



関西大学 新技術説明会 2023年8月31日

IoTに適した疲労き裂検知システム

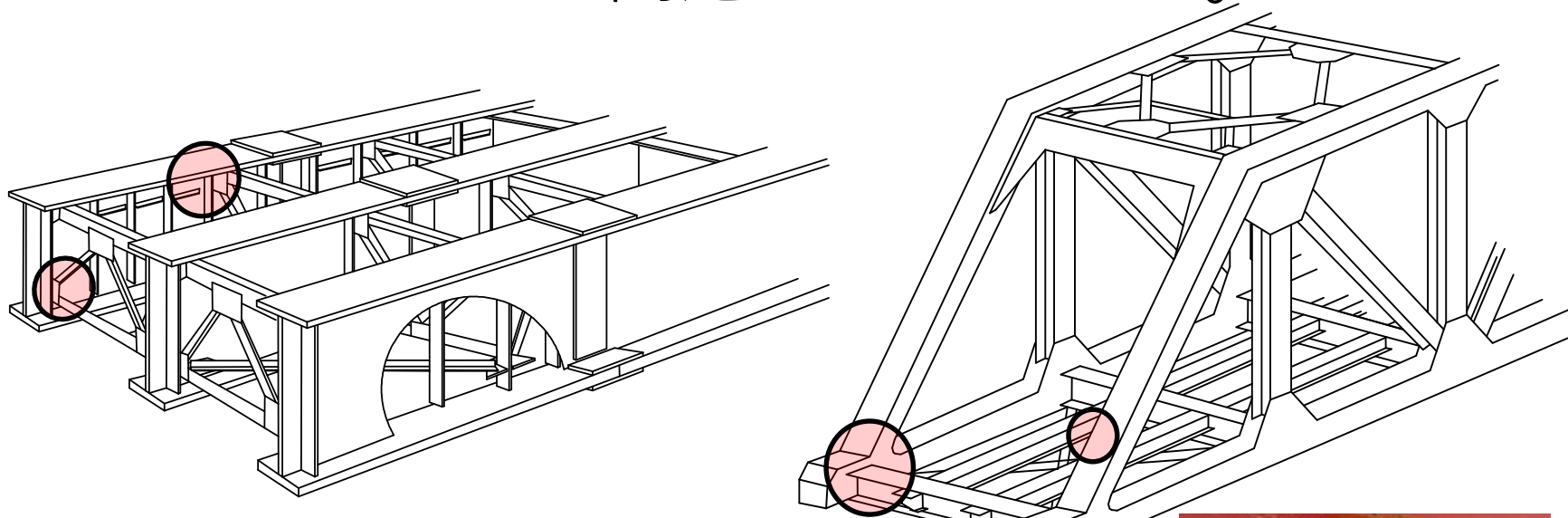


関西大学 環境都市工学部
都市システム工学科
教授 石川 敏之



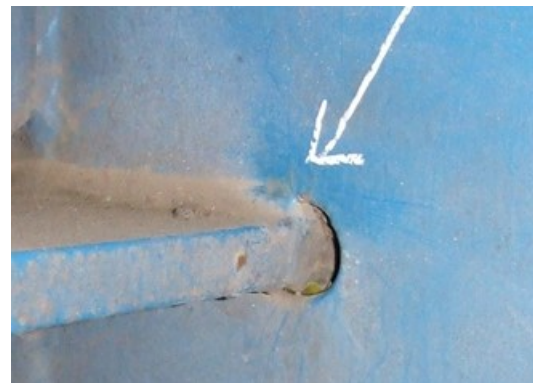
背景

- 現在、鋼橋では、非常に多くの疲労き裂が発生していることが問題となっている。

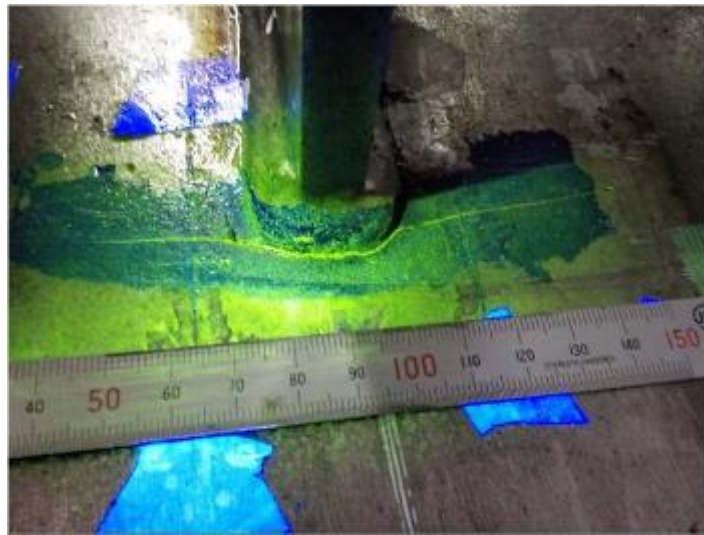


鋼道路橋の定期点検

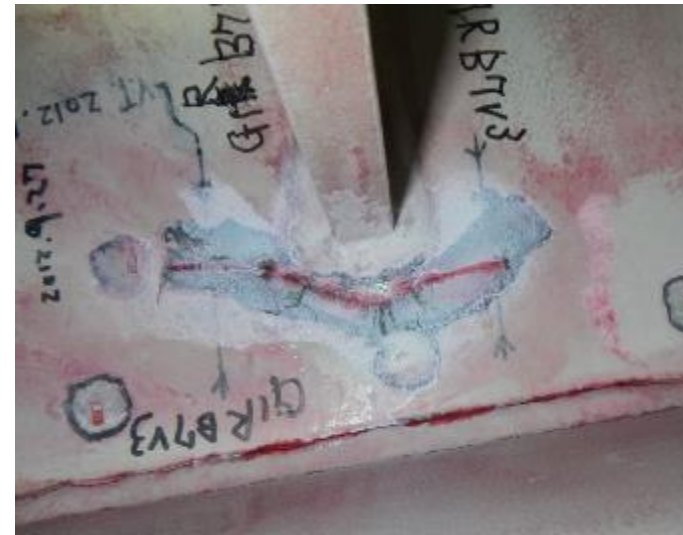
- 鋼道路橋では、5年に1度の定期点検が実施され、塗膜割れが生じ、疲労き裂の発生が懸念される場合、詳細検査が実施される。



一般的な疲労き裂に対する詳細調査
疲労き裂の検出方法として、実橋では、
磁気探傷試験(MT)が実施される。浸透探傷試験
(PT)、渦電流探傷検査(ET)、超音波探傷検査
(UT)なども用いられる場合がある。



磁気探傷試験(MT)

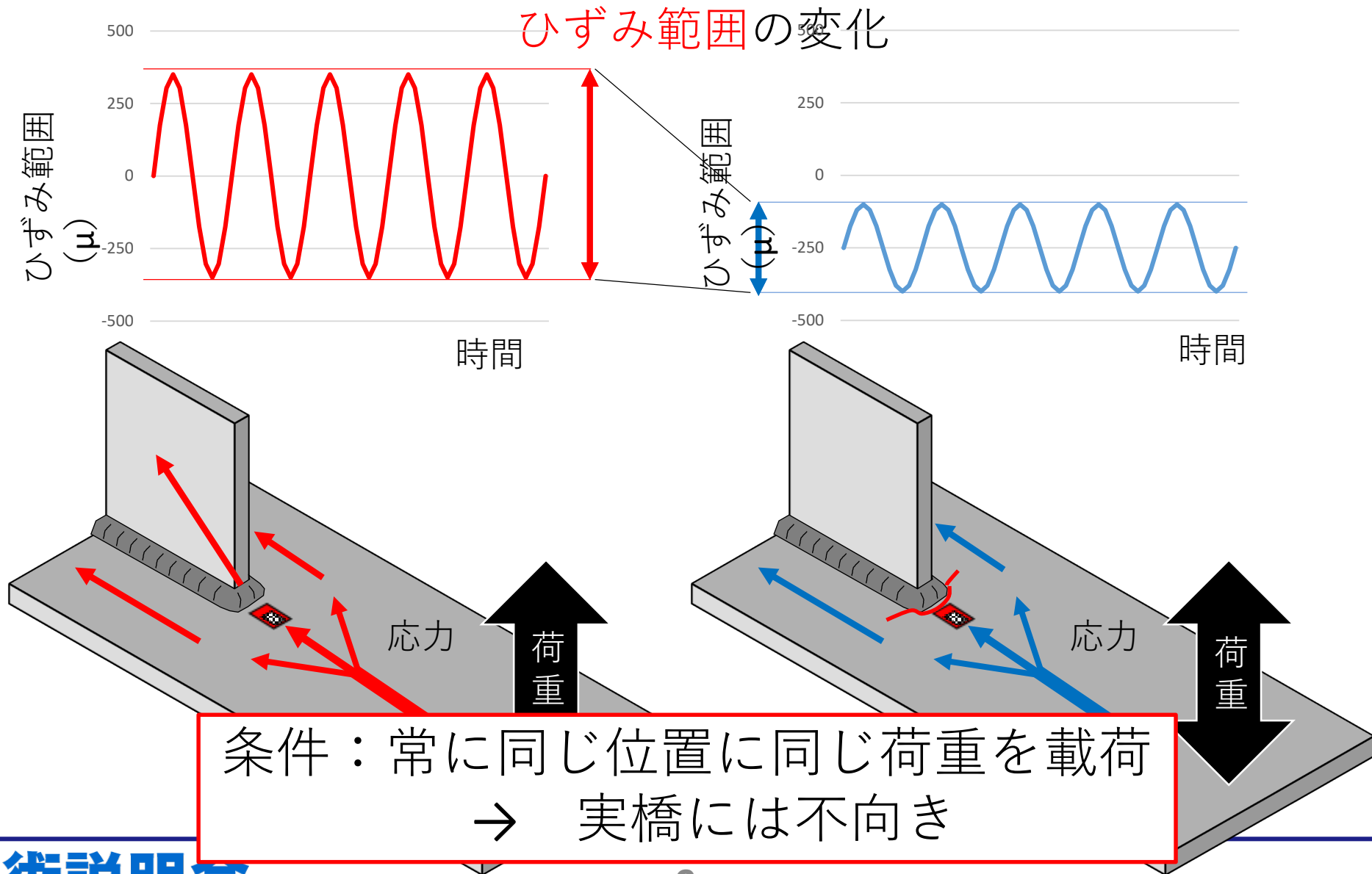


浸透探傷試験(PT)

