

## 第4章 ディテール

## 第4編 ディテール

### 目 次

1. はじめに	4-1
2. 疲労設計の取り扱い	4-2
2. 1 ディテールの変遷	4-2
2. 2 疲労設計の反映状況	4-4
2. 3 ディテール比較	4-12
2. 4 溶接指示図(案)	4-29
3. 面外ガセットに関する疲労試験	4-31
3. 1 疲労試験	4-31
3. 2 応力解析	4-40
3. 3 まとめ	4-49
3. 4 面外ガセット継手の試案	4-49
4. おわりに	4-50
5. 参考文献	4-51

#### WGメンバー

佐藤 浩明 (株)宮地鐵工所
中嶋 浩之 (株)巴コーポレーション
小山 知之 (株)サクラダ
市江 保昭 (日本車輛製造株)
村瀬 孝典 (日本車輛製造株)
重松 勝司 (パシフィックコンサルタンツ株)
大宅 克幸 (パシフィックコンサルタンツ株)
井澤 達也 (株)ハルテック
栗原 直久 (株)ハルテック
山内 隆 (株)ハルテック
星川 正明 (株)東京鐵骨橋梁
斎藤 孝一 (株)東京鐵骨橋梁
片山 隆信 (高田機工株)
石井 秀和 (株)BMC
岡 賢一郎 (株)日本構造橋梁研究所
鳥居 丈裕 (日立造船株)
中村 英紀 (日立造船株)

## 第4編 ディテール

### 1. はじめに

道路橋の場合、鋼床版を除き疲労の影響は考慮しなくても良いとされてきた経緯もあり、1980年頃から疲労損傷が顕在化してきた。

疲労損傷事例を元に損傷原因を整理すると、以下に示すように大別出来る。

- (1) 通行車両の増大、大型化
- (2) 腐食による断面の減少
- (3) 二次応力（設計モデルと実構造との違い）
- (4) 応力集中（不適切な構造ディテールの採用）
- (5) 溶接欠陥
- (6) 残留変形

(1)については、変化に即した補修・補強対応を適宜実施するとともに、過積載車両の締め出しも急務である。

(2)については、維持管理の継続により、腐食要因の早期撤去を図ることで疲労損傷を回避すべきものである。腐食については、前回の部会で報告済みの為、前回の報告書を参照して頂きたい。

(3)~(6)については、疲労の影響を考慮していなかった為、二次応力や応力集中を誘発するディテール、溶接が困難なディテール等を採用してきたことが、結果として疲労損傷の発生につながっている。

したがって、必要とされる疲労強度を有するディテールの採用、溶接欠陥を確実に認識出来る非破壊検査方法の確立、過剰な溶接を採用しないことで残留変形・残留応力への影響を最小限に抑える等の取り組みが必要となる。

平成14年3月の「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）の改訂により、道路橋にも疲労設計が導入された結果、溶接部の止端仕上げが必要とされるケースが増える等、製作上大きな負担がしいられることとなった。

本編では、以下に示す理由から、面外ガセット継手についての疲労試験・応力解析を行い、疲労強度と製作性のバランスがとれた継手構造を検討するものである。

また、垂直補剛材の溶接に関する変遷を紐解くと共に、公団公社における疲労設計の対応状況、溶接仕上げ指示図の提案もあわせて行うものである。

#### 面外ガセットに着目する理由

面外ガセットは、水平補剛材や対傾構・横構のガセット等、適用箇所は多い。

一般的にその部材長は100mmを超えるが、その場合、溶接部が非仕上げであれば強度等級はG等級と小さく、F等級に上げる為には、止端仕上げを有する完全溶込溶接を要求される。これは、製作上大きな負担となるので、疲労強度を確保しつつ製作性の向上が図られる継手構造が必要とされているからである。

## 2. 疲労設計の取り扱い

### 2.1 ディテールの変遷

道路橋の場合、平成 14 年 3 月の「道路橋示方書・同解説」の改訂までは、鋼床版を除いて疲労の影響は考慮されておらず、ディテールについても他の要因を元に決定されている。

疲労損傷事例にも挙げられている垂直補剛材とフランジとの接合部における仕様の変遷を表-2. 1に示す。

これからも分かるように、疲労の問題は、昭和 63 年以降、論文のテーマとして取り上げられているものの、基準等での取り上げは、平成 9 年 5 月の「鋼橋の疲労」まで待たなくてはならない。

つまり、極言すれば、平成の初め頃までは、疲労損傷が鋼道路橋と無縁であると一般的に考えられており、「道路橋示方書・同解説」や各公団・公社の設計基準においても、疲労設計は要求されていなかったことから、今日の疲労損傷の発生は、想定を超えたものである。

表-2.1 鋼床版デッキプレートと垂直補剛材の接合に関する基準類の変遷

年号	道路橋示方書	その他基準	論文等
昭和55. 2	「垂直補剛材を腹板の片側だけに設ける場合は、垂直補剛材と圧縮フランジとは溶接しなければならない」		
昭和63. 10			「I-139 実橋測定による鋼床版主桁ウエブ垂直補剛材上端部の疲労検討 土木学会第43回年次学術講演会」 「I-142 鋼床版デッキプレートおよび局部の応力検討 土木学会第43回年次学術講演会」
平成2. 2	「垂直補剛材と圧縮フランジとは溶接するものとする」「床版に接する引張フランジとは2)3)の規定にかかわらず溶接するものとする」		
平成3. 9			「I-193 鋼床版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」
平成4. 9			「I-129 鋼床版デッキプレートとスチ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」
平成5. 4		「鋼構造物の疲労設計指針・同解説 日本鋼構造協会」 記述なし。	
平成6. 2	同上		
平成8. 6			「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回鋼構造物の補修・補強技術報告会論文集」
平成8. 12	同上		
平成9. 5		「鋼橋の疲労 日本道路橋会」 損傷事例としての紹介。また、「輪荷重が主桁上および主桁直近の縦リブ上を頻繁に通らないように、レーン位置の配置に配慮するのがよい」と記述。	
平成14. 3	同上		
平成14. 3		「鋼道路橋の疲労設計指針 日本道路協会」 横リブ・横桁の記述として「横リブまたは横桁の垂直補剛材の取付けは、図-5.3.5に示す構造を標準とし、デッキプレートに溶接しないものとする」とあり溶接しないこととしている。 縦桁の記述として「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」と記述。	

## 2.2 疲労設計の反映状況

疲労損傷の顕在化を受け、社団法人 日本道路協会からは平成9年5月に「鋼橋の疲労」、平成14年3月に「鋼道路橋の疲労設計指針」が出版されるとともに、「道路橋示方書・同解説」の改訂により、鋼道路橋にも疲労設計を行うことが義務づけられた。

そこで、疲労損傷を防ぐ為の対応について、「鋼道路橋の疲労設計指針」（日本道路協会平成14年3月）、「橋梁構造物設計要領」（首都高速道路公団 平成15年5月）及び「鋼構造物標準図集」（名古屋高速道路公社 平成16年4月）を対象にまとめる。

（表-2.2～表-2.5参照）

表-2.2 「鋼道路橋の疲労設計指針」(平成14年3月、社団法人日本道路協会)における疲労設計事項一覧表

対象部位	対策	備考
鋼床版	以下の条件を満足する鋼床版構造の疲労設計に適用する。 1) 縦リブ支間Lが、 $L \leq 2.5m$ である。 2) 縦リブが、バルブプレートリブ、平板リブまたは以下に示す閉断面リブである。 ①U-320×240×6、②U-320×260×6、③U-320×240×8、④U-320×260×8 3) デッキプレートの板厚 $t_d$ が、 $12mm \leq t_d \leq 16mm$ である。	設計計算で得られる応力範囲を基にした疲労安全性の照査で適切な評価を行うことは一般に困難なため、適用範囲を限定。施工実績、疲労試験の実績から1), 2)を規定。
	閉断面リブとデッキプレートの縦方向溶接継手は、必要など厚を確保するとともに、リブ板厚の75%以上の溶込み量を確保するものとする。	溶込み量確保による応力集中を緩和させる。
	デッキプレートの橋軸方向継手位置は、なるべく輪荷重の直下となる位置と一致しないよう配慮する。	橋軸方向継手位置にはスカーラップが設けられることが多いが、スカーラップ上への輪荷重の載荷による大きな局部応力(スカーラップの断面欠損や形状変化に起因)による疲労亀裂の原因となるのを避けるため。
	縦リブの継手は、縦リブの支間中央部のL/2の範囲に設けないものとする。	疲労耐久性を確保するためには、縦リブの継手は曲げモーメントがなるべく小さくなる位置に設ける必要があるため。
	縦リブの継手は、原則として高力ボルト摩擦接合継手を標準とする。やむを得ず閉断面リブで溶接継手とする場合には、裏当て金を用いた完全溶込み突合せ溶接継手とする。	裏当て金を用いた突合せ溶接部に疲労亀裂が生じた例があるので、高力ボルト摩擦接合継手を標準とする。
	輪荷重の載荷位置直下に位置する縦リブ継手部のスカーラップの長手方向の大きさは80mm以下とする。(高力ボルト摩擦接合)	せん断力による応力集中、デッキプレートの面外変形による、デッキプレート側溶接止端部での応力集中を避けるため。
	縦リブの連結板の設計にあたっては、縦リブ母材の断面欠損の影響を考慮する。(高力ボルト摩擦接合)	
	高力ボルト摩擦接合継手部の縦リブの増厚は行わなくてもよい。	板継ぎに用いる裏当て金付き突合せ溶接継手の施工品質の確保が困難で、必要な疲労強度が確保されない問題点があったので、継手位置を規定することにともない増厚は不要とした。
	閉断面リブの継手部では、閉断面リブ内部の防錆防食を確保するものとする。	

対象部位	対策	備考
鋼床版	閉断面リブ内部には、防せい防食のために密閉構造とする場合を除き、原則としてダイヤフラムを設けないものとする。	横リブのウェブ位置とダイヤフラム位置を正確に一致させること及び確認することが難しい。また、溶接時の拘束による割れが生じる恐れがある。
	横リブ及び横桁の継手部において、デッキプレートの溶接のために設けられるスカーラップの長手方向の大きさは80mm以下とする。	縦リブ継手部と同様。
	輪荷重の直下となる位置には、原則として横リブまたは横桁の継手部を設けないものとする。	疲労亀裂の発生が懸念されるため。
	縦リブと横リブまたは横げた交差部では、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。	疲労に配慮
	縦リブとデッキプレートの縦方向溶接を連続させるために設けられる横リブまたは横桁のコーナーカット部には埋戻し溶接を行う。	疲労亀裂の防止のため。ただし、縦方向溶接に75%以上の溶込みを確保することを要する。
	縦リブが貫通する中間横リブまたは横げたでは、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。	横リブのウェブ高を600～700mm程度以上確保することで必要な断面剛性は確保される。
	縦リブと端横リブまたは端横桁の交差部の標準構造を規定。	所定の溶接品質の確保
	裏当て金を用いた完全溶け込み溶接として良い条件を規定。 1) 閉断面リブと裏当て金は密着している。 2) 閉断面リブと端横リブもしくは端横桁のウェブとのギャップ間隔は4～5mmを保持している。	所定の溶接品質の確保
垂直補剛材	横リブまたは横げたの垂直補剛材の取付けは、デッキプレートに溶接しない。	疲労亀裂の原因の排除。 一般に縦リブが接合されていることにより面外剛性が高く、ウェブギャップを大きくとらない限り垂直補剛材をデッキプレートに溶接した場合よりも疲労強度は高くなる。
縦桁	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。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。	疲労亀裂の原因になることへの配慮

対象部位	対策	備考
コーナープレート	<p>大型車の輪荷重が常時載荷される位置直下には、コーナープレートを配置しないことを標準とする。</p> <p>やむを得ず、配置する場合には、コーナープレートとデッキプレートの縦方向溶接において75%以上の溶け込み量を確保しなければならない。</p>	<p>コーナープレートに斜めウェブを用いた場合、コーナープレートとデッキプレートとの溶接部の密着が確保出来ず、縦方向溶接のルート部からの疲労亀裂が生じやすいため。</p> <p>コーナープレートを設けると、縦桁または主桁ウェブとデッキプレートの溶接部が隠れ、維持管理上も好ましくないのでコーナープレートはなるべく設けないのがよい。</p>

表-2. 3 「首都高速道路 橋梁構造物設計要領」（平成15年5月、首都高速道路公団）における疲労設計事項一覧表

対象部位	対策	備考
部材の連結	高力ボルト摩擦接合を標準とする。	施工性・耐疲労の観点から
	鋼製橋脚については現場溶接を原則とする。	景観上の観点から
	鋼床版の縦シームは現場溶接を標準とする。	縦リブ間隔の制約、横リブ・横桁の存在により、一般的に添接板の設置が困難である。
溶接継手	完全溶け込み溶接を指示する場合、「FP」と図面に明記する。	誤作防止
	裏当て金付き溶接は出来る限り用いない。	裏当て金近傍で溶接欠陥が発生する可能性がある。
鋼床版	セラミックを材質とする裏当て金は用いてはならない。	溶接欠陥が発生しやすい。
	安易に採用しない。	疲労損傷の事例が多い。
	縦リブの現場継手は高力ボルト摩擦接合を標準とする。	閉断面縦リブの連結に、裏当て金付き突合せ溶接を用いると疲労強度が低くなる。
	縦リブの連結位置は縦リブ支間のなるべく支点よりとする。	疲労耐久性を確保するため、縦リブの継手は曲げモーメントがなるべく小さい位置に設ける。
	縦リブ連結部において縦リブの増厚は行わなくてよい。	板継に用いる当て金付き突合せ溶接継手の施工品質の確保が困難で、必要な疲労強度が確保されないとの問題があった。
	閉断面リブ内部には、密閉構造とする場合を除き、原則ダイヤフラムを設けない。	横リブのウェブ位置とダイヤフラム位置を正確に一致させること及び確認することが難しい。また、溶接時の拘束による割れが生じる恐れがある。
	閉断面リブとデッキプレートの縦方向継手は、必要のど厚を確保しリブの板厚の75%以上の溶け込み量を確保しなければならない。	ルート部からの疲労亀裂に対して、溶け込み量の確保による応力集中の緩和が有効。
	横リブ間隔は2.5m以下とするのを標準とする。	鋼床版構造の横リブ間隔は2.5m以下の場合が多く、疲労試験等による構造等の検討例も多いから。
	デッキプレートに設ける現場溶接用スカーラップの長手方向の大きさは80mm以下とする。	デッキプレートの面外変形により、デッキプレート側の溶接止端部で大きな応力集中が生じ、疲労亀裂が生じやすいことから断面欠損を少なくする。
	横リブ・横桁の現場継手は、常時輪荷重が載荷される位置を避けるのが望ましい。	スカーラップ直上に常時輪荷重が載荷されると、スカーラップ部からの疲労亀裂発生が懸念される。

対象部位	対策	備考
鋼床版	縦リブと横リブ・横桁との交差部に設けるコーナーカット部は、溶接にて埋め戻すものとする。	疲労亀裂の防止
	縦リブが貫通する横リブ・横桁では、開口部の影響による剛性低下に配慮する。	標準的な構造寸法に対しては、少なくとも横リブの桁高を600mm～700mm程度以上確保することで必要な面内剛性が確保されると考えられる。
	閉断面リブと端横リブ・端横桁との溶接は、裏当て金を用いた溶接とする。（ただし、閉断面リブと裏当て金は密着し、ギャップ間隔4～5mmを保持していることが条件）	溶接品質の確保。（疲労亀裂の防止）
	横リブ・横桁の垂直補剛材とデッキプレートは溶接してはならない。	応力集中による疲労亀裂の防止
	縦リブと端横桁の接合部は大きな局部応力が生じるので、細部構造に配慮する必要有り。（「鋼道路橋の疲労設計指針」（日本道路協会）を参考とすることが出来る。）	輪荷重の移動による横桁ウェブの変形によって大きな局部応力が生じ、疲労亀裂の原因になる。
フランジ	主桁ウェブは、輪荷重の直下となる位置に配置しないのが望ましい。 ソールプレートと下フランジ、上脊プレートとソールプレート（下フランジ）はHTB接合とする。	疲労亀裂の原因になる事への配慮 ソールプレート周辺の溶接部からの疲労亀裂防止
ウェブ	垂直補剛材の溶接は、以下の通り。 （1）RC床版部 1) 支点部：（上フランジ側）FPでスカーラップ有り （下フランジ側）FPでスカーラップは設けない。 2) 格点部：（上フランジ側）FPでスカーラップは設けない。 （下フランジ側）35mmのクリアランスを設ける。 3) 交番・負曲げ区間の中間部：（上フランジ側）FPでスカーラップ有り。 （下フランジ側）4mmすみ肉でスカーラップ有り。 4) 正曲げ区間の中間部：（上フランジ側）4mmすみ肉でスカーラップ有り。 （下フランジ側）35mmのクリアランスを設ける。 （2）鋼床版部 1) 支点部：（上フランジ側）FPでスカーラップ有り。 （下フランジ側）FPでスカーラップは設けない。 2) 格点部：（上フランジ側）FPでスカーラップは設けない。 （下フランジ側）35mmのクリアランスを設ける。 3) 中間部：（上フランジ側）35mmのクリアランスを設ける。 （下フランジ側）35mmのクリアランスを設ける。	疲労に配慮
	桁を切り欠いた構造（ゲルバー）は、使わないことが望ましい。	損傷事例がある為。

対象部位	対策	備考
隅角部	矩形断面柱では、横梁と柱ウェブを優先する板組とし、部材は全て完全溶け込み溶接とする。	疲労亀裂の防止
	円形断面柱では、横梁のフランジを優先する板組とするのを原則とする。	疲労亀裂の防止
	溶接線の集中する箇所にスクエアバー（角鋼）は使用しない。	疲労亀裂の防止
	柱ウェブにはフィレットを設けるものとする。フィレットの大きさ（W）の目安は横梁腹板高（D）の20%程度とし、先端は半径 $r \approx W$ の円弧ですりつける。	応力集中の緩和による疲労亀裂の防止
	隅角部の完全溶け込み溶接については、柱と梁の接合部とその近傍20cmまたはフィレット先端までの範囲について溶接ビード表面の凹凸及びビード止端部をグラインダーにて滑らかに仕上げる。	疲労亀裂の防止
	完全溶け込み溶接を指示する場合、「FP」と図面に明記する。	疲労耐久性の向上、誤作防止
	開先形状と寸法、仕上げ方法と範囲等図面に明記する。	疲労耐久性の向上、誤作防止

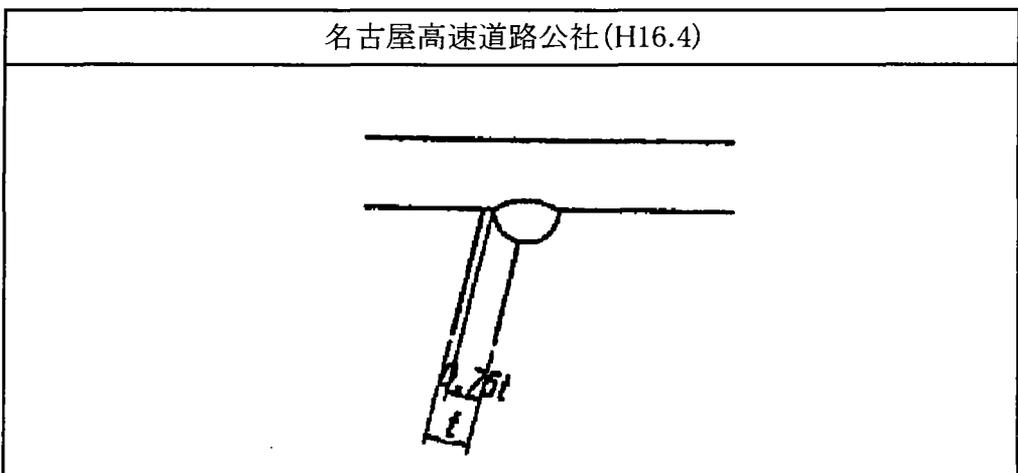
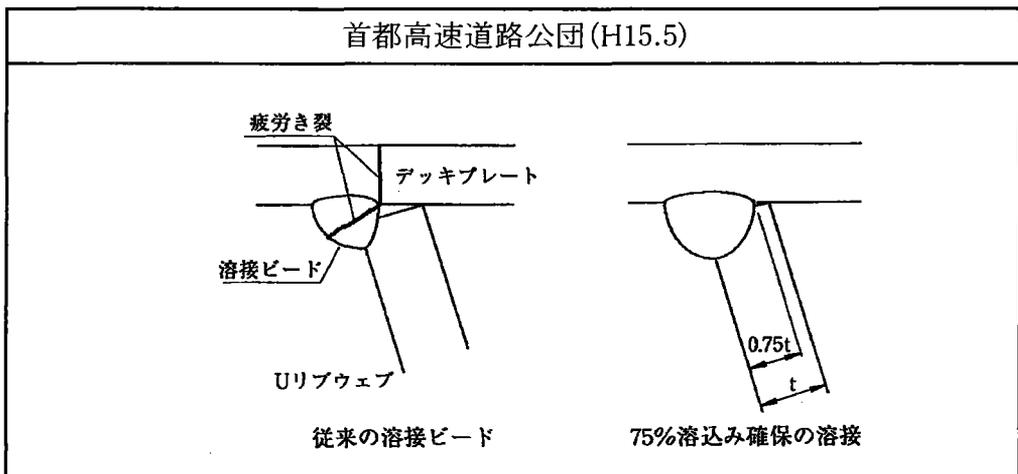
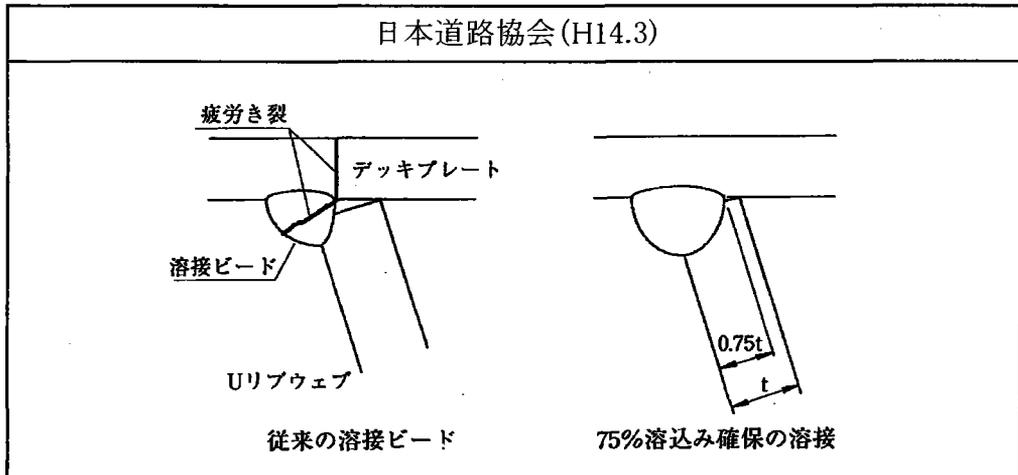
表-2. 4 「鋼構造物標準図集」(平成16年4月、名古屋道路高速公社)における疲労設計事項一覧表

