

鋼床版構造の耐久性向上に関する共同研究

鋼床版デッキプレートー垂直補剛材溶接部を対象とした耐久性向上に関する検討

平成31年4月

国立研究開発法人土木研究所
一般社団法人日本橋梁建設協会

Copyright © (2019) 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、国立研究開発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、国立研究開発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。

鋼床版構造の耐久性向上に関する共同研究

鋼床版デッキプレートー垂直補剛材溶接部を対象とした耐久性向上に関する検討

国立研究開発法人 土木研究所
一般社団法人 日本橋梁建設協会

要旨

土木研究所 CAESAR では、日本橋梁建設協会と共同研究「鋼床版構造の耐久性向上に関する共同研究」（平成 26～27 年度）を実施し、鋼床版を対象に、橋梁毎に異なる諸条件に応じて疲労耐久性により優れた構造詳細を合理的かつ効果的に見出すための手法について検討を行ってきた。

本報告書は、デッキプレートー垂直補剛材溶接部の疲労耐久性を向上させるための構造詳細の検討手法を提示するものであり、平成 26 年度から平成 27 年度にかけて実施した解析的検討及び実験的検討の結果を体系的にとりまとめたものである。

キーワード：鋼床版、垂直補剛材、疲労耐久性、耐荷力、検討手法

共同研究担当者名簿

| 機 関 | 氏 名 | 所 属 | 担当期間 |
|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|-------------|
| 国立研究開発 法人 土木研究所 | 村 越 潤 | 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員 現 首都大学東京 | H26.4～H28.3 |
| | 玉 越 隆 史 | 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員 現 京都大学 | H28.4～H30.7 |
| | 平 野 秀 一 | 構造物メンテナンス研究センター 主任研究員 現 首都高速道路(株) | H26.4～H27.6 |
| | 佐 藤 歩 | 構造物メンテナンス研究センター 研究員 現 首都高速道路(株) | H27.7～H29.6 |
| | 原 田 英 明 | 構造物メンテナンス研究センター 専門研究員 現 (株)JP ビジネスサービス | H26.4～H29.6 |
| 一般社団法人 日本橋梁建設 協会 | 小笠原 照 夫 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員長 (研究責任者) | H26.4～ |
| | 工 藤 祐 琢 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) | H26.4～ |
| | 松 下 裕 明 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) | H26.4～ |
| | 井 口 進 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) | H26.4～ |
| | 齊 藤 史 朗 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) | H26.4～ |
| | 林 暢 彦 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) | H26.4～ |
| | 奥 村 学 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) | H26.4～ |
| | 川 畑 篤 敬 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) | H26.4～ |
| 内 田 大 介 | 技術委員会 鋼床版小委員会 委員 (研究員) 現 法政大学 | H26.4～H30.4 | |

目 次

| | |
|---------------------------------|-----|
| 1. 序論 | |
| 1.1 研究背景 | 1 |
| 1.2 研究目的 | 1 |
| 1.3 構造詳細の検討概要 | 1 |
| 1.4 本報告書にて検討対象とした部位 | 2 |
| 2. 既往の研究 | |
| 2.1 鋼床版の疲労損傷と対策 | 4 |
| 2.2 垂直補剛材溶接部の疲労損傷と対策 | 6 |
| 2.3 既往の研究事例 | 8 |
| 2.3.1 補強材を設置してデッキプレートの変形を抑制する方法 | 8 |
| 2.3.2 垂直補剛材の形状を改良し拘束力を小さくする方法 | 9 |
| 2.3.3 デッキプレート上面からの対策工法 | 11 |
| 2.3.4 溶接止端部の処理 | 11 |
| 2.4 既往の研究事例における検討方法 | 12 |
| 3. 既設橋の実態調査 | |
| 3.1 目的 | 13 |
| 3.2 調査結果 | 13 |
| 3.3 まとめ | 17 |
| 4. 垂直補剛材溶接部の局部応力に対する解析的検討 | |
| 4.1 目的 | 18 |
| 4.2 解析モデル | 18 |
| 4.2.1 解析手法 | 18 |
| 4.2.2 解析基本モデル | 18 |
| 4.2.3 解析パラメータ | 21 |
| 4.3 基本モデルの解析結果 | 22 |
| 4.3.1 上端溶接モデル | 22 |
| 4.3.2 上端カットモデル | 40 |
| 4.4 各種パラメータが発生応力に及ぼす影響 | 54 |
| 4.4.1 主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法 | 54 |
| 4.4.2 上端カットのギャップ量 | 79 |
| 4.4.3 縦リブ支間長 | 86 |
| 4.4.4 舗装剛性 | 103 |

| | | |
|-------|----------------------------|-----|
| 4.4.5 | デッキプレート厚 | 117 |
| 4.4.6 | 足場用吊金具の有無 | 120 |
| 4.4.7 | 開断面リブ | 127 |
| 4.5 | 上端カットの効果 | 138 |
| 4.6 | まとめ | 143 |
| | | |
| 5. | 垂直補剛材の耐荷力を対象とした解析的検討 | |
| 5.1 | 目的 | 146 |
| 5.2 | せん断耐荷力に対する解析的検討 | 146 |
| 5.2.1 | 目的 | 146 |
| 5.2.2 | 解析手法および解析モデル | 147 |
| 5.2.3 | 解析パラメータ | 150 |
| 5.2.4 | 線形座屈固有値解析結果 | 151 |
| 5.2.5 | 弾塑性有限変位解析結果 | 165 |
| 5.3 | クリッピングに関する検討 | 173 |
| 5.3.1 | 解析手法 | 173 |
| 5.3.2 | 材料非線形の検討 | 180 |
| 5.3.3 | 残留応力の検討 | 181 |
| 5.3.4 | 載荷荷重 300kN の解析 | 183 |
| 5.3.5 | 終局までの解析 | 190 |
| 5.4 | まとめ | 217 |
| | | |
| 6. | 垂直補剛材上端溶接部の疲労耐久性を対象とした疲労試験 | |
| 6.1 | 目的 | 218 |
| 6.2 | 試験体 | 218 |
| 6.3 | 静的載荷試験 | 224 |
| 6.4 | 疲労試験 | 233 |
| 6.4.1 | 試験方法 | 233 |
| 6.4.2 | 試験結果 | 234 |
| 6.5 | まとめ | 241 |
| | | |
| 7. | まとめ | 243 |
| | | |
| | 参考文献 | 245 |

付属資料1 スリット形状の製作施工性を対象とした切断試験及び溶接試験

1. 序論

1.1 研究背景

道路橋では、平成 14 年に道路橋示方書¹⁻¹⁾（以下、道示という）において、鋼部材全般について疲労設計の義務付けがされ、具体的な設計については同時に発刊された「鋼道路橋の疲労設計指針」¹⁻²⁾（以下、疲労指針という）が実務上参考とできる指針として適用されてきている。鋼道路橋のうち、鋼床版に関しては構造計算による疲労耐久性の照査が困難なため、疲労耐久性が確保できる構造詳細が規定されている。これらには、過去の疲労試験等の知見が反映されている。一方で、疲労指針以前に設計された鋼床版構造では疲労損傷が顕在化したものも多くあり、中には近年になって新たに報告された形態のき裂や従来事例の少ない部位でのき裂の発生もある。そのような状況から、さらに疲労耐久性に優れた構造の実現に向けた検討を進めることが重要となっている。

1.2 研究目的

疲労耐久性向上策としての構造詳細の最適化の検討では、対象とする疲労損傷の発生メカニズムを考慮した合理的なものであることが重要である。鋼床版の疲労対策については、これまでも、FEM 等による解析的検討や疲労試験等による実験的検討が実施され、損傷部位に対する様々な構造詳細が提案されている。しかし、各検討での評価方法や観点は必ずしも同じではなく、構造詳細にあたって着目している弱点や改良点に対して、関連する設計上の考慮すべき項目について系統立てて検討を進めることが必ずしも容易でない。道路橋では構造諸元や輪荷重の載荷位置などにより鋼床版の応力は複雑に変化するため、最適な構造詳細も橋梁毎に異なる可能性がある。本研究では、これを踏まえて新設の鋼床版構造を対象に、それぞれの条件に応じて疲労耐久性により優れた構造詳細を合理的かつ効果的に見出すための手法について検討する。

1.3 構造詳細の検討概要

構造詳細は、構造条件と載荷条件に加えて対象とする疲労損傷の発生メカニズムを考慮して工夫されることによって、確実な耐久性向上が期待できる。このとき影響因子が多岐に渡ることから、解析的検討及び実験的検討の両方を用いた検討が必要である。図 - 1.1 に構造詳細の検討フローを、以下に、構造詳細の検討に関する概要を示す。

① 損傷発生リスク低減を図る部位の選定

疲労指針において、新たに報告された損傷に対して標準とされている構造詳細（以下、現行構造という）で対応できていない場合に対しては、構造詳細を変更することによって損傷発生リスク低減効果が期待できる可能性がある。疲労耐久性を確保した構造詳細（以下、提案構造という）について更なる提案余地があるかどうか検討する。

② 疲労損傷の発生メカニズムの解明

提案構造を検討するにあたり、現行構造における損傷要因の条件を確実に低減するには、損傷発生メカ

ニズムを明確にすることが重要である。そのため、既往の研究の分析や FEM 解析から損傷部位の局部応力の発生要因の分析を行い、着目する応力の決定を行う。また、局部応力は、載荷位置や構造諸元が影響することも考えられるため、様々な条件での FEM 解析により、疲労条件下として厳しい状態を把握する。

③損傷発生リスク低減策のコンセプトの提示

損傷発生メカニズムに対応した損傷発生リスク低減策の基本的なコンセプトを明確にし、着目する局部応力を緩和させるメカニズムを有する提案構造を提示する。このとき提案構造は、製作性・施工性を考慮して設定する。

④提案構造の応力性状の確認

提案構造を対象とした FEM 解析を実施し、現行構造に対して、着目する局部応力が緩和されることを確認する。また、構造寸法をパラメータとした FEM 解析を実施し、最適な構造寸法を提示する。提示した構造寸法は、疲労条件下に厳しい状態であっても、応力の緩和が期待できるように設定する。

⑤提案構造の耐荷性能の確認

応力低減効果が認められる提案構造は、所要の耐荷性能を満足するものである必要がある。弾塑性 FEM 解析を実施し、現行構造との比較検討などを行い、橋梁部材としての耐荷性能を満足する構造であるかを確認する。

⑥提案構造の製作性・施工性の確認

提案構造は、所要の製作性・施工性を有する必要がある。製作施工時の入熱により母材が変形することや部材間隔が狭いなど、製作施工において困難が予想される場合、切断試験や溶接試験を実施し、製作性・施工性に問題ないことを確認することを求める必要がある場合も想定する。

⑦提案構造の疲労耐久性の向上効果の確認

着目する局部応力が緩和され、且つ製作性・施工性に問題がない提案構造の疲労耐久性を確認するため、損傷発生メカニズムを再現した疲労試験を実施する必要がある。疲労試験は、現行構造と提案構造の疲労強度の比較による相対評価を基本とする。

1.4 本報告書にて検討対象とした部位

道示や疲労指針では、「大型車の輪荷重が常時載荷される位置直下には、原則として縦桁を配置しないものとする。やむを得ず、輪荷重載荷位置直下またはその近傍に縦桁を配置する場合にも、縦桁の垂直補剛材上部のデッキプレートとの溶接部端の近傍が輪荷重の常時載荷位置とならないようにしなければならない。」とされている。しかし、縦桁の垂直補剛材取り付け側第一縦リブの輪荷重によるたわみによっても当該部位に作用する応力が無視できないほど大きく、輪荷重の幅員方向影響範囲が比較的広いことがわかってきた。また、車両走行位置の幅員方向へのばらつきも考慮すると、これだけでは十分な対応ができない可能性がある。よって、輪荷重の幅員方向影響範囲を明らかにするとともに、輪荷重載荷位置によらず縦桁配置が可能となる縦桁の垂直補剛材上部の構造詳細を検討することとした。

次章からは、1.3 節で提示した手法を用いて鋼床版垂直補剛材上部の構造詳細を検討した成果を示しており、

図 - 1.1 に本報告書の該当する章を示した。なお、今回の検討において提案する構造詳細は製作性・施工性に問題がないことから、その検証を行っていない。そこで、巻末の付属資料には他の部位で製作性・施工性を検討した事例を紹介しているので参考にされたい。

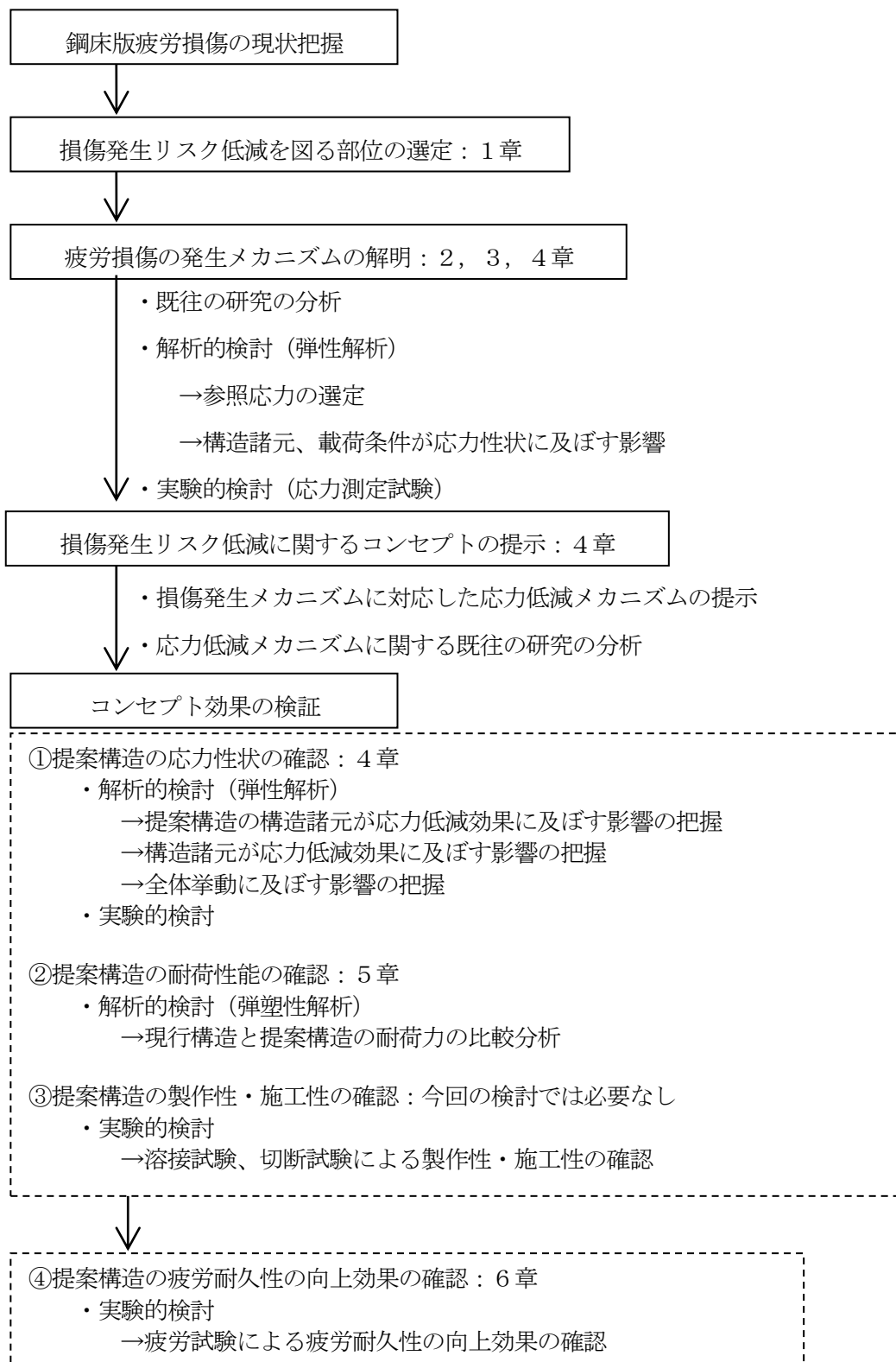


図 - 1.1 構造詳細の検討フロー

2. 既往の研究

2.1 鋼床版の疲労損傷と対策

文献 2-1)によれば、鋼床版の疲労損傷を損傷の発生部位別に分類した場合、その代表的な損傷は次のとおり分類されるとしている（図 - 2.1.1 参照）。

[閉断面リブを用いた鋼床版]

- ①縦リブ・横リブ交差部
- ②デッキプレートと垂直補剛材の溶接部
- ③デッキプレートと閉断面リブの溶接部

[開断面リブを用いた鋼床版]

- ④縦リブ・横リブ交差部

閉断面リブを用いた鋼床版では、①～③の損傷が全体の損傷数の約 89%を占めており、このうち②および③の損傷は、デッキプレートにき裂が進展する場合があります緊急性が高いとされている。一方、開断面リブを用いた鋼床版では、④の縦リブと横リブ交差部の下端に設けられるスカラップ部のまわし溶接部における損傷が最も多く、約 68%を占めている。これ以外の損傷も、ほぼ全てが縦リブと横リブ交差部に設けられるスリット部周辺に発生しており、90%以上が縦リブと横リブ交差部で発生していることとなる。

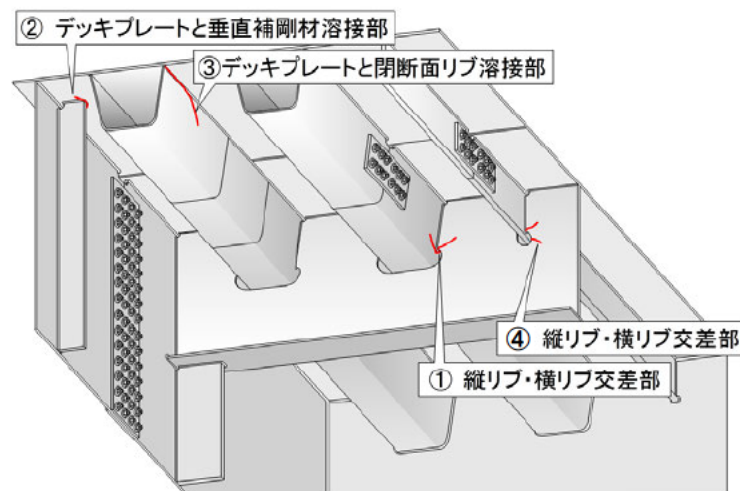


図 - 2.1.1 鋼床版の主な疲労損傷

鋼床版の疲労損傷対策のうち、新設橋梁を対象とした場合、疲労耐久性の高い構造詳細の採用、発生応力や応力集中の低減、継手等級の向上、溶接品質の確保などが考えられる。既往の研究事例を整理すると、前述の疲労損傷については、これまで次のような着眼点にて検討や対策がなされている。

- ①縦リブ・横リブ交差部（閉断面リブ）

縦リブ・横リブ交差部における疲労損傷は、交差部スリット端部におけるまわし溶接部の閉断面リブ側に発生するものと、横リブ側に発生するものに分類される。

閉断面リブ側に発生する損傷の主な原因として、閉断面リブに対して輪荷重が偏心して載荷された場合に、閉断面リブがねじり変形をすることが考えられている。閉断面リブのねじり変形は横リブ交差部で拘束されることから、閉断面リブが局部的に変形し、これがスリット端部におけるまわし溶接部の閉断面リブ側に応力集中を発生させる原因となっている。特に、閉断面リブの現場継手部（ボルト接合部）に防錆を目的に設置される密閉ダイアフラムがこの変形挙動を増大させることが知られている。この損傷への対策については、横リブ交差部のスリット端部における拘束力を小さくし、閉断面リブのねじり変形を緩和させるような構造詳細の提案²⁻²⁾や、柔軟な密閉ダイアフラムの開発²⁻³⁾なども進められている。

一方、横リブ側に発生する損傷の主な原因として、交差部の直上に載荷されることによって横リブに作用する面内力に加え、輪荷重が横リブ前後に移動することで発生する面外力によってスリット端部に発生する応力集中が考えられている²⁻⁴⁾。この損傷への対策については、スリット端部を上方に切り上げることや、スリット端部の切欠き半径を変化させ、閉断面リブに滑らかに擦りつけたり、あるいは溶接止端部のノッチを排除することで、まわし溶接部における応力集中を低減する方法が考えられている。

③デッキプレートと閉断面リブの溶接部

デッキプレートと閉断面リブの溶接部における疲労損傷は、閉断面リブ溶接部のルートから溶接ビード方向に進展するビード進展き裂とデッキプレート方向に進展するデッキプレート進展き裂に分類される。

ビード進展き裂の原因は、溶接部直上に載荷される荷重によって生じる、溶接ルート部の応力集中である。閉断面リブの溶接溶込み量が不足している場合、ルート部から発生したき裂は溶接ビード方向に進展するものと考えられる。新設橋梁においては、道路橋示方書において、デッキプレートと閉断面リブの溶接溶込み量を75%以上確保すること、十分なのど厚を確保することで、ビード進展き裂を抑制できるものとみなしている。

一方、デッキプレート進展き裂の原因は、溶接部の直上に載荷される荷重によってデッキプレートが負曲げを受けることによるルート部の応力集中である。デッキプレートの曲げ剛性が不足している場合、ルート部から発生したき裂はデッキプレート方向に進展するものと考えられる。新設橋梁においては、デッキプレートの剛性を高めるために、平成24年改定の道路橋示方書²⁻⁵⁾から、閉断面リブを用いた鋼床版において大型車の輪荷重が常時載荷される範囲のデッキプレートの最小板厚を従来の12mmから16mmに変更している。

④縦リブ・横リブ交差部（開断面リブ）

開断面縦リブと横リブ交差部における疲労損傷の多くは、前述のとおり、縦リブ・横リブ交差部の下端に設けられるスカラップ部のまわし溶接部に発生している。この疲労損傷の原因の一つとして、スカラップ半径が小さいことと、それによりまわし溶接部の品質が十分に確保されていなかったことが挙げられる。新設橋梁においては、スカラップ径を従来の20~30mmから35mm以上に拡大することで応力集中を低減し、まわし溶接部の品質も向上させる対策がとられている。

2.2 垂直補剛材溶接部の疲労損傷と対策

本共同研究において対象とした部位であるデッキプレートと垂直補剛材の溶接部の疲労損傷は 1980 年代から報告されており²⁶⁾、その事例数も多く、損傷全体の約 32%を占めている²¹⁾。首都高速道路における損傷分類結果²⁷⁾によれば、垂直補剛材側止端部を起点とするものが 68%（写真 - 2.2.1）、デッキプレート側止端部を起点とするものが 19%（写真 - 2.2.2）、これら両方を起点とするものが 13%あったと報告している。また、他にもルート部を起点とすると思われるものもある。一方で、阪神高速道路における損傷分類結果²⁸⁾によれば、デッキプレート側止端部を起点とするものが約 70%と逆に多くなっている。き裂の発生起点については、垂直補剛材の板厚や溶接形状などが影響しているものと考えられるが、それらの各種要因とき裂発生起点の関係は複雑であり、この関係を明確にするためには体系的な検討が必要である。

デッキプレートと垂直補剛材溶接部における疲労き裂の発生要因は、垂直補剛材直上あるいは近傍を輪荷重が通過する際、デッキプレートが鉛直方向に変形することを垂直補剛材が拘束することで溶接部近傍に応力集中が発生することによる。溶接部にルートギャップがある場合は、ルート部にも応力集中が発生する。したがって、これまでに検討されてきた対策としては、以下が挙げられる。

【方法 1】補強材を設置してデッキプレートの変形を抑制する方法（2.3.1 項）

垂直補剛材側にデッキプレート下面を支持あるいは拘束し、荷重載荷によるデッキプレートのたわみ変形を抑制するもの（図 - 2.2.1）

【方法 2】垂直補剛材の形状を改良し拘束力を小さくする方法（2.3.2 項）

①垂直補剛材の上端を切断することでデッキプレート下面との溶接そのものを省略するもの、②垂直補剛材に対して切欠きなど断面欠損を設けることでデッキプレートを弾性的に支持し、拘束を緩和するもの（図 - 2.2.2）

が挙げられ、溶接部近傍に発生する応力集中を低減することに主眼を置いて取り組まれてきた。そのほかにも、

【方法 3】デッキプレート上面からの対策を行う方法（2.3.3 項）

デッキプレート上面アスファルト舗装より剛性が高い繊維補強コンクリート（SFRC）舗装を採用したり当て板を設置したりすることで、デッキプレートの見掛け上の剛性を高めることで、たわみ変形を抑制するもの（図 - 2.2.3）

【方法 4】溶接止端部処理を行い溶接継手部の疲労強度を高める方法（2.3.4 項）

垂直補剛材とデッキプレート溶接部の継手そのものの疲労強度を向上させるもの（図 - 2.2.4）が考えられている。

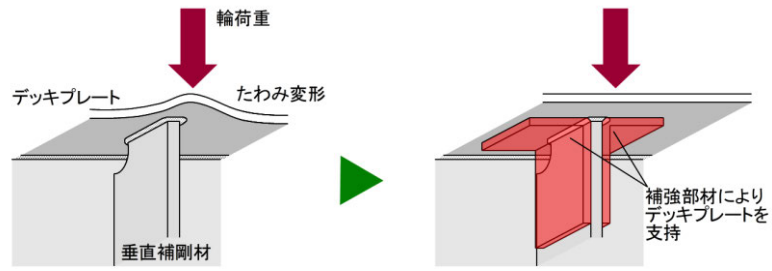


図 - 2.2.1 補強部材によるデッキプレートのたわみの抑制

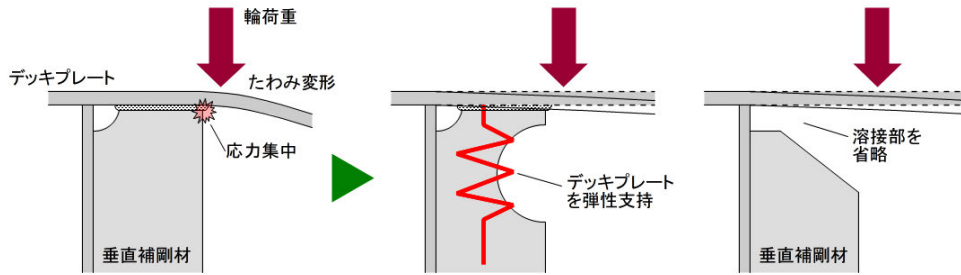


図 - 2.2.2 垂直補剛材によるデッキプレートの弾性支持

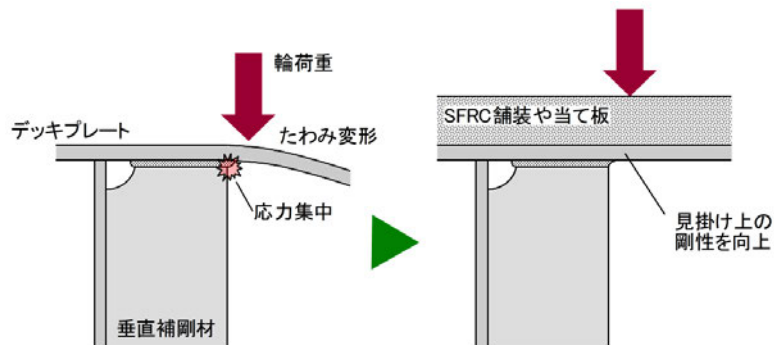


図 - 2.2.3 デッキプレート上面からの補強

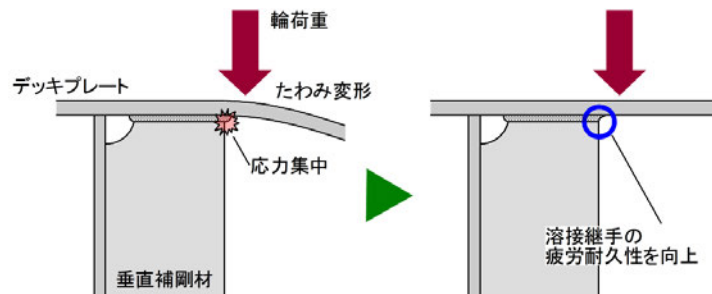


図 - 2.2.4 溶接継手の疲労強度向上

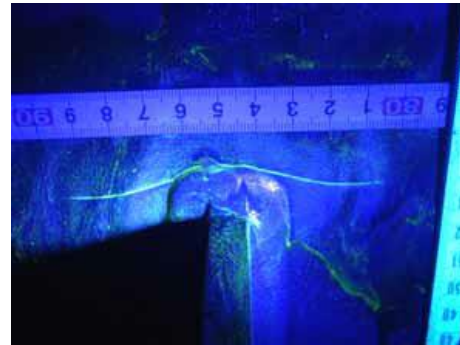


写真 - 2.2.1 垂直補剛材側を起点とするき裂

写真 - 2.2.2 デッキプレート側を起点とするき裂

2.3 既往の研究事例

2.3.1 補強材を設置してデッキプレートの変形を抑制する方法【方法1】

デッキプレート下面側から補強材を設置して、デッキプレートの変形量を小さくすることで、溶接部近傍の応力集中を緩和する方法が検討されている。

文献 2-9)では、き裂の生じた垂直補剛材上端部をガス切断し、き裂を溶接補修あるいはストップホールで処置した後に、図 - 2.3.1 に示す T 型部材を設置している。補強前後の応力測定により、応力低減効果が見られたと報告されているが、その後の点検により、補強材の鉛直部材側溶接止端部から疲労き裂が発生したとの報告²⁻¹⁰⁾もあり、補強部材の設置方法については更なる検討が必要である。同様に、T 型部材を設置してデッキプレートの変形を抑制する方法としては、文献 2-11)があり、T 形部材を溶接あるいは接着剤により設置する方法が提案されている。

文献 2-12) や文献 2-13)では、垂直補剛材の両側に L 形鋼を設置し、この形鋼をデッキプレート下面に押し当てることによりデッキプレートの変形を抑制する方法が検討されている。前者は、テーパカラーを介して高力ボルトを締め付けることで L 形鋼とデッキプレートを密着させる。後者は小型の油圧ジャッキを利用して L 形鋼とデッキプレートを密着させる。例えば、文献 2-12)では、垂直補剛材溶接部を部分的にモデル化した供試体 (図 - 2.3.2) を用いた定点疲労試験が実施されており、L 形鋼の設置による高い補強効果が示されている。

以上に示した検討事例以外にも、垂直補剛材に隣接する閉断面リブとを T 型部材で連結する方法を解析的に検討した事例²⁻¹⁴⁾ (図 - 2.3.3) や、三角リブ付きの L 形鋼を垂直補剛材の両側と裏面に高力ボルトで設置した実験的な検討事例²⁻⁸⁾ (図 - 2.3.4) がある。また、補強樹脂ブロックを垂直補剛材上端部に取り付けることで、垂直補剛材溶接部の応力を低減することを目的とした解析的、実験的検討事例もある²⁻¹⁵⁾。

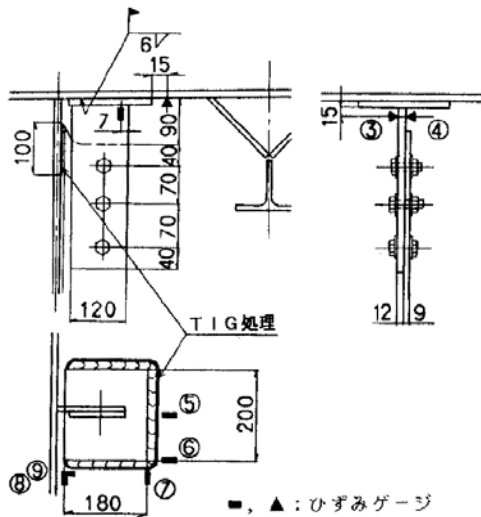


図 - 2.3.1 T型補強材²⁻⁹⁾

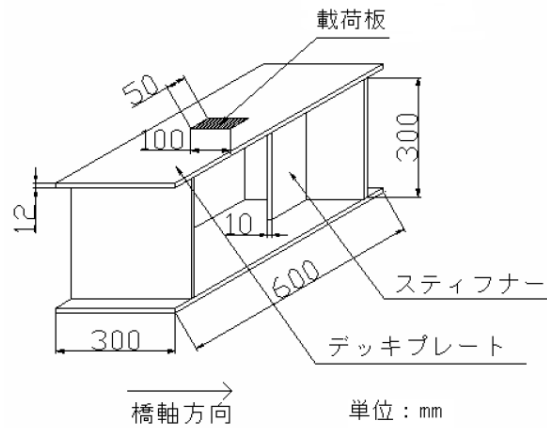


図 - 2.3.2 疲労試験で用いられた供試体²⁻¹²⁾

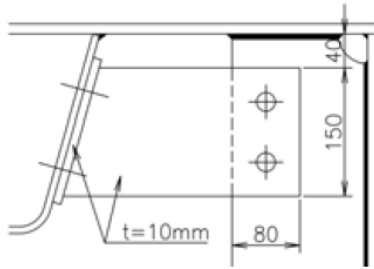


図 - 2.3.3 隣接リブとの連結事例²⁻¹⁴⁾

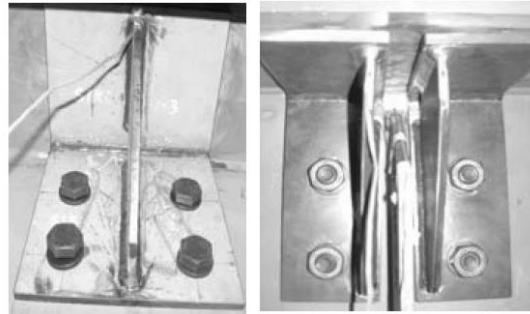


図 - 2.3.4 リブ付きL型鋼の設置事例²⁻⁸⁾

2.3.2 垂直補剛材の形状を改良し拘束力を小さくする方法【方法2】

垂直補剛材上端部の形状を改良し、垂直補剛材によるデッキプレートの拘束効果を緩和させる方法として、補剛材上端部の一部あるいは全てを切断する方法と補剛材上端部に半円孔を設置する検討がなされている。

垂直補剛材の上端部を切断する方法は、横リブおよび横桁の垂直補剛材上端部の構造詳細として「鋼道路橋の疲労設計指針」²⁻¹⁶⁾に示されているものを、主桁の垂直補剛材に適用しようとするものである。文献2-17)では、図-2.3.5に示す3種類の切断構造(切断高さ100mm)に対して、補剛材直上载荷による静的载荷試験を実施している。これらの構造は、垂直補剛材と主桁腹板の溶接部のまわし溶接部先端に応力集中が発生するものの、切断前の構造における最大応力と比べて30~50%程度の応力低減効果があるとしている。また文献2-11)では、図-2.3.6に示す切断構造に対して補剛材直上载荷による静的载荷試験と疲労試験を実施しており、同様に、垂直補剛材と主桁腹板の溶接部のまわし溶接部先端に応力集中が発生するものの、切断前の構造における最大応力が1/3程度に低減されることが確認されている。また、疲労試験の結果、切断前構造と比べて2倍以上の疲労耐久性があることを確認している。このように、切断工法は高い疲労強度が確認されているものの、垂直補剛材と主桁腹板の溶接部のまわし溶接部先端に応力集中が発生することから、採用にあたっては十分な検討が必要であると考えられる。

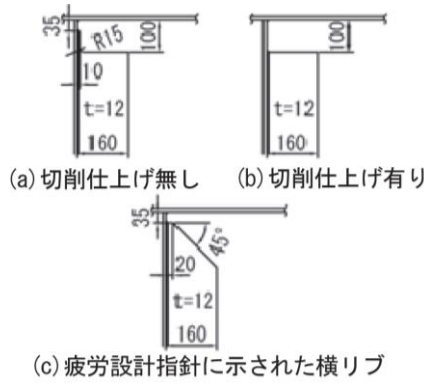


図 - 2.3.5 検討対象とした切断構造²⁻¹⁷⁾

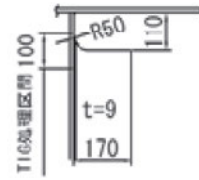
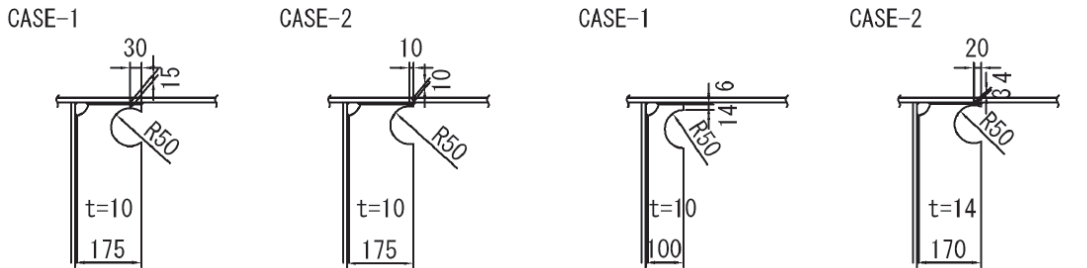


図 - 2.3.6 検討対象とした切断構造²⁻¹¹⁾

垂直補剛材によるデッキプレートの変形への拘束を低減させることを目的に、垂直補剛材上端部に半円孔を設ける方法がある。この方法は、国内では鋼 I 桁橋の主桁上フランジと横桁上フランジ間に設置されるウェブギャップ板の疲労損傷への適用において検討がなされたものであり、この方法を垂直補剛材に適用することが試みられている。半円切欠き構造の検討では、主に切欠き形状やその設置位置が応力低減効果に与える影響を検討した事例^{2-14)、2-17)、2-18)、2-19)}のほか、疲労試験によりその効果が検証された事例^{2-8)、2-20)、2-21)}が挙げられる。これら多くの検討においては、半円切欠きはデッキプレート下面に近づけた方がよく、円孔径は大きいほどまわし溶接部の応力低減効果も大きくなるものの、半円孔壁面の応力が大きくなる傾向にあることが報告されている。

予防保全を目的に半円切欠き構造を検討した事例として、構造詳細を図 - 2.3.7 に示す。

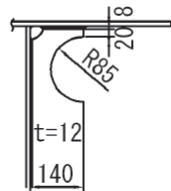


疲労試験荷条件: (K)
補修効果に関し、平均的にはき裂進展速度が25%程度に低減。載荷荷重が大きい場合に円孔近傍から再き裂発生。CASE1とCASE2に明確な差はなし。

(a) 文献 2-20)

疲労試験荷条件: (H), (I)
予防保全効果に関し、設置位置が上端から離れたCASE1は応力緩和効果なし。CASE2は発生寿命が4倍、進展寿命は2倍に向上。

(b) 文献 2-21)



疲労試験荷条件: (J)
補修効果に関し、き裂の停留、進展遅延を確認。

(c) 文献 2-8)

図 - 2.3.7 検討対象とした半円切欠き構造

2.3.3 デッキプレート上面からの対策工法【方法3】

垂直補剛材上端部のき裂に対するデッキプレート上面からの補修方法としては、SFRC 舗装の敷設や鋼板の設置（当て板）などがある。

文献 2-22)では、実物大供試体に対して、鋼板敷設、SFRC 舗装敷設、閉断面リブ内へのモルタル充填の3つの対策を行った場合の垂直補剛材上端部における応力低減効果を実験的に検証（トラック載荷試験）している。その結果、補強なしと比較して、SFRC 舗装の場合に約 65%、鋼板敷設とモルタル充填は約 15%の応力低減効果が確認された。この他にも、垂直補剛材上端部位置に当て板を施工した場合の検討事例²⁻²¹⁾もある。これらは、デッキプレートの剛性を高めることによって、デッキプレートの曲げ変形を低減することを目的としている。

2.3.4 溶接止端部の処理【方法4】

垂直補剛材上端部のまわし溶接止端部を対象に処理を行うことで、溶接継手の疲労強度を向上させる方法が検討されている。最も一般的な方法であるグラインダ仕上げの他に、超音波衝撃処理（UIT）の検討事例、き裂が発生した後の処置として ICR 処理の検討事例がある。

文献 2-21)では、デッキプレート側溶接止端部を、止端半径 4.5~5.0mm に仕上げて疲労試験を行った結果が報告されている。垂直補剛材の寸法が小さいケースでは、き裂の発生寿命が約 8 倍に延伸されること、垂直補剛材の寸法が大きいケースでは、仕上げを行っていない垂直補剛材側の溶接止端部からき裂が発生したものの、き裂が 10mm の長さに進展するまでの疲労強度自体は 30%増加したと報告されている。

文献 2-23)では、超音波衝撃処理（UIT : Ultrasonic Impact Treatment）に着目し、実橋にて試験施工を実施しており、塗膜上からの施工によっても、溶接止端部には圧縮残留応力が導入されていることが確認された（図 - 2.3.8）。また、現場試験で計測された残留応力と応力範囲から、溶接のままでは疲労き裂が発生し得るのに対し、UIT 処理を行った場合、疲労き裂の発生が予防可能だとしている²⁻²⁴⁾。



図 - 2.3.8 主桁垂直補剛材上端部を対象とした UIT の施工事例²⁻²³⁾

文献 2-25)では、き裂近傍の鋼材表面をエアツールによって局部的に塑性流動させき裂面を閉じる ICR (Impact Crack Closure Retrofit Treatment) 処理を既設橋梁の疲労損傷部に適用した事例が報告されている。施工の確認のほか動ひずみ計測、FEM 解析が実施されており、圧縮の残留応力が導入されていることが確認された。なお、新設橋梁への予防保全として ICR 処理を適用する検討も行われつつある。

2.4 既往の研究事例における検討方法

文献 2-1)では、垂直補剛材上端部を対象とした疲労試験の検討事例が一覧としてまとめられている(文献中 p.136、表 6-2)。表中では、15 事例が示されているが、いずれも主桁とデッキプレート、垂直補剛材から構成される部分模型を用いた定点繰り返し载荷による疲労試験が実施されている。15 事例のうち、大型部材を用いた鋼床版の検討を行った 1 例を除いて、デッキプレートの板厚は 12mm としている。これは、各事例が既設橋梁における損傷を対象としていること、平成 24 年改定の道路橋示方書²⁵⁾においてデッキプレートの最小板厚が 16mm に変更されたが、その前の検討であるためである。垂直補剛材の板厚は 9~14mm、幅は 100~170mm としている。これらの供試体の設計においては、必ずしも FEM 解析によって事前に応力状態を把握し、実橋における発生応力との比較を行ってはおらず、実橋における構造諸元を再現しているものが多いものと考えられる。荷重の载荷位置については、垂直補剛材直上に载荷した事例は少なく、直近の縦リブ位置(あるいは相当する位置)に载荷した事例が多い。また、主桁を挟んで垂直補剛材がない側(桁外側)へ荷重を载荷した事例はない。

3. 既設橋の実態調査

3.1 目的

垂直補剛材の構造詳細を検討するにあたっては、既設橋の構造諸元を把握したうえで行うのが有効である。本章では、既設橋の橋梁形式、橋長、主桁腹板から第一閉断面リブまでの距離（以下、第一Uリブまでの距離）、垂直補剛材断面、垂直補剛材が上端溶接または上端カット、その他の構造諸元についてアンケート調査を実施した。

3.2 調査結果

アンケートは国土交通省と地方自治体の発注物件で、2010年1月～2018年5月に竣工した工事を対象とした。アンケートにおける構造諸元の回答例を表-3.2.1に、垂直補剛材上端部構造の調査結果を図-3.2.1に、調査結果を表-3.2.2に示す。全61橋中、上端溶接が20橋、上端カットが26橋、垂直補剛材無しが15橋であり、垂直補剛材ありの内の5割以上が上端カットを採用していた。上端カットの26橋からギャップ量で整理すると、ギャップ量35mmが15橋、50mmが2橋、75mmが8橋、80mmが1橋であり、50mmの1橋は合理化鋼床版であった。

表-3.2.1 アンケートにおける構造諸元の回答例

| 項目 | 単位 | 回答 |
|---------------------------------------------|-------|----------------------------------------------|
| 橋名 | | |
| 管理者（発注者） | | |
| 架設場所 | 都道府県名 | |
| 橋梁形式 | | 鋼3径間連続鋼床版箱桁 |
| 橋長 | m | 300 |
| 支間長 | m | 88.75+120+88.45 |
| 竣工年月 | 年月 | 2012年3月 |
| 主桁ウェブから第一Uリブまでの距離 | mm | 250 |
| 垂直補剛材断面寸法 | | 200x16 |
| 垂直補剛材上端部 構造詳細 (上端溶接orカット、カットの場合はそのディテール) | | 上端溶接 |
| 横リブ間隔 (Uリブ支間) 標準 | m | 2.15 |
| 横リブ間隔 (Uリブ支間) 最大 | m | 2.15 |
| Uリブ断面 | mm | 320x240 x 6 |
| デッキプレート厚 | mm | 12 |
| 主桁ウェブ高さ | m | 2.3m～3.5m |
| 垂直補剛材設置範囲 | | 端支点上横桁2パネル分 中間支点上横桁10パネル分 (支間片側5パネルずつ) |
| 垂直補剛材配置 | | 横リブ間2等分 |
| 垂直補剛材と吊金具位置 | | 一致していない |

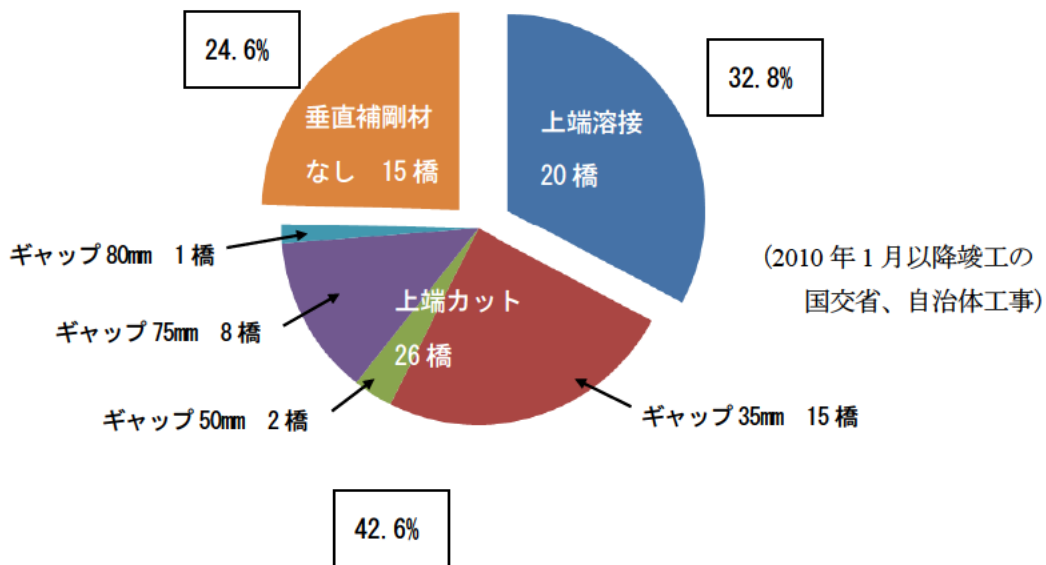


図 - 3.2.1 垂直補剛材上端部構造の調査結果 (全 61 橋)

表 - 3.2.2 垂直補剛材上端部構造の調査結果一覧

| デッキ厚 | 縦リブ 断面寸法 | 上端溶接 | カット (ギャップ 35mm) | カット (ギャップ 50mm) | カット (ギャップ 75mm) | カット (ギャップ 80mm) | 垂直補剛材 なし | 集計 |
|---------------------------|-----------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|----|
| 12 | Uリブ 320×240×6 | 6 | 6 | 1 | | 1 | 2 | 16 |
| | Uリブ 320×260×6 | | 1 | | | | | 1 |
| | Uリブ 320×240×8 | 1 | 1 | | | | | 2 |
| | バルブリブ 140×11 | | | | 1 | | | 1 |
| | バルブリブ 230×11 | | 1 | | | | 3 | 4 |
| 12, 14 | Uリブ 320×240×6 | 1 | | | | | | 1 |
| 14 | Uリブ 320×240×6 | 1 | | | | | | 1 |
| | Uリブ 320×260×6 | | | | | | 1 | 1 |
| 12, 14, 15, 18 | バルブリブ 230×11等 | | | | | | 1 | 1 |
| 12, 16 | Uリブ 320×240×6 | 1 | 1 | | | | | 2 |
| 12~16 | Uリブ 320×240×6 | 1 | | | | | 1 | 2 |
| 12, 18 | Uリブ 320×240×6 | 1 | | | | | | 1 |
| 16 | Uリブ 320×240×6 | 6 | 5 | | 6 | | 2 | 19 |
| | Uリブ 320×240×8 | 2 | | | | | | 2 |
| 12~20 | Uリブ 320×240×6 | | | | | | 1 | 1 |
| 14, 18, 22 | Uリブ 320×240×6 | | | | | | 1 | 1 |
| 18 | 大型Uリブ 450×330×9 | | | 1 | | | | 1 |
| 16, 24 | Uリブ 320×240×6 | | | | 1 | | | 1 |
| 16~25 | Uリブ 320×240×6 | | | | | | 1 | 1 |
| 16, 18, 21, 25, 27 | Uリブ 320×240×6 | | | | | | 1 | 1 |
| 12, 16, 20, 26, 30, 32 | Uリブ 320×240×6 | | | | | | 1 | 1 |
| 集計 | | 20 | 15 | 2 | 8 | 1 | 15 | 61 |

上端カットの場合、腹板の垂直補剛材が取り付け面の反対面に足場用吊金具を設けると、局部応力が大きくなり、疲労損傷の発生が懸念されることが指摘されている³⁻¹⁾。今回の調査結果では、大半が垂直補剛材と足場用吊金具を橋軸方向にずらして設置していた。足場用吊金具の詳細の一例を図 - 3.2.2 に示す。

鋼床版橋において、腹板上部に取り付ける足場用吊金具は、デッキプレートと非溶接とし、ギャップ量を上端カットした垂直補剛材のそれ以上かつ 35mm 以上とするのが、疲労耐久性上好ましいと考えられる。図 - 3.2.3 に足場用吊金具取付け例を示す。なお、足場用吊金具上端部コバ面の塗装品質を確保できるよう $g2$ 寸法を閉断面リブ高さと同程度と十分大きくとり、従来通り矩形の足場用吊金具とするのも一つの方法である。

次に、垂直補剛材ありの場合についてその断面寸法を集計した結果を図 - 3.2.4 に示す。集計した対象は、全 61 橋のうち垂直補剛材なしの 15 橋を除く 46 橋である。垂直補剛材の断面寸法に関しては道路橋示方書 II 11.4.4 に規定されているが、集計結果から 150mm×12mm が多いことがわかる。

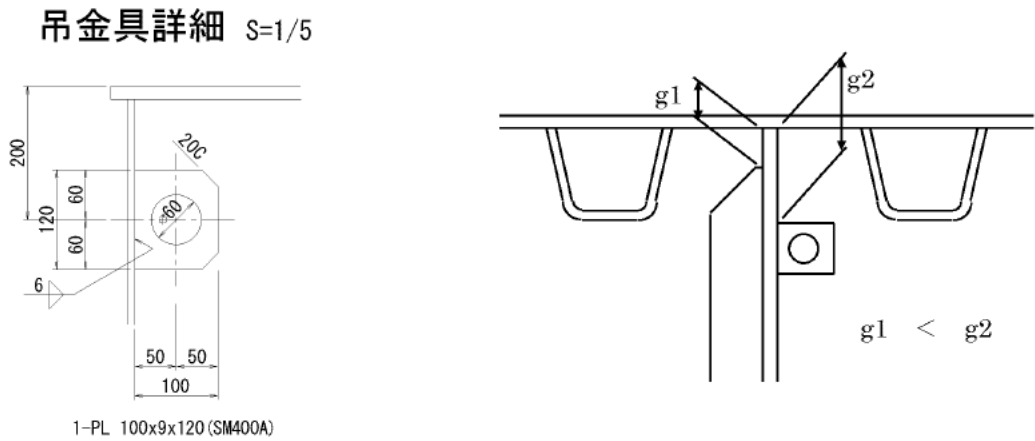


図 - 3.2.3 足場用吊金具取付け例

図 - 3.2.2 足場用吊金具の詳細の一例

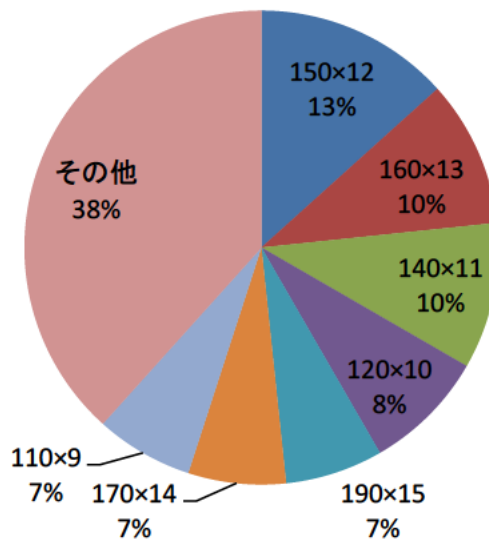


図 - 3.2.4 垂直補剛材の断面寸法 (幅×板厚) の集計 (全 46 橋)

横リブ間隔（標準、最大）を調査した結果を表-3.2.3に示す。横リブ間隔は2000mm～2500mmが多く、「鋼道路橋の疲労設計指針」³⁻²⁾の2500mm以下という記載と合致している。なお、主桁腹板から第一閉断面リブのウェブまでの距離は、平均261mmであった。

表 - 3.2.3 横リブ間隔の調査結果

| デッキ厚 | 上端溶接 | | カット（ギャップ35mm） | | カット（ギャップ50mm） | | カット（ギャップ75mm） | | カット（ギャップ80mm） | | 垂直補剛材なし | | 集計 |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----|
| | 横リブ間隔（標準）（mm） | 横リブ間隔（最大）（mm） | 横リブ間隔（標準）（mm） | 横リブ間隔（最大）（mm） | 横リブ間隔（標準）（mm） | 横リブ間隔（最大）（mm） | 横リブ間隔（標準）（mm） | 横リブ間隔（最大）（mm） | 横リブ間隔（標準）（mm） | 横リブ間隔（最大）（mm） | 横リブ間隔（標準）（mm） | 横リブ間隔（最大）（mm） | |
| 12 | | | 2370 | 2400 | | | | | | | | | 1 |
| | | 2150 | 2150 | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | 2500 | 2500 | | | | | | | | 1 |
| | | 2400 | 2400 | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | | | | | | 2250 | 2250 | | | 1 |
| | | | | 1875 | 2500 | | | | | | | | 1 |
| | | | | 2325 | | | | | | | | | |
| | | | | 2250 | | | | | | | | | |
| | | 2050 | 2050 | 2412.5 | 2412.5 | | | | | | | | 2 |
| | | | | 1800 | 1800 | | | | | | | | 1 |
| | | | | | | 2500 | 2500 | | | | | | 1 |
| | | 2218.2 | 2218.2 | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | 2250 | 2250 | | | | | | | | 1 |
| | | 2500 | 2500 | | | | | | | | | | 2 |
| | | 2500 | 2500 | | | | | | | | | | 2 |
| | | | | | | | | | | | 2000 | 2000 | |
| | | | | | | | | | | | 2100 | 2175 | |
| | | | | 2150 | 2150 | | | | | | | | 1 |
| | | | 2400 | 2400 | | | | | | | | 1 | |
| | 1800 | 1850 | | | | | | | | | | 1 | |
| | | | | | | | 1850 | --- | | | | 1 | |
| | | | 2100 | 2200 | | | | | | | | 1 | |
| | | | | | | | | | | 1400 | 1791 | | |
| | | | | | | | | | | 1765 | 1700 | | |
| | | | | | | | | | | 1600 | 1700 | | |
| | | | | | | | | | | 1200 | 1250 | | |
| 12, 14 | 1500 | 2000 | | | | | | | | | | 1 | |
| 14 | 2488 | --- | | | | | | | | | | 1 | |
| 12, 14, 15, 18 | | | | | | | | | | 2500 | 2500 | 1 | |
| 12, 16 | 2037 | 2073 | | | | | | | | 1475 | 1967 | 1 | |
| 12, 16 | 2037 | 2073 | 2000 | 2000 | | | | | | | | 1 | |
| 12~16 | 2250 | 2250 | | | | | | | | | | 1 | |
| 12, 18 | 2450 | 2450 | | | | | | | | 2000 | 2000 | 1 | |
| 16 | | | | | | | 2245 | 2385 | | | | | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | 2393 | 2406 | | | | | | | | 1 |
| | | | | 2100 | 2150 | | | | | | | | 1 |
| | | 2000 | 2000 | | | | | | | | | | 1 |
| | | 2000 | 2000 | 2050 | 2075 | | | 1920 | 2140 | | | | 3 |
| | | | | | | | | 1850 | 1850 | | | | 1 |
| | | | | 2400 | 2450 | | | 2100 | 2300 | | | | 2 |
| | | | | | | | | 2400 | 2500 | | | | 1 |
| | | 2000 | 2000 | | | | | | | | | | 1 |
| | | 2000 | 2000 | | | | | 2500 | 2500 | | | | 2 |
| | | 1750 | 2500 | | | | | | | | | | 1 |
| | | | 2492 | 2492 | | | | | | | | 2 | |
| | | | 2400 | --- | | | | | | | | 1 | |
| | | | | | | | | | | 1980 | --- | 2 | |
| | 2000 | 2250 | | | | | | | | --- | 2189 | 1 | |
| | 2000 | 2700 | | | | | | | | | | 1 | |
| 12~20 | | | | | | | | | | 1917 | 1933 | 1 | |
| 14, 18, 22 | | | | | | | | | | 2140 | 2185 | 1 | |
| 18 | | | | | 5026 | 5026 | | | | | | 1 | |
| 16, 24 | | | | | | | 1900 | 1900 | | | | 1 | |
| 16~25 | | | | | | | | | | 2400 | 2419 | 1 | |
| 16, 18, 21, 25, 27 | | | | | | | | | | 2400 | 2433 | 1 | |
| 12, 16, 20, 26, 30, 32 | | | | | | | | | | 2400 | 2400 | 1 | |
| | 20 | | 15 | | 2 | | 8 | | 1 | 15 | | 61 | |

3.3 まとめ

垂直補剛材の構造詳細を検討するにあたって、既設橋の垂直補剛材上端部の構造詳細について調査を行った。以下に調査結果を示す。なお、ここで得られた結果は、4章で実施する垂直補剛材溶接部の局部応力に関する解析のモデルに反映した。

(1) 垂直補剛材上端部の構造

調査した全 61 橋のうち、上端溶接が 20 橋、上端カットが 26 橋、垂直補剛材無しが 15 橋であり、垂直補剛材ありの内の 5 割以上が上端カットを採用していた。

(2) 上端カットのギャップ量 g

上端カット構造を採用した 26 橋のうち、上端カットのギャップ量別の橋梁数は、ギャップ量 35mm が 15 橋、50mm が 2 橋、75mm が 8 橋、80mm が 1 橋であり、ギャップ量 35mm の橋梁が最も多い結果となった。

(3) 垂直補剛材の断面寸法

全 61 橋のうち、垂直補剛材なしの 15 橋を除く 46 橋で集計した結果、垂直補剛材幅は 110mm～190mm 程度、板厚は 9mm～14mm 程度であり、板幅と板厚の組合せとしては 150mm×12mm が多い。

(4) 横リブ間隔 (縦リブ支間長 l)

全 61 橋のうち、横リブ間隔は 2000mm～2500mm が多く、疲労指針³⁻²⁾の 2500mm 以下という記載と合致している。

(5) 主桁腹板から第一閉断面リブのウェブまでの距離 \bar{b}

全 61 橋のうち、主桁腹板から第一閉断面リブのウェブまでの距離は、平均 261mm であった。

4. 垂直補剛材溶接部の局部応力に対する解析的検討

4.1 目的

鋼道路橋の疲労設計指針（以下、疲労指針）⁴⁾では、縦桁や主桁腹板の垂直補剛材のデッキプレート溶接部の疲労に配慮し、近傍に輪荷重が載荷されないよう、大型車の輪荷重が常時載荷される位置直下には原則として縦桁を設置しないとしている。しかし、この規定の定められた平成14年以前の橋梁ではこのような配慮がないものが多い。さらに、輪荷重による影響範囲が不明確であるため、その断面寸法やレーンマーク位置等の制約の中で設置された縦桁では、垂直補剛材に非常に大きな応力が発生している可能性もある。

2章で示した通り、デッキプレートと垂直補剛材溶接部における疲労き裂の発生要因は、垂直補剛材直上あるいは近傍を輪荷重が通過する際、デッキプレートの鉛直方向の変形を垂直補剛材が拘束し、溶接部近傍に応力集中が発生することによる。そこで本検討では、垂直補剛材によるデッキプレートの拘束効果を緩和させる方法として、補剛材上端部の全てを切断する方法を、疲労耐久性を確保した最適な構造詳細（提案構造）として選定し、検討した事例を示す。本章では垂直補剛材をデッキプレートと溶接した場合の応力性状と、上端をカットした場合の効果を有限要素応力解析で確認する。また、今後検討を実施するにあたっての参考となるよう、各種構造パラメータがこれらに及ぼす影響を確認する。なお、平成24年の道路橋示方書⁴²⁾より、縦リブに閉断面リブを適用した場合のデッキプレートの最小厚は12mmから16mmへ増厚されているが、既設橋の対策も念頭に、デッキプレート厚 t_d が16mmの解析に加え、12mmの場合の解析も実施した。

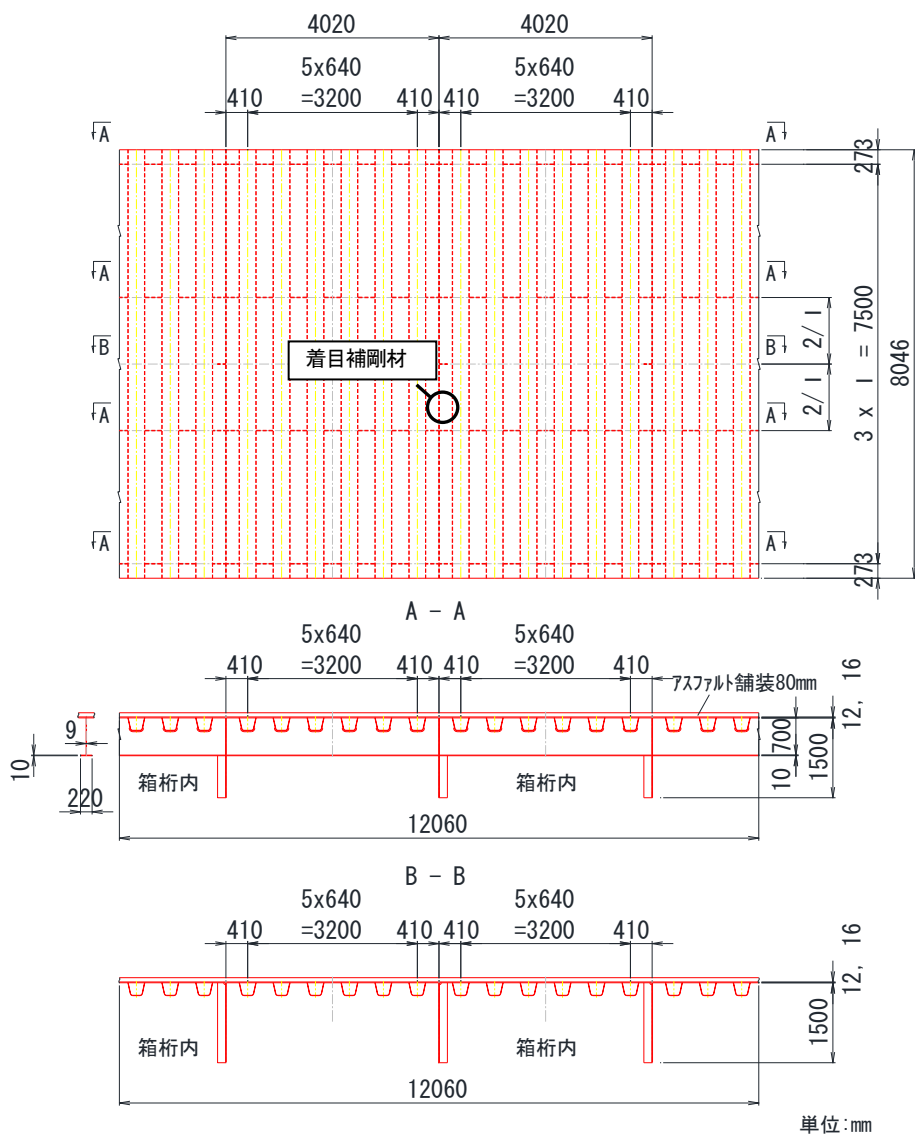
4.2 解析モデル

4.2.1 解析手法

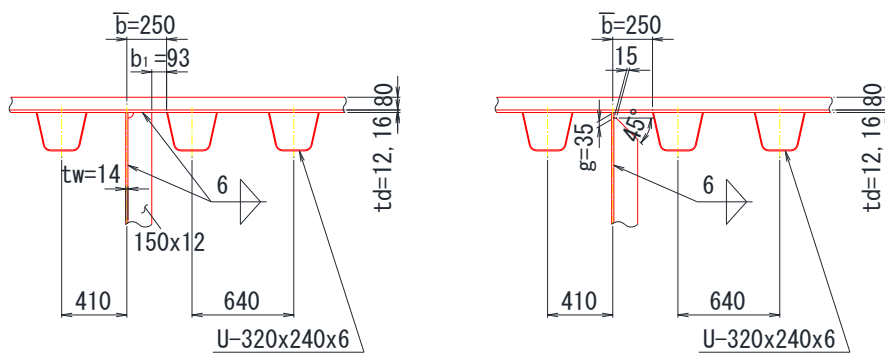
解析は線形弾性解析とした。解析コードはMSC NASTRAN 2012、使用した要素は6節点、あるいは8節点 SOLID 要素である。鋼材の弾性係数は $200,000\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比は0.3とした。アスファルト舗装についても弾性体として扱い、弾性係数は夏季を想定した場合には 500N/mm^2 、春秋季では $1,500\text{N/mm}^2$ 、冬季は $5,000\text{N/mm}^2$ とし、ポアソン比は0.35とした。

4.2.2 解析基本モデル

解析対象は図-4.2.1に示すように、閉断面リブを有する鋼床版パネルを抽出したモデルである。垂直補剛材の断面形状（ $150\text{mm} \times 12\text{mm}$ ）、主桁腹板厚 t_w （ 14mm ）は前章の調査結果に基づいた代表的と考えられた組合せである。主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} も前章の結果を参考に 250mm を基本とした。縦リブ支間 l は閉断面リブの場合に一般的な $2,500\text{mm}$ である。上端カットにより設けるギャップ量 g については疲労指針に横桁・横リブの垂直補剛材に対する標準として示されている 35mm とした。舗装厚は一般的な 80mm とし、剛性は発生応力が大きくなる夏季を基本とした。



(a) 一般図



(b) 上端溶接垂直補剛材

(c) 上端カット垂直補剛材

図 - 4.2.1 解析対象

解析モデルを図 - 4.2.2 に示す。部材交差部の応力性状を適切に評価するため、着目部近傍は溶接（脚長 6mm）も含めてモデル化しており、着目部の要素寸法は約 1mm×1mm×1mm である。

荷重条件を図 - 4.2.3 に示す。載荷荷重はシングルタイヤと比べて荷重値が大きく、発生応力が大きいと考えられるダブルタイヤを想定した。荷重ケースは橋軸方向には対称性を考慮して7ケース、橋軸直角方向は主桁腹板位置を基準とした12ケース、合計84ケースである。拘束条件は腹板下端を完全拘束とし、橋軸直角方向に連続条件を定義した。なお、腹板高さについては3,000mmとした場合でも解析結果に及ぼす影響が小さいこと、橋軸直角方向に連続するパネルの荷重が着目部に及ぼす影響が小さいことは別途確認している。

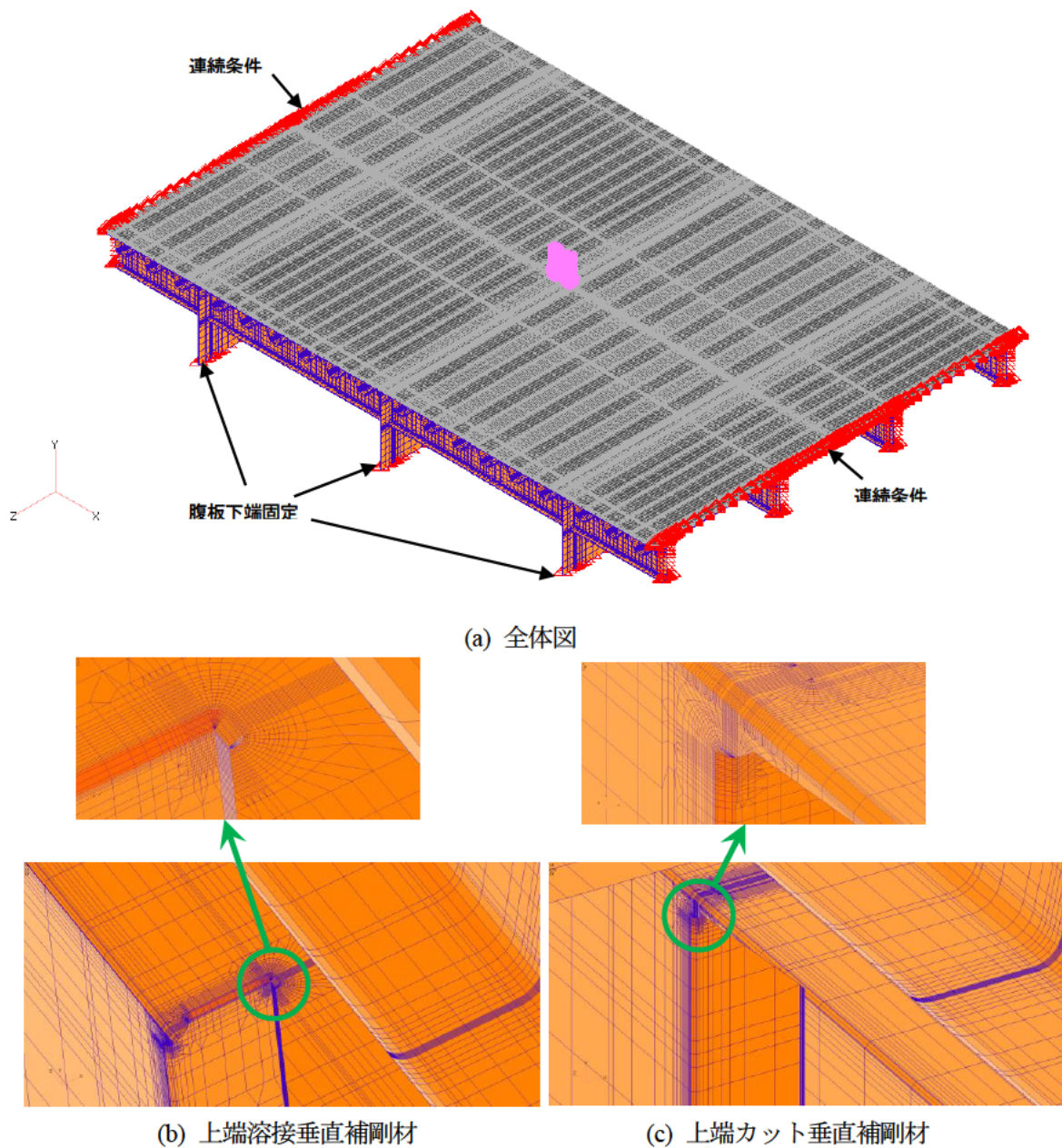
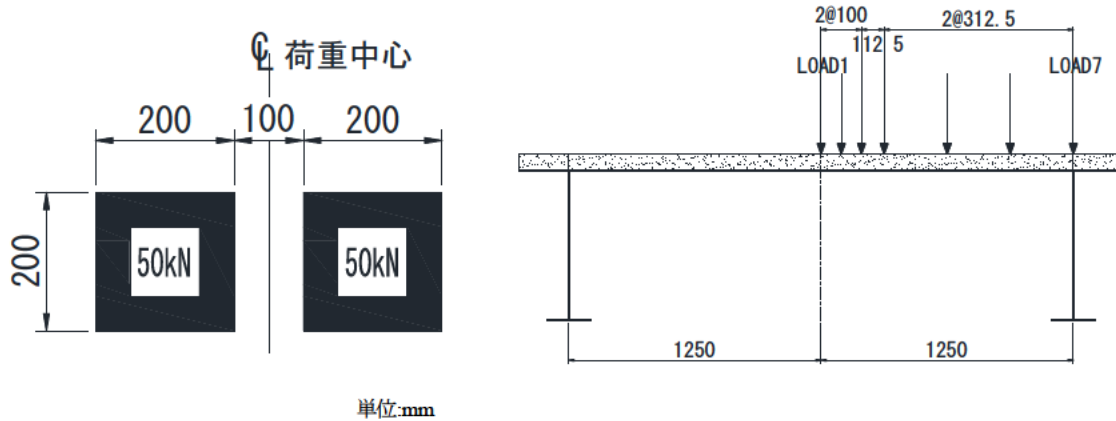
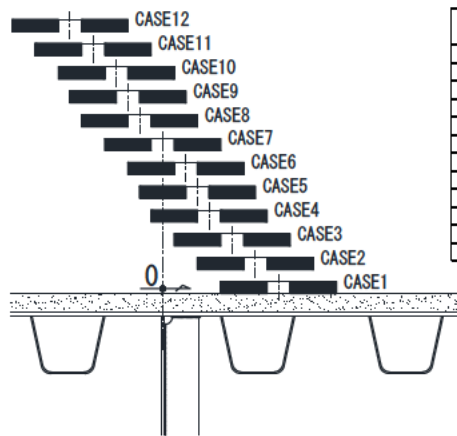


図4.2.2 解析モデル



(a) 載荷荷重

(b) 橋軸方向のケース



| 荷重 ケース | 主桁腹板中心 からの距離x(mm) | 備 考 |
|-----------|----------------------|-----------------|
| CASE1 | 500 | |
| CASE2 | 400 | |
| CASE3 | 300 | |
| CASE4 | 200 | |
| CASE5 | 150 | 左輪中心が主桁腹板中心 |
| CASE6 | 100 | |
| CASE7 | 0 | ダブルタイヤ中心が主桁腹板中心 |
| CASE8 | -100 | |
| CASE9 | -150 | 右輪中心が主桁腹板中心 |
| CASE10 | -200 | |
| CASE11 | -300 | |
| CASE12 | -400 | |

(c) 橋軸直角方向のケース

図-4.2.3 荷重条件

4.2.3 解析パラメータ

前項に示した基本モデルに対し、各種構造パラメータが当該箇所の応力性状に及ぼす影響を確認する目的で、垂直補剛材の断面形状・主桁腹板厚 t_w の組合せ (190mm×15mm・14mm, 110mm×9mm・9mm)、主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 b (200mm, 300mm)、縦リブ支間 l (2,000mm, 3,000mm) を変化させた解析を実施した。表 - 4.2.1 に解析パラメータの一覧を示す。 b の長さを変更する場合には箱桁の全幅を、 l の長さを変更する場合にはモデルの全長を変更している。また、橋軸方向の荷重間隔は l の長さに応じて適宜変更し、橋軸直角方向の荷重条件は垂直補剛材の断面形状や b の長さに応じて追加している。この他、後述のように上端溶接の場合のスカルップの有無、上端カットの場合のギャップ量 g 、舗装剛性の違い (舗装なし, 春秋, 冬季)、足場用吊金具の有無に着目したモデルに加え、開断面リブモデルの解析を実施した。

表 - 4.2.1 解析パラメーター一覧

| No. | 垂直補剛材 断面形状 | 腹板厚 tw(mm) | ギャップ量 g(mm) | デッキ厚 td(mm) | 第1縦リブの 位置 b(mm) | 縦リブ支間 l(mm) | 橋軸方向荷重位置(mm) | 橋軸直角方向 荷重位置x(mm) | 備考 | |
|-----|---------------|---------------|----------------|---------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 | ① (150×12) | 14 | 0 (上端溶接) | 12.16 | 200 | 2000 | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 | ※1 | | |
| 2 | | | | | | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | | | |
| 3 | | | | | | 3000 | 0,100,200,312.5,625,1062.5,1500 | | | |
| 4 | | | | | 250 | 2000 | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 | | | |
| 5 | | | | | | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | | | |
| 6 | | | | | | 3000 | 0,100,200,312.5,625,1062.5,1500 | | | |
| 7 | | | | | 300 | 2000 | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 | | | |
| 8 | | | | | | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | | | |
| 9 | | | | | | 3000 | 0,100,200,312.5,625,1062.5,1500 | | | |
| 10 | | | | | 35 | 12.16 | 200 | | 2000 | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 |
| 11 | | | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | | | | | | |
| 12 | | | 3000 | 0,100,200,312.5,625,1062.5,1500 | | | | | | |
| 13 | | | 250 | 2000 | | | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 | | | |
| 14 | | | | 2500 | | | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | | | |
| 15 | | | | 3000 | | | 0,100,200,312.5,625,1062.5,1500 | | | |
| 16 | | | 300 | 2000 | | | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 | | | |
| 17 | | | | 2500 | | | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | | | |
| 18 | | | | 3000 | | | 0,100,200,312.5,625,1062.5,1500 | | | |
| 19 | | | 50 | 12.16 | | | 250 | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | ※1 |
| 20 | | | 75 | 12.16 | 250 | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | ※1 | | |
| 21 | ② (190×15) | 14 | 0 (上端溶接) | 12.16 | 250 | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | ※3 | | |
| 22 | | | | | | | | | 300 | |
| 23 | | | | | | | | | 250 | |
| 24 | | | | | | | | | 300 | |
| 25 | ③ (110×9) | 9 | 0 (上端溶接) | 12.16 | 200 | 2500 | 0,100,200,312.5,625,937.5,1250 | ※4 | | |
| 26 | | | | | | | | | 250 | |
| 27 | | | | | | | | | 300 | |
| 28 | | | | | | | | | 200 | |
| 29 | | | | | | | | | 250 | |
| 30 | 300 | | | | | | | | | |

※1: -400,-300,-200,-150,-100,0,100,150,200,300,400,500
 ※2: -400,-300,-200,-150,-100,0,100,150,200,300,400,500,600
 ※3: -400,-300,-200,-150,-100,0,100,150,200,300,400,450,500,600
 ※4: -400,-300,-200,-150,-100,0,100,150,200,300,350,400,500

4.3 基本モデルの解析結果

4.3.1 上端溶接モデル

上端溶接モデルでは、垂直補剛材 - デッキプレート溶接部のデッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部の応力性状に加え、デッキプレートと主桁腹板溶接部に設けられるスカラップ部の応力性状についても着目する。なお、垂直補剛材 - デッキプレート溶接部の溶接ルート部から発生する報告もあるが⁴³⁾、このき裂は溶接脚長が小さく、ルートギャップが大きい場合に発生するものと考えられ⁴⁴⁾、通常の溶接脚長とルートギャップを想定した本研究では着目する対象としないこととした。

(1) 変形図

橋軸直角方向の各荷重ケースで荷重を橋軸方向の0mm位置、すなわち着目断面直上に載荷した際の50倍変形図を、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm の場合に分けて図 - 4.3.1 と図 - 4.3.2 に示す。橋軸直角方向荷重位置 x が正の値のケースでは垂直補剛材先端部で局所的な変形が生じていることが確認できる。また、 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm の変形の傾向はほぼ同じであり、変形量は $t_d=16\text{mm}$ のほうが小さい。デッキプレート下面の最大の鉛直たわみは $t_d=12\text{mm}$ で 1.20mm 、 $t_d=16\text{mm}$ で 0.99mm であった。

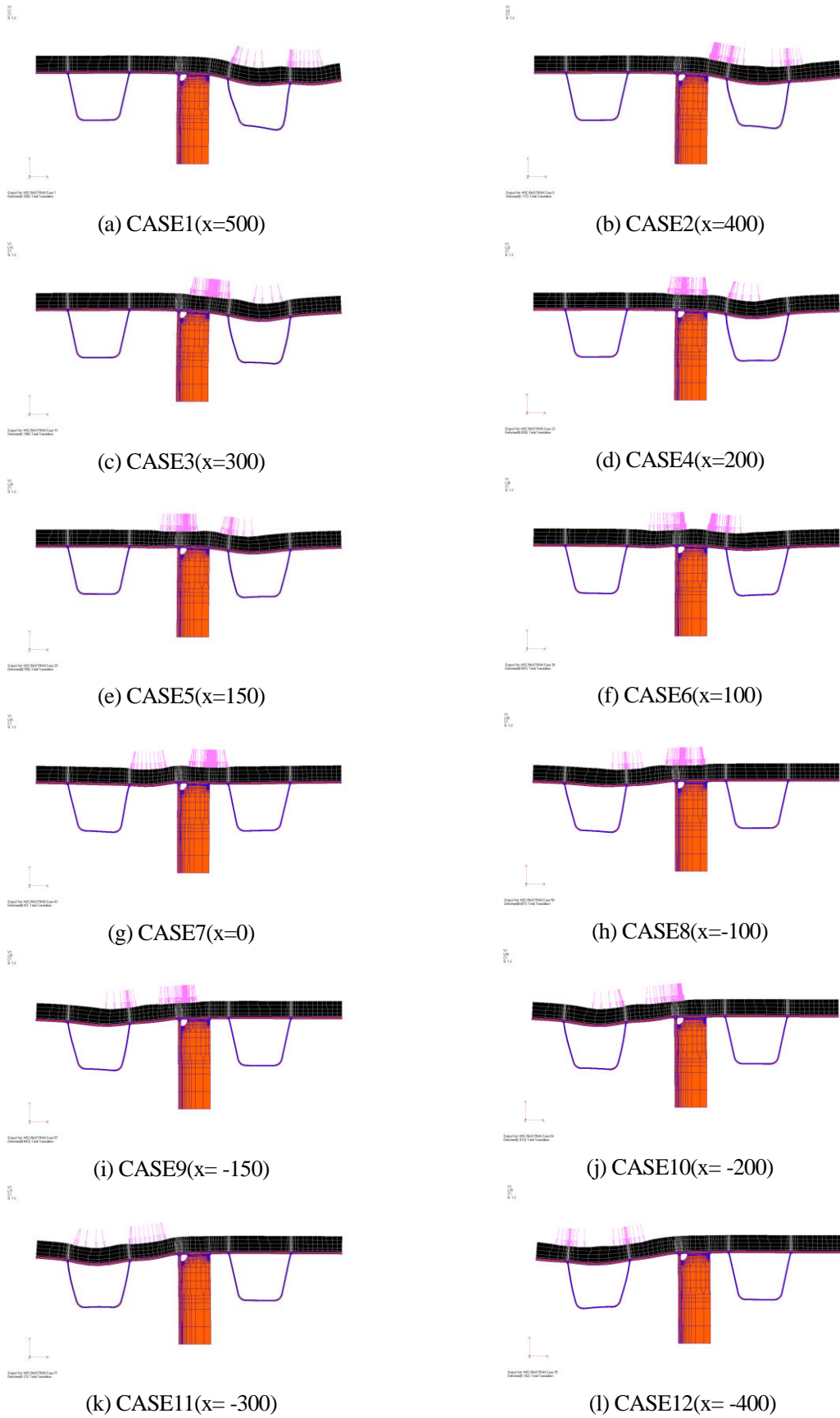


図 - 4.3.1 上端溶接モデル着目断面載荷 50 倍変形図 ($t_d=12\text{mm}$)

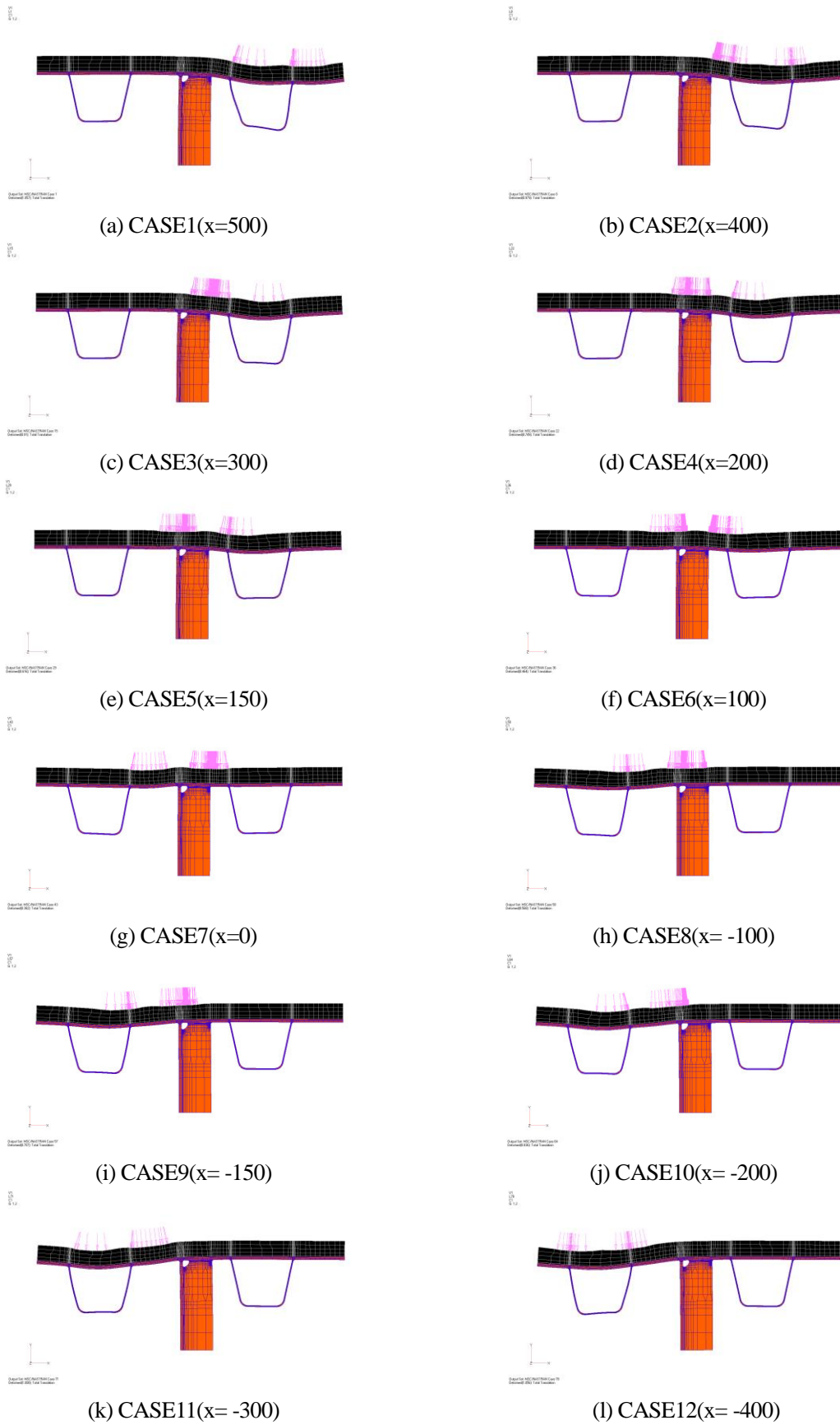


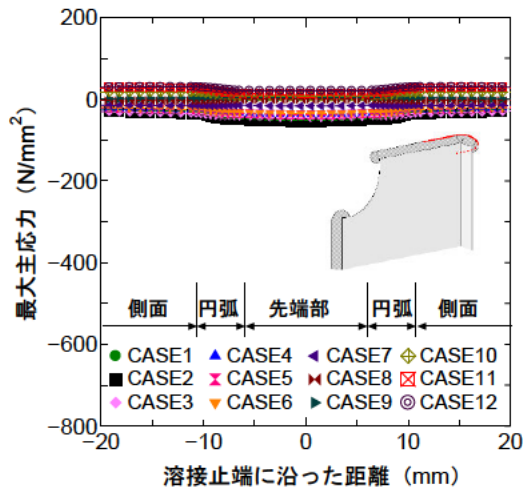
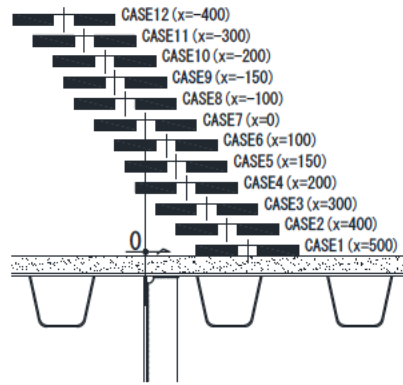
図 - 4.3.2 上端溶接モデル着目断面載荷 50 倍変形図 ($t_d=16\text{mm}$)

(2) デッキプレート側止端部の応力性状

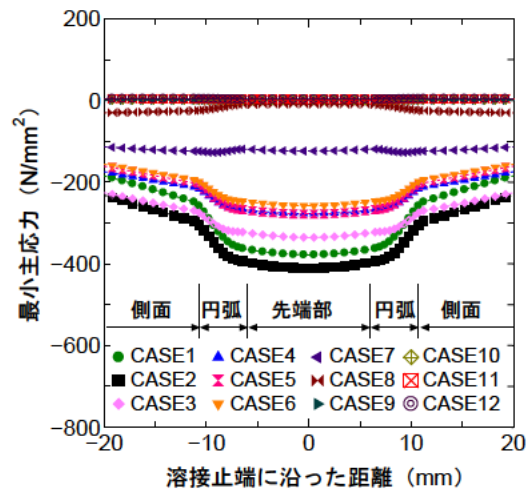
デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルについて、橋軸直角方向の各荷重ケースで荷重を着目断面直上に載荷した際のデッキプレート側止端に沿った要素の最大主応力と最小主応力の分布を図 - 4.3.3 に示す。箱桁内側 (CASE1~6, $x>0$) に載荷した場合に比較的大きな最小主応力が発生すること、この場合には溶接先端部中央近傍の発生応力が大きくなることが確認できる。また、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによる応力低減効果も確認できる。図 - 4.3.4 に最大の最大主応力が発生する CASE12 の最大主応力分布と最小の最小主応力が発生する CASE2 の最小主応力の分布を示す。

図 - 4.3.5 は溶接先端部中央要素の最大主応力、最小主応力、橋軸直角方向応力の橋軸方向の影響線図を示している。最小主応力と橋軸直角方向応力の影響線の傾向は一致しており、デッキプレート側止端部では、橋軸直角方向の圧縮応力が卓越することがわかる。また、橋軸直角方向の荷重位置によっては着目断面直上載荷時以外の発生応力が卓越するものもあるが、最小の最小主応力が発生する CASE2 では着目断面直上載荷時の発生応力が卓越している。このほか、箱桁外側に載荷した場合の一部に応力の交番が確認出来るが、発生応力自体が小さい。

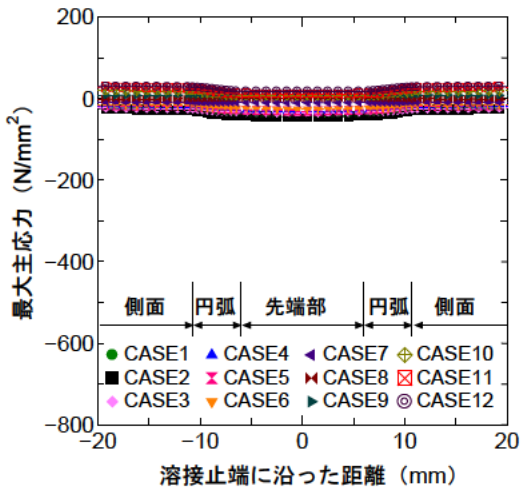
図 - 4.3.6 は橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素の最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を示している。横軸の荷重中心は、ダブルタイヤの中心位置である。応力範囲算出にあたり図 - 4.3.5 をみると、橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものがあるが、この場合には発生応力が 0N/mm^2 になると仮定している (交番はしないと仮定)。橋軸直角方向の応力範囲についてもダブルタイヤの左輪の左端が垂直補剛材先端部近傍となる $x=400\text{mm}$ のケースで最大値を示すことがわかる。また、箱桁内側へ載荷された場合の輪荷重の影響範囲は広く、 $x=800\text{mm}$ 程度までとなる可能性がある。



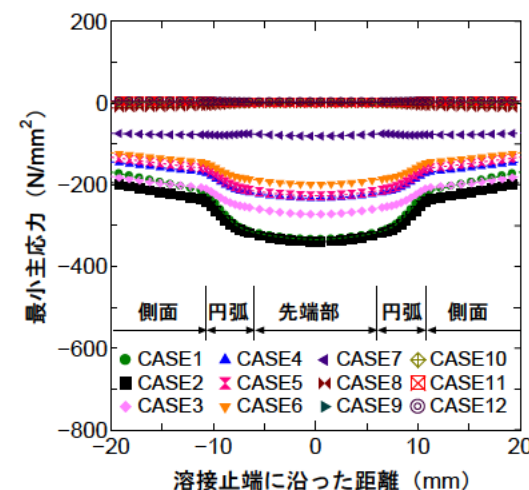
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



(b) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力

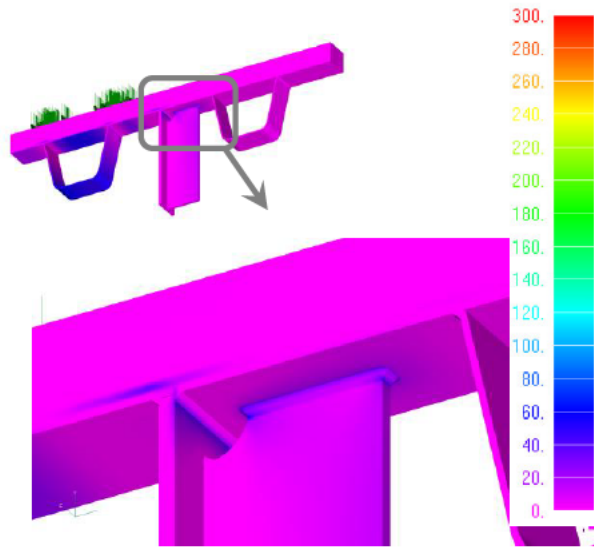


(c) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力

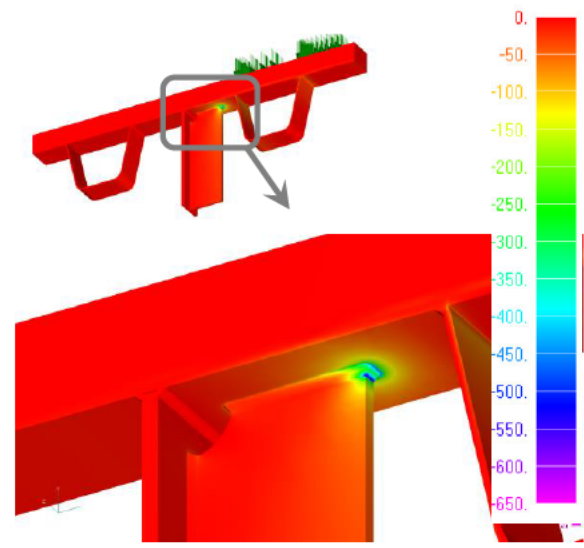


(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

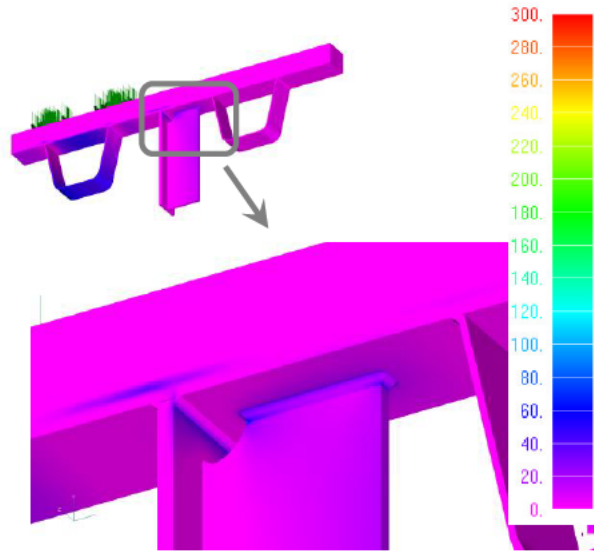
図 - 4.3.3 デッキプレート側止端に沿った主応力分布図



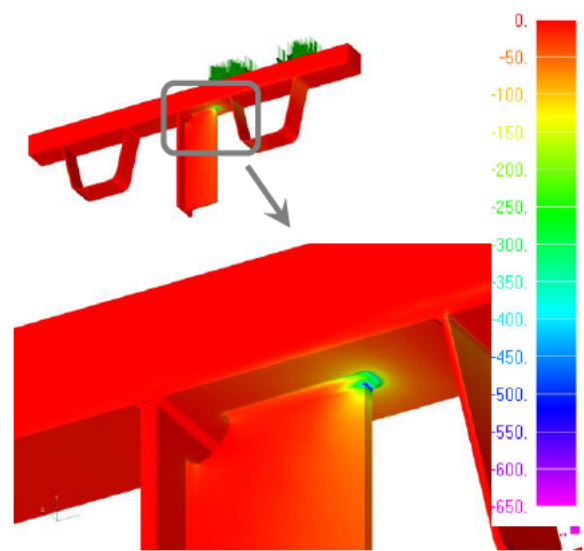
(a) CASE12 最大主応力コンター図($t_d=12\text{mm}$)



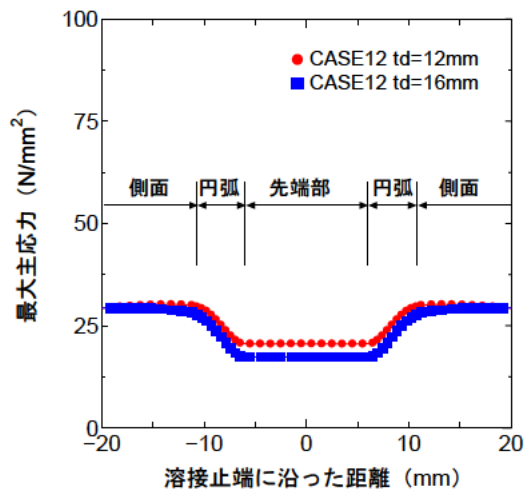
(b) CASE2 最小主応力コンター図($t_d=12\text{mm}$)



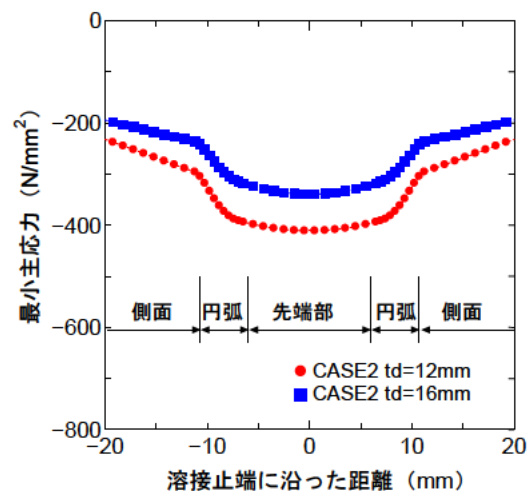
(c) CASE12 最大主応力コンター図($t_d=16\text{mm}$)



(d) CASE2 最小主応力コンター図($t_d=16\text{mm}$)

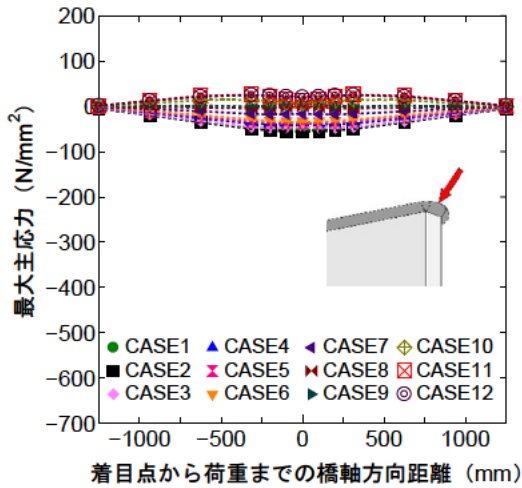


(e) デッキプレート側止端
CASE12 最大主応力分布

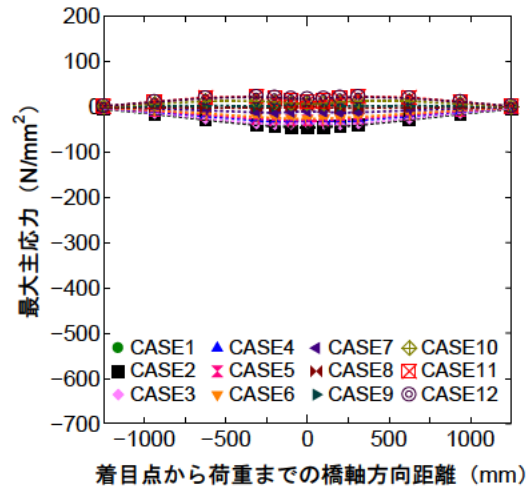


(f) デッキプレート側止端
CASE2 最小主応力分布

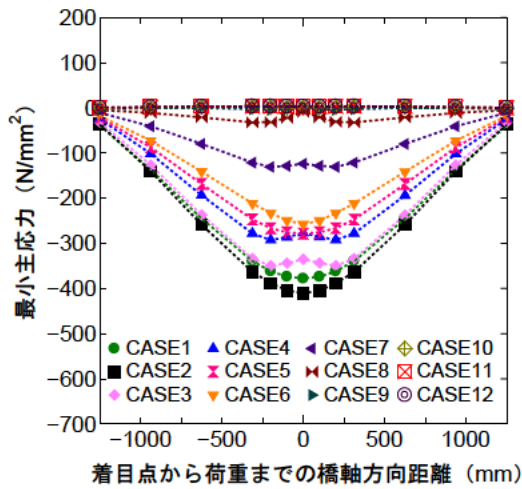
図 - 4.3.4 主応力コンター図と腹板側止端に沿った主応力分布図 (発生主応力が卓越するケース)



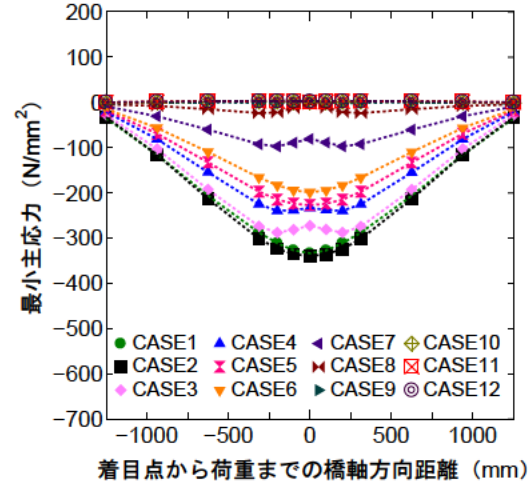
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



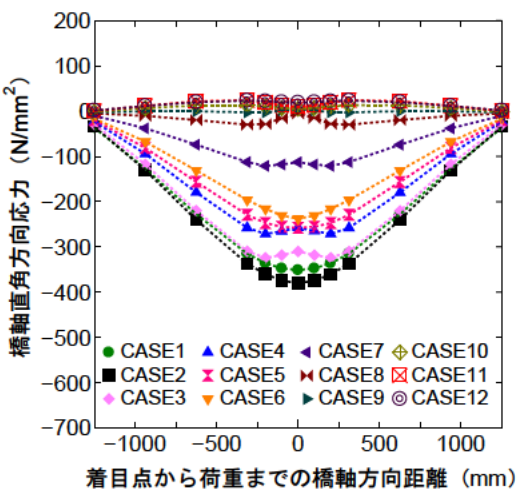
(b) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力



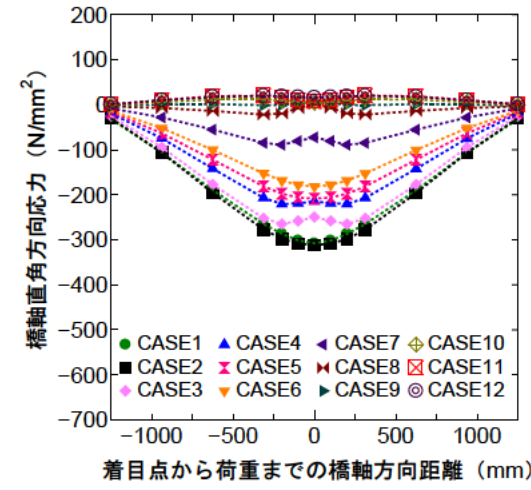
(c) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力



(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

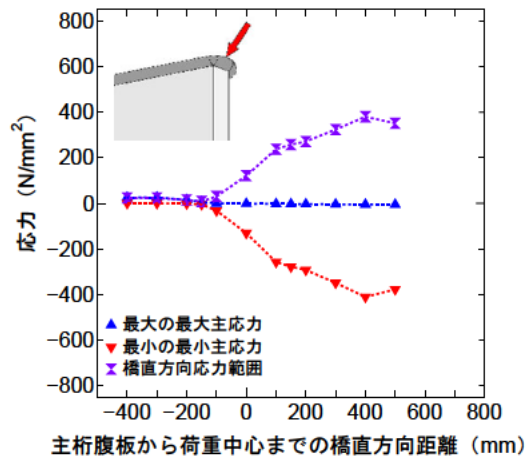


(e) $t_d=12\text{mm}$ 橋軸直角方向応力

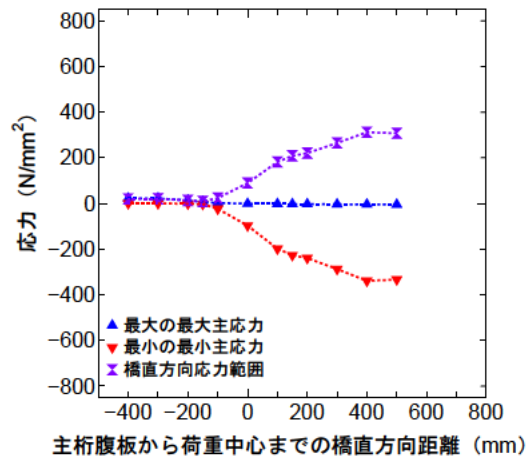


(f) $t_d=16\text{mm}$ 橋軸直角方向応力

図 - 4.3.5 デッキプレート側溶接止端先端要素の応力の影響線



(a) $t_d = 12\text{mm}$



(b) $t_d = 16\text{mm}$

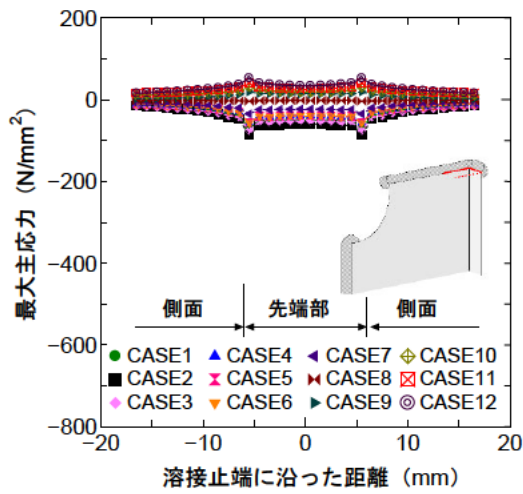
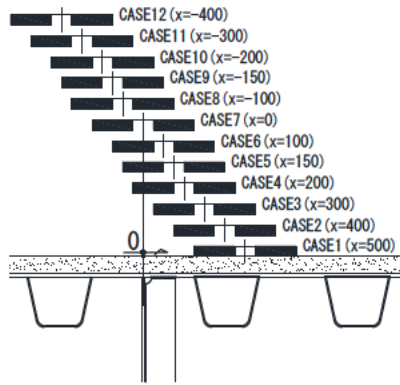
図 - 4.3.6 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力

(3) 垂直補剛材側止端部の応力性状

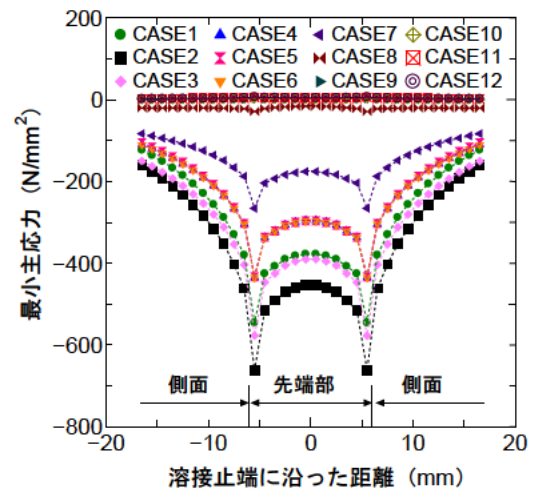
デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルについて橋軸直角方向の各荷重ケースで荷重を着目断面直上に載荷した際の垂直補剛材側止端に沿った要素の最大主応力と最小主応力の分布を図 - 4.3.7 に示す。デッキプレート側止端部と同様、箱桁内側 (CASE1~6, $x>0$) に載荷した場合に比較的大きな最小主応力が発生している。発生応力が大きくなるのは、デッキプレート側止端部では溶接先端部中央近傍、すなわち垂直補剛材板厚中心であったが、垂直補剛材側止端部では、板厚端部 (角部) に近づくほど、発生応力が大きい。なお、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによる応力低減効果も確認できる。図 - 4.3.8 に最大の最大主応力が発生する CASE12 の最大主応力分布と最小の最小主応力が発生する CASE2 の最小主応力の分布を示す。

図 - 4.3.9 と図 - 4.3.10 は溶接先端部の角部と板厚中心部の要素の最大主応力、最小主応力、橋軸直角方向応力の橋軸方向の影響線図を示している。板厚中心部の結果については、先端部において発生応力が小さくなる箇所ではあるが、角部は特異点であること、板厚変化や計測等を考えると板厚中心部の値での整理が必要になること等を考慮して示している。最小主応力と鉛直方向応力の影響線図の傾向が一致しており、垂直補剛材側止端部では、鉛直方向の圧縮応力が卓越することがわかる。また、橋軸直角方向の荷重位置によっては着目断面直上載荷時以外の発生応力が卓越するものもあるが、デッキプレート側止端部と同様、最小の最小主応力が発生する CASE2 では着目断面直上載荷時の発生応力が卓越している。このほか、箱桁外側に載荷した場合の一部に応力の交番が確認出来るが、発生応力自体は小さい。

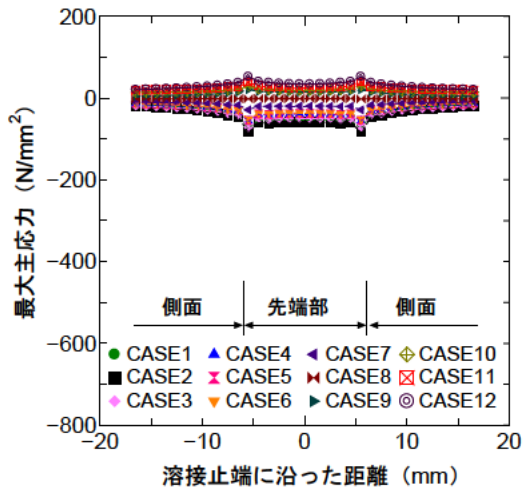
図 - 4.3.11 は橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を示している。横軸の荷重中心は、ダブルタイヤの中心位置である。応力範囲算出にあたり図 - 4.3.9 と図 - 4.3.10 をみると、橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものがあるが、この場合には発生応力が 0N/mm^2 になると仮定している。鉛直方向応力範囲はデッキプレート側止端部の橋軸直角方向応力範囲と同様、ダブルタイヤの左輪が垂直補剛材先端部近傍となる $x=400\text{mm}$ のケースで最大値を示すことが確認できる。また、箱桁内側へ載荷された場合の輪荷重の影響範囲についても $x=800\text{mm}$ 程度までであると推測される。文献 4-5)では、鋼床版の実大パネル試験体を用いた載荷試験の結果より、主桁位置を決める際には荷重が主桁ウェブ上および主桁直近の縦リブ上を頻繁に通らないように配慮することが望ましいとしているが、箱桁の内側に対しては影響範囲がもう少し広い可能性がある。



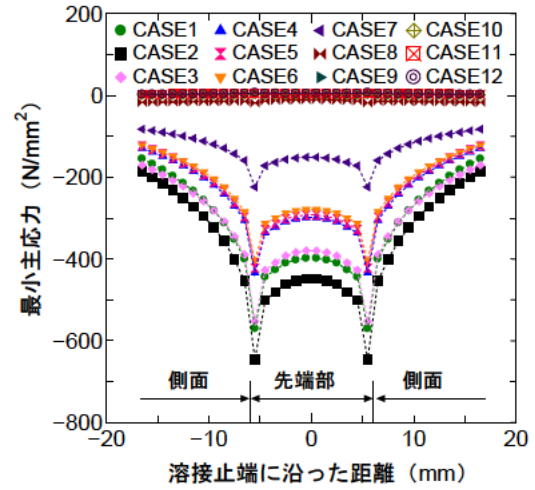
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



(b) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力

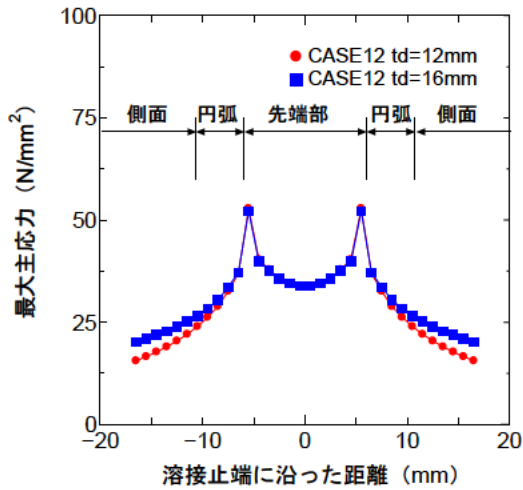


(c) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力

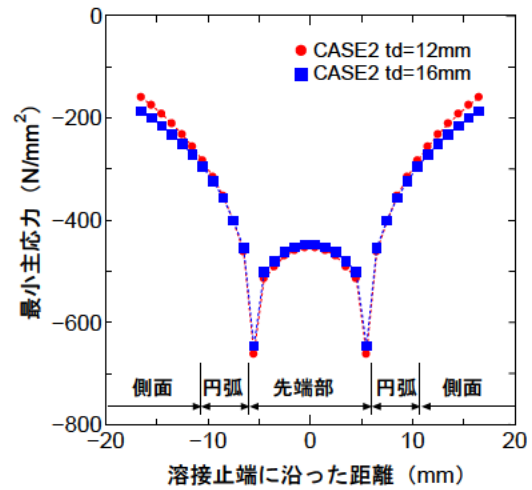


(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

図 - 4.3.7 垂直補剛材側止端に沿った主応力分布図

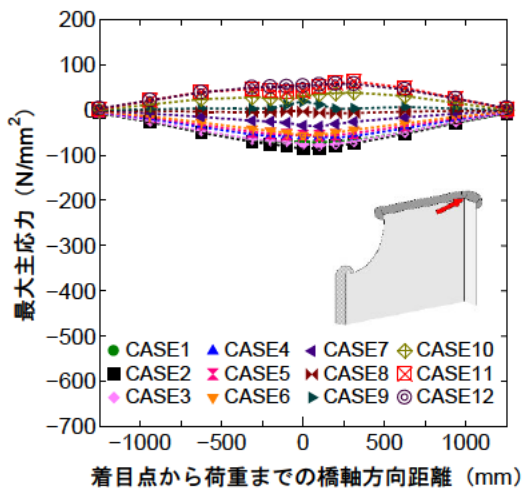


(a) CASE12 最大主応力

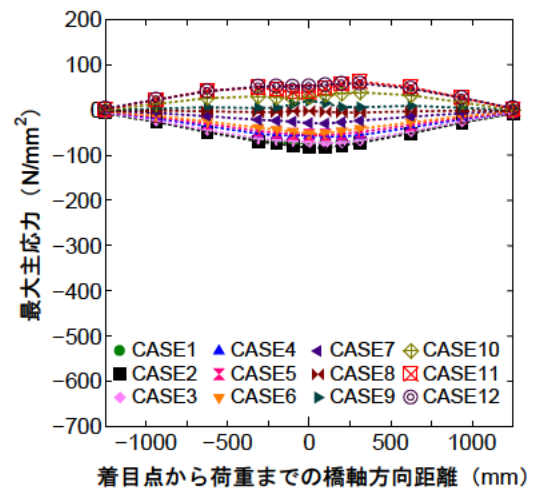


(b) CASE2 最小主応力

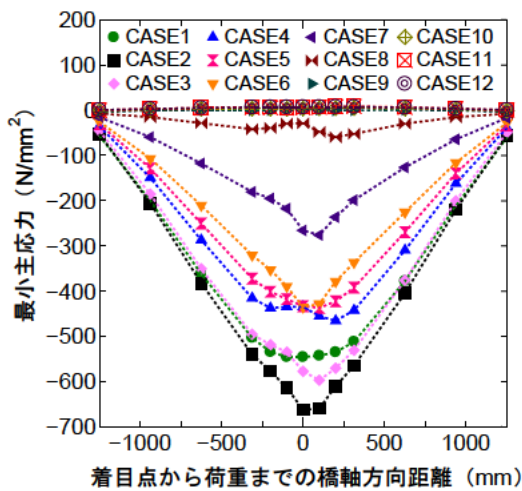
図 - 4.3.8 垂直補剛材側止端に沿った主応力分布図 (発生主応力が卓越するケース)



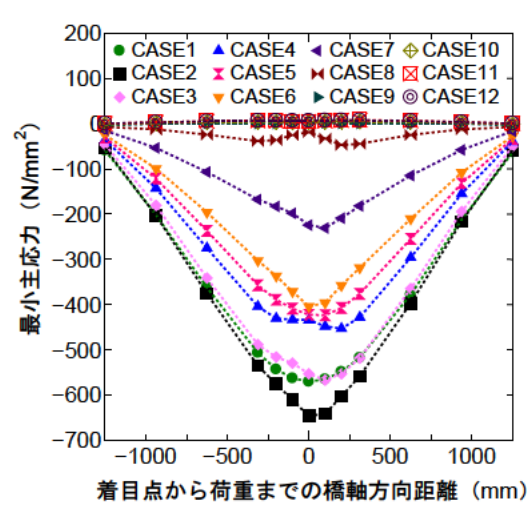
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



(b) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力

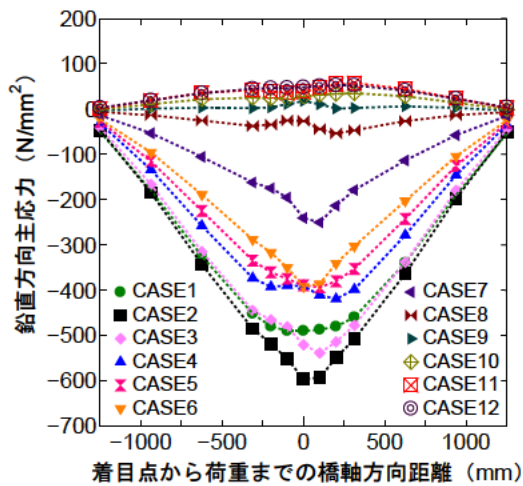


(c) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力

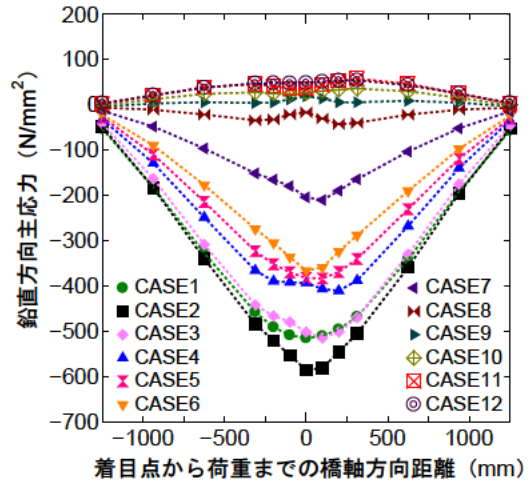


(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

図 - 4.3.9 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (角部要素) -(1/2)

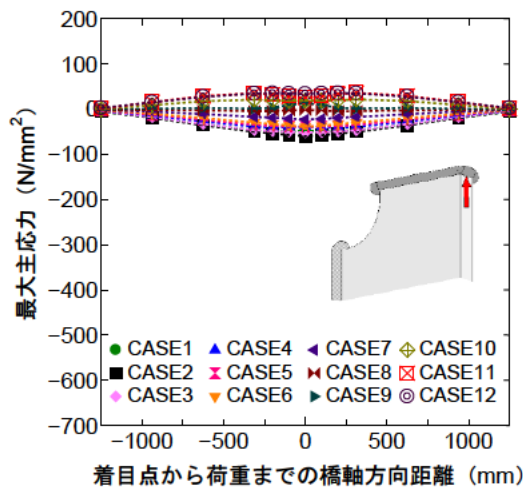


(e) $t_d=12\text{mm}$ 鉛直方向応力

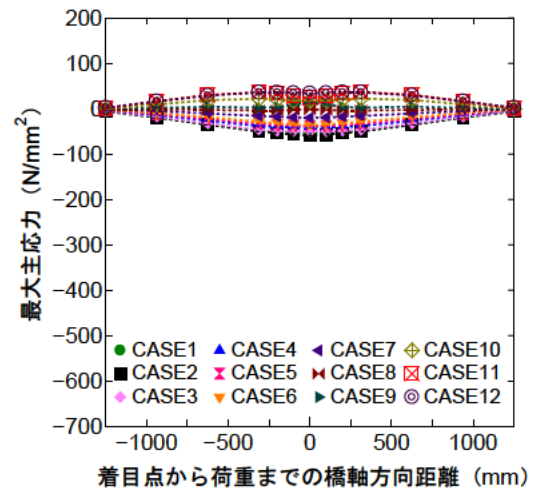


(f) $t_d=16\text{mm}$ 鉛直方向応力

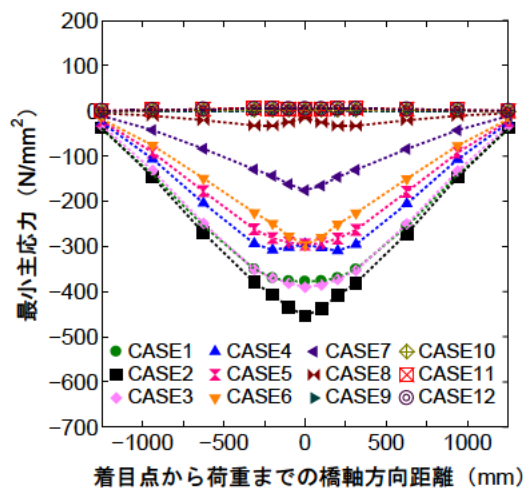
図 - 4.3.9 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (角部要素) -(2/2)



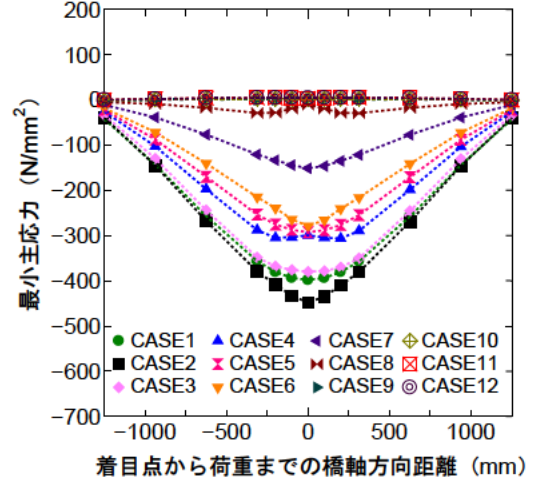
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



(b) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力

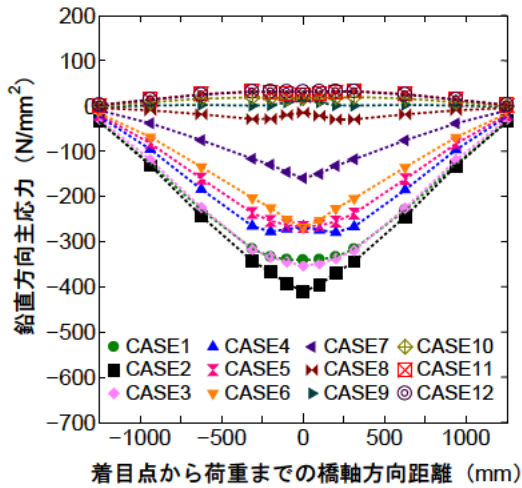


(c) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力

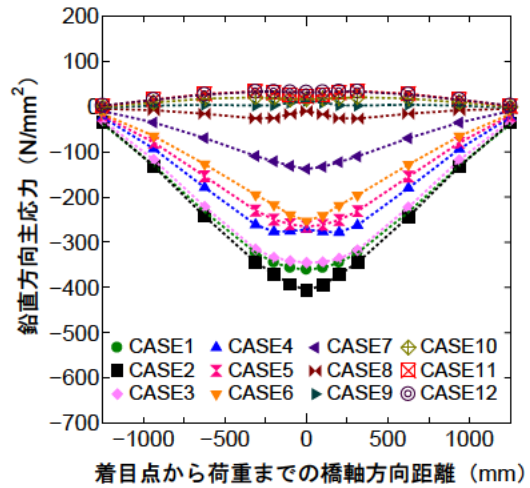


(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

図 - 4.3.10 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (板厚中心要素) -(1/2)

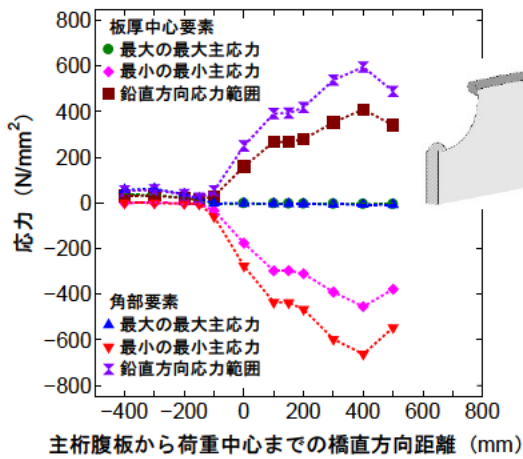


(e) $t_d=12\text{mm}$ 鉛直方向応力

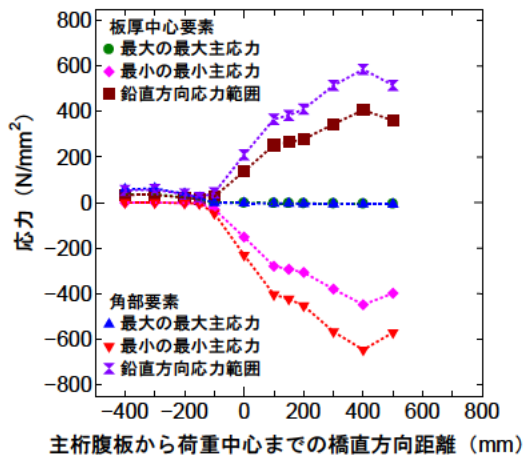


(f) $t_d=16\text{mm}$ 鉛直方向応力

図 - 4.3.10 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (板厚中心要素) -(2/2)



(a) $t_d=12\text{mm}$



(b) $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.3.11 各橋軸直角方向荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力分布

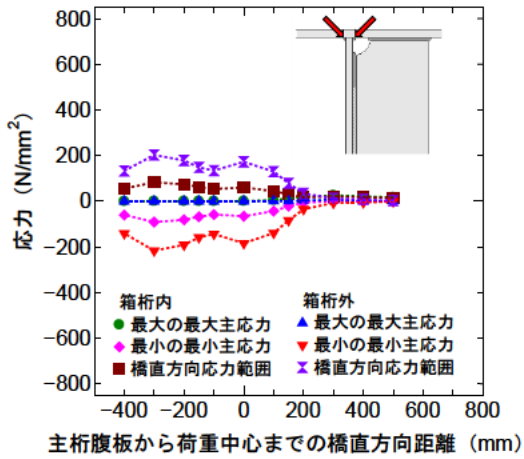
(4) デッキプレート - 主桁腹板溶接部とスカラップ溶接部の応力性状

図 - 4.3.12 と図 - 4.3.13 は橋軸直角方向の各荷重ケースにおける、デッキプレート - 主桁腹板溶接のスカラップ内に位置する（垂直補剛材板厚分）溶接止端部とスカラップの回し溶接止端部に発生する応力を、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルに分けて示している。着目応力は最大の最大主応力、最小の最小主応力、止端ライン直角方向の応力範囲（スカラップ部の垂直補剛材側止端を除く）である。応力範囲算出にあたり、橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものがあるが、この場合には発生応力が 0N/mm^2 になると仮定している。

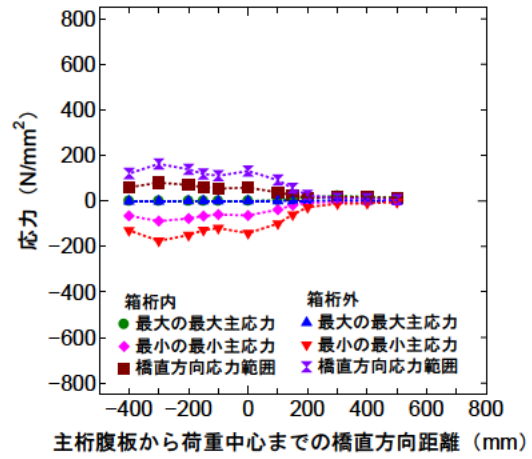
図 - 4.3.12 のデッキプレート - 主桁腹板溶接部の溶接止端部の結果をみると、全体的には垂直補剛材 - デッキプレート溶接部の発生応力と比較して小さい。これらの図では、同じ図に箱桁の内側と外側の溶接線の結果を示しており、各部における発生応力の特徴を確認すると、デッキプレート側止端部の結果をみると、箱桁内側の溶接線では、箱桁外側に荷重されると圧縮応力が発生し、箱桁内側に荷重されると若干ではあるが引張応力が発生している。また、箱桁外側の溶接線では、橋軸直角方向荷重位置が、ダブルタイヤが腹板を挟み込む位置（腹板中心位置、 $x=0\text{mm}$ ）となった場合と、ダブルタイヤの右輪が当該箇所近傍位置（ $x=-300\text{mm}$ ）となった場合に比較的大きな圧縮応力が発生することがわかる。次に、腹板側止端部の結果をみると、箱桁内側の溶接線では、常に引張応力が発生し、その値は箱桁外側に荷重された場合に大きい。また、箱桁外側の溶接線では、その発生応力はデッキプレート側止端部と比較して小さいが、発生応力と橋軸直角方向荷重位置の関係は同様の傾向が確認できる。この他、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによる応力低減効果も確認できる。

図 - 4.3.13 のデッキプレート - 主桁腹板溶接部のスカラップの回し溶接止端部結果についても、全体的には垂直補剛材 - デッキプレート溶接部の発生応力と比較して小さい。デッキプレート側の回し溶接部の結果をみると、デッキプレート側止端部、垂直補剛材側止端部ともに、ダブルタイヤの左輪が箱桁外側（ $x<-100\text{mm}$ ）に荷重されると引張応力、箱桁内側に荷重されると圧縮応力が卓越し、発生応力は垂直補剛材側止端部のほうが大きい。また、主桁腹板側の回し溶接部の結果をみると、腹板側止端部では引張応力が、垂直補剛材側止端部では圧縮応力が卓越し、両止端部ともに箱桁外側に荷重された場合の発生応力が大きい。この他、若干ではあるがデッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによる応力低減効果も確認できる。

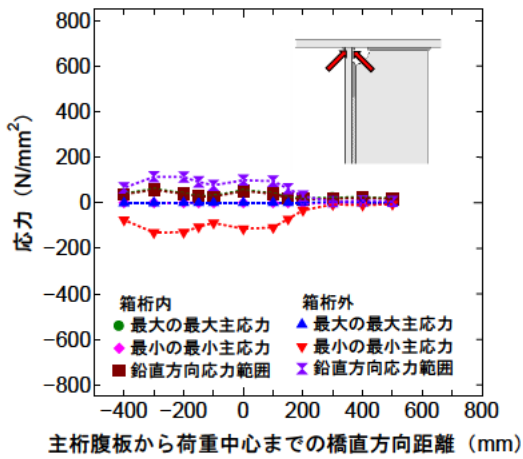
当該箇所のスカラップは埋め戻しされる場合もある。図 - 4.3.14 は橋軸直角方向の各荷重ケースにおいてデッキプレート - 垂直補剛材溶接部の回し溶接先端要素の発生応力をスカラップの有無で比較した結果である。スカラップの有無が、着目部に発生する応力に及ぼす影響は小さく、極値をとる $x=400\text{mm}$ の最小の最小主応力をみても両者の差は 1% 未満である。よって、以降の検討は、より一般的と考えられるスカラップを有する構造で行うこととする。



