

IV. 鋼橋の継手 (テーマ研究)

第1章 海外の鋼構造設計ハンドブックの調査

§ 1 概 要

1. 1 まえがき

1. 2 主な内容

1. 2. 1 CONNECTIONS 連結

1. 2. 2 BEAM AND GIRDER BRIDGES 桁橋

1. 3 まとめ

§ 2 連結部に関する国内基準との比較

§ 1 概 要

1. 1 ま え が き

今年度の分科会としてのテーマである「連結」に関する調査研究の一環として、主として実務家向きに書かれた鋼構造の設計ハンドブックである

・ Structural Steel
Designers' Handbook

著者：Frederick S. Merritt (Consulting Engineer, Syosset, N. Y.) 他

刊行：1972, McGraw-Hill, Inc.

について調査を行った。

このハンドブックの著者は大学、コンサルタント、公官庁、メーカー等の鋼構造の専門家であり、内容は材料、構造解析理論、規準、建築鉄骨の設計、鋼橋の設計と鋼構造全般にわたっている。

このうち、Section 5 CONNECTIONS, by R. D. Loucks and
Frederick S. Merritt

Section 6 BEAM AND GIRDER BRIDGES, by Alfred Hedefine

について調査を行った。その主な内容を1. 2に示すとともに、§ 2では連結全般について国内規準との比較を行っている。

1.2 主な内容

1.2.1 CONNECTIONS 連結

Section	項目	主な内容
5-1	Limitations on Use of Fasteners and Welds 連結材や溶接の使用限界	・鋼構造物（建築物，道路橋，鉄道橋）のちがいによる、リベット，高力ボルト，溶接それぞれの使用制限
5-2	Combinations of Fasteners and Welds ボルト類と溶接の併用	・高力ボルト，リベット，溶接の併用に関する制限と設計力の分担の考え方
< いろいろな連結材 >		
5-3	Rivets リベット	・リベットの種類と図面での表記法 ・リベットが使われなくなった理由
5-4	High-strength Bolts 高力ボルト	・摩擦接合と支圧接合 ・高力ボルトのネジ切り長，ワッシャの使用法
5-5	Unfinished(Machine) Bolts 仕上げていない (機械)ボルト	・普通ボルトの使用についての注意点
5-6	Welded Studs スタッド	・スタッドの使用箇所 ・スタッドの経済性 ・スタッドの配置
5-7	Pins ピン	・支圧に対する抵抗力を上げるための対策，設計法 ・ピンの材質，製造法 ・補強板の設計法 ・ピンの孔径の制限 ・上路トラス道路橋の支点のピン径決定に関する例題

Section	項目	主な内容
＜ ボルト類の継手に関する一般基準＞		
5-8	Minimum Fastener Diameters 最小径	鉄骨，橋梁のボルト類による継手の一般基準 ・ 構造物ごとの最小径 ・ ボルト径のちがいによる継手の経済性
5-9	Fastener Holes ボルト孔	・ 鉄骨，橋梁でのボルト孔径のあけ方の基準
5-10	Minimum Number of Fasteners 最小本数	・ 鉄骨，橋梁の各最小本数
5-11	Maximum Fastener Diameters in Angles アングルの最大ボルト径	・ 山形鋼の最大ボルト径
5-12	Clearances for Fasteners ボルト類のクリアランス	・ 施工を考慮したボルトの配置
5-13	Long Grips 長いボルト	・ 首下長の長いボルトを用いる場合の基準
5-14	Fastener Spacing ボルト配置	・ 最小ボルト間隔 ・ 最大ボルト間隔 ・ 千鳥配置
5-15	Edge Distance of Fasteners 縁端距離	・ 縁端距離と各条件による制限値
5-16	Fillers フィラー	・ フィラーの設計法 ・ フィラーを用いた場合のボルト数の追加
5-17	Installation of Fasteners 締め付け方法	・ リベットの締め付け方法 ・ 高力ボルトの締め付け方法 (トルク法とナット回転法)

Section	項目	主な内容
5-18	Welding Materials 溶接材料	• buildings 及び橋梁の完全溶け込み溶接に使用される溶接棒, ワイヤ, フラックス
5-19	Types of Welds 溶接の種類	• すみ肉溶接 • グループ溶接 (突合せ, T継手, 角継手) - 完全溶け込み, 部分溶け込み • プラグ溶接, スロット溶接
5-20	Standard Welding Symbols 標準溶接記号	• 各種溶接記号
5-21	Weding Position 溶接姿勢	• 下向, 水平 (横向), 立向, 上向
5-22	Limitations on Fillet-weld Dimensions すみ肉溶接寸法に関する制限	• 板厚別の最小すみ肉溶接サイズ • すみ肉溶接の最小有効長
5-23	Limitations on Plug and Slot Weld Dimensions プラグ, スロット 溶接寸法に関する制限	• プラグ溶接及びスロット溶接寸法に関する規定
5-24	Welded Filler 溶接フィラー	
5-25	Welding Procedure 溶接手順	• 溶接施工にあたっての注意事項 環境条件, 溶接面の状態, 接合面間のすき, 予熱, 等々
5-26	Weld Quality 溶接部の品質	• 溶接欠陥 (クレーター, アンダーカット, オーバーラップ, 気泡, クラック) と補修法 • 検査方法 (外観, UT, RT, 磁粉探傷, 浸透)
5-27	Weding Clearance and Space 溶接空間	
5-28	Minimum Connections 連結の最小	• 連結部の最小設計力 • 連結部を構成する最少連結材数 • bracing に用いる最小山形鋼のサイズ
5-29	Hanger Connections 吊材の連結	• 吊材連結部の設計方針 • 例題1~ボルトを用いた吊材連結部の設計 • 溶接重ね継手の設計 • 例題2~溶接重ね継手による吊材連結部の設計 • Tee接合とてこ反力 • 例題3~Tee吊材連結部の設計 • 例題4~完全溶込み溶接部の設計

Section	項目	主な内容
5-30	Tension Splices 引張部の継手	<ul style="list-style-type: none"> ・引張部材の継手の設計方針 ・幅、厚みの異なる板の突合せ溶接 ・継手部の疲労設計 ・例題1～道路橋プレートガーダー引張フランジの現場継手の設計
5-31	Compression Splice Splices 圧縮部の継手	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮部材の継手の設計方針 ・例題1～道路橋プレートガーダー圧縮フランジの現場継手の設計 ・鉄骨柱材の継手 ・架設を考慮した柱材の継手
5-32	Column Base Plates 柱基部のベース プレート	<ul style="list-style-type: none"> ・柱部材をコンクリート基礎上に固定する場合のベースプレート、アンカーボルト等の設計方法と計算例
5-33	Beam Bearing Plates 梁を支持する支圧板	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート基礎上で梁を支持する支圧板の設計方法と計算例
5-34	Shear Splices 腹板の連結	<ul style="list-style-type: none"> ・ボルト又はリベットによる腹板の連結部の設計方法と計算例 ・溶接とボルトの併用又は溶接による連結の事例
5-35	Bracket Connections ブラケットの連結	<ul style="list-style-type: none"> ・単せんボルト、隅肉溶接、引っ張りボルト、突き合せ溶接によるブラケット連結部の設計方法と計算例
5-36	Connections for Simple Beams 単純梁端部の連結	<ul style="list-style-type: none"> ・単純梁端部（せん断のみを伝達）の連結部の設計方法 <ul style="list-style-type: none"> (1) 挟み込み方式：ボルト又は溶接 (2) 台座方式：補剛材無し 補剛材付き ・ボルトによる台座方式の計算例
5-37	Moment Connections モーメント伝達部の 連結	<ul style="list-style-type: none"> ・梁と柱の取付け部でモーメントを伝達する連結部の設計方法 <ul style="list-style-type: none"> (1) ボルトによる場合 (2) 溶接とボルト併用の場合 ・溶接とボルトを併用した半剛結接合の計算例
5-38	Beams Seated Atop Supports 柱頭部に梁を載せる 場合の連結方法	<ul style="list-style-type: none"> ・柱頭部に梁を載せる場合の連結方法とその事例
5-39	Connections to Tubular Columns 角形鋼管柱と梁の 連結	<ul style="list-style-type: none"> ・角形鋼管柱と梁の連結方法とその事例

Structural Steel Designers' Handbook

Section	項目	主な内容
5-40	Truss Connections トラス部材の連結	・トラス部材の連結、ガセット板厚等について
5-41	Crane-Girder Connections クレーン走行梁の連結	・クレーン走行梁と柱の連結部構造とその事例
5-42	Rigid-Frame Knees ラーメン隅角部	・ラーメン隅角部の設計についての一般事項と設計方法

1.2.2 BEAM AND GIRDER BRIDGES 桁橋

Section	項目	主な内容
11-1	Characteristics of Beam Bridges Beam橋	<ul style="list-style-type: none"> Beam橋に関する一般論 桁配置 短径間橋(40ft) 非合成連続形式の経済性 長径間橋(40ft ~85ft) 合成形式の経済性
11-2	Example-Design of Composite, Rolled-beam Stringer Bridge 例題-合成・圧延 Beam橋の設計	<ul style="list-style-type: none"> 単純合成・圧延 Beam橋 2車線の道路橋 支間 74ft, 総幅員 29.5ft 4主桁 (3@8ft=24ft) 使用鋼材 A36 荷重 HS20-44 各部材の設計法
11-3	Characteristics of Plate-girder Stringer Bridges プレートガーダー橋	<ul style="list-style-type: none"> プレートガーダー橋に関する一般論 桁配置 鋼材の材質 ハンチ ウェブ, フランジ 対傾構・横構の組み方
11-4	Example-Design of Composite, Plate-girder Stringer Bridge 例題-合成プレートガーダー橋の設計	<ul style="list-style-type: none"> 単純合成プレートガーダー橋 2車線の高速道路橋 支間 100ft, 総幅員 30.5ft 4主桁 (3@8ft=24ft) 使用鋼材 A36 荷重 HS20-44 各部材の設計法
11-5	Characteristics of Curved Girder Bridges 曲線桁橋	<ul style="list-style-type: none"> 曲線桁橋に関する一般論 曲線桁橋の必要性・経済性 径間長と中心角 ねじり定数比 並列I桁橋の近似解法 閉断面橋の近似解法
11-6	Example-Design of Curved Stringer Bridge 例題-曲線桁橋の設計	<ul style="list-style-type: none"> 単純合成曲線プレートガーダー橋 2車線の高速道路橋 支間 (曲率半径) G1 90ft(300ft) G2 87ft(289ft) G3 83ft(278ft) 総幅員 28.5ft 3主桁 (2@11ft=22ft) 使用鋼材 A36 荷重 HS20-44 各部材の設計法

Section	項目	主な内容
11-7	Deck Plate-girder Bridges With Floorbeams 床桁をもつ上路橋	<ul style="list-style-type: none"> 床桁をもつ上路橋の設計法を示す 例題～4車線の高速道路橋 <ul style="list-style-type: none"> 支間 137.5' の単純 2主桁橋 非合成橋, 3縦桁あり 各部材の設計法 (RC床版, 縦桁, 床桁, 主桁, 横構, 支承)
11-8	Through Plate-girder Bridges with Floorbeams 床桁をもつ下路橋	<ul style="list-style-type: none"> 床桁をもつ下路橋の設計法を示す 例題～単線鉄道橋 <ul style="list-style-type: none"> 支間80' の単純 2主桁橋 各部材の設計法 (床桁, 主桁)
11-9	Composite Box-girder Bridges 合成箱げた橋	<ul style="list-style-type: none"> 合成箱桁橋の設計例
11-10	Orthotropic-plate Girder Bridges 直交異方性版桁橋 (鋼床版桁橋)	<ul style="list-style-type: none"> 鋼床版桁橋の設計例
11-11	Continuous-beam Bridges 連続桁橋	<ul style="list-style-type: none"> 連続桁橋の設計に関する一般事項と3径間連続部分合成桁橋の設計例 <ul style="list-style-type: none"> 支間: 26.4m + 38.1m + 26.4m 幅員: 車道 9.14m, 歩道 1.52m (主桁断面算定とジベルの設計)
11-12	Cantilever (Hung or Suspended) Span Bridges ゲルバー桁橋	<ul style="list-style-type: none"> ゲルバー桁橋の設計に関する一般事項と3径間部分合成ゲルバー桁橋の設計例 <ul style="list-style-type: none"> 支間: 26.2m + 47.9m + 26.2m (吊り桁支間 38.1m) 幅員: 車道 9.14m, 歩道 2@1.83m (主桁断面算定, キャンバー, ヒンジ部詳細等)
11-13	Helpful Hints for Girder-bridge Design 桁橋の設計に関する 助言	<ul style="list-style-type: none"> 桁橋の設計を行うに際して留意すべき事項

1. 3 ま と め

主として連結に関してハンドブックに記されている内容と国内基準との対比という形で調査するとともに、桁橋の設計についても併せて調査した。

ハンドブックの刊行が1972年と若干古いこともあり、特に目新しい事項は見当たらないものの、いくつかの点で国内との相違が見受けられた。

1) 一般的な事項に関して

- ・ 建築鉄骨と鋼橋に関する事項が同一の場で論じられている。
- ・ 国内基準の細部規定のある部分は欧米のそれを土台としているが、国内基準はそれに比して若干厳しい値を採用している。

例： 隅肉溶接の脚長、ボルト最小径及び間隔等

2) 連結に関して

- ・ 高力ボルト摩擦接合でナット回転法を全面的に採用している。
- ・ ボルト過大孔に関しての明確な規定がある。
- ・ 疲労設計に関して明確な規定がある。
- ・ 圧縮材の連結でメタルタッチ接合（50%まで）を認めている。
- ・ 主として鉄骨構造での溶接と高力ボルト摩擦接合との併用、高力ボルト引っ張り接合の採用。

3) 桁橋の設計に関して

- ・ 最少重量設計の立場よりむしろ製作工数、架設工数の低減に対する配慮が重要であると位置付けている。
 - ① 腹板を厚くして補剛材を減らしている。
 - ② 床版支持間隔をなるべく広くとり主桁本数を減らすとともに、支承、対傾構等の部材を減らし、工数の低減を計っている。
 - ③ 細部構造を簡単にする。
- ・ 維持管理面でのネックとなる伸縮継ぎ手をなるべく減らし、連続桁の採用を推奨している。

§ 2 連結部に関する国内基準との比較

項 目		内 容	国 内 基 準 (道 示)
5	連結	<ul style="list-style-type: none"> ・ Connectionという語を、連結材 (fasteners) や溶接による構造物の全ての連結を包含する意味で用いている。 <p>[なお、AISC('69), AASHTO('69~'71), AREA('71)の各基準をもとにしている。] (以下、主として、AASHTO関係とする)</p>	同左
5-1	高力ボルト接合	<ul style="list-style-type: none"> ・ 摩擦接合、支圧接合、引張接合する。 と。 	同左。ただし、後2者の採用については十分な検討が必要。 (4.3.1)
5-2	溶接、高力ボルト等の併用	<ul style="list-style-type: none"> ・ リベットと高力ボルトの併用はせん断力に対して許容。 ・ 溶接と高力ボルトの併用は考えていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 許していない。 ・ グループ溶接および応力に平行なすみ肉溶接との併用許容。 (摩擦接合のみ)

項	目	内 容	国内基準 (道示)
《ボルト類》			
5-3	リベット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 図面での各種リベットの頭部形状の違いを記号で示す。 	表示法は同じ。
5-4	高力ボルト	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材質：A325が一般的で、A490も用いる。 ・ ボルト径：3/4" (19.1mm) または7/8" (22.2mm) ・ 支圧接合ではネジ部がせん断面にかかってもよい。ただし許容力を変えている。 ・ トルク法で締めたA325ボルトはワッシャ必要。ナット回転法ではなしでもよい。A490ではともに必要。 ・ 勾配が1/20以上ある場合はテーパワッシャを用いる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ F10T, F8T ・ M20, 22, 24 (4.3.2) ・ かかってはならない。 ・ すべてワッシャ必要。 ・ 同左 (4.3.12) (テーパフィラーも可)

項 目		内 容	国内基準 (道示)
5-5	普通ボルト (Unfinished Machine Bolt)	・ 2次的な結合には、A307ボルトを用いてよい。	—
5-6	スタッド	・ 合成断面のシェアコネクタが一般的だが、木材、石、コンクリートと鋼材との連結にも用いる。 (径5/8" ~ 1")	・ 合成桁に用いるのが一般的である。
5-7	ピン	・ 上路トラス (道路橋) の支点部のピンの設計法の例題あり。	—

項 目	内 容	国内基準 (道示)
《ボルト継手に関する一般基準》		
5-8 最小径	<ul style="list-style-type: none"> 一次部材 3/4" (19.1mm) 山形鋼などには 5/8" (15.9mm) 	<ul style="list-style-type: none"> ・M20
5-9 ボルト孔 (2頁に追加あり)	<ul style="list-style-type: none"> ・ボルト径は公称径+1/16" (1.6mm)、純断面の計算では公称径+1/8"とする。 ・押抜きでは、材質、板厚により許可 (最大板厚は、A36鋼 3/4" ; 高張力鋼 5/8" ; 調質鋼 1/2") 	<ul style="list-style-type: none"> ・公称径+2.5mm(15.3.7) ・公称径+3.0mm(4.3.7) ・二次部材で板厚12mm以下の孔あけに押抜きを用いてよい。 (15.3.2)
5-10 ボルトの最小本数	<ul style="list-style-type: none"> ・継手は1群として2本以上を使用する。 ウェブのシャーププレートは片側当り、2列以上とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・同左 (4.3.11)
5-11 山形鋼の最大ボルト径	<ul style="list-style-type: none"> ・計算に入っている場合はボルト径は脚長の1/4を越えない。 ・計算で決めていない場合は、サイズに従ってボルト径が決っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・規定なし ・規定なし
5-12 施工性を考慮したボルトの配置	<ul style="list-style-type: none"> ・一般論 	<hr/>

項	目	内 容	国内基準 (道示)							
5-9'	過大孔 (追加)	AASHTO '77 (第12版) によると、以下に示すように過大孔および摩擦面の程度により、ボルトの許容応力を規定している。(米国道路橋示方書 (訳) 長大橋技術研究会設計分科会 昭54.10 より引用)	規定なし							
<p>1. 7. 22 連結材 (リベットおよびボルト)</p> <p>(A) 一般</p> <p>(中略)</p>										
<p>高力ボルトは計算された引張力またはせん断力と計算された引張力の組合せを受ける連結材として用いなければならない。高力ボルトを用いた支圧形の連結は圧縮材や二次部材に限られる。</p> <p>設計図に示される場所や設計者が認めた位置では過大孔、長短の長円孔が次に制限される場合を除いて5/8インチ (15.9mm) の高力ボルトの場合に用いられる。そして径の大きい場合は、表1. 7. 41 (C)、1. 7. 71 (A) に示される許容応力に応じ比例して用いられる。</p> <p>1. 過大孔は径7/8インチ (22.2mm) 以下のボルトでは3/16インチ (4.8mm) 大きく、1インチ (25.4mm) のボルトでは1/4インチ (6.4mm) 大きく、1 1/8インチ (28.6mm) 以上のボルトでは5/16インチ (7.9mm) 大きい。</p> <p>これは摩擦形式で連結するすべての板に使用してもよい。過大孔を焼入れワッシャーでおおわなければならない。</p>		<p>2. 短い長円孔は幅はボルト径より1/16インチ (1.6mm) 広く、長さは1項の過大孔の径の規定を1/16インチ (1.6mm) 越えてはならない。これは摩擦形式、支圧形式で連結するすべての板に使用してもよい。摩擦形式の連結では長い方の径は、荷重方向に関係なく使用してよい。しかし、支圧形式の連結では、荷重方向に直角に使用しなければならない。焼入れワッシャーで孔をおおわなければならない。</p> <p>3. 長い長円孔は、幅はボルト径より1/16インチ (1.6mm) 広く、長さは2項に許されたものより長くする。しかしボルト径の2 1/2倍より長くしてはならない。</p> <p>摩擦形式の連結では、ここで制限する場合を除いて許容設計応力を満足するのに必要な本数より1/3割増しすれば、荷重方向に関係なく使用してよい。支圧形式の連結では、長い方の径は荷重方向に直角とする。ボルト本数は設計応力が必要とする本数でよい。</p> <p>長い長円孔は、個々の密着面で摩擦形式または支圧形式で連結する連部材の1方のみ使用してよい。厚さ5/16インチ (7.9mm) と同様の構造板座金 (Structural Platewasher) や連続棒 (Continuous Bar) が結合部の外側にある長い方の径をかくすのに必要となる。この座金および棒は締付け後、孔を完全にかくすのに十分な大きさをもたなければならない。</p>								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>呼び径</th> <th>オーバーサイズ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7/8 インチ以下</td> <td>+ 3/16 インチまで</td> </tr> <tr> <td>1 インチ</td> <td>+ 1/4 "</td> </tr> <tr> <td>1 1/8 インチ以上</td> <td>+ 5/16 "</td> </tr> </tbody> </table>		呼び径	オーバーサイズ	7/8 インチ以下	+ 3/16 インチまで	1 インチ	+ 1/4 "	1 1/8 インチ以上	+ 5/16 "	<p>4. 過大孔や長円孔の場合、孔の端と部材端の距離は1. 7. 22 (C) と1. 7. 22 (E) の普通サイズの孔の規定より小さくしてはならない。</p>
呼び径	オーバーサイズ									
7/8 インチ以下	+ 3/16 インチまで									
1 インチ	+ 1/4 "									
1 1/8 インチ以上	+ 5/16 "									
<p>(以下略)</p>										

項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
-----	-----	---------------

5-9' 過大孔 (追加)

1.7.41 許容応力度

(中略)

作用荷重設計法 許容応力度設計

(C) 連結材(リベットおよびボルト)

(1) 許容応力度

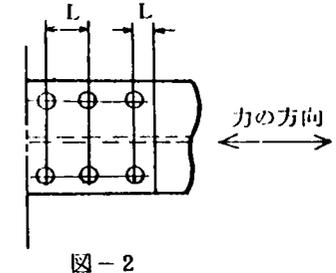
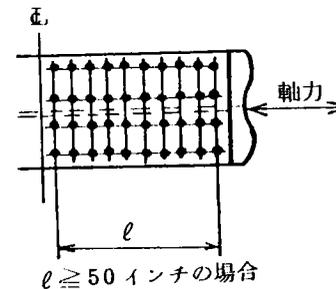
連結材の許容応力度は、表 1.7.41C、1.7.41C1 および 1.7.41C2 の通りとする。

表 1.7.41C1 高力ボルトの許容応力度^a ksi (MPa)

荷重条件		孔の種類	AASHTO M164 ^f (ASTM A325) ボルト	AASHTO M253 (ASTM A490) ボルト
加えられる引張応力(T) ^b		標準孔、過大孔、長円孔	89.5 (272.342)	48.5 (334.395)
せん断 力 (Fv)	摩擦接合 ^c	標準孔	16.0 (110.316)	20.0 (137.895)
		過大孔	13.5 (93.079)	17.0 (117.211)
		短めの長円孔	13.5 (93.079)	17.0 (117.211)
		長めの長円孔	11.5 (79.289)	14.5 (99.973)
支圧接合 ^d	せん断面にねじ部がある場合	標準孔、長円孔	19.0 (131.000)	25.0 (172.369)
		せん断面にねじ部がない場合	27.0 (186.158)	36.0 (248.211)
支圧応力 ^e (fp)		標準孔、長円孔	$\frac{L F_u}{2.2d}$ あるいは $1.35 F_u$ (いずれか小さい方)	

- a: 表中の応力は支圧応力を除き、鋼種にかかわらず、公称断面積に適用される。
- b: ボルトが引張疲労荷重を受ける時の許容応力度に適用される。1.7.41(C) (4)を参照のこと。
- c: ミルスケールを除去した接触面に対して適用可能。摩擦接合の接触面に特殊な処理をほどこす場合には、表 1.7.41(C) (2)をかわりに用いてよい。
- d: 支圧接合において軸力線と平行に測ったボルト群の最遠距離が 50 インチ (1.27 m) をこえるような場合、表中の値を 20% 減ずる。(図-1参照)
- e: L はボルト中心から隣接するボルトの最も近い縁端までの力線に沿って測った距離あるいは、ボルト中心線から力の伝達方向の添接部材の縁端までの距離。(図-2参照)
- f: AASHTO M164 (ASTM A325) 高力ボルトはタイプ 1, 2 および 3 の 3 つのタイプに利用できる。タイプ 3 は無塗装の AASHTO M222 (ASTM A588) 鋼を使用するような時に必要となる。

(訳注)



Structural Steel Designers' Handbook

項 目	内 容	国内基準 (道示)
5-9'	過大孔 (追加)	

表 1.7.41 C2 摩擦形式のせん断接合に使用された高力ボルトに対する許容せん断応力度。
ボルト締めされた部材の表面状態に基づく。

表面の 種 類	ボルト締めされた部材の表面状態	標 準 の 孔		過大孔及び短めの長孔		長めの長円孔	
		M164 (A325)	M258 (A490)	M164 (A325)	M258 (A490)	M164 (A325)	M258 (A490)
A	ミルスケールの除去	160 (110316)	200 (137895)	135 (93079)	170 (117211)	115 (79289)	145 (99973)
B	ブラスト処理された炭素鋼及び低合金鋼	250 (172369)	310 (213737)	210 (144790)	265 (182710)	175 (120658)	215 (148237)
C	ブラスト処理された焼入れ鋼及び焼もどし鋼	170 (117211)	210 (144790)	145 (99973)	180 (124105)	120 (82737)	150 (103121)
D	電気亜鉛メッキ及び溶融亜鉛メッキ	195 (134147)	245 (168921)	165 (113763)	205 (141342)	135 (93079)	170 (117211)
E	ブラスト処理され、有機系ジンクリッチが塗装されたもの	190 (131000)	235 (162026)	160 (110316)	200 (137895)	130 (89632)	160 (110316)
F	ブラスト処理され、無機系ジンクリッチが塗装されたもの	265 (182710)	335 (230974)	225 (155131)	285 (196500)	185 (127552)	235 (162026)
G	ブラスト処理され、亜鉛溶射されたもの	265 (182710)	335 (230974)	225 (155131)	285 (196500)	185 (127552)	235 (162026)
H	ブラスト処理され、アルミニウム溶射されたもの	270 (186158)	340 (234121)	230 (158579)	290 (199948)	190 (131000)	240 (165474)
I	エポキシコーティング	150 (103121)	185 (127552)	125 (86184)	160 (110316)	105 (72391)	130 (89632)

- a: この表の値はせん断面とねじ部の位置の関連や添接長さによる 20% の低減
(表 1.7.41 C 1 脚注 d を参照) を考慮して定めた支圧接合の許容応力の中の最小値
以下であれば支圧形式の接合に適用できる。
- b: 表面の種類についての詳細は 2.10.20(C) を参照のこと。

(以下略)

項 目		内 容	国 内 基 準 (道示)						
5-13	首下長の長いボルト	・リベットの場合、首下長が径の4倍を越えているときは、本数を増加させる。(1/16"ごとに1%増加)	・4.5倍に対して、1mmごとに0.7%増加 (4.4.12)						
5-14	最小中心間隔	・径の3倍	・M22で75mm、やむを得ない場合は径の3倍まで (4.3.8)						
	最大中心間隔	・ $P \leq 7"$ (178mm)、4" + 4t	・M22、150mm、12t						
5-15	最小縁端距離	・7/8" ボルト <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>1) セン断縁、ガス切断縁</td> <td>1 1/2" (38mm)</td> </tr> <tr> <td>2) 圧延縁</td> <td>1 1/8" (29mm)</td> </tr> <tr> <td>3) その他</td> <td>1 1/4" (32mm)</td> </tr> </table>	1) セン断縁、ガス切断縁	1 1/2" (38mm)	2) 圧延縁	1 1/8" (29mm)	3) その他	1 1/4" (32mm)	M22 セン断縁 } 37mm 手動ガス切断縁 } 圧延縁、仕上げ縁 } 32mm 自動ガス切断縁 }
	1) セン断縁、ガス切断縁	1 1/2" (38mm)							
2) 圧延縁	1 1/8" (29mm)								
3) その他	1 1/4" (32mm)								
	最大縁端距離	・5" (127mm) または 8t (t: 外側の板厚)	・150mm、8t (4.3.10)						
5-16	フィラー	・リベットで、1/4" より厚いフィラーでは、添接板より長くする。 (定量的な説明がない)	・4.4.11にリベットのフィラーとして定量的に規定。						

項 目	内 容	国内基準 (道示)
5-17	<p>摩擦接合面</p> <p>締付け方法</p> <p>締付けボルト軸力</p> <p>ナット回転法</p> <p>・接合面には、油、塗料などがあってはならない。</p> <p>・ナット回転法またはトルクレンチ法</p> <p>・7/8" A325 39kips (17.7t) A490 49kips (22.2t)</p> <p>・接触面の肌すきがなくなる程度にトルクレンチで締めた状態、あるいは組立用スパナで力いっぱい締めた状態から次に示す回転角を与えるものとする。</p> <p>a) ボルト軸に対し両面が直角または1面が直角で他面が1/20以下の傾斜の場合</p> <p>イ) ボルト長が径の8倍または8'以下: 1/2回転(180度)</p> <p>ロ) ボルト長が径の8倍または8'以上: 2/3回転(240度)</p> <p>b) 両面とも1/20以下の傾斜の場合</p> <p>ボルト長にかかわらず 3/4回転(270度)</p>	<p>・同左 (15.4.5)</p> <p>・ナット回転法はF8Tのみ許容 (15.4.5(3))</p> <p>・M22 F8T 16.5t F10T 20.5t (15.3.4(3))</p> <p>・同左 (15.4.5(3)) ただし、8' → 20cm</p>

