研究プロジェクト名

# 鋼橋の点検並びに損傷の調査手法の高度化に関する研究

プロジェクトリーダー
石川　敏之
（関西大学環境都市工学部都市システム工学科 教授）

代理発表：坂野　昌弘（NPO法人橋守支援センター理事長）

# 参加メンバー

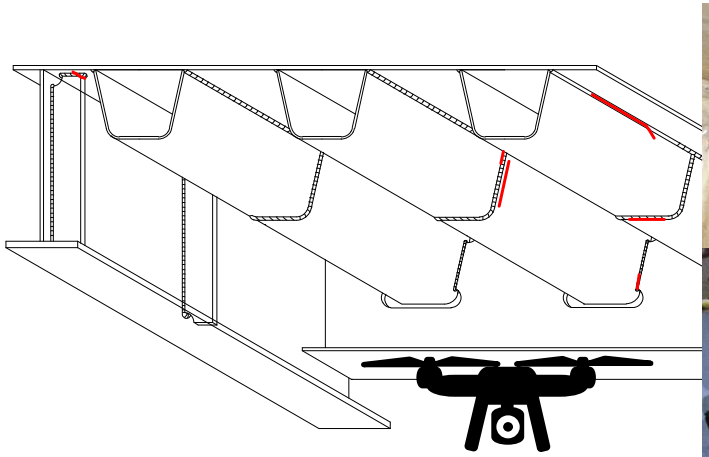
【産】橋梁調査会、日本橋梁建設協会、建設コンサルタンツ協会近畿支部、日本非破壊検査工業会
西日本高速道路、本四高速道路、阪神高速道路
丸重屋、酒井工業、橋守支援センター

【官】国土交通省近畿地方整備局
道路部、兵庫国道事務所、近畿技術事務所

【学】関西大学、岐阜大学、摂南大学

# 研究テーマの背景および課題と目的

橋梁点検においては，ＵＡＶ等の点検支援技術が活用されるようになってきたが，検出できる損傷の限界が不明である．また鋼橋のき裂損傷の調査は，技術者の経験に頼っており，技術者間で一定の質が保たれているわけではない等の課題がある．








本研究では，疲労き裂を対象として，点検支援技術を含めた点検および調査技術の効率化と精度確保，ならびに点検および調査の適切な実施に資するための実際の構造ディテールと疲労き裂を忠実に再現した実物大試験体の作製と点検・調査の手引き等の作成を目的とする．

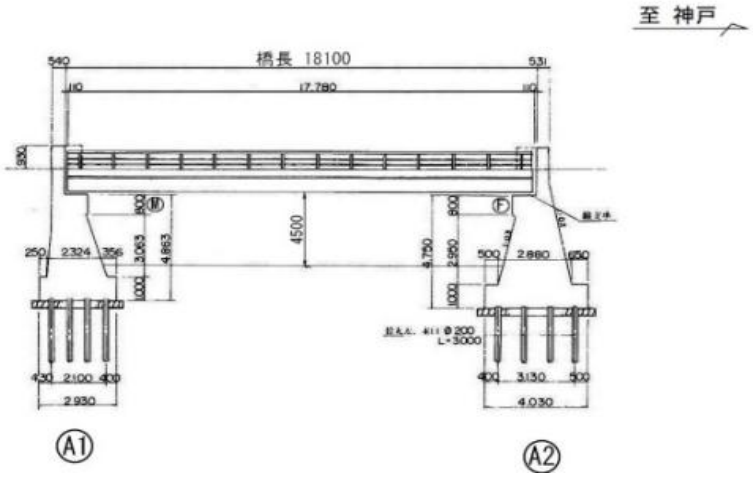
# 令和4年度の研究成果

（１）実際の橋梁の疲労損傷調査【R43,六湛寺橋】斜角30°
（非破壊検査，応力計測，き裂進展監視システムを含む）

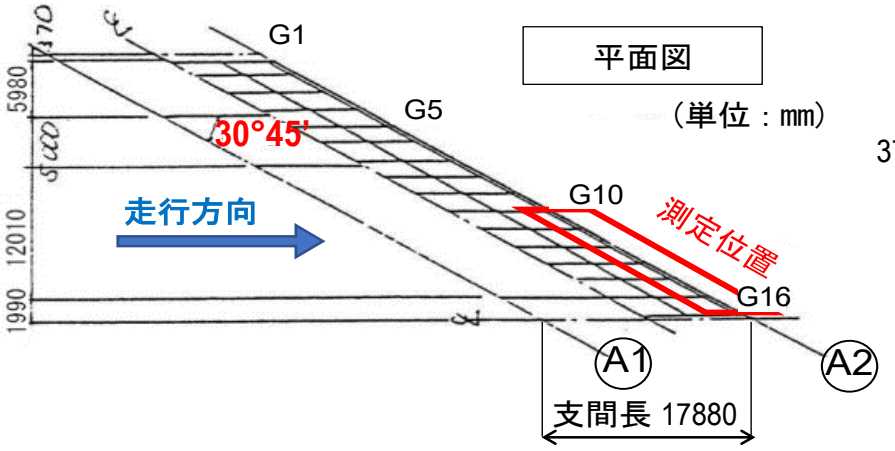
・塗膜剥離技術（レーザーと高性能剥離剤）
　のデモンストレーション（ＭＴ用）→課題抽出
・UAV等の活用のデモンストレーション→課題抽出
・応力計測（試験車走行および72時間連続）→損傷原因推定
・き裂進展監視システムの適用調査→耐久性検証

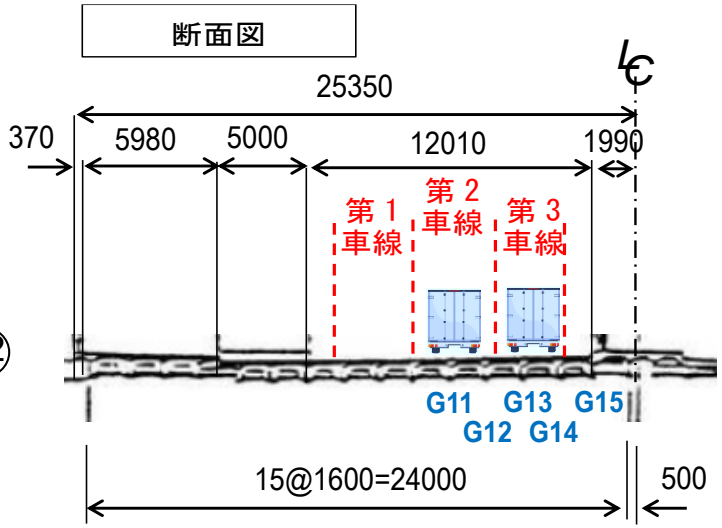
（２）実構造を再現した実物大の大型疲労試験体の設計と製作
→次年度に六湛寺橋の桁端部の疲労き裂を再現予定