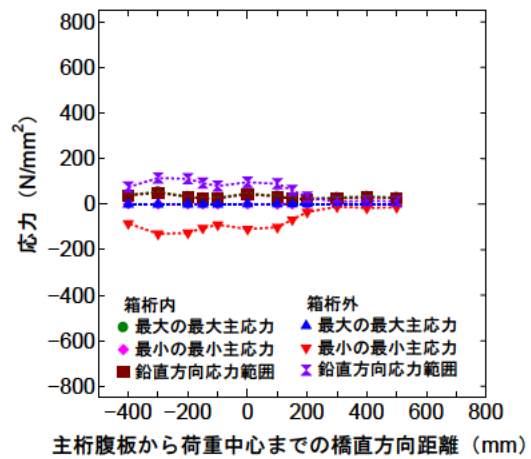
(a) $t_d=12\text{mm}$ デッキプレート側止端



(b) $t_d=16\text{mm}$ デッキプレート側止端

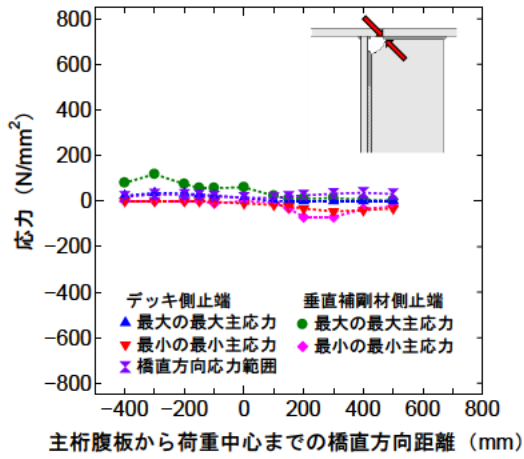


(c) $t_d=12\text{mm}$ 腹板側止端

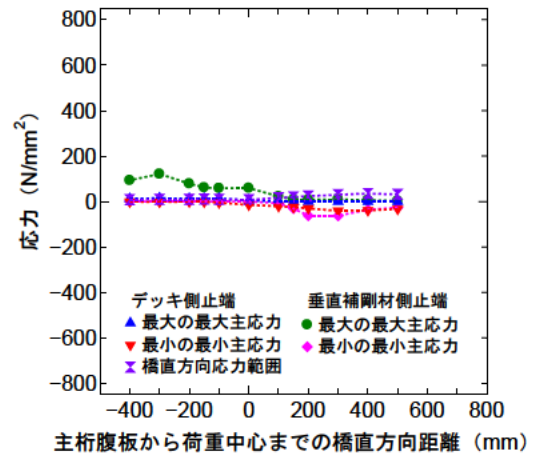


(d) $t_d=16\text{mm}$ 腹板側止端

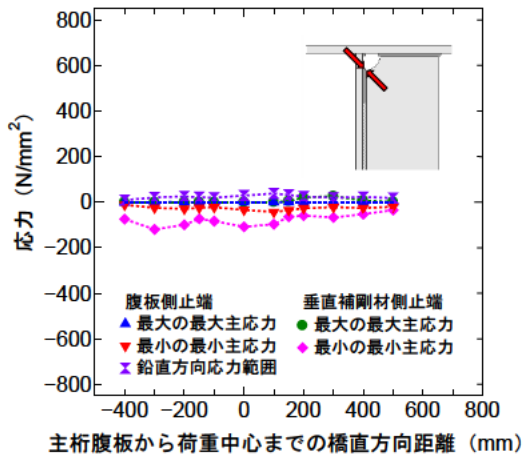
図 - 4.3.12 各橋軸直角方向荷重ケースのデッキプレート - 主桁腹板溶接止端要素の応力分布



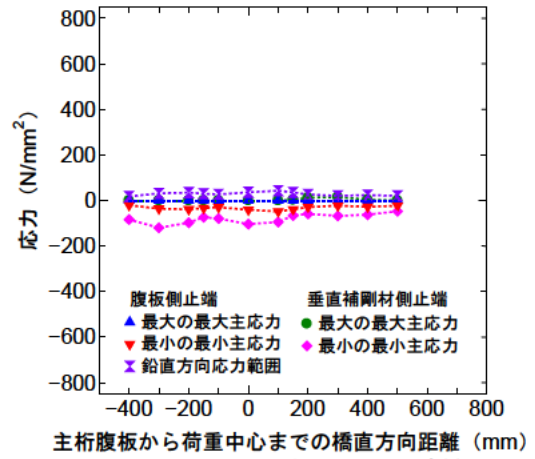
(a) $t_d=12\text{mm}$ デッキプレート側回し溶接



(b) $t_d=16\text{mm}$ デッキプレート側回し溶接



(c) $t_d=12\text{mm}$ 腹板側回し溶接



(d) $t_d=16\text{mm}$ 腹板側回し溶接

図 - 4.3.13 各橋軸直角方向荷重ケースのスカラップ部回し溶接止端先端要素の応力分布

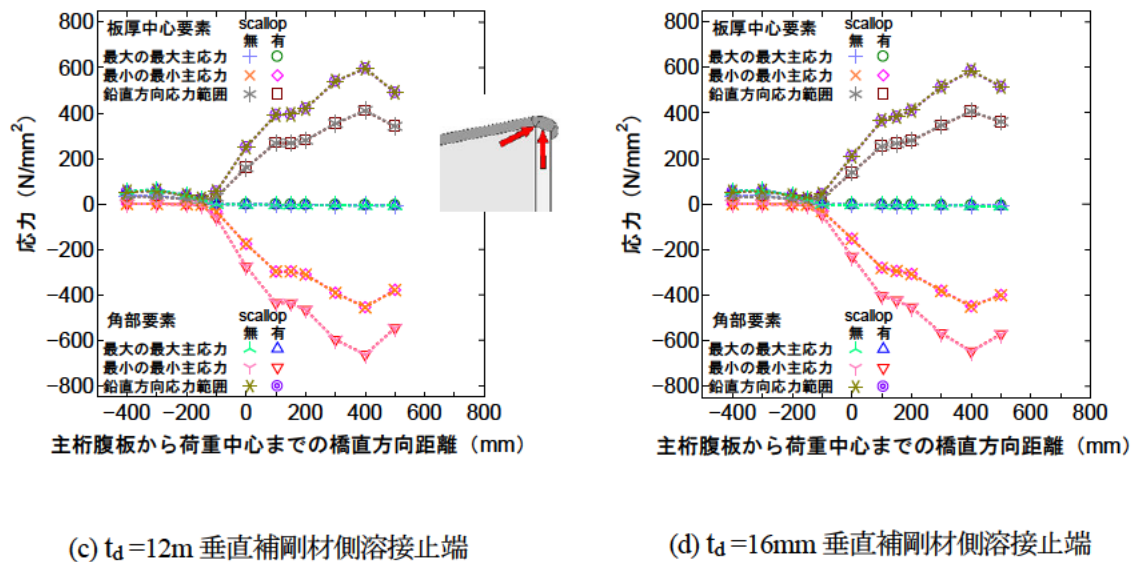
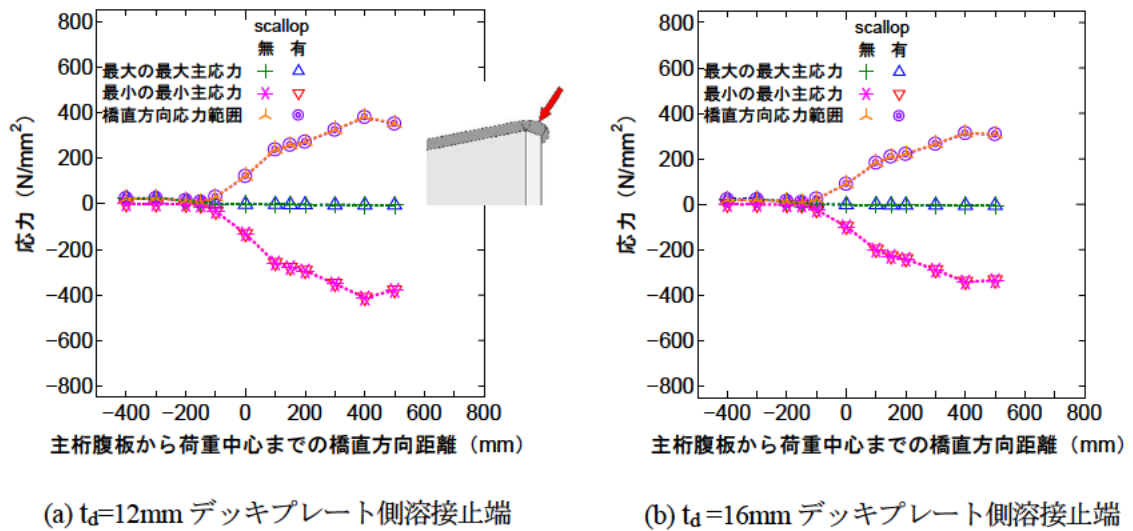


図 - 4.3.14 デッキプレート-主桁腹板溶接のスカラップ有無の影響

(5) 疲労被害

ここでは、応力繰返し数×等価応力範囲の3乗を疲労被害と定義し、疲労被害の比較による疲労寿命の相対比較を行った。図 - 4.3.6 と図 - 4.3.11 中の垂直補剛材溶接部の応力範囲の分布を用い、ダブルタイヤが通過した際にデッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部の要素に発生する、橋軸直角方向あるいは鉛直方向の応力範囲に対する疲労被害を算出した結果を表 - 4.3.1 (a),(b)に示す。表 - 4.3.1 (b)は圧縮が卓越することを考慮し、疲労指針にある平均応力の影響が適用できると仮定し、補正係数 C_R で除した応力範囲から求めた疲労被害である。疲労被害の算出では疲労強度曲線の傾きを表す指数 $m=3$ として、輪荷重の走行位置の頻度分布を考慮した。走行位置の頻度分布の考慮にあたり、走行位置の平均位置 μ は、応力範囲が最大となる位置の近傍とすれば、厳しい疲労被害が算出されると考えられる。しかし、このような場合の疲労被害を精度良く算出するためには、本研究で実施した解析では橋軸直角方向の荷重ケース数が不十分であり、荷重ケ

ースをさらに増やす必要がある。このため、ここでは便宜上、平均位置 μ は主桁腹板厚中心である 0mm と 150mm (箱桁内)、-150mm (箱桁外) にあるものとした。また、走行位置のばらつきについては、一般に正規分布に従うとされている。そこで、輪荷重走行位置の頻度分布として、図 - 4.3.15 に示すように 3 種類の平均位置に対し、標準偏差 $\sigma=150\text{mm}$ の正規分布を仮定した。なお、疲労設計では通常、衝撃係数が考慮されるが、ここでは疲労被害の比較による疲労寿命の相対比較を目的としているため、考慮していない。

疲労被害の算出結果をみると、走行位置の違いが疲労被害、すなわち疲労寿命に与える影響は大きく、着目止端やデッキプレート厚により若干の差はあるものの、平均位置 μ が箱桁内側に 150mm ずれる ($\mu=0 \rightarrow 150\text{mm}$) だけで疲労被害が 2.5 倍程度まで大きく (=寿命が 40%程度短く) なり、逆に箱桁外側に 150mm ずれる ($\mu=0 \rightarrow -150\text{mm}$) と寿命が 4 倍程度まで伸びることがわかる。また、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによりデッキプレート側止端では疲労寿命が約 2 倍となり、垂直補剛材側止端では 7~28% 程度増加することがわかる。また、平均応力の影響の考慮の有無に関しては、基本的に圧縮応力が卓越し、大半のケースにおいて応力比 R が 1 を超えていることもあり、全体的に疲労被害の値が小さくなるのみで、相対的な傾向には影響がない。

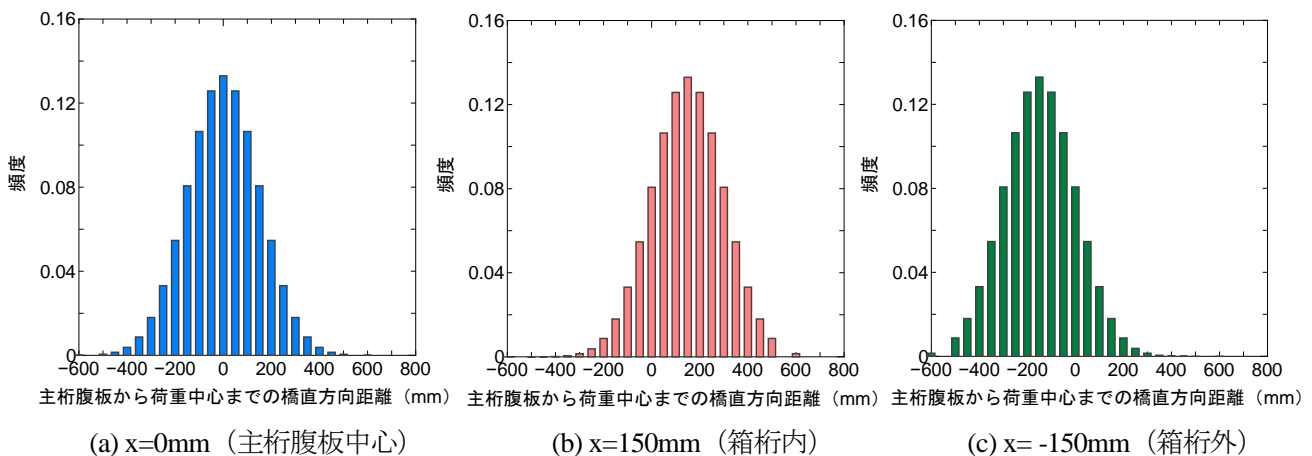


図 - 4.3.15 走行位置の頻度分布

表 - 4.3.1 基本モデル (上端溶接) 疲労被害一覧

(a) 平均応力の影響未考慮

| | | td=12mm | | | td=16mm | | |
|------------|--------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| デッキプレート側止端 | 板厚中心要素 | 7.42E+06 | 1.86E+07 | 1.78E+06 | 3.73E+06 | 9.94E+06 | 8.41E+05 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 3.26E+07 | 7.67E+07 | 8.80E+06 | 2.75E+07 | 6.85E+07 | 6.87E+06 |
| | 板厚中心要素 | 9.83E+06 | 2.32E+07 | 2.61E+06 | 8.73E+06 | 2.18E+07 | 2.16E+06 |

(b) 平均応力の影響考慮

| | | td=12mm | | | td=16mm | | |
|------------|--------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| デッキプレート側止端 | 板厚中心要素 | 3.38E+06 | 8.48E+06 | 8.12E+05 | 1.70E+06 | 4.52E+06 | 3.85E+05 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 1.48E+07 | 3.49E+07 | 4.03E+06 | 1.25E+07 | 3.12E+07 | 3.16E+06 |
| | 板厚中心要素 | 4.48E+06 | 1.06E+07 | 1.19E+06 | 3.97E+06 | 9.91E+06 | 9.92E+05 |

4.3.2 上端カットモデル

上端カットモデルでは、垂直補剛材 - 主桁腹板溶接部の腹板側止端部と垂直補剛材側止端部の応力性状に加え、垂直補剛材取付け部近傍のデッキプレートと主桁腹板溶接部の応力性状についても着目する。

(1) 変形図

ギャップ量 $g=35\text{mm}$ のモデルについて、橋軸直角方向の各荷重ケースで荷重を着目断面直上に載荷した際の 50 倍変形図を、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm の場合に分けて図 - 4.3.16 と図 - 4.3.17 に示す。変形形状は $x=0$ を基準とし、箱桁の内側と外側でほぼ対象となっており、腹板に局所曲げが起こることがわかる。また、 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm の変形の傾向はほぼ同じであり、変形量はデッキプレート厚 16mm のほうが小さい。デッキプレート下面の最大の鉛直たわみとギャップ部の主桁腹板表面の水平方向変位は $t_d=12\text{mm}$ で 1.27mm と ± 0.08 、 $t_d=16\text{mm}$ で 1.05mm と $\pm 0.07\text{mm}$ であった。

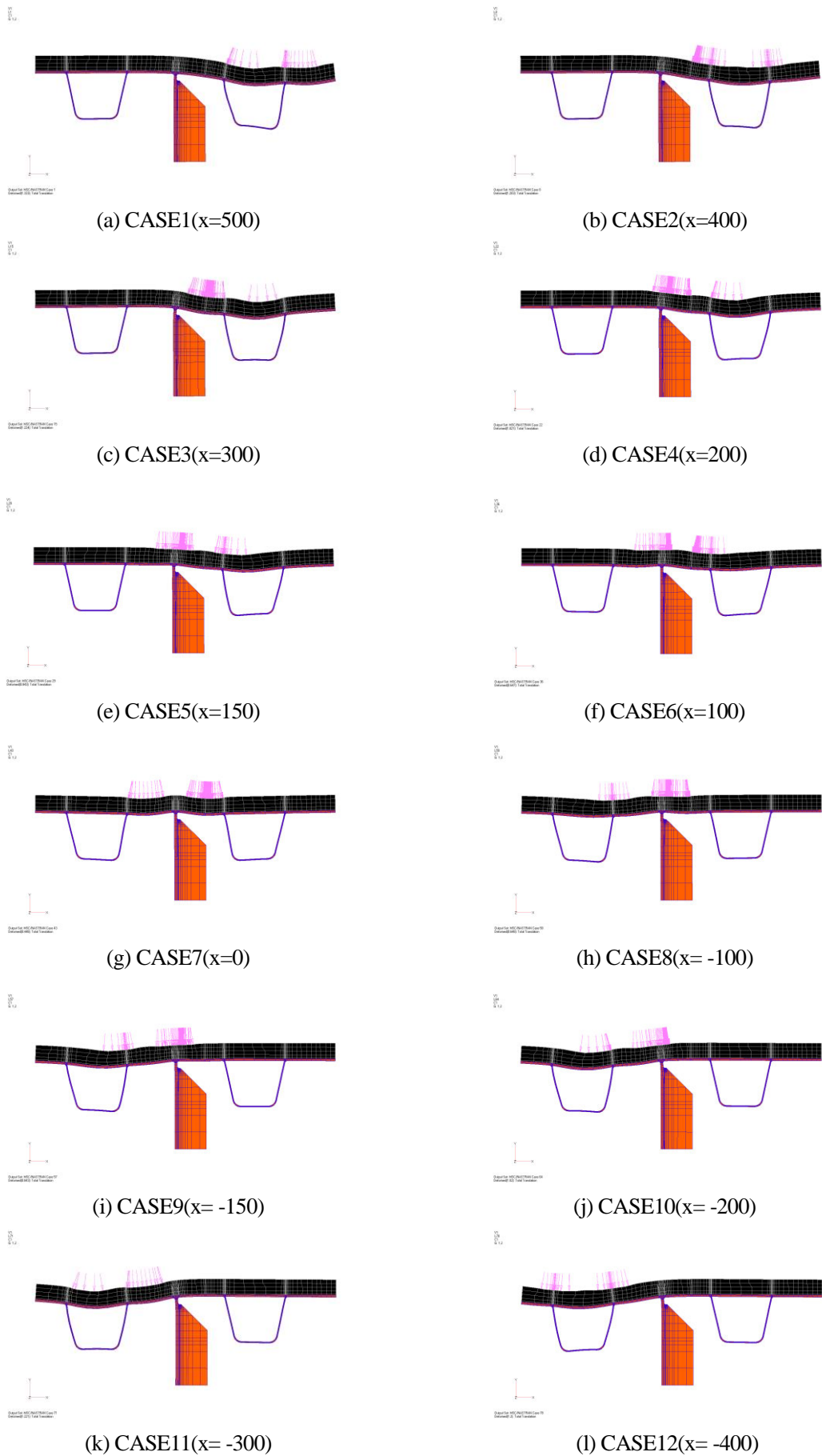


図 - 4.3.16 上端カット $g=35\text{mm}$ モデル着目断面載荷 50 倍変形図 ($t_d=12\text{mm}$)

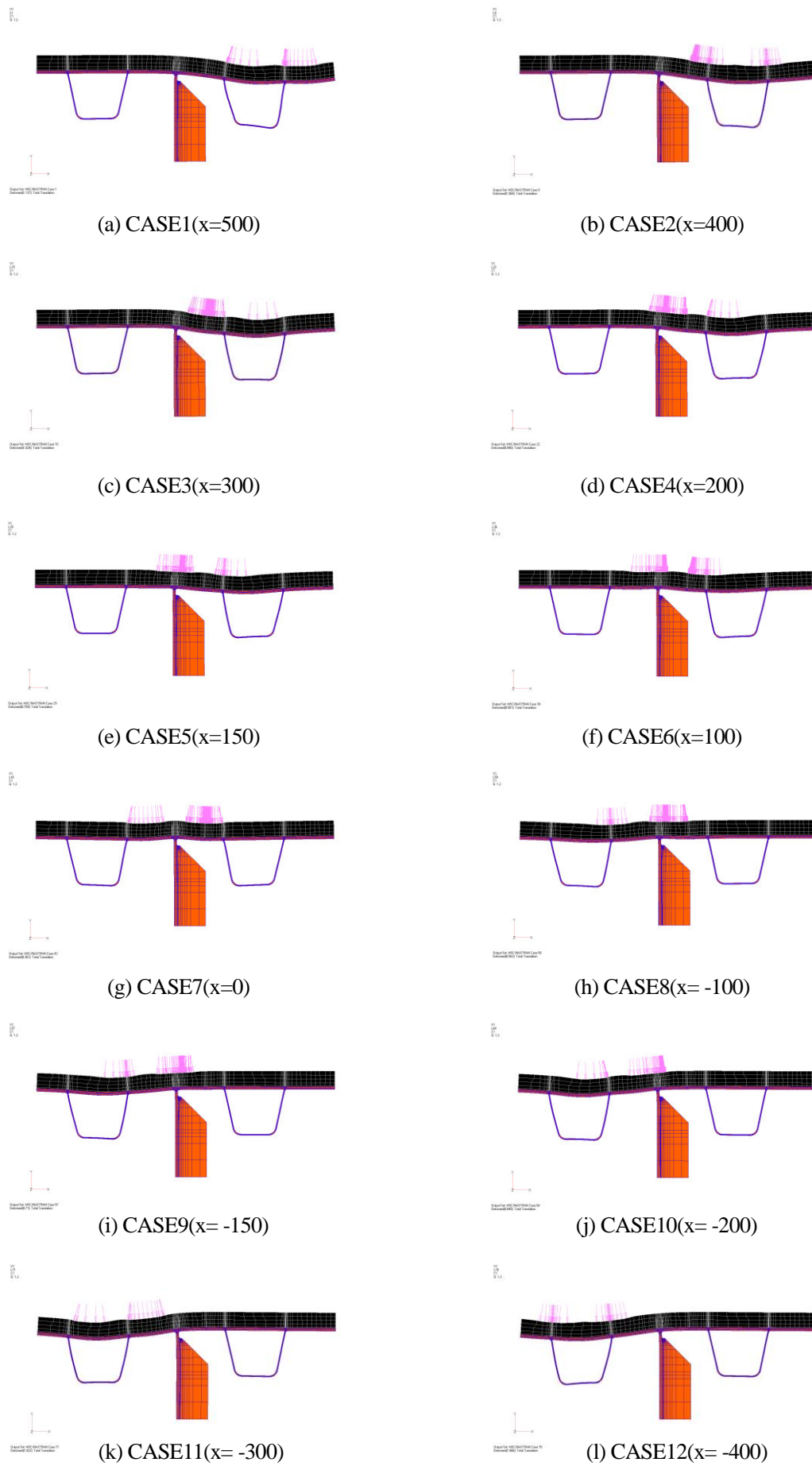


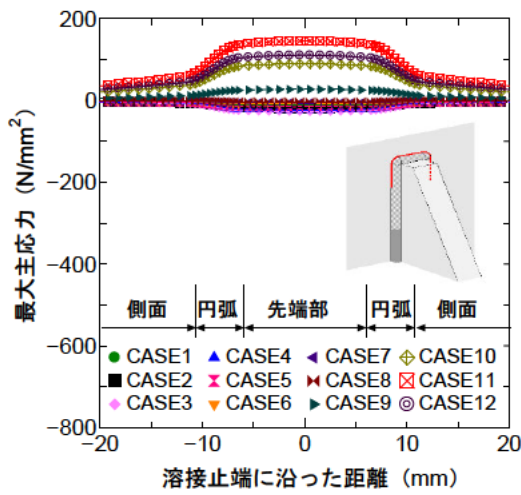
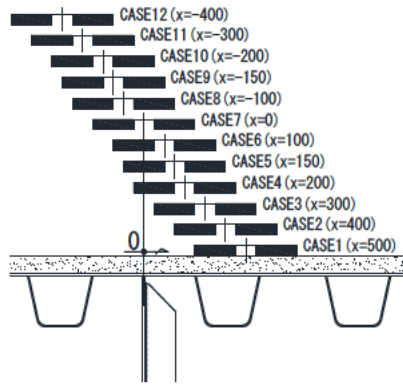
図 - 4.3.17 上端カット $g=35\text{mm}$ モデル着目断面載荷 50 倍変形図 ($t_d=16\text{mm}$)

(2) 腹板側止端部の応力性状

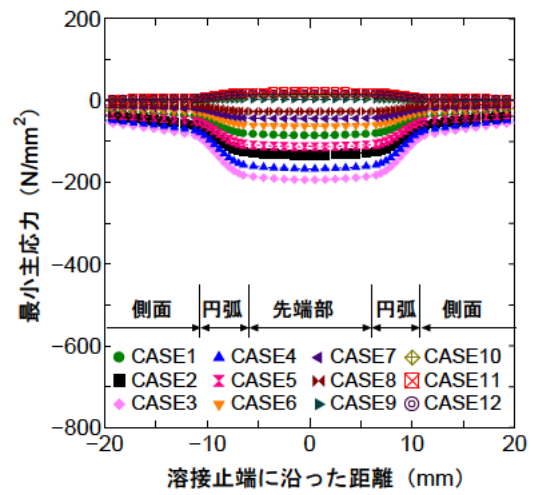
ギャップ量 $g=35\text{mm}$ でデッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルについて橋軸直角方向の各荷重ケースで荷重を着目断面直上に載荷した際の腹板側止端に沿った要素の最大主応力と最小主応力の分布を図 - 4.3.18 に示す。箱桁内側 (CASE1~6, $x>0$) に載荷した場合に圧縮応力が、箱桁外側 (CASE7~12, $x<0$) に載荷した場合に引張応力が卓越することが確認でき、発生応力が大きくなるのは溶接先端部中央近傍である。また、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによる応力低減効果も確認できる。上端溶接の垂直補剛材溶接部と比較すると、圧縮応力は大幅に低減される一方で、引張応力はその値自体は小さいが、上端溶接の場合よりも大きな値となっている。図 - 4.3.19 に最大の最大主応力が発生する CASE11 の最大主応力分布と最小の最小主応力が発生する CASE3 の最小主応力の分布を示す。

図 - 4.3.20 は溶接先端部中央要素の最大主応力、最小主応力、橋軸直角方向応力の橋軸方向の影響線図を示している。箱桁内側載荷時は最小主応力と鉛直方向応力、箱桁外側載荷時は最大主応力と鉛直方向応力の影響線図の傾向が一致しており、腹板側止端部では、鉛直方向応力が卓越することがわかる。また、橋軸直角方向の荷重位置によっては着目断面直上載荷時以外の発生応力が卓越するものもあるが、最小の最小主応力が発生する CASE3 と最大の最大主応力が発生する CASE11 では着目断面直上載荷時の発生応力が卓越している。

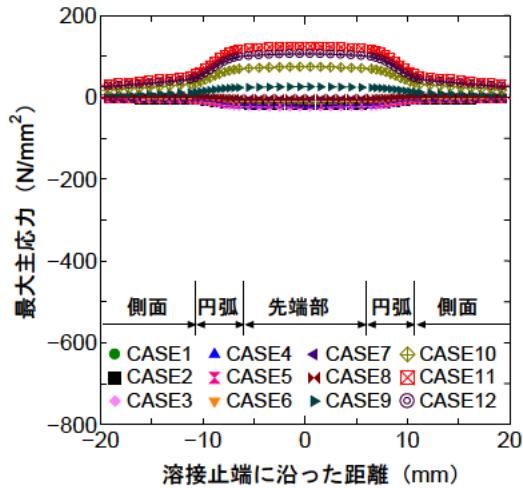
図 - 4.3.21 は橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素における最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を示している。横軸の荷重中心は、ダブルタイヤの中心位置である。応力範囲算出にあたり、橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものがあるが、この場合には発生応力が 0N/mm^2 になると仮定している。橋軸直角方向荷重位置 $x=\pm 300\text{mm}$ の位置、すなわち、箱桁内側載荷で左輪の左端、箱桁外側載荷で右輪の右端が主桁腹板に近接する場合に圧縮応力あるいは引張応力が卓越し、鉛直方向応力範囲が大きくなることがわかる。そして、これらの圧縮応力と引張応力の値を比較すると、圧縮応力のほうが3割程度大きい。また、箱桁内側、外側ともに輪荷重が発生応力に影響を及ぼす範囲は同程度であり、 $x=\pm 600\text{mm}$ であると推測される。



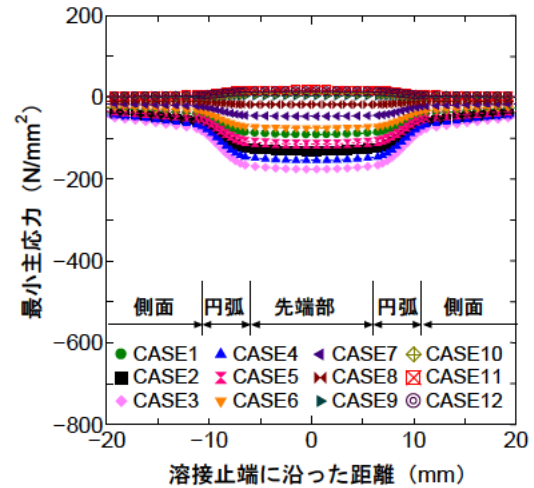
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



(b) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力

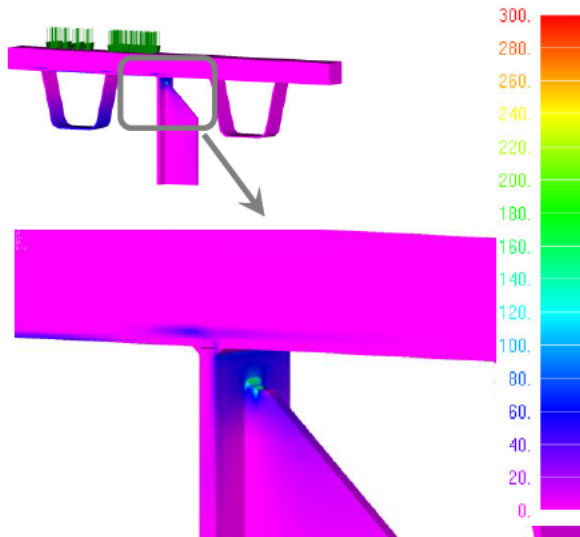


(c) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力

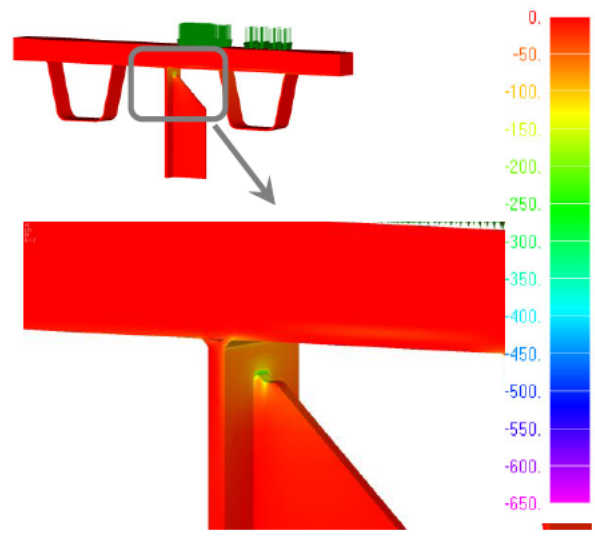


(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

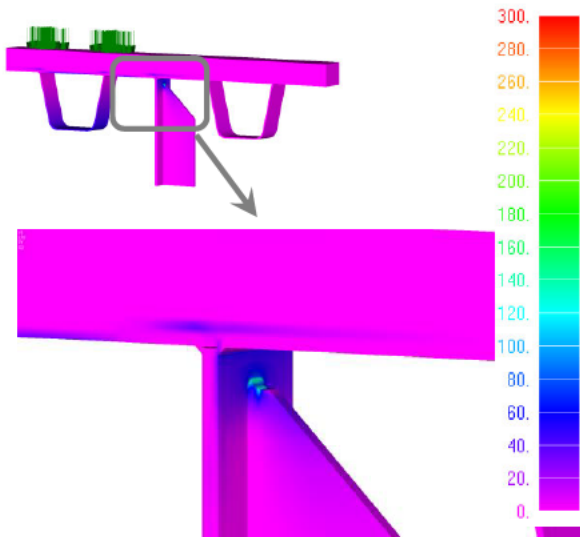
図 - 4.3.18 腹板側止端に沿った主応力分布図



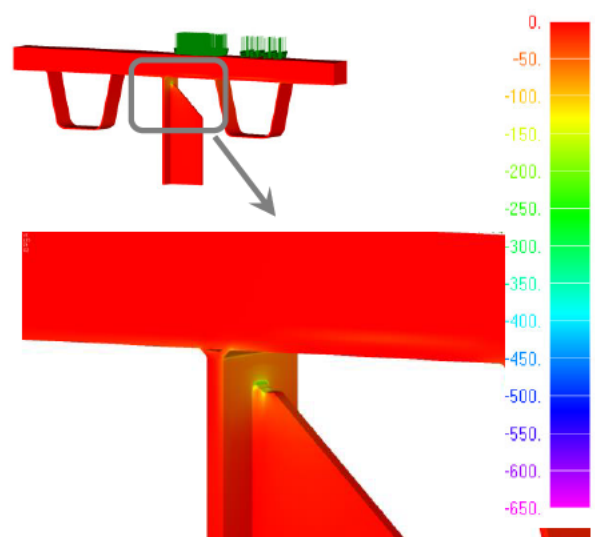
(a) CASE11 最大主応力コンター図($t_d=12\text{mm}$)



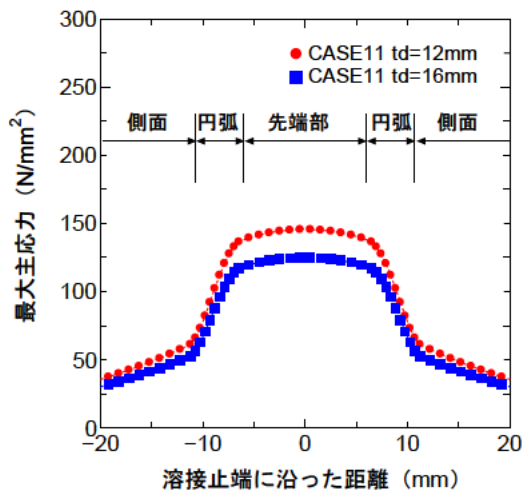
(b) CASE3 最小主応力コンター図($t_d=12\text{mm}$)



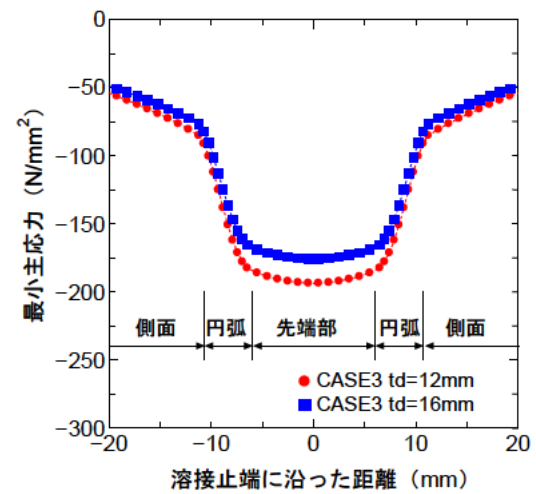
(c) CASE11 最大主応力コンター図($t_d=16\text{mm}$)



(d) CASE3 最小主応力コンター図($t_d=16\text{mm}$)

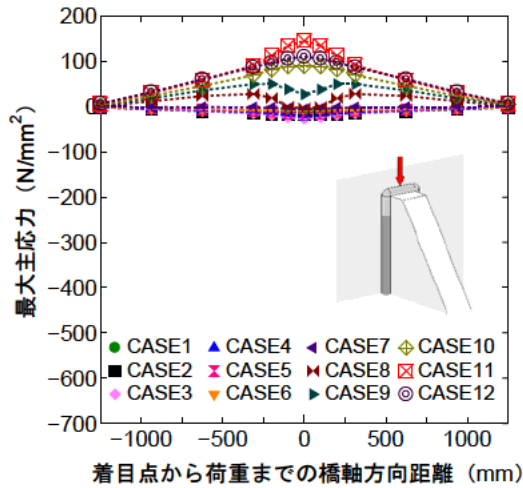


(e) 腹板側止端 CASE11
最大主応力分布

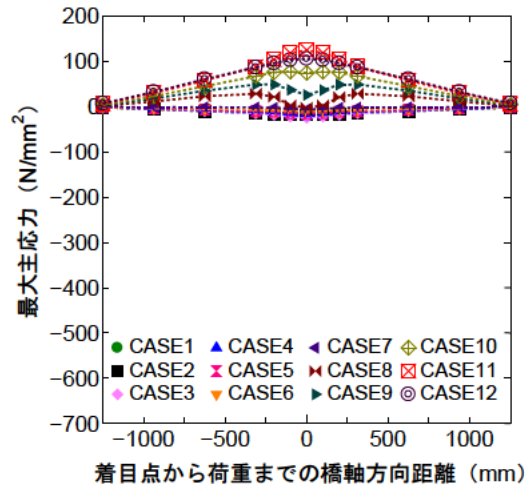


(f) 腹板側止端 CASE3
最小主応力分布

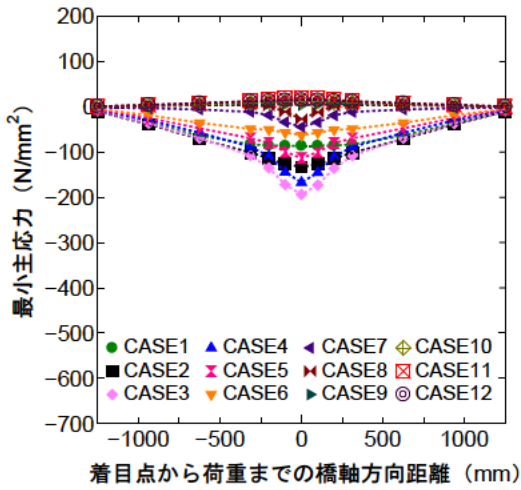
図 - 4.3.19 主応力コンター図と腹板側止端に沿った主応力分布図
(発生主応力が卓越するケース)



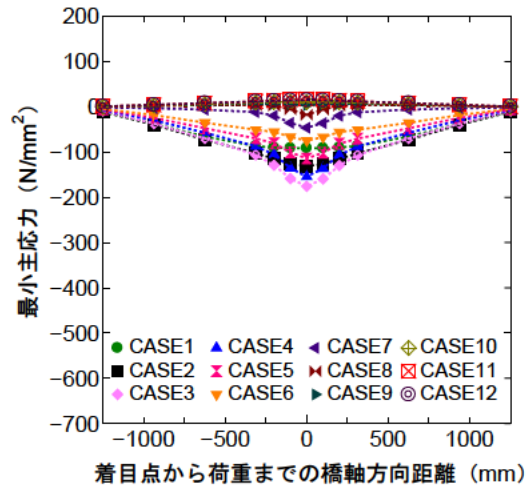
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



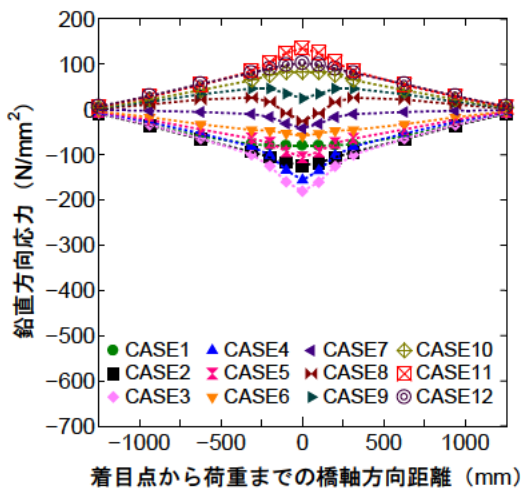
(b) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力



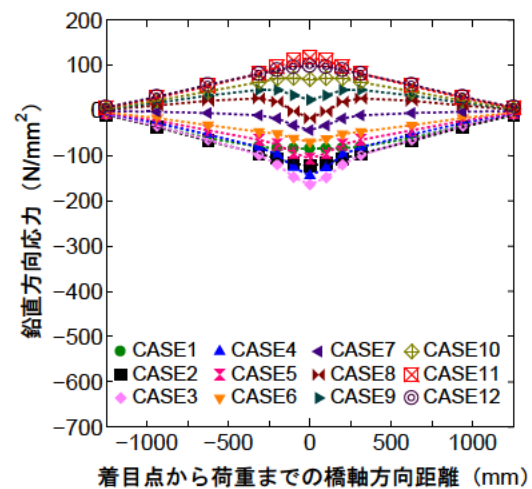
(c) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力



(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力



(e) $t_d=12\text{m}$ 鉛直方向応力



(f) $t_d=16\text{mm}$ 鉛直方向応力

図-4.3.20 腹板側溶接止端先端要素の応力の影響線

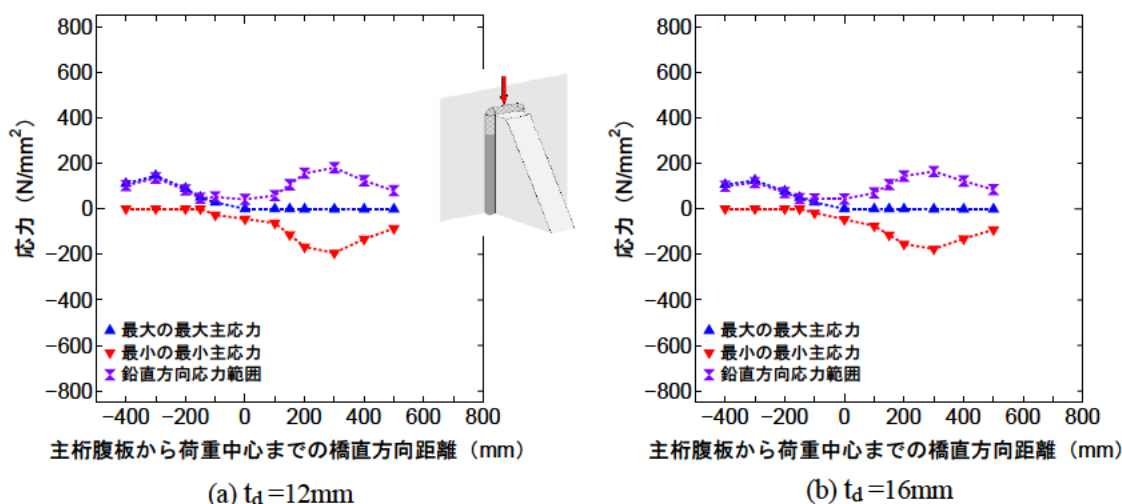


図 - 4.3.21 各橋軸直角方向荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力

(3) 垂直補剛材側止端部の応力性状

ギャップ量 $g=35\text{mm}$ でデッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルについて橋軸直角方向の各荷重ケースで荷重を着目断面直上に載荷した際の腹板側止端に沿った要素の最大主応力と最小主応力の分布を図 - 4.3.22 に示す。腹板側止端部と同様、箱桁内側 (CASE1~6, $x>0$) に載荷した場合に圧縮応力が、箱桁外側 (CASE7~12, $x<0$) に載荷した場合に引張応力が卓越することが確認できる。溶接先端部における発生応力の分布は、上端溶接の場合の垂直補剛材側止端部と同様、板厚端部 (角部) に近づくほど、発生応力が高い。なお、若干ではあるが、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによる応力低減効果も確認できる。図 - 4.3.23 に最大の最大主応力が発生する CASE11 の最大主応力分布と最小の最小主応力が発生する CASE3 の最小主応力の分布を示す。

図 - 4.3.24 と図 - 4.3.25 は溶接先端部の角部と板厚中心部の要素の最大主応力、最小主応力、橋軸直角方向応力の橋軸直角方向の影響線図を示している。板厚中心部の結果については、上端溶接の垂直補剛材側止端部と同様の理由で示している。箱桁内側載荷時は最小主応力と橋軸直角方向応力、箱桁外側載荷時は最大主応力と橋軸直角方向応力の影響線図の傾向が一致しており、垂直補剛材側止端部では、橋軸直角方向応力が卓越することがわかる。また、橋軸直角方向の荷重位置によっては着目断面直上載荷時以外の発生応力が卓越するものもあるが、腹板側止端部と同様、最小の最小主応力が発生する CASE3 と最大の最大主応力が発生する CASE11 では着目断面直上載荷時の発生応力が卓越している。

図 - 4.3.26 は橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素の、最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を示している。横軸の荷重中心は、ダブルタイヤの中心位置である。応力範囲算出にあたり、橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものがあるが、この場合には発生応力が 0N/mm^2 になると仮定している。橋軸直角方向の応力範囲は腹板側止端部の鉛直方向応力範囲と同様、橋軸直角方向荷重位置 $x=\pm 300\text{mm}$ の位置で圧縮、あるいは引張応力が卓越し、値が大きくなることが確認できる。そして、これらの圧縮応力と引張応力の値を比較すると、圧縮

応力のほうが2割程度大きい。また、箱桁内側、外側ともに輪荷重が発生応力に影響を及ぼす範囲についても、 $x = \pm 600\text{mm}$ であると推測される。

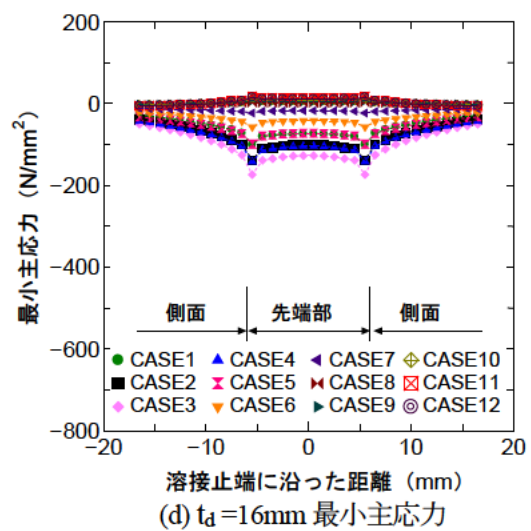
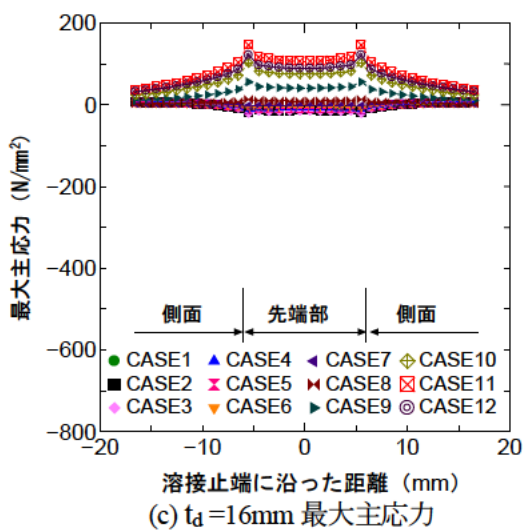
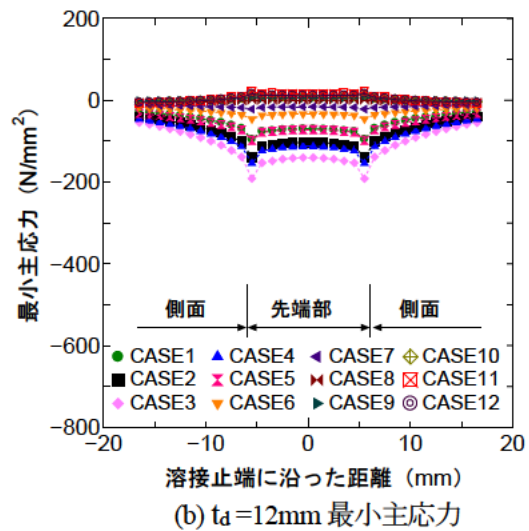
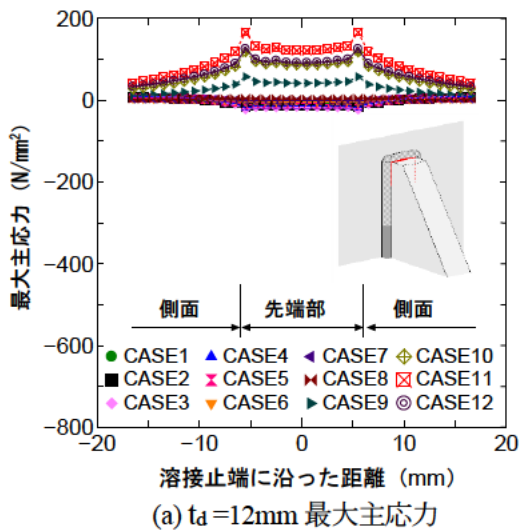
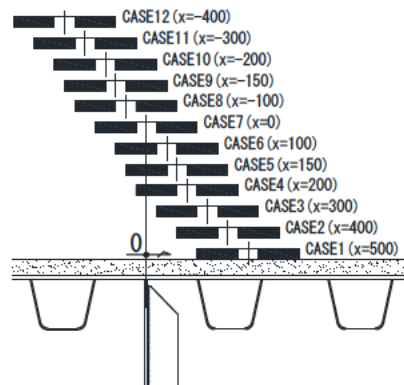
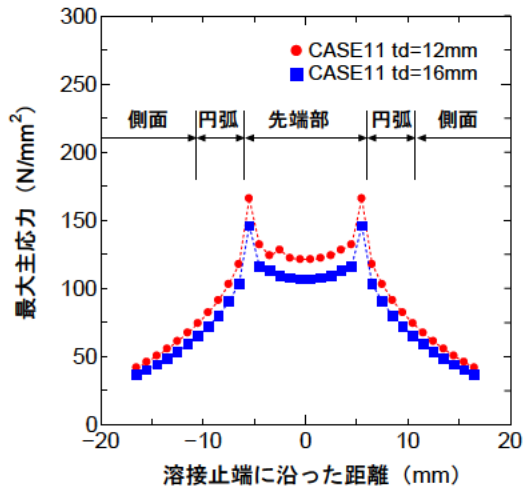
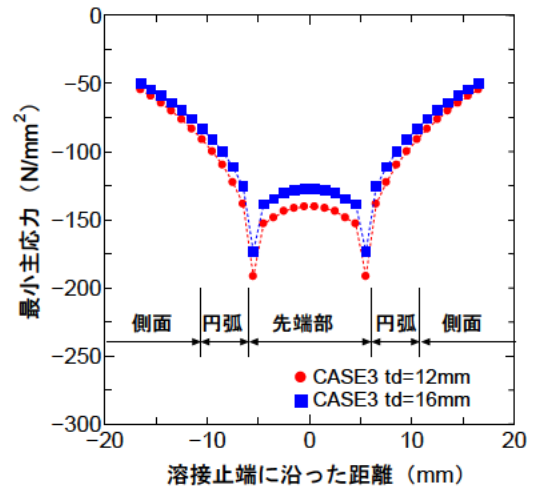


図 - 4.3.22 垂直補剛材側止端に沿った主応力分布図

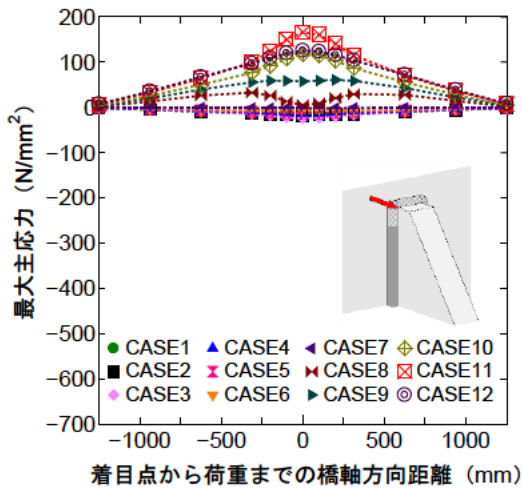


(a) CASE11 最大主応力

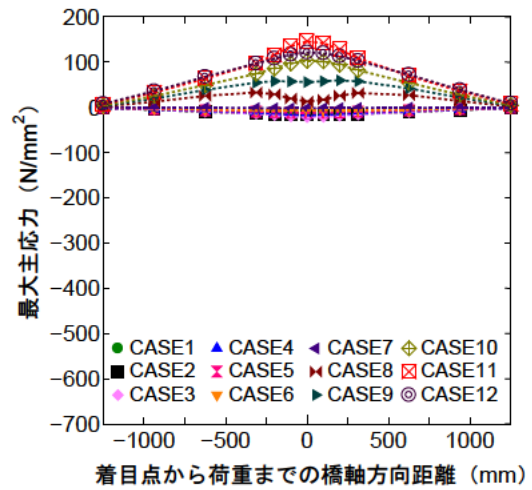


(b) CASE3 最小主応力

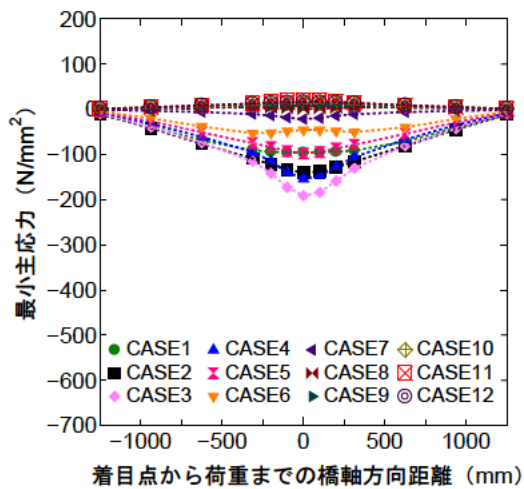
図 - 4.3.23 垂直補剛材側止端に沿った主応力分布図 (発生主応力が卓越するケース)



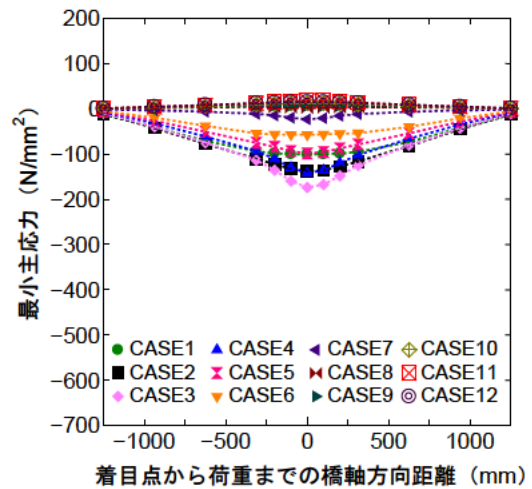
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



(b) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力

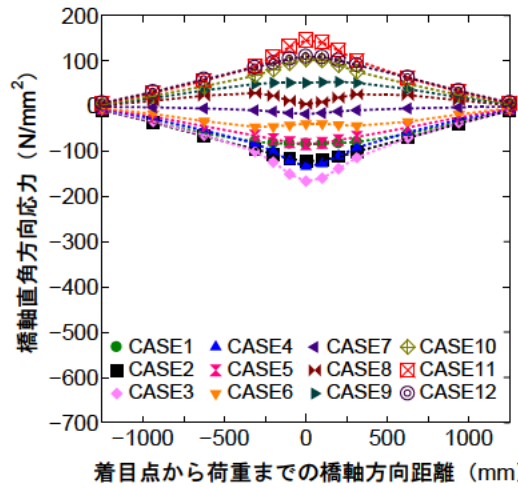


(c) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力

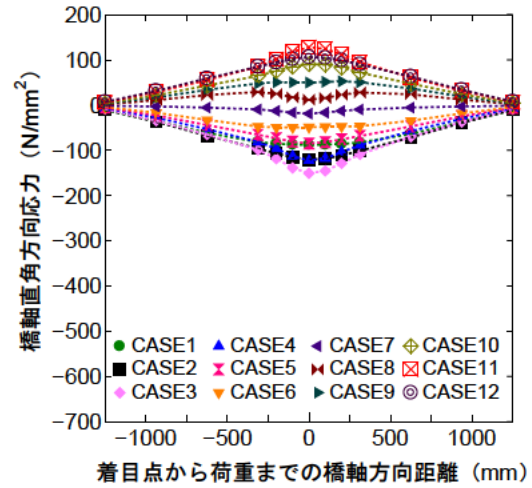


(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

図 - 4.3.24 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (角部要素) -(1/2)

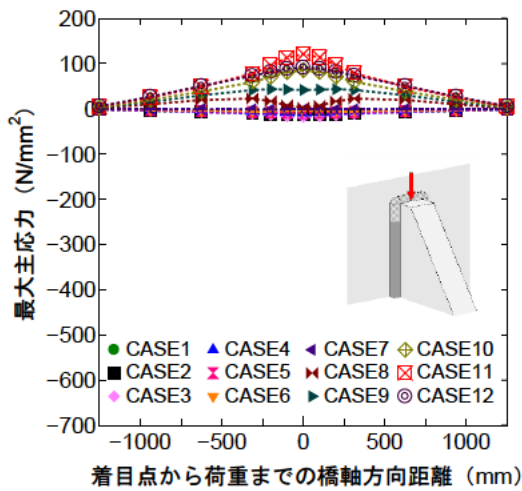


(e) $t_d=12\text{mm}$ 橋軸直角方向応力

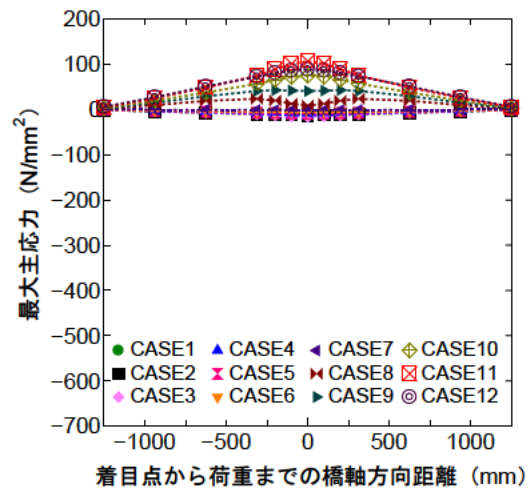


(f) $t_d=16\text{mm}$ 橋軸直角方向応力

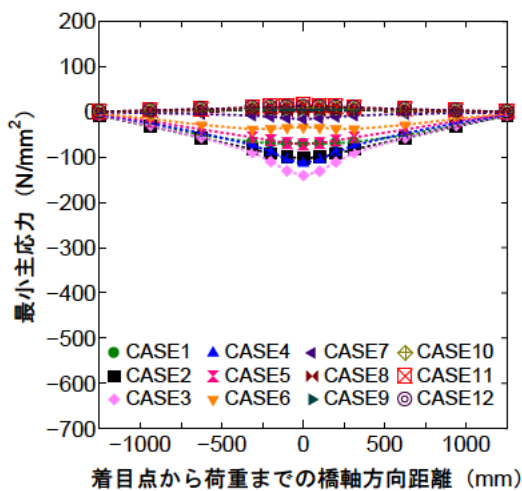
図 - 4.3.24 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (角部要素) -(2/2)



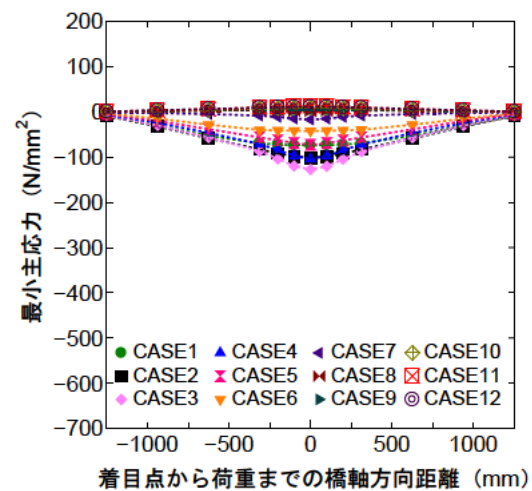
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最大主応力



(b) $t_d=16\text{mm}$ 最大主応力

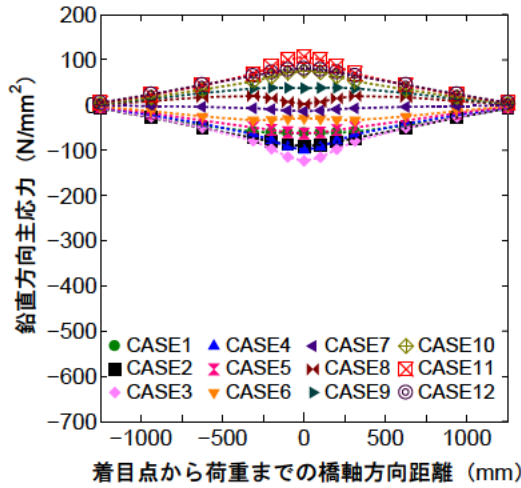


(c) $t_d=12\text{mm}$ 最小主応力

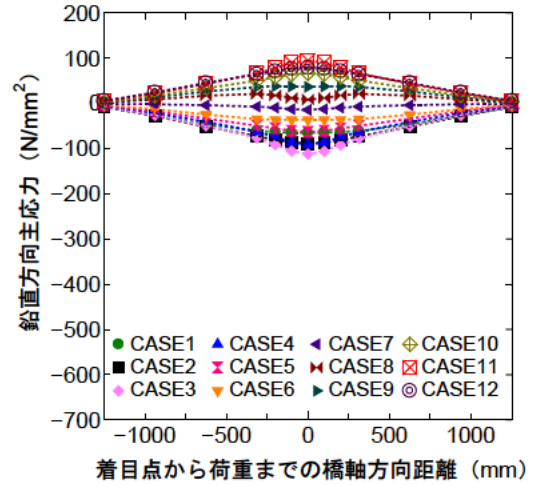


(d) $t_d=16\text{mm}$ 最小主応力

図 - 4.3.25 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (板厚中心要素) -(1/2)

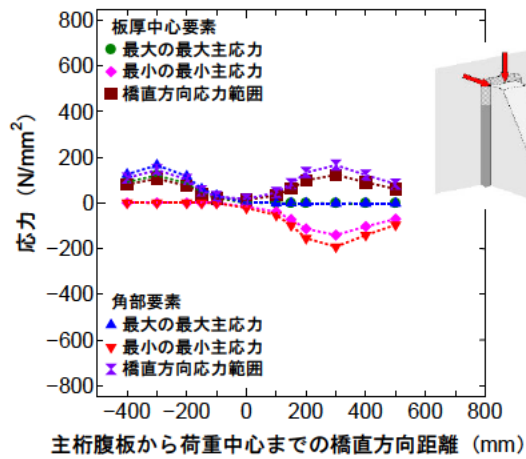


(e) $t_d=12\text{mm}$ 橋軸直角方向応力

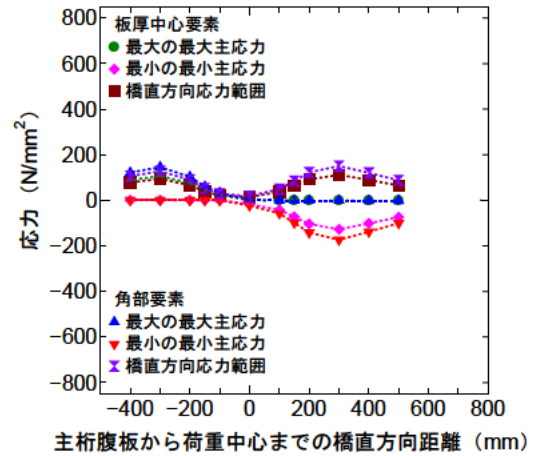


(f) $t_d=16\text{mm}$ 橋軸直角方向応力

図 - 4.3.25 垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力の影響線 (板厚中心要素) -(2/2)



(a) $t_d=12\text{mm}$



(b) $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.3.26 各橋軸直角方向荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力

(4) デッキプレート - 主桁腹板溶接部の応力性状

図 - 4.3.27 は橋軸直角方向の各荷重ケースにおける、デッキプレート - 主桁腹板溶接の垂直補剛材近傍に位置する（垂直補剛材板厚分）溶接止端部に発生する応力を、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルに分けて示している。着目応力は最大の最大主応力、最小の最小主応力、止端ライン直角方向の応力範囲である。応力範囲算出にあたり、橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものがあるが、この場合には発生応力が 0N/mm^2 になると仮定している。箱桁内側の腹板側止端部で最大の最大主応力が発生すること、箱桁外側のデッキプレート側止端部で最小の最小主応力が発生することは、これらの発生応力値も含めて上端溶接の場合とほぼ同じである。これらの図では、同じ図に箱桁の内側と外側の溶接線の結果を示しており、各部における発生応力の特徴を確認すると、デッキプレート側止端部の結果をみると、箱桁内側の溶接線と箱桁外側溶接線ともに橋軸方向荷重位置によらず圧縮応力が発生しており、両者の値の最大値はほぼ同じである。次に、腹板側止端部の結果をみると、箱桁内側の溶接線では、箱桁外側に荷重されると引張応力が発生し、箱桁内側に荷重されると圧縮応力が発生している。そして、箱桁外側の溶接線では、箱桁内側の溶接線と逆の傾向が確認できる。この他、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することによる応力低減効果も確認できる。

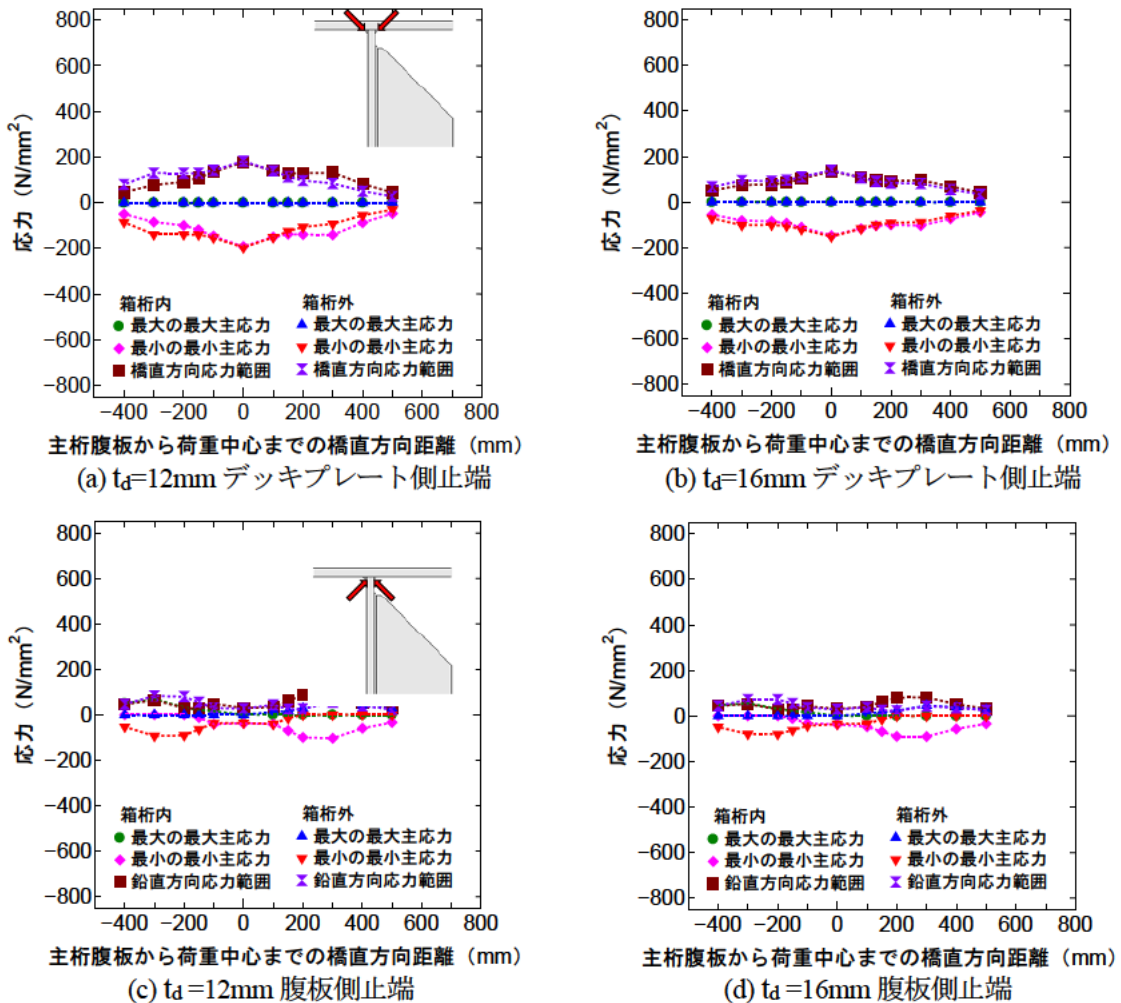


図 - 4.3.27 各橋軸直角方向荷重ケースのデッキプレート-主桁腹板溶接止端要素の応力分布

(5) 疲労被害

図 - 4.3.21 と図 - 4.3.26 中の垂直補剛材溶接部の応力範囲の分布を用い、ダブルタイヤが通過した際に腹板側止端部と垂直補剛材側止端部の要素に発生する、鉛直方向あるいは橋軸直角方向の応力範囲に対する疲労被害を算出した結果を、平均応力の考慮の有無で表 - 4.3.2 (a),(b)に示す。疲労被害の算出では疲労強度曲線の傾きを表す指数 $m=3$ として、輪荷重の走行位置の頻度分布を考慮した。頻度分布については上端溶接の場合と同様、図 - 4.3.15 に示すように3種類の走行位置の平均位置 μ (0mm (主桁腹板厚中心) と 150mm (箱桁内)、-150mm (箱桁外)) に対し、標準偏差 $\sigma=150\text{mm}$ の正規分布を仮定した。

疲労被害は上端溶接と比較してかなり小さな値となっている。走行位置の違いが疲労寿命に与える影響は大きい。平均応力の影響を考慮しない場合をみると、着目止端やデッキプレート厚により若干の差はあるものの、平均位置 μ が箱桁内側に 150mm ずれるだけで寿命が 45%程度まで短くなっている。そして、箱桁外側に 150mm ずれると腹板側止端では若干寿命が伸びるものの、垂直補剛材側止端では寿命が短くなることが確認できる。次に、平均応力を考慮した場合の結果をみると、平均位置 μ が箱桁内側に 150mm ずれると寿命は腹板側止端で 50%程度、垂直補剛材側止端で 60%程度まで短くなっている。そして、引張応力が卓越する箱桁外側に 150mm ずれた場合にも、腹板側止端で 70~80%程度、垂直補剛材側止端で 50%程度まで短くなっている。また、デッキプレートを 12mm から 16mm に増厚することに対しては平均応力の影響は小さく、腹板側止端では疲労寿命が 20~40%程度、垂直補剛材側止端では 25~40%程度増加することがわかる。

表 - 4.3.2 基本モデル (上端カット) 疲労被害一覧

(a) 平均応力の影響未考慮

| | | td=12mm | | | td=16mm | | |
|----------|--------|--------------------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害 (1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害 (1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| 腹板側止端 | 板厚中心要素 | 8.45E+05 | 2.00E+06 | 7.42E+05 | 6.98E+05 | 1.64E+06 | 5.34E+05 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 6.56E+05 | 1.43E+06 | 8.52E+05 | 5.11E+05 | 1.14E+06 | 6.15E+05 |
| | 板厚中心要素 | 2.68E+05 | 5.88E+05 | 3.56E+05 | 2.10E+05 | 4.68E+05 | 2.61E+05 |

(b) 平均応力の影響考慮

| | | td=12mm | | | td=16mm | | |
|----------|--------|--------------------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害 (1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害 (1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| 腹板側止端 | 板厚中心要素 | 4.83E+05 | 9.24E+05 | 6.83E+05 | 3.82E+05 | 7.54E+05 | 4.77E+05 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 4.20E+05 | 6.66E+05 | 8.19E+05 | 3.19E+05 | 5.29E+05 | 5.87E+05 |
| | 板厚中心要素 | 1.71E+05 | 2.73E+05 | 3.43E+05 | 1.31E+05 | 2.17E+05 | 2.49E+05 |

4.4 各種パラメータが発生応力に及ぼす影響

前節に示したように、上端溶接の場合には、ダブルタイヤの荷重中心が箱桁内部にあり、左輪が垂直先端部近傍を通過する際にデッキプレート側止端と垂直補剛材側止端の双方に発生する応力が大きくなっており、デッキプレートの曲げと着目部近傍上部からの鉛直方向の圧縮により局所的な応力集中に及ぼす影響が大きい。また、上端カットの場合には、デッキプレートの曲げとギャップ部分の腹板の曲げに起因した応力集中が確認されている。本節ではこれらの応力集中に影響を及ぼす可能性のある構造パラメータとして、主桁腹板 - 第 1 縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法、ギャップ量 g (上端カットのみ)、縦リブ支間長、舗装剛性、デッキプレート厚 t_d 、足場用吊金具の有無、縦リブ形式 (開断面リブの場合) に着目し、その影響の度合いを確認した。

4.4.1 主桁腹板 - 第 1 縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法

主桁腹板から第 1 縦リブ間の距離 \bar{b} はデッキプレートの曲げに、垂直補剛材先端から第 1 縦リブ間の距離 b_1 (図 - 4.2.1 参照) は鉛直方向の圧縮力に影響を及ぼすと考えられる。主桁腹板 - 第 1 縦リブ間の距離 \bar{b} や垂直補剛材寸法については、これまでもいくつかの検討事例がある。

文献 4-6)では、 \bar{b} を 235mm で一定とし、垂直補剛材の幅を 120mm×9mm、170mm×9mm とした上端溶接の場合のモデル試験体 ($t_d=12\text{mm}$) の静的載荷試験が実施されている。載荷荷重は 200×500mm の分布荷重であり、その橋軸直角方向位置は主桁腹板直上 (C)、C を橋軸方向に 100mm 偏心 (S)、縦リブ中心 (δ) の 3 種類である。結果、双方の垂直補剛材寸法ともにデッキプレート側止端近傍では δ 、垂直補剛材側止端部では S の載荷時に発生応力が大きい。そして、デッキプレート側止端近傍では垂直補剛材幅が 170mm の場合に 35% 程度発生応力が大きく、垂直補剛材側止端部の発生応力は垂直補剛材寸法によらず、ほぼ同じである。

文献 4-7)では、アスファルト舗装を有する鋼床版の大型試験体を用い、 \bar{b} と橋軸方向荷重位置 x を変化させた載荷試験結果より、デッキプレート側止端部の疲労照査を実施し、 \bar{b} が小さい場合に疲労被害が大きくなること、 \bar{b} と x の中心位置により疲労被害が異なることが示されているが、垂直補剛材の寸法については言及していない。

文献 4-8)、4-9)では阪神高速道路の鋼床版橋梁で発生したき裂の分析が行われている。分析の結果、 b_1 が 50mm と 100mm の場合にき裂数の 50% が集中し、これらを中心にはばらついていること、き裂が発生した垂直補剛材の幅と板厚の平均は 145mm と 12mm でそれぞれ 130mm と 10mm の場合のき裂発生が多く、これらは阪神高速道路の管理する橋梁の数の傾向と概ね変わらないが、板厚が 14mm や 18mm と比較的厚い場合は橋梁の数に対してき裂の発生が多いこと等が示されている。

これらより、上端溶接の場合には垂直補剛材寸法が大きいと、き裂発生の確率が高くなるように考えることもできるが、 b_1 との関連についても検討すべきだと思われる。また、既往の研究の静的載荷試験は必ずしも最大応力発生位置に対する検討となっていない可能性があり、実橋の分析は荷重載荷位置やその他の構造諸元が示されていない。本項では、上端溶接、あるいは上端カットの場合に荷重位置と \bar{b} が発生応力に及ぼす影響を検討するために、 \bar{b} を基本モデルの 250mm から 200mm と 300mm に変化させた場合の解析を実施した。

また、垂直補剛材の断面形状・主桁腹板厚 t_w の組合せは基本モデル（①150mm×12mm, $t_w=14$ mm）に加えて、②190mm×15mm, $t_w=14$ mm (\bar{b} は 250mm と 300mm のみ) 及び、③110mm×9mm, $t_w=9$ mm とし、 b_1 を変化させた。なお、②については、 \bar{b} を 200mm とすると第 1 縦リブと干渉する。この場合、垂直補剛材の上端を一部カットする対策が取られる場合もあるが、ここではカット量など、他の要因が加わることを避けるために $\bar{b}=200$ mm の解析は実施していない。また、これらの距離と発生応力の関係については荷重の載荷面積等も影響すると考えられるが、簡単のため図 - 4.2.3 (a)に示したもので統一している。

以下に上端溶接の場合と上端カットの場合のパラメータ解析結果を示す。

(1) 上端溶接モデル

図 - 4.4.1 はデッキプレート側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素における最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を、図 - 4.4.2 は垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を示している。また、図 - 4.4.3 は各止端部における最小の最小主応力が生じる場合の 50 倍変形図である。垂直補剛材の断面形状②,③では、垂直補剛材幅と橋軸直角方向の荷重位置の間隔の兼ね合いからか、デッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部の最大応力発生位置が一致せずに 50mm ずれるものがあつたが、この場合には、デッキプレート側止端部 (D) と垂直補剛材側止端部 (角部要素、V) で最小の最小主応力が発生する荷重位置が異なるものについては双方の変形図を示している。なお、図 - 4.4.1～図 - 4.4.3 には基本解析モデルの結果も再掲している。

図 - 4.4.1 と図 - 4.4.2 をみると、最大応力の発生位置は、 \bar{b} の値や垂直補剛材寸法によらず、基本的には、デッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部ともに、ダブルタイヤの左輪の左端が垂直補剛材先端部近傍となるケースである。そして、 b_1 の値が大きくなる垂直補剛材の断面形状①の $\bar{b}=300$ mm のモデル、断面形状③の $\bar{b}=250$ mm と 300mm のモデルでは、ダブルタイヤの右輪の左端が垂直補剛材先端部近傍となる $x=150$ mm や $x=100$ mm のケースでも小さな極値が確認できる。また、図 - 4.4.3 の変形図からは、発生応力が高いモデルでは閉断面リブが大きく変形し、垂直補剛材先端でのデッキプレートの局所変形が大きくなっていることがわかる。

次にデッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部の発生応力を比較すると、垂直補剛材の寸法や \bar{b} の大きさによらず、垂直補剛材側止端部の方が大きい。この傾向は、次項以降に示す各種パラメータを変化させた場合にも、基本的には同じである。一方で、上端溶接の場合の垂直補剛材溶接部のき裂はデッキプレート側止端部からも確認されており⁴³⁾、デッキプレート側止端部の発生応力も、き裂が発生するレベルにあるといえる。なお、デッキプレート側止端部からのき裂については、実橋では溶接形状に起因するものや、両止端部のき裂発生寿命のばらつきも考えられるが、デッキプレート側と垂直補剛材側の双方から出るケースが報告⁴⁾¹⁰⁾されている。また、文献 4-4)の小型試験体を用いた疲労試験において、デッキプレート側止端部からき裂の進展が卓越した試験体の全てで垂直補剛材側止端部にもき裂の発生が確認されていることから、垂直補剛材側止端部からき裂が発生した後もデッキプレート側止端部の応力は高く、き裂が発生・進展する

ということも考えられる。

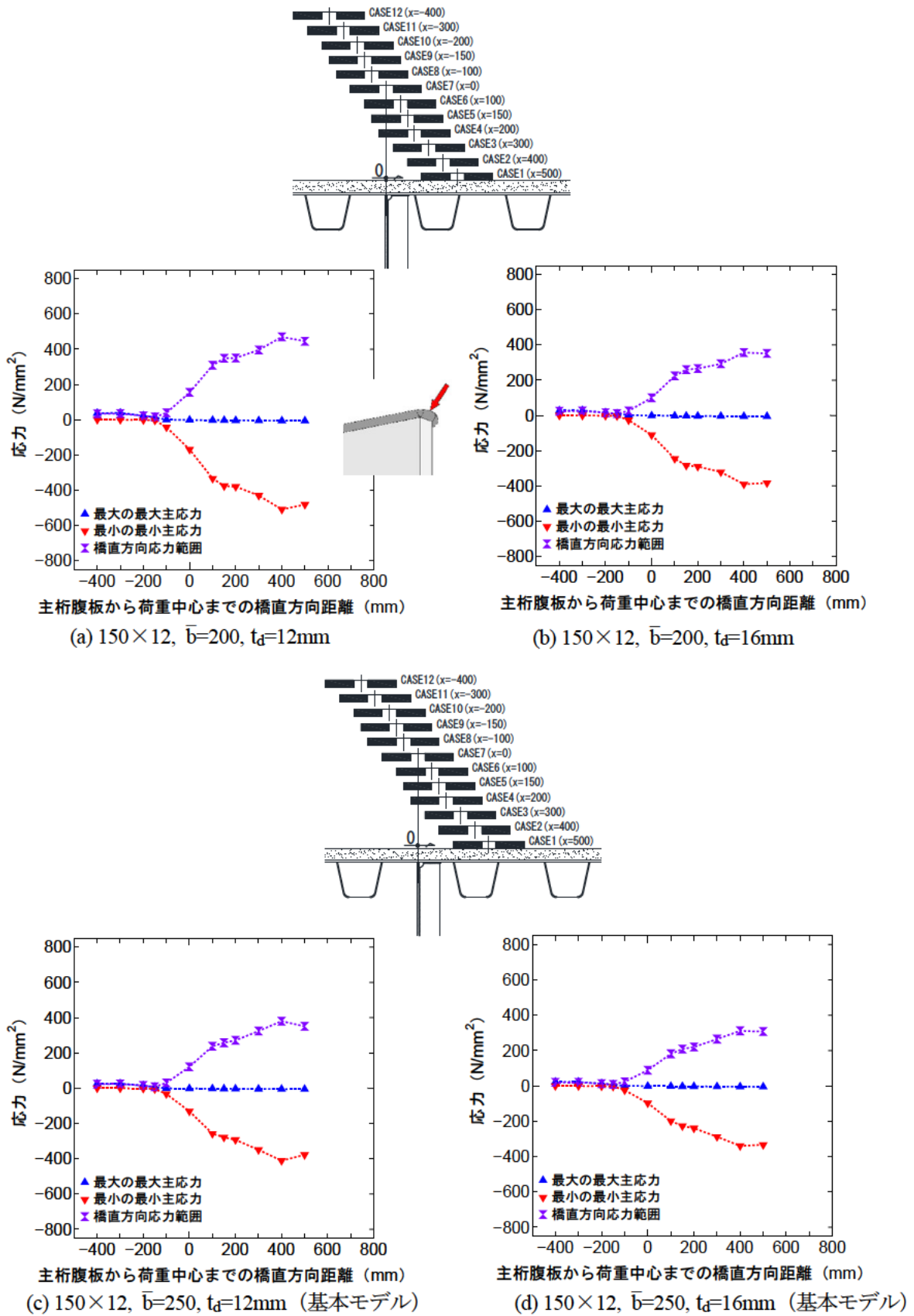


図 - 4.4.1 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板-第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法の影響 - 上端溶接(1/4)

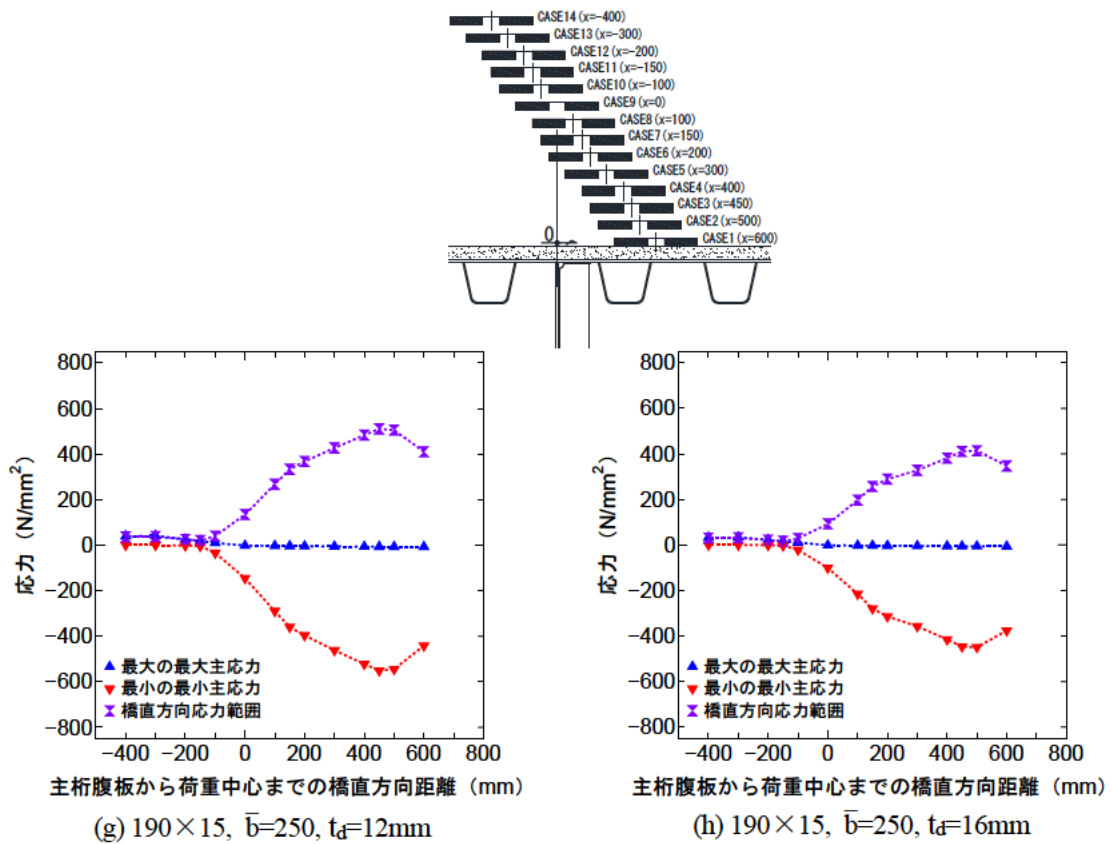
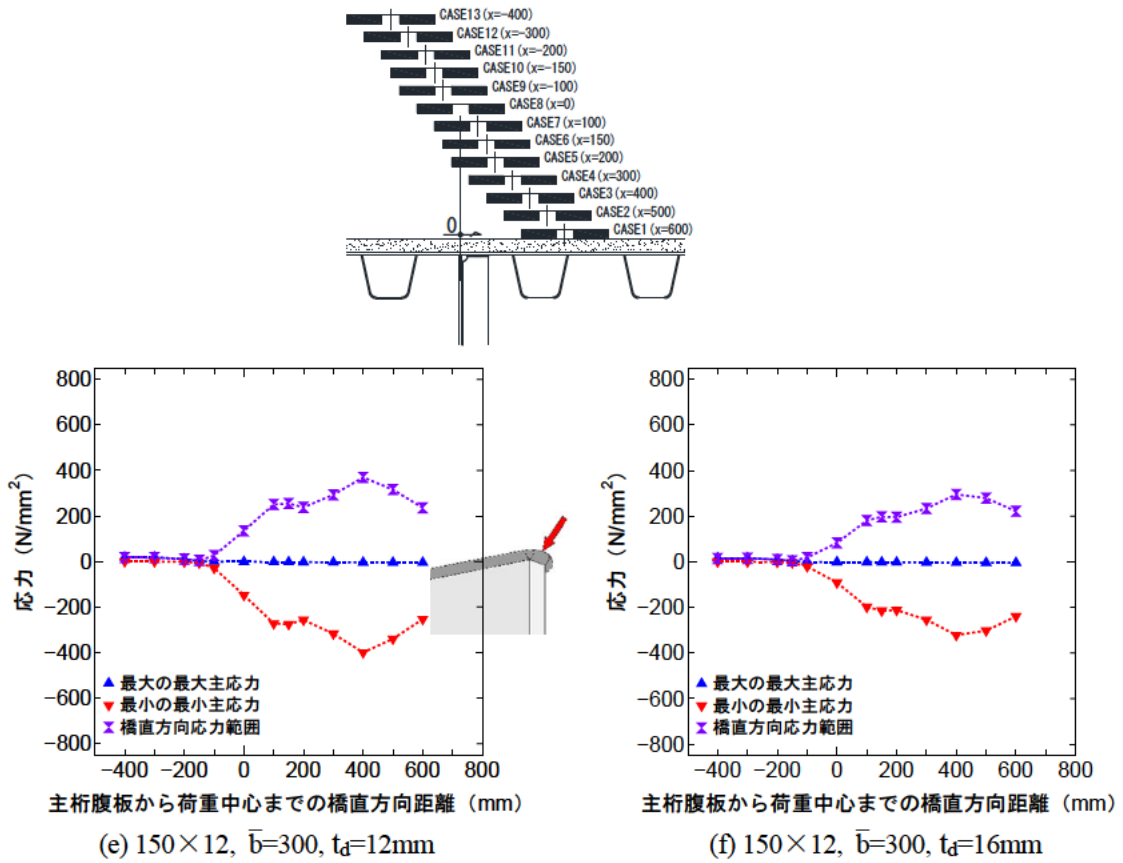


図 - 4.4.1 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法の影響 - 上端溶接-(2/4)

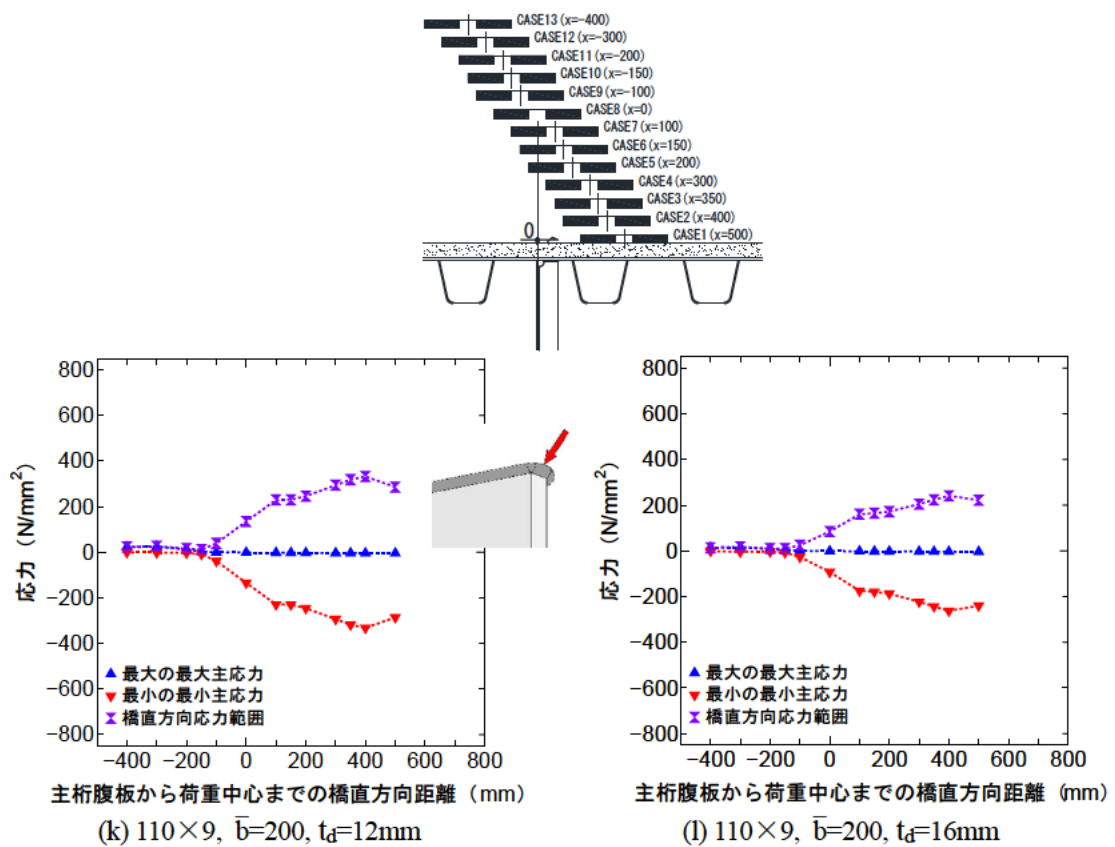
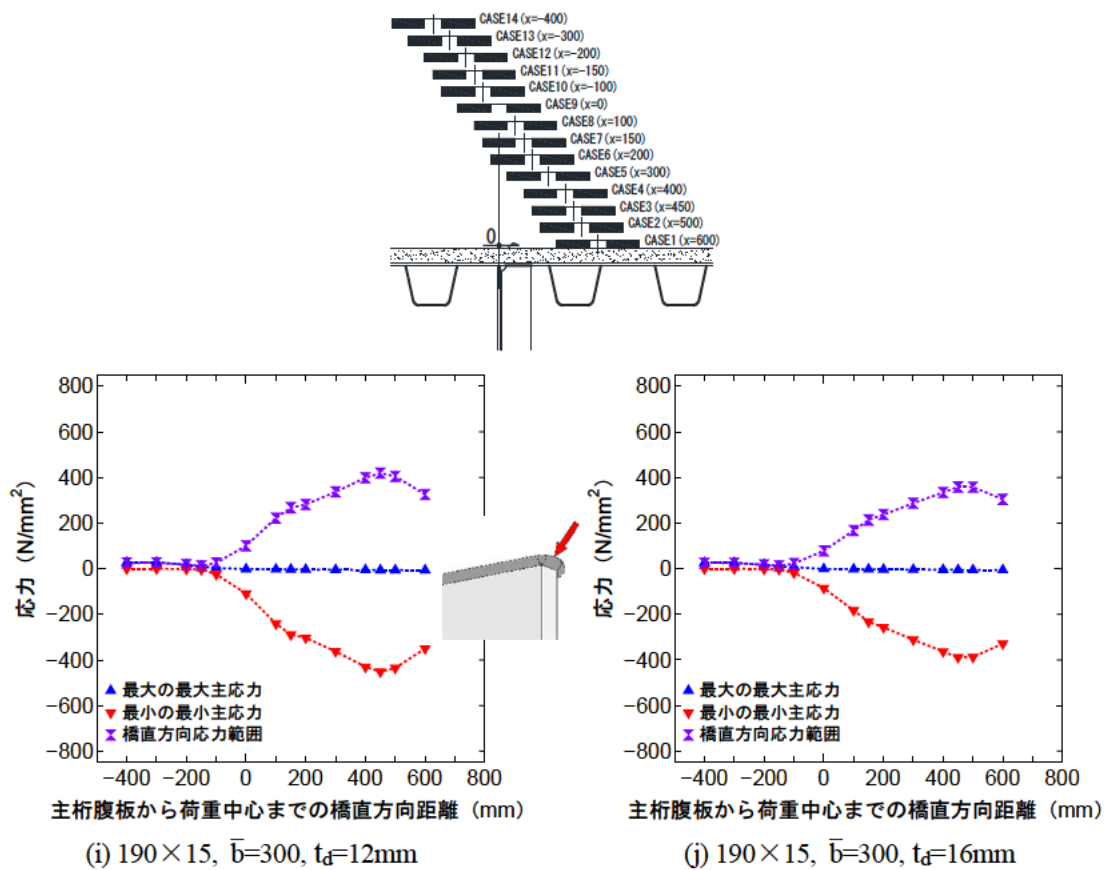


図 - 4.4.1 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法の影響 - 上端溶接-(3/4)

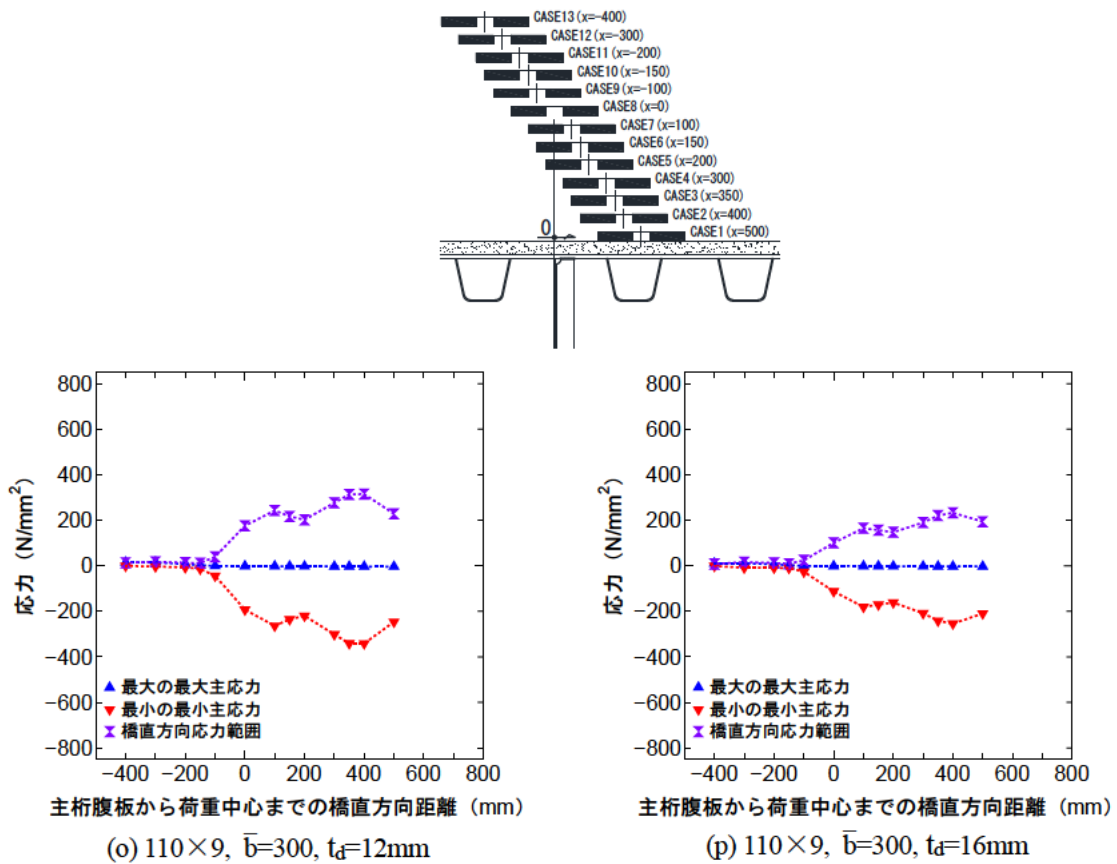
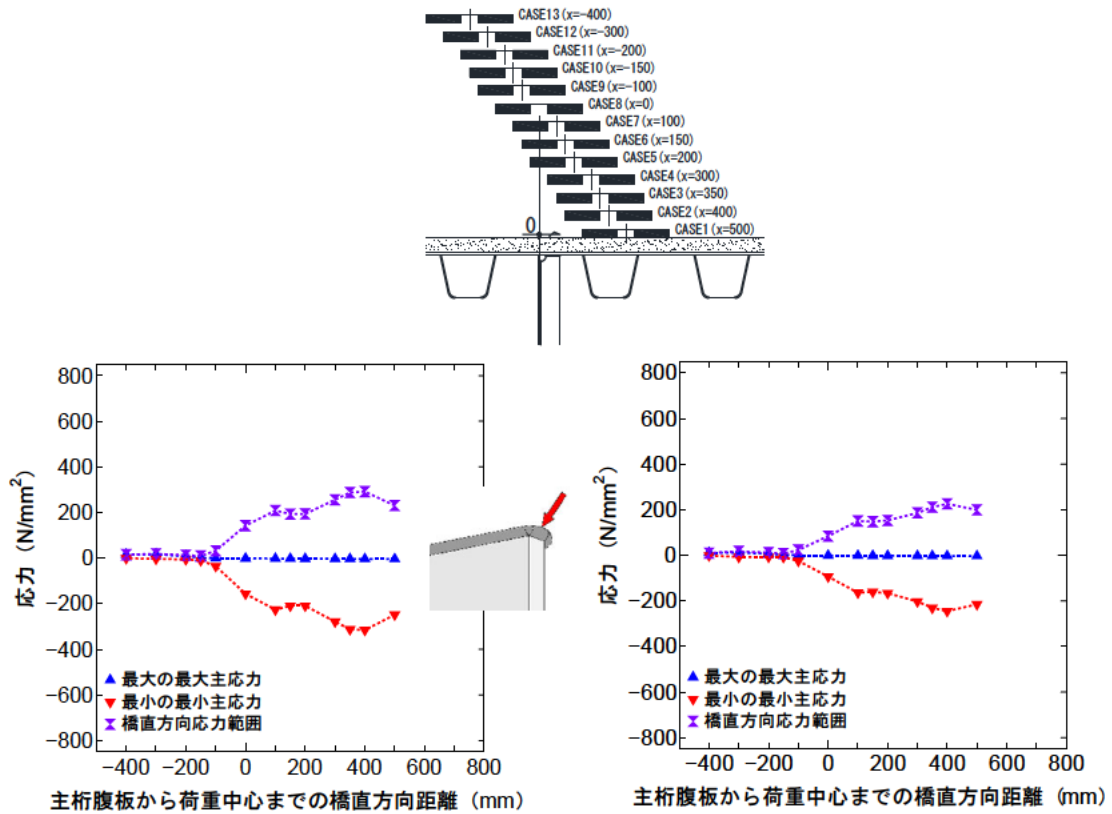
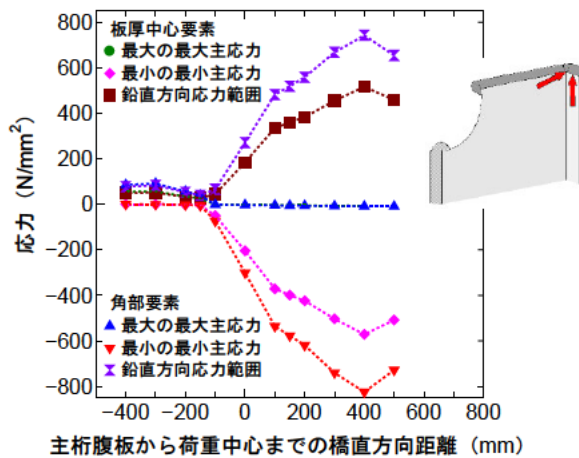
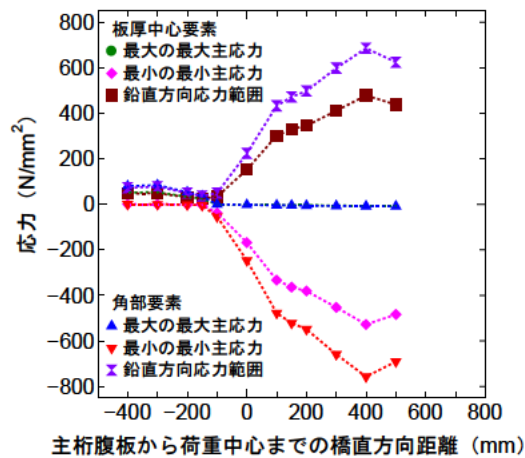


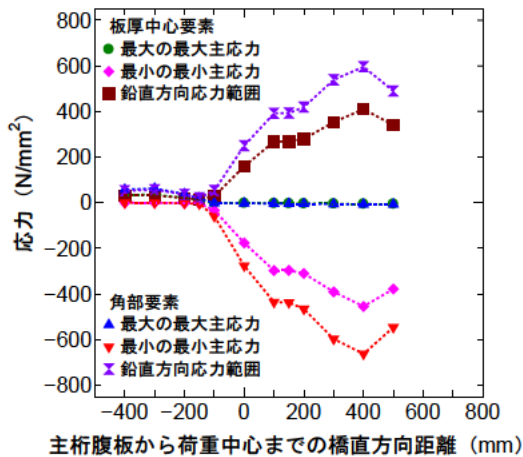
図 - 4.4.1 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板-第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法の影響 - 上端溶接-(4/4)



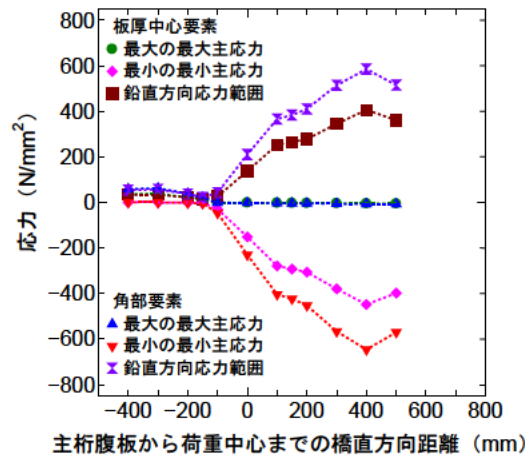
(a) 150×12 , $\bar{b}=200$, $t_d=12\text{mm}$



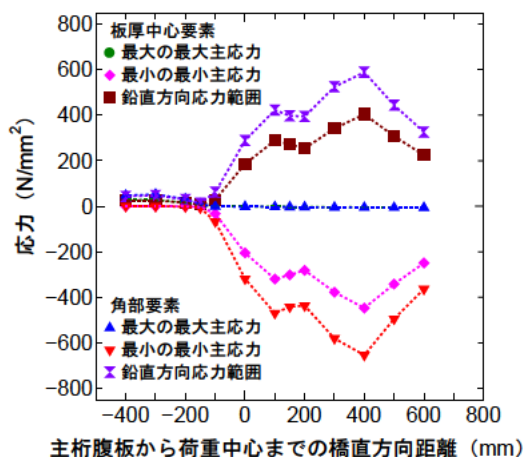
(b) 150×12 , $\bar{b}=200$, $t_d=16\text{mm}$



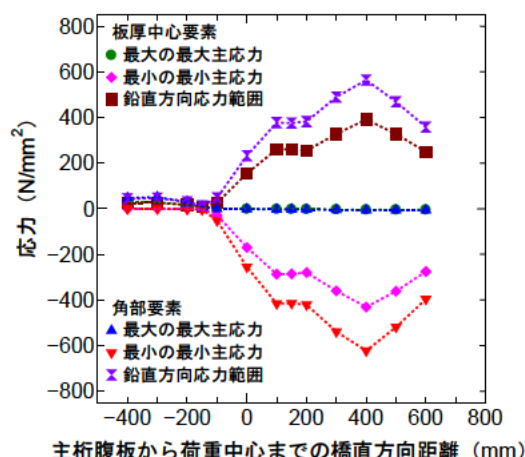
(c) 150×12 , $\bar{b}=250$, $t_d=12\text{mm}$
(基本モデル)



(d) 150×12 , $\bar{b}=250$, $t_d=16\text{mm}$
(基本モデル)

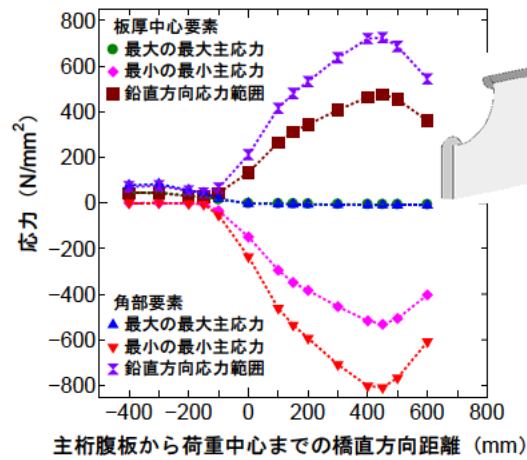


(e) 150×12 , $\bar{b}=300$, $t_d=12\text{mm}$

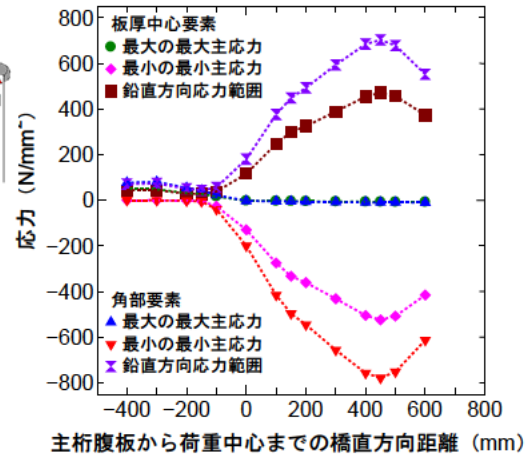


(f) 150×12 , $\bar{b}=300$, $t_d=16\text{mm}$

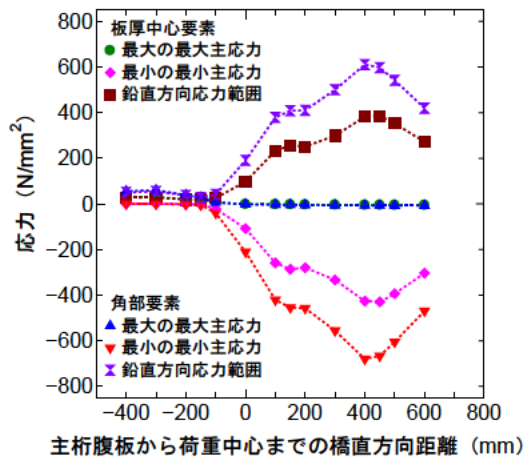
図 - 4.4.2 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法の影響 - 上端溶接(1/3)



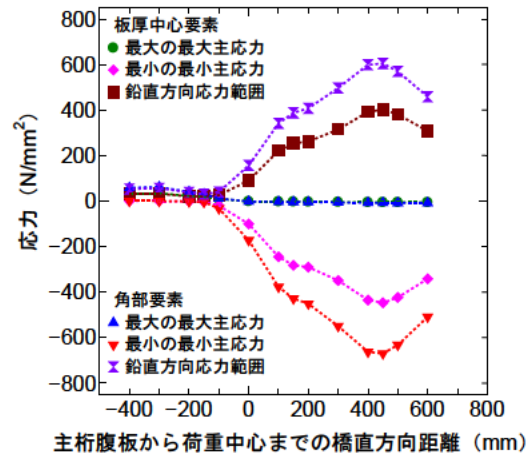
(g) 190×15 , $\bar{b}=250$, $t_d=12\text{mm}$



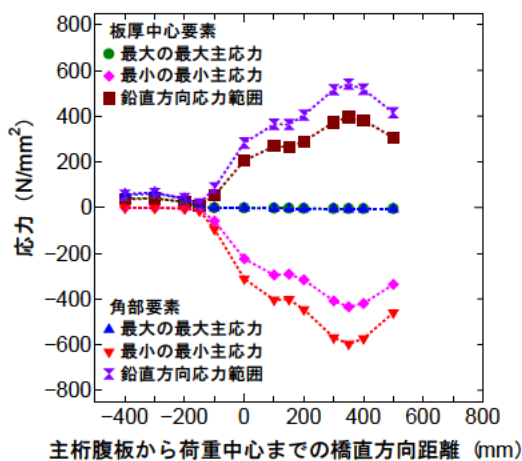
(h) 190×15 , $\bar{b}=250$, $t_d=16\text{mm}$



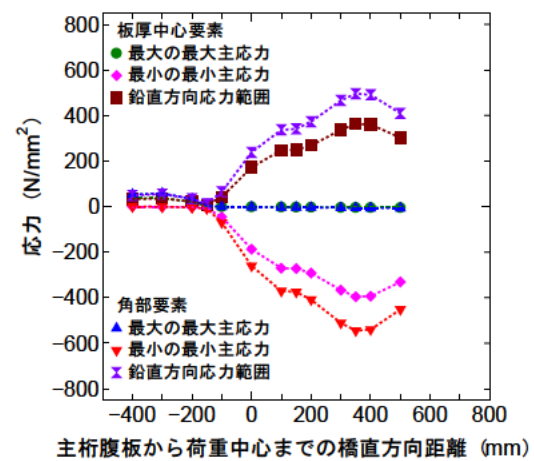
(i) 190×15 , $\bar{b}=300$, $t_d=12\text{mm}$



(j) 190×15 , $\bar{b}=300$, $t_d=16\text{mm}$



(k) 110×9 , $\bar{b}=200$, $t_d=12\text{mm}$



(l) 110×9 , $\bar{b}=200$, $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.2 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法の影響 - 上端溶接-(2/3)

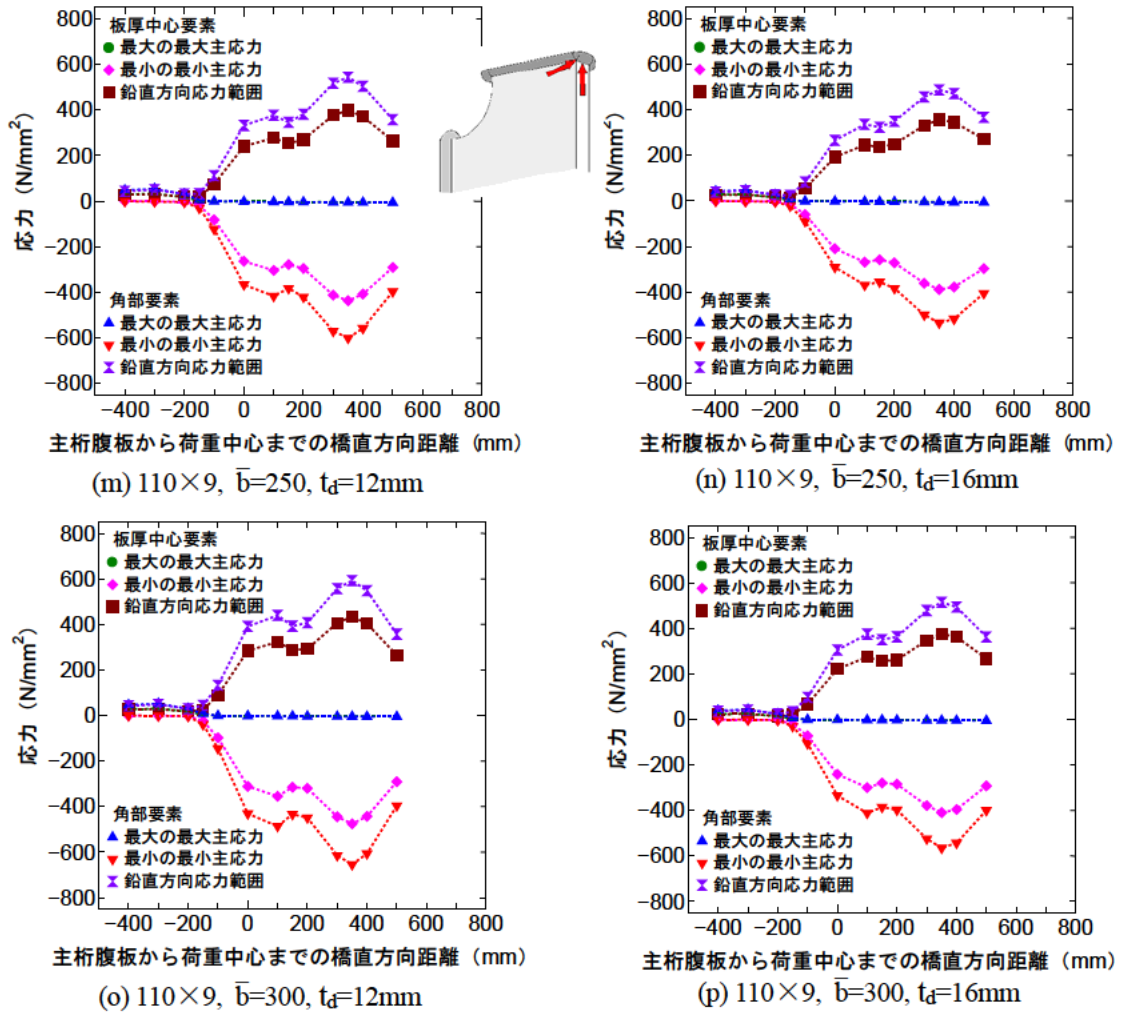


図 - 4.4.2 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
 主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法の影響 - 上端溶接-(3/3)

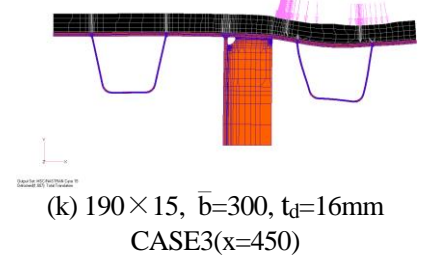
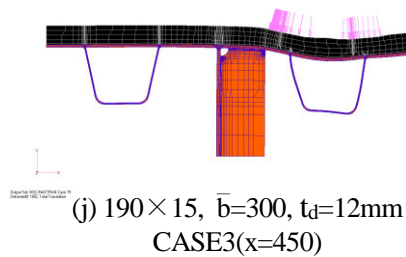
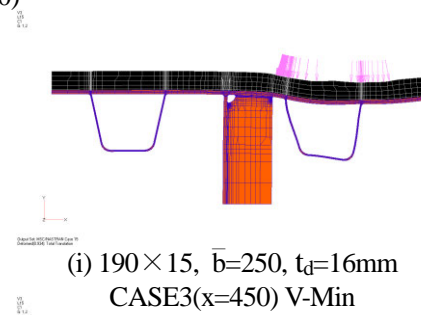
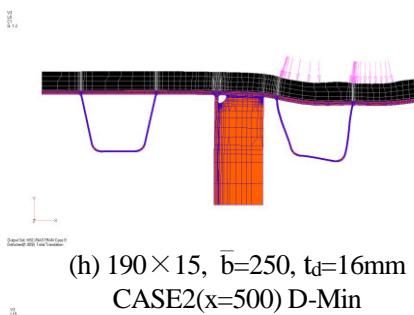
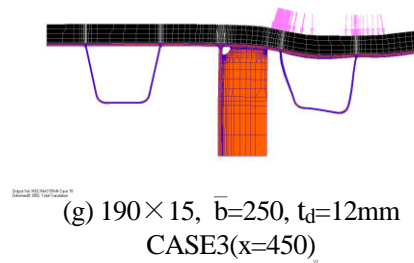
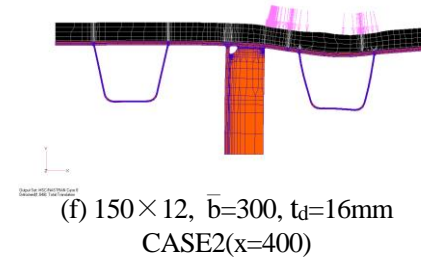
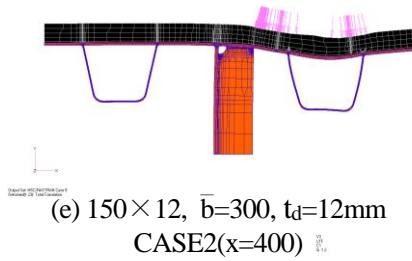
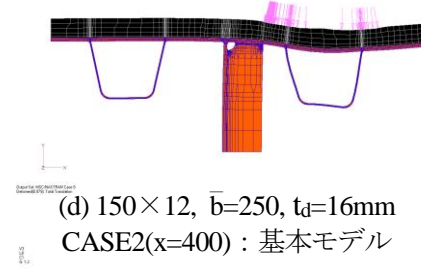
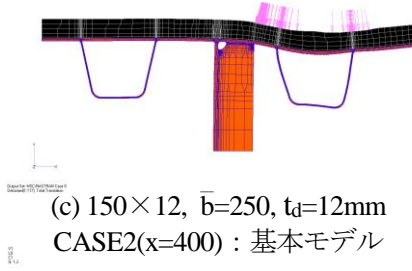
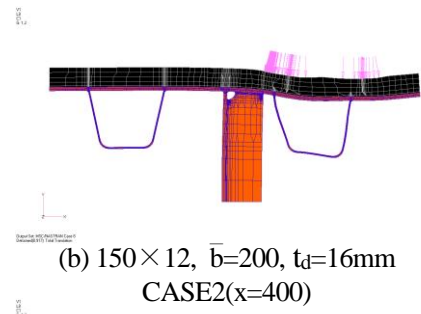
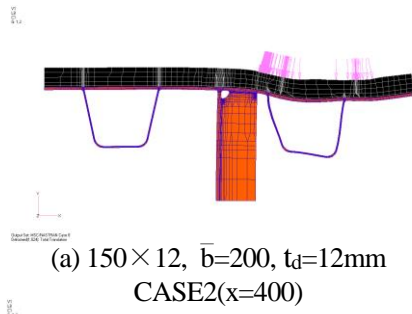


図 - 4.4.3 上端溶接モデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最小主応力卓越時) -(1/2)

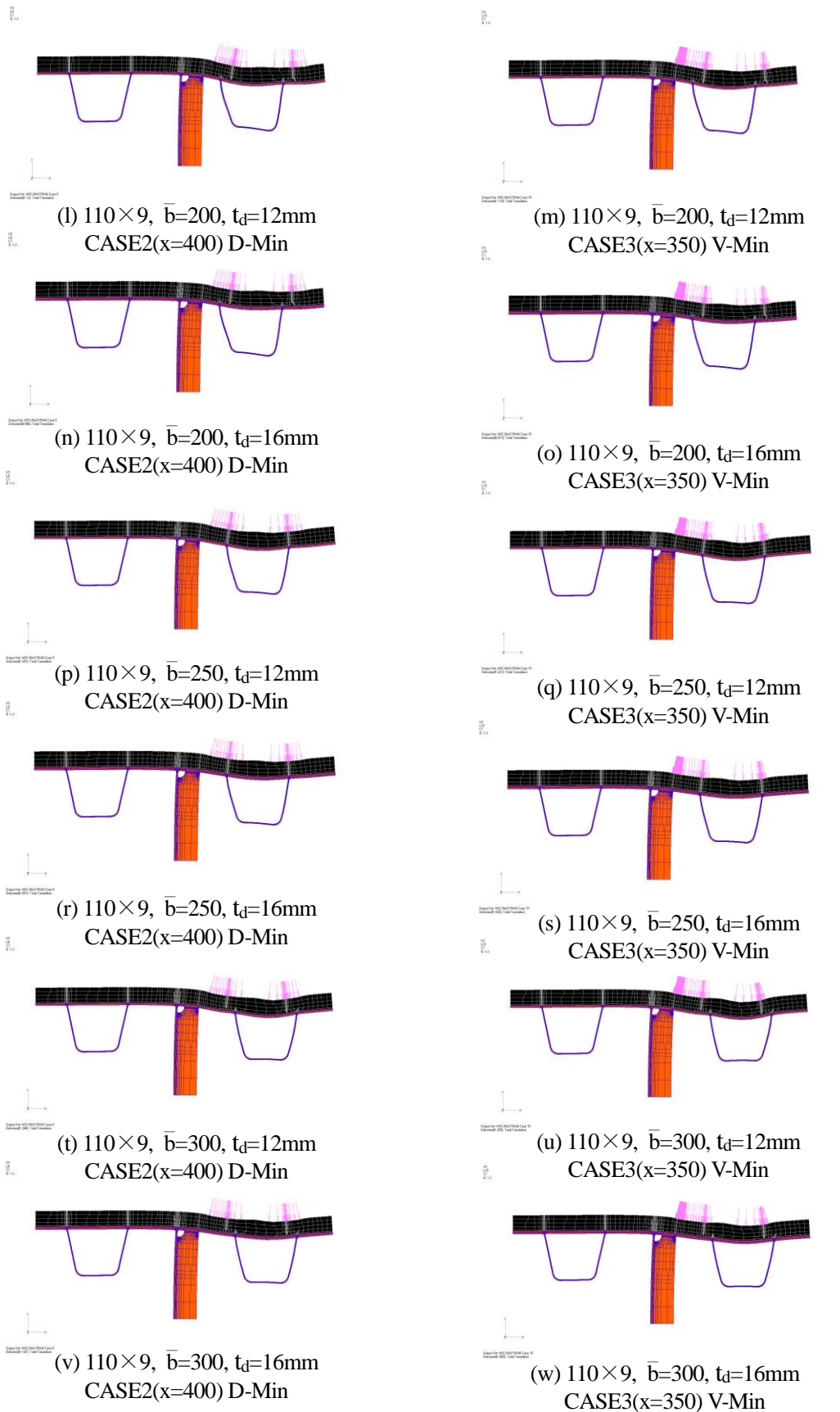


図 - 4.4.3 上端溶接モデル着目断面荷重 50 倍変形図 (最小主応力卓越時) -(2/2)

図 - 4.4.4 と図 - 4.4.5 に垂直補剛材先端から第 1 縦リブ間の距離 b_1 で整理した、各垂直補剛材断面モデルのデッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部における最小の最小主応力を示す。

図 - 4.4.4 でデッキプレート側止端部の結果をみると、 b_1 では一つの曲線で整理することが出来ないが、垂直補剛材断面や主桁腹板厚 t_w の違いの影響がみられており、阪神高速道路の実橋の調査結果の傾向と同様、垂直補剛材寸法が大きいと発生応力が大きくなることがわかる。全体的な傾向としては、 b_1 が小さい場合には発生応力が大きくなる一方、 b_1 が 150mm を超えると発生応力が増加に転じる可能性があるかと推測される。

図 - 4.4.5 で垂直補剛材側止端部の結果をみると、デッキプレート側止端部よりも垂直補剛材断面や主桁腹板厚 t_w の違いの影響が小さいことがわかる。そして、全体的な傾向は、 b_1 が小さい場合には発生応力が大きくなる一方、 b_1 が 100~150mm 程度を超えると発生応力が増加に転じる可能性があるかと推測される。

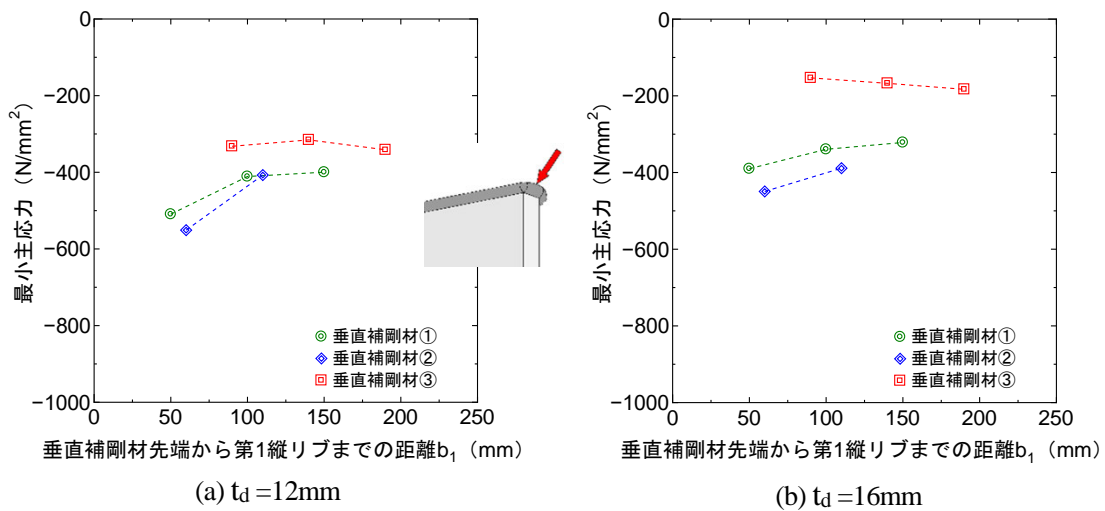


図 - 4.4.4 b_1 で整理したデッキプレート側溶接止端先端要素の最小の最小主応力

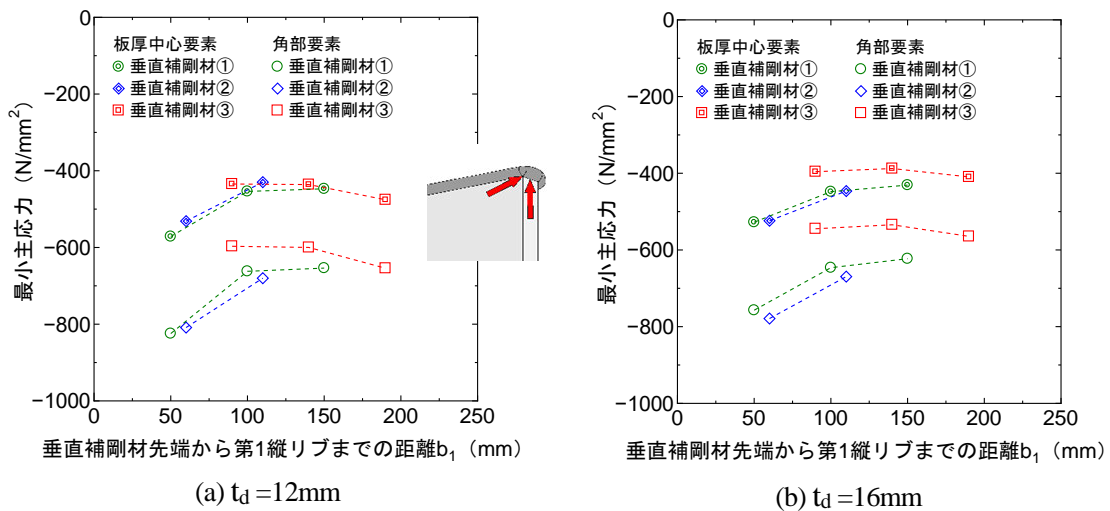


図 - 4.4.5 b_1 で整理した垂直補剛材側溶接止端先端要素の最小の最小主応力

(2) 上端カットモデル

図 - 4.4.6 は主桁腹板側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素における最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を、図 - 4.4.7 は垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を示している。また、図 - 4.4.8 は各止端部における最小の最小主応力、図 - 4.4.9 は各止端部における最大の最大主応力が生じる場合の 50 倍変形図である。なお、図 - 4.4.6～図 - 4.4.9 には基本解析モデルの結果も再掲している。

図 - 4.4.6 と図 - 4.4.7 をみると、最大応力の発生位置は、 \bar{b} の値や垂直補剛材寸法によらず、基本モデルと同様に腹板側止端部と垂直補剛材側止端部ともに、橋軸直角方向荷重位置 x が +300mm の位置（両輪とも箱桁内部）で圧縮応力が卓越し、-300mm の位置（両輪とも箱桁外部）で引張応力が卓越していることが確認できる。また、図 - 4.4.9 の変形図からは、 $x=300$ mm の荷重の場合には \bar{b} が大きくなると閉断面リブの変形（オイルキャニリング）が大きくなる傾向も確認できるが、 $x=-300$ mm の荷重の場合にはそのような傾向は確認できない。

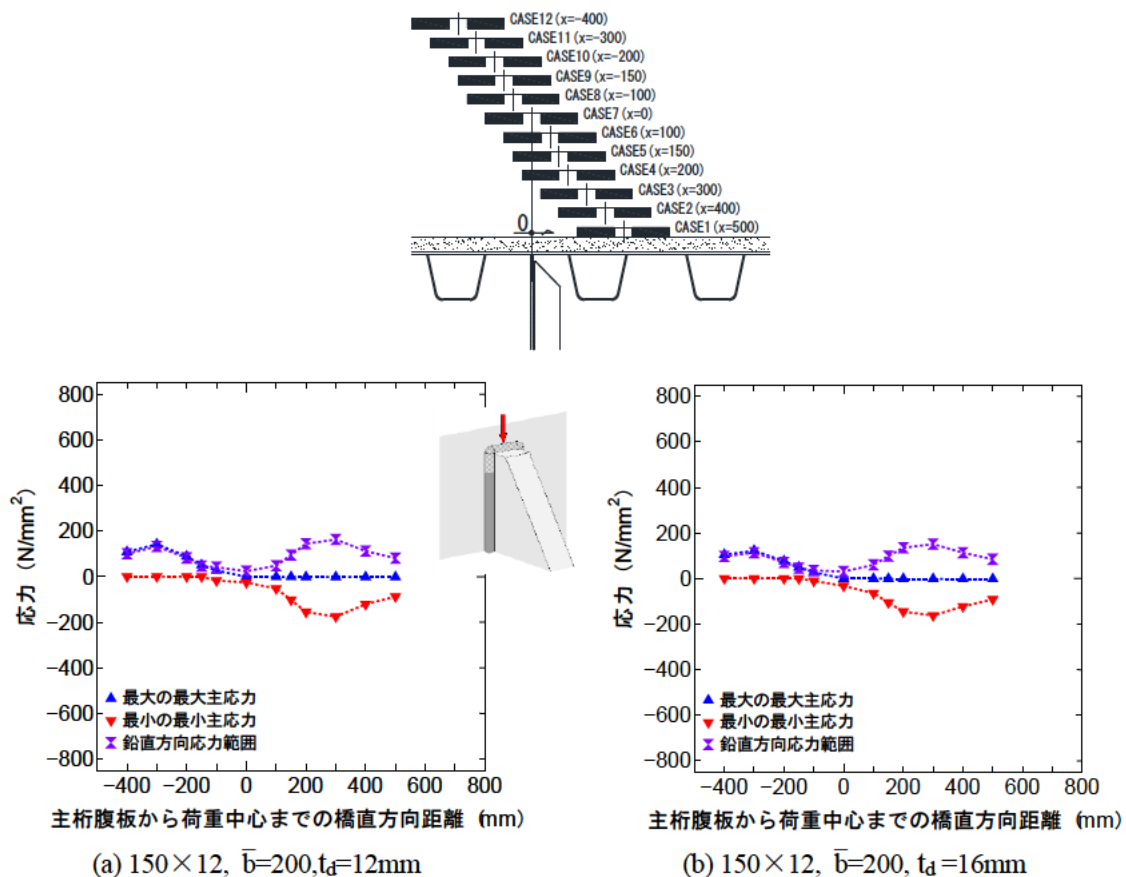
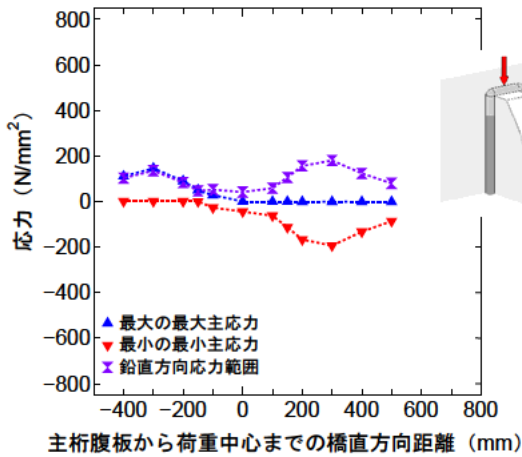
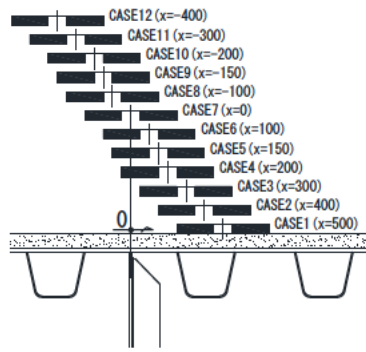
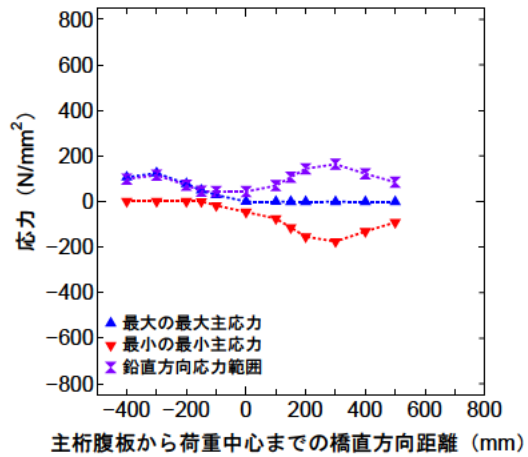