対象部位	対策	備考
鋼床版	閉断面リブとデッキプレートの縦方向溶接継手は、必要なのど厚を確保するとともに、リブ板厚の75%以上の溶け込み量を確保するものとする。	輪荷重が直上を走行する際の変形によるルート部からの疲労亀裂発生に対して、溶け込み量の確保による応力集中の緩和が有効である。
	横リブ、横桁における垂直補剛材の取付けは、デッキプレートに溶接しないものとする。	輪荷重が溶接部の補剛材端近傍に載荷された場合に大きな応力集中を生じ、デッキプレートに疲労亀裂が生じる原因となる。
	Uリブの板継溶接は単材時に行うものとし、裏当て板などを用いてはならない。	裏当て金付き片面突合せ溶接継手は、溶接部の品質確保が困難である。
	閉断面リブに現場溶接継手を用いる場合は、裏当て板を用いた全断面溶け込みグループ溶接とする。	※裏当て金を用いた板継溶接は疲労強度が低いため、その摘要には注意を要する。
	現場溶接部のスカーラップの大きさは一般に130mmとしているが、鋼床版の場合、輪荷重を支持するため疲労強度を高める必要があり、スカーラップの大きさを80mmとした。	スカーラップ部では、せん断力による応力集中が生じ、また輪加重が直上に載荷された場合には、デッキプレートの面外変形により、デッキプレート側の溶接止端部で大きな応力集中が生じる。
ソールプレート(鋼製支承)	ソールプレートには橋軸方向にテーパ区間を設け、応力集中を防ぎ、応力の伝達が滑らかに行えるようにする。但し、端支点の桁端側では、従来より応力集中が問題となることが少ないため、テーパ区間を設けないこととする。	ソールプレート止端部の応力集中を緩和する。
ソールプレート(ゴム支承)	支承剛性が小さく応力集中の程度が小さいため、テーパは設けないものとする。	ソールプレート止端部の応力集中を緩和する。
K型部分溶け込みグループ溶接の使用箇所	主桁と横桁あるいはブラケットとの連結部などで、曲げモーメントによって生じる引張応力度が小さい場合または、おもに圧縮応力度が作用する連結には全断面溶け込みグループ溶接の代わりに開先角度60度ルート面2mmの部分溶け込みグループ溶接を用いて良い。	疲労強度を向上させる。
横桁フランジと主桁ウェブ	横桁フランジと主桁ウェブとの溶接は、完全溶け込み溶接とする。	疲労強度を向上させる。
垂直補剛材上端の溶接	横桁位置の主桁垂直補剛材上端は疲労強度を向上させるためスカーラップを無くし、10~15Cのカットを設け、溶接で埋め戻す構造が良い。	疲労強度を向上させる。
横構ガセットの形状	ガセットは疲労強度を向上するため、廻し溶接部の仕上げを行うことを標準とする。疲労照査の結果、さらに疲労強度区分をあげる必要がある場合には、フェレットを設けるのが良い。	疲労強度を向上させる。
横桁仕口部	横桁仕口部の横桁フランジは、疲労強度を向上するため、フェレットを設けることを標準とする。	疲労強度を向上させる。

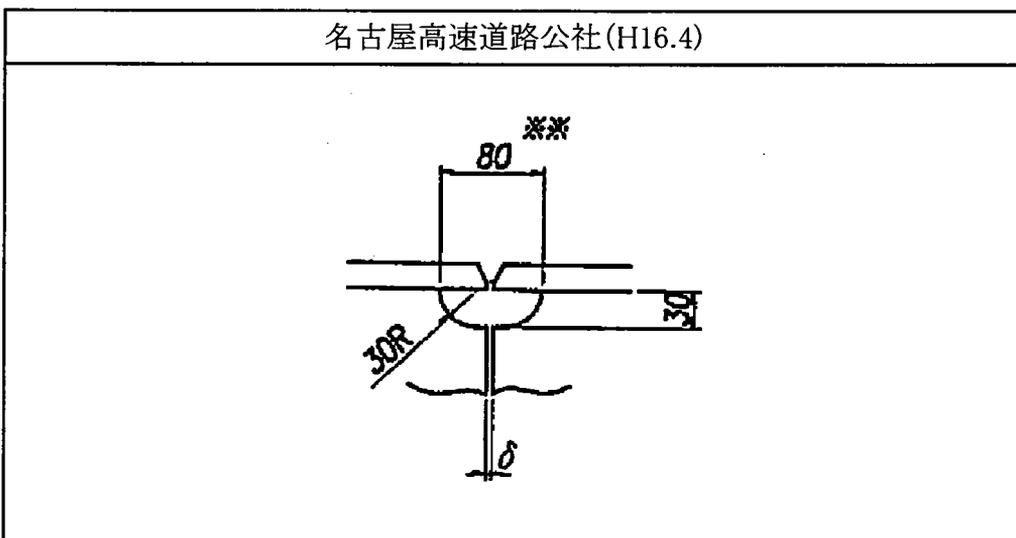
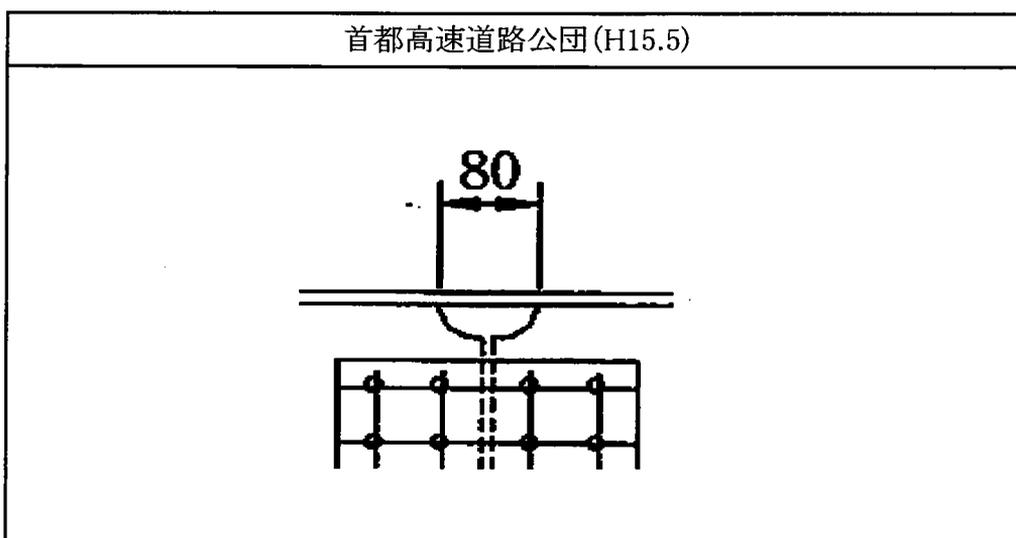
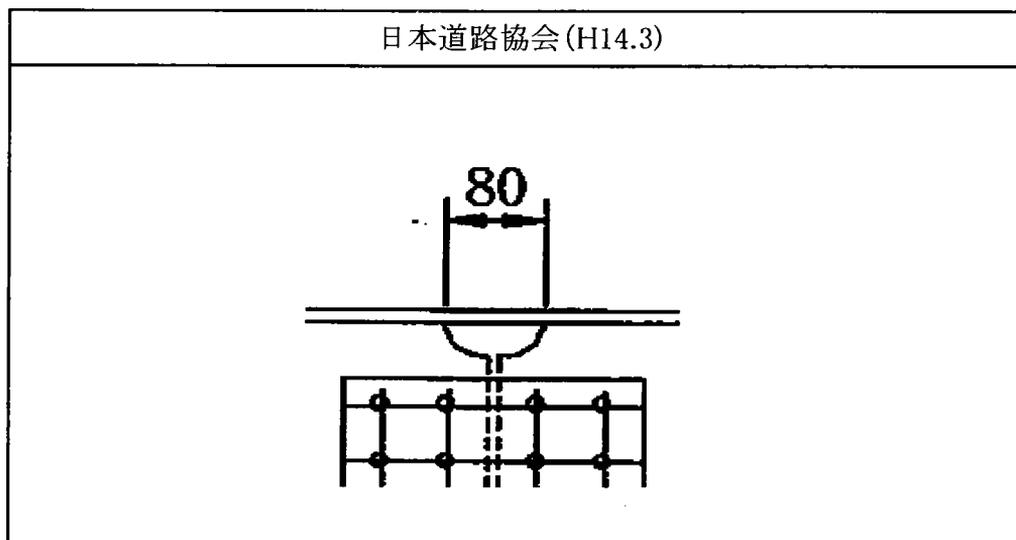
### 2.3 デイテール比較

疲労損傷を防ぐ為のデイテールについて、「鋼道路橋の疲労設計指針」(平成14年3月、社団法人日本道路協会)、「首都高速道路 橋梁構造物設計要領」(平成15年5月、首都高速道路公団)、「鋼構造物標準図集」(平成16年4月、名古屋高速道路公社)における対応を比較整理する。

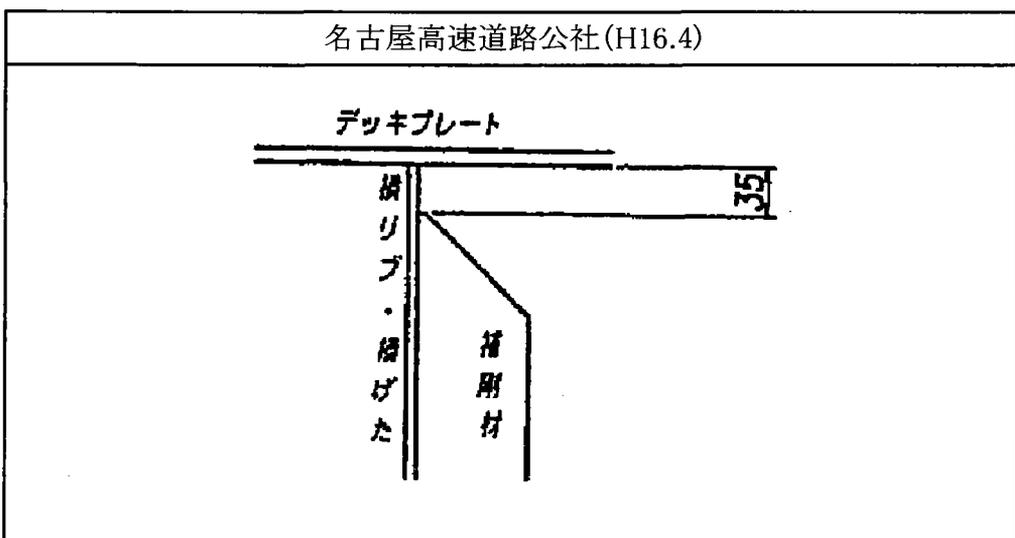
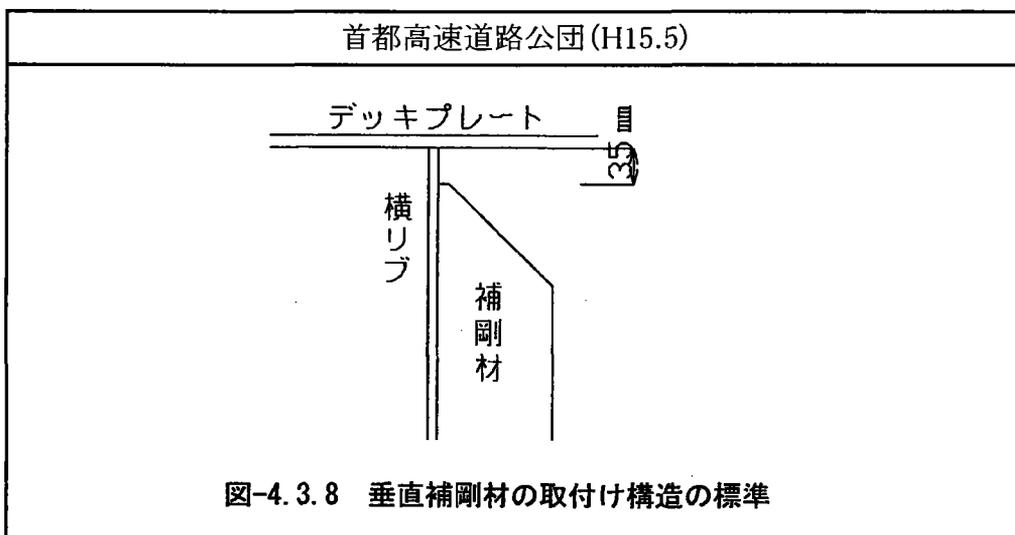
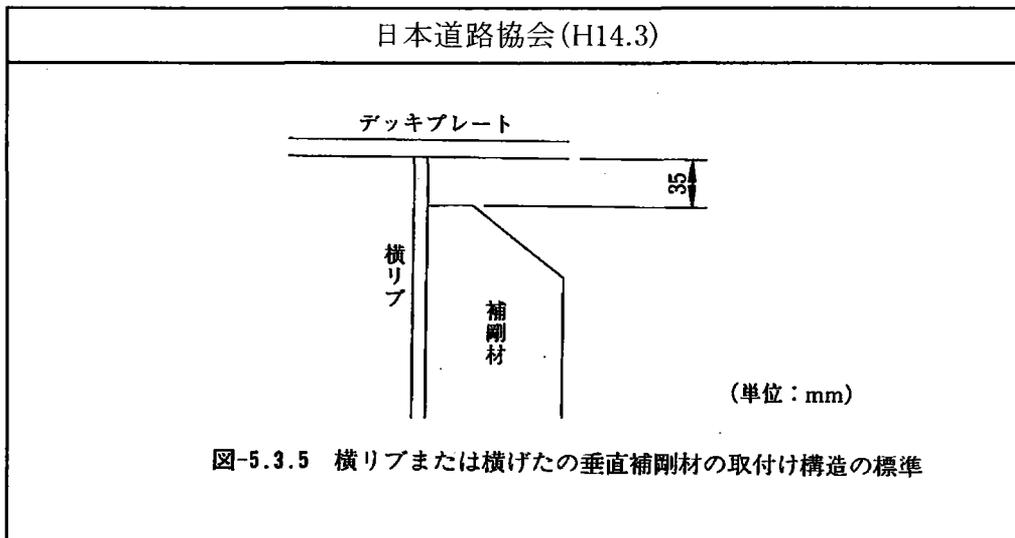
#### (1) 鋼床版 閉断面リブとデッキプレートの溶接



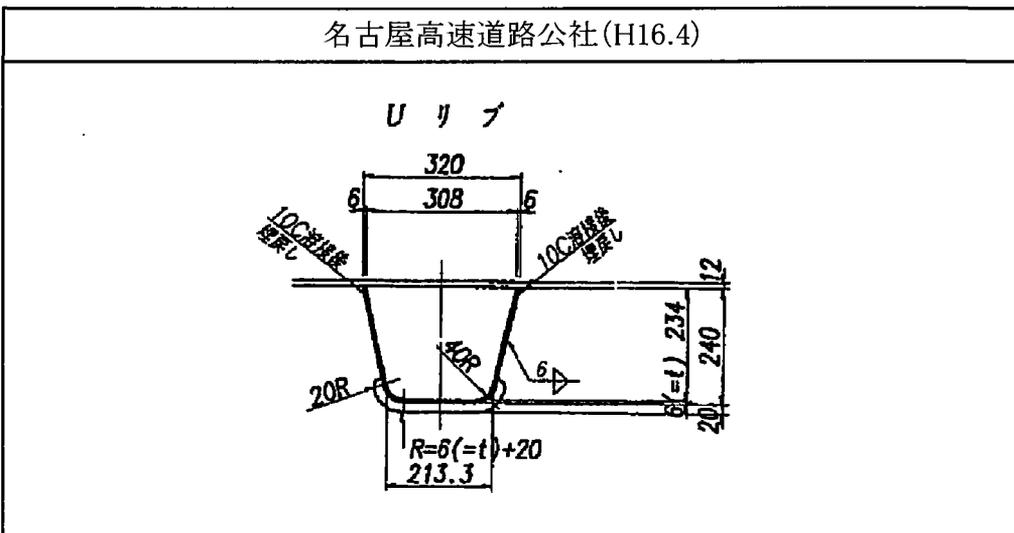
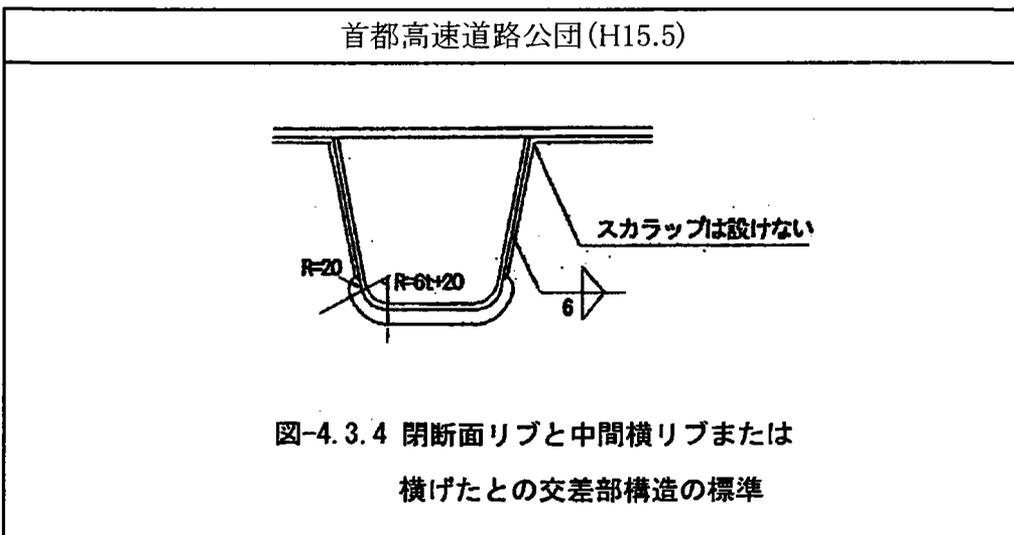
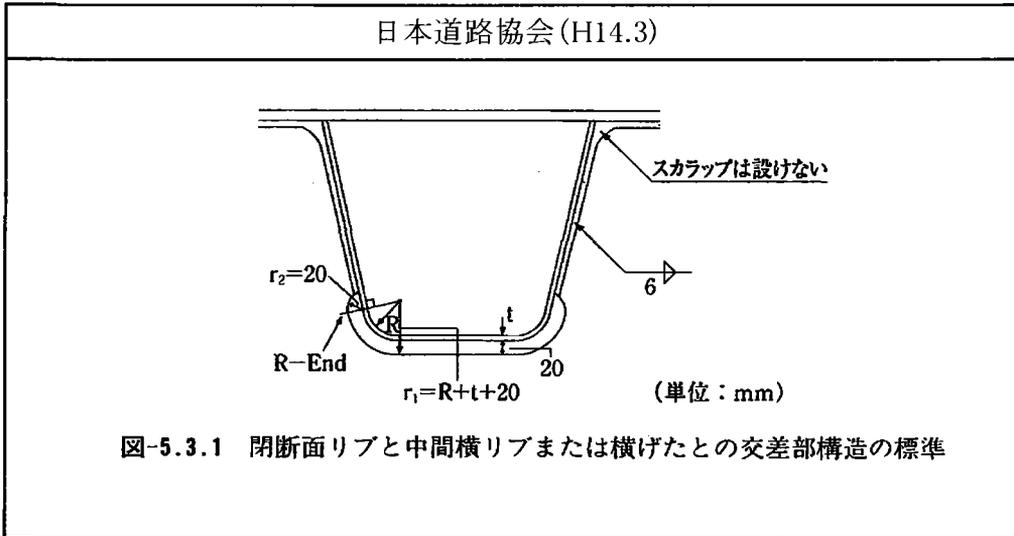
(2) 鋼床版 継手部のスカーラップ