項 目	内 容	国内基準 (道示)																																										
<p>5-22 Limitations on Fillet-weld Dimensions</p>	<p>5-22 すみ肉溶接寸法の制限。 任意のすみ肉溶接サイズについて、薄い母材よりも、厚い母材の方が、冷却速度が速くなるが、制約も増えてくる。溶接の結果としての内部応力による割れを防止するため、<u>板厚別の最小すみ肉溶接サイズが、仕様に定められている。(表5-14)</u></p> <p style="text-align: center;">表5-14 すみ肉溶接の最小サイズ</p> <table border="1" data-bbox="627 580 1534 697"> <tr> <td>Weld size, in</td> <td>3/16</td> <td>1/4</td> <td>5/16</td> <td>3/8</td> <td>1/2</td> <td>5/8</td> </tr> <tr> <td>Max plate thickness, in</td> <td>1/2</td> <td>3/4</td> <td>1 1/2</td> <td>2 1/4</td> <td>6</td> <td>Over 6</td> </tr> </table> <p>この表では、溶接サイズは、溶接する2つの部材のうち、厚い方を基準に、決定される。しかし、<u>溶接サイズは、薄い方の母材の板厚を超えてはならない。</u>ただし、応力計算をした上で、その板厚より大きな溶接サイズが必要な場合は別とする。</p> <p>建造物では、<u>最小1/8 インチのすみ肉溶接サイズ (上表にはない) を、1/4 インチ以下の板厚に適用できる。</u></p> <p>橋では、<u>シール溶接は最小3/16インチのすみ肉溶接となる。</u>シール溶接は連続溶接とする。溶接サイズの変更は、強度の関係で必要な場合か、板厚が変わるときだけに限る。</p>	Weld size, in	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	Max plate thickness, in	1/2	3/4	1 1/2	2 1/4	6	Over 6	<p>4.2.4 すみ肉溶接の脚およびサイズ</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(1) すみ肉溶接は等脚すみ肉溶接とするのを原則とする。 (2) 主要部材の応力を伝えるすみ肉溶接のサイズは6mm以上とし、式(4.2.1)を満足する大ききとするのを標準とする。</p> $r_1 > S \geq \sqrt{2t_1} \dots\dots\dots (4.2.1)$ <p>ここに、 S: サイズ (mm) t₁: 薄い方の母材の厚さ (mm) t₂: 厚い方の母材の厚さ (mm)</p> </div> <p>* 左記の表5-14と上記の道示の規定を比較すると下表の通りとなり、道示の規定の方が若干厳しい値となっていることがわかる。</p> <table border="1" data-bbox="1635 697 2116 823"> <tr> <td>厚い方の板厚 (in)</td> <td>1/2</td> <td>3/4</td> <td>1 1/2</td> <td>2 1/4</td> <td>6</td> <td>6超</td> </tr> <tr> <td>表5-14の値 (in)</td> <td>3/16</td> <td>1/4</td> <td>5/16</td> <td>3/8</td> <td>1/2</td> <td>5/8</td> </tr> <tr> <td>(mm)</td> <td>4.76</td> <td>6.35</td> <td>7.94</td> <td>9.52</td> <td>12.7</td> <td>15.88</td> </tr> <tr> <td>道示 2 t₁ (mm)</td> <td>5.04</td> <td>6.17</td> <td>6.73</td> <td>10.69</td> <td>17.46</td> <td></td> </tr> </table>	厚い方の板厚 (in)	1/2	3/4	1 1/2	2 1/4	6	6超	表5-14の値 (in)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	(mm)	4.76	6.35	7.94	9.52	12.7	15.88	道示 2 t ₁ (mm)	5.04	6.17	6.73	10.69	17.46	
Weld size, in	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8																																						
Max plate thickness, in	1/2	3/4	1 1/2	2 1/4	6	Over 6																																						
厚い方の板厚 (in)	1/2	3/4	1 1/2	2 1/4	6	6超																																						
表5-14の値 (in)	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8																																						
(mm)	4.76	6.35	7.94	9.52	12.7	15.88																																						
道示 2 t ₁ (mm)	5.04	6.17	6.73	10.69	17.46																																							

Structural Steel Designers' Handbook

項	目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
		<p>標準仕様では、更に、すみ肉溶接の有効長の最小値も設定している。強度によっては、最小有効長さは、すみ肉溶接サイズの4倍であるが、1 1/2 インチより小さいことはない。逆に、すみ肉溶接サイズを、有効長さの1/4 より大というように考えてはならない。</p> <p>例えば、1/2 インチの溶接サイズの溶接で、長さが、1 1/2 インチしかないとする。その有効溶接サイズは、$1\ 1/2 / 4 = 3/8$ インチとなる。</p> <p>上記の必要条件を満足するなら、建造物では、断続すみ肉溶接を使って、計算応力を継手や接続面から逃すこともできる。ただし、必要強度が、許容最小限の溶接サイズの連続すみ肉溶接による保証される強度より小さい場合に限る。断続すみ肉溶接は、又、建造物の組立部材の部品を接合するために利用してもよい。しかし、この溶接は、一般に、橋の組立に使うてはならない。これは、湿気の浸透を防ぐためとか、疲労問題を起こさないようにするため、端面をシールしなければならないからである。</p>	<p>4.2.5 すみ肉溶接の最小有効長</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p>主要部材のすみ肉溶接の有効長は、サイズの10倍以上、かつ、80mm以上としなければならない。</p> </div>

項 目	内 容	国内基準 (道示)
5-23	<p>Limitations on Plug and Slot Weld Dimensions</p> <p>5-23 プラグ及びスロット溶接寸法上の制限。 <u>5/8 インチ以下の板厚の部材では、プラグ、又は、スロット溶接の厚みは、部材の板厚と同じであること。</u></p> <p><u>5/8 インチより大きい板厚の場合、溶接厚みは、部材の少なくとも半分の厚みがあること。ただし、5/8 インチ以下にしてはならない。</u></p> <p><u>プラグの穴の直径は、少なくとも穴の深さ+3/8 インチであること。しかし、その直径は、溶接金属の厚さの2 1/4 倍を超えてはならない。</u></p> <p>したがって、3/4 インチの板厚の部材の穴径は、最低$3/4 + 3/8 = 1 1/8$ インチとなる。溶接金属の深さは、少なくとも5/8 インチ$> (1.125 / 2.25 = 0.5$ インチ)$> (1/2 \times 3/4 = 3/8$ インチ)となる。</p> <p>プラグ溶接は、お互いの中心から中心までの間隔として、その穴径の4倍以上なければならない。</p> <p><u>スロット溶接のスロット長さは、溶接厚さの10倍を超えてはならない。スロット幅は、少なくともスロット深さ+3/8 インチあること。しかし、スロット幅は溶接厚さの2 1/4 倍を超えてはならない。</u></p> <p>したがって、3/4 インチの板厚の部材スロット幅は、最低$3/4 + 3/8 = 1 1/8$ インチとなる。溶接金属深さは、少なくとも5/8 インチ$> (1.125 / 2.25 = 0.5$ インチ)$> (1/2 \times 3/4 = 3/8$ インチ)となる。もし、最小深さが採用されるなら、スロット長さは、$10 \times 5/8 = 6 1/4$ インチ以下となる。</p> <p>スロット溶接は、スロット長さに対して垂直方向に、そのスロット幅の4倍以下の間隔で、溶接を行ってはならない。縦方向については、スロット長さの少なくとも2倍の中心間隔をおくこと。</p>	

Structural Steel Designers' Handbook

項 目	内 容	国内基準 (道示)
5-25	<p>Welding Procedures</p> <p>すみ肉溶接する部材どうしは、なるべく接触し合っていること。<u>部材間のすきまは、3/16インチ以上あってはならない。1/16インチ以上ある場合、すみ肉溶接サイズを、そのすきま分だけ、大きくすること。</u></p> <p><u>裏あて構造物での重ね継手や突合せ溶接の接合面間のすきまは、1/16インチ以上あってはならない。</u>一般に、溶接で完全にシールされていない継手も、金属が塗装された後、水分をよせつけないぐらい十分に密着していること。</p> <p><u>突合せ溶接する部材の芯合せは、注意深く行うこと。1/8 インチを超えるずれがある場合は、修正すること。</u>しかし、この時、2度を超える傾斜面で、部材を引っ張ってはならない。</p>	<p>15.3.3 溶 接</p> <p>(5) 材片の組合せ精度</p> <p>1) 材片の組合せ精度は、溶接部の応力伝達が円滑で、かつ、溶接不良を起さないものにならなければならない。</p> <p>2) 材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。ただし、施工試験によって精度の許容量が確認された場合はこれによらずよい。</p> <p>I) グループ溶接</p> <p>a) ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm以下</p> <p>b) 板厚方向の材片の偏心：薄い方の板厚の10%以下</p> <p>c) 裏当てを用いる場合の密着度：0.5mm以下</p> <p>d) 開先角度：規定値±10°</p> <p>II) すみ肉溶接</p> <p>材片の密着度：1.0mm以下</p>

項 目

内 容

国内基準 (道示)

割れの防止策として、又、他の理由から、標準仕様では、ある条件下において溶接前の母材の予熱を規定している。表5-15では、典型的な予熱温度とパス間温度を示している。この表によると、板厚、炭素含有量、合金含有量が増えるにつれて、より高温の予熱が必要となることがわかる。これは、冷却速度を遅らせ目に見えないような小さな割れや、熱影響部がもろくなるのを防止するためである。

TABLE 5-15 Minimum Preheat and Interpass Temperatures, Deg F, for Welds

Thickness of thickest part at point of welding, in.	Welding process				
	Shielded metal-arc welding with other than low-hydrogen electrodes	Shielded metal-arc welding with low-hydrogen electrodes; submerged-arc welding; gas metal-arc welding; or flux-cored arc welding	ASTM A30; A242 Weldable Grade; A375; A441; A528; A570 Grades D and E; A572 Grades 42, 45, and 50; A568	ASTM A572 Grades 55, 60, and 65	ASTM A514, A517
To 1/2, inclusive.....	None†‡	None†‡	70	50	50
Over 1/2 to 1 1/4, inclusive.....	150	70‡	150	125	200
Over 1 1/4 to 2 1/4, inclusive.....	225	150‡	225	175	300
Over 2 1/4.....	300	225	300	225	400

* Only low-hydrogen electrodes should be used for welding A36 steel more than 1 in. thick.
 † When the base-metal temperature is below 32F, preheat base metal to at least 70F, and maintain this minimum temperature during welding.
 ‡ Minimum preheat for A36 steel in thicknesses up to 2 in. is 50F.
 § This provision also applies to A36 steel in thicknesses up to 1 in.

15.3.3 溶 接

(9) 予 熱

下記事項のいずれかに該当する場合は、溶接線の両側10cmおよびアーチの前方10cmの範囲内の母材を、表-15.3.6により予熱するを標準とする。ただし、サブマージアーク溶接に関してはこの項を適用しないものとする。また、特別な実験資料によっておれ防止が確実に保証される場合は、この項の適用を除外することができる。

1) 鋼材のミルシートから次の式により計算した炭素当量が0.44%をこえる場合。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \left(\frac{Cu}{13}\right) (\%) \dots\dots (15.3.1)$$

ただし、() の項は Cu ≥ 0.5 の場合に加えるものとする。

2) 表-15.3.2の最高かたき試験において予熱なしで最高かたき (H_w) が 370 をこえた場合。

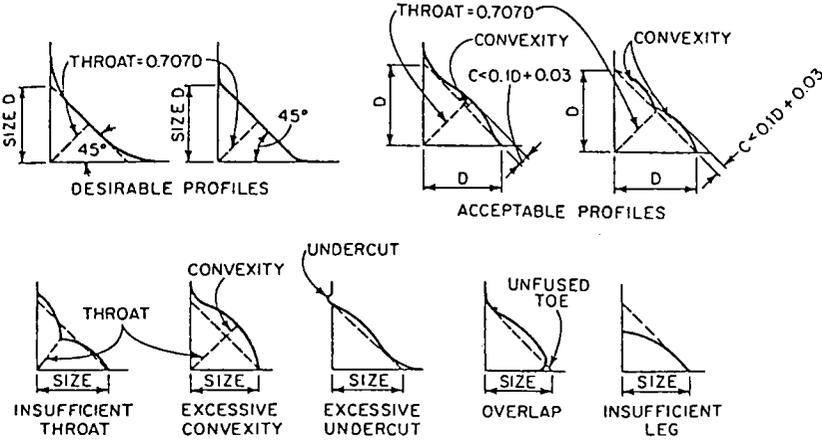
3) 気温 (室内の場合は室温) が 5°C 以下の場合。

表-15.3.6 予熱温度の標準

鋼 種	板厚 (mm)		
	t < 25	25 ≤ t < 38	38 ≤ t ≤ 50
SS 41 SM 41	予熱なし	予熱なし ¹⁾ 40°C~60°C ²⁾	40°C~60°C ³⁾
SMA 41 SM 50	予熱なし ¹⁾	40°C~60°C ²⁾	80°C~100°C ³⁾
SMA 50 SM 50Y SM 53 SM 58 SMA 58	40°C~60°C ²⁾	80°C~100°C ²⁾	80°C~100°C ³⁾

注: 1) 低水素系の溶接棒を使用する場合
 2) 低水素系以外の溶接棒を使用する場合
 3) 低水素系溶接棒を使用するのを標準とする

項 目	内 容	国内基準 (道示)								
5-26 Weld Quality	<p>5-26 溶接の質。すべての溶接の基本条件は、溶接と母材との完全な融合又、溶接金属の連続層の完全な融合である。更に、溶接部には、クレーター、アンダーカット、オーバーラップ、気孔、割れ等があってはならない (AWS D 1.0 及び D2.0 には、これらの欠陥許容値が示されている)。溶接部の有効長さにおいて、クレーター、過度のくぼみ、不十分な大きさの溶接がある場合、その部分をきれいにし、溶接部の断面いっぱいまで溶着を行う。一般に、すべてのアンダーカット (溶接止端の母材の欠け) は、溶接金属を溶着させて、元の表面に修復する。応力集中の原因となるオーバーラップ (溶着金属が止端で母材に融合しないで重なった部分) 及び過度のふくらみは、不必要な部分だけを削り落とすことにより、修整する (図5-19と図5-20を参照すること)。気孔やスラグ含有量が多すぎるとか溶融が不完全である場合は、その問題部分を取り除き、溶接をし直す。</p>	<p>15.3.3 溶 接</p> <p>00 グループ溶接の余盛りと仕上げ 設計においてとくに仕上げの指定のないグループ溶接は、表-15.3.7に示す範囲内の余盛りは仕上げなくてよい。余盛り高さが表-15.3.7に示す値をこえる場合は、ビード形状、とくに止端部を附らかに仕上げなければならない。</p> <p>表-15.3.7 グループ溶接の余盛り (mm)</p> <table border="1" data-bbox="1809 470 2011 592"> <thead> <tr> <th>ビード幅(B)</th> <th>余盛り高さ(A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$B < 15$</td> <td>$A \leq 3$</td> </tr> <tr> <td>$15 \leq B < 25$</td> <td>$A \leq 4$</td> </tr> <tr> <td>$25 \leq B$</td> <td>$A \leq \frac{1}{25} B$</td> </tr> </tbody> </table>	ビード幅(B)	余盛り高さ(A)	$B < 15$	$A \leq 3$	$15 \leq B < 25$	$A \leq 4$	$25 \leq B$	$A \leq \frac{1}{25} B$
ビード幅(B)	余盛り高さ(A)									
$B < 15$	$A \leq 3$									
$15 \leq B < 25$	$A \leq 4$									
$25 \leq B$	$A \leq \frac{1}{25} B$									

項	目	内 容	国内基準 (道示)
		 <p>THROAT = 0.707D</p> <p>45°</p> <p>SIZE D</p> <p>DESIRABLE PROFILES</p> <p>THROAT = 0.707D</p> <p>CONVEXITY</p> <p>$C < 0.1D + 0.03$</p> <p>D</p> <p>ACCEPTABLE PROFILES</p> <p>CONVEXITY</p> <p>$C < 0.1D + 0.03$</p> <p>UNDERCUT</p> <p>THROAT</p> <p>CONVEXITY</p> <p>INSUFFICIENT THROAT</p> <p>EXCESSIVE CONVEXITY</p> <p>EXCESSIVE UNDERCUT</p> <p>UNFUSED TOE</p> <p>OVERLAP</p> <p>INSUFFICIENT LEG</p> <p>DEFECTIVE PROFILES</p> <p>Fig. 5-19 Fillet-weld profiles.</p> <p>REINFORCEMENT</p> <p>ACCEPTABLE PROFILE</p> <p>$R > 1/8"$</p> <p>THROAT</p> <p>INSUFFICIENT THROAT</p> <p>EXCESSIVE CONVEXITY</p> <p>EXCESSIVE UNDERCUT</p> <p>UNFUSED EDGE</p> <p>OVERLAP</p> <p>DEFECTIVE PROFILES</p> <p>Fig. 5-20 Groove-weld profiles.</p>	

Structural Steel Designers' Handbook

項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
<p>5-28 Minimum Connections 連結の最小</p>	<p>①連結部の最小設計力は、6 kips(2722 kg) とする。</p> <p>②連結部では、2本以上の連結材を使用する。</p> <p>③bracing に用いる山形鋼の最小寸法は3×2 1/2 in (76×63.5mm) とする。</p>	<p>①規定なし</p> <p>②</p> <p>4.3.11 ボルトの最少本数</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p>継手では、1群として2本以上の高力ボルトを使用しなければならない。</p> </div> <p>③</p> <p>5.2 対傾構、横構の構造</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p>(1) 複斜材形式の対傾構または横構を使用する場合は、部材の交点を互いに連結しなければならない。</p> <p>(2) 対傾構・横構に用いる山形鋼の最小寸法は75mm×75mmとする。</p> <p>(3) 主構造を平面構造物として扱う場合に、対傾構または横構をトラス構造とするときは、その細長比は3.1.7に規定する二次部材の規定を適用してよい。</p> </div>

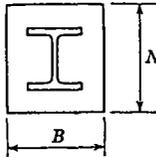
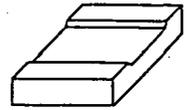
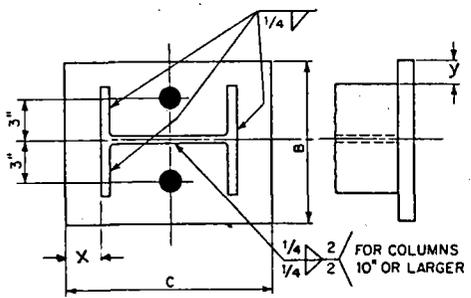
項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
5-29 Hanger Connections 吊材の連結	<p>①部材の連結の設計は作用応力と母材の全強との平均に対して行なう。ただし、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計する。</p> <p>②連結長が長い場合は1線上に並ぶ連結材の数を制限する(通常は9本以下)か、1連結材当たりの許容荷重を低減する。</p> <p>③重ね継手の部材の重なるの長さは薄い方の板厚の5倍以上かつ1 in (25.4 mm) 以上とする。</p> <p>④溶接部については疲労に対して照査する(AASHTO)。</p>	<p>①</p> <p>4.1 部材の連結</p> <p>4.1.1 一般</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(1) 部材の連結の設計は作用応力に対して行うのを原則とする。</p> <p>(2) 主要部材の連結は(1)によるほか、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計しなければならない。ただし、せん断力については作用応力を用いてよい。</p> <p>(3) 部材の連結部の構造は、次の事項を満たすように設計しなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 応力の伝達が明確であること。 2) 構成する各材片において、なるべく偏心がないようにすること。 3) 有害な応力集中を生じさせないこと。 4) 有害な残留応力や二次応力を生じさせないこと。 </div> <p>②</p> <p>3) 連結長が長すぎるとボルトやリベットに作用する力が著しく不均等になる。したがって、リベットおよびボルトによる支圧接合の場合は、1ボルト線上または1リベット線上に並ぶそれぞれの本数をなるべく6本以下とするのがよい。また、高力ボルト厚板接合ではリベット接合に比べて性状が改善されており、12本程度まではすべり引力が低下しないという実験例もあるが、無理のない範囲ということなるべく8本程度以下とするのがよい。</p> <p>③</p> <p>4.2.10 重ね継手</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(1) 応力を伝える重ね継手には、2列以上のすみ肉溶接を用いるものとし、部材の重なるの長さは薄い方の板厚の5倍以上とする。</p> <p>(2) 軸方向力を受ける部材の重ね継手に側面すみ肉溶接のみを用いる場合は、次の規定を満足しなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 溶接線の間隔は薄い方の板厚の16倍以下を原則とする。ただし、引張力のみを受ける場合は、上記の値を20倍とする。やむを得ずこれをこえる場合は、板の浮上りを防ぐ処置を施さなければならない。 2) すみ肉溶接のそれぞれの長さは、溶接線間隔より大きくしなければならない。 </div> <p>④規定なし</p>

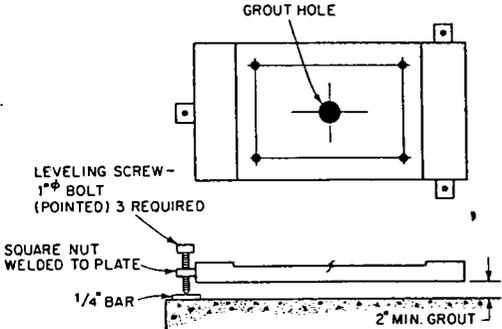
Structural Steel Designers' Handbook

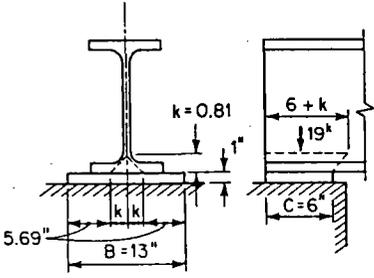
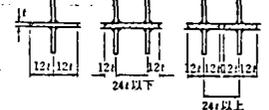
項 目	内 容	国内基準 (道示)
5-30	Tension Splices 引張部の継手	<p>①部材の連結の設計は作用応力と母材の全強との平均に対して行なう。 ただし、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計する。</p> <p>②断面が異なる部材の突合せ溶接継手においては、厚さ及び幅は徐々に変化させ、長さ方向の傾斜は1:2.5とする。 ただし、A514, A517鋼の場合は2in (50.8mm) Rですりつける。</p> <p>③突合せ溶接継手は完全溶込み溶接とし、溶接部については疲労に対して照査する(AASHTO)。</p> <p>④高力ボルト継手の場合ボルトについては疲労を考慮しないが、連結板については考慮する。</p> <p>①</p> <p>4.1 部材の連結</p> <p>4.1.1 一般</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(1) 部材の連結の設計は作用応力に対して行うのを原則とする。 (2) 主要部材の連結は(1)によるほか、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計しなければならない。ただし、せん断力については作用応力を用いてよい。 (3) 部材の連結部の構造は、次の事項を満たすように設計しなければならない。 1) 応力の伝達が明確であること。 2) 構成する各材片において、なるべく偏心がないようにすること。 3) 有害な応力集中を生じさせないこと。 4) 有害な残留応力や二次応力を生じさせないこと。</p> </div> <p>②</p> <p>4.2.8 突合せ継手</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>断面が異なる主要部材の突合せ継手においては、厚さおよび幅は徐々に変化させ、長さ方向の傾斜は1/5以下としなければならない。</p> </div> <p>③規定なし</p> <p>④規定なし</p>

Structural Steel Designers' Handbook

項	目	内 容	国内基準 (道示)
5-31	Compression Splices 圧縮部の継手	<p>①部材の連結の設計は作用応力と母材の全強との平均に対して行なう。 ただし、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計する。</p> <p>②断面が異なる部材の突合せ溶接継手においては、厚さ及び幅は徐々に変化させ、長さ方向の傾斜は1:2.5とする。 ただし、A514, A517鋼の場合は2inR (50.8mm) ですりつける。</p> <p>③突合せ溶接継手は完全溶込み溶接とし、溶接部については疲労に対して照査する (AASHTO)。</p> <p>④高力ボルト継手の場合ボルトについては疲労を考慮しないが、連結板については考慮する。</p>	<p>①</p> <p>4.1 部材の連結</p> <p>4.1.1 一般</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(1) 部材の連結の設計は作用応力に対して行うのを原則とする。</p> <p>(2) 主要部材の連結は(1)によるほか、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計しなければならない。ただし、せん断力については作用応力を用いてよい。</p> <p>(3) 部材の連結部の構造は、次の事項を満たすように設計しなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 応力の伝達が明確であること。 2) 構成する各材片において、なるべく偏心がないようにすること。 3) 有害な応力集中を生じさせないこと。 4) 有害な残留応力や二次応力を生じさせないこと。 </div> <p>②</p> <p>4.2.8 突合せ継手</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>断面が異なる主要部材の突合せ継手においては、厚さおよび幅は徐々に変化させ、長さ方向の傾斜は1/5以下としなければならない。</p> </div> <p>③規定なし</p> <p>④規定なし</p>

項目	内容	国内基準 (道示)
<p>5-32 柱基部のベースプレート</p>	<p>H形鋼の柱のベースプレート及びアンカーボルトの設計</p> <div style="text-align: center;">  <p>COLUMN BASE PLATES Dimensions for maximum column loads</p> <p>Base plates, $F_y = 27$ ksi to 8" thick Base plates, $F_y = 24$ ksi over 8" thick Concrete, $f'_c = 3000$ psi</p> </div> <div style="text-align: right; margin-right: 100px;"> <p>$F_y = 50$ ksi Columns</p>  </div> <p>板厚 3/4in. (19mm) ~ 10³/₄in. (275mm) のベースプレート用形鋼が用意されている。(Manual of Steel Construction より)</p> <p>1. コンクリートの許容支圧応力度 $F_p = 0.25 f'_c$: $A_b = A_c$ の場合 $= 0.375 f'_c$: $A_b > A_c \geq 1/3 A_b$ の場合 ここで、 F_p : コンクリートの許容支圧応力度 f'_c : コンクリートの28日強度 A_c : 支圧を受けるコンクリート面の面積 A_b : ベースプレートの面積</p> <p>2. ベースプレートの板厚</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> $t = \sqrt{\frac{3 w x^2}{F b}}$ <p>又は</p> $t = \sqrt{\frac{3 w y^2}{F b}}$ </div> </div>	

項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)																			
	<p>ここで、</p> <p>w : コンクリートが受ける平均支圧応力度</p> <p>x : 突出長+柱部材の奥行き の 3 %</p> <p>y : 突出長+柱幅の 10 %</p> <p>F b : ベースプレートの許容曲げ応力度</p> <p>3. アンカーボルトの最少径と長さ</p> <p>最少径 : 3/4in.</p> <p>長さ : 1ft6in. (3in. のフック付き) --- 径の約 2.7 倍</p> <p>4. アンカーボルトの許容付着応力度</p> <p>コンクリートの 28 日強度 $f_c' = 3,000 \text{ psi} (210 \text{ kg/cm}^2)$ の場合、許容付着応力度は $160 \text{ psi} (11 \text{ kg/cm}^2)$</p> <p>5. ベースプレートの設置方法</p> <p>板厚が薄い場合には、工場で柱と溶接したものを、シム材等で高さ調節を行って設置するが、厚板のベースプレートの場合には、柱材とは分離して、下図の様な方法で設置する。</p> 	<p>4.1.5 アンカーボルト</p> <p>アンカーボルトは直径の10倍以上の長さを下部構造中に固定しなければならない。アンカーボルトの最小径は25mmとする。</p> <p>表 14.3.3 許容付着応力度 (kg/cm²)</p> <p>(a) 普通コンクリート</p> <table border="1" data-bbox="1657 721 2128 870"> <thead> <tr> <th rowspan="2">鉄筋の種類</th> <th colspan="4">設計基準強度 f_{ck} (kgf/cm²)</th> </tr> <tr> <th>180</th> <th>240</th> <th>300</th> <th>400以上</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>普通丸鋼</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>異形鉄筋</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	鉄筋の種類	設計基準強度 f_{ck} (kgf/cm ²)				180	240	300	400以上	普通丸鋼	7	8	9	10	異形鉄筋	14	16	18	20
鉄筋の種類	設計基準強度 f_{ck} (kgf/cm ²)																				
	180	240	300	400以上																	
普通丸鋼	7	8	9	10																	
異形鉄筋	14	16	18	20																	

項目	内容	国内基準 (道示)
<p>5-33 梁を支持する支圧板</p>	<p>梁部材がコンクリートや石材基礎に載る場合の梁を受ける支圧材の設計</p>  <p>※ 荷重集中点であるが補剛材を省略している。</p> <p>1. 支圧材厚の算定</p> $f_b = \frac{3w (B/2 - k)^2}{t^2} \leq 0.75 F_y$ <p>ここで</p> <p>f_b : 支圧板の応力度 B : 支圧板の幅 k : 上図に示す寸法 t : 板厚 F_y : 使用鋼材の降状点強度</p> $w : \text{支圧応力度} = \frac{R}{B \cdot C}$ <p>但し、</p> <p>R : 梁反力 C : 支圧板長</p>	<p>8.7.1 荷重集中点の補剛材</p> <p>(1) プレートガーダーの主げたの支点、および床げた、蹴げた、対傾構などの取付け部のような荷重集中点には垂直補剛材を設けなければならない。</p> <p>(2) 荷重集中点の垂直補剛材は、次の規定により軸方向圧縮力を受ける柱として設計しなければならない。</p> <p>1) 柱としての有効断面積は、補剛材断面および腹板のうち補剛材取付け部から両側にそれぞれ腹板厚の12倍までとする。ただし、全有効断面積は補剛材の断面積の1.7倍をこえてはならない。</p> <p>2) 許容応力度の算出に用いる断面二次半径は腹板の中心線について求めるものとし、有効座屈長はけた高の1/2とする。</p>  <p>図-8.7.1 荷重集中点の腹板の有効幅</p>

