ＩＳＳＮ　０３８６－５８７８
土木研究所資料　第4138号

土　木　研　究　所　資　料

鋼床版デッキプレート進展き裂の調査のための超音波探傷マニュアル（案）

平成２１年　３月

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
橋梁構造研究グループ

Copyright © (2009) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土 木 研 究 所 資 料
第4138号 2009年3月

鋼床版デッキプレート進展き裂の調査のための超音波探傷マニュアル（案）

構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ　上席研究員　村越　潤
同　上　上席研究員　木村 嘉富
同　上　研究員　高橋　実

要　旨

近年、交通条件の厳しい鋼床版橋においてデッキプレートとU型の縦リブの溶接部を起点とするデッキプレートを貫通するき裂が報告されている。このき裂は、目視点検では直接確認することが困難なUリブ内部に発生することから、き裂の有無や進展状況を確認するためには、非破壊調査技術が必要となる。き裂の有無や深さを精度よく検出可能な非破壊調査技術としては、現状では超音波探傷法が唯一の方法と考えられるが、一方では、超音波探傷法による探傷結果は検査技術者の技量に左右されやすく、客観性・信頼性の高い結果を得るためには、使用する探触子の選定や探傷方法、探傷結果の評価方法について検討する必要がある。

このような背景のもと、デッキプレート内に進展する浅いき裂の検出に適した超音波探触子を選定するとともに、現場の探傷条件に対する感度調整方法を工夫することにより、探傷結果の客観性・信頼性の向上を目指した探傷法の検討を進めてきた。本マニュアル（案）は、その検討結果を踏まえ、デッキプレート内に進展するき裂を検出するための超音波探傷の手順及び方法をまとめたものである。

キーワード：鋼床版、疲労、き裂、超音波探傷法、斜角探傷、臨界屈折角

はじめに

近年、交通条件の厳しい鋼床版橋においてデッキプレートとU型の縦リブの溶接部を起点とするデッキプレートを貫通するき裂が報告されている。このき裂は、目視点検では直接確認することが困難なU型縦リブ内部に発生することから、デッキプレートを貫通する前に発見するためには、非破壊調査技術が必要となる。き裂の有無を検出可能で深さを精度よく推定可能な非破壊調査技術としては、現状では超音波探傷法が唯一の方法と考えられるが、一方では、超音波探傷法による探傷結果は、検査技術者の技量に左右されやすく、客観性・信頼性の高い結果を得るためには、使用する探触子の選定や探傷法、探傷結果の評価方法について検討する必要がある。

このような背景のもと、土木研究所では、菱電湘南エレクトロニクス株式会社および三菱電機株式会社情報技術総合研究所との共同研究「鋼床版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(実施期間：平成18年度～19年度)」において、デッキプレート内に進展する浅いき裂の検出に適した超音波探触子を選定するとともに、現場の探傷条件に対する感度調整方法を工夫することにより、探傷結果の客観性・信頼性の向上を目指した探傷法について実験を主体とした検討を進めてきた。本マニュアル（案）は、その検討結果を踏まえ、デッキプレート内に進展するき裂を検出するための一手法として、超音波探傷の具体の手順及び方法をまとめたものである。

本マニュアル（案）に示す探傷法では、鋼構造物の非破壊検査に一般的に使用される探触子とは異なる探触子(臨界屈折角の横波斜角探触子)を使用するとともに、調査結果の客観性・信頼性の向上を図るための小型の治具(角度調整機能付き探触子ホルダ等)を使用する。この探触子と治具の組合せにより鋼材の超音波の伝搬特性や表面状態等の影響を補正可能な点に特徴がある。また、鋼床版デッキプレート下面の溶接線に沿って上向きに探傷するという作業条件を考慮して、探触子の走査を自動的に行い、データを記録することを基本とした自動探傷法を提案するものである。

目　　次

１．適用範囲 ---------- 1

２．引用規格 ---------- 3

３．調査技術者 ---------- 4

４．調査箇所 ---------- 5

５．調査手順 ---------- 7

６．探傷法の選定 ---------- 8

７．事前準備 ---------- 10

８．使用機材の準備 ---------- 11

９．探傷方法 ---------- 18
　９．１　探傷手順 ---------- 18
　９．２　探傷装置の調整 ---------- 19
　９．３　探傷（探触子の走査） ---------- 25
　９．４　き裂検出の評価 ---------- 27
　９．５　探傷結果の記録 ---------- 29

１０．探傷面の後処理 ---------- 29

１１．調査報告書の作成 ---------- 30

参考文献 ---------- 31

参考資料
　１．超音波探傷法の主な種類と概要 ---------- 33
　２．超音波探傷法の性能確認試験の概要 ---------- 36
　３．浅いき裂の探傷に際しての留意事項 ---------- 44

１．適用範囲

本マニュアル（案）は、鋼床版デッキプレートとＵ型縦リブ間の溶接ルート部より発生し、デッキプレート内に進展する疲労き裂を超音波探傷法によって検出するための調査に適用する。

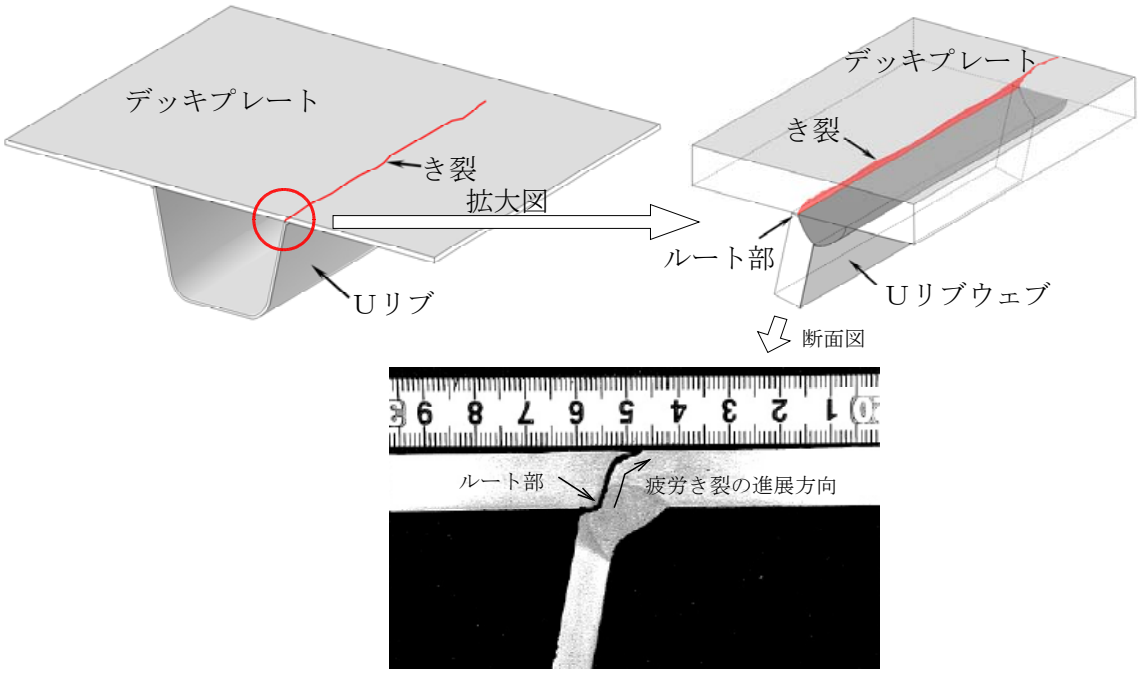
【解説】

鋼床版のＵ型の縦リブ（以下、Ｕリブ）とデッキプレートとの溶接部には、現在、溶接ルート部からデッキプレート板厚方向に進展しデッキプレートを貫通するき裂（以下、デッキプレート進展き裂）と、溶接ビード内に進展しビードを貫通するき裂の、２タイプのき裂が報告されている（図-解 1.1）。このうち、溶接ルート部からデッキプレート内に進展しデッキプレートを貫通するき裂は、デッキプレート下面側の密閉されたＵリブ内部の溶接ルート部を起点として、デッキプレート上面側へ向かって進展するき裂であり、進展状況を目視にて直接確認することは困難である。

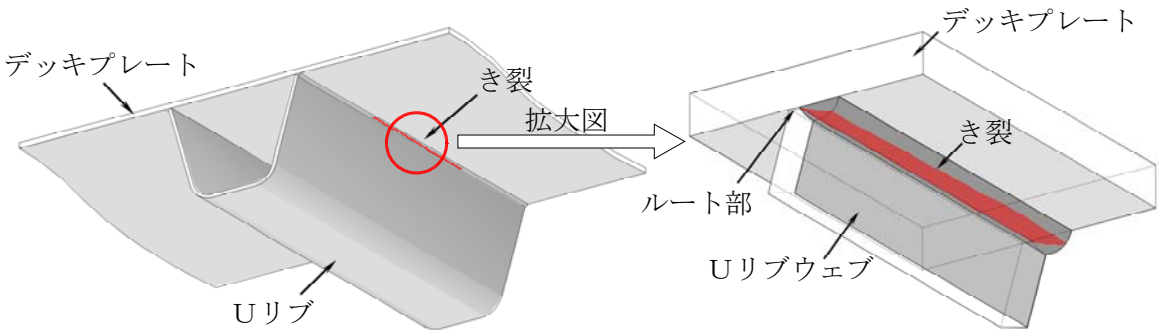
本マニュアル（案）は、このデッキプレート進展き裂を超音波探傷法によって検出するための超音波探傷の手順及び方法をまとめたものである。ここで、き裂の検出とは、デッキプレートの厚さ方向にある程度の深さまで進展したき裂の有無を把握することを指しており（９章に詳述）、詳細調査の一環として、き裂の有無や既に発生しているき裂の進展状況を推定する場合を想定している。本マニュアル（案）では、き裂調査の必要性の条件については示していないが、大型車交通量等の供用条件や他の目視点検可能なき裂の発生状況、舗装のひび割れ等の変状を踏まえ、疑わしい場合に必要に応じて調査を実施するのがよい。また、既にデッキプレート進展き裂が確認されている場合には、対策検討を行う上で損傷状態を把握するための有用な手段となり得るものと考えられる。

超音波探傷法としては、現場等での実用性を勘案し、一探触子（臨界屈折角の横波斜角探触子）によるパルス反射方式の探傷を対象としており、き裂深さの推定には、既往の実験結果よりあらかじめ求めたき裂深さとその探傷結果（反射エコー高さ）の関係を用いるものである。ただし、探傷結果についてはき裂の傾き等の発生状況によってばらつくものであり、探傷時の種々の不確実な要因が想定される中で、き裂深さを推定するには信頼性・精度の面で限界がある。超音波探傷法の適用に際しては、こうした深さ推定の信頼性の限界に留意するとともに、予め事前調査等により探傷部位の構造詳細や溶接状況を把握し、探傷目的を明確にしておくことが重要である。また、超音波探傷法によって得られるき裂の情報はあくまでも超音波の反射エコーからの推定であるので、対策検討と合わせて、必要に応じてき裂の状態を直接確認する（部位を限定した上でのＵリブ面への孔明けや舗装の除去等）ことを検討するのがよい。

なお、デッキプレート進展き裂の調査に関しては、目視点検を想定した場合、舗装を剥がして走行路面側からデッキプレート上面の貫通き裂を目視確認する（あるいは超音波探傷を行う）、進展したき裂に伴う舗装の変状を間接的にとらえる、赤外線カメラ、Ｕリブのせん孔によりき裂がデッキプレートを貫通した後のＵリブ内の変状をとらえる等の方法も考えられる。いずれも、調査の目的に応じて適用性、適用方法を把握した上で活用する必要がある。



(a)溶接ルート部から発生したデッキプレート進展き裂
（鋼床版下面側からの目視検査が困難（本マニュアル(案)で適用対象とするき裂））



(b)溶接ルート部からき裂が発生し溶接ビード内に進展する損傷
（溶接ビードを貫通した場合には鋼床版下面側からの目視検査が可能）

図-解 1.1　Uリブとデッキプレート間の溶接部に発生するき裂

２．引用規格

超音波探傷法に関する用語、基本的な事項については、必要に応じて非破壊試験に関する次に掲げるJIS規格によるものとする。

・JIS Z 2300:2003　非破壊試験用語
・JIS Z 2305:2001　非破壊試験－技術者の資格及び認証
・JIS Z 2344:1993　金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法通則
・JIS Z 2345:2000　超音波探傷試験用標準試験片
・JIS Z 2350:2002　超音波探触子の性能測定方法
・JIS Z 2352:1992　超音波探傷装置の性能測定方法
・JIS Z 2353:2003　超音波パルス法による固体の音速の測定方法（対比試験片を用いる方法）
・JIS Z 3060:2002　鋼溶接部の超音波探傷試験方法
・JIS Z 3070:1998　鋼溶接部の超音波自動探傷方法

【解説】

本マニュアル（案）の作成に際して、超音波探傷法に関する用語や基本的な事項については、発行年のJIS規格を引用しているので、必要に応じて同規格によるものとする。

なお、引用したJISが改定された場合には、本マニュアル（案）で引用している部分の内容が変更される場合があるので、上記記載の発行年の規格(古くなったJIS規格)と改定された規格(新しいJIS規格)の変更点を確認した上で引用する。

３．調査技術者

本マニュアル（案）に示す超音波探傷法による調査に従事する技術者（以下、調査技術者）は、JIS Z 2305により認証された超音波探傷試験のレベル２以上の者（NDIS 0601により認定された超音波探傷検査の２種以上の者）、またはこれと同等もしくはそれ以上の試験に合格した者とする。

【解説】

超音波探傷法による調査は、超音波を入射してき裂面で発生する反射エコーを捉え、それを基にき裂の状態を推定し、その結果の記録を行うものである。調査結果は、使用する探傷装置の操作（特に探触子の走査手順）及び探傷結果からき裂の状態の推定を行う調査技術者の技量の影響を受ける場合がある。このため、超音波探傷試験に関する一定水準の知識と技術を前提条件とした。なお、調査技術者による探傷作業を補助する作業員についてはこの限りではない。

JIS Z 2305により認証された超音波探傷試験のレベル２以上の者とは、認証されたレベル２やレベル３の資格の者であり、NDIS 0601により認定された超音波探傷検査の２種以上の者とは、認定された２種や３種の資格の者である。また、これと同等もしくはそれ以上の試験に合格した者とは、例えば、NDIS 0602（非破壊検査総合管理技術者の認証）に基づき認証された資格を有する者のことである。

なお、NDIS 0601に基づく認定資格※は、JIS Z 2305 に基づく認証資格に読み替えることができるとされており[1)]、本マニュアル（案）においても該当するNDIS 0601認定資格をそれに対応するJIS Z 2305認証資格に読み替えることができるものとした。表-解 3.1に超音波探傷法に関連した認定規格の読替部分を抜粋して示す。

表-解 3.1　JIS Z 2305 認証資格とNDIS 0601 認定資格の対応[1)]

JIS規格 （JIS Z 2305:2001年）	日本非破壊検査協会規格 （NDIS 0601:2000年）
超音波探傷試験レベル3（UT3）	超音波検査3種（UT3）
超音波探傷試験レベル2（UT2）	超音波検査2種（UT2）
超音波探傷試験レベル1（UT1）	超音波探傷検査1種（UD1）

※ 2001年のJIS Z 2305の制定に伴い、NDIS 0601他がJIS Z 2305 に基づく認証制度に一元化され、2003年度春期よりJIS Z 2305 に基づく認証資格試験が実施されている。これに伴い、NDIS 0601 に基づく認定試験は、2002年度秋期試験の実施をもって終了している。2002年度秋期にNDIS 0601に基づく認定資格を所得した技術者は、10年後の更新の際に移行試験に合格することにより、JIS Z 2305に基づく認証資格に移行されるが、最長で2012年度まではNDIS 0601に基づき認定された技術者が存在することになる。

