

# 福岡市 道路橋補修教本 — 基礎編 —



福岡市中心部を流れる那珂川に架かる橋梁群  
(手前より、西中島橋、西大橋、福博であい橋、中洲懸橋)

平成21年4月初版  
平成29年3月改訂

 福岡市 道路下水道局 管理部 道路維持課

# 道路橋補修教本 一 基礎編 一

## 目次

<b>§ 1. はじめに</b> .....	<b>1</b>
<b>§ 2. 道路橋の種類</b> .....	<b>2</b>
<b>§ 3. 橋梁部材の基本構成</b> .....	<b>3</b>
3.1. 橋梁形式 .....	3
(1) 上部工 .....	4
1) 鋼桁橋の構成例 .....	5
① I 桁橋 .....	5
② 箱桁橋 .....	6
2) コンクリート橋の構成例 .....	7
① T 桁橋 .....	7
② 箱桁橋 .....	8
③ 中空床版橋 .....	9
(2) 下部工 .....	10
1) 橋台 (アバット) .....	10
2) 橋脚 (ピア) .....	12
(3) 付属物 .....	14
1) 支承 .....	15
2) 伸縮装置 .....	16
3.2. ボックスカルバート (BOX) 形式 .....	17
<b>§ 4. 鋼部材の変状</b> .....	<b>18</b>
(1) 変状形態 .....	18
(2) 変状要因とメカニズム .....	20
① 塗装劣化 .....	21
② 腐食 .....	22
③ 亀裂 .....	23
④ 破断 .....	24
⑤ 変形 .....	25
⑥ ボルトのゆるみ、脱落 .....	25
⑦ 鋼板接着部の異常 .....	25
<b>§ 5. コンクリート部材の変状</b> .....	<b>26</b>
(1) 変状形態 .....	26
(2) 変状要因とメカニズム .....	28
① ひび割れ .....	29
② うき、剥離・鉄筋露出 .....	30
③ 漏水・遊離石灰 .....	31
④ 欠損 .....	31
⑤ 侵食・すりへり .....	31
⑥ コールドジョイント .....	31
⑦ 豆板 (ジャンカ) .....	32

## § 6. コンクリート部材の劣化..... 33

- (1) 劣化機構 ..... 34
- (2) 劣化機構とメカニズム..... 35
  - ① 中性化..... 36
  - ② 塩害 ..... 37
  - ③ アルカリシリカ反応 ..... 38
  - ④ 凍害 ..... 39
  - ⑤ 化学的侵食 ..... 40
  - ⑥ 床版の疲労 ..... 40

## § 7. 付属物の変状..... 42

- (1) 変状形態 ..... 42
- (2) 変状要因とメカニズム..... 44
  - ① 排水装置の土砂詰り ..... 45
  - ② 支承の機能障害 ..... 45
  - ③ 舗装ひび割れ..... 46
  - ④ 路面の凹凸 ..... 46
  - ⑤ 伸縮装置の機能障害 ..... 47

## § 8. 補修の要否判定..... 49

## § 9. 補修工法選定の基本的考え方..... 53

- (1) 鋼部材 ..... 54
  - 1) 補修工法の組合せ例 ..... 54
  - 2) 鋼部材の補修工法選定 ..... 55
    - ① 塗装塗替え工..... 56
    - ② 当て板補修工（部材部分取替え） ..... 59
    - ③ 当て板補修工（亀裂補修等） ..... 60
    - ④ 溶接補修工（初期欠陥） ..... 61
    - ⑤ 形状改良工 ..... 62
    - ⑥ ストップホール工..... 63
    - ⑦ 橋面防水工 ..... 64
    - ⑧ 伸縮装置取替え工..... 65
    - ⑨ 排水、導水処理工..... 66
    - ⑩ 支承取替え工..... 67
- (2) コンクリート部材 ..... 68
  - 1) 補修工法の組合せ例 ..... 68
  - 2) コンクリート部材の補修工法選定 ..... 69
  - 3) コンクリート部材の劣化機構による補修工法選定 ..... 70
    - ① ひび割れ補修工 ..... 71
    - ② 断面修復工 ..... 73
    - ③ 表面被覆工 ..... 75
    - ④ 表面含浸工 ..... 76
    - ⑤ 電気防食工 ..... 77
    - ⑥ 脱塩工..... 79
    - ⑦ 再アルカリ化工 ..... 80
    - ⑧ 繊維シート接着工（補強） ..... 81
    - ⑨ 鋼板接着工（補強） ..... 82
    - ⑩ 上面増厚工（補強） ..... 83
    - ⑪ 下面増厚工（補強） ..... 84
    - ⑫ アウトケーブル工（補強） ..... 85

## 参考資料..... 86

- I. 用語の解説..... i - 1
- II. 道路橋示方書設計の変遷 ..... ii - 1
- III. 参考文献 ..... iii - 1

## § 1. はじめに

本教本は、福岡市が管理する橋長 2m 以上の道路橋補修において必要となる、基礎的事項について示したものである。

- ・ 本教本は、福岡市が管理する橋長 2m 以上の道路橋に適用する。ただし、都市高速道路及び臨港道路は除く。
- ・ ボックスカルバート(BOX)形式は、土被り 1m 未満のものに対して本教本を適用する。
- ・ 横断歩道橋は道路上の大型構造物に分類され、橋梁ではないことから原則として適用外とする。なお、橋梁と類似の構造物であることから、変状の状態によっては補修工法決定等の際には本教本を参考とする。
- ・ 福岡市が管理する橋梁は約 2,000 橋あり、約 8 割は昭和 40~50 年代の経済成長期に建設され、橋梁が高齢化し毎年多くの橋梁を補修しなければならない状況にある。本教本は、橋梁の耐久性の回復及び構造物の長寿命化を図るために、適切な補修を行うことを目的とする。
- ・ 本教本は、点検・調査の結果、対策が必要と判断された橋梁について、計画的な維持管理を行い、所定の機能を維持するために適切な補修対策を実施する際の、文献に記載されていること等を中心とした基礎的事項に関する参考教本とする。
- ・ 福岡市独自の劣化の特徴、学識経験者の助言を踏まえた補修方法等は、実践編に記載する。

ここで、『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』における用語の定義にしたがい、

「変 状」とは何らかの原因で、構造物に発生している本来あるべき姿でない状態のことで、初期欠陥、損傷、劣化等の総称とする。

「初期欠陥」は施工時に発生する変状、

「損 傷」は地震や衝突等によるひび割れや剥離のように、短時間のうちに発生し、その後は時間の経過とともに進行しない変状、

「劣 化」は時間の経過に伴って進行する変状とする。

## § 2.

# 道路橋の種類

道路橋の種類は、使用材料、支持方式、構造形式等により分類される。

橋梁の一般的な分類を表 2-1 に示す。

表 2-1 橋梁の分類

分類項目	名 称	概 要
使用材料 分類	木橋	木材を主材料とする橋
	石橋	石材、レンガを主材料とする橋
	鋼橋	鋼材を主材料とする橋
	コンクリート橋	コンクリートを主材料とする橋 ・鉄筋コンクリート(RC)橋(鉄筋により補強した橋) ・プレストレストコンクリート(PC)橋(PC 鋼材により補強した橋)
	混合橋	単一の橋梁が異種材料(鋼桁とコンクリート桁等)により構成されている橋
支持方式 分類	単純橋	両端を1径間単位で単純支持した橋
	連続橋	主桁など主構造が2径間以上にわたって連続する橋
	ゲルバー橋	連続橋の中間に不静定次数に等しい数のヒンジを挿入し、静定構造とした橋
構造形式 分類	桁橋	主構造に桁を用いた橋
	トラス橋	主構造にトラスを用いた橋
	ラーメン橋	主構造にラーメンを用いた橋
	アーチ橋	主構造にアーチを用いた橋
	斜張橋	塔から斜めに張ったケーブルで桁を吊る構造の橋
	吊橋	ケーブルを塔間に張り渡し、これに桁を吊り下げる構造の橋
	ボックスカルバート	道路下に道路や水路・通路等の空間を得るために地中内に設置された箱渠



## § 3. 橋梁部材の基本構成

### 3.1. 橋梁形式

- ・ 道路橋の構造は、通行部分を支える上部構造（上部工）、及び上部構造を支え地盤に荷重を伝達する下部構造（下部工）、その他付属物（支承、伸縮装置）等に分類される。
- ・ 上部構造は、橋床（床版、舗装）、床組、主桁、横桁等から構成される。
- ・ 下部構造は、橋台（アバット）と橋脚（ピア）及び基礎を総称したものである。橋台は橋梁の両端に、橋脚はそれらの間に設けられ、上部構造を支持しており、基礎は橋台及び橋脚からの荷重を地盤へ伝える構造部分である。
- ・ 橋梁の長さを表す用語には、橋長、支間長等がある。橋長は、橋梁両端の橋台の胸壁（パラペット）前面間の距離を表し、橋梁の全長を意味している。
- ・ 支間長（有効径間）は支承の中心間の距離を表すものである。

橋梁の一般的な基本構成例を図 3-1、図 3-2 に示す。

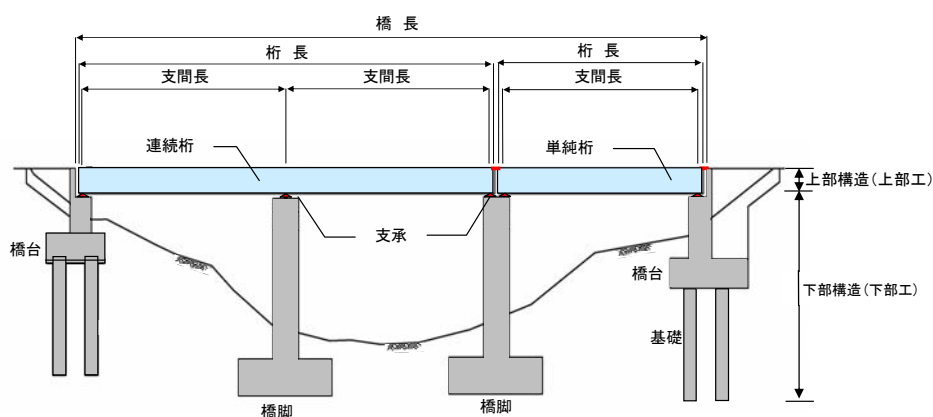


図 3-1 橋梁部材の基本構成例

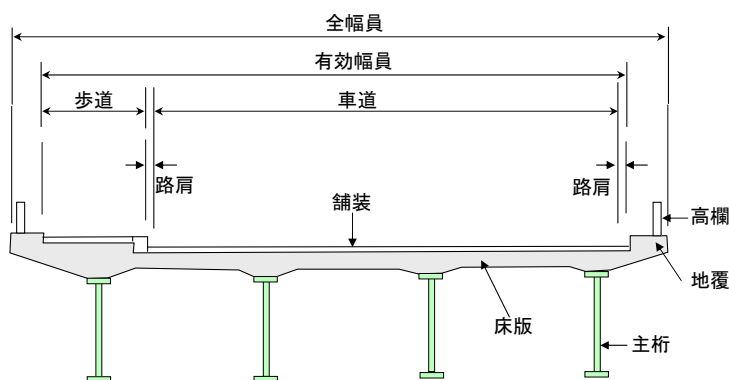


図 3-2 橋梁部材（断面）の基本構成例

## (1) 上部工

橋梁の上部構造は、構造形式、使用材料によって鋼橋、鉄筋コンクリート橋（RC橋）、プレストレストンクリート橋（PC橋）に大きく分類される。上部工は、様々な環境で供用されており、作用する荷重も変動が大きく、場合によっては非常に過酷な使用状況におかれたものもある。また、上部工は、主桁、横桁、床版と様々な部材が組み合わさって構成されていることから、変状も多種多様である。

上部工の補修対策においては、鋼材やコンクリートの材料特性に適した補修工法を適用する必要がある。

福岡市が管理する道路橋の主な上部構造形式及び上部構造種類を表 3-1、表 3-2、図 3-3に示す。

表 3-1 上部構造形式

使用材料	構造形式	概要
鋼橋	桁橋	はりとして設計される桁を主体とするもの 主なものとして、 ①I形桁（鋸桁） ②箱桁 等
	トラス橋	橋の主体にトラスを使用するもの このトラスを主構という
コンクリート橋 (PC橋、RC橋)	床版橋	版構造で桁の役目を果たしているもの
	桁橋	梁として設計される桁を主構造とする橋 主桁断面がT桁等をなすもの 主なものとして、 ① T桁 ② 箱桁 等

表 3-2 上部構造種類（主桁・床版）

種類	概要
合成桁	RC 床版を強固なずれ止め（スタッドジベル）によって鋼桁に結合することにより、設計上、RC 床版と鋼桁との合成断面で荷重に抵抗する構造。
非合成桁	スラブアンカーなどを使用し、鋼桁と RC 床版の連結剛度が小さく、設計上、鋼桁断面のみで荷重に抵抗する構造。

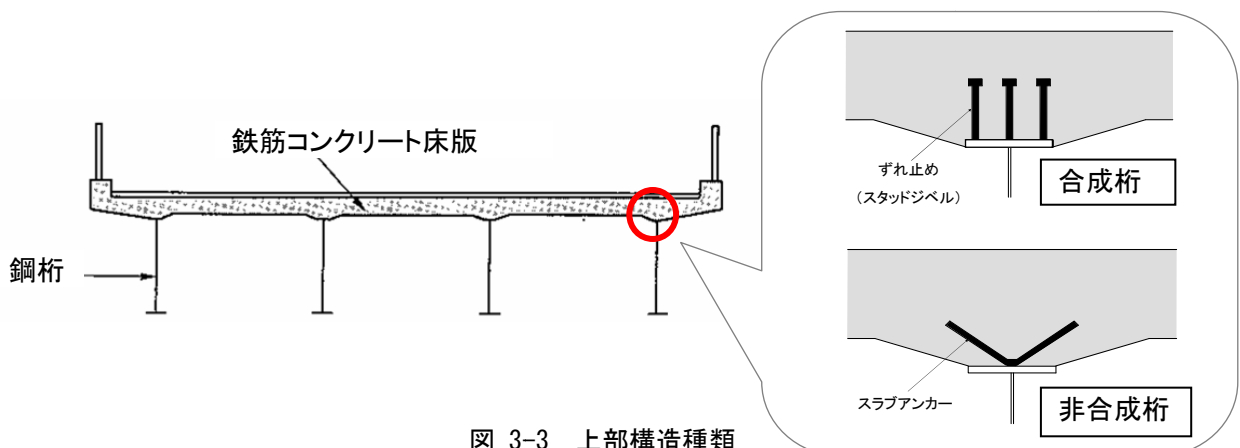


図 3-3 上部構造種類

## 1) 鋼桁橋の構成例

以下に鋼桁橋の構成例を示す。

### ① I 桁橋

I 桁橋における上部構造の一般的な名称及び事例を図 3-4、写真 3-1 に示す。

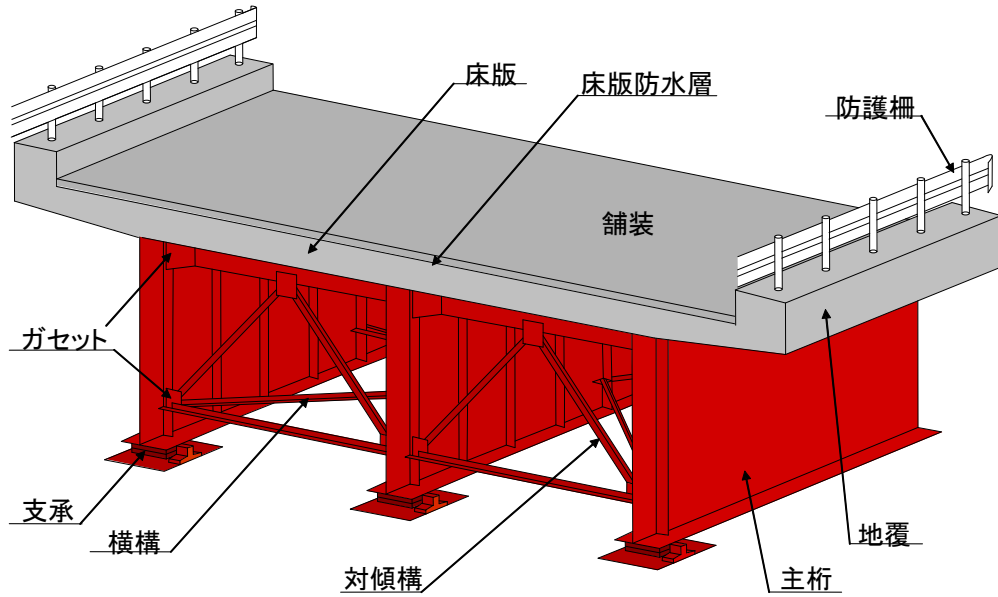


図 3-4 I 桁橋の構成



写真 3-1 I 桁橋 上部工



## ② 箱桁橋

箱桁橋における上部構造の一般的な名称及び事例を図 3-5、写真 3-2 に示す。

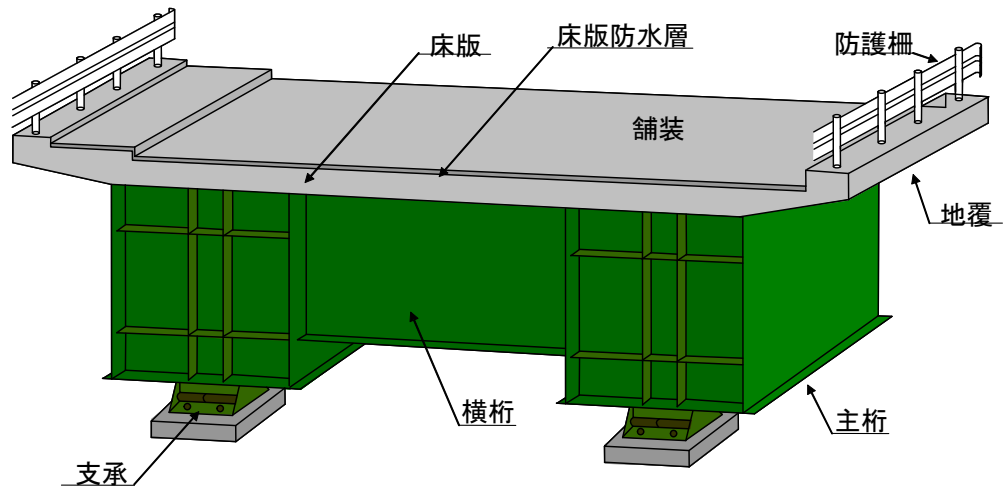


図 3-5 箱桁橋の構成



写真 3-2 箱桁橋 上部工

## 2) コンクリート橋の構成例

コンクリート橋は、プレストレストコンクリート橋（PC 橋）と鉄筋コンクリート橋（RC 橋）に分類される。

以下にコンクリート桁橋の構成例を示す。

### ① T 桁橋

T 橋における上部構造の一般的な名称及び事例を図 3-6、写真 3-3 に示す。

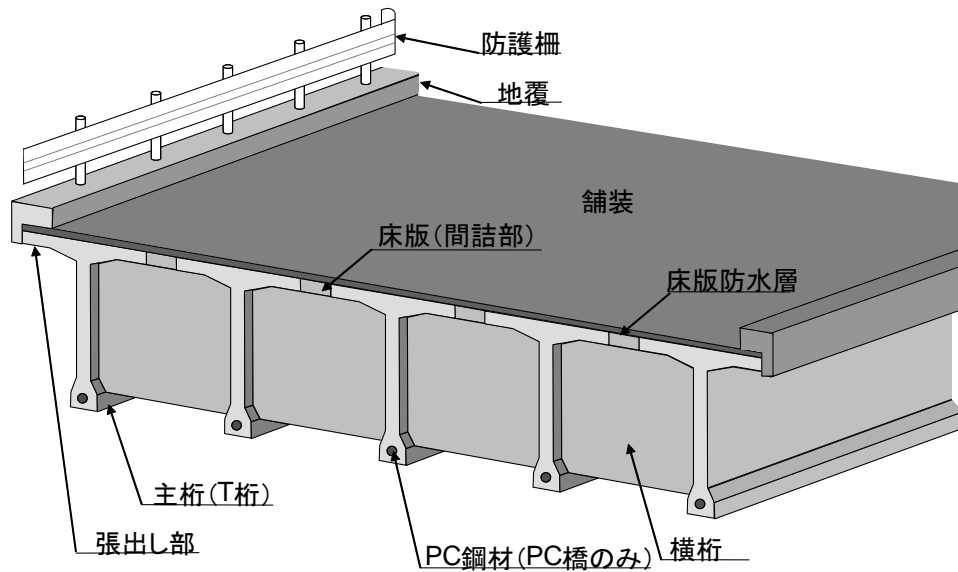


図 3-6 T 桁橋の構成

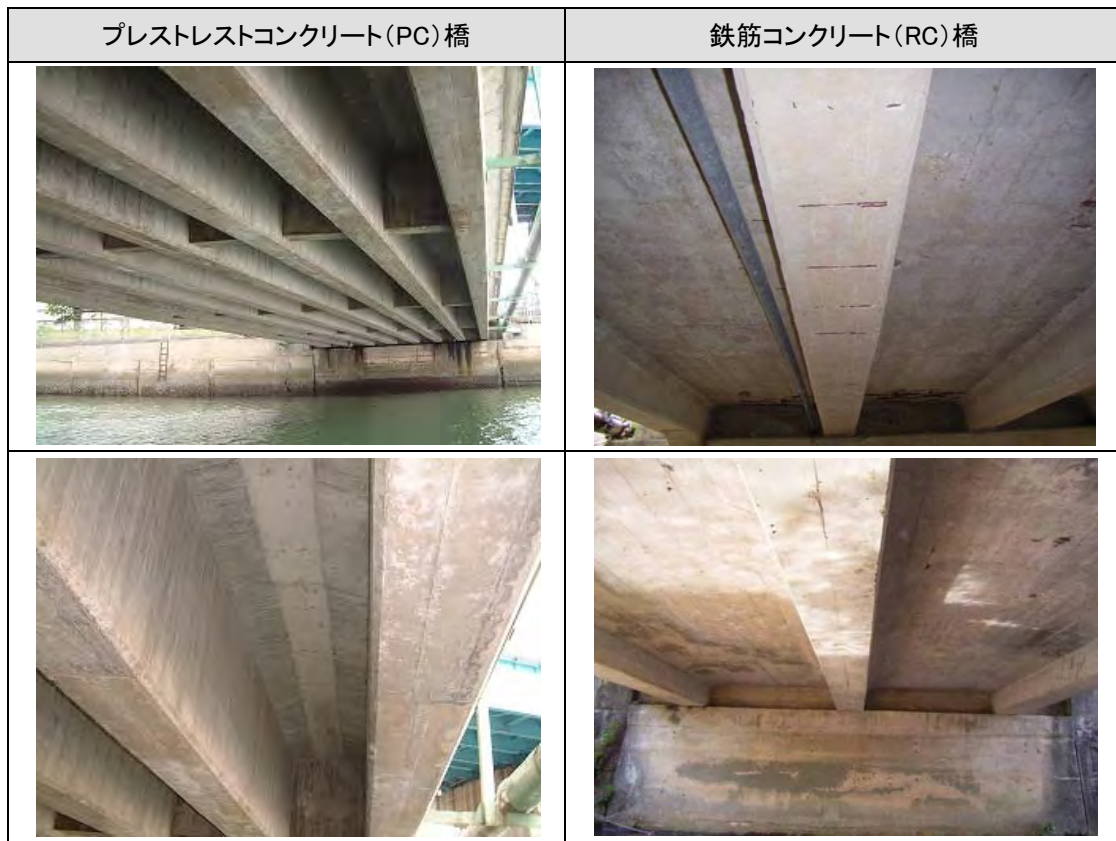


写真 3-3 T 桁橋 上部工

② 箱桁橋

箱桁橋における上部構造の一般的な名称及び事例を図 3-7、写真 3-4 に示す。

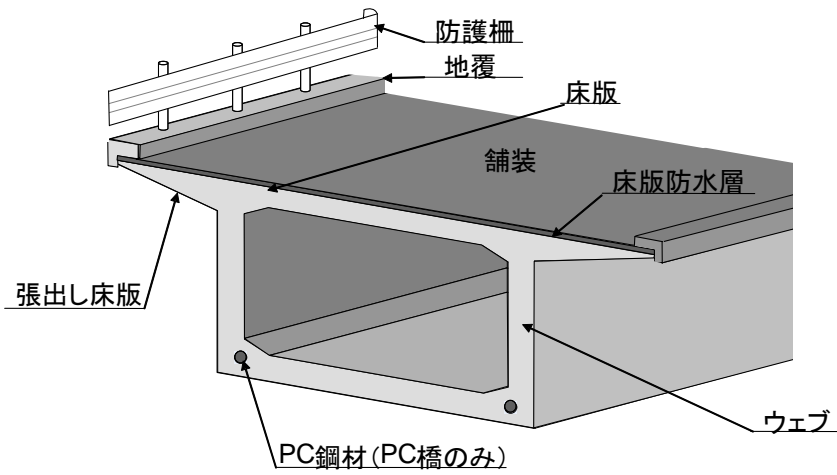


図 3-7 箱桁橋の構成

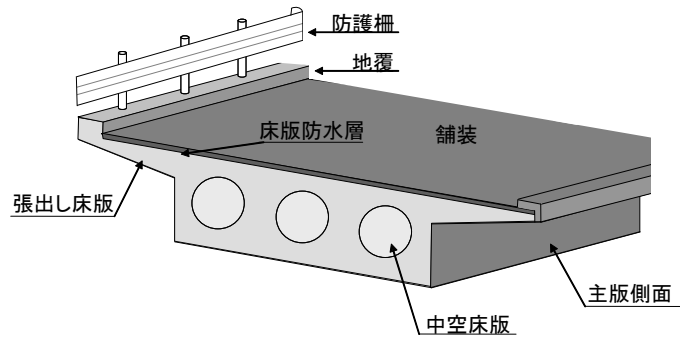


写真 3-4 箱桁橋 上部工

③ 中空床版橋

中空床版橋における上部構造の一般的な名称及び事例を図 3-8、写真 3-5 に示す。

中空床版橋



中空床版橋 (プレキャスト)

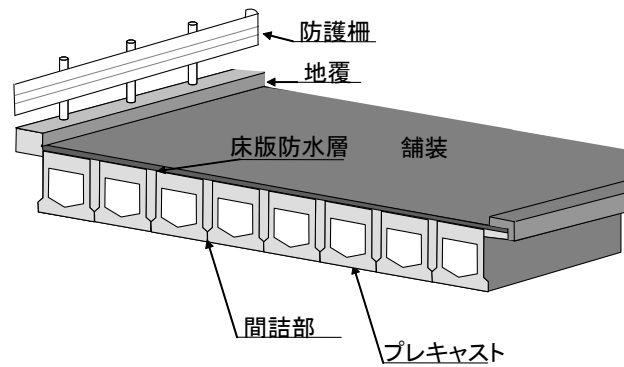


図 3-8 中空床版橋 (ホロー形式) の構成





プレストレストコンクリート(PC) 橋	鉄筋コンクリート(RC) 橋
	
	

写真 3-5 中空床版橋 上部工

## (2) 下部工

下部構造は、上部構造からの荷重を安全かつ経済的に基礎構造に伝えるとともに、上部構造の支承条件を満たし、架橋地点の状況に最も適したものとなるよう計画される。

下部構造は、基本的に単純桁橋であれば、橋台のみによって形成されており、2径間以上の橋梁になると、橋台および橋脚によって形成される。

### 1) 橋台（アバット）

橋台の一般的な名称及び事例を図 3-9、写真 3-6、写真 3-7 に示す。

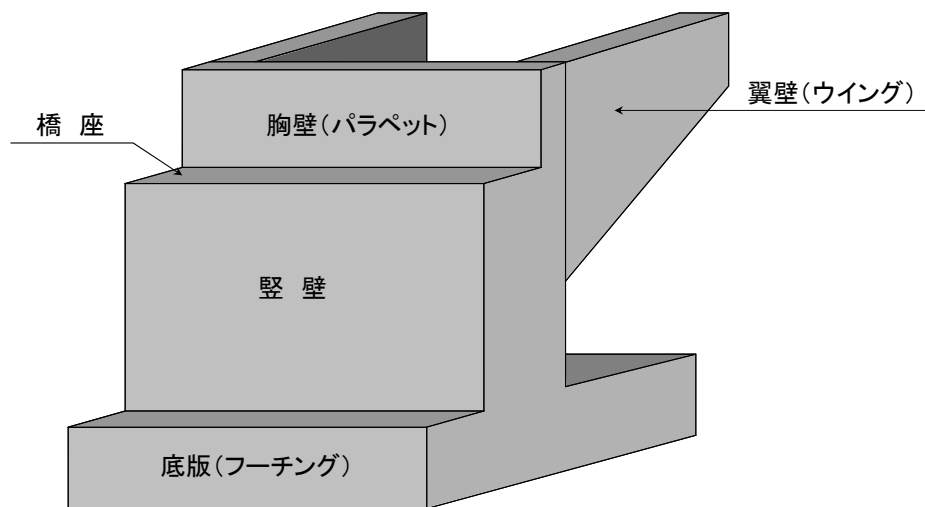


図 3-9 橋台の構成



写真 3-6 重力式橋台



写真 3-7 逆T式橋台

橋台は、設置する適用高さなどによって分類する。  
表 3-3 に橋台の分類を示す。

表 3-3 橋台の分類

名 称	壁体の適用高さ	図
重力式橋台	$H \leq 5\text{m}$	
逆T式橋台	$H = 5 \sim 15\text{m}$	
控え壁式橋台	$H \geq 12\text{m}$	
ラーメン式橋台	$H \leq 15\text{m}$	
箱式橋台	$H \geq 12\text{m}$	
盛こぼし橋台	$H = 10 \sim 30\text{m}$	

## 2) 橋脚（ピア）

橋脚の一般的な名称及び事例を図 3-10、写真 3-8、写真 3-9 に示す。

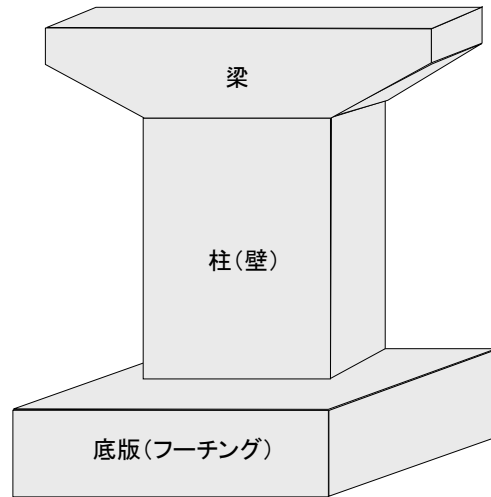


図 3-10 橋脚の構成



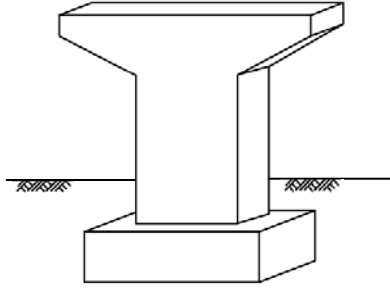
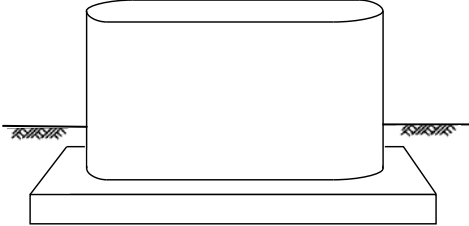
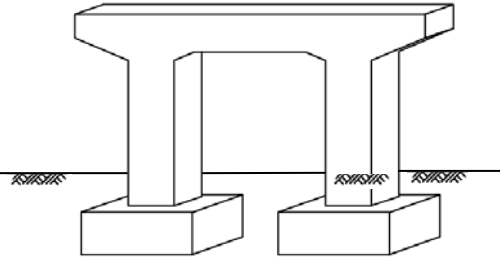
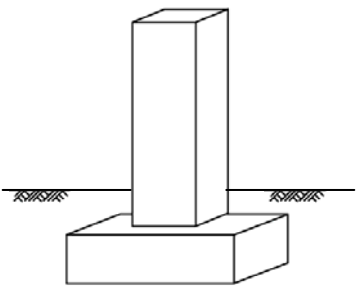
写真 3-8 T形式橋脚



写真 3-9 ラーメン式橋脚

橋脚は、桁下条件、使用材料等により分類する。  
表 3-4 に橋脚の分類を示す。

表 3-4 橋脚の分類

名称	形状	図
T形式橋脚	小判形、円柱、矩形	
壁式橋脚	小判形、矩形	
ラーメン式橋脚	矩形、円柱	
柱式橋脚	矩形、円柱	



### (3) 付属物

付属物の主な部材として、支承、伸縮装置、地覆、防護柵、落橋防止装置等があり、特に支承、伸縮装置は上部工荷重を支持する重要な橋梁部材であり、総じて変状を受けやすい。

支承や伸縮装置は、使用材料によって鋼製、ゴム製等に分類される。

また、高欄は歩行者用（自転車含む）、防護柵は車両用として、落下防止、逸脱等の目的により区分される。

図 3-11 に付属物の構成を示す。

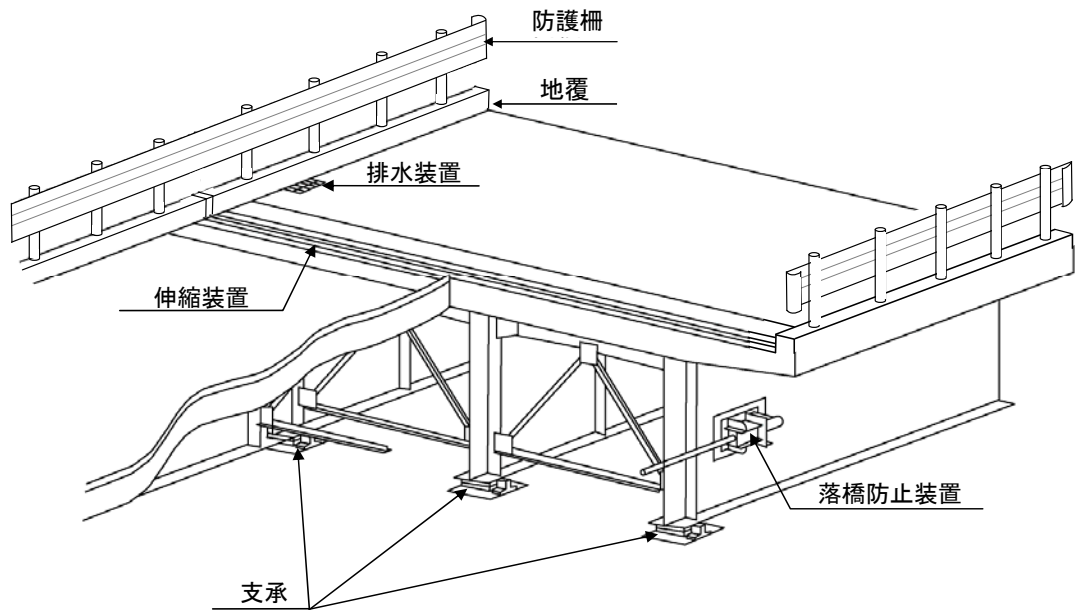



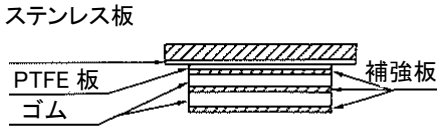

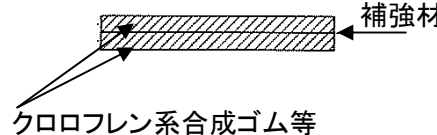

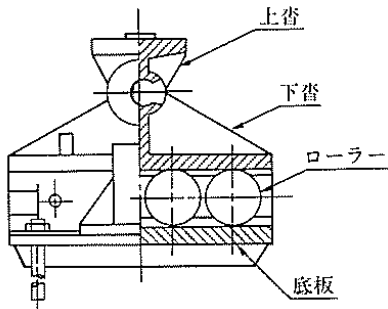

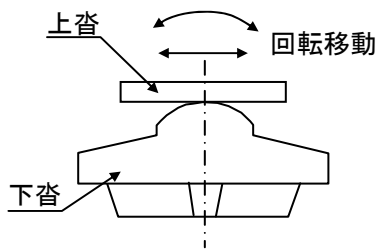
図 3-11 付属物の構成

## 1) 支承

支承は、上部構造に作用する荷重を確実に下部構造へ伝達するとともに、上部構造の温度変化等による伸縮や、たわみによる回転変位等に対して確実に追従するものである。

材料別支承の分類を表 3-5 に示す。

表 3-5 材料別支承の分類

材料	名称	概要図	
ゴム材	ゴム支承		 <p>ステンレス板 PTFE 板 ゴム 補強板</p>
	簡易ゴム支承		 <p>補強材 クロロフレン系合成ゴム等</p>
鋼材	ローラー支承		 <p>上沓 下沓 ローラー 底板</p>
	線支承		 <p>上沓 下沓 回転移動</p>

