コンクリートの劣化機構を理解して維持管理に活かす

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

専務理事/技術委員長　江良和徳

主な内容

1. 劣化機構を理解する

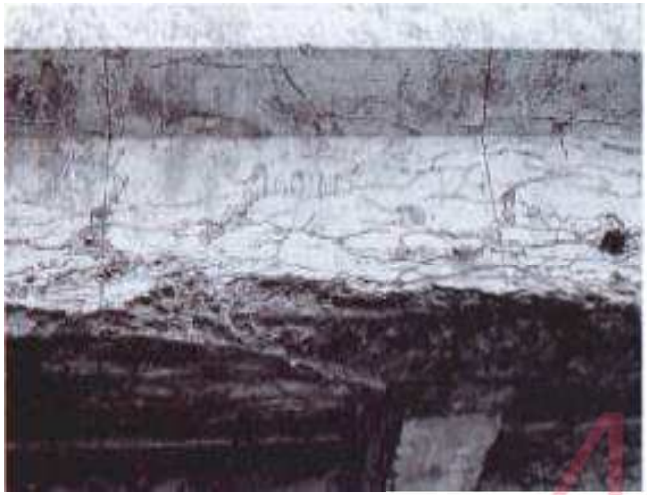
- 塩害
- 中性化（と水の浸透による鋼材腐食）
- ASR
- 凍害
- 化学的侵食（下水道の硫酸劣化）
- 疲労（RC床版の疲労）

2. 維持管理に活かす

- 補修工法選定の考え方
- 維持管理のシナリオ
- 橋梁延命化シナリオ研究会の取り組み

はじめに

コンクリート構造物に生じるさまざまな変状



変状の分類　～土木学会　コンクリート標準示方書［維持管理編］より～

・『変状』とは、構造物に生じた様々な不具合の総称。
・下記の3種類に分類される。

【初期欠陥】

施工時に発生した変状のうち，有害となる可能性のある変状

例）乾燥収縮，温度ひび割れ，コールドジョイント，かぶり不足，etc.

【損傷】

短時間のうちに発生し，時間経過によっても進行しない変状

例）地震や衝突などによるひび割れや剥離，etc.

【劣化】

時間の経過に伴って進行する変状

例）塩害，中性化，ASR，凍害，化学的侵食，疲労，etc.

1. 劣化機構を理解する

1.1 塩害

塩害による劣化のメカニズム

【原因】

・海水、飛来塩分、凍結防止剤などの外部要因、または材料（除塩不足の海砂など）に由来する塩化物イオンがコンクリート中に浸入

・浸入した塩化物イオンはコンクリート表面から内部へ水分とともに浸透・拡散

↓

【劣化の進行】

・鉄筋位置の塩化物イオン量が腐食発生限界塩化物イオン濃度を超えると、鉄筋表面を保護している不動態皮膜が破壊される

・そこに水、酸素が供給されることで鉄筋腐食が進行し、腐食生成物による体積膨張が生じる

↓

【性能低下】

・腐食生成物の膨張圧により、ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出が発生

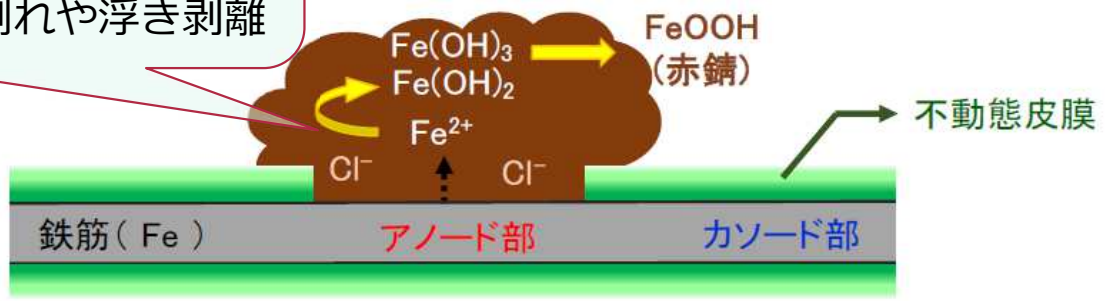
・コンクリートと鉄筋との付着が低下

・鉄筋断面の減少　⇒　最終的には耐荷性能の低下

不動態皮膜と鉄筋腐食　（塩害）

・コンクリート中（強アルカリ環境）にある鉄筋は、不動態皮膜によって腐食から保護されている
・しかし、腐食発生限界を超えた塩化物イオンの存在下では、不動態皮膜が破壊され、鉄筋は腐食しやすい環境に晒される
・そこに水と酸素が供給されると鉄筋は腐食する（腐食生成物の体積膨張）

【塩害】
高い塩化物イオン量により不動態皮膜が破壊
↓
鉄筋腐食による膨張圧 → ひび割れや浮き剥離



アノード部　$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

カソード部　$H_2O + 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow FeOOH$

水酸化第一鉄　水酸化第二鉄　赤錆

OH^-　H_2O

塩害による劣化の事例

錆汁を伴うひび割れ

コンクリートの浮き、剥離

塩害による劣化の事例

コンクリートの剥落、鉄筋露出

再劣化

コンクリート診断士試験での出題傾向　（塩害）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2025年	択一式	・分極曲線の概念　・分極抵抗法の原理　・塩化物イオン濃度分布　・塩化物イオンの拡散 ・電気防食工法の概念
	記述式	・(土木)RC橋台　竪壁;塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮　翼壁;ASR
2024年	択一式	・鉄筋腐食反応式　・塩化物イオン浸透深さ試験　・自然電位法　・RC中空床版橋の変状 ・凍結防止剤によるRC床版下面の変状　・電気防食の管理
	記述式	・(建築)RC建造物　塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮
2023年	択一式	・鉄筋腐食と分極曲線の概念　・電位差滴定法の手順　・腐食速度の経年変化から腐食量推定 ・塩化物イオン量規準の変遷　・塩害補修選定　・鉄筋防錆処理　・脱塩工法の留意点
	記述式	・(土木)PCﾎﾟｽﾃﾝT桁の変状　凍結防止剤　PC鋼材腐食　桁端
2022年	択一式	・高炉ｾﾒﾝﾄの塩分浸透　・塩害の調査項目　・塩化物ｲｵﾝ抽出方法　・飛来塩分調査方法 ・断面修復工(マクロセル腐食)　・予防保全としての表面被覆工　・塩害補修のLCC
	記述式	・(土木)鉄道高架橋　塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮
2021年	択一式	・不働態皮膜とｱﾉｰﾄﾞ反応、ｶｿｰﾄﾞ反応　・見かけの拡散係数と塩分濃縮　・分極抵抗法の原理 ・塩分濃縮の将来予測　・ひび割れ補修　・断面修復工　・電気防食の留意点
	記述式	・(土木)RC中空床版橋　防水層なし　凍結防止剤散布　塩害の影響

1.2　中性化(と水の浸透に伴う鋼材腐食)

