

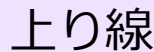
レール継目における衝撃が 鋼橋の疲労に及ぼす影響評価

構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室長 小林 裕介

本日の発表

- 背景・目的
- レール継目での衝撃の影響因子
- レール継目の衝撃が鋼部材に与える影響
- レール継目での衝撃による疲労の評価手法
- まとめと成果の活用

事例①



下り線

● 中間補剛材下端のき裂 ■ 縦桁腹板リベット孔のき裂

事例②



NHKニュース

ルール継目直下

下り線の橋げたの3か所に亀裂

ルール継目近傍

- ・疲労き裂が発生しやすい

※構造形式によらず鋼橋全般の傾向

・列車運休に繋がる事例も

- A橋梁

6時間半運休

2004年 3本の縦桁が破断 @レール継目直下

<同様の事例>

• B橋梁

5時間半運休

2010年 縦桁が破断 @レール継目直下

【目的】

レール継目が鋼橋各部位の疲労に及ぼす影響を明らかにする

課題①

レール継目での衝撃の影響因子

継目形式による違い ??
継目の状態(段差・遊間)による違い ??
走行速度による違い ??

課題②

衝撃が鋼部材に与える影響

振動の種類 ??
振動モード（部材種別） ??
振動周波数 ??

課題③

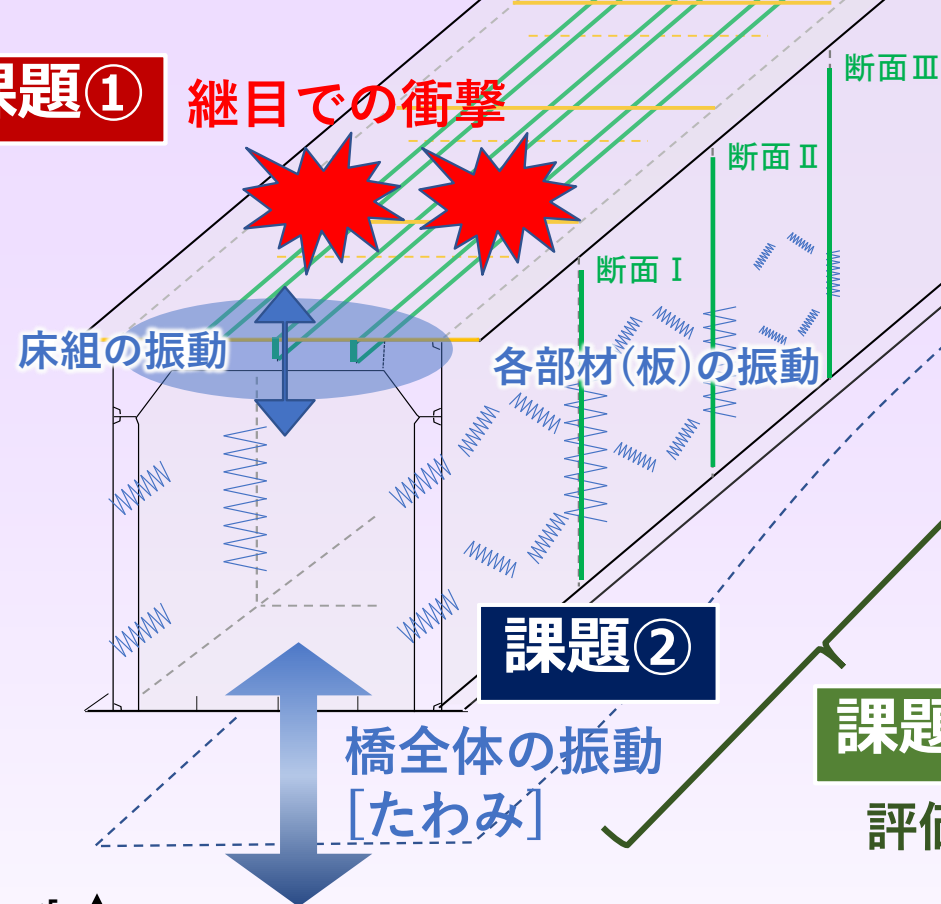
疲労の評価法

橋梁ごと、継目ごと、部材ごとに影響が異なる
⇒ 検査着目箇所が膨大
⇒ 定量的な評価には大規模測定

検査労力が非常に大きい

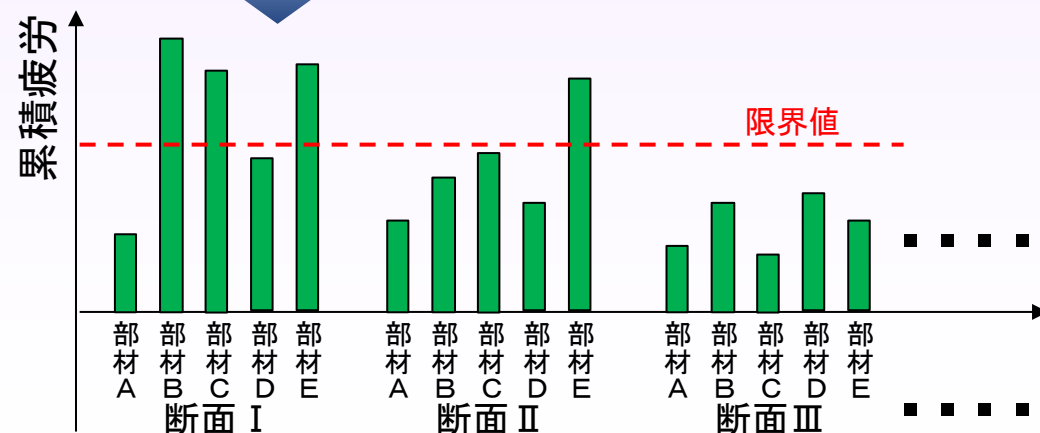
課題①

継目での衝撃



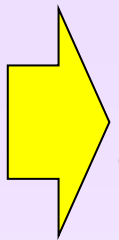
課題③

評価法

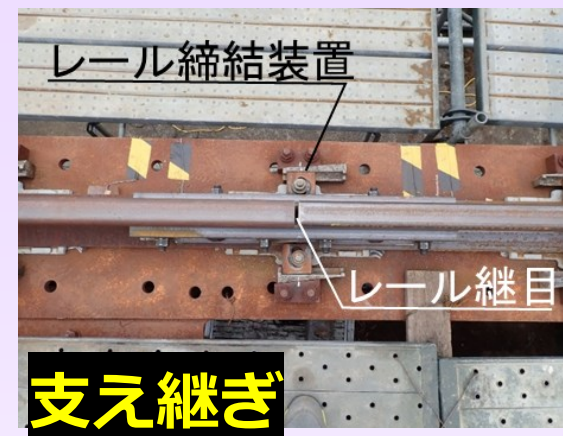
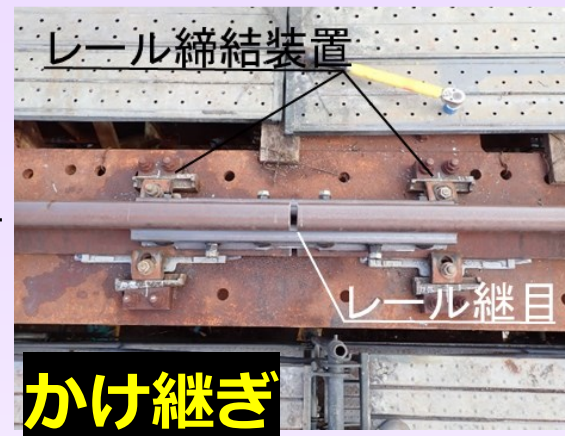