項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
5 - 3 4 腹板の継手	<p>2. 許容支圧応力度 F_p 砂岩、石灰岩 : 400 psi (28kg/cm²) レンガ : 250 psi (18kg/cm²) コンクリート : 0.25 f_c' 又は、0.375 f_c'</p> <p>3. 腹板厚の照査</p> $f = \frac{R}{t_w \cdot (c + k)} \leq 0.75 F_y$ <p>ここで、 f : 腹板の応力度 t_w : 腹板厚 F_y : 降伏点強度</p> <p>曲げモーメントとせん断力が作用する腹板の継手設計</p> <p>1. 一般事項</p> <p>(1) 建築の場合 部材の連結部の設計は作用力に対して行うのを原則とする。 但し、突合せ溶接は小さい方の部材の全強に対して行う。</p> <p>(2) 鋼道路橋の場合 部材の全強の75%以上又は作用力と全強の平均以上の強度をもつように設計する。但し形鋼を使用する場合は、下式のせん断力に対して設計してよい。</p> $\text{連結部のせん断力} = V_{\max} \times \frac{M}{M_{\max}}$ <p>ここで、 V_{\max} : 部材に作用する最大せん断力 M_{\max} : " 曲げモーメント M : 連結部の作用曲げモーメント</p>	<p>4.1.1 一般</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(1) 部材の連結の設計は作用応力に対して行うのを原則とする。 (2) 主要部材の連結は(1)によるほか、母材の全強の75%以上の強度をもつように設計しなければならない。ただし、せん断力については作用応力を用いてよい。 (3) 部材の連結部の構造は、次の事項を満たすように設計しなければならない。 1) 応力の伝達が明確であること。 2) 構成する各材片において、なるべく偏心がないようにすること。 3) 有害な応力集中を生じさせないこと。 4) 有害な残留応力や二次応力を生じさせないこと。</p> </div>

項目

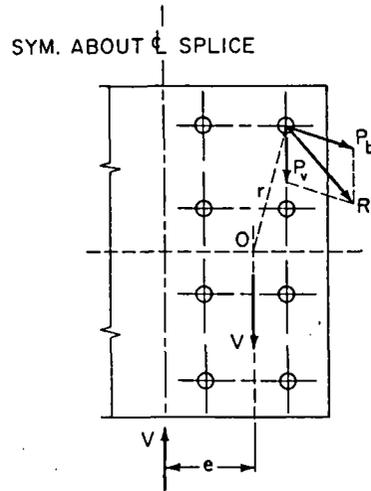
内容

国内基準 (道示)

(3) 鋼鉄道橋の場合

主要部材の連結は部材の全強に対して行う。
 二次部材については作用力と全強の平均以上の強度をもつよう
 に設計する。

2. 最遠ボルト (リベット) に作用する力 R



- O : 接合線片側のボルト群重心
- Mw : 設計モーメント
- V : 設計せん断力
- n : 接合線片側のボルト本数
- c : 最遠リベット迄の距離
- J : Oから各リベット迄の距離の2乗和
- I_x : Oから各リベット迄の鉛直距離の2乗和
- I_y : 同上、水平距離の2乗和

$$R = \sqrt{P_m h^2 + (P_{mv} + P_v)^2} \leq R_a \text{ (ボルトの許容耐力)}$$

$$P_m = \frac{Mw \cdot c}{J} = \frac{Mw \cdot c}{I_x + I_y}$$

$$P_v = \frac{V}{n}$$

ここで、P_{mh}、P_{mv}はP_mの水平方向及び鉛直成分を示す。

4.3.5 ボルトの設計

高力ボルト継手におけるボルトの設計は次の規定によるものとする。

- (1) 摩擦接合
- 1) 垂直応力が作用する板を連結する場合は、各列のボルトが式(4.3.1)を満足するように設計しなければならない。ただし、垂直応力が均等に分布している場合は、式(4.3.2)を満足すればよい。

$$\rho_n = \frac{P_i}{n_i} \leq \rho_s \text{ (4.3.1)}$$

ここに、

- ρ_n : i列目のボルト1本に作用する力 (kg)
- P_i : i列目の接合線の片側にあるボルト群に作用する力 (kg) (図-4.3.1)
- n_i : i列目の接合線の片側にあるボルト群のボルト本数
- ρ_s : ボルト1本あたりの許容力 (kg)

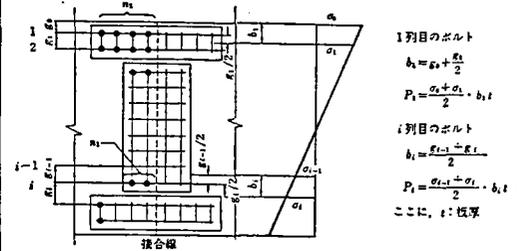


図-4.3.1 ボルトに作用する力 (垂直応力の分布が均等でない場合)

$$\rho_s = \frac{P}{n} \geq \rho_s \text{ (4.3.2)}$$

- ρ_s : ボルト1本に作用する力 (kg)
- P : 接合線の片側にある全ボルトに作用する力 (kg) (図-4.3.2)
- n : 接合線の片側にあるボルトの全本数
- ρ_s : ボルト1本あたりの許容力 (kg)

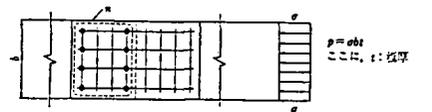
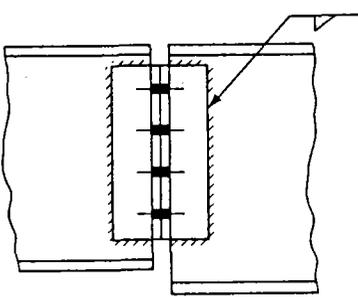
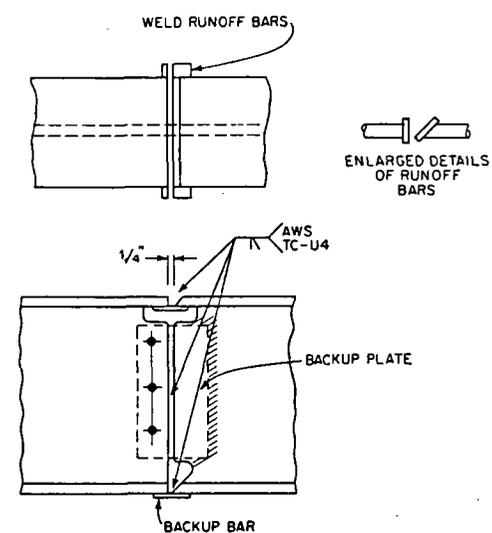
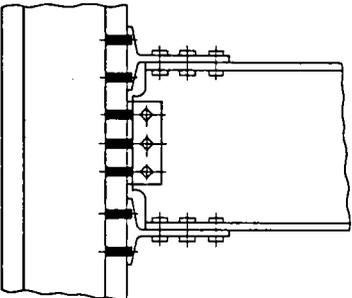
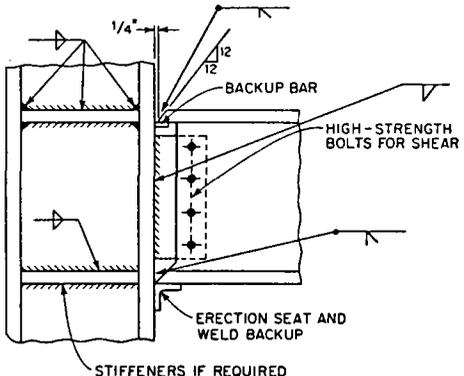
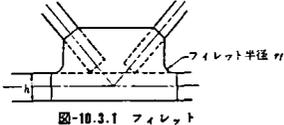
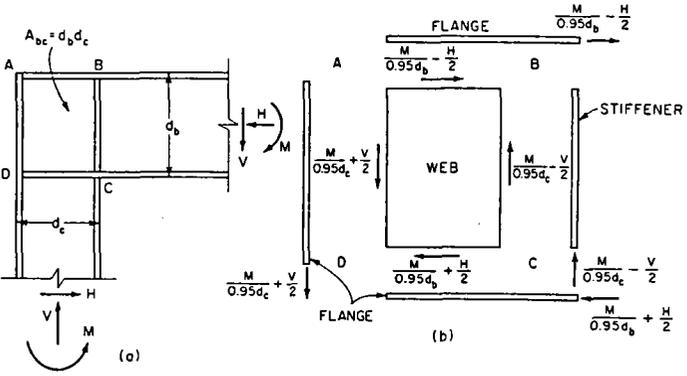


図-4.3.2 ボルトに作用する力 (垂直応力の分布が均等な場合)

項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
	<p><注> 設計モーメント M_w の算定</p> <p>M_r : 連結部桁断面の抵抗曲げモーメント M : " 作用曲げモーメント I : " 断面二次モーメント I_w : 連結部腹板断面の二次モーメント (孔引き考慮)</p> $M_w = 0.75 \cdot \frac{I_w}{I} M_r + V \cdot e$ $= \frac{(M_r + M)}{2} \times \frac{I_w}{I} + V \cdot e$ <p style="text-align: right;">の大きい方</p> <p>3. 連結板の設計</p> <p>下式を満足する様に設計する。</p> $f_b = \frac{M_s}{I} y \leq f_a$ <p>ここで、</p> <p>f_b : 連結板縁端に生ずる応力度 M_s : 連結板の設計曲げモーメントで M_w 又は桁断面の設計疲労曲げモーメントの腹板分担分の大きい方 y : 中立軸から連結板縁端までの距離 f_a : 許容曲げ応力度又は許容疲労応力度</p> <p><注> 許容疲労応力度 F_a</p> $F_r = \frac{20.5}{1-0.55R} \quad (\text{引張りの場合})$ <p style="text-align: right;">ただし、R : 応力変動比</p> $= \frac{0.55 F_y}{1-R (0.55 F_y / 13.3-1)} \quad (\text{圧縮の場合})$	<p>2) せん断力が作用する板を連結する場合は、式 (4.3.3) を満足するように設計しなければならない。</p> $p_s = \frac{s}{n} \leq p_s \dots\dots\dots (4.3.3)$ <p>ここに、</p> <p>p_s : ボルト1本に作用する力 (kg) s : せん断力 (kg) n : 接合線の片側にあるボルトの全本数 p_s : ボルト1本あたりの許容力</p> <p>3) 曲げモーメント、軸方向力およびせん断力が同時に作用する板を連結する場合は、式 (4.3.4) を満足するように設計しなければならない。</p> $p = \sqrt{p_s^2 + p_c^2} \leq p_s \dots\dots\dots (4.3.4)$ <p>ここに、</p> <p>p : ボルト1本に作用する力 (kg) p_s : 曲げモーメントおよび軸方向力による垂直応力によってボルト1本に作用する力 (kg) p_c : せん断力によってボルト1本に作用する力 (kg) p_s : ボルト1本あたりの許容力 (kg)</p> <p>(2) 支圧接合 支圧接合のボルトの設計は4.4.5の規定に準じるものとする。</p> <p>4.3.6 連結板の設計</p> <p>高力ボルト継手における連結板の設計は次の規定によるものとする。</p> <p>(1) 引張力が作用する板の連結板は、4.3.7に規定する純断面に生じる応力度が許容引張応力度以下となるように設計しなければならない。</p> <p>(2) 圧縮力が作用する板の連結板は、純断面に生じる応力度が2.2.1に規定する許容圧縮応力度の上限値以下となるように設計しなければならない。</p> <p>(3) 曲げモーメントが作用する板の連結板は、式 (4.3.5) を満足するように設計しなければならない。</p> $\sigma = \frac{M}{I} y \leq \sigma_s \dots\dots\dots (4.3.5)$ <p>ここに、</p> <p>σ : 連結板の縁端に生じる応力度 (kg/cm²) M : 連結板に作用する曲げモーメント (kg·cm) I : 中立軸に関する連結板の純断面の断面二次モーメント (cm⁴) y : 中立軸から連結板の縁端までの距離 (cm) σ_s : 2.2.1に規定する許容応力度の上限値 (kg/cm²)</p>

項目	内容	国内基準 (道示)
	<p>3. 溶接との併用及び溶接による連結の事例</p> <p>(1) モーメントを伝達しない場合の事例</p> <p>・工場溶接とボルトの併用でコスト減をはかっている。</p>  <p>(2) 溶接による事例</p> <p>・溶接、切欠きによる応力集中の影響があるので疲労が支配的な個所では使用しない方がよい。</p> 	<p>4.1.2 溶接、高力ボルト、リベットの併用</p> <p>部材の連結に溶接、高力ボルトおよびリベットを併用する場合は次の規定による。</p> <p>(1) 溶接と高力ボルト</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) グループ溶接を用いた突合せ溶接と高力ボルト摩擦接合との併用および応力に平行なすみ肉溶接と高力ボルト摩擦接合との併用にあたっては、それぞれが応力を分担するものとしてよい。ただし、その分担の状態については十分な検討を加えなければならない。 2) 応力に直角なすみ肉溶接と高力ボルト摩擦接合とは併用してはならない。 3) 溶接と高力ボルト支圧接合とは併用してはならない。 <p>(2) 溶接とリベット</p> <p>溶接とリベットとは併用してはならない。</p> <p>(3) 高力ボルトとリベット</p> <p>高力ボルトとリベットとは併用してはならない。</p>

項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
5 - 3 6 ~ 5 - 3 9 梁と柱の連結	<p>建築鉄骨の柱と梁の連結部の設計方法とその事例説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ・引っぱり接合、溶接と高力ボルト摩擦接合とを併用している事例が一部に見られる。 <p>引っぱり接合の事例</p>  <p>溶接と高力ボルト摩擦接合とを併用している事例</p> 	

項 目	内 容	国 内 基 準 (道 示)
5-40 トラス部材の連結	<p>トラス部材の連結及びガセットの板厚</p> <p>1. トラス部材の連結に関する一般事項</p> <p>(1) トラス部材の連結はなるべく格点の近傍で行う事。</p> <p>(2) 圧縮材でメタルタッチの精度が十分確保されている場合には、母材の許容応力度の50%の強度で連結部の設計を行ってもよい。</p> <p>(3) 通常の場合は母材の全強の75%以上の強度を確保しなければならない。</p> <p>(4) 完全溶け込みグループ溶接とすれば、添接板は不要である。</p> <p>2. ガセットの板厚 (建築鉄骨の場合の規定)</p> $\frac{L}{t} \leq \frac{374}{F_y}$ <p>ここで L : ガセットの自由長辺の長さ t : ガセットの板厚 F_y : 鋼材の降伏点強度 (ksi)</p>	<p>10.3.2 ガセット</p> <p>(1) 部材をガセットに連結する高力ボルトまたはリベットの配置は、部材の軸にできるかぎり対称とし、かつ部材とガセットとの接触面全体に行きわたらせなければならない。</p> <p>(2) 主トラス格点において、弦材のウェブに重ねてガセットをあてる構造で、かつ部材両面にガセットを使用する場合は、ガセットの板厚は鋼材の種類にかかわらず式(10.3.1)により算出した値を標準とする。</p> $t = 20 \times \frac{P}{b} \dots \dots \dots (10.3.1)$ <p>ここに、 t : ガセットの板厚 (mm) P : そのガセットで連結される端柱または腹材に作用する最大部材力 (t) b : そのガセットで連結される端柱または腹材のガセット面に接する部分の幅 (mm)</p> <p>(3) ガセットと弦材または端柱のウェブとを一体とする構造では、ガセット板厚はウェブより薄くしてはならず、また式(10.3.1)で算出した値以上としなければならない。この場合、フィレット半径rはガセットと一体となる弦材または端柱のウェブの高さhの1/5以上としなければならない(図-10.3.1参照)。</p> <p>(4) ガセットの最小板厚は9mmとする。</p>  <p>図-10.3.1 フィレット</p>
5-42 ラーメン隅角部	<p>ラーメン橋や鉄骨隅角部の設計方法</p> <p>下図の様にフランジで曲げモーメントに、ウェブでせん断力に抵抗するとして、作用力を算定し、設計する。</p> 	<p>13.11 隅 角 部</p> <p>隅角部における断面は、横ばりの断面力を柱に円滑に伝達できるように設計しなければならない。</p> <p>ラーメン隅角部においては、力の方向が急変し、とくに鋼構造は一般に薄肉構造であるため、力の伝達機構が非常に複雑である。したがって、フランジ力の伝達方法、shear lagの影響など、隅角部の設計において支配的となる事柄について、十分な注意が必要である。</p> <p>また、組立時の作業性、とくに溶接施工性が構造物の引荷力に及ぼす影響も大きいので、これらについても設計時において十分配慮しなければならない。</p>

第2章 疲労設計規定の比較

§ 1. はじめに

鋼橋の継手構造において、近年特に溶接継手における疲労の問題が重要視されつつある。しかし、日本の道路橋示方書では鋼床版の設計の項を除いては疲労に関する規定は皆無であるのに対し、米国のAASHTO、英国のBS等では、従来より疲労に関する規定が設けられており、特に英国の新しい橋梁基準BS 5400においては疲労に関する規定が独立にPart 10として発行されている。そこで、トラス・アーチグループでは、上記米国(AASHTO)、英国(BS)における道路橋の規定、及び日本の道路鉄道併用橋の基準としての本四基準を取り上げ、それぞれの疲労規定項目の違い及び設計手法の違いをまとめた。

§ 2. 疲労設計思想の違い

各基準における疲労設計思想の違いを下表に示す。適用範囲は、AASHTO、及びBSとも道路橋を対象にしているのに対し、本四基準では鉄道・道路併用橋であるに関わらず疲労設計においては列車荷重のみを対象にしている。また、許容応力の逡減という考え方においては、本四基準では200万回疲労強度を基準としているのに対し、AASHTO、BSでは荷重強度と繰返し回数から許容応力の逡減を行っている。特にBSでは荷重強度の設定において橋の耐用年数を明確に120年と設定しており、この数字に基づいてより厳密な疲労設計方法を定めている。応力範囲の考え方においてはBS、AASHTOともに単に最大応力と最小応力の代数学的な差を応力範囲としている。これに対し本四基準では、実験に基づいた平均応力($R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$)の影響を考慮して、圧縮応力のみ溶接継手の許容応力範囲は、引張応力が卓越する溶接継手の場合の30%増しとしている。

	本四基準	AASHTO	BS
適用範囲	併用橋であるが、疲労設計に対しては列車荷重のみを考慮	道路橋	鉄道橋 道路橋
許容応力の逡減の考え方	200万回疲労強度により許容応力を決定	荷重強度と載荷繰返し回数を計算することにより許容応力を決定	同左
応力範囲の考え方	最大応力と最小応力の代数学的な差($\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$) ただし、圧縮応力($\sigma_{\min} < 0$)に対する割増しを考慮	単に最大応力の代数学的な差($\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$)	同左

§ 3. 疲労設計荷重

本四基準においては標準列車荷重のうち、在来の国鉄線の方式に従って実情よりやや荷重の大きいKS-16を用いている。また、新幹線の場合は標準活荷重のうちP16のみを用いている。

BSでは疲れ強さの評価に用いるための「標準車両 (standard axle)」が定められている。また、この方法とは別の簡易な評価手法として標準スペクトル (Table 11. Typical commercial vehicle) , 及び年間車両走行台数 (Table 1. Annual flow of commercial vehicles) が定められており、これに対応する道路については、複雑な累積疲労被害の計算をせずに疲労設計ができることになっている。

AASHTOでは特別な疲労設計要の荷重はなく、他の構造設計同様のH(M)荷重及びHS(MS)荷重が採用されている。

3 疲労設計荷重

日本 (本四公団 上部構造設計基準・解説) 2.3.2 列車荷重

表-2.3.5 列車荷重およびその載荷方法

区 分		列 車 荷 重		載 荷 方 法	
		在 来 線	新 幹 線	複線を支持する構造物の部材	4線を支持する構造物の部材
(1)設計の基準とする列車荷重	吊橋の補剛桁塔・主ケーブル・ハンガー	1軌道当り3.8t/m (最大載荷長370m)	1軌道当り3.8t/m (最大載荷長320m)	複線載荷 ^{注1)} (単線載荷)	複線載荷
	上記以外	KS-16 (最大載荷長252m)	N18またはP19 (最大載荷長N18は260m, P19は320m)	複線載荷 ^{注1)} (単線載荷)	4線載荷 ^{注2)} 吊橋の主横トラスは複線
(2)疲労の影響を検算する場合の列車荷重	吊橋の補剛桁	1軌道当り2.7t/m (最大載荷長400m)	1軌道当り2.7t/m (最大載荷長400m)	単線載荷	単線載荷
	上記以外	KS-16 (最大載荷長252m)	P16 (最大載荷長320m)	単線載荷	単線載荷
(3)風による橋桁の転倒に対する検算において空車荷重を用いる場合の列車荷重		1軌道当り1.8t/m	1軌道当り1.5t/m	単線載荷	単線載荷
(4)地震の影響を検算する場合の列車荷重	吊橋の補剛桁塔・主ケーブル・ハンガー	1軌道当り2.7t/m (最大載荷長400m)	1軌道当り2.7t/m (最大載荷長400m)	単線載荷	単線載荷
	上記以外	1軌道当り5.3t/m (最大載荷長252m)	N16またはP16 (最大載荷長N16は260m, P16は320m)	単線載荷	単線載荷

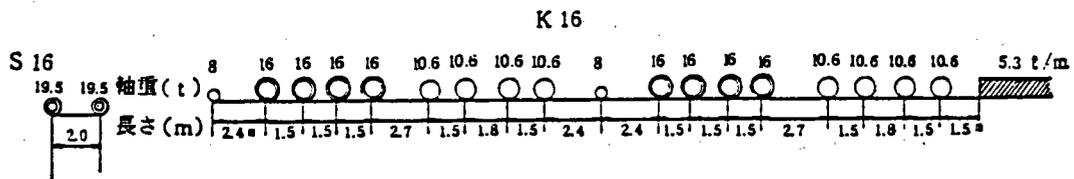


図-2.3.6 列車荷重

3 疲勞設計荷重

英国 (BS 5400 PART 10) 7.2 Highway loading

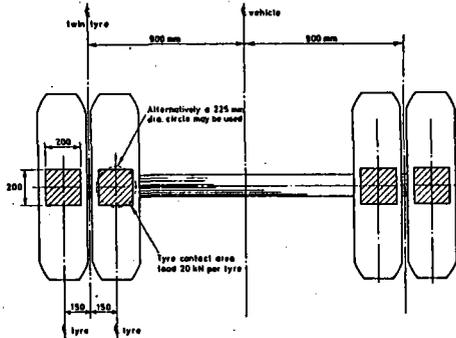


Figure 4. Plan of standard axle

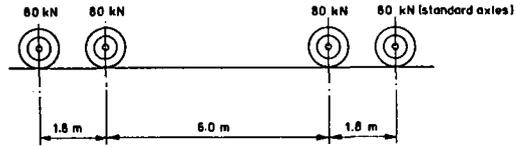


Figure 3. Axle arrangement of standard fatigue vehicle

Table 11. Typical commercial vehicle groups

Total axles	Chassis type	Average axle spacings, m	Loading Group	Total weight, kN	Axle loads, kN	No. in each group per million commercial vehicles	Vehicle designation	
18	Trailer and 2 tractors		H	3680	80 160 160 240 (6 no.)	240 (6 no.)	10	18GT-H
			M	1520	80 160 160 60 (6 no.)	60 (6 no.)	30	18GT-M
9	Trailer and tractor		H	1610	70 140 140 210 210 210 210 210	210 210 210 210 210	20	9TT-H
			M	750	50 110 110 80 80 80 80 80	80 80 80 80 80 80	40	9TT-M
7	Trailer and tractor		H	1310	70 140 140 240 240	240 240	30	7GT-H
			M	680	80 130 130 90 90	90 90	70	7GT-M
5	Articulated		H	790	70 100 100	130 130 130 130	20	7A-H
			M	360	60 70 70	80 80	14 500	5A-M
4	Articulated		L	250	40 45 45	60 60	15 000	5A-L
			H	335	55 100	90 90	90 000	4A-H
3	Rigid		M	260	45 85	65 65	90 000	4A-M
			L	145	35 50	30 30	90 000	4A-L
3	Articulated		H	280	50 50	90 90	15 000	4R-H
			M	240	40 40	80 80	15 000	4R-M
2	Rigid		L	120	20 20	40 40	15 000	4R-L
			H	215	45 85	85	30 000	3A-H
2	Articulated		M	140	30 55	55	30 000	3A-M
			L	90	20 35	35	30 000	3A-L
2	Rigid		H	240	80	90 90	15 000	3R-H
			M	195	55	70 70	15 000	3R-M
2	Rigid		L	120	40	40 40	15 000	3R-L
			H	135	50	85	170 000	2R-H
2	Rigid		M	65	30	35	170 000	2R-M
			L	30	15	15	180 000	2R-L

Key. ● Standard axle, 4 tyre, 1.8 m track ⊙ Steering axle, 2 tyre, 2.0 m track ○ Special axle, 2 to 8 tyres, up to 3.4 m outer track

total 1000,000

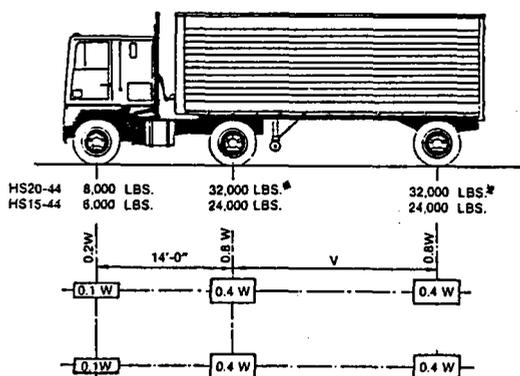
Table 1. Annual flow of commercial vehicles ($n_c \times 10^6$)

Category of road	Type	Carriageway layout	Number of lanes per carriageway	Number of millions of vehicles per lane, per year (n_c)	
				Each slow lane	Each adjacent lane
高速道路 (Motorway)	Dual	Dual	3 (片側2車線)	2.0	1.5
			2 ()	1.5	1.0
一般道路 (All purpose)	Dual	Dual	3 ()	1.5	1.0
			2 ()	1.5	1.0
ランゾ (Slip road)	Single	Single	2	1.0	Not applicable
			1	1.0	Not applicable
All purpose	Single	Single (10 m*)	3	1.0	Not applicable
			2	1.0	Not applicable
All purpose	Single	Single (7.3 m*)	2	0.5	Not applicable
			1	0.5	Not applicable

*The number of vehicles in each lane of a single carriageway between 7.3 m and 10 m wide should be obtained by linear interpolation.

3 疲 勞 設 計 荷 重

米 国 (AASHTO 13th Edition) 3.7 HIGHWAY LOADS



HS20-44 8,000 LBS. 32,000 LBS.* 32,000 LBS.*
 HS15-44 8,000 LBS. 24,000 LBS. 24,000 LBS.

W = COMBINED WEIGHT ON THE FIRST TWO AXLES WHICH IS THE SAME AS FOR THE CORRESPONDING H (M) TRUCK.
 V = VARIABLE SPACING — 14 FEET TO 30 FEET INCLUSIVE. SPACING TO BE USED IS THAT WHICH PRODUCES MAXIMUM STRESSES.

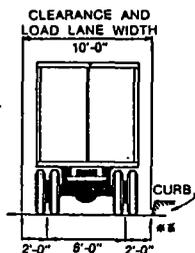


Figure 3.7.7A. Standard HS Trucks

*In the design of timber floors and orthotropic steel decks (excluding transverse beams) for HS20 loading, one axle load of 24,000 pounds or two axle loads of 16,000 pounds each, spaced 4 feet apart may be used, whichever produces the greater stress, instead of the 32,000-pound axle shown.

**For slab design, the center line of wheels shall be assumed to be 1 foot from face of curb. (See Article 3.24.2).

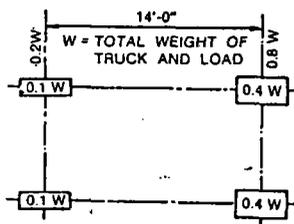
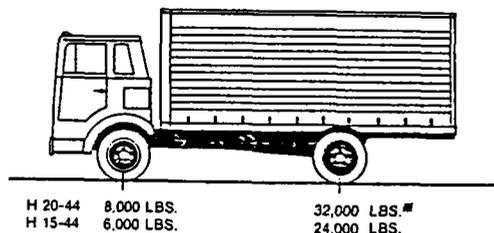
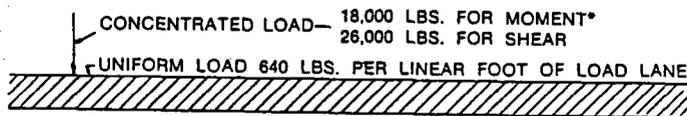


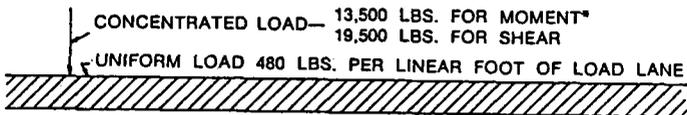
Figure 3.7.6A. Standard H Trucks

*In the design of timber floors and orthotropic steel decks (excluding transverse beams) for H20 loading, one axle load of 24,000 pounds or two axle loads of 16,000 pounds each spaced 4 feet apart may be used, whichever produces the greater stress, instead of the 32,000-pound axle shown.

**For slab design, the center line of wheels shall be assumed to be 1 foot from face of curb. (See Article 3.24.2).



H20-44 LOADING
 HS20-44 LOADING



H15-44 LOADING
 HS15-44 LOADING

Figure 3.7.6B. Lane Loading

*For the loading of continuous spans involving lane loading refer to Article 3.11.3 which provides for an additional concentrated load.