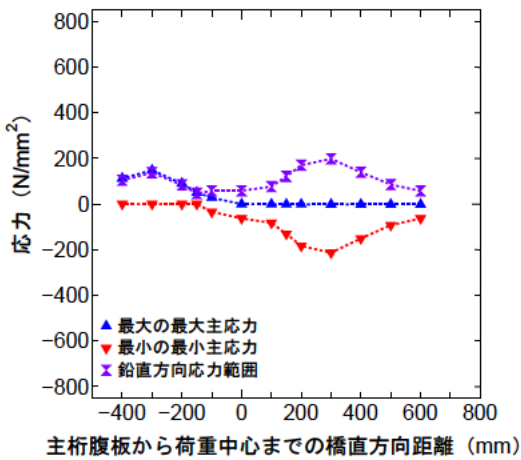
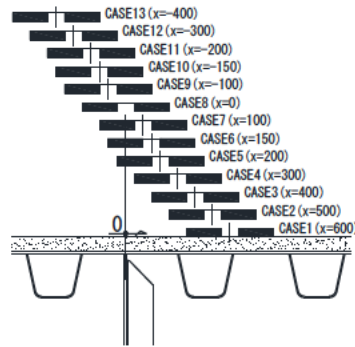
図 - 4.4.6 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第 1 縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響 - 上端カット-(1/5)



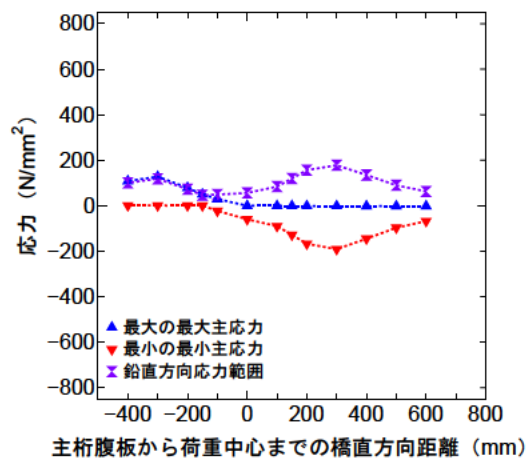
(c) 150×12 , $\bar{b}=250$, $t_d=12\text{mm}$
(基本モデル)



(d) 150×12 , $\bar{b}=250$, $t_d=16\text{mm}$
(基本モデル)

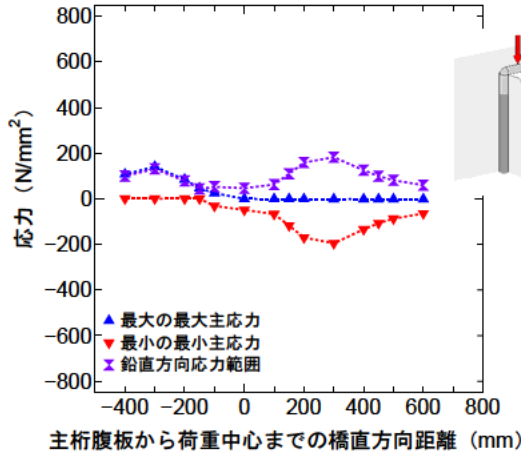
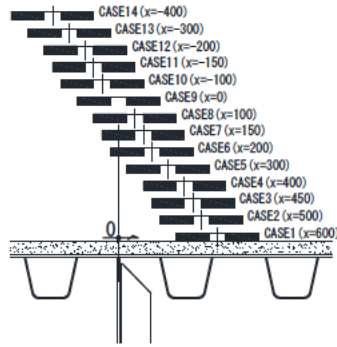


(e) 150×12 , $\bar{b}=300$, $t_d=12\text{mm}$

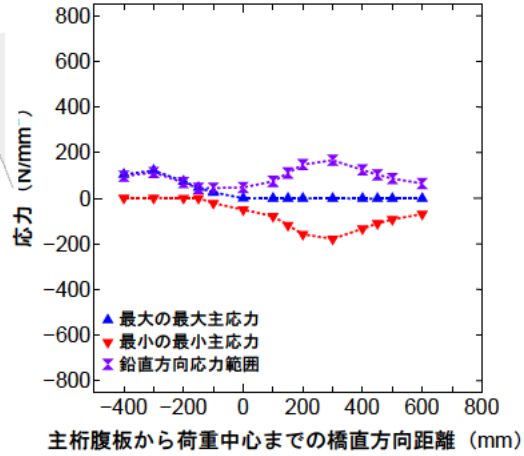


(f) 150×12 , $\bar{b}=300$, $t_d=16\text{mm}$

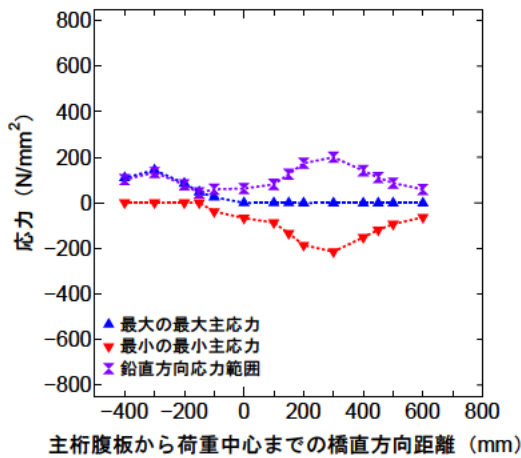
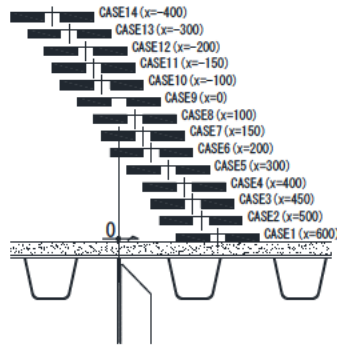
図 - 4.4.6 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響 - 上端カット-(2/5)



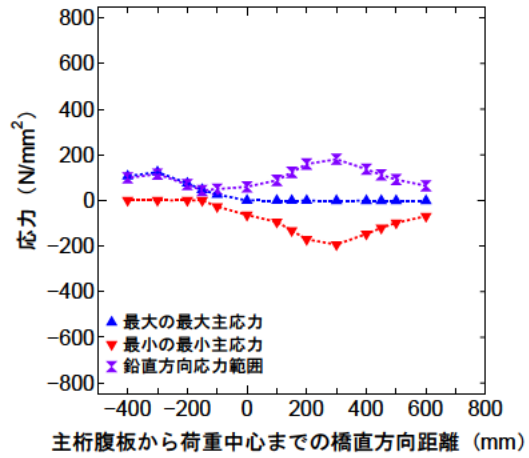
(g) $190 \times 15, \bar{b}=250, t_d=12\text{mm}$



(h) $190 \times 15, \bar{b}=250, t_d=16\text{mm}$



(i) $190 \times 15, \bar{b}=300, t_d=12\text{mm}$



(j) $190 \times 15, \bar{b}=300, t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.6 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響 - 上端カット-(3/5)

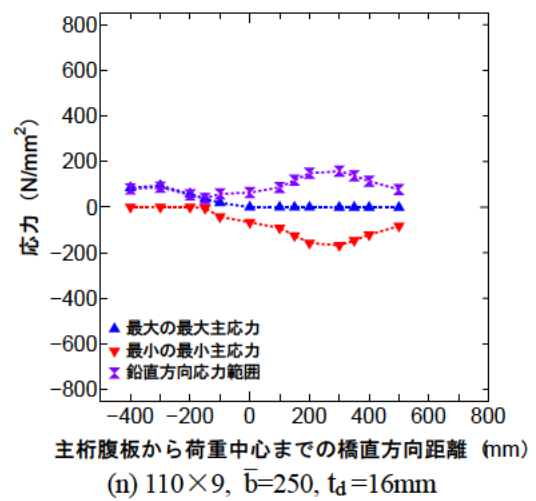
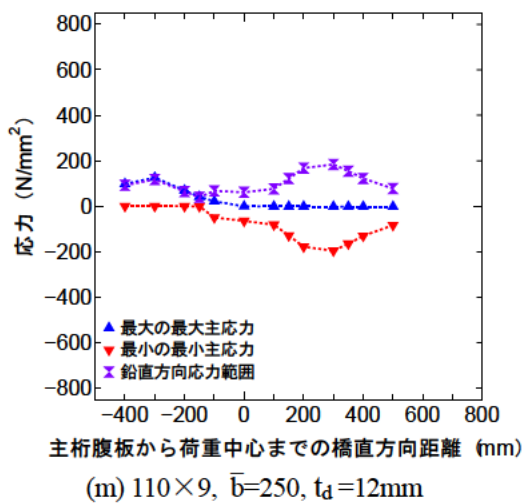
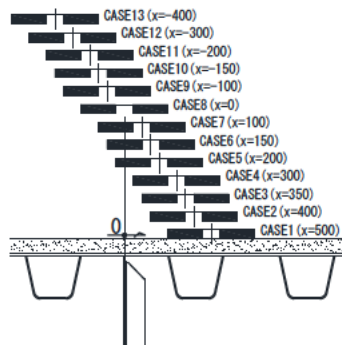
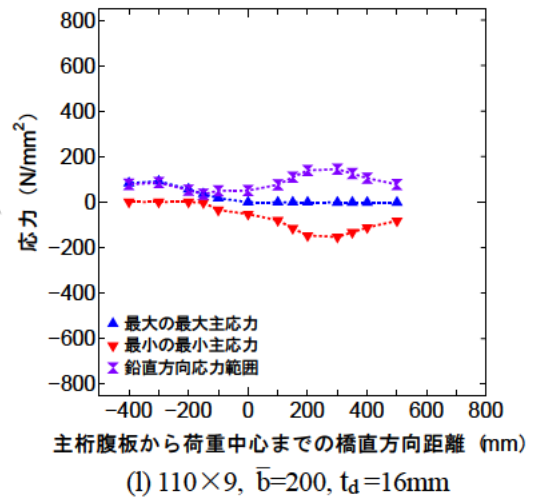
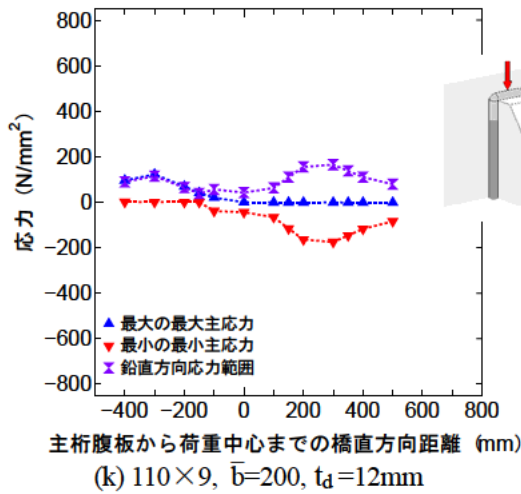
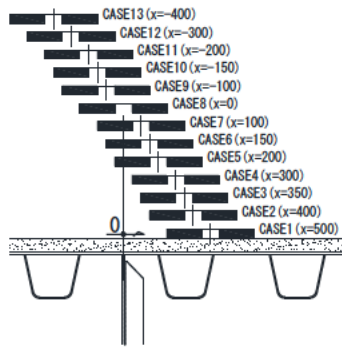


図 - 4.4.6 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響 - 上端カット-(4/5)

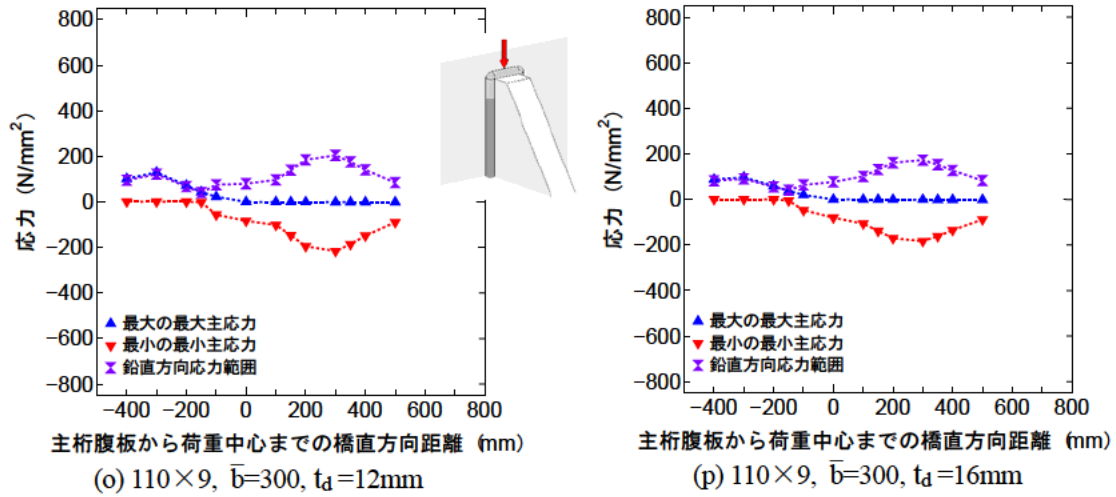
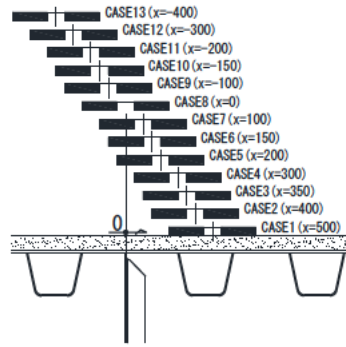
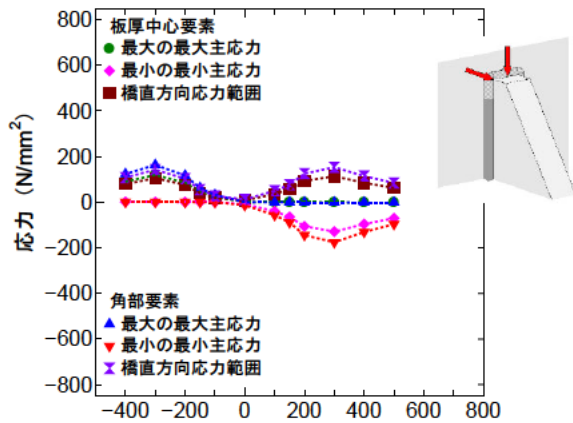
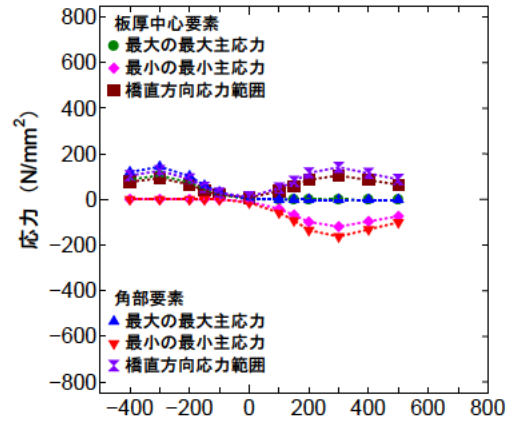


図 - 4.4.6 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響 - 上端カット-(5/5)



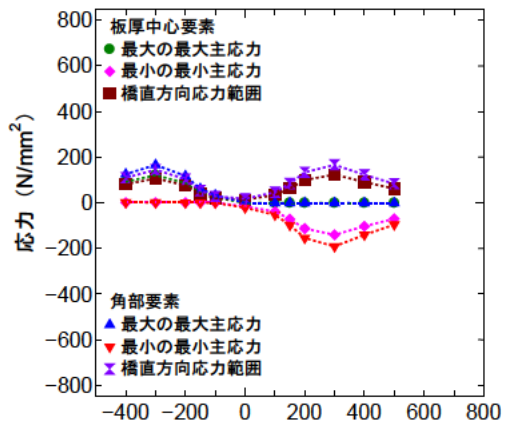
主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(a) 150×12 , $\bar{b}=200$, $t_d=12\text{mm}$



主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

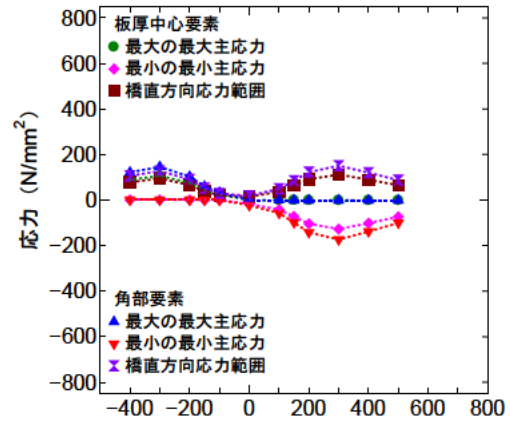
(b) 150×12 , $\bar{b}=200$, $t_d=16\text{mm}$



主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(c) 150×12 , $\bar{b}=250$, $t_d=12\text{mm}$

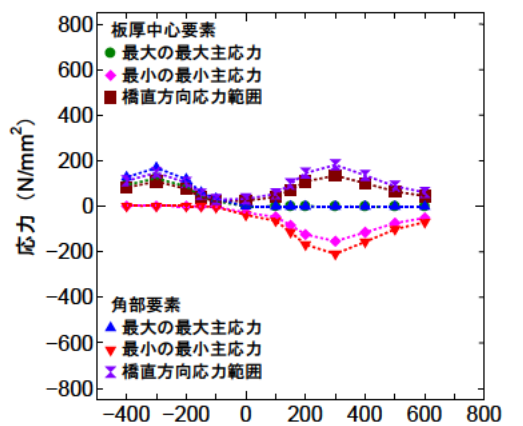
(基本モデル)



主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

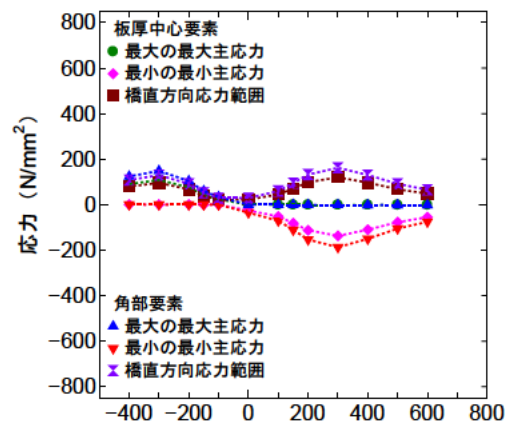
(d) 150×12 , $\bar{b}=250$, $t_d=16\text{mm}$

(基本モデル)



主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(e) 150×12 , $\bar{b}=300$, $t_d=12\text{mm}$



主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(f) 150×12 , $\bar{b}=300$, $t_d=16\text{mm}$

図-4.4.7 橋軸直角方向の角荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響 - 上端カット-(1/3)

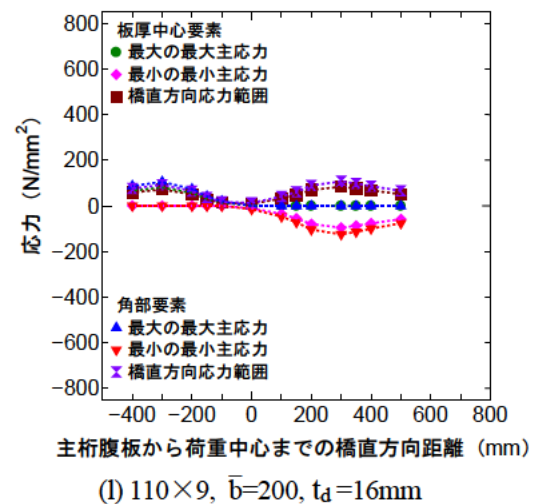
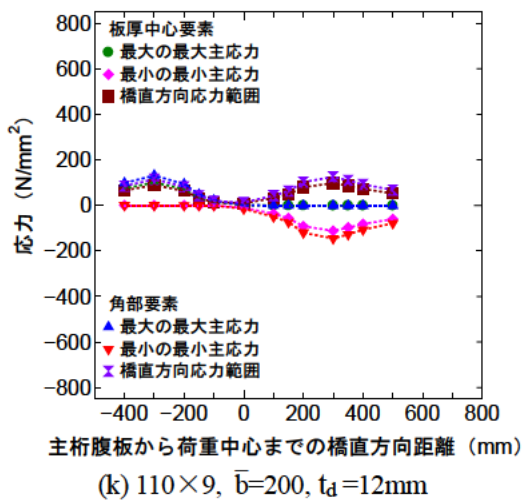
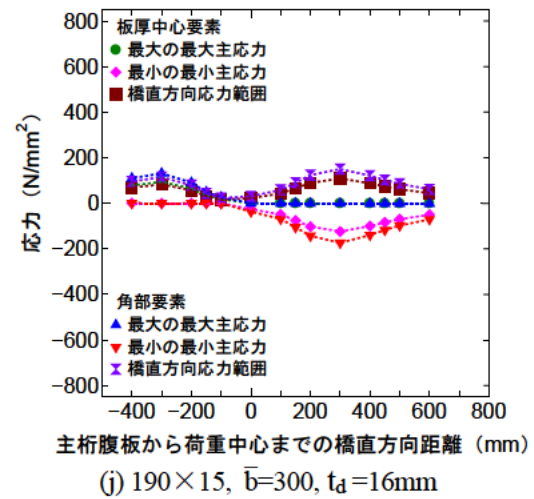
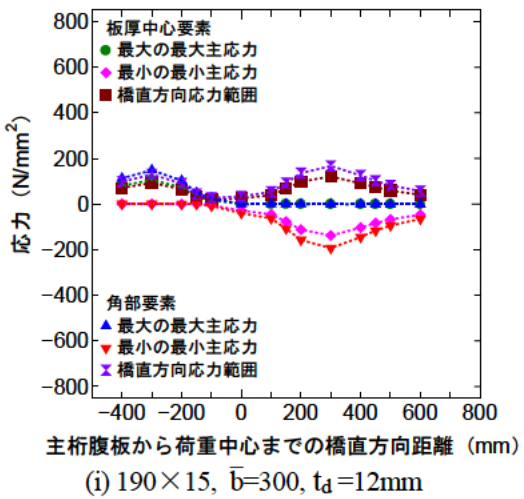
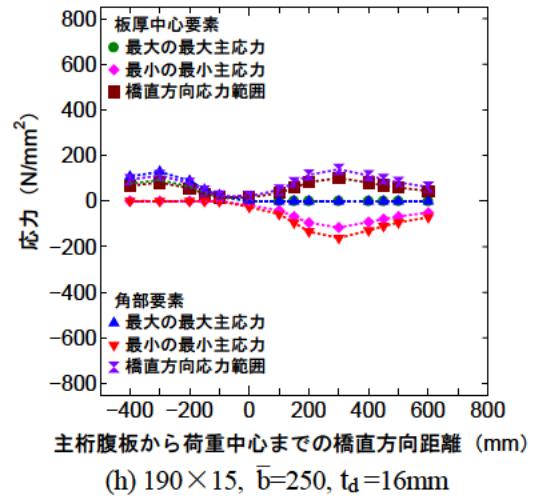
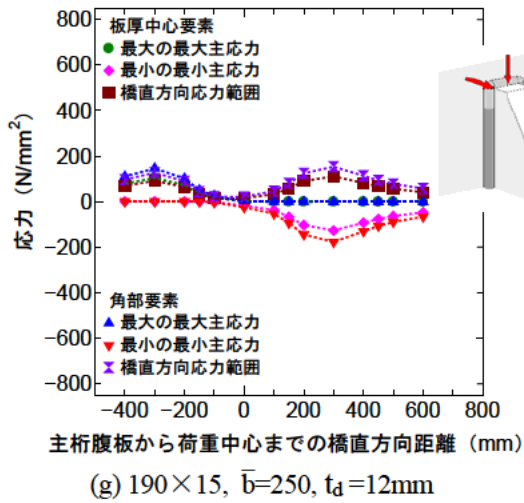


図 - 4.4.7 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響 - 上端カット-(2/3)

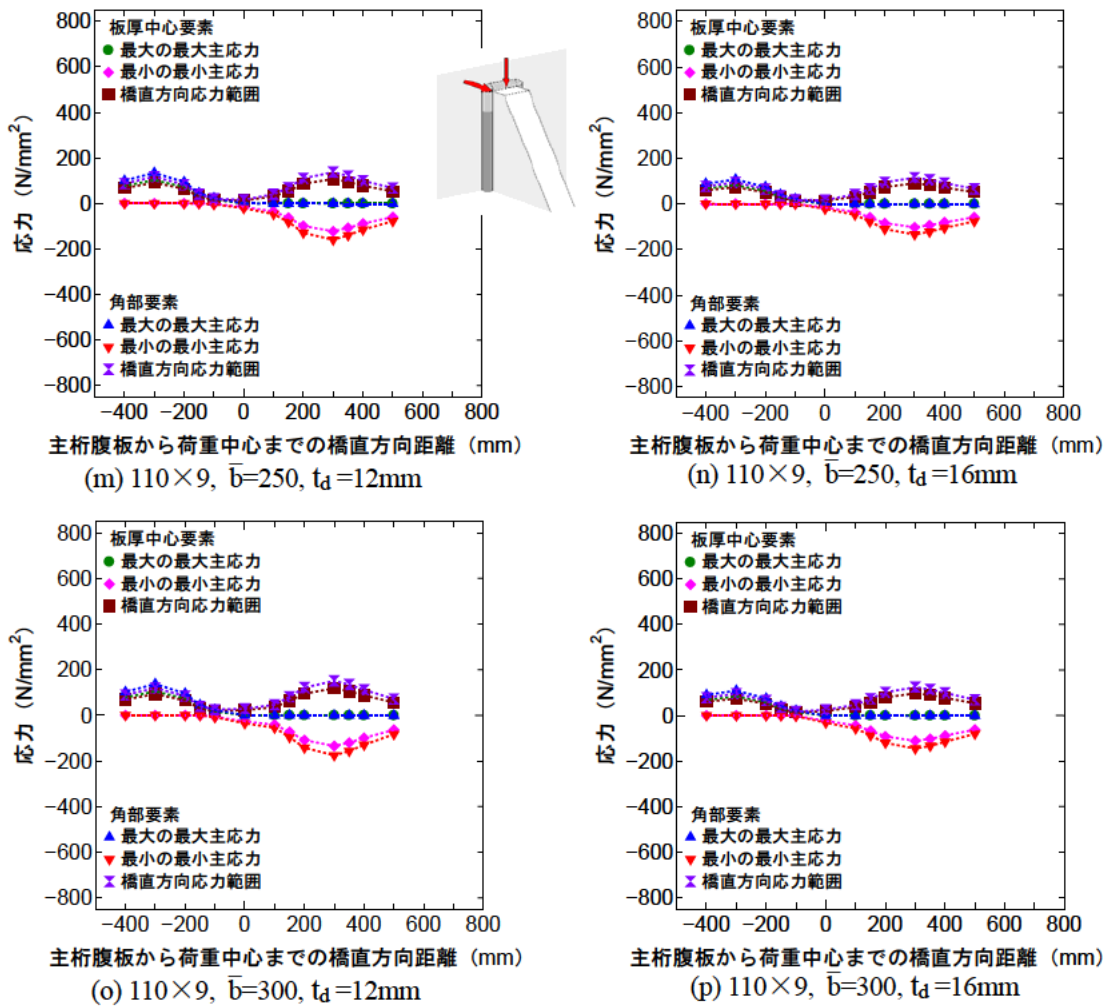


図 - 4.4.7 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離と垂直補剛材寸法の影響-上端カット - (3/3)

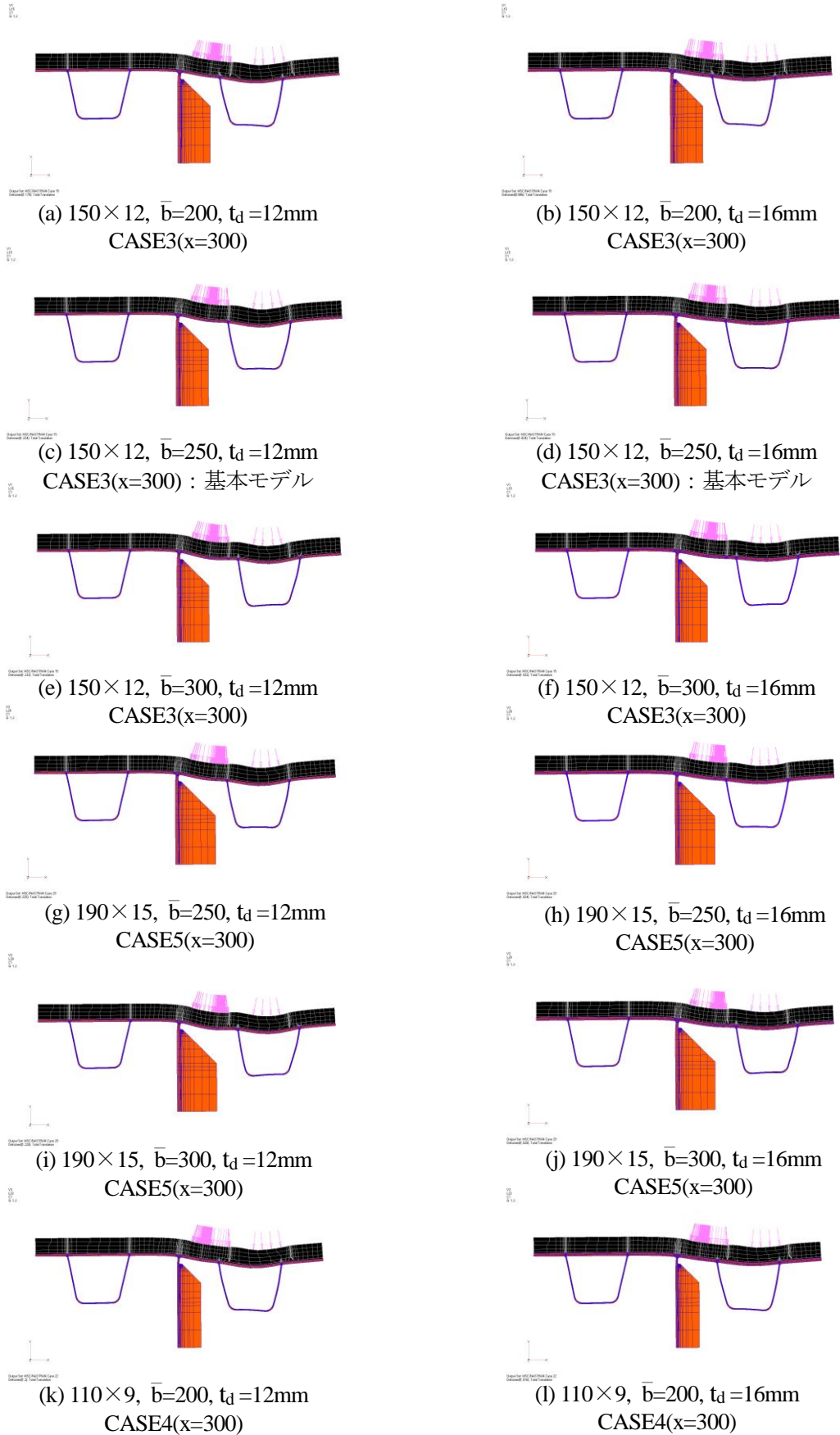


図 - 4.4.8 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最小主応力卓越時) -(1/2)

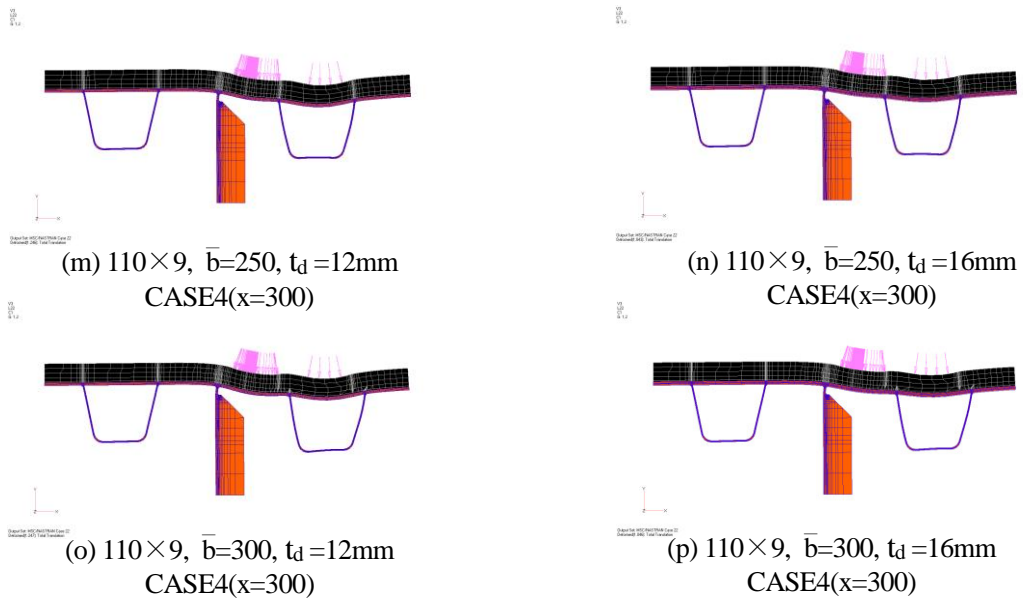


図 - 4.4.8 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最小主応力卓越時) -(2/2)

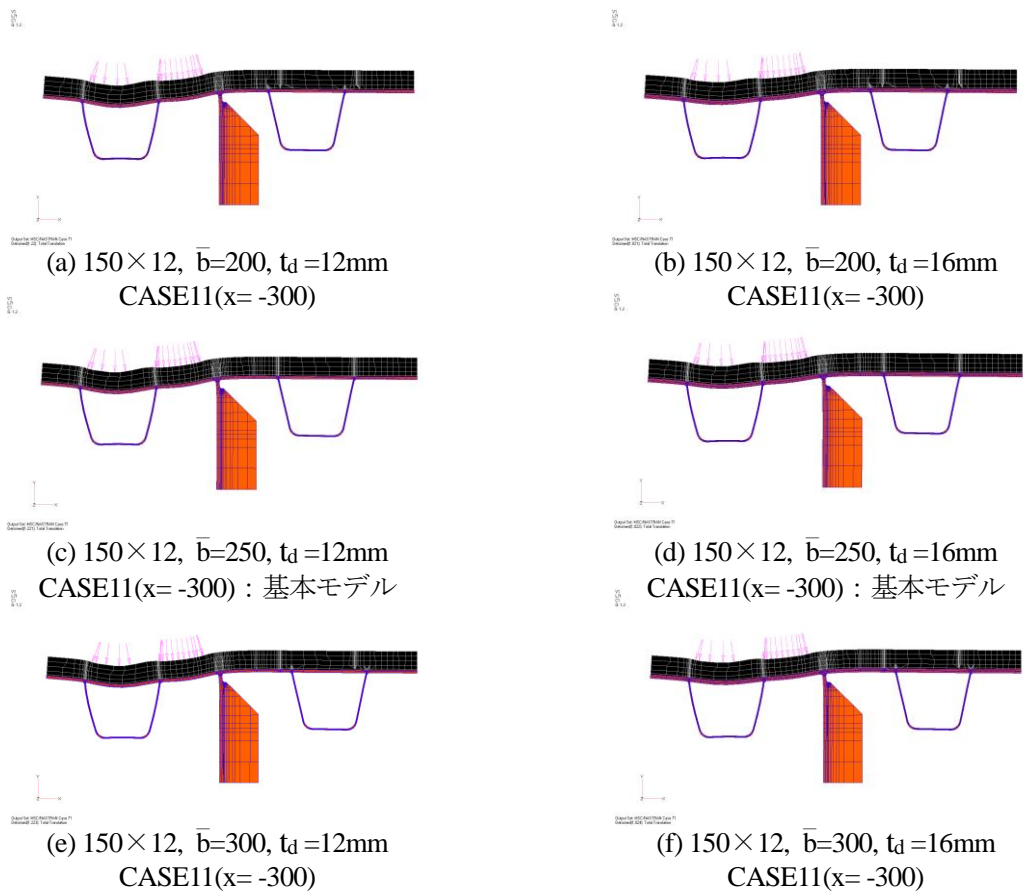


図 - 4.4.9 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最大主応力卓越時) -(1/2)

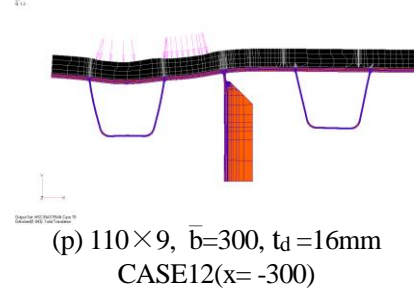
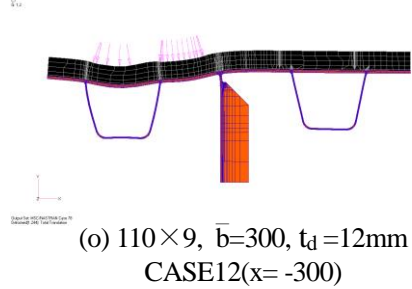
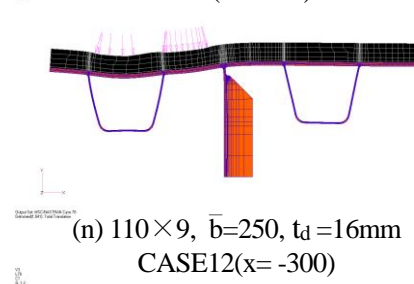
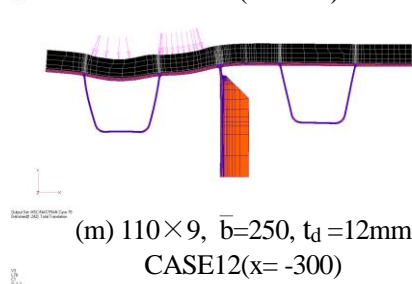
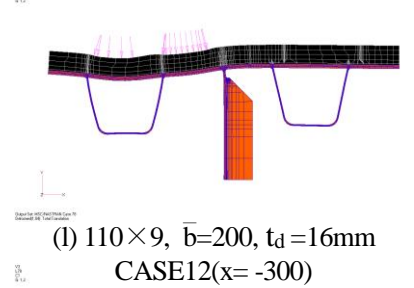
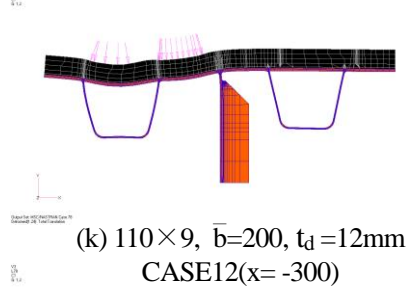
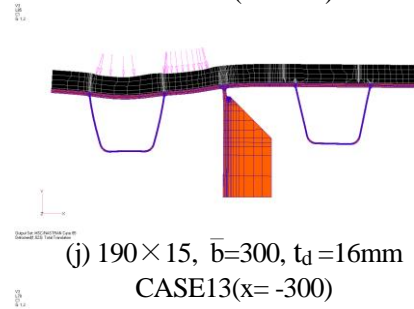
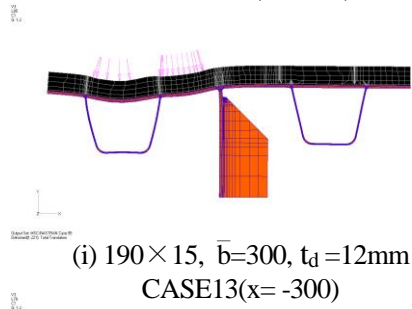
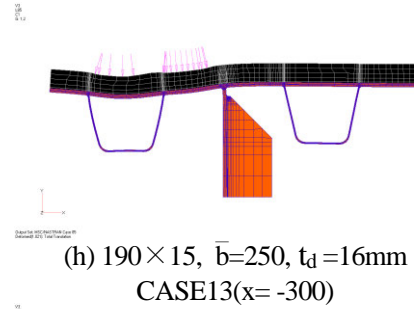
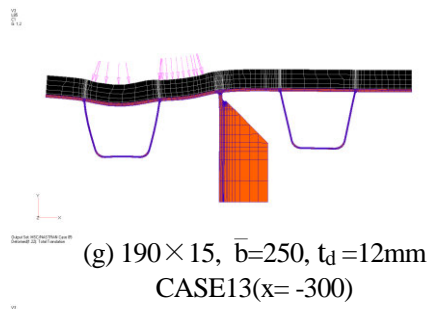
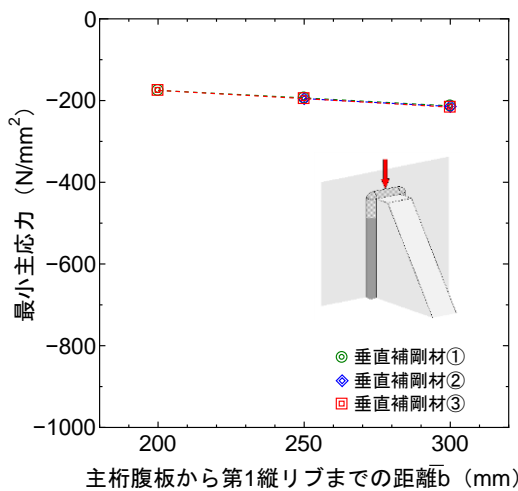


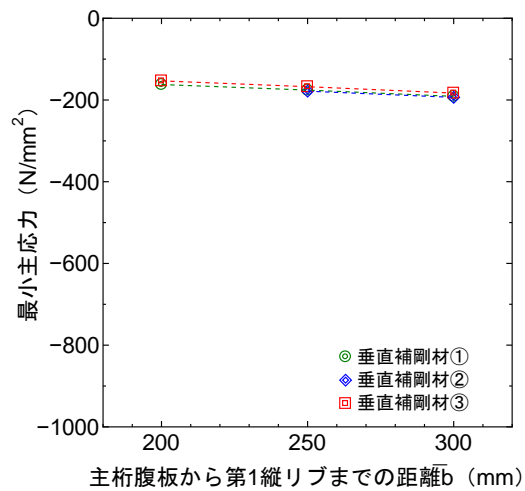
図 - 4.4.9 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最大主応力卓越時) -(2/2)

図 - 4.4.10 に主桁腹板から第1縦リブ間の距離 \bar{b} で整理した各垂直補剛材断面モデルの腹板側止端部における最小の最小主応力と最大の最大主応力を、図 - 4.4.11 に \bar{b} で整理した各垂直補剛材断面モデルの垂直補剛材側止端部における最小の最小主応力と最大の最大主応力を示す。

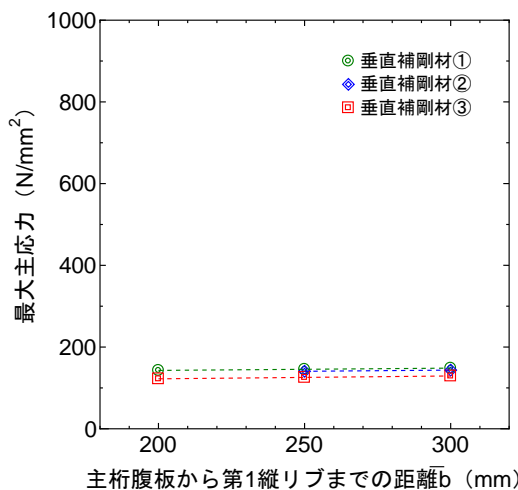
図 - 4.4.10 で腹板側止端部の結果をみると、箱桁内部の荷重で卓越する最小主応力については、 \bar{b} が大きくなると若干ではあるが発生応力も大きくなるのがわかる。そして、発生応力値は垂直補剛材の断面形状によらずほぼ同じである。また、箱桁外部の荷重で卓越する最大主応力については、 \bar{b} の値によらず、発生応力はほぼ同じである。そして、発生応力値は主桁腹板厚 t_w が14mmで同じ垂直補剛材断面①と②ではほぼ同じであるが、主桁腹板厚 t_w が9mmと薄い垂直補剛材断面③では発生応力が若干小さくなるのが確認できる。



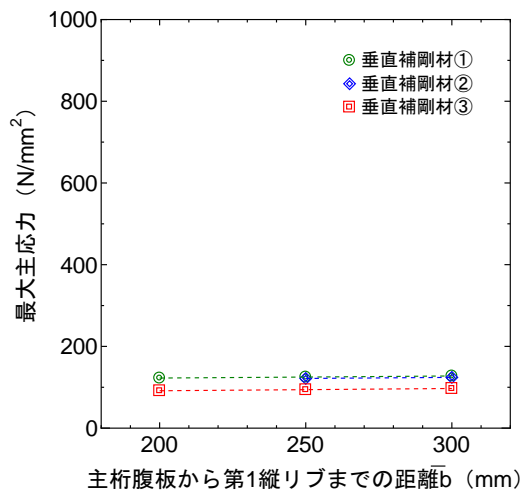
(a) $t_d = 12\text{mm}$ 最小の最小主応力



(b) $t_d = 16\text{mm}$ 最小の最小主応力



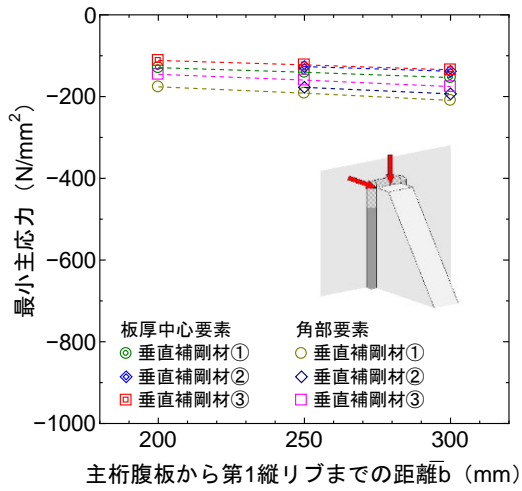
(c) $t_d = 12\text{mm}$ 最大の最大主応力



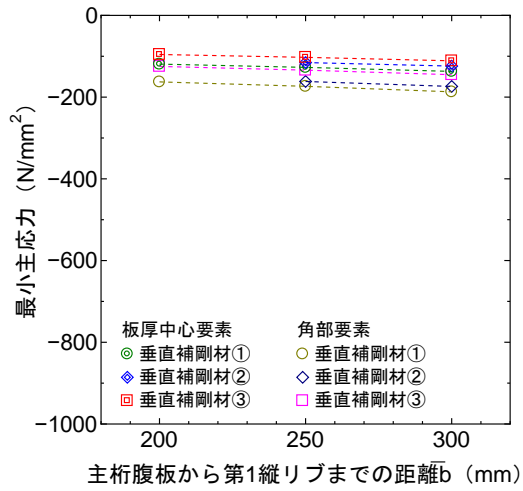
(d) $t_d = 16\text{mm}$ 最大の最大主応力

図 - 4.4.10 \bar{b} で整理した腹板側溶接止端先端要素の主応力

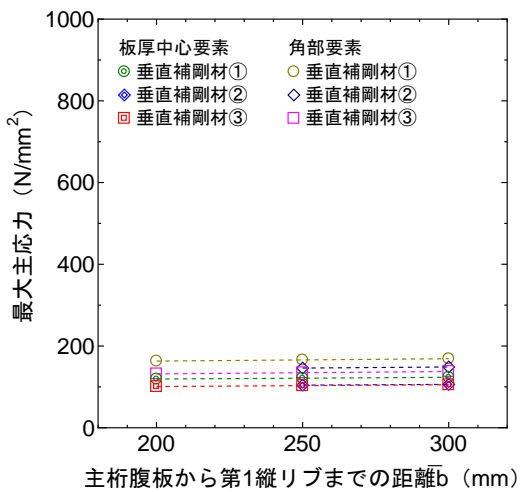
図 - 4.4.11 で垂直補剛材側止端部の結果をみると、最小主応力については、 \bar{b} が大きくなると若干ではあるが発生応力も大きくなるのがわかる。そして、発生応力値は垂直補剛材断面で①>②>③となっている。また、箱桁外部の最大主応力については、 \bar{b} の値によらず、発生応力はほぼ同じである。そして、発生応力値は最小主応力と同様、垂直補剛材断面で①>②>③となっている。



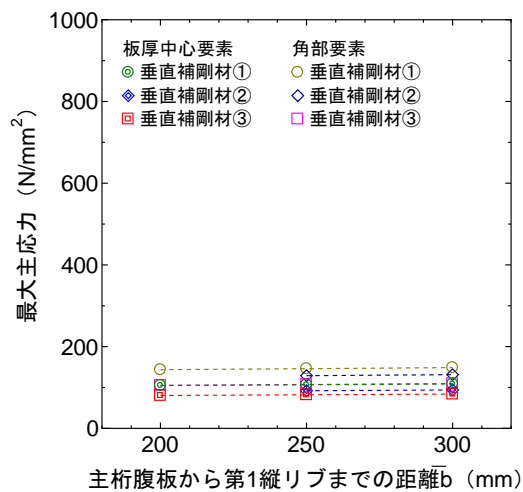
(a) $t_d=12\text{mm}$ 最小の最小主応力



(b) $t_d=16\text{mm}$ 最小の最小主応力



(c) $t_d=12\text{mm}$ 最大の最大主応力



(d) $t_d=16\text{mm}$ 最大の最大主応力

図 - 4.4.11 \bar{b} で整理した垂直補剛材側溶接止端先端要素の主応力

4.4.2 上端カットのギャップ量

上端カットの場合のギャップ量 g は、前章に示した実績では、35mm よりも大きな場合がある。既往の検討をみると、デッキプレート厚は 24mm の場合のモデル試験体のひずみ計測で、ギャップ量 g が 70mm の場合の腹板側止端近傍の鉛直方向ひずみが 35mm の場合の 55%程度まで低減したという報告がある⁴¹⁾。また、 g を 35,50,75mm としたデッキプレート厚が 12mm のモデル試験体のひずみ計測で、 g が 50,75mm の場合の腹板側止端近傍のホットスポット応力が 35mm の場合の半分以下になったという報告もある⁴¹²⁾。しかし、前者はデッキプレート厚がかなり厚いため参考値であると考えられ、後者は特定の荷重位置による検討であり、必ずしも厳しい荷重位置の検討となっていない可能性がある。本項では、基本モデルを対象とし、図 - 4.4.12 に示すように g を 35,50,75mm とした 3 種類の応力性状の違いについて比較、分析を行った。

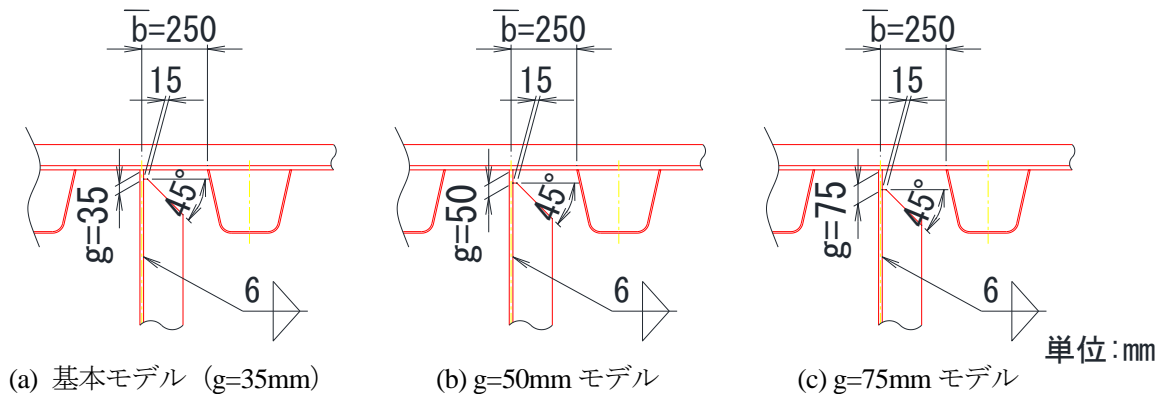


図 - 4.4.12 ギャップ量 g を変化させたモデル

図 - 4.4.13 と図 - 4.4.14 は、 g が 50mm と 75mm のモデルの変形図で、後述の腹板側止端部と垂直補剛材側止端部の最大主応力、あるいは最小主応力が卓越する橋軸直角方向荷重位置 $x=\pm 300\text{mm}$ の着目断面直上載荷時の 50 倍変形図である。図 - 4.3.14(c),(k) と図 - 4.3.15(c),(k) も含めて g の及ぼす影響を確認すると、 g が大きくなってもデッキプレートや開断面リブの変形形状に大きな違いはない。図 - 4.4.15 はデッキプレート厚 12mm と 16mm の g が 35,50,75mm のモデルについて、 g の違いがギャップ部のウェブの面外曲げ状態に及ぼす影響を確認するために、橋軸直角方向荷重位置 $x=300\text{mm}$ あるいは $x=-300\text{mm}$ の着目断面直上載荷時の 200 倍変形図を重ね合わせたものである。重ね合わせ中心は腹板の板厚中心線とデッキプレート下面ラインの交点とした。 g が大きくなると腹板の変形が大きくなる一方で、垂直補剛材溶接部の変形は若干なめらかになること、デッキプレート厚が 12mm から 16mm になると全体的な変形量が小さくなること等が確認できる。

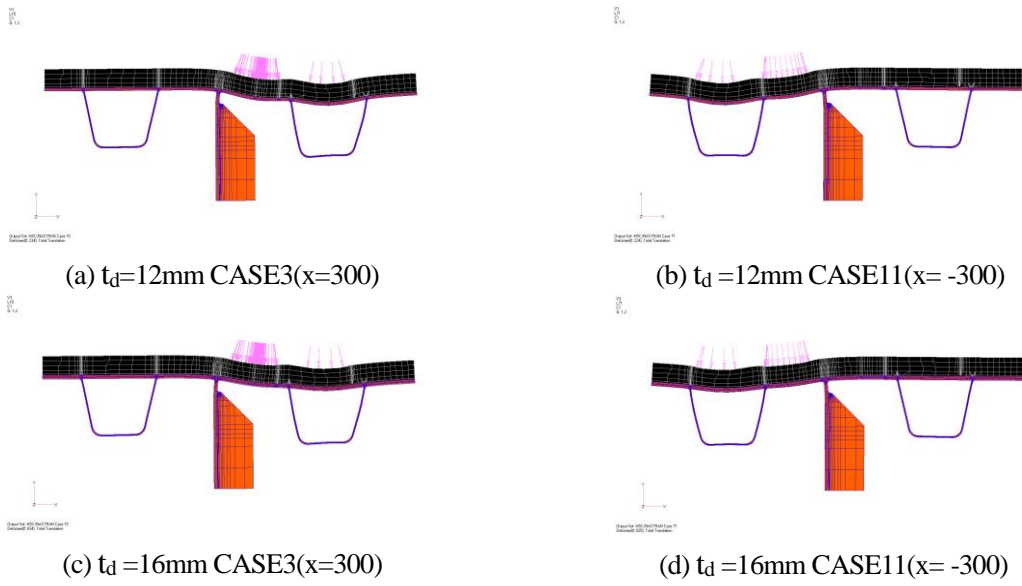


図 - 4.4.13 上端カットモデル $g=50\text{mm}$ 着目断面載荷 50 倍変形図

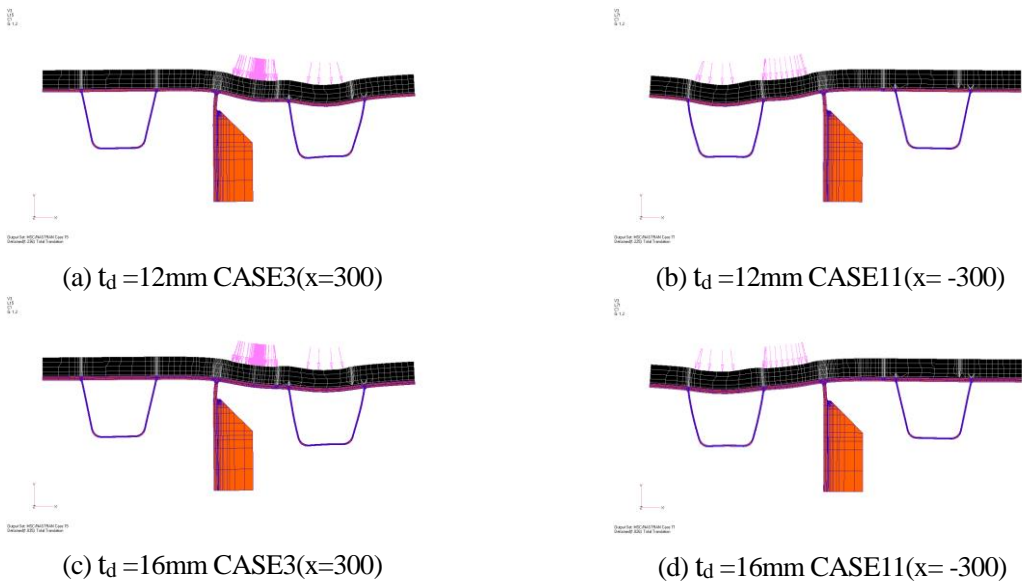


図 - 4.4.14 上端カットモデル $g=75\text{mm}$ 着目断面載荷 50 倍変形図

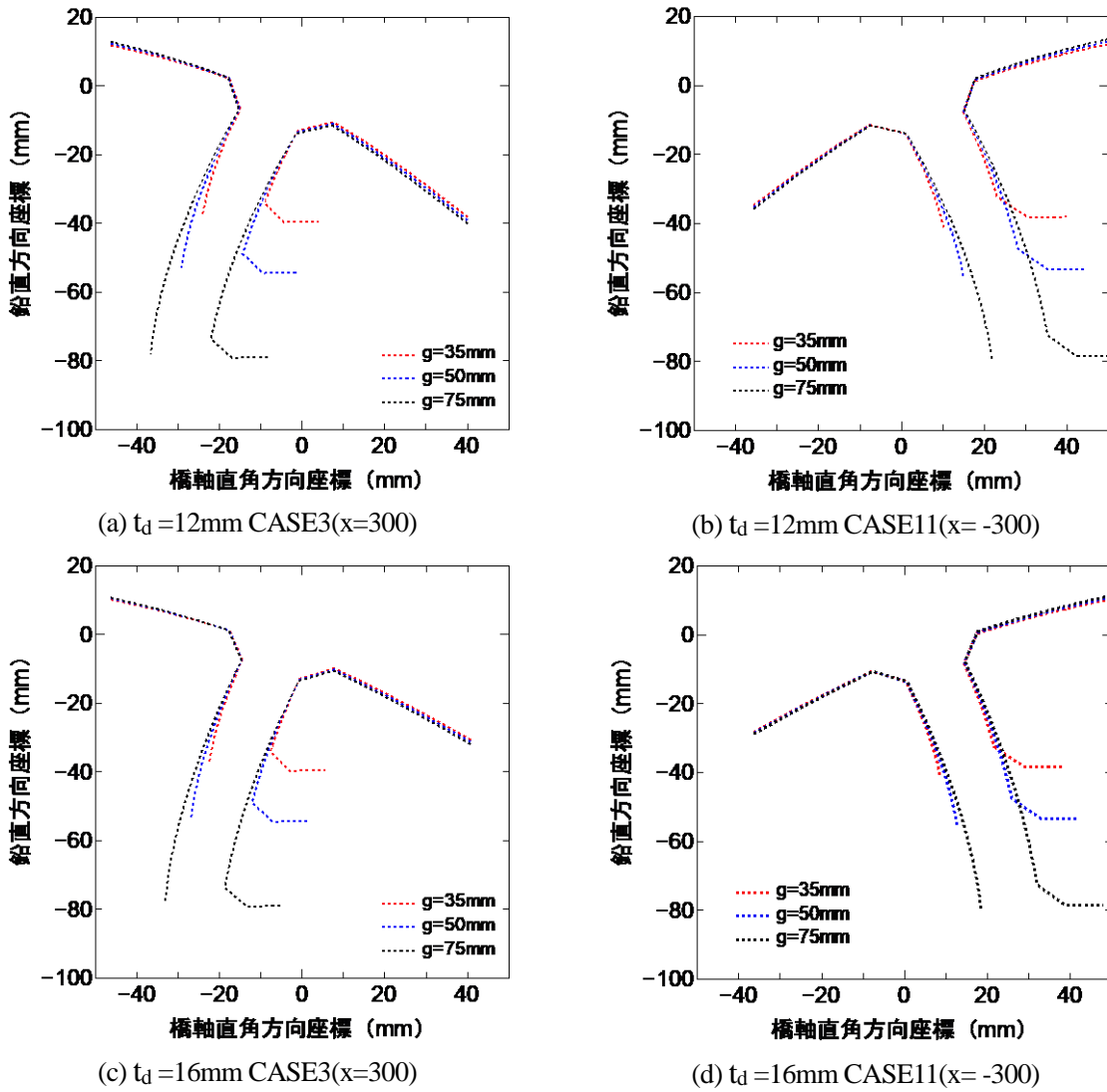
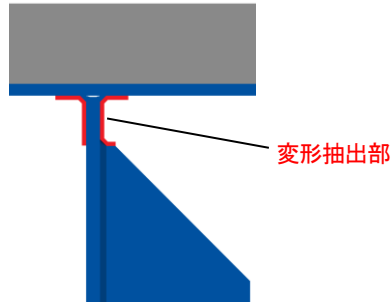


図 - 4.4.15 200倍変形図の比較

図 - 4.4.16 はギャップ量 g が 50mm と 75mm について、主桁腹板側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素における最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲をデッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルに分けて示している。また、図 - 4.4.17 は $g=50\text{mm}$ と 75mm の場合について、

垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲をデッキプレート厚毎に示している。これらの結果をみると、前節に示した $g=35\text{mm}$ の場合と同様、橋軸直角方向荷重位置 $x=\pm 300\text{mm}$ の位置で圧縮、あるいは引張応力が卓越し、値が大きくなることが確認できる。

図 - 4.4.18 は橋軸直角方向の各荷重ケースにおける、主桁腹板側止端部の鉛直方向応力範囲と垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向応力範囲を g で整理した結果である。 g が大きくなると応力が低減されることがわかるが、その割合は荷重走行位置によって異なる。デッキプレート厚 t_d の影響を見ると 12mm よりも 16mm の場合の方が g の増加に伴う応力低減が僅かに大きいとその影響は小さいといえる。基本モデル ($g=35\text{mm}$) の発生応力を 100% とした場合の荷重位置 x が 300mm 位置 (箱桁内部、当該箇所圧縮) での $g=50\text{mm}$, 75mm の場合の応力は、止端位置によらず $g=50\text{mm}$ の場合で 85% 程度、 $g=75\text{mm}$ の場合で 70% 程度である。また、荷重位置 x が -300mm 位置 (箱桁外部、当該箇所引張) 場合は、止端位置によらず $g=50\text{mm}$ の場合で 80% 強、 $g=75\text{mm}$ の場合で 60% 程度である。

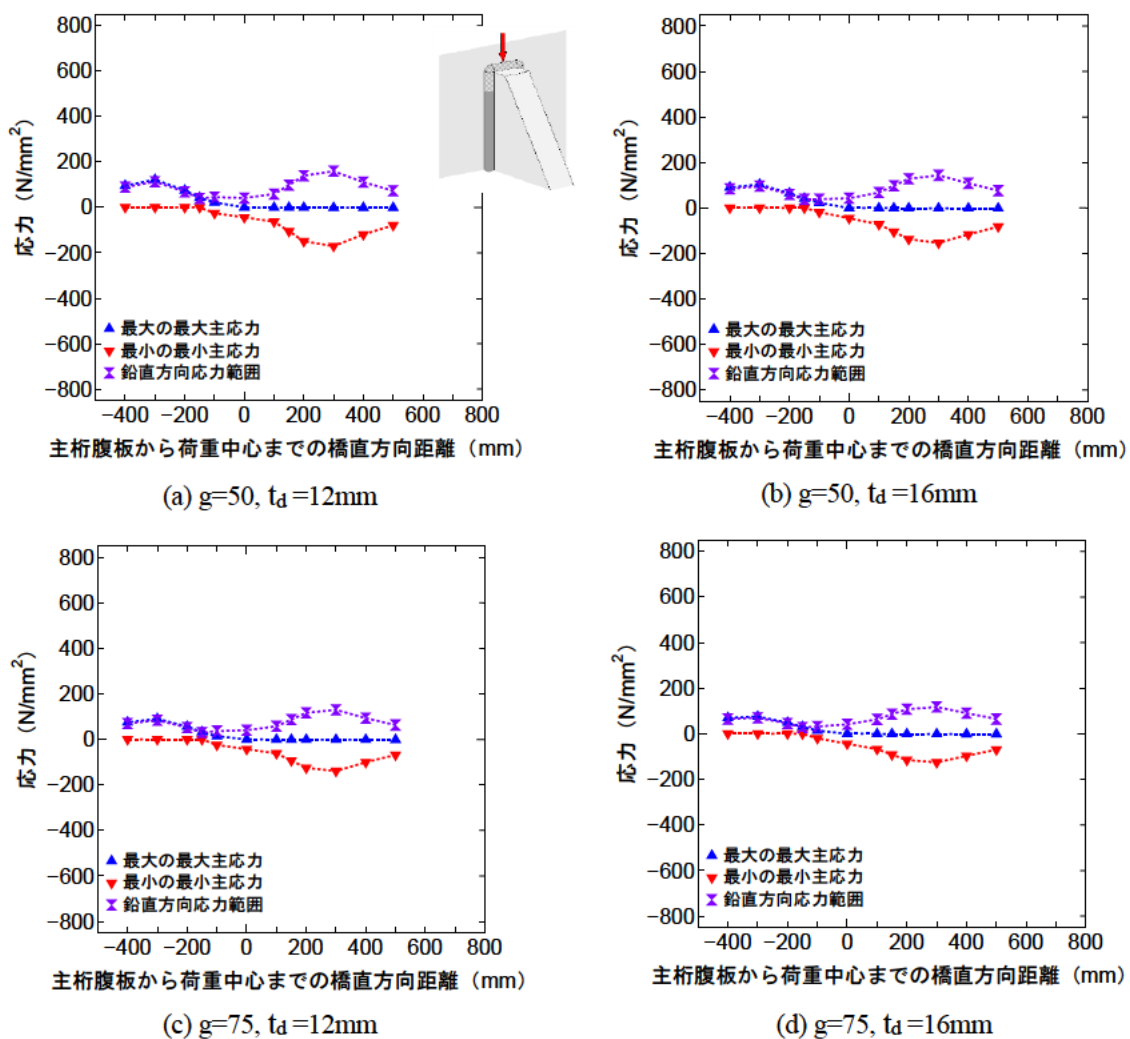
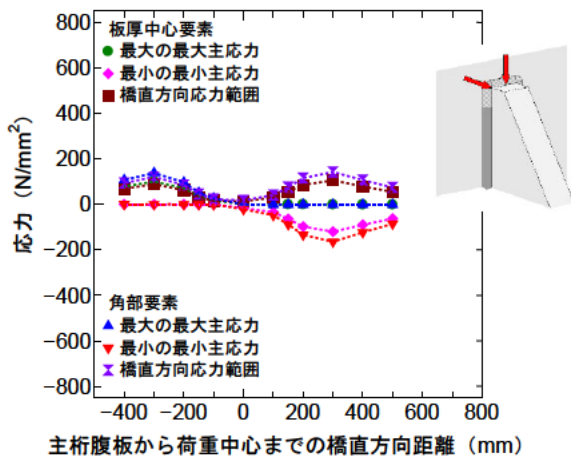
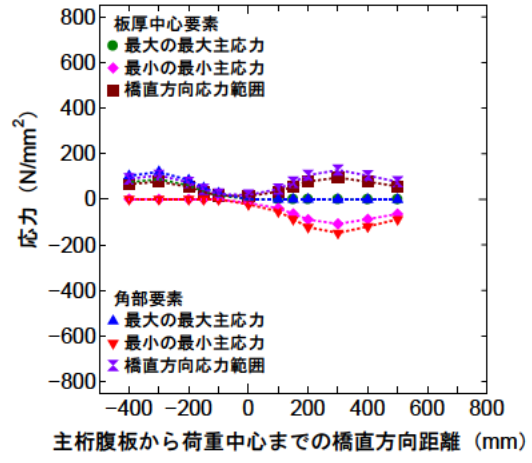


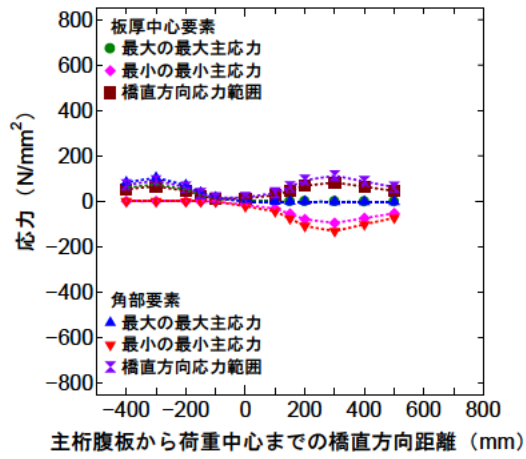
図 - 4.4.16 各橋軸直角方向荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力



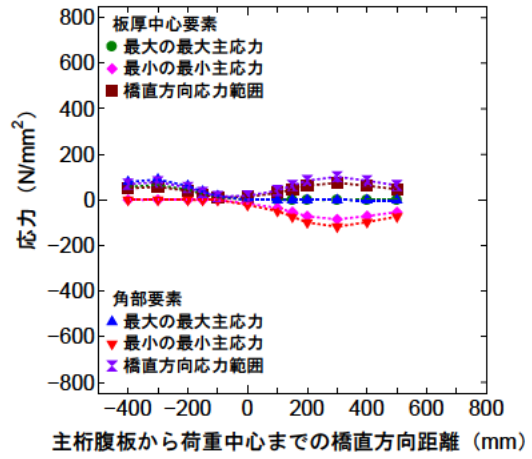
(a) $g=50, t_d=12\text{mm}$



(b) $g=50, t_d=16\text{mm}$



(c) $g=75, t_d=12\text{mm}$



(d) $g=75, t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.17 各橋軸直角方向荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力

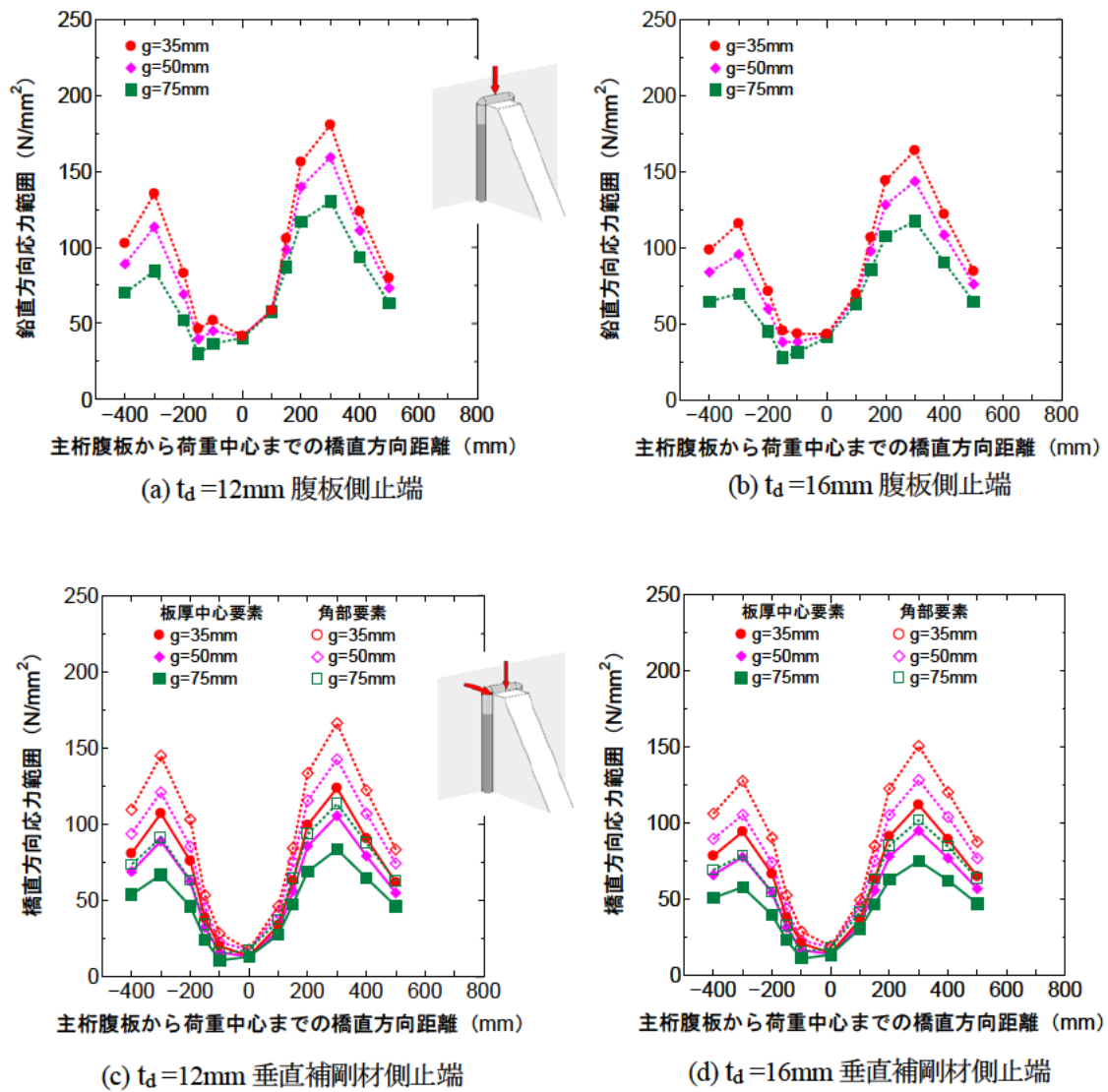


図 - 4.4.18 g 毎の各橋軸直角方向荷重ケースの主桁腹板 - 垂直補剛材溶接止端要素の応力分布

図 - 4.4.19 は橋軸直角方向の各荷重ケースにおける、垂直補剛材近傍に位置する箱桁内外のデッキプレート-主桁腹板溶接のデッキプレート側止端部の橋軸直角方向応力範囲と腹板側止端部の鉛直方向応力範囲を g で整理した結果である。デッキプレート側止端部の発生応力に対する g の影響は小さいことがわかる。また、腹板側止端部については g が大きくなると発生応力が小さくなる傾向が確認できるが、発生応力自体はデッキプレート側止端部に比べて小さい。

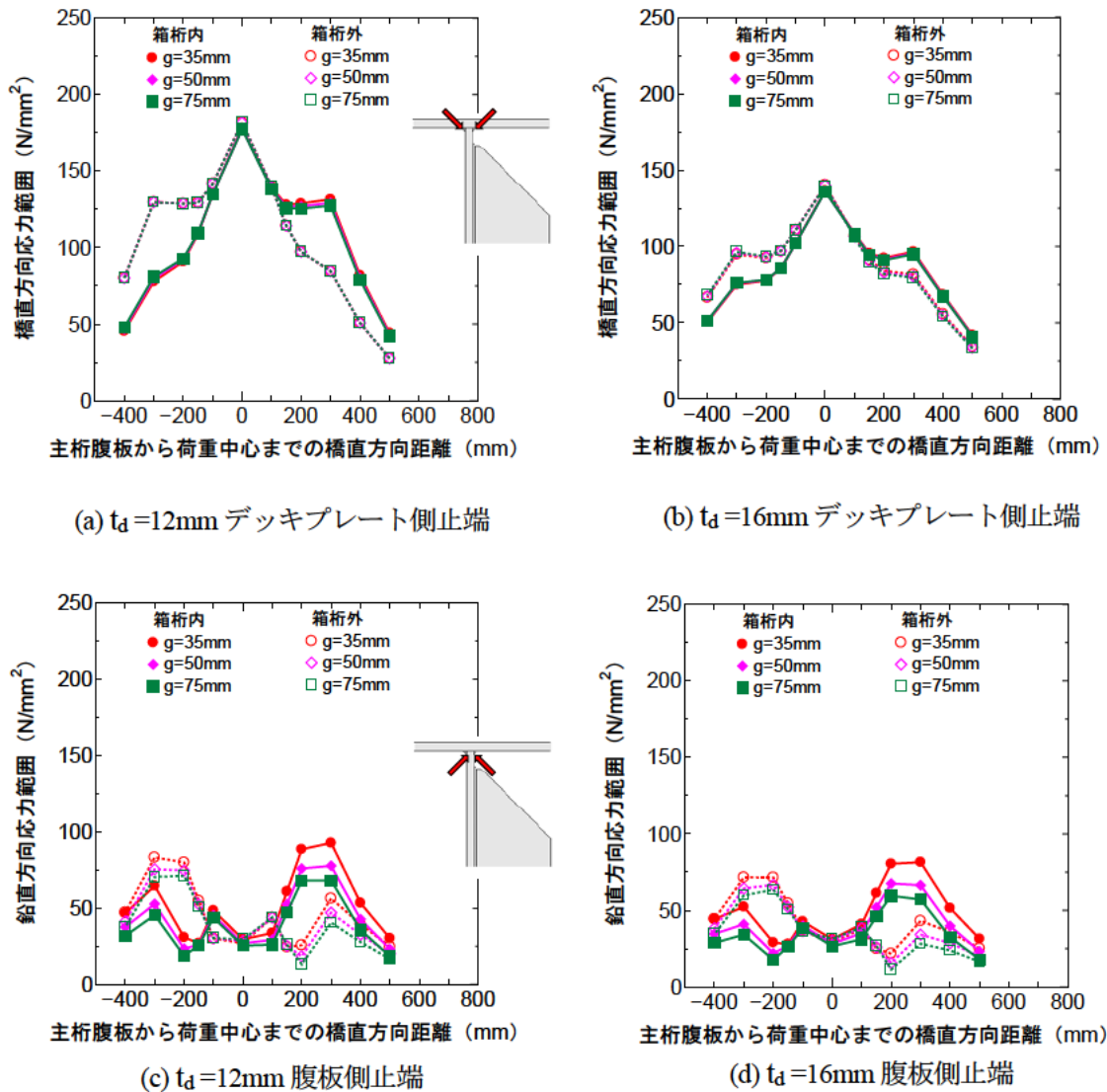


図 - 4.4.19 g 毎の各橋軸直角方向荷重ケースのデッキプレート - 主桁腹板溶接止端要素の応力分布

以上のように、上端カットの場合のギャップ量 g を大きくすると垂直補剛材溶接部やデッキプレート - 主桁腹板溶接線の腹板側の応力が緩和されることがわかる。しかし、次章に示した耐荷力に対する影響を極力小さくすること、 $g=35\text{mm}$ でも十分な応力緩和効果が得られると考えられることから、 $g=35\text{mm}$ を基本に検討を進める。

4.4.3 縦リブ支間長

縦リブ支間長 l は、閉断面リブを適用する場合に一般的な2,500mmと、橋面舗装のひび割れに配慮しデッキプレートの変形を小さくする⁴¹³⁾2,000mm、疲労指針の適用範囲外であるが過去に施工された実績がある3,000mmの3種類である。本項では、主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} が250mmの基本ケースに加え、200mmと300mmの場合についても l の影響を確認した。縦リブ支間長が垂直補剛材溶接部の発生応力に及ぼす影響について検討された事例はないが、阪神高速道路の鋼床版橋で発生したき裂の分析結果⁴⁹⁾をみると、 l が3,000mm前後のき裂発生頻度が多くなる傾向が確認できる。

以下に上端溶接モデルと上端カットモデルに対する l の影響を示す。

(1) 上端溶接モデル

図 - 4.4.20 はデッキプレート側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素における最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を、図 - 4.4.21 は垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を示している。また、図 - 4.4.22 は各止端部における最小の最小主応力が生じる場合の50倍変形図である。デッキプレート側止端部(D)と垂直補剛材側止端部(角部要素、V)で最小の最小主応力が発生する荷重位置が異なるものについては双方の変形図を示している。なお、図 - 4.4.20～図 - 4.4.22 はデッキプレート厚 t_d が12mmと16mm、主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} が250mmケースの結果であり、支間長 $l=2,500$ mmの基本解析モデルの結果も再掲している。

両止端部の縦リブ支間長 l に伴い開断面リブの変形が大きくなり、発生する最大応力の増加が確認できるが、その際の荷重の橋軸直角方向荷重位置は、基本的にはダブルタイヤの左輪の左端が垂直補剛材先端部近傍となる $x=400$ mmのケースである。ただし、デッキプレート側溶接止端では、デッキプレート厚が16mmの場合は12mmの場合と比較して発生応力が小さくなるものの、 $x=400$ mmと $x=500$ mmでの差が小さくなり、 $l=3,000$ mmの場合には若干ではあるが $x=500$ mmの発生応力が大きい。また、垂直補剛材側止端部では、支間長が2,000mmのケースではダブルタイヤの右輪の左端が垂直補剛材先端部近傍となった場合($x=150$ mm)にも小さな極値が確認でき、その傾向はデッキプレートが12mmの場合に強い。これらのことから、デッキプレート側止端部の発生応力には橋軸方向の曲げ剛性も関連しているものと考えられる。

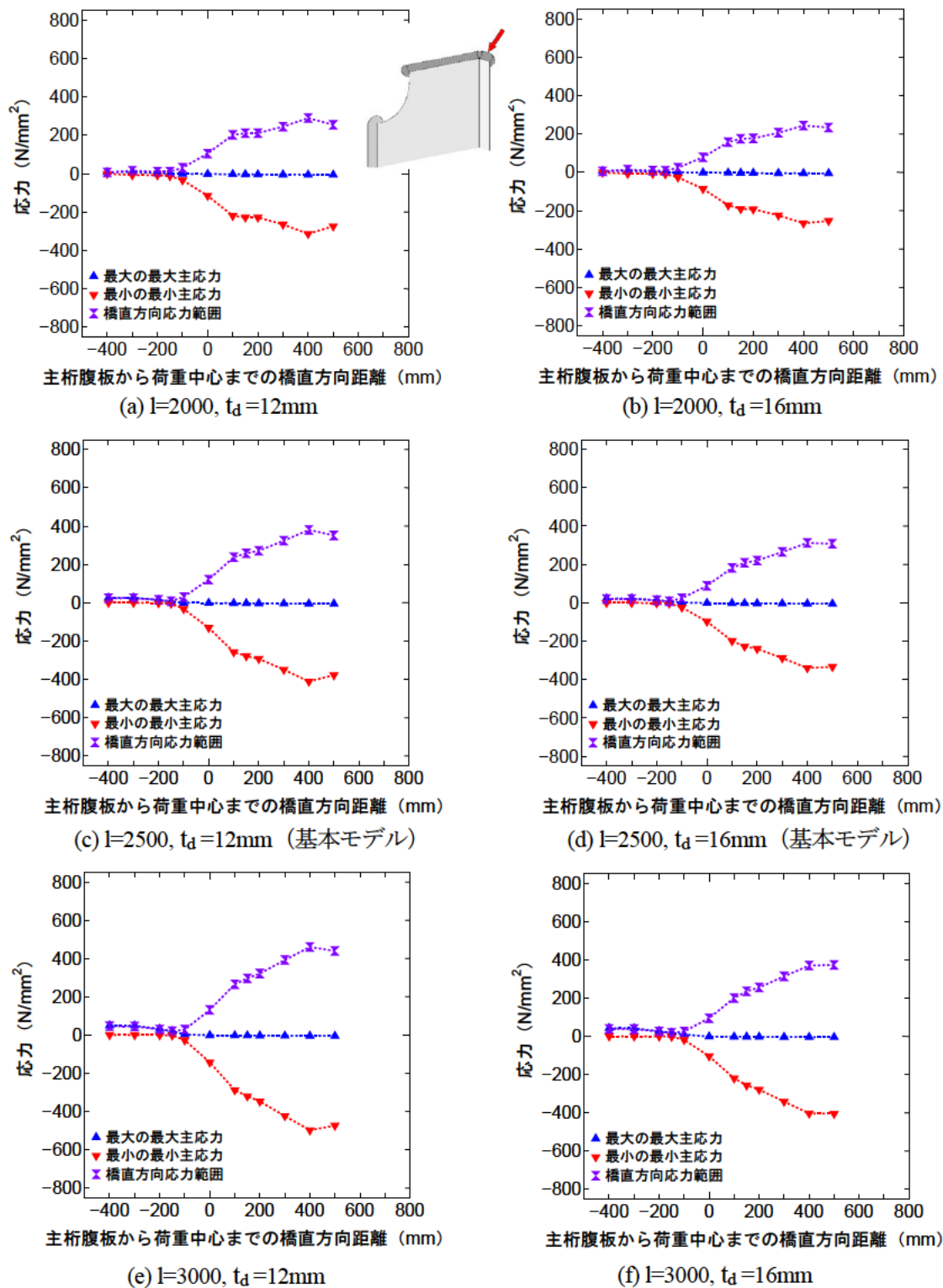


図 - 4.4.20 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力
縦リブ支間長 l の影響 - 上端溶接 ($\bar{b}=250$)

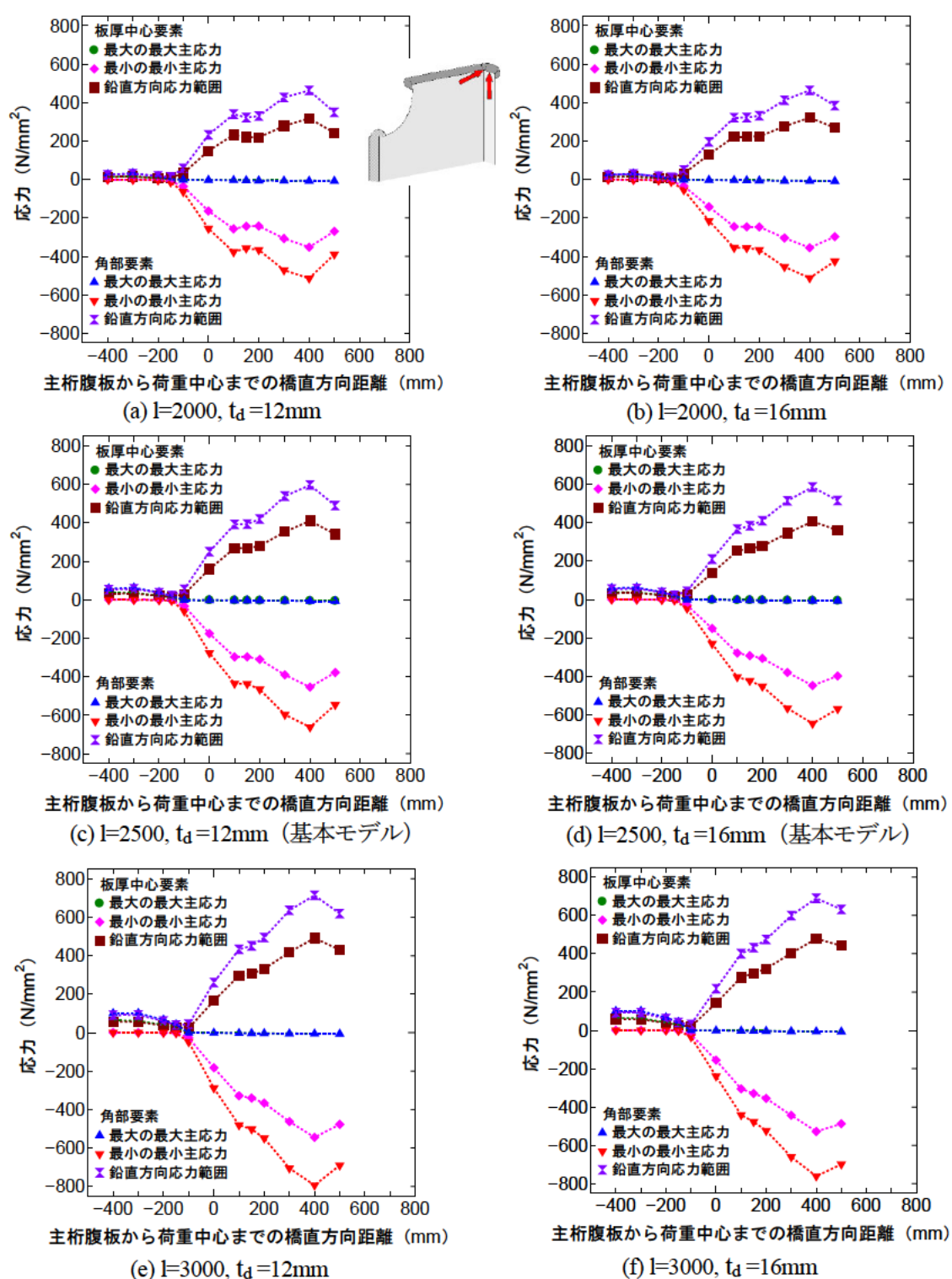


図 - 4.4.21 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
縦リブ支間長1の影響 - 上端溶接 ($\bar{b}=250$)

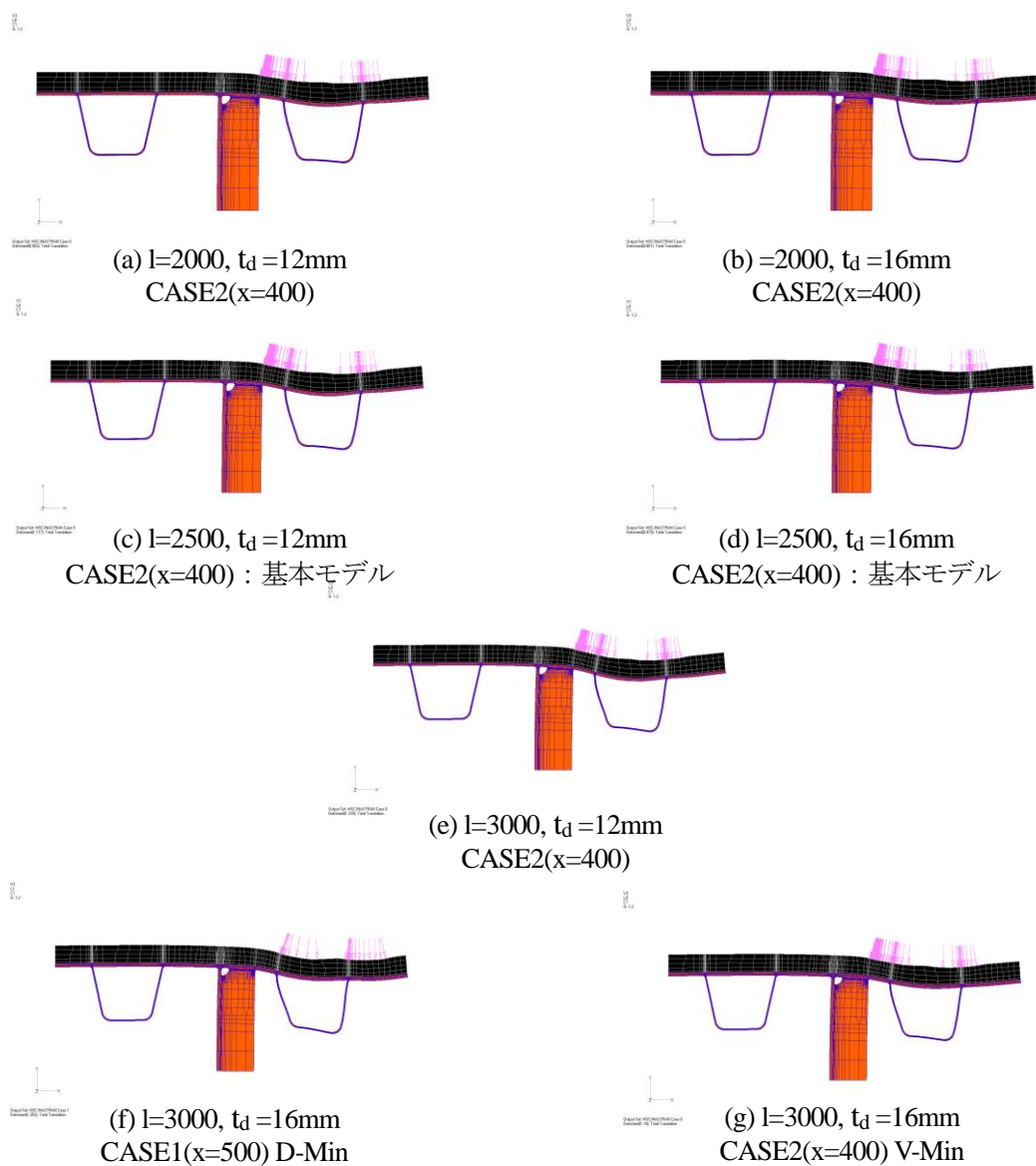


図 - 4.4.22 上端溶接モデル着目断面載荷 50 倍変形図 ($\bar{b}=250, \sigma_3$ 卓越時)

図 - 4.4.23 にデッキプレート厚 t_d 毎に縦リブ支間長 l で整理した、主桁腹板から第 1 縦リブ間の距離 $\bar{b}=200, 250, 300\text{mm}$ の場合のデッキプレート側止端部の最小の最小主応力を、図 - 4.4.24 に同様に整理した垂直補剛材側止端部の最小の最小主応力を示す。

全ての結果で l が増加すると発生応力が線形に増加する傾向があり、増加の割合に対する \bar{b} の影響は小さい。図 - 4.4.23 でデッキプレート側止端部の結果をみると、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、 l が 500mm の増減することにより、発生応力は t_d によらず 20% 程度増減する。また、図 - 4.4.24 の垂直補剛材側止端部の結果をみると、板厚中心要素と角部要素ともに l が $\pm 500\text{mm}$ 変化した場合の発生応力の増減はデッキプレート側止端部とほぼ同じである。

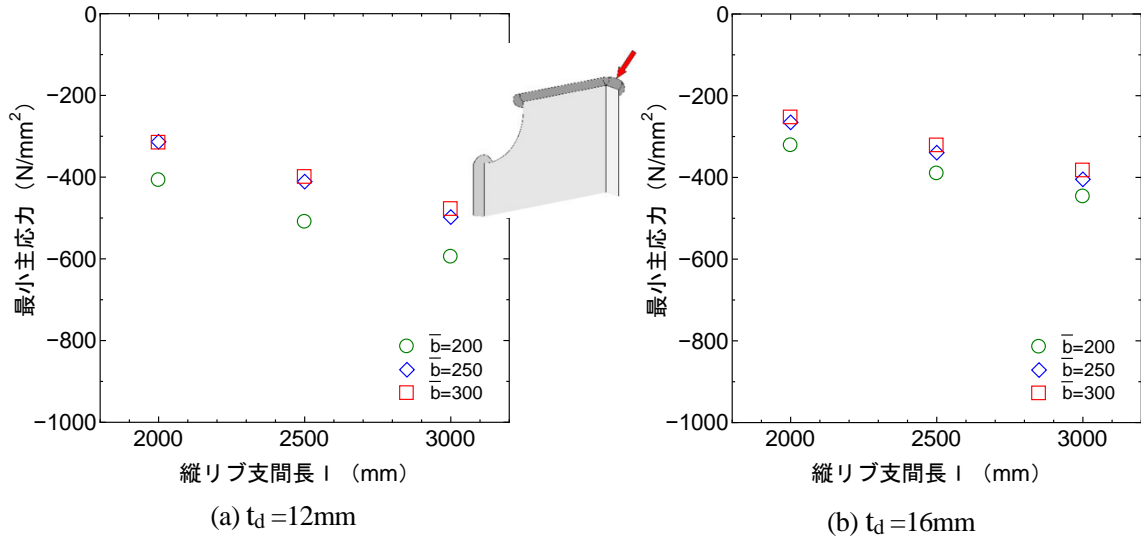


図 - 4.4.23 縦リブ支間長 l で整理したデッキプレート溶接止端先端要素の最小の最小主応力

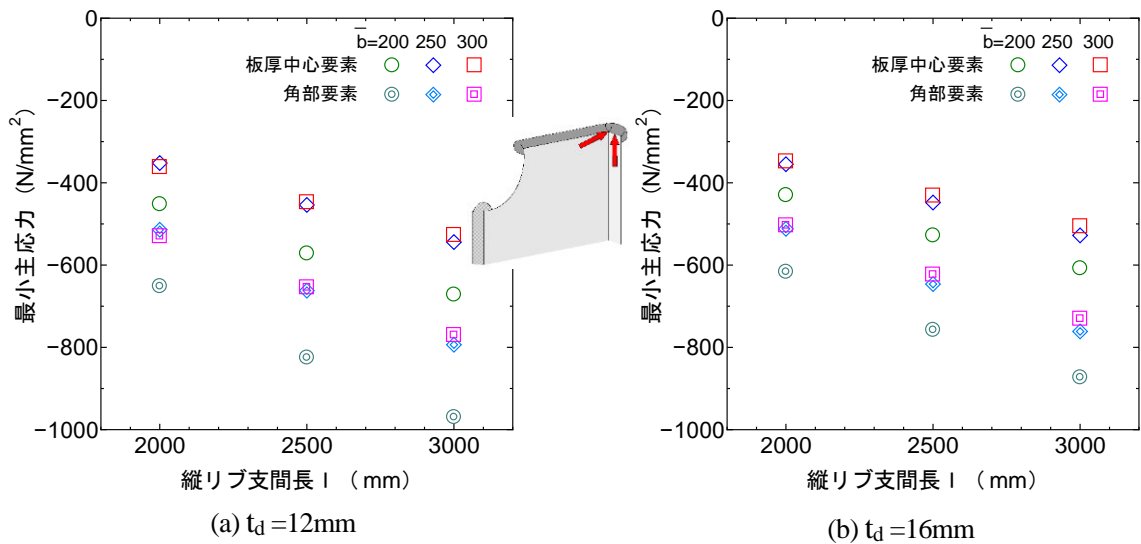


図 - 4.4.24 縦リブ支間長 l で整理した垂直補剛材側溶接止端先端要素の最小の最小主応力

図 - 4.4.25 と図 - 4.4.26 は縦リブ支間長 l が、輪荷重が通過した際の疲労被害に及ぼす影響をデッキプレート厚 t_d 毎に示している。ここでは、前節に示した平均応力の影響は考慮していない。

図 - 4.4.25 は各モデルのデッキプレート側止端部要素の橋軸直角方向と垂直補剛材側止端部角部要素の鉛直方向の最大の応力範囲を 3 乗した疲労被害を 1 で整理した結果であり、図の縦軸は $l=2,500\text{mm}$ 、 $\bar{b}=250\text{mm}$ の基本解析モデルの値に対する割合である。応力値を 3 乗することにより、1 に対する線形性が若干崩れ、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、1 が $\pm 500\text{mm}$ 変化すると、 $l=2,000\text{mm}$ の場合、デッキプレート側、垂直補剛材側ともに疲労被害は -50 % 程度となる。また、 $l=3,000\text{mm}$ の場合、デッキプレート側の疲労被害は +60 ~ 80 % 程度、垂直補剛材側止端部の疲労被害は +60 ~ 70 % 程度となる。なお、これらの傾向は t_d によらずほぼ同じであるが、 $t_d=16\text{mm}$ の場合の増減は若干小さい。

図 - 4.4.26 は各モデルのデッキプレート側止端部要素の橋軸直角方向と垂直補剛材側止端部角部要素の鉛直方向の橋軸方向の応力範囲の分布を用いて、前項に示した走行位置の平均位置 $\mu=0\text{mm}$ （主桁腹板中心）、 150mm （箱桁内）、 -150mm （箱桁外）の疲労被害を求め、1で整理した結果である。図の縦軸は $l=2,500\text{mm}$ 、 $\bar{b}=250\text{mm}$ の基本解析モデルの値に対する割合である。

1の影響は疲労被害が大きくなる $\mu=150\text{mm}$ 、 0mm 、 -150mm の順に大きくなることが確認できる。最も影響の大きい $\mu=150\text{mm}$ の結果では、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対して1が $\pm 500\text{mm}$ 変化すると、 $l=2,000\text{mm}$ の場合、デッキプレート側、垂直補剛材側ともに疲労被害は $-40\sim 50\%$ 程度となる。また、 $l=3,000\text{mm}$ の場合、デッキプレート側の疲労被害は $+50\sim 70\%$ 程度、垂直補剛材側止端部の疲労被害は $+50\sim 60\%$ 程度となる。一方で、最も影響の小さい $\mu=-150\text{mm}$ の結果では、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、 $l=2,000\text{mm}$ の場合、デッキプレート側、垂直補剛材側ともに疲労被害は $-30\sim 40\%$ 程度となる。また、 $l=3,000\text{mm}$ の場合、デッキプレート側の疲労被害は $+30\sim 50\%$ 程度、垂直補剛材側止端部の疲労被害は $+30\sim 40\%$ 程度となる。なお、これらの傾向は t_d によらずほぼ同じである。

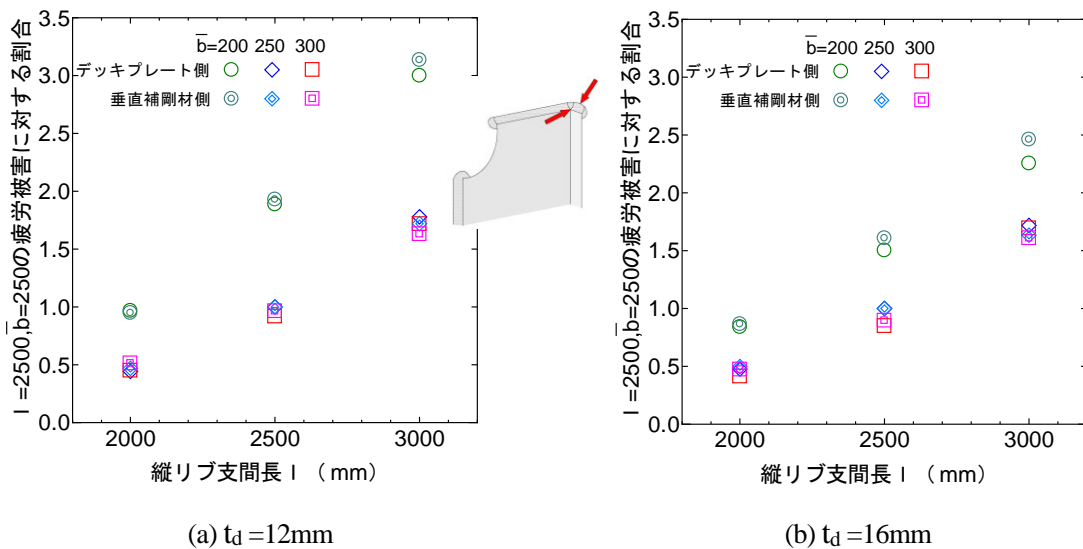
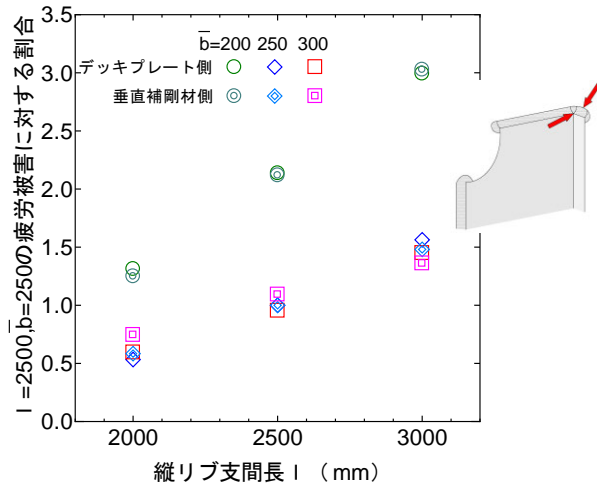
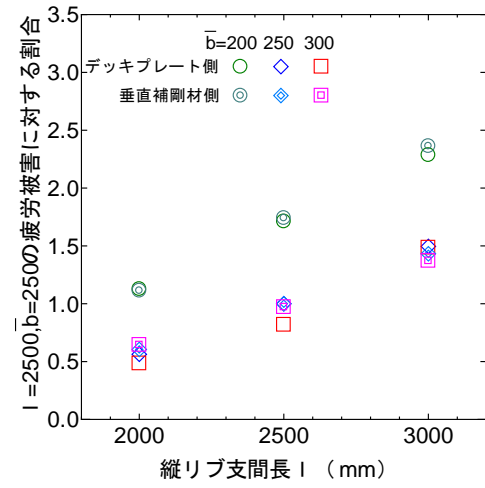


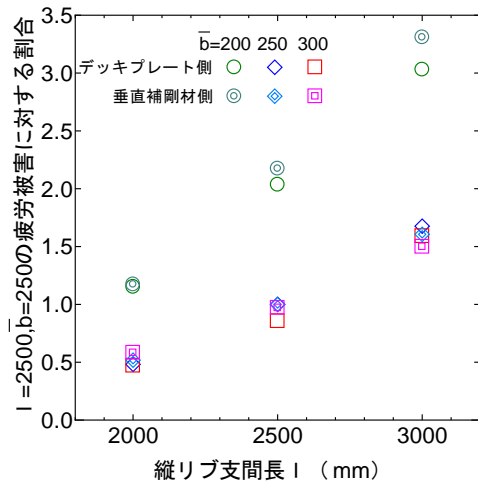
図 - 4.4.25 縦リブ支間長 l が疲労被害に及ぼす影響（最大応力範囲 $\Delta\sigma_{\max}^3$ ）



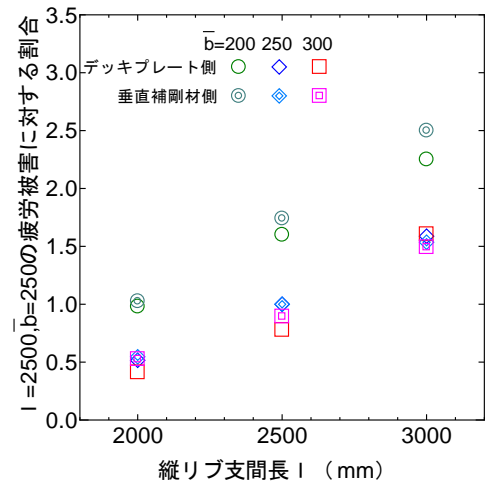
(a) $\mu=0\text{mm}$ 位置 $t_d=12\text{mm}$



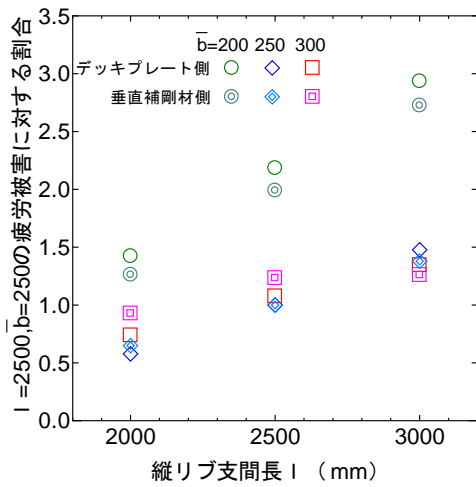
(b) $\mu=0\text{mm}$ 位置 $t_d=16\text{mm}$



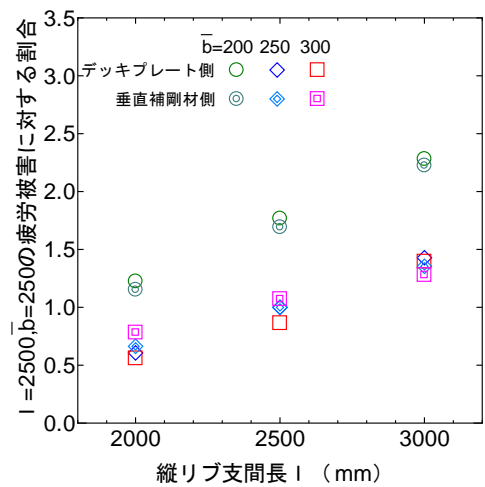
(c) $\mu=150\text{mm}$ 位置 $t_d=12\text{mm}$



(d) $\mu=150\text{mm}$ 位置 $t_d=16\text{mm}$



(e) $\mu=-150\text{mm}$ 位置 $t_d=12\text{mm}$



(f) $\mu=-150\text{mm}$ 位置 $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.26 縦リブ支間長 l が疲労被害に及ぼす影響 (走行位置考慮)

図 - 4.4.27 はデッキプレート厚 t_d 毎に縦リブ支間長 l で整理した、デッキプレート - 主桁腹板溶接部の主桁腹板から第 1 縦リブ間の距離 $\bar{b}=200,250,300\text{mm}$ の場合の主応力である。図中の箱内 σ_1 とは引張応力が卓越する箱桁内部の腹板側止端部の最大の最大主応力、箱外 σ_3 とは圧縮応力が卓越する残り 3 カ所の溶接止端部のうち、最も発生応力が大きい箱桁外部のデッキプレート側止端部の最小の最小主応力である。

最大の最大主応力、最小の最小主応力ともに l が 2,500mm から 500mm 増減すると 10%程度増減することがわかる。これらの影響の度合いは $t_d=16\text{mm}$ の場合が $t_d=12\text{mm}$ の場合と比較して若干大きい。なお、 l の増減が発生応力に及ぼす影響は \bar{b} が大きくなると若干大きくなるが、 \bar{b} の影響は小さいといえる。

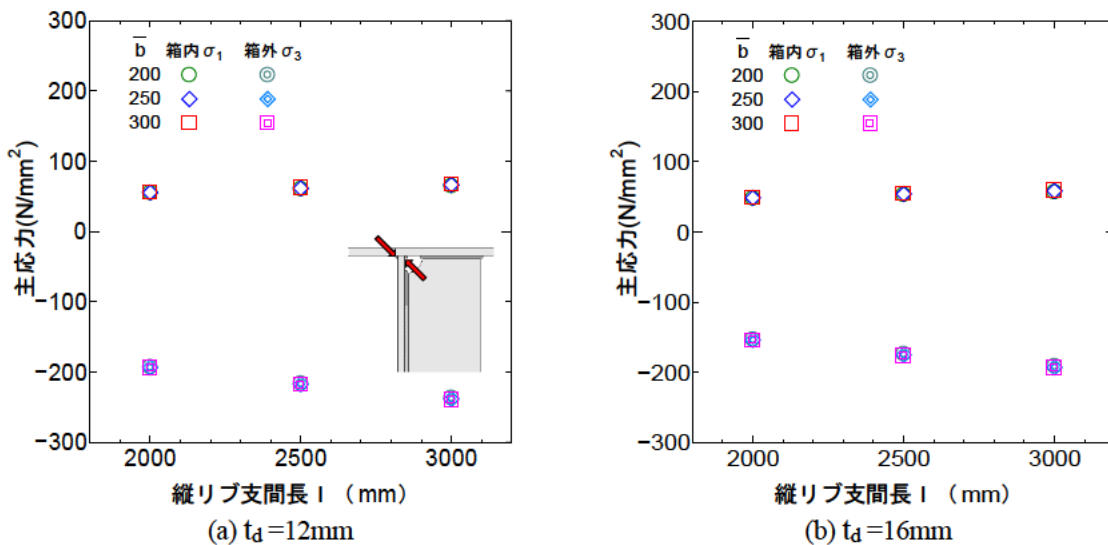


図 - 4.4.27 縦リブ支間長 l で整理したデッキプレート - 主桁腹板溶接部の主応力

図 - 4.4.28 はデッキプレート厚 t_d 毎に縦リブ支間長 l で整理した、スカラップ溶接部の主桁腹板から第 1 縦リブ間の距離 $\bar{b}=200,250,300\text{mm}$ の場合の主応力である。4 箇所の溶接止端部のうち図中のデッキ部補剛材側止端 σ_1 とは最も大きい引張応力が発生するデッキプレート側回し溶接部の垂直補剛材側止端部の最大の最大主応力、腹板部補剛材側止端 σ_3 とは最も大きい圧縮応力が発生する腹板側回し溶接部の垂直補剛材側止端部の最小の最小主応力である。

最大の最大主応力は l が 2,500mm に対して $l=2,000\text{mm}$ の場合には -13~15%程度となり、 $l=3,000\text{mm}$ の場合には +12~13%程度となる。最小の最小主応力は l が 2,500mm に対して $l=2,000\text{mm}$ の場合には -6~10%程度となり、 $l=3,000\text{mm}$ の場合には +7~8%程度となる。これらの影響の度合いは $t_d=16\text{mm}$ の場合が $t_d=12\text{mm}$ の場合と比較して若干大きい。なお、 l の増減が発生応力に及ぼす影響は \bar{b} が大きくなると若干大きくなるが、 \bar{b} の影響は小さいといえる。

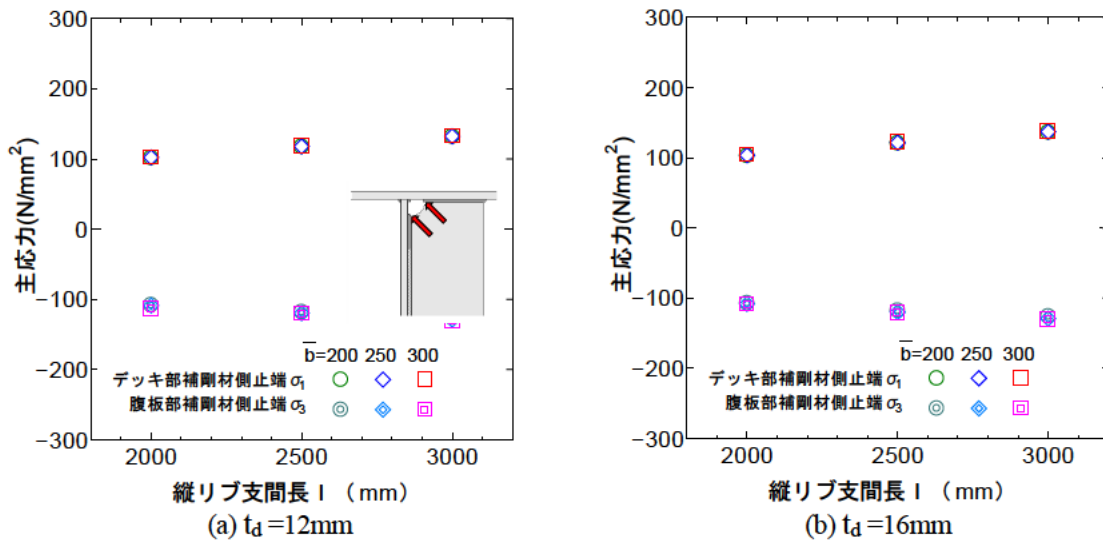


図 - 4.4.28 縦リブ支間長 l で整理したスカラップ溶接部の主応力

(2) 上端カットモデル

図 - 4.4.29 は主桁腹板側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素の最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を、図 - 4.4.30 は垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素の、最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を示している。また、図 - 4.4.31 は各止端部における最小の最小主応力、図 - 4.4.32 は各止端部における最大の最大主応力が生じる場合の50倍変形図である。なお、図 - 4.4.29～図 - 4.4.32はデッキプレート厚 t_d が12mmと16mm、主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} が250mm ケースの結果であり、支間長 $l=2,500\text{mm}$ の基本解析モデルの結果も再掲している。

両止端部に発生する最大応力は縦リブ支間長の増加により若干増加するが、その際の橋軸直角方向荷重位置は、圧縮側で $x=300\text{mm}$ 、引張側で $x=-300\text{mm}$ と基本ケースと同様であり、上端カットモデルでは上端溶接モデルと比較して支間長 l が発生応力に及ぼす影響が小さい。

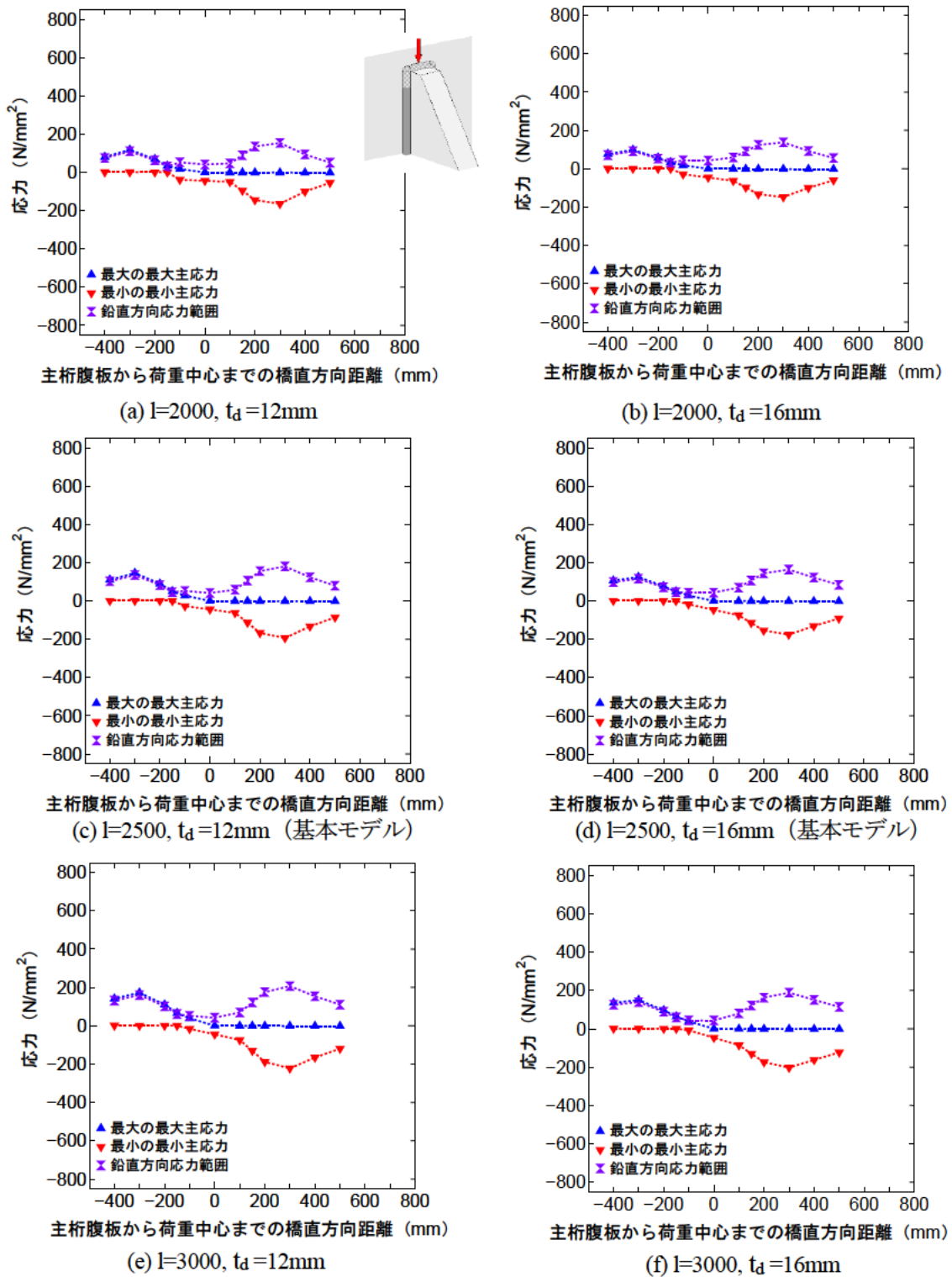


図 - 4.4.29 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
縦リブ支間長の影響 - 上端カット ($\bar{b}=250$)

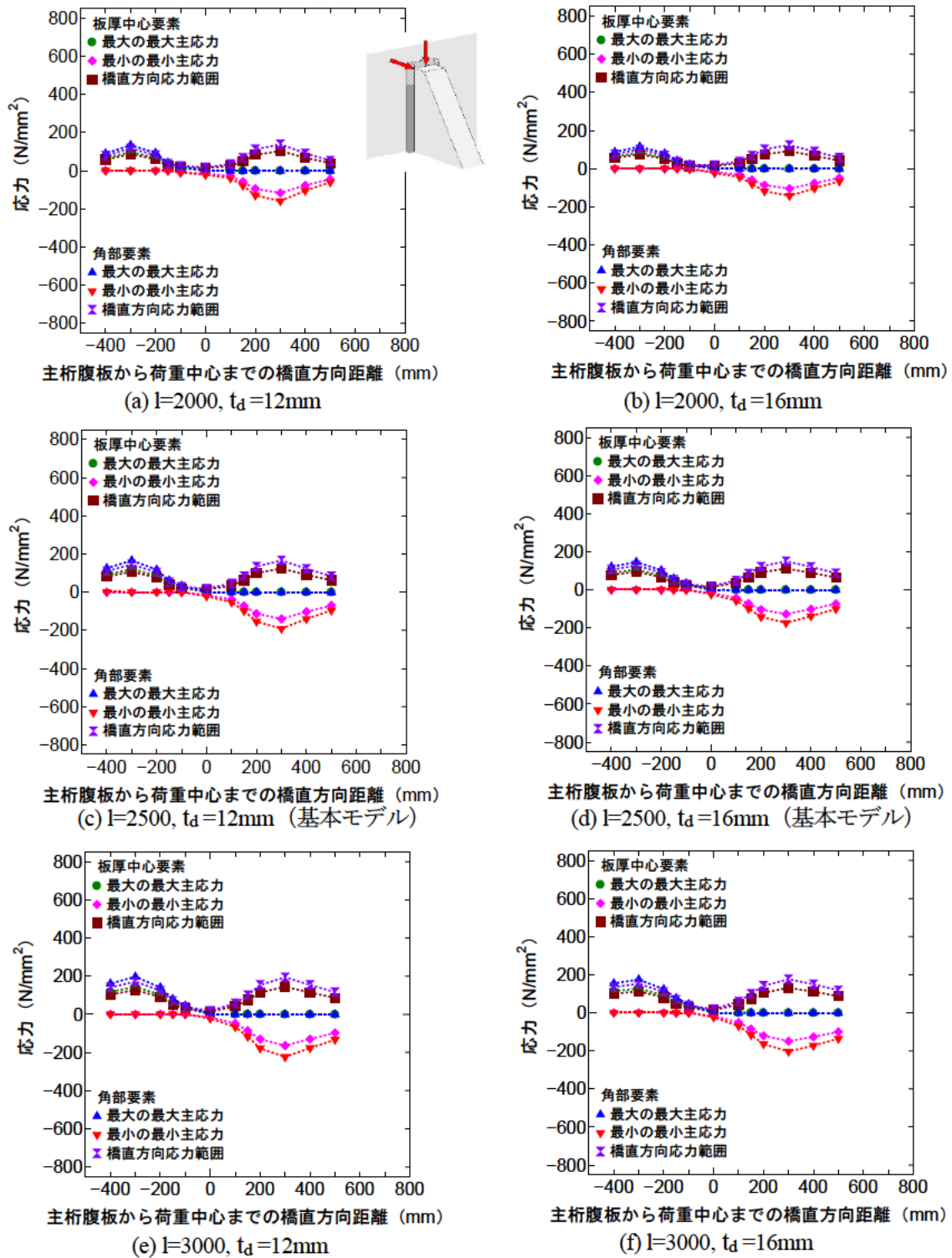


図 - 4.4.30 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
縦リブ支間長の影響 - 上端カット ($\bar{b}=250$)

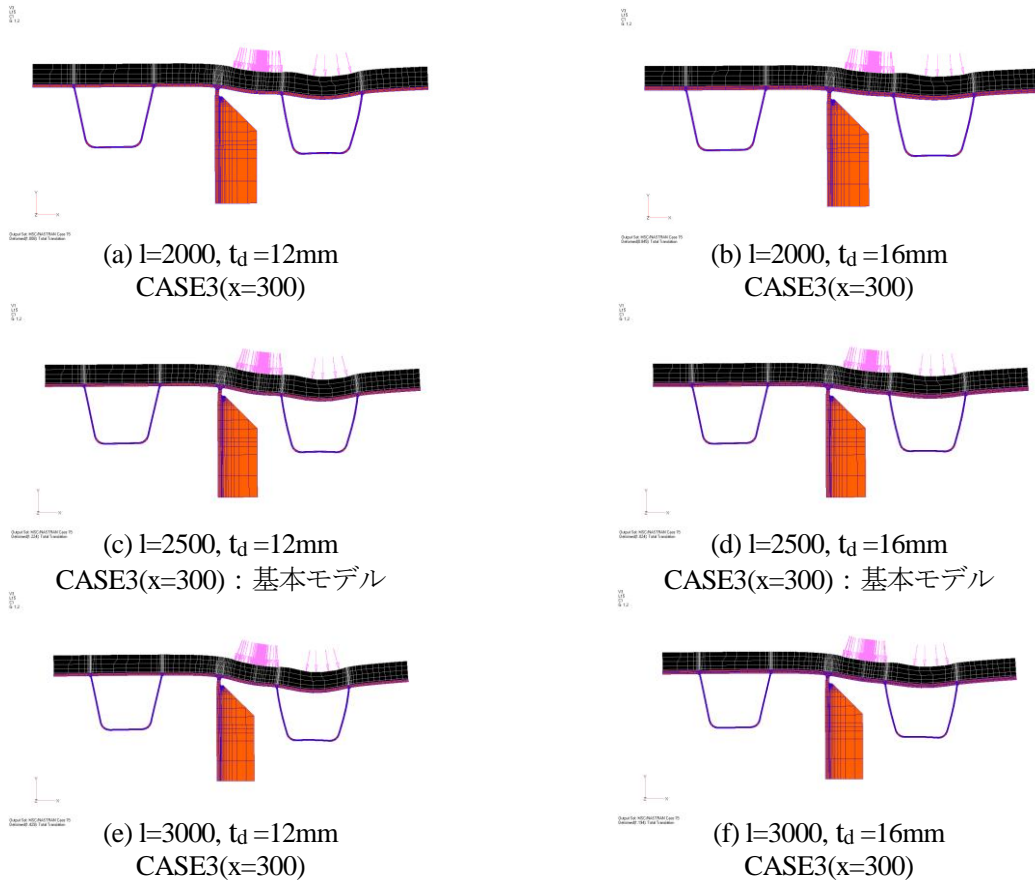


図 - 4.4.31 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 ($b=250, \sigma_3$ 卓越時)

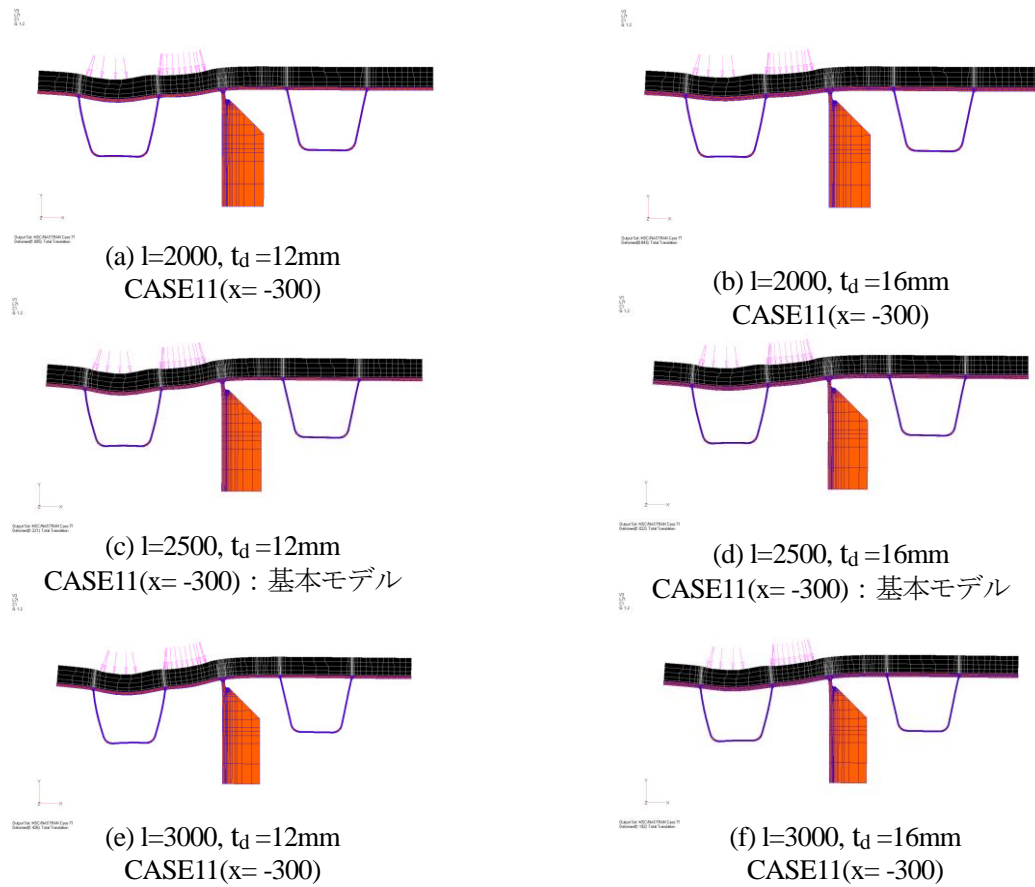


図 - 4.4.32 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 ($b=250, \sigma_1$ 卓越時)

図 - 4.4.33 と図 - 4.4.34 にデッキプレート厚 t_d 毎に縦リブ支間長 l で整理した、主桁腹板から第 1 縦リブ間の距離 $\bar{b}=200,250,300\text{mm}$ の場合の腹板側止端部の最小の最小主応力と最大の最大主応力を、図 - 4.4.35 と図 - 4.4.36 に同様に整理した垂直補剛材側止端部の最小の最小主応力と最大の最大主応力を示す。

l 以外の諸元を変えた全ケースにおいて、 l が増加すると発生応力が線形に増加する傾向がある。また、最小の最小主応力では \bar{b} が大きくなると、 l の影響度合いが小さくなるが、最大の最大主応力では \bar{b} の影響は小さい。

最小の最小主応力について、図 - 4.4.33 で腹板側止端部の結果をみると、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、 l が 500mm の増減することにより、発生応力は $t_d=12\text{mm}$ の場合には $12\sim 18\%$ 程度増減し、 $t_d=16\text{mm}$ の場合には $14\sim 18\%$ 程度増減する。図 - 4.4.35 で垂直補剛材側止端部の結果をみると、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、 l が 500mm の増減することにより、発生応力は $t_d=12\text{mm}$ の場合には $14\sim 20\%$ 程度増減し、 $t_d=16\text{mm}$ の場合には $15\sim 20\%$ 程度増減する。

最大の最大主応力について、図 - 4.4.34 と図 - 4.4.36 で腹板側溶接止端と垂直補剛材側止端部の結果をみると、双方とも \bar{b} の値によらず、 l が $\pm 500\text{mm}$ 変化した場合の発生応力の増減は 20% 程度である。そして、 t_d の l の影響度合いに及ぼす影響は $t_d=16\text{mm}$ の場合に若干ではあるが、大きい。

