

第3編 対策工法

第3編 対策工法

目次

1. はじめに	3 -	1
2. 調査・研究要領	3 -	2
3. 調査結果	3 -	3
3. 1 調査結果一覧表	3 -	3
3. 2 損傷位置一般図	3 -	16
3. 3 事例集	3 -	23
3. 4 まとめ	3 -	181
4. おわりに	3 -	186

WGメンバー

山本	和利 (三井造船鉄構工事株式会社)
内山	和宏 (三井造船鉄構工事株式会社)
津澤	稔 (トピー工業株式会社)
宮田	英治 (松尾エンジニアリング株式会社)
北原	武嗣 (関東学院大学)
原	貴彦 (株式会社 イスマック)
西川	岳志 (日本橋梁株式会社)
松本	和夫 (日本橋梁株式会社)
須藤	尚昭 (日本橋梁株式会社)
三池	壽博 (川崎重工業株式会社)
脇長	正 (川鉄橋梁鉄構株式会社)
小松	和憲 (株式会社 橋梁メンテナンス)
加藤	謹生 (株式会社 橋梁メンテナンス)
関口	修史 (住友金属工業株式会社)
松野	貴洋 (株式会社 長大)

1. はじめに

新設橋梁に関して、平成13年12月27日の国土交通省通達「橋、道路等の技術基準の改定について」に基づき、基準の性能規定化と鋼橋の疲労耐久性の向上などを織り込んだ「道路橋示方書」が平成14年3月付で改定された。このなかの「設計の基本理念」で、新設橋梁では構造物の耐久性と維持管理の容易さなどを考慮しなければならないとしており、繰返し荷重による疲労の影響、点検・調査及び補修・補強作業の容易さなどを考慮することになった。

一方、既設橋梁の維持管理の重要性が言われてから久しいが、最近、鋼製橋脚や鋼床版などで交通量の増大などに伴い疲労亀裂が多発している。改めて鋼橋の安全性・耐久性が問われているが、従来、道路橋では鋼床版などを除いて疲労の影響が考慮されていなかったのも事実である。

このような状況に対し、疲労損傷をとりあげ、特に既設橋梁での補修・補強事例について調査・研究を行ったので、その結果を以下に報告する。

2. 調査・研究要領

調査・研究にあたって、今まで公表されている文献を探索し疲労損傷の対策工法を整理すること、さらに事例および研究例の内容の現状が一覧的に把握できるように分類した。

また、損傷部位あるいは図表をデータシート化することで、対策内容の概要が簡単に参照できるようにした。

調査範囲および調査内容を以下に示す。

- ① 最近の鋼製橋脚隅角部や鋼床版トラフリブ溶接部での疲労損傷は除外した。
- ② 調査範囲として、昭和56年～平成14年までの事例および文献を調査した。
- ③ 実橋での施工事例と実験・研究事例の両者について調査した。

3. 調査結果

調査結果は調査結果一覧表、損傷位置を示す一般図(橋梁矢視図)として整理し、補修・補強の現状を全体的に確認できるものとした。また、補修・補強事例は詳細内容が簡明に理解できるデータシート書式で整理した。

調査結果一覧表を3.1に、損傷位置一般図を3.2に、補修補強事例集を3.3に示す。さらに、これらを集約して、現状の対策工法を考察した結果を3.4に示す。

3.1 調査結果一覧表

疲労損傷対策工法文献一覧表として①補修・補強施工事例(整理番号 001～027)および②実験・研究報告事例(整理番号 101～126)の2分類で整理した。

以下に整理項目を示すが、この項目列を追うことで対策工法を概観できる。

- ① 補修・補強施工事例：文献名(工事名)，発行者(客先)，補修年度(発行年度)，構造形式，損傷部位，損傷状況，損傷原因，補修補強目的，補修補強方法，特記事項
- ② 実験・研究報告事例：文献名，発行者，報告年度(発行年度)，構造形式
実験・研究部位，実験・研究内容，実験・研究方法，実験・研究結果，
特記事項

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(補修・補強施工事例)

整理 番号	文献名 (工事名)	発行者 (客先)	補修年度 (発行年度)	事例							
				構造形式	損傷部位	損傷状況	損傷原因		補修補強目的	補修補強方法	特記事項
							作用外力	設計・製作面			
001	床組及び横桁取合部 構造改築工事 技報たがみVOL. 1 9	瀬上工業	平成10年度	I桁	横桁と主桁の接合部	溶接部を起点とした疲労亀裂	主桁上フランジの回転変形	-	亀裂発生部の作用応力度を下げる	新設ギャップ板として、半円孔に明けて拘束剛性を低下した厚板に取り替える	-
002	鋼桁支承ソールプレート溶接部の疲労損傷と補強効果 【土木学会51回年講I-A389】	日本道路公団、建設機械化研究所	平成8年度	I桁	ソールプレートと下フランジ接合部・下フランジとウェブ	溶接部を起点とした貫通亀裂	-	支承の機能低下	亀裂発生部の作用応力度を下げる	亀裂部の溶接補修・支承取替	-
003	鋼I桁橋桁端付近の補修・補強 【三井造船鉄構工事 技報VOL. 5】	三井造船鉄構工事(株)	平成2年度	I桁	支承ソールプレート溶接部	ソールプレート溶接部を起点としフランジ・ウェブの貫通亀裂	通行車両の増大・大型化	支承の機能低下・ソールプレート部分の断面急変に伴う応力集中の影響・溶接欠陥	亀裂発生部の作用応力度を下げる	ガウジングによる亀裂の除去・溶接・あて板補強	-
004	鋼単純I桁の疲労損傷部の補修・補強 【橋梁と基礎】	建設図書	(平成6年8月)	I桁	I桁損傷6事例	溶接部を起点とした疲労亀裂	通行車両の増大・大型化	設計時点では考えられないような局部応力の発生	損傷部の補強	孔加工・溶接補修・構造細部変更・構造変更	-
005	鋼I桁の主桁と横桁の取合い部の補修・補強 【橋梁と基礎】	建設図書	(平成6年8月)	I桁	主桁・横桁取合部	溶接部を起点とした疲労亀裂	通行車両の増大・大型化	活荷重による上フランジの首振り現象繰返し・スカラップによる応力集中	せん断剛性の増加	補強リブ板厚の増加・補強リブの追加	補強リブ板の実物大モデルによる疲労実験を実施

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(補修・補強施工事例)

整理番号	文献名 (工事名)	発行者 (客先)	補修年度 (発行年度)	事例							
				構造形式	損傷部位	損傷状況	損傷原因		補修補強目的	補修補強方法	特記事項
							作用外力	設計・製作面			
006	対傾構をフルウェブタイプに取換え【橋梁と基礎】	建設図書	(平成6年8月)	I 桁	対傾構	分配対傾構の下弦材取付け用ガセットが破断	通行車両の増大・大型化	活荷重の影響が大きい外桁に取り合う下弦材断面不足	活荷重応力の低減・損傷部の補強	対傾構をフルウェブに取替	補強後の20 t 試験車両による応力・軸力測定 FEM解析による測定結果との比較
007	飯桁対傾構取換えおよびトラス横桁取付け部の補強【橋梁と基礎】	建設図書	(平成6年8月)	I 桁	対傾構	溶接部を起点とした疲労亀裂	活荷重による主桁上フランジの首振り作用の影響・対傾構による荷重分配作用の影響	垂直補剛材の板厚	亀裂の除去・補強	亀裂部の溶接補修・対傾構取替・既設対傾構切断	走行試験を実施
008	TIG処理による疲労亀裂の補修【橋梁と基礎】	建設図書	(平成6年8月)	I 桁	垂直補剛材	溶接部を起点とした疲労亀裂	腹板に生じる面外方向の振動による応力の繰り返し	発生応力の想定が難しい	亀裂の除去・補強、発生応力の低減	亀裂部の溶接補修・TIG処理による補修	疲労試験を実施
009	疲労損傷飯桁支承ソールプレート部の溶接・添接板による補修【道路橋補修・補強事例集】	山海堂	平成2年	I 桁	ソールプレート	ソールプレート溶接部・主桁下フランジとウェブの首溶接部における疲労亀裂	支承の回転拘束	溶接ひずみにより下フランジソールプレート間に隙間が発生しやすい。	応力集中の緩和・亀裂の除去・補修	仮補剛材の溶接補強・亀裂部の溶接補修・拡張ソールプレートへの取替・スリッパ付添接板によるウェブの補強	-
010	鋼箱桁ゲルバー切欠部における亀裂損傷部の溶接補修について【土木学会第57回年講】	川崎製鉄(首都高速道路公団)	平成13年度	鋼箱桁	主桁桁端切欠部ウェブ外面切欠き円弧部(半径R=100mm)	溶接ビード上の亀裂	切欠き部における応力集中	片側すみ肉溶接は未溶着ルート部から亀裂が発生しやすい	亀裂の除去・損傷部の補修	亀裂除去後に完全溶け込み溶接(裏波溶接)	実物大の溶接施工試験を実施、補修後に応力頻度計測を実施して補強対策無し

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(補修・補強施工事例)

整理 番号	文献名 (工事名)	発行者 (客先)	補修年度 (発行年度)	事例							
				構造形式	損傷部位	損傷状況	損傷原因		補修補強目的	補修補強方法	特記事項
							作用外力	設計・製作面			
011	床組部材の疲労損傷と 保全対策(その2) 【土木学会56回年講 I-B152】	大阪府	(平成13年)	ゲルバー ラス橋	縦桁と横桁の接合 部(縦桁ウェブ切 り欠き部)	縦桁ウェブ切り欠 き接合部を起点と した亀裂	交通量の増大・大 型化	縦桁フランジの横 桁への未連結・切 欠部切断加工の仕 上げ不足	亀裂進行の抑止お よび縦桁破断の防 止	バイパス式桁連結工 法。局部応力低減。 疲労クラックはバイ パスフランジ近傍で 終焉。	-
012	トラス橋疲労亀裂の原因 究明と恒久対策の検討に ついて【土木学会56回 年講 VI-251】	JR東海	(平成13年)	トラス橋	縦桁垂直補剛材	溶接部を起点とし た亀裂	枕木のたわみによ る上フランジの変 形	枕木を直接上フラ ンジに固定	応力集中を改善さ せる	亀裂をガウジング後 再溶接。当て板補 強。軌道パット(鋼 製プレート)の挿 入。	-
013	トラス橋横桁取付け部の 疲労損傷対策【土木 学会49回年講 I-254】	日本道路公団、 建設機械化研究 所	平成6年度	トラス	横桁と主構上弦材 の接合部	溶接部を起点とし た貫通亀裂	-	二次応力	二次応力を低減さ せる	ガウジングによる亀 裂の除去・溶接・あ て板補強	-
014	蟬丸橋改良工事報告 【横河ブリッジ技報】	日本道路公団	平成元~2年度	2ヒンジ上 路アーチ	補剛桁ウェブ、縦 桁ウェブ、支柱上 下端クラック	溶接部を起点とし た亀裂	通行車両の増大・ 大型化	-	損傷部の補修・補 強	アーチリブを除く床 版、床組み、垂直材 の取替えおよび斜 材、対傾構の追加	-
015	鋼上路式アーチ橋の疲労 損傷に対する補強工事報 告 【横河ブリッジ グループ技報】	建設省	平成4~12年度	2ヒンジ上 路アーチ	ゲルバーヒンジ 部、中間垂直材端 部	溶接部を起点とし た亀裂	通行車両の増大・ 大型化	ゲルバーヒンジ部 の応力集中	疲労亀裂の再発防 止	ゲルバーヒンジ部の 連続化、中間垂直材 上下端部の補強、斜 材追加	-

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(補修・補強施工事例)

整理番号	文献名 (工事名)	発行者 (客先)	補修年度 (発行年度)	事例							
				構造形式	損傷部位	損傷状況	損傷原因		補修補強目的	補修補強方法	特記事項
							作用外力	設計・製作面			
016	曾東大橋改良工事報告 【横河橋梁技報】	京都府	昭和56, 63年度	2ヒンジ中 路アーチ	アーチリブと横桁 および横桁と縦桁 間受撫	溶接部を起点とし た亀裂	通行車両の増大・ 大型化	-	鋼アーチリブと床 組の水平方向変位 のずれを減少させ る	ストップホールとあ て板による補修、斜 材追加による補強。	-
017	【土木学会 第51回年講 VI-58】	石川島播磨重工 業、イスミック、 日本道路公団	平成8年度	上路式ラン ガー	垂直材と補剛桁の 接合部	溶接部を起点とし た貫通亀裂。リ ベット頭、添接板 の貫通亀裂	車両の大型化、交 通量の増大	-	二次応力を低減さ せる	垂直材のボルトによ るあて板補強	-
018	【川田技報 YOL. 4】	川田工業	昭和60年度	上路式アー チ	垂直材と補剛桁、 主構の接合部	溶接部を起点とし た疲労亀裂	車両の大型化、交 通量の増大	二次応力	二次応力を低減さ せる	ガウジングによる亀 裂の除去・溶接・あ て板補強	-
019	【リテック】	山海堂	平成6年度	上路アーチ	ゲルバーヒンジ 部・中間垂直材	溶接部を起点とし た疲労亀裂	通行車両の増大・ 大型化	溶接部の応力集 中・活荷重の増加	活荷重応力の低 減・損傷部の補強	ゲルバーヒンジ部の 連続化・補強材の添 接	-
020	構造物の診断と補修に関 する第12回技術・研究発 表会	日本構造物診断 技術協会	平成11年度	上路アーチ	ゲルバーヒンジ 部・中間垂直材	溶接部を起点とし た疲労亀裂	通行車両の増大・ 大型化	溶接部の応力集 中・二次的応力	活荷重応力の低 減・損傷部の補強	斜材の増設	-

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(補修・補強施工事例)

整理番号	文献名 (工事名)	発行者 (客先)	補修年度 (発行年度)	事例							
				構造形式	損傷部位	損傷状況	損傷原因		補修補強目的	補修補強方法	特記事項
							作用外力	設計・製作面			
021	鋼床版橋に生じた疲労亀裂の補修・補強【土木学会46回年講 I-193】	首都高速道路公団、横河メンテック	平成3年度	鋼床版斜張橋	鋼床版、垂直補剛材、主桁、横リブ、縦リブ、対傾構ガセットの接合部	溶接部を起点とした貫通亀裂	輪荷重による過大な応力振幅	溶接欠陥、溶接による残留応力	垂直補剛材上端デッキプレートとの角折れ変形を緩和する	ガウジングによる亀裂の除去・溶接・あて板補強	交通共用下で応力頻度測定
022	【技報まつお NO.24】	松尾橋梁	平成2年度	吊り橋	横トラス上弦材と主構、縦桁との接合部	部材端部を起点とした疲労亀裂	通行車両の増大・大型化	縦桁支承の機能低下・腐食による部材厚の減少	縦桁支障の機能回復・損傷部の補強	ガウジングによる亀裂の除去・溶接・あて板補強・支承取替	-
023	ゴールデンホーン橋【橋梁と基礎】	石川島播磨重工業(株)	平成11年度	8径間連続鋼床版桁	鋼床版トラフ溶接部	溶接部を起点とした亀裂	・交通量の増大 ・車両重量の増加	不適當な溶接継手形式	応力振幅の低減	補強プレートを溶接	-
024	I型断面現場溶接継手の疲労強度【土木学会51回年講 I-A374】	宮地鐵工所、阪神高速道路公団	平成8年度	鋼床版箱桁	鋼床版と垂直補剛材の接合部	溶接部を起点とした疲労亀裂	輪荷重による過大な応力振幅	溶接欠陥、溶接による残留応力	垂直補剛材上端デッキプレートとの角折れ変形を緩和する	ガウジングによる亀裂の除去・溶接・あて板補強	-
025	【宮地技報 NO.10】	宮地鐵工所、宮地建設工業	平成6年度	鋼床版箱桁	鋼床版とトラフリブの接合部	溶接部を起点とした疲労亀裂	輪荷重による過大な応力振幅	溶接欠陥、溶接による残留応力	デッキプレートの剛性を向上し、局部変形を抑える	ガウジングによる亀裂の除去・溶接・あて板補強	交通共用下で応力頻度測定 トラフリブのFEM解析

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(補修・補強施工事例)

整理 番号	文献名 (工事名)	発行者 (客先)	補修年度 (発行年度)	事例							
				構造形式	損傷部位	損傷状況	損傷原因		補修補強目的	補修補強方法	特記事項
							作用外力	設計・製作面			
026	矩形鋼製橋脚隅角部の疲労損傷と補強設計(その2) 【土木学会第57回年講】	首都高速道路公団、石川島播磨重工業、東京工業大学	(平成14年度)	矩形鋼製橋脚隅角部	柱フランジと横梁下フランジの溶接部、フィレット部	溶接部から未溶着部へ進展	-	-	亀裂部における活荷重応力の軽減	母材ウェブの外側にあて板を設置し、支圧接合用高力ボルトを用いて母材と接合	事前のFEM解析、応力頻度計測を実施
027	箱断面柱を有する鋼製橋脚に発生した疲労損傷の調査と応急対策 【土木学会論文集No. 703】	土木学会	平成14年度	鋼製橋脚	鋼製橋脚隅角部の溶接部	溶接部を起点とした疲労亀裂	通行車両の増大・大型化	溶接欠陥、溶接による残留応力	活荷重応力の低減・損傷部の補強	隅角部のボルトあて板補強法	補強後の実交通荷重による応力頻度測定

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(実験・研究報告事例)

整理番号	文献名	発行者	報告年度 (発行年度)	実験・研究報告						
				構造形式	実験・研究部位	実験・研究内容	実験・研究目的	実験・研究方法	実験・研究結果	特記事項
101	フランジガセット溶接部の溶接欠陥を考慮した疲労強度改善広報の検討 【土木学会56回年講 VI-174】	JR東海	平成13年10月	鋼I桁	縦桁付きガセット溶接部	疲労強度改善工法の効果確認試験	内在欠陥がある溶接部の始終端部フィレットR拡大工法の効果を確認	試験体を作成し疲労試験を実施	4mm以上の内在欠陥でも疲労強度が向上することを確認	-
102	鋼Iビーム桁鉄道橋における実働応力と疲労耐久性評価 【土木学会57回年講 I-166】	南海電気鉄道	平成14年9月	鋼Iビーム桁鉄道橋	橋台上の桁端部	1900年代初期に架設された鋼Iビーム桁鉄道橋を対象とし、実働応力測定を行う	実働応力測定 余寿命評価	24時間連続測定	現在の状況で十分な余寿命を持つ	-
103	交通荷重特性が鋼鉄道橋の疲労寿命に及ぼす影響 【土木学会57回年講 I-167】	法政大学	平成14年9月	鋼I桁	主桁下フランジ	8車種の荷重測定結果、大型車混入率、時間交通量を組み合わせた交通荷重特性モデルを作成し、疲労寿命解析を実施した。	同 左	自動車荷重列のモンテカルロシミュレーションとJSSC指針を用いて疲労寿命を計算	時間交通量、大型車混入率が多くなるにしたがって、疲労寿命は短くなる	-
104	リベット接合箱桁鉄道橋の実働応力と疲労余寿命 【土木学会57回年講 I-169】	阪神電気鉄道	平成14年9月	リベット箱桁	リベット継手部	路線中最高齢の75歳のリベット接合箱桁橋を対象に行った実働応力測定と余寿命評価の報告	実働応力測定 余寿命評価	実働応力の測定50時間に渡って連続測定を行った。	測定された応力範囲の最大値はE等級1/3と十分小さいことから、理論上無限大の余寿命を持つこととなる。	-
105	角鋼を用いた鋼橋脚隅角部の疲労損傷事例 【土木学会57回年講 I-162】	首都高速道路公団	平成14年9月	鋼製橋脚	鋼製橋脚隅角部の角溶接部	架設から約40年を経過した鋼橋脚隅角部の疲労損傷の調査事例	角鋼を用いた隅角部における事例の特徴	目視、磁粉探傷、超音波探傷等による調査	一般隅角部で見られる疲労亀裂に加え、角鋼を用いた板組特有の亀裂も見られた	-

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(実験・研究報告事例)

整理番号	文献名	発行者	報告年度 (発行年度)	実験・研究報告						
				構造形式	実験・研究部位	実験・研究内容	実験・研究目的	実験・研究方法	実験・研究結果	特記事項
106	鋼道路橋の維持管理に関する研究	橋建維持補修部会	平成9年5月	I 桁	ウェブギャップ	ウェブギャップ板を実橋に設置し応力緩和効果を確認	現行補修要領の検証・半円孔を明けたものとΓ型の実橋における応力緩和効果の検証	補修前と補修後に荷重車を用いて静的載荷試験を行い比較	ウェブギャップ板に半円孔を設置したものは疲労強度が大幅に改善される	-
107	鋼道路橋の維持管理に関する研究	橋建維持補修部会	平成9年5月	I 桁	主桁～横桁取合部	ウェブ貫通部の応力と補強方法についての実験的検討	実橋応力の調査と補強方法の妥当性の室内試験による確認	異なるウェブ貫通部構造を持つ5橋において応力測定・2種類の補強方法について室内試験を実施	解析で求めた応力と比較して実橋では2倍程度・ウェブ貫通部の補強方法はアングル補強が効果的	-
108	鋼道路橋の維持管理に関する研究	橋建維持補修部会	平成9年5月	I 桁	横桁下フランジ貫通部	主桁支間中央に位置する横桁フランジ貫通部の補強方法について	横桁フランジ貫通部の各種添接補強方法について検討	ウェブ補強・L型補強・フランジ補強で供試体を作成し比較	L型補強が応力低減に有効である	-
109	鋼道路橋の維持管理に関する研究	橋建維持補修部会	平成9年5月	I 桁	切り欠き部	桁端距離が短い鋼I桁の桁端切り欠き部の添接補強方法について	桁端距離が短い鋼I桁の桁端切り欠き部に添接補強を適用する場合の方法を策定	支間中央に荷重を載荷し、切り欠き部のひずみを測定	補強方法によらずひずみは補強前の40～60%に低減される	-
110	都市内高架橋に設置された付属構造物の振動と疲労に関する研究 【土木学会56回年講 I-8131】	名古屋大学、名古屋高速道路公社	平成13年10月	付属物	付属物(照明柱、標識柱の基部)	付属構造物の振動と疲労耐久性について	振動測定、応力測定、応力頻度測定を行い、供用下での付属構造物の疲労耐久性を検証	加速度計、ひずみゲージを設置し、振動加速度、ひずみを測定	付属構造物の固有振動数が橋梁の卓越振動数の中心に近いほど、疲労損傷度が大きいと考えられる	-

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(実験・研究報告事例)

整理番号	文献名	発行者	報告年度 (発行年度)	実験・研究報告						
				構造形式	実験・研究部位	実験・研究内容	実験・研究目的	実験・研究方法	実験・研究結果	特記事項
111	鋼管照明柱等の基部耐疲労性に関する研究 【土木学会56回年講 I-B140】	新日鉄、 開発土木研究所、 北海道開発局	平成13年10月	付属物	付属物(照明柱、標識柱の基部)	新規提案のU字型リブ構造における、基部の曲げ疲労特性について確認	振動による柱基部付近の亀裂が発生したため、疲労性能の優れたリブを開発し評価するために実施	繰返し載荷装置を用いて、柱基部から1mの高さ位置に繰返し水平力を与えて基部構造の曲げ疲労特性を確認	Uリブ構造が優れた疲労性能を有することを確認した	-
112	「樹脂注入による疲労亀裂進展抑制に関する解析的研究」「樹脂注入による鋼材の疲労亀裂進展抑制に関する実験的研究」 【土木学会57回年講 I-281, I-282】	名古屋大学、 日本道路公団、 明星大学	平成14年9月	無し	中央に円孔を有する鋼板	中央に円孔を有する鋼板に対し、円孔にエポキシ樹脂を注入することによる、疲労亀裂の先天抑制効果の研究	ストップホールの適用が難しい場所の疲労亀裂に対する疲労亀裂進展抑制方法の提案	有限要素法による樹脂注入による疲労亀裂進展抑制効果の検討と、疲労実験による確認	解析・実験結果とも、樹脂注入による疲労亀裂進展抑制効果は期待できる。	解析的研究
113	紫外線硬化型樹脂による補強対策を施した長柱モデル実験 【土木学会57回年講 I-296, I-298, I-299, I-300】	中央大学、三井造船鉄構工事、 愛知工業大学、 大日本インキ科学工業、十川ゴム	平成14年9月	付属物	付属物(照明柱、標識柱の基部)	紫外線硬化型樹脂の貼付の有無による柱基部の応力比較や疲労実験	施工性が良く、顕著な補強効果を有する柱基部疲労亀裂の補修方法の提案	紫外線硬化型樹脂の貼付の有無による、①発生応力の解析・実験による比較、②疲労耐久性確認のための疲労試験	紫外線硬化型樹脂を柱基部に貼付することにより、補強しない場合よりも、発生応力が低減され、疲労耐久性も向上する。	実験的研究
114	炭素繊維シート巻き立てによる損傷鋼管の補修効果に関する検討 【土木学会57回年講 I-】	京都大学、コニシ(株)、日石三菱(株)	平成14年9月	鋼管構造	腐食などにより損傷した水道・ガス等のライフラン用鋼管	炭素繊維シートを巻き立てた孔明き鋼管に対して載荷実験を実施	炭素繊維シートとエポキシ樹脂の複合体(CFRP)の巻き立てによる補修・補強効果の実験的研究	下地処理用プライマーの種類とCFRPの積層数を変えた試験体を用い、曲げ試験を実施	CFRPを少なくとも2層巻き立てることにより、曲げ剛性は無損傷鋼管を上回る	実験的研究
115	鋼製橋脚荷発生する低サイクル疲労き裂とそれを起点とした脆性破壊の可能性 【土木学会57回年講 I-139】	東京工業大学	平成14年9月	鋼製橋脚	鋼製橋脚基部の補強用三角リブ溶接部	溶接継手試験体を用い曲げ低サイクル疲労試験を行い、脆性破壊の可能性について考察を行った	同 左	モデル化した試験体を用い、曲げ載荷を行った	脆性破壊は鋼材じん性の面から防止できる可能性が有る。	兵庫県南部地震に基づく実験

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(実験・研究報告事例)

整理番号	文献名	発行者	報告年度 (発行年度)	実験・研究報告						
				構造形式	実験・研究部位	実験・研究内容	実験・研究目的	実験・研究方法	実験・研究結果	特記事項
116	溶融亜鉛めっきを施した面外ガセット溶接継手の疲労強度(その3) 【土木学会57回年講 I-139】	橋建協	平成14年9月	無し	面外ガセット部	鋼橋に用いられる面外ガセットの疲労強度	メッキ施工が溶接部の疲労強度に及ぼす影響について	メッキ作業の焼鈍効果による残留応力の変化を測定	溶融亜鉛メッキを施した試験体の疲労強度は、溶接のままの試験体よりも低くなった	-
117	ハンチ取付けによる箱断面鋼製ラーメン橋脚隅角部の疲労強度向上 【土木学会57回年講 I-163】	東京工業大学	平成14年9月	鋼製橋脚	鋼製橋脚隅角溶接部	隅角部フランジ端部にハンチを取付け、疲労試験を行う	隅角部フランジ端部にハンチを取付けることが、隅角部の疲労強度の向上に有効かを検討	疲労試験	隅角部の疲労強度をH等級からE等級まで向上できた	-
118	I桁橋におけるカバープレート溶接止端部の応力集中係数 【土木学会57回年講 I-165】	名城大学	平成14年9月	鋼I・箱桁	カバープレート溶接止端部	カバープレートを有するI桁について	溶接止端部の応力集中を緩和させる	FEM解析	フランジ厚が大きいと応力集中係数最大値は下がる	-
119	少数主桁橋のノンスカラップ全断面現場溶接部の疲労強度特性に関する実験研究 【土木学会57回年講 I-174】	日本道路公団	平成14年9月	鋼I桁 (少数主桁)	ノンスカラップ全断面現場溶接部	ノンスカラップ構造の実寸大模型を用いて疲労試験を行う	疲労特性に優れた溶接継手が要求された場合、ノンスカラップ構造が有効であると考えられるので、その疲労強度を定量的に把握するために試験を行う	疲労試験	ノンスカラップ構造はD等級相当の疲労強度が得られる	-
120	照明柱基部の新しい接合構造の開発 【土木学会57回年講 I-175】	住友金属建材	平成14年9月	標識柱	標識柱基部	新しく開発した照明柱のリップ無ベースについて	一体鍛造成型のリップ無ベースの性能を検討	静的曲げ試験 曲げ疲労試験	リップ付ベースの3倍の疲労強度を有する	-

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(実験・研究報告事例)

整理番号	文献名	発行者	報告年度 (発行年度)	実験・研究報告						
				構造形式	実験・研究部位	実験・研究内容	実験・研究目的	実験・研究方法	実験・研究結果	特記事項
121	亀裂を生じた鉄道古桁の高性能万力による補強 【土木学会57回年講 I-180】	関西大学	平成14年9月	鋼Iビーム桁 鉄道橋	フランジ部	亀裂を生じたI桁試験体に高性能万力を用いた補強を行う	高性能万力を用いた場合の補強効果を検討	疲労試験	高性能万力6本で有効	-
122	フランジアタッチメント重ね溶接継手部の疲労強度 【土木学会57回年講 I-181】	関西大学	平成14年9月	鋼Iビーム桁 鉄道橋	フランジ部重ねガセット溶接継手部	重ねガセット溶接継手を取付けたプレートガーター試験体を用いて疲労実験を行う	重ねガセット溶接継手部の裏側に回し溶接を行った場合の疲労強度を把握する	疲労試験	応力繰返し回数950万回で亀裂が発生	-
123	Uリブを用いた鋼床版の疲労損傷事例 【土木学会57回年講 I-181】	首都高速道路公団	平成14年9月	鋼床版	Uリブ	日交通量80,000台、大型車混入率15%の路線に架設された連続鋼床版箱桁橋の鋼床版における疲労損傷事例を報告した。	鋼床版の応力性状の確認及び疲労亀裂の発生の有無に関する詳細な点検を鋼床版箱桁橋を対象として実施した	同 左	調査した結果、亀裂性状は6タイプに分類される。	亀裂性状を6typeに分類
124	円柱を有する鋼製ラーメン橋脚隅角部の構造特性 【土木学会57回年講 I-278】	東京工業大学	平成14年9月	円柱橋脚	鋼製橋脚ラーメン隅角部	試験体を用いた静的載荷試験および疲労試験により、円柱を有する鋼製ラーメン橋脚隅角部における応力挙動を明らかにする。	精度の高い応力評価手法の確立	試験体を用いた静的載荷試験および疲労試験	現行設計法による応力集中部の算出応力値は、実験値と1.4倍の開きがある。	-
125	鋼床版の合理的な維持管理を目的とした実働応力測定 【土木学会57回年講 I-181】	阪神高速道路公団	平成14年9月	鋼床版	Uリブ	阪神高速道路公団鋼床版について、路線毎の分布や鋼床版構造ディテールを調査、整理した。実橋において、一般車両走行下における時間の応力頻度測定をした。	疲労損傷が懸念される鋼床版各部位の疲労寿命評価を行った。これらの結果から阪高における鋼床版の合理的な維持管理手法について検討した。	阪神高速道路公団鋼床版について、路線毎の分布や鋼床版構造ディテールを調査、整理した。実橋において、一般車両走行下における時間の応力頻度測定をした。	累積大型車交通量が多い橋梁疲労照査規定(S55年)以前に設計された橋梁を重点的に点検すること。着目部位はトラフリブ突合せ溶接部、デッキPLと垂直補剛材取付け部とする	累積大型車交通量が多い橋、S55以前の橋が重点

疲労損傷対策工法文献調査一覧表
(実験・研究報告事例)

整理 番号	文献名	発行者	報告年度 (発行年度)	実験・研究報告						
				構造形式	実験・研究部位	実験・研究内容	実験・研究目的	実験・研究方法	実験・研究結果	特記事項
126	鋼床版のトラフリブ・デッキプレート溶接接合部の疲労強度に対する溶け込み深さの影響 【土木学会57回年講 I-181】	法政大学	平成14年9月	鋼床版	Uリブ	鋼床版のトラフリブ・デッキプレート溶接接合部を対象とし、溶接溶け込み深さが疲労強度に及ぼす影響について検討した。	鋼床版のトラフリブ・デッキプレート溶接接合部において、溶け込みが片面すみ肉溶接継手の疲労強度に及ぼす影響について検討した。	疲労試験：T字試験体と十字試験体（SS400、C02溶接）	リブ板に力が作用する場合の片面すみ肉溶接継手の疲労強度は、溶接溶け込みを深くすることにより大幅に改善される。	鋼床版、Uリブの作用応力と疲労強度

3. 2 損傷位置一般図

補修・補強施工事例(整理番号 001~027)について、損傷部位を橋梁形式別の一般図(矢視図)に示した。(図 3-1~図 3-9)

橋梁形式については、下記の 9 種類に分類した。

- | | | | |
|---|--------|----------|-------|
| ① | 鋼 I 桁 | ・・・・・・・・ | 図 3-1 |
| ② | 鋼上路トラス | ・・・・・・・・ | 図 3-2 |
| ③ | 鋼下路トラス | ・・・・・・・・ | 図 3-3 |
| ④ | 鋼上路アーチ | ・・・・・・・・ | 図 3-4 |
| ⑤ | 鋼中路アーチ | ・・・・・・・・ | 図 3-5 |
| ⑥ | 鋼床版斜張橋 | ・・・・・・・・ | 図 3-6 |
| ⑦ | 吊り橋 | ・・・・・・・・ | 図 3-7 |
| ⑧ | 鋼製橋脚 | ・・・・・・・・ | 図 3-8 |
| ⑨ | 鋼床版箱桁 | ・・・・・・・・ | 図 3-9 |

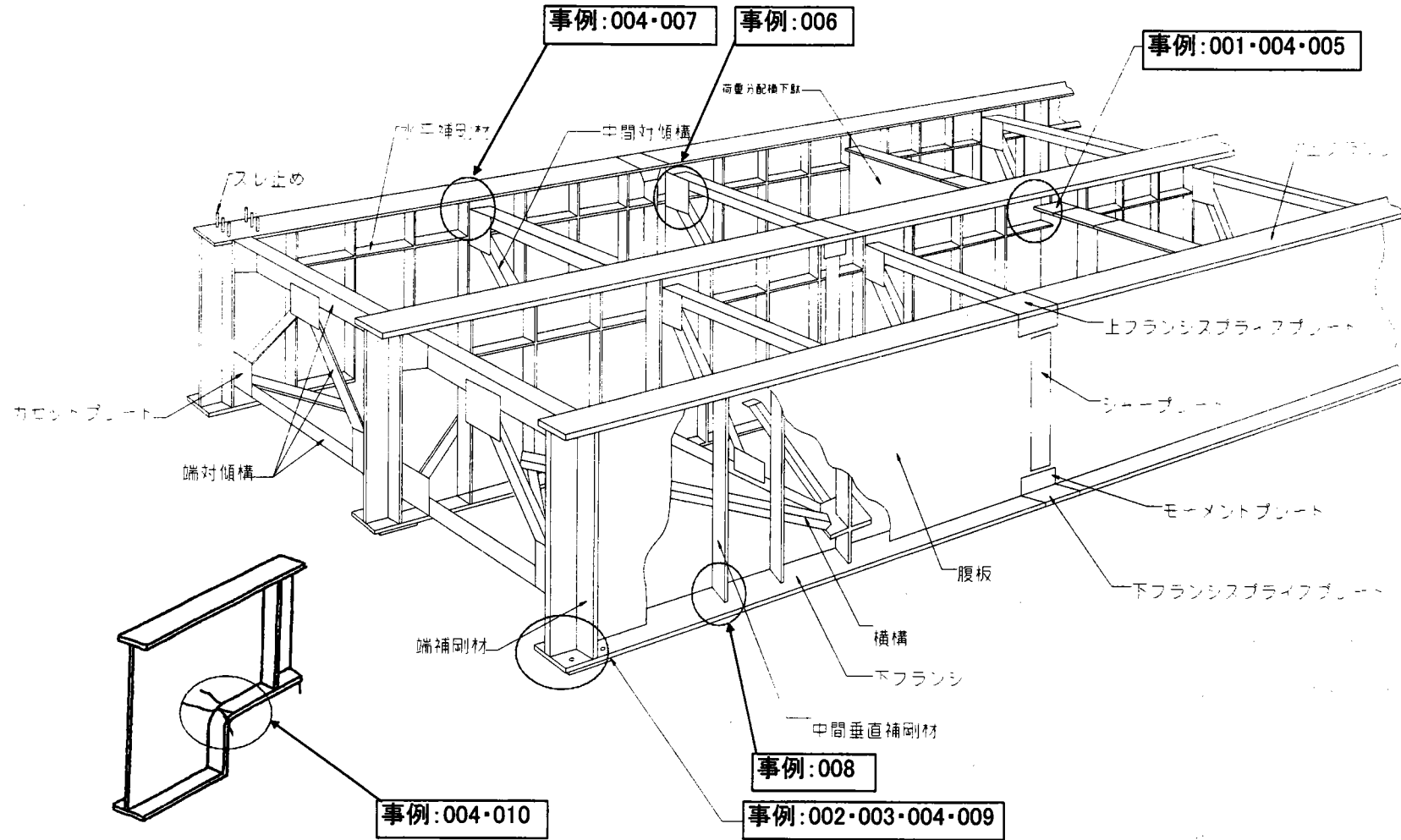


図 3-1 鋼 I 桁

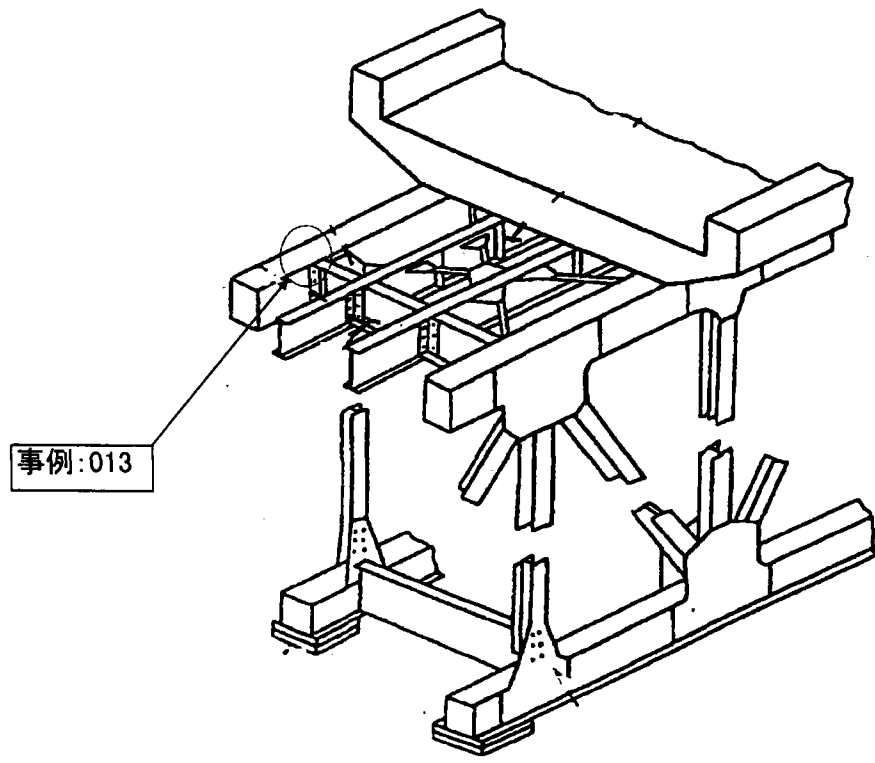


図 3-2 鋼上路トラス

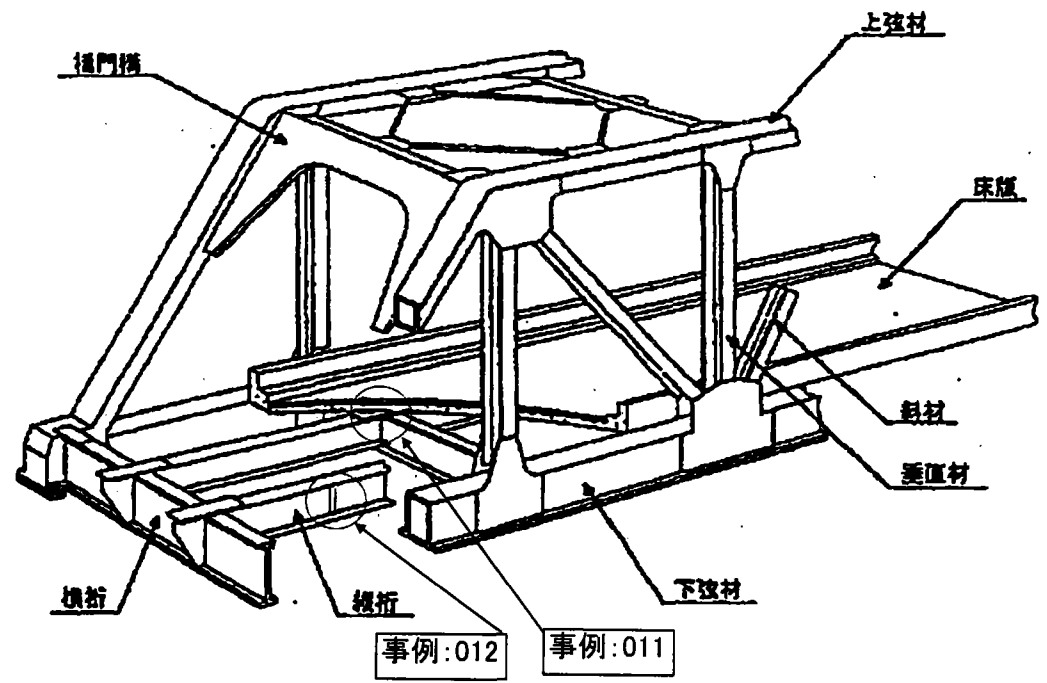


図 3-3 鋼下路トラス

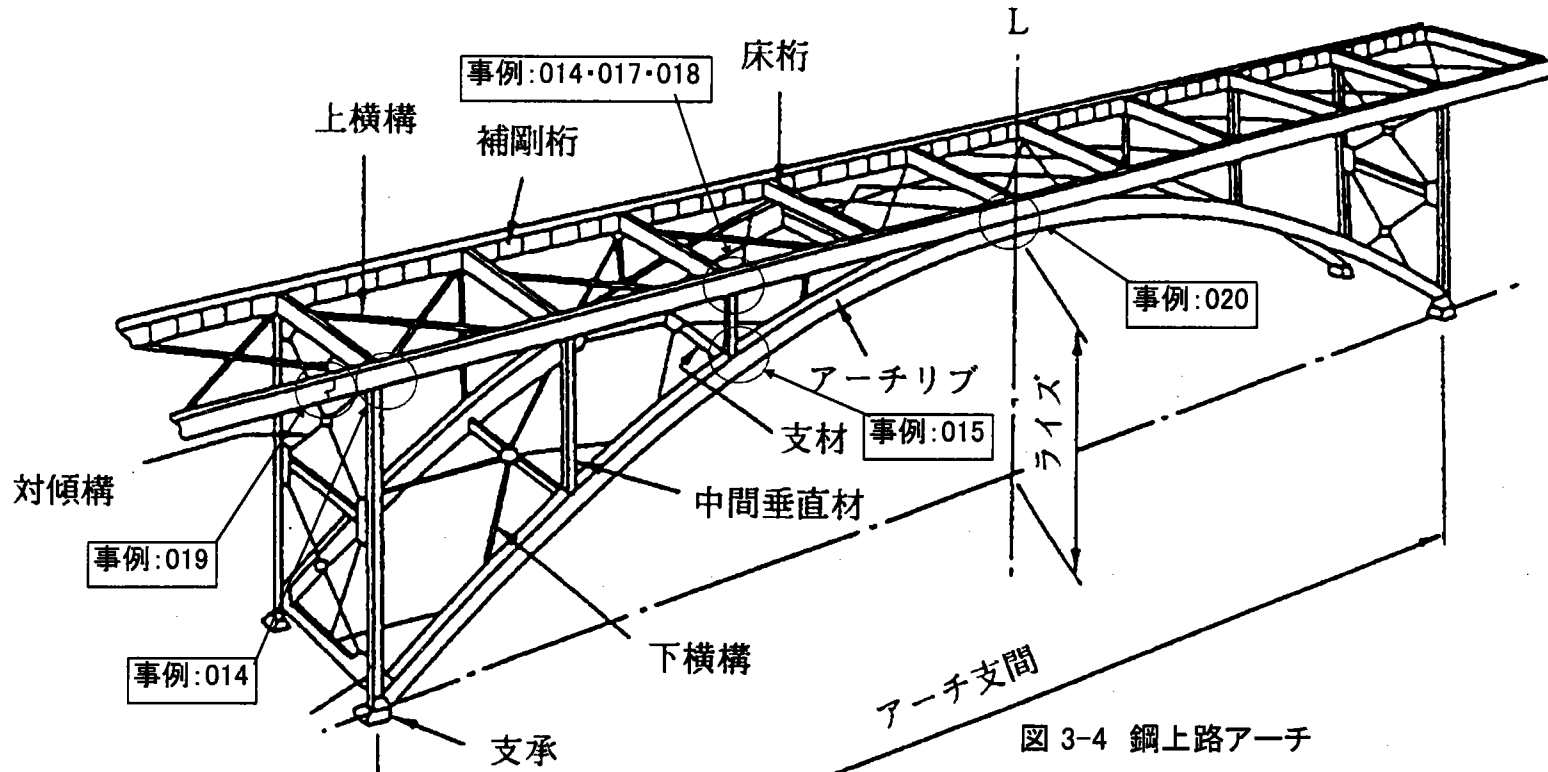


図 3-4 鋼上路アーチ

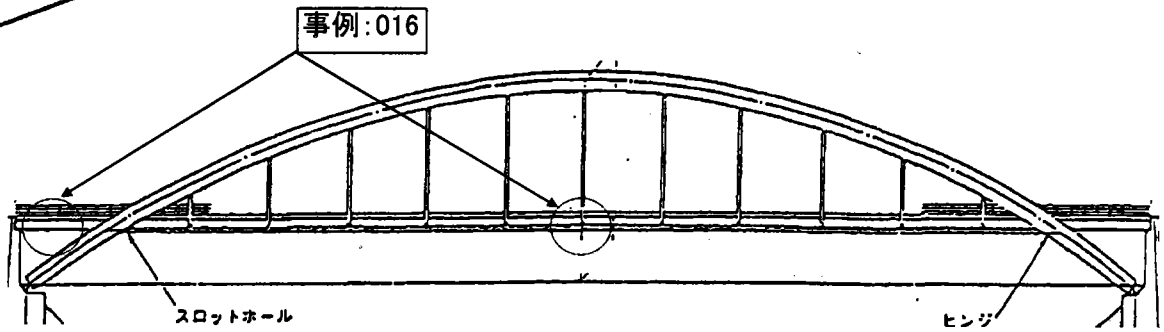


図 3-5 鋼中路アーチ

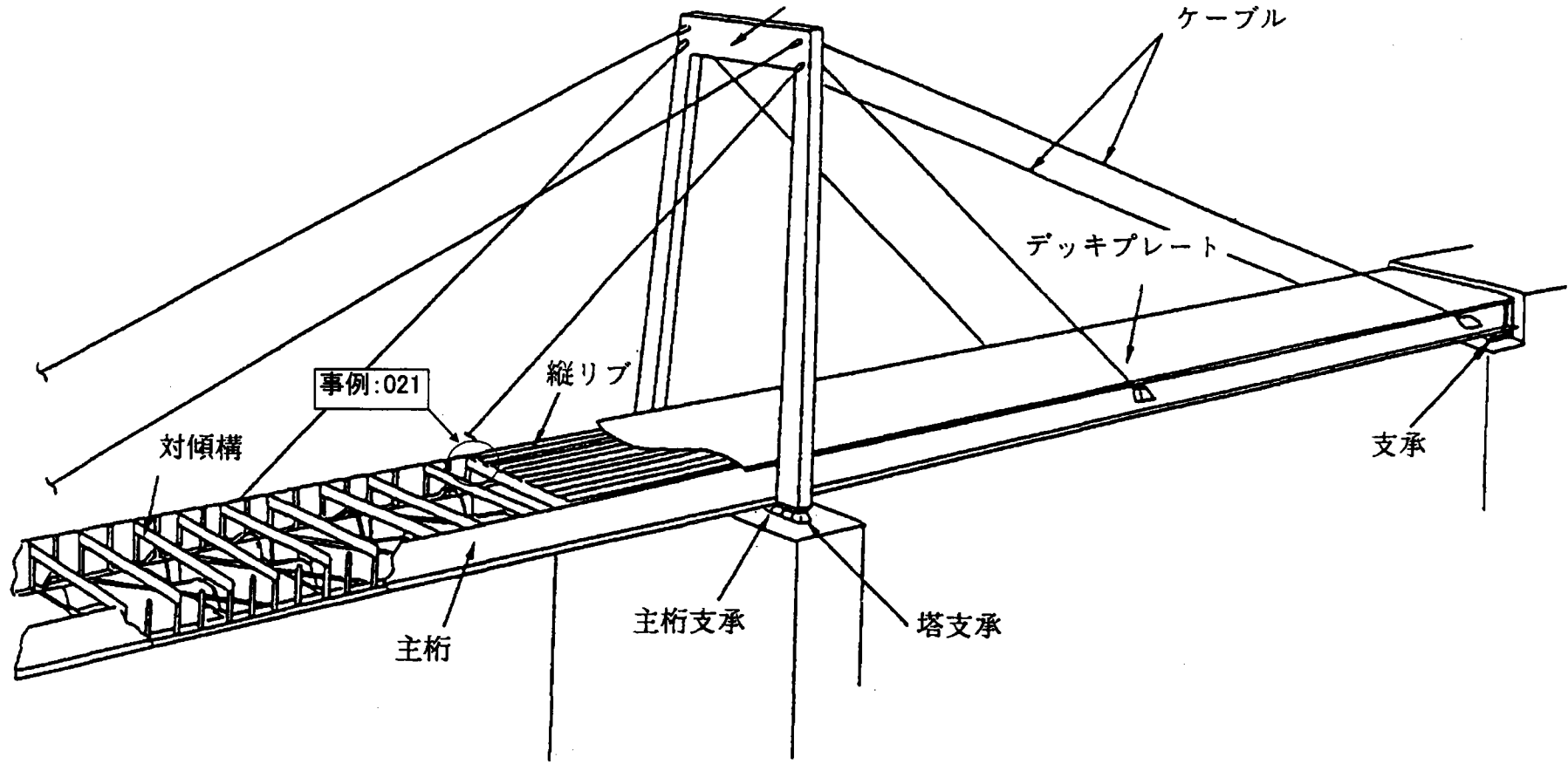


図 3-6 鋼床版斜張橋

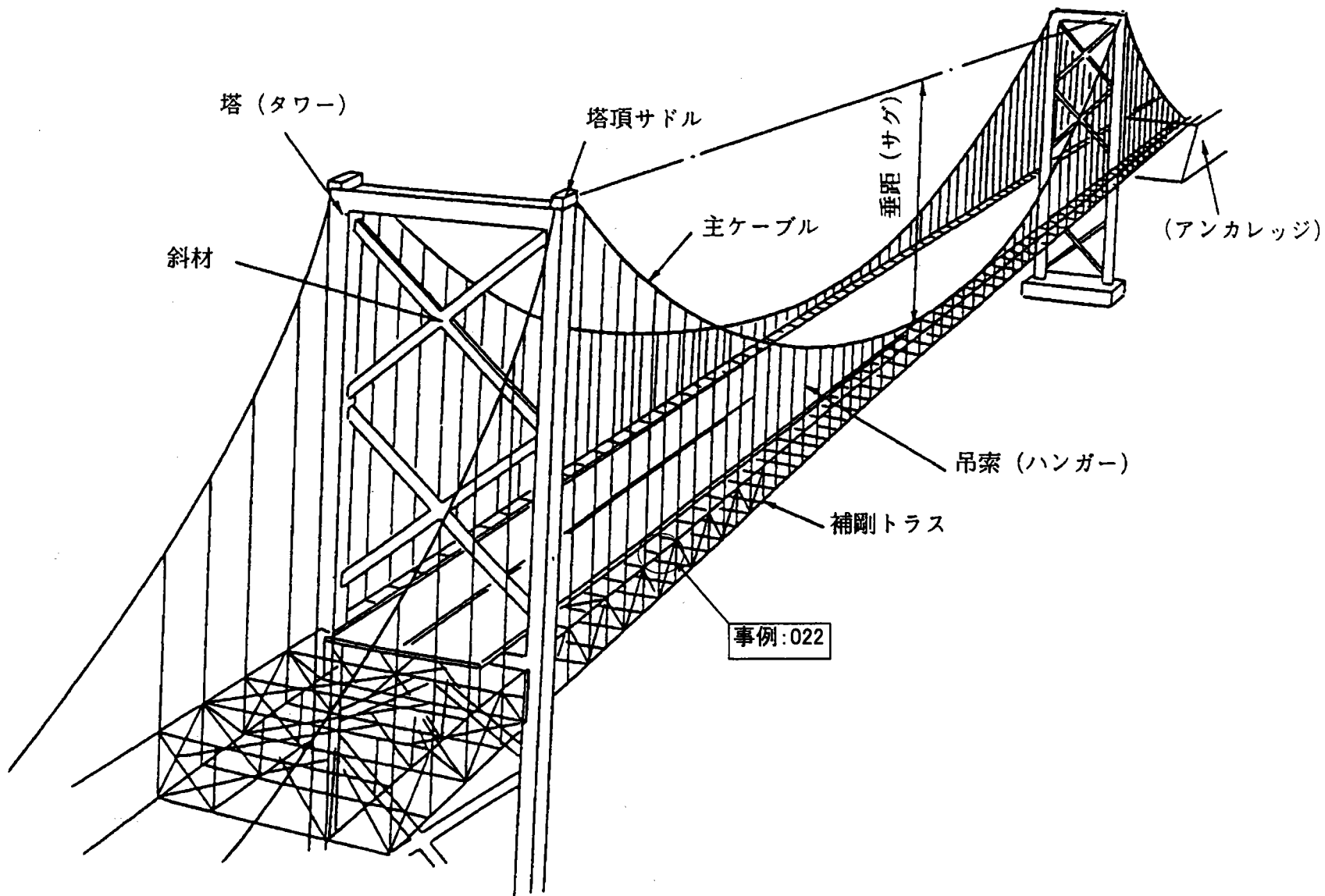


図 3-7 吊り橋

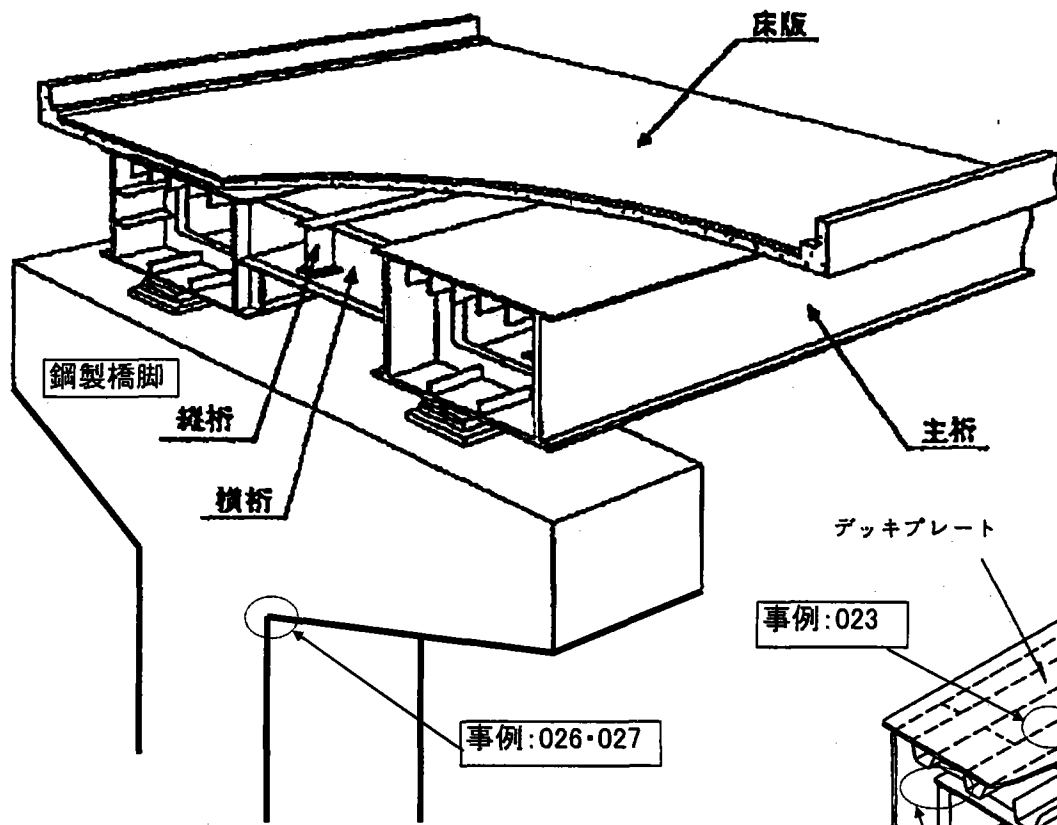
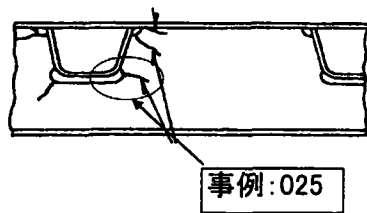