## 2) 伸縮装置

橋梁の桁は、鋼橋では温度変化により、コンクリート桁ではこれに加えコンクリートの乾燥により伸縮している。このため、橋梁の桁端部あるいは橋梁のかけ違い部には、桁の伸縮に対応する継手が必要となる。この継手を総称して伸縮装置（ジョイント）という。

伸縮装置の持つ機能としては、輪荷重支持、止水性、耐久性、安全性等がある。伸縮装置の材料別分類を表 3-6に示す。

表 3-6 材料別伸縮装置分類

名称	写真	構造概要
ゴム ジョイント		伸縮自由な各種ゴム材と鋼材とを組み合わせた構造
鋼製 フィンガー ジョイント		鋼材で組み立てられ、直接輪荷重に耐えることのできるクシ型構造

### 3.2. ボックスカルバート(BOX)形式

- ・ 道路の下に道路や水路等の空間を得るために、盛土あるいは原地盤内に設けられる構造物である。
- ・ このうち、土被り（ボックスカルバートの天端から歩車道等の上面の厚さ）が1m未満のものを橋梁として取り扱う。土被りが測定位置（車道部、歩道部等）で異なる場合は、最小値となる位置で判断するものとする。
- ・ ボックスカルバートは、現場で配筋、型枠設置、コンクリート打設を行う現場打ちと、工事の円滑化と現場作業の省力化を目的として工場で製作するプレキャストがある。
- ・ 使用材料は、鉄筋コンクリート（RC）製、プレストレストコンクリート（PC）製等がある。
- ・ BOX形式の一般的な名称および事例を図 3-12、写真 3-10 に示す。

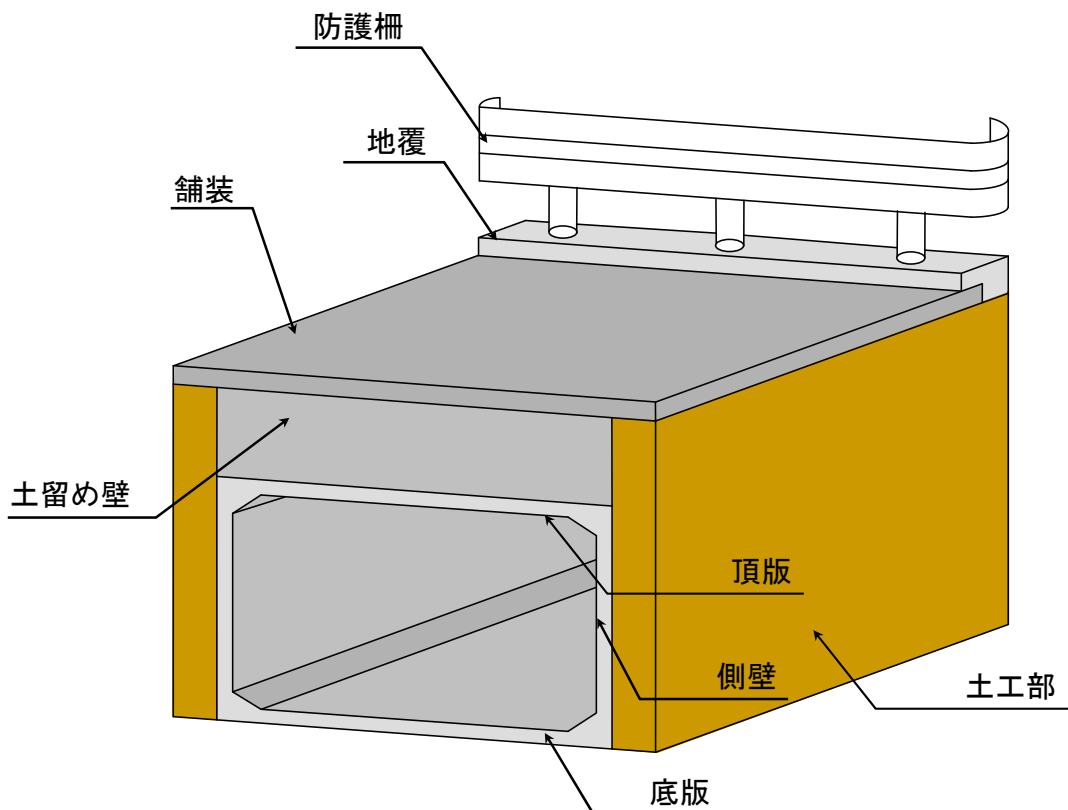


図 3-12 BOX形式の構成



写真 3-10 BOX形式

## § 4.

## 鋼部材の変状

橋梁の変状を誘発する主な要因として、経年的劣化、外的要因、環境要因、構造要因、施工要因等がある。

橋梁を形成する材料によって変状要因が異なるため、補修を行う際には、変状要因を踏まえ、変状が発生している部材の状況に応じた工法を選定する必要がある。

鋼部材の変状形態、変状要因及び変状メカニズムについて以下に示す。

### (1) 変状形態

鋼部材の主な変状形態について、表 4-1、表 4-2 に整理する。

表 4-1 鋼部材の変状形態 (1/2)

No	変状形態	変状写真	変状概要
①	塗装劣化		塗装部に雨水、紫外線などの影響により、経年とともに防錆性能を失うこと。
②	腐食 (主桁等)		塗装が局所的に剥がれ、白亜化、塗膜割れが生じ、母材の腐食へと進展する現象のこと。
	腐食 (支承)		

表 4-2 鋼部材の変状形態 (2/2)

No	変状形態	変状写真	変状概要
③	亀裂		繰り返し応力がかかることにより、溶接部、ボルト等に亀裂が入ること。
④	破断		溶接部等の亀裂箇所より破断すること。
⑤	変形		局所的な応力集中を受けることにより変形すること。
⑥	ボルトのゆるみ・脱落		腐食、振動、遅れ破壊、施工時の締め固め不足によりボルトがゆるみ、脱落すること。
⑦	補強鋼材の劣化		補修、補強を目的としてコンクリート表面に補強材(鋼板等)が接着された部材で、補修材または補強材の機能を維持していない状態。

## (2) 変状要因とメカニズム

鋼部材の変状を誘発する主な要因について、表 4-3 に整理する。  
また、鋼部材の変状要因またはメカニズムについて、次頁以降に示す。

表 4-3 鋼部材の変状誘発要因推定

変状形態		主たる発生部位	変状の種類	推定される主な原因 (変状メカニズム)	
鋼	① 塗装劣化	・塗装箇所全般	変色・はがれ	環 境	・塩害 ・化学的侵食
				製 作・施 工	・製作・施工不良 ・防水・排水工不良
	② 腐食	・鋼主桁 ・対傾構 ・鋼製橋脚 ・横構 ・他鋼部材全般	発 錆 断面減少	環 境	・塩害 ・化学的侵食
				製 作・施 工	・製作・施工不良 ・防水・排水工不良
				構 造	・構造形式・形状不良
	③ 亀裂	・鋼主桁 ・対傾構 ・鋼製橋脚 ・横構 ・他鋼部材全般	亀 裂	外 力 作 用	・繰返し荷重 ・疲労 ・衝突 ・地震
				製 作・施 工	・製作・施工不良
構 造				・構造形式・形状不良	
④ 破断	・鋼主桁 ・対傾構 ・鋼製橋脚 ・横構 ・他鋼部材全般	破 断	外 力 作 用	・繰返し荷重 ・疲労 ・衝突 ・地震	
			製 作・施 工	・製作・施工不良	
			構 造	・構造形式・形状不良	
⑤ 変形	・鋼主桁 ・鋼製橋脚他	変 形	外 力 作 用	・繰返し荷重 ・衝突 ・地震 ・偏土圧 ・圧密沈下 ・洗掘 ・侵食	
			製 作・施 工	・製作・施工不良	
			構 造	・構造形式・形状不良	
⑥ ボルトのゆるみ・脱落	・ボルト設置箇所	ゆるみ・脱落	外 力 作 用	・繰返し荷重 ・疲労 ・衝突 ・地震	
			製 作・施 工	・製作・施工不良	
			構 造	・構造形式・形状不良	
⑦ 補強鋼材の劣化	・主桁 ・床版 ・橋脚	はがれ・発錆・断面減少	環 境	・塩害	
			製 作・施 工	・製作・施工不良 ・防水・排水工不良	
			構 造	・構造形式・形状不良	

### ① 塗装劣化

鋼橋の塗装は、経年とともに防錆機能を失い、温度、湿度および日照などの気象条件のほか、自動車の排気ガス、海塩粒子や融雪塩などの影響を受け、塗装劣化が進行する。

なお、劣化状態や劣化速度は原因や塗料の品種によって異なる。

塗装の劣化は橋梁全体に一樣に進展するものではなく、部材により局所的な剥がれ、白亜化、塗装の亀裂が生じ、錆の発生につながる。

塗装劣化の事例について図 4-1、写真 4-1、図 4-2 に示す。

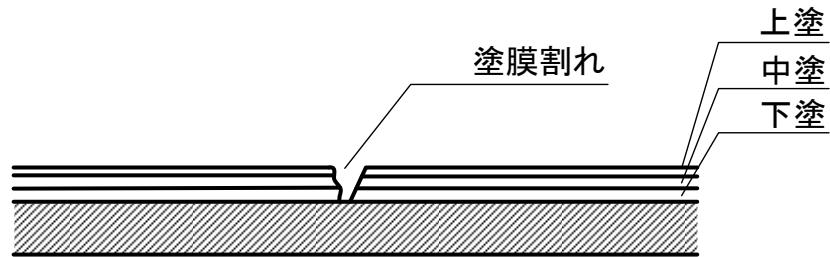


図 4-1 塗装劣化の事例



写真 4-1 塗装劣化の事例





## ② 腐食

鋼材は自然界においてエネルギー的に安定した鉄鉱石を原料としている。鉄鉱石は鉄として製造されると、自然界では不安定なものとなるため、酸素や水と結合して安定な状態に戻ろうとする。これが錆であり、この現象を腐食と呼ぶ。

腐食は、鋼材が溶解性陽極の役目を果たし酸化鉄に変わるという電気化学的現象である。この電気化学的現象はガルバーニ電池と濃淡電池の2種類の経路で発生する。

表 4-4 に、一般的な腐食の発生メカニズムである濃淡電池による経路を示す。

表 4-4 腐食発生メカニズム

<p><b>Step1</b></p>	<p>水滴や水分等が鋼材に滞留する。</p>	
<p><b>Step2</b></p>	<p>水滴の中心部と端の部分間で電位の高低差が生じ、腐食電流が水分に集まる。</p>	
<p><b>Step3</b></p>	<p>電流の発生により、鉄イオン (<math>\text{Fe}^{2+}</math>) と水酸化物イオン (<math>\text{OH}^-</math>) による化学反応が起きる。</p>	
<p><b>Step4</b></p>	<p>水または湿気が滞留することにより劣化が加速される。</p>	

### ③ 亀裂

設計上、施工上の問題または過密な交通等により鋼材の溶接止端部に繰り返し応力がかかり、鋼材に裂け目のような現象が起こる。これを亀裂という。

亀裂による劣化の事例を写真 4-2 に示す。

#### 亀裂の原因例

##### i) 設計

- ・ 設計時のモデル化と実構造との違いによる二次応力の発生  
(格子と立体解析の違い → 主桁と横桁・対傾構の取り合い部等)
- ・ 不適切な構造ディテールの採用による応力集中  
(H14.3 鋼道路橋の疲労設計指針の疲労強度等級の低い溶接継手の採用等)
- ・ 極端な軽量化による剛性の不足  
(二次応力が発生しやすい構造 → 50、60K鋼の採用)
- ・ 曲線桁構造による二次応力の発生  
(そりねじり、曲線による付加曲げ → 設計上の配慮の度合い)
- ・ 50m以下の単純桁橋の採用(同上)  
(衝撃係数の違い → 立地条件から決まる)

##### ii) 材料・製作

- ・ 不適切な鋼材の使用  
(非溶接鋼 H14 道路橋示方書以前はS S400 を溶接鋼としていた)
- ・ 不適切な溶接材料の使用  
(溶接棒の品質管理等)
- ・ 溶接欠陥  
(無理な姿勢による溶接、ブローホールなどの製作欠陥)
- ・ 残留応力  
(溶接上、避けられない残留応力)

##### iii) 荷重

- ・ 大型車両の増大
- ・ 過積載
- ・ 風等の特殊な荷重



写真 4-2 亀裂による劣化の事例

#### ④ 破断

亀裂発生箇所において、繰り返し荷重がかかることにより亀裂が完全に切断された状態となる。これを破断という。

亀裂・破断が起こりやすい箇所の例を図 4-2、図 4-3 示す。

#### 鋼桁橋（例）

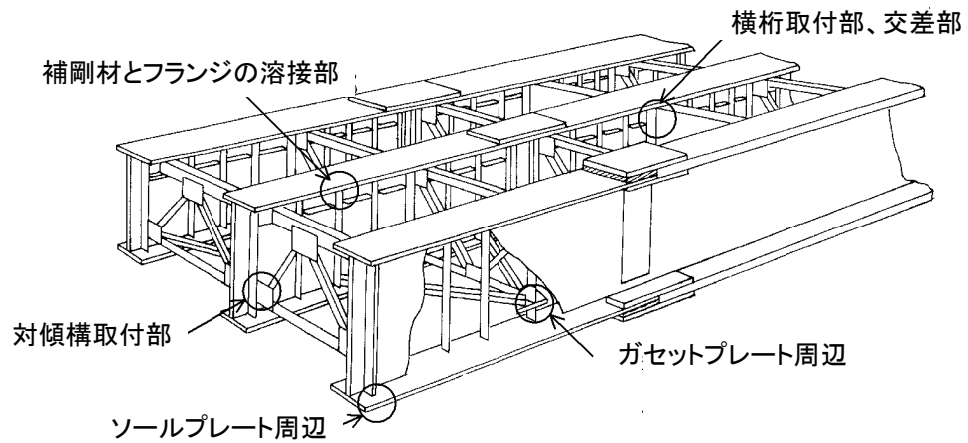


図 4-2 鋼桁橋における亀裂・破断が起こりやすい箇所（例）

#### 箱桁橋（例）

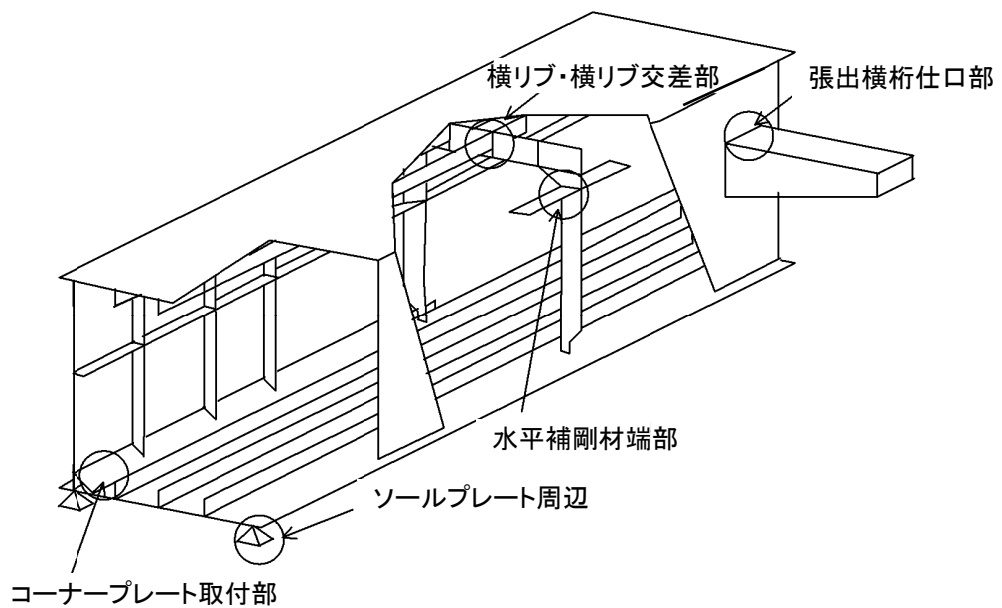


図 4-3 箱桁橋における亀裂・破断が起こりやすい箇所（例）

### ⑤ 変形

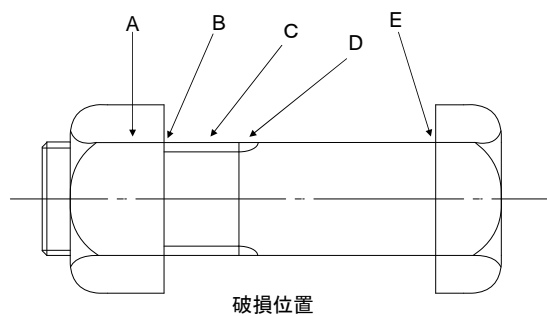
外力、温度、化学作用など何らかの作用によって、その形状を変化させること。一般には、変形することより、部材内部にひずみを生じ、応力が作用することになる。

### ⑥ ボルトのゆるみ、脱落

腐食、振動、遅れ破壊、施工時の締め固め不足によりボルトがゆるみ、脱落すること。

このうち、遅れ破壊とは、静的な荷重が継続的に作用する状態で、ある時間が経過した後に外見上ほとんど変形すること無しに、ボルトがゆるみ、脱落することであり、遅れ破壊を起こしやすい部位を図 4-4 に示す。

高力ボルトのうち、HT ボルトの遅れ破壊は F11T において発生しやすく、F11T ボルト（写真 4-3）は昭和 50 年代まで一般的に使用されていた。



- 破損位置
- A: ナット内ボルトネジ部
  - B: ナットがかりボルトネジ部
  - C: ボルト一般ネジ部
  - D: ボルト不完全ネジ部
  - E: ボルト首部

図 4-4 遅れ破壊を起こしやすい部位



遅れ破壊した高力ボルト (F11T)

写真 4-3 遅れ破壊が発生した高力ボルト

### ⑦ 鋼板接着部の異常

補修、補強を目的としてコンクリート表面に鋼板が接着された部材で、浸透水や施工時の充填材不足、経年劣化等により鋼板自体の腐食、うき、剥離等が発生したものである。

## § 5.

# コンクリート部材の変状

コンクリート部材の変状形態、変状要因及び変状メカニズムについて以下に示す。

### (1) 変状形態

コンクリート部材の主な変状形態について、表 5-1、表 5-2 に整理する。

表 5-1 コンクリート部材の変状形態 (1/2)

No	変状形態	変状写真	変状概要
①	ひび割れ		硬化したコンクリートまたはモルタルに生じた割れ目のこと。ひび割れには、打込みから数年の間に進行が収束すると考えられる初期ひび割れ、中性化や塩害による鉄筋腐食のような進行性のひび割れ、荷重により発生するひび割れ等がある。
②	うき剥離・鉄筋露出		かぶりコンクリートが落下し、外側鉄筋が気中に露出したもの。
③	漏水・遊離石灰		コンクリート中に水分が浸透し、ひび割れ面等を伝って、コンクリート中の石灰分が外部に現れたもの。
④	欠損		コンクリート部材に車両等の外部衝撃が加わり、端部等が部分的に欠けたもの。

表 5-2 コンクリート部材の変状形態 (2/2)

No	変状形態	変状写真	変状概要
⑤	侵食・すりへり		<p>波浪等によりコンクリート表面が侵食され、骨材が表面に露出する状態。</p>
⑥	コールドジョイント		<p>コンクリートを打ち重ねる時間の間隔を過ぎて打込んだ場合に、前に打ち込まれたコンクリートと一体化しない状態となって、打ち重ねた部分に不連続な面が生じたもの。</p>
⑦	豆板 (ジャンカ)		<p>コンクリート打設時、モルタルの充填不足等が原因で粗骨材が多く存在する箇所。 粗骨材が躯体の表面部に発生した状態を「豆板」、躯体内部まで広がって発生した状態を「ジャンカ」という。</p>

## (2) 変状要因とメカニズム

コンクリート部材の変状を誘発する主な要因について、表 5-3 に整理する。  
また、コンクリート部材の変状要因またはメカニズムについて、次頁以降に示す。

表 5-3 コンクリート部材の変状誘発要因推定

変状形態		主たる発生部位	変状種類	推定される主な原因 (変状メカニズム)	
コン ク リ ー ト	① ひび 割れ	・主桁 ・床版 ・橋脚 ・橋台 ・壁高欄 ・地覆他	ひび割れ	外力作用	・繰返し荷重・持続荷重・衝突 ・偏土圧・圧密沈下・洗掘・浸食・地震
				環境	・乾燥収縮・温度変化・塩害・凍害 ・化学的侵食
				材料・劣化	・アルカリシリカ反応・中性化 ・品質不良(水セメント比)
				製作・施工	・製作・施工不良・防水・排水工不良
				構造	・構造形式・形状不良
	② うき・ 剥離・ 鉄筋露出	同上	コンクリート剥離 鉄筋露出 鉄筋錆び 鉄筋断面減少	外力作用	・繰返し荷重・衝突・偏土圧 ・圧密沈下・洗掘・浸食・地震
				環境	・乾燥収縮・温度変化・塩害・凍害 ・化学的侵食
				材料・劣化	・アルカリシリカ反応・中性化 ・品質不良(水セメント比)
				製作・施工	・製作・施工不良・防水・排水工不良
				構造	・構造形式・形状不良
③ 漏水・ 遊離石灰	同上	コンクリートの 変色他	環境	・乾燥収縮・温度変化・塩害・凍害	
			材料・劣化	・アルカリシリカ反応・中性化 ・品質不良(水セメント比)	
			製作・施工	・製作・施工不良・防水・排水工不良	
			構造	・構造形式・形状不良	
④ 欠損	同上	欠損	外力作用	・衝突・地震	
⑤ 侵食・ すりへり	同上	侵食 すりへり	環境	・波浪・風化	
⑥ コールド ジョイント	同上	コールドジョイント ひび割れ コンクリートの 脆弱化	材料・劣化	・硬化速度・配合	
			製作・施工	・施工不良・温度・湿度	
⑦ 豆板 (ジャンカ)	同上	豆板 (ジャンカ)	材料・劣化	・品質不良(水セメント比)	
			製作・施工	・製作・施工不良	

### ① ひび割れ

コンクリートは圧縮に強く、引張に弱い材料であるため、引張応力またはせん断応力が材料の破壊限界に達した時点でひび割れが発生する。コンクリートに何らかの作用により、引張が生じると、図 5-1 のように垂直にひび割れが発生する。

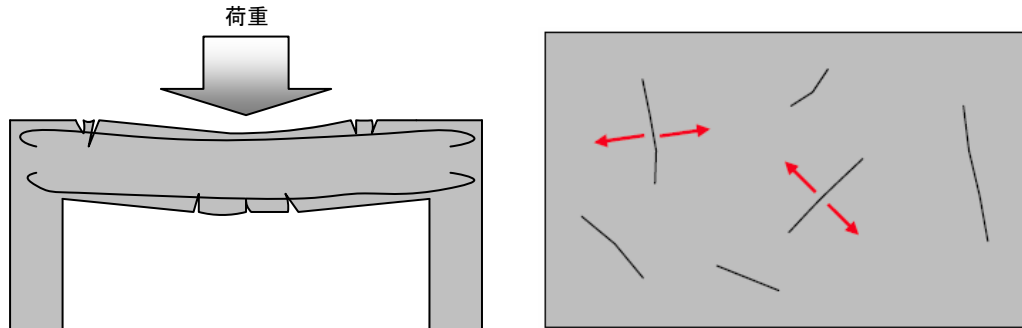


図 5-1 ひび割れの発生要因

#### i) 外力により生じるひび割れ（曲げひび割れ、せん断ひび割れ）

- ・ 図 5-2 のように、主引張応力線と垂直に（主圧縮応力線に沿って）ひび割れが発生する。

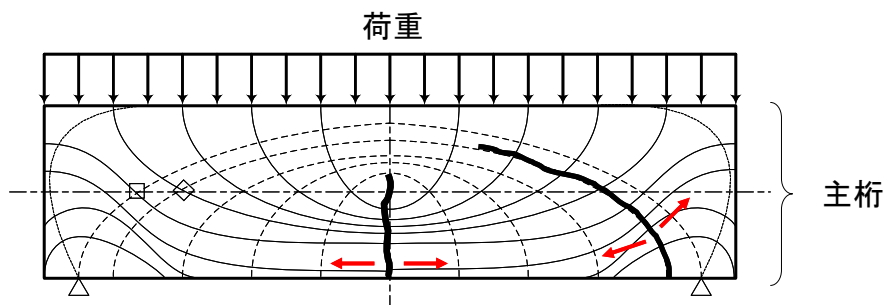


図 5-2 主応力線図（実線：主引張応力線、点線：主圧縮応力線）

#### ii) 変形の拘束により生じるひび割れ（収縮ひび割れ、温度ひび割れ）

- ・ コンクリートの収縮変形が拘束されると、コンクリートに引張応力が作用し、これが引張強度を上回るとひび割れが発生する。
- ・ 施工段階におけるひび割れは以下の 2 種類がある。
  - 収縮ひび割れ→薄い部材、建築構造物、冬期
  - 温度ひび割れ→マスコンクリート、土木構造物、夏期

#### iii) コンクリート内部の膨張圧により生じるひび割れ

（中性化、塩害、アルカリシリカ反応、凍害、火害）

- ・ 劣化によるものとしては、中性化、塩害、アルカリシリカ反応、凍害等がある。P.33～P.40 参照
- ・ 損傷によるものとしては、火災により発生する熱応力、あるいは爆裂の発生等の火害がある。

#### iv) その他のひび割れ（初期欠陥）

- ・ 主に初期欠陥であり、コンクリートの沈下・ブリーディング、急速な打込み、型枠のはらみ、不適当な打重ね、セメントの異常凝結等がある。



## ② うき、剥離・鉄筋露出

コンクリートの内部に、二酸化炭素・水、塩分などが浸透し、コンクリート中の鉄筋と反応することにより、鉄筋が腐食、膨張する。

鉄筋付近のコンクリートが浮き上がった状態を「うき」と言い、このうき箇所のコンクリートが剥落すると、鉄筋が外部にむき出しの状態となる。これを「剥離・鉄筋露出」という。

うき、剥離・鉄筋露出の流れを図 5-3 に示す。

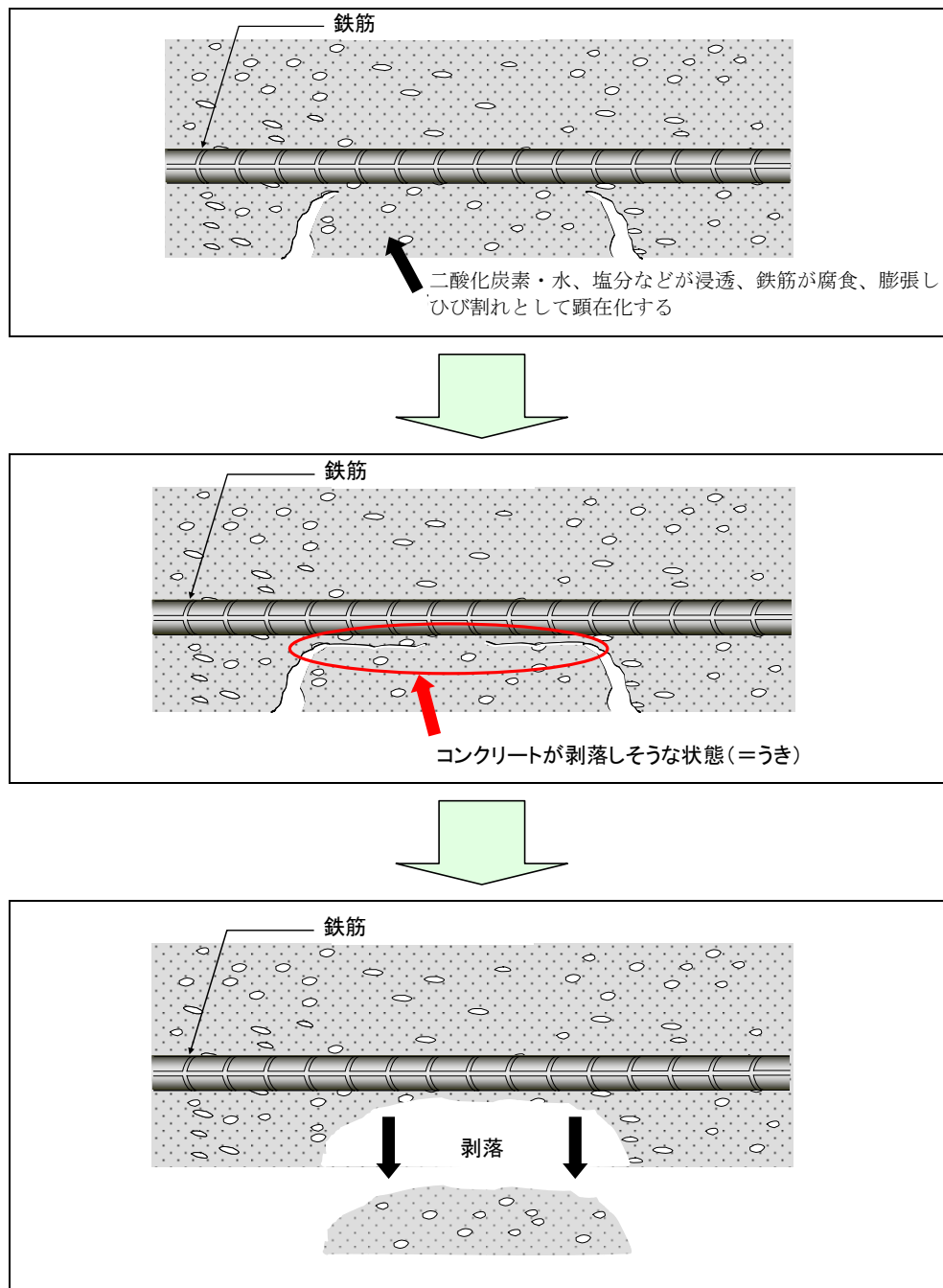


図 5-3 うき・剥離・鉄筋露出の流れ

③ 漏水・遊離石灰

コンクリート中に水分が浸透し、ひび割れ面などを伝って、コンクリート中の石灰分が図 5-4 のように外部に現れたものである。

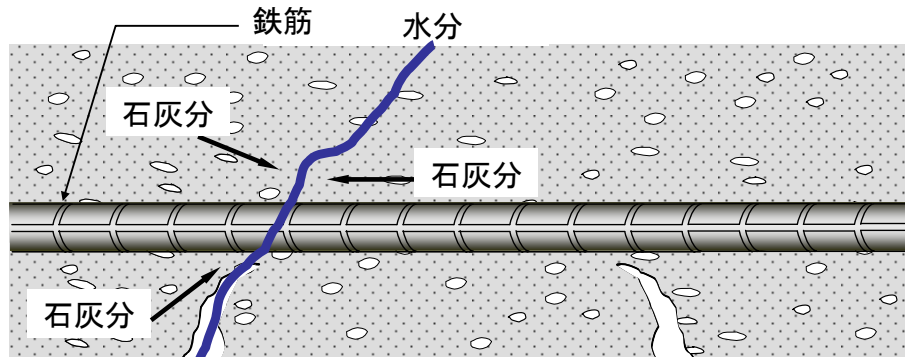


図 5-4 漏水・遊離石灰の要因

④ 欠損

コンクリート部材に何らかの外部衝撃が加わり、端部等が部分的に欠けたものである。

⑤ 侵食・すりへり

波浪等によりコンクリート表面が侵食され、骨材が表面に露出する状態である。

⑥ コールドジョイント

コンクリートを打ち重ねる時間の間隔を過ぎて打込んだ場合に、前に打ち込まれたコンクリートと一体化しない状態となって、打ち重ねた部分に不連続な面が生じたものである。

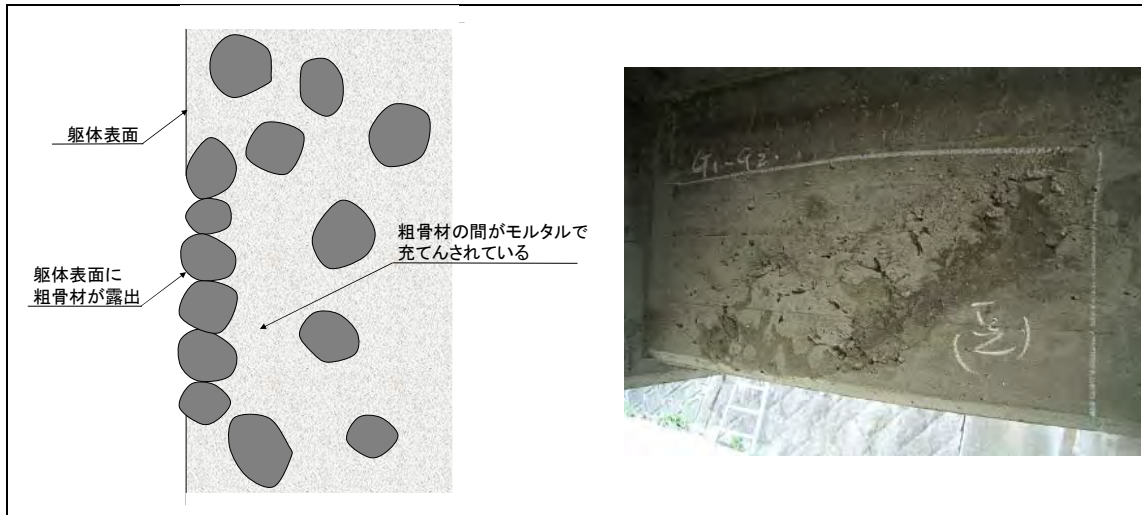
この面のコンクリートは脆弱であり、ひび割れが生じていることが多く、構造物の耐力、耐久性、水密性を低下させる原因となる。

⑦ 豆板（ジャンカ）

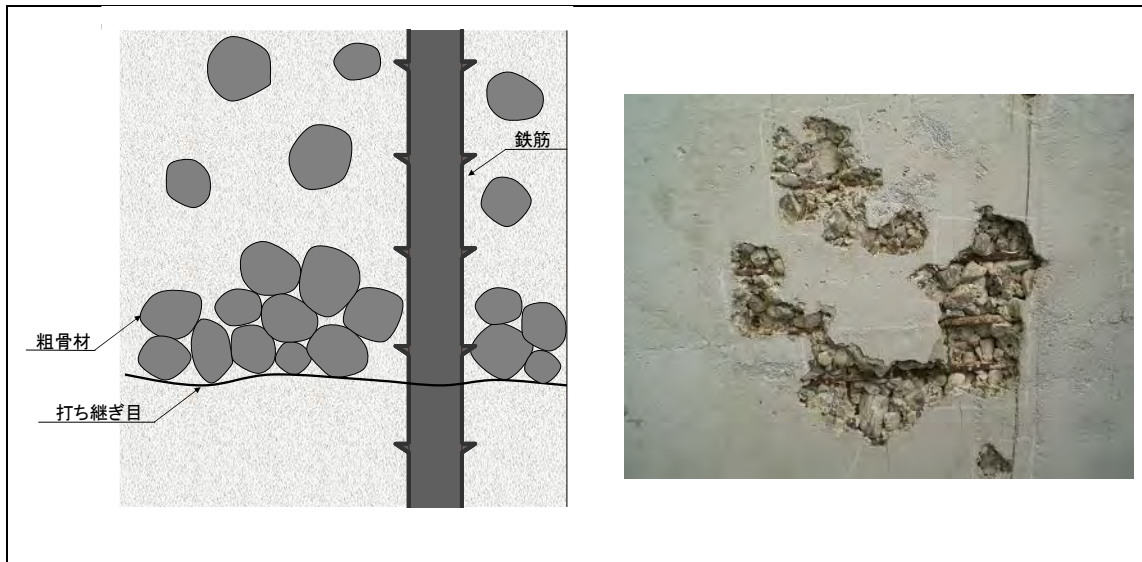
コンクリートの打設時、モルタルの充填不足等が原因で、コンクリートの表面部または内部に、粗骨材のみが取り残されたような形で生じるモルタル未充填が表面や内部に発生している状態で、「初期欠陥」である。

