

鋼橋の維持管理と 健全度診断技術

山口 隆司（大阪市立大学）

鋼橋の維持管理

鋼橋の維持管理と 健全度診断技術

大阪市立大学
大学院工学研究科 教授

山口 隆 司

Contents

- a) 鋼橋の損傷
- b) 鋼橋の劣化現象とその調査
 - 腐食
 - 疲労
- c) 補修の基本
- d) 健全度診断技術の現状

参考文献

- 鋼橋の疲労と破壊，建設図書，1987
- 鋼構造物の疲労設計指針2012年改定版，鋼構造協会，2012
- 鋼橋における劣化現象と損傷の評価，土木学会，1996
- 鋼橋の疲労，道路協会，1997
- 鋼道路橋の疲労設計指針，道路協会，2002
- 阪神高速道路における鋼橋の疲労対策，2005
- 腐食した鋼構造物の残存性能評価および性能回復技術，土木学会鋼構造委員会，2007
- 道路橋技術基準の変遷（藤原稔），技報堂出版，2009
- 鋼構造物における長寿命化・延命化技術の現状と課題，鋼構造協会，2009
- 鋼道路橋塗装・防食便覧，道路協会，2005

橋の損傷の特徴

- **長期(50年から100年)**にわたって供用されることから**設計時の外力評価が難しい**.
 - 交通環境(交通量, 走行位置, 自動車など)の変化
 - 地震, 台風などの非定常外力の考慮
- **管理する橋梁数が膨大で**, 接近目視, 機器による計測といった詳細な点検をすべての橋梁に対して短い時間間隔で行うことが難しい.
 - 幹線国道, 高速自動車国道以外の道路については十分な点検がなされていない(できない)現状がある.
- **疲労き裂**など発見が困難な損傷がある.
 - 溶接ルート部などの溶接内部欠陥に起因するき裂は特に発見が難しい.
- **損傷の類型化**がある程度進められている.
 - 疲労損傷マップや腐食損傷マップ(損傷の可能性が高い部位をある程度特定できる.)
- **劣化速度の速い損傷とゆっくりとした損傷**がある.

鋼橋の損傷

- ▶ 腐食
- ▶ き裂
- ▶ ゆるみ・折損
- ▶ 変形
- ▶ 支承・伸縮装置の損傷
- ▶ コンクリートの損傷（主に、床版，支障部）
- ▶ その他

腐食

鋼構造物に最も多く見られる劣化現象

全面腐食: 海岸や工業地帯に多い

局部腐食: 風通しが悪く, 雨水が滞水しやすい桁端部,
箱桁・鋼製橋脚内部など
結露水の滞水



全面腐食の例



局部腐食の例



土木学会 鋼構造委員会腐食した鋼構造物の残存性能評価および性能回復技術(P1-91)

腐食事例



桁端部の局部腐食



高力ボルトの腐食

桁端部の腐食損傷事例



[補剛材欠損]※



[ウェブ欠損(桁端側)]※



[ウェブ欠損(桁端側)]※



[補剛材とウェブ欠損(桁端側)]

※出典:国土技術政策総合研究所 鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究

腐食損傷の定義

定義：断面欠損を伴うさびの発生

断面欠損を伴わない軽微なさびの発生

→ 防食機能(いわゆる塗膜)の劣化

腐食現象の特性

- 鉄の酸化反応

 - 通常であればその進行は遅い

 - (板厚貫通までに数年以上を要する)

 - 環境のよくない場所: およそ0.1 (mm/年) の減厚

- 面的な広がり, 錆汁→発見が容易

- 鋼材の腐食 ≠ 鋼橋の腐食

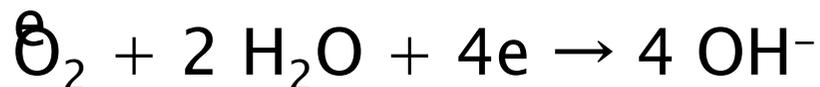
 - 構造的要因が重要

 - 設計上の配慮が重要

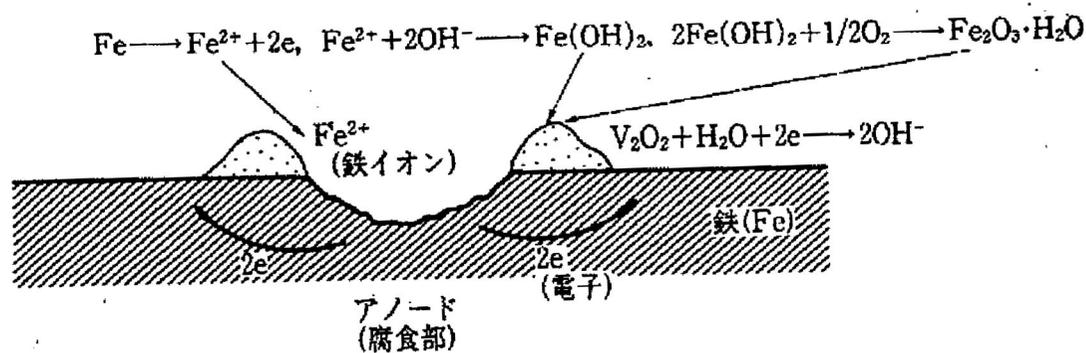
腐食のメカニズム(1)

鋼材は鉄鉱石を人工的に還元して作られている。

→ 自然界で安定な酸化鉄に戻ろうとする。 → 腐食



赤錆の生成



腐食のメカニズム(2)

腐食促進因子

温度, 湿度, 亜硫酸ガス, 自動車排気ガス, 海塩粒子

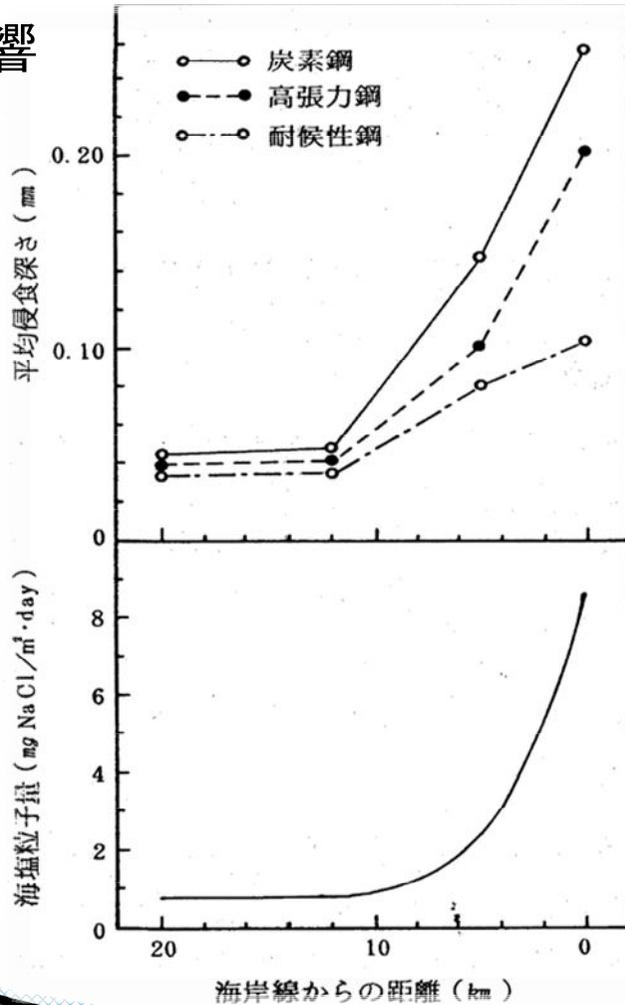
異種金属接触腐食

水分などの電解質が存在する環境で異なった種類の金属が接触すると腐食電池が形成されアノード側が腐食する

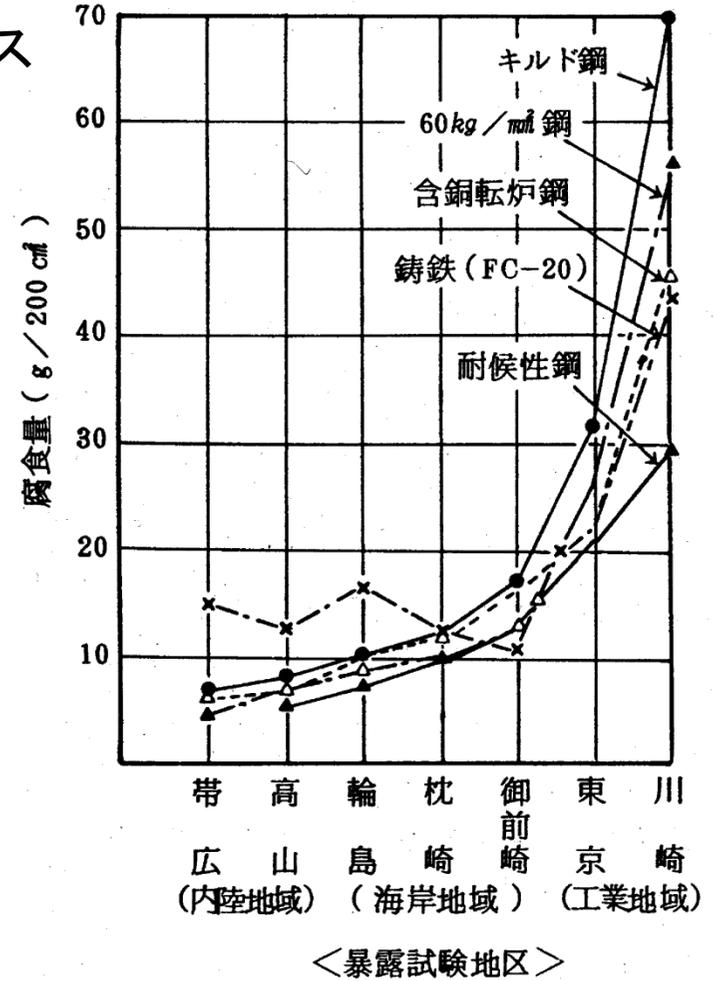
例 亜鉛めっき部材と鋼部材 → 亜鉛めっき部材の腐食
ステンレスと鋼 → 鋼の腐食

