

道路の老朽化対策

2016年3月2日

道路橋の老朽化と対策

法政大学・デザイン工学部
都市環境デザイン工学科

森 猛

橋梁(コンクリート系橋梁＋鋼橋)の老朽化？

時間とともに損傷が進行すること

＜コンクリート系橋梁＞

コンクリート構造のアルカリ骨材反応

コンクリート中のナトリウム・カリウムなどのアルカリ金属イオン(アルカリ性細孔溶液)が、骨材中の特定の鉱物(シリカ、カリウム、・・・)と反応。異常膨張を起こし、コンクリートにひび割れが発生。

コンクリート構造の塩害

塩化物イオン(Cl⁻)がコンクリート製造時に混入あるいは、構造物の使用中に浸入し、蓄積された量がある限度以上になると、コンクリート中の鋼材の腐食が促進されて、鉄筋コンクリートが劣化・膨張し、ひび割れが発生。

コンクリートの中性化

コンクリートがアルカリ性を保つ働きをする水酸化カルシウムが、空気中の二酸化炭素に反応して炭酸カルシウムを生成してしまい、アルカリ状態を失っていき、酸性へ傾くこと。鉄筋の腐食を招く。

<鋼橋>

腐食

周囲の環境(隣接している金属・気体など)と化学反応を起こし、溶けたり腐食生成物(いわゆる「さび」)を生成すること

疲労

1回の作用では問題のない応力レベルであっても、それが繰り返して作用することにより、微少なき裂が発生して、進展することより破断に至る現象 繰り返し荷重(応力):車両の走行

老朽化対策

損傷を生じさせないこと、損傷が生じた場合には適切な処置を施すこと

腐食対策：防食

シナリオ1

腐食させない→塗装

実際には多くの腐食損傷事例 なぜ？

10年に一度の塗り替えは厳しい

不適切な水仕舞い(伸縮装置、桁端部に腐食事例が多い)

凍結防止剤(塩)の散布

シナリオ2

耐候性鋼材の使用

適量のCu、Cr、Niなどの合金元素を含有し、大気中での適度な乾湿の繰り返しにより表面に緻密なさびを形成する鋼材。緻密なさびが鋼材表面を保護しさびの進展が時間の経過とともに次第に抑制される。

実際には腐食損傷事例も

腐食損傷事例1



腐食損傷事例2

木曾川大橋



銚子大橋

橋長：1203m(版桁十トラス橋) 1962年竣工

2000年：銚子大橋検討委員会

2003年：架け替え決定



銚子大橋

2005年：新橋工事開始 2013年：新橋完成 旧橋撤去



銚子大橋の教訓

適切な塗り替えを行っていれば・・・

腐食した鋼材の上からまた塗装？

腐食が軽微なうちに適切な下地処理をして再塗装してあれば

定期点検の重要性

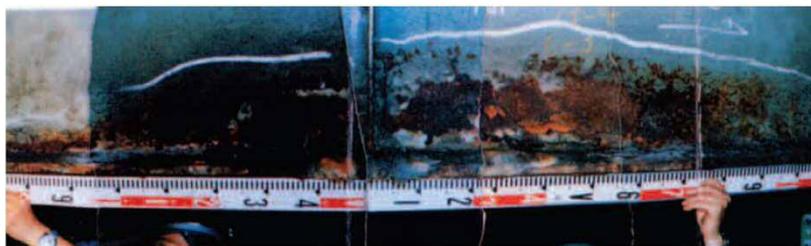
余話

上部工の大規模改造案を募集、多くの有望な案が示される
銚子大橋検討委員会において大規模改造案を検討

橋脚の塩害も深刻な状態

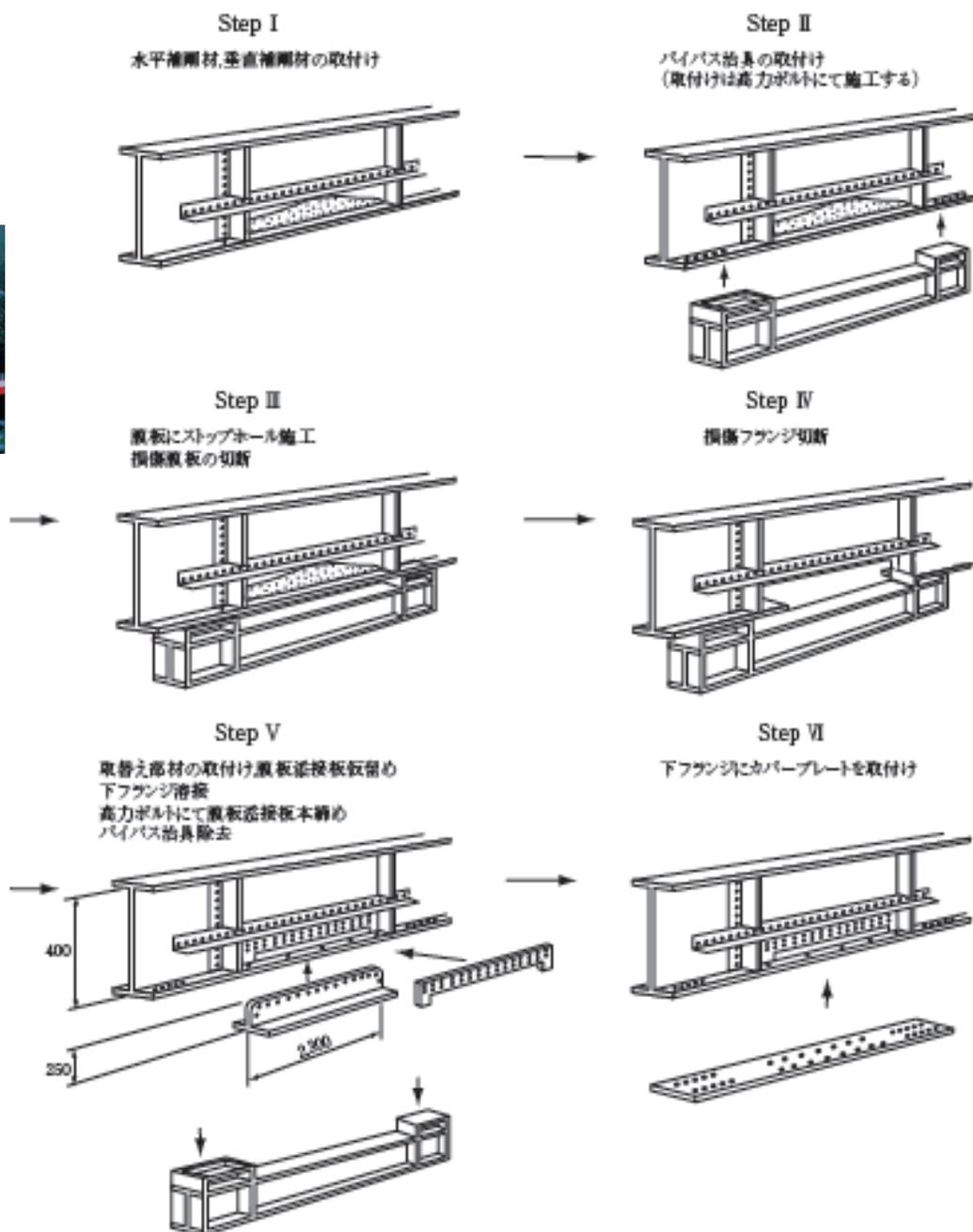
架け替えとの結論

腐食部材の補修例



鋼板添接
炭素繊維シート接着
溶射(強度も期待できるもの)

補修設計・施工方法が重要



腐食のまとめ

腐食させない あるいは 軽微なうちに対策

適切な水仕舞い(腐食する場所は限られている)