躯体の表面部に発生した状態を「豆板」、躯体内部まで広がって発生した状態を「ジャンカ」という。

「豆板」及び「ジャンカ」の状況を図 5-5 に示す。



▲豆板



▲ジャンカ

図 5-5 豆板およびジャンカの状況

## § 6.

# コンクリート部材の劣化

コンクリート部材の劣化機構とメカニズムについて以下に示す。

本教本では、中性化・塩害・アルカリシリカ反応・凍害・化学的侵食をコンクリート部材の劣化として記載する。

福岡市が管理する道路橋においては、三大劣化と言われる中性化・塩害・アルカリシリカ反応が圧倒的に多い。なお、凍害による劣化は1橋しか発見されておらず、化学的侵食による劣化はまだ確認されていない。

三大劣化はどれも水が関与することから、水が供給される経路を調査し、水掛かりを止めた上で、各劣化要因に準じた対策を講じなければならない。コンクリート部材への水掛かり例を写真 6-1 に示す。



橋脚の桁受け部、縦目地部、橋脚の張出部



橋台の桁受け部



床版側面部、ラーメン橋脚



床版間詰部(橋面からの漏水)、橋台の桁受け部



床版端部(水の回り込み)









壁高欄

写真 6-1 コンクリート部材への水掛かり例

## (1) 劣化機構

コンクリート部材の主な劣化機構について、表 6-1 に整理する。

表 6-1 コンクリート部材の主な劣化機構

No	劣化機構	劣化写真	劣化概要
①	中性化		二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応を起こし、細孔溶液中の pH を低下させることで、鋼材の腐食が促進され、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材の断面減少を引き起こす劣化現象。
②	塩害		コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンにより促進され、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材の断面減少を引き起こす劣化現象。
③	アルカリシリカ反応		コンクリート中のアルカリ成分が、火山ガラス、チャート等の反応性珪物を含む骨材と反応し、吸水膨張性のゲルが生じることがある。このゲルが吸水、膨張してコンクリートに著しいひび割れ等を発生させる現象。
④	凍害		コンクリート中の水分が 0℃以下になった時の凍結膨張によって発生するものであり、長年にわたる凍結と融解の繰り返しによって、コンクリート表面から徐々に消失していく現象。
⑤	化学的侵食		外部から化学的作用を受け、セメント硬化体を構成する水和生成物に変質あるいは分解して結合能力を失っていく現象。 ※写真は温泉成分(硫黄物等)による表面劣化
⑥	床版の疲労		交通量が比較的多い床版において、下面のひび割れとして観察され、疲労の累積とともに、一方向ひび割れ、二方向ひび割れ、ひび割れの網細化と進行し、やがて床版の陥没に至ることがある。 ※路面に写真のような舗装ひび割れ、凸凹等が見られた場合は、床版の疲労が進行している可能性がある。

## (2) 劣化機構とメカニズム

コンクリート部材の劣化機構とメカニズムについて、表 6-2 及び次頁以降に整理する。

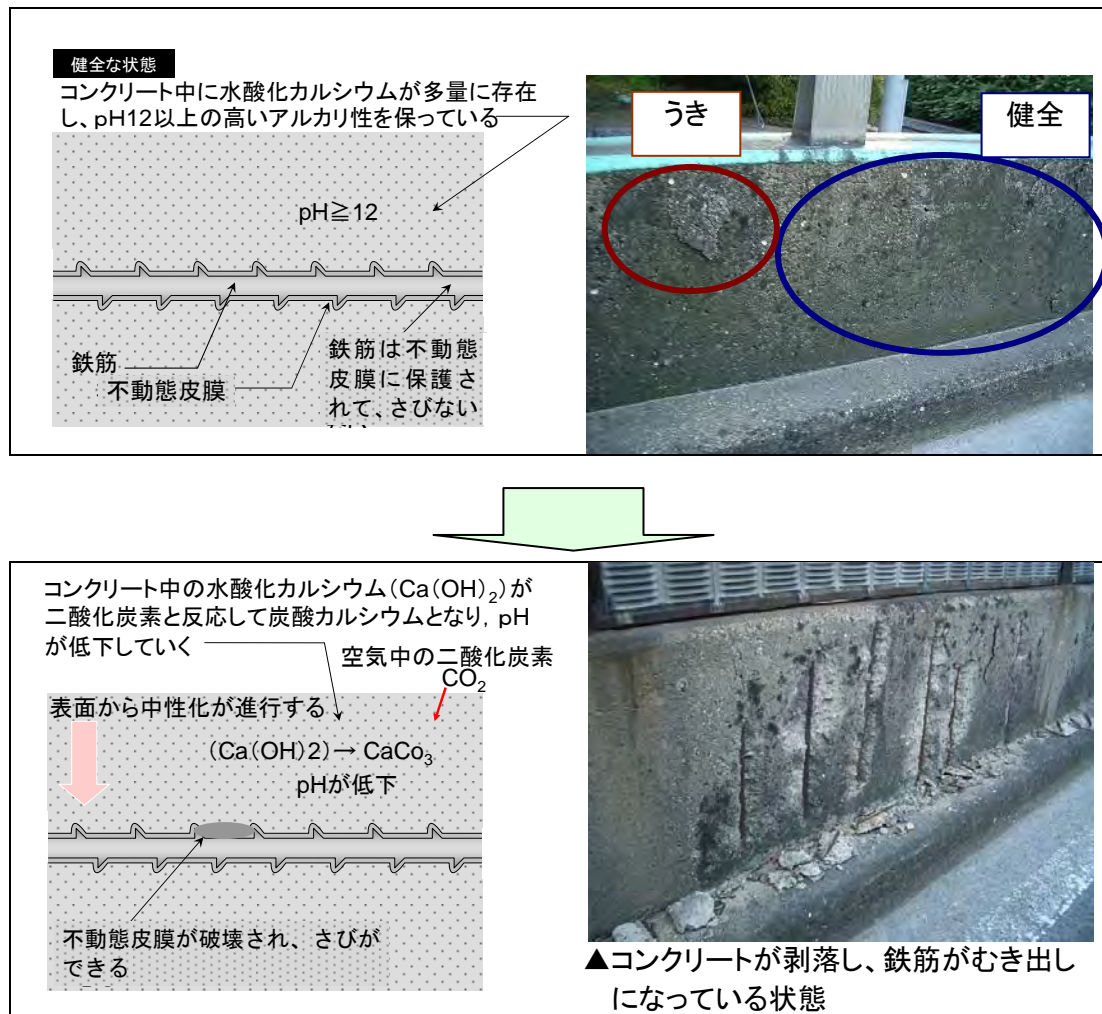
表 6-2 コンクリート部材の劣化機構とメカニズム

劣化機構		主たる発生部位	変状の種類	推定される主な原因 (劣化のメカニズム)	
コン ク リ ー ト	① 中性化	<ul style="list-style-type: none"> <li>主桁</li> <li>床版</li> <li>橋脚</li> <li>橋台</li> <li>壁高欄</li> <li>地覆 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ</li> <li>剥離</li> <li>鉄筋露出</li> </ul>	環 境	二酸化炭素、炭酸ガス、湿度
				材 料	コンクリートの品質
	② 塩害	<ul style="list-style-type: none"> <li>主桁</li> <li>床版</li> <li>橋脚</li> <li>橋台</li> <li>壁高欄</li> <li>地覆 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ</li> <li>剥離</li> <li>鉄筋露出</li> </ul>	環 境	塩化物イオン
				材 料	コンクリート骨材
	③ アルカ リシカ 反応	<ul style="list-style-type: none"> <li>主桁</li> <li>床版</li> <li>橋脚</li> <li>橋台</li> <li>壁高欄</li> <li>地覆 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ</li> <li>剥離</li> <li>鉄筋露出</li> </ul>	環 境	水、温度、塩化物イオン
				材 料	反応性珪物を含む骨材、高アルカリ
	④ 凍害	<ul style="list-style-type: none"> <li>主桁</li> <li>橋脚</li> <li>橋台</li> <li>壁高欄</li> <li>地覆 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スケーリング<sup>*</sup></li> <li>微細ひび割れ</li> <li>ポップアウト</li> <li>剥離</li> <li>鉄筋露出</li> </ul>	環 境	水、気象
				材 料	コンクリートの品質
	⑤ 化学的 侵食	<ul style="list-style-type: none"> <li>主桁</li> <li>床版</li> <li>橋脚</li> <li>橋台</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ</li> <li>剥離</li> <li>鉄筋露出</li> </ul>	環 境	下水道関連施設、化学工場、温泉地、酸性河川、酸性土壌、硫酸塩土壌
				材 料	腐食性ガス、硫酸塩
	⑥ 床版の 疲労	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版</li> <li>橋面</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ</li> <li>漏水</li> <li>剥離(陥没)</li> <li>舗装ひび割</li> </ul>	環 境	交通量、車両重量(軸重)、走行位置、浸透水
				材 料	床版厚、配筋量、床版支間長、乾燥収縮

### ① 中性化

- ・ 二酸化炭素によって生じる鉄筋コンクリートの劣化のひとつ。コンクリートは主成分がセメントであるため内部が強アルカリ性(pH=12~13)であるが、外部からの炭酸ガスの侵入によってpH(水素イオン濃度)が低下すると鋼材の不動態皮膜が失われ、耐腐食性が低下する。
- ・ コンクリートの中性化とは、強アルカリ性のコンクリートがpH11以下に下がってしまった状態をいう。
- ・ 中性化による劣化過程を図 6-1 に示す。

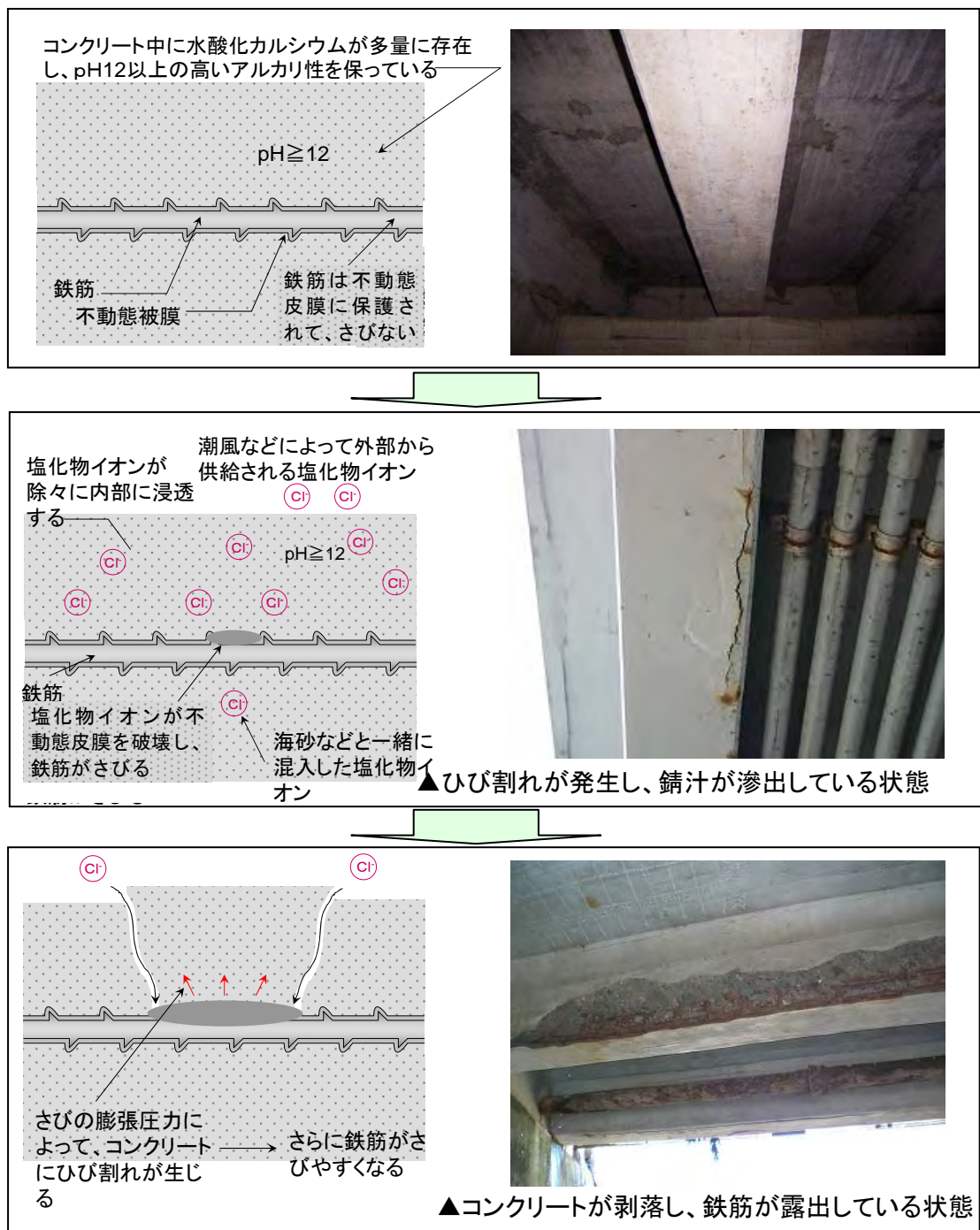
図 6-1 中性化における劣化過程



## ② 塩害

- ・ 塩害とは、コンクリート内部に取り込まれた塩分が鉄筋を腐食させることにより、内部鉄筋の体積が 2~3 倍に膨張し、コンクリートにひび割れ、剥離等の劣化を与えることである。
- ・ 塩害の要因は、コンクリートの骨材に除塩が十分に行われていない海砂を用いた場合等コンクリート製造時に材料から供給されるものと、潮風、海水、飛沫、凍結防止剤等によってコンクリート表面より塩化物イオンが外部環境から供給されるものの 2 種類がある。ここで、前者を「内在塩分」、後者を「外来塩分」とする。なお、内在塩分は昭和 61 年（コンクリートの塩分総量規制）以前の 경우에多い。
- ・ 塩害による劣化過程を図 6-2 に示す。

図 6-2 塩害による劣化過程

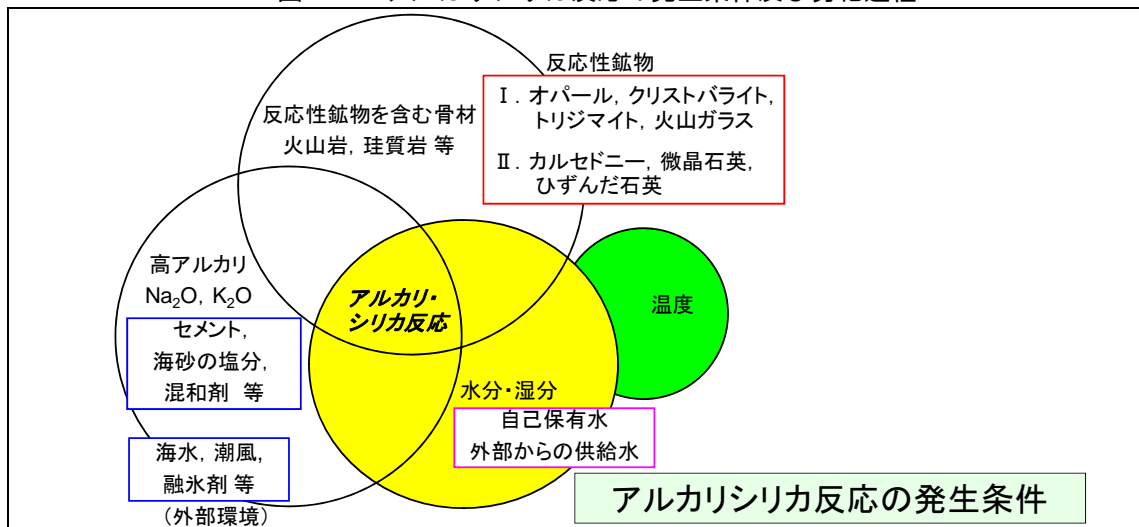




### ③ アルカリシリカ反応

- ・ 反応性珪物を含む骨材がコンクリート中のアルカリ性水溶液と反応し、建設後数年～数十年が経過した後に、コンクリートのひび割れ発生という形で変状が顕在化する。
- ・ アルカリシリカ反応による変状は、水分及びアルカリが供給される条件下で、長期間にわたって進行するのが一般的である。
- ・ アルカリシリカ反応は、コンクリート強度や弾性係数の低下をもたらすのみでなく、鉄筋の破断が生じることもある。
- ・ アルカリシリカ反応の発生条件及び劣化過程を図 6-3 に示す。

図 6-3 アルカリシリカ反応の発生条件及び劣化過程



反応性珪物を含む骨材がセメント中のアルカリ成分と反応して、ゲル(吸水膨張性のある物質)を生成する

反応性珪物を含む骨材

▲ひび割れが発生し、ひび割れから水が滲出している状態(橋脚)

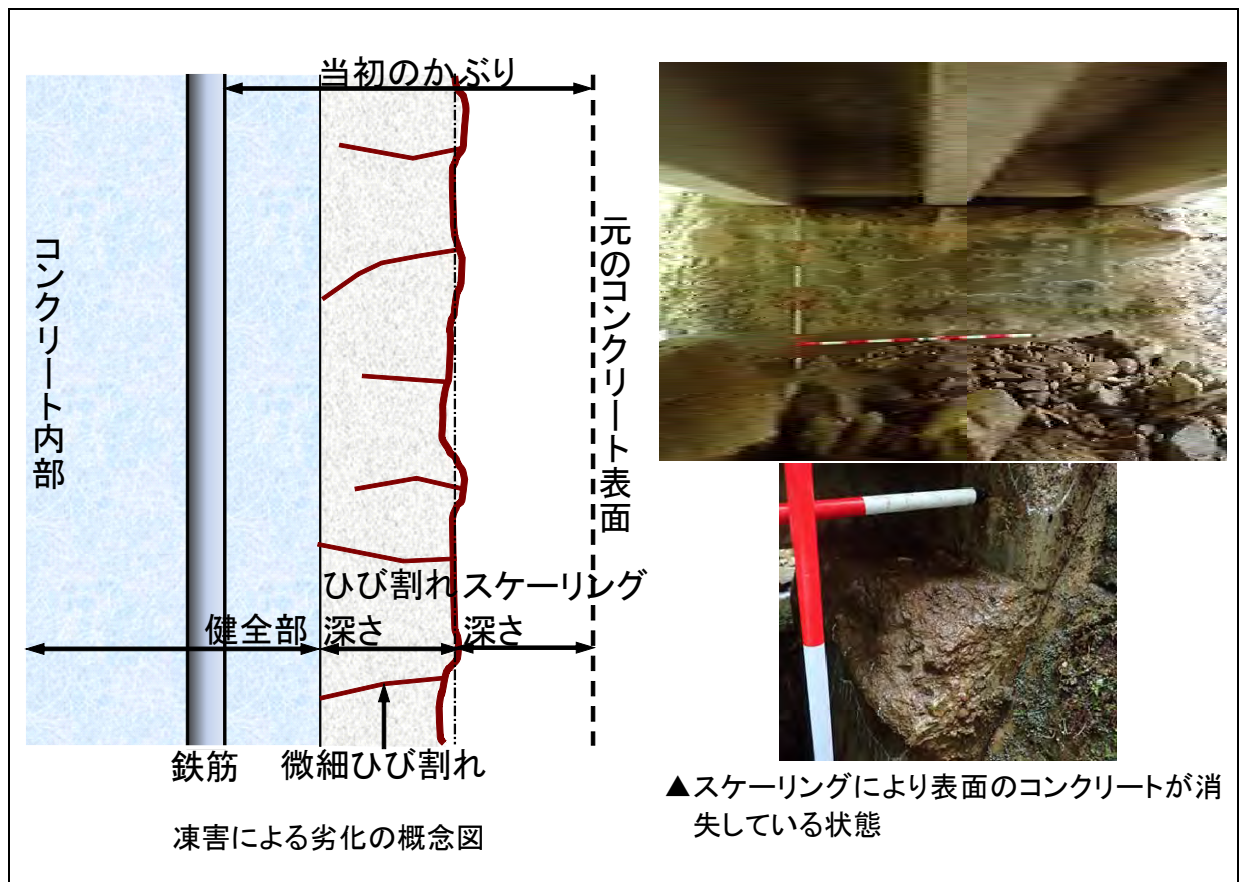
ゲルが吸収、膨張して、コンクリートにひび割れが生じる

▲全面にひび割れが発生し、ひび割れから遊離石灰やアルカリシリカゲルが滲出している状態(橋台)

#### ④ 凍害

- ・ 水は、凍結するときに自由に膨張できるものとする9%の体積膨張を生じる。この時の膨張圧が、セメントペーストや骨材の引張強度に達した時にひび割れ等が生じる。
- ・ 凍害を受けた構造物では、コンクリート表面にスケーリング、微細ひび割れ、ポップアウト等が顕在化する。これにより、美観を損ねるばかりではなく、コンクリートの物質移動抵抗性を低下させ、塩害や中性化をはじめとする他の劣化の進行が早まる可能性がある。
- ・ 凍害は表面から徐々に劣化し、骨材の露出や剥落、被りコンクリートの剥落が発生し、鉄筋の露出や腐食へと進行していく。
- ・ 凍害による劣化の程度は、コンクリートの配合(単位水量、水セメント比、空気量等)や骨材の品質(吸水率等)等のコンクリートに関する要因、部材の断面形状や被り等構造物に関する要因、及び水の供給、日射、外気温(最低温度)、凍結解回数等の構造物が置かれる環境に関する要因によって決まる。
- ・ 凍害危険度(地域)は5段階で評価され、九州では阿蘇と雲仙の一部において、凍害危険度1(ごく軽微)となっている。
- ・ 凍害における劣化過程を図6-4に示す。

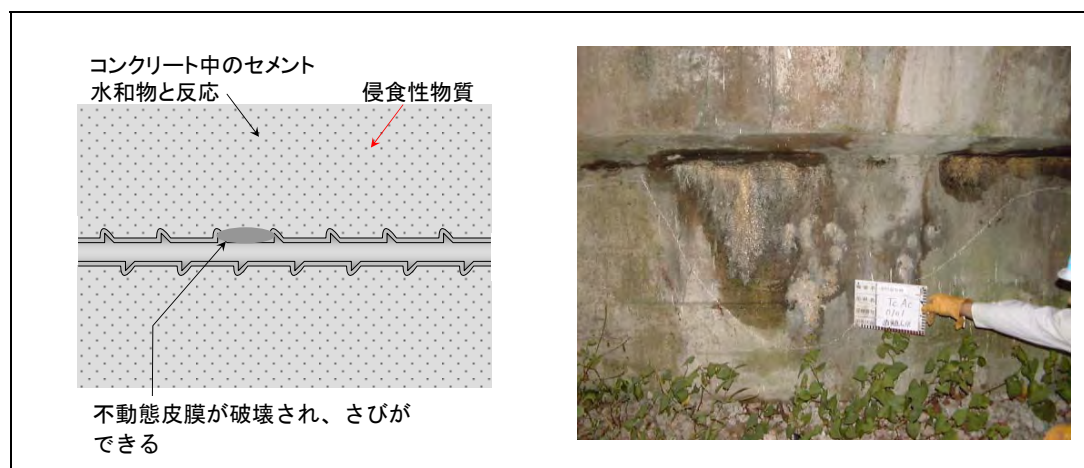
図 6-4 凍害による劣化過程



### ⑤ 化学的侵食

- ・ 化学的侵食とは、侵食のメカニズムから大きく2つに分けることができる。
- ・ コンクリート中のセメント水和物と侵食性物質が化学反応を起こし、腐食性ガスが水和物を可溶性の物質に変えることによりコンクリートを劣化させるものと、各種硫酸塩とコンクリート中のセメント水和物が反応して膨張性の化合物をつくり、その膨張性によってコンクリートを劣化させるものがある。
- ・ 下水道関連施設や化学工場など特定の構造物に加えて、温泉地、酸性河川、酸性・硫酸塩土壌にある構造物等に発生する。
- ・ 化学的侵食における劣化過程を図 6-5 に示す。

図 6-5 化学的侵食による劣化過程



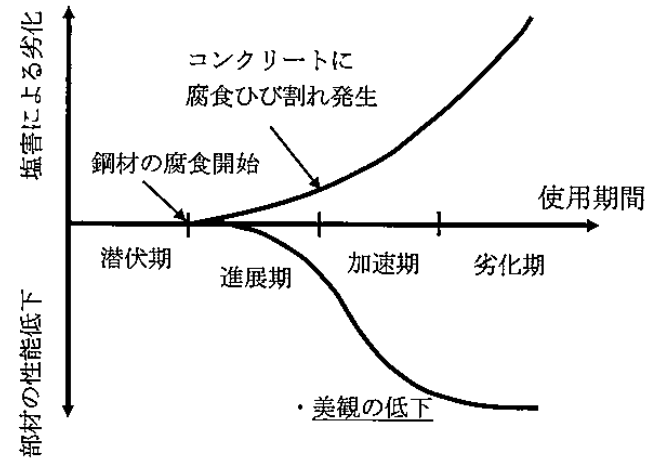
### ⑥ 床版の疲労

- ・ 当初、床版については、繰返し荷重に対して十分に安全との認識があったが、昭和 40 年代後半から、疲労による床版下面のひび割れ発生とコンクリートの剥落が認められ、鋼材が健全であるにもかかわらず、コンクリートが陥没する状況も生じた。
- ・ 床版の疲労の原因として、床版厚が薄く床版支間が大きいことに加え、大型車交通量の増加や車輪軸の変化に伴う荷重作用点の移動等が挙げられる。
- ・ また、防水層を設置していない床版では、橋面から雨水が浸入し、コンクリートひび割れ部における磨りみがき効果により急速に劣化が進行し、コンクリートが土砂化することもある。

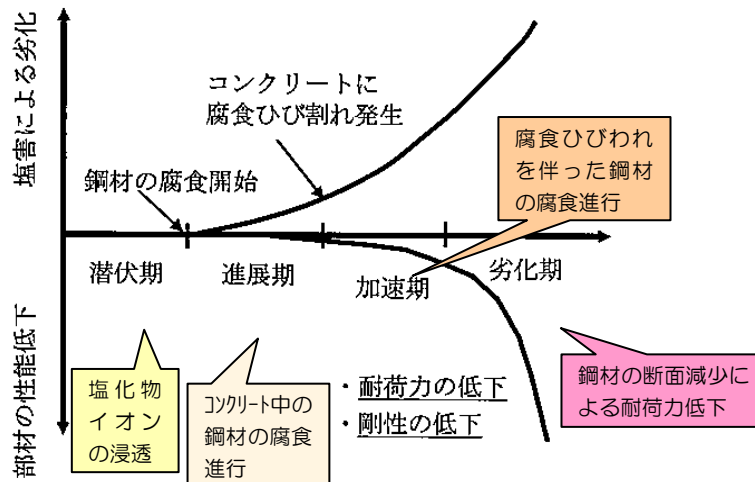
## 参考 性能別劣化進行

構造物の劣化過程は、潜伏期、進展期、加速期、劣化期に分けられる。それぞれの期間においては劣化現象が構造物の性能に及ぼす影響が異なるため、劣化過程ごとに点検方法や対策工法が異なる。

ここでは、塩害を例として、劣化進行過程および各劣化過程の定義を図 6-2、表 6-8 に示す。



(a) 美観・景観に着目した場合



(b) 安全性に着目した場合

図 6-6 塩害による劣化進行過程の概念図の一例

表 6-8 塩害の各劣化過程の定義

劣化過程	定義	期間を決定する主要因
潜伏期	鋼材の腐食が開始するまでの期間	塩化物イオンの拡散 初期含有塩化物イオン濃度
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間	

『2013年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕公益社団法人 土木学会』より引用

## § 7.

# 付属物の変状

付属物の変状形態、変状要因、変状メカニズムについて以下に示す。

### (1) 変状形態

付属物の主な変状形態について、表 7-1、表 7-2 に整理する。

表 7-1 付属物の変状形態 (1/2)

No	変状形態	変状写真	変状概要
①	排水装置の土砂詰り		雨水により、排水装置に土砂等が詰まる現象。
②	支承の機能障害		支承の有すべき荷重支持や変位追従などの一部または全てが損なわれ、支承の機能が低下または停止すること。
③	舗装ひび割れ		コンクリート床版における上面の変状や鋼床版の変状が原因で、舗装部にひび割れ、凹凸等が生じる。
④	路面の凹凸		

表 7-2 付属物の変状形態 (2/2)

No	変状形態	変状写真	変状概要
⑤	伸縮装置の機能障害		<p>交通荷重の影響により、橋梁部と道路部の接合部である伸縮装置が破損する現象等。</p>
⑥	高欄・防護柵等の変形		<p>車両の衝突などにより、高欄・防護柵等が局所的な応力集中を受けることにより変形すること。</p>

## (2) 変状要因とメカニズム

付属物の変状を誘発する主な要因について、表 7-3 に整理する。

表 7-3 付属物の変状原因推定表

変状形態	主たる発生部位	変状の種類	推定される主な原因		
付属物等	① 排水装置の 土砂詰り	排水装置 他	漏水・滞水	製作・施工	製作・施工不良、 防水・排水工不良
				構 造	構造形式・形状不良
	② 支承の 機能障害	支承	機能不良	外力作用	繰返し荷重、偏土圧・圧密沈下 洗掘・浸食、地震
				材 料 劣 化	乾燥収縮・温度変化
				製作・施工	製作・施工不良
				構 造	構造形式・形状不良
	③、④ 舗装ひび割れ 路面の凹凸	舗装	舗装ひび割れ わだち掘れ ポットホール 局部隆起	外力作用	繰返し荷重、地震
				環 境	温度変化
				材 料 劣 化	品質不良
				製作・施工	製作・施工不良 防水・排水工不良
				構 造	構造形式・形状不良
	⑤ 伸縮装置の 機能障害	伸縮装置	破損 異常音 遊間の異常	外力作用	繰返し荷重、衝突、偏土圧・圧 密沈下、洗掘・浸食、地震
				環 境	乾燥収縮・温度変化
				材 料 劣 化	品質不良
				製作・施工	製作・施工不良
	⑥ 高欄・防護柵 等の変形	高欄・ 防護柵他	変形	外力作用	繰返し荷重、衝突、地震
				材 料 劣 化	品質不良
				製作・施工	製作・施工不良
				構 造	構造形式・形状不良



① 排水装置の土砂詰り

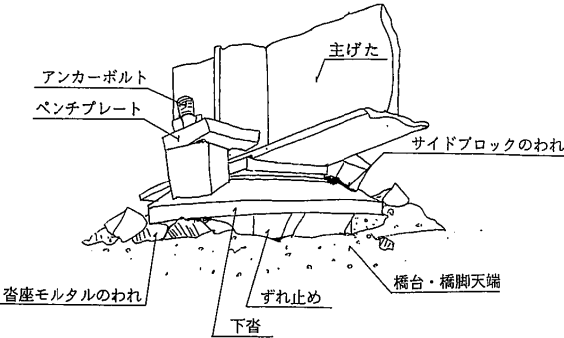
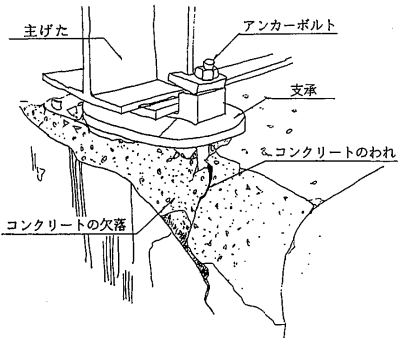
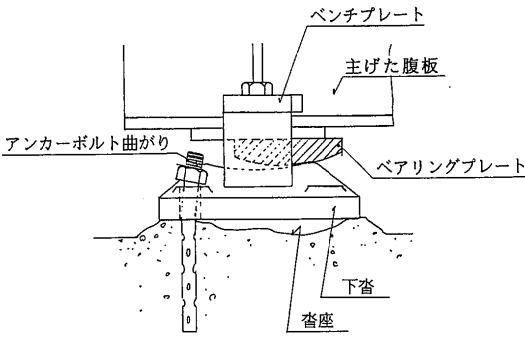
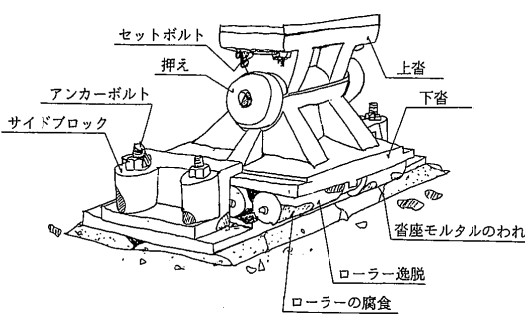
雨水により、排水装置に土砂等が詰まる現象。

② 支承の機能障害

支承の変状は、ソールプレート部の亀裂、支承部本体の異常音に大別される。

表 7-4 に支承の変状例を示す。

表 7-4 支承の変状例

変 状	概 要
<p>沓座の破損</p>	
<p>橋台・橋脚の欠け落ち</p>	
<p>ベアリングプレートのはみ出し</p>	
<p>ローラーの逸脱と腐食</p>	



### ③ 舗装ひび割れ

ひび割れの発生原因は、施工時の転圧不足や、舗装材料に粗度の粗い混合物を用いることが発生要因となる。

舗装ひび割れの変状事例を写真 7-1 に示す。



写真 7-1 舗装ひび割れの変状事例

### ④ 路面の凹凸

一般に路面の凹凸はわだち掘れ、コルゲーションがある。

わだち掘れは弾性変形であり、弾性変形しやすいものほど塑性変形し易い傾向にある。

変形のしやすさは、アスファルト混合物固有の性状に関係する。初期は交通荷重による圧密が支配し、圧密が進行し空隙が減少すれば、タイヤ接地面下の横方向移動が支配する。

路面の凹凸の発生要因および変状事例を表 7-5、写真 7-2 に示す。

表 7-5 路面の凹凸の発生要因

要因	概要
舗装構造上のもの	舗装厚が薄く、路床、路盤の変形が表層の変形に大きく影響する舗装構造上の要因によるもの(特にボックスカルバート等、橋梁本体構造が地表より比較的深い位置にある、土被りが厚い構造物)
アスファルト混合物の性状の要因によるもの	アスファルト舗装が厚いため、その変形が表層および基層に発生し、アスファルト混合物の性状の要因によるもの



写真 7-2 路面の凹凸の変状事例

⑤ 伸縮装置の機能障害

伸縮装置は、車両の繰返し荷重を直接受けるため、本体のみならず床版との取付部分が破損する外的要因によるもの、構造上の問題、材料の欠陥、施工管理の不良等が要因として挙げられる。

伸縮装置の変状メカニズムについて表 7-6、表 7-7 に整理する。

表 7-6 伸縮装置の変状メカニズム (1/2)

