# 鋼橋の点検・調査

村越　潤
土木研究所

# 鋼橋の点検･調査

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

- 橋梁点検の概要
- 維持管理の現況
- 主な損傷事例と対応上の留意点
  - 鋼橋の損傷事例と課題
  - 鋼部材の腐食
  - 鋼部材の疲労
  - RC床版の損傷

# 橋梁点検の概要

# 標準的な点検の体系

■通常点検
・日常の巡回（道路パトロールカー内から目視を主体に実施）

■定期点検
・定期の損傷把握（近接目視を基本とし、目的に応じて点検機械・器具を使用）

〇詳細調査
・損傷原因・程度のより詳細な把握

〇追跡調査
・損傷の進行状況の把握

■中間点検
・定期点検を補う（中間年）

■特定点検
・塩害等の特定事象を対象
*「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）」（平成16年3月）*

■異常時点検
・地震、台風等の災害時、予期されなかった異常の発生時
*「鉄製橋脚隅角部の疲労損傷臨時点検要領」（平成14年5月）*
*「PCT桁橋の間詰めコンクリート点検要領（案）」（平成15年1月）*

# 橋梁定期点検の概要

直轄国道の橋梁点検は、「橋梁定期点検要領（案）」（平成16年3月）に基づき実施

## ■ 点検頻度

供用2年以内に初回点検を実施。2回目以降は、原則5年以内に実施

## ■ 点検項目及び方法

・近接目視を主に、必要に応じて簡易な点検機械・器具（非破壊検査機器を含む）を用いて行うことを基本

・損傷の種類として26項目を対象。

鋼　　：腐食，き裂，ゆるみ，脱落，破断等
コンクリート：ひびわれ，剥離，鉄筋露出，床版ひびわれ等
共通　　：異常な音・振動、異常なたわみ、土砂詰り、沈下等

## ■ 点検体制

橋梁に関して十分な知識と実務経験を有する者が実施

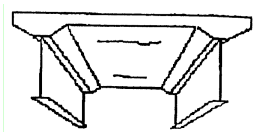
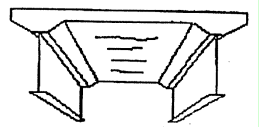
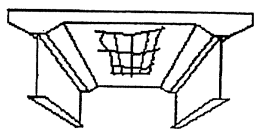
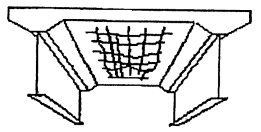
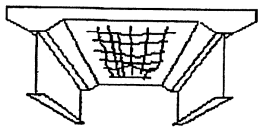
# 損傷程度の評価区分の例

## 腐食

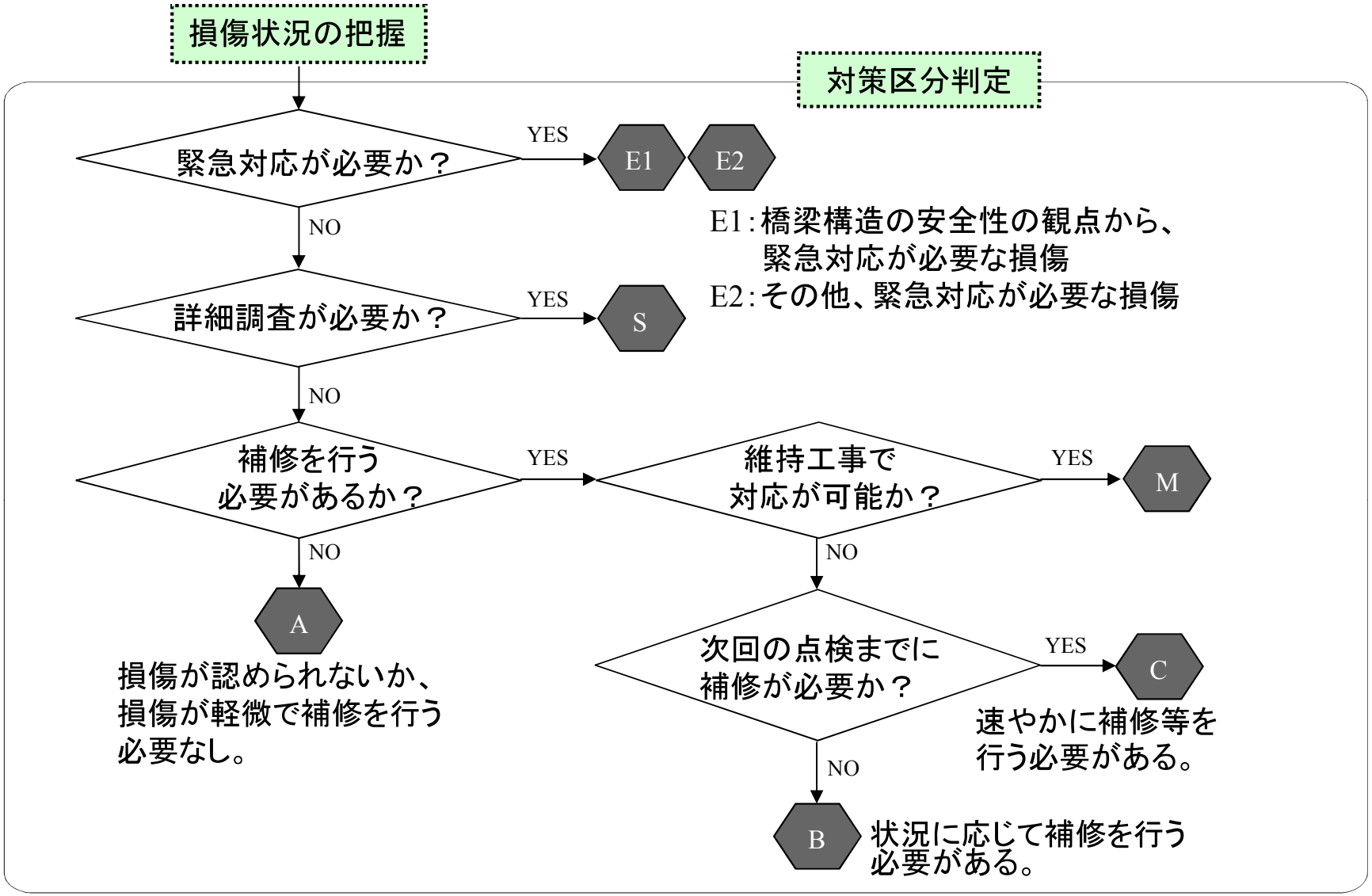
| 区分 | 一般的状況 | |
|---|---|---|
| | 損傷の深さ | 損傷の面積 |
| a | 損傷なし | |
| b | 小 | 小 |
| c | 小 | 大 |
| d | 大 | 小 |
| e | 大 | 大 |

※橋梁定期点検要領（案） 付録-1「損傷評価基準」より

## 床版ひびわれ

| 区分 | ひびわれ幅<br>に着目した程度 | ひび割れ間隔<br>に着目した程度 |
|---|---|---|
| a | 〔ひびわれ間隔と性状〕<br>ひびわれは主として1方向のみで、最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上<br>〔ひびわれ幅〕<br>最大ひびわれ幅が0.05 mm以下(ﾍｱｰｸﾗｯｸ程度) |  |
| b | 〔ひびわれ間隔と性状〕<br>1.0m～0.5m、1方向が主で直交方向は従、かつ格子状でない<br>〔ひびわれ幅〕<br>0.1mm以下が主であるが、一部に0.1mm以上も存在する |  |
| c | 〔ひびわれ間隔と性状〕<br>0.5m程度、格子状直前のもの<br>〔ひびわれ幅〕<br>0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する |  |
| d | 〔ひびわれ間隔と性状〕<br>0.5m～0.2m、格子状に発生<br>〔ひびわれ幅〕<br>0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる |  |
| e | 〔ひびわれ間隔と性状〕<br>0.2m以下、格子状に発生<br>〔ひびわれ幅〕<br>0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている |  |

# 対策区分の判定




※ 橋梁点検要領（案） 付録-2「対策区分判定要領」より

# 損傷程度の評価と対策区分の判定の概要

## ■ 損傷程度の評価

「損傷評価基準」に基づき、要素毎、損傷種類毎に5区分 （a，b，c，d，e）で評価

## ■ 対策区分の判定

「対策区分判定要領」を参考にしながら、部材、損傷種類毎の対策区分について7区分により判定を行い、損傷の状況、原因、進行可能性、区分判定の理由等の必要な所見を記録

＜判定に際して必要な情報＞

【構造に関わる事項】

・構造形式、規模、構造の特徴

【設計・製作・施工の各条件に関わる事項】

・設計年次、適用示方書、架設年次

・使用材料の特性

【使用条件に関わる事項】

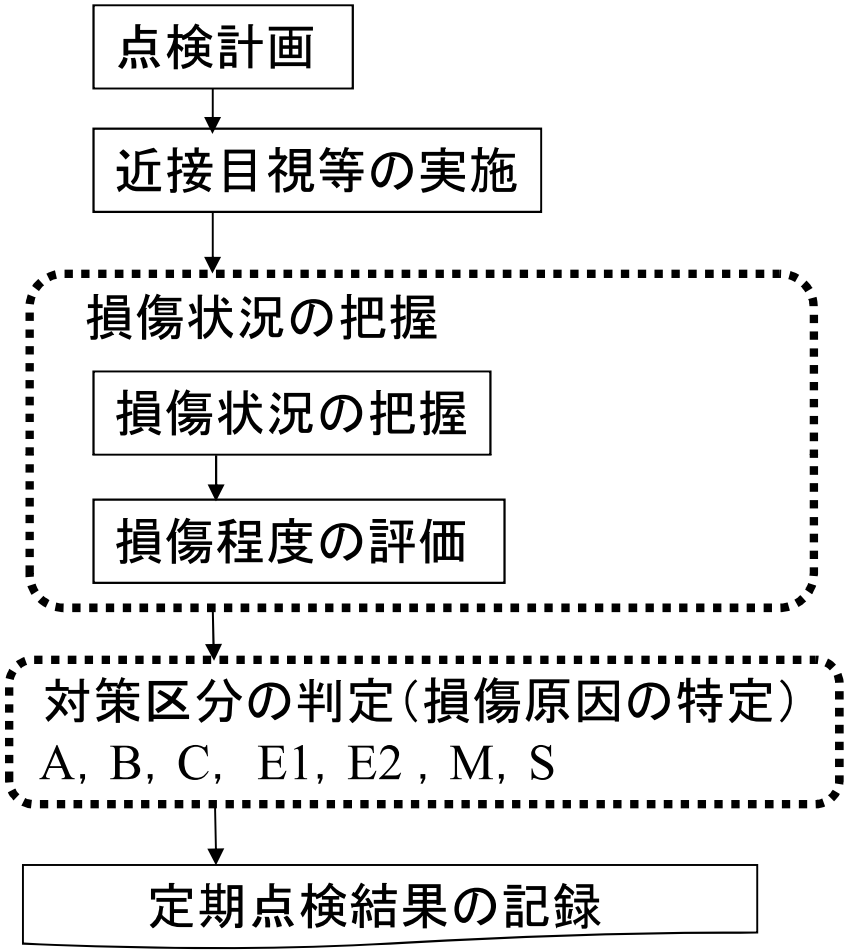
・交通量、大型車混入率　・橋梁の周辺環境・架橋条件

・維持管理の状況（凍結防止剤の散布など）

【各種の履歴に関わる事項】

・橋梁の災害履歴、補修・補強履歴

定期点検の概略のフロー



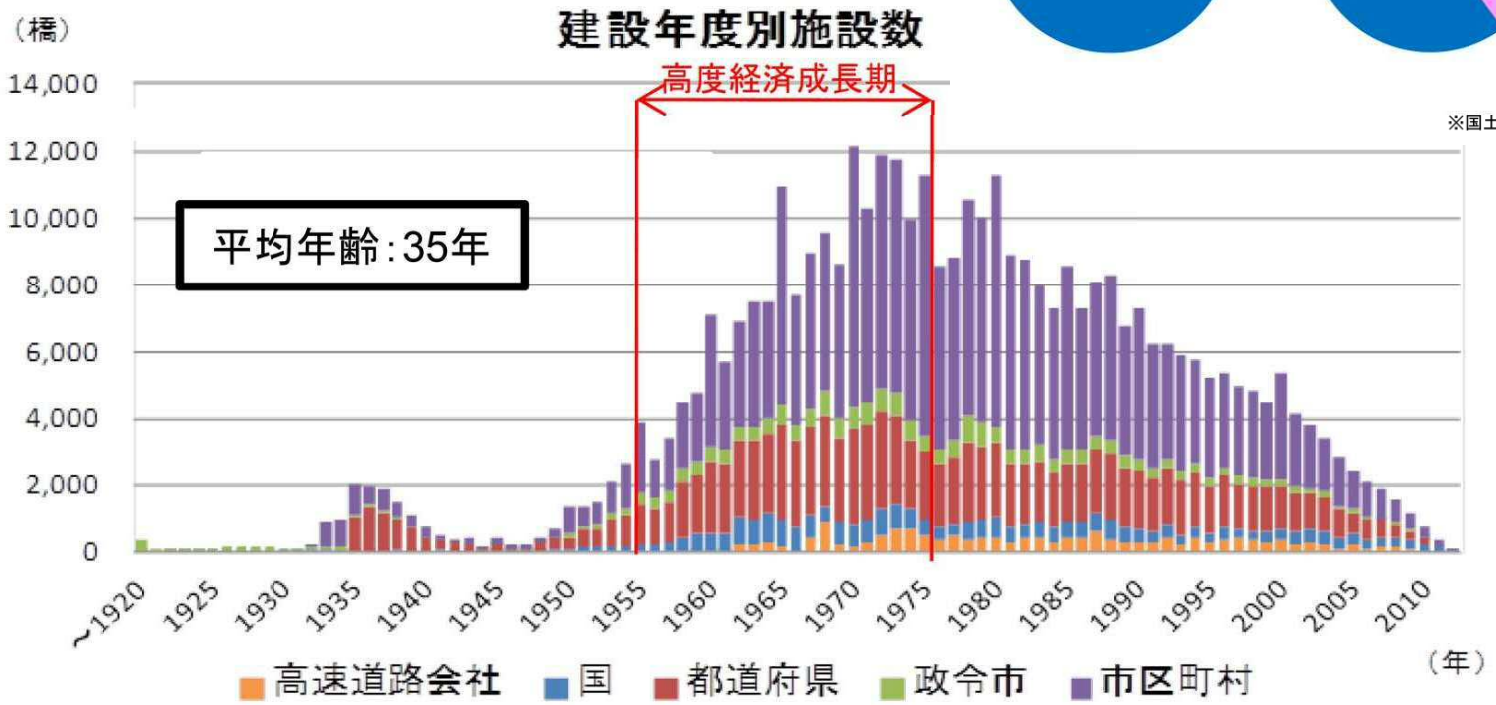
# 維持管理の現況

# 道路橋ストックの高齢化

○ 高度経済成長期を中心に大量に建設された道路橋が一斉に高齢化
⇒建設後50年を超えた橋梁（2m以上で約70万橋）の割合は急速に増加




※国土交通省調べ（平成24年4月1日現在）　建設年度不明橋梁を除く

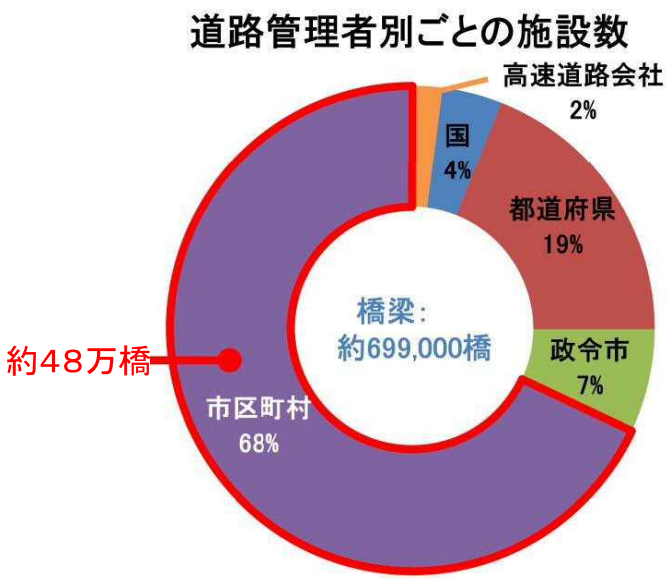


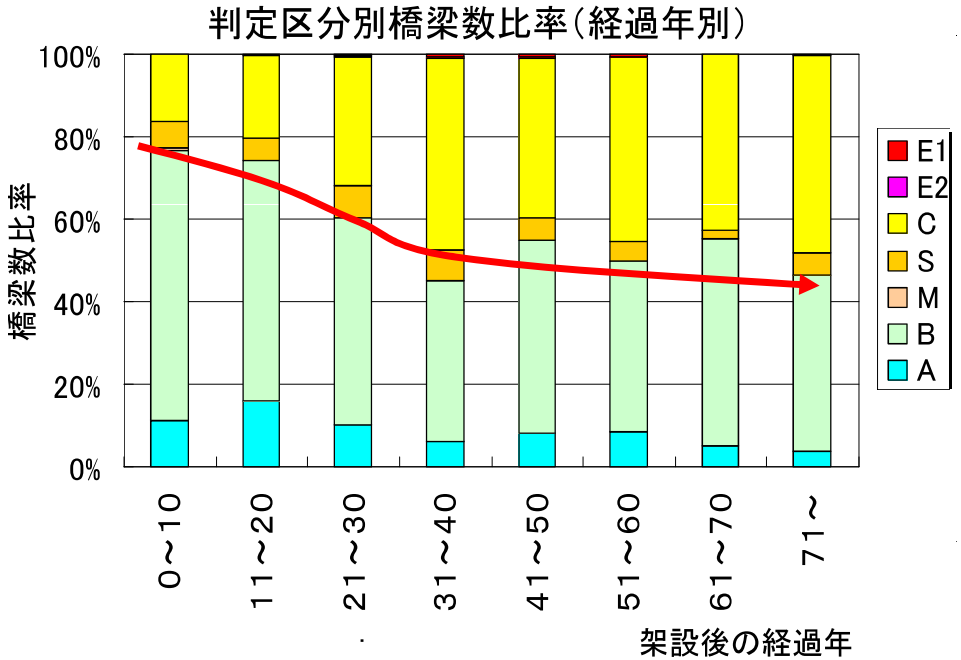

注）この他、古い橋梁など記録が確認できない建設年度不明橋梁が約30.1万橋ある

出典：国土交通省資料

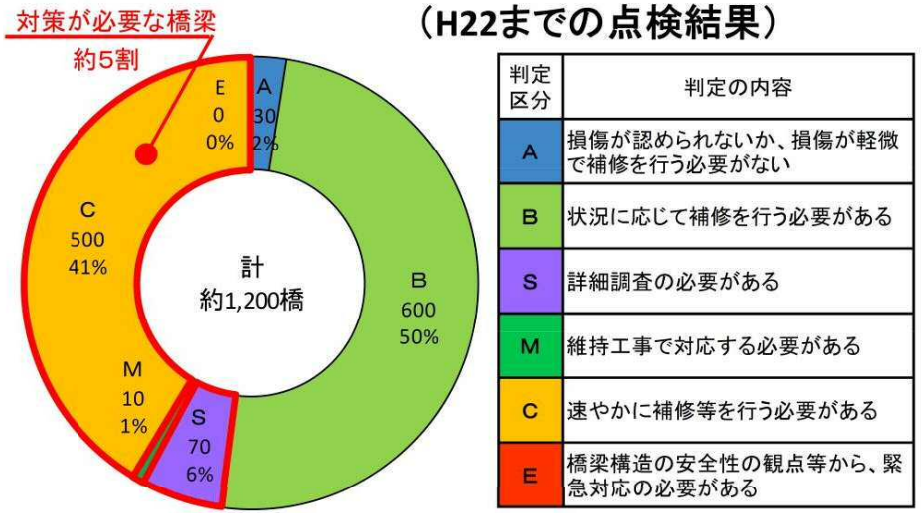
# 急速な高齢化と劣化損傷の増加

○高齢化に伴い対策を必要とする橋梁の比率が増加
- 崩落事故等に至るおそれのある重大な損傷発生の懸念
- 損傷や耐荷力不足に伴う通行規制による社会的損失の発生
- 大規模な補修補強や架替の発生