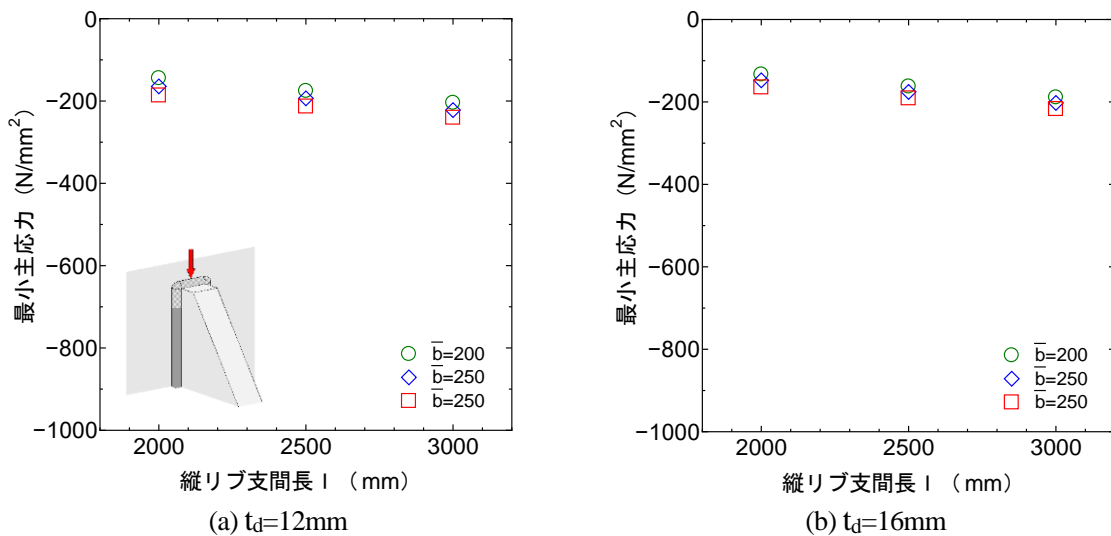
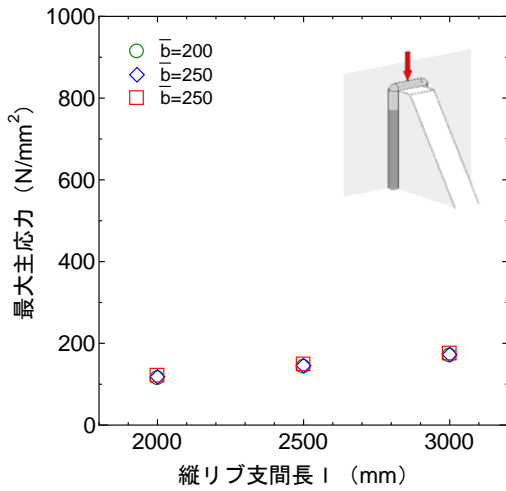
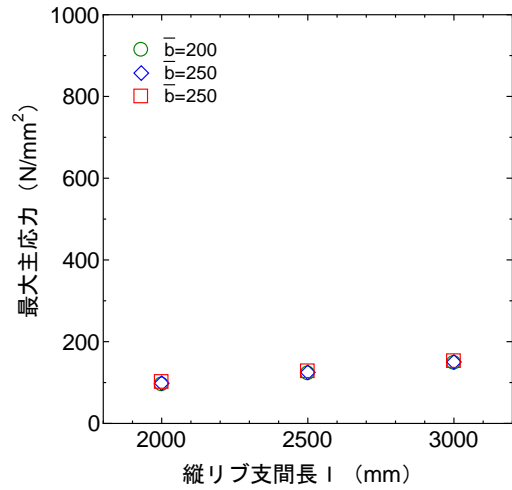


図 - 4.4.33 縦リブ支間長 l で整理した腹板側溶接止端先端要素の最小の最小主応力

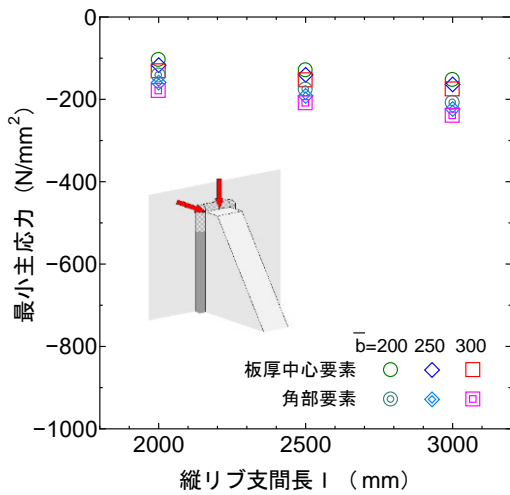


(a) $t_d=12\text{mm}$

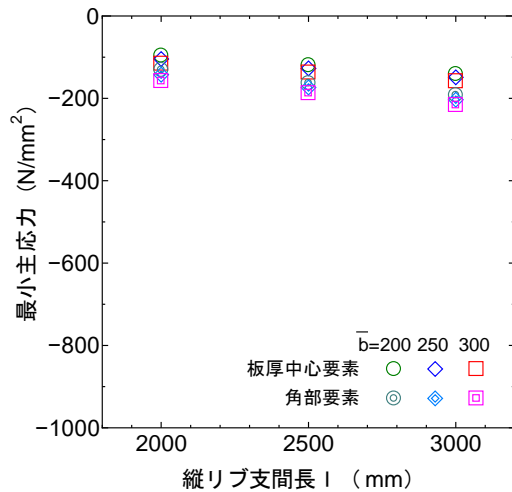


(b) $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.34 縦リブ支間長 l で整理した腹板側溶接止端先端要素の最大の最大主応力

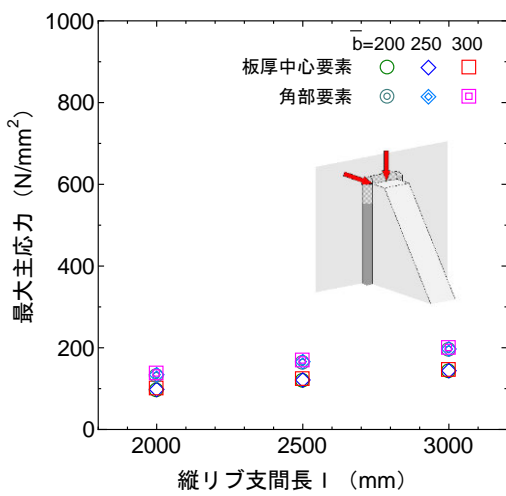


(a) $t_d=12\text{mm}$

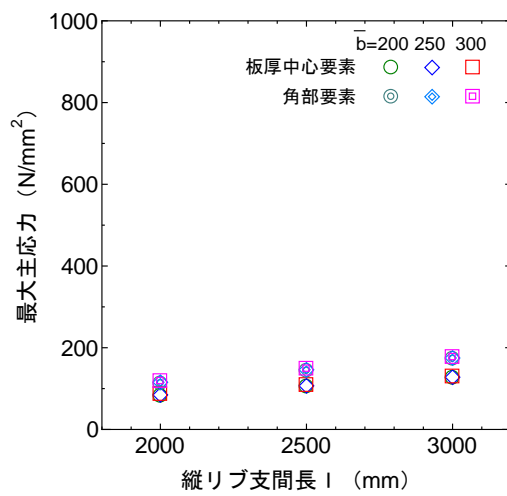


(b) $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.35 縦リブ支間長 l で整理した垂直補剛材側溶接止端先端要素の最小の最小主応力



(a) $t_d=12\text{mm}$



(b) $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.36 縦リブ支間長 l で整理した垂直補剛材側溶接止端先端要素の最大の最大主応力

図 - 4.4.37 と図 - 4.4.38 は縦リブ支間長 l が、輪荷重が通過した際の疲労被害に及ぼす影響をデッキプレート厚 t_d 毎に示している。ここでは、前節に示した平均応力の影響は考慮していない。

図 - 4.4.37 は各モデルの腹板側止端部要素の鉛直方向と垂直補剛材側止端部角部要素の橋軸直角方向の最大の応力範囲を 3 乗した疲労被害を 1 で整理した結果であり、図の縦軸は $l=2,500\text{mm}$ 、 $\bar{b}=250\text{mm}$ の基本解析モデルの値に対する割合である。両止端部ともに \bar{b} が大きくなると、1 の影響度合いが小さくなり $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、 l が $\pm 500\text{mm}$ 変化すると、 $l=2,000\text{mm}$ の場合、腹板側、垂直補剛材側ともに疲労被害は -30 ~ 50 % 程度となる。また、 $l=3,000\text{mm}$ の場合、腹板側の疲労被害は +40 ~ 60 % 程度、垂直補剛材側止端部の疲労被害は +50 ~ 65 % 程度となる。なお、これらの傾向は t_d によらずほぼ同じであるが、 $t_d=16\text{mm}$ の場合の増減は若干小さい。

図 - 4.4.38 は各モデルの腹板側止端部要素の鉛直方向と垂直補剛材側止端部角部要素の橋軸直角方向の応力範囲の分布を用いて、前項に示した走行位置の平均位置 $\mu=0\text{mm}$ (主桁腹板中心)、 150mm (箱桁内)、 -150mm (箱桁外) の疲労被害を求め、1 で整理した結果である。図の縦軸は $l=2,500\text{mm}$ 、 $\bar{b}=250\text{mm}$ の基本解析モデルの値に対する割合である。

1 の影響は全体的に上端溶接の場合よりも大きい。そして、疲労被害が大きくなる $\mu = -150\text{mm}$ の場合に大きく、 0mm と 150mm の場合にはほぼ同じである。最も影響の大きい $\mu = -150\text{mm}$ の結果では、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、 l が $\pm 500\text{mm}$ 変化すると、 $l=2,000\text{mm}$ の場合、腹板側、垂直補剛材側ともに疲労被害は -40 ~ 50 % 程度となる。また、 $l=3,000\text{mm}$ の場合、腹板側の疲労被害は +60 ~ 80 % 程度、垂直補剛材側止端部の疲労被害は +70 ~ 80 % 程度となる。 $\mu=0\text{mm}$ と 150mm の場合の結果では、 $l=2,500\text{mm}$ のモデルに対し、 $l=2,000\text{mm}$ の場合腹板側の疲労被害は -30 ~ 45 % 程度、垂直補剛材側止端部の疲労被害は -40 ~ 50 % 程度となる。また、 $l=3,000\text{mm}$ の場合、腹板側の疲労被害は +40 ~ 60 % 程度、垂直補剛材側止端部の疲労被害は +60 ~ 70 % 程度となる。

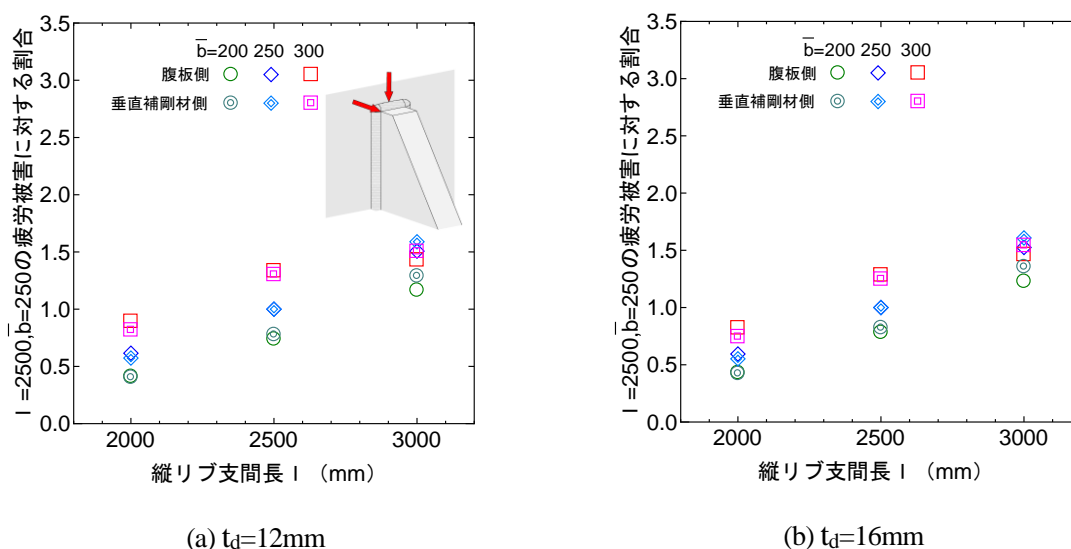
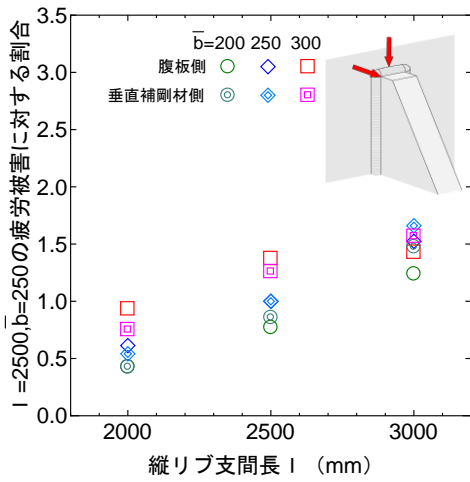
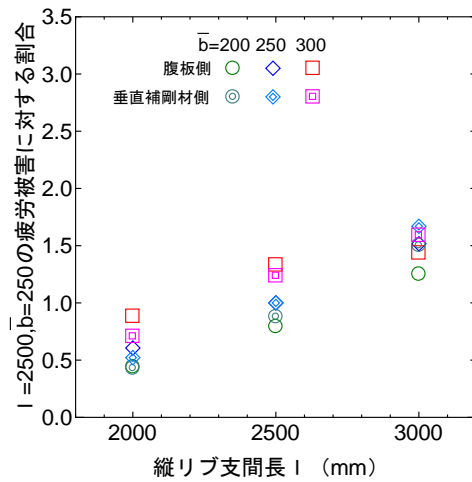


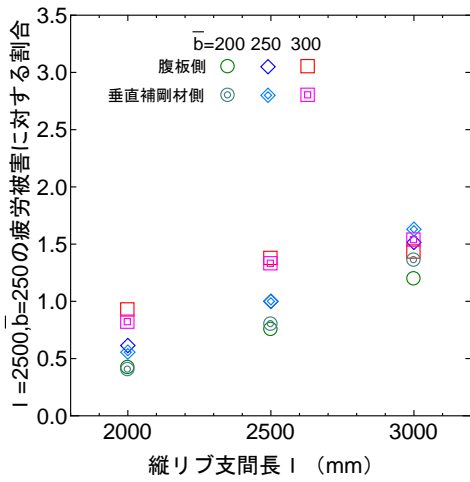
図 - 4.4.37 縦リブ支間長 l が疲労被害に及ぼす影響 (最大応力範囲 $\Delta\sigma_{\max}^3$)



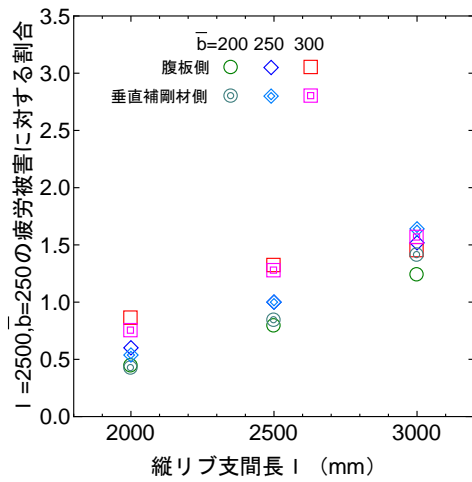
(a) $\mu=0\text{mm}$ 位置 $t_d=12\text{mm}$



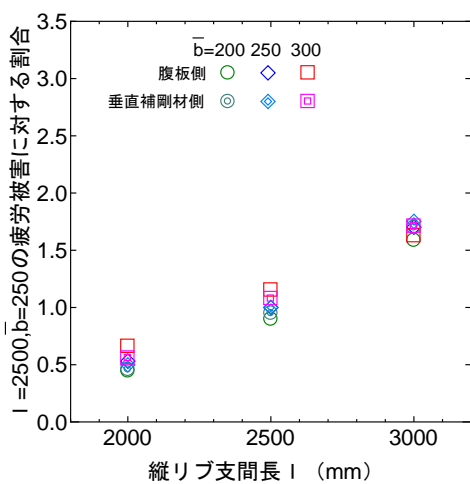
(b) $\mu=0\text{mm}$ 位置 $t_d=16\text{mm}$



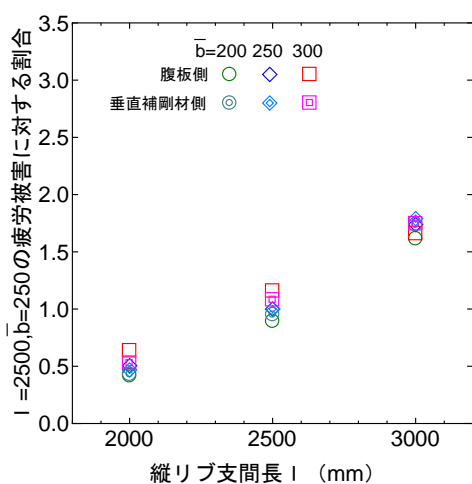
(c) $\mu=150\text{mm}$ 位置 $t_d=12\text{mm}$



(d) $\mu=150\text{mm}$ 位置 $t_d=16\text{mm}$



(e) $\mu=-150\text{mm}$ 位置 $t_d=12\text{mm}$



(f) $\mu=-150\text{mm}$ 位置 $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.38 縦リブ支間長 l が疲労被害に及ぼす影響 (走行位置考慮)

図 - 4.4.39 はデッキプレート厚 t_d 毎に縦リブ支間長 l で整理した、デッキプレート - 主桁腹板溶接部の主桁腹板から第 1 縦リブ間の距離 $\bar{b}=200,250,300\text{mm}$ の場合の主応力である。4 箇所の溶接止端部のうち図中の箱内 σ_1 とは最も大きい引張応力が発生する箱桁内部の腹板側止端部の最大の最大主応力、箱外 σ_3 とは最も大きい圧縮応力が発生する箱桁外部のデッキプレート側止端部の最小の最小主応力である。

最大の最大主応力は l が $2,500\text{mm}$ に対して l が $\pm 500\text{mm}$ 増減すると、 $t_d=12\text{mm}$ の場合には $\pm 15\sim 16\%$ 程度、 $t_d=16\text{mm}$ の場合には $\pm 17\sim 19\%$ 程度増減する。最小の最小主応力も l の増減により、発生応力が若干増減する。これらの影響は \bar{b} によって異なるが、 l に対する影響自体が小さく、全て 5% 以下である。

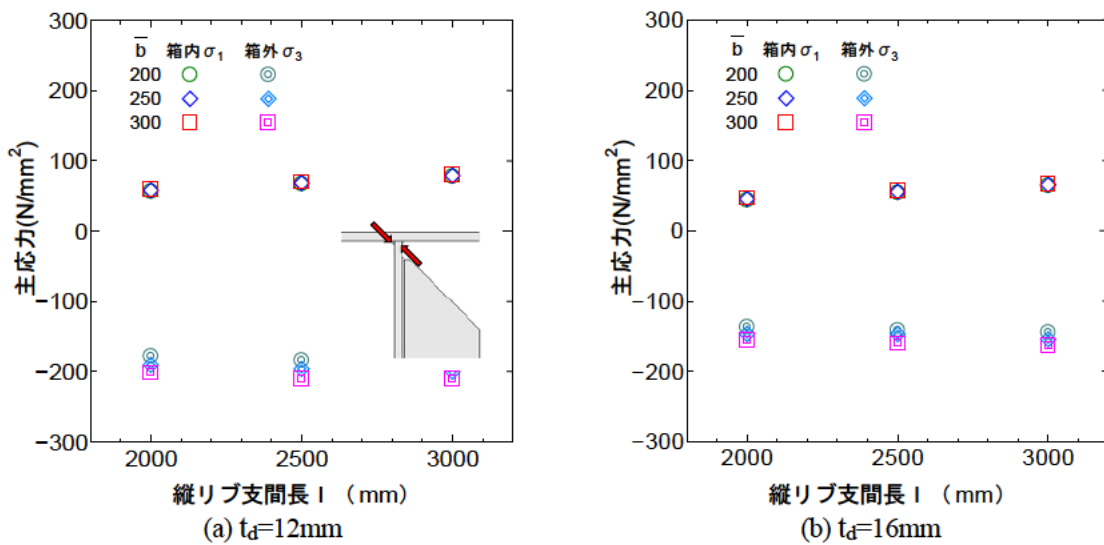


図 - 4.4.39 縦リブ支間長 l で整理したデッキプレート - 主桁腹板溶接部の主応力

4.4.4 舗装剛性

舗装剛性が鋼床版の溶接部に及ぼす影響については、これまでに開断面リブ下面や、デッキプレート - 開断面リブ溶接部を対象とした検討はあるが⁴¹⁴⁾⁴¹⁶⁾、垂直補剛材溶接部を対象とした検討事例はない。ここでは夏季を想定した上端溶接と上端カットの基本解析モデルの舗装剛性 500N/mm^2 を、春秋を想定した $1,500\text{N/mm}^2$ 、冬季を想定した $5,000\text{N/mm}^2$ とした場合について、垂直補剛材溶接部の発生応力に及ぼす影響を確認する。なお、文献 4-15)では本研究と同様の舗装剛性を仮定した実橋モデルで、デッキプレート - 開断面リブ溶接部の溶接ルート部の及ぼす影響について解析的な検討を実施しており、夏季に対して春秋は 30%、冬季は 60%程度、応力が低減するとしている。

(1) 上端溶接モデル

図 - 4.4.40 はデッキプレート側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素における最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を、図 - 4.4.41 は垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を示している。また、図 - 4.4.42 は各止端部における最小の最小主応力が生じる場合の 50 倍変形図である。デッキプレート側止端部 (D) と垂直補剛材側止端部 (角部要素、V) で最小の最小主応力が発生する荷重位置が異なるものについては双方の変形図を示している。なお、図 - 4.4.40～図 - 4.4.42 はデッキプレート厚 t_d が 12mm と 16mm の結果であり、夏季を想定した (弾性係数 500N/mm^2) 基本解析モデルの結果も再掲している。

舗装剛性が大きくなると、全体的に発生応力が小さくなり、デッキプレートや開断面リブの変形が小さくなることを確認できる。デッキプレート側止端部の結果をみると基本的には最大応力発生位置は基本モデルと同じである。舗装がない場合の応力分布図をみると、極値が鮮明になることがわかり、舗装が荷重分散に寄与していることが確認できる。また、冬季の舗装剛性で $t_d=16\text{mm}$ のケースでは曲げの影響範囲が大きくなり、最大応力発生位置が箱桁内側へ移動していることが確認できる。

垂直補剛材側止端部についても基本的にはデッキプレート側止端部と同じであるが、舗装がない場合に右輪の左端が垂直補剛材先端部近傍になった場合 ($x=100\text{mm}$) にも小さな極値が確認できる。この他、値自体は小さいものの、舗装剛性の増加により、箱桁外に載荷された場合の引張応力が大きくなることもわかる。

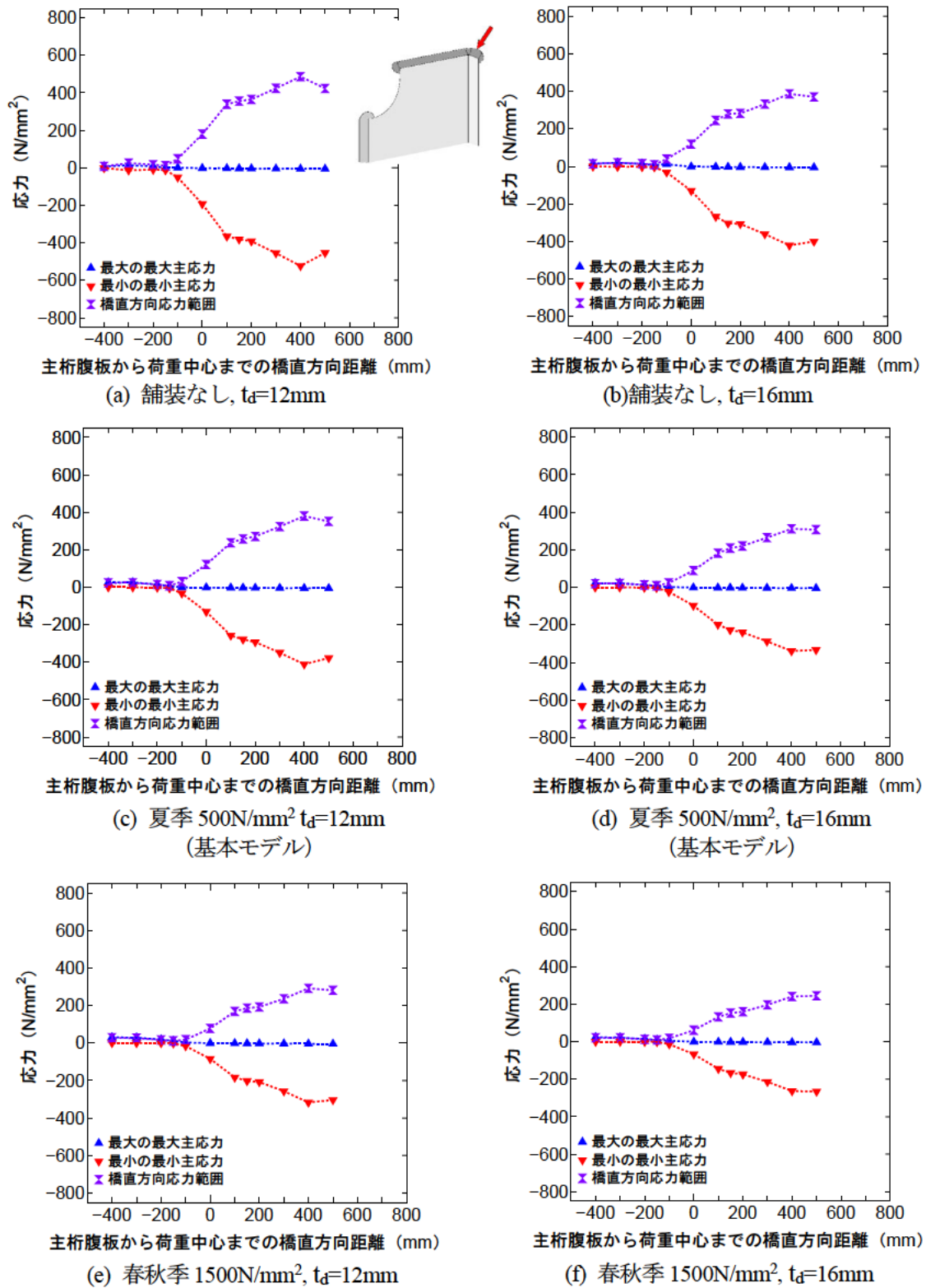


図 - 4.4.40 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接-(1/2)

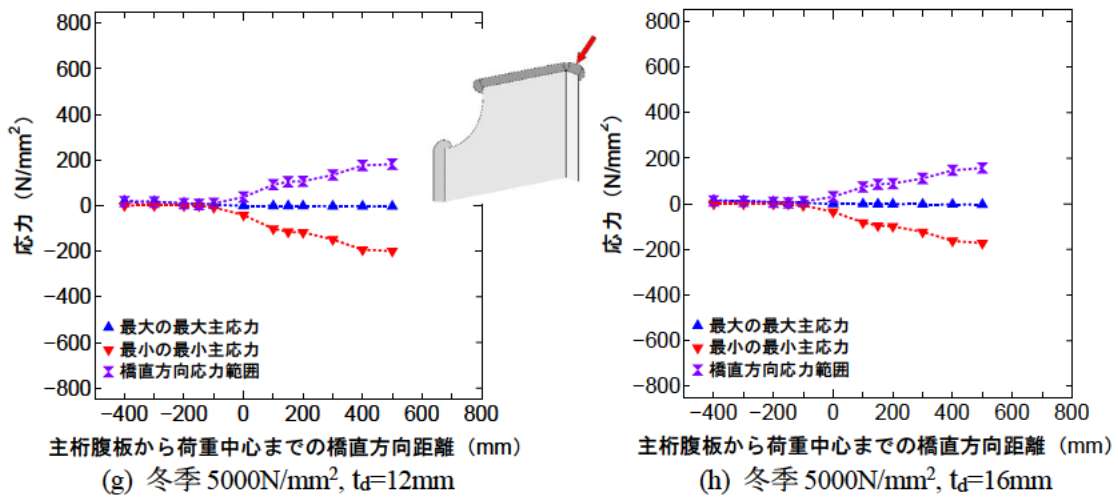


図 - 4.4.40 橋軸直角方向の各荷重ケースのデッキプレート側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接-(2/2)

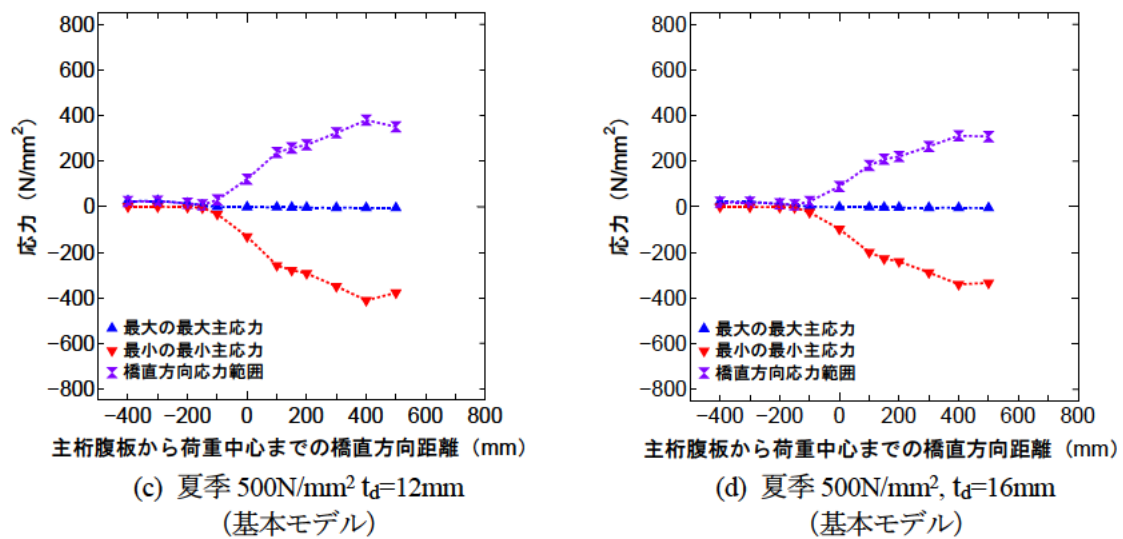
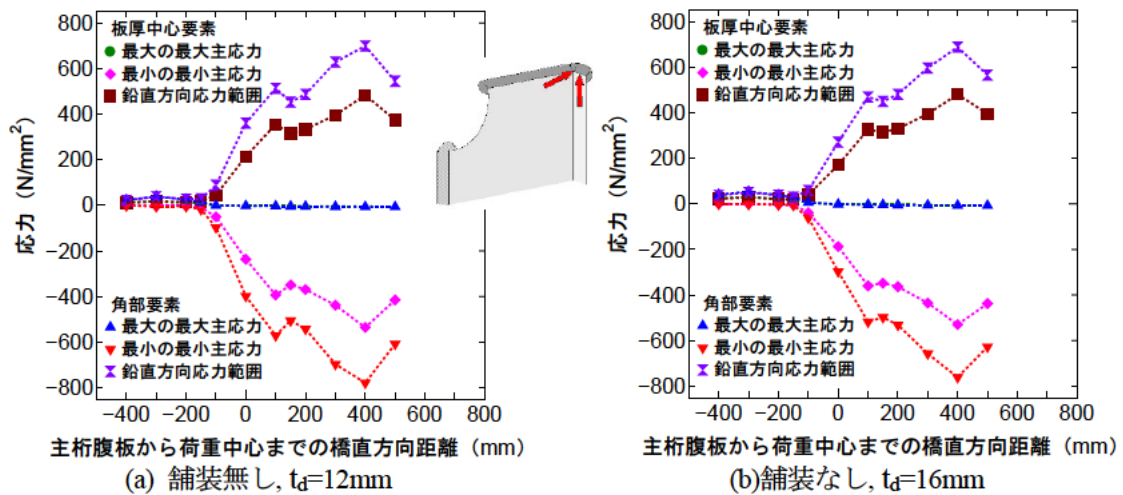
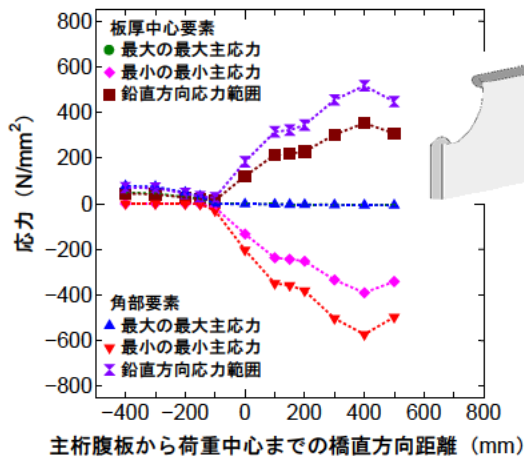
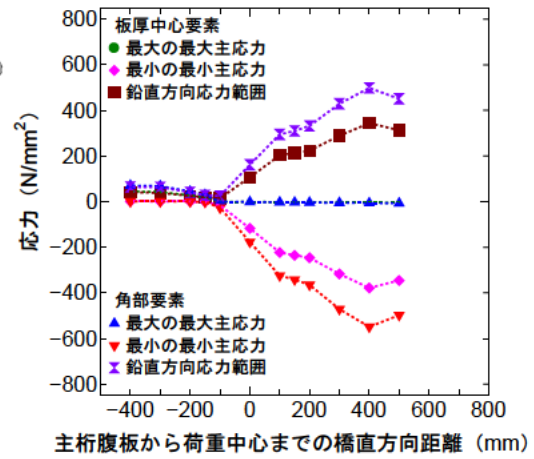


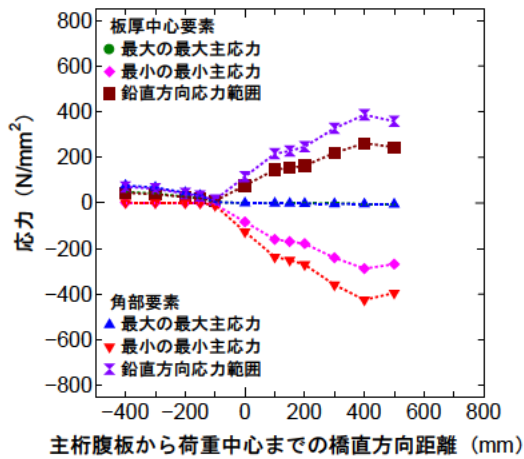
図 - 4.4.41 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接-(1/2)



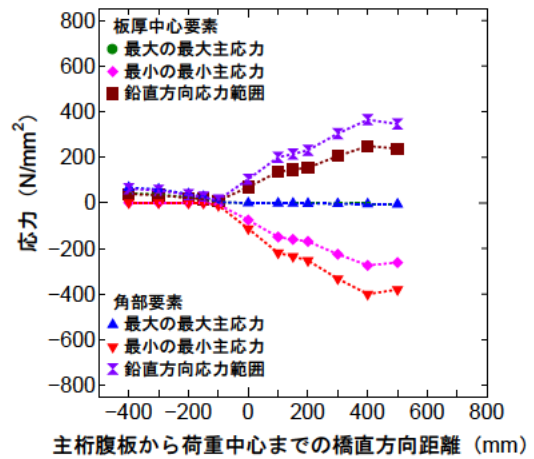
(e) 春秋季 1500N/mm², t_d=12mm



(f) 春秋季 1500N/mm², t_d=16mm



(g) 冬季 5000N/mm², t_d=12mm



(h) 冬季 5000N/mm², t_d=16mm

図 - 4.4.41 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接-(2/2)

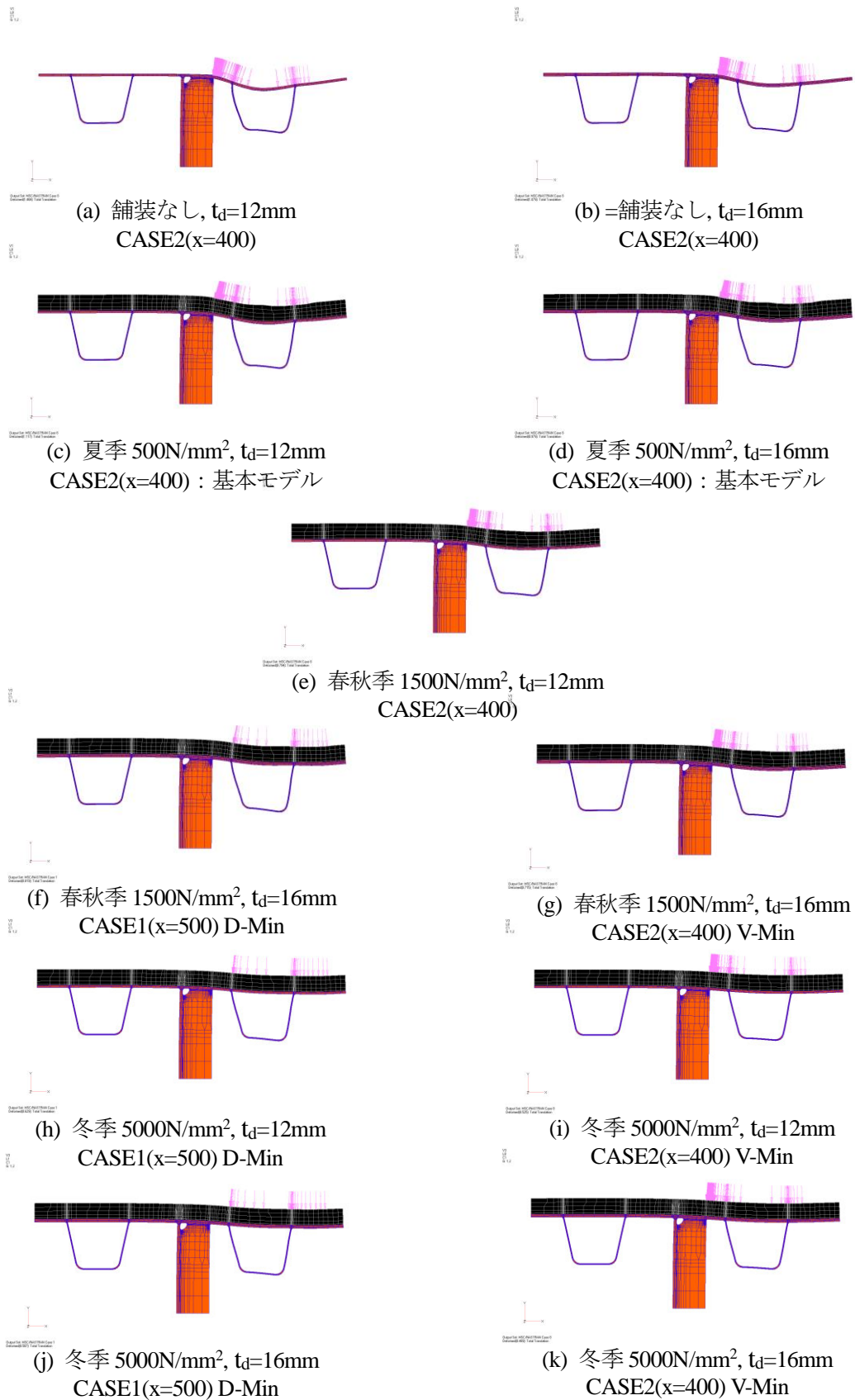


図 - 4.4.42 上端溶接モデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最主応力卓越時)

図 - 4.4.43 に舗装剛性で整理した、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルの、3箇所（デッキプレート側止端部要素、垂直補剛材側止端部の角部要素と板厚中心要素）の最小の最小主応力を示す。図の縦軸はそれぞれの t_d の夏季の主応力に対する割合である。なお、舗装なしのモデルについては、便宜上、舗装剛性を 0N/mm^2 としている。

最小の最小主応力については舗装剛性が及ぼす影響が t_d によらない。そして、舗装剛性の増加に伴う応力低減はデッキプレート側止端部の方が垂直補剛材側止端部よりも大きく、それぞれ、夏季の舗装剛性に対し、春秋期では 20%程度と 15%程度、冬季は 50%程度と 35%程度応力が低減している。これらは、デッキプレート - 開断面リブ溶接部の溶接ルート部に対するデッキプレート増厚効果よりは小さい。

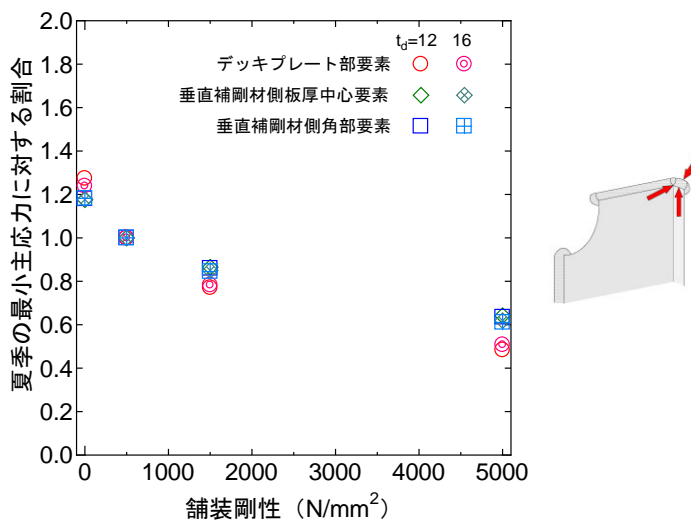


図 - 4.4.43 舗装剛性が最小の最小主応力に及ぼす影響（上端溶接モデル）

表 - 4.4.1 は舗装剛性で整理した、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルについて、前節にも示した 4 種類の疲労被害、すなわち、デッキプレート側止端部要素の橋軸直角方向と垂直補剛材側止端部角部要素の鉛直方向の最大の応力範囲を 3 乗した疲労被害、走行位置の平均位置 $\mu=0\text{mm}$ （主桁腹板中心）、 150mm （箱桁内）、 -150mm （箱桁外）の疲労被害である。表中の値は夏季の疲労被害に対する割合を示しており、舗装剛性の季節考慮とは、通年で夏季が 3 ヶ月、春秋期が 6 ヶ月、冬季が 3 ヶ月と仮定して算出した疲労被害に対する値である。表(a)は前節に示した平均応力の影響を未考慮の場合、表(b)は考慮した場合の結果である。

舗装剛性が疲労被害に及ぼす影響は、最大の応力範囲を 3 乗 $\mu=150\text{mm} > \mu=0\text{mm} > \mu=-150\text{mm}$ となっており、厳しい応力状態の場合に影響が大きくなることがわかる。また、その影響はデッキプレート厚が小さい場合に大きくなっている。そして、夏季のみで算出した場合の疲労被害は季節を考慮した場合と比較して、デッキプレート側止端部では 1.9~2.3 倍程度、垂直補剛材側止端部では 1.6~1.9 倍となっている。その他、平均応力の考慮の有無については、基本的には圧縮応力が卓越するため、その影響は小さい。

表 - 4.4.1 舗装剛性が疲労被害に及ぼす影響（夏季の疲労被害に対する割合,上端溶接モデル）

(a) 平均応力の影響未考慮

| td(mm) | 舗装剛性 | デッキプレート側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | |
|--------|------|-------------------------|-----------|-------------|--------------|-------------------------|-----------|-------------|--------------|
| | | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0mm$ | $\mu=150mm$ | $\mu=-150mm$ | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0mm$ | $\mu=150mm$ | $\mu=-150mm$ |
| 12 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋季 | 0.451 | 0.366 | 0.391 | 0.350 | 0.654 | 0.541 | 0.586 | 0.508 |
| | 冬季 | 0.110 | 0.064 | 0.075 | 0.057 | 0.272 | 0.186 | 0.218 | 0.166 |
| | 季節考慮 | 0.503 | 0.449 | 0.464 | 0.439 | 0.645 | 0.567 | 0.598 | 0.545 |
| 16 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋季 | 0.482 | 0.392 | 0.412 | 0.381 | 0.618 | 0.538 | 0.566 | 0.521 |
| | 冬季 | 0.129 | 0.071 | 0.081 | 0.066 | 0.242 | 0.178 | 0.201 | 0.168 |
| | 季節考慮 | 0.523 | 0.464 | 0.476 | 0.457 | 0.619 | 0.563 | 0.583 | 0.553 |

(b) 平均応力の影響考慮

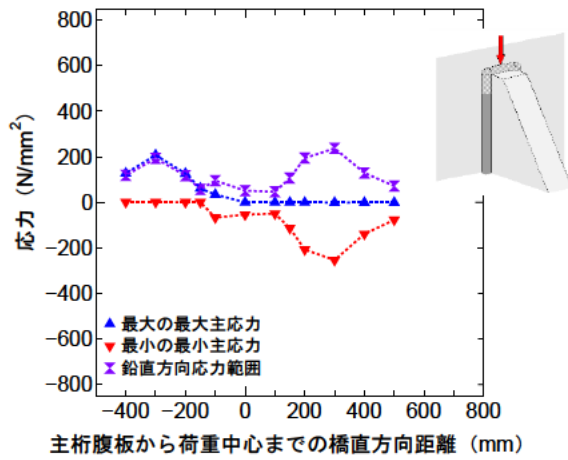
| td(mm) | 舗装剛性 | デッキプレート側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | |
|--------|------|-------------------------|-----------|-------------|--------------|-------------------------|-----------|-------------|--------------|
| | | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0mm$ | $\mu=150mm$ | $\mu=-150mm$ | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0mm$ | $\mu=150mm$ | $\mu=-150mm$ |
| 12 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋季 | 0.451 | 0.367 | 0.391 | 0.353 | 0.654 | 0.542 | 0.586 | 0.518 |
| | 冬季 | 0.110 | 0.064 | 0.075 | 0.058 | 0.272 | 0.187 | 0.218 | 0.176 |
| | 季節考慮 | 0.503 | 0.449 | 0.464 | 0.441 | 0.645 | 0.568 | 0.598 | 0.553 |
| 16 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋季 | 0.482 | 0.393 | 0.412 | 0.384 | 0.618 | 0.538 | 0.566 | 0.530 |
| | 冬季 | 0.129 | 0.071 | 0.081 | 0.067 | 0.242 | 0.179 | 0.201 | 0.176 |
| | 季節考慮 | 0.523 | 0.464 | 0.476 | 0.459 | 0.619 | 0.564 | 0.583 | 0.559 |

(2) 上端カットモデル

図 - 4.4.44 は主桁腹板側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部中央要素における最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を、図 - 4.4.45 は垂直補剛材側止端部の橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を示している。また、図 - 4.4.46 は各止端部における最小の最小主応力、図 - 4.4.47 は各止端部における最大の最大主応力が生じる場合の 50 倍変形図である。腹板側止端部 (W) と垂直補剛材側止端部 (角部要素、V) で最大応力が発生する荷重位置が異なるものについては双方の変形図を示している。

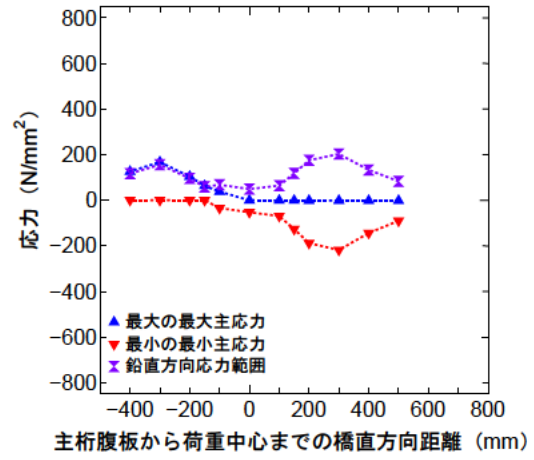
なお、図 - 4.4.44～図 - 4.4.47 はデッキプレート厚 t_d が 12mm と 16mm の結果であり、夏季を想定した（弾性係数 500N/mm²）基本解析モデルの結果も再掲している。

上端溶接の場合と同様に、舗装剛性が大きくなると、全体的に発生応力が小さくなっている。また、腹板側止端部、垂直補剛材側止端部ともに、圧縮側と引張側の最大応力の値は圧縮側が大きく、発生位置は基本的には基本モデルと同じ（±300mm）であるが、冬季の引張応力については $t_d=12mm$ の腹板側止端部と $t_d=16mm$ の両止端部で -400mm となっている。



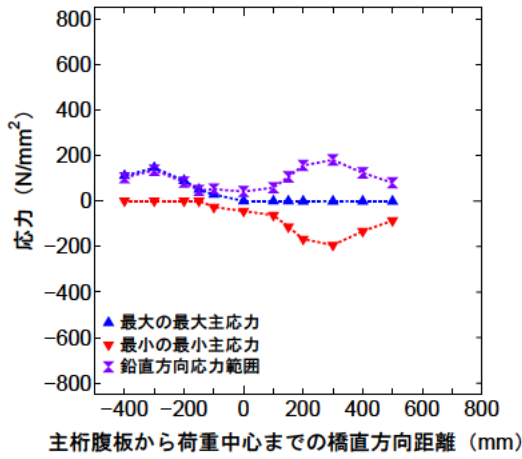
主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(a) 舗装なし, $t_d=12\text{mm}$



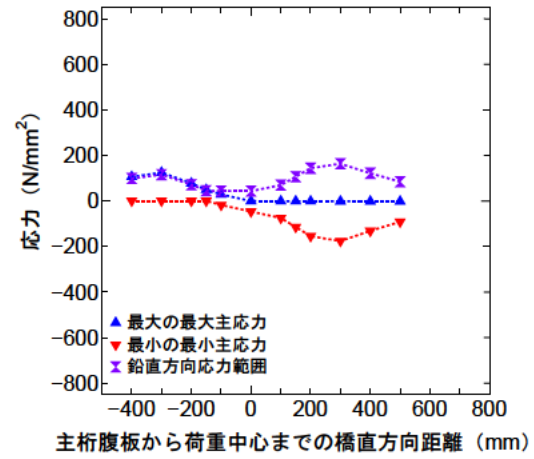
主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(b) 舗装なし, $t_d=16\text{mm}$



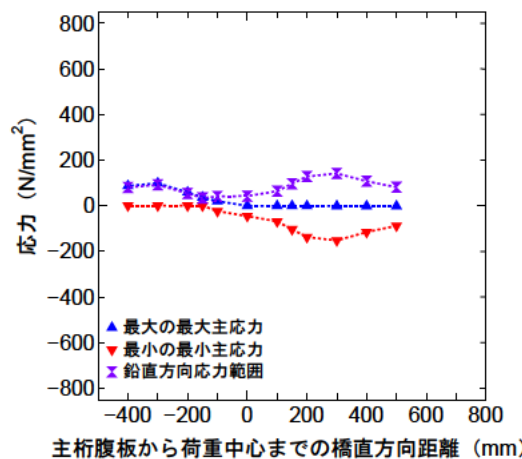
主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(c) 夏季 500N/mm^2 , $t_d=12\text{mm}$
(基本モデル)



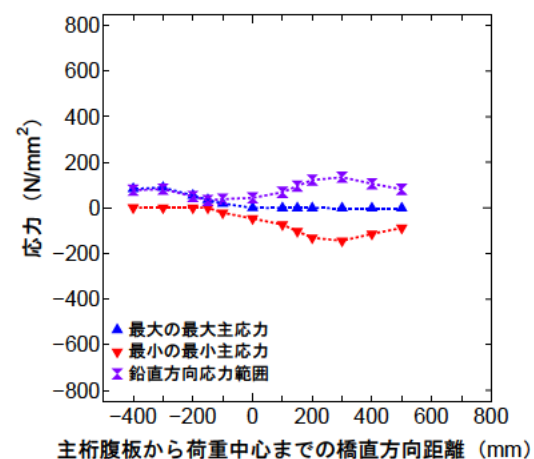
主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(d) 夏季 500N/mm^2 , $t_d=16\text{mm}$
(基本モデル)



主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(e) 春秋季 1500N/mm^2 , $t_d=12\text{mm}$



主桁腹板から荷重中心までの橋直方向距離 (mm)

(f) 春秋季 1500N/mm^2 , $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.44 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接(1/2)

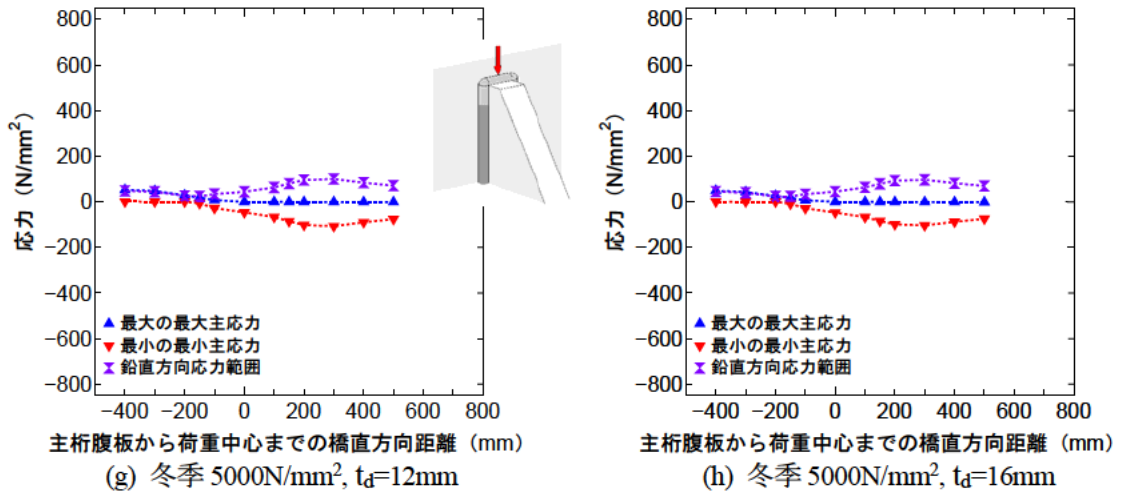


図 - 4.4.44 橋軸直角方向の各荷重ケースの腹板側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接-(2/2)

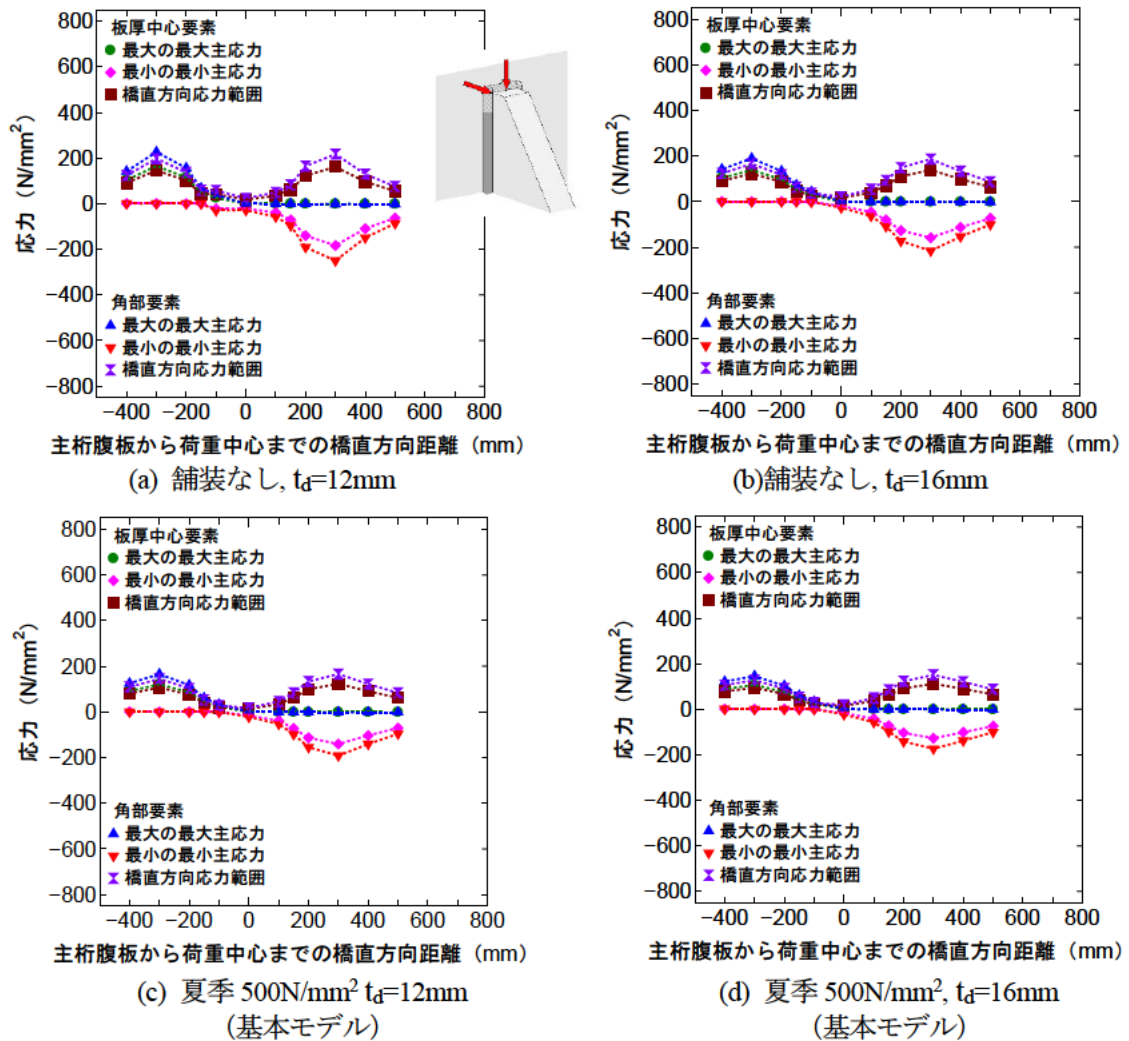
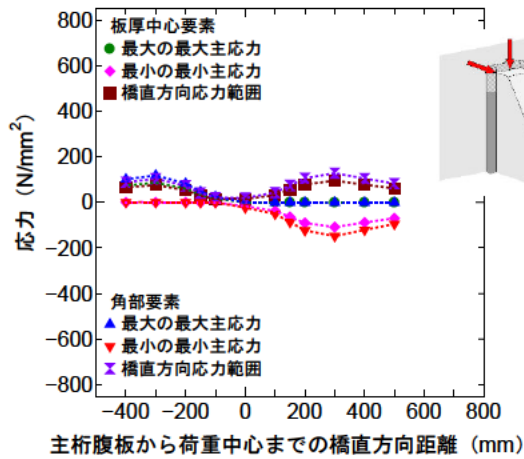
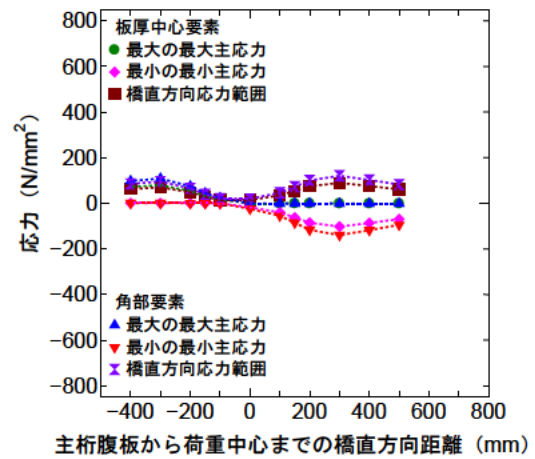


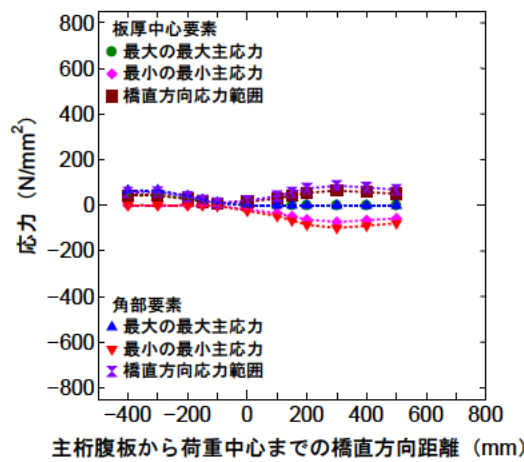
図 - 4.4.45 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接-(1/2)



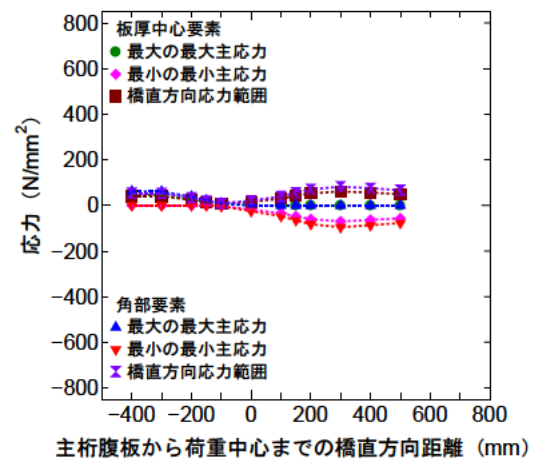
(e) 春秋季 1500N/mm², $t_d=12\text{mm}$



(f) 春秋季 1500N/mm², $t_d=16\text{mm}$



(g) 冬季 5000N/mm², $t_d=12\text{mm}$



(h) 冬季 5000N/mm², $t_d=16\text{mm}$

図 - 4.4.45 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材側溶接止端先端要素の応力
舗装剛性の影響 - 上端溶接-(2/2)

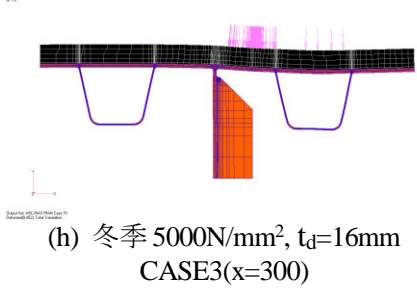
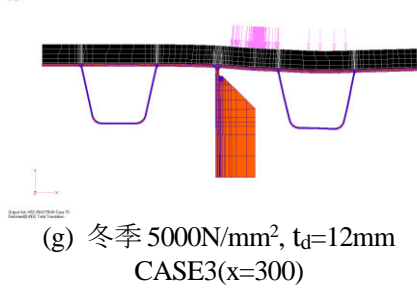
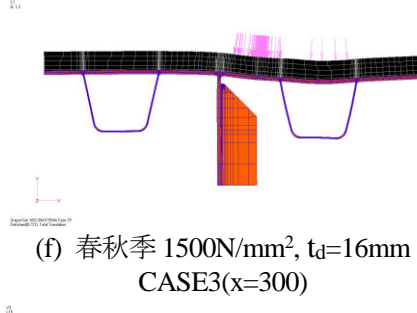
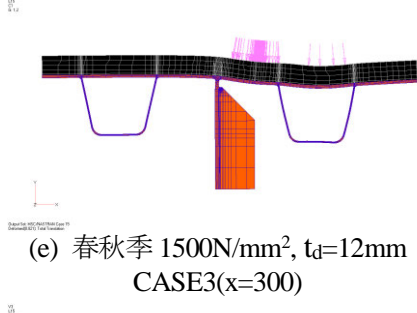
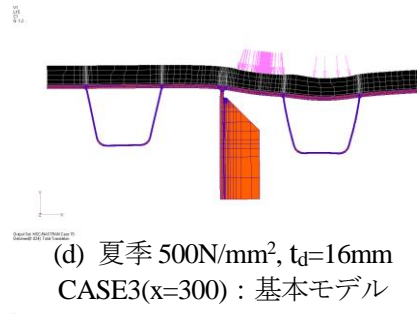
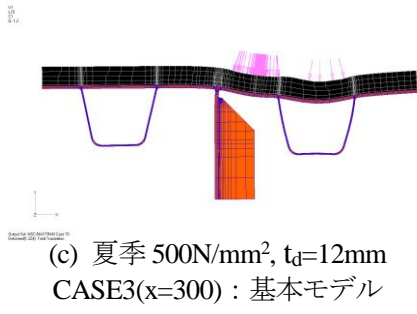
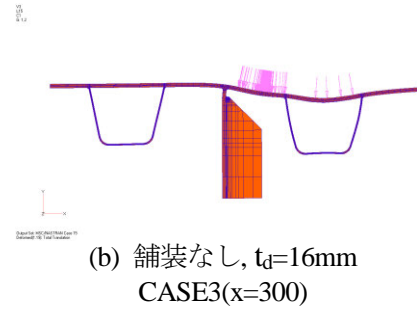
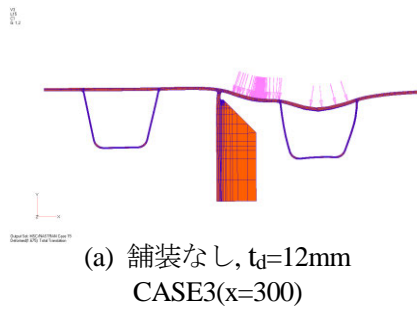


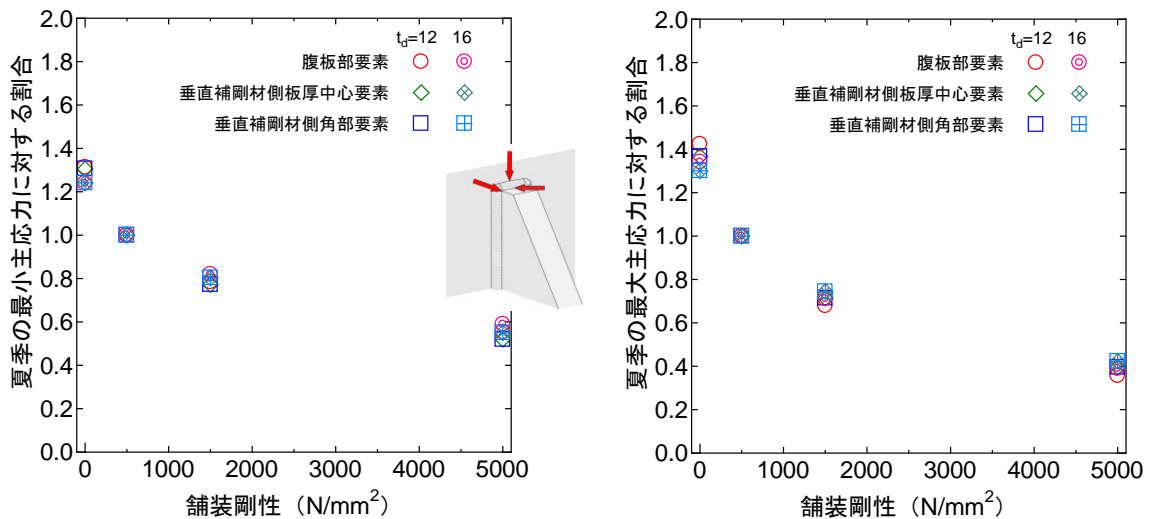
図 - 4.4.46 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最小主応力卓越時)



図 - 4.4.47 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 (最大主応力卓越時)

図 - 4.4.48 に舗装剛性で整理した、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルの、3箇所（腹板側止端部要素、垂直補剛材側止端部の角部要素と板厚中心要素）の最小の最小主応力と最大の最大主応力を示す。図の縦軸はそれぞれの t_d の夏季の主応力に対する割合である。なお、舗装なしのモデルについては、便宜上、舗装剛性を 0N/mm^2 としてプロットしている。

舗装剛性が発生応力に及ぼす影響は最小の最小主応力は、夏季の舗装剛性に対し、春秋季では 20%程度、冬季は 55%程度、応力が低減している。応力の低減は腹板側止端部と垂直補剛材側止端部では垂直補剛材側止端部が、 t_d が 12mm と 16mm では 12mm の場合に若干大きい。最大の最大主応力は、最小の最小主応力も舗装剛性の及ぼす影響が大きく、夏季の舗装剛性に対し、春秋季では 30%程度、冬季は 60%程度、応力が低減している。応力の低減は腹板側止端部と垂直補剛材側止端部では腹板側溶接止端部が、 t_d が 12mm と 16mm では 12mm の場合に若干大きい。



(a) 最小の最小主応力 (b) 最大の最大主応力
図 - 4.4.48 舗装剛性が卓越する主応力に及ぼす影響（上端カットモデル）

表 - 4.4.2 は舗装剛性で整理した、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 16mm のモデルについて、前節にも示した 4 種類の疲労被害、すなわち、腹板側止端部要素の橋軸直角方向と垂直補剛材側止端部角部要素の鉛直方向の最大の応力範囲を 3 乗した疲労被害、走行位置の平均位置 $\mu=0\text{mm}$ （主桁腹板中心）、 150mm （箱桁内）、 -150mm （箱桁外）の疲労被害である。表中の値は夏季の疲労被害に対する割合を示しており、舗装剛性の季節考慮とは、通年で夏季が 3 ヶ月、春秋季が 6 ヶ月、冬季が 3 ヶ月と仮定して算出した疲労被害に対する値である。表(a)は前節に示した平均応力の影響を未考慮の場合、表(b)は考慮した場合の結果である。

平均応力の影響を考慮していない表(a)をみると、舗装剛性が疲労被害に及ぼす影響は、腹板側止端部の方が垂直補剛材側止端部よりも若干大きい。4 種類の疲労被害を比較すると、腹板側止端部では $\mu= -150\text{mm}$ > 最大の応力範囲を 3 乗 > $\mu=0\text{mm}$ \approx $\mu=150\text{mm}$ 、垂直補剛材側止端部では $\mu= -150\text{mm}$ > 最大の応力範囲を 3 乗 > $\mu=0\text{mm}$ > $\mu=150\text{mm}$ となっている。そして、上端溶接の場合と同様、デッキプレート厚が小さい場合に影響

が大きくなっている。また、夏季のみで算出した場合の疲労被害は季節を考慮した場合と比較して、腹板側止端部では1.6~2.1倍程度、垂直補剛材側止端部では1.7~2.1倍となっている。

平均応力の影響を考慮した表(b)をみると、圧縮が卓越する箱桁内載荷と引張が卓越する箱桁外載荷の疲労被害の差が小さくなることもあり、舗装剛性が疲労被害に及ぼす影響は平均応力を考慮しない場合と異なっている。4種類の疲労被害を比較すると、腹板側止端部では $\mu = -150\text{mm} > \text{最大の応力範囲を3乗} > \mu = 0\text{mm} > \mu = 150\text{mm}$ 、垂直補剛材側止端部では $\mu = -150\text{mm} \approx \text{最大の応力範囲を3乗} > \mu = 0\text{mm} > \mu = 150\text{mm}$ となっている。そして、デッキプレート厚が小さい場合に影響が大きくなっている。また、夏季のみで算出した場合の疲労被害は季節を考慮した場合と比較して、腹板側止端部では1.6~2.2倍程度、垂直補剛材側止端部では1.7~2.2倍となっている。

表 - 4.4.2 舗装剛性が疲労被害に及ぼす影響（夏季の疲労被害に対する割合,上端カットモデル）

(a) 平均応力の影響未考慮

| td(mm) | 舗装剛性 | 腹板側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | |
|--------|------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| | | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu = 0\text{mm}$ | $\mu = 150\text{mm}$ | $\mu = -150\text{mm}$ | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu = 0\text{mm}$ | $\mu = 150\text{mm}$ | $\mu = -150\text{mm}$ |
| 12 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋 | 0.485 | 0.560 | 0.562 | 0.398 | 0.459 | 0.474 | 0.507 | 0.394 |
| | 冬季 | 0.170 | 0.266 | 0.246 | 0.116 | 0.139 | 0.151 | 0.176 | 0.080 |
| | 季節考慮 | 0.535 | 0.596 | 0.593 | 0.478 | 0.514 | 0.525 | 0.547 | 0.467 |
| 16 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋 | 0.551 | 0.619 | 0.616 | 0.461 | 0.516 | 0.521 | 0.553 | 0.437 |
| | 冬季 | 0.206 | 0.306 | 0.280 | 0.148 | 0.165 | 0.174 | 0.199 | 0.092 |
| | 季節考慮 | 0.577 | 0.636 | 0.628 | 0.518 | 0.549 | 0.554 | 0.576 | 0.492 |

(b) 平均応力の影響考慮

| td(mm) | 舗装剛性 | 腹板側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | |
|--------|------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| | | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu = 0\text{mm}$ | $\mu = 150\text{mm}$ | $\mu = -150\text{mm}$ | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu = 0\text{mm}$ | $\mu = 150\text{mm}$ | $\mu = -150\text{mm}$ |
| 12 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋 | 0.485 | 0.514 | 0.559 | 0.368 | 0.366 | 0.445 | 0.504 | 0.387 |
| | 冬季 | 0.170 | 0.222 | 0.244 | 0.082 | 0.095 | 0.125 | 0.173 | 0.073 |
| | 季節考慮 | 0.535 | 0.563 | 0.591 | 0.454 | 0.457 | 0.504 | 0.545 | 0.462 |
| 16 | 夏季 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 春秋 | 0.551 | 0.581 | 0.613 | 0.427 | 0.415 | 0.491 | 0.550 | 0.429 |
| | 冬季 | 0.206 | 0.265 | 0.278 | 0.103 | 0.123 | 0.145 | 0.196 | 0.084 |
| | 季節考慮 | 0.577 | 0.607 | 0.626 | 0.489 | 0.488 | 0.532 | 0.574 | 0.485 |

4.4.5 デッキプレート厚

鋼床版のデッキプレートの増厚による垂直補剛材溶接部の応力低減効果については、デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ と 24mm の鋼床版の大型試験体の静的載荷試験で上端溶接部のひずみが比較されている^{41),417)}。そして、デッキの増厚により、デッキプレート側溶接止端近傍のひずみが70%低減し、垂直補剛材側止端部では止端先端から3mm位置のひずみが双方同程度、溶接止端部から $1.57 \cdot t_w^{3/4}\text{mm}$ と $4.9 \cdot t_w^{3/4}\text{mm}$ (t_w : 主桁腹板厚) の位置のひずみから2点外挿法で求めたホットスポット応力⁴¹⁸⁾が26%程度低減したことが報告されている。これらの試験体では定点載荷疲労試験も実施されており、 $t_d=12\text{mm}$ の試験体の垂直補剛材側止端部からのみ、き裂が確認されている⁴¹⁹⁾。一方で前述した阪神高速道路の分析⁴⁹⁾では、 $t_d=16\text{mm}$ と 17mm の橋梁でもき裂が確認されており、デッキプレートの増厚では必ずしも損傷を防止できるとは限らないとしている。

本項では前項までに示した解析結果を、上端溶接の場合と上端カットの場合に分け、 t_d を12mmから16mmへ増厚した際の効果を示す。

(1) 上端溶接モデル

表-4.4.3はデッキプレート増厚による垂直補剛材溶接部、デッキプレート-主桁腹板溶接部とスカラップ溶接部の応力低減率を示している。表(a)は垂直補剛材溶接部のデッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部における、最大の最大主応力と最小の最小主応力、最大応力範囲に対しての計算結果である。

デッキプレート増厚による応力低減効果は、最大の最大主応力と最小の最小主応力の垂直補剛材側溶接止端部の板厚中心要素で、一部、確認できないものがあるが、基本的には応力低減効果がある。また、圧縮応力が卓越するため、最小の最小主応力と最大応力範囲の低減率は同程度となっている。デッキプレートの剛性が増加するため、デッキプレート側止端部の低減率が大きく13%~26%、垂直補剛材側止端部は0~14%程度である。また、デッキプレート側止端部の低減率が大きいケースでは垂直補剛材側止端部でも低減率が大きい傾向にある。なお、文献4-16)では、デッキプレート-開断面リブ溶接部の溶接ルート部において、デッキプレートを12mmから16mm増厚することにより、夏季で35%程度と垂直補剛材溶接部よりも高い応力低減効果が確認されている。

表(b)はデッキプレート-主桁腹板溶接部とスカラップ溶接部の計算結果であり、前者は引張応力が卓越する箱桁内部の腹板側止端部の最大の最大主応力、箱外 σ_3 とは圧縮応力が卓越し、その値が最も大きい箱桁外部のデッキプレート側止端部の最小の最小主応力を示している。後者については、最も大きい引張応力が発生するデッキプレート側回し溶接部の垂直補剛材側止端部の最大の最大主応力と、最も大きい圧縮応力が発生する腹板側回し溶接部の垂直補剛材側止端部の最小の最小主応力である。

デッキプレート-主桁腹板溶接部では冬季の箱桁内部の腹板側止端部の最大の最大主応力を除いて応力低減効果が確認されており、その効果は箱桁内部の腹板側止端部で7~22%、箱桁外部のデッキプレート側止端部では11~23%である。スカラップ溶接部では垂直補剛材のサイズが小さい場合に、10%前後の応力低減効果が認められるが、その他のケースでは10%以下ではあるが発生応力が増加するケースが多い。

表 - 4.4.3 デッキプレート増厚(12→16mm)による応力低減率(%) (上端溶接モデル)

(a) 垂直補剛材溶接止端部

| モデル | | | | 最大主応力 σ_{1max} | | | 最小主応力 σ_{3min} | | | $\Delta\sigma_{max}$ | |
|---------------|-------------|------|----------------|-----------------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|----------------------|----------|
| 垂直補剛材断面形状 | 縦リブ支間l (mm) | 舗装剛性 | 第1縦リブの位置b (mm) | デッキプレート側 | 垂直補剛材側 | | デッキプレート側 | 垂直補剛材側 | | デッキプレート側 | 垂直補剛材側角部 |
| | | | | | 角部要素 | 板厚中心要素 | | 角部要素 | 板厚中心要素 | | |
| ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 30.1 | 9.2 | 6.9 | 21.1 | 5.4 | 4.9 | 21.7 | 4.8 |
| | | 夏季 | 250 | 17.5 | 6.8 | 0.8 | 15.4 | 0.4 | -0.8 | 15.9 | -0.2 |
| | | 夏季 | 300 | 13.4 | 12.7 | 8.0 | 19.8 | 5.0 | 3.8 | 20.4 | 4.4 |
| | 2500 | 夏季 | 200 | 27.6 | 7.5 | 6.0 | 23.4 | 8.2 | 7.7 | 24.0 | 7.6 |
| | | 夏季 | 250 | 14.1 | 0.7 | -3.8 | 17.4 | 2.4 | 1.3 | 18.0 | 1.8 |
| | | 春秋季 | 250 | 22.0 | 9.5 | 8.4 | 16.1 | 4.2 | 3.0 | 16.2 | 3.7 |
| | | 冬季 | 250 | 23.7 | 12.4 | 11.8 | 13.3 | 5.9 | 4.9 | 13.6 | 5.6 |
| | | 夏季 | 300 | 14.3 | 3.2 | -2.4 | 19.5 | 4.7 | 3.6 | 20.1 | 4.2 |
| | | 夏季 | 200 | 26.9 | 8.3 | 7.5 | 24.9 | 10.0 | 9.5 | 25.4 | 9.4 |
| | 3000 | 夏季 | 250 | 14.1 | 0.3 | -2.6 | 18.7 | 4.1 | 3.0 | 18.9 | 3.5 |
| | | 夏季 | 300 | 11.4 | 0.6 | -3.5 | 19.9 | 5.2 | 4.0 | 20.4 | 4.6 |
| | | 夏季 | 250 | 17.7 | 2.4 | -2.5 | 18.4 | 3.7 | 1.4 | 18.9 | 3.0 |
| ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 300 | 5.3 | -2.5 | -11.4 | 13.9 | 1.5 | -3.9 | 14.6 | 1.1 |
| 夏季 | | 200 | 35.5 | 12.2 | 11.6 | 20.9 | 8.7 | 8.9 | 21.4 | 8.3 | |
| 夏季 | | 250 | 29.7 | 13.6 | 12.6 | 22.2 | 10.9 | 11.1 | 22.7 | 10.5 | |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 300 | 28.7 | 17.0 | 16.5 | 25.6 | 13.7 | 13.9 | 26.0 | 13.2 |

(b) デッキプレート-主桁腹板溶接部とスカラップ溶接部

| モデル | | | | デッキ-主桁腹板首溶接止端部 | | スカラップ溶接部 | |
|---------------|-------------|------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 垂直補剛材断面形状 | 縦リブ支間l (mm) | 舗装剛性 | 第1縦リブの位置b (mm) | 箱内腹板側 | 箱外デッキ側 | デッキ部垂直補剛材側 | 腹板部垂直補剛材側 |
| | | | | σ_{1max} | σ_{3min} | σ_{1max} | σ_{3min} |
| ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 13.2 | 20.6 | -1.1 | 0.8 |
| | | 夏季 | 250 | 12.9 | 20.4 | -1.4 | 0.4 |
| | | 夏季 | 300 | 12.6 | 20.3 | -1.4 | 4.4 |
| | 2500 | 夏季 | 200 | 12.6 | 19.6 | -2.6 | 0.1 |
| | | 夏季 | 250 | 12.1 | 19.4 | -2.9 | -0.3 |
| | | 春秋季 | 250 | 7.4 | 14.3 | -7.8 | -3.5 |
| | | 冬季 | 250 | -14.3 | 10.8 | -7.7 | -2.5 |
| | | 夏季 | 300 | 11.7 | 19.2 | -3.0 | -0.7 |
| | | 夏季 | 200 | 12.7 | 19.3 | -3.1 | 0.0 |
| | 3000 | 夏季 | 250 | 12.2 | 19.0 | -3.5 | -0.3 |
| | | 夏季 | 300 | 11.6 | 18.8 | -3.7 | -0.7 |
| | | 夏季 | 250 | 9.8 | 18.5 | -5.0 | -0.5 |
| ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 300 | 9.4 | 18.3 | -5.2 | -0.8 |
| 夏季 | | 200 | 21.2 | 22.5 | 9.5 | 11.5 | |
| 夏季 | | 250 | 21.5 | 22.3 | 9.4 | 12.3 | |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 300 | 20.9 | 22.2 | 9.3 | 12.3 |

(2) 上端カットモデル

表 - 4.4.4 はデッキプレート増厚による垂直補剛材溶接部とデッキプレート - 主桁腹板溶接部の応力低減率を示している。表(a)は垂直補剛材溶接部の腹板側止端部と垂直補剛材側止端部における、最大の最大主応力と最小の最小主応力、最大応力範囲に対しての計算結果である。

上端カットの場合には全てのケースでデッキプレート増厚による応力低減効果が確認できる。最大応力範囲の応力低減効果は、腹板側止端部では3~15%、垂直補剛材止端部では4~17%であり、腹板側止端部の低減率が大きいケースでは垂直補剛材側止端部でも低減率が大きい傾向にある。

表(b)はデッキプレート - 主桁腹板溶接部の計算結果であり、最も大きい引張応力が発生する箱桁内部の腹板側止端部の最大の最大主応力と、最も大きい圧縮応力が発生する箱桁外部のデッキプレート側止端部の最小の最小主応力に対する値を示している。

垂直補剛材溶接止端部と同様、全てのケースでデッキプレート増厚による応力低減効果があり、箱桁内部の腹板側止端部で8~33%、箱桁外部のデッキプレート側止端部で9~24%の低減効果が確認できる。

表 - 4.4.4 デッキプレート増厚(12→16mm)による応力低減率(%) (上端カットモデル)

(a) 垂直補剛材溶接止端部

| モデル | | | | 最大主応力 σ_{1max} | | | 最小主応力 σ_{3min} | | | $\Delta \sigma_{max}$ | | |
|---------------|---------------|----------|----------------------|-----------------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|-----------------------|--------------|------|
| 垂直補剛材 断面形状 | 縦リブ支間 (mm) | 舗装 剛性 | 第1縦リブの位置 b (mm) | 腹板側 | 垂直補剛材側 | | 腹板側 | 垂直補剛材側 | | 腹板側 | 垂直補剛材 側角部 | |
| | | | | | 角部要素 | 板厚中心要素 | | 角部要素 | 板厚中心要素 | | | |
| ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 16.8 | 13.9 | 13.9 | 7.8 | 7.9 | 8.0 | 7.8 | 8.0 | |
| | | | 250 | 16.5 | 13.9 | 13.8 | 10.3 | 10.5 | 10.6 | 10.3 | 10.6 | |
| | | | 300 | 16.2 | 13.6 | 13.6 | 11.7 | 12.1 | 12.2 | 11.7 | 12.2 | |
| | 2500 | 夏季 | 200 | 14.2 | 12.0 | 11.9 | 7.4 | 7.6 | 7.6 | 7.4 | 7.6 | |
| | | | 250 | 14.1 | 12.0 | 12.0 | 9.2 | 9.4 | 9.4 | 9.2 | 9.4 | |
| | | | 春秋 | 250 | 10.0 | 8.3 | 8.2 | 5.2 | 5.8 | 5.8 | 5.2 | 5.8 |
| | | 冬季 | 250 | 6.3 | 5.8 | 5.8 | 3.3 | 4.1 | 4.1 | 3.3 | 4.1 | |
| | | | 夏季 | 300 | 14.0 | 12.0 | 11.9 | 10.3 | 10.6 | 10.7 | 10.4 | 10.7 |
| | | | 夏季 | 200 | 13.0 | 11.2 | 11.1 | 7.6 | 7.8 | 7.8 | 7.6 | 7.9 |
| | 3000 | 夏季 | 250 | 13.0 | 11.2 | 11.2 | 8.8 | 9.0 | 9.0 | 8.8 | 9.0 | |
| | | | 夏季 | 300 | 12.9 | 11.2 | 11.2 | 9.7 | 9.9 | 9.9 | 9.7 | 9.9 |
| | | | 夏季 | 250 | 13.6 | 11.7 | 11.6 | 8.7 | 8.8 | 8.8 | 8.7 | 8.9 |
| ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 250 | 13.6 | 11.7 | 11.6 | 8.7 | 8.8 | 8.8 | 8.7 | 8.9 | |
| 夏季 | | | 300 | 13.5 | 11.6 | 11.5 | 9.8 | 10.1 | 10.1 | 9.8 | 10.1 | |
| 夏季 | | | 200 | 25.2 | 20.2 | 20.1 | 12.5 | 14.1 | 14.2 | 12.5 | 14.2 | |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 250 | 25.1 | 20.3 | 20.2 | 14.2 | 16.0 | 16.1 | 14.2 | 16.1 | |
| | | | 夏季 | 300 | 24.9 | 20.3 | 20.2 | 15.4 | 17.3 | 17.4 | 15.4 | 17.4 |

(b) デッキプレート-主桁腹板溶接部

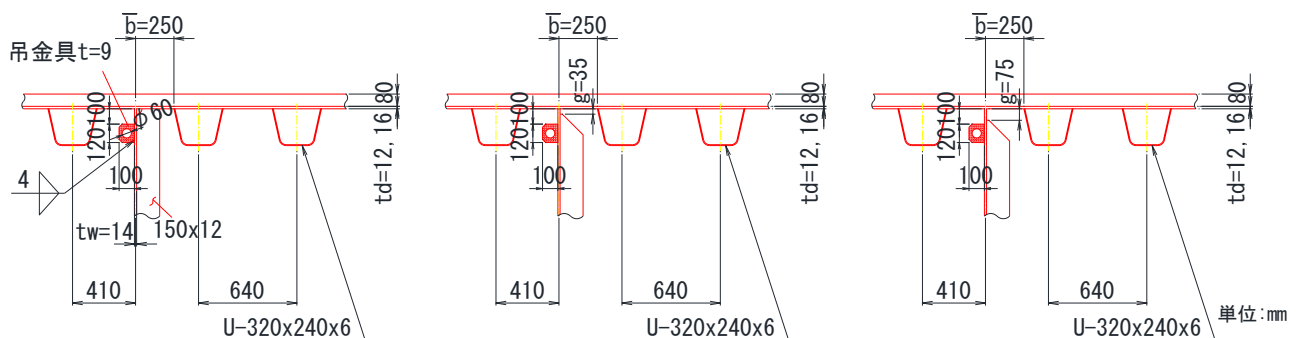
| モデル | | | | デッキ-主桁腹板首溶接止端部 | | |
|---------------|---------------|----------|----------------------|-----------------|-----------------|------|
| 垂直補剛材 断面形状 | 縦リブ支間 (mm) | 舗装 剛性 | 第1縦リブの位置 b (mm) | 箱内腹板側 | 箱外デッキ側 | |
| | | | | σ_{1max} | σ_{3min} | |
| ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 22.4 | 23.2 | |
| | | | 250 | 21.9 | 23.0 | |
| | | | 300 | 21.5 | 22.6 | |
| | 2500 | 夏季 | 200 | 19.2 | 23.2 | |
| | | | 250 | 19.0 | 25.0 | |
| | | | 春秋 | 250 | 13.6 | 15.2 |
| | | 冬季 | 250 | 7.7 | 9.3 | |
| | | | 夏季 | 300 | 18.8 | 23.9 |
| | | | 夏季 | 200 | 17.4 | 23.2 |
| | 3000 | 夏季 | 250 | 17.3 | 22.9 | |
| | | | 夏季 | 300 | 17.2 | 22.4 |
| | | | 夏季 | 250 | 17.0 | 22.7 |
| ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 300 | 16.8 | 22.4 | |
| 夏季 | | | 200 | 32.9 | 23.7 | |
| 夏季 | | | 250 | 32.5 | 23.9 | |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 250 | 32.0 | 23.8 | |

4.4.6 足場用吊金具の有無

鋼床版橋においても、架設時や塗装塗替え時に使用する足場用吊金具が桁腹板に設置される。この吊金具は垂直補剛材位置の裏側となる場合もあり、垂直補剛材溶接部の局部応力に影響を及ぼす可能性がある。文献(4-20), (4-21)では解析的な検討により、吊金具位置が垂直補剛材位置と一致した場合には垂直補剛材溶接部やデッキプレート - 腹板溶接部の発生応力が大きくなると指摘しているが、吊金具形状が鋼床版橋で現在、一般に用いられる形状とは異なり、また、SHELL要素を用いたモデルでの検討のため、部材交差部の局部応力を適切に評価できていない可能性がある。本項では一般に用いられる吊金具を対象とし、溶接部も含めてSOLID要素でモデル化し、その有無が垂直補剛材溶接部の局部応力に及ぼす影響について確認した。

(1) 解析モデル

解析対象は上端溶接モデルと上端カットモデルの基本モデルに加え、垂直補剛材上端と吊金具上端位置が近くなる上端カット量 $g=75\text{mm}$ の場合の解析も実施した。解析対象を図 - 4.4.49 に、吊金具部のモデルを示す。これらのモデルでは垂直補剛材と吊金具の板厚中心位置を一致させている。なお、吊金具溶接部の着目部近傍の要素寸法は垂直補剛材溶接部と同様、約 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 1\text{mm}$ である。

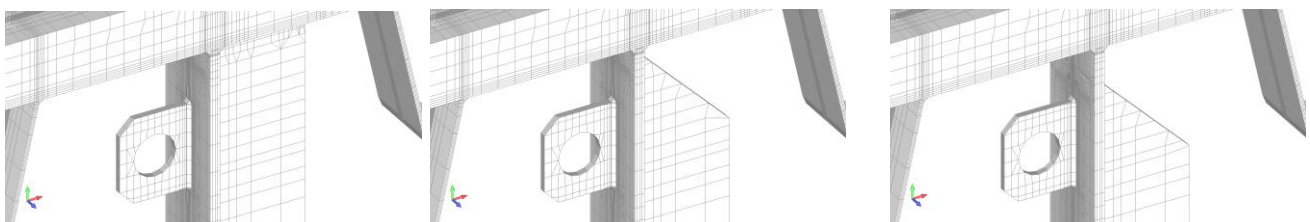


(a) 上端溶接モデル

(b) 上端カット ($g=35\text{mm}$) モデル

(c) 上端カット ($g=75\text{mm}$) モデル

図 - 4.4.49 吊金具の寸法・設置位置



(a) 上端溶接モデル

(b) 上端カット ($g=35\text{mm}$) モデル

(c) 上端カット ($g=75\text{mm}$) モデル

図 - 4.4.50 吊金具モデル

(2) 解析結果

図 - 4.4.51~4.4.53 は各モデルの橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材溶接止端部要素について、最大の最大主応力、最小の最小主応力、溶接止端先端ライン直角方向応力範囲を吊金具の有無で比較した結果である。いずれのモデルも、吊金具の有無が発生応力に及ぼす影響は極めて小さい。なお、デッキプレート-腹板溶接部の発生応力についても、吊金具を設置することによる発生応力の増減は3%以下と小さかった。

表 - 4.4.5 に前節に示した手法と同様の方法で算出した疲労被害の一覧を示す。上端溶接モデルでは、吊金具を有する場合に疲労被害が僅かに大きくなる。上端カットモデルでは、 $g=35\text{mm}$ の場合は若干ではあるが吊金具を有すると全体的に疲労被害が大きくなり、 $g=75\text{mm}$ の場合には、疲労被害が若干小さくなる傾向が確認できる。これらは吊金具が主桁腹板の変形に影響を及ぼすためだと考えられるが、差異は最大でも 5% 未満であり、吊金具が垂直補剛材溶接部に及ぼす影響は小さい。

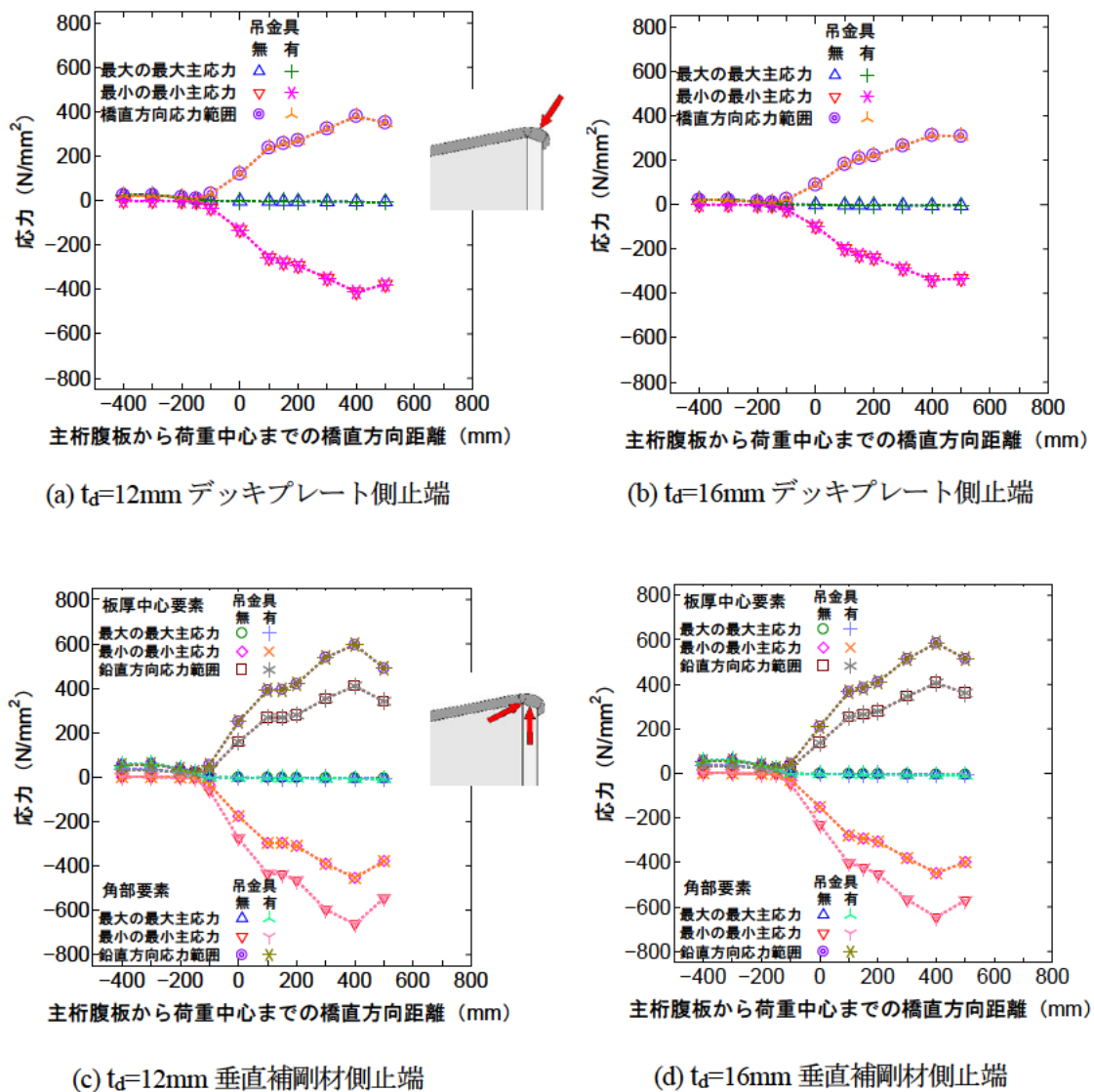


図 - 4.4.51 上端溶接モデルの吊金具有無の比較

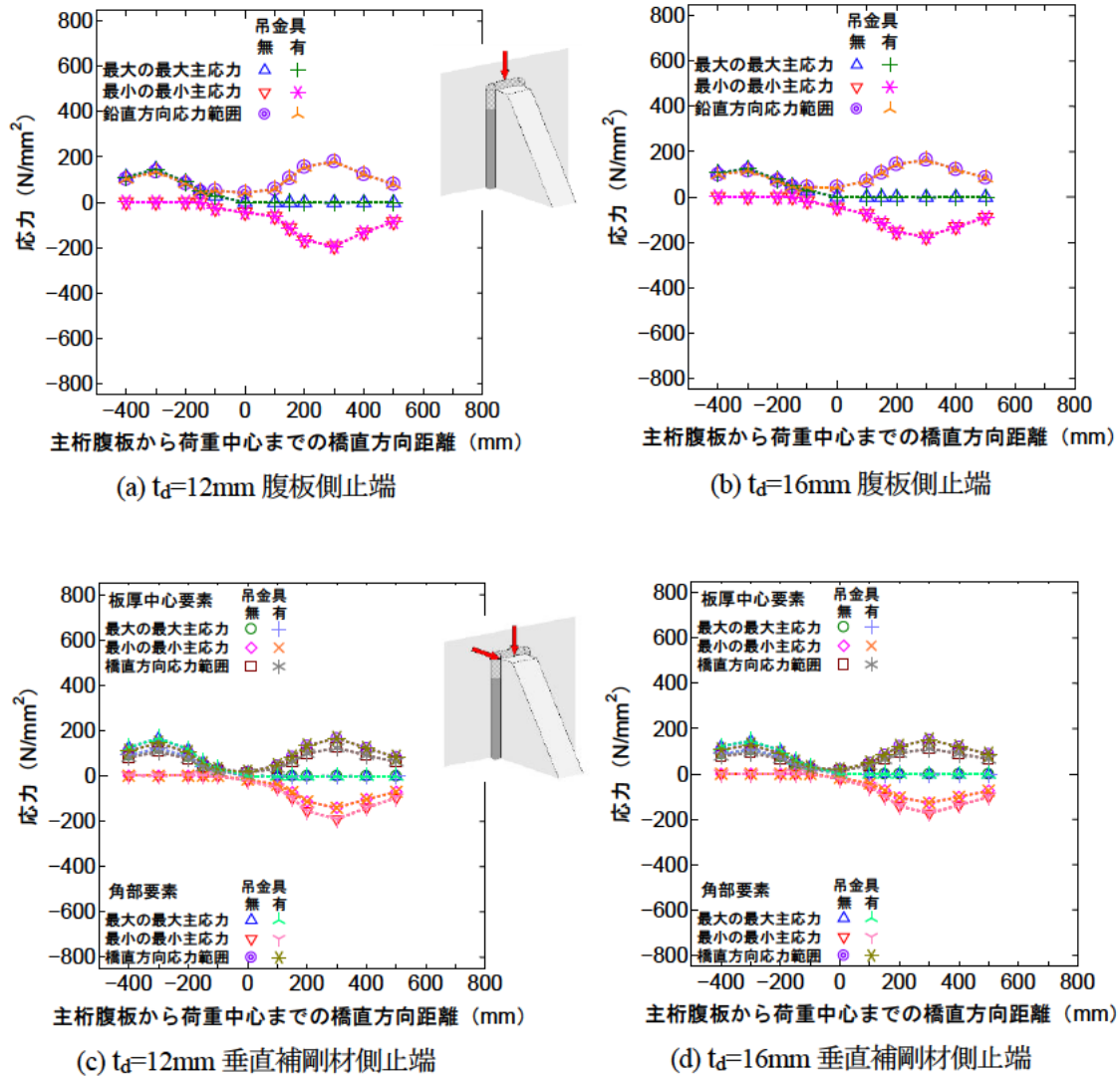


図 - 4.4.52 上端カット ($g=35\text{mm}$) モデルの吊金具有無の比較

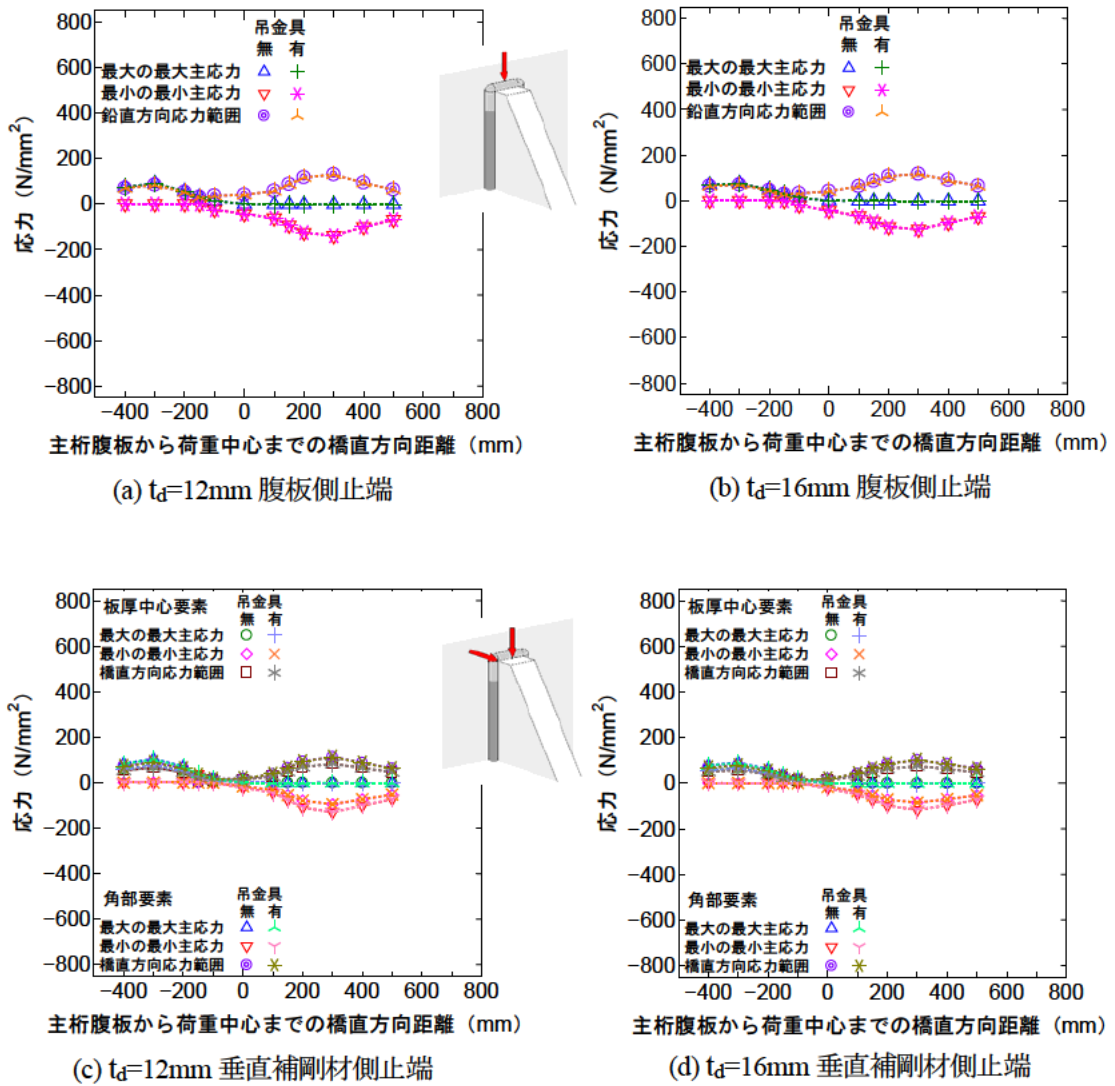


図 - 4.4.53 上端カット ($g=75\text{mm}$) モデルの吊金具有無の比較

表 - 4.4.5 吊金具がない場合に対する吊金具を有する場合の疲労被害の割合

| 解析モデル | 着目位置 | | $t_d=12\text{mm}$ | | | $t_d=16\text{mm}$ | | |
|---------------------------------|------------|--------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| | | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| 上端溶接モデル | デッキプレート側止端 | 板厚中心要素 | 1.002 | 1.002 | 1.001 | 1.002 | 1.003 | 1.002 |
| | 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 1.003 | 1.004 | 1.003 | 1.005 | 1.006 | 1.005 |
| | | 板厚中心要素 | 1.004 | 1.005 | 1.004 | 1.006 | 1.006 | 1.005 |
| 上端カットモデル ($g=35\text{mm}$) | 腹板側止端 | 板厚中心要素 | 1.000 | 1.000 | 0.998 | 1.001 | 1.001 | 0.999 |
| | 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 1.007 | 1.004 | 1.015 | 1.007 | 1.003 | 1.016 |
| | | 板厚中心要素 | 1.006 | 1.003 | 1.013 | 1.005 | 1.002 | 1.014 |
| 上端カットモデル ($g=75\text{mm}$) | 腹板側止端 | 板厚中心要素 | 1.004 | 1.003 | 0.996 | 1.005 | 1.004 | 0.998 |
| | 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 0.985 | 0.992 | 0.951 | 0.992 | 0.996 | 0.952 |
| | | 板厚中心要素 | 0.987 | 0.993 | 0.960 | 0.992 | 0.996 | 0.962 |

次に吊金具自体の溶接部に発生する応力について確認する。図 - 4.4.54~4.4.56 は各モデルの橋軸直角方向の各荷重ケースの吊金具溶接止端部要素における、最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲をデッキプレート厚と吊金具上下端の回し溶接止端部に分けて示している。各モデルともに上端側の発生応力が下端側よりも大きい傾向が確認できる。また、デッキプレート厚から離れた位置にあるためか、デッキプレート厚が発生応力に及ぼす影響は小さい。発生応力値は、回し溶接止端部が裏面の垂直補剛材の回し溶接止端部に近くなる $g=75\text{mm}$ の上端カットモデルで若干大きいですが、いずれのモデルでも発生応力の絶対値は 60N/mm^2 以下であり、垂直補剛材溶接部と比較して小さい。

以上より、垂直補剛材の裏面に吊金具が設置されても疲労に対する影響は小さいと考えられる。

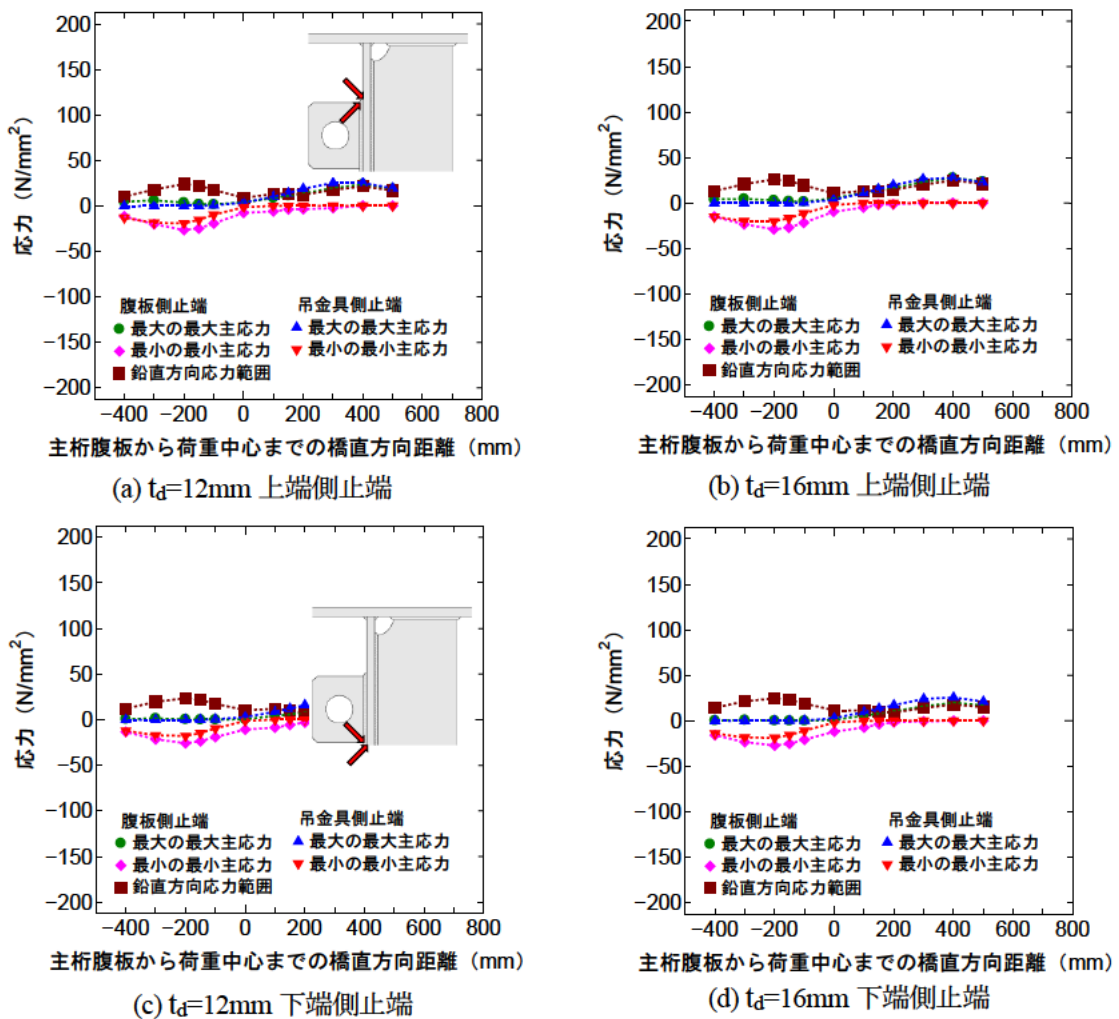
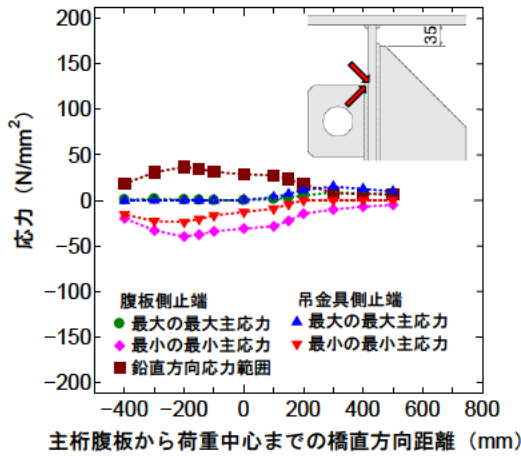
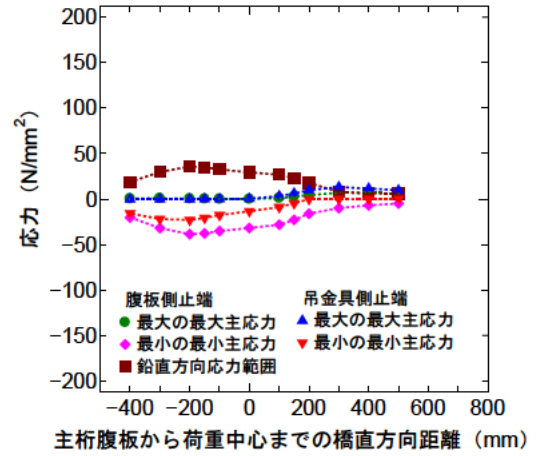


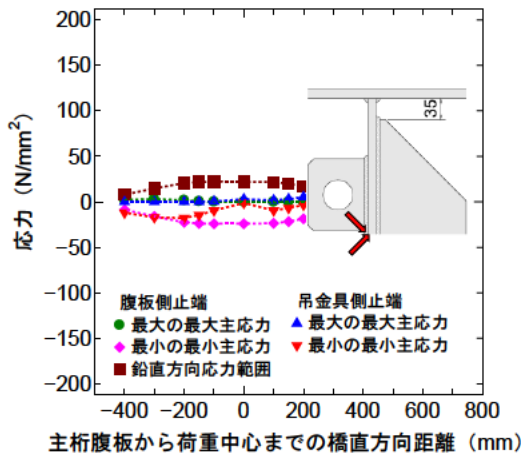
図 - 4.4.54 上端溶接モデルの吊金具溶接止端部応力



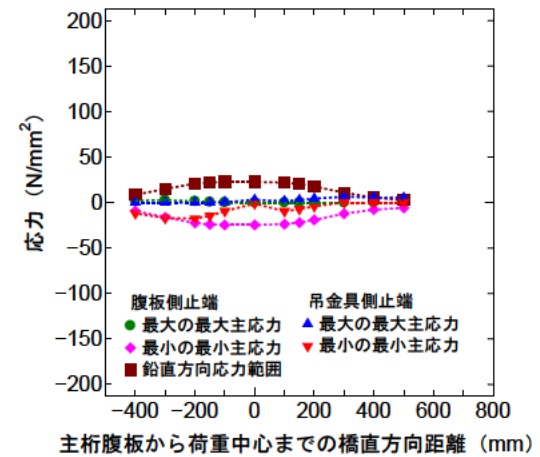
(a) $t_d=12\text{mm}$ 上端側止端



(b) $t_d=16\text{mm}$ 上端側止端

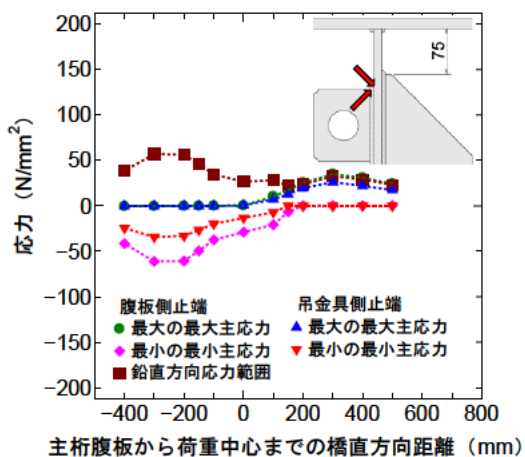


(c) $t_d=12\text{mm}$ 下端側止端

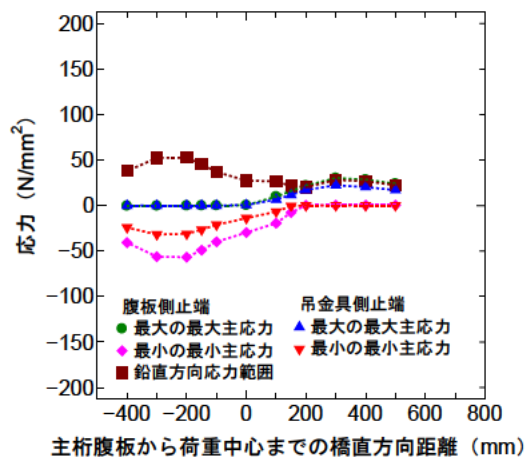


(d) $t_d=16\text{mm}$ 下端側止端

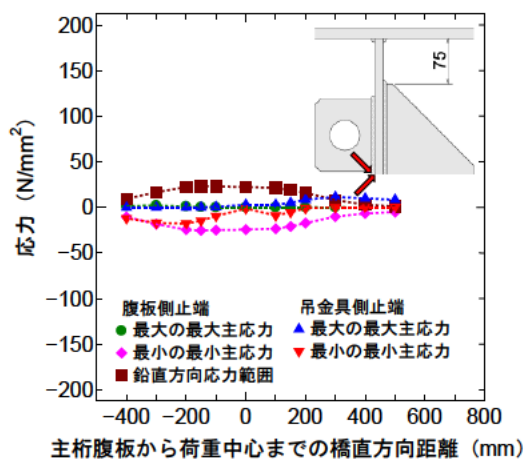
図 - 4.4.55 上端カット ($g=35\text{mm}$) モデルの吊金具溶接止端部応力



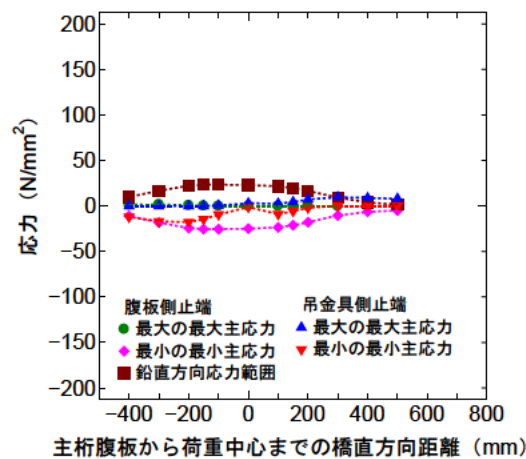
(a) $t_d=12\text{mm}$ 上端側止端



(b) $t_d=16\text{mm}$ 上端側止端



(c) $t_d=12\text{mm}$ 下端側止端



(d) $t_d=16\text{mm}$ 下端側止端

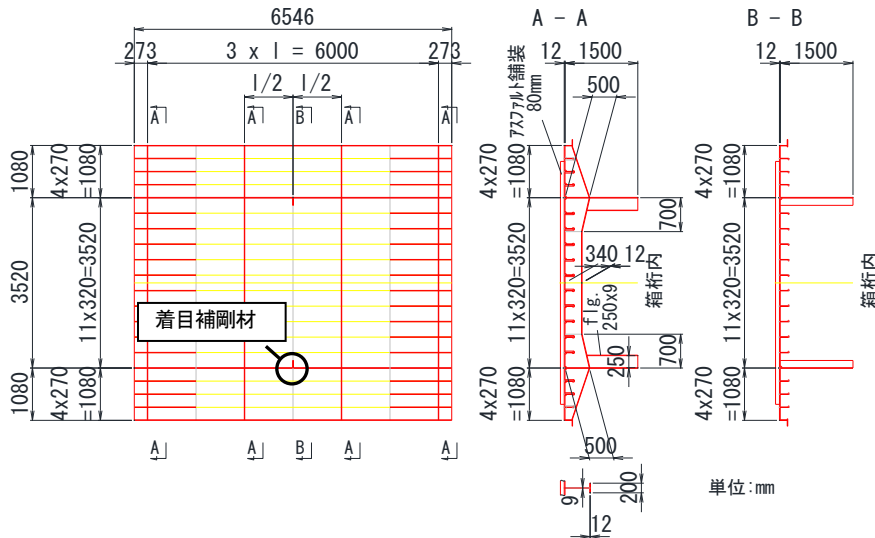
図 - 4.4.56 上端カット ($g=75\text{mm}$) モデルの吊金具溶接止端部応力

4.4.7 開断面リブ

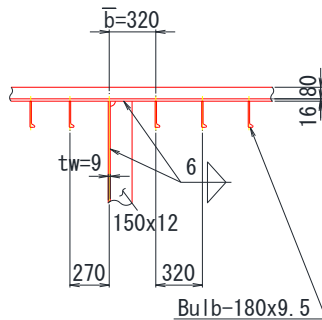
垂直補剛材 - デッキプレート溶接部の疲労き裂は、開断面リブを用いた鋼床版橋梁でも報告されている⁴⁻³⁾。第1縦リブの剛性は主桁腹板溶接部上面のデッキプレートの変形に影響を及ぼすことが知られており⁴⁻²²⁾、垂直補剛材溶接部の発生応力に影響を及ぼす可能性がある。本項では上端溶接の垂直補剛材で垂直補剛材側止端部に疲労き裂が発生した橋梁を参考として構造パラメータを決定したモデルを用い、開断面リブタイプの鋼床版における垂直補剛材溶接部について、上端溶接の場合と上端カットの場合の応力性状を確認する。

(1) 解析モデル

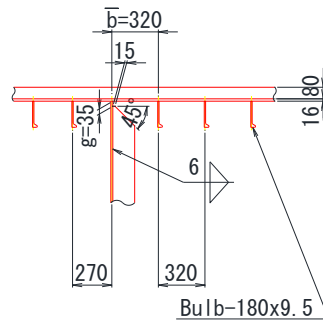
解析対象を図-4.4.57に示す。1箱桁の鋼床版を橋軸方向に3パネル抽出したモデルで、垂直補剛材の断面形状は150mm×12mm、主桁腹板厚 t_w は9mmである。上端カットの場合のギャップ量 g は35mmとした。主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} は320mm、縦リブ支間 l は実際にき裂が確認された橋梁と同じ2,000mmに加え、開断面リブの場合に一般的な1,500mmのモデルも作成した。アスファルト舗装は厚さが80mm、弾性係数は夏季を想定した場合には500N/mm²である。



(a) 一般図



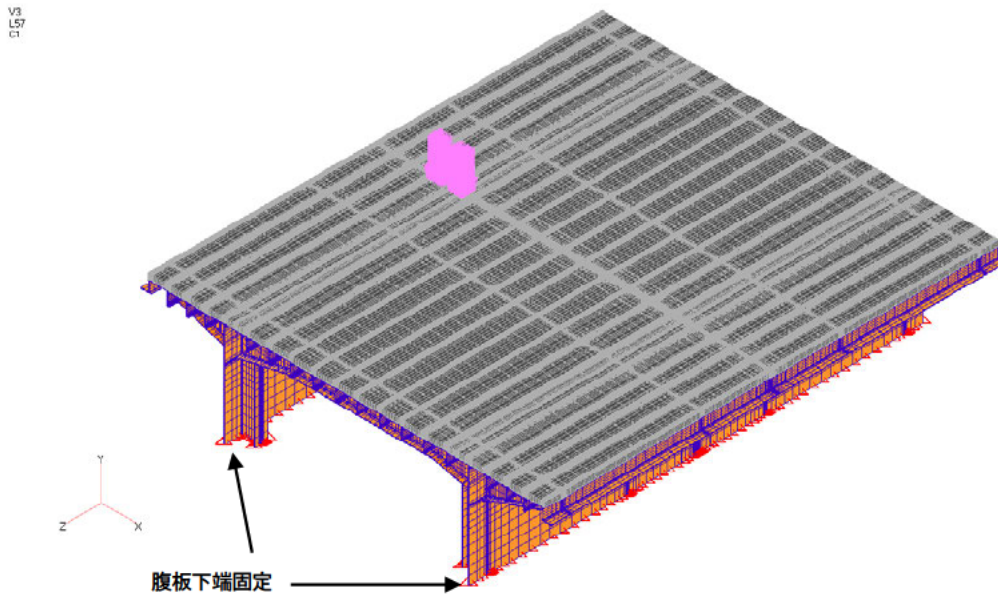
(b) 上端溶接垂直補剛材



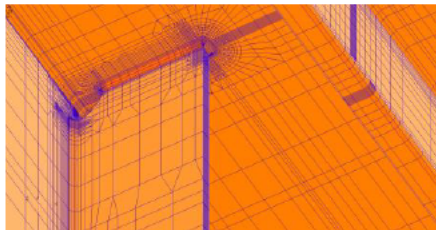
(c) 上端カット垂直補剛材

図 - 4.4.57 開断面リブモデル

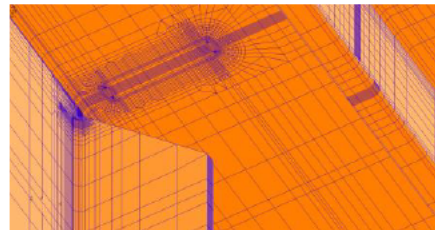
解析モデルを図 - 4.4.58 に示す。着目部近傍の要素寸法は閉断面リブモデルと同様、約 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 1\text{mm}$ である。荷重は図 - 4.2.3(a)に示したダブルタイヤを、橋軸方向に对称性を考慮して7ケース、橋軸直角方向に主桁腹板位置を基準とした14ケースを組み合わせ、合計98ケース載荷した。拘束条件は腹板下端を完全拘束としている。表 - 4.4.6 に解析パラメータの一覧を示す。



(a) 全体図



(b) 上端溶接垂直補剛材



(c) 上端カット垂直補剛材

図 - 4.4.58 解析モデル (開断面リブモデル)

表 - 4.4.6 開断面リブモデル

| No. | 垂直補剛材 断面形状 | 腹板厚 tw(mm) | ギャップ量 g(mm) | デッキ厚 td(mm) | 第1縦リブの 位置 b(mm) | 縦リブ支間 l(mm) | 橋軸方向荷重位置(mm) | 橋軸直角方向 荷重位置x(mm) | 備考 |
|-----|-----------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------------------------|---------------------|-------|
| 1 | ① (150 × 12) | 9 | 0 (上端溶接) | 12 | 320 | 1500 | 0,100,200,312.5,512.5,750,950 | ※1 | 損傷モデル |
| 2 | | | | | | 2000 | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 | | |
| 3 | | | | | | 1500 | 0,100,200,312.5,512.5,750,950 | | |
| 4 | | | | | | 2000 | 0,100,200,312.5,512.5,712.5,1000 | | |

※1: -400,-300,-200,-150,-100,0,100,150,200,300,400,500,600,700

(2) 解析結果

縦リブ支間長 $l=2,000\text{mm}$ のモデルに対し、橋軸直角方向の各荷重ケースで荷重を橋軸方向の 0mm 位置、すなわち着目断面直上に載荷した際の 50 倍変形図を、上端溶接と上端カットの場合に分けて図 - 4.4.59 と図 - 4.4.60 に示す。開断面リブは、ねじり剛性が小さいこともあり、上端溶接、上端カットともに図 - 4.3.1 と図 - 4.3.16 に示した閉断面リブの場合と比較してリブ間のデッキプレートの変形が大きくなっている。

図 - 4.4.61 は上端溶接モデルのデッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部における、橋軸直角方向の各荷重ケースの最大の最大主応力、最小の最小主応力、橋軸直角方向応力範囲を示している。応力範囲算出にあたり、橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものもあったが、この場合には発生応力が 0N/mm^2 になると仮定している。閉断面リブの場合と同様に、デッキプレート側止端部、垂直補剛材側止端部ともに、橋軸直角方向位置がダブルタイヤの左輪の左端が垂直補剛材先端部近傍となる $x=400\text{mm}$ のケースで最大値を示し、箱桁内側へ載荷された場合の輪荷重の影響範囲も $x=800\text{mm}$ 程度までとなる可能性がある。また、縦リブ支間長 l が大きい場合に発生応力が大きい。そして、応力分布の形状は閉断面リブの基本モデルで主桁腹板 - 第 1 縦リブ間の距離 b を 300mm とした場合に近く、ダブルタイヤの右輪の左端が垂直補剛材先端部近傍となるケースでも小さな極値が確認できる。

図 - 4.4.62 は上端カットモデルの腹板側止端部と垂直補剛材側止端部における、橋軸直角方向の各荷重ケースの溶接先端部の角部と板厚中心部の要素の、最大の最大主応力、最小の最小主応力、鉛直方向応力範囲を示している。橋軸方向荷重位置が横リブ位置に達しても発生応力が 0N/mm^2 となっていないものについては、発生応力が 0N/mm^2 になると仮定して応力範囲を算出している。閉断面リブの場合と同様に、腹板側止端部、垂直補剛材側止端部ともに、橋軸直角方向荷重位置 $x=\pm 300\text{mm}$ の位置で圧縮、あるいは引張応力が卓越しており、箱桁内側、外側ともに輪荷重が発生応力に影響を及ぼす範囲は同程度であり、 $x=\pm 600\text{mm}$ である。また、縦リブ支間長 l が大きい場合に発生応力が若干大きい。

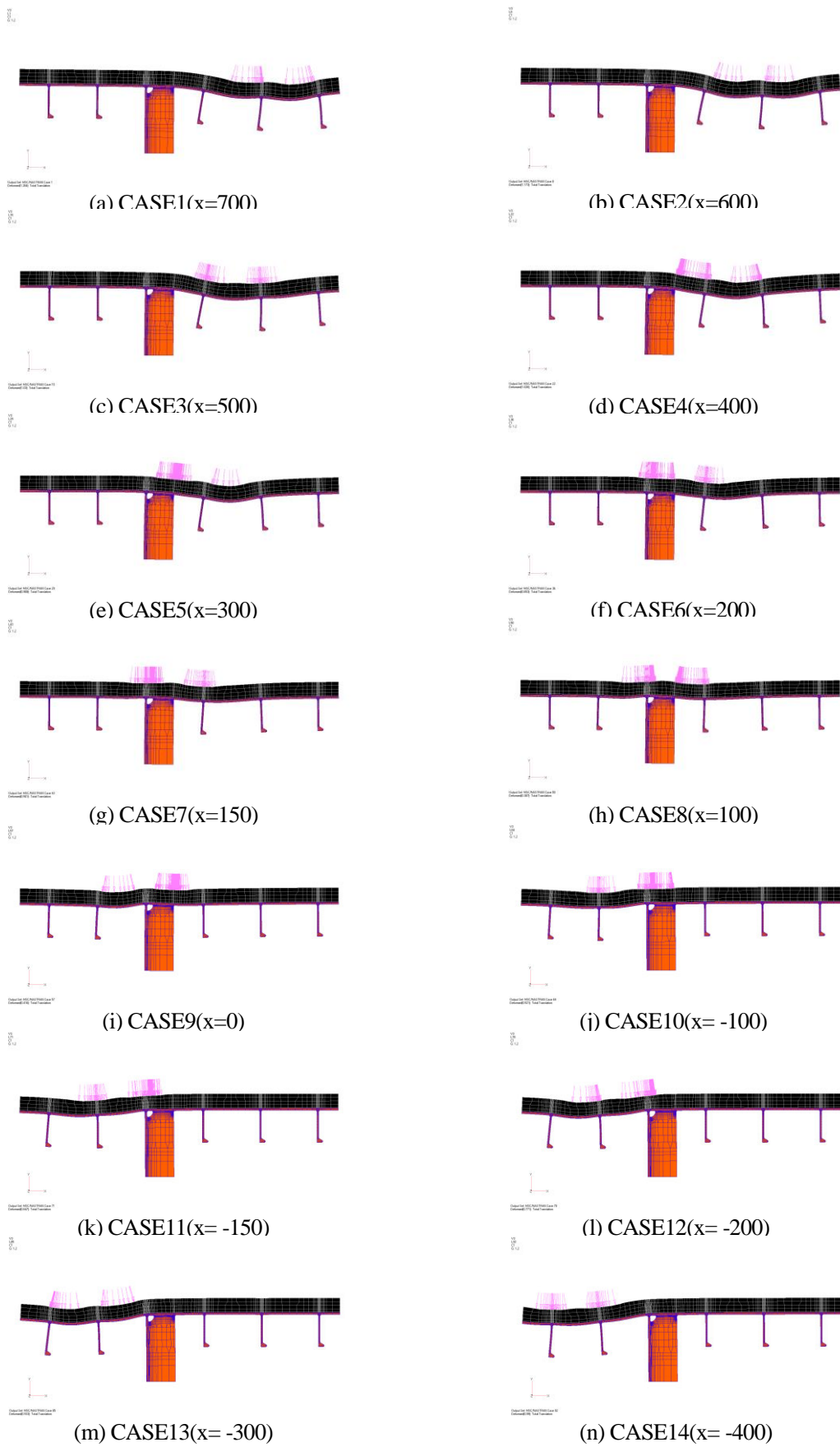


図 - 4.4.59 上端溶接モデル着目断面載荷 50 倍変形図 (開断面リブ, $l=2000\text{mm}$)

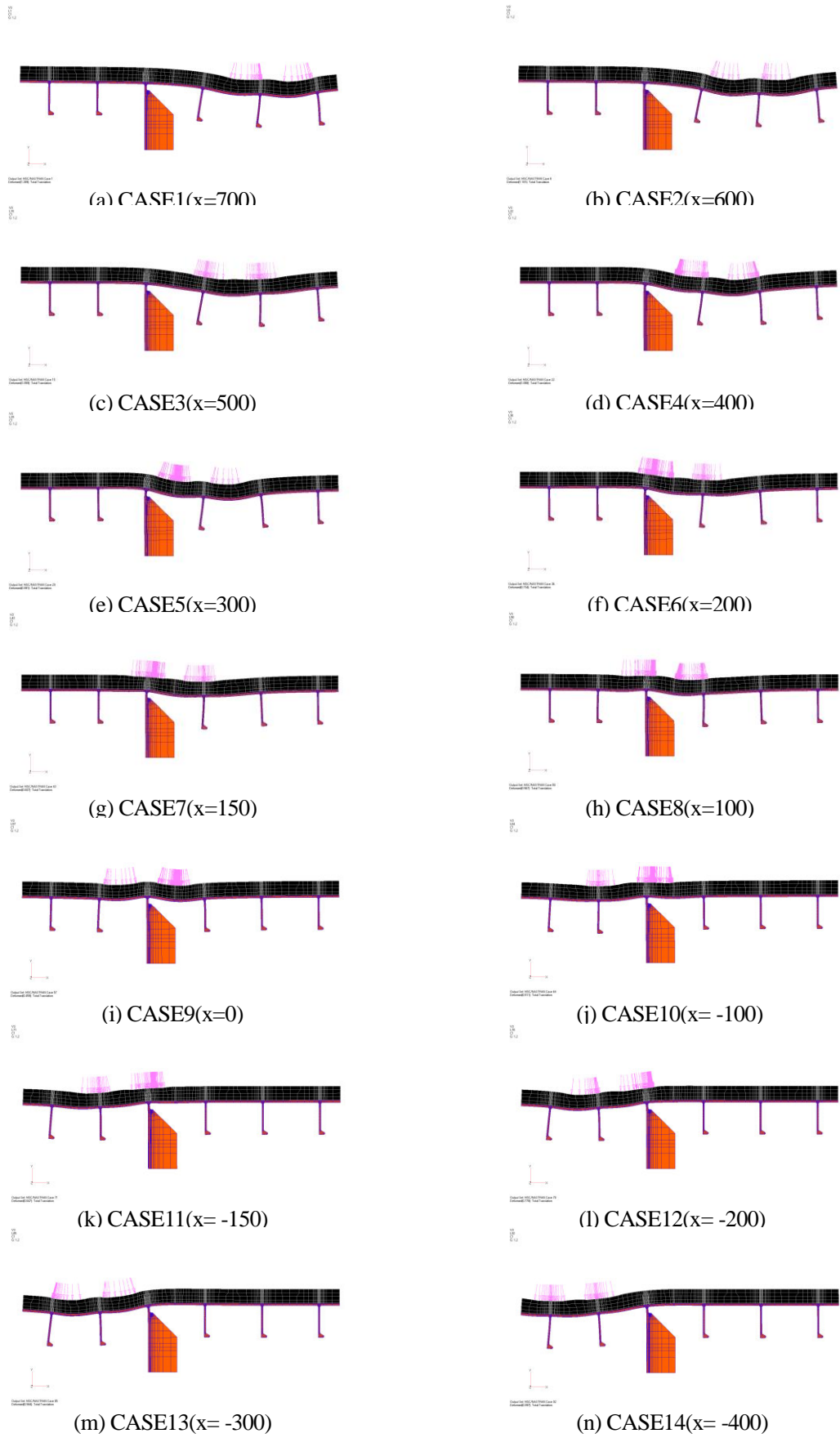


図 - 4.4.60 上端カットモデル着目断面載荷 50 倍変形図 (開断面リブ, $l=2000\text{mm}$)