# 対象橋梁




橋長： 18.100m
幅員： 25.350m（3車線）
斜角： 約30度
竣工： 1961年（62歳）



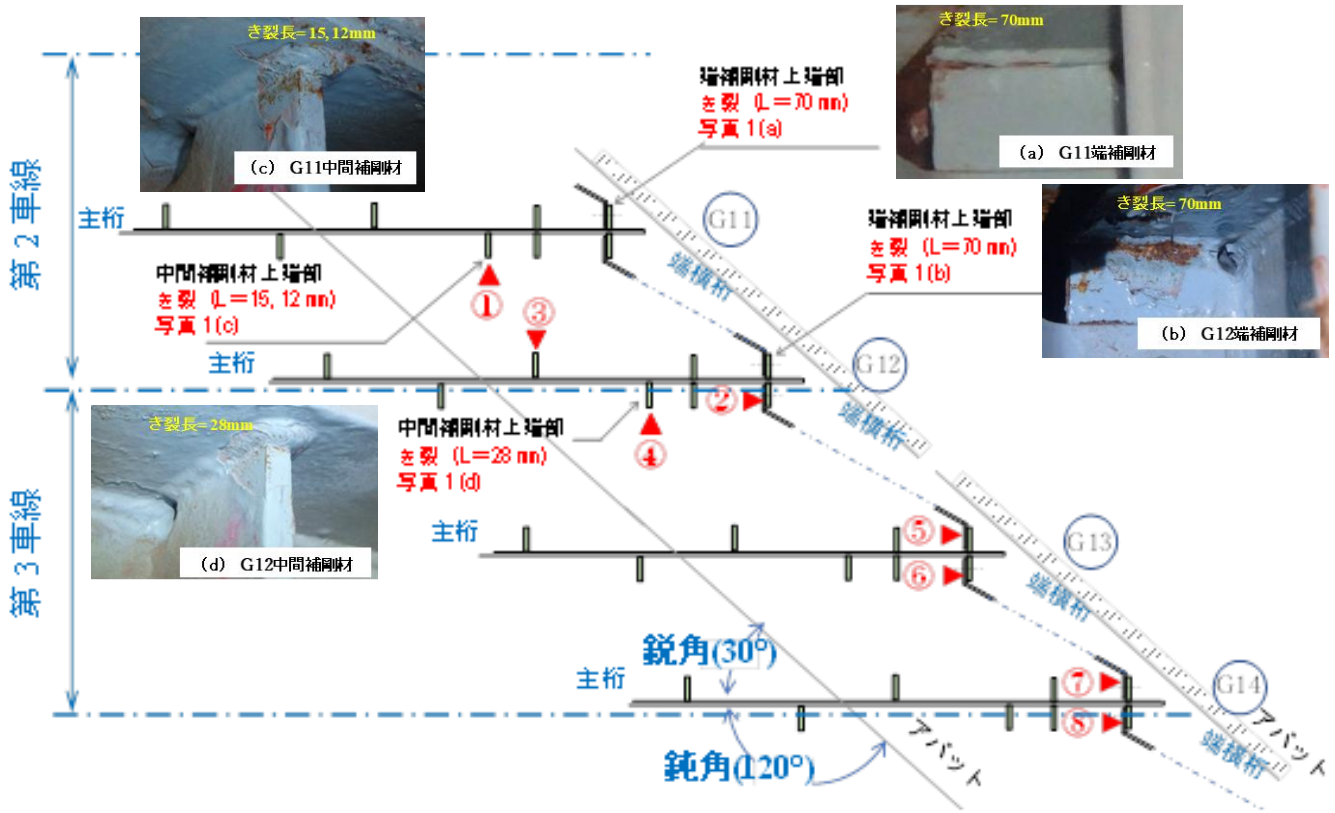



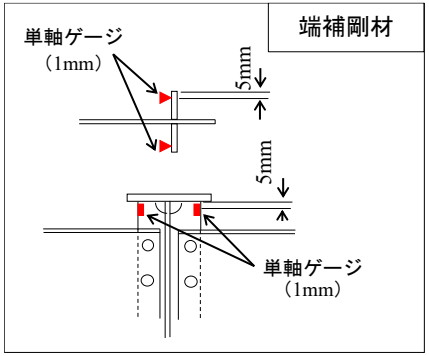
交通量：40,811台（12時間）
大型混入率：41.2%
（2015年）

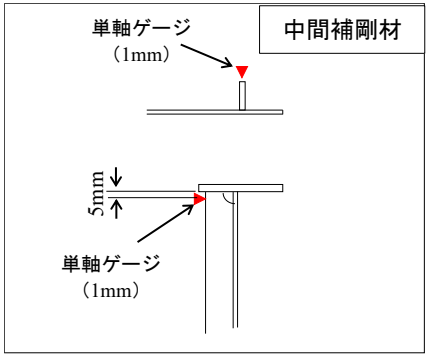




# ・ ひずみゲージ取付け位置



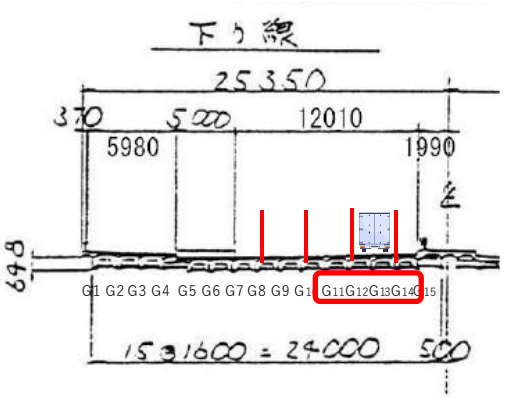



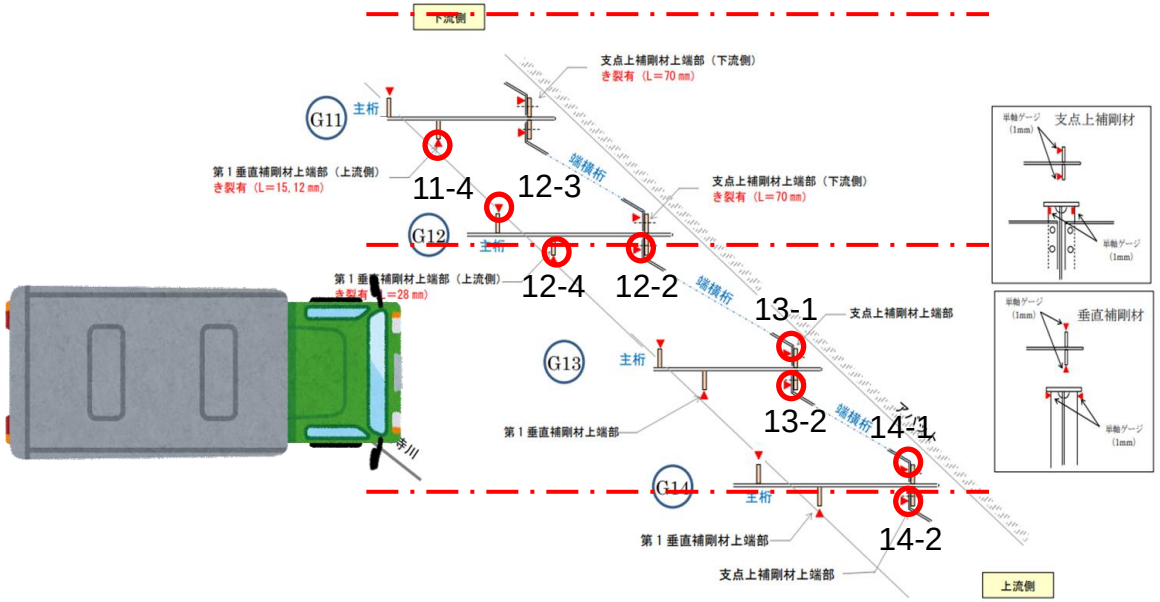



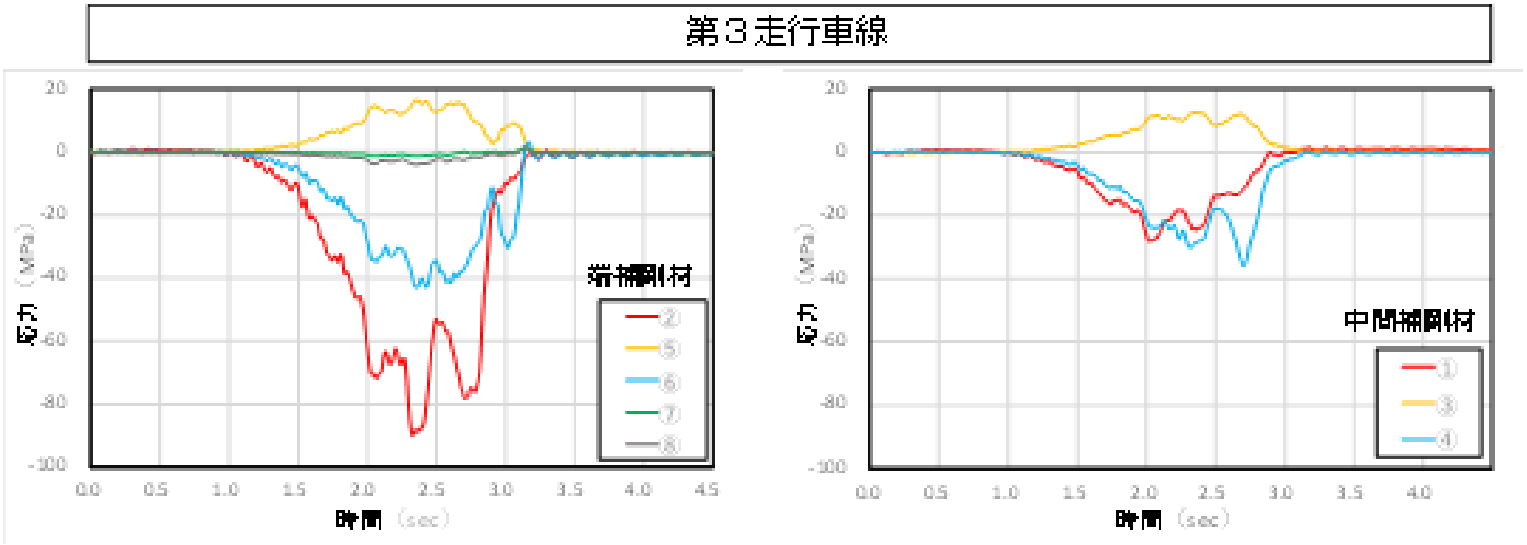

測定点および疲労き裂検出個所

# ▪ 走行試験

- 第3走行車線


下り線
25350
370
5000
12010
5980
1990
698
G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G11 G12 G13 G14 G15
15@1600 = 24000
500


下流側
支点上補剛材上端部（下流側）
き裂有（L＝70 mm）
G11
主桁
第１垂直補剛材上端部（上流側）
き裂有（L＝15, 12 mm）
11-4
12-3
端横桁
支点上補剛材上端部（下流側）
き裂有（L＝70 mm）
G12
主桁
12-4
12-2
第１垂直補剛材上端部（上流側）
き裂有（L＝28 mm）
端横桁
13-1
支点上補剛材上端部
G13
主桁
13-2
14-1
第１垂直補剛材上端部
端横桁
G14
主桁
14-2
第１垂直補剛材上端部
支点上補剛材上端部
上流側
支点上補剛材
垂直補剛材


第３走行車線
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
(MPa)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
