

## 鋼道路橋の溶接継手の品質管理・非破壊検査法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 19～平 21

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：木村嘉富、村越潤、上仙境、  
高橋実

### 【要旨】

鋼道路橋ではコスト削減の観点から構造の簡素化・厚板化が進んでおり、板厚 40～100mm の鋼板に溶接を採用する事例が増えてきている。厚板の溶接や、構造が複雑な溶接など、溶接の難易度に応じて溶接前の事前の品質管理をより一層慎重に行う必要がある。本研究では、鋼道路橋の製作上の品質確保を目的として、製作上の課題と対処法を整理するとともに、非破壊検査法の検討を行った。非破壊検査法に関しては、主要な溶接継手の内部きず検査方法として必要な超音波探傷の仕様、各種超音波探傷装置の性能検証法の提案を目標として、人工欠陥の大きさや形状が既知の試験体を用いた性能確認試験を行った。その結果、およそ 40mm を超える厚板の場合では探触子の仕様を板厚区分で複数に分け、下層側、特に裏面溶接ビード近傍ではビーム幅を小さくした集束斜角探触子を用いることなど複数の仕様の探触子を用いた総合的な探傷が必要であることを明らかにした。また、疑似欠陥試験体を用いることにより、対象とする超音波探傷法が一定レベル以上の性能を有していることを確認可能であることを明らかにした。

キーワード：溶接継手、品質管理、超音波探傷試験、検出性能、性能確認試験

### 1. はじめに

鋼道路橋ではコスト削減の観点から構造の簡素化・厚板化が進んでおり、板厚 40～100mm の鋼板に溶接を採用する事例が増えてきている。一方では、厚板に限らず溶接施工の品質が疲労耐久性に多大な影響を与えており、厚板の溶接や、構造が複雑な溶接など、溶接の難易度に応じて溶接前の事前の品質管理をより一層適切に行う必要がある。

また、溶接後では品質管理として非破壊検査技術に頼らざるを得ないが、厚板の場合、放射線透過試験の探傷能力を越えるため、平成 14 年道示改訂時に、適用性、安全性等の観点から非破壊検査法として超音波探傷法が位置付けられてきている<sup>1)～3)</sup>。超音波探傷試験を適用する際には、使用探傷装置（装置に組み込まれた判定支援ソフトウェアを含む）と適用方法と検査技術者の技能により検出性能のばらつきが大きいため、探傷結果の再現性、記録性および検査技術者の技能への依存度の低減などの面から、信頼性の確かめられた超音波自動探傷装置を用いた超音波探傷試験は有力なものの一つに考えられている<sup>1)～3)</sup>。ここで、信頼性の確かめられた超音波自動探傷装置とは、予め破壊試験を含む性能確認試験により当該検査に必要な性能を満足することが確かめられ

ているとともに探傷試験の過程においてその性能が維持されることが確認されている超音波自動探傷装置を用いる必要がある<sup>4)～6)</sup>。しかしながら、破壊試験を含む性能確認試験の実施には比較的多くの時間・労力・費用を要する課題が挙げられる。一方、例えば原子力分野などの他分野では、検出性能・精度の向上や検査の効率化等の観点から、ビーム路程に合わせてビーム幅や屈折角を制御できるフェイズドアレイ法などの新しい探傷技術の実務への適用が進められており、橋梁分野でも鋼製橋脚の隅角部、特に柱、梁のフランジ-ウェブ間の溶接線が交差する角部（3 溶接線交差部）のように立体的に組み立てられた溶接品質の確保が難しい部材の溶接継手への適用に向けた検討が行われている<sup>7)～10)</sup>。

このような背景のもと、本研究では、鋼道路橋の製作上の品質確保を目的として、製作上の課題と対処法を整理するとともに、非破壊検査法の検討を行った。非破壊検査法に関しては、主要な溶接継手の内部きず検査方法として必要な超音波探傷の仕様、各種超音波探傷装置の性能検証法の提案を目標とした。

## 2. 鋼道路橋の製作時の品質確保のための注意事項について

近年、鋼道路橋の製作において実施された品質管理の調査において、道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編（以下道示Ⅱという）17章施工の規定が適切に守られていない事例が数は少ないもののいくつか確認された。このため、まず、同施工規定の概要を示すとともに、これらの具体的な事例に基づき、品質確保のための基本的事項についての注意事項をまとめた。なお、ここで示す事例は、国土交通省より提供された調査資料の一部を整理分析したものである。

### (1) 施工規定の概要

道示Ⅱ17.1.1解説のとおり、施工の規定には以下に示す4種類がある。下記事例はこれらのいずれかに該当するものである。

1) 製作後の構造について検査を行い、健全性を判断する場合の合否の判定基準を規定したもの  
例) 溶接部の外観検査・内部検査、製作精度等

2) 施工の各段階で守るべき事項や標準的な施工法を示し、それを施工上の規定としたもの  
例) 溶接施工上の注意、開先精度、溶接材料の乾燥、予熱、高力ボルト施工等

3) 標準的な施工法を示さず、その都度施工試験を行って施工法を定める方式、その際の施工試験結果についての判断基準を規定したもの  
例) 溶接施工試験

4) その他品質管理上基本的に守るべき事項を規定したもの  
例) 清掃、乾燥等

### (2) 良好な品質が確保されない具体事例

良好な品質が確保されない具体事例を、品質確保のための基本的事項についての注意事項とともに幾つか述べる。

#### 1) 【事例1】組立溶接

写真-2.1(a)に溶接長さの不足した組立溶接が施工されている事例を示す。組立溶接の品質は本溶接同様に管理して施工する必要があり、溶接割れを防ぐため、溶接長さは80mm以上に定められている（道示Ⅱ17.4.4(2)3）が、規定を満たしていない。

写真-2.1(b)に溶接割れが発生しているが適切な処置が施されていない事例を示す。割れが発生している状態で組立溶接の上に本溶接を行うと、溶接継手内部に割れを内在させることになり良好な品質を確保できない。