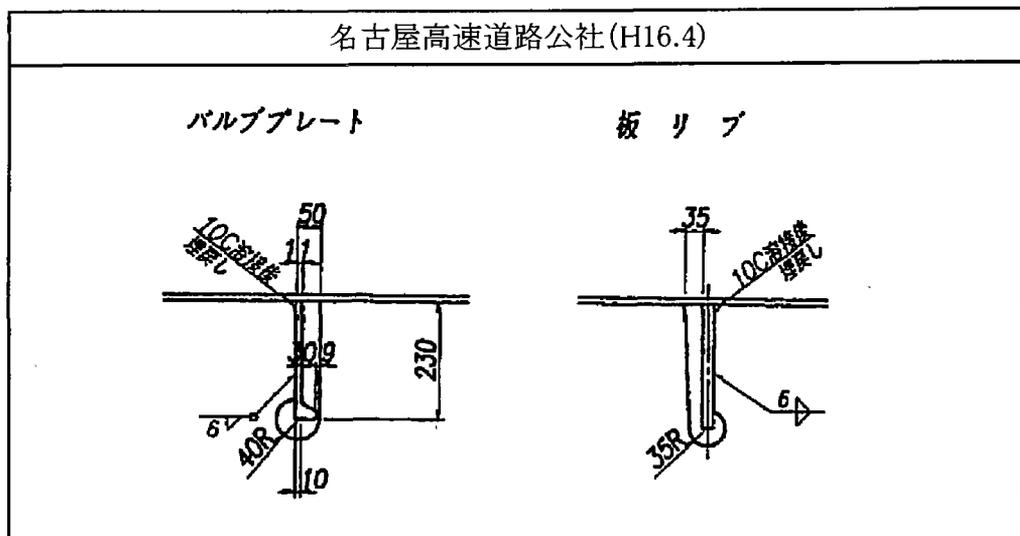
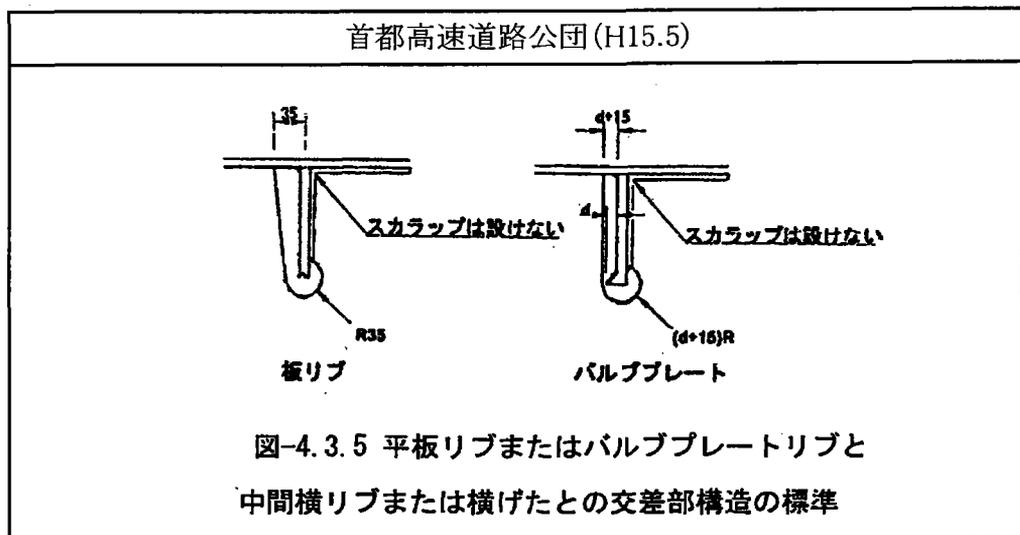
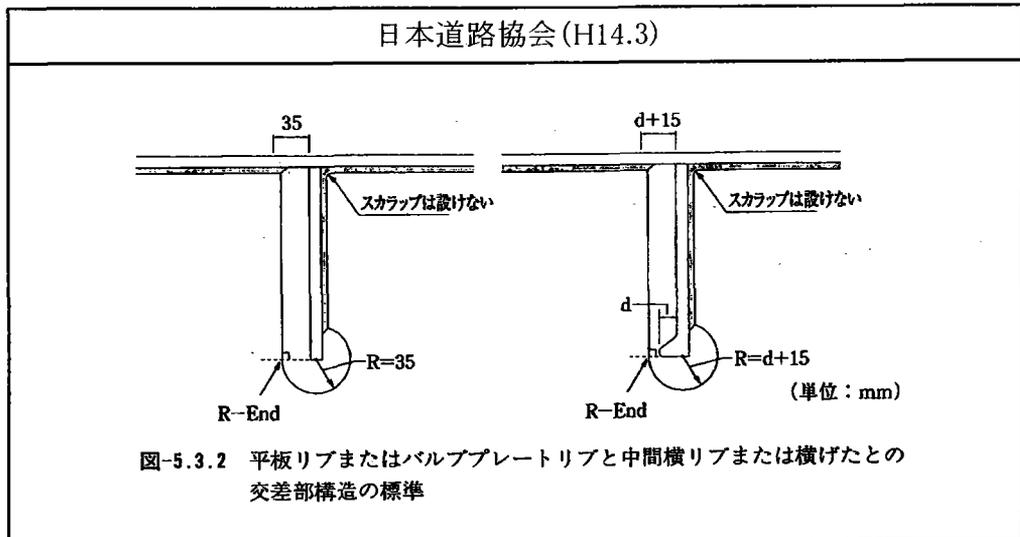
(3) 鋼床版 横リブ・横桁の垂直補剛材



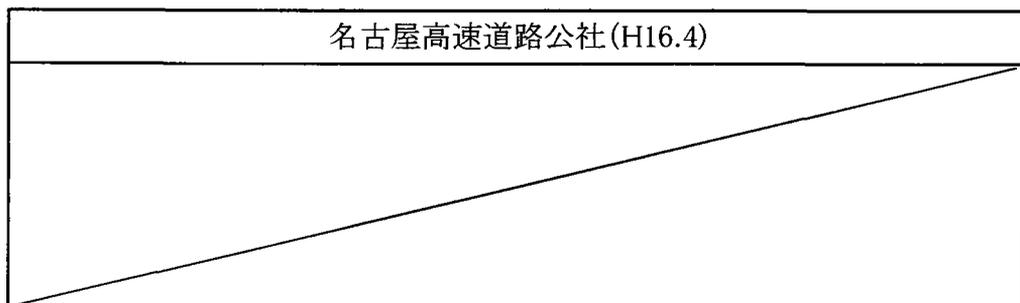
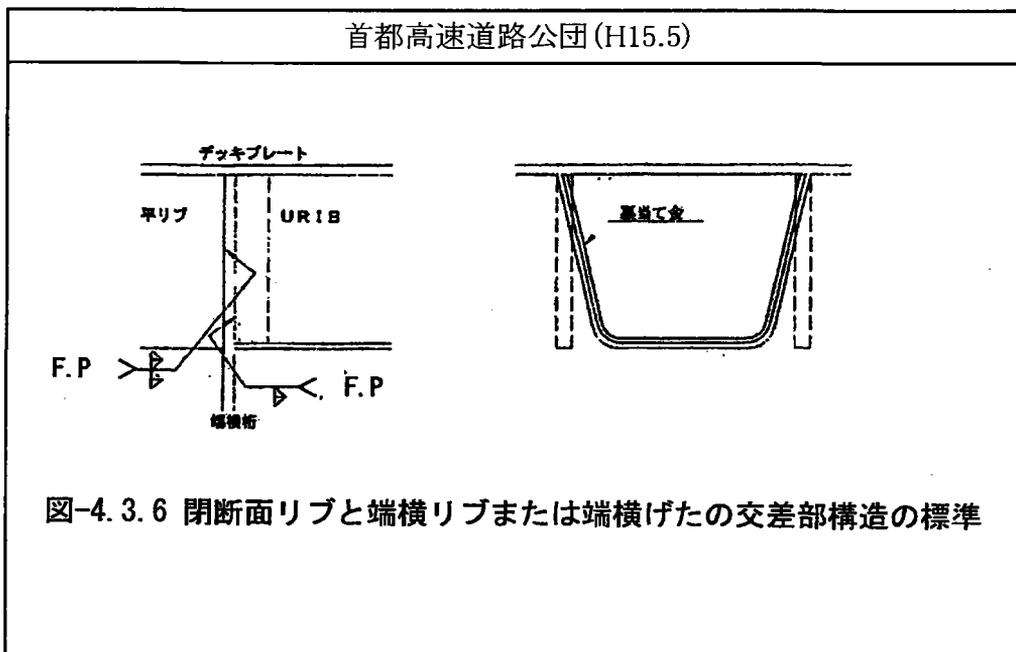
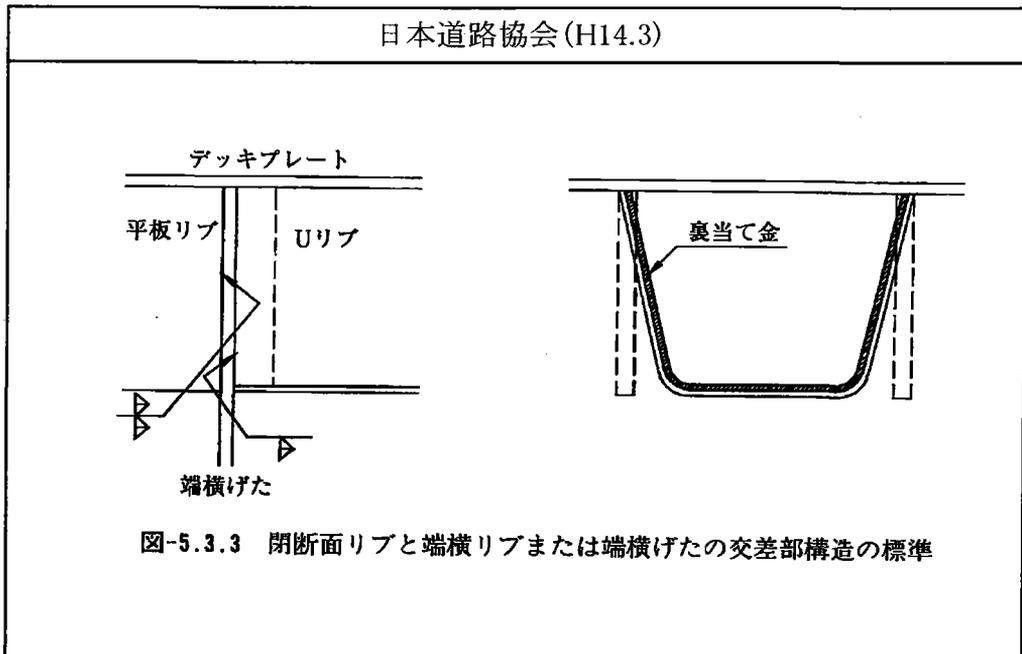
(4) 鋼床版 縦リブと横リブ・横桁との交差部のスカーラップ(1)



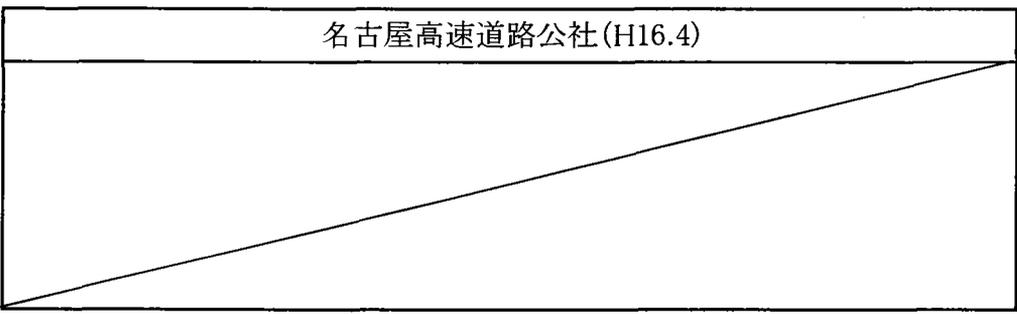
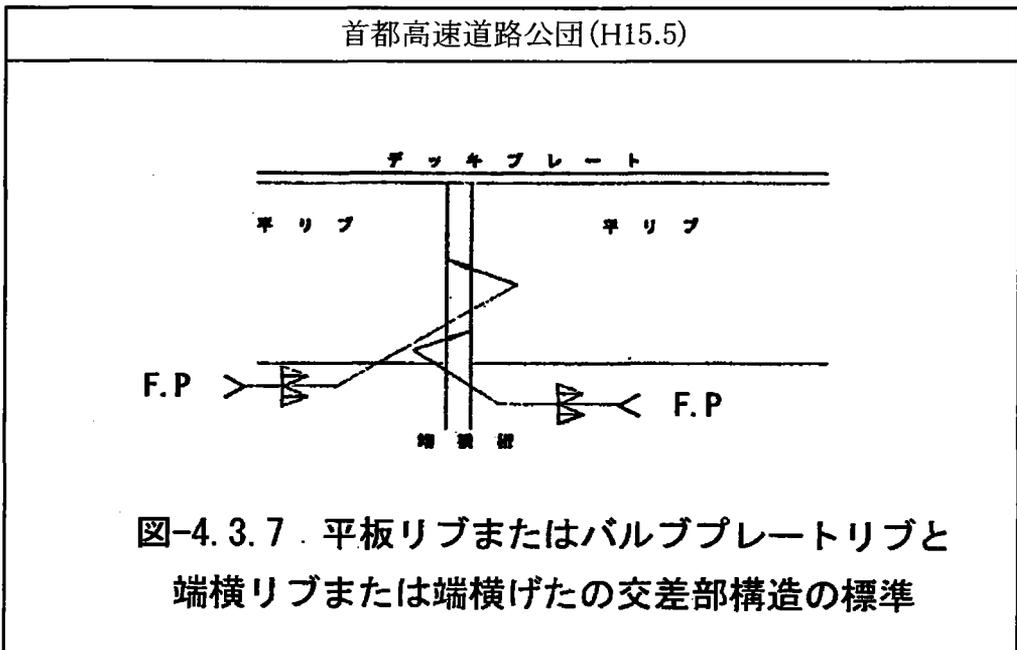
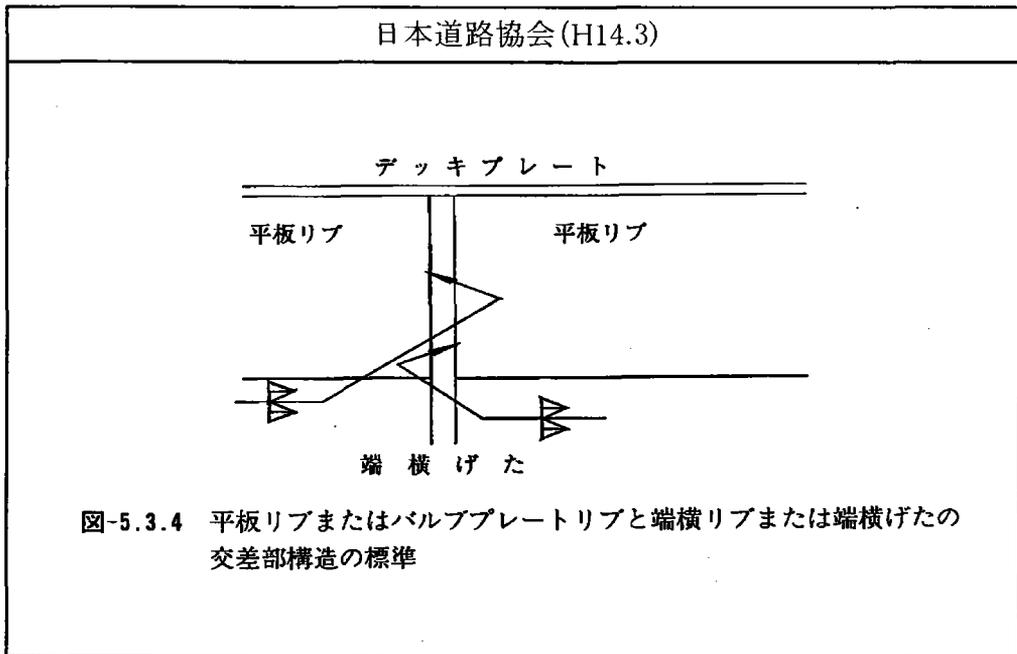
(5) 鋼床版 縦リブと横リブ・横桁との交差部のスカーラップ(2)



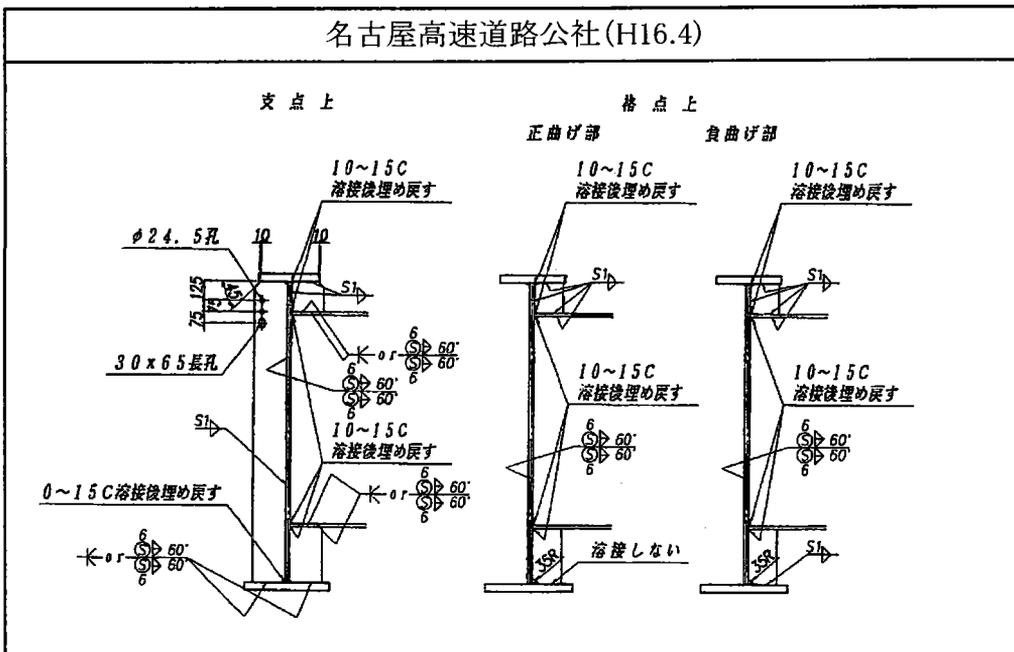
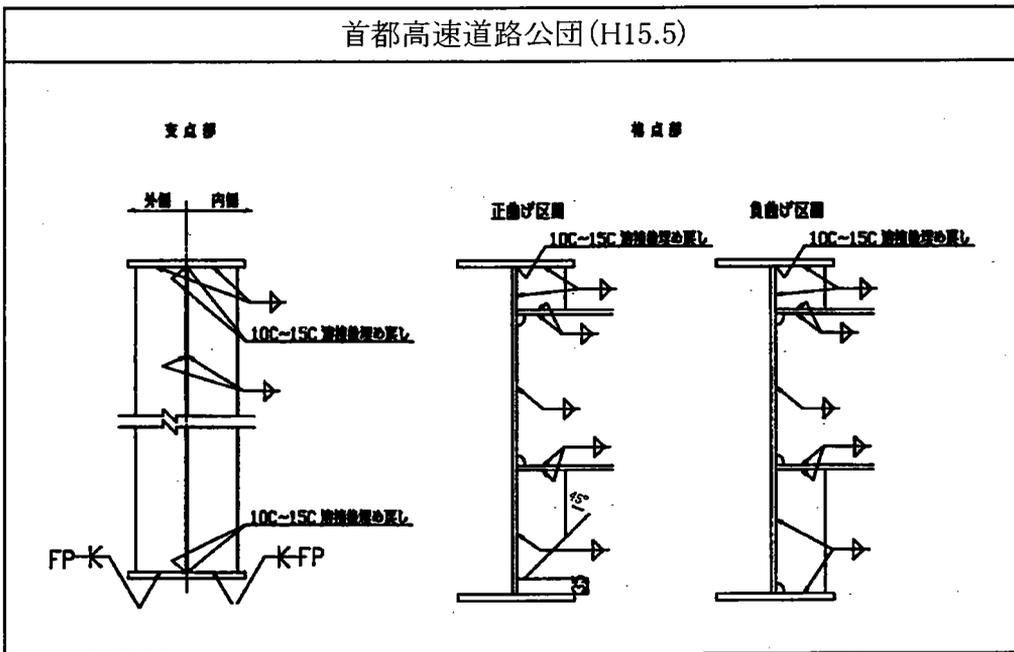
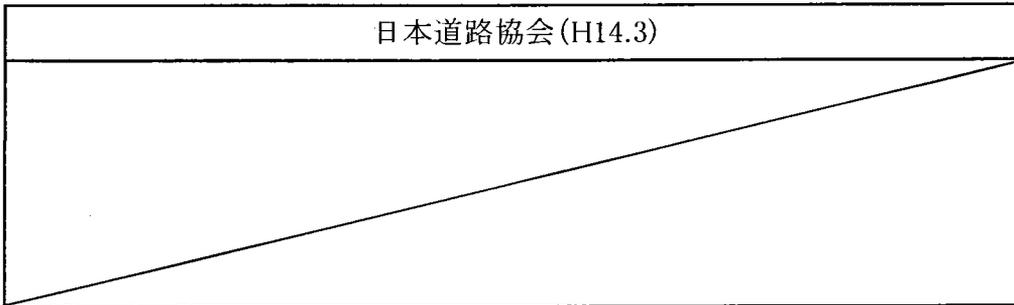
(6) 鋼床版 縦リブと端横リブ・端横桁との交差部のスカーラップ(1)