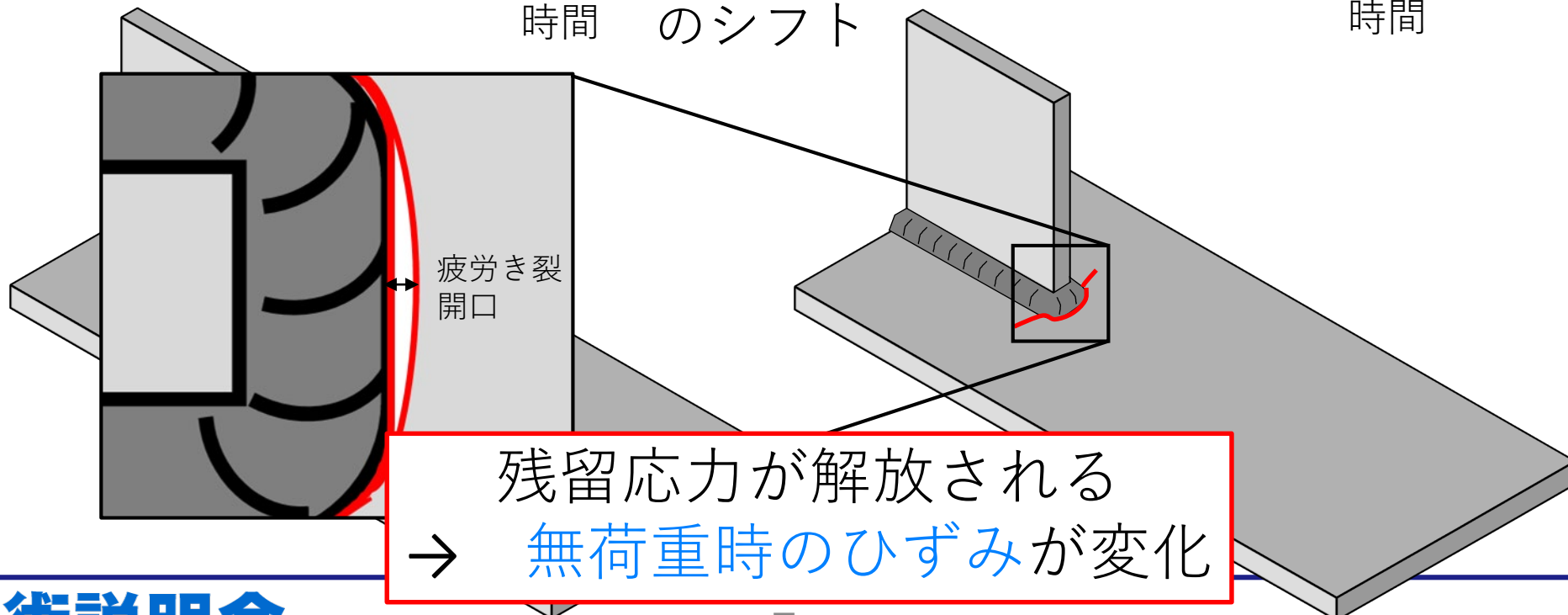
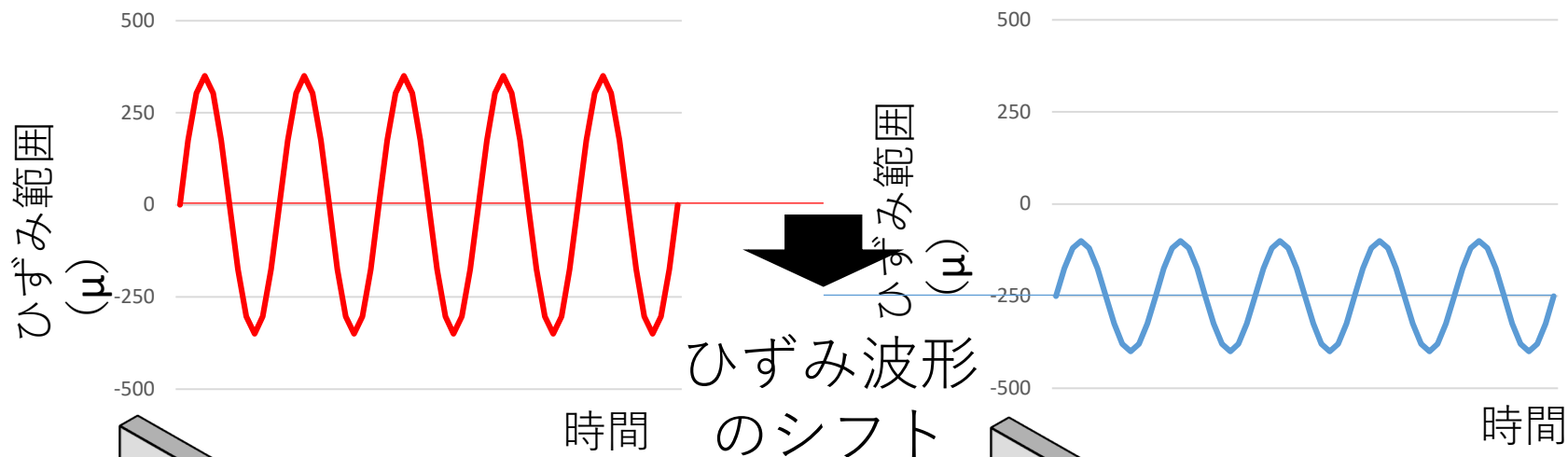
鋼橋の疲労損傷検知モニタリングに対するニーズ

- 疲労き裂が発生した箇所と同一の構造詳細に対して、次の定期点検までに疲労き裂が発生しないか懸念される。
- 2次部材に発生したき裂や、進展が遅い小さな疲労き裂に対しては、き裂進展の監視が行われる場合がある。
- 目視困難な個所に対して、疲労き裂が発生した場合に検出したい。
- 補修・補強後に再度疲労き裂が発生しないか追跡調査をしたい。

疲労試験の際のき裂検出方法



面疲労試験の際のひずみの変化



無荷重時のひずみを用いた疲労 き裂検知モニタリングの特徴

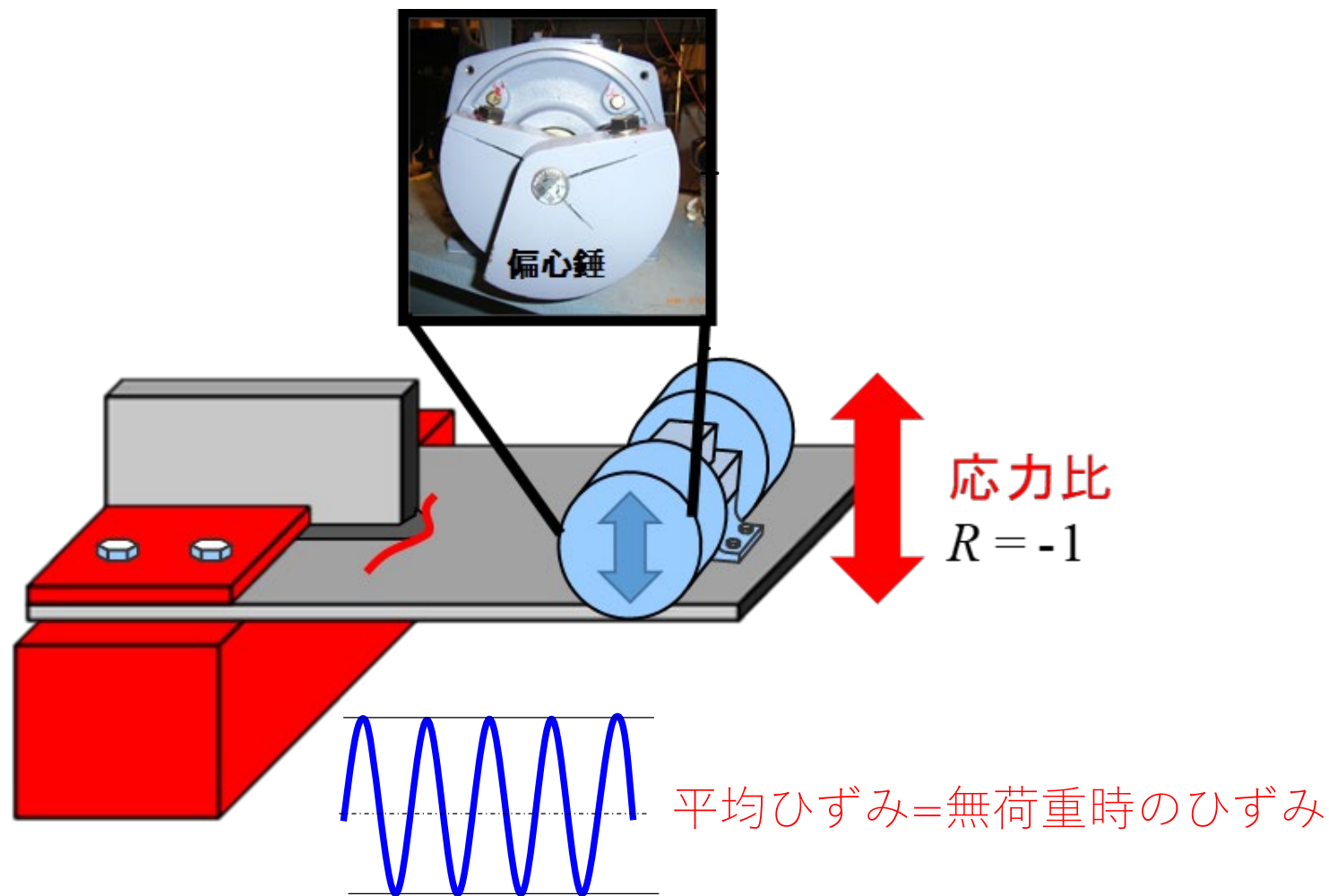
【メリット】

- 高価な動的なひずみ計測装置が必要ない
- 取得するデータが少なくても良い
- 少ないデータで評価できるので、IoTに適している
- バッテリー駆動の場合、電力を大幅に節約できる

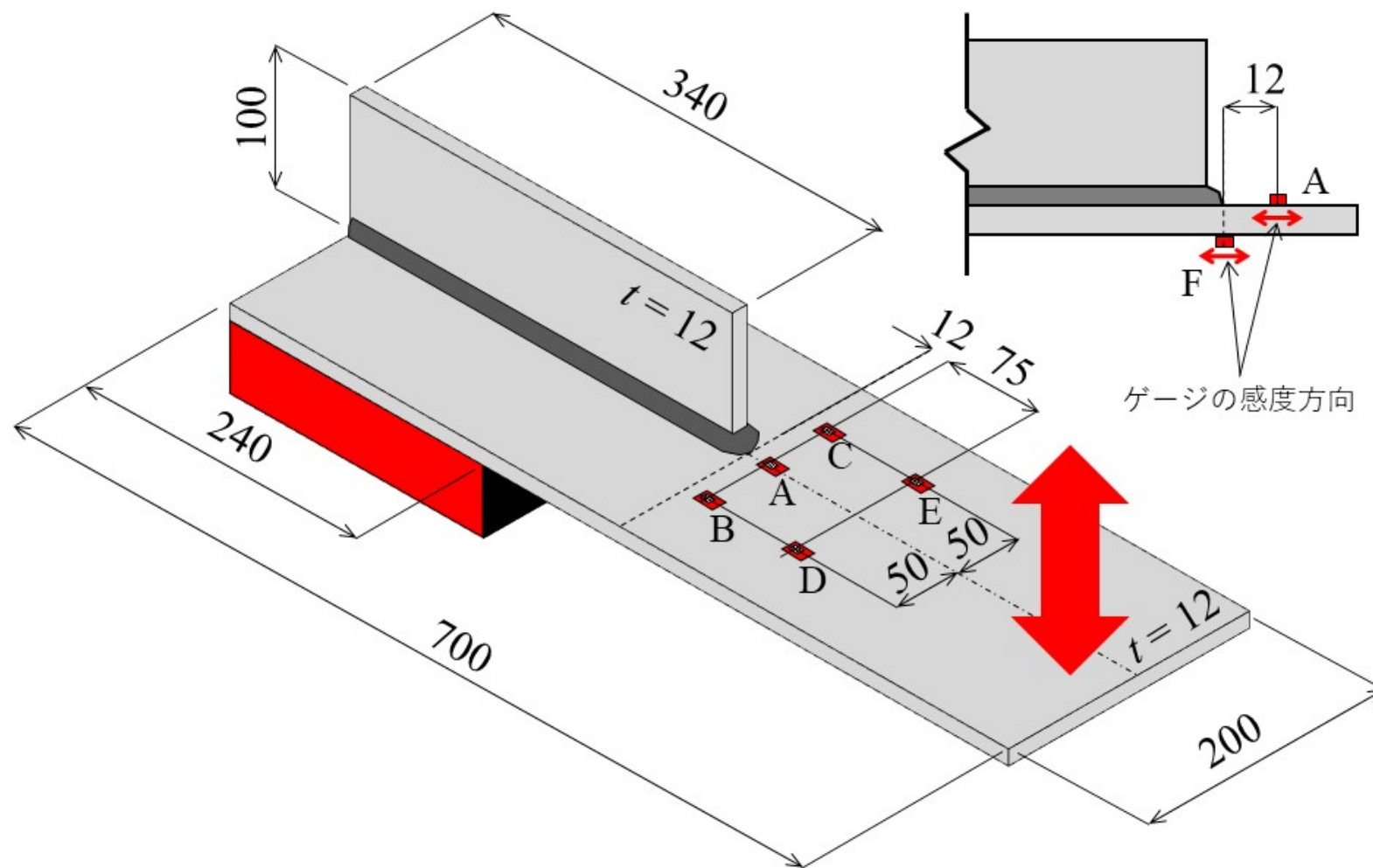
【注意点】

- 温度変化によって、ひずみの変動する
- 荷重が作用している状態で計測した場合の評価

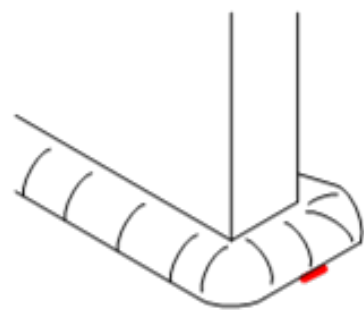
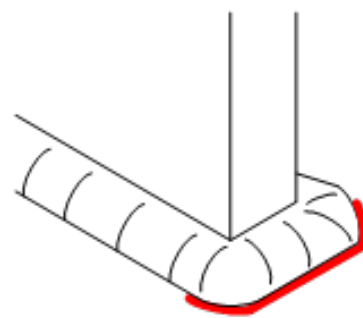
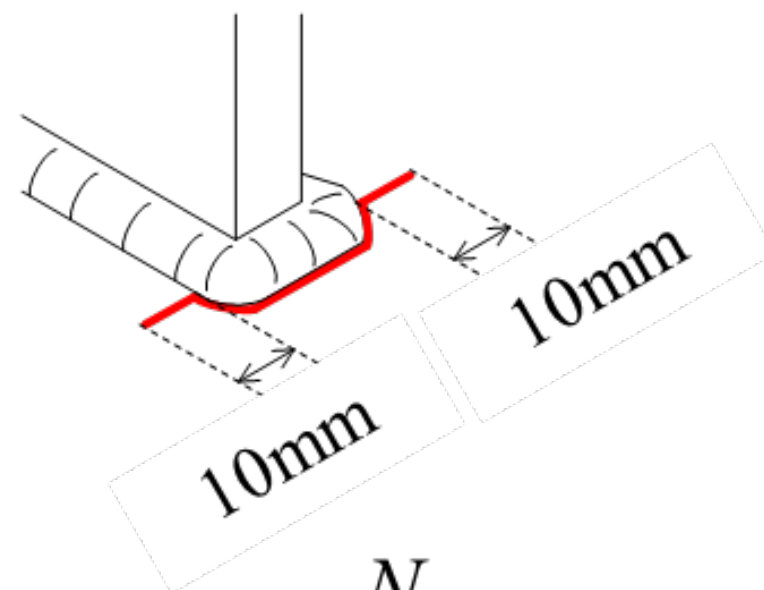
疲労試験による検証