腐食促進因子

塩分の影響



亜硫酸ガスの影響

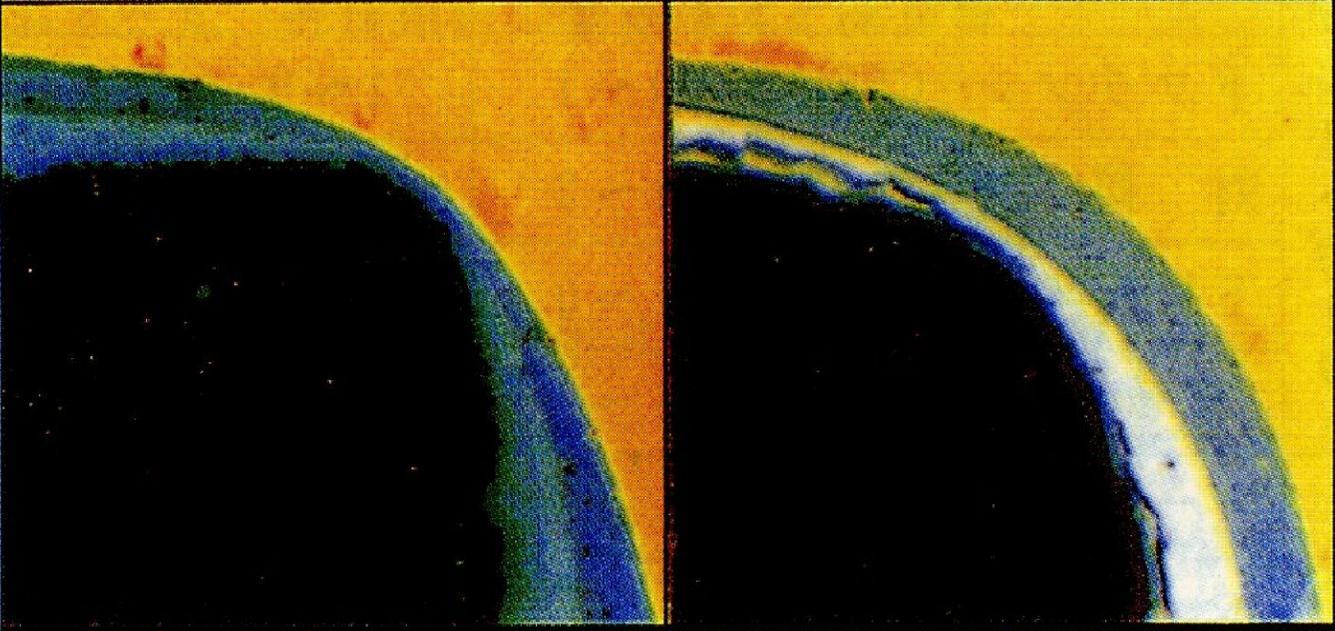


構造部位の影響

シャープエッジの存在の有無

エッジ形態 膜厚 (μm)	シャープエッジ			R加工されたエッジ		
	エッジ部	一般部	エッジ部 一般部 (%)	エッジ部	一般部	エッジ部 一般部 (%)
1回塗り膜厚	10	70	14%	50	70	71%
2回目までの膜厚	40	140	29%	110	140	80%

エッジ部の
塗膜断面写真



腐食損傷度の調査

目視調査と詳細調査

目視調査

さび, われ, はがれ, 退色, ふくれ, 白亜化,
よごれ

板厚測定

腐食量を定量的に評価

代表的な板厚測定法

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

腐食の影響

断面減少 耐荷力の減少，発生応力の増加（疲労に關係）

表面凹凸 応力集中

ただし，腐食の表面凹凸が疲労強度に対して支配的となることはない

腐食疲労 き裂先端に雨水が浸入すると，き裂先端は常に湿潤状態となる，また，腐食による体積膨張もある。

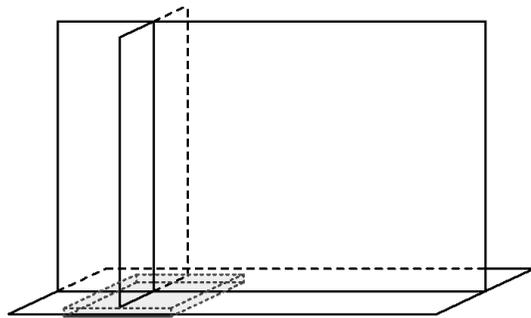
➡ き裂の進展が促進，疲労限の消滅

応力腐食割れ（遅れ破壊）

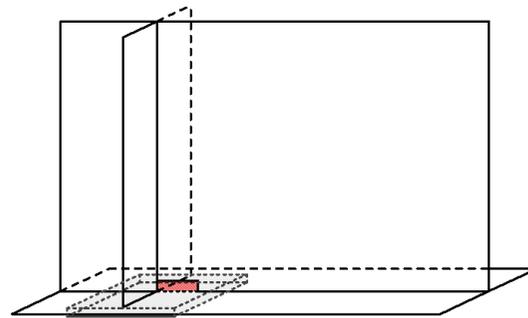
特定の腐食環境中におかれた金属材料が持続的な引張応力のもとで時間依存型の脆性破壊を示す現象

解析による検討例

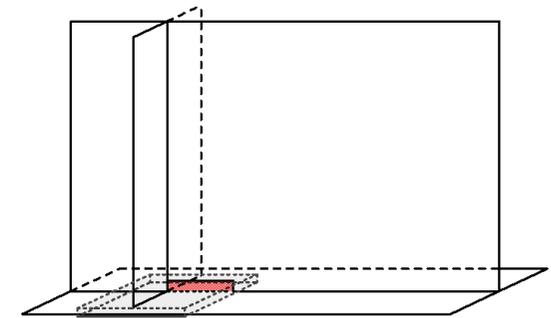
▶ ベースモデル+欠損モデル5ケース



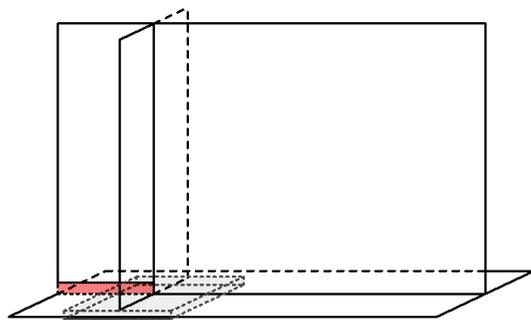
ベースモデル



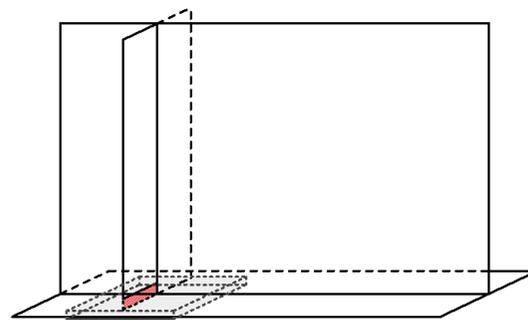
ウェブ欠損モデル(径間側1)



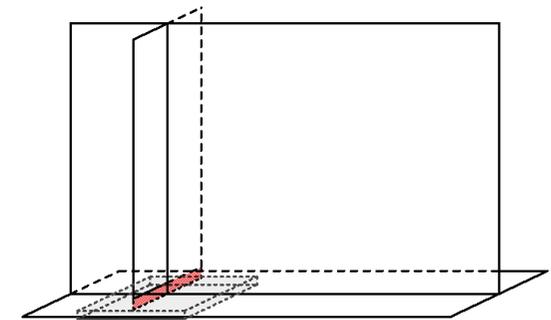
ウェブ欠損モデル(径間側2)



ウェブ欠損モデル(桁端側)



補剛材欠損モデル(片側)



補剛材欠損モデル(両側)

