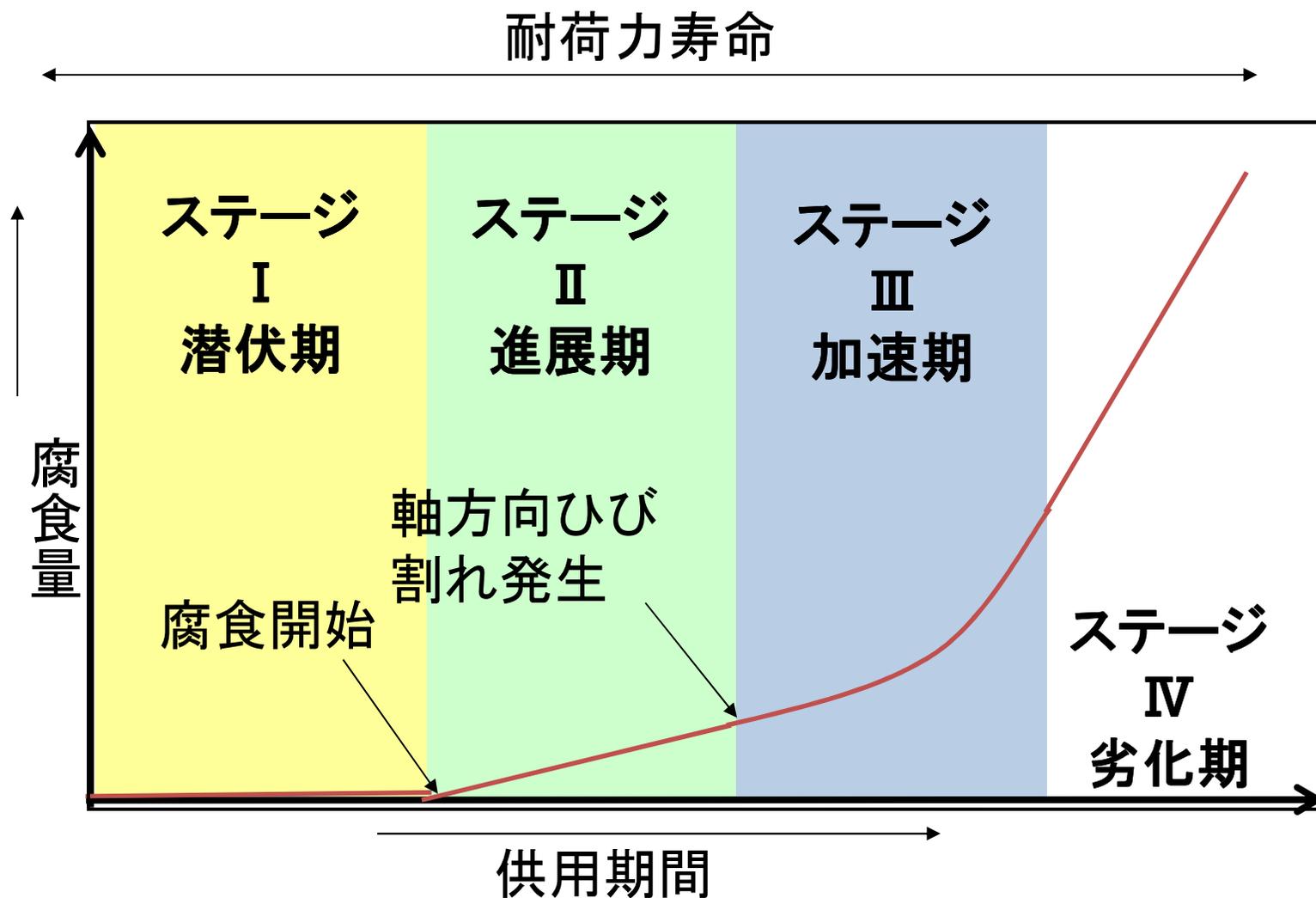
実際に起こっている劣化の現象から劣化の原因を推定する

劣化度の判定

コンクリート構造物の寿命



塩害の進行と構造物の劣化



塩害による鉄筋腐食



潜伏期

丸屋らの拡散方程式による塩分浸透

$$C(x, t) = S\sqrt{t} \left\{ \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) - \frac{x\sqrt{\pi}}{2\sqrt{Dt}} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right\}$$

C: 塩分量, S: 表面塩分量係数
 t: 供用期間
 D: 塩化物イオン拡散係数
 x: コンクリート表面からの距離

ある濃度のCl⁻が鉄筋下面に到達したとき腐食開始

→ 腐食開始時期の推定

進展期

森永による塩化物イオン濃度による腐食速度

$$q = \frac{d}{c^2} \left[-0.51 - 0.76N + 44.97(W/C)^2 + 67.95N(W/C)^2 \right]$$

q: 腐食速度, d: 鉄筋径, c: かぶり
 N: 塩化物イオン濃度
 W/C: 水セメント比

加速期

総腐食量 > 限界腐食量 (森永)

$$Q = \sum_{i=0}^n q_i \cdot \Delta t_i > Q_{cr} = 1.204 \left(1 + \frac{2c}{d} \right)^{0.85} \cdot \frac{d}{2}$$