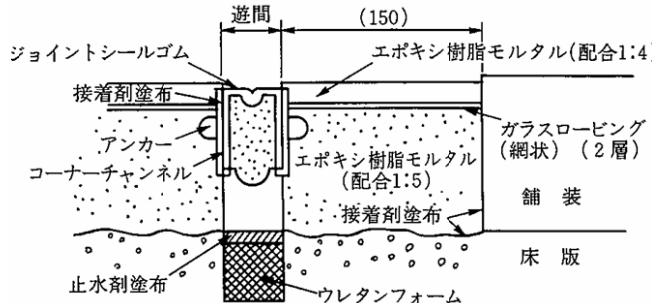
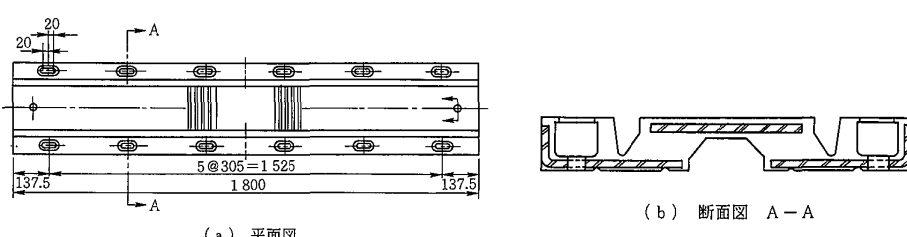
伸縮装置形状	変状メカニズム
突合せジョイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置取付け部に使用するエポキシ樹脂は可とう性があり、床版コンクリートとの接着、一体化に優れる。しかし、セメント系のコンクリートとは、完全には床版コンクリートと一体になり難い。</li> <li>時間の経過とともに車両荷重の繰返し作用を受け、取り付け部とジョイントの隙間に雨水が浸透することにより、次第に床版コンクリートと剥離を起こす。</li> <li>剥離すると、樹脂モルタルと床版コンクリートは個別に挙動するようになり、ひび割れが生じる。</li> <li>このひびわれが進展し、細分化してブロック状になり破損を起こす。</li> </ul> 
荷重支持型ゴムジョイント	<p>i) 取付けコンクリートの破損</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの表面に入ったひび割れが進行する。</li> <li>走行車両の繰返しにより、コンクリートがえぐり取られたような状態になる。</li> </ul> <p>ii) ジョイント本体ゴムの摩耗</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>曲線部を走行する車両は、慣性によって遠心力を受ける。この遠心力に対する車の横滑りは、車道に横断勾配を設けることにより舗装面とタイヤの間の摩擦抵抗が大きくなり、車両は横方向にも安定した走行を続けることが可能となる。</li> <li>曲線半径の小さい区間ほど、路面に作用する遠心力が大きくなる。</li> <li>このため、路面に設置されていたジョイント本体のゴムが車両の繰返し走行により破損が発生する。</li> </ul>  <p>(a) 平面図 (b) 断面図 A-A</p> <p>iii) ジョイント本体ゴムの浮き上がり</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>伸縮量の大きな桁に設置されたジョイントは、温度上昇に伴いジョイントが圧縮されると、桁の伸縮方向にずれが生じ、ゴム部分が浮き上がってくる。</li> <li>ジョイントの浮き上がりが生じると、舗装面との間に段差が生じるため、走行車両の繰返し衝撃荷重などによるゴム部分の破損や、異常音を引き起こすこともある。</li> </ul>



表 7-7 伸縮装置の変状メカニズム (2/2)

伸縮装置 形状	変状メカニズム
鋼フィンガー ジョイント	i) フェースプレートの段差 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鋼フィンガージョイントの据付けは主桁上フランジとフィンガージョイント下フランジをボルトで締め付けている。</li> <li>・ 舗装面とフェースプレート部の段差は、当初のセット不良によるものと、フェースプレートに溶接されたフラットバーのアンカーの切断によるフェースプレートの浮き上がりなどがある。</li> </ul>
	ii) 排水おけの土砂詰り <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 河川上の橋梁は、伸縮装置からの雨水の飛散等により路下に支障を与えることはないが、路下を利用される箇所では、漏水の苦情が多いため、伸縮装置の直下に排水おけを設置している。</li> <li>・ この排水おけに当初想定していた以上の土砂が流入堆積したものである。</li> </ul>

## § 8.

# 補修の要否判定

下記3つの視点から評価を行い、対策の必要性を判断する必要がある。

- ・ 道路機能の維持
- ・ 構造物の耐久性・耐荷性の確保
- ・ 第三者被害の未然防止

補修は、基本的に定期点検結果の総合判定区分 c、d、e を対象に行うものとする。

定期点検結果の各判定区分における補修対策を表 8-1 に示す。

点検において「損傷」とは、点検要領等に用語の定義がなされていないが、土木学会で定義されている「変状」、場合によっては「劣化」と同一と考えている。したがって、地震や衝突等のように短時間発生し、その後は時間の経過とともに進行しない変状とは異なる。

また、次頁以降に参考として [P.50 参考 1 通常点検・定期点検]、[P.51 参考 2 アセットマネジメントの基本的な流れ]、[P.52 参考 3 詳細調査] を示す。

表 8-1 各判定区分における補修対策の基本的な考え方

判定区分の目安	診断	補修対策の必要性
a	損傷が認められない	対策不要
b	局所的な損傷はあるが、当面進行性の恐れはない	
c	損傷が分散的にあり、損傷の進行度合いに応じて補修を実施する	要対策
d	損傷が大きく、致命的な機能低下につながる恐れがあり、早期に補修の必要がある	
e	損傷が激しく、安全を確保できない状態にあり、早急に対処する必要がある	

- ・ 補修が必要であっても、第三者被害のおそれや道路交通の支障とならない場合は、緊急性や予算等を考慮して、補修実施時期を決定する。
- ・ ただし、損傷が進行すれば危険な状態になることが予想されるため、必ず点検を実施し、損傷部の状態を十分に把握する。
- ・ 損傷の規模が大きい場合で補修が困難と予想される場合は、架替えを検討する。
- ・ bランクの橋梁でも桁下への落下物等で第三者被害のおそれや道路交通の支障となる場合は、対策を行う。

### 参考1 通常点検・定期点検

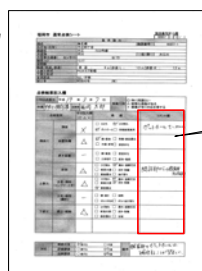
福岡市が管理する橋梁について、変状の早期発見及び劣化の進行状況等を把握するため、通常点検・定期点検をそれぞれの頻度に応じて実施し、詳細調査を行う際の参考資料として点検データを蓄積している。

#### ・ 通常点検

適用範囲	全橋梁	点検者	区役所職員
点検頻度	2年に1回程度	点検結果の記録方法	通常点検シート 状況写真
点検方法	目視点検		



現地にて点検結果を通常点検シートへ記録する。



通常点検シート(記入例)

修繕対策結果および内容を記入する



通常点検結果簡易蓄積システムへ点検結果を入力

図 8-1 通常点検結果の記録の流れ

#### ・ 定期点検

適用範囲	全橋梁	点検者	道路橋点検士等
点検頻度	5年に1回程度	点検結果の記録方法	定期点検票、損傷状況図、 点検写真、一般図
点検方法	近接目視点検		

図 8-2 定期点検調査



## 参考2 アセットマネジメントの基本的な流れ

定期点検の結果、判定区分が、P.49 表 8-1 のように要対策と診断された場合、劣化機構に応じた補修工法等を検討するため、福岡市橋梁長寿命化修繕計画にしたがい、適切な時期に詳細調査を行う必要がある。

アセットマネジメントの基本的な流れを図 8-3 に示す。

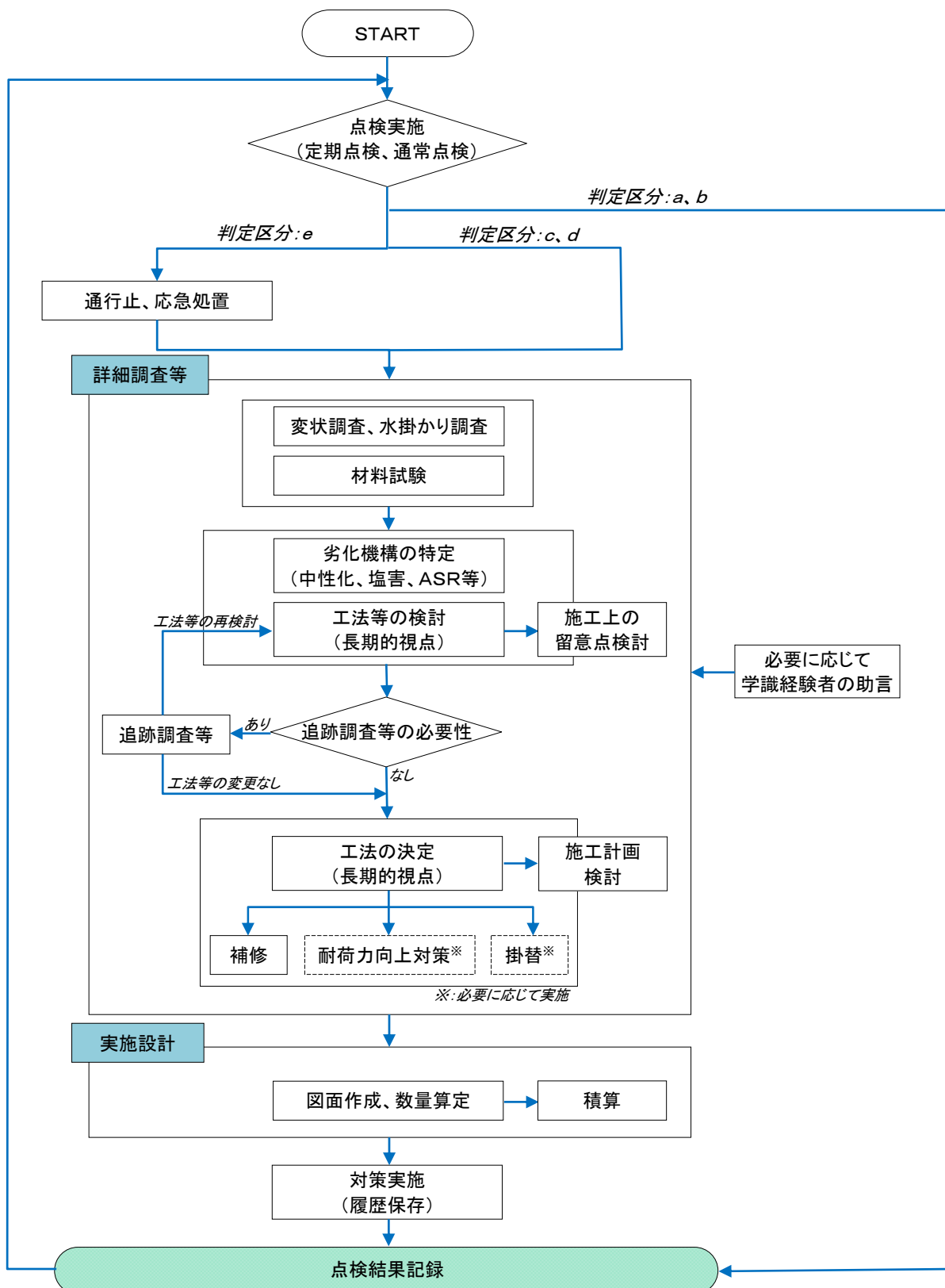


図 8-3 アセットマネジメントの基本的な流れ



### 参考 3 詳細調査

詳細調査では、各部材の健全度判定、劣化状況の把握、劣化機構の分析のため、表 8-2 のような調査、試験を必要に応じて行う。

表 8-2 詳細調査の項目と内容

材料	項目	方法	概要	備考
全材料	外観変状調査	近接目視 打音調査	変状の位置、範囲、程度、数量等を把握し、図面を作成する。	全部材対象
	水掛かり調査	目視調査 (雨天時等)	どこから水が供給されているか、どのような劣化に作用しているか確認する。	
コンクリート構造 (付属物除く)	鉄筋調査	鉄筋探査	電磁誘導法または電磁レーダー法により鉄筋の有無、位置を確認する。PC では、鉄筋被りを推定する。	無筋、RC、PC
		はつり調査	鉄筋を露出させ、鉄筋の腐食状況、被り深さ、配筋について調査する。	RC のみ
	圧縮強度試験	反発硬度試験 <sup>※1</sup>	リバウンドハンマーにより、コンクリートの強度を推定する。	無筋、RC、PC
	中性化試験	ドリル法 <sup>※1</sup>	中性化深さを削孔粉とフェノールフタレイン溶液により、3箇所程度の平均値を測定する。	RC、PC のみ
	塩害試験	ドリル法 <sup>※1</sup>	削孔粉を使用し、塩化物イオン濃度を硝酸銀滴定法、電位差滴定法等により測定する。 <sup>※2</sup>	RC、PC のみ
	アルカリシリカ反応試験	岩種判定	コアまたはかけらを電子顕微鏡で観察し、アルカリシリカゲルの有無、骨材鉱物構成物質を確認する。	特有のひび割れがある場合
ひび割れ経過観察 <sup>※3</sup>		代表的なひび割れを抽出し、ひび割れの端部の位置を墨入れし、年月日を記入、幅についても測定位置を墨入れし、幅と年月日を記入し、定期的に経過観察する。	必要に応じて実施 <sup>※4</sup>	
鋼構造	塗膜成分試験	溶出試験	主要部材の塗膜をはぎ取り、鉛、クロム等の有害な成分の濃度を測定する。	全橋 <sup>※5</sup>
		含有量試験	主要部材の塗膜をはぎ取り、PCB(ポリ塩化ビフェニル)の有無を確認する。	
	板厚測定	超音波厚さ計	健全部と劣化部の板厚を測定し、板厚の減少量を確認し、耐荷力照査のデータとする。	必要に応じて実施

※1: コンクリート構造物については、できるだけ躯体を傷めないよう、反発硬度試験やドリル法を採用しているが、劣化の状況によっては、コア法を実施する。

※2: 鉄筋位置との関係、内在、外来塩分の判定が可能な深さまで、3層以上の塩化物イオン濃度を測定する。なお、塩害による劣化が懸念されない場合は省略することもある。

※3: 膨張が収束しているかの確認には、残存膨張量試験がある。

しかし、JCI-DD2法は試験では、大きな(通常、直径100mm、長さ約250mm)コアを使用するため、ひび割れがない箇所から採取し、おのずと反応が進行していないコアで試験を行うこととなり、有害と判断されることが多い。また、試験に長期間を要し、PCプレテン中空床版橋(ホロー形式)では、コア採取自体が難しく実用的でない。さらに、カナダ法やデンマーク法は、実際の環境と合わないため、潜在膨張量試験の意味合いが強く信頼性が低い。

したがって、残存膨張量試験は行わず、膨張収束の簡易的な確認方法として、ひび割れ経過観察を採用している。この方法は、定期点検において点検者の技量の差があっても、客観的にひび割れの進行を判断できる。なお、墨入れは一番消えにくい墨汁を使用すると良い。

※4: 経過観察の時期としては、アルカリシリカ反応は夏に進行するのでその後の秋と、進行が止まっている冬の後の春の年二回行うと良い。

※5: 当該成分を使用していない年代の橋梁でも含有していた事例があり、含有によって塗膜除去方法や処分方法が大きく違うことから、必ず実施するようにしている。



## § 9.

# 補修工法選定の基本的考え方

- (1) 補修工法は、劣化機構、劣化の程度、工法のグレード、施工性、経済性等を勘案して適切な対策方法を決定するものとする。
- (2) 補修を行う範囲は、劣化の程度に応じて再補修をすぐに実施することのないよう設定する。
- (3) 本教本に掲載されていない工法であっても、施工性や、経済性等で優れた工法がある場合は、採用することが出来る。

- ・ 補修は、定期点検結果、詳細調査結果に基づき、劣化の発生状況、発生要因、対策目的を明確にして適切な工法を選定する必要がある。
- ・ 補修対策に立案にあたっては、劣化の形態に応じて、対策方針（何を改善するか）を決定し、劣化程度に応じた補修工法を選定する。
- ・ 特殊な事例や重要な橋梁については、学識経験者との現地協議及び福岡市橋梁補修工法等検討部会の意向を踏まえ、劣化機構の判定、補修工法の決定等を行う。
- ・ 福岡市橋梁補修工法等検討部会では、橋梁の補修工法の検証、検討、また福岡市道路橋補修教本の改訂等に必要な協議、調整を行う。委員は、学識経験者 3 名と関係課長 5 名で構成されている。

なお、本教本は「一基礎編一」であることから、福岡市では採用していない工法についても、知識習得のため記載している。



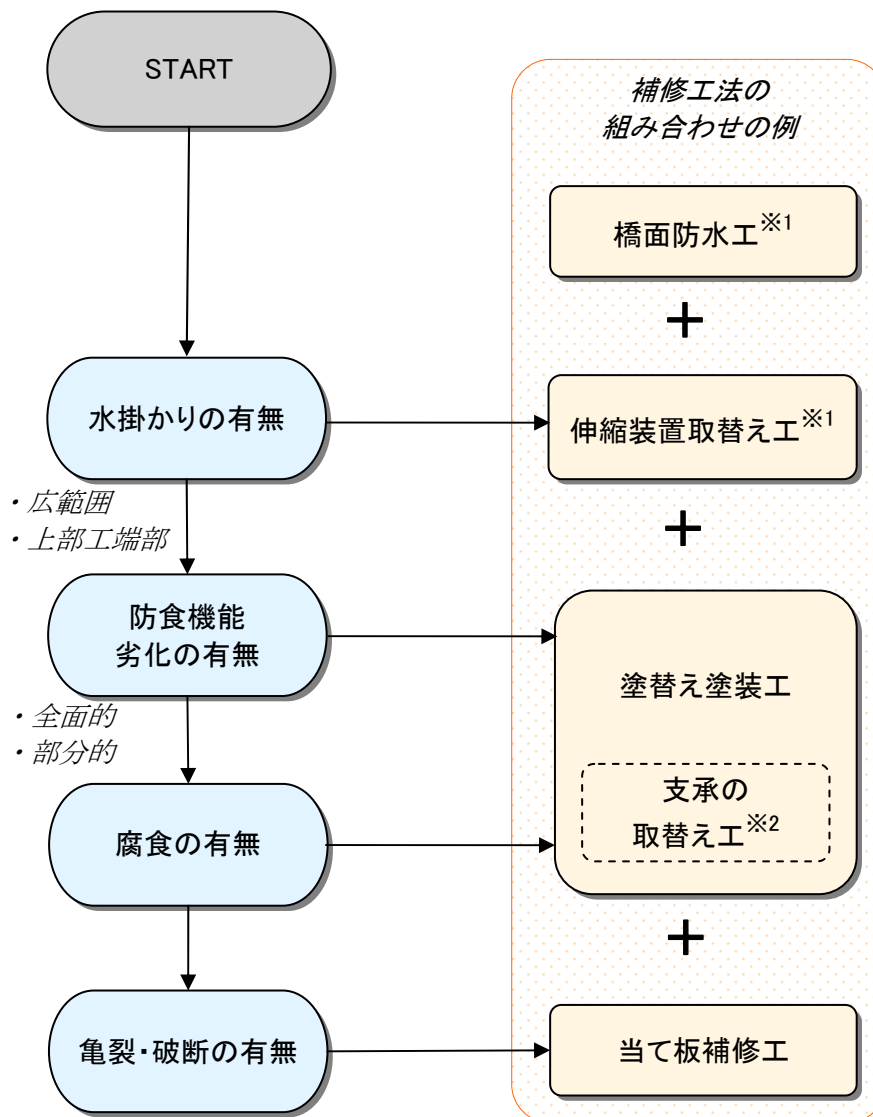
## (1) 鋼部材

### 1) 補修工法の組合せ例

鋼部材の劣化においては、主として水掛かりによる錆・腐食の発生が多い。また、稀に繰り返し荷重作用による亀裂の発生がある。

補修工法の適用においては、橋梁の劣化発生の要因を特定し、対策方針を明確にした上で適時・適切な補修工法を選定するものとする。

その他、施工性や経済性等で優れる工法があれば採用することが出来るものとする。



注：補修可能な場合に限る。

※1：橋面防水工及び伸縮装置取替え工は、各々からの水掛かりが劣化の要因になっていた場合に実施を検討する。

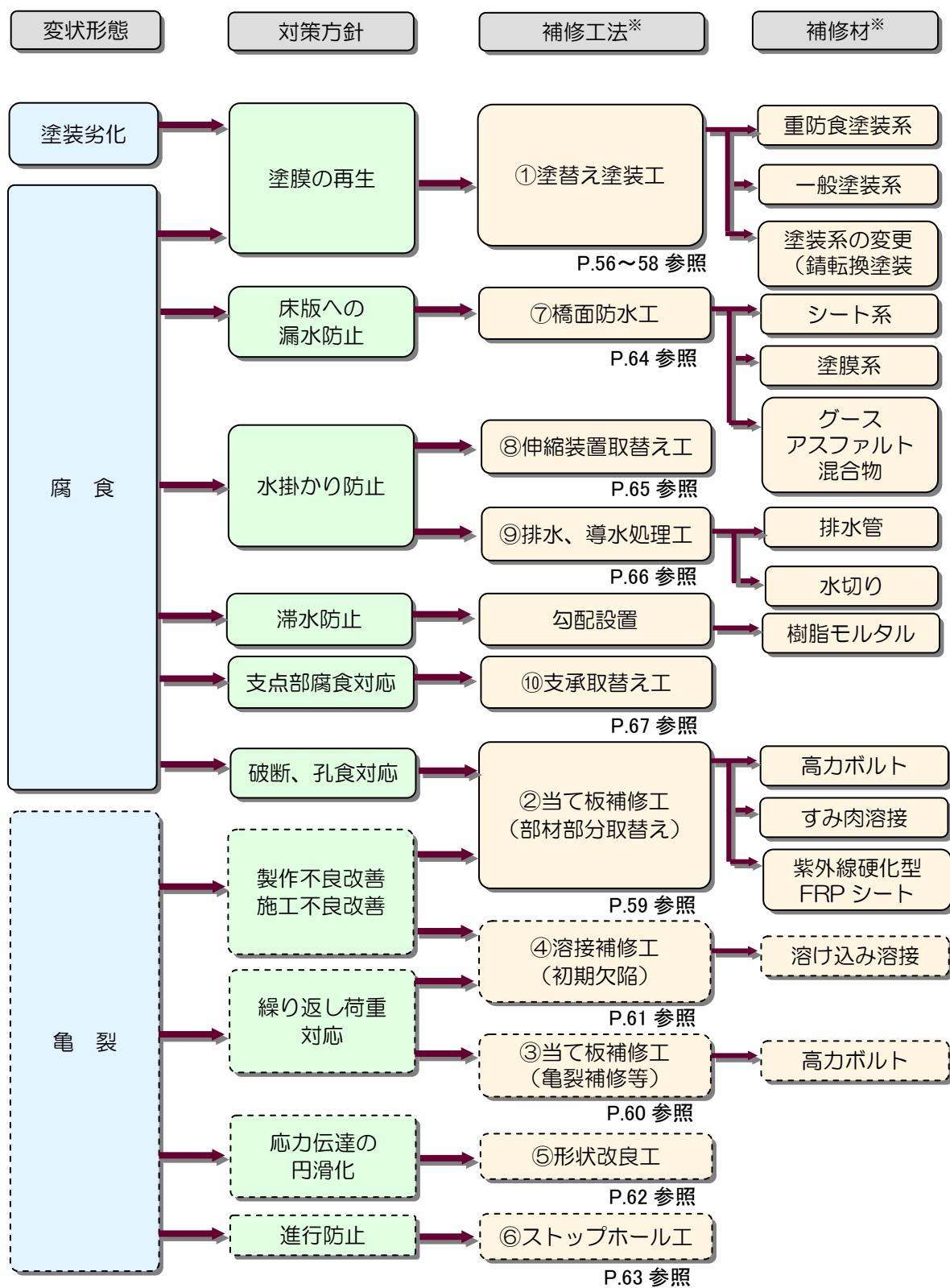
その他、劣化機構となる水掛かりがあれば、別途対策を検討する。

※2：近年、福岡市では支承の取替えまでに至った事例はない。

図 9-1 鋼部材における補修工法の組み合わせ例

## 2) 鋼部材の補修工法選定

鋼部材における基本的な補修工法選定の流れを図 9-2 に示す。



※：補修工法及び補修材の概要については P.56 以降に示す。

：近年、福岡市では発生していない変状形態等

図 9-2 鋼部材の補修工法選定

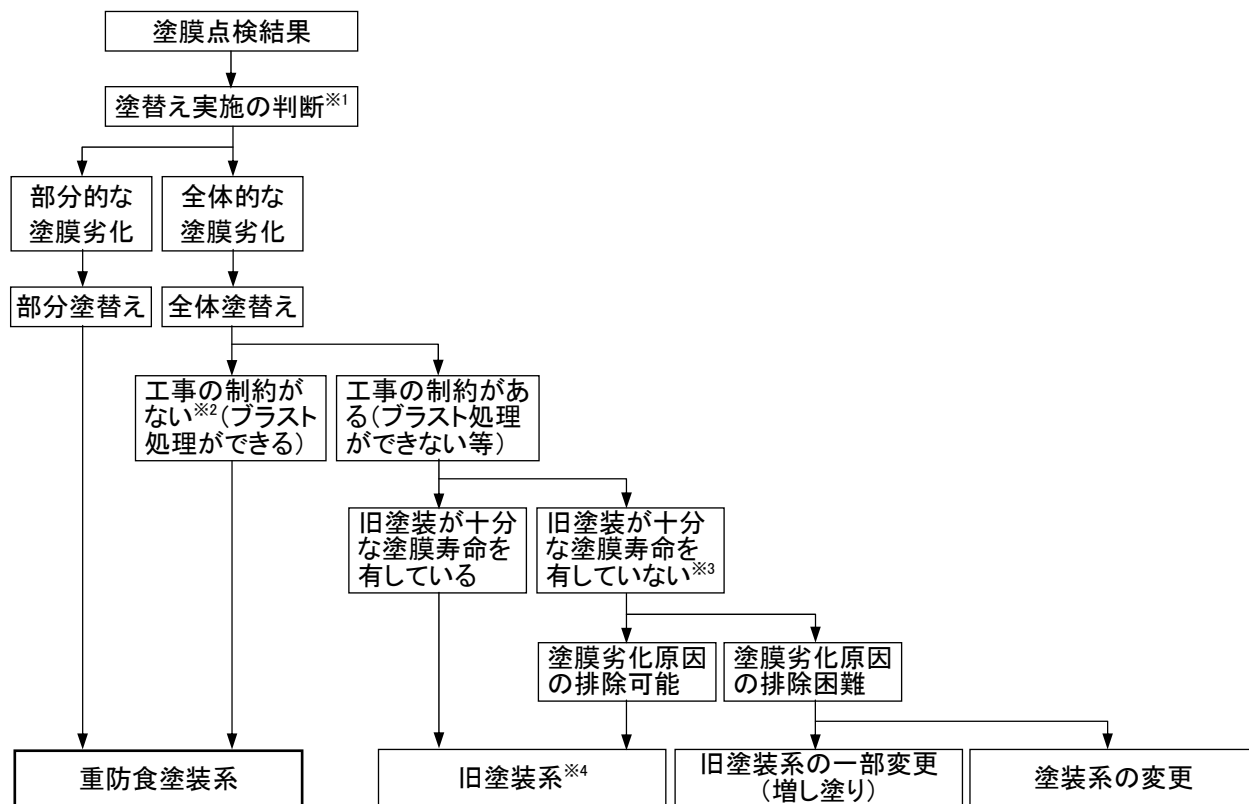
## ① 塗装塗替え工

目的	塗膜の経年劣化による鋼製部材(鋼桁、支承等)の腐食を防護するために、現場にて塗替え塗装を行う。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 錆が発生している箇所について、下地処理(ケレン)を施した後、再塗装を施す。</li> <li>・ 使用材料は重防食塗装系、一般塗装系等、環境条件、使用条件、施工条件により選定する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 塗装仕様については、現場条件、塗り替え塗装頻度等を加味した耐用年数を設定し、適切な塗装仕様を選定する。従来の塗替え塗装は旧塗膜系と同じ性能を有する塗装系を一般的に選定していたが、より耐久性に優れた塗装系にする方が有利かつ合理的と考えられるため、塗替え塗装仕様は従来よりも耐久性に優れた重防食塗装系を基本としている。塗替え塗装に適用する塗装系選定の一般的な手順を図 9-3 に示す。</li> <li>・ 一般部の塗膜が健全でも、桁端部、連結部、下フランジ下面等特定の部位の劣化が著しい場合には、塗膜劣化の著しい箇所の部分塗替えを行う方法もある。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水掛かり等発錆の原因除去を合せて行うこと。</li> <li>・ 塗装の塗替え時期に満たないうちに、発錆箇所が橋梁全体に及ぶ場合には、当初の塗装施工の不具合、または、当初の塗装系が現地の環境に適切ではなかったためと考えられる。</li> <li>・ 旧塗膜に鉛、クロム、PCB 等の有害な物質が含まれている場合は、これらを飛散なく、さらには産業廃棄物量を必要以上に増やすことなく、かつ安全に塗膜除去作業を行わなければならない。その一つの技術として、塗膜をシート状に軟化させ除去塗膜の回収が容易な、環境対応形塗膜剥離剤による現場塗膜除去がある。</li> <li>・ 環境対応形塗膜剥離剤は、塗膜に剥離剤成分を浸透させることによって剥離させることから、既存塗膜の膜厚が厚い、塗付時及び塗膜浸透時の気温が低い、浸透時間が短い、さらには旧塗膜が表層部だけ剥がれやすい場合等の条件下では、一回での塗膜除去が難しいことがある。長大橋において、二回に分けて作業を行うこととなると非常に高額となることから、対象とする橋梁で事前に試験して浸透状況を把握し、最も経済的な剥離及び施工方法を検討しなければならない。</li> <li>・ 環境対応形塗膜剥離剤によって塗膜を除去しても素地調整 1 種相当にはならないため、Rc-I 系塗装を採用する場合は、塗膜除去後に別途ブラスト法による素地調整が必要となる。</li> </ul>

作業手順	作業内容	イメージ
<b>Step 1</b> 事前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発錆等の腐食箇所を除去</li> <li>・ 水洗いする</li> </ul>	
<b>Step 2</b> 下地処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鋼材に素地調整<sup>※1</sup> 施す</li> </ul>	
<b>Step 3</b> 塗装	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第 1~3 層の 3 回(必要に応じて 4 回など)に塗装<sup>※2</sup> する</li> </ul>	

※1: 素地調整の程度と作業内容を表 9-1 に示す。

※2: 旧塗膜と塗替え塗装の組合せを表 9-2 に示す。



- ※1: 狭あい部や部材角部等で部分的に劣化が進行している箇所については適宜補修を行いつつ、全体としては上塗り、中塗りの消耗を目安にして、防食下地が健全な段階で早期に塗替えを行うのが、重防食塗装系の維持管理の基本である。なお、局部的に塗膜の損傷やさびが発生した場合は、図 9-4 を参考に補修を行うと良い。
- ※2: 旧塗膜の A、a 塗装系が十分な塗膜寿命を有しており、適切な塗膜の維持管理体制がある場合や、橋の残存寿命が 20 年程度の場合には、工事上の制約にかかわらず素地調整程度 3 種での塗替え塗装を適用しても良い。
- ※3: 旧塗膜系が B、b 塗装系である場合には、素地調整程度 2 種で旧塗膜を全面除去して塗替え塗装を行う。
- ※4: ここでいう「旧塗膜系」とは、直近の塗替え塗装において採用された塗装系である。

図 9-3 塗替え塗装系選定手順

傷の深さ	上 塗	上・中塗	上・中・下塗	鋼面迄
(上 塗)				
(中 塗)				
(下 塗)				
(無機ジンクリッチペイント)				
(鋼 材)				
素地調整	サンドペーパー処理			パワーツール処理
下 塗	なし			有機ジンクリッチペイント 240g/m <sup>2</sup> 30μm
中 塗	なし		超厚膜形エポキシ樹脂塗料 1,000g/m <sup>2</sup> 300μm	
上 塗	ふっ素樹脂塗料 上塗 120g/m <sup>2</sup> 25μm	ふっ素樹脂塗料 上塗 120g/m <sup>2</sup> × 2 50μm		

図 9-4 傷の深さによる補修方法施工例



表 9-1 素地調整の程度と作業内容

素地調整程度	錆面積※1	塗膜異常面積※2	作業内容	作業方法
1種	—	—	錆、旧塗膜を全て除去し鋼材面を露出させる。	ブラスト法
2種	30%以上	—	旧塗膜、錆を除去し鋼材面を露出させる。ただし、錆面積 30%以下で旧塗膜が B、b 塗装系の場合はジンクリッチプライマーやジンクリッチペイントを残し、ほかの旧塗膜を全面除去する。	ディスクサンダー、ワイヤー、ホイル等の動力工具と手工具との併用
3種 A	15～30%	30%以上	活膜は残すが、それ以外の不良部(さび、割れ、膨れ)は除去する。	同上
3種 B	5～15%	15～30%	同上	同上
3種 C	5%以下	5～15%	同上	同上
4種	—	5%以下	粉化物、汚れ等を除去する。	同上

※1: 錆が発生している場合。

※2: 錆がなく、割れ、はがれ、膨れ等の塗膜異常がある場合。

表 9-2 旧塗膜と塗替え塗装の組合せ

塗替え塗装系	旧塗膜塗装系	素地調整	概要
Rc-I	A、B A、b、c	1種	ブラスト工法により旧塗膜を除去し、スプレー塗装する。
Rc-III	A、B、C A、b、c	3種	工事上の制約によってブラストできない場合に適用する。耐久性は Rc-I 塗装系に比べて著しく劣る。
Rc-IV	C C	4種	C 塗装系の塗替えで下塗りには劣化が及んでいない場合に適用する。
Rc-II	B b、c	2種	工事上の制約によってブラストができなく、かつ、ジンクリッチプライマーを用いた B 塗装系の旧塗膜、または C 塗装系の局部補修に適用する。
Ra-III	A A	3種	A 塗装系の塗替えで十分塗膜寿命を有していて、適切な維持管理体制がある場合や橋の残存寿命が 20 年程度の場合に適用する。
Ra-III	D d	3種	暗く換気が十分に確保されにくい環境の内面塗装に適用する。

『鋼道路橋防食便覧 平成 26 年 3 月 公益社団法人 日本道路協会』より引用



## ② 当て板補修工（部材部分取替え）

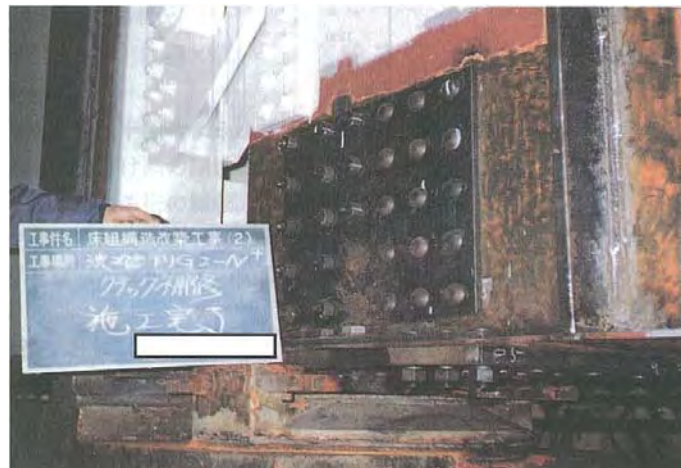
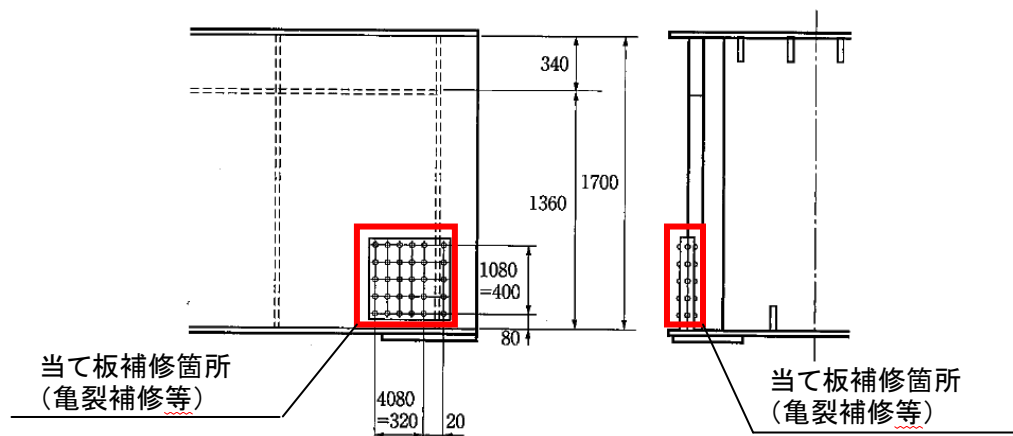
目的	部材の一部が腐食や衝突による変形等により著しい変状が生じた場合に、その部分を除去し、新しい部材を高力ボルトまたは溶接により接合する。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>変状が生じた部分を除去する。</li> <li>新しい部材を高力ボルトまたは溶接により接合する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>腐食による欠損箇所に対して、広く採用されている。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>変状が生じた部材の除去時に、断面の欠損が生じるため、橋梁全体の安全性を確認しておく。また、このとき応力が再配分されるため、補修周辺の応力は補修前より増大する。この安全性について照査を行う必要がある。</li> <li>変状断面の除去が、他の健全な部分に及ぼす影響を無視できない場合には、除去前に仮設材（支保工）により、仮受けする等適切な措置を施す。</li> <li>新部材の取り付け方法には、高力ボルトを使用する方法と現場溶接する方法がある。溶接接合は、熱による新たな応力集中箇所が発生したり、溶接欠陥等が生じる恐れがあるため、主要部材では高力ボルトを使用する方が望ましい。</li> <li>主桁等主要部材の広範囲の補修では、可能であれば車両通行止めを行う等、活荷重を除去して当て板補修工を行うのが望ましい。</li> <li>付属物の軽微な当て板補修工では、溶接接合や紫外線硬化型 FRP シートが使用されている。</li> </ul> <p>※代表的な当て板補修工（部材部分取替え）の事例</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i) 桁端部の著しい腐食による主桁の部分補修</li> <li>ii) 衝突により損傷した主桁下フランジ、ウェブの部分補修</li> </ol>