図 3-8 鋼製橋脚



事例:025

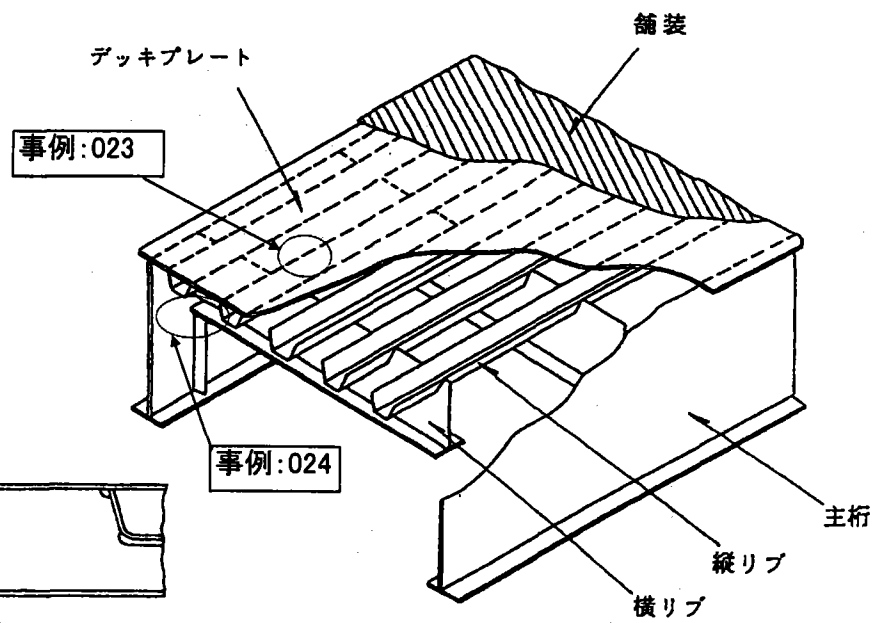


図 3-9 鋼床版箱桁

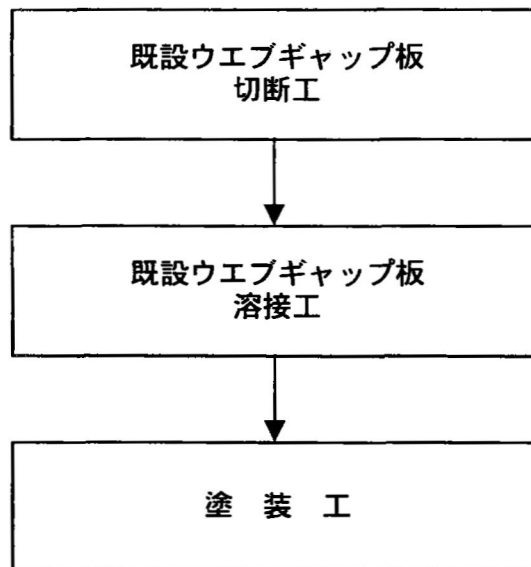
3. 3 事例集

補修・補強施工事例編(整理番号 001～027)と実験・研究報告事例編(整理番号 101～126)に分けて掲載した。各事例は整理項目に応じた内容説明のシート、施工(実験・研究)フローチャートのシート並びに補修・補強図(実験概要図)の3シートに内容を分析し、説明した。

3. 3. 1 補修・補強施工事例(整理番号 001~027)

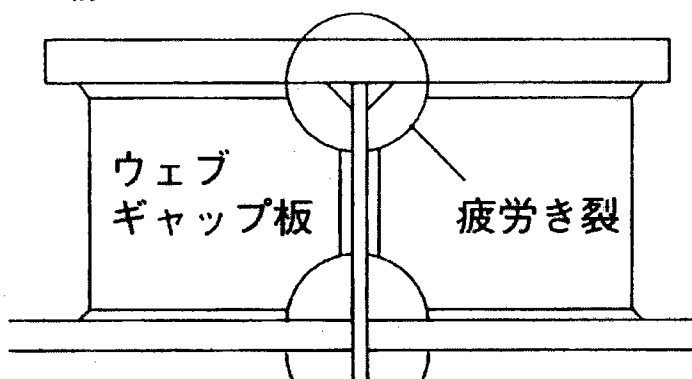
整理番号	001-1
構造形式	I 桁
着目部位	分配横桁 (ウェブギャップ板)
損傷部	分配横桁と主桁の接合部
補修年度	平成10年度
損傷状況	<p>ウェブギャップ板と主桁上フランジスカーラップの溶接止端部より亀裂が生じ、すみ肉溶接に沿って進行している。</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	<ul style="list-style-type: none"> ・床版の変形に伴う主桁上フランジの回転変形。 ・荷重分配作用による主桁の相対変位。
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	—
補修補強目的	亀裂発生部の作用応力度を下げる。
補修補強方法	1). 恒久対策 新設ギャップ板として、半円孔に明けて拘束剛性を低下した厚板に取り替える。
特記事項	

施工フローチャート

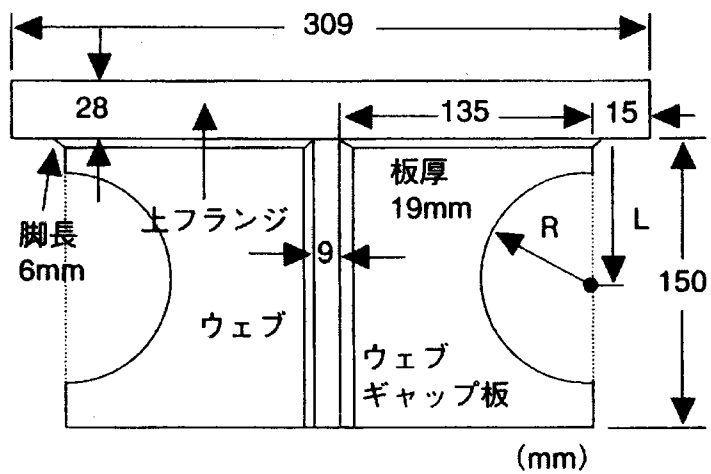


補修・補強図

施工前

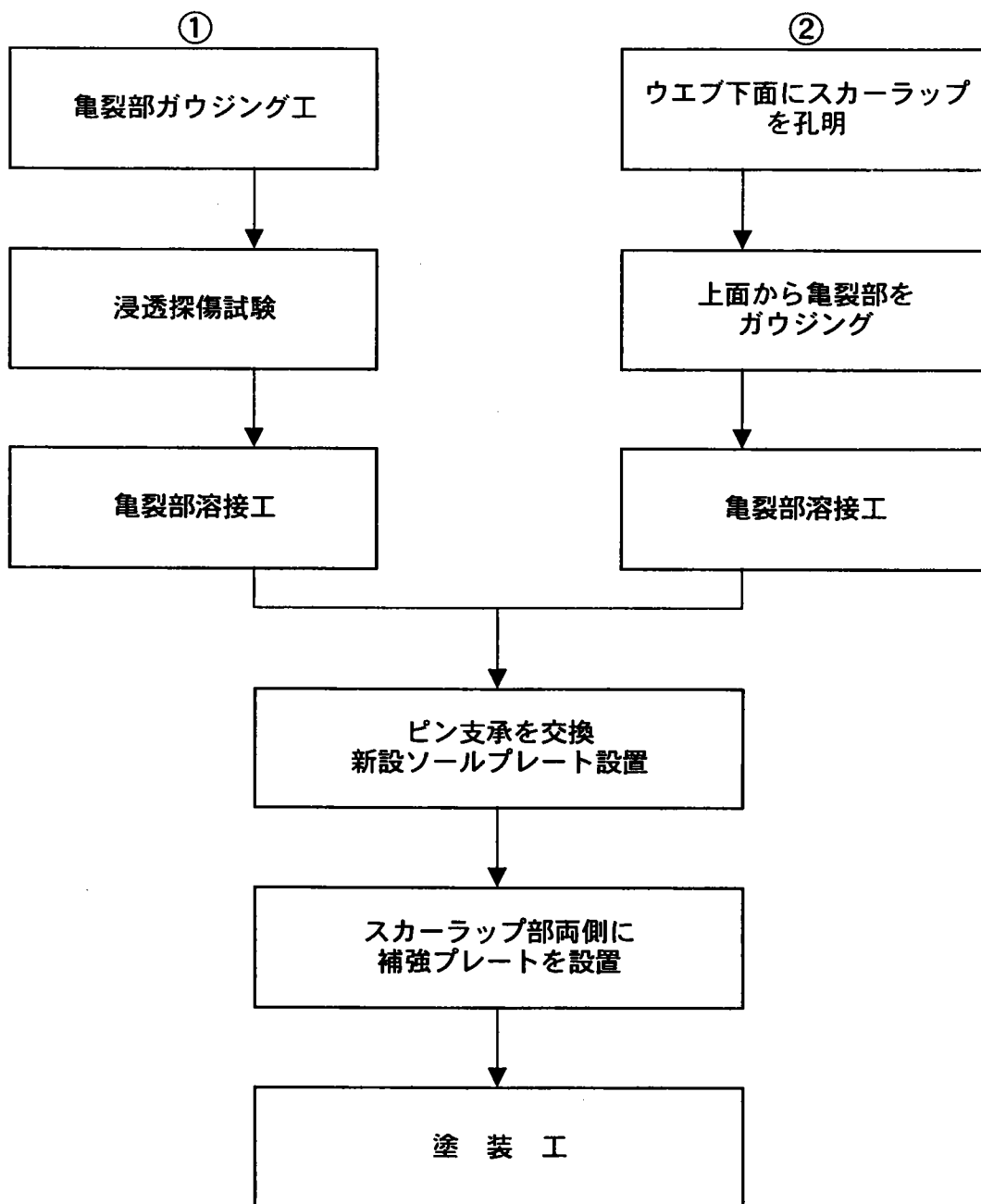


施工後



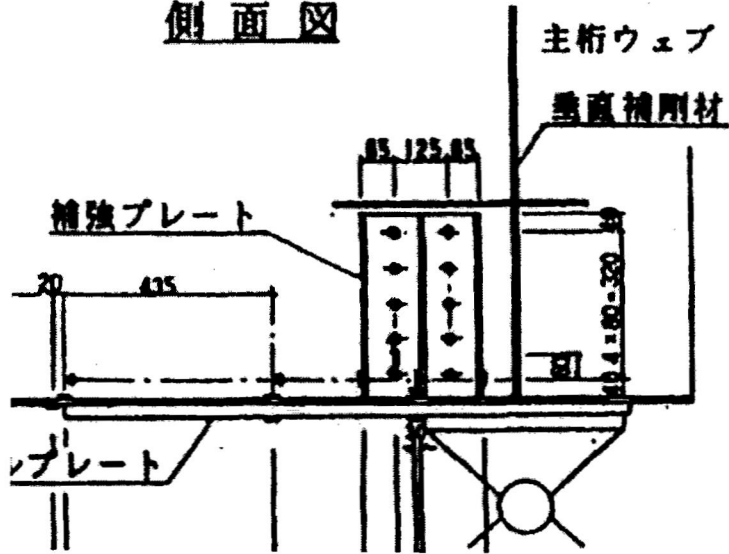
整理番号	002-1
構造形式	I 桁
着目部位	支承ソールプレート
損傷部	①ウエブと下フランジ溶接部 ②ソールプレートと下フランジ溶接部
補修年度	平成8年度
損傷状況	<p>①ソールプレート近傍のウエブと下フランジの溶接部より亀裂が生じている。 ②ソールプレートと下フランジの溶接部より貫通亀裂が生じている。</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	—
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	①主桁製作時の残留変形。 ②ピン支承の機能低下。
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・亀裂発生部の作用応力度を下げる ・応力集中を緩和するため、断面の急変を避ける ・ソールプレートから橋体への反力の分散を円滑にする
補修補強方法	<p>1). 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガウジング後溶接で亀裂補修を行う。 ・ピン支承を交換する。 ・形状、板厚を大きくしたソールプレートを、高力ボルトで主桁に取り付ける。 ・ウエブの応力集中部に、補強プレートを高力ボルトで主桁に取り付ける
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・交通共用下で応力頻度測定 ・荷重車走行試験による動的載荷測定

施工フローチャート

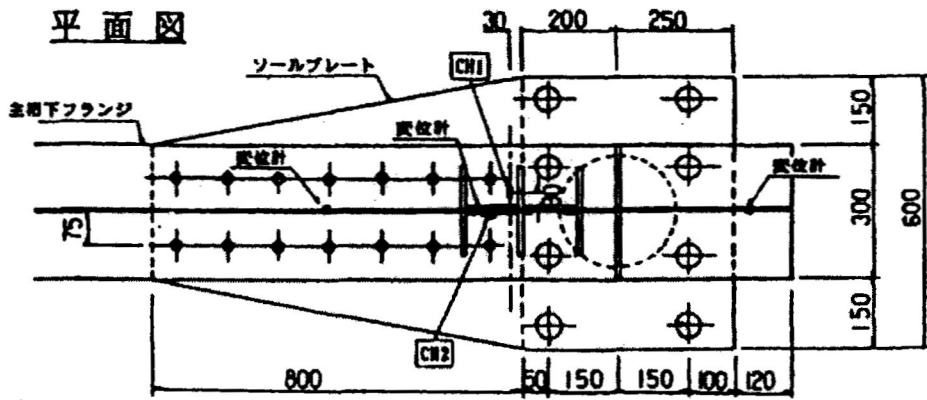


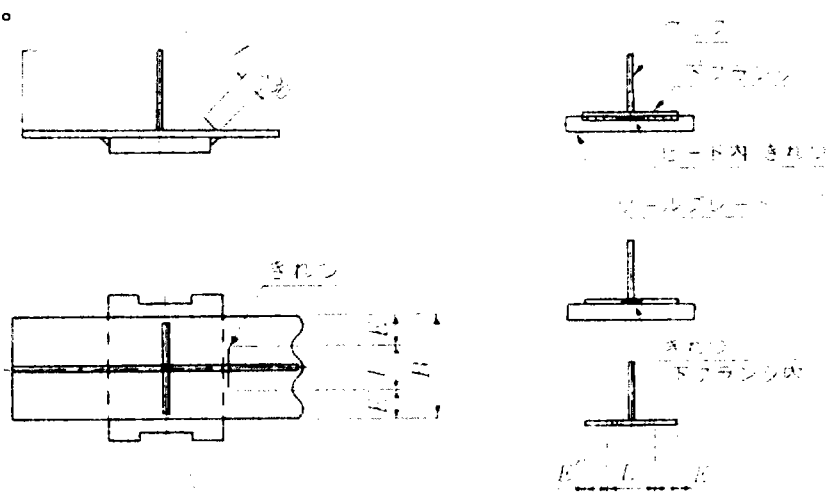
補修・補強図

側面図



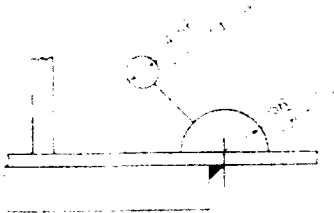
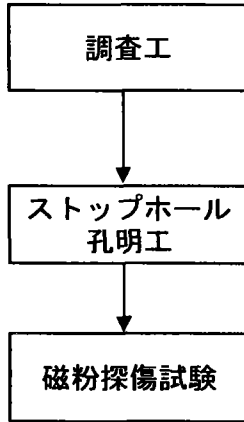
平面図



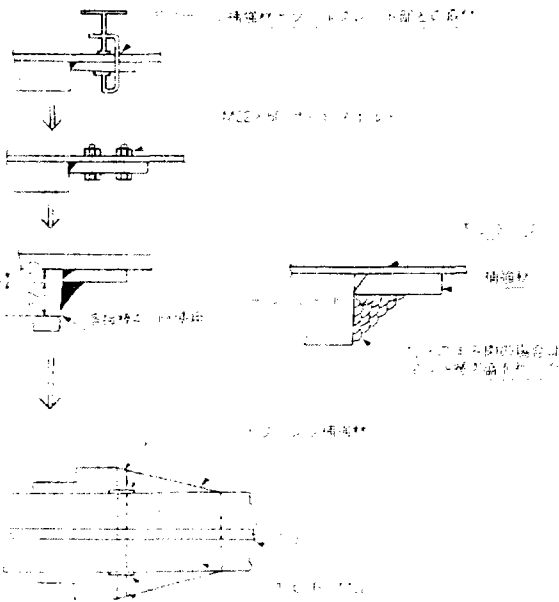
整理番号	003-1
構造形式	I 桁
着目部位	支承ソールプレート
損傷部	ソールプレートと下フランジの溶接部
補修年度	平成2年度
損傷状況	<p>ソールプレートと下フランジの溶接部より亀裂が生じ、ウェブまで達している。</p> 
損傷原因 (作用外力からの原因)	・ 通行車両の増大、大型化
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支承の機能低下 ・ ソールプレート部分の断面急変に伴う応力集中の影響 ・ 溶接欠陥
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 亀裂発生部の作用応力度を下げる ・ 応力集中を緩和するため、断面の急変を避ける ・ ソールプレートから橋体への反力の分散を円滑にする
補修補強方法	<p>1). 応急対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 亀裂先端部へのストップホール孔明 <p>2). 恒久対策 (亀裂補修)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ガウジング後溶接 (補強) ・ ウェブの両側に添接板を高力ボルトで取り付ける。添接板と下フランジは溶接を行う。 ・ 下フランジ下面に添接板を高力ボルトで取り付ける。 ・ 下フランジ下面の添接板とソールプレート前面とは、すみ肉溶接により連結する。
特記事項	

施工フローチャート

①. 応急対策

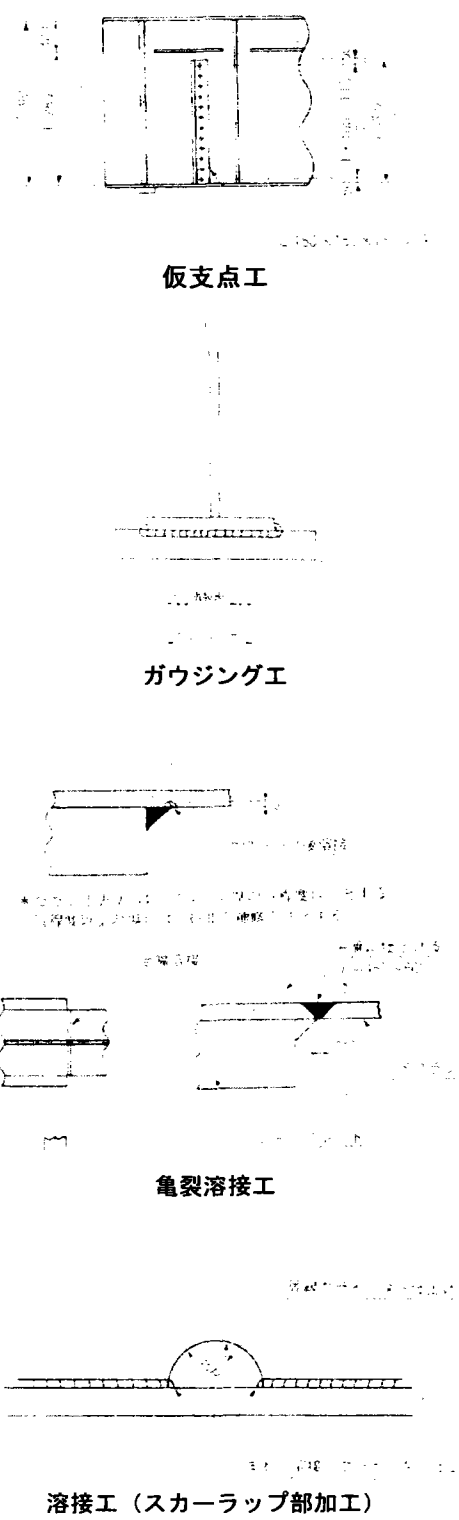
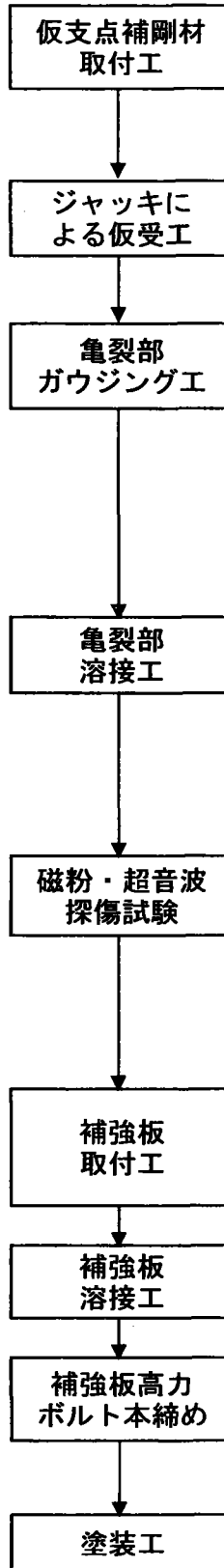


ストップホール孔明工

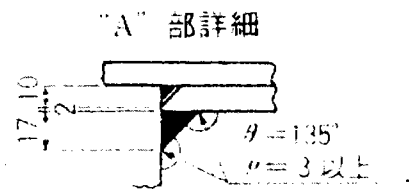
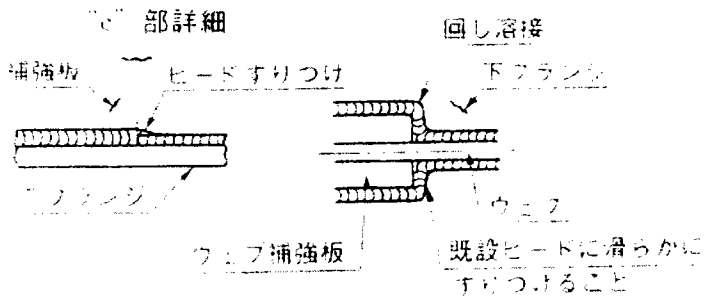
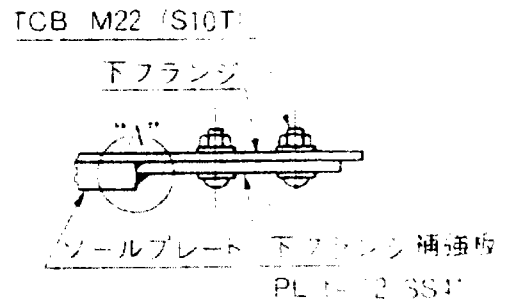
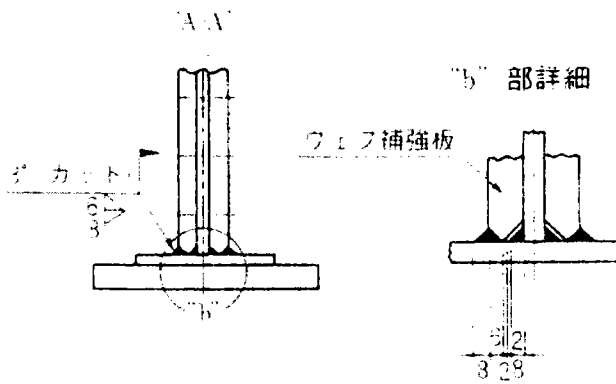
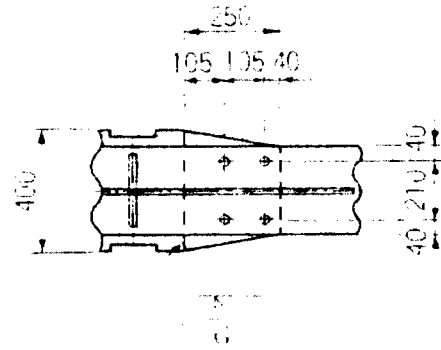
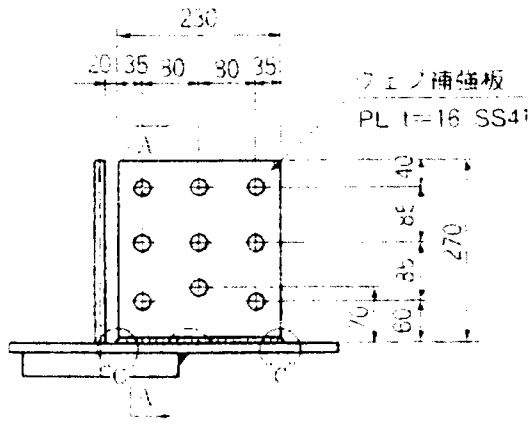



補強板取付工・溶接工

②. 恒久対策



補修・補強図



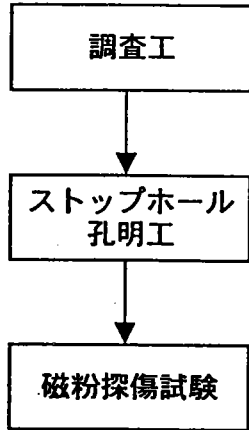
整理番号	004-1																							
構造形式	I桁																							
着目部位	主桁（対傾構・横桁取付部）																							
損傷部	主桁と分配横桁交差部																							
補修年度	平成6年度																							
損傷状況	<p>各部位の損傷状況</p> <p style="text-align: center;">鋼 I 桁の点検結果</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>損 傷 位 置</th> <th>損傷比率(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主桁・荷重分配横桁交差部（ウェブギャップ板）</td> <td>62.8</td> </tr> <tr> <td>主桁・対傾構交差部（垂直補剛材）</td> <td>30.1</td> </tr> <tr> <td>ソールプレート部</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>主桁切欠き部</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>主桁ウェブおよびフランジ</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>横桁の主桁貫通部（し溶接部）</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">合 計</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: center;">主桁と横桁フランジ貫通部の損傷</p>	損 傷 位 置	損傷比率(%)	主桁・荷重分配横桁交差部（ウェブギャップ板）	62.8	主桁・対傾構交差部（垂直補剛材）	30.1	ソールプレート部	3.9	主桁切欠き部	0.9	主桁ウェブおよびフランジ	1.0	横桁の主桁貫通部（し溶接部）	1.3	合 計	100							
損 傷 位 置	損傷比率(%)																							
主桁・荷重分配横桁交差部（ウェブギャップ板）	62.8																							
主桁・対傾構交差部（垂直補剛材）	30.1																							
ソールプレート部	3.9																							
主桁切欠き部	0.9																							
主桁ウェブおよびフランジ	1.0																							
横桁の主桁貫通部（し溶接部）	1.3																							
合 計	100																							
損傷原因 （作用外力からの原因）	・ 通行車両の増大、大型化																							
損傷原因 （設計・製作面からの原因）	・ 設計時点では考えられないような局部応力の発生。																							
補修補強目的	・ 損傷部の補強																							
補修補強方法	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>分 類</th> <th>補 修 内 容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">孔 加 工</td> <td>ステップホール</td> </tr> <tr> <td>応力集中緩和孔</td> </tr> <tr> <td>その他</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">溶 接 補 修</td> <td>設計のど厚確保</td> </tr> <tr> <td>のど厚増加（部分溶込み溶接、完全溶込み溶接）</td> </tr> <tr> <td>溶接長さ増加</td> </tr> <tr> <td>TIG処理（グラインダ仕上げ）</td> </tr> <tr> <td>その他</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">構 造 補 強 変 更</td> <td>取換え</td> </tr> <tr> <td>形状変更（応力集中緩和）</td> </tr> <tr> <td>添接補強（ボルト接合）</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">構 造 変 更</td> <td>その他</td> </tr> <tr> <td>添接補強</td> </tr> <tr> <td>部材取換え</td> </tr> <tr> <td>部材増設</td> </tr> <tr> <td></td> <td>その他</td> </tr> </tbody> </table>	分 類	補 修 内 容	孔 加 工	ステップホール	応力集中緩和孔	その他	溶 接 補 修	設計のど厚確保	のど厚増加（部分溶込み溶接、完全溶込み溶接）	溶接長さ増加	TIG処理（グラインダ仕上げ）	その他	構 造 補 強 変 更	取換え	形状変更（応力集中緩和）	添接補強（ボルト接合）	構 造 変 更	その他	添接補強	部材取換え	部材増設		その他
分 類	補 修 内 容																							
孔 加 工	ステップホール																							
	応力集中緩和孔																							
	その他																							
溶 接 補 修	設計のど厚確保																							
	のど厚増加（部分溶込み溶接、完全溶込み溶接）																							
	溶接長さ増加																							
	TIG処理（グラインダ仕上げ）																							
	その他																							
構 造 補 強 変 更	取換え																							
	形状変更（応力集中緩和）																							
	添接補強（ボルト接合）																							
構 造 変 更	その他																							
	添接補強																							
	部材取換え																							
	部材増設																							
	その他																							
特記事項																								

整理番号

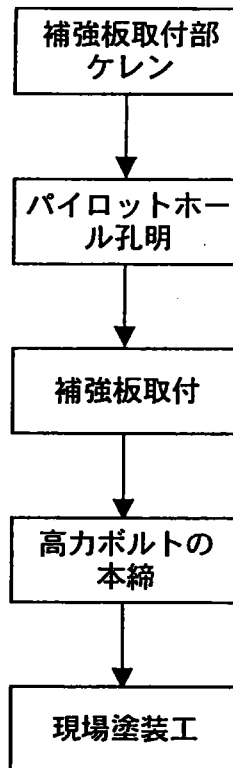
004-2

施工フロチャート

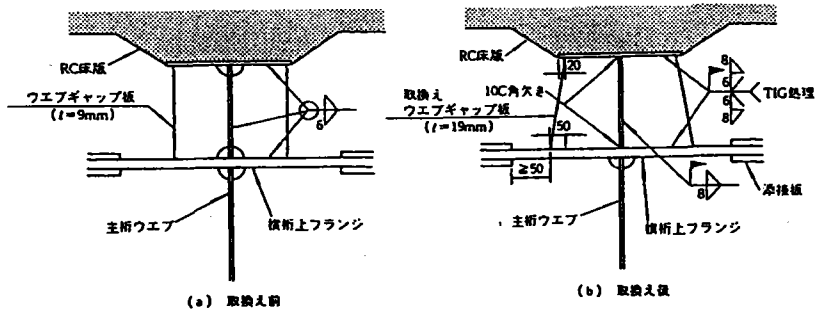
①. 応急対策



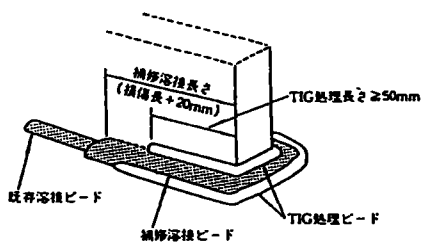
②. 恒久対策



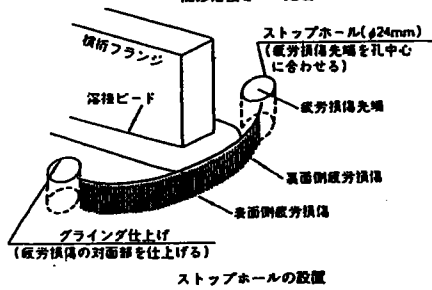
補修・補強図



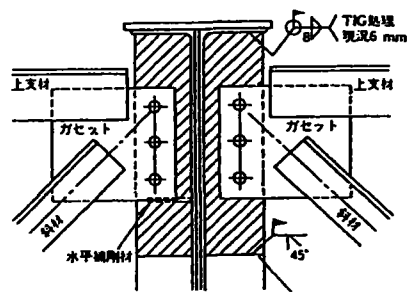
ウェブギャップ板の増し厚取換え



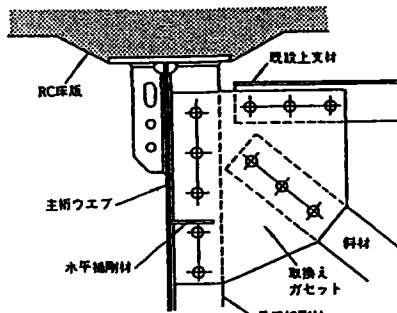
補修溶接とTIG処理



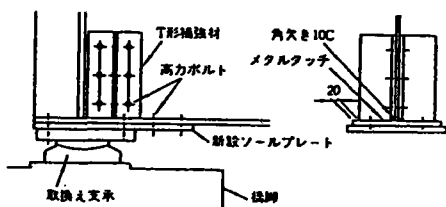
ストップホールの設置



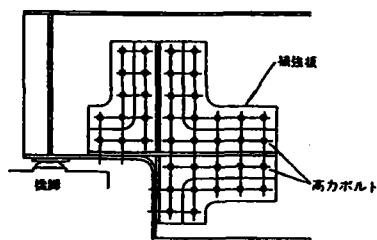
垂直補剛材の増し厚取換え



対傾構ガゼットの取換え



支承とソールプレートの取換え



主桁切欠き部の補修

整理番号	005-1
構造形式	I桁
着目部位	主桁（横桁取付部）
損傷部	主桁と分配横桁交差部
補修年度	平成6年度
損傷状況	<p>主桁上フランジと補強リブの溶接部に亀裂が生じている。</p> <p style="text-align: center;">横桁部の損傷発生パターン</p>
損傷原因 （作用外力からの原因）	・通行車両の増大、大型化
損傷原因 （設計・製作面からの原因）	<ul style="list-style-type: none"> ・活荷重による床版と分配横桁との回転角差に伴う、上フランジのウェブ位置での首振り現象の繰返し。 ・スカラップによる応力集中。 ・施工の難しさに起因する溶接不良。
補修補強目的	・補強リブ板を増し厚し着目部のせん断剛性の増加。
補修補強方法	<p>1) 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補強リブ板の板厚を応力軽減のため9mmから19mmに取り換える。 ・外桁の補強リブ板のない側については補強リブを追加する。
特記事項	・補強リブ板の実物大モデルによる疲労実験を実施し、ルートギャップの施工性を含めた健全性を確かめたうえ、現地で施工試験を行い交通供用化での施工を実施した。

施工フロチャート

①. 恒久対策

既設補強リブ板
撤去



補強部材仮付け
溶接



反対側本溶接



仮付け溶接ガウ
ジング

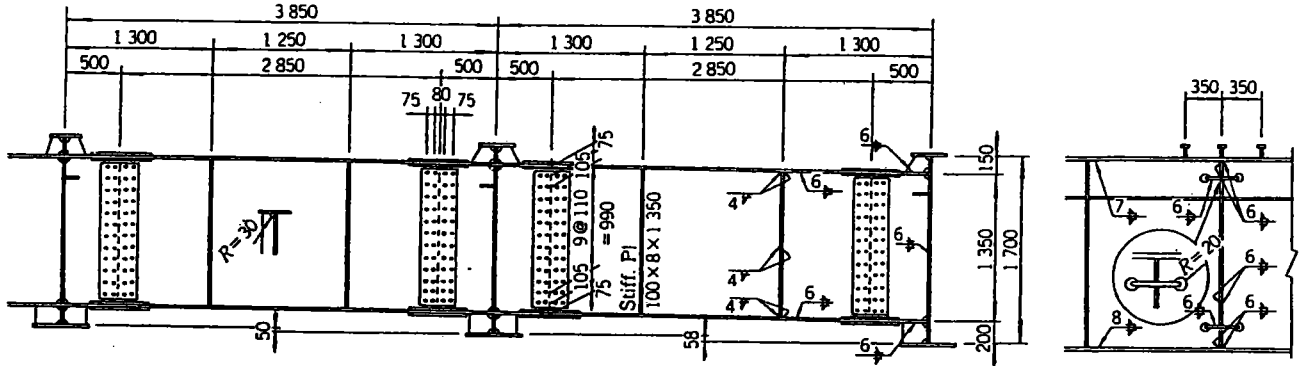


本溶接



現場塗装工

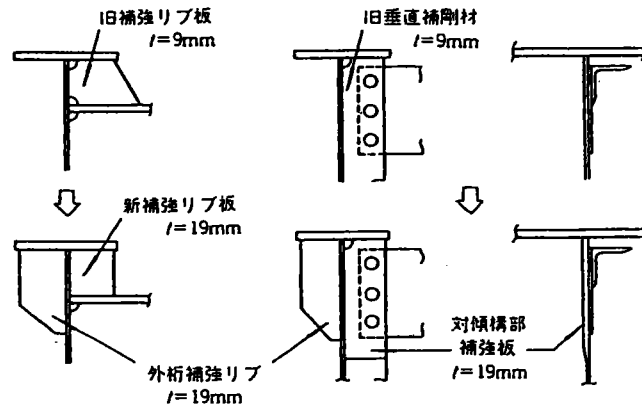
補修・補強図



横 桁

中桁の横桁貫通部

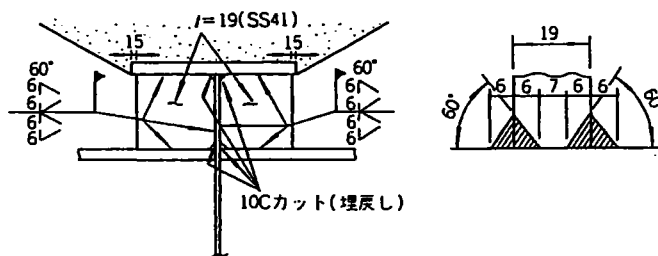
横 桁 の 詳 細




(a) 横桁取合い部

(b) 対横構取合い部

補 修 ・ 補 強 方 法

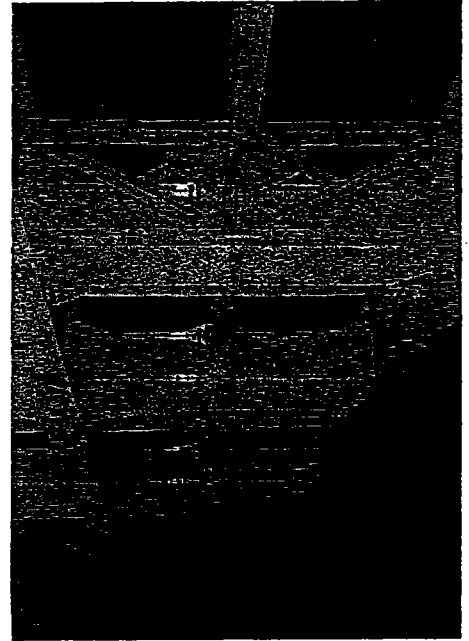
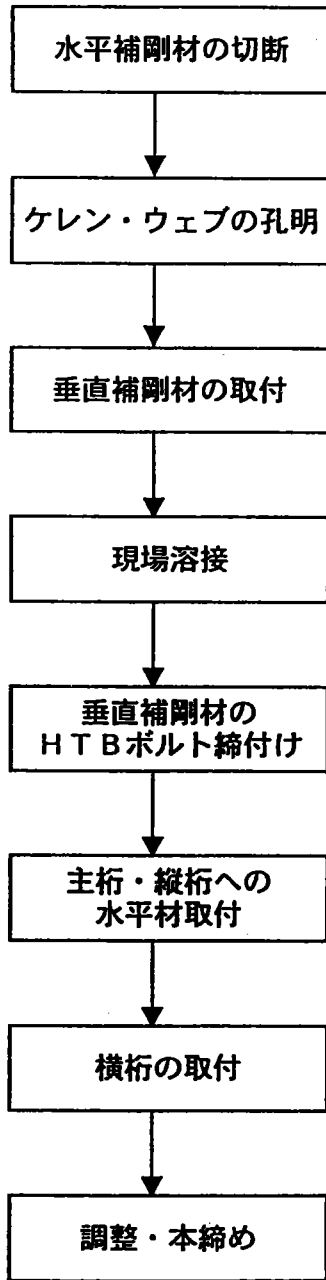


横桁取合い部の補強構造

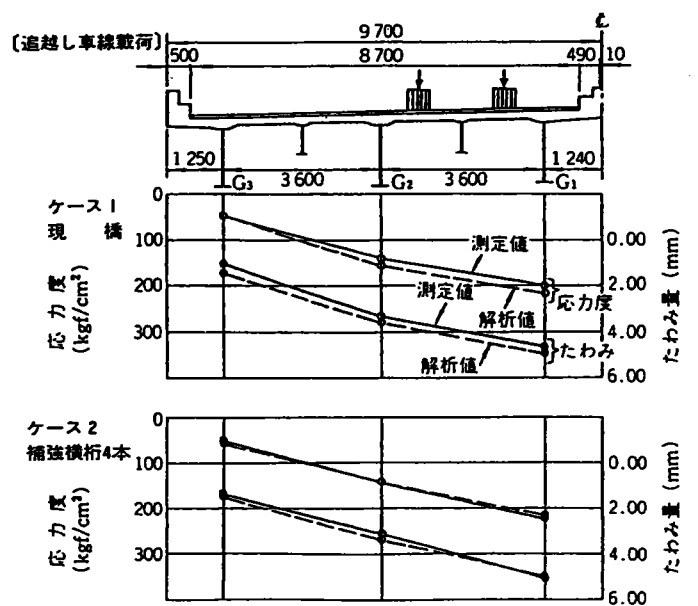
整理番号	006-1
構造形式	1桁
着目部位	対傾構
損傷部	分配対傾構の下弦材取付け用ガセット
補修年度	平成6年度
損傷状況	<p>分配対傾構の下弦材取付け用ガセットに破断が生じている。</p>  <p style="text-align: center;">対傾構ガセットの破断</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	・通行車両の増大、大型化
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	・活荷重の影響が大きい外桁に取り合う下弦材断面不足。
補修補強目的	・荷重の分配効果を高め主桁間のたわみ差を少なくし、亀裂の進展を止め新たな亀裂の発生を防止するとともに、活荷重応力の大きい外主桁の応力低減を図る。
補修補強方法	<p>1) 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補強横桁を主桁・縦桁に高力ボルトにより取付ける。 ・縦桁に対応するため、横桁は上下2段に分割し、フランジを連結して一体とした。 ・横桁取付け用の垂直補剛材は16mm厚とし、既設垂直補剛材より大きくした。 ・横桁の上下フランジは、主桁のウェブと連結した。
特記事項	・20t試験車両を用い、主桁下フランジの応力度・たわみおよび分配対傾構の軸力測定を行った。また、FEM解析を行い測定結果と比較した。

施工フローチャート

①. 恒久対策

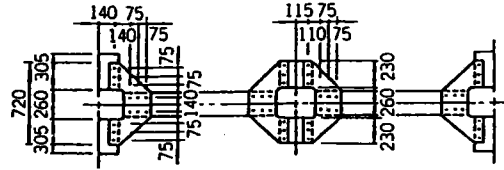


完成した補強横桁

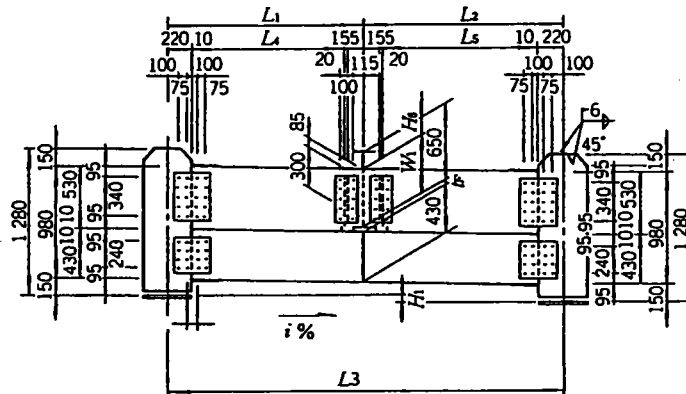


スパン中央の主桁下フランジ応力度とたわみの変化

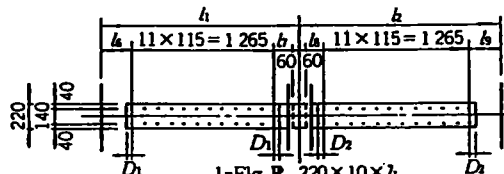
補修・補強図



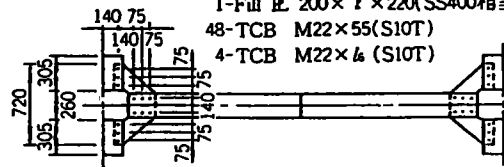
- 1-Fig R 220×12×h
- 1-Fig R 220×12×b
- 2-Spl R 370×12×720
- 2-Spl R 340×12×720
- 48-TCB M22×60(S10T)



- 1-Web R 530×9×b
- 1-Web R 530×9×b
- 1-Web R 430×9×b
- 2-Stiff R 95×10×430
- 4-Spl R 330×9×420
- 4-Spl R 330×9×320
- 4-Spl R 190×9×380
- 2-Fill R 160×6×420
- 2-Fill R 160×6×320
- 2-Fill R 85×3.2×380
- 72-TCB M22×70(S10T)
- 20-TCB M22×65(S10T)

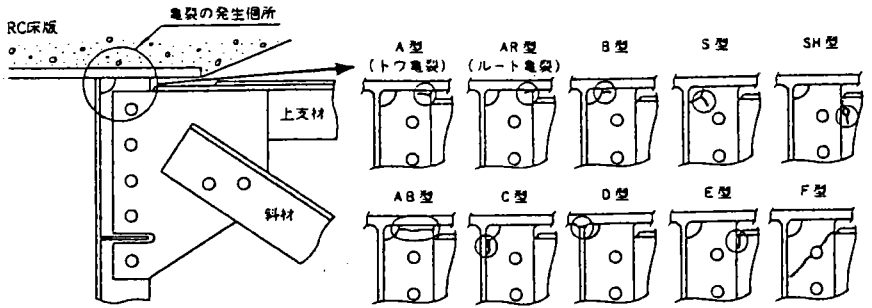


- 1-Fig R 220×10×h
- 1-Fig R 220×10×b
- 1-Fig R 220×10×b
- 1-Fill R 200×t×220(SS400相当)
- 48-TCB M22×55(S10T)
- 4-TCB M22×b(S10T)



- 1-Fig R 220×12×b
- 2-Spl R 370×12×720
- 24-TCB M22×60(S10T)

補強横桁の構造

整理番号	007-1
構造形式	I 桁
着目部位	垂直補剛材（対傾構取付部）
損傷部	垂直補剛材上フランジ付近
補修年度	平成4年度
損傷状況	<p>垂直補剛材上フランジ付近に亀裂が生じている</p>  <p>The diagram illustrates the crack location in an RC slab and shows ten different types of reinforcement (A, AR, B, S, SH, AB, C, D, E, F) used for repair. The crack is shown as a horizontal line in the slab, with an arrow pointing to the repair location. The reinforcement types are shown as cross-sections of the slab with the repair material and reinforcement bars.</p>
損傷原因 （作用外力からの原因）	<ul style="list-style-type: none"> ・活荷重が載荷された際の床版変形に伴う主桁上フランジの首振り作用の影響 ・対傾構による主桁間の荷重分配作用の影響
損傷原因 （設計・製作面からの原因）	<ul style="list-style-type: none"> ・垂直補剛材の板厚が8mm（道示の規定では、$110/13=8.5\text{mm}$以上）
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・既設対傾構において、垂直補剛材上端部に接続されている上支材と斜材をガス切断し、亀裂の進展を防ぐ
補修補強方法	<p>1). 恒久対策 （1回目）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・亀裂の発生箇所の再溶接、および溶接止端部形状の改善 ・対傾構増設による補強 <p>（2回目：追跡調査後）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既設対傾構において、上支材と斜材をガス切断
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・荷重車（20t荷重車単独）走行試験を実施し、切断前後におけるスパン中央部の主桁と縦桁のたわみ、主桁と既設・増設対傾構の垂直補剛材上端部の応力、および各部材軸力を測定した。

施工フローチャート

①. 恒久対策

亀裂部ガウジング工

亀裂部溶接工

溶接止端部形状の改善

対傾構増設

塗装工

追跡調査

補修後、補修箇所
で亀裂が再発生

既設対傾構切断工

塗装工

補修・補強図

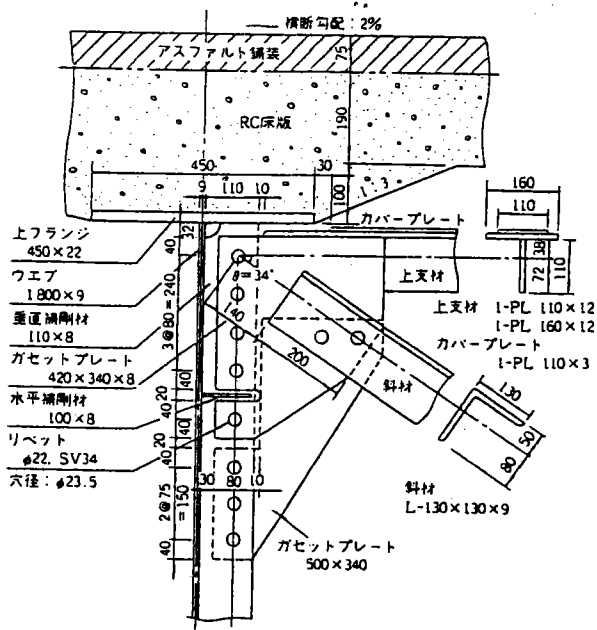


図-3 既設対傾構の取付け構造と寸法

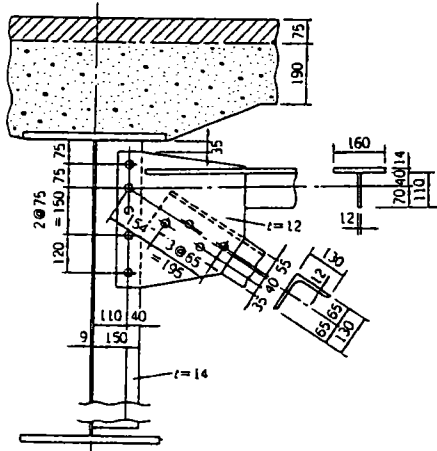
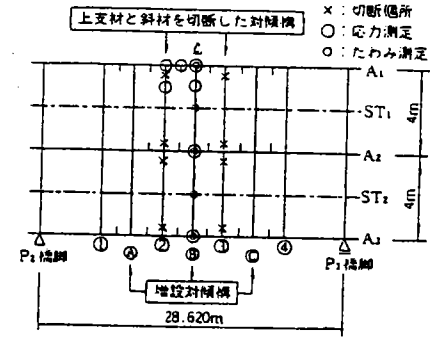
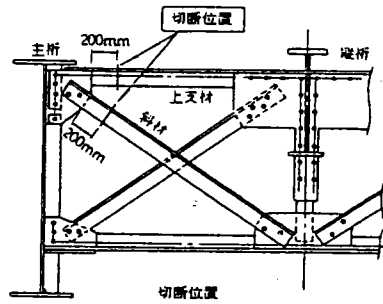


