

コンクリート構造物の補修・
補強に関するフォーラム 2017

鋼構造物の点検・診断技術の 方法と留意点

宇部興産機械株式会社
和多田 康男

1

- 1章 鋼橋の概要
- 2章 損傷の種類と要因
- 3章 調査、診断、補修・補強
- 4章 現場における新技術

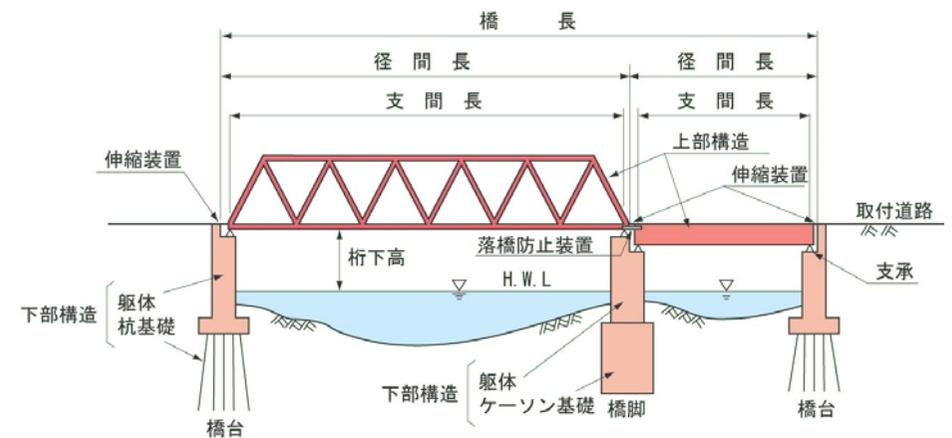
2

1章 鋼橋の概要

- 1. 橋の基本構成と名称
- 2. 橋面構成と名称
- 3. 構造部材の名称と役割
- 4. 鈹桁の構造
- 5. 箱桁の構造
- 6. 鋼橋の特徴
- 7. 鋼構造物の損傷

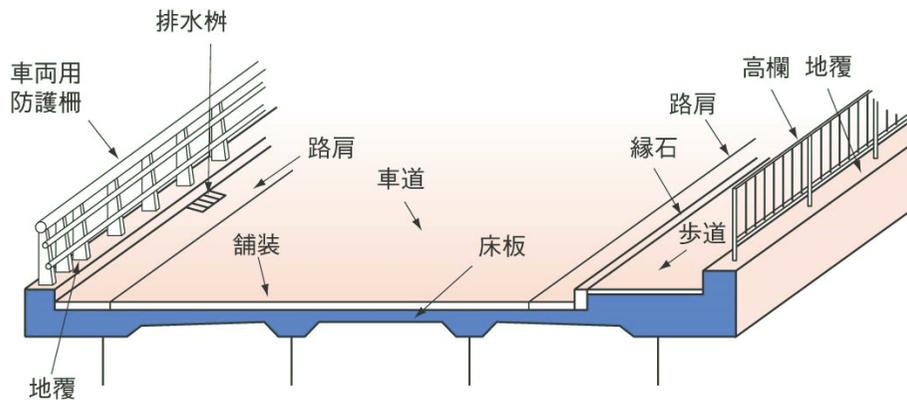
3

1. 橋の基本構成と名称



4

2. 橋面構成と名称



5

3. 構造部材の名称と役割(1/2)

①主桁

橋台や橋脚の間に渡され、床版上の通行車両等の荷重を支え、その力を橋台や橋脚に伝達する。

②横桁

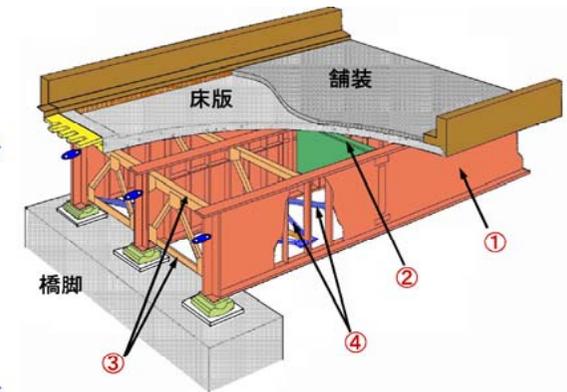
荷重を数多くの主桁で支持するため、主桁を連結する部材。

③対傾構

風や地震等の横荷重に抵抗するため、主桁を相互に鉛直またはほぼ鉛直に連結する部材。(コンクリート橋には無い)

④横構

風や地震等の横荷重に抵抗するため、主桁を相互に水平またはほぼ水平に連結する部材。(コンクリート橋には無い)



6

3. 構造部材の名称と役割(2/2)

⑤支 承(シュー)

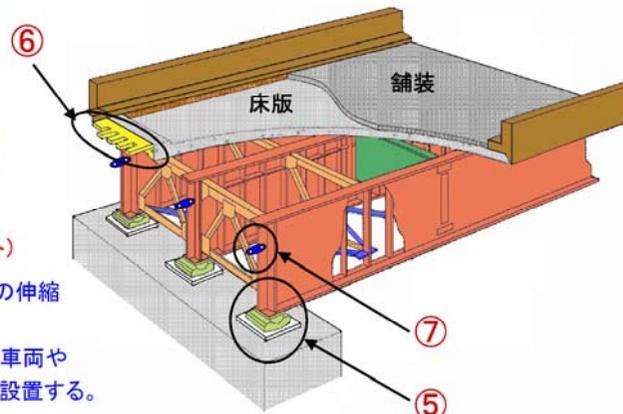
上部構造を支え、上部構造からの荷重を下部構造(橋台または橋脚)に伝達する。

⑥伸縮装置(ジョイント)

温度等の影響による桁の伸縮を吸収する装置。また、隙間が変化しても車両や人の通行の安全のため設置する。

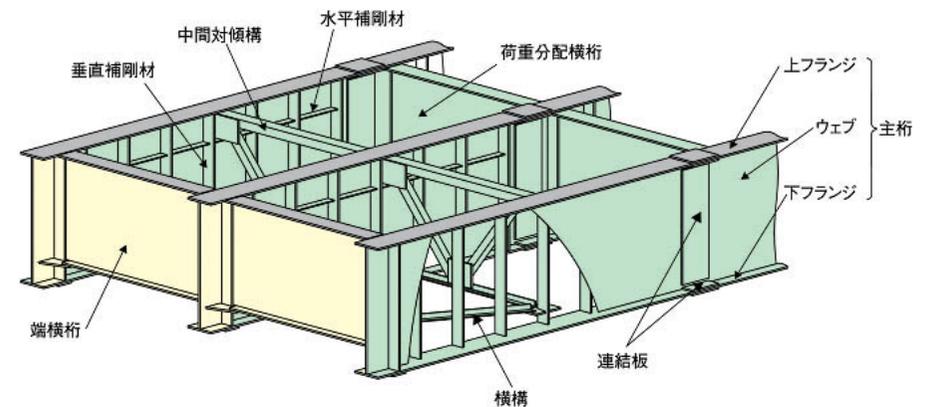
⑦落橋防止装置

地震などによって上部構造が大きく移動して下部構造(橋台または橋脚)より落下することを防止するために設置する。



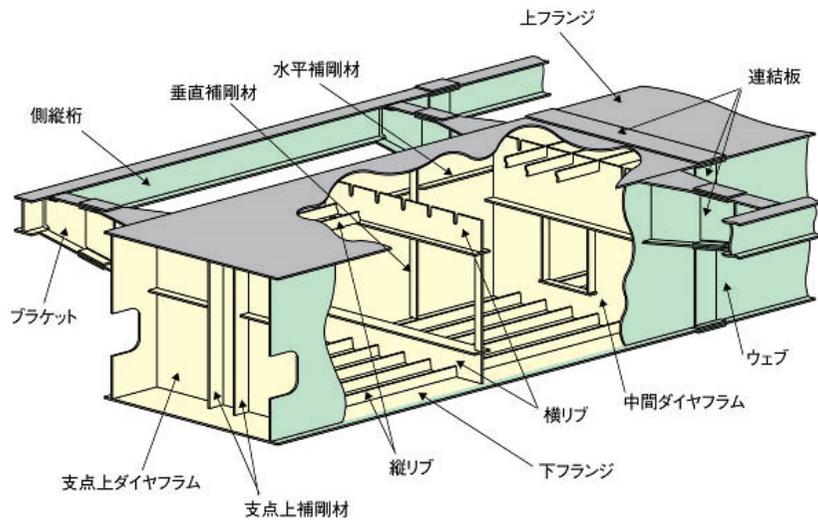
7

4. 鋼桁の構造



8

5. 箱桁の構造



9

6. 鋼橋の特徴

<鋼橋の長所>

- ① 材料と製品の信頼性が高い
- ② 構造の自由度が高い
- ③ 軽量構造で耐震性に優れる
- ④ 補修・補強が容易
- ⑤ 短期施工が可能
- ⑥ 資源の再利用が可能

<鋼橋の短所>

- ① サビの発生、腐食
- ② 疲労き裂

ただし、構造的な配慮と適切な維持管理で防ぐことが可能

10

7. 鋼構造物の損傷

- ① 疲労き裂
- ② 塗膜の劣化、鋼材の腐食
- ③ 過大応力、事故、災害等による変位・変形
- ④ ボルト等のゆるみ・脱落
- ⑤ その他（動作不良、段差、塵埃堆積など）

疲労と腐食は永遠のテーマ！

11

2章 損傷の種類と要因

1. 疲労き裂
2. 塗膜劣化・腐食
3. 変位・変形
4. ゆるみ・脱落
5. その他の損傷

12

1. 疲労き裂(1/17)