防食性能を高く、定期点検、軽微な腐食の補修方法、部分的な補修

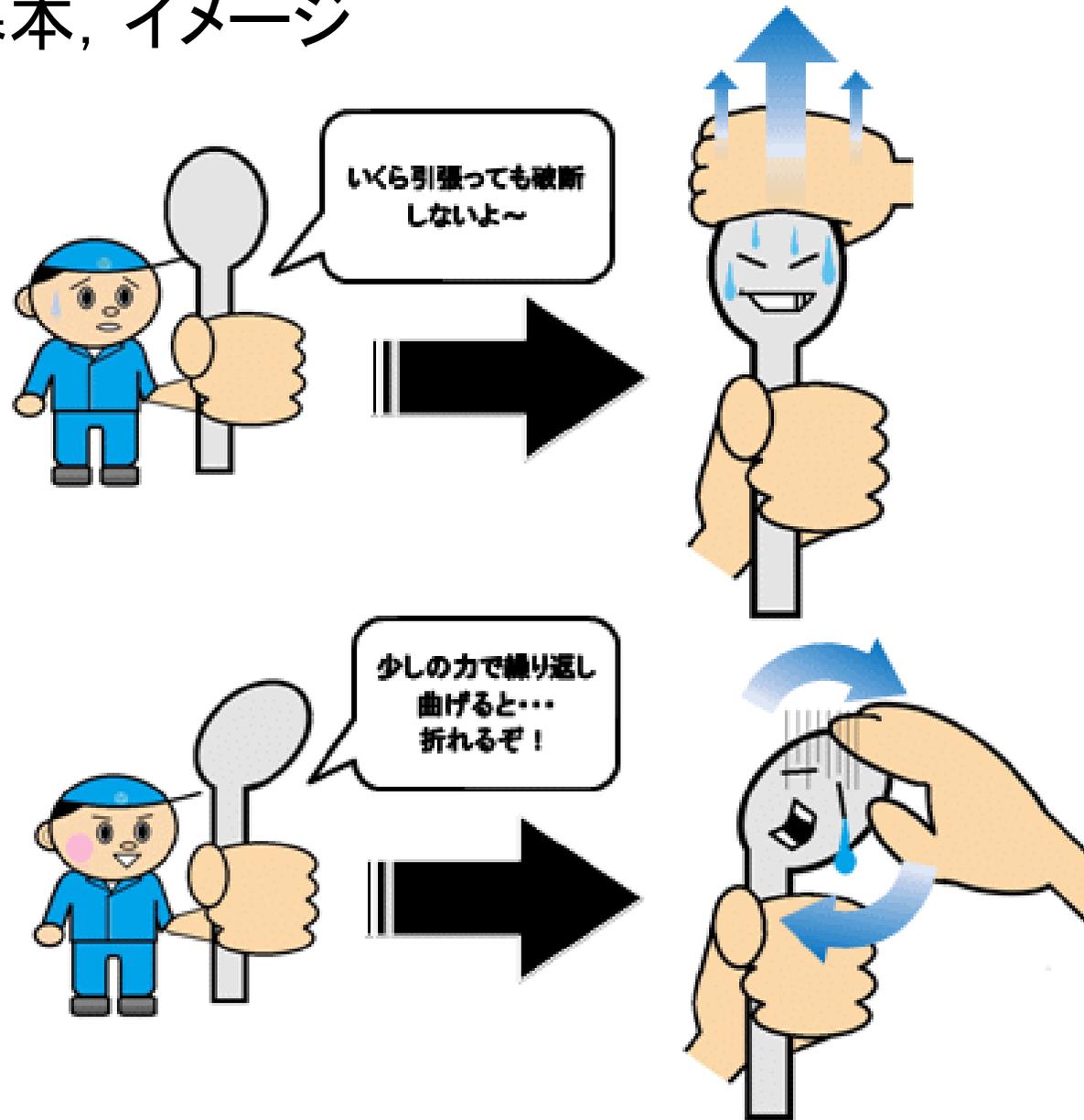
腐食してしまったら

断面補修が必要となる場合がある。

適切な補修設計、施工方法、新しい補修方法の開発

補修部の強度評価法の確立

疲労の基本, イメージ



疲労の基本

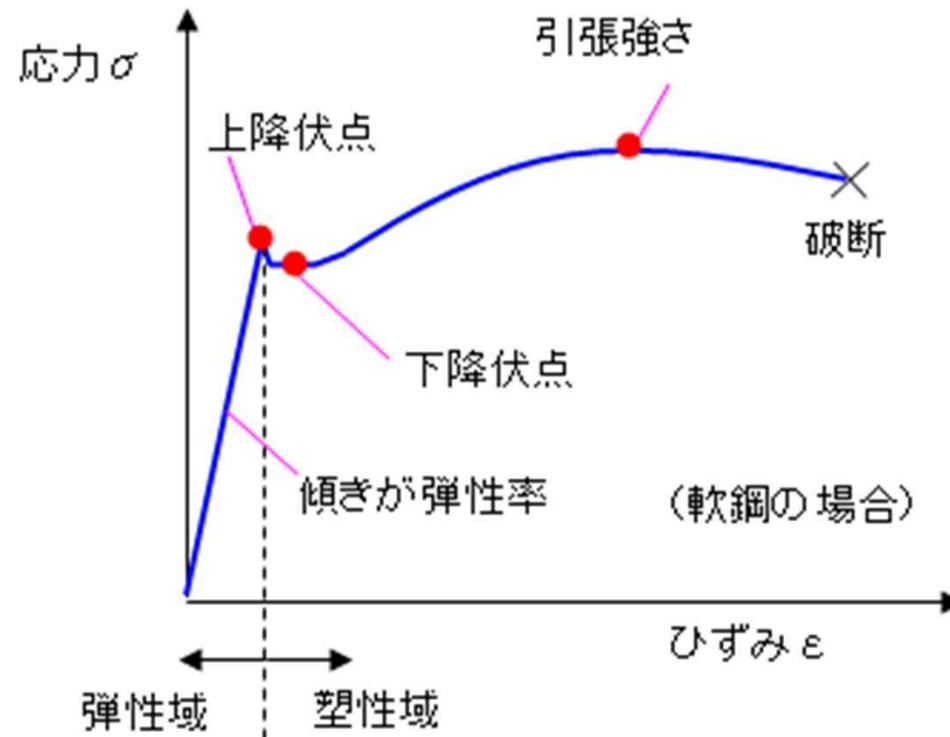
鋼材の破壊

延性破壊

脆性破壊

疲労破壊

応力腐食割れ(遅れ破壊)

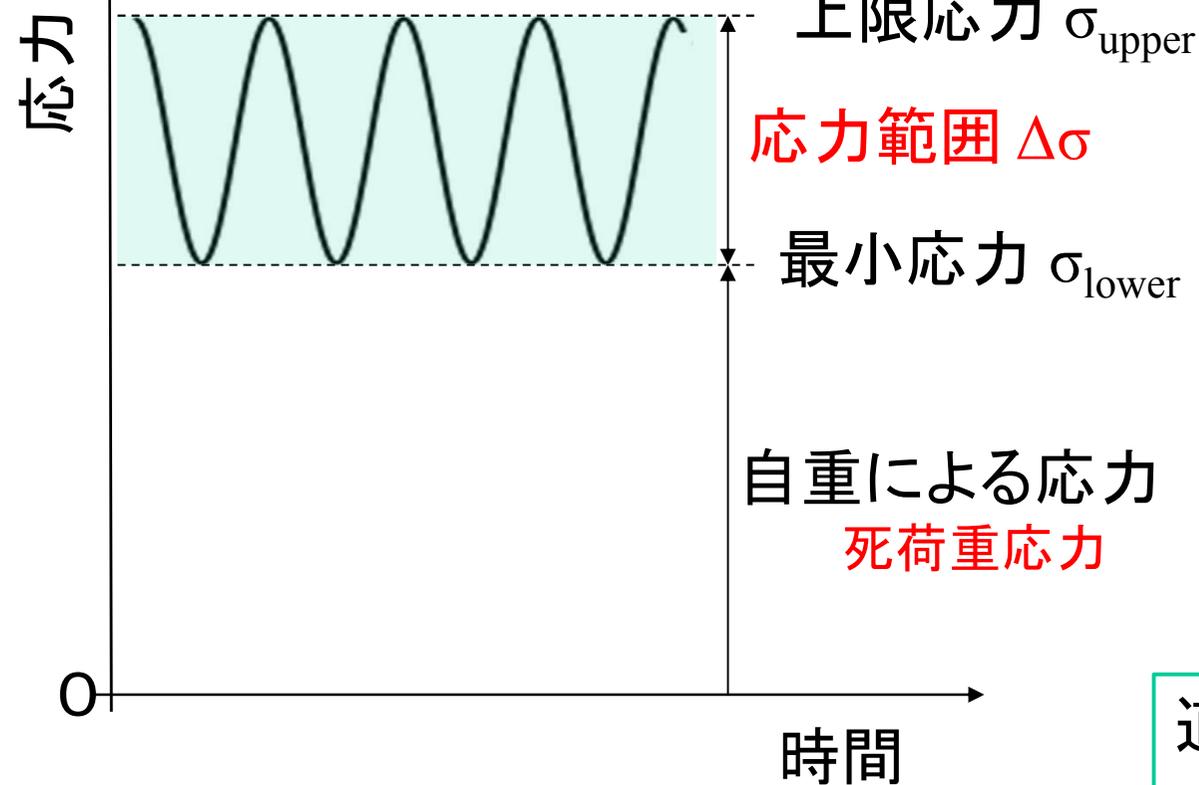


疲労

1回の作用では問題のない応力レベルであっても、それが繰り返し作用することにより、微少なき裂が発生して、進展することより破断に至る現象(**繰返し応力が原因**)