本来の対応（道示Ⅱの規定）では、以下のとおりである。

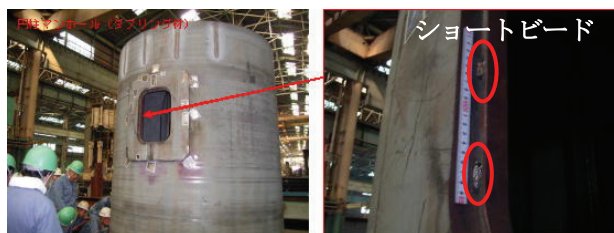
- ア) 溶接長さを確保する。
- イ) 組立溶接完了後、溶接部表面に割れがないことを確認する。
- ウ) 割れ発見時には、原因を究明し適切な対策を講じた上で組立溶接を行う。

#### 2) 【事例2】材片の組合せ精度

写真-2.2にルート間隔が許容値を満たしていない事例を示す。開先溶接のルート間隔の誤差は、規定値 $\pm 1.0\text{mm}$ 以下であり（道示Ⅱ17.4.3）、この規定を満たしていない。写真-2.2(a)の大断面の円柱橋脚の例では、鋼板を押し曲げながら円柱状に成形するため、真円の形状に製作するのが難しい。このため、ダイヤフラムを円柱にはめ込んだ際には、円柱との間にはすき間が生じる場合がある。

本来の対応（道示Ⅱの規定）では、以下のとおりである。

- ア) 製作要領書において、部材の製作精度の確保と対応策について十分検討する（隅角部に設置するダイヤフラム等を一枚板とする場合には、拘束により溶接割れが発生する可能性があるため、分割して製作する等の対応策をとる。）。
- イ) 製作時に開先の角度、ルート間隔、目違い等の数値とそれらの状況写真を同時に記録する等により、材片の組合せ精度等の品質を確認する。



(a) 組立溶接の溶接長さの不足(ショートビード)



(b) 組立溶接の割れの発生

写真-2.1 組立溶接の事

3) 【事例3】近接した部材の溶接

図-2.1 に良好な溶接品質の確保が難しい部位が発生した事例を示す。設計、製作段階で、溶接施工性の確認（道示Ⅱ17.1.1）がなされないまま製作されたため、近接した部材間に、作業空間が狭く溶接が難しい部位が発生した。

本来の対応（道示Ⅱの規定）では、以下のとおりである。

ア) 良好な溶接品質を確保できるように、事前に部材の間隔を広げる等の構造詳細に配慮する等の措置を講じる（構造詳細の見直しが困難な状況の場合には、溶接施工試験等により溶接品質が確保されるよう溶接方法を検討する。）。

4) 【事例4】溶接施工試験

図-2.2 に実構造とは異なる条件で溶接施工試験が行われた事例を示す。採用する溶接方法の施工実績がない場合には溶接施工試験を行う必要がある（道示Ⅱ17.4.4(2)2）が、溶接施工試験体が、実構造を反映したものとなっていないため、実構造における溶接品質が確保されるのか確認が困難となっている。本来の対応（道示Ⅱの規定）では、次のとおりである。

ア) 試験は、用いる試験体形状、部材の回転、溶接姿勢、溶接条件、運棒、実構造物の作業空間などが、実際の製作と同様または実際の製作のうち最も不利な製作で行う必

要がある。

イ) 施工要領書において、溶接施工試験の条件が鋼製橋脚本体の着目箇所での溶接条件を反映しているかどうか確認する。

5) 【事例5】内部きずの検査（道示Ⅱ17.4.6）

隅角部3溶接線交差部を対象とした手動走査による超音波探傷（以下MUT）において、検査技術者によって検出結果が異なる場合が見られる。一般にMUTでは一般に検査技術者の技能に依存する部分が多い。特に、隅角部では、溶接形状やきずの入り方が複雑であることか

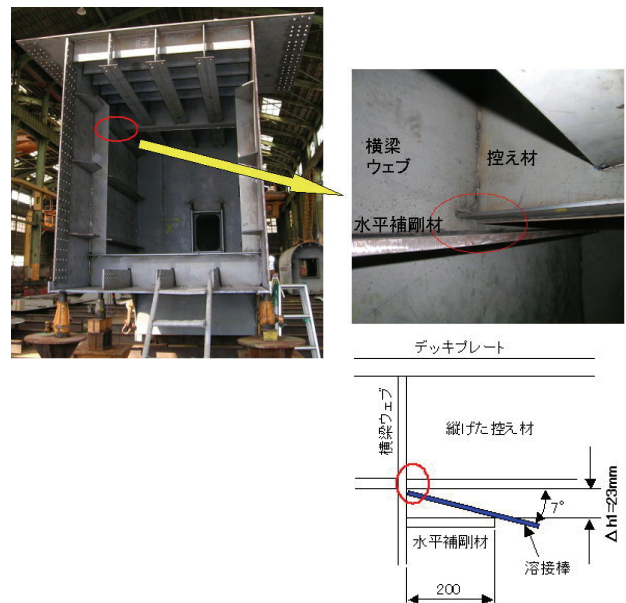
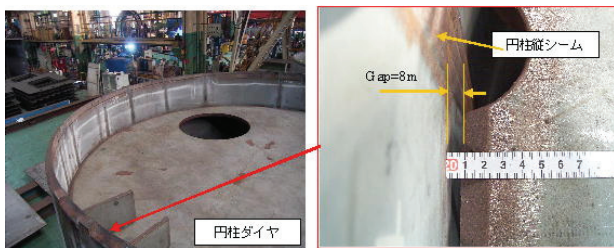
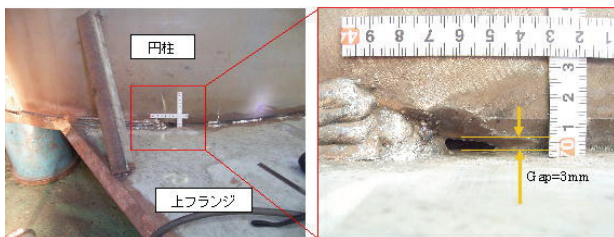