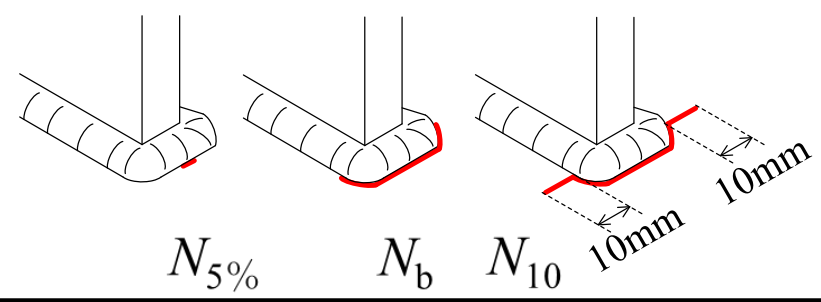
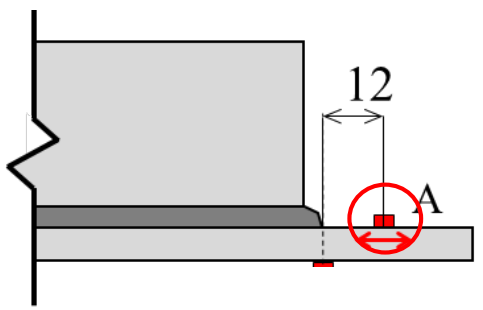


ひずみゲージの位置

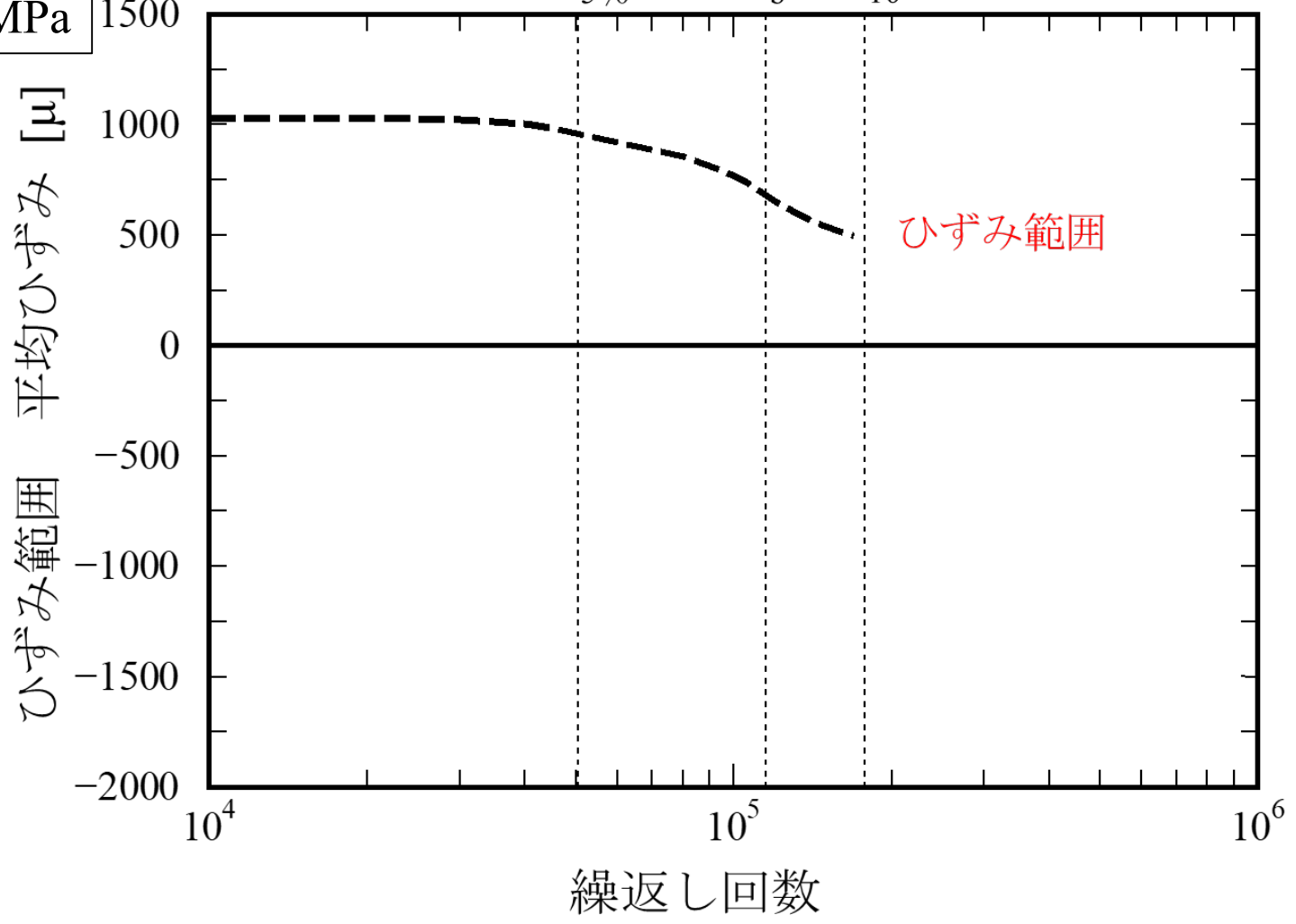


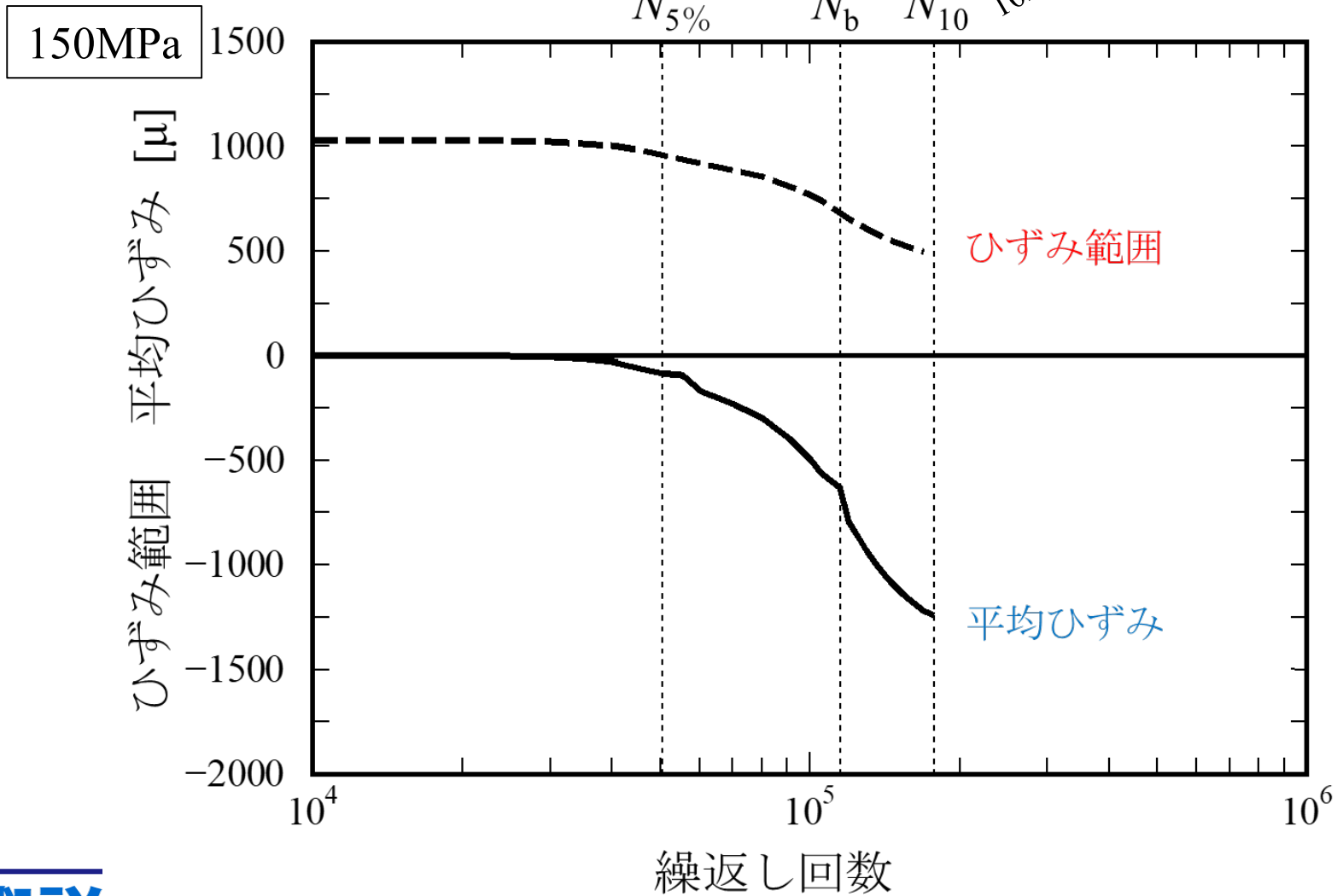
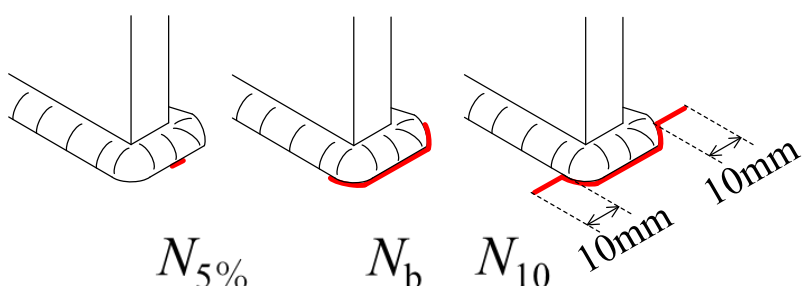
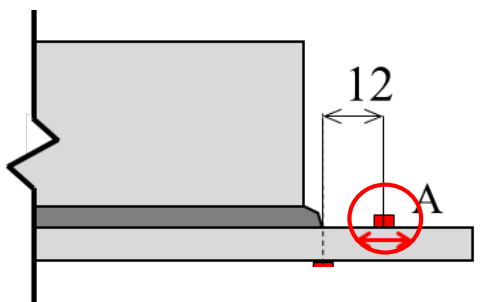
き裂の定義

 $N_{5\%}$  N_b  N_{10}

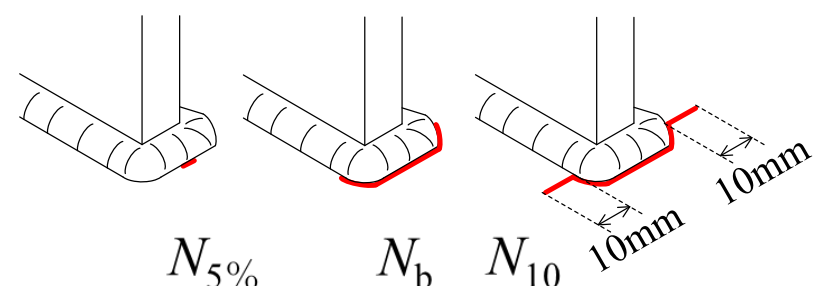
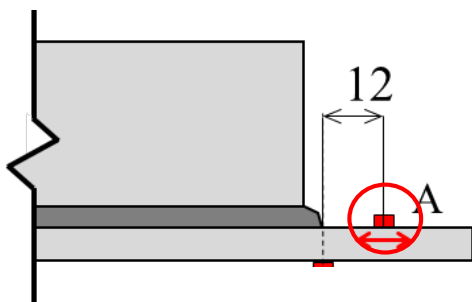