図-4 増設対傾構の取付け構造と寸法



平面図

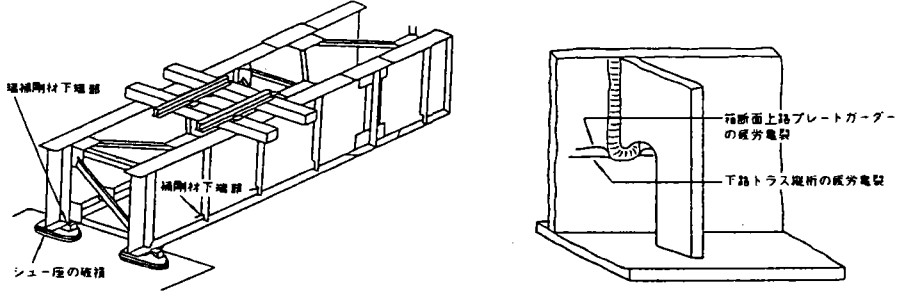


切断位置

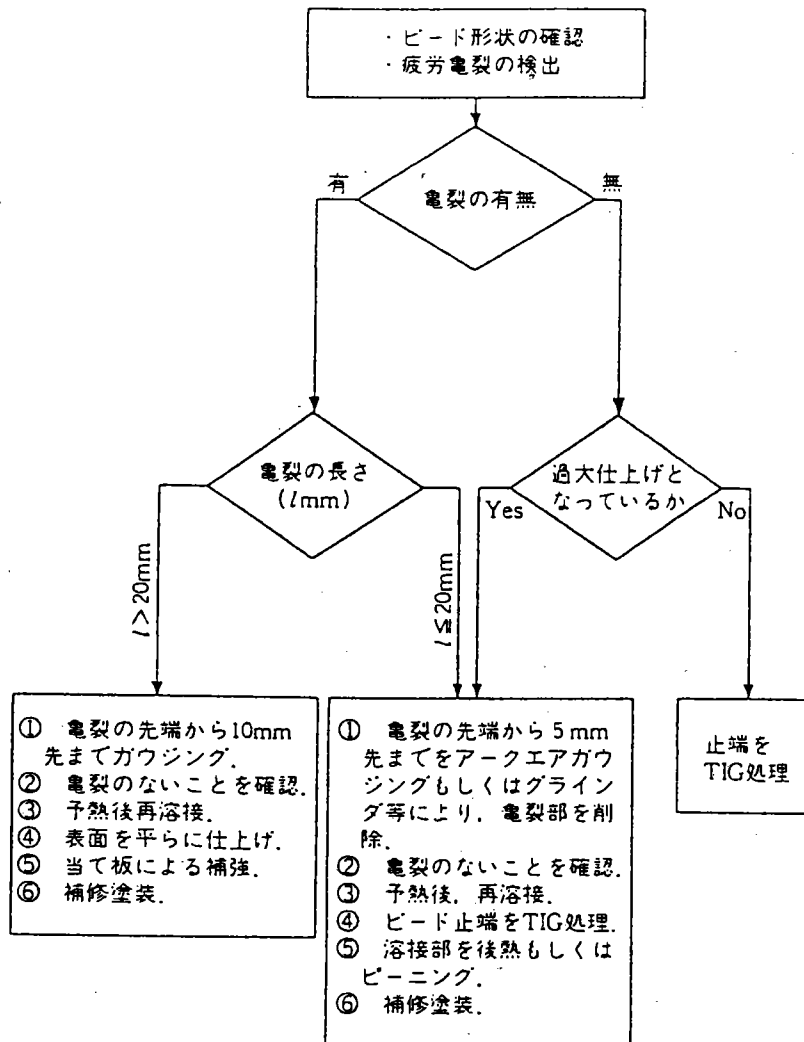
図-5 既設対傾構の切断

表-1 対傾構切断による垂直補剛材の主応力変化

測定部材	ひずみゲージ位置	主 応 力 (kgf/mm ²)			
		切断前 (A)	切断後 (B)	変化率 (B/A)	
垂直補剛材	既設①	ビード止端から	-3.7	-4.4	1.2
		約3mm	-10.8	-2.8	0.3
	増設②	ビード止端から	-2.7	-2.8	1.0
		約10mm	-4.4	-1.6	0.4
		スカーラップ端から15mm	2.6	-0.2	-0.1
材	既設③	ビード止端から	5.3	-4.0	-0.7
		約10mm	-8.5	-2.5	0.3
	増設④	ビード止端から	3.4	4.0	1.2
		約10mm	-2.3	-2.9	1.2
一般部⑤	ビード止端から	-0.9	-1.2	1.1	
	約10mm	-0.8	-1.0	1.3	
主桁ウェブ	ビード止端から	-1.5	-1.7	1.1	
	約10mm	1.8	1.8	1.0	

整理番号	008-1
構造形式	鋼鉄道橋（I桁、トラス橋）
着目部位	I桁、トラス縦桁の垂直補剛材
損傷部	垂直補剛材下端の腹板
補修年度	—
損傷状況	<p>垂直補剛材下端の腹板に下フランジと平行に疲労亀裂が生じた</p>  <p>図-2 補剛材下端の疲労亀裂</p>
損傷原因 （作用外力からの原因）	・列車が高速で通過することによって腹板に生じる面外方向の振動による応力の繰り返し
損傷原因 （設計・製作面からの原因）	・発生応力の想定が難しい
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・局所的な振動を止め、発生応力の低減を図る ・すみ肉溶接止端部の疲労強度の向上を図り、新たな亀裂の発生を防止する
補修補強方法	<ol style="list-style-type: none"> 1). 亀裂補修 <ul style="list-style-type: none"> ・亀裂を補修溶接し、補強板を設置する 2). 予防対策 <ul style="list-style-type: none"> ・すみ肉溶接止端部の疲労強度の向上を図るため、止端部にTIG処理を行う
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・補剛材下端を模擬した供試体の疲労試験を行った ・供試体はSM400鋼材を使用し、4種類とした

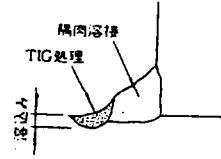
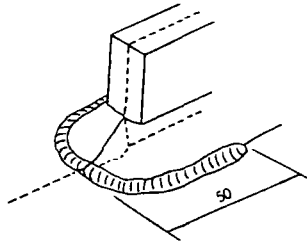
施工フローチャート



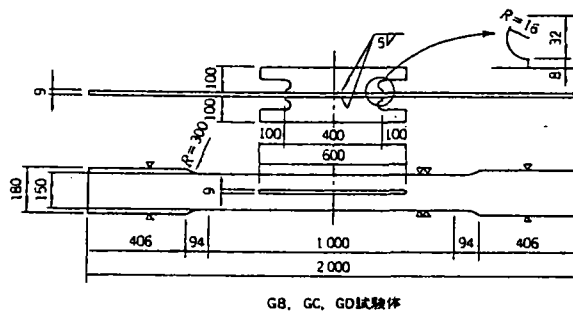
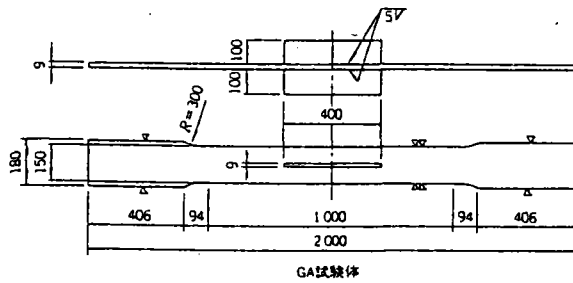
ビード形状の確認方法：回し溶接部をロータリーバーで削除しながらルートまでの
のど厚を測定

疲労亀裂の確認方法：磁粉探傷試験

補修・補強図



施工試験



- GA : TIG処理なし
- GB : TIG処理なし
- GC : TIG処理あり (下向き姿勢)
- GD : TIG処理あり (立向き姿勢)

表-2 TIG処理の施工条件

運 伸 方 法	先行溶接の終点を回し部とする
電 極 の 径	3.2mm
溶 接 電 流	240A前後
溶 接 電 圧	13~14V (アーク長は0~1mm)
溶 接 速 度	45~60sec/100mm
狙 い 位 置	わずかに主材側を狙う
ト ー チ 角 度	できる限り直角を保つ

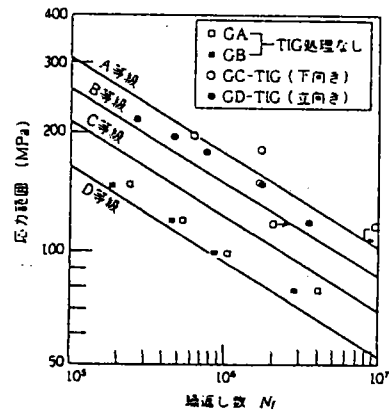
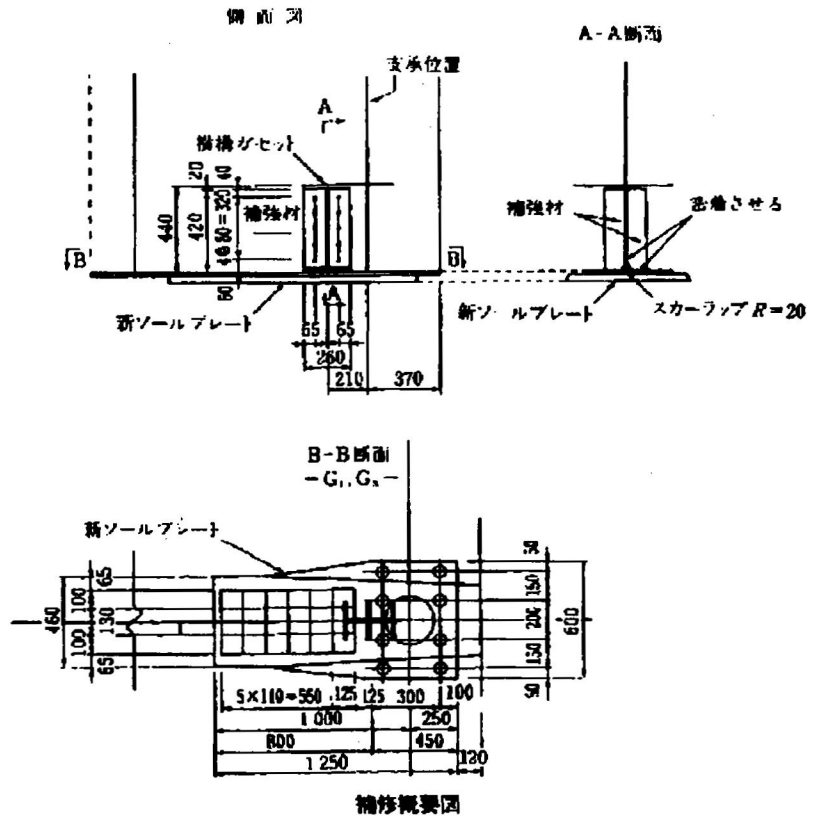
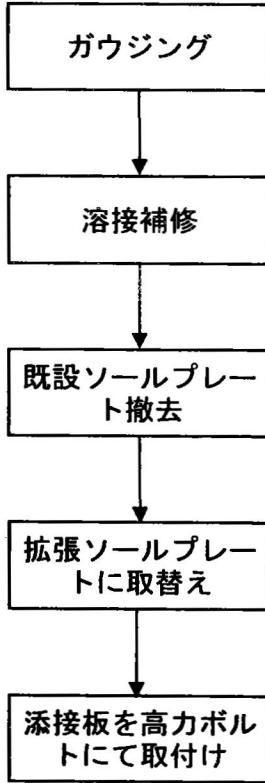


図-5 疲労試験結果

整理番号	009-1
構造形式	I 桁
着目部位	ソールプレート
損傷部	ソールプレート溶接止端部、下フランジとウェブ首溶接部
補修年度	平成2年
損傷状況	橋台の固定支承部で2種類の疲労亀裂が発生した。 ①ソールプレート全面隅肉溶接部 ②主桁下フランジとウェブの首溶接部の両側に亀裂が確認された。
損傷原因 (作用外力からの原因)	・ 支承の回転が拘束されることによる、ソールプレート端部の応力集中
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	・ 溶接ひずみにより下フランジソールプレート間に隙間が生じ、溶接部に応力が集中
補修補強目的	・ 主桁下フランジ及びウェブの破断につながる恐れがあるため、補修補強を行い、それを防止する
補修補強方法	損傷の対策については緊急措置と恒久対策に分けて補修補強を実施。 ①緊急措置 仮受けブラケット及び仮補剛材をウェブに溶接補強し、H型鋼による仮受け台を設置した。 ②恒久対策 ・ 発生した疲労亀裂はガウジングにてすべて除去し、溶接補強した。 ・ 橋軸方向拡張のソールプレートに取替えることで応力集中を緩和。 ・ ウェブにはスティフナー付の添接板を高力ボルトにて取付け、補強により亀裂発生部位の作用応力を下げた。
特記事項	

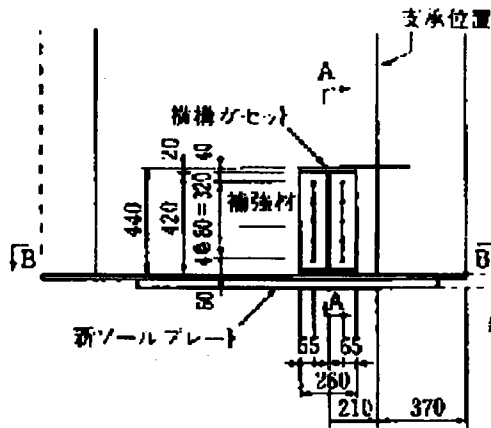
施工フローチャート

恒久対策

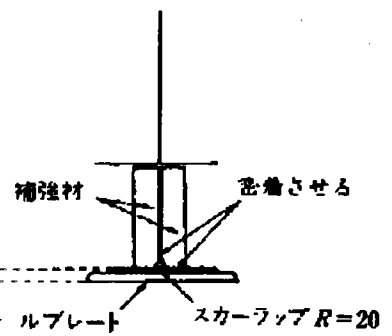


補修・補強図

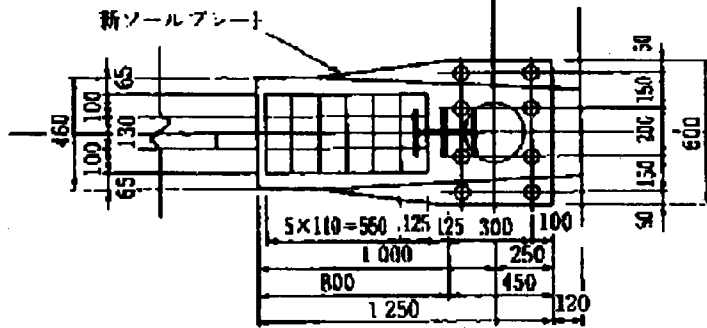
側面図



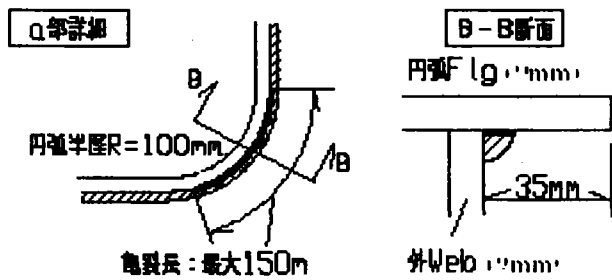
A-A断面



B-B断面
-G₁, G₂-

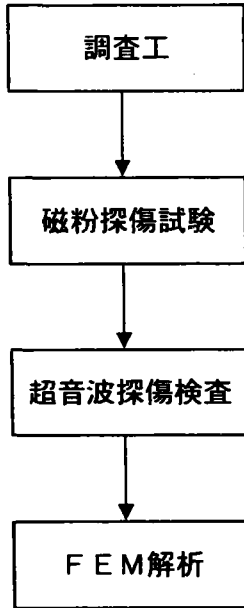


補修概要図

整理番号	010-1
構造形式	箱桁
着目部位	架違い部の桁端切欠き部
損傷部	箱桁ウェブ切欠き円弧部の溶接ビード
補修年度	平成13年度
損傷状況	<p>ソールプレートと下フランジの溶接部より亀裂が生じ、ウェブまで達している。</p> 
損傷原因 (作用外力からの原因)	切欠き部における応力集中
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	<ul style="list-style-type: none"> ・円弧フランジとの接合部におけるウェブには板曲げが作用しているため、片側すみ肉溶接では未溶着のルート部が起点となって亀裂が発生しやすい。 ・円弧部における溶接脚長は直線部より相対的に小さい。
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・亀裂を除去するとともに、部分溶け込み溶接を完全溶け込み溶接として、溶接部の作用応力度を低減する。
補修補強方法	<ol style="list-style-type: none"> 1). 応急対策 <ul style="list-style-type: none"> ・亀裂は円弧フランジまたはウェブへの進展が見られず、脆性的破壊に至る可能性は低いと考えられるため、応急対策は施さない。 2). 恒久対策 <ul style="list-style-type: none"> ・亀裂を完全に除去した上で、外面からの完全溶け込み溶接（裏当て材なし）を行う。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・実物大の溶接施工試験を実施した。 ・高速道路の通行規制を行わず昼間施工とした。また、一般道の一部を規制してペントを設置することで、死・活荷重を仮受け支持した。

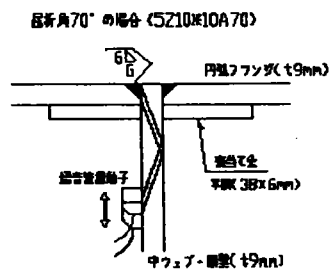
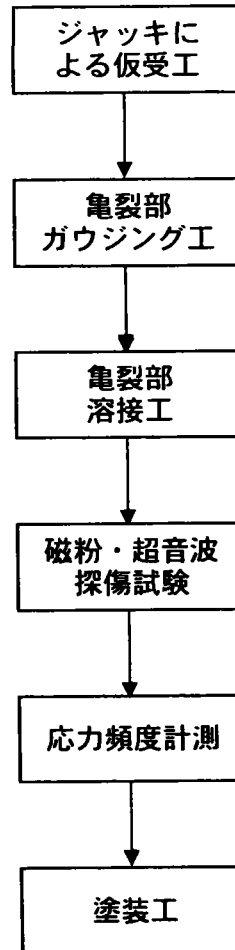
施工フロチャート

①. 調査工



超音波探傷検査は亀裂発生が認められない中ウェブ等を実施

②. 恒久対策



整理番号	011-1
構造形式	トラス
着目部位	縦桁と横桁の接合部（縦桁ウェブ切り欠き部）
損傷部	縦桁ウェブ切り欠き接合部を起点とした亀裂
補修年度	—
損傷状況	<p style="text-align: center;">縦桁接合部の損傷と亀裂の状況</p> <p style="text-align: center;">縦桁ウェブ切り欠き部 横桁 縦桁の亀裂 20 mm</p>
損傷原因 （作用外力からの原因）	<ul style="list-style-type: none"> ・交通量の増大、大型化
損傷原因 （設計・製作面からの原因）	<ul style="list-style-type: none"> ・縦桁フランジの横桁への未連結 ・切欠部切断加工の仕上げ不足
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・亀裂進行の抑止および縦桁破断の防止。 ・施工時の交通規制を最小限にする。 ・死荷重増加を最小限にする。 ・縦桁接合部の局部応力減少と腐食環境の排除
補修補強方法	<p>【バイパス式縦桁連結工法】</p> <p>縦桁と縦桁が直交する4箇所の隅角部に、縦桁曲げ応力を伝達するための連結材を設け、引張ボルトを用いて隣接縦桁と連結する工法。</p> <p>縦桁端部に発生した曲げ応力は、連結材のフランジを通りバイパス的に応力を伝達させることで、縦桁接合部の局部応力を低減することができ、亀裂抑制に適した構造である。</p>
特記事項	<p>補強工法は、増設ニーププレート工法、合成連続化工法、増設支持縦桁工法、バイパス式縦桁連結工法を比較検討し選定された。</p>

施工フロチャート

①. 応急対策

調査工

ストップホール
削孔工

補強工法の検討

- ・ 増設ニープレート工法
- ・ 合成連続化工法
- ・ 増設支持縦桁工法
- ・ バイパス式連結工法

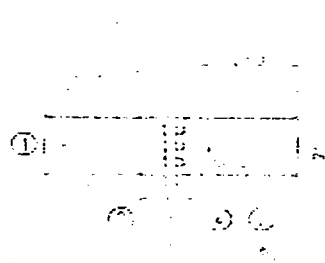
②. 恒久対策 バイパス式連結工法を採用

バイパス材の
製作

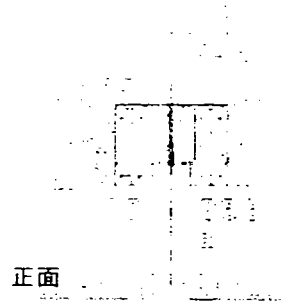
ボルト孔削孔工

バイパス材
取付工

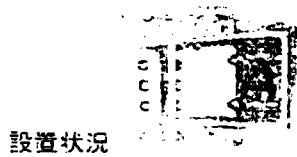
補修・補強図



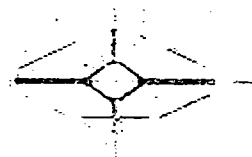
側面



正面

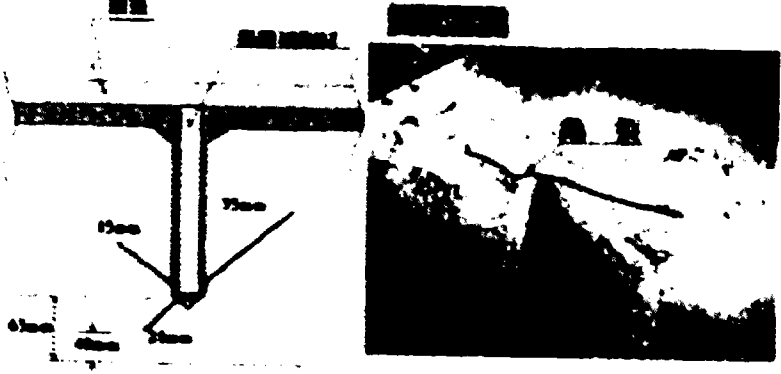


設置状況



平面

バイパス式縦桁連結工法

整理番号	012-1
構造形式	トラス
着目部位	縦桁垂直補剛材
損傷部	補剛材天端溶接部を起点とした亀裂
補修年度	—
損傷状況	<p style="text-align: center;">上フランジ下面 (見上げ図)</p> 
損傷原因 (作用外力からの原因)	・枕木のたわみによる上フランジの変形。
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	・枕木を直接上フランジに固定。
補修補強目的	・応力集中を改善させる。
補修補強方法	<p>【補修対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補修対策-1 (亀裂長20mm未満で溶接部内のもの) 亀裂をガウジング後、再溶接 (完全溶け込み溶接)。 ・補修対策-2 (亀裂長20mm以上で溶接部内のもの) 亀裂をガウジング後再溶接し、鋼板による当て板補強。 ・補修対策-3 (亀裂が上フランジに達したもの) 補剛材の上フランジ接合部を切除し、亀裂をガウジング後再溶接。次に上フランジ下面に当て板補強を行い、新たに補剛材を取り付ける。 <p>【恒久対策】 起動パッドの挿入 (鋼製プレート)</p>
特記事項	—

施工フロチャート

①補修対策

対策-1 (亀裂長20mm未満で溶接部内のもの) 対策-3 (亀裂が上フランジに達したもの)

調査工

亀裂部
ガウジング工

再溶接工

完全溶け込み溶接

調査工

補剛材の上フランジ
接合部を切除

亀裂部
ガウジング工

再溶接工

完全溶け込み溶接

鋼板当て板補強
工

補剛材取付工

対策-2 (亀裂長20mm以上で溶接部内のもの)

調査工

亀裂部
ガウジング工

再溶接工

完全溶け込み溶接

鋼板当て板補強
工

②恒久対策

鋼製プレート
製作

列車振動によるプレートのずれや、
錆防止策を施す

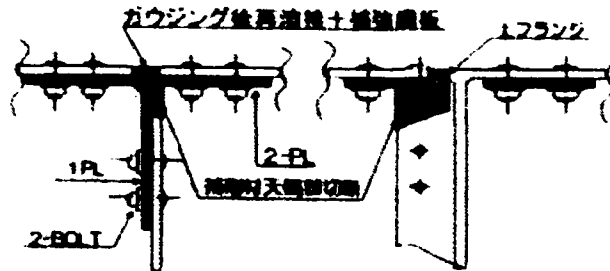
鋼製プレート
施設

再溶接工

補修・補強図

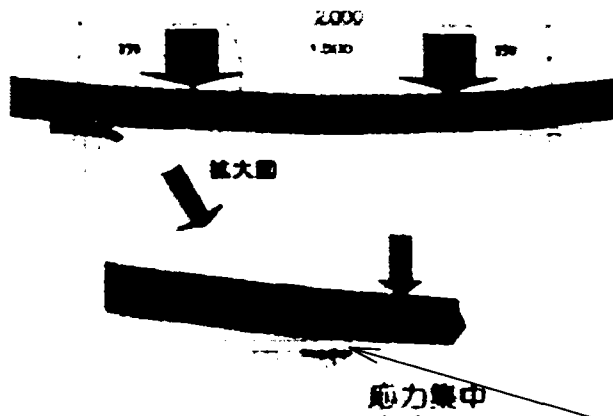
【補修対策】

【補修対策-3】 (上フランジ母材に溶したものの)



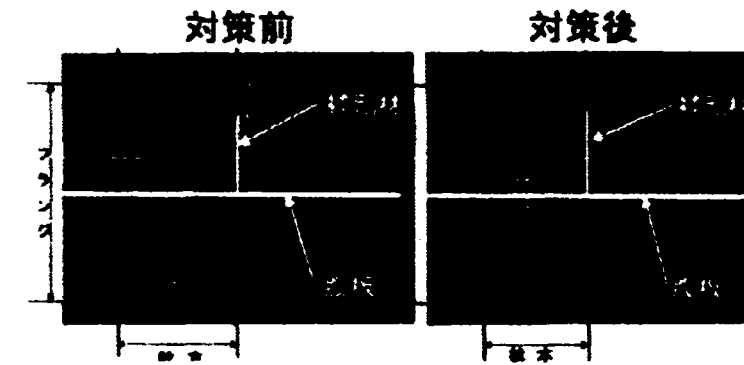
1. 補剛材天端部を切断
2. 電融部をガウジング後再溶接
3. 上フランジ下面に当て板を設部

【恒久対策】



【恒久対策】
軌道パッド (鋼製プレート)
を挿入し、応力集中を改善。

亀裂発生概念図

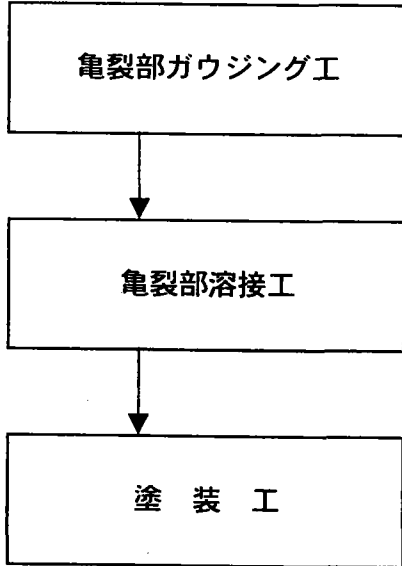


対策前後の応力分布比較

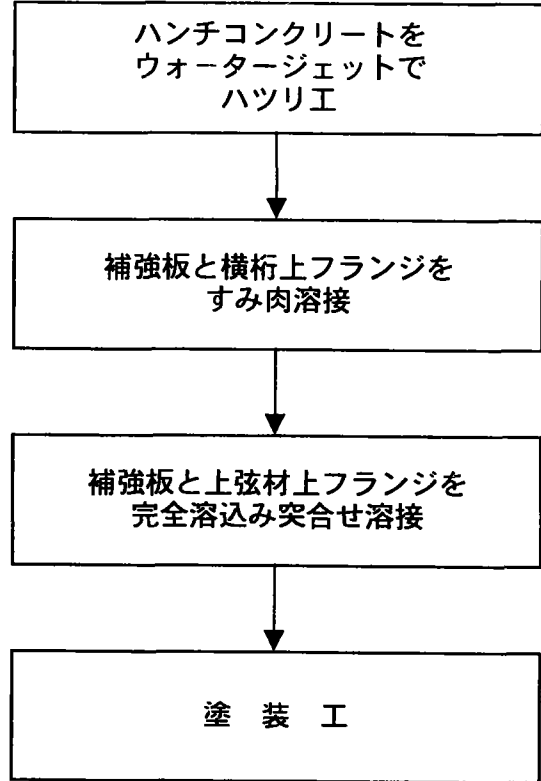
整理番号	013-1
構造形式	上路式トラス
着目部位	横桁
損傷部	横桁取付部と上弦材の溶接部
補修年度	平成6年度
損傷状況	<p>横桁上フランジ取付部と上弦材上フランジの溶接部より亀裂が生じている。</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	-
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	曲げ剛性拘束に起因した二次応力。
補修補強目的	二次応力を低減させる。
補修補強方法	<ol style="list-style-type: none"> 1). 応急対策 ガウジング後再溶接で亀裂補修を行う。 2). 恒久対策 以下の要領で横桁上フランジと上弦材上フランジを接合する。 <ul style="list-style-type: none"> ・形状、板厚を大きくした補強板を設置する。 ・設置方法は、補強板端部を加工して、上弦材上フランジとは完全溶込み突合せ溶接、横桁上フランジとはすみ肉溶接を施す。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・交通共用下で応力頻度測定 ・荷重車走行試験による動的載荷測定

施工フローチャート

① 応急対策

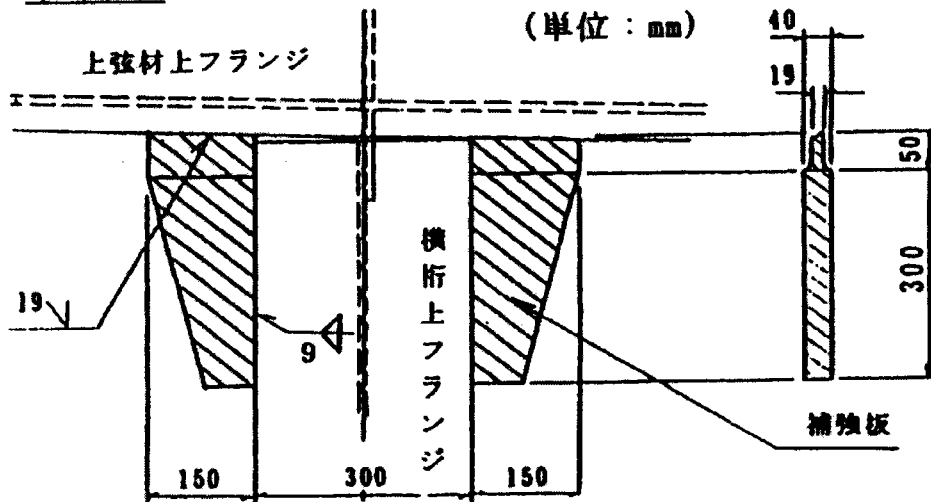


② 恒久対策

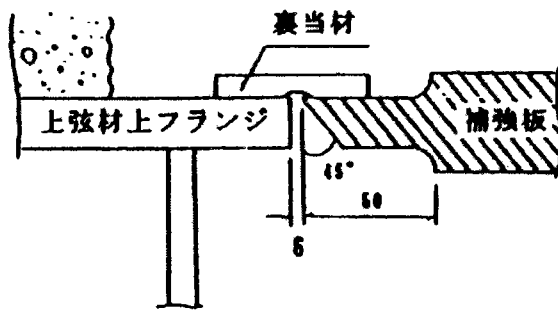


補修・補強図

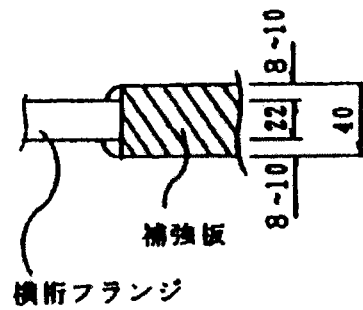
平面図



突合せ溶接部詳細

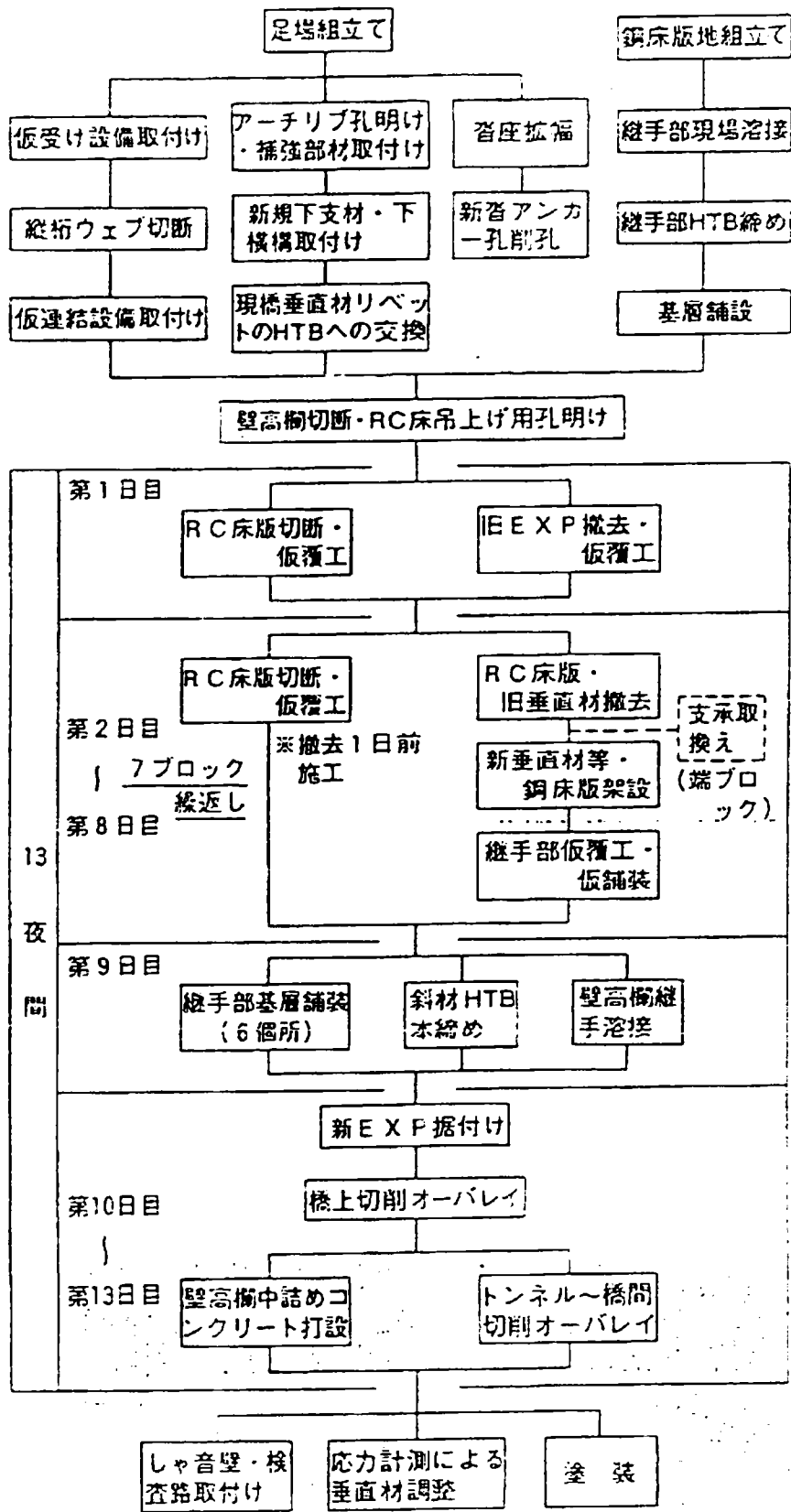


スミ内溶接部詳細

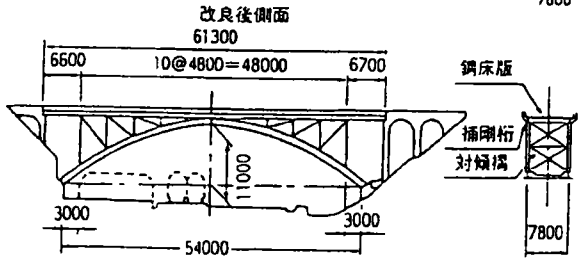
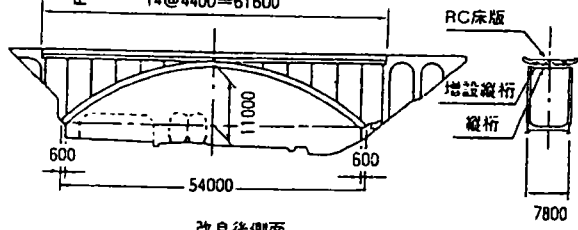
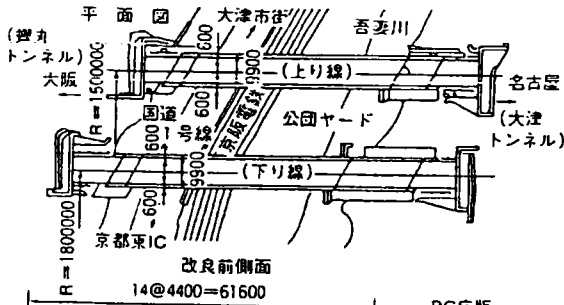


整理番号	014-1
構造形式	2ヒンジ上路アーチ 蟬丸橋改良工事報告
着目部位	補剛桁ウェブ、縦桁ウェブ、支柱上下端クラック
損傷部	溶接部を起点とした亀裂
補修年度	下り線：平成元年、上り線：平成2年
損傷状況	<p style="text-align: center;">損傷状況の概要（下り線）</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	・車両の大型化、交通量の増大
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	-
補修補強目的	<p>供用10年を経過した頃からコンクリート床版の損傷が目立ち始め、補修・補強を繰り返してきたが、鋼材へも損傷が発生するに至った。 アーチリブを除く床版・床組・垂直材を取替え、斜材・対傾構を追加する大改造を実施する。</p>
補修補強方法	<ol style="list-style-type: none"> ①床組をRC床版から鋼床版に取り替える。鋼床版の縦桁は主構としての補剛桁部材とする。 ②旧垂直材は撤去し、新垂直材の設置と斜材の追加を行う。 ③アーチ支承から3本目までの垂直材の位置に対傾構を設置する。 ④アーチリブに横構を追加する。アーチリブ上フランジ面に設置されている現況の横構は残置する。 ⑤旧橋の縦桁の端支承はベアリング支承に取り換える。
特記事項	-

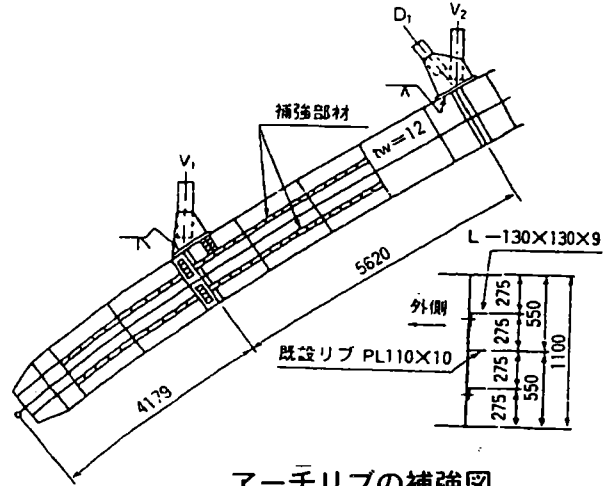
施工フロチャート



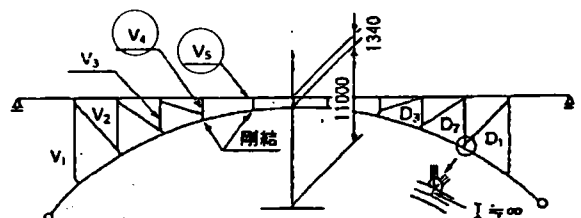
補修・補強図



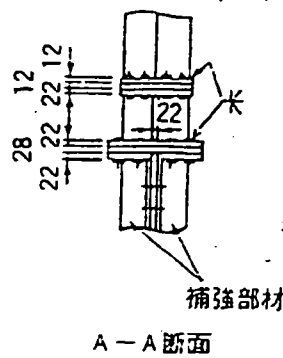
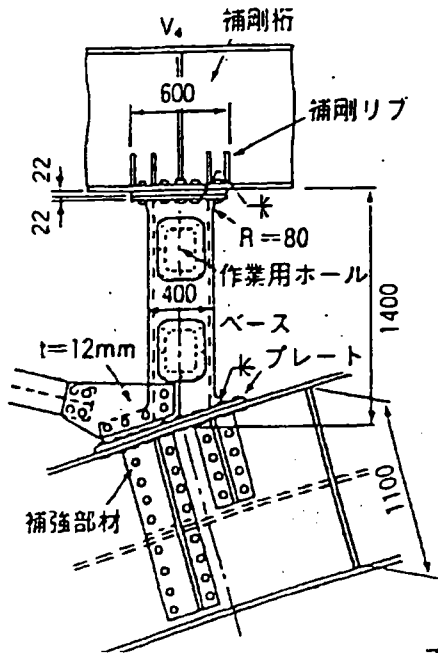
構造一般図



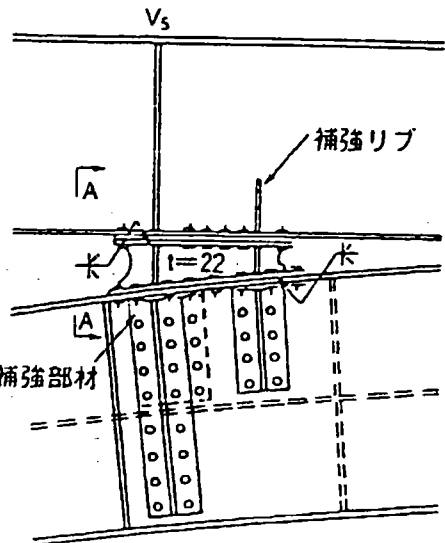
アーチリブの補強図

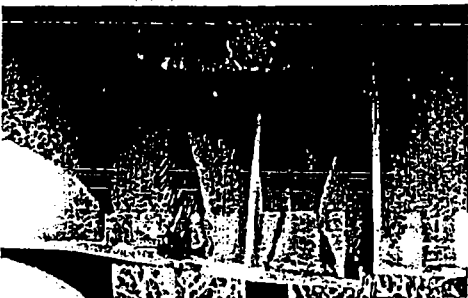
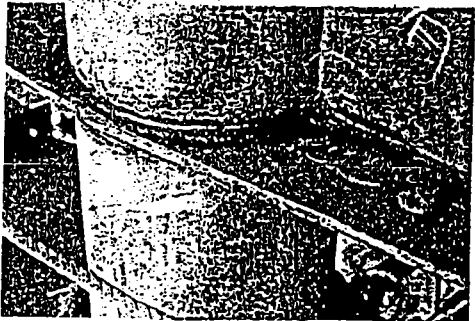


骨組み図

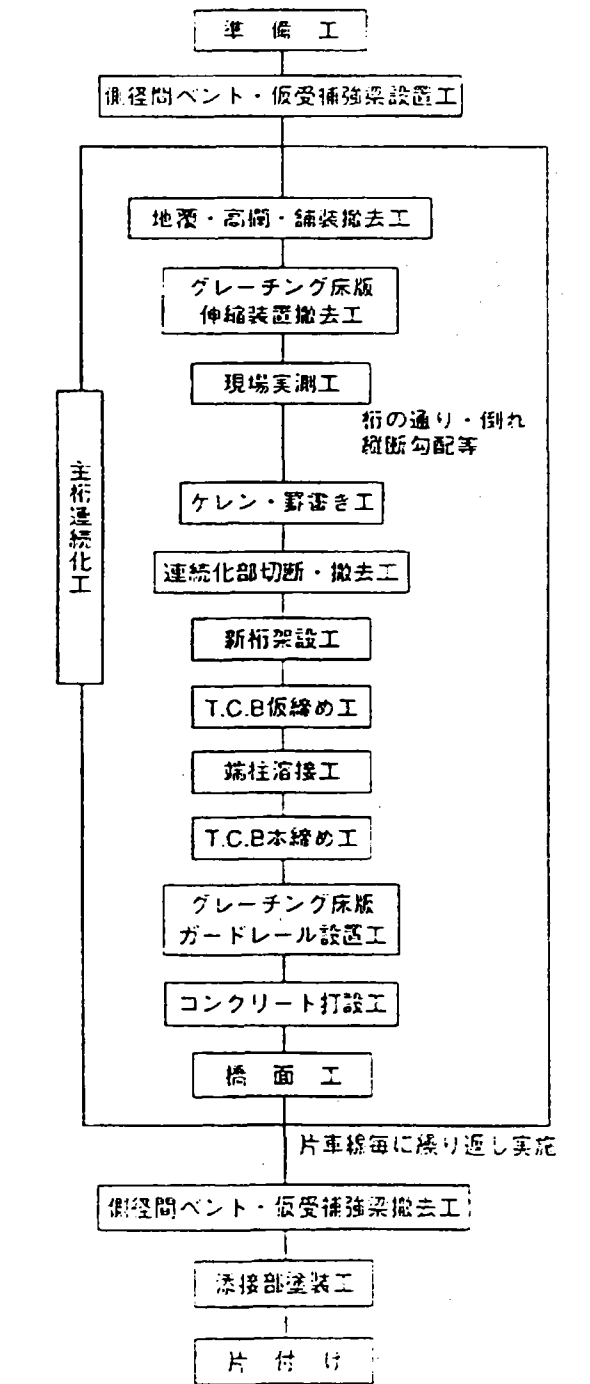


垂直材V4, V5の取付け詳細

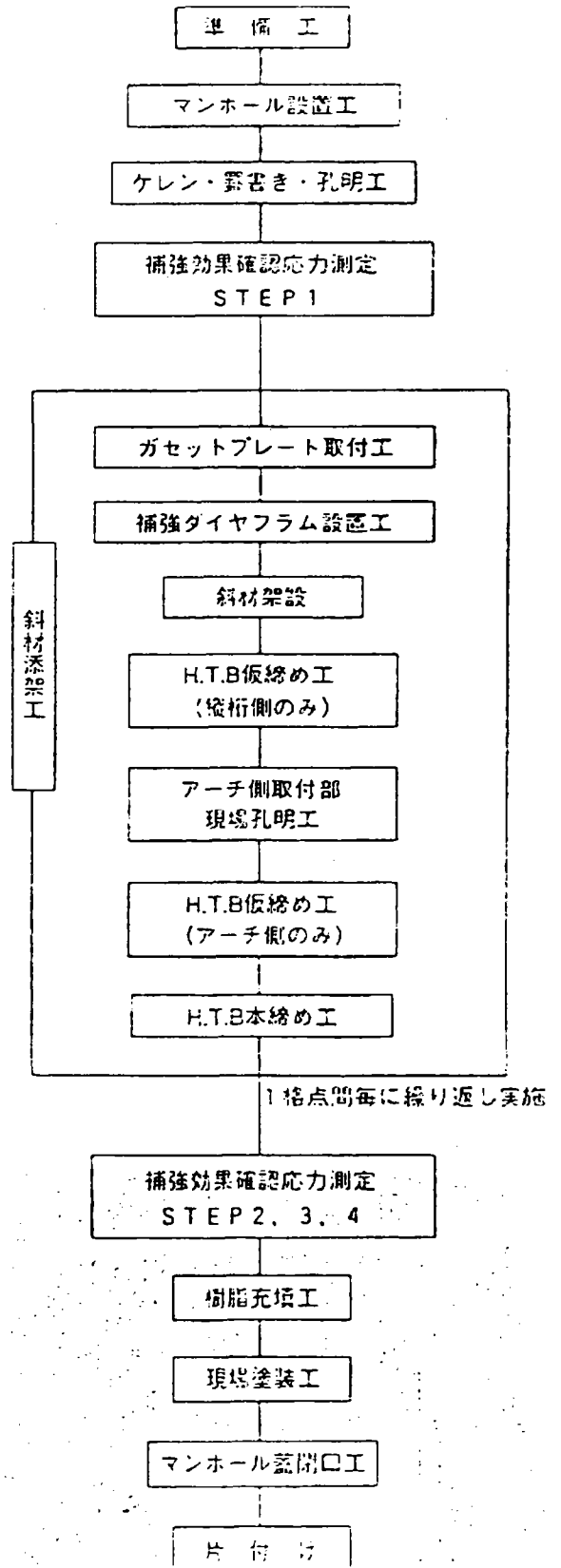


整理番号	015-1
構造形式	2ヒンジ上路アーチ
着目部位	ゲルバーヒンジ部、中間垂直材端部
損傷部	溶接部を起点とした亀裂
補修年度	H4：ゲルバーヒンジ部の亀裂応急対策、H6：ゲルバーヒンジおよび垂直材補強工事、H11：ゲルバーヒンジ部連続化工事、H12：斜材増設工事
損傷状況	 <p>ゲルバーヒンジ部損傷状況</p>  <p>中間垂直材端部損傷状況</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	・車両の大型化、交通量の増大
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	・ゲルバーヒンジ部の応力集中。 ・垂直材取付部に発生する2次応力。
補修補強目的	疲労亀裂の再発防止 (ゲルバーヒンジおよび中間垂直材の補強を行ったが、その後の調査により疲労亀裂が再発生する可能性が高いと判断された)
補修補強方法	STEP-1 応急対策の実施 (ベント設置、ゲルバーヒンジ部クラックへの当て板補強) STEP-2 ゲルバーヒンジ部補強、中間垂直材の補強プレート添架 STEP-3 ゲルバーヒンジ部の連続化、未補強中間垂直材上下端部の補強プレート添架 STEP-4 斜材添架補強
特記事項	—

施工フロチャート

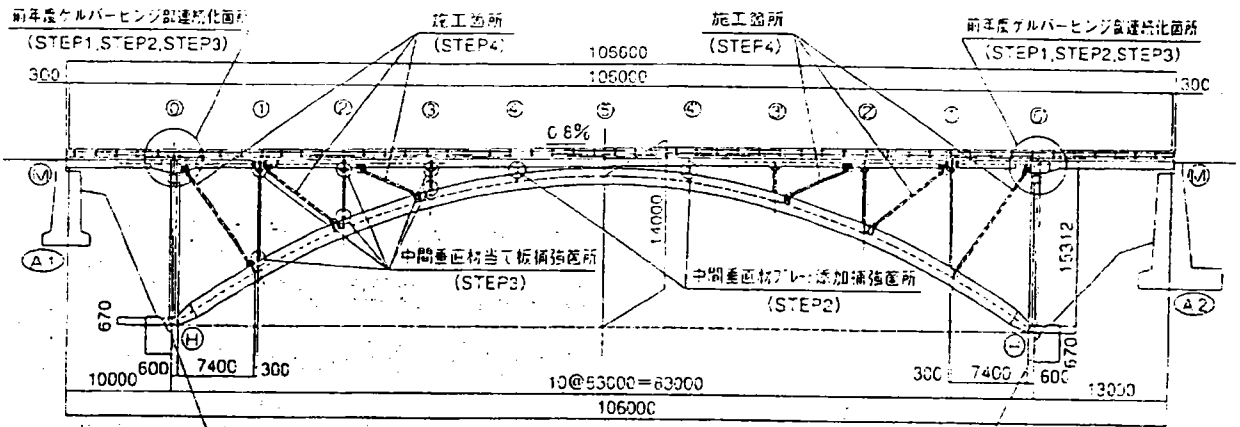


ゲルバーヒンジ部連続化施工フローチャート

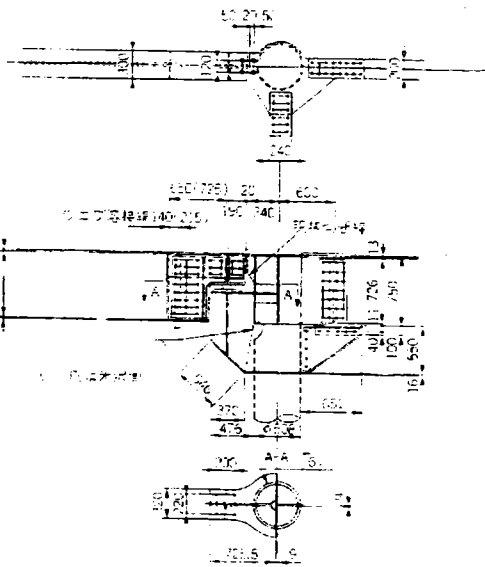


斜材添架補強施工フローチャート

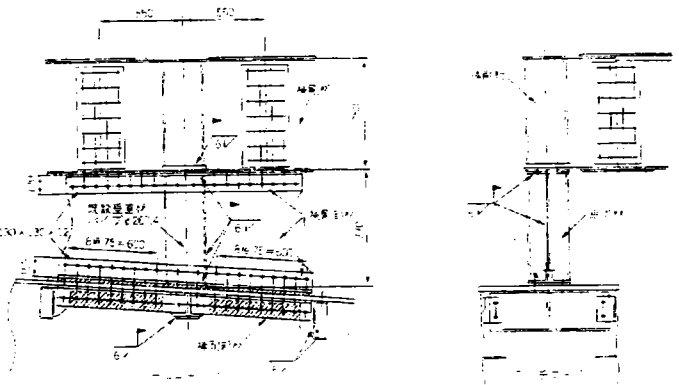
補修・補強図



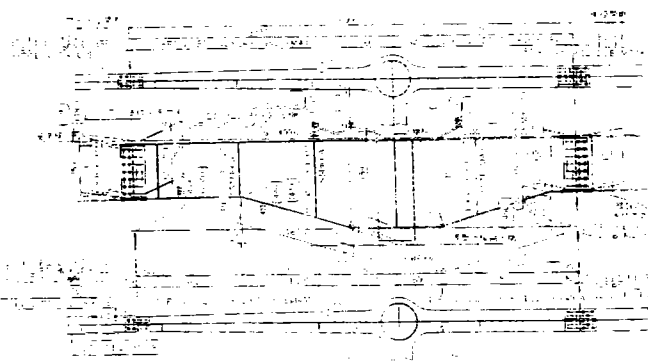
補強構造図



ゲルバーヒンジ部の補強



垂直材 (格点④) の補強



連結部の主桁

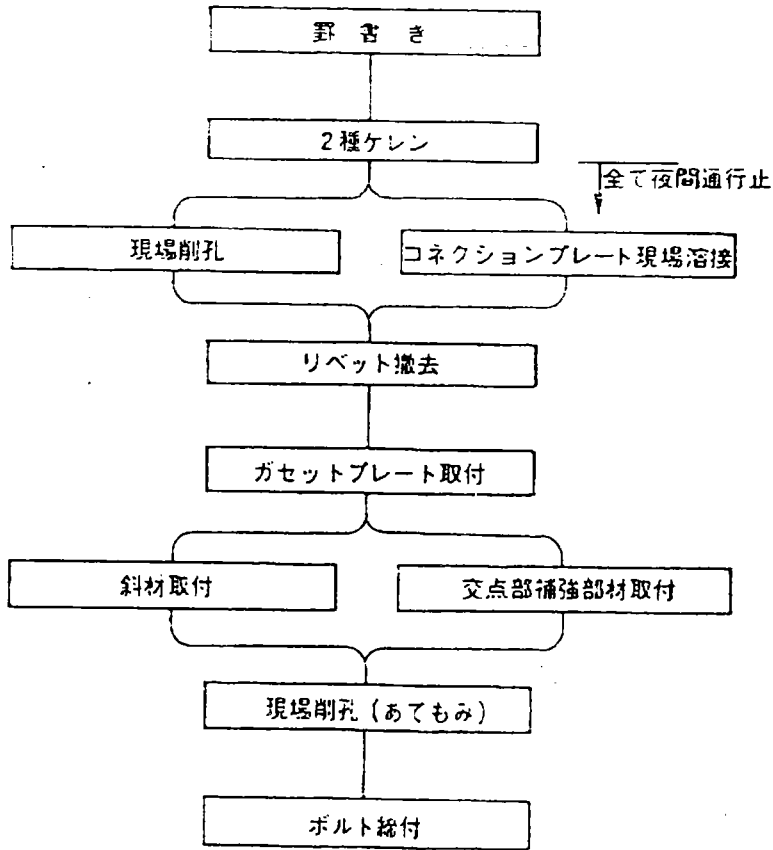


垂直材両端部の補強

整理番号	016-1
構造形式	2ヒンジ上路アーチ 曾東大橋
着目部位	ゲルバーヒンジ部、中間垂直材端部
損傷部	<ul style="list-style-type: none"> ・アーチリブと横桁取合い部 ・横桁と枝縦桁取合い部
補修年度	S56:亀裂部の溶接補修 S63:アーチ面に斜材増設。スロットホールをヒンジ結合に改築。
損傷状況	<p style="text-align: center;">損傷発生状況</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	・車両の大型化、交通量の増大
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	—
補修補強目的	損傷の原因が、鋼アーチリブと床組との間に生じる水平方向変位のずれに起因していることが明らかとなり、その水平方向変位のずれを減少させるためアーチ面に斜材を追加する。
補修補強方法	<p>【補強1】 亀裂部の溶接補修と部分的な部材補強 (しかし、5年後の調査で再発が発見された)</p> <p>【補強2】 アーチリブの変位及びアーチリブの床組との相対変位の低減方法させる下記の対策により、水平方向の全体剛性を高める。 ・アーチ面に斜材を増設する ・現橋スロットホールをヒンジ結合する。</p>
特記事項	—