健全時の設計耐力による検討

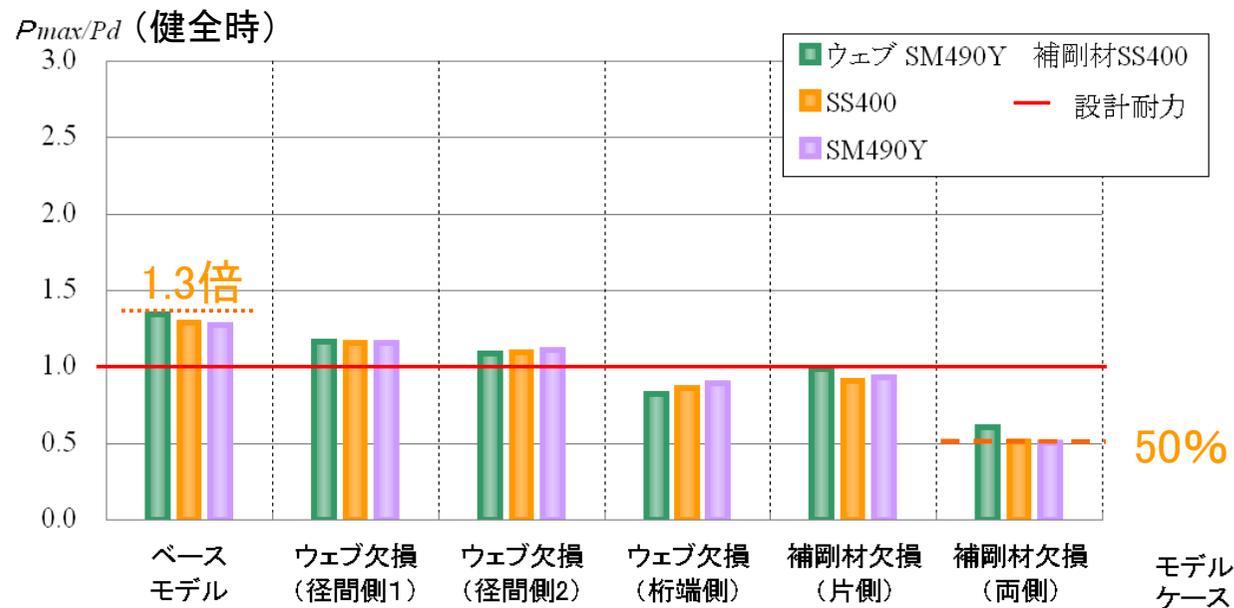


図 設計耐力(局部座屈(24t)健全時)との比較

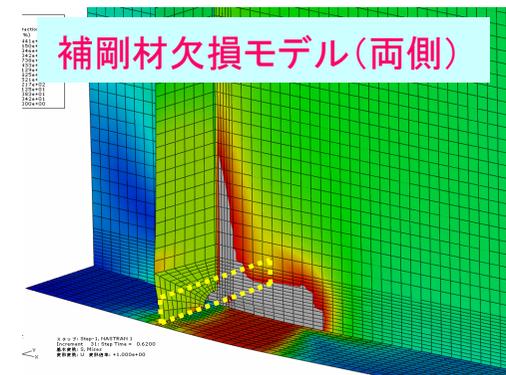
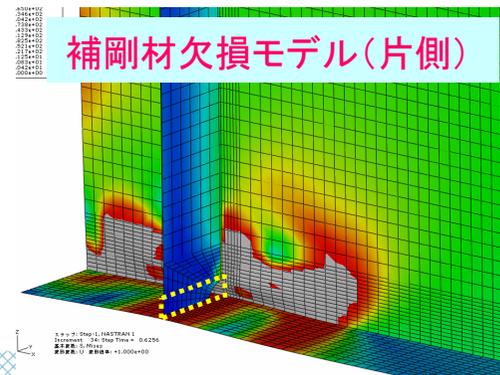
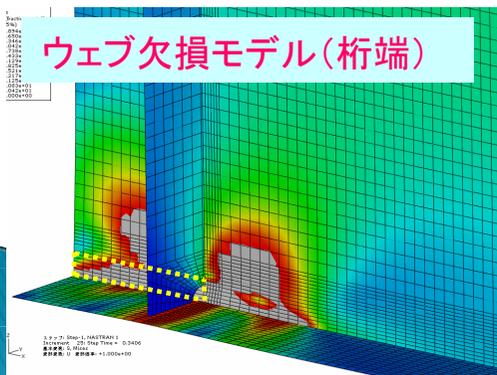
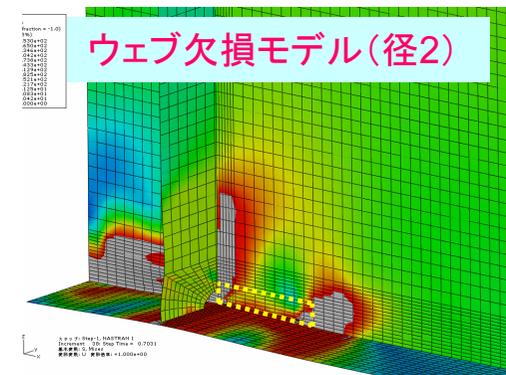
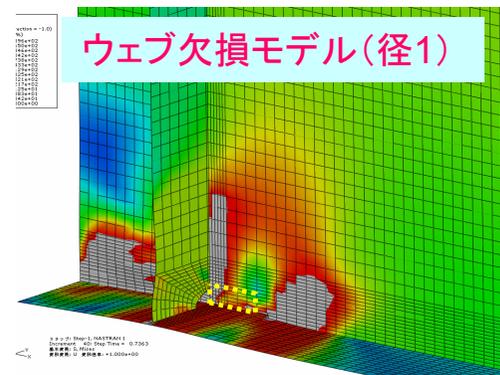
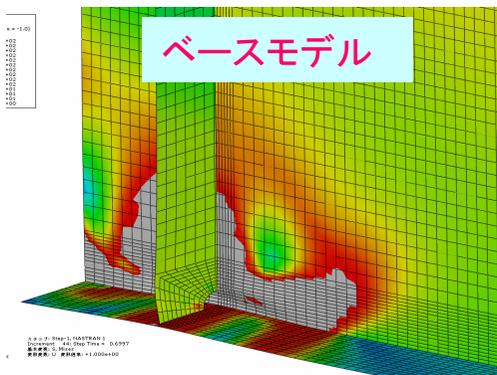
- ▶ 設計耐力に対して解析値は1.3倍程度
- ▶ ウェブ欠損タイプでは P_{max}/P_d (健全時)は1.0以上
- ▶ 補剛材両側欠損: 設計耐力の50%の耐力

解析結果(欠損高さ10mm)

- ▶ 全てのケースで柱の全体座屈に至っていない
⇒降伏後の下端の局部座屈で最大荷重は決定される
- ▶ ウェブの塑性域が大きい
⇒耐力に対するウェブの貢献度が高い

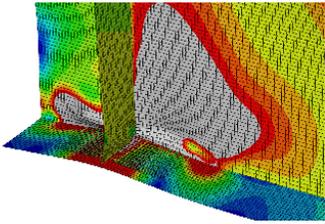
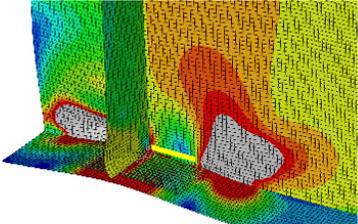
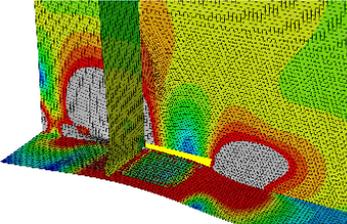
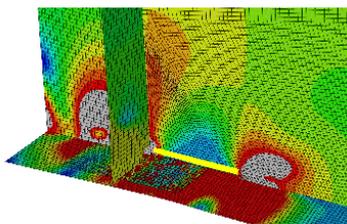
 : 欠損部

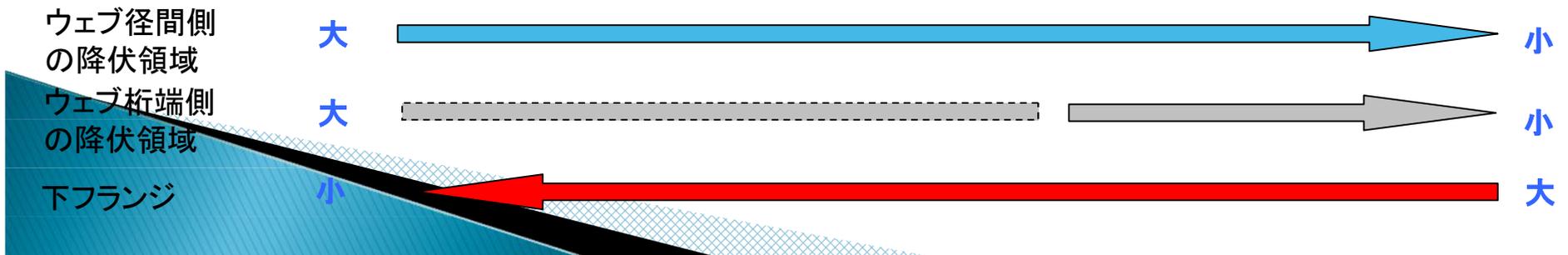
補剛材SS400, ウェブSM490Y)



解析結果(ウェブ径間側の欠損幅の影響)

表 ウェブ径間側の欠損幅の増加に伴う降伏領域の変化

	欠損なし	欠損幅130mm (ソールプレート端より内側)	欠損幅190mm (ソールプレート端より外側)	欠損幅250mm (ソールプレート端より外側)
応力 コンター図				
耐力低下率 $P_{max} / P_{max}(\text{健全})$	1	0.87	0.82	0.76
欠損幅	0	130	190	250



解析結果(ウェブ桁端側の欠損幅の影響)

表 ウェブ桁端側の欠損幅の増加に伴う降伏領域の変化

	欠損なし	欠損幅130mm (ソールプレート端より内側)	欠損幅190mm (ソールプレート端より外側)	欠損幅250mm (ソールプレート端より外側)	欠損幅300mm (全欠損)
応力 コンター図					
耐力低下率 $P_{max} / P_{max}(\text{健全})$	1	0.89	0.8	0.72	0.57
欠損幅	0	130	190	250	300

ウェブ径間側
の降伏領域

大



小



ウェブ桁端側
の降伏領域

大



小

下フランジ

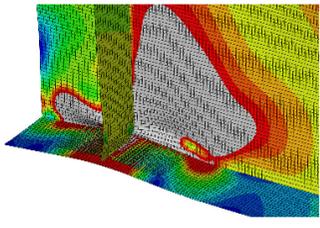
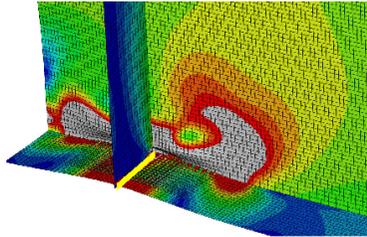
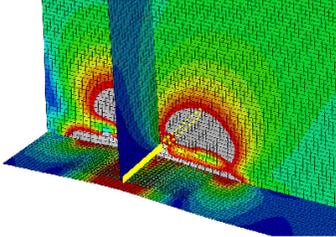
小



大

解析結果（補剛材の欠損幅の影響）

表 補剛材の欠損範囲の増加に伴う降伏領域の変化

	欠損なし	片側欠損	両側欠損
応力コンター図			
耐力低下率 $P_{max} / P_{max}(\text{健全})$	1	0.77	0.54
欠損幅	0	片側	両側



疲労

- ・ 繰返し力や変形による亀裂の発生・進展過程
- ・ 静的耐力以下であっても発生(弾性範囲内でも発生)
- ・ 微小なき裂の進展過程が寿命の大半
- ・ 塗膜や被膜の下→発見が困難
- ・ 大きなき裂→急速に進展
- ・ 一次応力と二次応力
- ・ 設計上の仮定と実際の挙動の違い
(非合成, 二次部材, 部材の変形...)
- H14年の道路橋示方書の改訂で疲労を考慮することに!

疲労現象

高サイクル疲労と低サイクル疲労

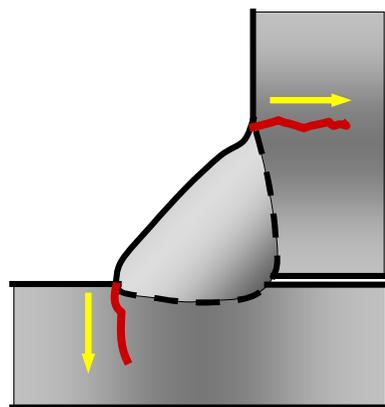
低サイクル疲労(繰り返し回数 10^4 回以下)では, 塑性ひずみが支配的であり, 塑性疲労とも呼ばれる.

(兵庫県南部地震で被災した一部の鋼構造物で発生が確認)



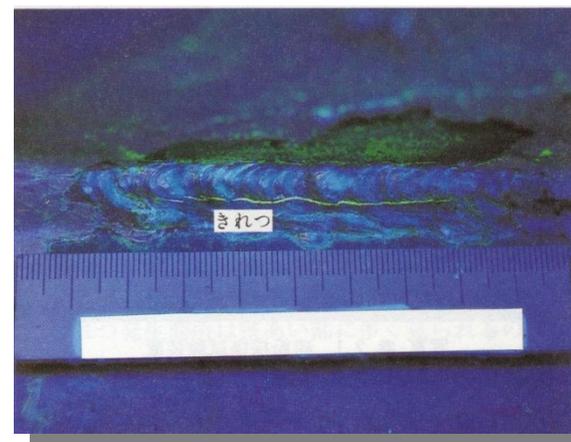
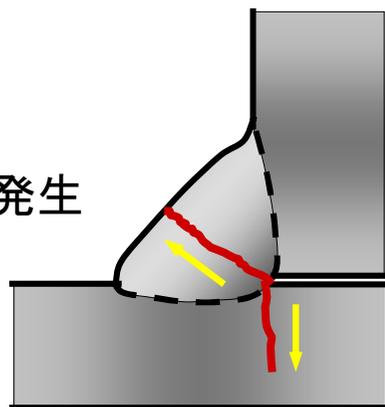
き裂の例(すみ肉溶接継手の場合)

