

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)

平成16年3月

独立行政法人 土木研究所
日本道路公団
阪神高速道路公団
名古屋高速道路公社
広島高速道路公社
(社)日本鉄鋼連盟

東京工業大学
首都高速道路公団
本州四国連絡橋公団
福岡北九州高速道路公社
(社)日本橋梁建設協会
(社)日本非破壊検査工業会

Copyright © (2005) 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。

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)

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
福岡北九州高速道路公社
広島高速道路公社
(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

要 旨

本報告書は、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、福岡北九州高速道路公社、広島高速道路公社、(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の 12 者により実施した鋼製橋脚隅角部の非破壊検査法に関する共同研究(平成 14 ～ 15 年度)における研究成果の一部をとりまとめたものである。

本研究では、隅角部の溶接部の品質管理のためのより一層の性能向上を目指した超音波探傷法の提案を目的としており、主な検討内容は、1)隅角部の構造に関する調査、2)隅角部溶接内部に発生するきずの整理・分析、3)既存調査研究事例を踏まえた各種探傷法に関する基礎調査、4)各種探傷法の性能確認試験である。本報告書では、このうち、1)～3)の研究成果を報告するものである。

キーワード：鋼製橋脚、隅角部、非破壊検査、超音波探傷法

共同研究参加機関および担当者名簿

(平成16年3月現在 順不同)

独立行政法人 土木研究所
構造物研究グループ橋梁構造チーム

村 越 潤
高 橋 実
藤 木 修

名古屋高速道路公社
工務部設計課

武 田 好 正
飯 田 字 朗

東京工業大学
工学部 土木工学科教授

三 木 千 壽
佐々木 栄 一

福岡北九州高速道路公社
建設部技術管理課

上 森 誠
白 石 法 行

日本道路公団
技術部構造技術課

角 昌 隆 (H14.10 ～ H15.11)
猪 熊 康 夫 (H15.11 ～)
水 口 和 之
芦 塚 憲一郎

広島高速道路公社
企画調査部技術管理課

甲 斐 雅 和
鈴 木 晃

首都高速道路公団
工務部設計技術課

小田桐 直 幸
並 川 賢 治 (H14.10 ～ H15.3)
斎 藤 亮 (H15.4 ～)
溝 口 孝 夫

(社)日本橋梁建設協会

藤 平 正一郎
綿 谷 剛
一 井 延 朗

阪神高速道路公団
工務部設計課

長 沼 敏 彦
伊 藤 進一郎

(社)日本鉄鋼連盟

松 井 和 幸

本州四国連絡橋公団
長大技術センター技術開発課

藤 原 亨
森 山 彰

(社)日本非破壊検査工業会

清 田 文 範

※ 本研究を進めるにあたり、(財)首都高速道路技術センター構造管理部緊急対策室の町田文孝氏、加藤昌彦氏(H14.10-H15.3)、村野益巳氏、柳沼安俊氏にご協力頂いたので、ここに謝意を表します。

目 次

1. 研究概要	1
1. 1 研究の背景と目的	1
1. 2 研究の内容	1
2. 鋼製橋脚隅角部の構造に関する調査	3
2. 1 調査内容	3
2. 2 調査結果	4
3. 鋼製橋脚隅角部溶接部に発生するきずの整理、分析	8
3. 1 検討内容	8
3. 2 溶接施工試験結果に基づくきずの整理、分析	10
3. 3 隅角部において発生が想定されるきずの整理	26
4. 超音波探傷法に関する基礎検討	32
4. 1 検討内容	32
4. 2 最近の超音波探傷技術の動向	32
4. 3 隅角部における一探触子パルス反射法適用時の課題と検出性能の 向上が期待される探傷技術	35
4. 4 隅角部を対象とした各種の探傷事例	38
4. 5 本研究において検討対象とする探傷法	45
5. まとめ	46
参考文献	47
参考資料	48
参考資料－1：鋼製橋脚隅角部の品質確保の徹底について	49
参考資料－2：鋼製橋脚隅角部「十字溶接部および3線交差部」製作管理体制フロー（案）	53
参考資料－3：首都高速道路公団における新設鋼製橋脚隅角部の製作要領書の例	59

1. 研究概要

1.1 研究の背景と目的

近年、既設鋼製橋脚隅角部において溶接部近傍に疲労亀裂が発見され報告されている¹⁾。これらの疲労損傷については、これまでの各種の調査検討により損傷原因の推定が行われ、厳しい活荷重実態や設計、製作上の各種要因と損傷との関係について明らかにされつつある^{1)~3)}。隅角部の疲労亀裂の多くは、隅角部の溶接内部の未溶着などを起点として発生しており、当該部の疲労耐久性の向上を図る上で溶接品質の確保が重要となっている。特に柱、梁のフランジ-ウェブ間の溶接線が交差する角部では、溶接が難しい接合面が生じることから、新設鋼製橋脚の設計、製作時に板組や溶接手順に配慮するとともに、適切な非破壊検査法を用いることにより、製作時に要求された溶接品質を確認することが求められている。

鋼道路橋の溶接内部の品質確認の方法としては、平成 14 年改訂の道路橋示方書において、完全溶込み突合せ溶接継手の非破壊検査法として放射線透過試験と超音波探傷試験が位置付けられ、検査方法の充実が図られている⁴⁾。40mm を越える板厚では放射線透過試験の探傷能力の適用限界を越えることから、超音波探傷試験によることを標準とし、あらかじめ破壊試験を含む実証試験などにより、信頼性の確かめられた超音波自動探傷装置によることとしている。

鋼製橋脚の隅角部のように立体的に組み立てられた部材の溶接継手では、放射線透過試験の適用が困難なため、手動による超音波探傷(MUT)が一般的に用いられているが、これまで破壊試験等による信頼性を確認するだけの十分な資料が必ずしも得られているわけではない。MUT では、検査技術者の技能に依存する部分が大きく探傷結果の記録性や再現性に乏しいこと、さらに隅角部の角部近傍は構造的に複雑であり検査自体が難しいこと等を踏まえると、各種の超音波自動探傷装置の適用性を検討するとともに、検出性能に優れた探傷法を明らかにすることが必要と考えられる。一方、他の鋼構造分野では原子力施設やガス導管等の溶接部の非破壊検査において、検出性能・精度の向上や検査の効率化の観点から、フェイズドアレイ法等の新しい探傷技術の実務への適用検討が進められており^{例えば 5)~9)}、橋梁への応用も期待されている。

以上の背景のもとに、本研究では、新設鋼製橋脚隅角部の溶接部を対象として、製作時の品質管理のためのより一層の性能向上を目指した超音波探傷法の提案を目的として実施するものである。

1.2 研究の内容

調査研究内容を以下に示す。また、図-1.1に研究の年次計画を示す。

1) 隅角部の構造に関する調査

新設鋼製橋脚隅角部の板組、板厚等の、探傷条件に関係する隅角部構造の諸元を把握する。

2) 隅角部溶接内部に発生するきずの整理・分析

探傷条件・方法の検討に資するために、製作方法を踏まえたきずの位置、種類等を把握する。

3) 各種探傷法に関する基礎調査

鋼構造溶接部の超音波探傷技術に関する最近の調査研究事例や開発動向を調査するとともに、隅角部へ

の適用が考えられる探傷法の検討を行う。

4) 各種探傷法の性能確認試験

適用性が高いと考えられる超音波探傷法を対象に、実きずを内在した試験体による各種探傷法の性能確認試験の実施および性能評価を行うとともに、探傷法の提案を行う。

本報告書では、上記のうち、1)～ 3)の研究成果をとりまとめたものであるが、以下、4)の検討内容について若干触れておく。

性能確認試験では、新設鋼製橋脚隅角部の溶接部を対象として、許容きず寸法より長い内部きずを検出し、検出したきずの位置を特定できるか否かを確認する。対象とする溶接部としては、角柱断面の隅角部（柱 WW タイプ²⁾）における角部の3溶接線交差部とそれ以外の十字継手部及びT字継手部である。探傷法については、上記 1)～ 3)の検討を踏まえ、3溶接線交差部への適用性や将来性が期待される方法の一つとしてフェイズドアレイ法を抽出し、これを主な対象として各種性能確認試験による性能評価、探傷方法の検討を行う。また、10 連タンデムアレイ法、一探触子パルス反射法、TOFD 法等についても併せて実きず試験体による性能確認試験を行う。試験体として、①機械加工などによる人工きずを有する単純な形状の基礎試験体、②人工きずを有する隅角部を模した試験体及び③実きずを有する隅角部を模した試験体、を用いて性能確認試験を行う。①では近接した複数のきずエコーの分解能（深さをパラメータ）や傾きを有するきずエコーの検出性能（きずの傾きをパラメータ）等の性能評価を、②では隅角部における溶接形状と板組の幾何学的な形状や、形状エコーの影響を受ける場合の検出性能の評価を行う。また、③では実際に行う探傷条件を再現するとともに、試験要領を作成し結果の評価に対し客観性が保証されるよう配慮し、内部きずの検出性能（検出、空振り、見逃しの個数と比率、きずの長さ、高さ寸法等）の評価を行う。

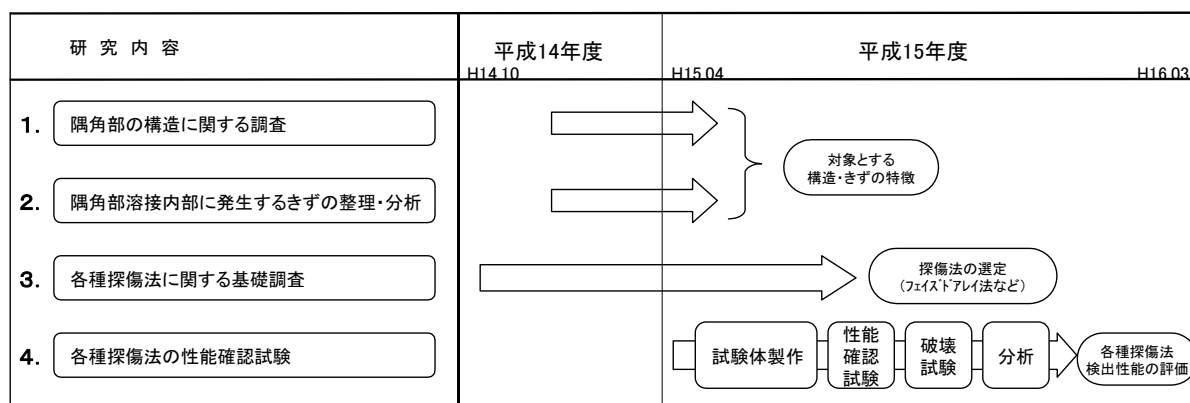


図-1.1 研究計画

2. 鋼製橋脚隅角部の構造に関する調査

2.1 調査内容

各種探傷法のきずの検出性能の評価に当たっては、実際に適用する探傷試験の試験条件を再現した条件下において性能確認を行う必要がある。特に、板厚が厚くなり超音波のビーム路程が長くなるときず検出が難しくなることや、探傷面に対して接近限界や幾何学的な探傷距離の確認が必要なことから、隅角部の探傷法としてはこれらの板厚への適用を保証できる方法であることが求められる。過去に旧土木研究所等により実施された AUT に関する共同研究^{10),11)}においても、きずの検出性能は板厚に強く依存するとしており、性能確認試験ではこれらの板厚範囲を保証できる試験体を用いることが必要と考えられる。そこで、性能確認試験に用いる試験体到新設橋脚の構造諸元（断面形状、板組、寸法形状）を反映させるために、公団、公社において建設計画中の鋼製橋脚を対象として、隅角部の板組、適用板厚等の傾向について概略の調査を行った。調査では、建設が計画されている鋼製橋脚のうち、現時点で図面化されており、かつ、構造の詳細が確認できる設計事例を対象とした。

調査項目を以下に示す。

- ・ 機関名
- ・ 橋脚番号
- ・ 工区
- ・ 断面形状（角柱、円柱）
- ・ 板組（首都高速道路公団における既設鋼製橋脚隅角部の板組分類による。）
- ・ 橋脚、横梁の断面寸法（幅×高さ、直径）
- ・ 部材板厚（脚フランジ、脚ウェブ、横梁フランジ、横梁ウェブ、ダイヤフラム）

2.2 調査結果

(1) 断面形状

図-2.1、表-2.1に断面（角柱、円柱）別の鋼製橋脚の比率・本数を示す。調査により集計された鋼製橋脚の柱本数は、459 本であり、この内 93 %が角柱断面である。ここで、調査結果は橋脚一基毎ではなく、橋脚の柱一本毎に計上している。例えば、門型橋脚では柱二本、T型橋脚では柱一本として計上している。

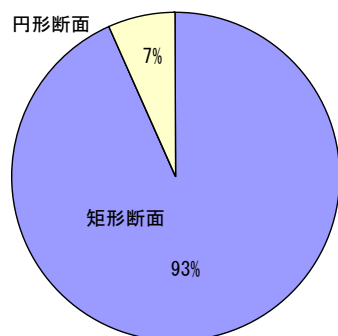


図-2.1 断面別比率

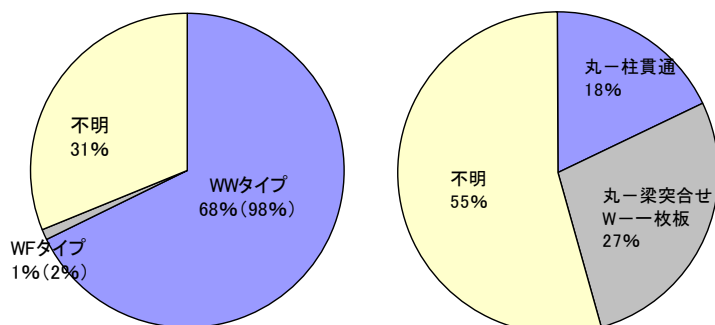
表-2.1 機関別の鋼製橋脚柱本数

機関	矩形断面		円形断面		計	
	(本)	(%)	(本)	(%)	(本)	(%)
日本道路公団	1	25%	3	75%	4	1%
首都高速公団	100	85%	18	15%	118	26%
阪神高速公団	40	100%	0	0%	40	9%
名古屋高速公社	179	98%	4	2%	183	40%
広島高速公社	77	91%	8	9%	85	19%
福北高速公社	29	100%	0	0%	29	6%
計	426	93%	33	7%	459	100%

注：平成15年8月時点での調査結果

(2) 板組

図-2.1に板組別の鋼製橋脚の比率・本数を示す。ここで、板組の分類は、首都高速道路公団においてまとめた既設橋脚における板組分類²⁾によることとした。"不明"とは、板組について未回答のものであるが、これを除けば、角柱断面では大部分（98 %）は角柱WWタイプである。



〔 () 内は、不明を除いた場合の比率 〕

(a) 角柱断面

(b) 円柱断面

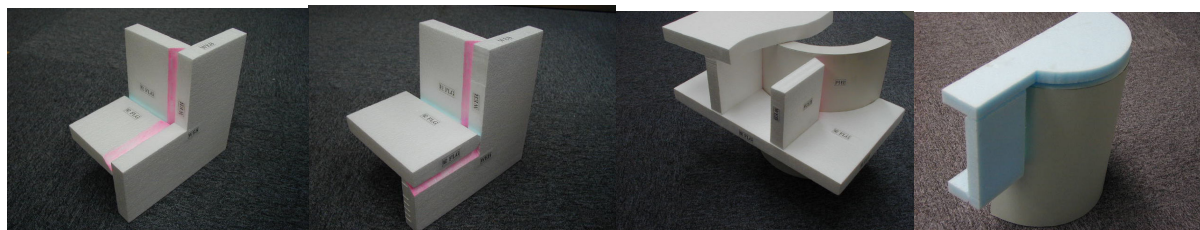
図-2.2 板組別比率

表-2.2 板組別の柱本数

矩形断面	本数	割合
角柱WWタイプ	289	68%
角柱WFタイプ	5	1%
不明	132	31%
計	426	100%

円形断面	本数	割合
丸一柱貫通	6	18%
丸一梁突合せW一枚板	9	27%
不明	18	55%
計	33	100%

【参考：各タイプの板組構造】



角柱WWタイプ

角柱WFタイプ

丸一柱貫通

丸一梁突合せW一枚板

(3) 板厚

図-2.3に代表的な隅角部の各部位の名称と、図-2.4および図-2.5にそれぞれ角柱・円柱断面における部位別の板厚分布および統計値を示す。調査結果には、板組が不明なデータも含めているが、各部位の名称は板組構造が異なる場合でも同一と考えられることから、ここでは全データを同等に扱うこととした。ウェブ板厚は15.0mm～88.0mm（最頻値34.0mm、平均値38.4mm）であり、20mm～80mm程度の広範囲の板厚をカバーできる探傷技術であることが要求される。

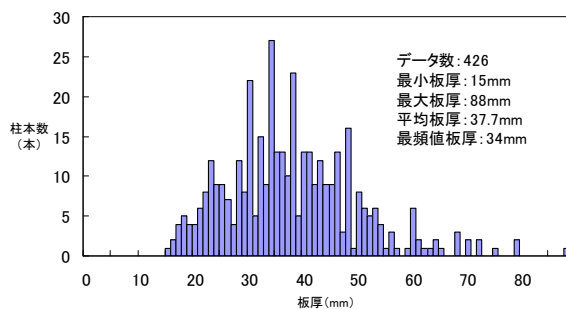


(a) 角柱断面（角柱WWタイプ）

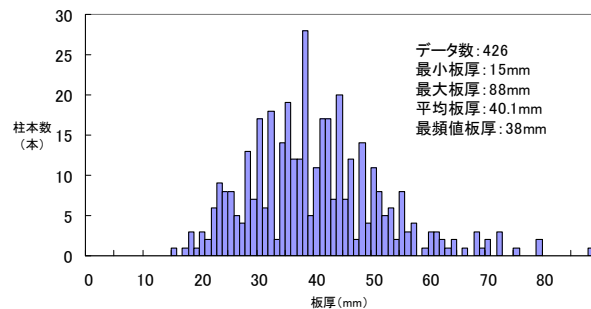


(b) 円柱断面（丸一梁突合せW一一枚板）

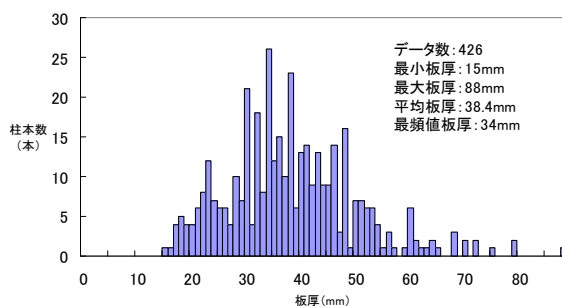
図-2.3 隅角部の各部位名称



(a) 柱フランジ



(b) 梁フランジ、ダイヤフラム

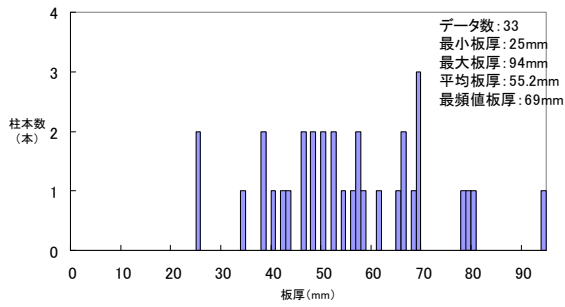


(c) 隅角部ウェブ

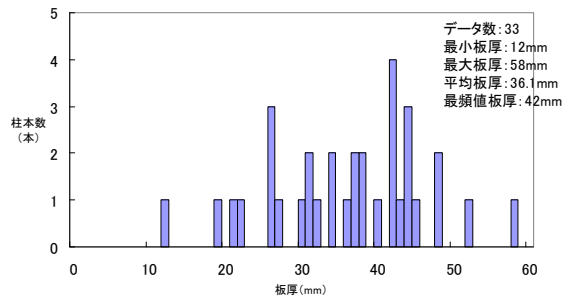
部 位	最小板厚	最大板厚	平均板厚	最頻値板厚
柱フランジ	15.0mm	88.0mm	37.7mm	34.0mm
梁フランジ、ダイヤフラム	15.0mm	88.0mm	40.1mm	38.0mm
隅角部ウェブ	15.0mm	88.0mm	38.4mm	34.0mm

(d) 部位別の板厚統計値

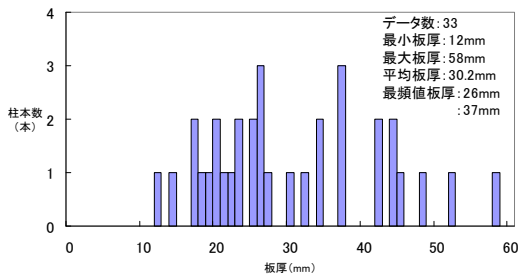
図-2.4 角柱断面隅角部における板厚分布



(a) 柱



(b) 横梁フランジ、ダイヤフラム



(c) 横梁ウェブ

部 位	最小板厚	最大板厚	平均板厚	最頻値板厚
柱	25.0mm	94.0mm	55.2mm	69.0mm
横梁ウェブ	12.0mm	58.0mm	30.2mm	26.0mm
横梁フランジ、ダイヤフラム	12.0mm	58.0mm	36.1mm	42.0mm

(d) 部位別の板厚統計値

図-2.5 円柱断面隅角部における板厚分布

図-2.6に角柱断面隅角部におけるウェブ板厚とフランジまたはダイヤフラム板厚との関係を示す。隅角部ウェブとフランジまたはダイヤフラムは、ほぼ同じ板厚となっているが、複合構造（隅角部内部にコンクリートを充填）などの特殊な構造の場合には、板厚差が大きくなっている。複合構造を除いた分布では、板厚比（各部位の板厚／隅角部ウェブの板厚）0.8～1.2の間に95%が含まれている。

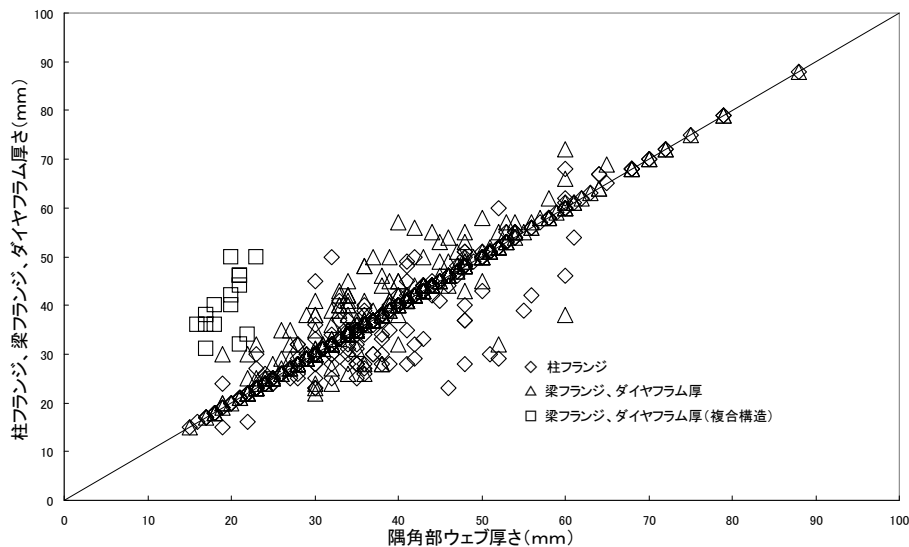


図-2.6 角柱断面隅角部の板厚組合せ

(4) まとめ

調査結果を、以下にまとめる。

1) 断面

隅角部の断面形状としては、角柱断面が大部分（調査橋脚数 459 本のうち約 9 割）を占めている。

2) 板組

隅角部の板組構造としては角柱 WW タイプが大部分（板組が明らかな構造のうちの 98 %）を占めている。

3) 板厚

隅角部の板厚としては、ウェブに関して 15.0mm ～ 88.0mm（最頻値 34.0mm、平均値 38.4mm）となっている。板厚が厚くなり超音波のビーム路程が長くなるときず検出が難しくなることや、探傷面に対して接近限界や幾何学的な探傷距離の確認が必要なこと等から、各種探傷法の適用性の検討に当たっては、これらの板厚の範囲に対して検討することが必要と考えられる。

また、梁・柱ウェブとフランジ等の板厚の組合せについては、特殊な構造を除いて極端に異なる板厚組合せは見られなかった。

以上の調査結果等を踏まえ、本研究では、角柱 WW タイプを主な対象として検討を進めていくこととする。また、性能確認のためのきず内在試験体としては、20mm ～ 80mm の範囲をカバーできるような板厚を選定することとする。

【※参考：鋼製橋脚隅角部の品質確保のための措置】

平成 14 年 9 月に、直轄、公団等において、隅角部の品質管理をより一層徹底する観点から、鋼製橋脚隅角部の品質確保の徹底についての事務連絡等（参考資料-1）が出されている。今回の研究に係わる主な事項を以下にまとめる。

設計 ・良好な溶接品質が確保できるように板組に配慮。

（角柱断面では、隅角部で横梁と柱のウェブ板が優先した構造を基本。首都高速道路公団、阪神高速道路公団では、横梁、柱ともウェブを優先させること（角柱 WW タイプ）を原則としている。）

・柱と梁の角部のウェブにフィレットを設ける。

施工 ・完全溶込み溶接継手では、当面、溶接止端部の仕上げを行う。

・やむを得ない場合を除き、裏当金付溶接継手を用いない。

・裏はつりを徹底する。

検査 ・完全溶込み溶接継手の溶接われは、原則として全線にわたって UT を実施。

・UT では、当面、検出レベルを $L/2$ 線として内部きずの実寸法を 1mm 単位で評価し、その最大値が $t(\text{板厚})/3$ 以下の場合を合格。

・仮組立検査を実施する場合においては、抜取りにより完全溶込み溶接継手の UT を実施。

3. 鋼製橋脚溶接部に発生するきずの整理、分析

3.1 検討内容

検査の対象となる溶接部の内部のきずの位置、種類、大きさ等は、探傷条件を検討する上であらかじめ把握しておかなければならない情報である。また、超音波探傷法の性能を確認する場合に用いる試験体製作においても、実きずの入り方に関する情報が必要となる。

既設・新設橋脚の製作方法を対象とした既存の溶接施工試験結果を収集し、3溶接線交差部に発生している実きずの状態を断面マクロ写真から確認するとともに、溶接方法を踏まえて角柱断面隅角部において発生する可能性のあるきずについて抽出、整理した。表-3.1に検討対象とした溶接施工試験の概要を示す。

きずの抽出は、日本橋梁建設協会において、新設隅角部（角柱WWタイプ）に対して作成している「製作管理体制フロー（案）」（参考資料-2参照）に準じた製作方法において製作した場合を対象として行った。

具体的には、以下の2種類のきずに区分して整理した。

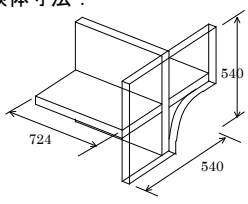
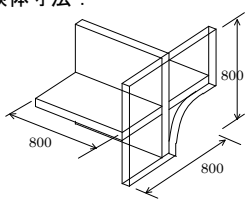
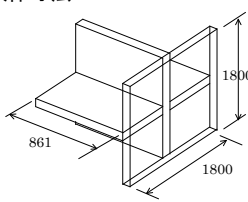
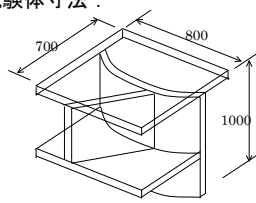
1) 偶発的に発生する可能性があると考えられるきず

（道路橋示方書の規定に従い、十分な管理の下で適切に製作された場合においても、溶接施工時の微妙な条件（溶接トーチの運棒、前パスの積層形状、清掃状態など）の変化によって、偶発的に発生する可能性があると考えられるきず）

2) 偶発的に発生する可能性はほとんどないと考えられるが、疲労への影響が大きいと考えられるきず

（既設鋼製橋脚では内在する未溶着が亀裂の起点となっていることを踏まえ、十分な管理の下で適切に製作された場合には偶発的に発生する可能性はより小さいが、内在した場合、疲労への影響が大きいと考えられるきず、未溶着）

表-3.1 検討対象とした溶接施工試験の概要

No.	施工試験	試験体数	製作方法	3線交差部マクロ試験の概要
①	角形鋼製橋脚隅角部の溶接施工法および超音波探傷に関する検査・検討¹²⁾ 建設分野における未来接合技術懇話会の参加会社（橋梁メーカーなど14社）が、各社の標準的な施工法で角形鋼製橋脚の隅角部（角柱WWタイプ）を模した試験体の溶接施工および超音波探傷を実施し、溶接施工法の有意差の検証、超音波探傷検査法の検討を行ったもの。	試験体数20体（角柱WW） ※上記のうち10体において分析を実施	従来からの製作方法で実施。 （研究目的の試験体） 試験体寸法：  反転および溶接姿勢：実施工を想定 じゃま板：リブ板あり	ウェブ内面位置での1断面のみ採取
②	現地非破壊検査の予備試験 （橋梁メーカー数社にて実施（H15.1）） 既設鋼製橋脚の現地非破壊検査の前検討として、測定寸法精度の確認を目的とし実施した、既設鋼製橋脚の構造を模擬した試験体による非破壊検査方法の確認試験	試験体数12体（角柱WW） ※上記のうち5体において分析を実施	従来からの製作方法で実施。 （既設橋脚の製作手順を再現） 試験体寸法：  反転および溶接姿勢：実施工を想定 じゃま板：リブ板あり	5mmピッチで断面を採取
③	首都高速道路公団の工事に対応した溶接施工試験 （請負工事JV各社にて実施（H15.6～）） 首都高請負工事における鋼製橋脚製作会社による実工事を想定した新設角柱WWタイプ橋脚の溶接施工試験。 ※工事における製作要領の一例を参考資料-3に示す。なお添付した製作要領は、請負工事JVの一例であり、ここで対象とした試験体（別のJVが製作）の製作要領とは異なる。	複数の請負工事JVの中の1JVで実施された試験体2体（角柱WW） ※上記のうち2体において分析を実施	製作管理体制フロー（案）に従った、各社の製作方法で実施。 （実工事を想定した製作手順で実施） 試験体寸法：  反転および溶接姿勢：実施工を想定 じゃま板：リブ板あり	2mmピッチで断面を採取
参考 ④	首都高速道路公団の工事に対応した溶接施工試験 （請負工事JV各社にて実施（H15.4）） 首都高請負工事における鋼製橋脚製作会社10社による実工事を想定した新設円柱橋脚の溶接施工試験。	複数の請負工事JVで実施された試験体10体（円柱） ※分析は実施せず	各社個別に検討した製作方法で実施。 （実工事を想定した製作手順で実施） 試験体寸法：  反転および溶接姿勢：実施工を想定 じゃま板：リブ板あり	5mmピッチで断面を採取

3.2 溶接施工試験結果に基づくきずの整理、分析

(1) 溶接施工試験①¹²⁾

試験体 10 体における隅角部ウェブ内面位置の断面マクロ試験結果を基に、きずの発生位置（部位、棒継部、積層部位）、種類について分類・整理した。表-3.2にきず分類の記号、図-3.1に分類記号の略図を示す。また、表-3.3に溶接線毎のきずの分類結果を、図-3.2～3.11に、きずの発生状況について整理した結果を示す。

以下に主な結果をまとめる。

- ・きずの種類としては、3線交差部ではパス間の融合不良、一般部ではパス間のスラグ巻き込みが多い（図-3.2）。
- ・3線交差部、一般部とも積層の中間層付近において、きずの発生数が多い（図-3.2）。
- ・3線交差部では、コーナー部のカット有りの場合が、無しの場合に比べて、きずの発生数が少ない。（図-3.5）。
- ・コーナー部のカットを行った場合、全体のきず発生数は少ないが、きず寸法（t/6）を越えているきずの発生数が多い結果となっている（図-3.6）。しかし、一般的にカットを行うことにより3線交差部の施工性は向上すると考えられること、各社の技量のばらつきもあること、マクロ断面が1断面であること等を考慮すると、カットの有無が許容きず寸法を越えるきずの発生数に与える影響は明らかでない。

表-3.2 きずの分類記号

分類	内容	記号
部位	ウェブと柱フランジの貫通溶接のうち、梁フランジの板厚内	WF
	梁フランジ（隔板）のコーナー部	FC
	上記以外の部分	GE
棒継ぎ	棒継ぎ部	A
	棒継ぎ部以外	N
積層部位	初層部	F
	中間部	M
	余盛部	R
きずの種類	ルート面の溶け込み不足	IP
	開先面の融合不良	BLF
	ガウジング面の融合不良	GLF
	パス間の融合不良	PLF
	開先面のスラグ巻き込み	BSI
	ガウジング面のスラグ巻き込み	GSI
	パス間のスラグ巻き込み	PSI

※文献12)では、ブローホールについても集計しているが、疲労強度に与える影響が少ないと考えられるから、ここでは除いている。

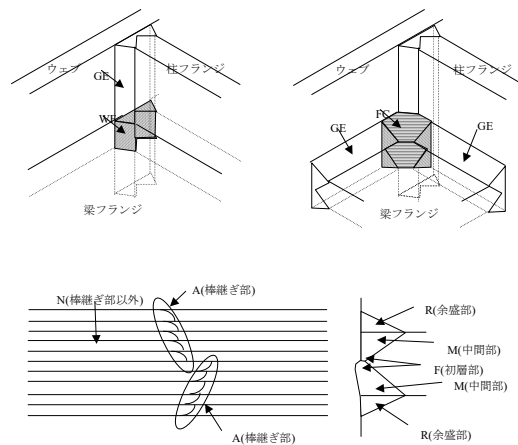
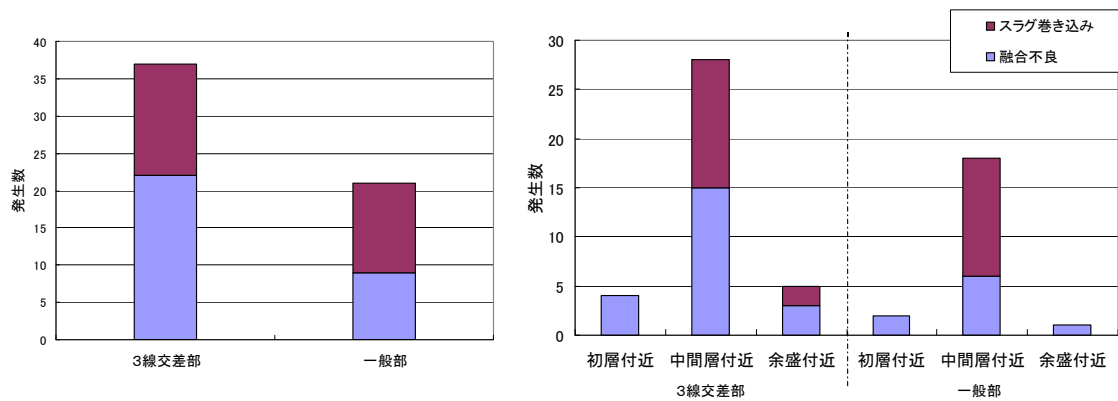


図-3.1 きずの分類記号の略図

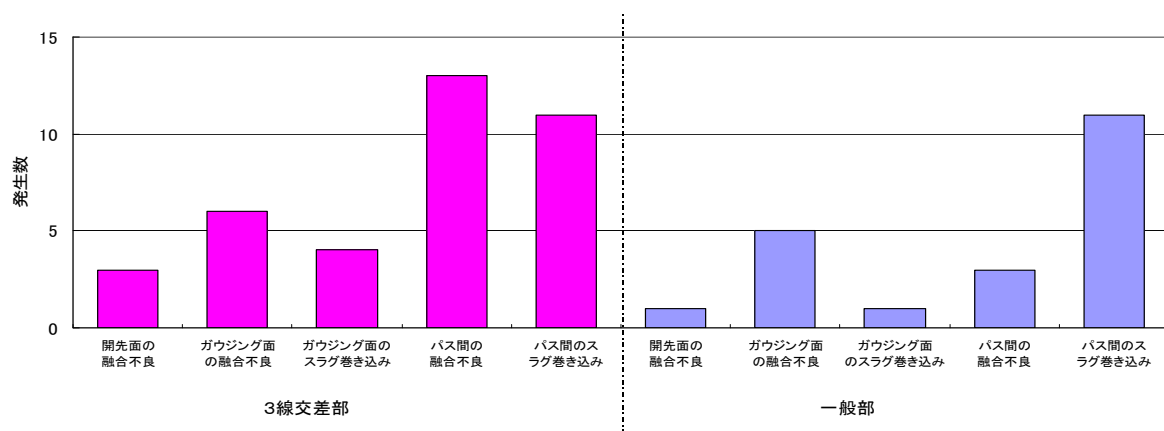
表-3.3 きずの分類結果

溶接線	部位	棒継ぎ	積層	きずの種類	原因	きずの数
ウェブと柱 フランジの 溶接	WF	A	F	BLF	棒継ぎ部のビード重ね不良、整形不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
				GLF	棒継ぎ部のビード重ね不良、整形不良、溶融金属先行によるコールドラップ	2
			M	BLF	棒継ぎ部のビード重ね不良、整形不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
				PLF	棒継ぎ部のビード重ね不良、整形不良、溶融金属先行によるコールドラップ	5
				GSI	スラグ除去不良、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
				PSI	スラグ除去不良、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	2
		N	M	PLF	ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
			R	PLF	ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
ウェブと梁 フランジ又 はダイヤフ ラムの溶接	FC	A	M	GLF	棒継ぎ部のビード重ね不良、整形不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
				PSI	スラグ除去不良、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	3
			R	PLF	棒継ぎ部のビード重ね不良、整形不良、溶融金属先行によるコールドラップ	2
		N	F	GLF	裏はつり形状不良、オーバーラップ、狙い位置不良、運棒不良	1
				M	PLF	ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ
			BLF		オーバーラップ、狙い位置不良、運棒不良	1
			GLF		裏はつり形状不良、オーバーラップ、狙い位置不良、運棒不良	2
			GSI		スラグ除去不足、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	3
			PSI	スラグ除去不足、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	4	
R	PSI	スラグ除去不足、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	2			
一般部	GE	N	F	GLF	裏はつり形状不良、オーバーラップ、狙い位置不良、運棒不良	2
				M	PLF	ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ
			BLF		オーバーラップ、狙い位置不良、運棒不良	1
			GLF		裏はつり形状不良、オーバーラップ、狙い位置不良、運棒不良	3
			GSI		スラグ除去不足、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
			PSI		スラグ除去不測、ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	11
			R	PLF	ビード形状不良、溶融金属先行によるコールドラップ	1
計						58



(a) 部位別きず発生数

(b) 深さ位置別きず発生数



(c) 種類別きず発生数

図-3.2 きず発生数

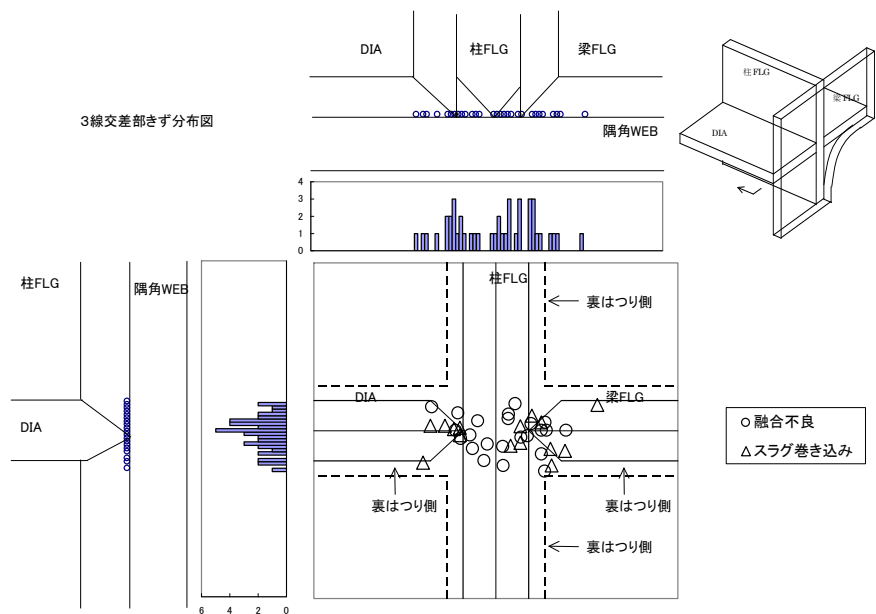


図-3.3 きず種類別分布

表-3.4 各社の施工方法別のきずの発生状況

施工法	板厚 (mm)	コーナー部カ ット有無	溶接姿勢	コーナー部 連続溶接	きず発生箇所数（マクロ1断面）			
					融合不良		スラグ巻き込み	
					きず寸法 $\leq t/6$	きず寸法 $> t/6$	きず寸法 $\leq t/6$	きず寸法 $> t/6$
A社	30	あり	下&横	連続	2	0	1	0
B社	50	なし	下&横	連続	1	0	0	0
D社	36	なし	下&横	連続	1	2 (1)	6	0
E社	36	なし	下&横	断続	3	0	0	0
H社	46	あり	下	連続	0	2 (0)	0	0
I社	36	なし	下	連続	4	0	8	0
L社	36	あり	下	断続	2	5 (3)	0	0