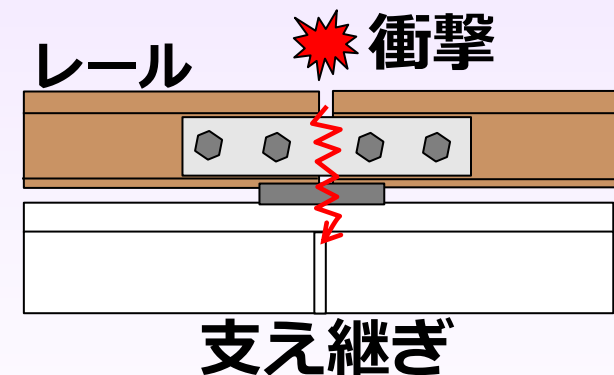
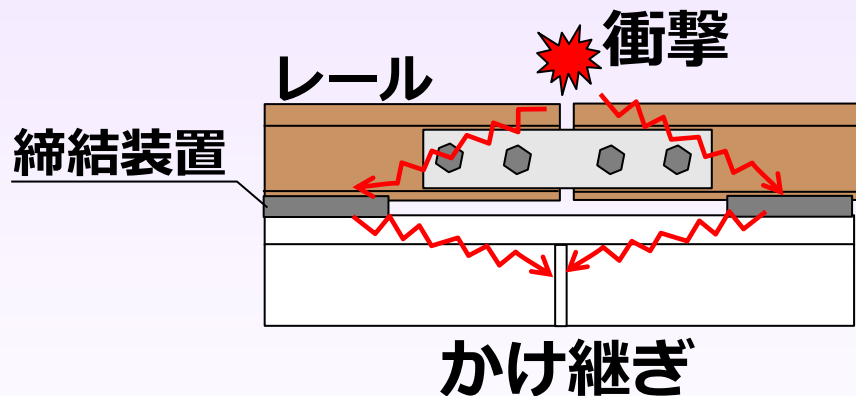
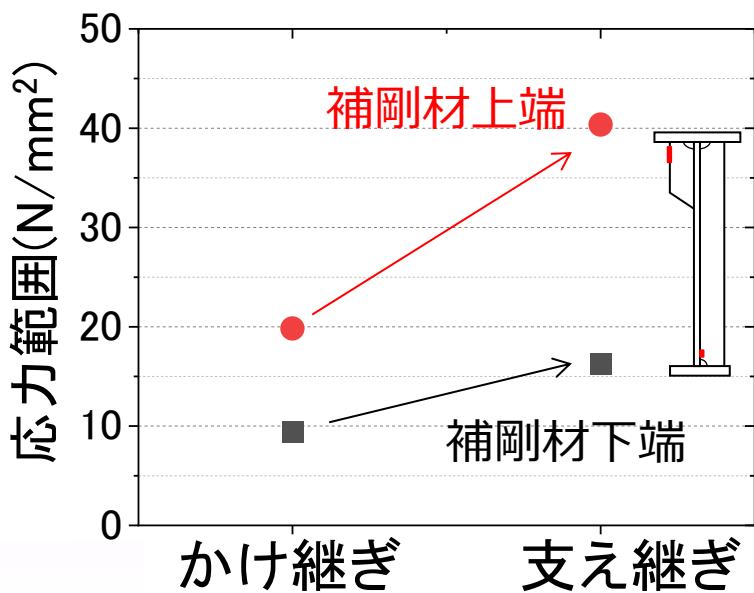
①継目の衝撃に影響を与える因子【継目形式・遊間段差・走行速度】



継目形式



継目条件 [段差]

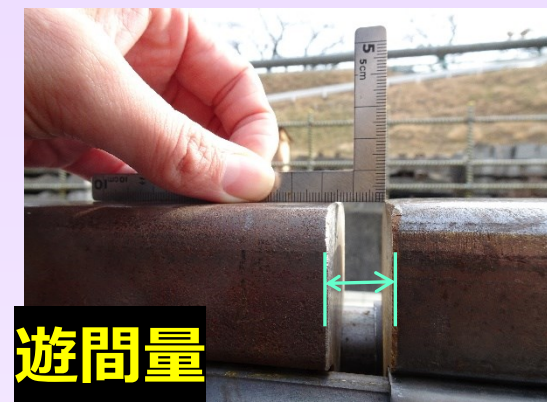
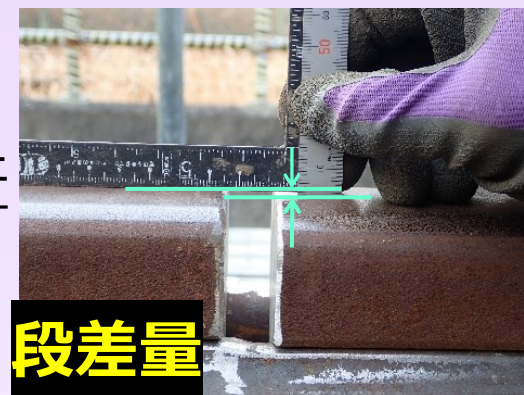
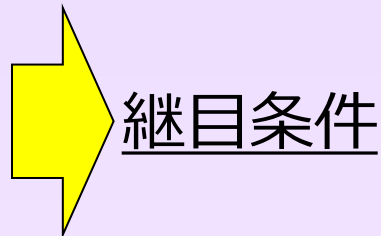


・ 支え継ぎは衝撃が直接桁へ伝わる

継目形式 (かけ継ぎ < 支え継ぎ)

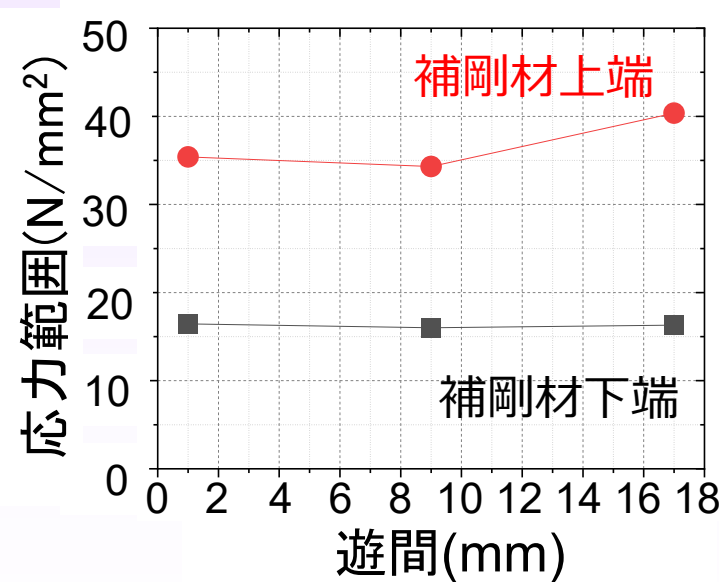
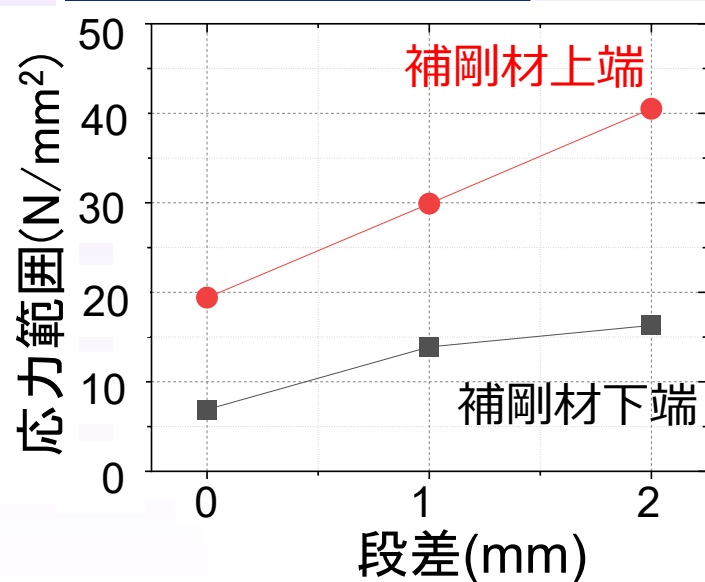


