

道路橋における 疲労損傷対策事例 発見～調査～補修補強

村越 潤 ((独)土木研究所)

第24回鋼構造基礎講座
鋼橋の維持管理－疲労亀裂の発見
～調査・原因究明～補修補強の実務

-道路橋における疲労損傷対策事例 発見～調査～補修補強



独立行政法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR

Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

村越 潤

講習内容

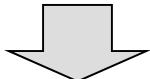
1. 疲労とは？
2. 主な損傷部位と対応
3. 非破壊調査技術の活用
4. 損傷・対応事例に学ぶ
 - ・鋼 I 枠橋の主桁のき裂
 - ・鋼床版のき裂
 - ・鋼製橋脚隅角部のき裂

講習内容

1. 疲労とは？
2. 主な損傷部位と対応
3. 非破壊調査技術の活用
4. 損傷・対応事例に学ぶ
 - ・鋼 I 枠橋の主桁のき裂
 - ・鋼床版のき裂
 - ・鋼製橋脚隅角部のき裂

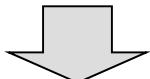
疲労とは？

外力による応力の繰返し

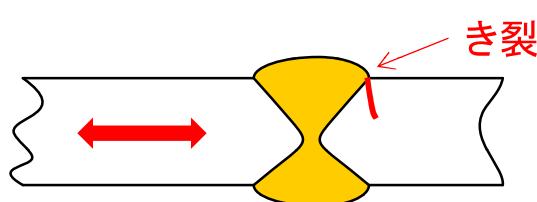


応力集中部からき裂が発生

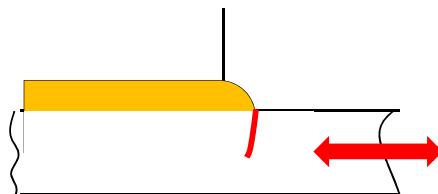
- ・構造的な応力集中部
- ・溶接形状や溶接欠陥等に起因する応力集中部



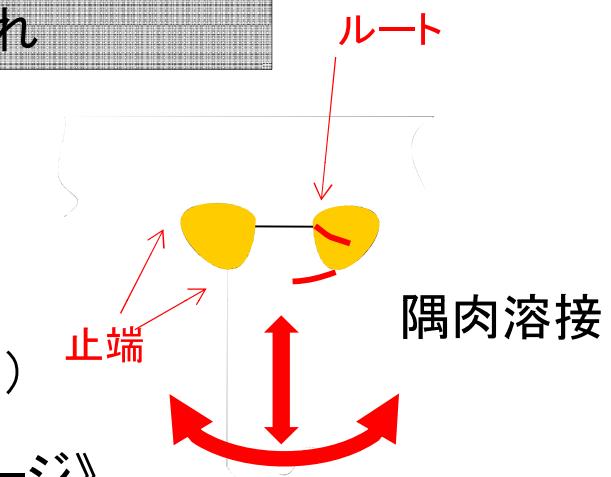
発生部位によっては、進展すると脆性破壊を引き起こし、橋の安全性に重大な影響を与えるおそれ



完全溶込み溶接



隅肉溶接(ガセット継手)



《溶接部における外力とき裂の発生イメージ》

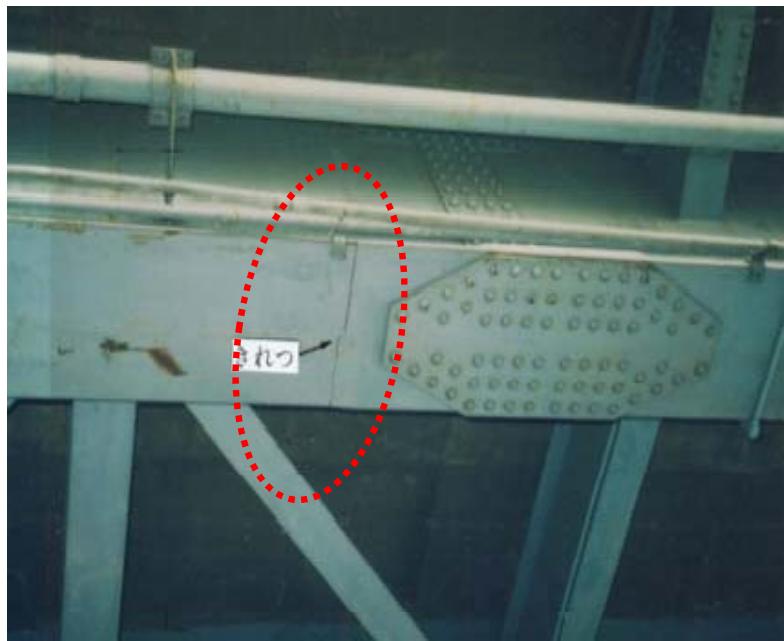
疲労損傷の発生要因

- 直接的には応力の集中と繰返しであるが、損傷要因は様々。
- OH14道示までは、疲労については一般に未考慮。建設当時の知見では、設計・製作上の配慮が必ずしも十分でなかった事例がある。

- ・**荷重要因**: 大型車両の増大(重量、台数)
風や車両走行に伴う振動現象
(鋼部材では一般に耐久性は作用応力の3乗に反比例)
- ・**設計要因**:
 - －不適切な構造ディテールの採用(応力集中)
 - －モデル化と実構造との違い(二次応力)
- ・**製作・施工要因**:
 - －製作誤差、溶接品質の不良に伴う応力集中
- ・**維持管理要因**:
 - －腐食・劣化に伴う支承等の機能低下

溶接品質確保の重要性

溶接品質は、き裂の発生に多大な影響を与える場合がある。
(溶接欠陥は疲労強度を著しく低下させる。)



不溶着(I桁下フランジの板縫溶接の
不溶着からき裂が進展)

溶接品質確保の重要性

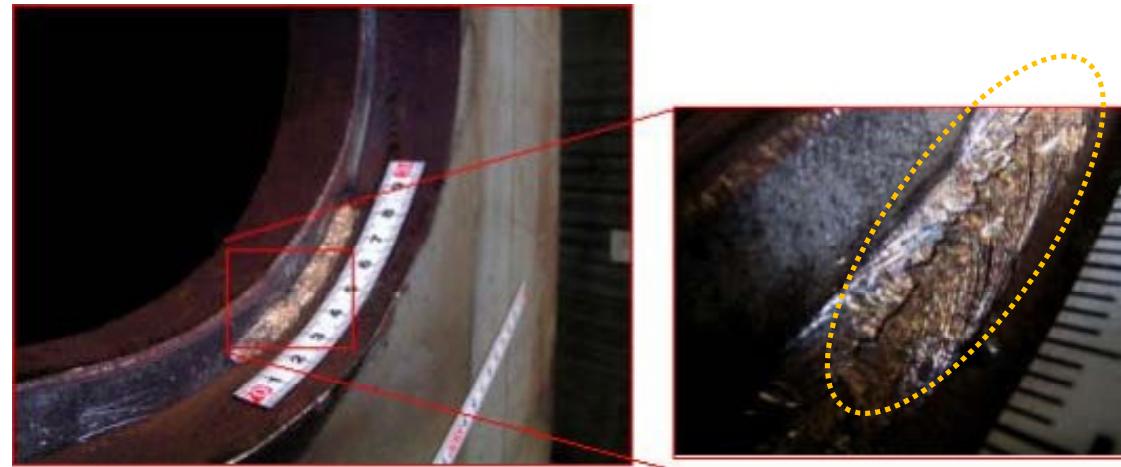
○溶接長さの不足した組立溶接の施工事例

本来、溶接割れを防ぐため、溶接長さは80mm以上と規定



○溶接割れが発生しているが適切な処置が施されていなかった事例

本溶接の際に、内部に割れを内在

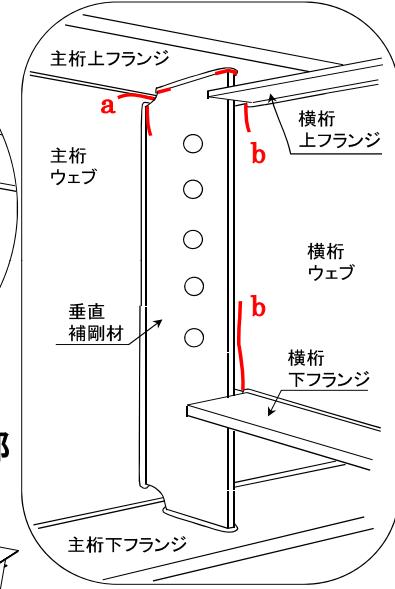
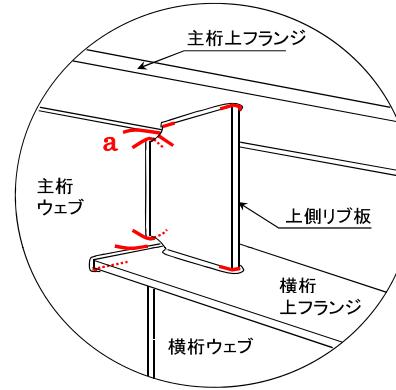
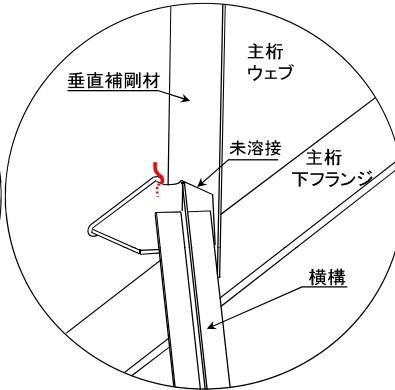
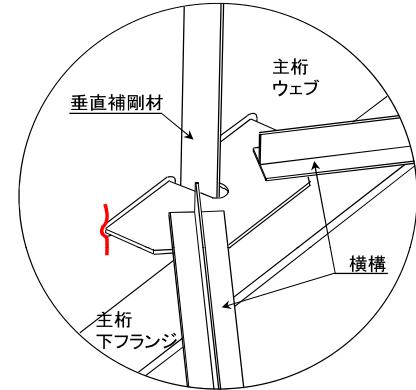


講習内容

1. 疲労とは？
2. 主な損傷部位と対応
3. 非破壊調査技術の活用
4. 損傷・対応事例に学ぶ
 - ・鋼 I 枠橋の主桁のき裂
 - ・鋼床版のき裂
 - ・鋼製橋脚隅角部のき裂

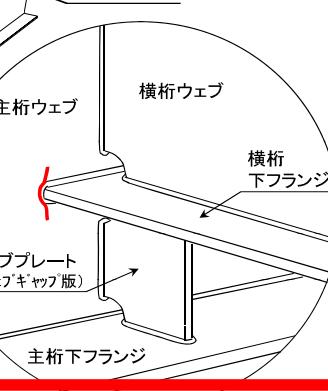
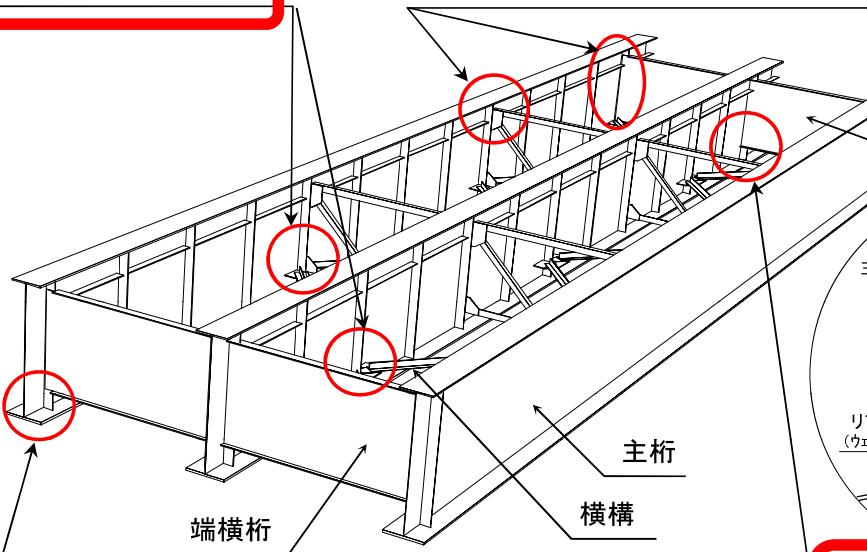
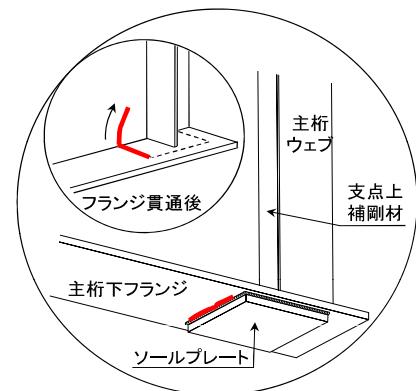
損傷の発生部位 - I 桁橋の主な損傷部位 -