中性化による劣化のメカニズム

【原因】

・大気中の二酸化炭素がコンクリート内部に侵入

・二酸化炭素とセメント水和物（水酸化カルシウム）が炭酸化反応を起こし、炭酸カルシウムを生成

・コンクリートのpHが強アルカリ性（pH=12～13程度）から低下（pH＝11以下）

↓

【劣化進行】

・中性化領域がコンクリート表面から内部に向かって進行

・中性化深さが鉄筋付近まで到達すると、鉄筋を保護している不動態皮膜が破壊

・水、酸素が供給されることで鉄筋腐食が進行し、腐食生成物による体積膨張が生じる

↓

【性能低下】

・腐食生成物の膨張圧により、ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出が発生

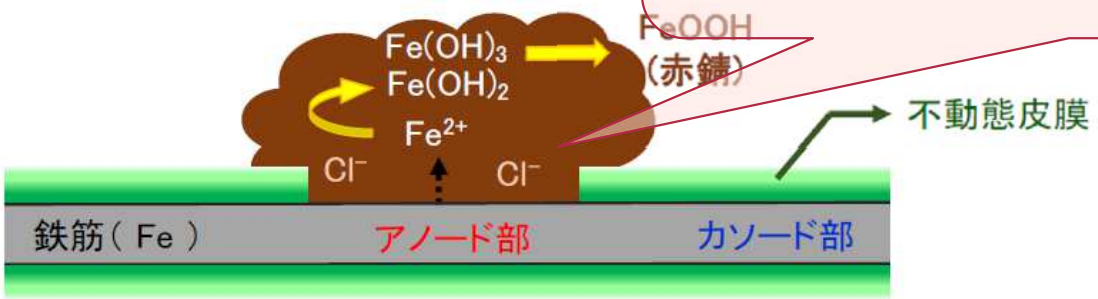
・コンクリートと鉄筋との付着が低下

・鉄筋断面の減少　⇒　最終的には耐荷性能の低下

不動態皮膜と鉄筋腐食　（中性化）

・コンクリート中（強アルカリ環境）にある鉄筋は、不動態皮膜によって腐食から保護されている
・しかし、鉄筋周囲のpH低下（中性化残り10mm未満）により不動態皮膜が破壊され、鉄筋は腐食しやすい環境に晒される
・そこに水と酸素が供給されると鉄筋は腐食する（腐食生成物の体積膨張）

【中性化】
コンクリートのpHの低下により不動態皮膜が破壊
↓
鉄筋腐食による膨張圧 ➡ ひび割れや浮き剥離



【水の浸透の影響】
・中性化によりpHが低下しても、水の影響がなければ腐食しにくい
・同一部材、同一コンクリート品質であっても中性化深さに差が生じる
・塩害環境では中性化残り10mm以上であっても腐食開始

中性化による劣化の事例

鉄筋に沿ったコンクリート剥離

鉄筋露出（かぶり不足）

コンクリート診断士試験での出題傾向　（中性化）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2025年	択一式	・中性化メカニズム（化学平衡論）　・ひび割れと中性化　・中性化の補修
	記述式	・（土木）RC橋台　竪壁；塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮　翼壁；ASR
2024年	択一式	・中性化の特徴　・建築構造物の変状　・RC構造物の中性化進行予測（√t則）
	記述式	・（建築）RC建造物　塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮
2023年	択一式	・中性化速度係数　・表面被覆後の中性化進行予測（√t則）
	記述式	－
2022年	択一式	・中性化速度係数　・RC壁の中性化進行予測（√t則）
	記述式	・（土木）鉄道高架橋　塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮
2021年	択一式	・中性化進行の特徴　・見かけの拡散係数と塩分濃縮　・塩分濃縮の将来予測 ・けい酸塩系含浸材塗布後の中性化進行予測（√t則）
	記述式	―

1.3 アルカリシリカ反応(ASR)

ASRによる劣化のメカニズム

【原因】

・高アルカリ環境：セメント等の材料に由来するアルカリ金属イオンによる高pH環境
・水分の供給：雨水や地下水などが反応を進行・継続させる
・反応性骨材：アルカリ反応性鉱物（反応性シリカ）を含む骨材の使用

↓

【劣化の進行】

・骨材中の反応性シリカがアルカリ分と反応し、骨材周囲にアルカリシリカゲルを生成
・コンクリート内部に供給された水分をアルカリシリカゲルが吸収し、体積膨張
・この局所的な膨張圧より、骨材やコンクリートにひび割れが発生し、進展する

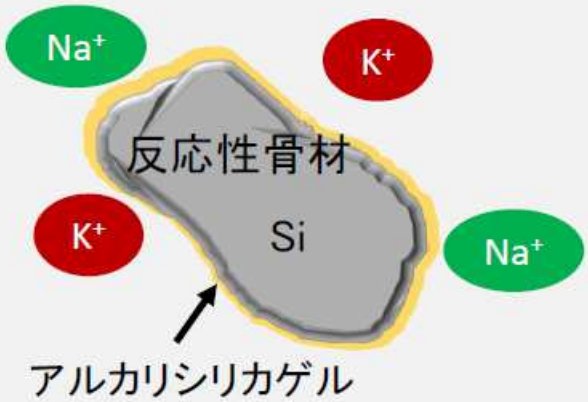
↓

【性能低下】

・外観の変状：亀甲状ひび割れ、主筋に沿ったひび割れ、白色ゲル、目地部の段差など
・力学特性の低下：圧縮強度、静弾性係数の低下、鉄筋破断など
・複合劣化の誘発：ASRのひび割れから劣化因子が侵入し、鉄筋腐食の原因となる

ASRによる劣化のメカニズム

第1ステージ
『 アルカリシリカゲルの生成 』



《化学式》

$nSiO_2$ ＋ $2NaOH$
シリカ鉱物　アルカリ

→ $Na_2O \cdot nSiO_2$ ＋ H_2O
アルカリシリカゲル

第2ステージ
『 アルカリシリカゲルの膨張 』

《化学式》

$Na_2O \cdot nSiO_2$ ＋ mH_2O
アルカリシリカゲル　水

→ $Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$
吸水膨張

ASRによる劣化の事例

橋脚の亀甲状ひび割れ

PC桁の橋軸方向ひび割れ

ASRによる劣化の事例

ASRによる鉄筋破断

再劣化

コンクリート診断士試験での出題傾向　(ASR)

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2025年	択一式	・アルカリ金属量の推定　・PC中空床版橋のASR
	記述式	・(土木)RC橋台　竪壁;塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮　翼壁;ASR
2024年	択一式	・ASR膨張の特徴　・ｱﾙｶﾘｼﾘｶｹﾞﾙの識別方法　・促進養生試験(JCI-S-011法) ・ｱﾘｶﾘｼﾘｶｹﾞﾙとｴﾌﾛﾚｯｾﾝｽの識別方法　・ｺｱ破断面の観察　・反応性骨材の地域特性
	記述式	—
2023年	択一式	・ﾍﾟｼﾏﾑ現象の特徴　・全ｱﾙｶﾘ量(等価Na_2O換算量)の計算　・塩害とASRの複合劣化 ・漏洩磁束法による鉄筋破断の検出
	記述式	・(建築)市民ﾎｰﾙのASRによる変状
2022年	択一式	・ASRの劣化調査方法　・促進養生試験(JCI-S-011法) ・掛違い橋脚のASR補修工法選定
	記述式	—
2021年	択一式	・ﾓﾙﾀﾙﾊﾞｰ法による膨張性評価　・ASRの劣化調査方法　・反応性鉱物の調査方法 ・PC桁のASR劣化　・ASR関連基準の変遷　・ASR補修工法と補修材料
	記述式	—