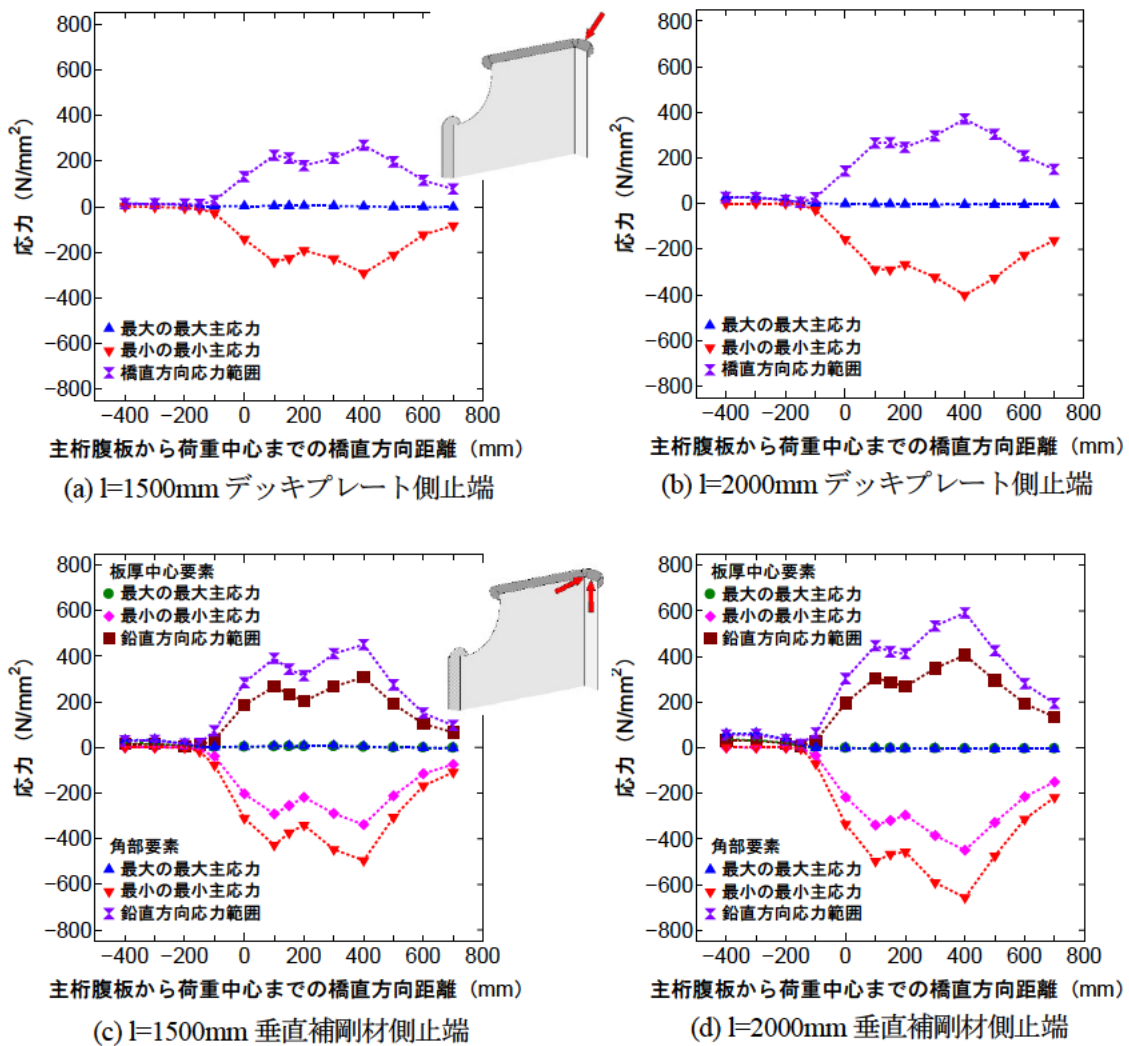
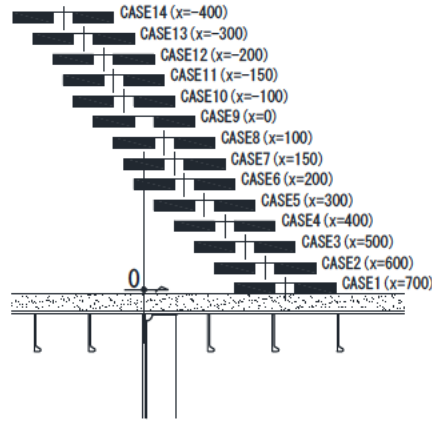
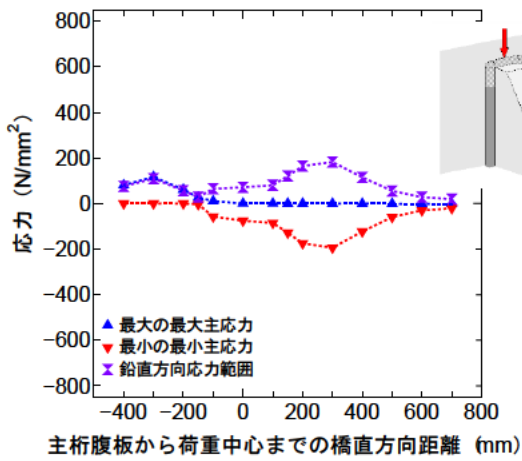
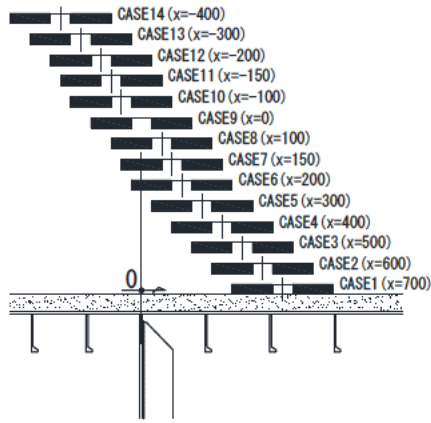
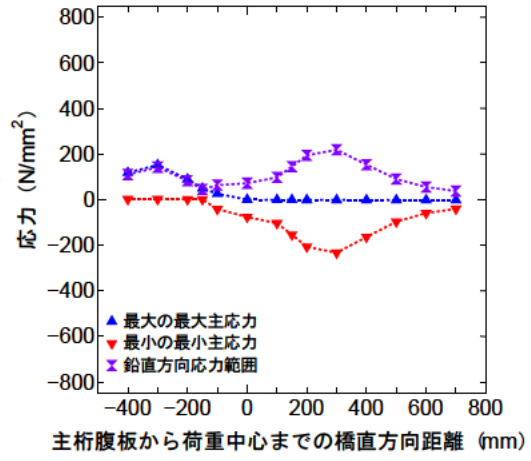


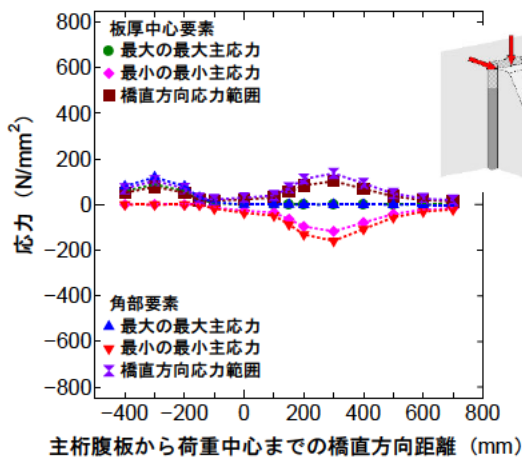
図 - 4.4.61 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材溶接止端先端要素の応力（上端溶接モデル）



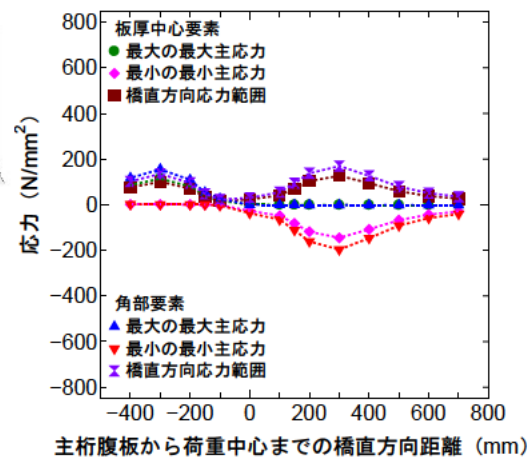
(a) $l=1500\text{mm}$ 腹板側止端



(b) $l=2000\text{mm}$ 腹板側止端



(c) $l=1500\text{mm}$ 垂直補剛材側止端



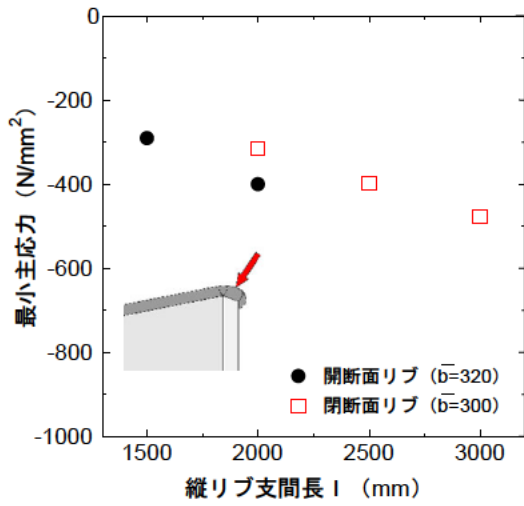
(d) $l=2000\text{mm}$ 垂直補剛材側止端

図 - 4.4.62 橋軸直角方向の各荷重ケースの垂直補剛材溶接止端先端要素の応力 (上端カットモデル)

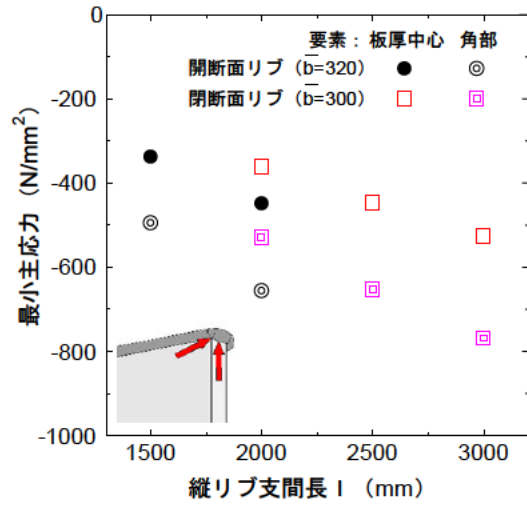
図 - 4.4.63 と図 - 4.4.64 は縦リブ支間長で整理した上端溶接モデルと上端カットモデルの各溶接部で卓越する主応力を示している。図中には主桁腹板厚 t_w は 12mm と 3mm 厚いものの、垂直補剛材の断面形状が 150mm×12mm と同じで、主桁腹板-第 1 縦リブ間の距離 \bar{b} が 300mm と開断面リブモデルに近い、閉断面リブモデル（デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$ ）の解析結果も示している。なお、上端溶接モデルのデッキプレート-主桁腹板溶接部とスカラップ溶接部、上端カットモデルのデッキプレート-主桁腹板溶接部において、主応力が卓越する箇所は閉断面リブモデルと同じであった。

図 - 4.4.63 で上端溶接モデルの結果をみると、閉断面の場合と同様に、デッキプレート側止端部（図(a)）と垂直補剛材側止端部（図(b)）の最小の最小主応力は縦リブ支間長 l の影響を受け、支間長が 500mm 増加するとそれぞれ 27% と 25% 増加している。これらの増加率は閉断面リブモデルの場合よりも大きい。また 4.4.1 項に示すように、閉断面リブで \bar{b} が 20mm 違うことによる影響は小さいと考えられ、開断面リブでは発生応力自体も、大きくなることがわかる。また、デッキプレート - 主桁腹板溶接部の主応力（図(c)）、スカラップ溶接部の主応力（図(d)）についても、閉断面リブと同様に支間長の増加に伴って発生応力が増加し、発生応力値は閉断面リブの場合よりも若干大きくなる傾向にある。

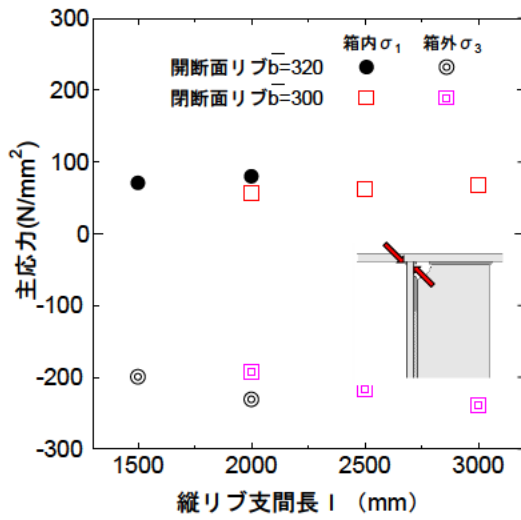
図 - 4.4.64 で上端カットモデルの結果をみると、上端溶接の場合と同様、支間長の増加に伴って発生応力が増加する閉断面リブと同じ傾向が確認でき、発生応力値は閉断面リブの場合よりも若干大きくなる傾向にある。支間長が 500mm 増加した場合の応力増加率は、腹板側止端部の最小の最小主応力（図(a)）で 17%、最大の最大主応力（図(b)）で 23%、垂直補剛材側止端部の最小の最小主応力（図(c)）で 19%、最大の最大主応力（図(d)）で 23% であり、閉断面リブの場合の増加率よりも若干大きい。



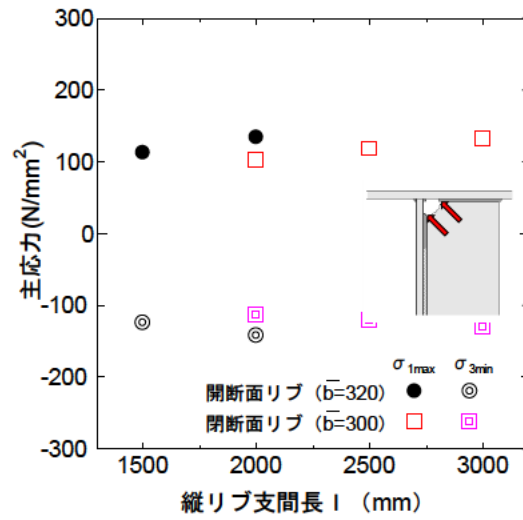
(a) デッキプレート側止端部最小主応力



(b) 垂直補剛材側止端部最小主応力

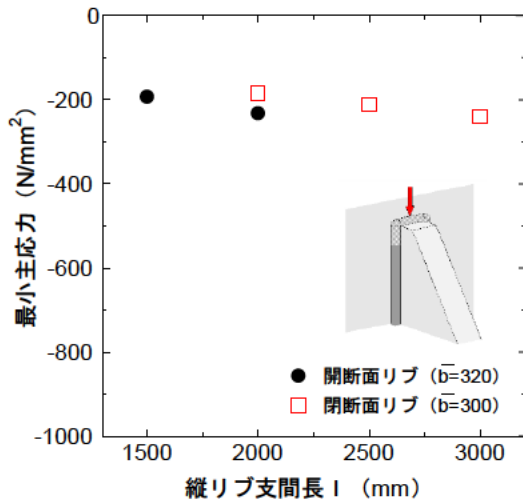


(c) デッキプレート - 主桁腹板溶接部の主応力

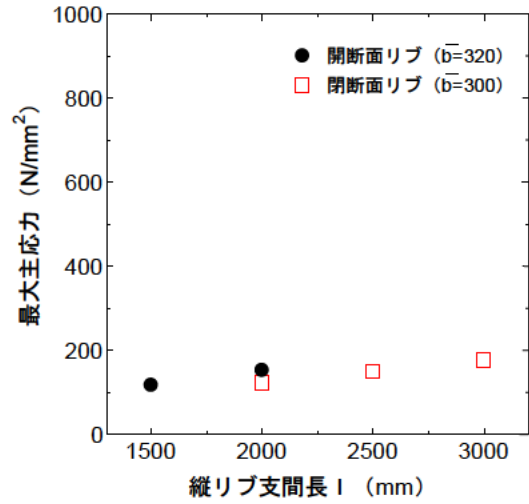


(d) スカラップ溶接部の主応力

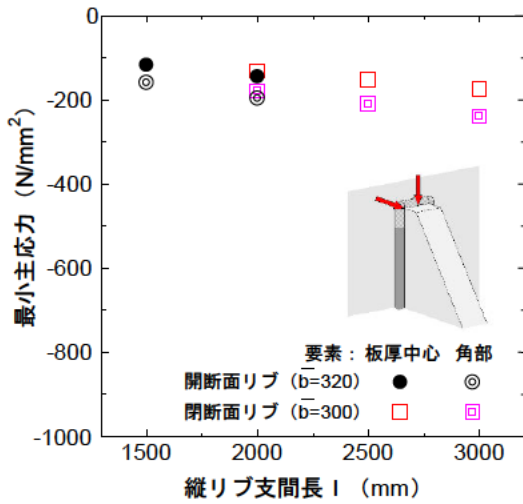
図 - 4.4.63 縦リブ支間長で整理した開断面リブモデル溶接部の応力 (上端溶接モデル)



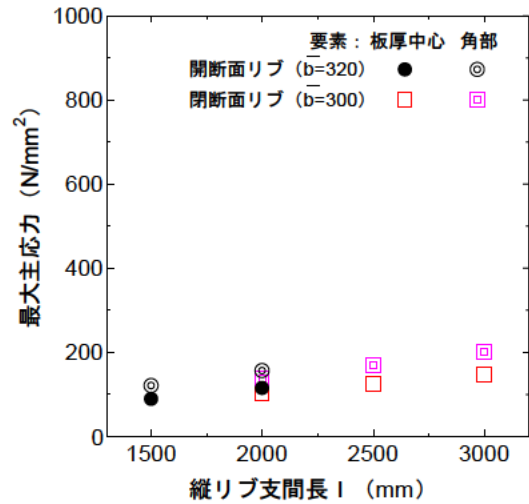
(a) 腹板側止端部最小主応力



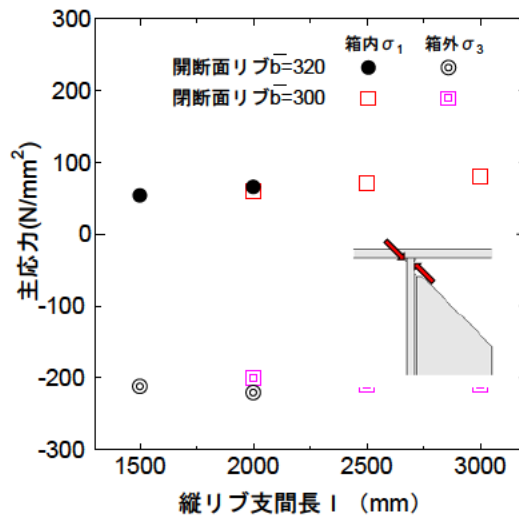
(b) 腹板側止端部最大主応力



(c) 垂直補剛材側止端部最小主応力



(d) 垂直補剛材側止端部最大主応力



(e) デッキプレート - 主桁腹板溶接部の主応力

図 - 4.4.64 縦リブ支間長で整理した開断面リブモデル溶接部の応力 (上端カットモデル)

図 - 4.4.61 と図 - 4.4.62 中の応力範囲の分布を用いて算出した上端溶接モデルと上端カットモデルの疲労被害を、平均応力の考慮の有無で表 - 4.4.7 (a)~(d)に示す。疲労被害の算出方法は閉断面リブモデルと同様であり、3種類の走行位置の平均位置 μ (0mm (主桁腹板厚中心) と 150mm (箱桁内)、-150mm (箱桁外)) の結果を示している。

閉断面リブの場合と同様、平均位置 μ が疲労被害に及ぼす影響は大きい。表 - 4.4.7 (a),(b)で上端溶接モデルの疲労被害を見ると、1の増加により 40~120%程度疲労被害が大きくなっていることが確認できる。なお、実際にき裂が確認されている $l=2,000\text{mm}$ のケースについては、表 - 4.3.1 に示した閉断面リブの基本モデル (デッキプレート厚 $t_d=12\text{mm}$) の結果と比較して、 $\mu=150\text{mm}$ のデッキプレート側溶接止端部以外は、疲労被害が大きくなっている。

表 - 4.4.7 (c),(d)で上端カットモデルの疲労被害を見ると、上端溶接の場合と比較して大幅に小さくなっており、上端カットの効果が確認できる。また、1の増加により 70~130%程度疲労被害が大きくなっていることが確認できる。平均位置 μ が箱桁外側に 150mm ずれたケースについて、閉断面リブモデルでは平均応力の影響を考慮しない場合には垂直補剛材側止端部の疲労被害が $\mu=0\text{mm}$ のケースより小さくなっていたが、閉断面リブの場合には微増している。そして、平均応力の影響を考慮した場合には閉断面リブの場合には腹板側止端部と垂直補剛材側止端部ともに $\mu=0\text{mm}$ のケースより疲労被害が小さくなっていたが、閉断面リブの場合には腹板側止端部の疲労被害が大きくなっている。

表 - 4.4.7 閉断面基本モデル疲労被害一覧

(a) 上端溶接 平均応力の影響未考慮

| | | l=1500mm | | | l=2000mm | | |
|------------|--------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| デッキプレート側止端 | 板厚中心要素 | 4.27E+06 | 7.56E+06 | 1.34E+06 | 7.99E+06 | 1.66E+07 | 2.23E+06 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 2.51E+07 | 4.24E+07 | 8.77E+06 | 4.12E+07 | 8.09E+07 | 1.28E+07 |
| | 板厚中心要素 | 7.53E+06 | 1.26E+07 | 2.61E+06 | 1.24E+07 | 2.41E+07 | 3.80E+06 |

(b) 上端溶接 平均応力の影響考慮

| | | l=1500mm | | | l=2000mm | | |
|------------|--------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| デッキプレート側止端 | 板厚中心要素 | 1.99E+06 | 3.52E+06 | 6.28E+05 | 3.64E+06 | 7.57E+06 | 1.02E+06 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 1.18E+07 | 1.98E+07 | 4.10E+06 | 1.88E+07 | 3.68E+07 | 5.85E+06 |
| | 板厚中心要素 | 3.52E+06 | 5.87E+06 | 1.22E+06 | 5.62E+06 | 1.10E+07 | 1.73E+06 |

(c) 上端カット 平均応力の影響未考慮

| | | l=1500mm | | | l=2000mm | | |
|----------|--------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| 腹板側止端 | 板厚中心要素 | 1.01E+06 | 2.28E+06 | 5.25E+05 | 1.68E+06 | 3.90E+06 | 1.03E+06 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 3.32E+05 | 7.92E+05 | 3.13E+05 | 6.75E+05 | 1.55E+06 | 7.12E+05 |
| | 板厚中心要素 | 1.40E+05 | 3.35E+05 | 1.33E+05 | 2.84E+05 | 6.54E+05 | 3.05E+05 |

(d) 上端カット 平均応力の影響考慮

| | | l=1500mm | | | l=2000mm | | |
|----------|--------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | | 疲労被害(1cycle・(N/mm ²) ³) | | |
| | | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| 腹板側止端 | 板厚中心要素 | 5.03E+05 | 1.04E+06 | 4.01E+05 | 8.77E+05 | 1.79E+06 | 8.69E+05 |
| 垂直補剛材側止端 | 角部要素 | 1.93E+05 | 3.65E+05 | 2.91E+05 | 4.04E+05 | 7.17E+05 | 6.70E+05 |
| | 板厚中心要素 | 8.08E+04 | 1.54E+05 | 1.24E+05 | 1.69E+05 | 3.02E+05 | 2.88E+05 |

4.5 上端カットの効果

本節では前節までに示した解析結果より、上端カットの応力低減効果について取り纏める。

図-4.5.1 は垂直補剛材溶接部に発生する応力の上端カットによる低減率を整理した結果である。図の縦軸は上端溶接モデルで発生する最小の最小主応力値の絶対値であり、図(a)はデッキプレート側止端部、図(b)は垂直補剛材側止端角部の要素の値である。図の横軸は上端溶接のそれぞれの止端部を基準とした場合の上端カットによる応力低減率であり、上端カットをした場合の4種類の応力値の中、すなわち腹板側止端部と垂直補剛材側止端部の最大の最大主応力の絶対値と最小の最小主応力の絶対値の中で最も大きな値を用いて算出している。図 - 4.5.2 は疲労指針に示される平均応力の影響を考慮するために、最小の最小主応力の値を1.3 で除した値を用い、図 - 4.5.1 と同様の方法で整理した結果である。これらの図中の記号は垂直補剛材の断面形状と主桁腹板厚の組合せ、デッキプレート厚 t_d で変えている。

図 - 4.5.1 をみると、上端溶接とした場合に発生応力が大きくなるケースで、上端カットによる応力低下率が大きくなる傾向が確認できる。応力低下率はデッキプレート側止端部を基準とした場合で 28%~65%、発生応力が大きい垂直補剛材側止端部を基準とした場合には 61~79%である。平均応力の影響を考慮した図 - 4.5.2 では、当然ではあるが発生応力が小さくなっている。応力低下率はデッキプレート側止端部を基準とした場合で 28%~65%、発生応力が大きい垂直補剛材側止端部を基準とした場合には 61~77%と、平均応力を考慮しない場合とほぼ同じである。

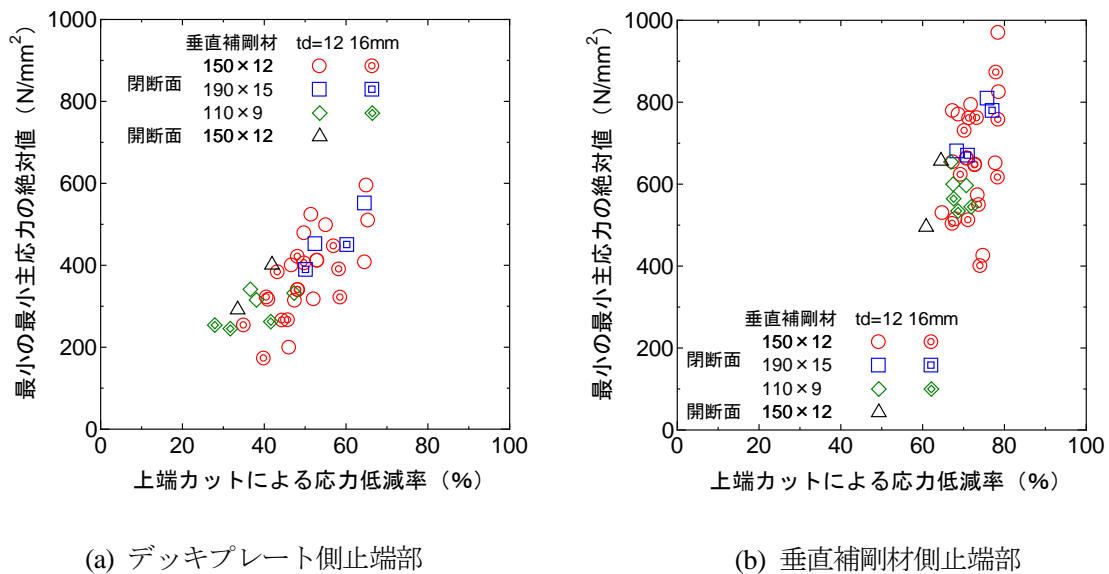
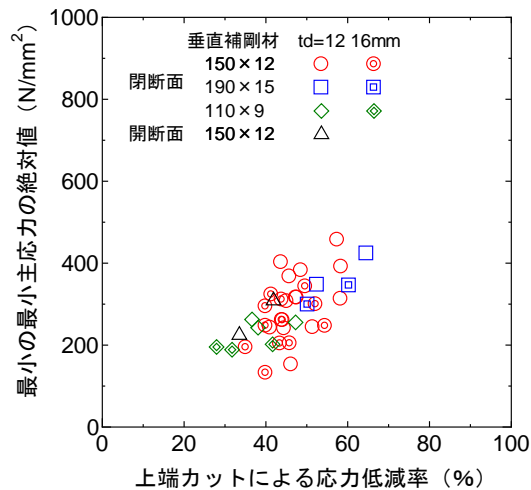
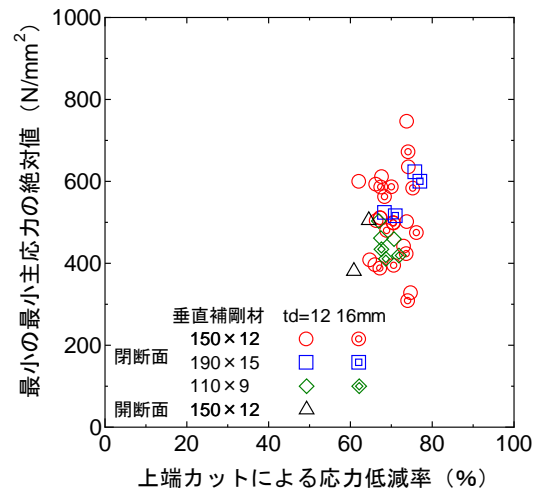


図 - 4.5.1 上端カットによる応力低減率 (平均応力の影響未考慮)



(a) デッキプレート側止端部



(b) 垂直補剛材側止端部

図 - 4.5.2 上端カットによる応力低減率 (平均応力の影響考慮)

表 - 4.5.1 と表 - 4.5.2 に平均応力の影響の考慮しない場合とする場合に分けた疲労寿命の増加率をデッキプレート厚 t_d 毎に示す。疲労寿命の増加率は上端溶接モデルの疲労被害を上端カットモデルの疲労被害で除した値である。疲労被害は想定されるき裂と直交する方向の応力範囲を3乗した $\Delta\sigma_{\max}^3$ と輪荷重の走行値の分布を標準偏差 $\sigma=150\text{mm}$ と仮定して平均位置 μ を 0mm (主桁腹板厚中心) と 150mm (箱桁内)、 -150mm (箱桁外) に変化させた3種類の合計4種類である。表中のデッキプレート側止端部と垂直補剛材側止端部とは、それぞれ、上端溶接モデルにおけるデッキプレート側止端部要素と垂直補剛材側止端角部の要素の疲労被害を上端カットモデルの腹板側止端部要素と垂直補剛材止端角部の要素の大きい方の疲労被害で除した値である。表中の赤字は1.0を下回る場合、すなわち上端カットの効果が得られない場合を示している。

表 - 4.5.1 をみると、基本的には上端カットにより疲労寿命が増加しており、当然ではあるが発生応力が高い垂直補剛材止端を基準とした場合に寿命が長くなり、8.2~103.4倍となっている。ただし、デッキプレート側止端部を基準とした場合、発生応力が小さくなる、垂直補剛材の断面形状が小さい場合、舗装剛性が高い場合、 $t_d=16\text{mm}$ の場合に上端カットの効果が低くなり、発生応力の小さい箱桁外を平均位置 ($\mu=-150\text{mm}$) としたケースで、一部上端カットにより寿命が低下するケースが確認できる。

平均応力の影響を考慮した表-4.5.2 をみると、平均応力を考慮しない場合と比較して全体的に上端カットの効果が低くなっており、垂直補剛材止端を基準とした場合の寿命は3.9~100.6倍となっている。一方で、デッキプレート側止端部を基準とした場合をみると、発生応力の小さいケースで上端カットによる寿命の増加率が低くなる傾向が顕著となり、箱桁外を平均位置 ($\mu=-150\text{mm}$) とした場合に寿命の低下するケースが増加することがわかる。

表 - 4.5.3 は、上端カットをした場合の主桁-腹板溶接部について、上端溶接の場合に最も大きい引張応力が発生する箱桁内側の腹板側止端部の最大の最大主応力と、最も大きい圧縮応力が発生する箱桁外側のデッキ

キプレート側止端部の最小の最小主応力の応力変化を示している。発生応力が20%程度増加するケースもあるが、発生応力が低減されるものが多い。当該箇所の発生応力は垂直補剛材溶接部と比較してかなり小さいことから、上端カットに起因してき裂が発生する可能性は小さいと考えられる。

表 - 4.5.1 上端カットによる疲労寿命の増加率 (%) (平均応力の影響未考慮)

(a) $t_d=12\text{mm}$

| 垂直補剛材 断面形状 | モデル | | | デッキプレート側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | | |
|-------------------|---------------|----------|----------------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------------|------|
| | 縦リブ支間 (mm) | 舗装剛 性 | 第1縦リブの位置 b (mm) | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | |
| | | | | | | | | | | | | |
| ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 21.8 | 26.9 | 25.5 | 6.4 | 82.7 | 103.4 | 98.7 | 25.4 | |
| | | | 250 | 6.7 | 7.6 | 7.3 | 2.4 | 27.5 | 37.0 | 32.7 | 13.4 | |
| | | | 300 | 4.7 | 5.6 | 4.7 | 2.7 | 20.7 | 31.3 | 24.8 | 16.8 | |
| | 2500 | 夏季 | 200 | 23.8 | 24.3 | 25.1 | 4.8 | 94.0 | 97.3 | 102.3 | 19.6 | |
| | | | 250 | 9.3 | 8.8 | 9.3 | 2.1 | 36.0 | 38.6 | 38.4 | 10.3 | |
| | | | 250 | 8.7 | 5.7 | 6.5 | 1.9 | 48.7 | 37.3 | 40.0 | 13.3 | |
| | | | 250 | 6.0 | 2.1 | 2.8 | 1.2 | 57.6 | 27.0 | 34.0 | 17.0 | |
| | 3000 | 夏季 | 200 | 24.0 | 21.2 | 23.6 | 3.6 | 96.9 | 88.7 | 98.2 | 15.2 | |
| | | | 250 | 11.0 | 9.0 | 10.3 | 1.8 | 41.1 | 37.3 | 40.4 | 8.2 | |
| | | | 300 | 7.7 | 6.2 | 6.5 | 1.7 | 29.8 | 29.6 | 28.8 | 8.8 | |
| | ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 250 | 22.0 | 16.7 | 19.3 | 4.5 | 63.1 | 55.1 | 62.2 | 15.5 |
| | | | | 300 | 9.2 | 6.1 | 7.2 | 2.0 | 28.4 | 23.7 | 25.0 | 8.7 |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 200 | 6.4 | 6.5 | 6.4 | 2.6 | 35.1 | 40.3 | 37.5 | 17.9 | |
| | | | 250 | 4.0 | 4.2 | 3.9 | 2.1 | 25.7 | 32.1 | 27.3 | 18.4 | |
| | | | 300 | 3.7 | 4.3 | 3.7 | 2.7 | 24.5 | 33.0 | 26.4 | 22.8 | |
| | | | 300 | 3.2 | 4.2 | 3.3 | 2.6 | 15.1 | 25.0 | 18.6 | 16.7 | |
| 開断面モデル (150×9) | 1500 | 夏季 | 320 | 3.2 | 4.2 | 3.3 | 2.6 | 15.1 | 25.0 | 18.6 | 16.7 | |
| | 2000 | 夏季 | 320 | 4.9 | 4.8 | 4.3 | 2.2 | 19.7 | 24.5 | 20.7 | 12.4 | |

(b) $t_d=16\text{mm}$

| 垂直補剛材 断面形状 | モデル | | | デッキプレート側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | | |
|---------------|---------------|----------|----------------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------------|------|
| | 縦リブ支間 (mm) | 舗装剛 性 | 第1縦リブの位置 b (mm) | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\Delta \sigma_{max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | |
| | | | | | | | | | | | | |
| ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 13.4 | 13.6 | 13.4 | 3.8 | 91.0 | 94.1 | 92.1 | 27.9 | |
| | | | 250 | 5.5 | 5.0 | 5.2 | 1.8 | 38.2 | 39.3 | 38.1 | 15.7 | |
| | | | 300 | 3.5 | 2.9 | 2.9 | 1.4 | 26.2 | 28.9 | 26.0 | 15.9 | |
| | 2500 | 夏季 | 200 | 13.2 | 11.5 | 12.3 | 2.5 | 93.5 | 82.1 | 87.6 | 18.8 | |
| | | | 250 | 6.9 | 5.3 | 6.1 | 1.4 | 45.6 | 39.4 | 41.8 | 11.2 | |
| | | | 250 | 6.0 | 3.4 | 4.1 | 1.2 | 51.1 | 34.2 | 38.5 | 13.3 | |
| | | | 250 | 4.3 | 1.2 | 1.7 | 0.7 | 53.6 | 23.0 | 29.9 | 14.6 | |
| | 3000 | 夏季 | 200 | 4.6 | 3.3 | 3.6 | 1.1 | 31.8 | 29.0 | 28.7 | 11.1 | |
| | | | 250 | 12.6 | 9.8 | 11.0 | 1.8 | 91.2 | 70.8 | 80.8 | 13.7 | |
| | | | 250 | 7.8 | 5.3 | 6.4 | 1.1 | 48.8 | 37.1 | 42.2 | 8.5 | |
| | ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 300 | 5.3 | 3.4 | 4.0 | 0.9 | 34.9 | 27.7 | 29.5 | 8.2 |
| | | | | 250 | 15.4 | 8.8 | 10.9 | 2.6 | 75.5 | 51.2 | 60.9 | 15.9 |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 300 | 7.8 | 4.0 | 5.2 | 1.3 | 37.4 | 24.6 | 28.8 | 9.0 | |
| | | | 200 | 4.7 | 3.5 | 3.7 | 1.7 | 40.4 | 37.1 | 37.5 | 20.5 | |
| | | | 250 | 2.9 | 2.0 | 2.2 | 1.1 | 29.2 | 27.7 | 26.7 | 17.9 | |
| | | | 300 | 2.5 | 1.8 | 1.8 | 1.2 | 26.4 | 26.6 | 24.4 | 19.7 | |

表 - 4.5.2 上端カットによる疲労寿命の増加率 (%) (平均応力の影響考慮)

(a) $t_d=12\text{mm}$

| モデル | | | | デッキプレート側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | |
|-------------------|---------------|----------|-------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| 垂直補剛材 断面形状 | 縦リブ支間 (mm) | 舗装 剛性 | 第1縦リブの位置 \bar{b} (mm) | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| | | | | ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 16.2 | 21.3 | 25.1 | 3.0 |
| 夏季 | 250 | 6.7 | 6.3 | | | 7.2 | 1.1 | 27.5 | 30.6 | 32.3 | 6.4 |
| 夏季 | 300 | 4.7 | 4.9 | | | 4.7 | 1.3 | 20.7 | 27.2 | 24.5 | 8.4 |
| 2500 | 夏季 | 200 | 16.3 | | 18.7 | 24.7 | 2.3 | 64.3 | 75.0 | 100.6 | 9.3 |
| | 夏季 | 250 | 8.2 | | 7.0 | 9.2 | 1.0 | 31.7 | 30.7 | 37.8 | 4.9 |
| | 春秋季 | 250 | 8.7 | | 5.0 | 6.4 | 0.9 | 48.7 | 32.4 | 39.6 | 6.6 |
| | 冬季 | 250 | 6.0 | | 2.0 | 2.8 | 0.8 | 57.6 | 25.9 | 33.9 | 11.9 |
| | 夏季 | 300 | 6.4 | | 5.1 | 5.7 | 1.0 | 26.0 | 25.9 | 27.2 | 5.7 |
| | 夏季 | 200 | 15.2 | | 15.5 | 23.2 | 1.7 | 61.3 | 63.4 | 96.5 | 7.4 |
| 3000 | 夏季 | 250 | 8.7 | | 7.0 | 10.2 | 0.8 | 32.6 | 29.2 | 39.8 | 3.9 |
| | 夏季 | 300 | 7.4 | | 5.0 | 6.4 | 0.8 | 28.6 | 24.0 | 28.4 | 4.3 |
| | 夏季 | 250 | 22.0 | | 13.7 | 19.1 | 2.3 | 63.1 | 45.3 | 61.4 | 8.0 |
| ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 300 | 9.2 | 5.2 | 7.1 | 1.0 | 28.4 | 20.3 | 24.7 | 4.6 |
| | | 夏季 | 200 | 6.4 | 5.5 | 6.3 | 1.3 | 35.1 | 34.3 | 37.1 | 9.4 |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 250 | 4.0 | 3.7 | 3.8 | 1.2 | 25.7 | 28.0 | 27.0 | 10.2 |
| | | 夏季 | 300 | 3.7 | 3.9 | 3.7 | 1.6 | 24.5 | 29.6 | 26.2 | 13.4 |
| | | 夏季 | 200 | 8.4 | 4.0 | 3.4 | 1.6 | 34.2 | 23.4 | 19.0 | 10.2 |
| 開断面モデル (150×9) | 1500 | 夏季 | 320 | 8.4 | 4.0 | 3.4 | 1.6 | 34.2 | 23.4 | 19.0 | 10.2 |
| | 2000 | 夏季 | 320 | 1.9 | 4.2 | 4.2 | 1.2 | 8.8 | 21.4 | 20.6 | 6.7 |

(b) $t_d=16\text{mm}$

| モデル | | | | デッキプレート側止端 | | | | 垂直補剛材側止端:角部要素 | | | |
|---------------|---------------|----------|-------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| 垂直補剛材 断面形状 | 縦リブ支間 (mm) | 舗装 剛性 | 第1縦リブの位置 \bar{b} (mm) | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ | $\Delta \sigma_{\max}^3$ | $\mu=0\text{mm}$ | $\mu=150\text{mm}$ | $\mu=-150\text{mm}$ |
| | | | | ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 12.2 | 11.4 | 13.3 | 1.8 |
| 夏季 | 250 | 5.5 | 4.3 | | | 5.2 | 0.8 | 38.2 | 33.9 | 37.7 | 7.5 |
| 夏季 | 300 | 3.5 | 2.6 | | | 2.9 | 0.7 | 26.2 | 25.8 | 25.8 | 8.1 |
| 2500 | 夏季 | 200 | 10.5 | | 9.4 | 12.1 | 1.2 | 74.1 | 66.7 | 86.5 | 9.0 |
| | 夏季 | 250 | 6.6 | | 4.4 | 6.0 | 0.7 | 43.9 | 32.7 | 41.3 | 5.4 |
| | 春秋季 | 250 | 6.0 | | 3.0 | 4.0 | 0.6 | 51.1 | 30.3 | 38.2 | 6.7 |
| | 冬季 | 250 | 4.3 | | 1.2 | 1.7 | 0.5 | 53.6 | 22.1 | 29.8 | 11.3 |
| | 夏季 | 300 | 4.6 | | 2.8 | 3.5 | 0.5 | 31.8 | 24.8 | 28.4 | 5.4 |
| | 夏季 | 200 | 9.0 | | 7.7 | 10.9 | 0.9 | 64.9 | 56.0 | 79.7 | 6.8 |
| 3000 | 夏季 | 250 | 6.6 | | 4.3 | 6.3 | 0.5 | 41.7 | 30.2 | 41.7 | 4.2 |
| | 夏季 | 300 | 5.3 | | 2.8 | 3.9 | 0.4 | 34.9 | 23.1 | 29.1 | 4.0 |
| | 夏季 | 250 | 15.4 | | 7.5 | 10.8 | 1.3 | 75.5 | 43.6 | 60.3 | 8.4 |
| ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 300 | 7.8 | 3.5 | 5.2 | 0.7 | 37.4 | 21.5 | 28.6 | 4.9 |
| | | 夏季 | 200 | 4.7 | 3.1 | 3.6 | 1.0 | 40.4 | 33.4 | 37.2 | 12.0 |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 250 | 2.9 | 1.8 | 2.2 | 0.7 | 29.2 | 25.2 | 26.5 | 10.9 |
| | | 夏季 | 300 | 2.5 | 1.7 | 1.8 | 0.8 | 26.4 | 24.6 | 24.2 | 12.7 |

表 - 4.5.3 上端カットによる主桁-腹板溶接部の応力変化 (%)

| モデル | | | | $t_d=12\text{mm}$ | | $t_d=16\text{mm}$ | |
|-------------------|---------------|----------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 垂直補剛材 断面形状 | 縦リブ支間 (mm) | 舗装 剛性 | 第1縦リブの位置 \bar{b} (mm) | 箱内腹板側 | 箱外デッキ側 | 箱内腹板側 | 箱外デッキ側 |
| | | | | $\sigma_{1\max}(\text{N/mm}^2)$ | $\sigma_{3\min}(\text{N/mm}^2)$ | $\sigma_{1\max}(\text{N/mm}^2)$ | $\sigma_{3\min}(\text{N/mm}^2)$ |
| ① (150×12) | 2000 | 夏季 | 200 | 2.3 | -7.6 | -8.4 | -10.7 |
| | | 夏季 | 250 | 4.5 | -1.4 | -6.4 | -4.7 |
| | | 夏季 | 300 | 6.9 | 4.1 | -3.9 | 1.2 |
| | 2500 | 夏季 | 200 | 10.9 | -14.8 | 2.5 | -18.5 |
| | | 夏季 | 250 | 11.5 | -9.6 | 2.8 | -16.0 |
| | | 春秋季 | 250 | -1.6 | -15.7 | -8.2 | -16.6 |
| | | 冬季 | 250 | -5.4 | -19.0 | -23.6 | -17.7 |
| | | 夏季 | 300 | 13.1 | -3.2 | 4.0 | -8.8 |
| | | 夏季 | 200 | 19.9 | -20.4 | 13.4 | -24.3 |
| | 3000 | 夏季 | 250 | 19.0 | -16.0 | 12.1 | -20.0 |
| | | 夏季 | 300 | 19.6 | -11.9 | 12.1 | -15.8 |
| | | 夏季 | 250 | 9.6 | -11.4 | 0.9 | -16.0 |
| ② (190×15) | 2500 | 夏季 | 300 | 10.6 | -7.1 | 1.6 | -11.6 |
| | | 夏季 | 200 | -46.2 | -9.9 | -54.2 | -11.3 |
| ③ (110×9) | 2500 | 夏季 | 250 | -47.7 | -2.7 | -55.0 | -4.7 |
| | | 夏季 | 300 | -49.5 | 3.6 | -56.6 | 1.5 |
| | | 夏季 | 320 | -24.0 | 6.4 | - | - |
| 開断面モデル (150×9) | 2500 | 夏季 | 320 | -17.8 | -4.4 | - | - |

以上より、上端カットにより、上端溶接の場合により厳しい、垂直補剛材側止端部を基準として考えれば耐久性の向上が図れることがわかる。デッキプレート側止端部の耐久性を基準として考えた場合、厳しい荷重状態の橋梁に対しては、耐久性の向上につながるが、輪荷重が箱桁外側を走行する橋梁に対しては、上端カットを行っても寿命が低下する可能性がある。寿命の低下の程度について、輪荷重が箱桁外側を走行する場合のデッキプレート側止端部の発生応力は箱桁内側を走行する場合と比較して極端に小さいため、大きな問題にはならないと推測されるが、予防保全で上端カットを考える場合等には輪荷重の走行位置にも留意するとよいと考えられる。

4.6 まとめ

本章では、荷重位置や構造諸元など様々な条件を考慮した FEM 解析により、現行構造の疲労損傷に影響を及ぼす局部応力の発生状況を確認する方法について事例を示した。また、提案構造が疲労耐久性を確保した最適な構造詳細であることを検証するため、提案構造を対象とした FEM 解析を実施し、現行構造に対して、着目する局部応力が緩和されることを確認する方法、最適な構造寸法を検証する方法について示した。

具体的には、垂直補剛材をデッキプレートと溶接した場合の応力性状と、上端をカットした場合について、最大応力発生箇所、着目する垂直補剛材溶接部以外の箇所で発生する応力を確認した。さらに、疲労被害（応力繰返し数 \times 等価応力範囲の3乗）を算出し、上端カットの効果を定量的に評価する例を示した。この結果より、橋軸直角方向の荷重載荷位置は主桁腹板中心から十分離れた位置まで広げた方が良く、上端カットを施す場合には従来着目されていなかった垂直補剛材 - 主桁腹板溶接部の回し溶接止端部に引張が生じる場合についても検討を行うべきであること、一般的な足場用吊金具であればモデル化を行う必要がないこと等を確認した。

さらに、今後の参考となるよう、実際に想定される種々の構造パラメータを考慮した解析を実施し、これらが垂直補剛材溶接部の応力性状に及ぼす影響について、以下にまとめる結果を得た。

(1) 上端溶接の場合の応力性状

(4.3.1 項)

デッキプレート側止端部、垂直補剛材側止端部ともに基本的には圧縮応力が卓越し、橋軸直角方向荷重位置については、箱桁内側を輪荷重が通過した場合に発生応力が大きくなり、ダブルタイヤの左輪の左端が垂直補剛材先端となった場合に最も大きな応力（絶対値）が発生する。ダブルタイヤ荷重の橋軸直角方向の影響範囲、すなわち着目部に疲労に対して有意な応力が発生する範囲は、主桁腹板中心から荷重中心までの距離 x を、箱桁内側を正とした場合に、 $-100\sim 800\text{mm}$ 程度である。また、橋軸方向の荷重載荷位置については、橋軸直角方向の走行位置によっては着目垂直補剛材板厚中心位置上から少しずれた位置とした場合に発生応力が大きくなるケースもある。ただし、最大の応力が発生する橋軸直角方向の走行位置では、着目垂直補剛材板厚中心位置上に載荷した場合に最も大きな応力が発生する。そして、デッキプレート側止端部については、垂直補剛材板厚中心位置の応力が大きくなり、垂直補剛材側止端部では垂直補剛材板厚中心位置よりも角部の応力が大きく、その値はデッキプレート側止端部よりも大きい。この他、デッキプレート - 腹板溶接部やスカラップ溶接部に発生する応力は、垂直補剛材溶接部のデッキプレート側止端部や垂直補剛材側止端部と比較して小さい。

(2) 上端カットの場合の応力性状

(4.3.2 項)

腹板側止端部、垂直補剛材側止端部ともに橋軸直角方向荷重位置が箱桁内側 ($x > 0$) の場合には圧縮応力が、箱桁外側 ($x < 0$) の場合には引張応力が発生し、それぞれの応力が卓越するのは基本的には $x = \pm 300\text{mm}$ の場合であり、ダブルタイヤ荷重の橋軸直角方向の影響範囲は $x = \pm 600\text{mm}$ 程度である。また、橋軸方向の

荷重位置については、上端溶接の場合と同様、最大の応力が発生するのは着目垂直補剛材板厚中心位置上に載荷した場合である。そして、腹板側止端部については、垂直補剛材板厚中心位置の応力が大きくなり、垂直補剛材側止端部では垂直補剛材板厚中心位置よりも角部の応力が大きく、その値は腹板側止端部と同程度である。この他、デッキプレート - 腹板溶接部に発生する応力は、上端溶接の場合と同程度である。

(3) 主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} と垂直補剛材寸法 (4.4.1項)

垂直補剛材溶接部の発生応力は、上端溶接の場合には垂直補剛材寸法が大きい場合に大きくなる傾向がみられる。主桁腹板 - 第1縦リブ間の距離 \bar{b} については、補剛材先端部と閉断面リブの間隔が小さいほど発生応力が大きくなるが、間隔が大きくなった場合にも発生応力が大きくなることも確認した。一方で、上端カットの場合には、 \bar{b} や垂直補剛材寸法が発生応力に及ぼす影響は小さい。

(4) 上端カットのギャップ量 g (垂直補剛材形状 150×12 モデル) (4.4.2項)

上端カットのギャップ量 g が大きいほど、垂直補剛材溶接部とデッキプレート - 主桁腹板溶接部の発生応力は緩和される。しかし、 g については、次章に示す耐荷力に及ぼす影響も考慮して決定する必要があると考えられる。

(5) 縦リブ支間長 l (4.4.3項)

上端溶接、上端カットによらず、縦リブ支間長 l が増加すると発生応力が大きくなる。上端溶接の場合には、デッキプレート側止端部、垂直補剛材側止端部ともに l が500mm増減すると、発生応力が20%程度増減する。そして、上端カットの場合には、 l が500mm増減すると、発生応力は腹板側止端部で12~18%、垂直補剛材側止端部で14~20%増減する。

(6) 舗装剛性 (垂直補剛材形状 150×12 モデル) (4.4.4項)

舗装剛性が増加すると発生応力は低減する。夏季の舗装剛性に対する春秋と冬季の場合の応力の低減は、上端溶接モデルの最小の最小主応力では、デッキプレート側止端部で、20%程度と50%程度、垂直補剛材側止端部で15%程度と35%程度であった。そして、上端カットモデルの最小の最小主応力では、腹板側止端部と垂直補剛材側止端部ともに20%程度と55%程度であり、最大の最大主応力では、両止端部ともに30%程度と60%程度であった。

(7) デッキプレート厚 t_d (4.4.5項)

デッキプレート厚 t_d を12mmから16mmに増厚することにより、垂直補剛材溶接部の最大応力範囲は上端溶接モデルのデッキプレート側止端部で13~26%、垂直補剛材側止端部で0~14%程低減した。そして、上端カットモデルでは、腹板側止端部で3~15%、垂直補剛材側止端部で4~17%低減した。この他、デッキプレート増厚効果はデッキプレート - 腹板溶接部でも確認された。

(8) 足場用吊金具の有無（垂直補剛材形状 150×12 モデル） (4.4.6 項)

上端溶接、上端カットによらず、足場用吊金具の設置が垂直補剛材溶接部の応力性状に及ぼす影響は小さく、吊金具溶接部自体に発生する応力も小さい。

(9) 開断面リブ (4.4.7 項)

開断面リブの場合の垂直補剛材溶接部の応力性状は、基本的には閉断面リブと同様である。ただし、縦リブ支間長が同じ場合には、開断面リブと閉断面リブの発生応力を比較すると、開断面リブの方が、発生応力が大きくなる可能性がある。

(10) 上端カットの効果 (4.5 節)

上端カットを実施すると、上端溶接の場合に発生応力の大きい垂直補剛材側止端部と比較して、疲労耐久性が向上する。また、上端溶接の場合のデッキプレート側止端部との比較では、発生応力が大きくなる厳しい荷重の載荷状態にある場合には、疲労耐久性向上につながる。ただし、発生応力は小さいものの、デッキプレート側止端部では輪荷重が箱桁外側を走行する場合には疲労耐久性の向上につながるとは限らず、予防保全の観点から上端カットを考える場合等には、輪荷重の走行位置にも留意するとよい。

5. 垂直補剛材の耐荷力を対象とした解析的検討

5.1 目的

垂直補剛材の上端をカットする提案構造については、耐荷力が現行構造と同等であることを確認する必要がある。既往の文献には、垂直補剛材と上フランジを切り離した場合、垂直補剛材のギャップ量が 50mm 程度までは曲げ耐荷力はほとんど低下しないことが報告されている⁵⁻⁶⁾。しかし、腹板のクリッピング^{5-1, 5-2)}による耐荷力の低下が生じるため、標準的に上端を切り離したディテールとすることには問題があるという報告もある^{5-3, 5-4)}。クリッピングとは、ここでは垂直補剛材上端部のウェブが面外に大きく変形することと考える。本研究では、せん断耐荷力とクリッピングに対する耐荷力を検証するため、荷重条件を明確にした上で提案構造と現行構造の弾塑性解析を行い、耐荷力の比較を行った。

本章では、両者の構造の線形座屈固有値解析および弾塑性有限変位解析の結果について報告する。

5.2 せん断耐荷力に対する解析的検討

5.2.1 目的

垂直補剛材は曲げ、せん断、あるいは曲げとせん断を受ける鋼桁腹板の座屈強度の低下を防ぐ目的で設置されており、道路橋示方書⁵⁻⁵⁾では腹板の全体座屈モードに対し、垂直補剛材で囲まれた単一パネルの座屈が先行するようにその必要剛度が定められている。垂直補剛材の上端をカットした場合、単一パネルの座屈に対して腹板の補剛機能が低下することが懸念される。

山本ら⁵⁻⁶⁾は、垂直補剛材の上端カットによるギャップ量が腹板の補剛機能へ及ぼす影響を検証するために、1本の垂直補剛材と1段の水平補剛材を有する腹板パネルを対象に、曲げ、せん断、および曲げとせん断を受けた腹板の固有値解析、および純せん断を受けた腹板の弾塑性有限変位解析を行った。結果として、腹板高の4%程度までのギャップ量であれば座屈固有値および最大耐荷力に与える影響は小さく、腹板の補剛機能に与える影響が少ないことを明らかにしている。

一方、鋼桁腹板は座屈強度に達した後でも耐力を保持し、さらに荷重が増加して終局耐力（以下、後座屈強度）に達することが知られているが、これらの解析では垂直補剛材のギャップ量が後座屈強度に与える影響については明らかにされていない。鋼桁腹板が純せん断を受ける場合の許容応力度に関する道路橋示方書の規定では後座屈強度を期待して安全率を低減させており、垂直補剛材の上端をカットする場合そのギャップ量が腹板の後座屈強度に与える影響を明らかにする必要がある。

そこで本解析では、純せん断を受けた鋼桁腹板を対象に、まず、各種寸法諸元（アスペクト比や幅厚比パラメータ）がギャップ量と座屈強度の関係に与える影響について線形座屈固有値解析で把握し、次に、代表的な寸法諸元に対し弾塑性有限変位解析を行い、垂直

補剛材上端のギャップ量が鋼桁腹板の後座屈強度に与える影響を明らかにする。

5.2.2 解析手法および解析モデル

純せん断を受ける腹板の座屈強度は、上下フランジ、垂直補剛材および引張領域の腹板で形成される斜め張力場の形成により発揮されることが明らかになっている⁵⁻⁷⁾。そこで本解析では図 - 5.2.1 に示す垂直補剛材を有する鋼桁腹板の単一パネルに着目し、上下フランジを省略した鋼桁腹板と垂直補剛材による単一パネルとしてモデル化を行った。図 - 5.2.2 に解析モデル図を示す。解析コードは MSC MARC(2014.0.0)、使用した要素は 4 節点厚肉局面シェル要素である。鋼材の弾性係数は $200,000\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3 とした。なお、弾塑性有限変位解析では完全弾塑性（移動硬化）としてモデル化した。

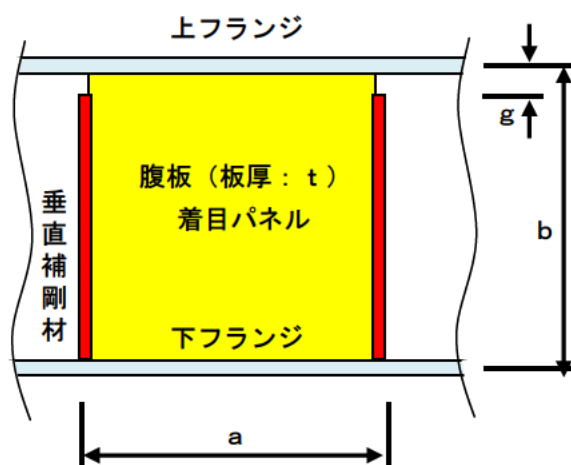
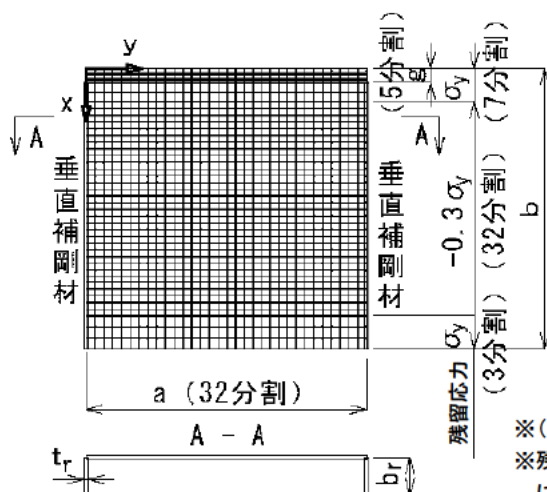


図 - 5.2.1 解析対象



※()内は要素分割数を示す。
 ※残留応力については図 - 5.2.5
 において説明する。

図 - 5.2.2 解析モデル

境界条件は、既往の研究⁵⁻⁸⁾⁵⁻⁹⁾を参考に、図 - 5.2.3 に示すように板要素の周辺に面内曲げ剛性が無限大の荷役棒を設置する。荷役棒は中点で軸方向変位と面内回転変位の 2 自由度を有している。荷役棒 3、4 に回転変位 γ を与えることにより解析モデルにせん断力を与え、せん断変形導入時の軸力の発生を防止するために荷役棒 2、4 の軸方向変位は自由とする。なお、板要素周辺の荷役棒上の各節点における軸方向変位（伸び）は、荷役棒の直変位を線形補間して均等に与えるものとする。面外の境界条件は、上下フランジ部はパネルの節として十分剛な部材が設置されているものと考え単純支持とし、垂直補剛材部および垂直補剛材未設置部（ギャップ部分）は自由とする。

初期不整として、初期たわみ波形は、既往の研究⁵⁻⁹⁾を参考に座屈強度に顕著な影響を及ぼす板曲げ 1 次モードと 2 次モードを考慮し、次式で与える。

$$W = W_{0,\max} \{W_{11} \sin(\pi x/a) \sin(\pi y/b) + W_{22} \sin(2\pi x/a) \sin(2\pi y/b)\} \quad (1)$$

ここに、 $W_{0,\max}$ は初期たわみ量の最大値であり、道路橋示方書に規定された製作誤差の許容最大値 ($b/150$) とする。 W_{11} および W_{22} は文献⁵⁻⁹⁾を参考に $W_{22}/W_{11}=0.451$ とした。図 - 5.2.4 に初期たわみ形状図を示す。

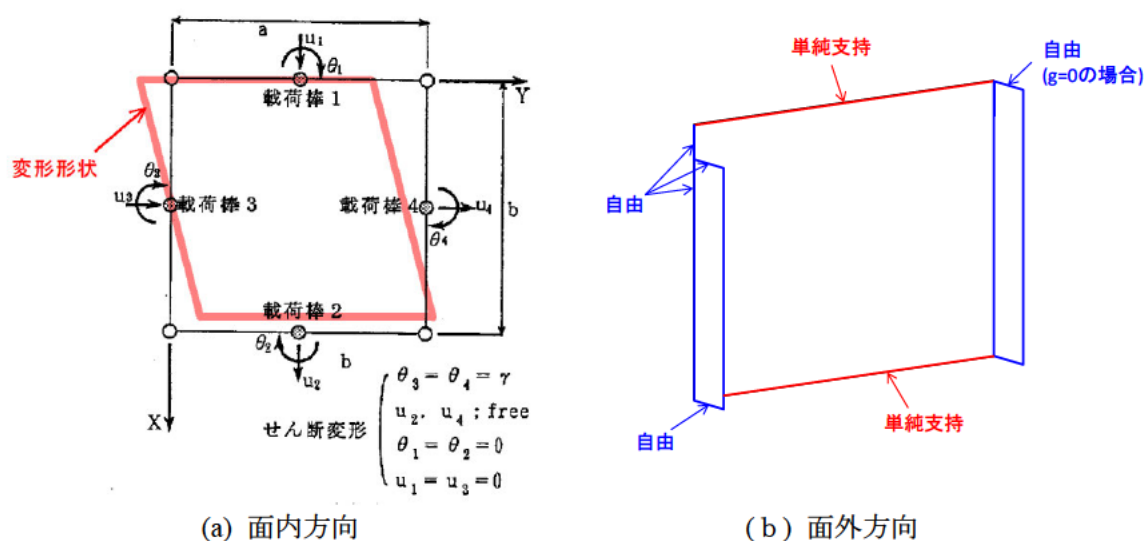


図 - 5.2.3 境界条件および荷役方法

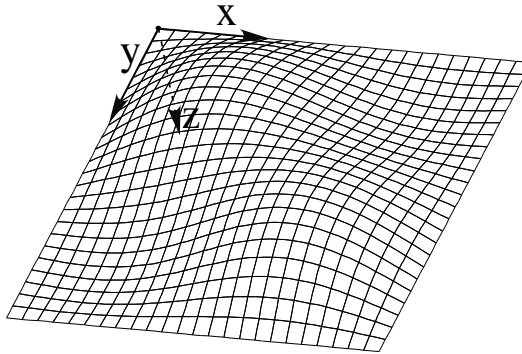


図 - 5.2.4 初期たわみ形状図
(変形倍率 20 倍)

残留応力は、既往の研究^{5-7) 5-9)}を参考に部材の長さ方向に図 - 5.2.5 に示すように橋軸方向 (y 軸方向) を一定とし、鉛直方向 (x 軸方向) に矩形分布で与える。なお、板厚方向にも一定値とする。ここに、引張残留応力度および圧縮残留応力度はそれぞれ σ_y 、 $-0.3\sigma_y$ とし、自己平衡を保つように範囲を決定する。

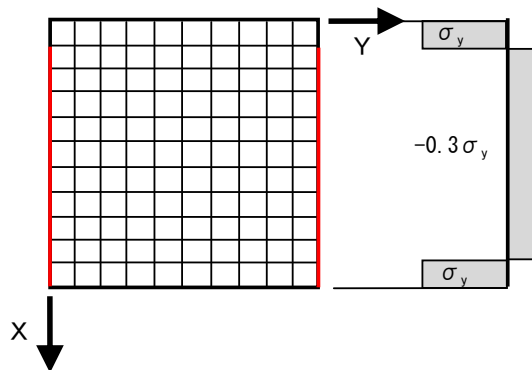


図 - 5.2.5 残留応力

5.2.3 解析パラメータ

実橋では、桁高、垂直補剛材間隔、垂直補剛材断面寸法、腹板厚、および垂直補剛材のギャップ量がパラメータとなるため、本解析ではアスペクト比、幅厚比パラメータ、およびギャップ量と腹板高の比として無次元化し、パラメトリック解析を行う。表 - 5.2.1 に解析パラメータの一覧を示す。なお、使用鋼材は SM400 とし、無次元化のための基本となる腹板高は 1500mm とした。弾塑性有限変位解析時は移動硬化を考慮した完全弾塑性モデルとし、二次勾配は 1/1000 とした。

桁高 a および垂直補剛材間隔 b については、アスペクト比 α ($=a/b$) をパラメータとし、線形座屈固有値解析の場合 $\alpha=0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ の 4 ケース、弾塑性有限変位解析の場合 $\alpha=1.0$ とした。

腹板厚については、座屈強度に与えるパラメータとして幅厚比パラメータ R_{τ} を用い、道路橋示方書の適用範囲と一般的な腹板の使用範囲を考慮して、 $R_{\tau}=0.5, 1.0, 1.5$ の 3 ケースとした。

垂直補剛材断面については、道路橋示方書を参考に必要剛度を満足する断面とした。また、垂直補剛材のギャップ量 g については、線形座屈固有値解析の場合 $g=0\text{mm}$ (上端溶接)、35mm、75mm の 3 ケース、弾塑性有限変位解析の場合 $g=0\text{mm}$ (上端溶接)、75mm、300mm の 3 ケースとした。

表 - 5.2.1 解析パラメータ一覧

| 着目パラメータ | 線形座屈解析 | 弾塑性解析 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 使用鋼材 | SM400 ($\sigma_y=240\text{N/mm}^2$) 弾塑性解析時:完全弾塑性(移動硬化) | |
| アスペクト比 $\alpha(a/b)$ | 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 | 1.0 |
| 幅厚比パラメータ R_{τ} | 0.5, 1.0, 1.5 | |
| ギャップ量 $g(\text{mm})$ (腹板高比) | 0, 35, 75 (0, 1/43, 1/20) | 0, 75, 300 (0, 1/20, 1/5) |

$$R_{\tau} \equiv (b/t_w) : \sqrt{(\tau_y/E) : \{12(1-\mu^2)/(\pi^2 k_{\tau})\}}$$

- ここに、
- t_w : 腹板厚
 - τ_y : 降伏せん断応力度 ($=\sigma_y/\sqrt{3}$)
 - E : ヤング率
 - μ : ポアソン比
 - k_{τ} : 純せん断を受ける単純支持版の座屈係数
 - $k_{\tau} = 5.34 + 4.00/\alpha^2 \quad (\alpha \geq 1)$
 - $k_{\tau} = 4.00 + 5.34/\alpha^2 \quad (\alpha < 1)$

5.2.4 線形座屈固有値解析結果

ギャップ量を大きくした場合にアスペクト比および幅厚比パラメータが座屈荷重、座屈モードに与える影響があるかを確認するため、線形座屈固有値解析を行う。解析は表 - 5.2.1 に示すパラメータでモデル化した計 36 モデルについて行う。載荷棒 3、4 には単位荷重として降伏せん断ひずみ γ_y を与えており、ギャップ量 $g=0、35、75\text{mm}$ それぞれのケースについて、アスペクト比および幅厚比パラメータを変化させて解析を実施した。ここでは、線形座屈固有値解析の結果を利用して、固有値解析での荷重とパネルのせん断弾性座屈荷重の比率を便宜的に座屈安全率として比較を行った。座屈安全率の算出結果を表 - 5.2.2、図 - 5.2.6 および図 - 5.2.7 に示す。

図表に示すように、アスペクト比および幅厚比パラメータの増加に伴い座屈安全率は低下するが、ギャップ量の差異が座屈安全率に与える影響は最大で 5% 程度であり、その影響は小さいことが分かる。なお、道路橋示方書では純せん断を受ける場合の座屈安全率は 1.25 としている。これは、鋼桁腹板が純せん断を受ける場合、座屈後もかなり大きな耐荷力を有する（後座屈挙動）ためであり、軸方向圧縮力を受ける場合の安全率 1.7 よりも低減している。表 - 5.2.2 において座屈安全率が道路橋示方書の規定値 1.25 を下回る結果が一部で見られるが、いずれの場合も腹板の必要板厚などが道路橋示方書の規定の範囲外となっている場合であった。

単位荷重載荷時の変形図、および座屈モード図を図 - 5.2.8～図 - 5.2.19 に示す。図中の「座屈モード」は座屈安全率を示す。

表 - 5.2.2 座屈安全率

| 幅厚比 パラメータ $R\tau$ | アスペクト比 $\alpha=a/b$ | 腹板厚 ($a=1500\text{mm}$ の場合) | 座屈安全率 | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | ギャップ量 0mm | ギャップ量 35mm | ギャップ量 75mm |
| 0.5 | 0.5 | 33mm | 8.98 (1.000) | 8.95 (0.997) | 8.69 (0.968) |
| | 1.0 | 27mm | 4.95 (1.000) | 4.90 (0.990) | 4.74 (0.958) |
| | 1.5 | 21mm | 3.48 (1.000) | 3.63 (1.043) | 3.60 (1.034) |
| | 2.0 | 16mm | 3.33 (1.000) | 3.32 (0.997) | 3.29 (0.988) |
| 1.0 | 0.5 | 16mm | 3.48 (1.000) | 3.46 (0.994) | 3.36 (0.966) |
| | 1.0 | 14mm | 1.97 (1.000) | 1.98 (1.005) | 1.92 (0.975) |
| | 1.5 | 10mm | 1.44 (1.000) | 1.49 (1.035) | 1.48 (1.028) |
| | 2.0 | 8mm | 1.14 (1.000) | 1.15 (1.009) | 1.14 (1.000) |
| 1.5 | 0.5 | 11mm | 2.41 (1.000) | 2.41 (1.000) | 2.32 (0.963) |
| | 1.0 | 9mm | 1.54 (1.000) | 1.48 (0.961) | 1.43 (0.929) |
| | 1.5 | 7mm | 1.00 (1.000) | 1.01 (1.010) | 1.02 (1.020) |
| | 2.0 | 5mm | 0.74 (1.000) | 0.78 (1.054) | 0.77 (1.041) |

()内はギャップ量0mmに対する比率を示す。

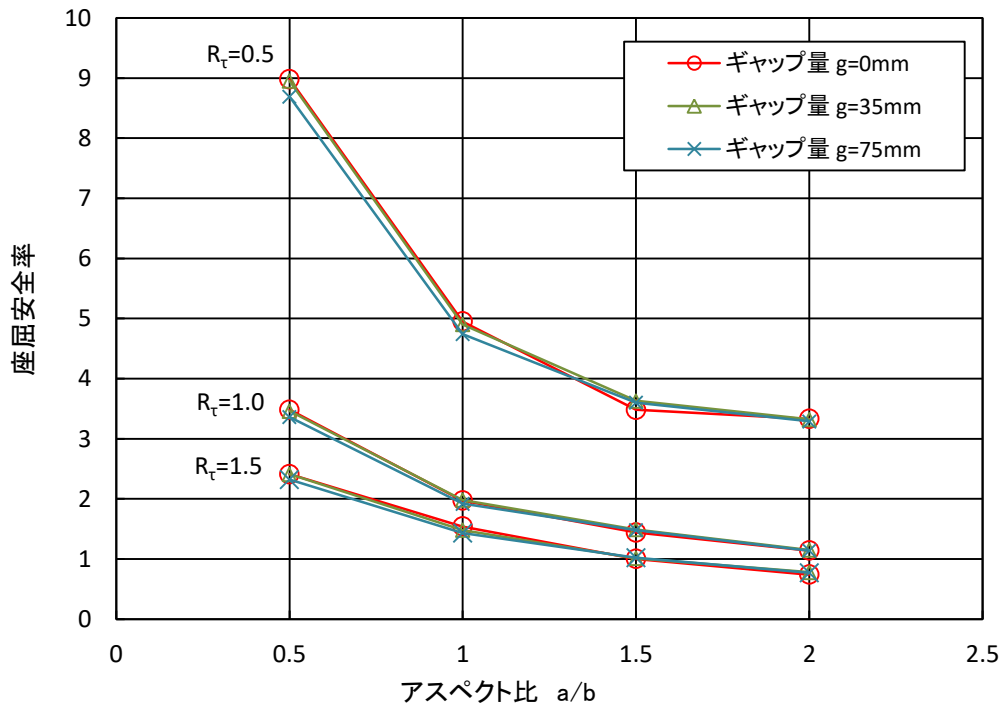


図 - 5.2.6 アスペクト比が座屈安全率に与える影響

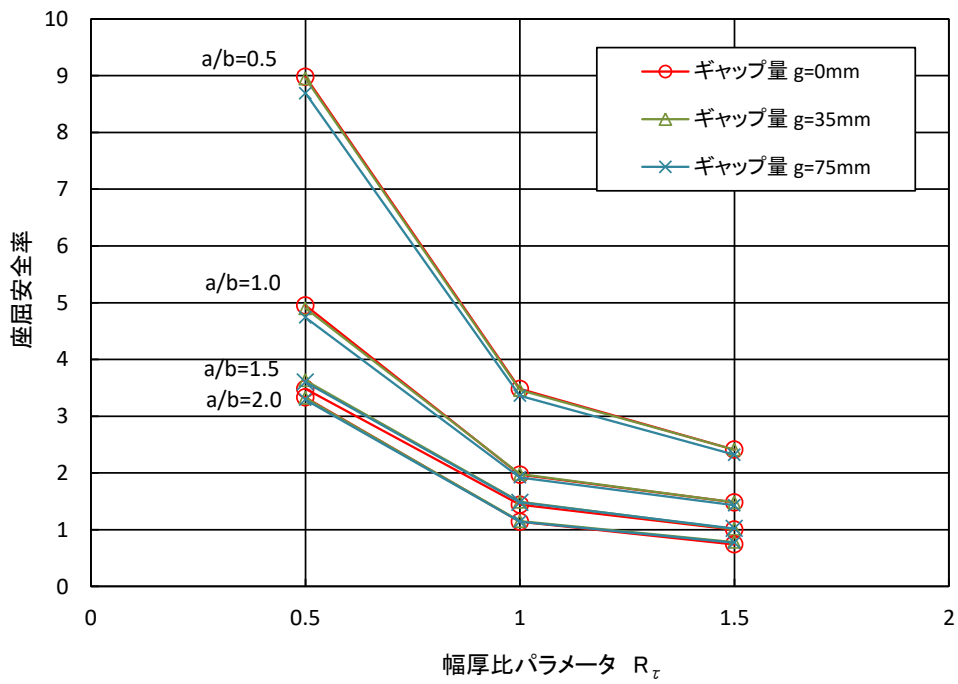
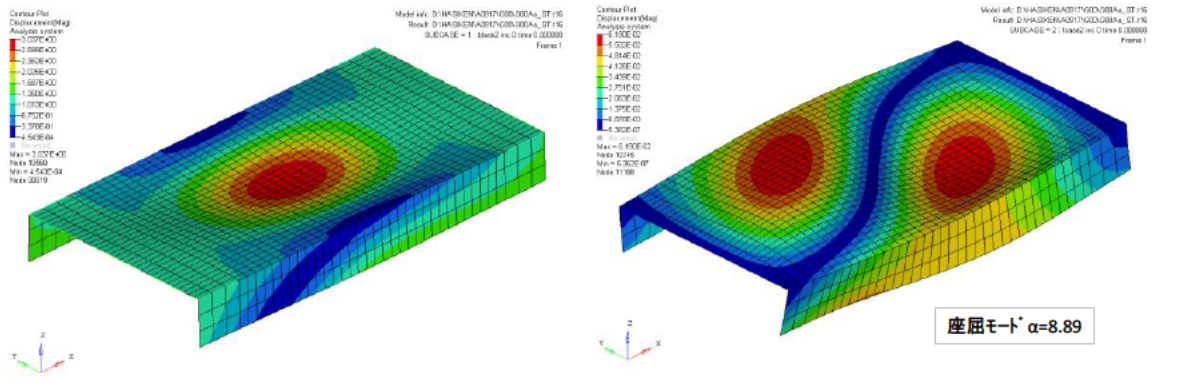
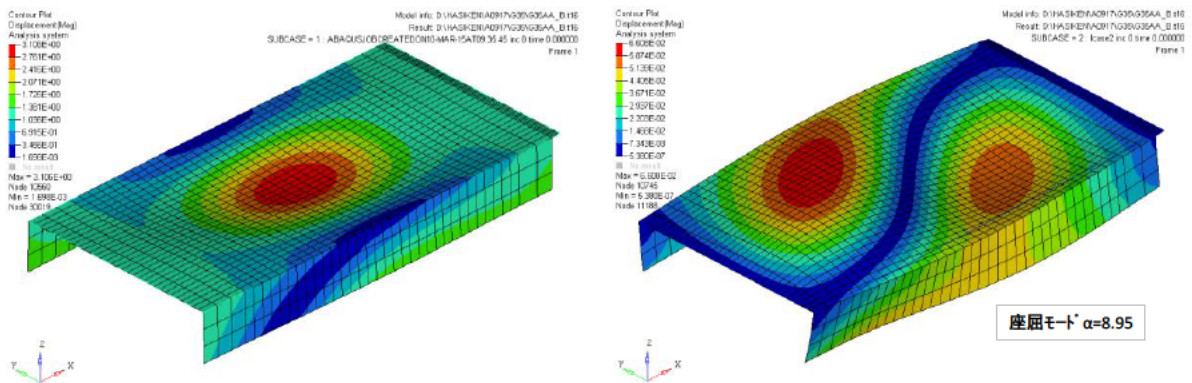


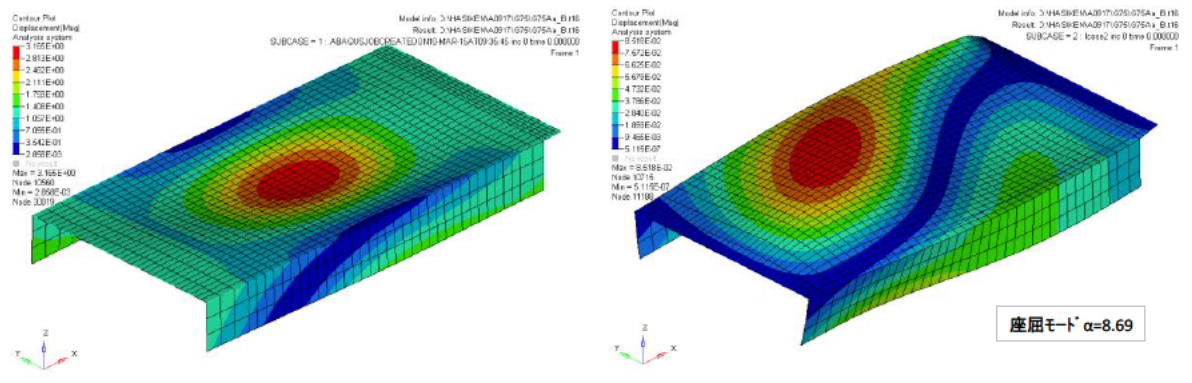
図 - 5.2.7 幅厚比パラメータが座屈安全率に与える影響



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

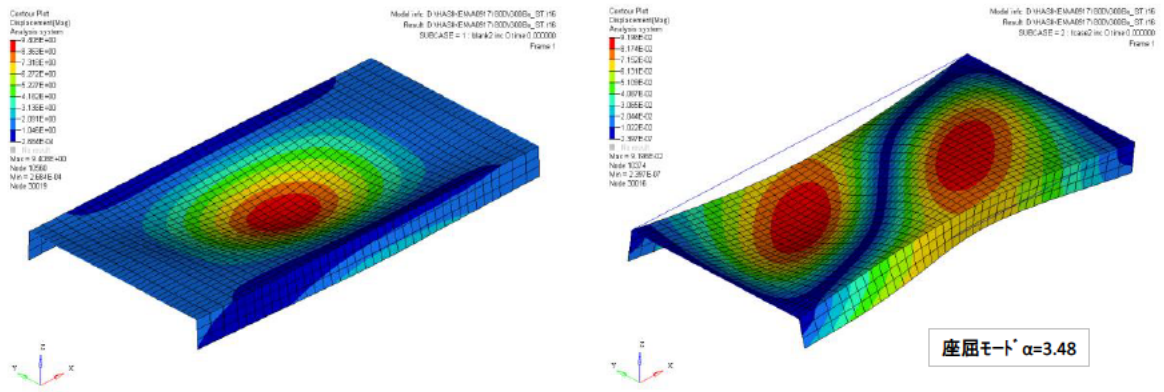


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

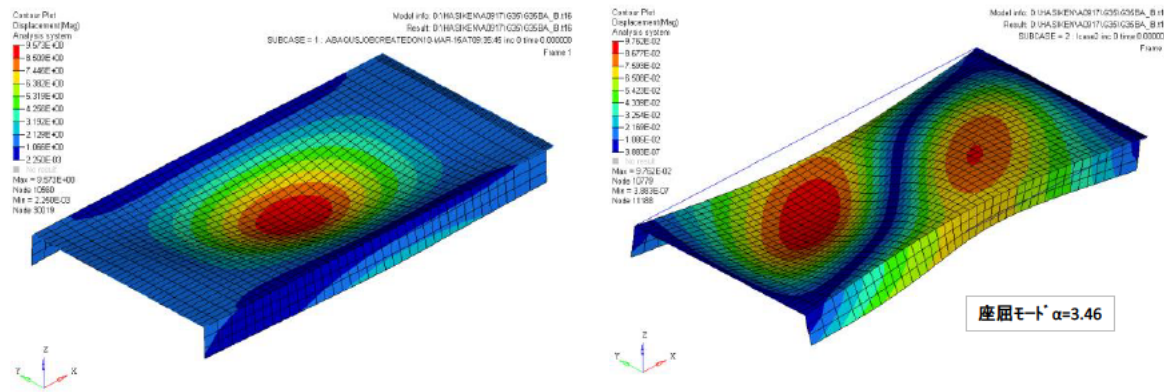


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

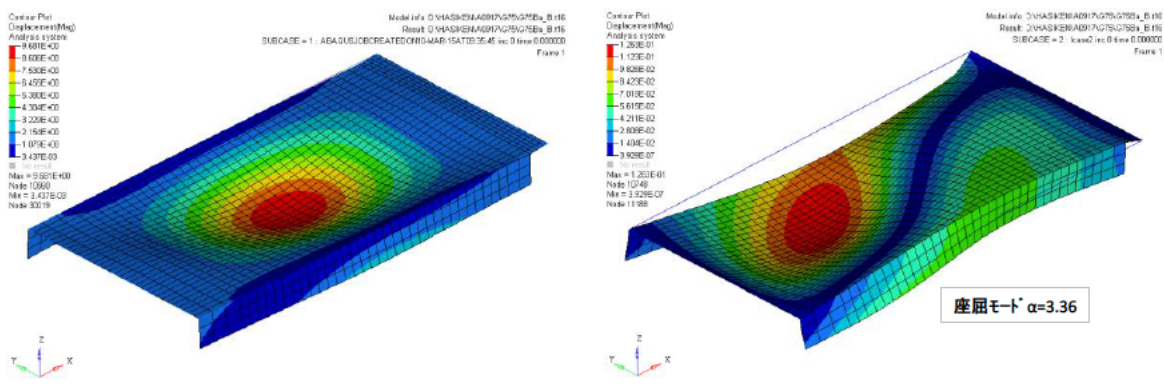
図 - 5.2.8 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍)
および座屈モード図 (右図) ($\alpha=0.5$, $R\tau=0.5$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

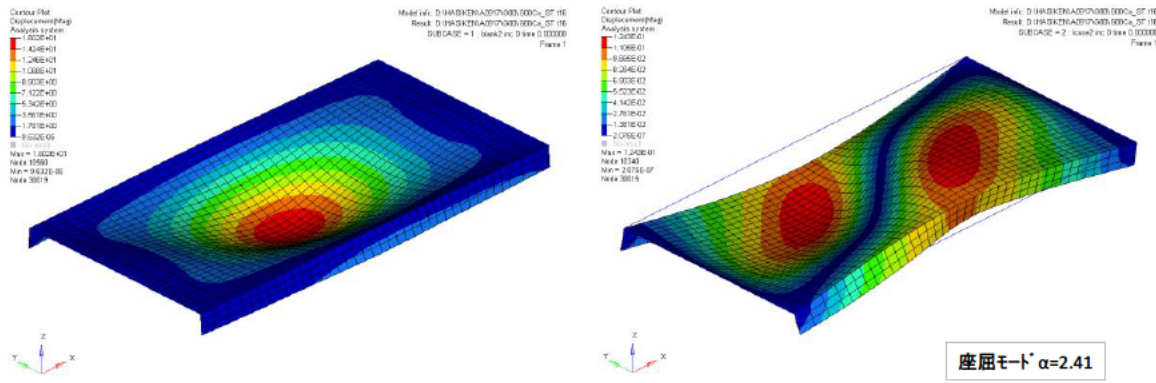


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

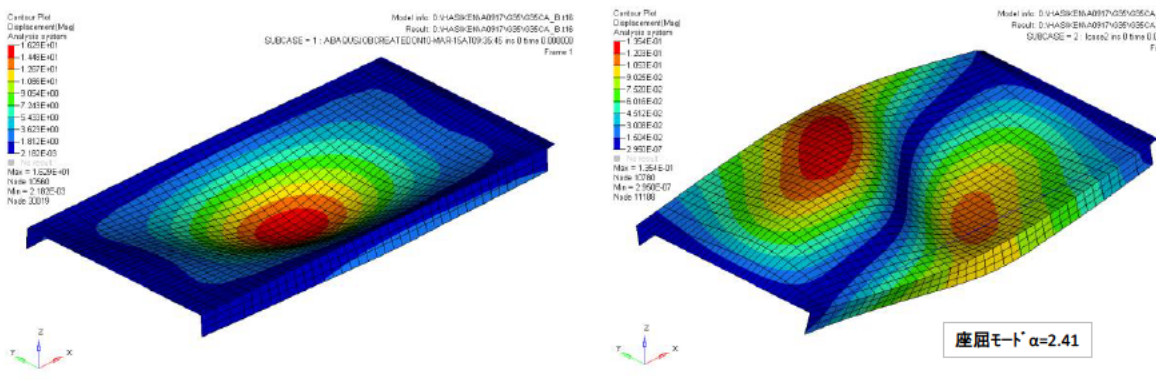


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

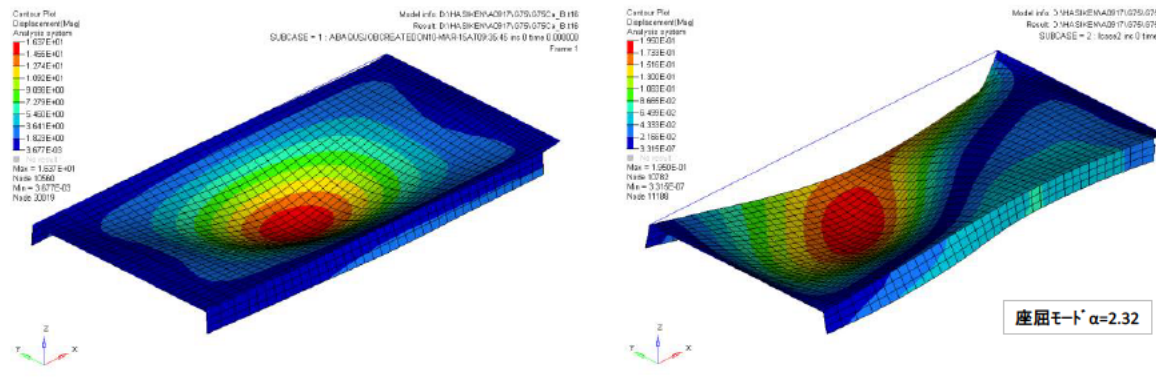
図 - 5.2.9 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍)
および座屈モード図 (右図) ($\alpha = 0.5$ 、 $R_\tau = 1.0$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

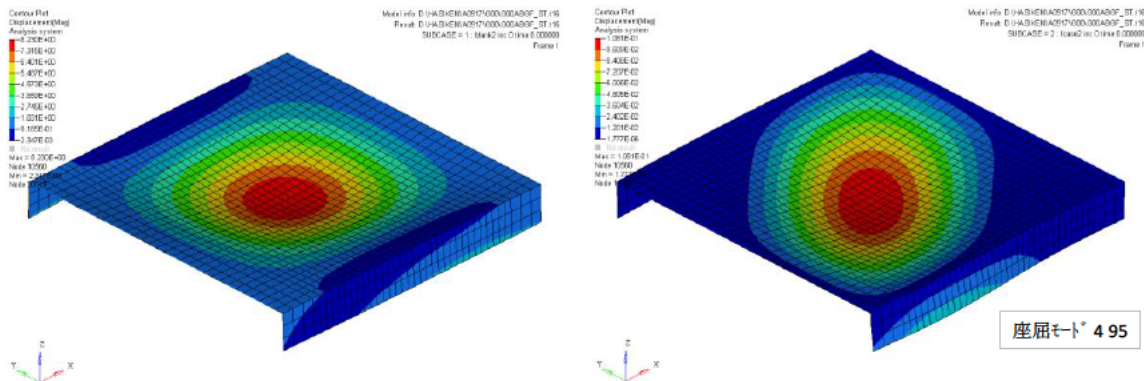


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$



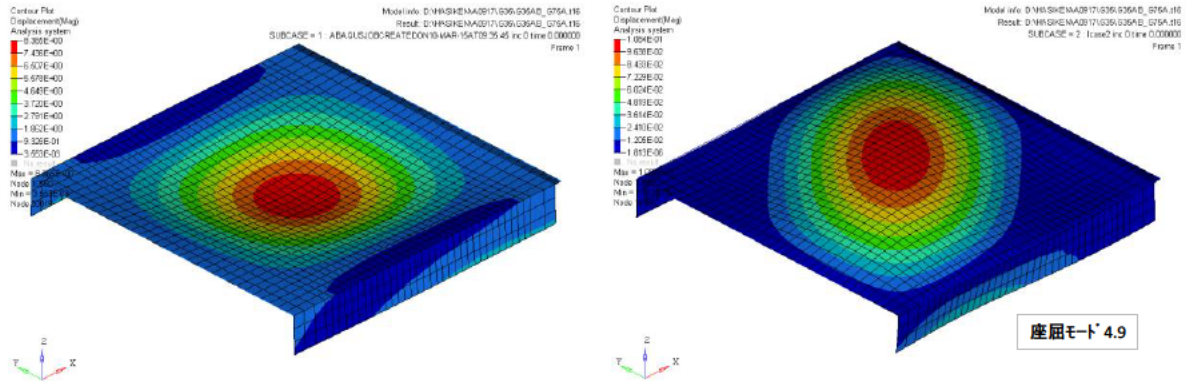
(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

図 - 5.2.10 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍) および座屈モード図 (右図) ($\alpha = 0.5$ 、 $R\tau = 1.5$)



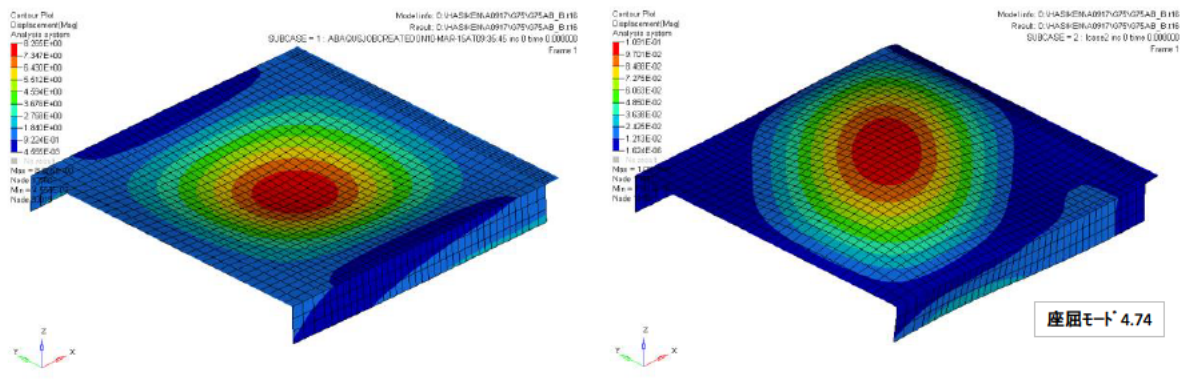
座屈モード^{*} 4.95

(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$



座屈モード^{*} 4.9

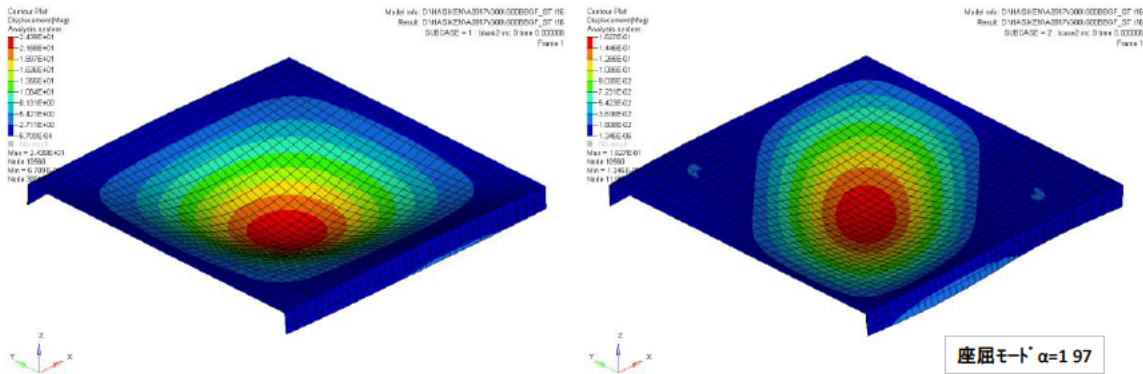
(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$



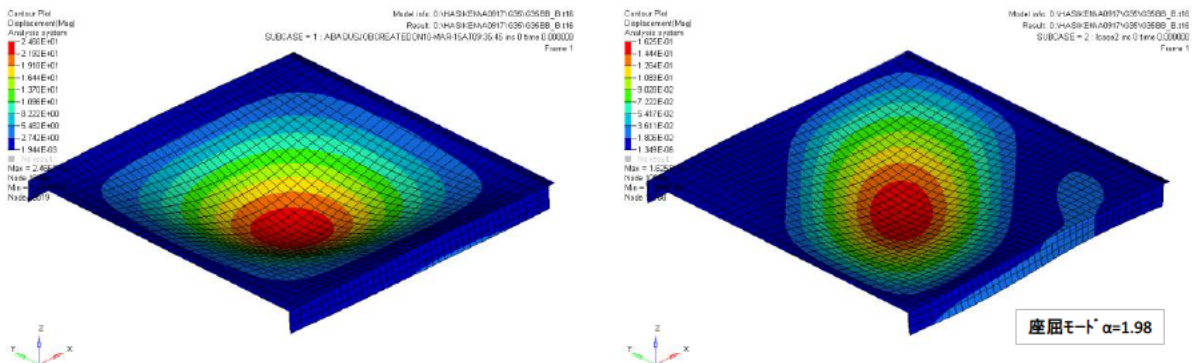
座屈モード^{*} 4.74

(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

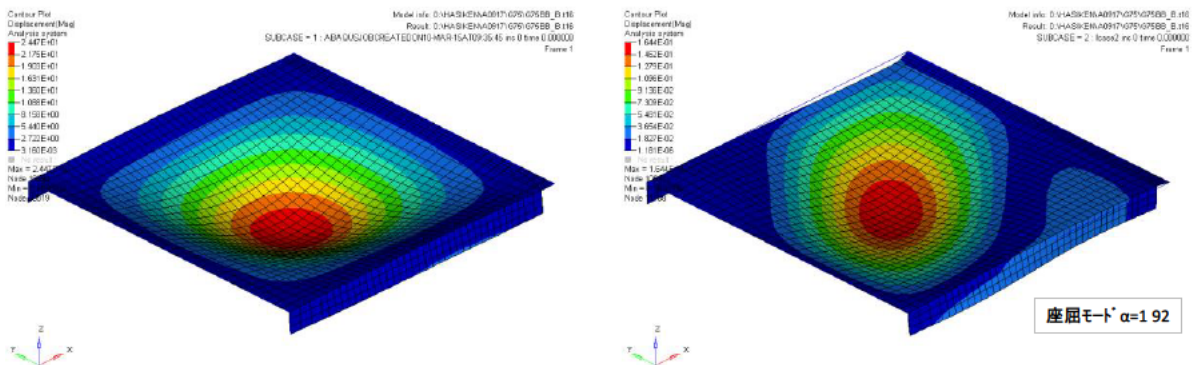
図 - 5.2.11 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍)
および座屈モード図 (右図) ($\alpha = 1.0$ 、 $R\tau = 0.5$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

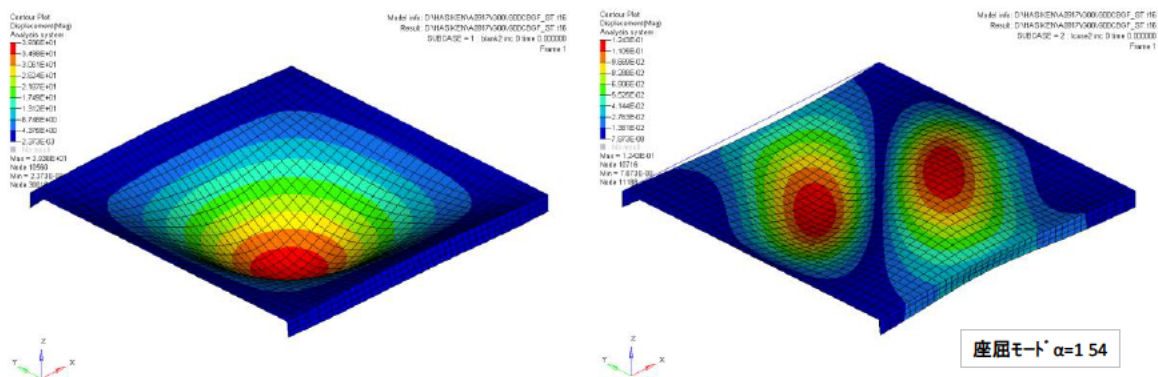


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

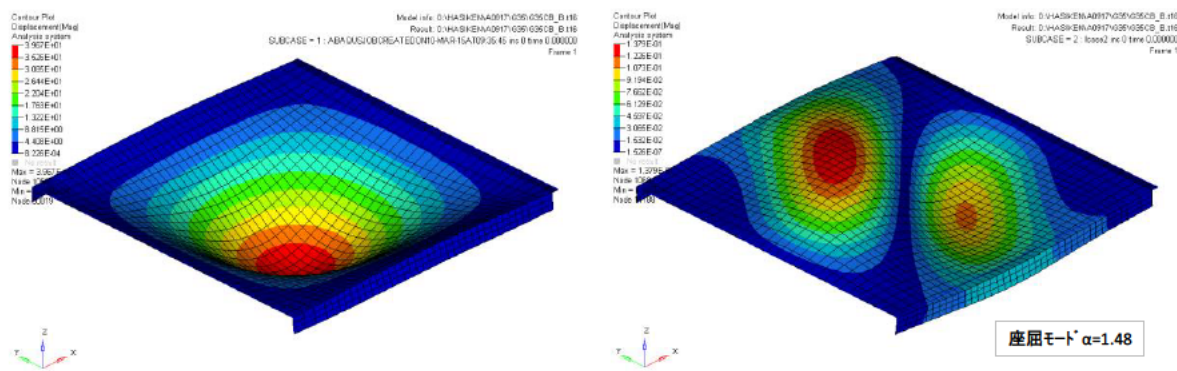


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

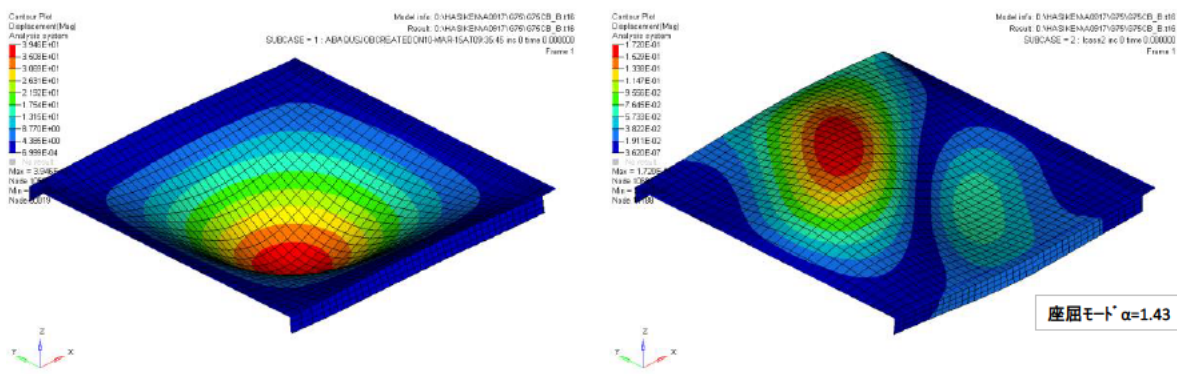
図 - 5.2.12 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍)
および座屈モード図 (右図) ($\alpha=1.0$ 、 $R\tau=1.0$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

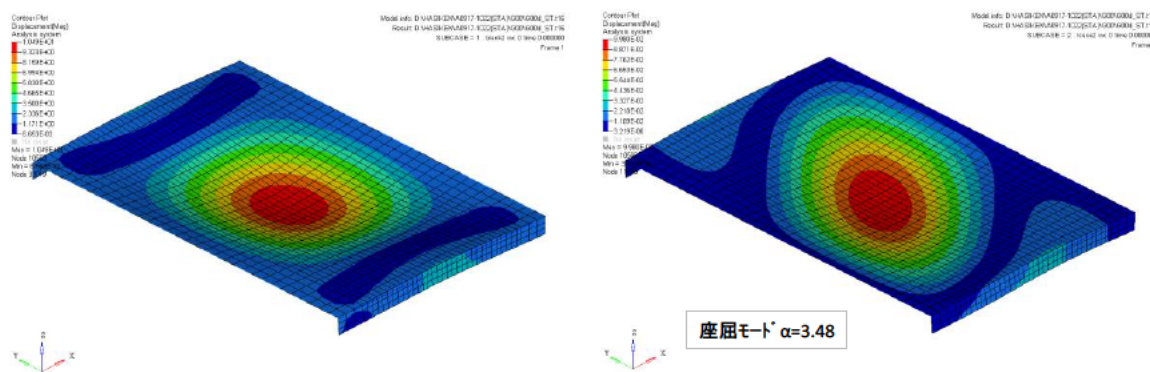


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

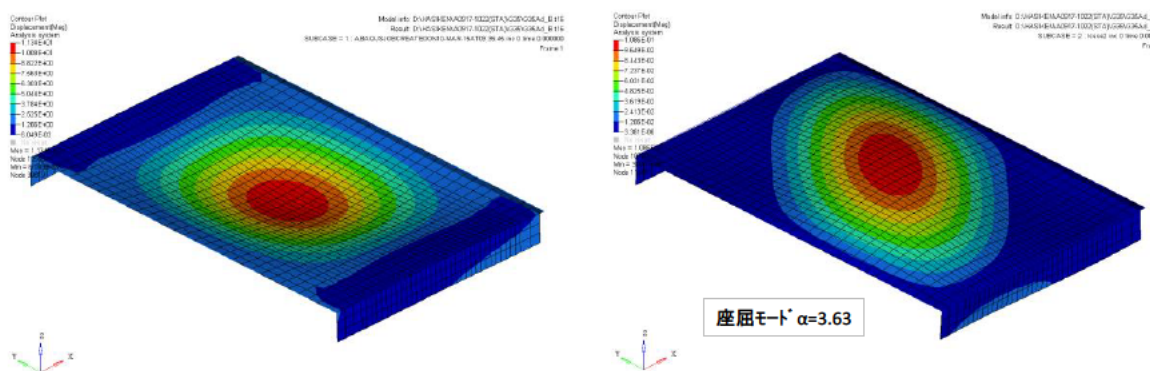


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

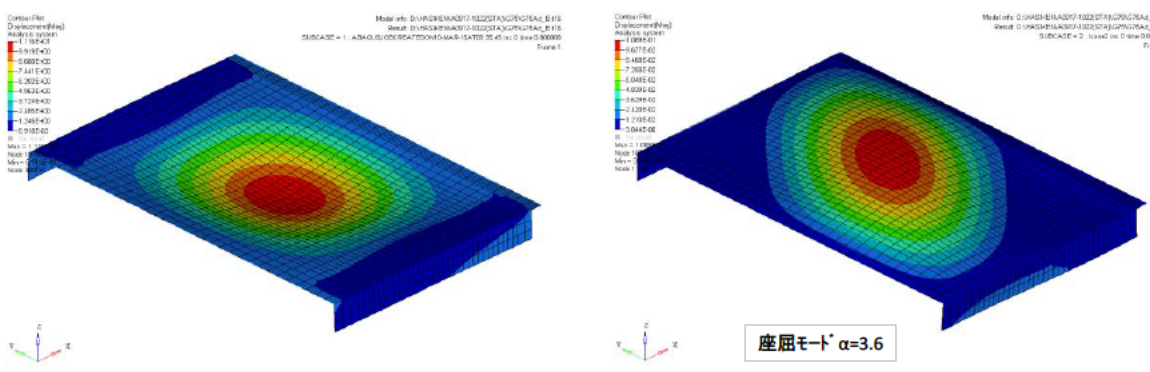
図 - 5.2.13 単位荷重時変形図 (左図、変形倍率 10 倍) および座屈モード図 (右図) ($\alpha=1.0$ 、 $R\tau=1.5$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

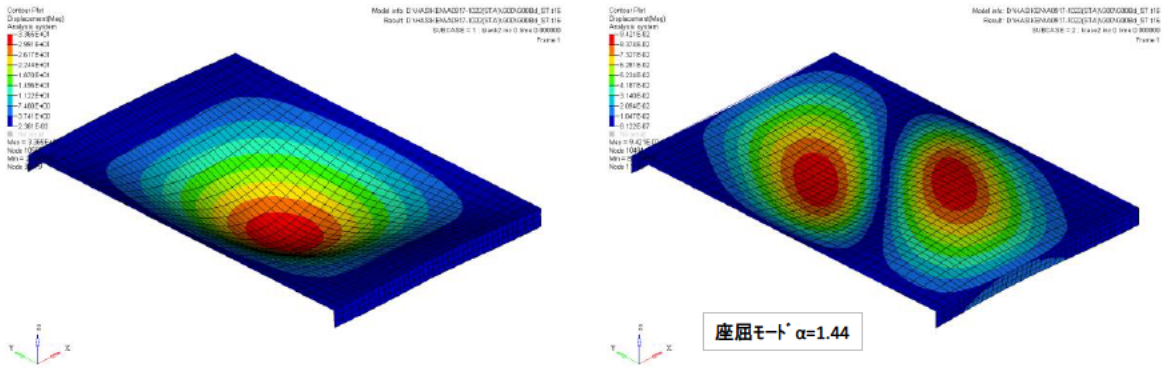


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

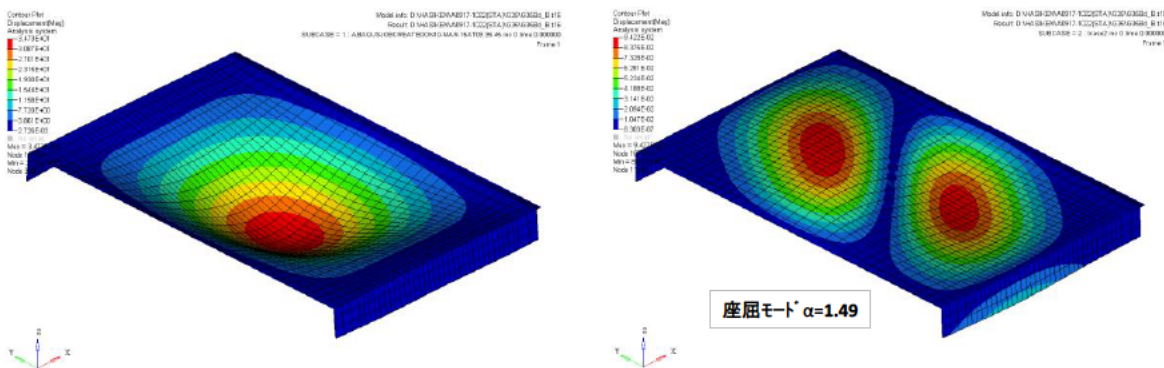


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

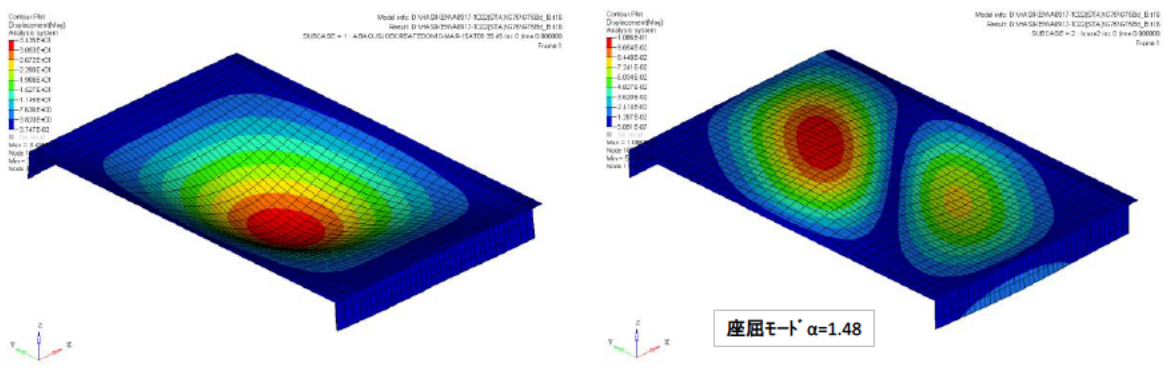
図 - 5.2.14 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍)
および座屈モード図 (右図) ($\alpha = 1.5$ 、 $R\tau = 0.5$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

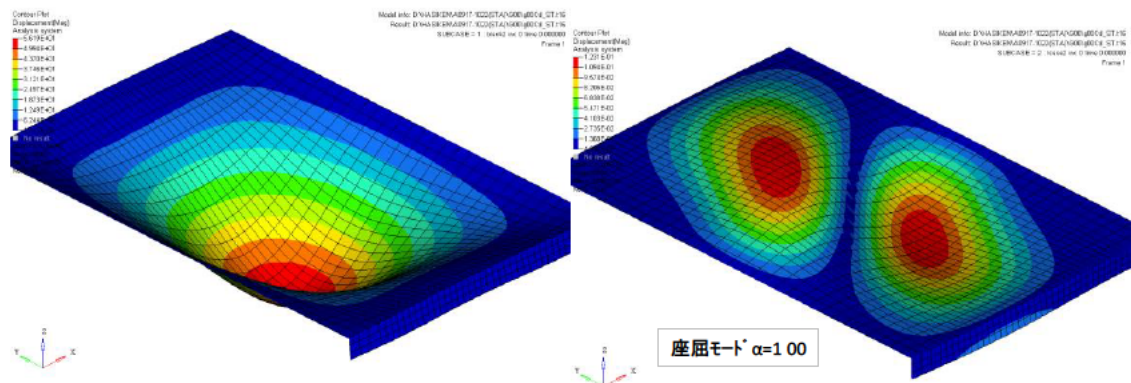


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

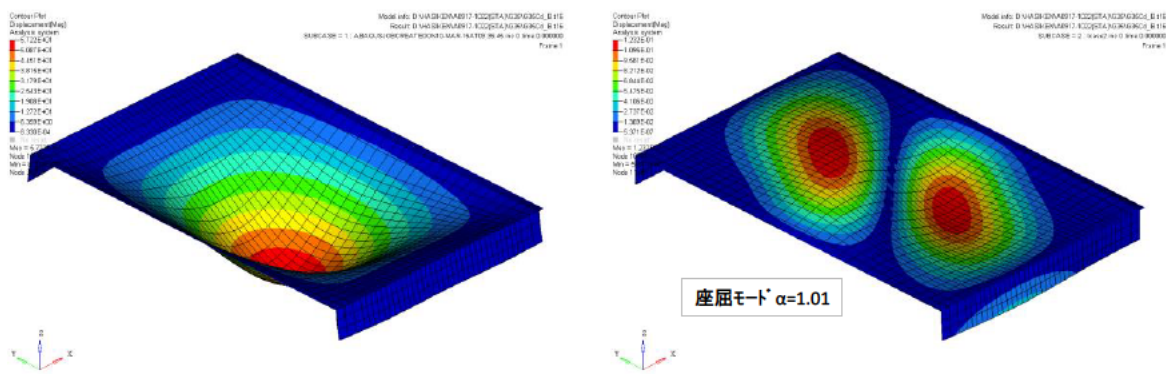


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

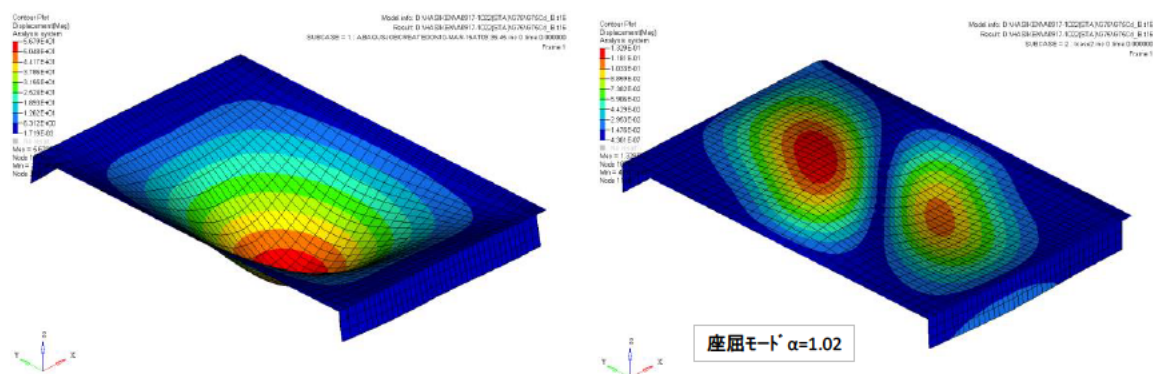
図 - 5.2.15 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍)
および座屈モード図 (右図) ($\alpha=1.5$ 、 $R\tau=1.0$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

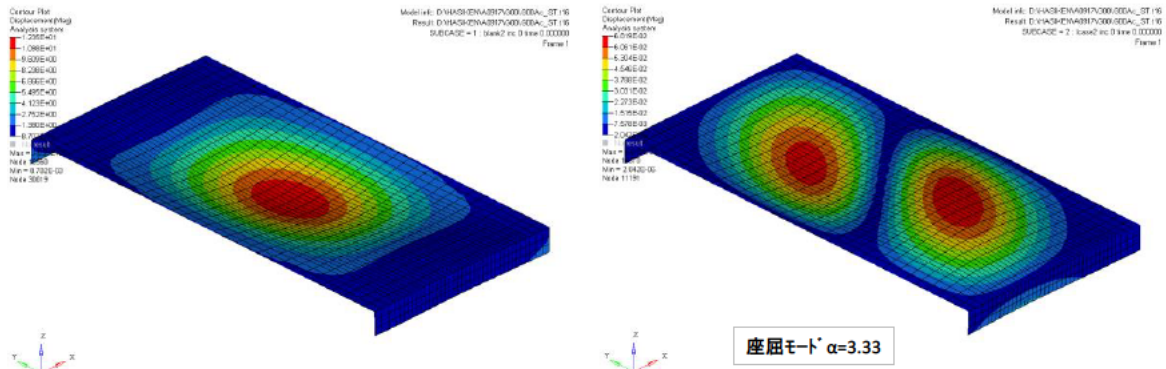


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

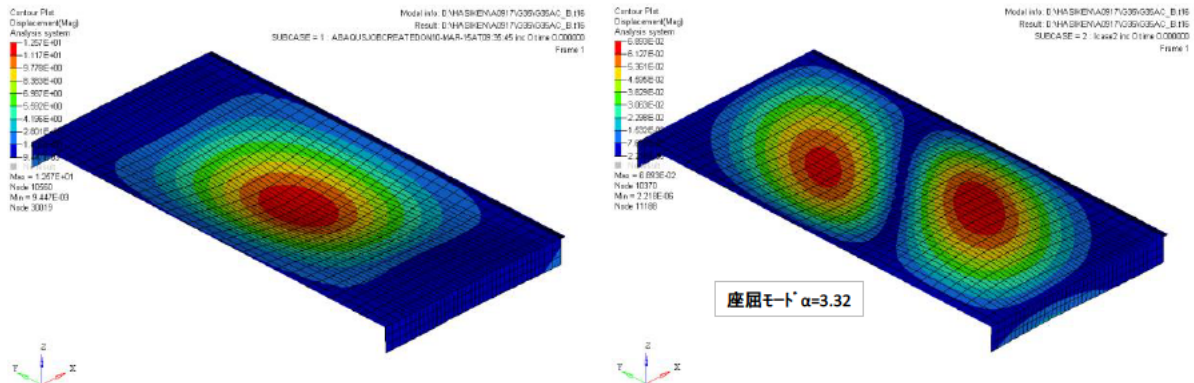


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

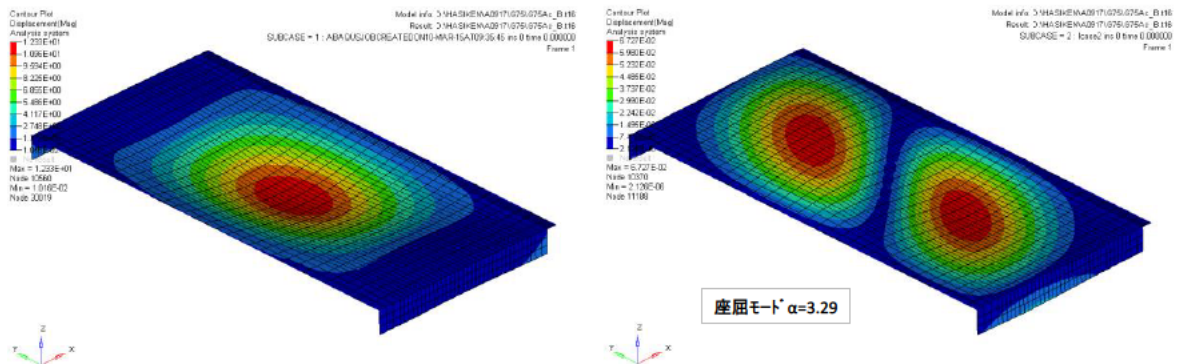
図 - 5.2.16 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍) および座屈モード図 (右図) ($\alpha = 1.5$ 、 $R\tau = 1.5$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

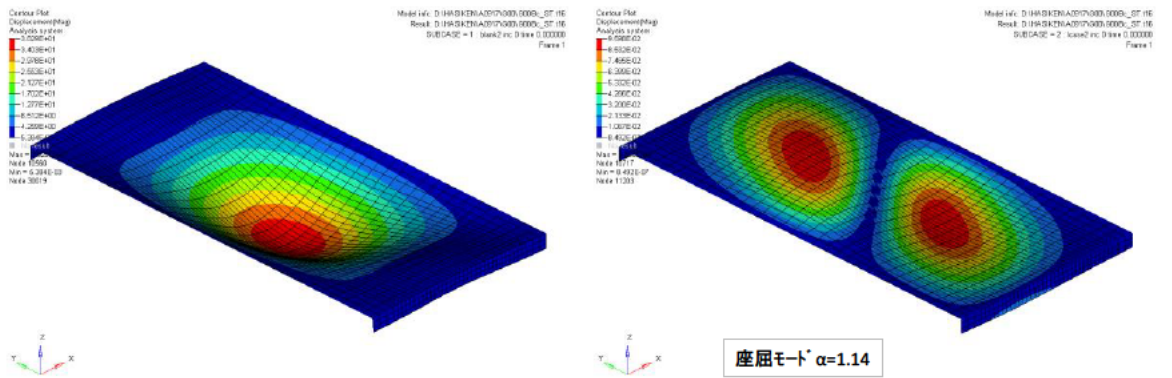


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

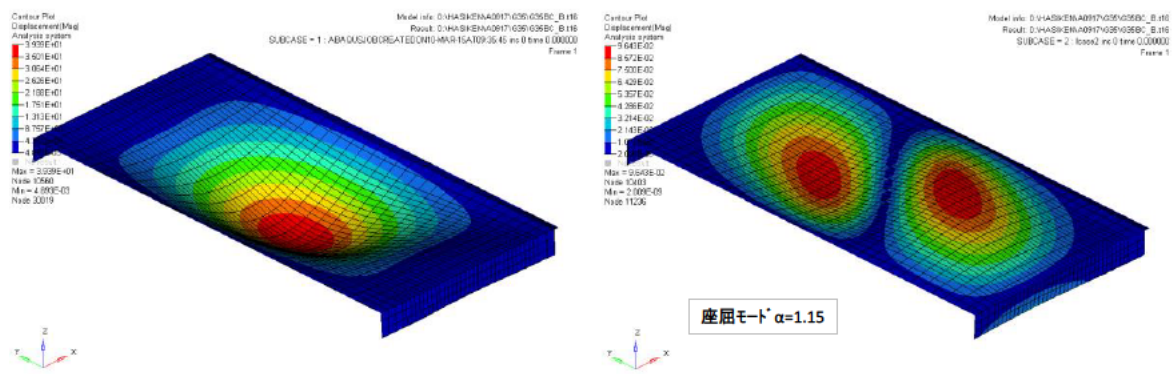


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

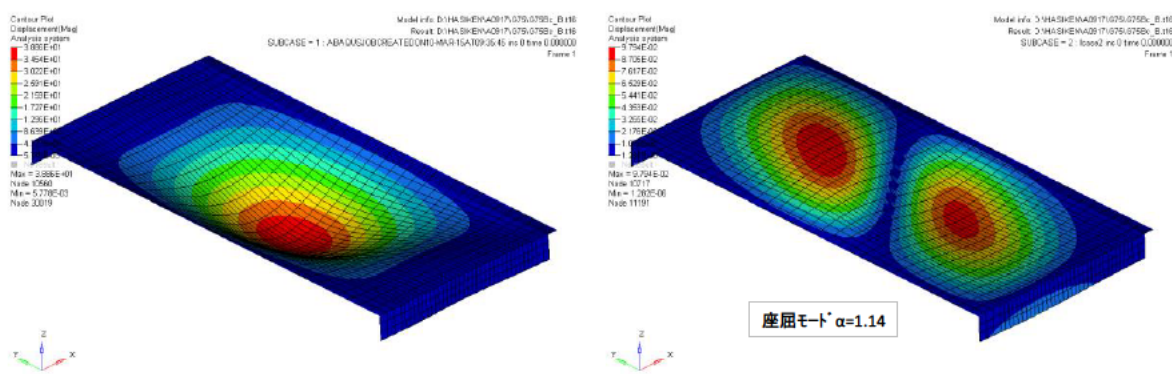
図 - 5.2.17 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍)
および座屈モード図 (右図) ($\alpha=2.0$ 、 $R\tau=0.5$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

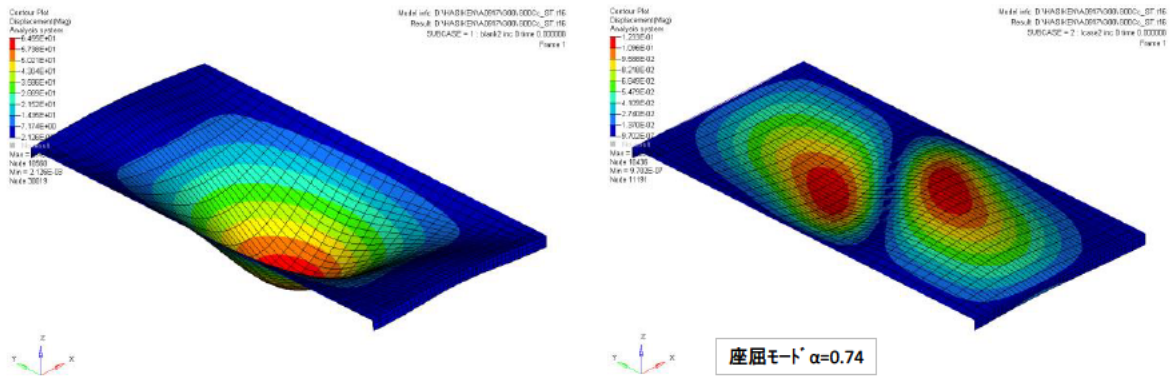


(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$

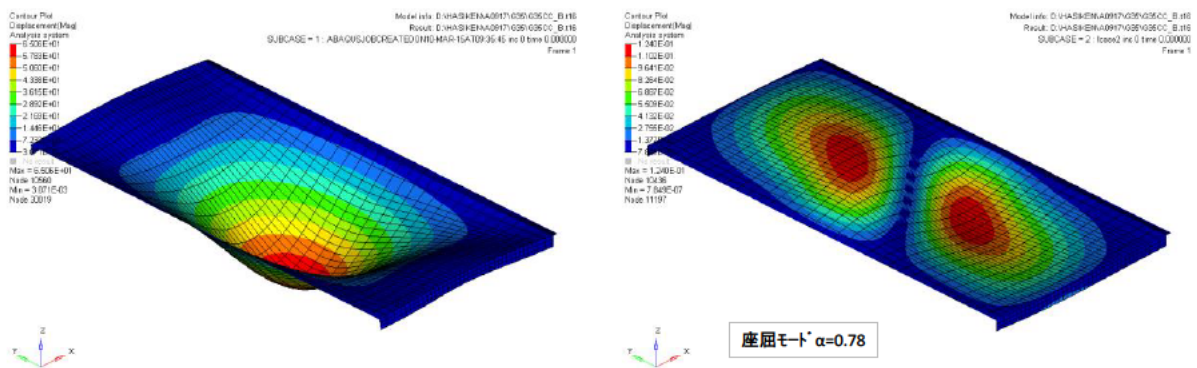


(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

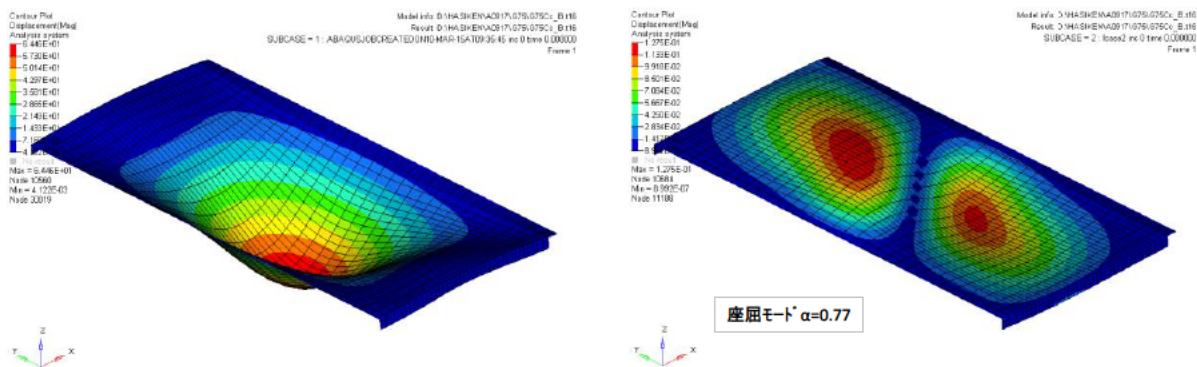
図 - 5.2.18 単位荷重時変形図 (左図、変形倍率 10 倍) および座屈モード図 (右図) ($\alpha=2.0$ 、 $R\tau=1.0$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$



(b) ギャップ量 $g=35\text{mm}$



(c) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

図 - 5.2.19 単位荷重載荷時変形図 (左図、変形倍率 10 倍) および座屈モード図 (右図) ($\alpha=2.0$ 、 $R\tau=1.5$)

5.2.5 弾塑性有限変位解析結果

線形座屈固有値解析によりアスペクト比および幅厚比パラメータがギャップ量と座屈強度の関係に与える影響は小さいことが確認できたため、次に弾塑性有限変位解析を行いギャップ量が耐力に与える影響を確認する。解析パラメータは表 - 5.2.1 のとおりであり、計9モデルについて解析を行う。荷重条件としては、載荷棒3、4に与える回転変位 γ を漸増させていく。

図 - 5.2.20 に解析から得られた無次元せん断ひずみ - 無次元せん断応力関係を示す。図中横軸は発生せん断ひずみを降伏せん断ひずみで、縦軸は発生せん断応力を降伏せん断応力でそれぞれ除して無次元化している。図に示すように、いずれの場合においても、ひずみに非線形性が現れた後、最大せん断ひずみに到達するが、その後せん断力は急低下しないことがわかる。この傾向はギャップ量の大小に関わらず同様であり、今回着目したパラメータの範囲内ではギャップ量がせん断ひずみ - せん断力関係に与える影響が小さいことがわかる。

図 - 5.2.21～図 - 5.2.26 に無次元せん断ひずみ $\gamma/\gamma_y=1.0, 2.0$ の場合の変形図、および $\gamma/\gamma_y=1.0$ の場合のMises 応力コンター図を示す。ギャップ量 $g=300\text{mm}$ の場合に垂直補剛材の先端に比較的大きな変形と応力集中が見られるが、変形モードおよび腹板全体の応力分布はギャップ量の大小による影響は見られないことがわかる。

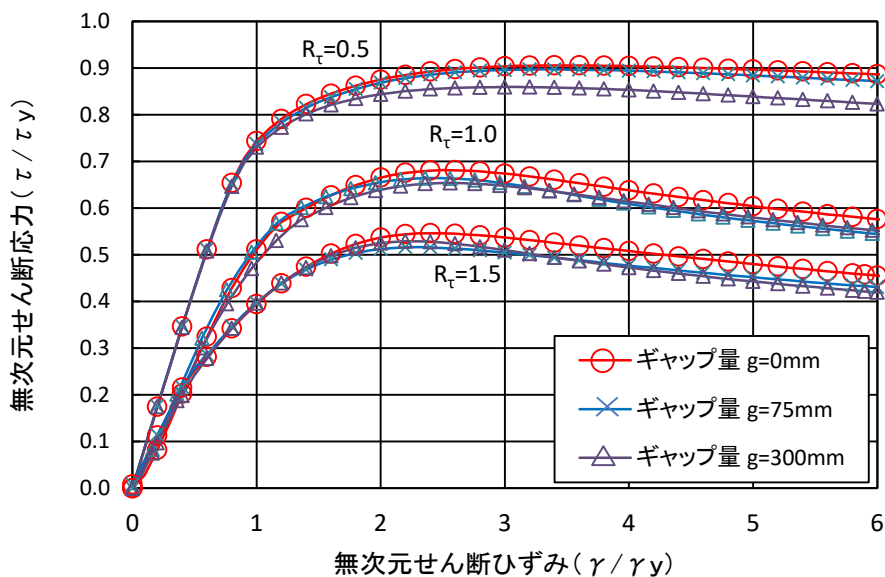
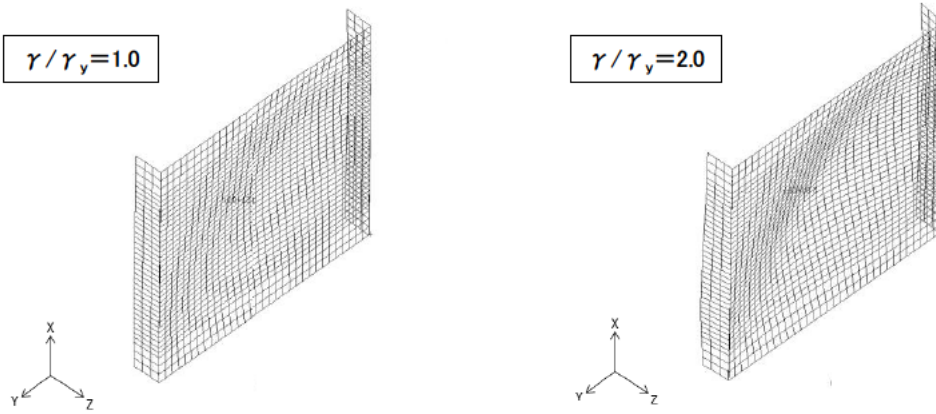
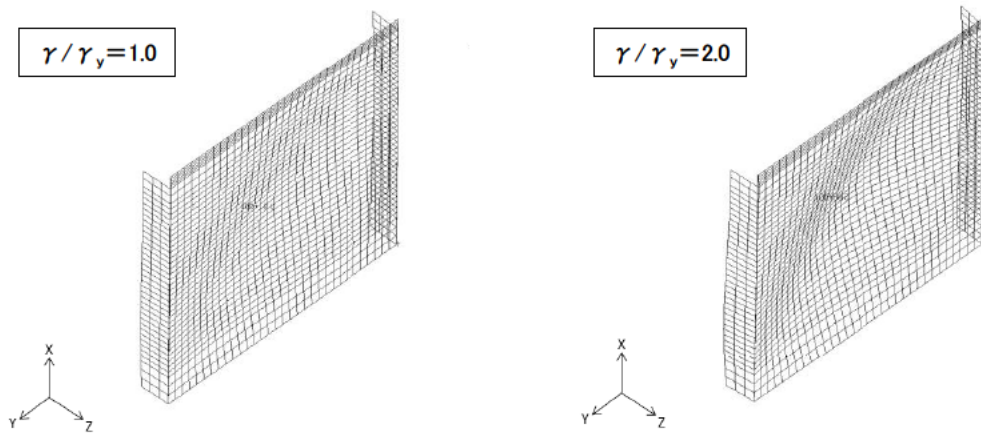