4. 継手分類

本四基準では応力の種類・継手の種類・鋼種による継手種類21タイプを、引張・圧縮部材についてA～Dの4等級、せん断部材についてS₁～S₃の3等級に分類し、繰返し数200万回に対する基本許容応力範囲を定めている。

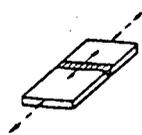
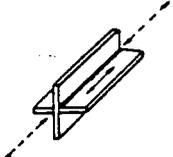
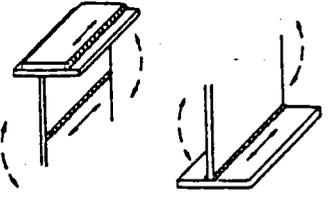
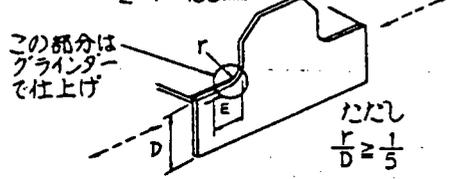
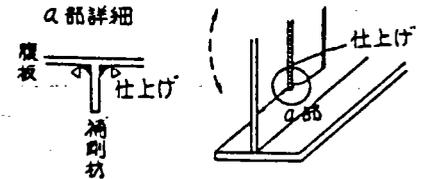
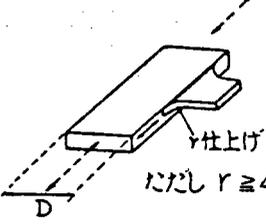
BSでは1)非溶接部、2)溶接部材一般部、3)部材端の溶接連結部 について、それぞれの形状・施工法・検査法に基づき、1)非溶接部：12タイプをA～Gの7クラス、2)溶接部材一般部：12タイプをB～F2、Gの7クラス、3)部材端の連結部：15タイプC～Wの7クラスに分類している。なお、これらのA～W 9つのクラス分けに従って、影響線長による許容応力範囲が決められている。

AASHTOでは継手の種類・形状・施工方法・検査方法・応力の種類によってA～Fの6クラスに分類している。

4 継手分類

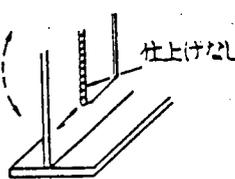
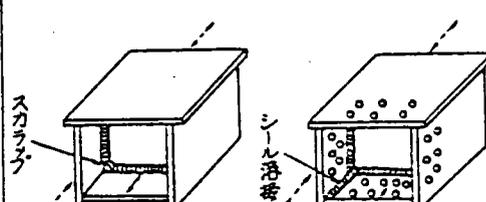
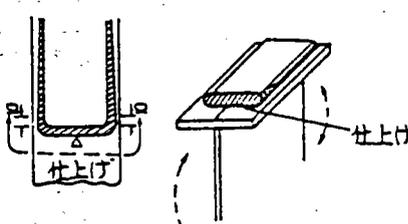
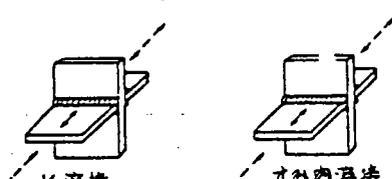
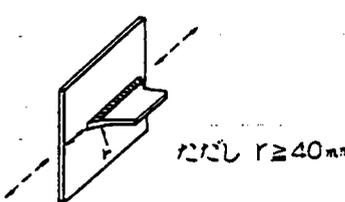
日本 (本四公団 上部構造設計基準・解説) 4.2.3 疲労許容応力範囲

表 4.2.10 疲労設計に関する継手分類 (溶接継手)

応力の種類	継手分類番号	継手の種類		等級分類		備考		
		種	類	SS41 SM41 SMA41 SM50 SM50Y SMA50	SM58 SMA58 HT70 HT80			
引	1			有	A		突合せ溶接の母材および溶着金属で表面を平らに仕上げたもの。突合せ溶接は裏はつり。裏溶接を行って完全溶込み溶接として放射線検査を行う。(注2)	
	2			無	A	B	応力方向に平行な連続溶接のある母材(注2)	
	3			無	A	B	腹板とフランジ、重ね合わせたフランジプレート相互を連結する連続溶接および応力に平行な開先溶接に接する母材(注2)	
圧	4	<p style="text-align: center;">E:この継手の対象区間 $E=r+100\text{mm}$</p>  <p>この部分は グラインダー で仕上げ</p> <p style="text-align: right;">ただし $\frac{r}{D} \geq \frac{1}{5}$</p>		有	B	C	トラスの切抜きガセットでフィレット部に接する縦ビード溶接のある母材	
	5	<p style="text-align: center;">α部詳細</p>  <p>腹板 α部 補剛板 仕上げ</p>		有	B	—	補剛材の取付く溶接止端を仕上げた場合の母材	
縮	6	 <p>仕上げ ただし $r \geq 40\text{mm}$</p>		有	B		フランジにガセットを開先溶接で取付け端部を仕上げた場合の母材	
					$\frac{r}{D} > \frac{1}{3}$	B		C
					$\frac{1}{3} > \frac{r}{D} \geq \frac{1}{6}$	C		—
				$\frac{1}{6} > \frac{r}{D} \geq \frac{1}{10}$				

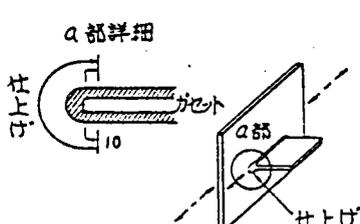
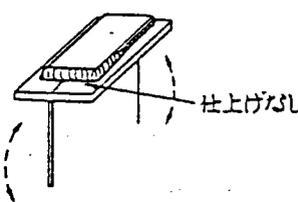
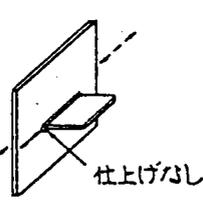
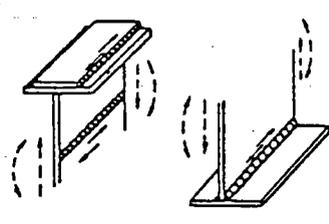
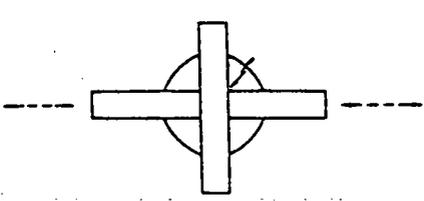
4 継手分類

日本 (本四公団 上部構造設計基準・解説) 4.2.3 疲労許容応力範囲

応力の種類	継手分類番号	継手の種類		等級分類		備考
		種	類	仕上りの有無	等級	
引張	7			無	C	補剛材の取付く溶接の止端を仕上げない場合の母材 C 注3 D
				無	C	
	8			無	C	1) スカラップ有りて両側すみ肉溶接でダイヤフラムを取付けた母材 (スカラップ有) 2) 片側すみ肉溶接で取付けたトラス弦材端ダイヤフラム (スカラップ無) C 注3 D 1) スカラップ有りて両側すみ肉溶接でダイヤフラムを取付けた母材 2) トラス弦材で端ダイヤフラムを片側すみ肉溶接で取付けた母材。 ただし、このすみ肉溶接はシール溶接と一体に溶接し、コーナー部に補綴あるいは始終端をつくらぬこと。
	9			有	C	重ね継手に大きな不等脚サイズのすみ肉溶接を行い仕上げた場合の母材 C
無						
屈	10			無	C	応力の方向に直角なK溶接または大きなすみ肉溶接のある母材 C 注3 D
縮	11			有	B	腹板にガセットをすみ肉溶接で取付け、端部にrを付け仕上げた場合の母材。ただし、r端部は仕上げ後に十分な溶着金属が残ること。 C ただし $r \geq 40\text{mm}$

4 継手分類

日本 (本四公団 上部構造設計基準・解説) 4.2.3 疲労許容応力範囲

応力の種類	継手分類番号	継手の種類		等級分類		備考
		種類	仕上げの有無	SS41 SM41 SMA41 SM50 SM50Y SMA50	SM58 SMA58 HT70 HT80	
引張・圧縮	12		有	C	D	腹板にガゼットをすみ肉溶接で取付け、端部を仕上げた場合の母材
	13		無	D	—	重ね継手にすみ肉溶接を行い、仕上げない場合の母材
	14		無	D	—	腹板にガゼットをすみ肉溶接で取付け、端部を仕上げない場合の母材
せん断	15		無	S ₁		腹板とフランジの連結、またはフランジの材片を互いに連結する連続側面すみ肉溶接
	16		無	S ₂	S ₃	前面すみ肉溶接(のど断面につき)

注1. 検算位置：引張・圧縮 ———、せん断 ———

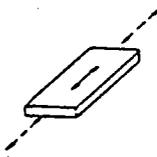
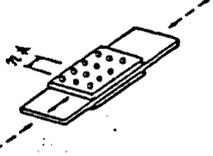
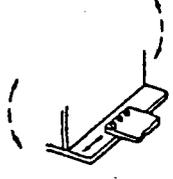
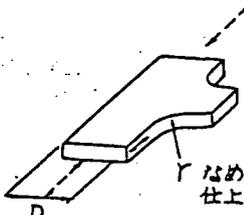
注2. 切断面のあらさは50S以下とする。

注3. ビード形状、止端形状が特にきれいで、溶接施工試験で確認された場合とする。C、Dの区分は設計図上に明記すること。

4 継手分類

日本 (本四公団 上部構造設計基準・解説) 4.2.3 疲労許容応力範囲

表 4.2.1-1 疲労設計に関する継手分類 (非溶接継手)

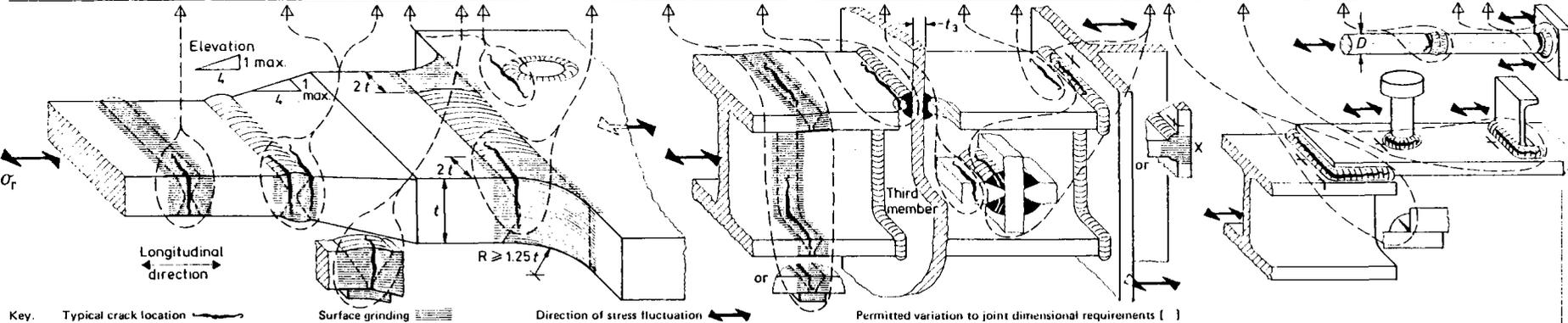
応力の種類	継手分類番号	継手の種類		等級分類		備考
		種類	仕上げの有無	SS41 SM41 SMA41 SM50 SM50Y SMA50	SM58 SMA58 HT70 HT80	
引張	17				A	溶接継手に溶接せず、ボルト孔もない母材(注2)
	18		$n = 1 \sim 4$ 本		A	高力ボルト摩擦接合の母材(総断面につき) (注2) n : ボルト継手の応力方向のボルト本数 $A' = 1530 - 40(n-4)$
			$n = 5 \sim 15$ 本		A'	
$n \geq 16$ 本				C		
圧縮	19				A	検算対象の応力を伝えない高力ボルト締め孔をもつ母材(純断面につき) (注2)
	20		$\frac{r}{D} \geq \frac{1}{5}$	有	A	一体で切出したガゼットをもつ母材(注2)
	なめらかに仕上げる ただし $r \geq 40\text{mm}$	$\frac{1}{5} > \frac{r}{D} \geq \frac{1}{10}$	A		B	
せん断	21				S ₁	溶接継手に溶接しない母材 (高力ボルトのある場合は総断面につき)

注1. 検算位置: 引張・圧縮——, せん断——

注2. 切断面のあらさは 50 S 以下とする。

(c) Welded details at end connections of member

Product form	Rolled steel plates only						Rolled steel sections of built-up members (including plates)				Shear connectors in concrete	Rolled steel reinforcing bars in concrete							
Location of potential crack initiation	At transverse weld joining:						In weld throat				At transverse weld								
	two single plates end to end						two members end to end		end of one member to side of another		In any incompletely fused joint	Between encased connector and any member	Between ends of bars	Between end of bar and surface of plate					
Dimensional requirements	Longitudinal axes in line						Full penetration butt weld		Partial penetration butt or fillet weld				Axes in line	Axes perpendicular					
	Full penetration butt weld						Equal width		Abrupt width change		Partial penetration butt or fillet weld		Full penetration butt weld	Fillet weld leg size $> 0.4 D$					
	Any width change ≤ 1 in 4 slope						Similar profile		also applies if third member is narrow and slots through first (see appendix H)				Slope at any diameter change ≤ 1 in 4	Plus reinforcing fillets with leg size $> 0.25 D$					
	Equal thickness						Any thickness change ≤ 1 in 4 slope		also includes plug welds (see footnote)										
Manufacturing requirements (see also Part 6)	Welded from both sides						On permanent backing strip		Build up corners to radius $\geq 1.25t$		Misalignment slope ≤ 1 in 4		If width permits make weld continuous round joint otherwise grind weld ends flush (see X)						
	Misalignment slope ≤ 1 in 4		Downhand shop welds, not submerged arc				No permanent tack welds within 10 mm of edge				Maximum misalignment of main members $\leq 0.5t_3$		Flash butt or manual welding from both sides						
	Dress flush reinforcement						Grind corners within $2t$		Dress flush reinforcement										
	Temporary run-on and run-off plates used, weld and ground smooth												Grind smooth any undercut						
	Grind smooth any undercut particularly on external corners																		
Special inspection requirements	Proved free of all significant defects						All regions stressed in through-thickness direction to be free from lamellar defects and tears						Check plate for lamellar defects and tears						
Design stress area	Minimum transverse cross section of member at location of potential crack initiation										'Effective' weld throat area		Minimum area of bar						
Special design stress parameter											Use the stress concentration factor unless third member is plate or has continuity plating		Stress concentration factor shall be used		See 6.3	See 6.4			
Type number	3.1*	3.2*	3.3*	3.4*	3.5*	3.6*	3.7*	3.8*	3.9*	3.10*	3.11*	3.12*	3.13*	3.14	3.15				
Class	C†	D†	E†	F†	F2†	F2†	F†	F2†	F†	F2†	W†	S†	D†	F†	F2†				



NOTE. Potential crack locations marked λ are type 2 (see table 17(b)).
 *See H.4.3.
 †Important features that change significantly from one type to another.
 †A classification that should be used with caution.

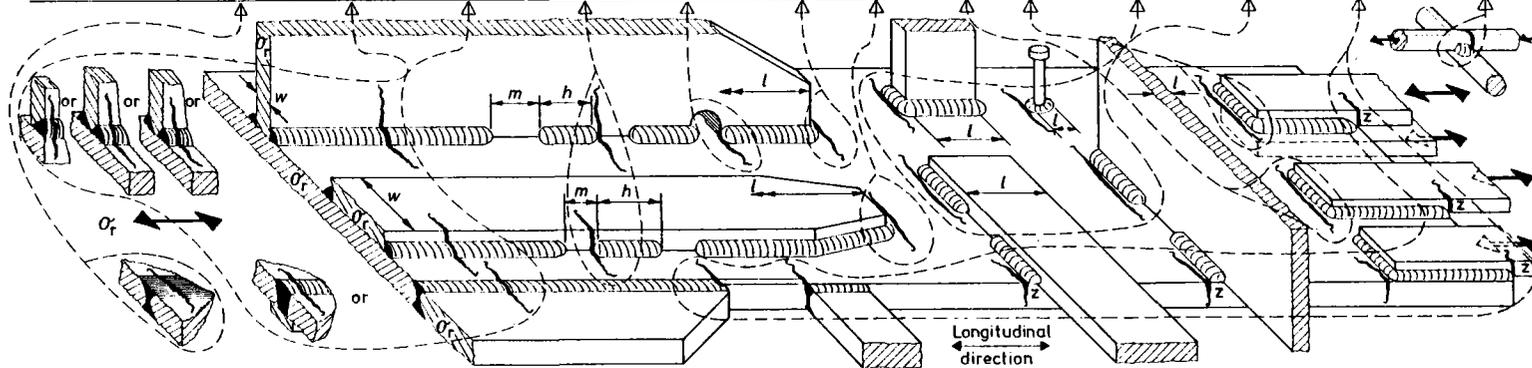
英国 (BS 5400 PART 10) 5.1 Classification Table-17

4 継手分類

- 190 -

(b) Welded details on surface of member

Product form	Rolled steel structural plates, sections and built-up members											Reinforcing steel in concrete	
Location of potential crack initiation	At a long welded attachment (in direction of σ_f)							At a short welded attachment		At any attachment		At welded intersections in fabric or between hot rolled bars	
	Away from weld end			At an intermediate gap in a longitudinal weld	At a cope hole	At a weld end				Close to edge of member			
Dimensional requirements	Butt weld full penetration			Fillet weld		Weld toe not less than 10 mm from member edge					Weld toe within 10 mm of member edge		
				Intermittent $\frac{m}{h} < 2.5$	Weld length (parallel to σ_f) $l > 150$ mm			$l < 150$ mm					
				Attachment width $w < 50$ mm		$w > 50$ mm							
Manufacturing requirements (see also Part 6)	Grind smooth any undercut on member edges											Resistance or manual plus grind smooth undercut	
	Dress flush reinforcement	Automatic no stop-starts											Grind any undercut
Special inspection requirements	Proved free of all significant defects												
Design stress area	Minimum transverse cross section of member at location of potential crack initiation												
Special design stress parameter												$r < 0.5 \sigma$	$r > 0.5 \sigma$
Type number	2.1*	2.2*	2.3	2.4*	2.5	2.6	2.7*	2.8*	2.9	2.10*	2.11*	2.12	
Class	B†	C‡	D†	E†	F†	F2†	G†	F2†	F†	E‡	G†	D†	



Key. Typical crack location Surface grinding Direction of stress fluctuation

NOTE. Weld throat cracks are type 3 (see table 17(c)).

*See H.3.3.

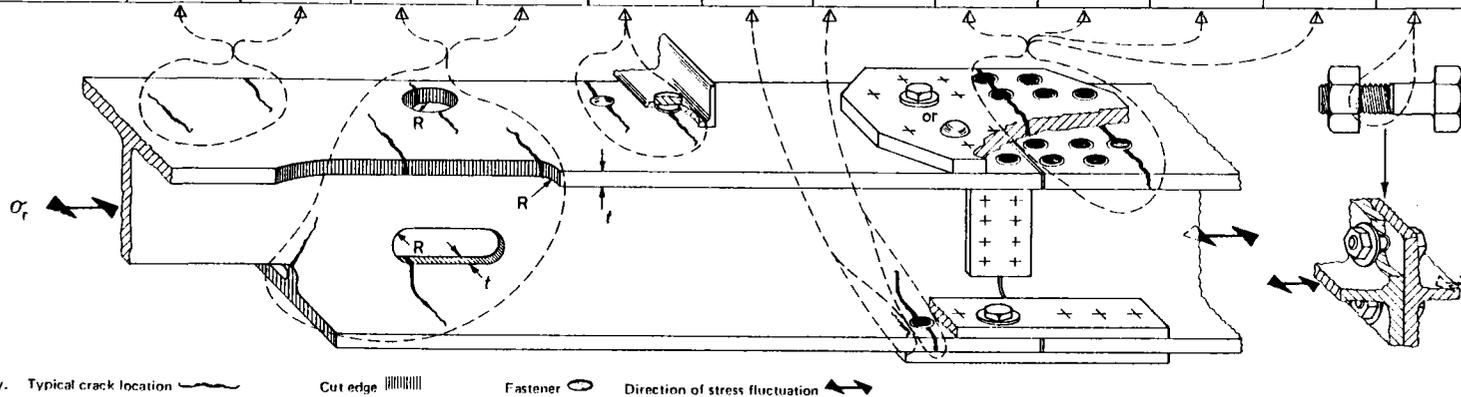
†Important features that change significantly from one type to another.

‡Classifications that should be used with caution.

Table 17. Classification of details

(a) Non-welded details

Product form	Rolled steel structural plates and sections											Threaded fasteners	
Location of potential crack initiation	Away from all welding												
	Away from all structural connections						At a lapped or spliced connection fastened with:					In a butt joint, fastener axis parallel to σ_r	
Dimensional requirements	On a member of constant or smoothly varying cross section	At any external or internal edge		At a small hole (may contain bolt for minor fixtures)	high strength friction grip bolts		rivets	precision bolts	black bolts				In thread root
	No re-entrant corners	Any aperture or re-entrant corner radius $\geq t$		Hole diameter $\leq 3t$	Double covered symmetrical joints only				Close tolerance hole				
Manufacturing requirements (see also Part 6)	All surfaces fully machined and polished	Edges as rolled or machined smooth	Any flame cut edges subsequently machined or ground smooth		Hole drilled or reamed		Tighten to BS 4604 : Parts 1, 2 and 3		Torque to full capacity or use lock nuts			Bolts to BS 3692 or BS 4395 Screw threads to BS 3643 : Part 2	
	No flame cutting		Any cutting of edges by planing or machine flame cutting with controlled procedure										
Special inspection requirements													
Design stress area			Net cross section			Gross	Net cross section					Core area (minor diameter)	
Special design stress parameter			Use stress concentration factor for apertures or re-entrant corners				Designed for no slip at ultimate load (see Part 3)					See 7.5	
Type number	1.1	1.2	1.3*	1.4*	1.5*	1.6*	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12*	
Class	A†	B†	B†	C†	D†	C†	C†	D†	D†	E†	G†	B†	



*See H.2.3.

†Important features that change significantly from one type to another.

‡Classifications that should be used with caution.

NOTE. Tables 17(a), (b) and (c) are also available separately as a set of wall charts (BS 5400 : Part 10C). Price Gr 5 plus VAT.

米 國 (AASHTO 13th Edition) 10.3.1 Allowable Faigue Stress

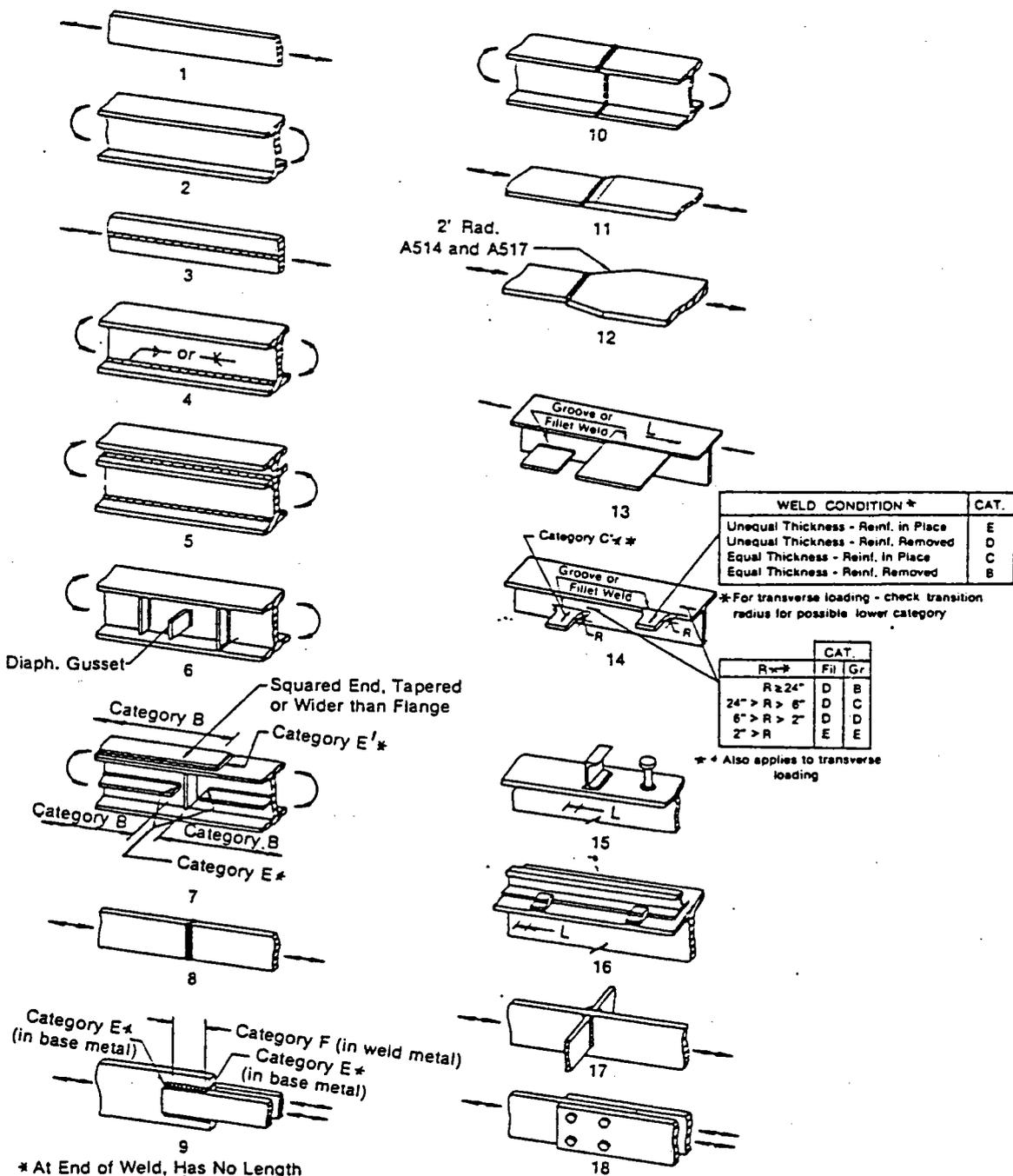


Figure 10.3.1C. Illustrative Examples

4 継手分類

米 国 (AASHTO 13th Edition) 10.3.1 Allowable Faigue Stress

TABLE 10.3.1B

General Condition	Situation	Kind of Stress	Stress Category (See Table 10.3.1A)	Illustrative Example (See Figure 10.3.1C)
Plain Material	Base metal with rolled or cleaned surfaces. Flame cut edges with ASA smoothness of 1,000 or less.	T or Rev ^a	A	1,2
Built-Up Members	Base metal and weld metal in members without attachments, built-up plates, or shapes connected by continuous full or partial penetration groove welds or by continuous fillet welds parallel to the direction of applied stress.	T or Rev	B	3,4,5,7
	Calculated flexural stress at toe of transverse stiffener welds on girder webs or flanges	T or Rev	C	6
	Base metal at end of partial length welded cover plates having square or tapered ends, with or without welds across the ends (a) Flange thickness < 0.8 in. (b) Flange thickness > 0.8 in.	T or Rev T or Rev	E E'	7 7
Groove Welds	Base metal and weld metal at full penetration groove welded splices of rolled and welded sections having similar profiles when welds are ground flush and weld soundness established by nondestructive inspection.	T or Rev	B	8, 10, 14
	Base metal and weld metal in or adjacent to full penetration groove welded splices at transitions in width or thickness, with welds ground to provide slopes no steeper than 1 to 2 1/2, with grinding in the direction of applied stress, and weld soundness established by nondestructive inspection.	T or Rev	B	11, 12
	Base metal and weld metal in or adjacent to full penetration groove welded splices, with or without transitions having slopes no greater than 1 to 2 1/2 when reinforcement is not removed and weld soundness is established by nondestructive inspection	T or Rev	C	8, 10, 11, 12, 14
	Base metal at details attached by groove welds subject to longitudinal loading when the detail length, L, parallel to the line of stress is between 2 in. and 12 times the plate thickness but less than 4 in.	T or Rev	D	13
	Base metal at details attached by groove welds subject to longitudinal loading when the detail length, L, is greater than 12 times the plate thickness or greater than 4 inches long.	T or Rev	E	13
	Base metal at details attached by groove welds subjected to transverse and/or longitudinal loading regardless of detail length when weld soundness transverse to the direction of stress is established by nondestructive inspection.			
	(a) When provided with transition radius equal to or greater than 24 in. and weld end ground smooth	T or Rev	B	14
	(b) When provided with transition radius less than 24 in. but not less than 6 in. and weld end ground smooth	T or Rev	C	14
	(c) When provided with transition radius less than 6 in. but not less than 2 in. and weld end ground smooth	T or Rev	D	14
	(d) When provided with transition radius between 0 in. and 2 in.	T or Rev	E	14

米 国 (AASHTO 13th Edition) 10.3.1 Allowable Faigue Stress

TABLE 10.3.1B (Continued)

General Condition	Situation	Kind of Stress	Stress Category (See Table 10.3.1A)	Illustrative Example (See Figure 10.3.1C)	
Filler ^b Welded Connections	Base metal at intermittent fillet welds	T or Rev	E	—	
	Base metal adjacent to fillet welded attachments with length L, in direction of stress less than 2 in. and stud-type shear connectors	T or Rev	C	13, 15, 16, 17	
	Base metal at details attached by fillet welds with detail length, L, in direction of stress between 2 in. and 12 times the plate thickness but less than 4 in.	T or Rev	D	13, 15, 16	
	Base metal at attachment details with detail length, L, in direction of stress (length of fillet weld) greater than 12 times the plate thickness or greater than 4 in.	T or Rev	E	7, 9, 13, 16	
	Base metal at details attached by fillet welds regardless of length in direction of stress (shear stress on the throat of fillet welds governed by stress category F)				
	(a) When provided with transition radius equal to or greater than 2 in. and weld end ground smooth	T or Rev	D	14	
	(b) When provided with transition radius between 0 in. and 2 in.	T or Rev	E	14	
Mechanically Fastened Connections	Base metal at gross section of high-strength bolted slip resistant connections, except axially loaded joints which induce out-of-plane bending in connected material.	T or Rev	B	18	
	Base metal at net section of high-strength bolted bearing-type connections	T or Rev	B	18	
	Base metal at net section of riveted connections	T or Rev	D	18	
Fillet Welds	Shear stress on throat of fillet welds	Shear	F	9	

^a"T" signifies range in tensile stress only; "Rev" signifies a range of stress involving both tension and compression during a stress cycle.

^bGusset plates attached to girder flanges with only transverse fillet welds, not recommended.