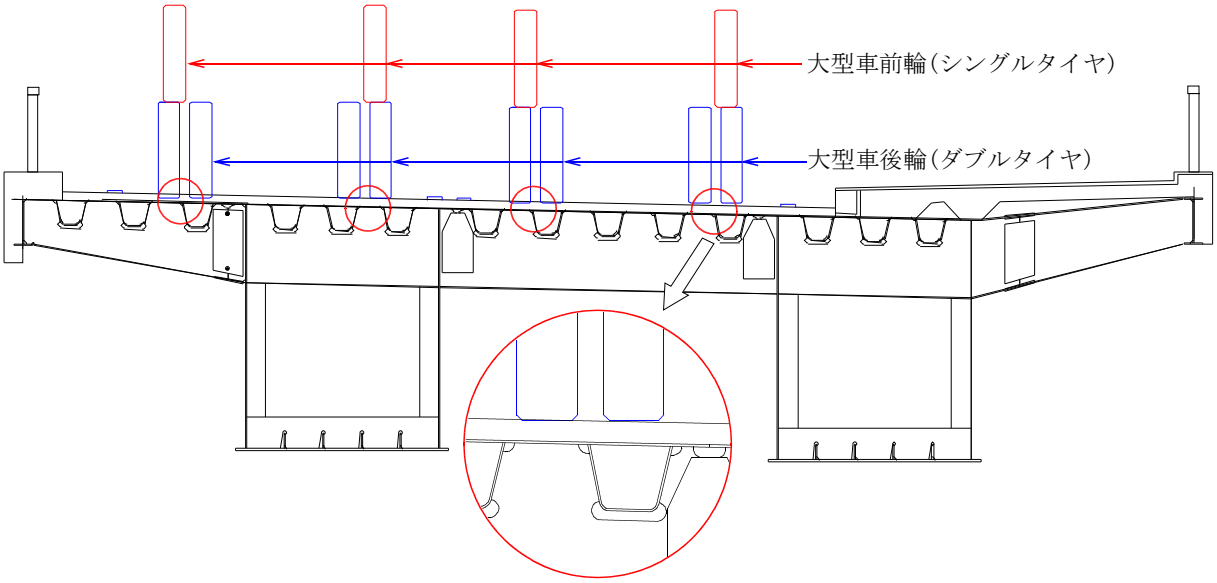
４．調査箇所

調査箇所は、既存の損傷事例におけるき裂発生位置、大型車の通行位置とＵリブとの位置関係等を考慮の上選定する。

【解説】

これまで報告されている損傷事例や調査研究によれば、デッキプレート進展き裂は溶接部の局部応力が大きくなる車輪直下、特に大型車の後輪ダブルタイヤがはさみ込むように載荷されデッキプレートが橋軸直角方向に局部的に曲げ変形を受けるＵリブとの溶接部において発生が確認されており、図-解 4.1に示す○印の部位を調査対象として考える必要がある。すなわち、大型車走行時の車輪走行位置直下に位置するＵリブとデッキプレート間の溶接部を第一に考えるのがよい。ここで、車輪走行位置直下に位置するＵリブとデッキプレート間の溶接部とは、基本的には直下に最も近い位置に取り付けられているＵリブの２本の橋軸方向溶接線のうち、直下に近い方の１本の溶接線を指す。既に舗装の変状（ポットホール、ひび割れ等）や、Ｕリブとデッキプレート下面の漏水がみられる場合には、デッキプレートに貫通き裂が既に発生しているかもしくはデッキプレートと舗装の一体化が失われ応力が厳しいことも想定されるので、調査箇所の選定にあたって留意する。なお、車輪走行位置の溶接線の特定が難しい場合には適宜隣接するＵリブの溶接線も含めて調査範囲を検討するのがよい。

また、既に、直下のＵリブ(片側ウェブ)の溶接部にき裂の発生が確認されている場合、同一Ｕリブの反対側ウェブや隣接するＵリブの直下のＵリブに近い側の溶接部からもき裂が進展している可能性が高いため、同一Ｕリブの反対側や隣接するＵリブの直下のＵリブに近い側の溶接部については、直下のＵリブの溶接部の損傷状況の超音波探傷結果や舗装のひび割れ状況とＵリブ溶接部との位置関係を踏まえて適宜調査の要否を検討するのがよい（図-解 4.2参照)。



図中の記号:車輪(赤色(上段):大型車前輪、青色(下段):大型車後輪)
(例えば、記号:○印(赤色)を付けた溶接部が調査箇所に該当する。)

図-解 4.1　鋼床版橋における大型車走行時の車輪走行位置と調査範囲の例

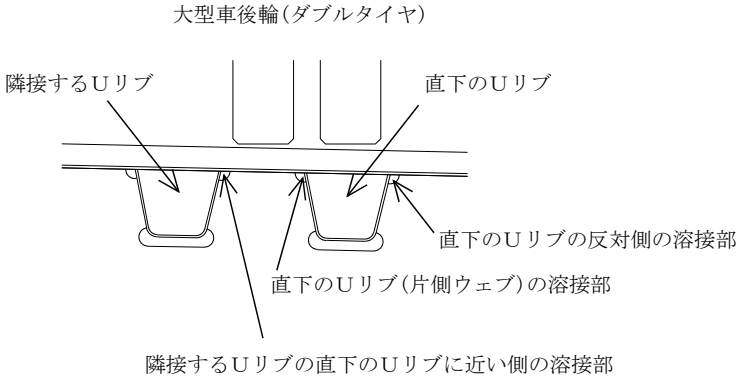


図-解 4.2　直下のUリブの反対側の溶接部と隣接するUリブの直下の
Uリブに近い側の溶接部の位置関係

なお、デッキプレート進展き裂の発生には、Uリブ溶接部と輪荷重走行の位置関係の他、構造ディテール、直上を通過する軸重の大きさ・載荷頻度、舗装の剛性の寄与の状況、桁端ジョイント部の段差による衝撃の程度、溶接部の製作・施工の状態等の影響が考えられる。ただし、現状ではその発生位置を輪荷重走行の位置関係以外に明確に特定可能な要因は見当たらないので、車線や橋軸方向等の調査範囲については事前の点検、変状調査を踏まえて設定する必要がある。例えば、レーン位置と橋軸方向が一致する場合には、橋軸方向のいずれの位置でも、Uリブへの載荷条件は同一と考えられる。これまでの貫通に至るき裂の発生傾向によれば、橋軸方向に対して局所的に発生している事例が多く、必ずしも橋軸方向の発生位置について明確な傾向は見られていない。従って、桁端部のように範囲を限定して調査したとしても橋軸方向の発生傾向を必ずしも把握できるとは限らないことに留意する。

５．調査手順

調査は、図-5.1に示す手順に従って実施する。

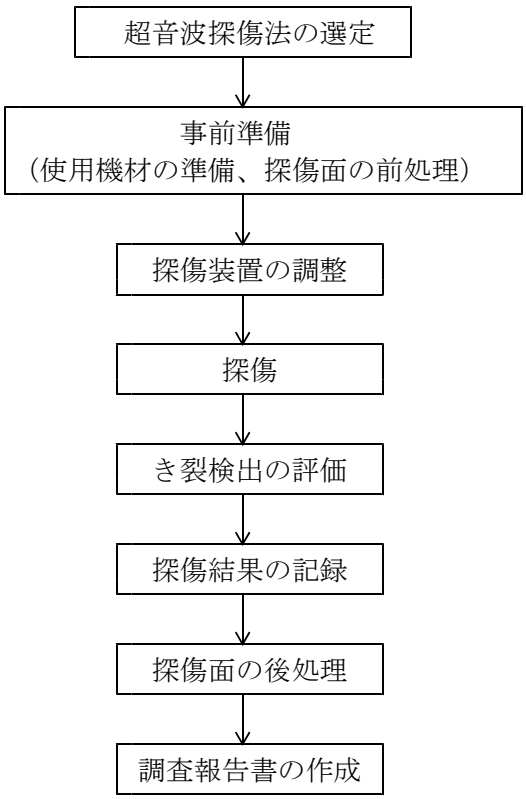


図-5.1　調査手順

【解説】

超音波探傷法による、き裂の調査の標準的な手順をまとめたものである。

なお、現場での事前準備や探傷時において、ビード貫通き裂や特段の変状が発見された場合には記録を残すとともに、必要に応じて詳細調査等の対応を検討する。Uリブ下面側に水漏れ跡、錆等が見られる場合には、位置によってはデッキプレート上面から水が浸入している可能性が高く、デッキプレートを貫通するき裂が既に発生していることもあるので、原因を調査するのがよい。

６．探傷法の選定

調査には、屈折角が90度に近い角度の一探触子によるパルス反射方式による探傷法（以下、横波臨界屈折角探傷法）を用いる。

【解説】

超音波探傷法の選定に際して、予め探傷法に要求される性能を明確にしておく必要がある。ここでは、次の条件を満足する探傷法の選定を基本としている。

・板厚方向にある程度進展したき裂を確実に検出できる客観性・信頼性の高い探傷法

・汎用性の高い探触子を用いた実用性の高い探傷法

前者について、本来どの程度の深さのき裂を検出する必要があるのかという要求性能を設定することが重要である。できる限り発生初期段階の浅いき裂を検出できることが望ましいが、浅いき裂の場合には必然的に誤検出の可能性も高くなる。き裂深さを設定する一つの目安としてき裂の状態に応じた対策工法の適用可能性が考えられる。現在、貫通前のき裂が存在する状況での鋼床版の疲労耐久性向上策（き裂発生部位の局部応力の低減策）として鋼繊維補強コンクリート（SFRC）舗装が考えられるが、貫通前のある程度の深さのき裂であれば、その後のき裂の進展を抑制できる可能性が高い。文献２）では、き裂（板厚方向高さ7.5㎜、橋軸方向長さ62㎜）を残した状態でSFRC舗装を施工し、輪荷重走行試験（軸重137kNのタンデム軸ダブルゴムタイヤで400万回の軸重載荷）に対して、試験後き裂の進展が見られなかったとしている。現時点では、この文献以上に検出すべきき裂深さの目安となる知見は得られていないことから、これを参考に、本マニュアル（案）では、板厚方向の深さ４～５㎜程度以上のき裂を検出対象としている。

一方、超音波探傷法の適用に際しては、誤検出を極力少なくすることが重要である。同部位の探傷に際して、エコー高さのばらつきの主な要因としては次の影響が考えられる。

①き裂の傾き、形状の影響

②鋼材表面の凹凸、塗装の影響

③鋼材中の音速の影響

①については、事前にき裂深さとエコー高さの関係を把握することにより、き裂深さに対するエコー高さの変化が大きく、かつ相関性の高い探傷法を選定する必要がある。②③については、被調査物の特性を反映した感度調整を適切に行うことができる方法を選定することが望ましい。こうした条件を満たす超音波探傷法には、使用する探触子の超音波の種類、入射方法、き裂の捉え方等により各種の方法が考えられるが、本マニュアル（案）では、溶接部の形状と実き裂を模した試験片を用いた各種超音波探傷法の性能確認試験結果を踏まえて、臨界屈折角の横波斜角探触子を使用する横波臨界屈折角探傷法を標準として示した。

この方法を標準とした理由を以下のとおりである。

a)一般的に使われている探触子は、公称屈折角が70度であるが、図-解 6.1に示すように原理的には屈折角を大きくした方が、すなわち、できる限り屈折角を90度に近づける方が、超音波

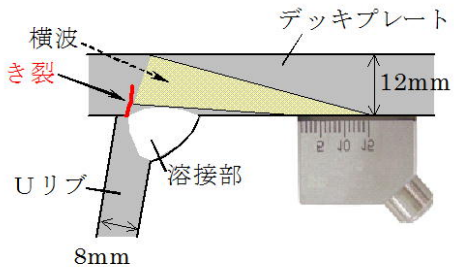


図-解 6.1 横波臨界屈折角探傷法の探傷イメージ

ビームがき裂に当たる可能性が高くなり、板厚に対して浅いき裂を検出できる可能性が高くなる。なお、ルート形状などき裂以外で反射されたエコーにより誤検出する可能性もあるため、ルート部から発生した１～２㎜程度の浅いき裂は、本マニュアル（案）では、検出の評価対象としていない。

b)探傷屈折角を90度に近くした場合の特徴として、横波(SV波(vertically-polarized shear wave))の他に、表面に微弱ながら疑似表面SV波（「８．（１）１）探触子」の解説を参照）を観測することができる。この疑似表面SV波を利用することにより被調査物（調査対象となる鋼床版デッキプレート）に対して感度調整を行うことが可能となる。具体的には、被調査物の表面状態(表面粗さや塗装等)の違いによる感度調整が可能となるため、超音波探傷の性能（反射エコーの特性）に影響を及ぼす要因のうち、横波音速、探傷屈折角、表面状態の３項目による影響因子を極力排除することが可能となる（詳細については８.および９.を参照)。

c)一般的に使用されている一探触子によるパルス反射方式であり、使用方法も一般的なものとほぼ同じであり、探触子自体は同程度の価格であるため現場における実用性が高い。

また、デッキプレート表面には腐食による凹凸や舗装打替時のきず等が生じている可能性があり、下面からの一回反射法では探傷法として信頼性が劣ることから、直射法を前提としている。さらに、探触子の走査を自動的に行うこと、および８.に示す角度調整機構付き探触子ホルダを使用し屈折角を調整することを踏まえて、探触子とデッキプレート下面の間に接触媒質を介して0.3㎜程度の隙間(ギャップ)を設けるギャップ法を用いることとしている。

７．事前準備

（１）探触子を当てるデッキプレート下面に錆やスパッタ等の探傷の妨げになるものが付着している場合には適切な方法で除去し、探傷結果に影響を及ぼさないように探傷面の前処理を行う。

（２）塗装の上から探傷することを標準とし、塗装が探触子の走査等に支障を来さない限り、探傷面の前処理として塗装を除去しなくてよい。

【解説】

（１）探触子を当てる探傷面に錆による凸凹等が存在すると、探触子とデッキプレートとの音響結合性を阻害する要因となり、安定した探傷結果が得られない。また、スパッタ(溶接時に生じる飛散物)等によって飛散した溶金属が冷えて探傷面上に固着していると探傷できない場合が生じる。したがって、調査の前処理として、錆、スパッタ、治具跡等の除去を行っておく必要がある。ただし、デッキプレート下面を削り込みすぎ面の平坦性を欠くと、かえって音響結合性を阻害する要因にもなり得るので、デッキプレート下面を極力削り込まないように行うことが望ましい。ディスクサンダーを用いる場合には、砥石の番数にも配慮しつつ鋼表面の凹凸を極力抑えるよう慎重に作業を行う。また、スパッタ等の除去については、スクレーパーやたがね(チゼル)等を用いて手動で行うのがよい。

なお、探傷面の前処理の際に、塗膜割れや周囲に腐食等の損傷が発見された場合には、むやみに前処理を行わずに、道路管理者にその旨を報告する。また、探傷面や対象溶接部周辺に塗膜割れが発見された場合には、超音波探傷による調査に影響を与えることがあるため、溶接部の状況を踏まえた上で調査方法について十分検討する必要がある。

（２）塗装については、塗装上からの探傷試験は、塗膜の状態や厚さの影響を受けやすいため、塗膜を除去するのが望ましいが、塗装の除去及び再塗装には労力と時間を要する。このため、塗装上からの探傷の可能性について、鋼床版塗装の種類や塗膜厚さを変化させた試験片を用いて行われた探傷試験により検討を行っている（参考資料２.参照)。試験結果によれば、塗装の上から探傷試験を実施した場合でも、９．２節に示す感度調整を行うことにより、塗装が探傷性能に及ぼす影響をある程度補正することが可能である。このため、本マニュアル（案）では、塗装を除去せずに、塗装の上から探傷を行う方法を標準とすることとした。

８．使用機材の準備

使用する機材は、（１）～（３）に示すものを標準とする。

（１）超音波探傷装置

調査に使用する超音波探傷装置は、探触子、探触子ホルダとその固定治具、超音波探傷器、探触子ケーブル、走査装置より構成されるものを標準とし、以下の各項目を満足するものとする。

１）探触子

公称周波数5MHz、広帯域、振動子の公称寸法10mm×10mm、屈折角(スネルの法則による理論的な屈折角)が臨界屈折角の一振動子の横波斜角探触子を２個(同形状のもの)使用する。

２）探触子ホルダとその固定治具

探触子の屈折角の角度を調整できる機構付きの探触子ホルダを２個使用する。また、感度調整のために、探触子ホルダを一定の距離を介して２個対向させるための固定治具と、距離角度振幅特性曲線の作成時に探触子ホルダが首振りしないようにするための固定治具をそれぞれ１個ずつ使用する。

３）超音波探傷器

携帯型で汎用型のデジタル超音波探傷器とし、走査される探触子の各々の位置において、エコーのビーム路程（き裂までの距離）及びエコー高さを収録（全波形を収録）でき、かつ、エコー高さ区分線の作成・表示・保存の機能を有しているものを使用する。