施工フロチャート

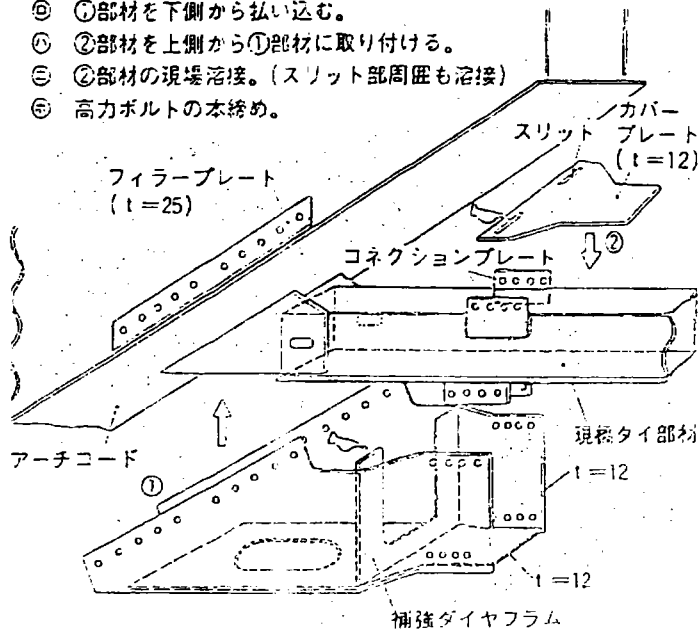
斜材取付施工フローチャート



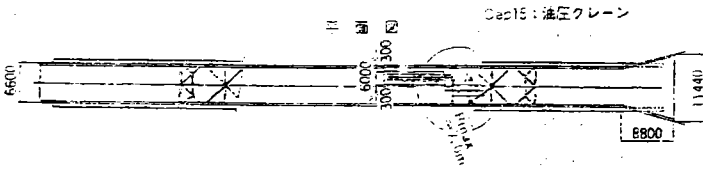
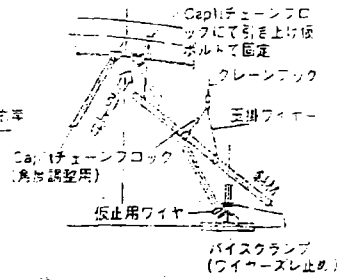
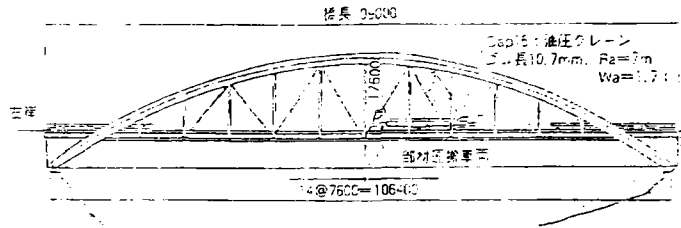
タイ部材の固定部詳細と施工手順

施工手順

- ㊦ コネクションプレートの現場溶接。
- ㊧ ①部材を下側から払い込む。
- ㊨ ②部材を上側から①部材に取り付ける。
- ㊩ ②部材の現場溶接。(スリット部周囲も溶接)
- ㊪ 高力ボルトの本締め。



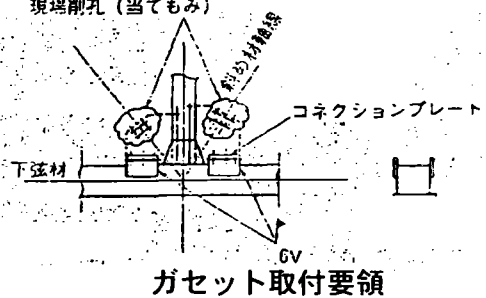
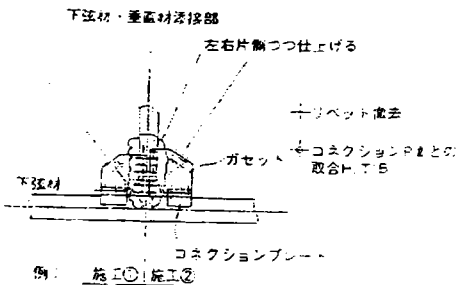
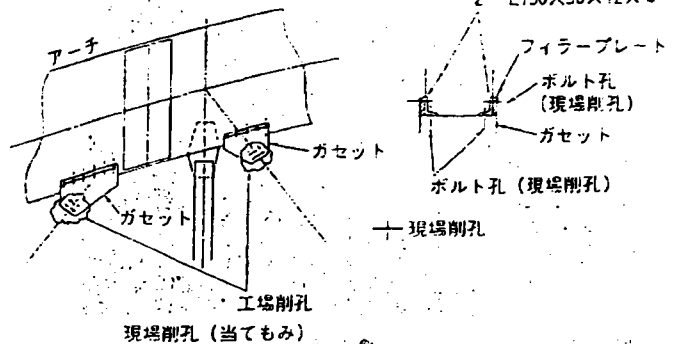
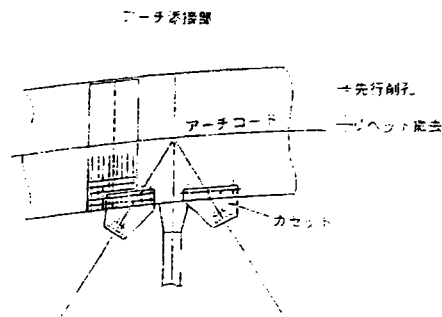
補修・補強図



- 注:
1. クレーンアウトリガーの下は枕木で養生する事。
 2. 玉掛ワイヤーで部材を吊る時はワイヤー部の養生を行う。

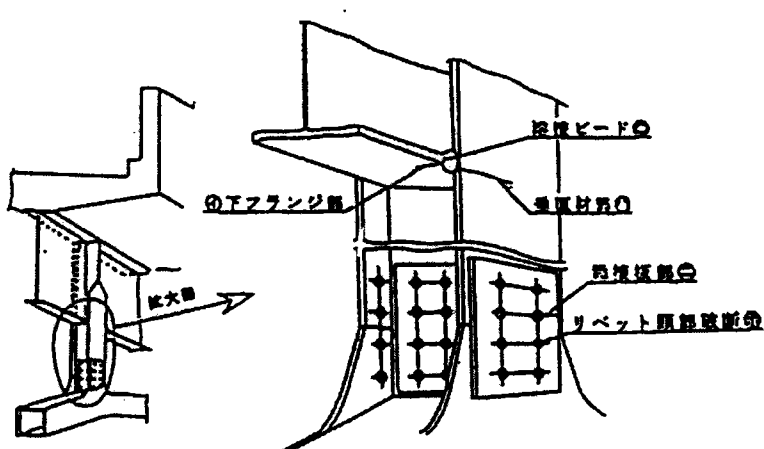
斜材取付要領

斜材取付構造

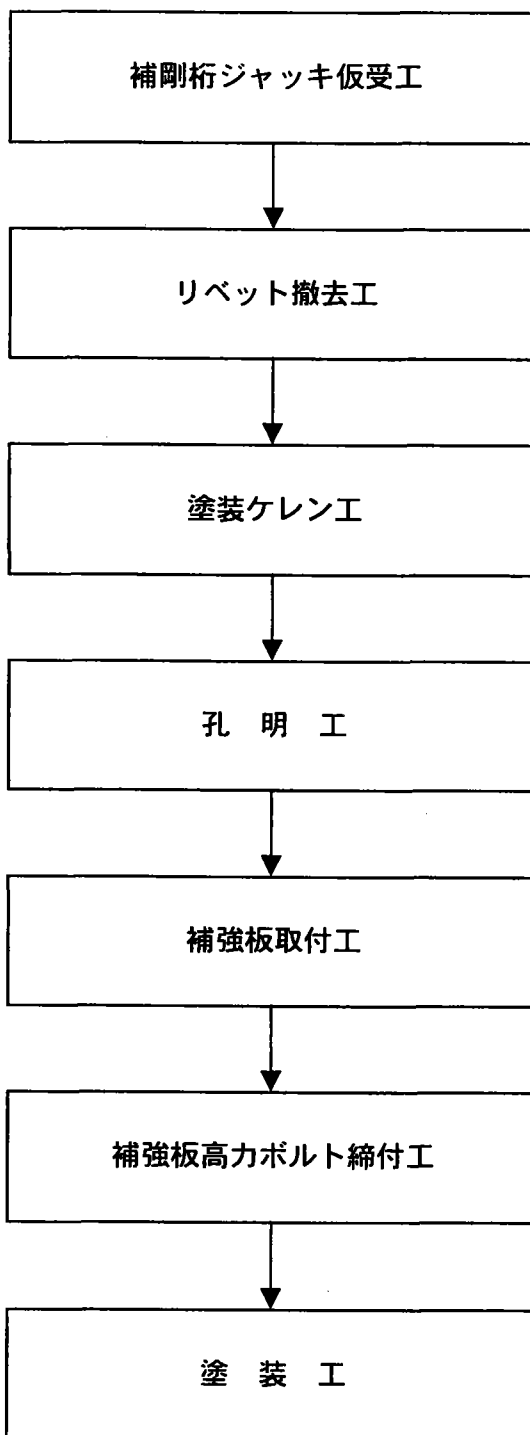


ガセット取付要領

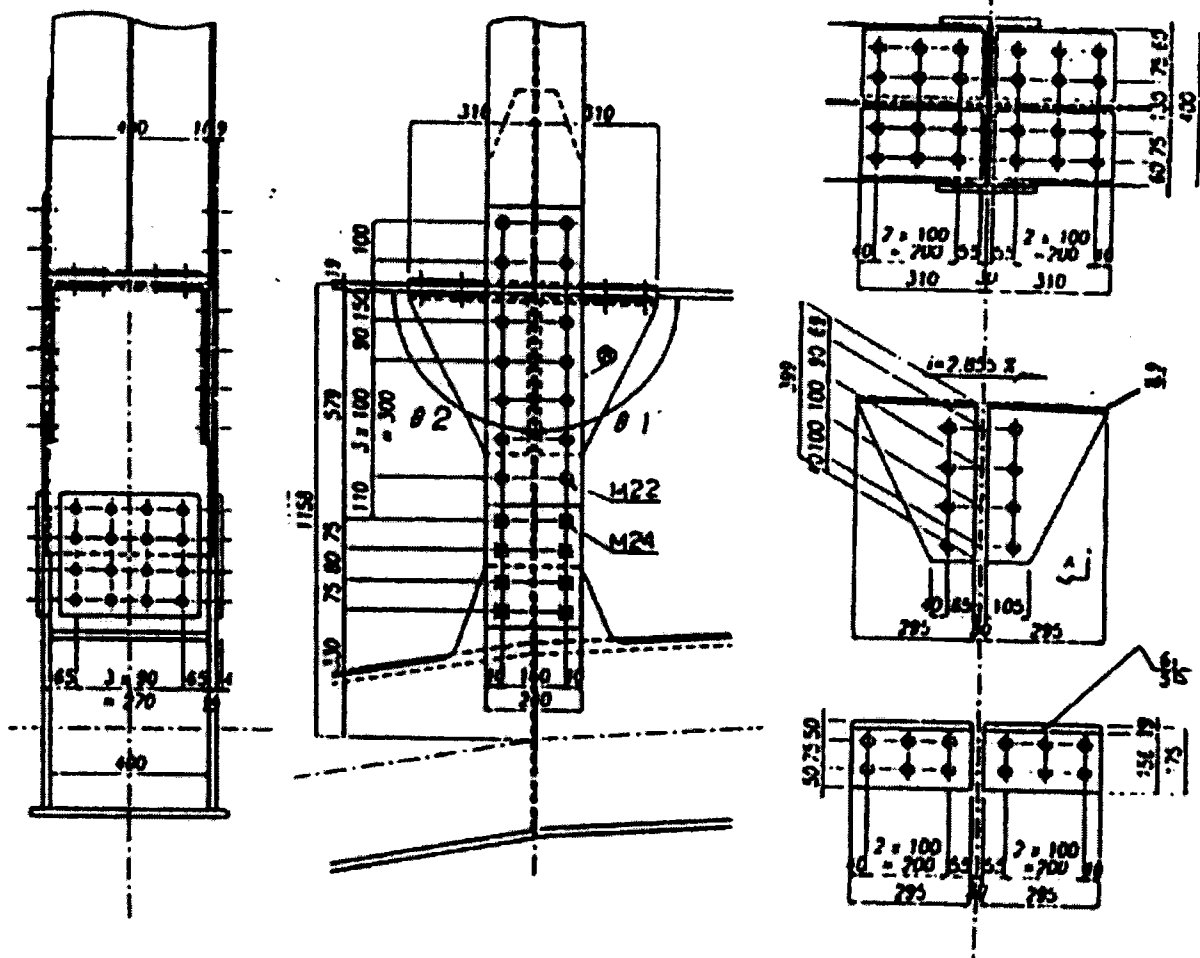
斜材取合い部の削孔方法

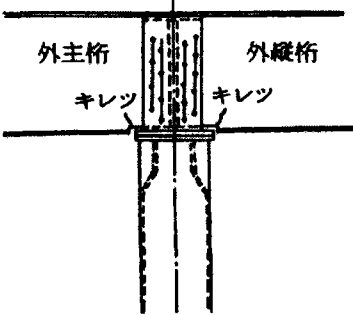
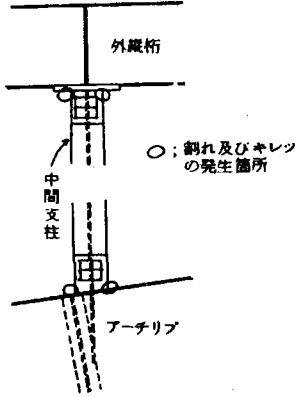
整理番号	017-1
構造形式	2 ヒンジ上路式ランガーアーチ
着目部位	垂直材（支柱）
損傷部	中間垂直材と補剛桁下フランジの溶接部
補修年度	平成8年度
損傷状況	<p>アーチクラウンに隣接する格点の垂直材と、補剛桁下フランジの溶接部より亀裂が生じ、補剛桁下フランジは橋軸直角方向、垂直材は橋軸方向に進行している。</p> <p>また、添接板および、リベット頭部も疲労破断している。</p> 
損傷原因 (作用外力からの原因)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 通行車両の増大、大型化。 ・ アーチリブと補剛桁との相対変位に起因した二次応力。
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	—
補修補強目的	二次応力を低減させる。
補修補強方法	<p>1). 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 母材亀裂部の溶接補修は、二次的影響が懸念されるため行わない。 ・ 補剛桁下フランジ下面と垂直材の取合い部のコーナー4カ所にL型補強部材を取り付ける。 ・ 10mmから14mmに増厚した添接板に全て取り替える。 ・ 垂直材フランジの外側面に補強板を取り付ける。 ・ リベットを全て高力ボルト接合とするとともに、一部M24に増径する。
特記事項	

施工フローチャート



補修・補強図



整理番号	018-1
構造形式	2 ヒンジ上路式アーチ
着目部位	垂直材（支柱）
損傷部	①端支柱上補剛桁の接合部 ②中間支柱と補剛桁およびアーチリブの溶接部
補修年度	昭和60年度
損傷状況	<p>①端支柱上補剛桁接合部のフランジ切欠き部より亀裂が生じ、ウェブに進行している。</p> <p>②中間支柱と補剛桁およびアーチリブの溶接部より亀裂が生じ、すみ肉溶接に沿って進行している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>①端支柱部</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>○：割れ及びキレットの発生箇所</p> <p>②中間支柱部</p> </div> </div>
損傷原因 （作用外力からの原因）	①②通行車両の増大、大型化。 繰り返し荷重による過大な応力振幅。
損傷原因 （設計・製作面からの原因）	①横構どうしの交点が中桁にくる横構配置に起因する面外変形による二次応力。 ①②曲げ剛性拘束に起因した二次応力。 溶接欠陥および溶接による残留応力。
補修補強目的	二次応力を低減させる。
補修補強方法	<p>1). 応急対策</p> <p>①全ての端支柱の両側に鋼製ブラケットを設置し、仮支点とする。 また、亀裂先端部へのストップホールを設ける。</p> <p>②形状を大きくしたガセットを溶接で取り付け。</p> <p>2). 恒久対策</p> <p>①ウェブ亀裂部にあて板を高力ボルトで取り付け。 また、横構を増設する。</p> <p>②短い支柱部は、接合部のヒンジ化を行う。 長い支柱部は、接合部に補強ガセットを設置する。</p>
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 応力集中を NASTRAN で解析 ・ 荷重車走行試験による静的載荷測定 ・ 荷重車走行試験による動的載荷測定

施工フローチャート

I 応急対策

①端支柱部

端支柱に
鋼製ブラケット
設置工

ストップホール
孔明工

塗 装 工

②中間支柱部

既設ガセット
撤去工

新設ガセット
設置工

塗 装 工

II 恒久対策

①端支柱部

あて板設置工

横構増設工

塗 装 工

②中間支柱部

端支柱部
ヒンジ化

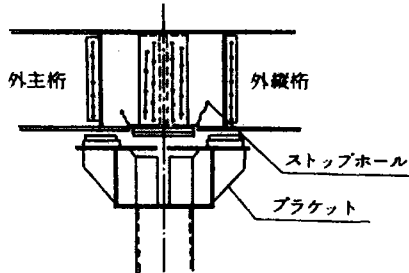
長支柱部
補強ガセット
設置工

塗 装 工

補修・補強図

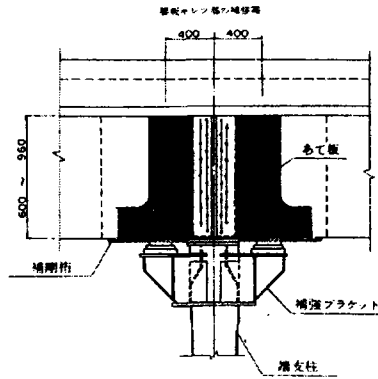
I 応急対策

①端支柱部

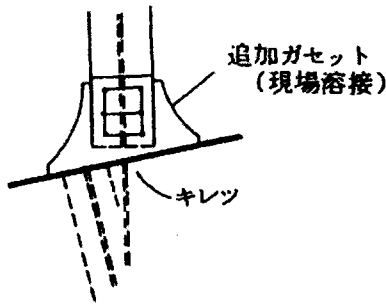


II 恒久対策

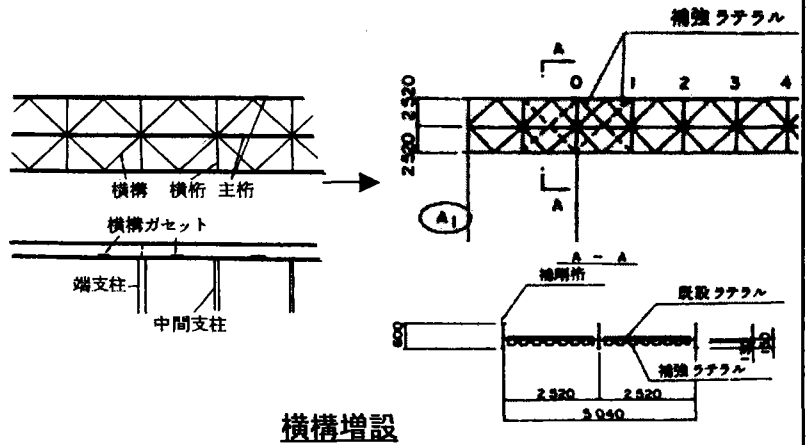
①端支柱部



②中間支柱部

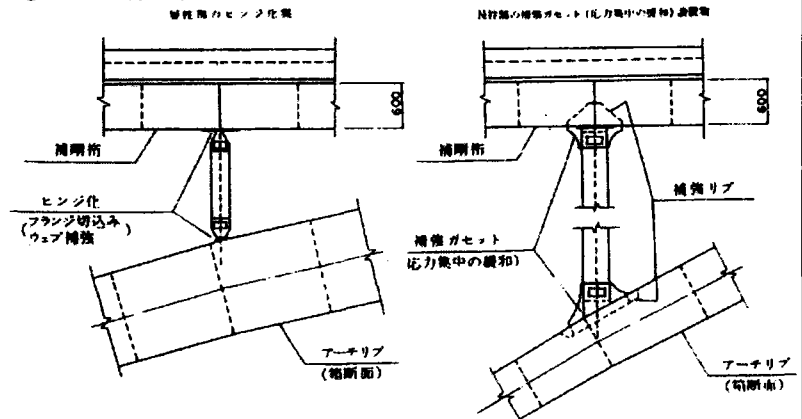


あて板補強



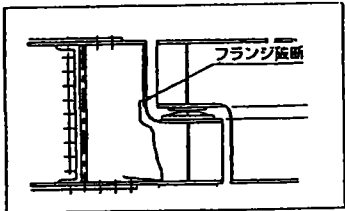
横構増設

②中間支柱部



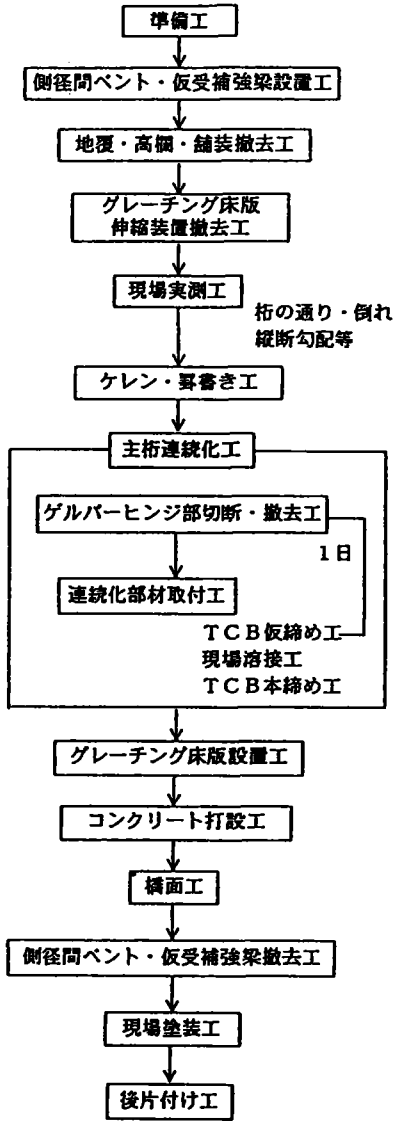
短柱部ヒンジ化

長柱部補強ガセット設置

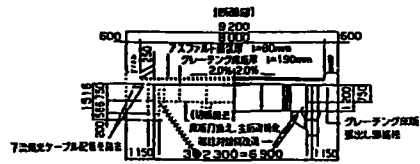
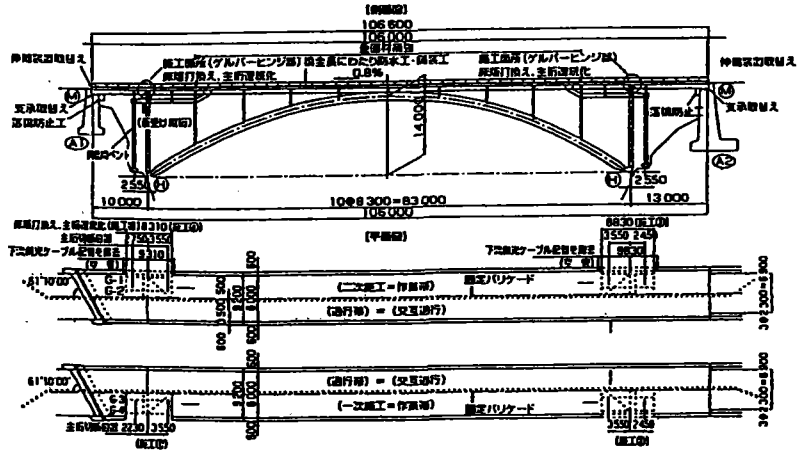
整理番号	019-1
構造形式	上路アーチ
着目部位	ゲルバーヒンジ部・中間垂直材
損傷部	ゲルバーヒンジ部のフランジとウェブ溶接部・中間垂直材のフランジとウェブ溶接部
補修年度	平成6年度
損傷状況	ゲルバーヒンジ部のフランジとウェブ溶接部より亀裂が生じ、ウェブまで達している。 
損傷原因 (作用外力からの原因)	・通行車両の増大、大型化
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	・溶接部の応力集中 ・活荷重の増加
補修補強目的	・活荷重応力の低減 ・損傷部の補強
補修補強方法	1). 応急対策 (平成6年施工) ・補強板をHTBにより設置。 2). 恒久対策 (ゲルバーヒンジ部) ・桁連続化による補強を行う。 (中間垂直材部) ・補強材を添接する補強を行う。
特記事項	

施工フロチャート

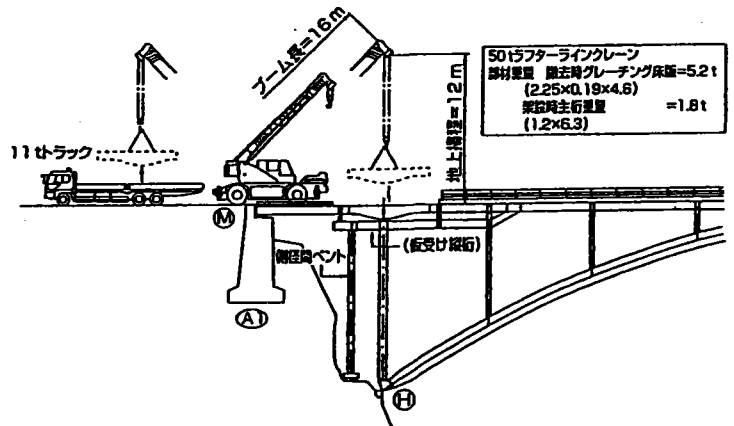
①. 恒久対策



連続化の施工フローチャート



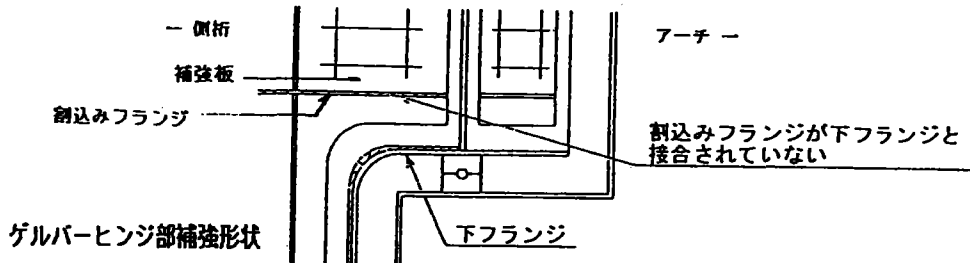
施工一般図



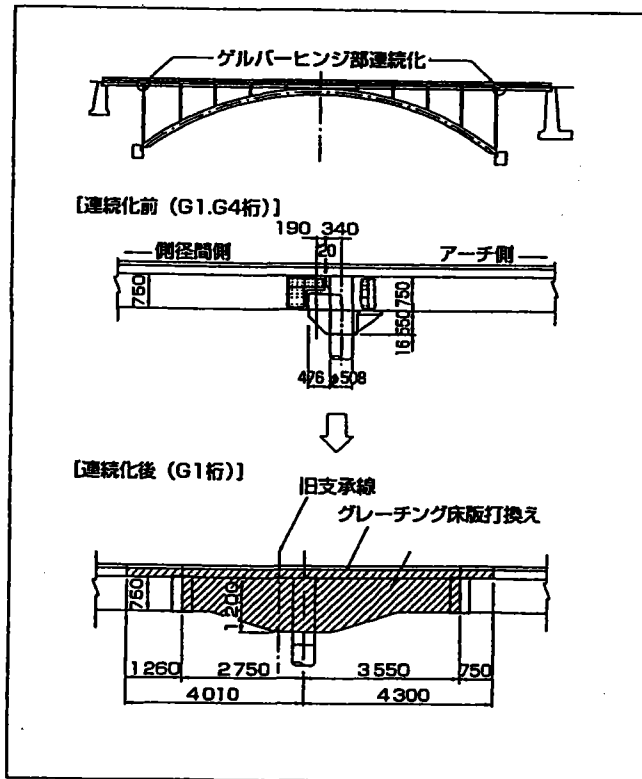
架設要領図

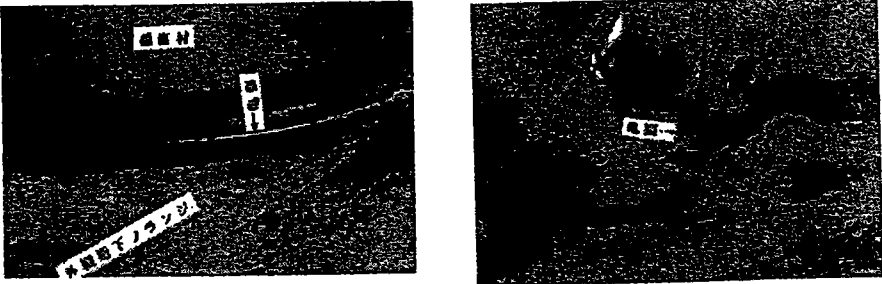
補修・補強図

① 応急対策 (補強板をHTBにより取付)



② 恒久対策 (ゲルバーヒンジ部の連続化)



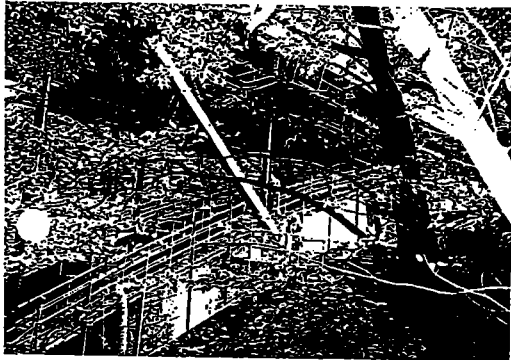
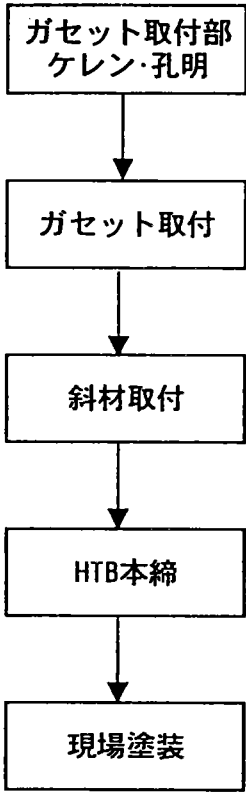
整理番号	020-1
構造形式	上路アーチ
着目部位	アーチクラウン部垂直材
損傷部	中間垂直材のフランジとウェブ溶接部
補修年度	平成11年度
損傷状況	<p>中間垂直材のガセット溶接部より亀裂が生じている。</p> <p>中間垂直材に発生した亀裂</p> 
損傷原因 (作用外力からの原因)	<ul style="list-style-type: none"> ・通行車両の増大、大型化
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接部の応力集中 ・二次的応力
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・活荷重応力の低減 ・損傷部の補強
補修補強方法	<ol style="list-style-type: none"> 1). 応急対策 (平成9年施工) <ul style="list-style-type: none"> ・補強板をHTBにより設置。 2). 恒久対策 <ul style="list-style-type: none"> ・斜材増設による補強を行う。
特記事項	

整理番号

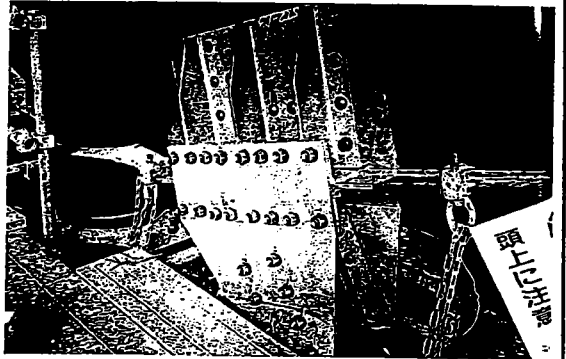
020-2

施工フロチャート

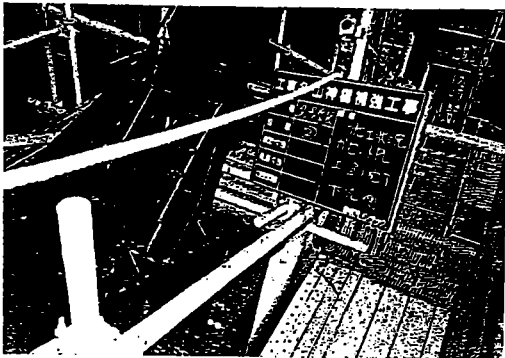
①. 恒久対策 (斜材の増設)



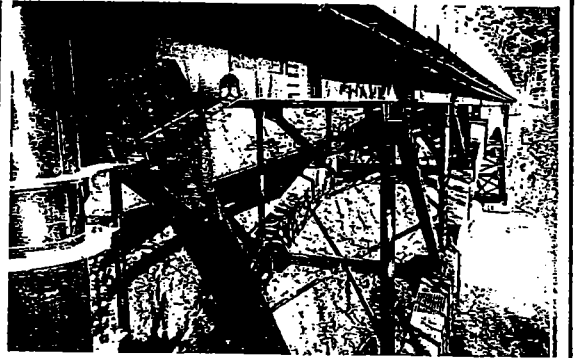
斜材の架設



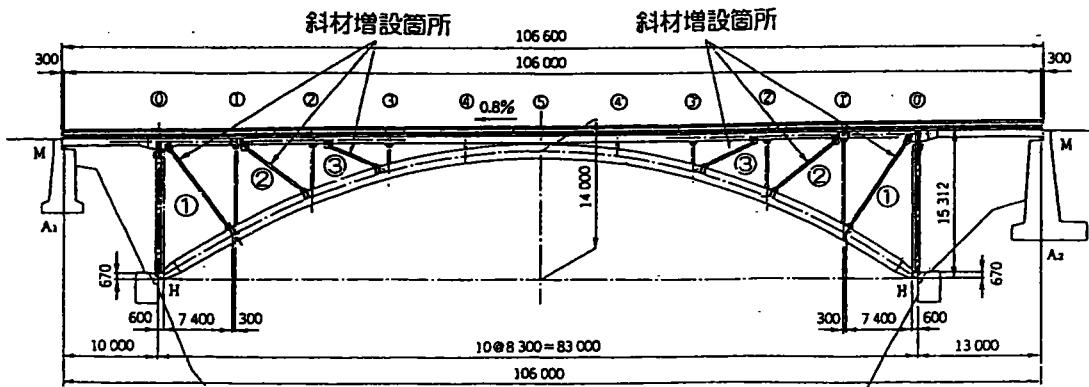
斜材の格点 (その1)



斜材の格点 (その2)



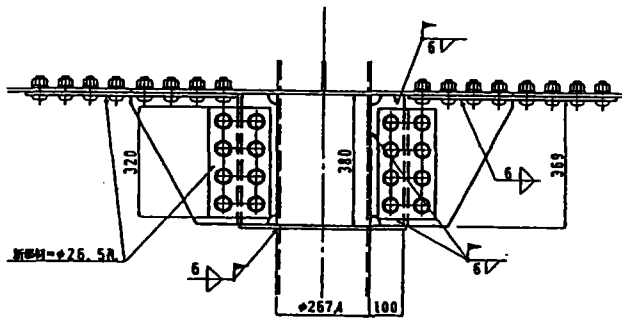
斜材増設完了



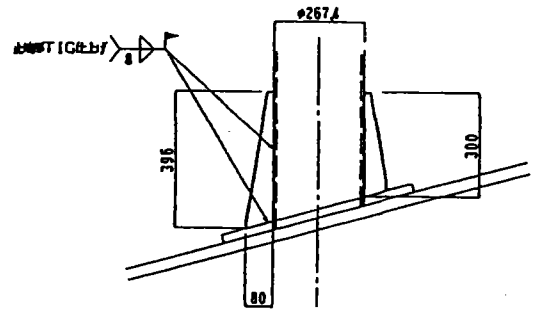
斜材増設箇所図

補修・補強図

①応急対策（補強板をHTBにより取付）



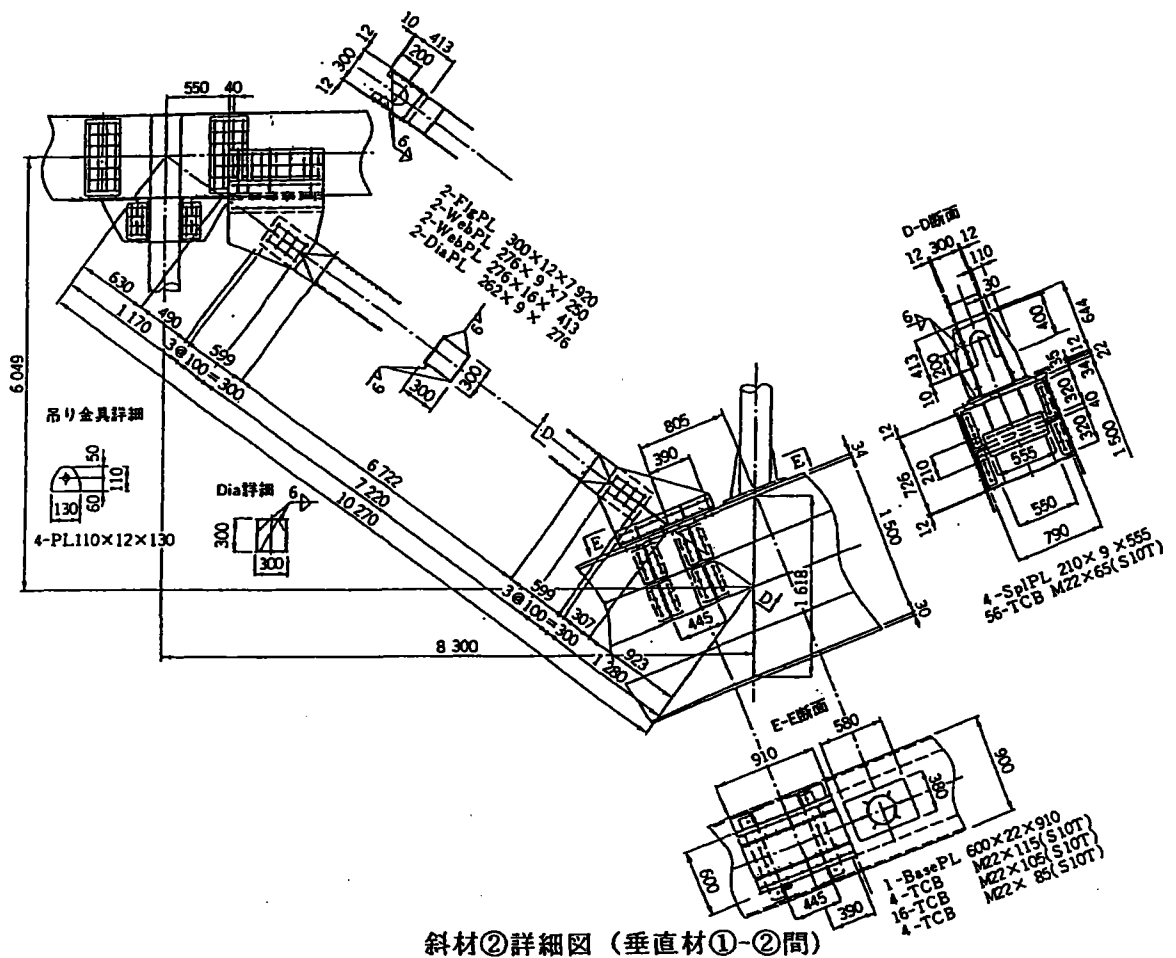
縦桁（上端）側



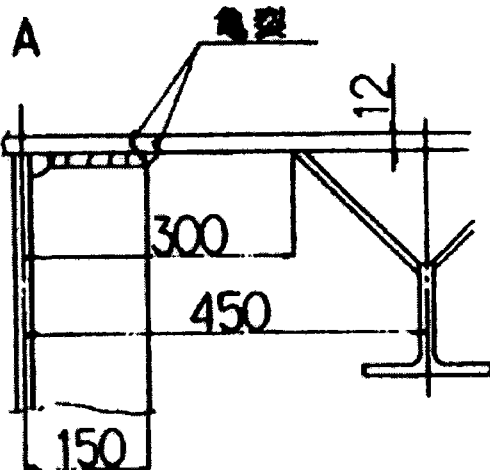
アーチリブ（下端）側

中間垂直材接合部の補強構造

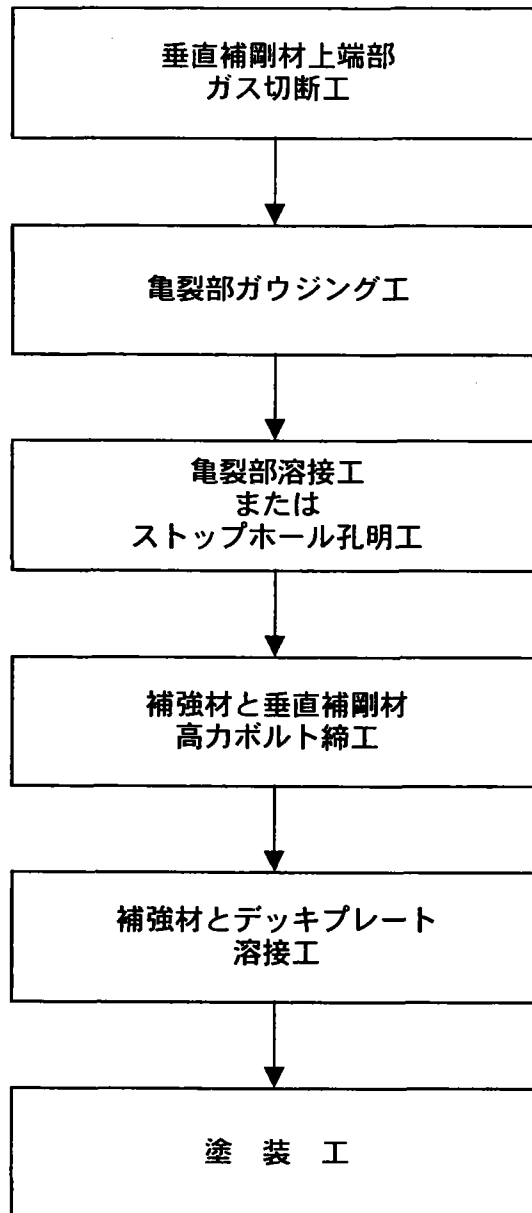
②恒久対策（斜材の増設）



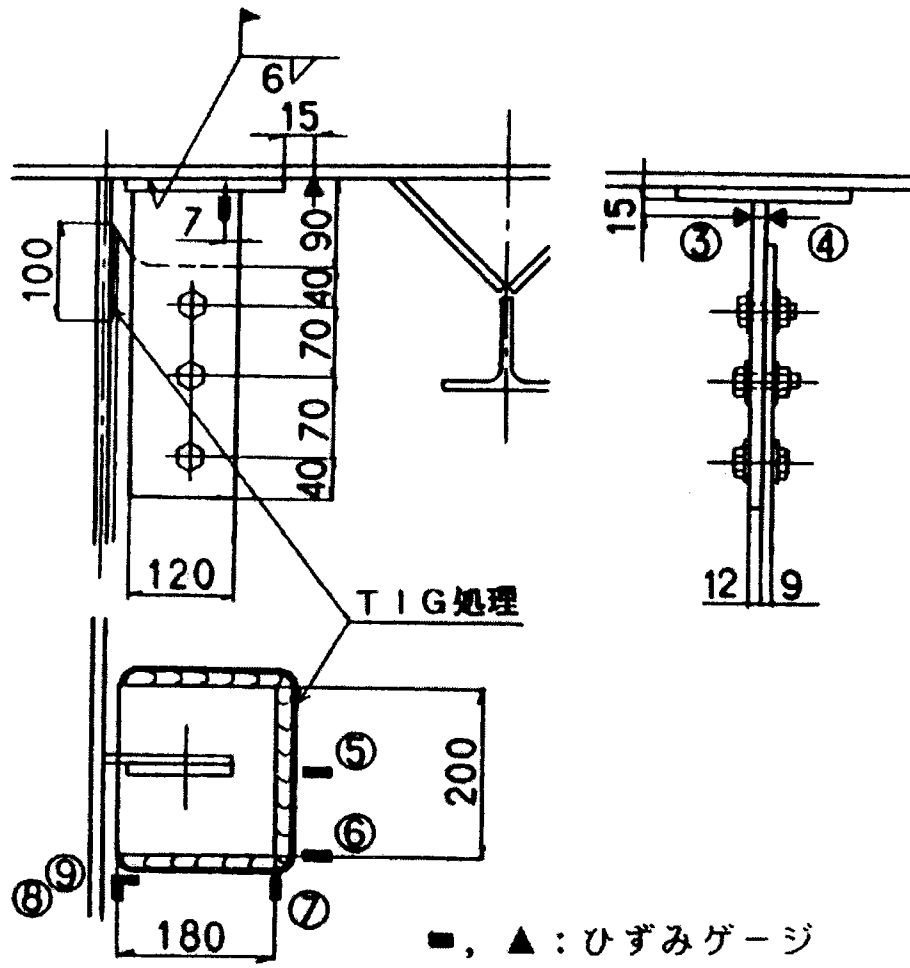
斜材②詳細図（垂直材①-②間）

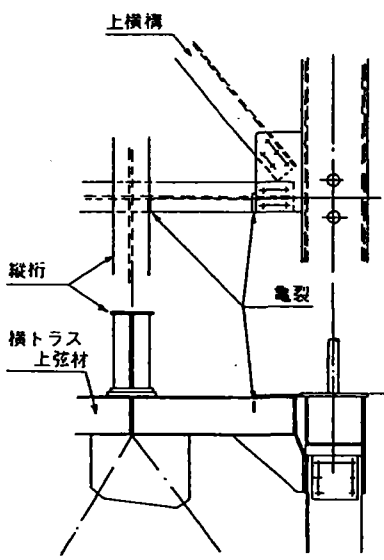
整理番号	021-1
構造形式	鋼床版斜張橋
着目部位	鋼床版
損傷部	垂直補剛材と鋼床版の溶接部
補修年度	平成3年度
損傷状況	<p>垂直補剛材と鋼床版の溶接部より亀裂が生じ、すみ肉溶接に沿って進行している。</p> 
損傷原因 (作用外力からの原因)	輪荷重によるデッキプレートの過大な応力振幅。
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	溶接欠陥および溶接による残留応力。
補修補強目的	垂直補剛材上端デッキプレートの角折れ変形を緩和する。
補修補強方法	<p>1). 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・垂直補剛材上端部をガス切断後、亀裂補修としてガウジング再溶接または、ストップホールを設ける。 ・T型補強材を垂直補剛材と高力ボルトで取り付ける。 ・補強材とデッキプレートとの溶接止端部および、垂直補剛材と主桁ウェブの溶接止端部にTIG処理を行う。
特記事項	・交通共用下で応力頻度測定

施工フローチャート



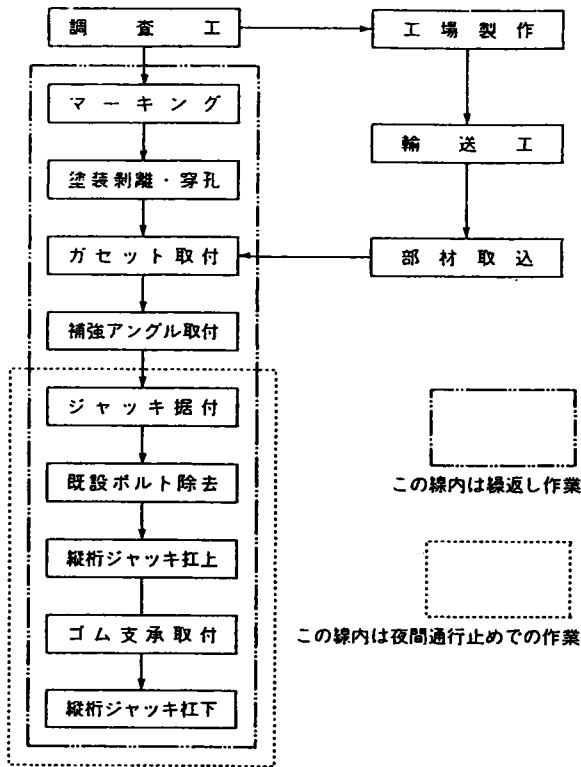
補修・補強図



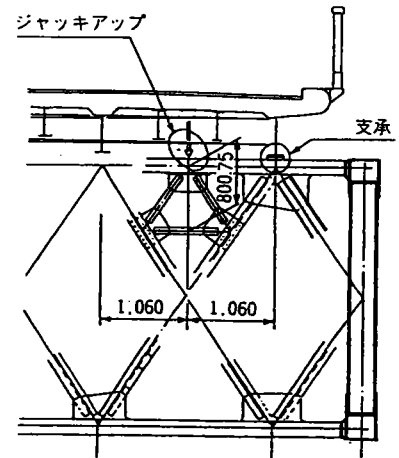
整理番号	022-1
構造形式	吊り橋
着目部位	横トラス
損傷部	横トラス上弦材と主構、縦桁との接合部
補修年度	平成2年度
損傷状況	横トラス上弦材と主構、縦桁との接合部に亀裂が生じている。 
損傷原因 (作用外力からの原因)	・ 通行車両の増大、大型化
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	・ 縦桁支承の機能低下 ・ 腐食による部材厚の減少
補修補強目的	・ 縦桁支承の機能回復 ・ 損傷部の補強
補修補強方法	1). 応急対策 ・ 亀裂先端部へのストップホール孔明 2). 恒久対策 (亀裂補修) ・ ガウジング後溶接 (補強) ・ 縦桁支承をゴム支承に取り替える。 ・ 横トラス下弦材に添接板を高力ボルトで取り付ける。
特記事項	

施工フロチャート

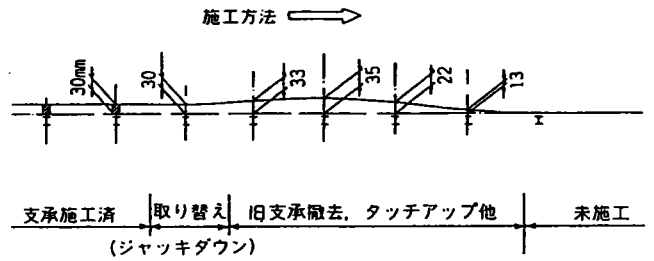
①. 恒久対策 (支承の取替)



ゴム支承の取り付け施工手順

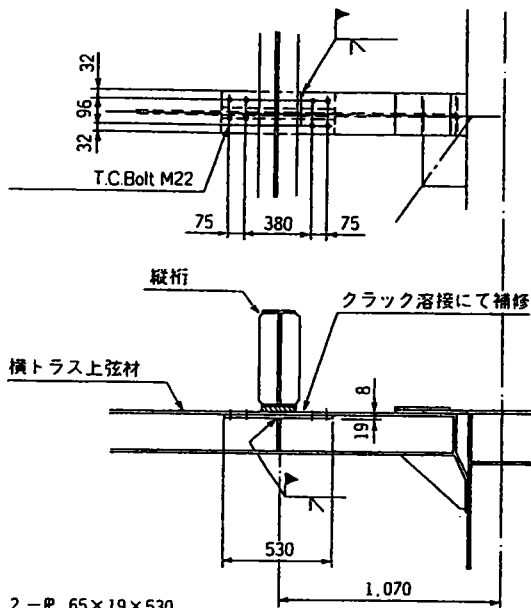


ジャッキアップのための補強



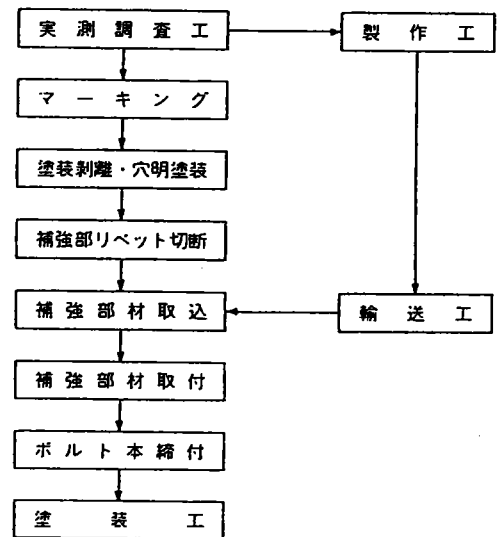
施工方法

ジャッキアップの順序



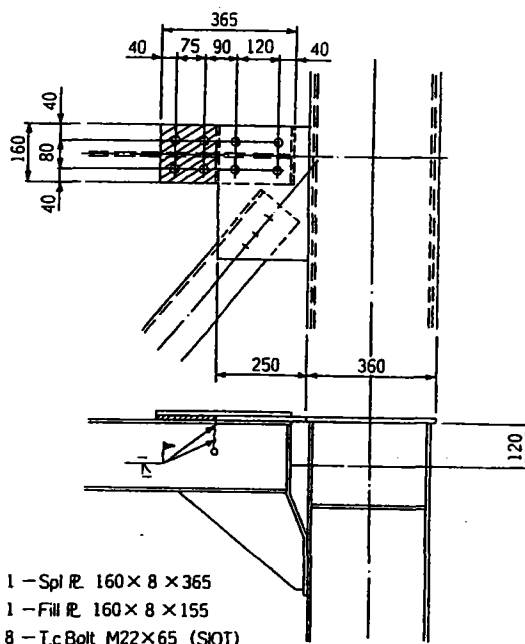
2 - 尺 65×19×530
8 - TCBM22×65 (SIOT)