①継目の衝撃に影響を与える因子【継目形式・遊間段差・走行速度】

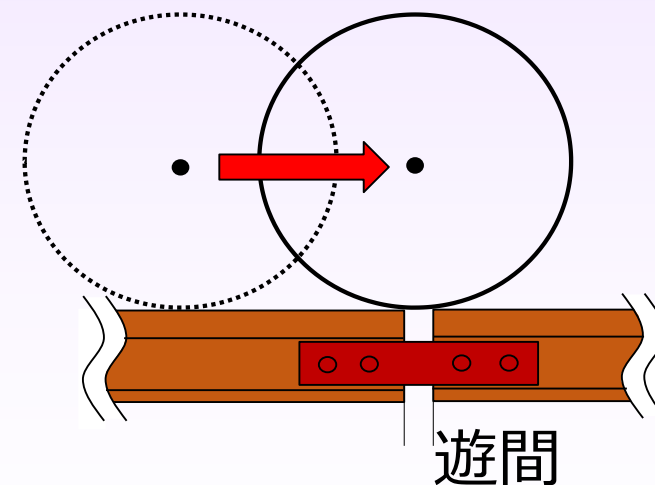


継目条件 [段差]

継目条件 [遊間]



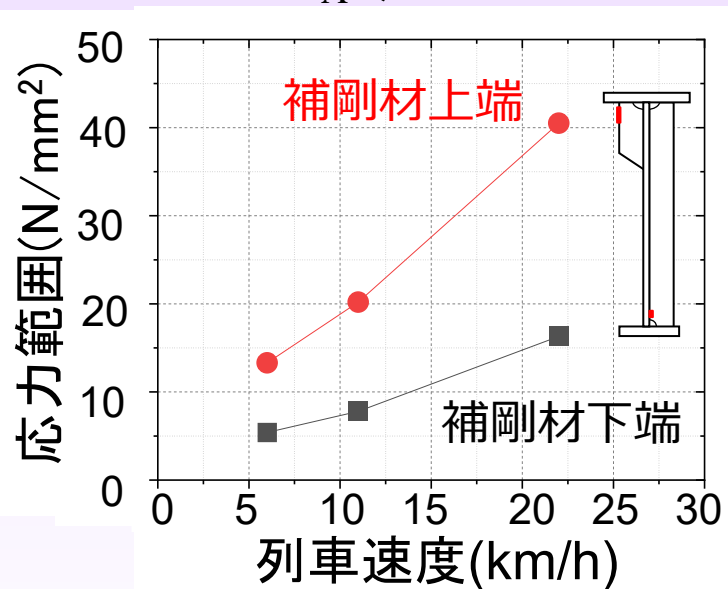
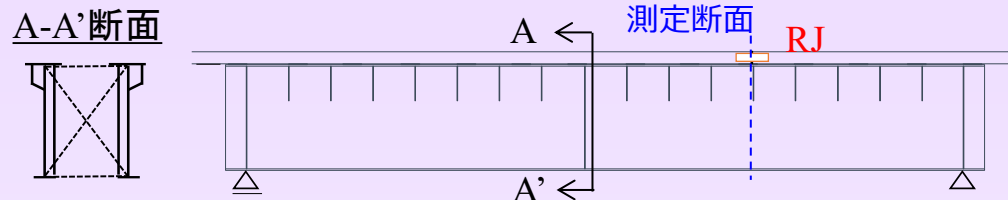
車軸重心位置が変わらない



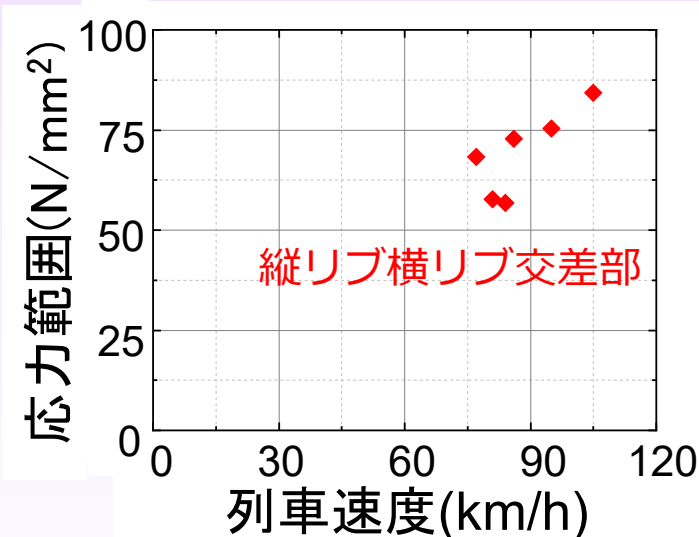
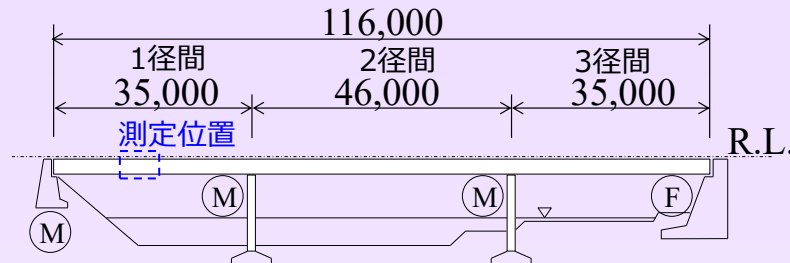
継目条件 (段差 影響大 遊間 影響小)

①継目の衝撃に影響を与える因子【継目形式・遊間段差・走行速度】

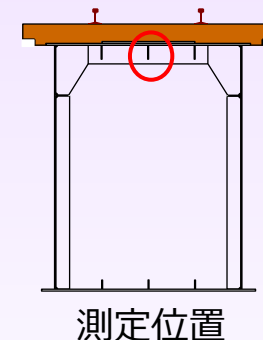
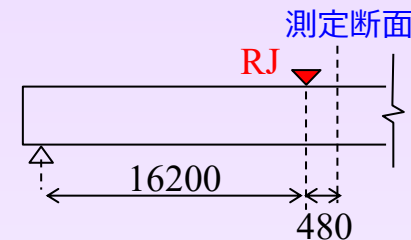
- ・ 上路鉸桁（鋼直結軌道）