４）探触子ケーブル

ケーブルの電気インピーダンスが超音波探傷器及び探触子と整合しており、かつ、探触子に不必要な力を加えないために、しなやかなものを使用する。

５）走査装置

探触子と調査対象部位までの距離を一定に保った状態で探触子を走査装置へ固定し、探触子を自動または人力により橋軸方向に移動(走査)するための機能を有しているとともに、探触子位置を超音波探傷器へ出力する機能を有しているものを使用する。

（２）接触媒質

グリセリンペースト、濃度50%以上のグリセリン水溶液、オイル又は音響インピーダンスが明らかな液体を使用する。

（３）対比試験片

感度調整に用いる対比試験片には、JIS Z 3060による対比試験片RB-41 No.1を使用する。

【解説】

本マニュアル（案）に示す探傷法では、鋼構造物の非破壊検査に一般的に使用される探触子とは異なる探触子（臨界屈折角の横波斜角探触子）を使用するとともに、検査結果の客観性・信頼性の向上を図るための小型の治具(角度調整機能付きの探触子ホルダ、探触子ホルダを一定の距離を介して２個対向させるための固定治具、距離角度振幅特性曲線の作成時に探触子ホルダが首振

りしないようにするための固定治具)を使用する。この探触子と治具の組合せにより鋼材の超音波の伝搬特性や表面状態等の影響を補正可能な点に特徴がある。また、鋼床版デッキプレート下面の溶接線に沿って上向きに探傷するという作業条件を考慮して、探触子の走査および探傷結果の記録を自動的に行うことを基本とした自動探傷法を前提としている。

使用する機材は、ここで定める性能及び機能を満足するほか、「２.引用規格」に示したJIS Z 2350,2352,3060,3070に定められる機材に関する基本的な性能及び機能を満足する必要がある。

（１）超音波探傷装置

１）探触子

使用する探触子は、既往の性能確認試験によりその性能が確認されている探触子とした（参考資料２.参照)。探触子の製造時における屈折角の精度は、屈折角が81～86度の範囲とする。ただし、81度を超えるような大きな屈折角を簡易に測定できる手法がないため、代表的な鋼材音速の値として3,240m/secを仮定した上で探触子のくさび材の音速を精密に測定し、スネルの法則より算出される入射角を管理して探触子を製造するのがよい。例えば、探触子のくさびの材質の音速の測定値が2,340m/secの場合には、スネルの法則より算出される入射角の許容範囲は45.5～46.1度となる。

臨界屈折角の横波斜角探触子を用いると、き裂の探傷に用いるSV波の他に、被調査物（調査対象となる鋼床版デッキプレート）の表面に微弱ながらSV波と同じ音速のパルスを観測することができる。このパルスを疑似表面SV波と呼ぶ[3)]が、鋼材中のSV波と対になって生じているため、鋼材中に伝搬するSV波が変化すれば対になって変化する。また、この疑似表面SV波の波形高さは、SV波の屈折角が90度に近づくに従い極大値をとる特性を有している。この特性を利用して、鋼材音速が異なる場合や表面に塗膜や凹凸がある場合（伝達損失が異なる場合）でも、角度調整機構を有する斜角探触子を用いることにより、鋼材中のSV波の屈折角を一定に調整することが可能となる。この疑似表面SV波を用いた探傷装置の調整については、「９．２　探傷装置の調整」に記載する。この他に同時に伝搬する超音波として、屈折角90度で探傷面に沿って伝搬する表面波がある。この表面波については、誤検出の要因となるため注意が必要である。ただし、この表面波によるエコーは探触子前面に指を軽く押し付けることにより除去できるため、エコーが表面波に起因するものなのか簡単に判別できる。

探触子のくさびの材質としてはポリスチレン樹脂を用いるのがよい。ポリスチレン樹脂は、摩耗し易い欠点があるが、本マニュアル（案）ではギャップ法を用いるため摩耗の心配はない。

探触子は、使用に伴って性能劣化や故障の恐れもあるので、定期的な点検により性能が確認されているものを使用しなければならない。

２）探触子ホルダとその固定治具

探触子ホルダは、横波を臨界角に調整するために、屈折角の角度を調整できる機能付きを用いることを標準とした。写真-解 8.1に探触子ホルダの例を示す。また、探触子や探触子ホルダには上向き探傷のために自重が作用するため、探触子ホルダの探傷面側に永久磁石等により探傷面に吸着する機能を有しているものを用いると、探傷面の僅かな凹凸上を乗り越

えて探触子を走査する際の走査性が向上する。

探触子ホルダと組合せて用いる治具として、音速の測定や感度調整のために、探触子ホルダを一定の距離を介して２個対向させる際には固定治具を用いることが望ましい。固定治具の例を写真-解 8.2,8.3に示す。

３）超音波探傷器

超音波探傷器は、探触子と同様に、探傷結果に影響を及ぼす主要な要素の一つである。使用する超音波探傷器は、現場への適用性から携帯型であり、さらに、探傷結果の違い（器差による違い）を抑えるため、デジタル式の超音波探傷器とした。

超音波探傷器は、使用に伴って性能劣化や故障の恐れがあると、増幅直線性や時間軸直線性などの探傷器の性能に大きな影響を及ぼすため、購入時や購入後において、JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）やJIS Z 2344（金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法通則）に規定されている点検により性能が確認されているものを使用しなければならない。収録データを探傷画像として表示できる画像表示装置は、近年、超音波探傷器に含まれていることが多いため、本マニュアル(案)では、画像表示装置を超音波探傷器に含めて扱うことにした。

４）探触子ケーブル

探触子ケーブルは、探触子と超音波探傷器を電気的に接続するためのケーブルであり、ケーブルによっては分解能や感度などに影響する。このため、事前に複数のケーブルを試用することにより異常がないか確認した上で使用するのが望ましい。

５）走査装置

探触子の走査装置への固定とは、探触子の前後左右方向の固定（写真-解 8.4に示すY軸X軸方向の固定）および探傷面内の回転方向の固定（写真-解 8.4に示すθz方向の固定）を示している。また、探触子の上下方向は固定せずに摺動が可能であり、バネ等により探触子を探傷面に押し当てる機構およびその押し当てる力の調整が可能な機能を意味する（写真-解 8.4参照)。

また、走査装置には、表面波を抑制するために、探触子前面とUリブとのすき間のデッキプレート下面にシリコンゴム等を押し当てる機構を有していることが望ましい（図-解 8.1参照)。シリコンゴム等の幅（溶接線方向の長さ）は、探触子の幅より大きいものを用いるものとする。

また、ギャップ法による探傷（探触子の走査）で上向きの場合、接触媒質による音響結合が切れる状態が多々発生するおそれがあることから、走査装置には、接触媒質の供給機能を設ける（写真-解 8.5参照）等の配慮が必要である。

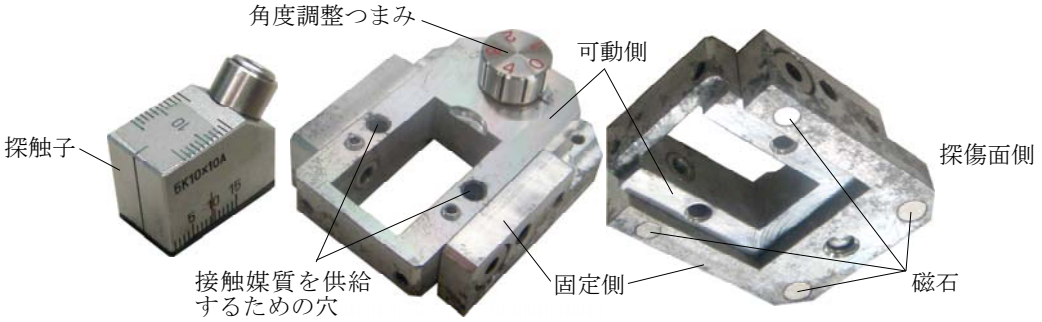
写真-解 8.6に超音波自動探傷装置の構成の例を示す。

（２）接触媒質

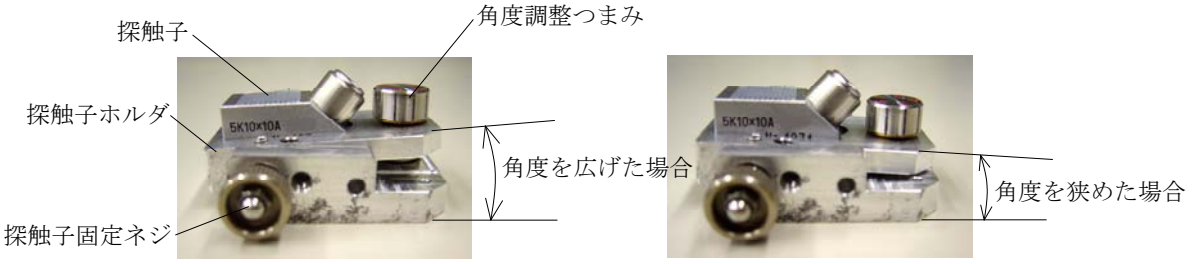
本マニュアル（案）では、接触媒質に対する感度補正が考慮されるため、特に、接触媒質の種類を限定していない。

（３）対比試験片

図-解 8.2にJIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）に規定されている対比試験片RB-41 No.1の形状・寸法を示す。



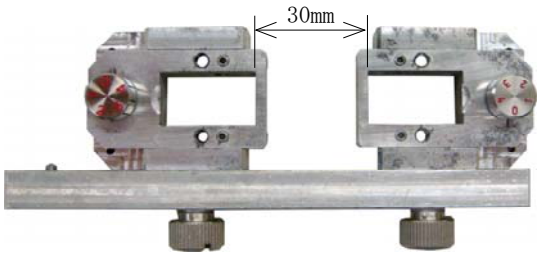
(a) 全体外観



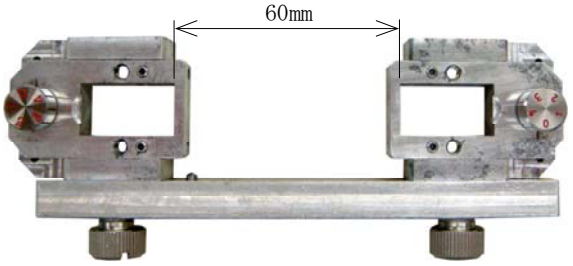
注：わかりやすく示したものであり、
実際の角度の調整量とは異なります。

(b)屈折角の角度を調整できる機構

写真-解 8.1 探触子ホルダの例



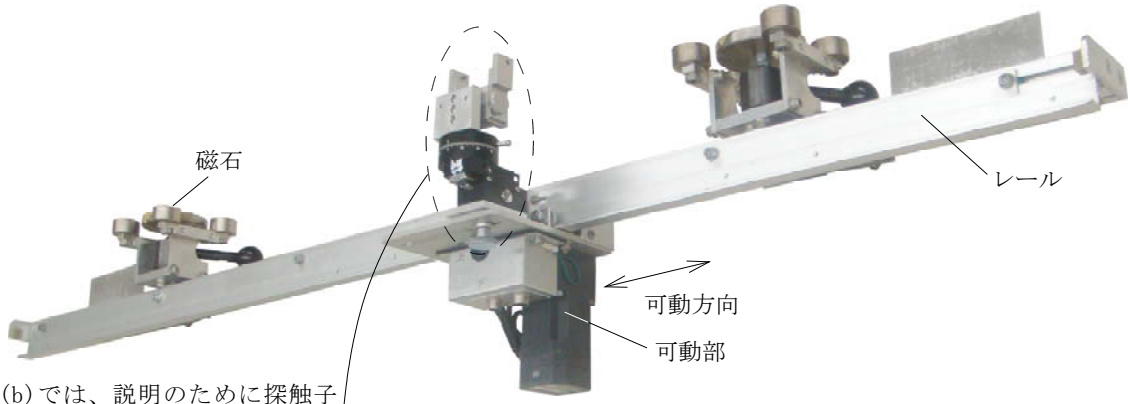
(a) 探触子間隔が30mm



(a) 探触子間隔が60mm

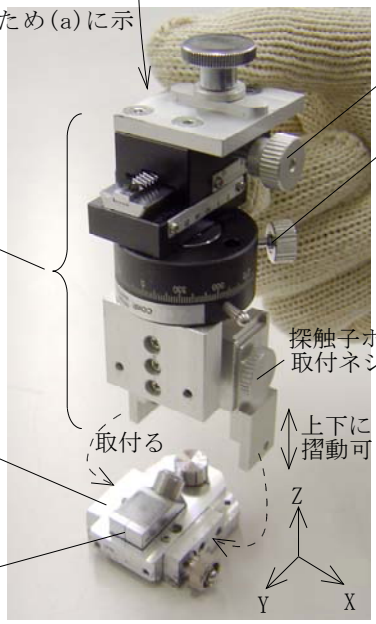
写真-解 8.2 探触子ホルダを一定の距離を介して２個対向させるための固定治具の例

写真-解 8.3 距離角度振幅特性曲線の作成時に探触子ホルダが首振りしないようにするための固定治具の例



(a) 走査装置(レール式)の例

注：(b)では、説明のために探触子ホルダを固定する治具を上下逆さまに示している(実際の探傷では上向きとなるため(a)に示す向きとなる)。

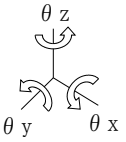


探触子ホルダの固定方法

X	Y	Z
固定	固定＋調整	自由＋バネ

θx	θy	θz
自由	固定	固定＋調整

ここで、
固定＋調整：固定する際に固定位置調整機能を有するもの。
自由＋バネ：自由であるが、バネによる押当て力を加えたもの。バネの強度を変更することにより押当て力を調整可能。



各軸方向　各軸回りの回転方向

(b)探触子ホルダの固定治具の例

写真-解 8.4 探触子（探触子ホルダ）が首振りしないようにするための固定方法と固定するための走査装置の例

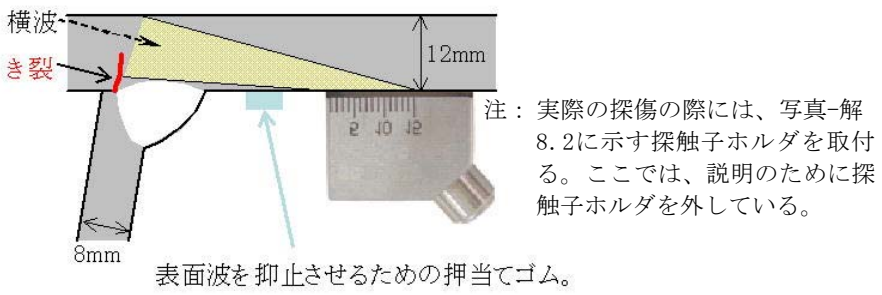


図-解 8.1　表面波を除去するための押当ゴム

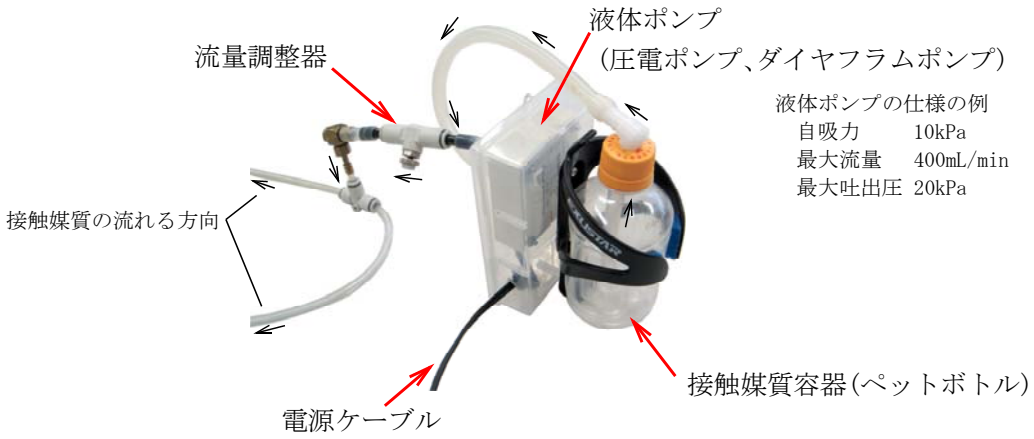


写真-解 8.5 接触媒質の供給装置の例

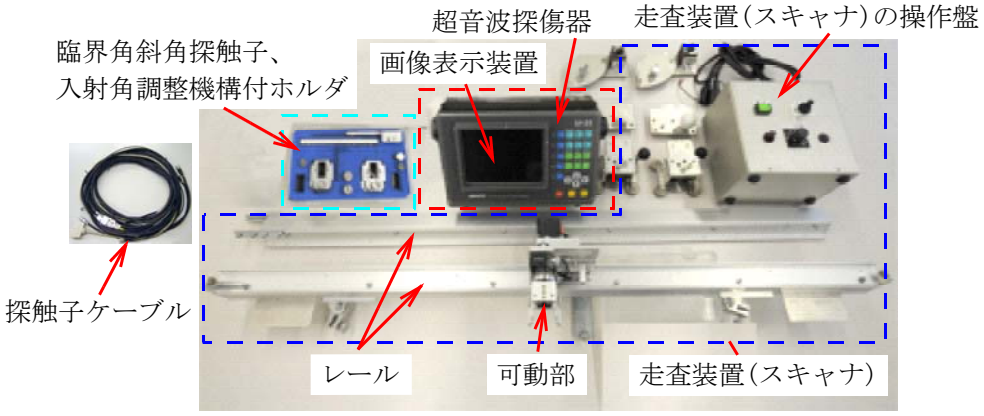
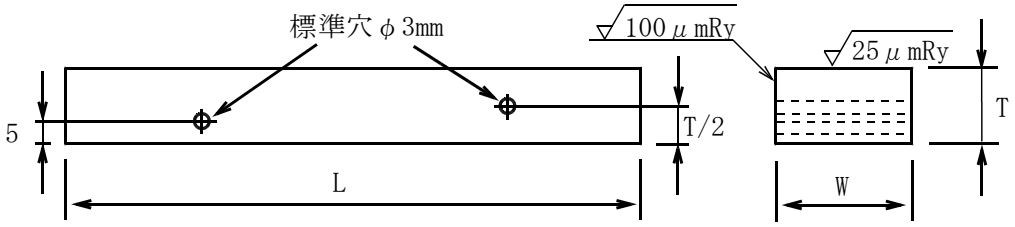