横トラス上弦材の補修(2)



補修・補強図

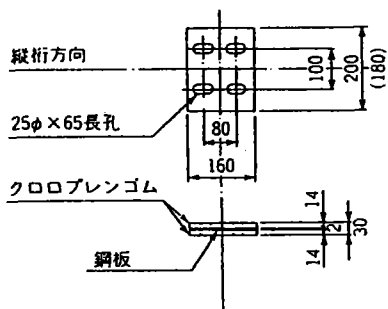
① 応急対策 (亀裂先端部へのストップホール穿孔)



- 1 - Spl. R. 160 × 8 × 365
- 1 - Fill R. 160 × 8 × 155
- 8 - T.c Bolt M22 × 65 (SLOT)

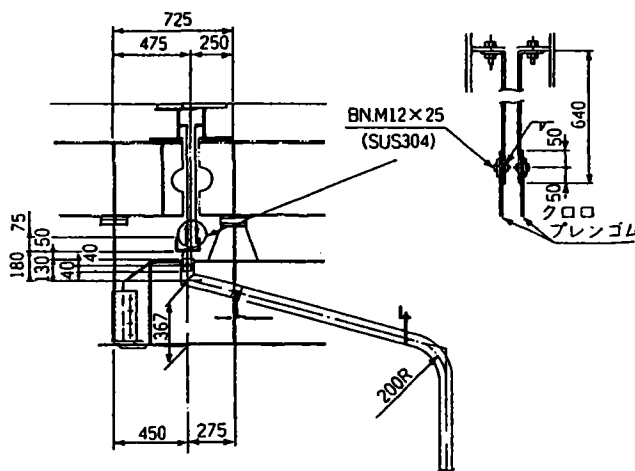
横トラス上弦材の補修 (1)

② 恒久対策 (ゴム支承への取替)

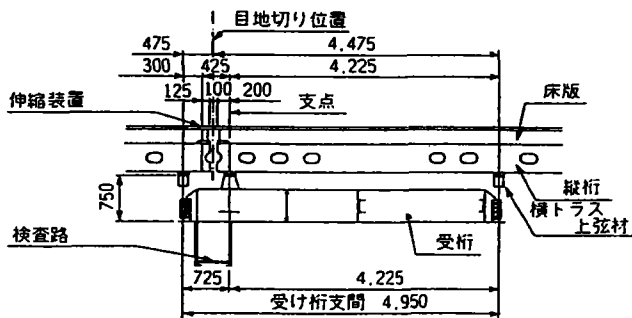


注) () 内は内縦桁を示す。

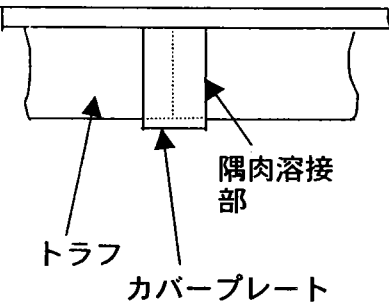
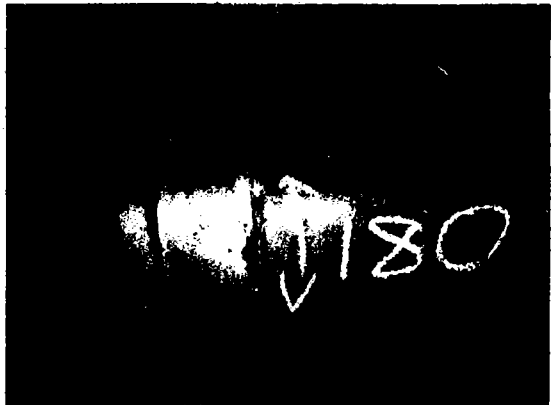
ゴム支承



伸縮装置排水樋



受桁

整理番号	023-1
構造形式	8 径間連続鋼床版桁橋
着目部位	鋼床版トラフ
損傷部	鋼床版トラフ溶接部
補修年度	1999年6月（旧橋は1974年に架設）
損傷状況	<ul style="list-style-type: none"> ・旧トラフ継手は、当時の標準であるカバープレートを隅肉溶接でつなぐ形式であったが、結果的には疲労上好ましくなく、多数のクラックが発生。 ・詳細図がないので、下図は推定。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>隅肉溶接部</p> <p>トラフ</p> <p>カバープレート</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真-11 トラフのクラック</p> </div> </div>
損傷原因 （作用外力からの原因）	・通行車両の増大、車両重量の増加等
損傷原因 （設計・製作面からの原因）	・疲労に対して不適当な溶接継手形式 （実橋の応力測定結果より、約4年で疲労クラックが発生することが計算で推定された。）
補修補強目的	・応力振幅の低減
補修補強方法	1) 恒久対策 ・補強プレートの取り付け、溶接
特記事項	

補修・補強図

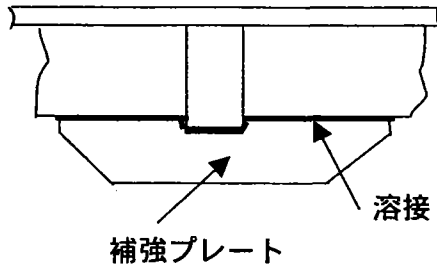
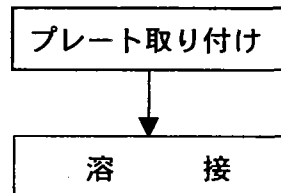


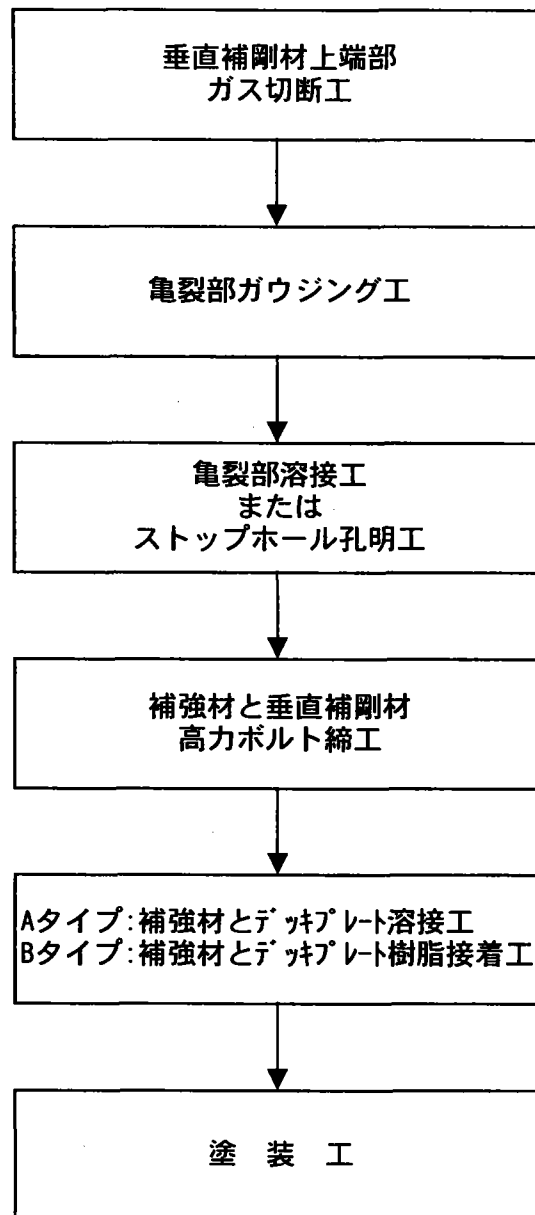
写真-12 トラフの補強

施工フローチャート

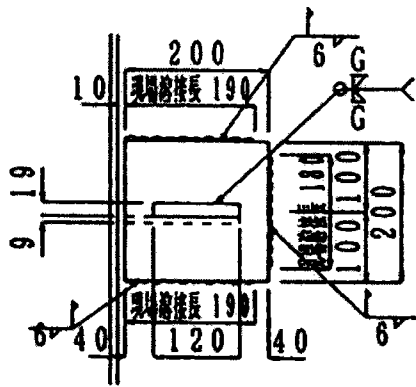
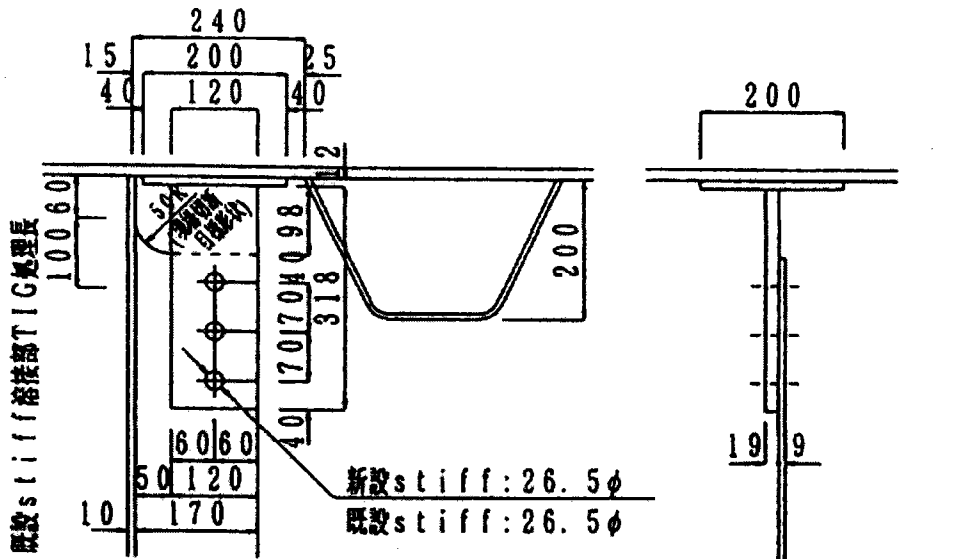


整理番号	024-1
構造形式	鋼床版箱桁橋
着目部位	鋼床版
損傷部	垂直補剛材と鋼床版の溶接部
補修年度	平成8年度
損傷状況	<p>垂直補剛材と鋼床版の溶接部より亀裂が生じ、すみ肉溶接に沿って進行している。</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	輪荷重によるデッキプレートの過大な応力振幅。
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	溶接欠陥および溶接による残留応力。
補修補強目的	垂直補剛材上端デッキプレートの角折れ変形を緩和する。
補修補強方法	<p>1). 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・垂直補剛材上端部をガス切断後、亀裂補修としてガウジング再溶接または、ストップホールを設ける。 ・T型補強材を垂直補剛材と高力ボルトで取り付ける。 ・Aタイプとして、補強材とデッキプレートとの溶接止端部および、垂直補剛材と主桁ウェブの溶接止端部にTIG処理を行う。 ・Bタイプとして、補強材とデッキプレートをエポキシ樹脂系接着材で塗布する。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・Aタイプは補強材とデッキプレートのすみ肉溶接から更に亀裂が生じた ・交通共用下で応力頻度測定 ・荷重車走行試験による動的載荷測定

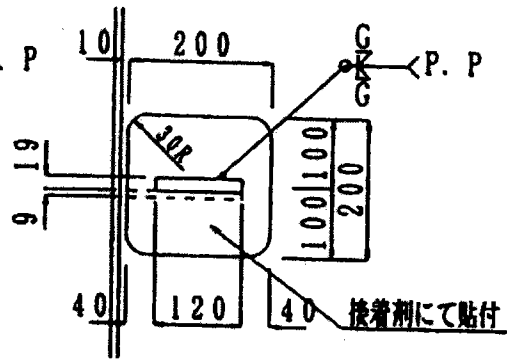
施工フローチャート



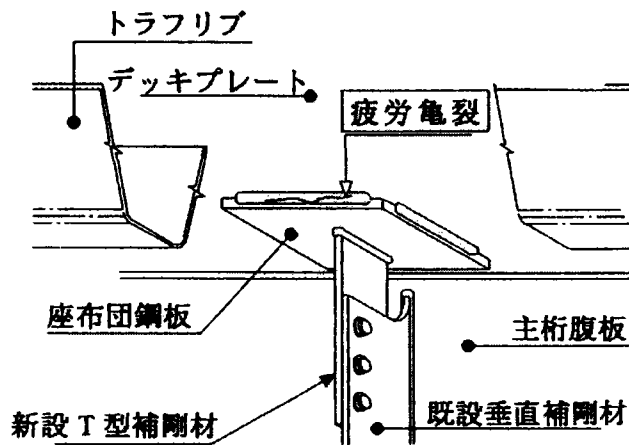
補修・補強図

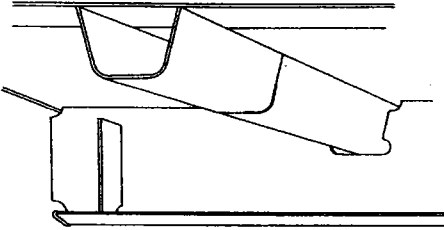
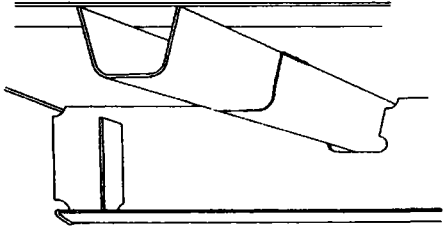


Aタイプ・補修構造



Bタイプ・補修構造



整理番号	025-1
構造形式	鋼床版箱桁橋
着目部位	鋼床版
損傷部	トラフリブの突合せ溶接部
補修年度	平成6年度
損傷状況	<p>トラフリブ突合せ溶接部の下側コーナー部より亀裂が生じ、デッキプレート側に達し、トラフリブとのすみ肉溶接部を橋軸方向に進行している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>タイプⅠ</p> <p>トラフリブ突合せ溶接部の亀裂</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>タイプⅡ</p> <p>トラフリブ突合せ溶接部からデッキプレートとのすみ肉溶接部に至る亀裂</p>  </div> </div>
損傷原因 (作用外力からの原因)	輪荷重によるデッキプレートの過大な応力振幅。
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	溶接欠陥および溶接による残留応力。
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレートの剛性を向上し、局部変形を抑える。 ・トラフリブの発生応力度を低減させる。
補修補強方法	<p>1). 応急対策</p> <p>タイプⅠ：亀裂補修としてガウジング、再塗装を行う。</p> <p>タイプⅡ：亀裂部のトラフリブを撤去し、新設トラフリブを高力ボルトで取り付ける。</p> <p>1). 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレート上面に補強板を高力ボルトで取り付ける。 ・トラフリブに補強板を高力ボルトで取り付ける。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・交通共用下で応力頻度測定 ・トラフリブ部のFEM解析

施工フローチャート

① 応急対策

タイプⅠ

亀裂部ガウジング工

亀裂部溶接工

塗装工

タイプⅡ

亀裂部トラフリブ
撤去工

新設トラフリブ
設置工

連結部
高力ボルト締工

塗装工

② 恒久対策

橋面ハツリ工

デッキプレート
補強板
設置工

デッキプレート
補強板
高力ボルト締工

橋面復旧工

トラフリブ
補強板
設置工

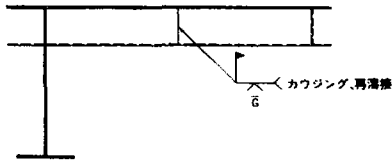
トラフリブ
補強板
高力ボルト締工

塗装工

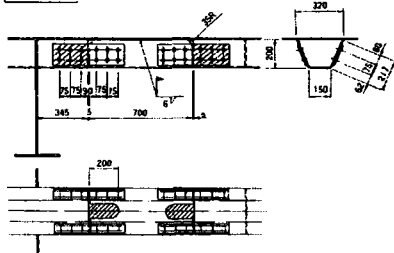
補修・補強図

I 応急対策

タイプ I



タイプ II



II 恒久対策

トラフリブ補強案3側面・下面補強型

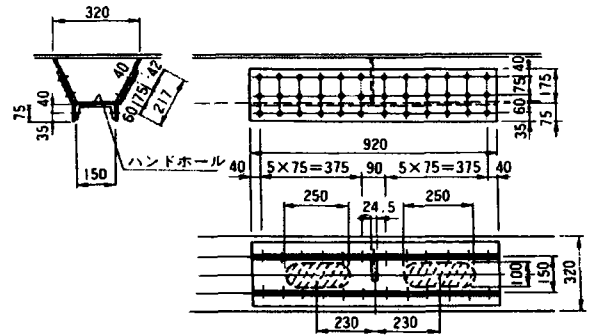


写真-4 トラフリブ補強構造

トラフリブ補強



写真-3 デッキプレート補強構造

デッキプレート補強

整理番号	026-1
構造形式	矩形鋼製橋脚
着目部位	鋼製橋脚における柱と梁の隅角部
損傷部	柱フランジと横梁下フランジの溶接部2箇所(260mm、40mm)、フィレット部に4箇所の計6箇所。
補修年度	平成13年度頃
損傷状況	<p>隅角部の2箇所の亀裂は未溶着部まで貫通しており、他の4箇所の亀裂も母材との溶着部まで達している。</p>
損傷原因 (作用外力からの原因)	
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	
補修補強目的	・亀裂部における活荷重応力の負担軽減を目的とする。
補修補強方法	<p>1). 応急対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・母材ウェブの外側にあて板を設置し、支圧接合用高力ボルトを用いて母材と接合する。 <p>2). 恒久対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・恒久対策としての亀裂部の溶接補修方法の検討は今後の課題である。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・あて板施工による隅角部の応力低減効果の確認とあて板・支圧接合用高力ボルトの安全性の照査を目的としてFEM解析を行った。 ・FEM解析から得られた応力低減率を検証するため、あて板施工前後に応力頻度計測を実施した。

補修・補強図

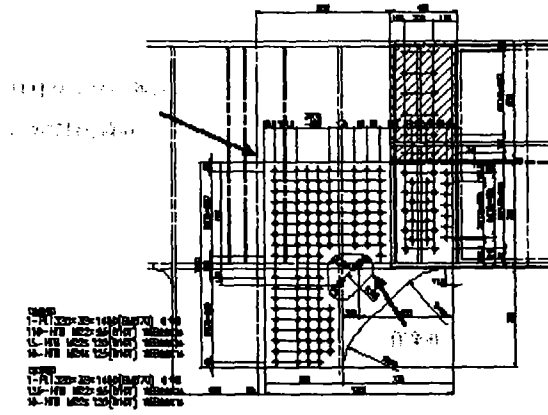
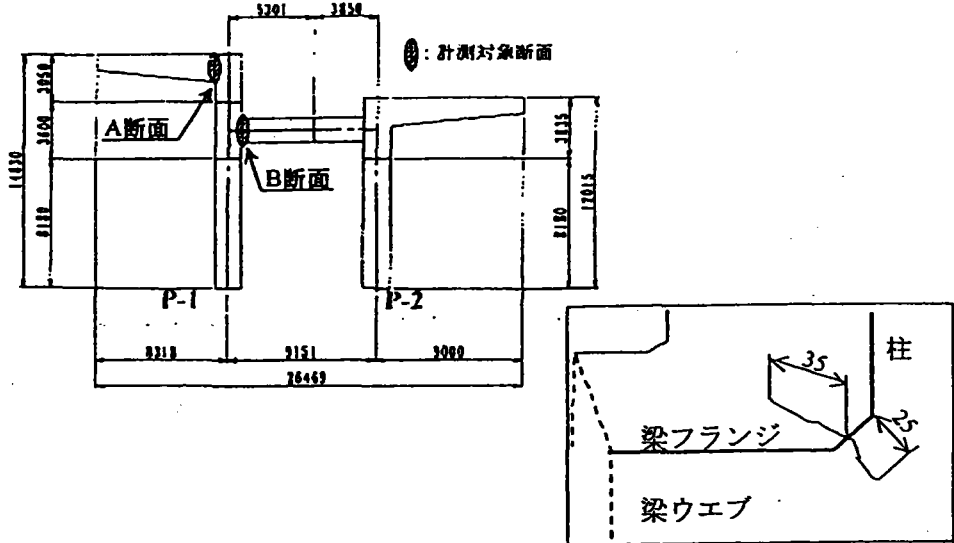
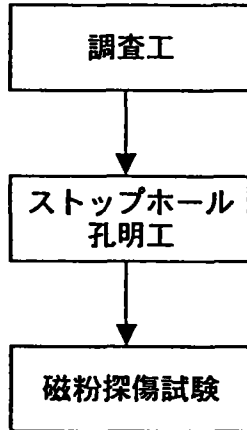


図11 第三板配筋計画図(補修・補強)

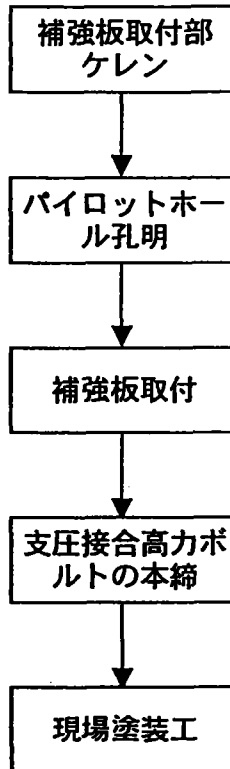
整理番号	027-1
構造形式	鋼製橋脚
着目部位	鋼製橋脚隅角部
損傷部	梁フランジと梁ウェブの溶接部
補修年度	平成14年度
損傷状況	<p>梁フランジと梁ウェブの溶接部より亀裂が生じている。</p> 
損傷原因 (作用外力からの原因)	・ 通行車両の増大、大型化
損傷原因 (設計・製作面からの原因)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 溶接部の発生応力大 ・ K開先溶接溶け込み不良
補修補強目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 活荷重応力の低減 ・ 損傷部の補強
補修補強方法	<ol style="list-style-type: none"> 1). 応急対策 <ul style="list-style-type: none"> ・ 亀裂先端部へのストップホール孔明 2). 恒久対策 (亀裂補修) <ul style="list-style-type: none"> ・ ガウジング後溶接 (補強) ・ ウェブの両側に添接板を支圧接合用高力ボルトで取り付ける。
特記事項	補強後の実交通荷重による応力頻度測定。

施工フロチャート

①. 応急対策



②. 恒久対策



補強工法

応急補強にあたっては、図-12に示すボルトあて板補強法を採用した。

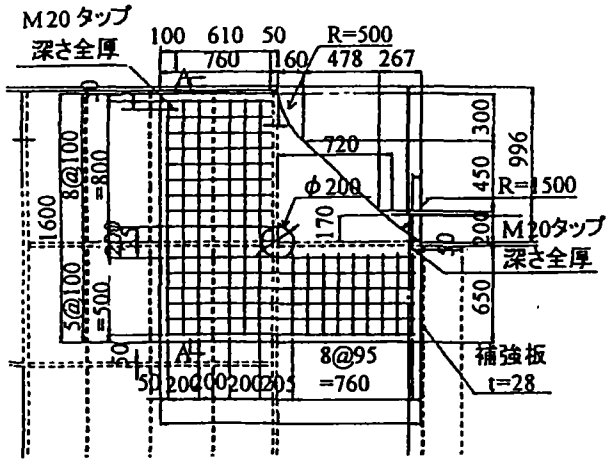
この工法の実施にあたってはあて板端部のボルトにせん断力が集中するため、以下の理由により高強度の接合ボルトとして支圧接合ボルトを使用した。

①摩擦高力ボルトに比較してせん断耐荷力が大きく、端部ボルトへのせん断力の集中に対しても十分な耐荷力を有し、かつボルト本数を最小にすることができる。

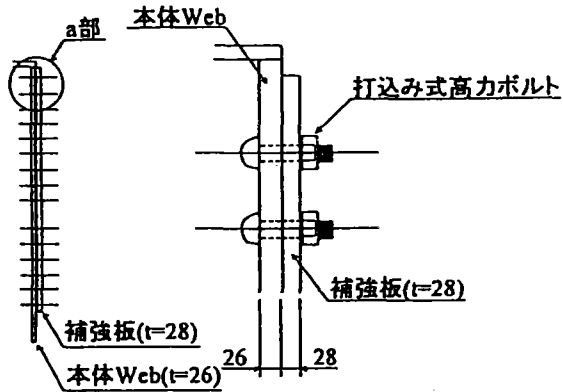
②橋脚ウェブ面の溶接ひずみによる肌すき部においても、支圧接合による強度が期待でき、耐力の低下を招かない。

③死荷重に対して十分な耐力を有する。すなわち、破断には至らない。

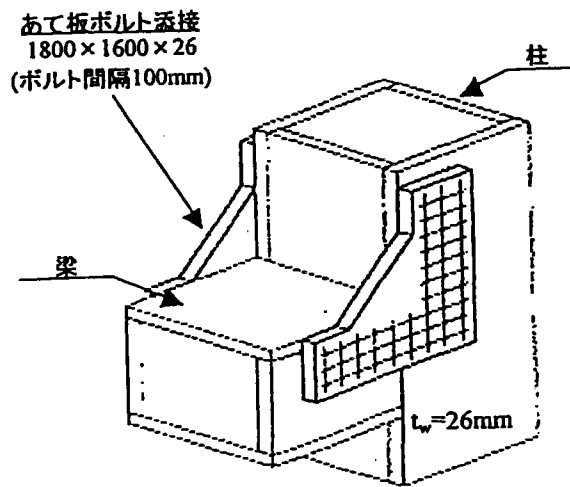
補修・補強図



(a) あて板補強図



(b) A-A 断面詳細 (c) a部詳細
あて板ボルト接合接合部図



ボルトあて板補修案

3. 3. 2 実験・研究報告事例(整理番号 101~126)

整理番号	101-1
構造形式	鋼鉄道橋のプレートガーダー橋及びトラス橋
実験・研究部位	縦桁フランジに取り付くガセット
実験・研究報告年度 (文献名)	平成13年10月土木学会第56回年次学術講演会 (フランジガセット溶接部の溶接欠陥を考慮した疲労強度改善工法の検討)
実験・研究内容	①4mm以上の溶接欠陥が内在する場合のR拡大工法の効果を確認
実験・研究目的	①溶接フランジガセットは、疲労強度がF等級と低く疲労亀裂が発生する可能性が指摘された。 ②このため、当該部位のフィレット半径(R)を20mmから50mmに拡大することで、疲労強度がD等級に向上することを実験で確認。(R拡大工法) ③R拡大工法の場合、4mm以下の溶接欠陥が内在していても、疲労強度が低下しないことを、実験で確認。 ④今回、4mm以上の溶接欠陥が内在している場合の対策工法について、効果を確認。
実験・研究方法	①7mm以上の溶込み不良のある試験体を製作。(3タイプ計24) ②次に、ガセット両端より70mmをガウジング。ガウジング深さは、下面側がフランジ厚の1/2、上面側が同2/3の完全溶込み溶接。 ③疲労試験実施 ・加振波形は正弦波 ・載荷荷重の上限32.6tf、下限2.0tf ・最大応力範囲 90MPa ・繰返し回数 600万回
実験・研究結果	①疲労試験結果 ・24箇所中1箇所のみ560万回で亀裂発生。他は600万回でも発生せず。 ②4mm以上の内在欠陥でも、ガウジング再溶接+R拡大工法で、疲労強度が向上することを確認。
特記事項	

実験フローチャート

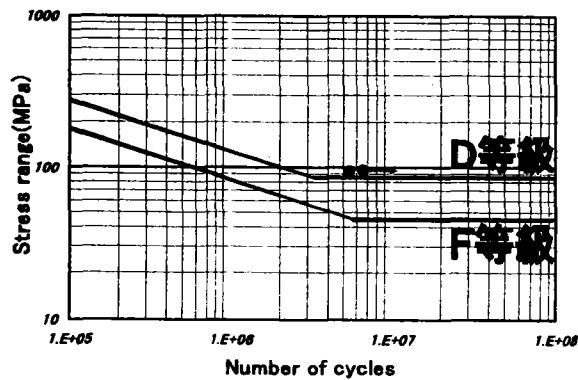
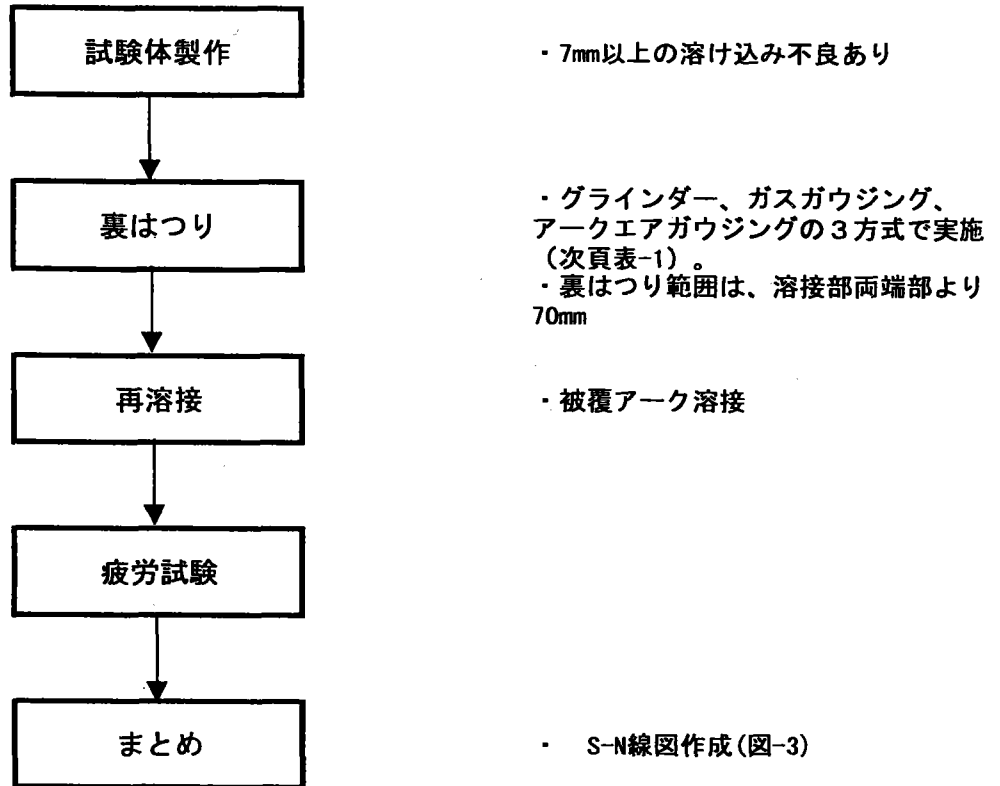


図-3 S-N線図

実験概要図

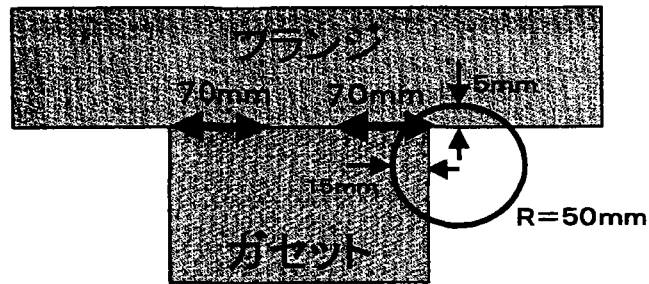


図-1 ガウジング施工要領・R拡大施工概要

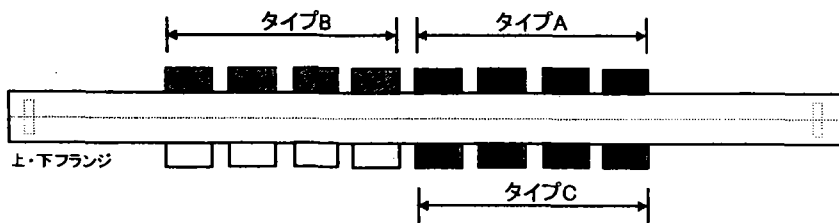
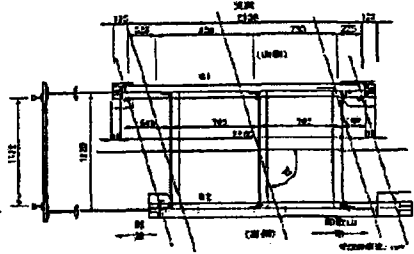
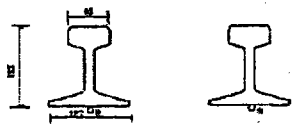
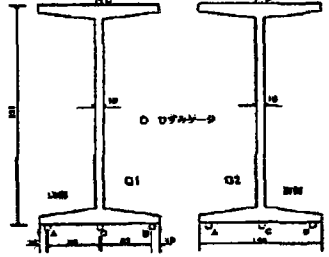


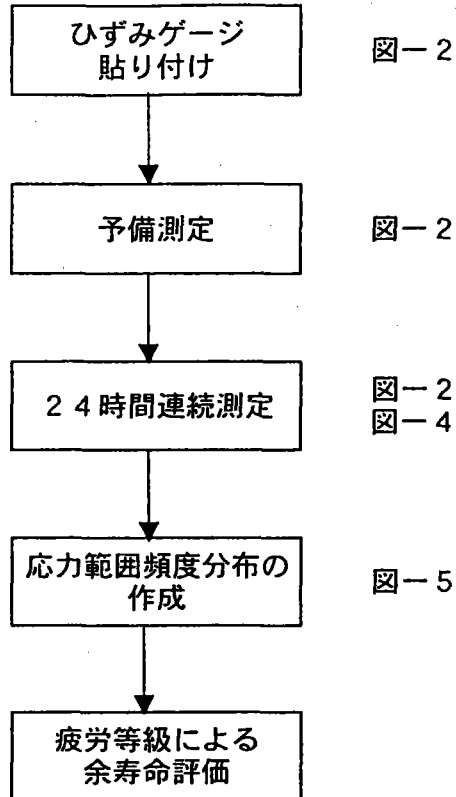
図-2 試験体概要と施工箇所

表-1 施工方法の比較

	ガウジング方法	溶接棒	エンドタブ
タイプA	グラインダー	低水素系高張力鋼用	無
タイプB	ガスガウジング	低水素系軟鋼用	有
タイプC	アークエアーガウジング	低水素系軟鋼用	無

整理番号	102-1
構造形式	鋼Iビーム桁鉄道橋
実験・研究部位	鋼Iビーム桁鉄道橋における橋台上の桁端部
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼Iビーム桁鉄道橋の実働応力と疲労耐久性評価 土木学会第57回 年次学術講演会 1-166(平成14年9月) 南海電気鉄道
実験・研究内容	<p>1900年代初期に架設された鋼Iビーム桁鉄道橋を対象として、実働応力測定とそれに基づく余寿命評価を行った</p>  <p style="text-align: center;">図-1 橋梁平面図</p>
実験・研究目的	実働応力の測定と余寿命評価。
実験・研究方法	<p>実働応力の測定はA, B及びR点を24時間連続測定した。</p>   <p style="text-align: center;">図-2 断面図およびひずみゲージ貼付け位置</p>
実験・研究結果	<p>余寿命評価：この鋼Iビーム桁下フランジは、強度等級B等級に分類される。最大応力範囲は51 MPaと比較的大きいが、B等級の疲労限は155 MPaと更に高いので、この状態であれば理論上無限大の余寿命を持つことになる。</p>
特記事項	

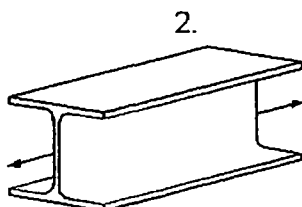
実験フローチャート



損傷部位概要図例

(a) 非溶接継手

継手の種類		強度等級 ($\Delta\sigma f$)
2. 形鋼	(1) 黒皮付き	B (155)
	(2) 黒皮付き, ガス切断縁(あらさ 100s 以下)	B (155)
	(3) 黒皮付き, ガス切断縁(著しい条痕は除去)	C (125)



鋼道路橋の疲労設計指針
(H14.3 P14)

実験概要図

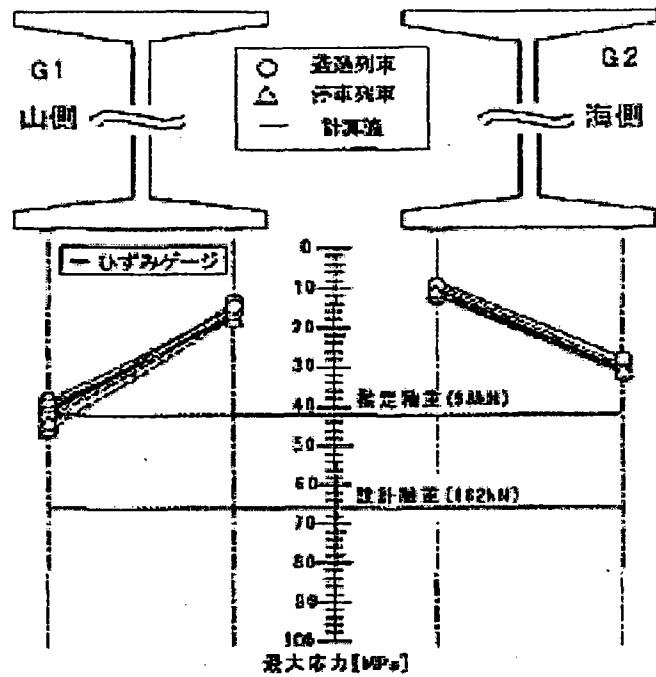


図-4 下フランジ最大応力分布

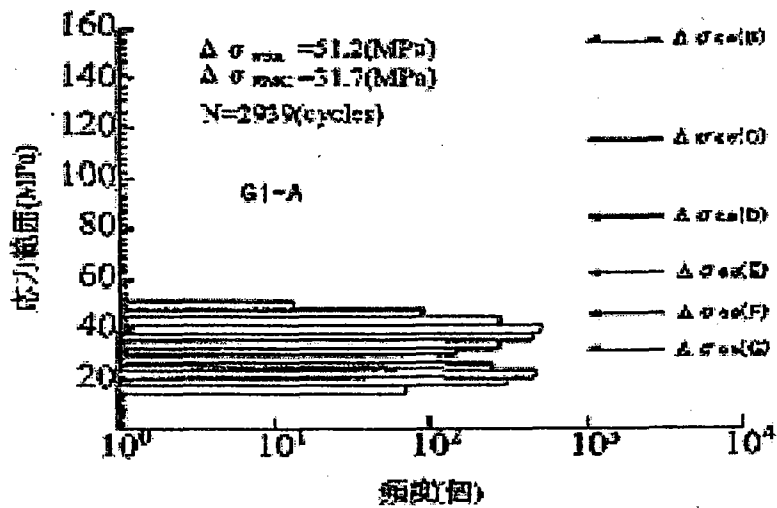
























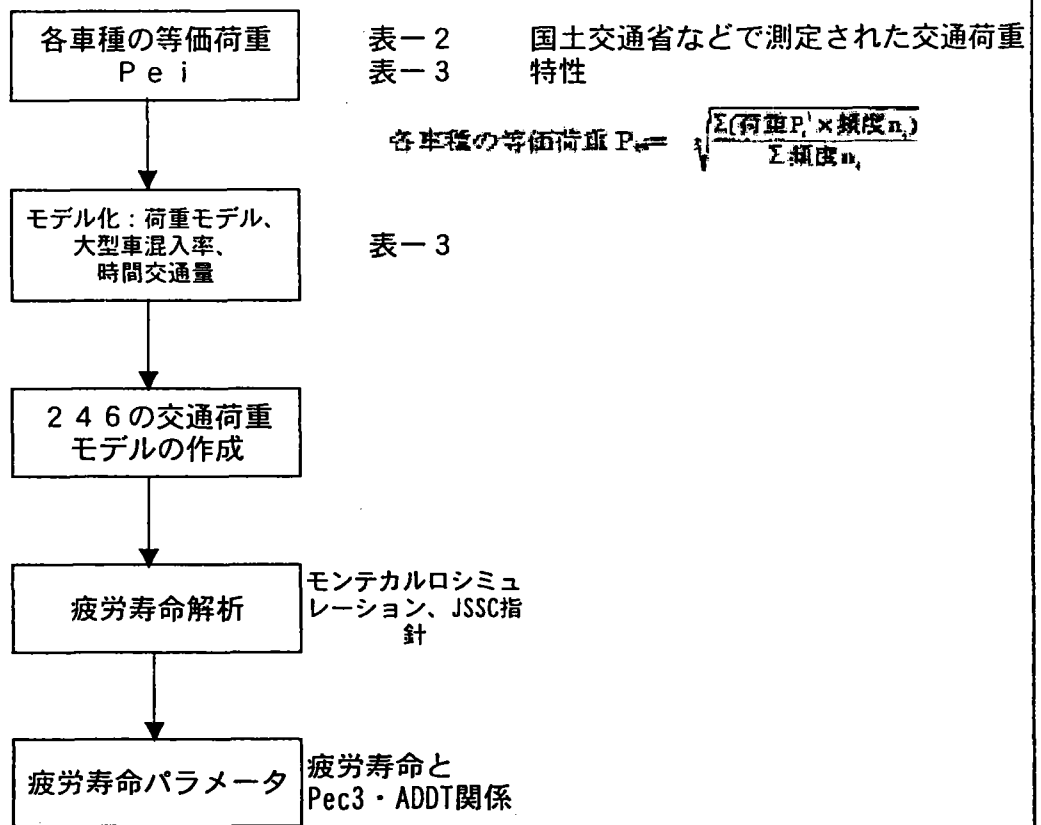


図-5 応力範囲頻度分布図 (24 時間)

整理番号	103-1																
構造形式	鋼 1 桁																
実験・研究部位	交通荷重特性と鋼 1 桁断面合成単純桁の疲労損傷																
実験・研究報告年度 (文献名)	交通荷重特性が鋼道路橋の疲労寿命に及ぼす影響 土木学会第57回 年次学術講演会 1-167 (平成14年9月) 法政大学																
実験・研究内容	交通荷重特性モデル： 8車種の荷重測定結果、大型車混入率、大型車内の構成比、時間交通量モデルを組み合わせた246の交通荷重特性モデルを作成。 疲労寿命解析： 2車線対面交通道路橋の支間中央の主桁下フランジを対象に、自動車荷重列のモンテカルロシミュレーションとJSSC指針を利用して疲労寿命を計算した。																
実験・研究目的	<p style="text-align: center;">表 1 車両分類</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>乗用車 C</th> <th>小型トラック ST</th> <th>中型トラック MT</th> <th>大型トラック LT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>タンク LD</td> <td>タンクローリー TR</td> <td>セミトレーラー TT</td> <td>バス BS</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>各車種の等価荷重 $P_{eq} = \sqrt{\frac{\sum (荷重 P_i \times 頻度 n_i)}{\sum 頻度 n_i}}$</p>	乗用車 C	小型トラック ST	中型トラック MT	大型トラック LT					タンク LD	タンクローリー TR	セミトレーラー TT	バス BS				
乗用車 C	小型トラック ST	中型トラック MT	大型トラック LT														
																	
タンク LD	タンクローリー TR	セミトレーラー TT	バス BS														
																	
実験・研究方法	研究内容に同じ。																
実験・研究結果	<p>解析結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・図1：疲労寿命と時間交通量、図2：疲労寿命と大型車混入率の関係は時間交通量が多くなるにしたがい、また大型車混入率が高くなるにしたがい、疲労寿命は短くなっている。 ・今回の解析で得られた疲労寿命と $P_{ec} 3 \cdot ADTT$ との関係は図4に示されるように、ほぼ一つの関係で与えられる。したがって、道路橋の疲労寿命を整理するパラメータとして、$P_{ec} 3 \cdot ADTT$ は適当であるといえる。 																
特記事項																	

解析フローチャート



損傷部位概要図例

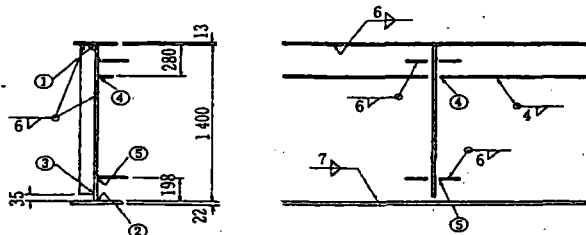


図 D.4 主桁の照査位置

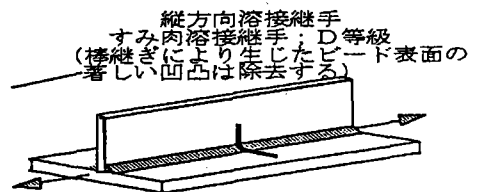


表 D.1 照査位置の疲労強度等級、継手の種類

照査位置	強度等級 (MPa)	継手の種類
フランジ首溶接部 ①, ②	D (100)	縦方向溶接継手—すみ肉溶接継手
垂直スチフナー下端 ③	E (80)	十字溶接継手—荷重非伝達型—非仕上げのすみ肉溶接継手
水平スチフナー端 ④	G (50)	ガゼット溶接継手—面外ガゼット—すみ肉溶接継手 (l>100 mm)
横桁連結ガゼット端 ⑤	G (50)	同上

鋼道路橋の疲労設計指針
日本道路協会
(H14. 3 P65)

鋼構造物の疲労設計指針
・同解説 JSSC
(1993. 4 P107)

実験概要図

表2 車両荷重実験結果 (t)

	C	ST	MT	LT	LD	TR	TT	BS
国道1	3.13	4.72	7.43	14.82	24.58	17.82	33.22	9.90
国道2	3.70	4.86	7.15	15.99	24.45	13.85	26.84	9.19
国道3	1.92	4.26	7.15	17.41	21.56	16.27	30.74	11.66
国道4	1.50	4.01	8.25	18.79	20.55	22.62	28.87	10.93
国道5	2.80	3.71	8.80	23.26	26.83	20.29	32.92	8.28
国道6	2.59	3.96	7.28	21.46	31.32	14.47	44.29	10.32
国道7	2.83	3.79	7.01	24.30	39.67	15.18	35.70	8.66
国道8	3.32	4.58	7.42	18.42	31.72	14.47	31.52	10.93
国道9	3.48	5.19	7.48	17.96	26.62	17.21	23.28	10.33
高速1	3.50	6.23	17.09	16.18	29.06	—	—	—
高速2	3.27	5.97	17.55	17.24	33.40	—	—	—
高速3	3.88	6.10	17.44	16.33	30.47	—	—	—

表3 車両構成比実験結果

	小型車			大型車				大型車混入率	
	C	ST	MT	LT	LD	TR	TT		BS
国道1	39.10	11.90	21.10	11.00	8.50	1.50	5.30	1.60	49.0
国道2	33.80	18.80	18.10	15.50	5.40	1.10	5.10	0.90	46.2
国道3	55.50	11.50	13.30	10.50	2.80	1.70	3.70	1.00	33.0
国道4	57.51	18.21	14.13	10.64	1.74	2.41	2.80	0.37	52.3
国道5	68.04	8.64	6.80	13.42	3.15	3.18	2.21	0.55	31.3
国道6	83.70	3.20	5.10	2.60	1.80	1.50	1.70	0.30	13.0
国道7	74.30	7.04	8.28	3.88	3.55	0.78	1.23	0.62	16.7
国道8	65.12	11.78	10.82	6.16	3.46	1.22	1.13	0.22	23.1
国道9	61.00	5.60	4.90	1.90	1.30	0.60	0.10	0.60	5.4

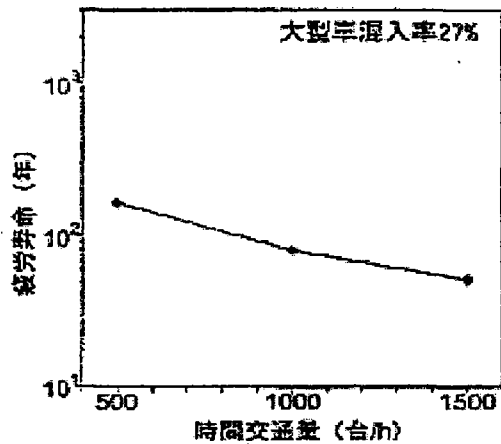


図1 疲労寿命-時間交通量関係

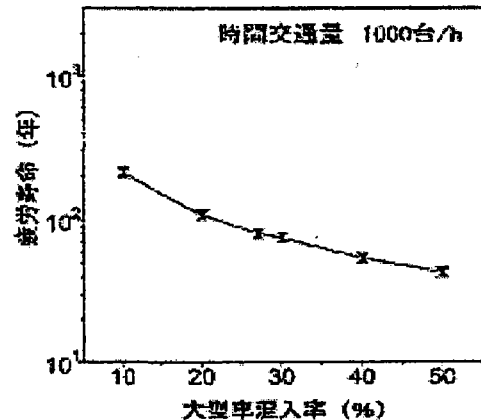


図2 疲労寿命-大型車混入率関係

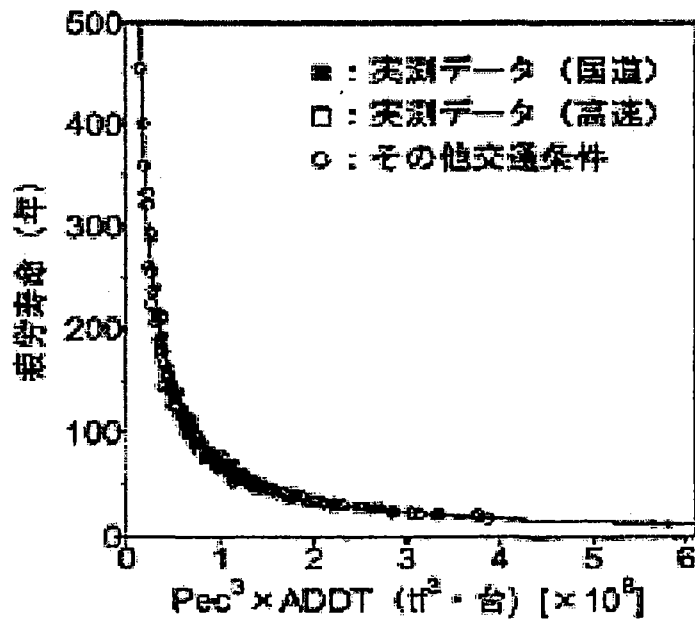
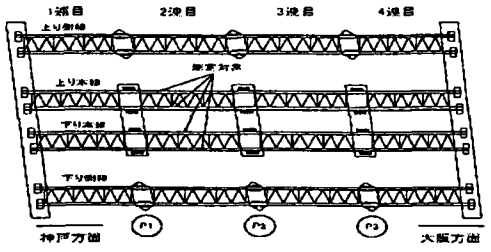
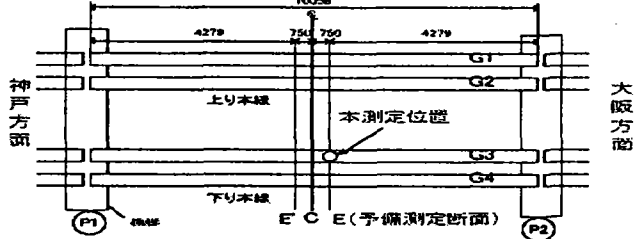
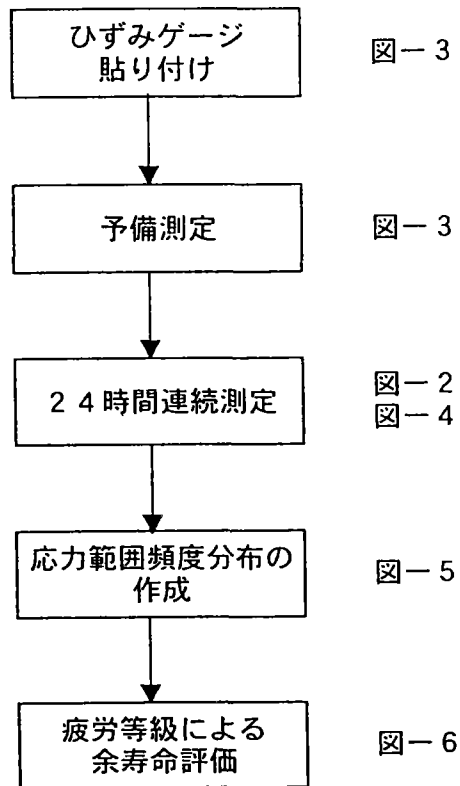


図4 疲労寿命- $Pe^3 \cdot ADTT$ 関係

整理番号	104-1
構造形式	箱桁鉄道橋
実験・研究部位	鋼箱桁鉄道橋
実験・研究報告年度 (文献名)	リベット接合箱桁鉄道橋の実働応力と疲労余寿命 土木学会第57回 年次学術講演会 1-169(平成14年9月) 阪神電気鉄道
実験・研究内容	<p>路線中最高齢の75歳のリベット接合箱桁橋を対象に行った実働応力測 と余寿命評価の報告。</p>  <p>図-1 橋梁全体平面図</p>
実験・研究目的	実働応力の測定と余寿命評価。
実験・研究方法	<p>実働応力の測定 50時間に渡って連続測定 を行った。</p>  <p>図-2 応力測定位置 (本線・2連目)</p>
実験・研究結果	<p>余寿命評価：この鋼箱桁は現行の設計標準では、強度等級C等級に分類される。また既往の研究では経年80年の鉄道リベット継ぎ手部の疲労強度はE等級となる。測定された応力範囲の最大値はE等級の1/3と十分小さいことから、理論上無限大の余寿命を持つことになる。</p>
特記事項	

実験フローチャート



測定部位 概要図

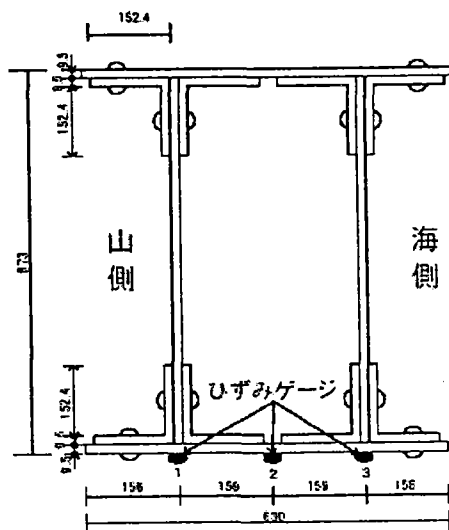


図-3 桁断面図とひずみゲージ貼付位置

実験概要図

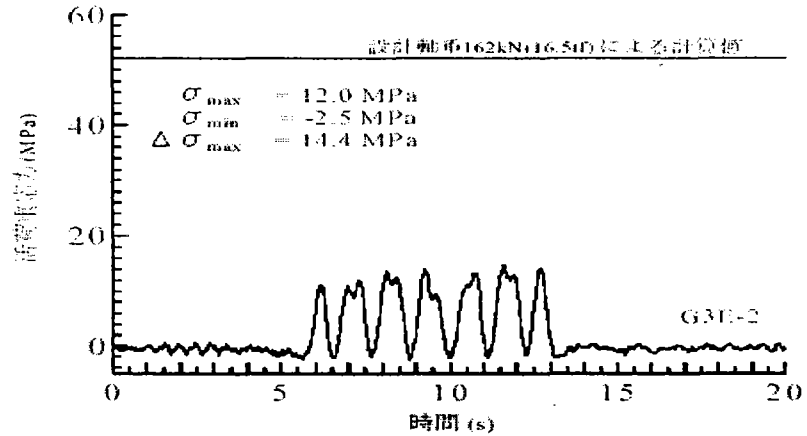


図-4 活荷重応力波形 (G3桁E-2:特急 6両)