注1) きず寸法は、採取されている1断面内の最大長さとしている。

2) 発生きず箇所数のカッコ内の個数は、きず寸法 $t/6$ を超えるきずの中で、きず寸法 $t/3$ を超えるものを示す。

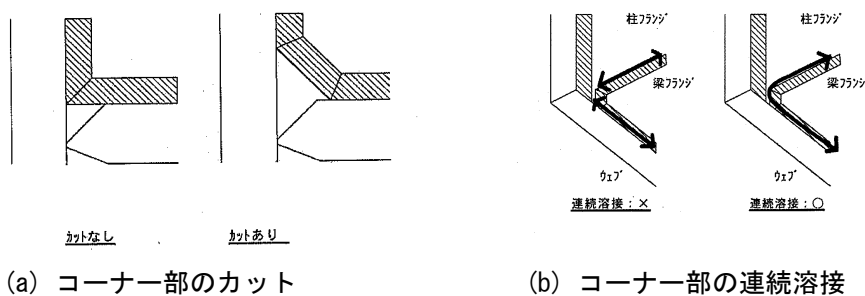
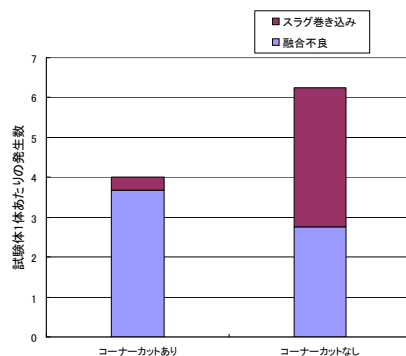
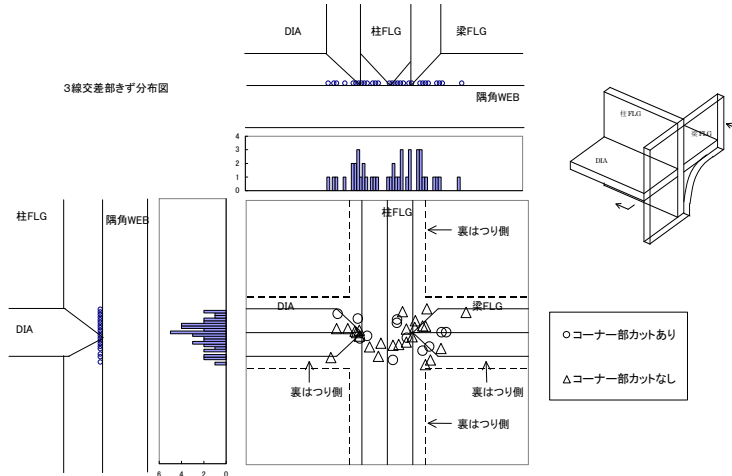


図-3.4 コーナー部の処置

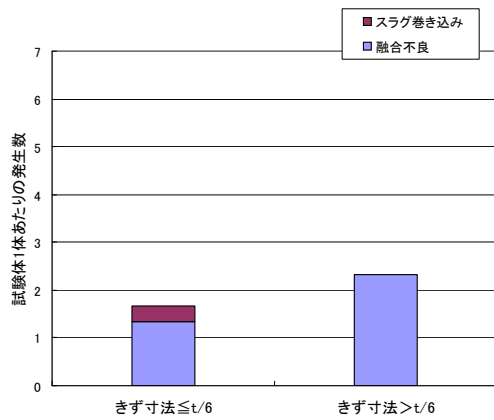


(a) 施工法によるきず発生数

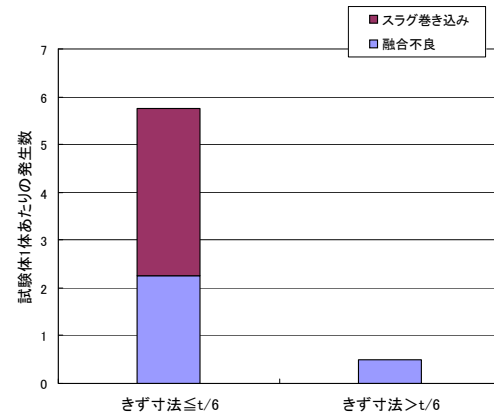


(b) 施工法別きず分布

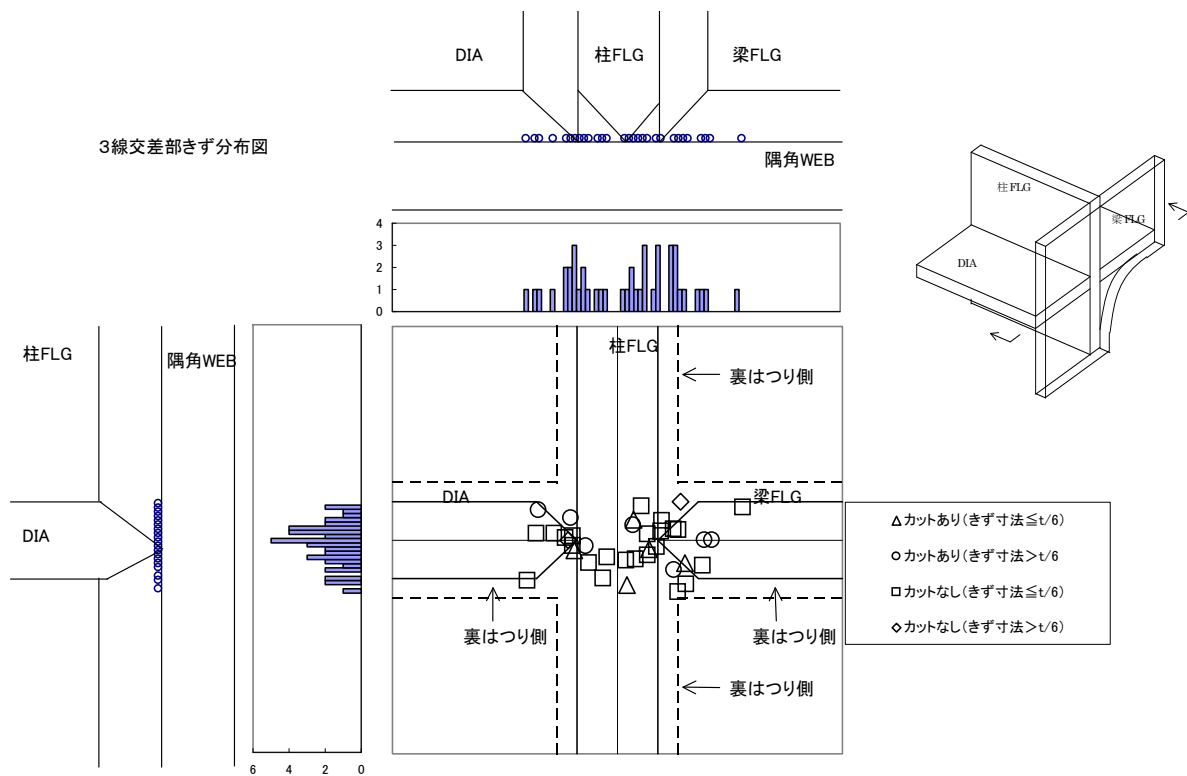
図-3.5 施工法別の発生数および分布



(a) コーナー部カットあり



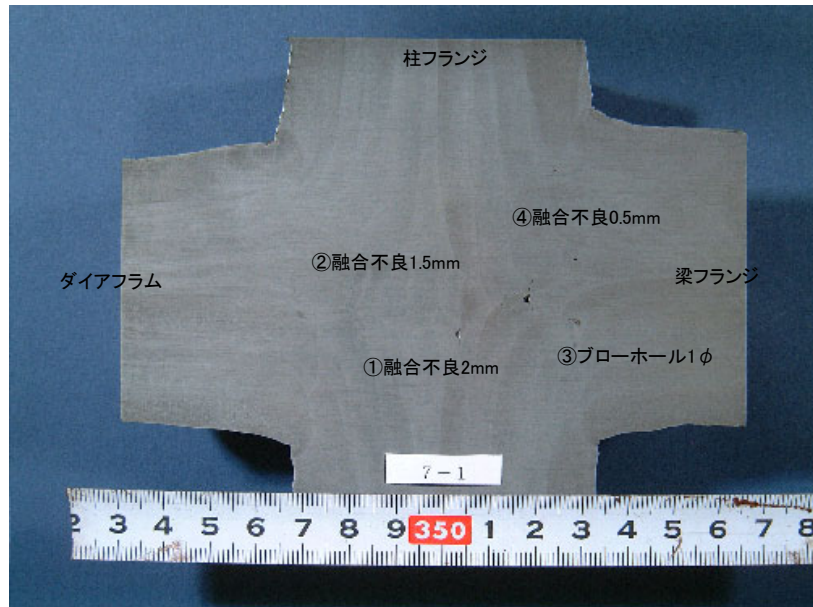
(b) コーナー部カットなし



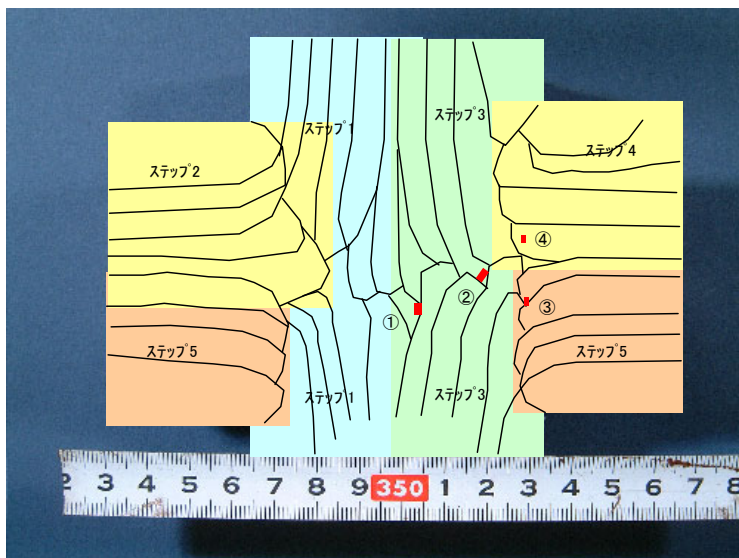
(c) きず寸法による分布

図-3.6 きず寸法による発生数および分布

以下、図-3.7～3.9にウェブ内面位置での断面マクロ写真と、写真から推定される溶接状況、きず発生状況およびきずパターン分類を示す。



(a) 断面マクロ写真

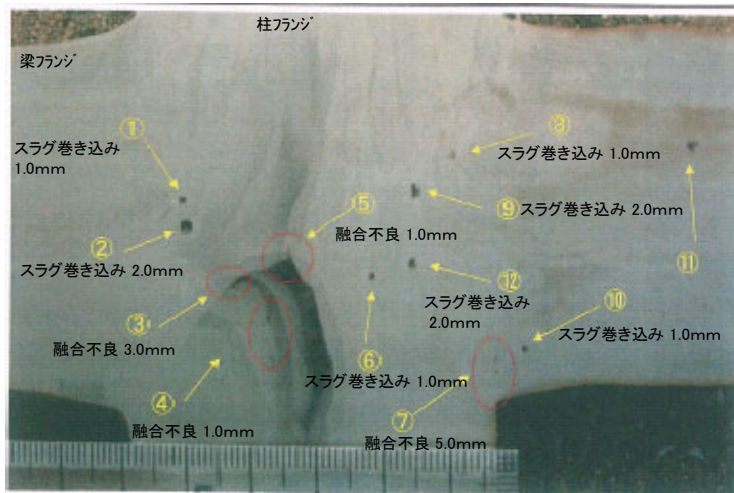


- ①柱フランジの溶接はつり不良または溶接棒継ぎ部に発生 (パターン3, 2)
- ②柱フランジの溶接棒継ぎ部に発生 (パターン2)
- ③柱フランジの溶接と梁フランジの溶接交差部に発生 (パターン4)
- ④柱フランジの溶接と梁フランジの溶接交差部に発生 (パターン4)

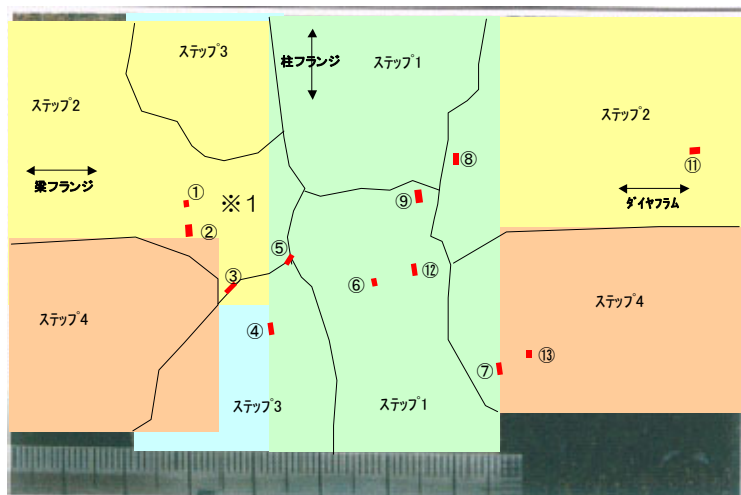
※溶接パス数および溶接順序は、断面マクロ写真からの推定であり、ヒアリング等により確認をしたものではない。

(b) 想定される溶接状況および溶接順序

図-3.7 きず発生例 (E社)



(a) 断面マクロ写真



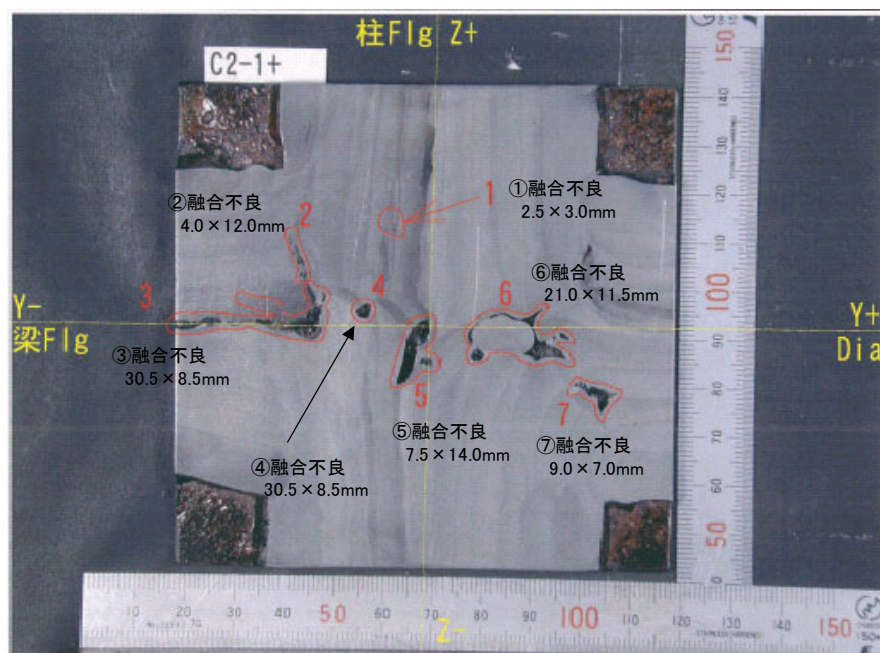
※溶接順序は、断面マクロ写真からの推定であり、ヒアリング等により確認したのではない。なお、断面マクロ写真からは溶接パスの推定は困難であったため未記入。

- ① 梁フランジの溶接交差部に発生
- ② 梁フランジの溶接交差部に発生
- ③ 梁フランジの溶接交差部に発生
- ④ 柱フランジの溶接パス間に発生 (ハターン1)
- ⑤ 柱フランジの溶接と梁フランジの溶接交差部に発生
- ⑥ 柱フランジの溶接パス間に発生 (ハターン1)
- ⑦ ダイヤフラムの溶接交差部に発生 (ハターン4)
- ⑧ ダイヤフラムの溶接交差部に発生 (ハターン4)
- ⑨ 柱フランジの溶接棒継ぎ部に発生 (ハターン2)
- ⑩ ダイヤフラムの溶接パス間に発生 (ハターン5)
- ⑪ ダイヤフラムの溶接パス間に発生 (ハターン5)
- ⑫ 柱フランジの溶接パス間に発生 (ハターン1)

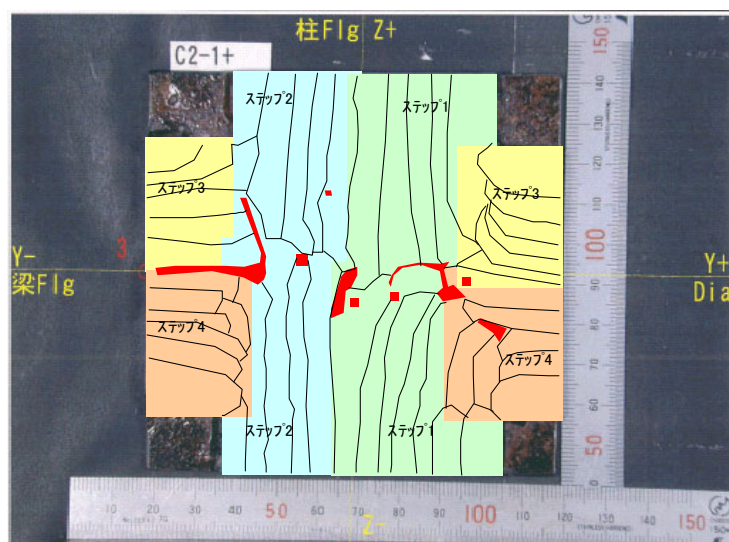
※1：柱フランジの裏側溶接(ステップ3)よりも、梁フランジの溶接(ステップ2)を先行していると推定される。

(b) 想定される溶接状況および溶接順序

図-3.8 きず発生例 (I社)



(a) 断面マクロ写真



※溶接パス数および溶接順序は、断面マクロ写真からの推定であり、
ヒアリング等により確認をしたものではない。

(b) 想定される溶接状況および溶接順序

図-3.9 きず発生例 (L社)

- ① 柱フランジの溶接パス間に発生 (パターン1)
- ② 梁フランジの溶接交差点に発生 (パターン3)
- ③ 梁フランジの溶接パス間に発生 (パターン5)
- ④ 柱フランジの溶接棒継部に発生 (パターン2)
- ⑤ 柱フランジの溶接棒継部に発生 (パターン2)
- ⑥ 柱フランジの溶接棒継部に発生 (パターン2)
- ⑦ ダイヤグラムの溶接交差点に発生 (パターン6)

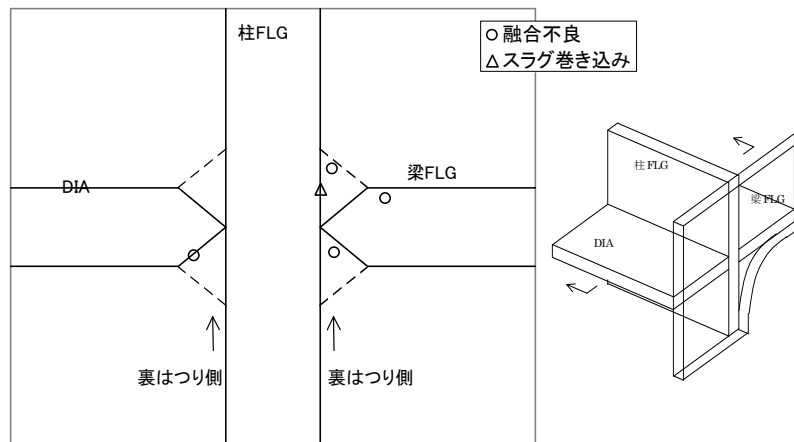


図-3.10 一般部(十字継手)におけるきず分布

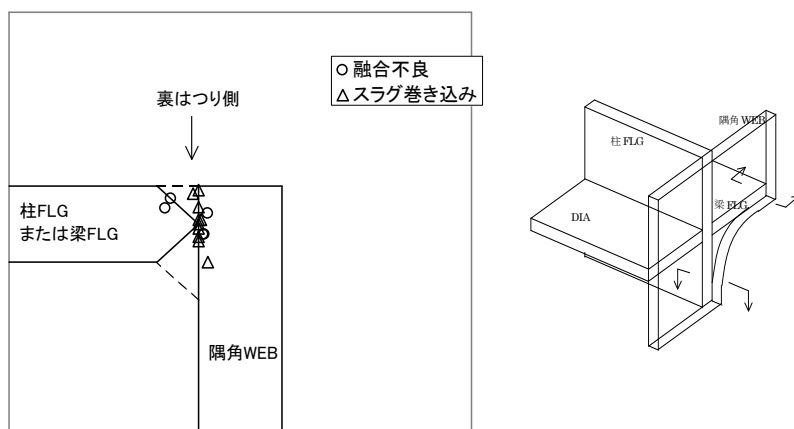


図-3.11 一般部(角継手)におけるきず分布

(2) 溶接施工試験②

試験体 12 体中、角柱 WW タイプ 5 体における、3 溶接線交差部の断面マクロ試験結果を基に、きず発生位置ときず種類に分類・整理した。

表-3.5、図-3.12にウェブ面からの距離と種類におけるきず発生数を示す。表-3.6、図-3.13~3.14にカットの有無によるきず発生数を示す。

以下に主な結果をまとめる。

- ・試験体 5 体中、きず総数は 28 個($t/3$ を超えるきずは 0 個、 $t/6$ を超えるきずは融合不良 6 個。)
- ・きずの種類としては、パス間の融合不良が多い (図-3.12)。
- ・コーナー部のカット有りの場合が、無しに比べ、きずの発生数が少ない (図-3.13)。

表-3.5 きずデータまとめ

発生位置	きず種類	発生数
ウェブ面から-3mm	融合不良	2
	スラグ巻き込み	0
ウェブ面から+2mm	融合不良	10
	スラグ巻き込み	2
ウェブ面から+7mm	融合不良	9
	スラグ巻き込み	2
ウェブ面から+12mm	融合不良	5
	スラグ巻き込み	0

※隅角ウェブからの位置は、隅角ウェブの内面位置を基準とし、そこから離れる距離を表している。
例えば、ウェブ面から-3mmの箇所は、隅角ウェブの板厚内部へ3mmの位置である。

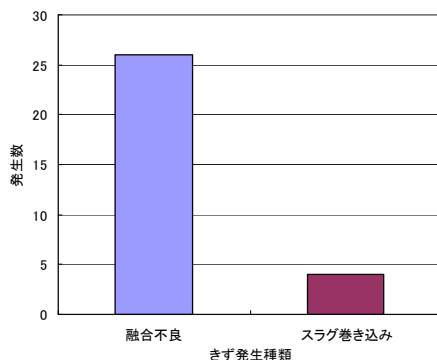
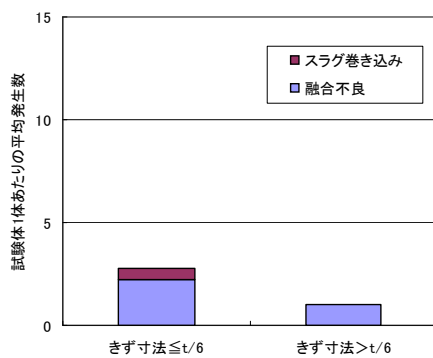


図-3.12 きず発生数

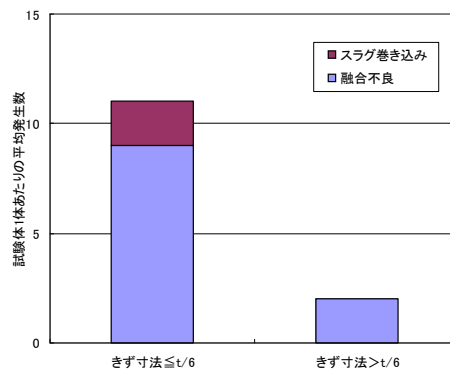
表-3.6 各社の施工方法

施工法	板厚 (mm)	コーナー 部 カット 有無	溶接姿勢	コーナー部 連続溶接	きず発生箇所数			
					融合不良		スラグ巻き込み	
					きず寸法 $\leq t/6$	きず寸法 $> t/6$	きず寸法 $\leq t/6$	きず寸法 $> t/6$
A 社	29	なし	下 & 横	断続	9	2	2	0
B 社1	55 (梁 flg) 36 (柱 flg)	あり	下 & 横	連続	3	3	0	0
B 社2	42	あり	下 & 横	連続	2	0	0	0
C 社	12	あり	下 & 横	連続	0	1	0	0
D 社	28	あり	下	連続	4	0	2	0

注 1) きず寸法は、マクロ断面内の寸法および深さ方向の寸法のうち最大値で整理している。
また、深さ方向へのきず寸法の計測は、スライス 2 断面に連続している場合、スライス幅より、深さ方向へ 5mm 以上のきず寸法と評価している。

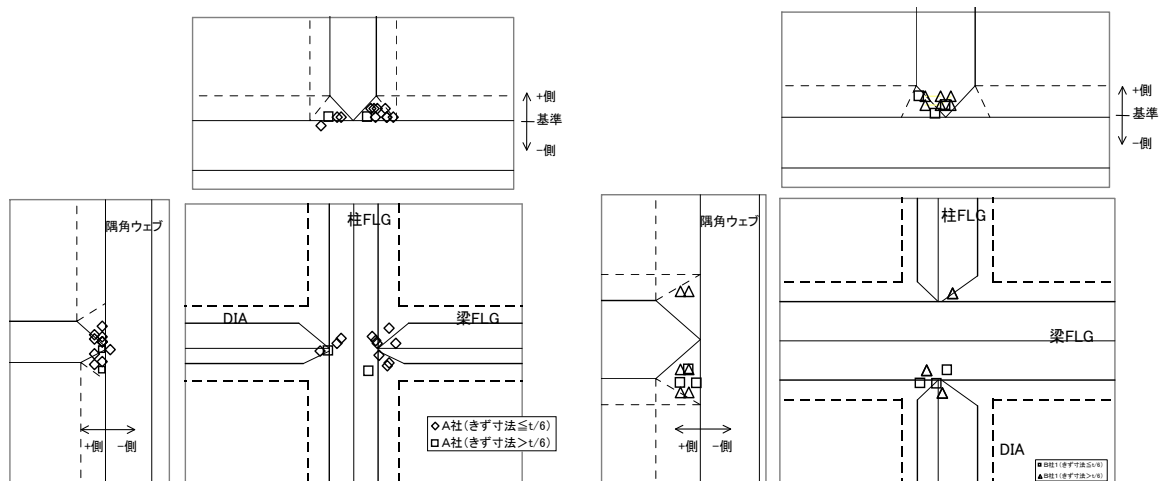


(a) コーナー部のカットあり



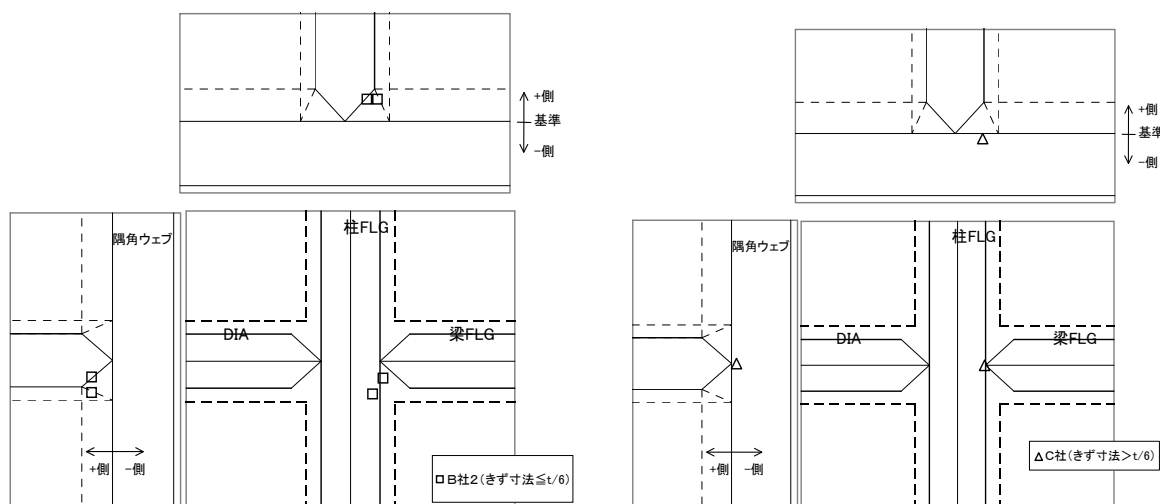
(b) コーナー部のカットなし

図-3.13 コーナー部のカット有無によるきず発生数



(a) A 社

(b) B 社 1

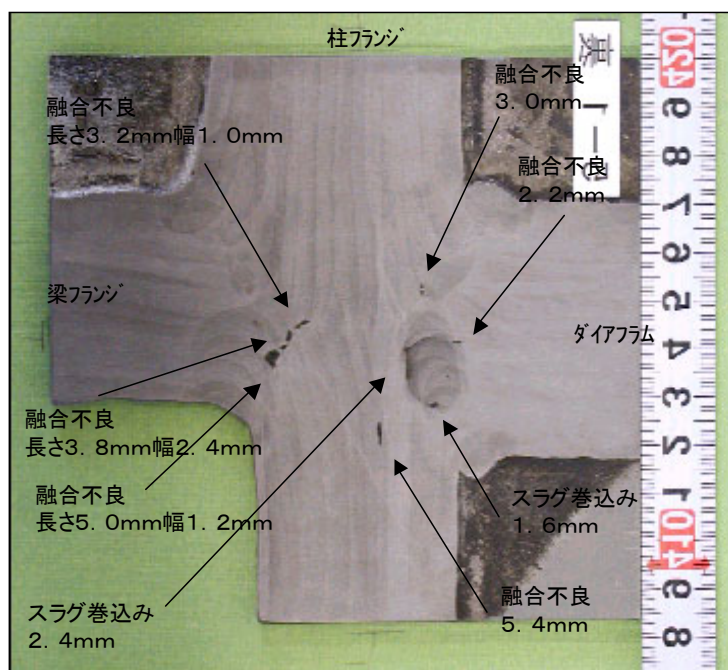


(c) B 社 2

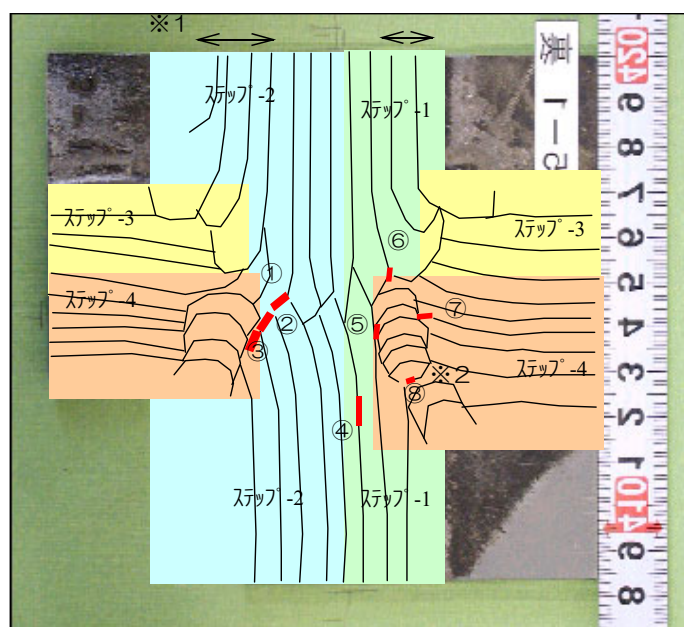
(d) C 社

図-3.14 試験体別きず分布図

以下、図-3.15～3.16に断面マクロ写真の例と、写真から推定される溶接状況、きず発生状況およびきずパターン分類を示す。



(a) 断面マクロ写真



※溶接パス数および溶接順序は、断面マクロ写真からの推定であり、ヒアリング等により確認をしたものではない。

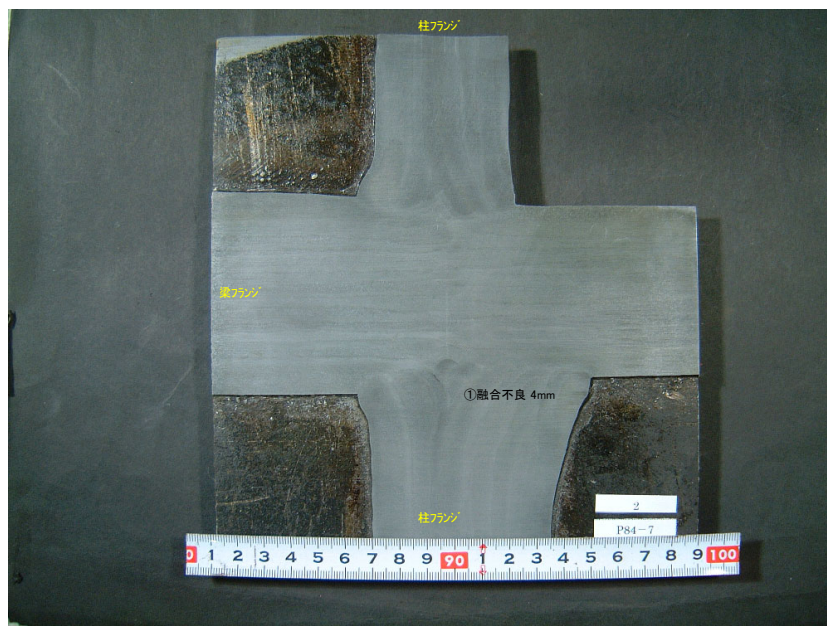
- ①柱フランジの棒継ぎ部に発生 (パターン2)
- ②柱フランジの棒継ぎ部または梁フランジの溶接交差部に発生 (パターン2, 4)
- ③梁フランジの溶接交差部に発生 (パターン4)
- ④柱フランジの溶接はつり不良または溶接パス間に発生 (パターン3, 1)
- ⑤ダイヤフラムの溶接交差部に発生 (パターン4)
- ⑥ダイヤフラムの溶接交差部に発生
- ⑦ダイヤフラムの溶接交差部に発生または溶接パス間に発生 (パターン5)
- ⑧ダイヤフラムの溶接交差部に発生

※1：ステップ1, 2の上側表層付近の3層程度は、ステップ3の溶接完了後に、溶接していると推定される。

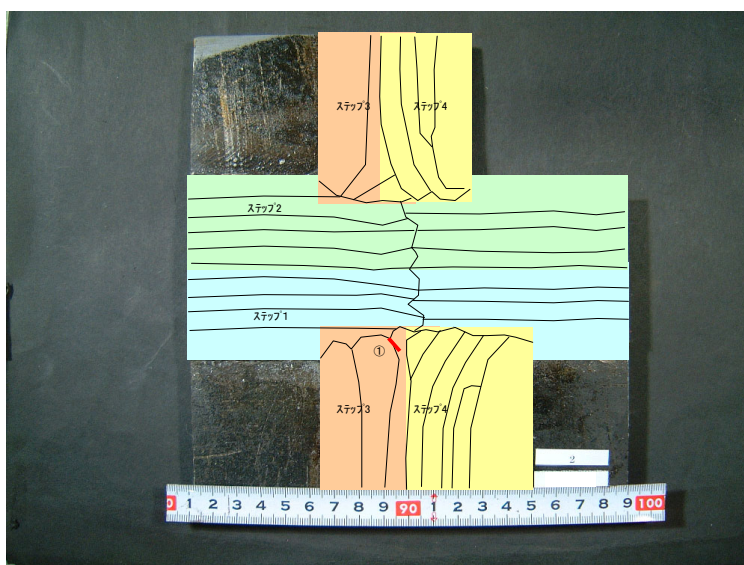
※2：ステップ4では、コーナー部を連続溶接ではなく断続溶接で施工していると推定される。その場合に、コーナー部にて溶着金属の連続性を良くするために「ガウジング」を行っているが、その「ガウジング」後の形状の不良または「ガウジング」面の清掃不足により、きずが発生したと考えられる。

(b) 想定される溶接状況および溶接順序

図-3.15 きず発生例 (A社 ウェブ内面より2mm位置の断面)



(a) 断面マクロ写真



①柱フランジの溶接交差点に発生（パターン4に相当）

※1：梁貫通タイプであるが、貫通している部材を先行して溶接しているため、表-2.7のパターンに相当すると考えられる。

※溶接パス数および溶接順序は、断面マクロ写真からの推定であり、ヒアリング等により確認をしたものではない。

(b) 想定される溶接状況および溶接順序

図-3.16 きず発生例（B社1 ウェブ内面より2mm位置の断面）

(3) 溶接施工試験③

表-3.7に、3 溶接線交差部のきず発生数を示す。

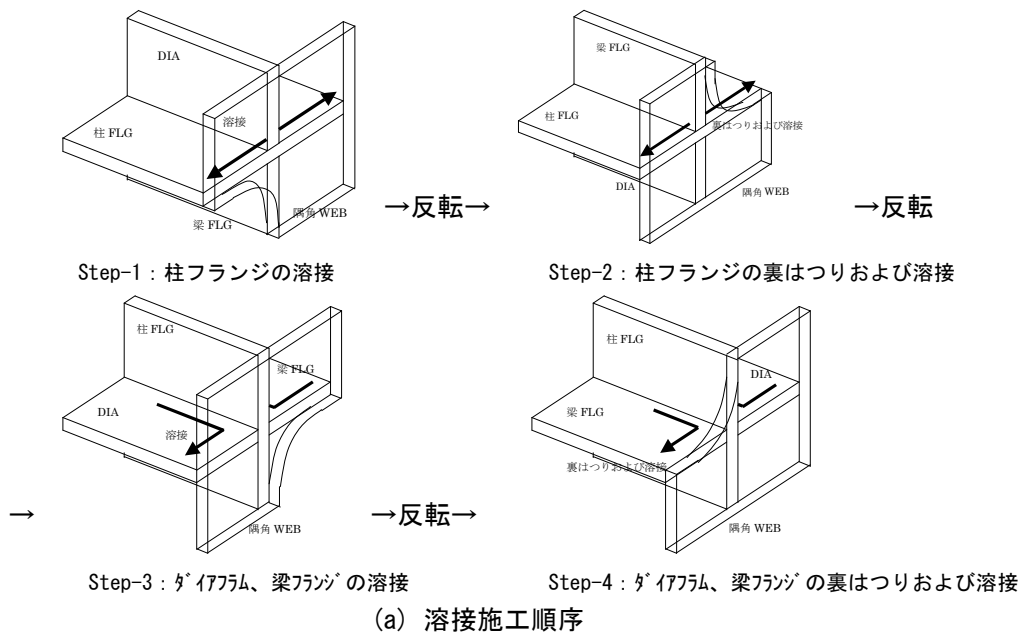
試験体 2 体中、きず総数は 20 個(最大長さが $t/6$ を超えるきずは 0 個(すべて 2mm 以下のきず))であった。図-3.17～3.18にA社およびB社の溶接施工順序、施工状況を示す。3 溶接線交差部の溶接品質の確保のため、溶接方法を改良している。具体的には、溶接施工試験を事前に行い、溶接施工手順を検討し、隅角部の製作要領を作成している。

なお、2 社の製作方法については、「製作管理体制フロー（案）」に準じた製作方法の例であり、新設橋脚の製作方法が、これらに限定されるものではない。

表-3.7 各社の施工方法ときずの発生状況

施工法	板厚 (mm)	コーナ ー部カッ ト有無	溶 接 姿勢	コーナ ー部連 続溶接	きず発生箇所数					
					融合不良		スラグ巻き込み		ブローホール	
					きず寸 法 $\leq t/6$	きず寸 法 $> t/6$	きず寸 法 $\leq t/6$	きず寸 法 $> t/6$	きず寸 法 $\leq t/6$	きず寸 法 $> t/6$
A 社 (12断面)	39	あり	下	連続	1	0	12	0	0	0
B 社 (15断面)	47	あり	下	連続	1	0	0	0	6	0

注) きず寸法は、各マクロ断面内での長さである。



注 1) リブ板があるため、狭隘な条件で溶接している。

Step-1の溶接状況

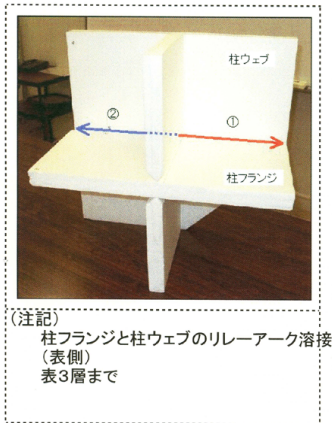


Step-4の溶接状況

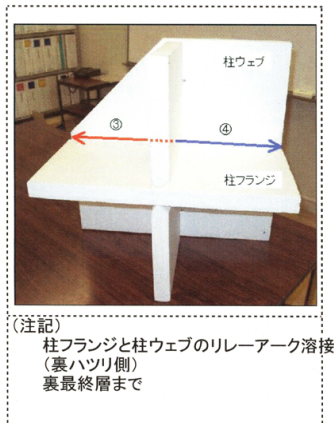
(b) 溶接施工状況

図-3.17 溶接施工順序および溶接状況 (A 社)

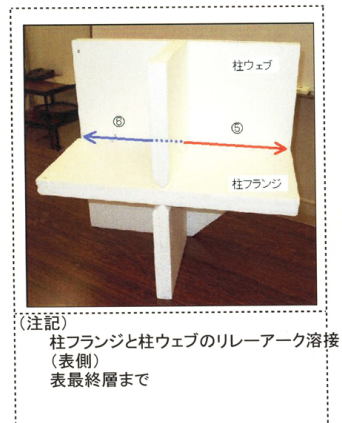
溶接順序(1)



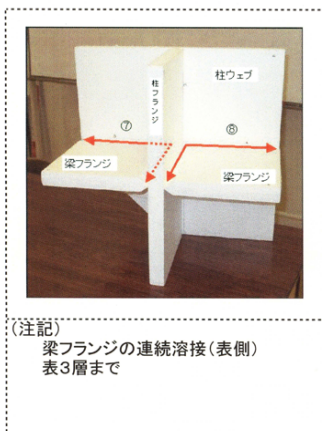
溶接順序(2)



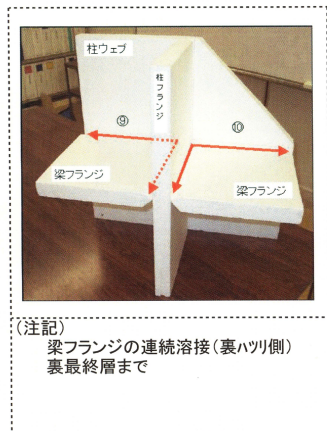
溶接順序(3)



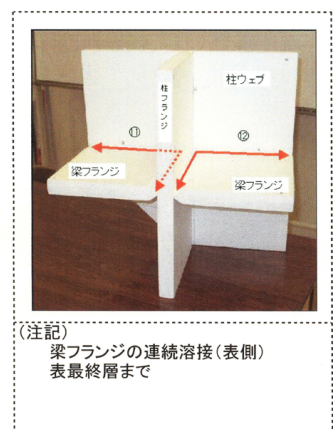
溶接順序(4)



