

4. 講義資料

4.1 橋の構造の基本

次ページから、橋梁初級 I 研修の講義「橋の構造の基本」の説明に用いる資料の例を示す。

橋の構造の基本 (I . 橋に関する基礎知識)

1

橋の耐荷性能

2

作用と荷重

【H29道示 共通編1.2.1】用語の定義

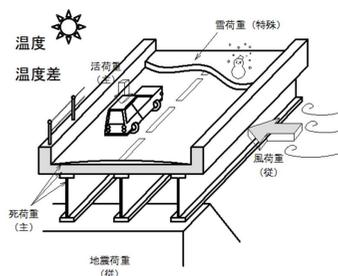
(11) 橋の耐荷性能

設計状況に対して、橋としての荷重を支持する能力の観点及び橋の構造安全性の観点から、橋の状態が想定される区分にあることを所要の信頼性で実現する性能をいう。

■ 作用...

部材等に発生する断面力や変形等の状態変化を部材等に生じさせる全ての働き。

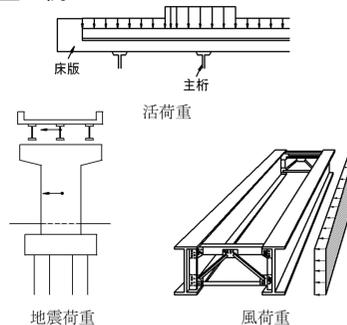
➤ 作用の例



■ 荷重...

部材等に働く作用を力に変換したもの。

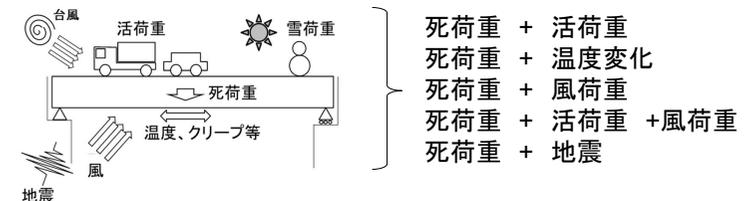
➤ 荷重の例



3

設計で考慮する状況

橋の設計では、橋が置かれる様々なシチュエーションを代表する荷重組合せを設定する。



等

点検においては、主に「活荷重」、「地震」、「豪雨・出水」の状況に対して、性能の見立てを行う。



洗掘

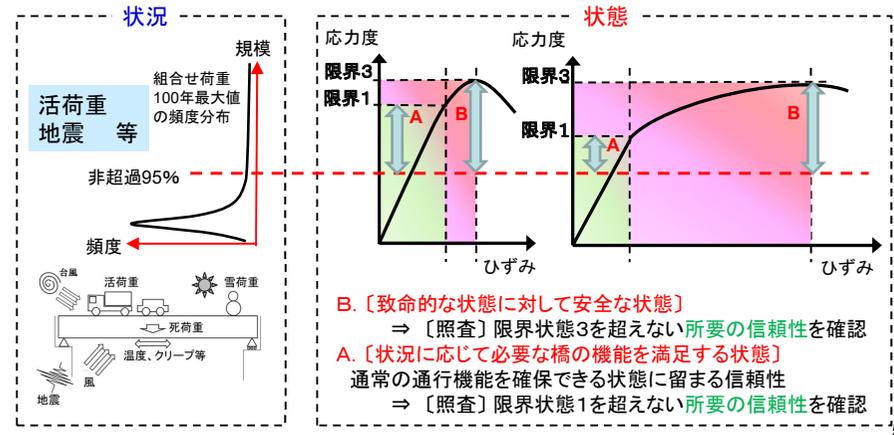
この他にも、必要に応じて構造条件等を踏まえて状況を設定する場合もある。

4

想定する状況に対して安全性と機能を満足させる

【H29道示 共通編1.8.1】設計の基本方針

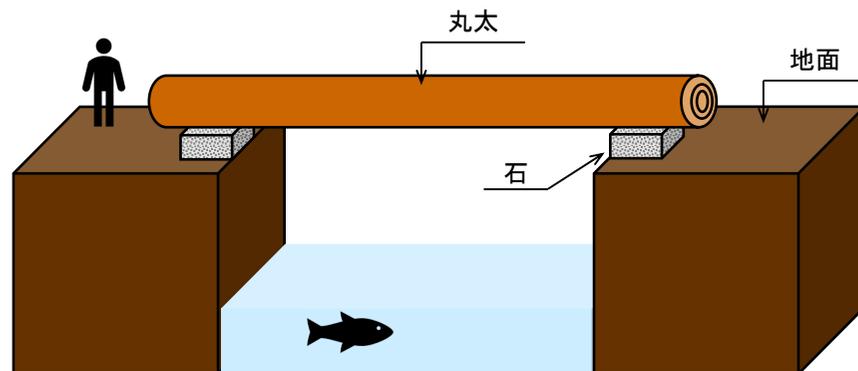
(2) 橋の耐荷性能を満足するために、設計供用期間中の交通の状況並びに地形、地質、気象その他の状況に対して、橋が落橋等の致命的な状態に対して安全な状態であること、及び、状況に応じて必要な橋の機能を満足する適切な状態にあることを、それぞれ所要の信頼性で実現できるように設計する。



橋の役割と機能

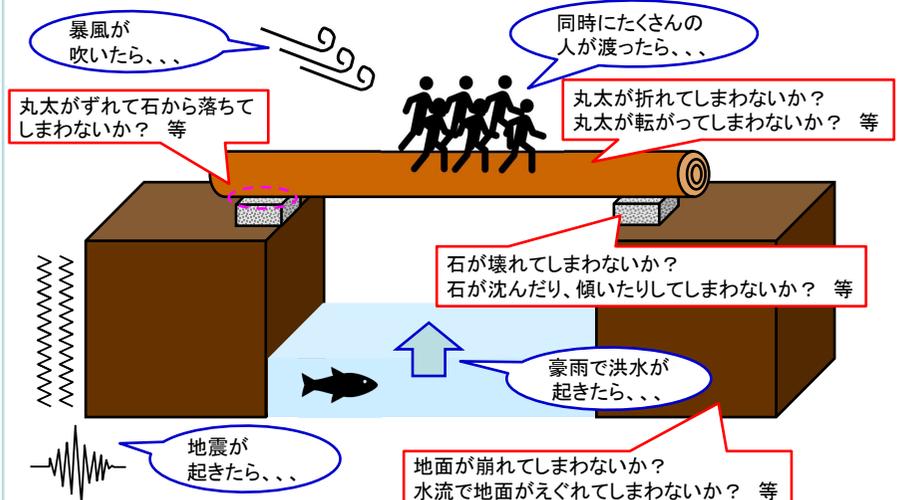
橋の役割と機能

アマゾンの奥地。あなたは流れの向こう岸にわたりたい。
 一本の丸太が石の上に置かれていて、向こう岸に渡れそうである。



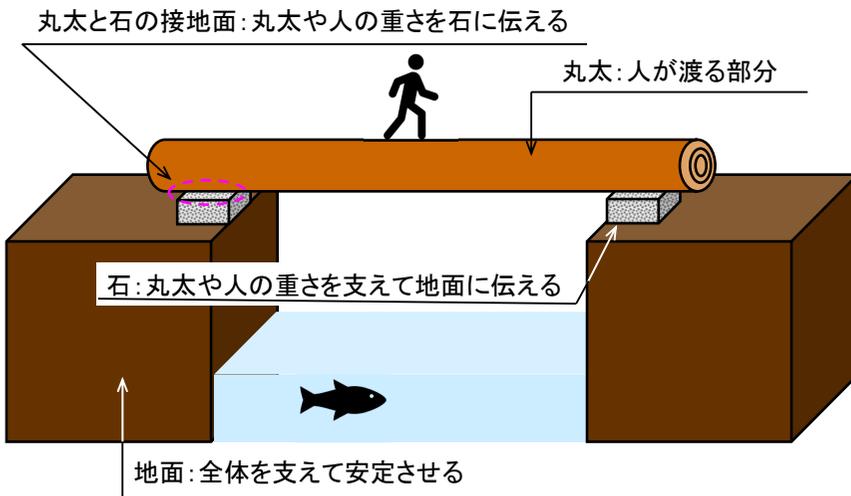
橋の役割と機能

安全に向こう岸に渡るためには、様々な状況に対して心配事がある。
 点検では、これらの心配事についてチェックする。



橋の役割と機能

向こう岸に渡るとき、丸太や石、地面には、それぞれ**役割**がある。



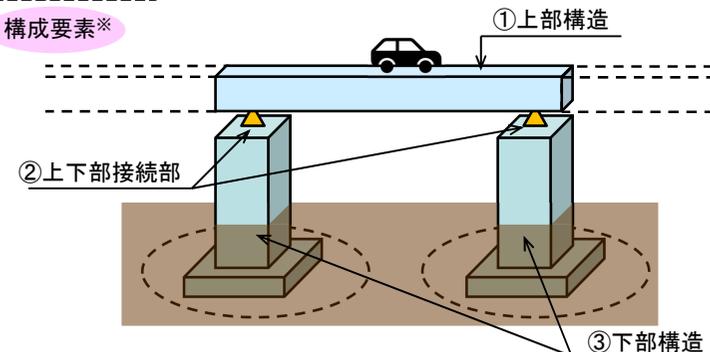
9

橋の役割と機能

「橋、高架の道路等の技術基準(道路橋示方書 H29 年)」では、橋の構造は以下のように分類される。

- ① 上部構造 → 地点を繋ぎ、車などが通る梁の部分
- ② 上下部接続部 → 梁と柱を繋ぐ部分
- ③ 下部構造 → 支点を支えて位置を保持する柱や基礎、周辺地盤

構成要素*



※構成要素: 異なる役割を有する構造部分(上部構造、下部構造、上下部接続部、その他(フェールセーフ、伸縮装置、その他))

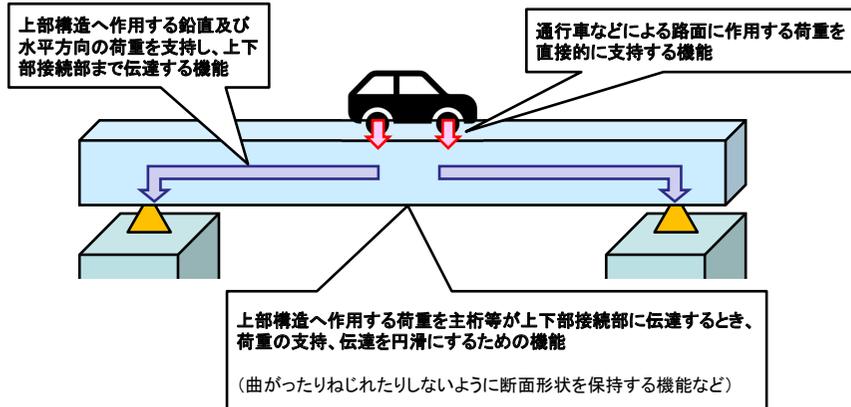
10

橋の役割と機能

上部構造の役割

「道路そのものとして自動車等の通行荷重を載荷させる部分を提供する」

上部構造の役割を果たすために求められる機能



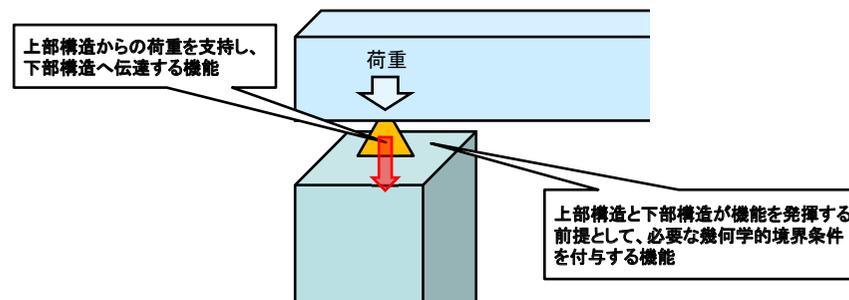
11

橋の役割と機能

上下部接続部の役割

「上部構造の支点となりその影響を下部構造に伝達する」

上下部接続部の役割を果たすために求められる機能



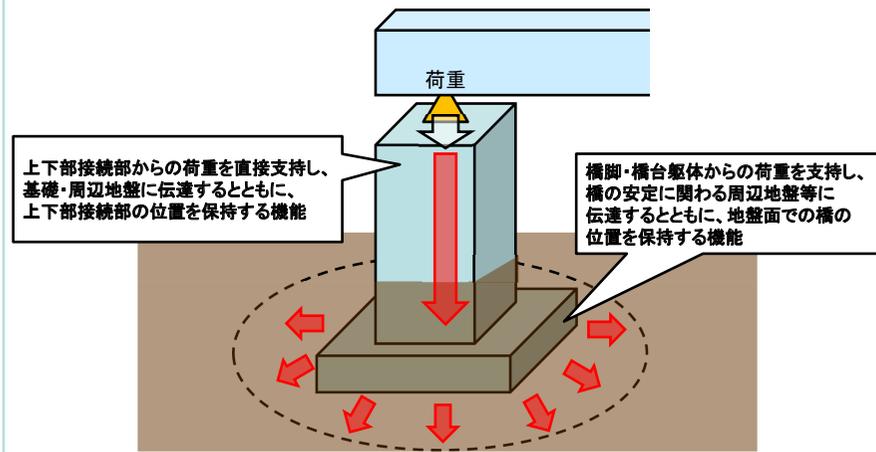
12

橋の役割と機能

下部構造の役割

「上下部接続部の位置を適切な位置に提供する」

下部構造の役割を果たすために求められる機能



13

橋の役割と機能

橋の性能に影響を及ぼす地盤などの境界条件を構成する部分

上部構造、下部構造、上下部接続部に区分されない(=の構造に含まれない)下部構造と接する地盤等で、その力学的特性などが橋の性能に影響を及ぼすものとして扱われなければならない部分(支持地盤、橋台背面土など)



- 支持地盤や橋台背面土の状態は、橋の自重や外力に対する安定や車両の通行に影響を及ぼすことから、状況に応じてどのような状態になり得るかを推定する。
- 影響を及ぼす可能性がある地盤の範囲は、橋ごとに、診断を行うものが見立てるものである。