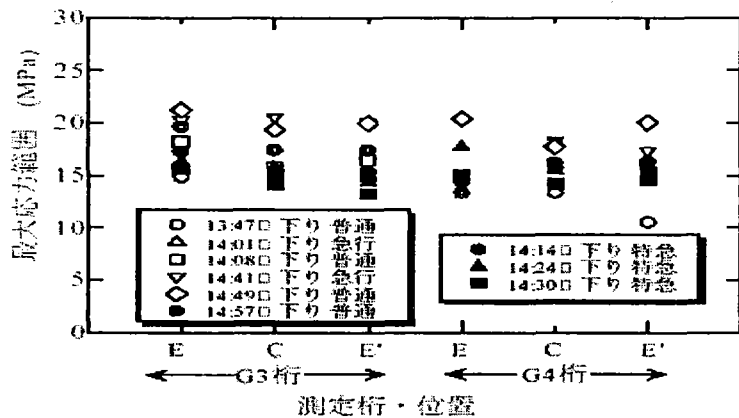


図-5 各測定位置の応力範囲比較 (下フランジ中央)

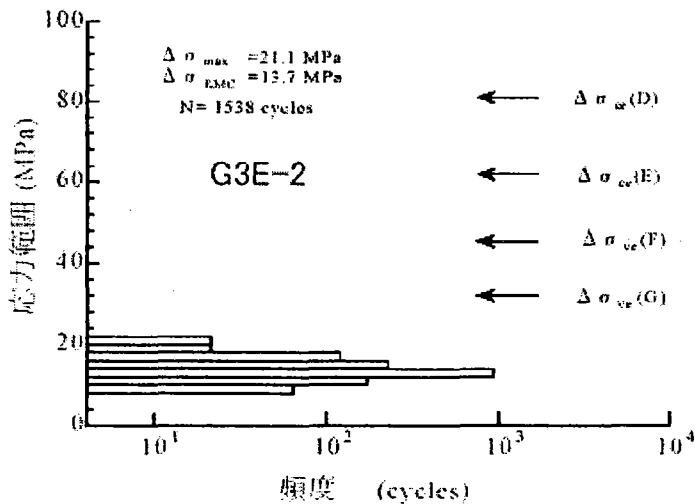
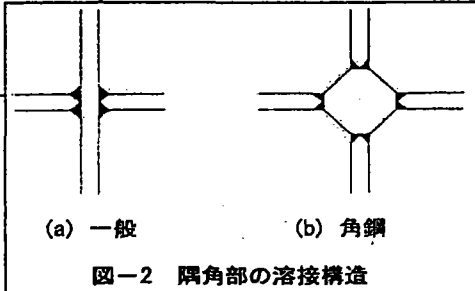
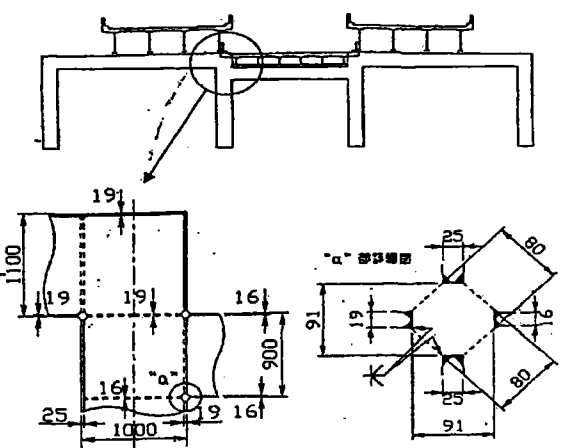
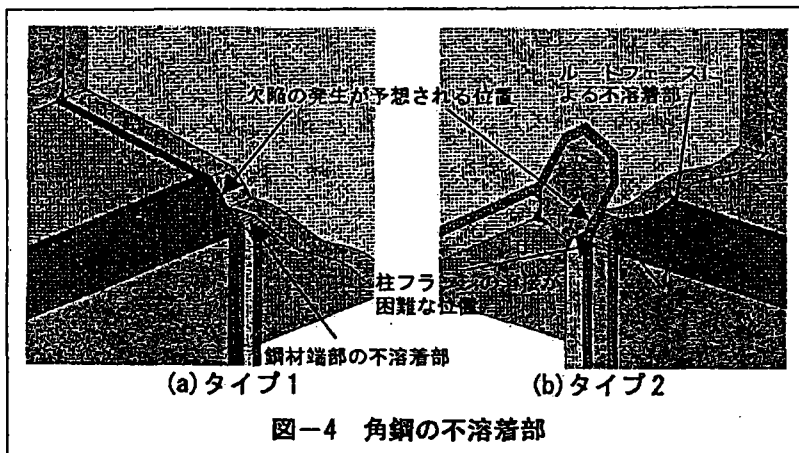
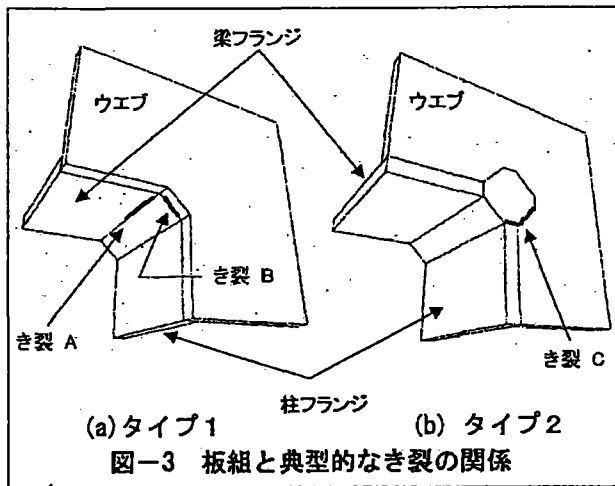


図-6 応力範囲頻度分布図 (G3E-2: 24時間測定)

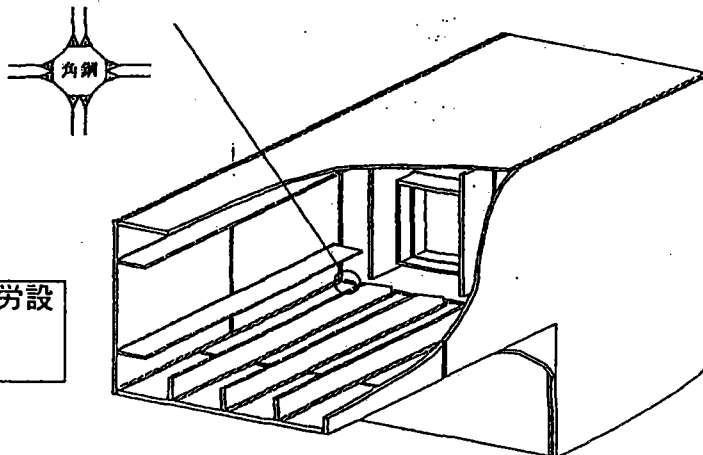
整理番号	105-1
構造形式	鋼製橋脚
実験・研究部位	鋼製橋脚隅角部の角溶接部
実験・研究報告年度 (文献名)	角鋼を用いた鋼橋脚隅角部の疲労損傷事例 土木学会第57回年次学術講演会 1-162(平成14年9月) 首都高速道路公団
実験・研究内容	首都高速道路においては過極な交通荷重作用下にあり、特に建設から約40年を経過した鋼構造物に疲労損傷が多発している。そのうち、鋼橋脚隅角部の疲労損傷の調査事例である。
実験・研究目的	鋼橋隅角部で発見された損傷のうち、角鋼を用いた隅角部における事例とその特徴について報告する。
実験・研究方法	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>図-2 隅角部の溶接構造</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図-1 角鋼を用いた鋼橋脚の例</p> </div> </div> <p>今回対象とする構造は図-1に示すような鋼橋脚の隅角部に一辺80~100mmの角鋼を配置し、その四つ頂点に、梁、柱ワッヅ及びダイヤフラムを溶接することにより直線型隅角部を構成したものである。</p>
実験・研究結果	70-チャート、概要図参照 角鋼を用いた隅角部を有する鋼脚柱では、一般隅角部で知られている疲労き裂(A)に加えて角鋼を用いた板組み特有のき裂(B, C)が認められた。これらき裂発生の原因としては、溶接の不溶着部とせん断遅れによる応力集中部とがほぼ一致していて、疲労上の弱点となっている。
特記事項	

実験概要図



損傷部位概要図

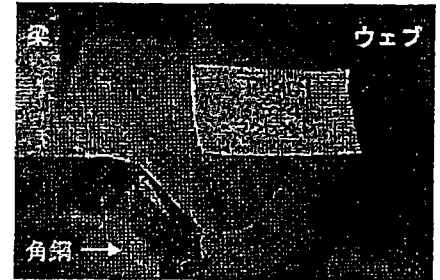
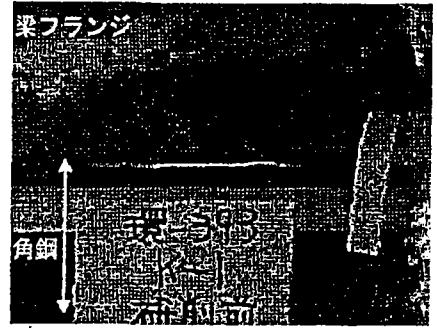
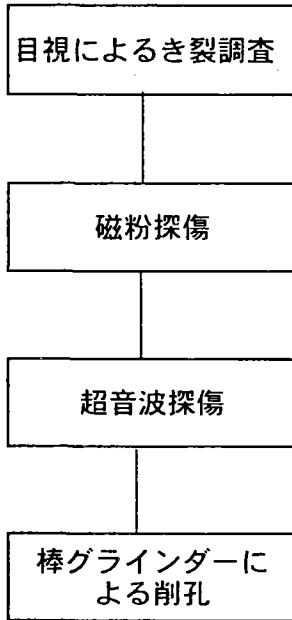
隅角部の構造として下図のような角鋼を用いたディテール
 角鋼ではじん性などの品質確保が困難（圧延鋼材から切出すことが望ましい。）
 拘束度が大きい場合、角鋼内部が割れることがある。
 （溶接後、角鋼においても非破壊検査を行うことが望ましい。）



鋼道路橋の疲労設計指針 P75 (H14. 3)

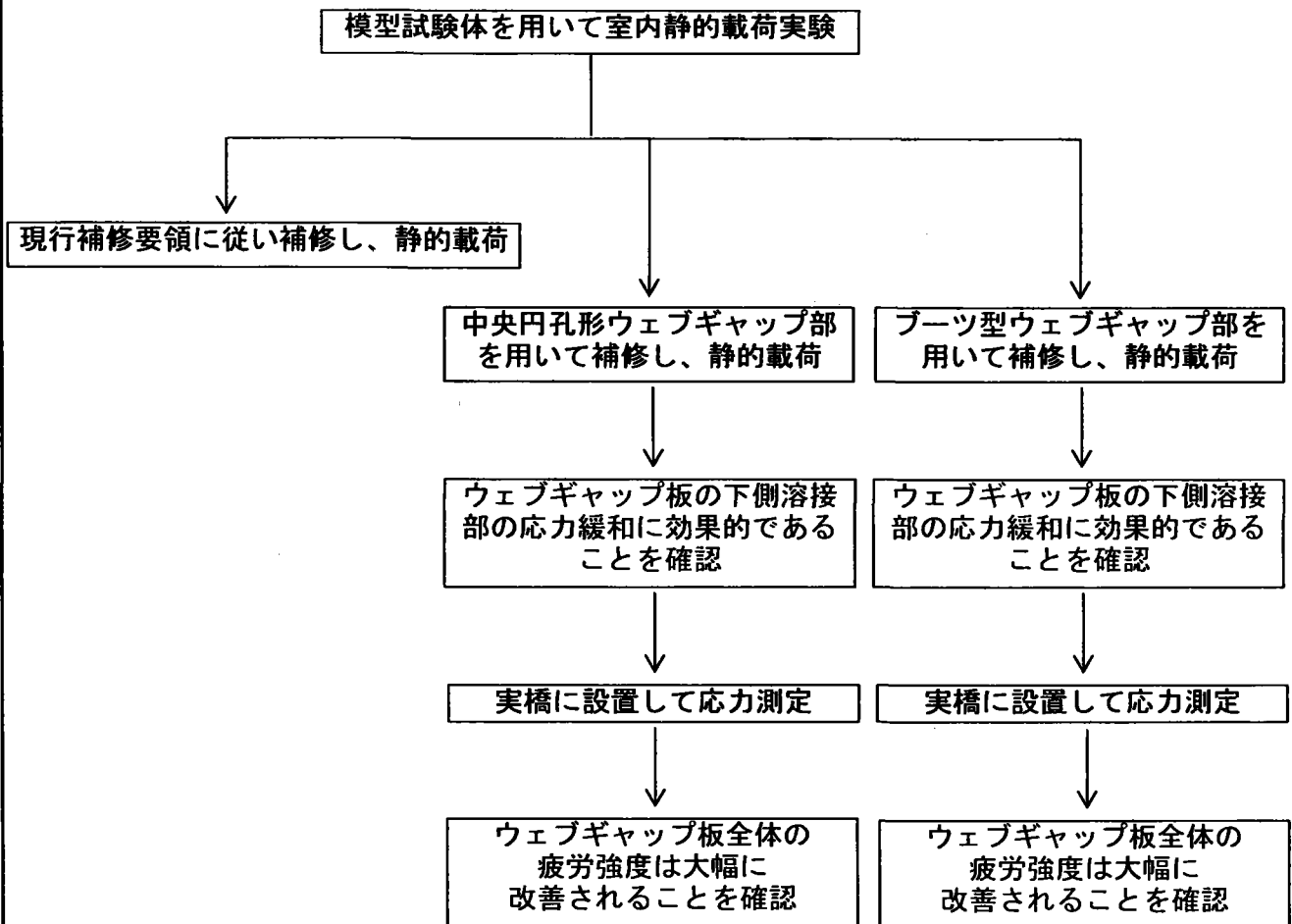
(a) 角形柱を用いた鋼製橋脚の隅角部の例

実験フローチャート

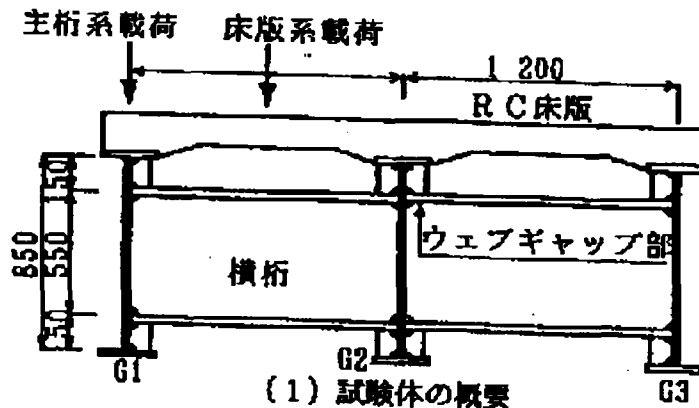


整理番号	106-1
構造形式	I桁
実験・研究部位	ウェブギャップ
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼道路橋の維持管理に関する研究 平成09年5月 鋼I桁橋のウェブギャップ部の補修・補強に関する実験的検討
実験・研究内容	床版作用に加えて主桁作用がウェブギャップ板の応力に及ぼす影響及び補修溶接時の溶接変形が及ぼす影響を検討するため、模型試験体の静的載荷試験を行った。また、現行の補修要領の検証、及び半円孔を明けたウェブギャップ板とブーツ型のウェブギャップ板の実橋における応力緩和効果の検証を行うため、実橋の試験施工を行った。
実験・研究目的	現行の補修要領の検証を行うと共に、及び半円孔を明けたウェブギャップ板とブーツ型のウェブギャップ板の実橋における応力緩和効果の検証を行う。
実験・研究方法	実橋を再現した模型試験体を用いて現行の補修要領の検証を行った。試験体は主桁間隔1200mm、床版厚150mmの3主桁で、実橋とほぼ同じサイズのウェブギャップ板を設置した。まず、この状態で載荷し、次に現行補修要領に従い補修した後、静的載荷試験を行った。同様の供試体を用いて室内試験を実施し、中央円孔形とブーツ型の2種類のウェブギャップについて検討を行い、実橋の実挙動下における応力緩和を確認するため、2種類のウェブギャップ板を実橋に設置して応力測定を行った。
実験・研究結果	①補修溶接時の主桁上フランジの溶接変形により、床版と主桁上フランジが剥離し、ウェブギャップ板の上側溶接部は板厚増加以上に応力が減少するが、下側溶接部には比較的高い応力が発生する。 ②下側溶接部は床版作用による応力に加え、主桁作用による影響が大きい。 ③ウェブギャップ板に半円孔を設置した中央円孔形では、回し溶接部の応力は減少し、ウェブギャップ板全体の疲労強度は大幅に改善される。 ④ウェブギャップ板下側を円弧状としたブーツ型でも、下側回し溶接部の応力は低減する。円弧部の応力は中央円孔形より大きいですが、現行補修要領に比べて改善される。
特記事項	

実験フローチャート



実験概要図



(1) 試験体の概要
図1. 室内実験供試体図

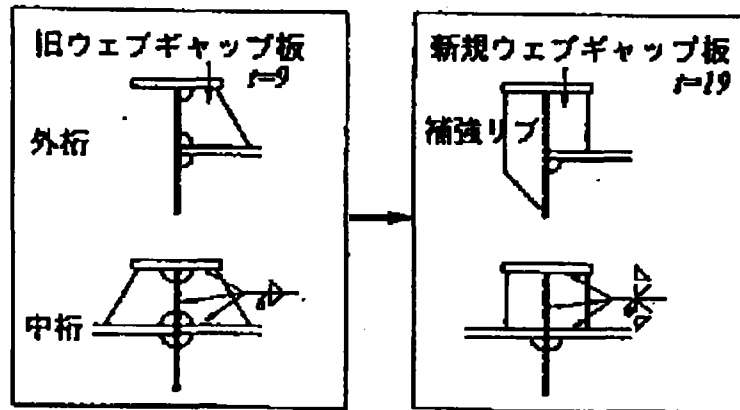
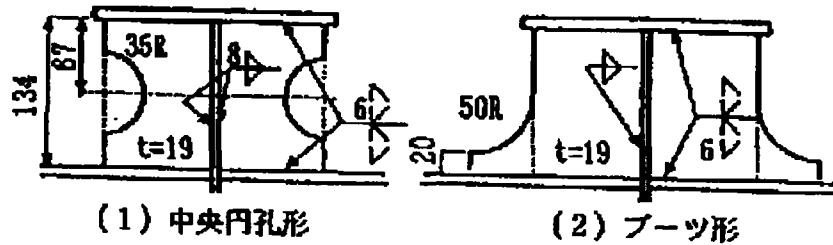


図2. 現行補修要領図



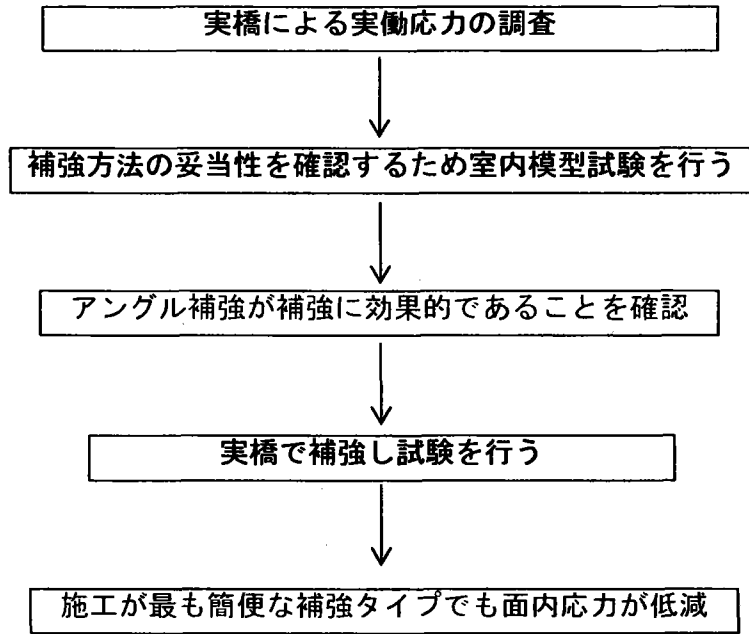
(1) 中央円孔形 (2) ブーツ形
図3. ウェブギャップ部応力緩和

表1. 疲労寿命比較

		静的載荷試験結果		寿命 N	比率	照査等級
		ϵ max	σ max			
補修前	下側溶接部	412	865	9.01E+05	0.1	F
現行補修	下側溶接部	193	405	8.77E+06	1	F
中央円孔	下側溶接部	56	118	3.59E+08	40.9	F
	円孔部	119	250	5.07E+08	57.8	B
ブーツ	下側溶接部	104	218	5.60E+07	6.4	F
	円孔部	318	668	2.66E+07	3	B

整理番号	107-1
構造形式	I桁
実験・研究部位	主桁～横桁取り合い部
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼道路橋の維持管理に関する研究 平成09年5月 鋼I桁橋の主桁ウェブ-横桁下フランジ取合い部構造に関する実験的検討
実験・研究内容	FEMモデルを用いて以下の結果を得ている。 ①ウェブ貫通部の応力は横桁応力の大きさによらず一定。 ②ウェブ貫通部の補強方法はL型部材を用いて添接補強することが効果的。 ③スカラップを設けることで溶接部の応力を緩和可能 以上の解析的検討に対して、実橋応力測定を実施して実働応力の調査を行うとともに、補強方法の妥当性を室内試験により確認した。
実験・研究目的	ウェブ貫通部に関する解析的検討の実橋による検証と、解析により検討した補強方法の妥当性の室内試験による確認。
実験・研究方法	実働応力を調査するため、実橋において応力測定を実施。 室内模型試験については、一般的な構造の供試体で、中桁取合部、外桁取合部の構造を変えた6体とし、この供試体に対して静的载荷を行い、発生応力を測定し比較検討を行う。
実験・研究結果	①中桁取合部及び外桁取合部には、細部構造によらず主桁下フランジ応力の1.5倍程度の面内応力が発生。 ②横桁に作用する曲げモーメントの正負により、中桁取合部の横桁下フランジの上下に位置する回し溶接の応力が変化する。 ③外桁取付部では、主桁ウェブの回し溶接止端に主桁応力の2倍程度の応力が発生。 ④外桁取付部の横桁下フランジ溶接部の主桁ウェブ側止端応力は、横桁下フランジ幅に依存しない。 ⑤ウェブ貫通部を補強する場合、アングルを高力ボルトで添接する方法が効果的。
特記事項	

実験フローチャート



実験概要図

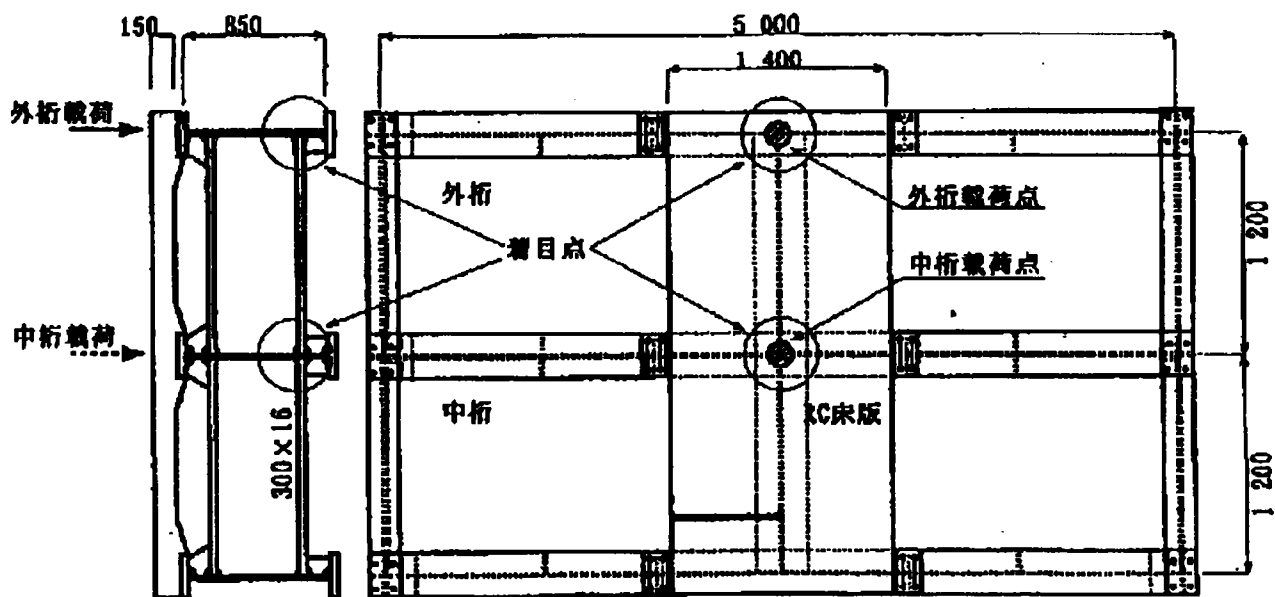


図1. 室内模型供試体概要

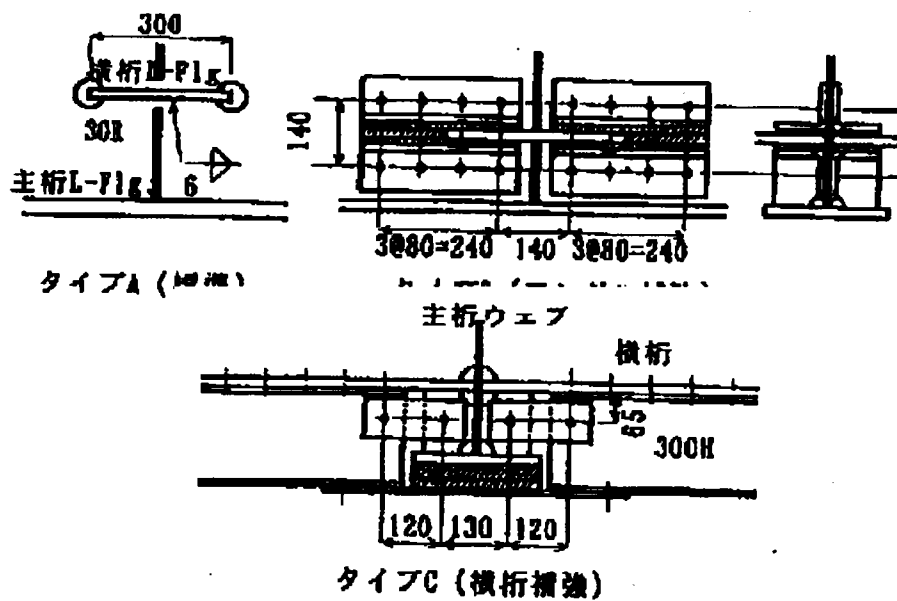


図2. 中桁取合部補強方法

整理番号	108-1
構造形式	I桁
実験・研究部位	横桁下フランジ貫通部
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼道路橋の維持管理に関する研究 平成09年5月 既設鋼I桁橋の横桁下フランジ貫通部の添接補強効果に関する室内実験
実験・研究内容	主桁支間中央に位置する横桁フランジ貫通部の補強方法を確立しておくことが重要である。そこで、横桁フランジ貫通部の縮尺モデルの供試体を作成し、各種添接補強方法について室内静的載荷試験を実施した。
実験・研究目的	最も重要度が高い部位である主桁支間中央に位置する横桁フランジ貫通部の補強方法を確立しておくことが重要である。そこで、各種添接補強方法について検討する。
実験・研究方法	供試体は中央に分配横桁を有する床版を有する3主桁として静的載荷。横桁フランジ貫通部の構造は、主桁ウェブにスリットを設けて横桁フランジを貫通させ、全周溶接した構造(全周溶接構造)と、横桁フランジ材縁に半径30mmのR欠きを設けた構造(R欠き構造)の2種類。補強方法は現場施工性を考慮して次の3種類の添接補強とした。 ①主桁ウェブのみを添接するWeb補強 ②主桁ウェブと横桁フランジをL型材により添接するL型補強 ③主桁下フランジを添接するFlg補強
実験・研究結果	添接補強前の静的載荷試験の結果では、全周溶接構造・R欠き構造共に横桁下フランジ側には主桁応力の約1.5倍の面内応力が発生した。添接補強前後の面内力に着目すると、L型補強が応力低減に有効であると言える。
特記事項	

実験フローチャート

床版を有する3主桁とした供試体を作成。
横桁フランジ貫通部については全周溶接構造・R欠き構造の2種類

補強前に静的载荷試験を実施し、応力測定

横桁下フランジには主桁の1.5倍の応力が発生することを確認

Web補強・L型補強・Flg補強の3種類の補強を行う

補強後静的载荷試験を実施し、応力変化率を比較

L型補強が応力低減に有効であることを確認

実験概要図

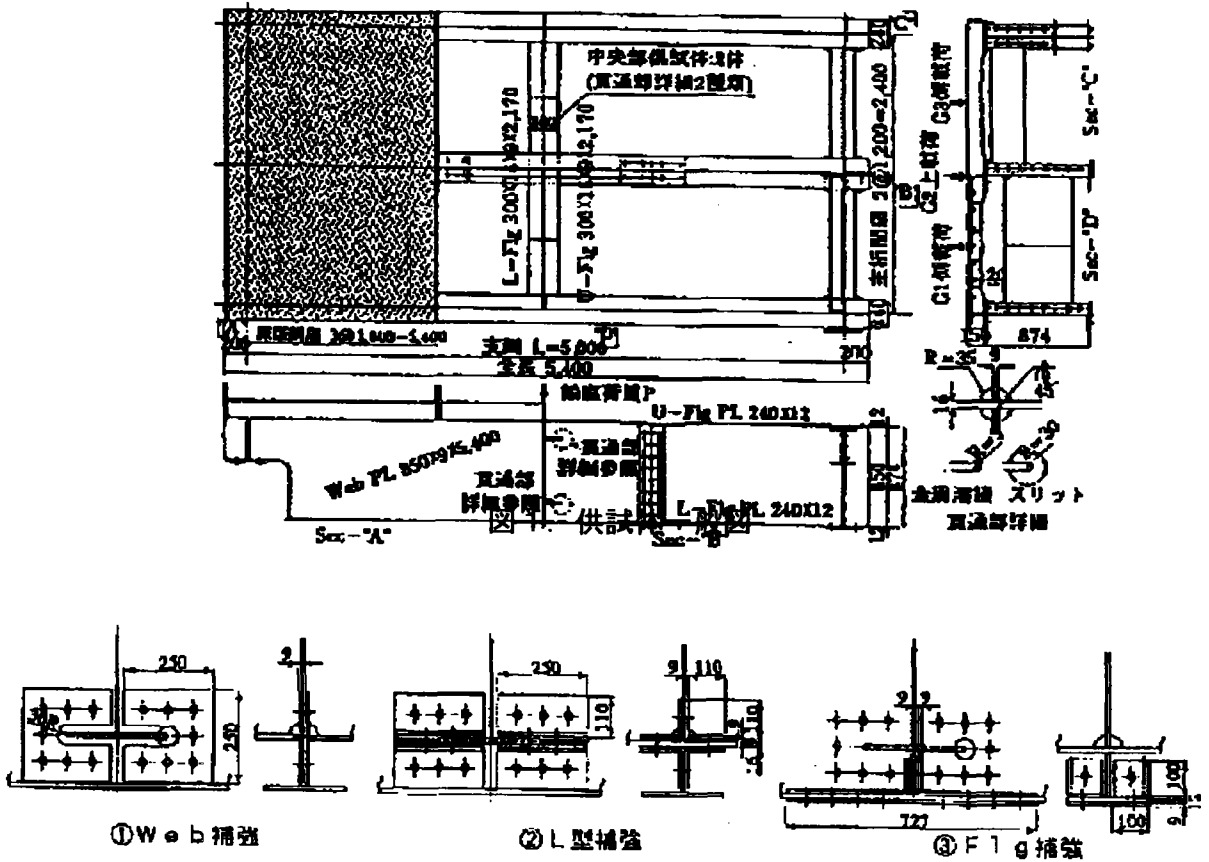


図2. 添接補強図

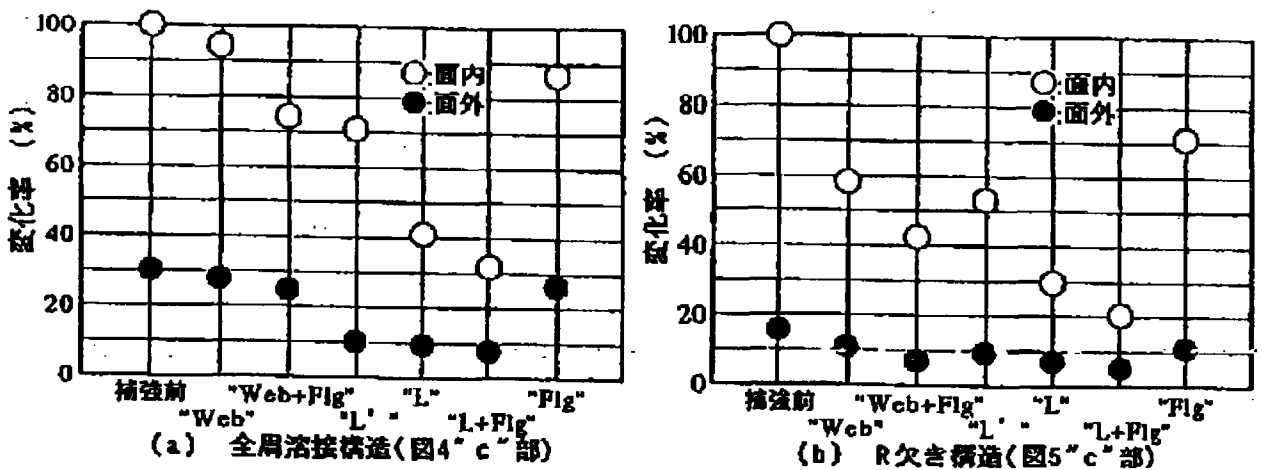
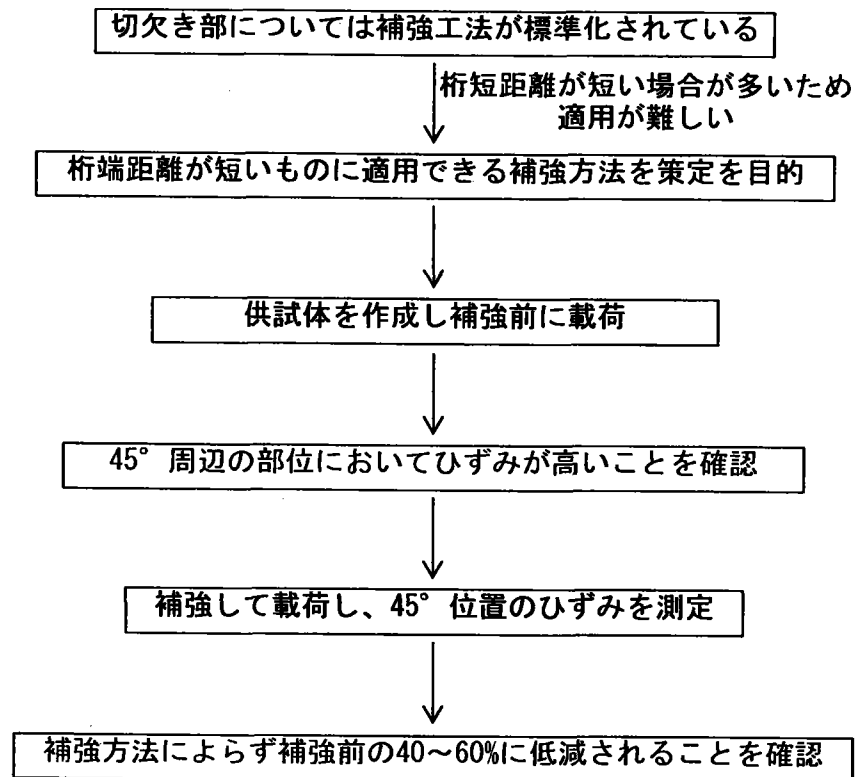


図3. 補強効果の比較

整理番号	109-1
構造形式	I桁
実験・研究部位	切欠き部
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼道路橋の維持管理に関する研究 平成09年5月 桁端距離が短い鋼I桁切欠き部の添接補強方法に関する室内実験
実験・研究内容	桁端切り欠き部の疲労損傷については、水平フランジを主桁ウェブを高力ボルトにより添接補強する工法が標準化されているが、桁端距離が短い場合が多いため、適用が難しいのが現状である。そこで、桁端距離が短い鋼I桁の桁端切り欠き部に適用することを目的とした添接補強方法策定のため室内静的実験を行った。
実験・研究目的	桁端距離が短い鋼I桁の桁端切り欠き部に適用することを目的とした添接補強方法策定する。
実験・研究方法	切欠き部の桁高H=350, 550mm、切欠き半径R=90mmとした供試体を作成し、ウェブ補強・水平フランジ補強・鉛直フランジ補強の補強を組み合わせた様々な補強ケースについて実験を行った。実験は支間中央に荷重を載荷し、切欠き部のひずみを測定。
実験・研究結果	①部位によってはウェブに高い面外曲げが発生している。 ②補強方法によらず、ひずみは補強前の40~60%に低減される。 ③補強板の剛性を増加させることにより、面内力が低下する。 ④高力ボルトの締め付け順序による補強効果の差はあまり見られない。
特記事項	

実験フローチャート



実験概要図

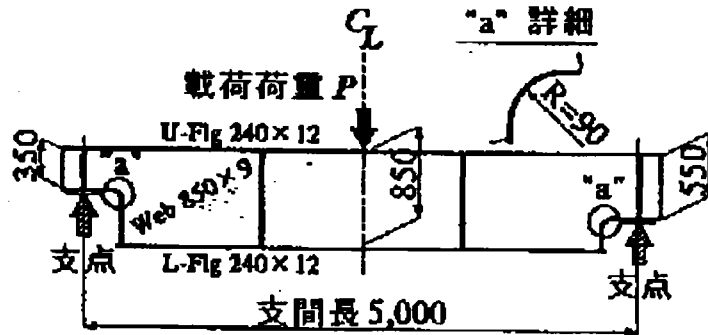


図1. 供試体一般図

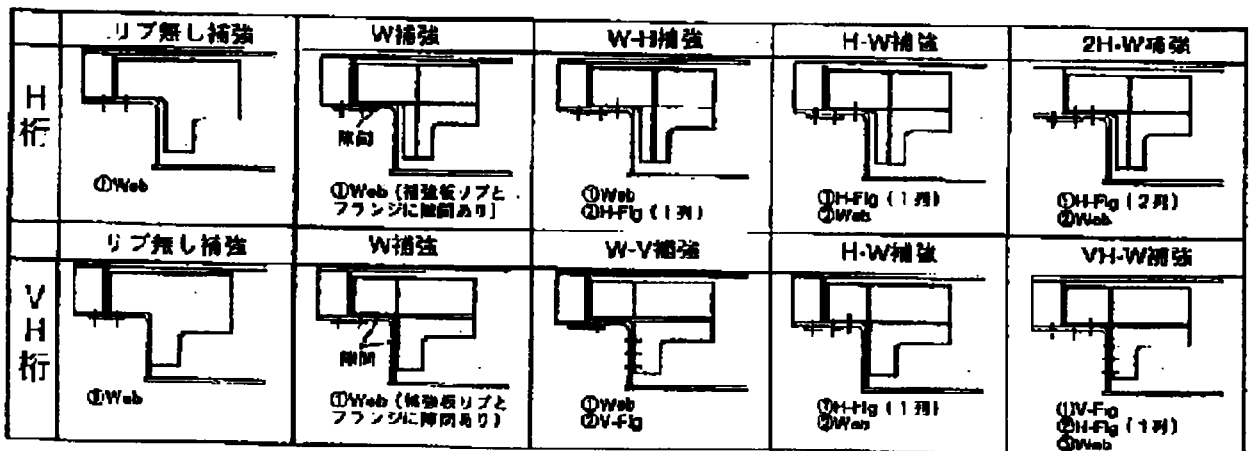


図2. 補強ケース模式図

(○数字は高力ボルトの締め付け順序を示す)

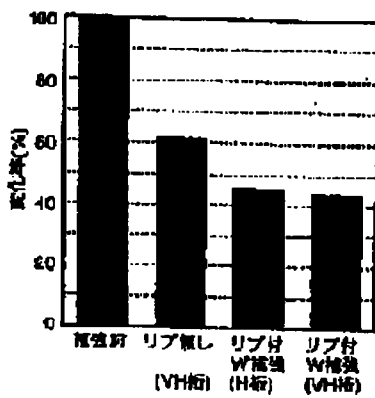


図3. 補強板剛性によるひずみ変化率の比較

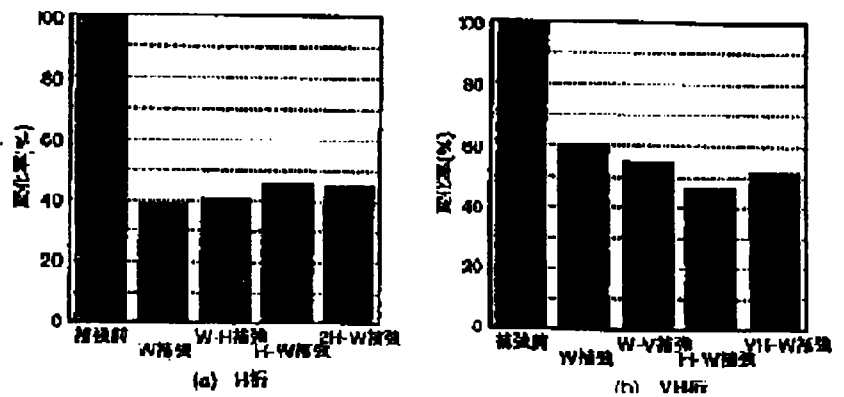
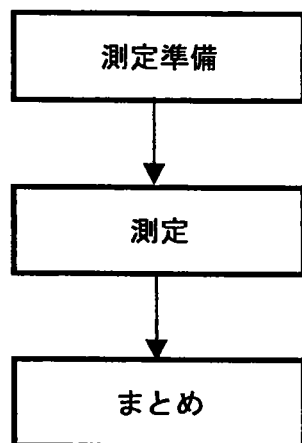


図4. 補強方法によるひずみ変化率の比較

整理番号	110-1
構造形式	橋梁に設置されている照明柱、標識柱、情報板支持柱等の付属構造物
実験・研究部位	付属構造物の柱基部
実験・研究報告年度 (文献名)	平成13年10月土木学会第56回年次学術講演会 (都市内高架橋に配置された付属構造物の振動と疲労に関する研究)
実験・研究内容	①付属構造物の振動と疲労耐久性について ②橋梁構造の改変が付属構造物の疲労耐久性に及ぼす影響について
実験・研究目的	①都市内高架橋に設置された付属構造物において、交通による振動が原因と見られる疲労損傷が発生。 ②振動測定、応力測定、応力頻度測定を行い、供用下での付属構造物の疲労耐久性を検証。
実験・研究方法	・都市内のプレートガーダー橋に設置（コンクリート壁高欄天端にアンカーボルトで定着）されている付属構造物について、以下を実施。 ①構造物本体及び基部付近の橋梁部に加速度計を設置して、振動加速度を計測。 ②基部リブプレート上端部にひずみゲージを設置し、車両走行時に生じる基部のひずみを測定。
実験・研究結果	①付属構造物の固有振動数が橋梁の卓越振動数の中心に近い物ほど共振の度合いが強く、繰返し荷重が大きくなり、疲労損傷度が大きいと考えられる。 ②橋梁構造の改変による付属構造物によつてはへの影響は、振動ほど顕著ではないが構造物によっては疲労損傷度が大きくなるものがあり、改変する場合は注意が必要である。
特記事項	

・以下の4段階で供用中の付属構造物に対して測定

- ①鋼支承+単純桁
- ②ゴム支承化後
- ③3径間連続化後
- ④門型柱交換後（新型標識柱）



・構造物基部に1軸ひずみゲージ取付け
 ・構造物と構造物基部付近の橋梁部に加速度計を設置

・振動測定
 ・応力測定
 ・応力頻度測定

・振動モードの把握
 ・疲労損傷度の算出

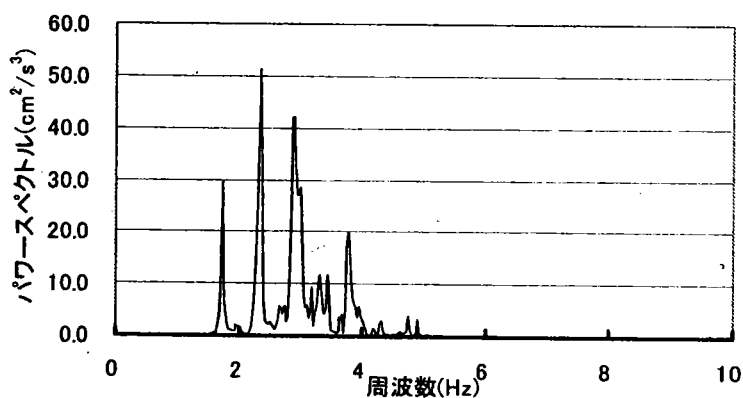


図5 基部のパワースペクトルの例（荷重車走行時）

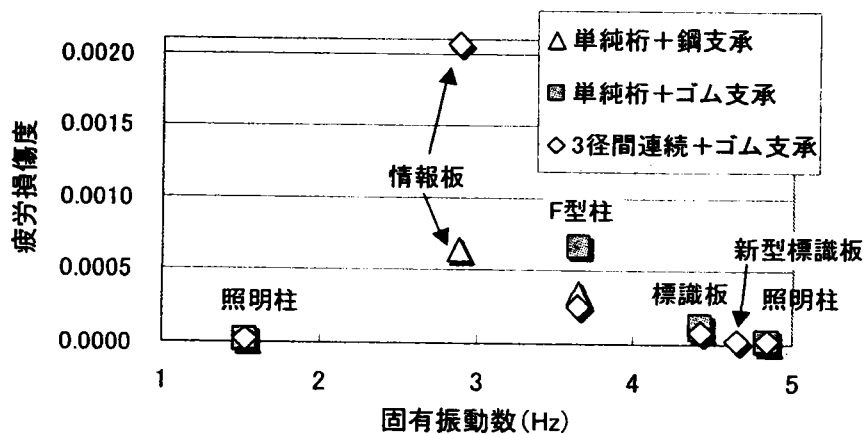


図6 疲労寿命と固有振動数

実験概要図

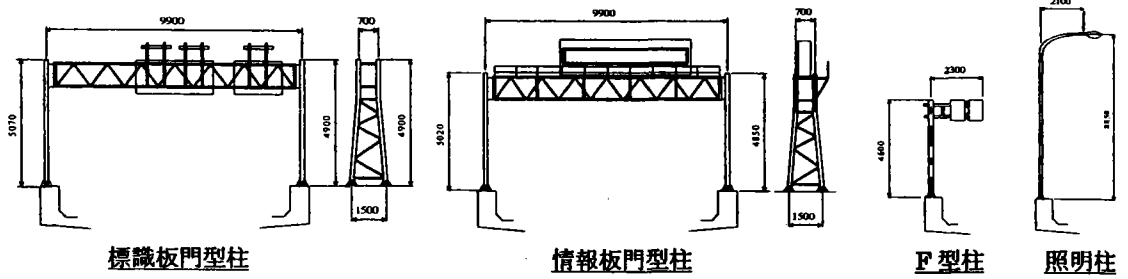


図1 測定対象とした付属構造物

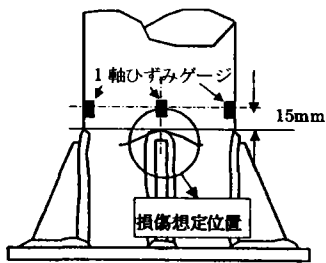


図2 基部のひずみゲージ

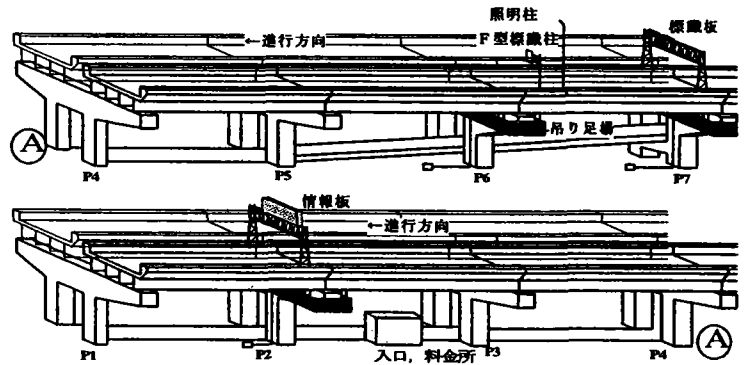
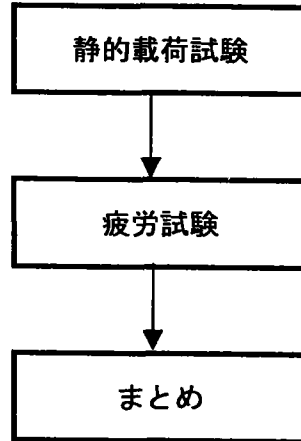


図3 付属構造物の橋梁上の位置

整理番号	111-1
構造形式	橋梁に設置されている照明柱、標識柱等の付属構造物（鋼管構造）
実験・研究部位	付属構造物の柱基部
実験・研究報告年度 （文献名）	平成13年10月土木学会第56回年次学術講演会 （鋼管照明柱等の基部耐疲労性に関する研究）
実験・研究内容	①新規提案のU字型リブ構造における、基部の曲げ疲労特性について確認
実験・研究目的	①鋼管を主構造とする照明柱や標識柱で、振動による柱基部付近の疲労破壊現象による、折損や亀裂が発生。 ②柱の振動は、以下によるものと推定。 ・繰返し交通荷重による高架橋の振動 ・風による柱周りのカルマン渦に伴う、柱の振動・パフェッティングによる振動 ③現設計では、上記現象を踏まえた照合をしていない。 ④このような状況の中、基部の疲労性能の優れたリブ構造を開発し疲労強度を評価することを目的に実施。
実験・研究方法	①写真-1に示す繰返し載荷装置を用いて、柱基部から1mの高さ位置に繰返し水平力を与えて、基部構造の曲げ疲労特性を確認。 ②以下の試験を実施。 ・静的載荷試験により、曲げによる応力集中や鋼管表面の歪の観察 ・疲労試験により、S-N曲線を作成。 ③上記につき、従来の三角リブ構造についても実施し、比較した。
実験・研究結果	①Uリブ構造では上端位置での残留ひずみは全く発生していない。 ②溶接止端部の応力集中係数はUリブ構造では1.5以下であり、三角リブ構造の3より小さい。 ③JSSC規定の疲労特性は、三角リブ構造はG等級程度であるが、Uリブ構造はCの上～B等級をクリア。 ④これらから、Uリブ構造が優れた疲労性能を有することを確認した。
特記事項	

実験フローチャート



・ 曲げによる応力集中、鋼管表面の歪を
観察

・ ポール基部より1m高さの位置に、繰返
し水平力を与える

・ 試験結果の概要(表-1)
・ S-N曲線作成(図-2)

表-1 基部曲げ疲労試験結果

基部構造	鋼管板厚 (mm)	ポールの種類	公称応力振幅 (Mpa)	疲労寿命 (回)	破壊形態	
U字型リブ	4.5	スピニング	150	1,936,776	リブ下部から亀裂発生	
			164	3,500,000以上	破壊せず	
			200	818,726	リブ上側溶接止端部に亀裂発生	
	6.0		200	1,984,240	リブ下部から亀裂発生	
			150	2,815,010 以上	破壊せず	
			200	3,663,800 以上	破壊せず	
			250	1,513,589	リブ上側溶接止端部に亀裂発生	
三角リブ	4.5	板曲げ	115	268,396	リブ回し止端部に亀裂発生	
			164	53,679	リブ回し止端部に亀裂発生	
			115	746,691	リブ回し止端部に亀裂発生	
	6.0		スピニング	164	66,330	リブ回し止端部に亀裂発生
				123	408,774	リブ回し止端部に亀裂発生
				150	76,501	リブ回し止端部に亀裂発生
				150	76,501	リブ回し止端部に亀裂発生