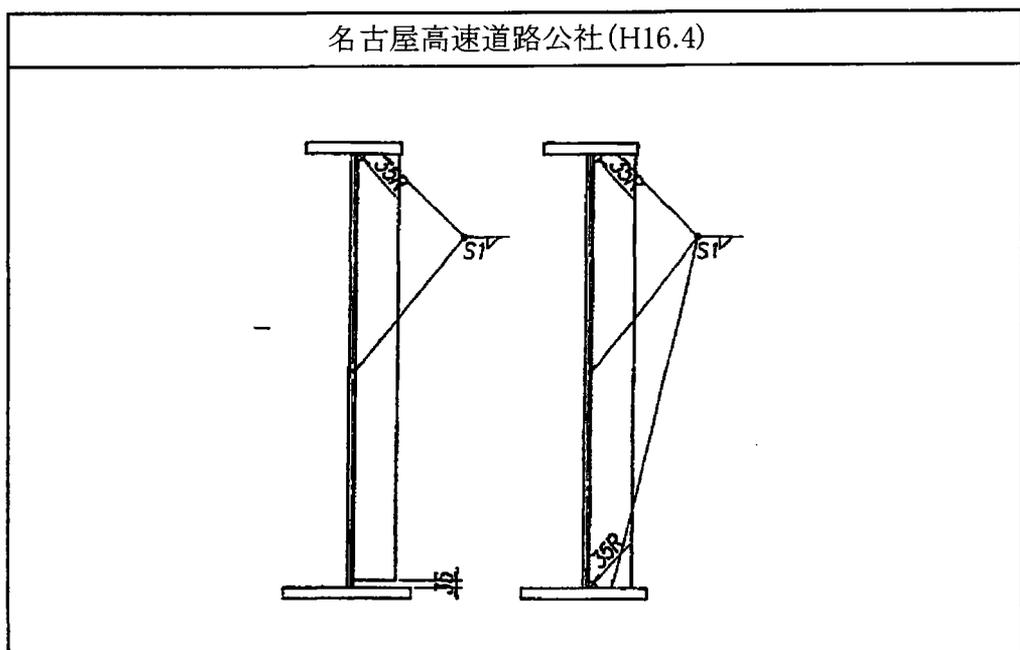
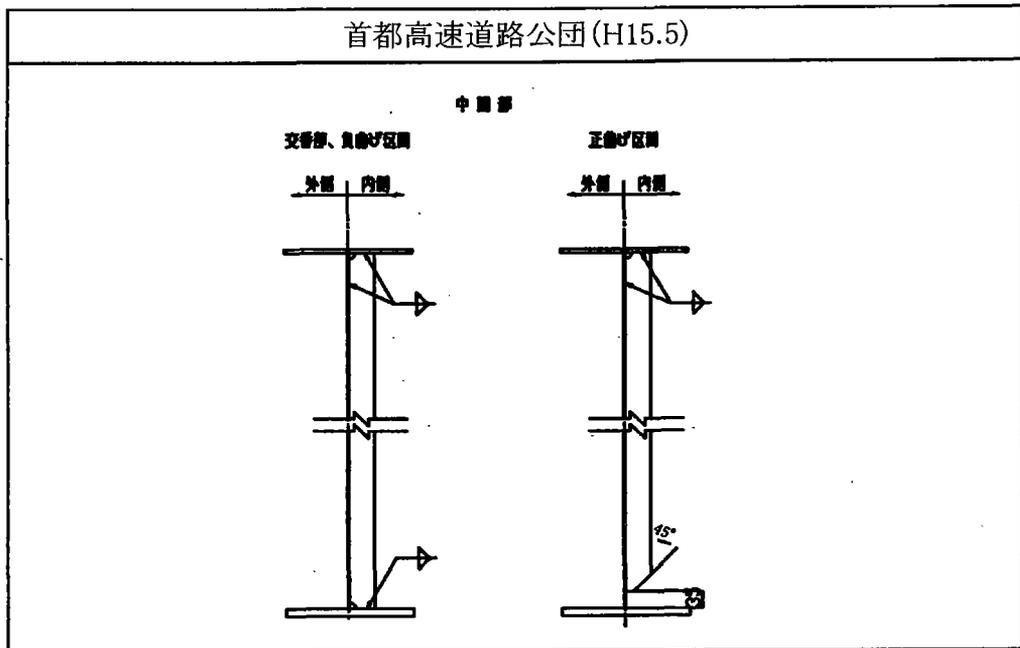
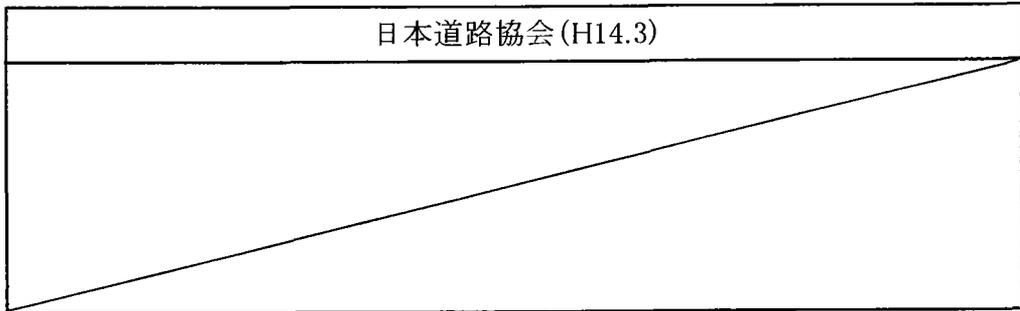
(7) 鋼床版 縦リブと端横リブ・端横桁との交差部のスカーラップ(2)



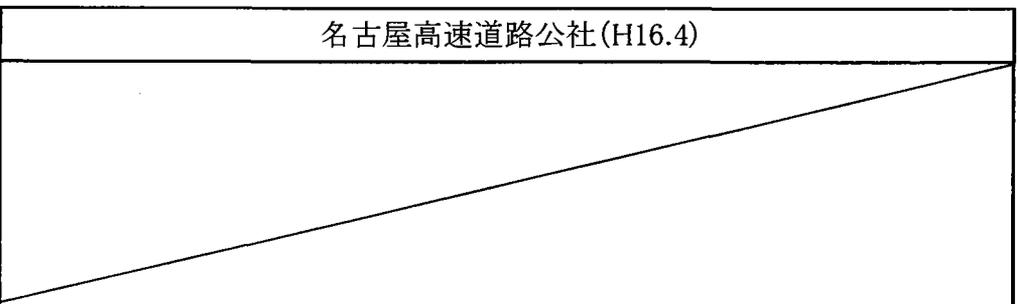
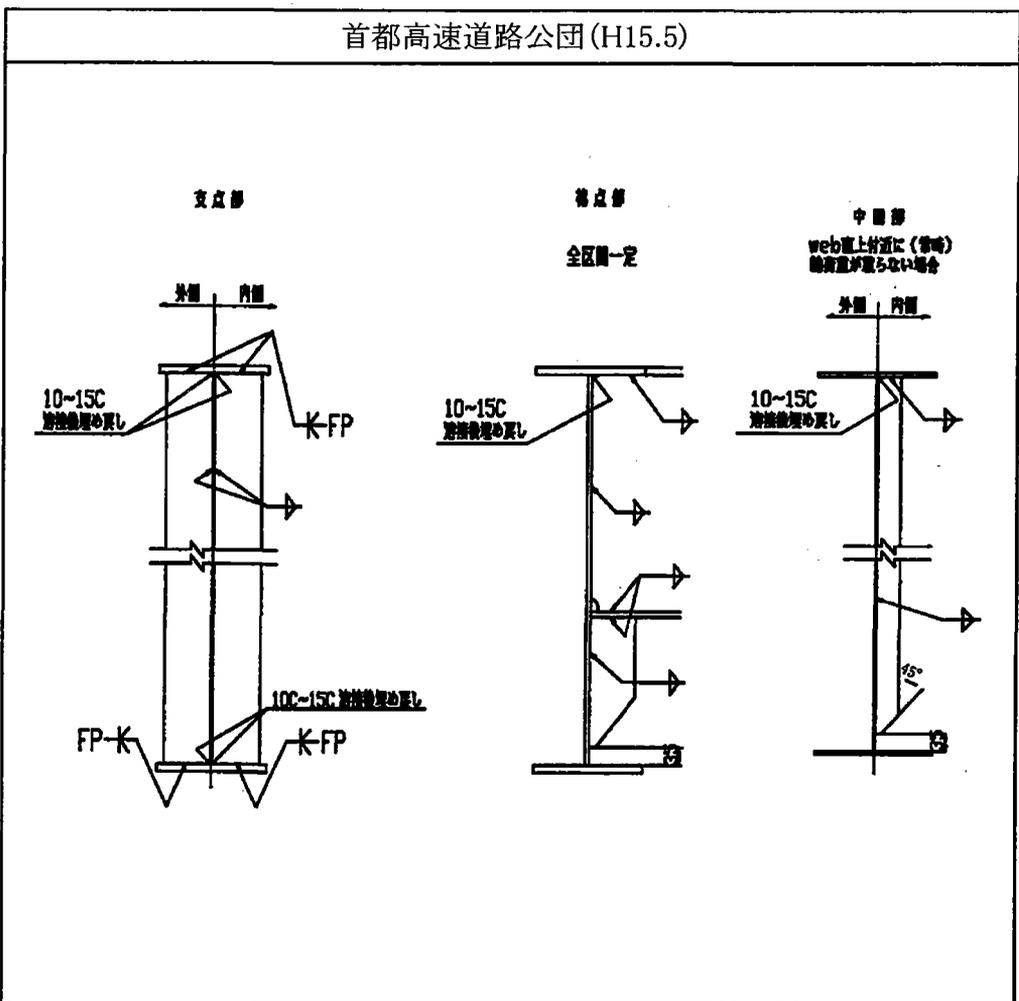
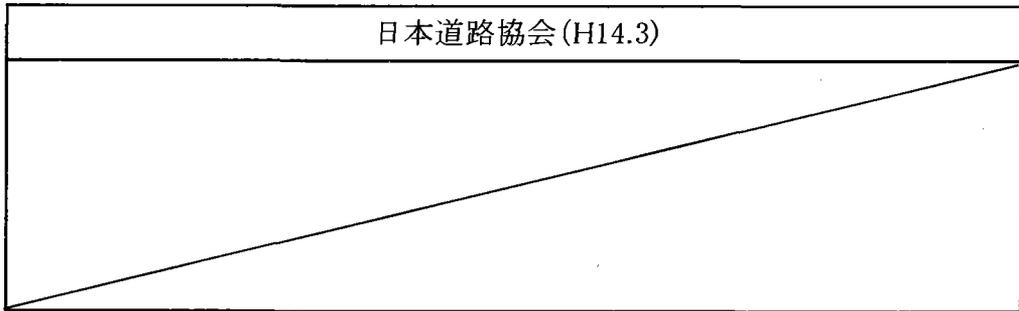
(8) 鋼床版 主桁の垂直補剛材(RC床版)(1)



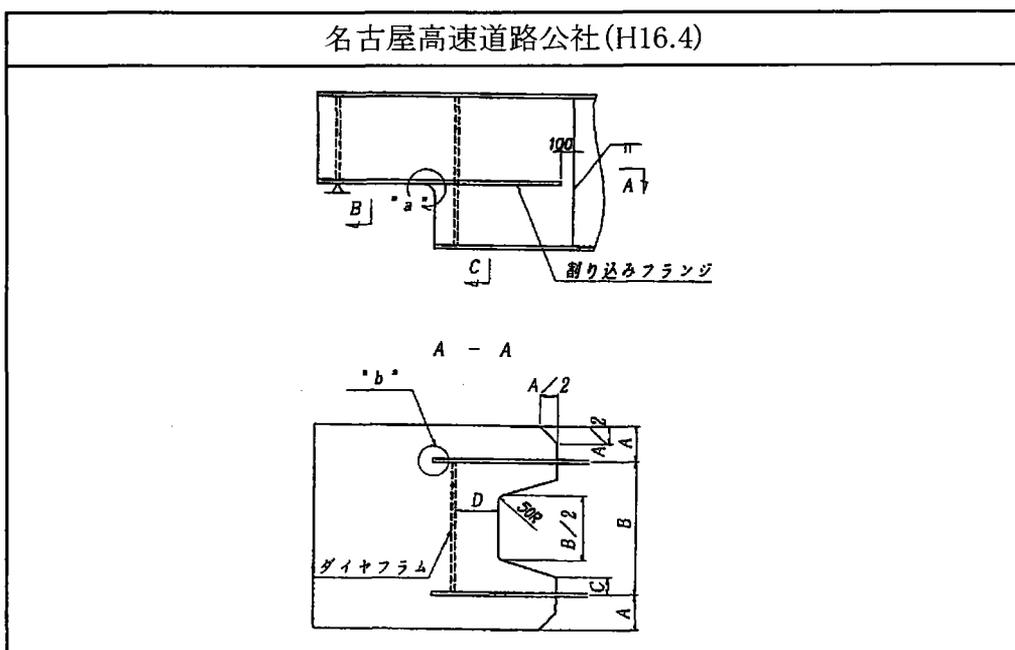
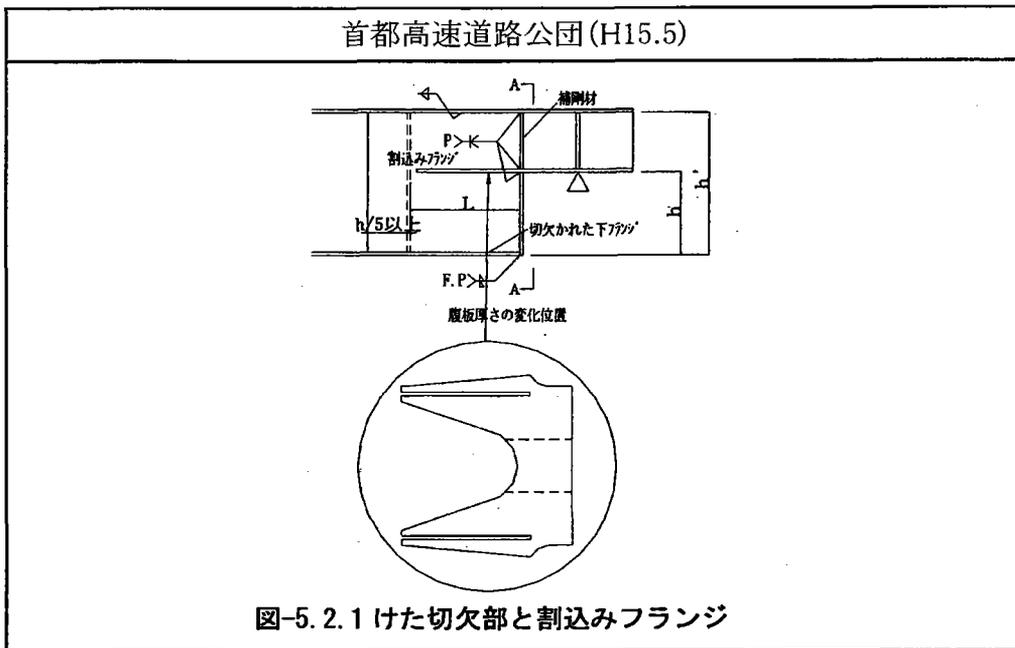
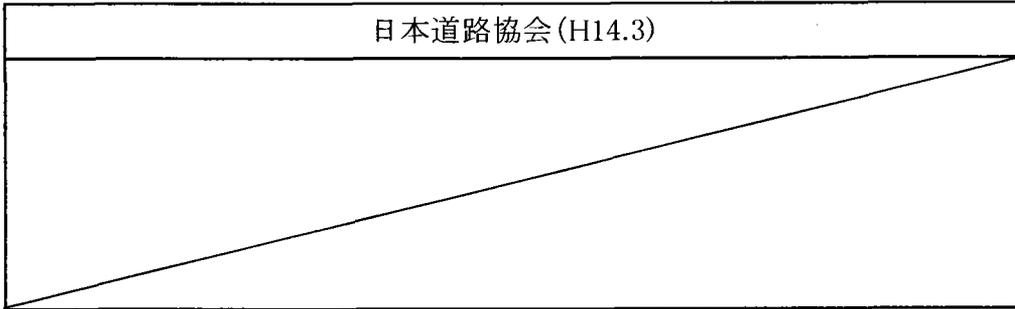
(8) 鋼床版 主桁の垂直補剛材(RC床版) (2)



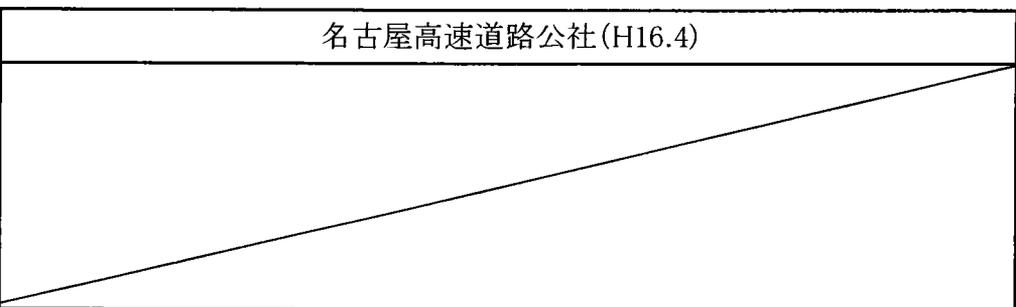
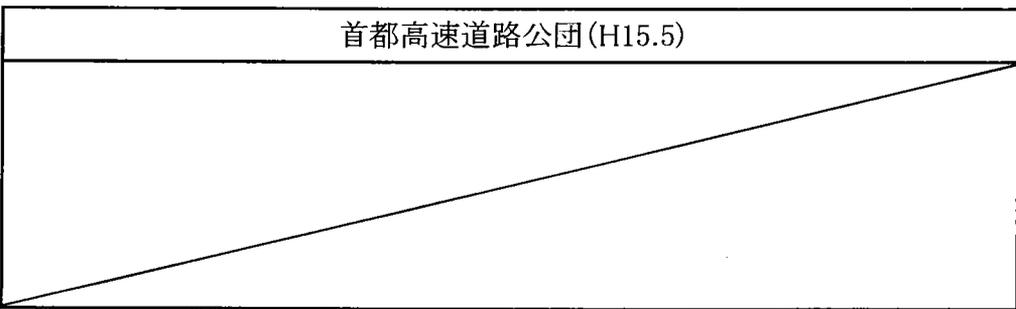
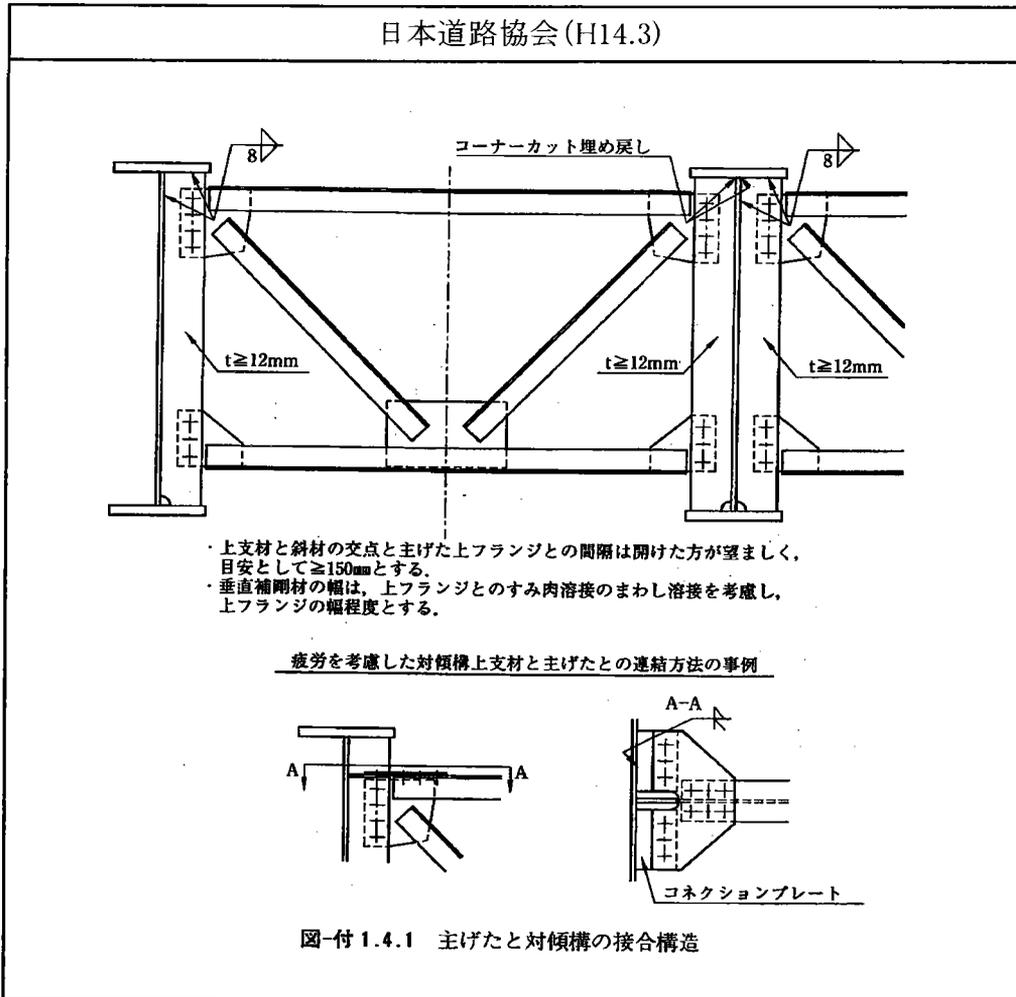
(9) 鋼床版 主桁の垂直補剛材(鋼床版)