道路橋に作用する繰返し応力

活荷重応力
自動車が行すること
により生じる繰返し応力



応力比R

$$= \sigma_{lower} / \sigma_{upper}$$

道路橋の設計
上限応力 \leq 許容応力

疲労のメカニズム

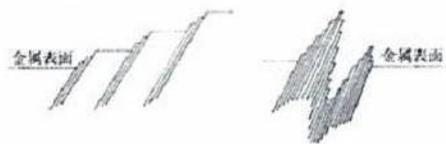
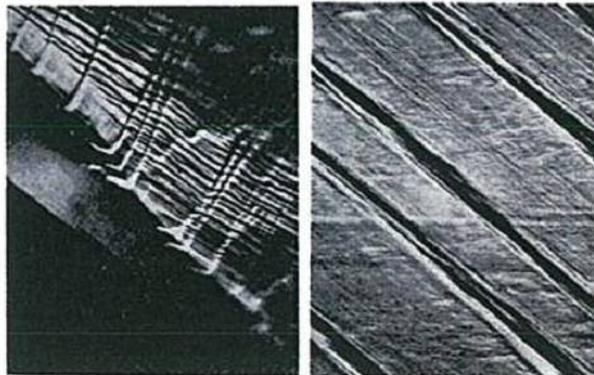


繰返し応力

すべり変形

単調引張

疲労

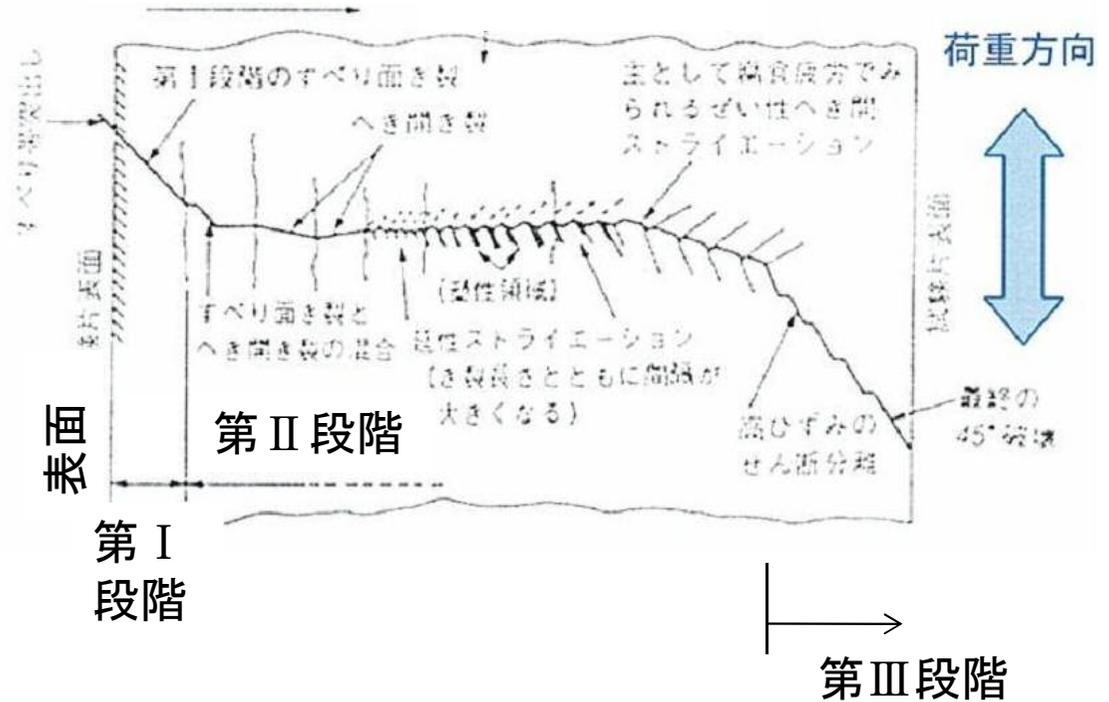


荷重方向

入り込み突き出し

疲労き裂の発生と進展

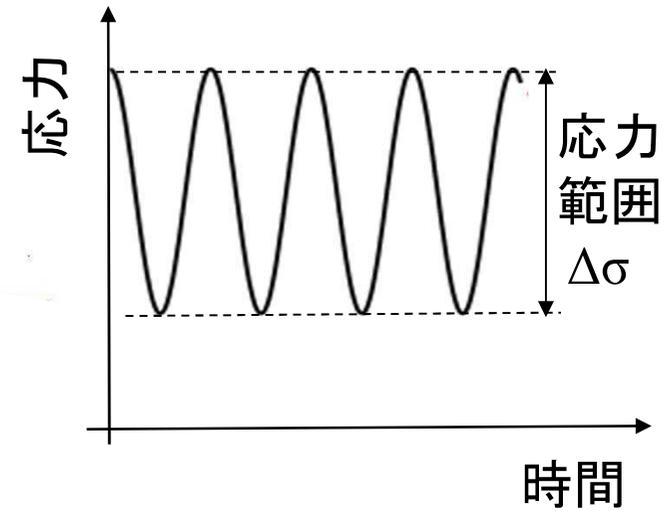
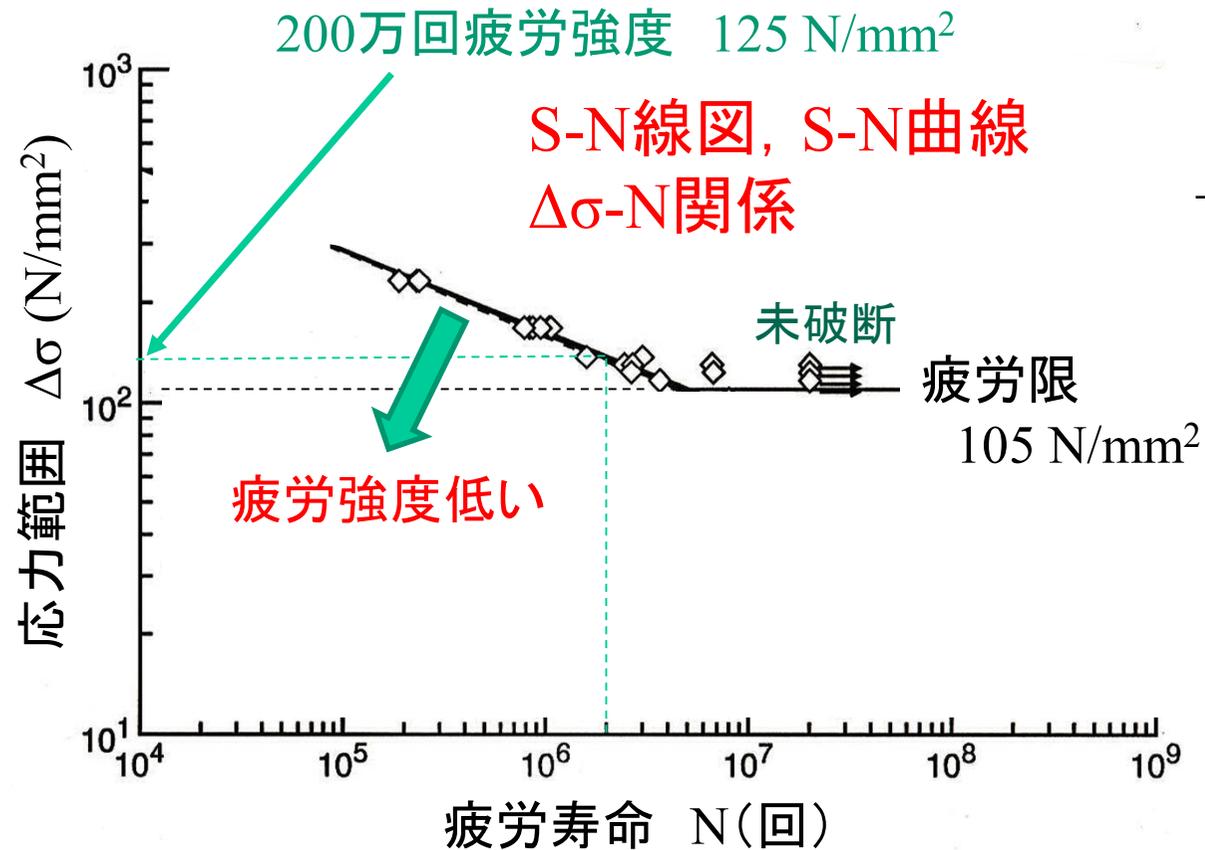
き裂進展方向