Q: 総腐食量, q: 腐食速度
 Q_{cr}: 限界腐食量
 c: かぶり, d: 鉄筋径

→ 腐食ひび割れ発生時期の推定

劣化期

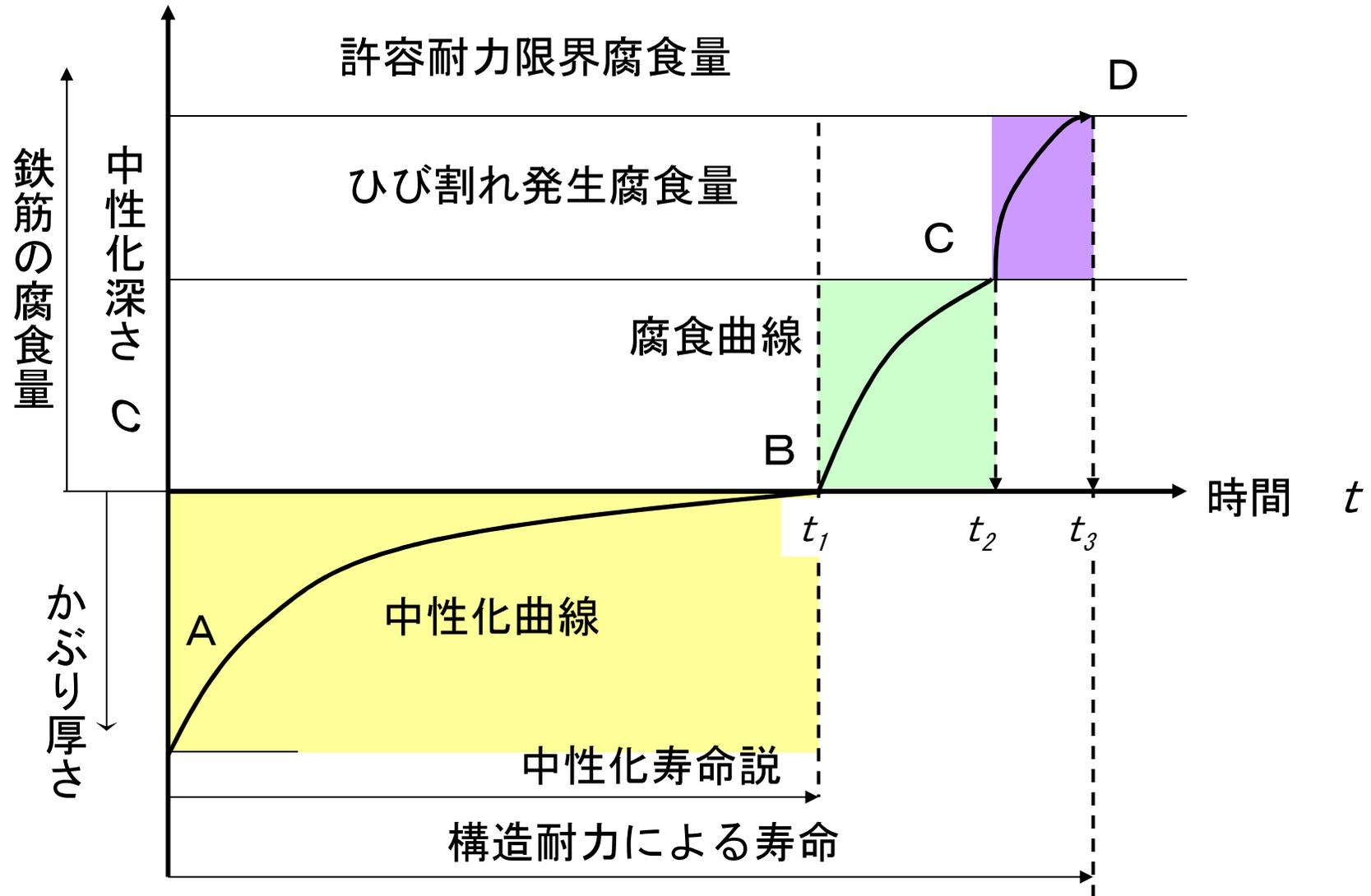
曲げ引張破壊耐力 (JCI)

$$Mu_{(corr)} = As_{(corr)} \cdot fy_{(corr)} \cdot d \left(1 - \frac{0.60 p_{(corr)} \cdot fy_{(corr)}}{fc'} \right)$$

Mu: 曲げ耐力, d: 有効高さ,
 A_{s(corr)}: 腐食した鉄筋断面積
 f_{y(corr)}: 腐食した鉄筋降伏強度
 p_(corr): 腐食した鉄筋比
 f_{c'}: コンクリートの圧縮強度

→ 曲げ耐力比の算定

中性化の進行と構造物の劣化



中性化による鉄筋腐食

CO₂浸透

腐食開始

ひび割れ

耐力低下

潜伏期

魚本・高田の予測式

$$X = (2.804 - 0.847 \log C) \cdot \exp(8.748 - 2563 / T) \cdot (2.39WC^2 + 44.6WC - 3980) \times 10^{-4} \cdot \sqrt{Ct}$$

