

鋼床版き裂の超音波探傷法



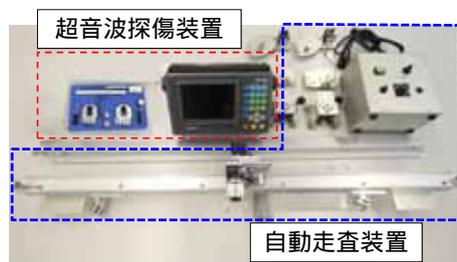
独立行政法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)

(Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research)

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、超音波探傷を用いてき裂を検出する手法(調査法)を開発



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

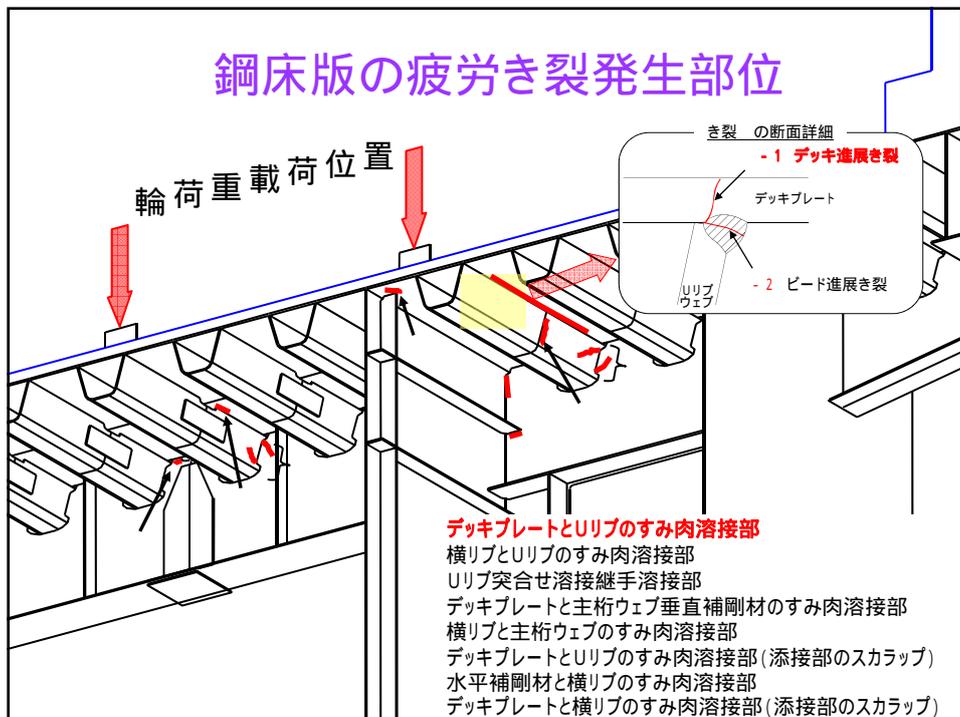
80年代半ば頃よりき裂の報告事例有り

- ・「鋼橋の疲労」(H9、道路協会)に損傷事例を整理
- ・「鋼道路橋の疲労設計指針」(H14、道路協会)に鋼床版の疲労設計の提示

最近、Uリブ鋼床版の損傷事例が顕在化

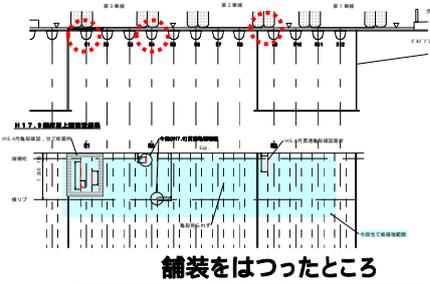
- ・数年前より、デッキプレートを貫通するき裂の発生。
国道、都市内高速道で報告事例有り。