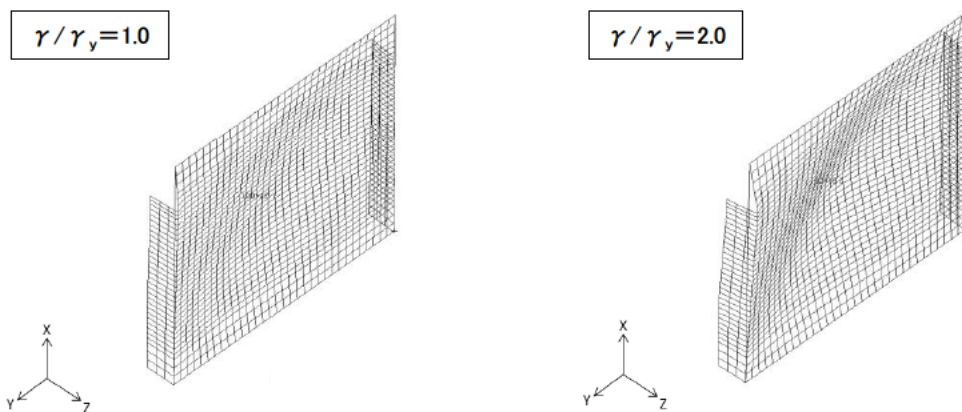
図 - 5.2.20 無次元せん断ひずみ - 無次元せん断応力関係



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

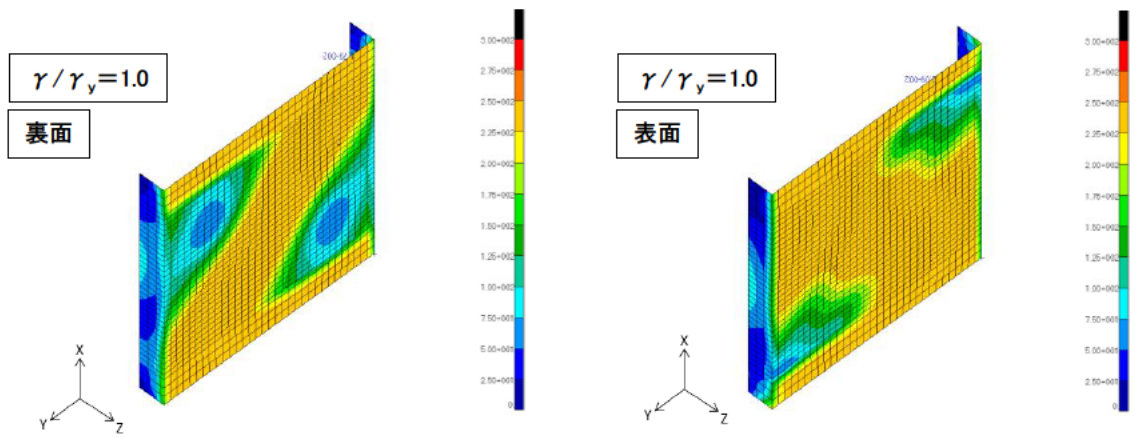


(b) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

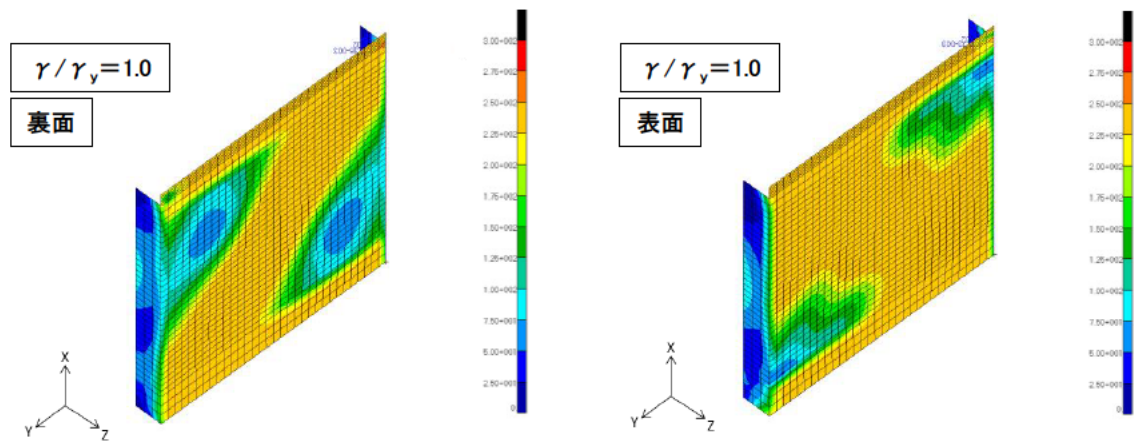


(c) ギャップ量 $g=300\text{mm}$

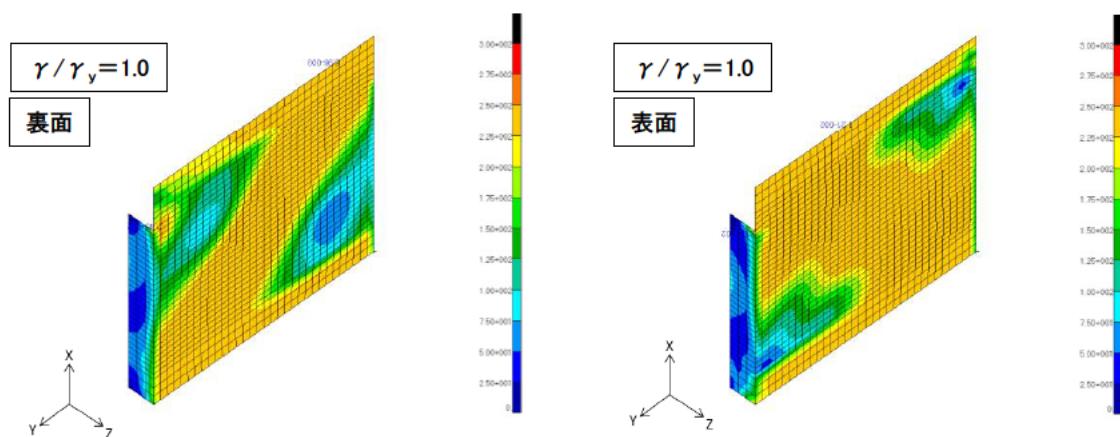
図 - 5.2.21 変形図 ($R_\tau = 0.5$ 、変形倍率 5 倍)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

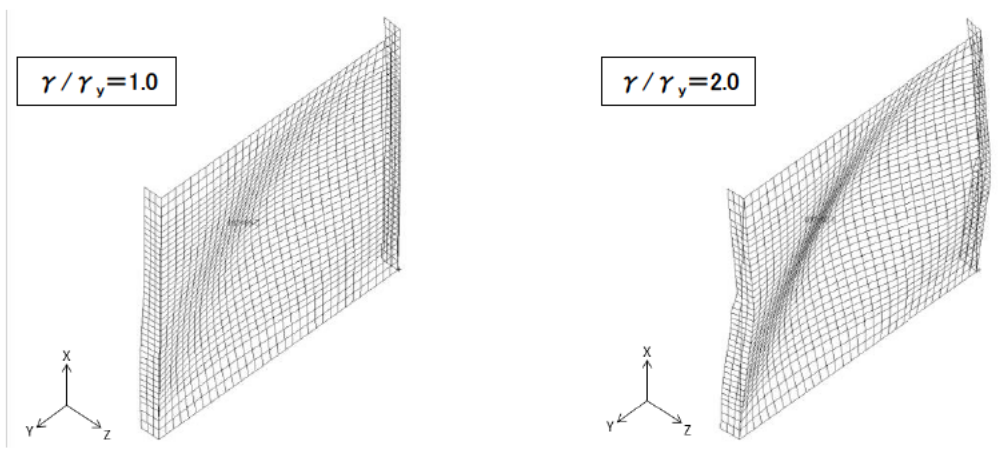


(b) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

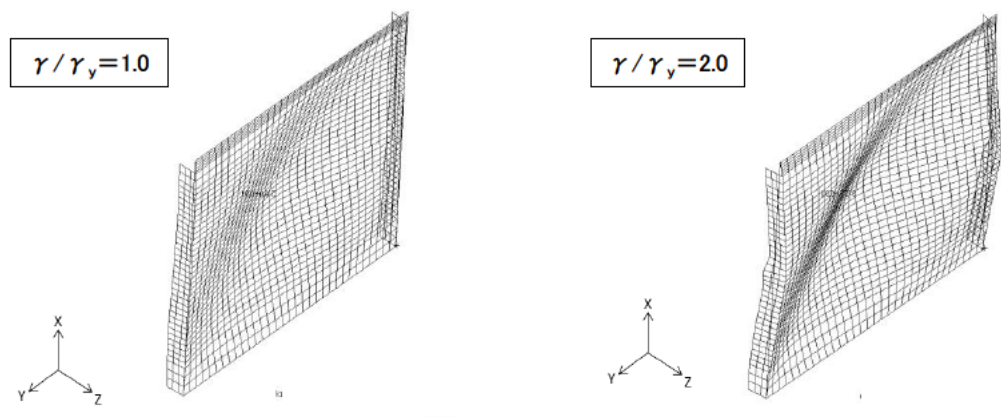


(c) ギャップ量 $g=300\text{mm}$

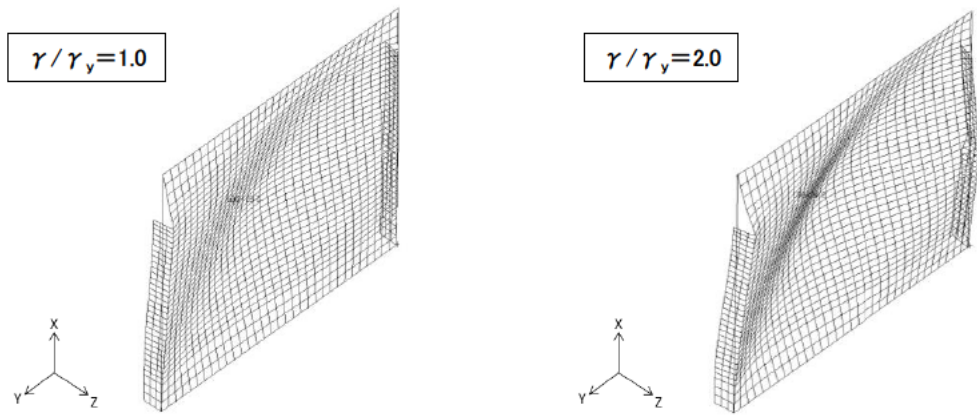
図 - 5.2.22 Mises 応力コンター図 ($R\tau = 0.5$)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$

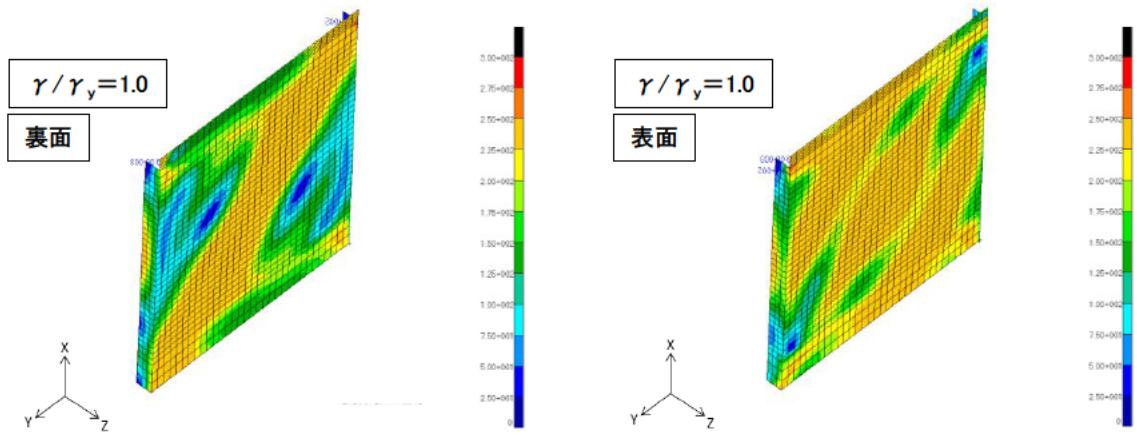


(b) ギャップ量 $g=75\text{mm}$

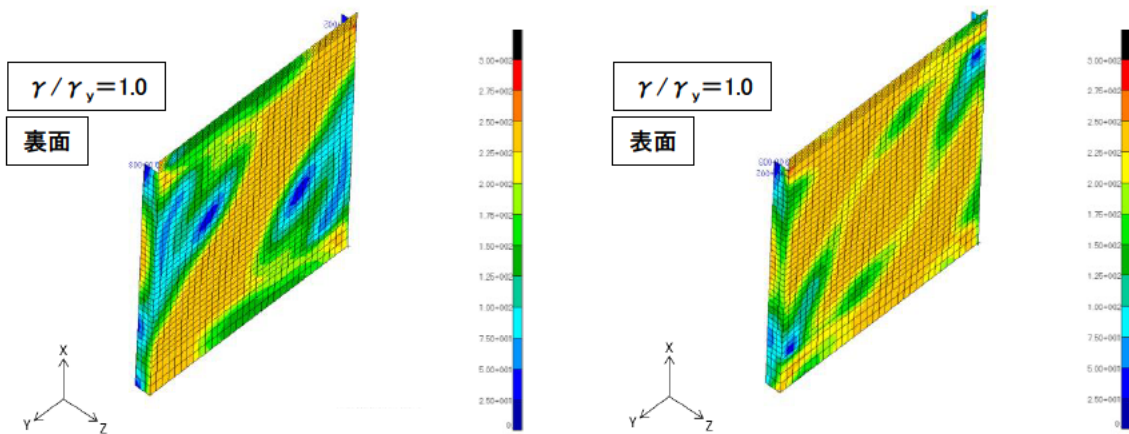


(c) ギャップ量 $g=300\text{mm}$

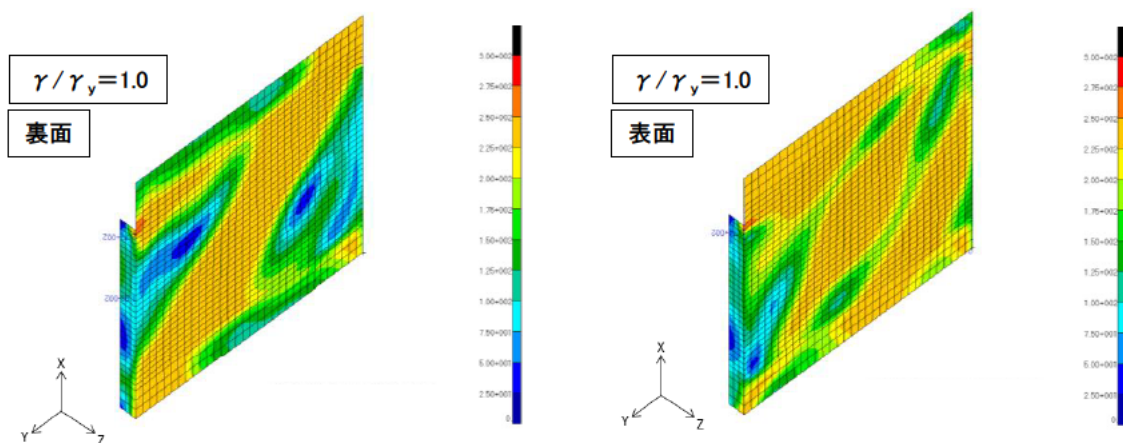
図 - 5.2.23 変形図 ($R_\tau = 1.0$ 、変形倍率 5 倍)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$



(b) ギャップ量 $g=75\text{mm}$



(c) ギャップ量 $g=300\text{mm}$

図 - 5.2.24 Mises 応力コンター図 ($R\tau = 1.0$)

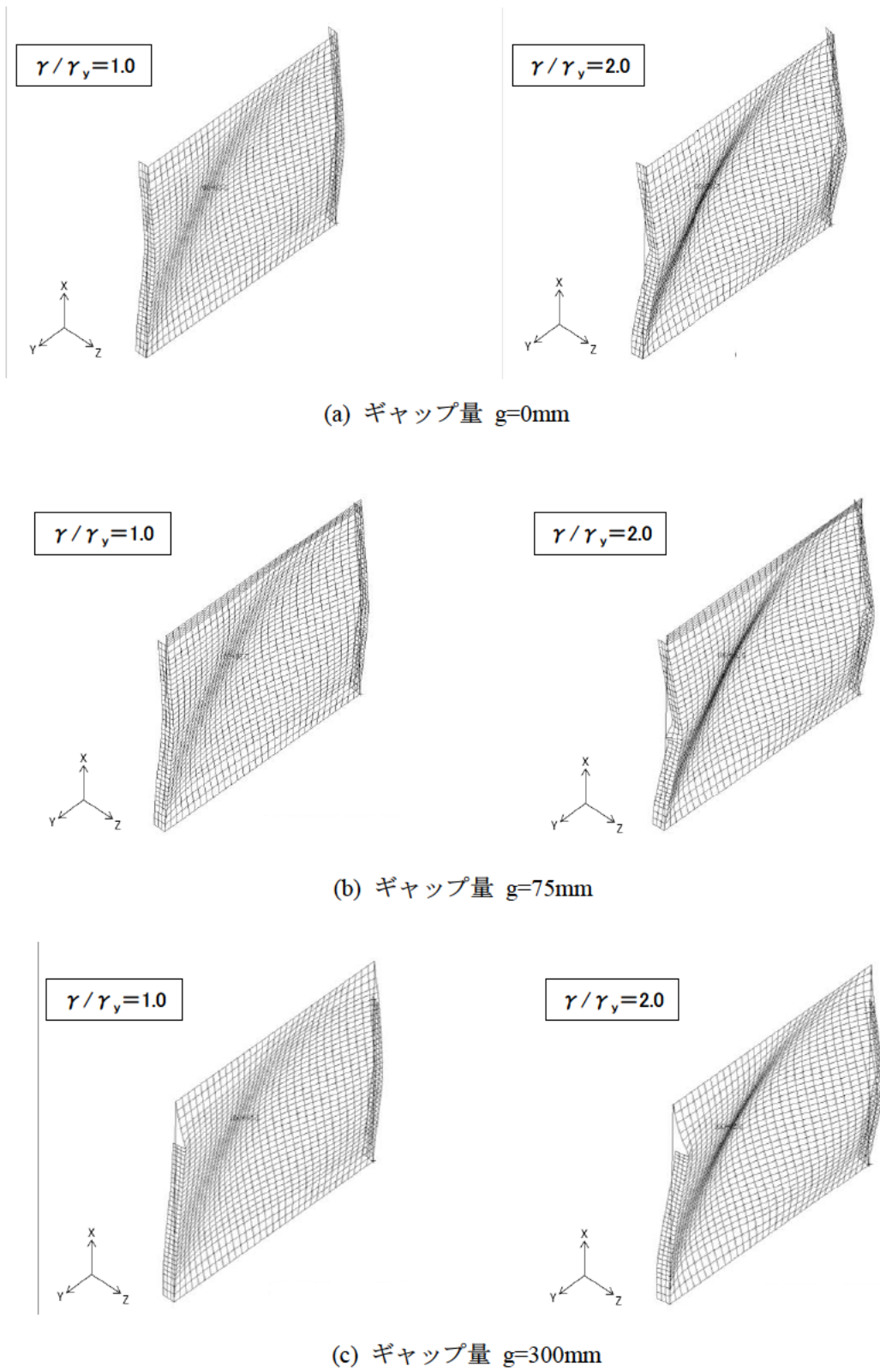
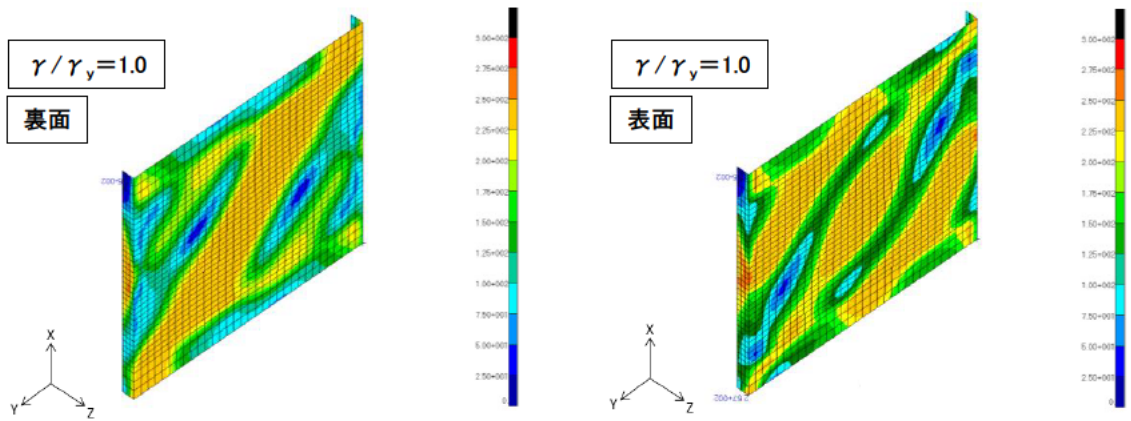
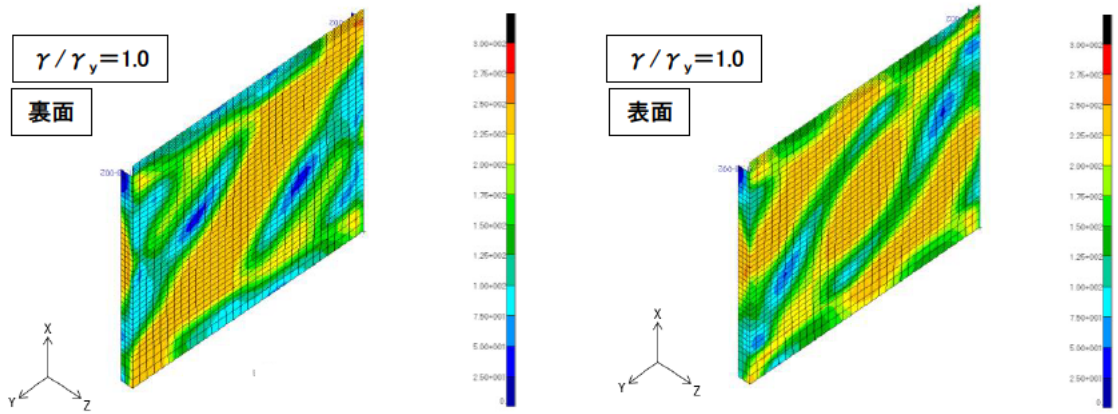


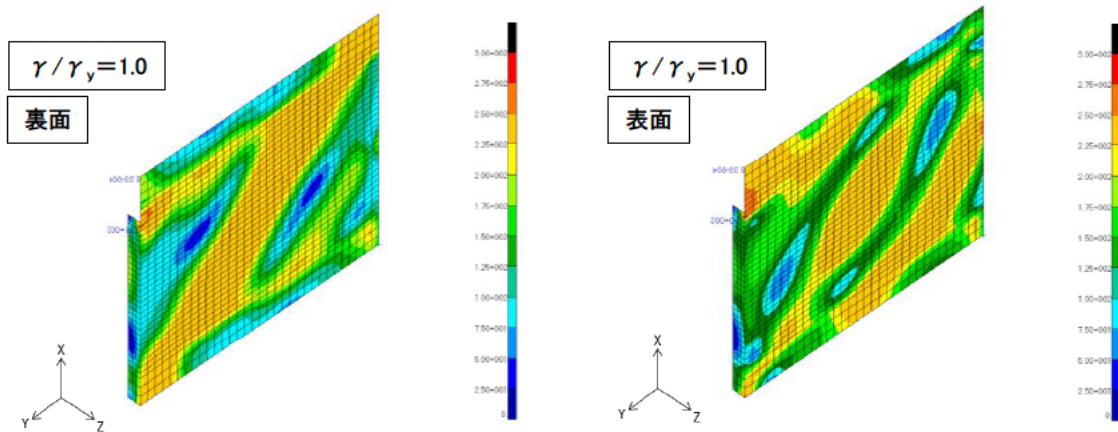
図 - 5.2.25 変形図 ($R_\tau = 1.5$ 、変形倍率 5 倍)



(a) ギャップ量 $g=0\text{mm}$



(b) ギャップ量 $g=75\text{mm}$



(c) ギャップ量 $g=300\text{mm}$

図 - 5.2.26 Mises 応力コンター図 ($R\tau = 1.5$)

表 - 5.2.3 に図 - 5.2.20 から得られた無次元せん断応力の最大値をまとめたものを示す。ギャップ量 $g=0\text{mm}$ に対する比についても併記している。表に示すようにギャップ量 $g=0\text{mm}$ に対し、ギャップ量 $g=75、300\text{mm}$ の場合の最大無次元せん断応力は 95%程度以上であり、ギャップ量が耐荷力に与える影響は小さいことがわかる。

表 - 5.2.3 無次元最大せん断応力 (τ/τ_y)

| ギャップ量 g | 幅厚比パラメータ $R\tau=0.5$ | | 幅厚比パラメータ $R\tau=1.0$ | | 幅厚比パラメータ $R\tau=1.5$ | |
|-----------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|
| | 最大値 | 比 | 最大値 | 比 | 最大値 | 比 |
| 0mm | 0.906 | — | 0.682 | — | 0.546 | — |
| 75mm | 0.897 | 99.0% | 0.665 | 97.5% | 0.516 | 94.5% |
| 300mm | 0.859 | 94.8% | 0.654 | 95.9% | 0.529 | 96.9% |

5.3 クリップリングに関する検討

5.3.1 解析手法

(1) 解析モデル

主桁腹板厚 9mm で垂直補剛材を有する橋梁を想定して FEM モデルを作成する。舗装、溶接部はモデル化しない。スパン中央載荷モデル、支点部付近載荷モデルをそれぞれ図 - 5.3.1、5.3.2 に示す。

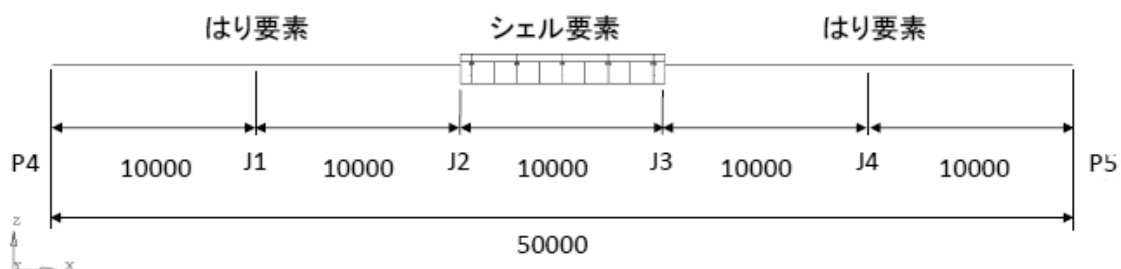


図 - 5.3.1 スパン中央載荷モデル

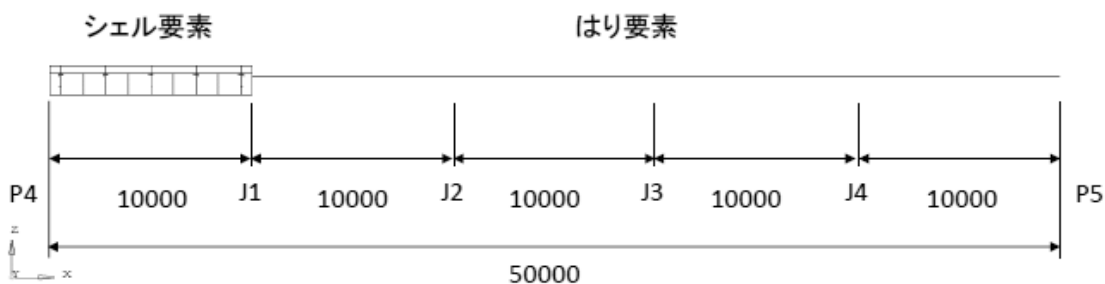


図 - 5.3.2 支点部付近載荷モデル

解析モデルは橋軸直角方向で 1/2 対称モデルとし、対称面には対称条件を設定する（図 - 5.3.3）。縦断勾配、横断勾配は考慮せずフラットなモデルとする。

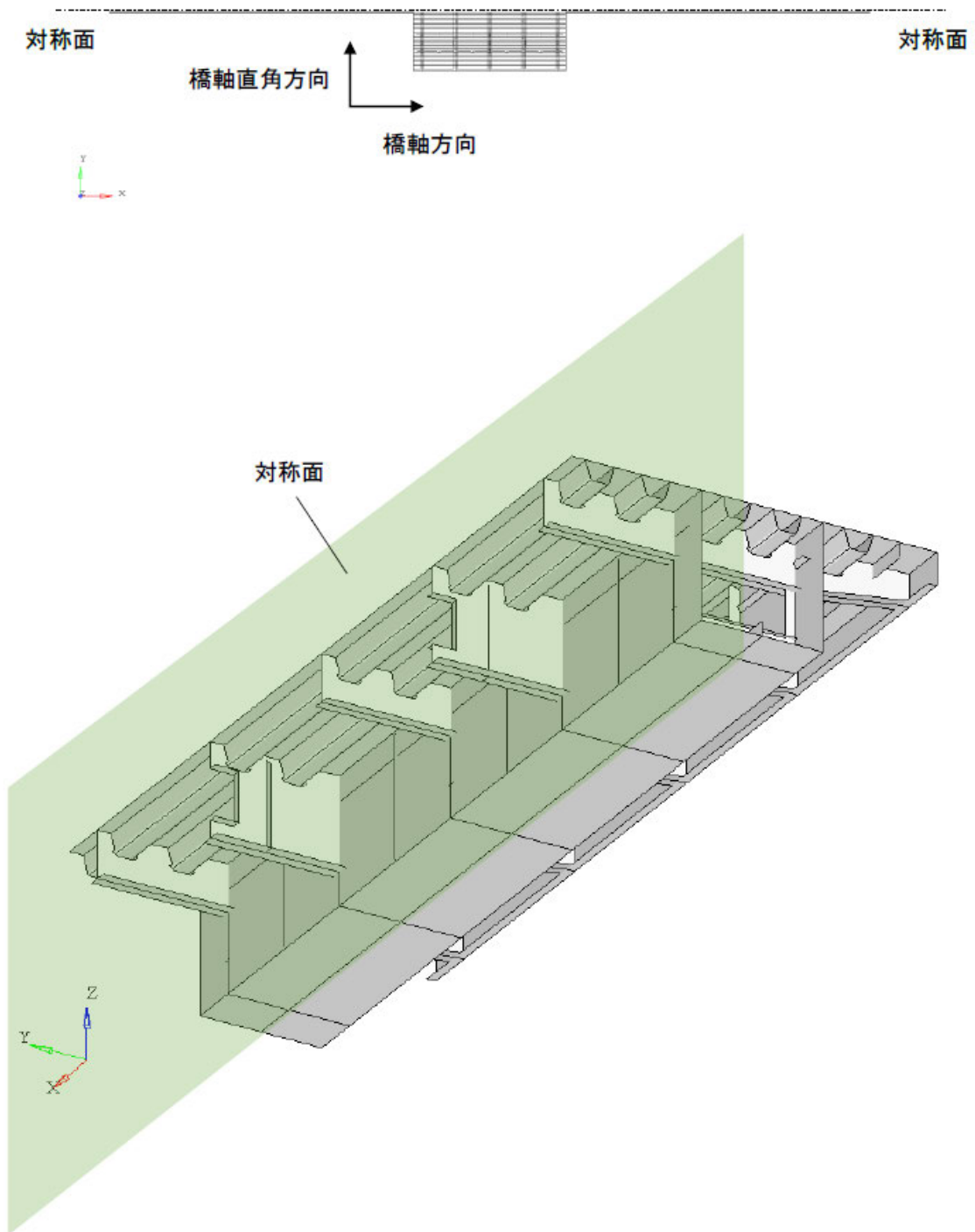


図 - 5.3.3 対称面の設置 (スパン中央載荷モデル)

(2) 初期不整

垂直補剛材が溶接されている腹板が面外に変形するモードを予め計算で求め、図 - 5.3.4 のように初期不整（道路橋示方書に示す腹板の部材精度 $H/250$ ）を与える。モデルの腹板高は、対象橋梁の中で腹板高の高い 1614mm（RG1L）を採用する。

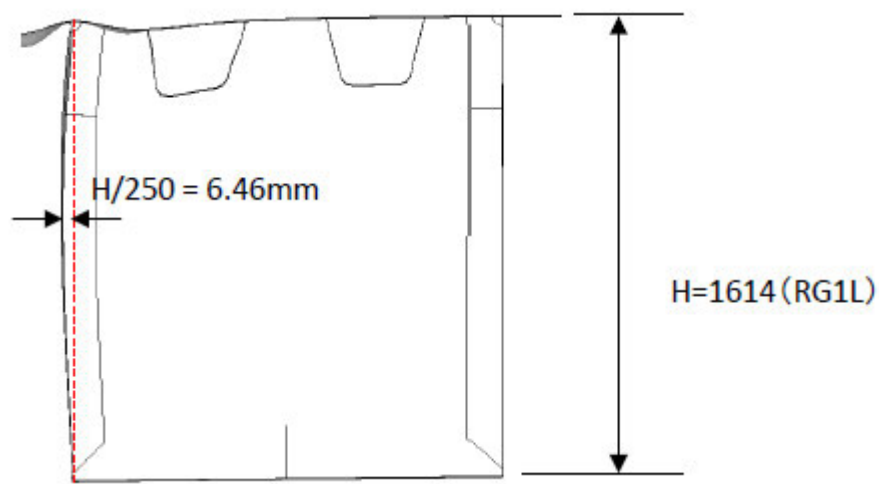


図 - 5.3.4 初期不整の与え方

(3) 残留応力

はじめは残留応力を考慮せず解析を行う。さらに、残留応力による影響を把握するため、代表モデルにおいて、以下の2タイプの残留応力を設定した解析を行う⁵⁻⁷⁾。残留応力は、解析の初期条件の応力として入力する。

残留応力 Type01 : 「①上下フランジと腹板の溶接時に発生する残留応力 (図 - 5.3.5)」を与える。

残留応力 Type02 : ①と「②腹板と垂直補剛材を溶接した際に発生する残留応力 (図 - 5.3.6)」を与える。

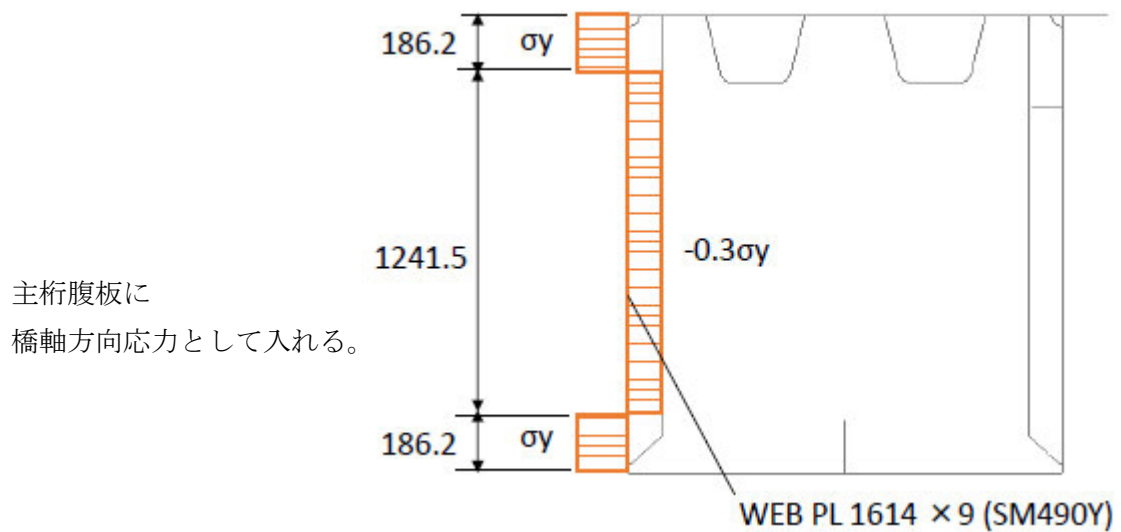


図 - 5.3.5 上下フランジと腹板の溶接時に発生する残留応力 (Type01)

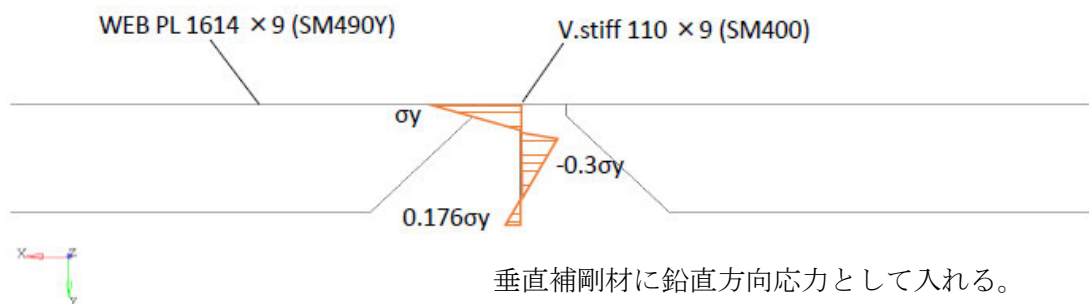
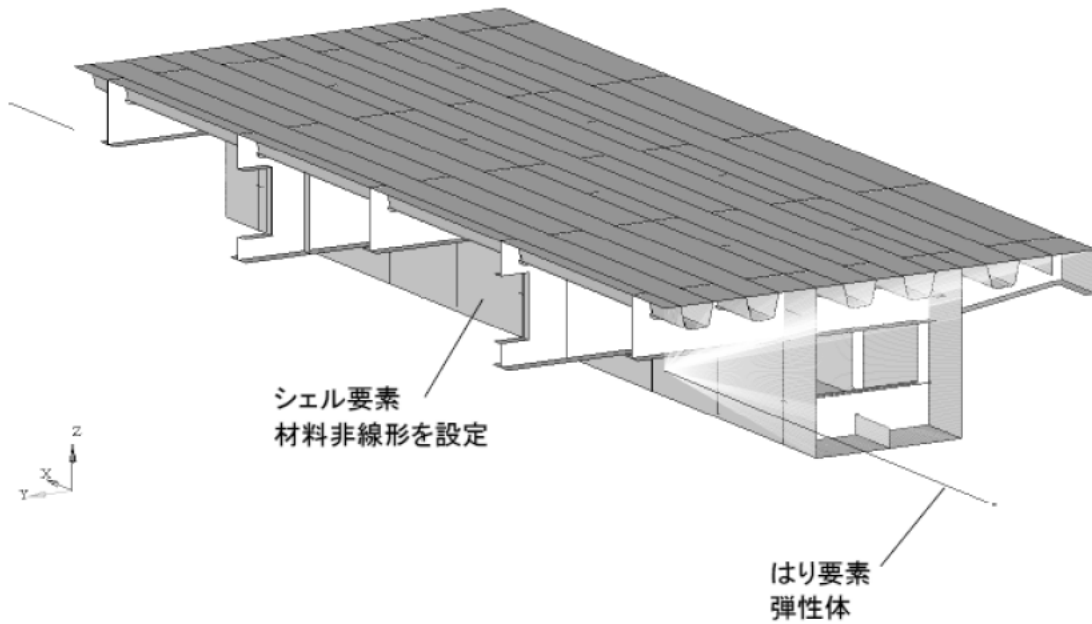


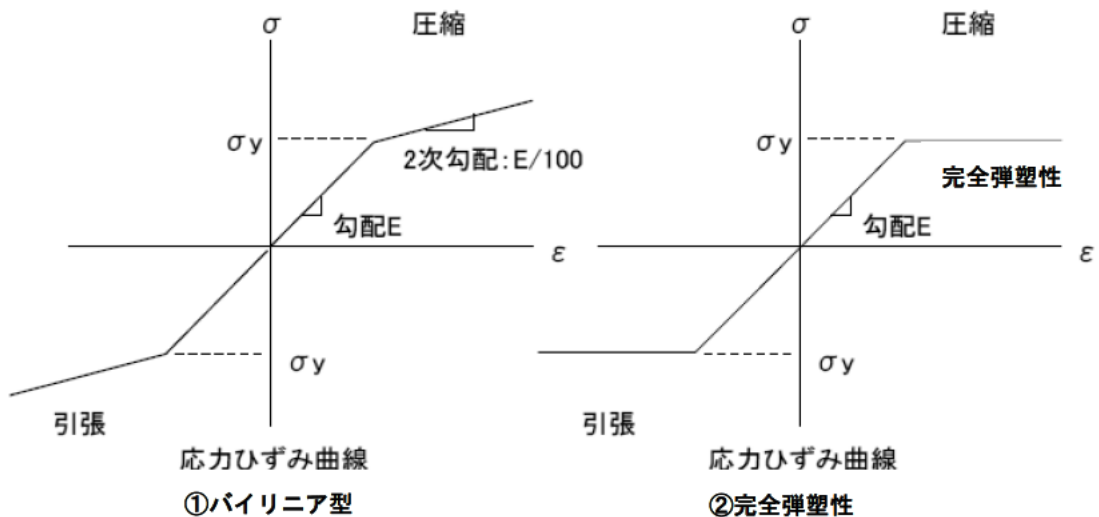
図 - 5.3.6 腹板と垂直補剛材を溶接した際に発生する残留応力
(Type02 は図 - 5.3.5 と図 - 5.3.6 の両方の残留応力を与える)

(4) 材料特性

鋼材のヤング率は $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3 とする。降伏後の応力ひずみ曲線の設定は、ギャップ量 75mm のモデルを使用して、①バイリニア型 [2 次勾配 1/100]、②完全弾塑性の 2 タイプ実施し、その結果を踏まえて、残りのモデルの材料特性を決定する。材料非線形はシェル要素のみに設定し、はり要素は弾性体とする (図 - 5.3.7)。



| 物質名 | ヤング率[N/mm ²] | ポアソン比 |
|-----|--------------------------|-------|
| 鋼材 | 200000 | 0.3 |



| 鋼種 | 基準降伏点[N/mm ²] |
|--------|---------------------------|
| SM400 | 235 |
| SM490Y | 355 |

図 - 5.3.7 材料特性

(5) 荷重条件

まず、3軸トラックの前後輪（2軸目の片方の輪、最大で軸重250kN程度の半分=125kN）が垂直補剛材直上にかかった場合を想定し、125kNの2倍以上の荷重まで載荷する（0～300kN）。橋軸直角方向には、輪中心位置が腹板位置から-500,-300,-100,0,100,300,500mmの位置となる7ケースとする。載荷条件は、タイヤ輪200×200mmが間隔100mmで2つ並ぶものとする（図-5.3.8）。その後、終局までの解析を行うこととする。

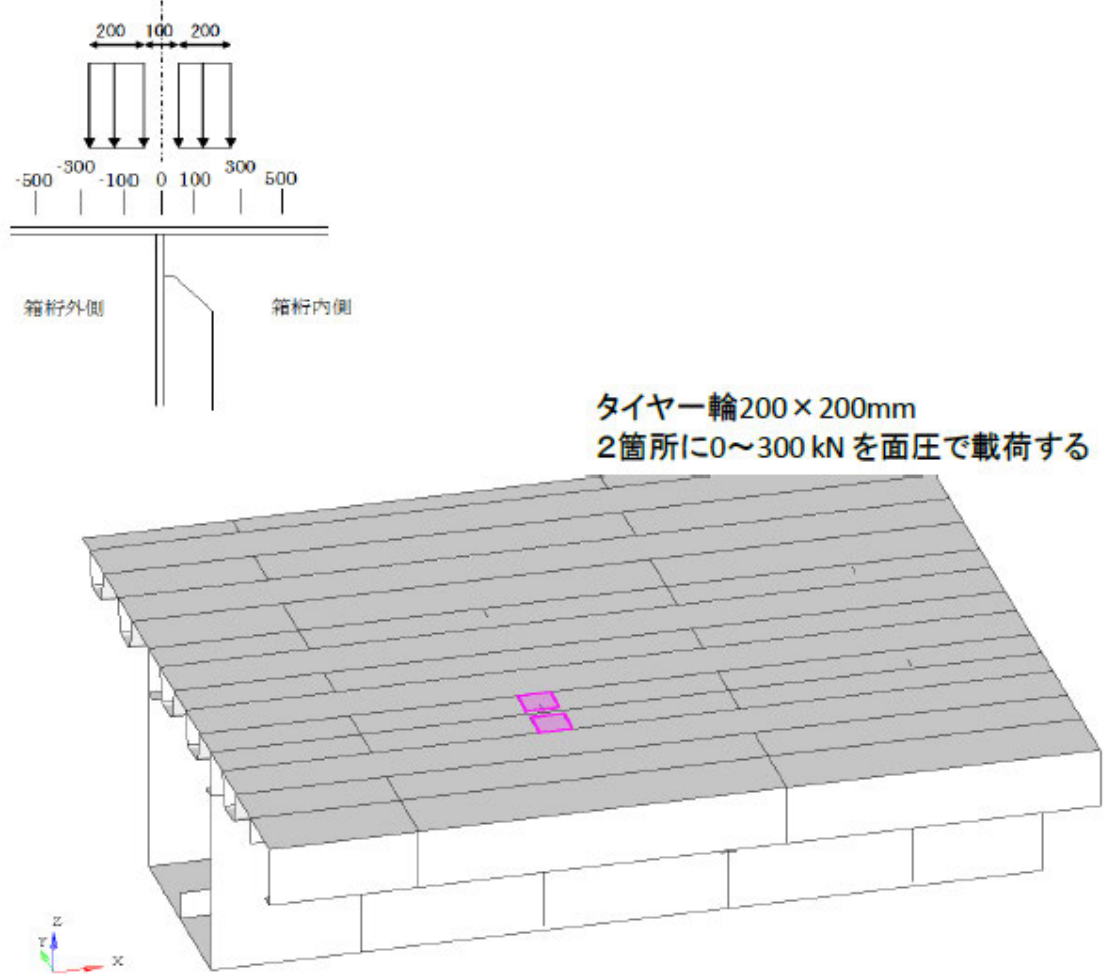


図 - 5.3.8 荷重条件

(6) 境界条件

スパン中央載荷モデルの境界条件を図-5.3.9に示す。

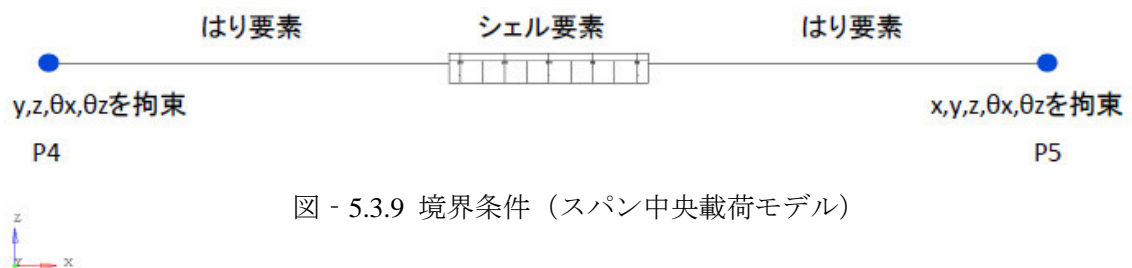


図 - 5.3.9 境界条件（スパン中央載荷モデル）

(7) 解析パラメータ

ギャップ量 0mm（垂直補剛材の上端溶接）、ギャップ量 35mm、ギャップ量 75mm（ギャップ量の耐力力への影響を調べるために大きめに設定したケース）をパラメータとする（図 - 5.3.10）。

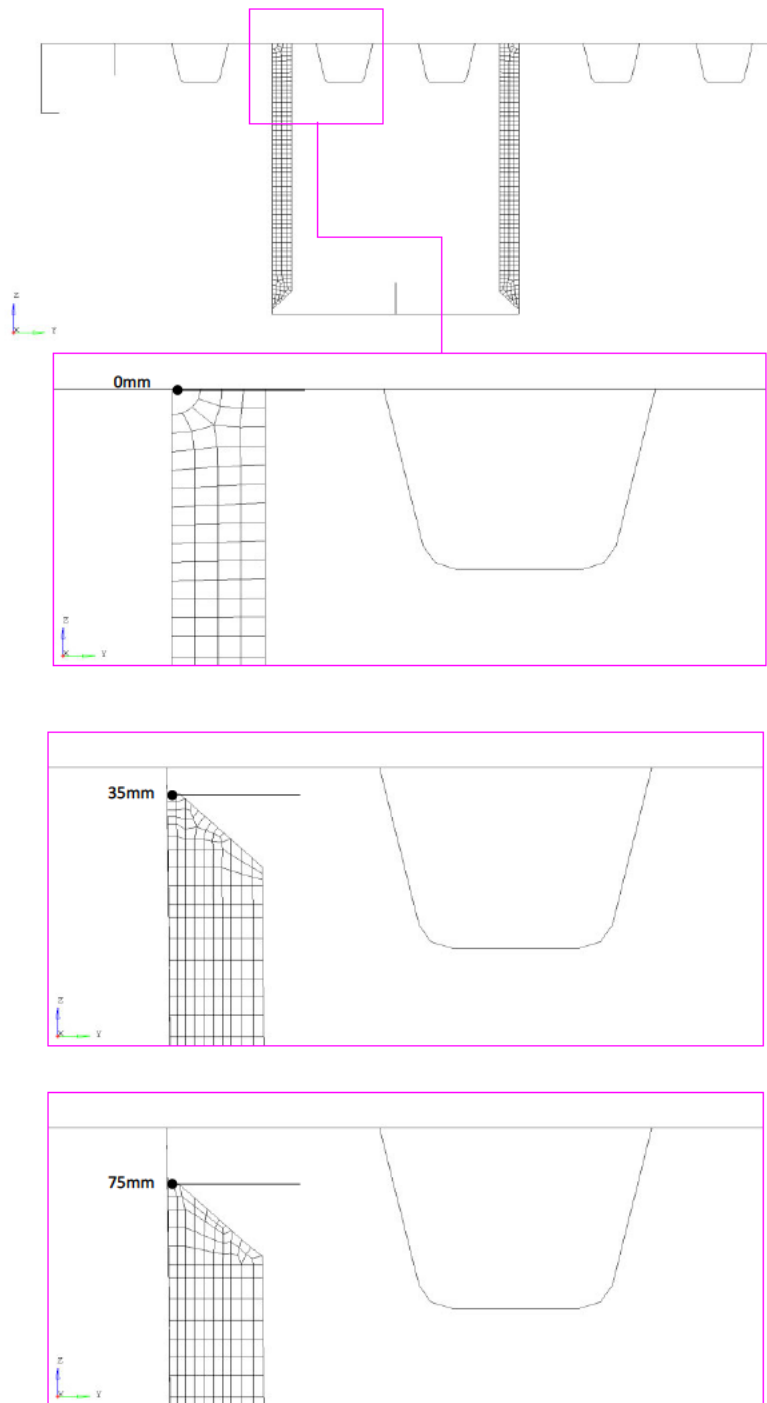


図 - 5.3.10 解析パラメータ

5.3.2 材料非線形の検討

降伏後の応力ひずみ曲線の設定において、①バイリニア型 [2次勾配: E/100]、②完全弾塑性の2タイプで解析を実施し、垂直補剛材設置箇所の腹板面外の変形量について比較検討する。代表ケースとしては最も面外たわみの大きい、スパン中央荷重モデル、ギャップ量 75mm、輪荷重は橋軸直角方向へ腹板位置から+300mm の位置に荷重した (図 - 5.3.11)。

輪荷重を漸増させる解析の結果、両者の面外変形量に大きな違いはないが、完全弾塑性の方が耐荷力は少し小さい (図 - 5.3.12)。したがって、先行して実施したせん断耐荷力に対する解析と同様に、完全弾塑性として解析を進めることとした。

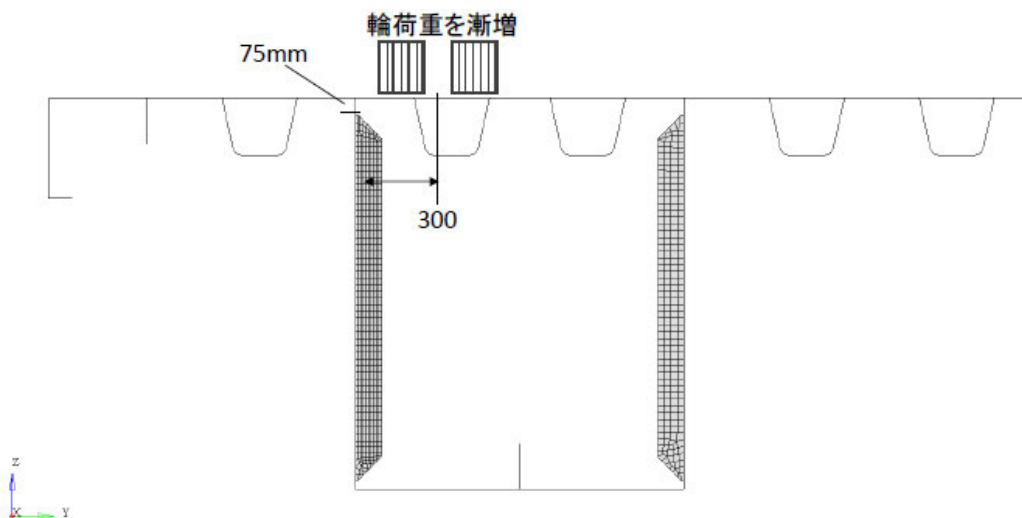


図 - 5.3.11 代表ケース

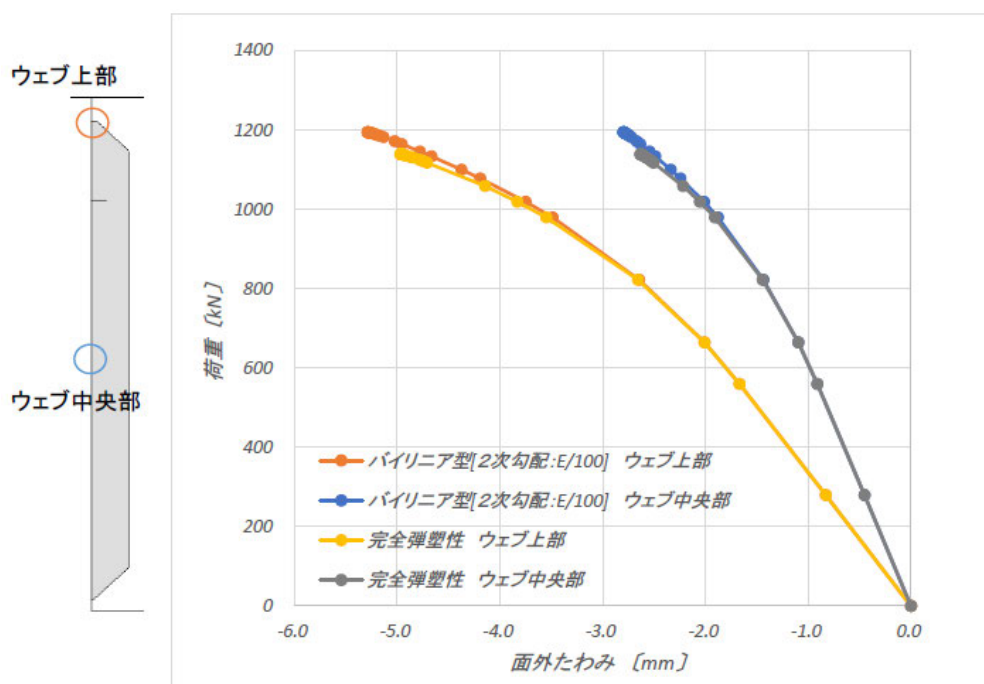


図 - 5.3.12 解析結果

5.3.3 残留応力の検討

代表ケースとして、スパン中央載荷モデル、ギャップ量 75mm、輪荷重は橋軸直角方向へ腹板位置から+300mm、を使用し（図 - 5.3.13）、残留応力無し、残留応力 Type01、残留応力 Type02 の比較を行った（図 - 5.3.5、5.3.6 参照）。

解析の結果、荷重が小さい領域（荷重 300kN）での面外変位の大きさは、

残留応力無し > 残留応力 Type02 > 残留応力 Type01

となる（図 - 5.3.14）。

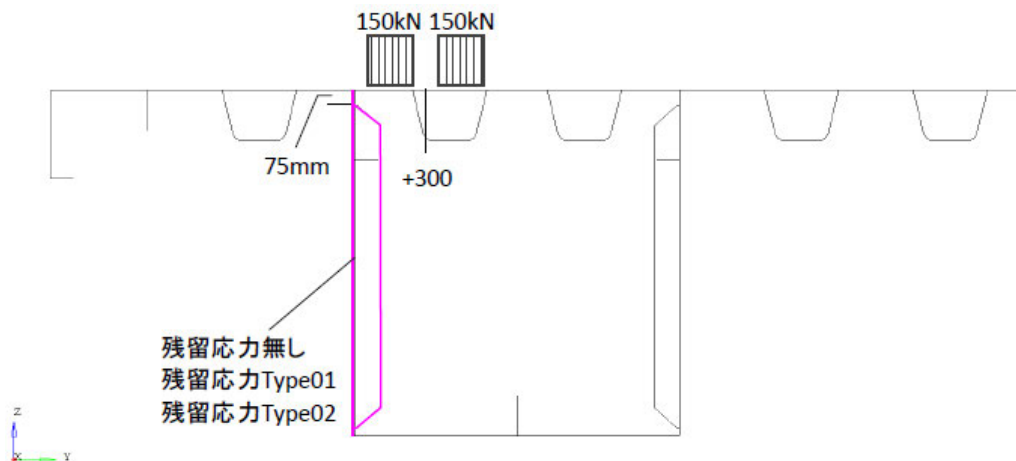


図 - 5.3.13 代表ケース

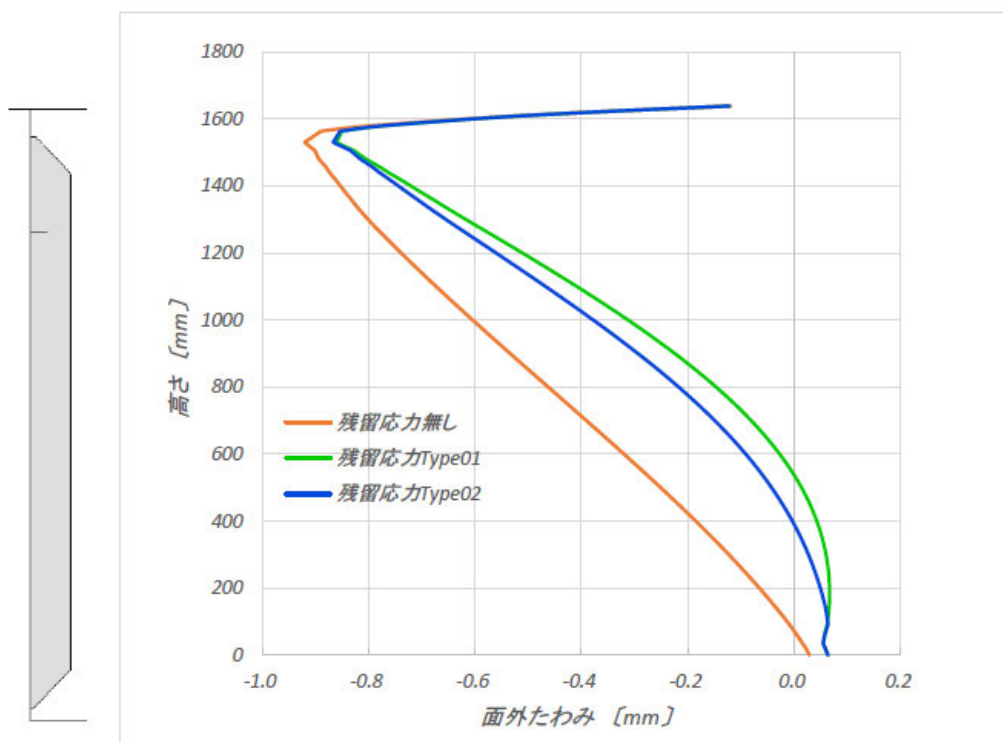


図 - 5.3.14 解析結果（荷重 300kN）

次に腹板に発生する応力が塑性域に達するまで輪荷重を漸増させる解析を行い（図 - 5.3.15）、腹板の面外変形量を比較した。終局に近づくと逆転現象がおき、面外変位の大きさは、

残留応力あり > 残留応力無し

となる（図 - 5.3.16）。終局に近づいても残留応力ありと無しの面外変位は大差ない。以上の結果より、これ以降の解析ではできる限り残留応力を考慮し、残留応力 Type02 で解析を進めることとした。

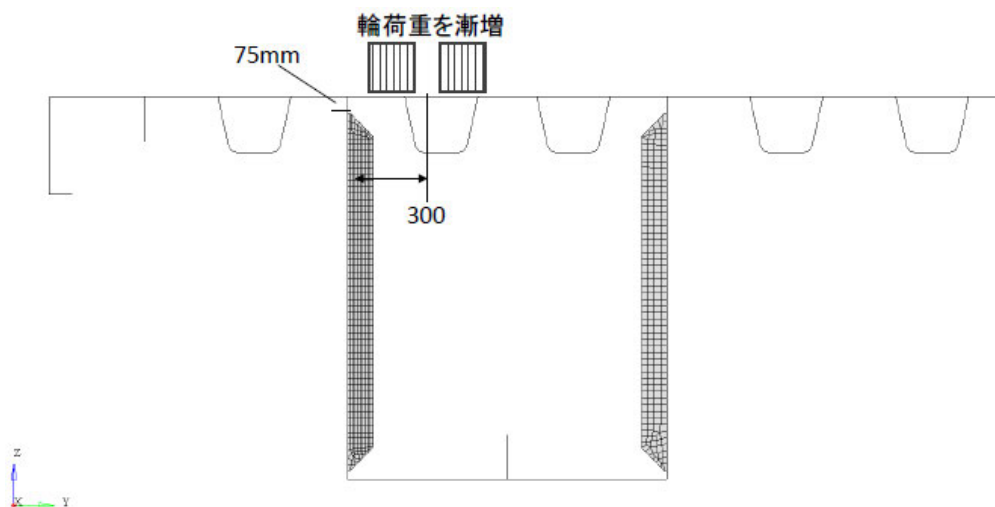


図 - 5.3.15 代表ケース

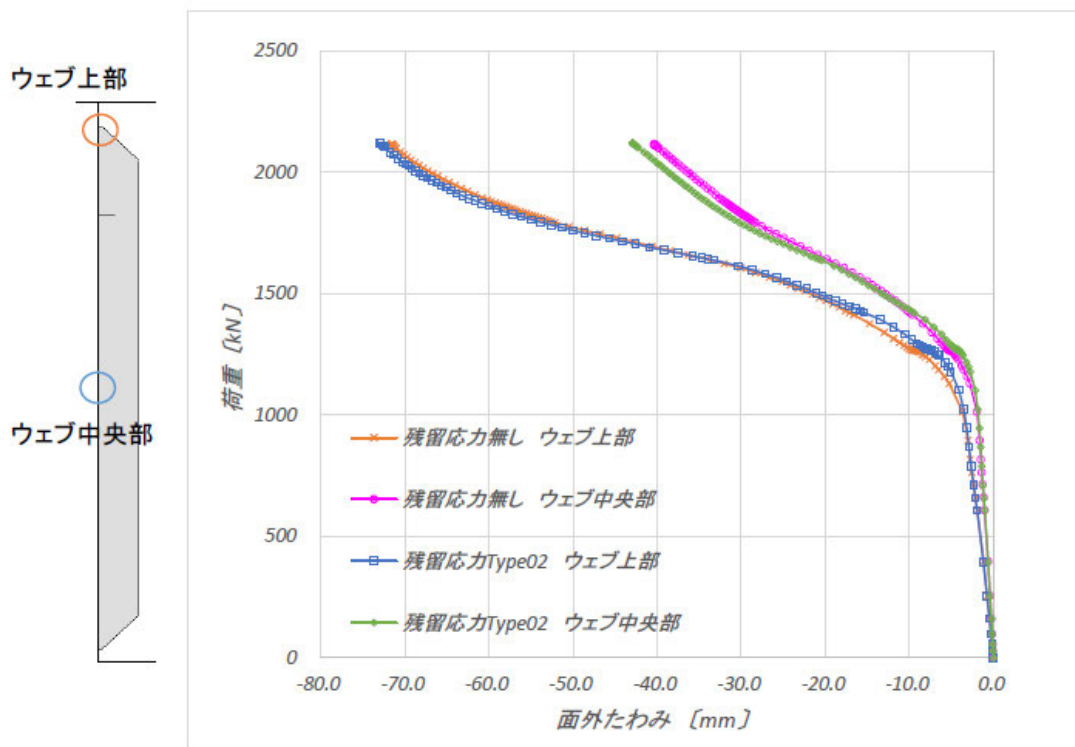


図 - 5.3.16 解析結果（終局まで）

5.3.4 載荷荷重 300kN の解析

実際にかかる荷重より大きめの荷重として 300kN を載荷した解析を実施した。解析は、スパン中央載荷モデルと支点部付近載荷モデルの両方を行った。

(1) スパン中央載荷モデル

載荷位置を図 - 5.3.17 に、高さと面外たわみの関係を図 - 5.3.18~5.3.20 に示す。

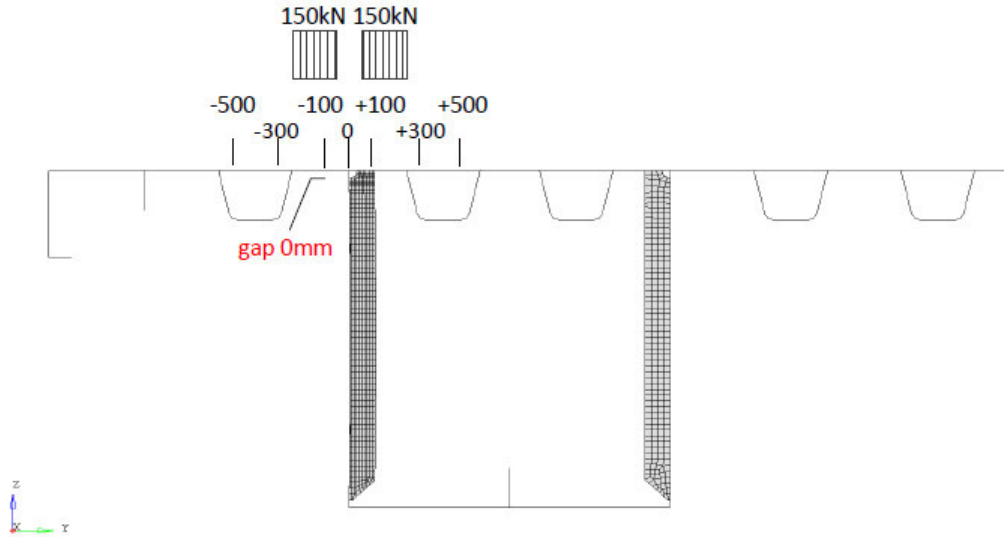


図 - 5.3.17 載荷位置

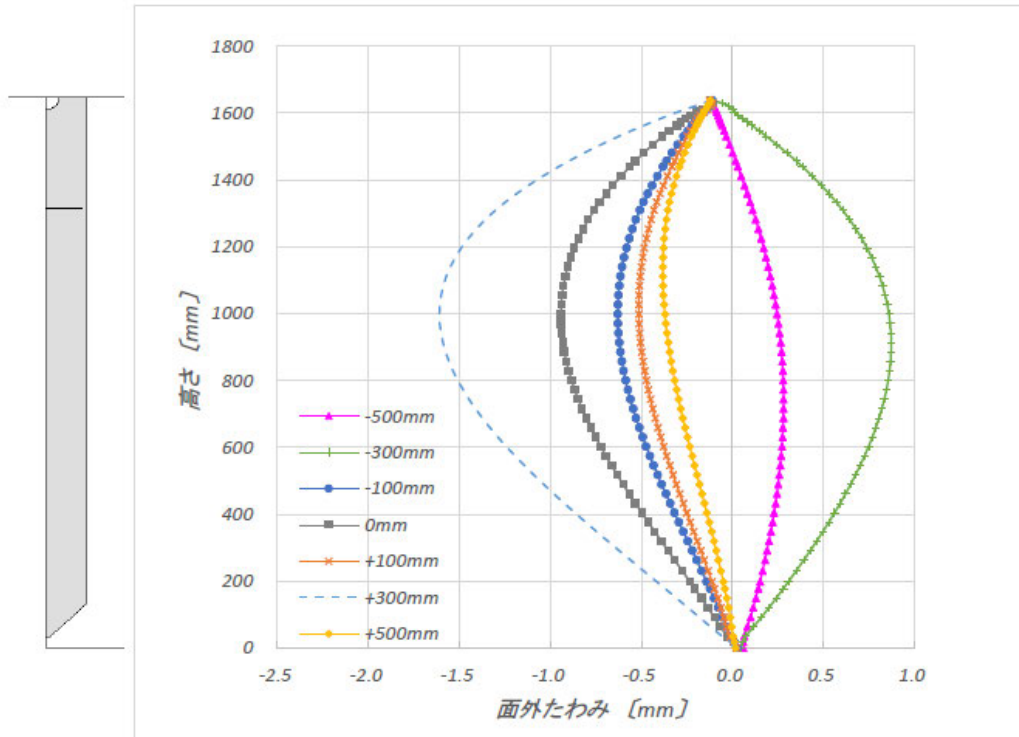


図 - 5.3.18 高さ と 面外たわみの関係 (ギャップ量 0mm)

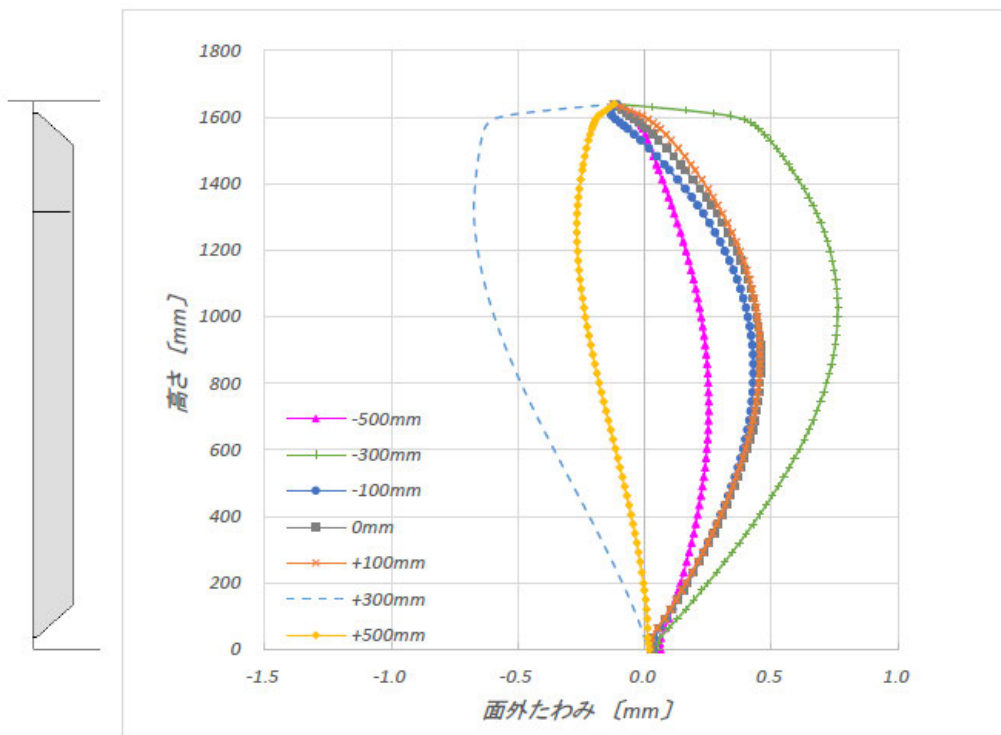


図 - 5.3.19 高さ と 面外たわみの関係 (ギャップ量 35mm)

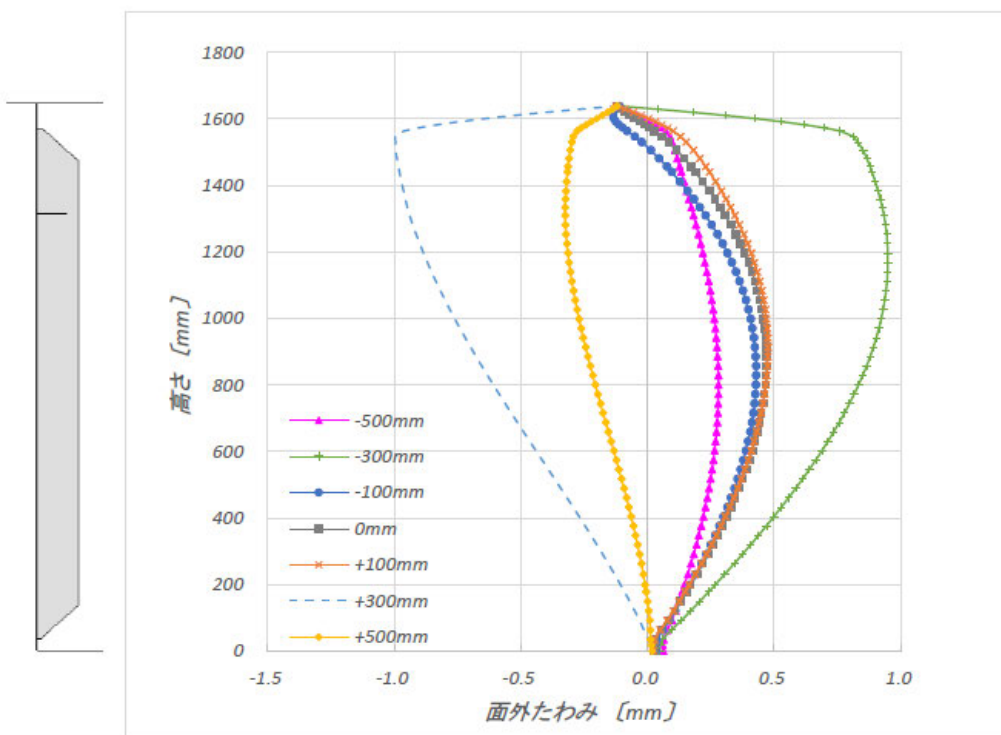


図 - 5.3.20 高さ と 面外たわみの関係 (ギャップ量 75mm)

次に、面外たわみが最大となる腹板から+300mm 位置に荷重を載荷した際の荷重と面外たわみの関係を図 - 5.3.21 に示す。

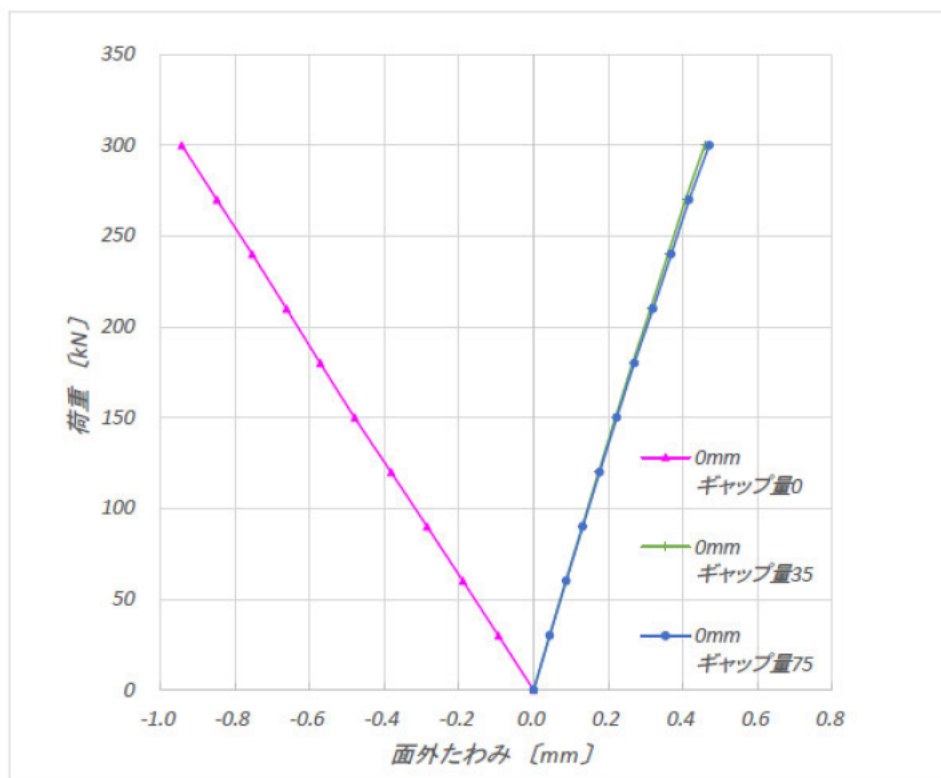
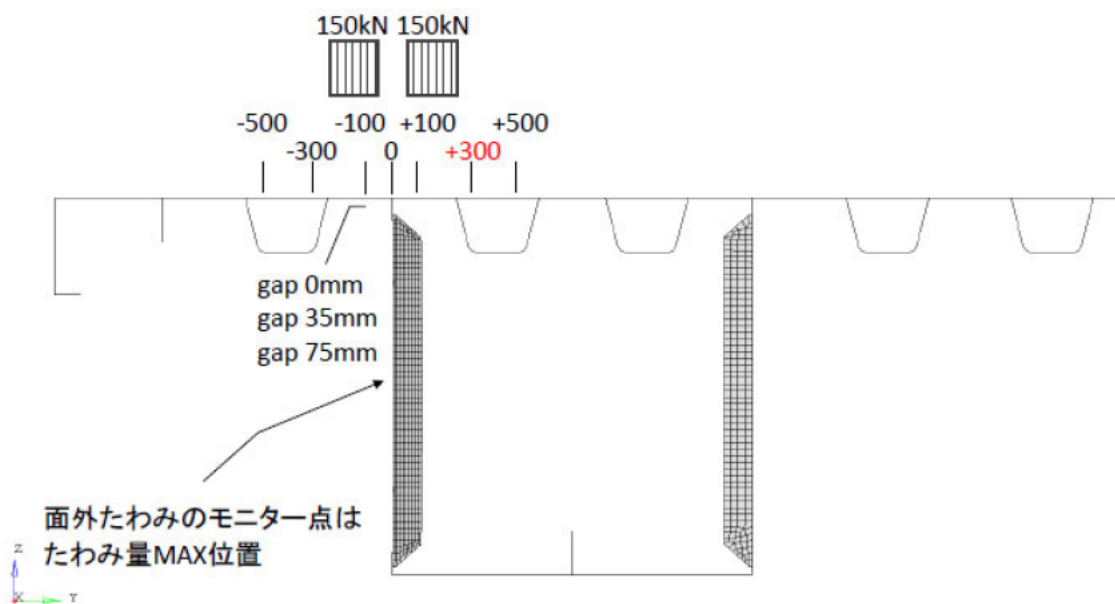


図 - 5.3.21 荷重と面外たわみの関係

(2) 支点部付近荷重モデル

荷重位置を図 - 5.3.22 に、高さと面外たわみの関係を図 - 5.3.23～5.3.25 に示す。

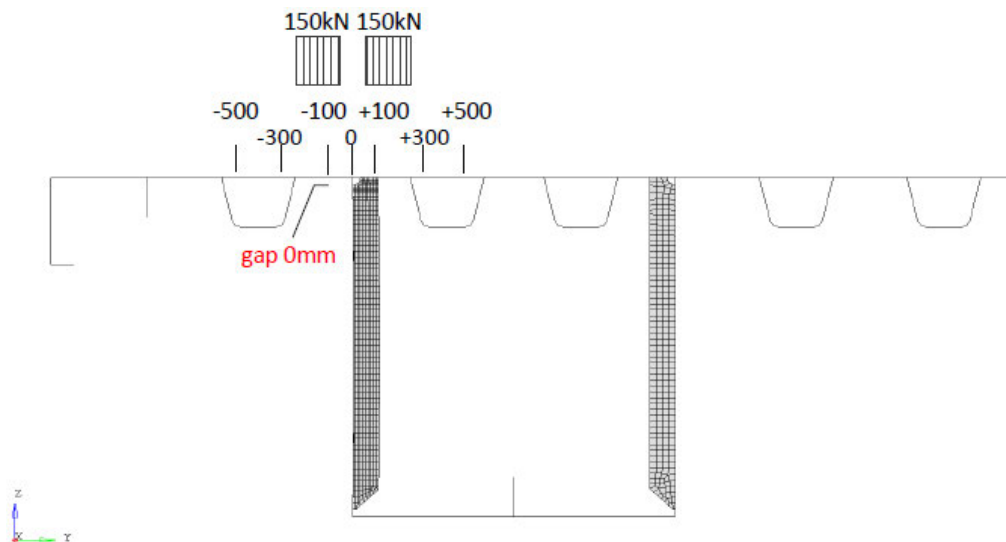


図 - 5.3.22 荷重位置

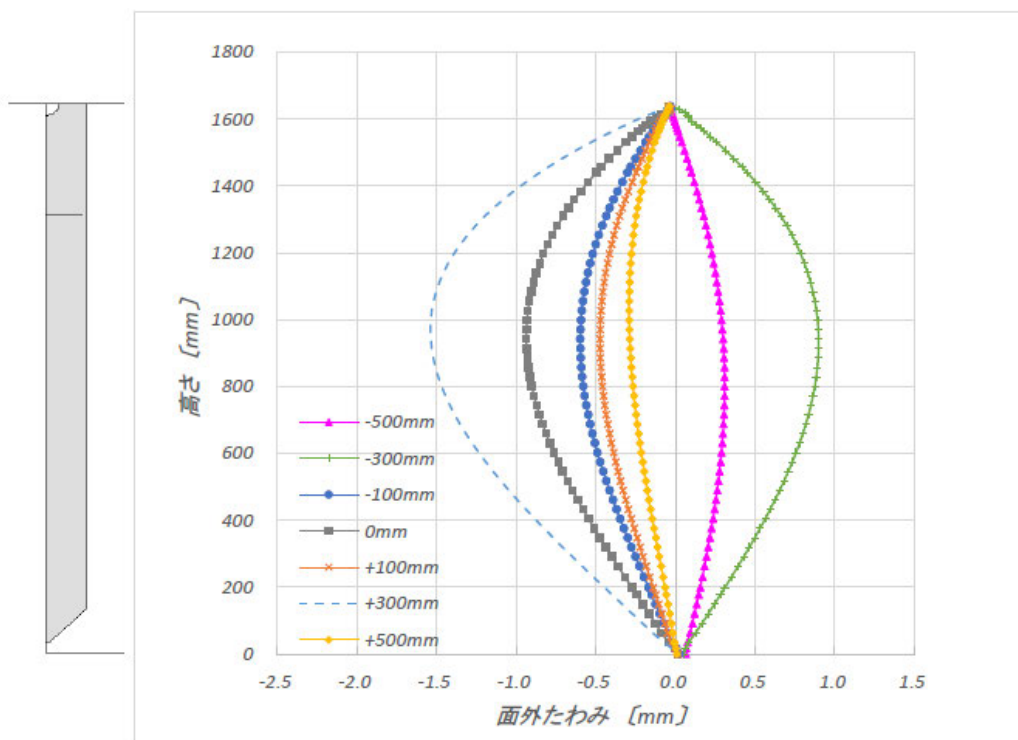


図 - 5.3.23 高さと面外たわみの関係 (ギャップ量 0mm)

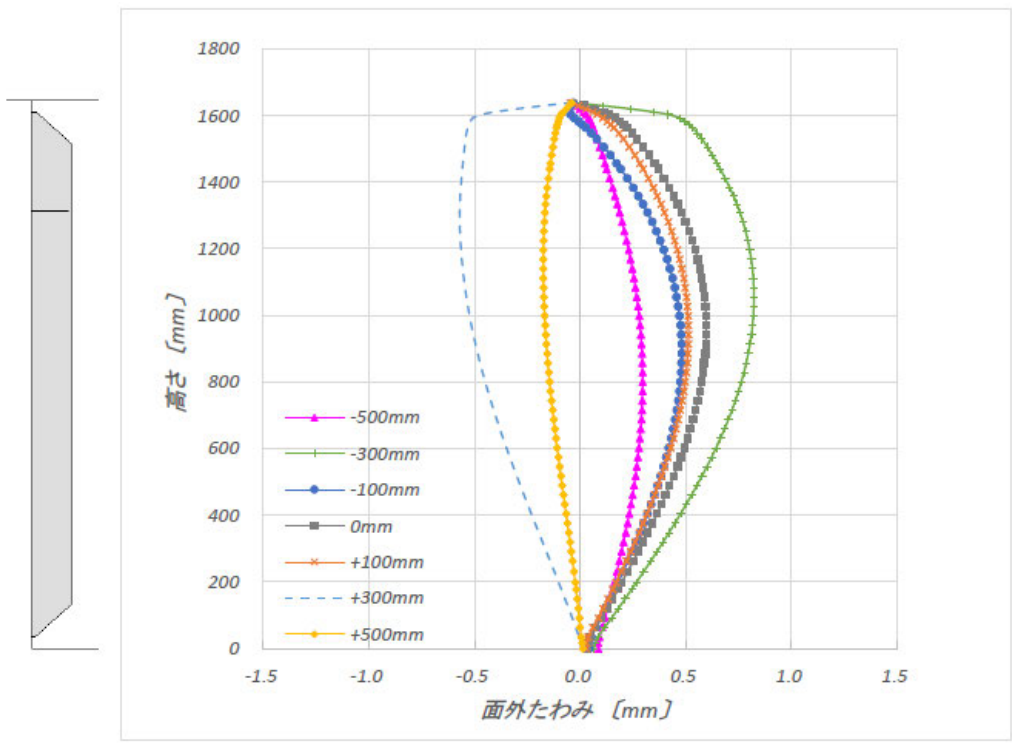


図 - 5.3.24 高さ と 面外たわみの関係 (ギャップ量 35mm)

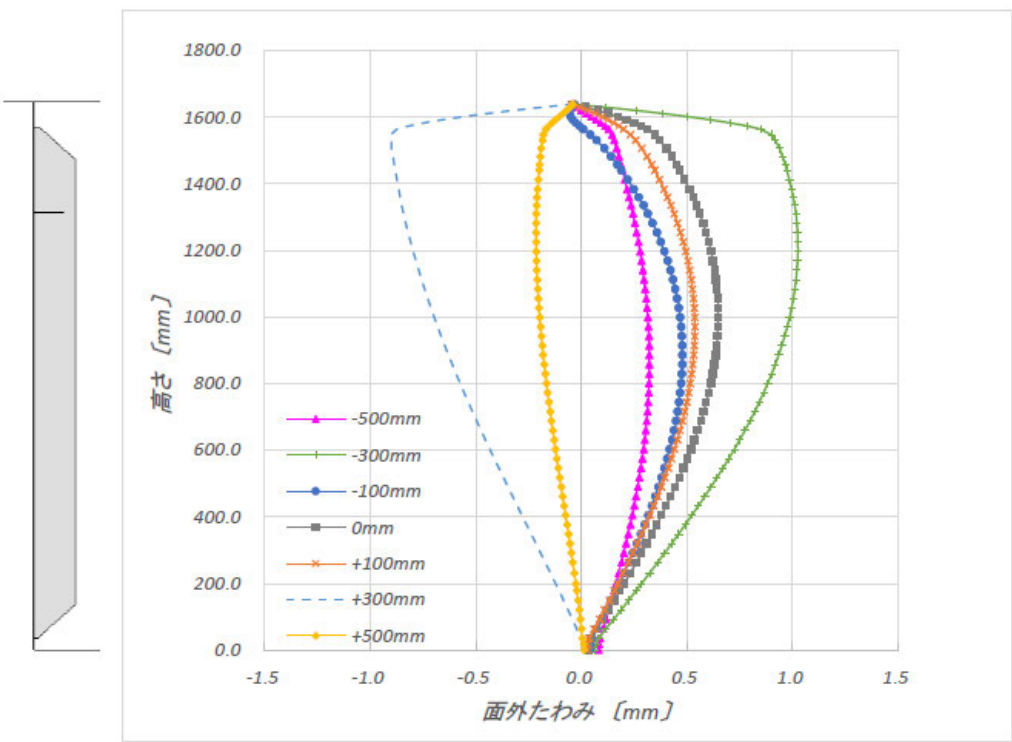


図 - 5.3.25 高さ と 面外たわみの関係 (ギャップ量 75mm)

次に、面外たわみが最大となる腹板から+300mm 位置に荷重を載荷した際の荷重と面外たわみの関係を図 - 5.3.26 に示す。

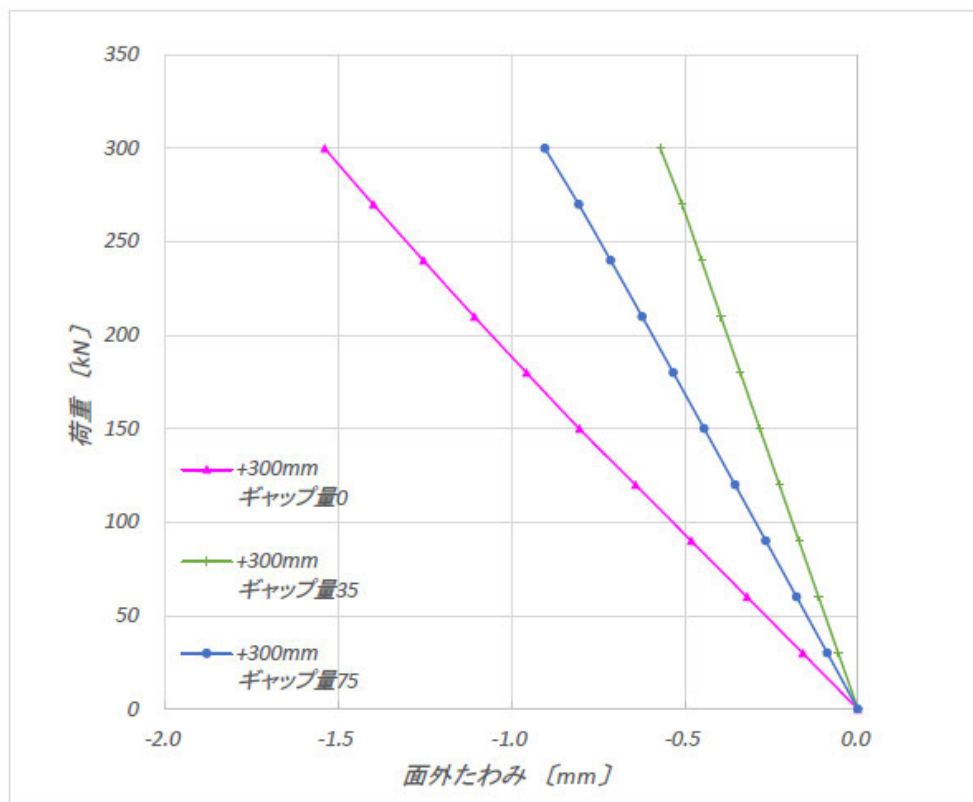
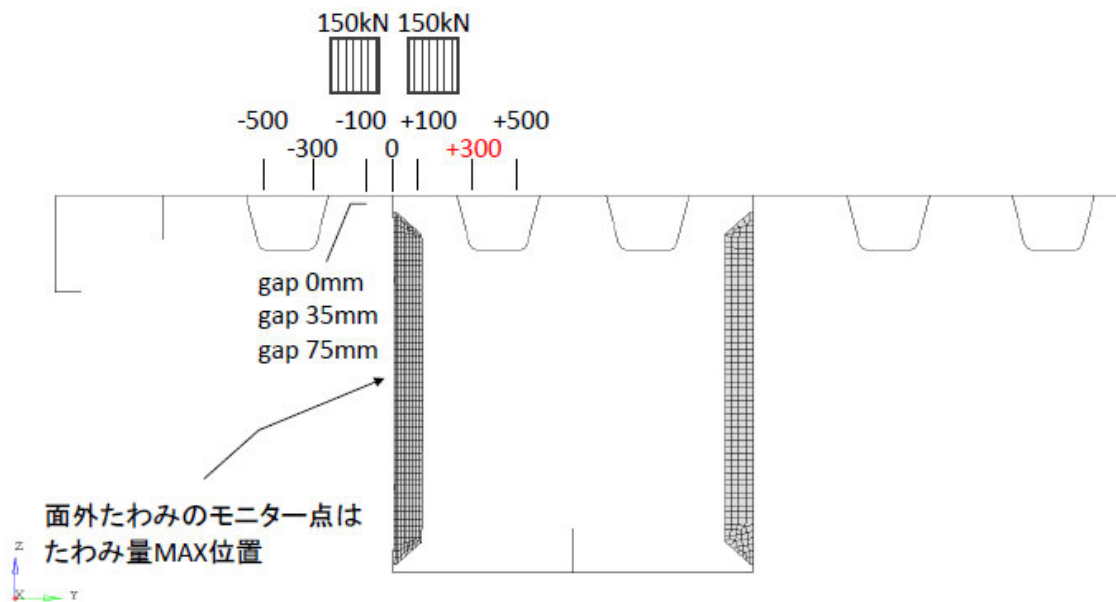


図 - 5.3.26 荷重と面外たわみの関係

スパン中央載荷モデルと支点部付近載荷モデルの解析結果より得られた知見は以下のとおりである。

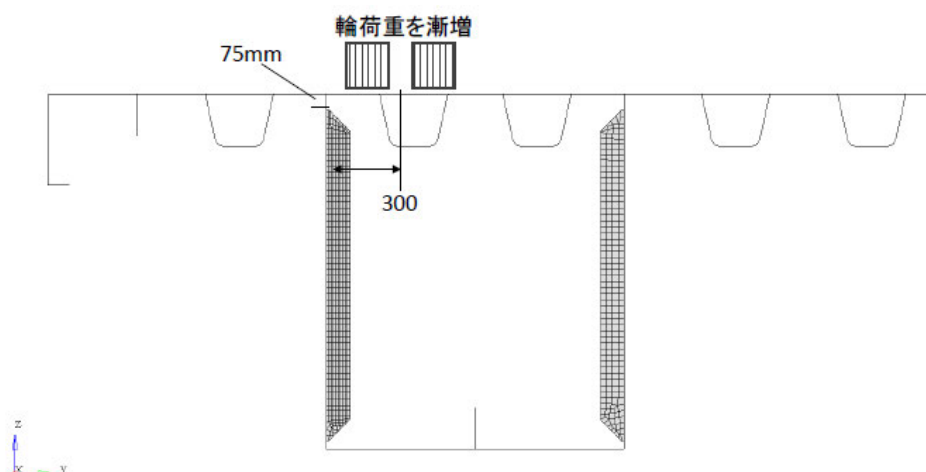
- a) 載荷位置が-300mm、+300mm のときに面外たわみが最大となる（ギャップ量にかかわらず）。
- b) 載荷位置が 0mm の場合、ギャップの有無により腹板の面外たわみの方向（箱内または箱外）が異なる。
- c) 300kN までの載荷では、荷重 - 腹板の面外たわみの関係は線形である（ギャップ量にかかわらず）。よって、上端部が面外に局部的に大きく変形するクリッピングは発生していない。

5.3.5 終局までの解析

載荷荷重 300kN の解析で最も面外変形の大きかった+300mm 位置のダブルタイヤに加えて、0mm 位置ダブルタイヤと 0mm 位置シングルタイヤの載荷により、解が発散して計算が終了するまでの解析を行った。終局までの解析は、スパン中央載荷モデルのみ実施した。

(1) 載荷位置+300mm ダブルタイヤ

荷重と面外たわみの関係を図 - 5.3.27 に示す。



載荷荷重-面外たわみ曲線 (ウェブ上部:垂直補剛材上端部)

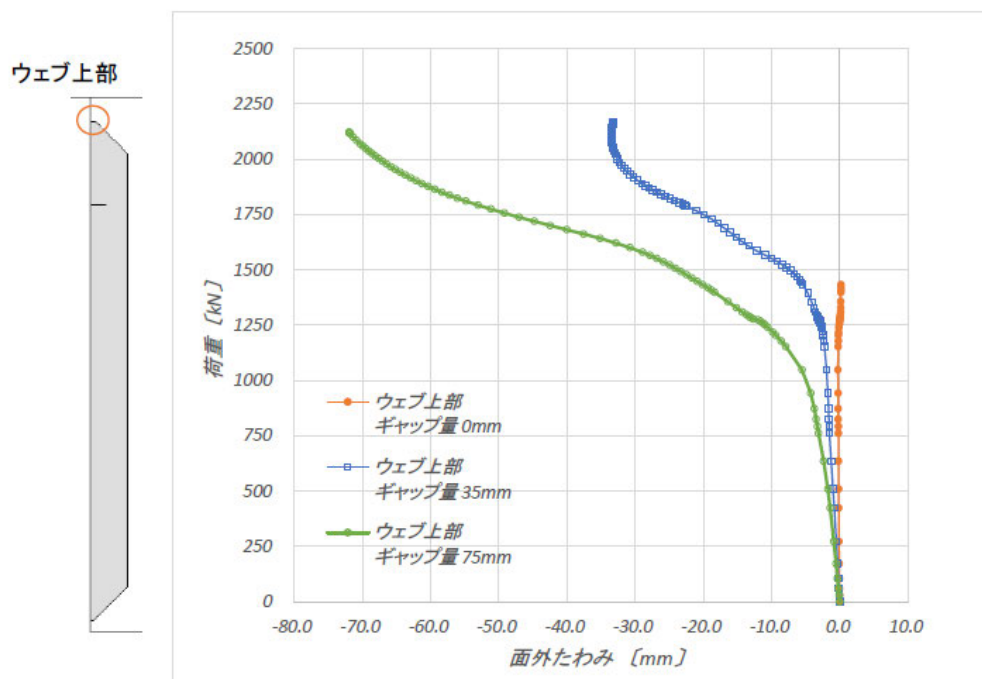


図 - 5.3.27 荷重と面外たわみの関係

荷重と面外たわみの関係から得られた知見を以下に示す。

- a)荷重 1000kN 程度までは、ギャップの有無にかかわらず、クリップリングは発生していない。荷重 1000~1200kN あたりから、ギャップ量 35mm,75mm についてはクリップリングが発生する。
- b)最大荷重は、ギャップ有りのほうがギャップ無しよりも大きい。ギャップ量 35mm と 75mm では最大荷重は同程度である。
- c)ギャップ量 35mm のほうが、ギャップ量 75mm よりも面外たわみが小さい。

次に、塑性ひずみの履歴を示す。ギャップ量 0mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.28 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.29 に示す。

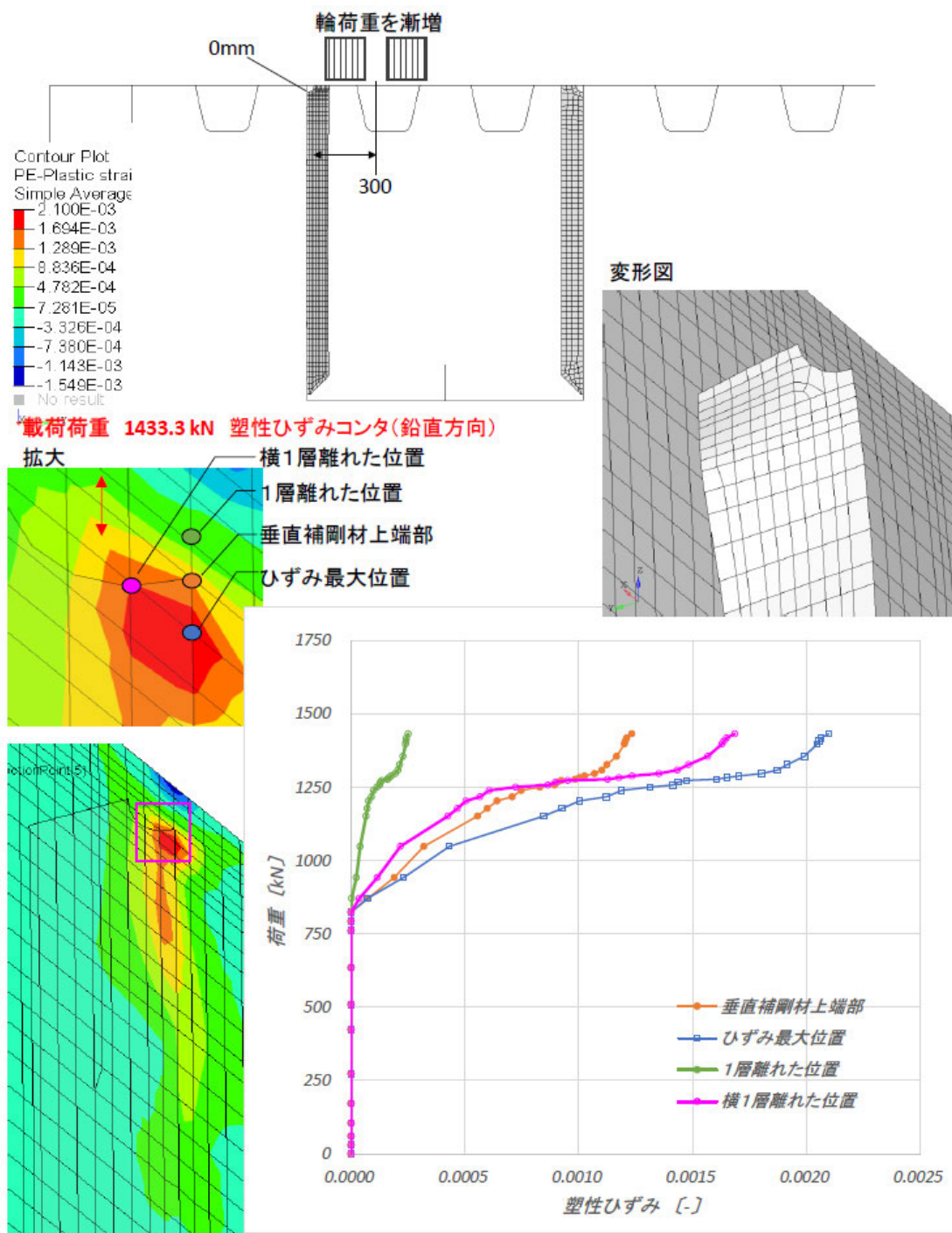


図 - 5.3.28 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 0mm)

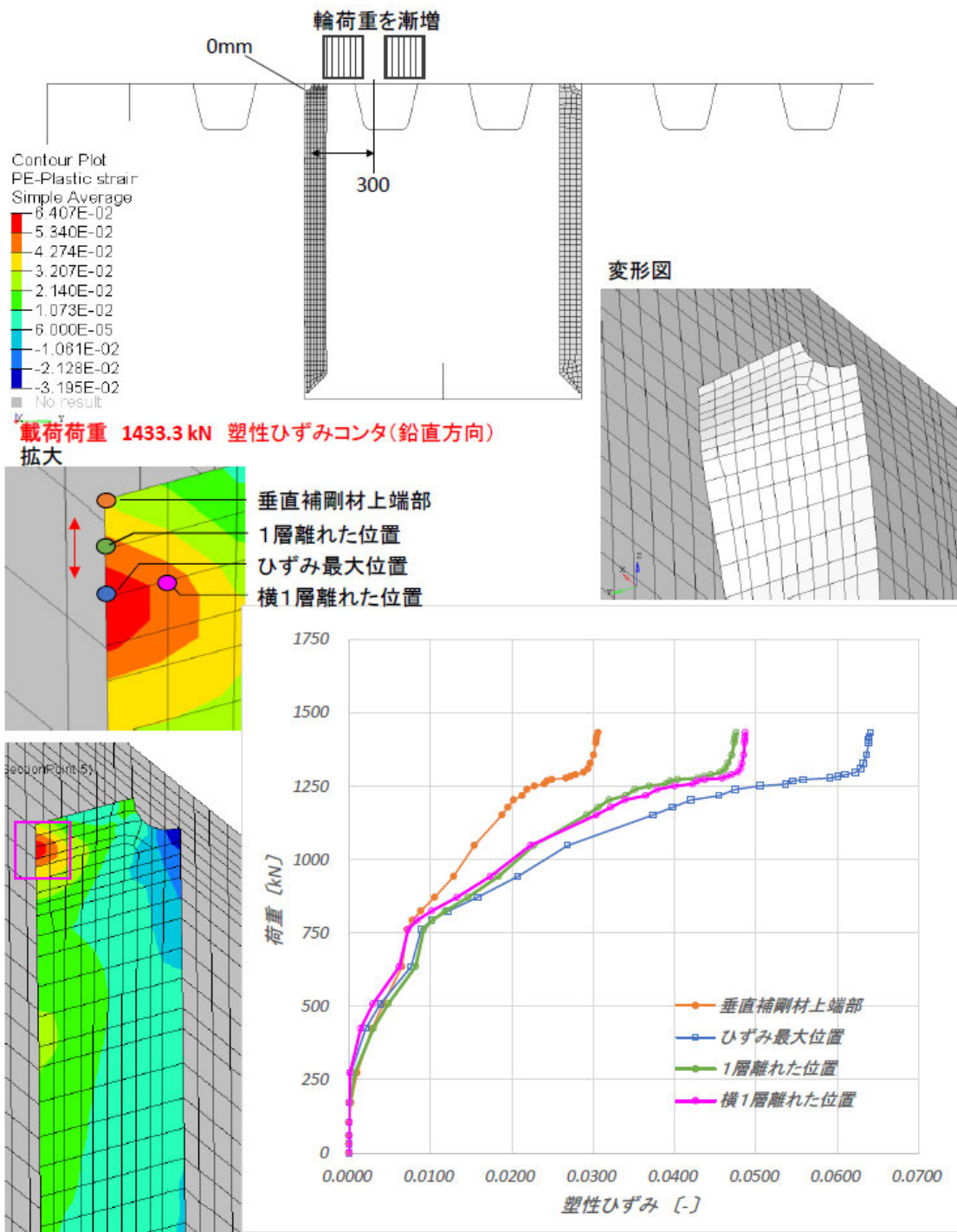


図 - 5.3.29 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 0mm)

ギャップ量 35mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.30 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.31 に示す。

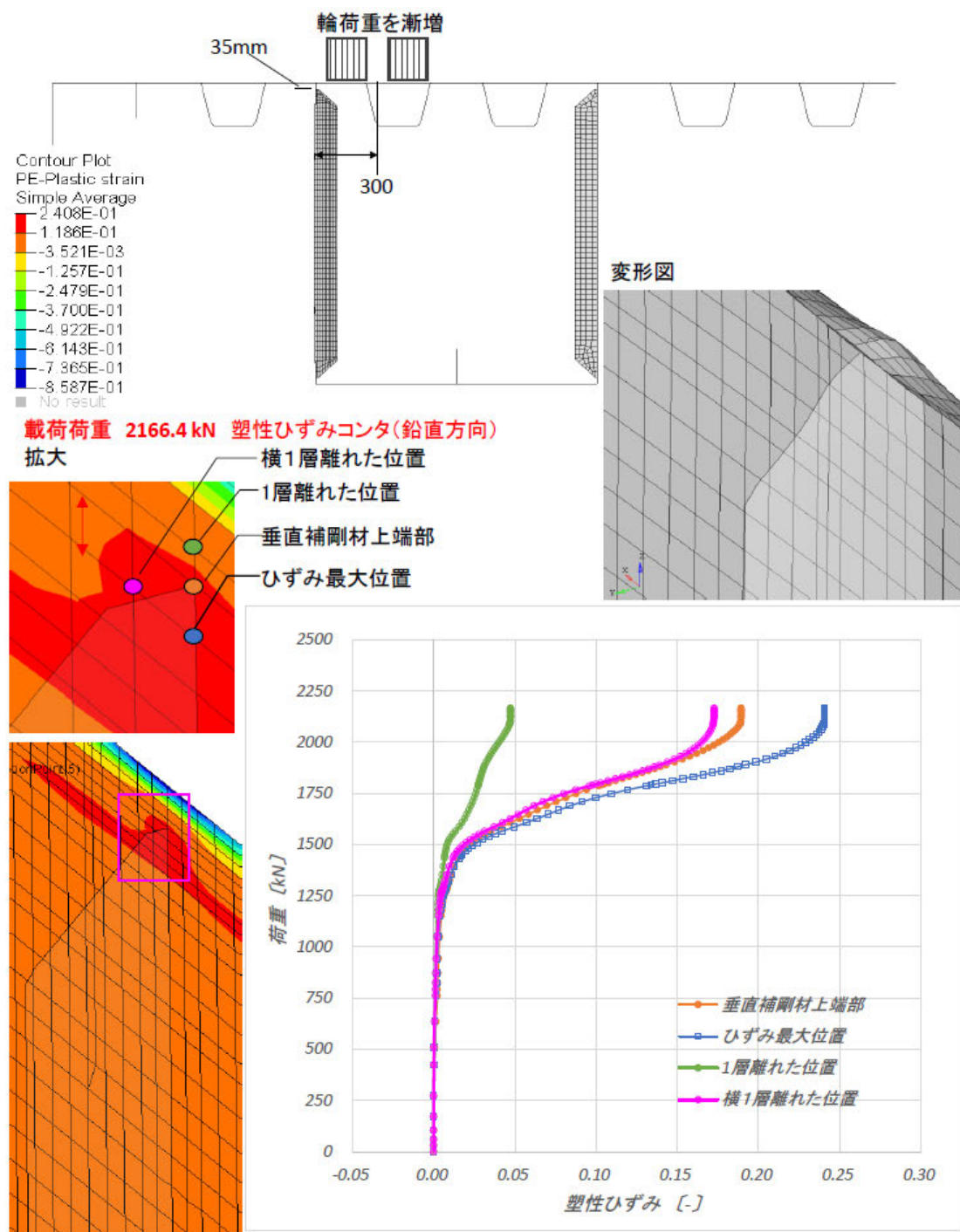


図 - 5.3.30 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 35mm)

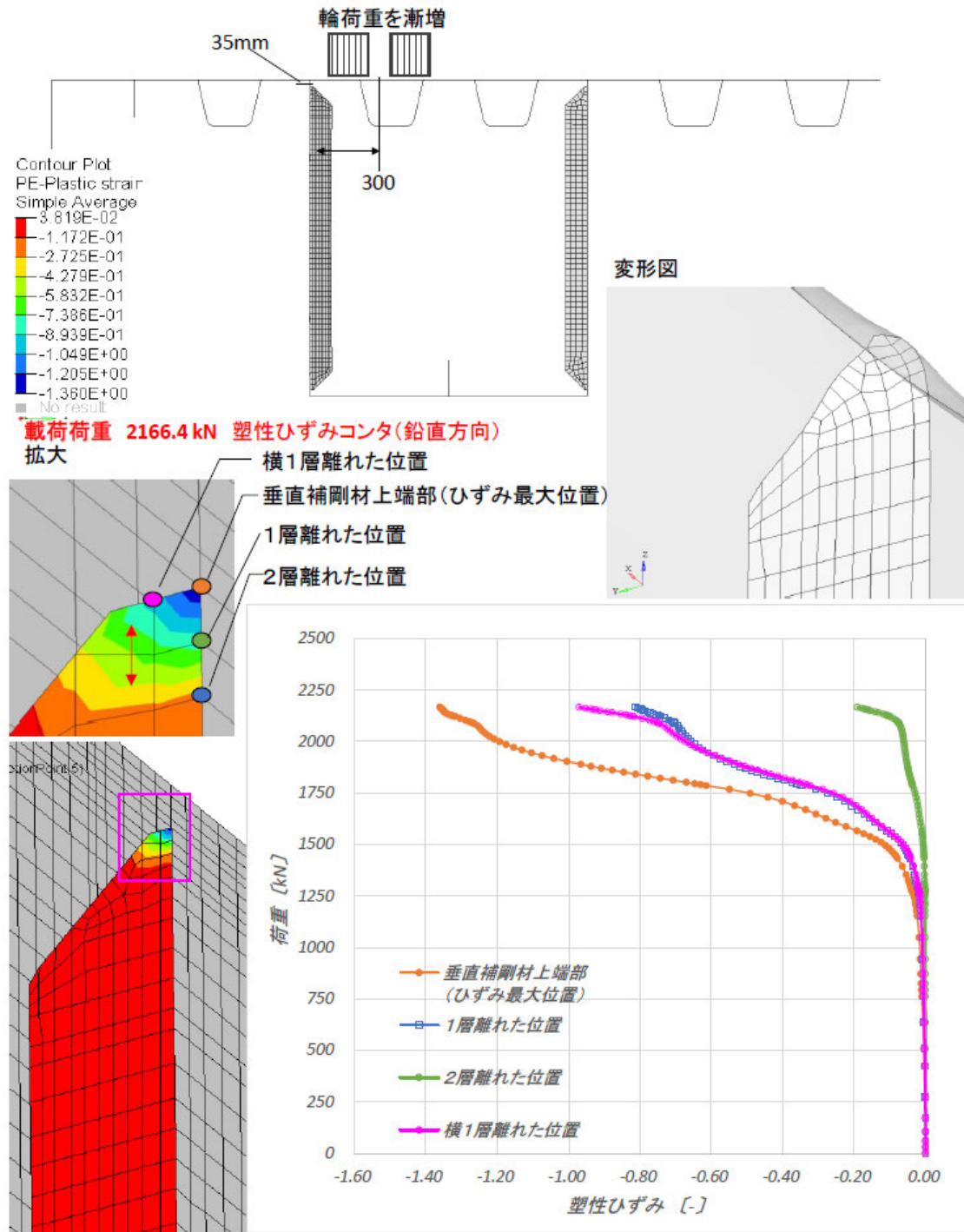


図 - 5.3.31 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 35mm)

ギャップ量 75mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.32 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.33 に示す。

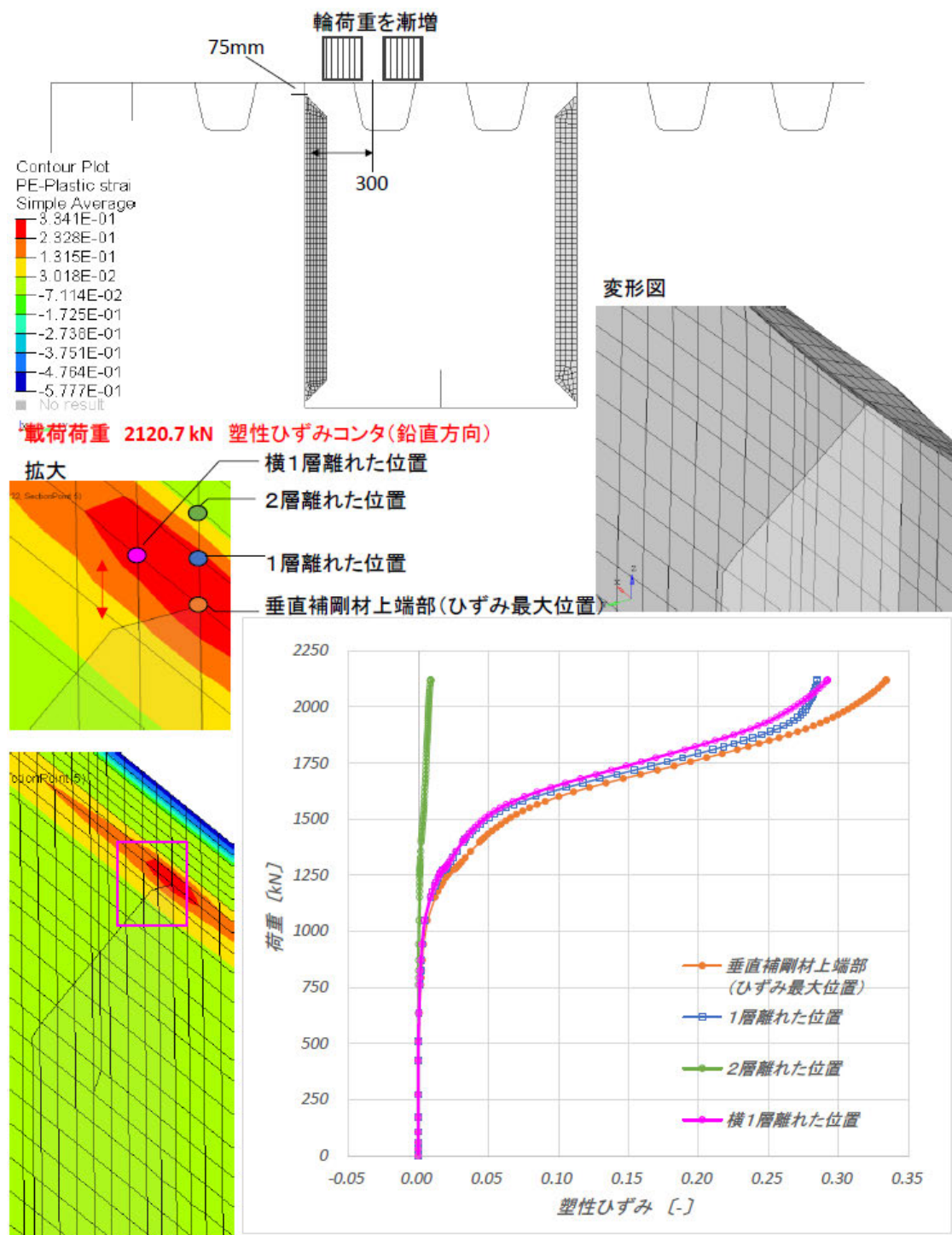


図 - 5.3.32 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 75mm)

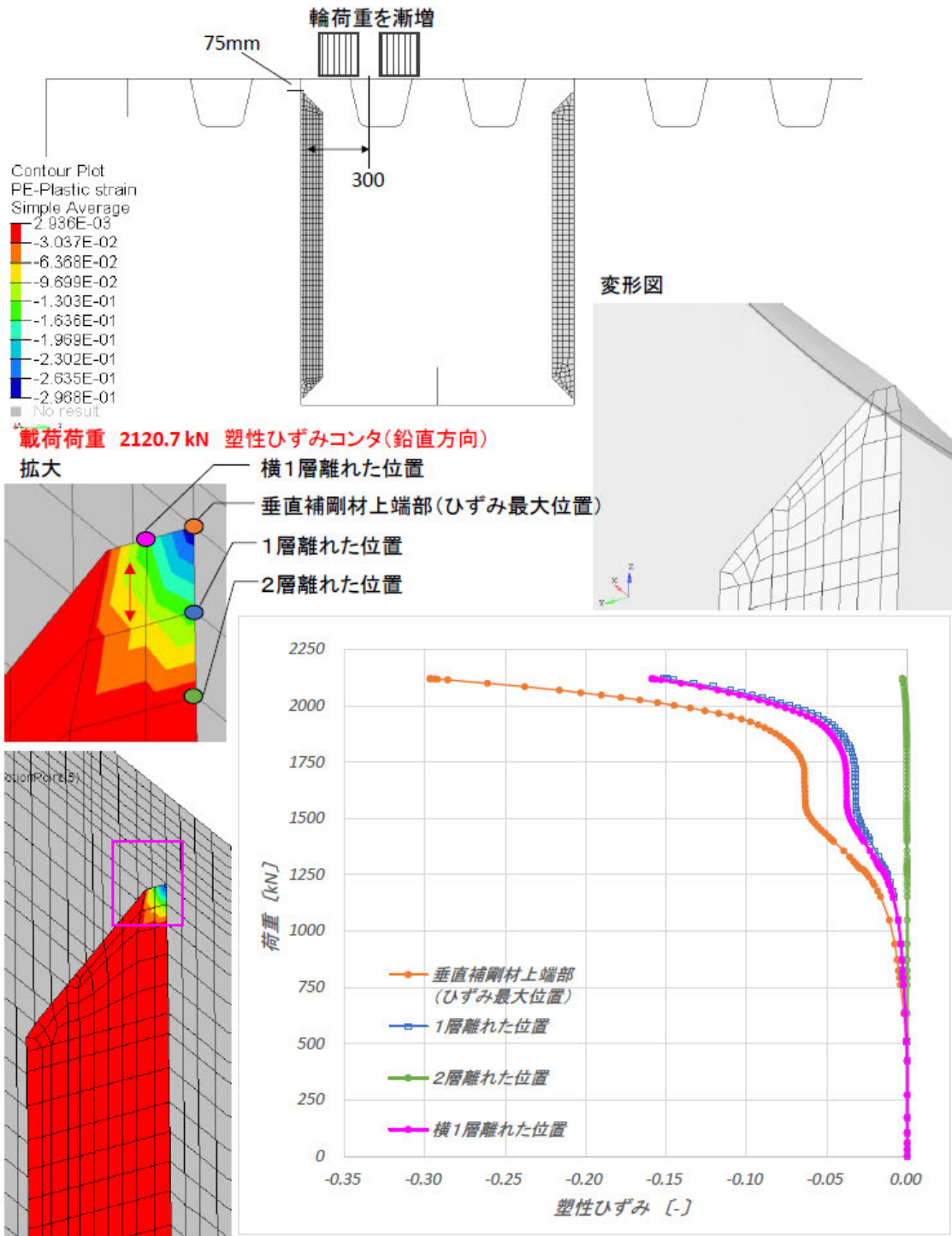


図 - 5.3.33 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 75mm)

塑性ひずみの履歴から得られた知見を以下に示す。

a)ギャップ量 0mm の場合

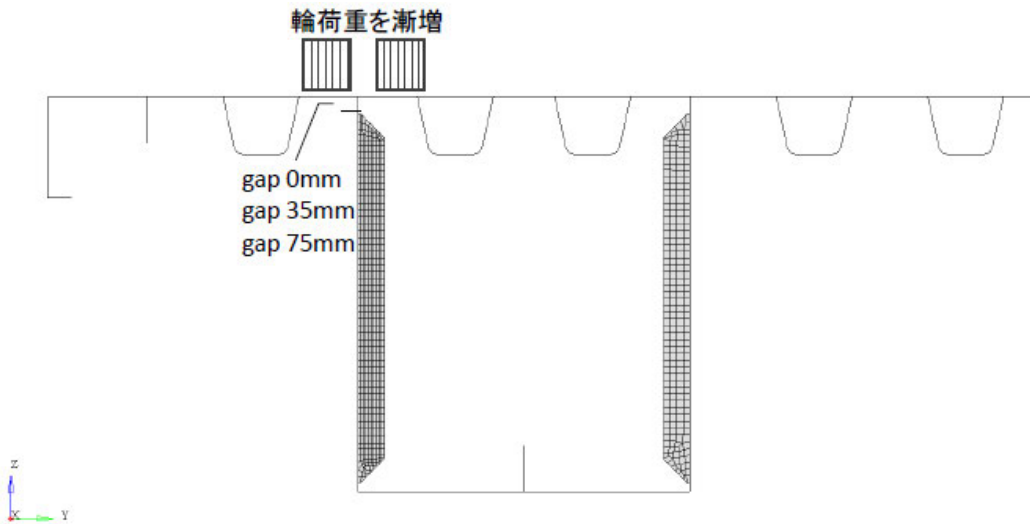
垂直補剛材のデッキプレート付近が荷重 250kN 付近で塑性化し、主桁腹板の垂直補剛材スカラップ付近が荷重 800kN 付近で塑性化している。(図 - 5.3.27 より、主桁腹板のクリッピングは発生していない。)

b)ギャップ量 35,75mm の場合

垂直補剛材の上端部、主桁腹板の垂直補剛材上端部との交点付近が 1000~1250kN で塑性化している。(図 - 5.3.27 より、ほぼ同じ荷重の 1000~1250kN あたりで、主桁腹板のギャップ部のクリッピングも発生している。)

(2) 載荷位置 0mm ダブルタイヤ

荷重と面外たわみの関係を図 - 5.3.34 に示す。



載荷荷重-面外たわみ曲線 (ウェブ上部:垂直補剛材上端部)

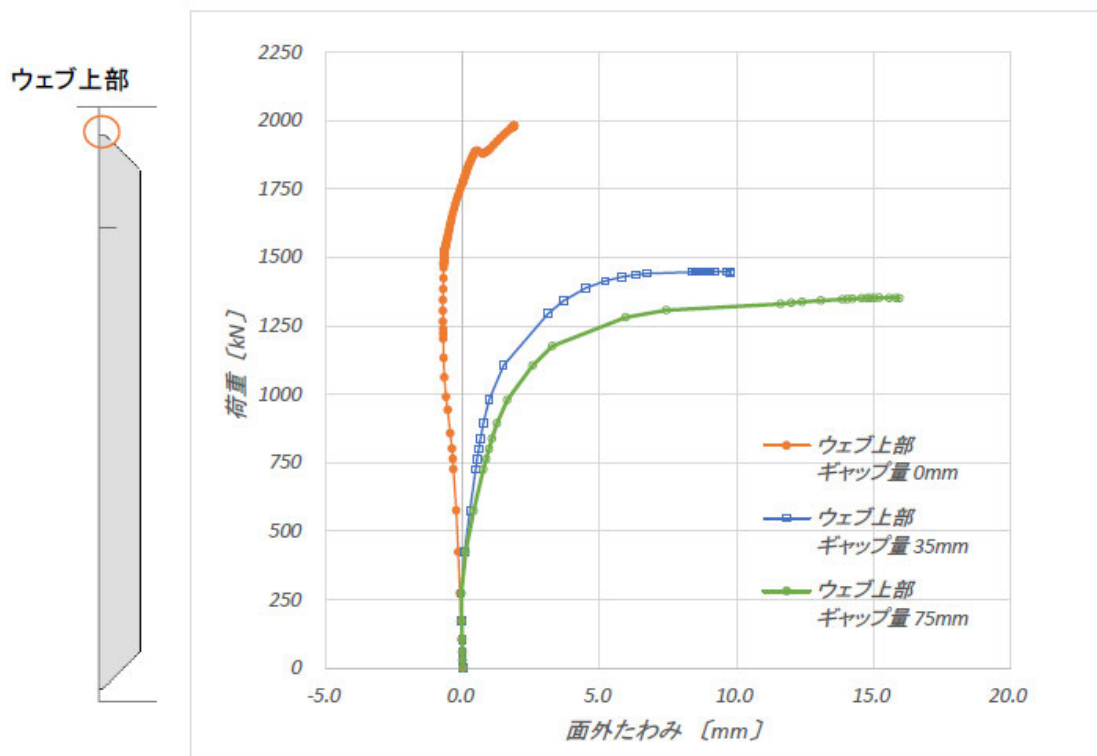


図 - 5.3.34 荷重と面外たわみの関係

荷重と面外たわみの関係から得られた知見を以下に示す。

- a)荷重 750kN 程度までは、ギャップの有無にかかわらず、大きな面外変形やクリッピングは発生していない。荷重 750~1000kN あたりから、ギャップ無しでは大きな面外変形が、ギャップ量 35mm,75mm ではクリッピングが発生する。
- b)最大荷重は、ギャップ無しのほうがギャップ有りよりも大きく、ギャップ量 35mm のほうが 75mm よりやや大きい。
- c)ギャップ量 35mm のほうが、ギャップ量 75mm よりも面外たわみが小さい。

次に、塑性ひずみの履歴を示す。ギャップ量 0mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.35 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.36 に示す。

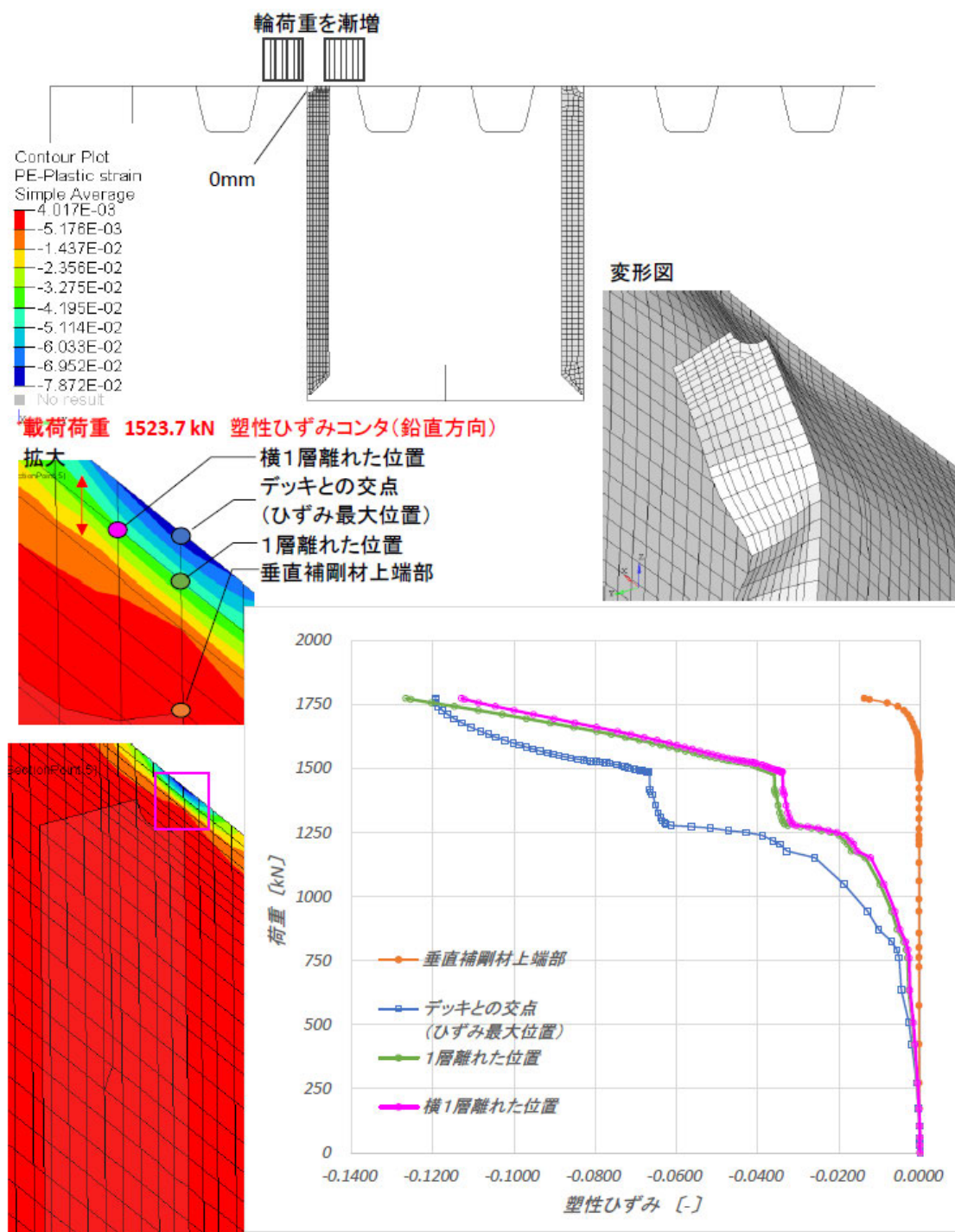


図 - 5.3.35 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 0mm)