止端破壊

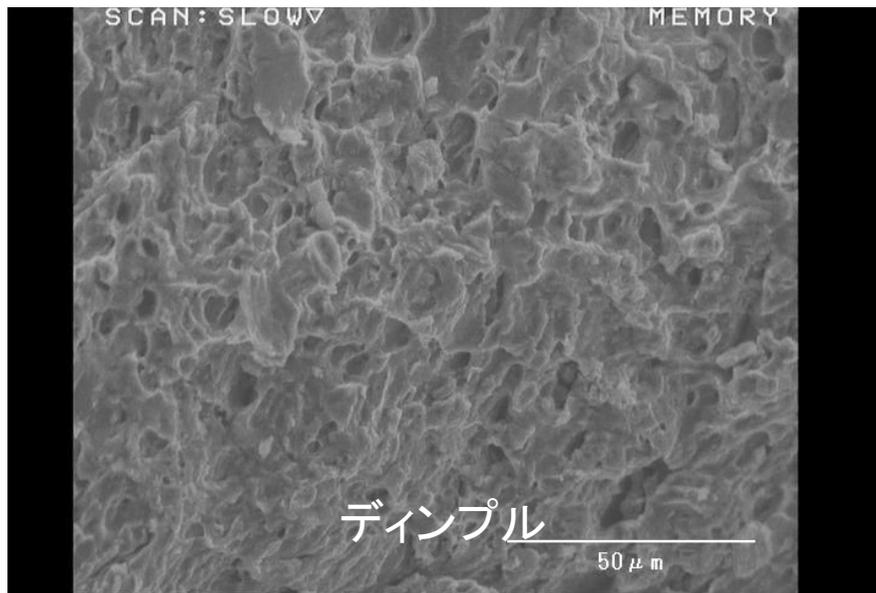


ルート破壊

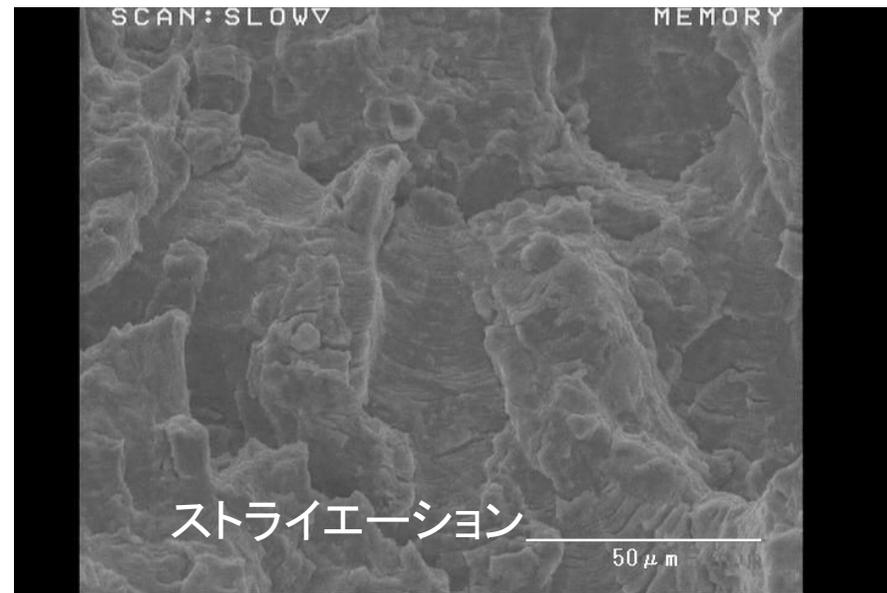
溶接内部から発生



延性破面と疲労破面

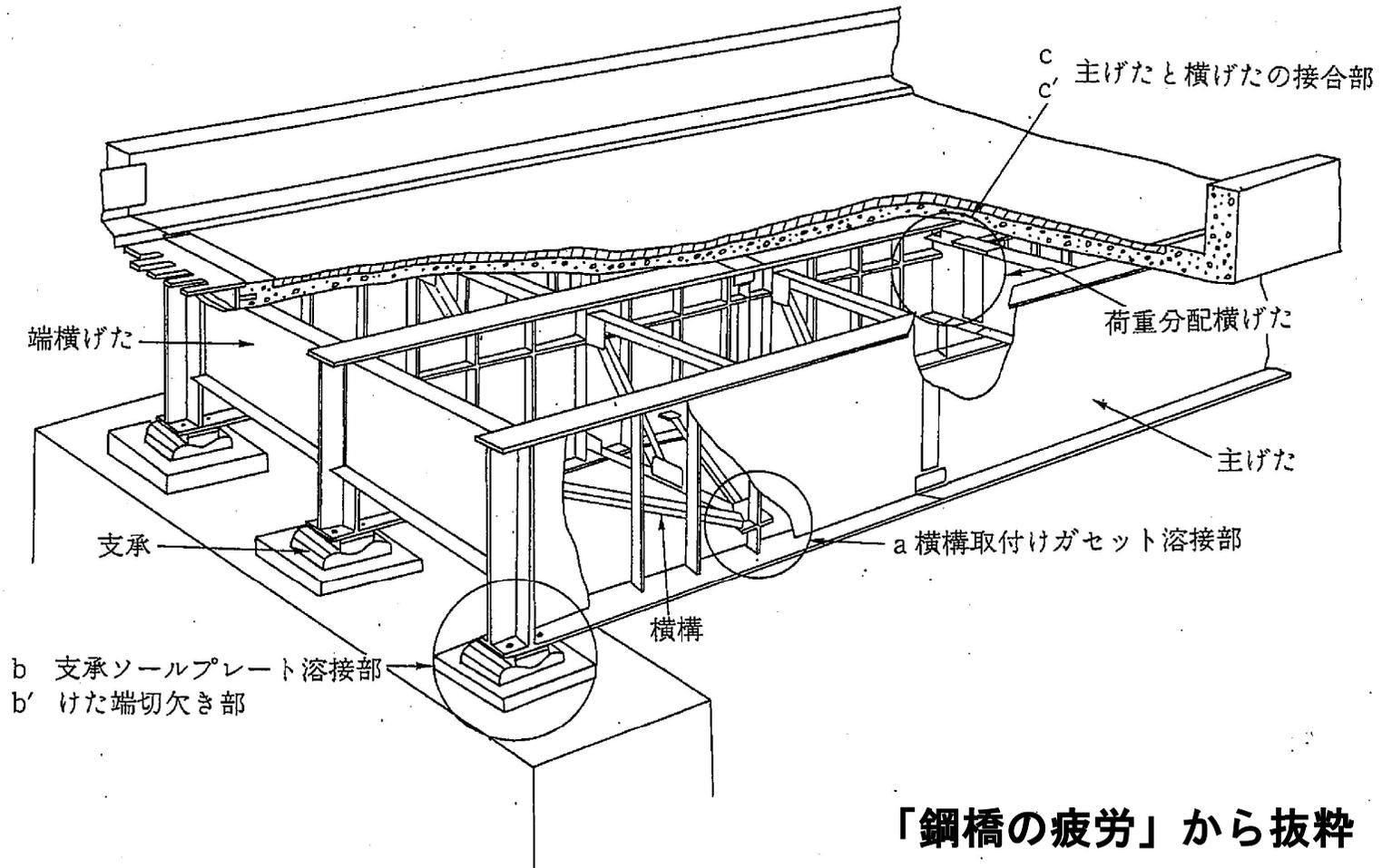


延性破面

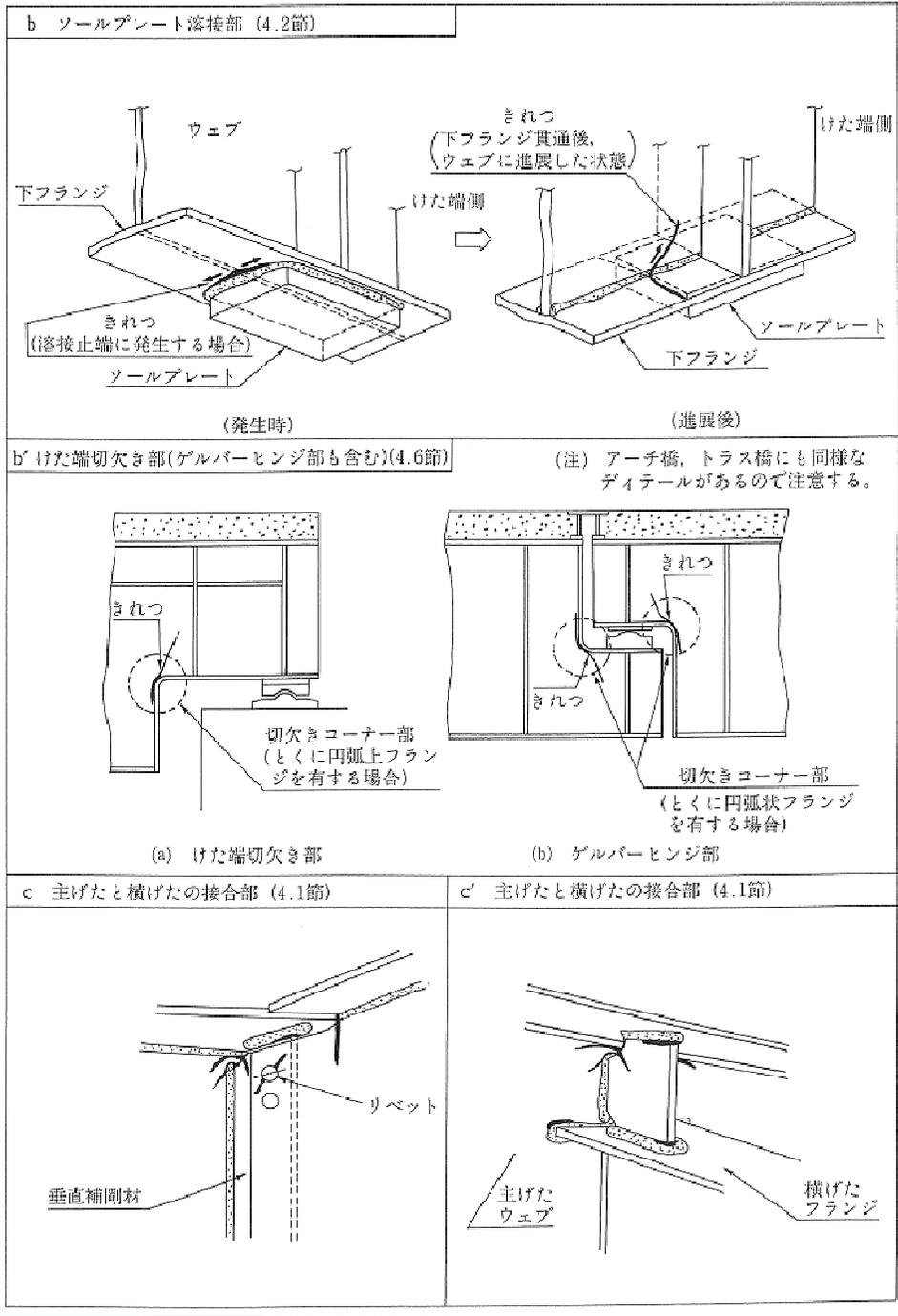


疲労破面

疲労損傷マップ



「鋼橋の疲労」から抜粋



き裂の特徴と発見方法

き裂：応力集中部に発生しやすい(断面急変部や溶接部)