- ・ 上路箱桁（まくらぎ式）



～測定位置～



- ・ 列車速度の増加により各部の応力は増加

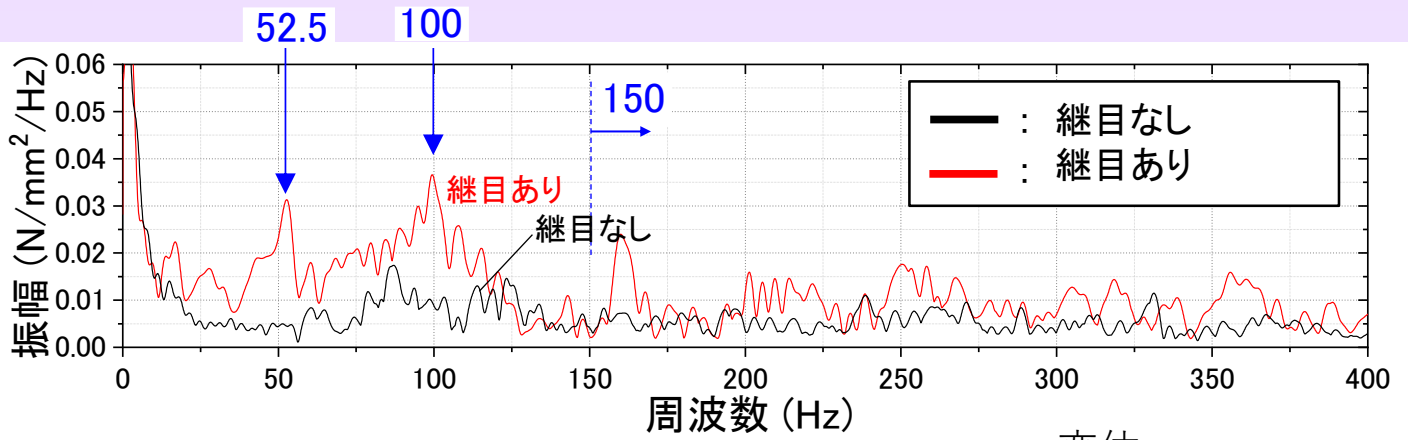
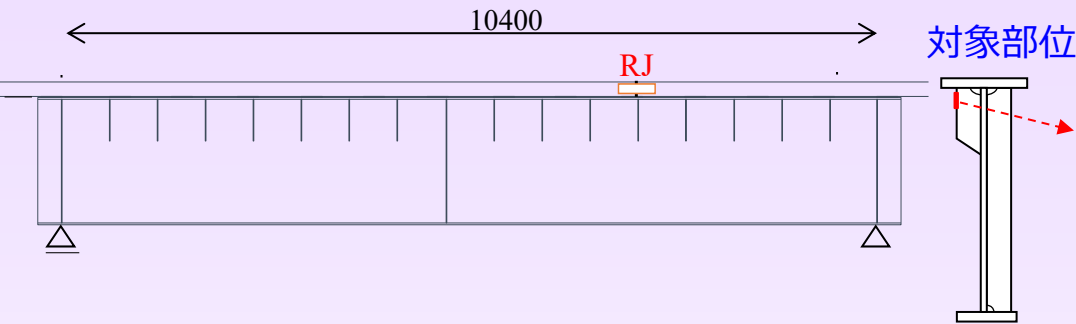
●優先的に検査すべき箇所