平滑材

疲労強度は高い:降伏応力程度

疲労強度の表し方

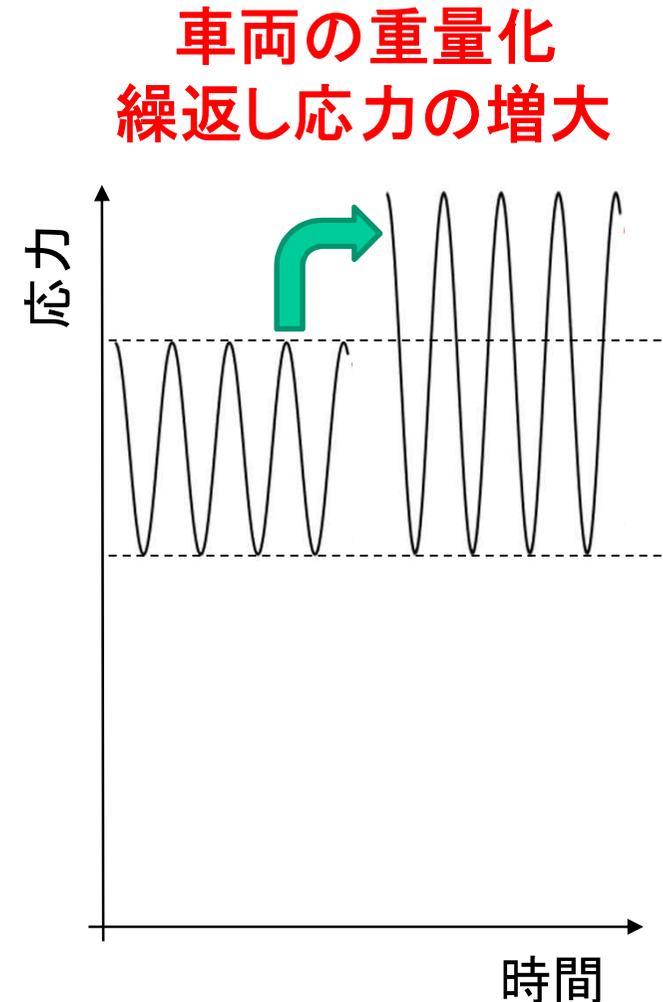


疲労試験

なぜ道路橋で疲労が問題となるのか

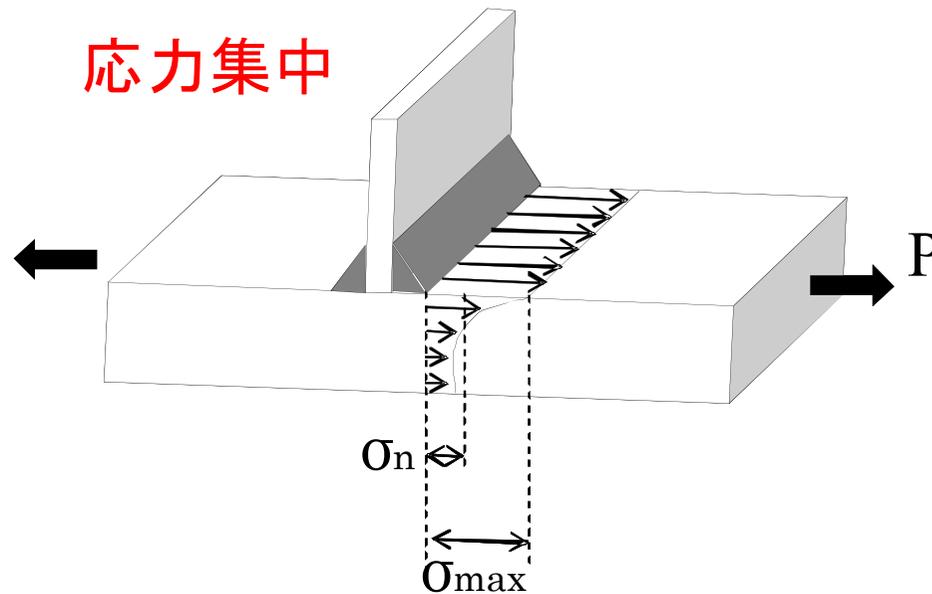
2002年「鋼道路橋の疲労設計指針」
それ以前から鉄道橋では疲労設計

- ・車両の重量化
繰返し荷重(繰返し応力)の増大
- ・リベット構造 → 溶接継手
疲労強度の低下
- ・高強度鋼の使用
繰返し応力の増大



なぜ溶接継手の疲労強度は低いのか

疲労き裂の始まりは局所的な場所
そこでの応力範囲によってき裂がでるかでないかが決まる



公称応力 σ_n

$$\sigma_n = P / A$$

最大応力 σ_{max}

応力集中係数 α

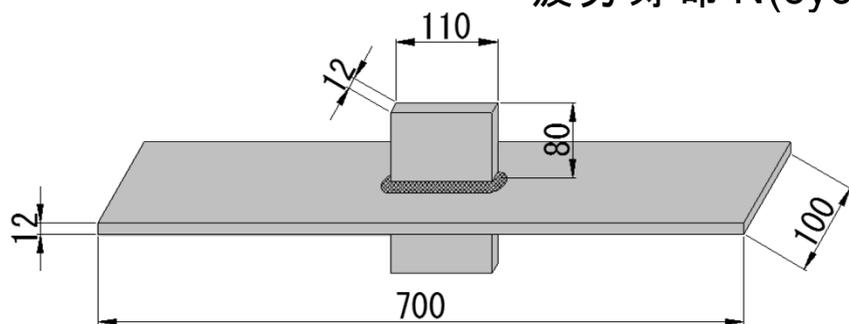
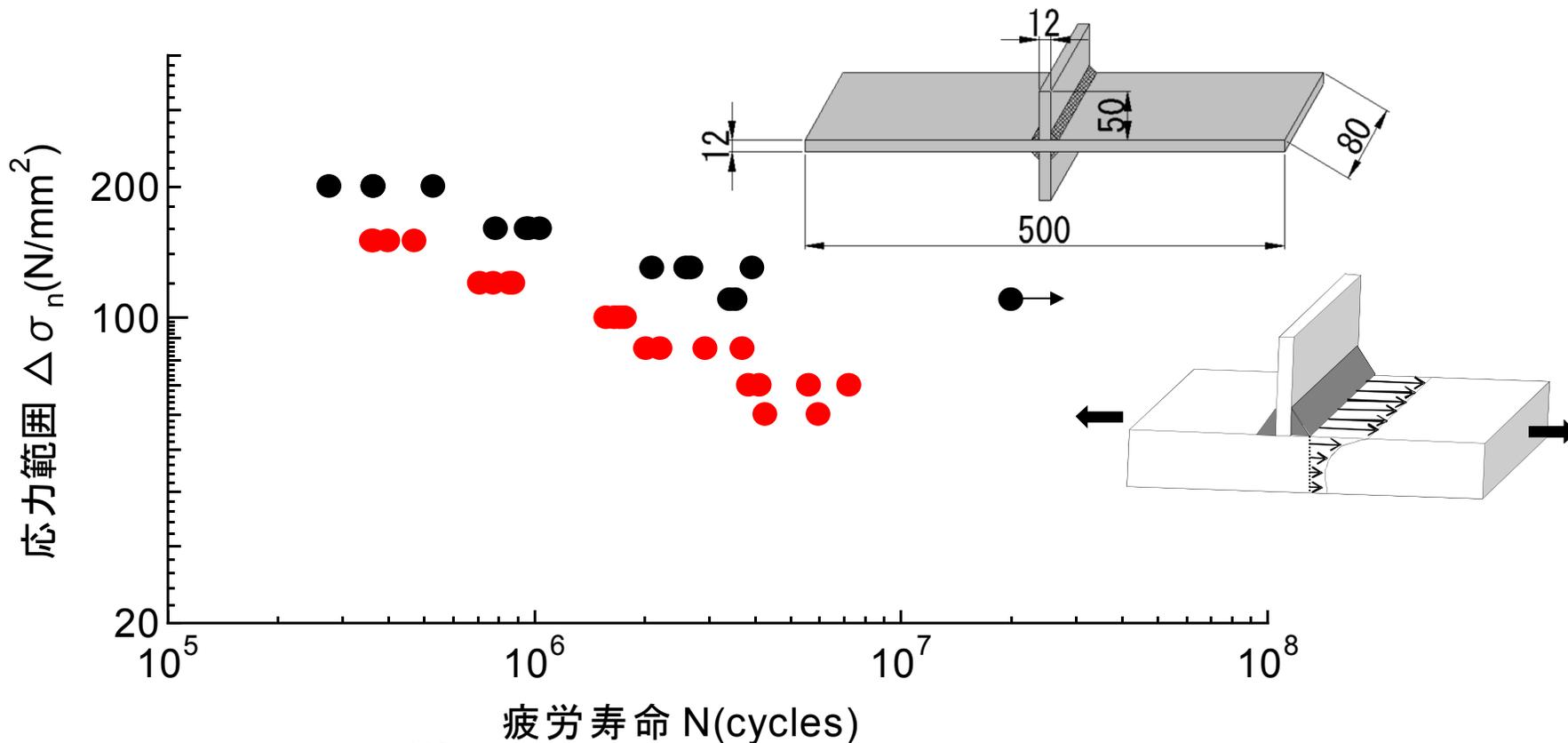
$$\alpha = \sigma_{max} / \sigma_n$$