1.4 凍害

凍害による劣化のメカニズム

【原因】

・コンクリート内部の含水率が高く、凍結に伴う移動水を受け入れる空隙が不足した状態（臨界飽和度を超えた状態）にあること

・外気温が0℃以下になることで細孔溶液が凍結し、水から氷への相変化に伴って約9％の体積膨張が生じること

↓

【劣化の進行】

・凍結に伴う膨張圧（水圧説）や、氷点降下の違いによる浸透圧（浸透圧説）により、セメントペースト組織に微細なひび割れが発生

・凍結と融解の繰り返しによって微細なひび割れが連結・進展し、コンクリート組織が徐々に脆弱化

↓

【性能低下】

・力学特性の低下 ： 微細ひび割れの蓄積により、圧縮強度や相対動弾性係数の低下

・外観の変状 ： ひび割れ進展、スケーリング、ポップアウト、断面欠損など

・複合劣化の誘発 ： 表層品質の低下により劣化因子が侵入し、鉄筋腐食の原因となる

凍害による劣化の事例

橋台で生じた凍害

橋脚で生じた凍害

コンクリート診断士試験での出題傾向　（凍害）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2025年	択一式	・水路の凍害の特徴（温度、環境）
	記述式	—
2024年	択一式	・初期凍害のﾒｶﾆｽﾞﾑ　・凍害の調査方法
	記述式	—
2023年	択一式	・浸透圧説による凍害ﾒｶﾆｽﾞﾑ　・超音波透過法による凍害深さ測定 ・凍害のｽｹｰﾘﾝｸﾞとﾎﾟｯﾌﾟｱｳﾄ
	記述式	—
2022年	択一式	・水圧説による凍害ﾒｶﾆｽﾞﾑ　・凍害による劣化事例　・凍害の特徴（日射、温度） ・凍害の補修工法選定
	記述式	—
2021年	択一式	・凍害劣化の特徴　・ﾎﾟｯﾌﾟｱｳﾄの原因
	記述式	・（土木）RC中空床版橋　防水層なし　凍結防止剤散布　塩害との複合劣化

1.5 化学的侵食

化学的侵食による劣化のメカニズム

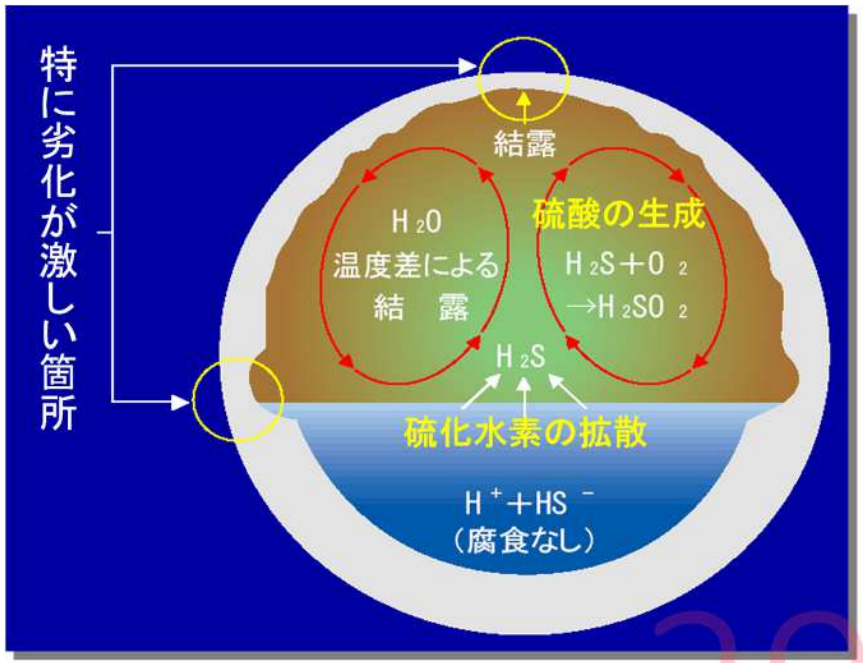
【化学的侵食とは】

・コンクリートが外部から化学的作用を受け、水和生成物 が変質・分解して結合能力を失う

・主な要因は酸類、アルカリ類、塩類、腐食性ガスなど多岐にわたり、それに応じて劣化状況も一様ではない

【下水道における硫酸劣化】

・下水から発生した硫化水素が硫酸に変化してコンクリートを劣化させ、かぶりコンクリート部分が脆弱化して欠落する



化学的侵食による劣化のメカニズム

【硫酸劣化のメカニズム】

①下水中の汚泥などにおいて、嫌気性条件下で硫酸塩還元細菌の働きにより硫化水素（H_2S）が発生し、水面上の気相部へ拡散する。

②コンクリート表面の結露水などに硫化水素が溶解し、好気性条件で繁殖した硫黄酸化細菌の働きによって硫酸（H_2SO_4）に酸化され、コンクリート表面が強酸性環境（pH1～2程度）となる。

③硫酸がコンクリート中の水酸化カルシウムと反応して二水石こうを生成する。
二水石こうがセメント中のアルミン酸塩と反応してエトリンガイトを形成する。

④二水石こうやエトリンガイトの生成に伴う体積膨張により、コンクリートにひび割れや剥離・剥落が進行し、組織が脆弱化・破壊される。

⑤コンクリートの強度が大幅に低下し、最終的には下水道管などのコンクリート構造物が崩壊・破壊に至る。

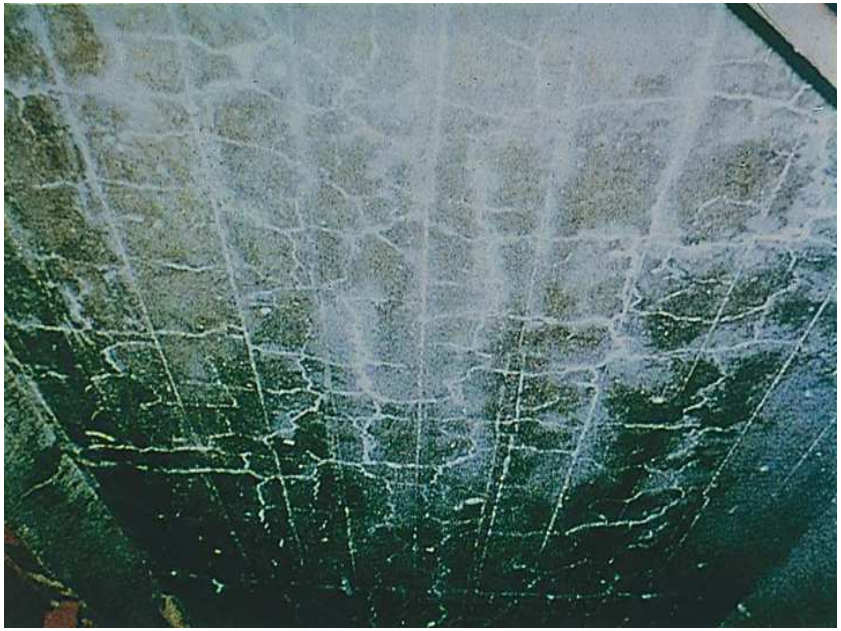
化学的侵食による劣化の事例

コンクリート診断士試験での出題傾向　（化学的侵食）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2025年	択一式	・下水道施設の硫酸劣化
	記述式	—
2024年	択一式	・侵食性炭酸のﾒｶﾆｽﾞﾑ　・戸建て住宅布基礎の硫酸塩劣化
	記述式	・(土木)山岳部の人道トンネル　化学的侵食　硫化水素　トンネル覆工
2023年	択一式	・下水道施設の硫酸劣化
	記述式	—
2022年	択一式	・鉄道高架橋RC橋脚基部の硫酸塩劣化　・RC煙突内部の化学的侵食
	記述式	・(建築)RC汚水処理施設の化学的侵食
2021年	択一式	・酸による化学的侵食のﾒｶﾆｽﾞﾑ　・建築外壁基部の硫酸塩劣化
	記述式	—