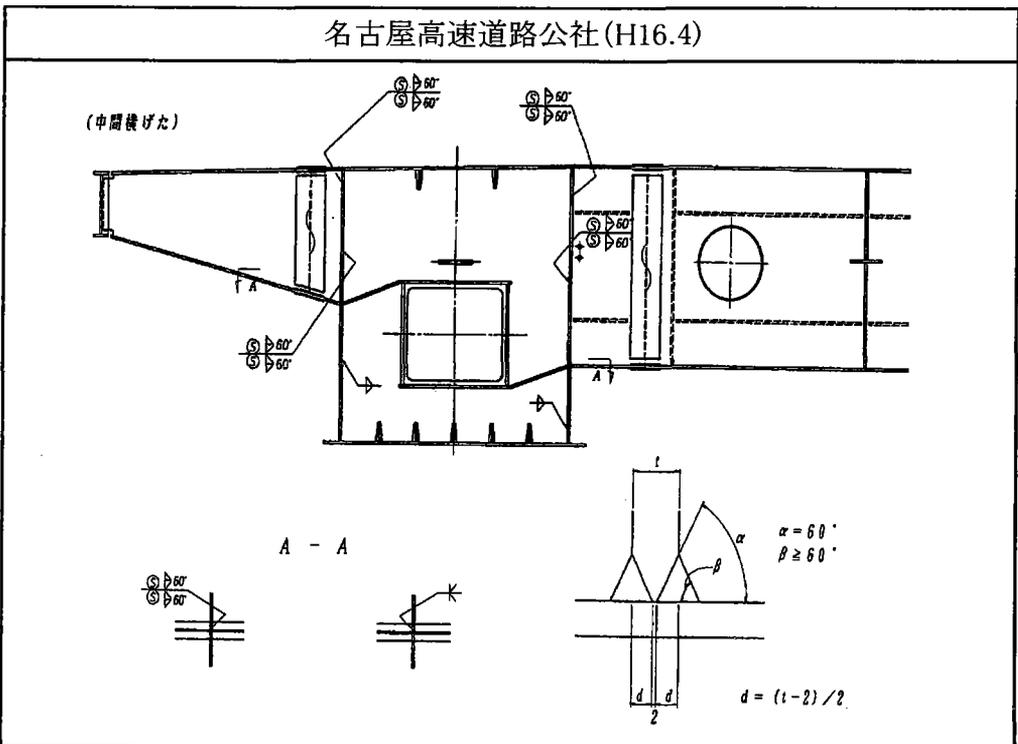
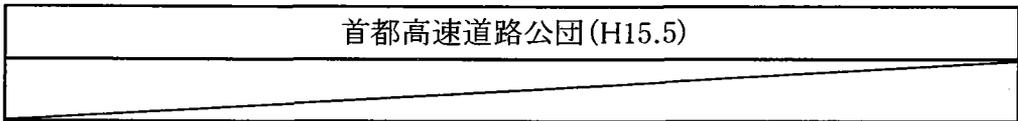
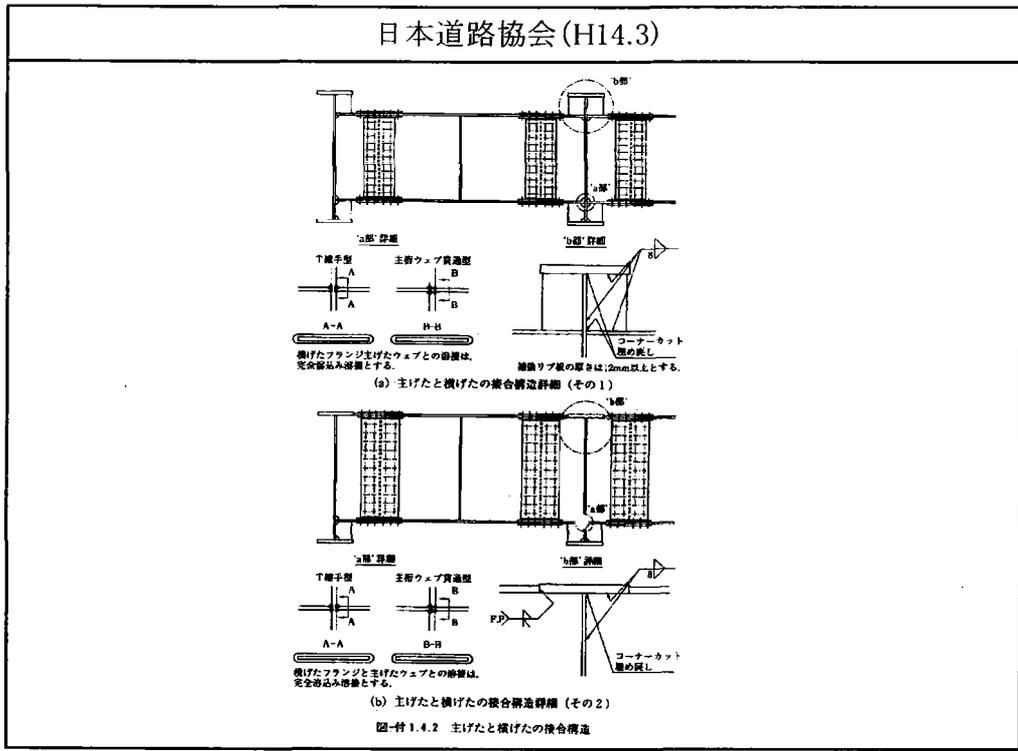
(10) 桁切り欠き部



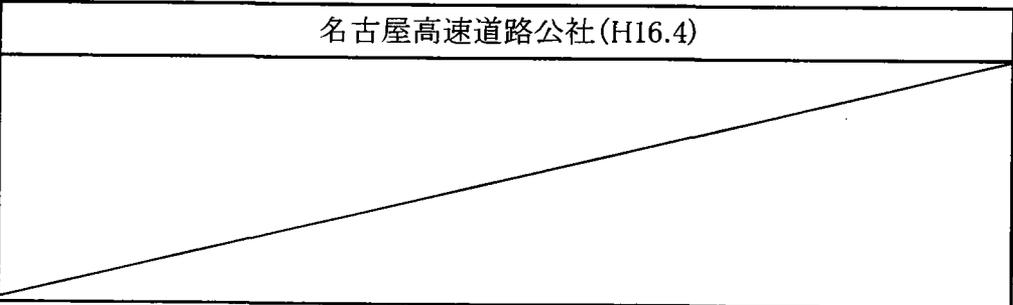
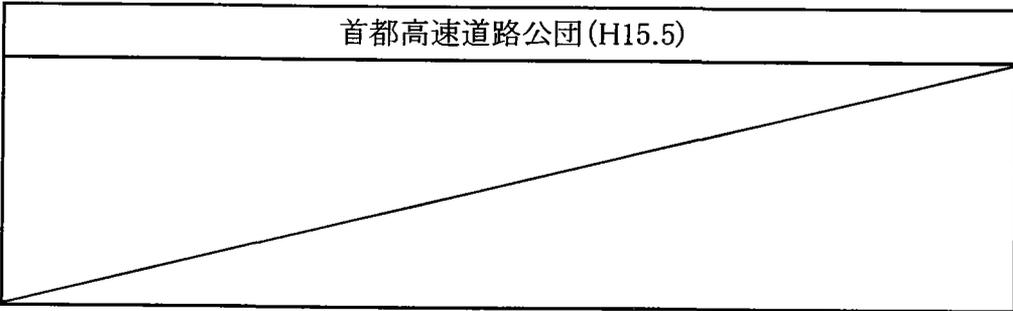
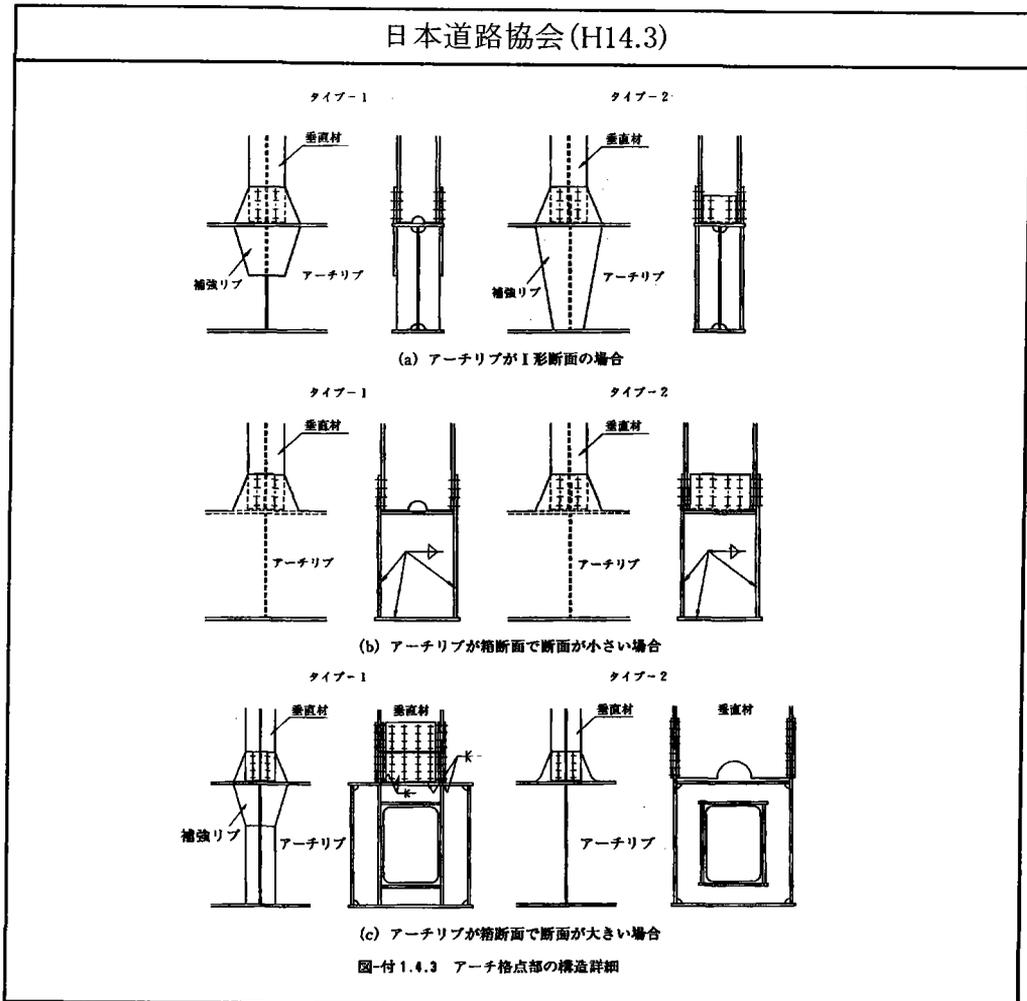
(11) 対傾構 主桁との接合構造



(12) 横桁 主桁との接合構造

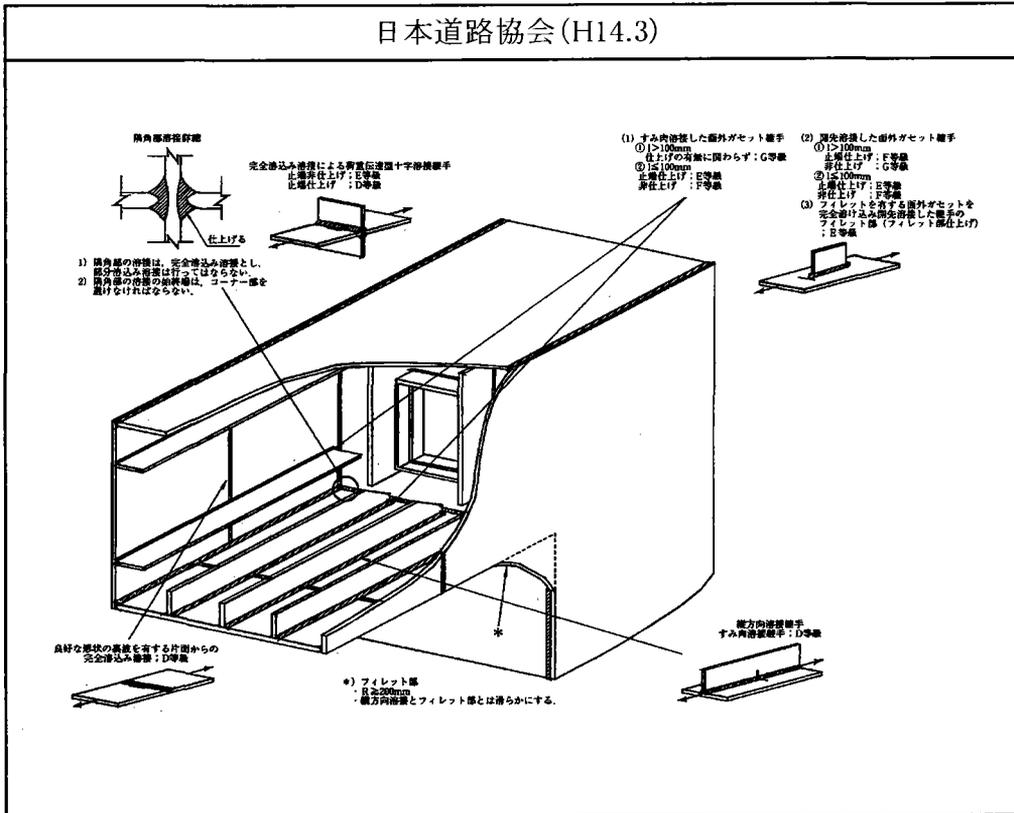


(13) アーチ 格点部の接合構造

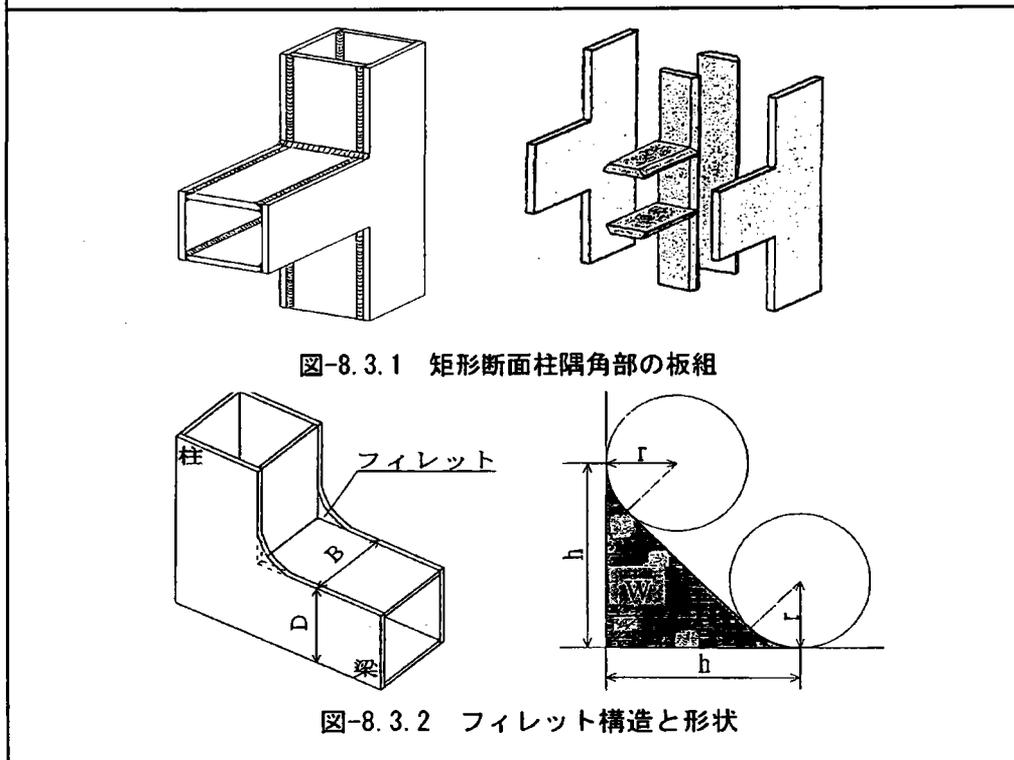




(15) 隅角部

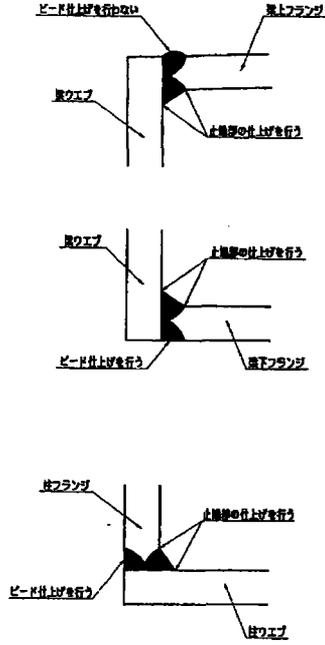


首都高速道路公団 (H15.5)

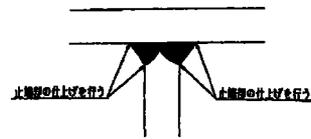


名古屋高速道路公社 (H16.4)

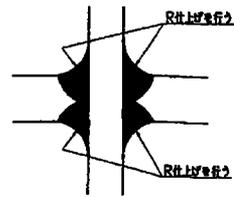
かど溶接部



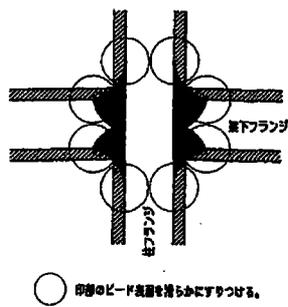
T字継手溶接部



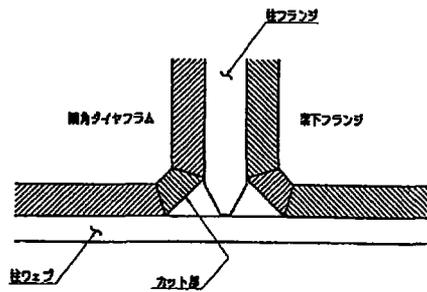
十字継手溶接部



"a"部溶接仕上げ詳細



隅角部のコーナー部開先形状



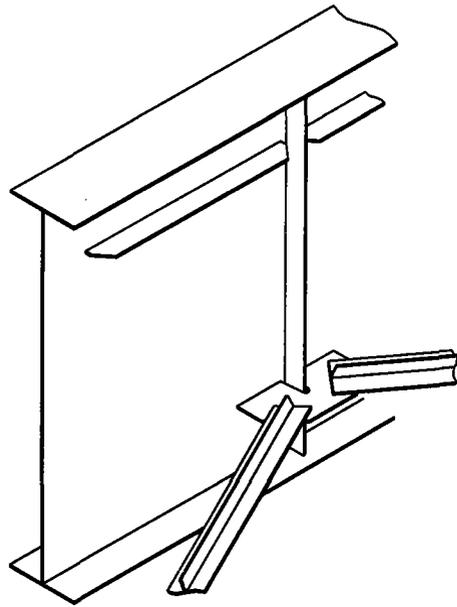
#### 2.4 溶接指示図（案）

疲労強度を確保する為、溶接部に止端仕上げを設けるケースが増える。

そこで、止端仕上げの範囲・形状を、溶接指示図として、別途作図することを提案したいと考える。

これにより、煩雑になる溶接形状を作業者に周知徹底させる上でも非常に有効であると考ええる。（図－2. 1 参照）

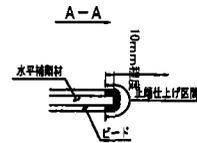
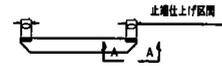
# 溶接指示図



## 水平補剛材止端仕上げ詳細図

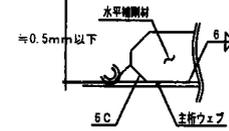
継手種類：面外ガセット、強度等級：F

水平補剛材



## 止端仕上げ要領図

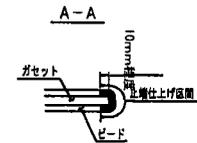
※アンダーカットを滑らかに削除する



## 面外ガセット止端仕上げ詳細図

継手種類：面外ガセット、強度等級：F

横構ガセット



## 止端仕上げ要領図

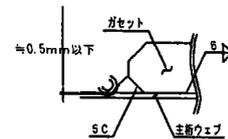


図-2. 1 溶接指示図 (案)

### 3. 面外ガセットに関する疲労試験

鋼橋の疲労損傷の顕在化及び耐久性向上を背景に、「道路橋の疲労設計指針（平成 14 年 3 月）」が発行され、鋼橋の設計にあたっては、疲労の影響を考慮することとされた。設計時に考慮される一次応力による疲労照査では、継手強度等級の低い水平補剛材及びラテラルガセットの回し溶接部（G 等級）で疲労照査を満足しない場合が見受けられる。このような面外ガセット溶接継手は供用されている多くの橋梁に存在することから、将来の疲労損傷の増大が懸念される場所である。

面外ガセット溶接継手の疲労強度を改善するため、溶接止端を仕上げ、疲労強度等級を 1 等級上げる処置がとられることがある。しかしながら、鋼道路橋の疲労設計指針においては、ガセット長  $l$  が 100mm を超える面外ガセット溶接継手の場合、溶接止端の仕上げは完全溶込溶接に限られており、すみ肉溶接への適用は記述されていない（表-3. 1）。

そこで本研究では、溶接方法および仕上げ範囲を変えた面外ガセット溶接継手の疲労試験を行い、これらが疲労強度に及ぼす影響について実験的・解析的に検討した。また、既設橋の面外ガセット溶接継手の疲労強度向上を目的として、ガラス繊維強化プラスチック（以下、GFRP と記す）による補強効果についても同様に検討した。