形状不連続(継手形式によって決まる)

溶接きず(アンダーカット、ブローホール)
仕上げ

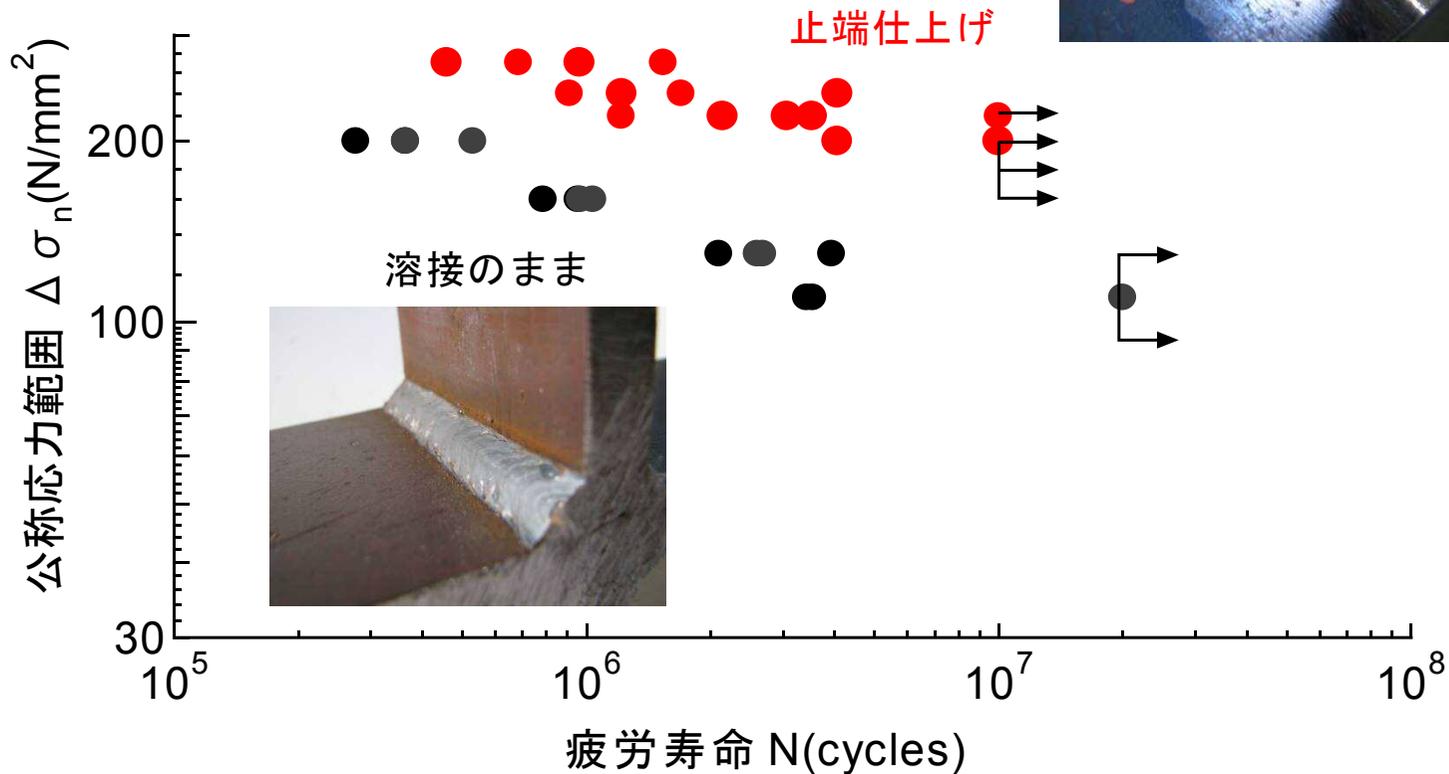
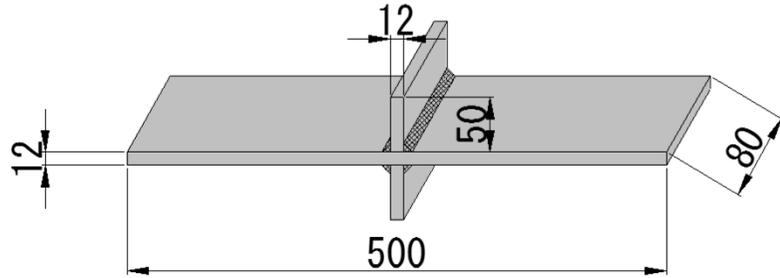
継手形状による疲労強度の違い

荷重非伝達型十字溶接継手



面外ガセット溶接継手

止端仕上げの効果(応力集中の低減)