5. 疲れ強さの評価方法

本四基準では疲れ強さを算定する際、下記の二つのパラメーターを考慮し、それぞれにおいて通減係数或いは割増係数を基本許容応力範囲 ($\sigma f_0, \tau f_0$) に乗じ、設計応力範囲 ($\sigma f_a, \tau f_a$) を与えている。

BSでは疲れ強さの評価方法には以下の3種類の方法が与えられている。

1) 疲れ被害の計算をしない方法 (8.2 Assessment without damage calculation)

この方法の適用の適用条件は、前述したように標準車両及び年間車両走行台数に対応する道路であることとされている。疲れ強さの判定はこの標準車両1台の走行によって生ずる最大応力範囲が継手の許容応力範囲に納まっているか否かにより行われる。

2) 標準車両載荷による方法 (8.3 Damage calculation, single vehicle method)

この方法は、1台の標準車両が橋上を移動した時の応力変動を、与えられた年間車両走行台数に応じて累積していくことにより、継手の設計寿命の算定を行うものである。

3) 荷重スペクトルによる方法 (8.4 Damage calculation, vehicle spectrum method)

この方法は、2) 標準車両載荷による方法 において予め設定されていた標準車両及び年間車両走行台数の代わりに、それぞれ実測の数値を適用することにより継手の疲労設計を行うものである。

AASHTOでは道路の種別及び1日平均トラック交通量(Average Daily Truck Traffic)によってトラック載荷回数と車線載荷回数を規定しており、この回数と前述した継手の分類によって許容応力範囲を決定している。

(参考文献)

1. 本四公団；上部構造設計基準・解説，昭和55年6月
2. BS5400 Part10, 1980
3. AASHTO 13th Edition, 1983
4. 前田幸雄；「イギリスの新しい橋梁基準 BS 5400の紹介」，橋梁と基礎，
昭和56年2月
5. 前田幸雄；「イギリスの新しい疲れ設計基準 BS 5400 Part10」，橋梁と基礎，
昭和56年8月

5 疲れ強さの評価方法

日本 (本四公団 上部構造設計基準・解説) 4.2.3 疲労許容応力範囲

4.2.3 疲労許容応力範囲

疲労の検算は、下記の式により検算しなければならない。

$$\sigma_{max} - \sigma_{min} \leq \sigma_{fo} \quad \dots\dots\dots (4.2.4)$$

$$\tau_{max} - \tau_{min} \leq \tau_{fo} \quad \dots\dots\dots (4.2.5)$$

ここで、

$\sigma_{max}, \sigma_{min}$: それぞれ引張を正号、圧縮を負号とし、軸方向応力度の代数的最大値、最小値

τ_{max}, τ_{min} : それぞれ絶対値の大きい方の応力方向を正号、逆方向を負号とし、せん断応力度の代数的最大値、最小値

$\sigma_{max} - \sigma_{min}, \tau_{max} - \tau_{min}$: 設計応力範囲

σ_{fo}, τ_{fo} : 疲労許容応力範囲で、下記の式で与えられる。

$$\sigma_{fo} = a \cdot b \cdot \sigma_{fo} \quad \dots\dots\dots (4.2.6)$$

$$\tau_{fo} = a \cdot b \cdot \tau_{fo} \quad \dots\dots\dots (4.2.7)$$

σ_{fo}, τ_{fo} : 表 4.2.7 に規定する、繰返し数 200 万回設計疲労強度を意味する基本疲労許容応力範囲

a : 表 4.2.8 に規定する累積疲労被害効果を表わす低減係数

b : 表 4.2.9 に規定する設計応力範囲に占める負の成分の割合によって割増す係数

表 4.2.7 基本疲労許容応力範囲

(kgf/cm ²)		
応力の種類	等級分類	基本疲労許容応力範囲
引張・圧縮 (σ_{fo})	A	1,530
	B	1,270
	C	1,050
	D	800
せん断 (τ_{fo})	S ₁	920
	S ₂	820
	S ₃	650

ここで応力の種類に応じた継手の種類は表 4.2.10、表 4.2.11 に示す。

表 4.2.8 係数 (a)

(児島-坂出ロード)

継手種類		溶 接		非溶接	
鋼 種		SS 41, SM 41, SMA 41, SM 50, SM 50Y, SMA 50	SM 58, SMA 58, HT 70, HT 80	全鋼種	
主 機	吊 橋	0.70	0.65	0.75	
	斜張橋、トラス	1.00	1.00	1.00	
主 機 トラス	吊 橋	下弦材		0.90	
		垂直材		0.95	
	斜張橋	下弦材	0.85		0.90
		斜材	0.90		0.95
		垂直材	0.90		0.95
		その他のトラス	上弦材	0.90	
下弦材	0.95		1.00		
斜材	1.00		1.00		
垂直材	1.00		1.00		
架 設	新 幹 線	0.85		0.90	
	在 来 線	0.95		1.00	

表 4.2.9 係数 (b)

	$\psi \leq -1$	$-1 < \psi < -0.5$	$-0.5 \leq \psi$
溶 接 継 手	1.3	$\frac{13}{16 + 6\psi}$	1.0
非溶接 継 手	検算しな くてよい	$\frac{3}{3 + \psi}$	1.0

ここで、 $\psi = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max} - \sigma_{min}}$ または

$$\psi = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max} - \tau_{min}}$$

注) せん断では $\psi < -0.5$ は存在しない。

5 疲れ強さの評価方法

英国 (BS 5400 PART 10) 8. Fatigue assessment of highway bridges

assessed for each peak and each trough in the stress history of each lane in turn (see figure 9).

NOTE. It is sufficiently accurate to calculate each peak or trough value of the direct stress and to obtain the principal stress by combining these with the coincident shear stress, or vice-versa where this is more severe.

(c) When the maximum and the minimum algebraic values of stress $\sigma_{p \max}$, $\sigma_{p \min}$, result from vehicle positions in the same lane (referred to as case 1 in figure 9) the damage should be calculated for the stress histories for each lane separately.

When $\sigma_{p \max}$ and $\sigma_{p \min}$ result from vehicle positions in different lanes (referred to as case 2 in figure 9) an additional combined stress history should be derived, which allows for the increased maximum stress range produced by a proportion of the vehicles travelling in alternating sequence in the two lanes. In this case the damage should be calculated for the combined stress history as well as for the separate lane stress histories.

(d) Derive the stress spectrum σ_{v1} , σ_{v2} etc., from each stress history determined from (c).

Where a stress history contains only one peak and/or only one trough, only one cycle results, as shown in figure 9 for lanes C and D, and the stress range can be determined directly.

Where a stress history contains two or more peaks and/or two or more troughs, as shown in figure 9 for lanes A and B, more than one cycle results and the individual stress ranges should be determined by the reservoir method given in appendix B.

(e) Determine the effective annual flow of commercial vehicles, \bar{n}_c million, appropriate to each stress spectrum as follows:

- (1) where case 1 of figure 9 applies, $\bar{n}_c = n_c$ and may be derived directly from table 1 unless different vehicle flows are adopted;
- (2) where case 2 of figure 9 applies the effective annual flow \bar{n}_c should be obtained as indicated in figure 9 for case 2.

(f) For each stress range σ_v of each stress spectrum, determine the appropriate lifetime damage factor d_{120} from the damage chart of figure 10 and multiply each of these values by the appropriate value of \bar{n}_c . For non-welded details the stress range should be modified as in 6.1.3.

(g) Determine the value of the adjustment factor K_F from figure 11 according to the base length L of the point load influence line (see figure 12) and the stress range ratio K_B defined in figure 11.

For a combined stress history from two lanes (see (c) above and case 2 in figure 9) K_B should be taken as zero for determining K_F .

NOTE. For the derivation of K_F see appendix C.

(h) Determine the predicted fatigue life of the detail from the following expression:

$$\text{fatigue life (in years)} = \frac{120}{\Sigma K_F \bar{n}_c d_{120}}$$

where the summation includes all the separate lane stress histories as well as the combined stress history, where appropriate.

8.3.2.2 Where the predicted fatigue life of the detail is less than the specified design life, the detail should either be strengthened to reduce the value of $\sigma_{v \max}$ or redesigned to a higher class and then re-checked as in 8.3.2.1.

As a guide, an approximate stress range for the same class of detail can be obtained by multiplying the original value by:

$$\left(\frac{\text{predicted life}}{\text{design life}} \right)^{1/(m+1)}$$

where

m is the inverse slope of the appropriate $\log \sigma_r / \log N$ curve given in table 8.

If the detail is to be redesigned to a higher class the procedure given in 11.5(b) may be used as a guide to assess the adequacy of the proposed detail.

8.4 Damage calculation, vehicle spectrum method

8.4.1 *General.* This method involves an explicit calculation of Miner's summation and may be used for any detail for which the σ_r-N relationship is known and for any known load or stress spectrum.

8.4.2 Design spectrum

8.4.2.1 The individual stress spectra for the detail being assessed should be derived by traversing each vehicle in the load spectrum along the various lanes. Account should also be taken of the possibility of higher stress ranges due to some of the vehicles occurring simultaneously in one or more lanes and/or in alternating sequence in two lanes. For non-welded details the stress range should be modified as given in 6.1.3.

8.4.2.2 In the absence of other evidence, allowance for impact should be made in accordance with 7.2.4. The design spectrum should then be determined by combining the stress spectra with the specified numbers of vehicles in the respective lanes.

8.4.2.3 In assessing an existing structure, a design spectrum may be compiled from strain readings or traffic records obtained from continuous monitoring.

8.4.3 *Simplification of design spectrum.* The design spectrum may be divided into any convenient number of intervals, as shown in figure 13, with all the stress ranges in any one interval being treated as the maximum range in that interval but low stress ranges should be treated in accordance with 11.3. It should be noted that the use of small intervals will reduce the conservatism in fatigue assessment.

8.4.4 *Calculation of damage.* Using the design spectrum, the value of Miner's summation $\sum \frac{n}{N}$ should be calculated in accordance with clause 11. This value should not exceed 1.0 for the fatigue life of the detail to be acceptable.

5 疲れ強さの評価方法

英国 (BS 5400 PART 10) 8. Fatigue assessment of highway bridges

Table 3. Standard load spectra for RL loading

Group number	1	2	3	4	5	6
Load proportion, K_w	0.55	0.45	0.35	0.25	0.15	0.05
Range	0.5 to 0.6	0.4 to 0.5	0.3 to 0.4	0.2 to 0.3	0.1 to 0.2	0 to 0.1
Length, L (m)	Total number of live load cycles ($n_R \times 10^6$) for various loading groups and types					
2	9	120	189	42	0	0
3	1	112	68	10	170	0
4	0	29	75	3	74	180
5	0	6	110	0	2	75
7	0	38	65	0	0	77
10	1	10	56	37	0	77
15	1	13	0	49	30	15
20	1	13	0	0	50	80
30	0	8	6	0	0	265
≥ 50	1	13	0	0	0	80

NOTE 1. L is the base length of the point load influence line (see figure 12). For intermediate values of L , permissible stress ranges may be derived from the spectra for the two adjacent lengths shown in the table and the values interpolated. n_R values apply to one track.

NOTE 2. The values are based on a traffic volume of 27×10^6 tonnes per annum.

8. Fatigue assessment of highway bridges

8.1 Methods of assessment

8.1.1 General. Three procedures for the fatigue assessment of details in highway bridges are given in 8.2, 8.3 and 8.4. The selection of the appropriate procedure depends upon the detail classification, the design life, the load spectrum and the assumed annual flow of commercial vehicles.

8.1.2 Simplified procedures. As an alternative to the more rigorous procedure of 8.4, the simplified procedures of 8.2 and 8.3 may be used provided the conditions stated are satisfied.

NOTE. Appendix C gives the derivation of standard highway bridge fatigue loading.

8.2 Assessment without damage calculation

8.2.1 General. This method determines the limiting value of the maximum range of stress for a 120 year design life and is generally simpler but more conservative than the more exact methods of 8.3 and 8.4. It should only be used where all the following conditions are satisfied:

- the detail class is in accordance with table 17;
- the design life is 120 years;
- the fatigue loading is the standard load spectrum (see 7.2.2.1);
- the annual flows of commercial vehicles are in accordance with table 1.

NOTE. For class S detail only, 8.2.3 provides factors by which non-standard design life, different traffic flow and design HB loading of less than 45 units may be taken into account.

8.2.2 Procedure

8.2.2.1 The following procedure should be used (see appendix D):

- apply the standard fatigue vehicle to each slow and each adjacent lane in turn, in accordance with 7.2.3;
- apply the impact allowance of 7.2.4, if appropriate, and determine the maximum and minimum values of principal stress or vector sum stress for weld throat, $\sigma_{p \max}$ and $\sigma_{p \min}$ occurring at the detail being assessed, whether resulting from the fatigue vehicle in the same lane or not;

(c) determine the maximum range of stress $\sigma_v \max$ equal to the numerical value of $\sigma_{p \max} - \sigma_{p \min}$. For non-welded details the stress range should be modified as given in 6.1.3;

(d) obtain the appropriate limiting stress range σ_H from figure 8.

NOTE. The sign convention used for σ_p is immaterial provided it is applied consistently. Where stress reversal does not occur, the value of either $\sigma_{p \max}$ or $\sigma_{p \min}$ should be taken as zero.

8.2.2.2 For class S details the values of σ_H may be adjusted by the factors given in 8.2.3, when appropriate.

8.2.2.3 Where $\sigma_v \max$ does not exceed σ_H the detail may be considered to have a fatigue life in excess of the specified design life.

8.2.2.4 Where $\sigma_v \max$ exceeds σ_H either of the following options may be adopted.

(a) The detail may be assessed by the alternative procedure given in 8.3 if it is not a class S detail, or by the procedure given in 8.4 if it is a class S detail. However, if $\sigma_v \max > 1.30 \sigma_H$ for class S details or $> 1.55 \sigma_H$ for the other classes this option will not satisfy the recommendations of 8.3 and 8.4.

(b) The detail may be strengthened in order to reduce the value of $\sigma_v \max$ or it may be redesigned to a higher class.

8.2.3 Adjustment factors for σ_H , class S details only. The values of σ_H obtained from figure 8 may be adjusted by multiplying successively by the following factors where appropriate.

(a) Non-standard design life:

$$\text{factor} = \left(\frac{120}{\text{design life in years}} \right)^{0.125}$$

(b) Non-standard annual flows:

$$\text{factor} = \left(\frac{n_c \text{ (from table 1)}}{n_c \text{ (assumed)}} \right)^{0.125}$$

where

n_c is the annual flow in the lane loaded to produce $\sigma_v \max = \sigma_{p \max} - \sigma_{p \min}$

NOTE. In the case where $\sigma_{p \max}$ and $\sigma_{p \min}$ are produced by loading in two lanes, n_c should be taken as the sum of the flows in those two lanes.

(c) Reduced values of abnormal load capacity (see C.4.4.2):

factor = 1.3 for bridges designed for 37.5 units HB
factor = 1.7 for bridges designed for 25 units HB

8.3 Damage calculation, single vehicle method

8.3.1 General. This method determines the fatigue life of the detail in question and may be used where a more precise assessment than that provided by the method of 8.2 is required or where the standard design life and/or the annual flows given in table 1 are not applicable. It should only be used where the following conditions are satisfied:

- the detail class is in accordance with table 17 but is not class S,
- the fatigue loading is the standard load spectrum (see 7.2.2.1).

8.3.2 Procedure

8.3.2.1 The following procedure should be used (see appendix D).

- Apply the standard fatigue vehicle to each slow lane and each adjacent lane in turn, in accordance with 7.2.3.
- Apply the impact allowance of 7.2.4, if appropriate, and determine the algebraic value of principal stress, or for weld throat, the vector sum stress at the detail being

5 疲れ強さの評価方法

米 国 (AASHTO 13th Edition) 10.3 REPETITIVE LOADING AND TOUGHNESS CONSIDERATIONS

TABLE 10.3.1A Allowable Fatigue Stress Range
Redundant Load Path Structures*

Category See Table 10.3.1B	Allowable Range of Stress, F_{sr} (ksi) ^a			
	For 100,000 Cycles	For 500,000 Cycles	For 2,000,000 Cycles	For over 2,000,000 Cycles
A	60	36	24	24
B	45	27.5	18	16
C	32	19	13	10
D	27	16	10	7
E	21	12.5	8	5
E'	16	9.4	5.8	2.6
F	15	12	9	8

Nonredundant Load Path Structures

Category See Table 10.3.1B	Allowable Range of Stress, F_{sr} (ksi) ^a			
	For 100,000 Cycles	For 500,000 Cycles	For 2,000,000 Cycles	For over 2,000,000 Cycles
A	36	24	24	24
B	27.5	18	16	16
C	19	13	10	9
D	16	10	7	5
E ^c	12.5	8	5	2.5
F	12	9	8	7

*Structure types with multi-load paths where a single fracture in a member cannot lead to the collapse. For example, a simply supported single span multi-beam bridge or a multi-element eye bar truss member has redundant load paths.

^aThe range of stress is defined as the algebraic difference between the maximum stress and the minimum stress. Tension stress is considered to have the opposite algebraic sign from compression stress.

^bFor transverse stiffener welds on girder webs or flanges.

^cPartial length welded cover plates shall not be used on flanges more than 0.8 inches thick for nonredundant load path structures.

TABLE 10.3.2A Stress Cycles

Main (Longitudinal) Load Carrying Members

Type of Road	Case	ADTT ^a	Truck Loading	Lane Loading ^b
Freeways, Expressways, Major Highways, and Streets	I	2,500 or more	2,000,000 ^c	500,000
Freeways, Expressways, Major Highways, and Streets	II	less than 2,500	500,000	100,000
Other Highways and Streets not included in Case I or II	III		100,000	100,000

Transverse Members and Details Subjected to Wheel Loads

Type of Road	Case	ADTT ^a	Truck Loading
Freeways, Expressways, Major Highways, and Streets	I	2,500 or more	over 2,000,000
Freeways, Expressways, Major Highways, and Streets	II	less than 2,500	2,000,000
Other Highways and Streets	III	—	500,000

^aAverage Daily Truck Traffic (one direction).

^bLongitudinal members should also be checked for truck loading.

^cMembers shall also be investigated for "over 2 million" stress cycles produced by placing a single truck on the bridge distributed to the girders as designated in Article 3.23.2 for one traffic lane loading.

第3章 斜張橋ケーブル定着構造

§ 1. はじめに

斜張橋ケーブル定着構造について、海外の著名な斜張橋に関するテキストを基に各国の設計法を探る。なお、使用したテキストは下記の通りである。

- 1) Gimsing, N. J. : Cable Supported Bridges, Concept and Design. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore 1983.
- 2) Podolny, W., Scalzi, J. B. : Construction and Design of Cable-Stayed Bridges. John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto 1976.
- 3) Troitsky, M. S. : Cable-Stayed Bridges, Theory and Design. Crosby Lookwood Staples, London 1977.
- 4) Roik, K., Albrecht, G., Weyer, U., : Schragseilbrucken. Ernst & Sons, Berlin 1986.

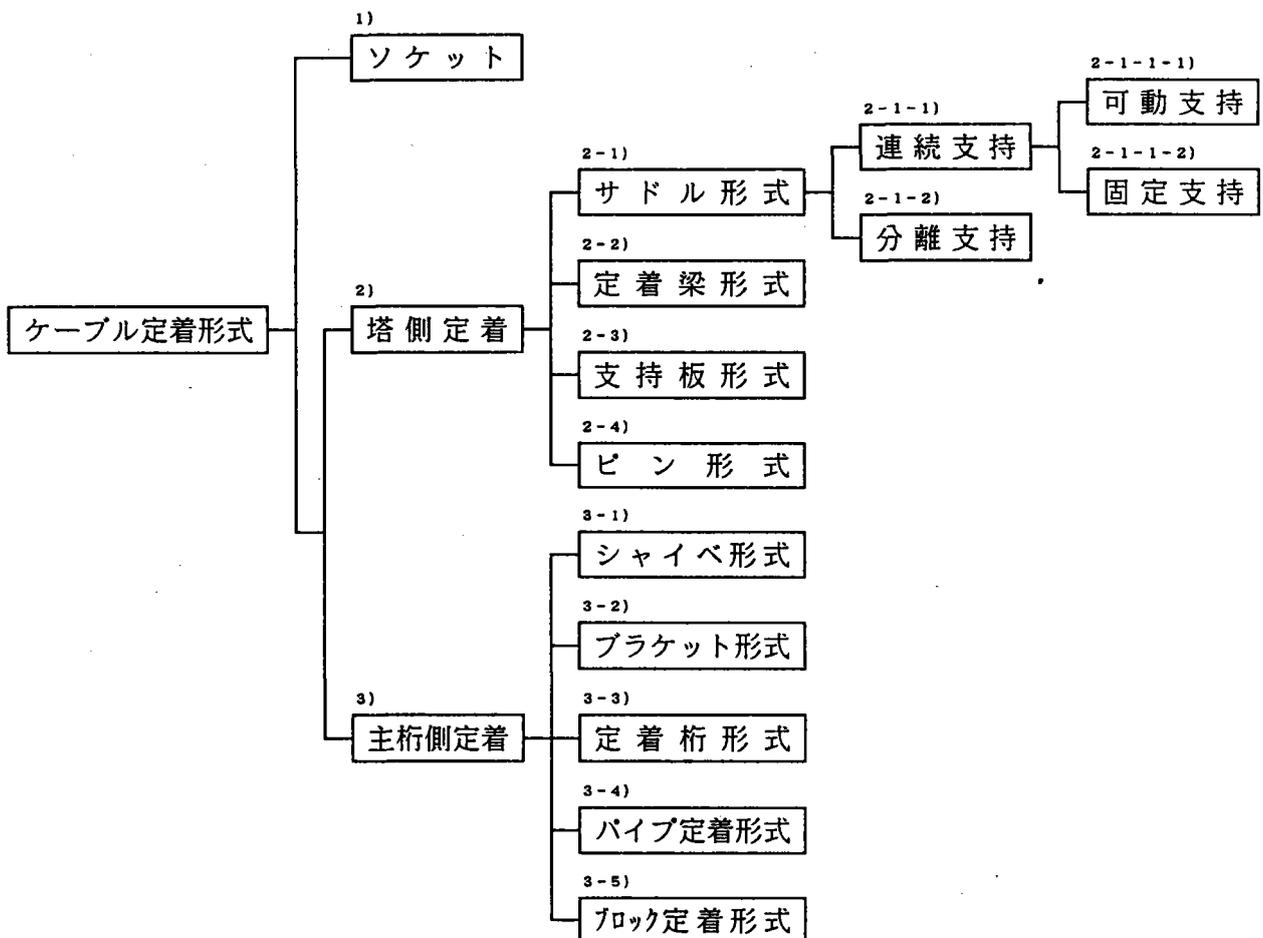
また、これらのテキストの参考箇所については、その訳文を参考資料-1として添付する。

§ 2. ケーブル定着構造

ここでは斜張橋ケーブルの定着形式について先ず分類し、続いて定着のための重要部材であるソケットについて必要とされる条件及び設計法等について参考文献を基に概述する。また、ケーブルを定着させる主構造要素である塔及び主桁部の定着構造についても同様に、構造事例をベースとして設計上の特質及び留意点について概述する。

2. 1 定着形式の分類

斜張橋ケーブル定着構造は概略下記のように分類できる。



塔側定着の内、2-1) サドル形式は塔頂にサドルを設け、それによりケーブルを支持するもので、これには連続支持と分離支持とがある。連続支持形式はサドルを跨がってケーブルを支持するもので、サドルと塔頂との結合状態により固定と可動支持形式がある。また、サドル形式の内、ケーブルを左右分離形式のものを分離支持形式と称す。

2-2) 定着梁形式は塔頂に定着用梁を設け、この梁にケーブルを定着するものである。2-3) 支持板形式とは塔柱フランジ部に支圧板を設け、これにケーブルを定着するものである。

2-4) ピン形式とは、ソケット端部をアイバーとし、これをピンにより定着させるものである。

主桁側定着方法としては5タイプが考えられる。3-1) シャイベ形式は箱桁内部に縦シャイベを設け、それにケーブルを定着させるものである。3-2) ブラケット形式は鋼床版等のブラケットに定着させるものである。3-3) 定着桁方式とは主桁を貫通する剛な横桁を設け、これにケーブルを定着する方式のものである。3-4) パイプ定着方式とは桁に取り付けられたパイプにケーブルを定着する方式である。3-5) ブロック定着方式とは本四 櫃石・岩黒島橋に用いられたように、トラス上弦材部に定着ブロック(鋳物)をセットし、そのブロックにケーブルを定着させる方式である。

2.2 ソケット

文献2)では斜張橋ケーブルの定着に用いられるソケットとして①圧着タイプ、②垂鉛充填タイプ及び、③その他特殊タイプに分類して解説している。

- ①圧着タイプ : スtrand径12.7~34.9mm、ローブ径9.5~50.8mm
 橋梁のメイン・ステイ・ケーブルには一般には用いられない。
 ソケット形状については図-4.2.1参照。

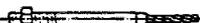
Name	Description	Attach-ment	Sizes Available Diam. in.	
			Strand	Rope
Closed Swaged Socket		Swaged	1/2-1 3/4	3/4-2
				
Open Swaged Socket		Swaged	1/2-1 3/4	3/4-2
				
Threaded Swaged Socket		Swaged	1/2-1 3/4	3/4-2

図-4.2.1 圧着タイプのソケット形状

②亜鉛充填タイプ；米国斜張橋の太径ケーブルの使用が認められている。

ストランド径12.7~101.6mm、ロープ径9.5~101.6mm

ストランド及びロープはASTM仕様書のA586、A603、亜鉛はB6に準拠（亜鉛金属に関する基準）

亜鉛充填温度と疲労強度の関係について説明。図-4.2.2参照。

ソケット形状については図-4.2.3参照。

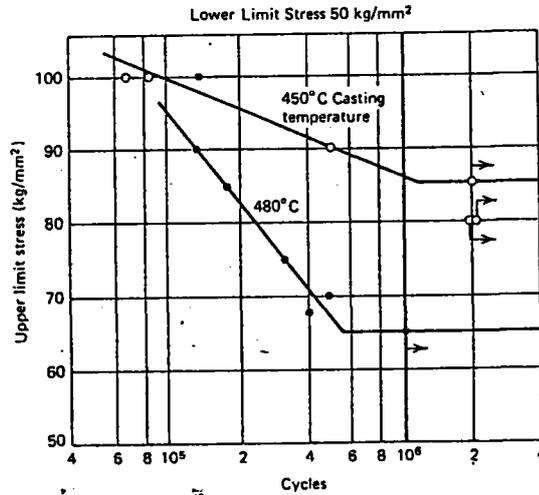


図-4.2.2 亜鉛充填温度と疲労強度の関係

Name	Description	Attachment	Sizes Available Diam. in.	
			Strand	Rope
Closed Socket (a)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4
Open Socket (b)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4
Open Bridge Socket (c)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4
Closed Bridge Socket (d)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4

Name	Description	Attachment	Sizes Available Diam. in.	
			Strand	Rope
Button Socket (e)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4
Bearing Sockets (f)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4
Threaded Socket (g)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4
Threaded Stud Socket (h)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4
Bridge Socket Bowl (i)		Poured Zinc	1/2-4	3/4-4

図-4.2.3 亜鉛充填タイプのソケット形状

③その他のタイプ：

a. 鋼球、亜鉛粉、エポキシ樹脂剤からなる常温充填材料を用いたソケット

Thulにより提案されたソケットで、引張り強度、疲労強度、クリープ特性には勝るが、樹脂剤の経年変化に関して不明。

b. ボタンヘッドによる鋼製アンカープレート定着ソケット

平行線ワイヤーケーブルに用いられるもので、亜鉛充填ソケットのほぼ2倍の強度増加があるとされている。図-4. 2. 4参照。

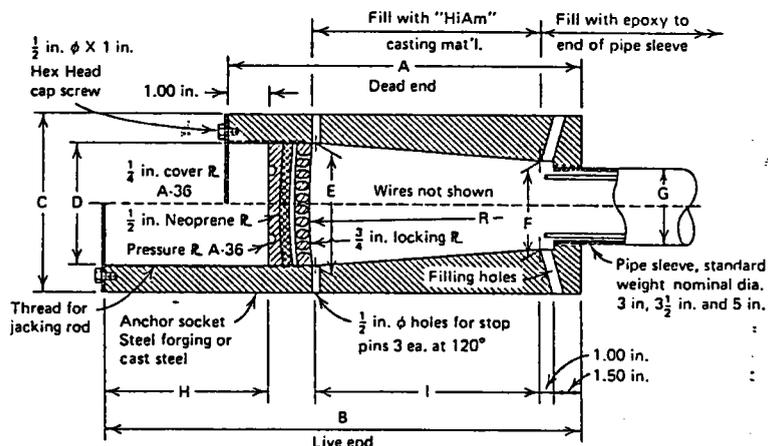


図-4. 2. 4 ケーブル定着ソケット詳細

文献1)ではケーブルソケットに関して①素線のソケットへの定着方法、②ソケット壁厚の照査法、及び③ソケットの形状及びその使用例について説明を加えている。

①素線のソケットへの定着方法

従来より採用されている a. 合金鑄込みタイプと、最近平行線ストランドの定着に使用されるようになった b. ボタンヘッド-アンカープレート定着タイプについて説明を加えている。

a. 合金鑄込みタイプ

端部をほうき状にばらしたストランドを円錐上の空洞を有するソケットに挿入し、比較的融点の低い合金で空隙を充填し定着させるものである。

鑄込み金属としては、亜鉛、鉛、銅、またはアルミニウムなどの合金が使用される。この内、鉛系の合金は鑄込み温度が350℃と低い反面、クリープ特性が劣るため最近構造物には使用されなくなった。これに対して亜鉛系の合金は鑄込み温度が400℃~420℃必要であるが、特に亜鉛・銅合金 (Zn=98%, Cu=2%) はクリープ特性も非常に良い事から多用されている。