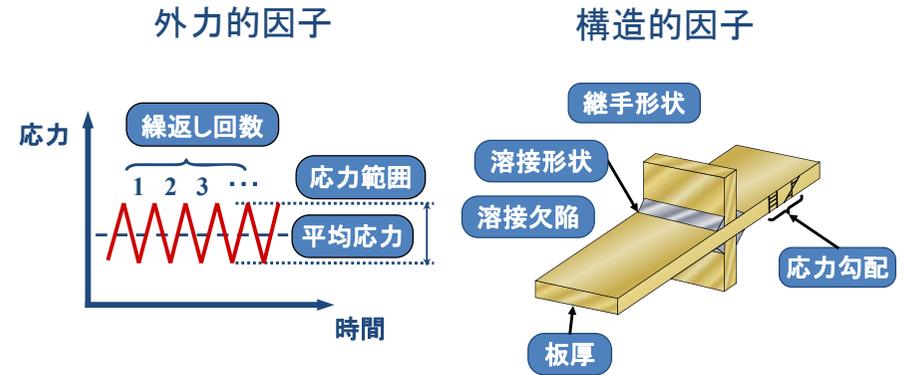
- ・ 応力の繰返しにより生ずる破壊
- ・ 降伏応力より遙かに小さい荷重でも生じる
- ・ 自動車などの活荷重，風による振動などの繰返しにより**応力集中部**（溶接止端部，ノッチ，断面急変部etc.）、溶接欠陥などから発生



現在発生していなくてもある程度の応力が繰返されている箇所には疲労き裂が発生する可能性がある

1. 疲労き裂(2/17)

疲労強度に影響をおよぼす因子



1. 疲労き裂(3/17)

疲労損傷の特徴

<応力範囲と繰返し数>

応力範囲 $\Delta\sigma$ と繰返し数 N で寿命が決定

<継手の疲労強度>

溶接継手部等の**応力集中箇所**で発生し進展

溶接の**継手形状**により疲労強度は異なる

溶接部の疲労強度は，鋼材の静的強度にはほとんど**関係しない**

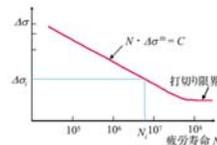
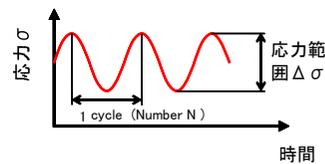
残留応力なども疲労強度に大きな影響を及ぼす

<き裂の裂進展>

最終的には材料を脆性的に分断するか，き裂による

応力解放により進展が止まる

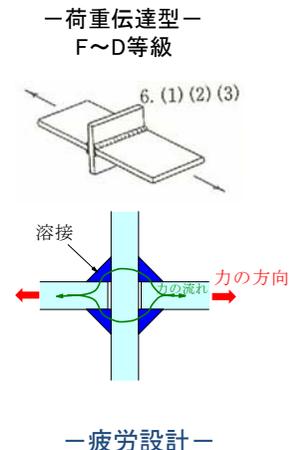
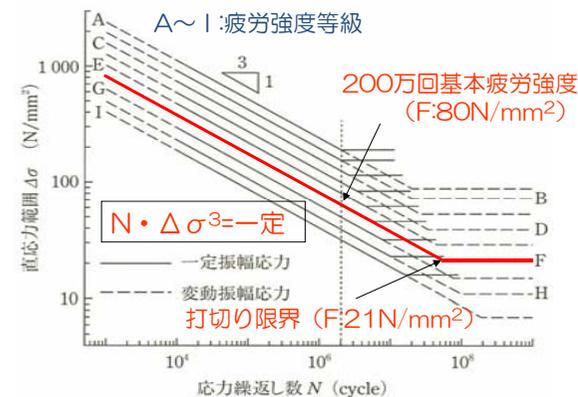
応力範囲と疲労寿命は，両対数グラフで直線の関係



$$N(\Delta\sigma)^m = C$$

1. 疲労き裂(4/17)

S-N線図（疲労設計曲線）



—疲労設計—

着目部位の最大設計応力範囲を打切り限界以下に

疲労損傷度は応力範囲の3乗に比例

1. 疲労き裂(5/17)

疲労き裂の要因

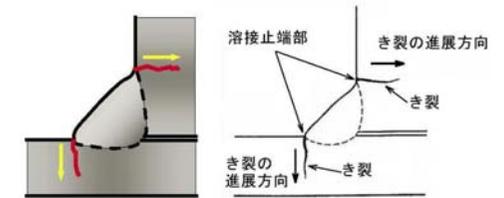
- ①活荷重の増大
 - ・交通量の急激な増加と車輛の大型化(過積載車両)
- ②構造・形状
 - ・不適切な構造詳細による応力集中
 - ・不適切な継手の採用
 - ・設計上想定していない挙動(2次的応力の発生)
- ③材料・製作
 - ・溶接欠陥、溶接残留応力の存在
 - ・不適切な鋼材、溶接材料の使用
- ④維持管理
 - ・部材の腐食(断面減少による応力増加と応力集中の発生)
 - ・支承部の機能不全(繰返し拘束応力の発生)

1. 疲労き裂(6/17)

疲労き裂の種類

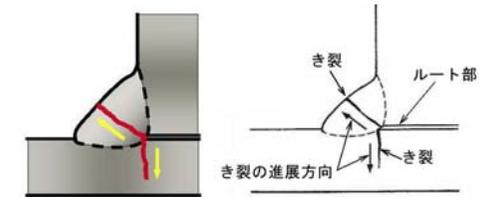
<止端(トウ)き裂>

- ・溶接止端等の表面から発生
- ・母材に直接発生
- ・表面に現れているき裂が最大長さ



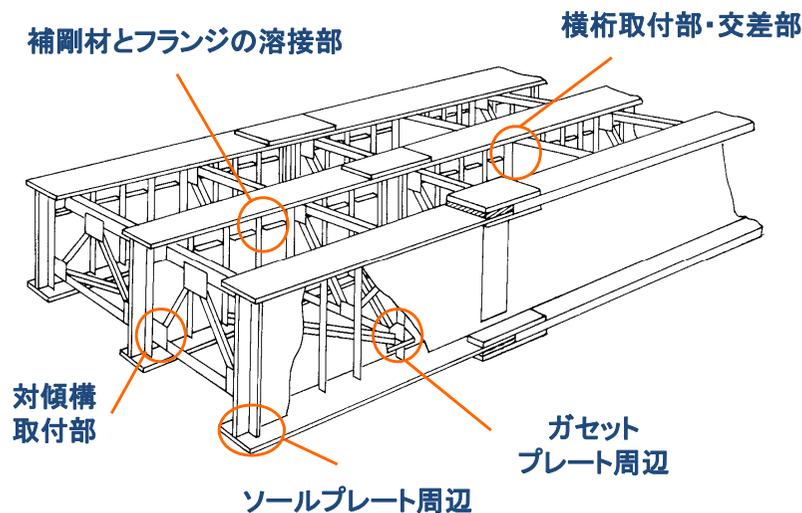
<ルートき裂>

- ・溶接継手の内部に存在する未溶着部やきずから発生
- ・鋼材の内部に、最大長さの位置があることも多い
- ・き裂は、溶着金属に現れる



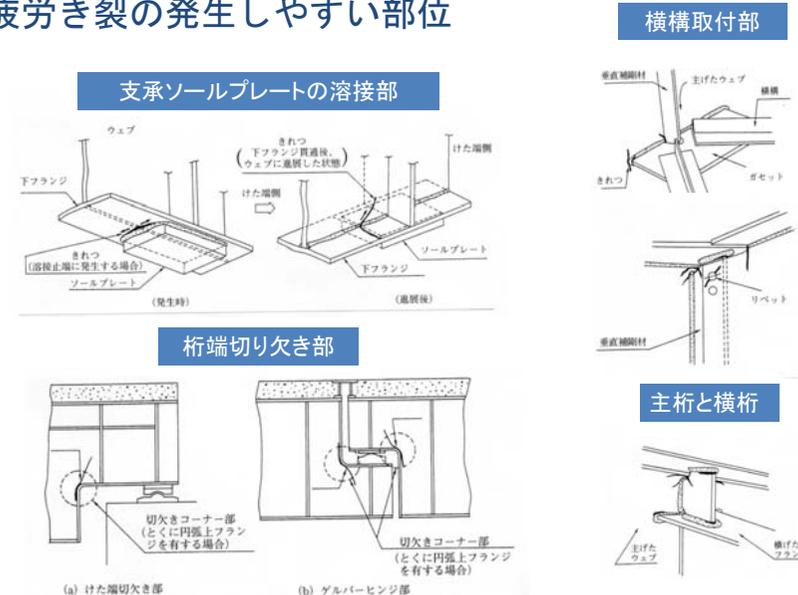
1. 疲労き裂(7/17)

疲労き裂の発生しやすい部位



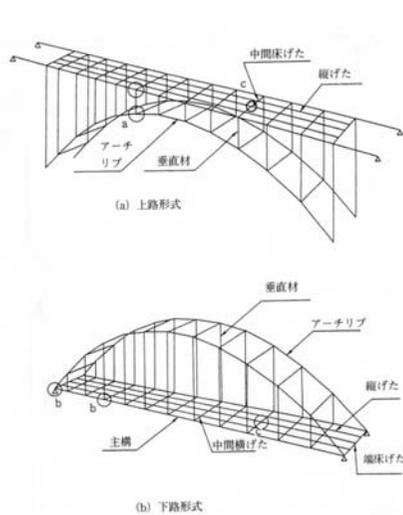
1. 疲労き裂(8/17)

