

## 鋼床版き裂の非破壊調査技術



国立研究開発法人 土木研究所

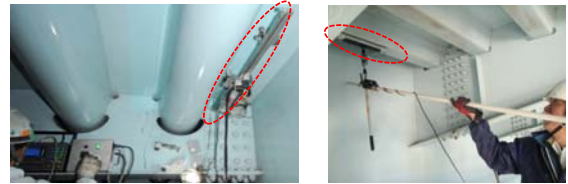
構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)

(Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research)

1

## 技術概要

鋼床版橋梁に発生する目視困難な疲労き裂について、非破壊(超音波)技術を利用した調査法を開発



鋼床版の下側に超音波センサを設置し、調査している様子

2

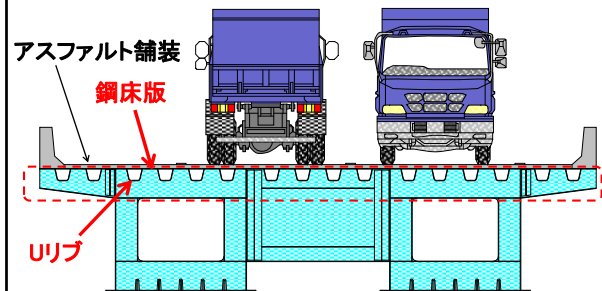
## 発表内容

1. 鋼床版の疲労損傷
2. 鋼床版デッキプレートき裂の超音波探傷法
3. Uリブ内滞水調査技術

3

### 1. 鋼床版の疲労損傷

#### 鋼床版＝鋼鉄製の床構造



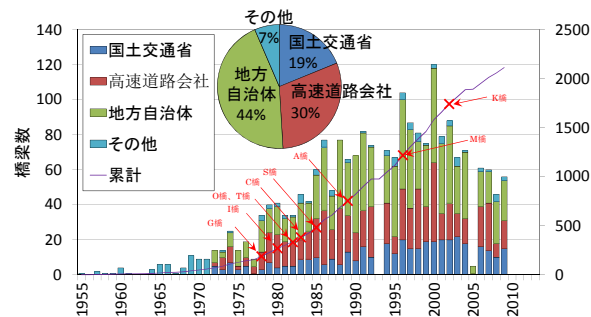
4

## 鋼床版構造と疲労損傷

- **鋼床版構造**
  - ・比較的**薄い鋼板**を**溶接**により組み立てた**構造**
  - ・**軽量**のため、**長大橋**の床構造や**都市内高架橋**に広く適用
  - ・床版として**輪荷重**を直接支持  
⇒**疲労の影響を受けやすい構造**
- **80年代半ば頃よりき裂の報告事例有り**
  - ・「鋼橋の疲労」(H9、道路協会)に**既設橋の損傷事例**を整理
  - ・「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 6章疲労設計」(H24、道路協会)  
「鋼道路橋の疲労設計指針」(H14、道路協会)  
に**新設橋の鋼床版の疲労設計の提示**
- **近年、Uリブ鋼床版の損傷事例が顕在化**
  - ・**十年前頃より、デッキプレートを貫通するき裂**の発生。  
国道、都市内高速道で報告事例有り。