150MPa

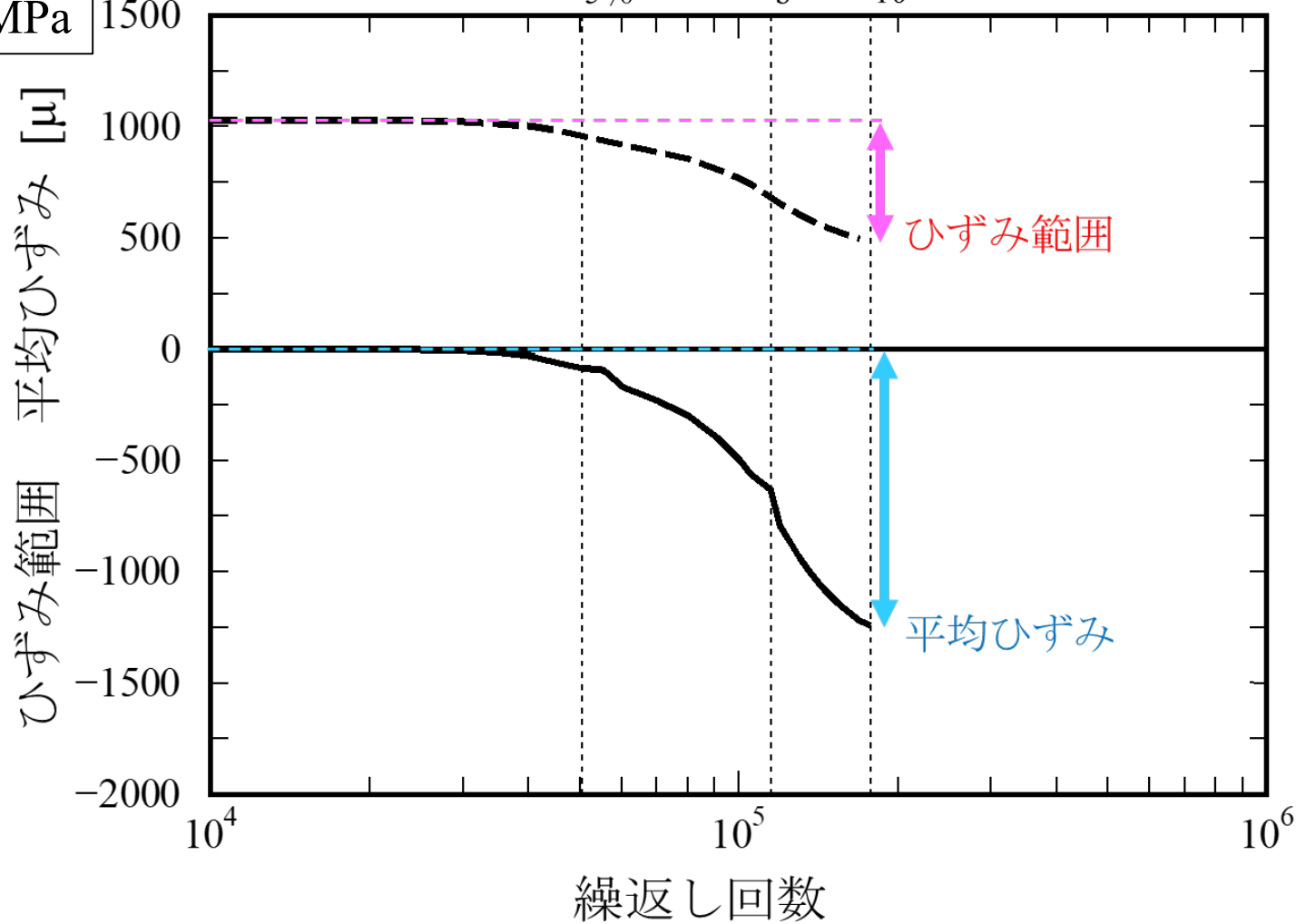




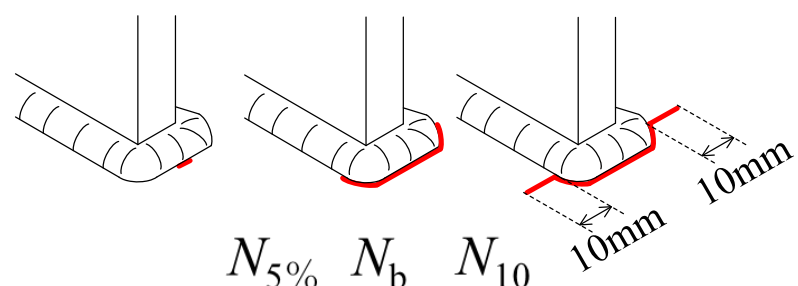
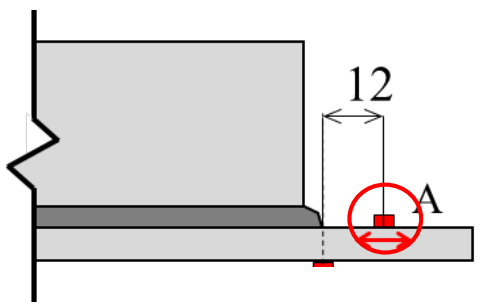
繰返し回数



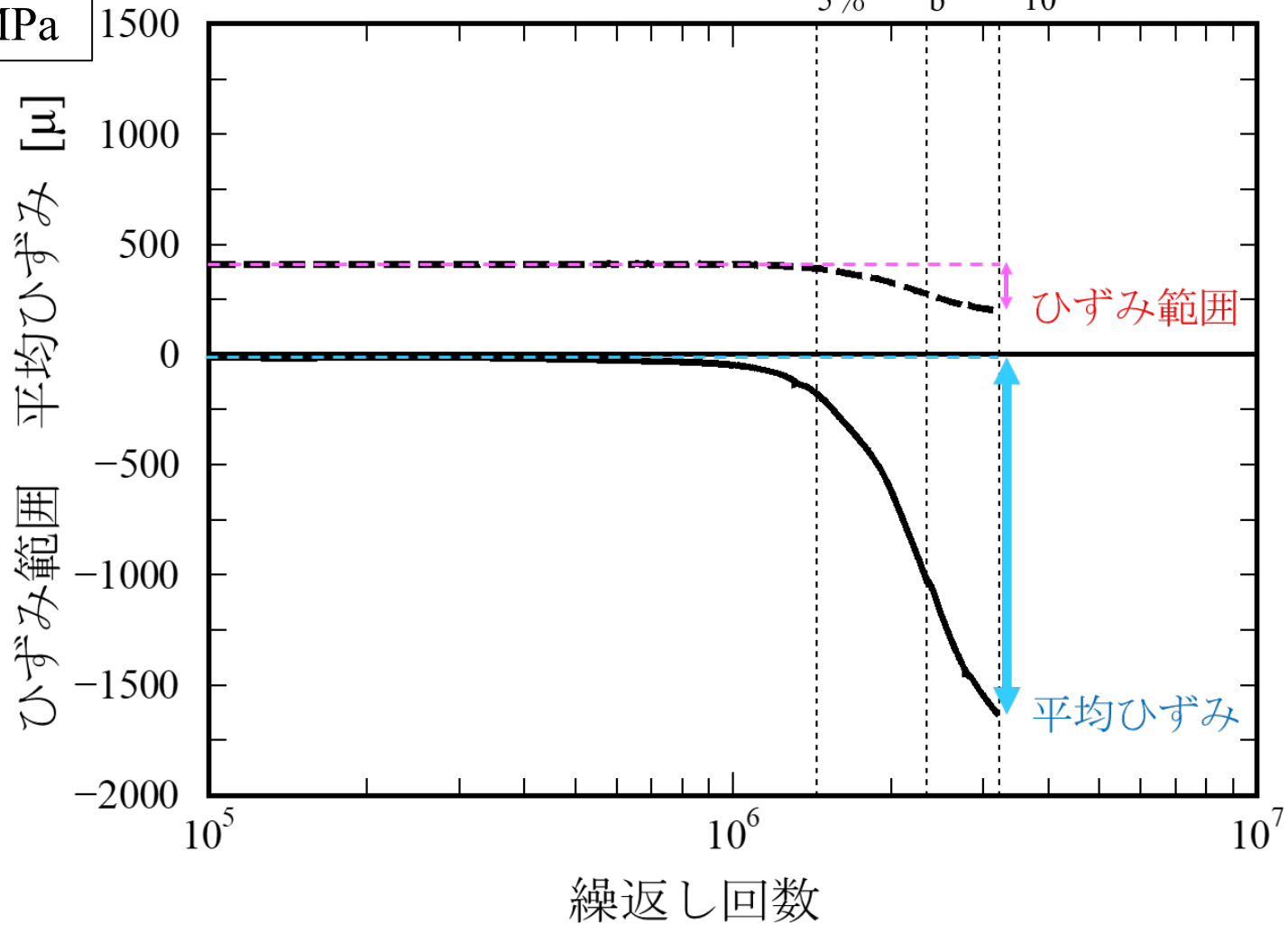
150MPa



繰返し回数

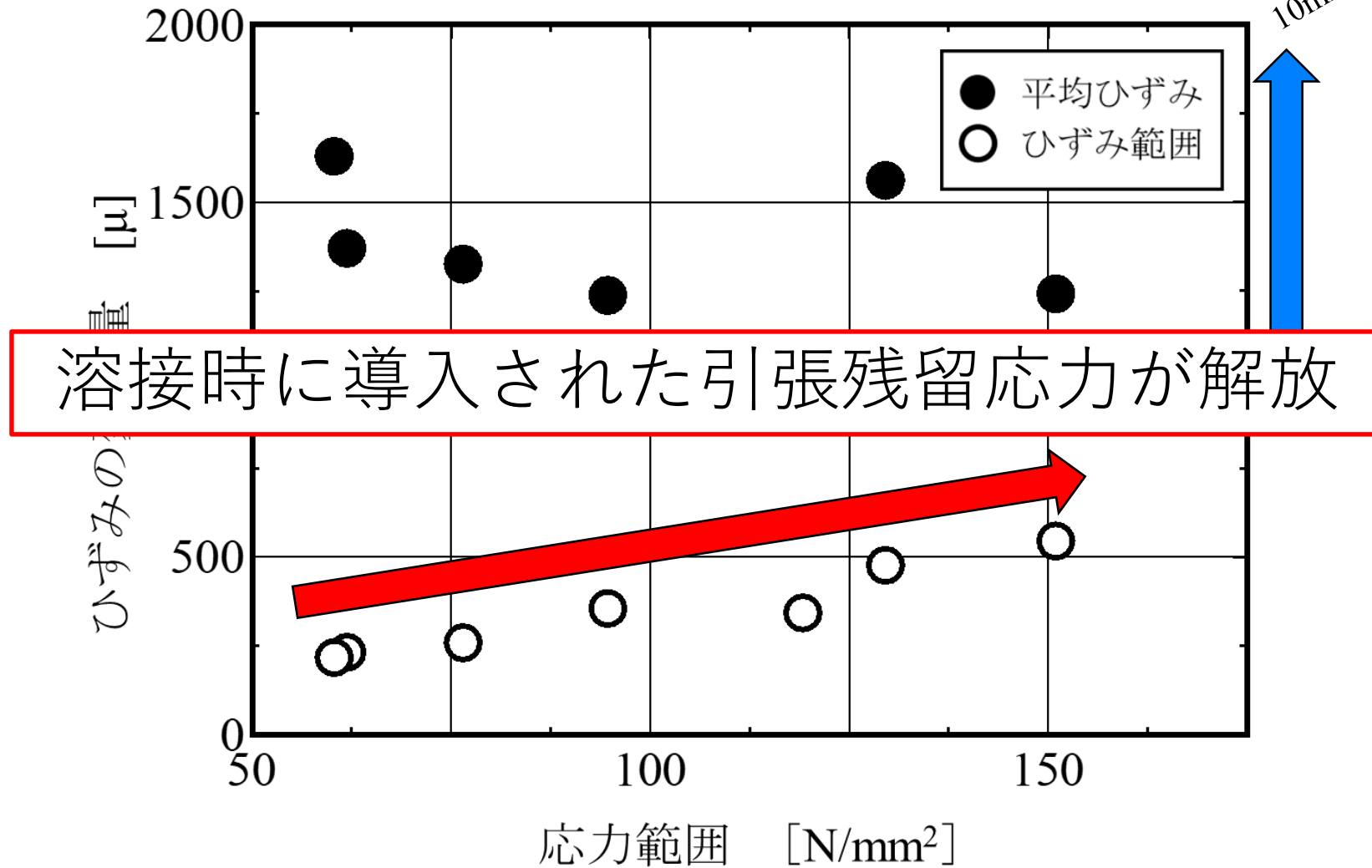
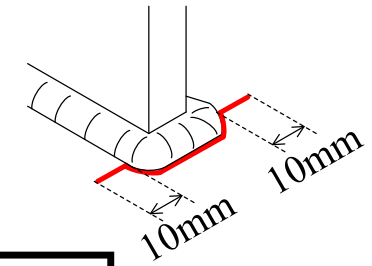