基礎周辺地盤が洗掘されると、基礎の鉛直・水平支持力が低下する



護岸又は基礎洗掘部から橋台背面土が吸い出されると、橋台アプローチ部の踏み抜き、橋台の沈下、傾斜が懸念される



深礎基礎の周辺地盤が喪失し、鉛直・水平外力に対して基礎が不安定化することが懸念される

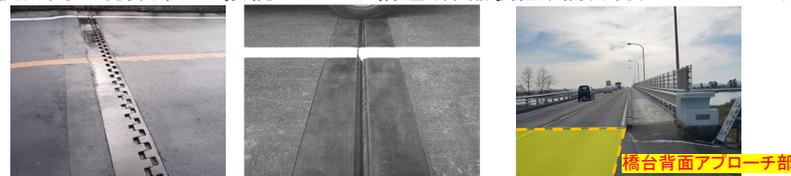
14

橋の役割と機能

その他の構造

道路橋の耐荷性能を構成する構造ではないが、橋が使用目的を達成するために設けられた構造

- ① 前後区間の境界部との接続のための構造(伸縮装置、橋台背面アプローチ部)



- ② 支承が破壊したとしても、落橋の可能性を減じるための「落橋防止システム」



- ③ その他 ... 排水装置、防護柵、遮音壁、落下物防止柵、照明、標識など

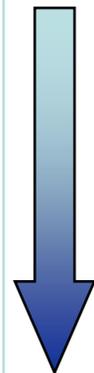
15

橋の材料

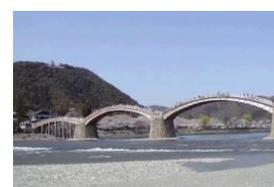
16

橋の材料と構造の歴史

材料の変遷

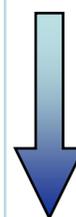


石・煉瓦 (軸圧縮に強い)
 木 (加工しやすい)
 蔓 (縄) (加工しやすい)
 鉄 (強い) (補強材)



17

橋の材料と構造の歴史



鋼 (強靱さを持つ、加工しやすい)
 コンクリート (圧縮に強い、構築が容易)
 (RC, PC) (引張部補強)
 鋼コンクリート複合 (複合構造)

鋼橋
 コンクリート橋
 鋼コンクリート複合橋



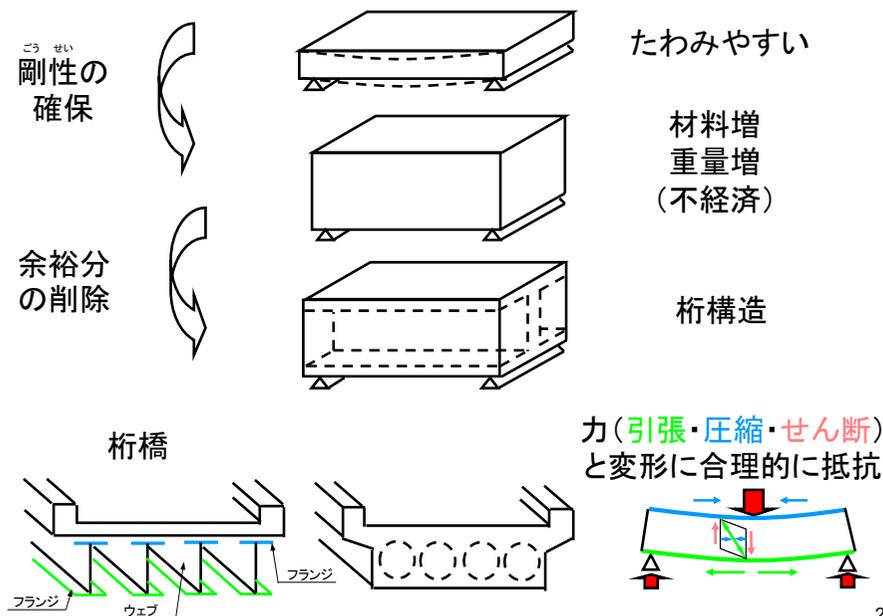
18

4-6

橋の構造形式

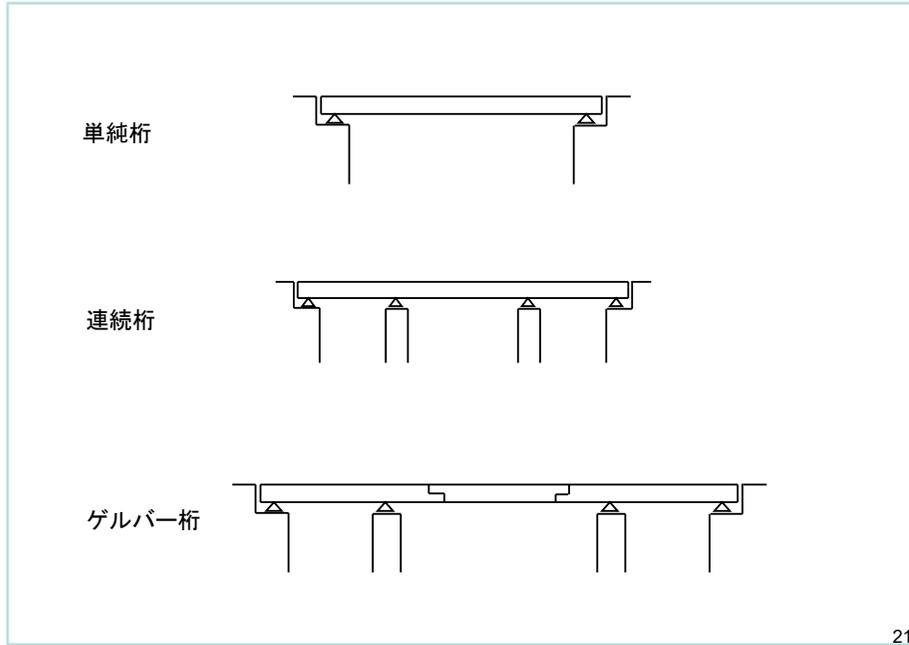
19

構造の基本(桁)



20

構造の基本(桁)

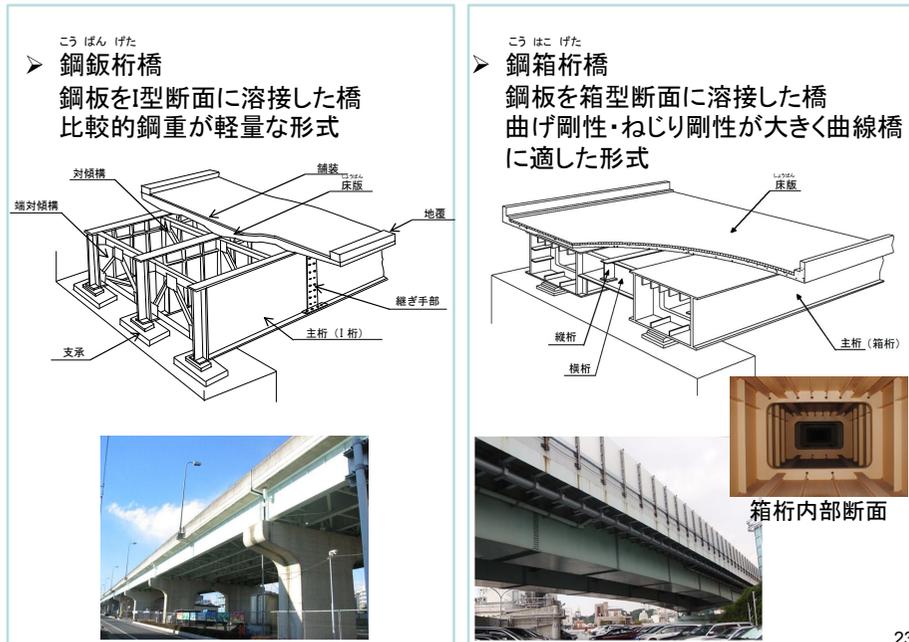


桁橋

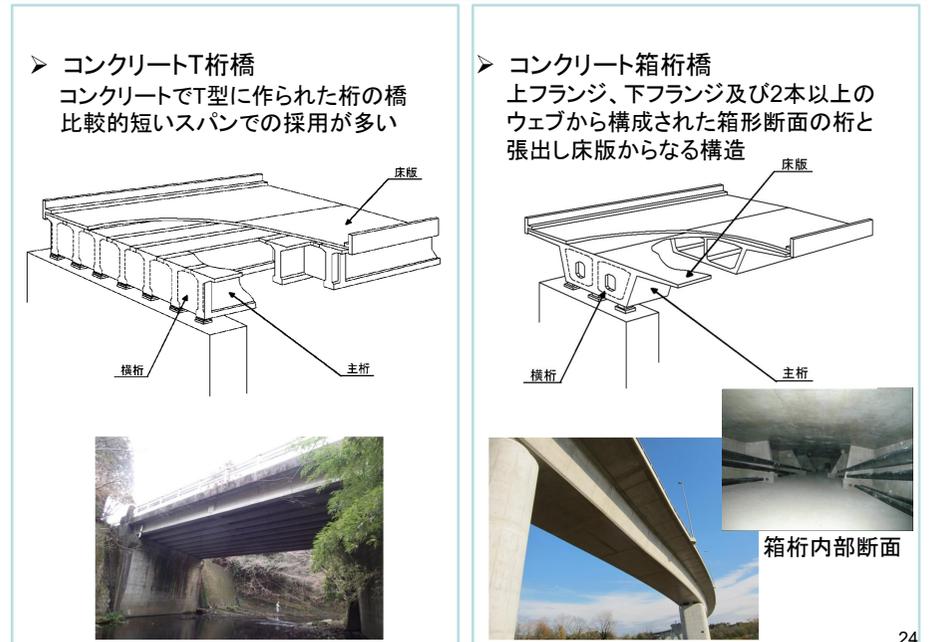


4-7

主桁・主構の種類(橋梁形式の種類)(構造形式による分類)

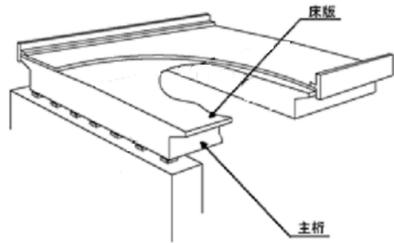


主桁・主構の種類(橋梁形式の種類)(構造形式による分類)

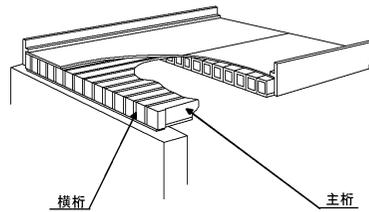


主桁・主構の種類(橋梁形式の種類)(構造形式による分類)

- 床版橋(充実断面)
例:RC床版



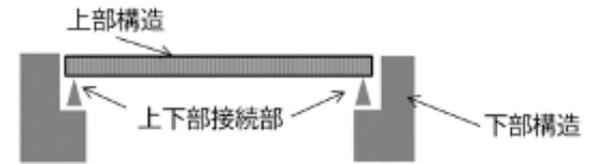
- 床版橋(中空断面)
例:プレテンション方式中空床版橋



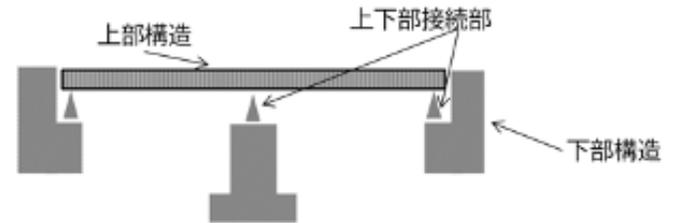
25

構成要素の構成の例

【単純桁橋】



【連続桁橋】

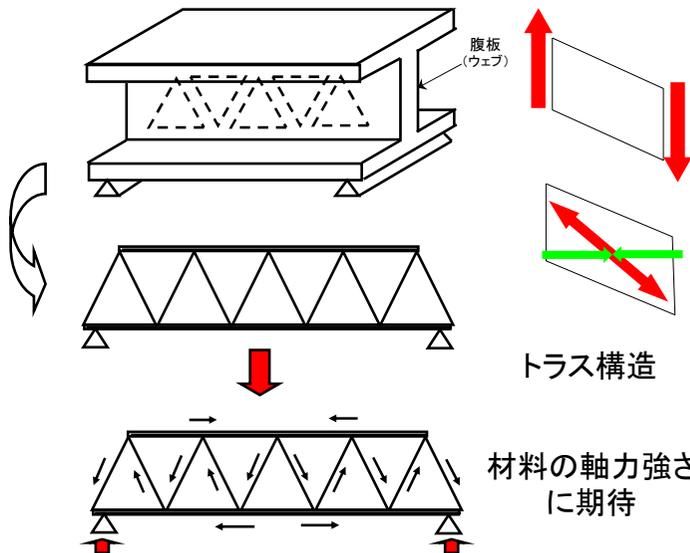


26

4-8

構造の基本(トラス)

更なる最適化



じくりよく
軸力部材
への変換

トラス構造

材料の軸力強さに期待

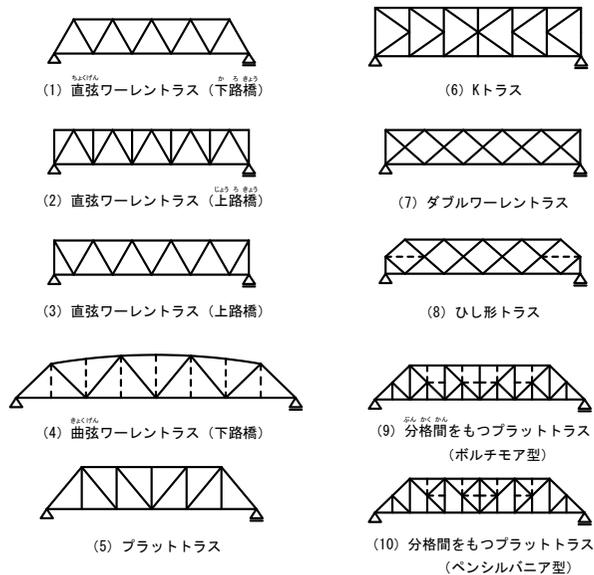
27

トラス橋



28

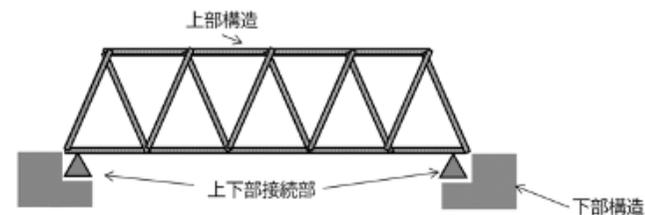
いろいろなトラス



(「鋼道路橋設計便覧」
日本道路協会より)