また、亜鉛メッキ素線はメッキ時に既に高温の工程を経ているため、鑄込み時の強度低下が少ないとされている。

b. ボタンヘッドーアンカープレート定着タイプ

図-4. 2. 5に示すように、素線をその端部に設けられたボタンヘッドによりアンカープレートに定着させ、引き抜き力を高めるものである。

ソケット内の充填には鑄込み温度の低いエポキシ樹脂、亜鉛粉及び鋼球 ($d = 1 \sim 2 \text{ mm}$) が用いられ、疲労強度が高められている。

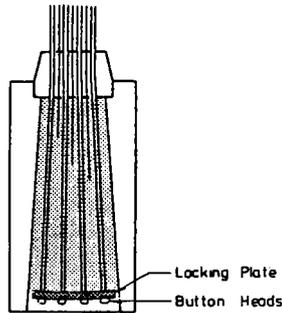


図-4. 2. 5 パラレル・ワイヤーストランド用ソケット

図-4. 2. 6に示すソケットはHi Amソケットとよばれ高い疲労強度を有している。

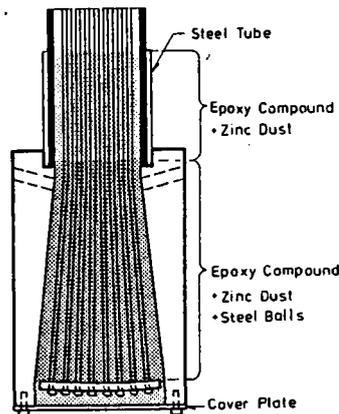


図-4. 2. 6 Hi Amソケット

②ソケット壁厚の照査法

ソケットに作用するリング・テンション力 P_r を次式で与えている。

$$P_r = \frac{T}{2\pi \tan(\phi + \beta)}$$

ここに、 T はケーブル張力、 β は円錐中心と壁面の成す角度。 $\tan \phi = 0.2$ (合金系充填物)、 $\tan \phi = 0.45$ (エポキシ系充填物)。

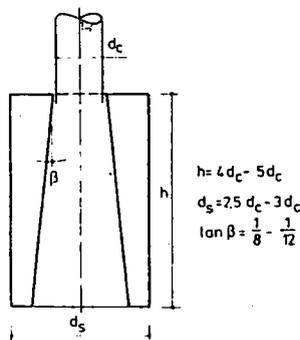


図-4.2.6 ソケット断面

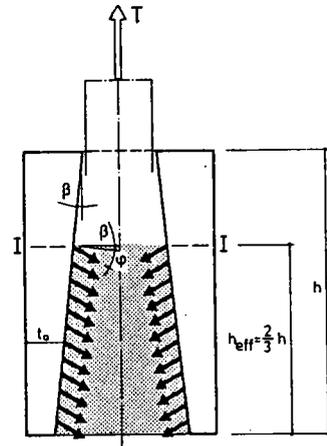


図-4.2.7 ソケットから充填材への模式的力の伝達機構

このリング・テンションを有効高さ $h_{eff} = 2h/3$ で負担するとして応力度を算出する。

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{P_r}{h t_a} = \frac{3}{4\pi} \frac{T}{h t_a \tan(\phi + \beta)}$$

ここに、 t_a はソケットの有効部分の平均壁厚である。

③ソケットの形状及び使用例

図-4.2.8にソケットの例を示している。

- (a) は単純支圧形式である。ソケットとジャッキとの連結部を持たないため、主に固定側の定着部に用いられる。
- (b) は (a) の変形で、ストランドの初期張力導入用のジャッキとの連結を考慮した突起を両側に有している。
- (c) はソケット内にネジを切ってロッドを連結できる形にしたものである。このロッドはストランドの初期張力導入時にのみ用いられ、完成時にはソケット前面の支圧による場合がほとんどであるが、まれに最終構造部材の一部として用いられることもある。
- (d) はソケットの外周にネジ部を有し、この部分に取り付けられたスパナ・ナットにより比較的大きなケーブル長調整機能を持たせる形式である。最終的に荷重はスパナ・ナットの支圧で伝えられる。
- (e) はソケットの内外周の両側にネジ部を持つ形式である。内側のネジはロッドを挿入して初期張力の導入を行なうためのものであり、その後外側のスパナ・ナットが荷重を受け持つ。このタイプのソケットは、完成後にケーブル長の調整が必要な場合に適している。

- (f) は構造物とピン結合する場合に用いるオープン・ソケットである。この形式では構造物とケーブルに大きな角度を持たせることができる反面、ソケットでケーブル長を調整することができない。
- (g) は (f) のオープン・ソケットと同じ機能を持ったクローズド・ソケットである。
- (h) はケーブル張力を2本のロッドあるいはボルトに伝える形式である。この形式はストランド・シューのプレファブ・ストランドとアンカー・ボルトの連結に類似しているように、主に吊橋のソケットに用いられる。

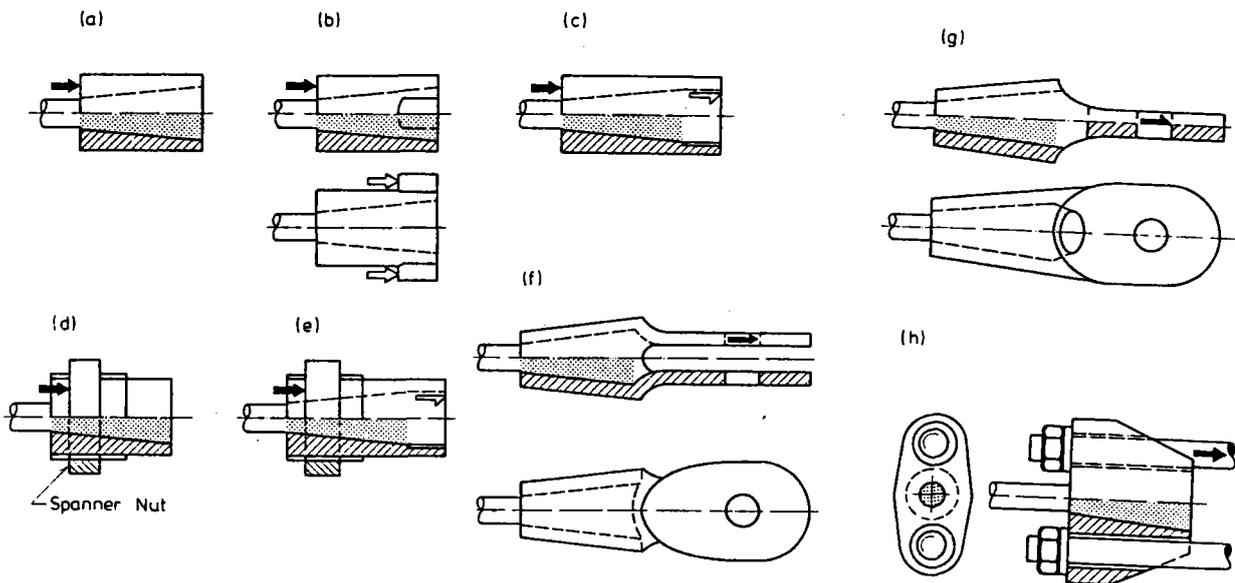


図-4. 2. 8 各種ソケット事例

文献3)、及び4)にはソケットに関して特筆すべき記述は見当たらない。

2. 3 塔側定着

文献2)には塔側ケーブル定着のために用いられるサドルに関し、考慮すべき事項を箇条書きで示している。また、A I S Iのサドルに関する基準を併記している。

その他、塔側定着の構造事例として下記橋梁を例に上げ考察を加えている。

- a. Severin 橋 (西ドイツ)
- b. Stromsund 橋 (スウェーデン)
- c. Galecop 橋 (オランダ)
- d. George Street 橋 (イギリス)
- e. Papineau-Leblanc 橋 (カナダ)
- f. Sitka Hardor 橋 (アメリカ)
- g. Maxau Rhine River 橋 (西ドイツ)
- h. Schillerstrasse 橋 (西ドイツ)
- i. Raxstrasse 歩道橋 (オーストラリア)

なお、当文献に示されている構造事例については § 3. に転載する。

文献1)では塔側定着方法を図-4. 2. 9に示す3タイプに分類して説明している。

(a)ではケーブルは塔に固定されたサドルの上に載せられている。このタイプは吊橋及び斜張橋のマルチ・ストランドのステイ・ケーブルと塔との連結にも用いられる。

(b)も(a)と同様サドルを用いているが、この方式ではサドルの下にローラーを設けることにより橋軸方向の移動を可能としている。この方式は吊橋のケーブル架設時に塔に曲げモーメントを発生させないようにサドル位置の調整が必要なときに採用される。しかし、架設完了後は通常サドルは塔に固定されるため、最終的な連結方式は(a)と同じとなる。また、(b)は塔の曲げモーメントを減らすため、初期の斜張橋の数橋に採用されたが、斜張橋としての構造特性をも減じてしまうため、総合的な経済性については疑問の余地がある。

(c)ではおのおののケーブル端は塔に定着されており、ケーブルは塔で不連続になっている。この方式はケーブル傾斜角、本数、サイズの変化に対する自由度が大きいため、最近のマルチ・ケーブルの斜張橋に用いられている。桁と塔との定着間を製作長として、ケーブルのプレファブ化を行なへ、運搬・架設上でもこの方式は有利となる。ただし、この方式はマルチ・ストランド・ケーブルではケーブルを定着させるために必要な拡散のための空間を塔側に確保できないことから採用できない。

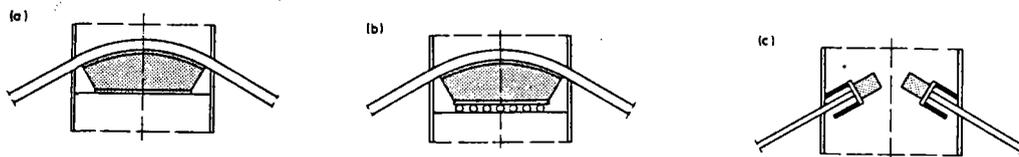


図-4. 2. 9 塔とケーブルの連結方式3例

マルチ・ケーブルシステムではステイ・ケーブル数が多いため、図-4.2.10に示すようなかなりの定着スペースが必要である。特殊な塔頂構造を用いた例としてLudwigshafen高架橋の例を挙げている。また、塔頂部を3つのセグメントで構成することによりケーブル定着部をうまく集中させた例としてPasco-Kennewick 橋の例を挙げている。(§3. 参照)

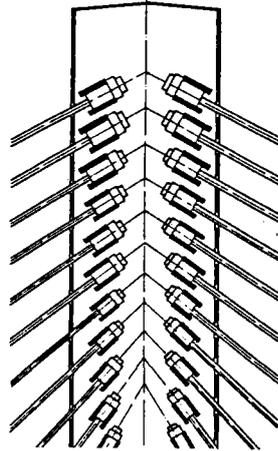


図-4.2.10 ファンシステム マルチ・ケーブルの塔体定着構造

コンクリート塔でのマルチ・ケーブルシステム定着方法例を図-4.2.11に示している。

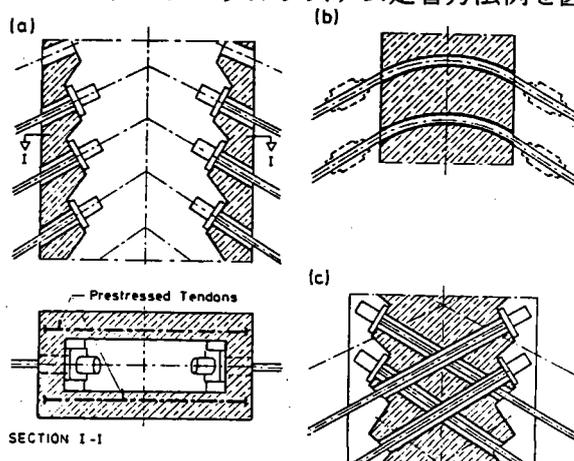


図-4.2.11 コンクリート塔でのモノ・ストランドケーブル定着案

また、ステイ・ケーブルを塔を貫通させ、オーバーラップして反対側に定着させる例として、図-4.2.12を示している。

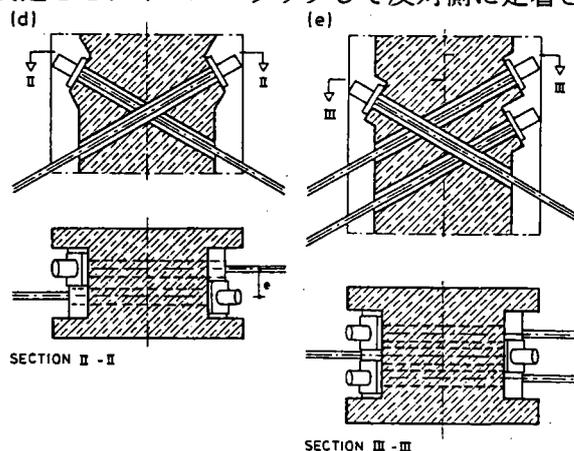
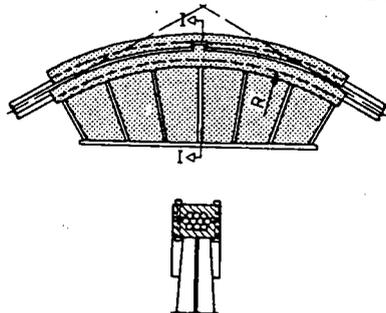


図-4.2.12 コンクリート塔でのステイ・ケーブルのオーバーラッピング定着案

マルチ・ストランド・ケーブルシステムでは塔とケーブルの連結のためにケーブル・サドルを用いる。斜張橋に用いられる典型的なケーブル・サドルを図-4. 2. 13に示す。



SECTION I-I

図-4. 2. 13 ケーブル・サドル

ケーブル・サドルの主寸法はストランドの許容側圧から決められるサドル所要半径により決定される。ケーブルの曲線部の側圧によって生じる摩擦力が、ケーブルにより塔頂に作用する水平力に対して不足する場合には、サドル・カバーを設けることにより摩擦力の増加が図られる。

ストランドを効率的に支持するためにサドルには図-4. 2. 14に示すような溝がケーブル形状に合わせて付けられる。更に、ストランド間の空隙を埋めるためソフト・メタル製の三角形のフィラーが挿入される。

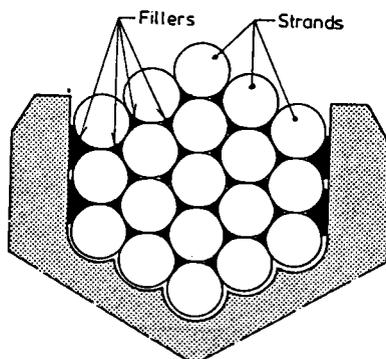


図-4. 2. 14 溝付きケーブル・サドル

カバーなしの単純なサドルで支持されたケーブルの場合（図-4. 2. 15参照）、一方に作用する最大張力 T_1 は、もう一方のケーブル張力 T_r と摩擦係数 μ との関数として次式で表わされる。（Eytelwein の方程式）

$$\max T_1 = T_r \exp [\mu (\phi_1 + \phi_r)]$$

ここに、 $\phi_1 + \phi_r$ は左右のケーブル軸の成す角度である。 $\mu (\phi_1 + \phi_r)$ は一般的に1に比べて小さいので、次式のように簡略化される。

$$\max T_1 = T_r [1 + \mu (\phi_1 + \phi_r)]$$

図-4. 2. 16に示すような1本当たり P_b の力の m 本のボルトでケーブルを押し付けているカバー付きのサドルの場合では次式のようなになる。

$$\max T_1 = T_r [1 + \mu (\phi_1 + \phi_r)] + 2 \mu m P_b$$

図-4. 2. 17の様なフリクション・プレートを有するサドルの場合では T_1 の最大値は次式のようなになる。

$$\max T_1 = T_r [1 + \mu (\phi_1 + \phi_r)] + 2 n \mu m P_b$$

ここで、 n はフリクション・プレートにより分割されるストランドの層数である。



図-4. 2. 15 カバーなしサドルに作用する摩擦力

図-4. 2. 16 押えカバーを有すサドルに作用する摩擦力

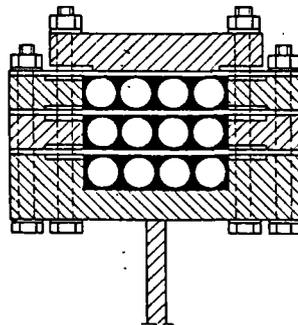
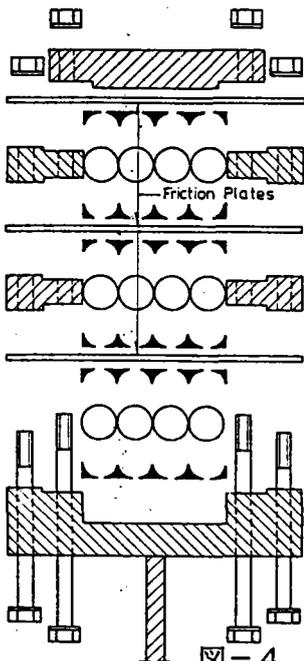


図-4. 2. 17 摩擦板を有すサドル

マルチ・ストランドケーブルでは、個々のステイ・ケーブルに適切な断面を得るため、塔の左右でストランドの本数が変わることがある。このような場合、図-4. 2. 18に示すようにストランドの何本かはソケットとダイヤフラムを介して塔に定着される。

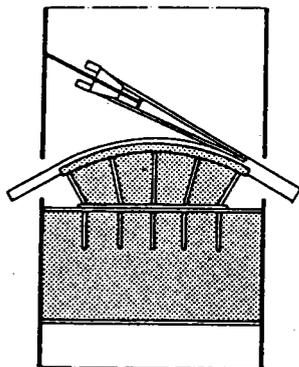


図-4. 2. 18 増しストランドの定着

文献3)では、塔体でのケーブル支持方法として固定支持と可動支持とに分けて既設の橋梁の事例を上げ説明している。

ここで取り上げられている事例については§3. に転載しているので説明を省略する。

文献4)には、ケーブルの塔体支持方法として特記するものは見当たらない。

2.4 主桁側定着

主桁とケーブルの定着については、Gimsing氏の文献で詳しく述べられており、他の文献では代表的な定着構造の実施例に対するコメントが簡潔に記述されているのみである。

そこで主としてGimsing氏の文献を基にして主桁側の定着構造の設計についてまとめる。

(1) ケーブルストランド数と定着構造

ストランド数の多いマルチストランドのケーブルの定着では、図-1に示すように、ケーブルカラーを用いて各々のストランドを別個に支圧板を介して定着ダイヤフラムに定着する。

カラーは2個の鋳鋼からなり、ボルト接合される。ストランドとの摩擦力が十分で滑らない場合は、完成時においてもカラーはケーブルにのみ固定されることが多い。ストランドとの摩擦力が小さい場合は、カラーを主桁に単純な構造のタイバーによって固定する。

ケーブルのサブ量の変化によるケーブルの折れ曲りは図-2に示すようにカラー部分で発生するが、ソケット入口部での個々のストランドの折れ曲りは避けられる。

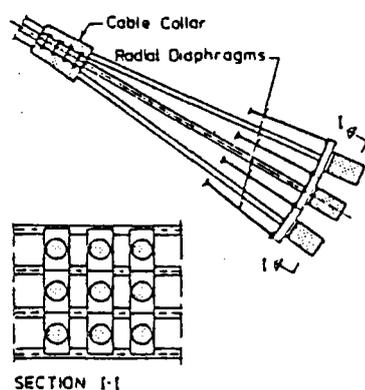


図-1

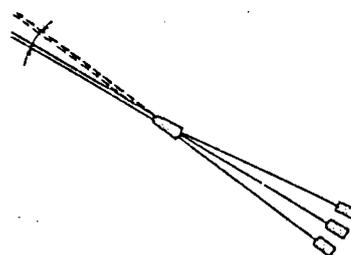
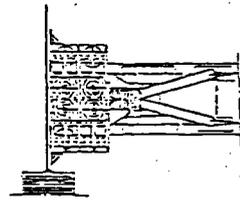
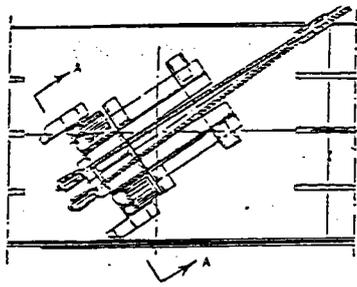


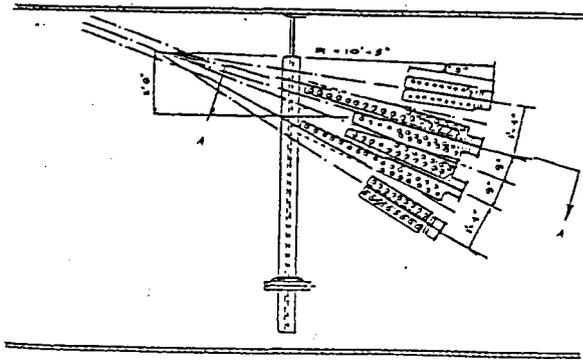
図-2

マルチストランドケーブルは、大部分の斜張橋においてストランドのスプレーを主桁内部で行うため、ケーブルカラーはストランドの主桁への入口部に設置される。実施例としては、Stromsund橋(1955年 スウェーデン)，Theodor Heuss橋(1957年 西ドイツ)，Severin橋(1959年 西ドイツ)，Papineau-Leblenc橋(1969年 カナダ)，Maxau橋(1966年 西ドイツ)，New Galecopper橋(1972年 オランダ)などがあり、定着部詳細を以下に示す。

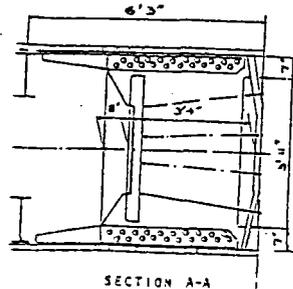


SECTION A-A

图-3 Strossund桥

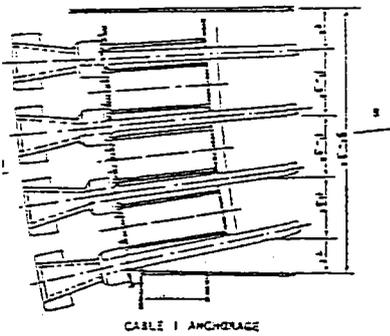


ELEVATION

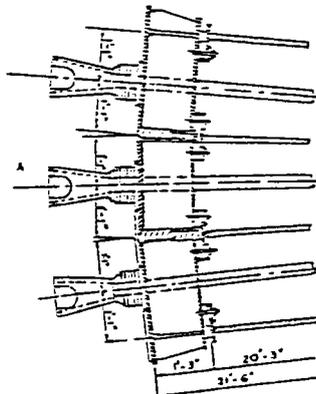


SECTION A-A

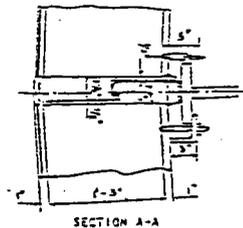
图-4 Theodor-Heuss桥



CABLE ANCHORAGE



CABLE ANCHORAGE
SECTION 3-3



SECTION A-A

图-5 Severin桥

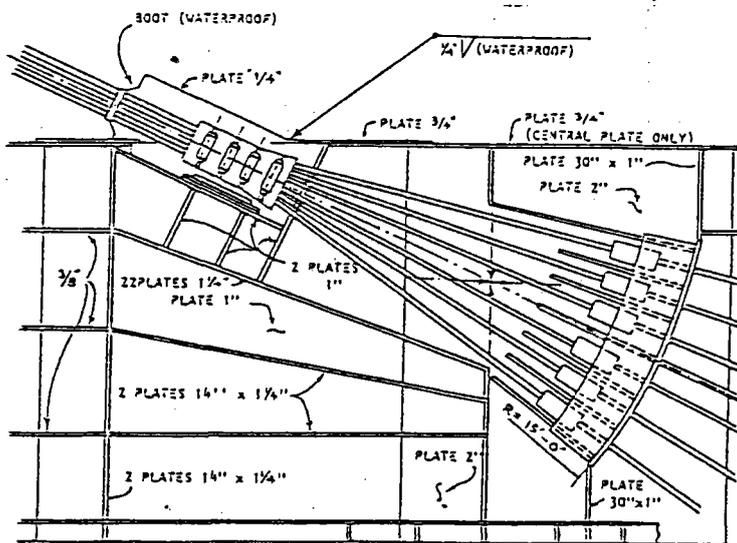


图-6 Papineau桥

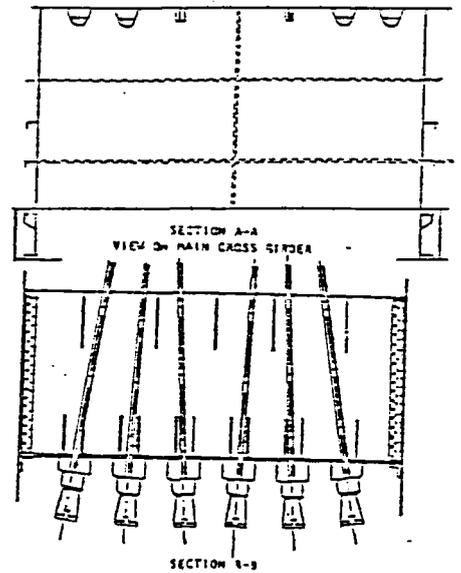
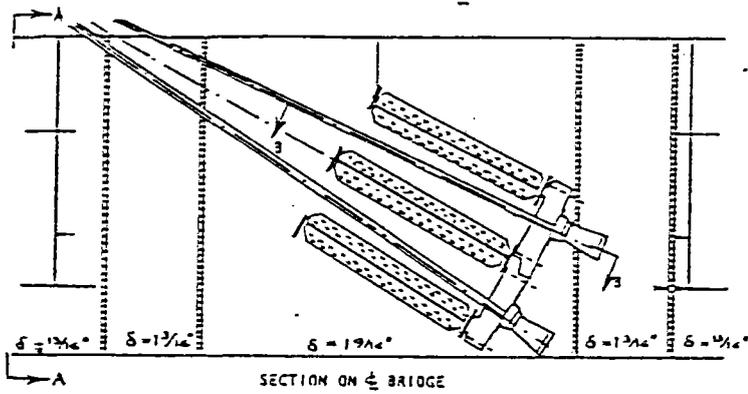


図-7 New Galecopper橋

Knie橋 (1969年 西ドイツ) では、ケーブル面が主桁と離れているため、箱桁形式の斜め定着桁の上側でストランドをスプレーしている。

定着桁に作用する張り出し部のモーメントは図-8に示すように橋軸直角方向に作用する偶力と釣り合っている。

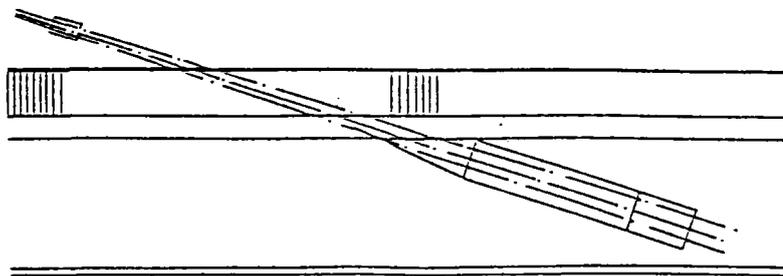
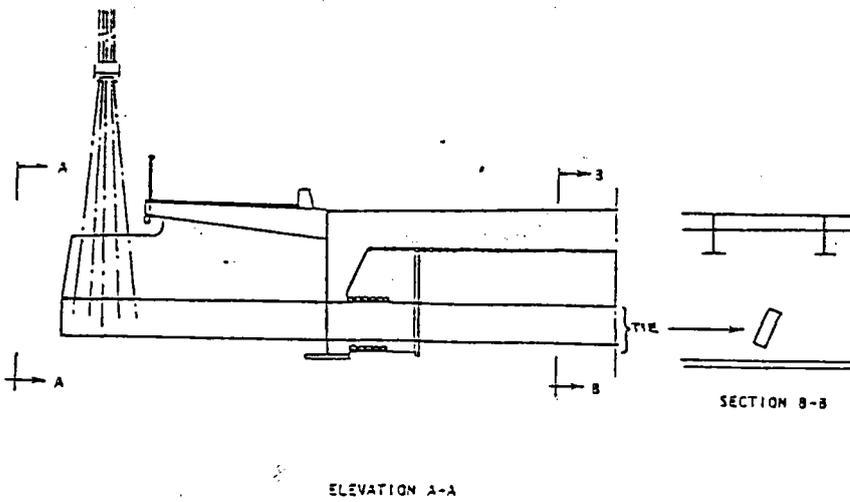


図-8 Knie橋

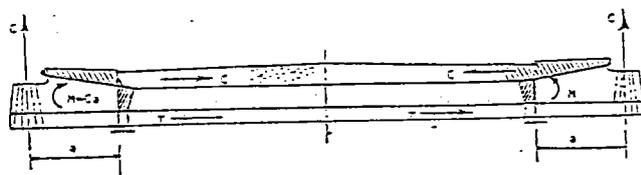
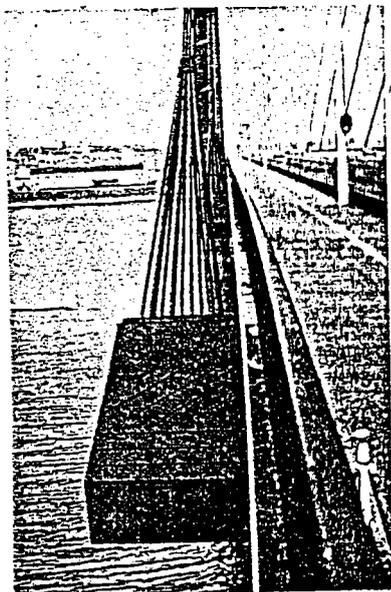


図-9 ケーブル力に対する反力, Knie橋

図-10 定着部外観(Knie橋)

この定着方法の採用によってKnie橋は非常にスレンダーで軽快な外観を与えるものとなった。

マルチストランドケーブルの定着には、一般に架設が複雑となること、定着構造が大きくなりやすいことから、最近では単一のストランドを多数張り渡すマルチケーブル形式の斜張橋が好まれる傾向になっている。