### ③ 当て板補修工（亀裂補修等）

目的	鋼材の現況復旧、亀裂等変状発生部の応力低減、亀裂発生部の剛性向上を目的とする。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジャッキアップにより亀裂部を無応力状態に開放する。</li> <li>変状部材を両側から添接板を挟みこみ、高力ボルトにて接合する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>亀裂に対して、最も一般的で広く採用されている。</li> <li>亀裂部の溶接補修が困難な場合や、亀裂発生部の応力度を低減したい場合に適用。</li> <li>火災等により大きく面外変形した部材の矯正にも用いられている。この場合は、より剛性の強い山形鋼等を使用する。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジャッキアップの際には、主桁または横桁を仮受けする必要がある、ジャッキアップに抵抗できるよう応力を照査し、適宜仮受け用の補強を行う。</li> <li>可能であれば車両通行止めを行う等、活荷重を除去して当て板補修工を行うのが望ましい。</li> <li>溶接による接合は新たな応力集中箇所が発生したり、溶接欠陥が生じたりすることにより、疲労強度が補修前より低下する恐れがあるため、当て板は高力ボルトで接合することを基本とする。</li> </ul>

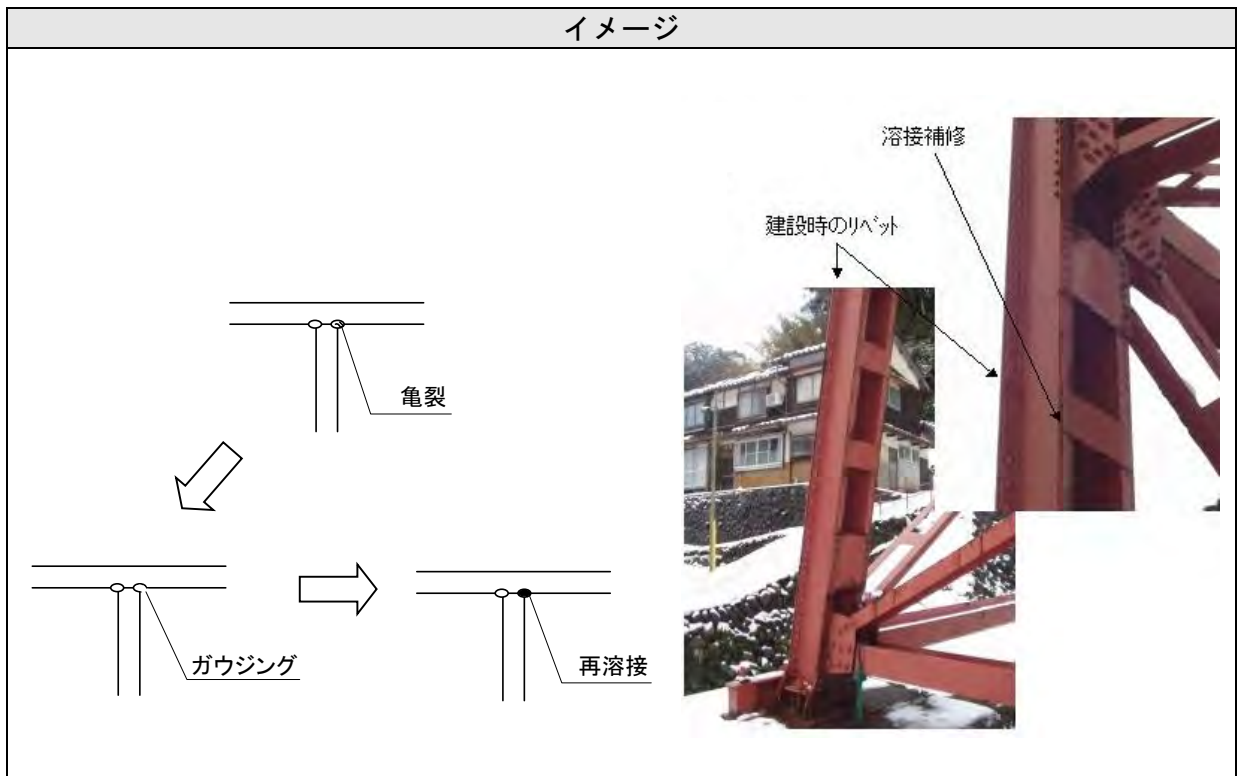
#### イメージ



#### ④ 溶接補修工（初期欠陥）

目的	溶接部に発生した亀裂部分を除去し、再溶接して疲労強度を高める。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接部に発生した亀裂部分をアークエアガウジング等により除去し、再溶接する。</li> <li>再溶接部の止端部は十分仕上げを行って、疲労強度を高める。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>変状の原因が、溶接欠陥や工作傷など、溶接補修によりこれらの原因が除去できる場合にのみ有効な工法である。</li> <li>溶接の止端部にTIG処理を併用して、止端形状を改善し、溶接部の疲労耐力を向上させることもある。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>応力集中が原因の場合、変状発生部材の応力度を下げる改良を行う。</li> <li>2次応力が原因の場合は、発生要因となる拘束を除去、あるいは断面補強を行う。</li> <li>亀裂の発生要因が溶接の施工不良の場合は、溶接補修工のみ実施する。</li> <li>補修が現場溶接となるため、溶接のできない箇所や溶接作業の困難な箇所での補修工には不適當である。</li> <li>あらかじめ施工試験を実施するなどして、十分な品質の確保が出来るような施工管理、施工方法を決定する。</li> <li>疲労強度を増大するため、溶接止端部を TIG 処理又はグラインダーにより仕上げる。</li> <li>溶接品質の保証として、JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に基づく「溶接技術検定」の保有資格ランクがあり、施工可能な範囲が異なる。</li> </ul>

#### イメージ

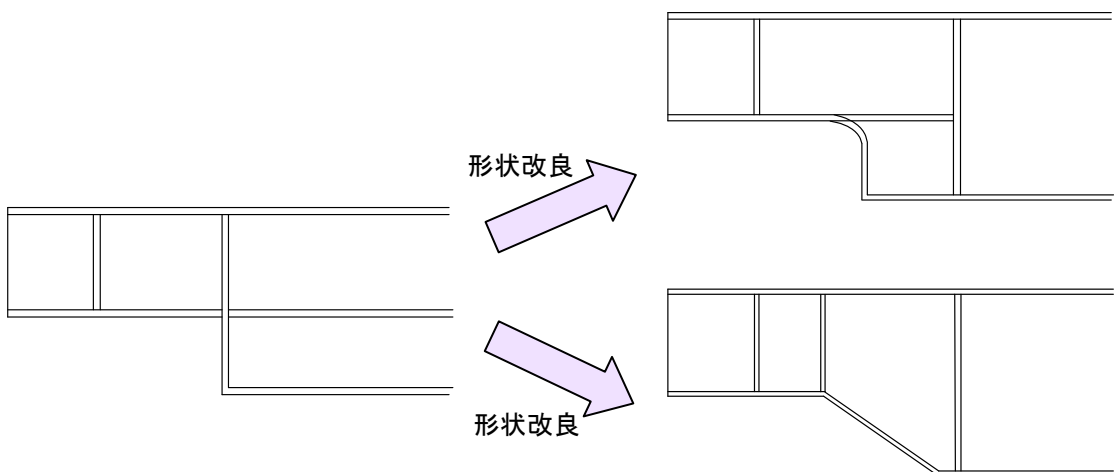





## ⑤ 形状改良工


目的	活荷重による応力集中による疲労亀裂等の劣化が懸念される場合(劣化が発生した場合)、部材形状を改良することにより、応力伝達を円滑にし、応力集中を低減する。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材の格子点をなくす。</li> <li>2次応力伝達部材を設置する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガセット取り付け部、補剛材の回し溶接部等の溶接部の形状に起因する、応力集中により疲労亀裂等が想定される場合に選定する。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接止端部の形状をTIGによる処理等によって滑らかに改良する。</li> </ul>

イメージ





▲スカラップ施工状況

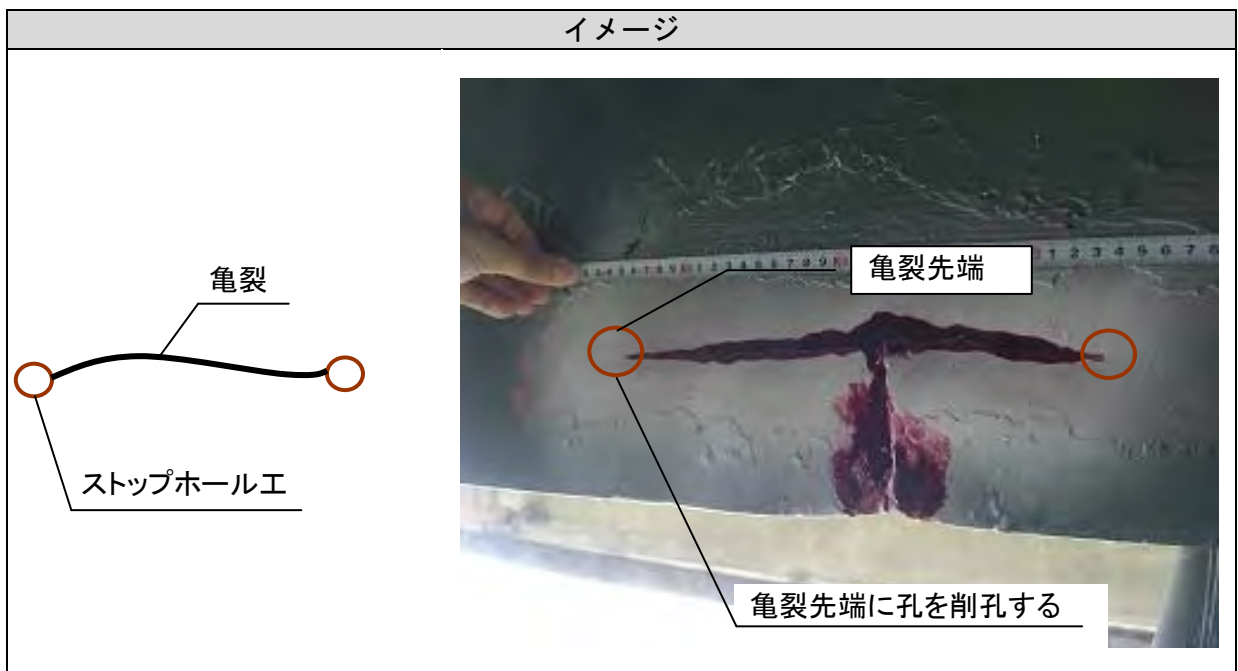


▲まわし溶接施工状況

## ⑥ ストップホール工

目的	疲労亀裂先端部の局部的に高い応力集中を解消し、亀裂の進展を一時的に防止する。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>亀裂の先端に丸い孔(ストップホール)を削孔することによって、亀裂先端部の応力集中を除去する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>本工法は応急対策として用いられることが多いが、亀裂の進展を抑止する工法として用いられる。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>ストップホールの削孔は、ドリルで行い、孔の周辺のばりはグラインダーで滑らかに仕上げる。(応力集中率の低減が主目的)</li> <li>削孔径はφ24mmが標準である。</li> <li>ストップホールを設けた後、補修までの期間が長い場合には、高力ボルトを挿入して締付けておくことで、亀裂の進展をある程度抑制できる。</li> </ul>

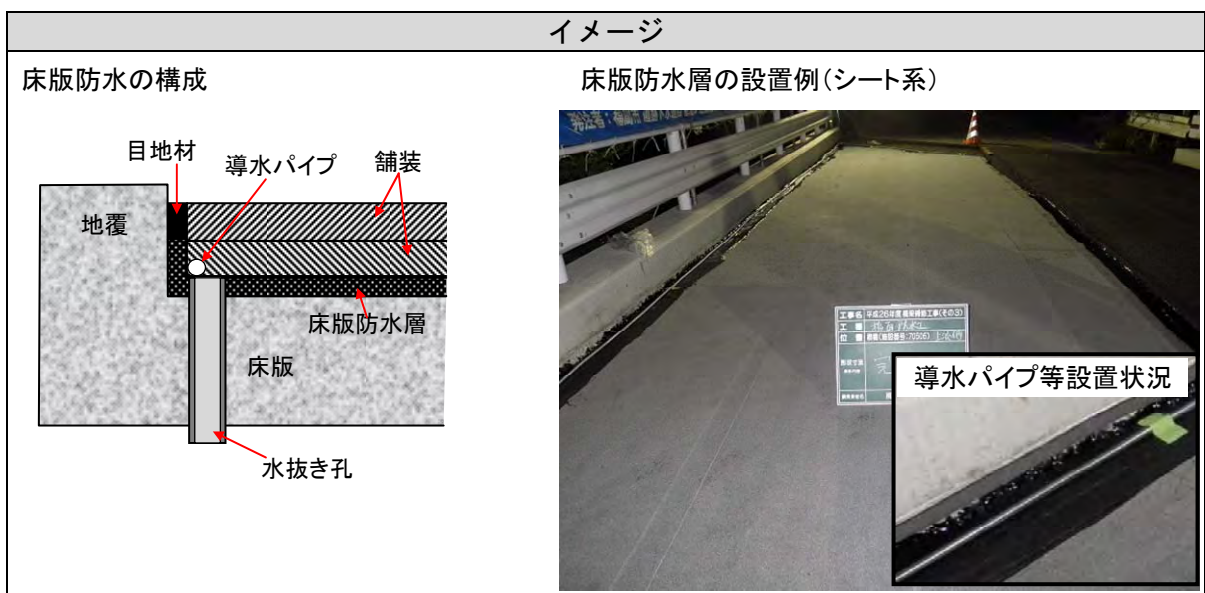
作業手順	作業内容
<b>Step 1</b> 事前準備	・ストップホールを設ける位置の確認
<b>Step 2</b> 孔明け	・ドリルによる孔明け
<b>Step 3</b> 空ボルト締付け	・所定の軸力で空ボルトを締付け



## ⑦ 橋面防水工

目的	舗装、床版上面からの雨水等の浸透を防止する。
工法概要	・ 舗装を切削し、防水シート敷設、または防水材の塗布を施し、舗装を復旧する。
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ほとんどの既設橋には橋面防水工が施工されていたため、床版面の滞水が床版内に浸透しないように、橋面防水工に加え導水パイプによる排水処理を施すことが効果的である。</li> <li>・ ただし、橋面からの漏水があまり見受けられず、劣化機構になっていない場合は、それぞれの橋梁で必要性を判断する。</li> <li>・ 床版防水層には、シート系と塗膜系があり、塗膜系には反応樹脂型等高機能のものもある。適用現場の床版、交通、道路構造、気象等の諸条件と、舗装補修時期や床版防水工の難易等を検討して最適な床版防水層を選定することが重要である。</li> <li>・ 鋼床版の場合は、橋面防水工を施工せずに、基層にグースアスファルト混合物を用いることもある。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 桁端部の伸縮装置からの漏水事例も多い。その場合は、橋面防水工に先立って伸縮装置取替え工を実施し、床版防水層を伸縮装置で確実に立ち上げること。</li> <li>・ その他、端部からの水の侵入を防止するため、地覆、歩車道境界部でも確実に立ち上げること。</li> <li>・ 改質アスファルトは施工後の微調整が難しいため、伸縮装置での擦り付けに留意すること。擦り付けに問題があった場合、再度切削を要することもある。</li> <li>・ 排水装置の変状が鋼材の腐食の原因となることもある。主桁に悪影響を及ぼす排水装置の変状は早期に補修することが望ましい。</li> </ul>

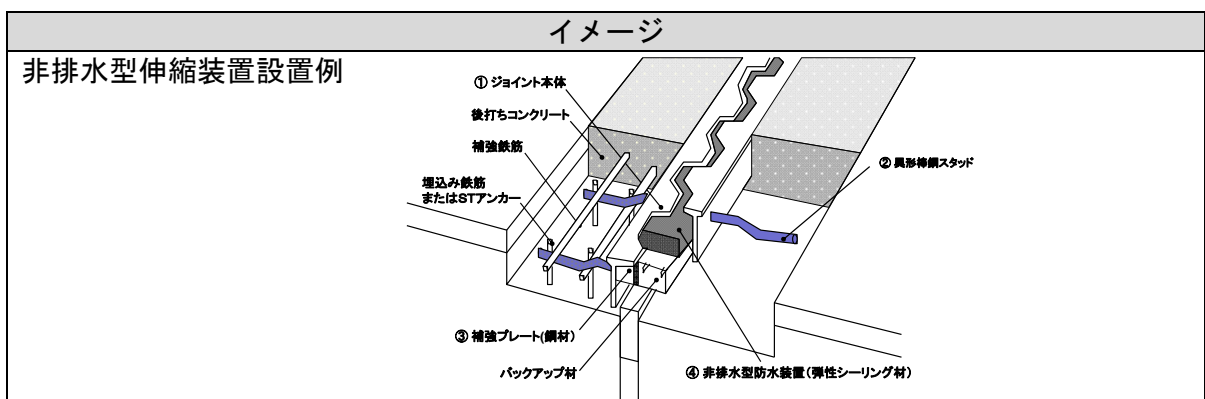
作業手順	作業内容
<b>Step 1</b> 舗装切削	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 舗装を切削する</li> <li>・ 床版を露出させる</li> </ul>
<b>Step 2</b> 床版劣化箇所の除去および断面修復	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 床版の劣化した部分は確実に除去し、断面修復する</li> <li>・ 鉄筋に断面欠損がある場合は、補強筋を設置する</li> </ul>
<b>Step 3</b> 床版防水工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ プライマー塗布</li> <li>・ 防水シート敷設または防水材の塗布</li> <li>・ 導水パイプ敷設</li> <li>・ 端部への目地材設置</li> </ul>
<b>Step 4</b> 舗装工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 舗装を復旧する</li> </ul>



## ⑧ 伸縮装置取替え工

目的	排水処理の改善、その他伸縮装置の劣化により、伸縮装置を取替える。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設伸縮装置を撤去し、新たに伸縮装置を設置する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>現況の遊間及び対象目地の伸縮量やたわみ量、交通量を考慮したうえで形式を選定する。</li> <li>劣化した伸縮装置と同タイプのもを設置するのみではなく、劣化原因と使用条件及びライフサイクルコストを勘案し、他のタイプに変更することも含めて検討する。</li> <li>排水処理に留意すること。(非排水型の適用 or 排水機構の明確化)</li> <li>伸縮装置の後打ちコンクリートは強度が高く、既設伸縮装置の撤去時に橋梁本体を非常に傷めることから、排水処理の改善のみでの伸縮装置取替えは可能であれば行わない方がよく、漏水状況を勘案し、他の対策で改善することができないか検討すること。</li> <li>既設伸縮装置には小型(幅 400mm、厚さ 75mm 程度)のものもあり、現在の既製品は小型のもので幅 700mm、厚さ 100mm 程度の製品しかなく、割高でも特注品を使用を検討する必要がある。既製品を使用する場合は、主桁や床版本体を取り壊さなければならず、工事着手後にはつり調査を行い設置が可能か確認しなければならない。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋面防水工と同時施工の場合は、伸縮装置で床版防水層を立ち上げることで、排水処理がより改善される。</li> <li>輪荷重によって疲労破壊が生じているコンクリート床版の端部が、伸縮装置の撤去に伴って抜け落ちてしまうことがあるため、伸縮装置補修の施工前に、床版裏面から床版の状態を調査する。</li> <li>拡幅を行った橋梁の縦目地については、古い方の橋梁の床版を無理にはつって伸縮装置を設置していることがある。床版厚や健全度に問題がある場合は、この部分を撤去し床版を打ち替える必要がある。</li> <li>跨線橋、跨道橋においては、第三者被害がないよう監視等を行う必要がある。</li> <li>既設伸縮装置の撤去時は、防音シートで養生し周囲には騒音が漏れにくいよう配慮しているが、騒音は橋梁の下方にも響くことに留意する必要がある、これを防止することは難しい。特に、跨線橋や跨道橋で周囲に民家がある場合は、入念に施工計画を立てなければならない。</li> </ul>

作業手順	作業内容
<b>Step 1</b> 事前調査	・床版裏面から床版の状態を調査する
<b>Step 2</b> 既設伸縮装置の撤去	・既設伸縮装置の撤去
<b>Step 3</b> 床版遊間内に型枠設置	・床版遊間内に型枠を設置する
<b>Step 4</b> 新伸縮装置設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新しい伸縮装置の設置</li> <li>・高さ調整、補強鉄筋の配筋・溶接</li> </ul>
<b>Step 5</b> 後打ちコンクリートの打設・養生	・伸縮装置設置後、後打ちコンクリートの打設・養生を行う



## ⑨ 排水、導水処理工

### I) 排水処理工

目的	河川上等で排水管を垂れ流しとする場合に、垂れ流した排水が下部工、主桁等の他の部材に掛かることのないようにする。
工法概要	・ 排水管を適当な位置まで十分伸ばす。
適用のポイント	・ 雨天、荒天時に排水状況を確認し、状況に応じた排水処理方法を検討する。
施工上の留意点等	・ 風によって排水が直下以外にも飛散する場合があります、特に支点付近で垂れ流す場合には、排水した水が風によって支点部に吹き込むことがないように注意すること。

#### イメージ

排水管垂れ流し部流末処理の例



### II) 導水処理工

目的	橋面から壁高欄や地覆の壁面を伝ってきた雨水等が床版下面や主桁に回り込み、長時間滞水することによる鋼材腐食を防止する。
工法概要	・ 床版の幅員方向端部の床版下面に水切りを設ける。
適用のポイント	・ 雨天時の水掛かり、漏水、滞水跡を確認し、状況に応じた導水処理方法を検討する。
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水切りには、床版下面にコンクリートで突起を設ける方法、イメージ写真のように山形鋼等を取り付ける方法(既設橋の場合)とV字の溝を設ける方法がある。</li> <li>・ V字の溝を設ける場合は鉄筋の被り不足によって鉄筋が腐食し、コンクリートにひび割れや剥離を生じてコンクリート片が落下することがあるので、その構造や施工には十分注意する必要がある。</li> <li>・ コンクリートの落下を防止するためにあらかじめメッシュ等の剥落防止工を施工しておく方法、水切りを非コンクリート材料で形成する方法等もある。これらについても落下等による第三者被害を及ぼさないことに注意が必要である。</li> <li>・ 滞水が見られる箇所は、ポリマーセメントモルタルや樹脂モルタルにより勾配を設け、速やかな導水を図る。</li> </ul>

#### イメージ

水切りの例



## ⑩ 支承取替え工

目的	支承を取替えることにより、耐久性、耐荷性、耐震性等の向上を図る。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支承以外の点で主桁や横桁をジャッキアップ仮受けし、既設支承を撤去する。</li> <li>・ ソールプレートの防錆処理を行い、新支承を設置する。</li> <li>・ 沓座モルタルが所定の強度に達した後、上部工反力を新支承に移す。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支承構造または型式は、支承条件や性能を十分把握した上で選定する必要がある。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変状原因が支承形式に起因する場合は、現在の形式ではなく、他形式に取替える。また、原因が支承形式に起因しない場合は、同形式に交換することを基本とする。</li> <li>・ 新支承と既設支承との支承高に留意し、支承形式を選定する。</li> <li>・ 支承取替えの際には、主桁または横桁を仮受けする必要があるため、ジャッキアップに抵抗できるよう応力を照査し、適宜仮受け用の補強を行う。</li> <li>・ 支承の前面で仮受けする場合には、仮受けする位置の橋座縁端を拡幅する必要があるため、下部工のせん断耐力照査を行う。</li> </ul>

作業手順	作業内容
<b>Step 1</b> 補強材設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設部材を極力傷つけないよう、補強材を設置する</li> </ul>
<b>Step 2</b> 仮受け台設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水平性を保ちつつ仮受け台を設置する</li> </ul>
<b>Step 3</b> ジャッキアップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支承反力、ジャッキアップ量を観測しながら、反力の付け替えを行う</li> <li>・ 桁の水平移動に注意する</li> </ul>
<b>Step 4</b> 既設支承撤去	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 下部工天端を切削する</li> <li>・ 既設の支承を撤去する</li> </ul>
<b>Step 5</b> 新設支承据付	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新設の支承を据付する</li> <li>・ 所定の支承高を確保する</li> </ul>
<b>Step 6</b> 沓座コンクリート打設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 空隙が生じないように沓座コンクリートを打設する</li> </ul>

### イメージ



取替え前



取替え完了

## (2) コンクリート部材

### 1) 補修工法の組合せ例

コンクリート部材の劣化については、図 9-5 のように一般的に要因が一つではなく複数の要因により、劣化機構が複合化することが多い。

補修工法の適用においては、想定される橋梁の劣化機構を特定し、対策方針を明確にした上で適時・適切な補修工法をを組合せて適用することとなる。

その他、施工性や経済性等で優れる工法があれば採用することが出来るものとする。

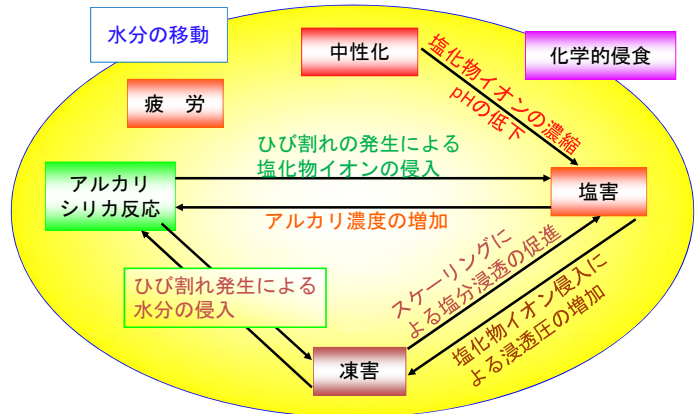


図 9-5 複合劣化として生じる大きな可能性の組合せ

コンクリート部材における補修工法の組み合わせ例を図 9-6 に示す。

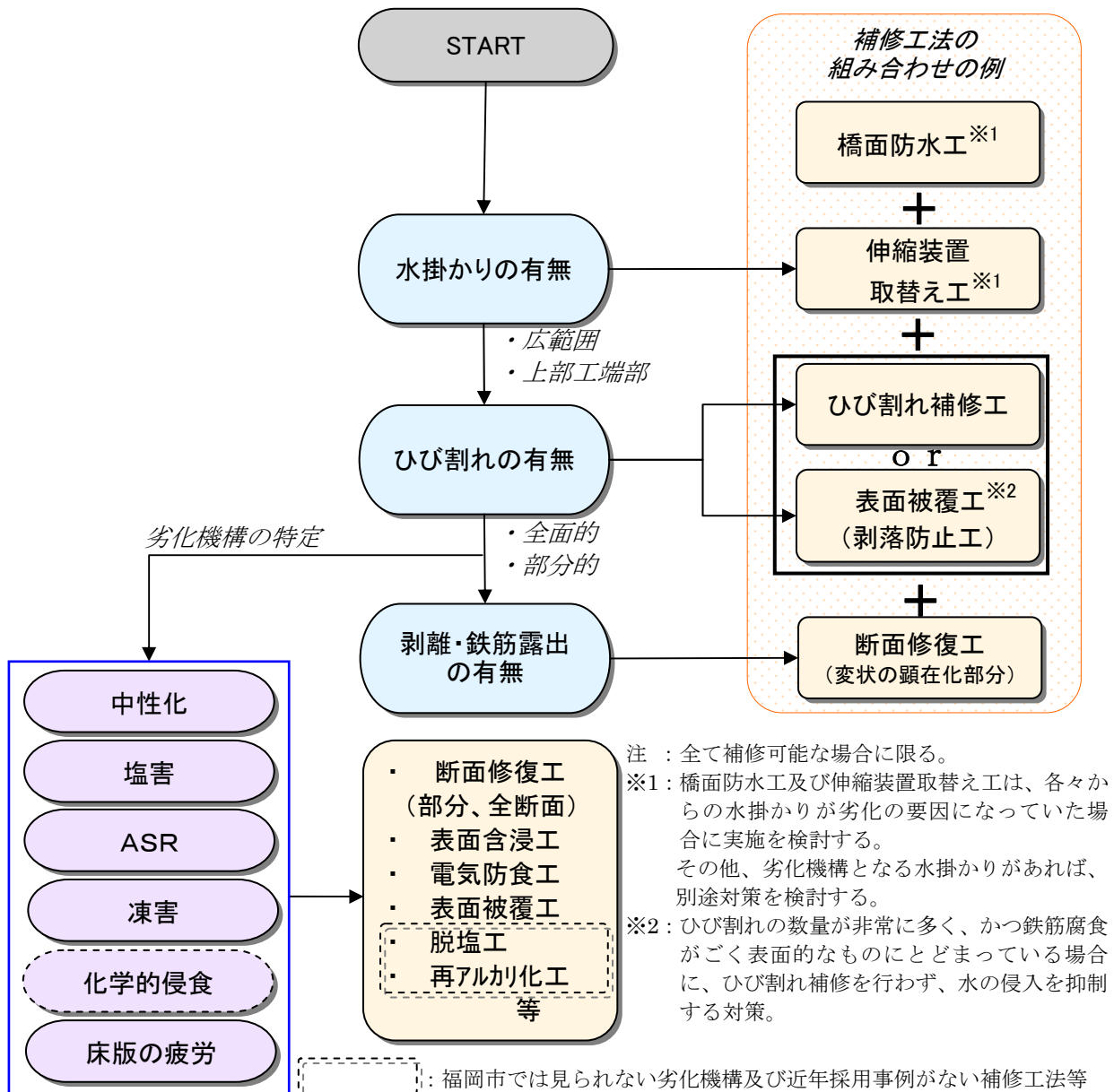
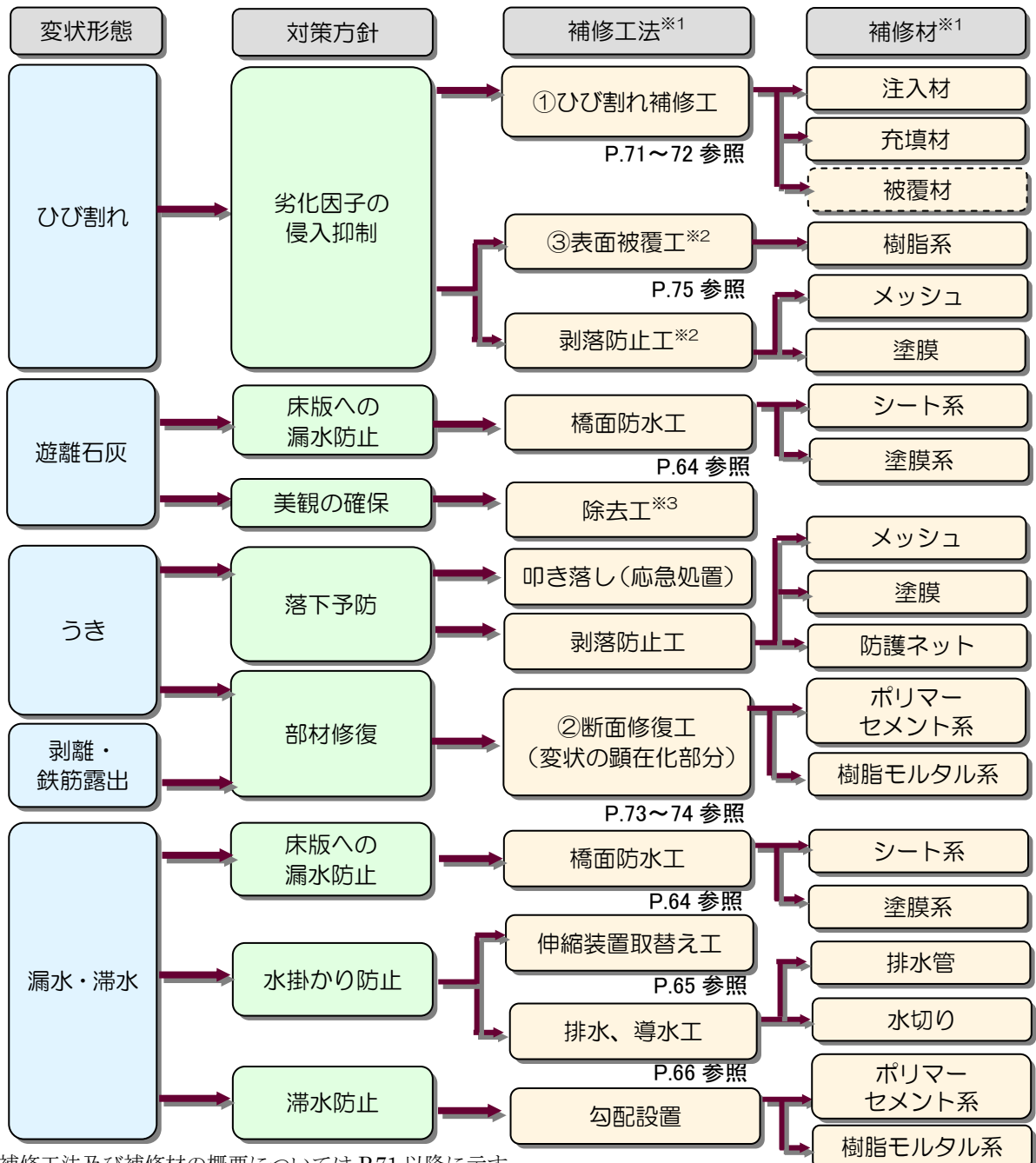


図 9-6 コンクリート部材における補修工法の組み合わせ例

## 2) コンクリート部材の補修工法選定

コンクリート部材における基本的な補修工法選定の流れを図 9-7 に示す。  
また、参考として図 9-8 に耐荷力向上（補強）対策を示す。



※1：補修工法及び補修材の概要については P.71 以降に示す。

※2：ひび割れの数量が非常に多く、かつ鉄筋腐食がごく表面的なものにとどまっている場合に、ひび割れ補修を行わず、水の侵入を抑制する対策。第三者影響度により剥落防止工を採用することもある。