鋼床版の疲労き裂発生部位

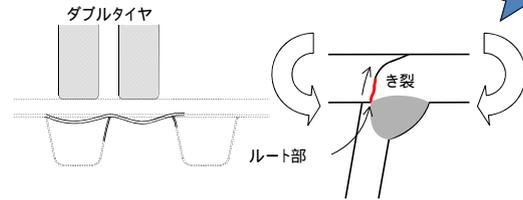
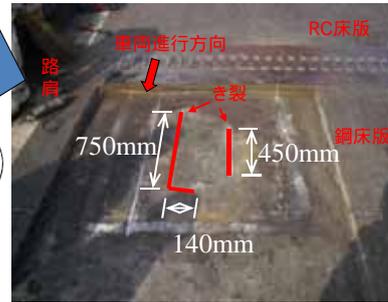


疲労き裂の例 -デッキプレート内に進展するき裂-

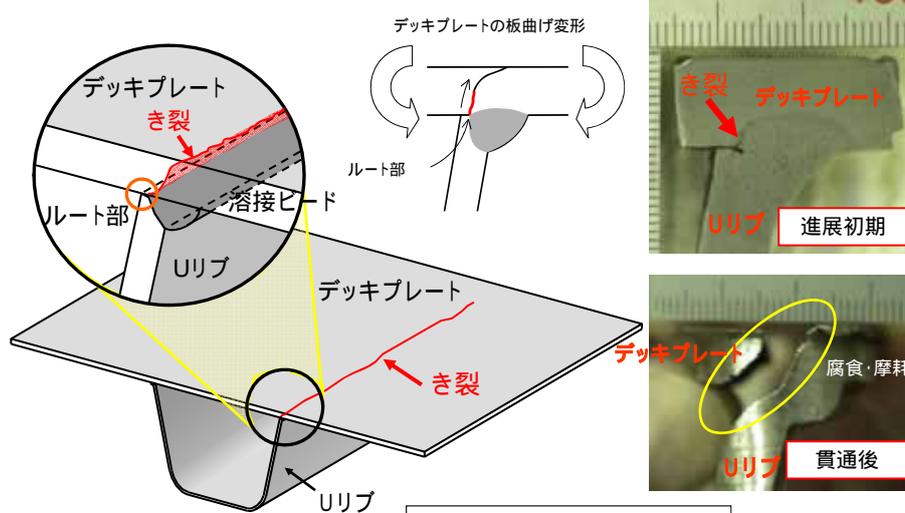
舗装に生じた変状



舗装をはつたところ



疲労き裂の例 -デッキプレート内に進展するき裂詳細図-



応力集中部であるルート部(溶接金属と母材の境界部であり、熱影響部でもある部分)が起点となり、デッキ内にき裂が進展

鋼床版デッキプレート内進展き裂に関する課題

き裂は、目視点検では検出困難

非破壊調査方法(既存技術では性能、信頼性が不十分)

き裂が進展した場合に、デッキプレートが破断
走行路面における舗装の損傷や路面陥没による
第3者被害、交通への影響

補修、補強方法、予防保全策

設計・施工上の問題点が不明確(各種要因の寄与度合)

損傷原因解明(上記に反映、設計・施工法の見直し)

実橋における超音波探傷事例

鋼床版橋梁
輪荷重走行位置
コア抜き
デッキプレート
き裂
Uリブウェブ

UT探傷

波形例

屈折角70度の斜角探触子の例

SV波(横波) デッキプレート
12mm
探触子
8mm (最も接近させた時に相対エコーが最大となる場合)

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。
屈折角70度の斜角探触子

Detailed description: The image is a composite of several parts. On the left, a 3D schematic of a steel deck bridge shows the '鋼床版橋梁' (steel deck bridge) with '輪荷重走行位置' (wheel load travel position) indicated by red arrows. Below it, a 'コア抜き' (core sample) is shown. In the center, a photograph shows a person using an 'UT探傷' (ultrasonic testing) probe on a 'デッキプレート' (deck plate). To the right, a '波形例' (waveform example) graph shows a sharp peak. Below the graph, a cross-section diagram of the 'デッキプレート' (deck plate) shows a 'Uリブ' (U-rib) with a '探触子' (probe) at a 70-degree angle. The diagram labels a 'き裂' (crack) and a 'Uリブウェブ' (U-rib web). Dimensions include '12mm' for the plate thickness and '8mm' for the probe's depth. A note states: '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。' (General inspection method, shallow inspection angle, so even when close, shallow cracks are difficult to detect). The final recommendation is '屈折角70度の斜角探触子' (70-degree angled probe).