溶接順序(5)



溶接順序(6)



注1) 柱フランジの溶接交差部は、リレーアーク溶接法※を行っている。
2) 表側溶接を3層まで行い、裏側の溶接を完了し、再度、表側溶接を最終層まで行っている。

(a) 溶接施工順序

図-3.18 溶接施工順序および溶接状況 (B社)

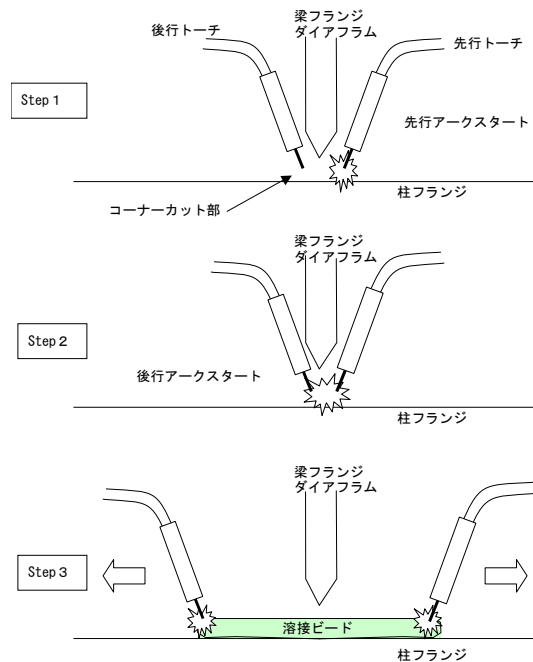
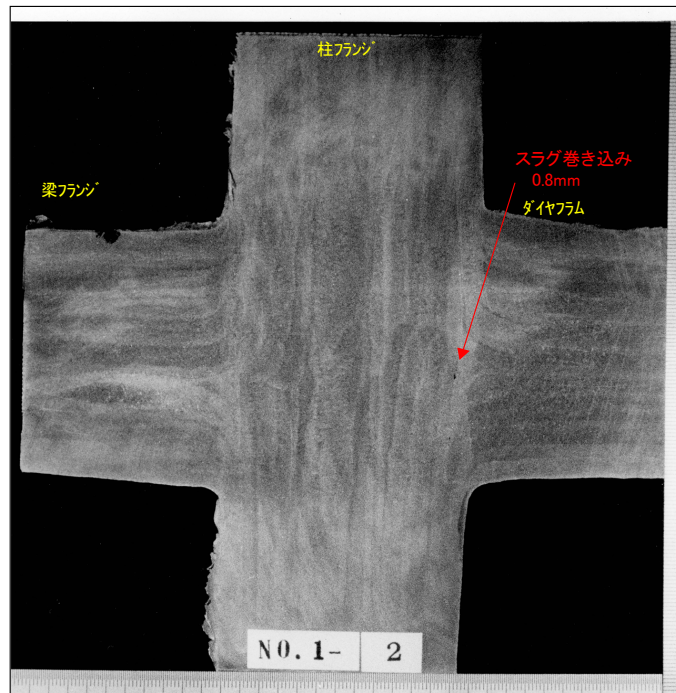


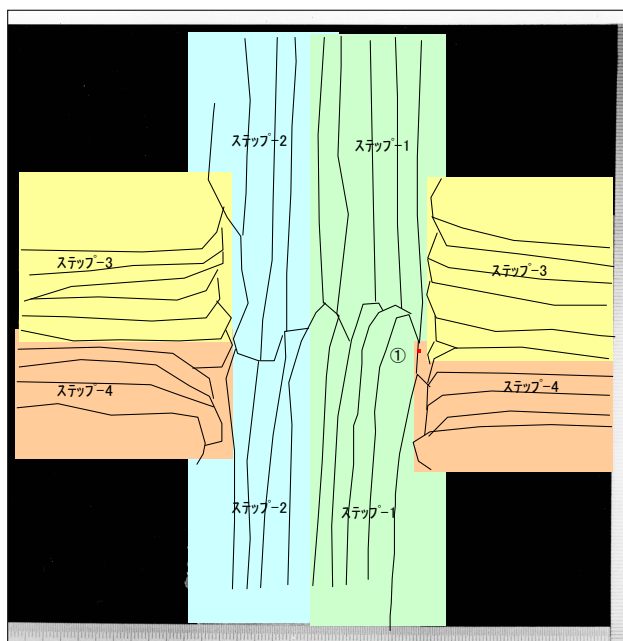
図-3.19 リレーアーク溶接法※

※現在は、類似した溶接法と分類するため、同時アーク法と呼ばれている。

以下、図-3.20に断面マクロ写真の例と、写真から推定される溶接状況、きず発生状況およびきずパターン分類を示す。微小なきずは見られるものの、完全溶け込み溶接となっている。



(a) 断面マクロ写真



①柱フランジの溶接パス間または棒継ぎ部に発生
(パターン1, 2)

※溶接パス数および溶接順序は、断面マクロ写真からの推定であり、
ヒアリングにより確認をしたものではない。

(b) 想定される溶接状況および溶接順序

図-3.20 きず発生例（A社 ウェブ内面より2mm位置の断面）

3.3 隅角部において発生が想定されるきずの整理

(1) 溶接施工の各段階において発生が想定されるきずと発生原因

3.2 節に示した溶接施工試験における発生きず分析結果より、3 溶接線交差部に実際に発生する可能性のあるきずを一部把握することはできた。しかしながら、これらのきずデータのみでは、実施工時において発生する可能性のあるきずの全体像を把握するには不十分であることから、別途、角柱断面隅角部の溶接条件から発生が考えられるきずを抽出、整理することとした。

きずの抽出に当たっては、「製作管理体制フロー（案）」に準じた製作方法（溶接施工試験③）を前提とした。具体的には、きずの発生を抑制する上で、望ましいと考えられる溶接手順（柱フランジと隅角ウェブの溶接を先行させ、梁フランジおよびダイヤフラムの溶接を連続して行うという手順）を基本に、次の2種類のきずを想定し、溶接施工の各段階における想定きずの例を整理した。表-3.8～3.9に、3 溶接線交差部を対象として、溶接ステップに応じて想定したきずパターンを示す。

1) 偶発的に発生する可能性があると考えられるきず

きずの発生を抑制することを目的として検討された製作方法に基づいて十分な管理の下で適切に製作した場合でも、溶接施工時の微妙な条件（溶接トーチの運棒、前パスの積層形状、清掃状態など）の変化によって、発生する可能性があると考えられるきずを想定している。本研究では、このきずとして融合不良を対象とすることとした。融合不良は、溶着金属内のあらゆる箇所に発生する可能性があるが、比較的発生する可能性が高いと考えられる箇所を抽出した。

なお、融合不良とスラグ巻き込みは、発生原因がほぼ同様であり、形状および発生位置も同様であると考えられることから、同種のきずパターンとして整理することとした。また、ブローホールは、溶着金属内のあらゆる箇所に発生する可能性があるが、きず形状が球形であり、疲労への影響は小さいと考えられることから、ここでは対象としていない。

2) 偶発的に発生する可能性は、1)のきずより小さいと考えられるが、疲労への影響が大きいと考えられるきず

疲労への影響が大きいと考えられるきずとは、偶発的に発生する可能性はほとんどないと考えられるが、内在した場合、疲労への影響が大きいと考えられるきずを想定している。既設橋脚では内在する未溶着が亀裂の起点となっていることを踏まえ、このきずを対象とした。きずの種類としては、ルート部の未溶着や初層に発生した割れを想定した。

表-3.8 偶発的に発生する可能性のあるきずの例

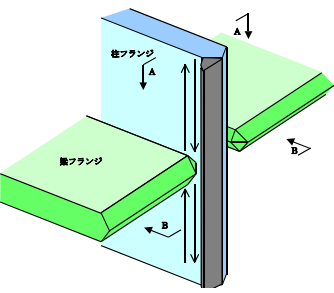
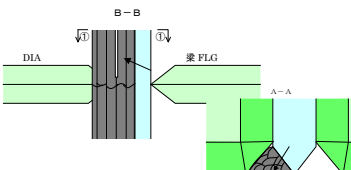
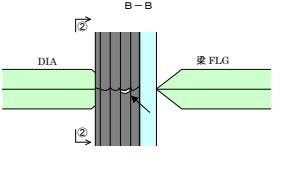
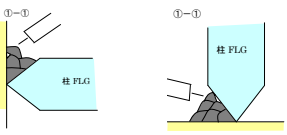
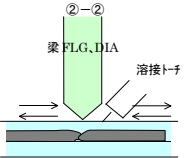
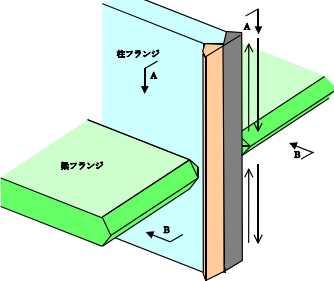
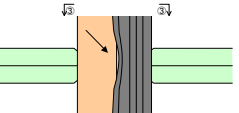
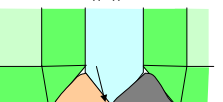
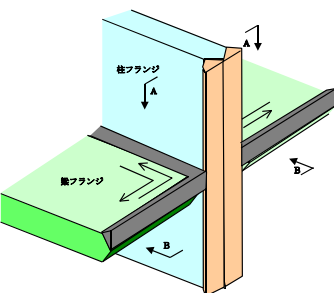
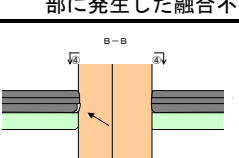
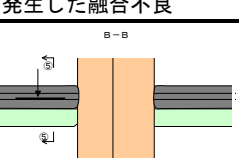
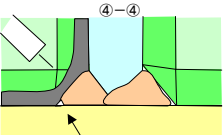
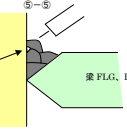
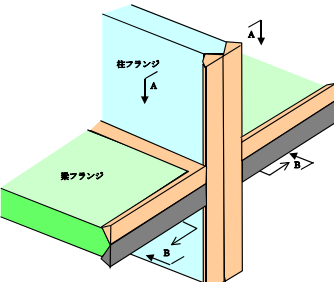
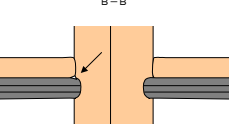
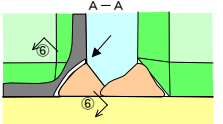
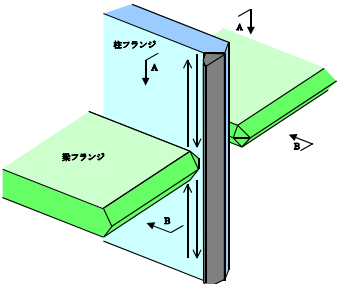
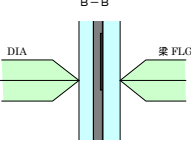
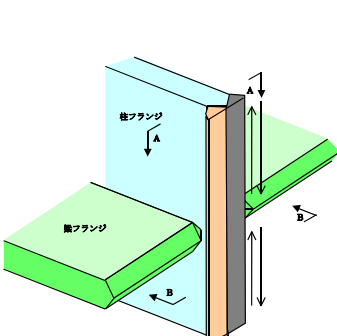
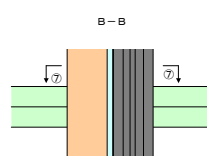
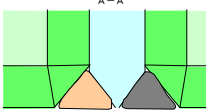
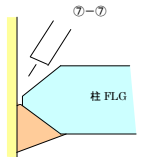
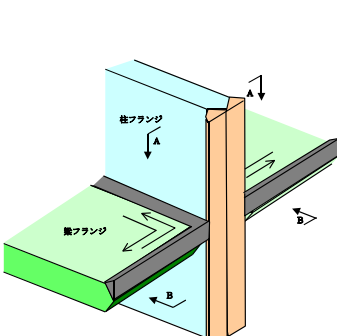
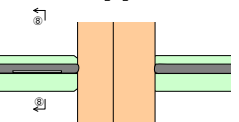
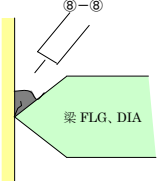
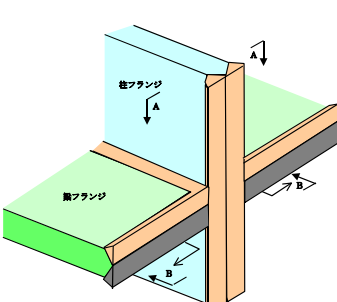
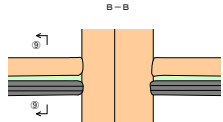
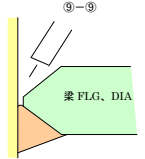
溶接ステップー 1		パターン 1：柱フランジ溶接部に発生したきず	パターン 2：柱フランジ溶接部の交差部に発生したきず
	発生例		
	発生原因	 下向 横向 前パスの形状が悪い、または清掃状態が悪い場合に、融合不良、スラグ巻き込みが発生。	 棒継ぎ部の溶接形状が悪い、または後行溶接の狙い位置が不適切な場合に、融合不良が発生。
溶接ステップー 2		パターン 3：柱フランジの溶接部のはつり不良によるきず	
	発生例		
	発生原因	梁フランジ、ダイアフラムの板厚中心付近の裏はつり形状が悪い場合、または、初層の狙い位が不適切な場合に、融合不良が発生。裏はつり後の清掃状態が悪い場合は、スラグ巻き込みが発生。	
溶接ステップー 3		パターン 4：梁フランジの溶接部の交差部に発生した融合不良	パターン 5：梁フランジ溶接部のパス間に発生した融合不良
	発生例		
	発生原因	 柱フランジの溶接ビード形状が悪い場合、梁フランジ、ダイアフラムの溶接線交差部で、融合不良が発生。交差部での清掃状態が悪い場合は、スラグ巻き込みが発生。	 前パスの形状が悪い、または清掃状態が悪い場合に、パス間に融合不良、スラグ巻き込みが発生。
溶接ステップー 4		パターン 6：梁フランジの裏はつり不良による融合不良	
	発生例		
	発生原因	コーナー部は狭隘なため交差部付近の裏はつり形状が悪い場合、または、初層の狙い位置が不適切な場合に、融合不良が発生。裏はつり後の清掃状態が悪い場合は、スラグ巻き込みが発生。	

表-3.9 疲労への影響が大きいと考えられるきずの例

溶接ステップー 1	パターン 7 : 柱フランジ溶接部の初層割れ	
	発生例	
	発生原因	柱フランジの溶接時に、溶接条件が適切でない場合に、または、組立溶接に割れが発生し、その割れを除去できなかった場合に発生。
溶接ステップー 2	パターン 8 : 柱フランジ溶接部の裏はつり無しによる未溶着	
	発生例	 
	発生原因	ルート部を裏はつりにより除去していない場合に未溶着が発生。 
溶接ステップー 3	パターン 9 : 梁フランジ溶接部の初層割れ	
	発生例	
	発生原因	梁フランジの溶接時に溶接条件が適切でない場合に、または、組立溶接に割れが発生し、その割れを除去できなかった場合。 
溶接ステップー 4	パターン 10 : 梁フランジ溶接部の裏はつり無しによる未溶着	
	発生例	
	発生原因	コーナー部での裏はつり作業は狭隘であるため、ルート部を除去していない場合に未溶着が発生。 

(2) 隅角部において発生が想定されるきず

表-3.10、図-3.21に隅角部の探傷法を検討する上で想定しておく必要がある内部きずをまとめる。表-3.11にきずの発生原因別と種類をまとめる。これら想定されるきず発生原因のうち、裏はつりの未実施、開先部のルートフェイスが過大な場合などは、当然ながら溶接施工時の管理によって、避けられるべきものであるが、万一発生している場合を想定し、同様の管理で施工された十字継手部を先行して検査し、きずの状況を把握することにより、3 溶接線交差部の溶接品質（きず発生の可能性）をある程度推測することができるものと考えられる。

表-3.10 隅角部におけるきず一覧
(a) 偶発的に発生する可能性があるきず

発生時期		きず種類	きずイメージ
溶接ステップ-1	パターン1	柱フランジと隅角ウェブの溶接線のパス間に発生した融合不良またはスラグ巻き込み	きず番号①
		柱フランジと隅角ウェブの溶接線の開先面に発生した融合不良またはスラグ巻き込み	きず番号⑥
	パターン2	柱フランジと隅角ウェブの溶接線の棒継ぎ部に発生した融合不良	きず番号③
溶接ステップ-2	パターン3	柱フランジと隅角ウェブの溶接部のはつり不良により発生した融合不良またはスラグ巻き込み	きず番号①
溶接ステップ-3	パターン4	コーナー部の交差部に発生した融合不良またはスラグ巻き込み	きず番号⑤
		梁フランジ、ダイアフラム溶接部の開先面に発生した融合不良またはスラグ巻き込み	きず番号⑦
	パターン5	梁フランジ、ダイアフラム溶接部のパス間に発生した融合不良またはスラグ巻き込み	きず番号②
溶接ステップ-4	パターン6	コーナー部のパス間に発生した融合不良またはスラグ巻き込み	きず番号④

(b) 偶発的に発生する可能性は考えにくい疲労への影響が大きいと考えられるきず

発生時期		きず種類	きずイメージ
溶接ステップ-1	パターン7	初層に発生した割れ	きず番号⑩
溶接ステップ-2	パターン8	ルート部に発生した未溶着	きず番号⑧
溶接ステップ-3	パターン9	初層に発生した割れ	きず番号⑪
溶接ステップ-4	パターン10	ルート部に発生した未溶着	きず番号⑨

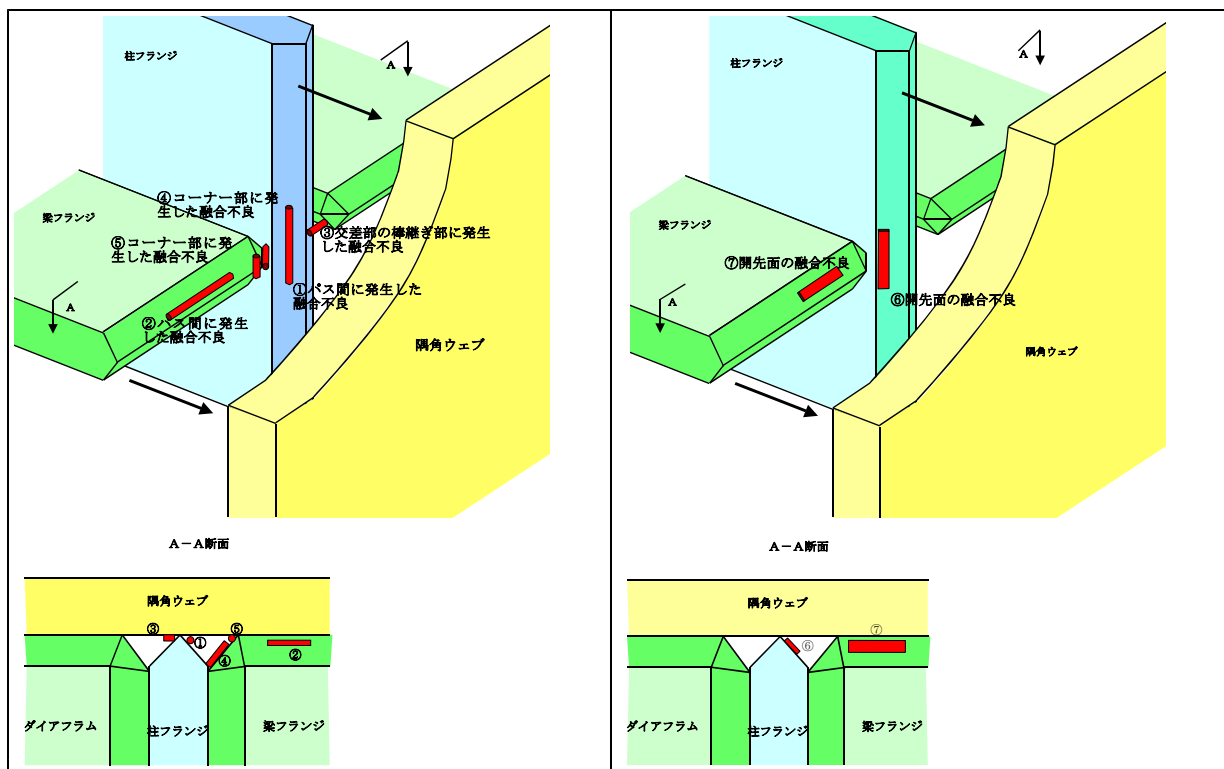
(c) 十字継手部で想定されるきず

(偶発的に発生する可能性のあるきず、偶発的に発生する可能性は考えにくい疲労への影響が大きいと考えられるきず)

発生時期		きず種類	きずイメージ
溶接ステップ-3, 4		パス間に発生した融合不良	きず番号⑭
		開先面に発生した融合不良	きず番号⑫
溶接ステップ-3		初層に発生した割れ	きず番号⑮
溶接ステップ-4		ルート部に発生した未溶着	きず番号⑬

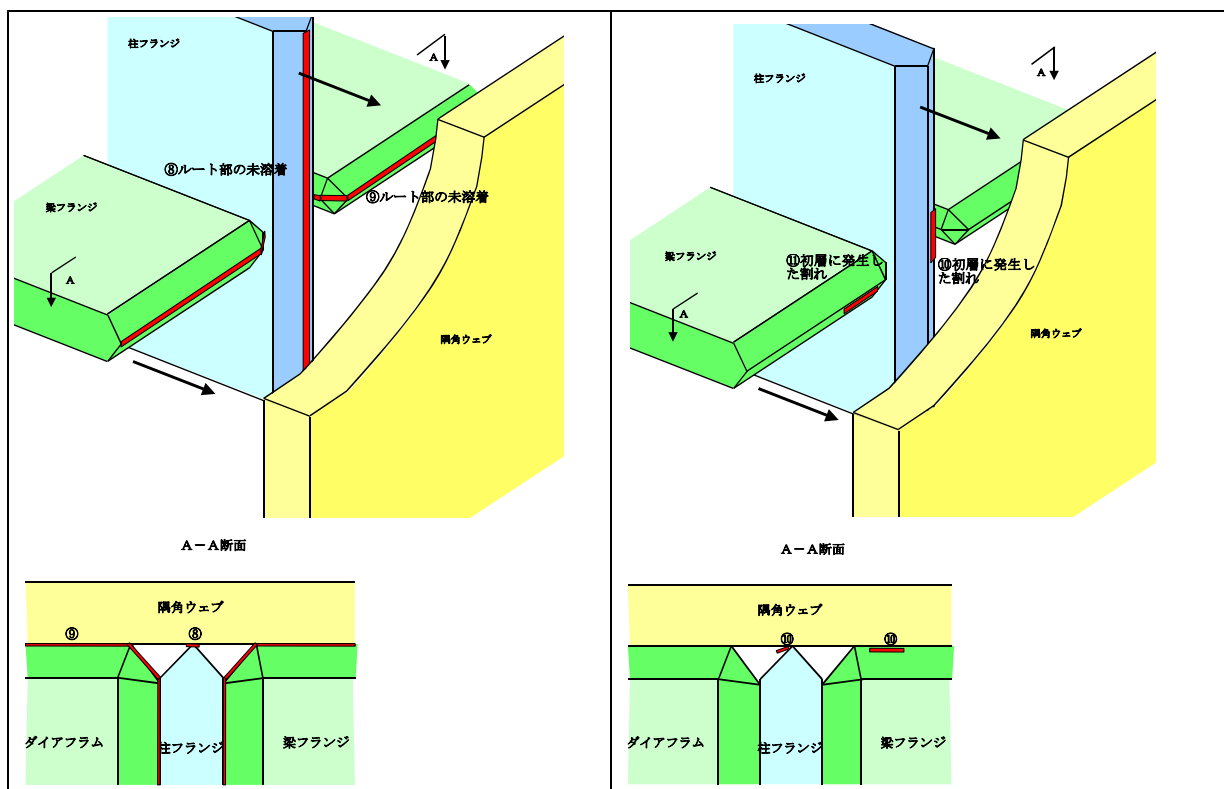
表-3.11 きずの発生原因と種類

きずの発生原因	きず種類（きずイメージ）
溶接施工時の条件（狙い、前パスの清掃、形状など）が適切でない場合	・溶接パス間に発生する融合不良またはスラグ巻き込み ・開先面に発生する融合不良またはスラグ巻き込み （きず番号①、②、④、⑤、⑥、⑦、⑫、⑭）
交差部での棒継ぎが適切でない場合	・交差部の棒継ぎ部に発生する融合不良またはスラグ巻き込み（きず番号③）
初層の溶接条件（電流、電圧）が適切でない場合	・初層に発生する割れ（きず番号⑩、⑪、⑮）
割れが発生した組立溶接が完全に除去されてない場合	
裏はつりが未実施または開先部のルートフェイスが過大な場合	・ルート部に発生する未溶着（きず番号⑧、⑨、⑬）



※図のきずは、発生位置や傾きなどを限定するものではない。

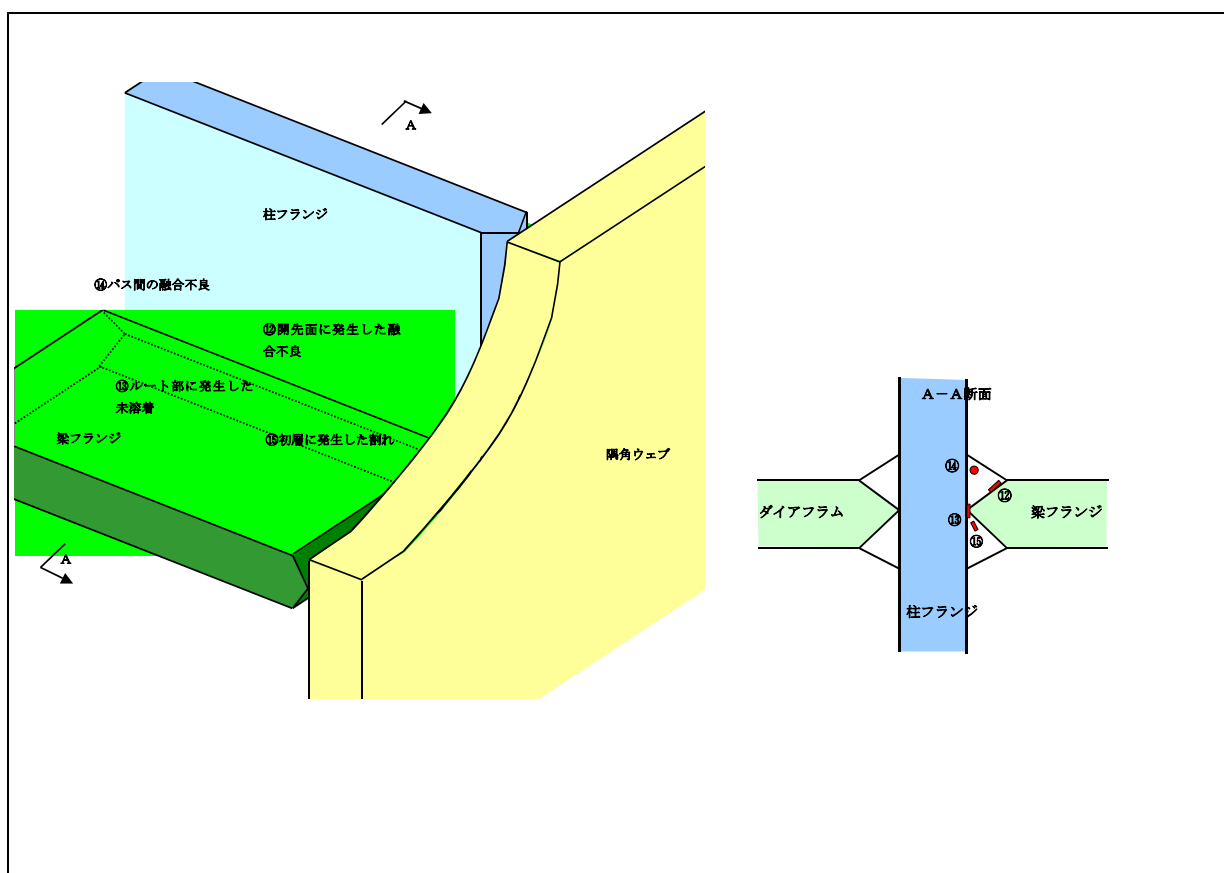
(a) 3溶接線交差部において偶発的に発生する可能性があるきず



※図のきずは、発生位置や傾きなどを限定するものではない。

(b) 3溶接線交差部において疲労への影響が大きいと考えられるきず

図-3.21 隅角部におけるきずイメージ図



※図のきずは表-3. 8, 3. 9のきずパターンに対応したきずの一例であり、発生位置や傾きなどを限定するものではない。

(c) 十字継手部において想定されるきず

図-3. 21 隅角部におけるきずイメージ図

4. 超音波探傷法に関する基礎検討

4. 1 検討内容

本研究において検討対象とする探傷法を抽出することを目的として、鋼構造溶接部の超音波探傷技術に関する最近の調査研究事例や開発動向を調査するとともに、隅角部への適用において従来の手探傷と比較して検出性能の向上が期待される探傷法の抽出を行った。

4. 2 最近の超音波探傷技術の動向

最近、各種鋼構造物の溶接部内部欠陥の非破壊検査技術において数多くの実用化に関する研究が行われている超音波探傷技術として、TOFD（Time of Flight Diffraction）法、フェイズドアレイ法、SH 波法、ガイド波法などが挙げられる¹³⁾。以下に主な超音波探傷技術の概要を示す。

（1）TOFD法^{9), 13)}

TOFD 法は、送信用、受信用の 2 個の探触子を用い、広い指向角の超音波縦波を送信し、欠陥の上下端部で回折（散乱）したエコーの受信し、その受信時間より欠陥深さおよび高さを測定する探傷法である。図-4.1に TOFD 法のイメージを示す。

TOFD 法は、1972 年に英国で開発され、日本でも 1990 年頃から研究が始まり、これまで多数の研究事例が報告されている。欠陥からのエコー受信時間を用いるため、欠陥深さおよび高さを高精度で測定することが可能であり、BS 規格¹⁴⁾、NDIS 規格¹⁵⁾などに規定されている。

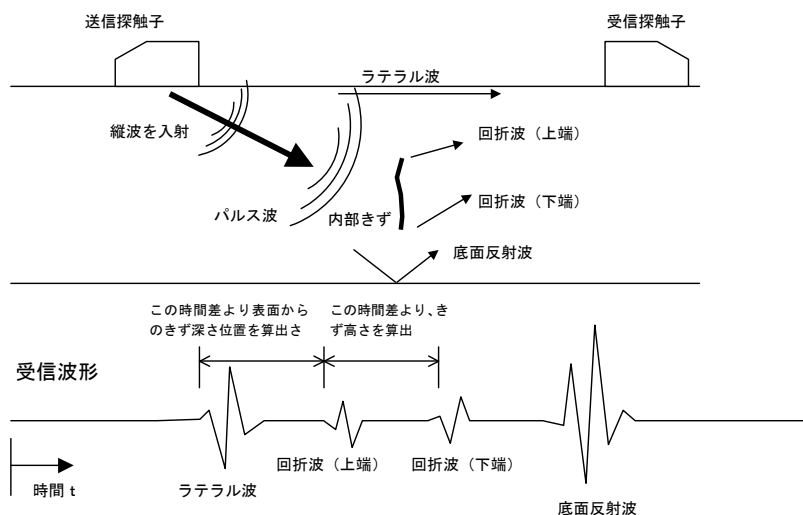
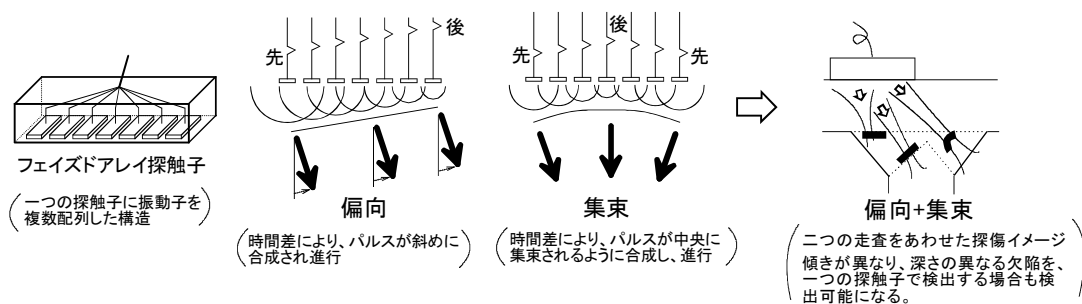


図-4.1 TOFD法イメージ

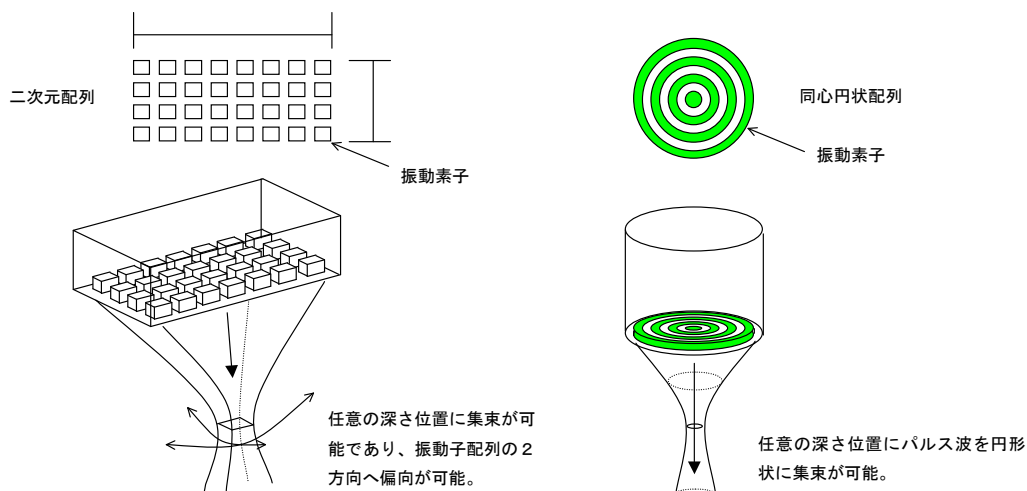
(2) フェイズドアレイ法^{例え(ば5)~9), 13), 16)}

フェイズドアレイ法とは、小さな振動子を多数配列した探触子を用い、各振動子の送信タイミングを電氣的に制御することで超音波の波の位相を制御し、超音波ビームを任意に集束、偏向させることが可能な探傷法である。一般には、リニア配列に振動子を配置した探触子（リニアアレイ）が用いられているが、それ以外にも二次元配列（マトリックスアレイ）、同心円状配列（アニュラーアレイ）など様々な振動子を配置した探触子が開発されている。図-4.2にフェイズドアレイ探触子イメージを示す。

フェイズドアレイ法は、日本では 1980 年頃から実用化のための研究が始まり、機器が複雑で小型化や低価格が困難なことから一時期停滞していたが、近年の電子機器の進歩などにより研究および開発が進められている。現在、原子力プラントなどで配管溶接部の応力腐食割れの検査への実用化検討が進められ、実験的に採用されている¹⁷⁾。



(a) リニアアレイ探触子



(b) マトリックスアレイ探触子

(c) アニュラーアレイ探触子

図-4.2 フェイズドアレイ探触子イメージ

(3) SH波法^{13, 18)}

超音波斜角探傷に用いられている横波には、振幅の方向の違いにより SV 波（振幅の方向が垂直方向）と SH 波（振幅の方向が水平方向）の 2 種類があり、一般に斜角探傷で使われているのは、SV 波である。SH 波法とは、一般的に用いられていない SH 波を用いる探傷法である。SH 波の利点はモード変換が起きないことであり、また表面付近を伝播する表面 SH 波を用いることにより、従来の一探触子による SV 波では探傷が困難であった探傷面に垂直な面状欠陥の検出も可能となった。図-4.3に斜角探傷に用いられる横波イメージを示す。

「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説」（日本建築協会、1996 改訂）¹⁹⁾では、建築鉄骨の柱部材と梁部材の継手に頻繁に用いられている裏当て金付き T 継手のルート部に対して、SH 波を用いた探傷法によるきず判別法が記載されている。

SH 波法は、日本では 1980 年半ば頃から研究が始まり、それまで困難であった SH 波を試験体へ直接伝達させることが可能な接触媒質の開発により、ここ数年多数の研究事例が報告されている。



図-4.3 斜角探傷に用いられる横波イメージ

(4) ガイド波法^{13), 20)}

ガイド波法は、プラント配管の探傷として考えられており、管の外周に取り付けたリング状の探触子から、管の円周上に振動しながら管の軸方向に超音波が伝播するモード（T モード）と、管軸方向に振動しながら管の軸方向に伝播していくモード（L モード）を用いる探傷法である。図-4.4にガイド波による探傷イメージを示す。

ガイド波は、日本では 1994 年頃から研究が開始されたが、1997 年に英国から長距離配管検査技術が発表されたのを契機として盛んに研究が行われるようになった。ガイド波を用いた探傷技術は、1 回の探傷で数十メートル先のきずが検出可能なこと、配管の外周に取り付いた保冷、保温材の影響を受け難いこと、配管が埋設されていても検査可能性が高いことなどから、配管検査の主要技術として期待されている。

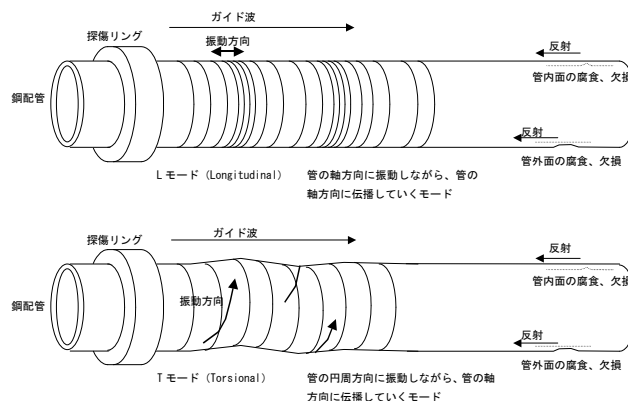


図-4.4 ガイド波による探傷イメージ

4. 3 隅角部における一探触子パルス反射法適用時の課題と検出性能の向上が期待される探傷技術

(1) 一探触子パルス反射法の概要

隅角部の非破壊検査には、従来、手探傷による一探触子パルス反射法（斜角探触子、入射角 70 度）が一般的に用いられている。図-4.5に一探触子パルス反射法の概要を示す。

一探触子パルス反射法では、一探触子から発した超音波ビームを鋼材中に伝播させ、反射源からのエコーを同一の探触子で受信し、ビーム路程（ビームの送信から受信までの時間）と受信エコー高さで表示した画面により、欠陥の有無および位置を判断する。手探傷の場合、検査技術者は CRT の画面を確認しながら、探触子を手動で走査し探傷を行う。

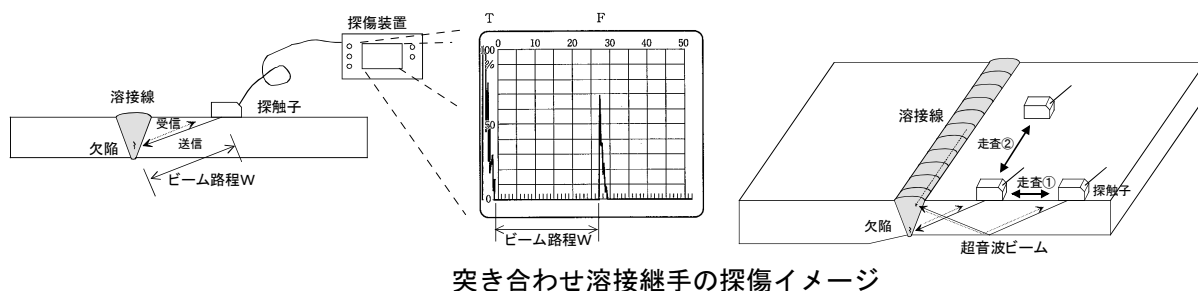


図-4.5 一探触子パルス反射法による探傷イメージ

(2) 一探触子パルス反射法適用時の技術的課題

手探傷による一探触子パルス反射法では、図-4.6に示すように、反射指向性を持つ傾きのある面状きずや、余盛り近傍のきずについては検出が難しい場合が多い。特に隅角部の3溶接線交差部のような立体的な継手形状の場合は、余盛り形状やきずの入り方が一般的な突合せ溶接継手と比較して複雑であり、受信エコーの反射経路の推定や複数受信されたエコーのそれぞれの反射源の分離が困難である。検査技術者としては、余盛り形状ときずの入り方を3次元的に頭の中でイメージする必要があるとあり、熟練した技術者であってもAスコープ画像から直感的に欠陥の位置、形状を判断するには、周波数、探傷角、種類を変えた複数の探触子を適用し、試行錯誤の探傷が必要と考えられる。結果として、検出性能は一般的な突合せ溶接継手等と比較して、検査技術者の技能や隅角部の溶接方法や溶接欠陥に関する知識、経験の差に大きく左右されるものと推測される。