1.6　疲労（RC床版の疲労）



疲労による劣化のメカニズム

【原因】

・道路橋RC床版に対する、大型車両などの輪荷重の繰り返し作用

・繰り返し応力に雨水などの水分の浸透が複合的に作用し、床版コンクリート内に微細な損傷が蓄積

↓

【劣化の進行】

・初期段階として、主に乾燥収縮に起因する一方向（橋軸直角方向）のひび割れが発生

・輪荷重の繰り返しによる曲げ応力によって橋軸方向にもひび割れが進展し、格子状のひび割れを形成

・ひび割れが床版下面まで貫通して水分が供給されると、ひび割れ面でのすり磨き現象が生じる

・ひび割れ面における骨材の噛み合わせ（せん断伝達能力）が失われて床版としての連続性が低下し、独立したブロック状となって最終的に押し抜きせん断破壊に至る

↓

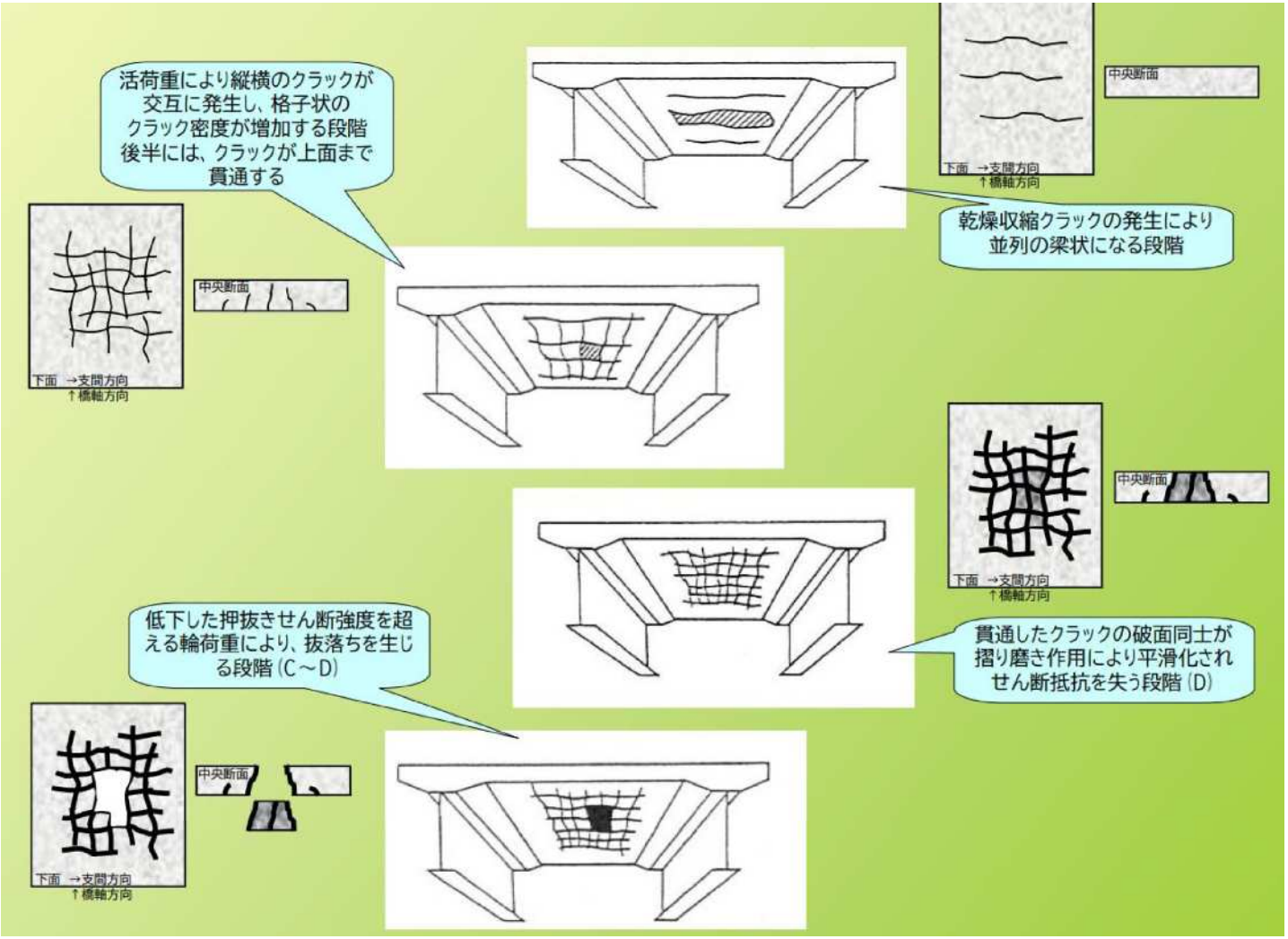
【性能低下】

・外観の変状 ： ひび割れの進展・高密度化、貫通ひび割れからの遊離石灰の析出

・構造性能低下 ： 床版全体の荷重分配機能の低下、および輪荷重に対する押し抜きせん断耐力の喪失

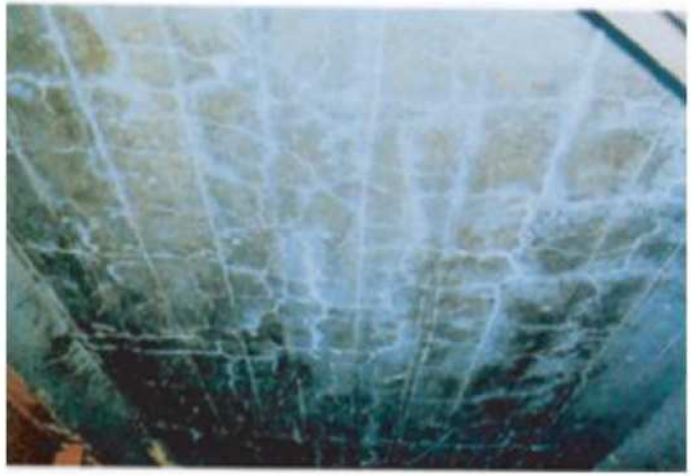
・終局状態 ： 床版コンクリートの下面への抜け落ち、それに伴う路面陥没の発生

疲労による劣化のメカニズム

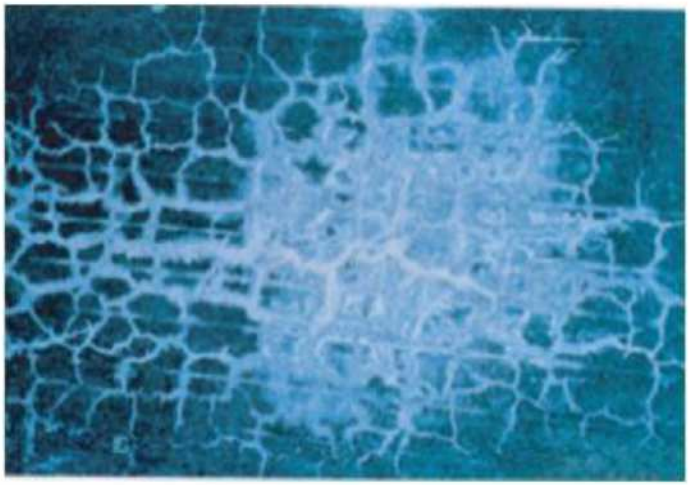


（出典「橋梁床版の疲労」独立行政法人土木研究所）

疲労による劣化の事例



二方向のひび割れ



亀甲状のひびわれ

陥没・崩落

（出典「ｺﾝｸﾘｰﾄ構造物の劣化および補修事例集」日本ｺﾝｸﾘｰﾄ工学協会）

コンクリート診断士試験での出題傾向　（疲労）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2025年	択一式	・鉄筋の疲労破壊　・線形累積損傷則（ﾏｲﾅｰ則）による疲労安全性（S-N曲線）
	記述式	—
2024年	択一式	・RC床版疲労のﾒｶﾆｽﾞﾑ　・床版土砂化
	記述式	—
2023年	択一式	・RC床版の土砂化の調査方法　・RC床版の土砂化の発生原因 ・線形累積損傷則（ﾏｲﾅｰ則）による疲労安全性（S-N曲線） ・RC床版の維持管理LCC
	記述式	—
2022年	択一式	・RC床版の疲労に対する調査方法 ・鉄道橋の線形累積損傷則（ﾏｲﾅｰ則）による疲労安全性（S-N曲線） ・RC床版疲労の補修工法選定（写真）
	記述式	—
2021年	択一式	・鋼橋RC床版の疲労と撤去
	記述式	・（土木）RC中空床版橋　防水層なし　凍結防止剤散布　疲労の影響

2. 維持管理に活かす