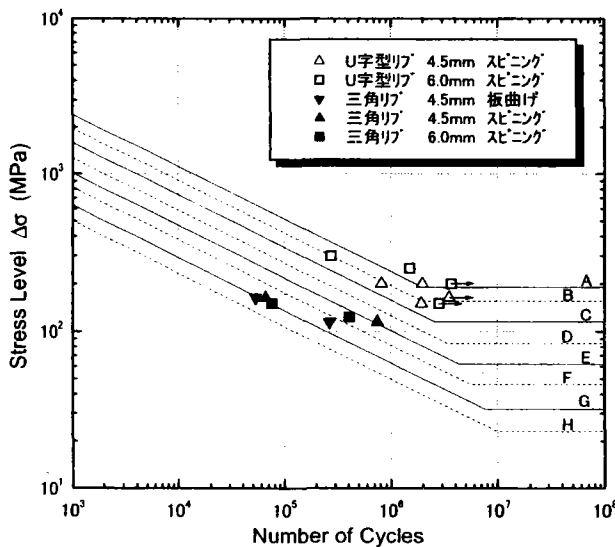


図-2 三角リブとU字型リブ構造の疲労寿命

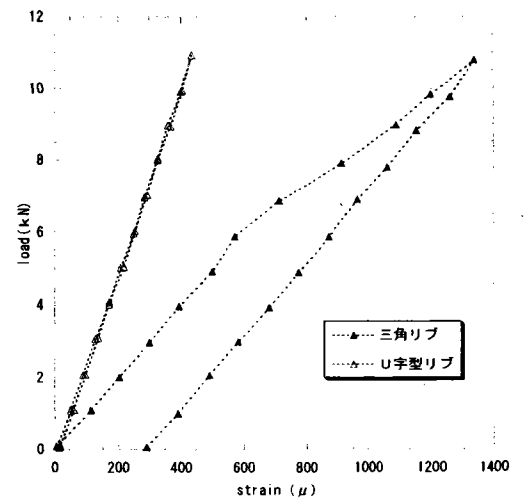


図-3 リブ上端付近の鋼管表面歪の推移

実験概要図

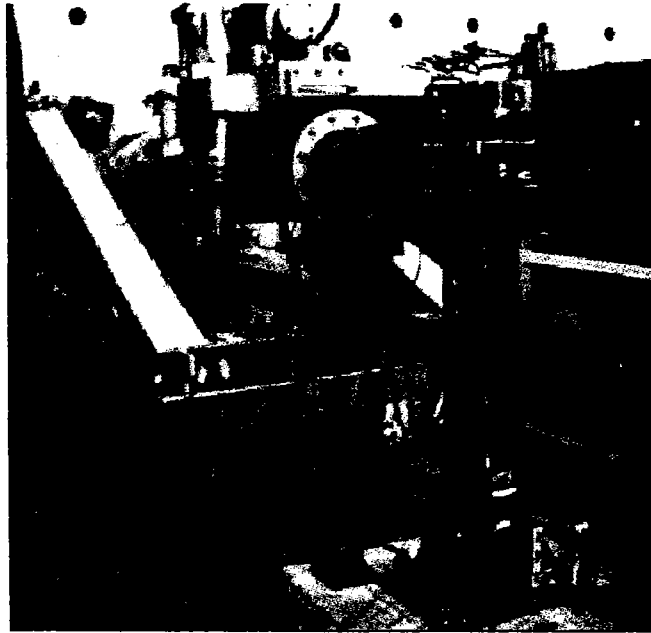
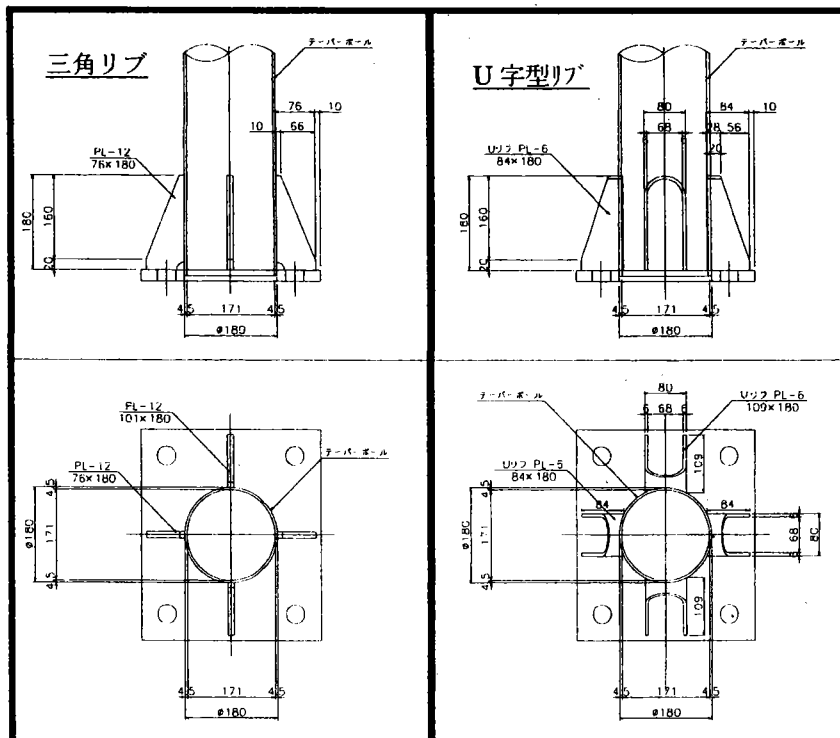


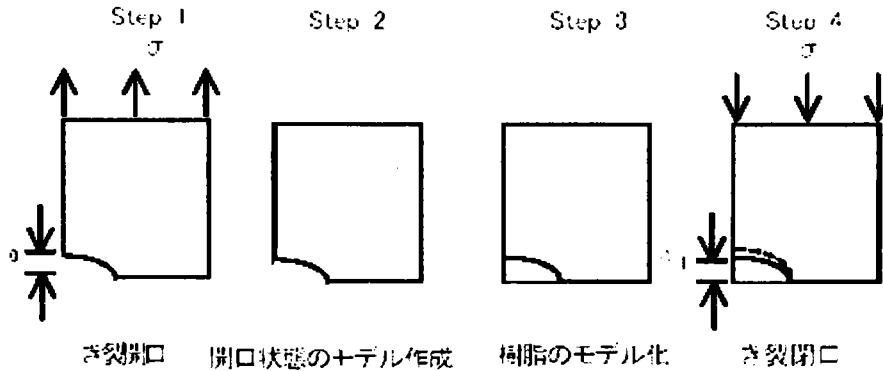
写真-1 ポール基部疲労試験状況



整理番号	112-1
構造形式	樹脂注入による鋼材の疲労亀裂進展抑制に関する解析的・実験的研究
実験・研究部位	中央の円孔にエポキシ樹脂を注入した鋼板の疲労亀裂進展効果
実験・研究報告年度 (文献名)	第57回(平成14年度)土木学会年次学術講演会に発表 「樹脂注入による疲労亀裂進展抑制に関する解析的研究」 「樹脂注入による鋼材の疲労亀裂進展抑制に関する実験的研究」
実験・研究内容	中央に円孔を有する鋼板に対し、円孔にエポキシ樹脂を注入することによる、疲労亀裂の進展抑制効果を解析と実験により検討した。
実験・研究目的	鋼橋に発生した疲労亀裂の応急処置的な進展抑制方法として、一般的にストップホールが用いられている。しかし、この方法はドリルを用いて亀裂先端に穴をあけるため、部材が複雑に組み合わさった場所や溶接線上の亀裂に対しては適用できない。そこで、より適用範囲の広い応急処置方法として、亀裂に樹脂を注入することによる疲労亀裂進展抑制方法を提案した。
実験・研究方法	解析方法 亀裂開口挙動を有限要素法で再現し、樹脂注入による疲労亀裂進展抑制の効果を検討した。また、亀裂の途中までしか樹脂が浸透しない場合を考え、樹脂の浸透範囲を考慮した有限要素解析を行った。 実験方法 鋼板の中央部に円孔を有する供試体を作製し、円孔に樹脂を注入して疲労試験を実施した。
実験・研究結果	解析結果 1) 樹脂注入による疲労亀裂進展抑制効果は、樹脂の弾性係数が2500MPa以上であれば十分な効果が期待できる。 2) 樹脂が亀裂の途中までしか浸透していない場合でも効果は期待できるが、樹脂の浸透範囲に大きく依存する。 実験結果 3) 樹脂は亀裂の先端付近までよく浸透し、亀裂の閉口抑制に対して十分な効果が得られた。その結果、注入時の応力を超えない応力範囲であれば亀裂の進展を完全に止めることが可能であった。 4) 樹脂注入時の応力を超える応力範囲でも、亀裂進展抑制効果は期待できるが、その効果は3)に比べて非常に小さく、ある程度亀裂が進展してしまうと、進展抑制効果はほとんど作用しなくなる。
特記事項	実験的・解析的研究

解析・実験フローチャート

解析フロー



- step-1: 解析モデルに引張応力 σ を作用させ亀裂を開口させ、この時の開口量を δ_0 とする。
- step-2: 無応力状態でstep-1の亀裂が開口した状態の変位分布を有するモデルを作成する。
- step-3: 亀裂部分に樹脂に相当する要素を作成する。
- step-4: このモデルを応力 σ で圧縮し亀裂の閉口を再現し、この時の開口量を δ_1 とする。

$\Delta \delta = \delta_0 - \delta_1$ が樹脂注入後の亀裂開口量の変動幅となるので、これに対する応力拡大係数を計算する。

実験フロー

- ①供試体作成
- ②疲労試験 (応力振幅0~100MPa、0~150MPa)
で亀裂を30mmまで進展
- ③静的応力載荷 (100MPa、150MPa)
- ④亀裂を開口させた状態で樹脂注入
- ⑤1日間の養生
- ⑥疲労試験 (応力振幅0~100MPa、0~150MPa)
- ⑦疲労試験 (応力振幅0~120MPa、0~170MPa)

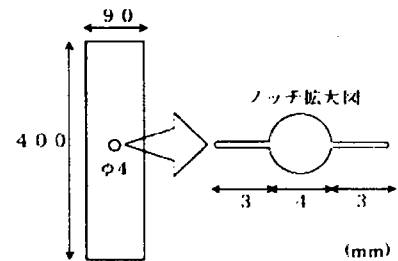


図-1 試験体

表-1 樹脂の物性値

	項目	単位	物性値
未硬化物	粘度	mPa·s	400
	収縮率	%	1.4
硬化物	圧縮強度	MPa	20 *
	引張強度	MPa	12 *
	引張せん断強度 (鋼材相互)	MPa	15 *

* いずれも7日間養生時の値

解析概要図

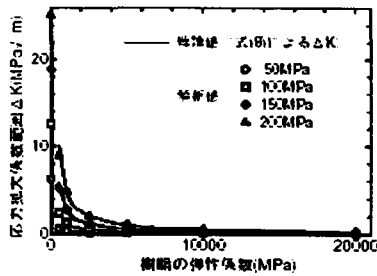


図 6 解析結果

左図は、亀裂長を10mmとし、樹脂注入時の作用応力と樹脂の弾性係数を変化させた時の解析結果で、縦軸は応力拡大係数範囲、横軸は樹脂の弾性係数である。

弾性係数0は樹脂が無い場合の応力拡大係数範囲である。左図より、樹脂の弾性係数が2500MPa以上であれば、応力拡大係数範囲を非常に小さくすることができ、疲労亀裂進展抑制に十分な効果が期待できる。

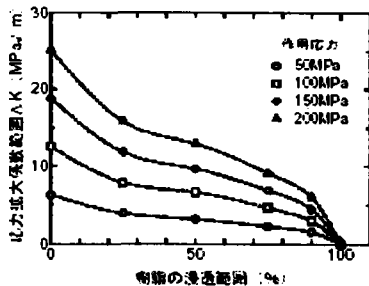


図 9 樹脂の浸透範囲と
応力拡大係数範囲

左図は、樹脂の弾性係数を20000MPaとし、樹脂の浸透範囲を変化させた時の解析結果である。

樹脂注入による疲労亀裂進展抑制効果は、樹脂の浸透範囲に大きく依存していることがわかる。

実験概要図

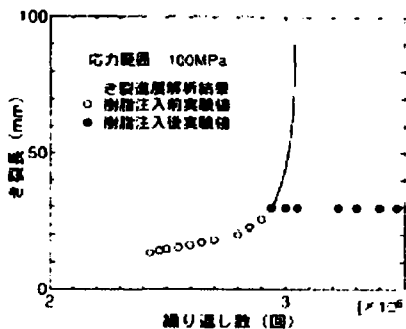


図-2 100MPa 実験結果

左図は、応力範囲100MPaの疲労試験結果である。

縦軸は亀裂長さ、横軸は繰返し回数を示す。図中の○は初期亀裂導入までの計測値であり、◎は樹脂注入後の計測値である。また、実線は亀裂進展解析結果である。

樹脂注入後、約50万回繰返し載荷したが、樹脂注入後の亀裂進展は見られず、亀裂の進展を完全に止めることができた。

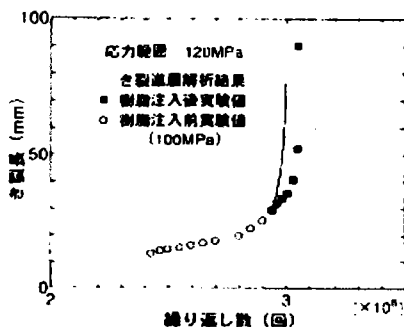


図-5 120MPa 実験結果

左図は、0~120MPaに応力範囲を上げた場合の試験結果である。■がその計測値であり、実線は解析結果を示す。

破断まで51000回程度の寿命の延びが確認できるが、樹脂注入時以上の応力が作用する場合には、進展抑制効果は非常に小さくなってしまいます。これは、樹脂と鋼材との付着強度が小さく、注入時以上の亀裂の開口に対して抑制効果が得られないためと考えられる。

整理番号	113-1
構造形式	付属物
実験・研究部位	照明柱や標識柱等の（疲労亀裂が生じた）長柱基部
実験・研究報告年度 （文献名）	第57回（平成14年度）土木学会年次学術講演会に発表 「紫外線硬化型樹脂による補強対策を施した長柱の構造特性」 「紫外線硬化型樹脂の材料特性を生かした補修・補強対策」 「紫外線硬化型樹脂による補強対策を施した長柱の疲労実験」 「紫外線硬化型樹脂による補強対策を施した長柱のモデル実験」
実験・研究内容	①標識柱など長柱が振動した場合において、紫外線硬化型樹脂の貼付の有無と長柱基部に発生する応力の関係を、実験と解析により検証した。 ②実際の標識柱の構造と同一寸法の長柱基部の供試体に、紫外線硬化型樹脂による種々の補強を行ったものと、補強を行っていないタイプによる疲労実験 ③φ25×1mのアルミポールに予めφ6貫通穴の断面欠損を与えたものに、紫外線硬化型樹脂により補強したものと、補強無しの供試体による疲労試験
実験・研究目的	橋梁付属物の照明柱や標識柱等の長柱基部に生じる疲労亀裂に対する補修と同時に長寿命化を果たす手法として、以下の特性を有する紫外線硬化型樹脂を用いた手法を提案すること。 ①施工時間が短く簡便である、②軽車両での材料運搬が可能、③現場での配合を必要としない、④緊急車両の通行が可能、⑤環境に優しい材料である、⑥顕著な補強効果を有する
実験・研究方法	1) 長柱に発生頻度が高いとされる変位を与えた際に、柱基部に発生する応力は、紫外線硬化型樹脂により補強すると、樹脂の補強が無い場合よりも低減されることを、実験的・解析的に確認した。 2) モデル実験として、φ25×1mのアルミポールに予めφ6貫通穴の断面欠損を与えたものに、紫外線硬化型樹脂により補強した供試体と、補強無しの供試体について、疲労耐久性を確認するために疲労実験を実施した。 3) 実際の標識柱の構造と同一寸法の供試体の基部に、紫外線硬化型樹脂を貼付して補強した供試体と、補強しない供試体の疲労耐久性を確認するために疲労実験を実施した。
実験・研究結果	1) 発生頻度が高いとされる変位を長柱に与えた際に、柱基部に発生する応力は、解析値・実験値とも、紫外線効果型樹脂を貼付すると、樹脂を貼付しない場合の70%程度に低減される。 2) φ25×1mのアルミポールに予めφ6貫通穴の断面欠損を与えたものに、紫外線効果型樹脂により補強した供試体は、補強無しの供試体よりも疲労強度が向上する。 3) 実際の標識柱の構造と同一寸法の供試体の基部に、紫外線硬化型樹脂を貼付して補強した供試体は、補強しない供試体よりも疲労耐久性が向上する。
特記事項	実験的・解析的研究

解析・実験フローチャート

1/1モデルのF型標準標識柱全体に対する自由振動実験

標準標識柱に強制変位を与えた場合の構造解析

- ①実験による固有振動数・軌跡計測による振動特性の把握
- ②実験と解析による補強リブ上端の応力の把握
- ③解析による基部周辺補強時の応力の把握

紫外線効果型樹脂による補強対策を施した長柱の構造特性

温度の相違による硬化速度の把握実験

紫外線照射量と硬化速度の把握実験

温度変化による硬化後の引張強度・引張弾性率の把握実験

補強材の相違と温度変化による引張弾性率の把握実験

紫外線硬化型樹脂の材料特性を生かした補修・補強対策

実際の構造と同一寸法の標識柱基部供試体を用いた疲労実験

- ①補強の有無・補強方法の相違による、ひずみとサイクル履歴の関係の把握
- ②各供試体タイプの亀裂発生回数と破壊点回数の把握

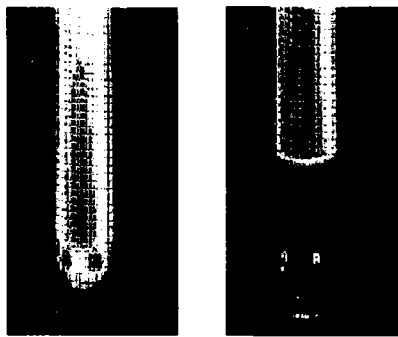
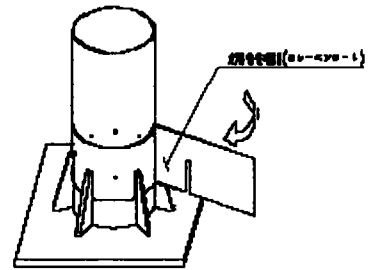
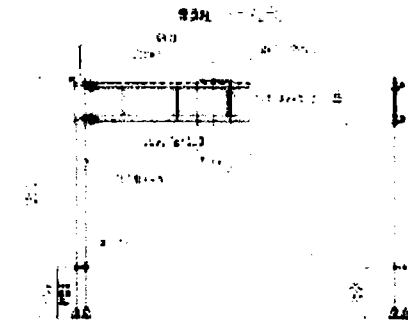
紫外線効果型樹脂による補強対策を施した長柱の疲労実験

長柱モデルの疲労実験

- ①孔明きアルミポールの疲労実験による補強の有無によるS-N曲線の把握
- ②補強の有無による亀裂発生回数、破壊形態の把握

紫外線効果型樹脂による補強対策を施した長柱の長柱のモデル実験

紫外線効果型樹脂による補強対策を施した長柱の構造特性



無傷状態の長柱と紫外線硬化型樹脂による補強後の長柱

図1 長柱の構造

図2 材料構成

図3 紫外線照射による硬化特性

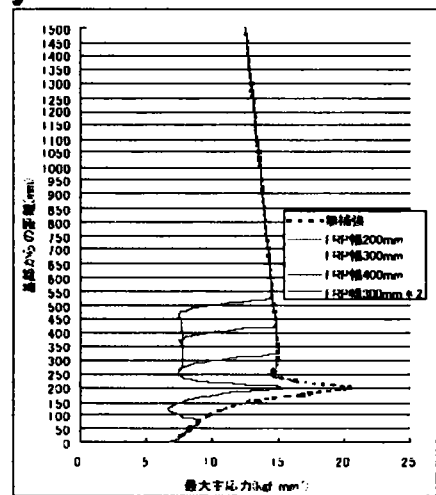


図4 紫外線照射による硬化特性

紫外線硬化型樹脂の材料特性を生かした補修・補強対策

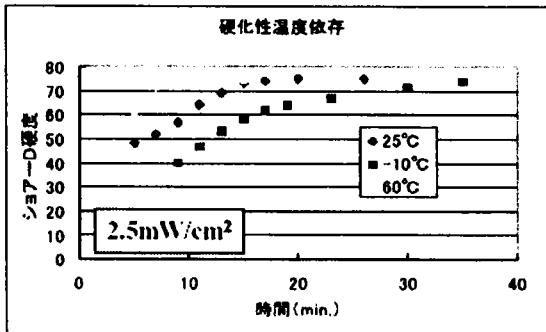


図3 硬化性温度依存

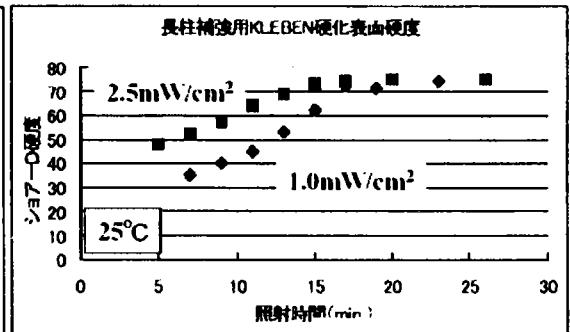
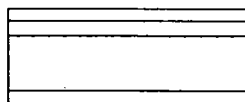


図4 硬化性照射量依存



A層: UVカットフィルム
 B層: PETフィルム
 C層: 光硬化性コンパウンド (ガラス入り)
 D層: 剛性改修PETフィルム

図2 材料構成

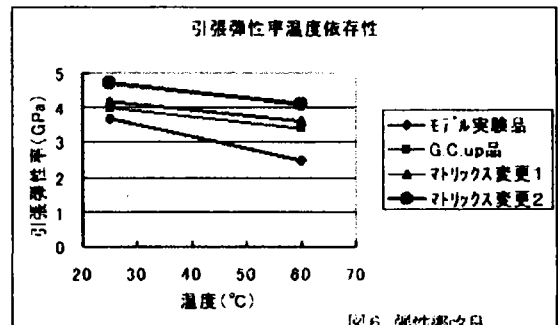


図6 弾性率改良

紫外線効果型樹脂による補強対策を施した長柱の疲労実験

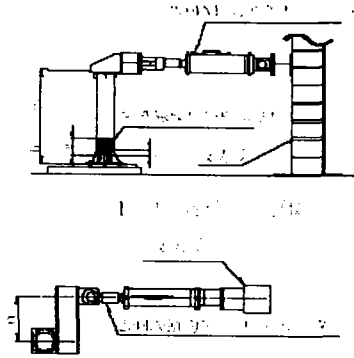


図1 試験装置

表2 試験条件

サンプル	加振W (mm)	加振長さ (mm)	補強剤の種類
1			
2	200	1	FRP
3	300	1	FRP
4	300	1	FRP
5	300	2	FRP
6	300	1	FRP

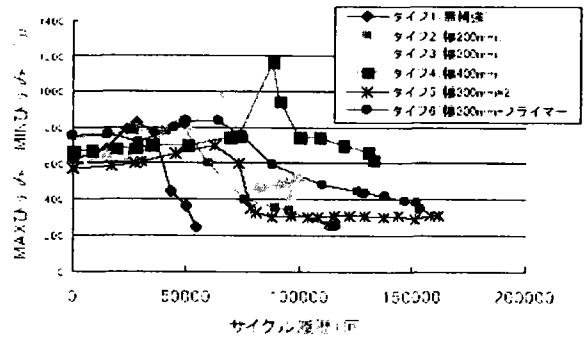


図2 最大荷重の経時変化

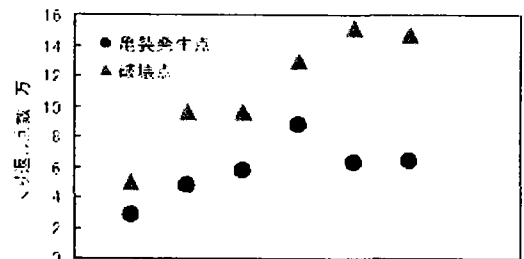


図3 破壊発生点と破壊点の比較

紫外線硬化型樹脂による補強対策を施した長柱のモデル実験

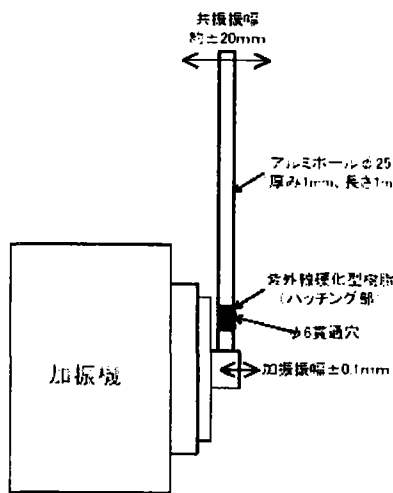


図4 長柱疲労モデル実験

表2. アルミポール疲労試験結果

FRP補強	き裂発生回数	破壊形態
無し	約10万回	φ6穴部よりき裂発生
有り	約55万回	固定部よりき裂発生

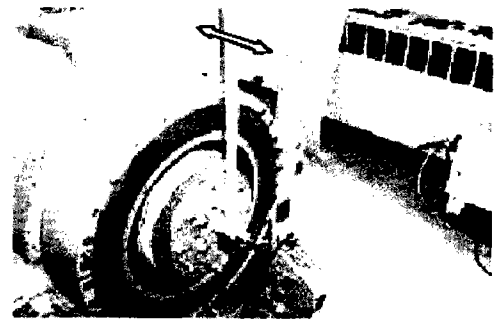


写真1. 供試体取付状態

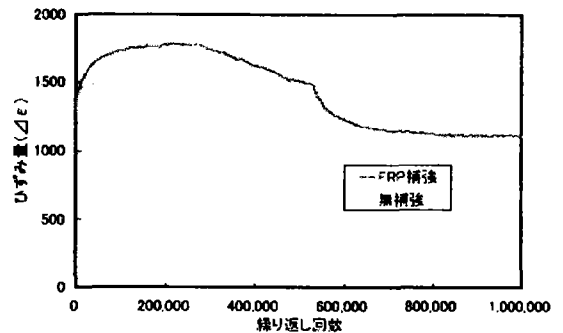
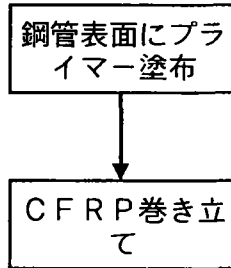


図6 アルミポールS-N曲線(加振周波数:2011z) ~FRP補強有無の比較~

整理番号	114-1
構造形式	腐食損傷を有する鋼管の炭素繊維シート巻き立てによる補修効果に関する実験的研究
実験・研究部位	曲げモーメントが作用する有孔（断面欠損）鋼管
実験・研究報告年度（文献名）	第57回（平成14年度）土木学会年次学術講演会に発表 炭素繊維シート巻き立てによる損傷鋼管の補修効果に関する検討
実験・研究内容	腐食損傷を有する鋼管をモデル化し、炭素繊維シート/エポキシ樹脂の複合体（以下CFRP）の巻き立てによる劣化部位の補修・補強効果について実験的に検討した。
実験・研究目的	鋼管は、水道水、ガス等に代表されるライフラインの建設に多用されているが、近年、腐食による経年劣化によって有効断面積が減少し、強度低下をきたしているものが数多く見られる。このため、上記補修・補強効果の実験的検討を実施した。
実験・研究方法	本研究では供試体として直径165.2mm、板厚5mmの鋼管(STK400)を使用した。図-1に示すような4点曲げ載荷により、鋼管梁中央部の試験区間400mmに一定の曲げモーメントを加え、プライマーおよび積層数を変えたCFRP巻き立てによる補修効果は無損傷の鋼管の曲げ挙動と比較し、検討した。図-2に示すように鋼管に直径9mmの孔を29mm間隔で、部材軸120mmの区間にわたってあけた。孔は、円周方向に18列、部材軸方向に4列配置した。
実験・研究結果	①実験結果からCFRPを少なくとも2層巻くことにより曲げ剛性が、無損傷鋼管のそれを上回ることが確認できた。しかし、CFRPの早期の剥離に対しては、積層数はほとんど貢献がなく、曲げ耐力の向上にはつながらないことが分かった。 ②CFRPの剥離は、鋼管とCFRP層間でのせん断応力分布に依存するが、金属材料用プライマーによって下地処理をすることで、若干ではあるが曲げ耐力および耐力劣化に改善が見られた。 ③鋼管の円孔まわりの局部変形で、CFRPの繊維の破断等を生じさせた可能性もあるので、補修に際しては、鋼管の成形（孔埋め等）を事前にし、CFRPの巻き立てを行う必要があると考えられる。
特記事項	

実験フローチャート



実験概要図

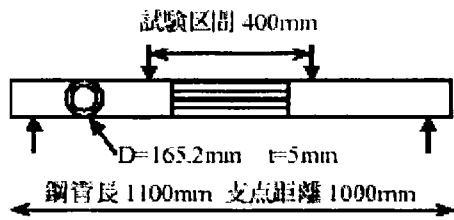


図-1 実験概要

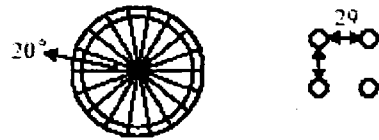


図-2 損傷モデル (寸法単位: mm)

表-1 各供試体の条件

No	補修方法				腐食 状況
	軸方向	周方向	定着長	プライマー	
1	—	—	—	—	なし
2	—	—	—	—	あり*1
3	2層	1層	165.2×2.0	E補修用	あり*1
4	4層	1層	165.2×2.0	E補修用	あり*1
5	2層	1層	165.2×2.0	金属用	あり*1
6	4層	1層	165.2×2.0	金属用	あり*1

*1 30%損傷をモデル化したもの



写真-1 損傷鋼管の破壊性状 (No.2)

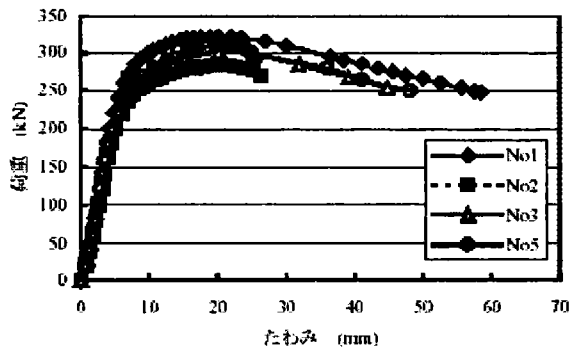


図-3 荷重-変位曲線

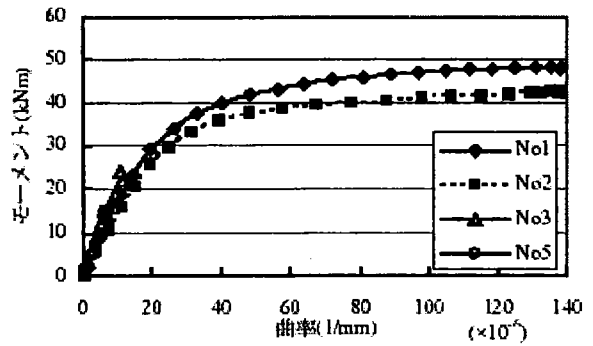
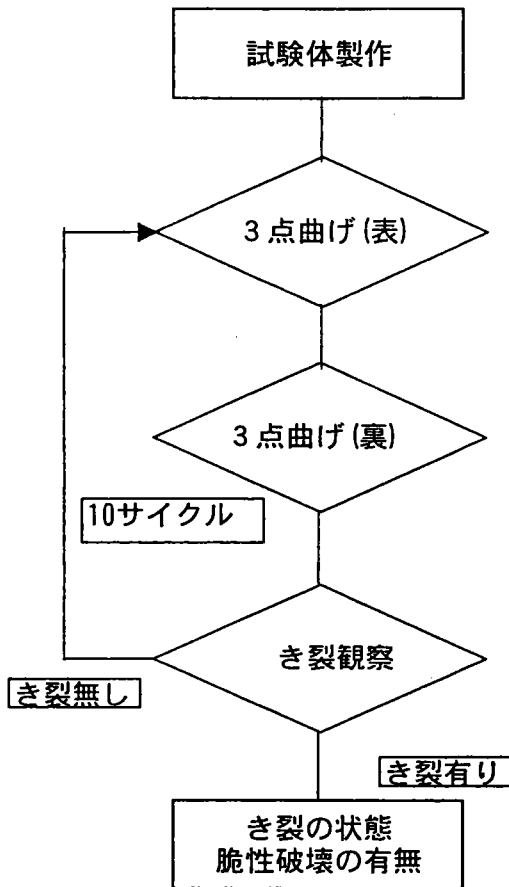


図-4 曲げモーメント-曲率曲線

整理番号	115-1
構造形式	鋼製橋脚
実験・研究部位	鋼製橋脚基部
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼製鋼脚に発生する低サイクル疲労き裂とそれを起点とした脆性破壊の可能性 土木学会第57回年次学術講演会 1-139(平成14年9月) 東京工業大学
実験・研究内容	鋼製鋼脚基部を模した溶接継手試験体を用いた曲げ低サイクル疲労試験を行い、低サイクル疲労き裂のひずみ変動下におけるき裂先端形状の変化、及び、それを起点とする脆性破壊発生に及ぼす鋼材の破壊靱性値の影響について実験的な検討を行い、脆性破壊の可能性について考察を行った。
実験・研究目的	同 上
実験・研究方法	試験体：橋脚基部取り合い部をモデル化した十字溶接継手試験体、および基部補強用三角リブ溶接部をモデル化した縦リブ溶接継手試験体。 実験方法：大ひずみを安定して繰返し導入するため曲げ載荷とし、3点曲げにより行った。
実験・研究結果	①低サイクル疲労き裂の先端形状は、圧縮方向へのひずみ導入時には鋭い状態、引張方向へのひずみ導入の際には鈍い状態と繰返し変動している。 ②低サイクル疲労き裂を起点とする脆性破壊の可能性は、鋼材靱性面から防止できる可能性がある。
特記事項	第57回年次講演会(平成14年9月) 兵庫県南部地震調査に基づく実験

実験フローチャート



(a) 十字溶接継手試験体
(b) 縦リブ継手試験体

目標ひずみ設定値：3%、6%、9%

目標ひずみ設定値：3%、6%、9%

実験概要図

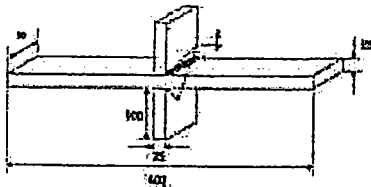


図-1(a) 十字溶接継手試験体

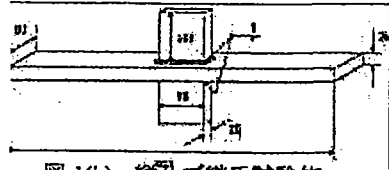


図-1(b) 縦リブ継手試験体

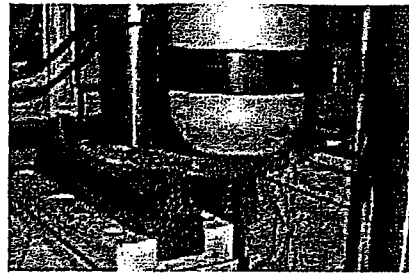


図-2 載荷状況(図-3のA時点)

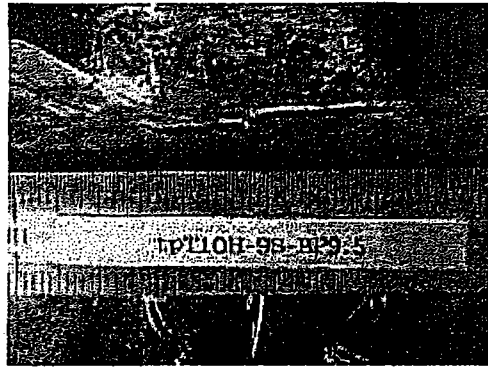
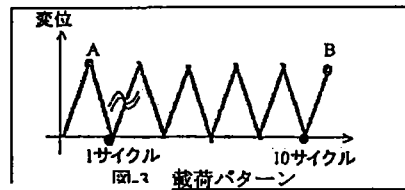


図-4 き裂発生状況 (TH-3, 95サイクル)

表-3 実験条件および実験結果

試験体呼称	目標ひずみ値 (%)	載荷点変位 (mm)	最初のき裂発見時の繰返し回数	脆性破壊発生時の繰返し回数
CH-1	6.00	77.3	5(圧縮側)	発生せず
CH-2	9.00	97.8	2.5(引張側)	発生せず
CH-3	9.00	102.6	3(圧縮側)	発生せず
TH-1	3.00	24.4	発生せず	発生せず
TH-2	6.00	61.6	1.5(引張側)	発生せず
TH-3	9.00	90	0.5(引張側)	発生せず
CL-1	3.00	37.6	発生せず	発生せず
CL-2	6.00	69.1	5.5 (7)	発生せず
CL-3	9.00	105.1	1.5 (3)	7
CL-4	9.00	103.4	2.5(3)	10
TL-1	3.00	29.1	発生せず	発生せず
TL-2	6.00	56.3	1.5 (3)	発生せず
TL-3	6.00	62.5	1.5 (2)	3
TL-4	6.00	61.2	1.5 (2)	3
TL-5	9.00	78.8	0.5 (1)	2
TL-6	9.00	89.5	0.5 (1)	2

試験体呼称の最初の文字は試験体の種類 (C:十字, T:縦リブ), 2番目の文字は使用鋼材 (H:高靱性, L:低靱性) を表す。

損傷部位概要図例

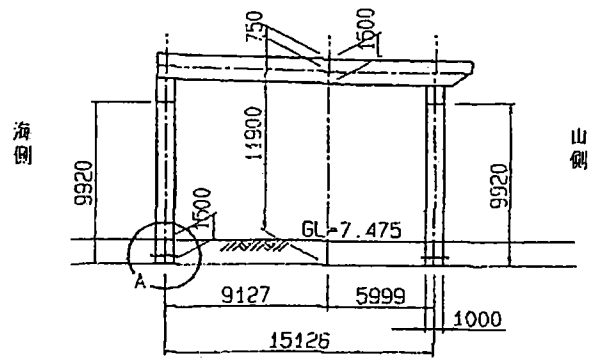
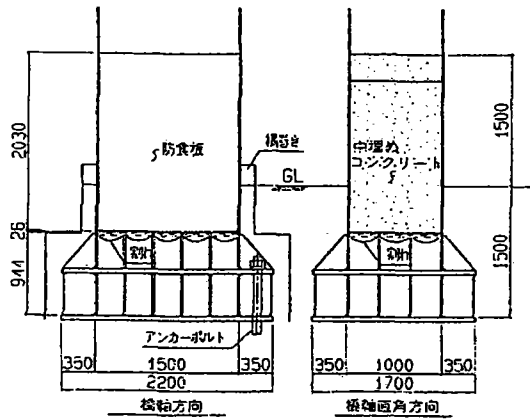


図-2.1.14 橋脚基部のきれつ (神P371)

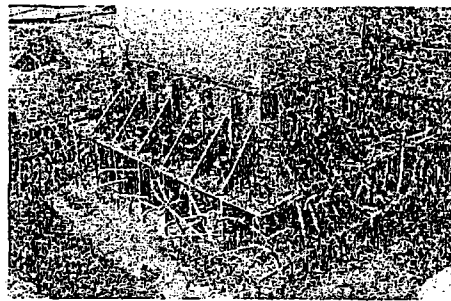
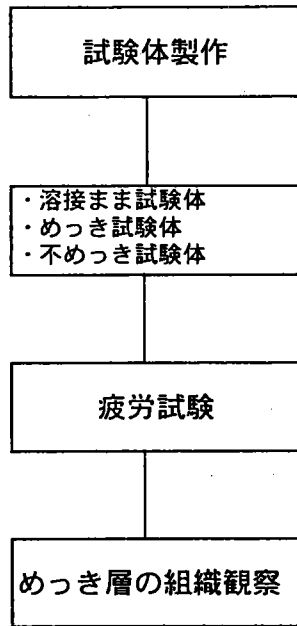


写真-2.1.49 柱基部の全周にわたるきれつ (神P371)

大震災を乗り越えて- 震災復旧工事誌 -より
阪神高速道路公団 -平成9年9月30日 -

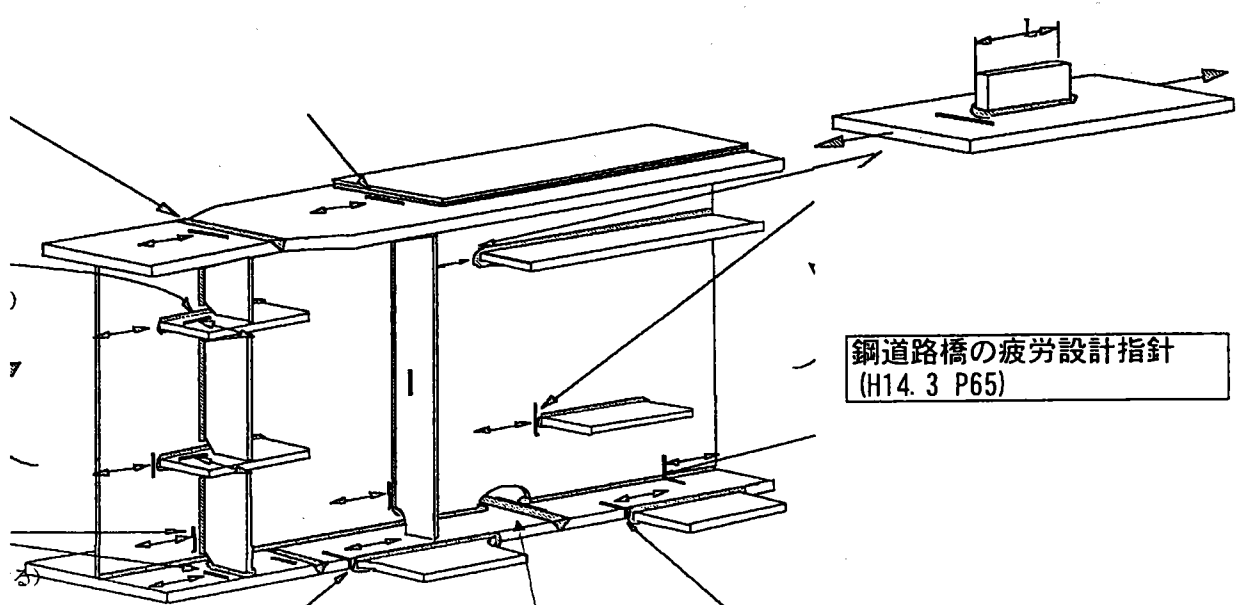
整理番号	116-1
構造形式	鋼構造物部材
実験・研究部位	面外ガセット溶接継ぎ手の溶融亜鉛めっき部位
実験・研究報告年度 (文献名)	溶融亜鉛めっきを施した面外ガセット溶接継手の疲労強度(その3) 土木学会第57回年次学術講演会 1-140(平成14年9月) 日本橋梁建設協会
実験・研究内容	鋼橋に用いられる継手の中でも特に疲労強度が低く、疲労損傷の発生が懸念されている面外ガセット溶接継手を対象に、めっき施工が溶接部の疲労強度に及ぼす影響について実験的検討をした。
実験・研究目的	めっき施工が溶接部の疲労強度に及ぼす影響について検討した。
実験・研究方法	使用鋼材：t = 12 mm, SM490YA, SM490YB, SM400の3種類。 めっき作業の焼鈍効果による残留応力の変化を測定。 疲労強度の確認。
実験・研究結果	<ul style="list-style-type: none"> ・めっき作業を行うことで残留応力が大きく低減される。 ・溶融亜鉛めっきを施した試験体の疲労強度は、SM490YAを使用した場合に溶接ままの試験体よりも低くなった。 ・疲労強度が低くなる原因としては、めっきを施すことにより、めっき層と鋼材の境界部が凹凸状になることと、めっき金属と鋼材の合金層が粗い柱状晶からなり、この部分から早い段階で疲労き裂が生じることなどが考えられる。
特記事項	

実験フローチャート



損傷部位の概要図例

- (1) すみ肉溶接した面外ガセット継手
 - ① $L > 1000\text{mm}$
仕上げの有無に関わらず; G等級
 - ② $L \leq 1000\text{mm}$
止端仕上げ: E等級
非仕上げ: F等級
- (2) 開先溶接した面外ガセット継手
 - ① $L > 1000\text{mm}$
止端仕上げ: F等級
非仕上げ: G等級
 - ② $L \leq 1000\text{mm}$
止端仕上げ: E等級
非仕上げ: F等級
- (3) 開先溶接したファイレット付き面外ガセット継手; E等級



実験概要図

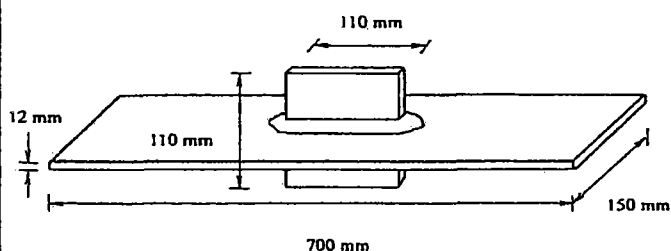


図1 面外ガセット溶接継手試験体形状

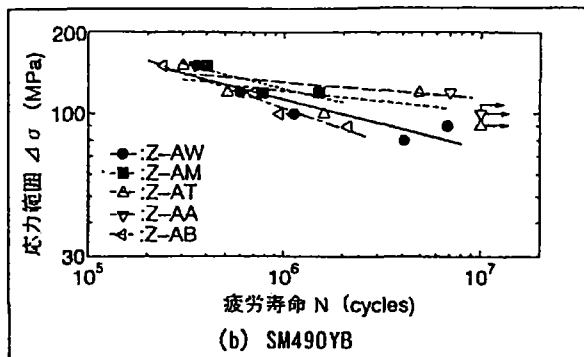
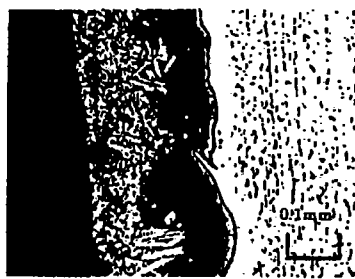
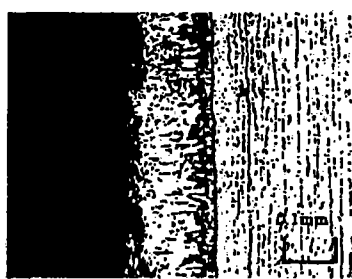


表1 試験体の一覧

鋼材	試験体名	試験体説明
SM490YA	AW	溶接のままの試験体
	AM	標準的な条件でめっきを施した試験体
	AH	AM試験体のめっきを剥いた試験体
SM490YB	Z-AW	溶接のままの試験体
	Z-AM	標準的な条件でめっきを施した試験体
	Z-AT	表面にめっきが付着しないようにめっき槽に浸した試験体
	Z-AA	Z-AM試験体よりもめっきを厚くした試験体
	Z-AB	冷却槽には浸漬せず、完全空冷を行った試験体
SM400	400-AW	溶接のままの試験体
	400-AM	標準的なめっき条件でめっきを施した試験体
	400-AU	400-AM試験体よりもめっきを薄くした試験体



(a) AM 試験体



(b) Z-AM 試験体



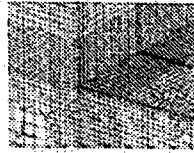
(c) 400-AM 試験体

写真1 ミクロ写真 (450倍)

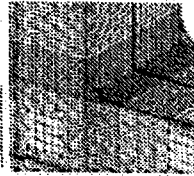
整理番号	117-1
構造形式	鋼製橋脚
実験・研究部位	隅角部フランジ端部
実験・研究報告年度 (文献名)	土木学会第57回年次学術講演会I-163 (平成14年9月) ハンチ取付けによる箱断面鋼製ラーメン橋脚隅角部の疲労強度向上
実験・研究内容	隅角部フランジ端部にハンチを取り付け、疲労試験を行う。
実験・研究目的	隅角部フランジ端部にハンチを取り付けることが、隅角部の疲労強度を向上させる方法として有効かを検討する。
実験・研究方法	疲労試験
実験・研究結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンチを取り付けることにより応力集中を6割程度にまで軽減できた。 ・ハンチ無し試験体では、1.7万回に引張側フランジの端部でき裂が発見され、13万回でき裂長が50mmに達し、40万回で試験を終了。 ハンチ取付け試験体では、85万回時に疲労き裂がハンチ先端部付近の溶接ビード止端部で発見され、105万回でき裂長が50mmに達し、140万回で試験を終了。 ・き裂発生寿命が10倍以上に延びた。 ・隅角部の疲労強度をH等級からE等級まで3等級向上できた。
特記事項	

実験フローチャート

ハンチ取り付け

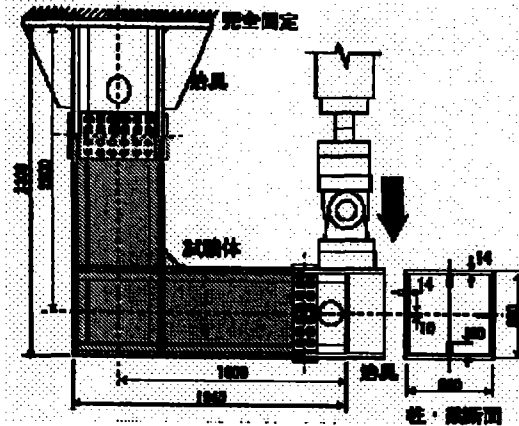


ハンチ取付前



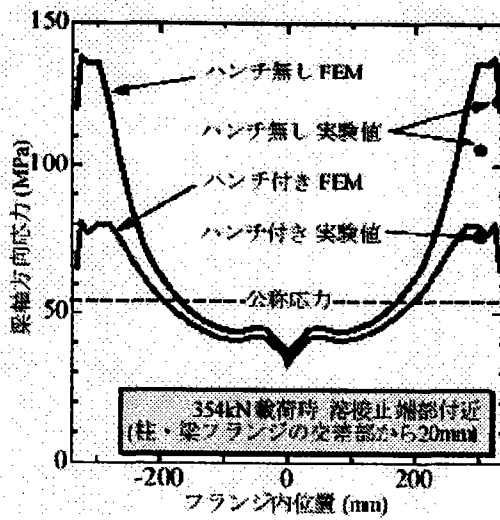
ハンチ取付後

疲労試験

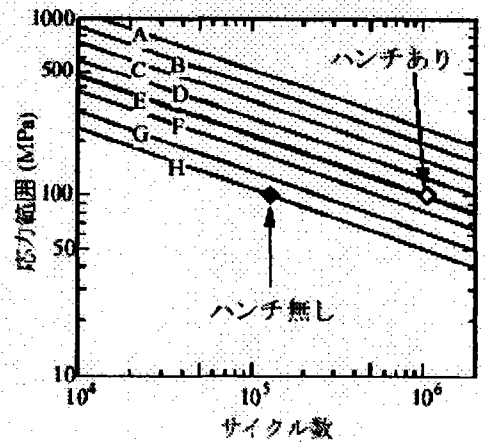


実験体寸法図

試験終了



溶接止端部付近の梁フランジ応力分布図



S-N線図

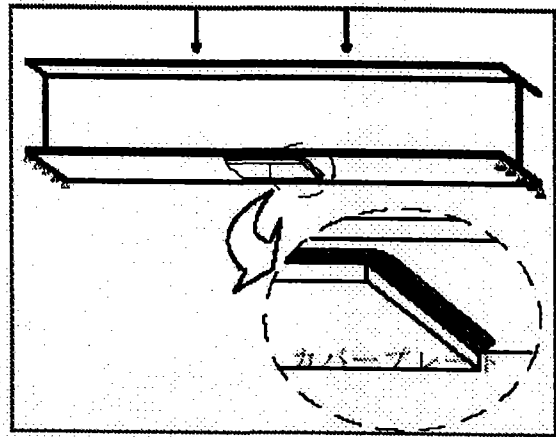
・応力集中を6割程度まで軽減できた

・疲労強度がH等級からE等級まで3等級向上した

整理番号	118-1
構造形式	鋼 I 桁・鋼箱桁
実験・研究部位	カバープレート溶接止端部
実験・研究報告年度 (文献名)	土木学会第57回年次学術講演会I-165 (平成14年9月) I型桁におけるカバープレート溶接止端部の応力集中係数
実験・研究内容	カバープレートを有する I 型桁について、桁およびカバープレートの寸法と溶接止端の応力集中との関係を F E M 解析する。
実験・研究目的	桁に後付けされたプレート等のすみ肉全周溶接の止端部は断面剛性の急変部となるため、応力集中を受けやすく疲労損傷の原因となる。よって、応力集中を緩和させる為、F E M 解析により応力集中係数を算定、比較、検討する。
実験・研究方法	F E M 解析
実験・研究結果	<p>カバープレート溶接止端の最大応力集中係数と寸法との関係は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・フランジ厚が大きいと最大値は下がり、腹板高はほとんど影響しない。 ・カバープレート長さを長くすると最大値は上昇するが、ある長さになると上昇率は小さくなる。 ・カバープレート厚の影響はフランジ厚によって変化する。 ・カバープレート端部形状について上面のカット長さを大きくすると小さくなる傾向があるが変化は小さい。 ・上面に段差を設けると大きく低下し、凹形状にしても低下がみられる。 ・溶接脚長を大きくすると最大値は改善されるが、とくに前面部の溶接脚長に支配される。
特記事項	

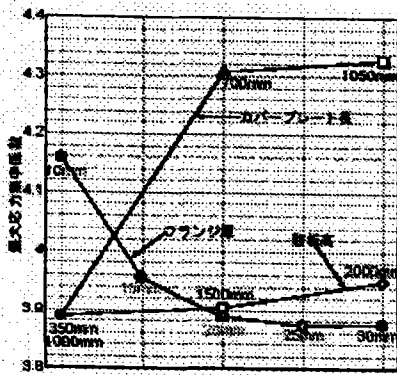
実験フローチャート

①右図のようにカバープレートを取り付けたI型桁において、桁及びカバープレートの寸法と溶接止端の応力集中との関係を調べる。



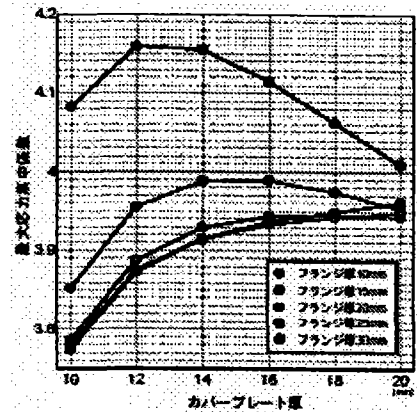
FEM解析

(結果)



フランジ厚および腹板高およびカバープレート長の影響図

- ・フランジ厚が増加すると最大値は下がる傾向
- ・腹板高の影響はほとんどみられないが腹板高が高くなると最大値は高くなる傾向
- ・カバープレート長さを基準モデルの2倍とすると大きく増加したが3倍にしても2倍にした場合との変化は小さい。

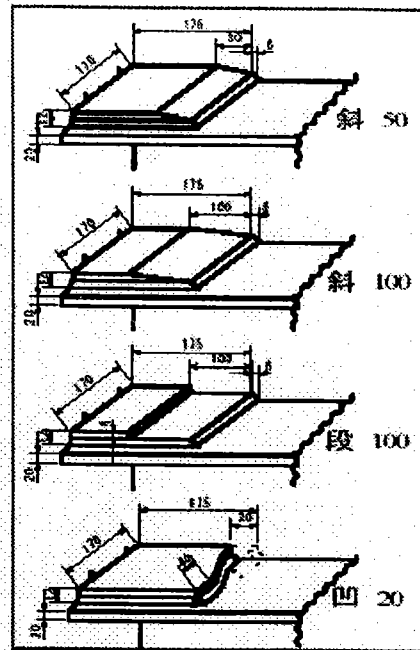


フランジ厚とカバープレート厚の影響図

- ・フランジ厚が大きい場合、カバープレート厚が大きくなると最大値が高くなる傾向。
- ・フランジ厚が小さい場合、カバープレート厚が大きくなると最大値が低下する傾向だが、カバープレート厚が小さくなると最大値が増加する傾向。