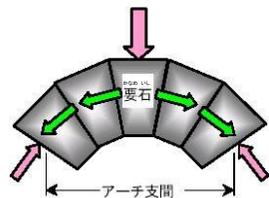
構成要素の構成の例

【トラス橋】



構造の基本(アーチ)

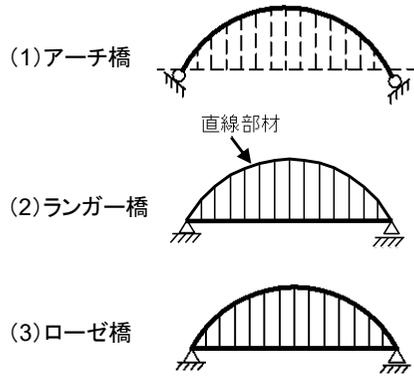
主に軸力(圧縮)
部材で形成



アーチ橋



アーチ橋の部材の役割と分類



※骨組線

太い実線: 曲げ, せん断, 軸力に抵抗

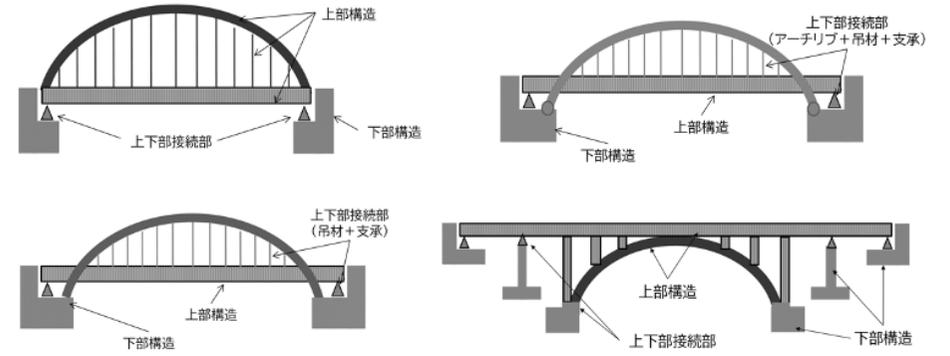
細い実線: 軸力に抵抗

細い破線: 床組からの荷重のみ支持

33

構成要素の構成の例

【アーチ橋】



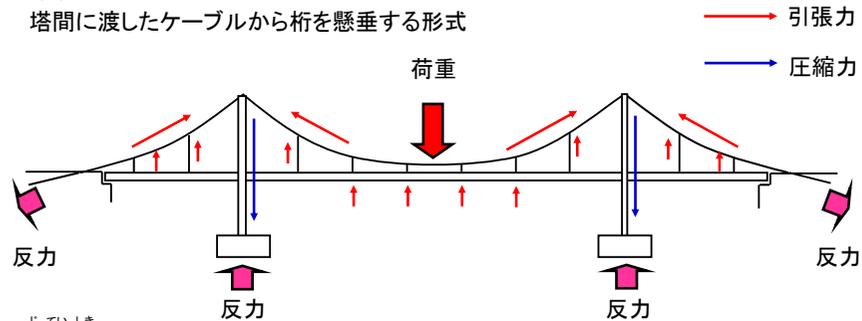
34

4-10

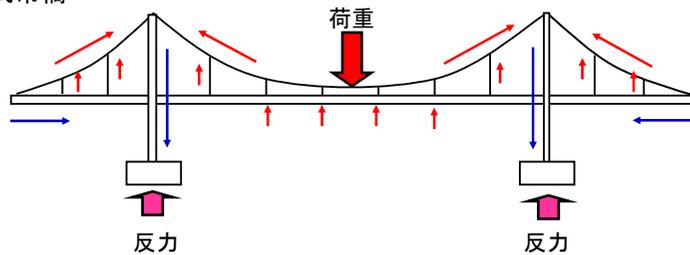
構造の基本ケーブルの活用①(吊橋)

➤ 吊橋

塔間に渡したケーブルから桁を懸垂する形式



○自碇式吊橋



35

吊橋

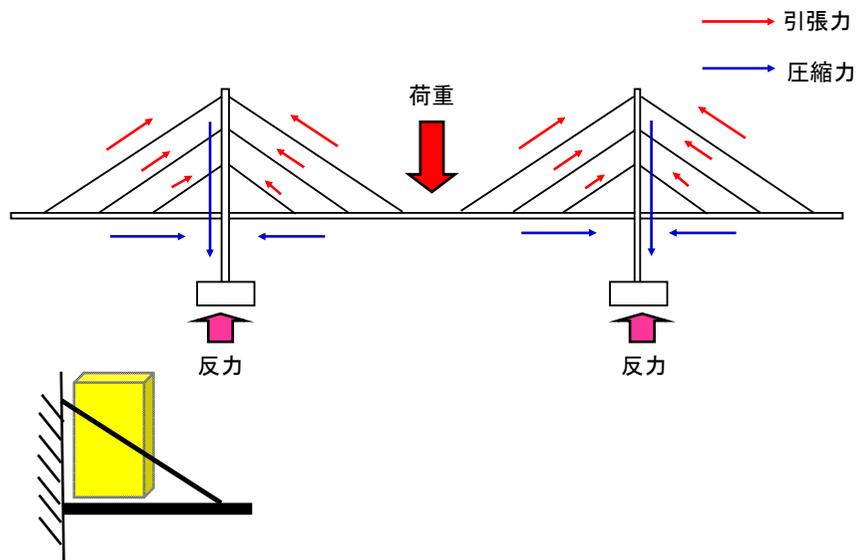


36

構造の基本ケーブルの活用②(斜張橋)

斜張橋

主桁や主構など上部構造を塔から延びる吊材ケーブルで直接支持する形式



37

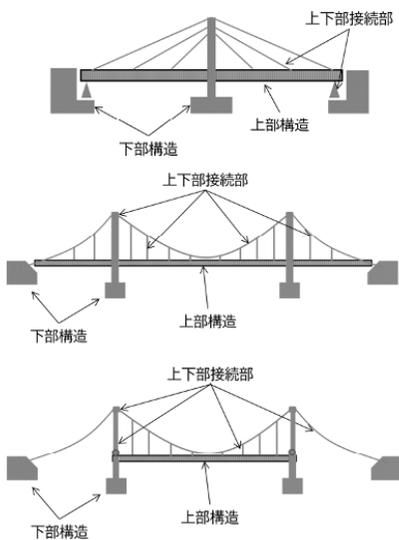
斜張橋



38

構成要素の構成の例

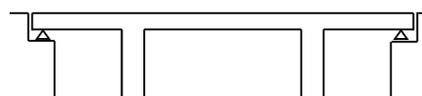
【ケーブル構造】



39

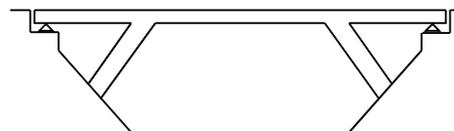
その他の構造分類(ラーメン構造)

ラーメン構造

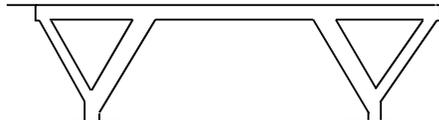


ほうじょう
(ほうづえ)

方杖ラーメン構造

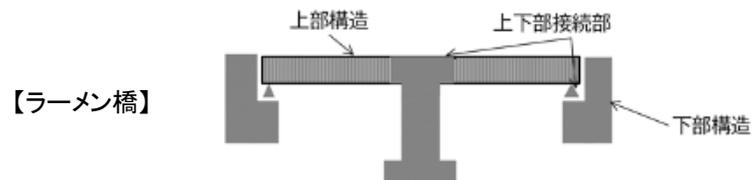


斜材付きπ型ラーメン構造



40

構成要素の構成の例



41

路面位置による分類

- 上路橋
主桁や主構など **上部構造の上部に路面** を設けた橋
- 上路橋 路面
- 中路橋
主桁や主構など **上部構造の間の高さ位置に路面** を設けた橋
- 中路橋 路面
- 下路橋
主桁や主構など **上部構造の下部に路面** を設けた橋
- 下路橋 路面

42

4-12

橋の構成(橋面)

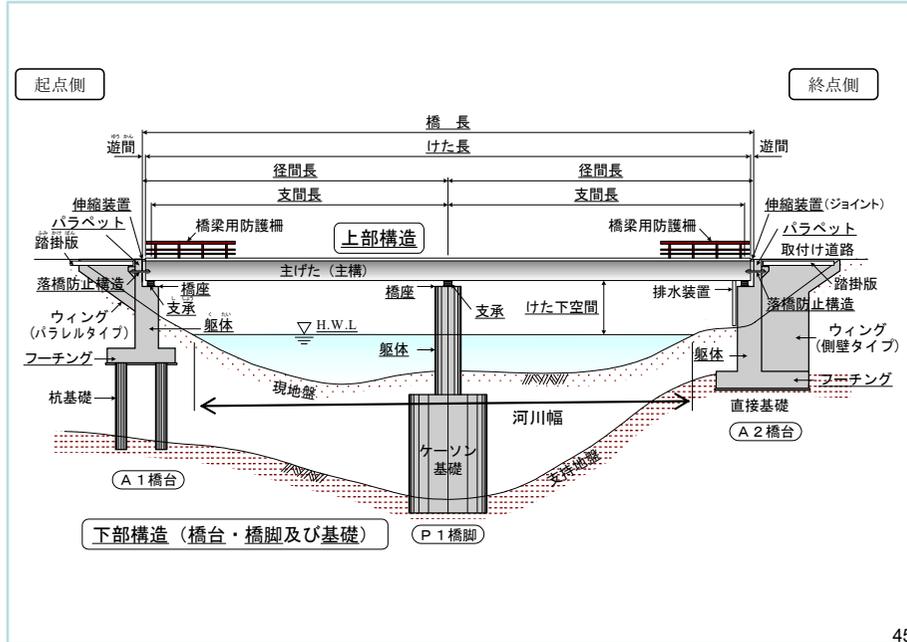
- 幅員構成
-
- 全幅員
有効幅員
地覆幅
路肩
車道
車道
路肩
歩道幅
- 橋面の構成
-
- 橋梁用防護柵 (車両用防護柵)
排水樹
路肩
歩道
舗装
床版
車道
橋梁用防護柵
歩行者自転車柵兼用車両防護柵又は歩行者自転車用柵
緑石
歩道
地覆

43

44

橋の構成

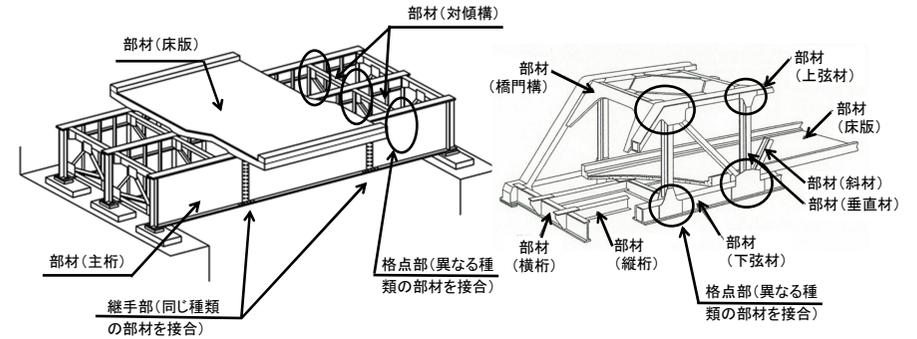
橋の構成(橋全体)



45

橋を構成する部材と部位

部 材：主桁、横桁などの荷重に抵抗する各種別の構造
 継手部：同じ部材同士をつなぐ接合部
 格点部：異なる種類の部材間をつなぐ接合部



(鋼桁橋の例)

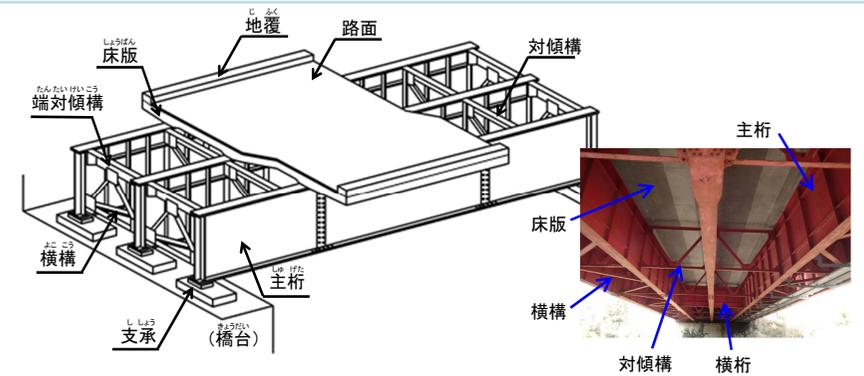
(鋼トラス橋の例)

46

4-13

上部構造の部材の名称と機能

部材の名称(鋼桁橋)



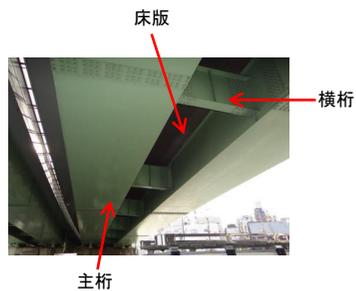
主 桁：上部構造に作用する荷重を下部構造に伝達する桁
 横 桁：主桁間の荷重を分配する部材
 対傾構：主に水平荷重に抵抗する部材
 横 構：主に水平荷重に抵抗する部材
 床 版：橋の通行荷重を直接または床組を介して主桁に伝達させる部材