- ・ 継目形式（かけ継ぎ < 支え継ぎ） 継目条件（段差 大 遊間 小）
- ・ 列車速度（影響 大）

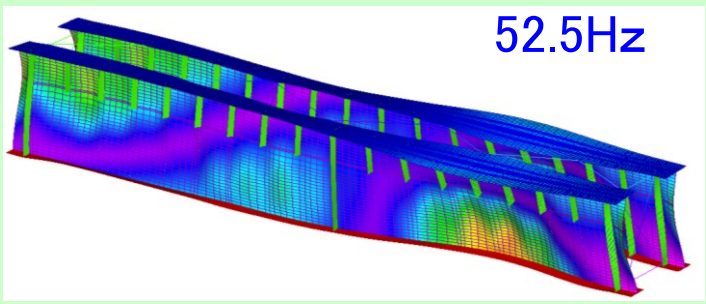
②レール継目の衝撃が鋼部材に与える影響【振動モード(鋸桁)】

構造形式：上路鋸桁（鋼直結軌道）

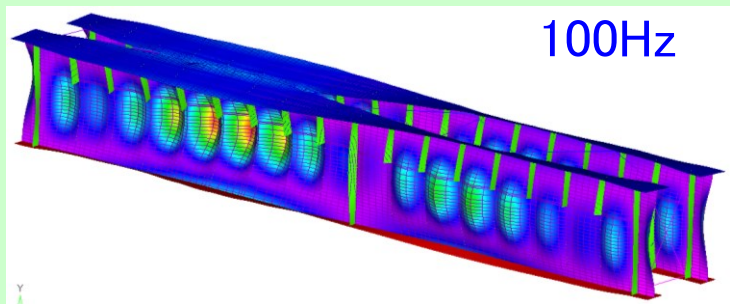
発生応力のスペクトル



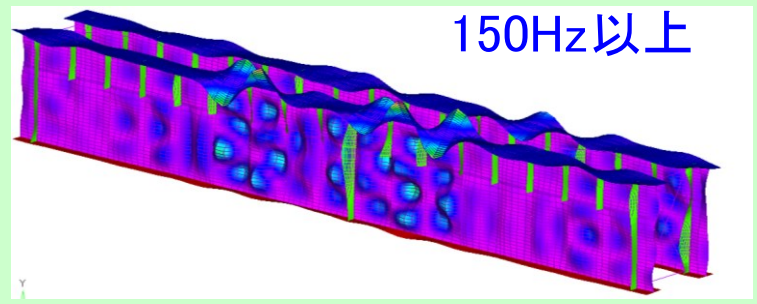
振動モード



対傾構を節とした下フランジの
橋軸直角方向の振動



補剛材を節とした
腹板の面外振動



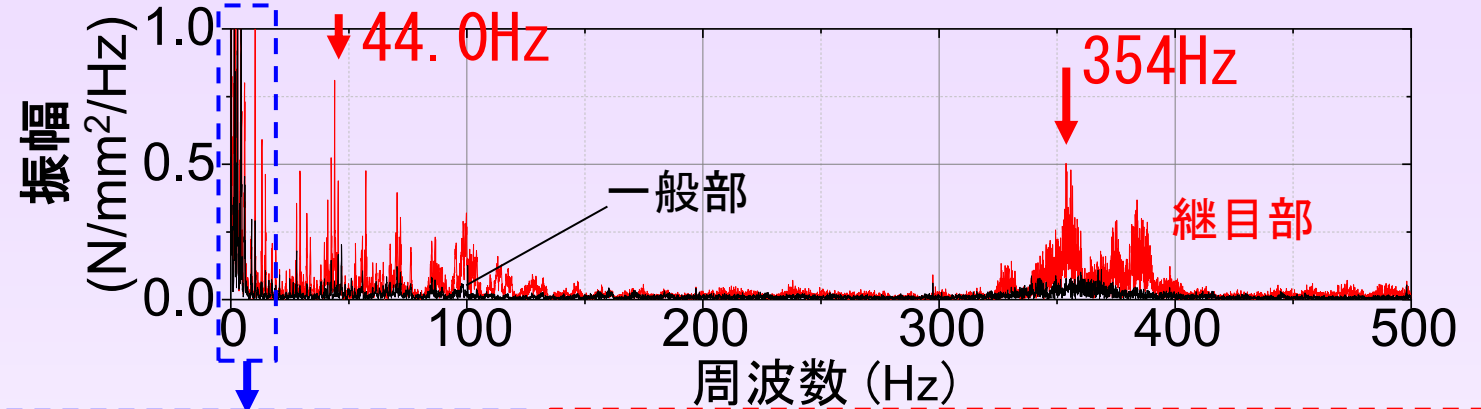
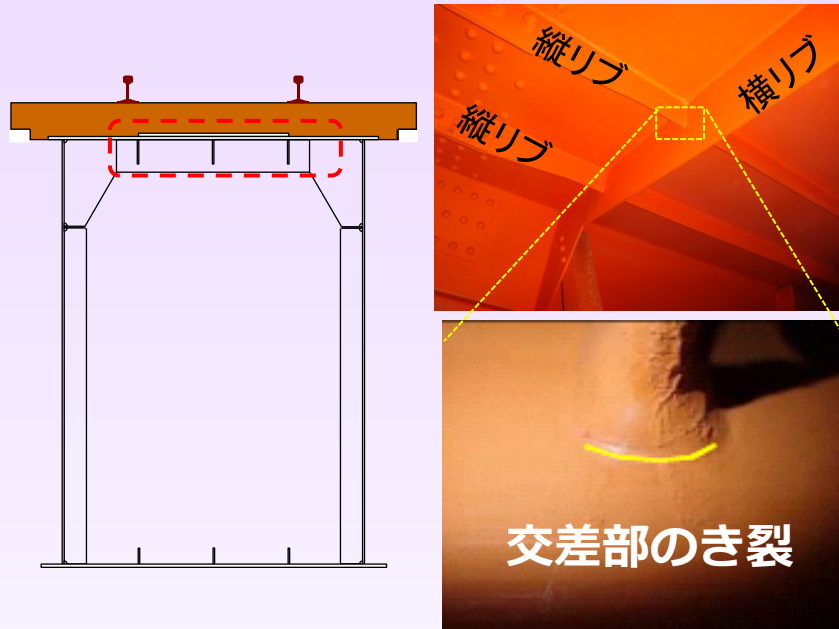
フランジ等の振動

レール継目により高周波振動による応力が励起

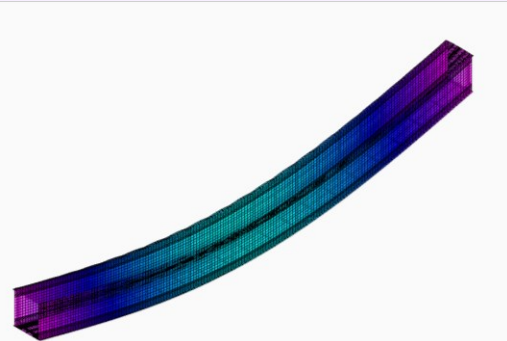
②レール継目の衝撃が鋼部材に与える影響【振動モード(箱桁)】

構造形式⇒上路箱桁 (まくらぎ式)

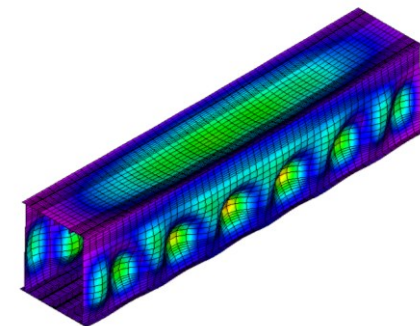
発生応力のスペクトル⇒ 振動モード



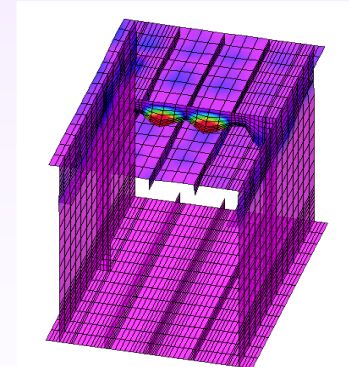
設計で考慮している領域
たわみ【1次,2次程度】



床組のたわみ
主要部材【44Hz】



横リブの面外振動
二次部材【354Hz】



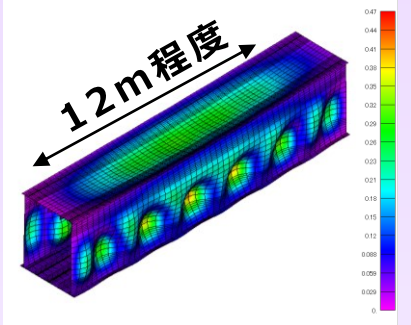
変位
大
小

設計では考慮されていない振動モードを励起

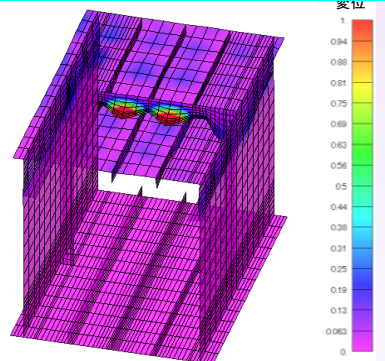
主要部材の振動／二次部材の振動

②レール継目の衝撃が鋼部材に与える影響【累積疲労】

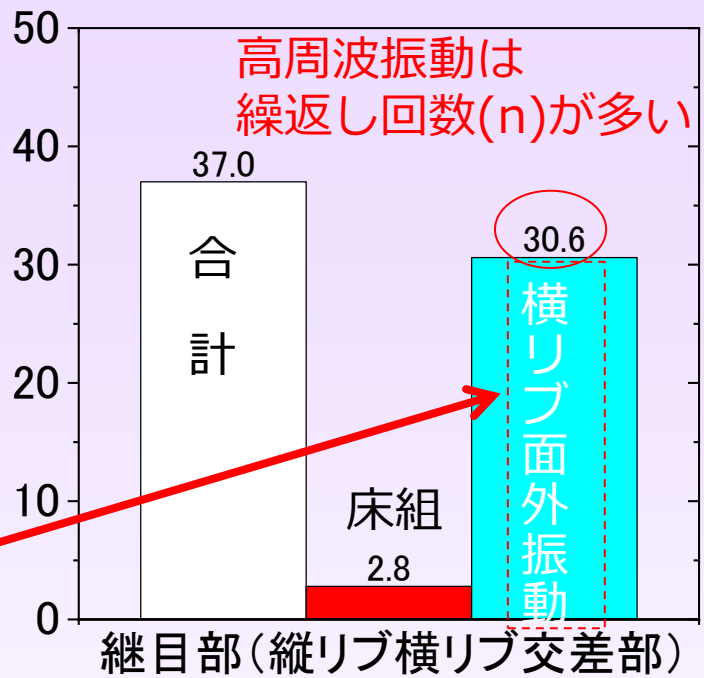
床組のたわみ【44Hz】



横リブの面外振動【350Hz】



累積疲労の比
(継目あり/継目なし)