※3：遊離石灰でひび割れが詰まっている箇所は、劣化因子の侵入が少ないことから、ひび割れ補修は行わない。

：福岡市では近年採用事例がない補修工法等

図 9-7 コンクリート部材の補修工法選定

### 参考 耐荷力向上対策

劣化により耐荷力向上が必要な場合は、以下の工法がある。

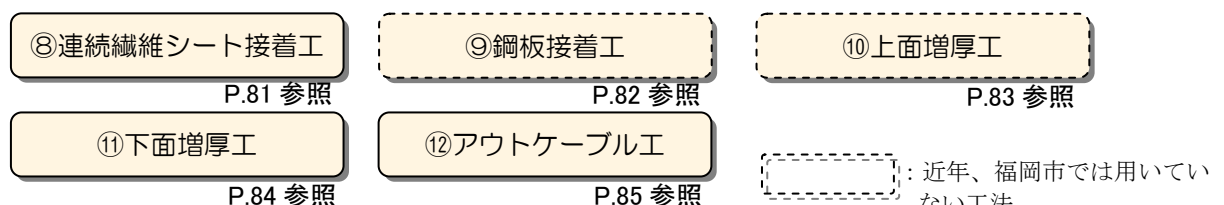
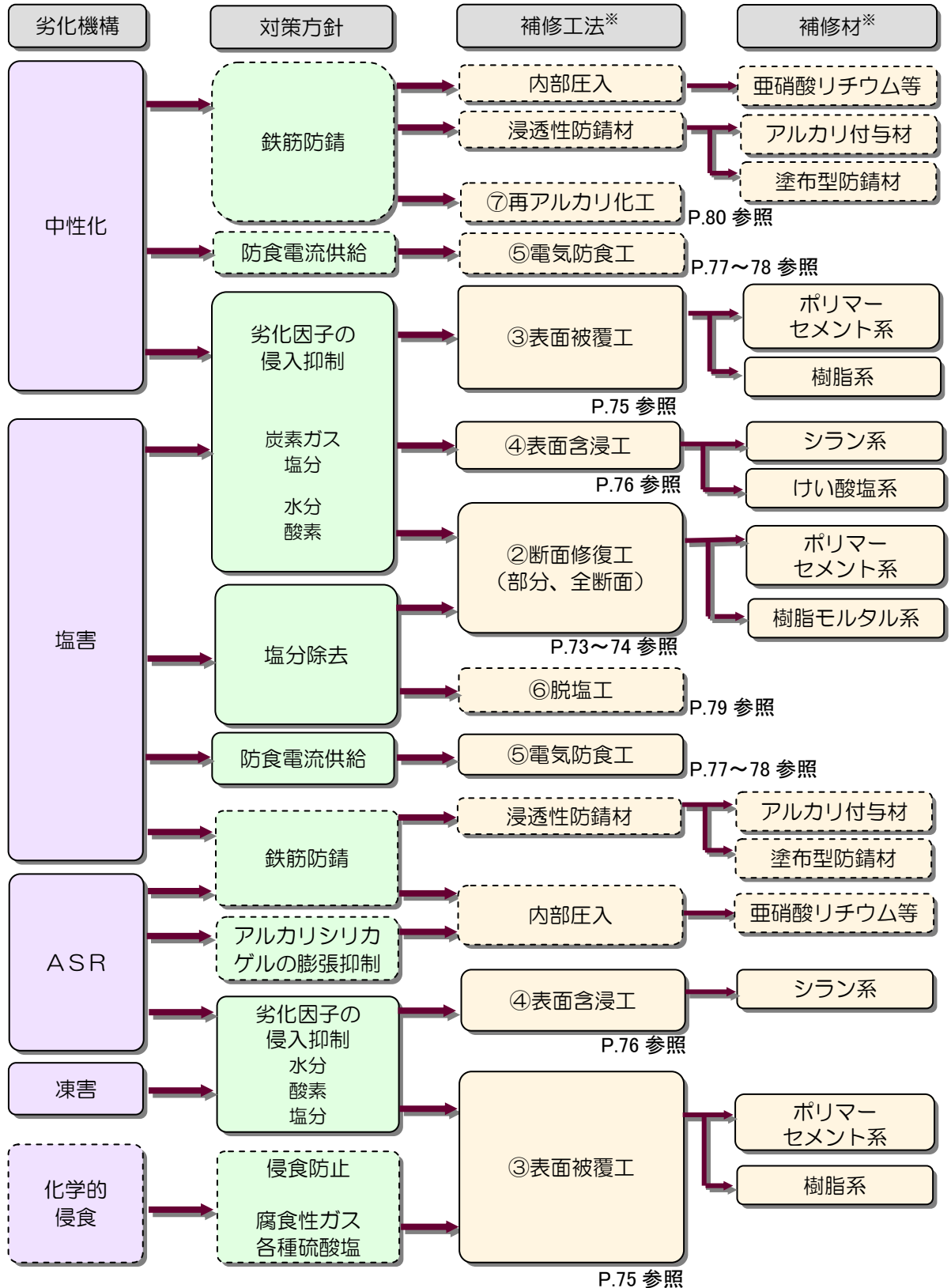


図 9-8 耐荷力向上のための工法



### 3) コンクリート部材の劣化機構による補修工法選定

図 9-9 に示す劣化機構別の補修工法は、他の変状を勘案し、前頁の工法と組み合わせることにより補修を行う。



※：補修工法及び補修材の概要については P.76 以降に示す。

：近年、福岡市では講じていない対策方針等

図 9-9 コンクリート部材の劣化機構による補修工法選定



## ① ひび割れ補修工

目的	ひび割れからの劣化因子の侵入を防止し、耐久性を向上させる。
----	-------------------------------

### I) ひび割れ注入工

工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れの中に樹脂系あるいはセメント系の注入材を圧入し、雨水等の侵入を防止し、防水性、耐久性、断面の再形成を行う工法である。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>幅の小さいひび割れに適用すると注入材の注入が困難になり、幅の大きいひび割れに適用すると注入材料の充填状況の管理等が困難となる。注入材料の特性や注入方法により適用できるひび割れ幅は異なるが、経済性等を考慮し0.2～0.5mmのひび割れに適用している。ただし、現場状況に応じて、この幅に適合しなくてもひび割れ注入工を行うこともある。</li> <li>確実にひび割れの中に注入させるためには、ゆっくりとした速度で低圧で注入することが重要である。低圧低速注入には注入方法や器具等の違いにより、ゴム圧による注入や圧縮空気による注入、スプリングによる注入等の方法がある。</li> <li>比較的弾性係数が大きく、追従性が小さい材料を、進行性のひび割れに適用すると、ひび割れ幅の拡大に追従できなくなるので注意が必要である。</li> <li>注入材の特徴を熟知し、施工条件により適合した材料を選定しなければならない。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>エポキシ樹脂注入材は、             <ul style="list-style-type: none"> <li>i) コンクリートやモルタルとの接着性に優れている、</li> <li>ii) 躯体との一体化を図ることができる、</li> <li>iii) 性状が、低粘度なもの、幅の広いひび割れでも注入材が流下しないように揺動性を付与したもの、伸び率が大きい性能を有するもの等、種類が豊富である、</li> <li>iv) 品質が JIS に規定されている、</li> <li>v) 耐久性は、実構造物の追跡調査から、約 30 年が確認されている、</li> <li>vi) 注入箇所が漏水や湿潤状態にあると、接着不良を起こす可能性があるため、性能が確認された湿潤面用注入材を用いなければならない、</li> <li>vii) 低温では硬化しにくいいため、低温施工に対しては要注意である、</li> </ul>             等の特徴を有している。           </li> <li>進行性のひび割れの場合は、可とう性エポキシ樹脂の使用を検討すること。</li> <li>セメント系及びポリマーセメント系の注入材は、             <ul style="list-style-type: none"> <li>i) エポキシ樹脂注入材に比較して安価である、</li> <li>ii) 熱膨張率がコンクリートに近い、</li> <li>iii) 湿潤箇所に適用できる、</li> <li>iv) 鉄筋に対する防錆効果がある、</li> <li>v) 注入箇所が乾燥状態にあると、注入途中で目詰まりを起こしてしまうため、注入材を注入する前に、水を注入する等して湿潤状態にすることが必要である、</li> </ul>             等の特徴を有している。           </li> <li>エポキシ樹脂は細かいひびわれにも浸透し、ポリマーセメントより接着性が高い。</li> <li>注入が確実に行われているかの確認はコアを抜くしかなく、躯体を傷めることから行っておらず、所定の施工量を施工しているかを現場で立会するにとどまっている。</li> </ul>

作業手順	作業内容
Step 1 ひびわれ部の清掃	・ひびわれ部の清掃を行う
Step 2 注入用パイプ設置	・躯体の表面から注入する場合は、表面に注入用パイプや治具を設置する ・躯体の内部から注入する場合は、注入孔を削孔してその内部を圧縮空気ですみ取り、注入用の治具を設置する
Step 3 ひび割れ面シール	・注入孔と注入孔の間のひび割れ部をシールする
Step 4 注入	・シール材が硬化したら注入器具を用いてひび割れ内部に注入する
Step 5 パイプ・シール材撤去	・注入が完了したら、注入用のパイプや治具、シール等を撤去する



## II) ひび割れ充填工

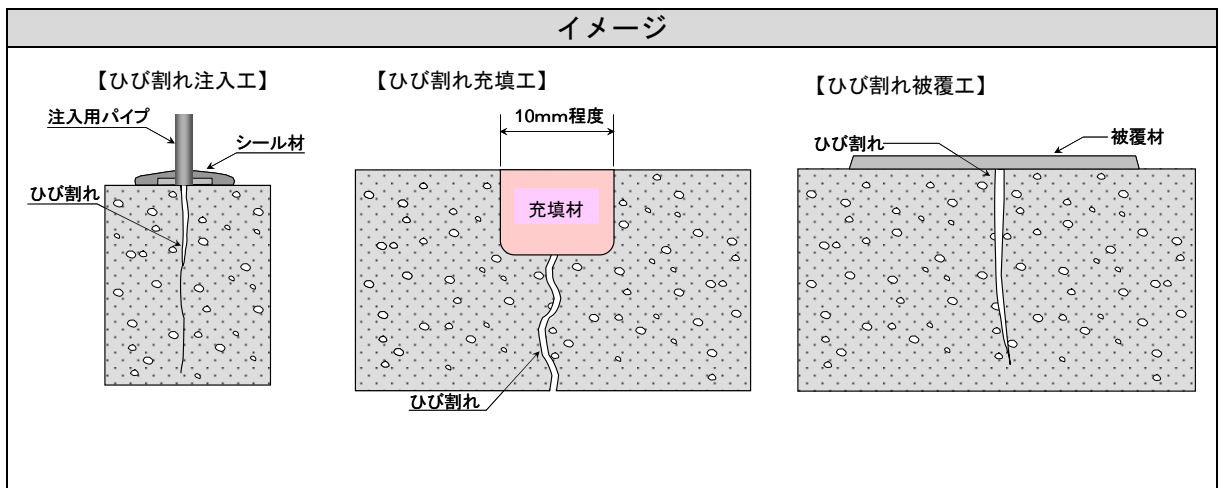
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れに沿って約 10mm の幅でコンクリートを U または V 形にカットした後、このカットした部分に補修材を充填する工法である。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.5mm 以上の比較的大きな幅のひび割れに適用する。ただし、現場状況に応じて、この幅に適合していても、他の工法を採用することもある。</li> <li>ひび割れが鉄筋が腐食による場合は、断面修復工を行う。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れに動きがある場合、ウレタン樹脂やシリコン樹脂等のシーリング材(目地材)や可とう性エポキシ樹脂等、変形追従性の大きな材料を充填する。</li> <li>動きがない場合には、ポリマーセメントモルタルを充填することもあるが、温度変化等によりひび割れが開閉することに留意する必要がある。</li> <li>V 形は充填材の脱落が懸念されるため、U 形を多く採用している。</li> <li>ひび割れからの漏水が著しい場合は、別途対策を検討する必要がある。</li> </ul>

## II) ひび割れ被覆工

工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>微細なひび割れの上に、ひび割れ追従性に優れた表面被覆材や目地材等を塗布する工法である。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ幅が狭く(一般に幅 0.2mm 未満)、注入材料を注入することが困難な場合にひび割れ部分だけを被覆するもので、防水対策等において採用される工法である。</li> <li>幅 0.2mm 未満のひび割れは、劣化因子の侵入が著しくないと考えており、通常ひび割れ被覆工は採用していない。</li> <li>コンクリート全体の劣化因子の遮蔽性能を向上させる場合は、他の工法を検討する。</li> </ul>

## II) その他

工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れに対するその他の補修工法としては、PC 鋼材で締め付ける工法や、表面含浸工等がある。</li> </ul>
------	--

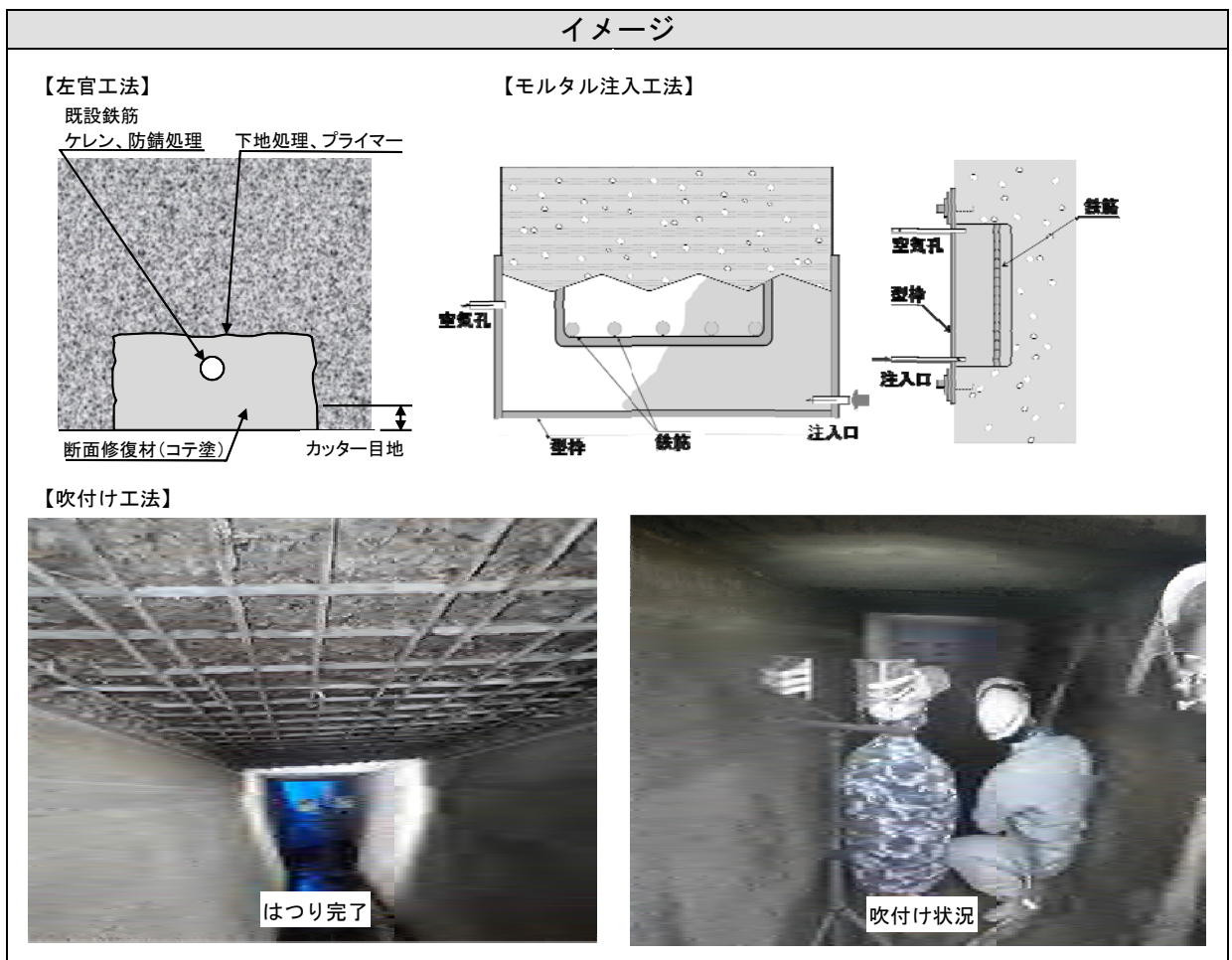


## ② 断面修復工

目的	コンクリート部材が劣化により元の断面を喪失した場合の修復や、中性化、塩化物イオン等の劣化因子を含む被りコンクリートを撤去した場合の修復を目的とした工法である。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化した部分や劣化因子を含むコンクリートを予め切除去し、必要に応じて補強鉄筋などを設けた上でモルタルなどを打設し、修復する。</li> <li>修復には、一般に、プライマーあるいは鉄筋防錆等の下塗り、断面修復材による欠損部充填の2工程で実施される。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工条件や補修規模により、左官工、モルタル注入工、コンクリート充填工、吹付け工(湿式、乾式)で実施される。</li> <li>断面欠損が比較的小さく、修復深さが比較的浅い(5cm未満)場合には、左官工が適用される。</li> <li>補修面積が比較的大面積の場合は、モルタル注入工、コンクリート充填工、吹付け工が用いられる。</li> <li>断面修復材に要求される性能は、修復部材、環境条件、施工法等によりさまざまであるが、一般的には、             <ol style="list-style-type: none"> <li>圧縮、曲げ及び引張強度等が既存コンクリートと同等以上であること、</li> <li>熱膨張係数、弾性係数及びポアソン比等が既存コンクリートと同等であること、</li> <li>乾燥収縮が小さく、接着性が高いこと、</li> <li>現場施工であるため作業性が良いこと、</li> </ol>             等が要求される。           </li> </ul>
材料の種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>プライマー及び鉄筋防錆材             <ol style="list-style-type: none"> <li>有機系プライマー: 溶剤型エポキシ樹脂、水性アクリル樹脂等</li> <li>ポリマーセメント系プライマー: ポリマーセメントペースト</li> <li>表面含浸材(コンクリートのみ): けい酸塩系表面含浸材等</li> <li>錆転換塗料(鉄筋部のみ): リン酸、有機酸、キレート化剤等を配合した塗料</li> <li>亜硝酸リチウム等</li> </ol> </li> <li>断面修復材 材料の種類は次のとおりであるが、補修断面の大きさ、打継ぎ方向、早強性の要否、施工方法等の条件により、それぞれの用途に合わせた専用材料となっている。特に、ポリマーセメント系については、亜硝酸リチウムやアミノアルコール系の防錆剤を添加したものや、塩化物イオン(<math>\text{Cl}^-</math>)やアルカリ金属イオン(<math>\text{Na}^+</math>、<math>\text{K}^+</math>)等の有害物質を吸着する特殊混和材を添加したもの等、劣化機構に応じて種々の機能性材料が開発されている。             <ol style="list-style-type: none"> <li>ポリマーセメント系: ポリマーセメントモルタル及びコンクリート、ポリマーセメントモルタルを使用したプレパックドコンクリート等</li> <li>樹脂モルタル系: 軽量エポキシモルタル、メタクリルモルタル、ポリエステルモルタル等</li> </ol> </li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋が著しく腐食している場合には、添え筋を行ったり、新しい鉄筋との取替えも行わなければならない。その場合、鉄筋の重ね継手長を確保するため、ある程度健全な部分まではつり取りラップさせなければならない。</li> <li>ポリマーセメントモルタルは、中性化に対して効果的で、湿潤状態での施工が可能である。</li> <li>コンクリートは安価で、湿潤状態での施工が可能であるが、収縮ひび割れによる再変状が発生しやすい。</li> <li>エポキシ樹脂モルタルはポリマーに比べて高価であるが、付着性に優れるため比較的薄層(6~12mm程度)の断面修復に適する。</li> <li>脆弱部が残るとその影響で修復部分が剥がれやすくなるため、劣化部のはつり、はつり面の処理、鋼材の防錆処理は確実に行う。</li> <li>はつり作業の衝撃で、補修部の境界でコンクリートが局所的に浮くことがあるので、その後の作業の前に確認し、うきが新たに発生した場合は、補修範囲を広げる必要がある。</li> <li>鉄筋腐食が著しい場合、既にうき、鉄筋露出が顕在化している部分より広範囲に鉄筋腐食が進行しているため、補修範囲決定に留意する必要がある。</li> <li>補修部と未補修部の境界部でのマクロセル腐食発生の観点からも、補修範囲や材料の選定に留意しなければならない。</li> </ul>



作業手順	作業内容
<b>Step 1</b> 劣化コンクリート除去	<ul style="list-style-type: none"> <li>補修箇所、範囲を定め、フェザーエッジ防止のため補修部の境界は表面に対し約 90° に切断する</li> <li>必要に応じてコンクリートを鉄筋の裏側まではずり取る</li> </ul>
<b>Step 2</b> 既存コンクリートの表面処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面を成形する（補修材との噛み合せに必要な粗さにする）</li> <li>表面の正常でない部分を除去する（剥離などが見られる場合）</li> </ul>
<b>Step 3</b> 鉄筋の補修	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の補修を行う（一般的に断面欠損が 25% 以上の場合） <ul style="list-style-type: none"> <li>i) 必要なラップ長を加えた新しい鉄筋を、腐食した部分の鉄筋に沿わせて置く</li> <li>ii) 腐食した部分の鉄筋を切断除去し、新しい鉄筋を機械的に継ぎ、腐食している鉄筋を完全に取替える</li> </ul> </li> </ul>
<b>Step 4</b> 既存コンクリート表面プライマー塗布 鉄筋ケレン、防錆処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート表面にプライマーを塗布する（表面の細孔の汚れは付着強度低下に影響するため、入念に清浄）</li> <li>鉄筋をケレンし、防錆処理を行う</li> </ul>
<b>Step 5</b> 断面修復	<ul style="list-style-type: none"> <li>所定の材料で断面を修復する（工法例） <ul style="list-style-type: none"> <li>左官工法</li> <li>モルタル注入工法</li> <li>吹付け工法 等</li> </ul> </li> </ul>



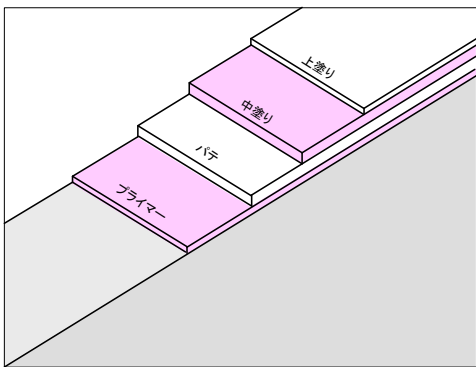
### ③ 表面被覆工



目的	コンクリートの劣化原因となる水分、炭酸ガス、酸素、塩分等を遮断して、劣化進行を抑制し、耐久性を向上させる。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリート表面を樹脂系やポリマーセメント系の材料で被覆する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外気との遮断を目的としているため、劣化の根本的対策工ではないことに留意し、下地コンクリートに劣化がある場合は、断面修復工等を先行して行う。</li> <li>・ ひびわれ追従性、湿潤環境、水通過阻止性、遮塩性、コンクリートとの付着性、耐アルカリ性、耐候性、外観等について総合的に検討し、劣化機構(中性化、塩害、アルカリシリカ反応、凍害、化学的浸食)に応じて材料を選定する。</li> <li>・ 材料の耐久性、再改修のサイクル、再改修のしやすさとその方法、経済性(ライフサイクルコスト)等も考慮して選択しなければならない。</li> <li>・ 被覆材の耐用年数は、一般に 10~20 年といわれる。</li> <li>・ コンクリート表面が覆われるため、その後の追跡管理が困難になるが、近年では透明な製品も開発されている。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 表面被覆工は、一般にコンクリート内部の湿気が外に出ないため、上部からの水の内部浸透を防ぐ防水工を必ず施すこと。</li> <li>・ ポリウレタン系、フッ素系材料は耐候性、速乾性に富むため、主として上塗り材料に用いられる。</li> <li>・ ゴム系材料は柔軟性に富むため、ひびわれの追従性に優れるが施工性が悪い。</li> <li>・ 気温が 5℃以下で湿度 85%以上の時は、被覆材とコンクリートとの付着性が低下するため、作業を行わない。</li> </ul>

作業手順	作業内容
Step 1 前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断面修復(劣化部を除去し、断面を復旧する)</li> <li>・水処理(漏水している箇所の止水、導水処理)</li> </ul>
Step 2 下地処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化層除去</li> <li>・凸部の平滑化(凸部を削り取る)</li> </ul>
Step 3 プライマー塗布	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プライマー塗布</li> </ul>
Step 4 不陸修正	<ul style="list-style-type: none"> <li>・凸部の平滑化</li> <li>・施工面の平滑化(パテ工による凹部の平滑化)</li> </ul>
Step 5 表面被覆材の施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面被覆材の施工(工法例)</li> <li>・塗装工法</li> <li>・シート工法</li> <li>・塗布工法 等</li> </ul>

#### イメージ

・表面被覆工法の施工例

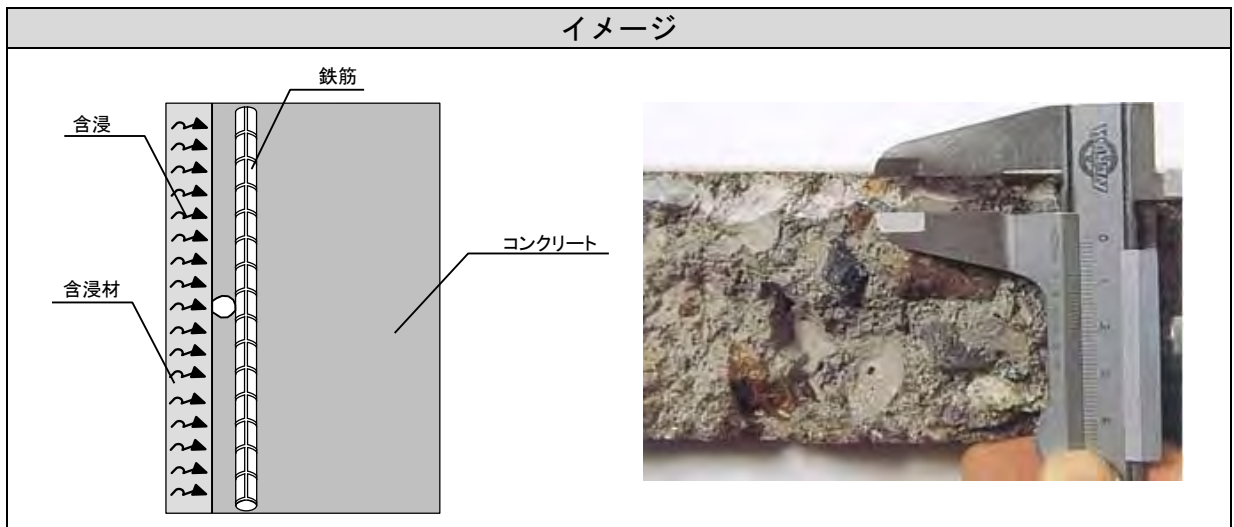


#### ④ 表面含浸工

<p>目的</p>	<p>コンクリート表面に表面含浸材を含浸させることにより、中性化、塩害、アルカリシリカ反応等の劣化因子の侵入を抑制する。</p>
<p>工法概要</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリート表面をはつり、ケレン・洗浄・清掃等の下地処理を十分に行い、十分な乾燥を行った後、ローラー刷毛塗り、刷毛塗り、吹付け等により表面含浸材を含浸させる。</li> </ul>
<p>適用のポイント</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 劣化因子の侵入抑制を目的としているため、劣化の根本的対策工ではないことに留意し、下地コンクリートに劣化がある場合は、断面修復工等を先行して行う。</li> <li>・ 一般に含浸材の浸透は表面近傍に限られ、また、既存コンクリートの状態等の影響を受けやすい。</li> <li>・ けい酸ナトリウムやけい酸リチウム等のけい酸塩系含浸材はコンクリートの組織を緻密化し、改質する効果があり、防水性やガス透過阻止性が上がることから、中性化の進行抑制に効果がある。中性化がある程度進んでいる場合は、アルカリ付与剤も必要となる。</li> <li>・ シラン系表面含浸材は、表層部に吸水防止層を形成し、防水性や遮塩性が上がることから、塩害の進行抑制が必要な構造物や水掛かり箇所へ適用されることが多い。しかし、一般的に中性に対する適応性は低い。</li> <li>・ 劣化因子の遮断効果及び耐用年数は、一般的に表面被覆工に比べて劣ると言われているが、表面被覆工のようにコンクリート表面に被膜層を設けないため、構造物の外観を変えることがなく、以後のモニタリングが容易であるという利点もあり、適用される事例が増えている。</li> </ul>
<p>施工上の留意点等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 含浸深さは用いる含浸材の性質と既存コンクリートの空隙量や、ひび割れの状態あるいは使用材料、配合や中性化の程度などから決まる。</li> <li>・ 塗布時及び養生時のコンクリート面は、含浸材の性質にしたがい、乾燥または湿潤状態にて行う。</li> <li>・ 含浸材が浸透しているかどうかの確認は難しく、所定の回数及び施工量の現場立会を行うにとどまっている。</li> </ul>

#### イメージ



## ⑤ 電気防食工

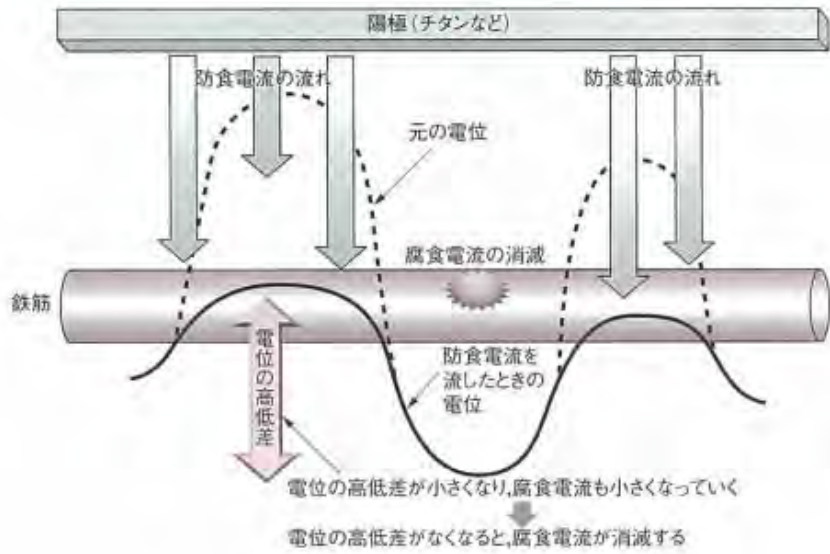
目的	コンクリート中の鉄筋に電流を流すことで、腐食の原因となる鉄筋の腐食反応を停止させる。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気化学的補修工の一種で、コンクリートの表面に陽極となる材料を設置し、コンクリート中の鋼材を陰極とし防食電流を供給することによって、鉄筋表面におけるアノード反応を停止させる。</li> <li>陽極システムは、外部に電源を設け、強制的に電流を流し続ける外部電源方式と、内部鋼材よりイオン化傾向の大きい亜鉛等の金属を陽極材(電気化学的犠牲材料)として鋼材と導通させることにより防食電流を確保する流電陽極方式の2種類に大別することができる。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>塩害、中性化などによって、コンクリート内の鉄筋が腐食領域にある場合に用いられる。</li> <li>基本的に劣化段階を問わず適用できるが、構造物の劣化状況、立地条件、環境条件、鋼材腐食状況、コンクリート中の塩化物イオン量、中性化深さ等を調査し、適用の可能性を判断する。主に著しい塩害環境にある場合に適用される。</li> <li>費用が高く工事也大掛かりとなるため、通常の防食では不十分な特殊な場合に限り採用される。</li> <li>流電陽極方式は、断面修復工を行う際に、マクロセル腐食等による再劣化防止の観点から用いられることもある。</li> <li>耐用年数は、下記のとおりである。 <ul style="list-style-type: none"> <li>i)外部電源方式…40年程度(ただし、配線、モニタリング装置は20年程度)</li> <li>ii)流電陽極方式…面状陽極は外部電源方式と同程度 点状表極は15年程度(ただし、大容量の製品は30年程度) PC橋では深くはつれないことが多いことから薄型な製品、RC橋では大容量の製品が有効である。</li> </ul> </li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートにひび割れや剥離が生じている場合には、ポリマーセメントモルタル等でひび割れ注入および断面修復を行い、短絡を防ぐ。</li> <li>断面修復を行う際は、コンクリートと同程度の電気抵抗の材料を使用する。</li> <li>絶縁性の物質で表面被覆がなされている場合にはこれを除去する。</li> <li>外部電源方式は、電源装置等の防食システムが効果的に稼働しているかを確認するために、定期的な保守点検が必要となる。具体的には、電源の作動状況、発生電流量、陽極材の消耗程度等を確認する。更に、コンクリート中の鋼材の電位測定及び復極量試験を行い、防食効果を確認する必要がある。</li> <li>流電陽極方式は、保守点検が必要ないものの、電気化学的犠牲材料が消耗することから、設置後の劣化因子の侵入状況によっては、耐用年数期間内に再設置を行わなければならない。</li> </ul>

作業手順	作業内容
<u>Step 1</u> 劣化コンクリート等の除去	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化コンクリート除去(剥離、豆板、ひびわれ等)</li> <li>コンクリート表面金属除去</li> <li>防水処理</li> </ul>
<u>Step 2</u> 陽極設置面の下地処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>下地処理 (コンクリートと陽極被覆材の付着性を向上させるため、ブラスト処理等を行う)</li> </ul>
<u>Step 3</u> 陽極の設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>陽極の設置(各陽極の方式に応じ設置する) (陽極方式の例) チタンメッシュ方式、導電塗料方式、チタングリッド方式、内部挿入陽極方式、亜鉛シート方式、溶射方式</li> </ul>
<u>Step 4</u> 端部処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>端部の防水処理</li> </ul>



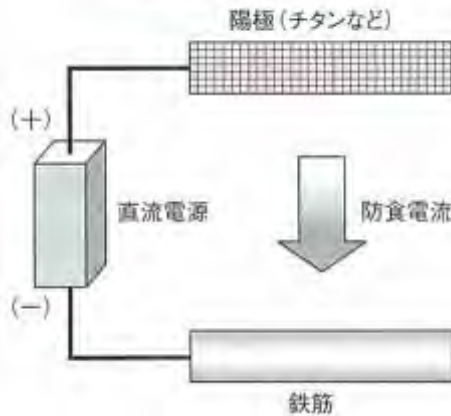
# イメージ

## 電気防食工の原理

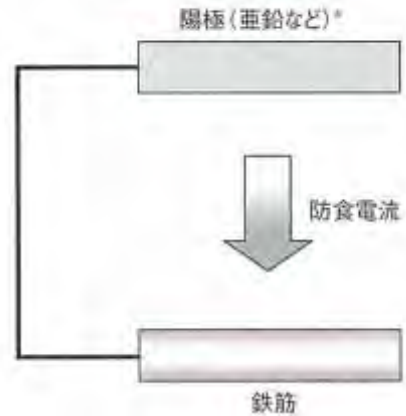


## 電気防食工の分類

### 外部電源方式

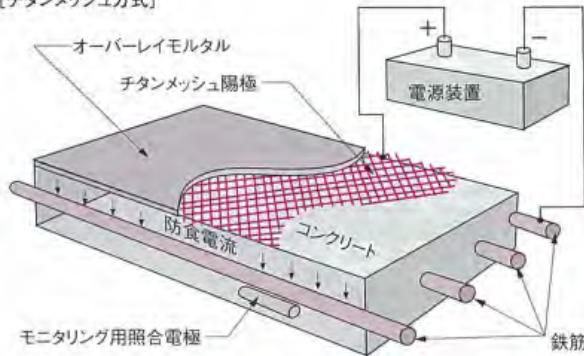


### 流電陽極方式

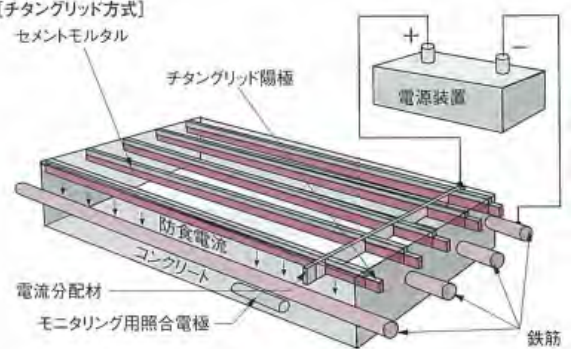


## 外部電源方式の例

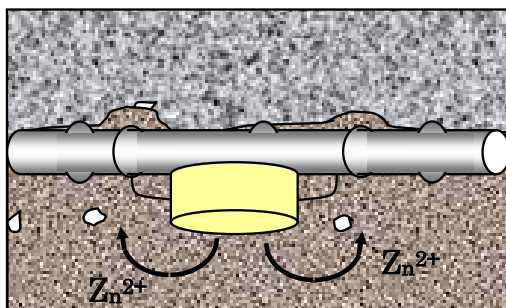
[チタンメッシュ方式]