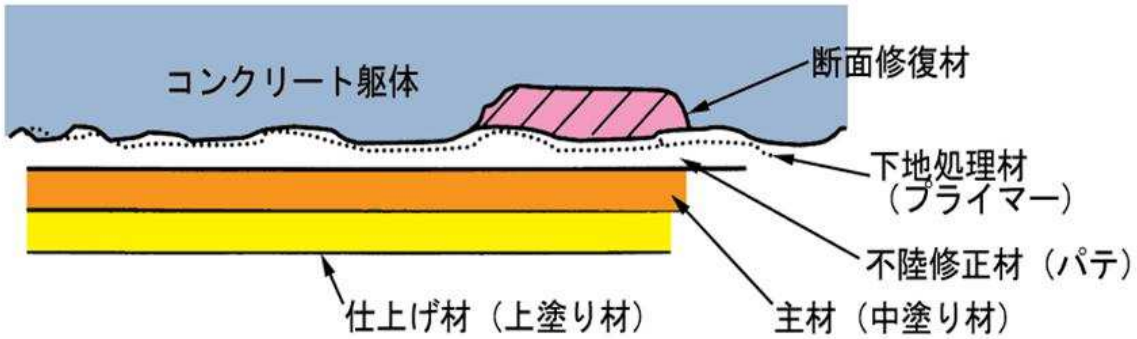
2.1　補修工法選定の考え方

1. 表面被覆工法

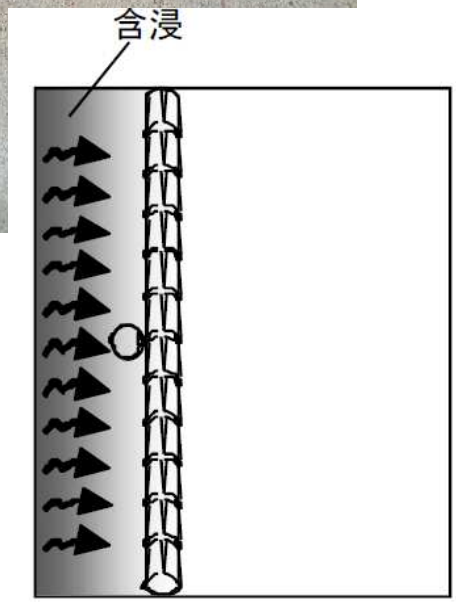
【目的】
・劣化因子の侵入抑制
・美観性の向上

【特徴】
・有機系や無機系の被覆材を複数層塗り重ね、塗膜を形成する
・刷毛やローラーにて塗布する
・膜厚で管理する

【留意点】
・施工後はモニタリング性に劣る



2. 表面含浸工法



【目的】
・劣化因子の侵入抑制(＋α)

【主な使用材料】
・シラン系含浸材　　：撥水効果付与
・けい酸塩系含浸材　：コンクリートの緻密化
・鉄筋腐食抑制タイプ：鉄筋防錆効果をプラス

【特徴】
・表面含浸材をコンクリート表面に塗布する
・含浸したコンクリート表層部が改質される
・塗布量で管理する
・施工後も外観を変えない

2. 表面含浸工法　（一般的な表面含浸材の種類と特徴）

種別		特長	備考
シラン系		・疎水性のアルキル基によりコンクリート表層部に吸水防止層（撥水層）を形成。 ・細孔を埋めないため呼吸性を損なわない。	・水分、塩化物イオンの遮断性は優れるものの、中性化を促進することもある。 ・ただし、材料選定次第では中性化へも適用可能。 ・滞水する部位では適用困難。
けい酸塩系	反応型 けい酸塩系	・けい酸ナトリウム系 ・けい酸カリウム系 ・水酸化カルシウムと反応し、C-S-Hゲルを生成して空隙を充填する。 ・水分供給により再度溶解。	・微細ひび割れであれば閉塞。 ・中性化が進行した領域ではカルシウム分が減少しており、緻密化の反応が困難。 ・ASRを助長する可能性あり。
	固化型 けい酸塩系	・けい酸リチウム系 ・材料自体の乾燥固化により空隙を充填する。 ・固化物は難溶性。	・微細ひび割れを閉塞。 ・表面硬度の向上。

3. ひび割れ注入工法

【目的】
・ひび割れの閉塞
・劣化因子の侵入抑制

【適用範囲】
・幅0.2mm以上

【使用材料】
・エポキシ樹脂系、セメント系など
・鉄筋腐食抑制タイプ

【施工方法】
・ひび割れに沿って自動低圧注入器を設置し、注入器間のひび割れをシールする
・注入材を注入し、硬化養生する
・硬化後、注入器を撤去して表面を平滑にケレンする

3. ひび割れ注入工法　（ひび割れ注入工法の選定の着目点）

【ひび割れの発生原因が鉄筋腐食に起因しない場合】
例）乾燥収縮ひび割れ、温度ひび割れなど

↓

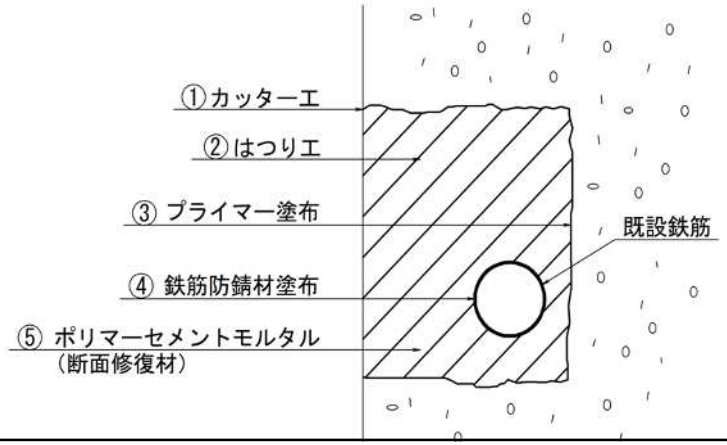
一般的なひび割れ注入（エポキシ樹脂等）の適用性が高い
（要求性能：ひび割れの閉塞）