47

48

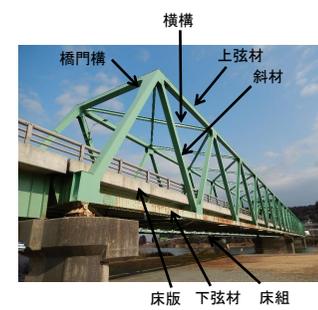
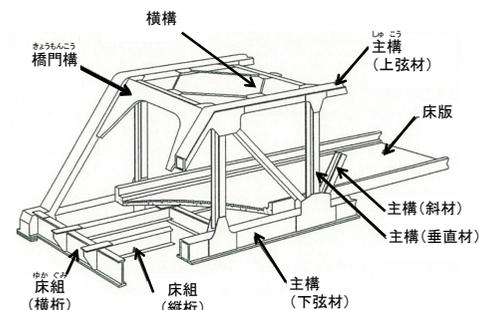
橋を構成する部材の例

●上部構造—主桁、横桁、床版（鋼橋）



49

部材の名称(鋼トラス橋)

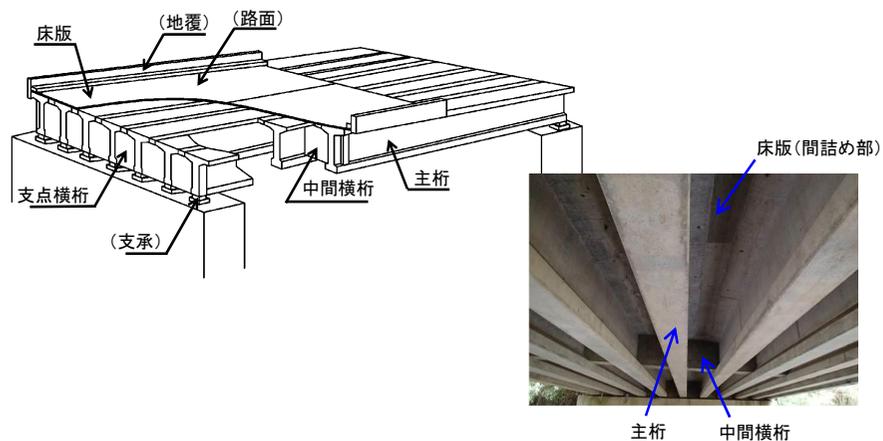


- 主 構: 主要な構造として主桁と同じ機能を有する構造
- 床 組: 床版からの荷重を主構に伝達する部材
- 縦 桁: 床版を支持する部材で、床組を構成する部材
- 横 桁: 主構間の荷重を分配する部材で、床組を構成する部材
- 橋門構: 主に水平荷重に抵抗する部材
- 横 構: 主に水平荷重に抵抗する部材
- 床 版: 橋の通行荷重を直接または床組を介して主構に伝達させる部材

50

4-14

部材の名称(コンクリート橋)



- 主 桁: 上部構造に作用する荷重を下部構造に伝達する桁
- 横 桁: 主桁間の荷重を分配する部材
- 床 版: 橋の通行荷重を直接または床組を介して主桁に伝達させる部材

51

橋を構成する部材の例

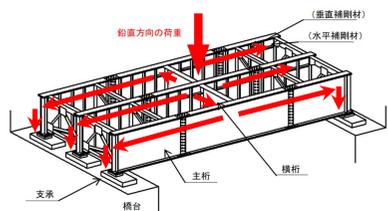
●上部構造—主桁、横桁、床版（コンクリート橋）



52

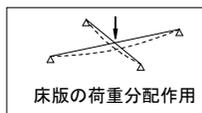
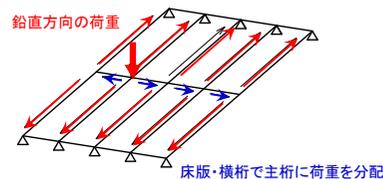
部材の機能の例

上部構造へ作用する鉛直方向の荷重を支持し、上下部接続部まで伝達する機能



→ **主桁**

荷重伝達経路:
床版→主桁→支承→下部構造



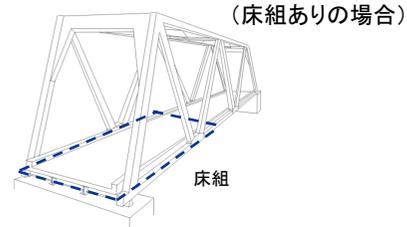
鉛直荷重の伝達経路の例

垂直補剛材、水平補剛材:
主桁のウェブに配置して主桁の座屈耐荷力を確保する主桁の補剛材

53

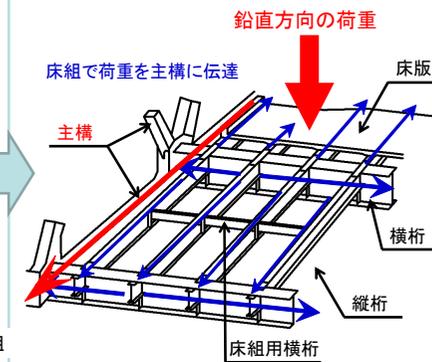
部材の機能の例

上部構造へ作用する鉛直方向の荷重を支持し、上下部接続部まで伝達する機能



→ **主構**

荷重伝達経路:
床版→床組→主構→支承→下部構造

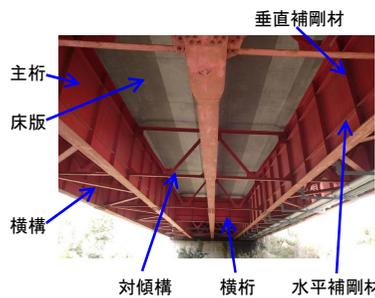
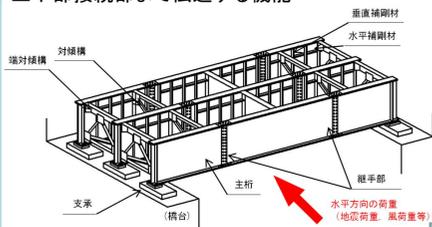


鉛直荷重の伝達経路のイメージ

54

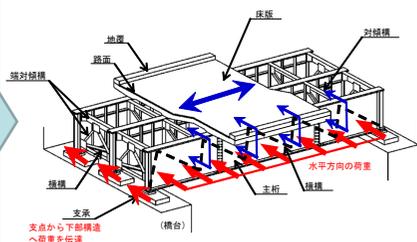
部材の機能の例

上部構造へ作用する水平方向の荷重を支持し、上下部接続部まで伝達する機能



→ **主桁**

荷重伝達経路:
主桁→横桁、対傾構、床版、横構
(主桁間で水平荷重を分配)
→ 主桁→支承→下部構造



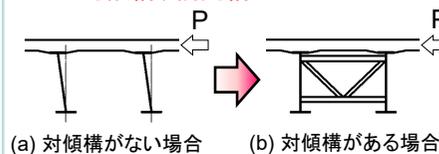
水平荷重の伝達経路のイメージ

55

部材の機能の例

上部構造へ作用する荷重を主桁等が上下部接続部に伝達するとき、荷重の支持、伝達を円滑にするための機能

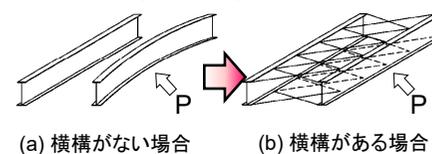
(1) 断面的な形状を保持する部材
⇒ 対傾構、橋門構



(a) 対傾構がない場合

(b) 対傾構がある場合

(2) 平面的な形状を保持する部材
⇒ 上横構、下横構



(a) 横構がない場合

(b) 横構がある場合



56

横構

- 水平力を伝達する部材が損傷した事例(横構の座屈、破断、横構接合部のガゼットの塑性変形)
- 上横構の破断



水平荷重の作用する向きや、横構の配置によって、各横構に作用する軸力は引張り力または圧縮力のどちらも作用する可能性がある。そのため、引張り力による破断も、圧縮力による座屈も生じる可能性がある。

- ガゼットの塑性変形



- 下横構の座屈

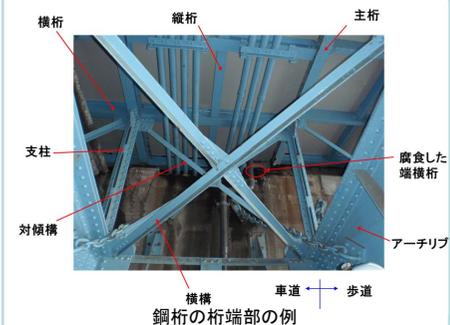
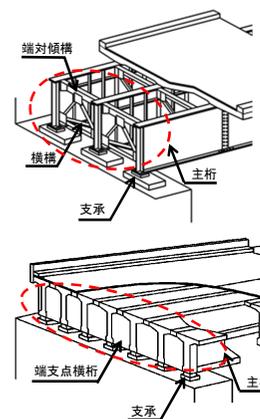


57

桁端部の横桁、対傾構

- 桁端部の横桁、対傾構

桁端部は、支承に荷重を伝達する重要な部位である。桁端部の端支点横桁や端対傾構には、橋の形状を保持する機能だけでなく、桁端部に載荷される荷重を支持する機能がある。



コンクリート橋の桁端部が地震によって損傷した例

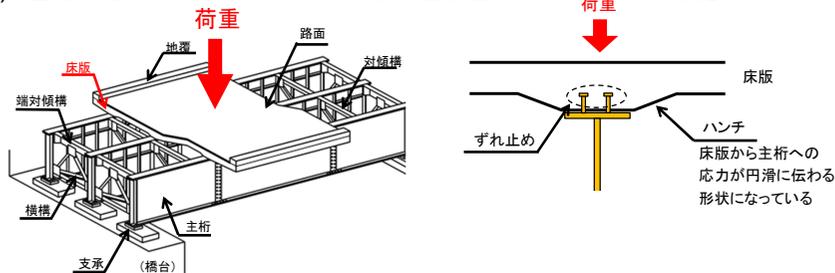
58

4-16

部材の機能の例

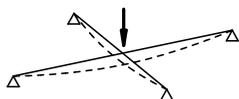
【床版の機能の例】

- a) 通行車などによる路面に作用する荷重を直接的に支持する機能



- b) 上部構造へ作用する荷重を主桁等が上下部接続部に伝達するとき、荷重の支持、伝達を円滑にするための機能

荷重をそれぞれの主桁や主構に分配し、荷重支持・伝達を円滑にする



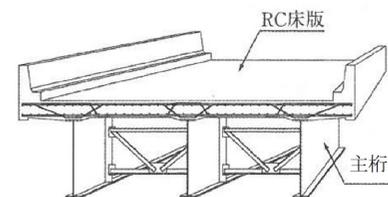
床版の鉛直荷重分配作用

※床版のように部材は複数の機能を有する場合がある

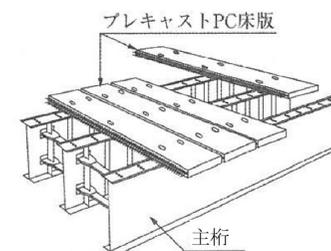
59

床版の形式

- RC床版



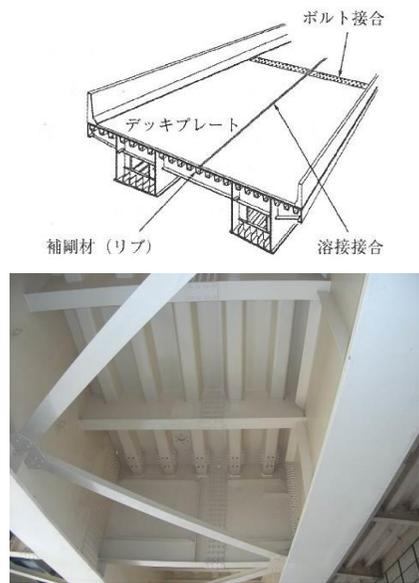
- PC床版(プレキャストPC床版)



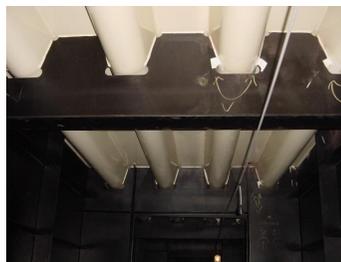
60

床版の形式

■ 鋼床版



▶ 鋼床版の構造例(補剛材(リブ)) (1) 縦リブにUリブを用いる場合

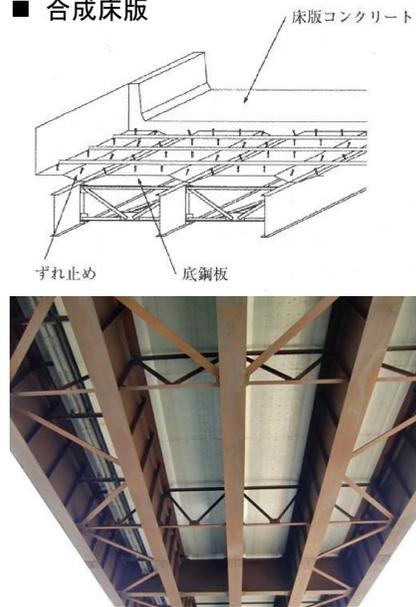


(2) 縦リブにUリブを用いない場合



床版の形式

■ 合成床版



合成床版は以下のパーツから構成される。

- 底鋼板
- ずれ止め
- 鉄筋
- コンクリート

底鋼板とコンクリートとをずれ止めで一体化した床版で、底鋼板が型枠・支保工の役割も兼用している。

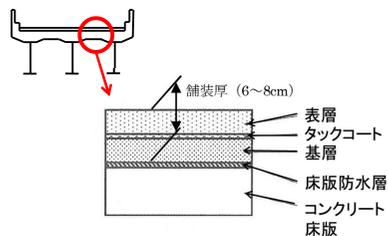
平成3年頃から採用され始め、平成13年頃から施工実績が増えている。



孔明き鋼板ジベルを用いた合成床版の例(配筋中)