60MPa

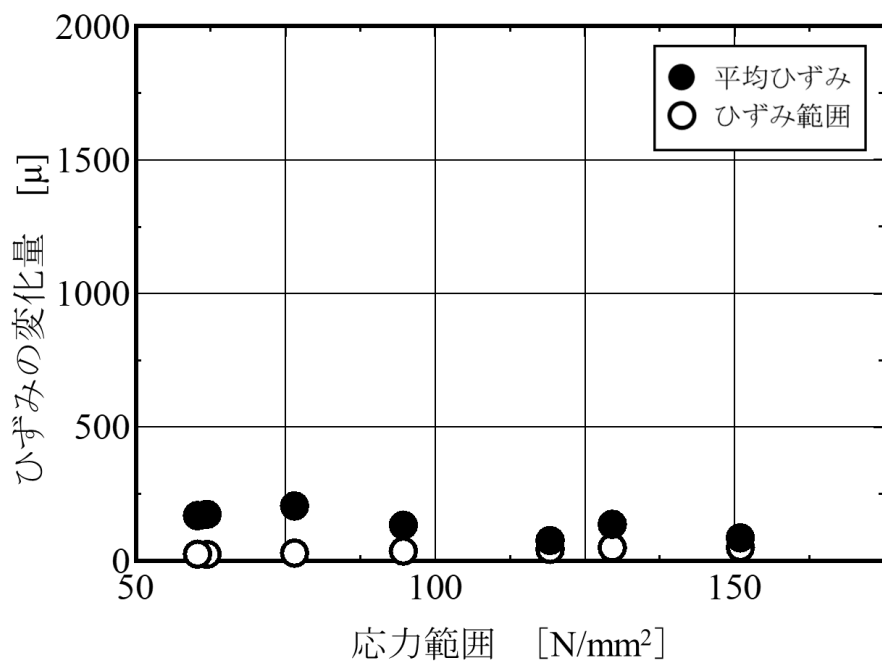
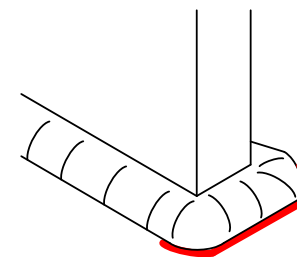
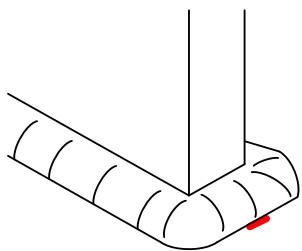


繰返し回数

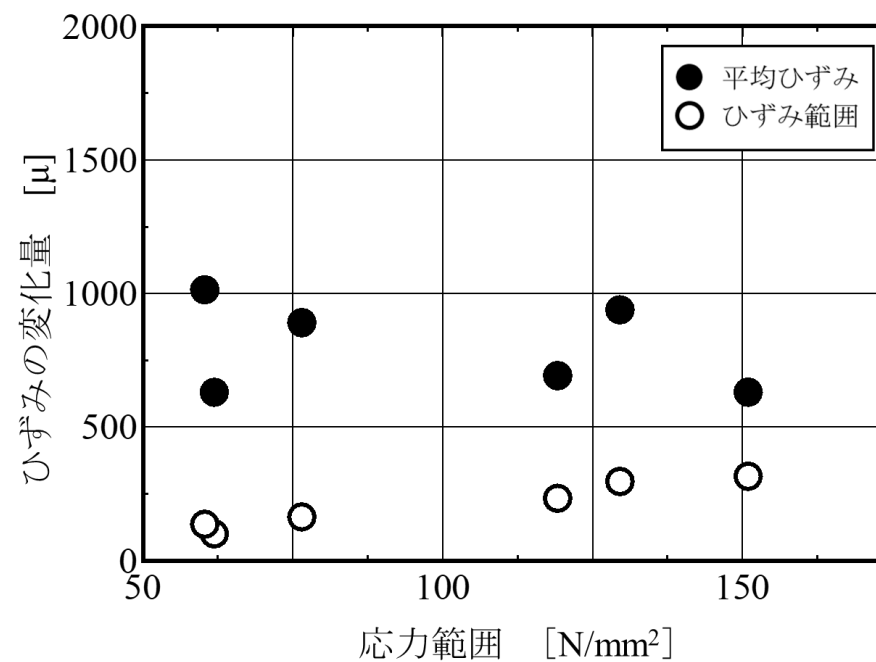
N_{10} のひずみの変化量



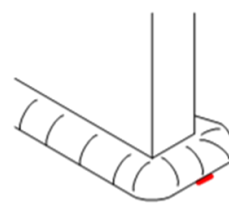
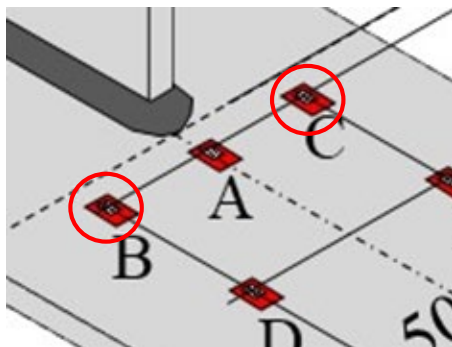
比較的小さなき裂の状態から平均ひずみ みが増大する



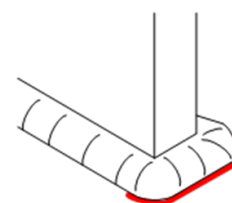
疲労寿命 : $N_{5\%}$



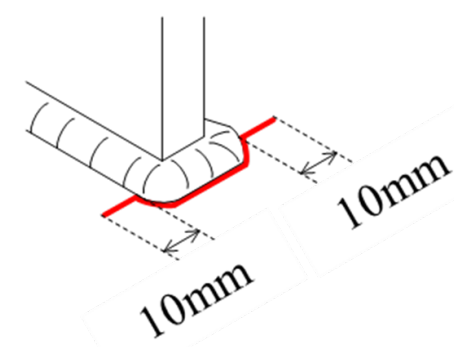
疲労寿命 : N_b



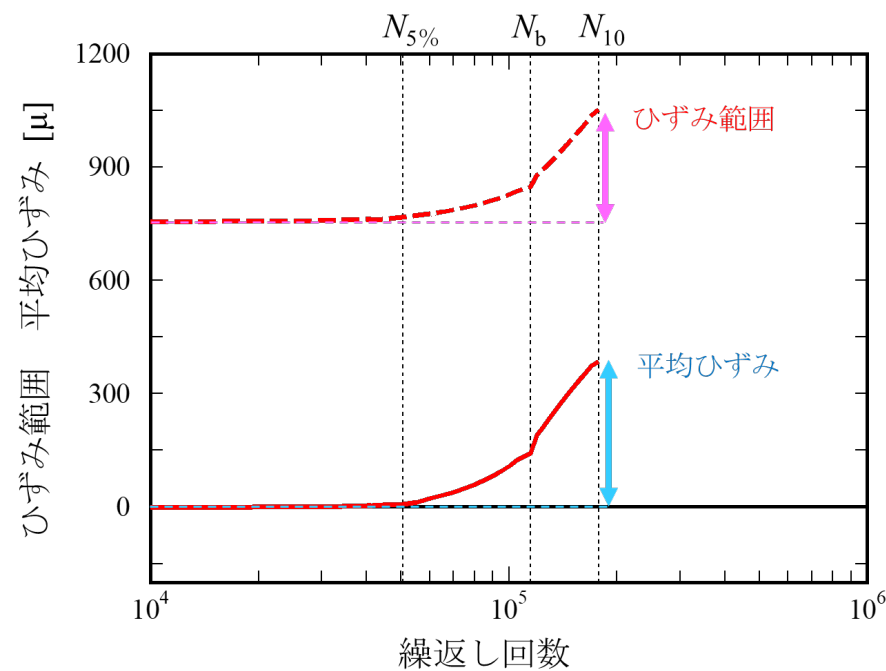
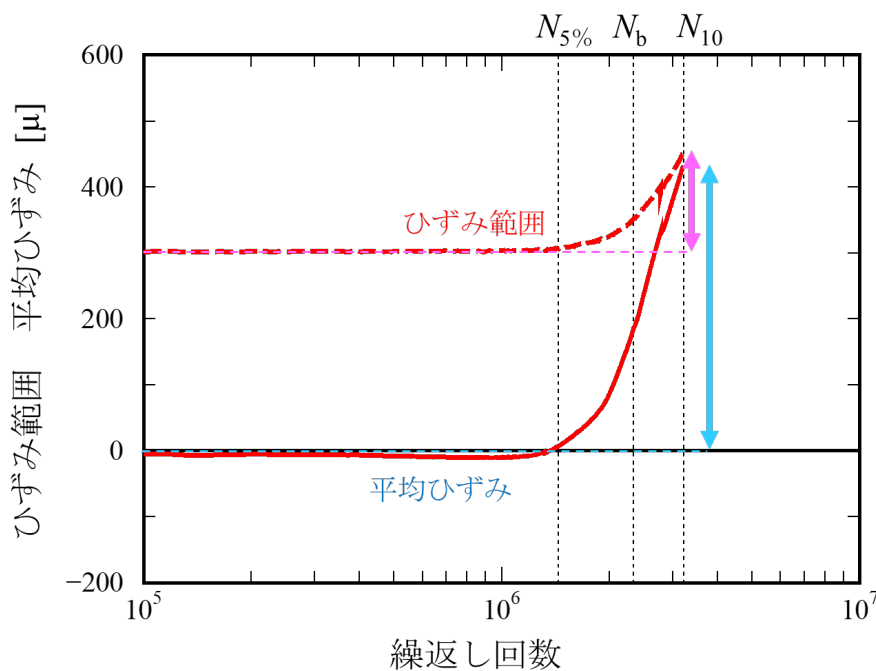
$N_{5\%}$



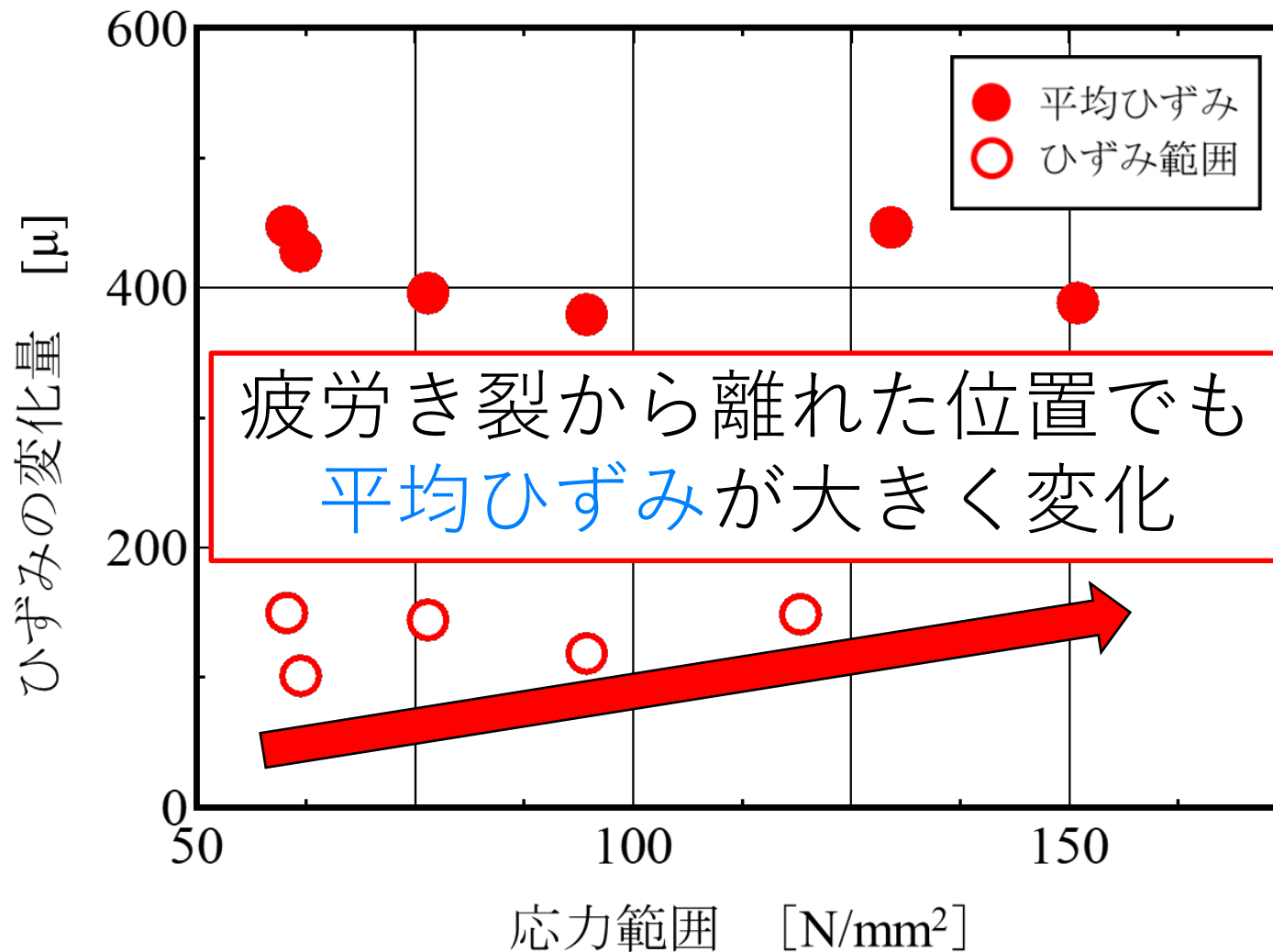
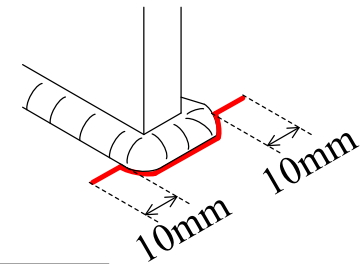
N_b