鋼材内部に発生する場合もある。

鋼材表面の表面傷, さびによる凹凸の陰影, 塗膜のわれなどと
区別が付きにくい場合も多い

き裂発見のポイント

き裂の発見, き裂長さ, 進展性

詳細調査の方法 → 主に非破壊検査手法

計測調査機器・非破壊検査機器

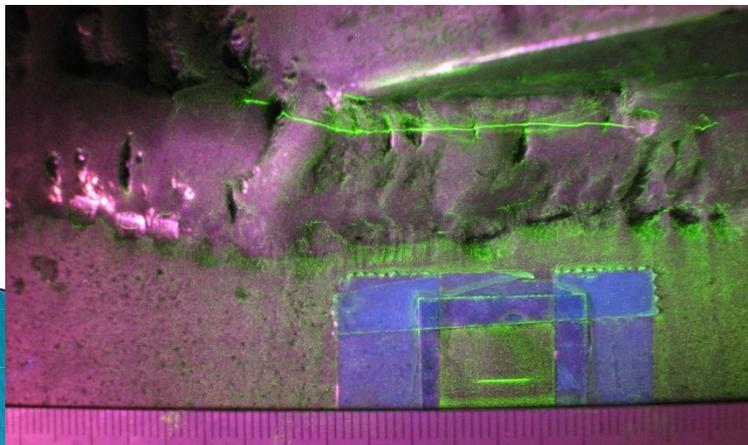
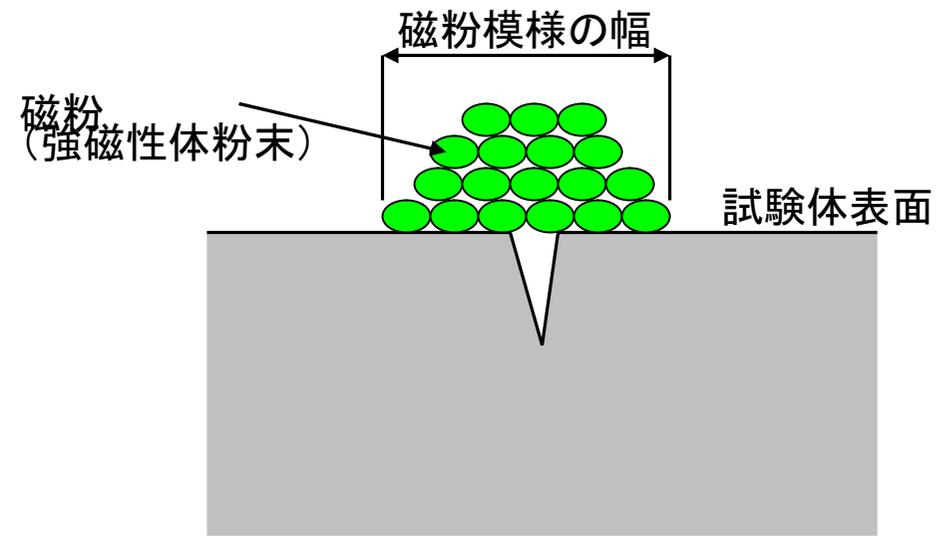
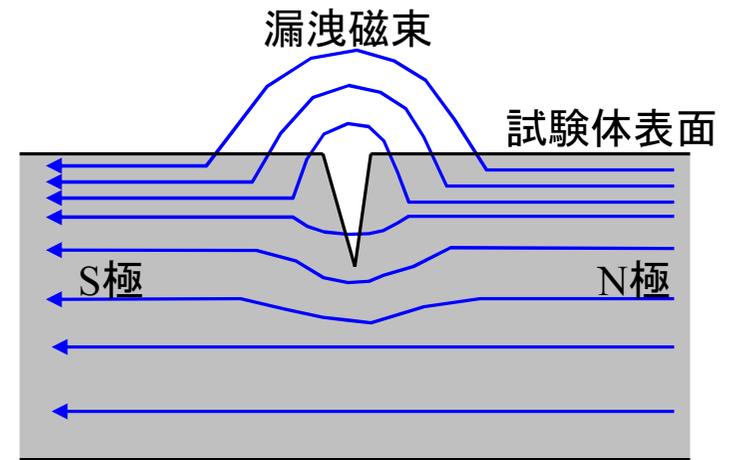
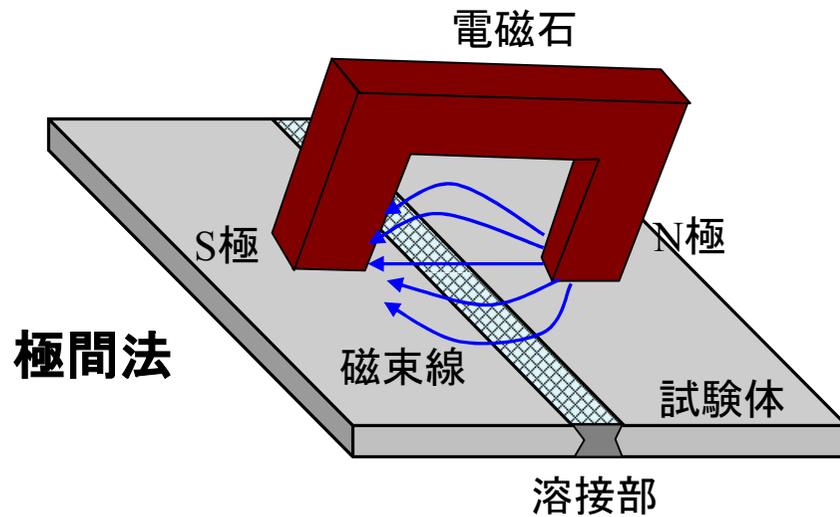


※写真は垂直用。
この他45° 70° などがあ
る。

種類	概要	長所	短所
磁粉探傷試験 JIS G 0565	き裂部分に磁粉を吹き付けた後、電磁石や永久磁石により磁界を発生させ、そこに滞留した磁粉（一般に蛍光磁粉を用いる）に紫外線を照射して検出する。	① 表面き裂の形状および寸法の測定精度に優れる。 ② 微細なき裂の長さを測定するのに有効である。	① 内部欠陥は検出できない。 ② 塗膜を除去する必要がある。 ③ 表面凸凹が著しい場合には結果の判定を誤りやすい（アンダーカット、ビート波目）。
渦流探傷試験 JIS G 0568	交流を流したコイルに発生する渦電流の変化を電気的信号として探知し、信号の振幅および位相から損傷部の程度を把握する。	① 表面に現れたき裂の検出に適している。 ② 塗膜上からの検査が可能。 ③ 検査時間が短い。	① 内部欠陥は検出できない。 ② 正確な寸法測定は困難である。
浸透探傷試験 (カラーチェック) JIS Z 2343	き裂発生部分に塗料を吹きつけ、き裂内に浸透させた後、定着液で塗料を固定し損傷部を浮き上がらせる。 き裂の検出精度を高めるためには、浸透液の浸込み、定着に時間を要する。	① 表面に現れたき裂の検出に適している。 ② 他の探傷試験と比べて電源の供給を必要とせず、用意する器具が少なく簡便である。	① 塗膜の除去が必要 ② 内部欠陥は検出できない。 ③ き裂面への浸透液の浸込みが十分できないことから、小さなき裂の検出は困難である。 ④ 表面凸凹が著しい場合には結果の判定を誤りやすい（アンダーカット、ビート波目）。
超音波探傷試験 JIS Z 3060	鋼材表面に探触子をあて1～5MHzの超音波を発信させ、き裂からのエコーを感知し、き裂を検出する。	① 溶接内部き裂の検査が可能である。 ② き裂の深さを測定できる。	① き裂位置、大きさによって検出精度のばらつきが大きい。 ② 検出精度が探傷技術者の経験、能力、特に疲労に対する知識等に左右される。
放射線透過試験 JIS Z 3861	X線を検査対象部に照射し、透過したX線の強さをフィルムで感知し、き裂を検出する。	① 欠陥の形状や大小、板厚に左右されない。 ② 結果をフィルムに残すことができる。	① 人体に有害な放射線であり、取り扱いに注意が必要である。 ② X線作業主任者の指導のもと実施しなければならない。
(参考) 専門家による	塗膜上からき裂の発生やさび汁の流出状態を観察し、き裂の有無を判断する。塗膜を除去するとかえってき裂の発生を促す可能性があるため注意を要する。		

磁粉探傷試験(MT)の概要

- 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。



電磁石式
磁化装置



磁粉検査液

磁化および磁粉検査液の散布

ブラックライト



紫外線照射および磁粉模様観察

磁粉の分散方法

湿式法

磁粉液体の流れに注意すれば、屋外、オールポジションでの検査が可能

乾式法

空気の流れや検査面の乾燥状態について注意が必要

磁粉の種類

蛍光磁粉

紫外線照射により高いコントラストが得られ、き裂の検出性能がよい。

非蛍光磁粉(黒色磁粉)

コントラストアップペイント(白)の薄塗りに経験が必要だが、記録写真が撮りやすい。ブラックライト不要。

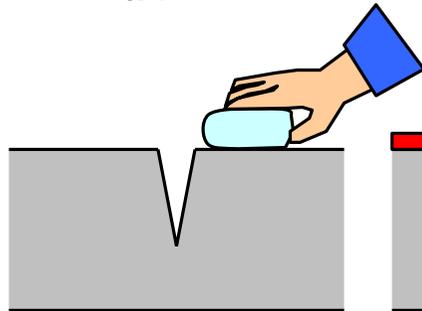
※目的・状況に応じて使い分ける。

浸透探傷試験 (PT) の概要

試験体の表面に開口しているきずの内部に着色された浸透液を浸み込ませる。余分な表面の浸透液を除去した後、現像剤で毛細管現象により、浸透液を表面に染み出させ、拡大したきずの像を得る。

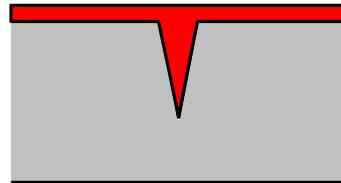


前処理



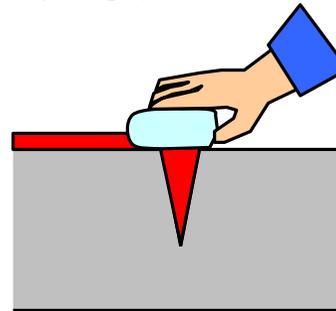
洗浄液により検査対象物表面ならびにきず内部の汚れを除去する。

浸透処理



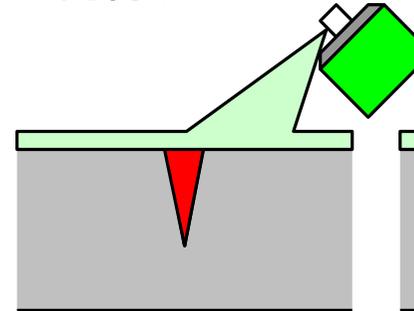
開口したきず内部に浸透液を浸透させる。

洗浄処理



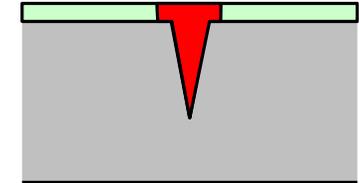
表面の余剰浸透液をウエス等で除去する。

現像処理



現像剤(白色微粉末)を吹付け、毛管現象を利用してきず内部の浸透液を吸い出す。

観察



拡大現像した指示模様を観察する。

- 試験対象の材質に関わらず殆どの材料の表面検査に適用可能
- 電源不要

ゆるみ・折損

高力ボルトの遅れ破壊

一定の期間経過した後，切り欠きや腐食ピットなどの応力集中部から亀裂が生じ，脆性的に破壊する現象

1970年代に用いられたF13T, F11Tボルトで多発

水素脆化と応力腐食割れが原因

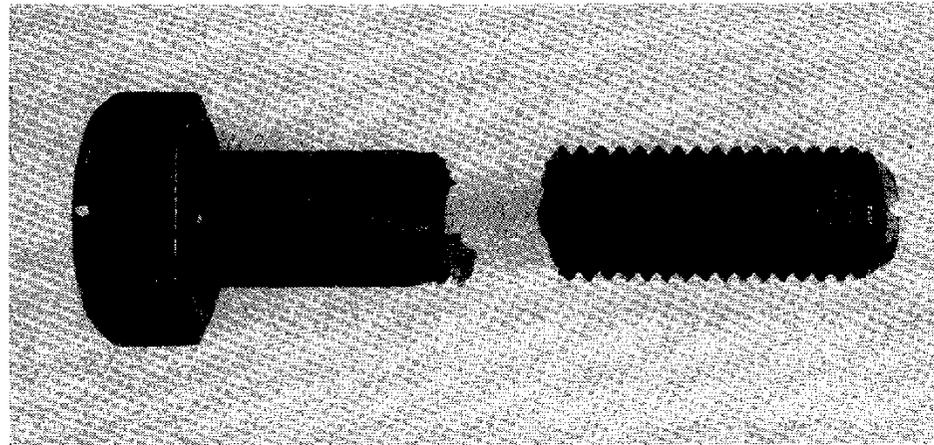


写真-1 遅れ破壊により破断したボルト (F11T)