図-2.1 近接させた部材の溶接の例（本溶接前の組立溶接の状態）



(a) 円柱とダイヤフラムの組合せ精度（ルートギャップ）の例



(b) 円柱とはりの上フランジの組合せ精度（ルートギャップ）の例

写真-2.2 円柱とダイヤフラム等の組合せ精度（ルート間隔（ギャップ））の例

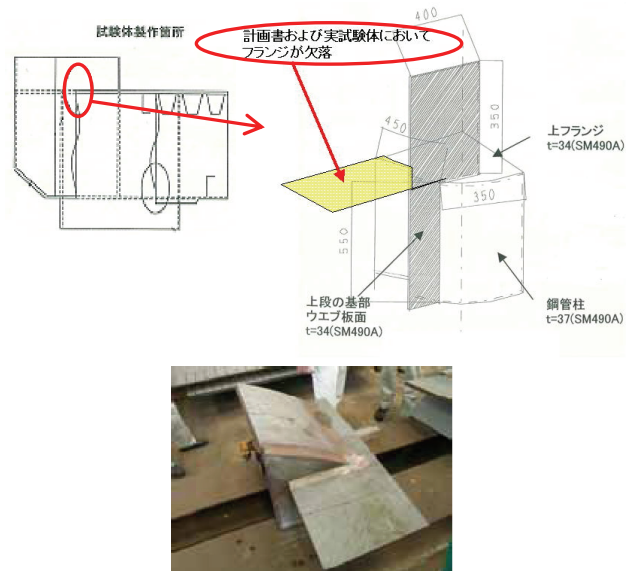


図-2.2 溶接施工試験体と実構造の違い

ら、探傷方法によっては検査結果に差異が生じる場合がある(例えば、図-2.3 参照)。3溶接線交差部においては、溶接不良による未溶着等の発生可能性を勘案の上、垂直・斜角探触子等の複数の探触子を適切に組合せて探傷を行う必要がある(図-2.3、図-2.4)。

特に、一般的な板組形状である“はり一柱ウェブ一枚板タイプ”の場合、溶接施工によっては、ウェブ面に沿って未溶着が発生する可能性があるためウェブ面からの垂直探傷は必須と考えられる。

(3) 他分野の溶接後の非破壊検査に関する調査  
各分野の鋼構造物の溶接後の継手内部の品質管理手法として実施されている非破壊検査の実施の主体、検査員の資格要件、非破壊検査の実施の審査等機関を比較するために、発電用原子力設備、高压ガス設備、船舶、建築鉄骨、鉄道橋の各分野と道路橋に対