時間（sec）
端補剛材
②
⑤
⑥
⑦
⑧
中間補剛材
①
③
④

# 令和５年度の研究成果（１/２）

（1）前年度に製作した試験体の疲労試験

・静的載荷試験により、載荷位置の影響について検討
→載荷位置によって、主桁端部に著しい面外曲げが発生！

・最も厳しい載荷位置で疲労試験を実施
→過積載荷重を考慮して疲労試験を継続中！

（2）非破壊検査技術の適用性検討【R175,福井橋】

・渦電流探傷試験（ET）と磁気探傷試験（MT）の結果比較により
ETのき裂検出精度の検証→MTと同等の精度を確認！

・3径間連続桁橋中央径間1/4付近の横構ガセット溶接部で
荷重車による動的応力計測と72時間連続応力計測を行い
活荷重応力発生状況の把握と疲労寿命を予測
→正負交番応力を確認！（疲労寿命は100年以上）

# 令和５年度の研究成果（2/2）

（3）橋梁点検支援技術の適用性検討

・ドローンによる溶接部の塗膜割れの検出が可能！

・軽量小型レーザーとペースト状剥離剤による
MT箇所の効率的な塗膜剥離が可能！
ステンレス入り塗料を用いた補修塗装の効率化！

（4）改良型試験体の設計と製作

・主桁の両側に端横桁を有する3主桁試験体を新たに設計製作
→令和6年度に疲労試験を実施予定

（5）斜橋に関する実態調査

・近畿直轄5,050橋の内、斜角が60°未満は400橋（7.9%）
→斜角30°未満の12橋について詳細調査を継続中

# ドローン取得画像①

離隔距離　0.5m-1.0m



左の写真の拡大



昨年度の課題であった近距離での撮影については、安定性の面で機体性能の向上、また操縦者の技術の向上により安定し撮影を実施できた。
操縦者は年間200時間以上のドローン点検を実施しており、その成果が見られる。

**→桁下部の比較的大きな塗膜割れは確認可能！**

# 取得画像②

離隔距離　0.5m-1.0m



左の写真の拡大



強風により機体制御時のバッテリー消耗が風速が1-2m時に比べて、
大幅に消耗するため、通常では1フライトを20分目安で飛行を行うが、15分程度に設定し安全性を確保した。