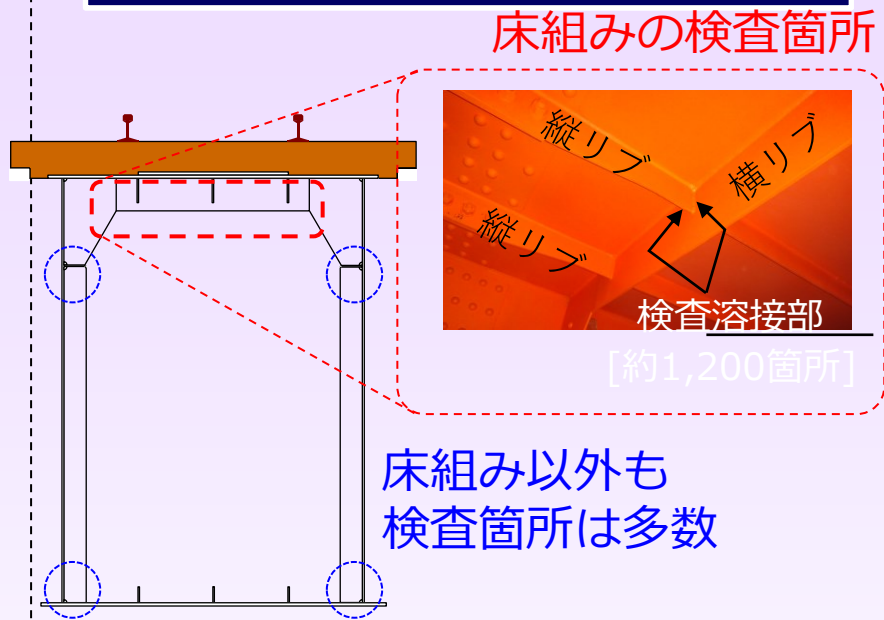
高周波振動は
繰返し回数(n)が多い

※累積疲労 $D = \sum (\Delta\sigma_i^3 \cdot n_i)$

$\Delta\sigma_i^3$: i 番目の応力範囲

n_i : i 番目の応力範囲の繰返し数

局所的な高周波振動の課題



- ◆ 局部振動に起因する
検査箇所は多数
- ◆ 定量評価は大規模な現地計測
⇒ 検査の負担大

簡易な評価手法が必要

- ・ レール継目近傍での累積疲労は、**一般部の30倍以上**
- ・ 特に、局所的な**高周波振動の影響が支配的**
⇐ 従来はこの認識が無く、測定対象は100Hz程度まで

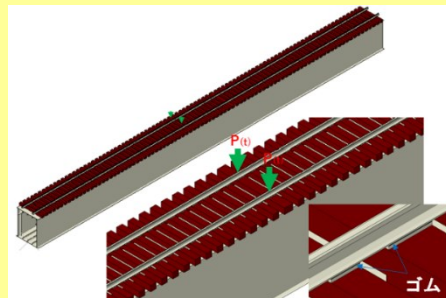
③評価解析モデルによる疲労評価手法

【疲労評価のフロー】

STEP①
代表構造の選定

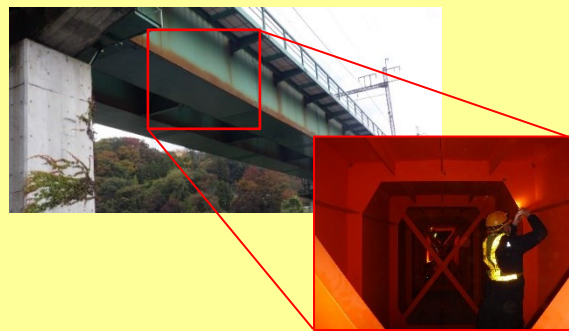
箱桁, 鈑桁, トラス...

STEP②
代表構造の
評価解析モデル作成



STEP③
橋梁ごとに疲労評価

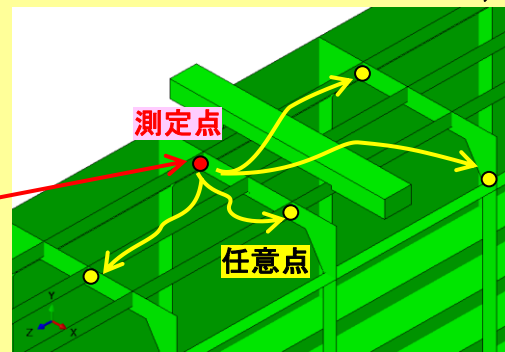
任意の実橋梁



2点ほど測定

INPUT 測定応力 (2箇所程度)

OUTPUT 任意点の**応力・疲労**

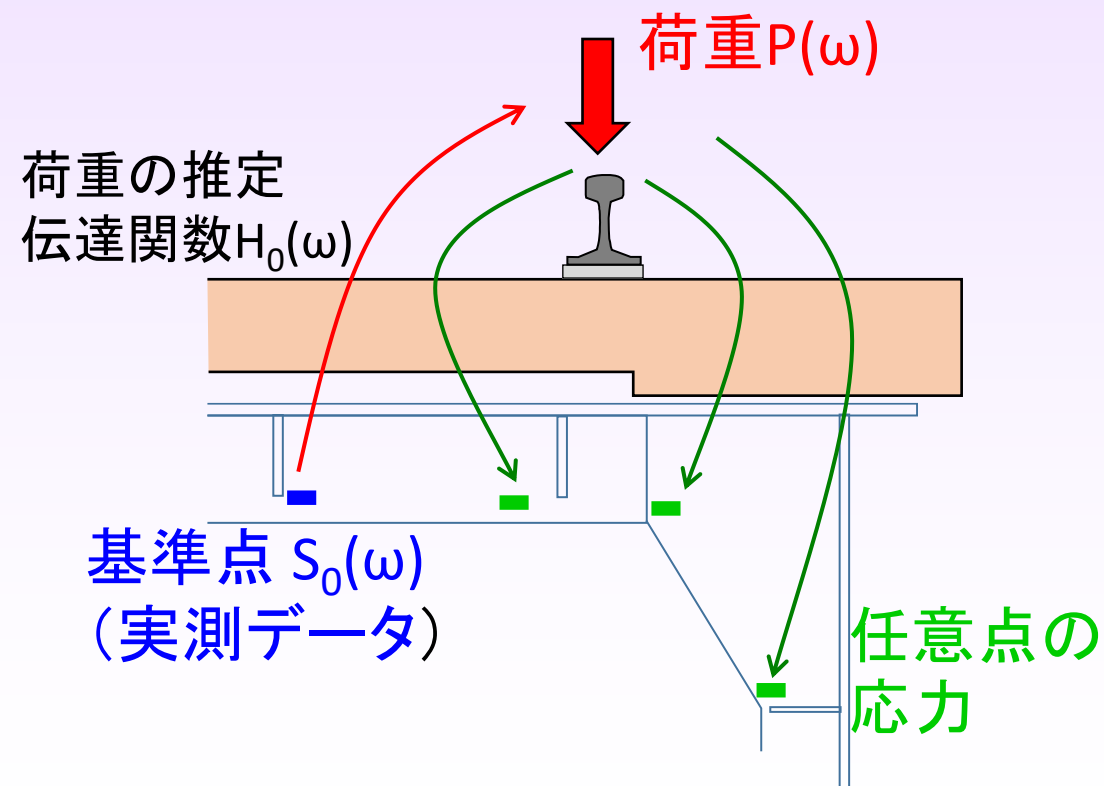


モデル上で疲労評価

●評価解析モデル

・伝達関数を用いた複素応答解析

$$P(\omega) = \frac{S_0(\omega)}{H_0(\omega)}$$





③疲労評価のための解析モデル構築(衝撃荷重の推定)