主桁と横桁の取合い部の事例が多い。主桁を破断させるようなき裂に留意。



G2. 主桁ウェブガセットプレート溶接部

G6. 主桁と横桁・対傾構の取合い部

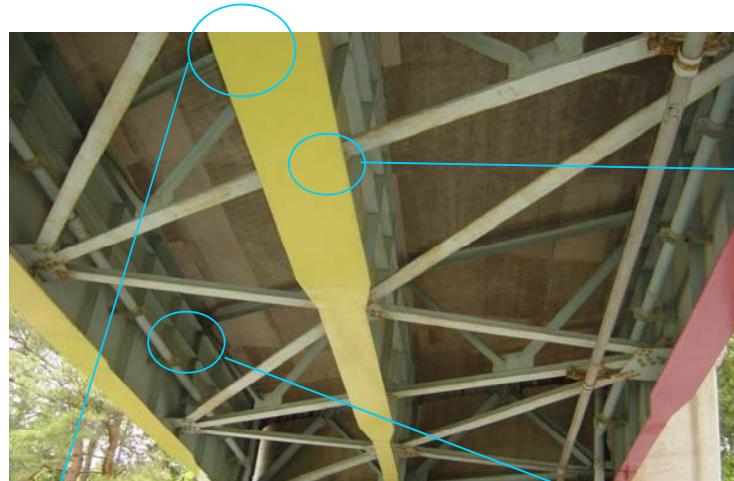


G1. ソールプレート溶接部

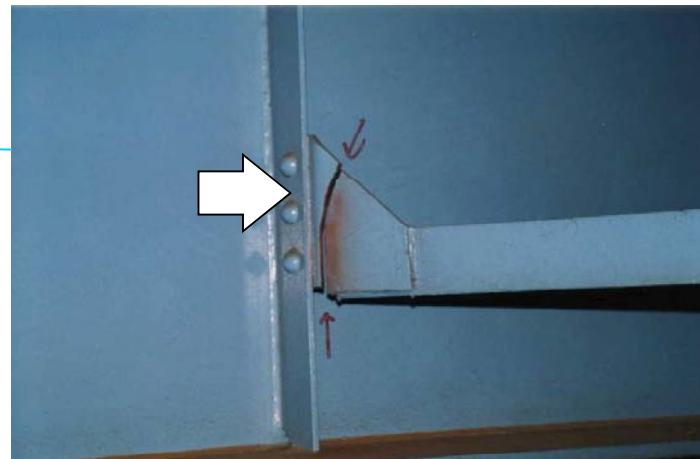
G3. 主桁ウェブの
横構下フランジ溶接部

主桁と横部材の接合部の疲労損傷

モデル化と実構造の違いや不適切なディテールが主要因であることが多い。



主桁と横桁交差部のウェブギャップ板



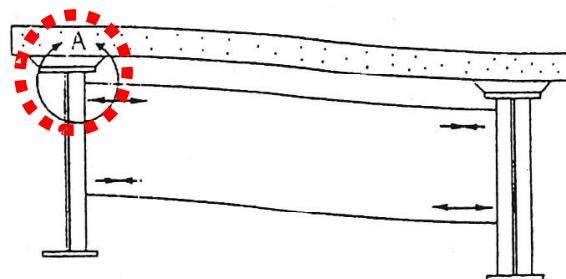
対傾構の継手部



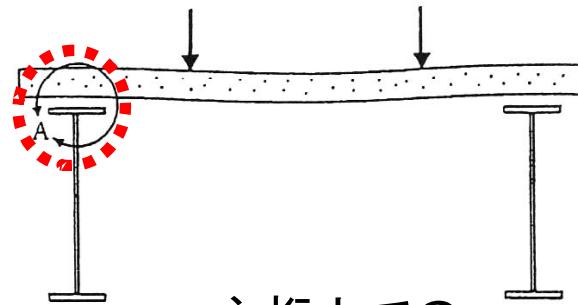
垂直補剛材と主げた上フランジの継手部

主桁と横部材の接合部の疲労損傷

- ・緊急性は高いわけではない。放置すると主桁ウェブに進展するおそれ。
- ・橋全体の挙動に起因し、不適切なディテール、溶接品質、荷重条件も影響
- ・恒久対策については、疲労き裂だけでなく、床版損傷やB活対応等橋全体の将来の維持管理も踏まえて対応を検討



主桁間の相対変位に伴う、
せん断+曲げの作用



主桁上での
床版の回転の拘束

⇒主桁、床版の剛性に起因

主桁と横部材の接合部の疲労損傷

■局所的な補強事例

- ・抜本的な対策とならない場合がある。
- ・ディテールによっては、床版への影響や施工性に十分な検討が必要



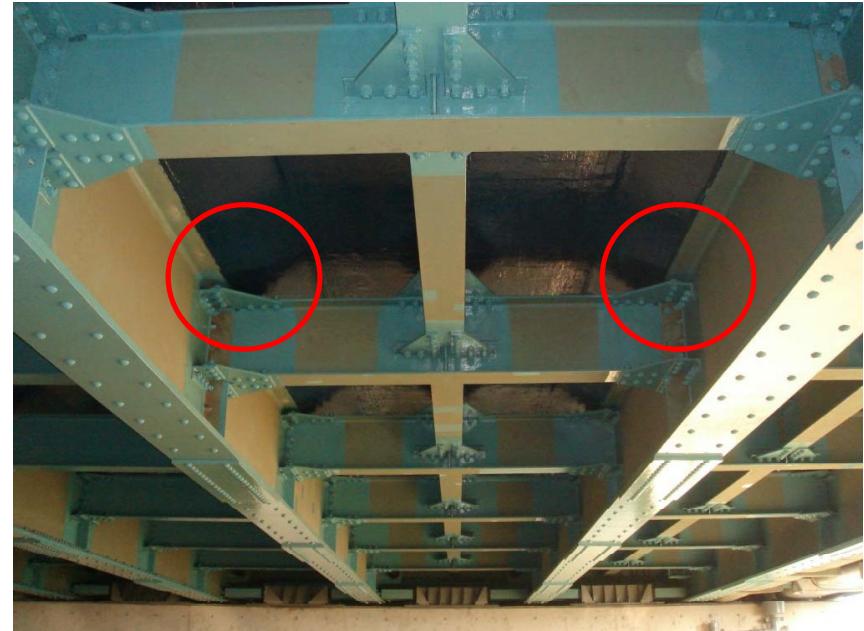
主桁と横部材の接合部の疲労損傷

■構造系全体の補強事例

- ・橋全体の剛性を高める方法(床版補強、桁補強)が必要な場合がある。



(床版補強の事例)
縦桁増設



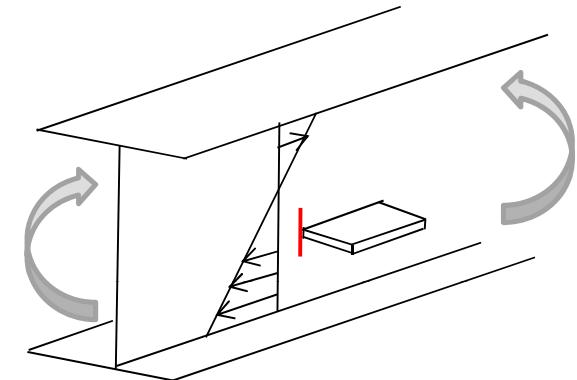
(床版・桁補強の事例)
縦桁増設、炭素繊維シート補強、桁補強

主桁の溶接継手の疲労損傷

○現行の疲労設計では、継手形状や止端仕上げにより、溶接継手の疲労強度等級を設定。

○疲労強度の相対的に低いH、H'等級の継手は、使用しない方が良い継手とされている。

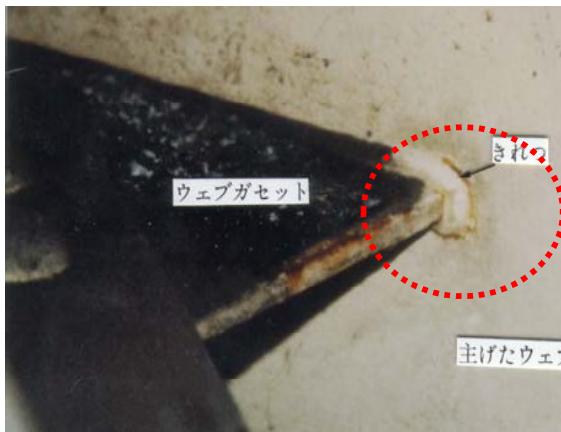
○各種要因が複雑に影響するため、疲労耐久性は個別の橋・部位毎に異なる。



面外ガセット継手

疲労強度等級

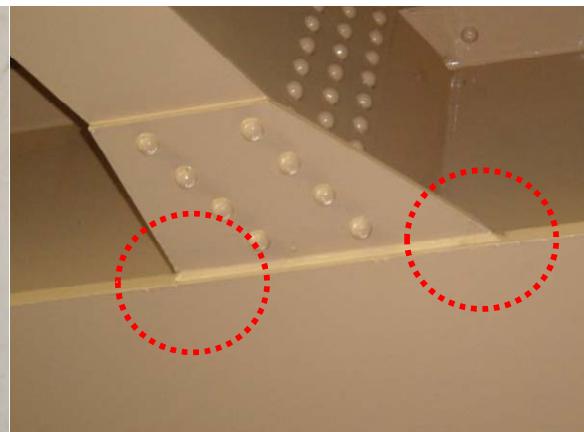
G等級(50MPa) 寿命比1



面内ガセット継手

疲労強度等級

H等級(40MPa) 約1/2



面外ガセット継手 (主板にガセットを貫通)

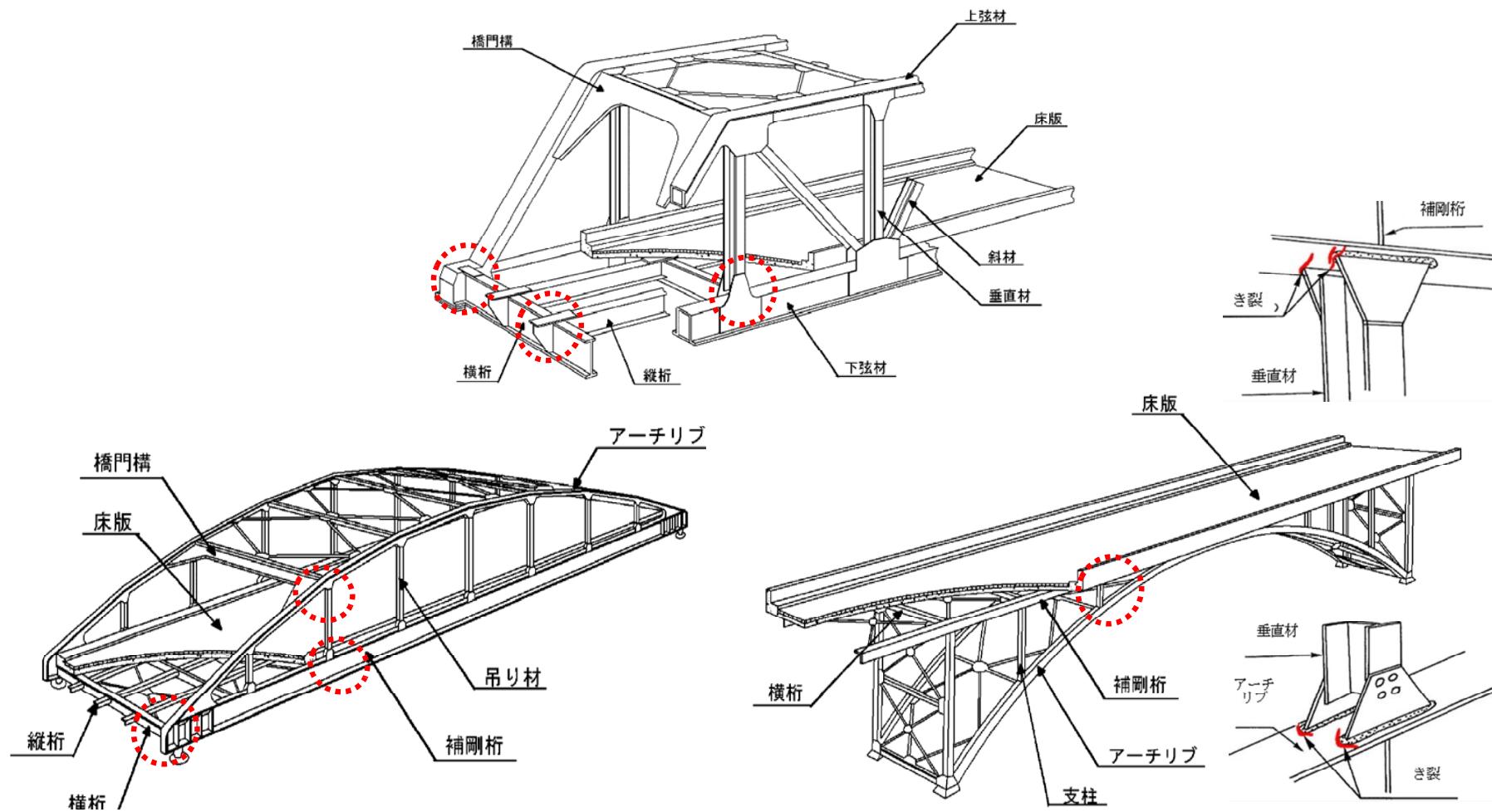
疲労強度等級

H'等級(30MPa) 約1/4.6



損傷の発生部位 -トラス、アーチの主な損傷部位-

吊材もしくは斜材の主構との格点部付近では、自動車荷重の移動や風による振動に伴って複雑な応力状態となり、局部応力の程度によっては、疲労耐久性上厳しい条件となる場合がある。