写真-解 8.6 超音波自動探傷装置の構成の例



単位：mm　、Ryによる図示については、JIS B 0601:1994を参照。

L：対比試験の長さ　　対比試験片の長さは、使用するビーム路程による。また、感度補正のV透過を行う長さ又はその2倍の長さ以上とする。

D：標準穴の直径　　3mm

T：対比試験片の厚さ　デッキプレートの板厚tmmまたは19mmとする。

W：試験片の幅

$W > 2 \cdot \lambda \cdot S/D$　　ここに、λ：超音波の波長　横波音速3230m/sで5MHzの場合λ＝0.65mm

S ：使用する最大のビーム路程

D ：探触子の振動子の幅

図-解 8.2　対比試験片RB-41 No.1 の形状・寸法(JIS Z 3060)

９．探傷方法

９．１　探傷手順

探傷は、図-9.1に示す手順により行う。

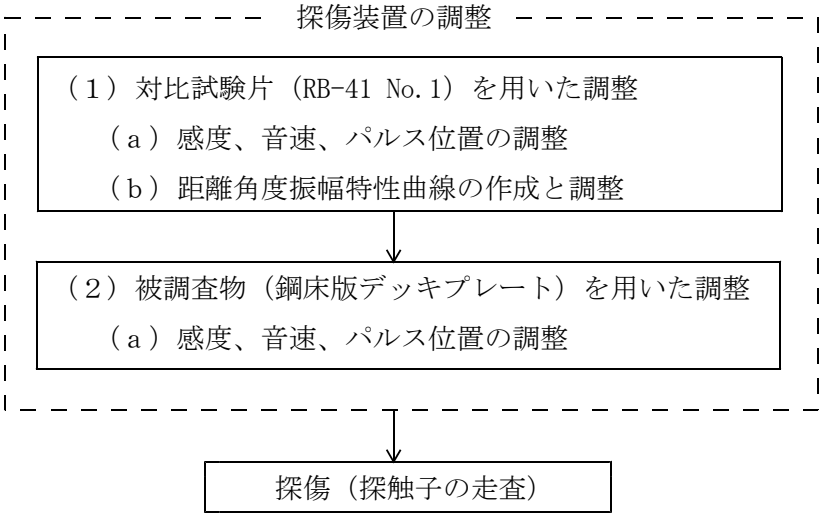


図-9.1　探傷手順

【解説】

探傷方法の標準的な手順をまとめたものである。

デジタル超音波探傷器や探触子などの探傷装置および対比試験片は、温度によって電気的な特性や音速が変化するため、探傷場所周囲の温度に十分なじませてから調整や探傷に用いなければならない。また、調整時と10度以上の温度差を生じている場合には再度調整を行い、特性が変化していないか確認しなければならない。

９．２　探傷装置の調整

探傷装置の調整は、以下の各項目について行う。

（１）対比試験片（RB-41 No.1）を用いた調整

（ａ）感度、音速、パルス位置の調整

（ｂ）距離角度振幅特性曲線の作成と調整

（２）被調査物（鋼床版デッキプレート）を用いた調整

（ａ）感度、音速、パルス位置の調整

（３）（１）と（２）の感度差の調整（感度補正）

【解説】

それぞれの対象の各項目の具体的な手順を以下に示す。

（１）対比試験片（RB-41 No.1）を用いた調整

（ａ）感度、音速、パルス位置の調整

１）透過法（二探触子法）を用いて感度、音速、パルス位置の調整を行うために、超音波探傷器における探傷の種類を透過法（二探触子法）に設定する。

２）探触子は、送信用と受信用の計２個を準備し、各探触子を探触子ホルダに設置し、ギャップゲージを用いてギャップ量を適切な値（平板に対して使用周波数を5MHzとすれば、0.3mm）に調整した後、探触子ホルダに固定する（図-解 9.1参照）。

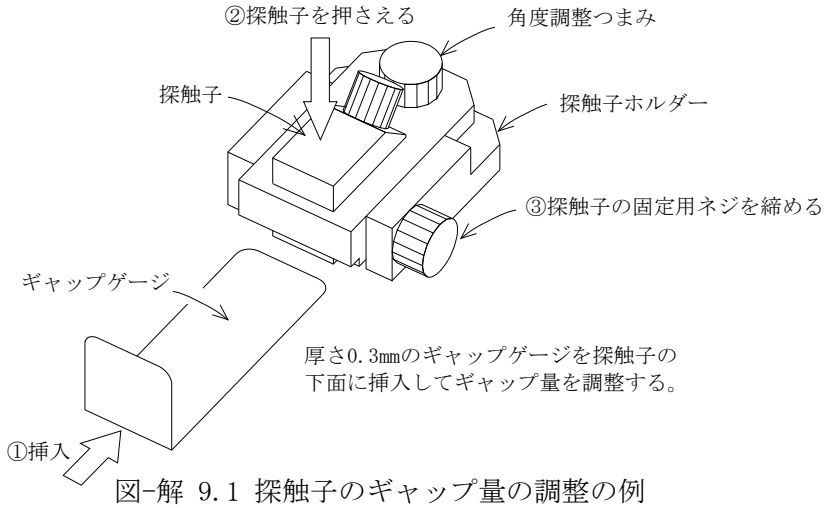
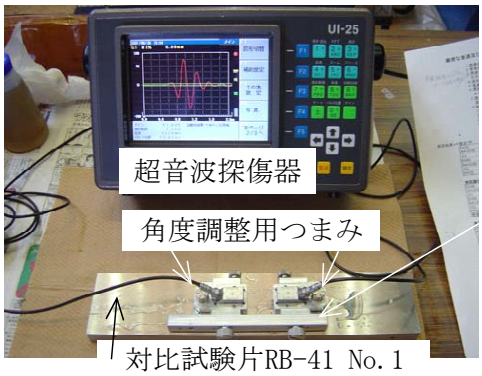


図-解 9.1 探触子のギャップ量の調整の例

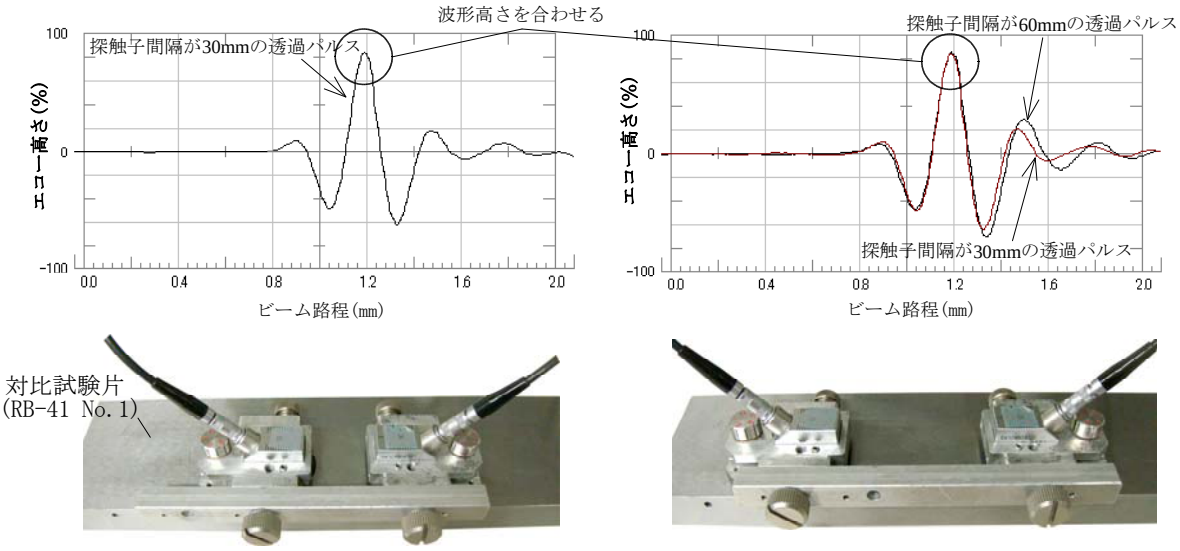
３）送信用の探触子前面から受信用の探触子前面までの間隔が30mmとなるように探触子ホルダを２個対向させ、治具を用いて探触子間距離を固定させる(写真-解 9.1参照)。なお、この治具の30mmに対する製作精度は±0.05mm以下とする。

４）超音波探傷器の設定項目のうち、対比試験片の横波音速を仮に3,220m/secに設定し、超音波探傷器の測定範囲を5mm程度にし、波形表示をRF波形（Radio Frequency Wave）表示に設定する。



送信用の探触子前面から受信用の探触子前面までの間隔が30mmとなるように探触子ホルダを２個対向させて固定することができる固定治具

写真-解 9.1 探触子の屈折角を臨界屈折角に調整している状況



調整後の記録項目：RB30(80%ゲイン(dB))、RBPP30(パルス位置(μsec))　　RB60(80%ゲイン(dB))　RBPP60(パルス位置(μsec))

(a)探触子間隔が30mmの透過パルス　　(b)探触子間隔が30mmの透過パルスに探触子間隔が60mmの透過パルスを重ねる

図-解 9.2 透過パルスを用いて音速を測定している状況

５）対比試験片RB-41 No.1の人工きずがない部分を利用して、探触子間隔が30mmの透過パルスが表示画面の中央付近にくるようにパルス位置をおおよそ調整する(図-解 9.2(a)参照)。パルス位置の単位は、長さ表示（mm表示）ではなく、時間表示(μsec表示)にしておき、パルス位置の値（記号：RBPP30）を記録する。表示画面の中央付近に表示される透過パルスを見ながら、送信および受信の両方の探触子ホルダの角度調整機構を用いて、透過パルスの波形高さが最大となるよう入射角度調整を行う。このとき、超音波探傷器の測定範囲を5mmから2mm程度に小さくして、透過パルスのRF波形を大きく表示させると、以下の８）に示す調整作業が容易となる。

６）入射角度調整後、探触子間隔が30mmの透過パルスの波形高さが80%となるようゲインを調整し、このときのゲインの値（記号：RB30）を記録する(図-解 9.2(a)参照)。また、透過パルスのRF波形表示をファイルに保存し、波形表示保持機能を用いて、表示画面にRF波形を固定表示（表示を保持）する。

表-解 9.1　原点移動の値(記号:RBΔt、Δt)から求まる横波音速(記号:RBVEL、VEL)の早見表

RBΔt (μsec)	RBVEL (m/sec)	RBΔt (μsec)	RBVEL (m/sec)	RBΔt (μsec)	RBVEL (m/sec)	RBΔt (μsec)	RBVEL (m/sec)	RBΔt (μsec)	RBVEL (m/sec)
9.449	3,175	9.352	3,208	9.256	3,241	9.163	3,274	9.072	3,307
9.446	3,176	9.349	3,209	9.254	3,242	9.160	3,275	9.069	3,308
9.443	3,177	9.346	3,210	9.251	3,243	9.158	3,276	9.066	3,309
9.440	3,178	9.343	3,211	9.248	3,244	9.155	3,277	9.063	3,310
9.437	3,179	9.340	3,212	9.245	3,245	9.152	3,278	9.061	3,311
9.434	3,180	9.337	3,213	9.242	3,246	9.149	3,279	9.058	3,312
9.431	3,181	9.334	3,214	9.239	3,247	9.146	3,280	9.055	3,313
9.428	3,182	9.331	3,215	9.236	3,248	9.144	3,281	9.053	3,314
9.425	3,183	9.328	3,216	9.234	3,249	9.141	3,282	9.050	3,315
9.422	3,184	9.325	3,217	9.231	3,250	9.138	3,283	9.047	3,316
9.419	3,185	9.323	3,218	9.228	3,251	9.135	3,284	9.044	3,317
9.416	3,186	9.320	3,219	9.225	3,252	9.132	3,285	9.042	3,318
9.413	3,187	9.317	3,220	9.222	3,253	9.130	3,286	9.039	3,319
9.410	3,188	9.314	3,221	9.219	3,254	9.127	3,287	9.036	3,320
9.407	3,189	9.311	3,222	9.217	3,255	9.124	3,288	9.033	3,321
9.404	3,190	9.308	3,223	9.214	3,256	9.121	3,289	9.031	3,322
9.401	3,191	9.305	3,224	9.211	3,257	9.119	3,290	9.028	3,323
9.398	3,192	9.302	3,225	9.208	3,258	9.116	3,291	9.025	3,324
9.396	3,193	9.299	3,226	9.205	3,259	9.113	3,292	9.023	3,325
9.393	3,194	9.297	3,227	9.202	3,260	9.110	3,293	9.020	3,326
9.390	3,195	9.294	3,228	9.200	3,261	9.107	3,294	9.017	3,327
9.387	3,196	9.291	3,229	9.197	3,262	9.105	3,295	9.014	3,328
9.384	3,197	9.288	3,230	9.194	3,263	9.102	3,296	9.012	3,329
9.381	3,198	9.285	3,231	9.191	3,264	9.099	3,297	9.009	3,330
9.378	3,199	9.282	3,232	9.188	3,265	9.096	3,298	9.006	3,331
9.375	3,200	9.279	3,233	9.186	3,266	9.094	3,299	9.004	3,332
9.372	3,201	9.276	3,234	9.183	3,267	9.091	3,300	9.001	3,333
9.369	3,202	9.274	3,235	9.180	3,268	9.088	3,301	8.998	3,334
9.366	3,203	9.271	3,236	9.177	3,269	9.085	3,302	8.996	3,335
9.363	3,204	9.268	3,237	9.174	3,270	9.083	3,303	8.993	3,336
9.360	3,205	9.265	3,238	9.172	3,271	9.080	3,304	8.990	3,337
9.357	3,206	9.262	3,239	9.169	3,272	9.077	3,305	8.987	3,338
9.355	3,207	9.259	3,240	9.166	3,273	9.074	3,306	8.985	3,339

ここに、RBΔtをΔtに、RBVELをVELに置き換えても同じ。

7）探触子間隔が60mmとなる位置に探触子ホルダを設置する(図-解 9.2(b)参照)。なお、この治具の60mmに対する製作精度は±0.05mm以下とする。

8）再び、対比試験片の人工きずがない部分を利用して、探触子間隔60 mmの透過パルスが、探触子間隔30mmの固定表示した透過パルスにできる限り重なるようにパルス位置を調整する(図-解 9.2(b)参照)。調整が終了したら、パルス位置の値（記号：RBPP60）を記録し、探触子間隔が30mmの透過パルスからの時間差（記号：RBΔt＝RBPP60-RBPP30）を記録する。RBΔtの単位は、長さ表示（mm表示）ではなく、時間表示(μsec表示)にしておく。なお、角度調整は同じ値となるため行う必要はない。

9）入射角度調整後、探触子間隔60mmの透過パルスの波形高さが80%となるようゲインを調整し、このときのゲインの値（記号：RB60）を記録する。透過パルスのRF波形表示をファイルに保存する。