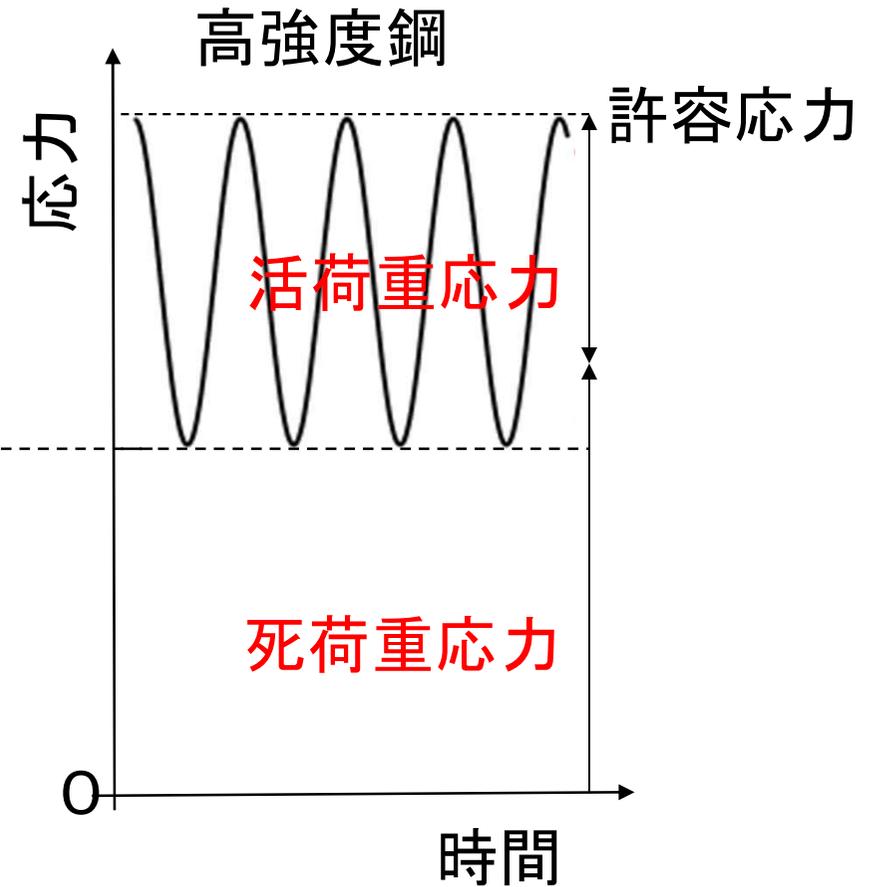
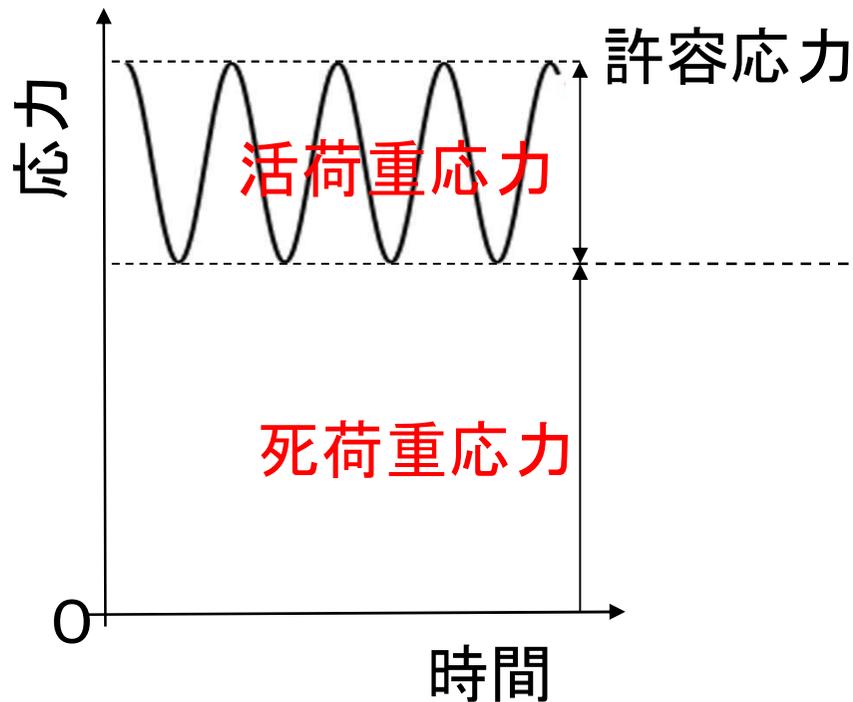


なぜ高強度鋼を使うと疲労が問題となるのか

道路橋の設計
 (死荷重応力 + 活荷重応力)
 \leq 許容応力



活荷重応力(繰返し応力)の増大
 溶接継手の疲労強度は鋼材の静的強度
 と関係しない



どのように場所に疲労損傷が生じやすいのか？

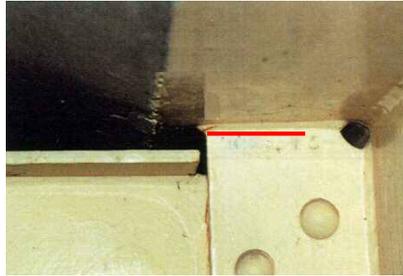
応力が高い部位・応力集中が生じやすい部位

- ・形状変化が著しい部位（疲労強度が低い）
- ・設計計算上高い応力が生じる
- ・設計の条件と変わって高い応力が生じる部位
- ・設計では考えられない部位

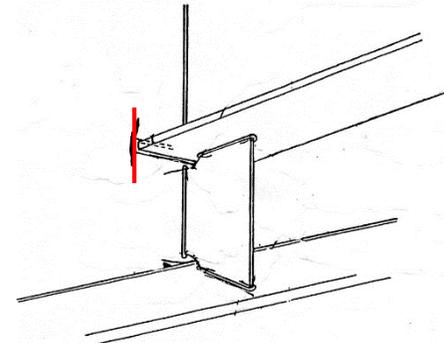
これまでの経験

疲労損傷マップの利用

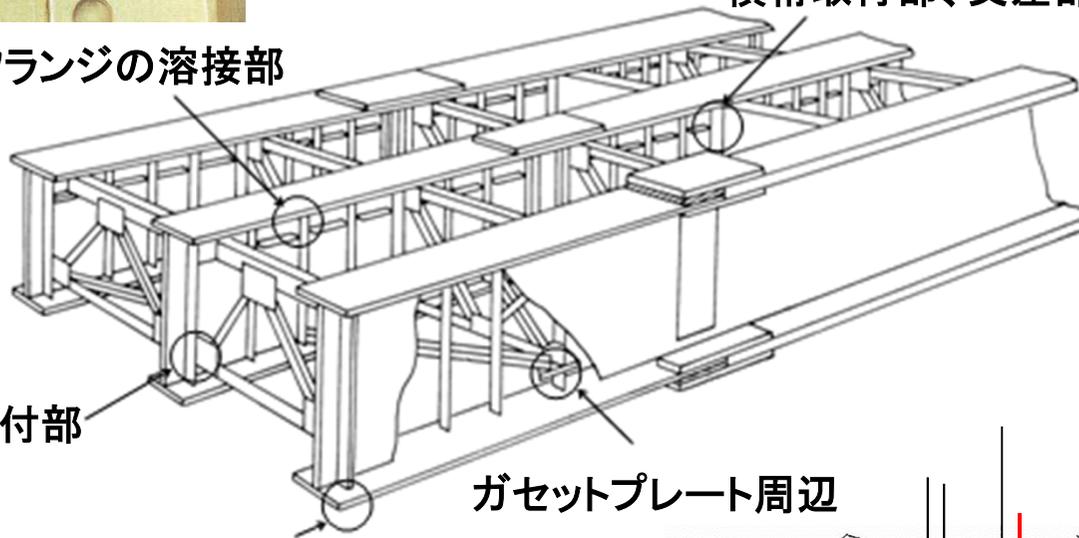
疲労損傷マップ(桁橋)



補剛材とフランジの溶接部

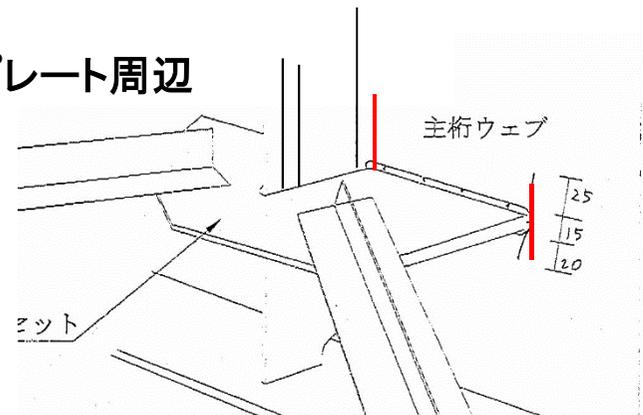
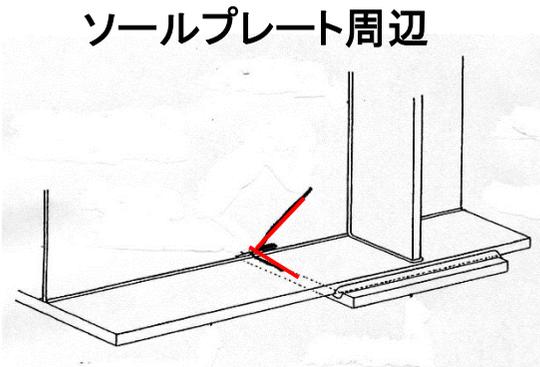
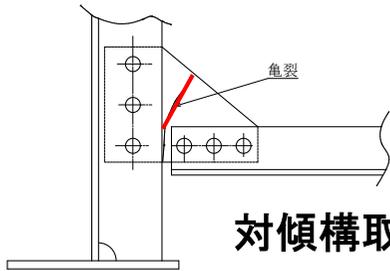