#### 3.1 疲労試験

##### 3.1.1 疲労試験方法

止端仕上げを施した試験片形状を図-3. 1 に、GFRP 貼付による補強を施した試験片形状を図-3. 2 にそれぞれ示す。試験片の材質は SM400A である。試験片の種類を表-3. 2 に示す。試験片は、無補強試験片 (TYPE1)、GFRP を貼付した補強試験片 (TYPE2)、及び溶接方法および仕上げ範囲を変えた試験片 (TYPE3~6) の 6 種類である。TYPE3 は回し溶接止端部のみの仕上げ、TYPE4 は回し溶接部のルート破壊を防止する目的で 5C の角切り溶接後、回し溶接部のみ止端仕上げを行った。TYPE5 は仕上げ範囲を回し溶接部から 50mm 側面すみ肉溶接側に延長した。TYPE6 は試験片を完全溶込溶接とし、仕上げ範囲は TYPE5 と同様とした。TYPE3~6 の仕上げには、バーグラインダーを用いて、溶接継手の母材側止端だけを仕上げた。また、き裂が片側の回し溶接部だけに生じるよう、着目部と反対側の回し溶接部がへこみ溶接となるように溶接ビードを十分に研削した。TYPE2 においては、表裏面の非仕上げの回し溶接部に 2 液混合エポキシ樹脂接着剤を用いて GFRP を貼付した。鋼板、GFRP 及び接着剤の機械的性質を表-3. 3 に示す。GFRP には、チョップ材（チョップドストランドマット）を使用し、これを 4 層貼付することとした。なお、疲労試験にあたっては、最小応力を 10MPa とし、最大応力を変化させた。

### 3.1.2 試験結果および考察

疲労試験結果の一覧を表-3.4に、S-N線図を図-3.3に示す。縦軸は試験片平行部の応力範囲であり、横軸は繰返し回数である。図中の中抜きのシンボル ( $\Delta$ ,  $\diamond$ ,  $\nabla$ ,  $\star$ ) は、着目側と反対側 (へこみ溶接側) から破断した試験片であり、図中の実線は、TYPE1、TYPE3 及び TYPE4 の回帰線である。なお、今回の試験では 500 万回を疲労限の一つの目安としている。

鋼道路橋の疲労設計指針においては、非仕上げの面外ガセット溶接継手 ( $t > 100\text{mm}$ ) の疲労強度等級は G 等級であるが、本実験の TYPE1 は E 等級を満たしていた。図-3.3 の TYPE1 と TYPE2~6 とを比較すると、TYPE2~6 は、TYPE1 より明らかに疲労強度が高くなっており、GFRP 貼付及び止端仕上げによる疲労強度向上効果が確認される。

図-3.4 に溶接方法が同じで仕上げ範囲が異なる TYPE3 と TYPE5 の比較をしめす。TYPE5 の方が TYPE3 より疲労強度が高くなっているように思われるが、TYPE5 の実験結果はバラツキが大きいため、仕上げ範囲の影響と断定するに至っていない。

仕上げ範囲については、TYPE1 との比較より、回し溶接部のみで十分な疲労強度向上効果があると考えられる。

次に、回し溶接部のみを仕上げ範囲とし、溶接方法が異なる TYPE3 と TYPE4 の比較を図-3.5 に示す。TYPE3 の疲労限は  $\Delta\sigma = 110\text{MPa}$  で、TYPE4 の疲労限は  $\Delta\sigma = 120\text{MPa}$  となっている。TYPE3 と TYPE4 の S-N 線に有意な差はないと推察される。しかしながら、角切り (5C) 溶接の TYPE4 は全て止端破壊となっており、ルート破壊を防止し疲労強度を向上させる継手方法として有効と考えられる。

TYPE2 については、TYPE2 に最も近い実験結果である TYPE3 と比較する (図-3.6)。 $\Delta\sigma = 130\text{MPa}$  において、TYPE2 は TYPE3 に比べて寿命が短く、TYPE1 とほぼ同じ疲労寿命となっており、TYPE2 については高応力範囲での補強効果をあまり期待できない。しかし、TYPE2 の疲労限は  $\Delta\sigma = 110\text{MPa}$  であり、TYPE3 と同じ疲労限となっているので、応力範囲の低い領域では、TYPE3 とほぼ同様の効果が確認される。よって、応力範囲の低い領域では GFRP を貼付することによって、止端仕上げと同程度の補強効果を得ることができるものと判断される。

図-3.7 に TYPE5 と TYPE6 の結果を示す。TYPE1 に比較して疲労強度は向上しているが、バラツキが大きいため、溶接方法及び仕上げ範囲の影響と断定するに至っていない。図-3.8 は疲労試験結果の S-N 線図に疲労強度等級を同時に示したものである。

写真-3.1 に破断後の試験片の例を示す。写真-3.1 (a) および (b) は、回し溶接止端部から破断に至った試験片である。TYPE2 においては、き裂が GFRP を越えた後でも GFRP は剥離することがなく、写真-3.1 (a) のように破断した。写真-3.1 (c) は、へこみ溶接側から破断した例である。破断面を観察したところ、ルート部からき裂が発生したものと確認され、余盛部の仕上げを行ったためにのど厚が減少し、十分なのど断面が確保できなかったことが原因である。

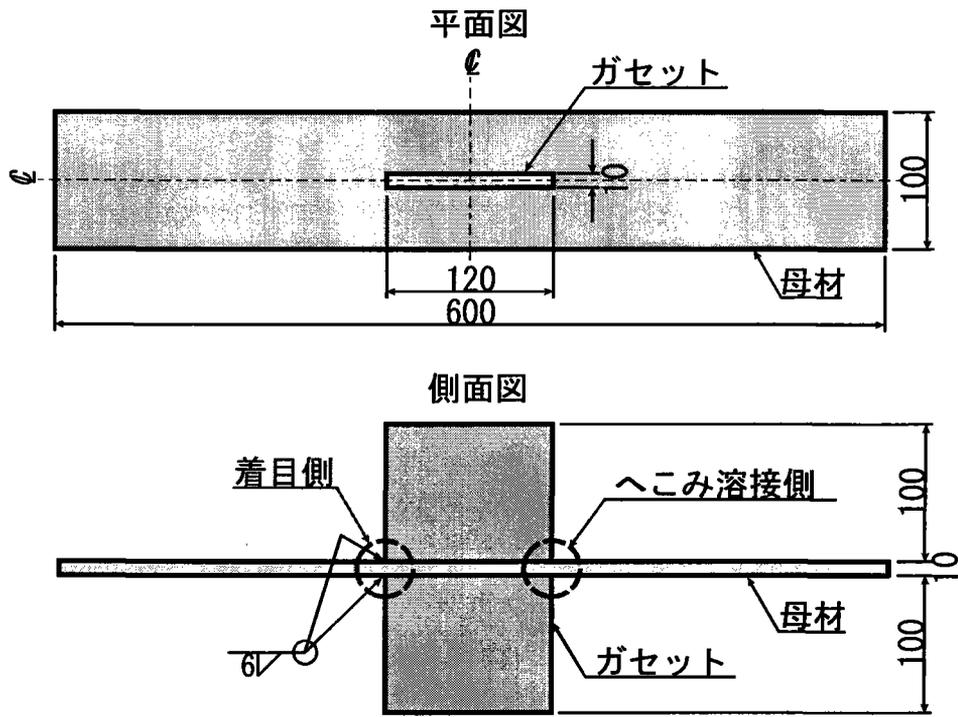


図-3. 1 試験片形状 (止端仕上げ)

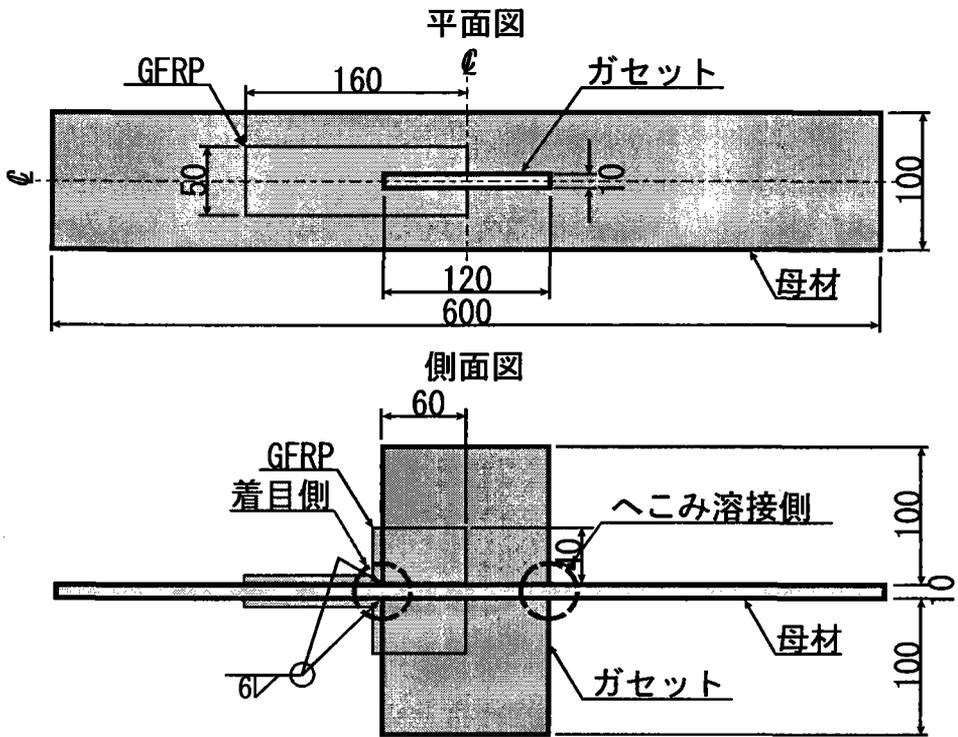


図-3. 2 試験片形状 (GFRP 貼付)

表-3. 1 面外ガセット溶接継手の疲労強度等級

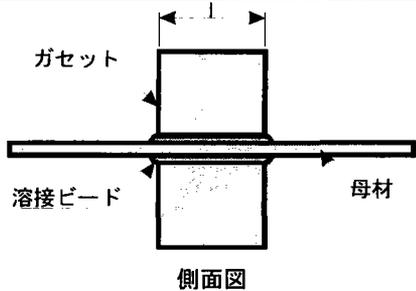
継手の種類		疲労強度等級 $\Delta \sigma_f$	
ガセットをすみ肉溶接した継手 ( $l > 100\text{mm}$ )		G	
ガセットを完全溶込み溶接した継手 ( $l > 100\text{mm}$ )	止端仕上げ	F	
	非仕上げ	G	

表-3. 2 試験片の種類

試験片名	条件	
	溶接方法	止端仕上げ範囲またはGFRP貼付
TYPE1	すみ肉溶接	溶接まま
TYPE2	すみ肉溶接	溶接まま+GFRP貼付
TYPE3	すみ肉溶接	回し溶接部のみ仕上げ
TYPE4	角切り(5C)+溶接	回し溶接部のみ仕上げ
TYPE5	すみ肉溶接	回し溶接部および側面すみ肉溶接部50mmを仕上げ
TYPE6	完全溶込溶接	回し溶接部および側面すみ肉溶接部50mmを仕上げ

表-3. 3 機械的性質

	鋼板	GFRP	接着剤
弾性係数 (MPa)	$2.1 \times 10^5$	$8.1 \times 10^3$	$4.6 \times 10^3$
降伏点 (MPa)	307	—	—
引張強さ (MPa)	448	—	52
伸び (%)	32	—	—

表-3.4 疲労試験結果

試験片	試験片名	繰返し回数 (回)	応力範囲 (MPa)	備考
TYPE1	TYPE1-①	5000000	70	疲労限
	TYPE1-②	734008	130	
	TYPE1-③	1977620	90	
	TYPE1-① (Retest)	965177	110	
TYPE2	TYPE2-① (Retest1)	5000000	110	疲労限
	TYPE2-① (Retest2)	1452712	150	下側から破断
	TYPE2-② (Retest)	919064	130	
	TYPE2-③	441407	140	
	TYPE2-④	955161	120	
TYPE3	TYPE3-①	1175631	140	
	TYPE3-②	1606216	130	
	TYPE3-③	2664734	110	下側から破断
	TYPE3-④	5000000	110	疲労限
	TYPE3-④ (Retest)	5000000	120	疲労限
TYPE4	TYPE4-①	460578	160	
	TYPE4-③	2073828	130	
	TYPE4-②	5000000	140	疲労限
	TYPE4-④	5000000	120	疲労限
	TYPE4-④ (Retest)	5000000	150	疲労限
TYPE5	TYPE5-①	776579	160	
	TYPE5-②	5000000	140	疲労限
	TYPE5-③	5000000	130	疲労限
	TYPE5-④	1582603	150	下側から破断
	TYPE5-② (Retest)	5000000	170	疲労限
	TYPE5-③ (Retest)	1297538	170	下側から破断
TYPE6	TYPE6-①	5000000	160	疲労限
	TYPE6-②	257398	190	下側から破断
	TYPE6-③	869425	180	下側から破断
	TYPE6-④	919865	170	下側から破断

TYPE1の回帰線  $y=14756x^{-0.3525}$

X軸(繰返し回数)	Y軸(応力)
700000	128.4
2000000	88.7
3913278	70
10000000	70

TYPE2の回帰線  $y=1057.4x^{-0.1554}$

x	y
440000	140.4
960000	124.3
2111661	110.0
10000000	110

TYPE3の回帰線  $y=3869.2x^{-0.2375}$

X軸(繰返し回数)	Y軸(応力)
1100000	142.2
1650000	129.1
2245567	120
10000000	120

TYPE4の回帰線  $y=967.47x^{-0.138}$

X軸(繰返し回数)	Y軸(応力)
460000	160.0
2080000	129.9
3702743	120.0
10000000	120.0

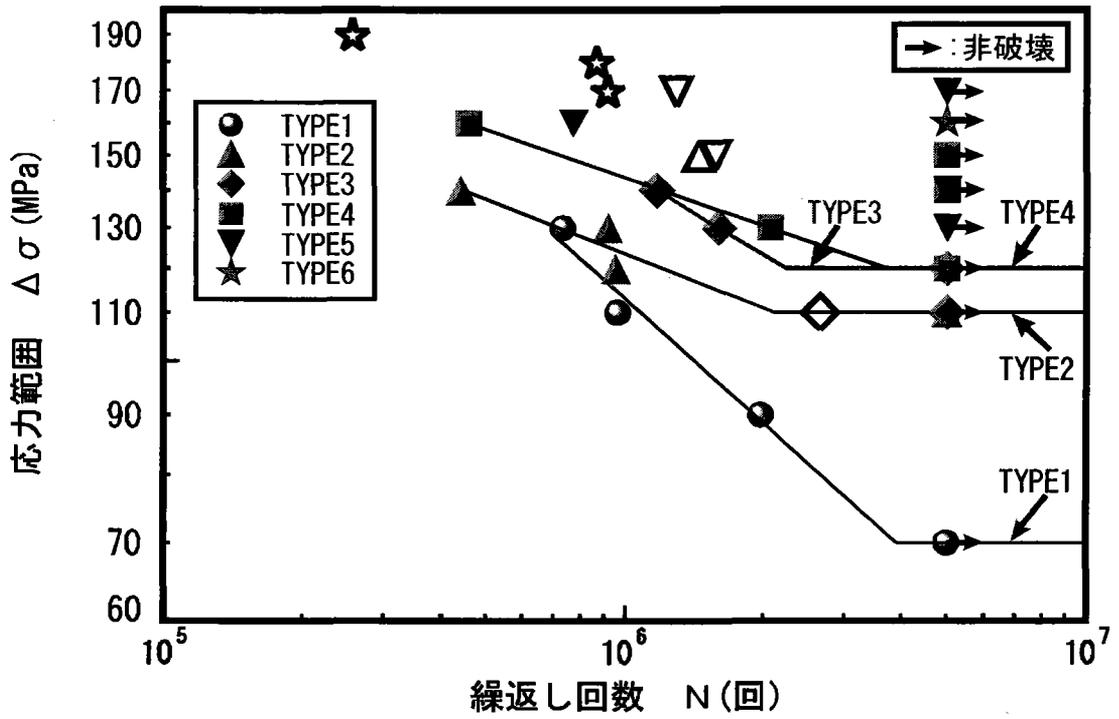


図-3.3 S-N線図 (TYPE1~6)

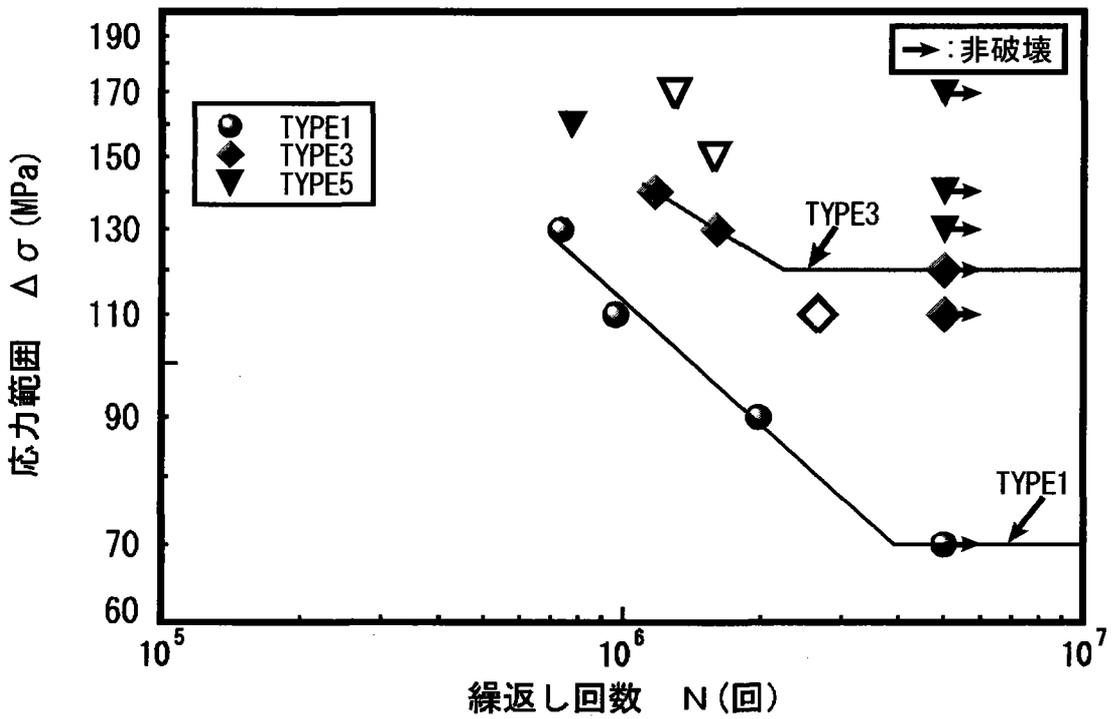


図-3.4 S-N線図 (TYPE3 と TYPE5 を比較)

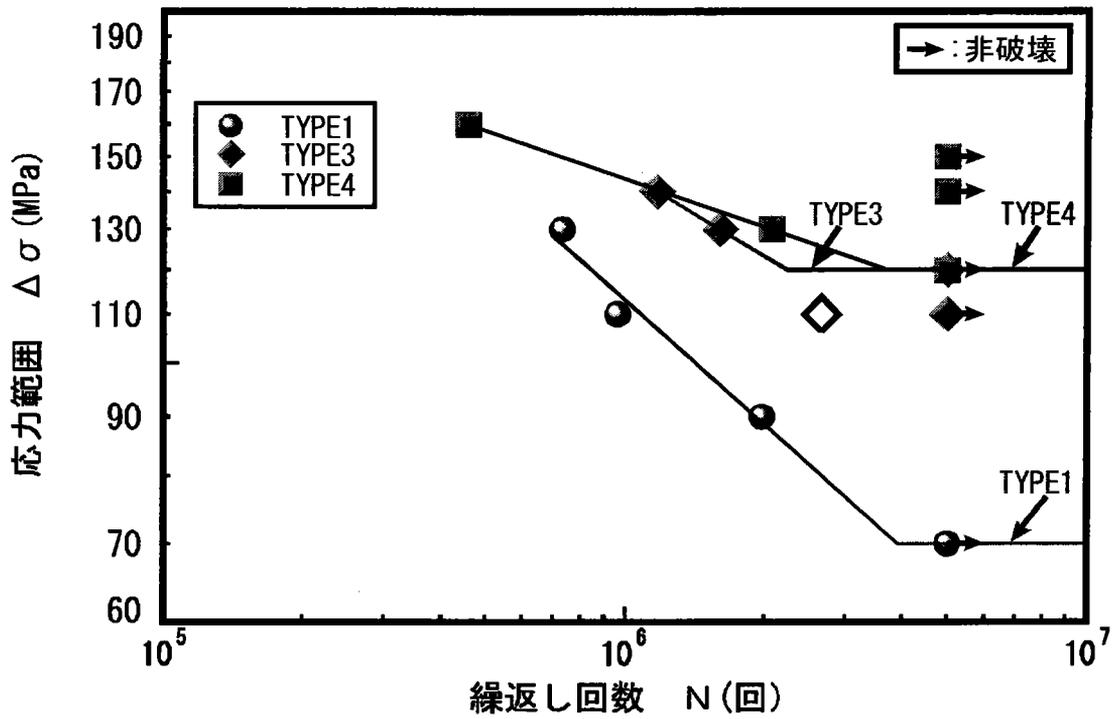


図-3.5 S-N線図 (TYPE3とTYPE4を比較)