10）対比試験片の横波音速（記号：RBVEL）を次式または表-解 9.1により求める※。

$$RBVEL = 30(mm) / RB\Delta t(\mu sec) \times 1,000 \quad (m/sec)$$

※ なお、音速の精度は、本マニュアル(案)での固定治具の製作精度(±0.05mm以下)や超音波探傷器の測定性能(時間分解能0.01μsec、時間軸直線性±1%以下)の条件では、約±5m/sec以下となる。また、対比試験片の音速は、温度によりほとんど変化しないため、毎回測定する必要はなく、対比試験片の音速が明確な場合には10)の項目は省略してよい。

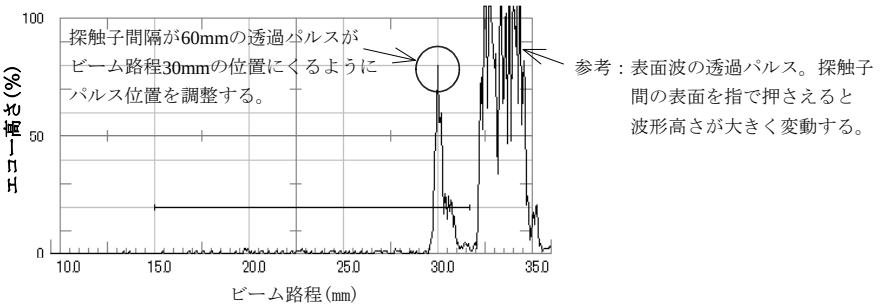


図-解 9.3 パルス位置調整

11）10）で求めた横波音速RBVELを超音波探傷器に設定し、超音波探傷器の測定範囲を25mm、測定範囲の始点を測定範囲の始点移動機能を用いて10mm(終了点を35mm)とし、ゲートの起点を15mm、ゲート範囲を17mm程度、波形表示をDC波形（Full-Wave Direct Current、全波整流波形）表示に設定する。引続き、対比試験片の人工きずがない部分を利用して、探触子間隔60mmの透過パルスがビーム路程30mmの位置にくるようパルス位置を調整し、そのパルス位置の値（記号：RBPP）を記録する(図-解 9.3参照)。

なお、ビーム路程（き裂までの距離）は、超音波探傷器の測定範囲が25mm程度で探傷屈折角がほぼ90度に近いことから、探触子前面からき裂までの水平距離として近似する。

（b）距離角度振幅特性曲線の作成と調整

対比試験片RB-41 No.1の深さ5mmの標準穴φ3mmを用いて距離角度振幅特性曲線を作成する手順を以下に示す。

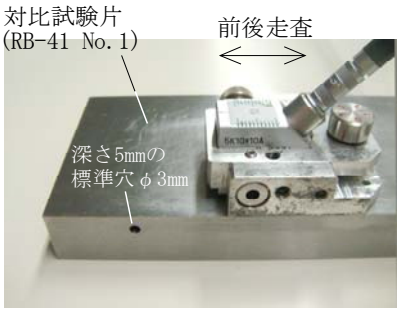
1）（a）の手順での設定に引続き、超音波探傷器の探傷の種類を透過法（二探触子法）からパルス反射法（一探触子法）に設定する。

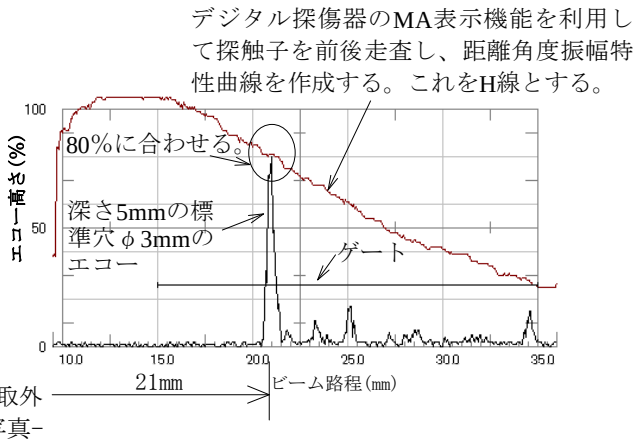
2）対比試験片RB-41 No.1の深さ5mmの標準穴φ3mmからのエコーを検出しながら、図-解 9.4に示すように、探触子の前後走査によって得られるそのエコー高さの軌跡（以下、距離角度振幅特性曲線）を画面上に作成（超音波探傷器のエコー高さ区分線※1を作成する機能を利用して、Ａスコープ上に表示）する。この曲線をＨ線とする（図-解 9.4参照)。

この時、ビーム路程21mmの位置にエコーがくるように探触子を配置し、そのときの距離角度振幅特性曲線のエコー高さが80%となるようにゲインを調整し、そのときのゲイン（記号：RBMA）を記録する。また、首振り走査をするとエコー高さが変化するため、原則として首振り走査をしないこととする。このため、探触子（探触子ホルダ）が首振りしないようにするための治具を用いるとよい※2（写真-解 9.2参照)。

※1 ここでのエコー高さ区分線は、超音波ビームの中心軸上に標準穴がくるときに得られるエコー高さを連ねて得られる一般的なエコー高さ区分線ではなく、ＭＡ表示を基準とした距離角度振幅特性曲線の区分線のことである。なお、距離角度振幅特性曲線には、距離振幅の補正が含まれていると考えてよい。

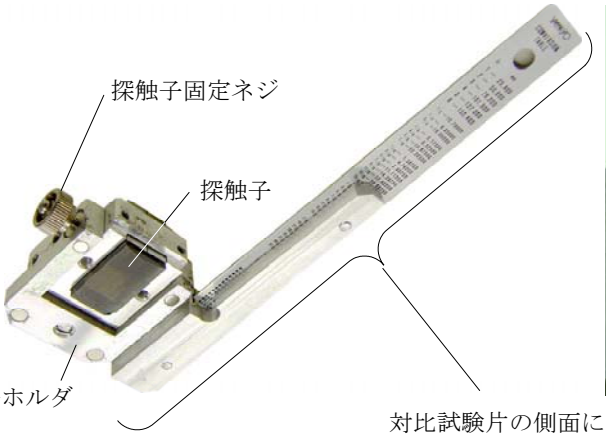
※2 なお、首振り走査を試し、エコー高さの最大値が得られるときに首振りしないようにするための治具が対比試験片RB-41 No.1の側面に平行になることを確認し、平行にならない場合には、治具と探触子ホルダの間にスペーサを入れる等して平行になるように調整するのがよい。

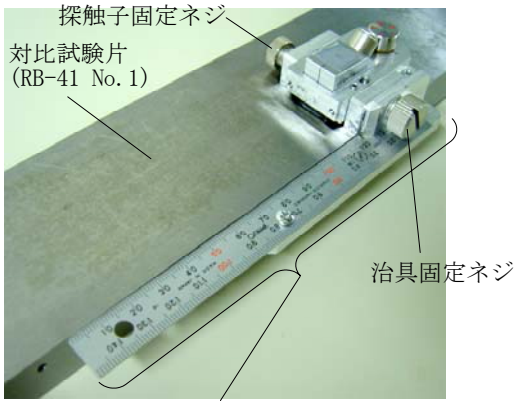




注：ここでは、説明のために首振りをふせぐ治具を取外している。実際のパルス位置の調整の際には、写真-解 9.2に示す首振りをふせぐ治具を取付ける。

図-解 9.4 距離角度振幅特性曲線の作成例





対比試験片の側面に沿わせることにより首振りせず前後走査が可能となる治具の例

(a) 下面　　(b) 上面

写真-解 9.2 距離角度振幅特性曲線を作成する際に探触子ホルダを首振りさせないようにするための固定治具の使用例

距離角度振幅特性曲線は、H線-6dBをM線、H線-12dBをＬ線、H線-18dBをＬ/2線とし、6dB毎に4本以上作成し、ファイルに保存する。距離角度振幅特性曲線は、超音波探傷器のＭＡ（Multiple A-scope)表示からエコー高さ区分線を作成する機能を用いると容易に作成可能である。ＭＡ表示からエコー高さ区分線を作成する機能がない場合には、Ａスコープ画面上にエコー高さ区分線をプロットする機能を利用してもよい。

（２）被調査物（鋼床版デッキプレート）を用いた調整

（ａ）感度、音速、パルス位置の調整

（１）（ａ）の３）～11）の手順より、探傷を行うデッキプレート下面を用いて、感度、音速、パルス位置の調整を行う。デッキプレートのきず等がない部分を利用して、探傷時と同じ探傷方向に対して調整を行う。（１）（ａ）の３）～11）の手順における記号は、表-解

表-解 9.2 記号の読替え

記号の意味	読替えられる記号	読替える記号
探触子間隔30mmの透過パルスのエコー高さが80％となるようゲインを調整したときのゲインの値(dB)	RB30	EH30
探触子間隔30mmの透過パルスのパルス位置(μsec)	RBPP30	PP30
探触子間隔60mmの透過パルスのエコー高さが80％となるようゲインを調整したときのゲインの値(dB)	RB60	EH60
探触子間隔60 mmの透過パルスが、探触子間隔30mmの固定表示した透過パルスにできる限り重なるようにパルス位置を調整したときのパルス位置(μsec)	RBPP60	PP60
探触子間隔が30mmと60mmそれぞれのときに要した透過パルスの伝搬時間の差(μsec)	RBΔt	Δt
横波音速	RBVEL	VEL
探触子間隔が60mmの透過パルスがビーム路程30mmの位置に来るようパルス位置を調整したときのパルス位置の値(μsec)	RBPP	PP

ただし、読替えられる記号は、対比試験片RBを対象としており、読替える記号は、被調査物(調査対象となる鋼床版デッキプレート)を対象としている。

(拡大写真)

写真-解 9.3 ２つの探触子を対向させた透過パルスにより
被調査物に対する感度、音速の調整状況

9.2の左欄に示す記号(読替えられる記号)を同表の右欄の記号に読替える。なお、10）の音速測定は被調査物（鋼床版デッキプレート）の場合には、必須項目となる（写真-解 9.3)。

（３）（１)と（２)の感度差の調整（感度補正）

（１)と（２)の比較により感度差を算出する。

次式より、対比試験片を基準としたときの、鋼床版デッキプレートの感度補正量を算出する。

感度補正量ΔEH(dB)　＝　EH60 － RB60　（または　EH30 - RB30 でも可）

以上の（１）と（２）により、被調査物(鋼床版デッキプレート)の探傷の際には、距離角度振幅特性曲線を作成したときのゲイン値 RBMA(dB)に感度補正量ΔEH(dB)を加えるとともに、音速として被調査物の音速 VEL(m/sec)を超音波探傷器に入力する。これにより、被調査物(デッキプレート)と対比試験片の感度差および音速差を考慮した（補正した）探傷試験が可能となる。なお、探傷面の表面状態が感度に及ぼす影響については参考資料２.を参照。

９．３　探傷（探触子の走査）

探触子と対象き裂までの距離を一定に保った状態で、探触子を橋軸方向（溶接線方向）へ移動（走査）させながら探傷を行う。探傷ピッチ（測定ピッチ）は、溶接線方向に対するき裂の見逃しを防ぐため、探触子幅の1/2以下を標準とする。

【解説】

誤検出を避け所要の検出性能を得るために、探触子と対象き裂までの距離および走査範囲を考慮した上で、溶接線直角方向に対して、溶接線と平行に探触子と対象き裂までの距離を一定に確保した状態となるように探傷する必要がある。なお、走査装置を用いると簡単に探傷することが可能となるが、適切な位置に走査装置を設置する必要がある。

き裂に対するエコー高さとき裂深さの相関は、ビーム路程（探触子前面からき裂までの水平距離）が27mm程度離れている場合が高い（図-解 9.5参照）。このため、Ｕリブ外面とデッキプレート下面との交線より探触子前面が21mmの位置（き裂に対応するビーム路程がおよそ21～29mmに相当する位置）に探触子を配置するのがよい。き裂の発生が想定される範囲（判別対象範囲）と、探触子の配置の関係を図-解 9.6に示す。

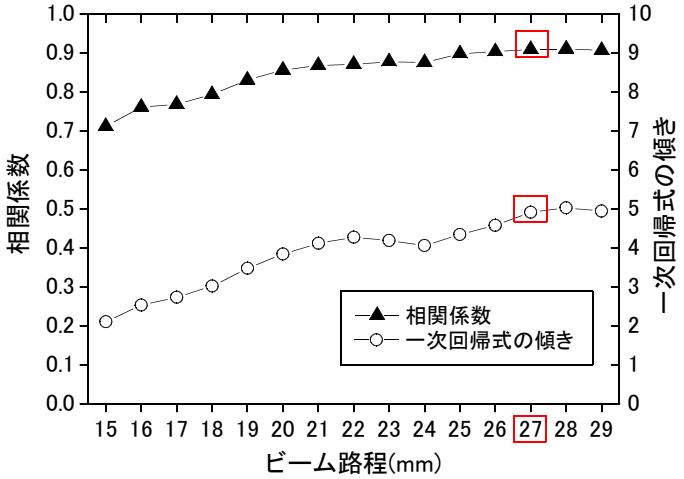
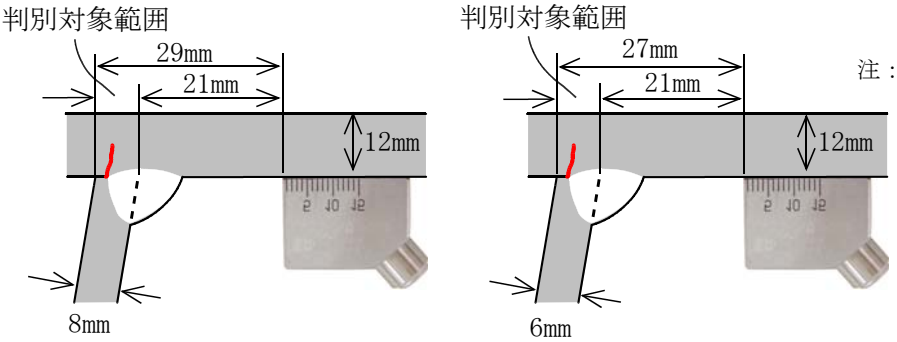


図-解 9.5 ビーム路程を変化させた場合の小型試験片におけるエコー高さ比とき裂深さの相関係数と一次回帰式の傾き



注：ここでは、説明のために探触子ホルダを外している。実際の探傷の際には、写真-解 8.1に示す探触子ホルダを取付ける。

(a) Ｕリブ厚8mm　　(b) Ｕリブ厚6mm

図-解 9.6 き裂の発生が想定される範囲（判別対象範囲）

探触子を走査中に溶接ビードに探触子や探触子ホルダの前面部が接触し、探触子に浮き上がりが発生することもあるので、走査中には、探触子の接触状態の監視（カップリングチェック機能でも可）が必要である（図-解 9.7参照）。また、横リブ交差部では、探触子ホルダの大きさによる接近限界があるため、首振り走査による探傷を行う必要がある（図-解 9.8参照）。