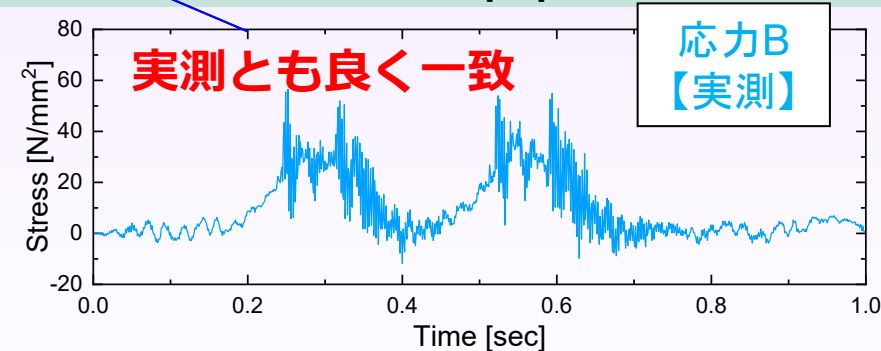
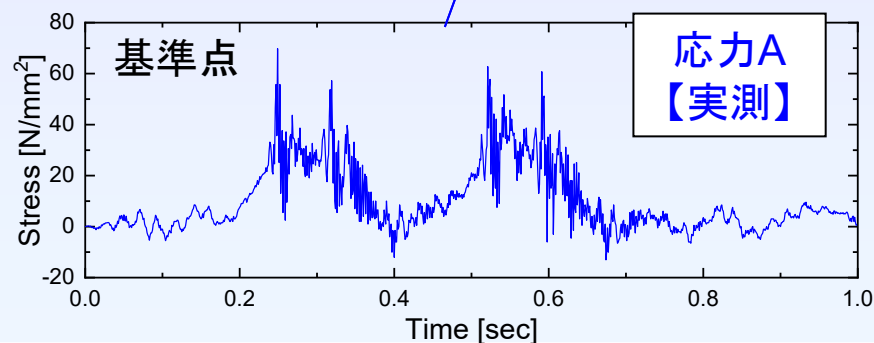
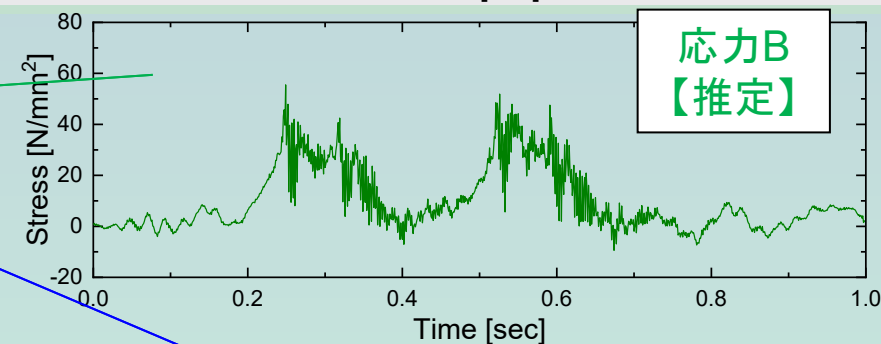
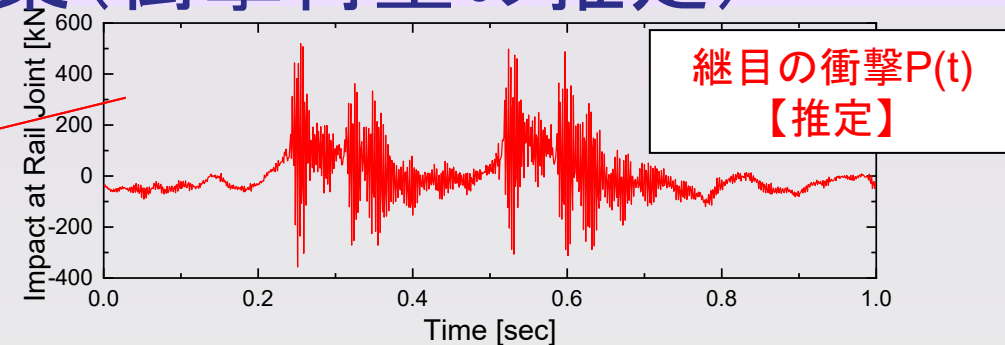
- ・上路箱桁を対象に検証

箱桁形式橋梁
床組部材

逆解析

継目

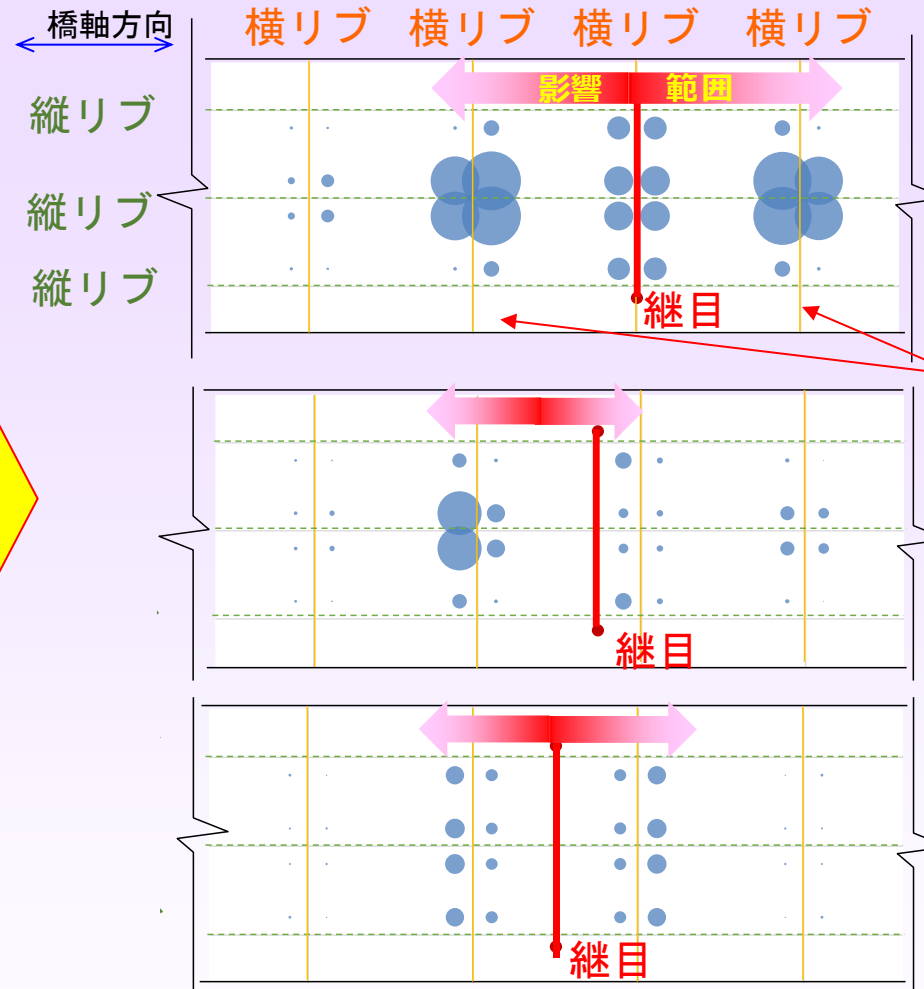
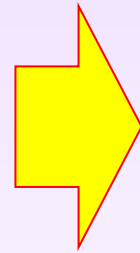
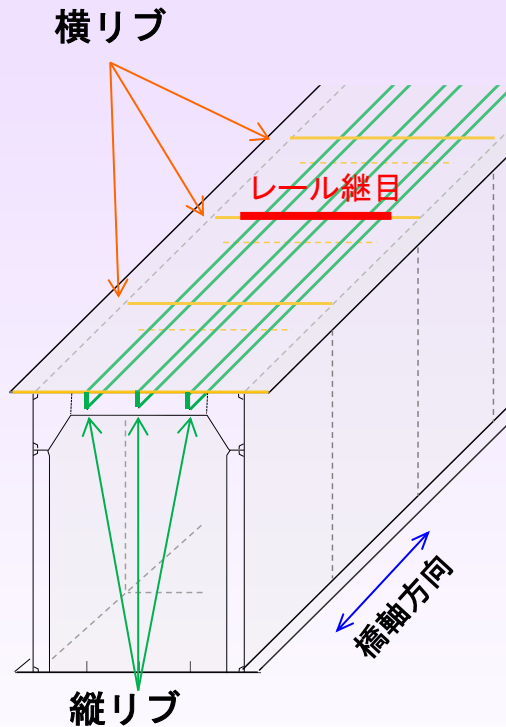
順解析