鉄筋下面にCO₂が到達したとき腐食開始

腐食開始時期の推定

X: 中性化深さ, C: 炭酸ガス濃度
T: 環境温度, WC: 水セメント比
t: 暴露期間

進展期

腐食速度(森永)

$$B = 28.14 - 1.35T - 35.43H - 234.76O + 2.33TH + 4.42TO + 250.5HO$$

B: 腐食速度係数
T: 温度, H: 湿度
O: 酸素濃度

加速期

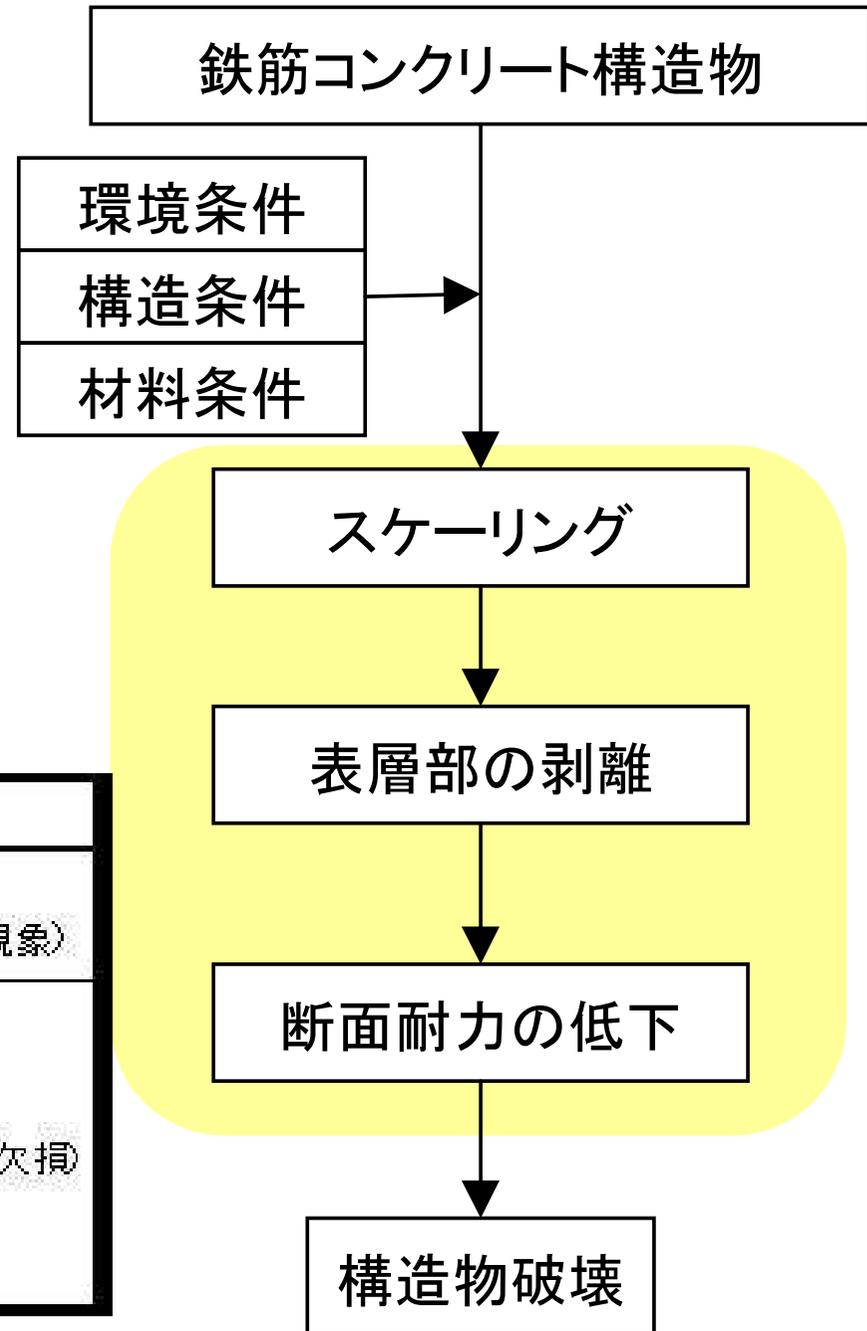
塩害と同じ腐食モデル

劣化期

腐食ひび割れ発生時期の推定

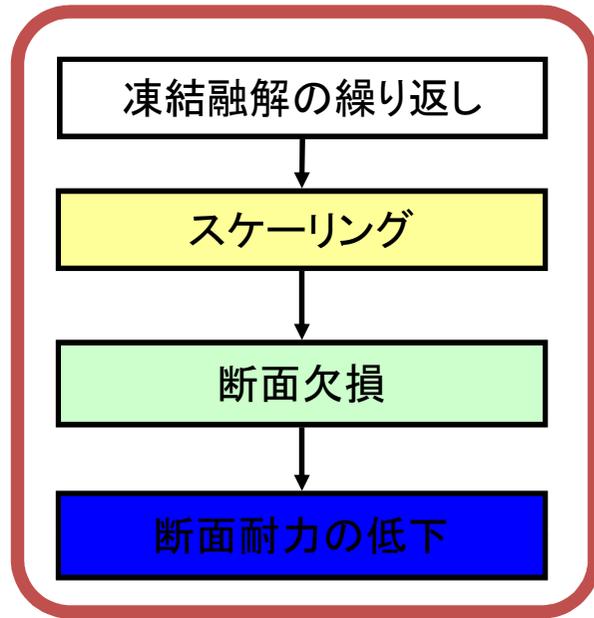
曲げ耐力比の算定

凍害の進行と 構造物の劣化



劣化現象		
一次的 (表面的現象)	二次的 (内部的現象)	三次的 (構造耐力的現象)
ひび割れ(拡大)型 スケーリング (進行)型	漏水(水の内部 への浸透) 中性化(内部への 進行) 強度低下	鉄筋腐食 (腐食膨張, 断面欠損) 大たわみ