疲労き裂の発生しやすい部位



1. 疲労き裂(9/17)

疲労き裂の発生しやすい部位



1. 疲労き裂(10/17)

疲労き裂の発生事例①

対傾構ガセット



ガセットと対傾構との溶接止端部から疲労き裂が発生



横桁増設

- ・横桁増設したわみ差を小
- ・ガセットプレートを補強

損傷原因

主桁間隔が広く、**主桁たわみ差**により、対傾構が大きく変形その変形にともないガセットに大きな力が発生

1. 疲労き裂(11/17)

疲労き裂の発生事例②

横構取付け面外ガセット部



主桁腹板の横構ガセットが**面外力**を受け、ガセットと主桁腹板の溶接止端部から疲労き裂

主桁間の相対変位により**横構に軸力**が発生、ガセット部に局部変形を生じさせた



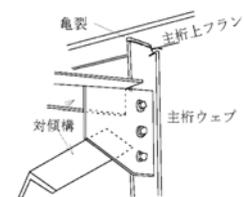
損傷原因

低い疲労強度
主桁間のたわみ差(剛性不足)
ウェブの面外変形

1. 疲労き裂(12/17)

疲労き裂の発生事例③

対傾構取つき垂直補剛材上端溶接部



溶接補修+TIG処理

補修溶接は**品質確保**が困難

予防保全的には**縦桁増設**なども有効

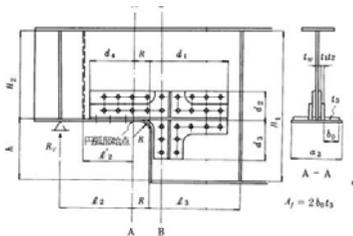
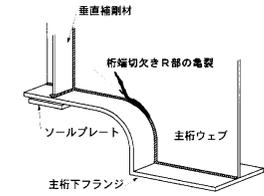
損傷原因

床版たわみ、主桁のたわみ差による**2次応力**の発生

1. 疲労き裂(13/17)

疲労き裂の発生事例④

桁端切り欠きR部



応力流れの改善と補強を目的に、ウェブ両側に補強板をボルトで取り付け

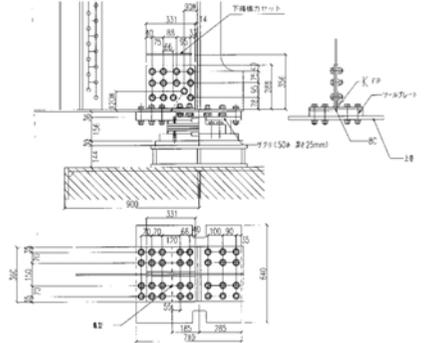
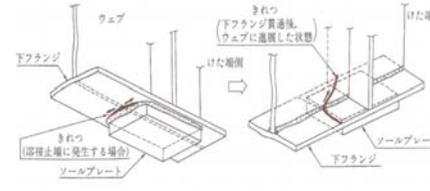
損傷原因

典型的な応力集中ディテール
構造的にルートギャップが生じやすい

1. 疲労き裂(14/17)

疲労き裂の発生事例⑤

支承ソールプレート溶接部



ソールプレートからき裂発生、進展

支承およびソールプレート取替え
き裂は当て板補強

損傷原因

支承の回転機能不良
断面急変部の応力集中

1. 疲労き裂(15/17)

疲労き裂の発生事例⑥

上路アーチ橋の垂直補剛材上下端部



当て板補強



添加斜材

斜材追加による全体剛性の向上

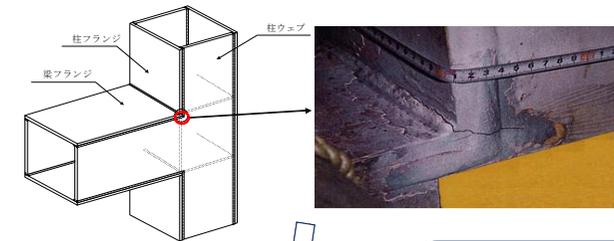
損傷原因

補剛桁とアーチの水平変位差による2次曲げの発生
短い垂直材で発生が多い

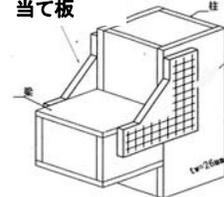
1. 疲労き裂(16/17)

疲労き裂の発生事例⑦

鋼製橋脚隅角部



当て板
当てボルト



打ち込み式高力ボルト

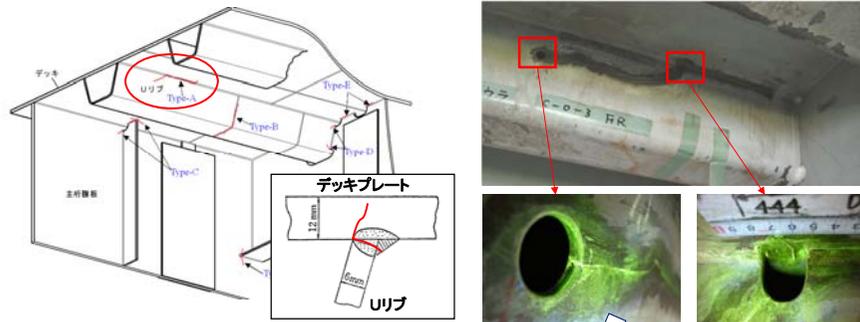
損傷原因

構造的な応力集中箇所
梁および柱のフランジやウェブの鋼板の板組みが複雑
溶接が困難で、溶接内部に未溶着部が生じやすい

1. 疲労き裂(17/17)

疲労き裂の発生事例⑧

鋼床版



損傷原因

直接輪荷重を受ける厳しい応力状態
デッキプレートの局所的な変形



部分的なUリブ取替

デッキ当て板補強

29

2. 塗膜劣化・腐食(1/18)

塗膜劣化、腐食の一般的な定義

腐食: 断面欠損をともなう錆の発生(錆が進行した状態)



塗膜劣化: 塗膜部のみの劣化・損傷(断面欠損を伴わない軽微な錆の発生も含む)



30

2. 塗膜劣化・腐食(2/18)

- 鋼は、酸化鉄、水酸化鉄を含み安定した状態で存在した鉄鉱石を還元し、これにその他必要な合金元素 (Si, Mn, P, S, Cu) を加えて製造された合金
- 鋼は自然環境のもとでは不安定な存在であり、酸素や水と結合して安定的な「さび」に戻ろうとする

腐食現象は鋼材にとっての自然現象



- 基本的に鋼は防食(塗装等)が必要(塗装が健全であれば腐食しない) → 塗膜劣化が腐食のはじまり
- 耐候性鋼橋梁**(緻密なさび層により腐食の進行を抑制)

31

2. 塗膜劣化・腐食(3/18)

腐食反応

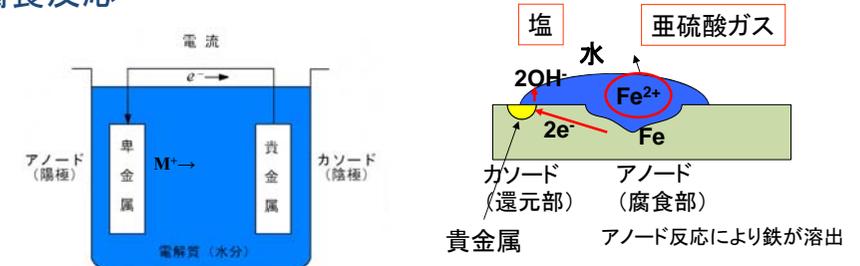
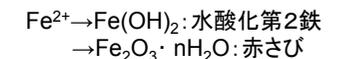
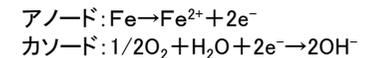


図4.1-1 接触腐食の原理

卑な金属: イオンとして溶け出し
貴な金属: 電子を消費



◆ 湿度が100%以下でも錆は生じる.

- 海塩粒子(吸湿), 亜硫酸ガス(→硫酸)
- 臨界湿度: 50~70%

32

2. 塗膜劣化・腐食(4/18)

腐食環境

- 雨, 大気
- 飛来塩分(海水、融雪剤)
- 大気汚染ガス
- 水中(淡水、海水), 土壌, 化学薬品
- 異種金属との接触

腐食環境分類の例

一般環境	やや厳しい環境	厳しい環境
飛来塩分の影響を受けず、かつ、自動車排気ガスや工場ばい煙の影響を強く受けない環境。	飛来塩分の影響を受ける環境。または自動車排気ガスや工場ばい煙の影響を強く受ける環境。	潮風が強く、飛来塩分の影響を強く受ける環境。

海岸部の腐食量は他に比べ圧倒的に多い

33

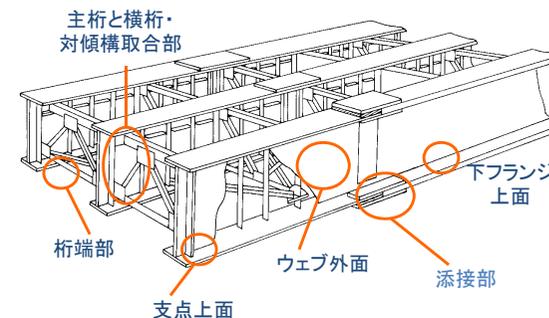
2. 塗膜劣化・腐食(5/18)

構造的な要因

水が溜まりやすく、かつ風通し等が悪く、湿潤な状況が続く箇所

例えば

- 伸縮装置の不具合
- 床版漏水
- 風通し, 湿度
- 塗装の劣化



鋼桁橋における腐食損傷の多い箇所

34

2. 塗膜劣化・腐食(6/18)