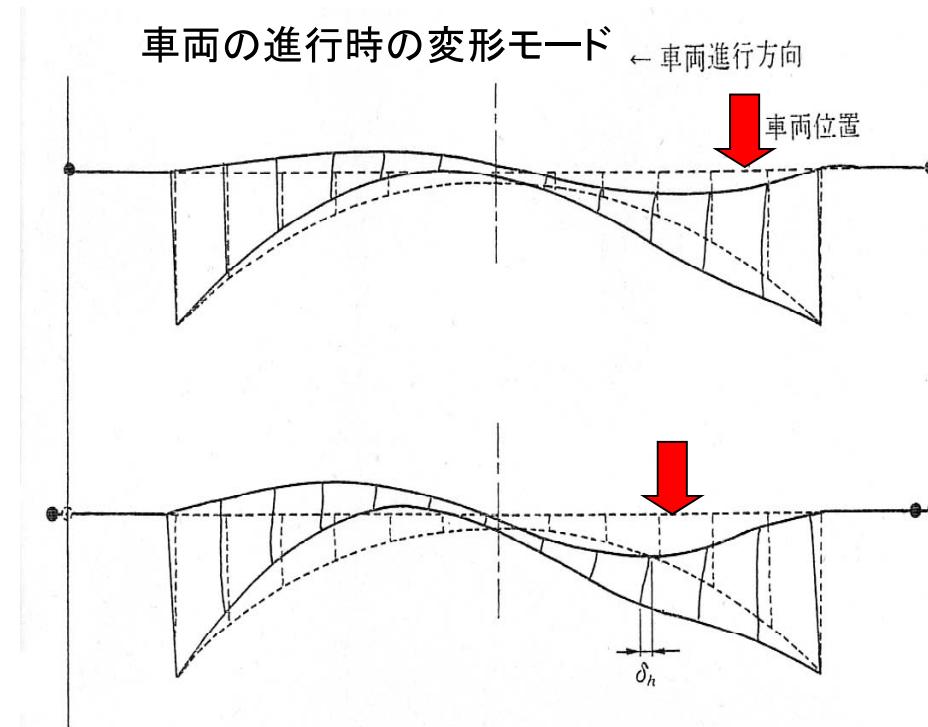
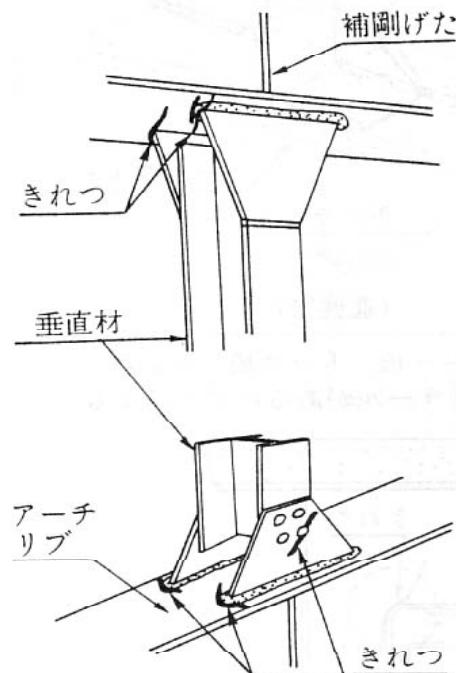


吊材等の上下端接合部の疲労損傷

アーチ、トラス橋の吊材もしくは斜材の主構との格点部付近では、自動車荷重の移動や風による振動に伴って複雑な応力状態となり、局部応力の程度によっては疲労耐久性上厳しい条件となる場合がある。

《点検時の着目部位》

- ・アーチ、トラス構造において、剛結構となる格点付近
- ・耐荷力設計上は適切であっても、車両の移動に伴って応力集中や応力変動が大きくなる部位
- ・架設地点に生じる風によって励振する可能性がある部材



吊材等の上下端接合部の疲労損傷

活荷重載荷時の床組とアーチリブ間の相対的な挙動により、短吊材の接合部にき裂が発生

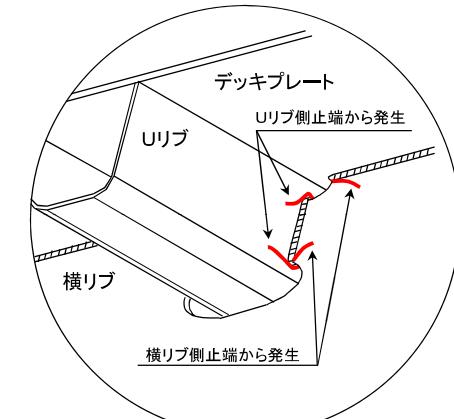
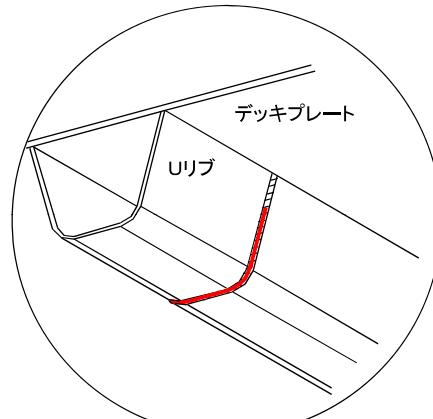
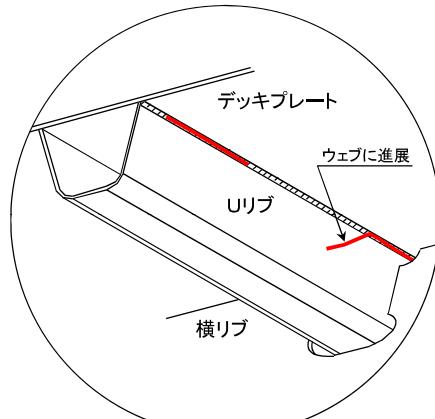
形式：中路式鋼アーチ橋(S39道示、TL20)
橋長：94m
竣工：1970年（供用後37年）
交通量：大型車72台/日
概要：2007年11月、点検時にき裂を発見、大型車通行止め、一般車片側通行規制。アーチリブと部材長の短い吊材の格点部からの疲労き裂が発生。



損傷の発生部位

-鋼床版の主な損傷部位-

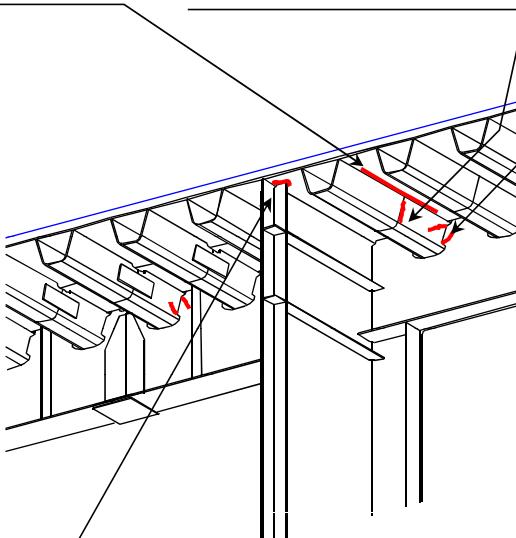
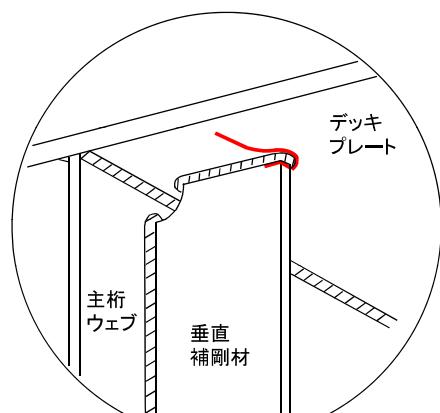
輪荷重走行位置直下周辺の溶接部のき裂に注意が必要



SD1. デッキとUリブの溶接部(ビード進展)

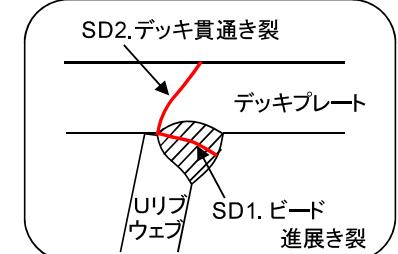
SD3.Uリブ現場溶接部

SD4.横リブとUリブの交差部



SD4. デッキと垂直補剛材の溶接部

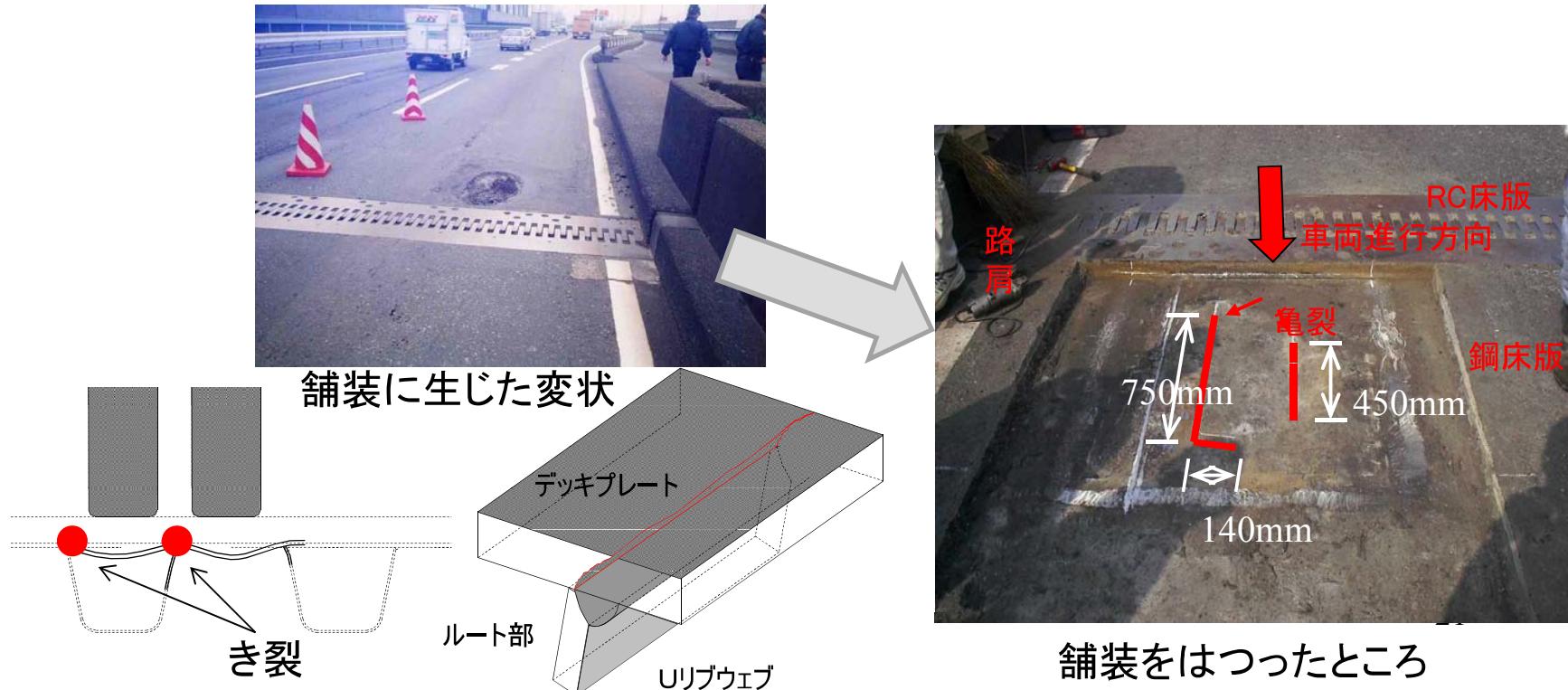
SD2. デッキと
Uリブの溶接部(デッキ貫通)



鋼床版の疲労損傷

■ デッキ進展き裂

- ・損傷橋梁(デッキ厚は主に12mm)の特徴
 - ・重交通路線で、供用開始から10~30年程度
 - ・輪荷重走行位置直下であり、概ね大型車のダブルタイヤが跨ぐ載荷条件
- ・目視困難なため、適宜、超音波探傷試験や、舗装を除去した上でのき裂の調査を検討。
- ・貫通時には供用性に影響を及ぼすおそれ。路面等の変状の兆候の早期発見に努めるとともに、詳細調査などを実施。発見後は、ただちに当て板補強等の応急措置が必要。



鋼床版の疲労損傷

■デッキ進展き裂(続き)

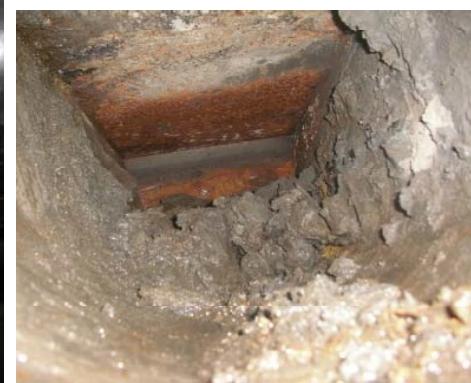
- ・輪荷重直下の舗装の損傷状況や他のき裂の発生状況によっては、デッキ上面からき裂の有無を確認
- ・デッキ貫通後には、き裂部からUリブ内へ浸入した水、舗装片、土砂等が堆積。適宜、溶接損傷部からの漏水の有無を確認するとともに、縦リブ内の滯水等の有無に注意