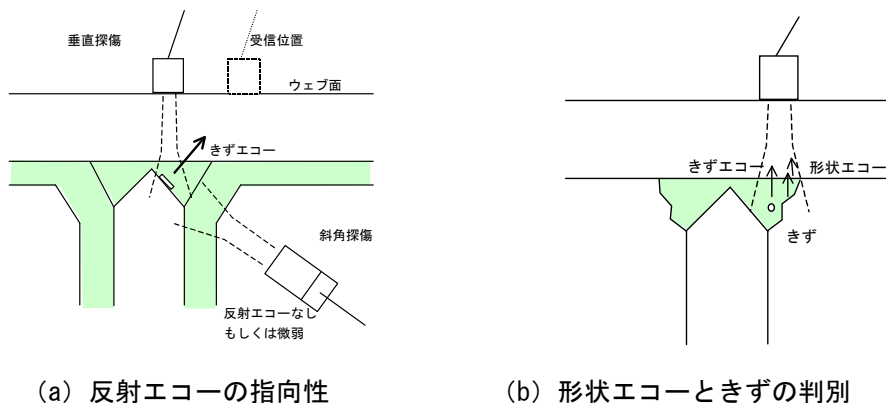


図-4.6 一探触子パルス反射法における探傷時の課題

(3) 検出性能の向上が期待される探傷技術

(2)で述べた課題解決に向けて、検出性能の向上が期待される探傷技術の例を図-4.7に示す。隅角部の溶接部における面状きずの検出に当たっては、複数の探触子を用いたり、探傷角を変えることにより反射波を受信する探傷技術（フェイズドアレイ法等）や、きず端部からの微弱な回折波を受信する探傷技術（TOFD法等）の適用が考えられる。また、形状エコーときずエコーと判別に関しては、入射波の拡がりを制御する探傷技術（集束型探触子を用いた垂直探傷、入射波のフォーカシング（フェイズドアレイ法）等）や、開口合成法によるきずエコーの強調処理技術の適用が考えられる。表-4.1に一探触子パルス反射法とともに、隅角部の探傷に適用可能かつ検出性能の向上が期待される主な探傷技術を示す。適用性については最近の超音波探傷技術の開発動向や調査研究に関する文献、専門家へのヒアリング等を参考に概略整理したものである。

なお、これらの探傷技術も原理的にはきずの検出性能の向上が図れるが、それぞれ一長一短があり、適用に当たっては対象とする溶接部位、実きずの特徴等探傷に係わる各種条件を再現した状況下での性能確認を行う必要がある。

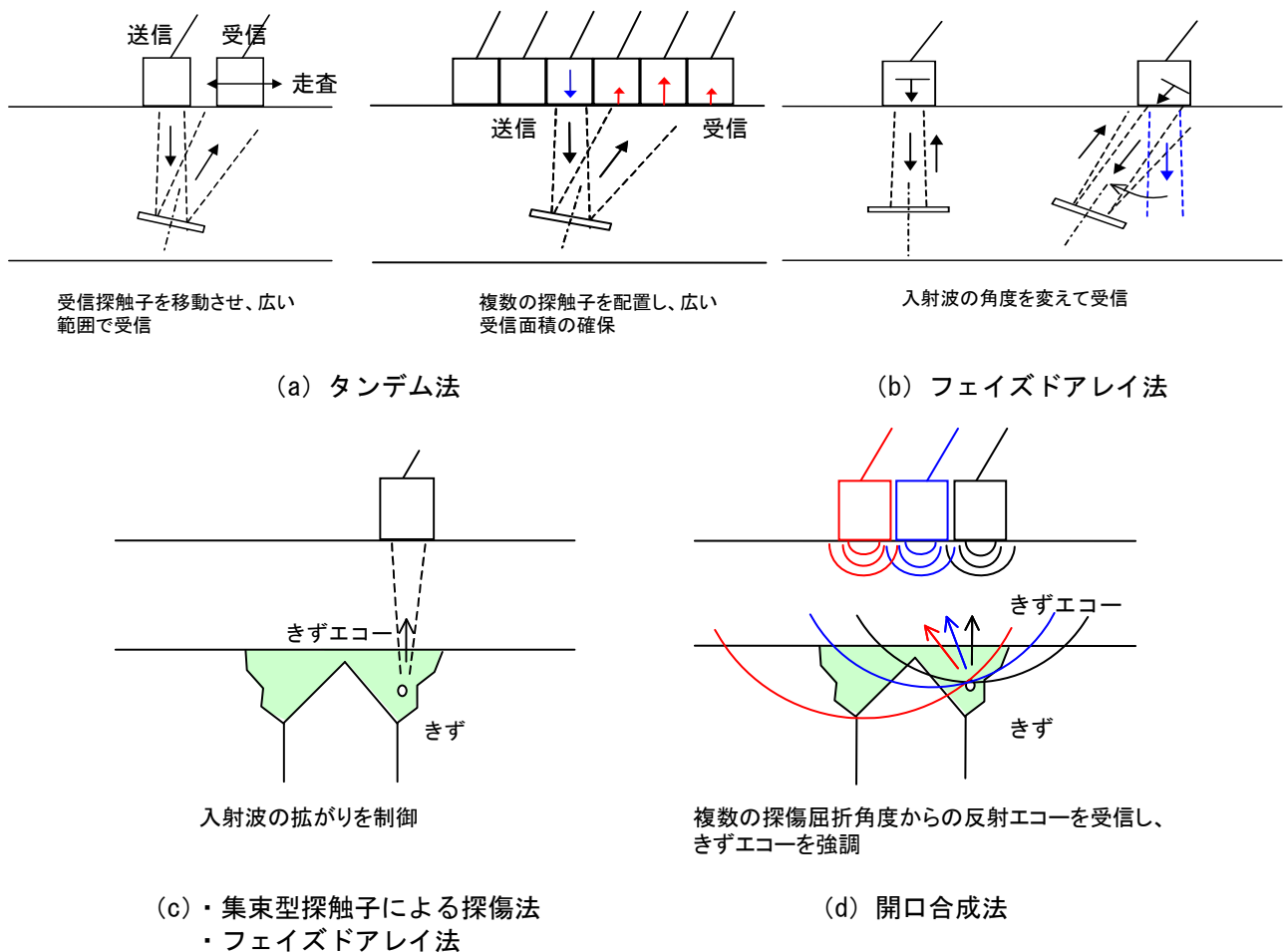
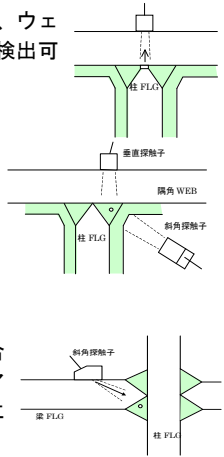
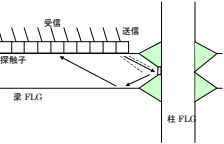
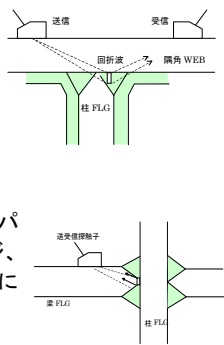
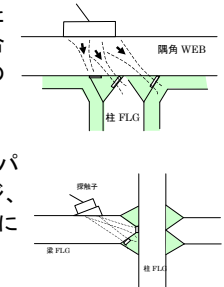


図-4.7 検出性能の向上が期待される探傷技術の例

表-4.1 各種超音波探傷技術の概要と適用性

探傷法	概要	隅角部のきずへの適用
一探触子パルス反射法 (斜角探傷、垂直探傷)	【概要】 従来より一般的に用いられている一つの振動子を有する探触子を用い、その探触子で超音波を送受信する探傷法 【特徴等】 ・探傷装置が比較的安価、単純で扱いやすい。 ・手探傷では、検査技術者が探触子の走査を手動で行い、Aスコープ画像から結果を判定するため、技量に依存する部分が多い。探触子の自走機能、データ記録機能を付加した自動探傷装置も開発されている。 ・一探触子で送受信を行なうため、きずからの反射エコーに指向性があり、送信した探触子の位置以外の場所へ反射した場合は、検出が困難。 ・一般に使用されている探触子(非集束型探触子) 一定の探傷範囲をカバーできるが、ビームの拡がりがあるため、近接したきずの分解や形状エコーとの分離が困難(集束型探触子) 超音波ビームをある深さ(ビーム路程)位置で絞ることにより、分解能を向上させる。集束範囲外では検出が難しい。(二振動子探触子) 一探触子中に、二つの振動子(送信用、受信用)を配置しており、非集束型と比較して、特定の範囲でSN比が良好。	・3溶接線交差部の未溶着は、ウェブ外面から垂直探傷により検出可能性あり。 ・3溶接線交差部のパス間の融合不良は、ウェブ外面からの垂直探傷またはフランジ、ダイヤフラム面からの斜角探傷により検出可能性あり。 ・十字継手部のパス間の融合不良は、フランジ、ダイヤフラム面からの斜角探傷により検出可能性あり。 
10連タンデム法	【概要】 10個の斜角探触子を直列に配置した探触子を用い、各振動子において送受信させることにより、送受信範囲の広いタンデム探傷を可能とした探傷法。 【特徴等】 ・受信範囲が広いこと、きずからの反射エコーに指向性がある場合でも検出性能が高い。 ・探傷データの開口合成処理により、きずの画像化が可能。 ・隅角部の十字継手部の未溶着の状態について探傷実績あり。 ・未溶着などを検出する場合、溶接線に対して探触子を直角に配置しなければ、検出性能が低下する可能性あり。	・十字継手部の未溶着、パス間の融合不良は、フランジ、ダイヤフラム面からの探傷により検出可能性あり。 
TOFD法	【概要】 送信用、受信用の探触子を用いて広い指向角の超音波を送信し、きず端部で回折したエコーを受信する探傷法。 【特徴等】 ・きず端部からのエコーの受信時間差を利用する手法であり、きずの傾きや形状(反射エコーの指向性)に比較的左右されずに検出可能。また、比較的精度良くきず高さの計測可能。 ・探傷機器が高価。 ・自然きずの場合、回折波が微弱で検出が困難な場合がある。 ・余盛りの形状が複雑な場合、余盛りからの回折波が複雑となり、探傷画像データから形状エコーときずエコーの分離が困難になる場合がある。 ・鋼材面付近では、ラテラル波や底面エコーの影響があり、検出性能に影響を与える。 TOFD: Time of Flight Diffraction	・3溶接線交差部の未溶着およびパス間の融合不良は、ウェブ外面からの探傷または、フランジ、ダイヤフラム面からの探傷により検出可能性あり。 ・十字継手部の未溶着およびパス間の融合不良は、フランジ、ダイヤフラム面からの探傷により検出可能性あり。 
フェイズドアレイ法	【概要】 小さな振動子を多数配列した探触子を用い、各振動子の送信タイミングを電氣的に制御することで、超音波ビームを任意に集束、偏向させる探傷法 【特徴等】 ・探傷機器が高価。 ・超音波ビームを任意の深さへ集束することで、近接するきずエコー及びきずエコーと形状エコーとの分解能の向上が可能 ・超音波ビームを任意の角度へ偏向することで、探触子を変更することなく、反射エコーに指向性をもつきずの検出性能の向上が可能 ・画像処理により断面・平面画像のリアルタイム可視化が可能 ・面状きずに対してはタンデム法との併用等が考えられる。	・3溶接線交差部に発生した未溶着およびパス間の融合不良は、ウェブ外面からの探傷により検出可能性あり。 ・十字継手部の未溶着およびパス間の融合不良は、フランジ、ダイヤフラム面からの探傷により検出可能性あり。 

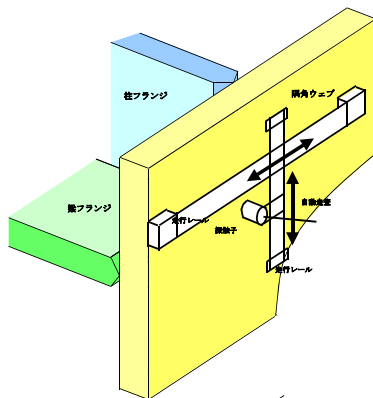
4. 4 隅角部を対象とした各種の探傷事例

以下に、表-4.1に示した探傷技術に関して、隅角部を模擬した試験体を用いて、主に未溶着の検出に適用した探傷事例を紹介する。

(1) 集束型垂直探触子を用いた一探触子パルス反射法²¹⁾

通常の探触子では、振動子から発生する超音波ビームは、一定のビーム幅で直進し、探触子の条件（振動子サイズ、周波数）により、ある一定の距離を直進した後、拡散しながら進んでいく。この場合、溶接きず（反射源）と余盛りなどの形状エコー発生源が近接していると、広がったビーム幅内の複数の反射源からのエコーの判別が出来ず、一つの溶接きずまたは形状エコーとして判断してしまう可能性がある。集束型探触子では、曲面状の振動子や振動子の前面に音響レンズを用いることで、ある深さ位置に超音波ビームを集束させる探触子である。超音波ビームを集束させることにより、絞られたビーム範囲内のきずエコーの検出に有効である。集束型探触子による超音波探傷法については本四瀬戸大橋の箱断面型トラス弦材の角継手の内部きずの検査に適用されている。なお、集束探触子では超音波ビームを集束させビーム幅を絞っているため、探触子の走査が粗い場合は探傷範囲の抜けが発生してしまうおそれがあるので、固定式のレールなどの自動走行装置を用い、探触子の走査を一定速度およびピッチとすることで、探傷範囲の抜けを防止する必要がある。

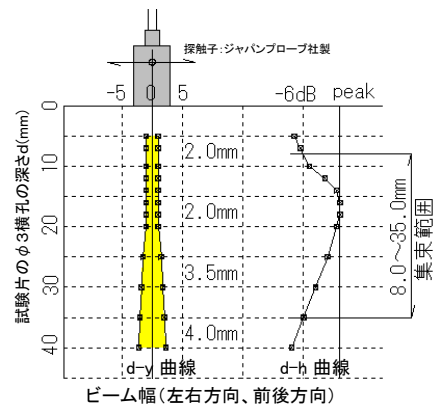
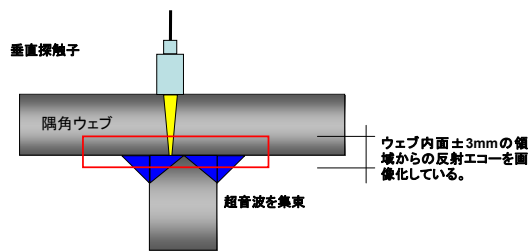
文献 21)では、既設角型鋼製橋脚隅角部（WW タイプ）を模した小型試験体（板厚 25mm）に、意図的に未溶着部を残し、ウェブ外面からの超音波垂直探傷試験を行い、溶接の状態の確認への適用性について検討している。図-4.8(a)～(e)に、集束型垂直探触子(集束深さ範囲：8mm～35mm)を用いた自動探傷装置（探傷器：SM300(トキメック社製)）による、3溶接線交差部に内在する比較的大きなきずを対象に内部の状態の探傷事例を示す。ウェブ外面から X,Y 方向 1mm ピッチで自動走査により探傷を行い、ウェブ内面から $\pm 3\text{mm}$ の範囲からの受信エコー高さを画像化（色調表示）するとともに、隅角ウェブ内面位置での断面マクロ写真と比較している。探傷結果とマクロ断面の比較により、溶接部に内在した未溶着および溶接きずの内在位置と概略の形状が対応している状況が読み取れる。WW タイプの板組を有する隅角部に対して、ウェブ外面からの垂直探傷により 3 溶接線交差部の溶接状態を比較的高い精度で観察できると結論づけている。



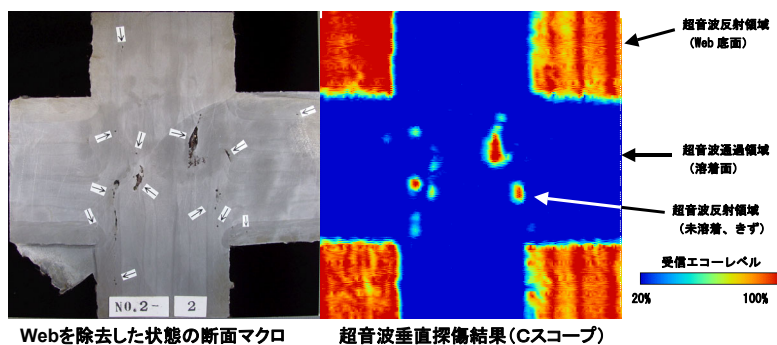
(a) 探傷方法

(b) 探傷条件

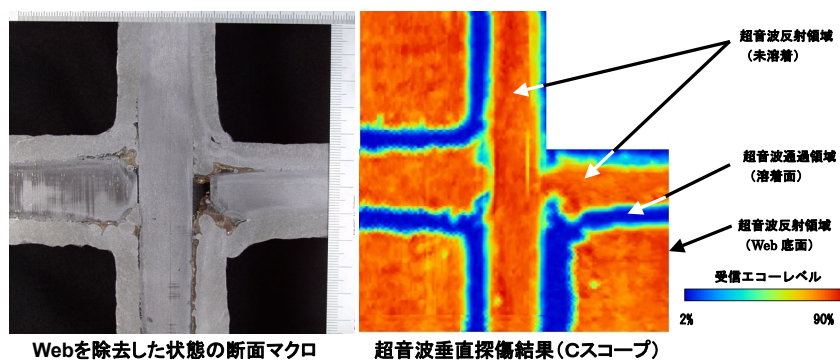
探触子	集束型垂直探触子 5Z10φ 振動子曲率半径 50mm
探傷ピッチ	X、Y方向ともに1mmピッチ (X、Yとも自動走査)
探傷感度	Web底面エコーが80%となるように、Gain調整



(c) 集束探触子ビーム幅と集束範囲



(d) きずを挿入した試験体の探傷画像



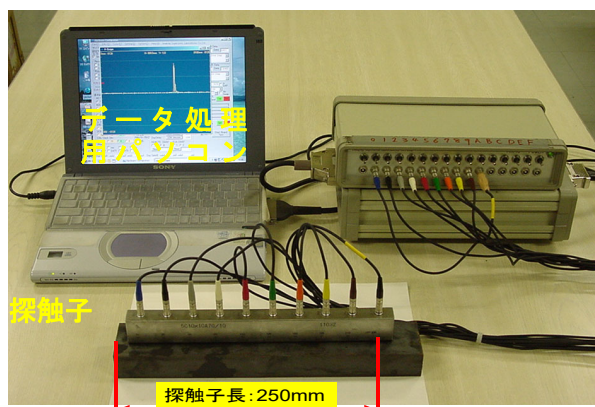
(e) 未溶着部を挿入した試験体の探傷画像

図-4.8 垂直探傷における探傷条件と探傷結果((財)首都高速道路技術センター提供)

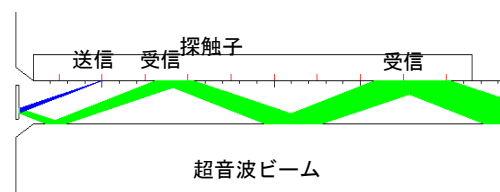
(2) 10連タンデム法^{22), 23), 24)}

10 連タンデム法は、周波数 5MHz、入射角 70° の超音波を送信することのできる探触子を溶接線に直角方向に 10 個並べ、これら各探触子の送受信チャンネルを順次電氣的に切り替えることにより、探触子全体を機械的に走査することなく、これまでの探傷法では困難であった送受信範囲の広いタンデム探傷および高速な波形データの採取を可能とした探傷法であり、東京工業大学において開発されたものである。10 個の探触子で送信を 10 回切り替える毎に受信を 10 回繰り返すことにより、一度の電子走査で $10 \times 10 = 100$ 通りの探傷データを採取することが可能である。また、採取したデータを開口合成処理することにより、より鮮明な断面画像化が可能である。ただし、10 連タンデム法は探触子を直列に 10 個並べているため、溶接線に対する探触子配置の角度の誤差に弱く、溶接線に対して探触子を直角に配置できていない場合、未溶着などの面状きずからの反射エコーを受信できずに検出性能が低下する可能性がある。

図-4.10に 10 連タンデム法の概要、図-4.11に断面画像化の例、表-4.2に 10 連タンデム法による未溶着高さの測定事例を示す。鋼製橋脚隅角部の十字継手部を模擬した形状に未溶着部を内在させた試験体を製作し、それぞれの探傷結果と溶接状態を比較している。10 連タンデム法の探傷結果からノイズ成分を除去するために必要なエコー高さのしきい値は 75 %としている。結果として、未溶着位置および未溶着高さに関して高い精度で測定されている。10 連タンデム法は、既に既設鋼製橋脚隅角部の溶接状態の詳細調査に適用されている。なお、既設橋脚における十字継手部の未溶着高さを概略確認する場合には、斜角探触子を用いた端部エコー法、表面 SH 波の適用も考えられる。



(a) システム構成



(b) 探触子

図-4.9 10連タンデム法の概要 ((財)首都高速道路技術センター提供)

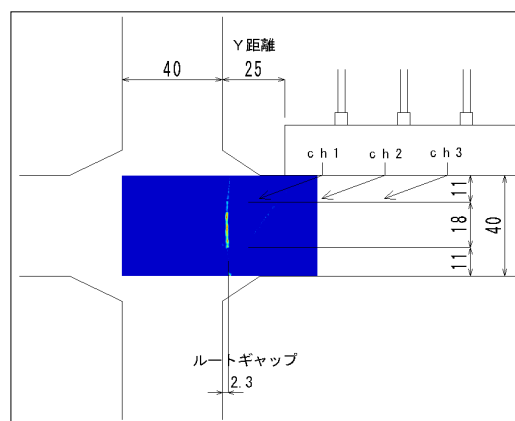
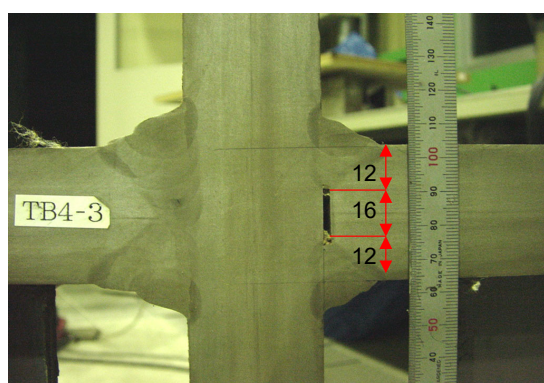


図-4.10 十字継手部の未溶着に対する画像化の例 ((財)首都高速道路技術センター提供)

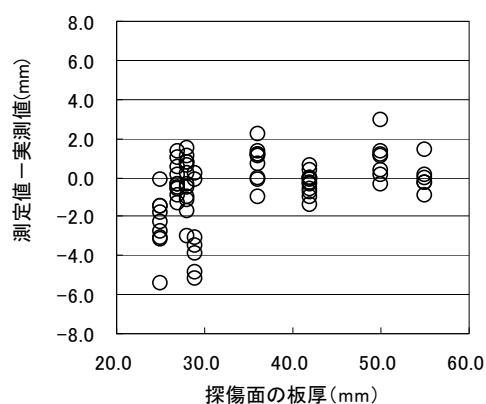


表-4.2 未溶着高さ測定誤差および標準偏差²⁴⁾

探傷法	板厚30mm未満		板厚35mm以上		全体	
	誤差 平均	標準 偏差	誤差 平均	標準 偏差	誤差 平均	標準 偏差
10連タン デム法	-1.2 mm	1.9 mm	0.3 mm	1.0 mm	-0.5 mm	1.7 mm

図-4.11 10連タンデム法による未溶着高さ測定誤差²⁴⁾

(3) フェイズドアレイ法^{例えば5)-7)}

フェイズドアレイ法とは、小さな振動子を多数配列した探触子を用い、各振動子の送信タイミングを電氣的に制御することで超音波の波の位相を制御し、超音波ビームを任意に集束、偏向させることが可能な探傷法である。これにより探触子の交換や機械的な走査をすることなく、広い集束深さ範囲（高い分解能で探傷可能な範囲）をさまざまな探傷角度で探傷することが可能となり、探傷作業の効率化、検査時間の短縮が図れるとともに、反射指向性の高い面状きずの検出やきずエコーと形状エコーとの分離等に関して、精度の向上が期待できる。探触子には、医療分野を含めると、リニアアレイ（リニア配列型）、二次元アレイ（マトリックス配列型）等の種類があるが、-4.12は一般的なリニアアレイ探触子による電子走査方式の例を示している。適用に当たっては対象とする溶接部の探傷に適した超音波ビームの設定方法などを十分に検討し、探傷機器および探触子の必要な仕様を設定する必要がある。フェイズドアレイ探触子については、一般に対象とする溶接部の状況と探傷可能な面等の情報から探傷に必要な集束深さ範囲や最大偏向角度などを検討し、その条件に合わせて探触子の設計（振動子数、配列ピッチなど）、製作が行われている。

-4.13(a) ~ (d) は、溶接ルート部に未溶着を内在させた隅角部疲労試験用の試験体（WW タイプ）に対して、3 溶接線交差部に内在する未溶着を対象にフェイズドアレイ法による内部の状態の探傷事例を示している。ウェブ外面からフェイズドアレイ探触子による超音波ビームの電子制御（リニアスキャン+セクタスキャン）および探触子の機械的な X 方向走査により探傷を行っている。探触子の機械的な走査は、柱フランジ、ダイアフラムおよび梁フランジとの溶接線に平行としている。なお、ここで使用している探触子は探傷条件に合わせて製作したものではなく、探触子、探傷機器とも探傷機器メーカーのデモ用機器（日本クラウトクレマー社：ポータブルフェイズドアレイ探傷装置 PAL1）を用いている。探傷時のビーム制御は、-4.7(c) に示すように、まず探触子の直下を探傷角度（垂直）一定で集束深さのみを変更させたリニアスキャンを行い、次に駆動素子を一定で探傷角度を探触子幅よりも外側へ偏向させ、それらの探傷範囲をつなぐことで、広い範囲の探傷結果を表示している。探傷により得られた断面画像（B スコープ画像）と製作図面による開先形状を重ね合わせると、試験体に内在していると推定される未溶着と余盛り形状からの反射エコーと対応していることが読み取れる。なお、図中の C スコープ画像は、複数の X 軸走査による探傷画像データをつなぎ合わせて表現している。

なお、本研究では、探傷機器については市販機器（日本クラウトクレマー社製：ポータブルフェイズドアレイ探傷装置 PAL2）を用い、探触子については対象板厚等を考慮して、集束深さ範囲 20mm ~ 80mm、最大偏向角度 ± 40 度を条件として、これを満足する探触子（周波数 3.5MHz（鋼中）、素子数 64 素子、素子配列ピッチ 1.0mm、素子幅 10mm）を製作する予定である。探傷法としては、-4.7(c) のビーム制御法ではなく、指向性を持つきずの検出性能を高めるために、一つの着目点に複数の角度から超音波ビームが入射できるように、ビーム制御および探触子の機械走査法を検討する予定である。

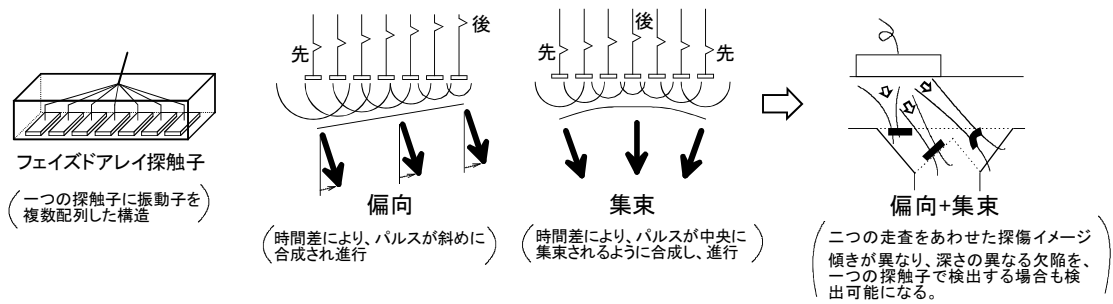
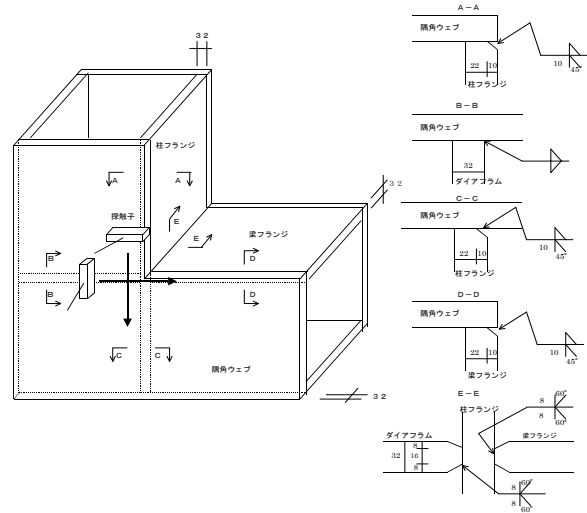


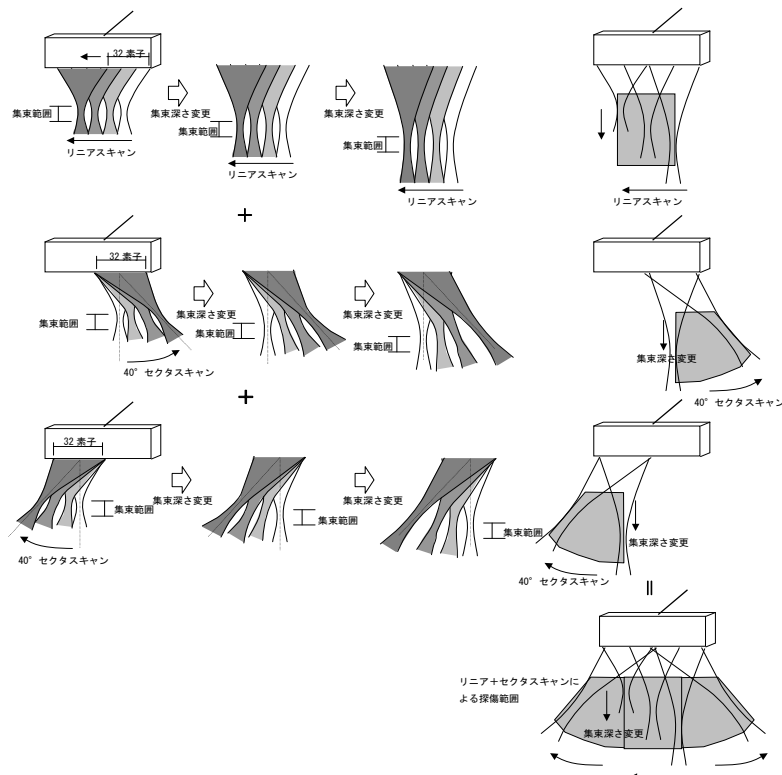
図-4.12 リニアアレイ探触子による探傷イメージ

(a) 探傷機器および探触子条件

探傷機器	利用最大素子数	64素子
	同時制御素子数	32素子
	周波数帯域	0.5~15MHz
	繰り返し周波数	最大20kHz
探触子	周波数	5MHz
	素子数	128素子 (探傷時は64素子を使用)
	素子配列ピッチ	0.75mm
	素子幅	10mm
ビーム制御	リニアスキャン	集束深さ範囲 : 15mm~35mm 集束深さピッチ : 5mm
	セクタスキャン	偏向角度範囲 : $\pm 40^\circ$ 偏向角度ピッチ : 1° 集束深さ範囲 : 15mm~35mm 集束深さピッチ : 5mm



(b) 試験体形状と開先形状



(c) 超音波ビームの制御条件

4. 5 本研究において検討対象とする探傷法

これまでの手探傷による超音波探傷法の課題と、検出性能の向上が期待される超音波探傷法について述べてきたが、3線交差部への適用性については、既存の探傷事例や既存の調査研究、他分野での実績を踏まえると、フェイズドアレイ法や未溶着部のみの検出には集束型の垂直探触子による探傷法の適用性が高いものと推測される。ただし、いずれの探傷法も長所・短所があり、また検出性能に影響を与える要因が探傷法毎に多数あることから、机上検討では両者の優劣を判断することは困難である。本研究では、将来性が期待されるフェイズドアレイ法を主な検討対象とし、性能確認および探傷法の開発を行うこととする。また、フェイズドアレイ法以外の探傷法についても、隅角部の探傷に適用性が高いと考えられるシステムを選定し、フェイズドアレイ法と同等の条件により性能確認を行うこととする。

5. まとめ

5. 1 鋼製橋脚隅角部の構造に関する調査

超音波探傷法の性能確認試験を行うにあたって、使用する試験体に新設橋脚の構造諸元を反映させるべく、各公団、公社において建設計画中の鋼製橋脚を対象に隅角部の板組、板厚等の調査を行った。その結果、角柱断面で板組 WW タイプが大部分（板組が明らかな構造のうちの 98%）を占めること、梁・柱ウェブとフランジの板厚は 15.0mm~88.0mm に分布しており、大部分が同程度の板厚の組合せにより構成されていることが確認された。以上の結果を踏まえ、本研究では、角柱 WW タイプを主な検討対象として検討を進めていくこととした。また、性能確認のためのきず内在試験体としては、20mm~80mm の範囲をカバーできるような板厚を選定することとした。

5. 2 溶接部に発生するきずの整理、分析

超音波探傷の対象となる溶接部の内部きずの情報（位置、種類、大きさ等）を把握するため、既設・新設橋脚の製作方法を対象とした既存の溶接施工試験結果を収集し、断面マクロ写真の情報から 3 溶接線交差部の実きずの発生傾向を分析するとともに、溶接施工時に発生が想定されるきずを溶接順序に従い抽出、整理した。その結果、新設橋脚隅角部における超音波探傷法を検討する上で、想定しておく必要があるきずを、その発生可能性や疲労への影響を踏まえ、2 種類に大別し、さらに溶接手順に従い 15 パターンに整理した。

5. 3 各種探傷法に関する基礎調査

鋼構造溶接部の超音波技術に関する最近の調査研究事例や開発動向を調査するとともに、隅角部（主として 3 溶接線交差部）への適用が考えられる超音波探傷法の検討を行った。その結果、フェイズドアレイ法や未溶着部のみの検出には集束型の垂直探触子による探傷法の適用性が高いものと推測された。以上の結果を踏まえ、本研究ではフェイズドアレイ法を主な検討対象とし、性能確認および探傷法の検討を進めることとした。また、フェイズドアレイ法以外の各種探傷法についても、隅角部の探傷に適用性が期待される探傷システムを選定し、フェイズドアレイ法と同様の性能確認を実施し、検出性能の比較を行っていくこととした。

参考文献

- 1)首都高速道路公団ホームページ (<http://www.mex.go.jp/topics/kyoukyakuhosyu/index.html> 等).
- 2)森、下里、三木、市川：箱断面柱を有する鋼製橋脚に発生した疲労損傷の調査と応急対策、土木学会論文集、No.703/I-59、pp.177-183、2002.4.
- 3)三木、平林、時田、小西、柳沼：鋼製橋脚隅角部の板組構成と疲労き裂モード、土木学会論文集、No.745/I -65、pp.105-119、2003.10.
- 4)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、II 鋼橋編、2002.3.
- 5)平澤：フェイズドアレイ法を用いた炉内機器溶接部の超音波探傷技術、溶接技術、2001.10.
- 6)立花、江原：超音波フェイズドアレイのパイプライン円周溶接への適用、溶接技術、2001.10.
- 7)萩原、坂、飯塚、天野：ガス導管に適用するリニアアレイ方式超音波探傷技術の開発、非破壊検査、第 47 巻 1 号、pp.45-54、1998.1.
- 8)小島：アレイ型探触子、非破壊検査、第 51 巻 11 号、pp.705-709、2002.11.
- 9)例えば、特集「TOFD 法」、非破壊検査、第 49 巻 12 号、pp.801-838、2002.12.
- 10)国土技術政策総合研究所、東京工業大学、日本道路公団、日本橋梁建設協会、日本鉄鋼連盟、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(I)、国土技術政策総合研究所資料、第 31 号、2002.3.
- 11)三木、西川、白旗、高橋：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、土木学会論文集、No.731/I -63、pp.103-117、2003.4.
- 12)建設分野における未来接合技術懇話会：角型鋼製橋脚隅角部の溶接施工法および超音波探傷検査に関する調査・検討報告書、2002.12.
- 13)米山：超音波探傷検査技術の現在と将来、非破壊検査、第 51 巻 12 号、pp.788-792、2002.12.
- 14)British Standard BS7706(1993) : Guide to Calibration and Setting-up of the Ultrasonic Time of Flight diffraction(TOFD) technique for defect detection,location and sizing of flaws, British Standard institution,1993.
- 15)日本非破壊検査協会：TOFD 法によるきず高さの測定方法、NDIS 2423-2001
- 16)日本クラウトクレマーホームページ (<http://www.krautkramer.jp/products/pal/index.html> 等)
- 17)東北電力ホームページ (<http://www.tohoku.co.jp/whats/news/2003/3015.htm> 等)
- 18)池ヶ谷：SH 波用探触子とその応用、非破壊検査、第 52 巻 1 号、pp.3-8、2003.1.
- 19)日本建築学会：鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説、pp.26-29、1996 改訂(第 3 次)
- 20)永井：埋設配管に対する長距離超音波探傷技術の開発、非破壊検査、第 51 巻 10 号、pp.622-627、2002.10.
- 21)柳沼、下里、町田、三木：角柱隅角部の固有内在きずの発生状況と超音波垂直探傷結果について、土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集 I 部門、I -561、pp.1121-1122、2003.9.
- 22)三木、白旗、西田、柳沼：タンデムアレイ探触子による突合せ溶接継手の超音波非破壊検査特性、土木学会論文集、No.654/I-52、pp.131-142、2000.7.
- 23)藤井、柳沼、城島：10 連探触子を用いた超音波探傷装置の概要と適用事例について、東京鐵骨橋梁、技術報、No.49、pp.8-15、2003.
- 24)村野、並川、平林、三木：溶接ルート部に内在する未溶着高さ寸法の超音波測定方法、土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集 I 部門、I -243、pp.485-486、2003.9.
- 25)村越：鋼製橋脚隅角部の非破壊検査技術について、(財)首都高速道路技術センター主催技術講演会講演概要集、pp.61-71、2004.2.