【ひび割れの発生原因が鉄筋腐食に起因する場合】
例）塩害、中性化などによるひび割れ

↓

鉄筋腐食抑制型ひび割れ注入（亜硝酸リチウム併用）の適用性が高い
（要求性能：ひび割れの閉塞＋鉄筋腐食抑制）

4. 断面修復工法



【目的】
・コンクリート浮き、剥離部の修復

【使用材料】
・ポリマーセメントモルタル

【施工方法】
・浮き、剥離箇所を入念にはつりおとす
・鉄筋表面をケレンする
・鉄筋表面に防錆剤を塗布する
・ポリマーセメントモルタルにて断面を修復する

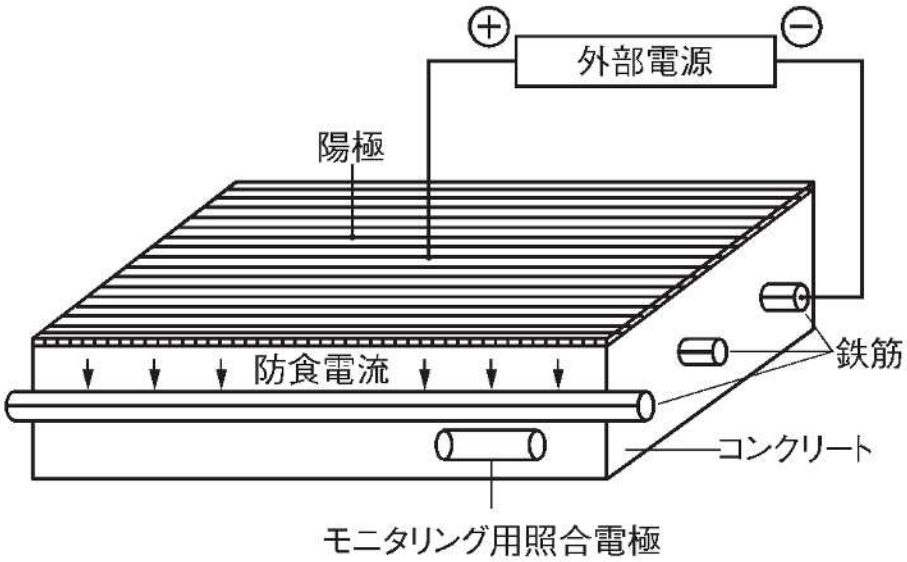
【備考】
・対象構造物に応じて工法を選定
　左官工法
　吹付工法
　プレパックド工法

4. 断面修復工法　（部分断面修復と全断面修復）

部分断面修復工法	全断面修復工法
・コンクリートの浮き，はく離，鉄筋露出などの変状箇所を部分的にはつり取り、断面修復材にて埋め戻す ・はつりとった範囲からは塩化物イオンが除去されている（限定的） ・境界面付近にマクロセル腐食を生じる可能性もある	・鉄筋背面までのコンクリートを全てはつり取り、断面修復材にて埋め戻す ・鉄筋位置に存在していた塩化物イオンは全て除去されている ・「劣化因子の除去」という要求性能を完全に満たすための断面修復工法はこの全断面修復工法を指す

5. 電気防食工法

【目的】 ・鉄筋腐食の根本的な抑制

外部電源方式	流電陽極方式
	
・表面に陽極材を設置し、外部電源と接続 ・強制的に直流電流を供給し、鉄筋腐食を抑制 ・通電は防食期間中継続 ・電源設備と定期的な管理が必要	・亜鉛などの陽極材を鉄筋と接続（表面or埋設） ・イオン化傾向の違いにより鉄筋腐食を抑制 ・外部電源が不要で維持管理が容易 ・犠牲陽極材が消耗すると交換が必要

6. 亜硝酸リチウムの活用

【亜硝酸リチウムによる補修効果】

①亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果
②リチウムイオンによるASR膨張抑制効果

亜硝酸イオン

NO_2^-

不動態皮膜の再生により鉄筋腐食を抑制

塩害・中性化 対策

リチウムイオン

Li^+

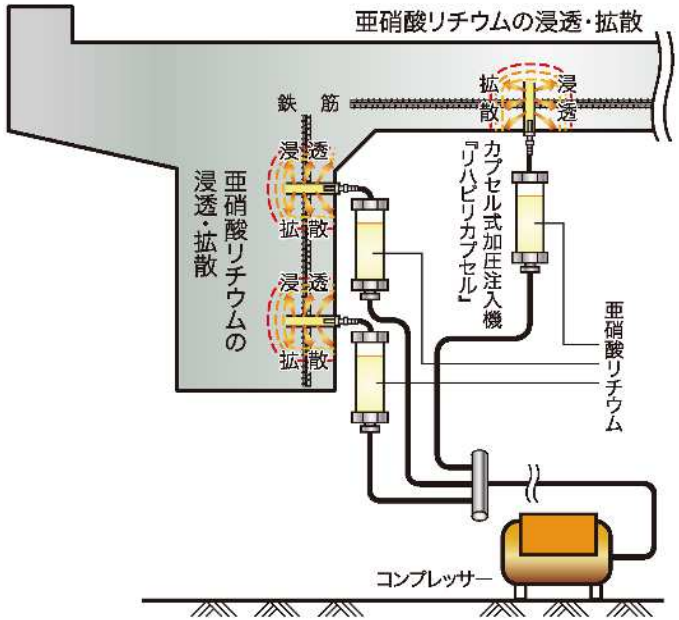
アルカリシリカゲルを非膨張化

ASR 対策

亜硝酸リチウム水溶液

・ひび割れ注入工法、表面含浸工法、断面修復工法に併用する
・内部圧入工法に活用する

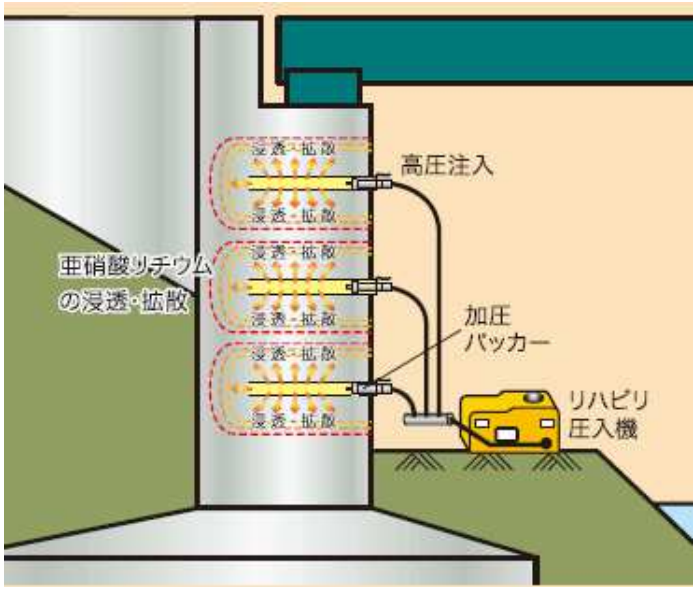
6. 亜硝酸リチウムの活用　（塩害、中性化の補修としての内部圧入工法）



①コンクリートにφ10mm、L=100mm程度の削孔を500mmの間隔で行う
②カプセル式圧入装置にて亜硝酸リチウムを鉄筋周囲に内部圧入する
⇒　不動態皮膜の早急かつ確実な再生