非破壊調査法に関する共同研究

研究名称:鋼床板デッキプレート内進展き裂の非破壊調査法に関する研究

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

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)

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

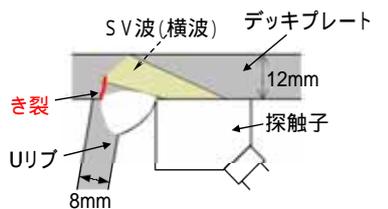
(作業効率性の向上)

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)

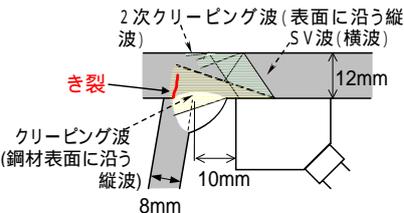
()半自動:探触子の走査が手動であり、探触子の座標及びエコー高さのデータ収録が自動的に入るもの。

超音波探傷法の主な種類と概要



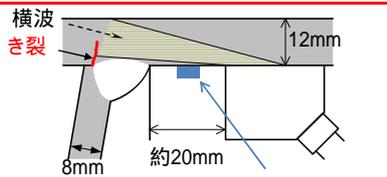
一般的な探傷法。探傷角が浅いため、接近させても浅いき裂の検出は難しい。デッキプレート表面の凹凸状態が不明なため1回反射の適用は困難。

屈折角70度の斜角探触子



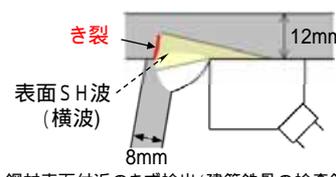
鋼材表面付近のきず検出に適用。同時に送信される横波によりデッキプレート表面きずのエコーとき裂との判別が難しい場合有り。

クリーニング波探触子



表面付近のきず検出に適用可能性大。

横波臨界角の斜角探触子



鋼材表面付近のきず検出(建築鉄骨の検査等)に適用。深さ検出は困難。表面溶接きずとの判別が困難な場合有り。粘性の高い接触媒質を使用し、エコー安定まで押し当てて必要があり、作業性が悪い。

表面SH波探触子

超音波の速度 縦波:横波:表面波 = 1:0.5:0.45

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

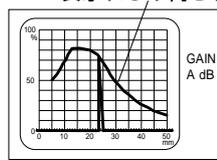


鋼床版き裂の超音波探傷法の提案

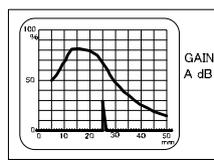
感度補正法の概要(1)

-現状の課題-

感度調整用の横穴に対して
MA表示により得られた曲線



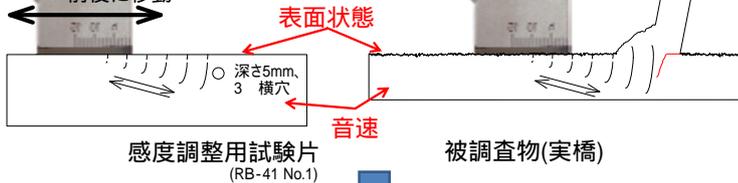
横穴(丸形)の反射源に対して探触子を前後に走査して得られるエコー高さの変化(MA表示)を記録(ゲイン値 = AdB)



反射源の変化がエコー高さの変化として現れる(ゲインを一定)