舗装構成

■ 床版の上には舗装がある



(鉄筋コンクリート床版の場合)

■ 現在では舗装と床版の間に床版防水層を設置

床版に雨水等が浸透して床版内部の鉄筋や鋼材を腐食させる、またはコンクリートの劣化を促進し床版の耐荷力や耐久性に著しく悪影響を及ぼすことを防止するためのもの。

道路橋示方書では平成14年の改定から防水層の設置が原則とされた。



塗膜系床版防水層の塗布

既設橋床版の補強事例

(1) 鋼板接着補強



(2) 繊維シート補強



(3) RC床版の鋼板接着補強



鋼板接着補強は、**鋼板端部でシール材処理**がされている
(合成床版はシール材処理されていない)

上下部接続部の形式と機能

65

上下部接続部の機能

支承

- 上部構造と下部構造の接点に設けられる。
- 支承の機能の例
 - 上部構造からの荷重を支持し、下部構造へ伝達する機能
 - 上部構造と下部構造が機能を発揮する前提として、必要な幾何学的境界条件を付与する機能
 - 上部構造の水平移動、回転などの変位に追従する
 - 支承は、履歴、粘性、摩擦等の減衰させる働きもある場合もある



ピン支承



支承板支承



積層免震ゴム支承



線支承

66

下部構造の部材の名称と機能

67

下部構造の名称と機能

上下部接続部からの荷重を直接支持し、基礎・周辺地盤に伝達するとともに、上下部接続部の位置を保持する機能

橋台



橋梁の端部に配置されるもので、上部構造からの荷重の基礎への伝達する。背面土の土留めとしても働く。

橋脚



(コンクリート橋脚)

橋梁の中間部に配置されるもので、上部構造からの荷重を基礎へ伝達する。

橋脚・橋台躯体からの荷重を支持し、橋の安定に関わる周辺地盤等に伝達するとともに、地盤面での橋の位置を保持する機能

基礎・周辺地盤



(直接基礎の例)

躯体からの荷重を地盤に伝える。

68

伸縮装置の形式と機能

69

伸縮装置の形式と機能

- 伸縮装置とは・・・
 - 道路と橋梁との境界部や橋桁端相互の継目部に設けられる
 - 温度変化や荷重作用による桁の伸縮や変形に対応
- 伸縮装置の分類
 - 構造による分類
荷重支持型構造、荷重非支持型構造
 - 水処理による分類
排水構造、非排水構造



伸縮装置の交換の例

- 伸縮装置の例
 - ・・・写真以外にも様々な例がある



鋼製ジョイントの例(荷重支持型)



ゴムジョイントの例(荷重非支持型)

70

フェールセーフ(落橋防止システム)の形式と機能

71

落橋防止システムの形式と機能

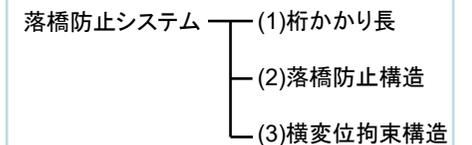
- 落橋防止システムとは・・・

支承部の破壊により、上部構造と下部構造との間に大きな相対変位が生じる状態に対して、上部構造の落下対策として落橋防止システムを設置する。



落橋防止装置の例

- 落橋防止システムの種類



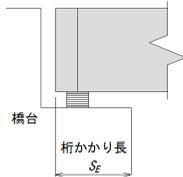
72

落橋防止システムの形式と機能 (1) 桁かかり長

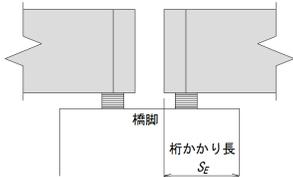
■ 桁かかり長

支承部が破壊したときに、上部構造が下部構造の頂部から逸脱することを防止する機能

➤ 橋台



➤ 橋脚



■ 既設橋の拡幅事例

既設橋において、橋座幅を拡幅することにより、規定の桁かかり長を確保



73

落橋防止システムの形式と機能 (2) 落橋防止構造

■ 落橋防止構造

支承部が破壊したときに、橋軸方向の上下部構造間の相対変位が桁かかり長を越えないようにする機能

落橋防止システム

- (1) 下部構造に突起等を設ける構造
- (2) 上下部構造を連結する構造
- (3) 上部構造どうしを連結する構造

(1) 下部構造に突起等を設ける構造

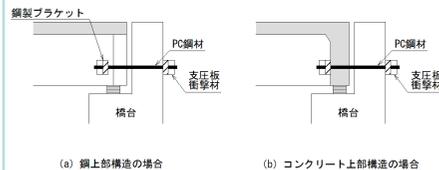
➤ コンクリートブロックを用いた事例



74

落橋防止システムの形式と機能 (2) 落橋防止構造

(2) 上下部構造を連結する構造



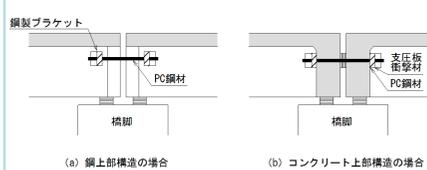
➤ ケーブルを用いた事例



➤ チェーンを用いた事例



(3) 上部構造どうしを連結する方法



➤ 鋼上部構造の事例



➤ コンクリート上部構造の事例



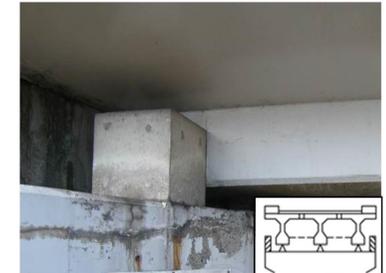
75

落橋防止システムの形式と機能 (3) 横変位拘束構造

■ 横変位拘束構造

支承部が破壊したときに、橋の構造的な要因によって上部構造が橋軸直角方向に変位することを拘束する機能

(1) コンクリート製突起構造



(2) 鋼製突起構造



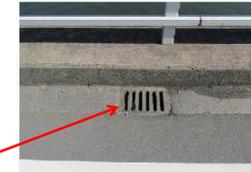
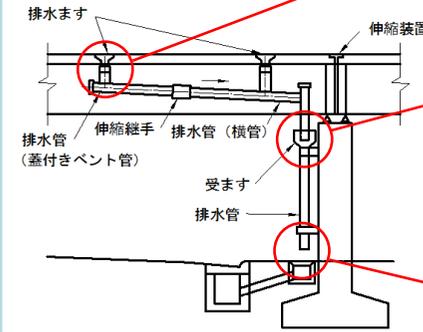
76

付帯設備や付属物の名称と機能

付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (排水装置)

■ 排水装置

排水装置は、路面における雨水などの滞水が道路機能を阻害するとともに、ひいては橋梁の耐久性を損なう腐食の原因になるため、これを速やかに排水するために取り付けられるものである。



排水ます



受ます



排水の
流末処理

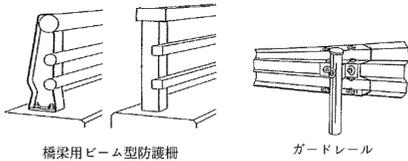
付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (防護柵)

■ 防護柵

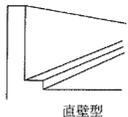
防護柵は、進行方向を誤った車両の路外逸脱の防止、乗員傷害の最小限化、車両の進行方向復元などにより交通事故の防止を図るための重要な施設である。

■ 防護柵の種類

(1) たわみ性防護柵



(2) 剛性防護柵



■ 防護柵の例

▶ たわみ性防護柵の例

○ 橋梁用ビーム型防護柵 (歩車道境界)



○ 橋梁用ビーム型防護柵



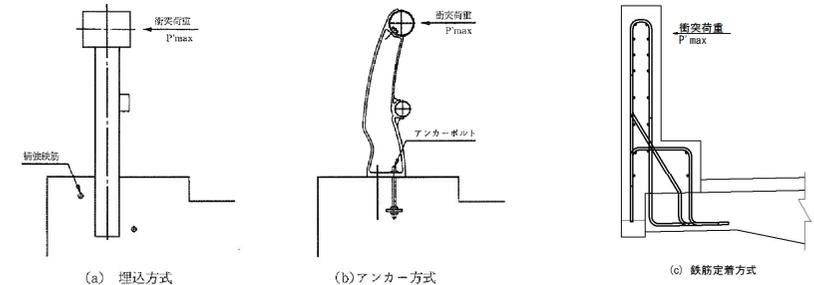
▶ 剛性防護柵の例

○ 直壁型防護柵



付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (防護柵)

■ 防護柵の定着方法



付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (遮音壁)

■ 遮音壁

道路上で発生する音を遮断し、音の回折かいせつによって減音を図り沿道の環境を保全することを目的に設置される壁である。

橋梁の壁高欄天端もしくは壁高欄背面にアンカーで取付けられるものが多い。

遮音壁に対しては風荷重による影響が大きく、壁高欄・床版への影響も大きくなる。

■ 遮音壁の例



81

付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (落下物防止柵)

■ 落下物防止柵

落下物防止柵は、高架橋と交差する鉄道・道路・民家等への車両積載物の落下や投物等を防止する柵である。

橋梁部への取付けは、壁高欄天端かべこうらんもしくは壁高欄背面にアンカーで固定するタイプが多い。

遮音壁と同様に風荷重の影響を考慮しなければならない。

■ 落下物防止柵の例



82

付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (照明)

■ 照明

道路照明は、交通事故防止の目的で使用されている。

橋梁では、カーブ等の見通しが悪い所、高速道路のON、OFFランプ、インターチェンジ部や約50m以上の橋の両端もしくは、長大橋の上やその周辺にも設置されている例が多い。

橋梁上の照明設備は、走行車両や風等による振動等が生じる可能性があり、疲労による付属物本体や取付け部の損傷、取付ボルトのゆるみなどに注意が必要である。

■ 照明の例



83

付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (標識)

■ 標識

一般道路の案内標識には、目的地・通過地の方向、距離や道路上の位置を示し目標地までの経路を案内する案内標識、道路上で警戒すべきことや危険を知らせる警戒標識がある。

橋梁への取付けは、新設橋梁の場合にはアンカーを埋め込む方法が多く、既設橋梁に取付ける場合には、あと施工アンカーによる取付けが多い。

橋梁上や風の強い地区に設置された柱の基部や開口部、横梁の基部で損傷している事例もあることから、定期点検時にはそのような部位には特に注意する必要がある。

■ 標識の例



84

付帯設備や付属物の部材の名称と機能 (取付部)

■ 取付部

付帯設備や付属物はアンカーで定着される場合が多い。

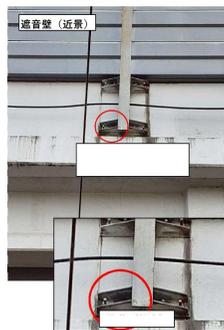
アンカーはあらかじめ埋め込まれている場合や、既設構造物にあと施工アンカーとして設置される。

取付部の損傷によって、付属物の落下や倒壊等によって、重大な第三者被害に至る場合もあるため、点検時には注意して観察する必要がある。

取付部の損傷には、アンカーの腐食や引き抜け、定着側のコンクリートの破壊等がある。



標識柱の取付アンカーボルト



遮音壁の取付アンカーボルトが落下した事例



橋の力学の基本

荷重効果:軸力

□軸力

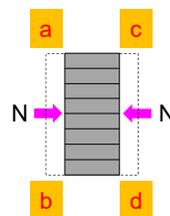
➤ 縮む (圧縮)



➤ 伸ばす (引張)



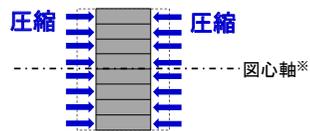
a-b断面、c-d断面を圆心軸方向に移動させようとする力が生じる ⇒ 軸力: N



※図は圧縮のイメージ

断面は、一様に圧縮(引張)となる。

※圆心軸
各断面の圆心(重心)をとる軸



※図は圧縮のイメージ

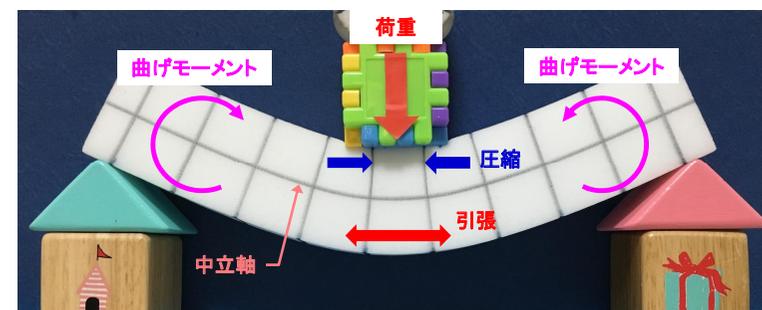
圧縮力(引張力)を断面積で除したものを圧縮応力(引張応力)という。

※応力(応力度):