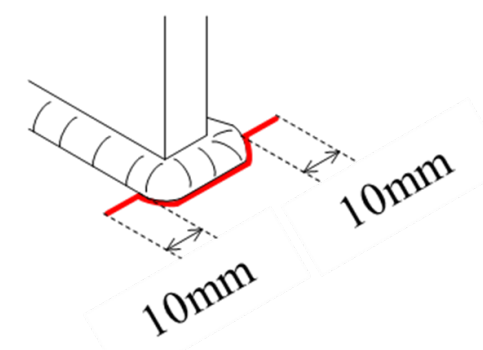
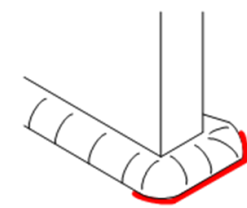
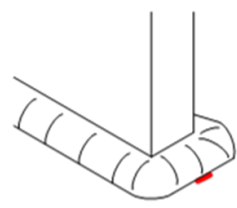
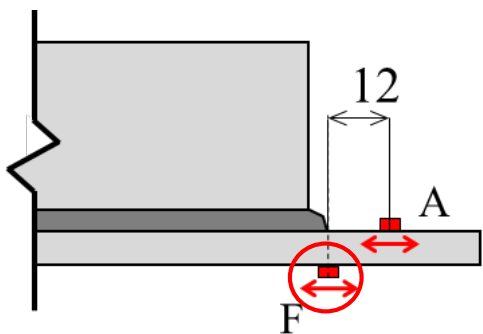
N_{10}



N_{10} のひずみの変化量



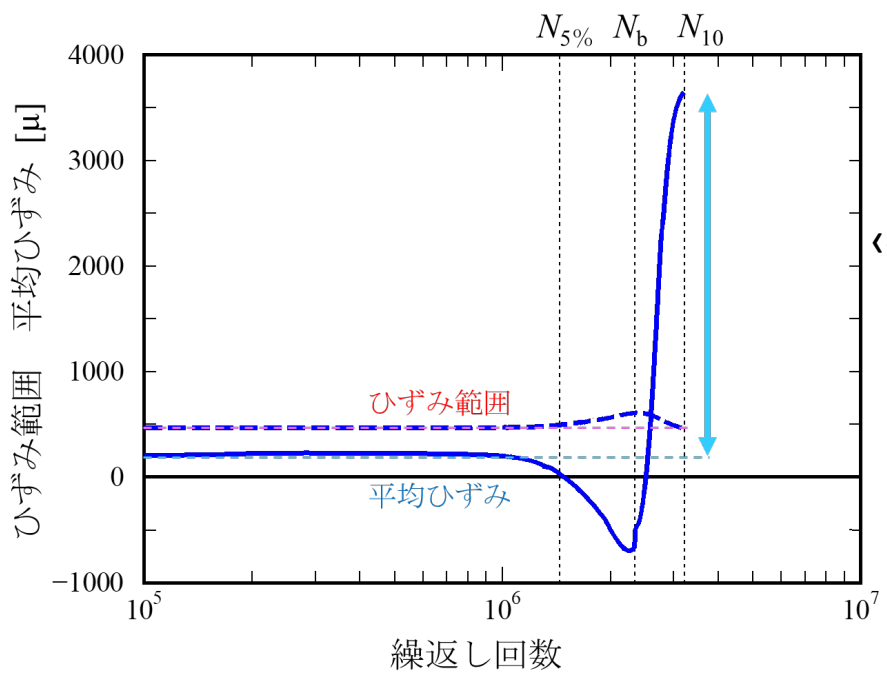
疲労き裂から離れた位置でも
平均ひずみが大きく変化



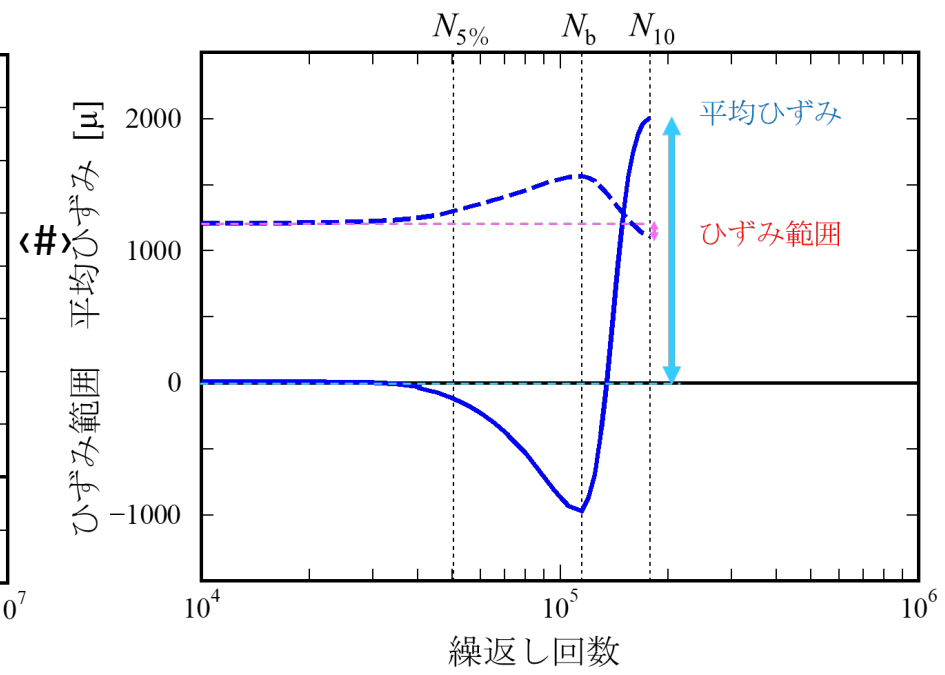
$N_{5\%}$

N_b

N_{10}

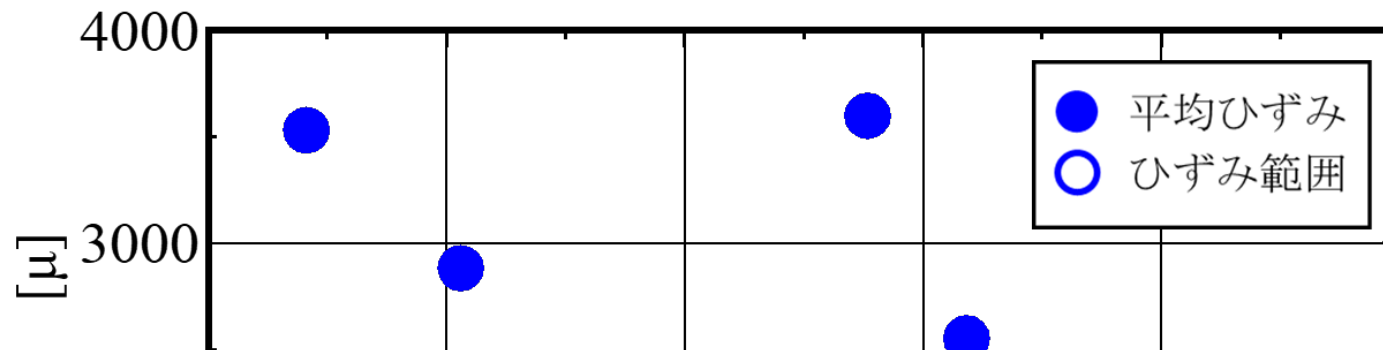
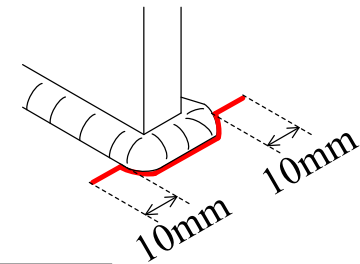