参考までに、写真-解 9.4に自動走査装置により構成される超音波探傷装置を用いた場合の調査状況の例を示す。

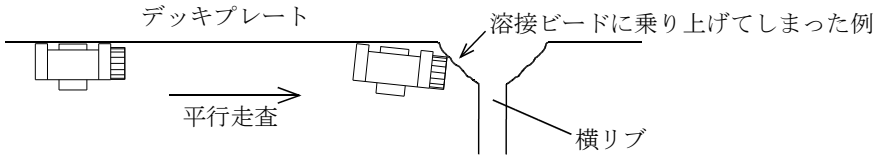


図-解 9.7 横リブ溶接ビードに乗り上げて探触子に浮き上がりが発生した例

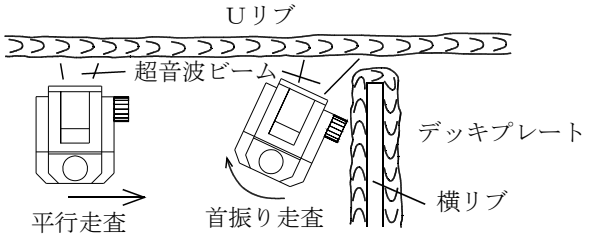
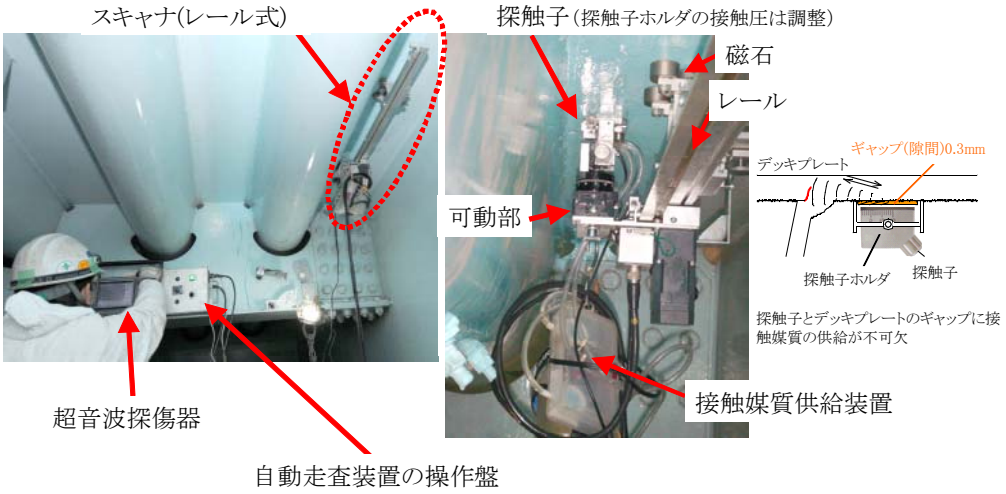
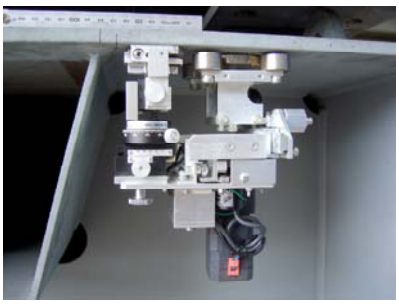


図-解 9.8 横リブ交差部を対象とした場合の首振り走査の例



強力磁石によりデッキ下面に走査装置(スキャナ)を設置し、自動探傷(探触子の自動走査)を実施

(a) 設置の例



ここでは、説明のために探触子ケーブル、スキャナ制御ケーブル、接触媒質供給装置を外している。実際の探傷の際には、(a)に示すとおりこれらを取付ける。

(b) 拡大写真

写真-解 9.4 自動探傷による鋼床版の調査状況

９．４　き裂検出の評価

（１）エコー高さが検出レベル（Ｌ/2線）を超える場合に、デッキプレートの板厚方向の深さが４～５㎜以上のき裂があると評価する。溶接線方向のき裂の長さは、エコー高さが検出レベルを超える範囲と評価する。

（２）き裂を検出した範囲については、必要に応じて、首振り走査を行うとともに、溶接線直角方向に前後走査させた探傷試験を行い、き裂検出の評価を再確認する。

【解説】

（１）図-解 9.9に溶接部の形状と実き裂を模した試験片を探傷した場合の、ビーム路程（探触子前面とき裂エコーとの水平距離）が27㎜におけるエコー高さ比とき裂深さの関係を示す。探触子をき裂に対して直角に配置した状態で、また、試験片の数やき裂深さの分布に多少の偏りがあるという条件下での試験結果であるが、検出レベルをＬ/2線（Ｌ線-6dB）とすれば、４～５㎜を超える深さのき裂を検出できることを示している。このため、検出レベルＬ/2線とした。なお、経年変化を調査する上では、検出レベル（Ｌ/2線）以下のエコーについても記録しておくのがよい。

溶接線方向のき裂の長さは、深さ４～５㎜に達している範囲を対象として、最大エコー高さが Ｌ/2線を超える範囲とした。

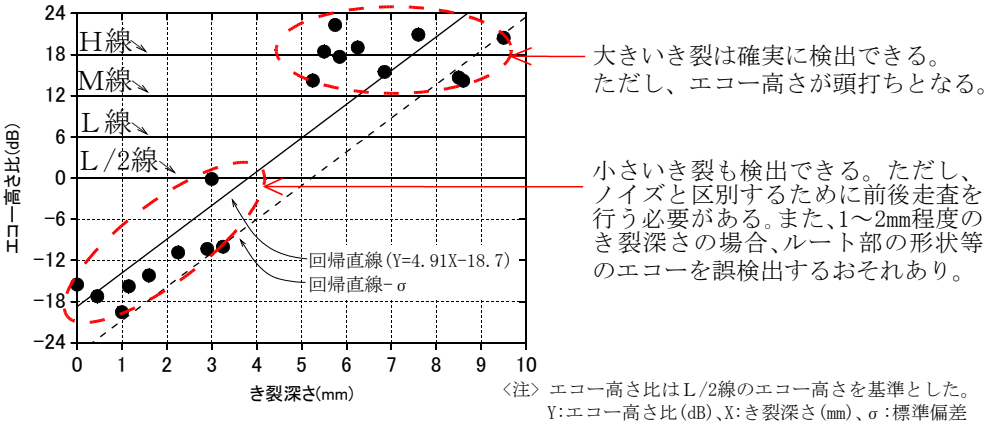


図-解 9.9 対比試験片に対するエコー高さ比とき裂深さの関係

（２）横リブ交差部などにおいては、必ずしもき裂が溶接線方向に平行に発生するとは限らない。また、エコー高さとき裂深さの関係（図-解 9.9）は、き裂に対して直角に超音波を入反射させた場合の実験結果であることから、首振り走査により探傷を行い、最大エコーが得られる首振り角のときのエコー高さによりき裂検出の評価を再確認する。き裂検出の評価は、（１）と同じとする。

き裂を検出した範囲（溶接線方向の検出範囲）が極端に短い場合には、その周辺の範囲のエコーの状況を総合的に評価し、き裂検出の評価を行う。例えば、エコー高さがＬ線-6dB（Ｌ/2線）を超える範囲は極端に短いが、その周囲に、Ｌ線-6dB（Ｌ/2線）は超えないレベルの

エコーが連続して存在する場合などについては、連続してき裂が存在している可能性があるため、エコーの大きさにかかわらず、エコーが得られる範囲（溶接方向の検出範囲）を考慮し、き裂の検出の評価およびその探傷結果（エコー高さ）を記録しておくのがよい。

き裂を検出しなかった場合でも、その原因が、探傷装置の設定値の間違いなどの人為的な間違いの場合もあり得るので、このような人為的な間違いを少なくするため、抜き取りによる首振り走査も含めた多少の手動探傷を適宜適切なピッチで行い両者の比較を行うのがよい。なお、走査装置を用いた場合で、手動探傷と走査装置を使用した探傷の結果が異なった場合には、その原因を明らかにする必要がある。

９．５　探傷結果の記録

探触子の走査位置において、探触子の位置、エコーのビーム路程及びエコー高さを記録する。

【解説】

距離角度振幅特性曲線および収録時の感度の情報を同時に記録しておくこと。

１０．探傷面の後処理

超音波探傷によるき裂の調査が終了した後は、探傷面の接触媒質を除去し、必要に応じて防錆処理を行う。

【解説】

調査終了後は、探傷面に残っている接触媒質を除去し、塗膜を除去している場合には探傷面の防錆処理を行う。防錆処理は、探傷終了後の作業に応じて、以下に示す対応をとる。

・調査を終了する場合(今後、調査や補修などの計画がない場合)、所定の塗替仕様による恒久的な防錆処理を行う。

・補修または追跡して調査を行う場合、粘着テープや可剥性のある防錆溶剤などによる応急的な防錆処理を行う。

１１．調査報告書の作成

調査後は､探傷結果と当該溶接部とが照合できるように以下の項目を報告書として整理する。

（１）調査名

（２）橋梁名

（３）調査年月日

（４）調査技術者名・調査結果記録承認者名の署名および資格（資格番号）

（５）探傷法　横波臨界屈折角探傷法

（６）探触子　臨界屈折角の横波斜角探触子、製造者名、製造番号、不感帯、屈折角、くさびの材質

（７）超音波探傷器　探傷器名、製造者名、製造番号、点検年月日、点検時の試験成績書の写し、点検時の校正証明書の写し、点検時のトレーサビリティ体系図の写し

（８）探傷条件　引用規格、き裂検出の評価基準、被調査物（デッキプレート）の板厚、被調査物の材質、Ｕリブ板厚、Ｕリブ形状、調査対象溶接部位の開先形状とその詳細図、使用した対比試験片(製造番号)、使用した対比試験片の材質、対比試験片に対する探触子間隔30㎜のときの80％ゲイン値(RB30)とパルス位置(RBPP30)、対比試験片に対する探触子間隔60㎜のときの80％ゲイン値(RB60)とパルス位置(RBPP60)、対比試験片に対して探触子間隔が30㎜と60㎜それぞれのときに要した透過パルスの伝搬時間の差(RBΔt)、使用した対比試験片の音速(RBVEL)、対比試験片に対するパルス位置(RBPP)、距離角度振幅特性曲線とそのときのゲイン値(RBMA)、被調査物の探傷面の状態および仕上げ方法、使用した接触媒質、被調査物に対する探触子間隔30㎜のときの80％ゲイン値(EH30)とパルス位置(PP30)、被調査物に対する探触子間隔60㎜のときの80％ゲイン値(EH60)とパルス位置(PP60)、被調査物に対して探触子間隔が30㎜と60㎜それぞれのときに要した透過パルスの伝搬時間の差(Δt)、被調査物の音速(VEL)、被調査物に対するパルス位置(PP)、感度補正量、探傷感度、被調査物の温度

（９）探傷結果　調査箇所（調査範囲)、き裂の有無、き裂のエコー高さ、き裂位置（X：溶接線方向の探触子位置、Y：溶接線直角方向の探触子位置、k：溶接線に直角方向のき裂位置、W：ビーム路程)、き裂の溶接線方向の長さ(L)

【解説】

調査報告書については、調査箇所、調査条件、調査時期などをわかりやすい形で記録し、探傷結果と溶接部とが照合できるようにしておかなければならない。報告様式としては、文献４）が参考になる。特に、探傷結果の信頼性を確保するため、対象鋼床版断面（デッキプレート、Ｕリブ及び溶接線）と探傷装置の設置位置との関係を記録しておく必要がある。

［参考文献］

1）「認定制度変更に伴う移行期間中の措置について，＜資格の相互読み替えについて＞，平成14年11 月，(社)日本非破壊検査協会会長 小林 英男」より一部分を抜粋.

2）下里哲弘，若林登，稲葉尚文，冨田芳男，小野秀一，渡辺真至：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，年次学術講演概要集，第62回，Ｉ-022，2007.9(H19.9).

3）木村友則，三須幸一郎，和高修三，小池光裕：試験体表面に沿って伝搬するSV波による端面エコーに関する検討，(社)日本非破壊検査協会超音波分科会，超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集，第14回，2-6，pp.39-44，2007.1.

4）国土交通省国土技術政策総合研究所，(社)日本橋梁建設協会：鋼部材の耐久性向上策に関する共同研究，－実態調査に基づく鋼床版の点検手法に関する検討－，国土技術政策総合研究所資料共同研究報告書，第471号，2008.8.

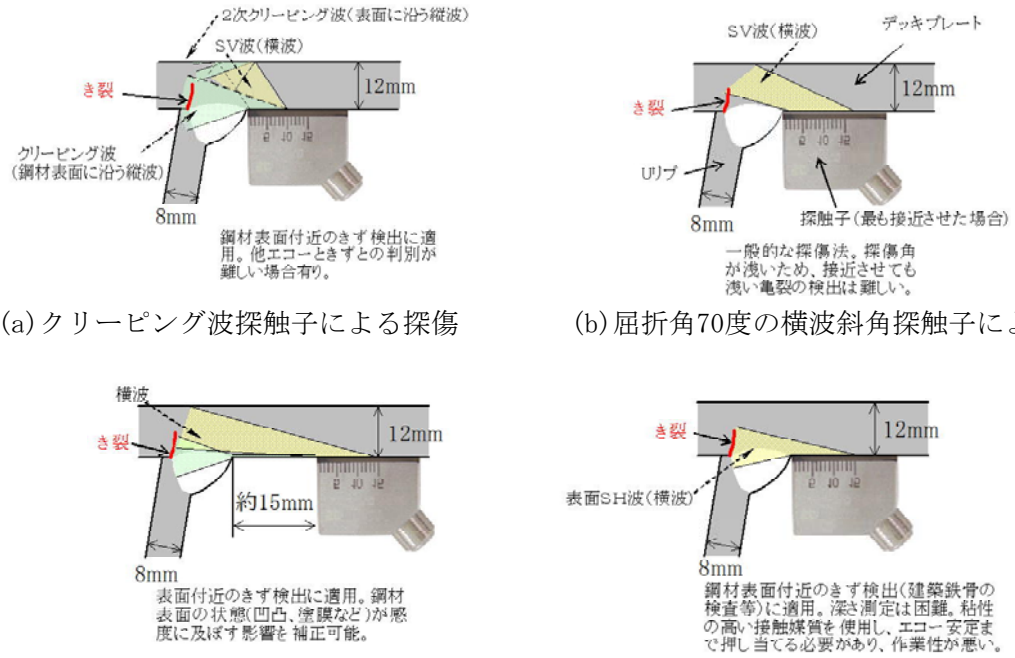
参考資料

１．超音波探傷法の主な種類と概要
２．超音波探傷法の性能確認試験の概要
３．浅いき裂の探傷に際しての留意事項

※　参考資料１.および２.中の「臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷」については、土木研究所と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による共同研究「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」（平成18年度～19年度）の研究成果によるものである。

１．超音波探傷法の主な種類と概要

鋼床版デッキプレート下面側からパルス反射方式によりき裂を探傷する方法について、図-参1.1に主な種類を示す。また、以下に各方法の概要をまとめる。



(a)クリーピング波探触子による探傷　　(b)屈折角70度の横波斜角探触子による探傷

(c)臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷　　(d)表面ＳＨ波探触子による探傷

図-参 1.1 パルス反射方式による主な超音波斜角探傷法の種類

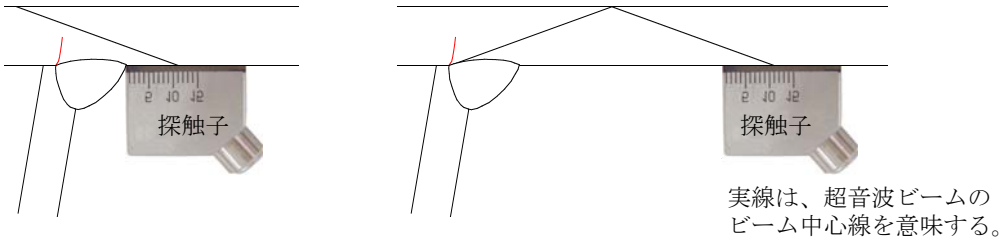
（１）クリーピング波探触子による探傷

縦波斜角探触子を屈折角が90度になるように設計すると、実際には縦波の主たる成分は屈折角約75度の方向に放射されるものの、一部の縦波が屈折角90度方向の探傷面に沿って進行する。この探傷面に沿って進行する縦波はクリーピング波と呼ばれる。クリーピング波探触子（屈折角が90度の縦波斜角探触子）では、図-参 1.1に示されるとおり、鋼材の探傷面に沿って伝搬する屈折角90度の縦波と屈折角約33度の方向に伝搬する横波の２種類の超音波が鋼中に入射されるという特徴を有している。探触子とき裂の距離が離れていると、この横波の影響や、クリーピング波以外の種類の超音波の発生により、き裂とは異なる伝搬経路から得られる疑似エコーが探傷器の表示上で重なり合う可能性があり、疑似エコーとき裂との判別が困難になる場合がある。

（２）屈折角70度の横波斜角探触子による探傷

鋼構造物の検査に広く用いられている公称屈折角が70度の探触子による探傷法であり、図-参1.2に示すとおり、超音波をき裂に直接当てるように入射する場合（以下、直射法）とデッキプレート上面で超音波を1回反射させてき裂に当てるように入射する場合（以下、一回反射法）がある。直射法では、探触子を溶接部に接触するまで接近させても、デッキプレートの一般的な板厚12mmの半分の6mm程度までき裂が進展しないと反射エコー（き裂面に当たって反射されて戻ってくる超

音波）の強さが低いことが予想される。一方、一回反射法では、理論上、き裂がごく浅い場合でもき裂検出は可能であるが、デッキプレート上面の腐食による凹凸や舗装打替時のきずからのエコーを検出する可能性や溶接ルート部付近のＵリブ側に存在する高さ2㎜程度の溶込み不良からのエコーを誤検出する可能性がある。また、一回反射法では、直射法と比較して、ビーム路程が長くなるため、検出性能が低くなる可能性がある。