- ・構築した解析モデルで各部の疲労を評価できることを確認
- ・鋼橋の高周波振動を初めて再現

③本解析手法を用いた実務への活用例

検査範囲



着目すべき検査溶接部を抽出

- ・ 継目から1つ目の横リブまで
- ・ 継目の位置によって影響範囲が異なる

●の大きさ：疲労損傷度

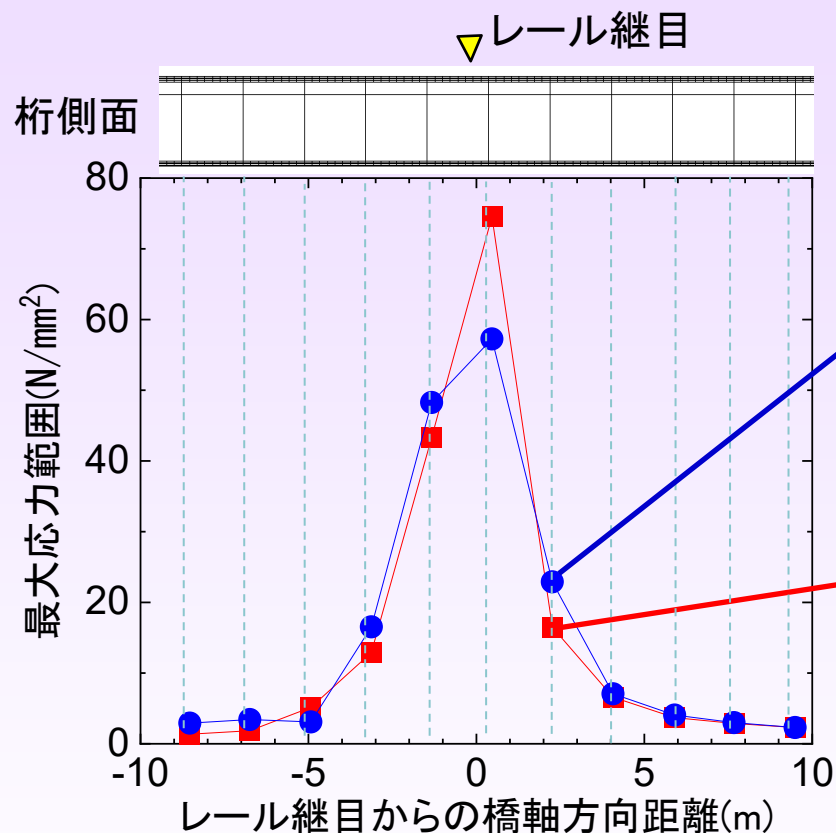
継目の影響範囲や、検査着目箇所の抽出

⇒ 検査の省力化

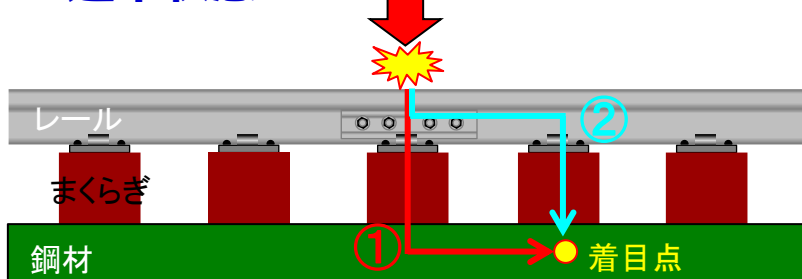
Ex) 継目近傍の注意箇所を優先的に検査 等

③本解析手法を用いた実務への活用例

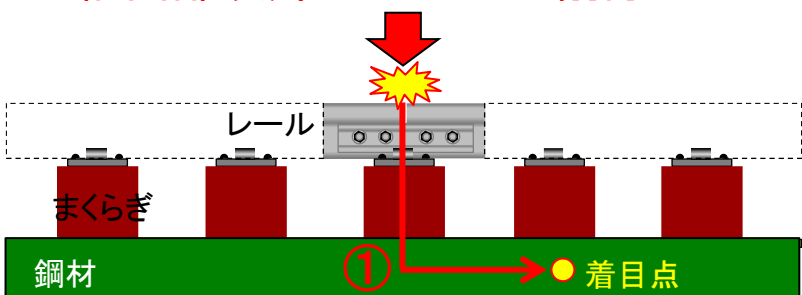
原因・対策検討 ・振動の伝播経路



■ 通常状態



■ 継目部以外のレールを削除



影響範囲に変化無し

高周波振動の伝播

鋼部材 ≫ レール

⇒ 締結装置での緩衝対策は
限定的

継目位置・継目形式の変更
(支え継ぎ→かけ継ぎ)

部材補強

振動の伝搬経路の同定

⇒補強対策を考案する上での一助となる

今後、軌道・構造物の両方の面から具体的な対策を提案

成果①: レール継目の形式・状態が、衝撃に与える影響

形式：かけ継ぎ << 支え継ぎ

状態：段差による影響大

成果②: レール継目での衝撃が、鋼部材に与える影響

部材ごとの局所的な高周波振動の影響大

成果③: 鋼橋各部の疲労を評価する解析モデルを提案

検査着目箇所・範囲を明示 ⇒ 検査等の省力化

参考文献

RRR

小林裕介, 上山裕太, 向井天: 鋼橋の疲労の累積を予測する, RRR, Vol.81, No.1, pp.20-25, 2024

鉄道総研報告

金島篤希, 小林裕介, 井上太郎, 松岡弘大: レール継目における衝撃が上路プレートガーダーの疲労に及ぼす影響, 鉄道総研報告, Vol.35, No.7, pp.35-40, 2021

小林裕介, 井上太郎: レール継目での衝撃が箱断面上路鈹桁床組の疲労に及ぼす影響, 鉄道総研報告, Vol.37, No.1, pp.21-27, 2023

論文集

金島篤希, 井上太郎, 蒲原浩平, 松岡弘大, 小林裕介: レール継目の衝撃が上路鈹桁の補剛材上下端の応力性状に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.67A, pp.566-577, 2021

井上太郎, 小林裕介: レール継目での衝撃が箱断面上路鈹桁床組の疲労に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.67A, pp.555-565, 2021