応力範囲 $\Delta\sigma = 60\text{MPa}$

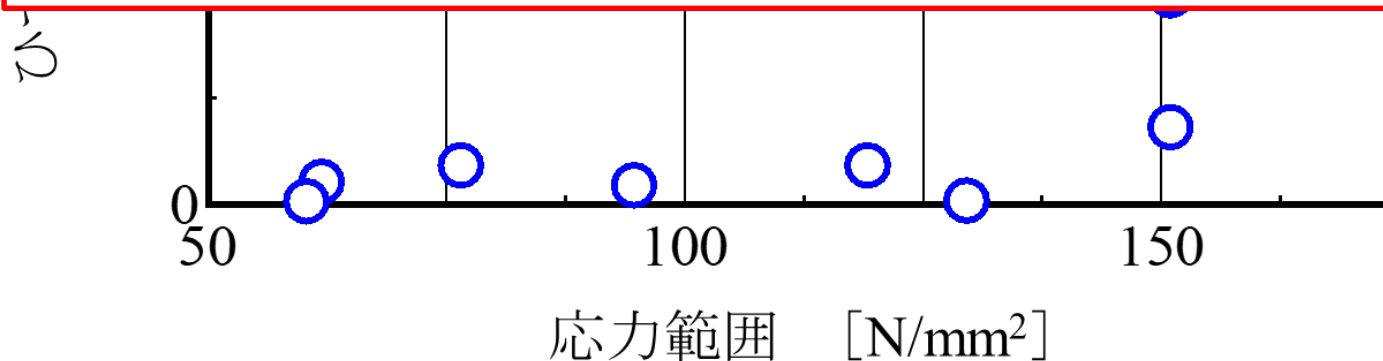


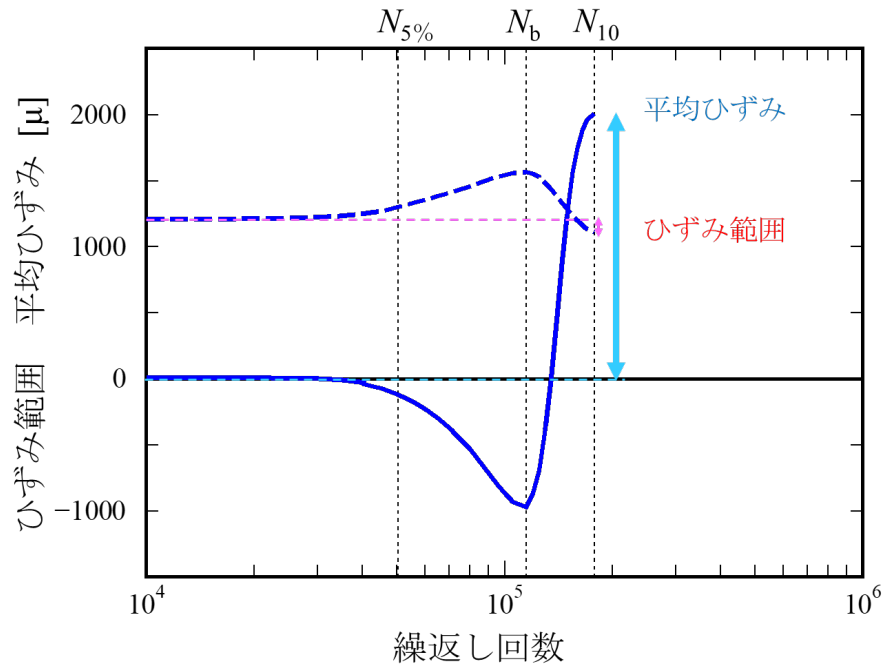
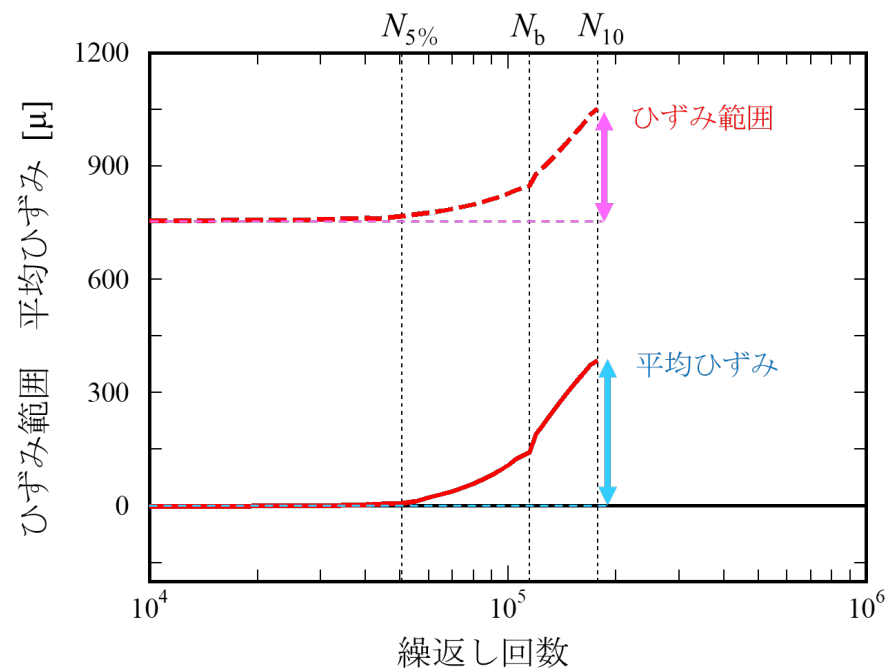
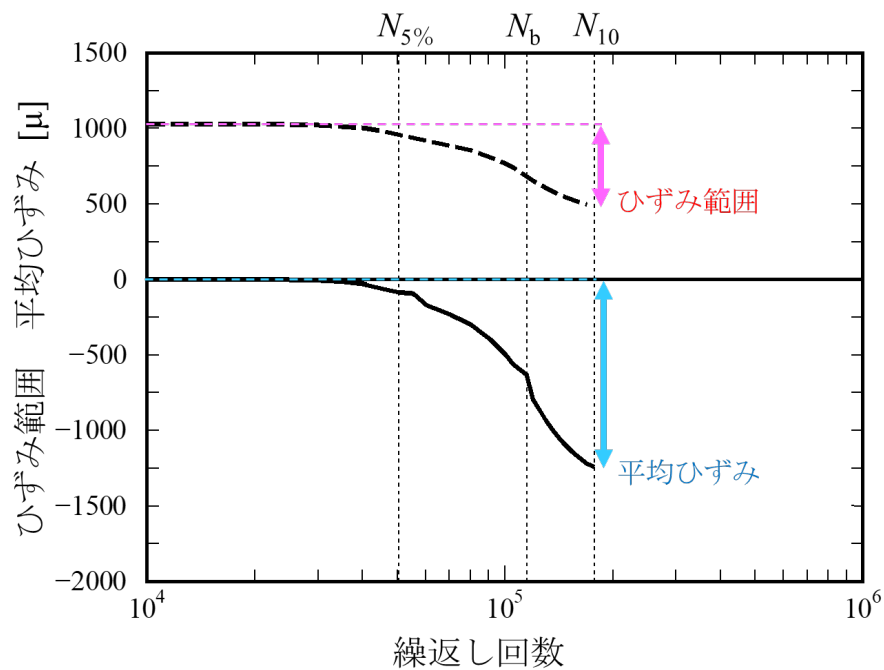
応力範囲 $\Delta\sigma = 150\text{MPa}$

N_{10} のひずみの変化量



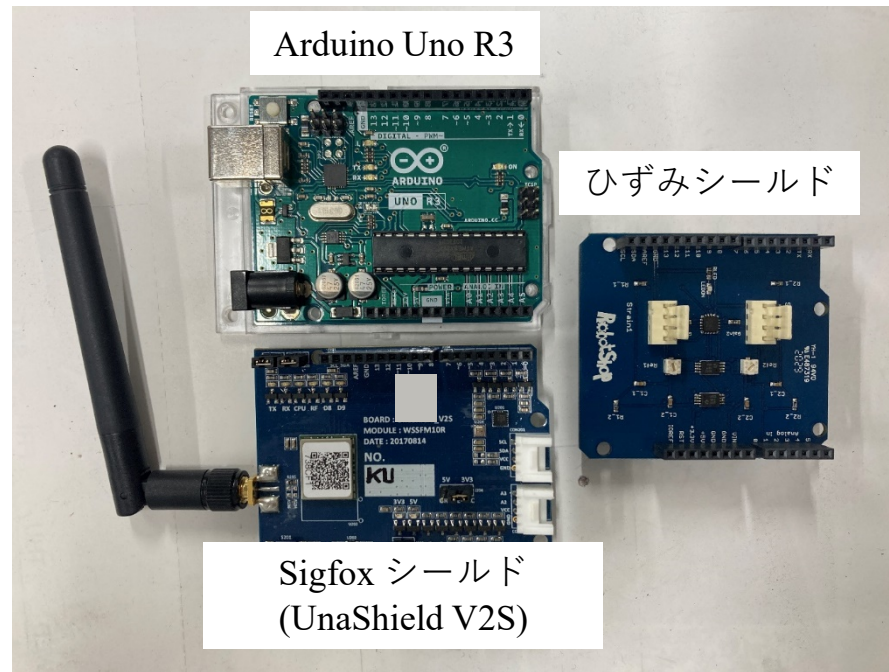
疲労破面形状や計測位置によってばらつき発生するが、裏面においても大きなひずみ変化が見られる





残留応力が導入されている範囲であれば、**無荷重時のひずみ（平均ひずみ）**の変化で、き裂検出が可能

無線ひずみ計測機の試作



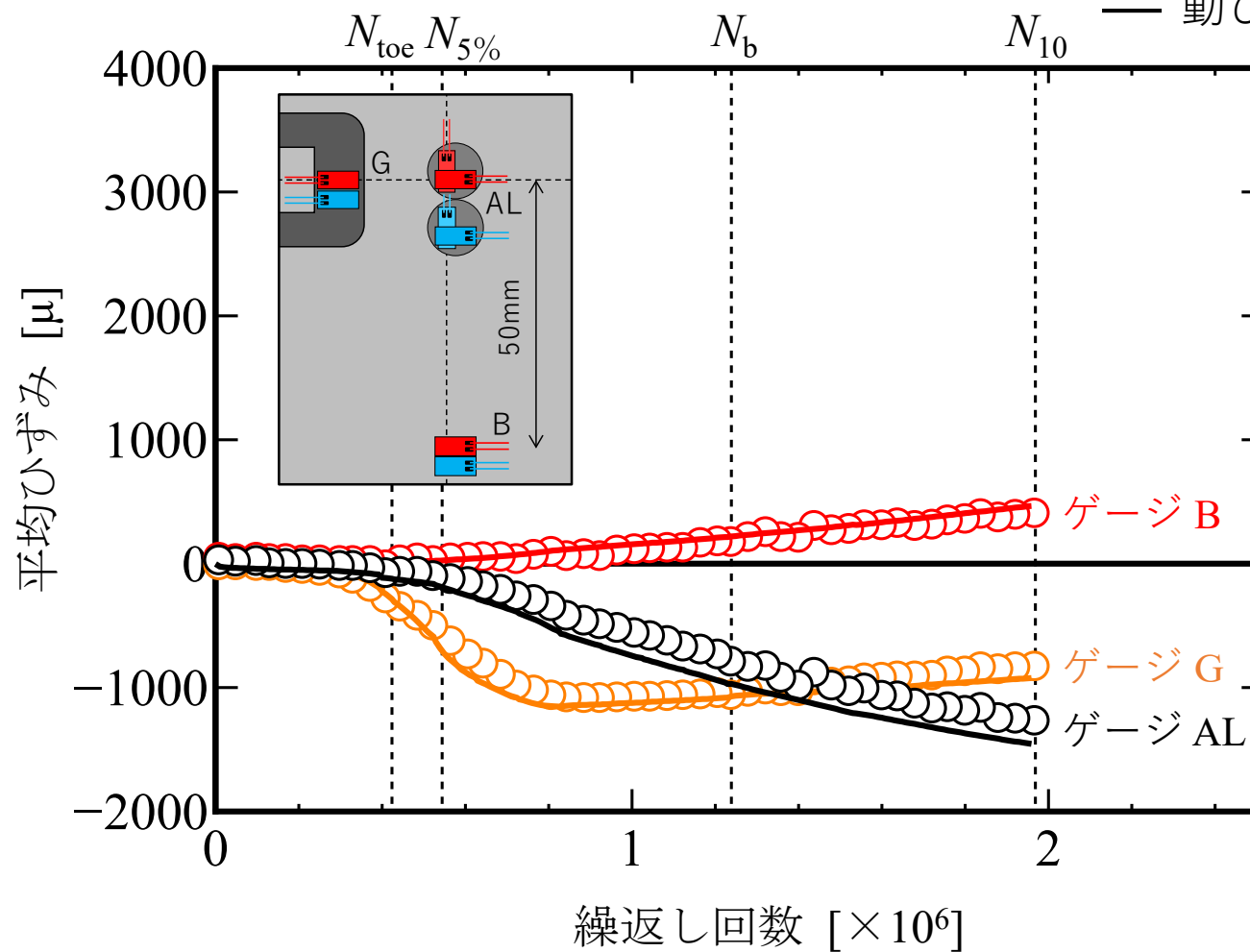
- ・ 1日に最大140回データ送信可能 (Sigfox通信に依存)
- ・ 1データは12バイト (Sigfoxに依存)
- ・ 2バイト (0~65535) を最大6データ
- ・ 2CHのひずみシールド×2を利用
(平均ひずみ×4, ひずみ範囲×2のデータを送信可能)

LTE-Mを用いた試作機では、より多くのデータを送信可能

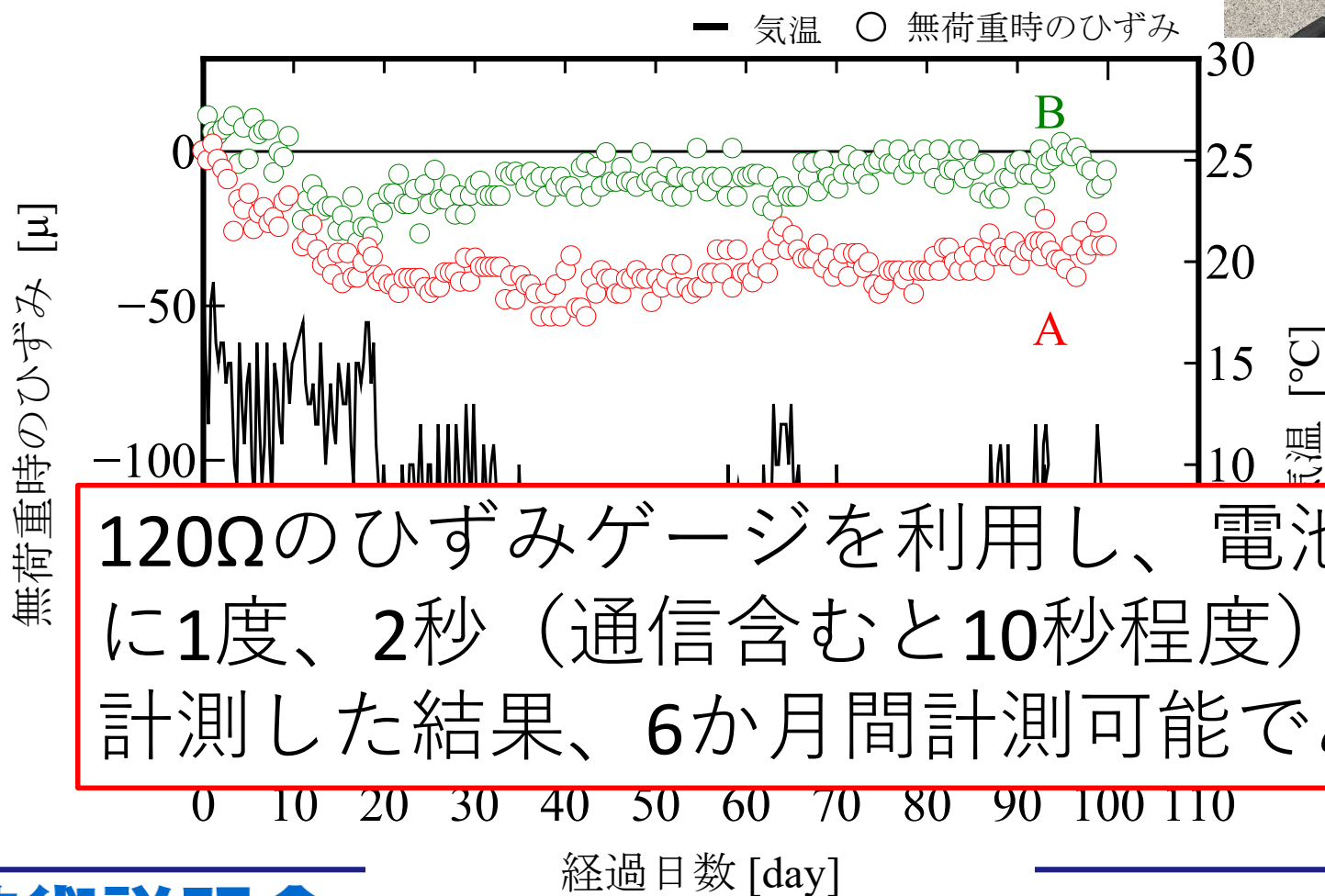
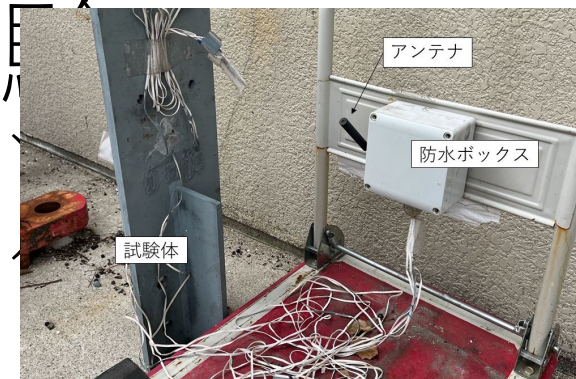
平均ひずみの変化の計測