耐候性橋梁①

<耐候性鋼橋梁>

耐候性鋼材により製作した橋梁

<耐候性鋼材>

耐候性に有効な元素 (Cu, Cr, Ni等) を添加することで大気腐食環境において普通鋼材に比べ緻密なさびが形成しやすく腐食速度をより低減する目的で開発された鋼材

JIS G 3114 溶接構造用耐候性鋼材 (SMA材)

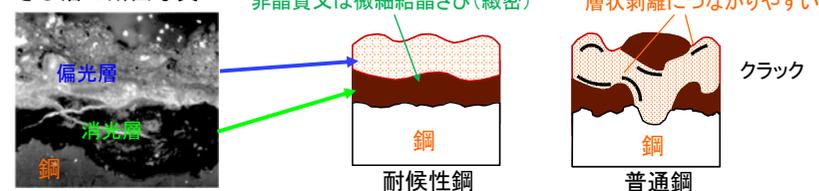


35

2. 塗膜劣化・腐食(7/18)

耐候性橋梁②

さび層の断面写真



地鉄表面に有効元素が濃縮した緻密なさび層(保護性さび)を形成
さびの進行を抑制(塗装が必要ない)

耐候性鋼橋梁の経年変化事例

36

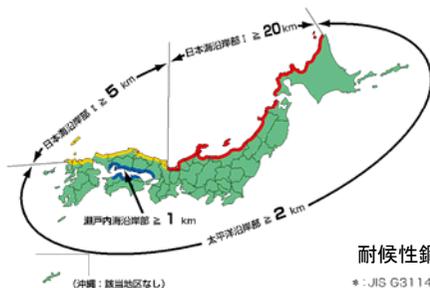
2. 塗膜劣化・腐食(8/18)

耐候性橋梁③

- ・ 保護性さびの生成が非常に重要・・・適用条件（過去は錆びない鋼との誤った認識がされていた）
- ・ 湿潤状態が長く続く環境や飛来塩分の多い環境などでは**保護性さびが生成しないため、湿潤状態を避けるために構造細目に配慮すること**と、場合によっては**部分塗装を行う**必要がある。

無塗装耐候性鋼（JIS耐候性鋼*）の適用指針（建設省土木研究所、鋼材倶楽部、日本橋梁建設協会）

- ① 飛来塩分量 $\leq 0.05\text{mdd}(\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day})$
- ② 下記の地域については飛来塩分量の測定を省略してもよい



耐候性鋼橋梁の適用条件

*: JIS G3114 耐振構造用耐候性熱間圧延鋼材

37

2. 塗膜劣化・腐食(9/18)

耐候性橋梁④

板厚減少のモデル化(片面板厚減少量=腐食減耗量)

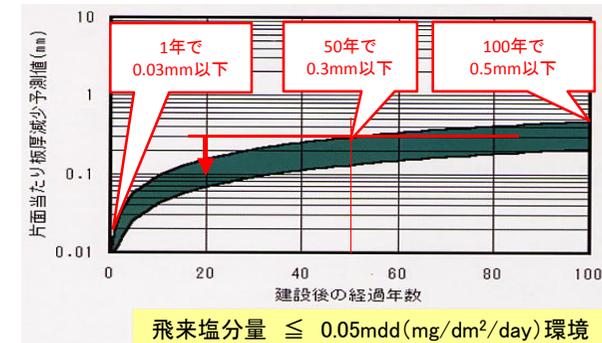
$$Y=A \cdot X^B$$

Y: 累積片面板厚減少量(mm)

X: 経過年数(年)

A: 初年の腐食量

B: さびの保護性上昇に伴う腐食速度



38

2. 塗膜劣化・腐食(10/18)

塗膜劣化、腐食の事例①

塗膜の早期劣化



下塗りから塗膜が剥がれた事例



MIO塗膜の上から塗膜が剥がれた事例



- ・ 施工時の品質管理（塗装間隔、湿度etc）が問題
- ・ 構造物全体に進行する可能性大

39

2. 塗膜劣化・腐食(11/18)

塗膜劣化、腐食の事例②

伸縮装置からの漏水—早期



橋梁桁端部の伸縮装置からの漏水による腐食事例



- ・ 設計想定外の環境による早期劣化
- ・ この腐食は漏水・滞水箇所に限定

—2—

40

2. 塗膜劣化・腐食(12/18)

塗膜劣化、腐食の事例③

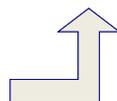
桁端伸縮装置からの漏水一断面欠損



下フランジ端部の腐食



補修後の状況



補強板を高力ボルトで添接補強

この事例では当て板が可能であったが、更に腐食が進行すれば部分取替えなどの方法となる

41

2. 塗膜劣化・腐食(13/18)

塗膜劣化、腐食の事例④

箱桁内部の腐食



主桁下フランジの腐食



補修後の状況



カバープレートをボルト接合 or 新設フランジ取替補修

継手部からの雨水の浸入により、箱桁下フランジ、横リブ、ダイアフラムが著しく腐食、下フランジでは板厚を貫通

42

2. 塗膜劣化・腐食(14/18)

塗膜劣化、腐食の事例⑤

箱桁内部添接部の腐食



主桁下フランジ腐食状況



一部添接板、ボルトの取替状況
(一列ずつ施工)



箱桁内の添接板、及び高力ボルトが著しく腐食し、かなりの高力ボルトが断面欠損

- ・添接板が浸入した雨水等の堰となり、滞水を生じやすく要注意
- ・滞水防止のため、添接部より勾配の高い側に排水孔を設置

43

2. 塗膜劣化・腐食(15/18)

塗膜劣化、腐食の事例⑥

床版漏水による腐食



腐食状況



腐食部を切断、部分取替



アルカリを含んだ床版からの漏水により塗膜が劣化、腐食環境下のため腐食が進行

- ・長油性フタル酸などの塗料はアルカリに弱い
- ・極度の減厚、孔食が生じていると当て板は困難

44

2. 塗膜劣化・腐食(16/18)

塗膜劣化、腐食の事例⑦

勾配により滞水し腐食



腐食状況



接着剤を塗布後L型材取付

- 下フランジの勾配により下フランジとウェブ交点に滞水、溶接部が腐食減厚
- ・勾配による滞水には注意が必要(設計、施工時に考慮)
 - ・接着剤との併用の当て板も有効

45

2. 塗膜劣化・腐食(17/18)

塗膜劣化、腐食の事例⑧

耐候性鋼橋梁の腐食(保護性さびの不成)



腐食状況



スラブドレーンを延ばした後、経過観察

- スラブドレーンからの排水により直下の下フランジ近傍に保護性さびが生成されずに腐食
- ・無塗装の耐候性鋼橋梁は漏水に曝されると腐食が進行しやすい
 - ・漏水対策、導水などの処置が重要

46

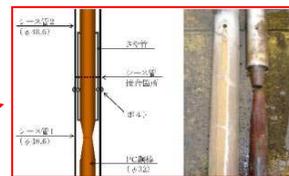
2. 塗膜劣化・腐食(18/18)

塗膜劣化、腐食の事例⑨

異種金属接触腐食



アーチ橋ハンガーケーブルの破断



ステンレス管により内部が見られなかったうえ、「異種金属接触腐食(鋼とステンレス)」が生じ、鋼棒断面が欠損・破断

- ・異種金属どおしが接触すると電蝕という腐食が生じる(忘れやすい)
- ・完成後の維持管理(点検等)も考えた構造への留意が必要

47

3. 変位・変形(1/7)

変位・変形の損傷は、車両の衝突や積載物の落下、地震や地盤沈下、支点移動など突発的な外的作用により、**過大な荷重が作用したことにより発生する座屈、伸び変形などの損傷**である

- ・**地震**: 集中的に力が作用する支点回りに生じることが多い。繰返しにより破断することもある
- ・**衝突**: 高さ制限を超えた車両の衝突により、主桁下フランジや下弦材などが損傷する事例が多い
- ・**火災**: 桁下での火災発生などにより、熱影響を受け変形することがある。機械的性質が変化している場合もある
- ・**下部構造の移動**: 下部構造が移動すると上部構造は大きな影響を受け思いも寄らぬところに変形が生じることがある

48

3. 変位・変形(2/7)

変位・変形の事例①

地震による変形1



応急復旧で設置した仮支材



変形部を部分取替え

- ・ 過大な地震動により支点上横桁が座屈変形
- ・ 仮支材(間隔保持)取付後、変形部を部分取替え

49

3. 変位・変形(3/7)

変位・変形の事例②

地震による変形2



支承に乗り上げ下フランジが変形

横移動



・位置を戻し、仮受け後
変形部を切り取り、取替



- ・ 地震の水平力により主桁が横移動、支承から外れ主桁が座屈変形
- ・ 変形部を切り取り、新しい部材に交換(ボルト接合)

50

3. 変位・変形(4/7)

変位・変形の事例③

衝突による変形ー変形量小ー



変形状況



加熱矯正により
変形修正



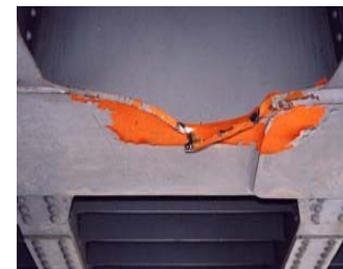
- ・ 車輻衝突により局部的に変形ー変形量が僅かなため加熱矯正で補修
- ・ 塑性変形した部材は加熱矯正のみで綺麗に直すことは難しいー当て板併用が望ましい

51

3. 変位・変形(5/7)