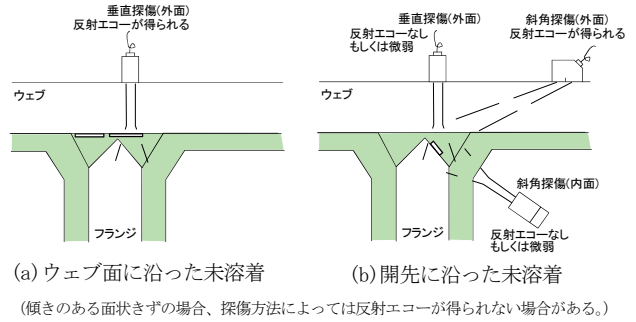


図-2.3 MUT (手動探傷法) における未溶着の探傷イメージ

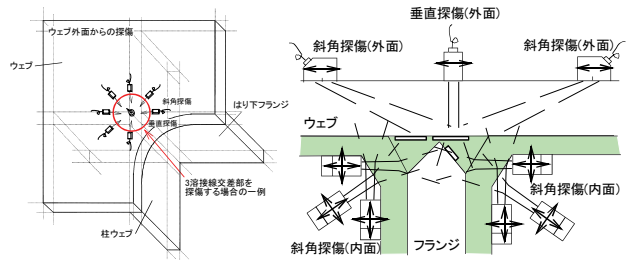


表-2.1 各分野の鋼構造物の溶接内部の非破壊検査の主体、検査員の資格要件、審査等機関の比較

項目	発電用原子力設備	高压ガス設備	船舶	建築鉄骨 (公共建築の場合)	鉄道橋 (独)鉄道建設・運輸施設整備機構と東日本旅客鉄道(株)の場合)	道路橋 (国土交通省直轄の場合)
根拠法令等	電気事業法	高压ガス保安法	鋼船規則 (財)日本海事協会)	公共建築工事標準仕様書(建築工事編) (社)公共建築協会:大臣官房官庁営繕部監修)	・土木工事標準仕様書(独)鉄道建設・運輸施設整備機構 ・土木工事標準仕様書(東日本旅客鉄道(株))	・道路橋示方書(条文は道路局長および都市局長通達。同解説は(社)日本道路協会より発刊。) ・土木工事共通仕様書
検査の主体 ①	発注者 (電力事業者) (電気事業法第52条第3項)	・請負者 ・または、発注者(特例として発注者が設計して製造管理する場合) (特例については高压ガス保安協会発刊の高压特定設備等の検査に関する質疑応答集に記述あり) (高压ガス設備を製造する者) (高压ガス保安法第56条の3第1項)	請負者(RTまたはUT) (造船会社) (財)日本海事協会:船級登録及び設備登録に関する業務提供の条件2.2、鋼船規則M編溶接1.4.1/鋼船規則検査要領M編溶接1.1.4)	請負者(UTまたはRT) (公共建築工事標準仕様書(建築工事編)、7.6.11(b),(c)) ただし、発注者の承諾を受けた第三者機関が実施するよう規定(UTのみ)(公共建築工事標準仕様書(建築工事編)、7.6.11(b))	請負者 (自主検査) (土木工事標準仕様書(独)鉄道建設・運輸施設整備機構)4-4-(6)(RTまたはUT) / 土木工事標準仕様書(東日本旅客鉄道(株))8-2,8-3(RTまたはUT))	請負者 (自主検査)
検査員の資格要件 ②	・JIS Z 2305(非破壊試験-技術者の資格及び認証)による技量を有する者 ・または、これと同等と認められる民間資格 ・または、客観性を有した認定試験による有資格者(経産省令平成12年123号の解釈第75条、第92条、第110条、第128条、第145条、第163条、第181条、第194条)(RTとUT)	なし(第一種特定設備) あり(第二種特定設備)(RTとUT) ・JIS Z 2305(非破壊試験-技術者の資格及び認証)による技量を有する者 ・または、ASNT(米国非破壊検査協会)による技量を有する者 ・または、ASME認定工場であってASME規格による技量を有する者 (平成13年12月原院第5号特定設備検査規則の機能性基準の運用について、別添7第67条(5))	JIS Z 2305(非破壊試験-技術者の資格及び認証)による技量を有する者(RTまたはUT) (鋼船規則検査要領M編溶接、附属書M1.4.2-3.(1)船舶構造の溶接部に対する非破壊検査に関する検査要領、1.2.1)	・(社)日本鋼構造協会の「建築鉄骨品質管理機構」による「建築鉄骨超音波検査技術者」としての技量を有する者(UTのみ) ・または、JIS Z 2305(非破壊試験-技術者の資格及び認証)による技量を有する者(UTのみ) (公共建築工事標準仕様書(建築工事編)、7.6.11(b))	JIS Z 2305(非破壊試験-技術者の資格及び認証)による技量を有する者(土木工事標準仕様書(独)鉄道建設・運輸施設整備機構)4-4-(6)(RTのみ) / 土木工事標準仕様書(東日本旅客鉄道(株))10-9-11(RTとUT))	なし ただし、道路橋示方書II鋼橋編の解説において、検査員の資格要件についての記述あり(UTのみ)。(JIS Z 2305(非破壊試験-技術者の資格及び認証)による技量を有する者)
審査等機関 ③ (「検査の主体」とは独立した、非破壊検査の審査等を行う者の指定)	(独)原子力安全基盤機構 (書面審査及び立会いによる検査の実施体制を实地審査) (電気事業法第52条第3項)	高压ガス保安協会 (協会の検査員が立会い検査) (高压ガス保安法第56条の3第4項)	(財)日本海事協会 (協会の検査員が立会い検査) (鋼船規則M編溶接1.4.1/鋼船規則検査要領M編溶接1.1.4)	なし	なし	なし
その他	電気事業法に①あり、②なし、③あり	高压ガス保安法に①「設備を製造する者」とあり、②なし、③あり	鋼船規則(財)日本海事協会)に①あり、②あり、③あり	・公共建築工事標準仕様書(建築工事編)に①あり、②あり、③なし ・建築工事監理指針(社)公共建築協会において、CIW認定事業所が第三者機関として例示されている(7.6.11(b))。	・土木工事標準仕様書(独)鉄道建設・運輸施設整備機構)に①あり、②あり、③なし ・土木工事標準仕様書(東日本旅客鉄道(株))に①あり、②あり、③なし	

して調査を行った。表-2.1 に分野別の鋼構造物の溶接内部の非破壊検査の実施の主体、検査員の資格要件、非破壊検査の実施の審査等機関を比較を示す。なお、表中では、非破壊検査のうち、放射線透過試験をRT、超音波探傷試験をUTと記載している。発電用原子力設備と高圧ガス設備では、法律に基づいた検査が行われるとともに、検査員の資格要件があり、検査時には審査機関による立会が行われている。船舶では、財団による規則に基づいた検査が行われるとともに、検査員の資格要件があり、検査時には審査機関である財団による立会が行われている。建築鉄骨（公共建築の場合）では、審査機関による立会などは行われていないが、検査員の資格要件があるとともに、超音波探傷試験(UT)による検査において、発注者の承諾を受けた第三者機関による検査が行われている。鉄道橋（(独)鉄道建設・運輸施設整備機構と東日本旅客鉄道(株)）では、審査機関による立会などは行われていないが、検査員の資格要件がある。

道路橋の場合、審査機関による立会などは行われておらず、検査員の資格要件はない。ただし、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編の解説には超音波探傷試験の資格要件の記載があり、実態としては資格を有した検査員が検査を実施している。また、国土交通省関東地方整備局では、これまでに構造的に複雑な鋼製橋脚隅角部については、通常の非破壊検査（請負者が主体の非破壊検査）に加えて、第三者機関としてCIW認定事業者による非破壊検査を行い、さらに、これらの検査の実施および検査結果の書面の審査機関として、さらに別の第三者機関により確認を行う品質管理体制が試行されている。

### 3. 超音波探傷法の性能確認方法および厚板に対する超音波探傷の仕様に関する検討

代表的な溶接継手である突合せ溶接継手を対象として、拡散接合により内挿された人工欠陥の大きさと形状が既知の試験体を用いて、検出性能向上のための超音波探傷の仕様を検討するために探傷試験を行った。また、同検討において、探傷装置が簡易的に一定レベル以上の性能を有していることを確認するための、簡易的な性能確認方法について同時に検討した。