当て板による応急対策例



き裂部からの漏水
(Uリブ内の滯水が疑われる。)

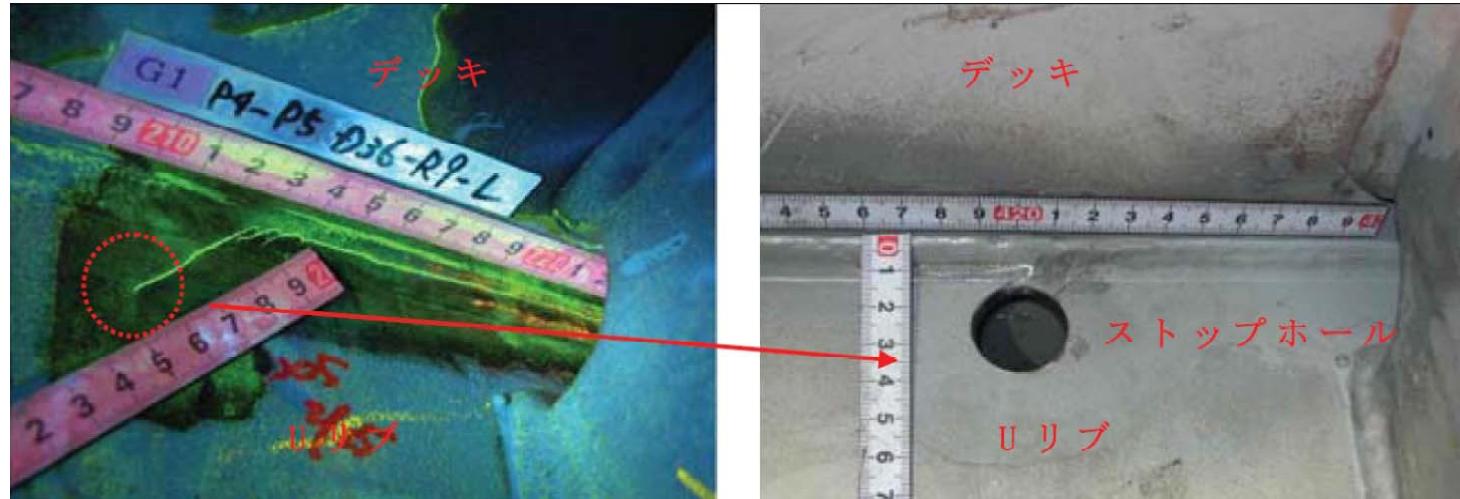


縦リブ内の堆積物
(デッキ貫通き裂部からの浸入。)

鋼床版の疲労損傷

■ビード進展き裂

- ・溶接に沿って長く進展したき裂や、枝分かれして縦リブ内、デッキ内に進展していくき裂が報告されており、デッキ進展き裂と同様に注意が必要。
- ・枝分かれしてデッキに進展し、縦リブ内へ長く進展している場合には、デッキ進展き裂と同様に供用性に影響を及ぼすおそれ。当て板補強などの応急措置を検討。
- ・溶接線からはずれて縦リブ内に進展したき裂については、き裂の進展を一時的に遅延させるためにストップホールの設置が行われる場合がある。

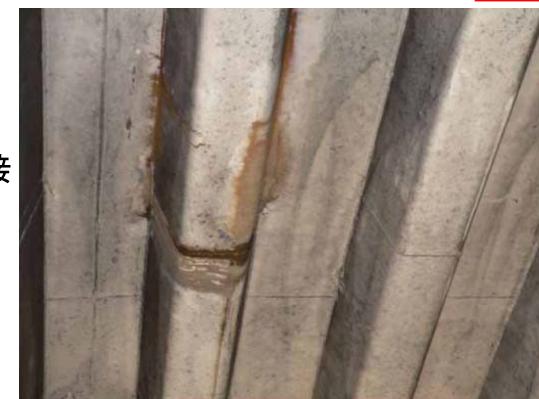
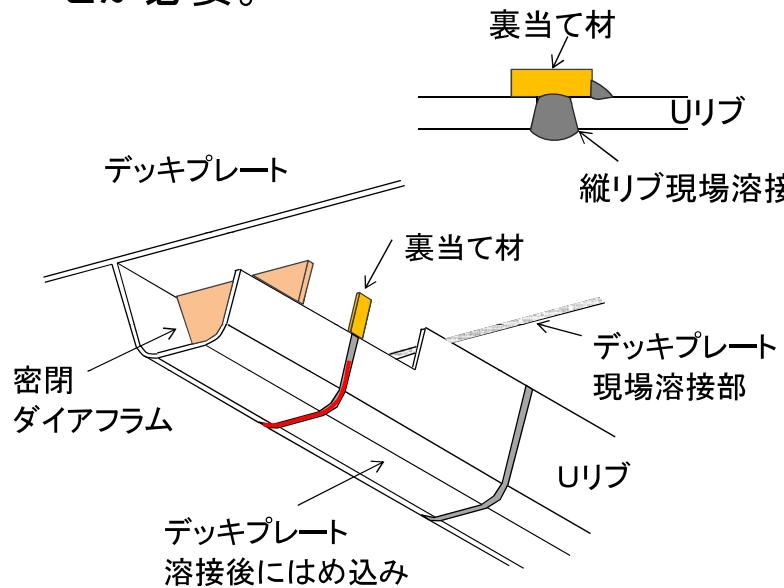
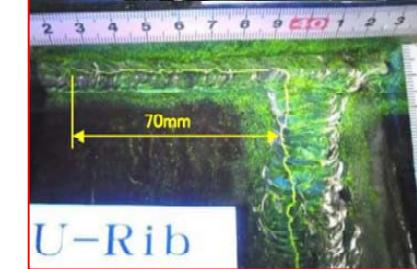
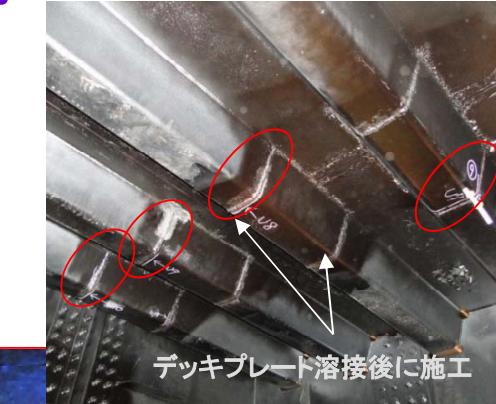


縦リブ内(母材内)に進展したき裂に対するストップホール設置状況

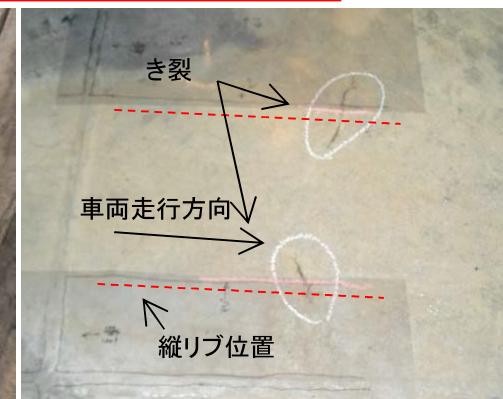
鋼床版の疲労損傷

■突合せ溶接継手のき裂

- ・縦リブの作用力により溶接に沿って確実に進行。
デッキを貫通、もしくは溶接ビード沿いに進展。
- ・上向きの現場溶接による施工のため、部材取合いの初期不整、施工品質の影響を受ける場合があり、これによりき裂の発生状況も異なる場合がある。
- ・溶接部の形状不整に起因して塗膜が劣化しやすく、塗膜割れと見分けられない場合あり。塗膜を除去し、磁粉探傷試験によりき裂の有無を確認。
- ・破断部に対して、当て板による継手機能の回復を図ることが必要。



(a) 下面側の損傷状況



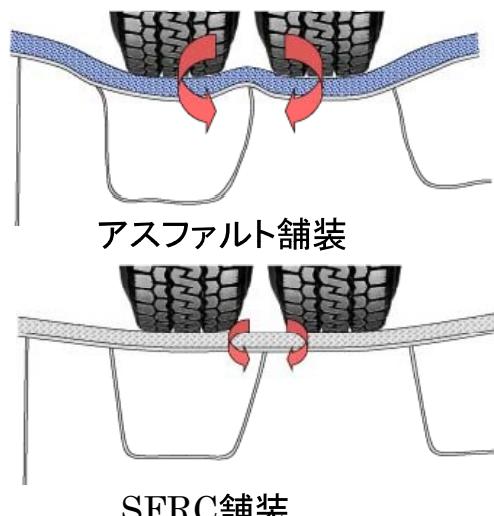
(b) 舓装下のデッキプレート面の状況

突合せ溶接部のき裂が進展しデッキプレートを貫通した例

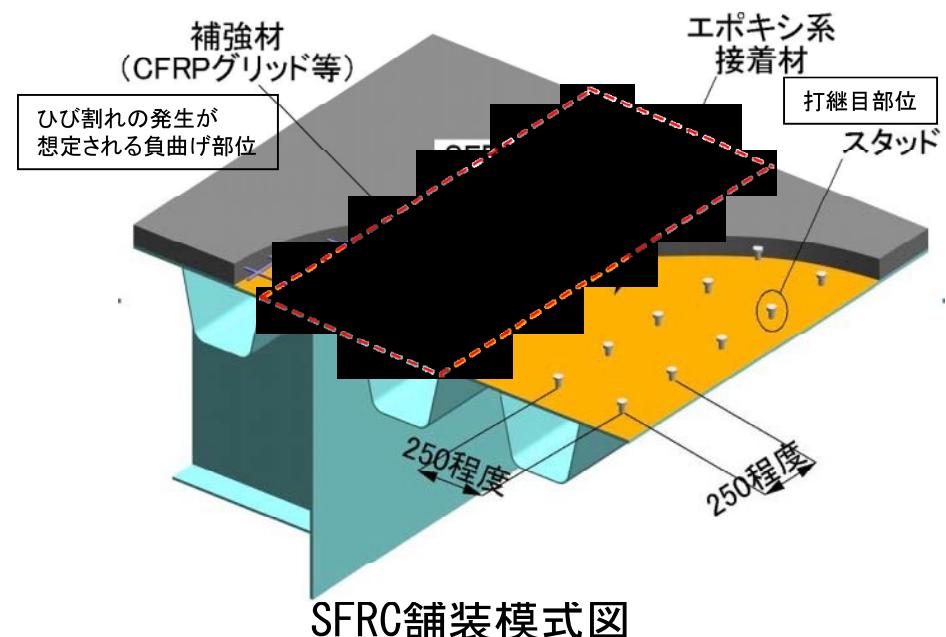
鋼床版の疲労損傷

■SFRC舗装による補強対策

- ・デッキに高耐久性の接着材を塗布した状態で、フレッシュコンクリート状態のSFRCを打設し、鋼床版との一体化を図り、合成効果により局部応力を軽減するもの。
- ・構造的なひび割れは発生。適用時には、ひび割れ抑制のための材料選定、構造細目、施工方法、施工管理方法等、設計施工上の十分な配慮が必要。
- ・一般部と比較し耐久性に差が生じる可能性のある部位では構造に配慮する場合あり。
 - ・舗装端部等の乾燥収縮による反り上がりや水の浸入に伴う劣化抑制→スタッド設置
 - ・輪荷重により負曲げ域となる主桁上でのひび割れ後の劣化抑制→補強材の設置
- ・既に発生しているき裂には、損傷状況に応じて、進展抑制の対策や断面補強を実施。



SFRC舗装によるデッキ変形軽減模式図



SFRC舗装模式図

疲労に対する点検、調査、対策の留意点

■点検、調査

- ・点検は各部材に近接しての目視点検が最も重要。溶接部の塗膜割れは見逃さず、MT等の調査を実施
- ・き裂毎の原因究明、対策の検討にあたっては、橋全体での損傷の発生状況の把握が必要。
- ・き裂発見時には、溶接継手を含めた構造が類似で、同様の応力変動部位に着目し、き裂の有無を調査。
 - 例)・輪荷重位置に対して橋軸方向の同一の構造部位のき裂に注意。
 - ・製作・溶接方法の影響により発生状況が異なる場合に注意。
- ・疲労環境が厳しい、構造的に耐久性が相対的に低い可能性もあり、一旦き裂が確認された場合には、着目部位だけでなく橋全体の溶接継手における損傷状況の把握も必要。
その際、調査対象部位が多くなるため、損傷が生じると致命的な影響を及ぼしかねない部位など、橋の構造的特徴なども考慮して適宜優先順位を設定。