変位・変形の事例④

衝突による変形ー変形量大ー



変形状況



加熱矯正により大きな
変形を修正後、当て板
により補強



- ・ 車輻衝突により下フランジが大きく変形(一部破断)
- ・ 加熱矯正で大きな変形を修正後(ボルト締めが可能のように), 当て板補強

52

3. 変位・変形(6/7)

変位・変形の事例⑤

火災の熱による変形



面外変形の矯正およびウェブ補強としてT型材を取付け

- ・ 桁下火災の熱影響によりウェブが大きく面外変形
- ・ ウェブにT型補強材を取付けウェブ面外変形の矯正およびトラス構造としての主桁補強

53

3. 変位・変形(7/7)

変位・変形の事例⑥

下部工の移動による変形



アーチ支点上支柱対傾構が菱形に変形



圧縮力側の斜材が面外変形

- ・ アーチ支点上支柱対傾構に面外変形(他に大きな損傷なし)
- ・ 橋梁全体の形状調査により、端アバットが移動していることが判明

54

4. ゆるみ、脱落(1/5)

ゆるみ、脱落の概要

<リベット>

- ・ 経年劣化によるゆるみ(振動による軸の伸び、摩耗、リベット孔の拡大など)
- ・ 腐食によるリベット頭欠損(水の浸入による軸腐食)
- ・ 初期不良(カシメ不足)

<高力ボルト>

- ・ 交通振動などによるゆるみ(軸力により生じにくい)
- ・ 施工時の締め付け不良
- ・ 腐食による軸力低下
- ・ F11T以上の高強度ボルトが使われている場合、遅れ破壊の可能性。(1979年以前)

55

4. ゆるみ、脱落(2/5)

高力ボルトの遅れ破壊

- ・ 高強度鋼に一定の引張荷重が加えられた状態である時間が経過した後、外観上ほとんど変形することなしに**突然脆性的に破壊**する現象
- ・ き裂の起点は、切欠き、**疲労き裂**、**腐食ピット**などの応力集中部
- ・ 突然破壊したように見えるが、実際には腐食ピットなどの応力集中部から発生した**き裂が時間とともに徐々に進行し、最後に付加応力に耐えられなくなり急速破壊**している
- ・ 鋼材中の水素、あるいは腐食反応で生じた水素の一部が素材中に浸入して生ずる**水素脆化と応力腐食による割れ**といわれる
- ・ 材料**強度が高い**、表面に**応力集中**がある、**水素**を含む環境下
- ・ **11T以上の高力ボルトで発生**

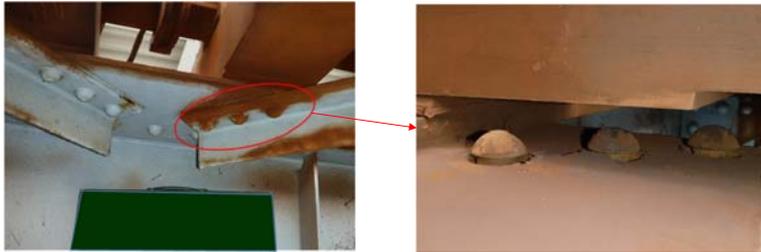


56

4. ゆるみ、脱落(3/5)

ゆるみ・脱落の事例①

リベットのゆるみ



- ・ 振動の繰返しにより、軸の伸び、摩耗などが生じてゆるんだものと思われる
- ・ 部位、条件によってはリベット孔からき裂が生じることもある

57

4. ゆるみ、脱落(4/5)

ゆるみ・脱落の事例②

高力ボルトのゆるみ



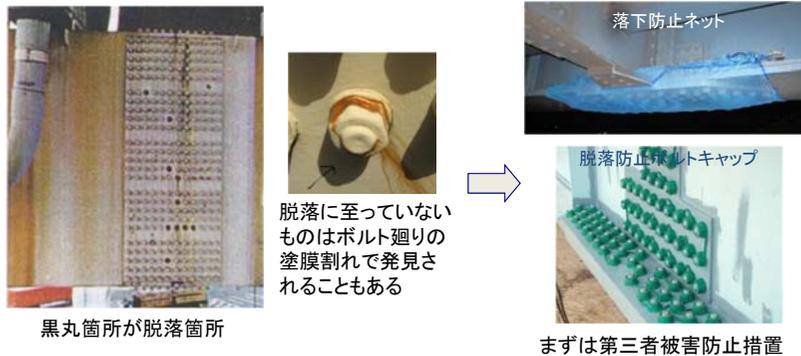
- ・ 軸力を導入する高力ボルトは、適正なボルトが使用され、適正に施工されていれば、ゆるみが生じることは希
- ・ 部材合い面の肌隙、ボルト長の不適(長すぎ)、締付け不良などが原因としては大きい
- ・ ナット、ボルト頭が腐食減肉すると軸力は低下する

58

4. ゆるみ、脱落(5/5)

ゆるみ・脱落の事例③

遅れ破壊による脱落



- ・ 発生率は多くて1%程度といわれているが、著しい腐食環境下ではそれを上回る場合もあるので注意が必要
- ・ まず第三者対策—抜本的には10Tへの交換

59

5. その他の損傷(1/6)

腐食、き裂などの**直接的な損傷以外に**、損傷には至っていないもののそのままでは**損傷を引き起こす可能性の高い状態**におかれている場合がある

たとえば

- ・ **動作不良**：支承の移動拘束—主桁への応力負荷
- ・ **段差**：伸縮装置の段差—走行阻害、振動による損傷
- ・ **塵埃堆積**：支承廻りの土砂堆積—腐食、支承機能固結
- ・ **詰まり**：排水桁の詰まり—橋面滞水、床版への影響

60

5. その他の損傷(2/6)

その他の事例①

支承の移動拘束



- ・ 写真の事例では、温度が低くなると(桁が縮んでくると)移動が拘束される可能性がある
- ・ 移動が拘束されると、設計上考慮されていない応力が発生、損傷を生じる可能性がある

61

5. その他の損傷(3/6)

その他の事例②

支承廻りの土砂堆積



- ・ 支承廻りの土砂堆積は、腐食の発生、進行を増長する(湿潤状態の継続)
- ・ 腐食により支承の回転機能が拘束されると、疲労き裂発生の可能性が高まる
- ・ 点検時などに清掃することでかなり改善される

62

5. その他の損傷(4/6)

その他の事例③

トラス、アーチ格点の土砂堆積



- ・ アーチ橋やトラス橋の格点などにも土砂が堆積し、そのままとなっている場合がある
- ・ 腐食の大きな原因—構造的なことも見直す必要あり

63

5. その他の損傷(5/6)

その他の事例④

伸縮装置の段差



段差の原因—支持桁のき裂

- ・ 伸縮装置の段差は、通行車両の走行性を阻害するとともに、騒音の発生や、衝撃によるコンクリート床版や伸縮装置の疲労などその他の損傷を誘発する可能性がある。
- ・ 段差の生じた原因が桁下の場合があり(沓座の損傷、主桁の破断など)注意必要

64

5. その他の損傷(6/6)

その他の事例⑤

橋面排水ますの土砂詰まり



橋面の雨水の排水機能を低下



- ・ 通行車両の走行性の悪化
- ・ 橋面滞水－床版への雨水浸透, 劣化促進

65

3章 調査、診断、補修・補強

1. はじめに
2. 疲労き裂
3. 塗膜劣化・腐食
4. 変位・変形
5. ゆるみ・脱落

66

1. はじめに

- ・ 鋼桁は外観調査でほとんどの損傷を確認できる
→ **内在するような損傷はほとんど無い**
- ・ **定期的な点検・調査**で重大な損傷の発生は**回避可能**
- ・ **損傷の位置、規模、状況**などを写真やスケッチなどを用いて出来る限り**詳細に記録**
- ・ **発生原因も推定の上**、必要と思われる項目もあわせて調査することも重要
- ・ 調査対象物の構造や使用材料、施工時期とその後の履歴などについて**事前調査を行い実施**するのがよい。

67

2. 疲労き裂(1/6)

疲労き裂の調査方法

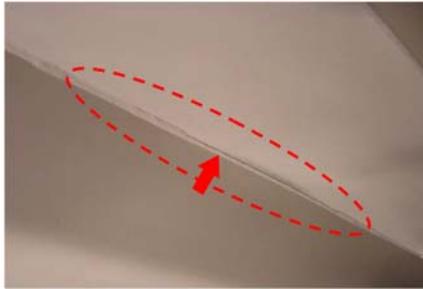
	試験方法種別	調査項目	試験時の表面処理	補足
目視点検 (VT)	非破壊試験	表面き裂 (位置、長さ)	塗装の有無を問わない	最も基本的
渦流探傷試験 (ET)				検出精度の検討が必要
浸透傷試験 (PT)				検出精度はMTより劣る
磁粉探傷試験 (MT)		内部き裂 (位置、長さ)	鋼材粗面を露出させる必要あり	検出精度が高い
超音波探傷試験 (UT)				高度な技量が必要
マクロ試験 スンプ試験				表面の溶接位置(溶込み量)
切削調査	破壊試験	溶接部の内部状況(溶込み量) 内部き裂(位置、長さ)	塗装の有無を問わない	高度な知識が必要
コア抜き試験		材料の機械的性質、化学成分、内部き裂他		コア材採取可否と採取位置の検討が必要

68

2. 疲労き裂(2/6)

目視調査(VT)