○ 無線ひずみ計測機

— 動ひずみ計

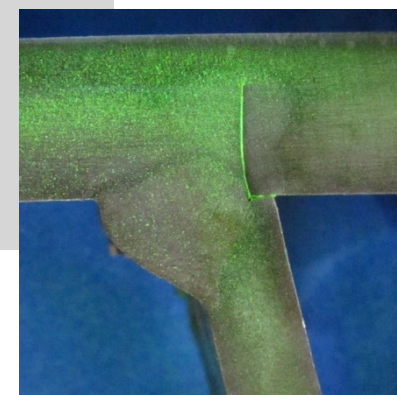
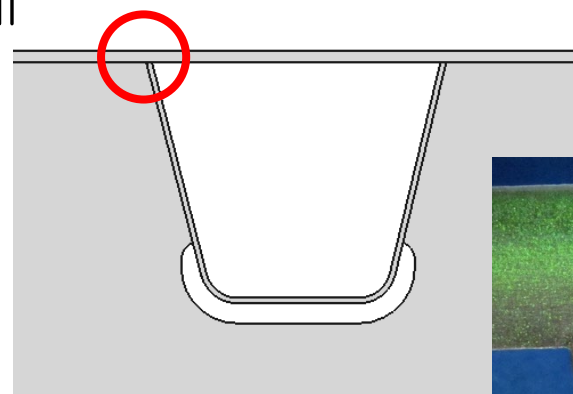
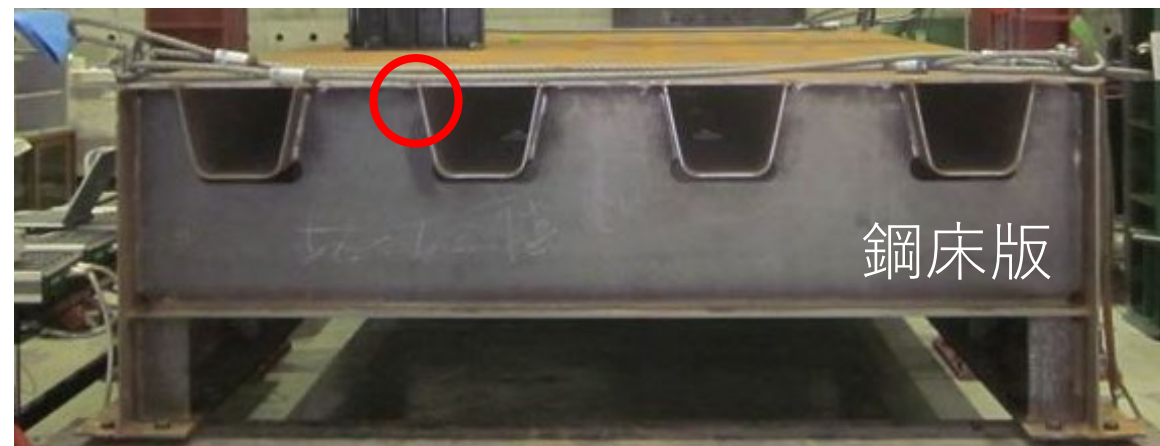
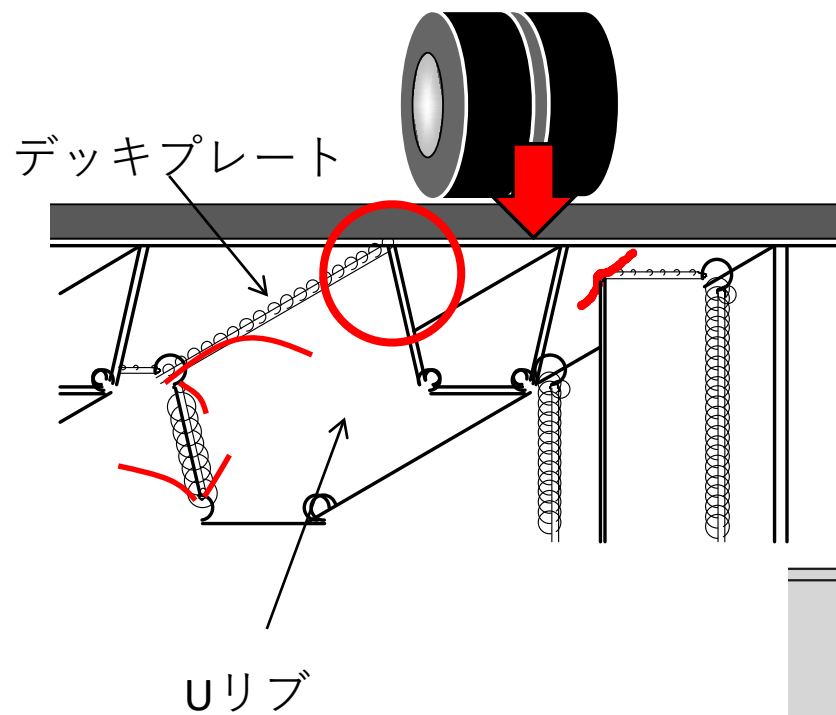


バッテリー駆動の試験 (2時間に1度の計測)



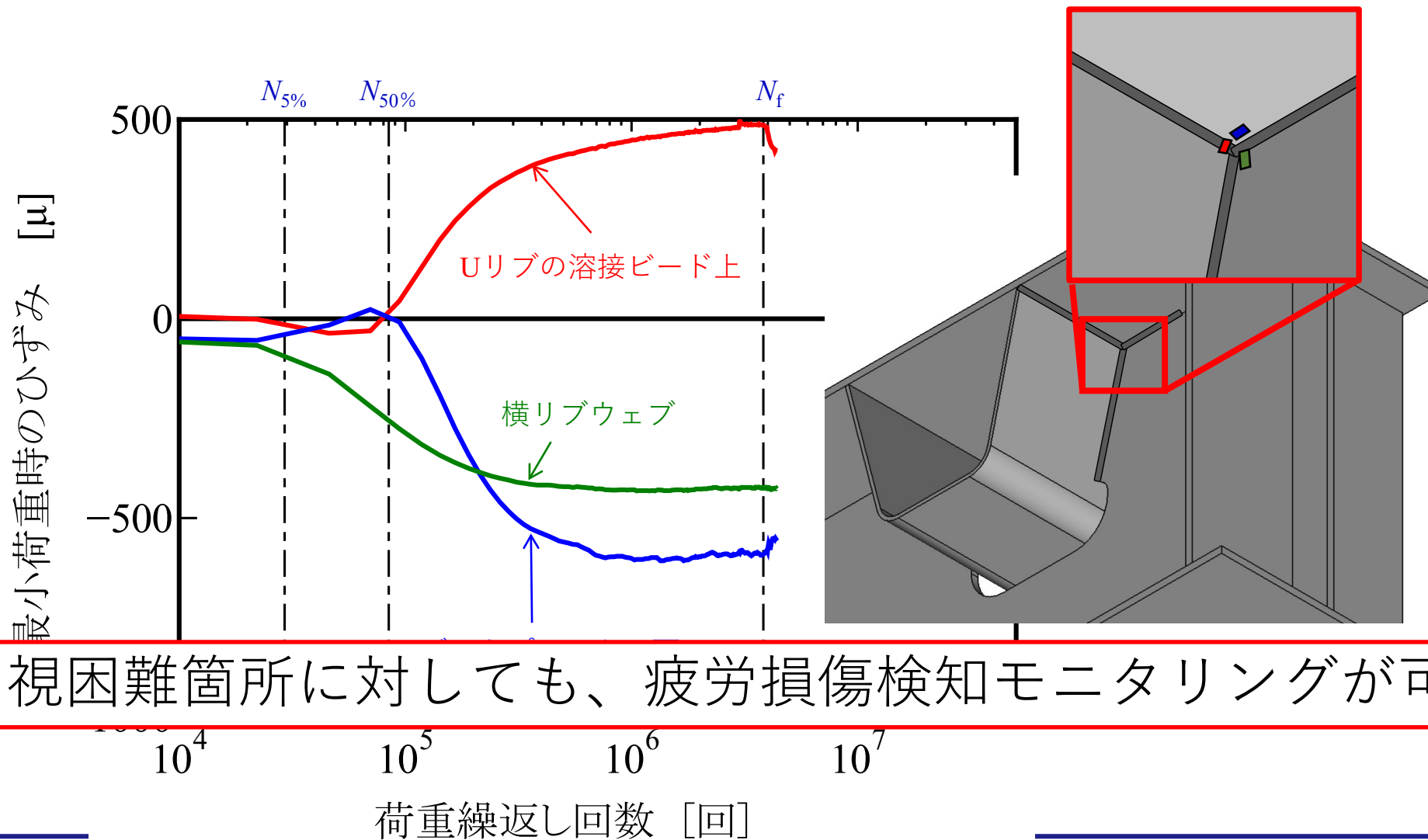
120Ωのひずみゲージを利用し、電池4本で2時間に1度、2秒（通信含むと10秒程度）ほどひずみ計測した結果、6か月間計測可能であった。

目視困難な鋼床版の疲労き裂



Uリブ内のデッキプレート進展き裂

目視困難な鋼床版の疲労き裂（スカラップなし）



<まとめ> 新技術の概要

鋼橋の疲労き裂は、溶接部から発生し進展することが多い。疲労き裂が発生すると、引張残留応力が解放されるため、非常に大きなひずみの変化が生じる。

疲労き裂の発生によって解放されるひずみを計測することで、疲労き裂の発生や進展を評価するシステムを開発した。

また、疲労き裂の進展を監視するモニタリングとしても利用できる。

新技術の特徴・従来技術との比較

- **従来法**：

鋼橋の塗膜の割れが発見された場合に、疲労き裂が発生しているかどうかを明らかにするために磁気探傷試験が行われている。

- **新技術**：

数日に1回、数秒程度ひずみを計測し、疲労き裂によって内部のつり合い変化をひずみとして計測し、疲労き裂の発生や進展を効率的に評価する事が可能。

想定される用途

- 鋼橋の疲労き裂発生検知モニタリング
- 疲労き裂の先端の塑性ひずみを検出することによる、疲労き裂の進展モニタリング
- 溶接部のき裂が発生する全ての構造

実用化に向けた課題

- 基本コンセプトの確立は開発済。今後、実用化を目指し、計測装置の開発で連携先企業との協業を目指したい。
- 実験データを取得し、実用化に適用していく場合の条件設定を行っていく。（温度変化や荷重の影響など）

企業への期待

- 「疲労き裂の発生によって解放されるひずみ計測」や「疲労き裂の先端の塑性ひずみを検出することによる、疲労き裂の進展モニタリング」を行う事が出来るため、新しい方式での非破壊試験に興味を有する建築・土木領域の企業との共同研究を期待致します。
- 連携希望企業からの御要望があれば、デモ実験も行う事は可能ですので、お気軽に御問合せ下さい。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：
「金属構造物の歪測定装置、及び金属構造物の劣化損傷検知方法」
- 出願番号：特願2019-036949
- 特許番号：特許第7208622号
- 出願人：学校法人 関西大学
- 発明者：石川敏之、上田尚史

お問い合わせ先

関西大学 産学官連携センター

TEL : 06 - 6368 - 1245

FAX : 06 - 6368 - 1247

e-mail : sangakukan-mm@ml.kandai.jp