**→桁上部下面の塗膜割れもある程度確認可能！**

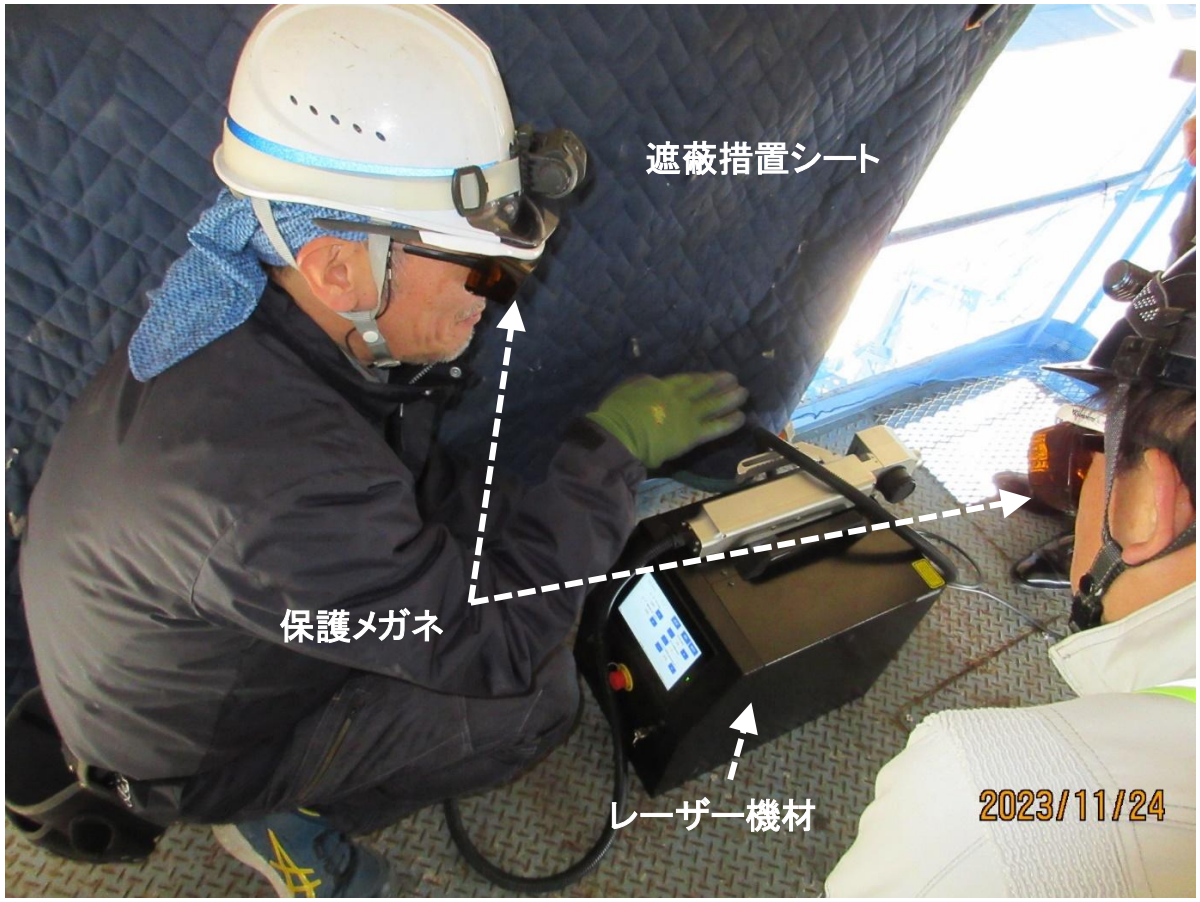
# 小型軽量なレーザーケレン装置（質量20kg）

## 使用機材（国産）





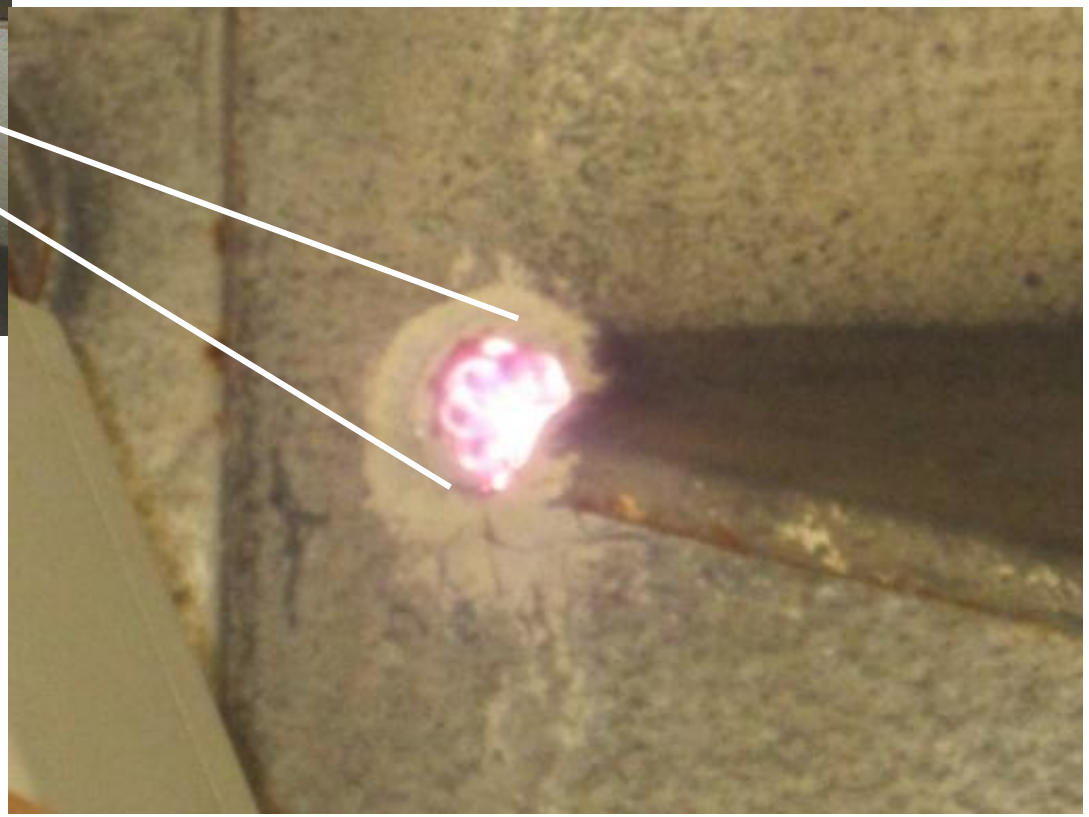




# レーザーケレン施工状況→廃棄物なし！

（3）デモンストレーション内容



# 小型軽量レーザーにより、効率的なケレンが可能

（3）デモンストレーション内容

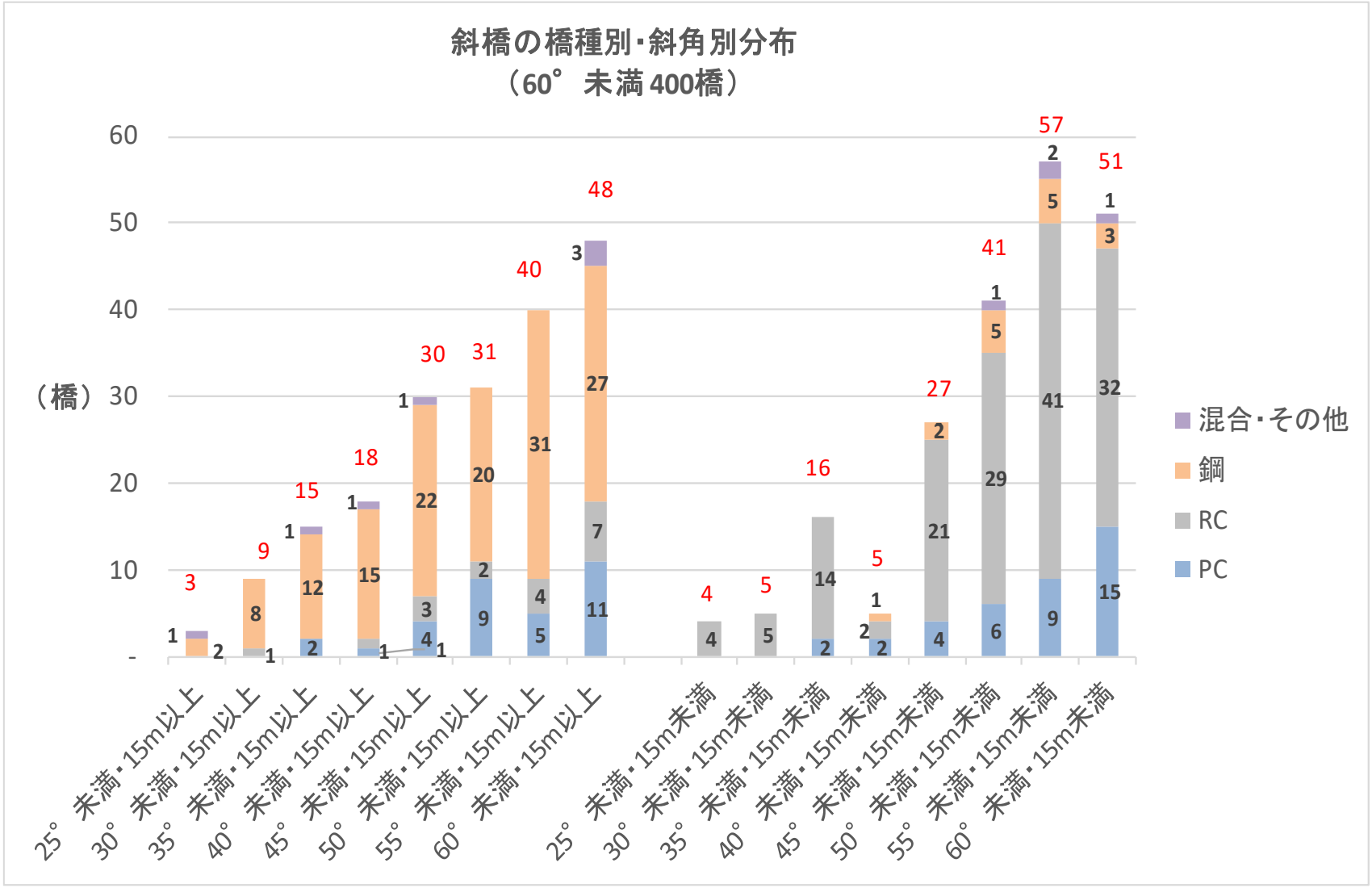




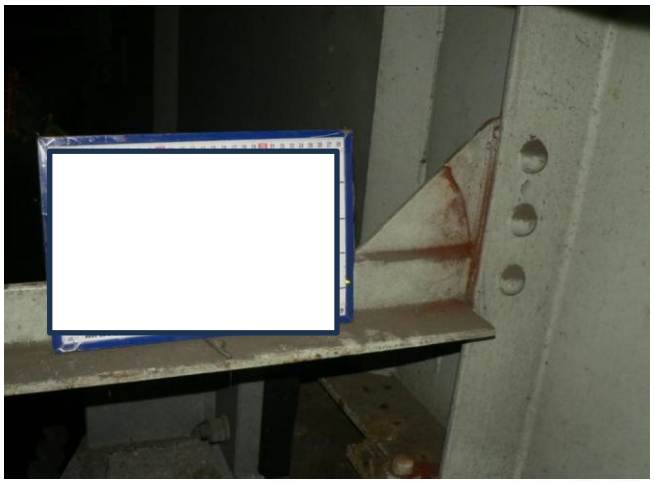


塗膜と錆は蒸発？