マルチケーブルの定着は、単一ストランドの定着に他ならず、ケーブルソケットの種類によって異なる。

ソケットの項で述べたように、支圧形ソケットの他にナット支圧によるものオープンソケットによるものがある。

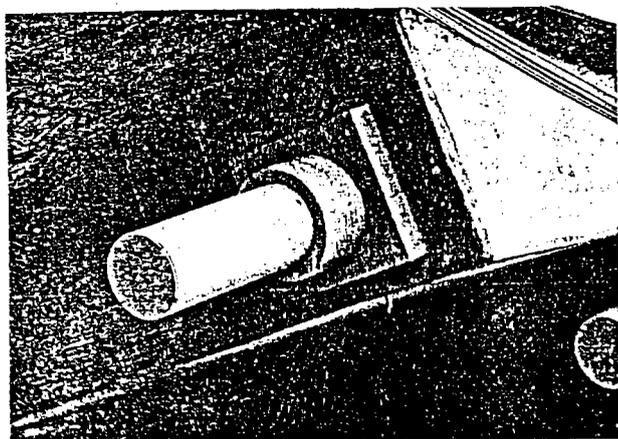


図-11

Pasco Kennewick橋
(HiAmソケット 支圧形)



HiAmソケット
(ナット支圧)

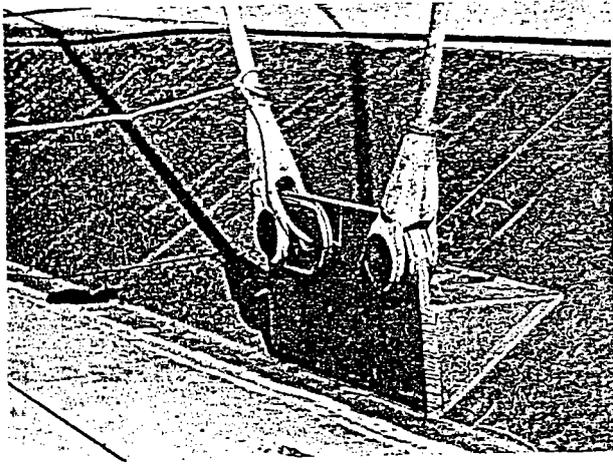


図-13
Severn橋
(オープンソケット)

支圧形のソケットでは、主桁への応力伝達は、図-14に示すように支圧板を介して、主桁と剛結された定着桁、ダイヤフラム又はパイプ等を通じてなされる。単一ストランドのケーブルでは、ソケット入口でのケーブルの局所曲げを防ぐことが必要であり、ソケット上での適当な部分に水平材などを設けてケーブルを支持する必要がある。

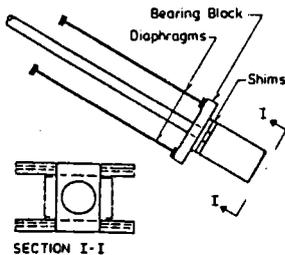


図-14
ケーブル定着機構
(支圧形ソケット)

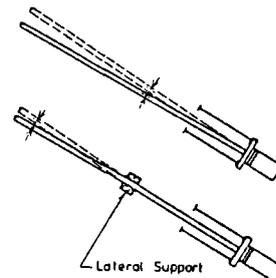


図-15
ケーブル緩衝装置

図-16にLudwigshafen橋の定着部を示すが、単一ストランドのケーブルが支持材なしで鋼床版の開口部を貫通しているため、ソケット入口でケーブル角変化が生じる構造となっている。同様の構造は、Köhlbrand橋でも採用されており、これがケーブルの早期劣化を引き起こしたと推定される。

図-17にPasco-Kennewick橋の定着部を示すが、アンカーパイプをコンクリート製の主桁の側面に埋め込み橋面より上まで伸びている。アンカーパイプの上端には、ストランドの支持材としてネオプレンクッションが挿入されている。

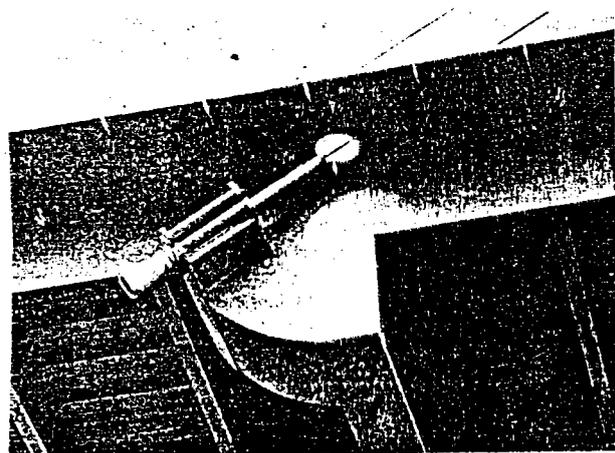


図-16
定着部詳細
Ludwigshafen橋

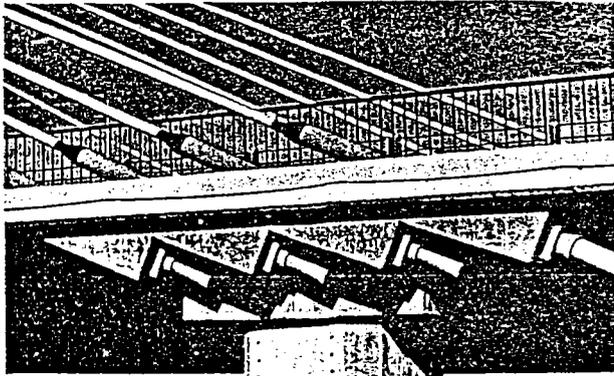


図-17 Pasco-Kennewick橋

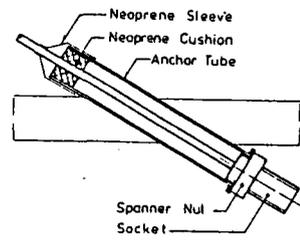


図-18

定着部詳細

Leonhardtはケーブル間隔を密にし、ケーブル張力を小さくし、空気力学的に最適である形状（偏平箱桁）の採用によってケーブルで主桁を簡単に吊り上げ架設することができる」と提案した。

図-19 に示すような構造は、シャープなエッジがケーブル力を橋軸方向にうまく主桁に伝達できる。しかしケーブルとデッキ角度の変化が疲労にとって厳しいことになる。

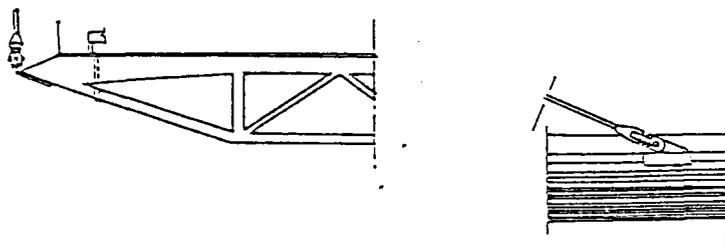


図-19 箱桁三角エッジへの単一ケーブル定着

Leonhardtは、ケーブルを箱桁のウェブに取り付けたパイプ内を貫通させ定着させる方法を提案している。

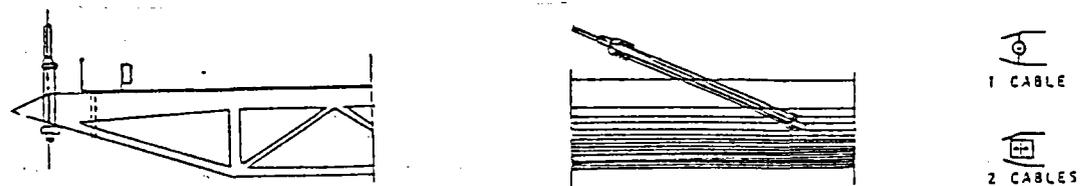


図-20 腹板に溶接されたパイプを用いた単一又は2本ケーブルの箱桁エッジへの定着

このようにすると、シムもしくはねじ付きリングによって大幅な量の調整ができる。さらにケーブルの傾きによる避けられない角変化もパイプの弾性曲げ及びパイプの上端内側に設けられたネオプレンゴムのクッションによって緩和される。このような定着構造は、特殊な樹脂を充填することによって腐食に対し、大変安全に保護できる。この案は1本もしくは2本、多くとも4本のケーブル束を定着させる場合や、ケーブル力が大きくなく、通常の厚さの鋼板で抵抗出来るような場合には適用できる。

ケーブル力を調整するためのジャッキをケーブル定着部または塔頂に設ける。これは、ケーブルのクリープ、ケーブル長誤差、弾性係数の変化を調整する為に必要であり死荷重による応力分布の改良にも用いられる。

(2) 主桁とケーブルの位置関係

主桁には箱桁、鋳桁の他にトラス形式があり、ケーブルとの位置関係によって下図のような(a)～(g)のタイプに分けられる。

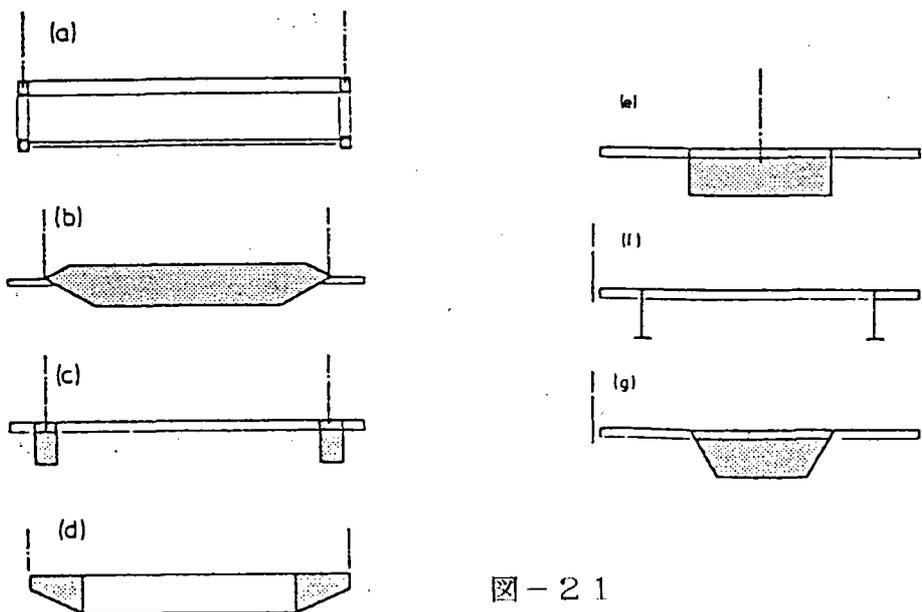


図-21

図-21 (a)～(d)はケーブル面が主桁断面形状の主要部材(上弦材あるいは主桁ウェブなど)の位置と一致し、ケーブル直接主桁に連結できる。このためこの形式は主桁の補強が少なく済み、小さなダイヤフラムやブラケットだけで十分である。

図-21 (e)～(g)は主桁の主要部材がケーブル面から離れた位置にあり、新たにシャイベや定着桁を設けることによって、ケーブル張力を確実に主桁に伝達する必要がある。

図-22 には、ケーブルと幅広の単箱桁との連結の主構造が示されている。図より明らかなように、ケーブルの定着部には、縦、横2枚ずつのシャイベ(bulkhead)が必要である。

力はまず、ケーブルからソケット、支圧板そして小さな放射状のダイヤフラムを通じて縦方向のシャイベへ伝達される。これらから、ケーブルの水平成分は、せん断により補剛桁のデッキプレートと下フランジに伝達される。これに対し垂直成分は縦シャイベから、横シャイベへ伝達され、さらにせん断により補剛桁の腹板に伝達される。

伝達されるケーブル張力がかなり大きい場合、すなわちマルチストランドのケーブルの少ない橋梁においてよく用いられる。

マルチケーブル系の橋梁では、各定着部で伝達される力は比較的小さく、そのためこれらの部分に充腹シャイベを配置する必要はない。

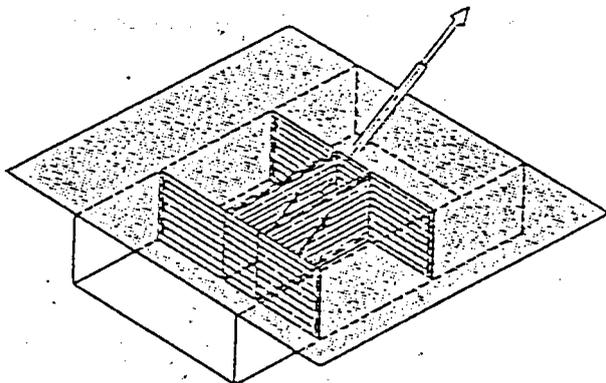


図-22

これに代えて図-23 に示す構造が用いられる。ケーブルは、デッキプレート下面で、連続した縦方向の定着桁に定着される。この定着桁から、力の垂直成分は2本の斜めタイによって、外側の腹板の位置で箱桁の底面に導かれる。この原理は、Brotonne橋やFriedrich Ebert橋に用いられた。しかしながら後者の場合には、斜めタイの代わりにK-ブレースが用いられている。

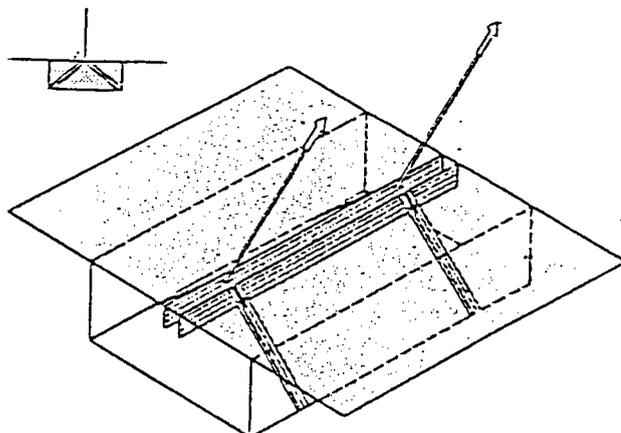


図-23

斜め定着桁は、大きなケーブル張力を伝えなければならない箇所で用いられる。しかしマルチケーブル系の橋梁では、図-24に示すようなより単純な構造が用いられる。ここで側桁は、定着部において箱桁の下フランジに向かう斜めタイによってつながれている縦方向連続定着桁として働く。

この原理は、図-25に見られるようにKohlbrand橋に用いられた。しかしながらこの橋梁では、モノストランドケーブルは側桁から突き出た小さなブラケットに定着されていた。

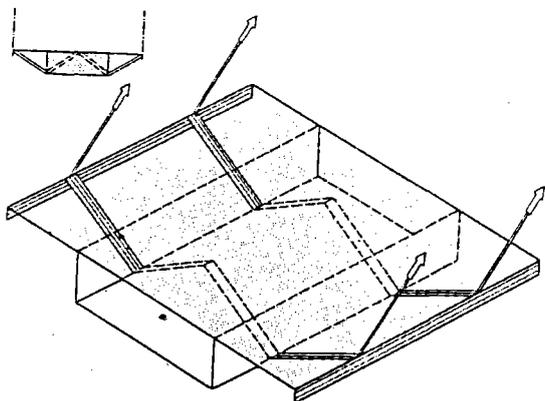


図-24



図-25

側端より少し離れた位置に、2 I主桁を持つ補剛桁では、定着部の原理は図-27のようになる。ここで車道部の外側に位置するケーブルは、斜め定着桁に定着されている。この原理は、Knie橋に適用された。

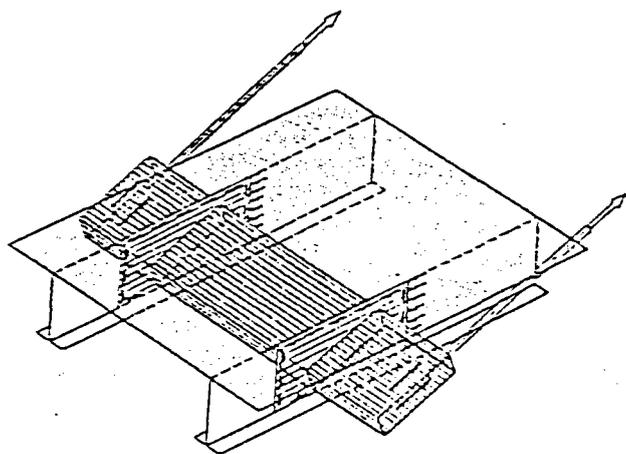


図-26

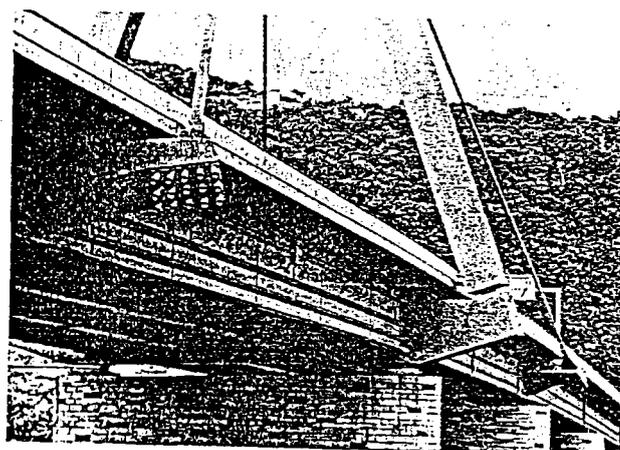


図-27

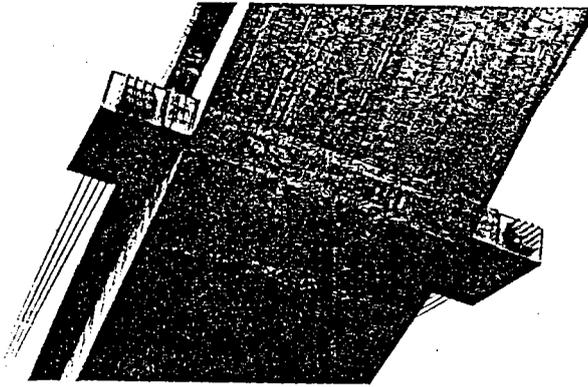


図-28

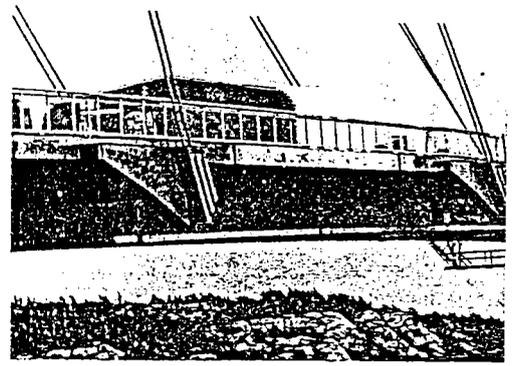


図-29

斜め定着桁は、2 I 主桁の橋（図-25）だけでなく、多 I 桁や箱主桁の橋梁にも適用することができる。代表例として図-27 に 4 I 主桁形式の Linz の Steyregger 橋の定着桁を示し、図-28 には、3 セル箱形状の補剛桁を持つ Maracaibo 橋の定着桁を示す。

マルチケーブル系においては、各ケーブル定着部から伝達される力の鉛直方向成分は限られた大きさであるため、通常の鉛直方向の横桁が適用できる。この形は、図-29 に示すように、Tjorn 橋において採用されている。図で明らかのように、定着部の横桁は、通常の床版よりもほんの少し高い桁高を有するだけである。之は、伝達される鉛直力が限られた大きさであることを示している。

斜張橋においてケーブル張力の水平成分は、補剛桁へ垂直応力として伝達される。しかしながら、水平成分は一般に集中して桁に作用するため、垂直応力はケーブルの定着点近傍では一様に分布しない。

この特徴が図-30 に示されている。これは軸力 ΔN を受け上辺で支持される平板の応力分布を示している。この部分は、ケーブル張力の水平成分が板幅 b の 0.2 倍の長さの縦シャイベから伝達される補剛桁のデッキプレート（または下フランジ）に相当する。

力の作用点近傍の応力分布は、作用力近傍の大きな応力集中により一様でないことがわかる。このように B-B 断面では、最大、最小圧縮応力の比はおよそ 5 となる。しかしながら応力集中は、力の作用点から離れるに従って急速に消滅する。力の中心から板幅の半分以下の位置である A-A 断面では、すでに最大、最小応力の比はおよそ 1.5 にしかならない。力全体は圧縮として伝えられるにもかかわらず作用力の後方の C-C 断面では、局所的に引張力が生じることが特に注目される。

最終の設計では垂直応力の分布は FEM 解析に基づくべきである。しかし定着部で板に局所的な補強が必要かどうかチェックを行うための予備検討に対しては、以下に示すような簡便法を用いることができる。

線荷重 ΔN を上辺で $1/2\Delta N$,下辺で $1/2\Delta N$ と等しく分担する板においては、完全な逆対象が生じる。すなわち力は圧縮と引張とで同じ大きさで分布する。

1 : 2の分布形状を仮定すると、図-31のような状態となる。垂直応力は線荷重の載荷点から離れるのに比例して減少していることが分る。

(a)の応力に(b)に示されるような一定の圧縮応力 $\sigma = -\Delta N / 2bt$ を重ね合わせると(c)のような応力分布となる。実際の応力分布と比べて簡便法の応力は、板幅方向に不連続に分布している。しかし図-30の点線に示すように、最大応力はかなり良好に合致している。

力の分布形状を1 : 2に仮定した簡便法は、また図-32に示されるようにケーブル張力の水平成分が、板の端部に近い位置で伝達される場合にも適用できる。

一般的には、補剛桁断面を伝わるステイケーブル張力の水平成分の分布問題はマルチケーブル系の方が容易となる。これは各ケーブル定着部で伝達される力が相対的に小さいためである。

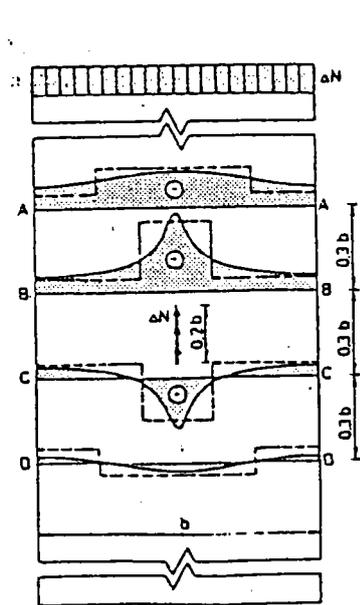


図-30

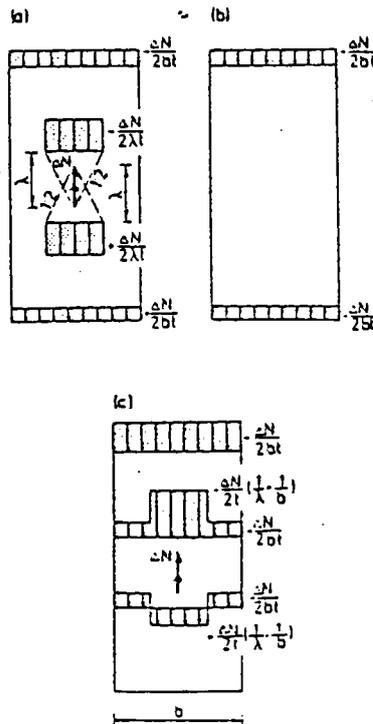


図-31

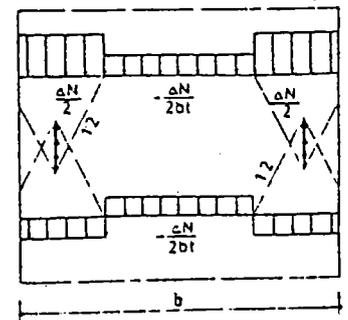


Figure 6.37 Idealized variation of normal stresses in a disc subjected to two concentrated forces $\Delta N/2$ near the edges

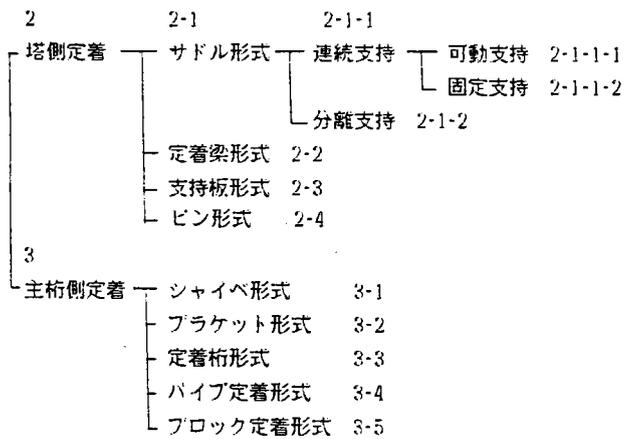
§ 3 海外斜張橋の構造事例

3.1 橋梁リスト

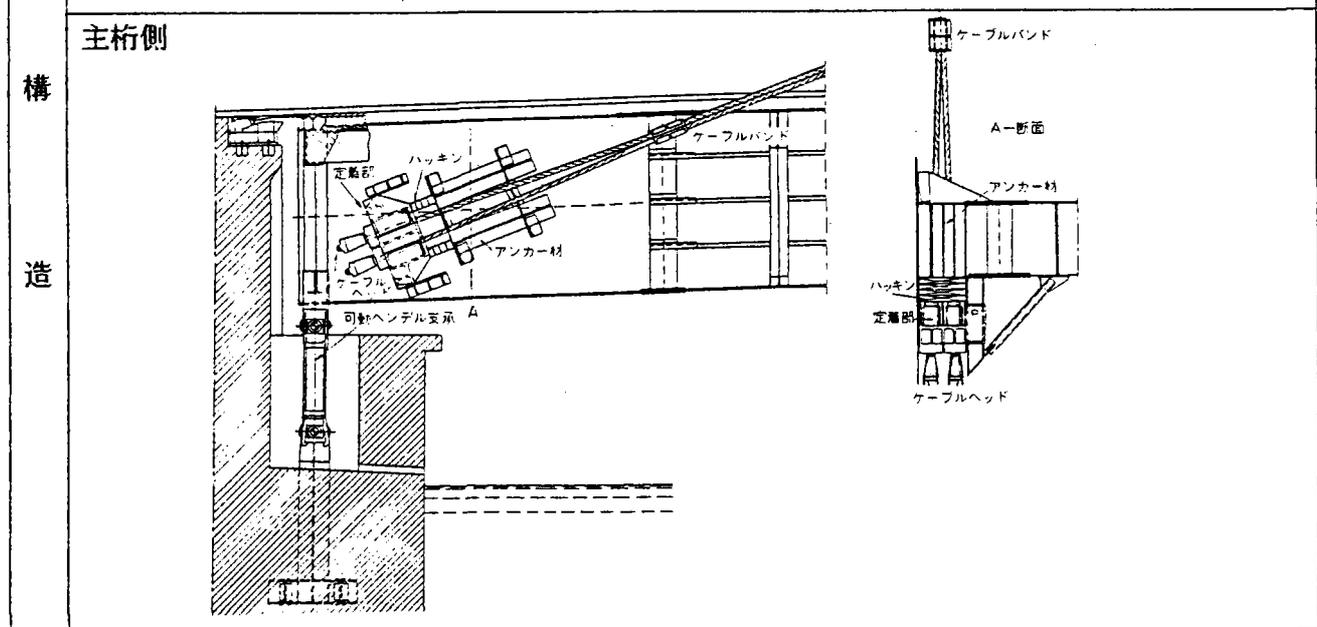
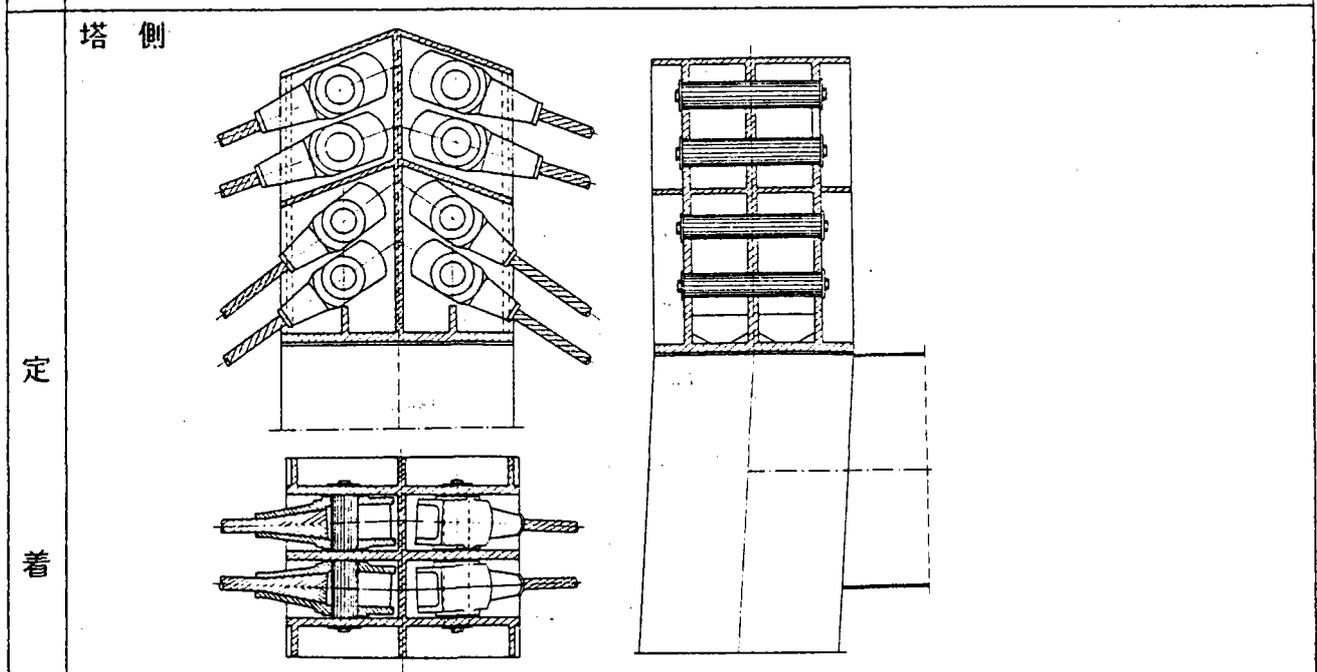
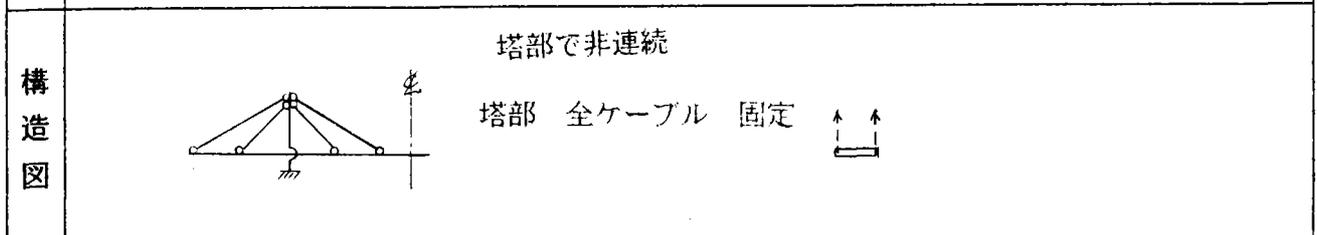
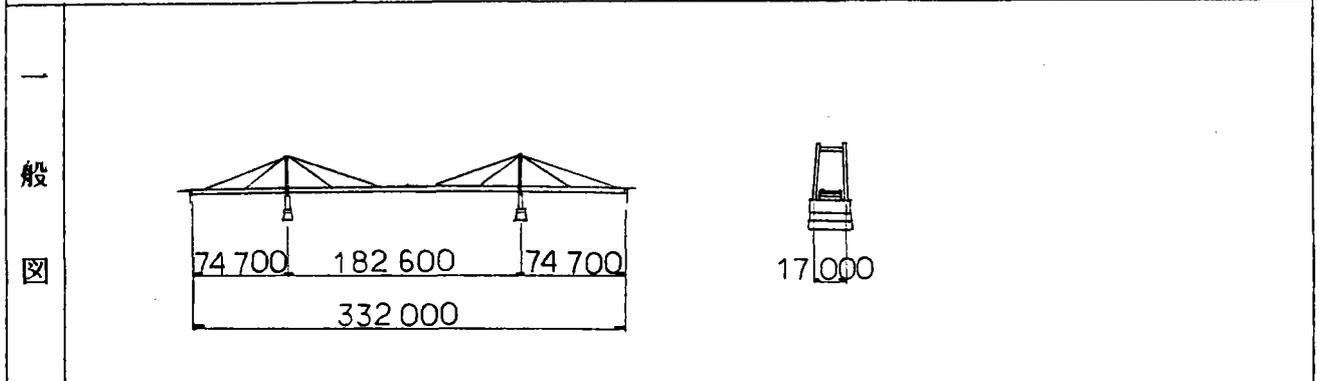
No	橋名	国名	完成年	支間割 (m)	ケーブル			定着部構造	
					面数	段数	タイプ	塔側	主桁側
1	Strömsund	スウェーデン	1955	74.7 +182.6 + 74.7	2	2	L.C.R	2-4	3-1
2	Theoder-Heuss	西ドイツ	1958	108.0 +260.0 +108.0	2	3	L.C.R	2-1-1-1	3-1
3	Severins	西ドイツ	1959	49.1 + 89.1 + 47.8 +301.7 +150.7 + 52.5	2	3	L.C.R	2-1-1-2	3-1
4	Norderelbe	西ドイツ	1963	31.0 + 64.0 +171.9 + 64.0 + 79.9	1	2	L.C.R	2-1-1-2	3-1
5	Leverkusen	西ドイツ	1965	97.4 +106.3 +280.0 +106.3 + 97.4	1	2	L.C.R	2-1-1-1	3-1
6	Ludwigshafen	西ドイツ	1968	141.3 +138.7	2	9	L.C.R	2-2	3-2
7	Papineau-Leblanc	カナダ	1969	89.9 +240.8 + 89.9	1	2	L.C.R	2-1-1-1	3-1
8	Knie	西ドイツ	1969	5 @ 48.8 +319.0	2	4	L.C.R	2-1-1-2	3-2
9	Bratislava	チェコスロバキア	1972	74.8 +303.0 + 54.0	2	3	L.C.R	2-1-1-1	3-1
10	Kurt-Schumacher	西ドイツ	1972	287.0 + 60.2 + 65.0	2	6	P.W.S	2-2	3-1
11	Oberkassel	西ドイツ	1973	5 @ 51.6 +257.8 + 75.0	1	4	L.C.R	2-1-1-2	3-1
12	Franklin	西ドイツ	1974	41.6 +125.3 + 42.3	1	1	L.C.R	2-1-1-2	3-1
13	Köhlbrand	西ドイツ	1975	97.5 +325.0 + 97.5	2	10	L.C.R	2-2	3-2
14	Saint-Nazaire	フランス	1975	158.0 +404.0 +158.0	2	9	L.C.R	2-4	3-2
15	Speyer	西ドイツ	1975	275.0 + 61.0 + 61.0 + 59.0	2	4	L.C.R	2-2	3-1
16	Rande	スペイン	1977	147.4 +400.1 +147.4	2	8	P.C		3-1
17	Save	ユーゴスラビア	1979	52.7 + 85.0 + 50.2 +253.7 + 50.2 + 64.2	2	2	P.W.S	2-2	3-1
18	Luling	アメリカ	1982	79.3 +155.0 +372.5 +151.0 + 79.3	2	3	P.W.S	2-1-2	3-3
19	Adhamiyah	イラク	1983	66.3 +182.5 + 60.0 + 61.3	2	2	L.C.R	2-1-1-2	3-1
20	Alex-Fraser(Annacis)	カナダ	1986	50.0 +182.8 +465.0 +182.8 + 50.0	2	24	P.W.S	2-2	3-4
21	Chao-Phya	タイ	1987	46.8 + 57.6 + 61.2 +450.0 +61.2 +57.6 +46.8	1	17	L.C.R	2-3	3-1