#### (1) 対象とした溶接継手試験体

溶接継手としては完全溶込突合せ溶接継手を取り上げ、人工きずは拡散接合により継手内部に内在さ

せ、破壊試験せずにきず情報を既知として取扱った。図-3.1 に対象とした継手試験体の形状寸法の一例を示す。板厚は25mm、45mm、70mm、95mmの4種類（各1体）とし、幅（溶接線長）は200mmのものを用いた。図-3.1 に示す破線の部分（継手中央）を中心に±100mm（長さ200mm）、幅200mmの大きさの部分に対して拡散接合（拡散接合面については図-3.2(a)参照）が実施されている。拡散接合後、図-3.2(b)に示すように、角度30度のV形の開先を想定した余盛りおよび裏ビードを炭酸ガスアーク溶接により肉盛りされている。さらに、図-3.2(c)に示すように、所要の長さ（板厚25mmでは800mm、板厚45,70,95mmでは1,200mm）とするために、拡散接合部分を挟むようにK形の開先を設けた同厚同幅の鋼板が炭酸ガスアーク溶接による多層盛り溶接により接合されている。この溶接で生じる余盛りビードは切削して平滑に加工したものをを用いた。きず位置は、既往の研究<sup>6)</sup>を参考に（図-3.3参照）きずが見逃されやすい検出が困難な領域に配慮しつつ、きずの見逃しが比較的少

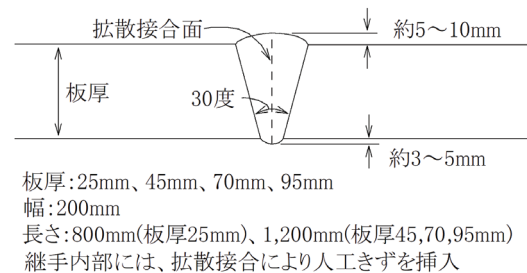


図-3.1 完全溶込突合せ継手の形状寸法の一例

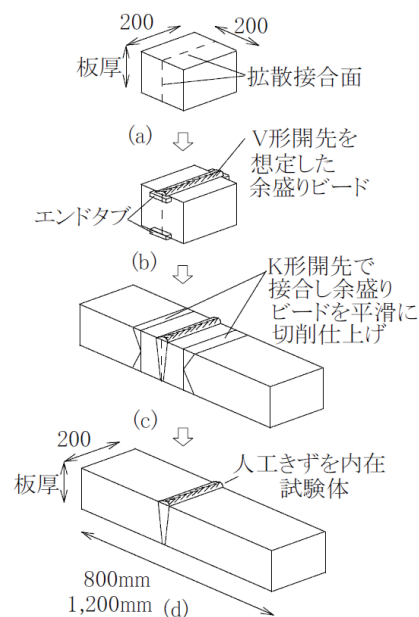


図-3.2 拡散接合による試験体

ない領域も含めて板厚全般に渡って分布するように定めた。

(2) 対象とした超音波探傷装置の仕様

表-3.1 に使用した探触子の主な仕様を示し、写真-3.1 に外観写真を示す。板厚 25mm と 45mm については周波数と屈折角と振動子寸法の異なる表-3.1(a) に示す 2 種類の通常の斜角探触子(写真-3.1(a)、(b))を用い、板厚 70mm と 95mm については表-3.1(a) に示す周波数 3.5MHz、屈折角 65 度の通常の斜角探触子を用いた。また、板厚 70mm については、通常の斜角探触子と比較するために、表-3.1(b) に示す集束斜角探触子を用いた(写真-3.1(c))。図-3.4 に集束斜角探触子(周波数 5MHz、屈折角 65 度、振動子寸法  $\phi$  28mm) のビーム形状を示す。図中には比較のため通常の斜角探触子のビーム形状を示す。ビーム形状の測定は JIS Z 2350 に従って実施した。

表-3.2 に探傷装置(探触子を除く)の主な仕様を示し、写真-3.2 に外観写真を示す。また、探触子を除いた探傷装置(ただし妨害除去などのソフトウェアは含む)が検出性能に及ぼす影響を確認するために、板厚 25mm の場合に 2 種類の探傷装置を用いた。探傷装置はいずれも探触子の走査を自動で行う超音波自動探傷装置とし、このうち、探傷装置 1 については、実きず試験体の破壊試験を含む性能確認試験により検出性能が確認されているものを用いた(板厚 40, 60, 80, 100mm の実きず試験体(探傷後に破壊試験により実きず情報を確認)に対する  $t/6\text{mm}$ ( $t$ :板厚)を限界受入れ寸法としたときの検出率が約 90%、空振り率が約 40%。検出率と空振り率については次項の(3) 評価項目を参照)。

(3) 評価項目

性能確認試験における主な評価項目は、溶接線方向の長さが許容寸法  $t/6\text{mm}$  を越える単独のきず(そのきずの周辺に他のきずがないもの)の検出率ときずの空振り率とした。

図-3.5 および以下にきずの検出、空振りの定義を示す。

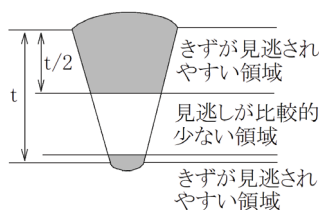


図-3.3 検出が困難なきずの分布領域<sup>6)</sup>

$$\text{検出率} = \frac{\text{超音波探傷により検出されたきずの個数}}{\text{実際のきずの個数}}$$

$$\text{空振り率} = \frac{\text{架空に検出した超音波探傷のきず指示の個数}}{\text{超音波探傷で得られた指示の総数}}$$

まず、きずを中心として周りに直方体を設定する。その直方体の長さは実際のきずの長さ  $L$  に等しく、 $k$  方向および  $d$  方向には 20mm の大きさを設定した。超音波探傷による指示が直方体内に存在するか否かで、そのきずの検出の有無を評価した。空振りとはきずが存在していないにもかかわらず、存在すると判定した場合であるが、超音波探傷指示のうちきずを中心とした直方体内部に全く含まれない場合とした。

空振り率については、補修手間や補修による溶接品質低下の可能性を踏まえ、システムを総合的に評価する上で、検出率とともに考慮したものである。

(4) 探傷試験と探傷結果

探傷試験における検出レベル(不合格きずを判定

表-3.1 使用した探触子の主な仕様

(a) 通常の斜角探触子(非集束斜角探触子)