期待できる性能、効果
基本性能　：『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

6. 亜硝酸リチウムの活用　（ASRの補修としての内部圧入工法）



①コンクリートにφ20mmの削孔を750mm間隔で行う
②圧入装置にて亜硝酸リチウムを部材全体に内部圧入する
⇒　アルカリシリカゲルの非膨張化

期待できる性能、効果
　基本性能　：『リチウムイオンによるアルカリシリカゲルの非膨張化』

2.2 維持管理のシナリオ

●予防保全と事後保全

●補修後の維持管理シナリオ

維持管理のシナリオ　（予防保全と事後保全）

【予防保全と事後保全】

予防保全：構造物に目立った変状が表面化する前、あるいは構造性能や第三者への安全性が損なわれる前に、計画的かつ先制的に対策を講じる維持管理手法

事後保全：ひび割れ、かぶりコンクリートの剥落、鉄筋の露出といった変状がすでに顕在化し、構造物の要求性能（耐荷力、耐久性、第三者安全性など）が低下した後に、その機能を回復・修復させるために講じる維持管理手法

比較項目	予防保全	事後保全
基本的な考え方	悪くなる前に守る （劣化の未然防止・進行遅延）	悪くなってから直す （低下した性能の回復）
対象となる劣化過程	潜伏期 ～ 進展期	加速期 ～ 劣化期
外観の変状	なし、または極めて軽微	ひび割れ、浮き、剥落、錆汁などが顕在化
LCCのイメージ	1回あたりのコストは安く、長期的な総費用も抑えやすい	1回あたりのコストが非常に高く、総費用も増大しやすい

維持管理のシナリオ　（塩害の劣化過程）

劣化過程	劣化の状態
潜伏期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生塩化物イオン濃度以下
進展期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生塩化物イオン濃度以上，腐食が開始
加速期前期	腐食ひび割れや浮きが発生，さび汁が見られる
加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生，腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる，鋼材の著しい断面減少は見られない
劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる，鋼材の著しい断面減少がみられる，変位・たわみが大きい

出典：2022年制定　コンクリート標準示方書[維持管理編]（土木学会）

維持管理のシナリオ　（塩害の予防保全の考え方の例）

【劣化過程が塩害の『潜伏期』にある場合】

状況：腐食発生限界塩化物イオン濃度未満であり、不動態皮膜は健全

⇒まだ鉄筋が腐食する理由は発生していない

↓

一般的な表面含浸工法（シラン系、けい酸塩系など）の適用性が高い

（要求性能：劣化因子の侵入抑制）

【劣化過程が塩害の『進展期』にある場合】

状況：腐食発生限界塩化物イオン濃度を超えており、不動態皮膜は破壊

⇒コンクリート内部では既に鉄筋腐食が生じている

↓

鉄筋腐食抑制型の表面含浸工法（亜硝酸リチウム併用型）の適用性が高い

（要求性能：劣化因子の侵入抑制＋鉄筋腐食抑制）

維持管理のシナリオ　（補修後の維持管理シナリオ）

【補修後の維持管理シナリオ】

対象構造物の供用期間を通じて実施される様々な措置や対策を総合的に勘案した維持管理の方針

【補修後の維持管理シナリオの例】

例1）　再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ

・当該構造物の変状に対し、必要最低限の安価な対策をまず講じる。ただし、最低限の対策では劣化の進行を根本的に抑制することは難しく、再劣化の発生を許容する方針となる。

・対策後は劣化進行を適切に経過観察し、再劣化が認められた場合には速やかに再補修を実施する。この再劣化と再補修のサイクルを構造物の残存供用年数の間、定期的に繰り返すことにより、構造物の耐久性を一定水準以上に維持することを目的とする。

例2）再劣化を許容しない維持管理シナリオ

・当該構造物の変状に対し、劣化原因を根本的に解決する対策（塩害や中性化の場合は鉄筋腐食反応の停止、ASRの場合はアルカリシリカゲルの膨張性の消失など）を講じる。

・対策には比較的高額な費用を要するが、対策後は再劣化が基本的に発生しないため、構造物の耐久性低下を抑制でき、再補修を想定する必要はない。

維持管理シナリオ　（補修後の維持管理シナリオを考慮した塩害補修の着目点）

【再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ】
・ひび割れ注入工、部分断面修復工、表面保護工による必要最小限の補修
・ただし、これらの対策では再劣化する可能性がある
　⇒補修のイニシャルコストを最小とし、必要に応じて再補修を繰り返す

その対象構造物に再劣化を許容することができるか？
・例えば、「構造物へのアプローチが困難」な場合や「仮設備の費用が膨大」となる場合
　⇒再劣化と再補修を繰り返すシナリオではLCCが高額となる
・例えば、劣化過程が加速期後期であり、これを過ぎると劣化期に転落する場合
　⇒これ以上の性能低下を許容すると、補修だけでなく補強や架け替えまで必要となる

【再劣化を許容しない維持管理シナリオ】
・イニシャルコストが高額だとしても、再劣化のリスクを排除してLCCを低減
　例）電気防食工法　（鉄筋腐食を根本的に抑制）
　　亜硝酸リチウム内部圧入工法　（鉄筋腐食を根本的に抑制）
　　全断面修復工法　（塩化物イオンを含むコンクリートを完全に除去）

維持管理シナリオ　（補修後の維持管理シナリオを考慮したARS補修の着目点）

【再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ】
・ひび割れ注入工、表面保護工による必要最小限の補修
・ASR膨張性が有害であれば、これらの対策では早期に再劣化する可能性がある
　⇒補修のイニシャルコストを最小とし、必要に応じて再補修を繰り返す

その対象構造物に再劣化を許容することができるか？
・例えば、「構造物へのアプローチが困難」な場合や「仮設備の費用が膨大」となる場合
　⇒再劣化と再補修を繰り返すシナリオではLCCが高額となる
・例えば、過去のASR補修が既に再劣化している場合
　⇒一般的な工法では当該構造物のASRを抑制できないことが明らか

【再劣化を許容しない維持管理シナリオ】
・イニシャルコストが高額だとしても、再劣化のリスクを排除してLCCを低減
　例）亜硝酸リチウム内部圧入工法　（ASR膨張を根本的に抑制）

2.3　橋梁延命化シナリオ研究会の取り組み

一般社団法人　橋梁延命化シナリオ研究会

代表理事　宮川豊章（京都大学　名誉教授）

代表理事 宮川豊章

一般社団法人橋梁延命化シナリオ研究会は、既設橋の延命化に資する技術の研究及び普及等に関する事業を行い、もって都市再生と地域連携による経済活力の回復に貢献し、国民生活の質の向上、安全で安心できる暮らしの確保、環境の保全・創造に寄与することを目的として2014年（平成26年）3月に設立されました。

2003年（平成15年）～2013年（平成25年）に実施された、産学官連携プロジェクト「橋梁の延命化シナリオの策定等に関する研究プロジェクト」（プロジェクトリーダ；宮川豊章、新都市社会技術融合創造研究会内に設置）を通じて獲得した成果（ソフト「橋の匠」等）の発展的な維持更新および機能向上を進めるとともに、普及・振興を図る団体です。