前後に移動

最適位置に保持



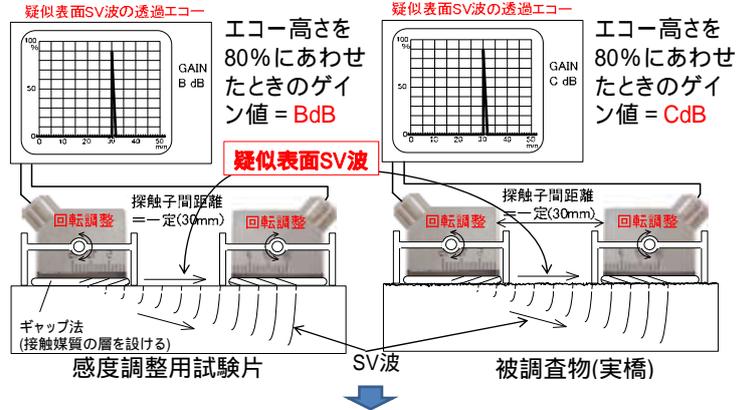
表面状態と鋼材音速が異なると感度が異なる。

現状での被調査物における補正法では、エコー高さの精度、信頼性に限界あり。

- ・斜角探触子に対して、被調査物の底面からの反射波を基に補正するため、底面の影響を受けやすい。底面が平坦であることが必要。
- ・音速については、速度のばらつきが少ない縦波(垂直探触子を使用)を用いて板厚を事前に計測し、その後、使用する横波(垂直探触子を使用)の速度を計測することになるが、斜角の音速の違いが反映されない。

感度補正法の概要(2)

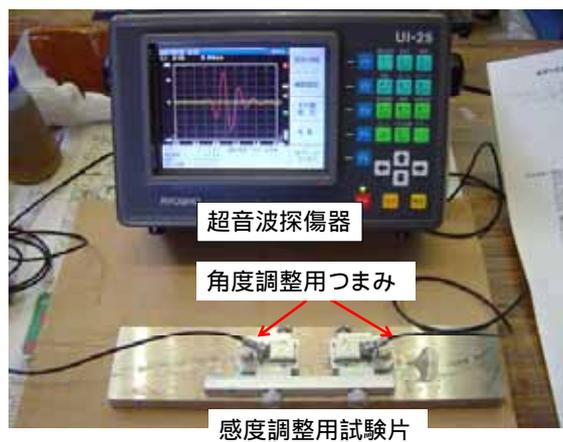
-補正量の求め方-



- ・屈折角が90度に近いような場合には、広がって伝搬しようとするSV波の成分が、表面(境界)があるために広がることのできない状態になり、表面に沿って伝搬する波が発生する。
- ・送信側と受信側の探触子間の受信感度を記録し、その差(低下した量)に基づいて補正が可能。
- ・感度調整用試験片および被調査物(実橋)において、それぞれ透過パルスのエコー高さが最大となるように送信および受信の角度調整を行うことにより、**感度補正量**は、**(C-B)dB**として求まる。

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-

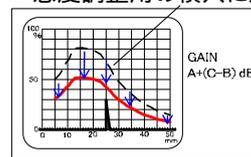


感度補正法の概要(4)

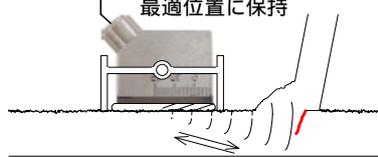
-実橋における探傷時の補正-

- ・ 角度調整された送信側の探触子を角度をそのままに保持しながら、一探触子法に切り換える。
- ・ 求めた感度補正量(C-B)dBを感度調整用の横穴に対してMA表示により得られた曲線の感度AdBに加味し、 $A+(C-B)$ dBの感度にする(画面の破線(黒色)が補正前のMA表示により得られた曲線であり、補正すると、実線(赤色)のMA表示の曲線となる(図中には、補正するとMA表示の曲線が下がる例を示す)。

感度調整用の横穴に対してMA表示により得られた曲線



最適位置に保持



被調査物(実橋)