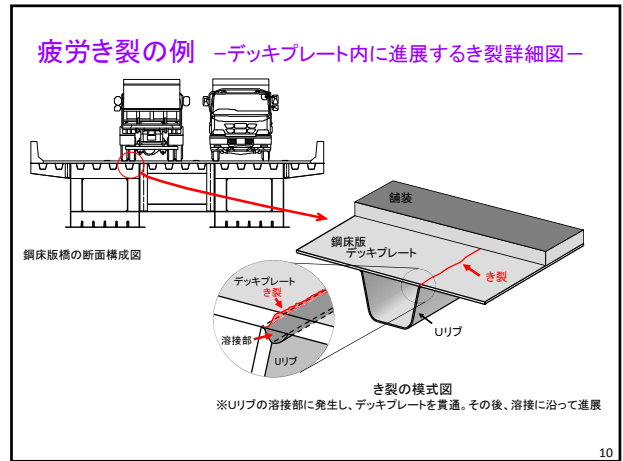
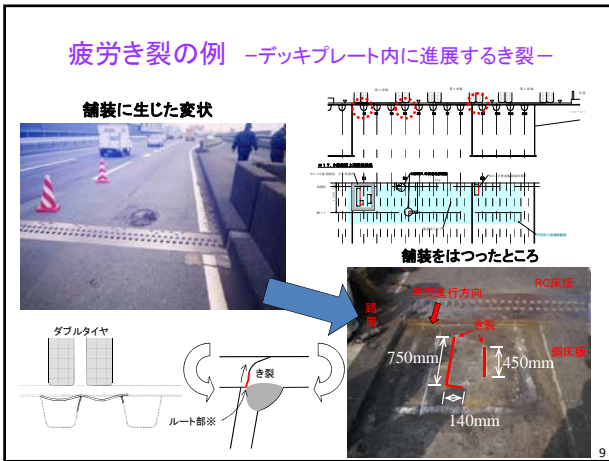
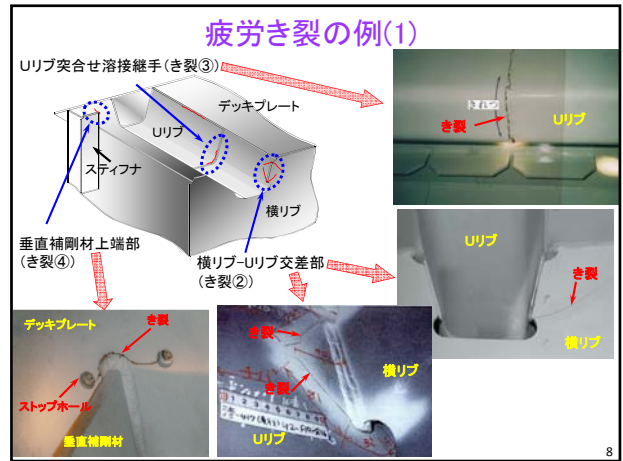
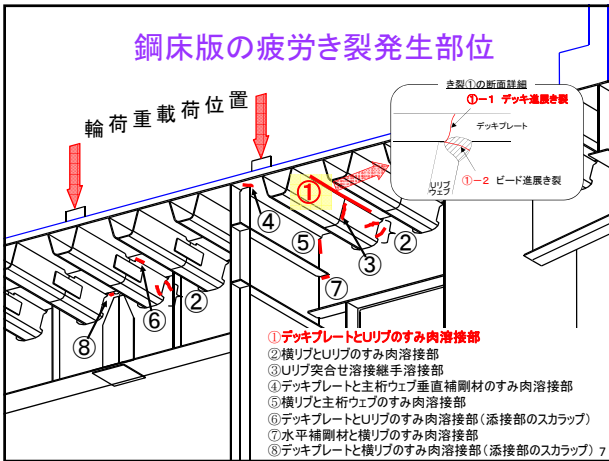
5

### 鋼床版橋の建設数



鋼床版橋の建設年次別橋数の推移 (出典：(一社)日本橋梁建設協会8)  
※1992年、1993年、2005年については一部データが欠損  
※(一社)日本橋梁建設協会に加盟している橋梁製作会社が制作した橋梁を対象

6



### デッキ進展き裂の発生傾向

- 10~30年程度で発生  
(累積大型車交通量では1200(万台/車線)程度以上)
- 損傷箇所は輪荷重が常時載荷される位置直下の溶接部  
(概ね大型のダブルタイヤが跨ぐ位置)
- 損傷箇所はデッキ厚12mm(※)構造諸元との関係は不明確  
(※): 疲労き裂対策のため、H21年12月事務連絡より、また、H24改定された道路橋示方書より、新設では大型車の輪荷重が常時載荷される位置直下のデッキ厚は16mmに厚肉化されている。