横桁取付部、交差部

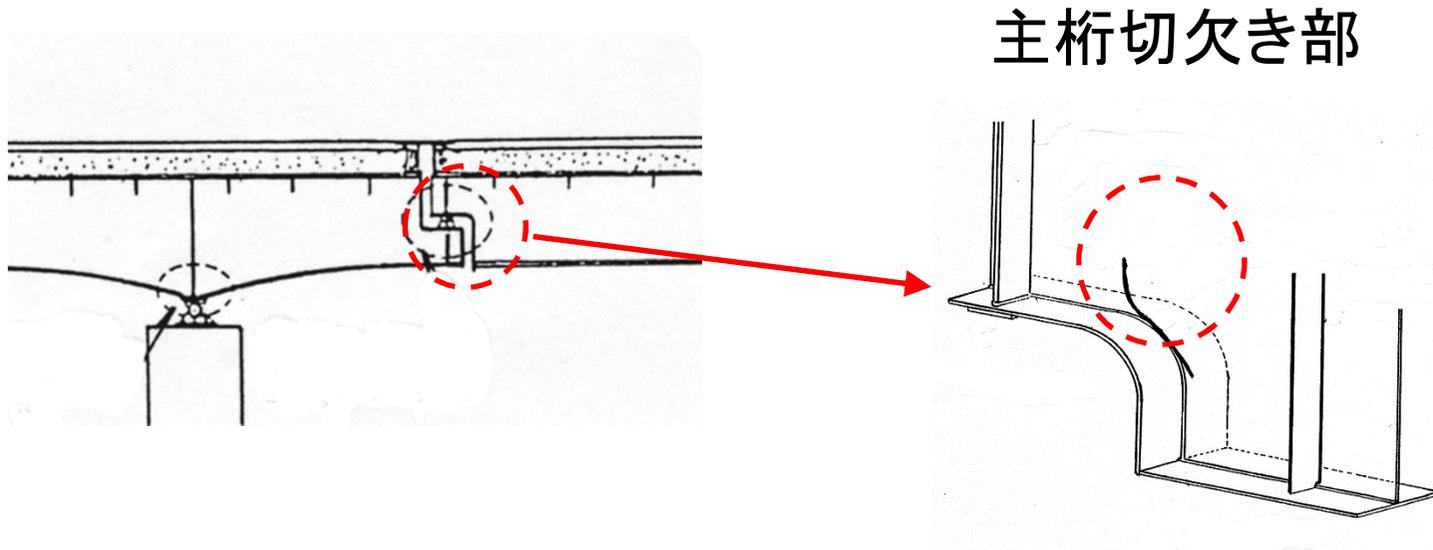


対傾構取付部

ガセットプレート周辺



疲労損傷マップ(桁橋)



疲労損傷事例の理解

多くの場合、疲労き裂発生原因は同じ

損傷の発生原因

応力範囲 $>$ 疲労強度

応力範囲が高い理由: 知らなかった、構造が不適切

疲労強度が低い理由: 溶接きず、……

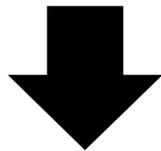
どのように疲労損傷を防ぐのか？①

* 疲労損傷が生じた原因を解消する。

支承部の疲労損傷



錆の発生など

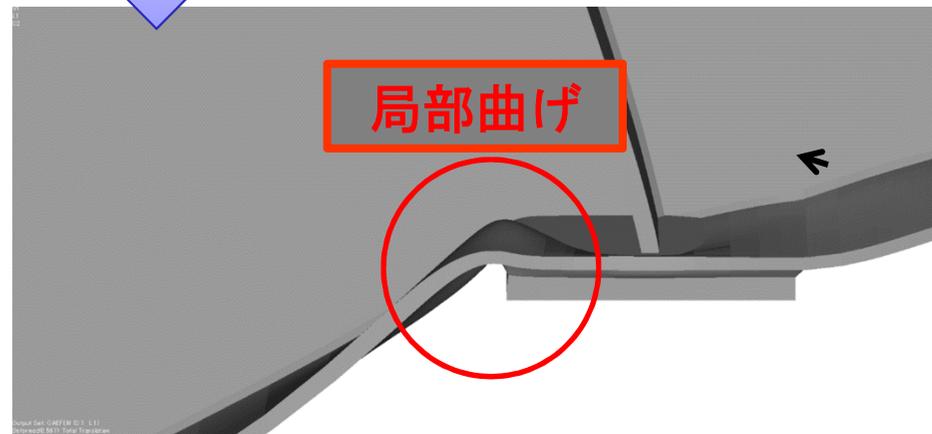


支承機能の低下
(回転、移動)

単純支持 (通常時)



拘束支持 (支承機能の低下)



どのように疲労損傷を防ぐのか？②

適切な疲労設計

鋼道路橋の疲労設計指針 道路協会 2002年

鋼構造の疲労設計指針・同解説 鋼構造協会 技報堂出版 2010年

予防保全

疲労強度の向上：グラインダ仕上げ、ピーニング
不適切な構造の改良

橋梁管理技術者の疲労に対する知識の向上

資格の取得：土木鋼構造診断士、橋梁点検技士

溶接学会：溶接構造の疲労、産報出版、2015年

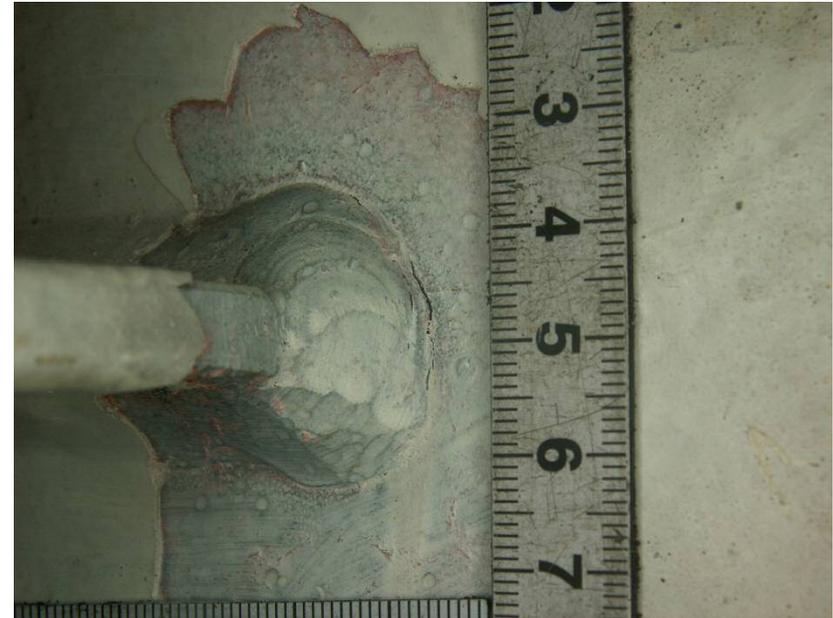
どのように疲労損傷を見つけるのか？

疲労き裂の検出方法

- * 目視
塗膜われ、さび汁
- * 浸透探傷試験
精度がよくない、みればわかる程度のき裂
- * 磁粉探傷試験
お勧め
- * 超音波探傷試験
- * 過流探傷試験

目視(塗膜われとさび汁)