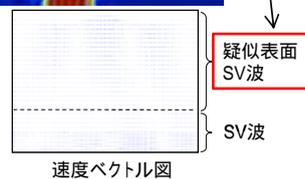
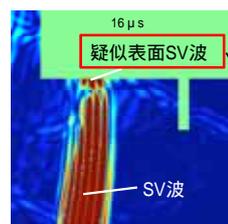
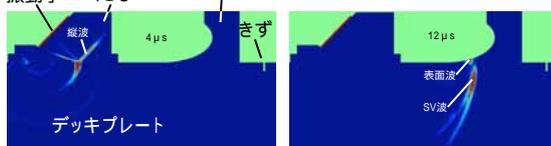
- 1 探傷面の状態(塗膜厚、鋼材の表面状態等)がエコーに及ぼす影響はエコー高さ(感度)だけではなく実際にはエコー位置にも及ぶが、疑似表面SV波を利用してエコー位置の補正(時間軸の調整)も合わせて実施している。
- 2 疑似表面SV波を利用して感度補正する方法およびそのための角度調整機構付きの探触子ホルダーを含めた超音波探傷装置について、発明の名称:「超音波探傷の感度設定方法および超音波探傷装置」として、特許庁に特許申請した(2008.7.31)。

横波臨界角における伝搬シミュレーション

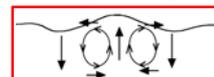
補足資料

-疑似表面SV波とは?-

振動子 くさび 表面波を分離させるための凸部材



速度ベクトル図



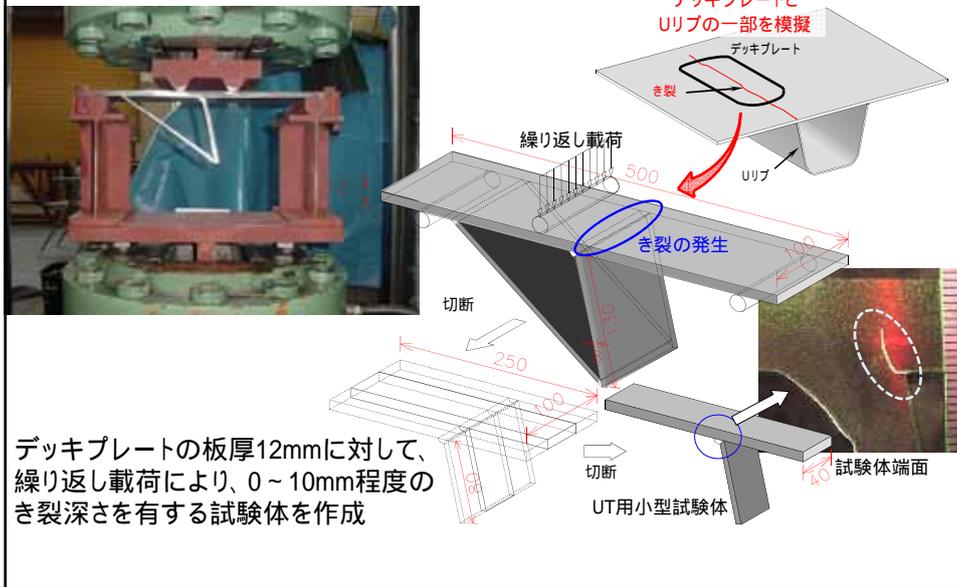
ベクトルの概念図

- ・ シミュレーションでは、視覚的に疑似表面SV波を明瞭化するために表面波を分離させている。実際には、表面波が同時に伝搬するが、音速が約0.9倍と遅いため、波形を明確に分離可能。
- ・ 疑似表面SV波は、横波や縦波や表面波とは異なる性質のものであることが、実験およびシミュレーションにおいて確認されている。

菱電湘南エレクトロニクス(株)および三菱電機(株)情報技術総合研究所が実施

き裂深さとエコー高さの関係の把握(1)

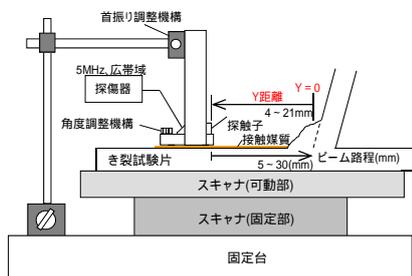
-実き裂を模したき裂試験体の製作-



き裂深さとエコー高さの関係の把握(2)

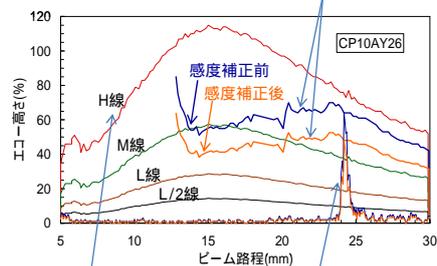
-き裂試験体の探傷試験-

き裂深さ = 5.25mmのき裂試験体の例
前後走査した時のエコー高さの変化(MA表示)