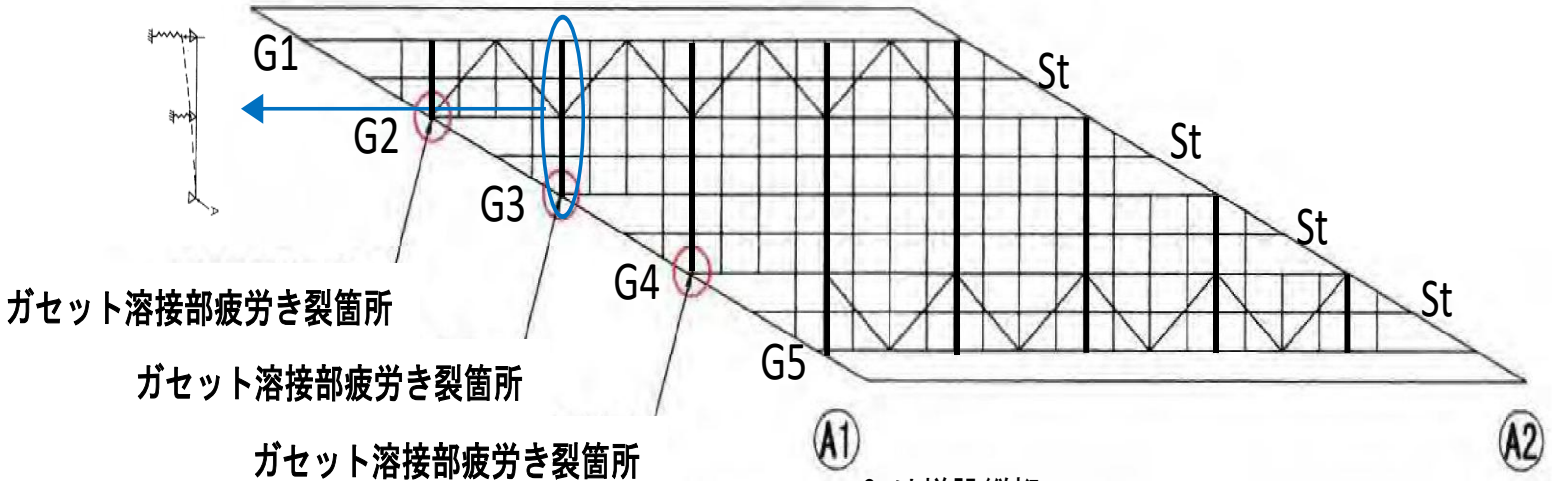
# 斜橋の橋種別･斜角別分布



# R橋のき裂と格子形状、および損傷個所図








Stは増設縦桁。
太い横断線は中間対傾構、その他の横断線は増設横桁

# 年度毎の研究内容

## 令和４年度
・実際の橋梁の疲労損傷調査
　（非破壊検査，応力計測，き裂進展監視システムを含む）
・実構造を再現した実物大の大型疲労試験体の設計と製作

## 令和５年度
・前年度に製作した試験体の疲労試験(実橋の疲労き裂の再現)
・試験体(と実橋)のき裂に対する非破壊検査技術の適用性検討
・橋梁点検支援技術（非破壊検査の前後処理技術）の適用性検討
・疲労試験結果を踏まえた改良型試験体の設計と製作
・斜橋の疲労損傷と構造特性に関する実態調査