### 鋼床版の疲労への取組み

- 各部位のき裂に対して原因究明、対策工法を検討
- 影響度の大きいき裂(デッキ進展き裂)を優先

<デッキ進展き裂の課題>

- (1) 設計・施工上の問題点が不明  
⇒ 損傷原因解明、耐久性向上策
- (2) き裂は、目視点検では検出困難  
⇒ 非破壊調査技術の開発
- (3) き裂進展時には路面陥没による第3者被害に  
⇒ 補修・補強方法、予防保全策

※それぞれ共同研究を実施

舗装下に貫通したき裂(デッキ進展き裂)

### 鋼床版き裂の非破壊調査技術

(1) **き裂の超音波探傷法**  
深さ3mm程度以上のき裂は確実に検出可能

(2) **Uリブ内滞水調査技術**  
貫通き裂の発生状況を間接的に把握する技術を提案

※現場架設のブロック間に、ダイヤフラム(仕切り板)が設置されており、その間に横断勾配に応じて滞水

13

### 2. 鋼床版デッキプレートき裂の超音波探傷法

#### 鋼床版デッキプレートき裂の超音波探傷法に関する共同研究

- 研究期間:平成18年度~19年度
- 研究体制:土木研究所、菱電湘南エレクトロニクス(株)、三菱電機(株)情報技術総合研究所
- 達成目標
  - ① 目標として3mm程度の深さの浅いき裂を確実に検出可能であること  
(⇒き裂の検出性能の向上)
  - ② 横リブで断続的に仕切られている溶接線をデッキプレート下面側から半自動(\*)により比較的容易に調査可能であること  
(⇒作業効率性の向上)
  - ③ 非破壊調査に用いる装置が小型で携帯性・操作性に優れており、安価であること  
(⇒調査コストの縮減)

(※)半自動:探触子の走査が手動であり、探触子の座標及びエコー高さのデータ収録が自動的に行えるもの。

14

### 超音波探傷法の主な種類と概要

**SV波(横波) 探触子**  
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。デッキプレート表面の凹凸状態が不明なため1回反射の適用は困難。  
**屈折角70度の斜角探触子**  
表面付近のき裂検出に適用可能。表面波を抑制させるための押当てゴム。

**2次クリーピング波(表面に沿う縦波) SV波(横波) 探触子**  
鋼材表面付近のき裂検出に適用。同時に送信される横波によりデッキプレート表面き裂のエコーとき裂との判別が難しい場合有り。

**横波 探触子**  
表面SH波(横波) 探触子  
鋼材表面付近のき裂検出(建築鉄骨の検査等)に適用。深さ検出は困難。表面溶接き裂との判別が困難な場合有り。粘性の高い探触剤を使用し、エコー安定まで押し当てが必要。作業性が悪い。

※ 超音波の速度 縦波:横波:表面波=1:0.5:0.45

15

### 検討内容と成果概要

- 1) 探傷結果の精度、信頼性向上のための感度(エコー高さ)補正方法の検討
  - ・鋼材音速の違いが探傷屈折角およびエコー高さに及ぼす影響と、探傷面の状態(塗膜厚、鋼材の表面状態等)がエコー高さに及ぼす影響を補正する方法(感度調整方法)を提案
- 2) エコー高さとき裂深さの関係、き裂の検出方法の検討
  - ・実き裂に近いき裂を有する模擬試験体を製作し、その探傷結果より、エコー高さとき裂深さの関連付けを実施
  - ・き裂検出のための探触子の走査位置、検出性能(検出可能なき裂深さ)を把握