試験装置(スキャナ上にき裂試験片を設置)

探触子をスキャナを用いて前後走査し、Aスコープを記録



探触子の位置
Y=19mmのAスコープ

感度調整用試験片(RB-41 No.1)の深さ5mm、3横穴に対するエコー(MA表示)をH線とした

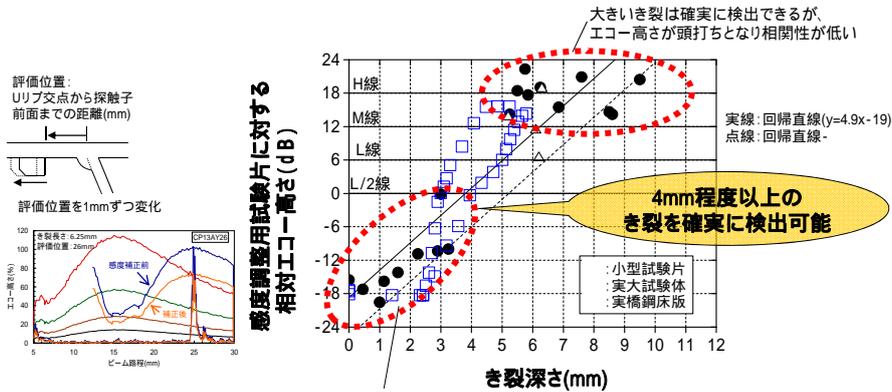
き裂深さとエコー高さの関係の把握(3)

-き裂試験体の探傷結果-

き裂深さの推定



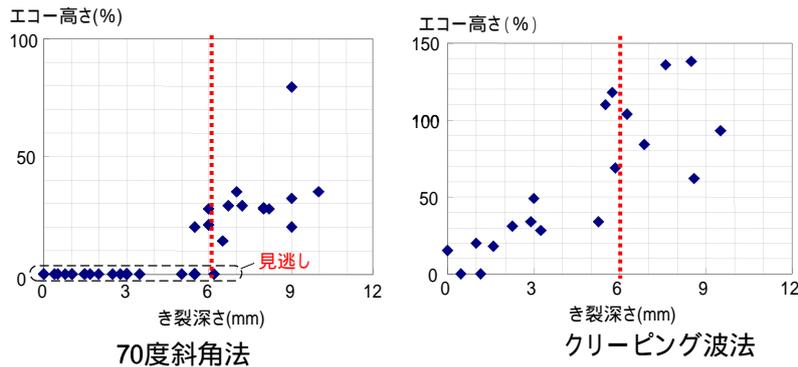
事前にき裂深さとエコー高さの関係を把握し、
エコー高さにより推定



既往の研究(下里ら:疲労損傷を受けた鋼床版におけるSFRC補強後の疲労耐久性検証試験、土木学会第62回年次学術講演会、-022,2007.9)によれば、6mm程度のき裂に対しては、SFRC舗装後の輪荷重走行試験によりき裂の進展がないとしている。

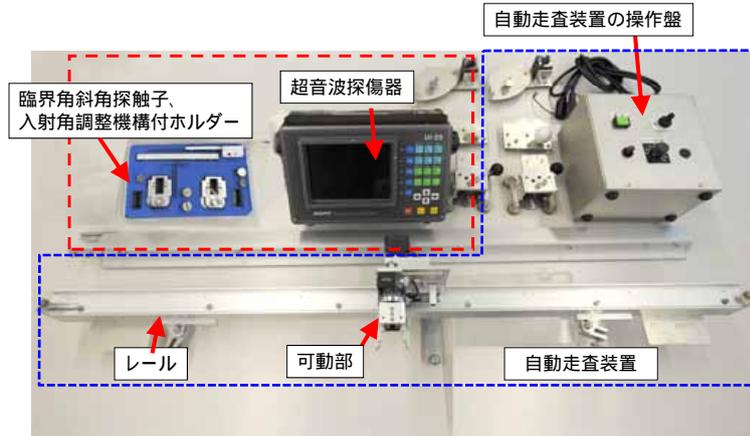
き裂深さとエコー高さの関係の把握(4)