## 令和６年度
・前年度に製作した試験体の疲労試験（疲労き裂進展挙動の再現）
・疲労試験中のき裂発生から部材破断状態までの動画記録
・点検調査手法に関する手引きの作成
・斜橋の疲労損傷と構造特性に関する実態調査
・３年間の研究の取りまとめ

# 令和６年度(最終年度)の研究成果

（１）実物大疲労試験体を用いた疲労き裂の再現と動画記録

（２）疲労試験体のき裂に対する非破壊検査技術の適用性検討

（３）斜角が小さい橋梁の実態調査

（４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

（５）3年間の研究成果の取りまとめ

# 令和6年度(最終年度)の研究成果（1）

## （1）実物大疲労試験体を用いた疲労き裂の再現と動画記録

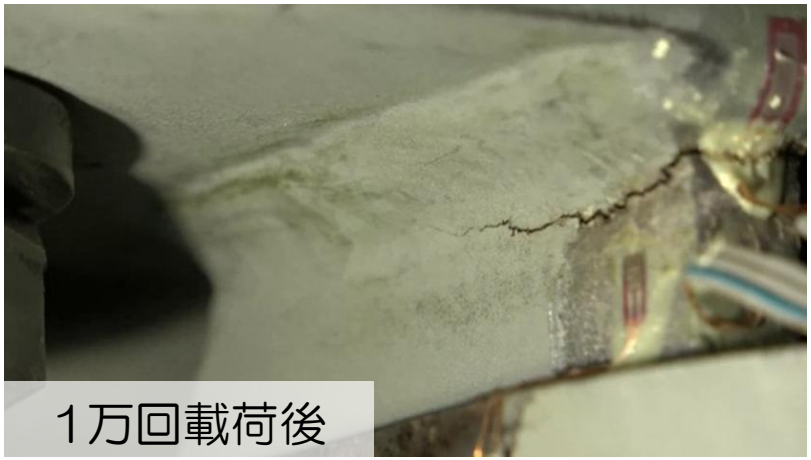
改良型3主桁実物大試験体の疲労試験状況（摂南大学）

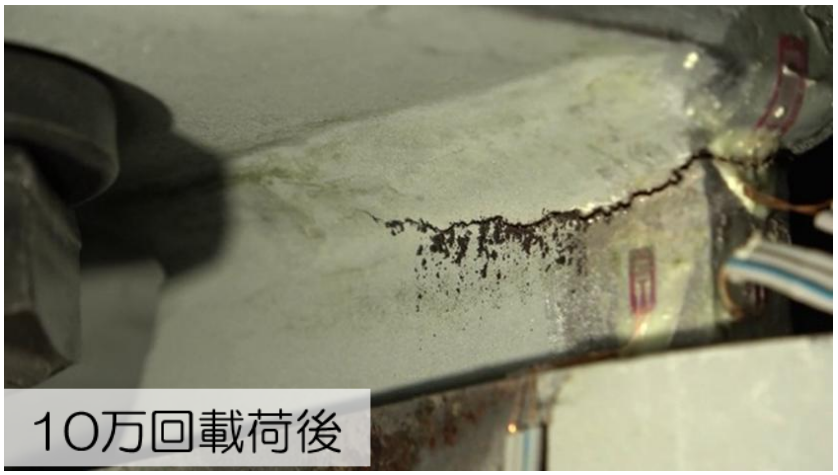


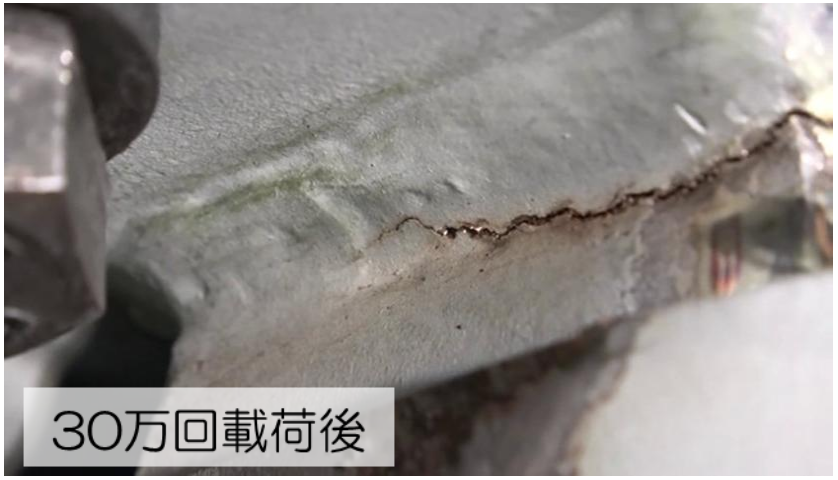
令和6年度(最終年度)の研究成果（1）

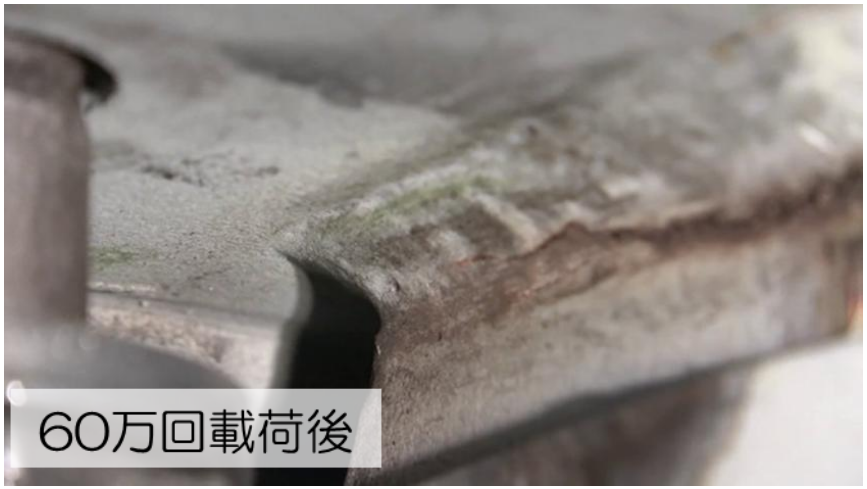
# （1）実物大疲労試験体を用いた疲労き裂の再現と動画記録

## 長いき裂の再現と進展状況（ΔP＝140kN）



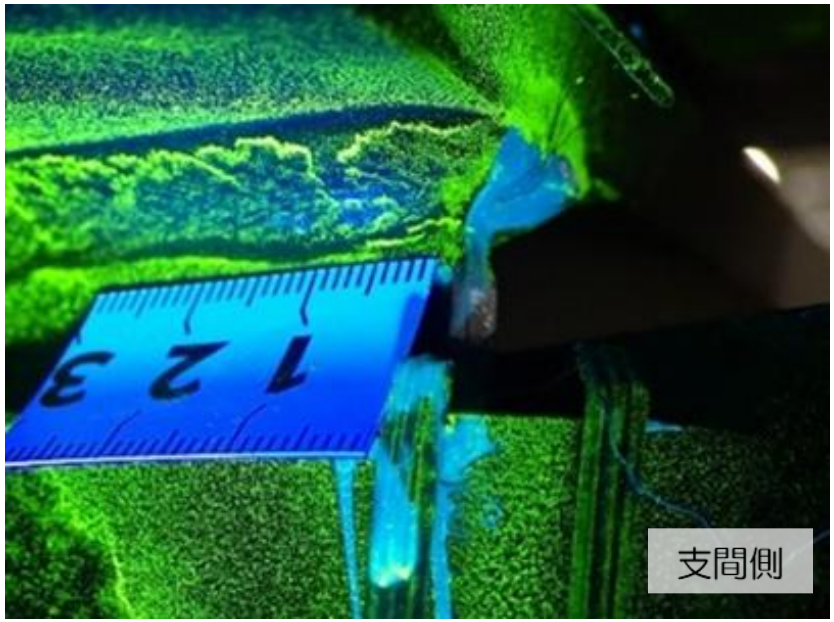



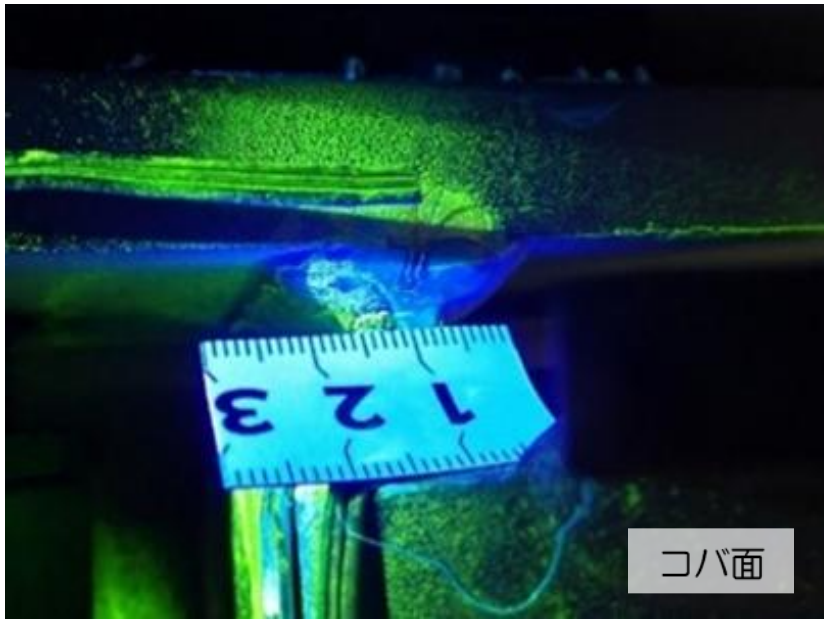



## 令和6年度(最終年度)の研究成果（1）

# （1）実物大疲労試験体を用いた疲労き裂の再現と動画記録

## 短いき裂の再現と進展状況（ΔP=70kN、１万回）



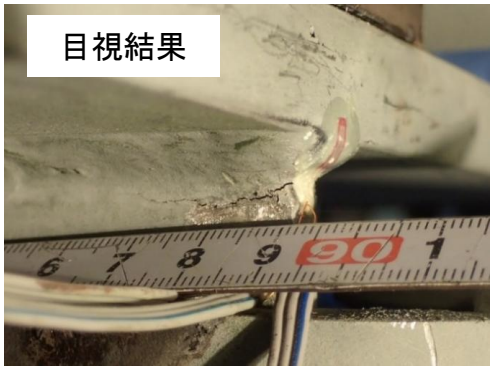
# 令和６年度(最終年度)の研究成果（２）

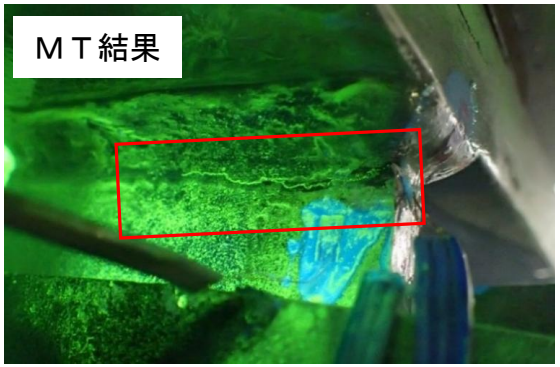
（２）試験体のき裂に対する非破壊検査技術(ET)の適用性検討

試験状況 （左:鈍角側、右:鋭角側）



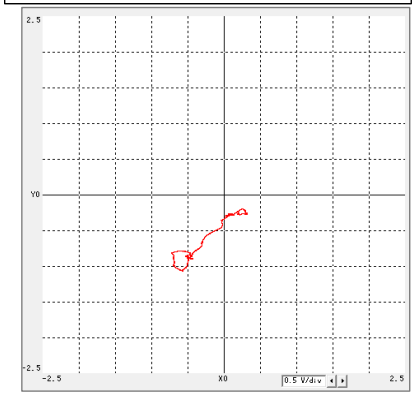
# ◆　端補剛材上端部　長さ20mmのき裂

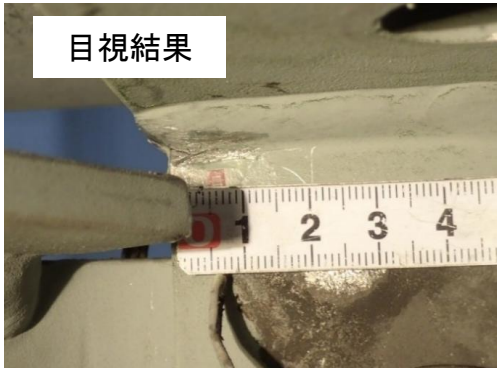


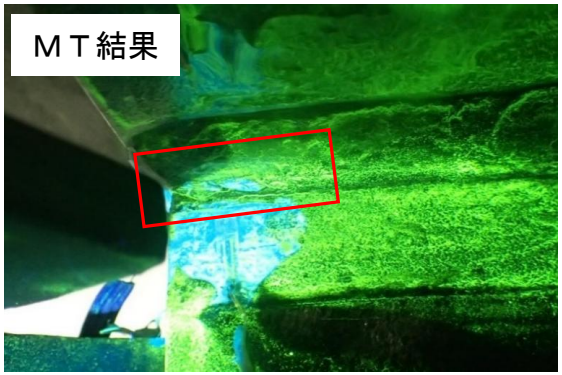




端補剛材・上フランジ溶接部の発生き裂：支間側

支間側　端補剛材上端部

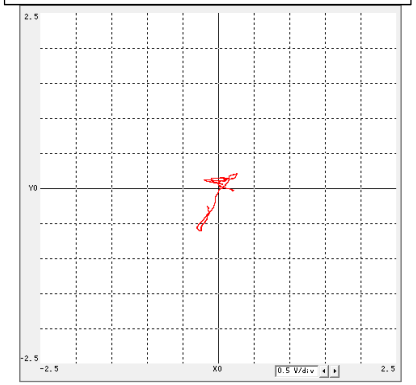





端補剛材・上フランジ溶接部の発生き裂：桁端側

桁端側　端補剛材止端部

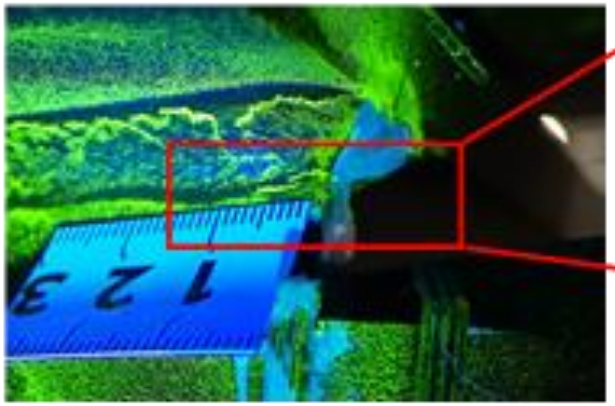


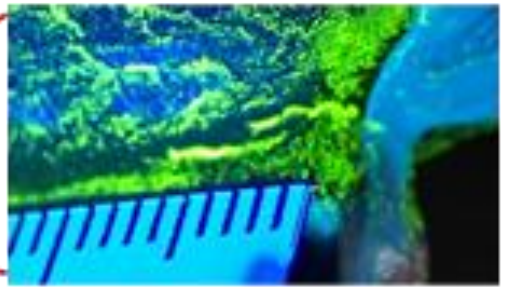
ET結果

判定：き裂あり

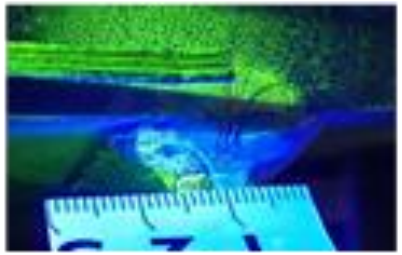
# ◆　端補剛材上端部　長さ6mmのき裂

**ＭＴ結果**



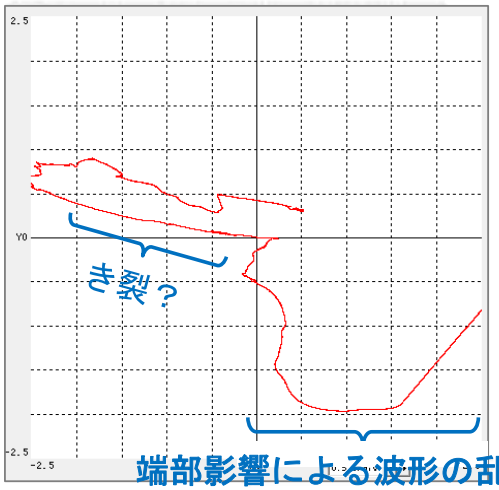


・き裂長:約6mm
・き裂は不連続で浅いと推定