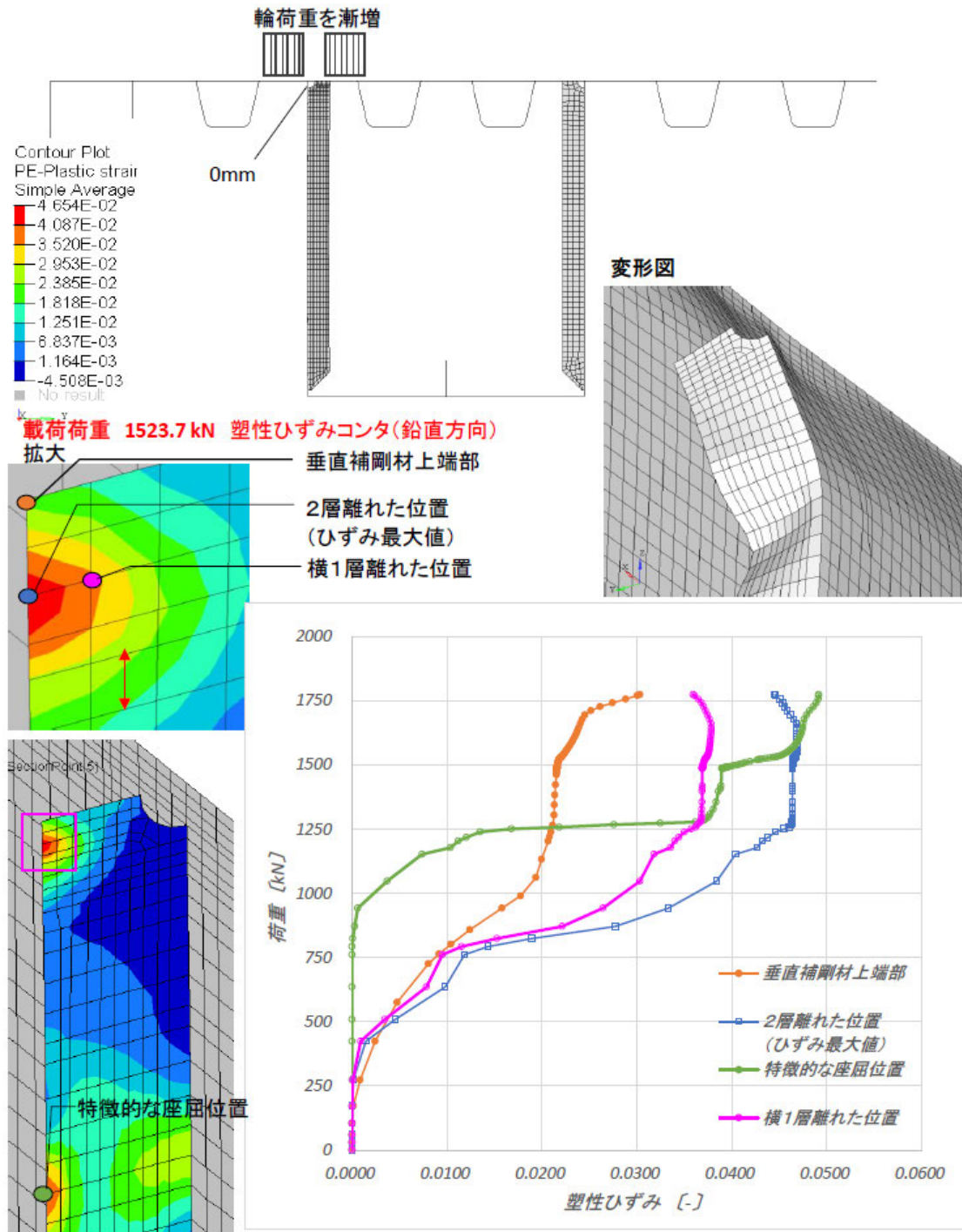


図 - 5.3.36 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 0mm)

ギャップ量 35mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.37 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.38 に示す。

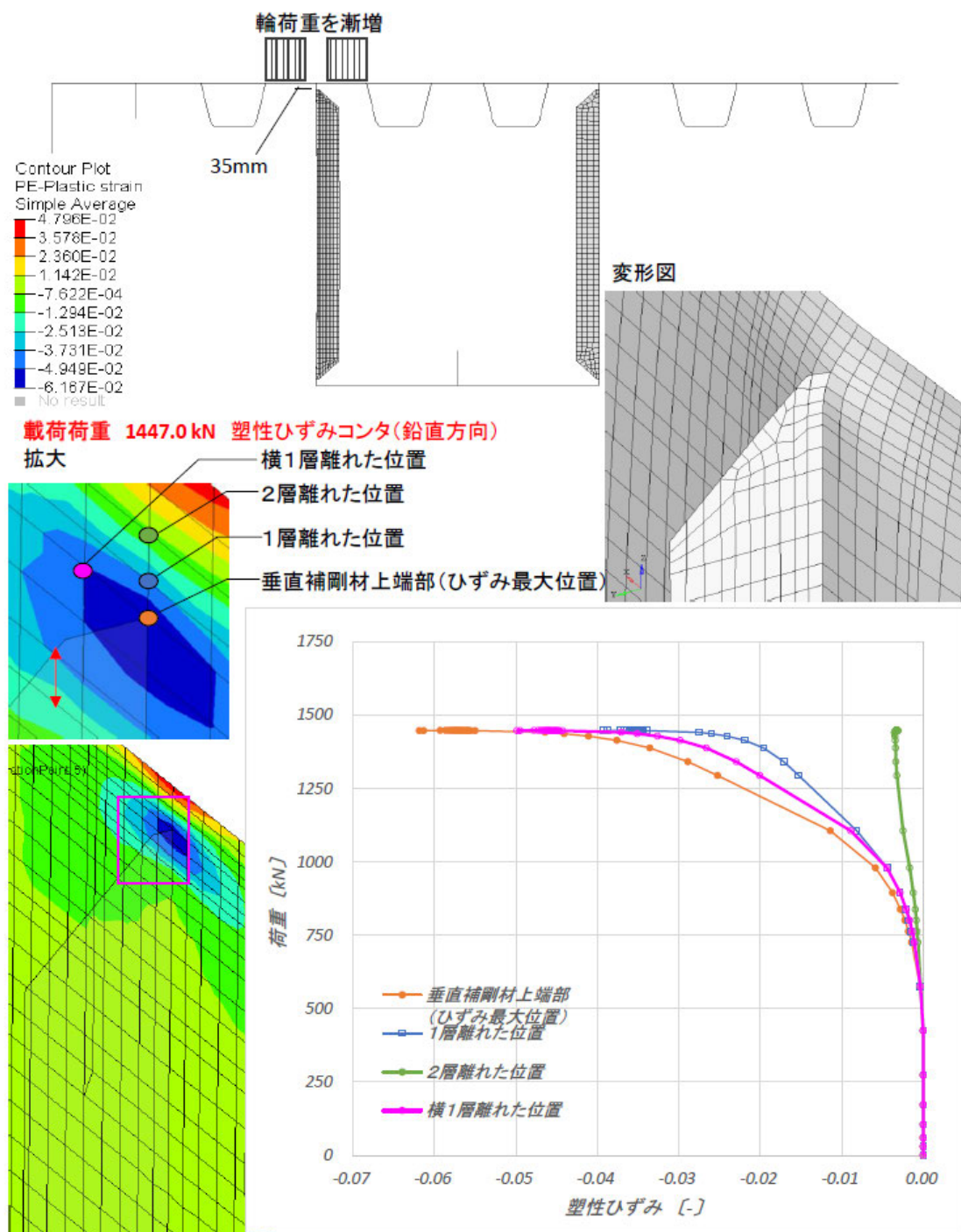


図 - 5.3.37 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 35mm)

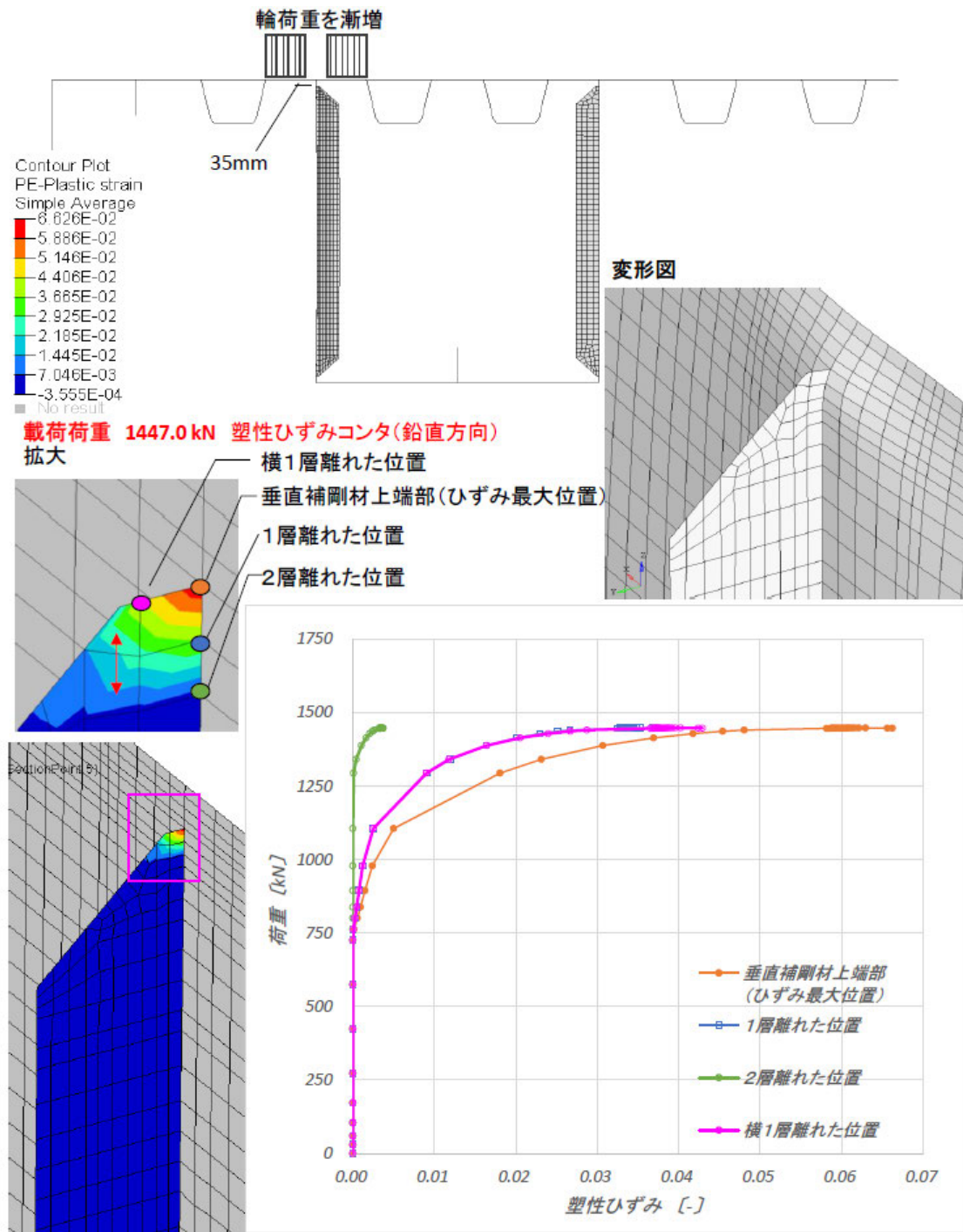


図 - 5.3.38 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 35mm)

ギャップ量 75mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.39 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.40 に示す。

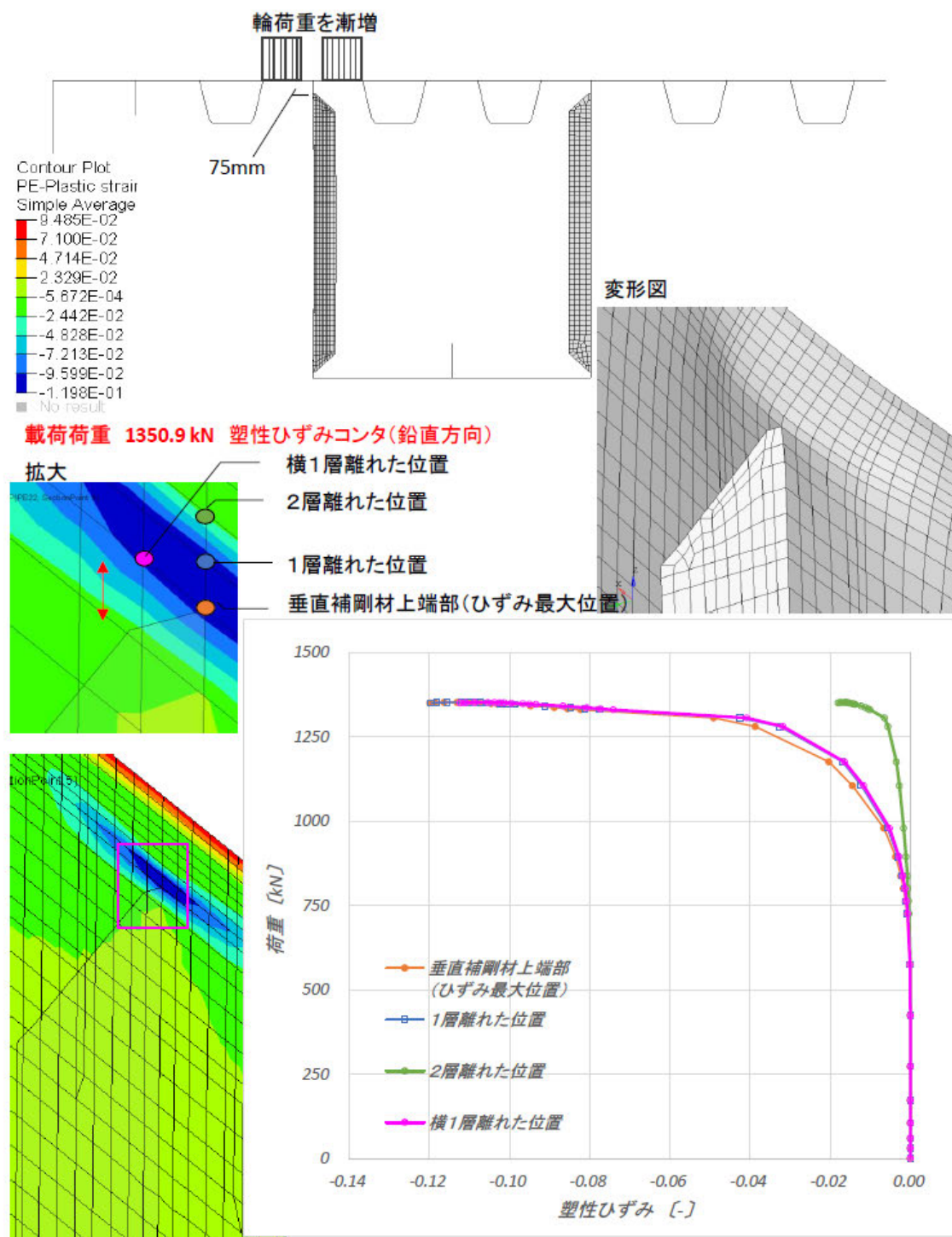


図 - 5.3.39 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 75mm)

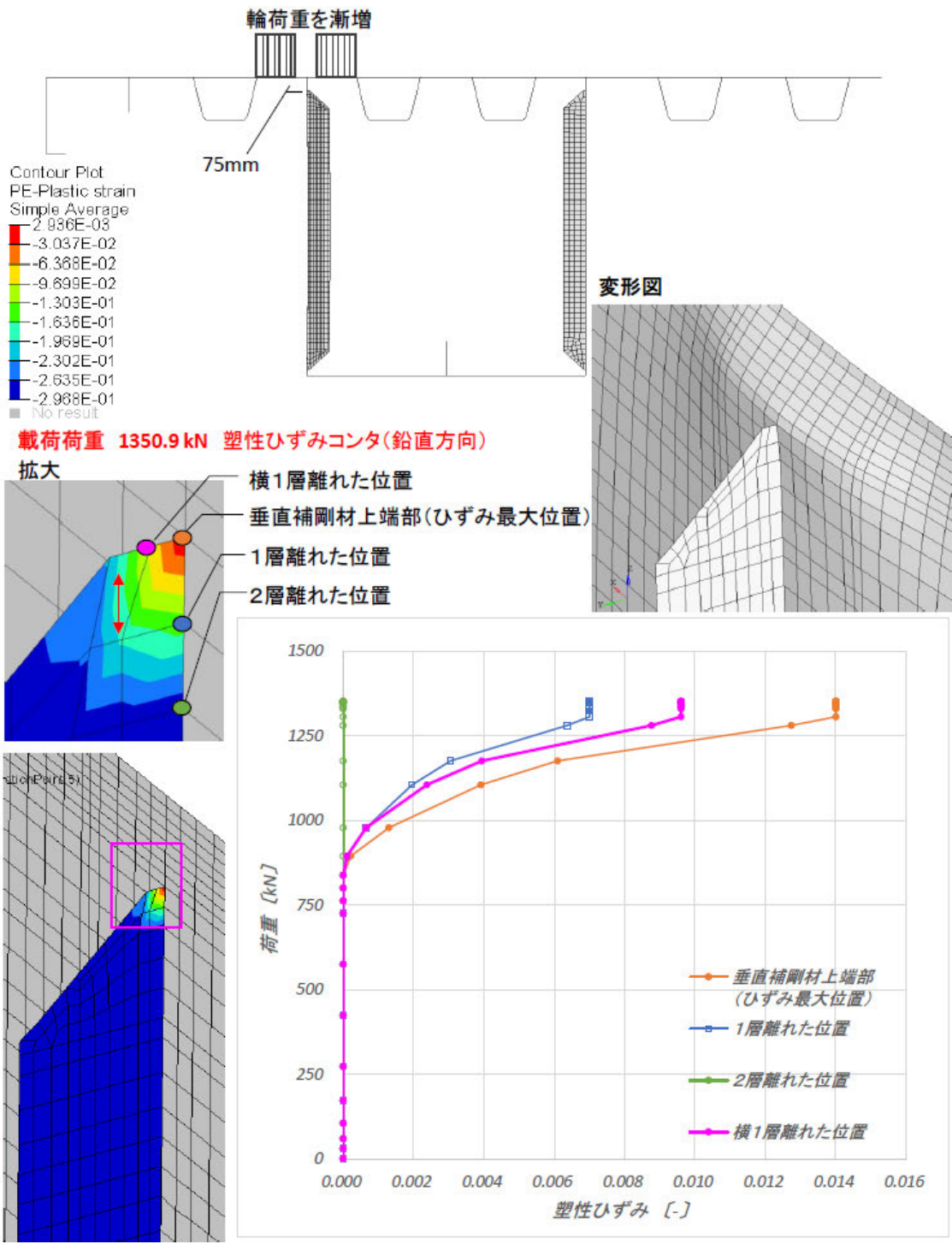


図 - 5.3.40 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 75mm)

塑性ひずみの履歴から得られた知見を以下に示す。

a) ギャップ量 0mm の場合

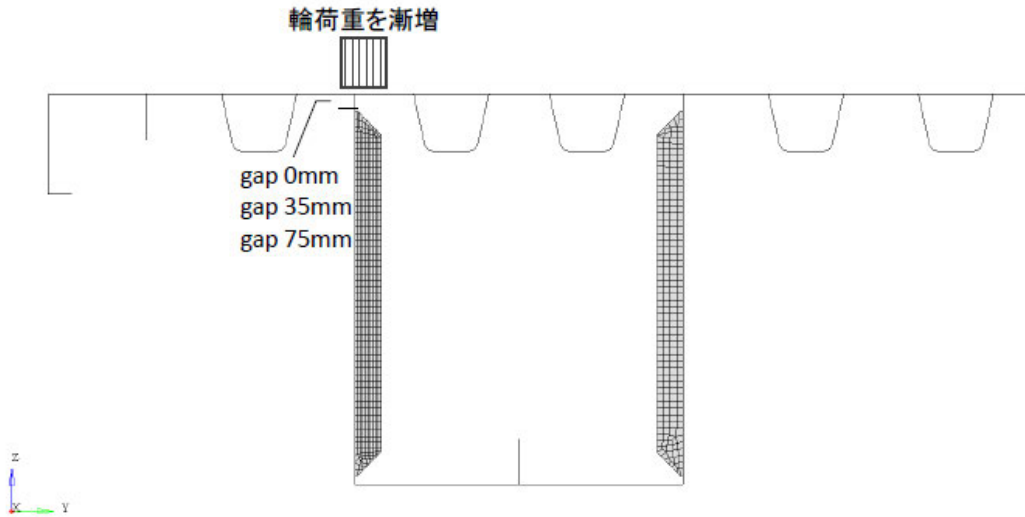
垂直補剛材のデッキプレート付近が荷重 400kN 付近で塑性化し、主桁腹板のデッキプレートとの交点付近が荷重 750kN 付近で塑性化している。(図 - 5.3.34 より、ほぼ同じ荷重の 750~1000kN あたりで、主桁腹板の大きな面外変形も発生している。)

b) ギャップ量 35,75mm の場合

垂直補剛材の上端部、主桁腹板の垂直補剛材上端部との交点付近が 750~1000kN で塑性化している。(図 - 5.3.34 より、ほぼ同じ荷重の 750~1000kN あたりで、主桁腹板のギャップ部のクリッピングも発生している。)

(3) 載荷位置 0mm シングルタイヤ

荷重と面外たわみの関係を図 - 5.3.41 に示す。



載荷荷重-面外たわみ曲線 (ウェブ上部:垂直補剛材上端部)

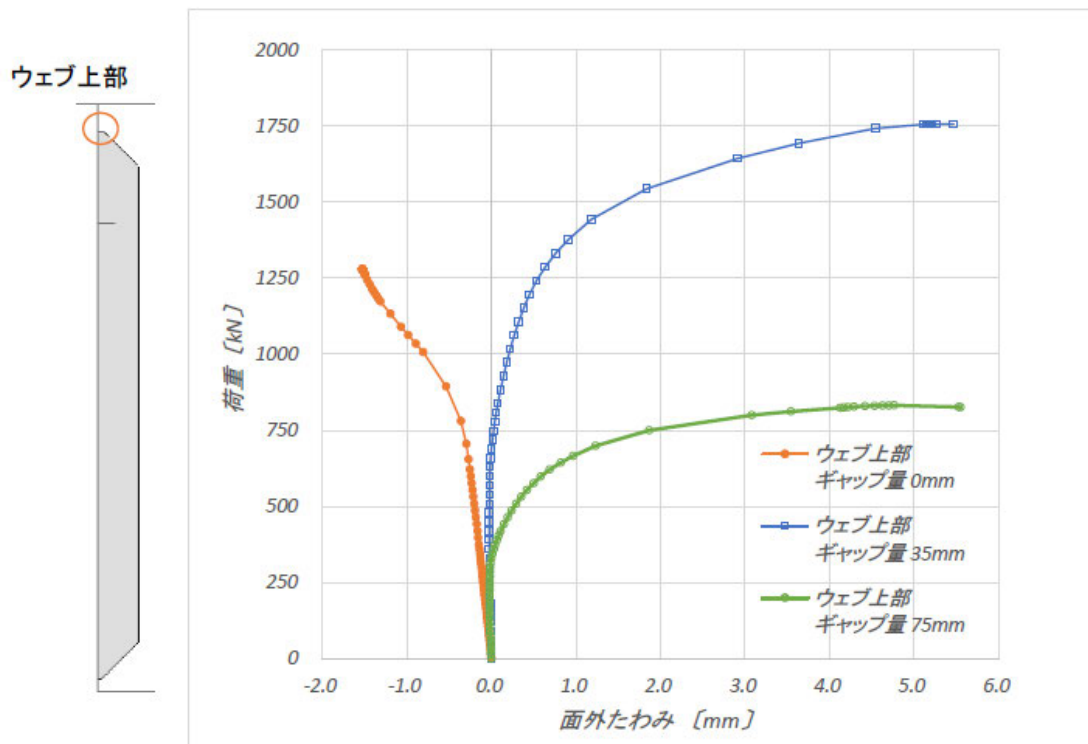


図 - 5.3.41 荷重と面外たわみの関係

荷重と面外たわみの関係から得られた知見を以下に示す。

- a) ギャップ無しでは、荷重 750kN 程度までは大きな面外変形は発生していない。荷重 750～1000kN あたりから、大きな面外変形が発生する。
- b) ギャップ量 35mm では、荷重 1000kN 程度まではクリッピングは発生していない。荷重 1000～1250kN あたりから、クリッピングが発生する。
- c) ギャップ量 75mm では、荷重 500kN 程度まではクリッピングは発生していない。荷重 500～750kN あたりから、クリッピングが発生する。
- d) 最大荷重は、ギャップ量 35mm、ギャップ無し、ギャップ量 75mm の順に大きい。
- e) ギャップ量 35mm のほうが、ギャップ量 75mm よりも面外たわみが小さい。

次に、塑性ひずみの履歴を示す。ギャップ量 0mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.42 に、垂直補剛材腹板側の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.43 に、垂直補剛材デッキプレート側の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.44 に示す。

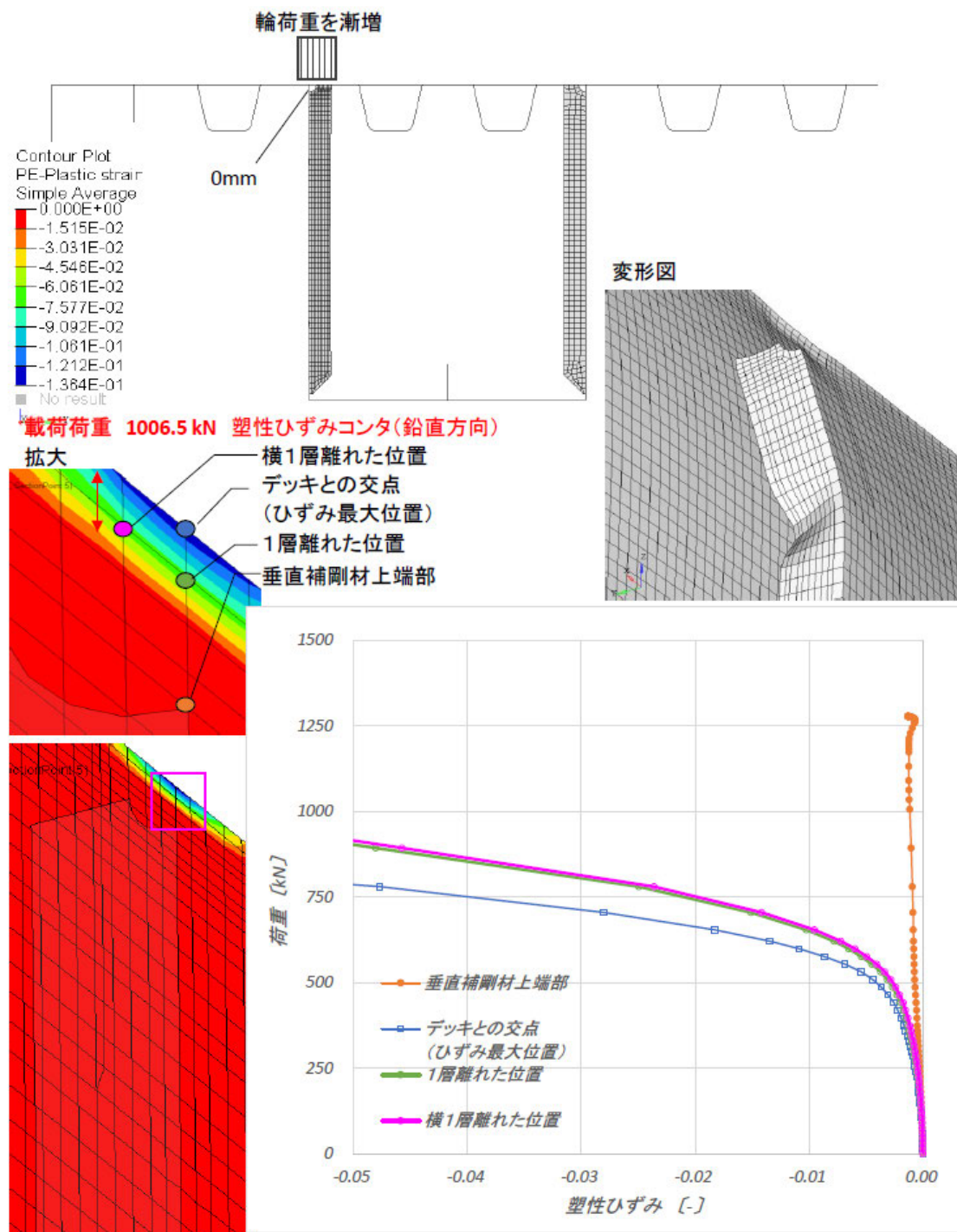


図 - 5.3.42 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 0mm)

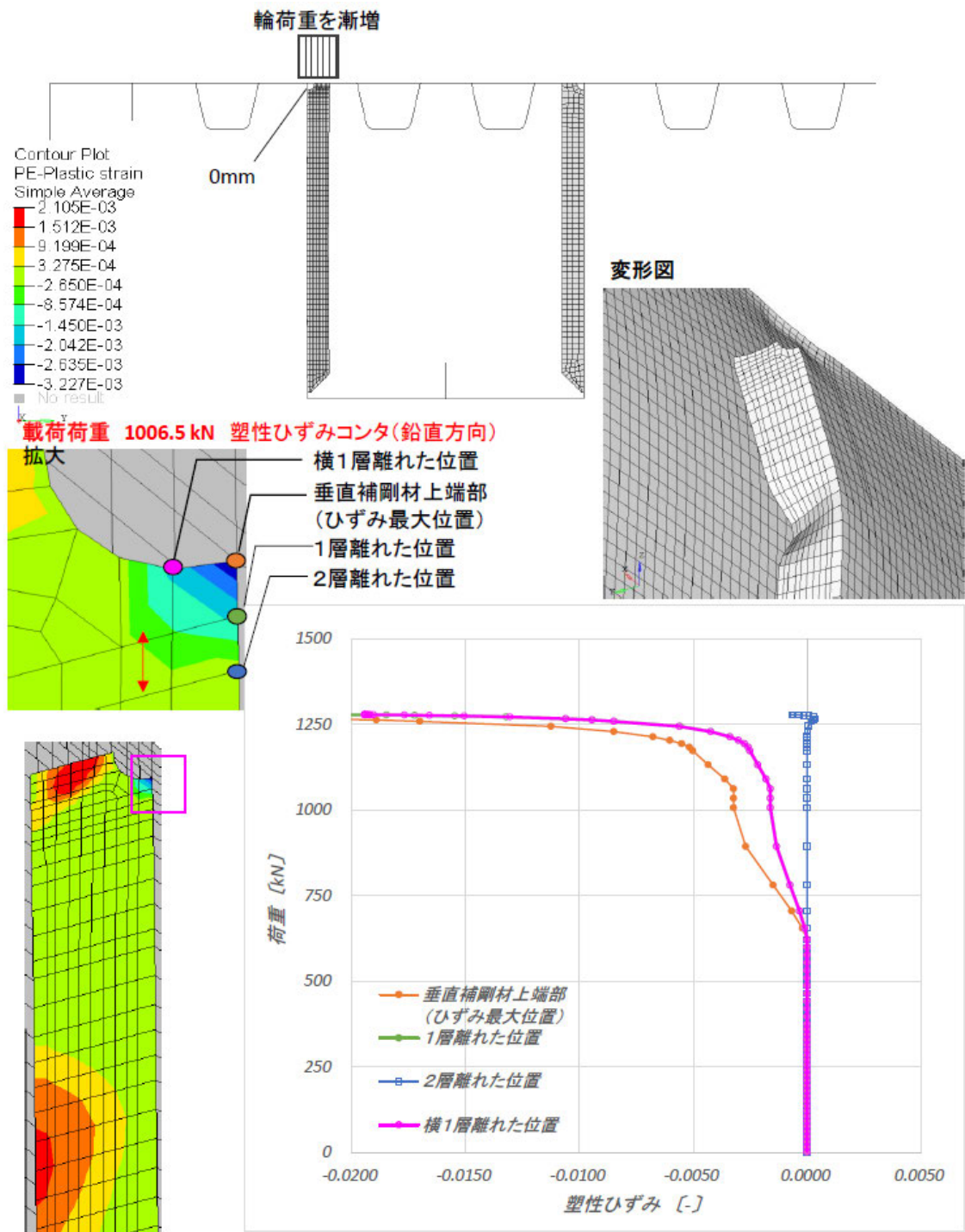


図 - 5.3.43 垂直補剛材腹板側の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 0mm)

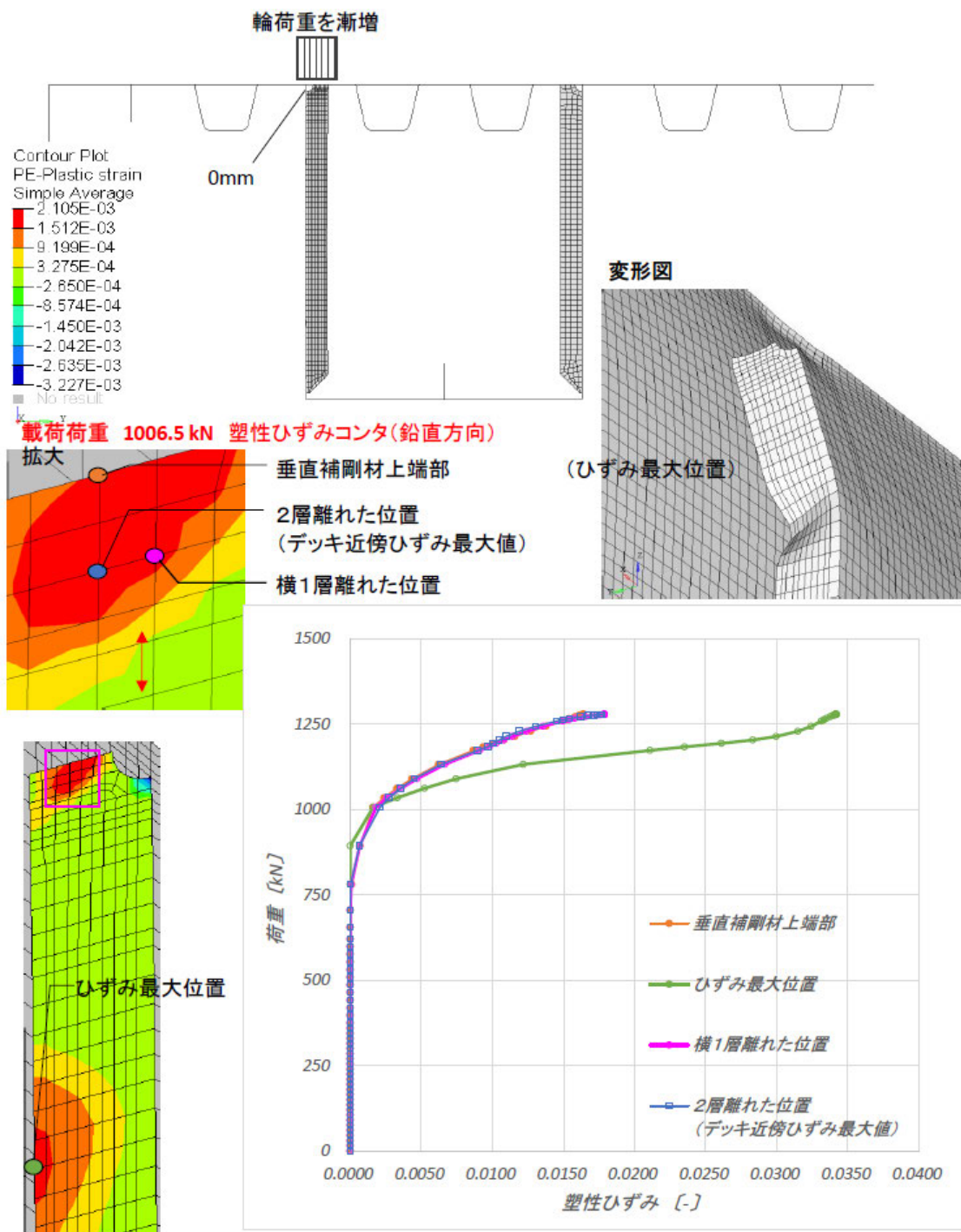


図 - 5.3.44 垂直補剛材デッキプレート側の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 0mm)

ギャップ量 35mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.45 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.46 に示す。

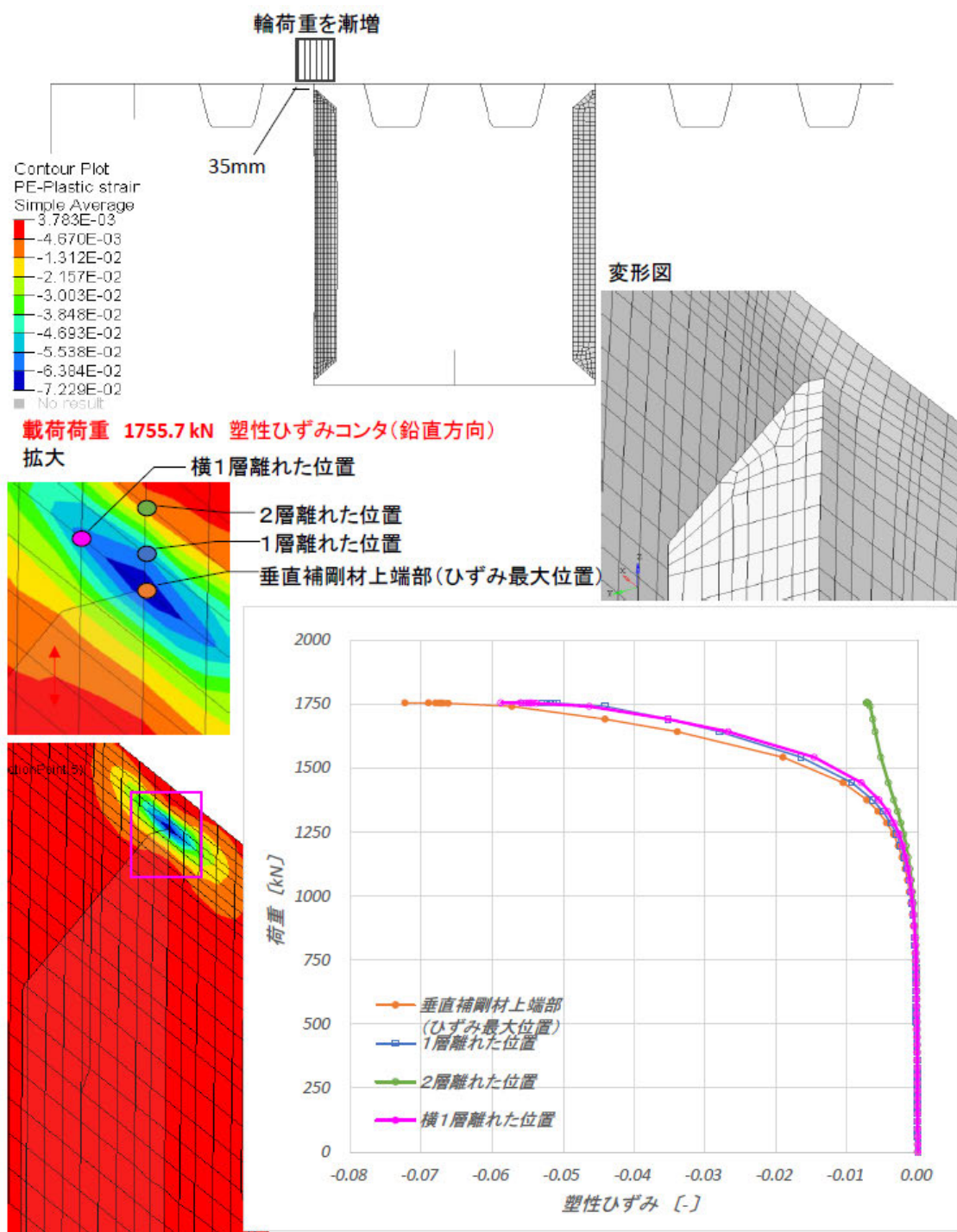


図 - 5.3.45 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 35mm)

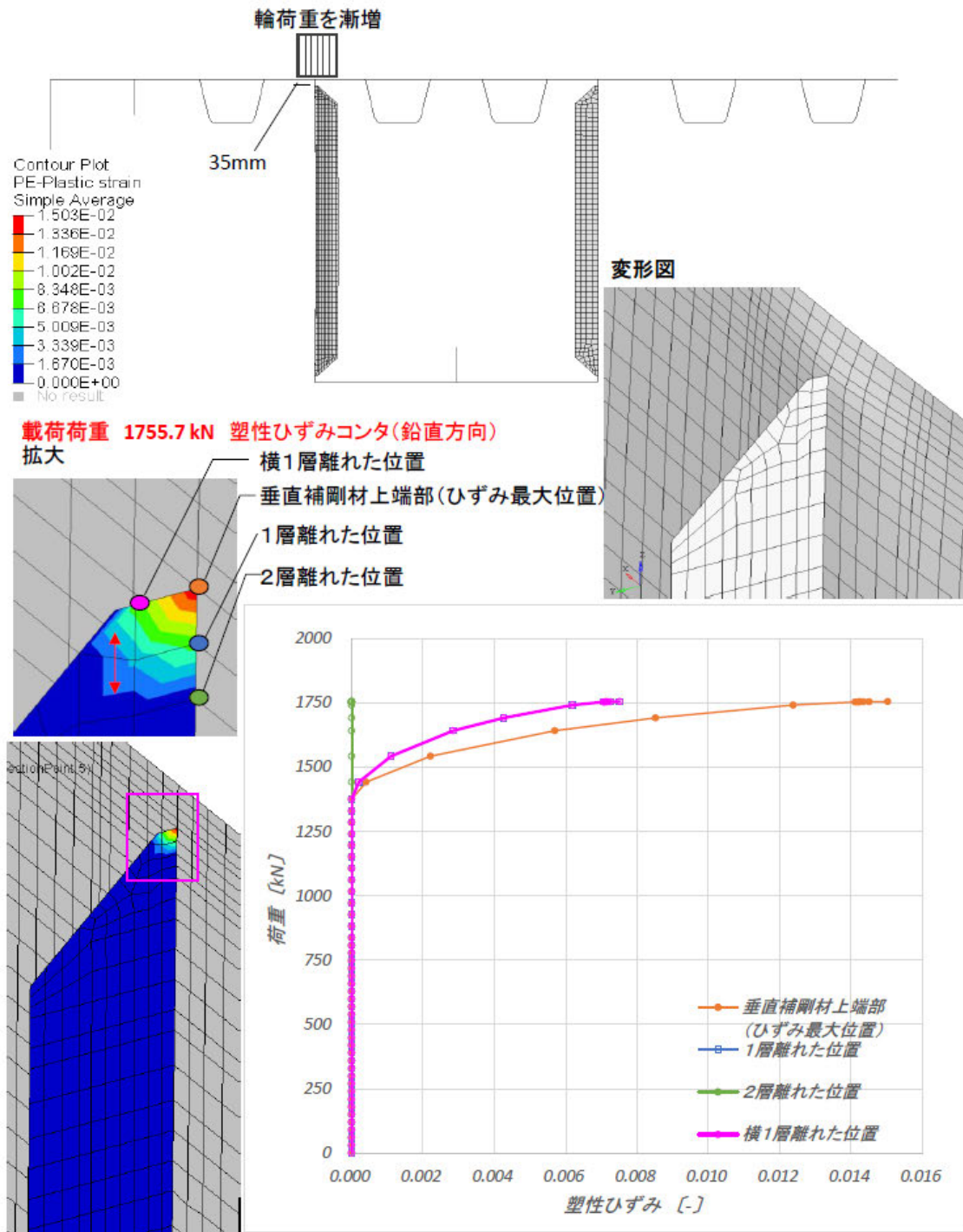


図 - 5.3.46 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 35mm)

ギャップ量 75mm の場合の腹板の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.47 に、垂直補剛材の塑性ひずみ履歴を図 - 5.3.48 に示す。

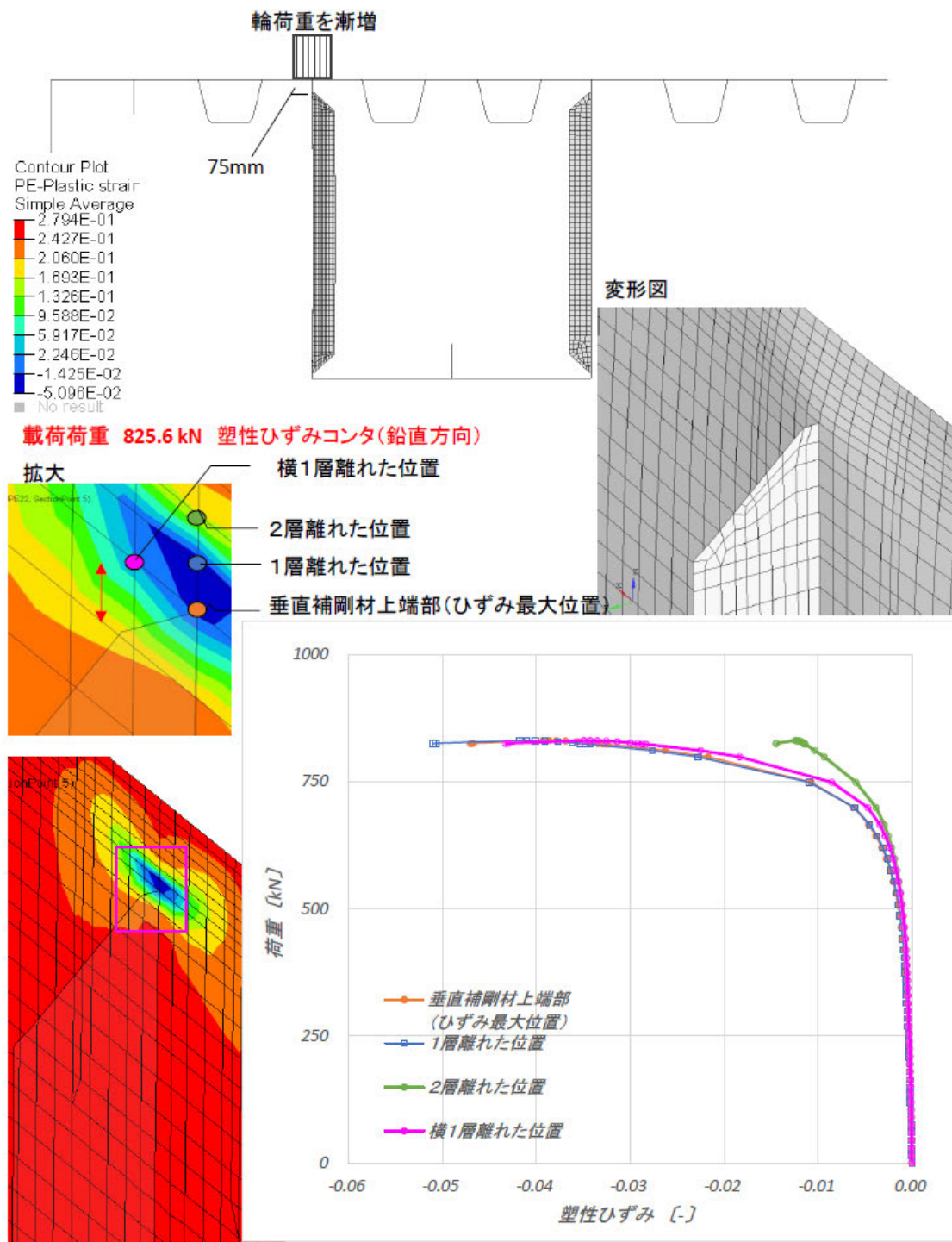


図 - 5.3.47 腹板の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 75mm)

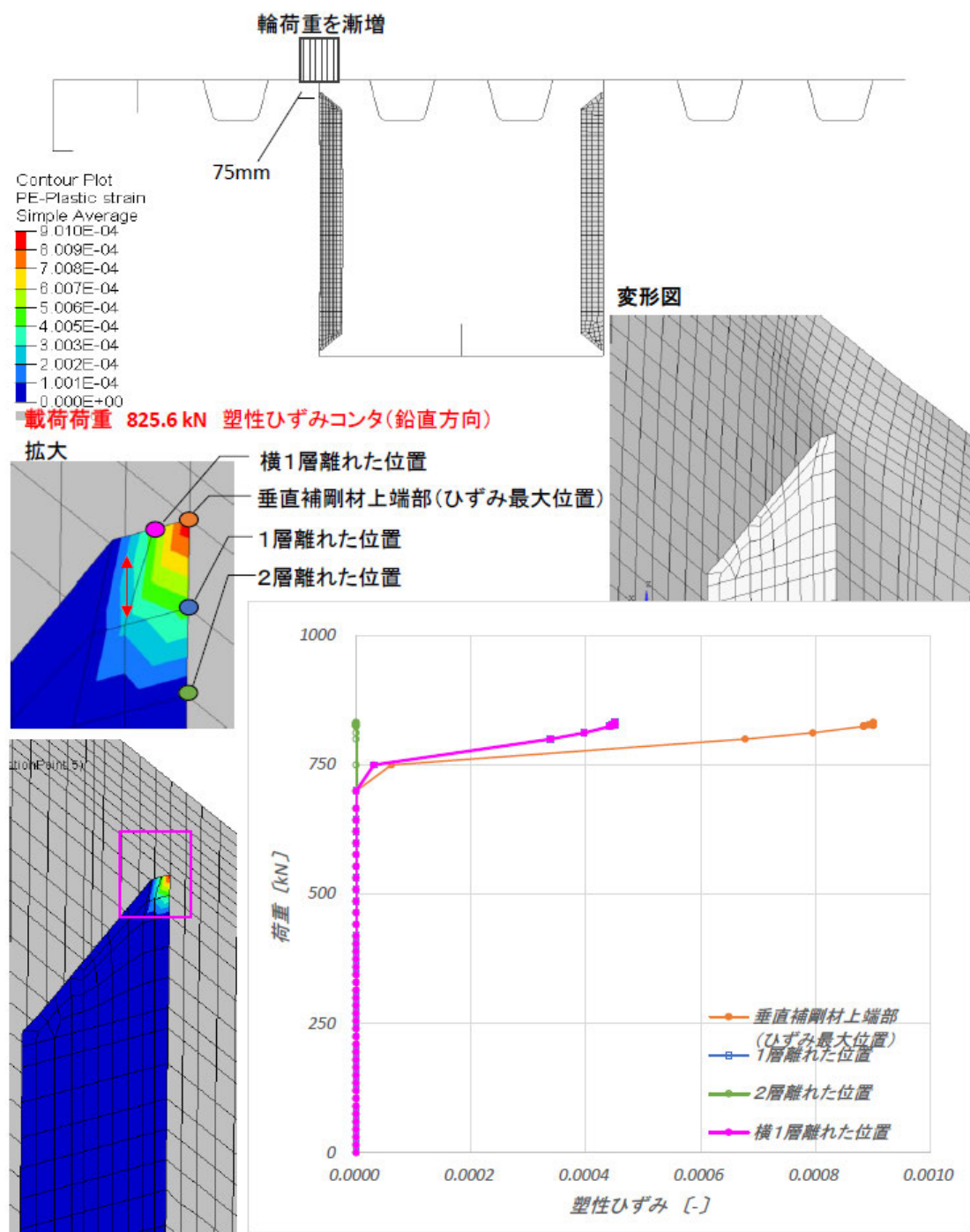


図 - 5.3.48 垂直補剛材の塑性ひずみ履歴 (ギャップ量 75mm)

塑性ひずみの履歴から得られた知見を以下に示す。

a) ギャップ量 0mm の場合

主桁腹板のデッキプレートとの交点付近が荷重 350kN 付近で塑性化、垂直補剛材スカ
ラップ部の主桁腹板側が荷重 650kN 付近で塑性化、垂直補剛材のデッキプレート付近
が荷重 800kN 程度で塑性化している。

b) ギャップ量 35mm の場合

主桁腹板の垂直補剛材上端部との交点付近が 1000~1250kN で塑性化している。垂直補
剛材の上端部が 1400kN 付近で塑性化している。(図 - 5.3.41 より、ほぼ同じ荷重の 1000
~1250kN あたりで、主桁腹板のギャップ部のクリッピングも発生している。)

c) ギャップ量 75mm の場合

主桁腹板の垂直補剛材上端部との交点付近が 500~750kN で塑性化している。垂直補剛
材の上端部が 750kN 付近で塑性化している。(図 - 5.3.41 より、ほぼ同じ荷重の 500~
750kN あたりで、主桁腹板のギャップ部のクリッピングも発生している。)

以上の解析結果より、ギャップ量 35,75mm の場合でも、クリッピングの発生とほぼ同
じ荷重で垂直補剛材やウェブの塑性化が発生していることがわかる。つまり、クリッピ
ングが部材の塑性化より先行して発生するわけではない。また、現行構造(ギャップ量 0mm)
ではクリッピングは発生しないが、垂直補剛材やウェブの塑性化はギャップ量 35,75mm
の場合より低い荷重で発生している。したがって、クリッピングと部材の塑性化という
観点からは、垂直補剛材のギャップ量 35mm,75mm の場合も現行構造(ギャップ量 0mm)
と比べて安全性は低下しないことがわかった。面外変形については、ギャップ量 35mm の
場合のほうが 75mm の場合よりも小さい。

5.4 まとめ

5章では、垂直補剛材の上端部をカットする提案構造について、耐荷力が現行構造と同等
であることを確認するため、線形座屈固有値解析および弾塑性有限変位解析を用いて、せん断耐荷力とクリッピングおよび部材の塑性化に対する安全性を検証する方法について示した。

検証の結果、垂直補剛材のギャップ量 75, 300mm の場合も現行構造(ギャップ量 0mm)
と比べて、せん断耐荷力の低下が 5%程度であった(5.2節)。また、垂直補剛材のギャップ
量 35, 75mm の場合にクリッピングおよび部材の塑性化に対する安全性は現行構造(ギャ
ップ量 0mm)と比べて低下しない。面外変形についてはギャップ量 35mm の場合のほうが
75mm の場合よりも小さい(5.3節)。以上より、ギャップ量 75mm の場合より面外変形の小さいギャップ量 35mm が推奨される。

6. 垂直補剛材上端溶接部の疲労耐久性を対象とした疲労試験

6.1 目的

前章までの解析的検討において、垂直補剛材上端溶接部を対象として局部応力性状の検討を行い、現行構造（上端溶接）ではデッキプレートの板曲げが垂直補剛材で拘束されることにより局部応力が集中すること、提案構造（上端カット構造）ではギャップ量が小さくなるほど、局部応力の緩和効果が小さくなることを確認した。また、輪荷重載荷に対して、上端カット構造とすることによる耐荷力の低下が見られないことも確認した。しかし、これらの構造が疲労き裂の発生挙動にどのように影響するかについては、局部応力性状だけでなく、その疲労耐久性も確認する必要がある。疲労耐久性を確認する方法としては疲労試験が挙げられ、鋼床版パネル試験体を用いた輪荷重走行試験や定点載荷疲労試験、疲労き裂の発生挙動を模擬した小型試験体を用いた疲労試験が考えられる。ここでは、デッキプレート・垂直補剛材溶接部を模擬した小型試験体を用いた疲労試験の手法を提案する。なお、疲労耐久性は、十分な試験体数をもって評価されることが望ましいが、本報告書は疲労試験の手法を例示することを目的としているため、比較対象をそれぞれ 1 体ずつ（合計 3 体）としている。

6.2 試験体

図 - 6.2.1 に、疲労試験に用いる試験体の概要を示す。試験体は、デッキプレートと垂直補剛材溶接部を模擬した 3 種類の小型試験体である。デッキプレート厚は 16mm で、垂直補剛材の断面形状と主桁腹板厚の組合せは 4 章に示した基本モデルと同じ、150mm×12mm、150mm×14mm である。垂直補剛材上端部は、現行構造である上端部を溶接した構造（上端溶接試験体：WI16）、提案構造である上端部をカットした構造（上端カット試験体）とした。上端カット試験体については、輪荷重が主桁腹板の内側に載荷する場合を想定し、垂直補剛材を試験体の内側に設置した構造（箱内上端カット試験体：CI16）と、輪荷重が主桁腹板の外側に載荷する場合を想定し、外側に設置した構造（箱外上端カット試験体：CO16）とした。

鋼種は SM400A であり、表 - 6.2.1、表 - 6.2.2 に鋼材検査証明書による鋼板の機械的性質と化学成分を示す。溶接は炭酸ガスアーク溶接半自動法とし、表 - 6.2.3 に示す条件とした。JIS Z 3313 によるフラックス入りワイヤ（溶着金属引張試験結果：耐力 501N/mm²、引張強さ 590 N/mm²、伸び 24%）を使用した。

各試験体の寸法形状と載荷位置は、4 章に示した輪荷重 100kN 載荷時のパネルモデル解析結果のうち、基本モデルで最も発生応力が大きくなる場合の応力性状を模擬できるよう、すなわち、溶接止端先端の要素の主応力値を概ね同じ値となるように荷重の大きさを調整し、さらにその近傍の溶接に対する直角方向応力の分布形状が同等となるように決定した。

図 - 6.2.2 に試験体の解析モデルを示す。当初、デッキプレート厚 12mm の場合の試験を考えていたため、解析モデルのデッキプレート厚は 12mm である。溶接部近傍の要素分割はパネルモデルと同じであり、対称性を考慮した 1/4 モデルとした。デッキプレート上面のゴム板は弾性体（弾性係数 $E=20\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.49$ ）として扱い、デッキプレートとは剛結としている。また、試験体下面には定盤（ $t=60\text{mm}$ の鋼板）もモデル化しており、定盤下面は完全固定とし、定盤と試験体下面には接触（摩擦係数 $\mu=0.0$ ）を考慮している。解析コードは ABAQUS ver.6.11.2 であり、材料は弾性体とし、幾何学的非線形性を考慮した。

図 - 6.2.3 に各試験体モデルとパネルモデルの溶接止端部の応力分布を示す。両者の応力分布は概ね一致しており、各試験体が実橋における応力性状を適切にモデル化できているものと考えられる（図中の縦軸は主応力値ではなく、溶接線直角方向応力であるため、止端部近傍では、両モデル間で応力値に若干の違いが見られる）。

表 - 6.2.1 使用材料の機械的性質

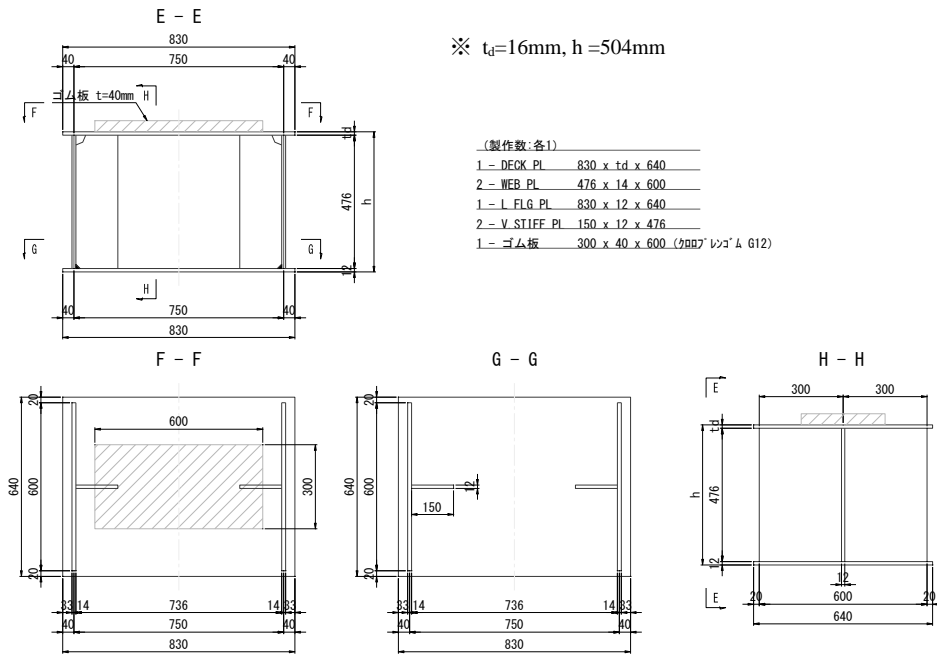
| 板厚 (mm) | 降伏点 (N/mm^2) (≥ 245) | 引張強さ (N/mm^2) (400~510) | 伸び (%) ($\geq 18\%$) |
|---------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 16 | 323 | 447 | 30 |
| 14 | 299 | 428 | 34 |
| 12 | 321 | 428 | 31 |

表 - 6.2.2 使用材料の化学成分

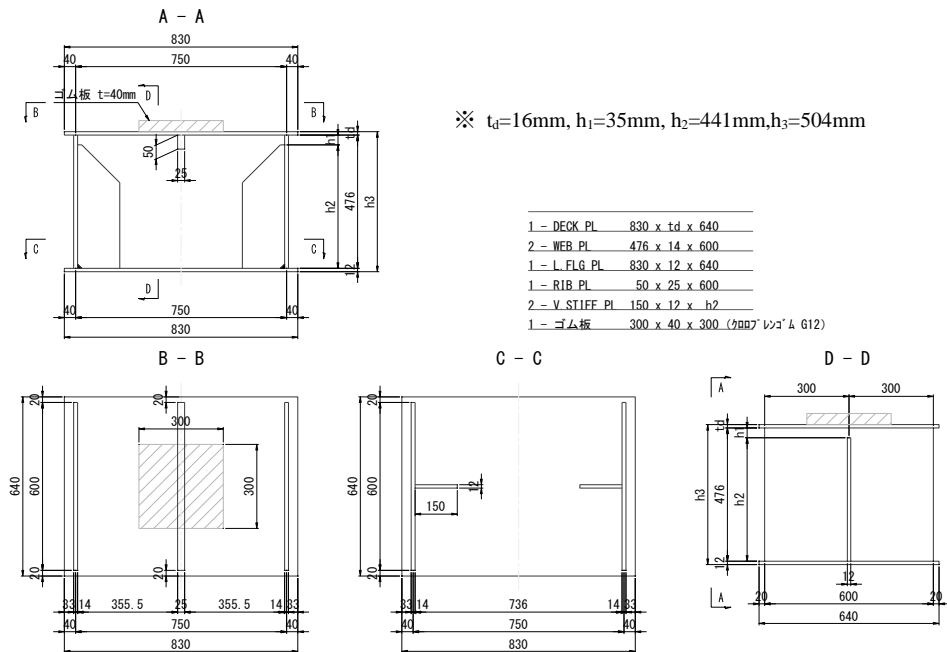
| 板厚 (mm) | 化学成分 (%) | | | | | | | | | | | |
|---------|----------|------|------|-------|-------|------|------|------|----|-------|----------|----------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | V | C_{eq} | P_{CM} |
| 16 | 0.13 | 0.2 | 1.02 | 0.021 | 0.006 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.002 | 31 | 19 |
| 14 | 0.16 | 0.13 | 0.68 | 0.018 | 0.006 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.001 | 28 | 20 |
| 12 | 0.15 | 0.13 | 0.65 | 0.019 | 0.006 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.001 | 27 | 19 |

表 - 6.2.3 試験体の溶接仕様

| 試験体 | 溶接箇所 | 溶接方法 | 適用 | 溶接材料 | 溶接条件 | | |
|------|---------------|-------------------|-----|-------------------------------------|---------|-------|------------|
| | | | | | 電流(A) | 電圧(V) | 速度(cm/min) |
| WI16 | デッキプレート-垂直補剛材 | 炭酸ガスアーク 溶接半自動法 | すみ肉 | JIS Z3313 YFW-C50DM (MX-Z200) | 270~280 | 32 | 32~34 |
| CI16 | | | | | 270~280 | 32~34 | 33~35 |
| CO16 | 270 | | | | 33~34 | 32~33 | |

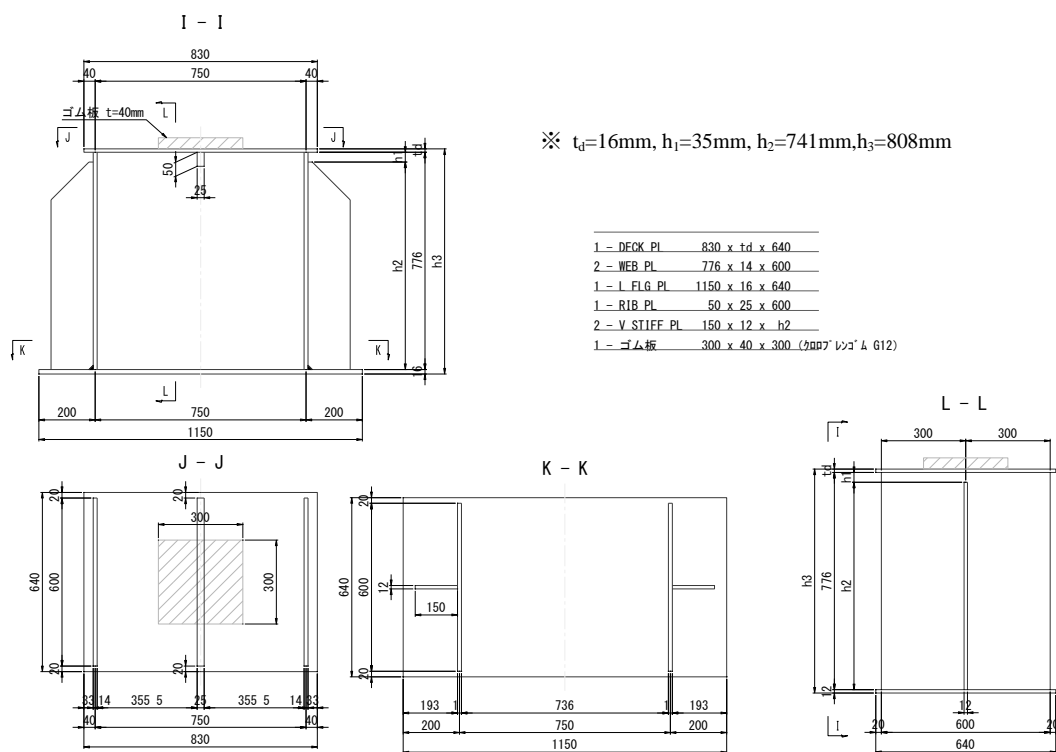


(a) WI16 試験体 (上端溶接)



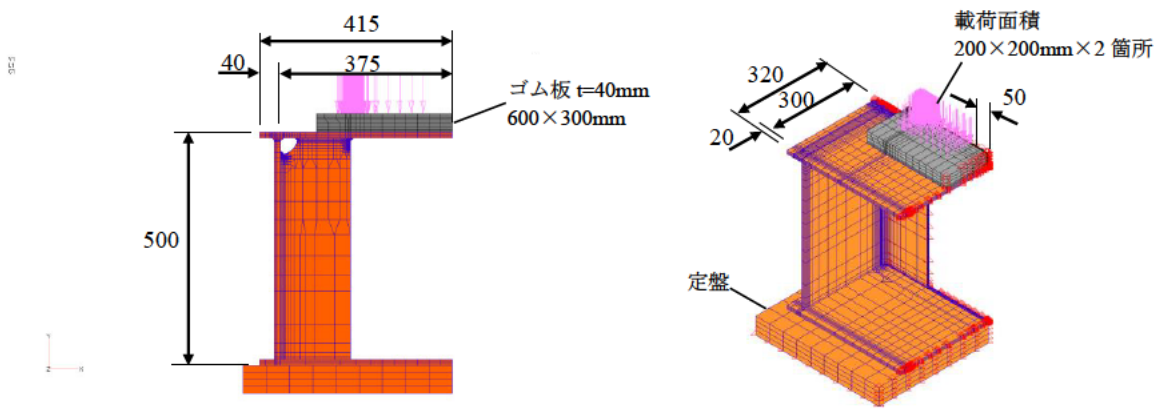
(b) 試験体 CI16 (箱内上端カット)

図 - 6.2.1 試験体の概要 (1/2)

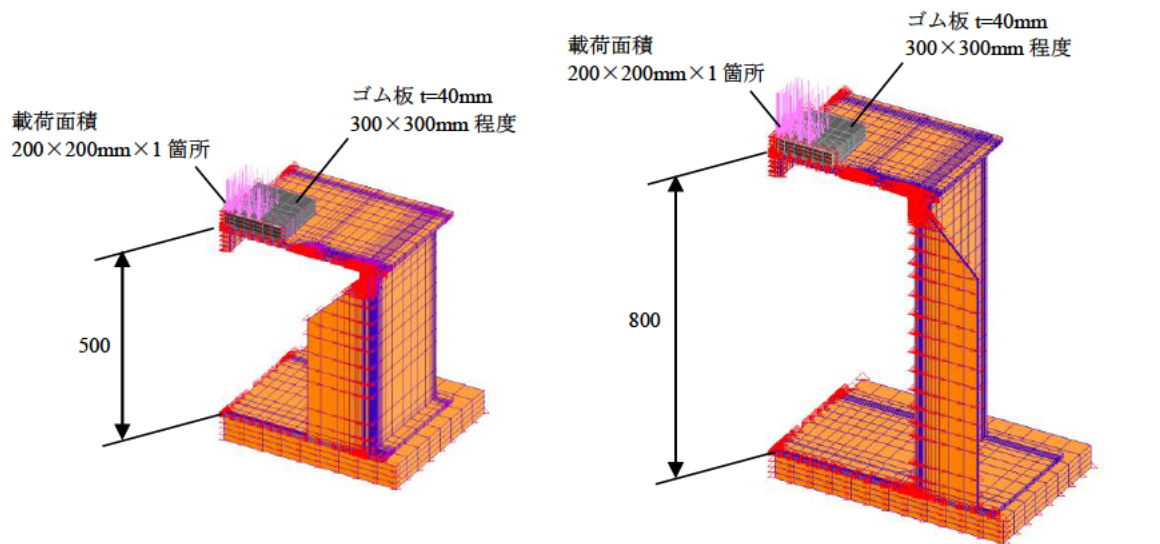


(c) 試験体 CO16 (箱外上端カット)

図 - 6.2.1 試験体の概要 (2/2)



(a) 試験体 WI (上端溶接) モデル



(b) 試験体 CI (上端カット) モデル

(c) 試験体 CO (上端カット) モデル

図 - 6.2.2 試験体解析モデル ($t_d=12\text{mm}$)

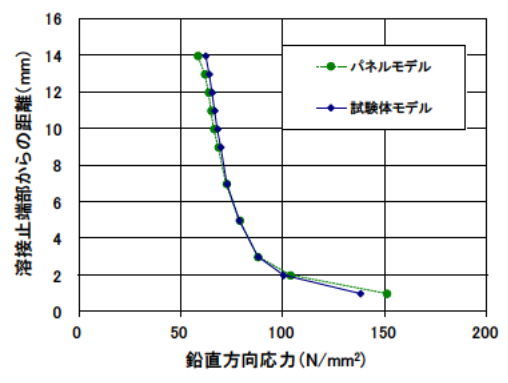
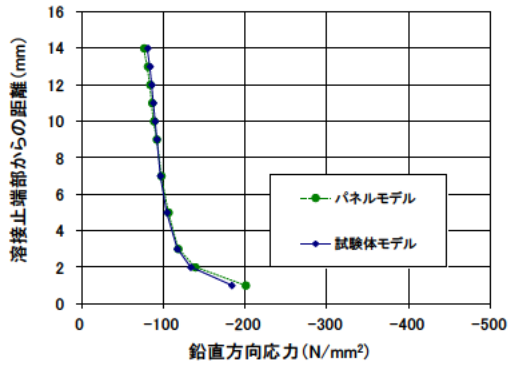
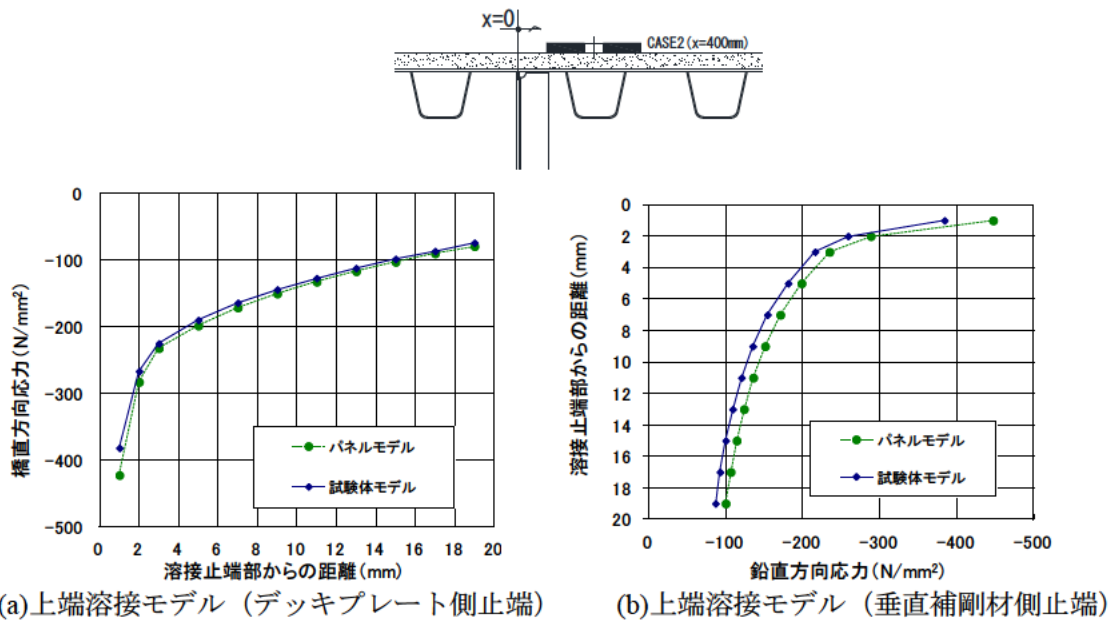


図 - 6.2.3 パネルモデルと試験体モデルの止端近傍応力分布の比較 ($t_d=12\text{mm}$)

6.3 静的載荷試験

試験体の妥当性を確認する目的で、疲労試験の前に静的載荷試験を実施した。図 - 6.3.1 に荷重の載荷位置・方法を示す。写真 - 6.3.1 に各試験体の設置状況を示す。試験体の不陸を吸収するため、試験体 WI16 では試験体下面とデッキプレート上面の載荷板表裏、及び載荷梁とアクチュエータ間に、試験体 CI16 と CO16 は試験体下面とデッキプレート上面の載荷板表裏に厚さ 25mm のゴム板を設置している。

試験体には、図 - 6.3.2~6.3.4 に示すようにひずみゲージを貼付し、溶接止端近傍の応力分布に関して解析結果との比較を行う。ひずみゲージは、止端から 2mm 離れた位置から 5 連の応力集中ゲージ (2mm 間隔、ゲージ長 1mm) を添付した。また、荷重の載荷状況を把握するために、デッキプレート下面に添付した 4 箇所のゲージ (ゲージ長 1mm) の試験体幅方向ひずみの値を荷重に対する参照点とした。計測は、試験体の不陸吸収の影響の確認のため、25kN を最大荷重とし、5kN 毎に行った。

図 - 6.3.5 に各試験体のデッキ下面の橋軸直角方向のひずみと荷重の関係を示す。いずれの試験体もひずみは 20μ 程度と小さい。試験体 WI16 では 10kN 以降で全箇所のひずみが増加しており、同計測位置では、ゴム板がデッキ上面に接触し力の伝達が始まったことが考えられる。一方、試験体 CI16 と CO16 は、載荷初期から線形性が確認された。図-6.3.6 において、着目部位である補剛材溶接部近傍ではいずれの試験体も荷重初期から線形性が確保されていることから、この挙動の違いは載荷板端部特有のものであると考え、載荷方法は妥当であると判断した。

図 - 6.3.6、図 - 6.3.7 は、溶接形状の影響が小さいと考えられる、止端から 10mm、あるいは 5mm 離れた位置のひずみを示している。各試験体とも左右の垂直補剛材のひずみの差は小さい。試験体 WI16 では垂直補剛材側では大きなひずみが発生しているものの、デッキプレート側のひずみが小さく、載荷初期の不陸吸収の影響を受けていると考えられる。

図 - 6.3.8 に止端からの距離で整理した応力範囲の分布を示す。応力範囲は、15kN と 20kN 時のひずみ値の差に弾性係数 $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ を乗じることで算出し、後述する疲労試験時の荷重範囲 (WI16 : 43kN、CI16 : 19kN、CO16 : 15kN) に換算したものである。いずれの試験体も、左・右側の垂直補剛材において概ね同等の応力範囲が生じていることが確認できる。したがって、試験体の設置は適正になされていると判断できる。

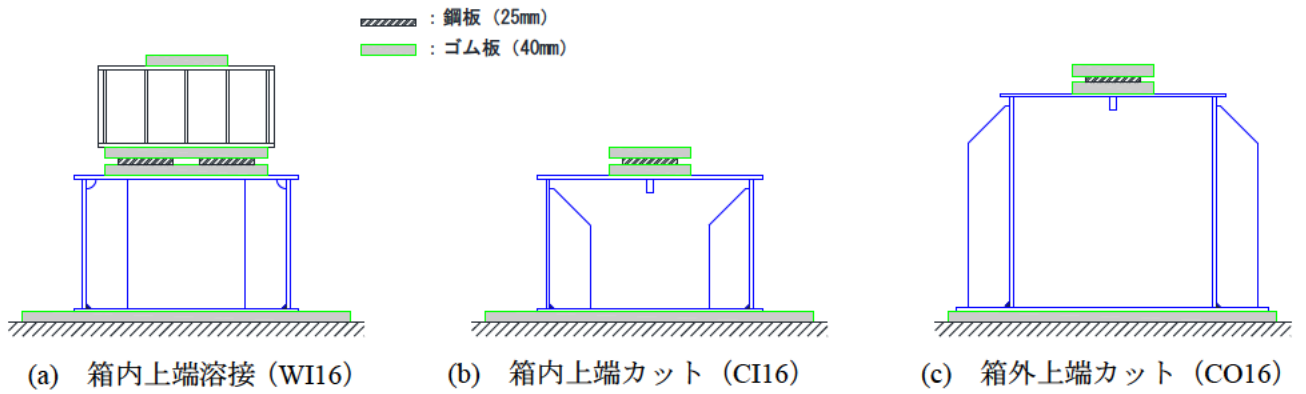


図 - 6.3.1 試験体の設置と載荷方法の概



(a) 試験体 WI16



(b) 試験体 CI16



(c) 試験体 CO16

写真 - 6.3.1 試験体の設置状況

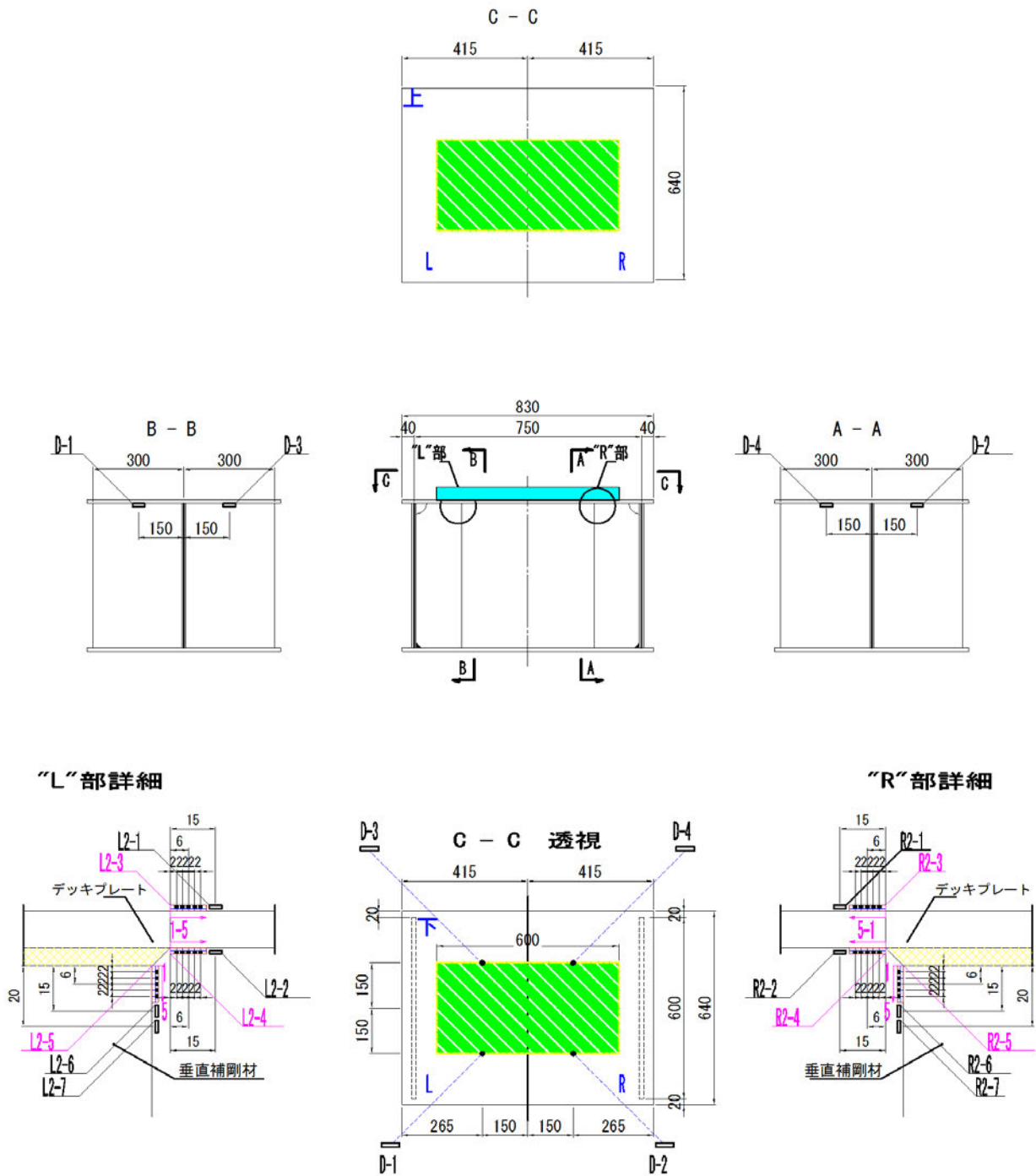


図 - 6.3.2 ゲージ貼付概要 (試験体 WI16)

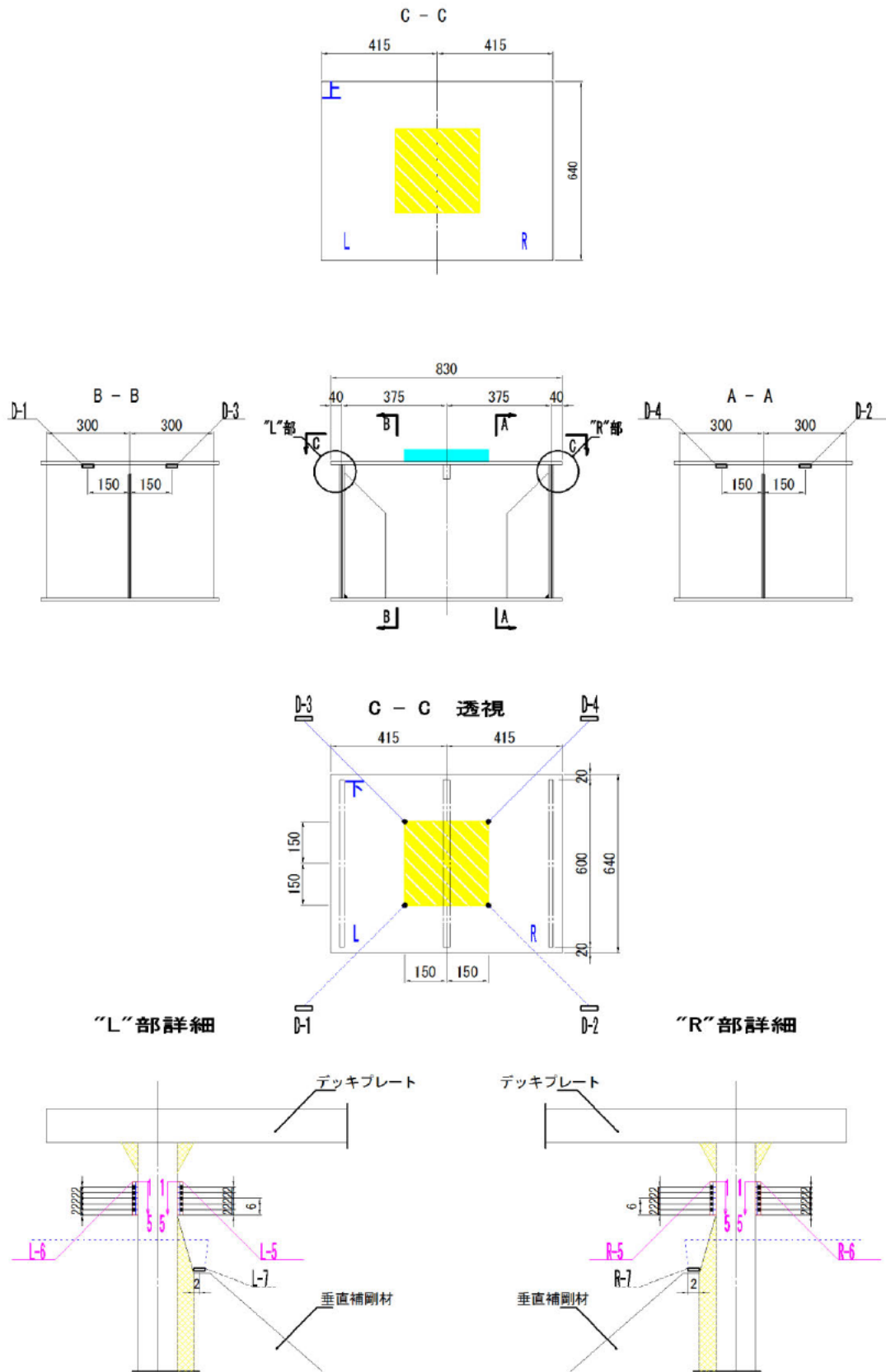


図 - 6.3.3 ゲージ貼付概要 (試験体 CI16)

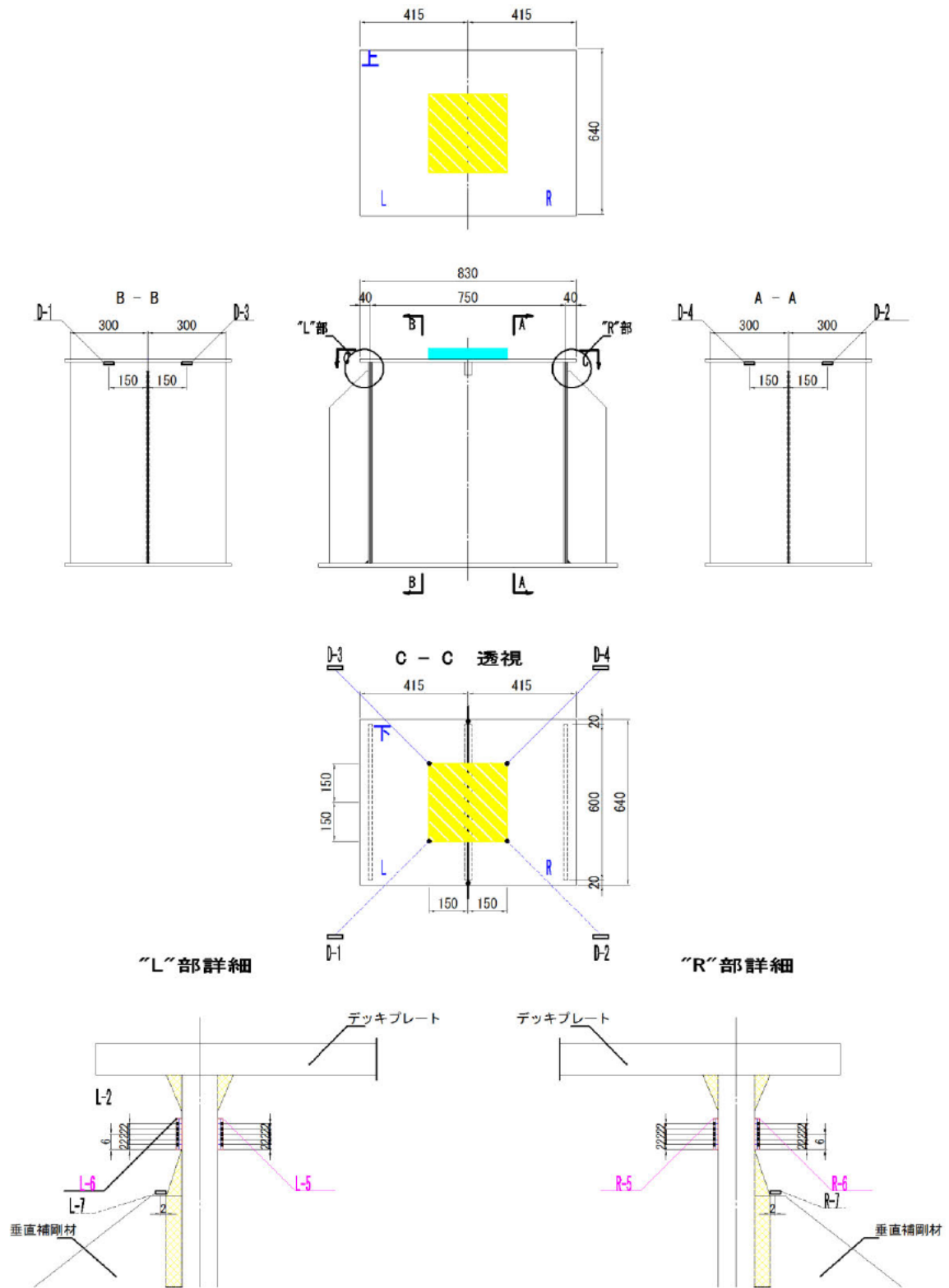
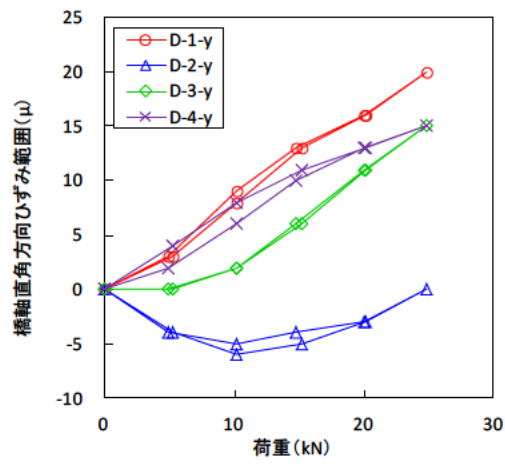
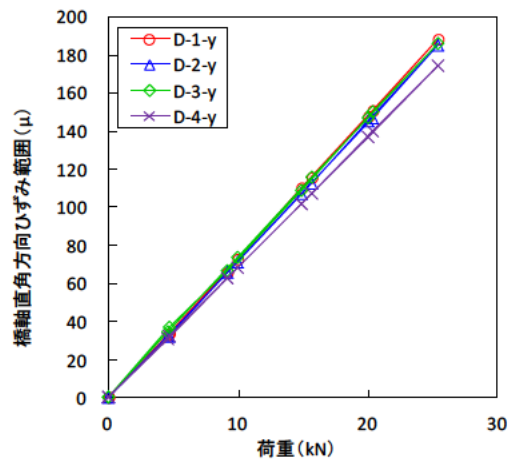


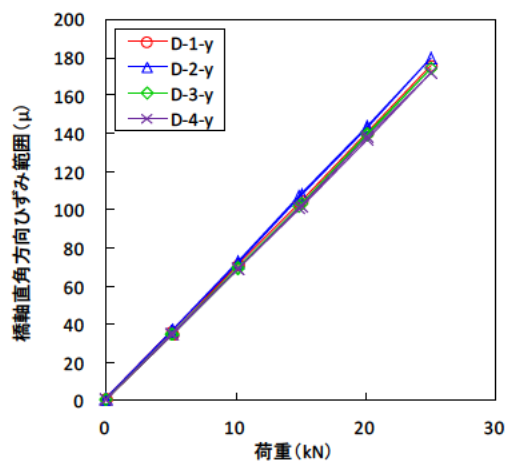
図 - 6.3.4 ゲージ貼付概要 (試験体 CO16)



(a) 試験体 WI16

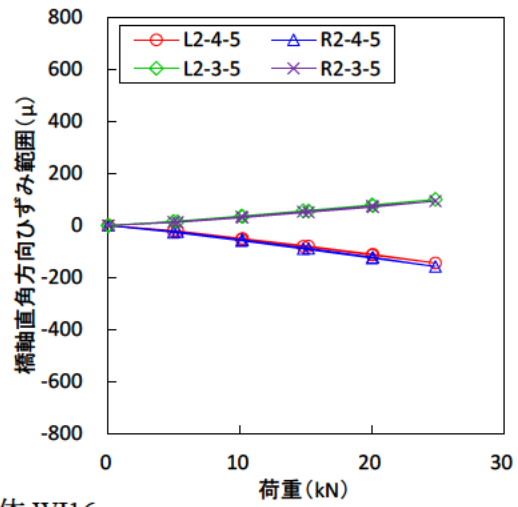
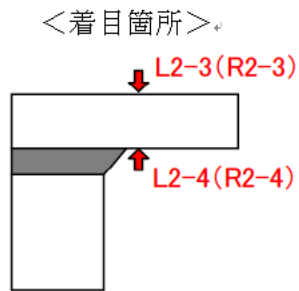


(b) 試験体 CI16

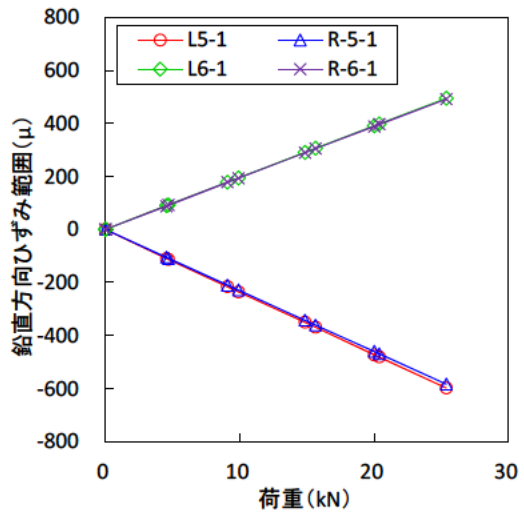
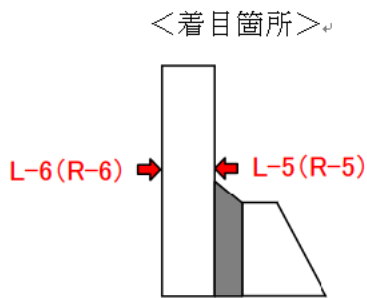


(c) 試験体 CO16

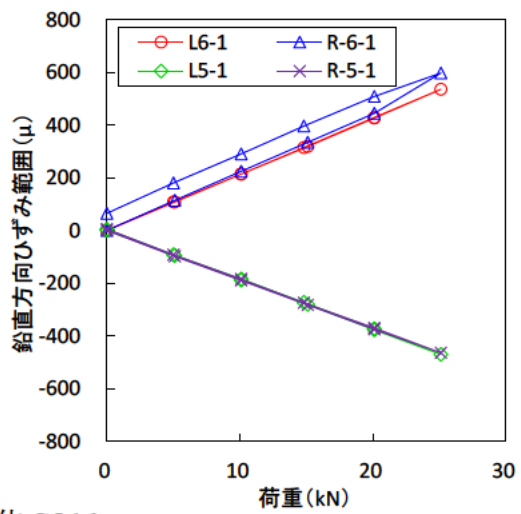
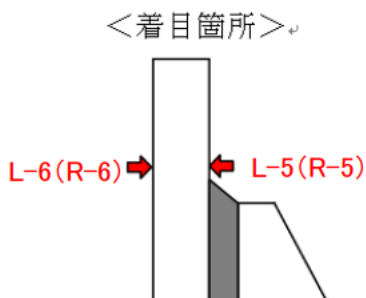
図 - 6.3.5 デッキ下面のひずみ



(a) 試験体 WI16

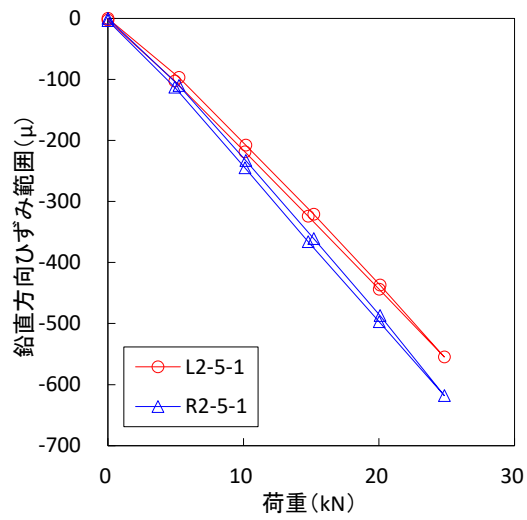
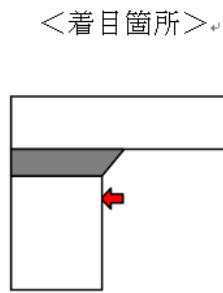


(b) 試験体 CI16

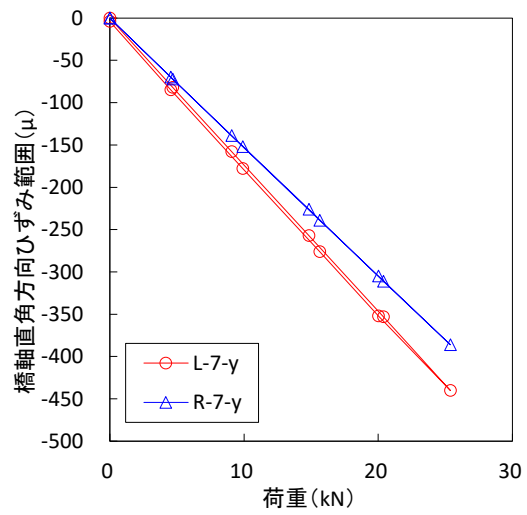
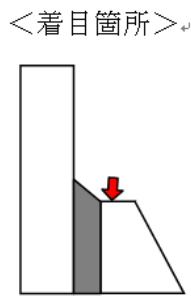


(c) 試験体 CO16

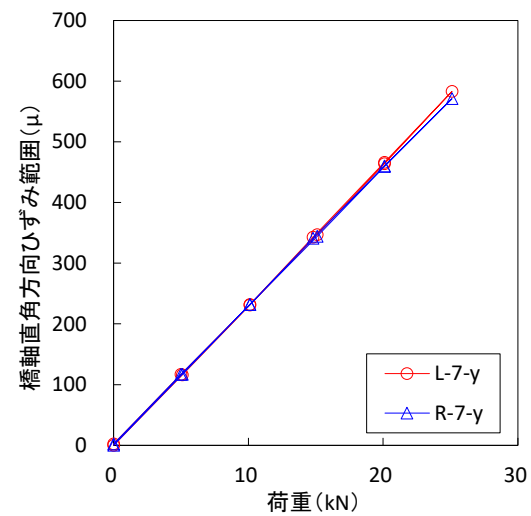
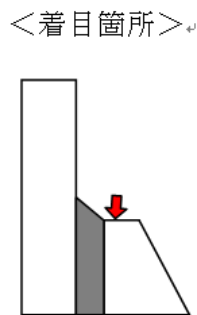
図 - 6.3.6 止端 10mm 位置の表裏のひずみ



(a) 試験体 WI16 (10mm 位置)



(b) 試験体 CI16 (5mm 位置)



(c) 試験体 CO16 (5mm 位置)

図 - 6.3.7 補剛材側止端近傍のひずみ

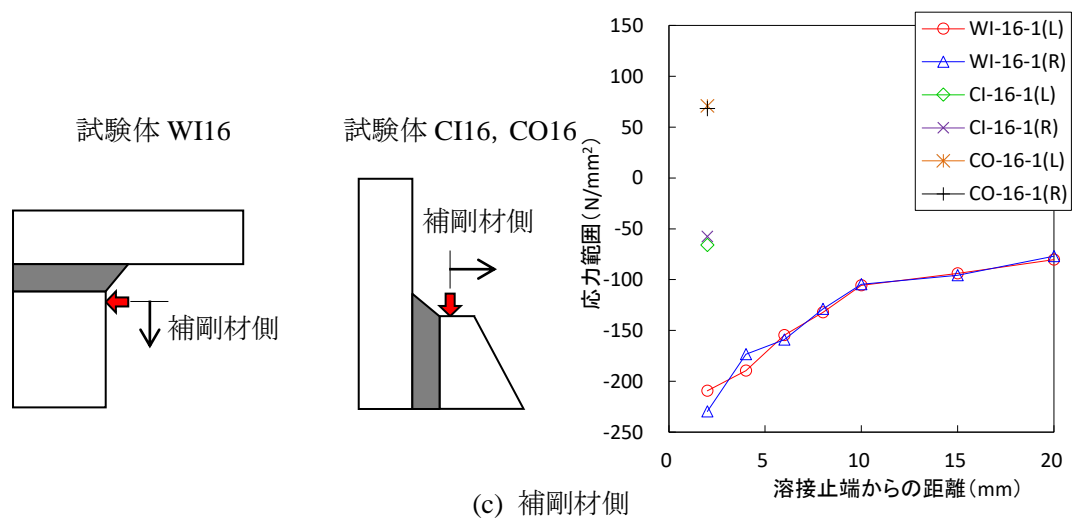
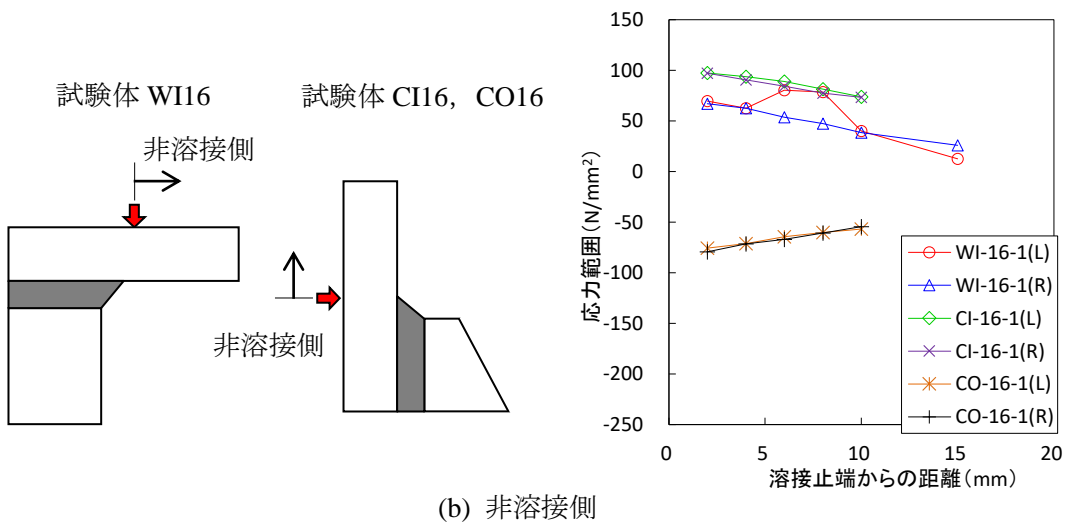
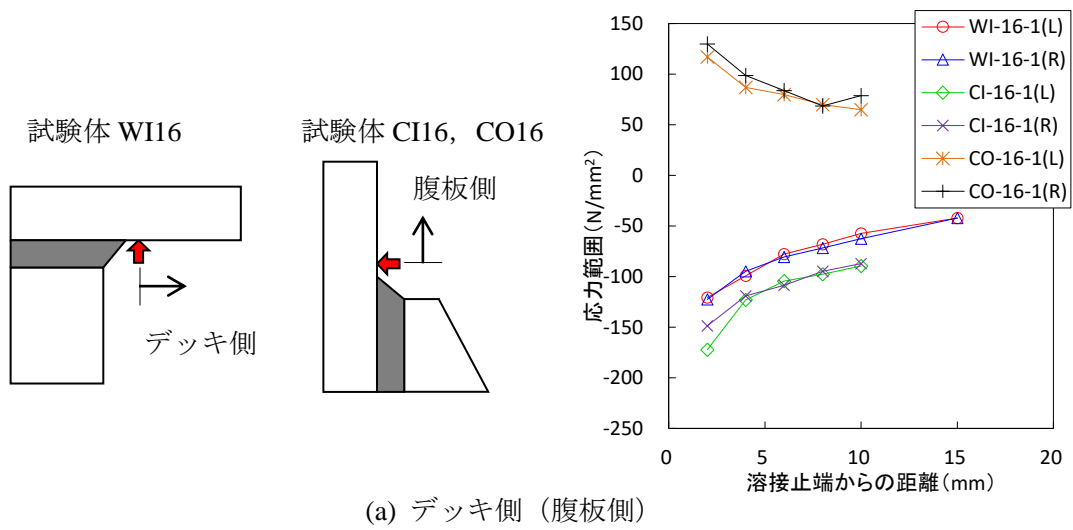


図 - 6.3.8 溶接止端の応力分布

6.4 疲労試験

6.4.1 試験方法

各試験体について、300万回までの繰返し載荷を基本として疲労試験を行った。なお、試験体 WI16 と CO16 では、き裂の進展性状を確認するために500万回まで繰返し載荷を行った。載荷速度は、3Hz～5Hz である。

荷重範囲は、下限荷重を15kNと一定とし、WI16では43kN、CI16では19kN、CO16では15kNとした。ここで、これらの荷重範囲は、前節に示したデッキプレート厚12mmのパネルモデルと試験体モデルの解析結果を比較し、パネルモデルにおいて100kNのダブルタイヤを載荷した時と、同等の応力範囲が生じるように調整したものである。一方、今回の疲労試験時には試験体のデッキプレート厚を16mmに変更したため、試験時の荷重範囲はデッキプレート厚12mmのパネルモデルにおいて100kNのダブルタイヤを載荷した場合とは対応していない。ただし、デッキプレート厚の違いが着目部の応力分布形状に及ぼす影響は小さいと考えられること、及び、100kNのダブルタイヤの載荷荷重に合わせないとしても局所応力に対する疲労強度評価は可能であるため、当初決定した荷重で疲労試験を実施することとした。

また、下限荷重15kNは、前述のとおり、試験体 WI16 においてデッキ上面のゴム板が接触する状態を考慮して設定した、試験システムの問題による便宜上の値である。試験体 WI16 及び CI16 のように、圧縮応力場を対象とした疲労試験では、一般に引張残留応力の存在により引張作用として応力が繰返されることによりき裂が発生するとされる。本研究の疲労試験では、載荷板の接触状態等を踏まえて、下限荷重を15kNに固定して載荷を行ったため、引張領域での応力範囲が実質的に小さくなっている可能性が考えられる。本来、このような疲労試験に際しては、下限値の設定に留意する必要がある。

疲労試験中は、まわし溶接止端近傍の表裏及び垂直補剛材側に貼付したひずみゲージ（止端から2mm位置）により動ひずみを計測し、き裂発生・進展の監視を行った。一般に疲労き裂の発生・進展とともに、き裂近傍のひずみの下限と上限の差（ひずみ範囲）が減少することから、本試験ではき裂の発生・進展の監視にひずみの変化を利用することとした。ひずみ計測のサンプリング周波数は500Hzとし、ひずみ範囲は5波形の最大・最小値の平均の差として整理した。表-6.4.1に各試験体の静的載荷時のひずみ範囲と、動ひずみ計を用いた5000回時のひずみ範囲を比較して示す。表中の値は、静的載荷時のひずみ範囲（図-6.3.8の止端から2mm位置の結果）を動ひずみ計により計測されたひずみ範囲で除したものである。対象とするひずみは、静的時と動的時での差は小さいものであった。また、1日1回程度の磁粉探傷試験によるき裂の目視確認を行った。

表 - 6.4.1 静的載荷時と動的載荷時のひずみ範囲の比率

| 試験体 | L側 比率(静的/動的) | | | R側 比率(静的/動的) | | |
|------|--------------|--------|----------|--------------|--------|----------|
| | デッキ側止端 | デッキ上面側 | 垂直補剛材側止端 | デッキ側止端 | デッキ上面側 | 垂直補剛材側止端 |
| WI16 | 1.03 | 1.01 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.06 |
| | 腹板側止端 | 腹板外面側 | 垂直補剛材側止端 | 腹板側止端 | 腹板外面側 | 垂直補剛材側止端 |
| CI16 | 0.97 | 0.96 | 0.98 | 0.95 | 0.96 | 0.95 |
| | 腹板側止端 | 腹板内面側 | 垂直補剛材側止端 | 腹板側止端 | 腹板内面側 | 垂直補剛材側止端 |
| CO16 | 1.06 | 0.99 | 0.98 | 1.09 | 1.00 | 0.98 |

6.4.2 試験結果

図 - 6.4.1、図 - 6.4.2 に止端から 2mm 位置におけるひずみ範囲（それぞれ、まわし溶接の腹板もしくはデッキプレート側止端、垂直補剛材側止端）を、図 - 6.4.3 に腹板もしくはデッキプレート側止端から 2mm 位置に対して、母板の裏面側のひずみ範囲を示す。前述のき裂発生の目視確認時点と、ひずみ範囲の変化時点との対応関係は明確でないが、少なくともき裂を確認した溶接止端側（写真 - 6.4.1）では載荷に伴いひずみ範囲は減少しており、き裂が生じることによるひずみの低下が確認できる。

図 - 6.4.4 に、まわし溶接部の母板側止端のひずみ範囲の変化に関して、初期ひずみ範囲に対する比率（ひずみ減少率）で整理した結果を示す。ここで、初期ひずみ範囲は 5000 回時のひずみ範囲とした。止端から外れて母板へのき裂進展が確認された時点でのひずみ減少率は、WI16 では 0.09 (232.3 万回時)、CO16 では 0.06 であり、ゼロに近い状態であった。CI16 (L 側) では 182 万回以降でひずみゲージの故障により計測不能となったが、182 万回時のひずみ減少率は 0.40 (243.7 万回時には、L 側で母板に数 mm 進展したき裂を確認) であった。CO16 では 50 万回時にき裂の開口が確認しており、その時点のひずみ減少率は 0.37 であった。以上を踏まえて、ここでは、ひずみ減少率が 0.4 程度となった時点で、既にき裂が発生していたものと仮定し、以下、各試験体について、0.4 時点での繰返し数をき裂発生時点として整理する。

図 - 6.4.5 にき裂長さの定義を、写真 - 6.4.1、写真 - 6.4.2 に磁粉探傷試験結果の例を示す。いずれの試験体においても疲労き裂の発生が確認された。目視により母板進展が確認された際のき裂の状況（き裂長さ）は、試験体 WI16 では R 側 25mm (232.3 万回時)、CI16 では L 側 27mm (243.7 万回時)、CO16 では R 側 25mm (145.7 万回時) であった。繰返し数 300 万回前後のき裂の状況は、試験体 WI16 では R 側 36mm(310.3 万回時(278.5 万回で 30mm))、CI16 では L 側 36mm(300 万回時)、CO16 では L 側 30mm、R 側 32mm(300 万回時)であった。なお、CO16 では、50 万回時に R 部においてき裂の開口を確認しており、比較的早い段階でひずみ範囲が減少していたことと対応している。

表 - 6.4.2 に、疲労試験結果と参照ひずみ範囲の一覧を示す。参照ひずみは静的載荷試験結果を疲労試験荷重範囲に換算した値（図 - 6.3.8 参照）であり、局所的な評価として止端から 2mm 位置のひずみ範囲、公称値的な値として、止端から 10mm 離れた位置のひずみ範

囲である。なお、止端から 10mm 離れた位置については、表裏に添付したひずみゲージの計測結果を用い、膜成分に曲げ成分の 4/5 を加えた値の場合も計算して併記した。

表 - 6.4.3 に、各試験体の 200 万回疲労強度の比較結果を示す。200 万回疲労強度は表 - 6.4.2 に示した参照ひずみ範囲より算出した応力範囲に対して算出している。試験体 WI16 と CI16 については 4 章に示した平均応力の影響を考慮して 1.3 倍した場合の値も示している。200 万回疲労強度を算出するにあたり、疲労強度曲線の傾きを表すべき乗数は 3 とした。200 万回疲労強度は試験体 WI16 を基準とした場合、平均応力の影響を考慮しないと試験体 CI16 では 1.4 倍程度、試験体 CO16 では 0.8 倍程度、平均応力の影響を考慮すると試験体 CO16 では 0.6 倍程度の疲労強度という結果となった。

表 - 6.4.4 はデッキプレート厚 16mm のパネルモデル（基本モデル）で最も発生応力が大きくなるケースについて、その発生応力に対して、ここで設定した疲労寿命に至るまでの荷重繰返し数を算出した結果である。試験体 CO16 の疲労強度は左右で低い方の値を用いている。評価する応力によって異なるものの、上端カットによる疲労耐久性向上が確認できる。

以上の結果は、溶接止端近傍に発生する応力が同程度であっても上端溶接の場合と上端カットの場合の疲労強度は異なり、上端溶接の場合と比較して上端カットの箱内に载荷する場合には高く、箱外に载荷した場合に低いということ、実橋を想定した発生応力を考慮すれば、上端カットにより疲労耐久性が向上することを示している。しかし、疲労強度の値やそれを評価するにあたっての適切な参照ひずみの設定、平均応力の影響を考慮する方法の妥当性、疲労強度曲線の傾きを表す係数 m の値等については、疲労試験結果を蓄積することにより検討が可能になると考えられ、今後の課題である。

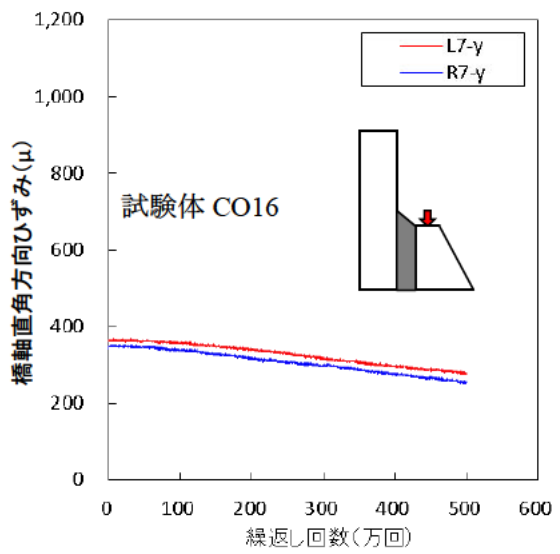
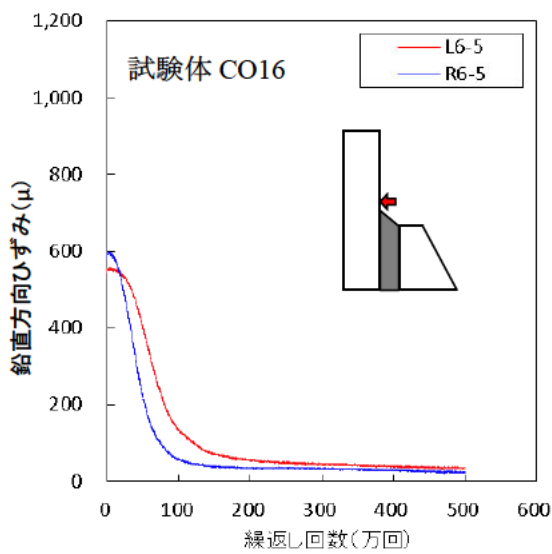
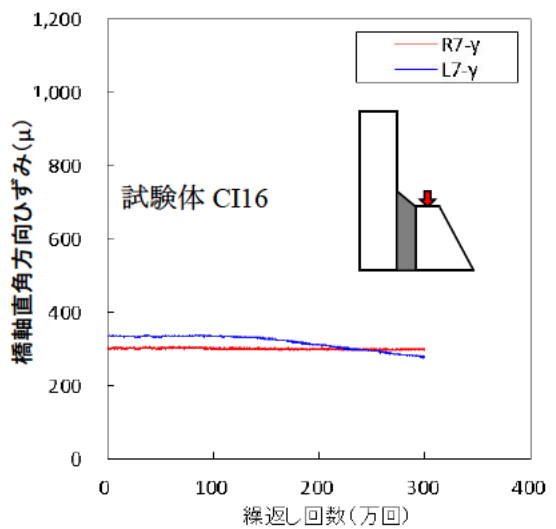
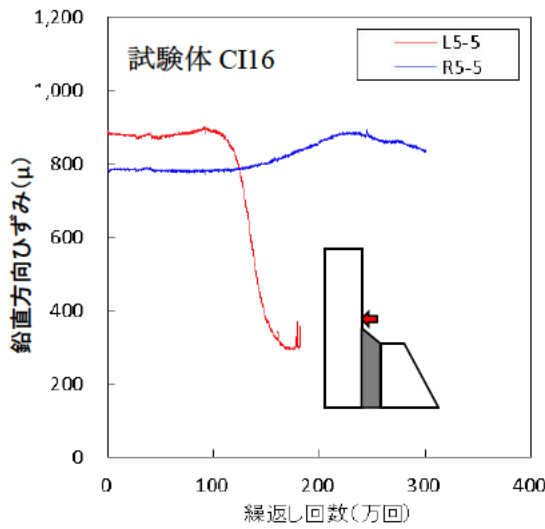
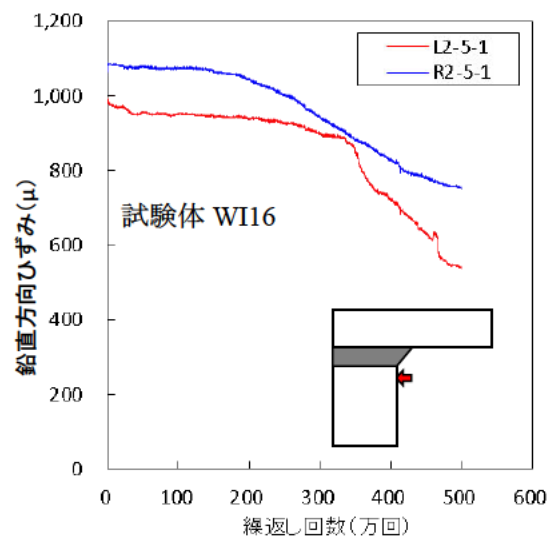
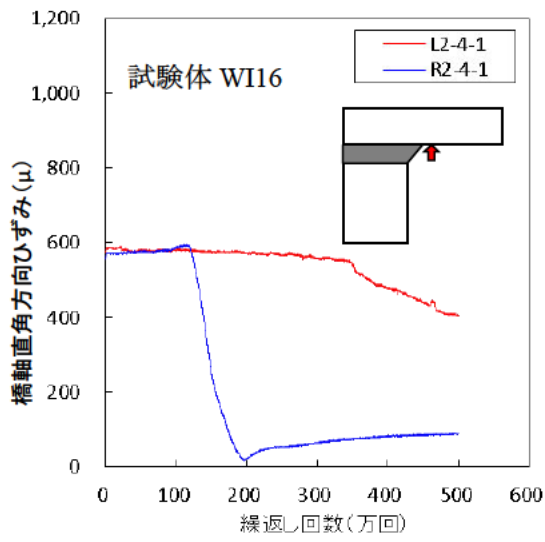


図 - 6.4.1 デッキ、腹板側溶接止端

図 - 6.4.2 垂直補剛材側溶接止端

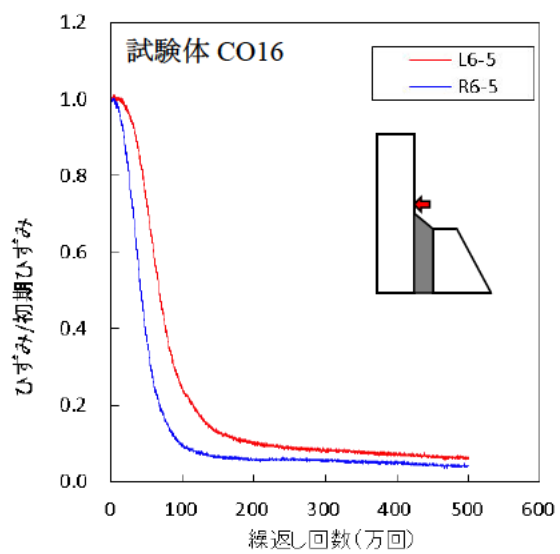
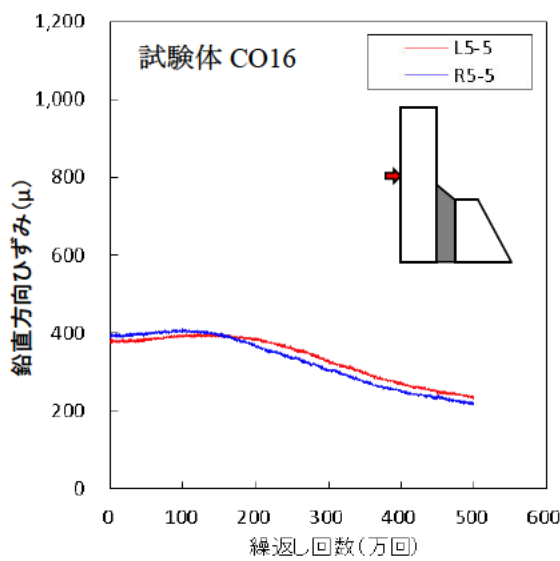
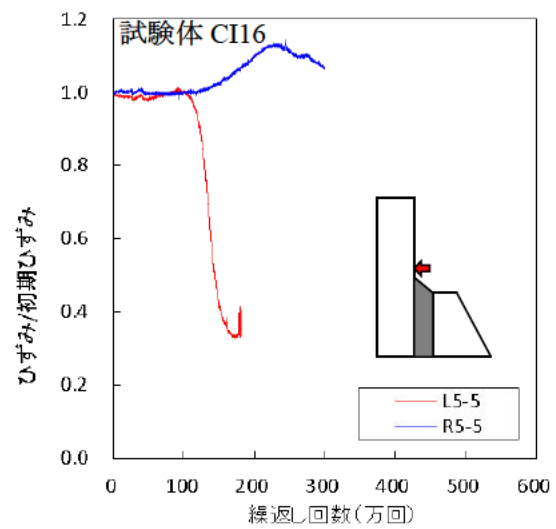
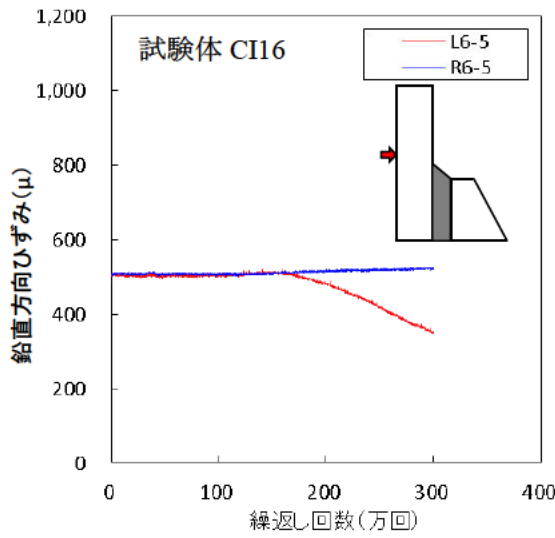
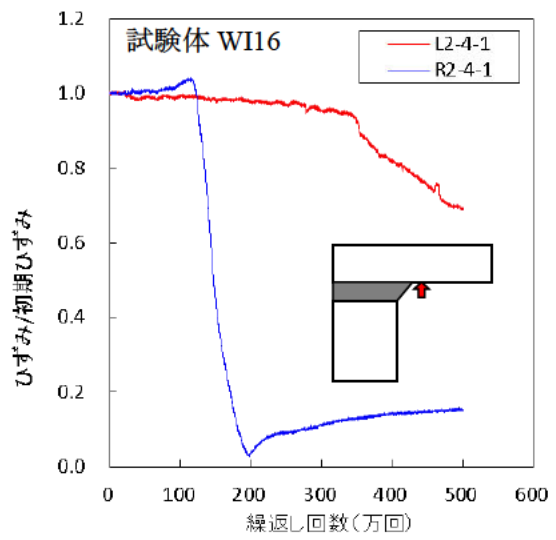
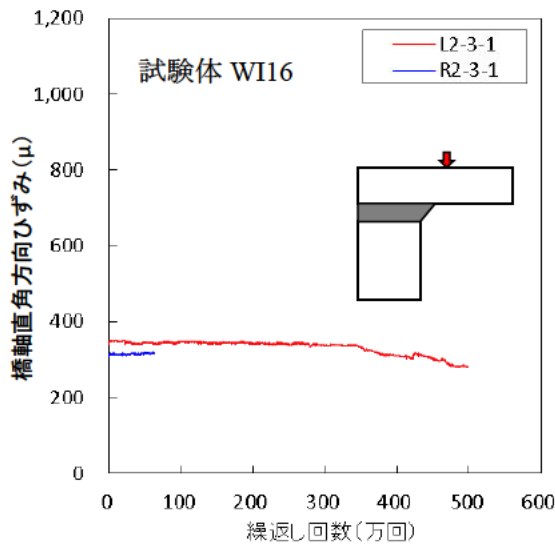


図 - 6.4.3 溶接止端の裏面側

図 - 6.4.4 初期ひずみに対する割合

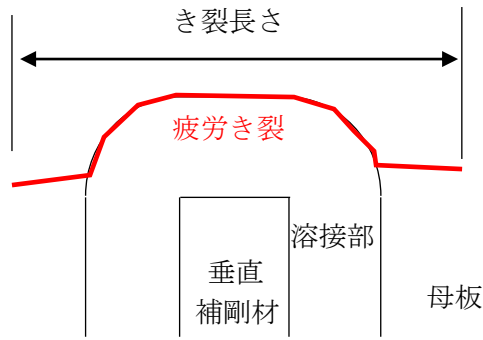


図 - 6.4.5 疲労き裂長さの定義

表 - 6.4.2 疲労試験結果一覧

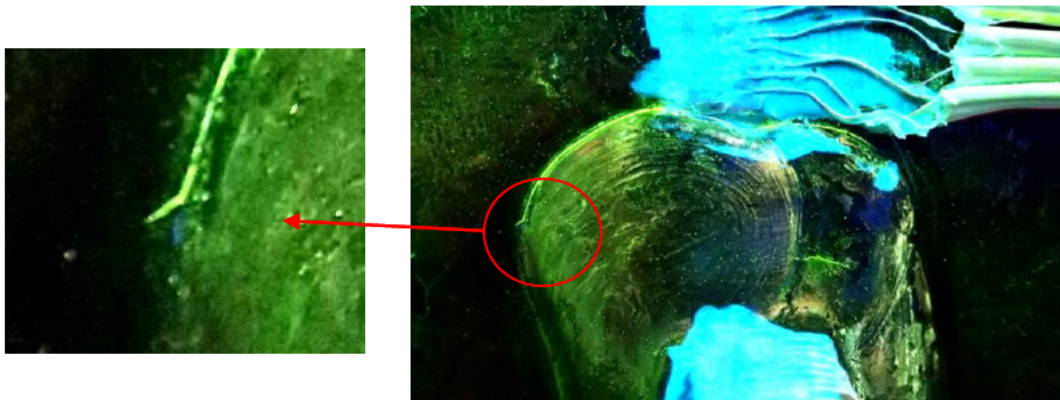
| 試験体 | 溶接箇所 | 0.4倍時 繰返し数 (回) | 参照ひずみ(μ) | | | 備考 |
|------|------|----------------------|----------------|------|------------|--------------------------|
| | | | 2mm | 10mm | 10mm 表裏 | |
| WI16 | L | - | -603 | -286 | -237 | ビード上に疲労き裂を検出(溶接欠陥の可能性あり) |
| | R | 1520000 | -612 | -313 | -262 | デッキプレート側に疲労き裂を検出 |
| CI16 | L | 1518000 | -861 | -447 | -366 | 腹板側に疲労き裂を検出 |
| | R | - | -743 | -435 | -355 | 未検出 |
| CO16 | L | 755840 | 585 | 326 | 265 | 腹板側に疲労き裂を検出 |
| | R | 472000 | 650 | 395 | 328 | 腹板側に疲労き裂を検出 |

表 - 6.4.3 各試験体における 200 万回疲労強度

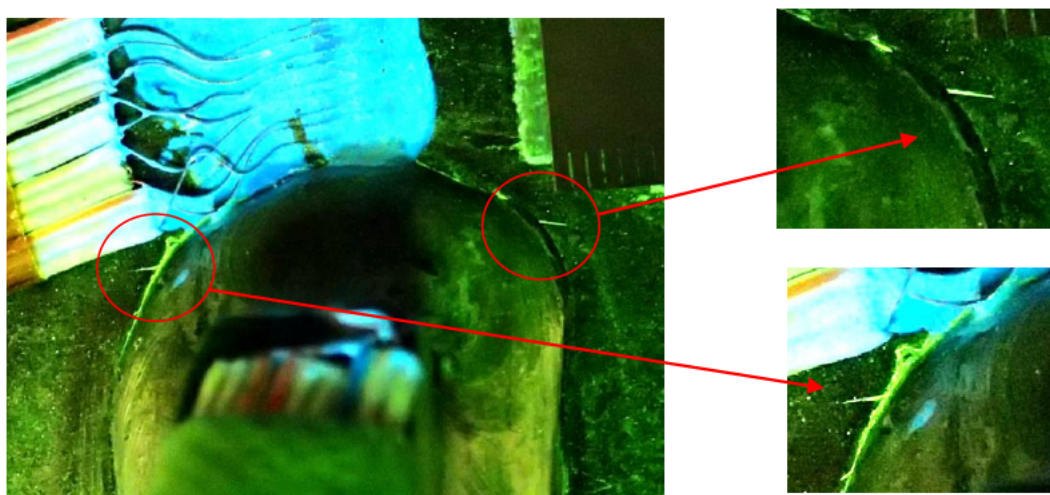
| 試験体 | 溶接箇所 | 参照応力範囲(N/mm^2) | | | | | |
|------|------|--------------------|------|--------|-----------|-------|--------|
| | | 平均応力の影響未考慮 | | | 平均応力の影響考慮 | | |
| | | 2mm | 10mm | 10mm表裏 | 2mm | 10mm | 10mm表裏 |
| WI16 | L | - | - | - | - | - | - |
| | R | 111.8 | 57.1 | 47.9 | 145.3 | 74.2 | 62.3 |
| CI16 | L | 157.0 | 81.6 | 66.7 | 204.1 | 106.1 | 86.7 |
| | R | - | - | - | - | - | - |
| CO16 | L | 84.6 | 47.1 | 38.3 | 84.6 | 47.1 | 38.3 |
| | R | 80.3 | 48.8 | 40.5 | 80.3 | 48.8 | 40.5 |

表 - 6.4.4 パネルモデル 100kN 载荷時に換算した場合の繰返し回数

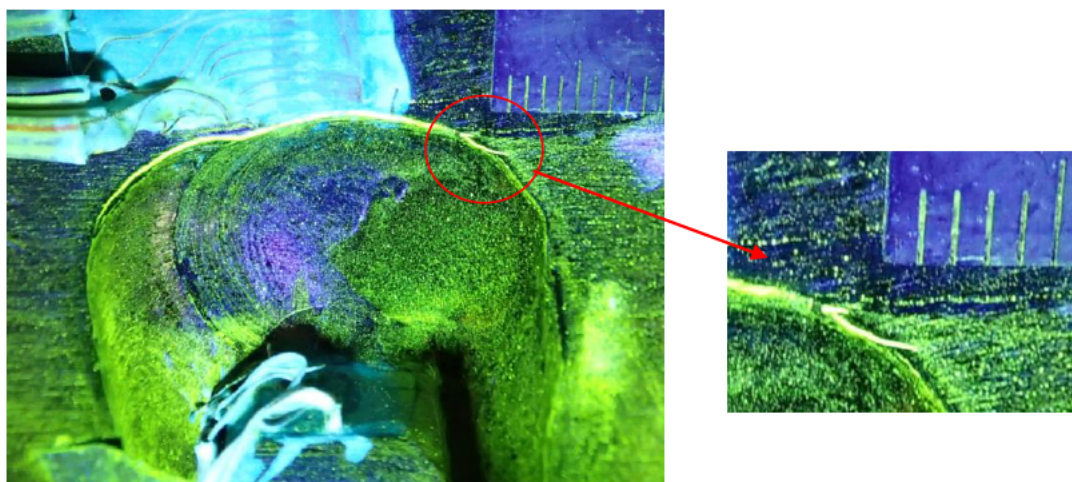
| 試験体 | 疲労寿命(cycles) | | | |
|------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | 平均応力の影響未考慮 | | 平均応力の影響考慮 | |
| | 2mm | 10mm | 2mm | 10mm |
| WI16 | 261,147 | 292,502 | 573,739 | 642,626 |
| CI16 | 3,900,544 | 2,194,937 | 8,569,495 | 4,822,276 |
| CO16 | 1,488,668 | 1,196,723 | 1,488,668 | 1,196,723 |



(a) 試験体 WI16 R側 (232.3 万回時)

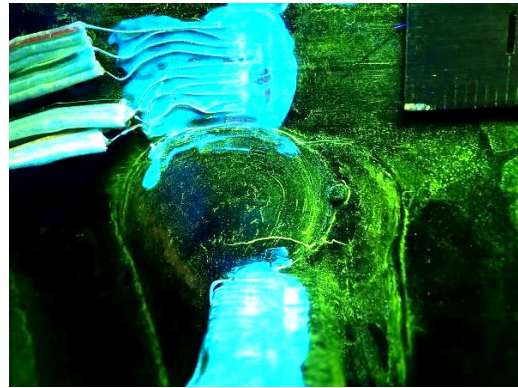


(b) 試験体 CI16 L側 (243.7 万回時)



(c) 試験体 CO16 R側 (145.7 万回時)

写真 - 6.4.1 磁粉探傷試験結果 (母板き裂の確認時)

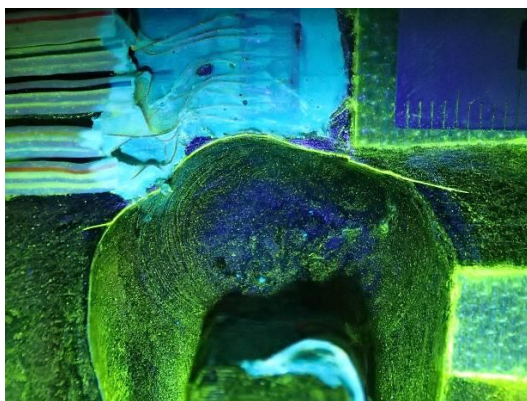


*参考 L側 (380.8 万回時)

(a) 試験体 WI16 R側 (310.3 万回時)



(b) 試験体 CI16 L側 (300 万回時)



(i)L側



(ii)R側

(c) 試験体 CO16 L側・R側 (300 万回時)

写真 - 6.4.2 磁粉探傷試験結果 (約 300 万回時)

6.5 まとめ

本章では、鋼床版デッキプレートー垂直補剛材上端溶接部を対象として、疲労耐久性を向上させる構造の提案のための実験的検討手法を示した。以下に、本検討で実施した疲労試験の方法と、試験を実施する際の留意点をまとめる。

①試験体構造の設定

疲労試験に用いた試験体は、解析的検討の結果をもとにその構造を設定した。具体的には、疲労試験条件下で最も厳しい状態となる止端部近傍の応力の分布形状を再現した小型試験体とした。また、疲労耐久性の評価にあたっては、き裂近傍のひずみ値の変化をもとにき裂が止端部に沿って発生した時点（目視確認可能な程度の長さの表面き裂の発生）の繰返し回数に着目している。

実構造での損傷発生メカニズムを再現可能な試験体構造とするために、実構造と試験体間で比較・参照する対象部位のひずみ・応力などを、解析的検討により整理した上で、その参照箇所に対して疲労耐久性の評価を行うのがよい。対象部位により試験体の構造、寸法形状や荷重載荷方法も異なるため、試験体構造の設定には十分な検討が必要である。その際、実構造と試験体間において解析モデル及び解析結果の整合性（例えば、対象部位の要素の寸法形状、き裂発生の主要因となる応力性状など）に留意する。また、試験体の製作にあたっては、実構造の溶接条件や製作誤差などに留意し、残留応力や溶接部の応力状態に大きく影響する要因についても実際の構造を適切に評価できるように慎重に検討する。試験体は、解析的検討や、解析では評価できない疲労強度のばらつき要因の影響を踏まえた上で、対象部位の疲労耐久性を評価する上で、信頼性を確保できる十分な数量とする必要がある。試験体構造によっては、実構造のき裂の発生・進展挙動をどの程度まで再現できるかが異なるため、疲労寿命（評価に用いるき裂の進展長さ）の設定に注意する。

②試験条件の設定

試験体構造の設定と並行し、止端部近傍の応力分布の規模が試験体でも同等となるように荷重の載荷条件を設定した。具体的には、所定の荷重を載荷した場合の鋼床版全体構造を対象とした解析的検討により算出された応力分布の再現による疲労試験を実施した。応力分布が同等となる載荷条件とすることで、疲労試験結果を実構造における疲労寿命と関連付けることができる。

試験体構造とその数量の設定と並行して、試験体と実構造の疲労寿命を関連づけられるように疲労強度の確認に必要な載荷荷重等の試験条件を設定するのがよい。

③静的載荷試験による試験体の応力性状の把握

疲労試験前に、静的載荷試験を行い溶接止端近傍のひずみ・応力性状を把握し、解析結果と比較することにより試験体の設置状況を確認した。

解析モデルと試験体の設置状況（支持条件、載荷部の条件、試験体の初期不整など）の相違により、解析どおりの応力分布が得られない場合があるので、疲労試験の実施前に静的載荷試験を行い、設置状況の確認を行うのがよい。ここで得られるひずみ・応力の計測値は、き裂が発生していない状態の初期値となるため、解析との比較を行いつつ適宜設置状況の調整を行うことが重要である。

④疲労試験による疲労強度の確認

疲労試験中にき裂の発生を特定するために、定期的に磁粉探傷試験を行うとともに、き裂の発生・進展に伴うひずみ範囲の挙動を監視した。本検討では疲労寿命をひずみ範囲の変化により特定し、参照応力範囲と繰返し数の関係から疲労強度を算出した。各構造間の疲労強度の相対比較を行うことにより、疲労耐久性の向上を確認した。

実構造との損傷発生メカニズムの整合性と疲労寿命を確認するために、き裂発生・進展の状況と対応する繰返し回数を計測する必要がある。計測にあたっては、設定した寿命を適切に評価することができるように、磁粉探傷試験や対象部位近傍のひずみ計測の要否・頻度など、き裂の発生回数やき裂長さの確認方法を設定するのがよい。なお、ひずみ計測によりき裂の発生を特定する場合には、き裂長さとひずみ範囲の変化の関係を併せて計測しておく必要がある。

7. まとめ

本研究では、鋼床版の疲労耐久性向上対策として構造詳細の最適化を図るため、道路橋ごとに異なる構造諸元や輪荷重の載荷位置などの多様な条件に対して、疲労耐久性がより優れた構造詳細を合理的かつ効果的に見出すための手法について検討を行った。構造詳細の検討手順や概要を示すとともに、提示した手法に従い、疲労耐久性がより優れた構造詳細を実際に検討することにより、手法の妥当性の検証を行った。

本研究で提案及び検証した構造詳細の最適化の検討手法（手順及び概要）は以下のとおりである。

① 損傷発生リスク低減を図る部位の選定

新たに報告された損傷に対して、現行構造（現行基準において標準とされている構造詳細）で対応できていない場合、疲労耐久性を確保した構造詳細（提案構造）についてさらなる提案余地があるかどうか検討する。

② 疲労損傷の発生メカニズムの解明

提案構造を検討するにあたり、現行構造における損傷要因の条件を確実に低減するためには、損傷発生メカニズムを明確にすることが重要である。そのため、既往の研究の分析や FEM 解析から損傷部位の局部応力の発生要因の分析を行うとともに、着目する応力の決定を行う。

また、局部応力は載荷位置や構造諸元が影響することも考えられる。例えば、橋軸直角方向及び橋軸方向の輪荷重位置と対象構造位置との関係、鋼床版デッキプレートや対象部材の寸法、主桁ウェブや縦リブ等の隣接部材との取合いや鋼床版の支持条件などの構造諸元が想定される。これらの様々な条件での FEM 解析により、疲労条件下として厳しい状態についても把握する。

③ 損傷発生リスク低減策のコンセプトの提示

損傷発生メカニズムに対応した損傷発生リスク低減策の基本的なコンセプトを明確にし、着目する局部応力を緩和させるメカニズムを有する提案構造を提示する。このとき提案構造は、製作性・施工性を考慮して設定する。

④ 提案構造の応力性状の確認

提案構造を対象とした FEM 解析を実施し、現行構造に対して、着目する局部応力が緩和されることを確認する。また、構造寸法をパラメータとした FEM 解析を実施し、最適な構造寸法を提示する。提示した構造寸法は、疲労条件下に厳しい状態であっても、応力の緩和が期待できるように設定する。

⑤ 提案構造の耐荷性能の確認

応力低減効果が認められる提案構造は、所要の耐荷性能を満足するものである必要がある。そこで、弾塑性 FEM 解析を実施し、現行構造との比較検討などを行い、橋梁部材としての耐荷性能を満足する構造であるかを確認する。

⑥ 提案構造の製作性・施工性の確認

提案構造は、所要の製作性・施工性を有する必要がある。製作施工時の入熱により母材が変形することや部材間隔が狭いなど、製作施工において困難が予想される場合、切断試験や溶接試験を実施し、製作性・施工性に問題ないことを確認する。

⑦提案構造の疲労耐久性の向上効果の確認

着目する局部応力が緩和され、且つ製作性・施工性に問題がないことが確認された提案構造に対して、損傷発生メカニズムを再現した疲労試験を実施することにより、疲労耐久性を確認する。なお疲労試験は、現行構造と提案構造の疲労強度の比較による相対評価を基本とする。

また本研究では、鋼床版の疲労損傷の中でも損傷事例が多い主桁および縦桁における垂直補剛材上端溶接部に対して、疲労耐久性の高い構造詳細を提案するための検討例を示した。検討において提案した構造詳細は、垂直補剛材上端部のデッキプレートとの溶接をなくし、現行構造のスカルップサイズと同じサイズのギャップを設けるものである。

これらの部位の応力性状は、縦リブ断面や縦リブ支間長、縦リブ配置、デッキプレート厚などの構造諸元によって異なり、提案される構造詳細の応力緩和の効果も異なると考えられた。そこで、既設橋の実態調査を行い、鋼床版で主に用いられる構造諸元を対象としたパラメトリック解析を実施し、構造諸元ごとに、発生する局部応力や低減効果が異なることを確認した。また、輪荷重の載荷位置を橋軸方向および橋軸直角方向に変化させ、その影響範囲を確認するとともに、載荷位置によって発生応力が異なることを確認した。

一方で、構造詳細の改良によって他の部位で新たに生じる影響についても確認しておく必要がある。今回の改良案では、疲労損傷発生部位である垂直補剛材上部のデッキプレートとの溶接部がなくなるが、垂直補剛材と腹板の回し溶接部の疲労損傷の発生が懸念されたため、発生応力について確認した。

また、構造詳細の検討に当たっては、耐久性の検証だけでなく、耐荷性能が確保されていることについても検証しておく必要がある。曲げ耐荷力については既往の報告があるため、今回の検討では、腹板の耐荷力の低下と、腹板のせん断耐荷力およびクリップリングに対する安全性を解析的に検討した。

解析的検討により有効性が示された提案構造に対して、実験的検討により疲労耐久性の確認が必要である。本検討では、パラメトリック解析で確認した影響範囲に対して小型試験体によりモデル化を行い、疲労試験を実施した。事前に静的載荷試験を行い、応力状態の確認により試験方法の妥当性を確認するとともに、疲労試験におけるき裂発生時の確認方法や参照応力と繰り返し回数から疲労強度を算出する方法について、一例を示した。

提案構造において、腹板の垂直補剛材が取り付く面と反対側に足場用吊金具を取り付けた場合、この足場用吊金具の上端部に大きな応力が発生することが報告されている。しかし、この応力は取り付け方によって大きさが著しく異なると考えられるため、このような影響の小さい取り付け方法を検討し、提案した。

参考文献

第1章

- 1-1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II鋼橋編、2002.3.
- 1-2) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、2002.3.