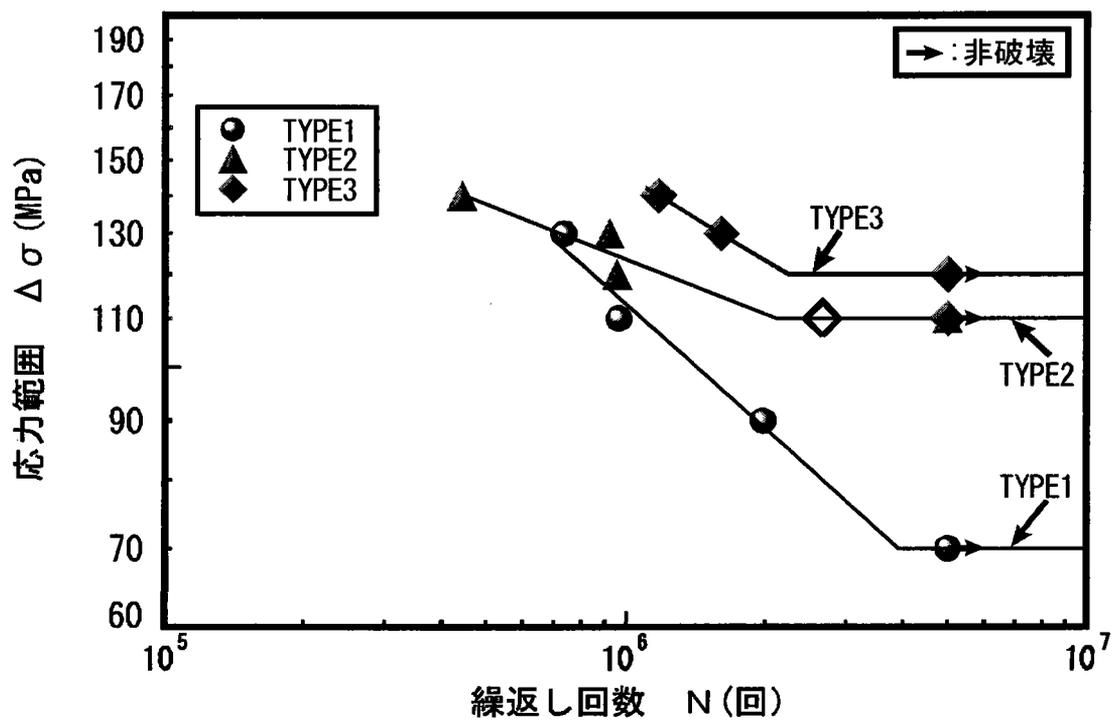


図-3.6 S-N線図 (TYPE2とTYPE3を比較)

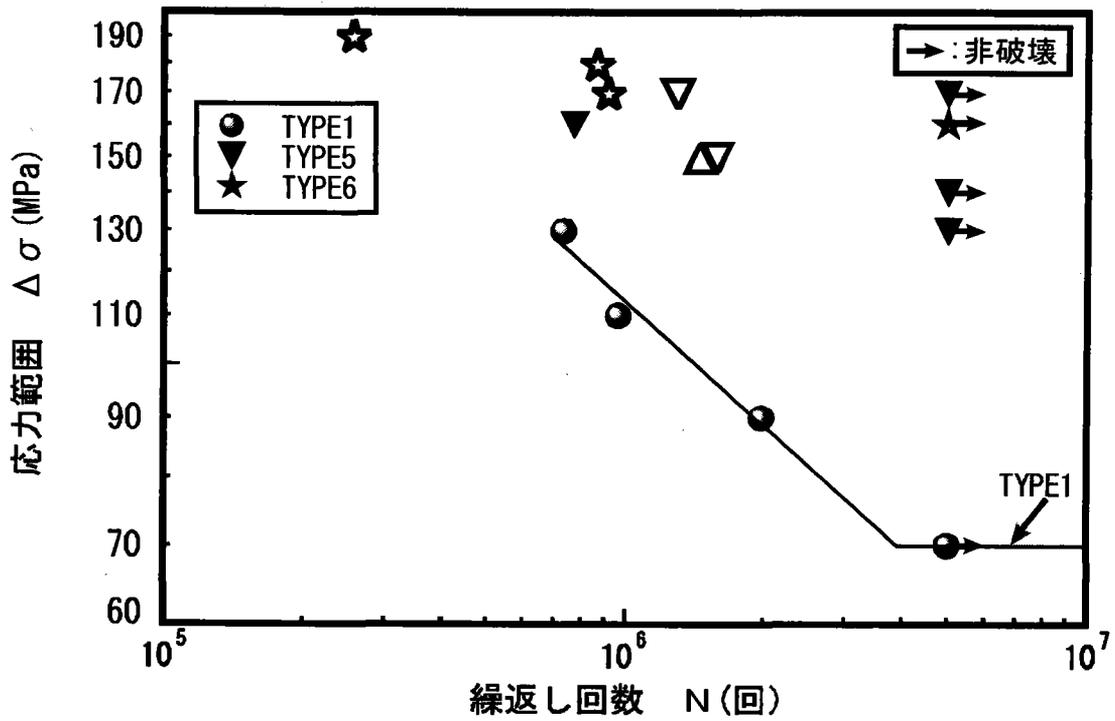


図-3.7 S-N線図 (TYPE5 と TYPE6 を比較)

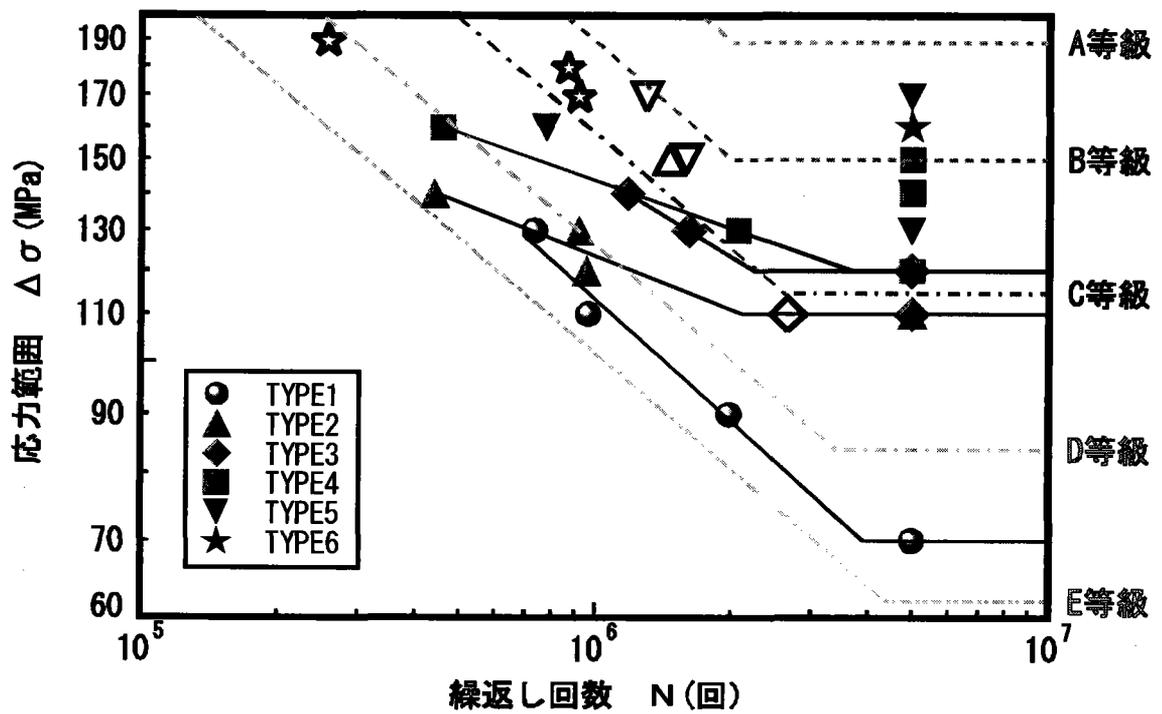
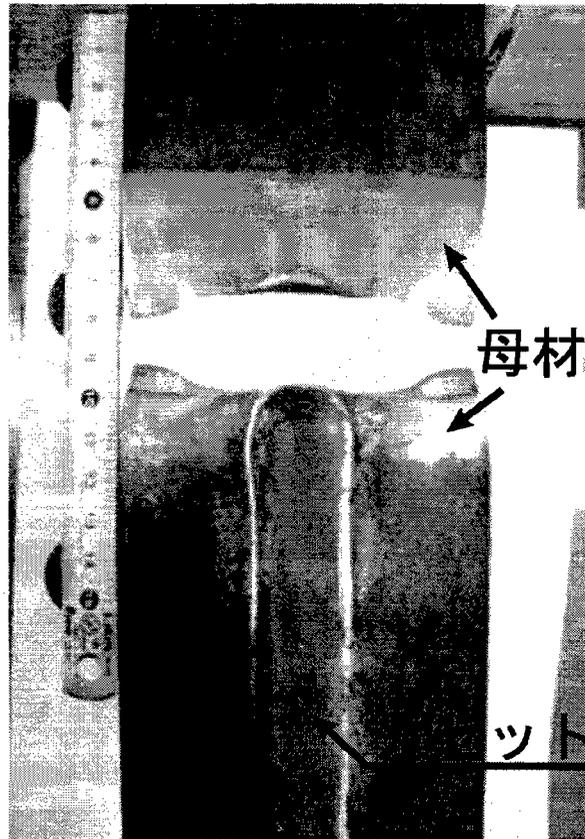


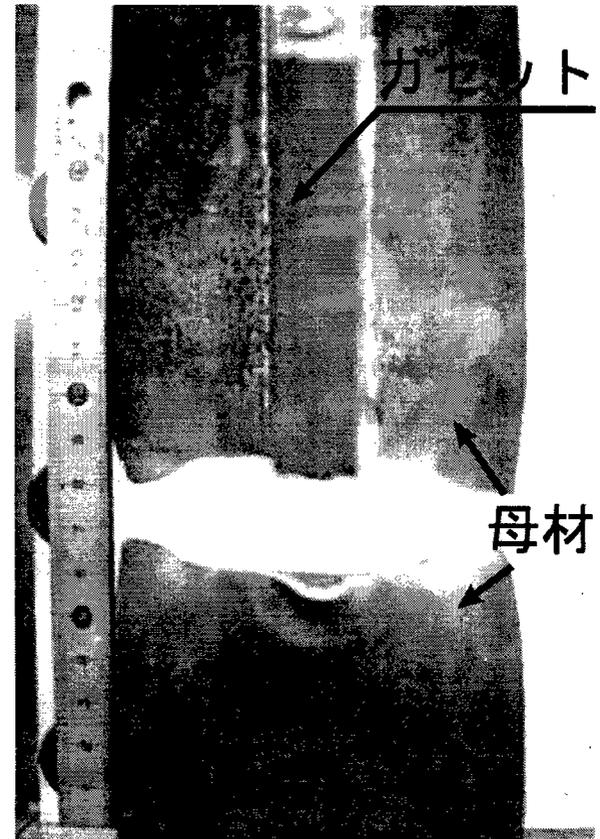
図-3.8 S-N線図 (疲労強度等級入り)



(a) TYPE2 (止端破壊)



(b) TYPE4 (止端破壊)



(c) TYPE5 (ルート破壊)

写真-3. 1 破断状況の例

## 3.2 応力解析

### 3.2.1 応力解析方法

溶接方法の違いが応力集中に及ぼす影響についての解析は、2次元有限要素法による弾性解析である。

止端仕上げの範囲および溶接方法の違いが回し溶接部上端部の応力集中に及ぼす影響についての解析は、3次元有限要素法による弾性解析である。

尚、応力は母材の長手方向端部に、1MPa となるように作用させる。

#### (1) 2次元有限要素解析

2次元解析モデルは、図-3.9の側面図をモデル化したものである。

本解析は、溶接方法の違いに着目するものであるため、止端仕上げについては無視し、解析ケースは、TYPE1、TYPE4、TYPE6の3種類とする。

よって、GFRPはモデル化しない。

同様の理由により、試験片の溶接形状は解析モデルには反映せず、溶接サイズは一律6mmとする。

未溶着部のモデル化は、試験片のガセットを長手方向に切断し、読み取り顕微鏡を用いて測定を行った結果から、未溶着厚は0.1mmとする。(写真-3.2, 写真-3.3参照)

#### (2) 3次元有限要素解析

図-3.9に解析モデルを示す。解析対象は、疲労試験に用いた6種類の面外ガセット溶接継手である。また、解析モデルは、解析対象の対称性を考慮し、1/8モデルとした。

モデル化にあたっては、実際の溶接部の形状を、レーザ変位計を用いて測定し、解析モデルに反映させた。写真-3.4に測定状況を示す。測定範囲は、回し溶接部止端から、溶接部側5mm、母材側5mmとし、0.5mm間隔で行った。測定結果を、図-3.10、図-3.11に示す。

解析ケースは、表-3.2(試験片の種類)の通りである。TYPE2においては、GFRPの板厚を0.6mm、プライマーの厚さを0.3mmとし、これを4層貼付した。尚、GFRPにはチョップ材(チョップドストランドマット)を使用し、プライマーはエポキシアクリレート系プライマーを使用する。また、TYPE6以外の溶接継手における未溶着部を考慮した。表-3.5に材料の機械的性質を示す。図-3.12に溶接部の形状と有限要素分割の一例を示す。

### 3.2.2 解析結果および考察

#### (1) 2次元有限要素解析

図-3.13に回し溶接部の応力集中係数を示す。縦軸に、応力集中係数(回し溶接部先端の最大の荷重軸方向応力を公称応力で除した値)をとり、横軸に、ガセット端部から未溶着部までの距離とる。ちなみに、ガセット端部に未溶着部がある場合、ガセット端部から未溶着部までの距離は0となる。

図より、ガセット端部から未溶着部までの距離が大きくなると、応力集中係数は小さくなるが、その減少率は0(TYPE1)~5mm(TYPE4)の範囲で大きく、その後漸減し20mmあたりで収束する結果となった。

表-3.6に応力集中係数比を示す。これより、TYPE1とTYPE4との比較では、TYPE4の応力集中係数はTYPE1のそれより7.9%減少した値となる。同様に、TYPE1とTYPE6との比較では、11.6%小さい値となる。

以上のことから、回し溶接部の応力集中は、溶接方法の違いによる影響を受け、未溶着部が応力集中係数を増大させるものと判断される。しかし、応力集中係数の増大は、未溶着部がガセット端部から20mm程度の範囲に限られる為、ガセット端部を5mmカットし未溶着部を無くすだけで、完全溶込溶接で施工した場合の応力集中係数に対するその係数値の増加率は4.1%と、カット無しの場合の増加率13.1%と比べ小さく抑えられる。

#### (2) 3次元有限要素解析

図-3.14に回し溶接部の応力集中係数を、表-3.7に応力集中係数比を示す。図より、溶接したままのTYPE1とGFRPによる補強および止端仕上げが行われているTYPE2~TYPE6を比較すると、TYPE2~TYPE6の応力集中係数は2.05~1.92であり、TYPE1の2.13より低減していることがわかる。また、止端仕上げが行われているTYPE3~TYPE6の、応力集中係数に有意な差は認められない。したがって、施工が容易であるすみ肉溶接継手を、回し溶接部のみ止端仕上げするものでよいと判断される。

GFRPを貼付したTYPE2は、溶接したままのTYPE1に比べ、応力集中係数が4%低減していることがわかる。また、TYPE2と止端仕上げが行われているTYPE3~TYPE6を比較すると、TYPE2の応力集中係数(2.05)が大きいことがわかる。したがって、GFRPを貼付することにより、回し溶接部の応力集中は緩和されるものの、止端仕上げをしたものと同等の補強効果は、期待できないものと判断される。

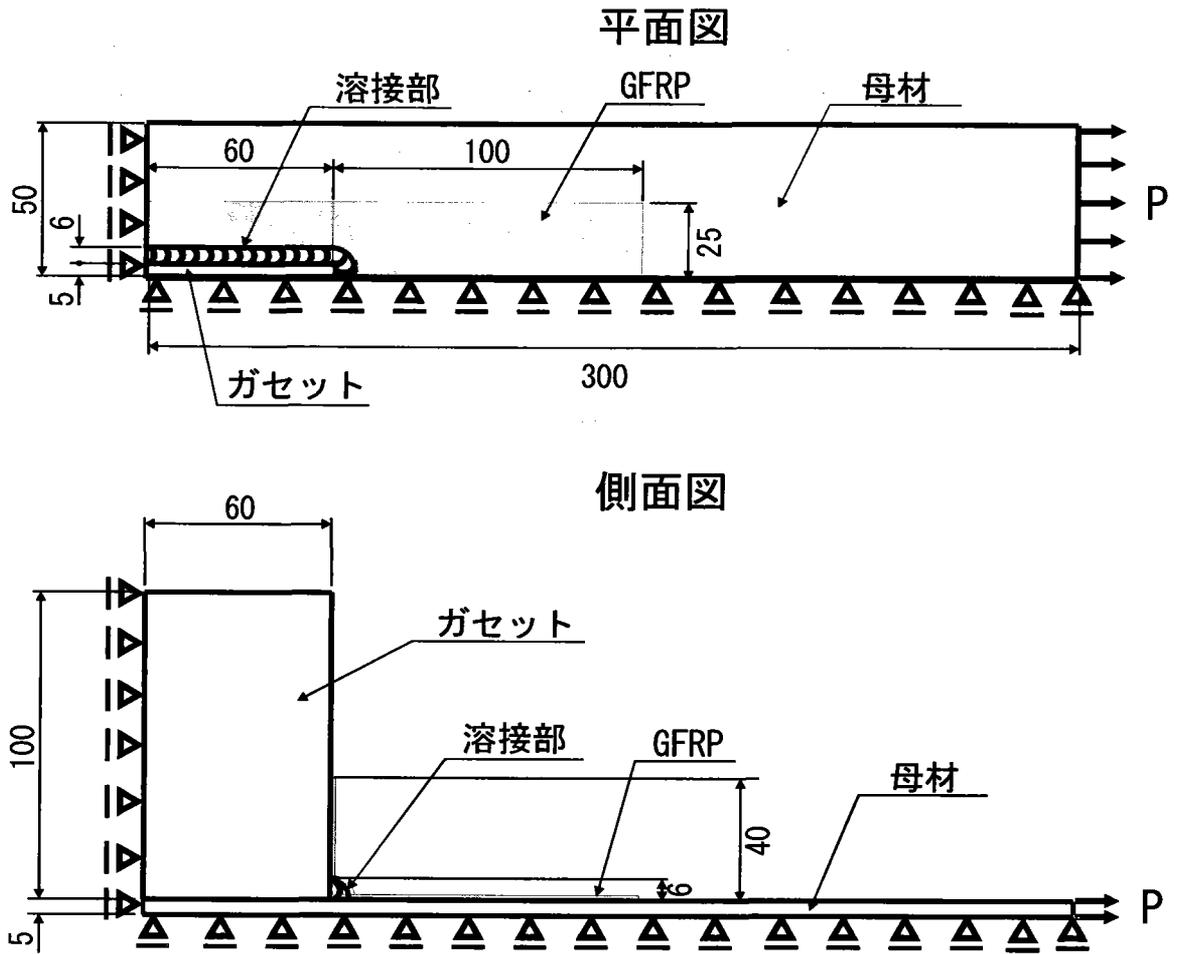


図-3. 9 解析モデル

表-3. 5 材料の機械的性質

	弾性係数(MPa)	ポアソン比
鋼板	$2.1 \times 10^5$	0.3
プライマー	$4.6 \times 10^3$	0.3
GFRP	$8.1 \times 10^3$	0.3

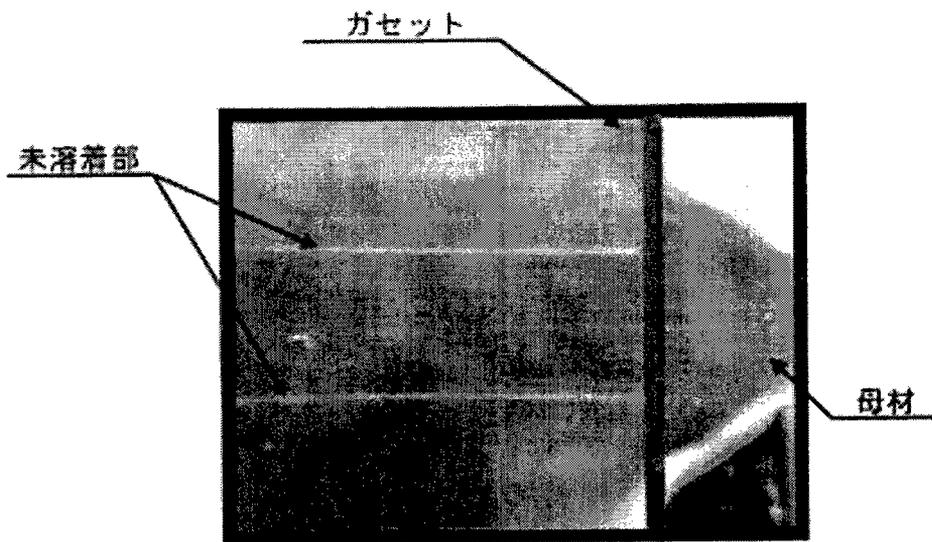


写真-3. 2 溶接部の断面(TYPE1)