周波数	5MHz	3.5MHz
屈折角	70度	65度
振動子寸法	10×10mm	14×14mm

(b) 集束斜角探触子

周波数	5MHz
屈折角	65度
振動子寸法	$\phi$ 28mm
集束の種類	点集束
集束範囲(ピーク-6dB)	23~45mm



(a) 通常の斜角探触子 (5MHz、70 度、10×10mm)

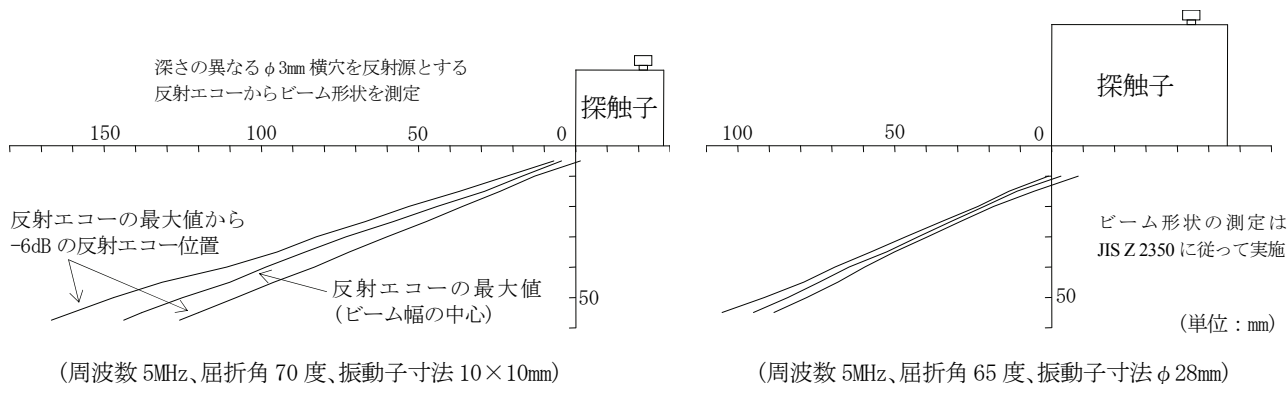
(b) 通常の斜角探触子 (3.5MHz、65 度、14×14mm)



(c) 集束斜角探触子 (5MHz、65 度、 $\phi$  28mm)

ここで、括弧内の数値はそれぞれ(周波数、屈折角、振動子寸法)を示す。

写真-3.1 使用した探触子の外観

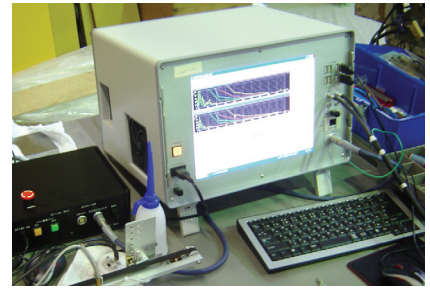


(a) 通常の斜角探触子 (b) 集束斜角探触子

図-3.4 使用した集束斜角探触子のビーム形状

表-3.2 使用した探傷装置の主な仕様

探傷装置の名称	1	2
使用アンプ	ログ	リニア
エコー収録方式	全エコー収録方式	
距離振幅補正方式	距離振幅補正	距離振幅補正または距離振幅補償または併用
カップリングチェック方式	林状エコー	底面エコー
データ収録最小ピッチ	1mm×1mm	1mm×1mm
指定領域以外からのエコー(目的外エコー)の排除機能(ソフトウェアによる事後処理)	有り(指定領域は矩形のみ)	有り(指定領域は余盛りビードおよび裏ビード内を含めた多角形)



(a) 探傷装置1 (性能確認試験により検出性能を確認) (b) 探傷装置2

写真-3.2 探傷装置の外観

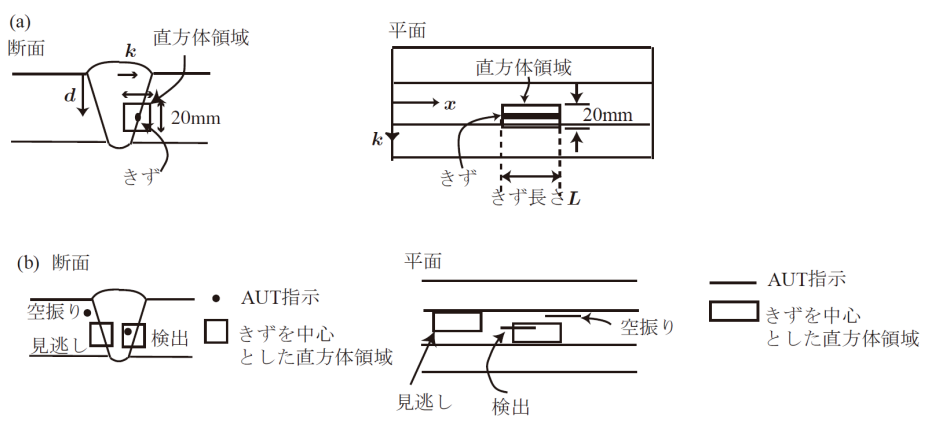


図-3.5 きずの検出、空振りの定義

するための反射エコーのエコー高さのしきい値)は、エコー高さ区分線のL線、L/2線、L/4線の3種類とした。ここで、エコー高さ区分線のL線、L/2線、L/4線とは、JIS Z 3060に示される感度調整用対比試験片(RB-41 No. 1~No. 3)の深さの異なるφ3mm横穴からの反射エコー高さをH線としたときの、H線-6dB(H線の1/2の値)をM線、H線-12dB(H線の1/4の値)をL線、H線-18dB(H線の1/8の値)をL/2線、H線-24dB(H線の1/16の値)をL/4線としたものである。探傷面は継手の両面両側の計4面とした。