出典：国総研資料 第488号




■ H20 1巡目点検は、全て実施（全体約27、000橋）
■ 60年以上経過した橋梁では約5割で対策が必要

出典：国土交通省資料

# 道路橋管理の課題と取組み

## 道路橋保全の現状

✓見ない
- 市町村道の約9割が未点検
- 画一的で不十分な対応
- 損傷を見ていない危険



✓見過ごし
- 点検していたのに道路橋で鋼主部材破断
- 技術力・情報伝達不足で損傷を見過ごしている危険



✓先送り
- 点検先進国・米国で高速道路橋が崩落
- 補修補強が遅れがちとなる危険

放置すると

## 重大事故につながる危険な橋の増大

・崩落事故等に至るような重大な損傷 → 人命の危険
・損傷や耐荷力不足による通行規制 → 社会的損失
・大規模な補修や架替えの発生 → 膨大な費用

早急な対応が必要

## 早期発見・早期対策の予防保全システム

［目的］
・国民の安全安心の確保
・ネットワークの信頼性の確保
・ライフサイクルコストの最小化
・構造物の長寿命化

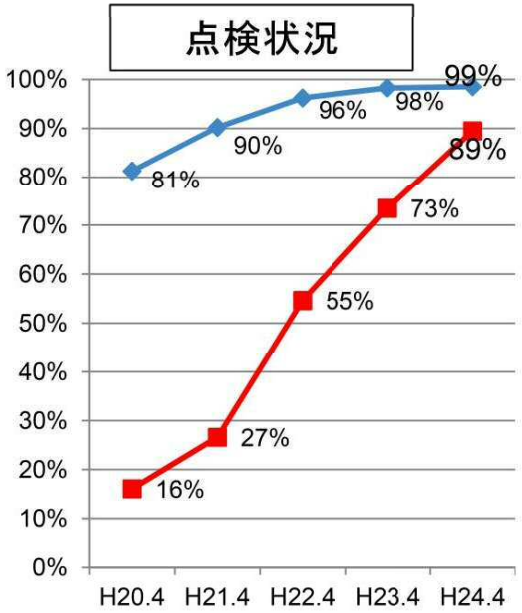
### 5つの方策

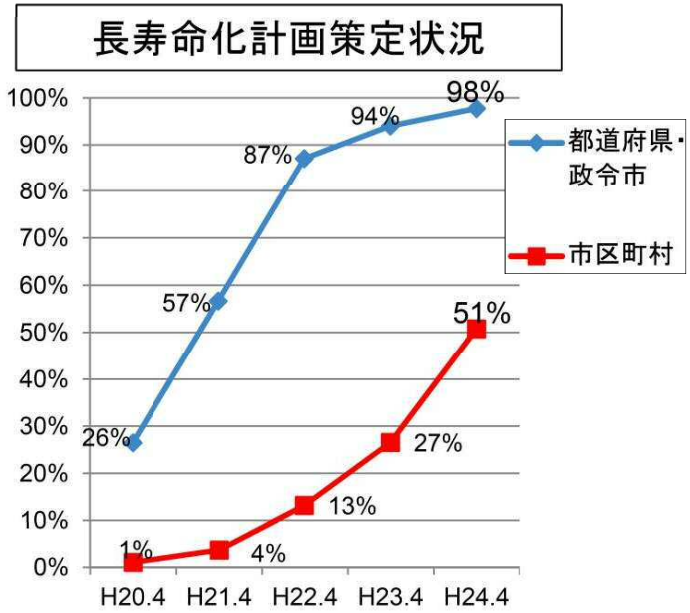
1. 点検の制度化
2. 点検及び診断の信頼性確保
3. 技術開発の推進
4. 技術拠点の整備
5. データベースの構築と活用

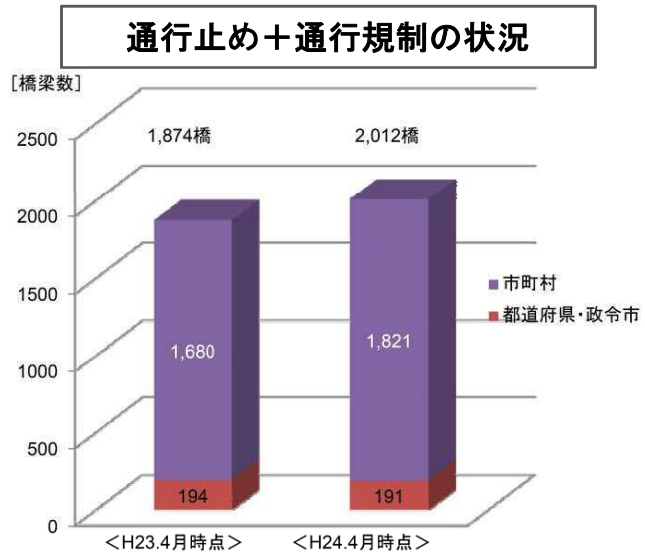
出典：道路橋の予防保全に向けた提言（H20.5.16）

# 道路橋管理の状況

H20当時　【見ない】　【見過ごし】　【先送り】



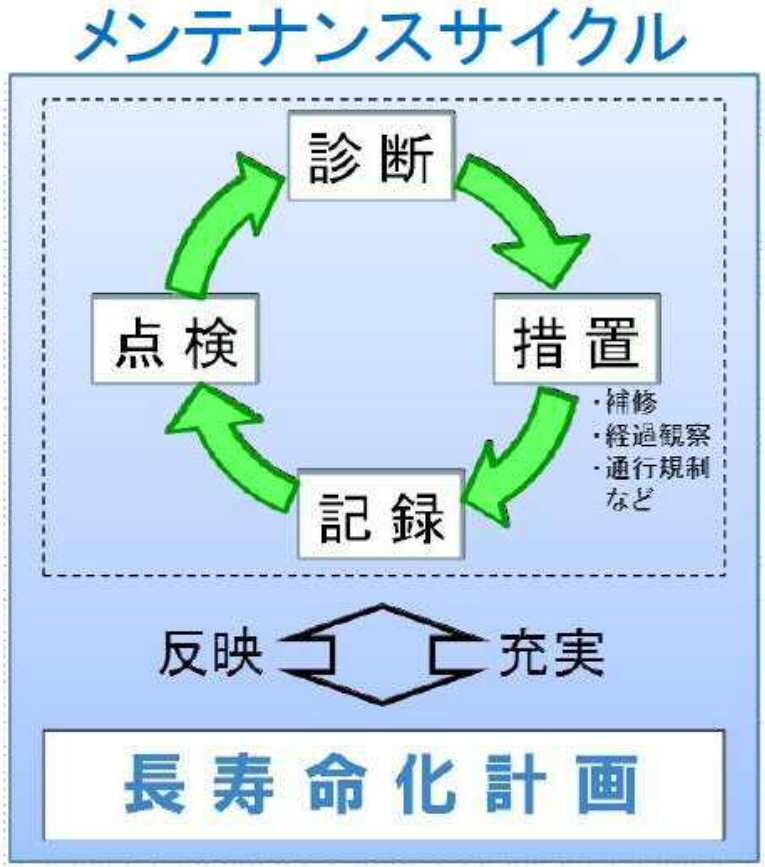




出典：国土交通省資料

# 道路メンテナンスサイクルの構築に向けて

「道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて」より
（平成25年6月 社会資本整備審議会　道路分科会　道路メンテナンス技術小委員会　中間とりまとめ）

○ 維持管理の業務サイクルを通じて、長寿命化計画等の内容を充実し、予防保全を効率的、効果的に進めるべき。
○PDCAの考え方に基づき運用状況を評価・改善すべき
（メンテナンスサイクルのスパイラルアップ）




《点検、診断等をサポートする技術開発》
<u>点検等の信頼性向上、負担軽減</u>

- 非破壊試験技術等の開発・現存技術の掘り起し
- 構造物の劣化傾向把握・予測、長期的耐久性の研究
- 点検・調査結果の効率的な整理・保存
- 変状等のモニタリング技術の開発
- 補修材料や補修補強技術の開発

# 鋼橋の主な損傷事例と対応上の留意点

# 鋼橋の損傷事例と課題

# 鋼橋の損傷事例と課題

○鋼橋の主な劣化損傷は、腐食と疲労
- 急速な高齢化に伴い、劣化損傷の著しい事例の増加
- 目視点検だけでは診断困難な損傷事例の増加
- 構造形式・発生部位により影響度も対処法も異なる。

点検、診断、対策の技術開発が必要な事例

（1）橋全体系の致命的損傷に至るおそれのある重大損傷
- トラス主構の腐食による耐荷力低下
- 桁橋の主桁の疲労による部分破断
- 吊橋等のケーブル定着部の腐食等による破断

（2）損傷原因、対応方法の知見の充実が必要
- 鋼部材の疲労全般

（第三者被害）
- 鋼床版のデッキ進展き裂
- RC床版の疲労以外の要因も含めた複合的な劣化損傷

（3）現場条件に応じた対策技術の充実、標準化が必要な事例
（各種制約条件下での信頼性の高い、合理的な対策）
- 桁端部の腐食による耐荷力低下　等

# 構造形式・条件の違いと部材性能喪失時の影響

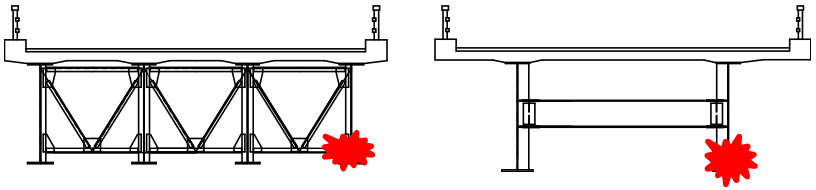
《補完性または代替性の確保への配慮》

・着目する一部の部材が破壊しても、他の同様な機能を有する部材への応力再配分などで、その機能が補われ、致命的な状態には至らないような構造

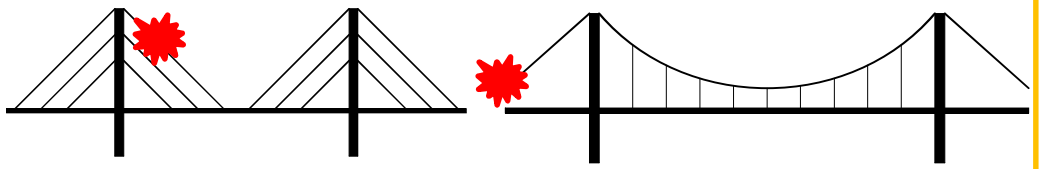
・部材の機能喪失によって耐荷機構や構造特性が当初とは異なるものとなったとしても、橋全体としては致命的な状態が回避されるような構造

※橋の構造安全性への影響度は、損傷の部位、程度、橋全体系の構造条件により異なる。

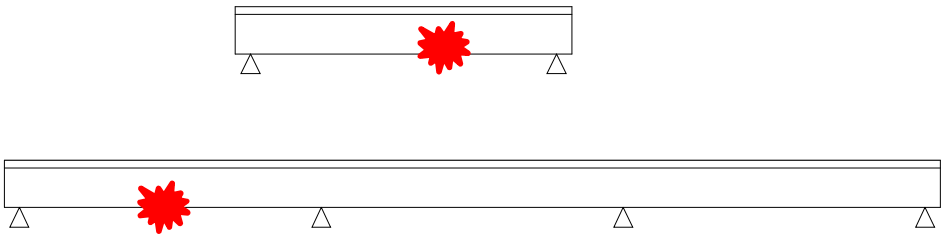
多主桁と少数主桁



斜張橋と吊橋



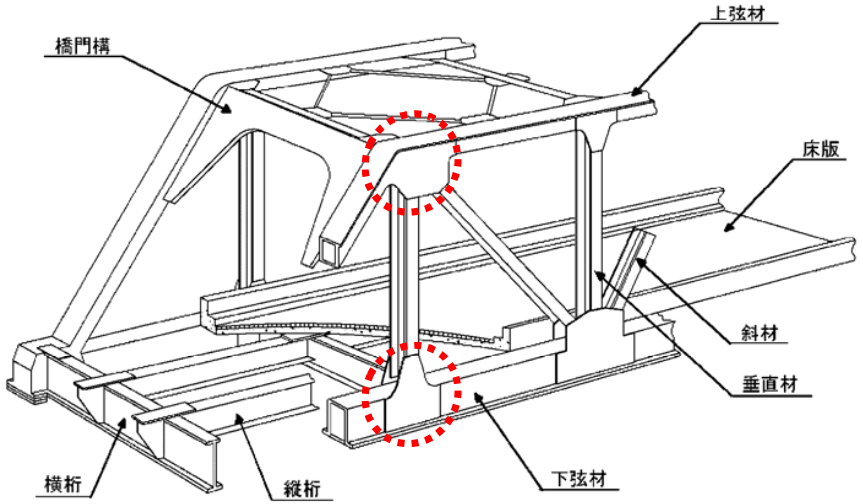
単純桁と連続桁

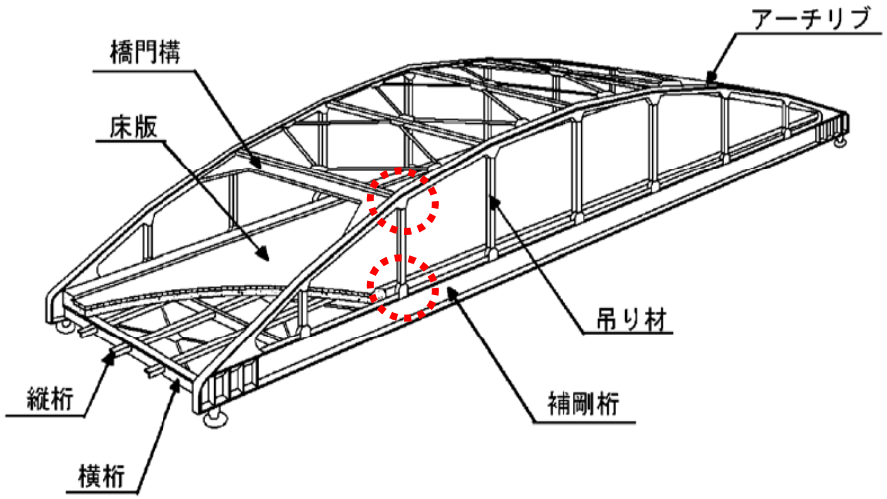


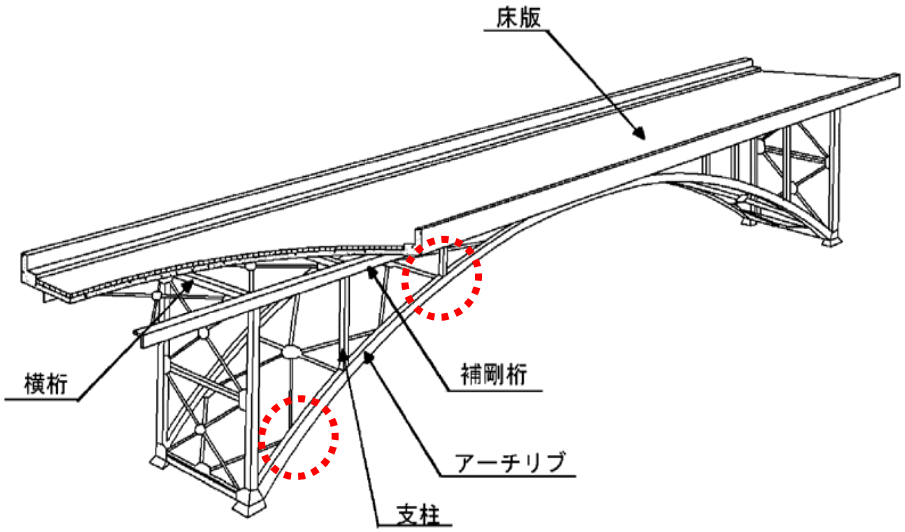
# 構造形式・条件の違いと部材性能喪失時の影響

## 鋼トラス橋，アーチ橋

トラス，アーチ橋の主構部材の破壊は
橋全体の崩壊につながる可能性がある。



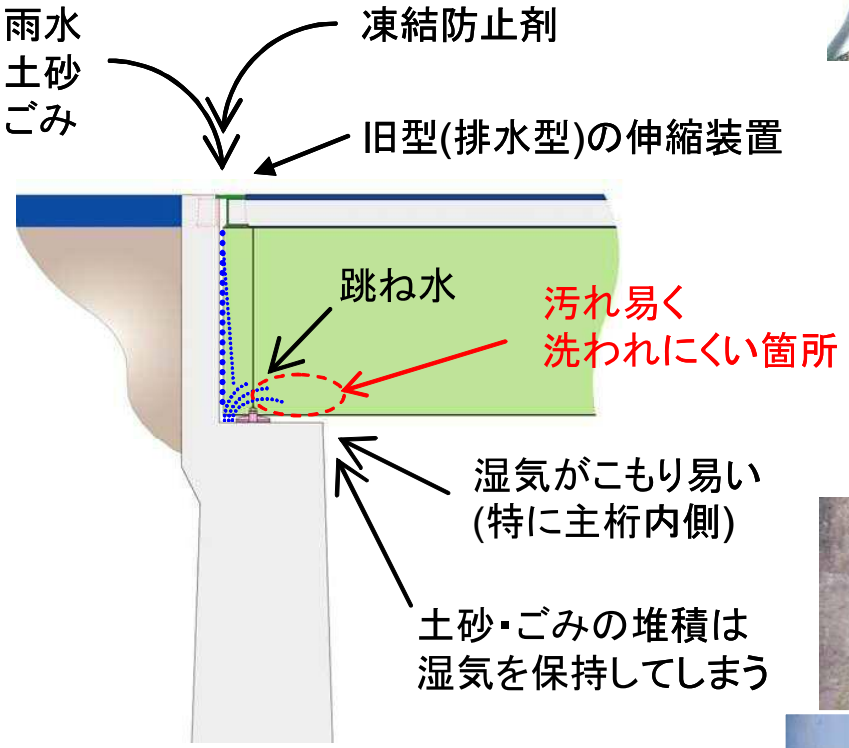
# 鋼部材の腐食

# 桁端部の腐食環境



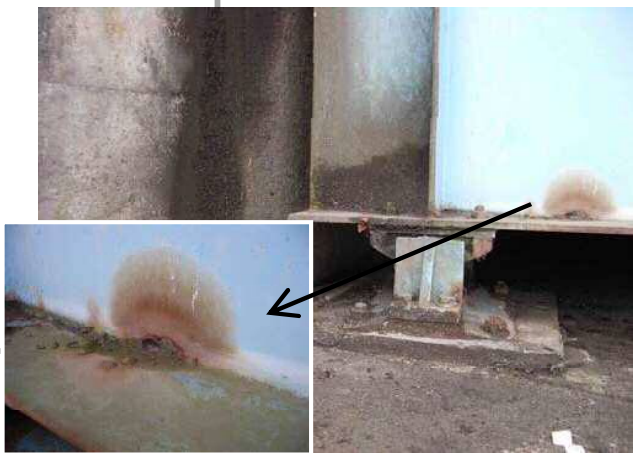

・路面からの雨水の漏水
・風通しが悪く、湿気のこもりやすい
・支承機能の低下、疲労要因に
・地震時の損傷要因に









# Ⅰ 桁橋の桁端部の地震による損傷

形式：7径間ゲルバー鈑桁
（4主桁、鋼製支承）（14年道示）
橋長：189.7m
竣工：1954年　（供用後50年）
概要：2004年10月23日、新潟県中越地震において、腐食欠損の生じていた桁端部が破断、路面に段差発生。