点検、調査、対策の留意点

■補修補強対策

- ・緊急性が高いき裂については、当て板等による補強や、荷重負担を軽減する等の応急措置(車線規制、走行位置をずらす、仮支持材の設置等)を検討。
- ・損傷箇所と同一構造で同様な荷重履歴を受ける部位では、き裂が発生していないなくても将来の発生への対応も想定しながら対策を検討。
- ・既にき裂が多数発生しており、他の同様部位から発生する可能性が高い場合には、橋全体または構造部位の応力軽減を図る対策も検討。
その上で、各き裂の発生部位や損傷状況に応じて、き裂先端の応力集中の緩和対策、必要に応じて断面補強を検討。
- ・補修補強にあたっては、既設部材への溶接の使用は原則避けるべき。
(施工性、材料の不確実性、交通振動の影響等)

講習内容

1. 疲労とは？
2. 主な損傷部位と対応
3. 非破壊調査技術の活用
4. 損傷・対応事例に学ぶ
 - ・鋼 I 枠橋の主桁のき裂
 - ・鋼床版のき裂
 - ・鋼製橋脚隅角部のき裂

非破壊検査技術の活用

○目視による点検・調査

- ・塗膜割れ、き裂を確認
- ・間接的変状を確認

(き裂進展に伴う、舗装損傷、き裂からの水、鏽汁等の流出)



○診断、対策に見えない情報が必要となる場合があり、目的に応じて適切な方法を選択

- ・塗膜を剥がさないと、き裂と特定できない場合がある。
- ・目視では発見困難なき裂がある。
- ・対策を考える上で、溶接内部の状態や挙動の確認が必要な場合がある。

磁粉探傷試験(MT)

○き裂の有無、表面長さを確認に適用

○きれつ部に磁粉(蛍光磁粉)を吹き付けた後、磁場を与えて、き裂部に生じた漏洩磁束に磁化した磁粉を吸着し、紫外線照射により損傷部(磁粉模様)を検出。

○表面き裂に限定される。未溶着部等があれば内部からのき裂が発生し、表面に現れない場合もある。



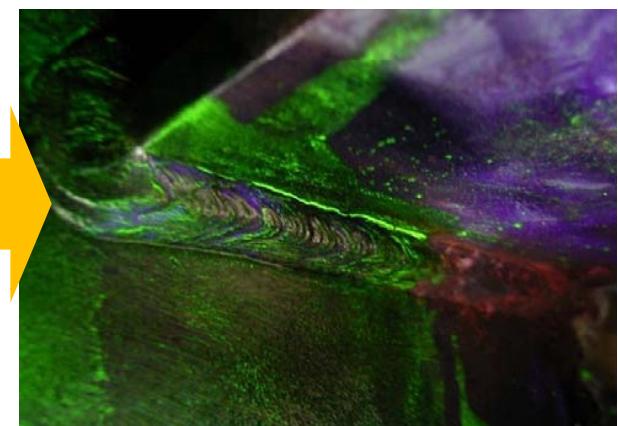
欠陥部における磁粉模様の形成



磁化および磁粉検査液の散布



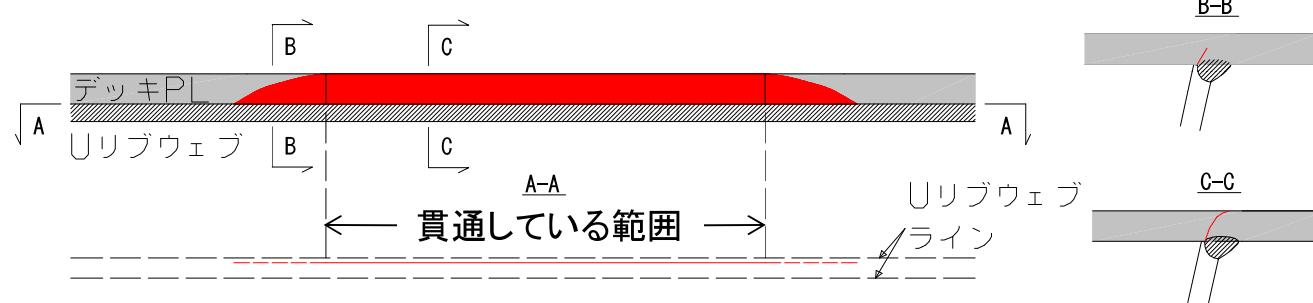
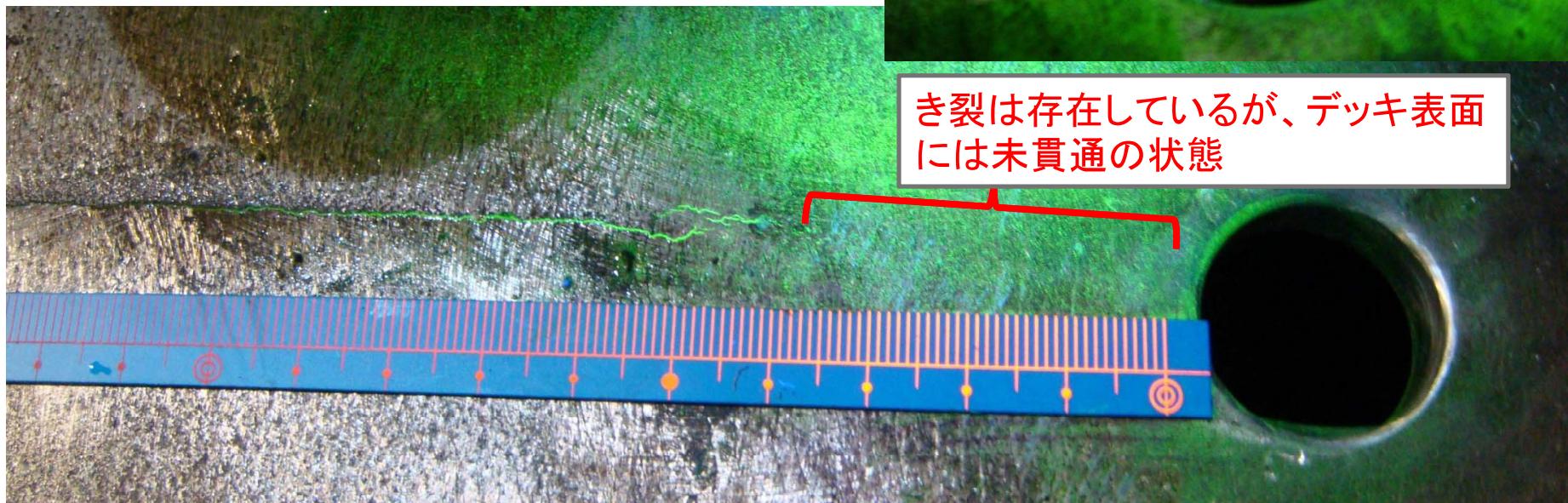
紫外線照射および磁粉模様観察



き裂指示模様

磁粉探傷試験(MT)

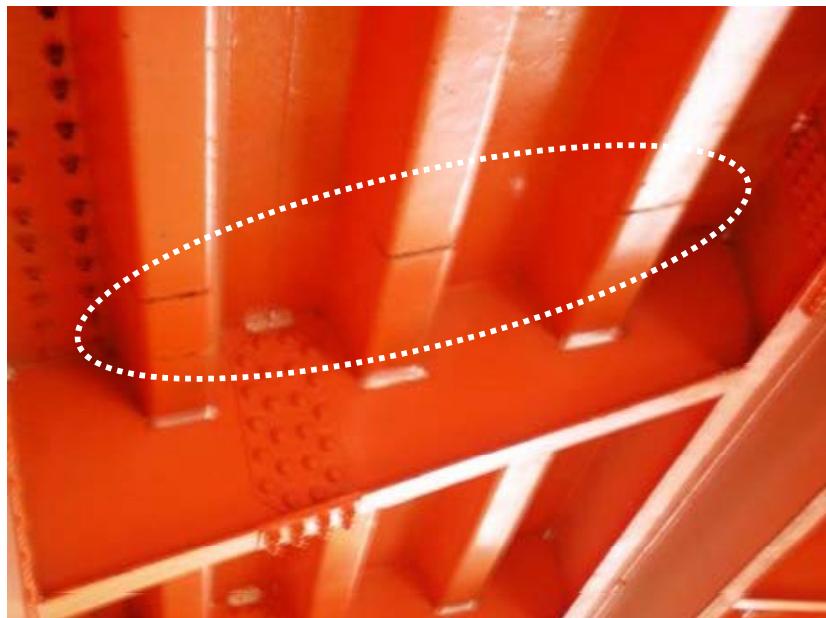
き裂先端の特定が
必要な事例



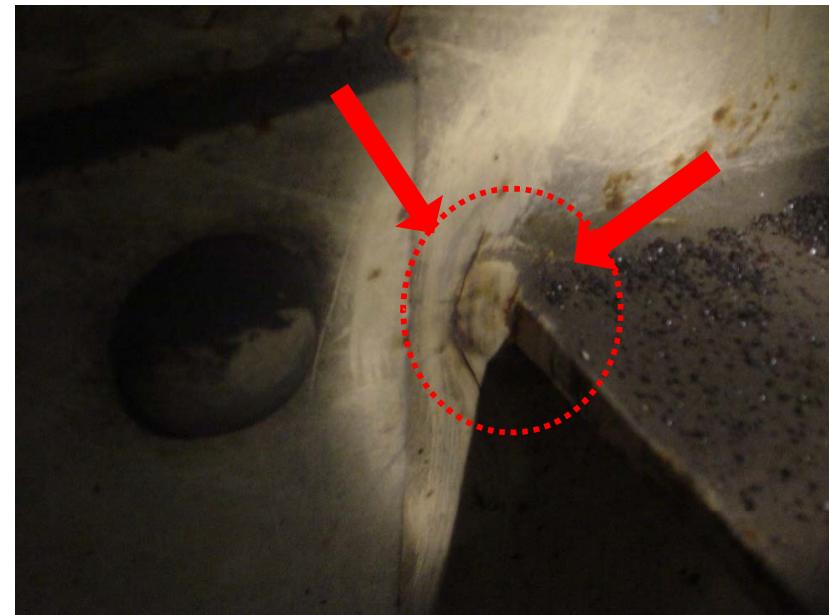
磁粉探傷試験(MT)

き裂と疑われる塗膜割れの事例

点検後に、磁粉探傷(MT)による確認が必要



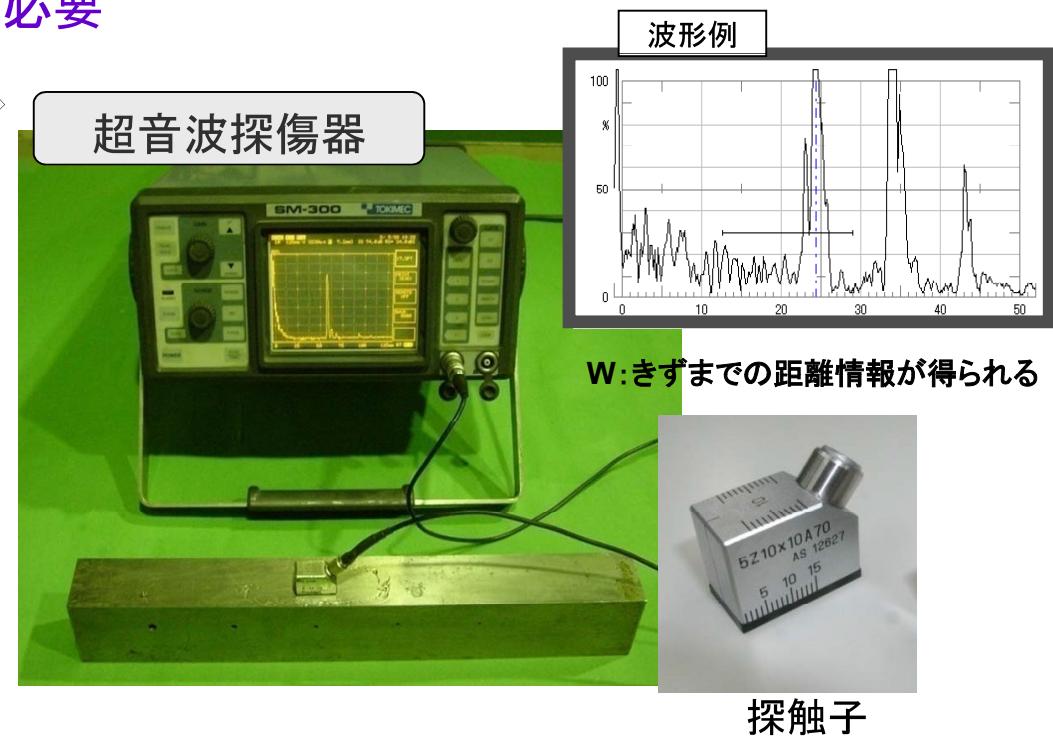
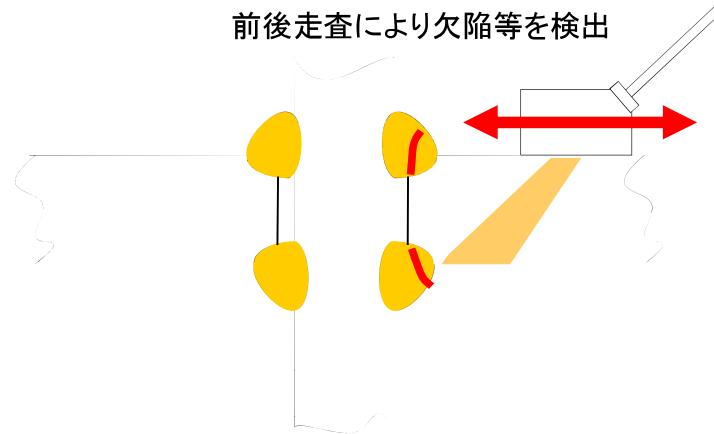
輪荷重下の鋼床版ブラケット部の突合せ継手
⇒遠望目視では、き裂か否かの判断は難しい