[チタングリッド方式]



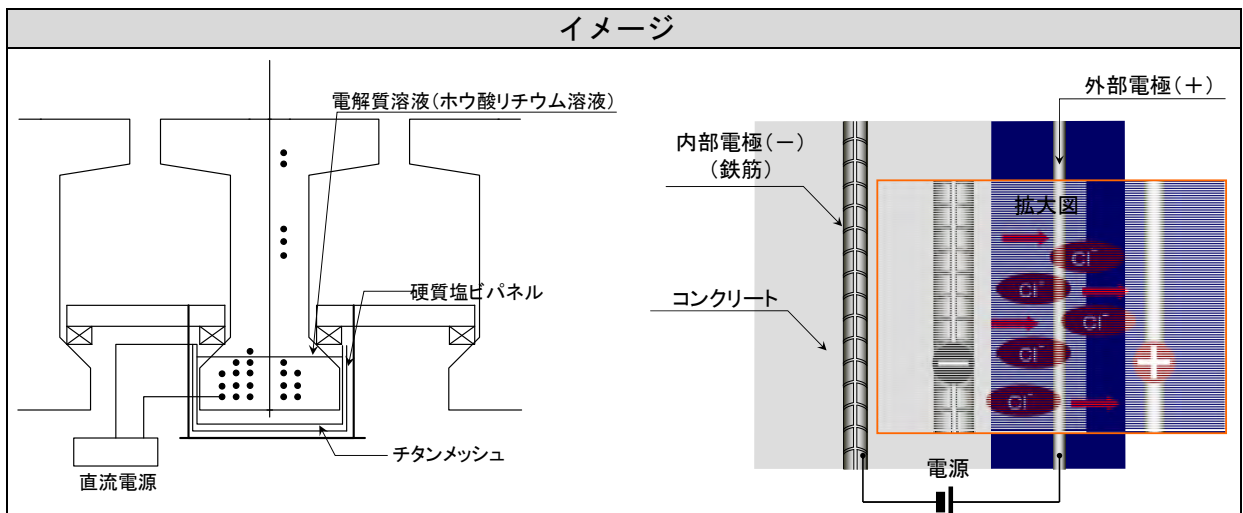
## 流電陽極方式の例



## ⑥ 脱塩工

目的	鋼材の腐食の原因となる塩化物イオンをコンクリート内から除去する。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気化学的補修工の一種で、コンクリート構造物の表面に水酸化カルシウムやホウ酸リチウム等の電解質溶液と陽極材を仮設し、直流電流を一定期間流すことにより、コンクリート中の塩化物イオンを電気泳動させて、コンクリート外へ排出する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>本工法は、鉄筋位置の塩分濃度が発錆限界以上に到達している場合、または放置した場合に濃度増加が予想される場合に適用する。</li> <li>塩害の進んだコンクリートの劣化部分を取り除いて断面修復する工法が適当でない場合に有効な工法である。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面に絶縁表面保護工が施されている場合、コンクリート面が湿潤な場合、ボルト等導電流物質が露出している場合は適用できないため、事前に電氣的障害箇所を処理しなければならない。</li> <li>将来外部からの塩化物イオンの侵入がある場所は、仮設陽極材撤去後に、必要に応じて表面被覆工等と併用することが望ましい。</li> <li>PC 構造物に適用する場合には、PC 鋼材の水素脆性が懸念されるため、事前の検討に基づく通電抑制等を行うことが重要である。</li> <li>塩害だけではなく、アルカリシリカ反応のおそれもある場合には、脱塩によって鋼材付近に陽イオンであるアルカリ金属イオンが集積するので、アルカリシリカ反応を促進させる危険がある。</li> </ul>

作業手順	作業内容
<b>Step 1</b> 調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前調査 (外観調査、鉄筋位置の把握、塩化物イオン含有量の測定)</li> </ul>
<b>Step 2</b> 事前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化コンクリート部の除去</li> <li>断面修復</li> <li>コンクリート表面の電氣的障害箇所を処理</li> </ul>
<b>Step 3</b> システム組み立て	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋ヘリード線を取り付け、導通を確認</li> <li>パネルの取り付け</li> <li>直流電源の設置、配線</li> <li>ポンプ、タンクの設置</li> <li>電解質溶液の供給</li> </ul>
<b>Step 4</b> 通電 (脱塩)	<ul style="list-style-type: none"> <li>通電処理</li> <li>処理効果の確認</li> </ul>
<b>Step 5</b> 撤去 現状復旧	<ul style="list-style-type: none"> <li>仮設物の撤去、復旧</li> </ul>



## ⑦ 再アルカリ化工

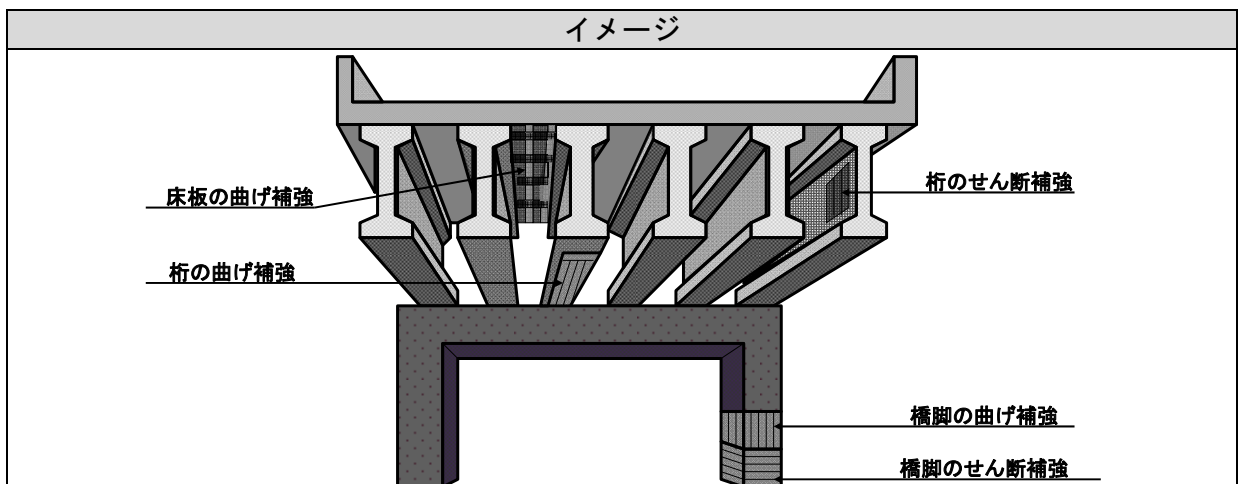
目的	中性化したコンクリート構造物を対象とし、コンクリート構造物の表面から炭酸カリウム等のアルカリ性水溶液を含浸させ、中性化した部分に、アルカリ性を維持する溶液を浸透させた上でコンクリートのアルカリ性を回復させ、鋼材腐食の進行を抑制する。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気化学的補修工の一種で、外部電極として陽極を設置し、陽極から鋼材に電流を流し、処理溶液をコンクリートの表面から鋼材に向かって電気浸透させる。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>本工法は、鉄筋位置まで中性化が進行している場合、または放置した場合に中性化が進行し鉄筋の腐食が懸念される場合に適用される。</li> <li>中性化の進んだコンクリートの劣化部分を取り除いて断面修復する工法が適当でない場合には有効な工法である。</li> <li>常時、雨水等が流れる場所においては、コンクリート中に浸透したアルカリ性溶液がコンクリート外に流出してしまう可能性もあるため、必要に応じて表面被覆工等との併用の検討を行うことが望ましい。</li> <li>PC 構造物に適用する場合には、PC 鋼材の水素脆性が懸念されるため、十分な検討が必要である。さらに、アルカリシリカ反応で劣化した構造物に適用する場合には、電解液の種類によっては反応を促進する可能性もあり注意を要する。</li> <li>大規模なコンクリートのはつり作業不要であることと、同じ電気化学的補修工である電気防食工と違って一時的な通電処理で補修が完了する。</li> <li>施工実績が少なく、処理後の長期耐久性が十分に確認できていない。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面に絶縁表面保護工が施されている場合、コンクリート面が湿潤な場合、ボルト等導電流物質が露出している場合は適用できないため、事前に電氣的障害箇所を処理しなければならない。</li> <li>塩害と中性化との複合劣化の場合、まず脱塩工法でコンクリート中の塩化物を十分に除去し、その後で再アルカリ化工法の適用を検討する。</li> </ul>

作業手順	作業内容	イメージ
<u>Step 1</u> 調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前調査 (外観調査、鉄筋位置の把握、塩化物イオン含有量の測定)</li> </ul>	
<u>Step 2</u> 事前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化コンクリート部の除去</li> <li>断面修復</li> <li>コンクリート表面の電氣的障害箇所を処理</li> </ul>	
<u>Step 3</u> システム組み立て	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋ヘリッド線を取り付け、導通を確認</li> <li>パネルの取り付け</li> <li>直流電源の設置、配線</li> <li>ポンプ、タンクの設置</li> <li>アルカリ性溶液(炭酸カリウム等)の供給(長期間)</li> </ul>	
<u>Step 4</u> 通電	<ul style="list-style-type: none"> <li>通電処理(1~2週間)</li> <li>処理効果の確認</li> </ul>	
<u>Step 5</u> 撤去 現状復旧	<ul style="list-style-type: none"> <li>仮設物の撤去、復旧</li> </ul>	

## ⑧ 連続繊維シート接着工（補強）

目的	コンクリート部材の引張応力や斜め引張応力作用面に連続繊維を配置し、既設部材と一体化させることにより、必要な性能の向上を図る。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続繊維シートを1方向あるいは2方向に配置してシート状にしたものを用い、一定の間隔をあけて貼り付ける。</li> <li>コンクリート部材の表面にエポキシ系接着樹脂を用いて連続繊維シートを貼り付け、接着材を含浸させて一体化する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>部材劣化が比較軽微な段階に有効な工法である。</li> <li>施工箇所は、コンクリート母材の劣化状況が監視できない。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続繊維シートは、鋼材に比べ高強度、軽量で、かつ腐食しないという特性を持つ。</li> <li>クレーン等の重機を必要とせず、作業が簡単、施工時間が短い。</li> <li>床版上面から水が浸透した場合、水が抜ける場所がないと劣化を促進させる結果となるため、連続繊維シートを格子状に貼り付ける。</li> </ul>

作業手順	作業内容
Step 1 コンクリート表面処理 (下地処理と断面修復)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケレンによる研磨と劣化部の除去</li> <li>格子間隙部のマスキング後、プライマー塗布</li> <li>マスキングを除去し、養生</li> <li>添付範囲を墨出しして、不陸の調整</li> </ul>
Step 2 シート貼付 (第1層、第2層)	<ul style="list-style-type: none"> <li>墨出しとマスキング</li> <li>樹脂の塗布(下塗)</li> <li>シート貼付</li> <li>しごき含浸、脱泡</li> <li>樹脂の塗布(上塗)</li> <li>しごき含浸、脱泡</li> <li>マスキングの除去</li> </ul>
Step 3 仕上工	<ul style="list-style-type: none"> <li>格子の間隙部のマスキング</li> <li>塗装の施工(中塗、上塗)</li> <li>養生後、マスキングを除去</li> </ul>



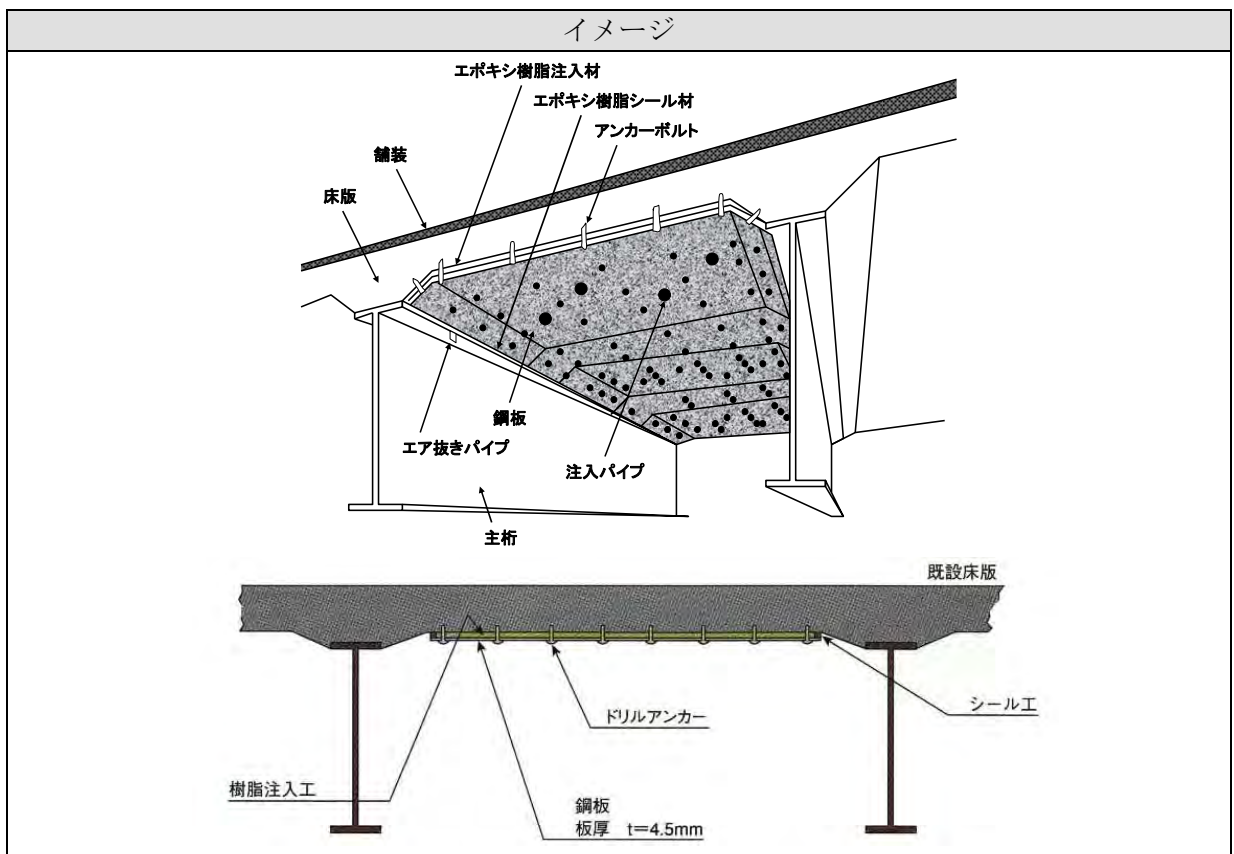
### <連続繊維シートの種類>

シート名	概要
炭素繊維 (Carbon fiber)	高強度で軽量かつ耐触性に優れたシート材。橋脚などの耐震補強に用いられる。
アラミド繊維 (Aramid fiber)	強靱・柔軟で素線が折れにくいシート材。
ガラス繊維 (Glass fiber)	耐薬品性、耐熱性、耐水性、電気絶縁性、寸法安定性に優れたシート材。

### ⑨ 鋼板接着工（補強）

目的	コンクリート部材の主として引張応力面に鋼板を取り付け、コンクリートと接着させ既設部材と一体化させることにより、必要な性能の向上を図る。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリートとの間に樹脂注入材を圧入充填し、コンクリート部材の引張応力作用面（主桁、床版等）に鋼板を密着させ、一体化を図る。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 従来よく用いられてきたが、近年は鋼板自体の腐食やうきなどの問題により、あまり採用されない。</li> <li>・ 施工後は、コンクリート母材の劣化状況が確認できない。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2方向の曲げ及び輪荷重の押し抜きせん断力に対して有効である。</li> <li>・ アンカーボルトは、鋼板を固定するとともに、樹脂注入圧による鋼板のたわみを抑制できるように配置する。</li> <li>・ 沿岸部での使用は、維持管理上の問題により適さない。</li> </ul>

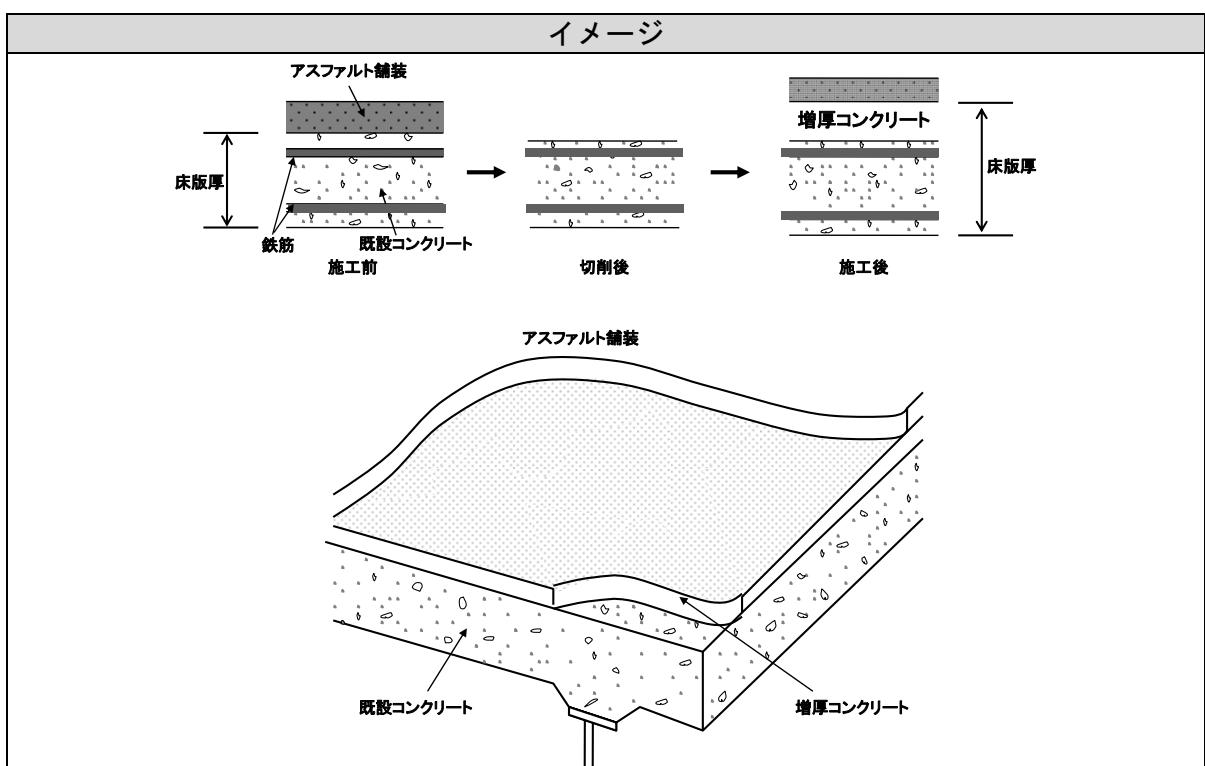
作業手順	作業内容
Step 1 コンクリート表面処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 床版面の素地調整、表面の不陸の調整</li> <li>・ ひびわれ注入、うきや剥離部のはつり</li> <li>・ 鉄筋露出の防錆処理とはつり部分の断面修復</li> </ul>
Step 2 鋼板取付	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アンカーボルトによる鋼板取り付け</li> <li>・ 注入工（空隙）確保</li> </ul>
Step 3 シール及び樹脂注入	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入パイプ、空気抜きパイプの設置</li> <li>・ 鋼板周囲とアンカー部のシール</li> <li>・ シール材硬化後、樹脂を注入</li> </ul>
Step 4 仕上工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入パイプ、空気抜パイプの撤去</li> <li>・ 防錆、防食のための仕上塗装</li> </ul>



## ⑩ 上面増厚工（補強）

目的	床版を増厚することにより、剛性を高め、押抜きせん断耐力を向上させる。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アスファルト舗装を切削し、既設床版上面の劣化部分を確実に除去し、既設床版に新コンクリートを打設する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主に RC 床版の押抜きせん断に対する耐力を向上させる場合に適用し、中立軸の上昇に伴う曲げ耐力の向上も期待できる。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設コンクリートとの完全一体化を図るため、表面の劣化部分を確実に除去するとともに、チッピング等より新旧コンクリートの一体化を図る。</li> <li>・ 局部的に劣化が進行し、耐力、耐久性が劣る箇所は、部分打ち換えにより補修を行う。</li> <li>・ 床版厚の変更による路面高の前後調整を行う。床版上面の切削後の付着性能と増厚の最低設計厚さの確保が重要である。</li> <li>・ 橋面防水工を併用するとより効果的である。</li> <li>・ 早期交通開放を行うための早強コンクリートやひびわれ防止を目的としたファイバーコンクリート等の適用を行う。</li> </ul>

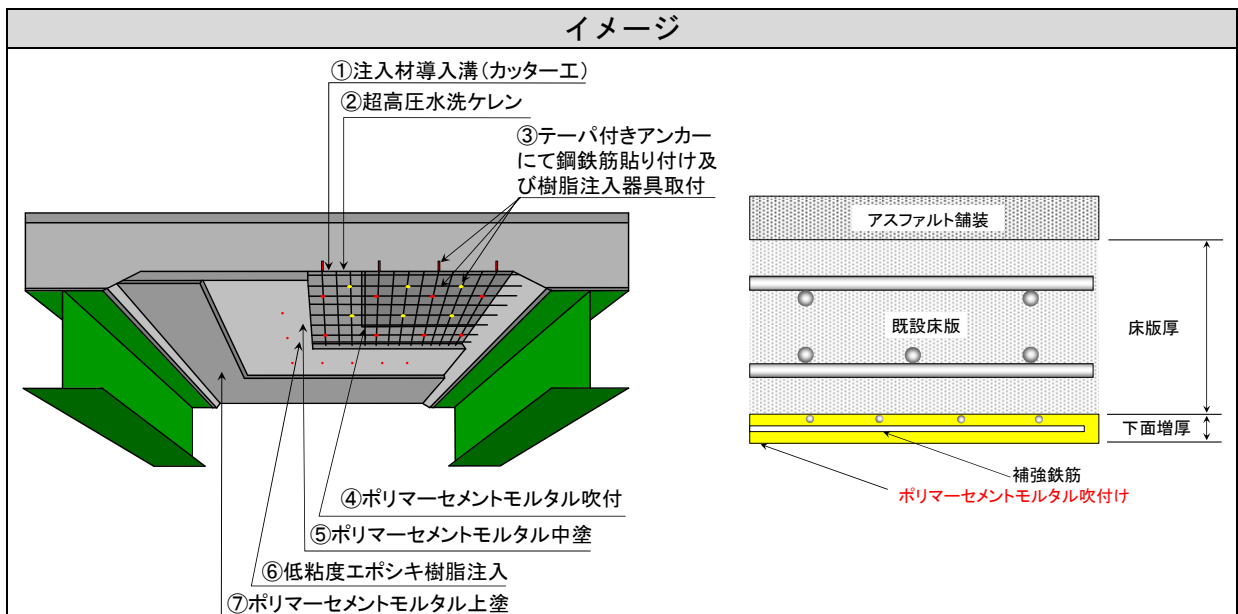
作業手順	作業内容
Step 1 アスファルト舗装及び 床版コンクリート切削	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設舗装部の切削</li> <li>・ 旧コンクリートは表面の脆弱部を切削により除去</li> </ul>
Step 2 研掃工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリート間の付着強度を確保するため、スチールショットブラストで旧コンクリート面を研掃</li> </ul>
Step 3 鉄筋工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉄筋補強が必要な場合、補強筋を設置</li> </ul>
Step 4 コンクリート打設・養生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鋼繊維混入率の超早強コンクリートを打設</li> </ul>
Step 5 防水工・排水処理工・ アスファルト舗装工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 超速硬コンクリート硬化後、内部への水の浸透を防ぐため防水工を施工</li> <li>・ アスファルト舗装にて復旧</li> </ul>



## ⑪ 下面増厚工（補強）

目的	床版下面の引張鉄筋量を増加させることにより、曲げ引張耐力を向上させる。
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>床版下面に網筋等の補強材を配置し、付着性の高いモルタル等を用いて、左官や吹き付け施工することにより増厚し、一体化を図る。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>RC 床版の下面に鉄筋コンクリートを打設することにより、主に曲げ耐力を向上させる工法であり、付随的にせん断耐力が向上するが、せん断抵抗を失った床版へ適用する場合は、床版の部分打替えを採用する等、別途検討が必要である。</li> <li>コンクリート表面が覆われるため、その後の追跡管理が困難になる。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>防錆・防蝕・接着・防水機能を持つ無機系材料を使用するため、同一材料で防錆・断面修復・防蝕作業が連続して行うことが可能である。</li> <li>硬化後も弾性を保持し、躯体の挙動に追随することから、既設構造物の補強に適するとともに、増厚が薄くて済む。</li> <li>既設コンクリートとポリマーセメントモルタルの確実な一体化を図ることが重要であり、既設コンクリート接着面の不陸の調整、湿気の除去等、十分な前処理が大切である。</li> </ul>

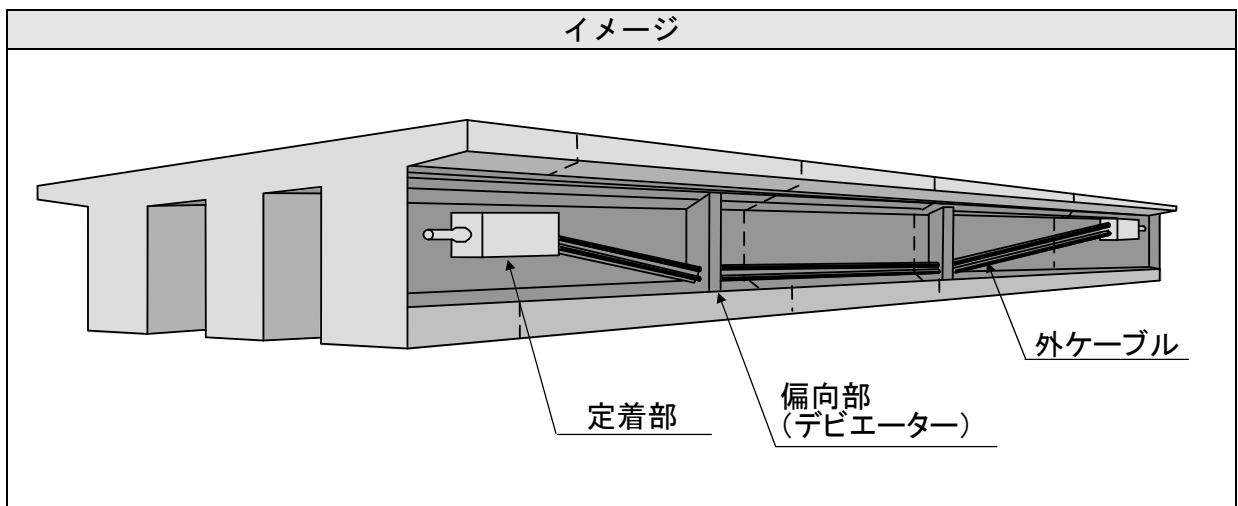
作業手順	作業内容
<b>Step 1</b> 事前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>劣化の程度に応じてひび割れ補修工、断面修復工、橋面防水工、伸縮装置取替え工、排水、導水処理工等を実施する</li> </ul>
<b>Step 2</b> ケレン工	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設床版下面の浮き等の不健全部分を取り除き、ポリマーセメントモルタルの付着力を高めることを目的にサンドブラスト工法によりケレン(1種)する</li> </ul>
<b>Step 3</b> 下塗り工（吹付）	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケレン工が完成した床版下面にポリアクリル酸エステル系ポリマーセメントモルタルを塗布する</li> </ul>
<b>Step 4</b> 補強鉄筋取付工	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設床版にコンクリートアンカーを打ち込み、補強鉄筋メッシュを固定金具で床版に取り付ける</li> </ul>
<b>Step 5</b> 中塗り工 仕上げ吹付け工	<ul style="list-style-type: none"> <li>2～3回にわけて吹付及びコテ塗りを行う</li> <li>前工程までの作業を確認し、仕上げを行う</li> </ul>



## ⑫ アウトケーブル工（補強）

目的	既設桁に付加プレストレスを導入し、コンクリート部材の応力状態を改善する補強工法
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設桁に外ケーブル用定着装置を設置後、外ケーブルを配置し緊張する。</li> </ul>
適用のポイント	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設PC桁の耐荷力が不足している場合に、新たなプレストレスを付加し、既設プレストレスと組み合わせて耐荷力を向上させる。</li> <li>構造物の局部的な補強よりは、むしろ構造系の変更、断面力の改善を目的として採用されることが多く、             <ul style="list-style-type: none"> <li>i) 補強効果が力学的に明確である、</li> <li>ii) 偏向部をせん断補強部に設置し、外ケーブルの鉛直分力を考慮することにより、設計せん断力を軽減できる、</li> <li>iii) 補強後の維持管理が比較的容易、</li> <li>iv) 基本的に交通規制を必要としない、</li> <li>v) コンクリートの強度不足や劣化に対しては、効果を期待できない、</li> <li>vi) 外ケーブルによりプレストレスを導入しても、剛性は向上しない、</li> </ul> </li> <li>等の特徴がある。</li> <li>変状からみられる既設桁の有効プレストレスを適正に評価（調査）する必要がある。</li> <li>T桁橋及び箱桁橋の曲げ補強に関しては、事例も多く、補強効果が期待できる。</li> <li>プレテンション桁橋は、桁高が低く既設 PC 鋼材配置等により定着部の設置位置に制約が多いこと、PC 鋼材の偏心量を大きくできないこと等から、適用する場合は十分な検討が必要となる。</li> </ul>
施工上の留意点等	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設桁の有効プレストレス力により、付加プレストレス力を設定する。</li> <li>既設桁定着部コンクリートと定着装置の変状の有無を目視にて確認する。</li> <li>既設桁の配置要件により、外ケーブル用定着装置の設置位置を決定する。</li> <li>外ケーブル定着面がケーブル軸に直角となるよう正確に取り付けてあるか確認する。</li> </ul>

作業手順	作業内容
Step 1 既設桁調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>変状程度の把握、鋼材位置の確認を行い、定着部・偏向部取付け位置を決める</li> </ul>
Step 2 外ケーブル定着部・偏向部の施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>定着部・偏向部の下地処理を行い、定着装置・偏向装置の設置後、緊結用 PC 鋼材の緊張を行う</li> </ul>
Step 3 外ケーブルの施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>外ケーブルを取り付け、桁断面及び構造全体に対して対称となるよう、左右同時にケーブルの緊張作業を行う</li> </ul>
Step 4 防錆処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>定着装置、偏向装置、緊結用 PC 鋼材、外ケーブル定着部の防錆処理を行う</li> </ul>





## 參考資料



## i. 用語の解説

※ (P, )内の数字は、掲載箇所のページ数を示す。

アークエアガウジング (P.61)	アーク熱により鋼を溶かし、圧搾空気により吹き飛ばし、鋼材表面に溝を掘ること。はつりともいう。
亜硝酸リチウム (P.70、73)	LiNO <sub>2</sub> (Lithium Nitrite) のことで、正の電荷を帯びたリチウムイオン (Li <sup>+</sup> ) と負の電荷を帯びた亜硝酸イオン (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) とが結合した物質である。亜硝酸イオンは鉄筋表面の不動態皮膜を再生する効果があり、リチウムイオンはアルカリシリカゲルを非膨張化する効果がある。
圧密沈下 (P.20、28、44)	飽和した粘土地盤に加わった荷重により、地盤内の水が脱水を起こし、地盤が変形する現象。
アノード反応 (P.77)	鋼材腐食は電荷 (電子やイオン) の移動を伴う電気化学的反応であり、腐食を起こしている箇所はアノード域と呼ばれ、鉄原子は電子を失い鉄イオンとして周辺に溶け出していく反応を言う。酸化反応とも呼ばれる。
アミノアルコール系 (P.73)	アミノ基とヒドロキシ基を両方含む有機化合物で、様々な産業的応用が見出されており、亜硝酸リチウムと同様に防錆効果がある。
アルカリ金属イオン (P.73、79)	ナトリウムイオン (Na <sup>+</sup> ) やカリウムイオン (K <sup>+</sup> ) のことで、コンクリートではアルカリシリカ反応の原因となる有害な物質である。
アルカリシリカゲル (P.38、52、70)	アルカリとシリカ鉱物とが反応して生成されるゲル。ゲルは水等の分散媒に微小な粒子が凝集したもの。
アルカリ付与剤 (P.70、76)	中性化により劣化した鉄筋コンクリート構造物の補修に際し、コンクリートのアルカリ性を回復させて、コンクリート表面より塗布含浸させて、コンクリート内部から鉄筋の腐食環境を改善する。また、中性化がある程度進んだコンクリートにけい酸塩系表面含浸工を適用する場合は、前もってアルカリ付与剤を塗布する必要がある。
アンカー (P.4、48、82、84)	ある部材を固定するため、コンクリートに埋め込んで使用する鋼材のことで、アンカーボルト等がある。引張やせん断に抵抗することによって、コンクリートに取り付けられた部材の分離、移動等を防ぐ役割を持つ。
安全性 (P.16、59)	構造物が使用者や周辺の人々の生命や財産を脅かさないための性能。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
維持管理 (P.1、51、58、85)	構造物の供用期間において、構造物の性能を所要の水準以上に保持するための全ての行為。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
一般塗装系 (P.55)	鋼道路橋の防食方法には、塗装、耐候性鋼材、溶融亜鉛めっき、金属溶射等がある。その中で、塗装は一般塗装系と重防食系に分かれ、防食原理は一般塗装系が塗膜による環境遮断、重防食系は塗膜による環境遮断とシンククリッチペイントによる防食である。ここで、旧塗膜塗装系における一般塗装は、A、B、a、b 塗装系のことである。
エポキシ樹脂 (P.47、71~73)	分子内にエポキシ基を有する化合物の総称で、使用目的に応じて硬化剤との組み合わせを変える事で接着性や耐熱性等の様々な物性を持つことが可能で、硬化速度の調整や優れた耐久性がある。現在では接着剤のみならず塗料でも使用されている。
エポキシ樹脂モルタル (P.73)	モルタルに、エポキシ樹脂の混和剤を混ぜ、化学反応させて硬化させるもの。通常モルタルと比べて硬化時間が短く、柔軟性もあるため、大きな力が加わっても、ひび割れを起こしにくくなる。断面修復の他、不陸調整等多く使用されている。