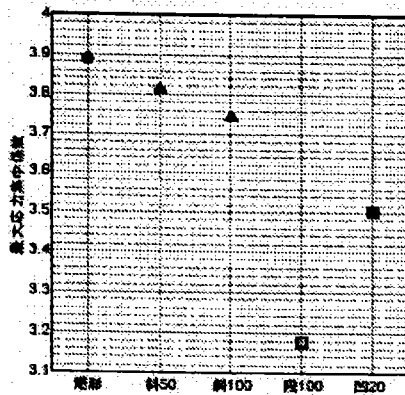
実験フローチャート

②右図のようにカバープレート端部形状を変化させて検討。



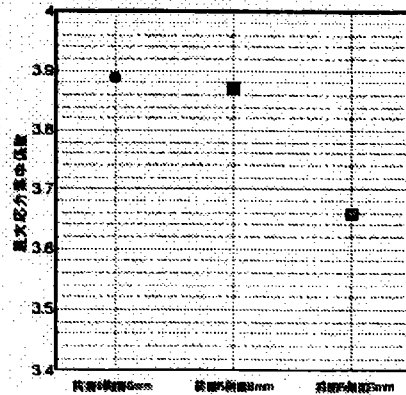
FEM解析

(結果)



カバープレート端部形状の影響図

- ・矩形のモデルと比較して斜面形状としたモデルでは斜面長さが長いほど低下し、段差を設けたモデルでは大きく低下。
- ・凹20モデルも低下がみられた。



溶接脚長の影響図

- ・脚長を8mmとすれば改善がみられた。
- ・前面の溶接部分に応力の大半が伝達している。

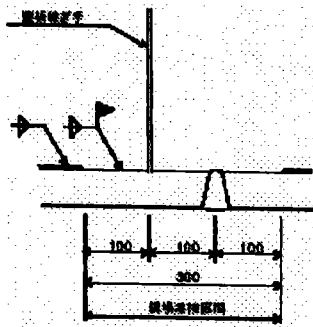
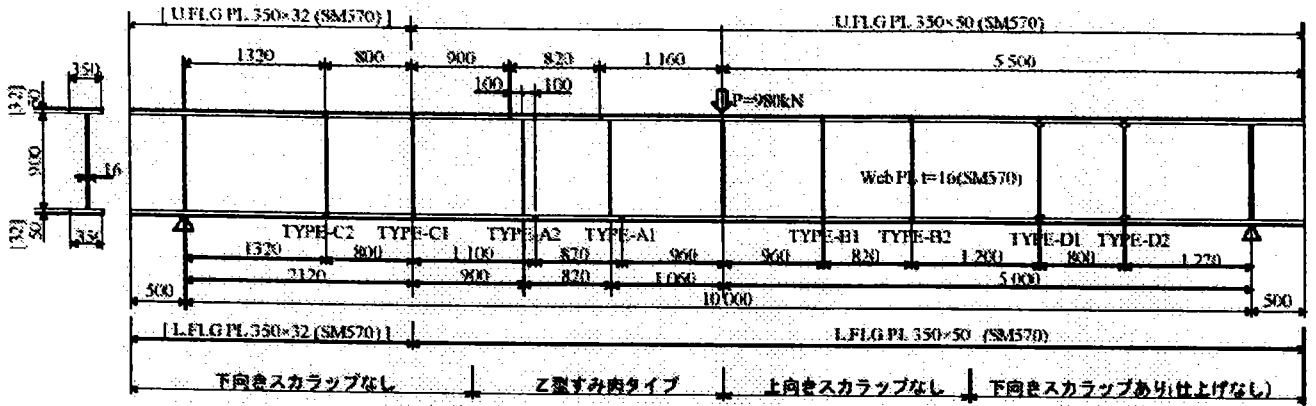
整理番号	119-1
構造形式	鋼 I 桁 (少数主桁)
実験・研究部位	現場溶接継手部
実験・研究報告年度 (文献名)	土木学会第57回年次学術講演会I-174 (平成14年9月) 少数主桁橋のノンスカラップ全断面現場溶接部の疲労強度特性に関する 実験研究
実験・研究内容	ノンスカラップ構造の実寸大模型を用いて疲労試験を行う。
実験・研究目的	今後、性能照査型設計や疲労設計の導入に伴い、長期耐久性という観点から疲労特性に優れた溶接継手が要求された場合、応力集中を極力無くして疲労強度特性向上が期待できるスカラップを有しない溶接継手を採用することが有効であると考えられる。よって、従来採用してきたノンスカラップ構造やZ型溶接構造を用いた実寸大模型を製作し、現場溶接部の疲労強度を定量的に把握するために、疲労試験を行う。
実験・研究方法	疲労試験
実験・研究結果	溶接施工後の検査結果が合格であり、不用意な補修溶接をしないならば、ノンスカラップ構造はD等級相当の疲労強度が得られることがわかった。反面、補修溶接の不具合が疲労強度に及ぼす影響が大きいことから、安定した品質の得られる合理的な構造を選択し、確実な検査により品質を確認することの重要性を再確認した。
特記事項	

実験フローチャート

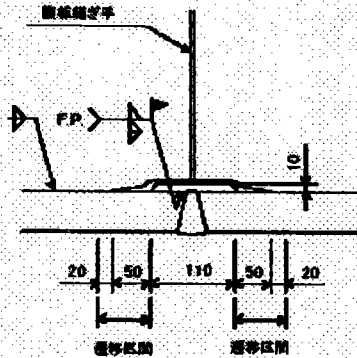
(供試体製作)

ノンスラップ構造：TYPE-A～C

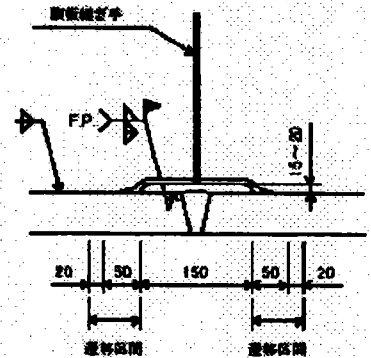
廻し溶接部非仕上げのスラップ構造：TYPE-D



上向きZ型継手
(TYPE-A)



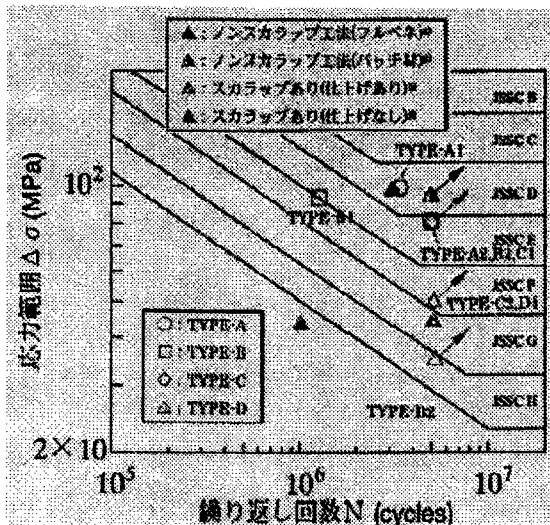
上向き完全溶込み
(TYPE-B)



下向き完全溶込み
(TYPE-C)

疲労試験

(結果)

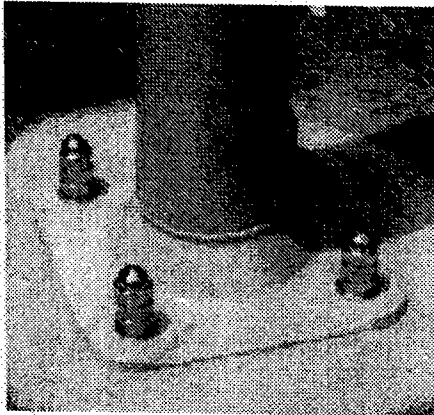


試験結果および疲労設計曲線

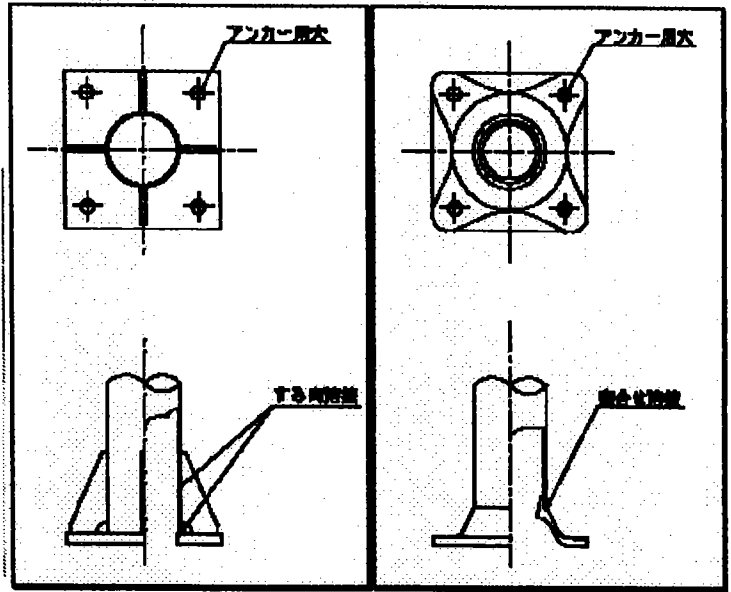
- ・ 欠陥があり補修溶接を行ったTYPE-B1は、下フランジ下面の補修溶接止端部より亀裂が生じ、100万回 (E等級ライン) で破壊に至った。
- ・ TYPE-A1は、腹板と下フランジの隅肉溶接部から亀裂が生じ、332万回で破壊に至った。
- ・ TYPE-A2, B2, C1は500万回載荷完了後も特に異常が見られず、D等級に近い結果となった。

整理番号	120-1
構造形式	標識柱
実験・研究部位	標識柱基部
実験・研究報告年度 (文献名)	土木学会第57回年次学術講演会I-175 (平成14年9月) 照明柱基部の新しい接合構造の開発
実験・研究内容	新しく開発したリブ無ベースの照明柱について、静的曲げ試験と曲げ疲労試験を行う。
実験・研究目的	リブ止端部の応力集中を減少させるために、一体鍛造成型のリブ無ベースを開発。試験によりその性能を検討する。
実験・研究方法	静的曲げ試験、曲げ疲労試験
実験・研究結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 応力集中が少なく、十分な強度を有する構造。 ・ リブ付きベースの3倍の疲労強度を有する。 ・ 美観に優れ、腐食が起こりにくく、建柱時の施工性も優れる。
特記事項	

実験フローチャート



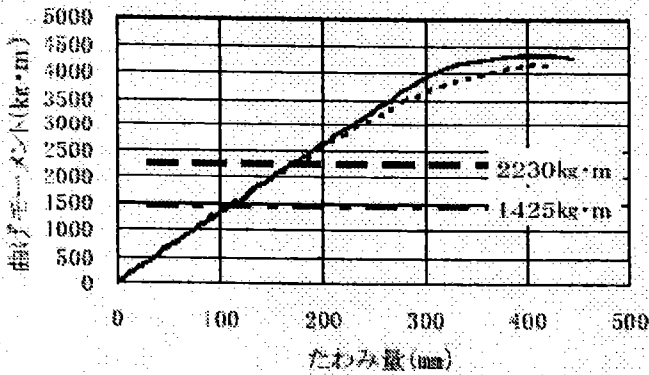
リブ無しベース



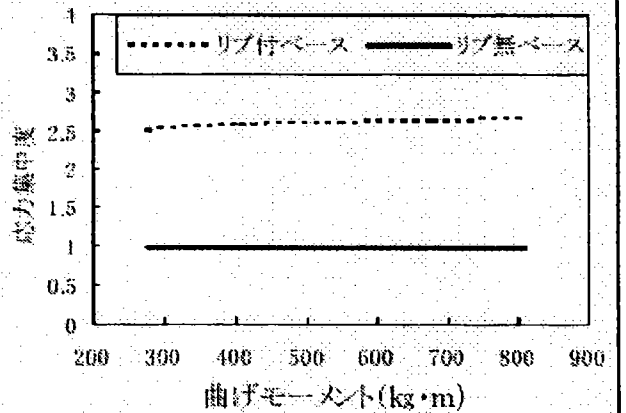
従来のリブ付ベース

リブ無しベース

↓
静的曲げ試験、曲げ疲労試験

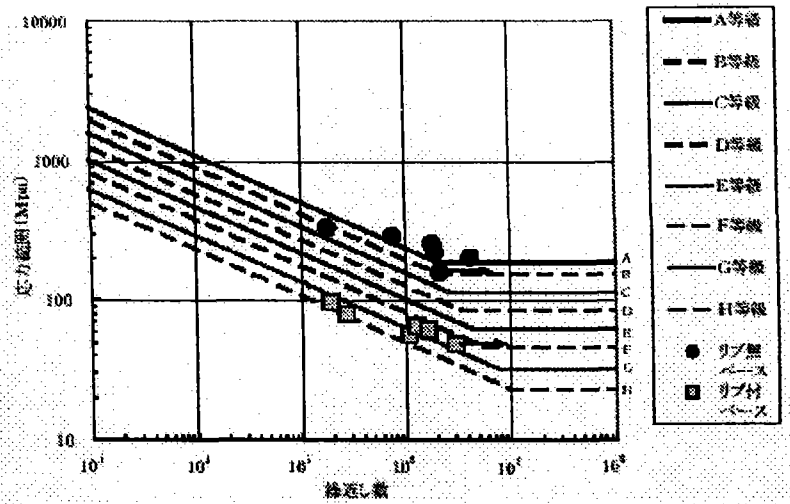


曲げモーメントとたわみ量



曲げモーメントと応力集中度

・リブ無しベースは柱全強曲げモーメントにおいて弾性変形内であり、応力集中がほとんど発生していないことから、応力集中が少なく十分な強度を有する構造といえる。

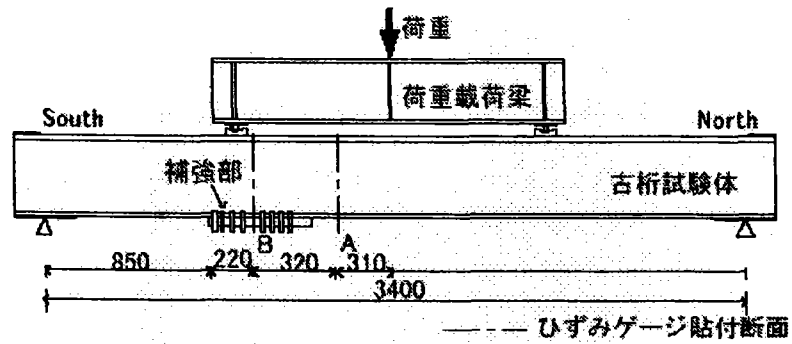


疲労等級線図

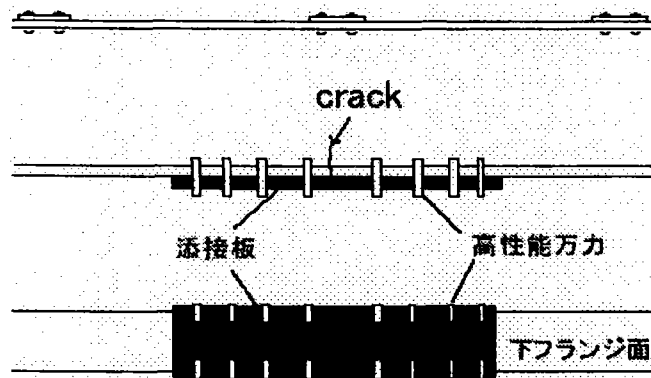
・リブ無しベースは疲労等級Bを満足し、リブ付きベースは疲労等級G～H等級に相当していることから、リブ無しベースはリブ付きベースの少なくとも3倍の疲労強度を有している。

整理番号	121-1
構造形式	鋼Iビーム桁
実験・研究部位	フランジ部
実験・研究報告年度 (文献名)	土木学会第57回年次学術講演会I-180 (平成14年9月) 亀裂を生じた鉄道古桁の高性能万力による補強
実験・研究内容	亀裂を生じたIビーム桁試験体に対して高性能万力を用いた補強を試み、その補強効果について実験的に検討。
実験・研究目的	疲労亀裂に対する補強方法として高性能万力を用いた場合の補強効果を検討する。
実験・研究方法	疲労試験
実験・研究結果	亀裂を生じたIビーム桁下フランジの補強に高性能万力の継手性能が明らかとなった。
特記事項	

実験フローチャート

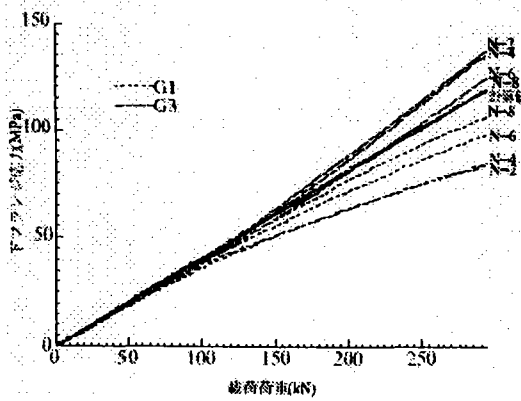


試験体および载荷状況

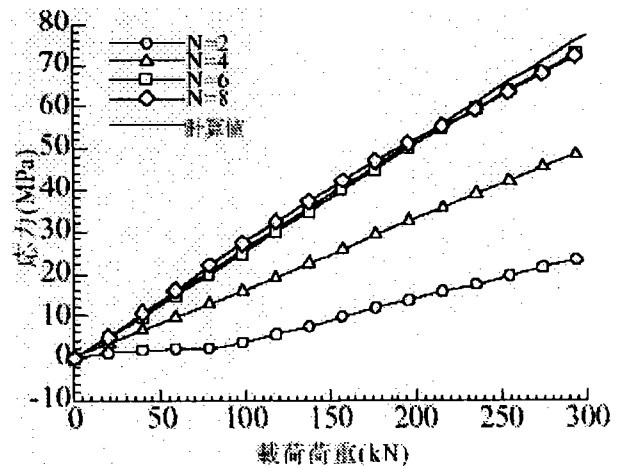


補強部詳細図

(結果)



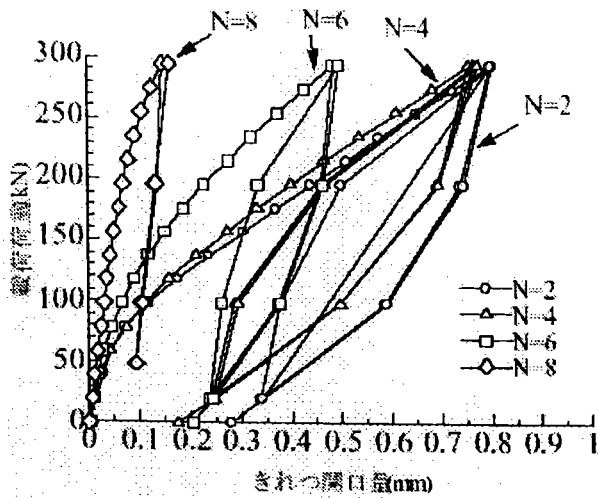
下フランジに生じる応力



添接板に生じる応力

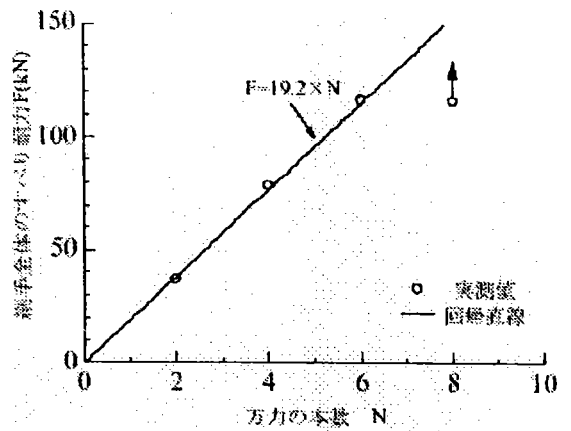
・万力本数が増えると荷重がスムーズに伝達され、応力差がなくなる。

・万力本数が6本以上でほぼ計算値と一致



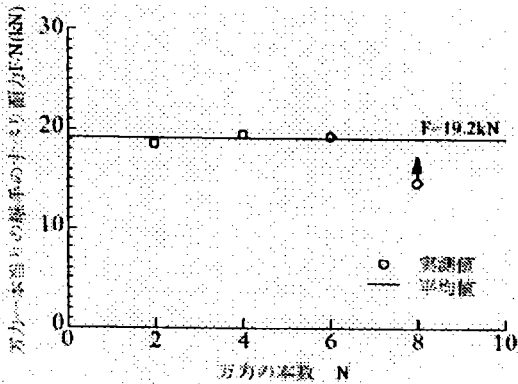
載荷荷重と亀裂開口量

- ・ 万力本数が増加するごとに開口量は減少し、挙動も線形となる。



継手全体のすべり耐力と万力本数の関係

- ・ 全体のすべり耐力は6本までは増加し、それ以降は一定の値となっている。

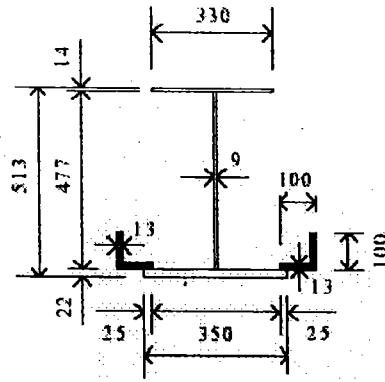


万力一本当たりの継手のすべり耐力と万力本数の関係

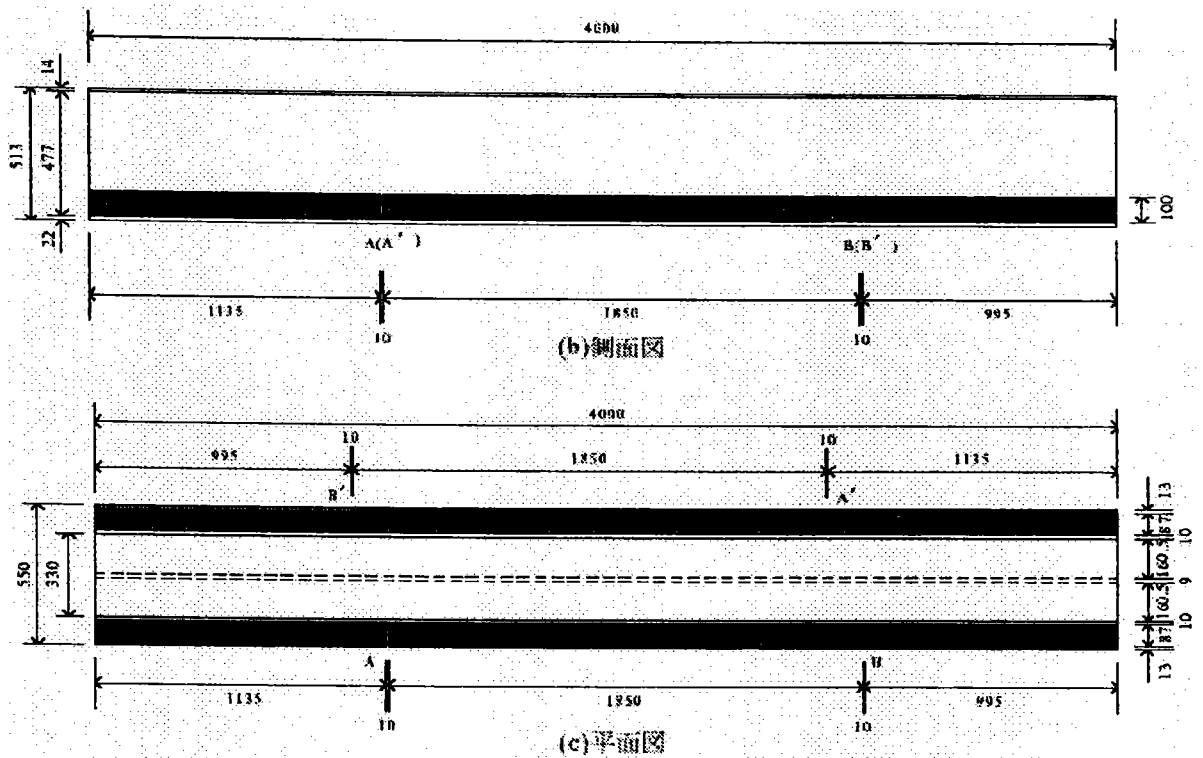
- ・ 高性能万力1本当たりのすべり耐力はほぼ一定で、18~20kN程度。

整理番号	122-1
構造形式	鋼 I ビーム桁
実験・研究部位	フランジ部重ねガセット溶接継手部
実験・研究報告年度 (文献名)	土木学会第57回年次学術講演会I-181 (平成14年9月) フランジアタッチメント重ね溶接継手部の疲労強度
実験・研究内容	重ねガセット溶接継手を取付けたプレートガード試験体を用いて疲労限界付近の低応力・長寿命領域をねらった疲労実験を行う。
実験・研究目的	重ねガセット溶接継手部の裏側に回し溶接を行った場合の疲労強度を把握する。
実験・研究方法	疲労実験
実験・研究結果	・応力繰返し回数950万回で亀裂が発生した。現在も実験を継続中。
特記事項	

実験フローチャート



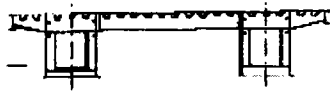
(a)断面図(スパン中央)



試験体の形状と寸法

(結果)

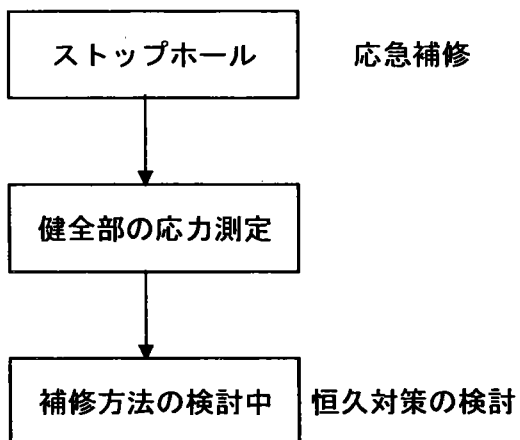
・応力繰返し回数950万回で亀裂を発見。亀裂は溶接部から下フランジに進展したところであり、現時点では下フランジの板厚貫通には至っていない。現在も実験を継続中。

整理番号	123-1																
構造形式	鋼床版																
実験・研究部位	鋼床版																
実験・研究報告年度 (文献名)	Uリブを用いた鋼床版の疲労損傷事例 土木学会第57回年次学術講演会 1-277(平成14年9月) 首都高速道路公団																
実験・研究内容	<p>日交通量80,000台(上下別)、大型車混入率15%の路線に架設された3径間の連続鋼床版箱桁橋の鋼床版における疲労損傷事例を報告した。供用開始は昭和53年で供用開始後約25年経過して、</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>表-1 調査橋梁の諸元</p> <table border="1"> <tr> <td>橋 名</td> <td>首都高速道路環状橋第2橋</td> </tr> <tr> <td>橋 長</td> <td>462m</td> </tr> <tr> <td>径 間</td> <td>137.7m 137.7m</td> </tr> <tr> <td>橋 脚</td> <td>11.25m 鋼管脚</td> </tr> <tr> <td>床 版</td> <td>5車線 全幅員</td> </tr> <tr> <td>床 厚</td> <td>130mm</td> </tr> <tr> <td>Uリブ</td> <td>U160×200 6</td> </tr> <tr> <td>補剛材</td> <td>80mm</td> </tr> </table> </div> </div>	橋 名	首都高速道路環状橋第2橋	橋 長	462m	径 間	137.7m 137.7m	橋 脚	11.25m 鋼管脚	床 版	5車線 全幅員	床 厚	130mm	Uリブ	U160×200 6	補剛材	80mm
橋 名	首都高速道路環状橋第2橋																
橋 長	462m																
径 間	137.7m 137.7m																
橋 脚	11.25m 鋼管脚																
床 版	5車線 全幅員																
床 厚	130mm																
Uリブ	U160×200 6																
補剛材	80mm																
実験・研究目的	<p>鋼床版が疲労被害を被ると予想される部位の応力性状の確認及び疲労亀裂の発生の有無に関する詳細な点検を首都高速道路の重交通路線に用いられた鋼床版箱桁橋を対象として実施した。</p>																
実験・研究方法	同 上																
実験・研究結果	<p>TYPE-1: デッキプレートとUリブの縦方向溶接に生じた疲労亀裂。 TYPE-2: Uリブの裏当て金を用いた突合せ溶接継手に生じた疲労亀裂。 TYPE-3: Uリブと横リブとの交差部のスリットにおいて生じた疲労亀裂。 TYPE-4: 横リブと主桁ウェブとのすみ肉溶接部に生じた疲労亀裂。 TYPE-5: 主桁ウェブの垂直補剛材のデッキプレートとのすみ肉溶接部に生じた疲労亀裂。 TYPE-6: Uリブと端横桁とのすみ肉溶接部において生じた疲労亀裂。</p>																
特記事項																	

整理番号

123-2

実験フローチャート



実験概要図

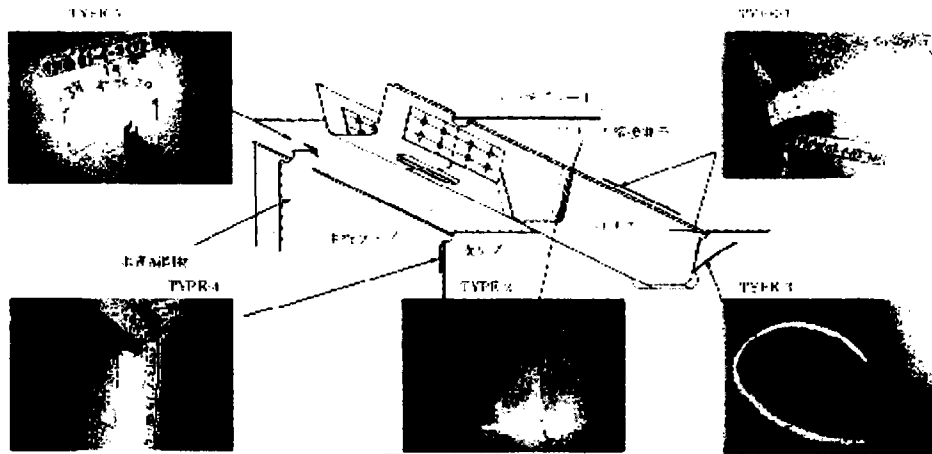


図-2 中胴部の放射電型

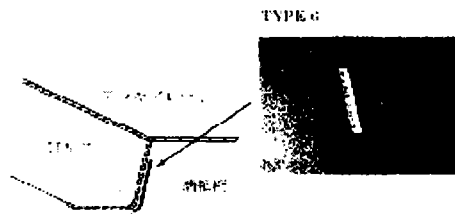


図-3 先端の放射電型

整理番号	124-1
構造形式	鋼製ラーメン橋脚
実験・研究部位	隅角部
実験・研究報告年度	円柱を有する鋼製ラーメン橋脚隅角部の構造特性 土木学会第57回年次学術講演会(平成14年9月)
実験・研究内容	試験体を用いた静的載荷試験及び疲労試験により、円柱を有する鋼製ラーメン橋脚隅角部における応力挙動を明らかにするとともに、その疲労特性を把握し、また、FEMを用いた応力評価手法の妥当性を評価する。
実験・研究目的	精度の高い応力評価手法の確立
実験・研究方法	<ul style="list-style-type: none"> ・試験体を用いた静的載荷試験及び疲労試験 ・FEM解析
実験・研究結果	<ul style="list-style-type: none"> ・現行設計法による応力集中部の算出応力値は、実験値と1.4倍の開きがある。 ・FEMを用いることにより、発生する応力値を精度良く再現することが可能である。
特記事項	

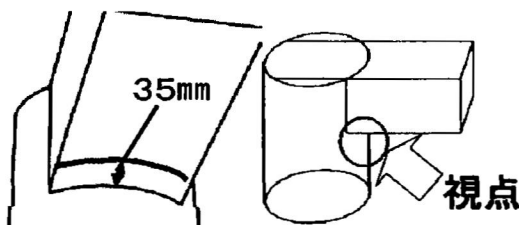
実験フローチャート

試験体作成

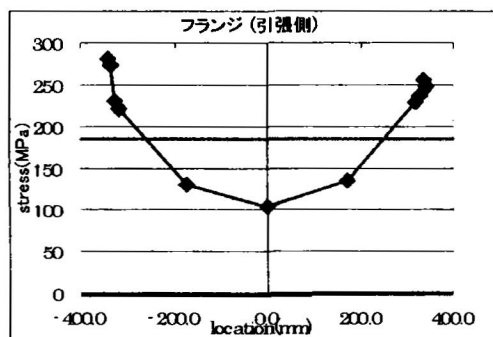
試験体載荷状況



試験体載荷状況



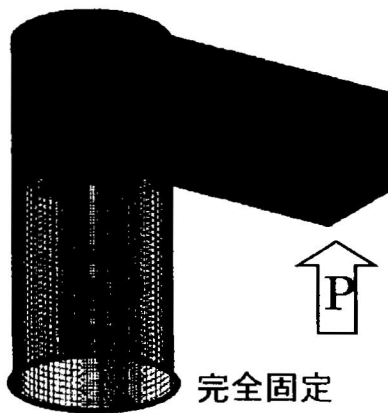
応力分布図示



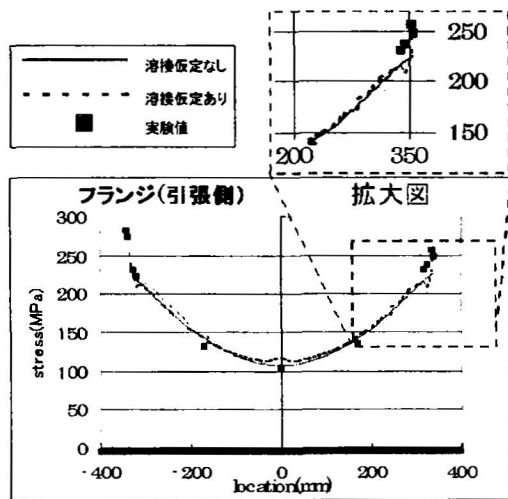
計算値・実験地の比較

◆ 実験値
— 計算値

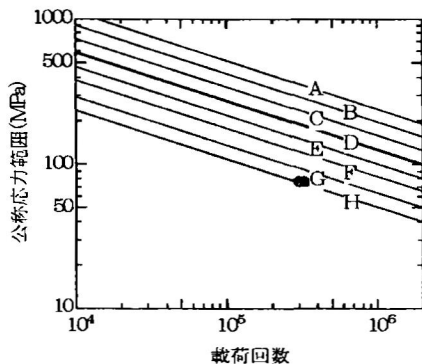
FEM解析



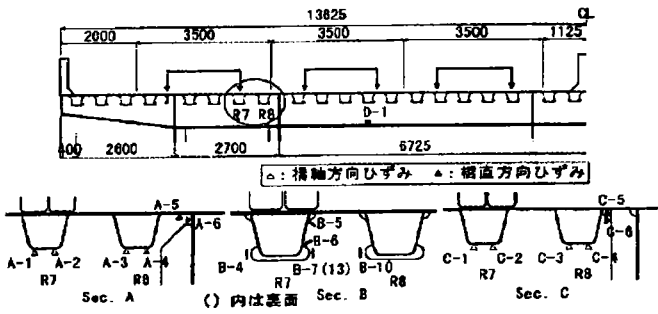
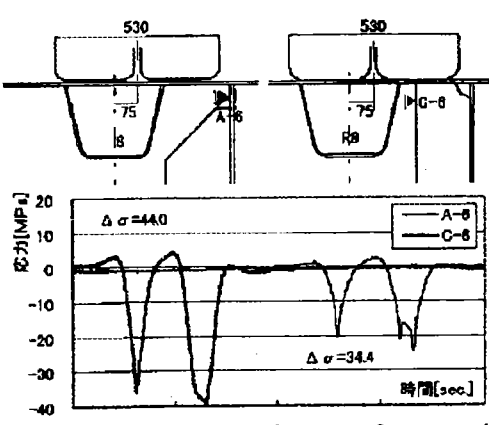
FEMメッシュ分割図



実験値・解析値の比較



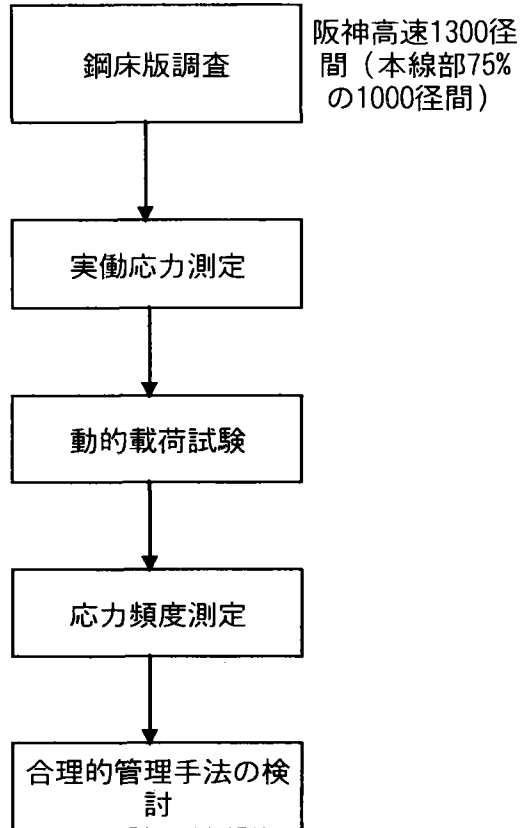
疲労試験結果S-N線

整理番号	125-1
構造形式	鋼床版
実験・研究部位	鋼床版
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼床版の合理的な維持管理を目的とした実働応力測定 土木学会第57 回年次学術講演会 I-279(平成14年9月) 阪神高速道路公団
実験・研究内容	<p>阪神高速道路公団鋼床版について、路線毎の分布や鋼床版構造ディテールを調査、整理した。次に、代表的な構造ディテールを有する実橋において、載荷車を用いた動的載荷試験及び一般車両走行下における時間の応力頻度測定を実施した。</p>  <p style="text-align: center;">○: 横軸方向ひずみ ▲: 縦軸方向ひずみ</p> <p style="text-align: center;">() 内は裏面</p> <p style="text-align: center;">図-1 測定内容</p>
実験・研究目的	<p>疲労損傷が懸念される鋼床版各部位の疲労寿命評価を行った。これらの結果から、阪高における鋼床版の合理的な維持管理手法について検討した。</p>
実験・研究方法	<p>阪神高速道路公団鋼床版について、路線毎の分布や鋼床版構造ディテールを調査、整理した。次に、代表的な構造ディテールを有する実橋において、載荷車を用いた動的載荷試験及び一般車両走行下における時間の応力頻度測定を実施した。</p>  <p style="text-align: center;">図-2 垂直補剛材取付部応力波形例</p>
実験・研究結果	<p>図3に示すような点検を行うことが合理的な維持管理につながる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 累積大型車交通量が多い橋梁、疲労照査規定(S55年)以前に設計された橋梁を重点的に点検する。 ② 着目部位はトラフリブ突合せ溶接部、デッキPLと垂直補剛材取付け部とする。 ③ それらの箇所にも損傷が見られた橋梁は、その他の部位についても詳細な点検をする。
特記事項	

整理番号

125-2

実験フローチャート

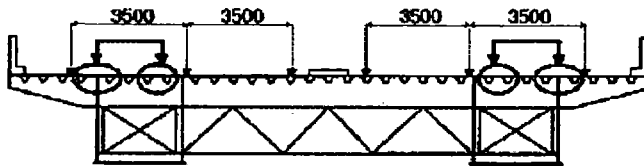


実験概要図

表-1 疲労照査結果

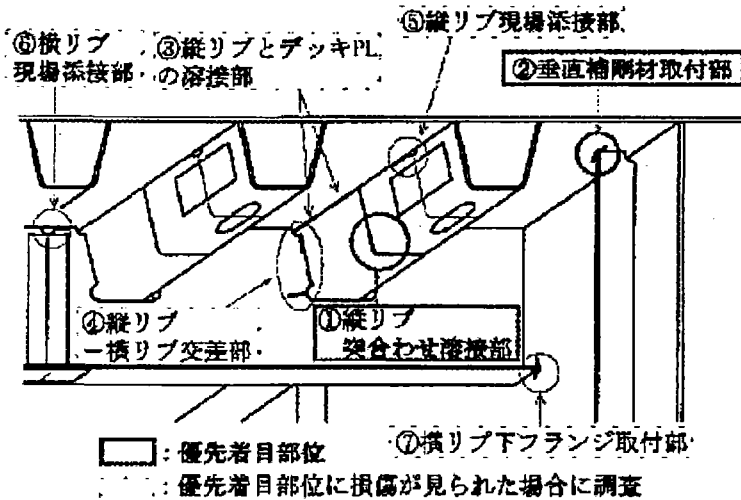
		損傷度 Di[7日]	等価応力 [MPa]	疲労寿命 [年]	最大応力 [MPa]	照査疲労 強度等級	適用
縦リブ	A-1	9.5E-05	28	29	64.3	JSSC-F	裏当て金付き片面溶接
	A-2	5.3E-05	27	52	56.7	JSSC-F	裏当て金付き片面溶接
	C-1	9.6E-05	28	29	68.0	JSSC-F	裏当て金付き片面溶接
	C-2	6.0E-05	27	46	60.5	JSSC-F	裏当て金付き片面溶接
横リブ	B-4	2.7E-05	37	102	83.2	JSSC-E※	母材, JSSC-C等級以上
	B-5	3.8E-08	24	3886	34.0	JSSC-F	荷重伝達型すみ肉溶接
	B-6	1.1E-06	26	443	41.6	JSSC-F	荷重伝達型すみ肉溶接
	B-7	3.9E-06	34	704	49.1	JSSC-E※	母材, JSSC-C等級以上
	B-10	5.6E-06	35	486	58.7	JSSC-E※	母材, JSSC-C等級以上
	B-13	4.3E-06	33	643	49.1	JSSC-E※	母材, JSSC-C等級以上
	D-1	4.7E-05	20	58	52.9	JSSC-G	面外ガセット(吊り金具)
垂直 補剛材 取付部	A-5	1.1E-07	30	25363	30.2	JSSC-E	荷重非伝達型すみ肉溶接
	A-6	1.2E-05	28	57	60.5	JSSC-F	面外ガセット継手
	C-5	0.0E+00	-	-	26.5	JSSC-E	荷重非伝達型すみ肉溶接
	C-6	3.6E-05	30	76	71.8	JSSC-F	荷重伝達型すみ肉溶接

※参考としてJSSC-E等級で照査



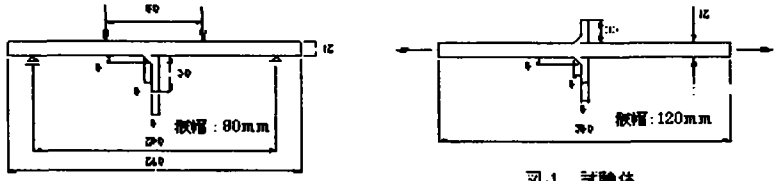
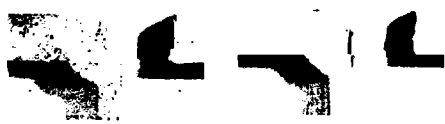
※走行車線の輪荷重直下の縦リブ回りを着目点とする。

(1) 横断方向の着目点

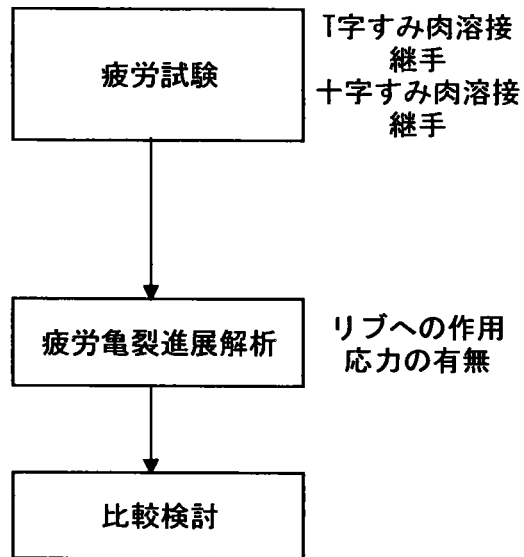


(2) 着目ディテール

図-3 点検着目部位

整理番号	126-1
構造形式	鋼床版
実験・研究部位	鋼床版のトラフリブ・デッキプレート溶接接合部
実験・研究報告年度 (文献名)	鋼床版のトラフリブ・デッキプレート溶接接合部の疲労強度に対する溶け込み深さの影響 土木学会第57回年次学術講演会 1-173(平成14年9月) 法政大学
実験・研究内容	鋼床版のトラフリブ・デッキプレート溶接接合部を対象とし、溶接溶け込み深さが疲労強度に及ぼす影響について検討した。
実験・研究目的	鋼床版のトラフリブ・デッキプレート溶接接合部において、溶接の溶け込み深さを本州四国連絡橋公団ではリブ板厚80%以上、道路橋示方書では75%以上とするように規定されている。しかし、溶接の溶け込みが片面すみ肉溶接継手の疲労強度に及ぼす影響については十分に明らかにされていない。 本研究では、溶接溶け込みが疲労強度に及ぼす影響について検討する。
実験・研究方法	疲労試験：T字試験体と十字試験体 (SS400、CO2溶接)
	 <p style="text-align: center;">図1 試験体</p>
実験・研究結果	<p>(1)デッキプレートに力が作用する場合の片面すみ肉溶接継手の疲労強度は、溶込み深さを増しても改善されず、溶け込みが深くなるにつれ若干低下する。(2)リブ板に力が作用する場合の片面すみ肉溶接継手の疲労強度は、溶接溶け込みを深くすることにより大幅に改善される。同様の効果は、脚長を増すことによっても得られる。</p>  <p style="text-align: center;">図3 疲労破壊の状況</p>
特記事項	

実験フローチャート



実験概要図

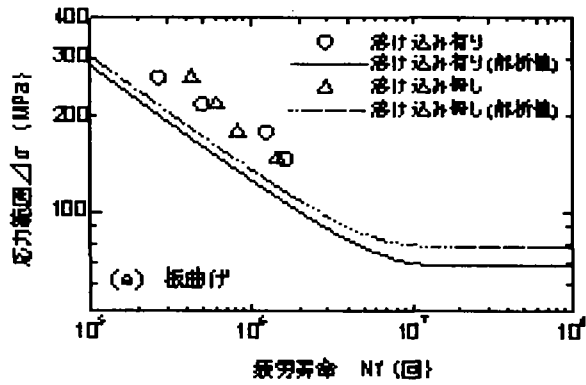


図-5 荷重モード

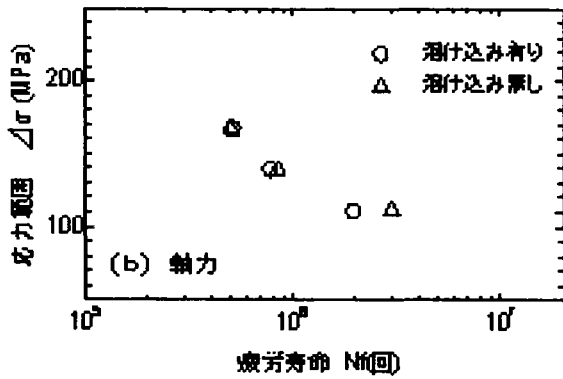


図-2 疲労試験結果



図-4 解析モデル

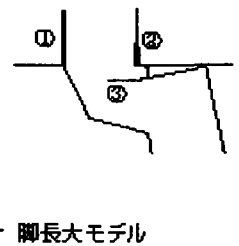
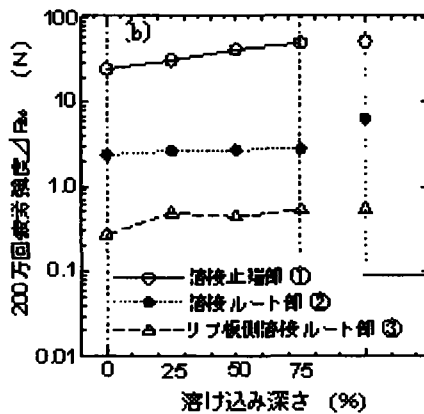
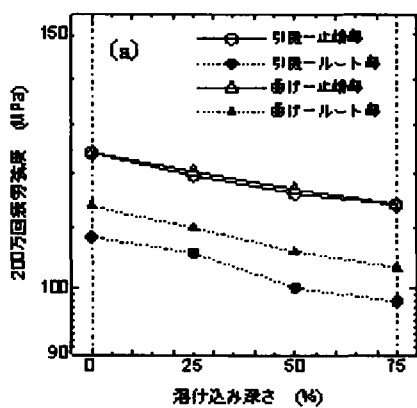


図-6 疲労亀裂進展解析結果

3. 4 まとめ

本編では対策工法の実施状況と実験・研究動向事例について調査研究を行った。

3. 4. 1 補修・補強施工事例の傾向

補修・補強施工の各事例の傾向を把握するために、損傷原因（作用外力、設計製作面）の分類化と補修・補強方法（工法）のタイプを分類した項目をマトリックスで整理した。

その結果を「損傷原因と補修補強事例の対比表」として示す。(表 3-1～表 3-2) この結果から以下のような傾向が分かった。

- ① 原因（作用外力）の頻度は「通行車両の増大・大型化」に起因するものが大半を示す。
- ② また、同じく損傷原因で設計・製作面における頻度は「応力集中、局部応力発生」に起因するものが大半を占め、次に溶接欠陥に起因するものが多くを占めている。本調査では施工事例数 27 件であり、十分な調査規模ではないが、おおよその傾向は示しているものと思われる。
- ③ 橋梁構造別では、鈹桁、箱桁のような簡単な構造に対して、アーチ、トラス、鋼床版のような複雑な構造は、工法規模が大規模になる傾向がある。

損傷原因と補修補強事例の対比表 (補修・補強施工事例)

表3-1 損傷原因（作用外力）と補修補強方法の対比表

損傷原因（作用外力）		頻 度				
		多 ←				→ 少
補修補強方法		通行車両の増大・大型化	過大な応力振幅	部材の変形	不考慮の応力	振動
工 法 規 模 ↑ 小 ↓ 大	ストップホール	004, 016				
	ガウジング・溶接補修	003, 004, 018, 021, 022	024, 025	001, 007, 012	010	008
	あて板補強	003, 015, 016, 017, 018, 021, 022, 023, 027	024, 025	012		
	補強リブ追加	005, 011, 019				
	構造変更	004, 006				
	部材取替	014, 022		007		
	部材追加	014, 015, 016, 020				
	部材連続化	015, 019				

表3-2 損傷原因（設計・製作面）と補修補強方法の対比表

損傷原因（設計・製作面）		頻 度				
		多 ←				→ 少
補修補強方法		応力集中・局部応力発生	溶接欠陥	支承の機能低下	断面剛性不足	不適当な溶接継手
工 法 規 模 ↑ 小 ↓ 大	ストップホール	004				
	ガウジング・溶接補修	001, 003, 004, 008, 013, 018, 021, 024, 025	003, 010, 021, 024, 025	002, 003, 009, 022	007	012
	あて板補強	003, 013, 018, 021, 024, 025, 027	003, 021, 024, 025, 027	005, 022		012, 023
	補強リブ追加	005, 011, 019	005	009		
	構造変更	004			006	
	部材取替			002, 009, 022	007	
	部材追加	020				
	部材連続化	019				

3. 4. 2 補修・補強工法の実施例

補修・補強方法の実施例を分類した結果では、従来から提案されている工法が主流である。具体的には、ストップホール、ガウジング、溶接補修、あて板補強、補強リブが小規模改善工法として、また構造変更、部材取替、部材追加、部材連続化が大規模改善工法として採用されているのが現状である。

3. 4. 3 実験・研究報告事例の傾向

3. 4. 1と同様に傾向を把握するために、研究目的と研究方法に分類しマトリックスで整理した。

その結果を「研究目的と補修補強方法・研究方法の対比表」として示す。(表3-3) この結果から以下のような傾向が分かった。

① 実験・研究部位として、次の部位があげられる。

- ・ガセット溶接部、主桁～横桁取り合い部、カバープレート溶接止端部
- ・鋼製橋脚隅角部の角溶接部、鋼製橋脚基部
- ・照明柱、標識柱（付属物）の基部
- ・鋼床版Uリブ

② 実験研究目的として、次の項目があげられる。

- ・溶接部応力集中の低減
- ・実働応力予測と余寿命評価
- ・あて板補強等による補強方法の検証
- ・炭素繊維シート、ガラス繊維シートと接着剤の効果

研究目的と補修補強方法・研究方法の対比表 (実験・研究報告事例)

表3-3 研究目的と補修補強方法・研究方法の対比表

研究目的 補修補強方法・研究方法		頻 度					
		多 ←				→ 少	
		応力集中・局部応力発生	余寿命評価	溶接	振動	腐食	交通荷重特性
頻度 ↑ 大 ↓ 小	疲労試験	112, 117, 120, 121, 122, 124	125	115, 116, 126	113		
	応力頻度測定	107, 108, 109	102, 103, 104, 125	123	110		103
	FEM解析	118, 124		118	113		
	構造検証	105, 117, 119, 120, 122	125	105	111		
	新材料補強方法検証	112, 121			113	114	
	あて板補強	107, 108, 109					
	溶接補修	106		101			
	部材取替	106					

4. おわりに

疲労損傷の補修・補強事例について文献調査の結果を報告した。いずれの事例も期待した恒久対策の効果が得られているものとするが、補修・補強対策の効果について経年後に評価・報告された事例は少ない。最近の疲労損傷の事例では、補修・補強部に疲労亀裂が再発しているものも見受けられる。補修・補強工法が不適切であったのか、供用条件が過酷になったのか要因は多々あると考えられるが、補修・補強後の系統的な追跡調査（モニタリング）と必要な処置が、既設橋梁の維持管理においてますます重要になっているものといえる。新設設計時または補修・補強設計段階で鋼橋の構造特性、供用荷重条件、材料特性や溶接品質など、疲労強度への影響要因を適切に評価し、疲労耐久性のある構造や補修・補強工法を決定することの重要性を改めて感じる。

本調査・研究では、当初、新設橋梁の設計に反映すべき対策事項の抽出も意図した。しかしながら、重要なこの点が結果的に不十分になってしまったのは残念である。しかし、当WGの活動成果が、少しでも補修・補強工法の実態を理解するうえでの参考になれば幸いである。