凍害による断面欠損



acm/year のスケーリング

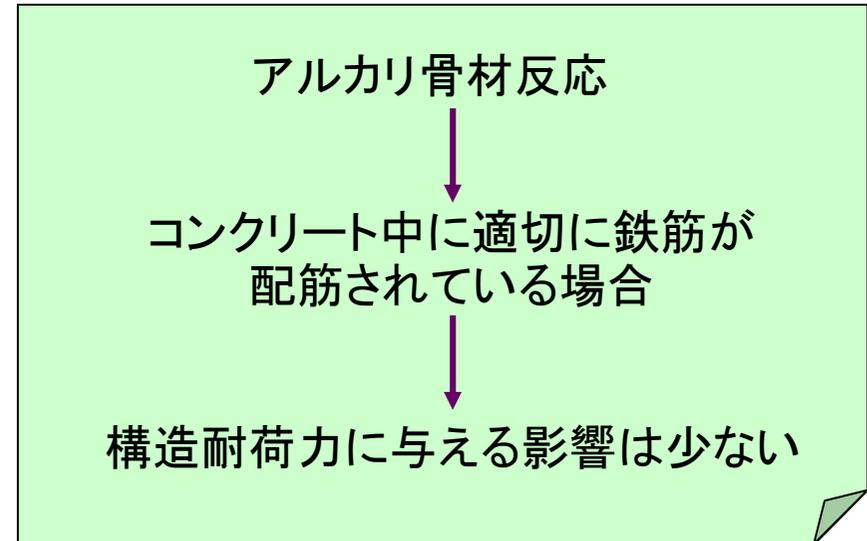
断面耐力(示方書)

$$N'_{oud} = 0.85 f'_{cd} A_c + f'_{yd} A_{st}$$

→ 断面耐力比の算定

N'_{oud} : 軸方向圧縮耐力
 f'_{cd} : コンクリートの圧縮強度, A_c : コンクリート断面積
 f'_{yd} : 軸方向鉄筋の設計圧縮強度
 A_{st} : 軸方向鉄筋の全断面積