参考資料

参考資料－１：鋼製橋脚隅角部の品質確保の徹底について

参考資料－２：鋼製橋脚隅角部「十字溶接部および３線交差部」製作管理体制フロー（案）

参考資料－３：首都高速道路公団における鋼製橋脚隅角部の製作要領書の例

参考資料－１：鋼製橋脚隅角部の品質確保の徹底について
(関係機関の事務連絡等の抜粋)

鋼製橋脚隅角部の品質確保の徹底について

参考資料－ 1

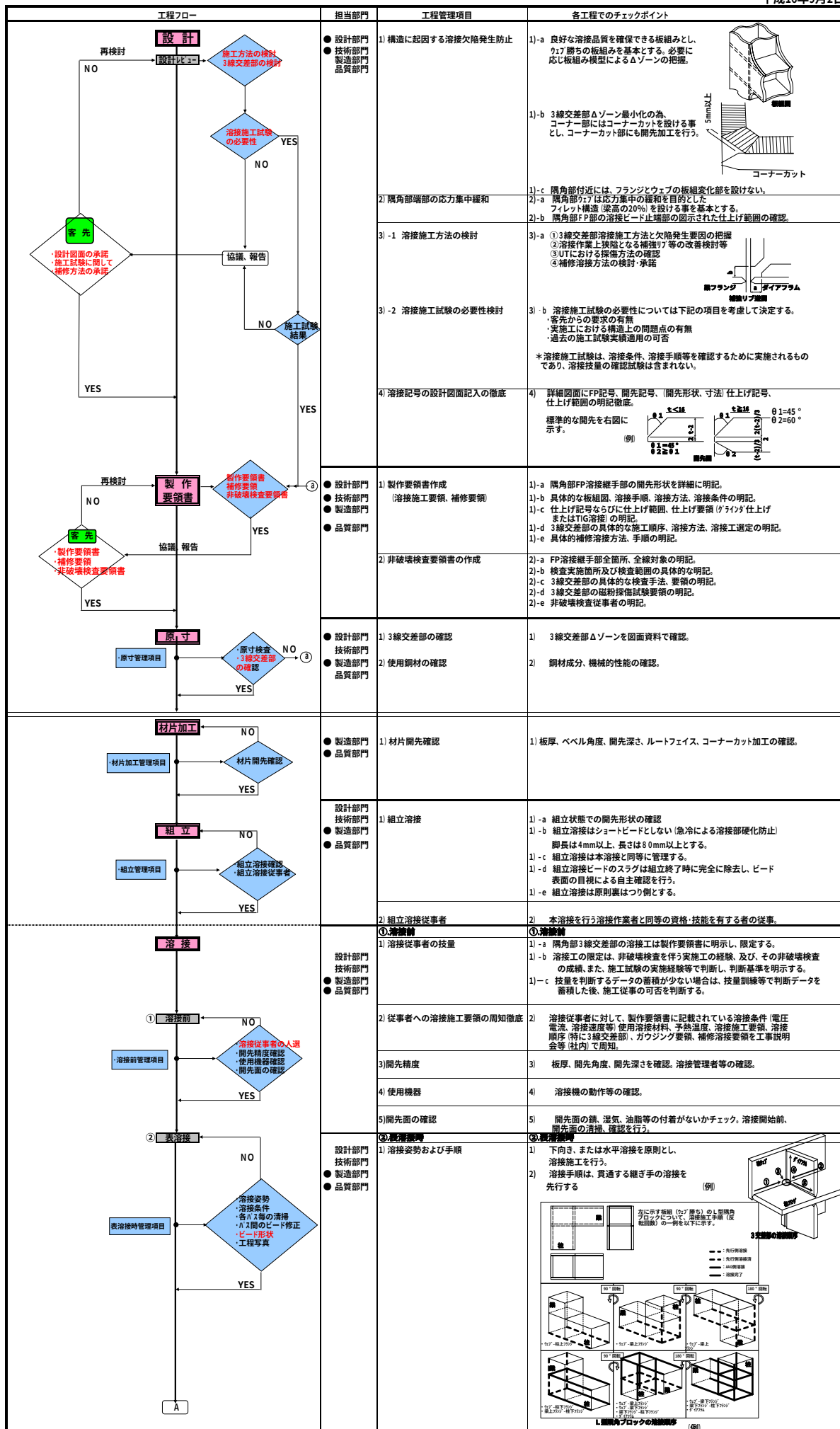
国土交通省	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	日本道路公団
鋼製橋脚隅角部の品質確保の徹底について 平成 14 年 9 月 3 日	鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について 平成 14 年 9 月 5 日	鋼製橋脚隅角部の品質確保の徹底について －鋼製橋脚隅角部の設計・製作・検査に関する留意点－ 平成 14 年 9 月 11 日	鋼製橋脚隅角部溶接の品質管理の徹底について 平成 14 年 9 月 5 日
		(適用範囲) 1)本留意点は鋼製橋脚の隅角部に適用する。	・なお、鋼製橋脚の隅角部以外についても、完全溶け込み溶接を要求する構造が考えられるので、同様に品質管理を徹底されたい。
1. 設計に当たっては、良好な溶接品質が確保できるように板組に配慮するものとする。特に、3 方向からの溶接線が集中する箇所では、溶接困難な接合面が生じることがあるため、施工順序や開先形状などについても慎重に検討を行うものとする。	1. 設計 1.1 設計に当たっては、施工順序や開先形状などを意識して板組を決定する。 1.2 矩形断面柱では、原則として、横梁と柱のウェブ板を優先する板組にする。 1.3 隅角部の近傍には、フランジとウェブの板組変化部を設けない。 1.4 溶接線の集中する箇所にスクエアバー（角鋼）を用いない。	(設計) 2)隅角部は良好な溶接品質を確保できる板組とし、柱、梁ともウェブを優先しフランジを落とし込む構造を基本とする。特に隅角部端部は溶接の施工性が悪く、3 溶接線が集中する部分の開先面が複雑となり不溶着が生じやすいので、施工順序や開先形状などについて慎重に検討を行うものとする。 6)横梁と上工工が一体となる構造等で、フランジとウェブの板組を変化させる場合は隅角部近傍にその変化部を設けないものとする。	3. 設計時より、隅角部の応力集中緩和に有効であり、溶接品質確保が保証される構造詳細を採用することに配慮するとともに、FP 溶接継手の記号や開先形状等を詳細設計図面に明記されるものとする。また、併せて、完全溶け込み溶接部の仕上げが必要な場合には、溶接施工要領書や製作要領書の策定時、または設計図面に仕上げ記号ならびに仕上げ範囲を表示させることとする。
2. 隅角部の柱と梁のフランジの交線となる溶接部でのせん断遅れによる応力集中を緩和させるため、原則として、柱と梁の角部の腹板にフィレットを設けるものとする。ただし、フィレットを設けることにより、溶接施工が困難にならないように注意しなければならない。	1.5 柱のウェブにはフィレットを設けなければならない。フィレットの大きさ(W)の目安は横梁フランジ幅の 20%程度とし、先端は半径 r≒W の円弧で擦り付けるのが望ましい。フィレットの大きさの妥当性については検証する。	3)隅角部端部のせん断遅れによる応力集中を緩和させるため、原則として、腹板のコーナー部に半径 200mm 以上のフィレットを付けるものとする。	・応力集中を緩和させるための構造（フィレット）について配慮
3. 施工計画書には、良好な溶接品質が確保できる施工が行われることが確認できるように必要な事項について記述するものとする。 また、完成図には、完全溶込み溶接である旨を「F.P.」と表示し、開先形状と寸法、仕上げの方法と範囲等の溶接品質に影響を及ぼす事項について記載するものとする。	2. 製作 2.1 製作要領書には、製作方法を確認するために必要な事項（溶接順序・溶接方法・溶接姿勢等）を記述する。 1.6 設計図面には、完全溶け込み溶接は「F.P.」と表示し、開先形状と寸法、仕上げの方法と範囲等を記述する。 1.7 設計図面には、1.6 に示した項目の他に製作後に確認できない全ての情報を表示する。	4)施工計画書および詳細設計図には溶接の誤作業を避けるため、完全溶け込み溶接の記号「F.P.」を必ず明記すること。	2. 隅角部の溶接方法や、FP 溶接継手部全箇所、全線を非破壊検査対象とすることを、溶接施工要領書や製作要領書を策定する際に明記させるとともに、要領書にしたがって正しく施工されたことを示す手法や仕様等についても事前に定めることとする。
4. 完全溶込み溶接継手では、当面、溶接止端部の仕上げを行うものとする。	2.3 完全溶け込み溶接継手において、柱と梁の接合部・その近傍 20cm 又はフィレット先端までの範囲について溶接ビード表面の凹凸性状及びビード止端部を滑らかに仕上げる。	5)完全溶け込み溶接部のうち柱と梁の溶接部およびそれと交差する近傍 200mm またはフィレット先端部の範囲の溶接部について止端部の仕上げを行うものとし、施工計画書および詳細設計図に仕上げの方法と範囲について記載するものとする。	・原則として、溶接ビード表面の凹凸性状をグラインダで滑らかにするとともに、止端部も仕上げる。
5. 良好な溶接品質の確保が困難となることが多いので、やむを得ない場合を除き、裏当金付溶接継手を用いないものとする。	2.4 完全溶け込み溶接継手では、原則として裏当金付溶接を用いない。	7)やむを得ない場合を除き、裏当て材付きの溶接継手構造は用いないものとする。	・本来は裏当材を用いない板組を採用すべき ・裏当材の存置箇所や材質を図面に記載。
6. 完全溶込み溶接継手の施工にあたっては、良好な溶接品質を確保するために、裏はつりを徹底するものとする。	2.2 完全溶け込み溶接継手では、裏はつりを徹底する。	8)完全溶け込み溶接部の施工にあたっては、良好な溶接品質を確保するために施工計画書等に施工手順を明示させ、裏ガウジング等の確実な実施を徹底させるものとする。	・裏ガウジングを確実に実施させることとし、詳細設計図面や各種要領書に明示させる。
7. 完全溶込み溶接継手の溶接われについては、疑わしき場合には、磁粉探傷法による検査を徹底するものとする。 8. 完全溶込み溶接継手の内部きずについては、原則として、全線にわたって超音波探傷試験による検査を実施するものとする。 9. 超音波探傷試験では、当面、検出レベルを L/2 線として内部きずの実寸法を 1mm 単位で評価し、その最大値が t（板厚）/3 以下の場合を合格としてよい。	2.5 製作要領書、超音波探傷試験の検査記録をしゅん工図書のマイクロフィルムとして提出する。 3. 検査 3.1 完全溶け込み溶接継手は、原則として、全線にわたって超音波探傷試験による検査を実施する。 3.2 超音波探傷試験では、検出レベルを L/2 線として内部きずの実寸法を 1mm 単位で評価し、その最大値 t（板厚）/3 以下の場合を合格としてよい。 3.3 超音波探傷試験の結果は、合格きずを含めて記録に残す。	(検査) 9)完全溶け込み溶接継手の内部きずに対する検査は、原則として、全線にわたって超音波探傷試験を実施すること。 10) 超音波探傷試験では、当面、検出レベルを L/2 線とし、内部きずの実寸法を 1mm 単位で評価し、それが t（板厚）/3 以下の場合合格としてよい。ただし、合格であっても検出レベルを越えたエコーは検査記録に記載するものとする。	4. 隅角部 FP 溶接継手部については、継手部全箇所、全線を非破壊検査対象とするとともに、一般的に、応力集中が生じやすい隅角部の梁フランジと柱フランジの交差部溶接線から、最低 300mm の範囲にある梁部および柱部の角溶接線部に関しては、磁粉探傷試験を併用して行い要求される溶接品質を満足していることを確認する。 1. 完全溶け込み溶接継手部（以下、FP 溶接継手部という）の非破壊検査（超音波探傷試験）実施を再徹底する。 2. 隅角部の溶接方法や、FP 溶接継手部全箇所、全線を非破壊検査対象とすることを、溶接施工要領書や製作要領書を策定する際に明記させるとともに、要領書に従って正しく施工されたことを示す手法や仕様等についても事前に定めることとする。 ・当面の間は「t/3 以下」
10. 完全溶込み溶接継手について、製作途中に補修を行った場合には、その範囲や方法等の履歴を記録するものとする。	3.4 溶接完了後の検査により溶接継手の補修を行う場合には、その手順・方法等について事前に報告し、補修を行った場合には、その範囲や方法等の履歴を超音波探傷試験の検査記録に残す。	11)完全溶け込み溶接継手について、製作中に補修を行った場合には、その範囲や方法等の履歴を記録するものとする。	6. 非破壊検査の結果、要求される溶接品質が得られずに補修を行った場合には、その位置や範囲、補修方法等に関して履歴を記録しておくこととする。
	3.5 完全溶け込み溶接継手は、各溶接線毎に溶接前の開先形状・裏はつり後の状況が確認できる写真（全景と両端と中央部のアップ写真を含む四枚以上の写真）を撮影し提出する。 3.6 原寸検査において、隅角部の溶接方法、開先形状の確認を徹底する。原寸検査を省略する場合は、工事打ち合わせ簿等での確認を徹底する。		
11. 仮組立検査を実施する場合においては、要求される溶接品質を満足していることを確認するため、抜取りにより、完全溶込み溶接継手の超音波探傷試験を実施するものとする。	3.7 仮組立検査において、隅角部溶接の仕上げの確認、完全溶け込み部の U T 検査の抜取り検査及び外観検査を徹底する。	12)現場監督員は仮組立検査等の立会時に隅角部溶接継手の仕上げ等の外観検査を行い、溶接割れの疑わしい場合は磁粉探傷法等による検査を行う。また超音波探傷試験による内部きず検査を抜取りで実施するものとする。	5. 仮組立検査を実施する場合には、監督員立会のもと、抜取り検査により FP 溶接継手部の非破壊検査を実施し、要求される溶接品質を満足していることを確認する。

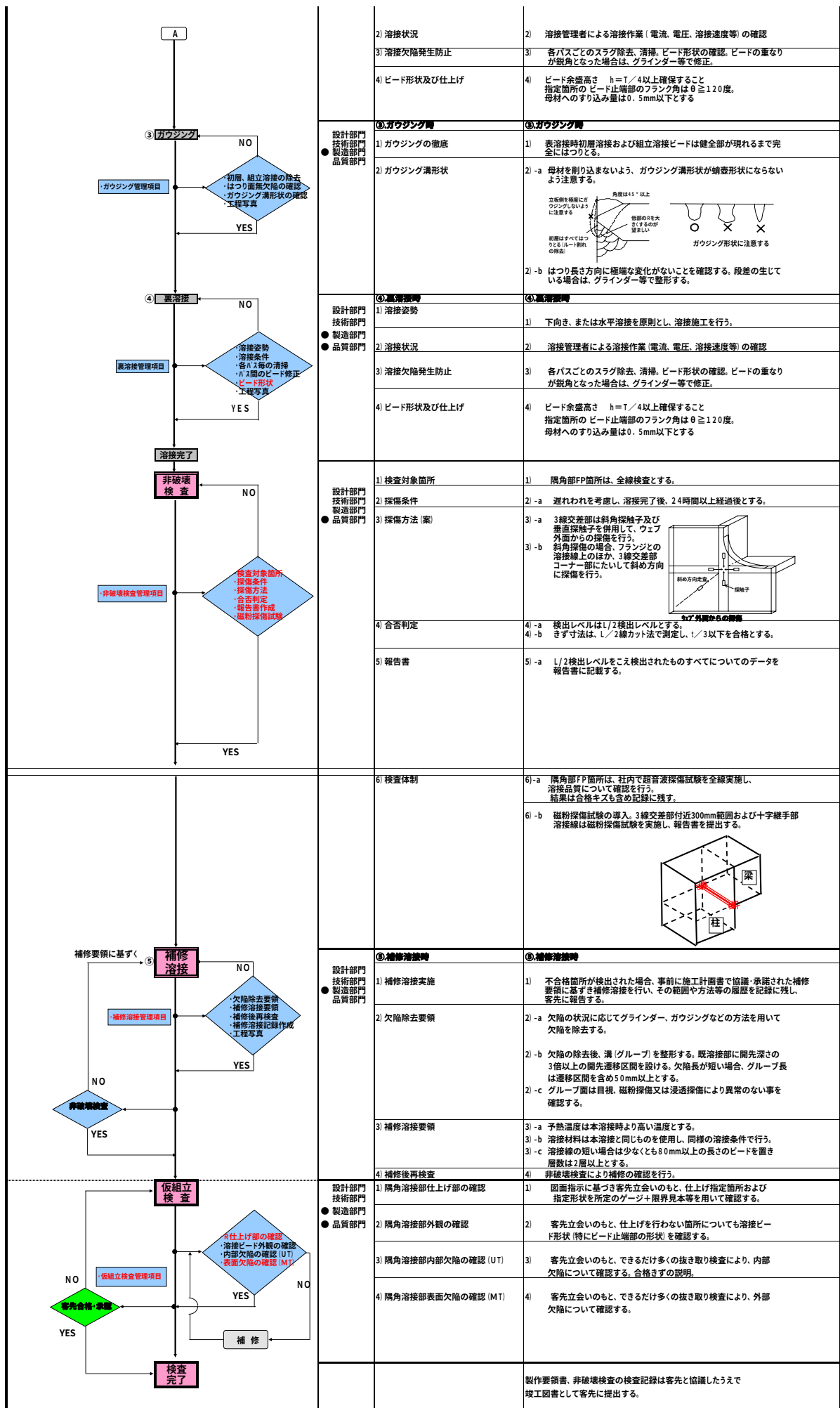
注：１）各公団の記述については、国土交通省の記述にあわせて対比できるように順番を入れ替えて記載
２） “・” は解説での記載事項

参考資料－２：鋼製橋脚隅角部「十字溶接部および３線交差部」製作管理体制フロー（案）
（（社）日本橋梁建設協会作成、平成16年9月時点）

（社）日本橋梁建設協会（平成 16 年 9 月時点）において作成された、角柱 WW タイプの新設鋼製橋脚隅角部を対象とした製作管理体制フロー（案）を参考までに添付する。

なお、本文中の 9、23 および 26 ページにおいて引用している製作管理体制フロー（案）は、ここに示した平成 16 年 9 月時点のものではなく、それより以前の作成段階のものである。





参考資料－３：首都高速道路公団における鋼製橋脚隅角部の製作要領書の例
(請負工事 J V 作成、平成15年5月)

新設鋼製橋脚隅角部の製作要領書の一例として、首都高速道路公団が発注した実工事における製作要領書を参考までに添付する。

この製作要領書は、本文中の表-3.1 に示した溶接施工試験のうち No.③における複数の請負工事 JV の中の一つの請負工事 JV により、参考資料－２に示した製作管理体制フロー（案）を参考に作成されたものである。あくまでも隅角部の製作要領の一例であり、隅角部の標準的な製作要領書を意味するものではない。

製 作 要 領 書

(橋脚・隅角部)

平 成 1 5 年 5 月

特 定 建 設 工 事 共 同 企 業 体

目 次

0. 脚隅角部における疲労亀裂防止対策	付1
1. 設計・原寸	付2
2. 隅角部の板組み図	付13
3. 隅角部の組立要領	付17
4. 隅角部の溶接順序（反転順序）	付21
5. 隅角部の開先形状及び溶接の積層	付38
6. 3 溶接線交差部の溶接施工	付42
7. 隅角部の溶接施工及び管理	付47
8. 補修要領	付49
9. 完全溶け込み溶接部の仕上げ	付50
10. 検査要領	付52
11. 写真管理	付52
12. 記 録	付52

0. 脚隅角部における疲労亀裂防止対策

(1) 既設橋脚の疲労亀裂

設計の留意事項としてウェブ優先の板組みを採用している。しかし既設橋脚の調査結果ではこの場合でも隅角部付近の溶接線上及び溶接線交差部における溶接止端部、始終端部等から亀裂の発生が見られる。

以下に現時点で考えられる亀裂発生防止対策について列記し本製作要領書はこれに従うものとする。

(2) 亀裂発生防止対策

- ① 設計要因：応力集中構造、溶接作業性の悪い構造を避ける。しかし路線設計上の制約からやむを得ない場合は模型等により施工性の確認を行ない設計図に反映する。
- ② 製作要因：溶接部の品質向上を図るため以下について実施する。
 1. 使用鋼材：溶接構造に適した鋼材を用いるとともに適切な溶接溶材（欠陥発生頻度、ビード形状、作業性の良否を実験）を選択する。
 2. 溶接条件：施工試験によって使用鋼材、溶接材料にあった条件（電流、電圧等、速度等）及び開先形状による溶け込み具合、作業性を確認する。
 3. 製作要領書：事前に組立要領、溶接手順を検討し、明記する。
 4. 溶接手順：施工試験により、作業姿勢、作業順序、作業時間の確認を行ない、本体施工における作業手順、作業計画、工程管理に反映する。また作業者は1パスごとに作業状況を確認、欠陥が知覚された場合は逐次補修しながら作業を進める。
 5. ビード形状：疲労強度上重要な箇所は止端部の仕上げを行なう。
 6. 作業教育：隅角部溶接の重要性を認識させるとともに、製作要領書による教育を実施し、溶接手順を熟知させる。検査で傷を発見するのではなく、作業者の経験による知覚で全パス検査の意識をもたせる。

(3) 溶接部の検査

- ① UT 検査が主体となるが信頼性向上は検査経験の蓄積と技量の向上によるので検査員を専任とし施工試験等で隅角構造の特性を熟知させ本体検査に臨む。
- ② MT 検査も併用する。

(4) 補修方法、記録

- ① 検査にて発見された傷は標準化された補修方法を実施し、その経過を記録に残すことを義務付ける。

1. 設計・原寸

(平成 14 年 9 月 5 日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について（通知）1.設計 1.1～1.3 による。)

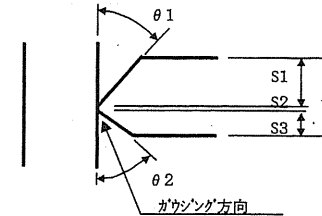
隅角部内の溶接を確実にを行うため、設計原寸段階で下記の項目について照査します。

- ①開先形状は、完全な溶け込みが可能ように開先深さと開先角度を決める。
- ②開先方向については作業性の良い方向から裏がウジングを行うように決定する。
- ③3溶接線交差部に欠陥を残さないようにコーナークットを決める
- ④隅角内の縦リブ配置は、連続溶接やグラインダー仕上げの作業性を考慮して決める。
- ⑤狭隘部による溶接作業性の悪い箇所を照査し不備の場合は図面変更を行う。

以下に検討内容と結果を示します。

①開先形状

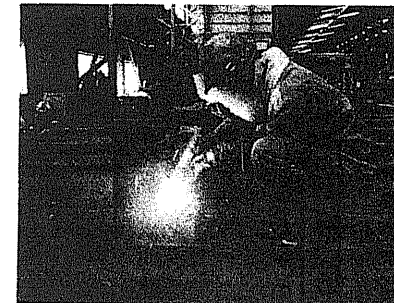
本工事で隅角部に使用する板厚および開先形状は下記のとおりとします。



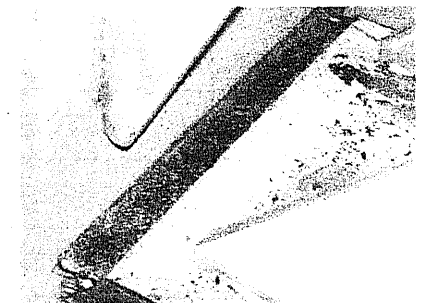
	PA12	PB7	PA13	PA14
t	37	40	69	52
S1	24	26	45	34
S2	1	1	1	1
S3	12	13	23	17
θ1(度)	40	40	40	40
θ2(度)	55	55	50	55
材質	SM490YB	SM400B	SM570-H	SM520C

本工事における最小角度(40度)において、融合不良等の溶接欠陥がなく良好な溶接が確保できることを溶接施工試験で確認しました(溶接施工予備試験結果参照)

<溶接施工予備試験状況写真>



開先角度40°における溶接施工試験(溶接中)



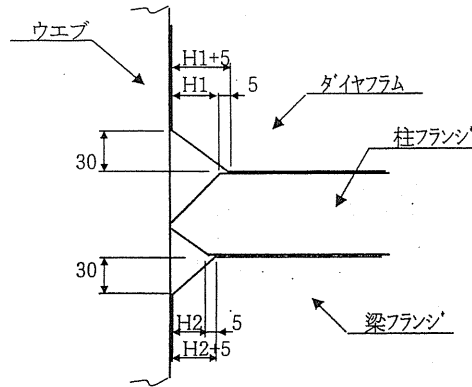
開先角度40°における溶接施工試験(余盛溶接完)

②ガウジング方向

ガウジング方向は作業性の良い側とします。ガウジング方向は溶接反転順序に明記します。

③3溶接線交差部のコーナーカット要領

柱フランジ、ウェブ、梁のフランジおよびダイヤフラムが交差する3溶接線交差部の溶接施工を確実に行うため、3溶接線交差部の梁フランジとダイヤフラムにコーナーカットを設けます。コーナーカットの大きさは、模型検証および溶接施工試験結果から下図のとおりとします。



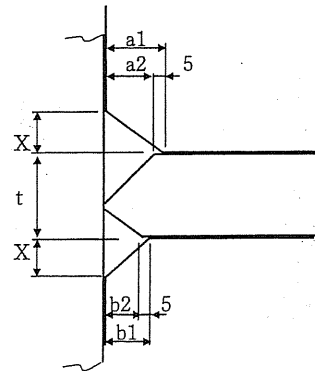
3溶接線交差部のコーナーカット量は、模型および溶接施工試験により溶接施工性を確認して決めました。以下にその結果を示します。

・模型による検討

模型による検討は、本工事の隅角部最大板厚である69mm、および最小板厚付近の40mmで実施し、コーナーカット量(X)は下記の3パターンで検討した。

開先・コーナーカット形状 (mm)

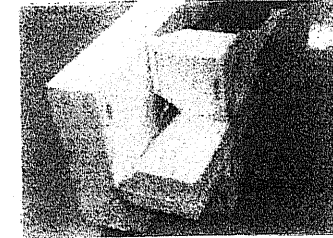
t	69	40
a1	43	27
a2	38	22
b1	32	24
b2	27	19
X		
パターン1	30	
パターン2	25	
パターン3	20	



検討結果は、パターン③では突き出し長さが10mm以下で施工性が悪く、少なくともパターン②の25mm程度のコーナーカット必要という結果になった。さらに、パターン①は、柱フランジとウェブの余盛部の溶接施工性も良い。

<板厚69mmの場合>

① パターン1



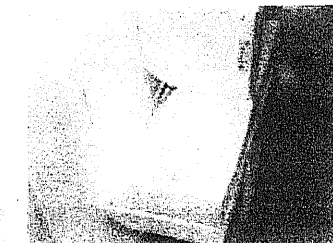
1. 溶接ワイヤーは、梁フランジの開先先端より40mm程度出る。
2. 余盛部溶接においても、トーチ角度が確保できる。

② パターン2



1. 溶接ワイヤーは、梁フランジの開先先端より25mm程度出る。
2. 余盛部溶接において、トーチ角度を確保しづらい。

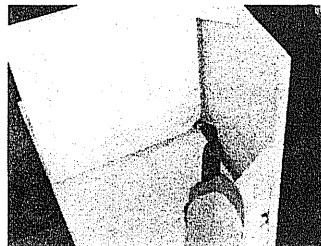
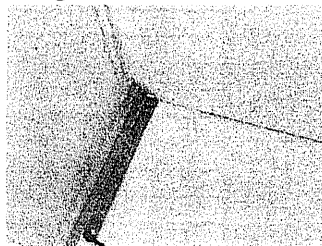
③ パターン3



1. 溶接ワイヤーは、梁フランジの開先先端より10mm程度しか出ない。
2. 余盛部溶接においてトーチ角度の確保が困難。

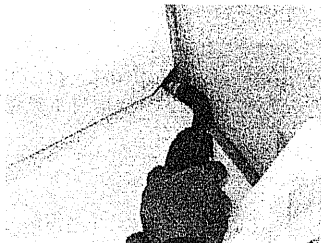
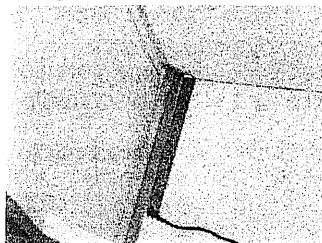
<板厚40mmの場合>

① パターン1



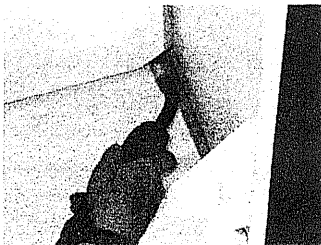
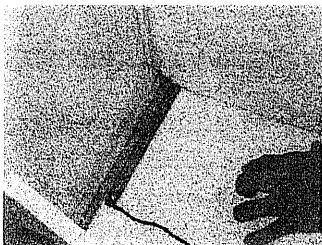
1. 溶接ワイヤーは、梁フランジの開先先端より30mm程度出る。
2. 余盛部溶接においても、トチ角度が確保できる。

② パターン2



1. 溶接ワイヤーは、梁フランジの開先先端より20mm程度出る。
2. 余盛部溶接において、トチ角度を確保しづらい。

③ パターン3



1. 溶接ワイヤーは、梁フランジの開先先端より10mm程度しか出ない。
2. 余盛部溶接においてトチ角度の確保が困難。

・溶接施工試験による確認

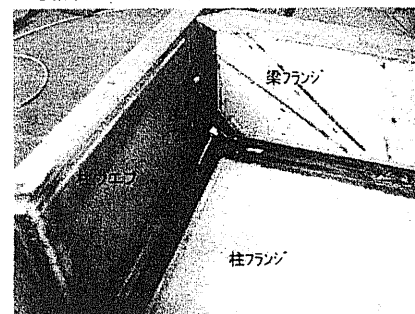
模型を用い、溶接トーチ角度や突き出し長を確認した結果、パターン1が望ましいが、さらに溶接施工予備試験により、施工性の確認を実施しました。

溶接施工予備試験は、安全サイドをねらいパターン2で実施しました。但し使用板厚は社内在庫の最大板厚である42mm(SM520C)を用いました。

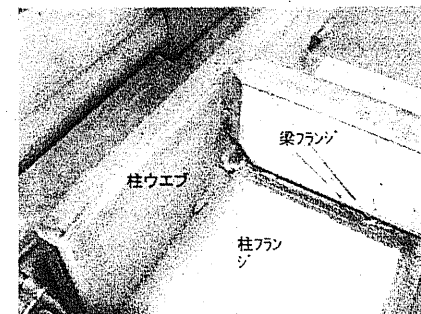
別紙、溶接施工予備試験結果に示すとおり、板厚内に欠陥を残すことなく良好な結果が得られました。

<溶接施工予備試験状況写真>

①溶接トーチの突き出し状況



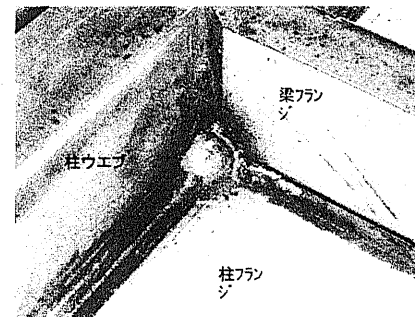
②表面からの溶接完了状況



コーナークット量は、水平方向28mm(柱フランジの開先+5mm)鉛直方向25mmとし、溶接トーチは梁フランジの開先先端より25mm程度出る

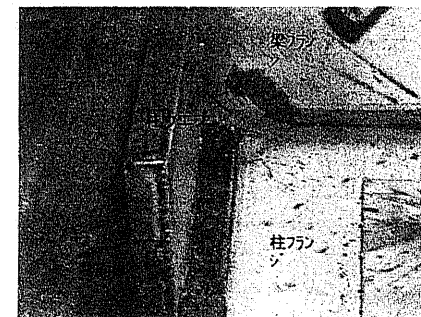
梁フランジの板厚内の溶接が問題なくできる

③裏面からのガウジング完了状況



梁フランジの開先先端より手前側で良好なガウジングができる

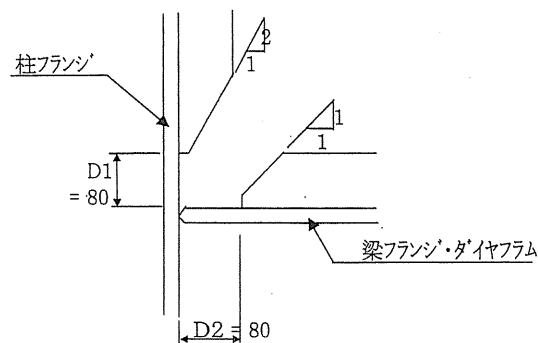
④裏面からの溶接完了状況



溶接方法はガウジングした面に始終端を設けないようにU字運棒(バックステップ方式)で実施し、良好な溶接ができる

④隅角内の縦リブ配置

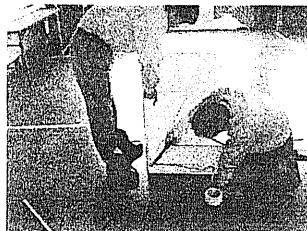
隅角部内の縦リブ配置は、溶接施工性およびグラインダーによるビードのR仕上施工性を考慮し、下図のD1、D2寸法を80mm確保するものとします。



決定根拠は下記のとおりです。

・模型によるクリアランスの確認を模型により実施

CASE1 : D1=D2=50mm



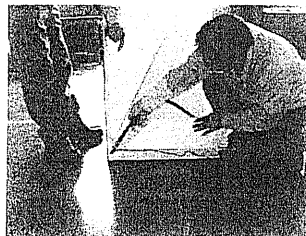
手が縦リブに当たって通過不可能

CASE2 : D1=D2=65mm



縦リブ位置での手の通過はかなり困難

CASE3 : D1=D2=80mm



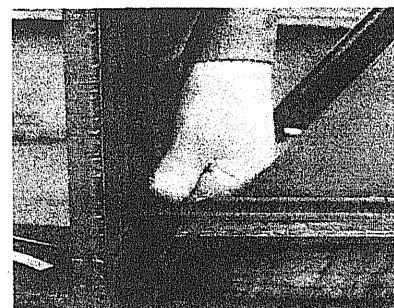
縦リブ位置で手の通過は可能

CASE4 : D1=D2=80mmで梁勾配有り

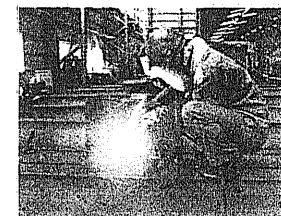


梁勾配がある場合は、縦リブのコーナークットを1:2にする必要有り。

・D1=80mm、D2=80mmで実際に溶接し、問題なく連続溶接が可能であることを確認



溶接前:D1=D2=80mm



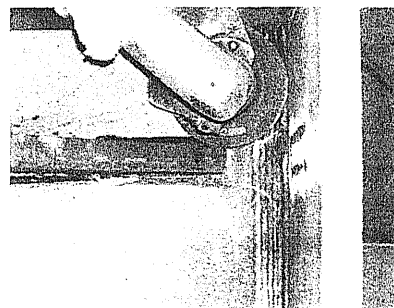
溶接作業中



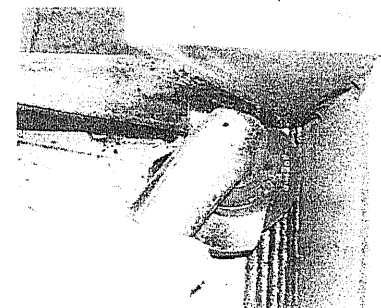
開先内溶接完了(連続溶接可能)

・グラインダーによるビード仕上げ施工性確認

縦リブの離れが50mmの場合、縦リブ近傍はグラインダーによる仕上げがほとんど出来ないが80mmにすると施工性が大幅に改善される。



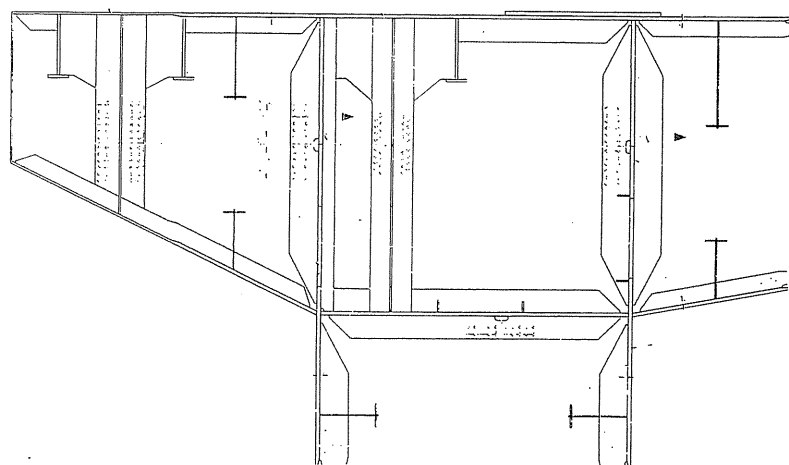
D2=50mmの場合(デ'イスクサンダー-径100mm)



D2=80mmの場合(デ'イスクサンダー-径100mm)

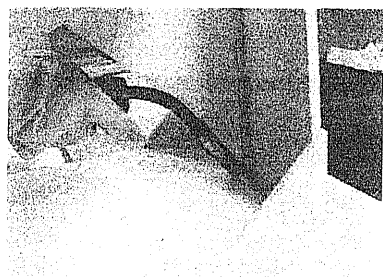
⑤狭隘部による溶接作業性の照査

本工事の対象脚である4脚について、狭隘部の照査を行いました。この中でPA12については、隅角部に支点があり最も溶接作業性が悪いため、PA12について重点的に照査を行いました。他の3脚については、縦リブのカット形状、取付位置等により同様の問題が生じますが、PA12において作業可能であれば、他の3脚も同様に作業可能であると判断します。PA12隅角部下図の3箇所における狭隘部の照査を行いました。

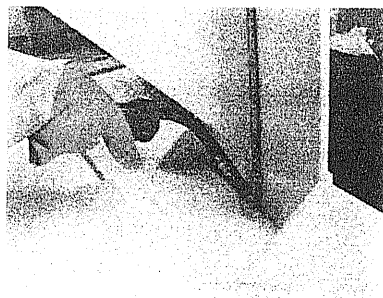


(1) “a” 部について

原寸大の模型を作成し、溶接性の検討を行いました。



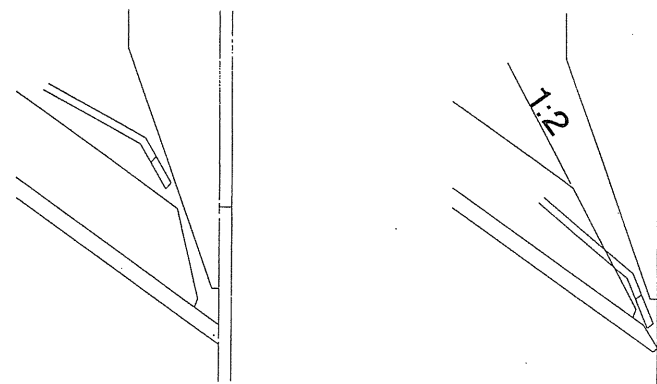
縦リブの隙間 50mm



縦リブの隙間 80mm

溶接トーチの角度を確保した場合、隙間 50mm ではトーチと縦リブが干渉するため、縦リブの隙間は 80mm 必要と判断します。

(2) “b” 部について

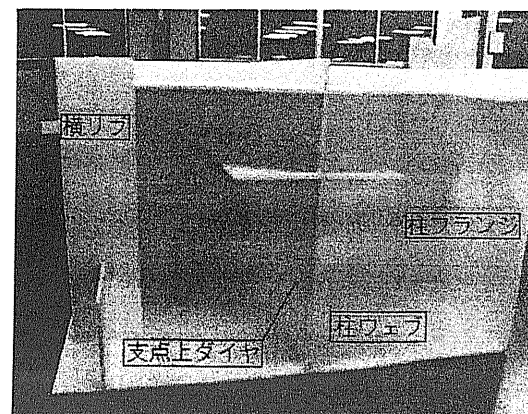


現状（左図）では、縦リブとの干渉のため、溶接トーチが開先面まで届かない。そこで、右図のように縦リブを1：2でカットした場合を考える。この時、溶接トーチは開先面まで届き、良好な溶け込みが期待出来る。

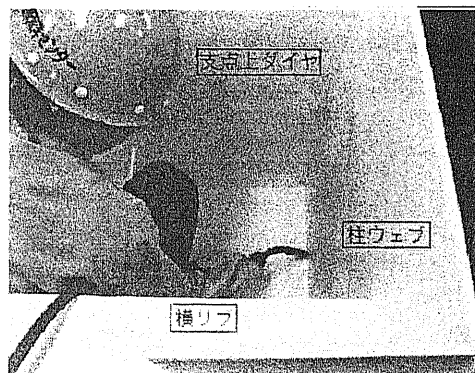
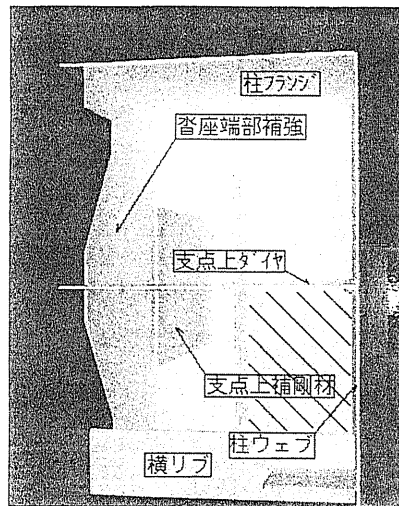
他の橋脚は梁の勾配がPA12に比べ、緩やかなため、縦リブのカットを1：2とすることで問題ないと言えます。

(3) “c” 部について

この箇所は支点上補剛材が密接する箇所であり、溶接作業性が悪いと考えられます。そこで、実物大の模型を製作しその作業性を確認しました。

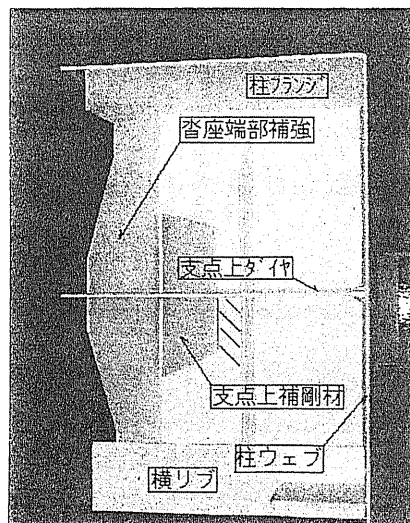


a) 支点上ダイヤ〜横リブの溶接作業性の確認



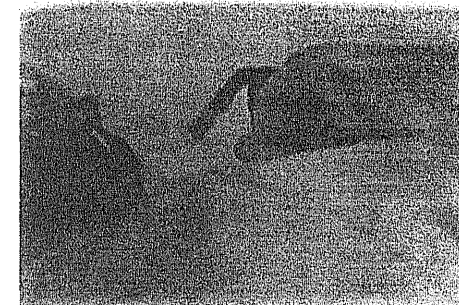
作業者が入るスペースがあり、コーナー部の溶接作業が行えることを確認。

b) 支点上補剛材の溶接作業性の確認



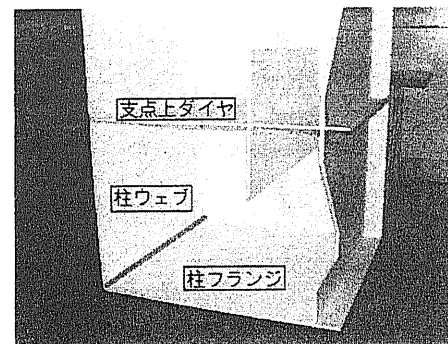
横リブ越しに作業が可能で有ることを確認。

(c) 支点上補剛材〜沓座端部補強リブの溶接作業性の確認



横リブと支点上ダイヤ間に作業者が入るスペースがあり、溶接トーチの角度も広く取れる。作業者から開先面を見ることも出来、溶接作業性に問題はないと考える。

(d) 柱フランジとウェブの角溶接作業性の確認



作業者のスペース、トーチの角度とも問題ないことを確認した。

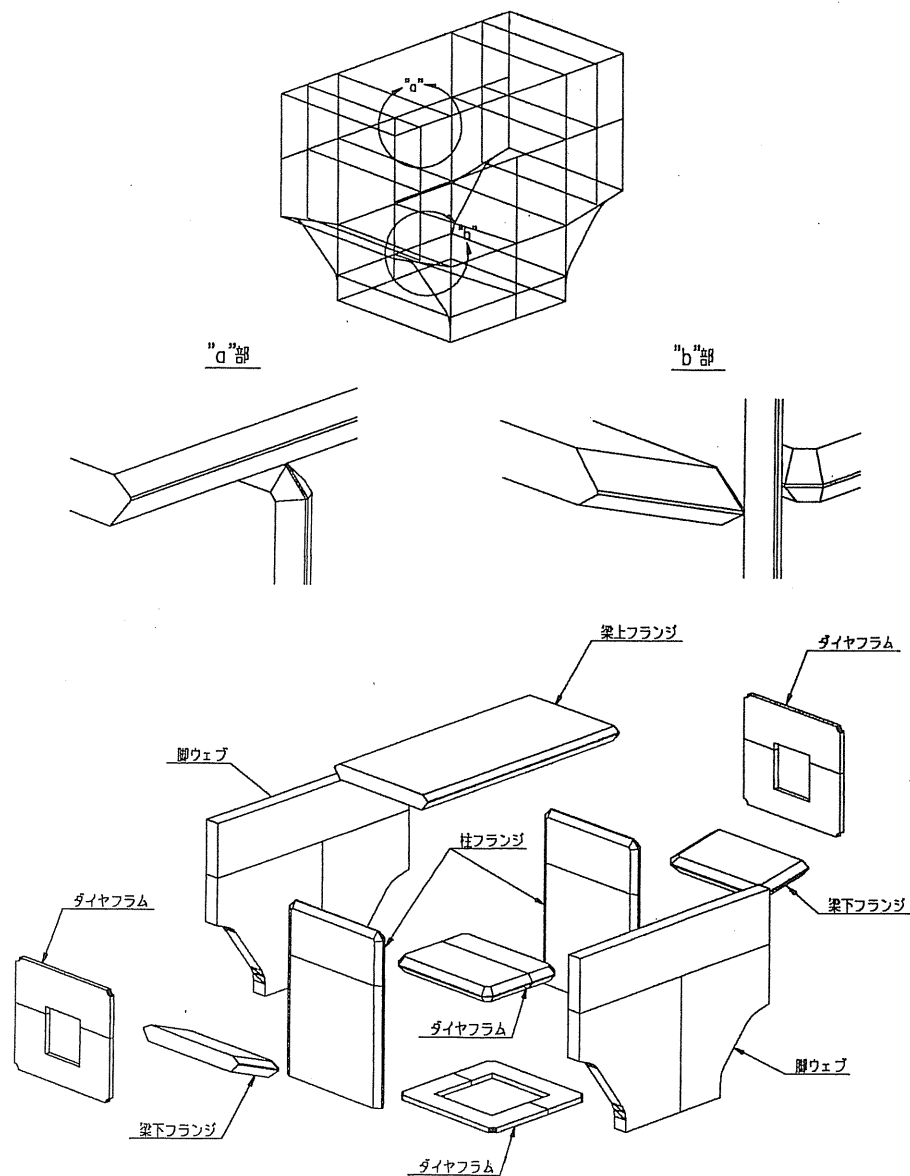
以上 (a) ~ (d) より、“c” 部については、狭隘部ではあるものの完全溶け込み溶接箇所の作業スペースは十分確保でき、その作業性については問題ないことを確認しました。よって、現状の図面通りで変更の必要はないと判断します。