構成
・産官学55団体・企業　70名

最適延命化方策選定システム『橋の匠』

【『橋の匠』のコンセプト】

●『橋の匠』はデジタル参考書
⇒維持管理業務の支援用に
⇒維持管理の各種シミュレーションに
⇒維持管理分野の自己啓発、学習用に

●最適調査方法の選定
⇒劣化要因、劣化グレード、劣化速度、将来予測、耐荷性能
⇒1次調査（概略調査方法）
⇒2次調査（詳細調査方法）、診断

●最適対策工法の選定
⇒診断結果に対する最適対策工法を選定
⇒維持管理シナリオを考慮
⇒LCC（概略）の算定

最適延命化方策選定システム『橋の匠』

【『橋の匠』で扱う対象範囲】

●コンクリート構造
⇒塩害、中性化、ASR、凍害、化学的侵食、疲労
⇒初期欠陥、PC特有の変状

●鋼構造
⇒疲労亀裂、鋼材腐食、ボルト遅れ破壊

●支承構造
⇒鋼製支承、ゴム支承

最適延命化方策選定システム『橋の匠』

最適延命化方策支援システムのプログラム構成

最適調査方法選定プログラム

劣化要因・劣化グレード・劣化速度・耐荷性能について、調べるための「最適調査方法」を合理的に選定します。また、調査結果データが手元にある場合、調査結果に照らして、適切な劣化状態を推定します。

～コンクリート構造物～

「中性化」「塩害」「ＡＳＲ」などのほか、ＰＣ構造特有の劣化についても取り扱います。

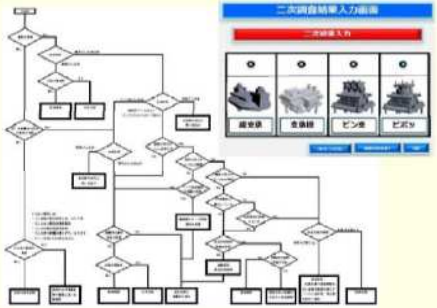
～鋼構造物～

鋼構造では、耐荷性能に大きく影響を及ぼす代表的な損傷である「腐食」「疲労」「ボルトの遅れ破壊」について、取り扱います。

シナリオの構築，構造物の評価、最適調査方法の選定、最適対策工法の選定までを支援

支承構造の維持・更新に関するプログラム

支承構造（ゴム支承・鋼製支承とも）・支承機能の劣化に関しても、要因の推定・対策工法について同様の対応ができるようプログラム開発中です。



最適対策工法選定プログラム

抽出された劣化の種類に対して、「最適対策工法」を合理的に選定します。また、選定した対策工法の特性や適用範囲の確認、新工法・新技術の積極的利用に向けた情報入手が可能です。

～コンクリート構造物～

「最適対策工法」の選定のほか、ライフサイクルコストや維持管理シナリオを考慮して、最適案まで踏み込んで提案します。

～鋼構造物～

鋼構造物についても、コンクリート構造物と同様に、「最適対策工法」を選定します。

最適延命化方策選定システム『橋の匠』

【ソフト『橋の匠』の使用方法】

・ご利用には事前のユーザー登録が必要です。
・下記サイトよりお申込み下さい。

URL　https://bridge-scenario.or.jp/

一般社団法人
橋梁延命化シナリオ研究会

まとめ

まとめ

- ●塩害　塩化物イオンの作用により鉄筋の不動態皮膜が破壊され、そこに水と酸素が供給されることにより鉄筋が腐食
- ●中性化　二酸化炭素の作用により鉄筋の不動態皮膜が破壊され、そこに水と酸素が供給されることにより鉄筋が腐食
- ●ASR　アルカリシリカゲルの吸水膨張作用により、コンクリートが膨張
- ●凍害　水分の凍結融解作用の繰り返しによりコンクリートが脆弱化
- ●硫酸劣化　硫化水素から生成された硫酸の作用によりコンクリートが化学的に腐食し、硬化体が組織崩壊して脆弱化
- ●疲労　輪荷重の繰り返し作用と水分の侵入によりコンクリートのひび割れが進展し、最終的に押し抜きせん断破壊に至る

↓

『劣化機構を理解したうえで、補修工法の要求性能を見極める』
『維持管理シナリオを考慮して総合的に補修工法を選定する』

告知 1

「予防保全を目的とした鉄筋コンクリート構造物の点検方法に関する研究委員会」報告会（対面形式）
―参加募集―

開 催 日：2026 年 9 月 15 日（火）
申込締切：2026 年 9 月 6 日（日）

主催：公益社団法人 日本コンクリート工学会
後援：土木学会，日本材料学会，コンクリートメンテナ
（予定） ンス協会，日本建築学会，日本非破壊検査協会

1. **開 催 日 時**：2026 年 9 月 15 日（火）13：00-17：00
2. **開 催 場 所**：きゅりあん 品川区立総合区民会館 小ホール（東京都品川区東大井５丁目１８－１）
3. **プログラム（予定）**：

13:00	開会
13:00～13:05	開会挨拶、趣旨説明
13:05～14:30	パネルディスカッション：「予防保全のための点検の実態と課題」
14:30～14:40	＜休憩＞
14:40～15:20	委員会報告①：「構造物の予防保全のための中性化の点検方法」
15:20～16:00	委員会報告②：「構造物の予防保全のための塩害の点検方法」
16:00～16:10	＜休憩＞
16:10～16:50	委員会報告③：「構造物の予防保全のための鉄筋腐食の点検方法」
16:50～17:00	まとめ、講評、閉会挨拶

4. **参 加 費**：消費税込み，配布資料含む

正 会 員（個人）	8,500 円
名誉会員・終身会員・フェロー会員	5,000 円
学生会員※1	5,000 円
団体会員※2 後援団体※3	9,500 円
一般非会員	10,000 円
学生非会員※1	5,500 円

詳細情報・お申込み方法は、JCI「コンクリート工学」最新刊をご確認ください。

告知 2

日経コンストラクション　日経アーキテクチュア　日経XTECH

記述式に特化したオリジナルカリキュラム

コンクリート診断士
完全攻略コース

サービス提供期間
2026年
2月～7月

過去問題 **重要キーワード解説書籍** を2冊ご提供
論文添削指導 による充実の学習支援。択一式対策にも役立つ。

インフラ構造物の維持管理に欠かせない技術者が取得を目指す資格の一つである「コンクリート診断士」。その大きな関門である記述式問題に特化したコースです。動画講義では、試験でよく出題される技術分野の説明、論文の骨子の作り方、論文記述のテクニックを収録しています。さらに、模擬問題の論文添削もご提供。合格率15%の難関資格の突破を後押しします。

講師　十河茂幸（近未来コンクリート研究会　代表）
　　江良和徳（コンクリートメンテナンス協会　専務理事）

詳細、お問い合わせはこちらから　https://nkbp.jp/sikaku_2506c

期間中は繰り返し視聴可能！

▶動画講義
試験頻出の技術分野を解説！
論文記述のテクニックを伝授します。

収録内容

○塩害　○中性化　○アルカリシリカ反応
○凍害　○化学的浸食　○RC床版の疲労
○複合劣化　○火害　○施工時に生じる変状
○模擬問題１（塩害＋中性化）
○模擬問題２（ASR）
○模擬問題３　○模擬問題4
○文章作成のテクニック
○記述式問題攻略のキーワード

添削対象

■動画講義（約350分）＋PDFテキスト

▶記述式問題 添削指導
記述式の
模擬問題2つを
個別添削指導！
記述の型を
作り上げる！

記述式模擬問題（土木分野）2つの添削指導が受けられます。
添削は各1回ずつの計2回で、提出いただいた記述式問題について添削結果をPDFでお戻しします。

添削指導のポイント

- 模擬問題1,2の添削指導が各1回ずつ受けられる！
- 添削フローは全てオンラインで完結！
- OK解答、NG解答のポイントが分かる！