- ・ 近接目視で基本的に塗膜割れを調査する
- ・ き裂の可能性の判断には知識と経験が必要
- ・ 目視調査の結果を受けて次の調査(PT,MT)を行う



すみ肉溶接の止端部に塗膜割れが生じており、疲労き裂である可能性が高い
近接目視が必要



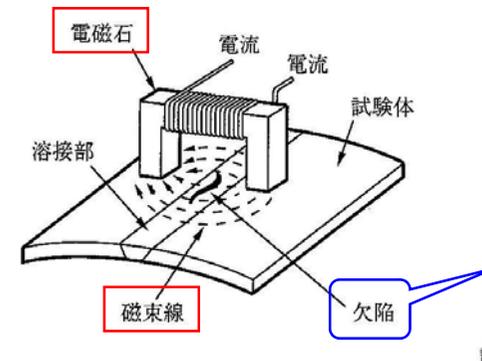
すみ肉溶接部に生じた縦方向の塗膜割れ疲労き裂は、複数のき裂が平行に生じることはないので、塗膜割れの可能性が高い

目視調査例

69

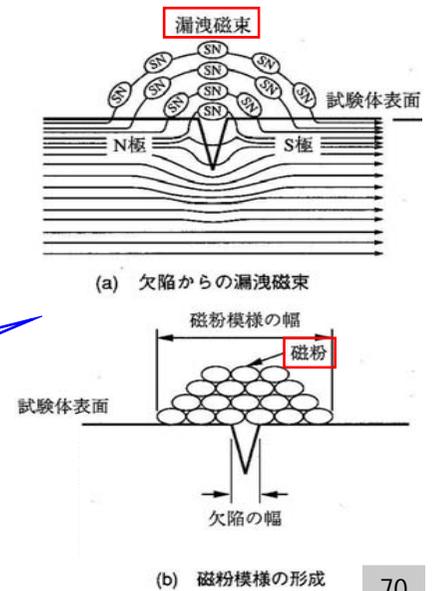
2. 疲労き裂(3/6)

磁粉探傷試験(MT)



試験体を局部的に磁化させて、きず近くの漏洩磁束に磁粉(強磁性体の粉末)を吸着させる

この磁粉模様を検出することにより、亀裂の有無を調べる



(b) 磁粉模様の形成

70

2. 疲労き裂(4/6)

磁粉探傷試験(MT)



磁化および磁粉検査液の散布



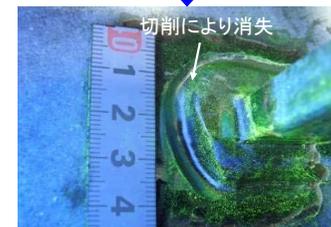
紫外線照射および磁粉模様観察

- ・ 塗装を剥ぎ、鋼材粗面を露出させる必要がある
- ・ 磁化装置とブラックライト(蛍光磁粉の場合)を稼働させるための電源(発動発電機)が必要
- ・ **きずの検出能力が高い**

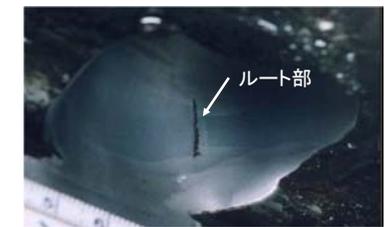
71

2. 疲労き裂(5/6)

磁粉探傷試験(MT)



き裂切削除去時の磁粉探傷試験



部分溶込み溶接継手のルート部の磁粉探傷試験指示模様

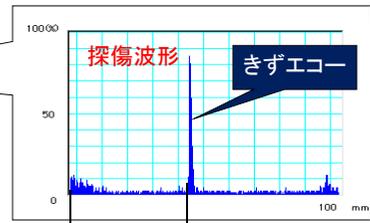
72

2. 疲労き裂(6/6)

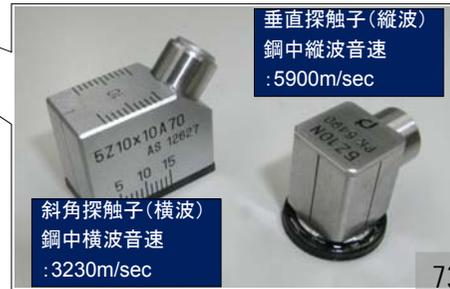
超音波探傷試験(UT)



超音波探傷器



W: きずまでの距離情報が得られる



垂直探触子(縦波)
鋼中縦波音速
:5900m/sec

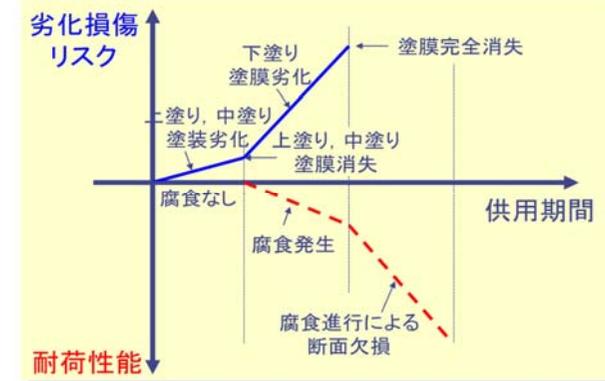
斜角探触子(横波)
鋼中横波音速
:3230m/sec

超音波探傷試験

試験体に超音波を伝搬させて、きずから反射されるエコーにより、きずの有無あるいは距離情報を得る

3. 塗膜劣化・腐食(1/9)

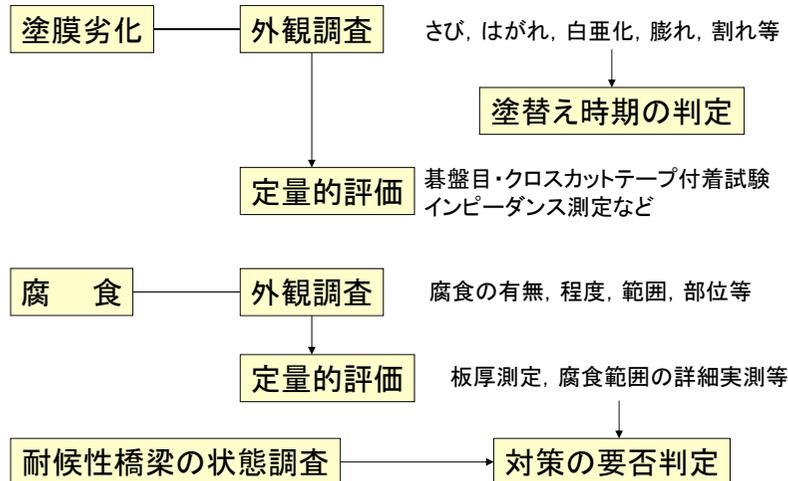
塗膜劣化リスクと耐荷性能(イメージ)



上塗と中塗の塗膜が残っている場合は、鋼材面に腐食は発生しない
下塗の塗膜が劣化し始めると錆びが発生する
耐荷性能は、腐食による断面減少が指標となる

3. 塗膜劣化・腐食(2/9)

塗膜劣化・腐食の調査方法



3. 塗膜劣化・腐食(3/9)

塗膜劣化事例



さび



はがれ



白亜化



われ



ふくれ



変退色

3. 塗膜劣化・腐食(4/9)

塗膜劣化の判定

塗膜の劣化程度の4段階評価

	さび	はがれ
評価1:健全	さびが認められず、塗膜は健全な状態。 $X < 0.05\%$	はがれの発生面積0%
評価2:ほぼ健全	さびが僅かに認められるが、防食機能を維持の状態。 $0.05\% < X < 0.5\%$	はがれの発生面積1%
評価3:劣化している	さびが顕在化し、塗膜は一部防食機能を損なう状態。 $0.5\% < X < 8.0\%$	はがれの発生面積3%
評価4:劣化が著しい	さびが進行し、塗膜は防食機能を失う状態。 $8.0\% < X$	はがれの発生面積15%

塗膜劣化標準写真帳(日本道路協会)と対比評価

77

3. 塗膜劣化・腐食(5/9)

塗膜劣化の判定

定期点検の結果のうち、さびとはがれの4段階評価にもとづいて、

- ① 当面塗替える必要はない
- ② 数年後に塗替えを検討する
- ③ 早い時期に塗替えを検討する 鋼道路橋防食便覧より

		はがれの程度			
		1	2	3	4
さびの程度	1				
	2		①		②
	3		②		
	4				③

78

3. 塗膜劣化・腐食(6/9)

腐食調査(板厚測定)

板厚測定法	特徴	
	精度など	前処理の有無
機械式計測法	高精度 計測機器は軽量・可搬性に優れ、安価	塗膜、さびの除去などの前処理が必要
超音波法	板厚を直接知ることができる 簡単な作業により結果が即座に得られる	塗膜、さびの除去などの前処理が必要
レーザー法	プロセスが煩雑 誤差が混入する余地が高い 計測精度は非常に高い	塗膜、さびの除去などの前処理が必要
画像計測法	計測精度を一義的に定めることが困難 極めて簡易な作業で計測が行える 非接触で、一度に比較的広範囲の計測を行うことができる 平均板厚の評価には適用可能	浮きさびの除去などの前処理が必要
レプリカ法	非破壊で表面状態を計測できる	表面のごみ、油、さびなどの除去が必要

79

3. 塗膜劣化・腐食(7/9)

腐食の評価

腐食の影響

断面減少: 耐力力の減少, 発生応力の増加

表面凹凸: 応力集中

耐力力、耐久性の評価

一般的に腐食箇所の**残存板厚**(板厚測定)により、**部材単位設計に基づいて行われることが多いが**、局所的な腐食、孔食が耐力力に与える影響など不明確な部分もあり、定性的に評価できないケースも多い



腐食部位の重要度、腐食程度(減厚量、範囲)、仮定条件での応力状態等、総合的に判断して評価・判定する必要がある

80

3. 塗膜劣化・腐食(8/9)