日本橋梁建設協会
高力ボルトの遅れ破壊と対策(P8)

遅れ破壊の破面

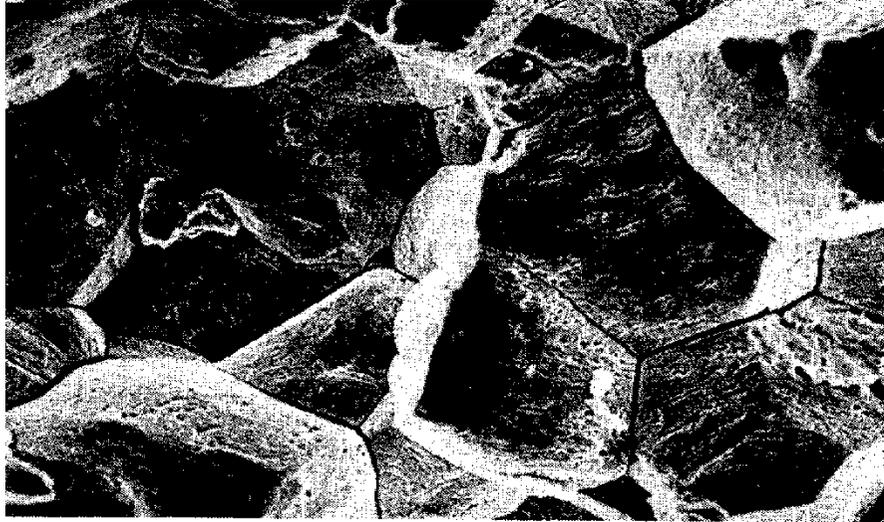


写真-5 起点近傍の遅れ破壊破面 (×1000)

遅れ破壊破面

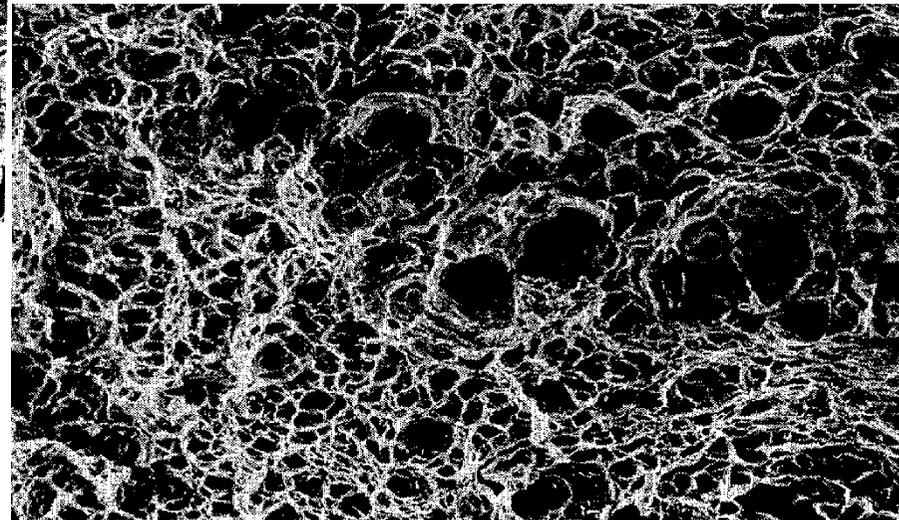


写真-6 延性破面 (×500)

延性破面

日本橋梁建設協会高力ボルトの遅れ破壊と対策(P12)

変形

車両の衝突や地震, 支点沈下など設計時に想定していない
外的要因によって部材に塑性変形が生じた状態

局部的な折れ
座屈



車両の衝突
地震や支点移動



支承・伸縮装置の損傷

支承

支承の陥没や腐食
移動・回転不良などの機能不全
沓座モルタルの亀裂・圧壊

伸縮装置

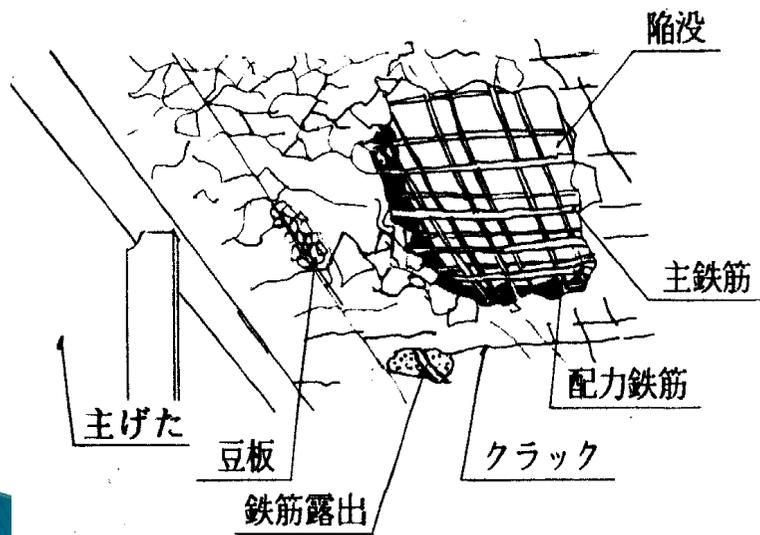
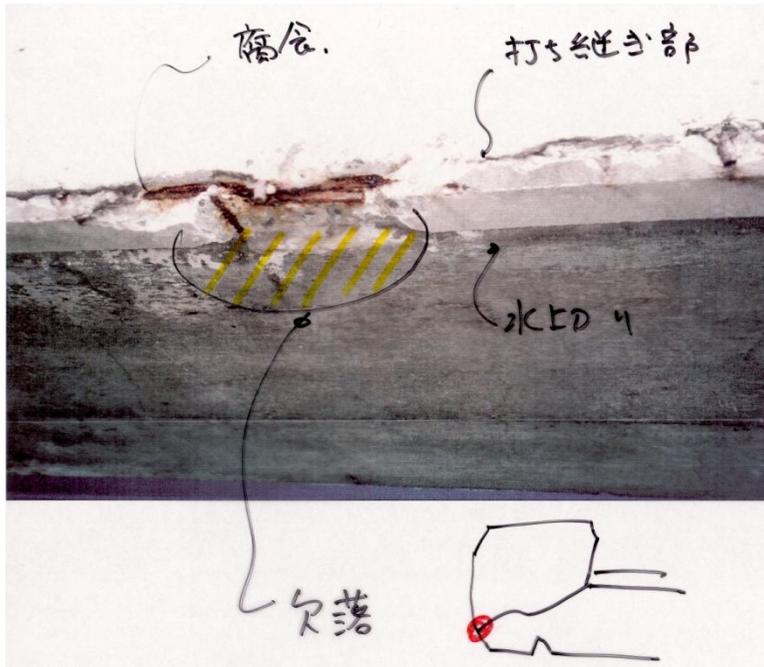
最も損傷を受けやすい
段差やがたつき
フィンガー遊間の食い違い
弾性シール剤からの漏水

上部構造と下部構造の接点であり、支点の不等沈下や側方流動、上部構造の異常変形などの構造的な要因に関係している場合が多く要注意

床版の損傷



床版の損傷



床版の損傷



主な補修工法

① 腐食損傷の補強(当て板補強)

② 断面の除去及び補強

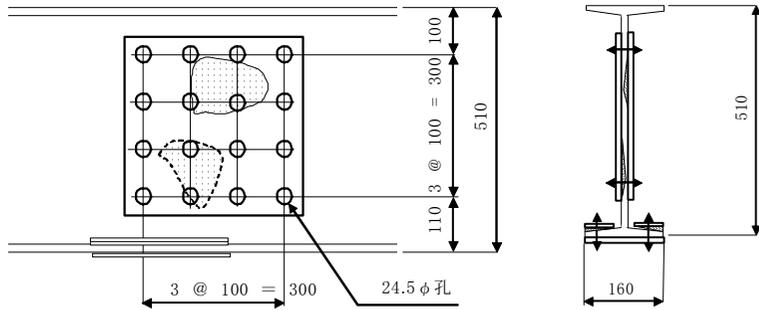
③ ストップホール施工

④ 亀裂損傷部の再溶接補修

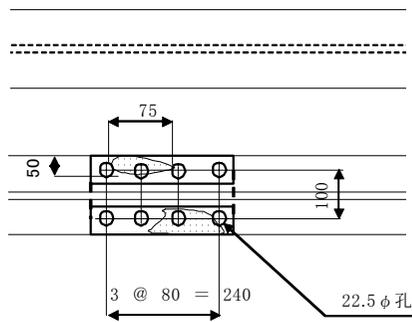
⑥ 亀裂部の削り込み

⑦ 亀裂削り込み補修

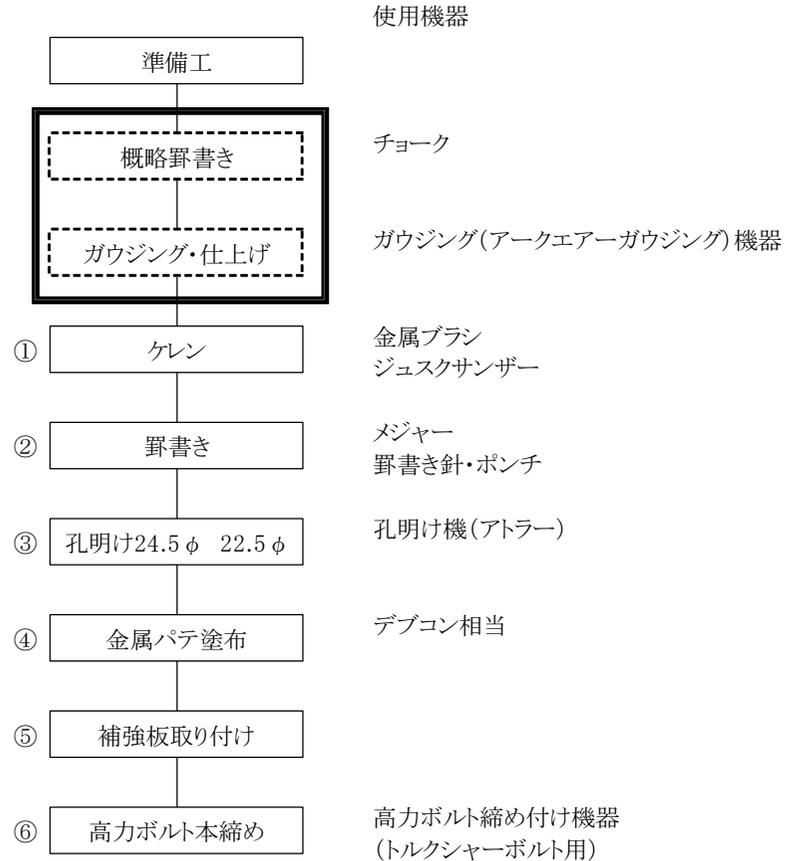
当て板補強



事前準備
損傷状態の加工



タイムスケジュール	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	
準備工	[Bar]																											
概略罫書き	[Bar]																											
ガウジング・仕上げ	[Bar]																											
① ケレン	[Bar]																											
② 罫書き	[Bar]																											
③ 孔明け 24.5φ	[Bar]																											
④ 孔明け 22.5φ	[Bar]																											
⑤ 金属パテ塗布	[Bar]																											
⑥ 部材取り付け	[Bar]																											
⑦ 高力ボルト締め付け	[Bar]																											