下フランジ、ウェブの破断状況

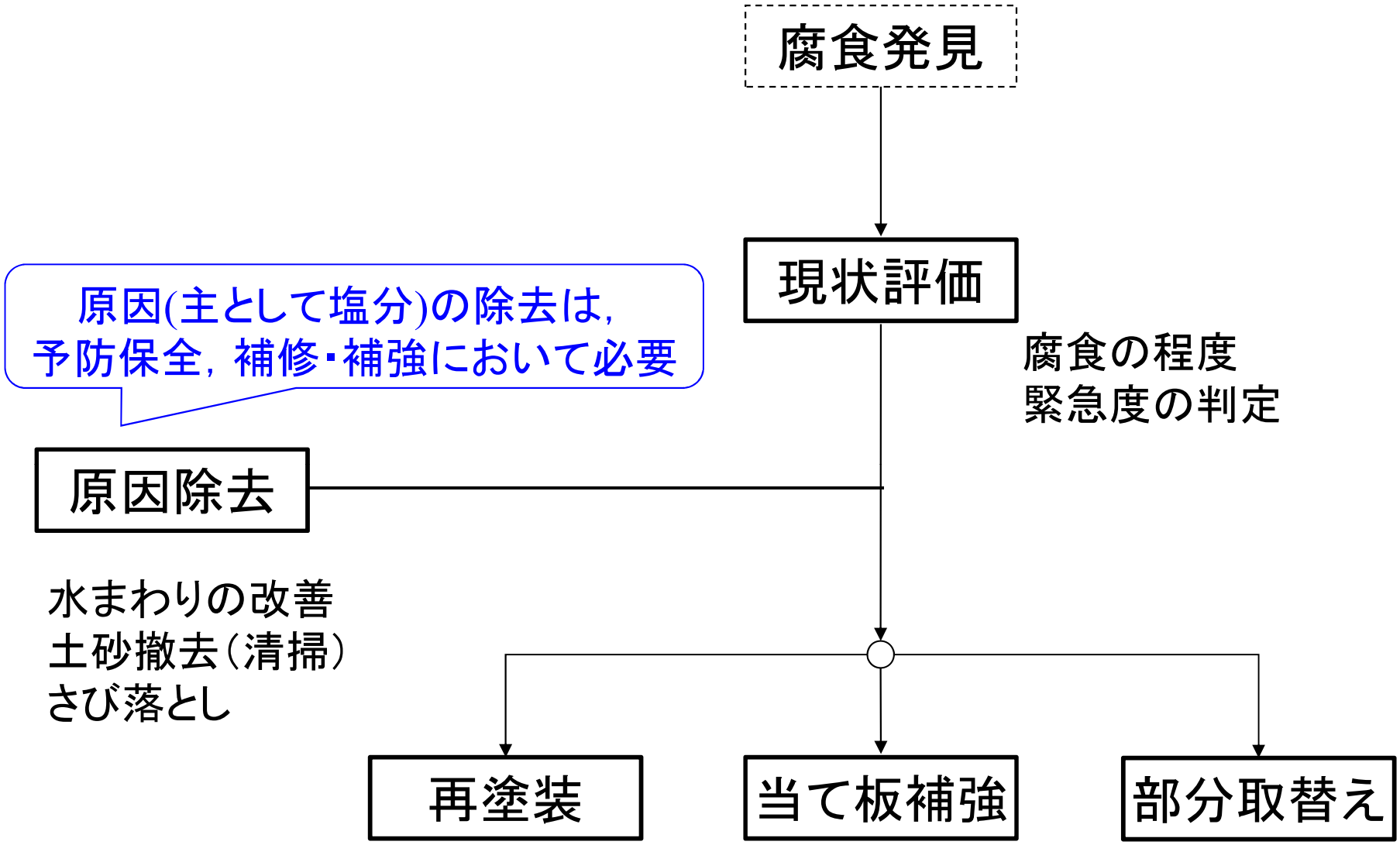


ジョイント部の段差の状況



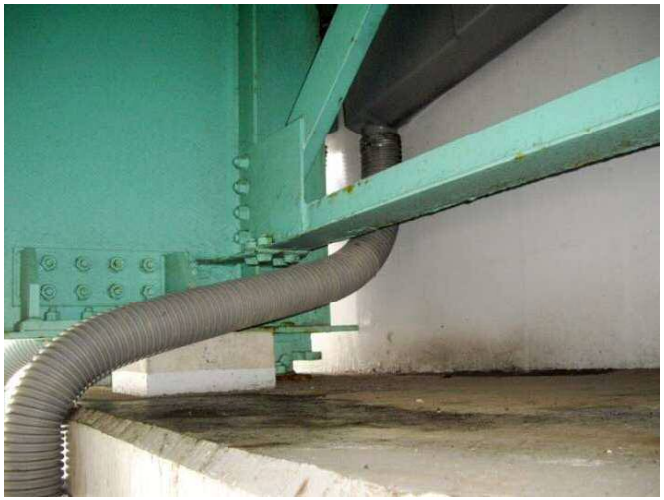
路肩部で
50 mm程度

# 橋桁端部の腐食対策


腐食発見
現状評価
腐食の程度
緊急度の判定
原因(主として塩分)の除去は，
予防保全，補修・補強において必要
原因除去
水まわりの改善
土砂撤去（清掃）
さび落とし
再塗装
当て板補強
部分取替え

# 桁端部の環境改善の試行例

非排水装置を設置する前の
対策例









# トラス橋の主構部材の腐食

形式：12径間単純鋼トラス橋
橋長：858m（支間長71m）　幅員：11.8m
竣工：1963年　（供用後44年）
交通量：約5万台／日
概要：2007年６月、点検中に発見。仮受けベントを３基設置し当て板補強、115日間の通行規制（１車線規制）。斜材のコンクリート埋込み部に、雨水が浸入し、境界部に著しい腐食欠損が発生、破断。






**《トラス、アーチ橋の緊急点検》**
トラス橋、アーチ橋の腐食や疲労損傷が相次いで発見











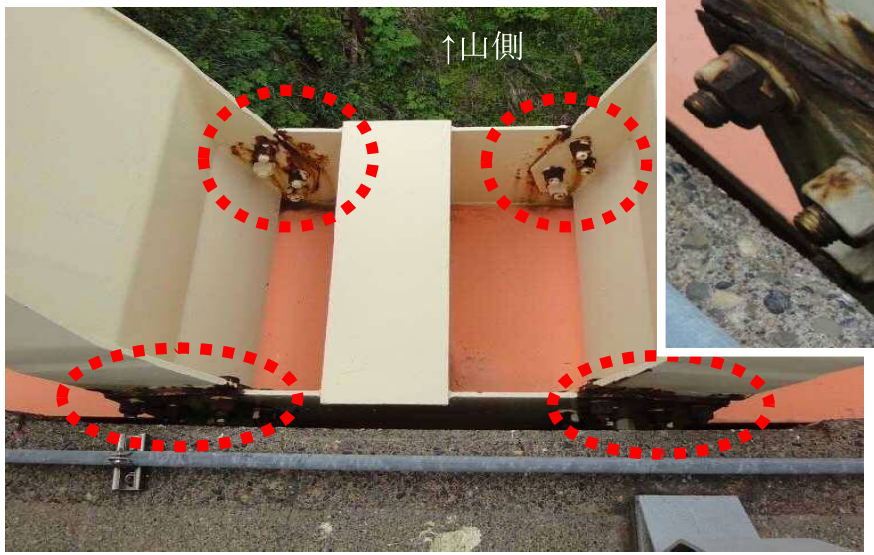






出典：国土交通省資料

# トラス等格点部の腐食







地覆側の腐食が進行

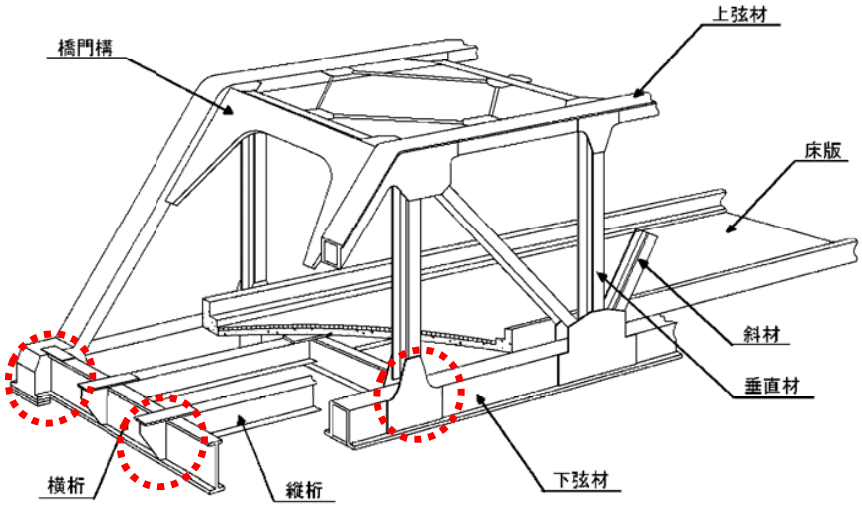


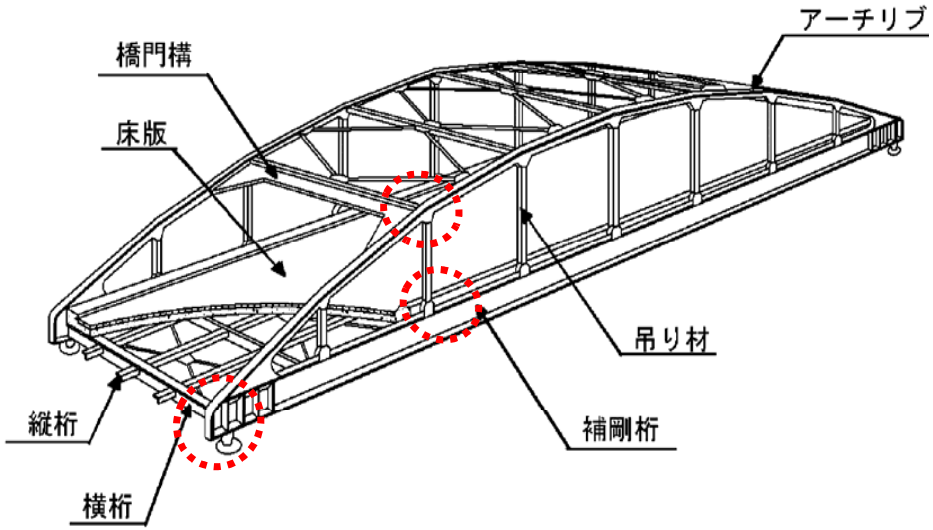


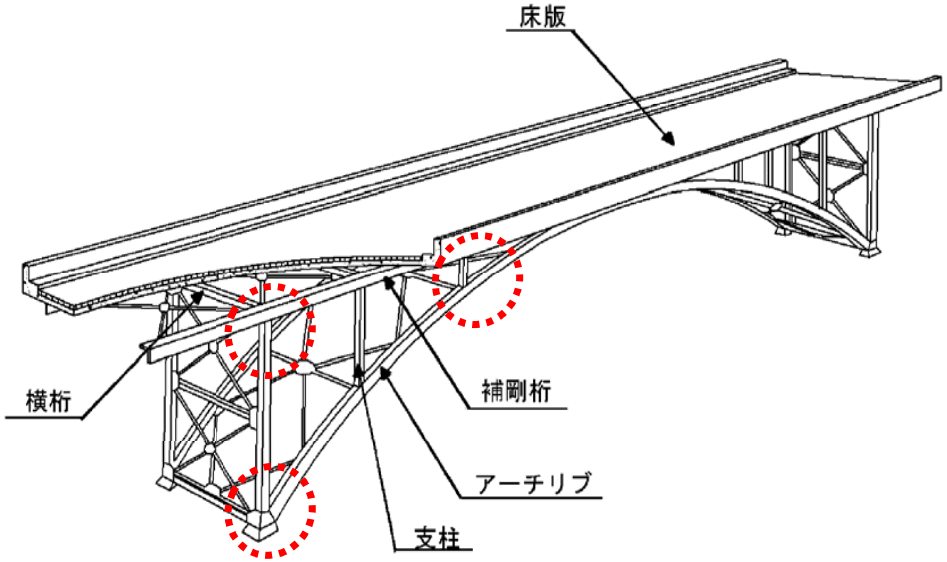

# トラス、アーチの主な損傷部位

吊材もしくは斜材の主構との格点部付近では、腐食と疲労に注意

- ジョイントからの漏水や土砂、雨水の堆積等により、腐食の観点で厳しい条件となる場合
- 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、疲労の観点で厳しい条件となる場合



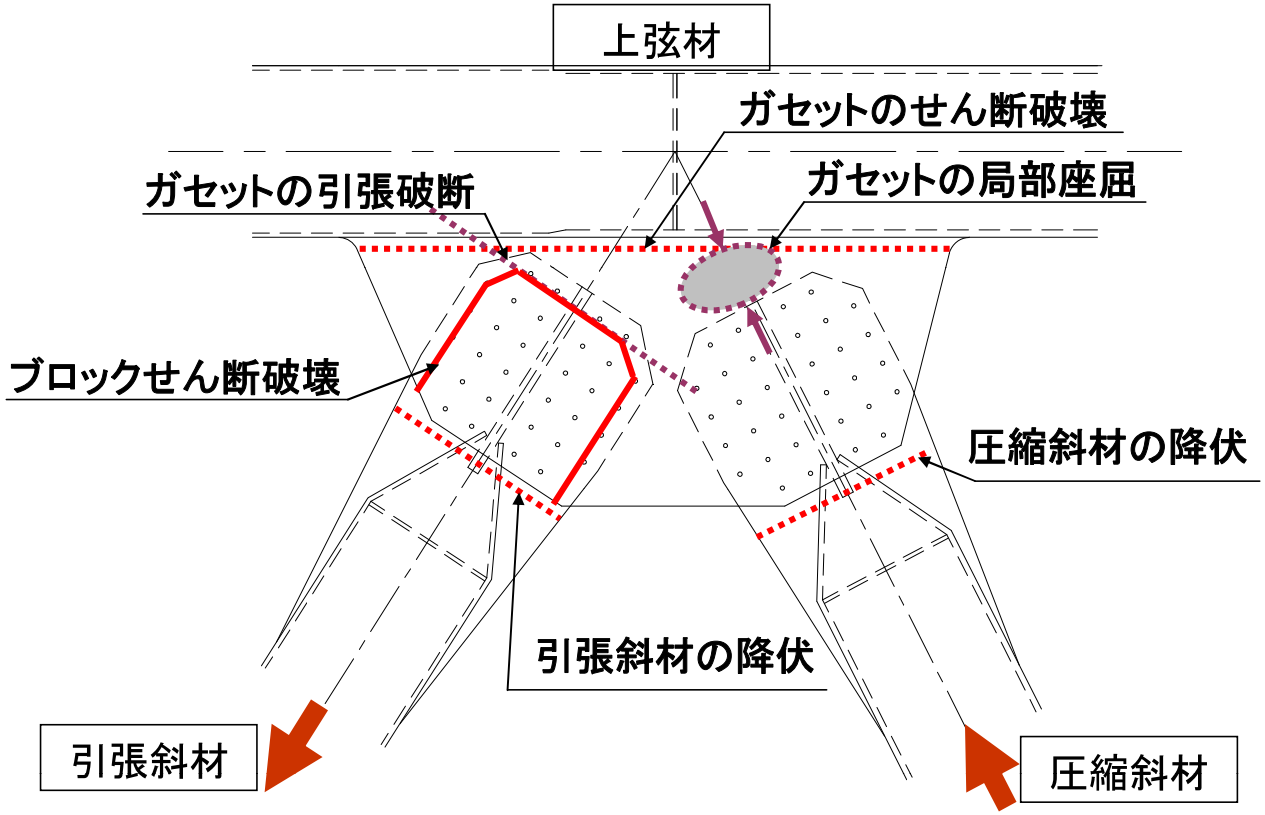



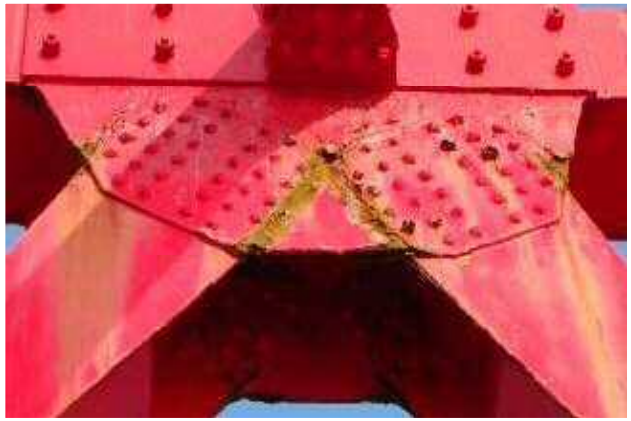



# トラス格点部の破壊性状

・腐食状況や格点部の構造諸元によっては、ガセット部の損傷が致命的な損傷につながる可能性

＜想定される破壊性状＞



# トラス等主構部材の点検、調査、補修時の留意点1

## ■点検（外観目視）時の留意点

（1）外観目視だけでは、健全性の評価が行えない場合には、腐食を除去（コンクリート埋込部の場合にははつり等）により、内部の状況を調査する。

（2）当面の安全性は確保されていると判断できる場合でも、腐食環境が改善されない場合には将来危険な状態にまで損傷が進行する可能性があるため、環境条件の改善や防水・防食対策を講じることが重要。

（3）埋込み部以外の部材の腐食、床版ひび割れ、鋼部材のき裂など、当該橋の他の損傷の有無や状況についても、工事足場のある段階に合わせて確認。



床版下面における錆汁流出状況



境界部付近の腐食

# トラス等主構部材の点検、調査、補修時の留意点2

## ■補修時の留意点

（1）B活荷重対策や耐震補強、疲労対策など他の対策を含め、橋梁の将来計画を総合的に検討した上で補修方針を検討。

（2）特に局部的な腐食の場合には、計算上の応力に関わらず欠損部からき裂が発生し破断することもあり得るので、断面平均板厚等で評価せずに、き裂や著しい局部欠損の有無、部材端部の欠損の状況（応力集中部）に留意。

（3）著しい腐食が発見された場合には、損傷の進行を監視しつつ、通行規制等により部材の荷重負担の軽減措置や、破断に備えた支持構造設置を検討。

（4）トラス部材では比較的大きな応力が常時作用していること、既設橋では溶接性に劣り溶接品質の確保が難しい鋼材が使われている可能性が高いことから、補修・補強には仮設材の設置を含めて原則として溶接は避けるべき。

（5）腐食部では著しい断面欠損や欠損部からのき裂によって部材の耐荷力に余裕がなくなっている場合がある。当て板補修・補強の施工時には、ボルト孔加工時の断面欠損の影響を考慮し、十分に余裕を持たせた補修設計を行う。

（6）塗替えても再度腐食の生じる可能性が高いので素地調整に十分配慮。断面欠損した既設部材と当て板間の隙間についても充填材による防水・防食対策を検討。

# トラス等主構部材の点検、調査、補修時の留意点3

## ■破断対応時の留意点

（1）破断部材が確認された場合には、直ちに破断による影響範囲を確認するとともに、必要に応じて荷重制限や車線規制などの通行制限の措置が必要。
　また、破断による応力再配分が行われており、床組部材や近傍の主構部材に負担が生じて新たな損傷の発生や連鎖的な状態悪化の危険性に留意。

（2）当面の耐荷力の確保と補修・補強にあたっては、破断した格点の仮支持による応力状態の改善、耐荷力の確保の措置が必要。
　このとき、破断格点の隣接の格点（ガセットも含む）や床組部材（斜材の受けとなる下弦材含む）にも大きな負担が生じている可能性があり、少なくとも前後の格点の支持についてもその必要性を検討。

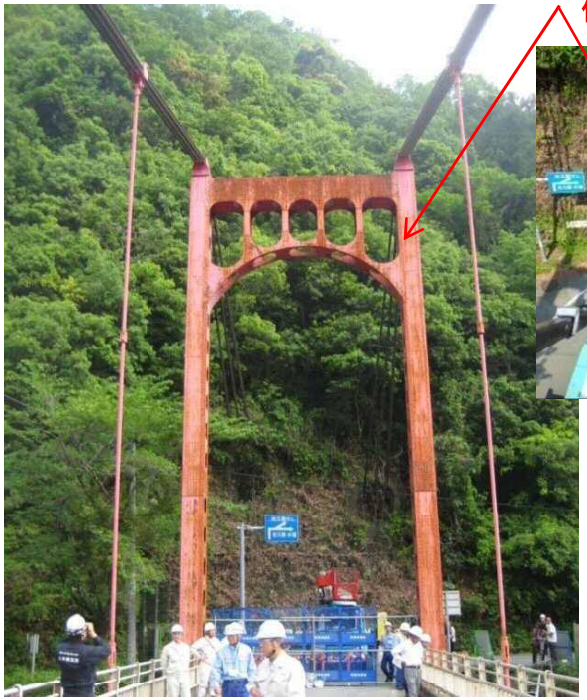
（3）破断部材の補修では、斜材ができるだけ無応力で連結できるように格点の支持や格点間距離の確保策の検討が必要。