**ＥＴ結果**

**桁端側　端補剛材止端部**




ET判定困難

端部影響による波形の乱れ

端補剛材・上フランジ溶接部の発生き裂：桁端側

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（３）

## （３）斜角が小さい橋梁の実態調査

斜角が45°未満の近畿直轄132橋について
点検調書等で状況を確認

その中から特徴的な疲労損傷が生じていて
アクセス可能な4橋を選定し、現地調査を実施

- 国道1号　　葭島橋
- 国道163号　新菊水橋
- 国道171号　鋳物師橋
- 国道24号　　御所橋　　（全て渡河橋）

それらの構造特性やき裂発生状況は（4）の手引きに反映

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（４）

## （４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

「鋼橋（斜角）の疲労き裂調査に関する手引き（案）」

・疲労損傷が生じやすい斜角の小さい鋼道路橋を対象
・それらの構造特性や疲労き裂に関する調査方法を具体的に提示
・適切な非破壊検査による疲労き裂の早期発見
・それらの疲労損傷に対する事後保全対策や予防保全対策を提案

↓

斜角の小さい鋼道路橋の疲労耐久性を向上させることを目的

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（４）

（４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

「鋼橋(斜角)の疲労き裂調査に関する手引き(案)」

目　次

1.　本手引きの目的と範囲
　1.1　目的
　1.2　範囲

2.　斜橋に関する実態調査結果

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（４）

（４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

「鋼橋(斜角)の疲労き裂調査に関する手引き(案)」

目次

3.　斜橋の構造的特徴
3.1 格子形状（直交と斜交）
3.2 対傾構構造と主桁取り合い構造→荷重分配！
3.2.1 対傾構構造
3.2.2 対傾構と主桁の取り合い構造
3.3 応力・変形挙動（六湛寺橋）

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（４）

（４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

「鋼橋(斜角)の疲労き裂調査に関する手引き(案)」

目次

4.　斜橋の疲労損傷事例
- 4.1　一般
- 4.2　端横桁取付け部(補剛材上端部、横桁端下部)
- 4.3　支承部(ソールPL溶接部、端補剛材下端部)
- 4.4　中間横桁および中間対傾構取付け部(ガセット)
- 4.5　その他の部位(き裂削除痕、カバーPL端部)

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（４）

（４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