耐候性鋼橋梁の調査

- さびの状態を、**保護性さび**が「形成」または「適切に形成されつつある」、あるいは「適切に形成されず腐食が進行する状態」にあるのかを判断。
- さびの状態の指標を、**外観**、**腐食量**、**さびの構造**や**物性の側面**から、5段階に評価

<外観調査>

さびの構造、物性を目視で確認するとともに、環境等も確認
外観評点写真、さびサンプルなどとの照合で評価

<さび厚計測>

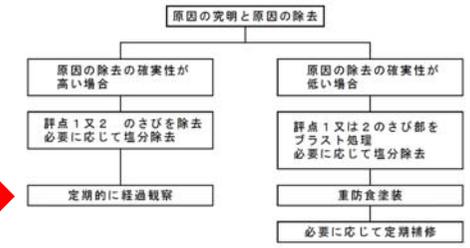
さびの進行程度を判断する目的で行う。電磁膜厚計を使用

3. 塗膜劣化・腐食(9/9)

耐候性鋼橋梁の保護性さびの評価



状態	評点	目視外観	さび厚
正常	5	腐食が進まず、さびも薄い	200 μm程度未満
	4	平均外観粒径1mm程度以下で均一なさび	400 μm程度未満
	3	平均外観粒径1~5mm程度のさび	400 μm程度未満
要観察	2	外観粒径5~25mm程度のうちこ状剥離があるさび	400 μm程度以上 800 μm程度未満
異常	1	層状剥離がおきているさび	800 μm程度以上

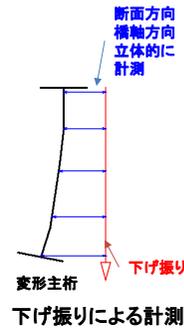


※橋建協HPIに「さび外観評価補助システム」がありますのでご活用下さい

4. 変位・変形(1/2)

変位・変形の調査

- 変位・変形の**影響範囲**を明らかにし、**健全な部分を基準**として、**変形の形状や量**を計測する
- 立体的な調査**を行う
- 変位・変形の実測方法
 - 下げ振りなどを利用しての変形量測定
 - 測量点(水準点)からの測量による全体移動量(構造物内の相対関係)
- 周辺の**塗膜損傷**状況、**溶接部**や**ボルト継手部**に注意する(過大な力で割れ、滑りの可能性もあり)
- 火災による変形**の場合は**鋼材の材質変化**の可能性にも注意(延焼温度、時間、急冷の有無等)



4. 変位・変形(2/2)

変位・変形の評価・診断

- 変位・変形の放置により、その進行、座屈や部材破断、構造物の崩壊に至る可能性をまずは判断して措置



危険性が大きく、迅速な対応が必要と考えられる場合、**応急措置**(ベント仮支持等)を取った後、補強方法を検討

- 変形量の評価としては、道路橋示方書の部材精度などと比較する

表-18.3.6 部材の精度

番号	項目	許容誤差(mm)	備考	測定方法
1	フランジ幅 δ (mm)	±2~δ≤0.5	左欄のδは、h及びbを代表したものである。	
	腹板高 h (mm)	±3~0.5<δ≤1.0		
	腹板厚 t (mm)	±4~1.0<δ≤2.0		
2	腹の平面度 δ (mm)	±(3+b/2)~2.0<δ	h: 腹板高 (mm)	
	箱桁及びトラス等の部材の腹板	h/250	h: 腹板又はリブの間隔 (mm)	
	箱桁及びトラス等のフランジ、鋼床版のデッキプレート	b/150		

例えば、腹板の平面度は、腹板高2mの場合δ=8mm以内となる

(道示H24・鋼橋編 18.3.2部材精度より抜粋)

5. ゆるみ・脱落(1/3)

ゆるみ・脱落の調査

●脱落

・外観から**容易に発見**できる。

●ゆるみ

- ・外観上のみではゆるみの**確認は困難**
- ・一般には、ボルト等の頭廻りの**塗膜割れ**、継手の接触面からの**さび汁**などから判断
- ・近接できる場合は、検鉋ハンマーによる「**たたき点検**」が有効
- ・遅れ破壊の調査(破断前調査)では「**超音波探傷法**」なども有効

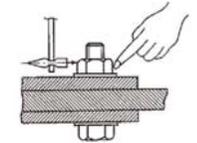
85

5. ゆるみ・脱落(2/3)

ゆるみ・脱落の調査

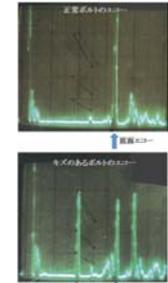
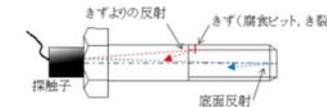
●叩き点検

ボルト等を検鉋ハンマーでたたき、そのゆるみの有無を熟練者の感覚により判定・・・簡易な点検方法であるが、判定が点検者の技量に左右されるところが大きい。単なるゆるみか遅れ破壊による軸力抜けかの判断は困難



●超音波探傷法

軸先端またはボルト頭からボルトを垂直探傷し、反射エコーにより遅れ破壊による微細なキズの有無を判定・・・叩き点検との併用で効率的で精度の高い調査が可能



86

5. ゆるみ・脱落(3/3)

ゆるみ・脱落の診断

●主要部材の継手

主要部位の継手においては、ゆるみ・脱落の本数、位置により継手を照査し、その結果により適切な診断、処置を行う。継手としての強度的に問題なくとも、遅れ破壊が原因と考えられる場合には、ボルト脱落による第三者被害の可能性等も考慮して診断する必要がある。

●超音波探傷法

二次部材の場合には、部分的なボルト等のゆるみ・脱落が、さまざま構造物全体の耐荷力に影響を与えることは少ないと考えられるが、構造物の安全性が低下する可能性があるとともに、騒音の発生やその他の損傷を誘発する可能性があり、その様な恐れがないか考慮しながら診断する必要がある。

87

4章 現場における新技術

1. 現地調査
2. 鉄筋探査
3. 罫書き
4. 削孔
5. 素地調整
6. ボルト締め
7. ジャッキアップ

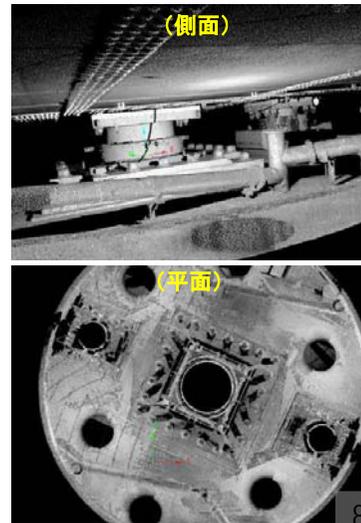
88

1. 現地調査

3Dスキャン



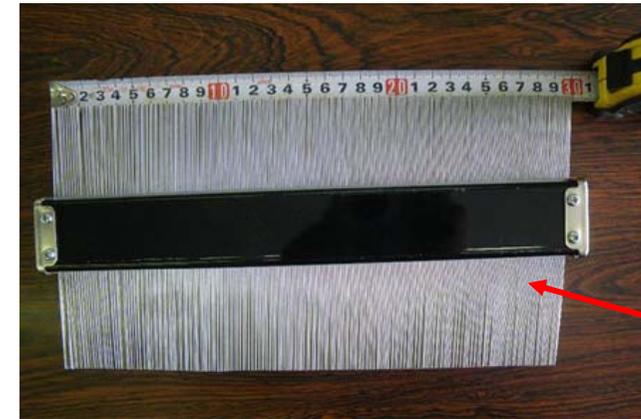
現場実測では、その実測方法の計測精度、誤差を理解しておくことが重要
(3Dスキャンは3~5mm程度)



89

1. 現地調査

型取り工具



複数の針金

90

1. 現地調査

型取り状況



91

2. 鉄筋探査

電磁波レーダ法

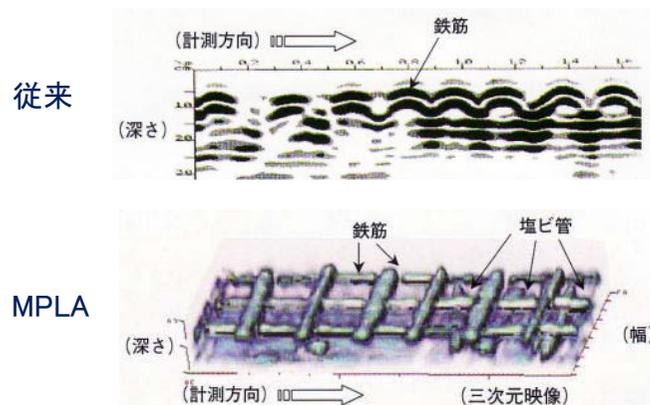


探査可能深さは20cm程度
↓
2段目以降の鉄筋は探査できない

92

2. 鉄筋探査

MPLA法による3D鉄筋探査



93

3. 罫書き

レーザーによる罫書き



水系を使う場合と比較してサグや風、振動の影響を受けにくい
レーザーは照射点から離れると線が太くなる

94

4. 削孔

無水式コアドリルによる本削孔



- ・コンプレッサーによる圧縮空気を除湿器を通してエアクーラーから冷風ノズルへ送り、 -25°C の超低温冷風でコアビットを冷却
- ・水を使用しないため、「のろ」の回収、処理が不要
- ・施工費は高くなる

95

4. 削孔

高周波コアドリルによる本削孔



- ・インバーター(制御装置)を使用したコアドリル
- ・鉄筋等コンクリートの特性以外の物に干渉した場合、不可変動によりモーターが停止するので鉄筋を切断しない
- ・施工費は高くなる