2. 隅角部の板組み図

(平成 14 年 9 月 5 日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について (通知) 1.設計 1.1~1.3 による。)

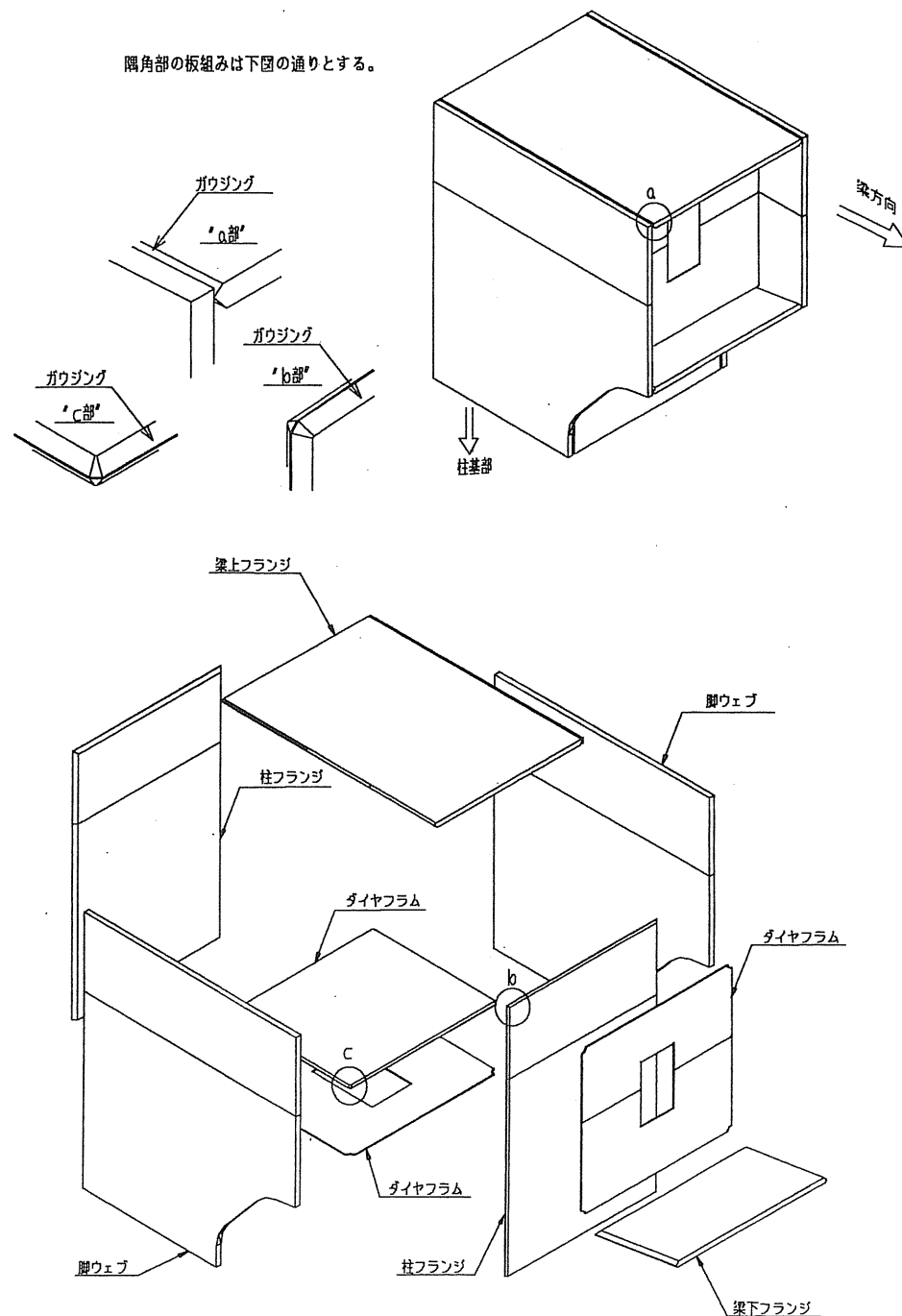
(1) 隅角部の板組みは、下図の通りである。(PA12)

・ウェブ勝ちの板組みである。



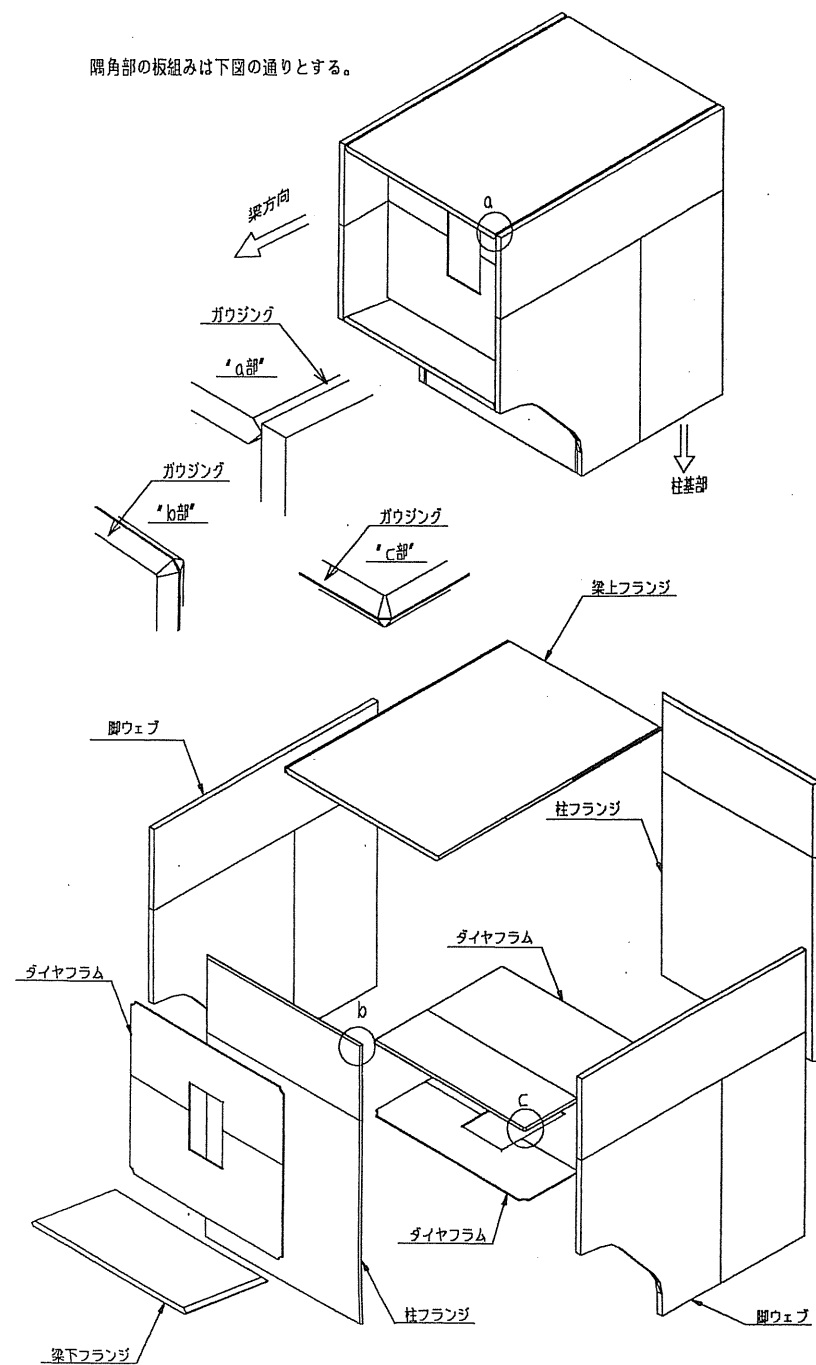
PB7隅角部 板組図

隅角部の板組みは下図の通りとする。

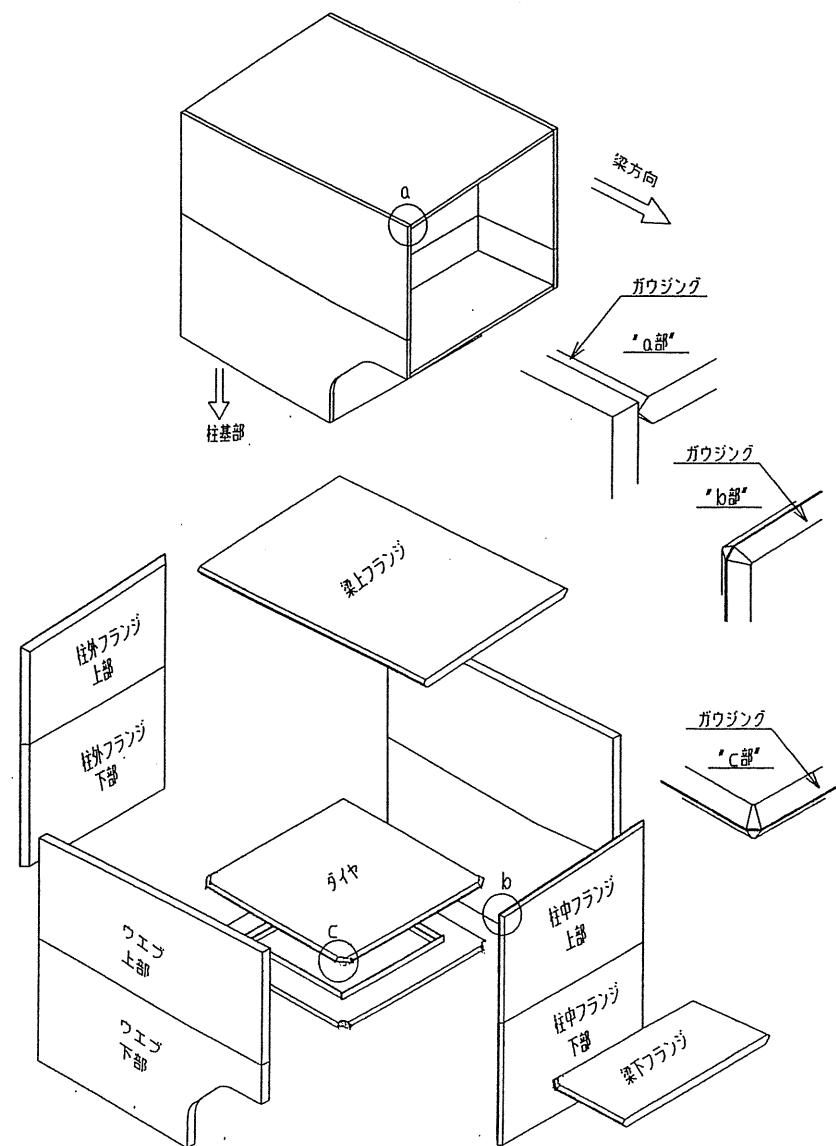


PA14隅角部 板組図

隅角部の板組みは下図の通りとする。



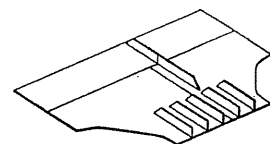
(2) PA13隅角部 板組図



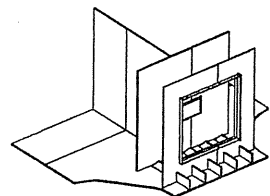
3. 隅角部の組立要領

(平成14年9月5日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について(通知)2.製作2.1~2.2による。)

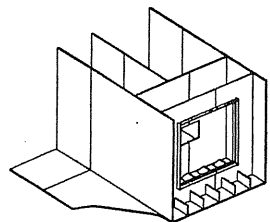
組立方法は、下図の通りとする。(PA12)



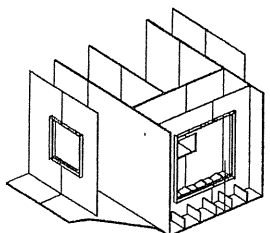
① ウェブベースの配材



② 柱ダイヤフラムの配材、取付



③ 柱フランジの配材、取付



④ 梁ダイヤフラムの配材、取付

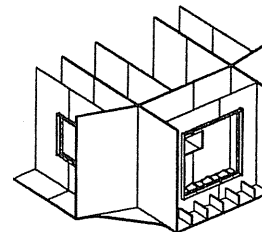


- 1) 組立溶接は、先行溶接側に行わず、ガウジング側に行う。また、3 溶接線交差部から300mmの範囲には、組立溶接を行わない。
但し、組立作業時の安全性などにより、やむをえず先行溶接側及び交差部に組立溶接を行う場合には、組立完了後形状が安定した状態で、ガウジングにより完全に除去します。

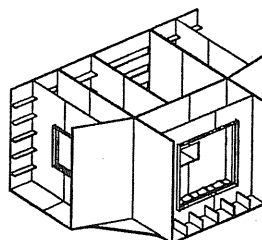
- 2) 個々の組立溶接の脚長は4mm以上、長さは80mm以上とする。

- 3) 組立溶接作業者は、本溶接を行う溶接作業者と同等の技能をもつ技量資格者とする。

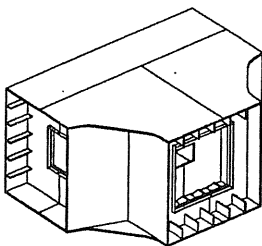
- 4) 組立溶接は、組立終了までにスラグを除去し、表面割れがないことを目視で確認する。



⑤ 下フランジの配材、取付



⑥ 上フランジの配材、取付



⑦ ウェブの配材、取付



⑧ 組立溶接のチェック



⑨ 寸法のチェック

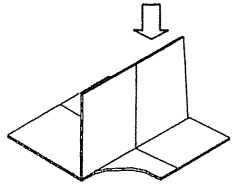
- 5) 組立溶接完了後に、組立溶接のチェックを行う。

- 6) 溶接管理者が、組立精度及び開先精度の確認を行う。

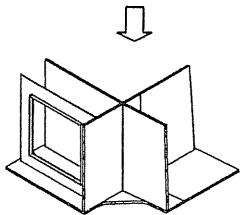
PA13 橋脚隅角部 組立要領図

※ PB7、PA14 も同様

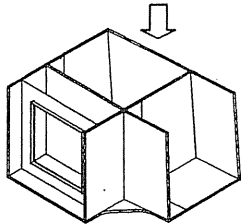
① パネルに縦リブを配材、取り付け。



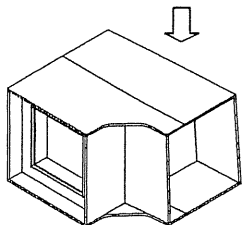
② 柱ウェブに柱フランジを立てる。



③ 隅角部ダイヤフラム、梁下フランジ、柱部ダイヤフラムを配材、組み立てる。



④ 柱フランジ (外側)、梁上フランジを配材、組み立てる。

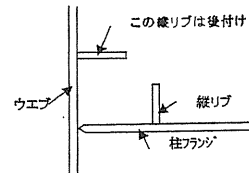


⑤ 柱ウェブを配材、組み立てる。

⑥ 組立溶接のチェック。

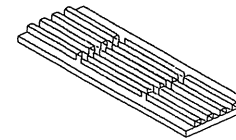
⑦ 寸法のチェック。

※PA14 は、施工性を考慮し下図の縦リブを
角溶接後取り付けとする。



STEP1

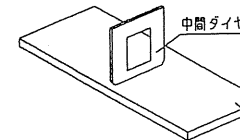
①



梁フランジ、ウェブパネルには縦リブを取り付け本溶接を行う。

STEP2

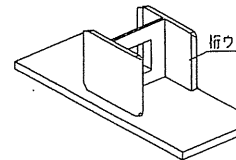
②



桁上フランジを下にして中間ダイヤフラム、横リブを取り付ける。(仮付け)
上フランジ

STEP3

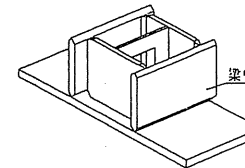
③



梁ウェブ間に桁ウェブを取り付ける。(仮付け)

STEP4

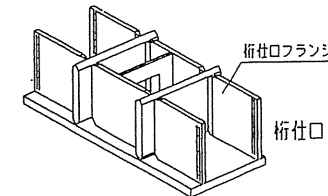
④



梁ウェブを取り付ける。(仮付け)

STEP5

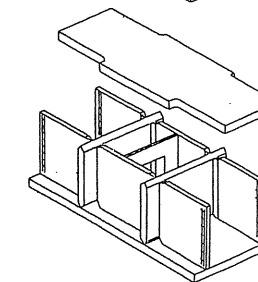
⑤



桁仕口フランジ
桁仕口ウェブを取り付ける。(仮付け)

STEP6

⑥



桁下フランジを取り付ける。(仮付け)

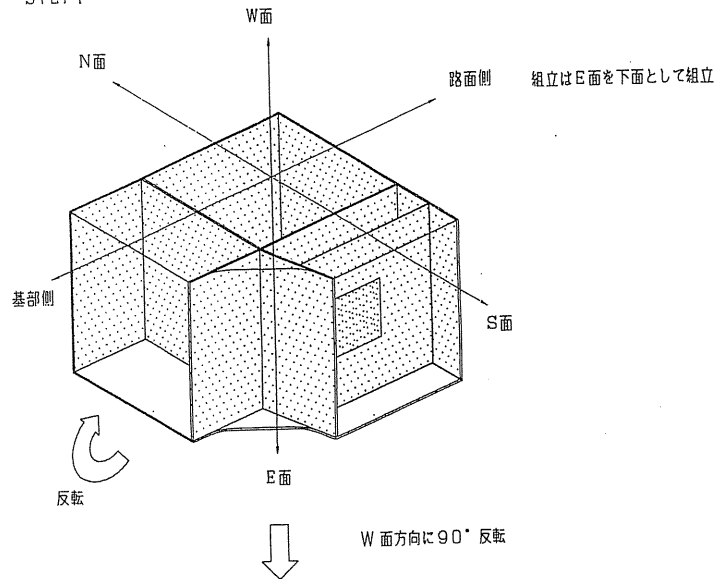
4. 隅角部の溶接順序（反転順序）

（平成14年9月5日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について（通知）2.製作2.1～2.2による。）

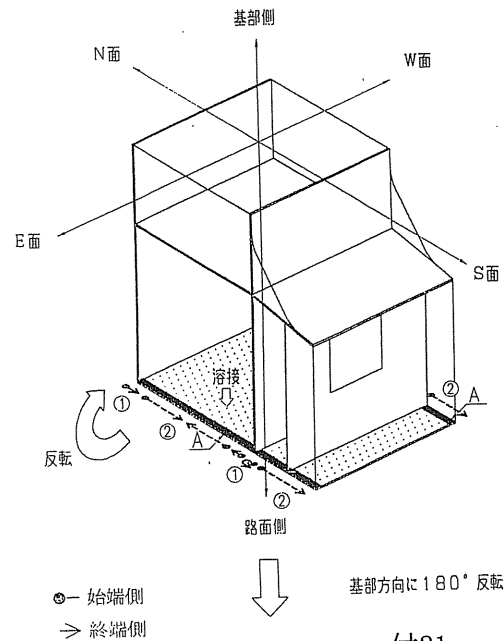
PB7 隅角部の溶接順序（反転順序）は下図の通りとする。

※ PA14 隅各部も同様

STEP1

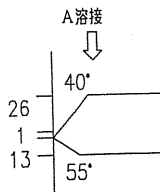


STEP2

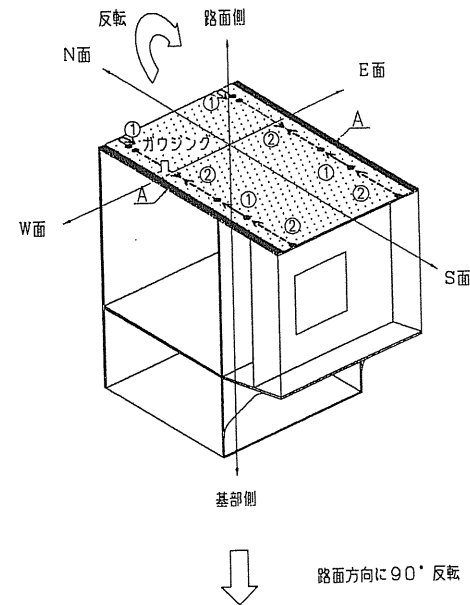


1) 柱上フランジと脚ウェブの角溶接を
ボックス内面から溶接する。(A)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接

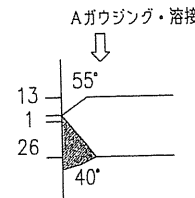


STEP3

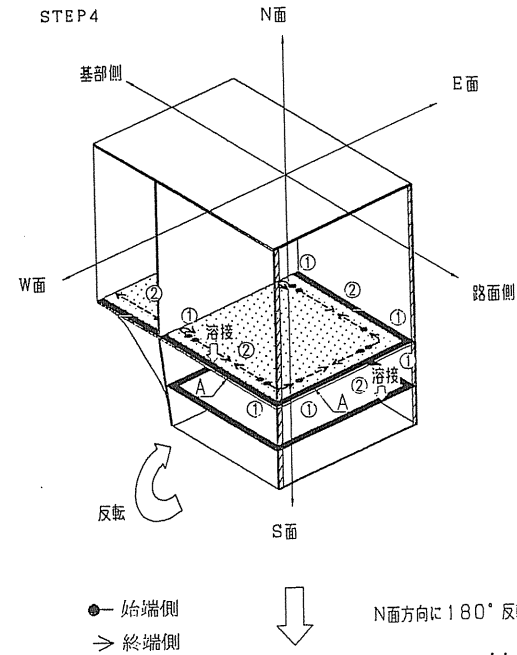


1) 梁上フランジと脚ウェブの角溶接を
ボックス外面からガウジング後
溶接を行う。(A)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接

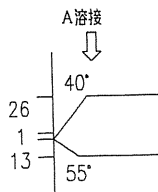


STEP4



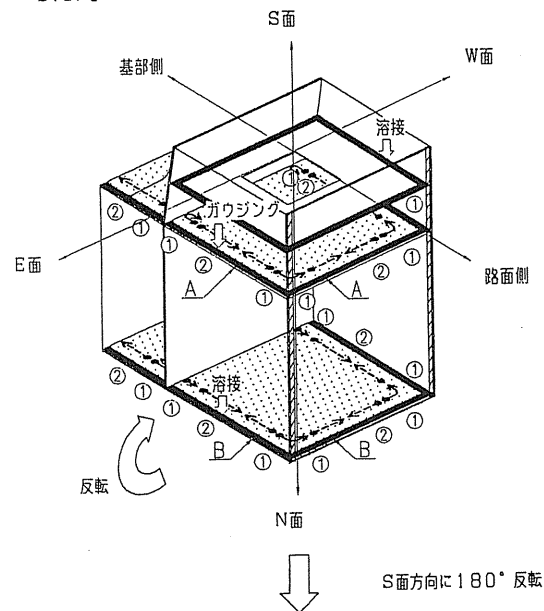
1) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと
梁上フランジの角溶接をボックス内面から
溶接する。(A)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



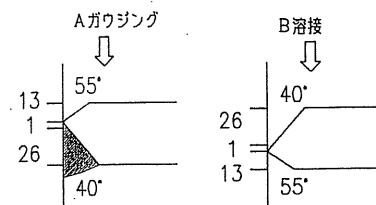
2) 中間ダイヤフラムのすみ肉溶接

STEP5



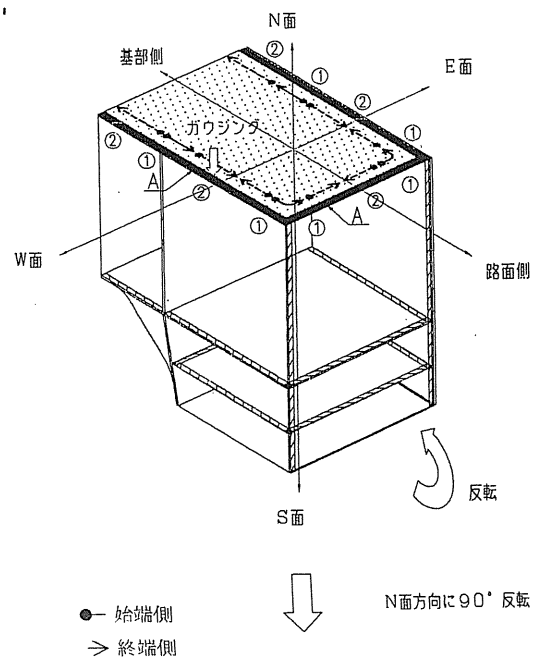
- 1) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと梁上フランジの角溶接をボックス外面からガウジング後溶接する。(A)
- 2) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと梁上フランジの角溶接をボックス内面から溶接する。(B)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



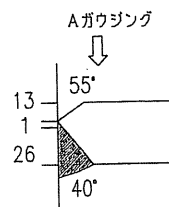
- 3) 中間ダイヤフラムのすみ肉溶接

STEP6

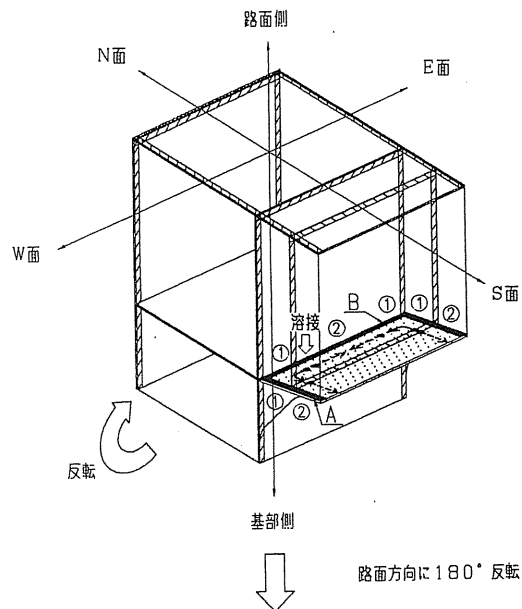


- 1) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと梁上フランジの角溶接をボックス外面からガウジング後溶接する。(A)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接

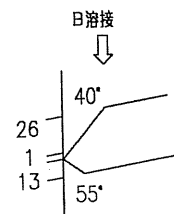
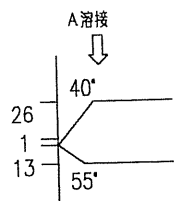


STEP7



- 1) 脚ウェブと梁下フランジの角溶接、柱フランジと梁下フランジの角溶接をボックス内面から溶接する。(A, B)

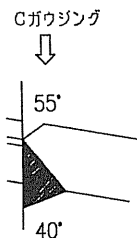
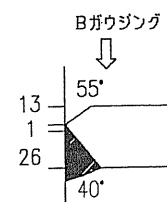
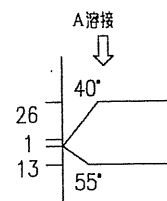
- ① 3溶接線交差点300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



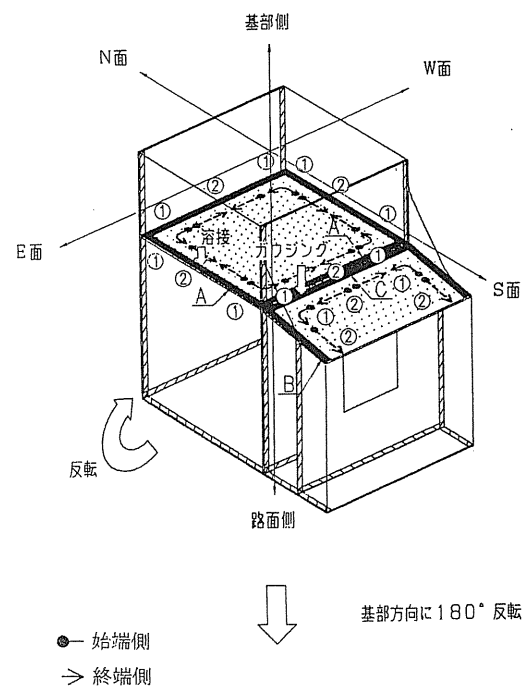
- 1) 脚ウェブと梁下フランジの角溶接、柱フランジと梁下フランジの角溶接をボックス外面からガウジング後溶接する。(B, C)

- 2) 脚ウェブとダイヤフラムの角溶接、梁下フランジとダイヤフラムの角溶接をボックス外面から溶接する。(A)

- ① 3溶接線交差点300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



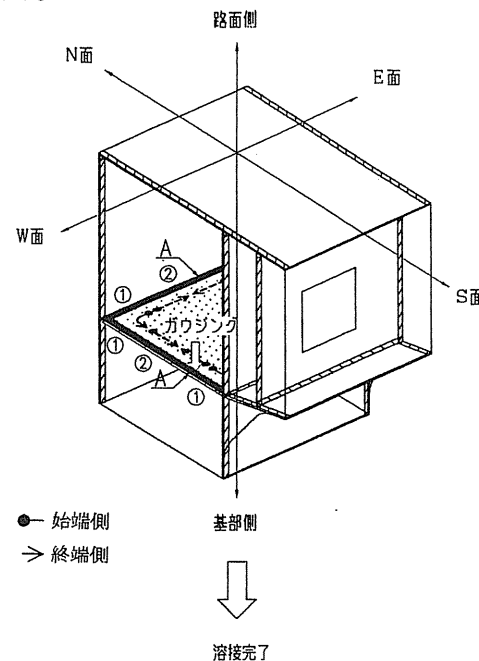
STEP8



基部方向に180°反転

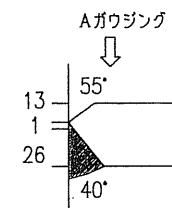
● 始端側
→ 終端側

STEP9



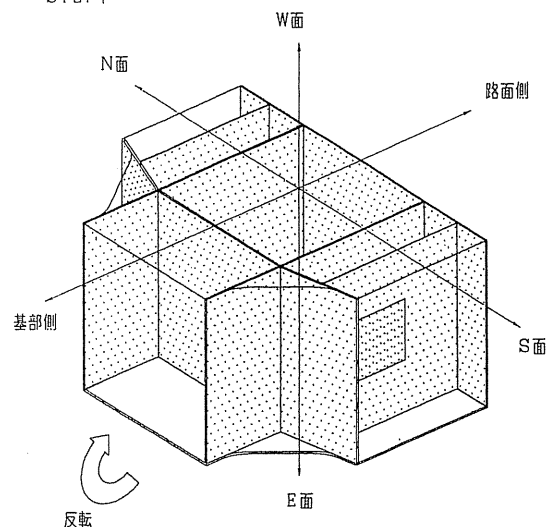
- 1) 脚ウェブとダイヤフラムの角溶接、梁下フランジとダイヤフラムの角溶接をボックス内面からガウジング後溶接する。(A)

- ① 3溶接線交差点300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



PA12隅角部の溶接順序(反転順序)は下図の通りとする。

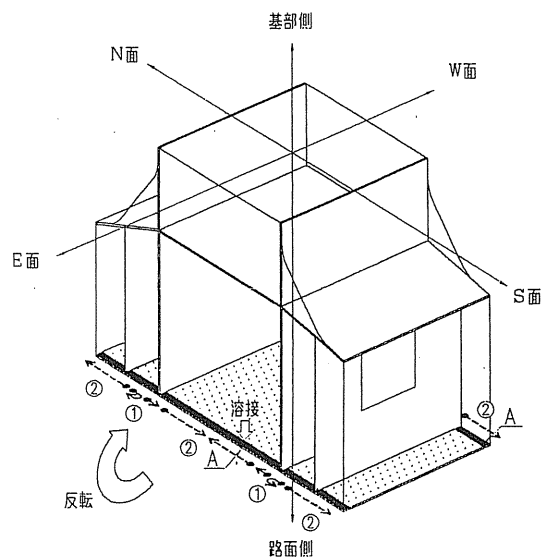
STEP1



組立はE面を下面として組立

W面方向に180°反転

STEP2



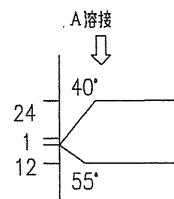
● 始端側
→ 終端側

基部方向に180°反転

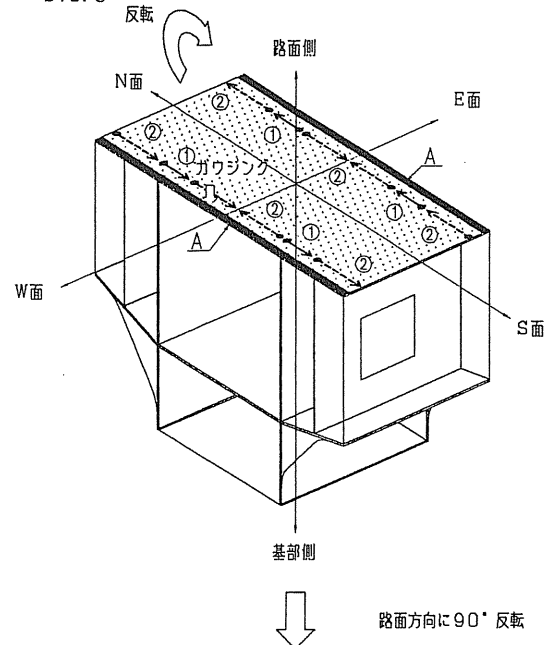
- 付26 -

1) 柱上フランジと脚ウェブの角溶接を
ボックス内面から溶接する。(A)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



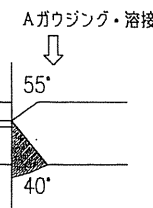
STEP3



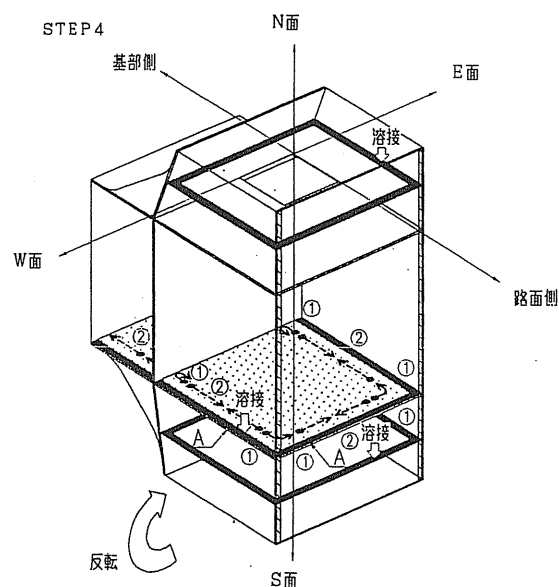
路面方向に90°反転

1) 梁上フランジと脚ウェブの角溶接を
ボックス外面からガウジング後
溶接を行う。(A)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



STEP4

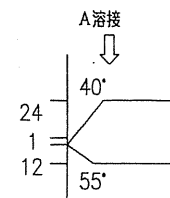


N面方向に180°反転

● 始端側
→ 終端側

1) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと
梁上フランジの角溶接をボックス内面から
溶接する。(A)

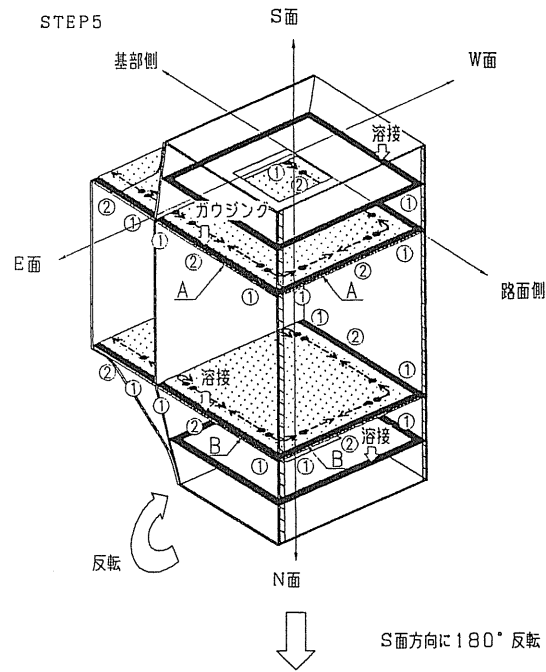
- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



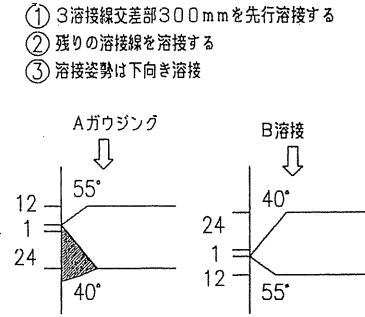
2) 中間ダイヤフラムのすみ肉溶接

- 付27 -

STEP5



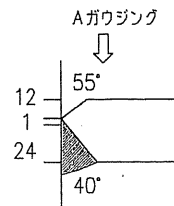
- 1) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと梁上フランジの角溶接をボックス外面からガウジング後溶接する。(A)
- 2) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと梁上フランジの角溶接をボックス内面から溶接する。(B)



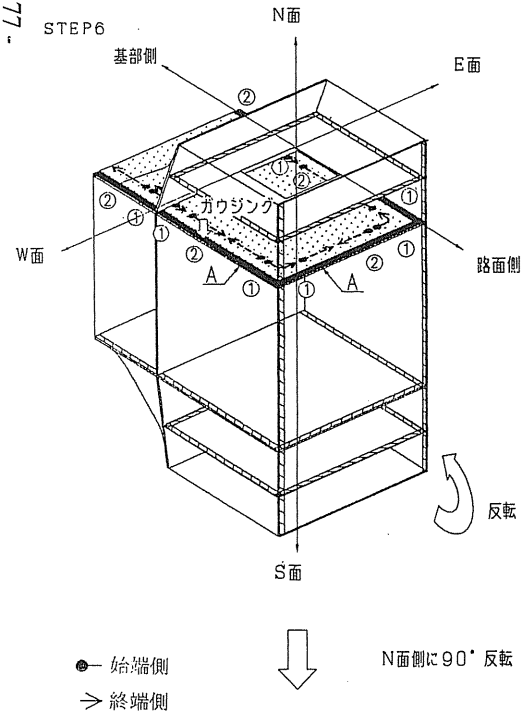
- 3) 中間ダイヤフラムのすみ肉溶接

- 1) 柱フランジと脚ウェブの角溶接、柱フランジと梁上フランジの角溶接をボックス外面からガウジング後溶接する。(A)

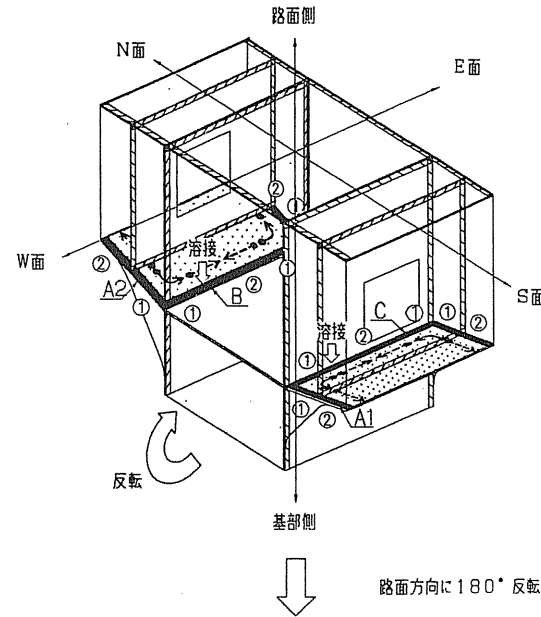
- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



STEP6

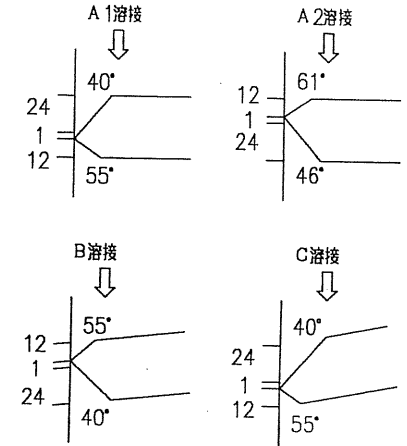


STEP7

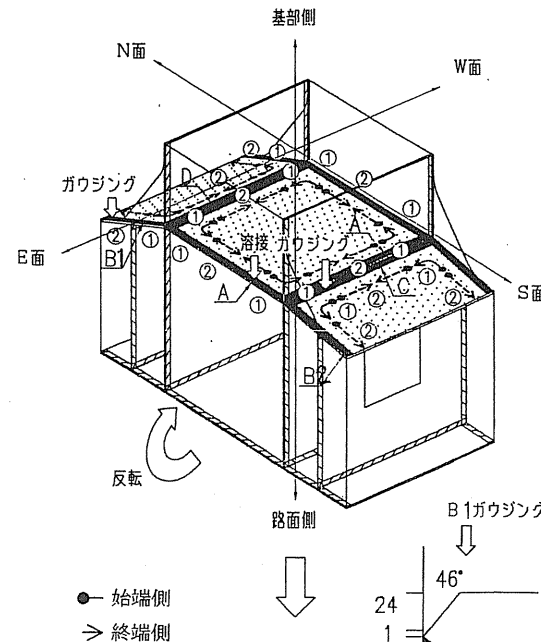


- 1) 脚ウェブと梁下フランジの角溶接、柱フランジと梁下フランジの角溶接をボックス内面から溶接する。(A,B,C)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接