「鋼橋(斜角)の疲労き裂調査に関する手引き(案)」

目次

5. 疲労き裂調査方法
  5.1 一般
  5.2 目視点検（ドローン等）
  5.3 非破壊検査（MT、ET）
    5.3.1 検査手法
    5.3.2 磁気探傷試験（MT）（レーザー、剥離剤）
    5.3.3 渦電流探傷試験（ET）

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（４）

（４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

「鋼橋(斜角)の疲労き裂調査に関する手引き(案)」

目次

6. 疲労き裂対策
6.1 対象とする疲労き裂
6.2 事後保全対策
6.3 予防保全対策

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（４）

（４）鋼橋の疲労き裂調査に関する手引きの作成

「鋼橋（斜角）の疲労き裂調査に関する手引き（案）」

目次

（付録）

付録-1 大型試験体の疲労試験

付録-2 実物大試験体に対する非破壊試験

付録-3 実橋に対する非破壊試験（福井橋）

付録-4 実橋のひずみ計測（六湛寺橋）

**新都市研究会HP上で公開中！**

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（５）

（５）3年間の研究成果の取りまとめ

**3年間の研究成果を取りまとめて報告書を提出**
**主な成果については土木学会の年次学術講演会に産官学の連名で3編投稿**

**1)　坂野昌弘，田井政行，狩野哲也，田中茂行：**
**実物大の斜橋試験体を用いた疲労き裂の再現，**
**土木学会第80回年次学術講演会，CS3-23, 2025.9.**

**2)　Luiza H. Ichinose，田井政行，田中茂行，坂野昌弘：**
**斜橋の端横桁取付け部に生じる疲労き裂に対するETの適用，**
**土木学会第80回年次学術講演会，CS3-24, 2025.9.**

**3)　小西日出幸，川上修，折口清秀，廣瀬彰則，藤井義之，坂野昌弘：**
**斜橋における疲労損傷事例の調査，**
**土木学会第80回年次学術講演会，CS3-25, 2025.9.**

# 令和６年度(最終年度)の研究成果（５）追加

（５）3年間の研究成果の取りまとめ（追加）

**3年間の研究成果を取りまとめて報告書を提出**
**主な成果については鋼構造協会にも産官学の連名で3編投稿**

**1)　坂野昌弘, 川上修，小西日出幸，折口清秀，藤井義之：**
**斜角が小さい鋼道路橋の疲労損傷事例調査,**
**鋼構造年次論文報告集，第33巻，No.45, 2025.11.**

**2)　田井政行，狩野哲也，田中茂行，坂野昌弘：**
**実物大の斜橋試験体を用いた端補剛材上端部の疲労き裂の再現,**
**鋼構造年次論文報告集，第33巻，No.46, 2025.11.**

**3)　Luiza H. Ichinose，田井政行，田中茂行，坂野昌弘：**
**斜橋の端横桁取付け部に生じる疲労き裂に対する渦電流探傷試験の適用性,**
**鋼構造年次論文報告集，第33巻，No.66, 2025.11.**

ご清聴ありがとうございました

疲労き裂を再現した実物大試験体の引き取り先を募集中！