$$\sigma = \text{単位面積当たりの荷重} \text{「N/mm}^2\text{」}$$

荷重効果:曲げモーメント

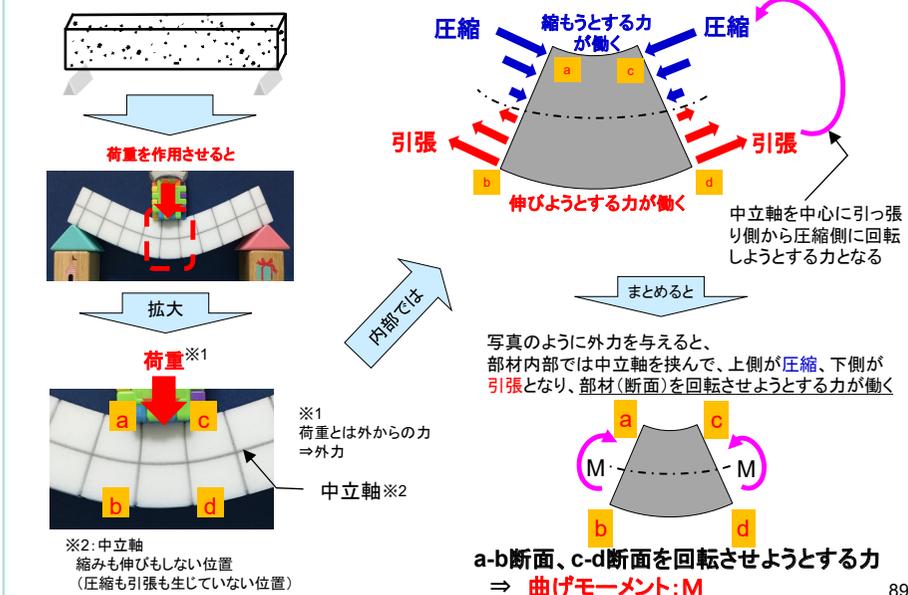
□曲げモーメント



はり部材に鉛直荷重を作用させると、各断面を回転させようとする力: 曲げモーメントが働く。部材は曲げモーメントに対し、上側は圧縮・下側は引張となる。

荷重効果:曲げモーメント

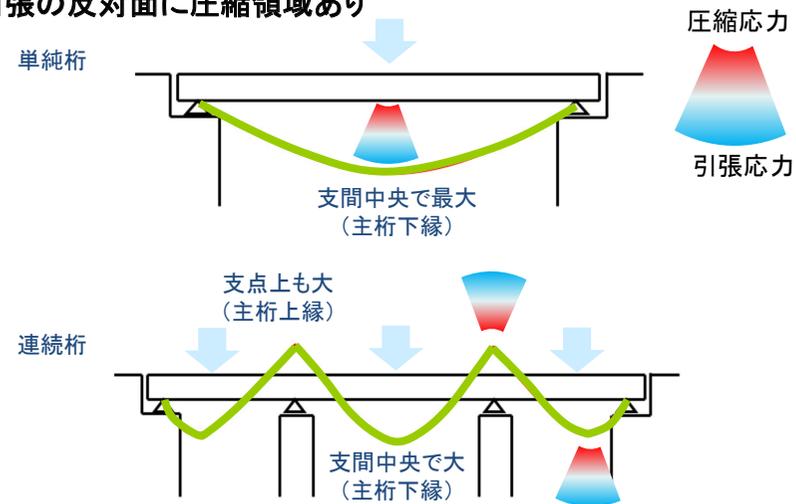
□曲げモーメント



曲げモーメント図

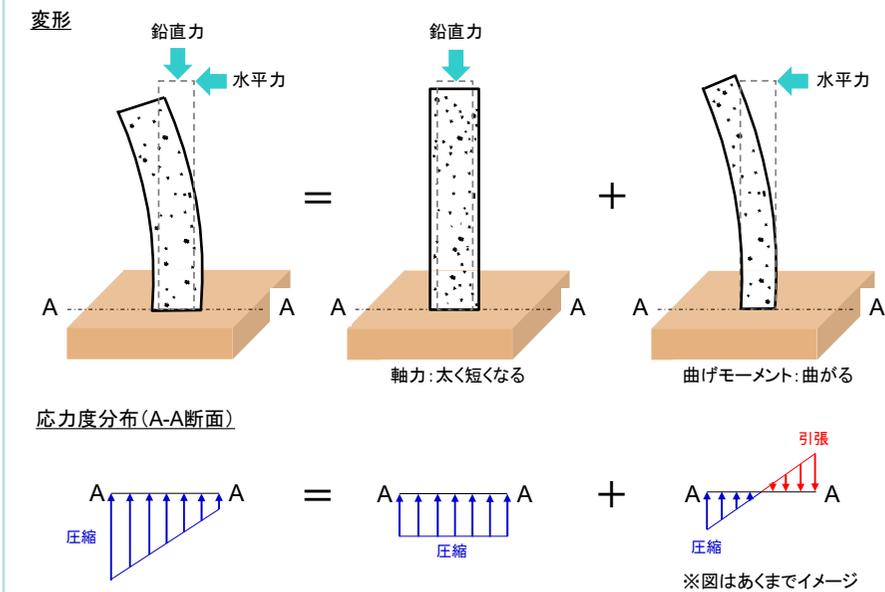
曲げモーメント図...引張が出る側 と その大きさを同時に図示

- いつも下面側が引張領域になるわけではない。
- 引張の反対面に圧縮領域あり



荷重効果

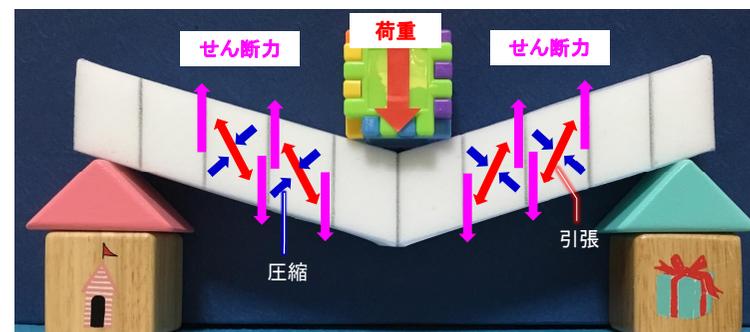
➢ 2つの力が同時に作用したら → 柱にと考えると...



荷重効果:せん断力

□せん断力

※写真は実際の変形ではなくせん断力のみを表現したイメージ



はり部材に鉛直荷重を作用させると、断面を鉛直方向にずらそうとする力:せん断力が働く。部材は、平行四辺形に変形しようとするため、斜め方向の引張と圧縮が生じる。

荷重効果:せん断力

□せん断力

荷重を作用させると

拡大

荷重※

※荷重とは外からの力=外力

内部では

圧縮
縮もうとする力が働く

引張
伸びようとする力が働く

写真のように外力を与えると部材は平行四辺形に変形しようとするため、内部に斜め方向の引張と圧縮が生じる。

断面で見ると

外力を与えると断面に、鉛直方向(下側)にずらそうとする力とずれないようにする(上側)が働いている。

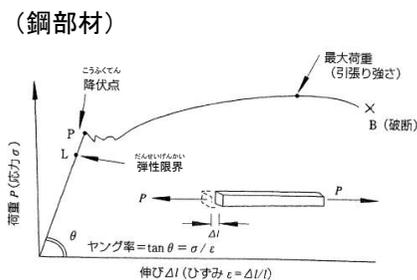
断面上に鉛直方向にずらそうとする力 ⇒ **せん断力:S**

参考例

93

軸力:鋼部材

材料特性(軸力)

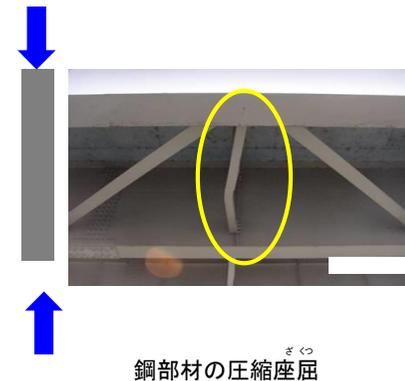


・材料の引張り



鋼部材の特性

・細長い棒や薄い板が圧縮を受けると...



94

曲げモーメント:鋼部材

鋼部材の曲げ降伏・座屈

鋼桁の構成の例

上フランジ

ウェブ

下フランジ

曲げモーメントに対して抵抗

荷重

曲げ圧縮

曲げ引張

座屈

降伏

95

支点部

支点部 (鋼部材)

荷重

支点上補剛材は軸圧縮力が作用する

せん断力 Q

せん断応力分布

τ_{max}

支点上補剛材の局部座屈

- ・圧縮を受ける柱として設計する。
- ・腐食により断面欠損が生じると柱としての耐荷力に影響を受ける可能性もある。

<支点部の損傷事例>



支承に荷重を伝える桁端部が著しく腐食している事例

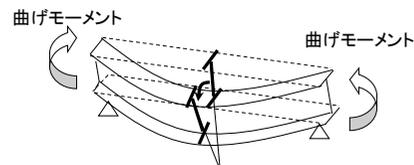
96

損傷事例

■ 鋼橋の横倒れ座屈



主桁が鉛直荷重に抵抗できずに中間支点部で横倒れ座屈が生じた。
 中間支点部で主桁が大きくねじれて、上フランジと下フランジがそれぞれ逆の水平方向に大きく変形している。
 主桁が荷重に抵抗できなくなると橋全体が崩落してしまうことを示している。



※写真は、地すべりで下部工が移動し、P2橋脚が崩壊したため、P1橋脚上に鉛直荷重が集中して座屈した事例である。

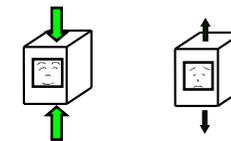
軸力:コンクリート部材

材料特性(軸力)

コンクリート部材の特性

◆ 圧縮に比べ、極端に引張に弱い

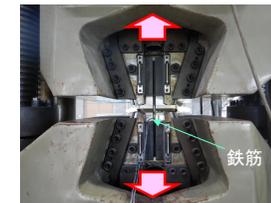
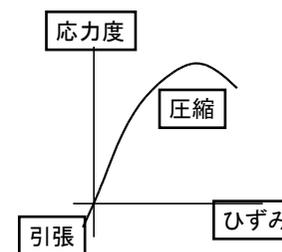
圧縮強度 >> 引張強度



◆ 応力と変形の関係が複雑(非線形)



コンクリート圧縮試験

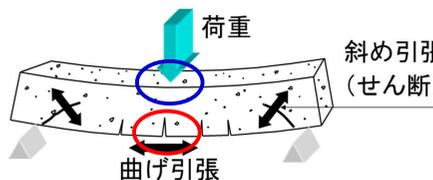


参考)鉄筋引張試験

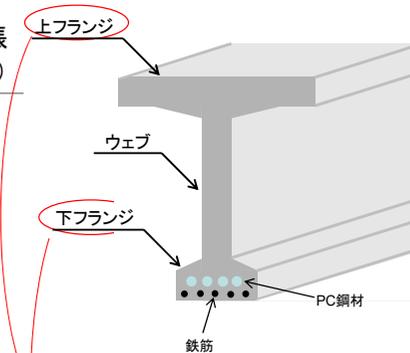
曲げモーメント:コンクリート部材

コンクリート部材の特性

コンクリート桁の構成の例



コンクリート部材の曲げ破壊



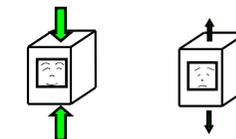
曲げモーメントに対して抵抗

コンクリート部材

◆ コンクリートは、圧縮に比べ、引張はほとんど期待できない

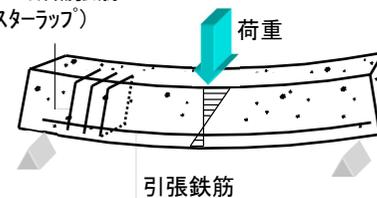
→ 鉄筋やPC鋼材で補強・補完

圧縮強度 >> 引張強度

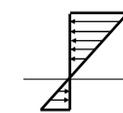


◆ 鉄筋コンクリート(reinforced concrete)

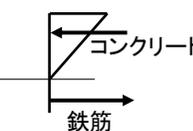
せん断補強筋(スターラップ)



ひずみ分布

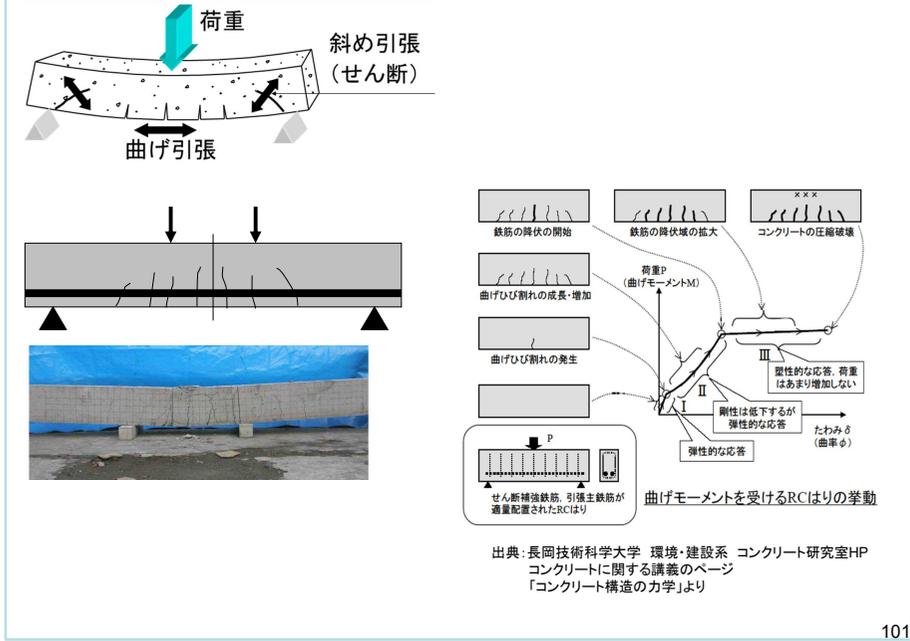


応力度分布



・ ひびわれが発生することを前提に引張領域のコンクリートは無視し、かわりに、内部に鋼材を配置

<参考> 曲げモーメントによるひびわれの例



101

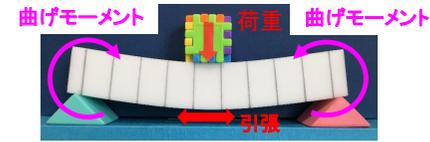
損傷事例

- 主に鉛直荷重を支持する部材が損傷した事例(主桁のひびわれ)