-他の超音波探傷法の例-



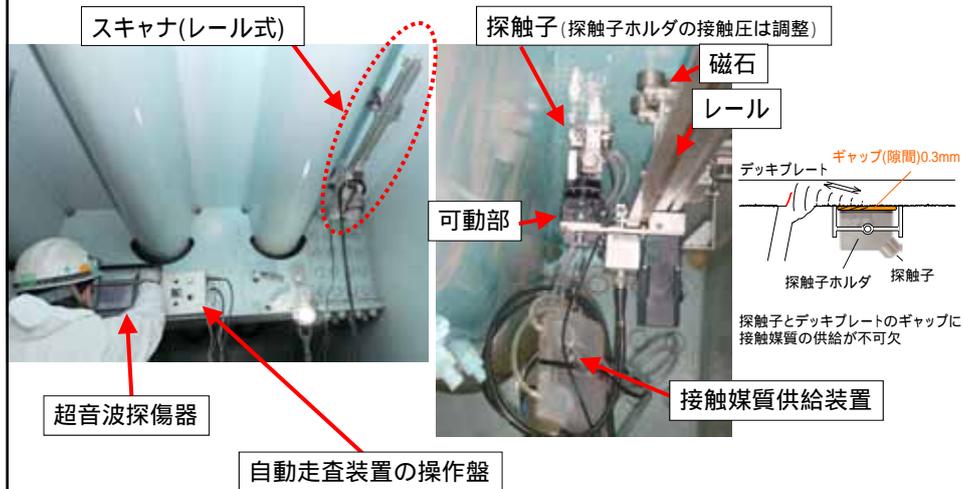
- ・70度では、深さ6mm程度が検出限界 (端部エコー法は使用していない。)
- ・クレーピング波法では、試験では、深さが小さくても検出できる可能性あり。
しかし、現場では、裏面(デッキプレート表面)の凹凸の影響を受けるため、誤検出につながる可能性あり。

探傷装置と自動走査装置の構成



現地調査イメージ

磁石によりデッキ下面にスキャナーと探触子を設置し、自動探傷を実施



今後の予定

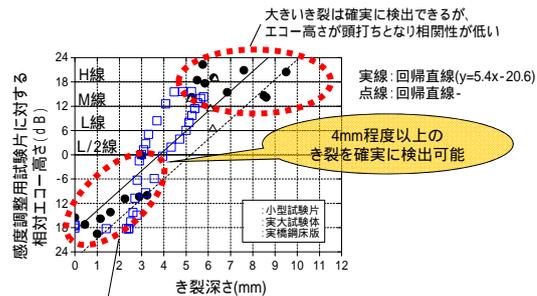
マニュアルが完成し、現場試行中。さらなる現場適用上の課題を検討予定。

探傷要領の目次

1. 適用範囲
 2. 引用規格
 3. 調査技術者
 4. 調査箇所
 5. 調査手順
 6. 探傷法の選定
 7. 事前準備
 8. 使用機材の準備
 9. 探傷方法
 - 9.1 探傷手順
 - 9.2 探傷装置の調整
 - 9.3 探傷(探触子の走査)
 - 9.4 **き裂検出の評価**
 - 9.5 探傷結果の記録
 10. 探傷面の後処理
 11. 調査報告書の作成
- 参考文献

き裂検出の評価(案)

エコー高さがL線-6dB(L/2線)を越える場合に、デッキプレートの板厚方向の深さが4~5mm以上のき裂があるものと判定する。き裂の溶接線方向の長さのうち、深さが4mm程度に達している範囲は、エコー高さがL線-6dB(L/2線)を越える範囲とする。



実際には、ルート部の形状等のきずの影響を受け、誤検出の可能性あり。

問合せ・連絡先



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)

TEL: 029-879-6773

E-mail: caesar@pwri.go.jp