鋼床版き裂の超音波探傷法の提案

16

### 感度補正法の概要(1)

試験片 実橋

表面状態、鋼材音速が異なる  
透過パルス高さの差が感度調整量

2探触子法(透過法)による感度調整

17

### 感度補正法の概要(2)

試験片で調整した角度 実橋で調整した角度

φ3mm横穴からのエコーの軌跡(MA表示) 距離角度振幅特性曲線

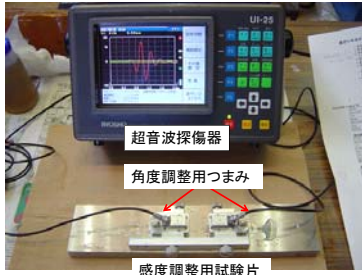
ビーム路程 感度調整量を加える

1探触子法(反射法)による探傷

18

### 感度補正法の概要(3)

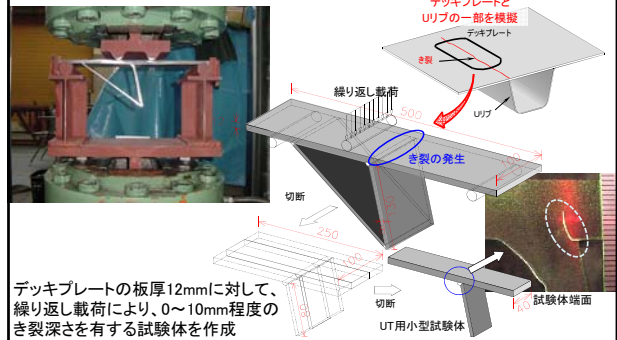
-疑似表面SV波の透過パルスにより調整している状況-



19

### き裂深さとエコー高さの関係の把握(1)

-実き裂を模したき裂試験体の製作-



デッキプレートの板厚12mmに対して、繰り返し載荷により、0~10mm程度のき裂深さを有する試験体を作成

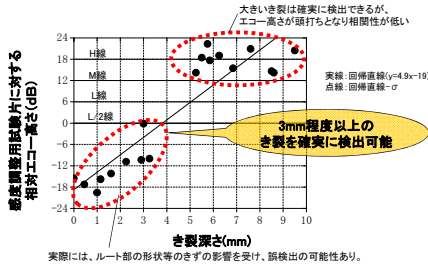
20

### き裂深さとエコー高さの関係の把握(2)

-き裂試験体の探傷結果-

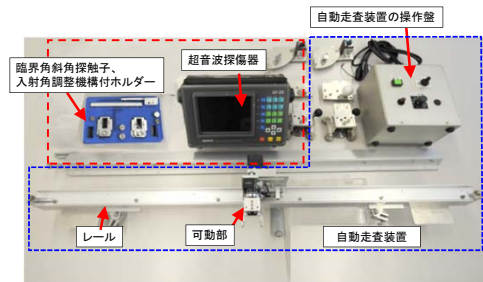
き裂深さの推定

事前にき裂深さとエコー高さの関係を把握し、エコー高さにより推定



21

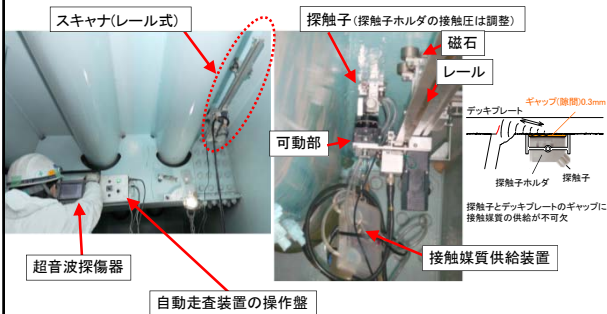
### 探傷装置と自動走査装置の構成



22

### 現地調査の例

磁石によりデッキ下面にスキャナと探触子を設置し、自動探傷を実施



23

### 実橋での適用実績(14件)

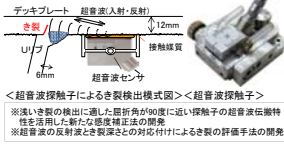
実橋名	建設年次	走査方式	調査長(m)	き裂検出の有無
G橋	S52	自動	74.2	無
C橋(山側)	S50	自動	195.0	有
SK橋	H4	手動+自動	422.0	有
K橋	S53	自動	62.4	有
SW橋(下り側)	S53	手動+自動	28.0	有
ST橋	S54	手動+自動	132.0	有
M橋(山側)	S57	手動+自動	121.0	有
T橋	S54	自動	193.0	有※
J橋	S55	自動	25.3	有※