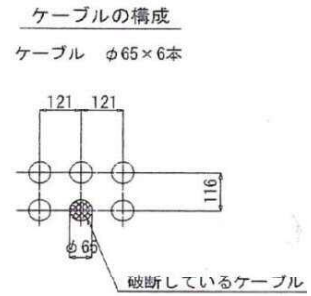
引張斜材の破断

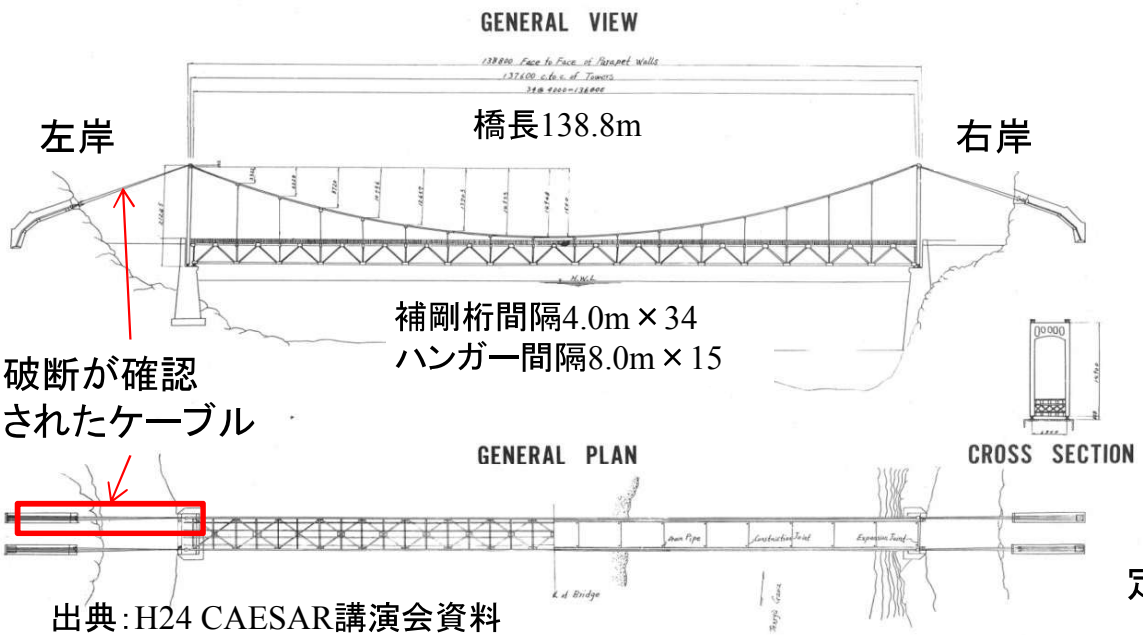
# 吊橋主ケーブルの部分破断事例

形式：補剛トラス吊橋（S47道示　1等橋TL-20）
橋長：138.8m　幅員：5.5m（車道部）
竣工：1956年5月　（供用後56年）
交通量：大型車　249台/日
概要：2011年9月　主ケーブルの一部に破断を発見
（下流側6本のケーブルのうち1本のケーブルの
7本中4本のストランドが破断）
2012年4月にケーブルのずれを確認
2012年4月24日より6月25日まで全面通行止め
セフティーケーブルの設置、状態監視システム
の設置をふまえ車両制限しながらの通行再開





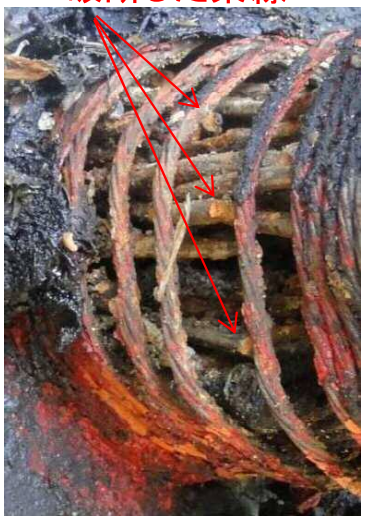




出典：H24 CAESAR講演会資料





定着部全景(上)、近景（下）




破断部近景

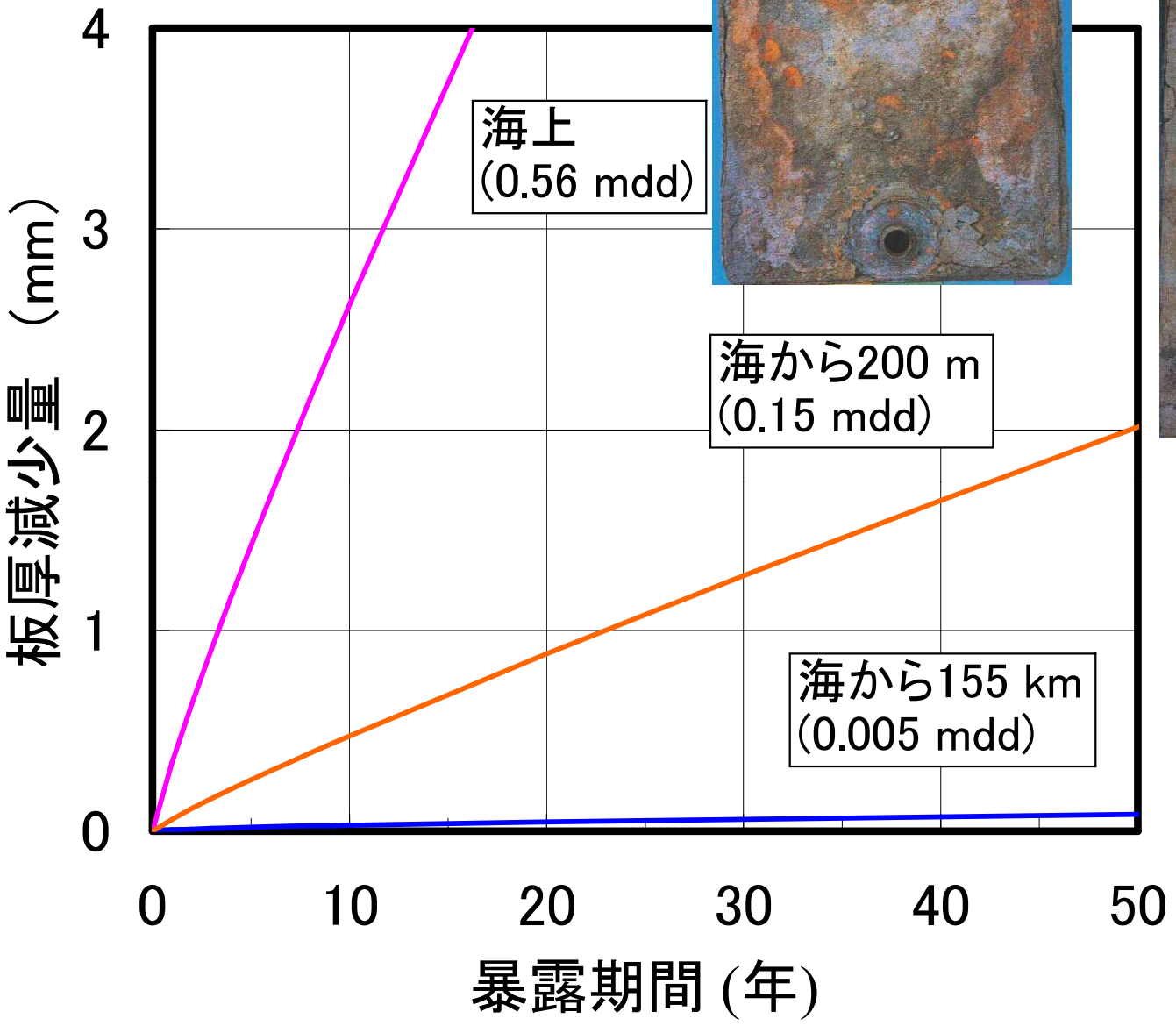
# 塩分環境による腐食状況の違い



層状はくりさび







# 耐候性鋼橋の腐食事例－初期点検時の留意点－

構造部位によっては計画、設計段階の想定よりも厳しい環境にさらされる場合や、予期しない箇所や構造的な経年劣化部位からの漏水などで局部的に環境悪化が生じた場合、保護性さびが形成されない場合がある。



(1) 床版からの漏水に起因する腐食



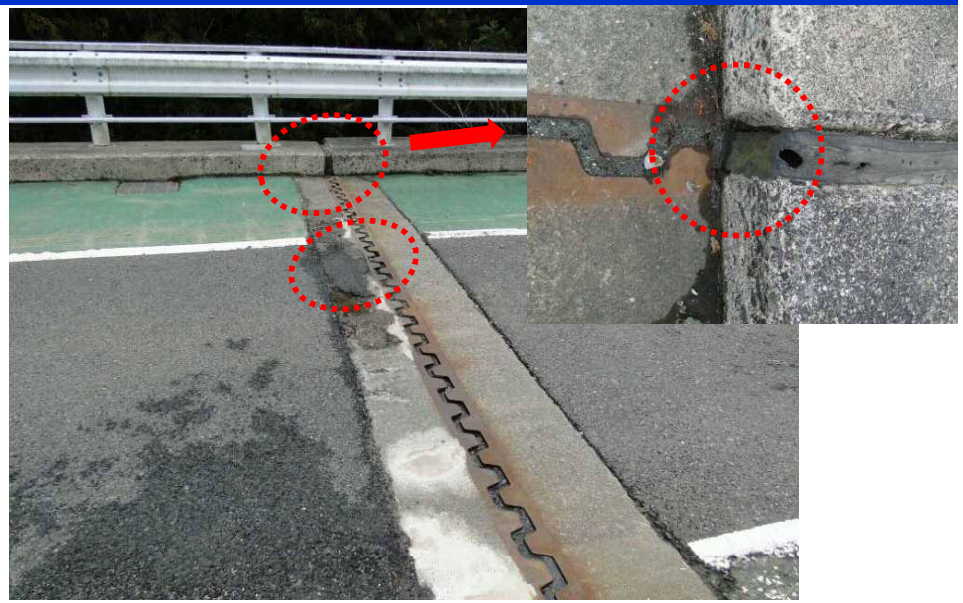
(2) スラブドレーンからの漏水に起因する腐食



(3) 排水管連結部からの漏水に起因する腐食

# 耐候性鋼橋の腐食事例－桁端部の腐食－







地覆側のシール材の破損、
ジョイント部後打ちコンクリートの破損部からの漏水端部から漏水

# 耐候性鋼橋の点検、調査

☆所要の耐久性を発揮するには、維持管理が必要

〇板厚減少につながるような良くないさびの発生状況に着目することが重要。
⇒うろこ状のさび、層状に剥離するさび

〇腐食要因（環境条件）の把握・除去が重要。
⇒除去困難な場合には、他の防食対策を検討

# 点検施設等の腐食事例

■橋梁点検等で点検施設等を通行する際には、過去の点検履歴、補修履歴を確認する等、安全性の確認が必要。
　特に、飛来塩分が多い海岸沿いや、凍結防止剤を多量に散布するなど、腐食環境の厳しい場合には要注意。

■損傷が確認され、使用に耐えられないと判断された点検施設等では、損傷確認時に即座に使用禁止の明示や進入禁止処置を行うなど、将来の点検作業時等において不測の事故が発生しないよう留意。





# 鋼部材の疲労

# 橋の疲労損傷事例の変遷

○道路橋では1980年頃より報告事例あり。

**特殊な形式・構造部位**

ランガー吊材（風による振動）、
桁端円弧状切欠き部　等

**一般的な構造部位**（二次応力、事例の増加）

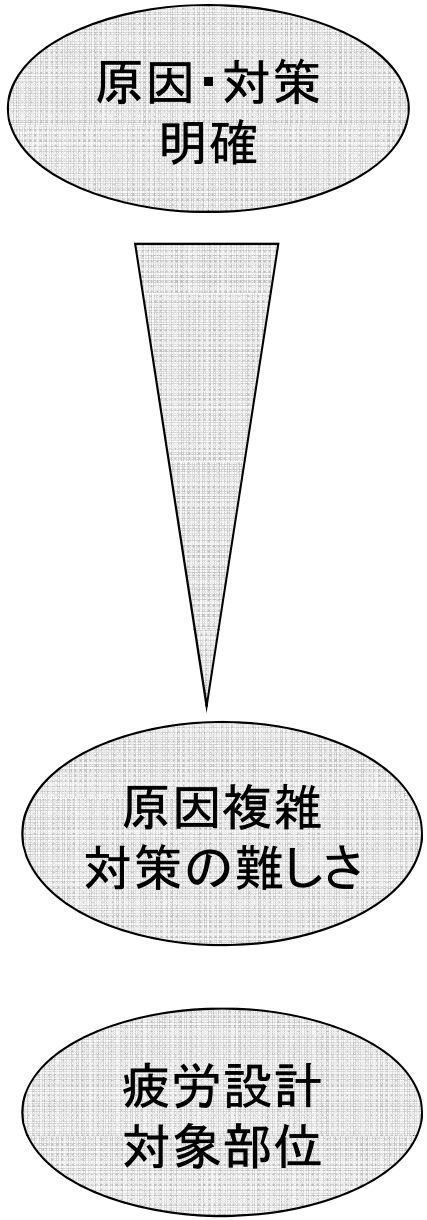
主桁と横桁の接合部、下路アーチ垂直材の接合部
支承ソールプレート溶接部　等
（設計上のモデル化と実挙動との違い）

**主構造本体、要因複雑**（溶接品質の影響）

鋼製橋脚　←*H14道示：疲労設計導入*
（影響大。応力が小さくても内部欠陥より発生）

Uリブ鋼床版（疲労の影響の受けやすい部位）
←*H24道示：疲労設計規定化*

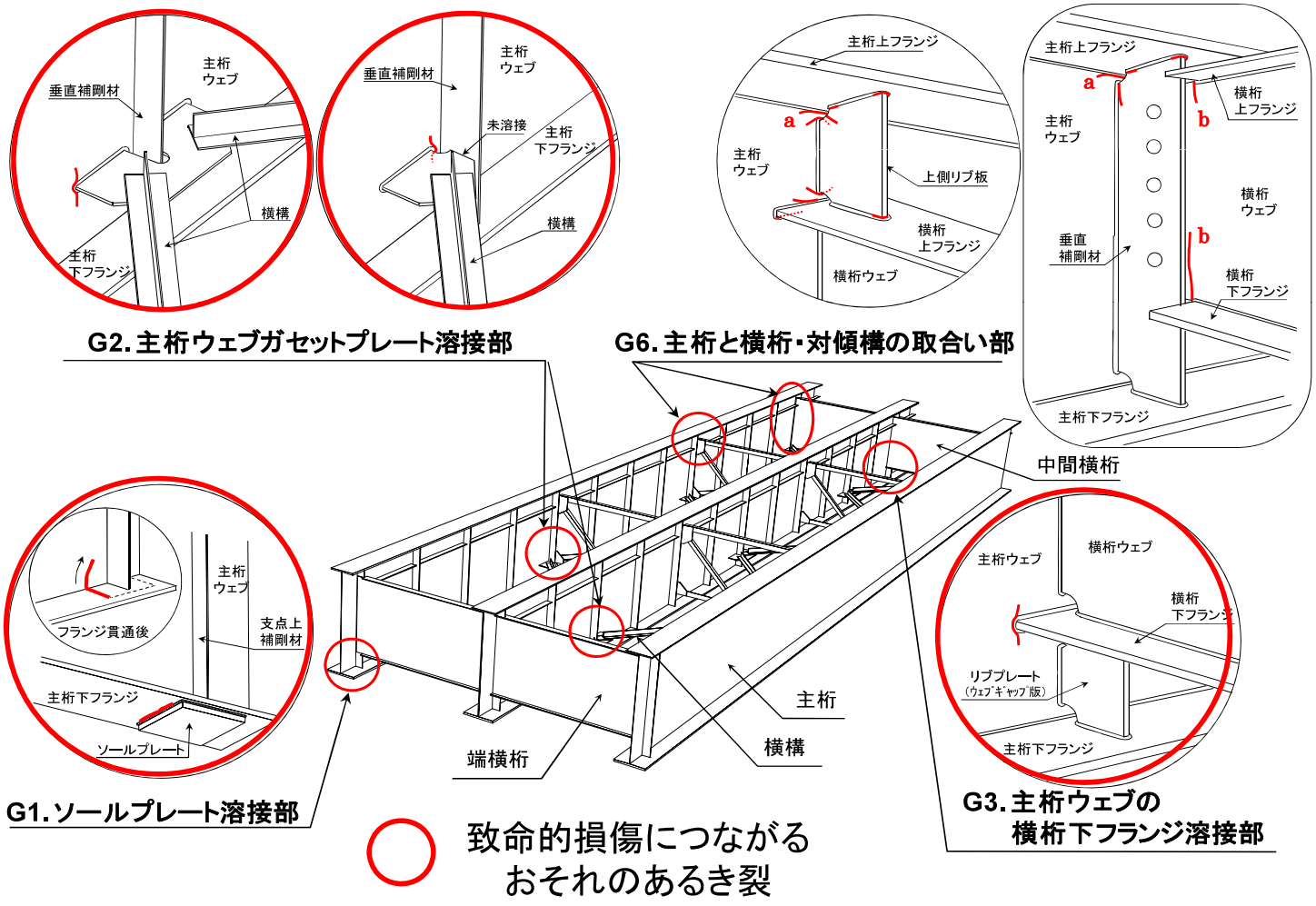
主桁の疲労設計対象部位



# 鋼Ⅰ桁橋の主な疲労損傷部位

○定期点検結果を基に、損傷発生部位を整理
・主桁と横桁・対傾構接合部のき裂が大半を占める。
・主桁の致命的損傷につながるおそれのあるき裂の報告事例あり。

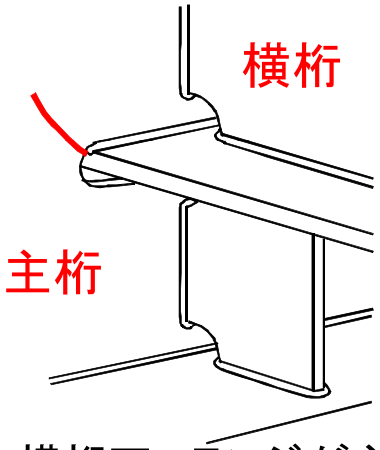
鋼I桁橋における主な損傷発生箇所（点検時に留意すべき部位）



# 鋼Ｉ桁橋の疲労損傷事例

形式：3径間連続非合成鋼Ｉ桁橋
（S39道示、TL20）
橋長：38m+51m+38m　幅員9.9m
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のき裂を発見。交通止め、当て板等により応急復旧。

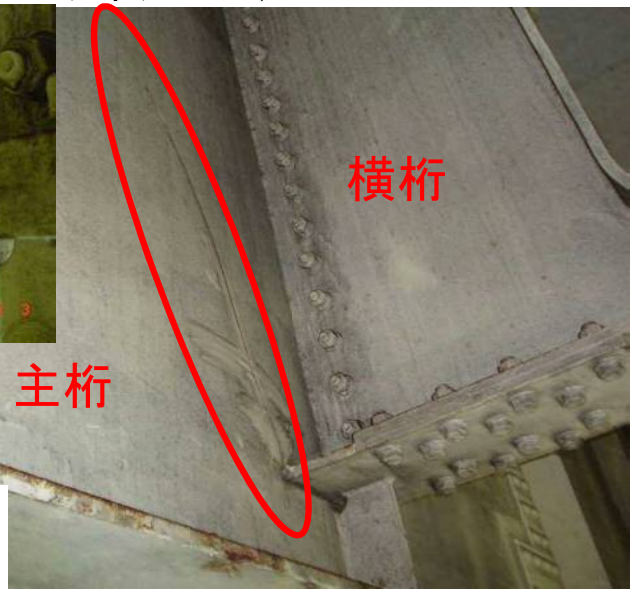
**《調査結果》**
詳細調査により、8箇所で3～15mのき裂を確認。
建設当時に知見がなく疲労に配慮されていなかった横桁貫通構造溶接部から発生。