図-3.6に板厚25mmに対して3.5MHzの周波数の通常の斜角探触子を使用したときの各探傷装置の検出率と空振り率を示す。L検出では、探傷装置1と探傷装置2のいずれも検出率が約60%以下と低い結果となった。L/2線を検出レベルとした場合(以下L/2検出という)とL/4線を検出レベルとした場合(以下L/4検出という)では、探傷装置1が検出率100%と高い結果となった。空振り率は約20~60%であり、探傷装置2では感度が高くなると空振り率も高くなった。探傷装置の性能としては、破壊試験を含む性能確認試験で性能が確認されている装置1よりも装置2の方がLを検出レベルとした場合(以下L検出という)を除いたL/2検出とL/4検出において検出率が高く、空振り率が低い結果となった。装置1で未検出となっただけは必ずしも図-3.3に示した検出が困難なきずの分布領域のものであった。装置2で空振りとなった指示は必ず位置と同じ溶接線方向の位置において深さの異なる裏ビード内に位置する指示が多かった。板厚が25mmの場合、検出率と空振り率の点から、3種類の検出レベルの中では、L/2検出が適切であることがわかる。

図-3.7に板厚25, 45, 70, 95mmに対して3.5MHzの周波数の通常の斜角探触子を使用し、検出レベルをL/2検出とL/4検出としたときの探傷装置2の検出率と空振り率を示す。板厚95mmの結果については、裏面側の2面のカップリングが不良のため、表面2面の探傷結果を示した。板厚95mmは条件が異なるため一概には言えないが、板厚が厚くなるに従って検出率が低下する傾向が確認できる。L/2検出に比べて感度の高いL/4検出の方が検出率は高くなるが、空振り率は高くなる傾向となった。未検出のきずは必ずしも図-3.3に示した検出が困難なきずの分布領域のものであった。

図-3.8に板厚70mmに対して通常の斜角探触子と集束斜角探触子の2種類の探触子を使用したときの

探傷装置2の検出率と空振り率を板厚区別および検出レベル別に示す。図中の板厚中央とは、板厚の表裏より10mmを除いた部分を指し、ビード近くとは板厚の表裏より10mm以内の部分指す。同図(a)より通常の斜角探触子では、板厚中央では、L/2検出では検出率が約80%、空振り率約10%であるが、L/4検出に検出レベルを上げると、空振りがなくなるとともに検出率が100%となることわかる。ビード近くでは、L/2検出が検出率100%、空振り率0%と性能が高く、L/4検出になると検出率は100%を維持

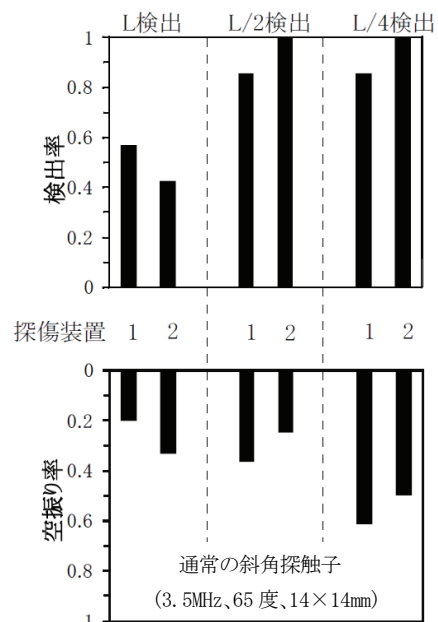


図-3.6 板厚25mmの検出率と空振り率

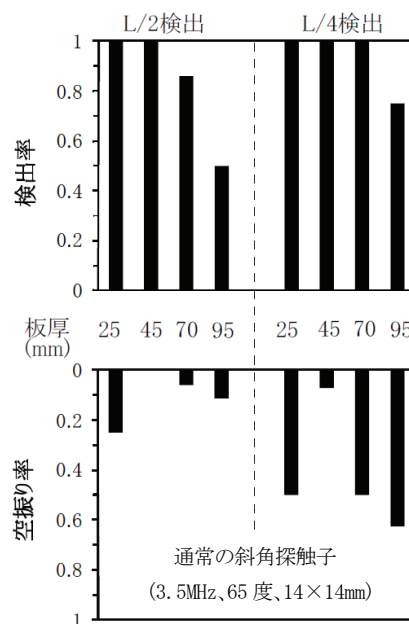
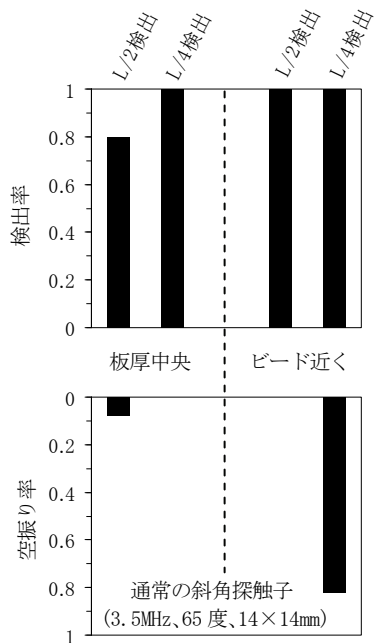
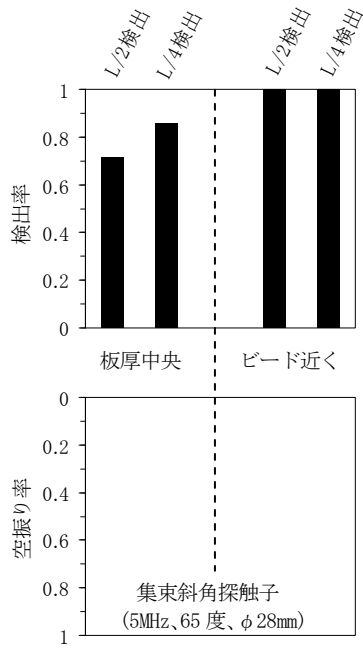