主桁の横構ガセット継手
⇒近接しても、塗膜を除去しないとき裂か否かの判断は難しい

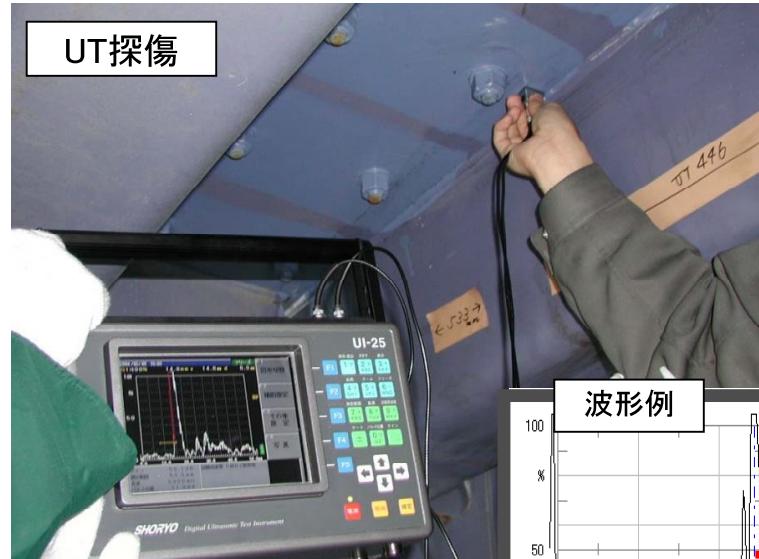
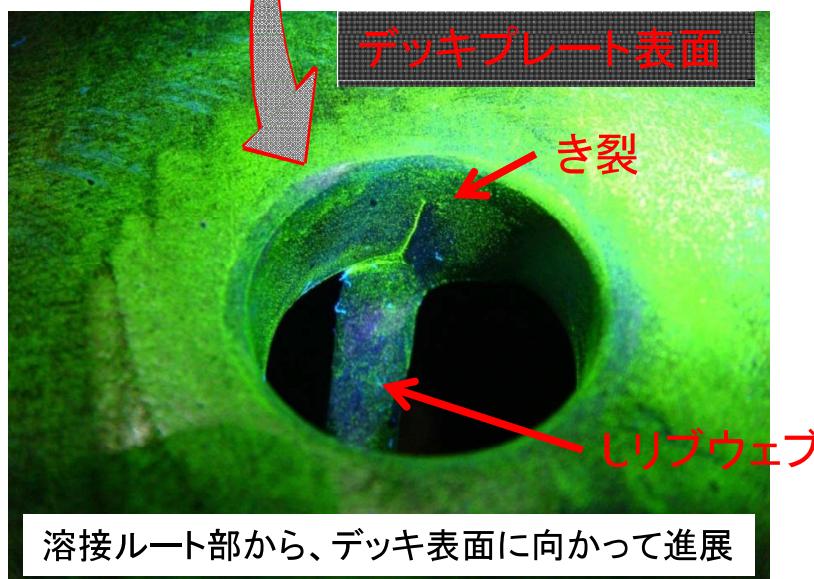
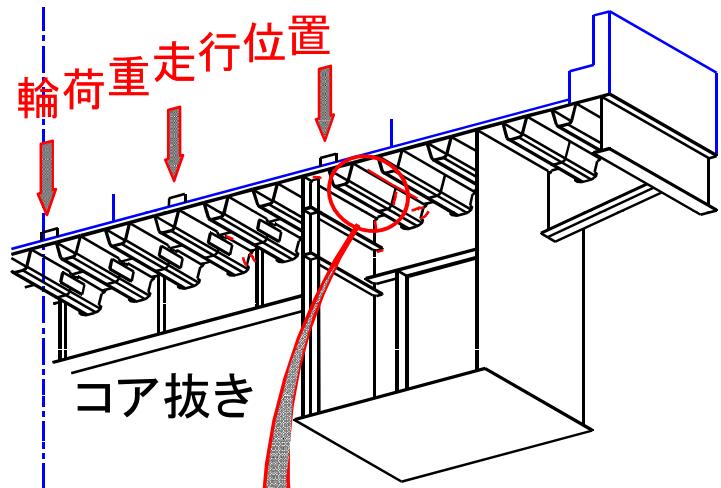
超音波探傷試験(UT)

- 未溶着部の有無や、板組の推定に適用
- 鋼材表面に探触子をあて超音波を発信させ、欠陥等(境界面)からの反射エコーを受信して、位置、大きさ、深さを測定する手法
- UTによる検出性能、信頼性は必ずしも高いわけではない。
 - ・きれつの位置、形状、表面性状によって検出精度がばらつく
 - ・結果判定に経験や技量が必要

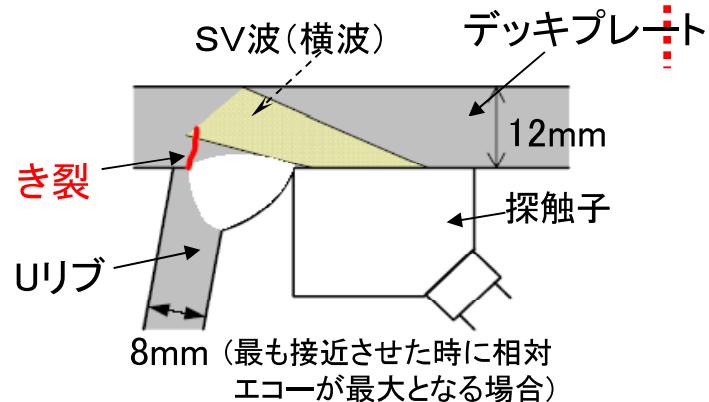
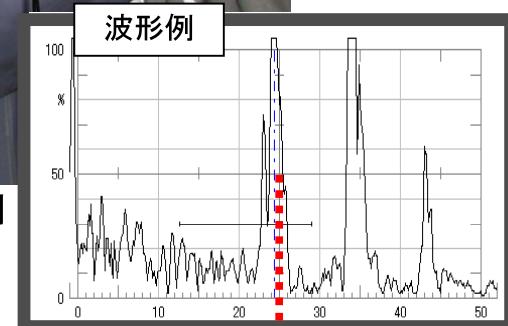


目視困難なき裂検出へのUTの適用事例

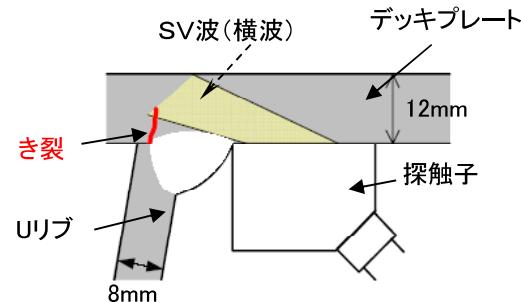
鋼床版橋梁



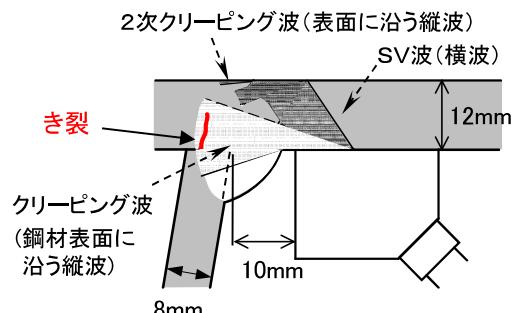
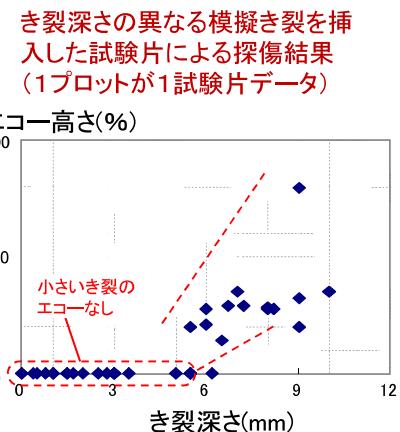
屈折角70度の斜角探触子の例



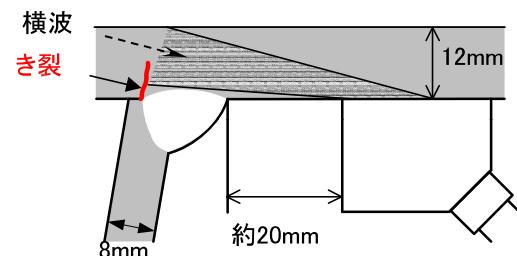
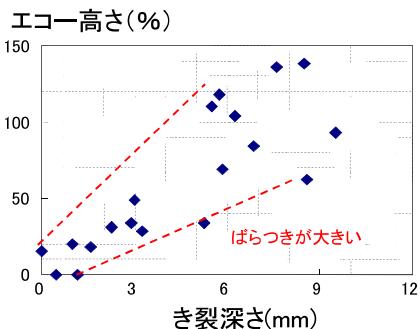
目視困難なき裂検出へのUTの適用事例



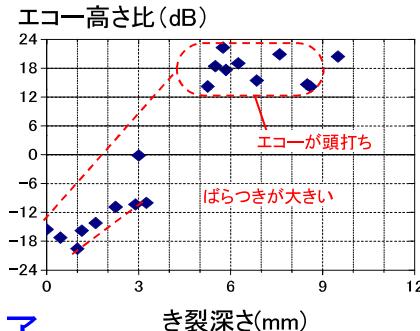
屈折角70度の斜角探触子



クリーピング波探触子



屈折角約90度の斜角探触子



○超音波の種類や、探触子の種類により、探傷方法は様々

○目的と検出性能に留意して適用することが必要

- ・深さ推定のばらつきは大きい。
- ・鋼材表面(塗装、凹凸等)の影響を受ける場合がある。

⇒屈折角、反射波の強さが変化、き裂以外の反射源が影響するため、目的に応じたカスタマイズが必要

[70度斜角]

一般的な探傷法。探傷角が浅いため、接近させても浅いき裂の検出は難しい。深いき裂の発見は可能。

[クリーピング]

鋼材表面付近のきず検出に適用。同時に送信される横波によりデッキ表面きずのエコーとき裂との判別が難しい場合有り。

[約90度(臨界屈折角)斜角]

浅いき裂の発見が可能。

ひずみ等の挙動計測

- 車両走行、風等の外力に対する、部材のひずみ応答を計測
⇒挙動把握による原因特定・効果的な対策の選定、対策前後の効果の確認
- 原因の推定、目的に対応した適切な調査手法、測定位置等の選定が重要
(やみくもに測定しても、その後の診断、対策に役立たないことも)



計測装置の例



荷重車走行時の部材各部のひずみを計測

損傷部材の挙動計測事例

○特定の部材の上下端接合部にき裂発生。

○風や車両に対する部材の挙動を計測し、原因推定、対策に活用。

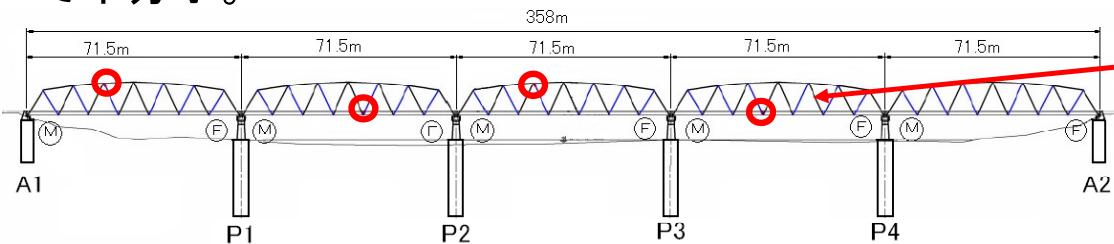
<現地計測>

○風による応答

風速と振動モニタリングの結果、支間中央部の斜材に風速10~20m/s域で大きな面内振動（渦励振）が発生。

○大型車通行による応答

荷重車走行試験の結果、斜材端部の発生応力は、渦励振時の応力と比較して十分小。



鋼下路式ワーレントラス
(昭和40年竣工)



破断の状況

講習内容

1. 疲労とは？
2. 主な損傷部位と対応
3. 非破壊調査技術の活用
4. 損傷・対応事例に学ぶ
 - 鋼 I 构橋の主桁のき裂
 - 鋼床版のき裂
 - 鋼製橋脚隅角部のき裂