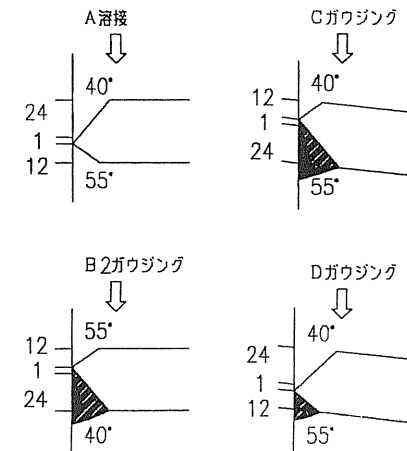


STEP8



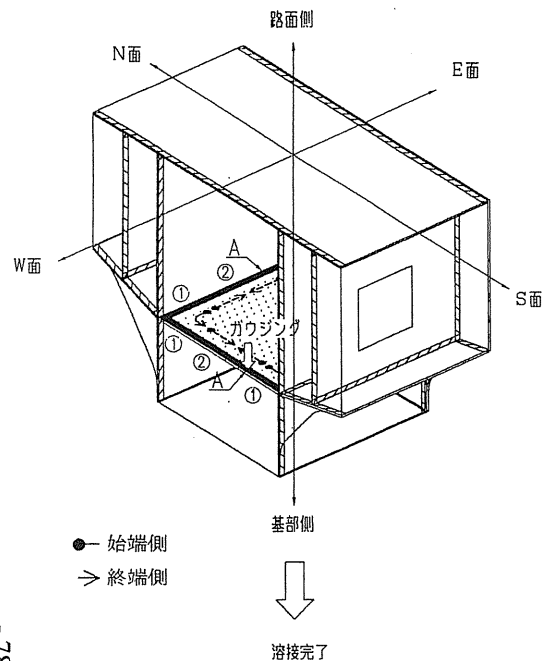
- 1) 脚ウェブと梁下フランジの角溶接、柱フランジと梁下フランジの角溶接をボックス外面からガウジング後溶接する。(B,C,D)
- 2) 脚ウェブとダイヤフラムの角溶接、梁下フランジとダイヤフラムの角溶接をボックス外面から溶接する。(A)

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



- 始端側
➤ 終端側

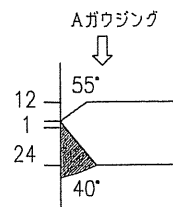
STEP9



1) 脚ウェブとダイヤフラムの角溶接、梁下フランジと

ダイヤフラムの角溶接をボックス内面から
ガウジング後溶接する。(A)

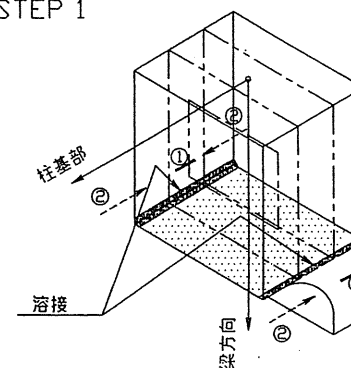
- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



PA13

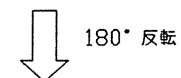
(1) 隅角部下部分

STEP 1

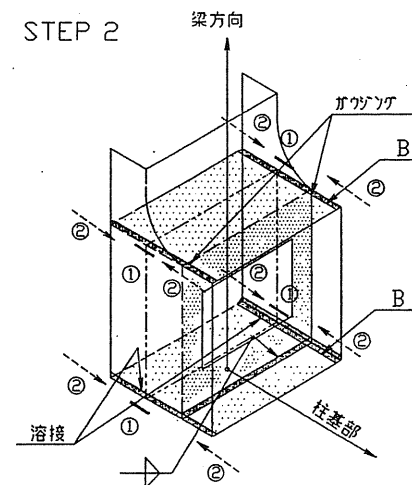


1) 柱フランジPLの溶接

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



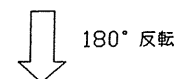
STEP 2



1) 柱フランジPLのガウジング・溶接

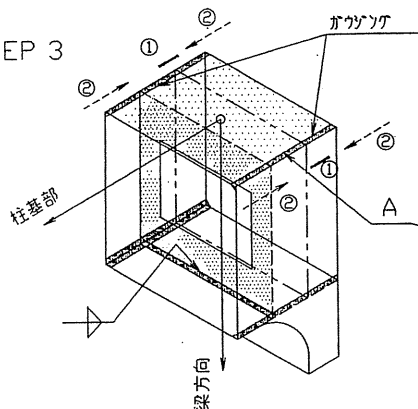
- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接

2) 柱外側フランジPLの溶接



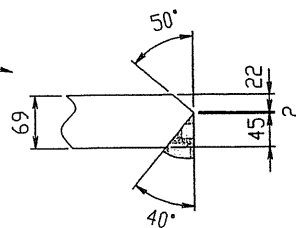
3) 中間ダイヤフラムのすみ肉溶接

STEP 3

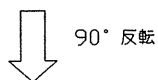


1) 柱フラッグPLのガウジング・溶接

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接

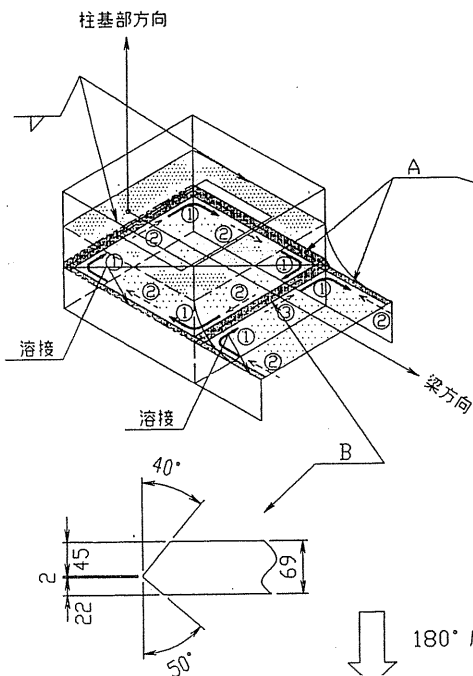


2) 中間タイワラのすみ肉溶接



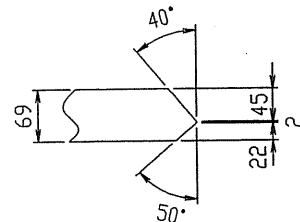
90° 反転

STEP 4



1) 梁フラッグPLの溶接

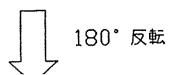
- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



2) タイワラの溶接

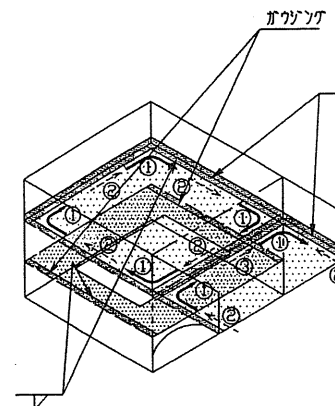
- 3) 1 2 とともに3溶接線交差部は連続溶接とする。

4) 中間タイワラのすみ肉溶接



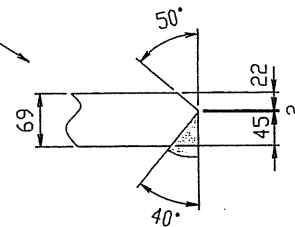
180° 反転

STEP 5



1) 梁フラッグPLのガウジング・溶接

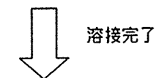
- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



2) タイワラのガウジング・溶接

- 3) 1 2 とともに3溶接線交差部は連続溶接とする。

4) 中間タイワラのすみ肉溶接

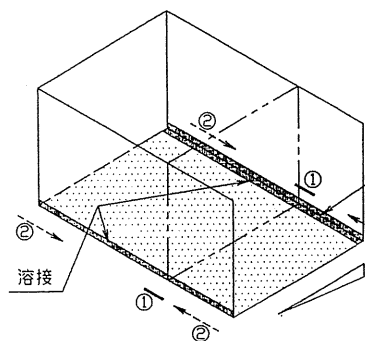


溶接完了

注) 表溶接は開先深さの2/3まで施工し
反転してガウジングを行い全層溶接する。
反転して仕上げまで溶接施工する。

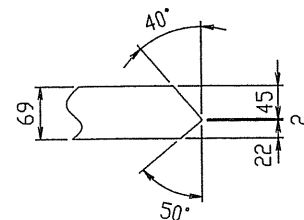
(2) 隅角部上部分

STEP 1



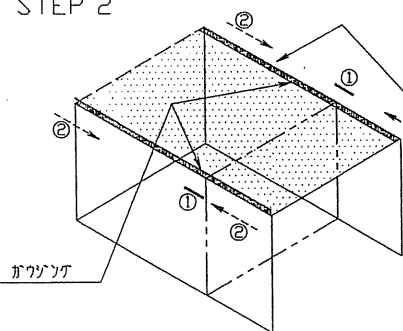
1) 梁上フラッグとウレアの溶接

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



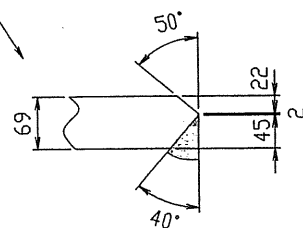
180° 反転

STEP 2



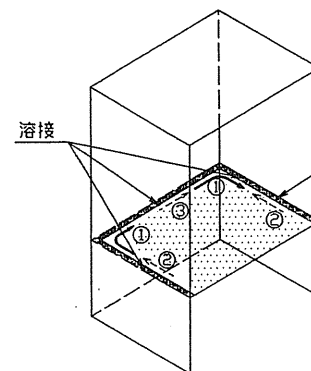
1) 梁フラッグとウレアのガウゼンゲ・溶接

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接

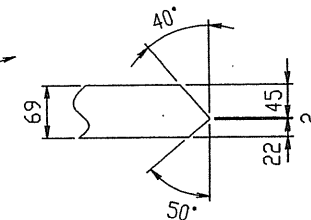


90° 反転

STEP 3



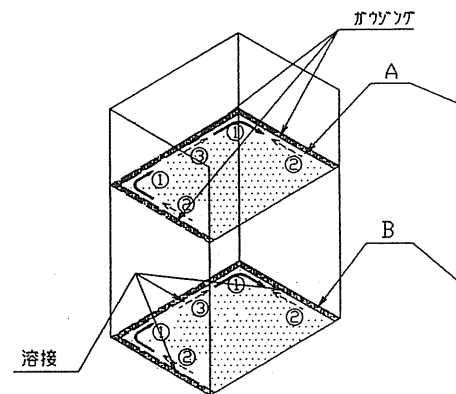
1) 柱中フラッグとウレアの溶接



2) 3溶接線交差部は連続溶接とする。

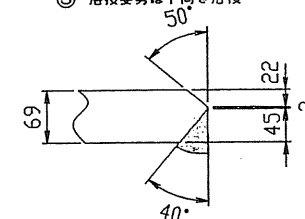
180° 反転

STEP 4

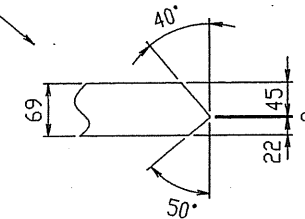


1) 柱中フラッグのガウゼンゲ・溶接

- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



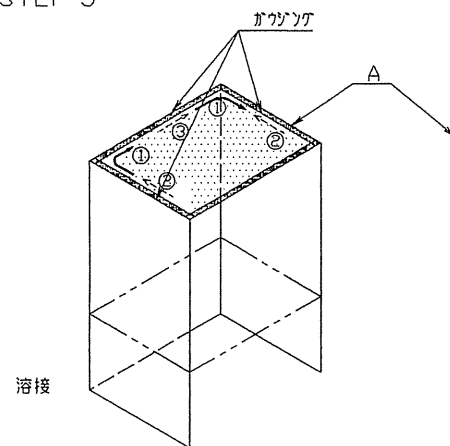
2) 柱外フラッグの溶接



3) 3溶接線交差部は連続溶接とする。

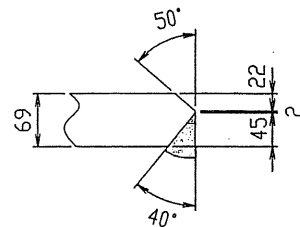
180° 回転

STEP 5



1) 柱外フランジのガウジング・溶接

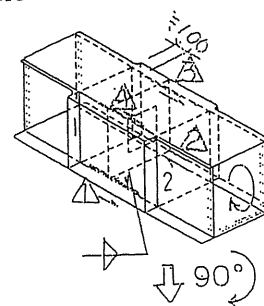
- ① 3溶接線交差部300mmを先行溶接する
- ② 残りの溶接線を溶接する
- ③ 溶接姿勢は下向き溶接



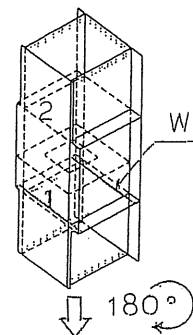
溶接

注) 表溶接は開先深さの2/3まで施工し
反転してガウジングを行い全層溶接する。
反転して仕上げまで溶接施工する。

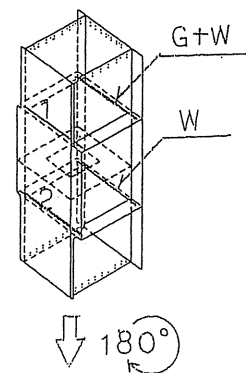
PA13 脚梁・上部工剛結部 溶接順序



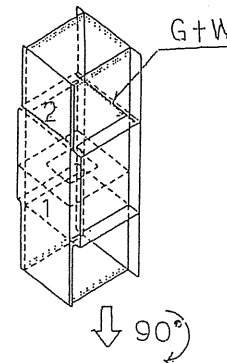
- ① 剛結部を反転させながら桁フランジと桁ウェブ4辺のすみ肉溶接を下向きで行なう。
なお梁ウェブとの交差部は100mm程度開先区間を設け、
ここの溶接施工は残しておく。



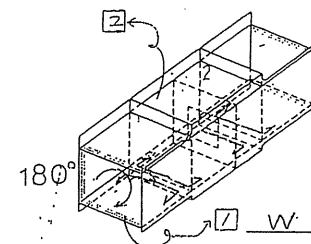
- ② 剛結部を90度回転して立て、梁ウェブと桁フランジの完全溶け込み部の先行溶接を行なう。桁ウェブにはコーナーカットを設け、脚隅角部と同等の施工を行なう。



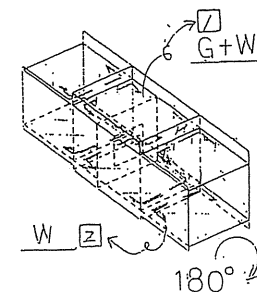
- ③ 180度回転して、先行溶接部の裏側のガウジング及び溶接を行なう。また他の梁ウェブの先行溶接部を行なう。



- ④ 再度180度回転してガウジング及び溶接を行なう。



- ⑤ 梁ウェブの角部について3線溶接交差部に準じて梁ウェブ天端開先区間まで連続溶接を行なう。



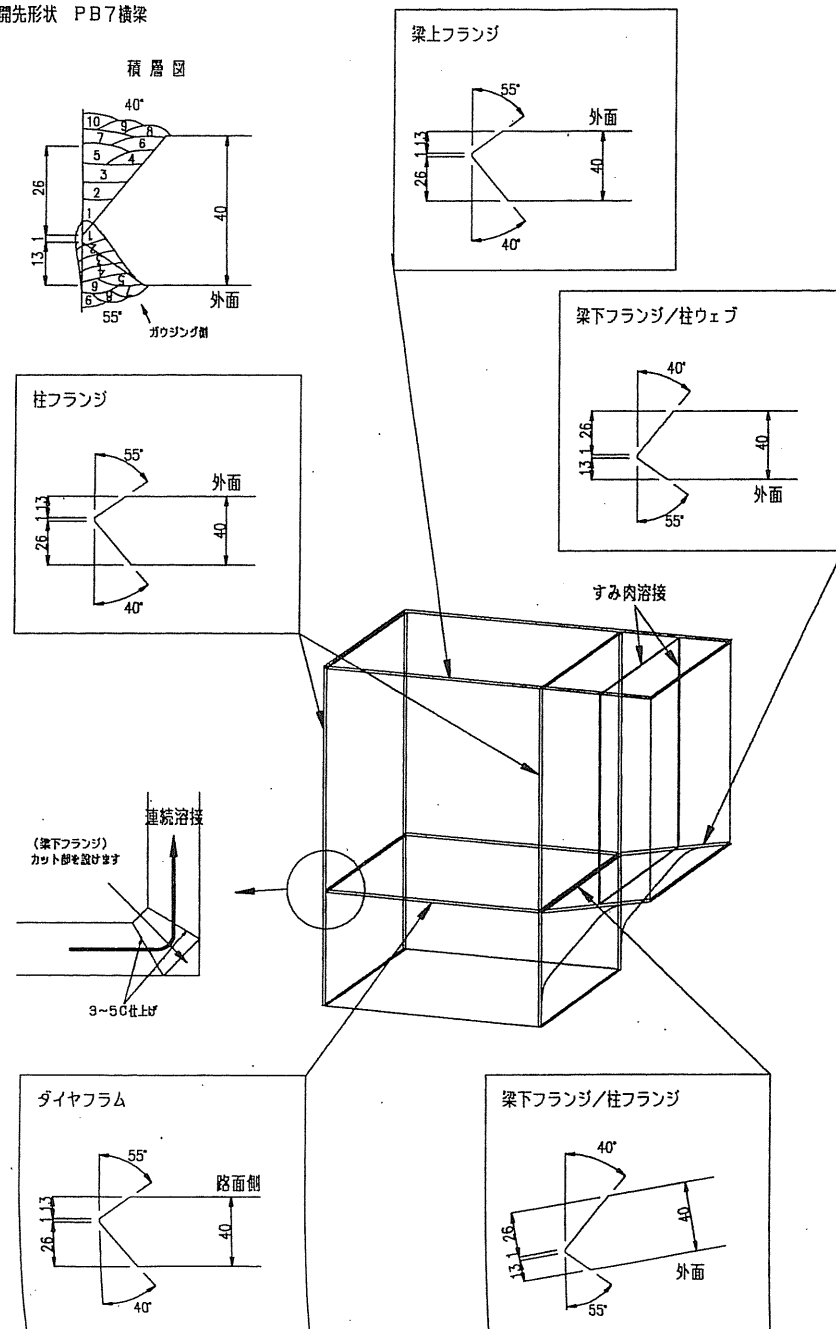
- ⑥ 裏側からガウジングを行なう。ガウジングはウェブ天端開先区間まで行い、角の溶接は連続させる。

- ⑦ 2 G+W

5. 隅角部の開先形状及び溶接の積層

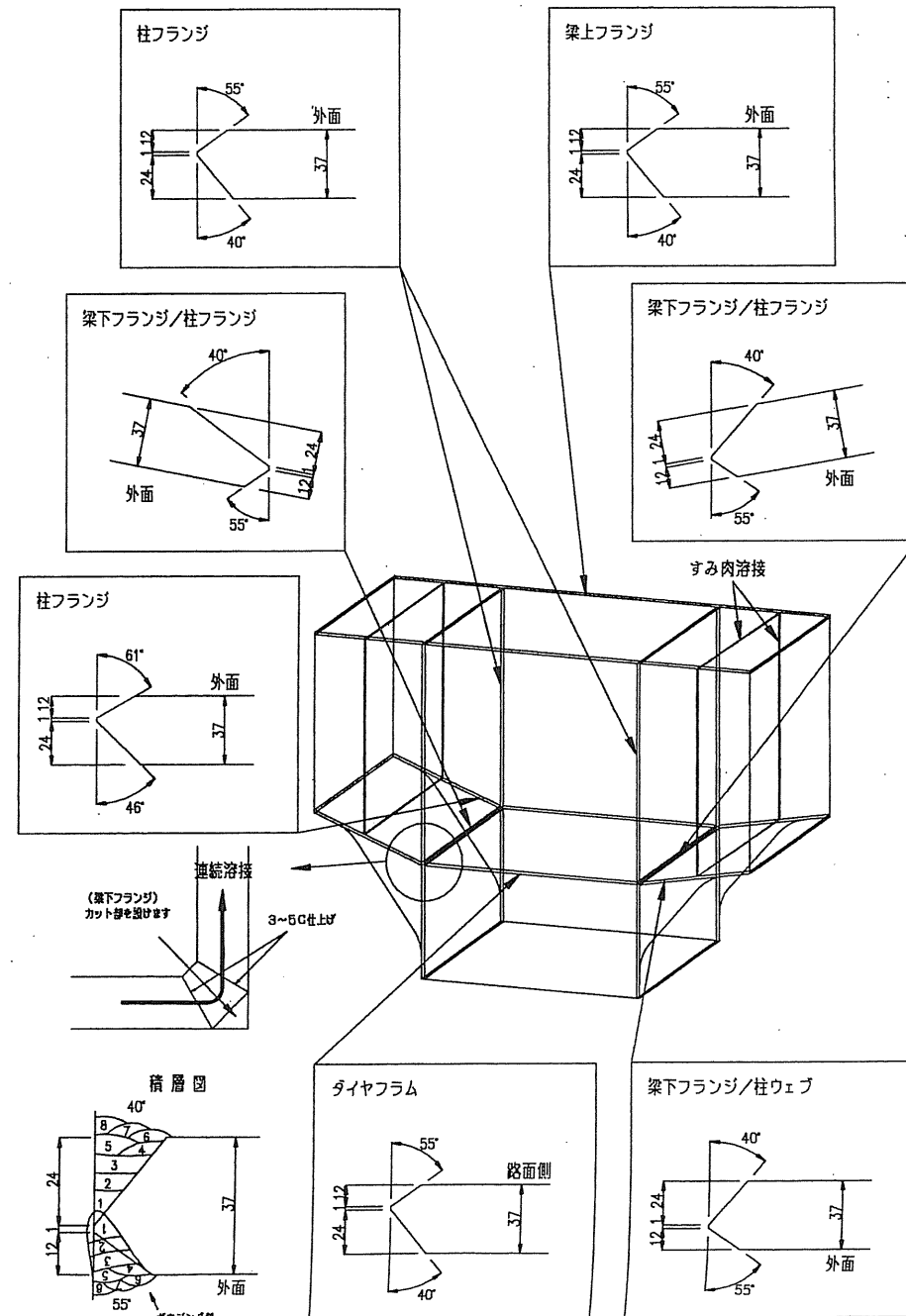
(平成14年9月5日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について(通知)3.検査3.6による。)

開先形状 PB7横梁



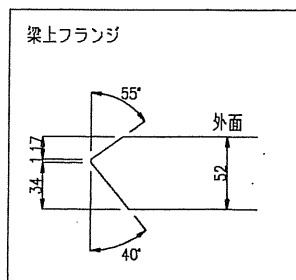
- 付38 -

開先形状 PA12横梁

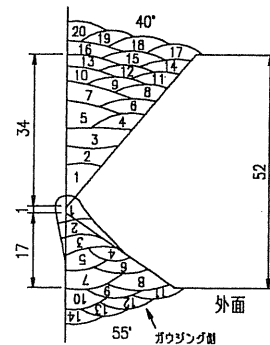


- 付39 -

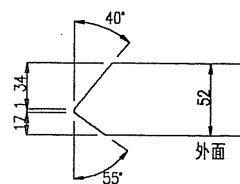
開先形状 PA14横梁



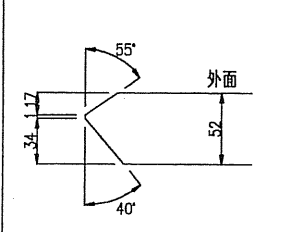
積層図



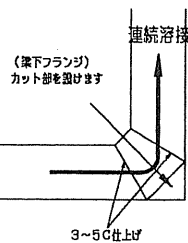
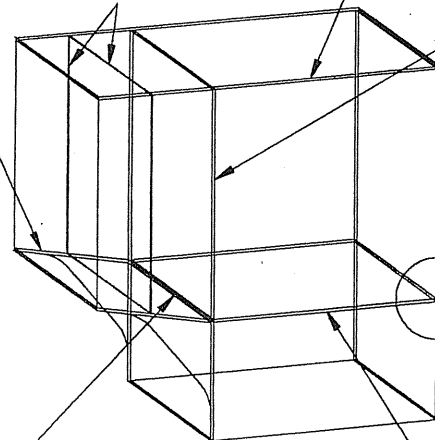
梁下フランジ/柱ウェブ



柱フランジ

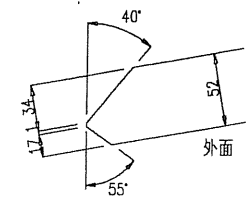


すみ肉溶接

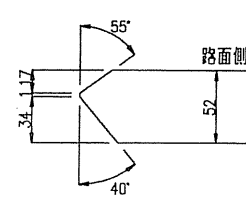


(梁下フランジ) カット部を設けます

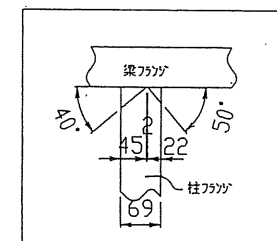
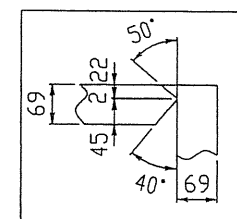
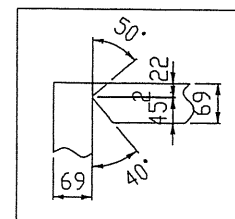
梁下フランジ/柱フランジ



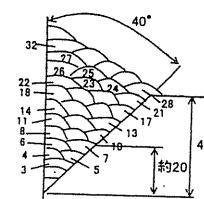
ダイヤフラム



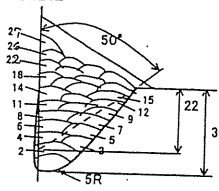
3. PA13



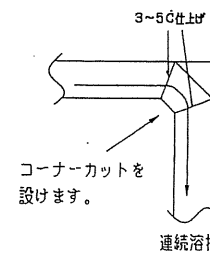
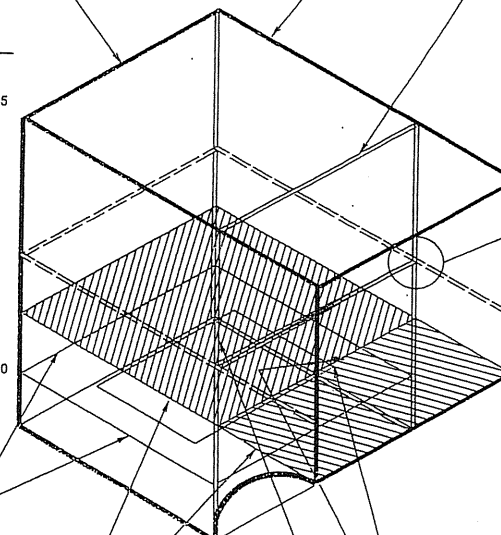
積層図



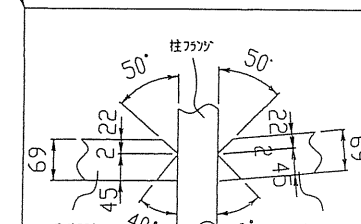
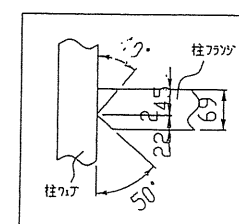
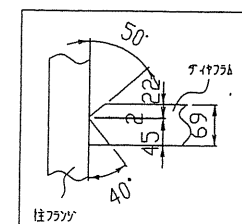
積層図



すみ肉溶接



コーナーカットを設けます。

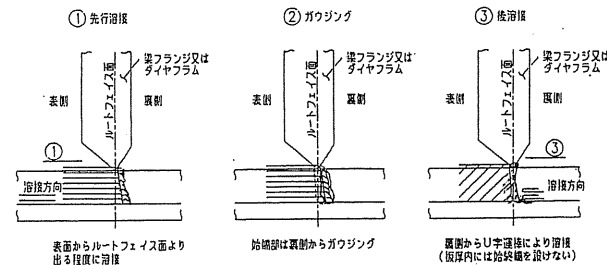


6. 3 溶接線交差部の溶接施工

(平成 14 年 9 月 5 日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について (通知) 2. 製作 2. 1 ~ 2. 2 に
よる。)

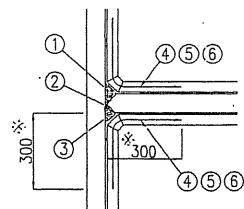
- ① 3 溶接線交差部から 300mm の範囲を、この施工方法の適用範囲とする。
- ② 3 線溶接線の交差部に溶接ビードの始末端部が、残らない溶接施工法を適用する。(始端部は、ガウジングで、はつり後、タンガロイ等で、形状を整える。)

柱フランジとウェブの溶接手順



- ③ 3 溶接線の交差部で、溶接アークを切らずに連続的に溶接を行う溶接施工法を適用する。(連続溶接のできる開先形状。)

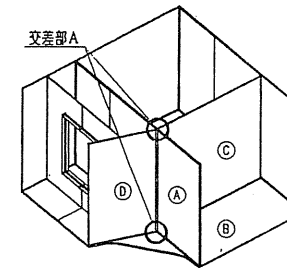
梁フランジ・ダイヤの溶接手順



※施工時の状況に応じては 200mm 程度でも
良いものとする。

- ① 柱フランジとウェブの表側溶接
- ② 柱フランジとウェブの裏側ガウジング
- ③ 柱フランジとウェブの裏側溶接
- ④ 梁フランジ・ダイヤと柱フランジ・ウェブとの表側溶接
- ⑤ 梁フランジ・ダイヤと柱フランジ・ウェブとの裏側ガウジング
- ⑥ 梁フランジ・ダイヤと柱フランジ・ウェブとの裏側溶接

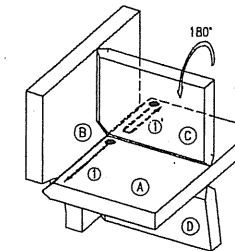
- ④ 溶接姿勢は、下向き、又は水平溶接とする。
- ⑤ 3 線溶接交差部を施工する溶接工は、限定(過去の技量実績)して施工する。
- ⑥ 隅角部の欠陥発生要因となる 3 溶接線交差部について、梁ウェブと柱フランジの溶接ビードを貫通させるために、梁下フランジにコーナークットを設ける。
3 溶接線交差部付近のガウジングが十分行えるように、コーナークットの形状はフランジ側(開先有り)は開先幅 + 5mm、ウェブ側(開先なし)は、フランジから 30mm を結んだ C カット寸法とし、コーナークット部にも開先を取ることとする。
- ⑦ 3 溶接線交差部の分類



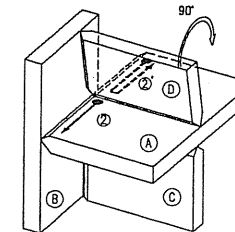
- ① 柱フランジ
- ② 脚ウェブ
- ③ ダイヤフラム
- ④ 梁下フランジ

施工手順

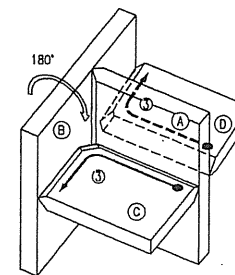
- ① A x B (表溶接)
3 溶接線交差部から外側へ下向き溶接スタート
スタートでは交差部奥に溶接トーチに向けて十分溶融する。
- ② A x B (スタート側ガウジング、表溶接)
①の溶接スタート部をガウジングではつる。
はつり後は、タンガロイ等で形状を整える。
3 溶接線交差部に向かってスタート
3 溶接線交差部では、アークを止めずに連続して溶接する。



- ② A x B (裏ガウジング、裏溶接)
3 溶接線交差部から外側へ下向き溶接スタート
スタートでは交差部奥に溶接トーチに向けて十分溶融する。
- ③ A x B (スタート側ガウジング、裏ガウジング、裏溶接)
②の溶接スタート部及び裏ガウジング部をガウジングではつる。
はつり後は、タンガロイ等で形状を整える。
3 溶接線交差部に向かってスタート
3 溶接線交差部では、アークを止めずに連続して溶接する。



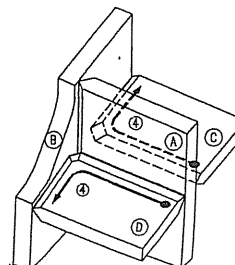
- ③ A, B x C (表溶接)
3 溶接線交差部に向かってスタート
3 溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。



※この時ウィーピングの幅は 15mm 以下とする。

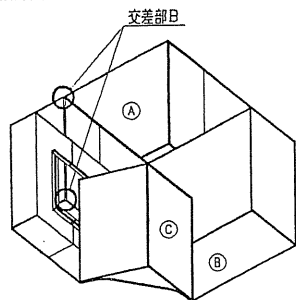
(無理なウェーピングは行わない。他の「く」の字型溶接も同様。)

- ④ A, B x C (裏ガウジング、裏溶接)
裏ガウジング後、3 溶接線交差部に向かってスタート
3 溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。



← 始端側
● 終端側

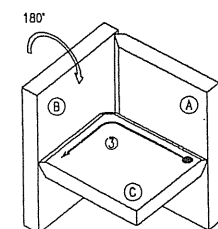
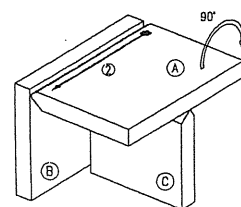
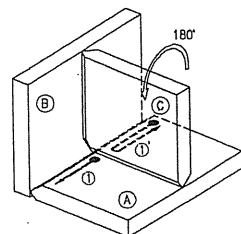
交差部B 溶接方法



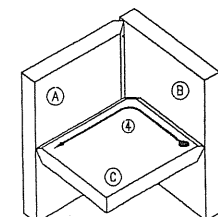
- ① 梁上フランジ
- ② 脚ウェブ
- ③ 柱フランジ

施工手順

- ① A x B (表溶接)
3溶接線交差部から外側へ下向き溶接スタート
スタートでは交差部奥に溶接トーチに向けて十分溶融する。
- ② A x B (スタート側ガウジング、表溶接)
①の溶接スタート部をガウジングではつる。
はつり後は、タンガロイ等で形状を整える。
3溶接線交差部に向かって下向き溶接でスタート
3溶接線交差部では、アークを止めずに連続して溶接する。



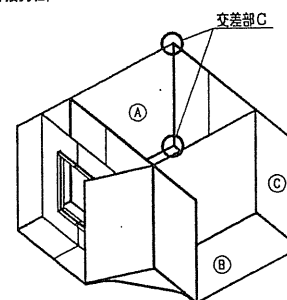
- ③ A, B x C (表溶接)
3溶接線交差部のガウジング
はつり後は、タンガロイ等で形状を整える。
3溶接線交差部に向かってスタート
3溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。



- ④ A, B x C (裏ガウジング、裏溶接)
裏ガウジング後、3溶接線交差部に向かってスタート
3溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。

← 始端側
● 終端側

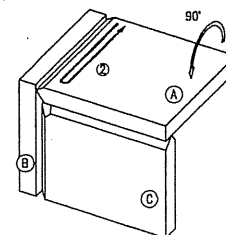
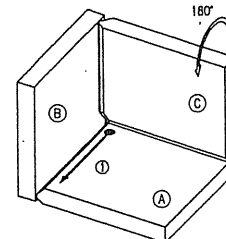
交差部C 溶接方法



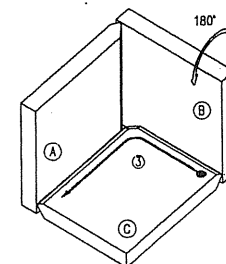
- ① 梁上フランジ
- ② 脚ウェブ
- ③ 柱フランジ

施工手順

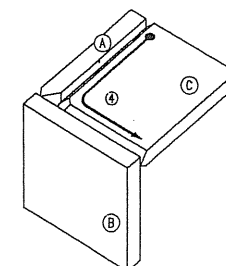
- ① A x B (表溶接)
3溶接線交差部から外側へ下向き溶接スタート
スタートでは交差部奥に溶接トーチに向けて十分溶融する。



- ② A x B (裏ガウジング、裏溶接)
裏ガウジング後、3溶接線交差部に向かってスタート
3溶接線交差部では、アークを止めずに連続して溶接する。

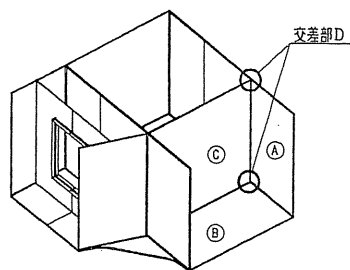


- ③ A, B x C (表溶接)
3溶接線交差部のガウジング
はつり後は、タンガロイ等で形状を整える。
3溶接線交差部に向かってスタート
3溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。



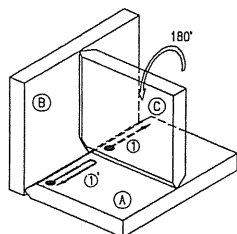
- ④ A, B x C (裏ガウジング、裏溶接)
裏ガウジング後、3溶接線交差部に向かってスタート
3溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。

← 始端側
● 終端側

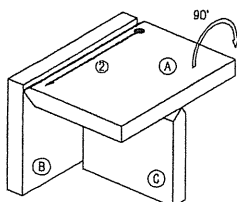


- ① 柱フランジ
② 脚ウェブ
③ ダイヤフラム

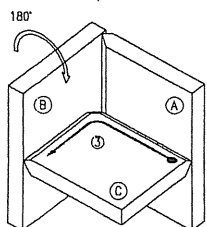
施工手順



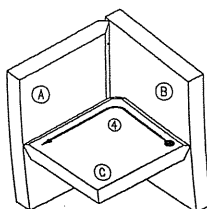
- ① A x B (表溶接)
3溶接線交差部から外側へ下向き溶接スタート
スタートでは交差部奥に溶接トーチに向けて十分溶融する。
①' A x B (スタート側ガウジング、表溶接)
①の溶接スタート部をガウジングではつる。
はつり後は、タンガロイ等で形状を整える。
3溶接線交差部に向かって下向き溶接でスタート
3溶接線交差部では、アークを止めずに連続して溶接する。



- ② A x B (裏ガウジング、裏溶接)
裏ガウジング後、3溶接線交差部に向かってスタート



- ③ A, B x C (表溶接)
3溶接線交差部のガウジング
はつり後は、タンガロイ等で形状を整える。
3溶接線交差部に向かってスタート
3溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。



- ④ A, B x C (裏ガウジング、裏溶接)
裏ガウジング後、3溶接線交差部に向かってスタート
3溶接線交差部で止まらず、連続して「く」の字型に溶接する。

← 始端側
● 終端側
- 付46 -

7. 隅角部の溶接施工及び管理

(平成14年9月5日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について(通知)2.製作2.1~2.2による。)

①溶接方法及び溶接材料

脚隅角部の工場溶接は、全て炭酸ガス溶接(シールドガス:100%CO₂)とし、溶材及び溶接条件は、下記の通りとする。

YM-26 1.2φ(ソリッドワイヤー)(新日鐵)

姿勢	層	溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)
下向き	初層	150~350	25~40	15~40
	2層以降	250~350	25~40	15~45

SF-1, MX-200 1.2φ(フラックス入りワイヤー)(新日鐵)

姿勢	層	溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)
下向き	初層	150~250	25~40	15~40
	2層以降	250~350	25~40	20~50

鋼材 SM520 まで MX-Z100, MX-200 1.2φ(フラックス入りワイヤー)

鋼材 SM570 MX-60, MX-60F 1.2φ(フラックス入りワイヤー)

(佐藤鉄工)

姿勢	層	溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	溶接速度 (cm/min)
下向き	初層	180~250	22~30	15~40
	2層以降	200~300	22~40	15~45
水平	初層	180~230	22~30	15~40
	2層以降	200~300	22~40	15~45

②溶接作業者の選定

完全溶け込み溶接部の溶接作業者は、溶接資格(SA-3F以上)と経験(6ヶ月以上)に加え過去の完全溶け込み溶接実績(欠陥発生率2%以下)から選定する。

③溶接作業者の溶接技量訓練及び作業教育

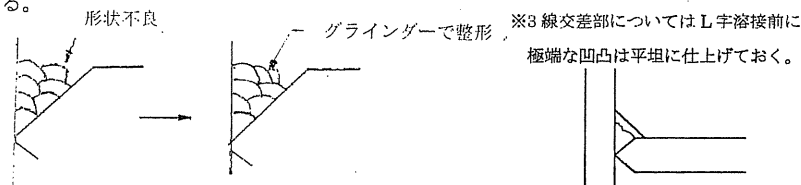
選定した溶接作業者に、3 溶接線交差部の溶接試験体を使用した溶接技量訓練を実施し、技量のレベルアップを図る。

選定した溶接作業者に対して溶接条件・使用溶接材料・予熱温度・溶接施工要領・溶接順番・ガウジング要領・補修要領等を、プロジェクト事前説明会で、説明し周知徹底させる。

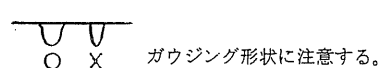
溶接作業手順を明確にし、作業教育を実施し、徹底を図る。

④溶接施工について

- ・溶接作業開始前に溶接部の開先角度、開先深さを確認する。また開先面に錆、湿気、油脂等の付着がないか確認し、付着がある場合は、溶接開始前に開先面の清掃を行う。
- ・溶接開始前に溶接機の動作確認を行う。
- ・各層の溶接は、極端なウィーピングを避け、適切なビード幅で行う。積層の形状が悪い場合（ビードの重なりが鋭角な時）は、グラインダーで整形し、各層の融合不良を防止する。



- ・各層毎にスラグ・スパッタの除去・清掃を行う。
- ・ガウジング時には、溝形状に注意し、先端が鋭角にならないようにし、幅を十分に確保する。また、表溶接時初層溶接及び組立溶接ビードは、健全部が現れるまで完全にはつりとり、ガウジングにより母材を削り込まないように注意する。