(a) 直射法　　(b) 一回反射法

図-参 1.2 公称屈折角が70度の横波斜角探触子を用いた直射法と一回反射法

探傷方法としては、このようにき裂面からの反射エコーの強さとそのエコーが得られる範囲によってき裂の大きさを計測する方法の他に、き裂端部から得られる端部エコーの有無や端部エコーの幾何学的な位置からき裂の有無や大きさを計測する探傷法（端部エコー法）がある。図-参1.3に試験体に内在するデッキプレート内進展き裂に対する端部エコーの受信波形例を示すが、端部エコーに関しては明瞭に現れない場合が多いこと等から判別にき裂に対する十分な知識と経験が必要と考えられる。

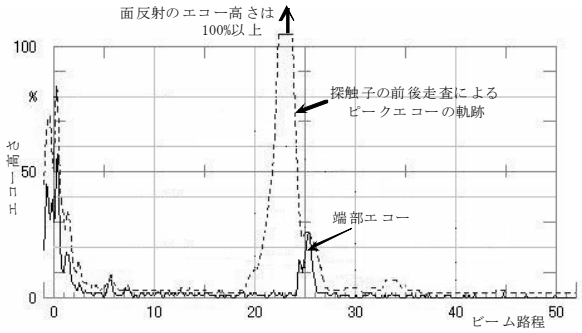


図-参 1.3 端部エコーの受信波形の例

（３）臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷

一般的に使われている探触子は公称屈折角が70度であるが、図-参 1.1に示すように斜角探触子の屈折角を70度より大きくし90度に近づけた探触子（臨界屈折角の横波斜角探触子）を用いる探傷法である。原理的に超音波ビームがき裂に当たるようになり、板厚に対して浅いき裂を直接法により検出できる可能性が高くなる。また、探傷屈折角を90度に近づけた場合の特徴として、表面波の成分が増大するとともに、鋼中へ伝搬する横波(SV波(vertically-polarized shear wave))の鋼材表面近傍の成分に伴って表面に沿う疑似表面SV波(音速は横波(SV波)と同じ)が伝搬する。このため、２つの探触子を対向させ透過法による被調査物の透過パルスを調べることによって被

調査物の超音波基本特性を調べることが可能となり、調査対象となる鋼床版デッキプレート下面に対して感度調整を行うことが可能となる。同時に、被調査物の表面状態(表面粗さや塗装等)の違いによる感度調整が可能となるため、反射エコーの特性に影響を及ぼす要因のうち、音速、探傷屈折角、表面状態の３影響因子を極力排除することが可能となる。

（４）表面ＳＨ波探触子による探傷

ＳＨ表面波は、探傷面と平行な方向(水平方向)に振動する横波(SH波(horizontally-polarized shear wave))を探傷面に沿って伝搬するように設計された斜角探触子により発生される横波の超音波である。斜角探傷に一般的に用いられる横波(SV波)と比べて、屈折角90度の方向に大きい横波成分が存在し、モード変換が生じ難くいという特徴を有している。一方、通常の斜角探傷で用いられている縦波をモード変換させた横波を利用する方法とは異なり、最初から横波を発生させて利用する方法のため、横波を伝搬させることができる特殊な接触媒質(粘性の高い液体)を使用する必要がある。このため、探触子を固定した上でエコーの高さが安定するまで大きな力で探触子を押し当てる必要がある。当該溶接部については、デッキプレート下面が探傷面となるため、上向き探傷となり無理な体勢を強いられることから、溶接線を連続して探傷するなどの長時間の作業は難しく、ピンポイントの使用にのみ有効と考えられる。

２．超音波探傷法の性能確認試験の概要

２．１ 疑似き裂を導入した小型試験片による探傷試験

（１）試験片

図-参 2.1に小型試験片の疲労試験時の寸法形状及び載荷方法を示す。疲労試験時に実き裂の進展方向に近くなるようき裂を導入するため、デッキプレートとＵリブとの溶接ルート部の応力方向を変えるために(FEMにより確認済)ストラットを設けた。使用鋼材の種類、溶接部の構造詳細、溶接施工方法は、実際の鋼床版と同じとした。ただし、試験体の表面は黒皮とし、塗装は実施していない。写真-参 2.1に疲労試験の状況を示す。

図-参 2.2に小型試験片の形状寸法とき裂の概要を示す。き裂深さを破壊試験を実施せずにある程度の精度で推定できる試験片を製作するため、き裂の進展性状の確認を目的として試験片1体についてビーチマーク試験を行い、試験片幅100mmのうち、き裂がデッキプレート面に対してほぼ平行に均等に進展していると考えられる中心線から±20mm（幅40mm）の部分より、試験片を切り出した（図-参 2.2 参照)。

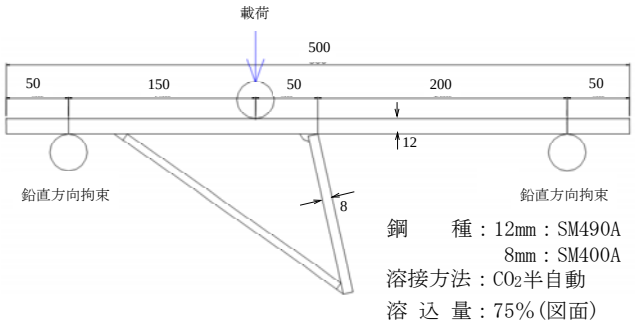


図-参 2.1 小型試験片の疲労試験時の寸法形状及び載荷方法

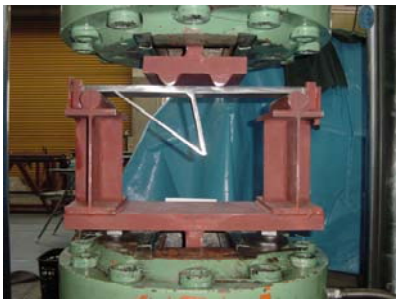
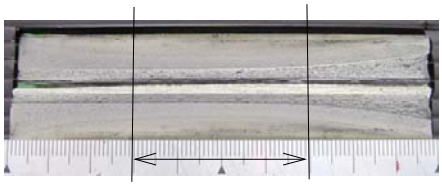
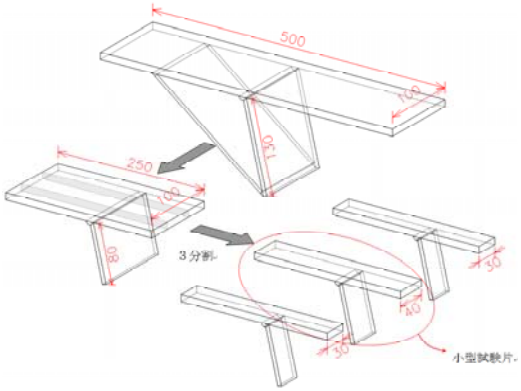


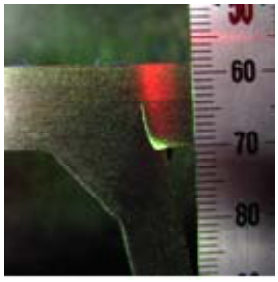
写真-参 2.1 疲労試験状況



(a) ビーチマーク試験によるき裂破面の状況



(b) 製作方法



(c) き裂の発生状況(斜め上方に進展)

図-参 2.2に小型試験片の形状寸法とき裂の概要

図-参 2.1に示す試験片19体に対し、図中の載荷拘束条件により定点載荷による疲労試験を行った。荷重は、試験体両端のき裂深さが3mm程度に進展するまでは、2～12kN(荷重範囲10kN)とした。様々な深さのき裂を有する試験片を製作するため、試験体両端にき裂が検出されないまま試験を終了したり、変形を極力抑えてできるだけき裂を進展させた試験を実施した。載荷終了後、図-参 2.2に示したとおりに試験片を切断し、中央の幅40mmの部分をき裂探傷用の小型試験片として製作した。図に試験体のき裂の発生性状を示す。これらの19体の小型試験片に対して、疲労試験終了後に再度、湿式磁粉探傷試験を行い、き裂深さを測定した。小型試験片に内在する推定き裂深さは、この両端面のき裂深さの平均深さとした。製作した19体の小型試験片の推定き裂深さは、0.0, 0.5, 1.0, 1.2, 1.6, 2.3, 2.9, 3.0, 3.3, 5.3, 5.5, 5.8, 5.9, 6.3, 6.9, 7.6, 8.5, 8.6, 9.5mmである。

（２）探傷試験方法

超音波探傷法（直射法を対象）としては、臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷法の他に、比較のため、クリーピング波探触子による探傷法と屈折角70度の横波斜角探触子による探傷法を選定した。

臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷法では、試験の再現性を高めるため、図-参 2.3に示す走査治具（スキャナ）を用いた。また、本マニュアル(案)の９．２に示す方法により感度、音速、パルス位置の調整を行うとともに距離角度振幅特性曲線の作成と調整を行った。走査は前後に行い、Ｕリブ外面とデッキプレート面の交線(図中の破線の下端)をY＝0mmとし、探触子位置Yを0.2mmピッチで記録(データ採取)した。比較のためのクリーピング波探触子による探傷法と屈折角70度の横波斜角探触子による探傷法では、走査治具を用いずに直接接触法による手動探傷にて試験した。

図-参 2.4に探触子の周波数測定結果を示し、表-参 2.1に超音波探傷器の主な仕様を示す。

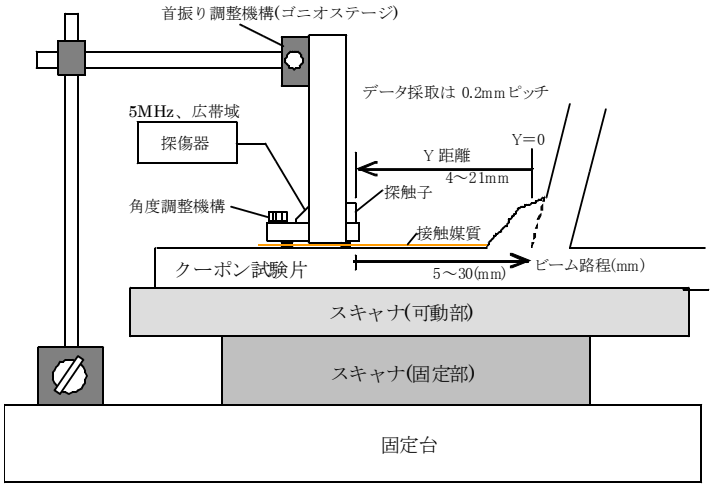
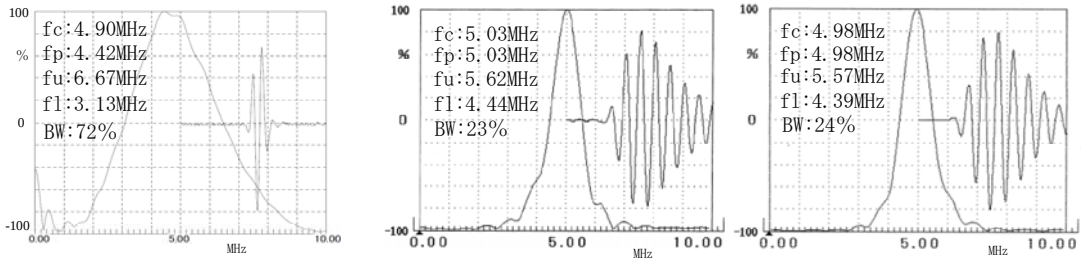


図-参 2.3 臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷試験の状況



(a) 臨界屈折角の横波斜角探触子 B5K10×10

(b) 縦波90度斜角探触子 5C10×5LAD90 JC1287

(c) 70度斜角探触子 5C10×10A70 A07548

fc:中心周波数(MHz) fc＝(fu+fl)/2　　fu:上限周波数(-6dB上限周波数)(MHz)
fp:ピーク周波数(MHz)　　fl:下限周波数(-6dB下限周波数)(MHz)
BW:帯域幅(%)　BW＝(fu-fl)/fc×100　　反射源：STB-A1 の 100R

図-参 2.4 使用探触子の周波数測定結果

表-参 2.1 使用デジタル超音波探傷器の主な仕様

入力インピーダンス	50Ω		
パルス出力	0.1J以上		
パルス立上がり時間	35nsec以下		
パルス波形	方形波		
パルス幅 (試験周波数)	500nsec(1MHz)		
	250nsec(2MHz)		
	100nsec(5MHz)		
	67nsec(10MHz)		
	100nsec(超広帯域)		
感度	110dB(0.1dBステップ)		
周波数帯域	中心周波数	狭帯域	広帯域
	1MHz	0.9～1.3MHz	0.7～1.3MHz
	2MHz	1.7～2.6MHz	1.4～3.5MHz
	5MHz	4.2～6.1MHz	3.4～7.7MHz
	10MHz	8.2～12.8MHz	6.1～14.3MHz
	超広帯域	0.4～14.3MHz	
時間軸分解能 (サンプリング周波数)	0.01mm(200MHz)		
	0.03mm(100MHz)		
	0.05mm(50MHz)		
エコー高さ分解能	8bit		
ゲート機能	あり(2ゲート)		
LMH線表示機能	あり(4本､1本当たり最大16点)		
周波数分析(FFT)機能	あり		
MA表示機能	あり		
外形寸法	W270×H175×D98mm(突起部除)		
重量	約3.5kg		
消費電力	約45W		
使用温度範囲	0～45℃		

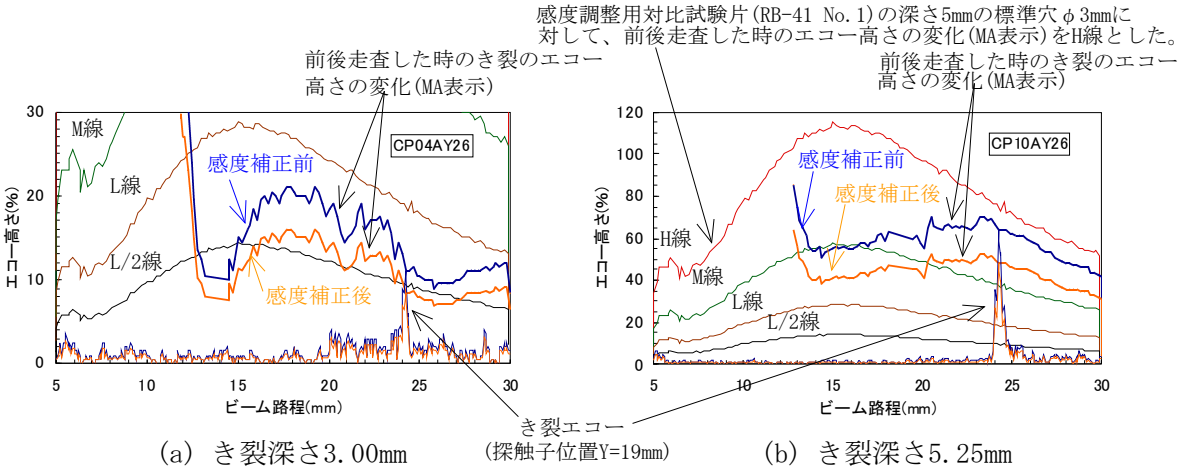
クリーピング波探触子による探傷法における感度調整は、標準試験片STB-A1のスリット（幅0.5mm，深さ2mm）と探触子の前面との距離を18mmに保ち、エコー高さが50%になるように実施した。探触子前面をUリブ外面とデッキプレート面の交線(Y=0mm)より10mmの基準線に配置し対象範囲内(ビーム路程が10～18mm以内)のエコー高さを読み取り記録した。

屈折角70度の横波斜角探触子による探傷法における感度調整は、対比試験片RB-41　No.1の標準穴φ3mmからのエコー高さが80%となるように実施し、エコー高さ区分線を作成してエコー高さを評価した。探触子はエコー高さが最大となる位置または最も溶接部に近づけた位置が最もエコー高さが大きい場合にはその最接近位置においてエコー高さを読み取り記録した。

（３）探傷試験結果

図-参 2.5に19体の小型試験片のうちき裂深さが3.00mmと5.25mmの2体の試験片(塗装なし、表面は黒皮の状態)に対して、臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷試験を実施した結果を示す。前後走査した時のき裂のエコー高さの変化(ＭＡ表示)について、感度補正前と感度補正後の場合の2種類を示した。対比試験片RB-41 No.1に対する小型試験片19体の平均の感度補正量は、約+2.9dB(約1.4倍)であり、最大約+5.6dB(約1.9倍)の感度補正を行っており、塗装がない状態でもある程度の補正が必要であることがわかる。図中には、探触子の位置Y=19mmのときのき裂のエコーを示すとともに、前後走査したときのき裂のエコー高さの変化(ＭＡ表示)を示す。き裂のエコー高さとビーム路程(探触子前面からき裂までの距離)の関係は、距離角度振幅特性曲線の変化傾向と一致していない部分もみられ、実際のき裂に応じた補正が重要であることが推察される。