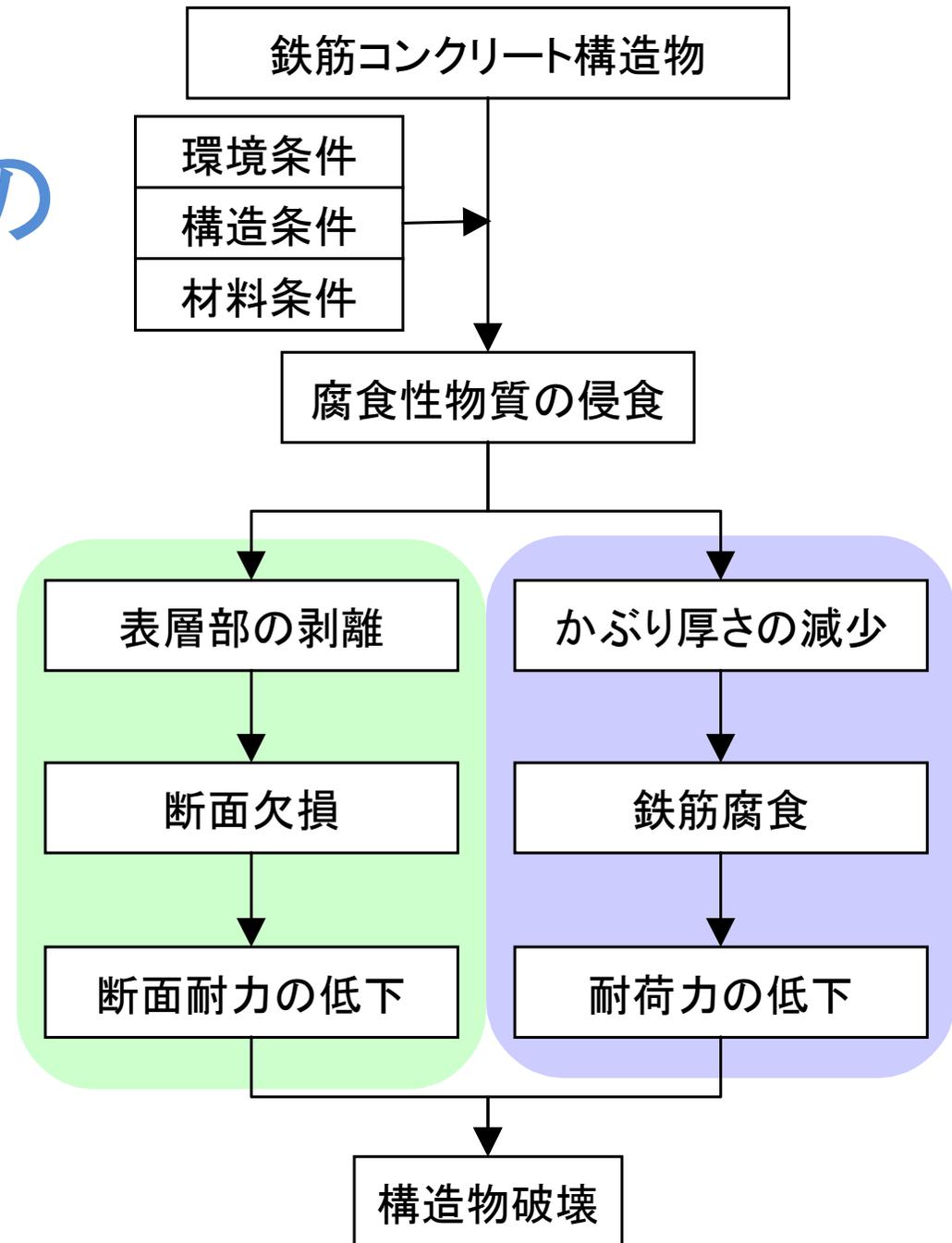
アル骨による強度低下



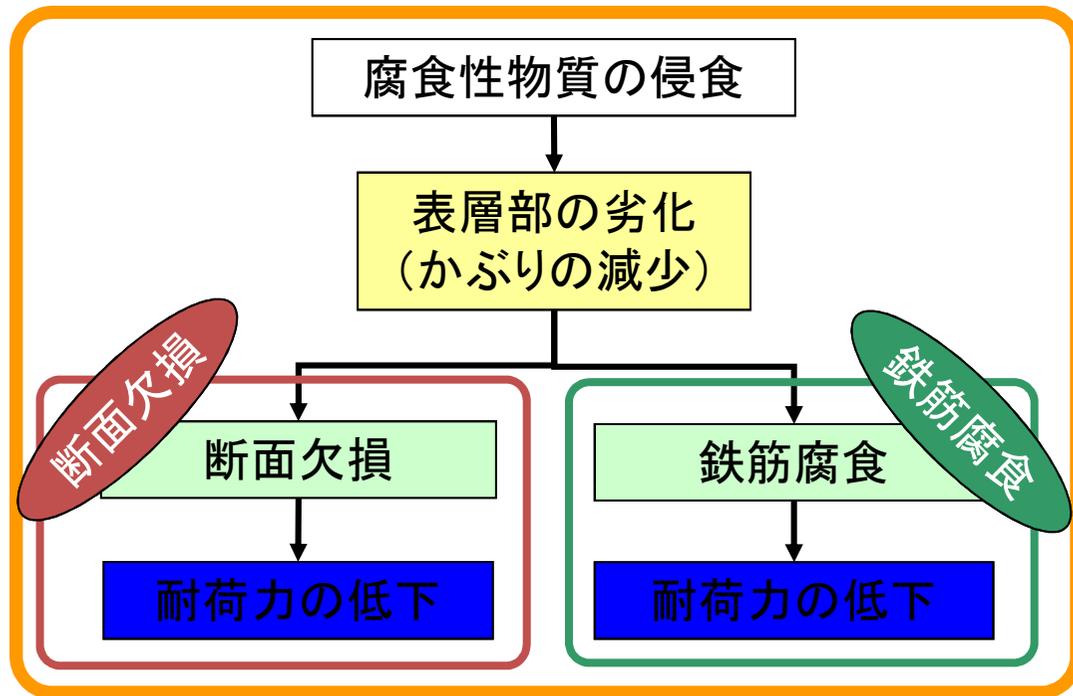
→ 無視する

しかし、他の性能である変形性能や美観等には影響する可能性があるため考慮しなければならないこともある。

化学的侵食の 進行と構造物の 劣化



化学的腐食による劣化

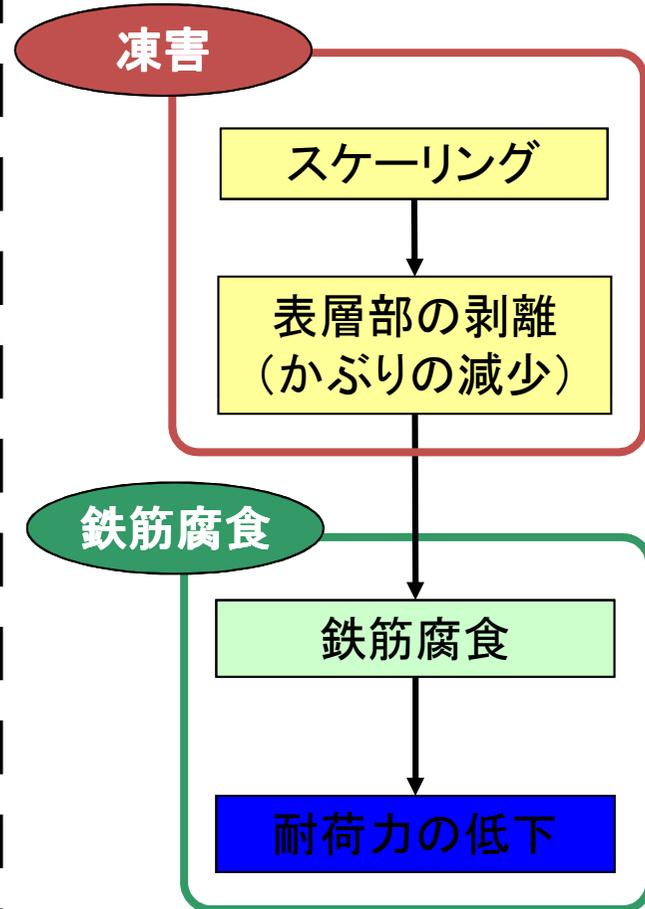


断面耐力比の算定

腐食開始時期の推定
腐食ひび割れ発生
時期の推定
曲げ耐力比の算定

塩害環境下の凍害

塩害環境下で凍害が起こる場合



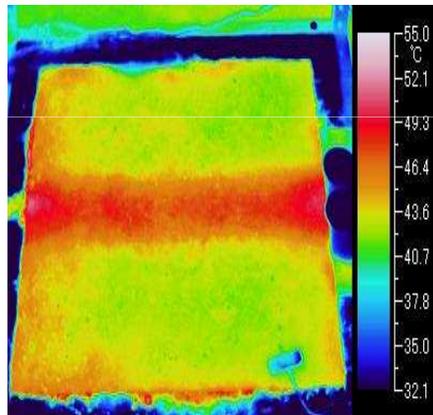
非破壊試験

■点検 劣化診断システム(ひび割れ等の目視状況から進行度を推定)