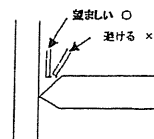


⑤溶接管理

溶接管理者を設置し、以下の管理を行う。

- ・溶接施工要領の作成及び確認
- ・開先精度の確認
- ・溶接作業（電流・電圧等）の確認
- ・裏ガウジング完了後の確認
- ・溶接完了後の溶接外観確認及び UT 検査結果の確認

※溶接時の注意点
トーチ角度の確保を徹底する



⑥溶接施工試験（詳細は、工場溶接施工試験要領を参照。）

SM570・H 板厚 6 9 mm の 1 / 4 モデル断面（実物大、縦リブ付）で、実施。

<目的>

- ・3 溶接線交差部の溶接方法の適性確認
- ・使用鋼材の溶接性の確認
- ・縦リブ等のじゃま板付の中で、適切な溶接姿勢及びビード仕上げができるかの確認

<検査項目>

- ・超音波探傷で、全線斜角探傷(両面)及び T 継手について裏から垂直探傷
- ・3 溶接線交差部のマクロ試験
- ・3 溶接線交差部の MT 検査
- ・開先溶接試験の機械試験
- ・外観検査

8. 補修要領

（平成 14 年 9 月 5 日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について（通知）3.検査 3.4 による。）

①不合格となった欠陥の除去

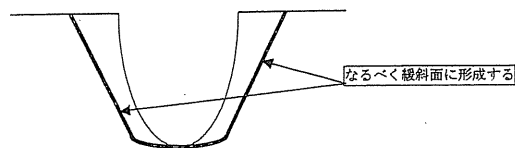
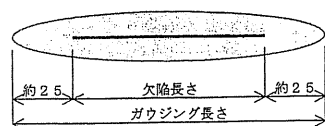
- ・欠陥発生箇所を特定し、超音波探傷試験での欠陥長さに対し長め(+25mm 程度)にグラインダー・ガウジング等の方法を用いて除去する、作業者は欠陥が完全に除されたことを確認する。欠陥が発見できない場合は、+10mm までガウジングを行う。
- ・欠陥の除去後に、補修溶接長が少なくとも 80mm 以上(層数は 2 層以上)確保できるようにガウジング又は、グラインダーで開先を形成する。また補修溶接長の前後に開先遷移区間を設けなめらかにすりつける。ガウジング後はカーボンの付着がないか確認し、有れば必ず除去する。

②補修部分の溶接

- ・補修溶接時の予熱は本溶接時より高い温度とする。
- ・溶接材料は、本溶接と同じものを使用し溶接条件・積層は、標準条件で行う。
- ・溶接時の姿勢は原則として下向き又は横向きとする。
- ・溶接作業において始末端部をなるべく設けないようにアークを切らずに往復させる。但し入熱量を考慮して 1. 5 往復までとする。

③補修溶接の検査及び記録

- ・補修溶接の非破壊検査は、本溶接時に実施した超音波探傷試験を行う。
- ・不合格発生箇所、範囲、補修方法などを記録し、補修履歴として報告する。



9. 完全溶け込み溶接継手の仕上げ

(平成14年9月5日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について(通知)2.製作2.3による。)

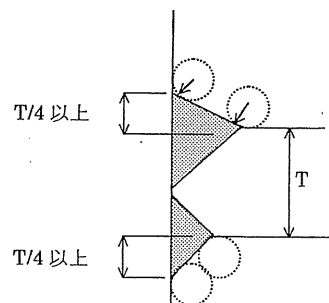
①ビードの仕上げ箇所

完全溶け込み溶接部継手の柱と梁の接合部(十字交差部の全線)及びフィレット範囲

・3溶接線交差部200mmについて実施。

②ビードの仕上げ形状

・ビード仕上げを考慮した仕上げ用余盛を行う。



1. 止端部R仕上げ

・半径は15R以上としゲージで確認する。

・母材擦り込み0.5mm以内とする。

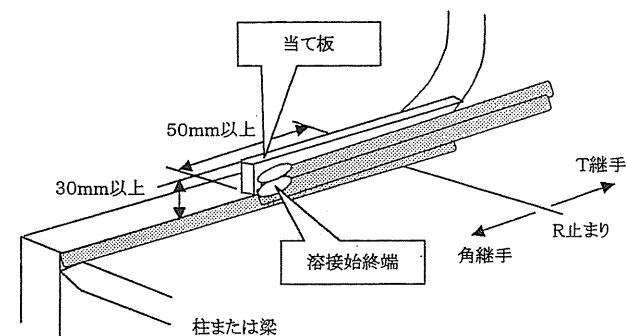
2. 研削方法: ディスクグラインダ+超硬パー

3. 中間部は、ビードの凹凸を平滑にする。

4. ビードの谷間が残らないようにすること。

5. 3線が交差する交点は、のど厚が小さくならないよう、かつ滑らかになるよう留意する。

③フィレット部の加工及び仕上げ要領



フィレット端部の施工性を考慮し、一部下記のような施工要領を採用します。

<フィレット部加工要領>

1. フィレットは最終形状で切断するものとし、上図のように別途製作した当て板を取り付ける。
2. 角溶接からT継手に変化するR止まり付近に溶接始末端を設けないよう当て板の端部まで溶接を行う。
3. 溶接完了後、当て板を切断除去する。
4. グラインダーにてビード形状の仕上げを実施する。なお母材の削り込みは0.5mm以下とする。

脚隅角部超音波探傷試験要領

1 0. 検査要領

(平成 14 年 9 月 5 日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について (通知) 3.検査
3.1～3.7 の及び本工事特記仕様書 第 3 章 第 2 節 2. 隅角部の溶接 (1) による。)

- ①原寸検査では、隅角部製作要領書に従った溶接手順を確認するとともに開先方向、寸法が図面どおりであり、作業上支障のないことを確認する。
- ②仮組検査では隅角部における溶接仕上げ箇所、及び仕上げ形状の確認を徹底するとともに、完全溶け込み溶接部の UT 検査を抜き取りで実施する。
- ③隅角部の完全溶け込み溶接部は、全線超音波探傷試験を適用する。また、遅れ割れを考慮し溶接完了後、24～48 時間経過後検査を行う。
- ④詳細は超音波探傷試験要領書による。
- ⑤隅角部の 3 溶接線交差部(300mm の範囲)については磁粉探傷試験 (MT) を適用する。

1 1. 写真管理

(平成 14 年 9 月 5 日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について (通知) 3.検査 3.5 による。)

- ・撮影時期：開先形状、表側初層、表側最終層、ガウジング状態、裏側初層、裏側最終層の 6 つとする
- ・撮影位置：溶接線につき、両端と中央の 3 箇所。両端とは、端部またはコーナー部を示す。
- ・撮影は、状態が分かるアップとする。
- ・1 エリア全景を溶接前、完了時に撮影する。1 枚で全部入らない場合は、複数枚に分割して撮影する。
- ・開先確認状態、ガウジング形状確認：各ブロック、複数箇所追加撮影。場所は任意とする。

1 2. 記録

(平成 14 年 9 月 5 日鋼製橋脚隅角部の品質向上のための当面の処置について (通知) 2.製作 2.5 による。)

製作要領書、超音波探傷試験の検査記録をしゅん功図書のマイクロフィルムとして提出します。

目 次

1. 適	用	範	囲
2. 探	傷	方	法
3. 適	用	規	格
4. 検	査	技	術
5. 探	傷	装	置
6. 探	傷	手	順

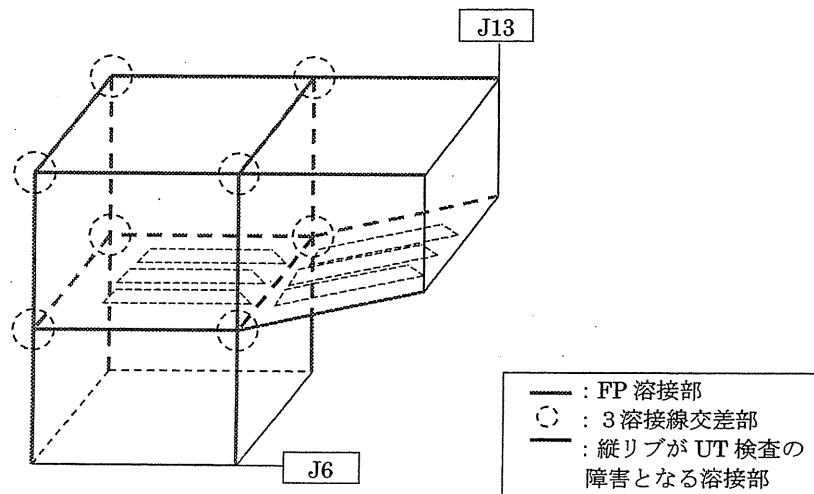
添付資料

- ・ 3 溶接線交差部の探傷領域検討図
- ・ 縦リブにより UT 検査が障害となる溶接部の探傷領域検討図

1. 適用範囲

本要領書は首都高速道路公団殿発注の橋脚工事の橋脚隅角部完全溶け込み溶接部の超音波探傷検査（以下UT検査と示す）に適用する。

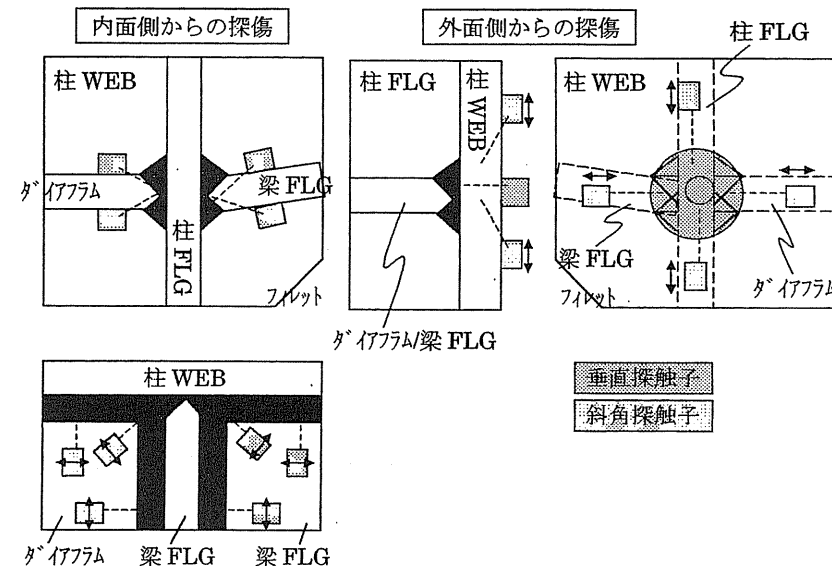
隅角部の3溶接線交差部および補強リブがUT検査の障害となる溶接部を下图に示す。



2. 探傷方法

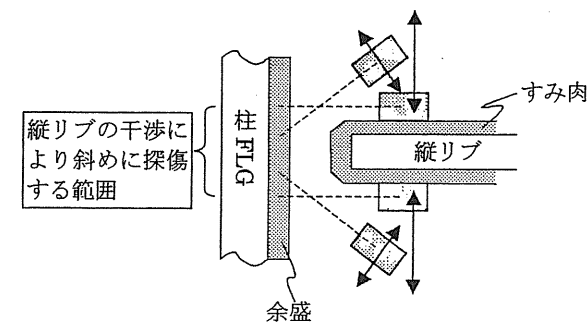
(1) 隅角部3溶接線交差部のUT検査

隅角部の3溶接線交差部（3溶接線交差部から200mmの範囲）について、外面および内面から、複数の探触子を併用し、探傷不能となる領域がないようUT検査を実施する。（詳細は巻末に示す）。



(2) リブのある部分のUT検査

リブのある部分は通常の斜角探傷を実施できないので、斜め方向からのUT検査を実施し、探傷不能となる領域がないことを確認しUT検査を実施する。（詳細は巻末に示す）



(3) 3溶接線交差部以外のFP溶接部

3溶接線交差部以外のFP溶接部は、通常の斜角70°の斜角探傷検査のみを実施する。

3. 適用規格

(1) 試験方法

「JIS Z 3060 鋼溶接部の超音波探傷試験および試験結果の分類方法 (2002)」を適用する。

(2) 検出レベル

検出レベルを $L/2$ 線とする。

(3) 合否判定

$L/2$ 線を超える内部キズの寸法を 1mm 単位で評価し、 t (板厚) / 3 以下の場合を合格とする。ただし、3 線交差部とビード仕上げ部については $t/6$ 以下を社内管理値とする。

4. 検査技術者

溶接部の UT 検査に従事する者は、社団法人非破壊検査協会 (NDI) で行う超音波探傷試験の 2 種以上の有資格者又はこれと同等の有資格者とする。

5. 探傷装置

(1) 探傷に使用する装置付属品及び継手の試験方法を表 1 に示す。

表 1

試験の方法		斜角法	垂直法
探傷器	型式	A スコープ表示のパルス反射式	A スコープ表示のパルス反射式
	性能	JIS Z 3060 による	JIS Z 3060 による
	周波数	最大ビーム路程 100mm 以下: 5MHz 最大ビーム路程 100mm 超え: 5MHz または 2MHz	最大ビーム路程 40mm 以下: 5MHz 最大ビーム路程 40mm 超え: 5MHz または 2MHz
探触子	探触子 寸法	5MHz: 10×10mm 2MHz: 10×10mm、14×14mm	5MHz: 10mm 2MHz: 20mm
	屈折角	45°, 70°	垂直
	性能	JIS Z 3060 による	JIS Z 3060 による
時間軸調整試験片		STB-A1, A2, A3	
感度調整用試験片		RB-41	

(2) 接触媒質

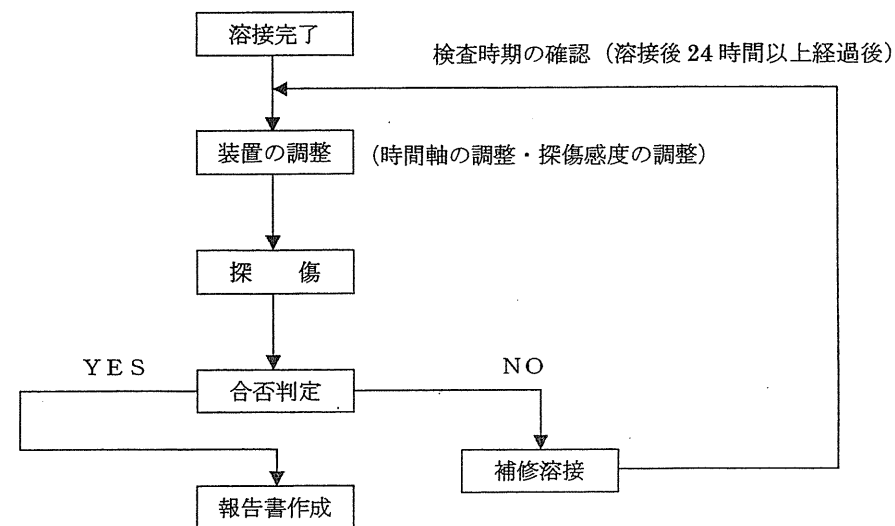
接触媒質は、グリセリンペースト、濃度 75% 以上のグリセリン水溶液、水、オイル又は音響インピーダンスが明らかな液体を使用する。接触媒質の種類及び垂直探触子の遅延材又は斜角探触子のくさびの材料が、次の組み合わせで使用する場合で、探傷面の最大表面粗さ (R_y) が 100 μ m 未満の場合は、伝達損失の補正を必要としない。

- ① 接触媒質の種類 グリセリンペースト又は濃度 75% 以上のグリセリン水溶液
- ② 遅延材及びくさびの材質 ポリスチレン

6. 探傷手順

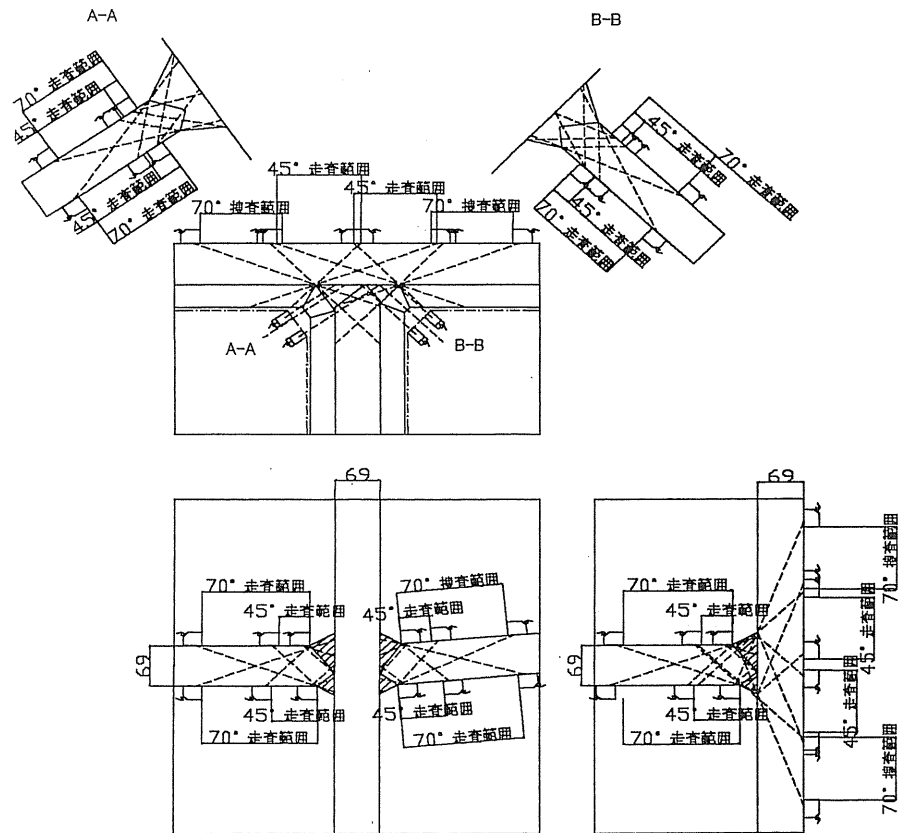
以下に示す探傷手順に従って検査する。

検査フロー

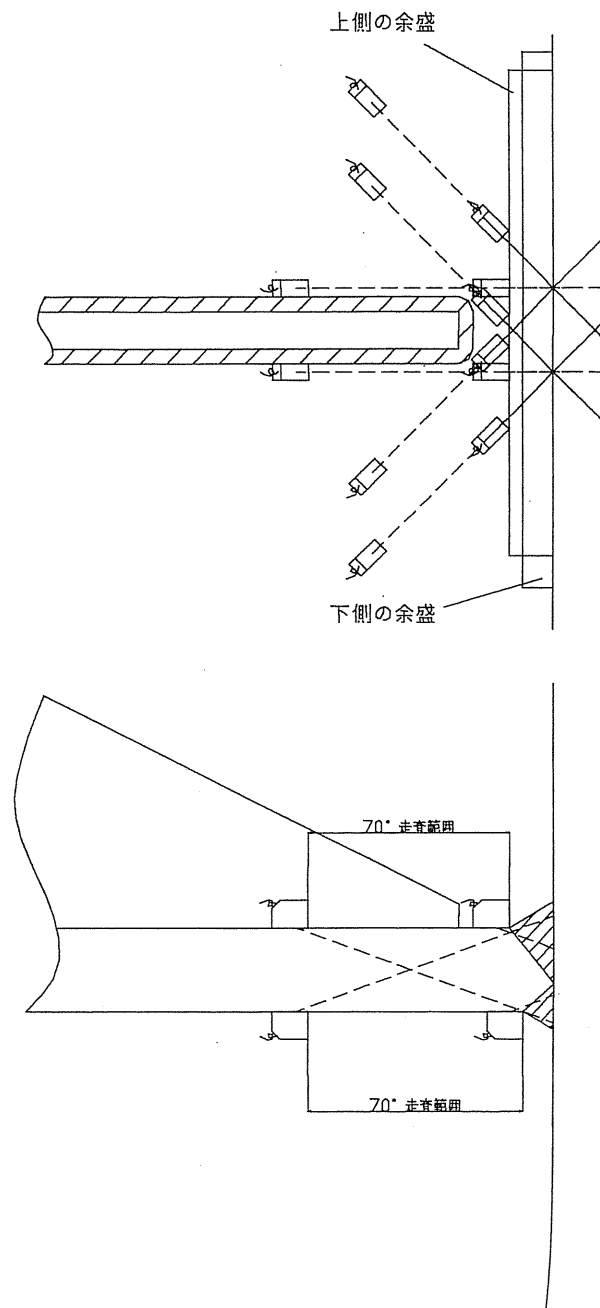


※報告書には補修溶接した範囲・補修方法も記録する。

< 3 溶接線交差部の探傷領域検討図 >



< 縦リブによりUT検査が障害となる溶接部の探傷領域検討図 >



橋脚隅角部設計・製作に関するまとめ

鋼脚特定建設工事共同企業体

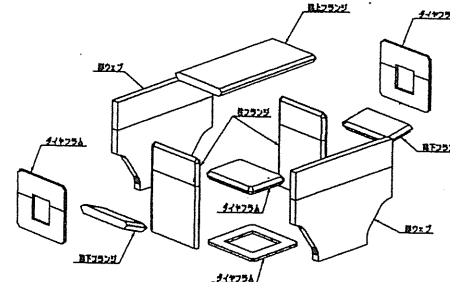
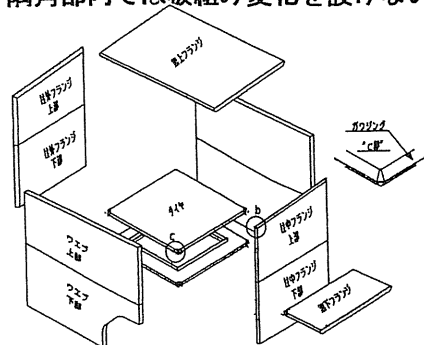
1/4

隅角部製作に関する検討事項

備 考（通達関連条項）

1. 設計

(1) 板組はウェブ優先とし、隅角部内では板組み変化を設けないものとし、図面作成に反映、製作要領書では立体図で表現している。

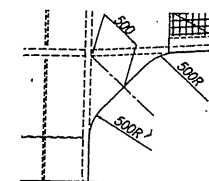
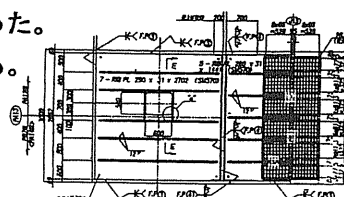


(2) フィレット形状の決定

・柱部から梁部への変化位置にはフィレットを設け形状について通達に従った。

(3) 隅角部の完全溶け込み溶接部の「FP」の図面表示を行なった。

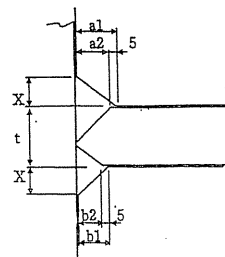
溶接施工実験ではフィレット部の溶接手順について確認する。



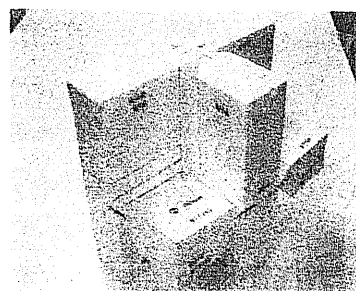
(4) 3溶接線交差部のコーナーカットの実施

- ・ダイヤフラム（フランジ）をはさんで交差部から両側に溶接施工する場合、3溶接線交差部にコーナーカットを設けることによって溶接欠陥の防止に効果のあることはKJ工区の実験から判明している。
- ・本工事でも採用することとし、溶接線交差部の実物大モデルにより、3種類のコーナーカットについてトーチの動きを検討し、溶接予備試験により確認した。決定したコーナーカットのサイズについて図示した。溶接施工試験でも施工手順の確認を行う。

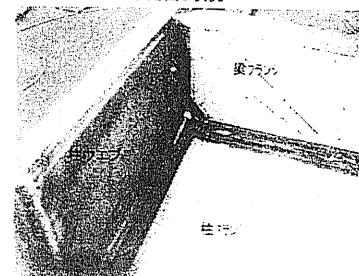
隅角部コーナーカット形状 (mm)		
t	69	40
a1	43	27
a2	38	22
b1	32	24
b2	27	19
X		
パターン1	30	
パターン2	25	
パターン3	20	



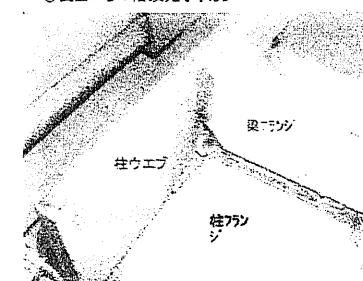
<隅角部模型 全景>



①溶接トーチの突き出し状況



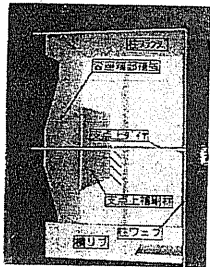
②表面からの溶接完了状況



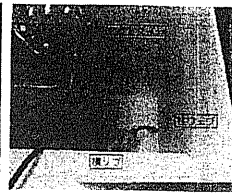
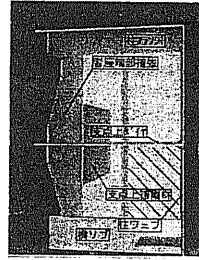
隅角部製作に関する検討事項

2. 製作

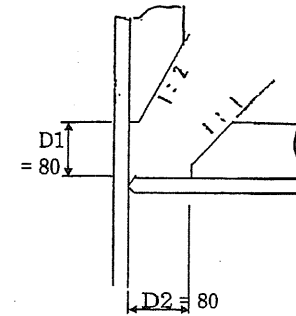
- (1) 隅角部内に支承支点がある場合、縦リブ配置による狭隘部の溶接作業性について、実物大の部分模型の中で実際の溶接作業のシミュレーションを行い照査確認した。



縦リブ配置に作業が可能であることを確認。



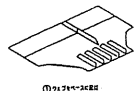
作業が入るスペースがあり、コーナー部の溶接作業が行えることを確認。



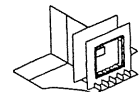
(2) 隅角部の組立要領

- 組立順について、簡易模型、CAD 図を使用してシミュレーションするとともに組立溶接の注意事項を製作要領書に明記した。組立順序を立体的な見取り図で示した。

組立方は、下図の通りとする。(PA12)



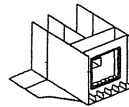
① 1st RIB WELD



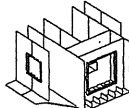
② 2nd RIB WELD

- 1) 組立溶接は、先行溶接後に行わず、ガウジング側に行う。また、3 溶接後交差部から 300mm の範囲には、組立溶接を行わない。
但し、組立作業時の安全性などにより、やむをえず先行溶接後及び交差部に組立溶接を行う場合は、組立完了後形状が安定した状態で、ガウジングにより完全に除去します。

- 2) 組立溶接の脚長は 4mm 以上、長さ 80mm 以上とする。



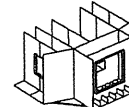
③ 3rd RIB WELD



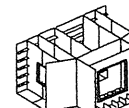
④ 4th RIB WELD

- 3) 組立溶接作業者は、本溶接を行う溶接作業者と同等の技能をもつ技能者とする。

- 4) 組立溶接は、組立終了までにスラグを除去し、表面割れがないことを目視で確認する。



⑤ 5th RIB WELD

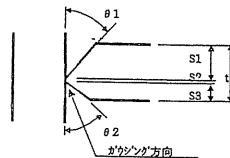


⑥ 6th RIB WELD

- 5) 組立溶接完了後に、組立溶接のチェックを行う。

- 6) 溶接管理者が、組立精度及び溶接精度の確認を行う。

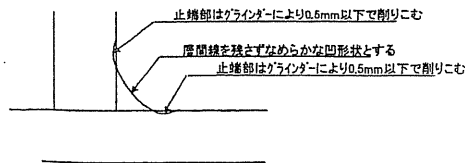
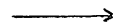
(3) FP部の開先形状及びガウジング作業の方向について溶接作業性を検討して決定し、製作要領書に明記した。



	PA12	PB7	PA13	PA14
t	37	40	69	52
S1	24	26	45	34
S2	1	1	2	1
S3	12	13	22	17
θ1(度)	40	40	40	40
θ2(度)	55	55	50	55
材質	SM490YB	SM400B	SM570-H	SM520C

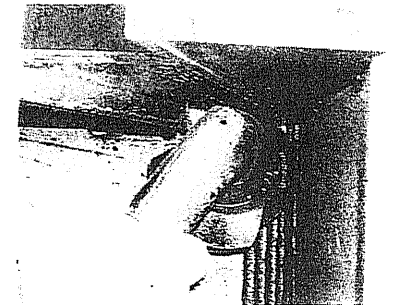
(4) 完全溶接継手の仕上げ

- ビード仕上げ部は図面表示を行なう。
- 製作要領書にビード仕上げ形状を明記した。



備考 (通達関連条項)

- 2.1 製作要領書記載事項 (溶接順序、溶接方法、溶接姿勢等)
- 2.4 FP部裏当て溶接の禁止

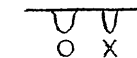


D2=80mmの場合(ディスクサンダー径100mm)



開先角度40°における溶接施工試験(余盛溶接完)

2.2 FP部のはつりの徹底



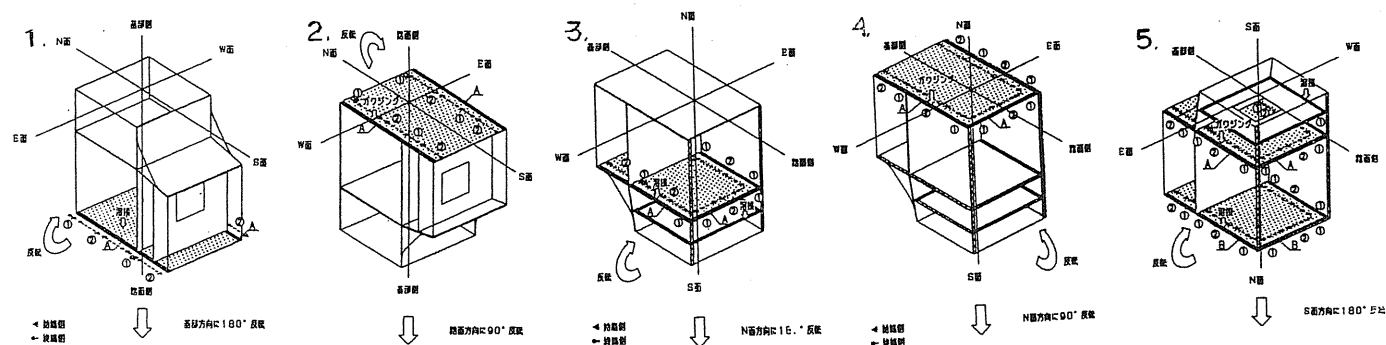
ガウジング形状に注意する。

2.3 FP部のビード仕上げ部と形状明示

隅角部製作に関する検討事項

(5) 隅角部の溶接順序 (反転順序)

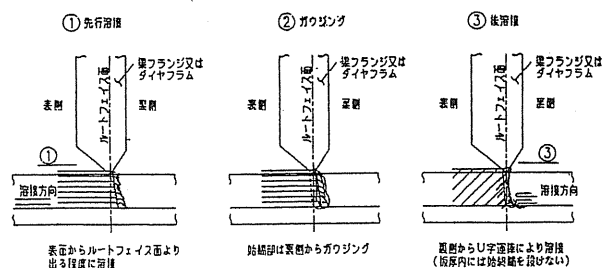
- ・組立要領と同様に模型、CAD 図を使用して溶接、ガウジングの順序、部材の姿勢を決め、製作要領書に明記した。
- ・溶接施工順序について、予備試験での経験を踏まえ、さらに溶接施工試験で確認を行う。



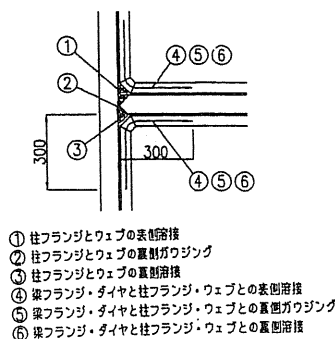
(6) 3 溶接線交差部の溶接施工

- ・この部分の溶接施工については溶接開始の方法、コーナー部の連続溶接手順等施工上の注意点について、予備試験及び溶接施工試験によって、改善事項や手順を確認する。以上の施工手順は製作要領書に明記し、本体の施工前に溶接作業教育により徹底する。

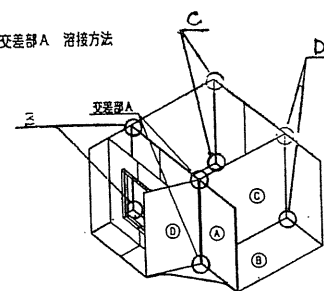
柱フランジとウェブの溶接手順



梁フランジ・ダイヤの溶接手順



交差部 A 溶接方法



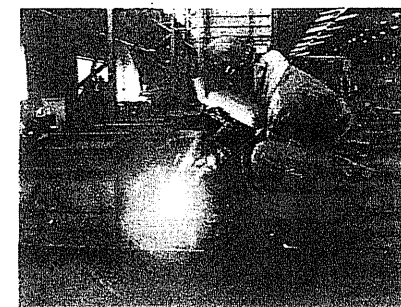
- ① 柱フランジ
- ② 梁ウェブ
- ③ ダイヤフラム
- ④ 梁下フランジ

(7) 溶接施工管理

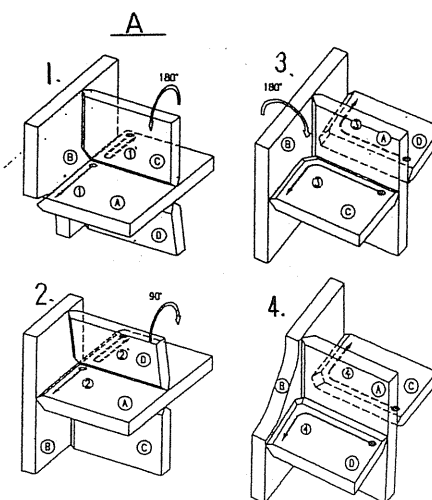
- ・製作要領書に溶接管理者の設置と作業内容を明記した。
- ・製作要領書に溶接作業者の選定条件を明記した。

- (8) 製作要領書に 3 溶接線交差部の溶接作業には交差部の技量訓練及び作業教育を義務付けることを明記した。
選定された作業者は溶接施工試験等により技量の向上を図る。

備考 (通達関連条項)



開先角度40°における溶接施工試験(溶接中)



	隅角部製作に関する検討事項	備 考 (通達関連条項)
3. 検査	(1) 原寸検査では溶接手順に合った開先方法、開先形状について確認することを製作要領書に明記した。 (2) 仮組検査では溶接仕上げ箇所の確認、完全溶け込み溶接部のUT検査を抜き取りで実施すること、外観検査を徹底することを製作要領書に明記した。 (4) 溶接部の検査 - 隅角部は全線超音波検査を実施することとし、検査要領を別途作成した。 - 超音波検査の方法について予備試験及び溶接施工試験にて検査手法を確認する。 指示傷は1mm単位、L/2検出レベル、t/3以下を合格とする。 (5) 隅角部の3溶接線交差部(300mm)の範囲はMT検査を実施することとする。 (6) 不合格欠陥が発生した場合の欠陥の処理方法(欠陥除去、補修溶接、検査、記録)について明記した。 - 溶接管理者が不合格傷の内容を確認。 - 補修標準 - 欠陥発生箇所の特定、UTでの欠陥長さ+25mmのガウジング。 - 作業者による欠陥の確認、できない場合UT結果+10mmまでガウジング。 - ガウジングによる開先形成、できればグラインダーによる整形、広開先に形成。 - ガウジング後にカーボンが残っていないか確認、あれば確実に除去。 - 溶接作業、ビード仕上げは本溶接と同じ、アークは連続、予熱は+50度。 - 検査と記録 - 欠陥発生箇所、範囲、補修方法を記録し報告する。 (4) 製作要領書には完全溶け込み溶接部の写真撮影について明記した。 - 溶接前開先形状、裏はつり後・FP溶接開始時の全景(表溶接終了、裏ガウジング後)・表溶接前全線、始端部付近接写(3溶接線交差部付近)、終端部接写(3溶接線交差部付近)・一般部接写・ガウジング後開先、整形の溶接線全景、溶接始端部等	3.6 原寸検査の確認事項 3.7 仮組検査確認事項 3.1 FP部全線超音波検査 3.2 UT検査に関して検出レベル L/2 傷はmm単位合格傷 t/3以下 3.3 UT探傷は記録に残す。 3.4 UT検査後の補修方法 3.5 溶接線写真撮影
4. その他	製作要領書、超音波探傷試験の検査記録はマイクロ化してしゅん功図書に残すことを製作要領書に明記した。	2.5 製作要領書、UT記録をマイクロで提出

橋脚隅角部設計・製作に関するまとめ（追記）

鋼脚特定建設工事共同企業体

		隅角部製作に関する検討事項		備考（通達関連条項）																																	
製作	(1) 完全溶接継手の仕上げ																																				
	・ ビード仕上げ形状及び施工は下記のとおりとする。																																				
		止端部R 仕上げ ・ 半径は 15R 以上 ・ ゲージで確認 ・ 母材擦り込み 0.5 mm 以内 ・ 研削方法：ディスクグラインダ ・ 中間部は、ビードの凹凸を平滑にする。 ・ ビードの谷間が残らないようにすること。 ・ 3線が交差する交点は、のど厚が小さくならないよう、かつ滑らかになるよう留意する。																																			
検査	(1) 非破壊検査方法について下記のとおりとする。																																				
	① 検査方法と判定基準																																				
		<table><tr><th>適用範囲</th><th>検査方法</th><th>対象範囲</th><th>合格基準</th><th>備考</th></tr><tr><td>縦リブ、ウェブ・フランジ板継</td><td>X線</td><td>1継手に1枚 (圧縮の場合は5継手に1枚)</td><td>引張 2類以上 圧縮 3類以上</td><td>柱部は全て引張</td></tr><tr><td>柱、梁等一般部角溶接</td><td>MUT</td><td>全線</td><td>L線 t/3 以下</td><td>—</td></tr><tr><td rowspan="4">隅角部</td><td rowspan="2">3線交差部</td><td>MUT</td><td>L/2線 t/3 以下 (社内管理値：L/2線 t/6 以下)</td><td>—</td></tr><tr><td>MT</td><td>割れ及び類する線状の磁粉模様は 不合格</td><td>—</td></tr><tr><td>ビード仕上げ部</td><td>MUT</td><td>ビード仕上げ範囲全線（3線 交差部と重複）</td><td>L/2線 t/3 以下 (社内管理値：L/2線 t/6 以下)</td><td>図面指示部</td></tr><tr><td>その他</td><td>MUT</td><td>全線</td><td>L/2線 t/3 以下</td><td>—</td></tr></table>			適用範囲	検査方法	対象範囲	合格基準	備考	縦リブ、ウェブ・フランジ板継	X線	1継手に1枚 (圧縮の場合は5継手に1枚)	引張 2類以上 圧縮 3類以上	柱部は全て引張	柱、梁等一般部角溶接	MUT	全線	L線 t/3 以下	—	隅角部	3線交差部	MUT	L/2線 t/3 以下 (社内管理値：L/2線 t/6 以下)	—	MT	割れ及び類する線状の磁粉模様は 不合格	—	ビード仕上げ部	MUT	ビード仕上げ範囲全線（3線 交差部と重複）	L/2線 t/3 以下 (社内管理値：L/2線 t/6 以下)	図面指示部	その他	MUT	全線	L/2線 t/3 以下	—
適用範囲	検査方法	対象範囲	合格基準	備考																																	
縦リブ、ウェブ・フランジ板継	X線	1継手に1枚 (圧縮の場合は5継手に1枚)	引張 2類以上 圧縮 3類以上	柱部は全て引張																																	
柱、梁等一般部角溶接	MUT	全線	L線 t/3 以下	—																																	
隅角部	3線交差部	MUT	L/2線 t/3 以下 (社内管理値：L/2線 t/6 以下)	—																																	
		MT	割れ及び類する線状の磁粉模様は 不合格	—																																	
	ビード仕上げ部	MUT	ビード仕上げ範囲全線（3線 交差部と重複）	L/2線 t/3 以下 (社内管理値：L/2線 t/6 以下)	図面指示部																																
	その他	MUT	全線	L/2線 t/3 以下	—																																

隅角部製作に関する検討事項

備 考 (通達関連条項)

検査

② 超音波探傷検査の方法

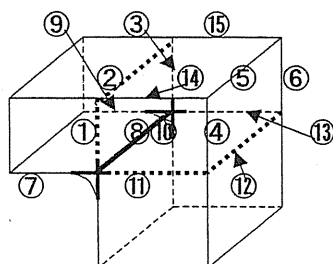
適用範囲		探傷角度	備考
柱、梁等一般部角溶接		斜角 70°	—
隅角部	3 線交差部	斜角 70、45° 垂直の 3 種類	—
	ビード仕上げ部	斜角 70°	—
	その他	斜角 70°	—

※ 試験方法は JIS Z 3060 (2002)を適用。

※ 周波数は 5MHz を使用する (但し、上記規格で 2 MHz でなければならぬ場合は 2MHz を使用)。

※その他については製作要領書記載事項に従う。

(2) 写真撮影は下記のとおりとする。



撮影条件

- ・ 撮影時期：開先形状、表側初層、表側最終層、ガウジング状態、裏側初層、裏側最終層の6つとする
- ・ 撮影位置：溶接線につき、両端と中央の3箇所。両端とは、端部またはコーナー部を示す。
- ・ 撮影は、状態が分かるアップとする。
- ・ 1 エリア全景を溶接前、完了時に撮影する。1枚で全部入らない場合は、複数枚に分割して撮影する。
- ・ 開先確認状態、ガウジング形状確認：各ブロック、複数箇所を追加撮影。場所は任意とする。