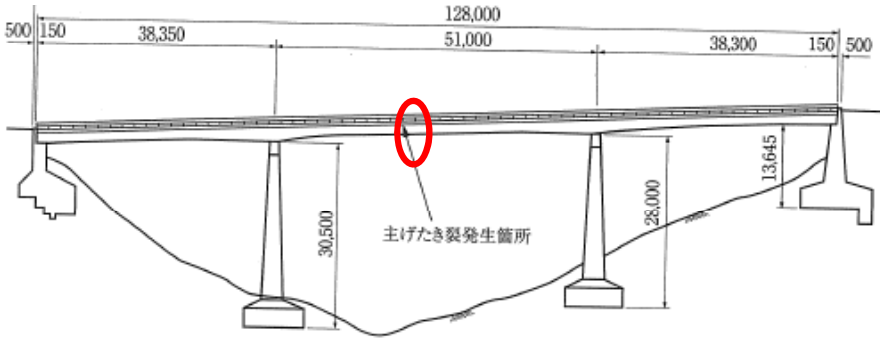





横桁下フランジが主桁を貫通する構造（疲労上望ましくないディテール）



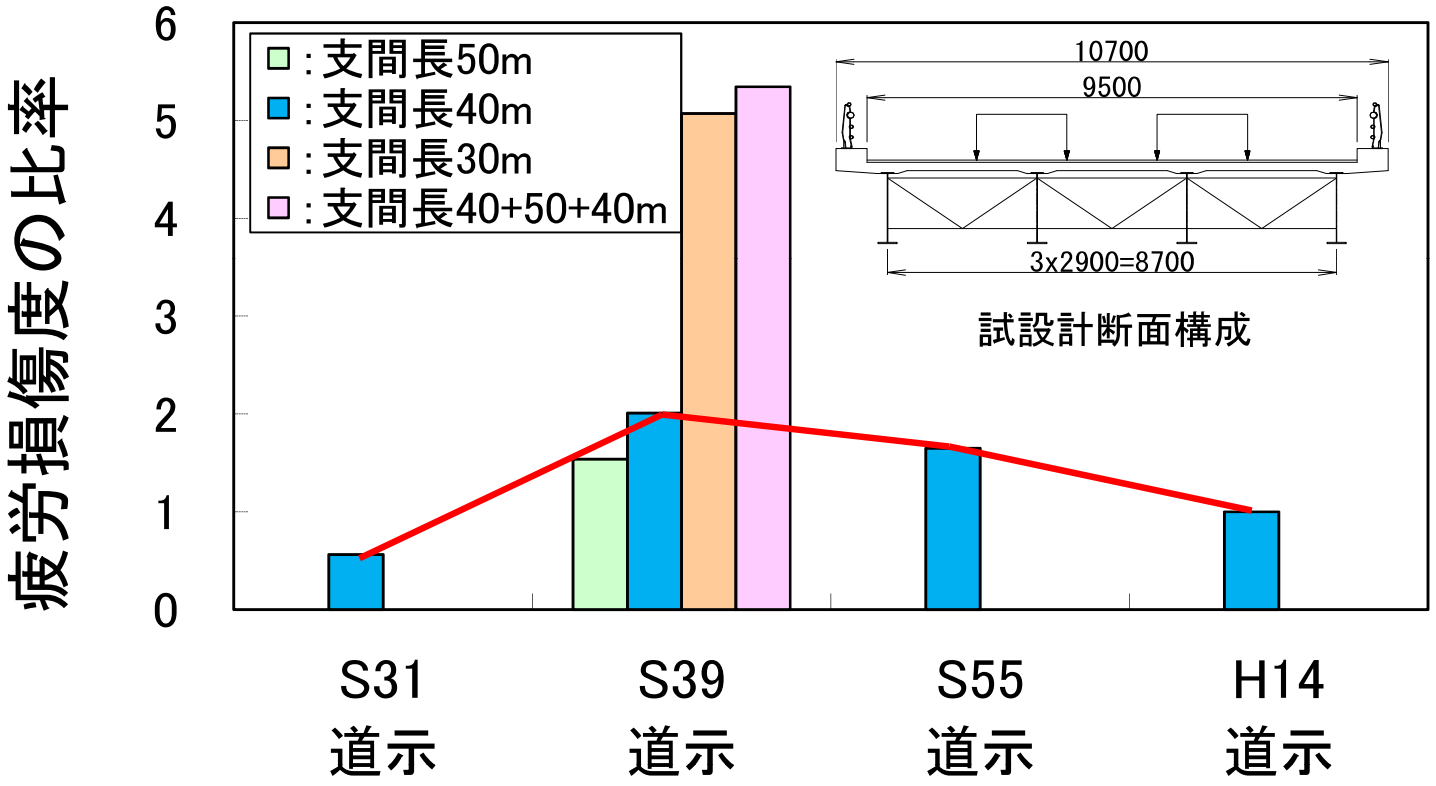





# 年代別の鋼Ｉ桁橋の疲労の発生のしやすさ

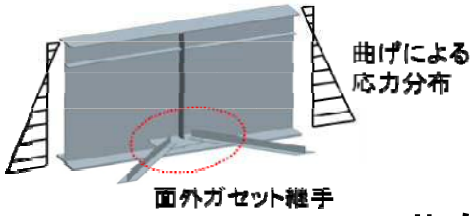
○既設橋の再現設計を行い、適用基準、構造条件と損傷度の関係を分析
⇒S39道示が相対的に厳しい傾向
・使用鋼材の許容応力度の変化の影響
・設計活荷重応力度の変化（TL-20→B活荷重）
・床版等の基準変遷に伴う、死活荷重応力度の増加
⇒T荷重振幅の大きい構造では厳しい傾向（短支間、連続桁、幅員小）

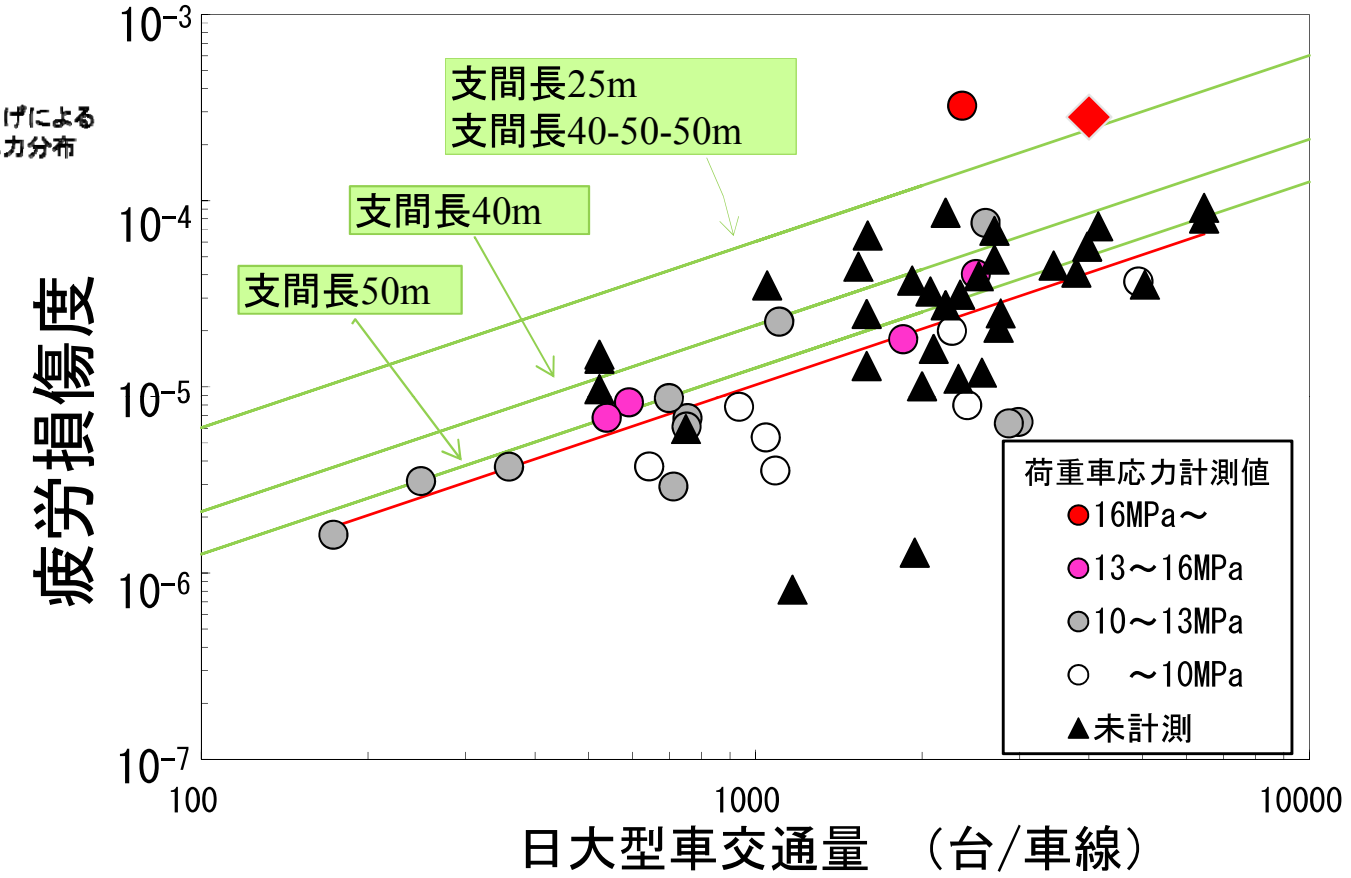



支間中央位置における疲労損傷度の比率
（H14道示の支間長40mの場合を1とする）

# 既設鋼Ⅰ桁橋の応力実態と疲労設計との関係

○鋼桁橋の応力頻度計測結果と既往データによる損傷度を分析
○損傷度の相対的に高い橋では疲労の影響も厳しい。
　⇒日大型車交通量が多く、構造上、活荷重載荷時の応力が大きい橋ほど、疲労損傷度は相対的に大きくなる傾向



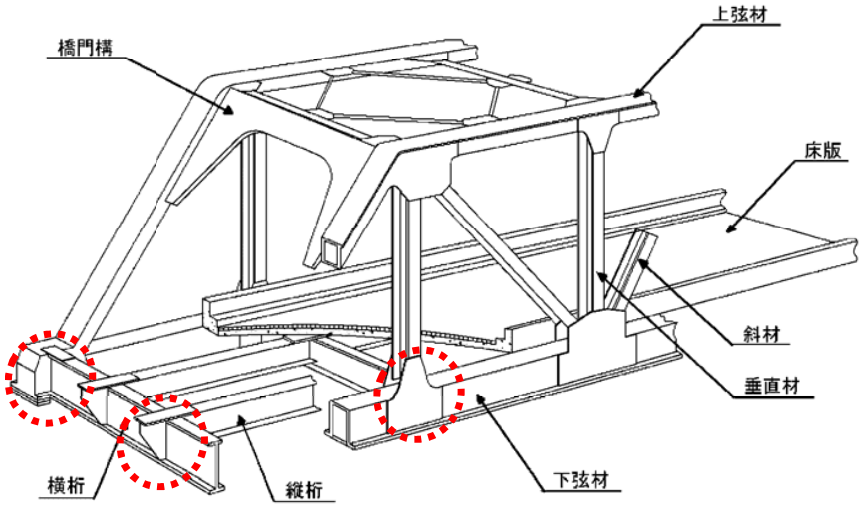

既設橋計測データに基づく疲労損傷度と日大型交通量の関係

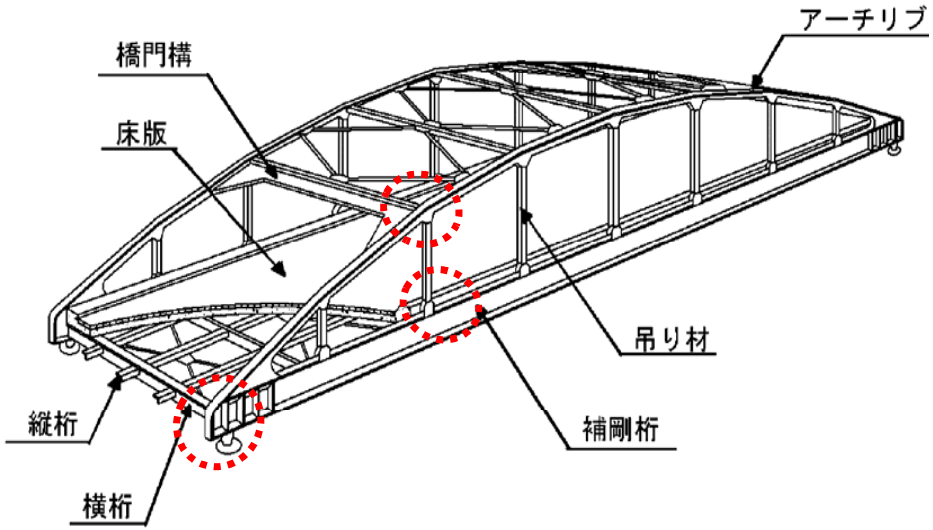
※損傷度は、各橋梁の最大応力が発生した主桁の24時間応力頻度計測データ（計測箇所：支間中央下フランジ）を用いて、累積損傷被害則より算出

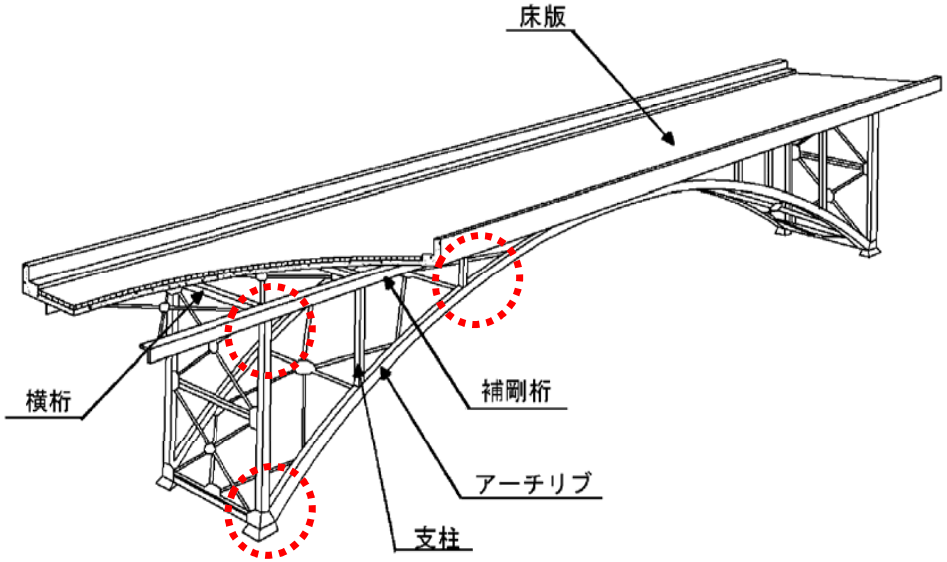
# トラス、アーチの主な損傷部位

吊材もしくは斜材の主構との格点部付近では、腐食と疲労に注意

- ジョイントからの漏水や土砂、雨水の堆積等により、腐食の観点で厳しい条件となる場合
- 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、疲労の観点で厳しい条件となる場合



# アーチ橋の疲労損傷

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。



き裂が発見された吊材
（道路を挟んで反対側にも発生）






上下線の短吊材上端部の損傷状況



（道路側フランジ）



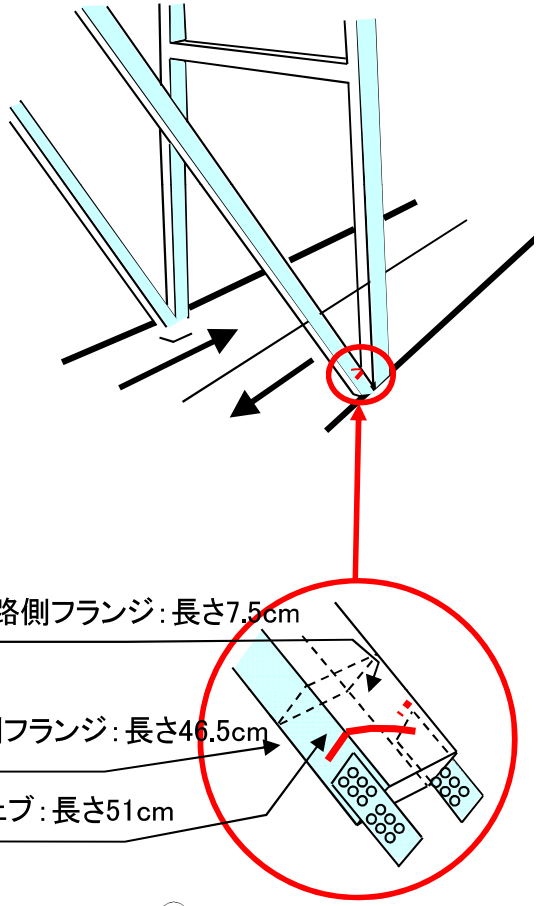
（外側フランジ）

# トラス橋の疲労損傷

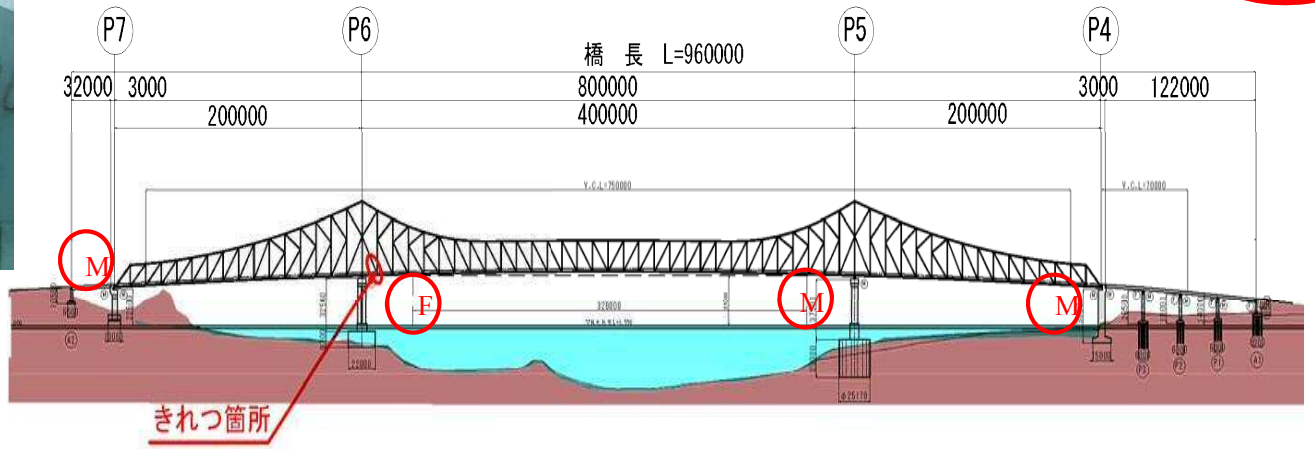
形式：3径間連続下路トラス橋
（S55道示、T20（床版）/L14（主構））
橋長：960m（中央径間400m）
幅員：6.5m
竣工：1991年　（供用後18年）
交通量：3,076台/日（大型車187台/日）
概要：2009年12月、定期点検実施の際の踏査時に発見、片側交互通行規制、大型車（10トン以上）徐行。鋼部材により補強、他の部位についても点検、詳細調査。