参考文献: 土木技術資料
現場に学ぶメンテナンス 2009.10, 2009.12,
2011.8,

鋼 I 枠橋の主桁の疲労損傷事例

重交通路線において、疲労上望ましくないディテール（横桁フランジが主桁を貫通する継手）から、主桁破断につながるおそれのあるき裂が発生。

形式：3径間連続非合成鋼 I 枠橋

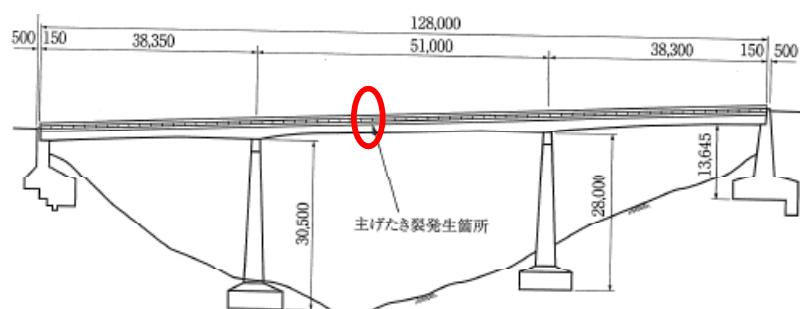
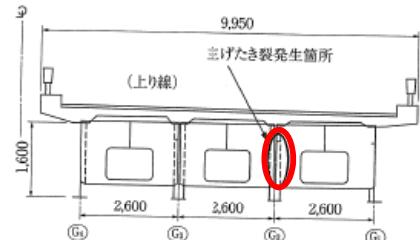
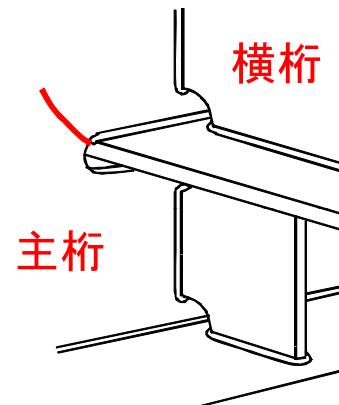
(S39道示、TL20)

橋長：38m+51m+38m

竣工：1972年（供用後34年）

交通量：約3万台/日 大型車混入率約45%

概要：2006年10月、定期点検時に主桁ウェブの横桁取付け部からの約1.1mのき裂を見。交通止め、当て板等により応急復旧。



鋼 I 构橋の主桁の疲労損傷事例

■調査

- ・近接目視点検で見落とされずに発見・対処、落橋等の致命的な事態は回避。
- ・き裂面の一部に脆性破壊の特徴がみられる箇所があり、き裂全長のうち少なくともある範囲はき裂が一気に進展した可能性。

⇒実交通下の不規則な変動応力作用下では、き裂の発生時期、発生後の進展の速度や方向等を正確に推定したり、制御することは困難。

⇒点検によるき裂の早期発見に努めるとともに、発見後は進展性や大きく進展した場合の影響について十分検討のうえ、適時的確な判断が不可欠。

- ・発見されたき裂への対処と並行して、全橋に対するき裂に着目した詳細調査を実施。その結果、同一構造部位をはじめとする幾つかの溶接部位で同一のき裂を確認。

⇒荷重や施工品質、材質、構造細目など種々の条件が同様な橋では他の部位でも既に疲労き裂が生じているか、今後き裂を生じる可能性は高いと考えるべき。

⇒そのき裂の対処にとどまらず、他の部位に対してもき裂が疑われるような塗膜割れがないかを確認。

適宜、MT等を併用した調査を行うとともに、今後き裂を生じる危険性が高い溶接構造の有無やその状態の確認等の精査も重要。

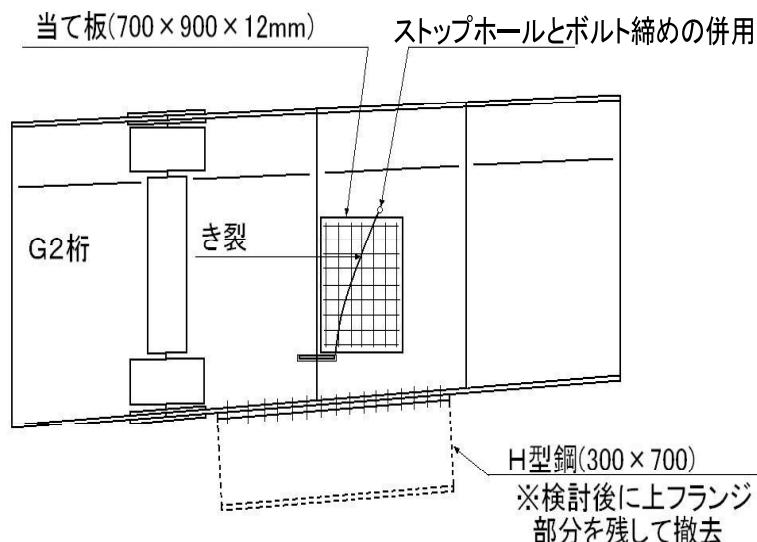
鋼 I 枠橋の主桁の疲労損傷事例

■応急復旧

- ・緊急の仮支柱設置が困難なため、通行止めのみを行い、SH施工と当て板補強、さらに措置中の不測の事故防止のためき裂部を跨ぐように下フランジにH形鋼を設置。
- ・対策後には載荷試験と解析による対策効果の検証。あて板補強によりき裂周辺部の応力が緩和される一方、他の部材や部位に悪影響は生じないことを確認。

⇒発生部位や発生応力の状態によっては、き裂は突然大きく進展する危険性があるため、大きさによらず進展した場合の影響も考慮し応急措置の要否や方法を検討。

⇒応力調整を行わない状態での補強では、き裂の発生で変化した応力状態は改善せず補強部材も施工時は無応力のため、施工後荷重による応力しか分担できない。



鋼 I 枠橋の主桁の疲労損傷事例

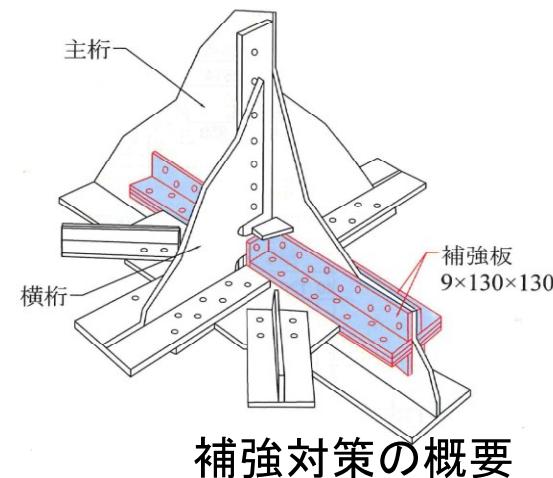
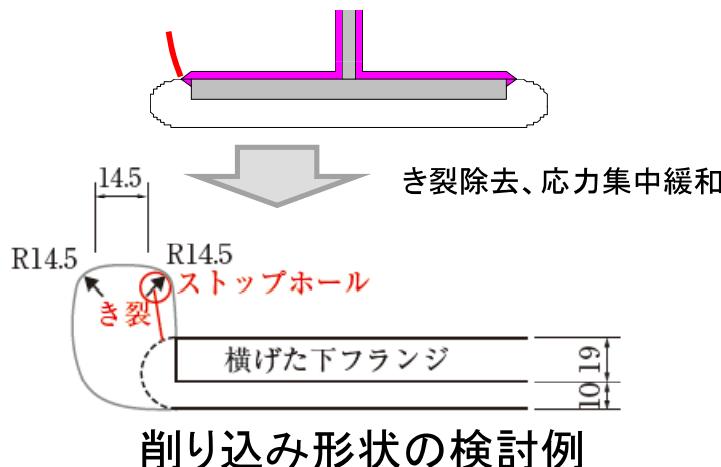
■応急復旧後の対応

- ・同路線上的橋の緊急点検により、他の橋にもき裂が複数確認。

⇒少なくとも同路線で交通条件や建設年次など共通点のある橋では同様に疲労損傷が生じているか、今後発生する危険性が相対的に高いと可能性。

- ・発見されたき裂については、き裂周辺の切削・仕上げ等の対策を検討
- ・応力計測と解析による検討を踏まえ、滑らかな曲面状の形状修正を行い応力集中の低減策を実施。
- ・主げたと横げたの交差部をL型材で連結する補強対策等も既往事例を参考に検討。

⇒発見されたき裂に対してはき裂長さだけで判断せず、慎重に進展性や進展時の影響を評価。進展予測は一般に困難、できるだけ予防的措置を検討



講習内容

1. 疲労とは？
2. 主な損傷部位と対応
3. 非破壊調査技術の活用
4. 損傷・対応事例に学ぶ
 - ・鋼 I 枠橋の主桁のき裂
 - ・鋼床版のき裂
 - ・鋼製橋脚隅角部のき裂

鋼床版の疲労損傷事例

形式: 鋼床版箱桁橋

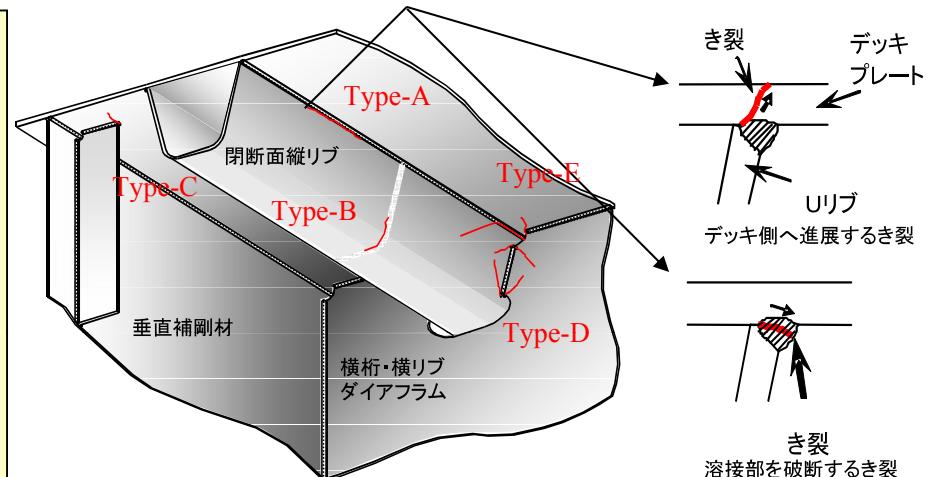
(S55道示、TL20)

橋長: 987m(うち、Uリブ鋼床版構造の区間213m)

竣工: I期線 1983年(供用後21年)

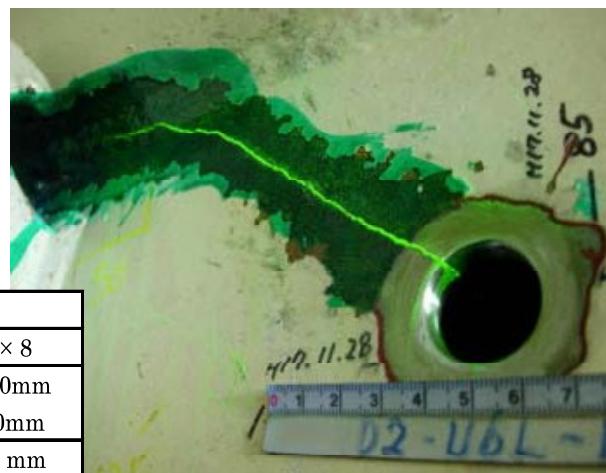
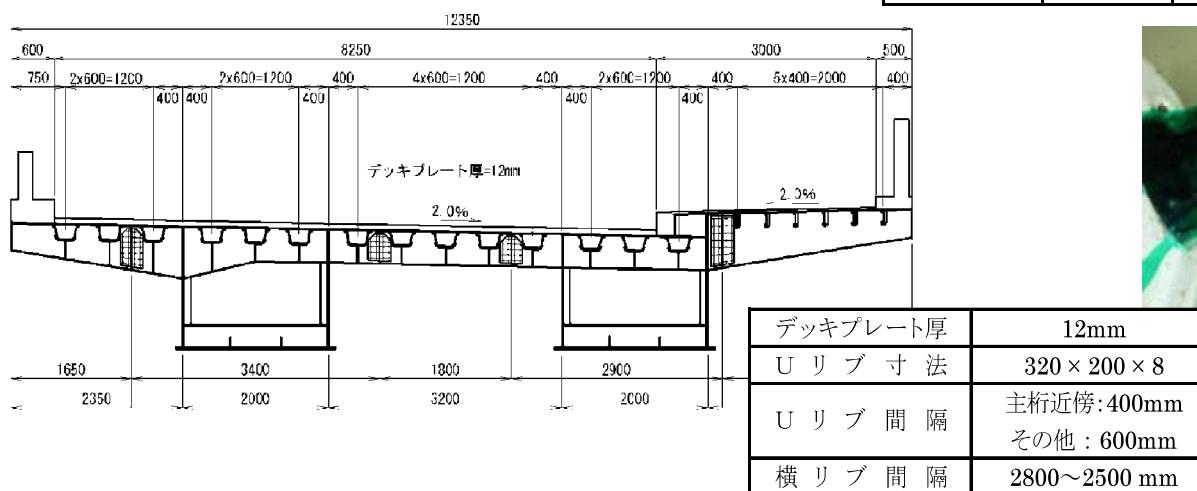
交通量: 約16千台/12hr(2車線)、
大型車混入率約11%