図-参 2.6にビーム路程（探触子前面からき裂までの水平距離）を変化させた場合の、19体の小型試験片におけるエコー高さ比とき裂深さの相関係数と一次回帰式の傾きを示す。き裂に対するエコー高さとき裂深さの相関は、ビーム路程が 25～29mm程度離れている場合が高い。



(a) き裂深さ3.00mm　　(b) き裂深さ5.25mm

図中のＨ線、Ｍ線、Ｌ線、 Ｌ/2線は距離角度振幅特性曲線であり、Ｈ線は対比試験片(RB-41 No.1)の深さ5mmの標準穴φ3mmに対して、前後走査した時のエコー高さの変化(ＭＡ表示)を示している。Ｍ線、Ｌ線、Ｌ/2線は、それぞれＨ線を-6dB(1/2倍)、-12dB(1/4倍)、-18dB(1/8倍)したものである。

図-参 2.5 定点載荷によりき裂を導入した小型試験片の探傷結果

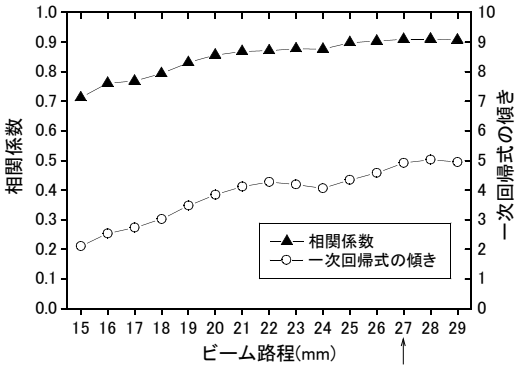


図-参 2.6 ビーム路程を変化させた場合の小型試験片におけるエコー高さ比とき裂深さの相関係数と一次回帰式の傾き(図-解 9.5と同じ図)

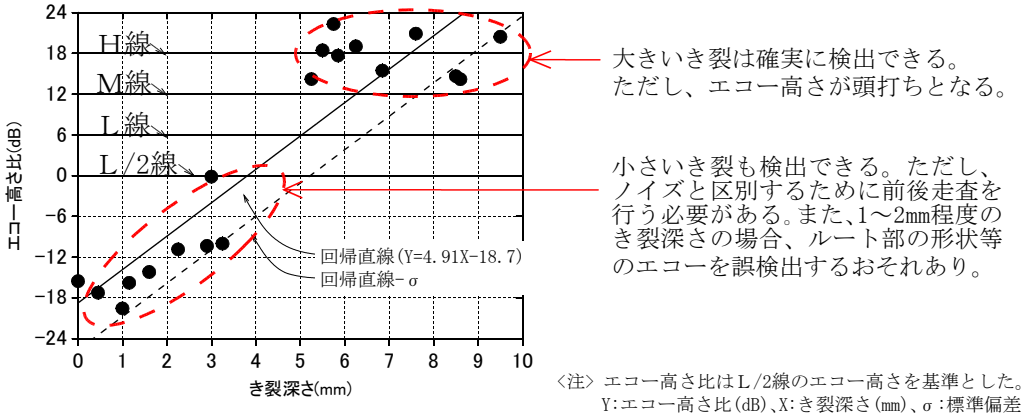


図-参 2.7 探触子前面とき裂間水平距離が27mmのときのエコー高さ比とき裂深さの関係
(図-解 9.9と同じ図)

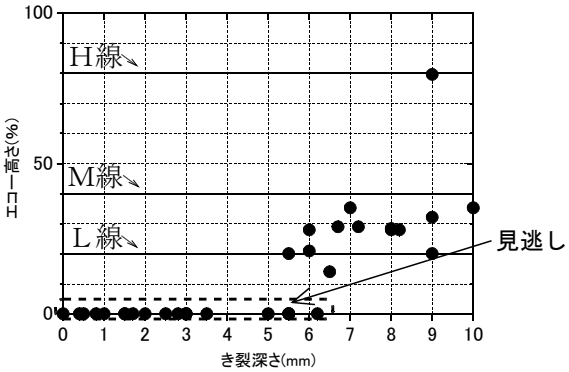


図-参 2.8 屈折角70度の横波斜角探触子による探傷法

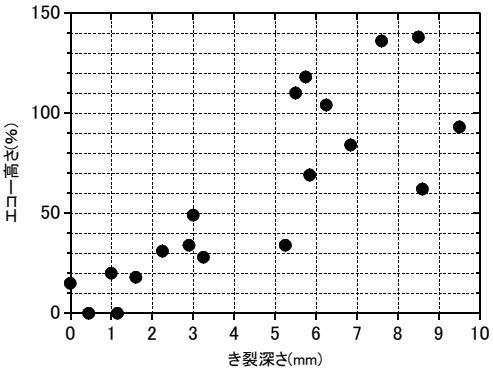


図-参 2.9 クリーピング波探触子による探傷法

図-参 2.7にビーム路程が27mmとなる探触子位置におけるエコー高さ比とき裂深さの関係を示す。探触子を溶接線方向に固定させた状態で、また、試験片の数やき裂深さの分布に多少の偏りがあるという条件下での試験結果であるが、浅いき裂の誤認を防ぐ観点から仮にL/2線を超えるレベルをしきい値とすれば、4～5mmを超える深さのき裂はほぼ確実に検出できることを示している。また、1～4mmまでの深さのき裂に対しても相関性がみられ、浅いき裂も原理的には十分検出可能な探傷方法と考えられる。

図-参 2.8と図-参 2.9に屈折角70度の横波斜角探触子による探傷法とクリーピング波探触子による探傷法の場合のエコー高さとき裂深さの関係を示す（これらの探傷法では臨界屈折角の横波斜角探触子を用いた調整方法は適用できないため、探傷表面や鋼材音速に対する感度補正は行っていない)。

主な結果は次のとおりである。

・屈折角70度の横波斜角探触子による探傷法では、深さ6mm程度（デッキプレート板厚の1/2程度）のき裂がほぼ検出限界（き裂からの反射エコーが得られない。）である。深さ6mm程度以上のき裂を確実に検出するには、クリーピング波探触子等の他の探傷法と併用するのが良いと考えられる。

・クリーピング波探触子による探傷法においても相関性は高く、ある程度の深さに達すれば、き裂検出は可能である。

デッキプレート板厚の1/2程度の深さのき裂を確実に捉えるのであれば、臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷法や、屈折角70度の横波斜角探触子による探傷法とクリーピング波探触子による探傷法の併用（クリーピング波探触子による探傷法でき裂の有無を概略確認し、屈折角 70度の横波斜角探触子による探傷法で深さを推定）が有効と考えられる。なお、クリーピング波探触子による探傷法に関しては、ルート部の状況によっては、き裂以外の比較的高いエコーを検出する可能性があるため適用に当たっては注意が必要である。

２．２ 実大鋼床版試験体に対する探傷試験結果

デッキプレート進展き裂の再現目的のために別途実施した実大試験体(無載荷時)に対する探傷試験結果を図-参 2.7に重ねて、図-参 2.10に示す。図-参 2.11に探傷結果(Ｂスコープ)とコア抜きしたときのき裂の写真を示す。

図中の記号(△)については次の通り実施した。鋼床版の現地調査を想定し、実大試験体の下面から、写真-解 9.4に示す上向き探傷試験に対応した走査治具（スキャナ）を用いて、臨界屈折角の横波斜角探触子による探傷試験を実施した。感度、音速、パルス位置の調整および距離角度振幅特性曲線の作成と調整については、本マニュアル(案)の９．２に従った。走査は、Ｕリブ外面とデッキプレート面の交線(図中の破線の下端)をY＝0mmとしたときに探触子前面位置Yが21mm（ビーム路程：25mm程度）となるように設置し、Ｕリブの溶接線方向に0.2mmピッチで記録(データ採取)した。また、図中の記号(△)については、き裂深さ4～5mmの範囲の2点を除き、小型試験片の結果の傾向と概ね一致している。この2点のき裂については、孔の側面に磁粉探傷試験によりき裂の存在が確認されたものの、クリーピング波、表面SH波及び臨界角探触子を用いたいずれの超音波探傷法においてもエコー高さが極めて小さく検出困難なき裂であった。なお、輪荷重が載荷している条件下であれば、き裂の開閉により検出可能と考えられる。

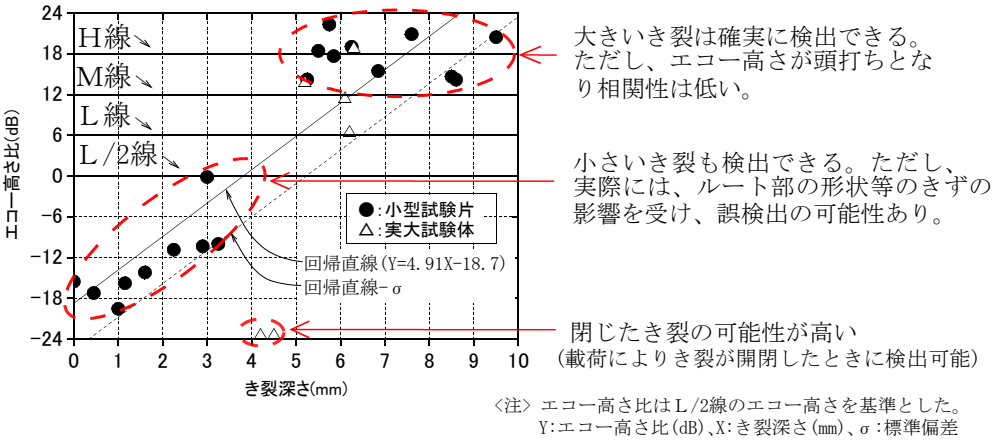
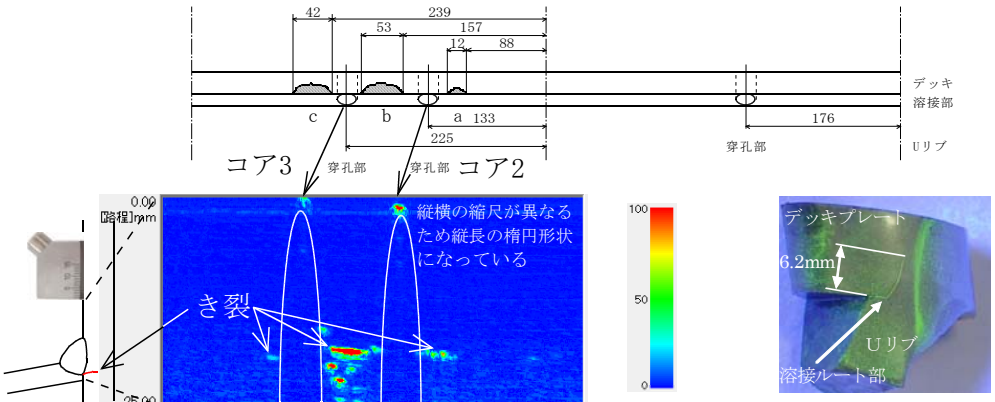


図-参 2.10 探触子前面ときず間水平距離が27mmのときのエコー高さ比とき裂深さの関係（図-解 9.9に追加記入）



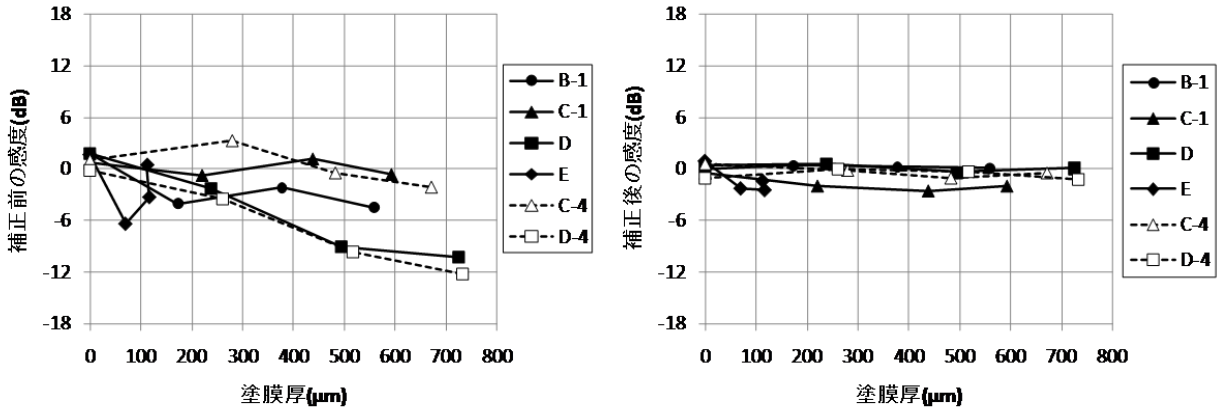
(a) Ｂスコープ

(b) 実大鋼床版試験体の形状寸法および内在しているき裂の深さ

図-参 2.11 実大鋼床版試験体に対する探傷結果

２．３ 塗装小型試験片に対する臨界屈折角の探傷試験結果

塗装が探傷試験結果に及ぼす影響について、各種の塗装を塗布した鋼板を用いて検討した。既設鋼床版に使用されている塗装系として、旧鋼道路橋塗装便覧((社)日本道路協会、昭和54年2月)に掲載されているB-1系、C-1系、E系、D系の4種類と、鋼道路橋塗装便覧((社)日本道路協会、平成2年6月)に掲載されているC-4系、D-4系の2種類の計6種類の塗装系について、塗膜厚を通常の仕様の1倍、2倍、3倍程度となることを目標に変化させたときの感度の低下の度合いを確認する試験を実施した。図-参 2.12に感度補正を実施した前後の感度と塗膜厚の関係を示す。感度の補正をせずに塗装の上から探傷した場合には、+3～-12dB程度の感度のばらつきが生じる結果が得られた。本マニュアル(案)の9.2に示す手法により感度補正を考慮すれば+1～-3dB程度以下に感度のばらつきが低減されており、本マニュアル(案)における感度補正方法の有用性を確認した。



(a) 補正前　　(b) 補正後

補正前の感度：各種の塗膜種類および各種の塗膜厚を有する対比試験片(RB-41 No.1)の深さ5mmの標準穴φ3mmに対して、臨界屈折角の横波斜角探触子を用いて探傷器の表示画面に距離角度振幅特性曲線を作成し、ビーム路程27mmの位置での同曲線を基準としたときの同標準穴のエコー高さ比(dB)を示したもの。ただし、各試験体の塗装なしの面からの同エコー高さ比(dB)に対する差で示した。

補正後の感度：各種の塗膜種類および各種の塗膜厚(塗膜なしを含む)を有する対比試験片(RB-41 No.1)の人工きずがない部分を利用して臨界屈折角の横波斜角探触子を用いて感度補正量を測定し、その補正量を「補正前の感度」に考慮したときの感度(dB)。この補正後の感度が0(dB)とは、対比試験片の人工きずを用いて求められる塗膜の有無に関する感度の補正量と、本マニュアル(案)に示される対比試験片における透過パルスの低減量を用いて求められる塗膜の有無に関する感度の補正量が一致していることを意味する。

図-参 2.12 塗装の上からの探傷試験における塗膜厚と感度の関係

３．浅いき裂の探傷に際しての留意事項

参考資料２.で示したように、探傷条件によっては、図-参 1.1に示す超音波探傷法によって深さ1～2㎜程度以上のき裂を検出可能であることが確認されている。一方、実橋における探傷事例では、溶接ルート部付近に存在する深さ2㎜程度の溶込み不良（Ｕリブ側）や、深さ1㎜程度の極浅いノッチ（デッキプレート側）が存在し（写真-参 3.1)、エコーが検出される事例も確認されている。き裂以外の反射源が不明な状況では、いずれの探傷法においてもこれらのエコーとき裂との識別は困難であるため、エコー高さの小さい場合には探傷結果の評価に注意が必要である。

写真-参 3.1　溶接ルート部付近に発生した深さ1㎜程度の極浅いノッチの例
（浅いき裂との識別が難しいと考えられる事例）

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4138 March 2009

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1－6 電話 029-879-6754