遅れ破壊 (P.19、25)	一定の引張荷重が加えられている状態で、ある時間が経過したのち、外見上はほとんど塑性変形を伴わずに突然脆性的に破壊する現象。遅れ破壊による変状は、腐食ピットやねじ部など応力集中部に発生したクラックが徐々に進展して、最後は急速破壊にいたる。
押抜きせん断 (P.82)	コンクリートなどの面部材に集中的な荷重が加わって、荷重周辺の狭い範囲が円すい状に抜け落ちる局所的なせん断破壊現象。
重ね継手長 (P.73)	鉄筋継手の一種で、鉄筋コンクリート構造が導入された当初は主に使用されていた。他に、ガス圧接継手、機械式継手、溶接継手等がある。
可とう性エポキシ樹脂 (P.71、72)	柔軟性を有する接着剤で、動きのあるひび割れ注入材、ひび割れ充填材、耐衝撃樹脂モルタル用バインダー等に用いられる。
カナダ法 (P.52)	アルカリシリカ反応において、コアの促進養生試験による残存膨張量を測定する試験の一種。NaOH浸漬法といい、カナダ法は通称である。温度80℃の1NのNaOH溶液中に浸漬させ、試験開始後14日間での膨張量で「無害」、「有害と無害な骨材が含まれる（この場合、14日以降も更に試験を継続する）」、「潜在的に有害な膨張率」と判定する。JCI-DD2法よりも試験方法が容易である。
かぶり (P.26)	鉄筋、PC鋼材あるいはシースの表面からコンクリート表面までの距離。
ガセット (P.24、62)	トラスなどの骨組構造物において、格点に集まる部材を連結するために用いる鋼板のこと。一般にトラスのように剛結でなくヒンジとみなす格点に用いられ、鋼板を外側からあてる場合と部材に組み込む場合とがある。けい板（繫板）ともいう。
乾燥収縮 (P.28、44、73)	収縮は自己収縮と乾燥収縮に分けられ、乾燥収縮はコンクリート中の水分が蒸発することにより、コンクリートが収縮する現象。
含有量試験〔塗膜成分〕 (P.52)	特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法(平成4年厚生省告示第192号)によりPCBの重量を求める。
キレート化剤 (P.73)	さび層に深く浸透し、化学的に鉄と反応することで安定な無機、有機結合体(鉄のキレート化合物)を形成させるさびを安定化させることで、腐食抑制効果を高める。
緊結用PC鋼材(P.85)	定着装置および偏向装置を既設桁に取り付けるための緊張材のこと。
グースアスファルト混合物 (P.55、64)	高温にして液状化させ、その流動性を利用して流し込み、通常の舗装でのローラによる転圧は行わない。鋼床版などの防水層として用いる。
繰り返し荷重 (P.24、54、55)	自動車交通等による外力の繰り返しのこと。これにより、構造物に劣化が累積され、コンクリートではひび割れ、鋼材であればき裂となって現れ、疲労破壊に至ることもある。鉄筋コンクリート床版は、自動車荷重を直接支持するため、繰り返し荷重に対して、疲労が生じやすい部位である。鋼部材はボルトや溶接によって連結されているが、溶接部等の局所的に力が集中する箇所から、き裂が発生することがある。
けい酸ナトリウム けい酸リチウム (P.76)	コンクリート表面から含浸させると、コンクリート中の水酸化カルシウムと化学的に結合し、セメント水和物に近いC-H-S系の結晶をコンクリート細孔内部に形成する。けい酸ナトリウムは、古くは水ガラスと呼ばれ、建築の屋上防水に多く使用されてきた。
経年劣化(P.25、56)	時間の経過に伴って進行する変状。単に劣化ともいう。



軽量エポキシモルタル (P.73)	エポキシ樹脂と特殊軽量骨材を配合した、軽量で高強度の断面修復材。軽量のため、従来の樹脂モルタルでは対応できなかった垂直面や上面の厚塗り施工が可能。また、薄塗でもドライアウトを起こさない。
剛性(P.23.60.83.85)	曲げやねじりの力に対する、寸法変形のしづらさの度合いのこと。
高力ボルト (P.25、55、59、60、63)	高強度鋼を用いたボルトのこと。橋梁に用いられる高力ボルトには鋼部材の接合用の摩擦接合用と支圧接合用の二つがあり、作業性がよいことから鋼部材の現場接合の大部分には、リベットに代わって摩擦接合用高力ボルトが用いられる。JIS B 1186 に摩擦接合用高力ボルトの規格がある。
コルゲーション (P.46)	自動車の走行により、路面走行方向に規則的に発生する波状の凹凸。わだち掘れともいう。
錆転換塗装 (P.55)	鋼部材に塗布し、錆を固着化させ、細密で安定な黒錆（マグネタイト）に転換する機能を付与した塗装で、再塗装のサイクルを延長し、再塗装の際の素地調整を簡略化することができる。鋼橋の塗装塗替えのみならず、鉄筋の防錆剤の一種として使用されている。
残存膨張量試験 (P.52)	アルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化が、将来も持続する可能性があるかを短時間で確かめることができる、ほぼ唯一方法である。現状においては、構造物から採取したコアで行われることが多い。
サンドブラスト (P.84)	研掃材粒子として砂を用いて圧縮空気など高速で吹き付けて、鋼材表面の錆などを除去すること。
残留応力 (P.23)	無荷重の状態でも物体内に残っている応力のこと。鋼部材において、加工や溶接時に与えられる変形や熱に伴う応力がその内部的な拘束によって残るなどがその代表的な例である。
JCI-DD2 法 (P.52)	アルカリシリカ反応において、コアの促進養生試験による残存膨張量を測定する試験として、わが国で唯一規定されている。温度 40℃、湿度 95% 以上の条件下で養生する。阪神高速道路公団の判定基準は、全膨張量が 0.1% を超える場合「有害」と判定する。建設省総合プロジェクトの判定基準は、40℃、100%R.H.の条件下に 13 週間養生し、0.05%以上の膨張量を示すものを「有害」または「潜在的有害」と判定する。
紫外線硬化型 FRP シート (P.55、59)	主に紫外線で硬化する FRP（強化繊維プラスチック）シート。特殊な樹脂シートで、接着性が良く、鋼材の補修、防水、防食に使用されている。
自己収縮 (P. i -2)	収縮は自己収縮と乾燥収縮に分けられ、自己収縮は、外部からの水の供給がなくセメントペーストの骨格が形成された後、セメントの水和反応によりペースト中の水分が消費されコンクリートが収縮する現象。
下地処理〔ケレン〕 (P.56)	素地調整のこと。英語のクリーニング（Cleaning）が転化してこのように呼ばれる。
収縮ひび割れ (P.73)	収縮応力によって生じるひび割れ。
重防食塗装系 (P.55、56)	無機ジンクリッチペイントや有機ジンクリッチペイントの防食下地、腐食因子の遮断性に優れた下塗塗料、耐候性に優れた上塗塗料、合計膜厚 250~1,000 $\mu\text{m}$ 程度、厳しい腐食環境で 30 年以上の耐久性を有する塗装系。金属溶射皮膜や溶融亜鉛めっき層も防食下地とみなすことができる。
主要部材 (P.52、59)	橋梁を構成する部材のうち、主桁、横桁、縦桁、床版、橋脚、橋台、基礎等の主要な部材。
詳細調査 (P.49~53)	点検等では得られない、より詳細な情報を得るために実施する調査の総称。



硝酸銀滴定法 (P.52)	試料に硝酸等を加えて塩化物イオンを沈殿反応させ、溶液の呈色の変化から全塩化物イオン量を定量する方法。
使用性 (P. i -7)	構造物の使用者が快適に構造物を使用する、もしくは周辺の人が構造物によって不快となることのないようにするための性能、及び構造物に要求されるそれ以外の諸機能を適切に確保するための性能。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
初期欠陥 (P.1、29、55、61)	施工時に発生するひび割れや豆板、コールドジョイント、砂すじ等の変状。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
ジンクリッチ プライマー ジンクリッチペイント (P.58、 i -3)	ジンクとは亜鉛のことで、亜鉛の犠牲防食作用および亜鉛腐食生成物による、鋼材腐食抑制作用を有する塗料。ジンクリッチ系塗料には、一次防錆（次の製作工程までの間の防食）や塗装間隔確保を目的に用いられる薄膜タイプのジンクリッチプライマー、長期防錆型の塗装系や添接部摩擦接合面に用いられる厚膜タイプのジンクリッチペイントがある。いずれも、塗膜形成要素としてアルキルシリケートを用いた無機系、エポキシ樹脂などの有機樹脂を用いた有機系に分けられる。
水酸化カルシウム (P.79)	コンクリートの主な水和生成物の1つで、 $\text{Ca(OH)}_2$ のこと。これはコンクリート内部に多量に存在し、pH12以上という高いアルカリ状態に保ち、鉄筋に不動態皮膜を形成し保護している。
水性アクリル樹脂 (P.73)	透明性や耐久性に優れる樹脂で、その特長からレンズなど身近なものから、成形材料、塗料、接着剤など幅広い用途に使用されている。
水素脆性 (P.79、80)	鋼材中に吸収された水素により、鋼材の強度（延性又はじん性）が低下する現象。水素脆性破壊は、結晶粒界、引張応力のかかる箇所、応力の集中する部分で起こりやすい。鋼材に水素が吸収されると脆化する理由については、はっきりしていない。
スケーリング(P.35.39)	凍害において、表面が薄片状に剥離・剥落する減少。
すみ肉溶接 (P.55)	すみ肉継手（ほぼ直交する二つの面を溶接する三角形状の断面をもつ溶接継手）で行う溶接。すみ肉溶接を行う溶接継手には、重ね継手（母材の一部を重ねた溶接継手）、T継手（一つの板の端面を他の板の表面に載せて、T形のほぼ直角となる溶接継手）、十字継手（十字形となる溶接継手）、角継手（2母材をほぼ直角にL字形に保つ、その角の溶接継手）などの溶接継手がある。
設計耐用期間 (P. i -4)	設計時において、構造物または部材が、その目的とする機能を十分果たさなければならないと規定した期間。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
洗掘 (P.20、28、44)	流水によって河床や海底の土砂が洗い流されること。流水中に構造物が建造されると、この現象は大きくなりやすい。洗掘の程度は水深、流速、構造物の形状などの要因による。
潜在膨張量試験 (P.52)	膨張量は顕在膨張量と潜在膨張量に分けられ、膨張要素が全く拘束を受けない場合の膨張量を言う。アルカリシリカ反応による膨張の可能性を調べる場合、残存膨張量試験を行うが、促進養生試験であり、実際の構造物と条件が違うことから、潜在膨張量試験の意味合いが強い。
せん断応力 (P.29)	垂直応力と対比される応力で、部材のある断面を切った場合にその断面と平行な方向に部材をずらすように作用する応力のこと。



添え筋 (P.73)	主に鉄筋コンクリート構造物において、著しい鉄筋腐食により鉄筋量不足（断面減少）が生じ、構造物全体の耐力に大きく影響することがある。このような箇所を断面修復する際に、既存鉄筋との重ね継手長を確保した上で、新たに鉄筋を添えて補強すること。
ソールプレート (P.24、45、67)	支承部において、荷重を均一に作用させるため桁などの下面に取り付ける鋼板。
損傷 (P.1、29、49、50、59)	地震や衝突等によるひび割れや剥離のように、短時間のうちに発生し、その後は時間の経過とともに進行しない変状。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より点検では、建設時の構造物の状態とは異なる異常変化、変状、劣化の総称のことを指す。
耐荷性 (P.49、67)	想定される作用のもとで、外的荷重に対して発揮される構造物の荷重抵抗性。
耐久性(P.1、16、49、56、58、67、71 他)	構造物中の材料の劣化により生じる性能の経時的な低下に対して構造物が有する抵抗性。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
第三者影響度 第三者被害 (P.49、65、66)	構造物から剥落したコンクリート片等が器物及び人に与える傷害等への影響度合い。 『2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
炭酸カリウム (P.80)	$K_2CO_3$ で表されるカリウムの炭酸塩。水溶液は pH11 程度のかかなり強いアルカリ性を示す。
弾性係数 (P.38、71、73)	弾性体に弾性限度内の外力を加えたときに生じる応力とひずみとの関係を表す係数で、特に弾性係数はその関係が比例関係にあるときの比例定数をいう。弾性係数のおもなものとしてはヤング係数、せん断弾性係数、ポアソン比などがある。
超音波厚さ計 (P.52)	超音波を利用して対象物の厚みを測定する計測機器。
TIG Tungsten Inert Gas (P.61、62)	ティグ溶接。アーク溶接の一種。融点の非常に高いタングステン棒からアークを出し、その熱で母材を溶かす。シールドガスを用い、溶加材を足すことも可能。精密な溶接に向く。
定着装置 (P.85、i-2)	PCの定着具を固定するため、既設コンクリート部材に取り付ける鋼製またはコンクリート製の構造部材のこと。
定着部 (P.85)	PCの定着具を構造部材に固定し、プレストレスを伝達する部分のこと。
中立軸 (P.83)	曲げを受けたはりや主桁の軸方向と直角の断面では、片側で曲げ圧縮応力、もう片側では曲げ引張応力が生じる。しかし、材料及び形状的に断面の重心となる位置では、応力が計算上ゼロとなる位置がある。この位置を中立軸という。
電位差滴定法 (P.52)	試料に硝酸等を加えて塩化物イオンを沈殿反応させ、電気化学的に全塩化物イオン量を定量する方法。
電解液 (P.80) 電解質溶液 (P.79)	イオン性物質を水などの極性溶媒に溶解させて作った、電気伝導性を有する溶液。
電気泳動 (P.79)	荷電粒子あるいは分子が電場（電界）中を移動する現象。



電気化学的補修工 (P.77、79、80)	コンクリート内部の鋼材に外部より陽極を通じて直流電流を流すことにより、鋼材腐食に関わるコンクリート構造物の劣化を防止する方法で、電気防食工、脱塩工、再アルカリ工、電着工の総称。
電気浸透 (P.80)	液体と固体が接している所に電圧をかけた場合に、液体が移動する現象。
電子顕微鏡 (P.52)	通常の顕微鏡（光学顕微鏡）では、観察したい対象に光（可視光線）をあてて拡大するのに対し、光の代わりに電子（電子線）をあてて拡大する顕微鏡。
電磁誘導法 (P.52)	試験コイルに交流電流を流すことによってできる磁界内に、試験対象物を配置することによって、金属や強磁性材料を検出する調査方法。
電磁レーダー法 (P.52)	電磁波が電氣的性質の異なる物体境界面で反射する性質を利用して、埋設物（鉄筋、鉄骨、埋設管等）及び部材厚、空洞等を検出する調査方法。
デンマーク法 (P.52)	アルカリシリカ反応において、コアの促進養生試験による残存膨張量を測定する試験の一種。飽和 NaCl 溶液浸漬法といい、デンマーク法は通称である。温度 50°C の飽和 NaOH 溶液中に浸漬させ、試験材齢 3 箇月での膨張量で「膨張性あり」、「不明確」、「膨張性なし」と判定する。JCI-DD2 法よりも試験方法が容易である。
土被り (P.46)	地中に埋設された構造物の地表面までの厚さ。
溶け込み溶接 (P.55)	接合しようとする母材の端部を、適当な角度に切り取り、この溝を熱で溶かした溶接金属を母材及び接合材と一体化し埋め込む方法。溶接継手において、母材の全厚にわたって溶着金属を溶け込ませる場合、完全溶け込み溶接という。
塗布型防錆剤 (P.70)	塩害により劣化した鉄筋コンクリート構造物の補修に際し、コンクリート表面より塗布含浸させ、コンクリート内部から鉄筋の腐食環境を改善する目的で使用される含浸材。
ドリル法 (P.52)	構造物をドリルで削孔し、その粉で試験を行う方法。
二次応力 (P.23)	設計上想定された応力を一次応力というのに対し、部材の偏心、断面の急変、床版のたわみ等によって生じる応力のこと。
二次部材 (P. i -6)	橋梁を構成する部材のうち、横桁、対傾構、支承、落橋防止装置、高欄、防護柵、地覆、中央分離帯、縁石、舗装、伸縮装置、排水施設、点検施設、遮音施設、照明施設、標識、添架物等の二次的な部材。
白亜化 (P.18、21)	雨・風・太陽光線（紫外線）、熱などにより塗膜が分解して、表面が次第に白い粉上になる表層劣化のこと。劣化の目安になる。チョーキングともいう。
剥落防止工 (P.66、69)	将来的に剥落する危険性のあるコンクリートに対し、表面被覆や防護ネット設置を行い、万一剥落が起ころうとしても、コンクリート片が落下しないよう受け止める工法。
爆裂 (P.29)	コンクリート部材において、火災初期に表面層のコンクリートの剥落を生じて鉄筋を露出する、特異な破壊現象。
反応性鋳物 (P.34、35、38)	化学組成がほぼ二酸化ケイ酸素（SiO <sub>2</sub> ）で構成された鋳物。石英、水晶、オパール等がある。
ひび割れ追従性(P.72)	ひび割れの挙動に追従できる材料の伸び能力。



吹付け工 (P.73、74、84)	圧縮空気を用いて、コンクリートやモルタルを吹き付ける工法。あらかじめ練り混ぜた断面修復材を吹き付ける湿式と、紛体と水または混和液を別々に圧送して吹付ける乾式がある。
フェノールフタレイン 溶液 (P.52)	アルカリ検出の指示薬で、一般にフェノールフタレイン 1%エタノール溶液を使用する。着色域は pH=8.3(無色)~10.0(赤紫)である。
復極量試験 (P.77)	防食電流遮断(スイッチ OFF)直後の鉄筋電位と 24 時間放置した時点の鉄筋電位の差を測定し、防食基準(100mV)以上あるか確認する。
プライマー (P.64、73~75、81)	防錆効果と同時に金属の素地と塗り重ねる塗料との密着性を良くすることを目的として、素地に最初に塗る塗料のこと。既設コンクリートとの接着性をよくすることを目的とする場合もある。
ブリーディング (P.29)	フレッシュコンクリートまたはフレッシュモルタルにおいて、固体材料の沈降または分離によって、練混ぜ水の一部が遊離して上昇する現象。
プレパックドコンク リート (P.73)	あらかじめ型枠に特定粒度の粗骨材を詰め、その空隙に特殊なモルタルを注入充填する工法。
偏向装置 (P.85、i-2)	PCの偏向具を固定するため、偏向具を既設コンクリート部材に取り付ける鋼製またはコンクリート製の構造部材のこと。
偏向部〔デビエーター〕 (P.85)	編成具をコンクリート部材に固定し、PCケーブルの位置を保持するかまたは偏向させる部分のこと。
変状 (P.1 他)	何らかの原因で、コンクリートやコンクリート構造物に発生している、本来あるべき姿でない状態。初期欠陥、損傷、劣化等の総称。 『2013年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕公益社団法人 土木学会』より
ポアソン比 (P.73、i-5)	物体に弾性限界内で応力を加えたとき、応力に直角方向に発生するひずみと応力方向に沿って発生するひずみの比のこと。ヤング率等と同じく弾性限界内では材料固有の定数と見なされる。
ホウ酸リチウム (P.79)	$\text{Li}_3\text{BO}_3$ のことで、脱塩された塩素によるコンクリートの酸荒れを防ぐと同時に、リチウムによるアルカリシリカ反応の抑制が図れる。
防食電流 (P.70、77)	金属の電位を防食電位に維持するために供給する電流。
補強 (P.19 他)	供用開始時に構造物が保有していたよりも高い性能まで、安全性あるいは、使用性のうちの力学的な性能を向上させるための対策。 『2013年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕公益社団法人 土木学会』より
補修 (P.1 他)	第三者への影響の除去あるいは、美観や耐久性の回復もしくは向上を目的とした対策。ただし、供用開始時に構造物が保有していた程度まで、安全性あるいは、使用性のうちの力学的な性能を回復させるための対策も含む。 『2013年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕公益社団法人 土木学会』より
ポップアウト (P.35、39)	主に凍害において、表層下の骨材粒子等の膨張による破壊でできた表面の円錐状の剥離・剥落。
ポリエステルモルタル (P.73)	高濃度酸を除く広範囲の酸に対して優れた耐蝕性を示す。耐アルカリ性は劣る。広範囲の酸に対して使用可能。
ポリマーセメントモル タル (P.72、73、77、84)	一般に、セメント：砂が 1：2~3 程度であり、ポリマーセメント比が 10~20%のモルタル。使用されているポリマーの種類は SBR(スチレン・ブタジエンゴム)系と PEA(ポリアクリル酸エチル)系が大半を占めている。



マクロセル腐食 (P.74、77)	アノードとカソードが分離している、規模の大きい腐食電池が形成されて生じる腐食。著しい鉄筋腐食を受けたコンクリートを断面修復した際、既設コンクリートと断面修復部の界面で発生し、比較的短期間で再劣化が起こることが知られている。通常の腐食はマイクロセル腐食と言い、アノードとカソードが渾然とした局部電池が形成されて生じる。
曲げ耐力 (P.83、84)	部材が曲げ作用を受けて、終局強度に達すると時の曲げモーメントの大きさ。
メタクリルモルタル (P.73)	メタクリル樹脂は、一般にアクリル樹脂と呼ばれているものの正式名。重合硬化により、強靱な樹脂コンクリートを形成し、摩耗や劣化を防止し、耐久性を向上させることができる。硬化が早い為、養生時間も短く、施工時間（交通規制時間等）を短縮できる。エポキシ樹脂等と比べ、低温でも硬化し、接着性に優れている。酸、アルカリ、塩分などに対する耐薬品性に優れている。
面外変形 (P.60)	鋼 I (鉄) 桁等において、地震、台風等の突発的過大荷重や火害の熱により生じた、座屈等の変形のこと。
モルタル(P.27,32 他)	セメント、水、細骨材及び必要に応じて混和材料を練り混ぜたもの。
有機酸 (P.73)	有機化合物の酸の総称。赤錆を化学的に安定した黒錆に錆転換することで腐食抑制効果を高める。
要求性能 (P. i -8)	目的及び機能に応じて構造物に求められる性能。 『2013 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より
溶剤型エポキシ樹脂 (P.73)	コンクリートへの浸透性能および脆弱層強化性能を考慮して開発されたエポキシ樹脂。塗布するだけでコンクリートやモルタルに浸透し、脆弱層を強化する。塗布による材料表面の接着性向上等の改質に適している。
溶出試験〔塗膜成分〕 (P.52)	産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法（昭和 48 年環境庁告示第 13 号）等により溶液を作成し、日本工業規格に定める方法等により有害物質の重量を求める。
溶融亜鉛めっき (P. i -3)	防錆や美化を目的として 430～470℃程度の溶融した亜鉛浴中に鉄鋼製品を浸漬したあと引き上げ、鉄鋼の素地上に形成する亜鉛の被膜。
予定供用期間 (P. i -8)	構造物を供用する予定の期間。 『2013 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より 維持管理計画の見直しに伴い変更される場合もある。
リバウンドハンマー (P.52)	コンクリートに打撃を与え、返ってきた衝撃により強度を推定するものであり、構造物を傷めずに検査が可能な非破壊検査手法。
臨港道路 (P.1)	港湾法によって定められている、港湾内（臨港地区）、あるいは港湾と周辺の公道を結ぶ道路である。道路法による道路ではない。
リン酸 (P.73)	空気よりも鉄と反応しやすいため、リン酸塩となり皮膜となって赤錆を発生しにくくする。既に発生している赤錆にも効果がある。
劣化 (P.1 他)	時間の経過に伴って進行する変状。 『2013 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 公益社団法人 土木学会』より



ii. 道路橋示方書設計の変遷

		基準類内容							基準類関連項目			
時代背景	基準類	等級	設計活荷重 (tf)	RC 床版の設計・施工			鋼橋	コンクリート橋	想定される変状	想定される要因		
				最小版厚	配筋量	施工状況						
昭和 20 年代以前  神武景気	手押車による人力施工 ※日当りのコンクリート打設量が小 たわみの制限	1926(大15)年6月 道路構造に関する細則案 (内務省土木局)	1等橋	T-12、P=45	規定なし	RC 断面の 2%以上 または有効断面の 3%以上	床版厚 薄 かぶり 小 丸鋼鉄筋 施工目地	2主桁 リベット構造	RC アーチ RC 桁橋  1950(昭25)JIS ポルランドセ メント、高炉セメント 1952(昭27)日本初の PC 橋建設 1953(昭28)JIS レーミスト コンクリート	■鋼橋 ・腐食；水・酸素等との電気 化学的現象 ■コンクリート橋 ・床版ひびわれ；床版厚不 足による剛性の低下 ・鉄筋露出；かぶり不足によ る鉄筋の露出 ・漏水 ・豆板；モルタルの充填不足	ポルランドセメント JIS 化  人力施工	
		1939(昭14)年2月 鋼道橋構造示方書(案) (内務省土木局)	2等橋	T-8、P=30								
1939(昭14)年2月 鋼道橋構造示方書(案) (内務省土木局)	3等橋	T-6、P=225										
昭和 30 年代  岩戸景気  オリンピック景気	競争設計方式導入 ⇒剛性の低下 たわみ規定の緩和  1964(昭39)東海道新幹線 全線開通(東京～新大阪) 1964(昭39)新潟地震 (液状化による沈下)	1956(昭31)年5月 鋼道橋構造示方書(日本道協協会)	1等橋	T-20 P=80	有効厚 11cm 以上 最小全厚 14cm	主鉄筋断面の 25%以上	床版厚 薄 かぶり 小 丸鋼から異形 へ	多主桁並列 合成桁 溶接構造	レーミストコンクリート普及 連続桁 合成桁  1960(昭35)JIS ファイアジュ セメント 1961(昭36)JIS コンクリート用 砕石、コンクリート内筋振動機 1964(昭39)JIS コンクリート用 棒鋼	■鋼橋 ・疲労；繰返し応力 ■コンクリート橋 ・床版ひびわれ ・床版劣化 ・鉄筋露出 ・豆板	鉄筋不足 剛性不足  人力施工	
		1964(昭39)年6月 鋼道橋構造示方書 鉄筋コンクリート道橋構造示方書 (日本道協協会)	2等橋	T-14 P=56								
昭和 40 年代  いさなぎ景気	高度経済成長期 建設ラッシュ  自動車重量の増加 自動車台数の増加  1968(昭43)十勝中地震 (短柱のせん断破壊) 1969(昭44)東名高速道路 全線開通	1967(昭42)年9月 鋼道橋橋一方鉄筋コンクリート床版の配筋鉄筋 設計要領 (建設省道路局長通達)	1等橋	T-20 P=80	有効厚 11cm 以上 最小全厚 14cm	主鉄筋量の 70%以上	床版厚 厚 異形鉄筋 スランプ大	多主桁並列 溶接構造 格子分配 合成桁	コンクリートポンプ打設と新 規プラント建設増加  連続桁 連続桁  1966(昭41)建設省通達河 川耐利基本対策要領 (河川耐利の採取対策) 1968(昭43)耐利対策去 施行 1970(昭45)ドラムミキサ、 可傾式ミキサ、強制集塵キ 1971(昭46)建設省通達 「鋼道橋鉄筋コンクリート床 版の設計について」 (配筋鉄筋に対しても設 計曲げモーメント式が与えら れた)	■鋼橋 ・疲労 ■コンクリート橋 ・床版ひびわれ ・鉄筋露出  ・塩害 ・アルカリシリカ反応 ・中性化	剛性不足  不洗海砂の使用    海砂問題発生	
		1968(昭43)年5月 鋼道橋の床版設計に関する暫定基準 日本道協協会(案)	2等橋	T-14 P=56								
		1971(昭46)年3月 鋼道橋の鉄筋コンクリート床版の設計につ いて(建設省道路局長通達) プレストレスコンクリート道橋示方書制定	1等橋	T-20 P=80(96)	曲げモーメント式より 算出	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上
		1973(昭48)年2月 道橋示方書(日本道協協会)	2等橋	T-14 P=56								
		1973(昭48)年4月 特定路線にかかる橋高架の道路等の技術基準 (建設省都市局長、道路局長通達)	1等橋	TT-43 P=65	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上
		1978(昭53)年4月 道橋鉄筋コンクリート床版の設計、施工につ いて(建設省企画課長) 1978(昭53) 不洗海砂の使用禁止通達	2等橋	T-14 P=56								
昭和 50 年代～ 昭和 60 年代  日本列島改造	1975(昭50)山陽新幹線 全線開通(新大阪～博多) 1978(昭53)宮城県沖地震 (杭基礎の被害) 1984(昭59)NHK 放送「コンク リートクライシス」(塩害、アルカリシリ カ反応等による早期劣化の認 識が広まった) 1985(昭60) Ynys-y-Gwas 橋の崩壊(英国)	1978(昭53)年4月 道橋鉄筋コンクリート床版の設計、施工につ いて(建設省企画課長) 1978(昭53) 不洗海砂の使用禁止通達	1等橋	T-20 P=80(96)	有効厚 $t_0=3L+11$ $t=k_1k_2t_0$ $k_1$ : 大型車の1日の交通量による係数 $k_2$ : 床版を支持する桁の剛性が著しく異な るために生じる付加曲げモーメントの係数	同上	床版厚 厚 異形鉄筋	耐対生鋼材 小主桁化 合成構造 PC 床版	流動化コンクリートの普及  多径配筋  塗装鉄筋の適用  1981(昭56)JIS 建築補修 用注入エポキシ樹脂 1982(昭57)JIS コンクリート用 化学混和剤、鉄筋コンクリ ート用防錆剤	■コンクリート橋 グラウト充填不足による PC 鋼材 の腐食  塩害 アルカリシリカ反応 中性化	・耐久性を考慮した設計 ・合成桁の不採用  ・塩害・アルカリ骨材反応の劣 化が顕在化  ・砕石、砕砂の骨材利用増加 ・不洗海砂の使用禁止	
1980(昭55)年2月 道橋示方書(日本道協協会) 1984(昭59)道橋の塩害対策設計 1986(昭61)コンクリートの塩分総量規制(JIS)	2等橋	T-14 P=56										



<p>平成元年代</p> <p>バブル経済崩壊</p>	<p>1995(平 7)阪神淡路大震災 (設計荷重を超える地震 荷重による大被害)</p>	<p>1990(平 2)道路橋示方書(V耐震設計編)改訂 (地震保有水平耐力法) 1991.1997(平 3、9)セメントの塩素量、アルカリ総量規 制改訂(建設省) 1993(平 5)道路構造令改正 (自動車荷重が 20t から 25t に引き上げられた) 1994(平 6)年 2 月 道路橋示方書 (I 共通編)改訂(日本道路協会) (道路構造令の改訂を受けて、橋の等級による活 荷重の区分を廃止、B 活荷重と A 活荷重に区分) 1995(平 7)兵庫県南部地震により被災した道路橋 の復旧に係わる仕様 (道路橋示方書改訂までの措置) 1996(平 8)道路橋示方書(V耐震設計編)改定 (内陸直下型の設計地震動を規程)</p>	<p>B 活荷重</p>	<p>T-25 P<sub>0</sub>=100</p>	<p>同上</p>	<p>同上</p>			<p>ポリエチレンシース開発 PCコンボリ橋の開発</p> <p>1995(平 7)JIS 高性能 AE 減水剤を追加、コンクリート用 高灰スラグ微粉末 1997(平 9)JIS 低熱ポルトラ ンドセメントを追加</p>	<p>・コンクリートの塩分、アルカリ総量 ・道路橋示方書に「耐久性の 検査」追加(国交省) ・コンクリートの単位水量測定 通達(国交省)</p>
<p>平成10年代</p> <p>公共事業縮小</p>	<p>1999(平 11)山陽新幹線 福岡トンネルにおけるコンクリート 塊落下事故 2003(平 15)NHK 放送 「鉄筋破断の衝撃」 (アルカリシカ反応による鉄筋 破断が取り上げられた) 2005(平 17)福岡西方沖 地震 2005(平 17)一級建築士 による構造計算書偽装 問題発覚</p>	<p>2001(平 13)土木コンクリート品質確保について (国交省)W/C=55%以下 2002(平 14)「目標耐久性」の規定(国交省) 2002(平 14)道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編、Ⅳ下部 構造編改訂(道路橋の塩害対策指針(案)の対策 区分と被りの最小値に見直しを加え、塩害対策の 規定として追加) 2004(平 16)橋梁定期点検要領(案)国土交通省 2004(平 16)コンクリート橋の塩害に関する特定点検要 領(案)国土交通省</p>	<p>同上</p>	<p>同上</p>	<p>同上</p>	<p>同上</p>			<p>2002(平 14)JIS エコセメント 2003(平 15)JIS レディーミクス コンクリートの種類に高強度コ ンクリートを追加 2003(平 15)国土交通省通 達(レディーミクスコンクリートの 品質確保について、コンク リートの単位水量を現場で 測定することを定めた)</p>	
<p>平成20年代</p> <p>アベノミクス</p>	<p>2011(平 23)東日本大震災 (津波の作用による落橋、 福島第一原子力発電所にお ける原子力事故) 2012(平 24)中央自動車道 笹子トンネルにおける天井版 落下事故</p>	<p>2014(平 26)道路の老朽化対策の本格実施に関す る提言(最後の警笛—今すぐ本格的なメンテナンスに 舵を切れ)社会資本整備審議会 2014(平 26)定期点検に関する省令・告示 施行平成 26 年 7 月 1 日(5 年に 1 回、近接目視こ よる点検)</p>	<p>同上</p>	<p>同上</p>	<p>同上</p>	<p>同上</p>				



### iii. 参考文献

文献名	発行年月	著者・発行
コンクリート標準示方書【維持管理編】	H25. 10	公益社団法人 土木学会
コンクリート診断技術[基礎編]	H26. 2	公益社団法人 日本コンクリート工学会
コンクリート診断技術[応用編]	H26. 2	公益社団法人 日本コンクリート工学会
道路橋補修・補強事例集 2012 年版	H24. 3	公益社団法人 日本道路協会
コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針	H25. 5	公益社団法人 日本コンクリート工学会
橋梁点検・補修の手引き【近畿地方整備局版】	H13. 7	財団法人 道路保全技術センター
コンクリート土木構造物の補修マニュアル	H6. 5	一般社団法人 日本塗装工業
橋の診断と補修	H14. 6	一般社団法人 日本構造物診断技術協会
これから始めるコンクリート補修講座	H14. 4	日経コンストラクション
鋼構造物補修・補強・改造の手引き	H4. 7	公益財団法人 鉄道総合技術研究所
道路橋の補修・補強計算例	H19. 11	財団法人 道路保全技術センター 一般財団法人 橋梁調査会
鋼橋の施工にかかわる鋼材の知識	H4. 12	二井 潤
道路橋床版防水便覧	H19. 3	公益社団法人 日本道路協会
道路橋支承便覧	H16. 4	公益社団法人 日本道路協会
道路橋伸縮装置便覧	S45. 4	公益社団法人 日本道路協会
鋼道路橋防食便覧	H26. 3	公益社団法人 日本道路協会
鋼道路橋塗装・防食便覧資料集	H22. 9	公益社団法人 日本道路協会
' 06 Design Date Book	H18. 4	一般社団法人 日本橋梁建設協会
外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル(案)	H10. 6	一般社団法人 プレストレスト コンクリート建設業協会
図解 橋梁用語事典	H7. 4	佐伯 彰一
図解 道路用語事典	H12. 12	鈴木 道雄
橋梁工学	H2. 3	泉 満明、近藤 明雅
外ケーブルによる鋼橋の補強-設計と施工の手引き-	H17. 4	松井 繁之
コンクリート補修・補強マニュアル	H15. 5	「コンクリート補修・補強マニュアル」編集 委員会
コンクリート構造物のマテリアルデザイン	H19. 7	魚本 健人
防護柵の設置基準・同解説	H20. 1	公益社団法人 日本道路協会
コンクリートライブラリー107 電気化学的防食工法設計施工指針(案)	H13. 11	公益社団法人 土木学会



コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計施工指針	H17. 4	公益社団法人 土木学会
コンクリートライブラリー137 けい酸塩系表 面含浸工法の設計施工指針 (案)	H24. 7	公益社団法人 土木学会
鋼構造シリーズ 15 高力ボルト摩擦接合継手の 設計・施工・維持管理指針 (案)	H18. 12	公益社団法人 土木学会
「ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会」報告 書	H26. 7	公益社団法人 日本コンクリート工学会 ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会
PC 道路橋計画マニュアル	H19. 3	一般社団法人 プレストレストコンクリ ート建設業協会
鉄筋コンクリート製プレキャストボックスカル バート道路埋設指針	H3. 7	一般財団法人 国土開発技術研究センター 全国ボックスカルバート協会
PC ボックスカルバート道路埋設指針 (改訂版)	H3. 10	一般財団法人 国土開発技術研究センター 日本 PC ボックスカルバート製品協会
道路土工カルバート工指針	H22. 3	公益社団法人 日本道路協会
コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比 限界値の提案	S50	セメント技術年報, Vol. 29, pp. 248~253 長谷川 寿夫