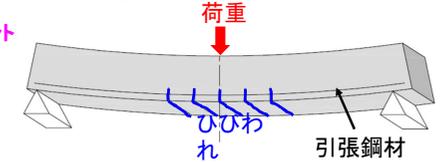


鉛直荷重による曲げモーメントに対して、支間中央部で、橋軸直角方向のひびわれが生じた事例。

- ・単純桁の曲げモーメント



- ・ひびわれ発生イメージ

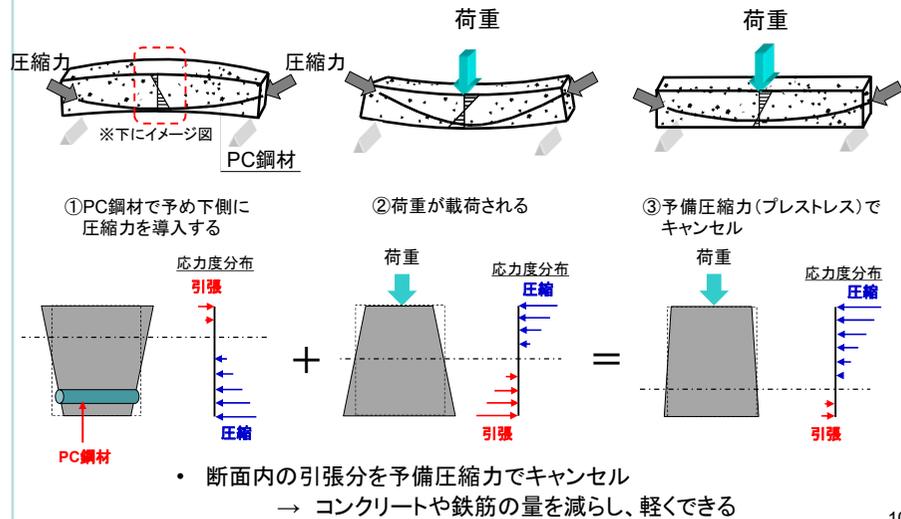


102

4-27

コンクリート部材

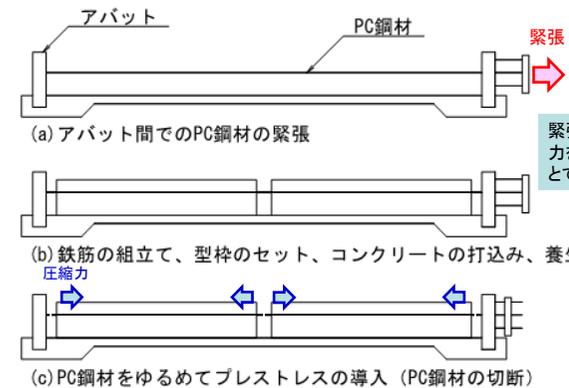
- ◆ プレストレストコンクリート (prestressed concrete)



103

<参考> プレストレストコンクリートの種類

- ◆ プレストレストコンクリート (prestressed concrete)
プレテンション方式
コンクリートを打設する前(プレ)にPC鋼材を緊張する
工場で製造されるPC桁やプレキャストPC床版など



緊張が解放されて鋼材が縮もうとする力をコンクリートの付着力が拘束することで圧縮力(プレストレス)を導入する

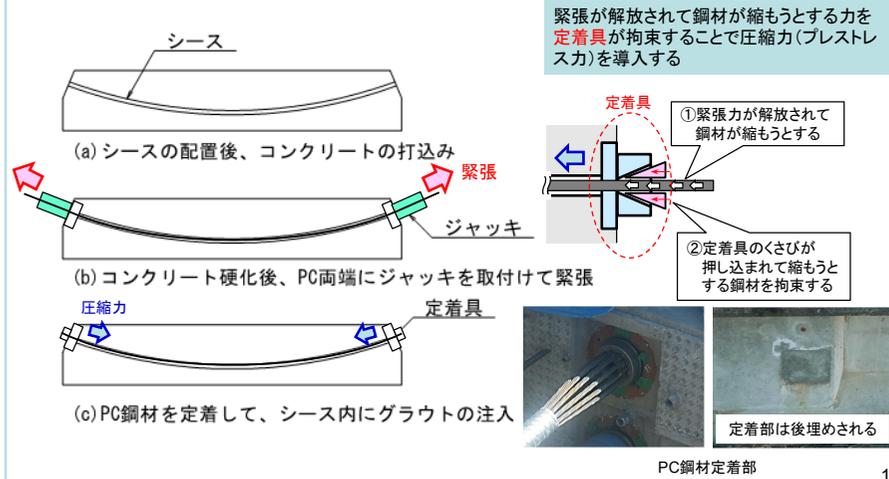
104

<参考>プレストレストコンクリートの種類

◆ プレストレストコンクリート (prestressed concrete)

ポストテンション方式

コンクリートを打設した後(ポスト)にPC鋼材を緊張する
場所打ちの桁のやプレキャストセグメント桁、横締めなど



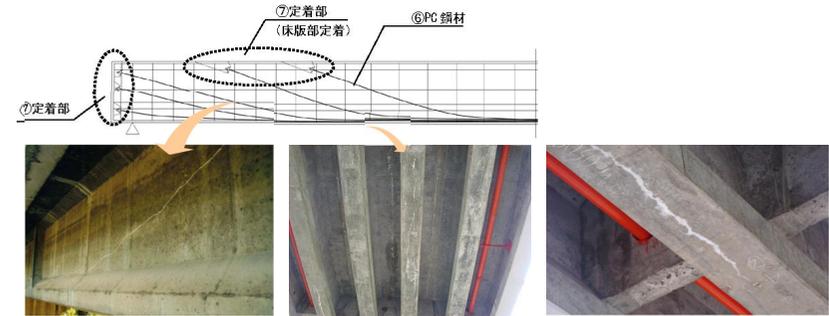
105

損傷事例

■ 鉄筋やPC鋼材に沿ったひびわれ



鉄筋やPC鋼材に沿ったひびわれが生じている事例。内部鋼材の腐食等の原因が考えられる。曲げひび割れ(橋軸直角方向のひびわれ)とは、区別して考える必要がある。



106

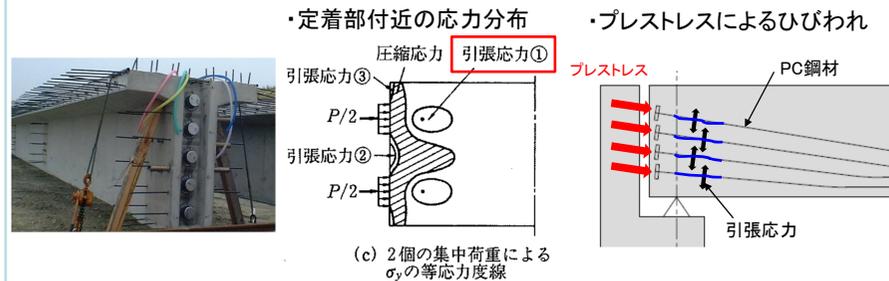
損傷事例

■ 定着部付近のひび割れ



PC鋼材の定着部付近には、引張応力が生じており、集中荷重に対する補強が十分でない場合にひび割れが生じる場合がある。

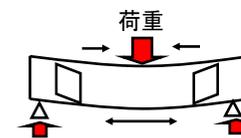
持続的にかかり続ける応力によるひび割れの場合、今後も進展することが懸念され、水の浸透等により内部鋼材(鉄筋、PC鋼材)や定着部が腐食し、耐荷力の低下を引き起こす可能性がある。



107

せん断破壊

(鋼部材)



鋼部材のせん断座屈

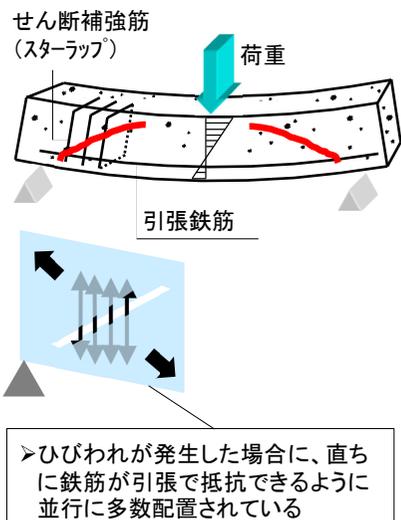
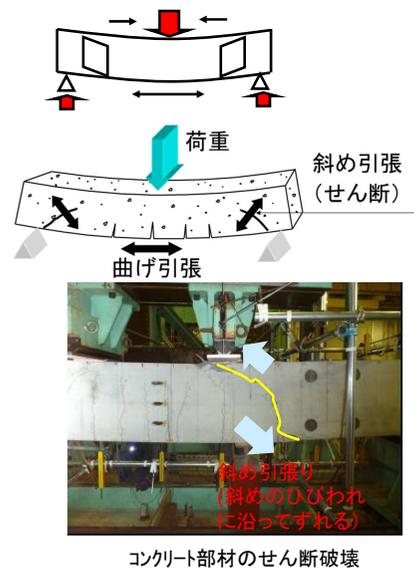


➢「補剛材」で板がはらむのを防止するとともに、板を細かく分割することで、座屈しにくく、また座屈しても区切られた範囲だけでとどまるようにしている。

108

せん断破壊

(コンクリート部材)



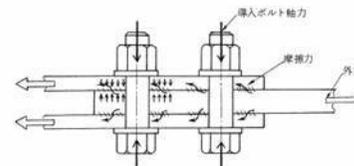
109

部材の接合

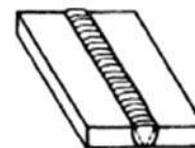
接合部は、一般部と同等以上の性能を確保するように設計

(鋼橋) 例えば...

ボルト接合

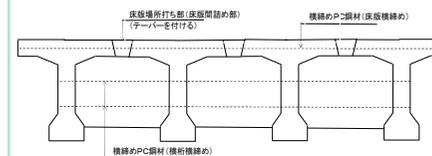


溶接接合



(コンクリート橋) 例えば...

間詰めや横桁、横締めで連結



床版横締め定着部

110

橋の構造の基本 (II. 橋の安全性評価の基本)

111

健全性の診断のための技術的評価

112

健全性の診断のために技術的評価

想定する状況

(過大な活荷重)

(稀な大地震)

(稀な洪水等の出水)



鉛直荷重
水平荷重
流水の作用

上部構造、下部構造及び上下部接続部のそれぞれが担う役割・機能を果たせるか？

	役割
上部構造	道路そのものとして自動車等の通行荷重を載荷させる部分を提供する役割
下部構造	上部構造を支える役割をもつ上下部接続部を適切な位置に提供する役割
上下部接続部	上部構造の支点となりその影響を下部構造に伝達する役割

これらの状態について、何らかの変状が生じる可能性は低いといえるのか(A)、致命的な状態となる可能性が高いと言えるのか(C)、あるいはそのいずれでもないのか(B)を評価する。

ただし、近接目視を基本として得られる情報程度からの技術者の主観でよい。
※技術レベルは、道路管理者が必要な知識と技能を有するかどうか判断する。
※構造解析や、精緻な測量、高度検査技術による情報収集までは必須でない。

113

耐荷性能の推定

<役割、機能に着目した橋の耐荷機構の分解>

構造全体の評価をいきなり決定づけることは難しいため、一般には、「上部構造」「下部構造」「上下部接続部」という役割が異なる大きな構成単位(構成要素という)に着目して、性能の見立てを行ったうえで、橋全体としての評価を行う事が合理的。

構成要素	役割
上部構造	道路そのものとして自動車等の通行荷重を載荷させる部分を提供する役割
下部構造	上部構造を支える役割をもつ上下部接続部を適切な位置に提供する役割
上下部接続部	上部構造の支点となりその影響を下部構造に伝達する役割

さらに、上記の構成要素の役割を果たすために求められる力学的機能に着目した部材群へ分解して、部材群が荷重を伝達できる程度を推定する。それらから、構成要素の力学的機能が果たせる程度を推定する。

構成要素	力学的機能	部材の例
上部構造	通行車などによる路面に作用する荷重を直接支持する機能	床版
	上部構造へ作用する鉛直及び水平方向の荷重を支持し、上下部接続部まで伝達する機能	主桁
	上部構造へ作用する荷重を主桁等が上下部接続部に伝達するとき、荷重の支持、伝達を円滑にするための機能	床版、横桁

114

耐荷性能の推定

構成要素	力学的機能	部材の例
下部構造	上下部接続部からの荷重を直接支持し、基礎・周辺地盤に伝達するとともに、上下部接続部の位置を保持する機能	橋脚躯体、橋台躯体、橋座部
	橋脚・橋台躯体からの荷重を支持し、橋の安定に関わる周辺地盤等に伝達するとともに、地盤面での橋の位置を保持する機能	基礎、基礎地盤

構成要素	力学的機能	部材の例
上下部接続部	上部構造からの荷重を支持し、下部構造へ伝達する機能	支承部
	上部構造の耐荷性能を満足する前提として、必要な幾何学的境界条件を付与する機能	

※上記までに該当しない、下部構造と接する地盤で、その力学的特性が橋の性能に影響を及ぼすものとして扱わなければならない部分(支持地盤、背面土など)を「橋の性能に影響を及ぼす地盤境界条件を構成する部分」として設定し、評価する。

※道路橋の耐荷性能を構成する構造ではないが、橋が使用目的を達成するために設けられた以下の構造についても、その目的に照らして評価する。

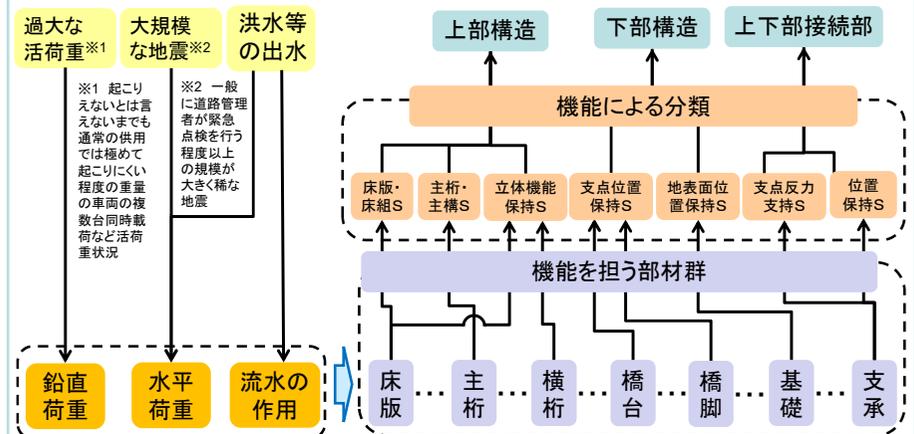
- ① 前後区間の境界部との接続のための構造(伸縮装置、アプローチ部)
- ② フェールセーフ