■非破壊(非接触)

赤外線カメラ

デジタルカメラ



■非破壊(接触)

光ファイバーセンサ

シュミットハンマー
打音
電磁波レーダー
電磁誘導



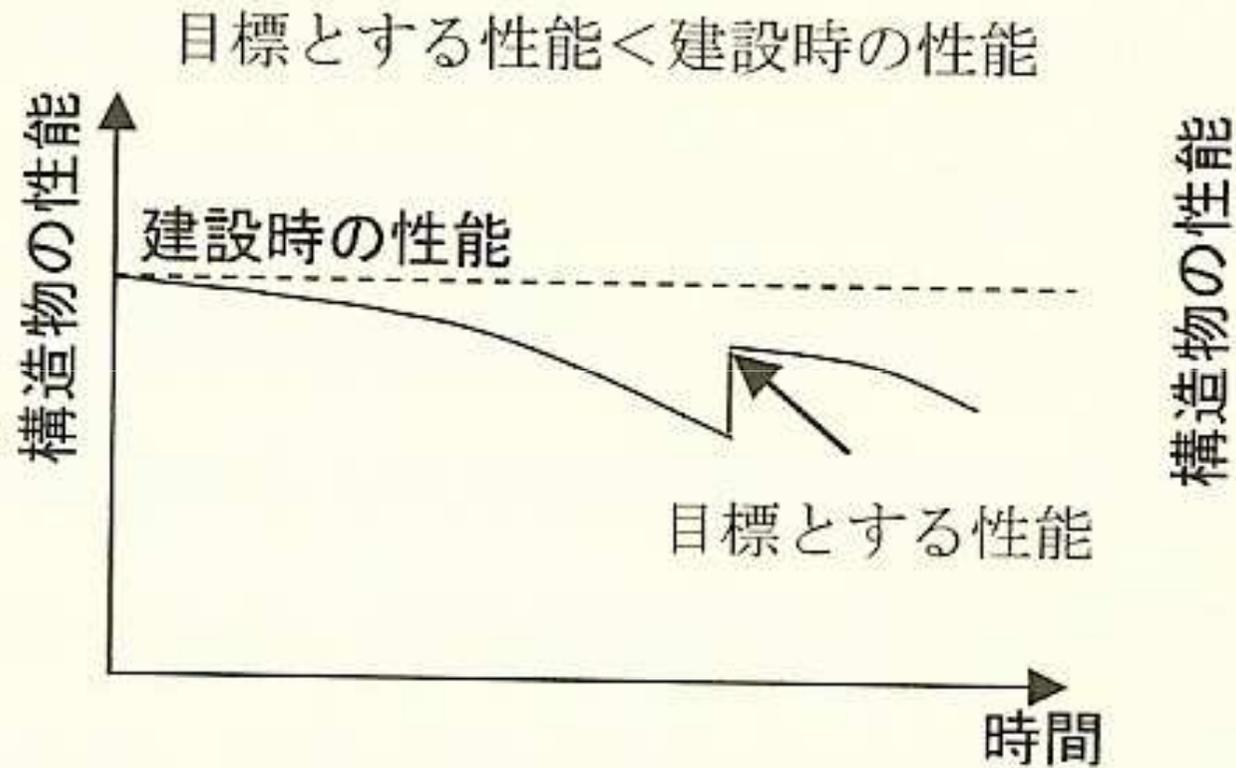
■微破壊

コア採取による強度測定
コア採取等による中性化測定
コア採取等による塩化物イオン量測定
コア採取等による残存膨張量測定

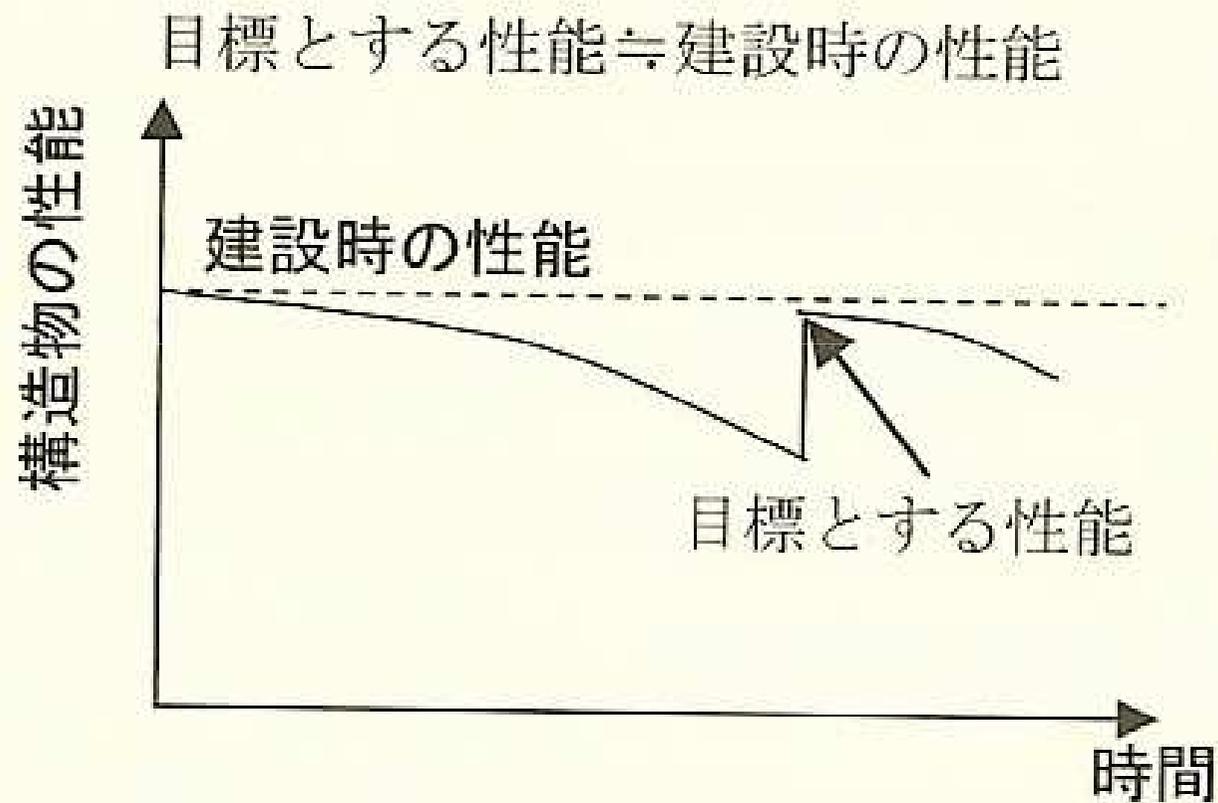
■微破壊による分析

コア採取等による化学分析
コア採取等によるSEM等観察
コア採取等による配合・材料推定

補修・補強