第2章

- 2-1) 土木学会：鋼構造シリーズ19 鋼床版の疲労（2010年改訂版）、2010.12
- 2-2) 杉山裕樹、田畑晶子、春日井俊博、石井博典、井口進、清川昇悟、池末和隆：鋼床版のUリブー横リブ交差部における下側スリット部の疲労耐久性向上構造の検討、土木学会論文集 A1、Vol.70、No.1、pp.18-30、2014.2
- 2-3) 栗原康行、鞆一：GFRP製密閉ダイヤフラムを用いた縦桁ー横リブ交差部の疲労強度向上検討、土木学会第64回年次学術講演会概要集、I-156、pp.311-312、2009.9
- 2-4) 三木千壽、館石和雄、奥川淳志、藤井裕司：鋼床版縦リブ・横リブ交差部の局部応力と疲労強度、土木学会論文集、No.519/I-32、pp.127-137、1995.7
- 2-5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II鋼橋編、2012.3.
- 2-6) 土木学会：鋼構造シリーズ4 鋼床版の疲労、1990.9
- 2-7) 神木剛、下里哲弘、弓削太郎：鋼床版箱桁ウェブの垂直補剛材溶接部の疲労き裂対策検討、土木学会第60回年次学術講演会概要集、I-398、pp.793-794、2005.9
- 2-8) 高田佳彦、川上順子、酒井優二、坂野昌弘：半円切欠きを用いた既設鋼床版橋主桁垂直補剛材上端溶接部の疲労対策、鋼構造論文集、第16巻、第62号、pp.35-46、2009.6
- 2-9) 梶原一夫、木暮深、古閑俊之：鋼床版橋に生じた疲労亀裂の補修・補強、土木学会第46回年次学術講演会概要集、I-193、pp.424-425、1991.9
- 2-10) 平林泰明、牛越裕幸、木ノ本剛：首都高速道路における鋼床版疲労損傷、鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集 Vol.10、pp.39-53、2007.8
- 2-11) 関惟忠、西岡敬治、乙黒幸年、佐藤徹：鋼床版デッキプレートと垂直補剛材の溶接部に発生した疲労損傷の補修方法、第5回鋼構造の補修・補強技術報告会論文集、pp.37-46、1996.6
- 2-12) 公門和樹、森猛、田中雅人、宮原幸春、小芝明弘：鋼床版垂直スチフナーすみ肉溶接部の疲労を考慮した補強方法、土木学会第60回年次学術講演会概要集、I-501、pp.999-1000、2005.9
- 2-13) 永崎央輔：鋼床版垂直補剛材廻し溶接部のリフトアップ工法による補強方法の検討、東京鉄骨橋梁技術報、No.53、pp.83-90、2007.11
- 2-14) 石川誠、江崎正浩、村越潤、有馬敬育：鋼床版デッキプレートと主桁ウェブ垂直補剛材溶接部の疲労損傷補修・補強構造検討、土木学会第61回年次学術講演会概要集、I-541、pp.1079-1080、2006.9
- 2-15) 沢井達明、村岸治、道場康二、梅田聡、大垣賀津雄、杉浦江、下里哲弘：鋼床版垂直補剛材溶接部

- への樹脂補強ブロックの適用検討、土木学会第 61 回年次学術講演会概要集、I-538、pp.1073-1074、2006.9
- 2-16) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、2002.3
- 2-17) 高田佳彦、川上順子、青木康素、坂野昌弘、酒井優二：半円切欠き工法による鋼床版垂直補剛材溶接部の疲労対策の検討、鋼構造年次論文報告集、第 15 巻、pp.343-350、2007.11
- 2-18) 西垣裕二、石橋孝之、坂野昌弘、酒井優二：切欠きによる鋼床版と主桁垂直補剛材上端の溶接部の応力集中低減、土木学会第 62 回年次学術講演会概要集、I-007、pp.13-14、2007.9
- 2-19) 吉岡利樹、高木達弘、中村桂久、肖志剛：鋼床版箱桁橋の垂直補剛材・デッキプレート回し溶接部の疲労き裂に対する対策検討、土木学会第 61 回年次学術講演会概要集、I-539、pp.1075-1076、2006.9
- 2-20) 渡邊直起、山田聡、山田健太郎、中村桂久、高木達弘：鋼床版デッキプレートと垂直補剛材溶接部の疲労強度と補修工法の効果、トピー鉄構技報、No.23、pp.14-22、2007.7
- 2-21) 山田健太郎、小藪江朋堯、小塩達也：垂直補剛材と鋼床版デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験、鋼構造論文集、第 14 巻 第 55 号、pp.1-8、2007.9
- 2-22) 小野秀一、下里哲弘、増井隆、町田文孝、三木千壽：既設鋼床版の疲労性能向上を目的とした補強検討、土木学会論文集、No.801/I-73、pp.213-226、2005.10
- 2-23) 高田佳彦、中島隆、松岡和巳：鋼床版における超音波衝撃処理の試験施工、土木学会第 63 回年次学術講演会概要集、I-221、pp.441-442、2008.9
- 2-24) 富永知徳、高田佳彦、中島隆、松岡和巳：超音波衝撃処理された鋼床版鉛直スティフナーに関する局部応力を考慮した疲労性能評価、土木学会論文集 A、Vol.66、No.2、pp.273-285、2010.
- 2-25) 柿市拓巳、石川敏之、山田健太郎：鋼床版箱桁橋の垂直補剛材直上き裂への ICR 処理の施工試験、鋼構造年次論文報告集、第 17 巻、pp.351-358、2009.11

第 3 章

- 3-1) 三木千壽：橋梁の疲労と破壊-事例から学ぶ-、朝倉書店、2011.10
- 3-2) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、2002 年 3 月

第 4 章

- 4-1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編、2014.3.
- 4-2) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、2002.3.
- 4-3) 土木学会：鋼床版の疲労 2010 年改訂版、2010.12.
- 4-4) 森猛、長田樹、大住圭太：鋼床版デッキプレート・垂直スティフナ溶接部に生じる疲労き裂の再現と起点の検討、鋼構造論文集、第 21 巻 第 82 号、pp.87-98、2014.6.
- 4-5) 藤井裕司、西川和廣、村越潤、田中良樹：鋼床版のデッキプレートとスティフナの溶接部の疲労試験、土木学会第 47 回年次学術講演会講演集、I-129、pp.434-435、1992.9.
- 4-6) 鈴木巖、加賀山泰一、岩崎雅紀：鋼床版における疲労損傷の防止検討、第 18 回日本道路会議論文集、

pp.200-202、1989.10.

- 4-7) Iwao SUZUKI、Taiichi KAGAYAMA、Masanori IWASAKI : EFFECT OF LONGITUDINAL RIB SPACING ON DEFORMATION OF ASPHALT PAVEMENT AND FATIGUE OF WELDS IN ORTHOTROPIC STEEL DECK BRIDGE、Structural Eng./Earthquake Eng.、Vol.8, No.2、pp.45s-54s、1991.6.
- 4-8) 高田佳彦、川上順子、酒井優二、坂野昌弘：半円切欠きを用いた既設鋼床版橋主桁垂直補剛材上端溶接部の疲労対策、鋼構造論文集、第16巻第62号、pp.35-46、2009.6.
- 4-9) 高田佳彦、田畑晶子、坂野昌弘：既設Uリブ鋼床版に発生している疲労き裂に関するマクロ分析、鋼構造年次論文報告集、第17巻、pp.329-336、2009.11.
- 4-10) 例えば、山田健太郎：重交通下における鋼床版の疲労損傷—名古屋周辺での事例—、鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、Vol.10、pp.11-18、2007.8.
- 4-11) 村越潤、程小華、西川和廣：実測局部応力に基づく鋼床版細部構造の疲労評価、鋼構造年次論文報告集、第5巻、pp.191-198、1997.11.
- 4-12) 志賀弘明、津野和宏、山本泰幹：鋼床版の垂直補剛材形状が疲労強度に与える影響に関する疲労試験、土木学会第64回年次学術講演会講演集、I-152、pp.303-304、2009.9.
- 4-13) 本州四国連絡橋公団：鋼床版設計要領・同解説、2001.4.
- 4-14) 岩崎雅紀、永田考、西川武宏、小塩達也、山田健太郎：アスファルト舗装が鋼床版の疲労に及ぼす影響、土木学会論文集、No.563/I-39、pp.161-171、1997.4.
- 4-15) 井口進、内田大介、川畑篤敬、玉越隆史：アスファルト舗装の損傷が鋼床版の局部応力性状に与える影響、鋼構造論文集、第15巻第59号、pp.75-86、2008.9.
- 4-16) 井口進、内田大介、平山繁幸、川畑篤敬：鋼床版のデッキとUリブ溶接部の疲労寿命評価法に関する検討、土木学会論文集A1、Vol.67 No.3、pp.464-476、2011.
- 4-17) 程小華、西川和廣、村越潤、福地友博、大橋治一：鋼床版デッキプレートと主桁垂直補剛材の溶接部の疲労に関する検討、土木学会第52回年次学術講演会講演集、I-A252、pp.502-503、1997.9.
- 4-18) 八木順吉、町田進、富田康光、的場正明、川寄哲郎：ホットスポット応力基準による平板構造の疲労強度評価（第一報）、日本造船学会論文集、第169号、pp.311-318、1991.6.
- 4-19) 建設省土木研究所：本州四国連絡橋の設計施工に関する調査試験研究報告、土木研究所資料、部内資料第135号、1997.3.
- 4-20) 三木千尋：橋梁の疲労と破壊 - 事例から学ぶ -、朝倉書店、2011.10.
- 4-21) 三木千尋、小野潔、船戸啓二、鈴木啓悟：垂直補剛材上端部にウェブギャップを有する鋼箱桁橋の強度特性、土木学会第65回年次学術講演会講演集、I-114、pp.227-228、2010.9.
- 4-22) 多田宏行 編著：橋面舗装の設計と施工、鹿島出版会、1996.3.

第5章

- 5-1) 久保全弘、張耿輔、小川喜睦：局所荷重を受けるプレートガーダーの耐荷性能、構造工学論文集、Vol.46A、

p.161-169, 2000.3

- 5-2) 宮下健治, 野上邦栄, 山沢哲也: 鉛直局部荷重を受ける合理化桁腹板のクリッピングとその補強方法, 構造工学論文集, Vol.54A, p.80-89, 2008.3
- 5-3) 三木千壽: 橋梁の疲労と破壊-事例から学ぶ-, 朝倉書店, 2011.10
- 5-4) 三木千壽, 小野潔, 船戸啓二, 鈴木啓悟: 垂直補剛材上端部にウェブギャップを有する鋼箱桁橋の強度特性, 土木学会第 65 回年次学術講演会, I-144, 2010.9
- 5-5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2012.3.
- 5-6) 山本泰幹, 齊藤亮, 川畑篤敬, 横山薫, 矢ヶ部彰, 江崎正浩: 鋼床版デッキプレートと垂直補剛材溶接部の改良ディテールの腹板補剛機能の検討, 第 60 回土木学会年次学術講演会講演会概要集, CS10-015、pp.329-330, 2005.9.
- 5-7) 土木学会: 座屈設計ガイドライン改訂第 2 版 [2005 年版], 2005.10
- 5-8) 奈良敬, 小倉勉: 垂直補剛材長を考慮した純せん断を受ける腹板パネルの極限強度, 鋼構造年次論文報告集, 第 3 巻, pp.321-328, 1995.11
- 5-9) 奈良敬, 出口恭司, 福本喙士: 純せん断応力を受ける鋼板の極限強度特性に関する研究, 土木学会論文集, 第 392 号, pp.265 - 271, 1988.4

付属資料

付属資料 1 スリット形状の製作施工性を対象とした切断試験及び溶接試験

参考資料 1 切断性確認試験の外観写真

参考資料 2 溶接性確認試験の外観写真

付属資料1 スリット形状の製作施工性を対象とした切断試験及び溶接試験

1. 序論

1.1 本編との位置づけ

本研究では、疲労耐久性により優れた構造詳細を合理的かつ効果的に見出すための検討手法を提案している。本編では、主桁および縦桁における垂直補剛材上端溶接部に対して、疲労耐久性の高い構造詳細を提案するための検討例を示しているが、その構造は製作性・施工性に問題ないことから、その検証を行っていない。

そこで本検討では、図-付 1.1 に示す閉断面リブ（Uリブ）の面外曲げ変形に対する疲労耐久性を考慮した横リブ交差部のスリット形状の構造詳細を検討する場合を例にとり、提案構造が所要の製作性・施工性を有することを確認する方法について検討した。

1.2 検討対象とした部位

疲労指針¹⁾では、「縦リブと横リブまたは横桁交差部では、原則として縦リブ、及び縦リブとデッキプレートの縦方向溶接を連続させなければならない。縦リブが貫通する中間横リブまたは横桁では、開口部の影響による剛性の低下に配慮しなければならない。」と規定されている。ここで示された形状は、発刊以前の疲労試験等により確認された疲労耐久性に優れた構造詳細の一つとして定められており、主に横リブの面内変形によるスリット母材を起点とした疲労損傷を考慮して規定されている。しかし、近年、閉断面縦リブ（以下、Uリブという）と横リブ等の交差部のスリット溶接部において、疲労き裂が数多く検出されている²⁾（図-付 1.1 参照）。この疲労き裂の内、Uリブ側を起点とする疲労き裂は、輪の偏心載荷に伴うUリブウェブの面外曲げが横リブ等で拘束されることにより生じるとされており、疲労指針発刊時には想定されていない挙動によるものである。よって、Uリブの面外曲げ変形による疲労耐久性を考慮した横リブ交差部のスリット形状の構造詳細を検討することとした。

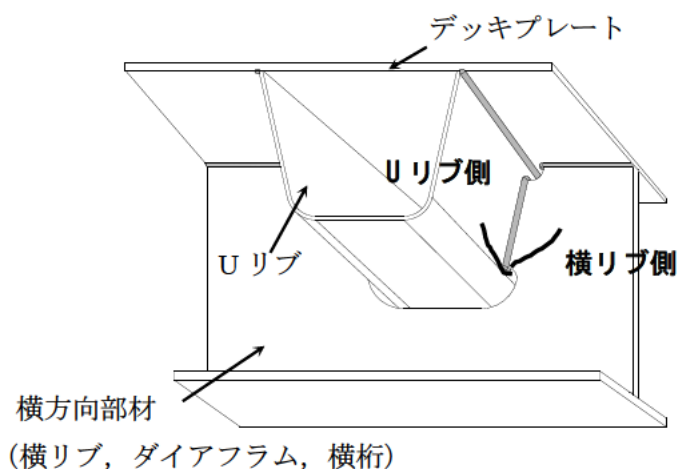


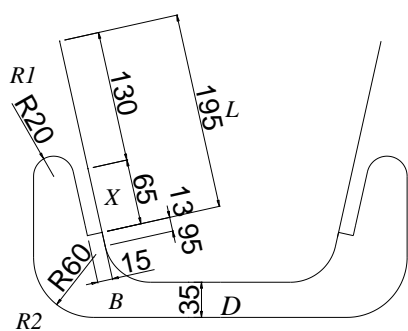
図-付 1.1 スリット溶接部に生じる疲労き裂

1.3 提案構造

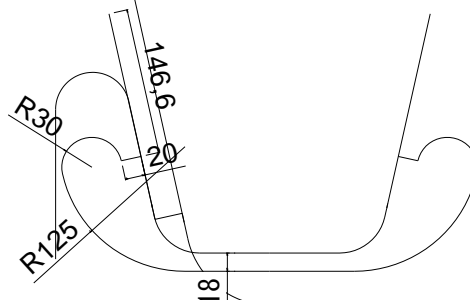
別途実施した FEM 解析により、スリット溶接部の局部応力は、着目位置によらず、Uリブに対する偏心載荷時にUリブの面外曲げ変形が生じ、その変形を横リブが拘束することで集中することを明確にしている³⁾。ここでは、局部応力を緩和させるために、横リブウェブを切り欠くことで横リブウェブの拘束度の緩和を図る提案構造とした。

提案構造を図-付 1.2 に示す。図-付 1.2(a) は、スリット溶接部において、横方向部材によるUリブの面外曲げ変形の拘束を緩和し、Uリブ側と横方向部材側の両者の溶接止端の応力軽減を図るとともに、周囲に新たな疲労の弱点を生じさせないことに配慮した形状としている。スリットの寸法は、別途実施した溶接長 L と切上げ高さ X を変えた場合の解析結果を考慮し、溶接長 L を 195mm、切上げ高さ X を 65mm とした。

図-付 1.2(b) は、実橋に適用するうえで、(a) の基本スリット形状（以下、当初提案形状という）の性能を踏襲しつつ更なる製作性の向上を目的としたものであり、まわし部を上方に移動させることにより、Uリブ変形に対する横方向部材の拘束を緩和させるものである。既往の検討において、現行形状に対する局部応力の低減効果が確認されている。擦り付け幅 B は、切断時のまわし部の溶け落ちを考慮して、10mm、15mm あるいは 20mm とした。



(a) 当初提案構造



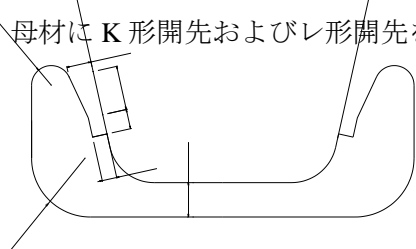
(b) 上方まわし形状

図-付 1.2 提案構造

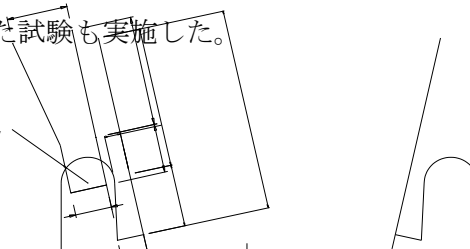
1.4 試験目的

提案構造では、製作時の切断や溶接の入熱により、擦り付け部の溶け落ちや変形が懸念される。具体的には、擦り付け幅が小さい場合、あるいは横リブ腹板厚が大きい場合、切断時に母材の溶け落ちが、また、横リブの腹板厚が小さい場合、溶接時に母材の溶け落ちが懸念される。そのため、製作施工が可能な擦り付け幅 (B) と横リブ腹板厚について検討する目的で、当初提案形状と上方まわし形状に対する切断性確認試験と溶接性確認試験を実施した。なお、上方まわし形状は切断性に問題ないため、溶接性確認試験のみとした。

切断性確認試験は、レーザー切断あるいはプラズマ切断で行い、横リブ腹板厚と擦り付け幅をパラメータとして実施した。また、溶接性確認試験は、溶接姿勢が立向きと横向きの2ケースと、さらに材片間の隙間が 3.0mm より大きくなった場合の完全溶け込み溶接を想定し、母材に K 形開先およびレ形開先を施した試験も実施した。



資料-2



2 試験内容

2.1 切断性確認試験

(1) 試験体

切断性確認試験は、レーザー切断あるいはプラズマ切断で行う。横リブ腹板厚は、レーザー切断では 9, 12, 16mm の 3 種類とし、プラズマ切断では 9, 12, 16, 19, 22mm の 5 種類とした。なお、材質は SM490 材、表面処理は黒皮とし、開先加工にはロボットガス切断機を適用した。鋼材の機械的性質と化学成分を表-付 2.1 に、試験体形状を図-付 2.1 に示す。

表-付 2.1 鋼材の機械的性質と化学成分

| 板厚 | σ_Y (N/mm ²) | σ_b (N/mm ²) | 伸び (%) | 化学成分 (%) | | | | |
|----|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| | | | | C | Si | Mn | P | S |
| 6 | 581 | 483 | 22 | 0.16 | 0.36 | 1.41 | 0.016 | 0.003 |
| 9 | 529~537 | 376~397 | 26~29 | 0.15~0.16 | 0.34~0.37 | 1.39~1.54 | 0.012~0.018 | 0.002~0.003 |
| 12 | 516~559 | 350~426 | 26~28 | 0.16 | 0.27~0.36 | 1.41~1.45 | 0.011~0.014 | 0.002~0.005 |
| 16 | 519~531 | 361~401 | 26~29 | 0.15~0.16 | 0.35~0.38 | 1.41~1.54 | 0.011~0.014 | 0.002~0.005 |
| 19 | 514 | 347 | 30 | 0.16 | 0.36 | 1.42 | 0.015 | 0.003 |
| 22 | 514~532 | 347~376 | 28~30 | 0.15~0.17 | 0.36~0.40 | 1.40~1.42 | 0.015~0.017 | 0.003~0.006 |

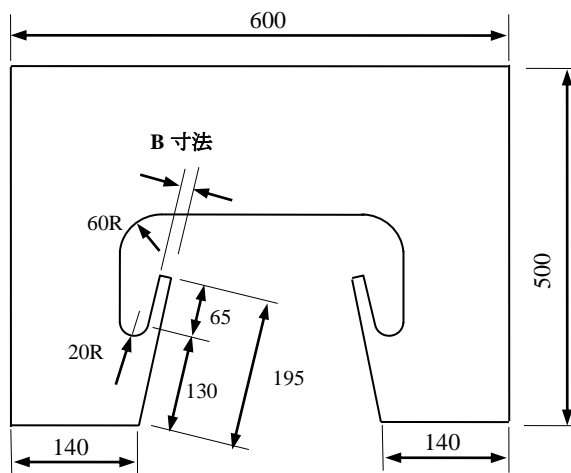


図-付 2.1 試験体形状 (当初提案形状)

表-付 2.2 に切断性確認試験条件を示す。切断方法・板厚・B 寸法・開先の有無の組み合わせに対し、全数を各 1 枚切断した。なお、開先形状は図-付 2.2 に示す通り、板厚および B 寸法に応じてレ形または K 形とした。

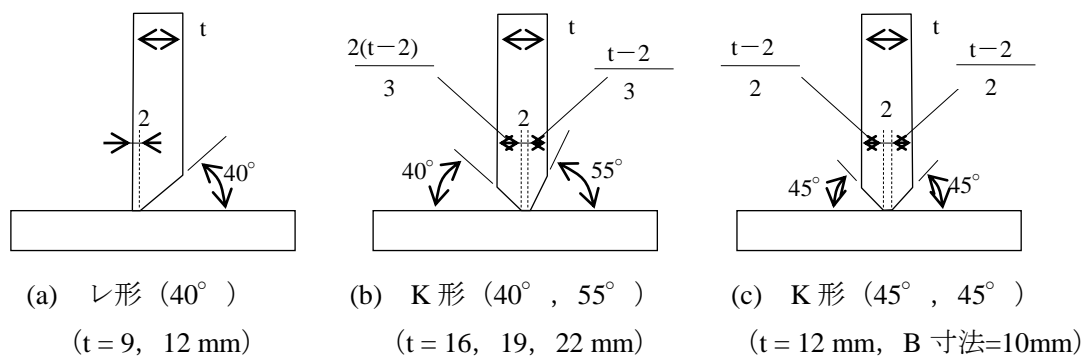


図-付 2.2 開先形状

表-付 2.2 試験体一覧 (1/2)

(a) レーザー切断

| 板厚 | B 寸法 | 開先 | 数量 |
|-------|-------|--------|----|
| 9 mm | 10 mm | 有り(レ形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| | 15 mm | 有り(レ形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| | 20 mm | 有り(レ形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| 12 mm | 10 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| | 15 mm | 有り(レ形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| | 20 mm | 有り(レ形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| 16 mm | 10 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| | 15 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 |
| | 20 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 |

表-付 2.2 試験体一覧 (2/2)

(b) プラズマ切断

| 板厚 | B 寸法 | 開先 | 数量 | 板厚 | B 寸法 | 開先 | 数量 |
|-------|-------|--------|----|-----------------------------------------------------|-------|------------|----|
| 9 mm | 10 mm | 有り(レ形) | 1 | 19 mm | 10 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 | | | ※開先取りが不可の為 | 無し |
| | 15 mm | 有り(レ形) | 1 | | 15 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 | | | 無し | 1 |
| | 20 mm | 有り(レ形) | 1 | | 20 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 | | | 無し | 1 |
| 12 mm | 10 mm | 有り(K形) | 1 | 22 mm | 10 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 | | | ※開先取りが不可の為 | 無し |
| | 15 mm | 有り(レ形) | 1 | | 15 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 | | | 無し | 1 |
| | 20 mm | 有り(レ形) | 1 | | 20 mm | 有り(K形) | 1 |
| | | 無し | 1 | | | 無し | 1 |
| 16 mm | 10 mm | 有り(K形) | 1 | ※ 表中の斜線部は開先切断が不可であるため、その板厚・B 寸法の組み合わせ条件は試験条件から除外する。 | | | |
| | | 無し | 1 | | | | |
| | 15 mm | 有り(K形) | 1 | | | | |
| | | 無し | 1 | | | | |
| | 20 mm | 有り(K形) | 1 | | | | |
| | | 無し | 1 | | | | |

(2) 切断条件

切断条件を表-付 2.3 に、開先加工条件を表-付 2.4 に示す。

表-付 2.3 切断条件

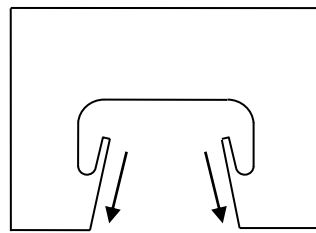
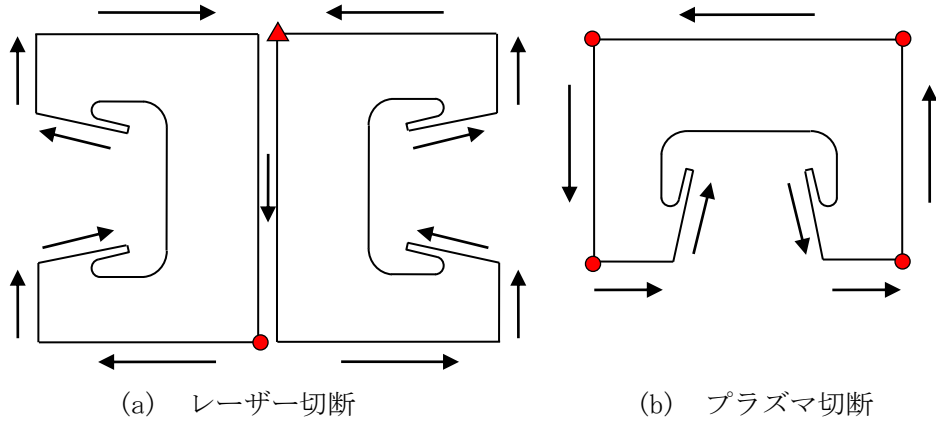
(a) レーザー切断

| 板厚 | 先行燃焼条件 | | 切断条件 | | | | |
|----|--------|-------------|--------|----------|------------|-------------|----------------|
| | 出力 (W) | 速度 (mm/min) | 出力 (W) | 周波数 (Hz) | デューティー (%) | 速度 (mm/min) | ガス圧 (×0.001Pa) |
| 9 | 2600 | 15000 | 3300 | 1000 | 70 | 1100 | 33 |
| 12 | | | 3400 | 1000 | 70 | 990 | 35 |
| 16 | | | 3480 | 900 | 72 | 780 | 32 |

(b) プラズマ切断

| 板厚 | ノズル孔径 (mm) | 切断電流 (A) | 切断酸素 (l/min) | アシスト酸素 (l/min) | アシストアアー (l/min) | 切幅補正 (mm) | 速度 (mm/min) |
|----|------------|----------|--------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|
| 9 | 1.7 | 140 | 30 | 20 | 12 | 1.9 | 2700 |
| 12 | 1.7 | 140 | 30 | 20 | 12 | 1.9 | 2000 |
| 16 | 2.3 | 260 | 30 | 28 | 18 | 2.8 | 1900 |
| 19 | 2.3 | 260 | 30 | 28 | 18 | 2.8 | 1700 |
| 22 | 2.3 | 260 | 30 | 28 | 18 | 2.8 | 1450 |

切断経路を図-付 2.3 に示す。レーザー切断は、下図の赤○印をスタート、赤△印をエンドとして 8 の字に切断を行った。プラズマ切断は、下図の任意の赤印をスタート／エンドとして切断を行った。ガス切断による開先加工は下記の方角で行った。



(c) ガス切断（開先加工）

図-付 2.3 切断経路

表-付 2.4 ロボットガス切断機による開先加工標準条件

| 板厚 (mm) | 狙い角度 (度) | ルート残量 (mm) | トチ角度 (開先角) (度) | 一次切断 | | | | 二次切断 (開先が2段になる場合) | | | | | |
|------------|-------------|---------------|----------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | | 速度 (mm/min) | 予熱時間 | | 予熱トチ角度 | | 速度 (mm/min) | 予熱時間 | | 予熱トチ角度 | |
| | | | | | 角から予熱 (スタート)する 場合 (秒) | 辺から予熱 (スタート)する 場合 (秒) | 角から予熱 (スタート)する 場合 (度) | 辺から予熱 (スタート)する 場合 (度) | | 角から予熱 (スタート)する 場合 (秒) | 辺から予熱 (スタート)する 場合 (秒) | 角から予熱 (スタート)する 場合 (度) | 辺から予熱 (スタート)する 場合 (度) |
| 12 | -45 | 2 | 45 | 240 | 12 | 20 | 60 | 60 | 240 | 12 | 20 | 60 | 60 |
| 12 | -45 | 6 | 45 | 260 | 12 | 20 | 60 | 60 | 280 | 12 | 20 | 60 | 60 |
| 12 | -45 | 12 | 45 | 280 | 10 | 20 | 60 | 60 | 300 | 10 | 20 | 60 | 60 |
| 12 | -1 | 12 | 45 | 240 | 12 | 20 | 60 | 60 | 260 | 12 | 20 | 60 | 60 |
| 12 | 45 | 2 | 45 | 200 | 15 | 25 | 20 | 20 | 220 | 15 | 25 | 20 | 20 |
| 12 | 45 | 6 | 45 | 220 | 15 | 25 | 20 | 20 | 240 | 15 | 25 | 20 | 20 |
| 12 | 45 | 12 | 45 | 240 | 12 | 25 | 20 | 20 | 260 | 12 | 25 | 20 | 20 |
| 12 | 90 | 12 | 45 | 240 | 15 | 25 | 20 | 20 | 260 | 15 | 25 | 20 | 20 |
| 16 | -45 | 2 | 45 | 240 | 12 | 20 | 60 | 60 | 260 | 12 | 20 | 60 | 60 |
| 16 | -45 | 8 | 45 | 260 | 12 | 20 | 60 | 60 | 280 | 12 | 20 | 60 | 60 |
| 16 | -45 | 16 | 45 | 280 | 10 | 20 | 60 | 60 | 300 | 10 | 20 | 60 | 60 |
| 16 | -1 | 16 | 45 | 240 | 12 | 20 | 60 | 60 | 260 | 12 | 20 | 60 | 60 |
| 16 | 45 | 2 | 45 | 200 | 15 | 25 | 20 | 20 | 220 | 15 | 25 | 20 | 20 |
| 16 | 45 | 8 | 45 | 220 | 15 | 25 | 20 | 20 | 240 | 15 | 25 | 20 | 20 |
| 16 | 45 | 16 | 45 | 240 | 12 | 25 | 20 | 20 | 260 | 12 | 25 | 20 | 20 |
| 16 | 90 | 16 | 45 | 240 | 15 | 25 | 20 | 20 | 260 | 15 | 25 | 20 | 20 |
| 19 | -45 | 2 | 45 | 220 | 15 | 25 | 60 | 60 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 19 | -45 | 10 | 45 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 | 260 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 19 | -45 | 19 | 45 | 260 | 12 | 25 | 60 | 60 | 280 | 12 | 25 | 60 | 60 |
| 19 | -1 | 19 | 45 | 220 | 15 | 25 | 60 | 60 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 19 | 45 | 2 | 45 | 180 | 20 | 30 | 20 | 20 | 200 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 19 | 45 | 10 | 45 | 200 | 20 | 30 | 20 | 20 | 220 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 19 | 45 | 19 | 45 | 220 | 15 | 30 | 20 | 20 | 240 | 15 | 30 | 20 | 20 |
| 19 | 90 | 19 | 45 | 220 | 20 | 30 | 20 | 20 | 240 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 20 | -45 | 2 | 45 | 220 | 15 | 25 | 60 | 60 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 20 | -45 | 11 | 45 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 | 260 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 20 | -45 | 20 | 45 | 260 | 12 | 25 | 60 | 60 | 280 | 12 | 25 | 60 | 60 |
| 20 | -1 | 20 | 45 | 220 | 15 | 25 | 60 | 60 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 20 | 45 | 2 | 45 | 180 | 20 | 30 | 20 | 20 | 200 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 20 | 45 | 11 | 45 | 200 | 20 | 30 | 20 | 20 | 220 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 20 | 45 | 20 | 45 | 220 | 15 | 30 | 20 | 20 | 240 | 15 | 30 | 20 | 20 |
| 20 | 90 | 20 | 45 | 220 | 20 | 30 | 20 | 20 | 240 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 22 | -45 | 2 | 45 | 220 | 15 | 25 | 60 | 60 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 22 | -45 | 11 | 45 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 | 260 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 22 | -45 | 22 | 45 | 260 | 12 | 25 | 60 | 60 | 280 | 12 | 25 | 60 | 60 |
| 22 | -1 | 22 | 45 | 220 | 15 | 25 | 60 | 60 | 240 | 15 | 25 | 60 | 60 |
| 22 | 45 | 2 | 45 | 180 | 20 | 30 | 20 | 20 | 200 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 22 | 45 | 11 | 45 | 200 | 20 | 30 | 20 | 20 | 220 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 22 | 45 | 22 | 45 | 220 | 15 | 30 | 20 | 20 | 240 | 15 | 30 | 20 | 20 |
| 22 | 90 | 22 | 45 | 220 | 20 | 30 | 20 | 20 | 240 | 20 | 30 | 20 | 20 |
| 25 | -45 | 2 | 45 | 200 | 20 | 30 | 60 | 60 | 220 | 20 | 30 | 60 | 60 |
| 25 | -45 | 13 | 45 | 220 | 20 | 30 | 60 | 60 | 240 | 20 | 30 | 60 | 60 |
| 25 | -45 | 25 | 45 | 240 | 15 | 30 | 60 | 60 | 260 | 15 | 30 | 60 | 60 |
| 25 | -1 | 25 | 45 | 200 | 20 | 30 | 60 | 60 | 220 | 20 | 30 | 60 | 60 |
| 25 | 45 | 2 | 45 | 160 | 25 | 35 | 20 | 20 | 180 | 25 | 35 | 20 | 20 |
| 25 | 45 | 13 | 45 | 180 | 25 | 35 | 20 | 20 | 200 | 25 | 35 | 20 | 20 |
| 25 | 45 | 25 | 45 | 200 | 20 | 35 | 20 | 20 | 220 | 20 | 35 | 20 | 20 |
| 25 | 90 | 25 | 45 | 200 | 25 | 35 | 20 | 20 | 220 | 25 | 35 | 20 | 20 |
| 32 | -45 | 2 | 45 | 180 | 25 | 35 | 60 | 60 | 200 | 25 | 35 | 60 | 60 |
| 32 | -45 | 16 | 45 | 200 | 25 | 35 | 60 | 60 | 220 | 25 | 35 | 60 | 60 |
| 32 | -45 | 32 | 45 | 220 | 20 | 35 | 60 | 60 | 240 | 20 | 35 | 60 | 60 |
| 32 | -1 | 32 | 45 | 180 | 25 | 35 | 60 | 60 | 200 | 25 | 35 | 60 | 60 |
| 32 | 45 | 2 | 45 | 140 | 30 | 40 | 20 | 20 | 160 | 30 | 40 | 20 | 20 |
| 32 | 45 | 16 | 45 | 160 | 30 | 40 | 20 | 20 | 180 | 30 | 40 | 20 | 20 |
| 32 | 45 | 32 | 45 | 180 | 25 | 40 | 20 | 20 | 200 | 25 | 40 | 20 | 20 |
| 32 | 90 | 32 | 45 | 180 | 30 | 40 | 20 | 20 | 200 | 30 | 40 | 20 | 20 |
| 38 | -45 | 2 | 45 | 170 | 30 | 40 | 60 | 60 | 190 | 30 | 40 | 60 | 60 |
| 38 | -45 | 14 | 45 | 190 | 30 | 40 | 60 | 60 | 210 | 30 | 40 | 60 | 60 |
| 38 | -45 | 38 | 45 | 210 | 25 | 40 | 60 | 60 | 230 | 25 | 40 | 60 | 60 |
| 38 | -1 | 38 | 45 | 170 | 30 | 40 | 60 | 60 | 190 | 30 | 40 | 60 | 60 |
| 38 | 45 | 2 | 45 | 130 | 35 | 45 | 20 | 20 | 150 | 35 | 45 | 20 | 20 |
| 38 | 45 | 14 | 45 | 150 | 35 | 45 | 20 | 20 | 170 | 35 | 45 | 20 | 20 |
| 38 | 45 | 38 | 45 | 170 | 30 | 45 | 20 | 20 | 190 | 30 | 45 | 20 | 20 |
| 38 | 90 | 38 | 45 | 170 | 35 | 45 | 20 | 20 | 190 | 35 | 45 | 20 | 20 |
| 45 | -45 | 2 | 45 | 160 | 35 | 45 | 60 | 60 | 180 | 35 | 45 | 60 | 60 |
| 45 | -45 | 23 | 45 | 180 | 35 | 45 | 60 | 60 | 200 | 35 | 45 | 60 | 60 |
| 45 | -45 | 45 | 45 | 200 | 30 | 45 | 60 | 60 | 220 | 30 | 45 | 60 | 60 |
| 45 | -1 | 45 | 45 | 160 | 35 | 45 | 60 | 60 | 180 | 35 | 45 | 60 | 60 |
| 45 | 45 | 2 | 45 | 120 | 40 | 50 | 20 | 20 | 140 | 40 | 50 | 20 | 20 |
| 45 | 45 | 23 | 45 | 140 | 40 | 50 | 20 | 20 | 160 | 40 | 50 | 20 | 20 |
| 45 | 45 | 45 | 45 | 160 | 35 | 50 | 20 | 20 | 180 | 35 | 50 | 20 | 20 |
| 45 | 90 | 45 | 45 | 160 | 40 | 50 | 20 | 20 | 180 | 40 | 50 | 20 | 20 |
| 50 | -45 | 2 | 45 | 150 | 40 | 50 | 60 | 60 | 170 | 40 | 50 | 60 | 60 |
| 50 | -45 | 25 | 45 | 170 | 40 | 50 | 60 | 60 | 190 | 40 | 50 | 60 | 60 |
| 50 | -45 | 50 | 45 | 190 | 35 | 50 | 60 | 60 | 210 | 35 | 50 | 60 | 60 |
| 50 | -1 | 50 | 45 | 150 | 40 | 50 | 60 | 60 | 170 | 40 | 50 | 60 | 60 |
| 50 | 45 | 2 | 45 | 110 | 45 | 55 | 20 | 20 | 130 | 45 | 55 | 20 | 20 |
| 50 | 45 | 25 | 45 | 130 | 45 | 55 | 20 | 20 | 150 | 45 | 55 | 20 | 20 |
| 50 | 45 | 50 | 45 | 150 | 40 | 55 | 20 | 20 | 170 | 40 | 55 | 20 | 20 |
| 50 | 90 | 50 | 45 | 150 | 45 | 55 | 20 | 20 | 170 | 45 | 55 | 20 | 20 |

*実際の開先加工と比較して、近い条件の数値を人間が入力した。

*切断開始時は予熱時間で管理した。試験時には9, 12, 16mm : 約10秒、19, 22mm : 約15秒 の予熱で切断を開始した。

(3) 評価項目

切断後、閉断面リブとの取り合い部（L部）の直線性と、開先加工面の品質を確認した（図-付2.4参照）。

1) 閉断面リブとの取り合い部（L部）の直線性

横リブスリット部（図-付2.4のL部）は、切断後に変形が生じるため直線性を確認した。直線性は、L部に差し金を当て、B部の面内および面外への曲がりを隙間ゲージで測定した。

2) 開先加工面の品質

ガス切断による開先加工面の品質（溶けやノッチの有無）を目視で確認した。

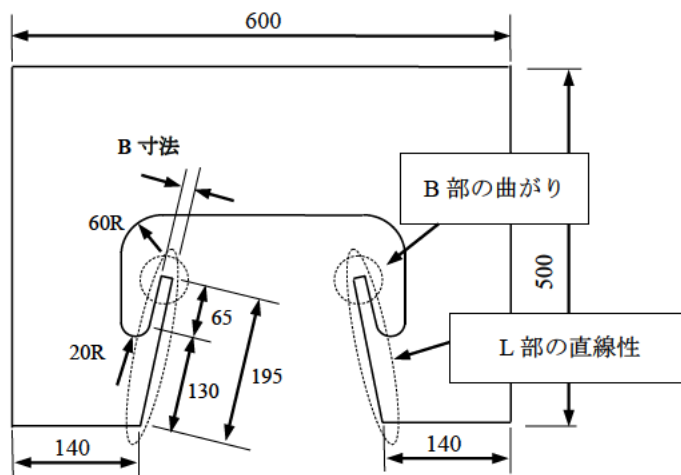


図-付2.4 切断性の確認項目

2.2 溶接施工性確認試験

(1) 試験体

試験体形状を図-付 2.5 に示す。閉断面リブと横リブ間に 3.0mm の隙間を設ける場合は、部材間に板厚 3.0mm の鋼板を挟み込んで組み立てることとし、この隙間を優先するため、横リブとデッキプレートの密着度は、閉断面リブと横リブの組み立て後の状態に準ずることとした。組み立て完了後、横リブ間をフラットバーで固定した。なお、材質は SM490 材、表面処理は黒皮とした。鋼材の機械的性質と化学成分を表-付 2.1 に示す。

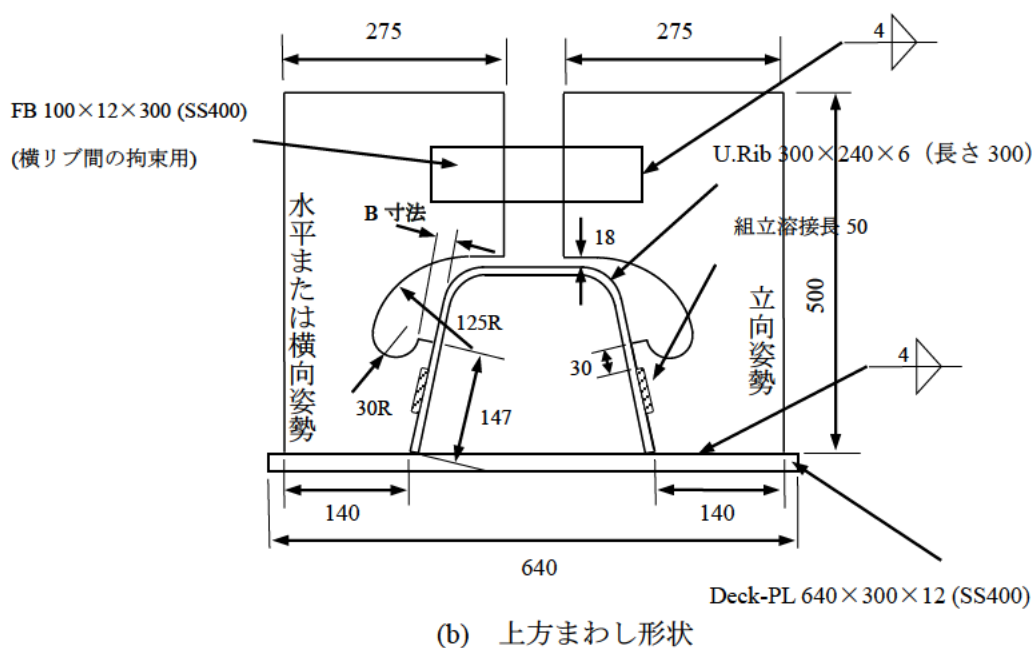
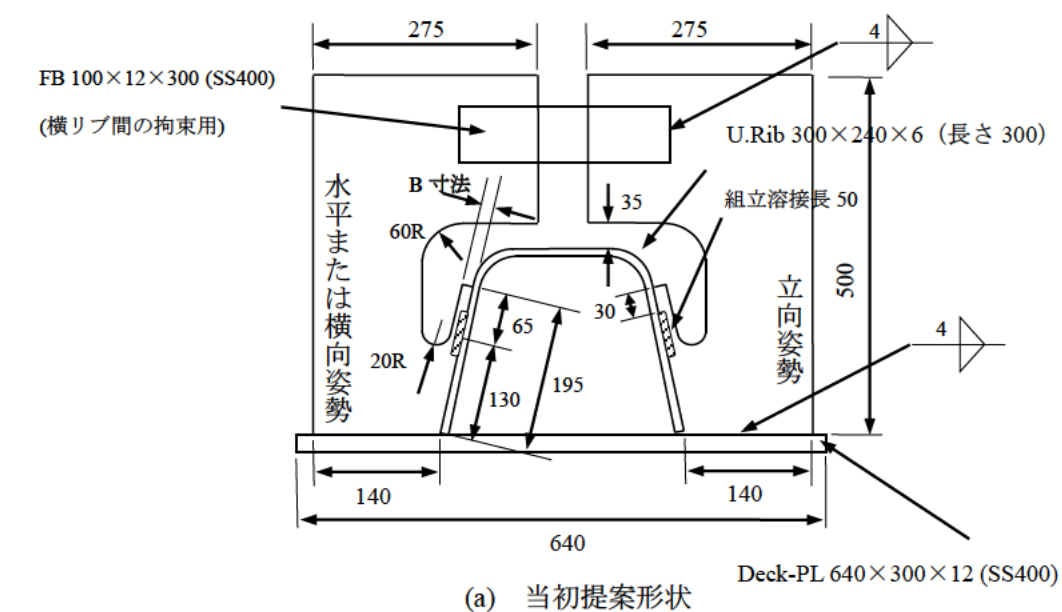


図-付 2.5 試験体形状

溶接性確認試験条件を表-付 2.5 に示す。板厚・B 寸法・隙間の組み合わせに対し、全数を各 1 体溶接し、左側を水平または横向きで、右側を立向きで行った。試験は、各々の板厚の B 寸法 10mm および 15mm に対して実施し、施工性に問題がない場合は、B 寸法 20mm の試験は行わず、試験を終了するものとした。

表-付 2.5 試験体一覧 (1/4)

(a) 当初提案形状 (1/2)

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 | 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-------------|-------|-------|-------------|----------|-----------|
| 9 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 | 12 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 | | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 | | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 | | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 | | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 | | | | 立向 | 1 |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 | | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 | | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 | | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 | | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 | | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 | | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 | | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | 1 | | | | 立向 | — |
| 9 mm (3 mm) | | 水平 | 1 | 9 mm (3 mm) | 水平 | | — | | |
| | | 立向 | 1 | | 立向 | | — | | |
| F.P (3 mm) | | 横向 | 1 | F.P (3 mm) | 横向 | | — | | |
| | | 立向 | 1 | | 立向 | | — | | |

表-付 2.5 試験体一覧 (2/4)

(b) 当初提案形状 (2/2)

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 16 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | — |
| 9 mm (3 mm) | | 水平 | — | |
| | | 立向 | — | |
| F.P (3 mm) | | 横向 | — | |
| | | 立向 | — | |

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 19 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | — |
| | | | 立向 | — |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | — |
| 9 mm (3 mm) | | 水平 | — | |
| | | 立向 | — | |
| F.P (3 mm) | | 横向 | 1 | |
| | | 立向 | 1 | |

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 22 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | — |
| | | | 立向 | — |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | — |
| 9 mm (3 mm) | | 水平 | — | |
| | | 立向 | — | |
| F.P (3 mm) | | 横向 | 1 | |
| | | 立向 | 1 | |

U.Rib 300×240×6 (長さ 300)

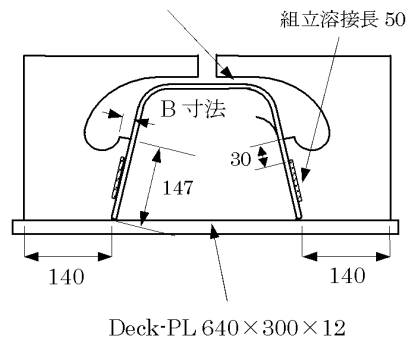


表-付 2.5 試験体一覧 (3/4)

(c) 上方まわし形状 (1/2)

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 9 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F. P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F. P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| 立向 | | | 1 | |
| F. P (3 mm) | | 横向 | 1 | |
| | | 立向 | 1 | |

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 12 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F. P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F. P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | — |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | — |
| 立向 | | | — | |
| F. P (3 mm) | | 横向 | — | |
| | | 立向 | — | |

表-付 2.5 試験体一覧 (4/4)

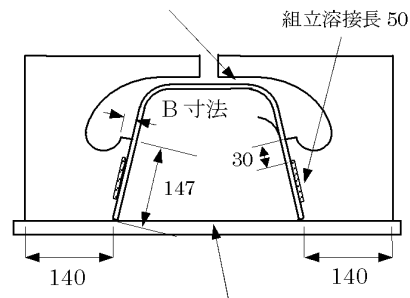
(d) 上方まわし形状 (2/2)

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 16 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | — |
| 9 mm (3 mm) | | 水平 | — | |
| | | 立向 | — | |
| F.P (3 mm) | | 横向 | — | |
| | | 立向 | — | |

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 19 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | — |
| | | | 立向 | — |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | — |
| 9 mm (3 mm) | | 水平 | — | |
| | | 立向 | — | |
| F.P (3 mm) | | 横向 | 1 | |
| | | 立向 | 1 | |

| 板厚 | B 寸法 | 脚長 (隙間) | 溶接 姿勢 | 試験体 数量 |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|
| 22 mm | 10 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | — |
| | | | 立向 | — |
| | 15 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | 9 mm (3 mm) | 水平 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | | F.P (3 mm) | 横向 | 1 |
| | | | 立向 | 1 |
| | 20 mm | 6 mm (0 mm) | 水平 | — |
| | | | 立向 | — |
| 9 mm (3 mm) | | 水平 | — | |
| | | 立向 | — | |
| F.P (3 mm) | | 横向 | 1 | |
| | | 立向 | 1 | |

U.Rib 300×240×6 (長さ 300)



Deck-PL 640×300×12

(2) 溶接施工条件

1) 溶接方法

溶接施工は CO₂ 半自動溶接とし、水平および立向姿勢のすみ肉溶接と、横向および立向姿勢の完全溶け込み溶接を行った。

2) 溶接作業者

JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に定められた試験のうち、その作業に該当する試験に合格したものとした。

3) 使用溶接材料

溶接材料を表-付 2.6 に示す。

表-付 2.6 溶接材料

| 溶接法 | 姿勢 | 溶接材料 | |
|-----------------------|----|----------------------|-------------------------|
| | | ワイヤ | シールドガス |
| CO ₂ 半自動溶接 | 水平 | SM-1F 1.2φ (日鐵住金) | CO ₂ ガス 100% |
| | 横向 | | |
| | 立向 | SF-1V 1.2φ (日鐵住金) | |

4) 溶接条件

溶接条件を表-付 2.7 に示す。

表-付 2.7 溶接条件

| 溶接継手 | 溶接法 | 姿勢 | ※ 溶接条件 | | |
|--------|---------------------------|----|--------|--------|-----------|
| | | | 電流(A) | 電圧 (V) | 入熱量(J/mm) |
| すみ肉 | CO ₂ 半自動 溶接 | 水平 | 280 | 33 | 7,000 以下 |
| | | 立向 | 170 | 24 | |
| 完全溶け込み | | 横向 | 260 | 33 | |
| | | 立向 | 200 | 27 | |

※ CO₂ 半自動溶接の溶接条件は、電流・電圧は±20%を標準とした。

5) パス間温度

多層盛りの溶接となる脚長 9mm のすみ肉溶接および完全溶け込み溶接のパス間温度を設定するため、予備試験を実施した。

① 試験条件

- ・溶接方法：CO₂ 半自動溶接
- ・溶接姿勢：横向き
- ・使用試験体：R12-10A（レーザー切断、B 寸法 10mm、開先あり）
- ・パス間温度設定：300℃以下、200℃以下、100℃以下
- ・溶接電流・電圧：標準条件に準ずる
- ・温度測定方法：赤外線非接触温度計

・パス数：片面3パス、合計6パス ※ガウジングは実施していない。

② 試験結果

パス間温度 300℃以下および 200℃以下では、バックパス側の溶接中に廻し溶接部の先端が赤色状態となり、スリット角部が溶け落ちる傾向が確認された（写真-付 2.1 参照）。小さい B 寸法の立ち上がり部に、溶接による熱がこもりすぎていることが原因と考えられる。



(a) 廻し溶接部先端の赤色状況



(b) 溶接外観

写真-付 2.1 パス間温度 300℃以下および 200℃以下

パス間温度 100℃以下では、バックパス側の溶接中に廻し溶接部の先端が赤色状態となることはなく、溶接による熱がこもりすぎることが原因となる溶け落ちも確認されなかった（写真-付 2.2 参照）。



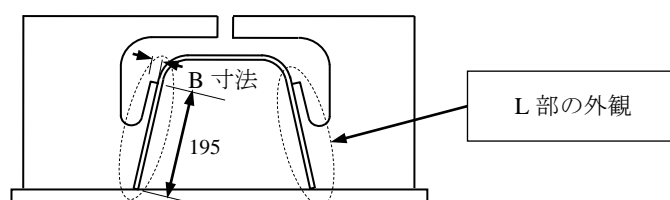
写真-付 2.2 パス間温度 100℃以下（溶接外観）

以上より、多層盛り溶接となる脚長 9mm のすみ肉溶接および完全溶け込み溶接のパス間温度は 100℃以下とした。

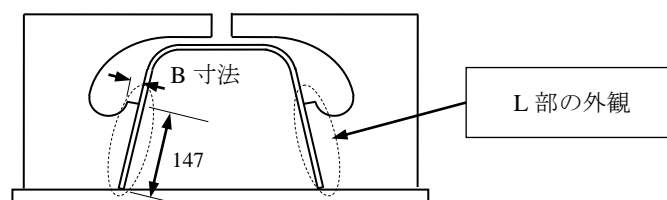
(3) 評価項目

1) ビード外観

横リブスリット部 (図-付 2.6 の L 部) のまわし溶接止端部のアンダーカット、溶け落ち、まわし溶接の形状等について確認した。各項目の判定基準は道路橋示方書に準拠する。ビード外観の評価項目と基準を表-付 2.8 に示す。



(a) 当初提案形状試験体



(b) 上方まわし形状試験体

図-付 2.6 溶接外観確認箇所

表-付 2.8 ビード外観の評価項目と基準

| 評価項目 | 判定基準 |
|----------|---------------------------|
| アンダーカット | 深さ 0.3mm 以下 |
| 溶け落ち | あってはならない |
| ピット | あってはならない |
| ビード表面の凹凸 | ビード長さ 25mm あたり 3mm 以下の高低差 |
| すみ肉サイズ | 指定サイズを下まわらない |

3 試験結果

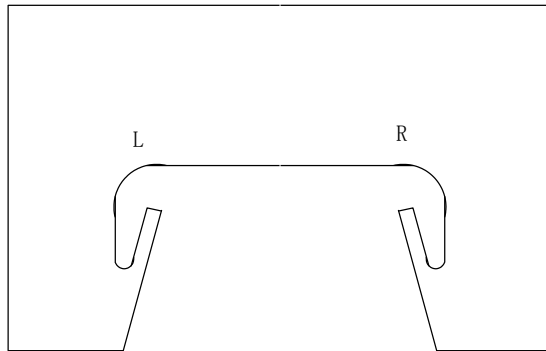
3.1 切断性確認試験

閉断面リブとの取り合い部 (L 部) の直線性、開先切断面の品質および切断後の B 寸法を確認した切断性確認試験結果を表-付 3.1 に、外観写真を参考資料 1 に、溶け落ち部の状況を図-付 3.1 に示す。

表-付 3.1 切断性確認試験結果(1/2)

(a) レーザー切断

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | | 開先 | 試験体 No. | 評価項目 (切断) | | | 評価項目 (開先切断) | | 合否判定 (○or×) |
|------------|------|------|----------|------|---------|------------------|------------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| | | 設計値 | 計測値 | | | 変形量 : mm 面内方向 | 変形量 : mm 面外方向 | 直線性 (○or×) | 溶け (○or×) | ノッチ (○or×) | |
| | | | | | | | | | | | |
| レーザー 切断 | 9mm | 10mm | 10.5, 10 | 有(√) | R9-10A | 2.0 | 1.0 | × | ○ | × | × |
| | | | 10, 10 | 無 | R9-10B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 15mm | 15.5, 15 | 有(√) | R9-15A | 3.0 | 1.0 | × | ○ | ○ | × |
| | | | 15, 15 | 無 | R9-15B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 20, 20 | 有(√) | R9-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 20, 20 | 無 | R9-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 12mm | 10mm | 10.5, 10 | 有(K) | R12-10A | 0.5 | 0.0 | ○ | × | ○ | × |
| | | | 10, 10 | 無 | R12-10B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 15mm | 15.5, 15 | 有(√) | R12-15A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 15, 15 | 無 | R12-15B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 20, 20 | 有(√) | R12-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 20, 20 | 無 | R12-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 16mm | 10mm | 10.5, 10 | 有(K) | R16-10A | 1.0 | 0.0 | ○ | × | ○ | × |
| | | | 10, 10 | 無 | R16-10B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 15mm | 15, 15 | 有(K) | R16-15A | 0.5 | 0.0 | ○ | × | ○ | × |
| | | | 15, 15 | 無 | R16-15B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 20, 20 | 有(K) | R16-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 20, 20 | 無 | R16-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |



直線性 : 1mm以下の場合を○
 溶け : 過度な溶け落ちが無い場合を○
 ノッチ : 1mm以下の場合を○

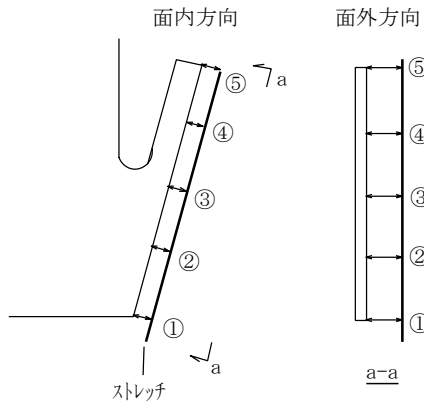
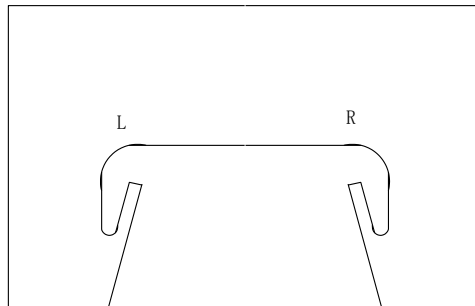


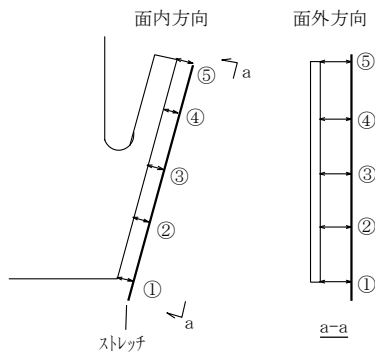
表-付 3.1 切断性確認試験結果(2/2)

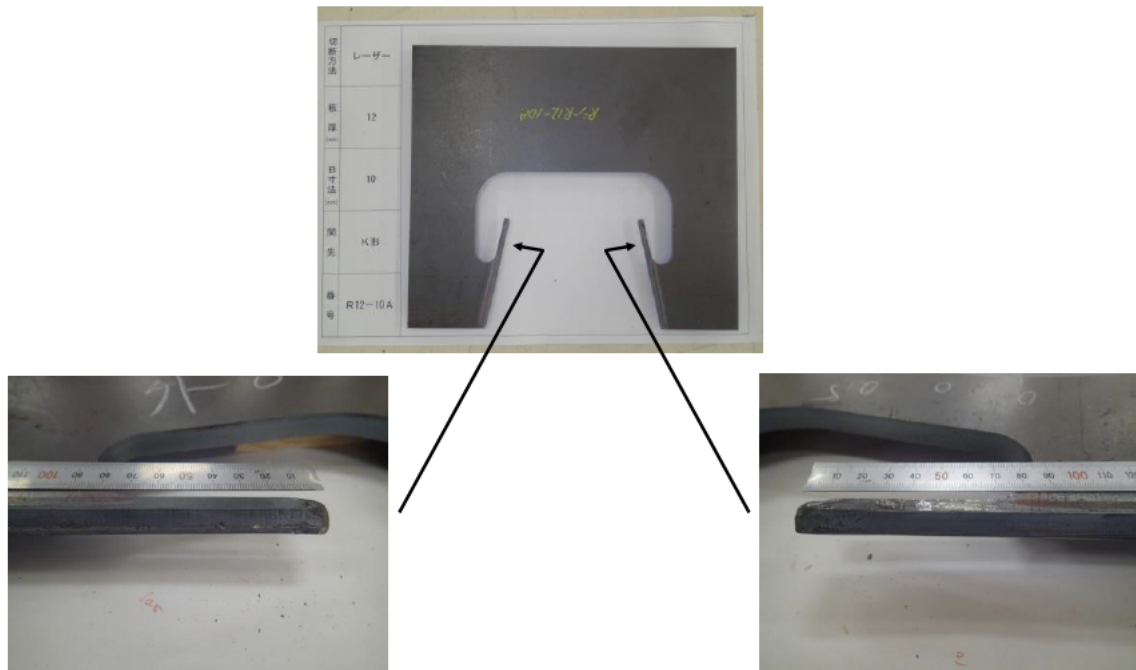
(b) プラズマ切断

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | | 開先 | 試験体 No. | 評価項目 (切断) | | | 評価項目 (開先切断) | | 合否判定 (○or×) |
|------------|------|------|-------------|------|---------|------------------|------------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| | | 設計値 | 計測値 L, R | | | 変形量 : mm 面内方向 | 変形量 : mm 面外方向 | 直線性 (○or×) | 溶け (○or×) | ノッチ (○or×) | |
| プラズマ 切断 | 9mm | 10mm | 11, 10.5 | 有(L) | P9-10A | 3.0 | 2.0 | × | ○ | ○ | × |
| | | | 10.5, 10.5 | 無 | P9-10B | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 15mm | 15.5, 15.5 | 有(L) | P9-15A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 15.5, 15.5 | 無 | P9-15B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 21, 21 | 有(L) | P9-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 20.5, 20.5 | 無 | P9-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 12mm | 10mm | 10.5, 10.5 | 有(K) | P12-10A | 0.5 | 0.5 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 10, 10.5 | 無 | P12-10B | 1.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 15mm | 15.5, 15 | 有(L) | P12-15A | 1.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 15, 15 | 無 | P12-15B | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 20.5, 20 | 有(L) | P12-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 20, 20 | 無 | P12-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 16mm | 10mm | 10.5, 11 | 有(K) | P16-10A | 0.5 | 0.0 | ○ | × | ○ | × |
| | | | 11, 11 | 無 | P16-10B | 1.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 15mm | 16, 16 | 有(K) | P16-15A | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 16, 16 | 無 | P16-15B | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 21, 21 | 有(K) | P16-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 21, 21 | 無 | P16-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 19mm | 15mm | 16, 16 | 有(K) | P19-15A | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 15, 15 | 無 | P19-15B | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 21, 20.5 | 有(K) | P9-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 20, 20.5 | 無 | P9-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 22mm | 15mm | 16, 16 | 有(K) | P22-15A | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 15, 15 | 無 | P22-15B | 0.5 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 20mm | 21, 21 | 有(K) | P22-20A | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 20, 20 | 無 | P22-20B | 0.0 | 0.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |

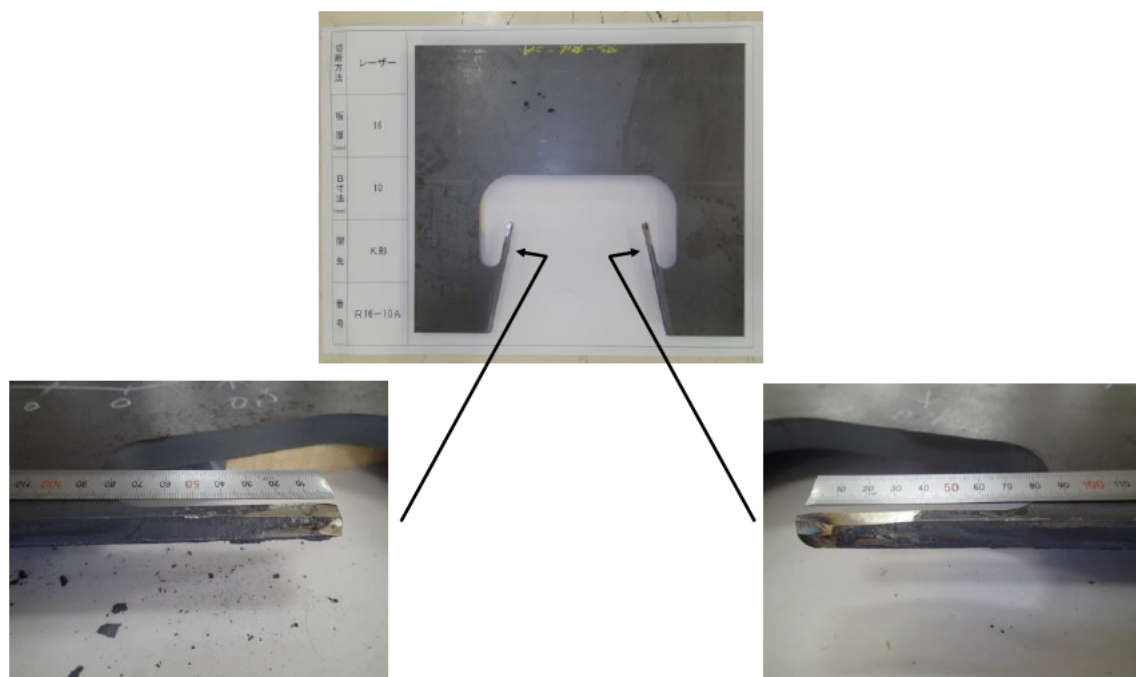


直線性 : 1mm以下の場合を○
 溶け : 過度な溶け落ちが無い場合を○
 ノッチ : 1mm以下の場合を○



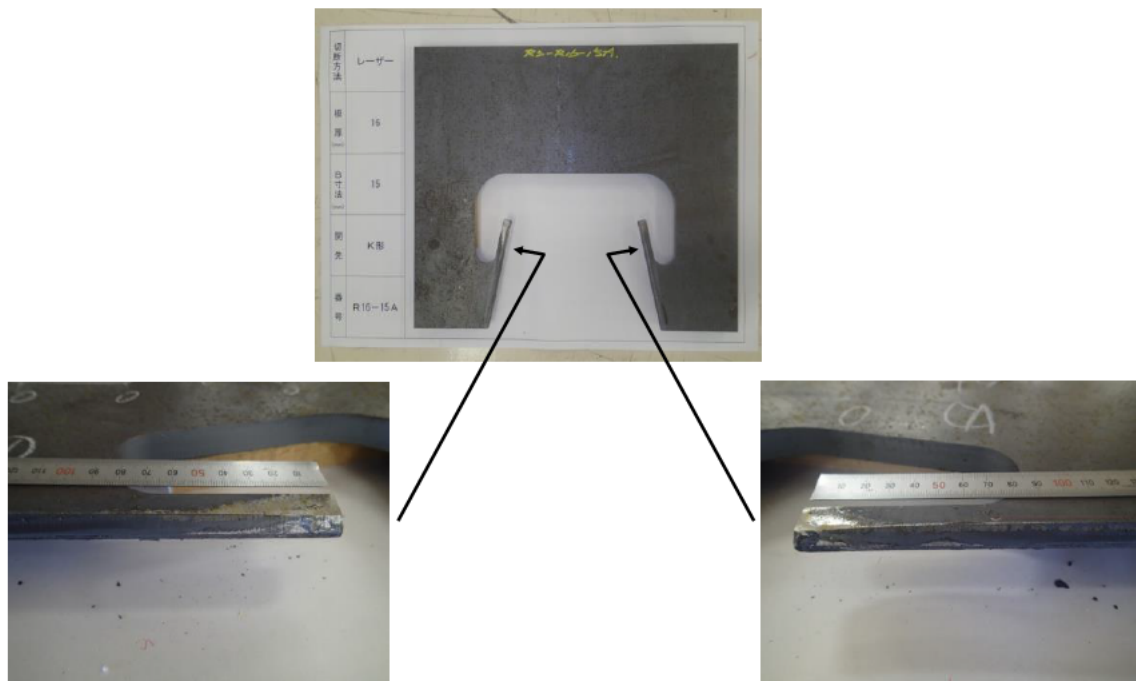


(a) レーザー切断 (試験体 No. R12-10A)

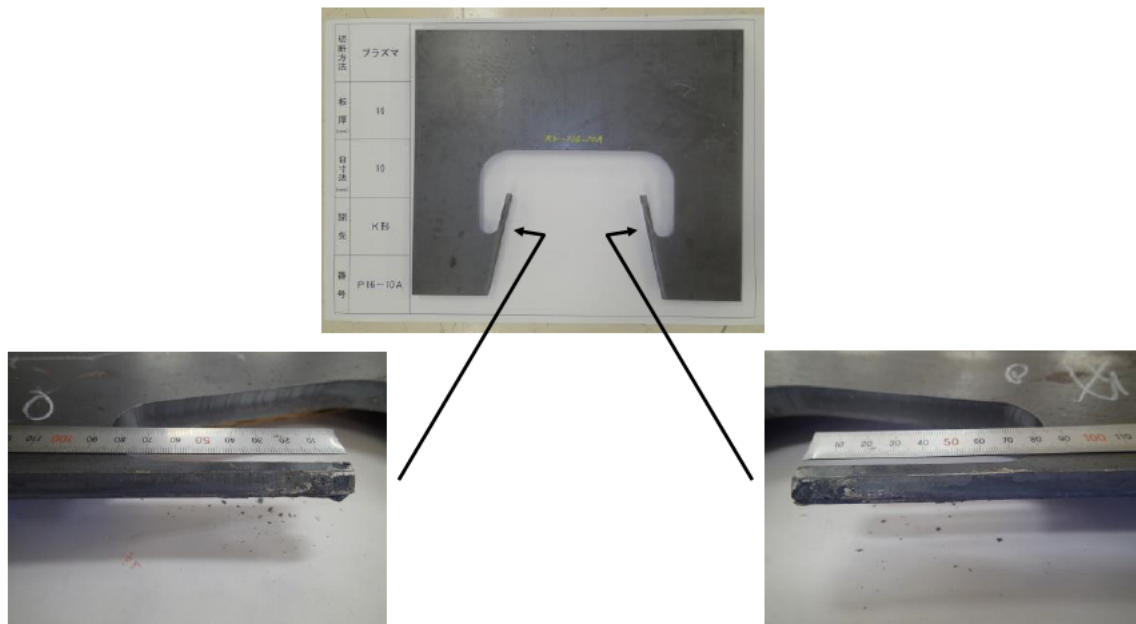


(b) レーザー切断 (試験体 No. R16-10A)

図-付 3.1 溶け落ち部の状況 (1/2)



(c) レーザー切断 (試験体 No. R16-15A)



(d) プラズマ切断 (試験体 No. P16-10A)

図-付 3.1 溶け落ち部の状況 (2/2)

3.2 溶接施工性確認試験

溶接条件と外観写真を参考資料 2 に示す。また、ビード外観（アンダーカット、溶け落ち、ピット、ビード表面の凹凸、すみ肉溶接サイズ）を確認した結果を表-付 3.2 に示す。

表-付 3.2 溶接施工性確認試験結果 (1/4)

(a) 当初提案形状 (1/2)

形状 TYPE A

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | | 脚長 | 隙間 | 姿勢 | 開先 | 番号 | ビード外観 | | | | | 合否判定 (○ or ×) | | |
|------------|------|------|------------|-----|-----|-----|---------|----------|-------------|----------|-----|--------------|------------|------------------|---|---|
| | | 設計値 | 残り量 計測値 | | | | | | アンダー カット | 溶け 落ち | ピット | ビード表面 の凹凸 | すみ肉 サイズ | | | |
| プラズマ 切断 | 9mm | 10mm | 4 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A910-6S | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 4 | 6mm | 0mm | 立向 | 無し | A910-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | 9mm | 3 | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A910-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 4 | 9mm | 3mm | 立向 | 無し | A910-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | F.P | 3 | 3mm | 横向 | V形 | A910-FS | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | × | | |
| | | | 3 | 3mm | 立向 | V形 | A910-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | 15mm | 6mm | 9 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A915-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | 9 | 6mm | 0mm | 立向 | 無し | A915-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 9mm | 7 | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A915-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | 5 | 9mm | 3mm | 立向 | 無し | A915-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | F.P | 5 | 3mm | 横向 | V形 | A915-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | 7 | 3mm | 立向 | V形 | A915-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | 12mm | 10mm | 6mm | 4 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A1210-6S | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | 4 | 6mm | 0mm | 立向 | 無し | A1210-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 9mm | | | 1 | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A1210-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | 0 | 9mm | 3mm | 立向 | 無し | A1210-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | F.P | | | 0 | 3mm | 横向 | K形 | A1210-FS | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | × | |
| | | | | 3 | 3mm | 立向 | K形 | A1210-FT | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | × | |
| | 15mm | | 6mm | 9 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A1215-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | 9 | 6mm | 0mm | 立向 | 無し | A1215-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 9mm | 8 | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A1215-9S | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | 9 | 9mm | 3mm | 立向 | 無し | A1215-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | F.P | 4 | 3mm | 横向 | V形 | A1215-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | | 7 | 3mm | 立向 | V形 | A1215-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

溶け落ち A: スリット端部の角落ち
B: B寸法残り量による溶け落ち

| 評価項目 | 判定基準 |
|----------|-----------------------|
| アンダーカット | 深さ0.3mm以下 |
| 溶け落ち | あってはならない |
| ピット | あってはならない |
| ビード表面の凹凸 | ビード長さ25mmあたり3mm以下の高低差 |
| すみ肉サイズ | 指定サイズを下まわらない |

表-付 3.2 溶接施工性確認試験結果 (2/4)

(b) 当初提案形状 (2/2)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | | 脚長 | 隙間 | 姿勢 | 開先 | 番号 | ビード外観 | | | | | 合否判定 (○ or ×) | | | | |
|------------|------|------|------------|-----|-----|-----|-----|----------|-------------|----------|----------|--------------|------------|------------------|---|---|---|---|
| | | 設計値 | 残り量 計測値 | | | | | | アンダー カット | 溶け 落ち | ビッド | ビード表面 の凹凸 | すみ肉 サイズ | | | | | |
| プラズマ 切断 | 16mm | 10mm | 4 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A1610-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| | | | 3 | | | 立向 | 無し | A1610-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| | | | 3 | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A1610-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | 2 | | | | | 立向 | 無し | A1610-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | 1 | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | A1610-FS | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | × | |
| | | | 0 | | | | | 立向 | K形 | A1610-FT | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | × | |
| | | 15mm | 9 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A1615-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | | | 9 | | | 立向 | 無し | A1615-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | | | 7 | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A1615-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 7 | | | | | 立向 | 無し | A1615-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 4 | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | A1615-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 6 | | | | | 立向 | K形 | A1615-FT | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 19mm | 15mm | 9 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A1915-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | | | 9 | | | 立向 | 無し | A1915-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | | | 7 | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A1915-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 6 | | | | | 立向 | 無し | A1915-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 3 | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | A1915-FS | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 4 | | | | | 立向 | K形 | A1915-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | 22mm | 15mm | 7 | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | A2215-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | 7 | | | 立向 | 無し | A2215-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | | 7 | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | A2215-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | 7 | | | | | 立向 | 無し | A2215-9T | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | 4 | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | A2215-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | 2 | | | | | 立向 | K形 | A2215-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

溶け落ち A: スリット端部の角落ち
B: B寸法残り量による溶け落ち

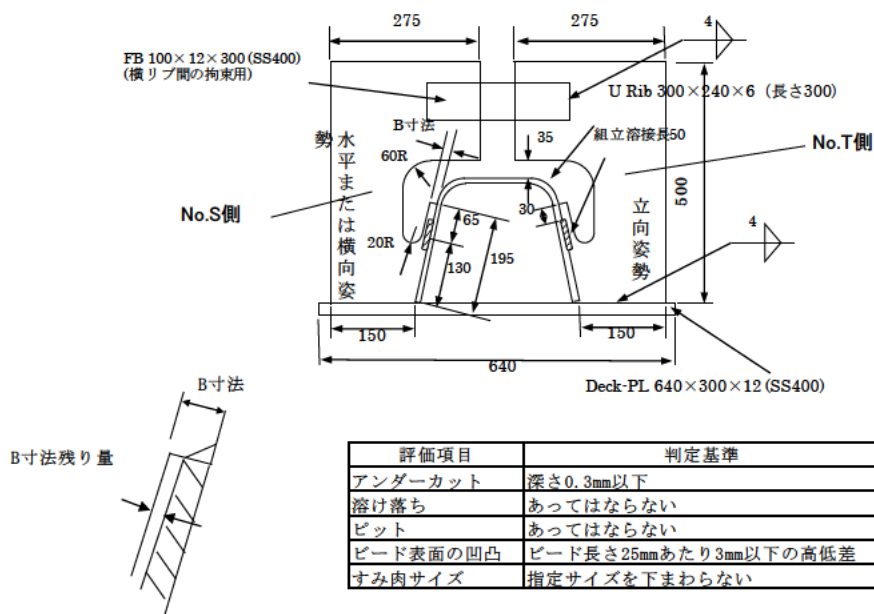
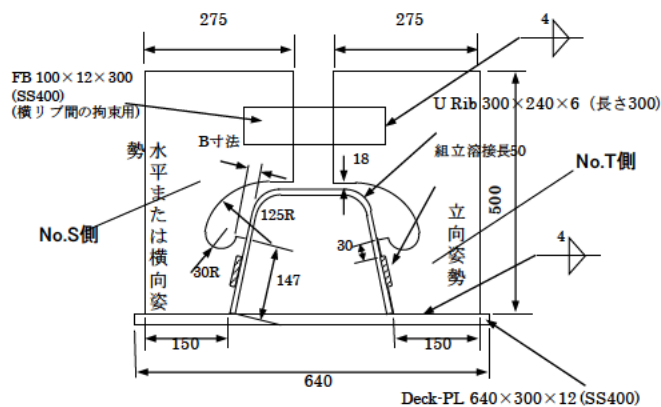


表-付 3.2 溶接施工性確認試験結果 (3/4)

(c) 上方回し溶接形状 (1/2)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 設計値 | 脚長 | 隙間 | 姿勢 | 開先 | 番号 | ビード外観 | | | | | 合否判定 (○ or ×) | |
|------------|------|------------|-----|-----|----------|----------|----------|-------------|----------|-----|--------------|------------|------------------|---|
| | | | | | | | | アンダー カット | 溶け 落ち | ピット | ビード表面 の凹凸 | すみ肉 サイズ | | |
| プラズマ 切断 | 9mm | 10mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B910-6S | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B910-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B910-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B910-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | レ形 | B910-FS | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | | | | 立向 | レ形 | B910-FT | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | | 15mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B915-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B915-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B915-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B915-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | レ形 | B915-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | 立向 | レ形 | B915-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 12mm | 10mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B1210-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B1210-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B1210-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B1210-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | B1210-FS | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | | | | 立向 | K形 | B1210-FT | ○ | B | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | | 15mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B1215-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B1215-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B1215-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | | | 立向 | 無し | B1215-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | レ形 | B1215-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | 立向 | レ形 | B1215-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

溶け落ち A: スリット端部の角落ち
B: B寸法残り量による溶け落ち



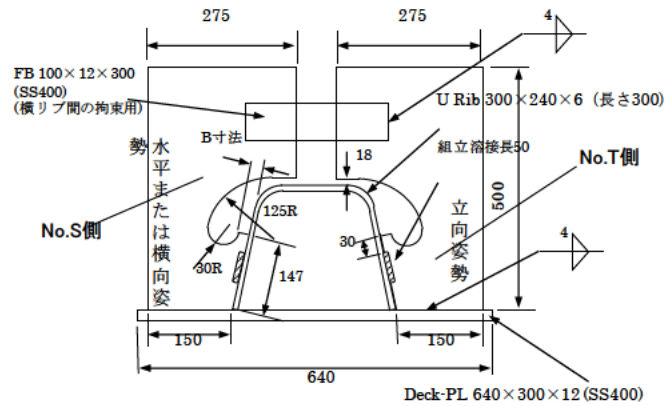
| 評価項目 | 判定基準 |
|----------|-----------------------|
| アンダーカット | 深さ0.3mm以下 |
| 溶け落ち | あってはならない |
| ピット | あってはならない |
| ビード表面の凹凸 | ビード長さ25mmあたり3mm以下の高低差 |
| すみ肉サイズ | 指定サイズを下まわらない |

表-付 3.2 溶接施工性確認試験結果 (4/4)

(d) 上方回し溶接形状 (2/2)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 設計値 | 脚長 | 隙間 | 姿勢 | 開先 | 番号 | ビード外観 | | | | | 合否判定 (○ or ×) |
|------------|------|------------|-----|-----|----|----|----------|-------------|----------|-----|--------------|------------|------------------|
| | | | | | | | | アンダー カット | 溶け 落ち | ピット | ビード表面 の凹凸 | すみ肉 サイズ | |
| プラズマ 切断 | 16mm | 10mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B1610-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1610-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B1610-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1610-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | B1610-FS | ○ | B | ○ | ○ | ○ | × |
| | | | | | | | B1610-FT | ○ | B | ○ | ○ | ○ | × |
| | | 15mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B1615-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1615-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B1615-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1615-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | B1615-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1615-FT | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 19mm | 15mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B1915-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1915-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B1915-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1915-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | B1915-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B1915-FT | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 22mm | 6mm | 0mm | 水平 | 無し | B2215-6S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B2215-6T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | 9mm | 3mm | 水平 | 無し | B2215-9S | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B2215-9T | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | F.P | 3mm | 横向 | K形 | B2215-FS | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | B2215-FT | ○ | A | ○ | ○ | ○ | ○ |

溶け落ち A: スリット端部の角落ち
B: B寸法残り量による溶け落ち



| 評価項目 | 判定基準 |
|----------|-----------------------|
| アンダーカット | 深さ0.3mm以下 |
| 溶け落ち | あつてはならない |
| ピット | あつてはならない |
| ビード表面の凹凸 | ビード長さ25mmあたり3mm以下の高低差 |
| すみ肉サイズ | 指定サイズを下まわらない |

4 まとめ

図-付 4.1 に、当初提案構造に関する試験後の溶け落ちの概要を示す。開先なしの場合には、切断精度は良好であった。開先を施した擦り付け幅 (B) が 15mm 以下の場合では、母材の溶け落ちが確認されたが、この溶け落ちは、開先導入時のガス切断によるものであるため、密着度が 3mm を超えた場合には、組み立て後にガウジングを実施することで回避可能である。溶接時には擦り付け幅 (B) を 10mm の完全溶け込み溶接で、母材の溶け落ちが発生した。また、擦り付け幅 (B) が 15mm の際の母材残り量が 2mm となる場合があり、半径 2mm の面取りが施された場合には、溶接止端が面取り部と重なる可能性がある。なお、上方まわし形状では、製作施工性に問題なかった。

以上のことから、当初提案構造における溶け落ちを生じさせないためには、擦り付け幅 (B) を 20mm 以上確保する必要がある。また、擦り付け幅 (B) を 15mm 以下とした場合でも、溶け落ち部を仕上げることで使用できる可能性がある。

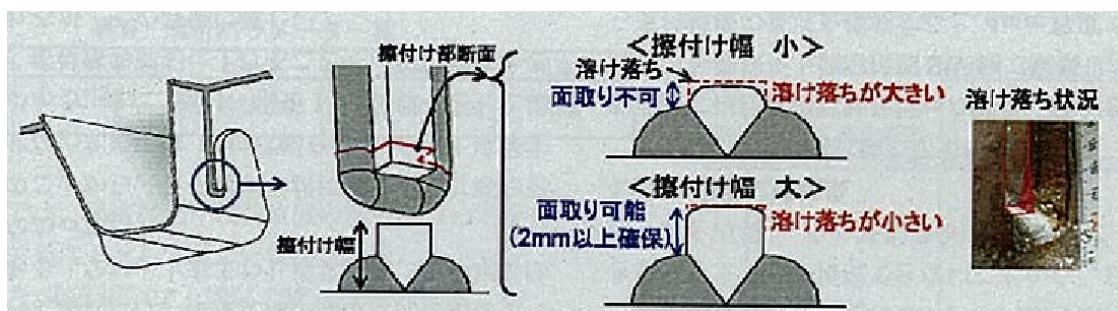


図-付 4.1 母材溶け落ちの概要

参考文献





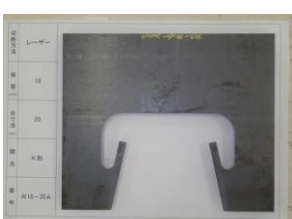

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、2002.3.
- 2) 土木学会：鋼床版の疲労 2010年改訂版、2010.12.
- 3) 原田、村越、平野、木ノ本：橋全体系モデルを用いた鋼床版 U リブ-横方向部材交差部の局部応力性状に関する解析的検討、鋼構造論文集、第 23 巻、第 89 号、pp.37-49、2016.3

参考資料 1 切断性確認試験の外観写真





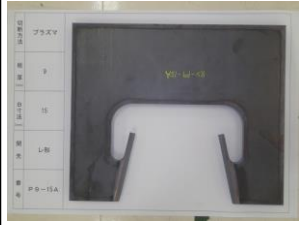

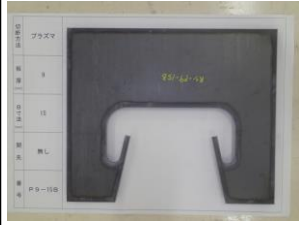




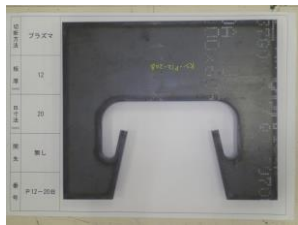
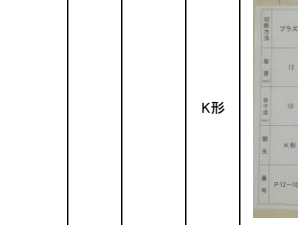

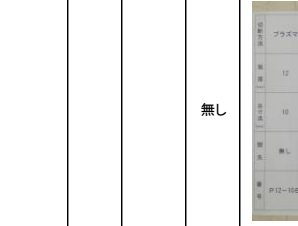

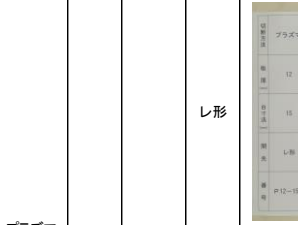

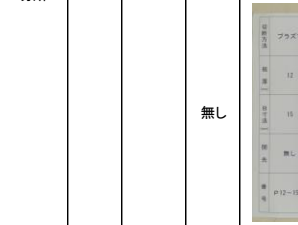

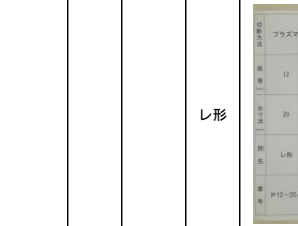

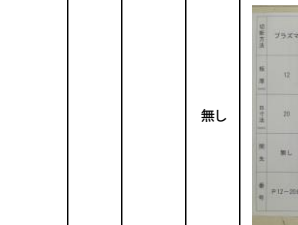

付表-1 レーザー切断 (1/2)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 | 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 | |
|--------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| レーザー切断 | 9mm | 10mm | レ形 |  | レーザー切断 | 12mm | 10mm | K形 |  | |
| | | | 無し |  | | | | 無し |  | |
| | | 15mm | レ形 |  | | | レーザー切断 | 15mm | レ形 |  |
| | | | 無し |  | | | | | 無し |  |
| | 20mm | レ形 |  | レーザー切断 | 20mm | レ形 |  | | | |
| | | 無し |  | | | 無し |  | | | |

付表-2 レーザー切断 (2/2)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 |
|--------|------|------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| レーザー切断 | 16mm | 10mm | K形 |  |
| | | | 無し |  |
| | | 15mm | K形 |  |
| | | | 無し |  |
| | 20mm | 20mm | K形 |  |
| | | | 無し |  |

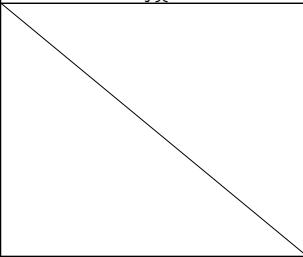


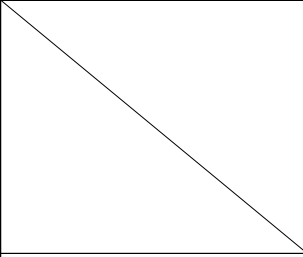




付表-3 プラズマ切断 (1/3)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 | 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 | |
|------------|------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| プラズマ 切断 | 9mm | 10mm | レ形 |  | プラズマ 切断 | 12mm | 10mm | K形 |  | |
| | | | 無し |  | | | | 無し |  | |
| | | 15mm | レ形 |  | | | 15mm | レ形 |  | |
| | | | 無し |  | | | | 無し |  | |
| | 20mm | レ形 |  | 20mm | レ形 |  | | | | |
| | | 無し |  | | 無し |  | | | | |
| | プラズマ 切断 | 12mm | 10mm | レ形 |  | プラズマ 切断 | 15mm | 10mm | K形 |  |
| | | | | 無し |  | | | | 無し |  |
| 15mm | | | レ形 |  | 15mm | | | レ形 |  | |
| | | | 無し |  | | | | 無し |  | |
| 20mm | | レ形 |  | 20mm | レ形 |  | | | | |
| | | 無し |  | | 無し |  | | | | |

付表-4 プラズマ切断 (2/3)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 | 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 |
|------------|------|------|----|----|------------|------|------|----|----|
| プラズマ 切断 | 16mm | 10mm | K形 | | プラズマ 切断 | 19mm | 10mm | レ形 | |
| | | | 無し | | | | | 無し | |
| | | 15mm | K形 | | | | K形 | | |
| | | | 無し | | | | 無し | | |
| | 20mm | K形 | | K形 | | | | | |
| | | 無し | | 無し | | | | | |

付表-5 プラズマ切断 (3/3)

| 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 | 切断方法 | 板厚 | B寸法 | 開先 | 写真 |
|------------|------|------|----|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----|------|----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| プラズマ 切断 | 22mm | 10mm | レ形 |  |  | 22 | 15mm | 無し |  |
| | | | 無し |  | | | | | |
| | | 15mm | K形 |  | | | | | |
| | | | 無し |  | | | | | |
| | 20mm | 20mm | K形 |  | | | | | |
| | | | 無し |  | | | | | |

参考資料 2 溶接性確認試験の外観写真

1. 溶接条件

付表-1.1 溶接条件 (1/2)

(a) 当初提案形状

| 板厚 | B寸法 | 脚長(隙間) | 溶接姿勢 | 試験体数量 | 溶接条件表No. |
|------|------|----------|------|-------|----------|
| 9mm | 10mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B910-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B910-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B910-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B915-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B915-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B915-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 12mm | 10mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B1210-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B1210-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B1210-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B1215-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B1215-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B1215-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 16mm | 10mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B1610-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B1610-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B1610-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B1615-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B1615-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B1615-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 19mm | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B1915-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B1915-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B1915-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 22mm | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | B2215-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | B2215-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | B2215-F |
| | | | 立向 | 1 | |













付表-1.1 溶接条件 (2/2)

(b) 上方まわし形状

| 板厚 | B寸法 | 脚長(隙間) | 溶接姿勢 | 試験体数量 | 溶接条件表No. |
|------|------|----------|------|-------|----------|
| 9mm | 10mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A910-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A910-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A910-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A915-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A915-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A915-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 12mm | 10mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A1210-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A1210-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A1210-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A1215-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A1215-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A1215-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 16mm | 10mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A1610-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A1610-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A1610-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A1615-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A1615-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A1615-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 19mm | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A1915-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A1915-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A1915-F |
| | | | 立向 | 1 | |
| 22mm | 15mm | 6mm(0mm) | 水平 | 1 | A2215-6 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | 9mm(3mm) | 水平 | 1 | A2215-9 |
| | | | 立向 | 1 | |
| | | F.P(3mm) | 横向 | 1 | A2215-F |
| | | | 立向 | 1 | |

2. 溶接外観写真

付表-2.1 当初提案形状 (1/27)

| 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | | | | 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | | | | | |
|-------------------------|-----|------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 | タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 |
| 当初提案形状 | 9mm | 10mm | 6mm |  | 当初提案形状 | 12mm | 10mm | 6mm |  |
| | | | 9mm |  | | | | 9mm |  |
| | | | FP |  | | | | FP |  |
| | | 15mm | 6mm |  | | 6mm |  | | |
| | | | 9mm |  | | 9mm |  | | |
| | | | FP |  | | FP |  | | |





付表-2.2 当初提案形状 (2/27)

| | | | | 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | | | | | | 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | |
|------------|------|------|-----|-------------------------|--|------------|------|------|-----|-------------------------|--|
| タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 | | タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 | |
| 当初提案 形状 | 16mm | 10mm | 6mm | | | 当初提案 形状 | 19mm | 10mm | 6mm | | |
| | | | 9mm | | | | | | 9mm | | |
| | | | FP | | | | | | FP | | |
| | 15mm | 9mm | 6mm | | | 当初提案 形状 | 19mm | 15mm | 6mm | | |
| | | | 9mm | | | | | | 9mm | | |
| | | | FP | | | | | | FP | | |

付表-2.3 当初提案形状 (3/27)

| 左側:水平または横向き姿勢、右側:立向姿勢 | | | | 左側:水平または横向き姿勢、右側:立向姿勢 | | | | |
|-----------------------|------|-----|----|-----------------------|----|-----|----|----|
| 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 | タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 |
| 22mm | 10mm | 6mm | | | | | | |
| | | 9mm | | | | | | |
| | | FP | | | | | | |
| 22mm | 15mm | 6mm | | | | | | |
| | | 9mm | | | | | | |
| | | FP | | | | | | |





付表-2.4 当初提案形状 (4/27)

| A910-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|-----------|------------|----|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) | |
| | 1パス目 | 250 | 31 | 913 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) | |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 955 | 74 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) | |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 861 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) | |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 955 | 74 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.5 当初提案形状 (5/27)

| A910-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 255 | 31 | 733 | |
| | 2パス目 | 240 | 31 | 765 | 75 |
| | 3パス目 | 210 | 27 | 568 | 90 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 31 | 447 | 85 |
| | 2パス目 | 260 | 31 | 545 | 90 |
| | 3パス目 | 280 | 30 | 758 | 70 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 645 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 605 | 19 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1318 | 78 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 511 | 92 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 592 | 90 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1331 | 70 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |




付表-2.6 当初提案形状 (6/27)

| A910-F | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|--------------|---------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 200 | 28 | 800 | | |
| 2パス目 | 250 | 30 | 639 | 70 | |
| 3パス目 | 260 | 31 | 687 | 70 | |
| 4パス目 | 280 | 30 | 695 | 40 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 240 | 32 | 616 | 96 | |
| 2パス目 | 240 | 32 | 654 | 80 | |
| 3パス目 | 245 | 31 | 609 | 90 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 565 | | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 1076 | 42 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1304 | 57 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 995 | 32 | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 955 | 34 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1062 | 59 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |

付表-2.7 当初提案形状 (7/27)

| A915-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 990 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 30 | 650 | 100 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 280 | 29 | 1404 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 861 | 21 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.8 当初提案形状 (8/27)

| A915-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 31 | 816 | |
| | 2パス目 | 240 | 32 | 789 | 94 |
| | 3パス目 | 210 | 27 | 568 | 95 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 31 | 408 | 60 |
| | 2パス目 | 265 | 30 | 558 | 85 |
| | 3パス目 | 280 | 31 | 544 | 75 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 605 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 632 | 31 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1425 | 73 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 430 | 96 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 874 | 31 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1331 | 71 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.9 当初提案形状 (9/27)

| A915-F | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | | 1パス目 | 200 | 28 | 772 |
| | | 2パス目 | 240 | 32 | 751 |
| | | 3パス目 | 260 | 31 | 606 |
| | | 4パス目 | 270 | 31 | 692 |
| | | 5パス目 | | | |
| | | 6パス目 | | | |
| | | 7パス目 | | | |
| | | 8パス目 | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | | 1パス目 | 240 | 32 | 597 |
| | | 2パス目 | 255 | 31 | 575 |
| | | 3パス目 | 245 | 32 | 531 |
| | | 4パス目 | 200 | 27 | 433 |
| | | 5パス目 | | | |
| | | 6パス目 | | | |
| | | 7パス目 | | | |
| | | 8パス目 | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | | 1パス目 | 185 | 29 | 982 |
| | | 2パス目 | 185 | 29 | 1318 |
| | | 3パス目 | 185 | 29 | 1129 |
| | | 4パス目 | | | |
| | | 5パス目 | | | |
| | | 6パス目 | | | |
| | | 7パス目 | | | |
| | | 8パス目 | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | | 1パス目 | 185 | 29 | 1008 |
| | | 2パス目 | 185 | 29 | 1143 |
| | | 3パス目 | 185 | 29 | 1089 |
| | | 4パス目 | | | |
| | | 5パス目 | | | |
| | | 6パス目 | | | |
| | | 7パス目 | | | |
| | | 8パス目 | | | |





付表-2.10 当初提案形状 (10/27)

| A1210-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 942 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 275 | 30 | 534 | 90 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 908 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 190 | 30 | 1106 | 70 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.11 当初提案形状 (11/27)

| A1210-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 250 | 31 | 733 | |
| | 2パス目 | 240 | 31 | 888 | 80 |
| | 3パス目 | 200 | 27 | 712 | 90 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 250 | 31 | 578 | 80 |
| | 2パス目 | 260 | 30 | 524 | 83 |
| | 3パス目 | 270 | 31 | 645 | 100 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 641 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 654 | 45 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1428 | 85 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 574 | 95 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 654 | 75 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1121 | 83 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.12 当初提案形状 (12/27)

| A1210-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 200 | 27 | 725 | |
| | 2パス目 | 250 | 32 | 657 | 70 |
| | 3パス目 | 260 | 31 | 642 | 40 |
| | 4パス目 | 280 | 30 | 731 | 68 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 220 | 31 | 560 | 97 |
| | 2パス目 | 240 | 32 | 650 | 80 |
| | 3パス目 | 240 | 31 | 722 | 100 |
| | 4パス目 | 200 | 27 | 631 | 88 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 694 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 1068 | 51 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1295 | 90 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 1161 | 25 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 1174 | 36 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1081 | 57 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.13 当初提案形状 (13/27)

| A1215-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 1063 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 30 | 665 | 80 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 295 | 29 | 1490 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 290 | 28.5 | 1316 | 75 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.14 当初提案形状 (14/27)

| A1215-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 682 | |
| | 2パス目 | 250 | 32 | 915 | 80 |
| | 3パス目 | 210 | 27 | 705 | 90 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 30 | 544 | 72 |
| | 2パス目 | 260 | 31 | 561 | 96 |
| | 3パス目 | 280 | 30 | 627 | 95 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 641 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 774 | 65 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1001 | 78 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 587 | 95 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 627 | 95 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1121 | 78 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.15 当初提案形状 (15/27)

| A1215-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 180 | 28 | 765 | |
| | 2パス目 | 260 | 32 | 786 | 60 |
| | 3パス目 | 260 | 31 | 401 | 70 |
| | 4パス目 | 270 | 30 | 564 | 40 |
| | 5パス目 | 260 | 31 | 622 | 78 |
| | 6パス目 | 260 | 31 | 581 | 90 |
| | 7パス目 | 250 | 31 | 655 | 100 |
| | 8パス目 | 200 | 27 | 443 | 93 |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 32 | 704 | 23 |
| | 2パス目 | 260 | 31 | 581 | 100 |
| | 3パス目 | 250 | 31 | 578 | 100 |
| | 4パス目 | 200 | 27 | 604 | 90 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 601 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 988 | 50 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1161 | 56 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1335 | 54 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 1054 | 31 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 1161 | 33 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1134 | 60 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.16 当初提案形状 (16/27)

| A1610-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 993 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 280 | 30 | 828 | 40 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 925 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 991 | 12 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.17 当初提案形状 (17/27)

| A1610-9 | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|--------------|---------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 255 | 31 | 876 | | |
| 2パス目 | 250 | 31 | 897 | 90 | |
| 3パス目 | 200 | 27 | 572 | 85 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 250 | 31 | 668 | 90 | |
| 2パス目 | 260 | 31 | 675 | 35 | |
| 3パス目 | 280 | 30 | 538 | 72 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 595 | | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 634 | 19 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1440 | 90 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 700 | 91 | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 581 | 78 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1308 | 80 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |

付表-2.18 当初提案形状 (18/27)

| A1610-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 180 | 28 | 695 | |
| | 2パス目 | 240 | 33 | 917 | 50 |
| | 3パス目 | 250 | 32 | 690 | 80 |
| | 4パス目 | 260 | 33 | 888 | 42 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 260 | 33 | 571 | 46 |
| | 2パス目 | 260 | 33 | 761 | 23 |
| | 3パス目 | 270 | 33 | 439 | 68 |
| | 4パス目 | 270 | 33 | 329 | 62 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 488 | 64 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 345 | 78 |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 581 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 819 | 38 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1123 | 72 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1321 | 51 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 793 | 27 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 978 | 38 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 899 | 35 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1018 | 51 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |





付表-2.19 当初提案形状 (19/27)

| A1615-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 31 | 954 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 30 | 658 | 90 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 951 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 190 | 30 | 1011 | 100 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.20 当初提案形状 (20/27)

| A1615-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 814 | |
| | 2パス目 | 270 | 30 | 918 | 32 |
| | 3パス目 | 200 | 27 | 678 | 95 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 675 | 100 |
| | 2パス目 | 250 | 31 | 649 | 100 |
| | 3パス目 | 260 | 31 | 893 | 95 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 753 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 581 | 60 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1335 | 43 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 502 | 38 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 621 | 45 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1282 | 68 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |


付表-2.21 当初提案形状 (21/27)

| A1615-F | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 160 | 26 | 492 | | |
| 2パス目 | 240 | 33 | 722 | 43 | |
| 3パス目 | 250 | 32 | 414 | 80 | |
| 4パス目 | 250 | 32 | 690 | 32 | |
| 5パス目 | 250 | 33 | 488 | 83 | |
| 6パス目 | 200 | 28 | 331 | 93 | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 260 | 33 | 549 | 54 | |
| 2パス目 | 260 | 33 | 676 | 30 | |
| 3パス目 | 270 | 33 | 417 | 71 | |
| 4パス目 | 270 | 33 | 527 | 66 | |
| 5パス目 | 270 | 33 | 439 | 82 | |
| 6パス目 | 180 | 28 | 286 | 100 | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 568 | | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 793 | 40 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1097 | 81 | |
| 4パス目 | 185 | 29 | 1388 | 66 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 753 | 30 | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 819 | 31 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 991 | 41 | |
| 4パス目 | 185 | 29 | 978 | 51 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |

付表-2.22 当初提案形状 (22/27)

| A1915-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 1005 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 30 | 634 | 84 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 195 | 29 | 857 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 195 | 29 | 885 | 52 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.23 当初提案形状 (23/27)

| A1915-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 240 | 31 | 982 | |
| | 2パス目 | 200 | 27 | 621 | 90 |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 30 | 550 | 35 |
| | 2パス目 | 270 | 30 | 812 | 90 |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 748 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 617 | 96 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1364 | 90 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 643 | 34 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 721 | 97 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1417 | 80 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

付表-2.24 当初提案形状 (24/27)

| A1915-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 180 | 28 | 616 | |
| | 2パス目 | 250 | 32 | 1017 | 55 |
| | 3パス目 | 260 | 32 | 631 | 100 |
| | 4パス目 | 260 | 33 | 441 | 90 |
| | 5パス目 | 260 | 33 | 692 | 40 |
| | 6パス目 | 260 | 33 | 566 | 100 |
| | 7パス目 | 200 | 28 | 479 | 81 |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 33 | 734 | 82 |
| | 2パス目 | 270 | 32 | 760 | 35 |
| | 3パス目 | 270 | 33 | 457 | 70 |
| | 4パス目 | 270 | 33 | 283 | 60 |
| | 5パス目 | 270 | 33 | 588 | 74 |
| | 6パス目 | 270 | 33 | 523 | 65 |
| | 7パス目 | 200 | 29 | 397 | 98 |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 630 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 708 | 20 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1023 | 62 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1338 | 60 |
| | 5パス目 | 185 | 29 | 1482 | 60 |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 879 | 31 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 944 | 30 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 984 | 50 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1194 | 54 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.25 当初提案形状 (25/27)

| A2215-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 31 | 978 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 31 | 724 | 80 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 190 | 28 | 684 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 190 | 28 | 633 | 57 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.26 当初提案形状 (26/27)

| A2215-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|------------|--------------|---------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 255 | 31 | 825 | |
| | 2パス目 | 240 | 32 | 913 | 23 |
| | 3パス目 | 200 | 27 | 668 | 100 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 240 | 32 | 597 | 100 |
| | 2パス目 | 270 | 30 | 629 | 93 |
| | 3パス目 | 280 | 30 | 673 | 100 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 547 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 482 | 77 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1432 | 41 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 469 | 39 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 534 | 31 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1354 | 42 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.27 当初提案形状 (27/27)

| A2215-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 180 | 28 | 538 | |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 1093 | 74 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 561 | 82 |
| | 4パス目 | 260 | 33 | 562 | 90 |
| | 5パス目 | 260 | 33 | 687 | 43 |
| | 6パス目 | 270 | 33 | 757 | 100 |
| | 7パス目 | 200 | 28 | 557 | 100 |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 33 | 916 | 81 |
| | 2パス目 | 260 | 33 | 979 | 35 |
| | 3パス目 | 270 | 33 | 692 | 86 |
| | 4パス目 | 270 | 33 | 389 | 85 |
| | 5パス目 | 270 | 33 | 606 | 96 |
| | 6パス目 | 200 | 28 | 476 | 100 |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 586 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 677 | 20 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1042 | 70 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1537 | 78 |
| | 5パス目 | 185 | 29 | 1706 | 67 |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 794 | 30 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 912 | 31 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1016 | 47 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1094 | 61 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.28 上方まわし形状 (1/27)

| 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | | | | 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | | | |
|-------------------------|------|------|----------|-------------------------|------|-----|----------|
| タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 写真 | タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 写真 |
| 上方まわし形状 | 9mm | 10mm | 6mm | 12mm | 10mm | 9mm | 6mm |
| | | | 9mm | | | | 9mm |
| | | | FP | | | | FP |
| | 15mm | 9mm | 6mm | 15mm | 9mm | 6mm | |
| | | | 9mm | | | 9mm | |
| | | | FP | | | FP | |





付表-2.29 上方まわし形状 (2/27)

| | | | | 左側:水平または横向き姿勢、右側:立向姿勢 | | | | | | | | 左側:水平または横向き姿勢、右側:立向姿勢 | | | |
|---------|------|------|-----|-----------------------|--|--|--|---------|------|------|-----|-----------------------|--|--|--|
| タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 | | | | タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 写真 | | | |
| 上方まわし形状 | 16mm | 10mm | 6mm | | | | | 上方まわし形状 | 19mm | 10mm | 6mm | | | | |
| | | | 9mm | | | | | | | | 9mm | | | | |
| | | | FP | | | | | | | | FP | | | | |
| | 15mm | 9mm | 6mm | | | | | 上方まわし形状 | 19mm | 15mm | 6mm | | | | |
| | | | 9mm | | | | | | | | 9mm | | | | |
| | | | FP | | | | | | | | FP | | | | |




付表-2.30 上方まわし形状 (3/27)

| タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | | タイプ | 板厚 | B寸法 | 脚長 | 左側: 水平または横向き姿勢、右側: 立向姿勢 | | |
|---------|------|-----|------|-------------------------|--|-----|----|-----|----|-------------------------|--|--|
| | | | | 写真 | | | | | | 写真 | | |
| 上方まわし形状 | 22mm | | 6mm | | | | | | | | | |
| | | | 10mm | 9mm | | | | | | | | |
| | | | FP | | | | | | | | | |
| | 15mm | | 6mm | | | | | | | | | |
| | | | 9mm | | | | | | | | | |
| | | | FP | | | | | | | | | |





付表-2.31 上方まわし形状 (4/27)

| B910-6 | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 溶接方法 | 面 | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  横向き溶接 オモテ面 | 1パス目 | 250 | 31 | 946 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
|  横向き溶接 ウラ面 | 1パス目 | 250 | 31 | 1023 | 53 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
|  立向き溶接 オモテ面 | 1パス目 | 185 | 29 | 1009 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
|  横向き溶接 ウラ面 | 1パス目 | 185 | 29 | 1062 | 19 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |


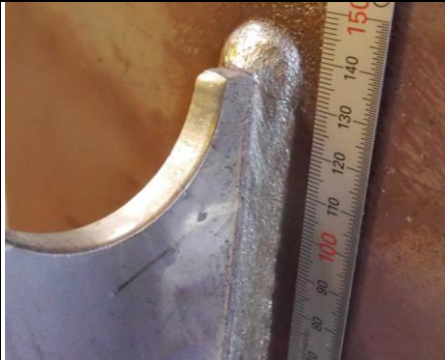


付表-2.32 上方まわし形状 (5/27)

| B910-9 | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|--------------|---------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 250 | 34 | 673 | | |
| 2パス目 | 250 | 34 | 1066 | 56 | |
| 3パス目 | 200 | 30 | 792 | 42 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 250 | 34 | 477 | 75 | |
| 2パス目 | 250 | 34 | 393 | 30 | |
| 3パス目 | 250 | 34 | 477 | 71 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 513 | | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 637 | 56 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1452 | 42 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 513 | 75 | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 425 | 30 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1594 | 71 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |





付表-2.33 上方まわし形状 (6/27)

| B910-F | | 溶接条件 | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 溶接 | 面 | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 横向き溶接  | オモテ面 | | | | |
| | 1パス目 | 200 | 27 | 695 | |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 898 | 90 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 814 | 12 |
| | 4パス目 | 250 | 34 | 757 | 80 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接  | ウラ面 | | | | |
| | 1パス目 | 250 | 34 | 785 | 32 |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 505 | 48 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 477 | 84 |
| | 4パス目 | 250 | 34 | 477 | 50 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 立向き溶接  | オモテ面 | | | | |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 921 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 956 | 58 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1133 | 81 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接  | ウラ面 | | | | |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 1310 | 26 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 1239 | 91 |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |





付表-2.34 上方まわし形状 (7/27)

| B915-6 | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|--------------|---------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 250 | 31 | 1125 | | |
| 2パス目 | | | | | |
| 3パス目 | | | | | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 270 | 30 | 695 | 55 | |
| 2パス目 | | | | | |
| 3パス目 | | | | | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 938 | | |
| 2パス目 | | | | | |
| 3パス目 | | | | | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 868 | 19 | |
| 2パス目 | | | | | |
| 3パス目 | | | | | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |





付表-2.35 上方まわし形状 (8/27)

| B915-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|------------|--------------|---------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 33 | 706 | |
| | 2パス目 | 250 | 35 | 982 | 90 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 1150 | 100 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 33 | 626 | 23 |
| | 2パス目 | 250 | 33 | 490 | 52 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 617 | 100 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 549 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 708 | 52 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1452 | 33 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 460 | 96 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 336 | 33 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1399 | 50 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |





付表-2.36 上方まわし形状 (9/27)

| B915-F | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 200 | 27 | 606 | | |
| 2パス目 | 250 | 33 | 708 | 93 | |
| 3パス目 | 250 | 33 | 762 | 12 | |
| 4パス目 | 250 | 34 | 729 | 100 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 250 | 35 | 924 | 30 | |
| 2パス目 | 250 | 34 | 589 | 50 | |
| 3パス目 | 250 | 34 | 589 | 70 | |
| 4パス目 | 250 | 34 | 561 | 50 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 992 | | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 974 | 55 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 938 | 82 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 1204 | 25 | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 1239 | 106 | |
| 3パス目 | | | | | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |





付表-2.37 上方まわし形状 (10/27)

| B1210-6 | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 溶接方法 | 面 | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  横向き溶接 オモテ面 | 1パス目 | 240 | 31 | 948 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
|  横向き溶接 ウラ面 | 1パス目 | 270 | 30 | 794 | 55 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
|  立向き溶接 オモテ面 | 1パス目 | 185 | 29 | 912 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
|  横向き溶接 ウラ面 | 1パス目 | 185 | 29 | 912 | 24 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.38 上方まわし形状 (11/27)

| B1210-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 33 | 757 | |
| | 2パス目 | 250 | 35 | 1001 | 85 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 917 | 94 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 444 | 23 |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 528 | 42 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 500 | 90 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 631 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 701 | 55 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1508 | 39 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 473 | 96 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 403 | 34 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1368 | 46 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.39 上方まわし形状 (12/27)

| B1210-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 200 | 27 | 582 | |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 944 | 12 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 611 | 100 |
| | 4パス目 | 250 | 34 | 778 | 80 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 566 | 84 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 944 | 85 |
| | 7パス目 | 200 | 29 | 512 | 87 |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 250 | 34 | 444 | 94 |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 389 | 100 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 389 | 100 |
| | 4パス目 | 250 | 34 | 694 | 100 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 824 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 894 | 54 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 894 | 81 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| | 1パス目 | 185 | 29 | 1052 | 31 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 1069 | 90 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1210 | 100 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.40 上方まわし形状 (13/27)

| B1215-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 240 | 31 | 997 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 280 | 30 | 824 | 70 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 999 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 999 | 17 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.41 上方まわし形状 (14/27)

| B1215-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 33 | 782 | |
| | 2パス目 | 250 | 33 | 1078 | 64 |
| | 3パス目 | 200 | 30 | 882 | 65 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 556 | 63 |
| | 2パス目 | 250 | 33 | 566 | 50 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 556 | 28 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 544 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 473 | 41 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1105 | 90 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 736 | 87 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 526 | 100 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1332 | 34 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |




付表-2.42 上方まわし形状 (15/27)

| B1215-F | | 溶接条件 | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|--------------|---------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 200 | 27 | 653 | | |
| 2パス目 | 250 | 34 | 917 | 12 | |
| 3パス目 | 250 | 34 | 722 | 100 | |
| 4パス目 | 250 | 34 | 694 | 100 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 270 | 35 | 988 | 36 | |
| 2パス目 | 250 | 34 | 500 | 90 | |
| 3パス目 | 250 | 34 | 500 | 52 | |
| 4パス目 | 200 | 30 | 373 | 60 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 982 | | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 947 | 51 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1175 | 72 | |
| 4パス目 | 185 | 29 | 1245 | 71 | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | 185 | 29 | 912 | 35 | |
| 2パス目 | 185 | 29 | 1069 | 80 | |
| 3パス目 | 185 | 29 | 1157 | 100 | |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |





付表-2.43 上方まわし形状 (16/27)

| B1610-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 34 | 1169 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 33 | 1052 | 72 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 1211 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 900 | 43 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |



付表-2.44 上方まわし形状 (17/27)

| B1610-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 631 | |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 631 | 60 |
| | 3パス目 | 200 | 30 | 348 | 80 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 1069 | 23 |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 932 | 47 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 548 | 92 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 675 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 588 | 65 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1385 | 71 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 485 | 85 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 485 | 30 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1419 | 87 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.45 上方まわし形状 (18/27)

| B1610-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 200 | 28 | 650 | |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 713 | 54 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 439 | 70 |
| | 4パス目 | 250 | 33 | 399 | 83 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 772 | 80 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 665 | 90 |
| | 7パス目 | 200 | 28 | 488 | 90 |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 439 | 50 |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 658 | 72 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 426 | 80 |
| | 4パス目 | 250 | 34 | 411 | 70 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 373 | 100 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 559 | 67 |
| | 7パス目 | 250 | 33 | 399 | 88 |
| | 8パス目 | 200 | 28 | 343 | 73 |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 727 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 831 | 18 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 935 | 80 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1177 | 90 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 761 | 55 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 796 | 71 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1229 | 79 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1229 | 100 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |





付表-2.46 上方まわし形状 (19/27)

| B1615-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|---------|-----------|------------|
| 溶接方向 | 面 | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 横向き溶接 オモテ面 | 260 | 34 | 1226 | |
| | 1パス目 | | | | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
|  | 横向き溶接 ウラ面 | 260 | 33 | 996 | 70 |
| | 1パス目 | | | | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
|  | 立向き溶接 オモテ面 | 185 | 29 | 1211 | |
| | 1パス目 | | | | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
|  | 横向き溶接 ウラ面 | 185 | 29 | 952 | 55 |
| | 1パス目 | | | | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |



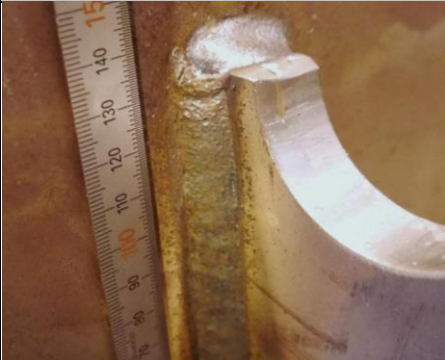

付表-2.47 上方まわし形状 (20/27)

| B1615-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 850 | |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 1042 | 67 |
| | 3パス目 | 200 | 30 | 871 | 63 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 521 | 73 |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 713 | 78 |
| | 3パス目 | 250 | 34 | 631 | 30 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 433 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 519 | 44 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1263 | 55 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 658 | 70 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 450 | 95 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1315 | 42 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |





付表-2.48 上方まわし形状 (21/27)

| B1615-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 200 | 28 | 705 | |
| | 2パス目 | 260 | 33 | 830 | 70 |
| | 3パス目 | 260 | 33 | 443 | 100 |
| | 4パス目 | 250 | 33 | 399 | 80 |
| | 5パス目 | 260 | 33 | 775 | 70 |
| | 6パス目 | 270 | 33 | 776 | 100 |
| | 7パス目 | 200 | 28 | 542 | 95 |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 200 | 28 | 434 | 52 |
| | 2パス目 | 260 | 33 | 720 | 70 |
| | 3パス目 | 260 | 33 | 526 | 80 |
| | 4パス目 | 260 | 33 | 360 | 72 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 559 | 83 |
| | 6パス目 | 260 | 33 | 332 | 100 |
| | 7パス目 | 200 | 28 | 379 | 87 |
| | 8パス目 | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 779 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 744 | 19 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1108 | 81 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1281 | 70 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 692 | 43 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 917 | 74 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1142 | 73 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1177 | 99 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |




付表-2.49 上方まわし形状 (22/27)

| B1915-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 34 | 1186 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 33 | 932 | 60 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 1371 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 1217 | 42 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |



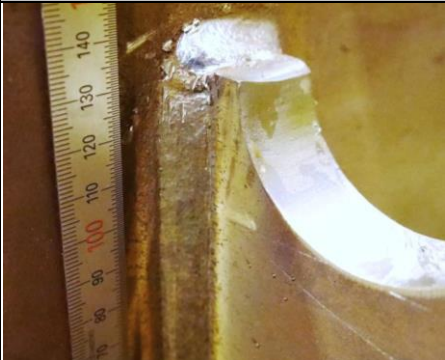

付表-2.50 上方まわし形状 (23/27)

| B1915-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | | 250 | 34 | 815 | |
| 2パス目 | | 250 | 34 | 1168 | 90 |
| 3パス目 | | 210 | 31 | 936 | 83 |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | | 250 | 34 | 679 | 73 |
| 2パス目 | | 250 | 34 | 706 | 82 |
| 3パス目 | | 250 | 34 | 788 | 35 |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | | 185 | 29 | 514 | |
| 2パス目 | | 185 | 29 | 480 | 55 |
| 3パス目 | | 185 | 29 | 1371 | 48 |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 溶接条件 | | | |
|  | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
| 1パス目 | | 185 | 29 | 703 | 81 |
| 2パス目 | | 185 | 29 | 429 | 98 |
| 3パス目 | | 185 | 29 | 1200 | 51 |
| 4パス目 | | | | | |
| 5パス目 | | | | | |
| 6パス目 | | | | | |
| 7パス目 | | | | | |
| 8パス目 | | | | | |





付表-2.51 上方まわし形状 (24/27)

| B1915-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 200 | 29 | 667 | |
| | 2パス目 | 250 | 33 | 975 | 60 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 554 | 100 |
| | 4パス目 | 250 | 33 | 606 | 100 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 791 | 95 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 712 | 100 |
| | 7パス目 | 200 | 28 | 394 | 100 |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 33 | 474 | 52 |
| | 2パス目 | 250 | 33 | 791 | 77 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 422 | 100 |
| | 4パス目 | 250 | 33 | 395 | 80 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 395 | 83 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 527 | 100 |
| | 7パス目 | 200 | 30 | 460 | 86 |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 703 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 1028 | 19 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1200 | 91 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1320 | 83 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 823 | 42 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 1097 | 85 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1251 | 81 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1303 | 100 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.52 上方まわし形状 (25/27)

| B2215-6 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 260 | 32 | 948 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 270 | 31 | 1007 | 54 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 1273 | |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 1256 | 40 |
| | 2パス目 | | | | |
| | 3パス目 | | | | |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

付表-2.53 上方まわし形状 (26/27)

| B2215-9 | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 33 | 731 | |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 1076 | 68 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 1149 | 64 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 34 | 699 | 83 |
| | 2パス目 | 250 | 34 | 753 | 75 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 574 | 24 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 458 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 458 | 48 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1426 | 51 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 696 | 89 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 458 | 100 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1205 | 47 |
| | 4パス目 | | | | |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| | | | | | |

付表-2.54 上方まわし形状 (27/27)

| B2215-F | | 溶接条件 | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------|-----------|------------|
| 横向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 200 | 28 | 656 | |
| | 2パス目 | 250 | 33 | 1070 | 55 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 679 | 100 |
| | 4パス目 | 250 | 33 | 705 | 100 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 783 | 92 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 679 | 95 |
| | 7パス目 | 200 | 28 | 478 | 100 |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 250 | 33 | 392 | 42 |
| | 2パス目 | 250 | 33 | 835 | 84 |
| | 3パス目 | 250 | 33 | 444 | 82 |
| | 4パス目 | 250 | 33 | 392 | 87 |
| | 5パス目 | 250 | 33 | 522 | 70 |
| | 6パス目 | 250 | 33 | 444 | 90 |
| | 7パス目 | 200 | 29 | 385 | 100 |
| | 8パス目 | | | | |
| 立向き溶接 オモテ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 696 | |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 917 | 19 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1019 | 90 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1307 | 80 |
| | 5パス目 | 185 | 29 | 1664 | 80 |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |
| 横向き溶接 ウラ面 | | 電流値 (A) | 電圧値 (V) | 入熱 (J/mm) | パス間温度 (°C) |
|  | 1パス目 | 185 | 29 | 747 | 55 |
| | 2パス目 | 185 | 29 | 815 | 75 |
| | 3パス目 | 185 | 29 | 1205 | 94 |
| | 4パス目 | 185 | 29 | 1375 | 100 |
| | 5パス目 | | | | |
| | 6パス目 | | | | |
| | 7パス目 | | | | |
| | 8パス目 | | | | |

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.504 April 2019

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754