S <sub>1</sub> 橋	S56	自動	109.5	無
M橋(河側)	H1	自動	465.5	有
SW橋(上り側)	S53	自動	28.0	無
NK橋	H12	自動	155.6	無
NR橋	S54	自動	41.6	無

※ デッキプレート貫通き裂有り(舗装を剥がして磁粉探傷試験(MT)により確認)  
注) 点検、詳細調査により、き裂発生が報告されている、もしくは疑われている鋼床版橋を対象として調査範囲を限定して実施

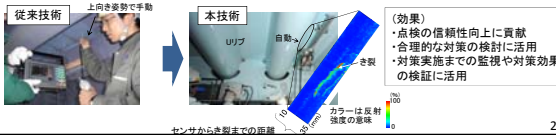
24

### 疲労き裂の非破壊検査技術 —臨界屈折角探傷法—

- 初期のき裂の検出可能な技術を開発
- 5橋で試行し、調査のための超音波探傷マニュアル案をとりまとめ
- 現在、14橋での調査適用の実績あり

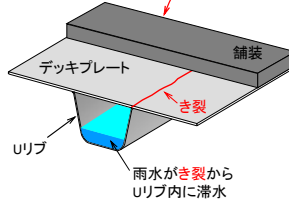
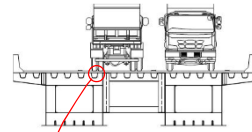


	従来技術(70度斜角探触子)	本技術
信頼性	・塗装の影響の補正が困難 ・技術者の技量差の影響あり	・塗装の影響の補正が可能 ・技量差によるき裂の誤検出を排除
精度	深さ6mm以上のき裂の有無を検出	深さ3mm以上のき裂の有無を検出
作業性	手動探傷 (作業性・信頼性に課題あり)	自動探傷 (探傷結果を位置情報とともに自動記録)



### 3. Uリブ内滞水調査技術

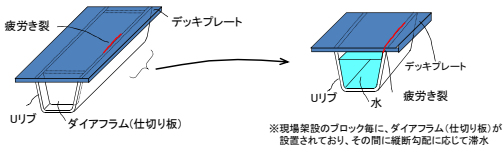
#### デッキ貫通き裂を見つけるための非破壊検査技術 —Uリブ内の滞水状況から間接的にき裂を検知する技術—



### 3. Uリブ内滞水調査技術

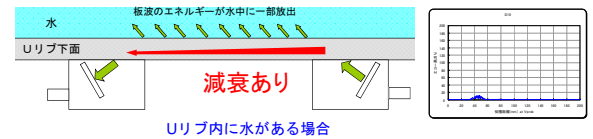
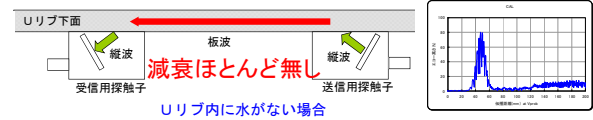
#### デッキ貫通き裂を見つけるための非破壊検査技術 —Uリブ内の滞水状況から間接的にき裂を検知する技術—

- 既に、デッキ進展き裂が発生している場合の対策実施までの状況把握
- 信頼性、作業性の面で、他の汎用手法では課題あり
- ・汎用型UTでは、塗膜の影響により誤検出の可能性
- ・赤外線カメラでは、日照条件、測定時刻、水深により計測に制約や限界あり。