130分



ケレン



罫書き



孔明け



金属パテ塗布



当てもみによる孔明け



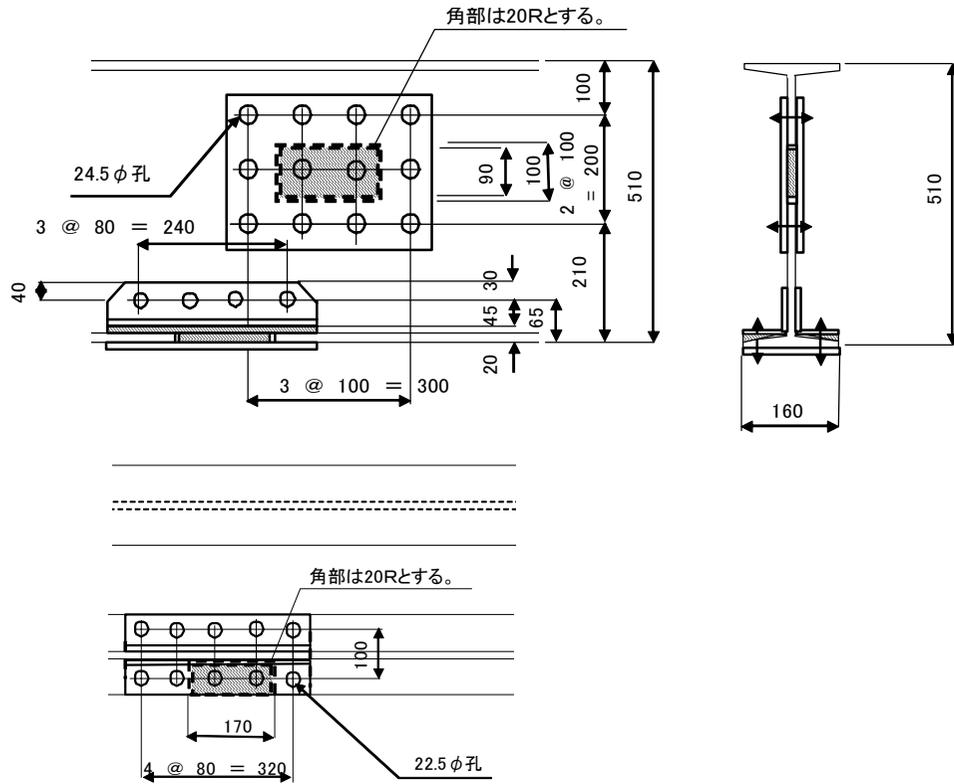
予備締め



本締め

当てもみとは？
材片の孔ずれが起こるのを防ぐために材片を重ね合わせて孔をあけること

腐食損傷部の除去・当て板補強



- 準備工
- ① 切断部位の罫書き
- ② ガス切断・仕上げ
- ③ ケレン
- ④ 罫書き
- ⑤ 孔明け24.5φ 22.5φ
- ⑥ 補強板取り付け
- ⑦ 高力ボルト本締め

使用機器

① チョーク

② ガス切断機・
ジスクサンダー・超硬刃

③ 金属ブラシ
ジュスクサンダー

④ メジャー
罫書き針・ポンチ

⑤ 孔明け機(アトラー)

⑦ 高力ボルト締め付け機器
(トルクシャーボルト用)

タイムスケジュール	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	
準備工																												
① 罫書き	■	■																										
② ガス切断・仕上げ			■	■	■																							
③ ケレン					■	■	■	■	■																			
④ 罫書き										■	■																	
⑤ 孔明け 24.5φ																												
⑥ 孔明け 22.5φ																												
⑦ 部材取り付け																												
⑧ 高力ボルト締め付け																												

130分



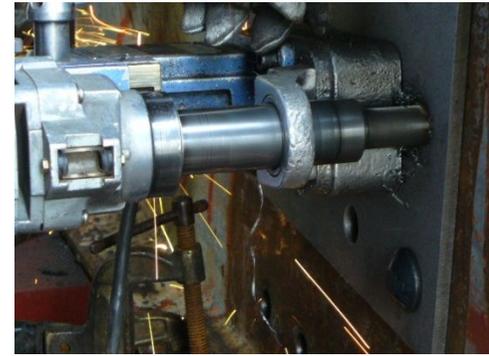
ケレン



罫書き



腐食部切断



孔明け



部材取りつけ

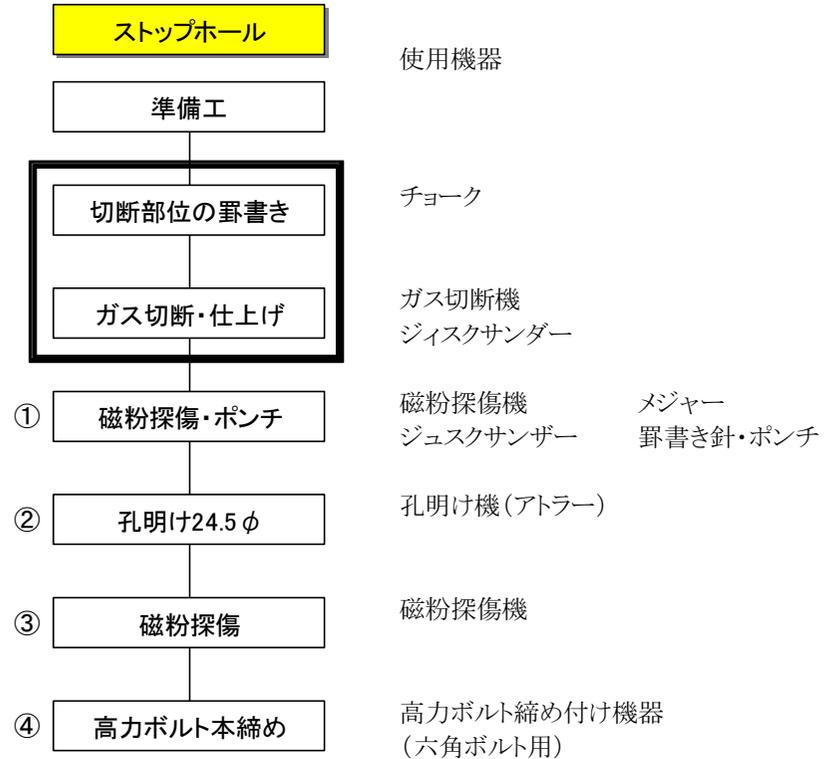
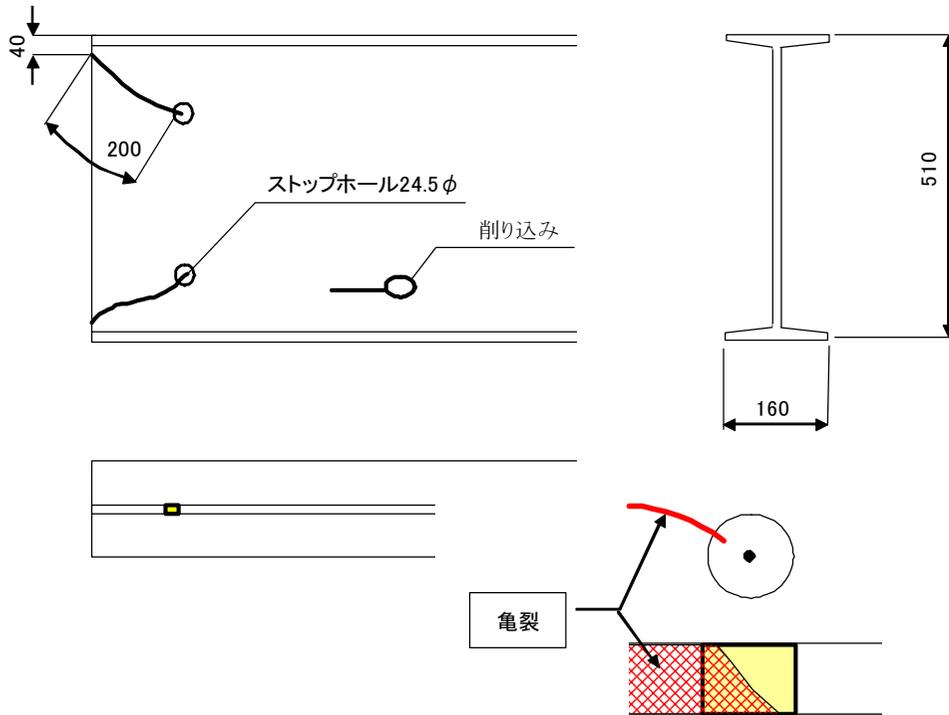


予備締め



本締め
2012/12/11

ストップホール



タイムスケジュール	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
準備工																									
切断位置の罫書き																									
ガス切断・仕上げ																									
① 磁粉探傷・ポンチ																									
② 孔明け 24.5φ																									
③ 磁粉探傷																									
④ 高力ボルト本締め																									

約50分



亀裂損傷 罫書き



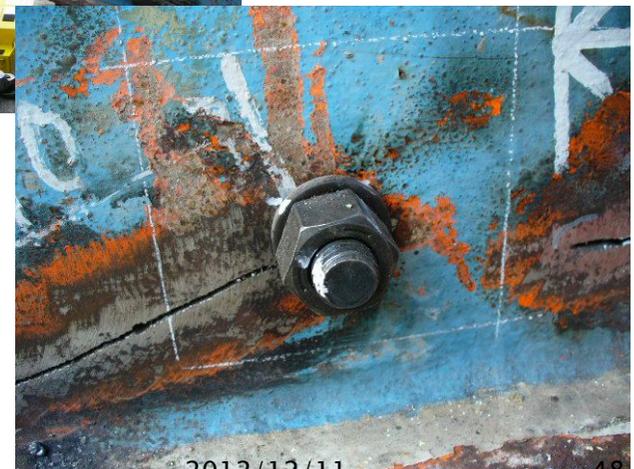
孔明け



孔明け完了・仕上げ



高力ボルト締め付け



2012/12/11

健全度診断技術

- ・ 構造物の限界状態を把握できる点検項目
- ・ 構造物種および部材種ごとの
使用限界と終局限界の定義(考え方)
- ・ 劣化と限界状態の相関
(腐食・疲労と耐荷力の関係など)
- ・ 応急補修と(恒久的)補修の判断方法
部分・全面補修,
部分・全体取換え(更新)の決定方法
- ・ **要素⇒部材⇒径間⇒橋全体の評価手法**