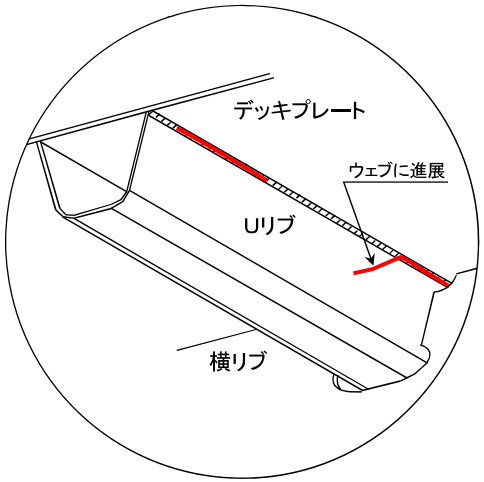




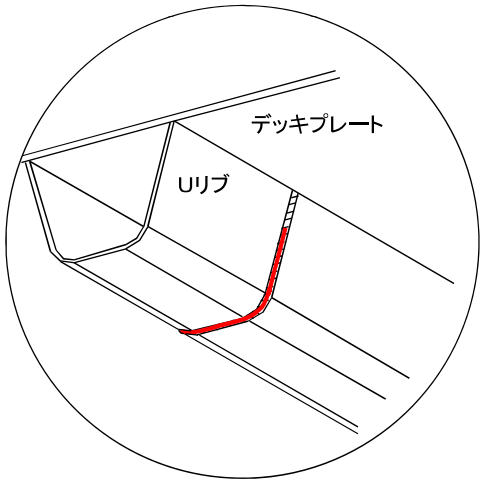



# 鋼床版の主な疲労損傷部位

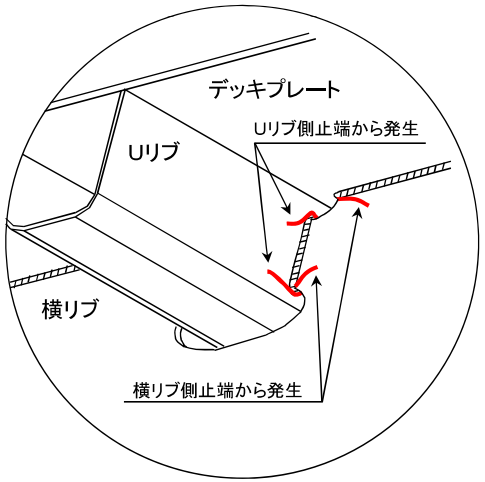
## 輪荷重走行位置直下周辺の溶接部のき裂に注意が必要



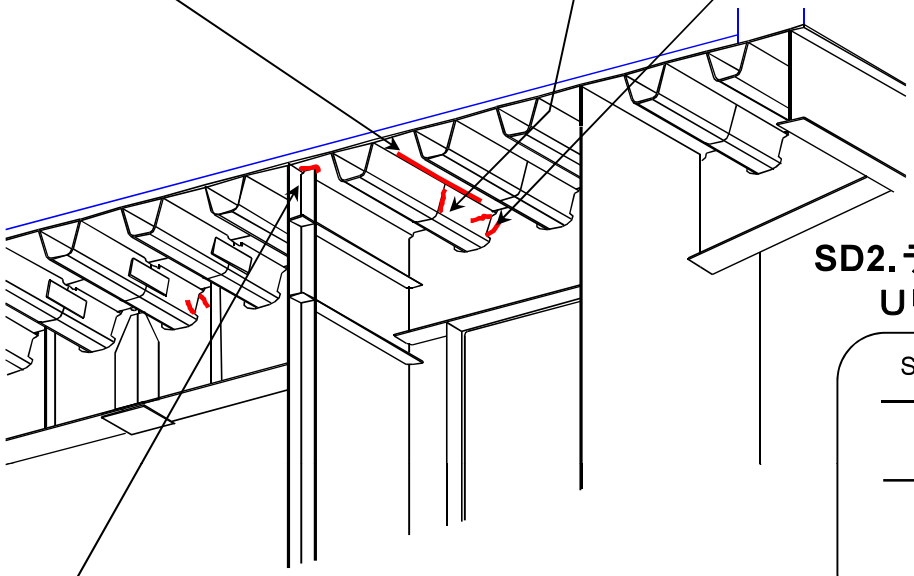

**SD1. デッキとUリブの溶接部**(ビード進展)

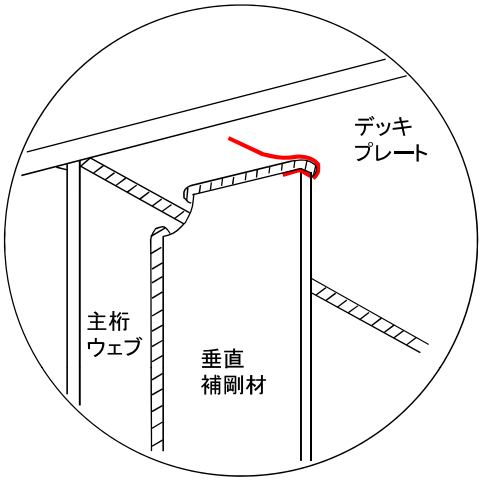



**SD3. Uリブ現場溶接部**



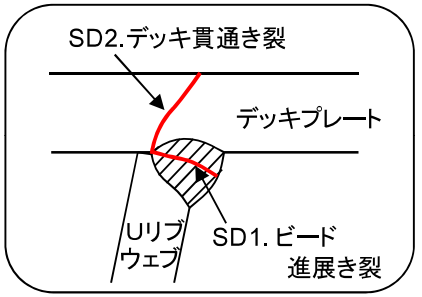

**SD4.横リブとUリブの交差部**






**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)



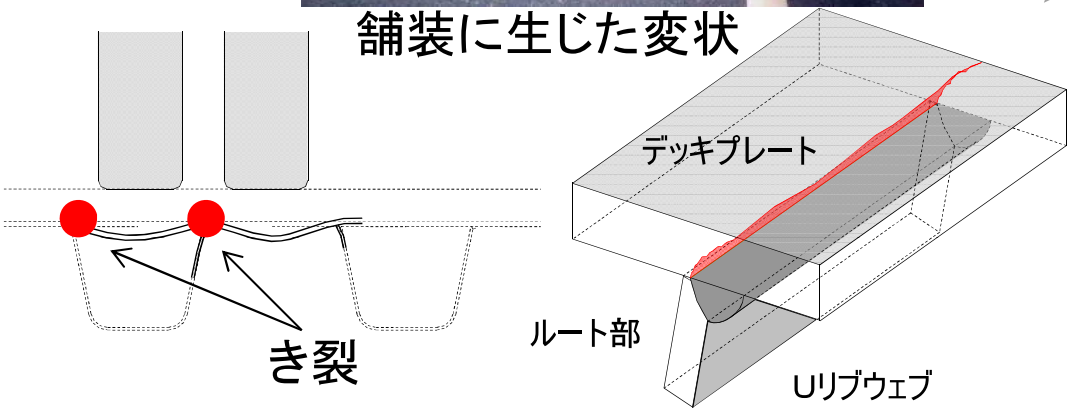
# 鋼床版の疲労損傷事例

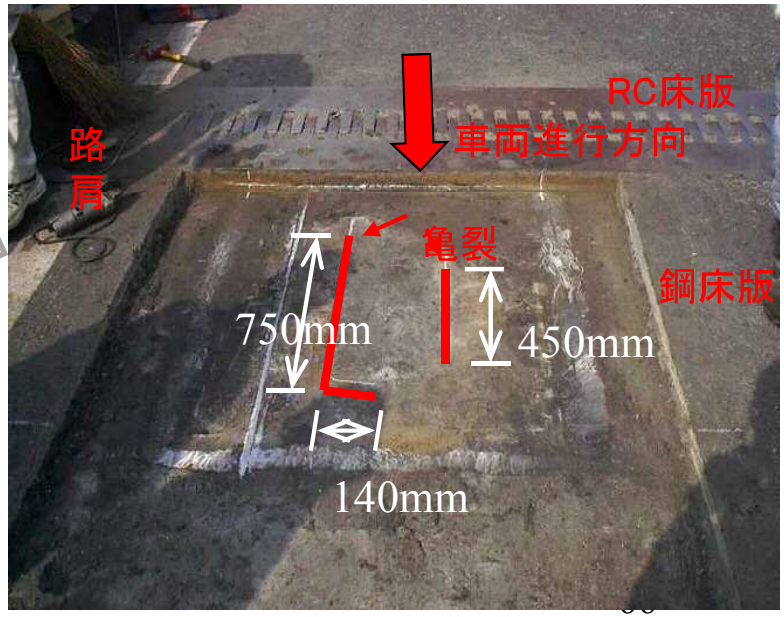
## ■デッキ進展き裂

・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、舗装除去した上での調査を検討。
・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。



舗装に生じた変状




舗装をはつったところ

# 鋼床版の疲労損傷事例

## ■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、縦リブ内の滞水等の有無に注意



当て板による応急対策例



き裂部からの漏水

（Uリブ内の滞水が疑われる。）



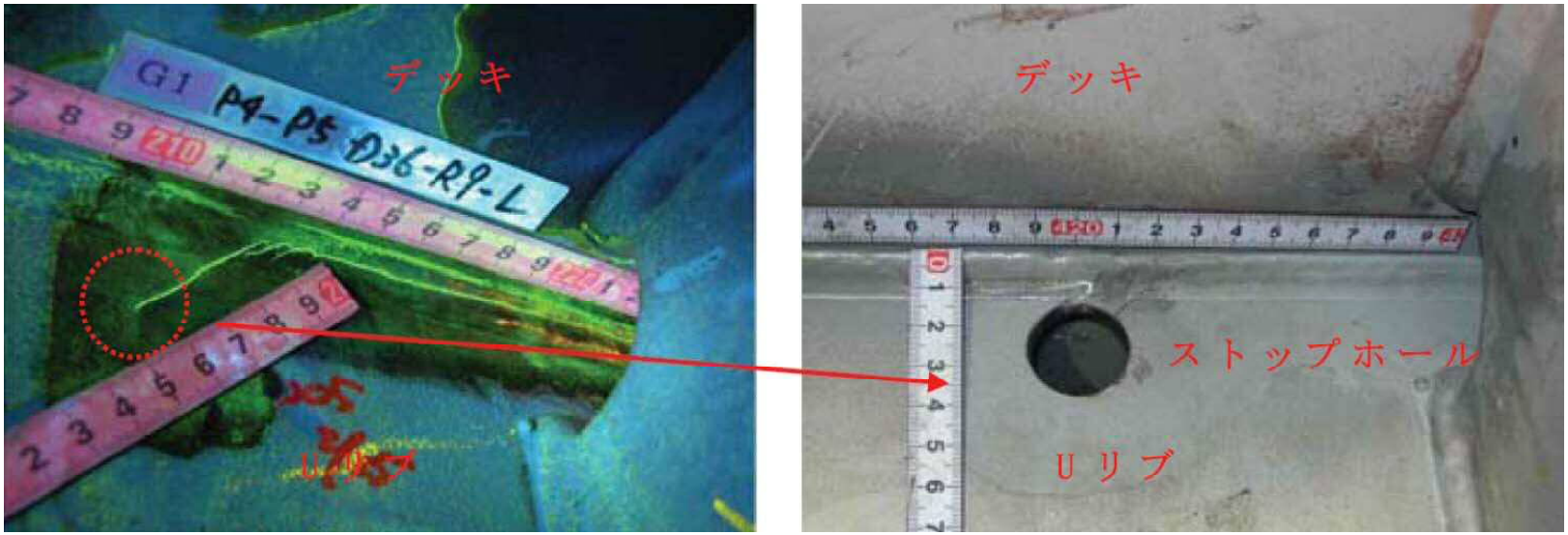
縦リブ内の堆積物

（デッキ貫通き裂部からの浸入。）

# 鋼床版の疲労損傷事例

## ■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。

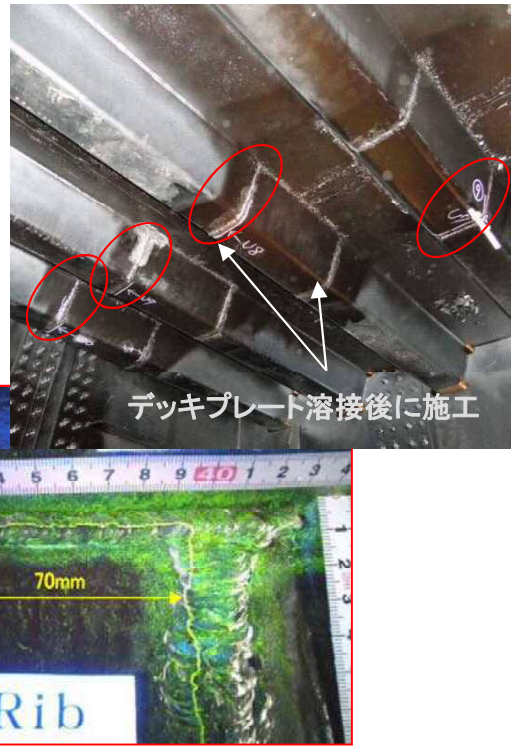


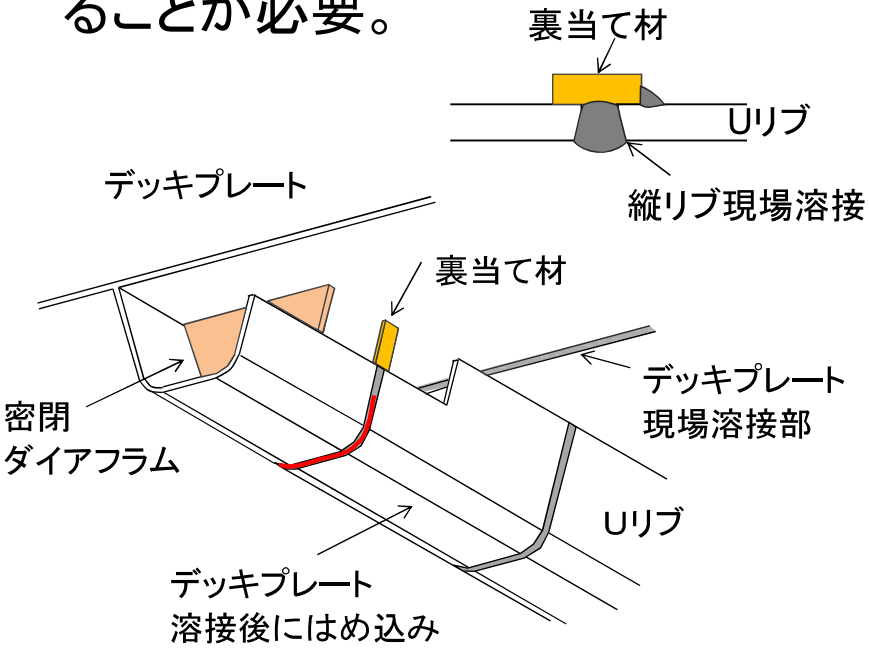

縦リブ内（母材内）に進展したき裂に対するストップホール設置状況

# 鋼床版の疲労損傷事例

## ■突合せ溶接継手のき裂

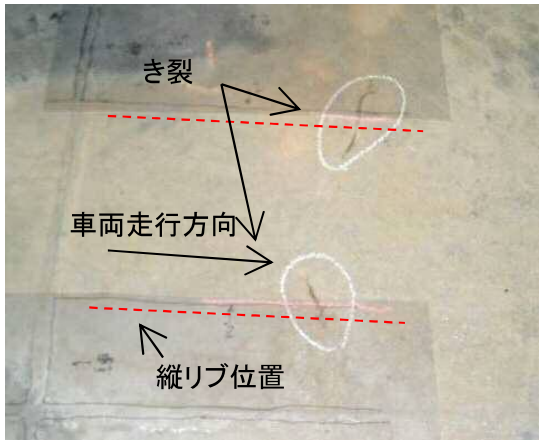
- 縦リブの作用力により溶接に沿って確実に進行。デッキを貫通、もしくは溶接ビード沿いに進展。
- 上向きの現場溶接による施工のため、部材取合いの初期不整、施工品質の影響を受ける場合があり、これによりき裂の発生状況も異なる場合がある。
- 溶接部の形状不整に起因して塗膜が劣化しやすく、塗膜割れと見分けられない場合あり。塗膜を除去し、磁粉探傷試験によりき裂の有無を確認。
- 破断部に対して、当て板による継手機能の回復を図ることが必要。






(a) 下面側の損傷状況




(b) 舗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

# 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、錆汁等の流出）

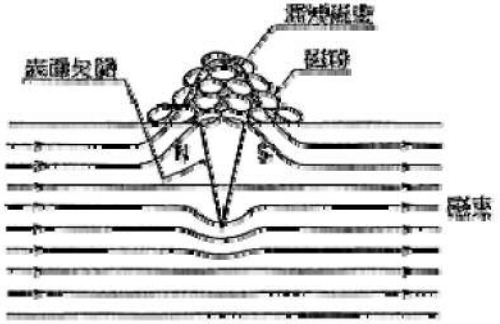
○診断、対策に見えない情報が必要となる場合があり、目的に応じて適切な方法を選択
- 塗膜を剥がさないと、き裂と特定できない場合がある。
- 目視では発見困難なき裂がある。
- 対策を考える上で、溶接内部の状態や挙動の確認が必要な場合がある。