### 3. Uリブ内滞水調査技術

#### Uリブ内滞水調査技術

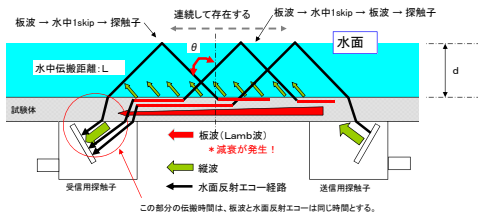


Uリブ内に超音波(板波)を伝搬させ、振幅の大きさの変化により検知  
※菱電湘南エレクトロニクス(株)および三菱電機(株)と共同研究

### 超音波法(板波透過法)の原理

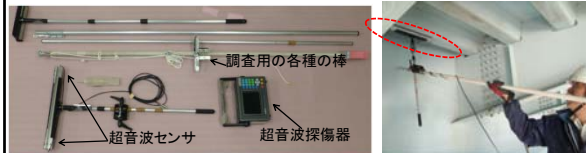
#### 水深の計測原理

板波のエネルギーが水中に一部放出されるため、水面で反射するエコーは、連続的に発生。ただし、受信用探触子の入射角度と一致するのが1スキップ距離しか無いため、下図に示すような経路(連続的に存在)のエコーのみ受信される。



$$d \approx 0.825 \times T_w \quad T_w: \text{板波透過エコーと水面1回反射エコーの伝搬時間差} (\mu \text{ sec})$$

### センサ、超音波探傷器、棒による構成



開発した超音波装置

現場における適用事例

計測時間は、1箇所5秒程度

## 鋼床版Uリブ内の滞水調査の適用事例



桁の高さが高い場合でも、検査路から調査可能



5m程度までは、箱桁内から調査可能

31

## 鋼床版Uリブ内の滞水調査の適用事例



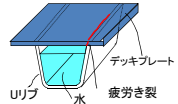
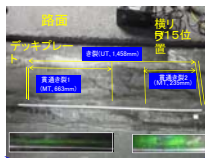
狭い点検車でも、1名で、調査可能



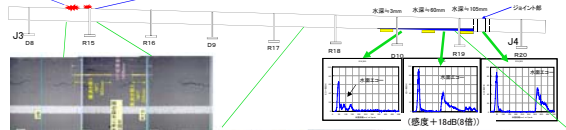
5m程度までは、調査可能

32

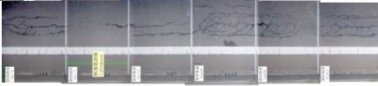
## 鋼床版Uリブ内の滞水調査の適用事例



※現場築架設のブロック間に、ダイヤフラム(仕切り板)が設置されており、その間に縦断勾配に応じて滞水



調査前の路面状況  
路面に異常は認められなかった



33

## 使用する場合には

- (1) 鋼床版デッキプレートき裂の超音波探傷法  
超音波技術者(レベル2以上の資格)、2~3名  
装置一式をレンタル  
完成品(適用実績14橋)
- (2) Uリブ内滞水調査技術  
超音波技術者(レベル1以上の資格)、1名  
装置一式をレンタル  
完成品(適用実績5橋)

問合せ: 土木研究所CAESAR

34

## レンタル費用

- (1) 鋼床版亀裂の超音波探傷法  
約285,000円/3日(約95,000円/日)  
約950,000円/月(約32,000円/日)  
・いずれもメンテナンス(消耗部品等)費含む  
・月1度は、メンテナンスのため、機材の返却の必要あり
- (2) Uリブ内滞水検知技術  
約180,000円/3日(約60,000円/日)  
約400,000円/月(約14,000円/日)  
・いずれもメンテナンス(消耗部品等)費含む

(レンタル会社よりレンタル)

問合せ: 土木研究所CAESAR

35

## 問合せ・連絡先



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)

TEL: 029-879-6773

E-mail: caesar@pwri.go.jp

36