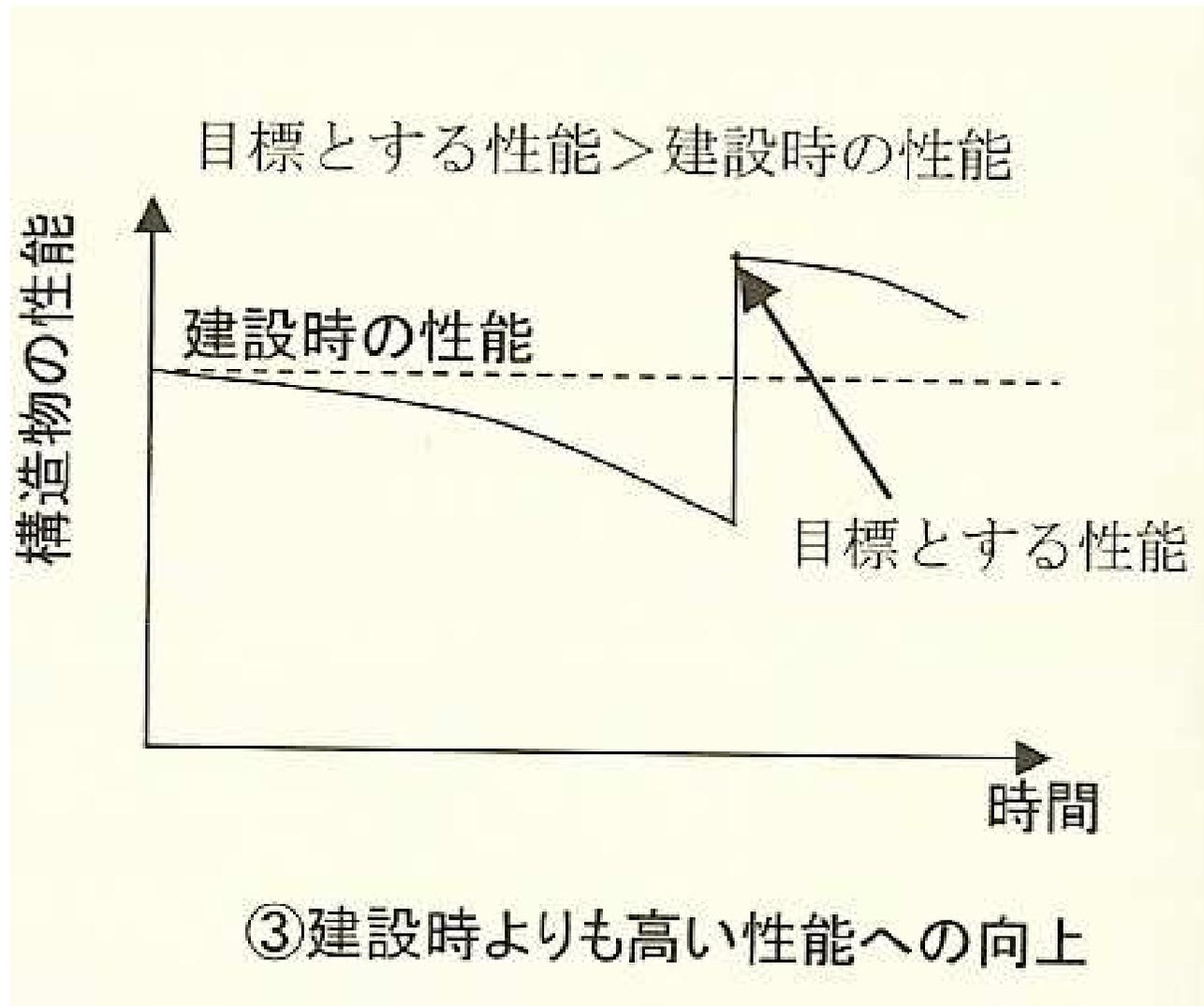


- ①建設時と現状の中間の性能への回復
もしくは現状の性能の維持



復

②建設時の性能への回復



各種工法を採用しながら補修・補強により延命化を目指す

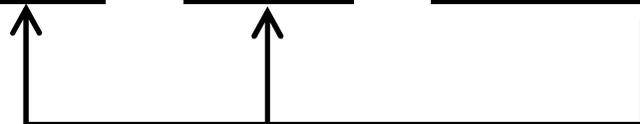
長持ちさせるための材料の役割

- 初期におけるコンクリートの性能を向上
- 手抜きをしない上手な施工
- 劣化のメカニズムを把握し、対策を考案
- すべての段階(設計→施工→検査→維持管理)における適切な計画と実行
- 新材料・新技術の開発
- 補修・補強材料の提案