# 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。



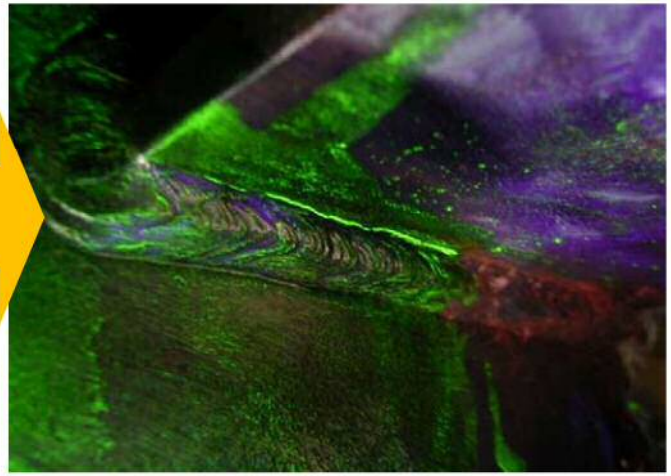

欠陥部における磁粉模様の形成



磁化および磁粉検査液の散布



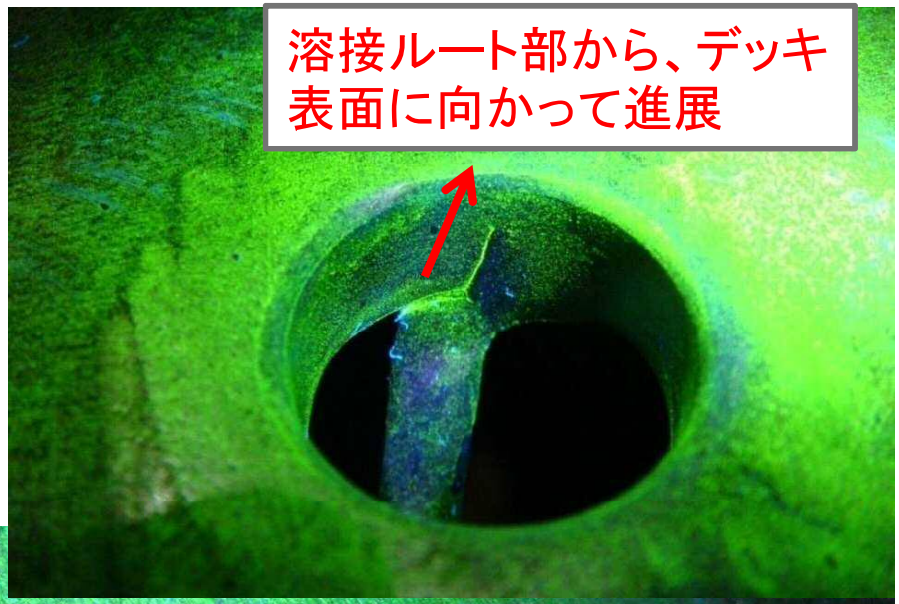
紫外線照射および磁粉模様観察

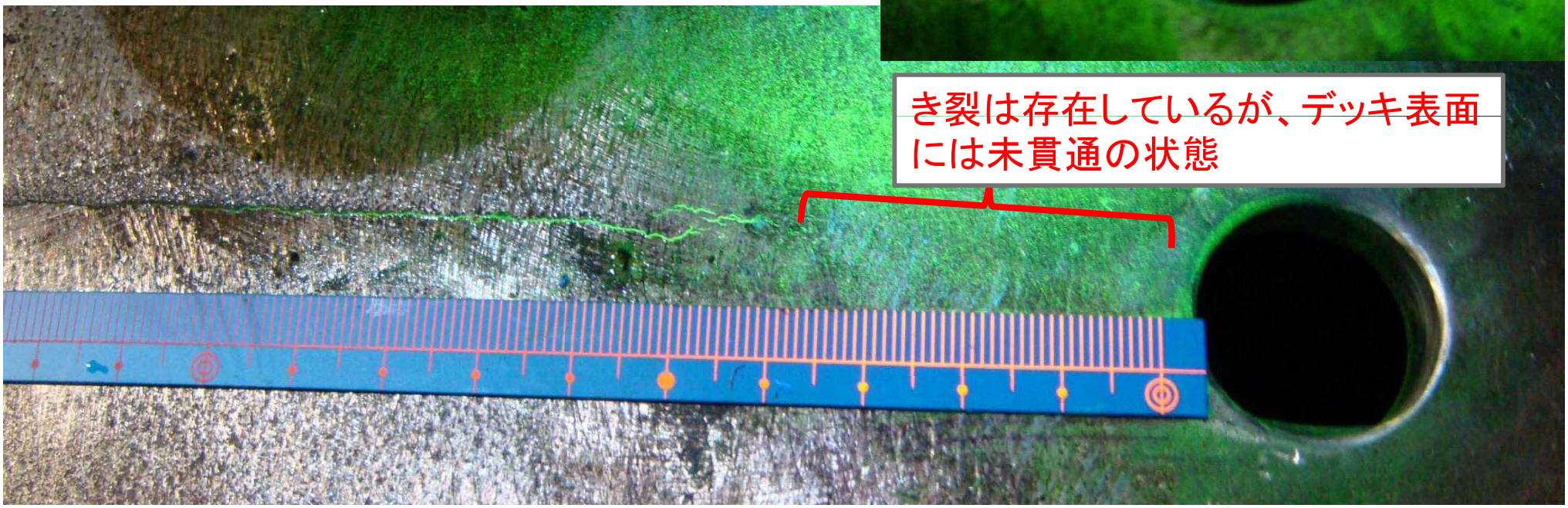


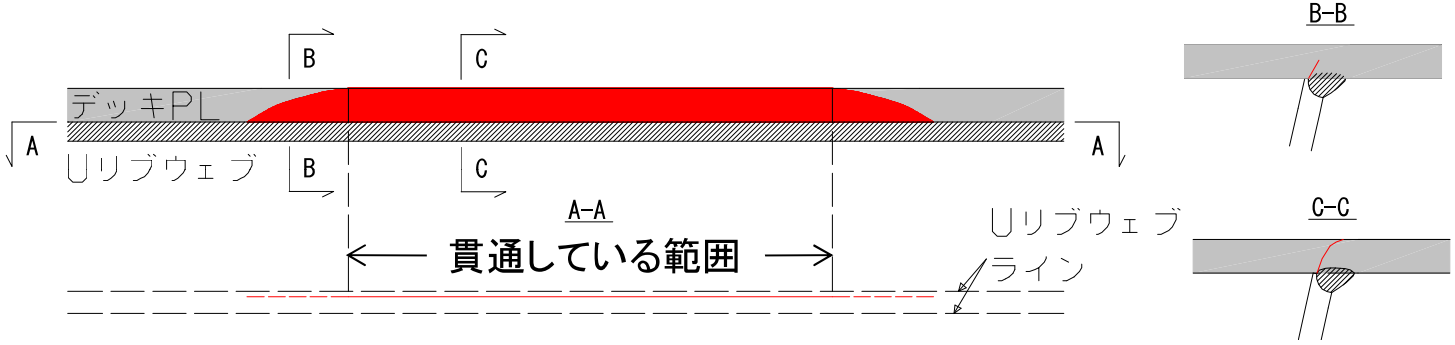
き裂指示模様

# 磁粉探傷試験（MT）

## き裂先端の特定が必要な事例



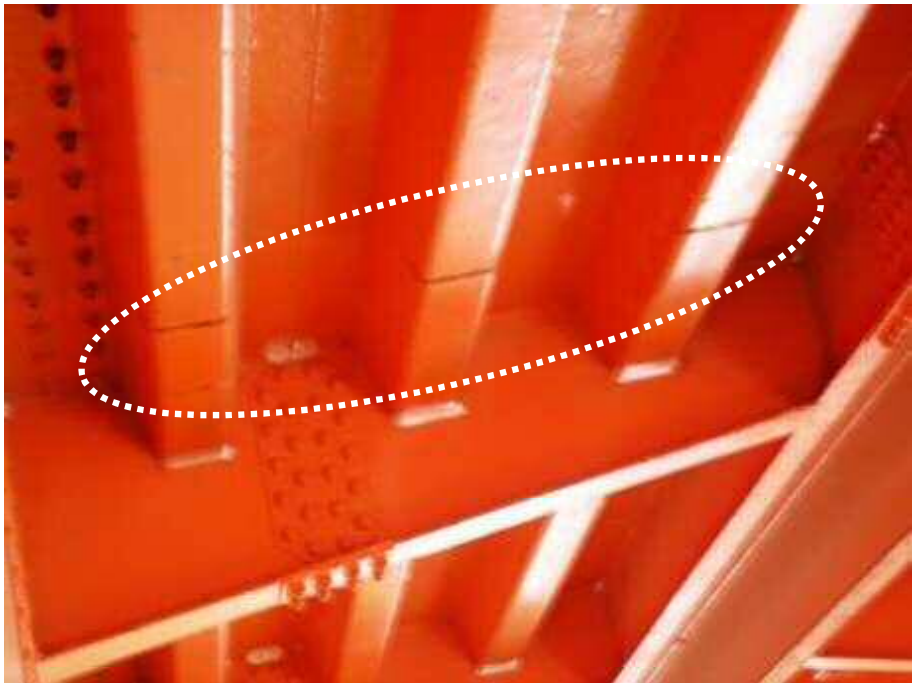



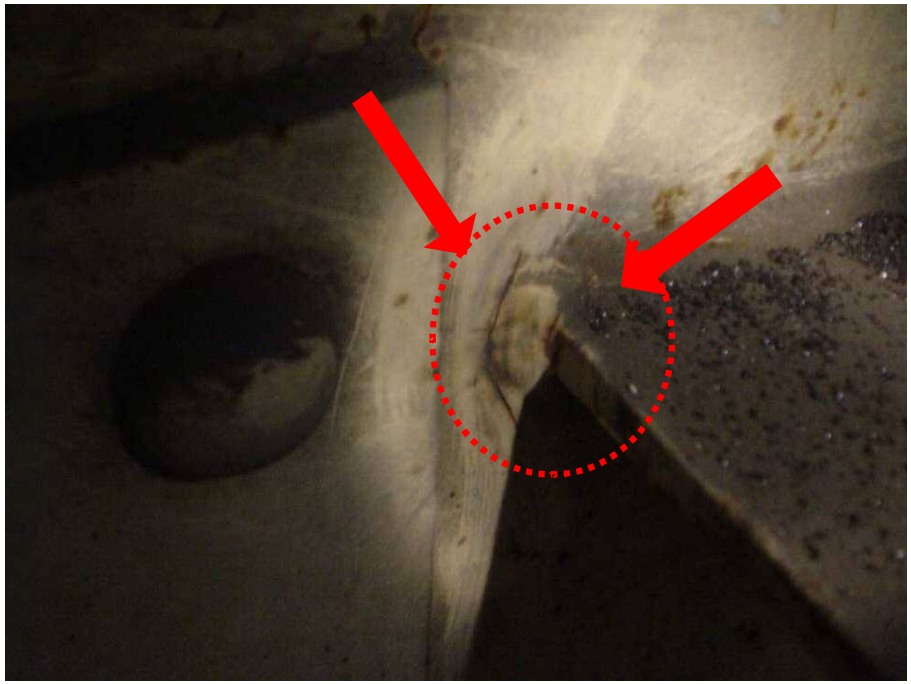
# 磁粉探傷試験（MT）

## 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



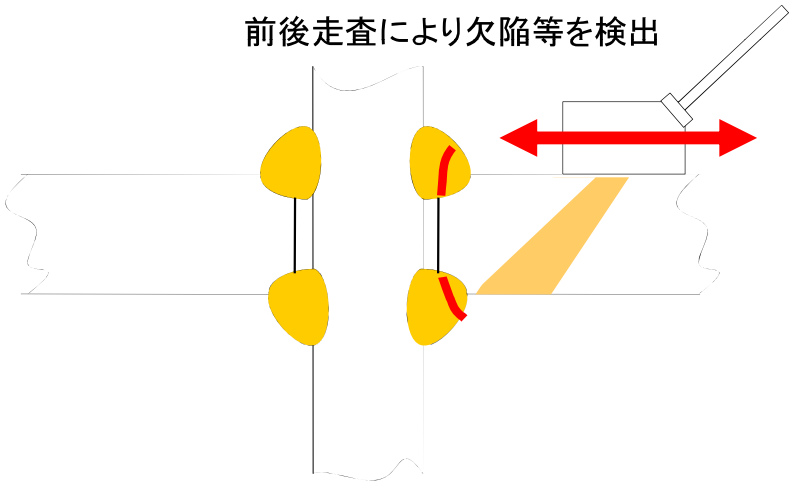
主桁の横構ガセット継手
⇒近接しても、塗膜を除去しないとき裂か否かの判断は難しい

# 超音波探傷試験(UT)

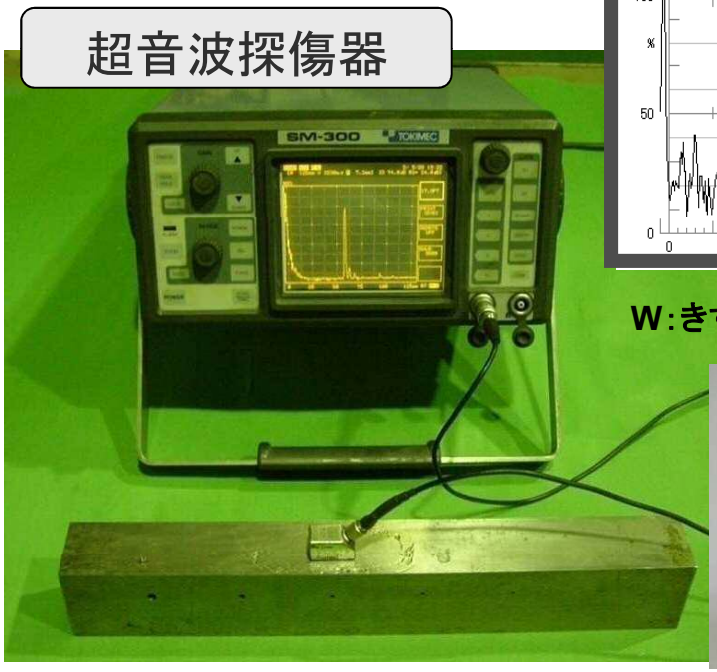
○未溶着部の有無や、板組の推定に適用

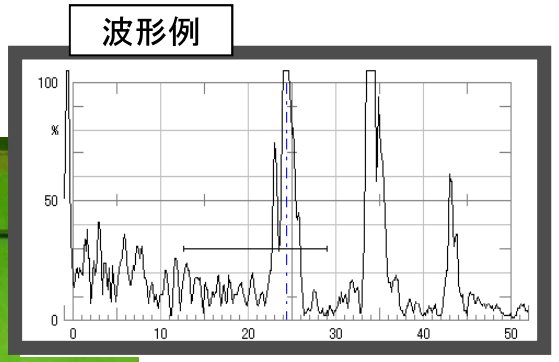
○鋼材表面に探触子をあて超音波を発信させ、欠陥等(境界面)からの反射エコーを受信して、位置、大きさ、深さを測定する手法

○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




十字継手の未溶着の探傷イメージ



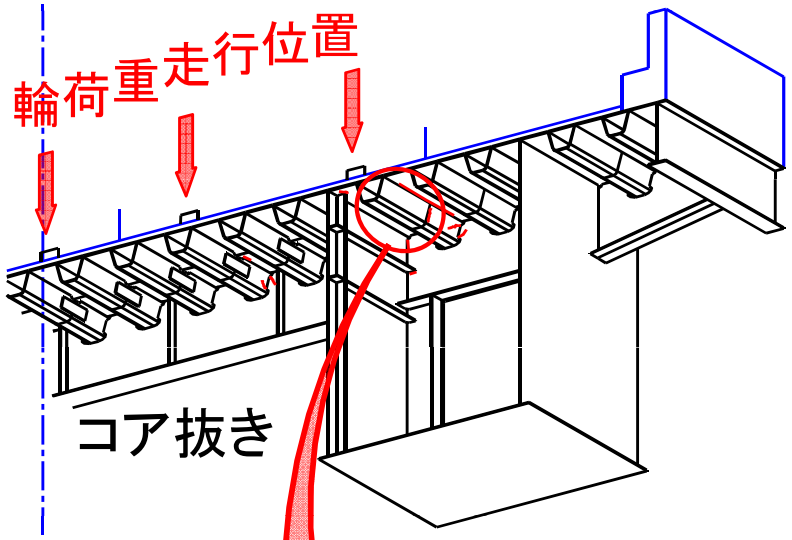

W:きずまでの距離情報が得られる

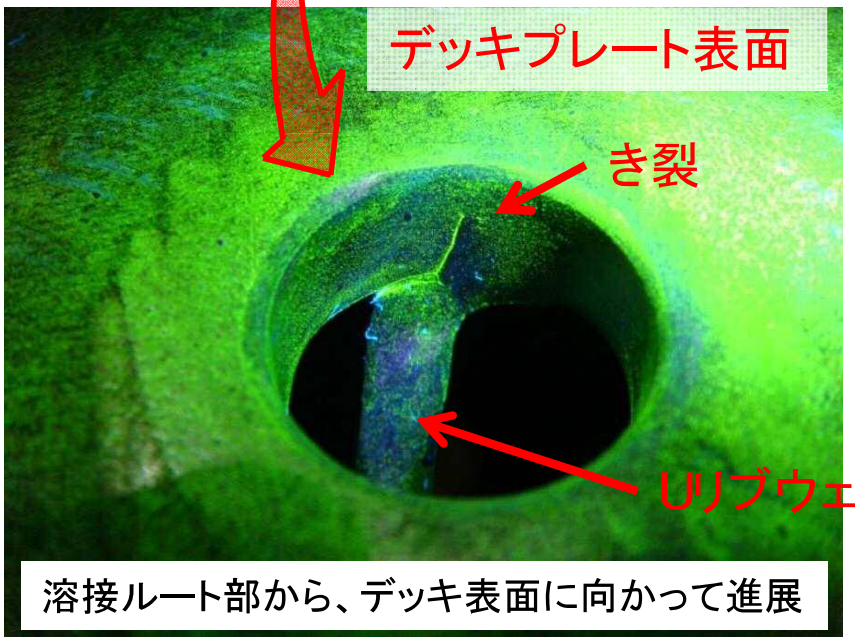



探触子

# 目視困難なき裂検出へのUTの適用事例

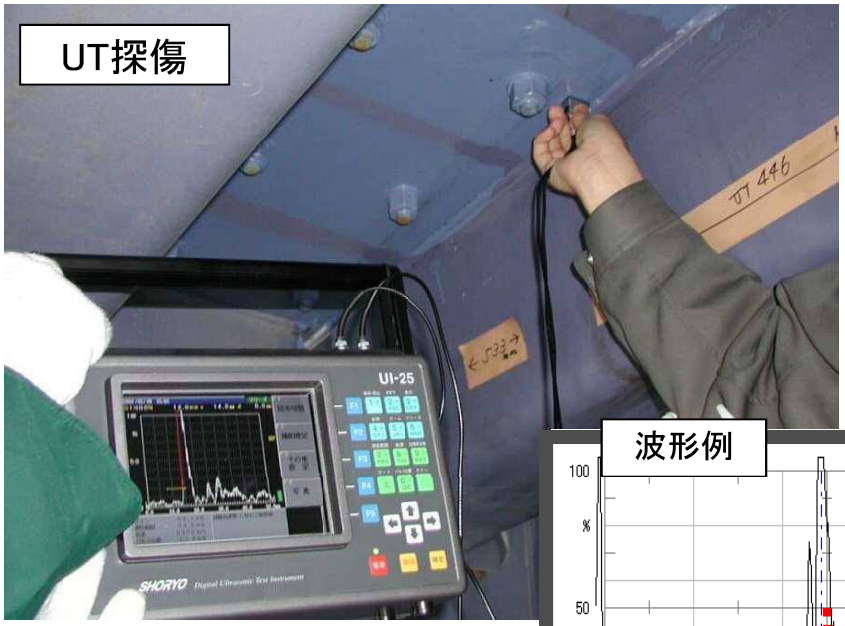
鋼床版橋梁



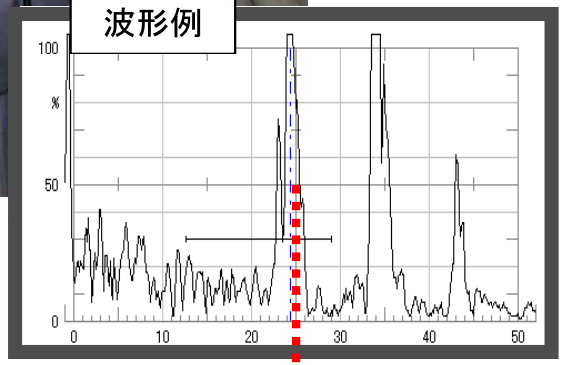



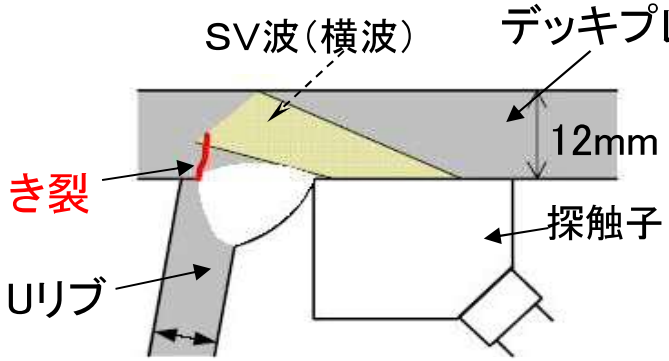

溶接ルート部から、デッキ表面に向かって進展

UT探傷




屈折角70度の斜角探触子の例



# 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、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

○特定の主構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。



鋼下路式ワーレントラス
（昭和40年竣工）

＜現地計測＞

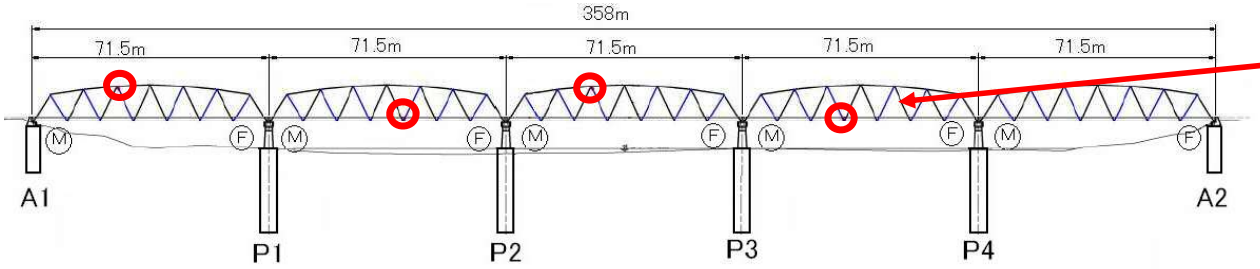
○<u>風による応答</u>

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。




○<u>大型車通行による応答</u>

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。






# 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。

・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、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。

# 疲労に対する点検、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作用を受ける部位では、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、主構造の補強を行う等の対策も検討。

　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。

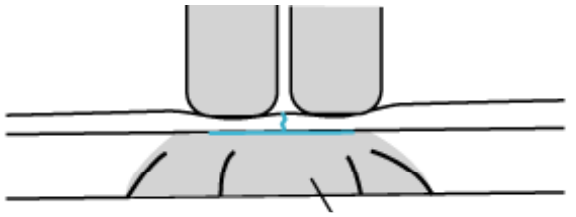
・補修補強に際して、既設部材への溶接の使用は原則避けるべき。

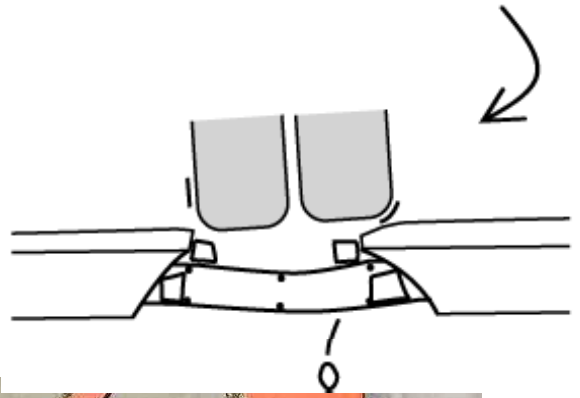
（施工性、材料の不確実性、交通振動の影響等）

# RC床版の損傷

# RC床版の損傷事例



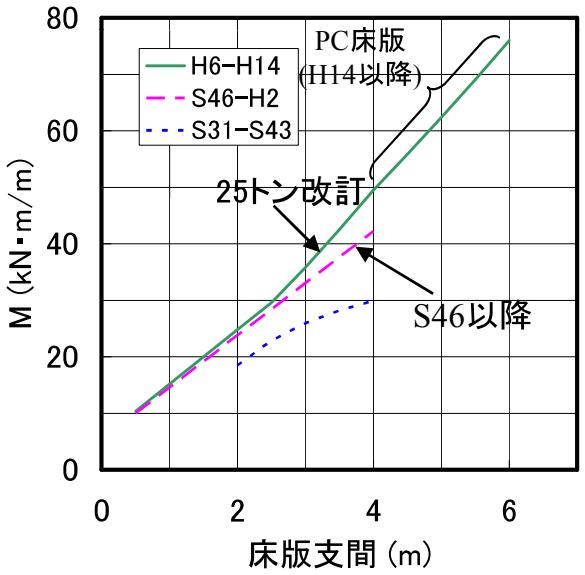




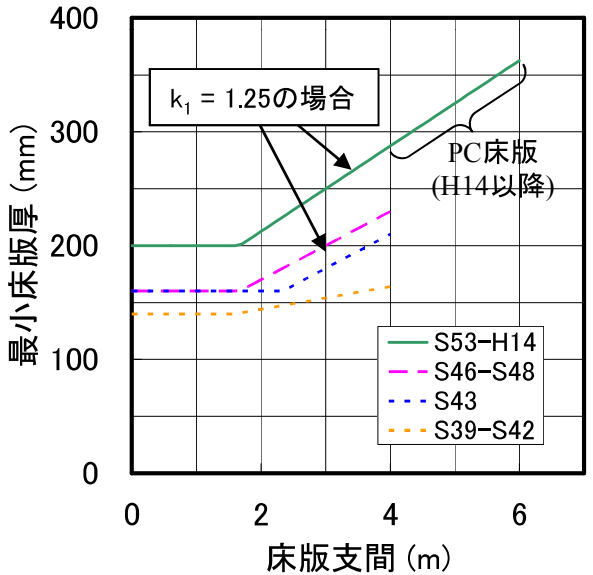


# RC床版の経緯と設計基準の変遷

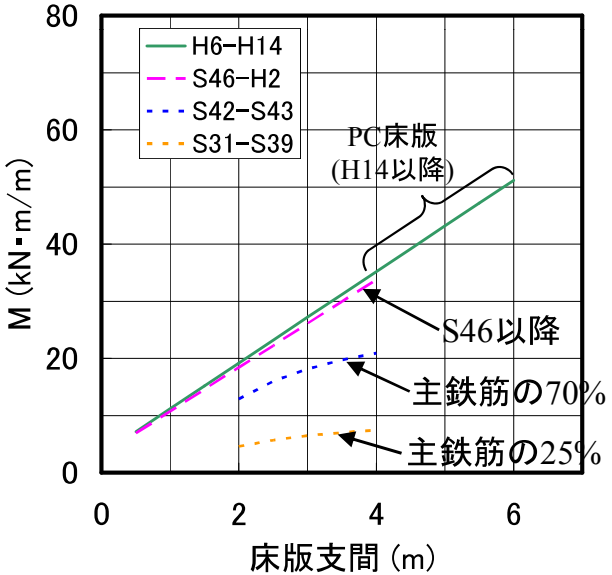
■昭40年代　RC床版のひび割れが全国的な重要課題
　　ー橋梁建設数の増大
　　ー交通量の増大，車両の大型化
■昭59年　　輪荷重移動装置によるＲＣ床版の疲労現象を解明（松井ら）
　　ーＲＣ床版の劣化機構が試験により再現可能
■平6年～　　25トン対応，床版の補修・補強を促進
　　ー各機関で輪荷重試験機を導入
　　ー階段載荷による各年代の床版の耐久性を相対評価