図-3.7 各板厚のL/2検出とL/4検出時の検出率と空振り率(探傷装置2)





(a) 通常斜角探触子



(b) 集束斜角探触子

図-3.8 集束斜角探触子を用いたときの板厚70mmの検出率と空振り率(探傷装置2)

しているが、空振り率が約80%と劣る結果となっている。同図(b)より集束斜角探触子では、板厚中央では、L/2 検出、L/4 検出のいずれも検出性能は90%に至らず、ビード近くでは、いずれの検出率も100%となっている。空振り率は板厚区分、検出レベルにかかわらず0%と優れた性能を有している結果となった。

板厚が厚い場合における検出率の向上と空振り率の低減させるためには、通常の斜角探触子により板

厚中央をL/2 検出より高めの検出レベルで探傷し、ビード付近ではビード形状による虚エコーを誤検出ししない程度の検出レベル(L/2 検出程度)および集束斜角探触子を用いること等、板厚区分毎に、複数の検出レベルおよび複数の仕様の探触子を用いた総合的な探傷が必要であることを明らかにした。

また、既往の研究<sup>6)</sup>を参考にきずが見逃されやすい検出が困難な領域(図-3.3参照)に配慮し、大きさと形状が既知の人工きずを有する拡散接合試験体を用いて性能確認試験を行った。その結果、実きず試験体の破壊試験を含む性能確認試験により検出性能が確認されている超音波探傷装置を用いた場合、見逃されやすい検出が困難な領域の人工きずに対する検出性能は、実きずに対する検出性能とほとんど同様の結果が得られた。従って、大きさと形状が既知の人工きずを有する拡散接合試験体を用いた性能確認試験においても、探傷装置が一定レベル以上の性能を有していることを確認可能であることがわかった。

#### 4. まとめ

本研究では、鋼道路橋の製作上の品質確保を目的として、製作上の課題と対処法を整理するとともに、非破壊検査法の検討を行った。非破壊検査法に関しては、主要な溶接継手の内部きず検査方法として必要な超音波探傷の仕様、各種超音波探傷装置の性能検証法の提案を目標として、拡散接合により内挿された人工欠陥の大きさと形状が既知の試験体を用いた性能確認試験を行った。本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

(1) 鋼道路橋の溶接部、特に、近年、疲労損傷の被害が報告されている鋼製橋脚隅角部や鋼床版の溶接部を対象とした製作事例を調査・分析し、同事例に基づいた設計、製作上の留意事項と不具合発生を防止するための対策事例をとりまとめた。

(2) 鋼道路橋の溶接部のうち、代表的な突合せ溶接継手を対象として、拡散接合により内挿された人工欠陥の大きさと形状が既知の試験体を用いた探傷試験を行い、欠陥検出性能が従来より高いと考えられる超音波探傷装置の一仕様を示した。

(3) 同試験により、拡散接合により内挿された人工欠陥の大きさと形状が既知の試験体を用いることにより、対象とする超音波探傷法が一定レベル以上の性能を有していることを確認可能であることを明らかにした。

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、平成 14 年 3 月。
- 2) (社)日本道路協会橋梁委員会：道路橋示方書の改訂について、(社)日本道路協会、道路、4 月号、pp. 23-32、平成 14 年 4 月。
- 3) 西川和廣他：小特集 道路橋示方書改訂、(株)建設図書、橋梁と基礎、7 月号、pp. 11-31、平成 14 年 7 月。
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所、東京工業大学、日本道路公団、(社)日本橋梁建設協会、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本非破壊検査工業会：鋼道路橋溶接部の非破壊検査手法に関する共同研究報告書(I)、国土技術政策総合研究所資料、第 31 号、平成 14 年 3 月。
- 5) 中谷昌一、西川和廣、玉越隆史、川端淳、高橋実、田中正明：鋼道路橋溶接部の超音波自動検査要領・同解説、国土技術政策総合研究所資料、第 30 号、平成 14 年 3 月。
- 6) 三木千寿、西川和廣、白旗弘実、高橋実：鋼橋溶接部の非破壊検査のための超音波自動探傷システムの性能確認、(社)土木学会、土木学会論文集、No. 731/I-63、pp. 103-117、平成 15 年 4 月。
- 7) 独立行政法人土木研究所、東京工業大学、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州四国連絡橋公団、名古屋高速道路公社、広島高速道路公社、福岡北九州高速道路公社、(社)日本橋梁建設協会、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本非破壊検査工業会：鋼製橋脚隅角部の非破壊検査法に関する共同研究報告書(I)、共同研究報告書第 313 号、平成 16 年 3 月。
- 8) 村越潤：隅角部の非破壊検査技術、(財)首都高速道路技術センター、技術講演会講演概要集「鋼道路橋と疲労損傷」、pp. 61-71、平成 16 年 2 月。
- 9) 村越潤：鋼橋の疲労と検査・評価技術、(財)溶接接合工学振興会、「溶接・接合部の経年劣化評価技術」、第 15 回セミナー資料、pp. 63-77、平成 16 年 10 月。
- 10) 藤木修、村越潤、高橋実：鋼製橋脚隅角部を対象としたフェイズドアレイ探傷法の基礎検討、第 59 回年次学術講演会講演概要集 I 部門、I-603、pp. 1203-1204、平成 16 年 9 月。
- 11) 高橋実、藤木修、村越潤：鋼製橋脚隅角部を対象としたフェイズドアレイ法による超音波探傷試験の性能試験について、(社)日本道路協会、第 26 回日本道路会議論文集、14030、2005 年 10 月。
- 12) 高橋実、村越潤、木村嘉富：超音波探傷法の性能維持確認方法に関する一検討、土木学会、第 65 回年次学術講演会、2010 年 9 月(投稿中)。