115

耐荷性能の推定

想定する状況に対して、機能の状態を推定

【状況】 → 【(機能の)状態】



想定する状況によって生じる荷重や作用に対して、橋に求められる機能を担う部材群の状態を橋梁工学や構造工学等に基づいて推定する

116

耐荷性能の推定

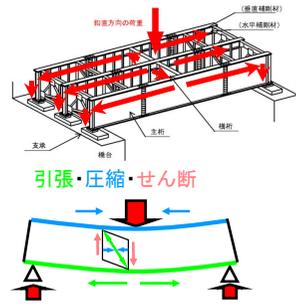
<耐荷性能の推定>

次回点検までに、どのような状況に対して、どのような状態となる可能性があるのかを推定する。つまり、外力に対して、上部構造、下部構造及び上下部接続部が機能を果たせるかどうかを推定する。

これを、橋梁工学、構造工学、鋼構造、コンクリート構造、地盤工学、材料力学・材料の物理・化学的などに基づいたそれらの理由の説明をする。

それぞれの状況における荷重伝達経路や伝達経路上の各部材や接合部の抵抗の状態の推定や、余裕の不足が現れていないかを推定する。

例) 鉛直荷重を受ける鋼桁



下フランジの腐食

下フランジの腐食による断面欠損によって支点への荷重の伝達や引張応力に対して抵抗できなくなる可能性があるかもしれないなどの推定をまず行う。
→その推定どおりならば、上部構造は役割を果たせるのかどうかを推定する。

117

耐荷性能の推定

部材に生じる断面力と懸念される損傷

	断面力		懸念される損傷
曲げモーメント		圧縮	鋼部材: 全体座屈・局部座屈 コンクリート部材: 圧壊
		引張	鋼部材: 降伏 コンクリート部材: ひびわれ
せん断力			鋼部材: 座屈 コンクリート部材: せん断破壊
軸力		圧縮	鋼部材: 全体座屈・局部座屈 コンクリート部材: 圧壊
		引張	鋼部材: 降伏 コンクリート部材: ひびわれ

たとえば、鋼桁の下フランジの損傷によって、鉛直荷重による曲げモーメントの引張に抵抗できず降伏し、荷重を支持する機能を発揮できなくなる可能性がある。

118

4-31

橋に影響を与える変状の例

●変状の種類

腐食



亀裂



119

橋に影響を与える変状の例

●変状の種類

破断



ひびわれ



120

橋に影響を与える変状の例

●変状の種類 床版ひびわれ



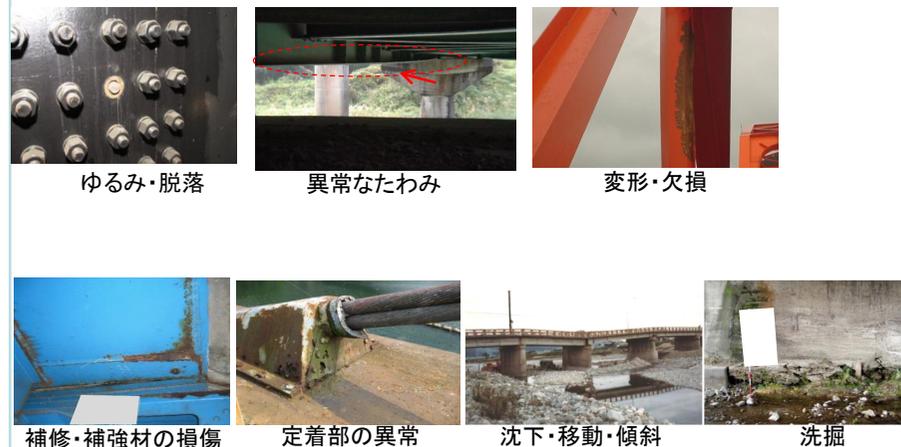
支承の機能障害



121

橋に影響を与える変状の例

●変状の種類「その他」の例



122

4-32

橋に影響を与える変状の例

●変状の種類「その他」の例



123

橋に影響を与える変状の例

●変状の種類「その他」の例



124

耐久性能の推定

＜耐久性能の推定＞

定期点検では、耐荷性能の前提条件としての耐久性確保の方法の状態を把握し、次回定期点検及び長期的な観点で劣化の進展や状態の変化を推定する。

各部における局所的な応力性状の違いや暴露環境の違い、維持管理の前提条件を考慮して推定する。

例) 鋼桁の防食機能(塗装)



塗装に異常は見られず、防食機能は確保されており、かつ、急速に劣化が進展する可能性は低いと考えられる。



塗装の一部に劣化が見られ、今後、着実に防食機能の劣化が進展する可能性は高いと考えられ、鋼桁が腐食に至る可能性がある。



鋼桁の広い範囲で腐食が見られ、既に防食機能のほとんどが喪失している状態である。

125

予防保全の必要性や長寿命化の実現の観点

「健全性の診断の区分」の決定にあたっては、次回定期点検までの状態の変化やその間の性能の見立てだけでなく、予防保全の実施を検討すべきかどうかといった中長期的な視点からの維持管理計画において何らかの措置を行うことが合理的と考えられる。

例えば、予防保全の有効性の観点で特に注意が必要な、**疲労**、**塩害**、**アルカリ骨材反応**、**防食機能の低下**、**洗掘**などに該当するかどうかやこれらに関連する過去の補修補強等の経緯については注意するとともに、「健全性の診断の区分」の決定にも大きく関わるが多いこれらの事象への該当の有無や耐久性能の推定を行う。

特定事象

これまでの知見から、効果的な維持管理を行う上で重要と考えられる変状等

- 疲労
- 塩害
- アルカリ骨材反応
- 防食機能の低下
- 洗掘



疲労(床版ひびわれ)
【コンクリート床版】



防食機能の低下
【鋼製支承】

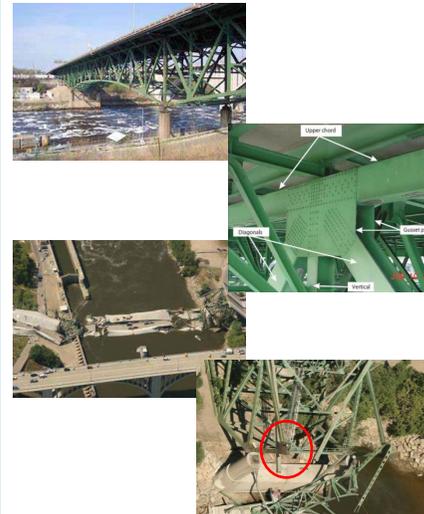
126

重大損傷の例

127

重大損傷の例

●ミネソタ州ミネアポリスのトラス橋 (ガセットプレート)



ミネソタDOTの公開航空写真
(URL: <http://www.dot.state.mn.us/i35wbridge/photos/>)

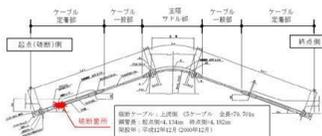
●木曾川大橋 (コンクリート埋め込み部)



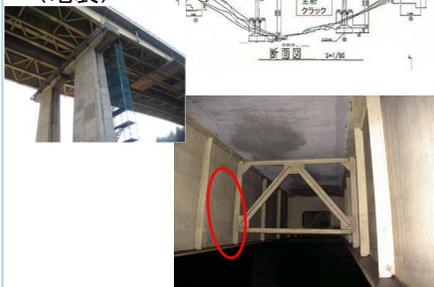
128

重大損傷の例

●雪沢大橋 (腐食・破断)



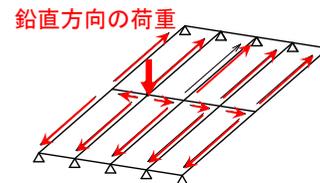
●山添橋 (亀裂)



129

設計で想定したとおりには橋は挙動しない

例)主桁の設計



→計算上は、自動車荷重に対して、主桁や横桁が抵抗すると仮定する場合も多いが。。。



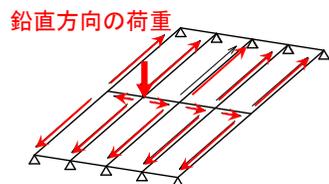
実際には他の部材にも力は流れる

全部材、近接目視が必要

130

設計で想定したとおりには橋は挙動しない

例)主桁の設計



→計算上は上げたとして棒でモデル化し、ひとつひとつの補剛材はモデル化しない

しかし、車両通行によって局所応力が繰返し生じる



全部材、近接目視が必要

131

重大損傷の例

●暮坪橋 (塩害)



主桁下面にひびわれ、錆汁発生: 1980年(15年経過)



主桁PC鋼材の破断: 1991年(26年経過)
(はつり後)

●妙高大橋 (腐食・破断)



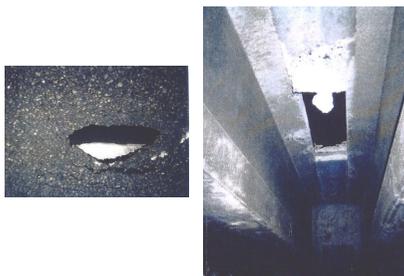
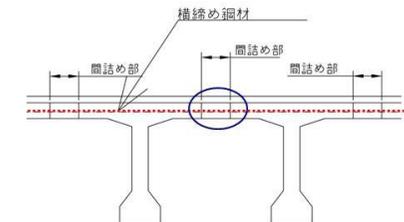
下床版下面・箱桁内定着部付近のPC鋼線の腐食・破断



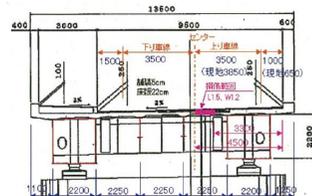
132

重大損傷の例

- PCT桁橋の間詰め部の落下
(抜け落ち)



- 床版の抜け落ち
(抜け落ち)

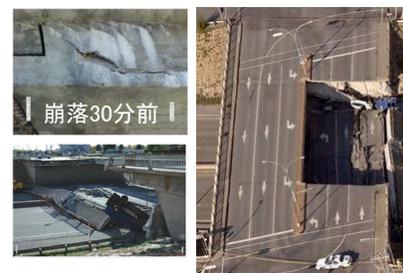
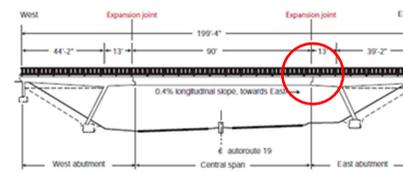


133

重大損傷の例

【コンクリート橋】

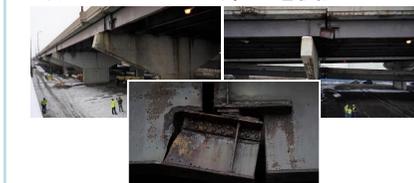
- デ・ラ・コンコルド橋[カナダ]
(ゲルバーヒンジ部のせん断破壊)



出典: <http://www.cnn.com/2006/WORLD/americas/09/30/montreal.overpass/index.html>

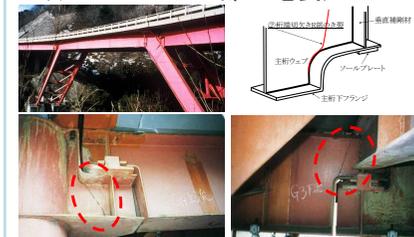
【鋼橋】

- レイクショア自動車道(ワッカー自動車道交差部)上り線[アメリカ]
(ゲルバーヒンジ部の亀裂)



出典: <https://www.chicagotribune.com/news/local/breaking/ct-biz-lake-shore-drive-bridge-reopens-20190212-story.html>

- 山神橋
(ゲルバーヒンジ部の亀裂)

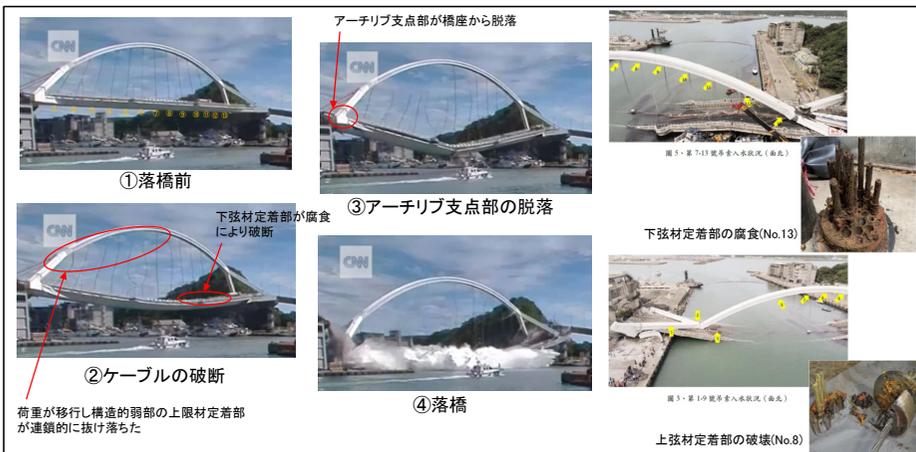


134

重大損傷の例

【鋼橋】●鋼アーチ橋 (吊材の破断)

2019年10月1日、台湾北東部・宜蘭県のハーバーブリッジとなっている南方澳大橋(Nanfangao Bridge)が落橋。



画像出典: <https://edition.cnn.com/videos/world/2019/10/01/taiwan-nanfangao-bridge-collapse-orig-vstop-bdk.cnn>
報告書: TTSB-FTR-20-04-001R01 14/Apr/2020

135

重大損傷の例

【鋼橋】

- 鋼アーチ橋のアーチリブの座屈



トラス構造やアーチ構造は、個々の部材が協働して荷重を伝達する構造である。性能の推定を行う際には、個々の部材に対して性能を評価するだけでなく、構造の全体系としての評価を行う必要がある。

136