主鉄筋設計曲げモーメント




最小床版厚




配力筋設計曲げモーメント

# RC床版関連規定の変遷

| 運用基準類 | 発行年月 | T 荷重 (kN) | 曲げモーメント式 [3] | | 鉄筋の許容応力度 ($N/mm^2$) | 配力鉄筋量 | 最小床版厚 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 主鉄筋方向 | 配力筋方向 | | | |
| 道路橋示方書 | 昭 31.5 | 80 [1] | $\frac{0.4\,P\,(L-1)}{L+0.4}$ [8]<br>ただし，2＜L≦4 m | 規定なし | SR24<br>140 | 主鉄筋の25%以上 | 140 |
| 道路橋示方書 | 昭 39.6 | | | | SD30<br>180 | | |
| 鋼道路橋の一方向鉄筋コンクリート床版の配力鉄筋量設計要領 | 昭 42.9 | | | | | 主鉄筋の70%以上 | |
| 鋼道路橋の床版設計に関する暫定指針(案) | 昭 43.5 | | | | SD30<br>140 | | 30 L + 90<br>≧160 |
| 鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計について | 昭 46.3 | 80 (96) [1] | 0.8 (0.12 L + 0.07) P | 0.8 (0.10 L + 0.04) P | | − | 30 L + 110<br>≧160 |
| 道路橋示方書 | 昭 48.2 | | | | | | |
| 道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計施工について | 昭 53.4 | | | | SD295 [6]<br>140<br>20 程度の余裕を持たせる | | k1･k2･do [4]<br>do:<br>30 L + 110<br>≧160<br>k1:1.0～1.25 |
| 道路橋示方書 | 昭 55.2 | | | | | | |
| 道路橋鉄筋コンクリート床版の設計施工指針 | 昭 59.2 | | | | | | k1･k2･do [5]<br>do:<br>30 L + 110<br>≧160<br>k1:1.1～1.25 |
| 道路橋示方書 | 平 2.2 | | | | | | |
| 同上 | 平 6 | 100 [2] | 0.8 (0.12 L + 0.07) P<br>2.5＜L≦4 m の場合，割増し係数考慮<br>1.0+(L-2.5)/12 | | | | |
| 同上 | 平 8 | | | | | | |
| 同上 [9] | 平 14 | | | | | | |

注

1) T 荷重の後輪荷重，( )内は大型車 1 方向 1000 台/日以上の場合
2) T 荷重の片側荷重
3) L: 床版支間長(m)，連続版，主鉄筋が車両進行方向に直角の場合
昭 46 以降は衝撃を含む
4) k1 は大型車交通量，補修難易，合成・非合成による
5) k1 は大型車交通量による
6) 平 6 道示改訂までは SD30
7) k2 は付加曲げモーメントが生じる場合の割り増し
8) 衝撃は別途考慮 $i = 20 / (50 + L)$
9) 平 14 に PC 床版が追加された，床版支間 6m まで

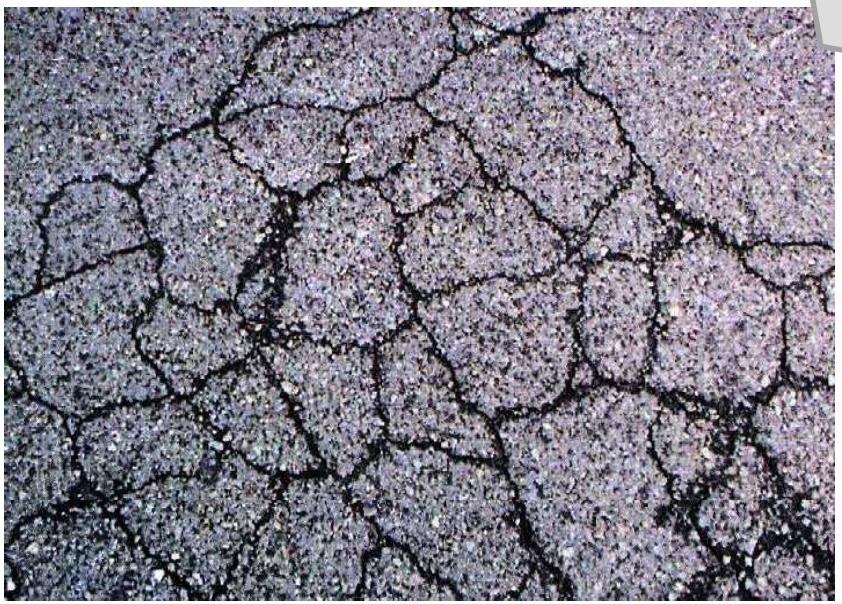
# RC床版の損傷過程



一方向ひび割れ



格子状ひび割れへの移行



抜け落ち前の舗装の状況



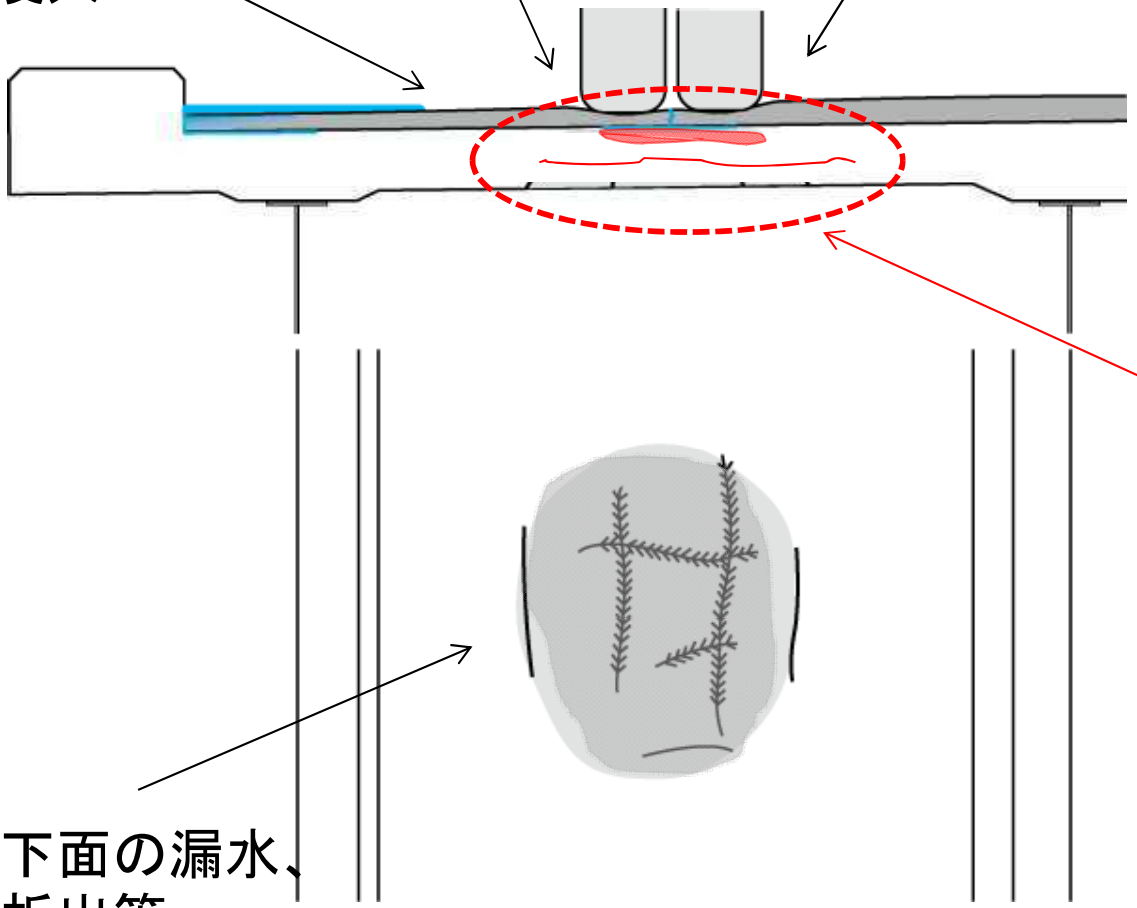
抜け落ち状況

# RC床版の上面の土砂化、局所的な抜け落ち

舗装の変状（ひび割れ、へこみ、ポットホールの発生、部分補修の繰返し、泥水噴出等）

舗装のひび割れ部、目地部、舗装の部分修復箇所等から水が浸入

疲労、材料の劣化による複合要因の可能性（塩害、凍害、ASR）



水の浸入により、内部で損傷（上面の土砂化や内部の水平方向のひび割れ発生）が先行する場合あり

床版下面の漏水、石灰析出等

# RC床版の疲労損傷事例



RC床版の
抜け落ちの兆候
路面および
床版下面の状況

路面の陥没

床版下面の漏水





# 舗装の変状と床版上面の劣化



はつったところ、上面主鉄筋の下側まで
土砂化







はつり出し



ジェットモルタルによる応急措置

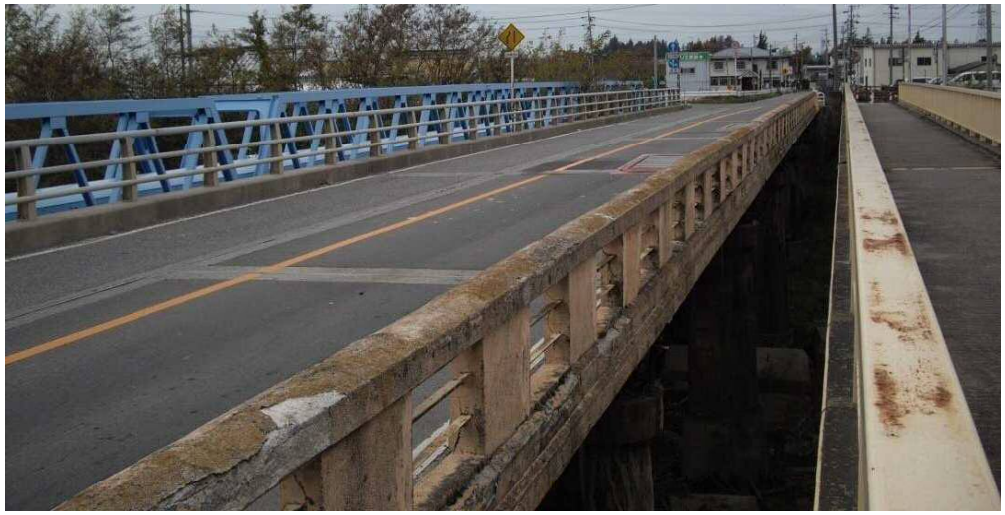


下面は剥落防止シート（一部シートの剥離）

# 鋼板接着した床版の抜け落ち

橋梁形式：8径間RCT桁橋+2径間PC床版橋
橋　　長：126.5m
竣　工　年：1935年　（供用74年）
　　1985年に拡幅、床版補強
　　2003年に点検
　　2009年　床版抜け落ち
・雨水浸透による疲労劣化促進。
・下面鋼板接着補強のため、確認できず。



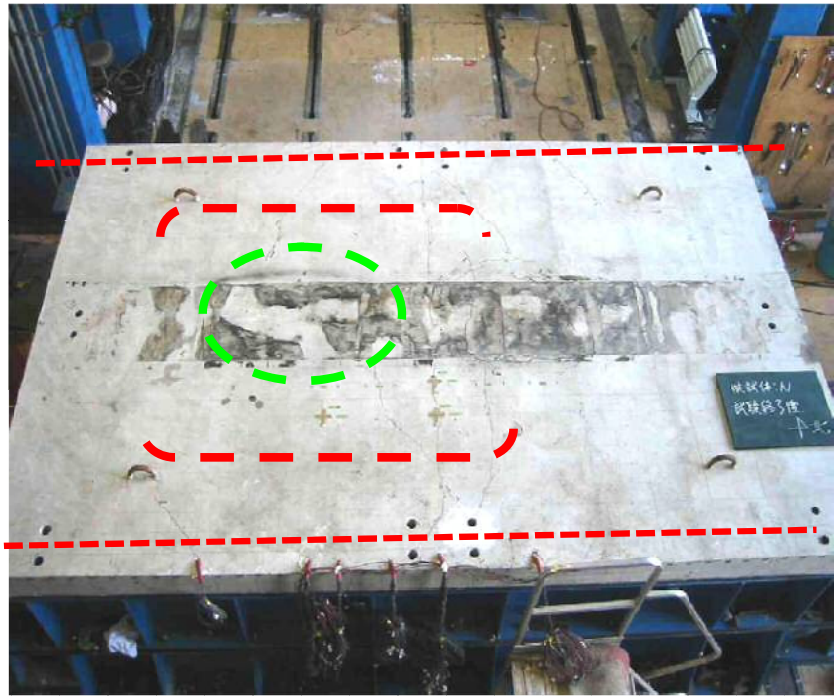




広範囲に抜け落ちが生じた。路面で1.5m×1.2m

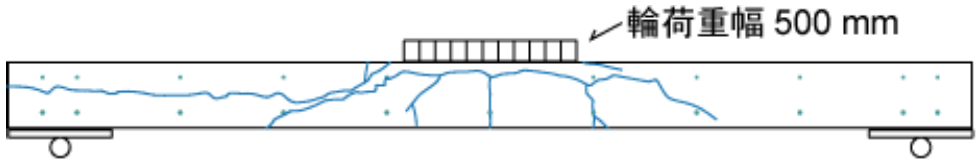
# 輪荷重試験による床版の破壊形態

## 未補強のS39道示RC床版

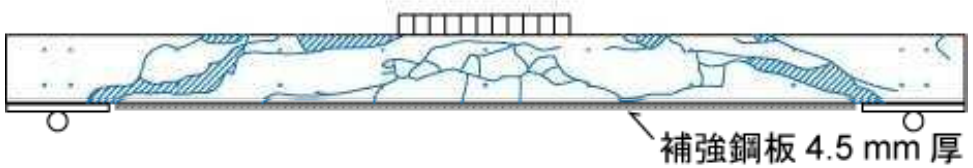


## 鋼板接着されたRC床版






(a) 無補強 39 床版（供試体 N)




(b) 鋼板接着補強された 39 床版（供試体 NS1)

# RC床版の点検、調査、対策時の留意点1

・疲労の影響だけでなく、材料の劣化（塩害、凍害、ASR）が関係していると考えられる損傷形態が見られている。

・床版下面に顕著なひび割れがない箇所でも、水の浸入により、内部で損傷（上面の土砂化や内部の水平ひび割れ発生）が進行している場合あり。

⇒・床版下面の漏水、石灰析出等や舗装の補修等により、上面や内部の劣化が疑われる場合には、抜け落ちの懸念について、点検結果の精査や詳細調査が必要。

⇒・防水層の状況、舗装の状態や補修履歴、雨水の浸入の有無・経路等の調査により、橋面の状態と下面側の状態を照らし合わせ、床版の状態を検討することが重要。

・橋面のアスファルト舗装や防水層の状態が損傷の進行に影響を与える。

⇒・防水層がない場合、舗装のひび割れ部、目地部、部分補修箇所等から水が浸入し、劣化が進行する可能性がある。

⇒・防水層があっても、下面の漏水等が見られる場合には、防水効果が十分発揮されていない可能性があり要注意

# RC床版の点検、調査、対策時の留意点2

・舗装の変状（舗装のひび割れの発生、へこみやポットホールの発生、舗装の部分補修の繰返し、泥水噴出等）は、局所的に床版上面の土砂化や抜け落ちの兆候の可能性があるので、床版の状態に特に注意する。

（対処）

⇒・床版全体の損傷状態に応じて取替を視野に更新計画を検討するのが良い。

⇒・土砂化部分は、水の影響により早期の抜け落ちが懸念。抜本的な対策まで時間を要する場合には、部分打替えと防水層の施工等の補修を先行して早急に実施。

（下面に表面保護工等が施工されている場合）

・保護工によっては剥落が抑制されるが、広範囲に剥落する可能性もあり。

⇒・近接点検の際には、床版下面が塗装されていても、たたき点検等でかぶりの浮き、剥離、漏水等の状況に注意

# おわりに

■重大事象に至る前に対策を

・点検困難な部位には留意
　直接・間接的に変状把握⇒「先送り」せずに措置を判断
・事例毎に、現場を良く見ること
・説明できる対策シナリオが重要
　（各種制約の中での優先度を踏まえた段階的な措置等）
・当該橋の維持管理計画に配慮
　（他の損傷・変状、耐震補強、活荷重対応等）

■挙動や対策の不確実な面、将来想定されるリスクに応じて安全側の判断を

・損傷の影響
・既設部材の応力状態、補強時の既設/補強部材の力伝達
・将来の維持管理

# おわりに　ー損傷事例から学ぶ教訓ー

国総研・現場管理者と
共同で、損傷・対応事
例に関する情報を提供





現場に学ぶメンテナンス

鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食への対応事例

1. はじめに

## 【現場に学ぶメンテナンスの掲載実績】

21年　8月　現場からの警鐘 ～深刻化する劣化・損傷の実態と教訓～
　　鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食への対応事例
21年10月　鋼部材の疲労き裂について（その1）ー道路橋の主桁ー
21年12月　鋼部材の疲労き裂について(その2)ー鋼製橋脚隅角部ー
22年　7月　吊材破断時の安全対策—PCアーチ橋の事例—
23年　1月　橋脚基礎の洗掘への対応事例
23年　3月　橋台基礎の洗掘への対応事例
23年　5月　軸方向鉄筋にSD490を用いるRC中空断面橋脚の耐震性について
23年　8月　鋼材部の疲労き裂について（その3）—鋼床版—
23年11月　アルカリ骨材反応により劣化した橋台の補修事例
23年12月　橋台基礎の震災復旧対応事例
24年　2月　地震により変形したゴム支承の震災復旧対応事例
24年　5月　PC鋼材の腐食損傷への対応事例
　　ー妙高大橋のグラウト未充填と鋼材腐食の調査ー
24年　8月　橋脚基礎の洗掘への緊急復旧対応事例
25年　1月　ゲルバーヒンジ部補強吊り部材脱落の対応事例
25年　6月　アルカリ骨材反応が生じたPC橋の調査、診断と対応事例