96

5. 素地調整

施工状況



施工完了



一般的な方法であるが、塗装の粉が飛散するので養生が必要
集塵機付きの機械もある

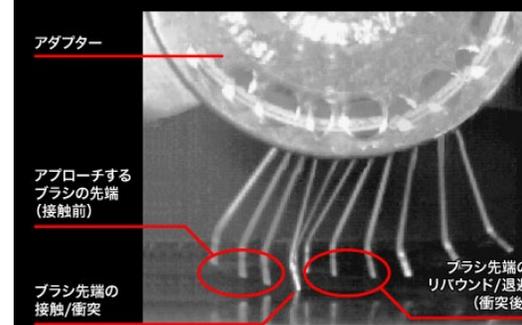
97

5. 素地調整（動力工具）

新技術の紹介

ブリストルブラスター

1種ケレン相当の粗面形成

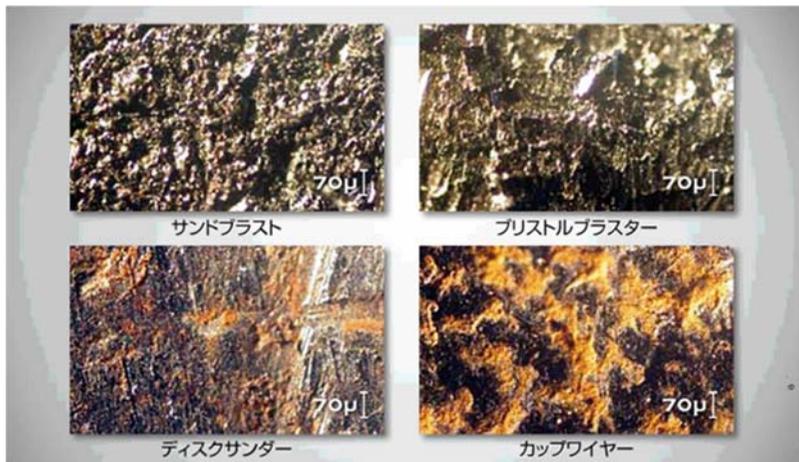


98

5. 素地調整（動力工具）

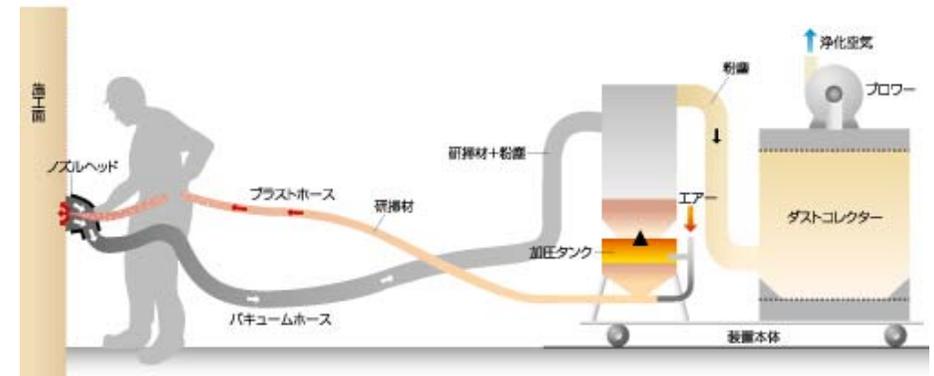
新技術の紹介

ブリストルブラスター



99

5. 素地調整（ブラスト）



バキュームブラストでもある程度の飛散防止は必要

100

5. 素地調整 (プラスト)

施工状況



施工完了



設備が大がかりになる
細部は動力工具処理が必要

101

5. 素地調整 (剥離剤)

(商品名) インバイロワン

塗膜を溶解して除去するタイプの従来型は剥離剤とは異なり、シート状に軟化させるため除去塗膜の回収が容易で、高級アルコールを主成分とするため毒性・皮膚刺激性がない

(独立行政法人 土木研究所HPより)

細部は動力工具処理が必要

2種ケレン相当なので、粗度確保が必要な場合は別途処置が必要

102

5. 素地調整 (剥離剤)

塗布後24時間経過



塗膜回収



スクレーパーによる塗膜除去



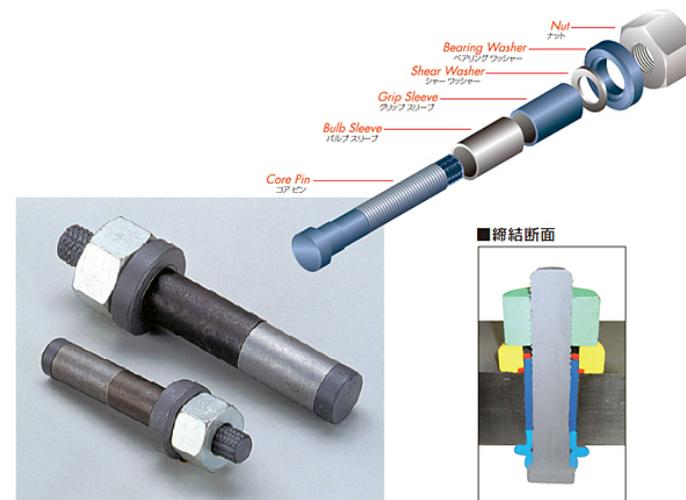
塗装の粉が飛散しない
劣化した塗膜の除去に弱い
使用時には特許実施許諾申請が必要

※ 写真は製品HPより

103

6. ボルト締め (ワンサイドボルト)

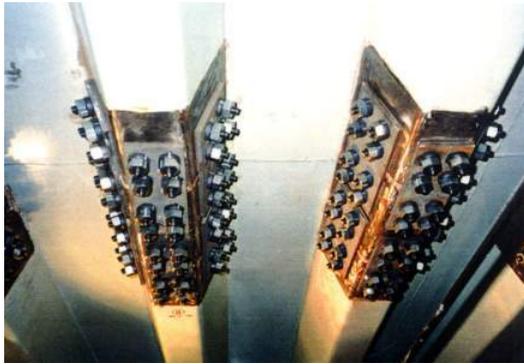
高力ワンサイドボルト



104

6. ボルト締め（ワンサイドボルト）

高力ワンサイドボルト適用例

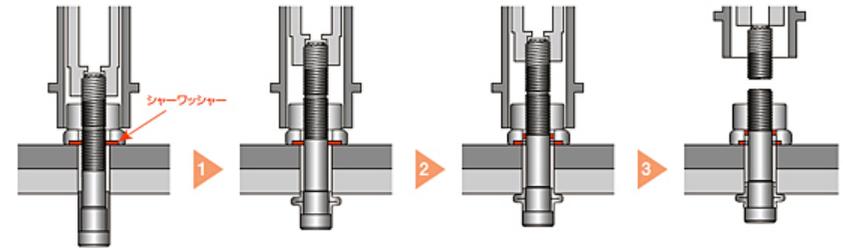


M24ボルトでM22・F8Tと同程度の締付け軸力が得られる

105

6. ボルト締め（ワンサイドボルト）

高力ワンサイドボルトの締付ステップ



締付前



締付後



専用工具が必要
裏面側の平坦性が必要
(裏面の腐食の有無は要確認)

106

7. ジャッキアップ

補修用低高油圧ジャッキ



補修用油圧ジャッキ



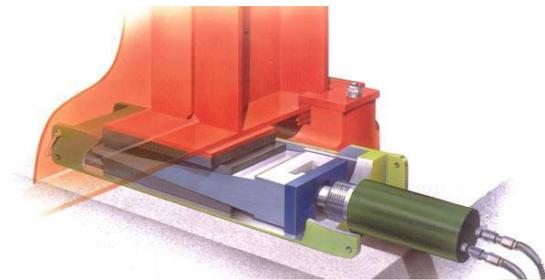
- ・油圧が抜けても下がらないよう安全ロックが付いている
- ・狭隘な箇所でも使用出来るよう機高を抑えている
- ・機高が低い分 ジャッキのストロークは短い(20~30mm)



107

7. ジャッキアップ

仮受け機能付き油圧ジャッキ



製品名
トライアップジャッキ

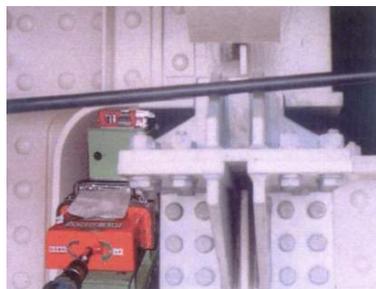
わずかな隙間があれば扛上が可能で扛上後はストッパーで機械的に高さを固定する



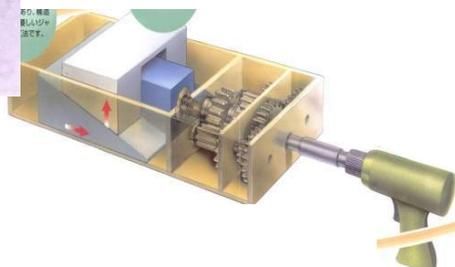
108

7. ジャッキアップ

減速ギア式楔形ジャッキ



製品名
トルクアップジャッキ



- ・電動工具でトルクを入力する
- ・反力が長期に作用しても
楔が後退しない

109

7. ジャッキアップ

フラットジャッキ



- ・補修用ジャッキが入らない
箇所で使用する
- ・使用は原則1回であるため
買い取りとなる

110

ありがとうございました

益々重要性の高まる維持管理

現状の認識もさることながら、過去、現在、未来へとつづく
数十年単位の時間的スケールをもった業務であり、点検は
その第一歩

意思決定の定石、**観考推洞(かんこうすいどう=観察・考
察・推察・洞察)**プロセスを経て正しい方向性を目指しながら
誇りを持って成し遂げられるべき社会的価値のある業務
です

111