概要: 2005年、2004年の補修塗装工事の際にき裂が発見。直ちに塗装足場を利用して調査を実施したところ、デッキとUリブの溶接部等に多数のき裂を確認。



疲労き裂の種類

き裂タイプ	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	合計
数量	114	5	54	36	6	215



鋼床版の疲労損傷事例

■調査

- ・橋全体の疲労に着目した磁粉探傷試験や溶接状況等を調査。
→全径間の損傷状況(タイプ・程度)を、輪荷重位置との対応がわかるように図示
- ・路面損傷のおそれのあるき裂も懸念されたことから、舗装の変状等が発生箇所については、併せて舗装を除去した上でき裂の有無を調査

■対策

- ・既にき裂が多数発生しており、他の同様の部位から今後き裂が発生する可能性が高いことから、鋼床版全体の応力軽減を図ることが必要と判断。SFRC舗装による補強を試行。



鋼床版上のSFRC舗装の施工事例

鋼床版の疲労損傷事例

■対策(続き)

- ・個々のき裂に対して発生部位や損傷状況に応じて、き裂先端の応力集中の緩和対策及び必要に応じて断面補強対策を実施。

■対策効果の確認

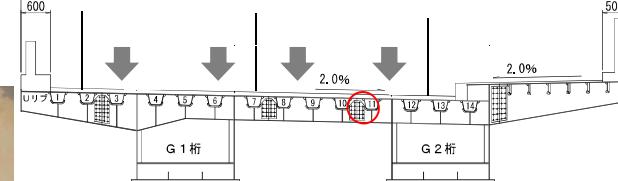
- ・SFRC舗装施工前後に荷重車載荷試験を行い、応力軽減効果を確認。一方、供用後約7ヶ月経過時点の調査で、主桁に沿って舗装表面のひびわれが確認。
- ・ひび割れ発生部と一般部で耐久性に差が生じるかどうか注視が必要。特にひび割れからの水の浸入によるSFRCの劣化やデッキの腐食に至るかどうか等データがなく、施工後の経過観察を定期的に行うことが重要。



短いき裂の場合にはき裂先端の除去・応力集中緩和



長いき裂の場合には左記に加えて当て板補強



主桁ウェブ上でのひび割れ

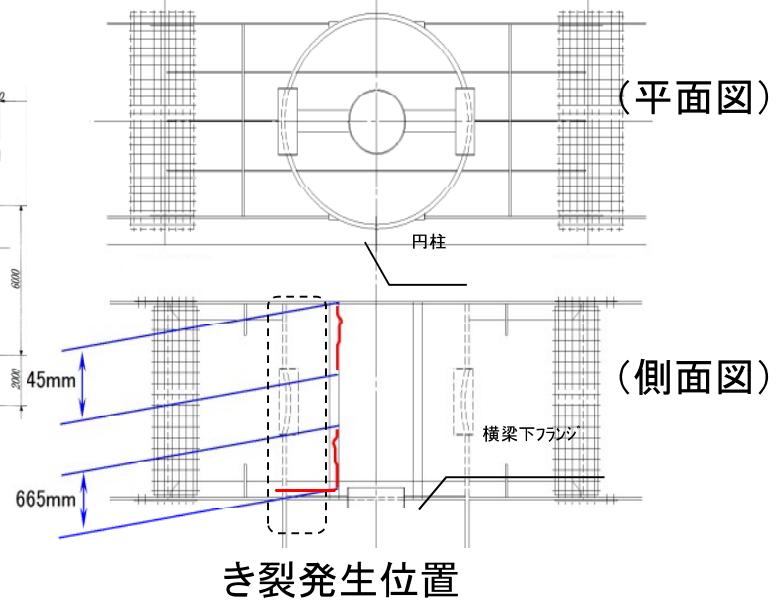
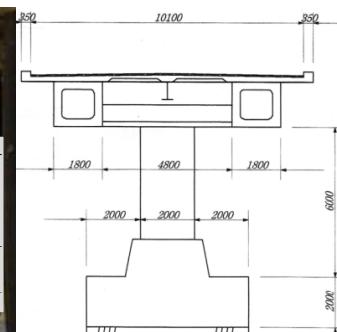
講習内容

1. 疲労とは？
2. 主な損傷部位と対応
3. 非破壊調査技術の活用
4. 損傷・対応事例に学ぶ
 - ・鋼 I 构橋の主桁のき裂
 - ・鋼床版のき裂
 - ・鋼製橋脚隅角部のき裂

鋼製橋脚隅角部の疲労損傷事例

平成14年に都市高速道路で鋼製橋脚の柱と梁の交差部(隅角部)で重大なき裂損傷が発見され、隅角部を有する鋼製橋脚で緊急点検を実施。

形式:T型ラーメン橋脚(3径間連続曲線箱桁橋)
(S39道示、TL20)
橋長:33m+44m+33m
竣工:1967年(供用後25年)
交通量:約7万台/日 大型車混入率約11%
概要:2002年、隅角部の臨時点検により、直径約3mの円柱型中間橋脚で、横梁と柱の接合部の複数箇所で縦方向に最大845mmの大規模なき裂を発見。



鋼製橋脚隅角部の疲労損傷事例

■緊急措置

- ・発見直後は隅角部の構造詳細や発見された以外のき裂の有無が不明。
梁部崩壊の危険性も完全には否定できず、直ちに仮支柱を設置して安全を確保する
一方、他橋脚も含め緊急調査を実施

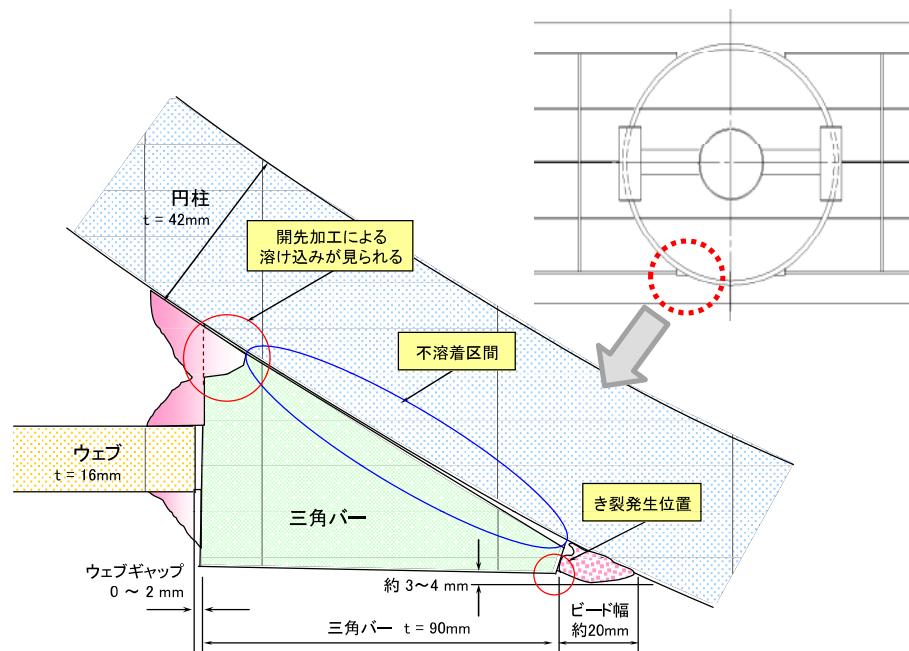
■調査

- ・図面や外観では梁と柱の接合構造が特定できず、仮支柱で梁を完全に支持できることを確認した上で小径のコア抜きを行って構造の確認を実施
柱と梁ウェブが三角形の連絡部材を介して間接的に接合される特殊構造であることを確認

⇒板組の異なる各種の接合構造が存在。

緊急性の判断や補修・補強工法の検討にあたっては十分な調査により、接合構造の詳細(板組や溶接方法)を明らかにすることが必要。

⇒不用意な切削や削孔はき裂の急速な進展につながる可能性もあり、設計図書の確認、超音波探傷等の非破壊検査を段階的に慎重に進めるとともに、緊急的な措置も必要に応じて実施



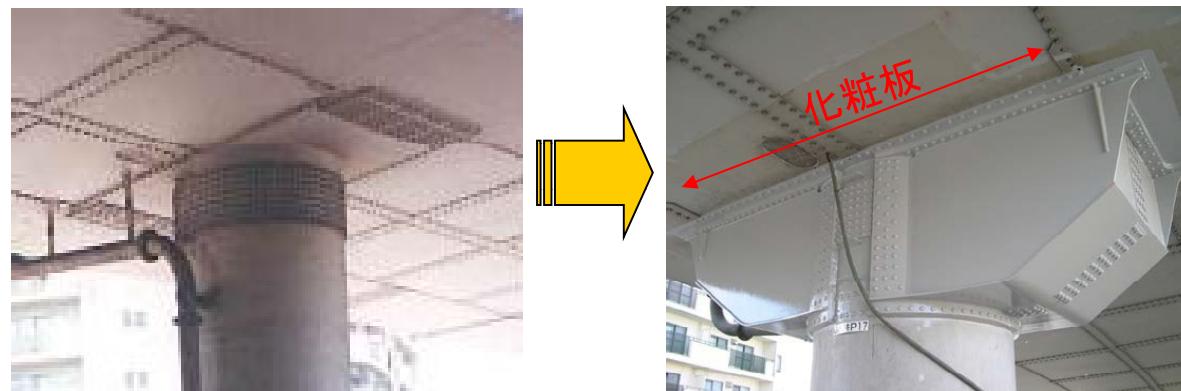
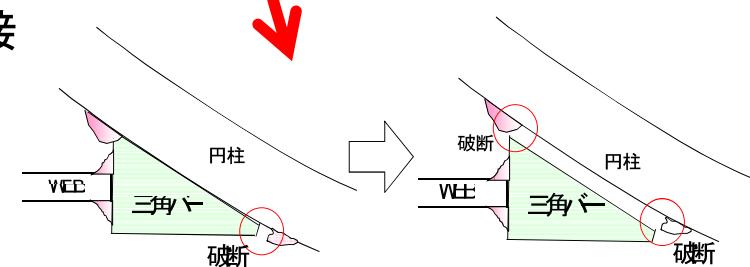
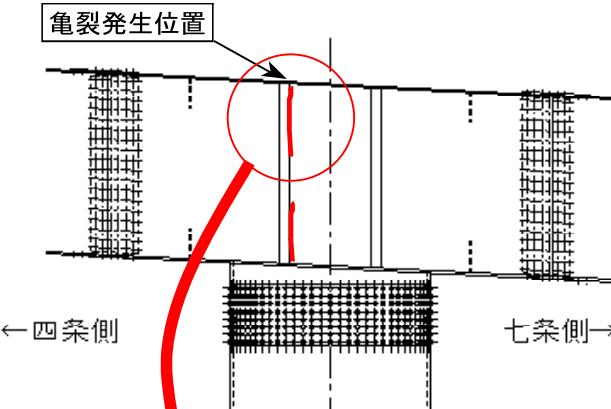
三角バー周辺の断面図(梁と柱の接合部詳細)

鋼製橋脚隅角部の疲労損傷事例

■対策

- ・荷重車走行試験で橋脚の応力特性を確認し、その結果を踏まえ解析モデルを構築し、補強設計等に使用。
- ・梁ウェブでき裂が大きく進展したり、梁下フランジと柱の溶接部が破断しても、落橋等の事態は確実に防止できるよう、梁全体を補強ブラケットで下から支持。
 - ・き裂を生じた梁ウェブと柱の溶接は信頼性が低いが、き裂除去や進展防止策が困難
 - ・曲線で溶接品質が懸念される円柱と梁下フランジ接合部に比較的大きな曲げを確認

⇒将来の起こりえる事象を想定しながら耐荷力を評価



鋼製橋脚隅角部の疲労損傷事例

■対策(続き)

- ・梁の上フランジにはき裂は確認されていないが、引張応力が卓越し、き裂が生じると大きく進展して危険な状態となる可能性に配慮。開口部周辺は、FEM解析でその大きさや形状は応力集中が緩和されるよう配慮。

■経過観察

- ・対策後の計測により補強ブラケットとスカラップ施工の効果を確認。
- ・ただし、完全にはき裂除去ができておらず、対策後も目視のみならず磁粉探傷、超音波探傷も併用した経過観察を実施



横梁ウェブ上端のスカラップ施工

損傷対応時の留意点

1. 疲労については、不確実性が多い事象であることを認識
 - ・き裂の発生部位は、既存事例以外も常に想定。
 - ・評価、対策検討では、き裂の進展時の致命的損傷の回避が最重要。
2. 判断に必要な情報、情報を得るための手段を考える。
3. 調査、対策の方法は、考えられる複数案を提示し、比較検討を行う。
 - ・定性的な評価にとどまらず、経済性や工学的合理性の評価結果を示す
 - ・要求性能との関係から、合理性・優位性を示す
4. 判断に必要な情報取得が、安全性、コスト、技術面等から困難な場合には、不確実な事項は安全側の配慮により対策検討を行う。
5. 対策検討では、顕在化している損傷の対策だけでなく、橋梁形式、供用条件等を踏まえ、将来起こりえる事態を想定し、安全側となるような配慮をする。