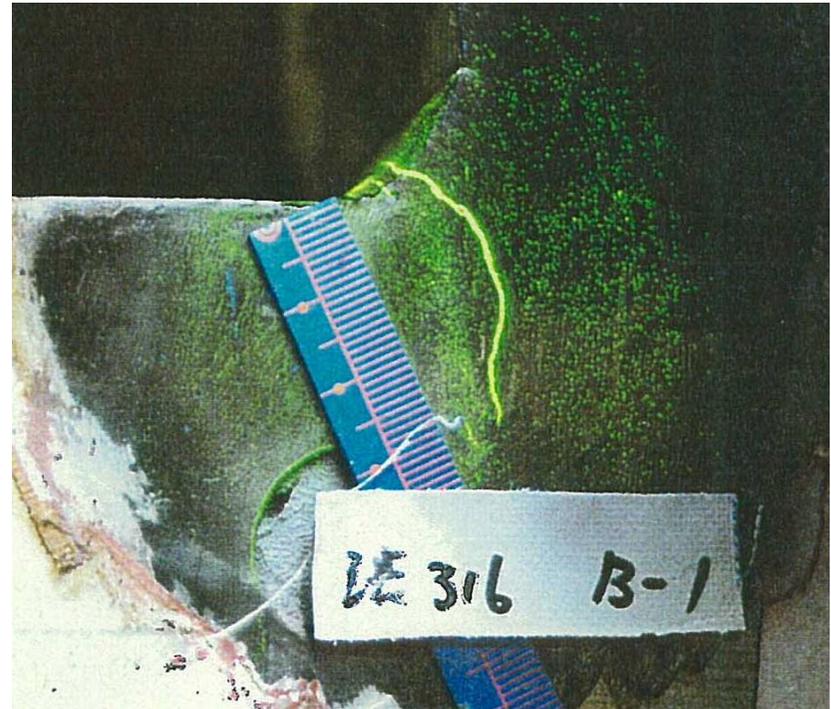
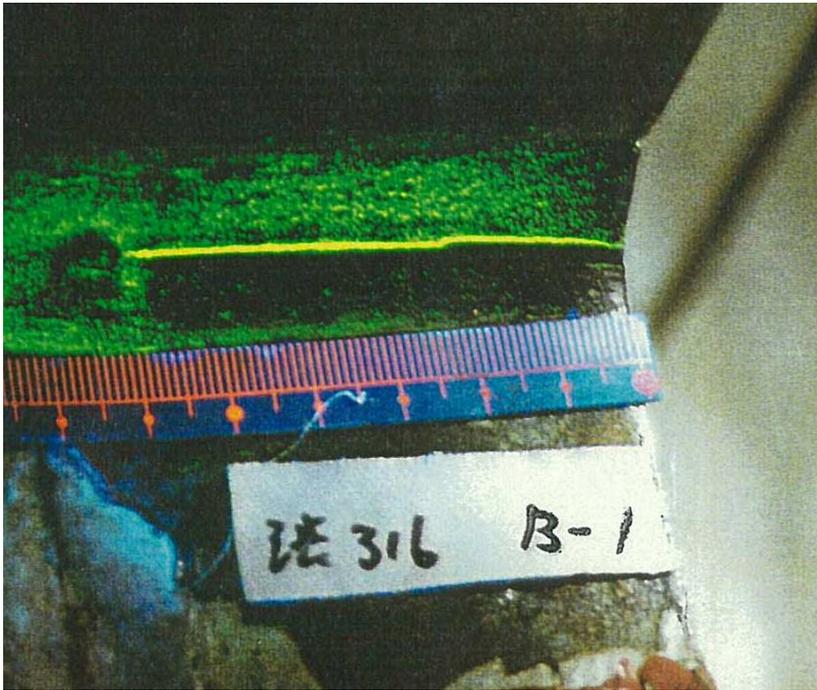
塗膜われ:空振りも多い さび汁:き裂の可能性大



点検業務の主要部分が点検員による**目視**
(優秀な点検員による点検に勝るものはない)

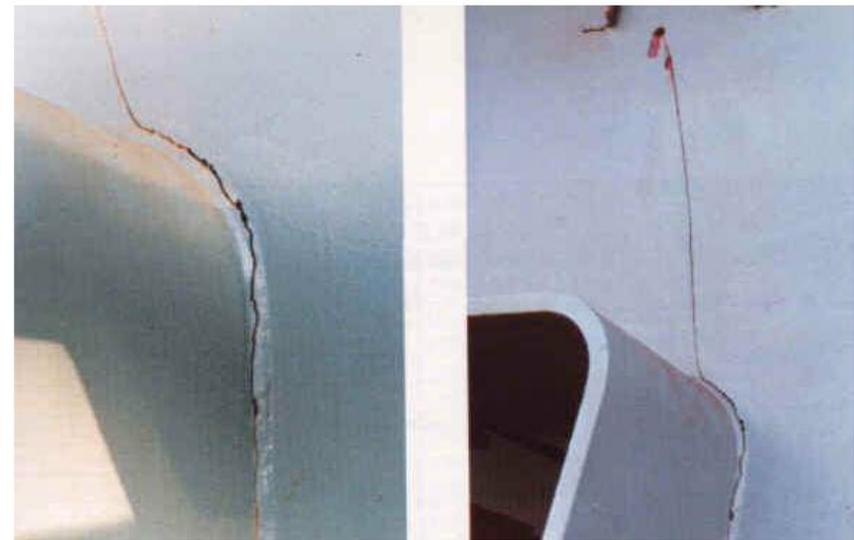
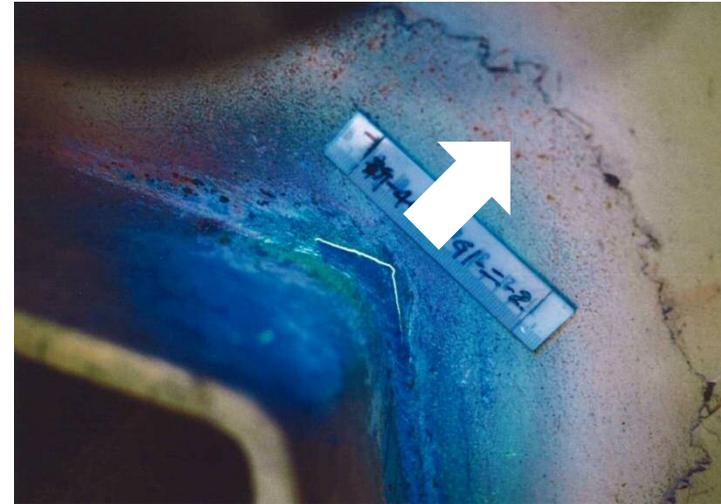
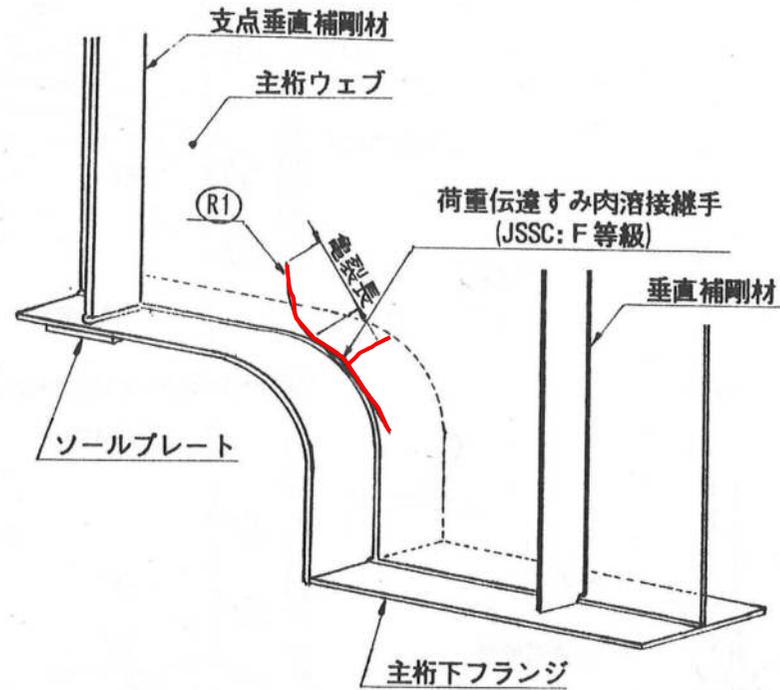
磁粉探傷試驗(MT)適用例

磁粉指示模樣(橋脚隅角部)



補修事例(失敗事例)

桁端切欠き部



原因: 応力集中、溶接状態(板組み)、応力状態に対する知識の欠如

補強後のき裂進展事例



1979



1999



2002

亀裂の進展が1999年（補強後約20年）の点検時に発見

現在の補強構造

<当て板補強>

補強の目的:

応力および応力集中
の低減



橋梁の長寿命化のかぎ

損傷の発生原因の解消・軽減

維持管理に配慮した設計

凍結防止剤 塩→無塩

水仕舞いの工夫

構造改良、施工品質の向上

適切な点検

人材の育成、点検方法の改良

データベースの構築

適切な補修・補強

補修・補強設計法の確立

補修後の安全性の照査、確認方法

技術者の育成・確保

資格制度の利用