文献調査によるモニタリングの現状

分類	評価項目	選択肢
センシング	計測物理量	たわみ, 歪み, 反力, 応力, 加速度, 表面性状, 膜厚, 亀裂
	対象とする損傷	腐食, 塗膜劣化, 局部変形・応力, 疲労, 発散振動, 材料劣化
	対象レベル	部材レベル, 全体レベル
	対象性能	使用性, 安全性, 耐久性
評価手法	入力データ	加速度, 速度, 変位, 歪み, 外力, 弾性波, 超音波, 音響
	出力 (評価対象)	(全体系)固有振動数, 振動モード, 減衰定数 (局所系)剛性, 減衰係数, (その他)損傷パターン, 損傷発生時刻
	適用する構造物	フレーム構造, 建築物, 長大橋, 軌道
	必要なセンサ数	

モニタリングのニーズと要求性能

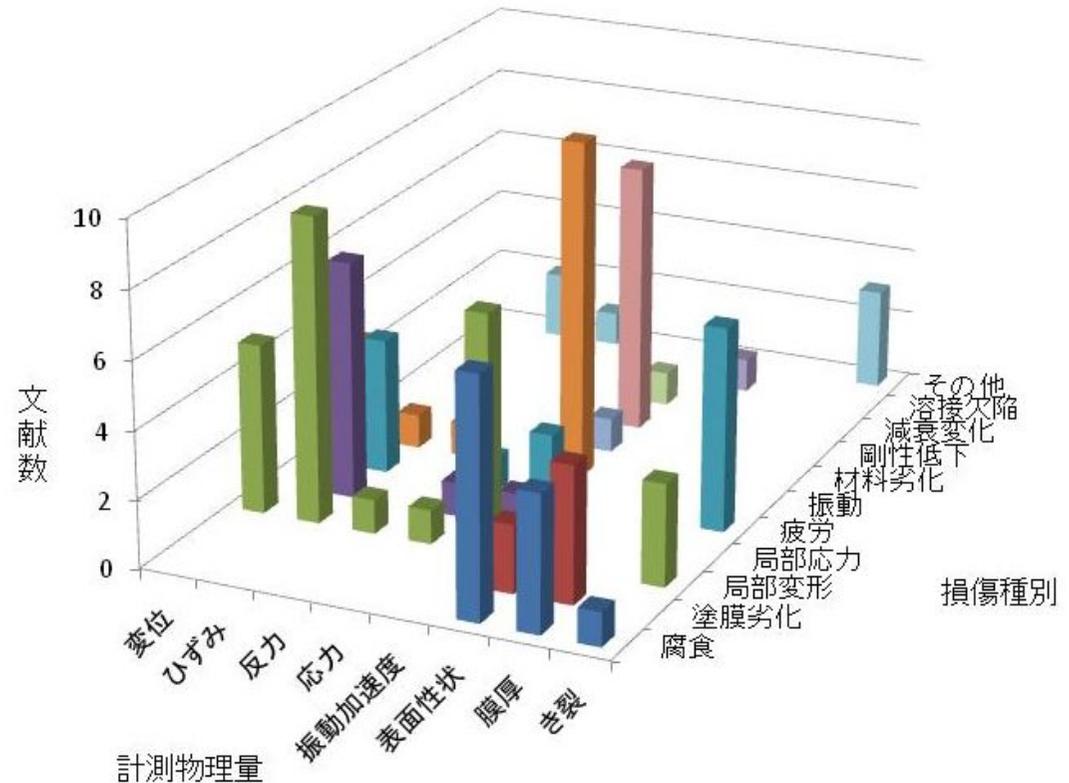
- **モニタリング**に対してまず明確にすべき事項
 - モニタリングの効果（費用対効果, 損傷度, 寿命予測）
 - 検知したいものと計測対象との関係
 - 定量的評価・管理値（計測値と健全性との関係）
 - 求められる**センサ**
 - 低コスト, 耐久性, メンテナンスフリー
 - 次の段階（主として**評価技術**の問題）
 - データの収集方法・処理方法・分析方法
 - 予測方法
- 

計測物理量	評価対象	センシング手法	詳細	評価レベル	対象性能	
変位	局部変形	変位計		全体レベル	使用性	
		ピーク変位メモリセンサ		部材レベル	安全性	
	振動	デジタルカメラ		部材レベル	安全性・用性	
		レーザドップラー振動計		全体レベル	安全性・耐久性	
歪み	局部変形	光ファイバ	FBG	部材レベル	安全性・使用性	
			BOTDR	部材レベル	安全性	
			OTDR	部材レベル	安全性・使用性	
			SOFO	部材レベル	使用性	
		ピーク歪み記憶センサ		部材レベル	耐久性・安全性	
		磁気ひずみセンサ		部材レベル	安全性	
	疲労	圧電材料	圧電フィルム	部材レベル	使用性	
応力	局部変形	EMセンサ		部材レベル	安全性	
	局部応力	スロットストレス		全体レベル	安全性・耐久性	
加速度	局部変形	光ファイバ	BOCDA	部材レベル	安全性	
		圧電材料	圧電素子	部材レベル	安全性、使用性	
		加速度センサ		部材レベル	耐久性	
	振動		MICA Mote	全体レベル	使用性	
		光ファイバ	FBG	部材レベル	安全性	
	剛性低下		圧電材料	圧電素子	部材レベル	安全性・使用性
			振動ジャイロセンサ		部材レベル	安全性・使用性
		AEセンサ	スマートAEセンサ	全体レベル	安全性・耐久性	
表面性状	腐食	圧電材料	Macro-fiber composite	部材レベル	安全性・耐久性	
		インピーダンス計測チップ		部材レベル	安全性・耐久性	
		腐食環境センサ		部材レベル	使用性・耐久性	
		腐食センサ		全体レベル	安全性・使用性	
	塗膜劣化		デジタルカメラ		部材レベル	安全性

センシング技術の開発状況

- 計測物理量としては、ひずみと加速度が多い。一方、応力・反力やpH、温度に関する計測事例は少ない
- 診断する損傷は局部変形と振動が大半を占め、材料劣化や剛性低下などの直接的な計測は少ない

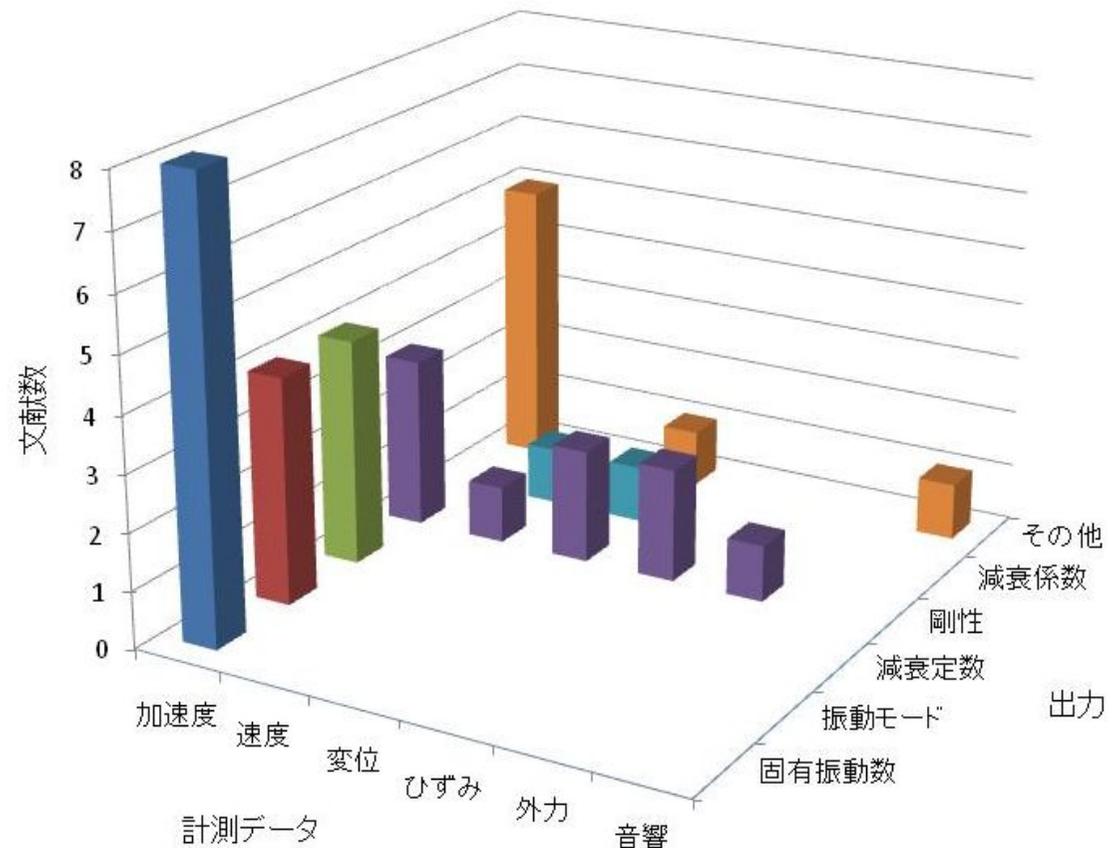
文献数の多い項目			
加速度	→	振動	9
ひずみ	→	局部変形	8
		局部応力	8
加速度	→	局部変形	7
表面性状	→	腐食	7
き裂	→	疲労	7



入力データ	出力	名称	手法の概要	適用対象
加速度	固有振動数	ARXモデル		数階建て建築物
		ARXモデル		長大橋 (GGB)
		逆摂動方程式	剛性マトリクスの2段階同定	数階建て建築物
		Peak Picking		建築構造物
		Auto-regressive Moving Average Vector	パワースペクトル密度の比較	橋梁本体
		Multi-Response Parameter Estimation	非破壊試験とFEM解析の比較	橋梁本体
		ウェーブレット		長大橋(明石海峡)
	振動モード	Frequency Domain Decomposition	振動モード同定	建築構造物
		Higher Order Derivative Discontinuity	位置同定	梁構造物
	減衰定数	ARXモデル		数階建て建築物
		Random Decrement法	モード減衰同定	建築構造物
	剛性	ウェーブレット	累積疲労損傷評価	
		カルマンフィルタ	剛性評価による損傷同定	フレーム構造物
	その他	Chaos analysis		
		ウェーブレット	空気圧の検知と制御	エアバック, タイヤ
ウェーブレット		損傷パターンを検知	フレーム構造物	
離散フーリエ変換(ハニング窓関数)		パワースペクトル密度		
速度	剛性	ニューラルネットワーク	建築物の損傷評価	
変位		ニューラルネットワーク	故障診断	
		その他	ガウスホワイトノイズ過程	時刻歴データの異常検知
歪み	剛性	拡張ダメージインデックス法		
		構造同定	PZTのインピーダンス変化	軌道

性能評価技術の現状

- 文献数の分布には偏りが大きく、加速度波形からの全体系の同定が大半.
- 変位や歪みの計測値から局所的な剛性を評価する事例も見られる.



END