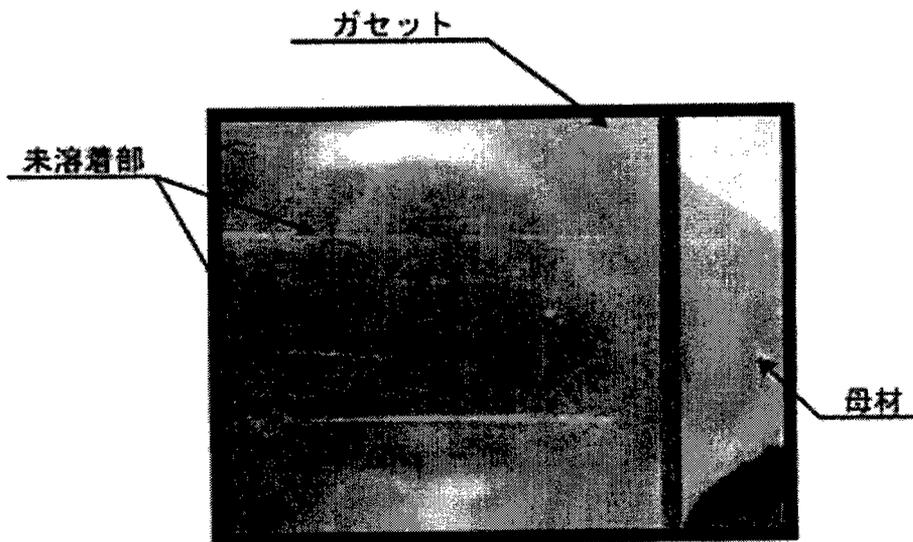


写真-3. 3 溶接部の断面(TYPE4)

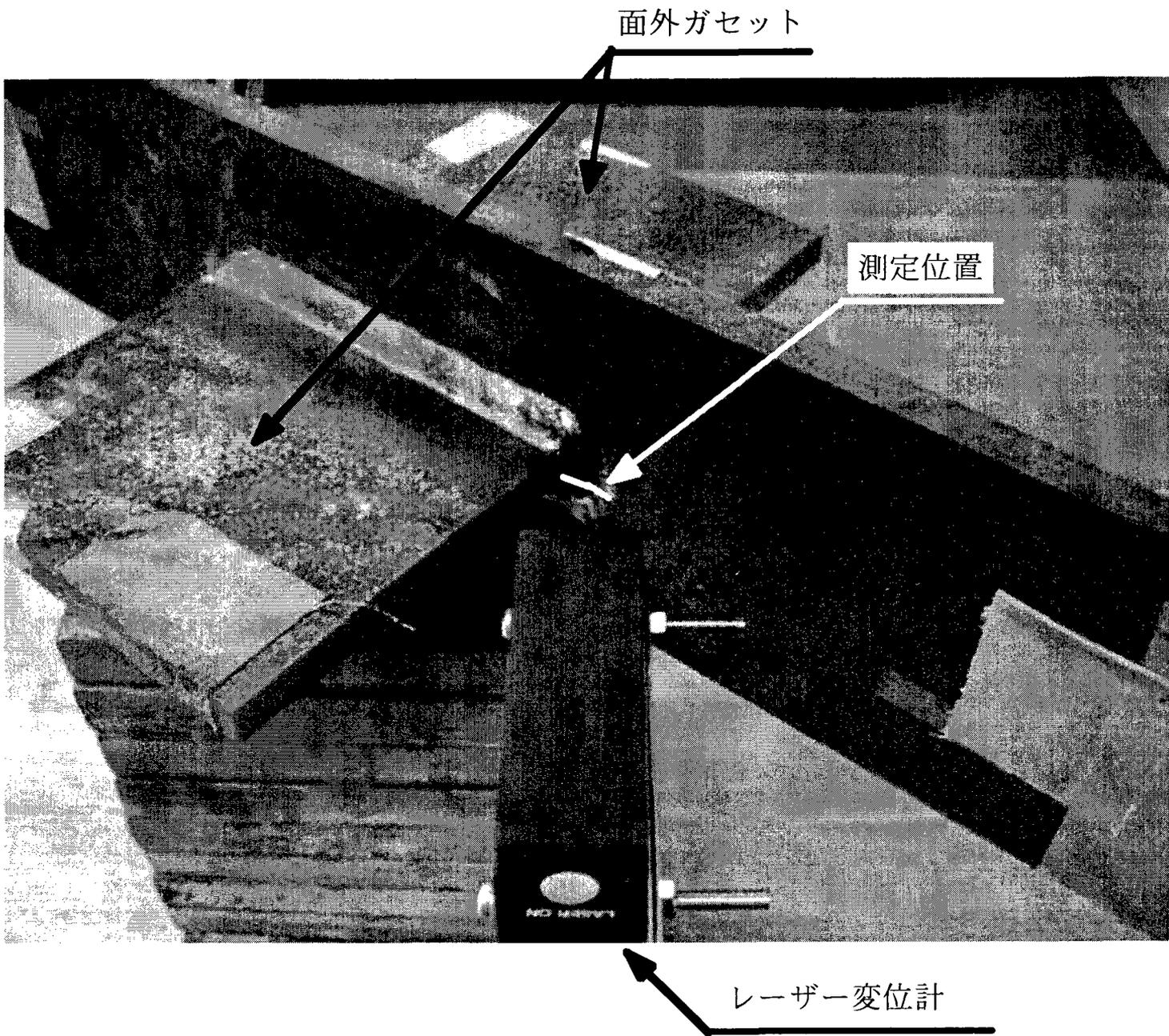


写真-3. 4 測定状況

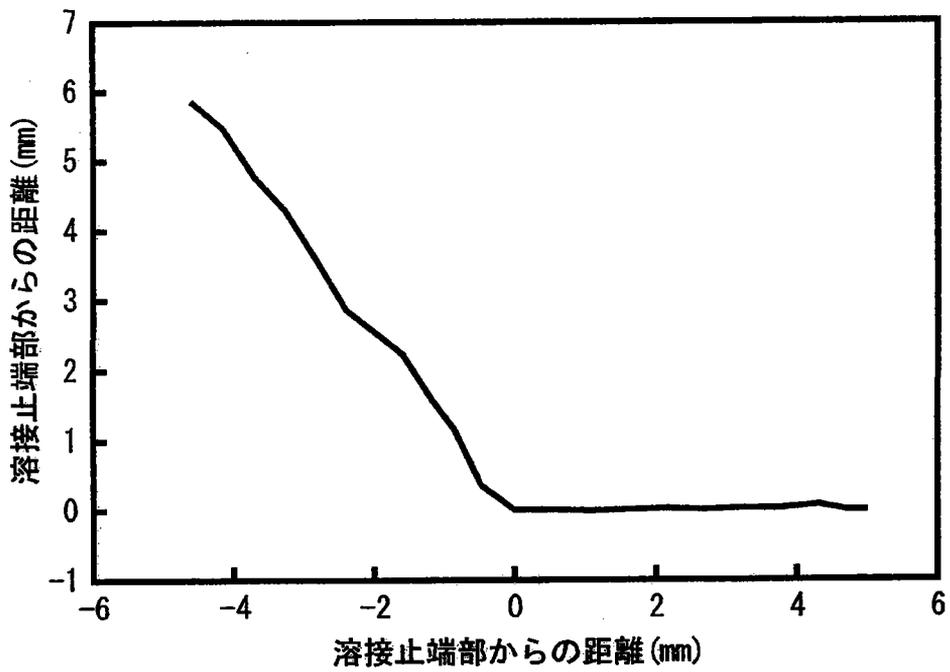


図-3. 10 溶接部の形状 (止端仕上げ無)

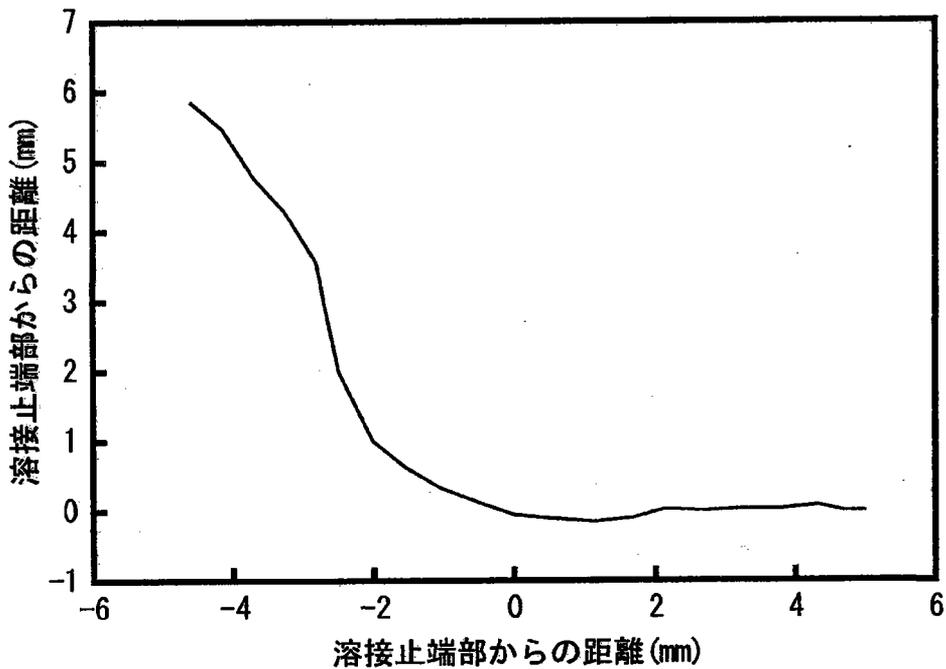
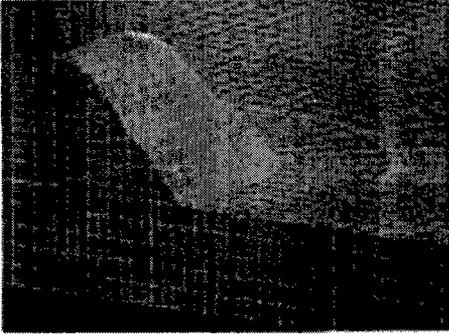


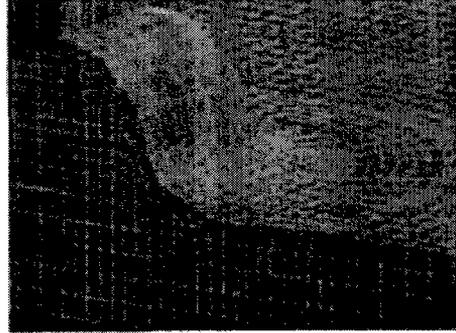
図-3. 11 溶接部の形状 (止端仕上げ有)

溶接止端部

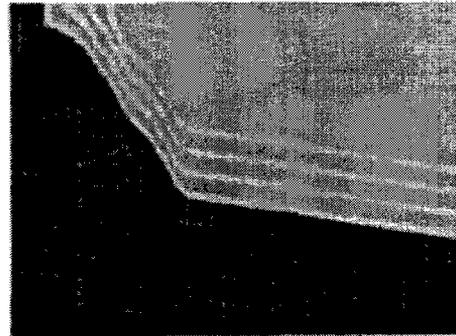
止端仕上げ無



止端仕上げ有



GFRP貼付



全体

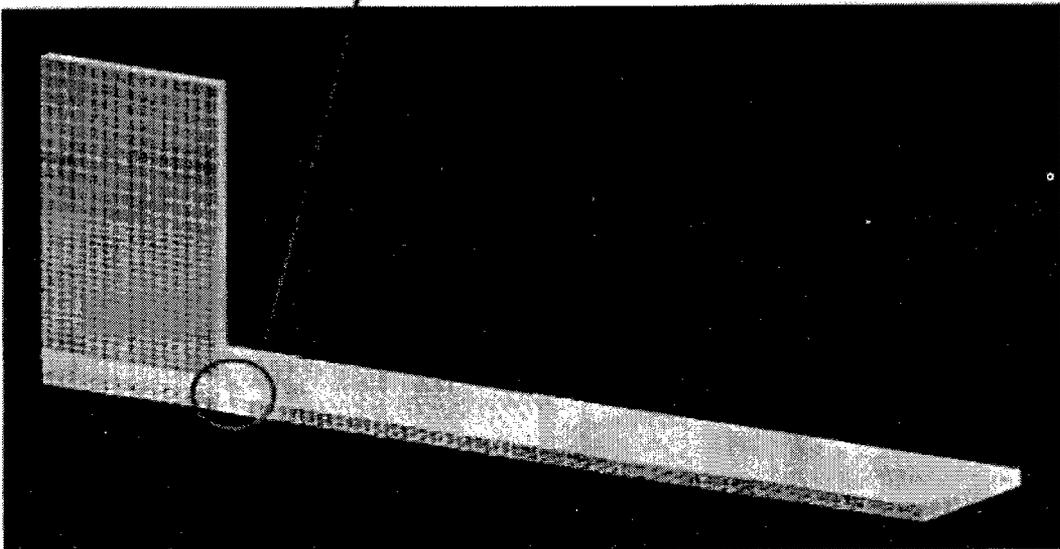


図-3. 12 有限要素分割 (3次元)

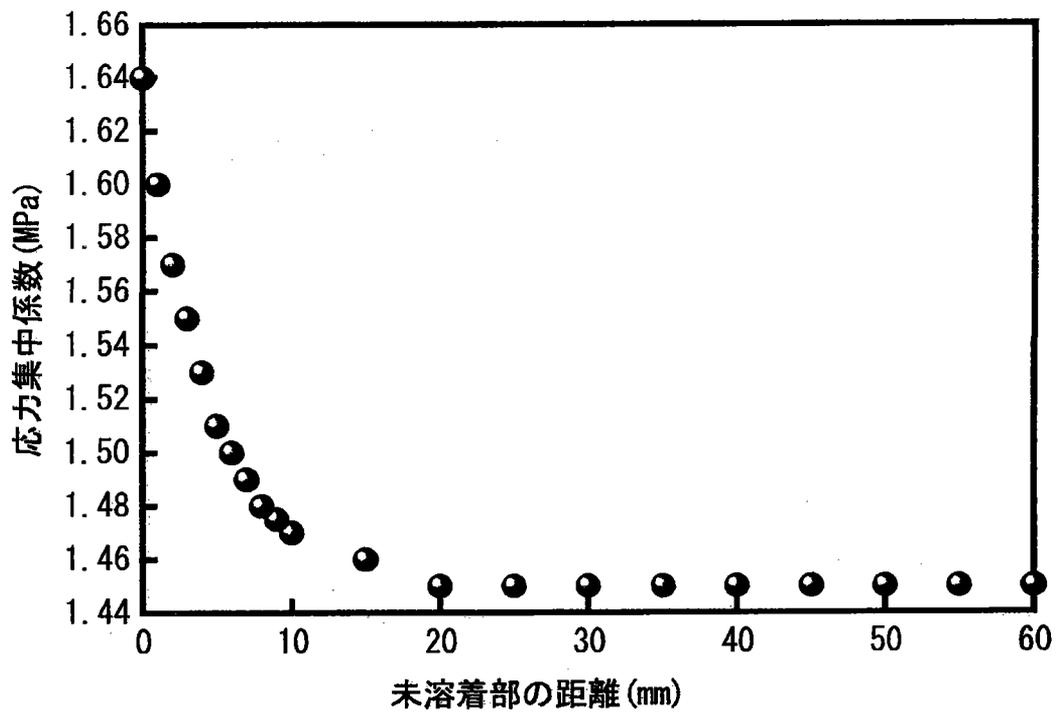


図-3. 13 回し溶接部の応力集中係数 (荷重軸方向応力)

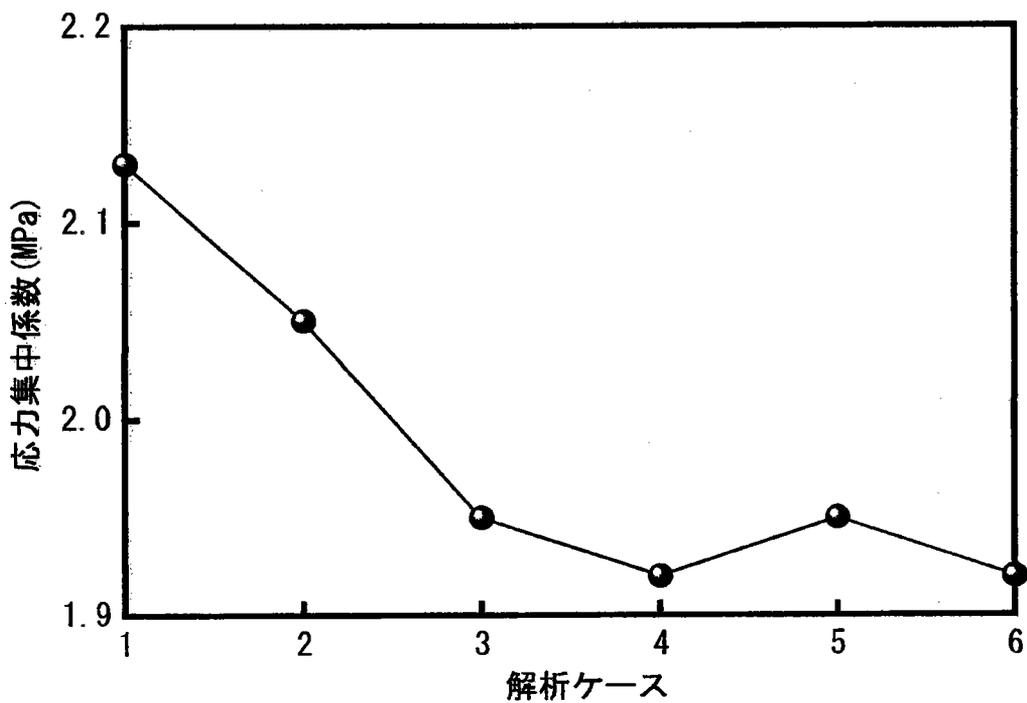


図-3. 14 回し溶接部の応力集中係数 (荷重軸方向応力)

表-3.6 応力集中係数比

	荷重軸方向応力	case1との比較
TYPE1	1.64	—
TYPE4	1.51	7.9%減
TYPE6	1.45	11.6%減

表-3.7 応力集中係数比

	荷重軸方向応力	case1との比較
TYPE1	2.13	—
TYPE2	2.05	3.8%減
TYPE3	1.94	8.9%減
TYPE4	1.92	9.9%減
TYPE5	1.95	8.5%減
TYPE6	1.92	9.9%減

### 3.3 まとめ

本研究では、面外ガセット溶接継手のGFRP貼付による補強、溶接方法および止端仕上げの範囲を変えた疲労試験を行い、疲労強度の向上効果について実験的・解析的に検討した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) すみ肉溶接された面外ガセットの回し溶接部の止端だけを仕上げた継手は、角切り(5C)溶接を行うことでルート破壊を防止するとともに、疲労強度向上に有効であった。
- 2) 応力範囲の低い領域では、GFRP貼付による補強を施すことによって、止端仕上げと同程度の補強効果が得られた。

### 3.4 面外ガセット継手の試案

#### 3.4.1 新設橋

疲労試験、応力解析の結果をふまえ、面外ガセットの両端部に5Cを設け、回し溶接部のみ止端仕上げを行うことで、疲労強度等級:F等級 と同等とみなせるものとする。

ただし、施工誤差を考慮し、面外ガセットの長手方向に10mmの範囲は、止端仕上げを設けるのが良い。

#### 3.4.2 既設橋

既設橋については、予防保全の観点からGFRPを貼り付けることで、疲労強度の改善を図ることが可能であり、面外ガセット以外の疲労損傷が懸念される箇所への適用も有効である。

また、疲労損傷の発生時にGFRPは白濁することから、疲労損傷の発見が容易である特徴を有していることから、疲労損傷の早期発見に大きく貢献するものとする。

#### 4. おわりに

本編では、現在、疲労設計上要求されているディテールを整理すると共に、製作コストに大きく影響する面外ガセットの疲労強度の向上策を、実験的・解析的に求めた。

結果として、面外ガセットにおいては、端部を5mmカットし止端仕上げを回し溶接部に行うことで、止端仕上げを施した完全溶込溶接と同等の疲労強度を有することが確認出来たことは、鋼橋のコストダウンに大きく寄与するものと考ええる。

また、GFRP を貼り付けることで、止端仕上げと同程度の補強効果を有することが確認出来たことは、予防保全に大きく貢献するものと確信する。

## 5. 参考文献

番号	文献名	出典名	著者	発行年月
1	道路橋示方書・同解説	(社) 日本道路協会		S55. 2
2	道路橋示方書・同解説	(社) 日本道路協会		H2. 2
3	道路橋示方書・同解説	(社) 日本道路協会		H6. 2
4	道路橋示方書・同解説	(社) 日本道路協会		H8. 12
5	道路橋示方書・同解説	(社) 日本道路協会		H14. 3
6	鋼構造物の疲労設計指針・同解説	(社) 日本鋼構造協会		H5. 4
7	鋼橋の疲労	(社) 日本道路協会		H9. 5
8	鋼道路橋の疲労設計指針	(社) 日本道路協会		H14. 3
9	橋梁構造物設計要領	首都高速道路公団		H15. 5
10	鋼構造物標準図集	名古屋高速道路公社 工務部		H16. 4
11	グラインダ仕上げ方法が面外ガセット溶接継手の疲労強度に及ぼす影響	土木学会第58回年次 学術講演会	猪俣, 森	H15. 9
12	ガラス繊維強化プラスチックで補強された溶接継手の疲労試験		鈴木, 岩田, 岡本, 鈴木	
13	面外ガセット溶接継手のGFRPによる補強		鈴木, 岡本, 鈴木	
14	ガラス繊維強化プラスチックによる荷重非伝達型十字溶接継手の疲労強度改善	土木学会第58回年次 学術講演会	鈴木, 鈴木, 岡本, 岩田	H15. 9
15	GFRPにより補強されたリブ十字溶接継手の応力解析		鈴木, 岡本, 大井	