今ある構造物を長持ちさせるには？ (既設構造物)

- 適切なメンテナンス技術の確立

点検 → 診断 → 補修・補強 → 解体 → 再利用



診察(診断)

構造物の調査・点検
問診→構造物踏元
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

コンクリートの性能における経時変化

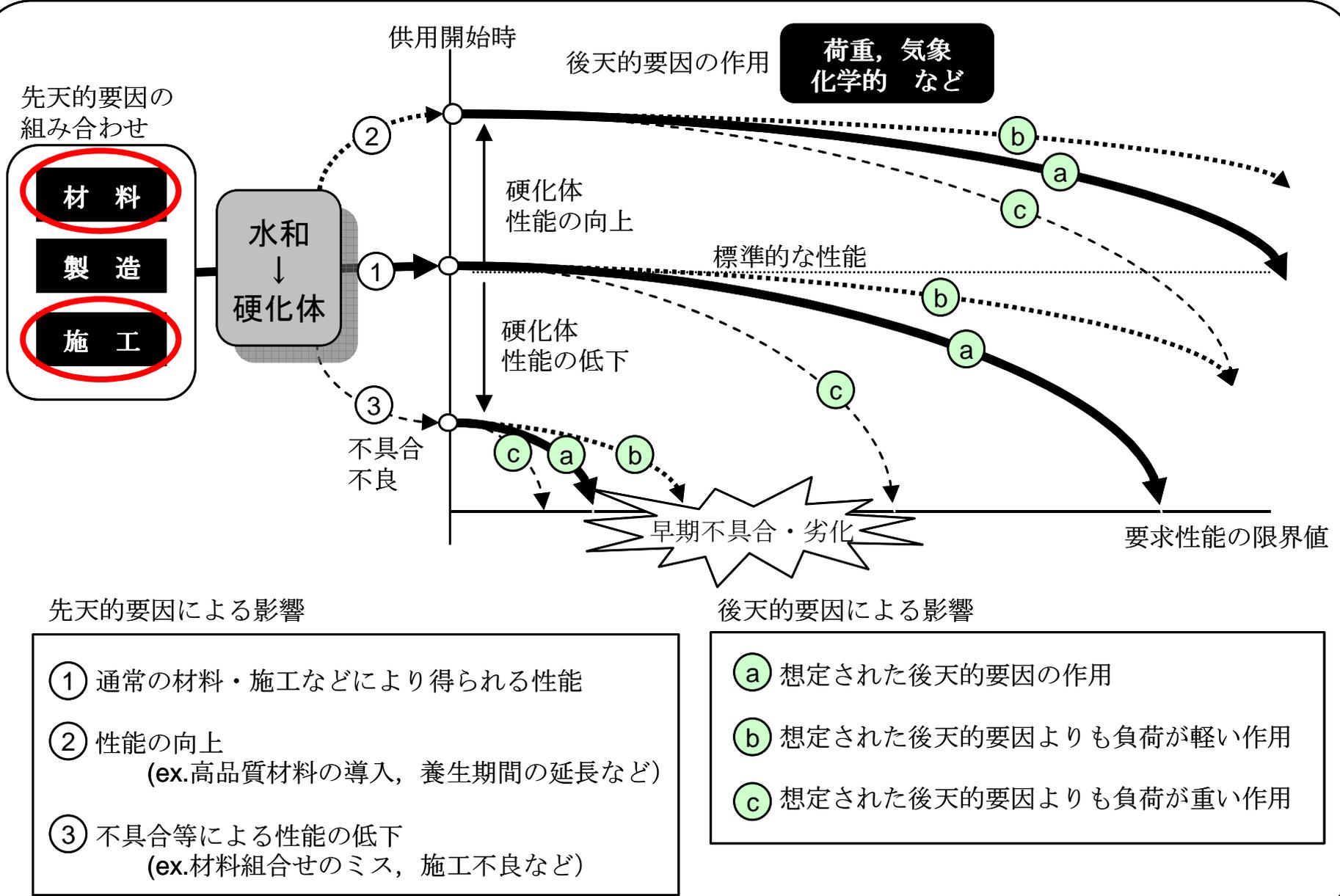


図3.1.2 コンクリート構造物の寿命とその要因の整理

知識一覧表

		中性化	塩害	アル骨	凍害	乾燥収縮	温度応力	化学腐食	疲労
設置環境	設置環境	海岸・海洋環境		●					
		水の供給がある	●	●	●	●			
	気象環境	高温下	●	●	●				
		凍結・融解するところ				●			
	周囲の状況	交通量の多い							●
		温泉						●	
		下水道施設						●	
構造物	大断面構造物					●			
ひび割れ	局所部	亀甲状 or 軸方向		●	●				
		鉄筋方向	●	●				●	●
		格子状							●
	構造部	斜めひび割れ					●		
		八の字型					●		
その他のひび割れ					●				
表面劣化	剥離・剥落	スケーリング			●				
		錆汁の流出	●	●					
	変色	白色ゲル			●				
		変色						●	
		漏水							●
遊離石灰							●		
その他	骨材露出						●		
	脆弱化				●		●		