注) 定着部構造の番号は下記の形式分類番号を示す。

ケーブル定着形式の分類

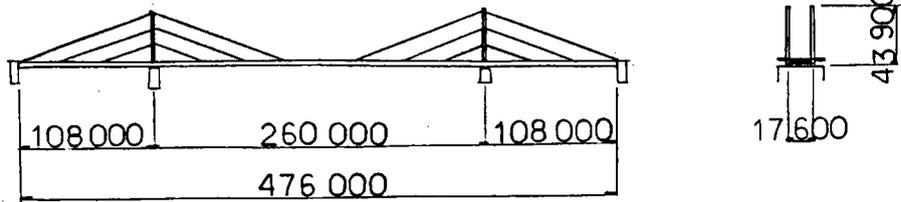


橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Strömsund	スエーデン	1955	2	2	斜張橋資料集成 Der Stahlbau 1954.4

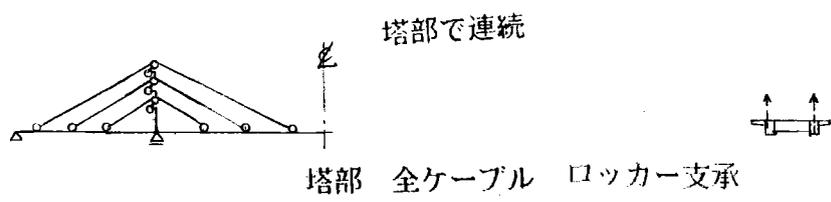


橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Theoder-Heuss	西ドイツ	1958	2	3	斜張橋資料集成 Der Stahlbau 1958.7

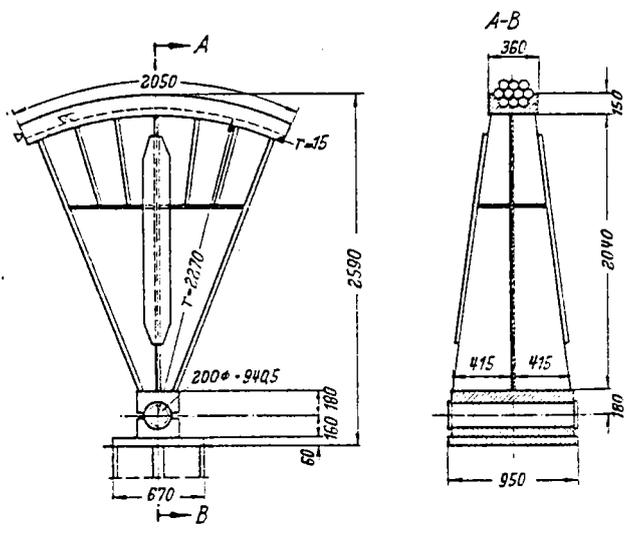
一般図



構造図

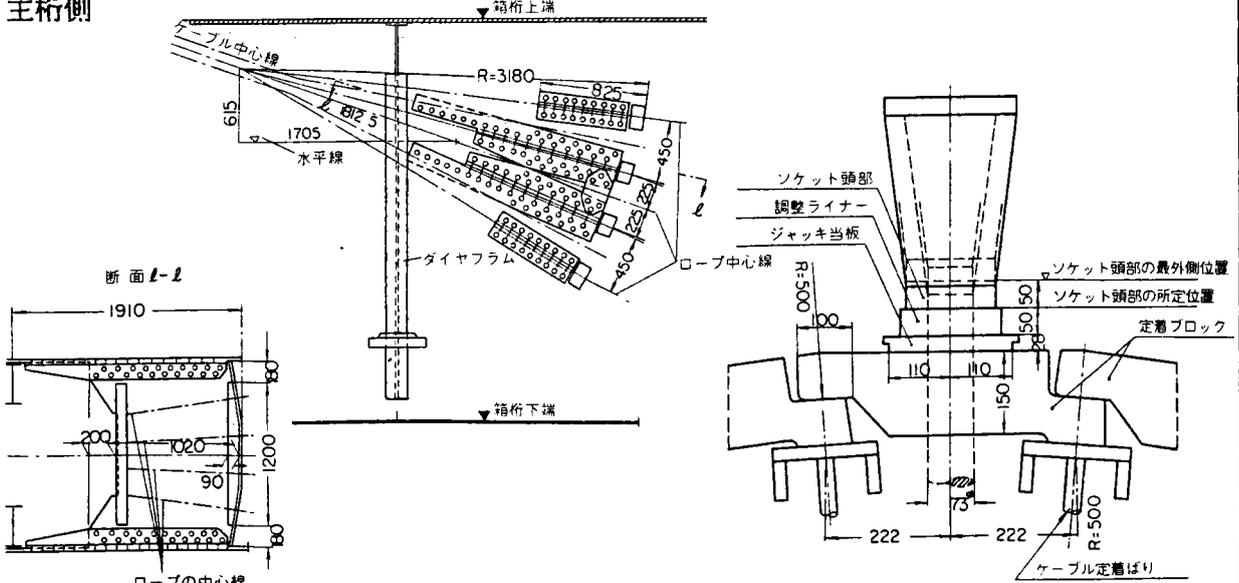


塔側



定着

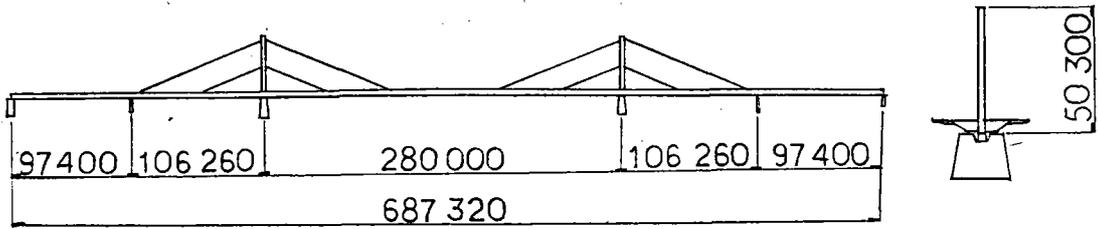
主桁側



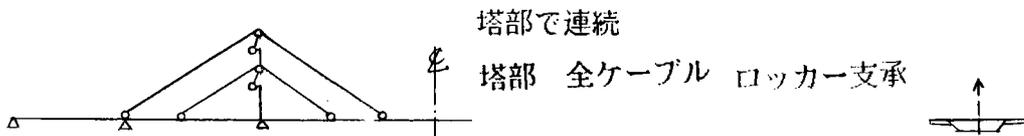
構造

橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Leverkusen	西ドイツ	1965	1	2	斜張橋資料集成 Der Stahlbau 1967.8, 1970.4

一般図

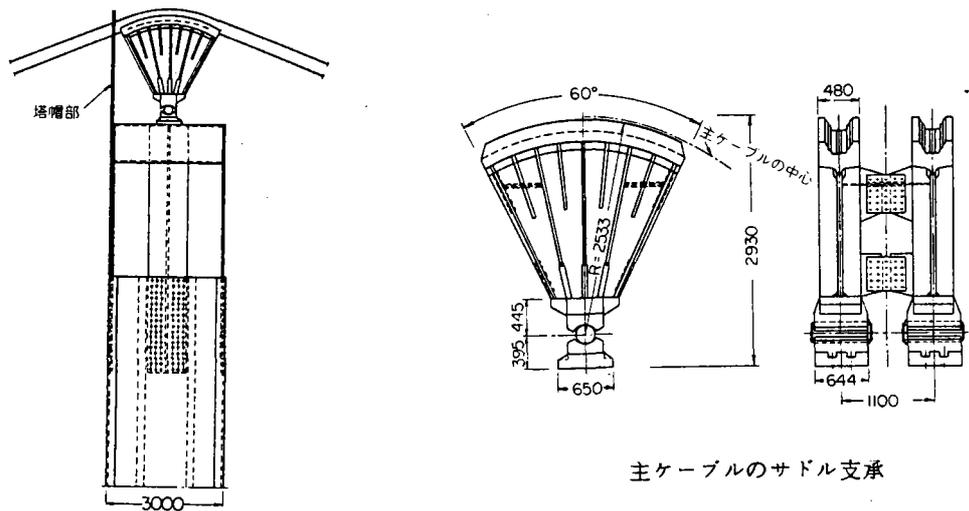


構造図



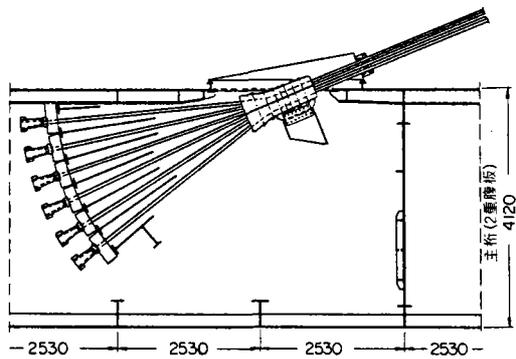
定着

塔側



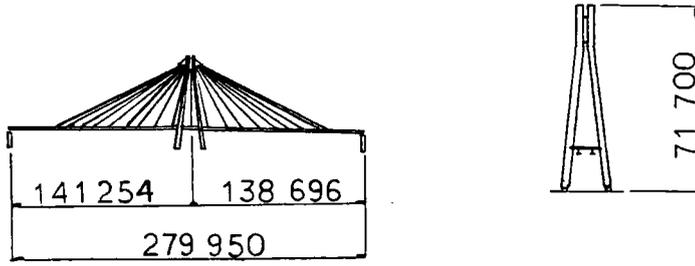
構造

主桁側

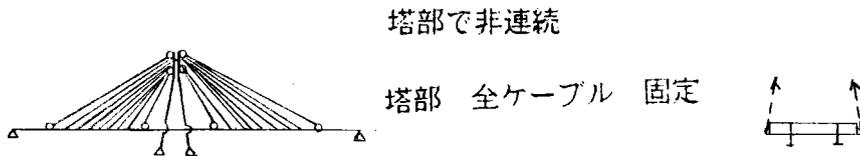


橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Ludwigshafen	西ドイツ	1968	2	9	斜張橋資料集成 Der Stahlbau 1970.9,10

一般図

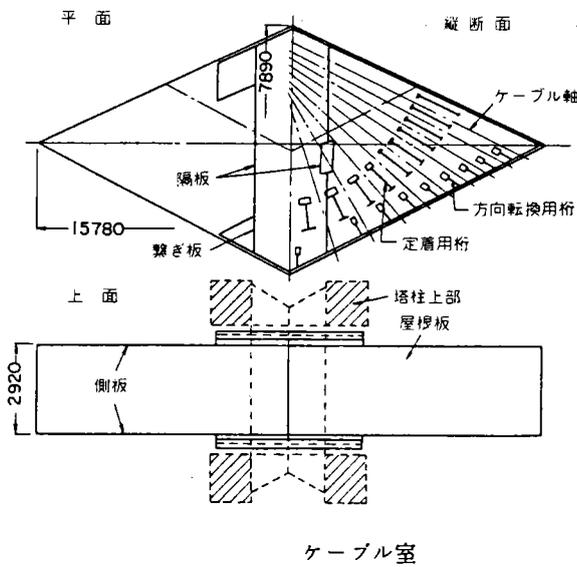


構造図



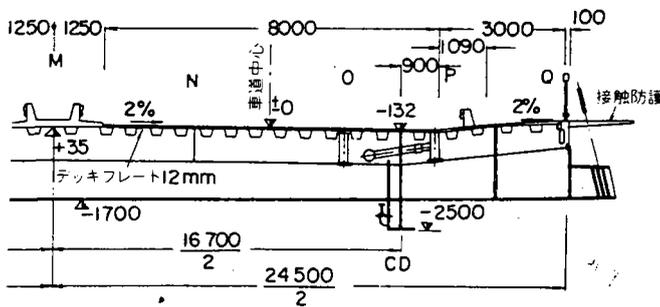
定着

塔側



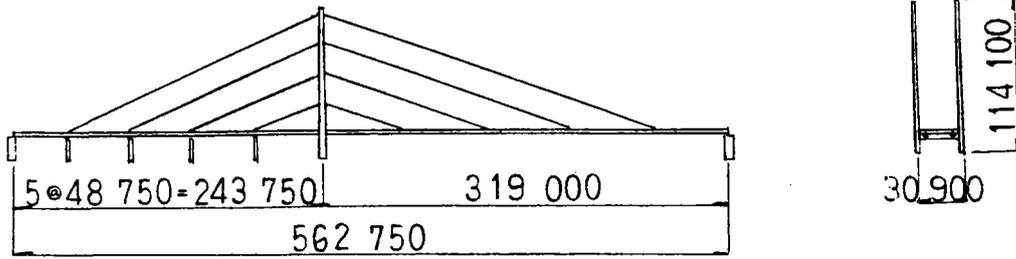
構造

主桁側

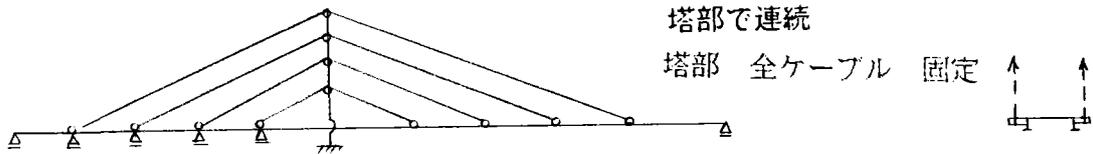


橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
knie	西ドイツ	1969	面数	段数	斜張橋資料集成 Acier-Stahl-Steel 1972.5
			2	4	

一般図



構造図



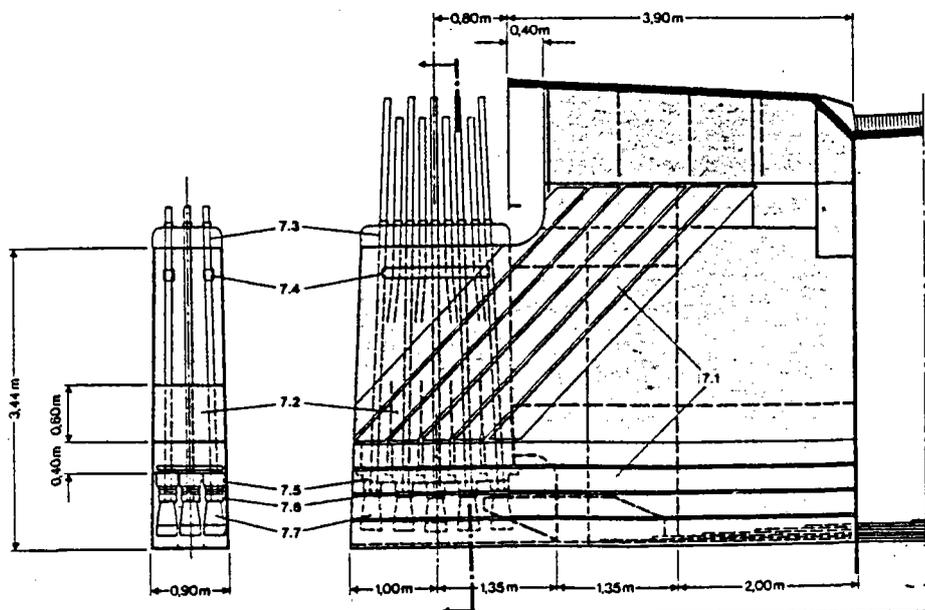
塔側

サドル

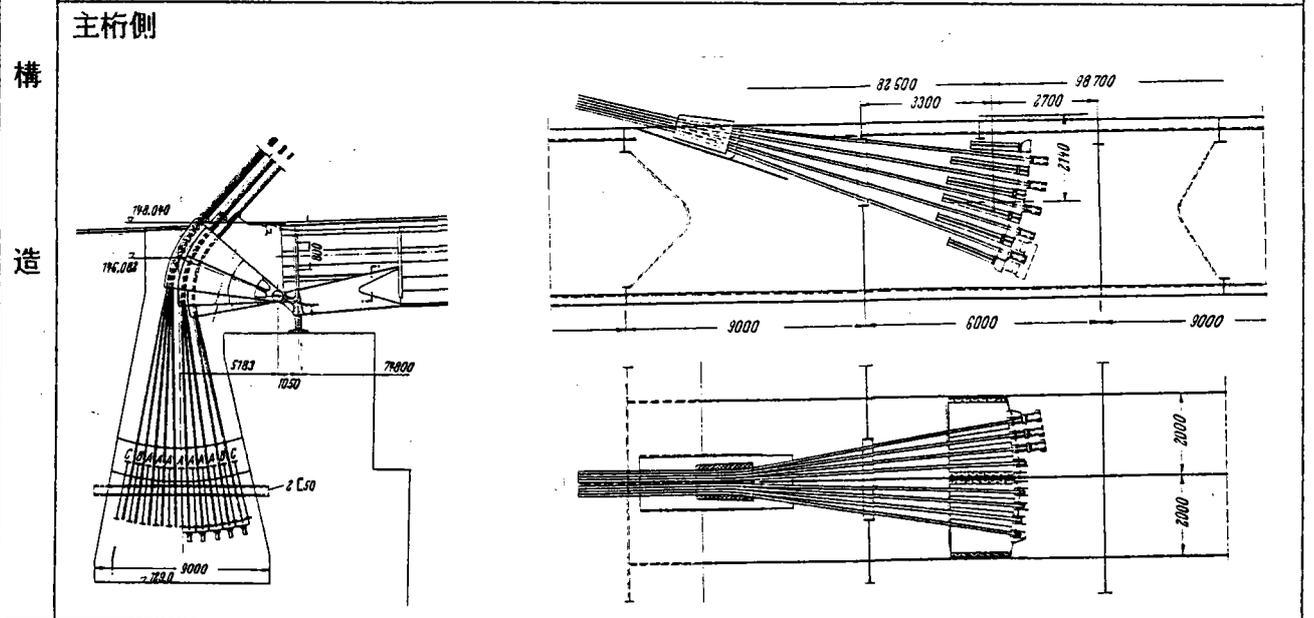
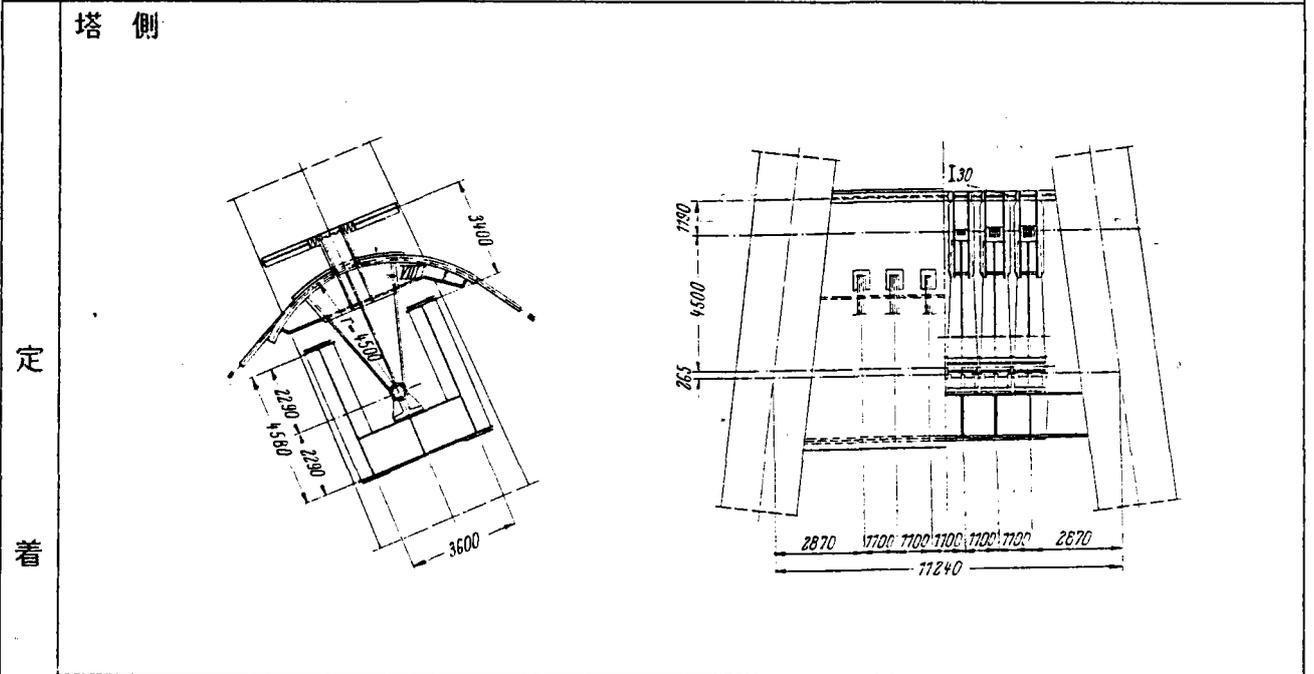
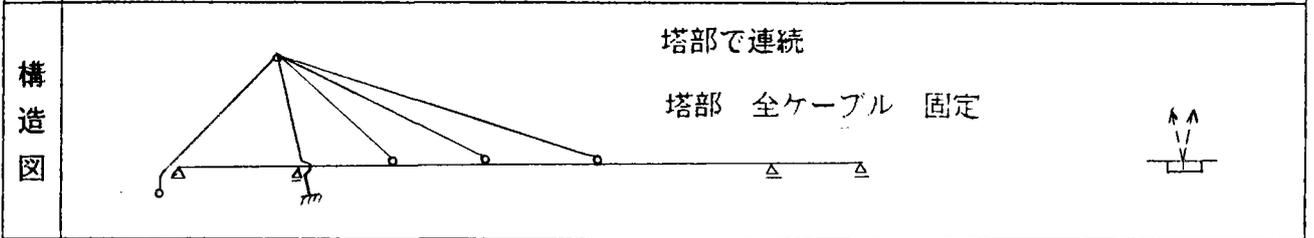
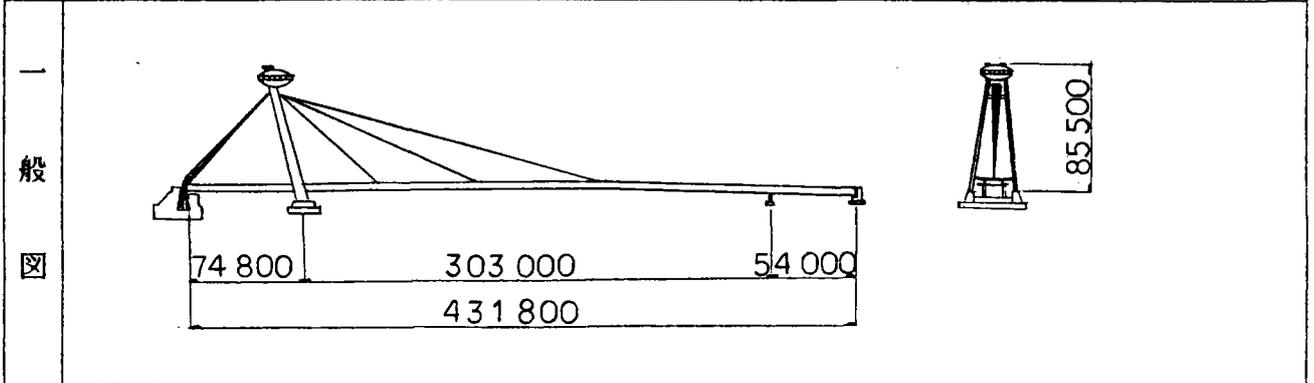
定着

構造

主桁側

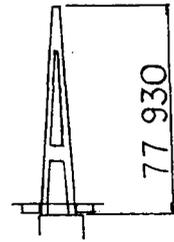
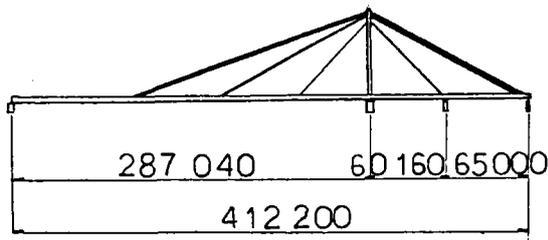


橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Bratislava	スロバキア	1972	2	3	斜張橋資料集成 Der Bauingenieur 1968.6



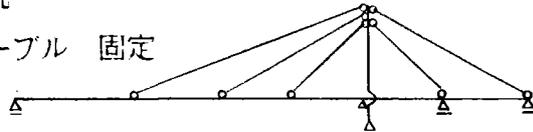
橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Kurt-Schumacher	西ドイツ	1972	2	6	斜張橋資料集成 Der Stahlbau 1973.4,5,6

一般図



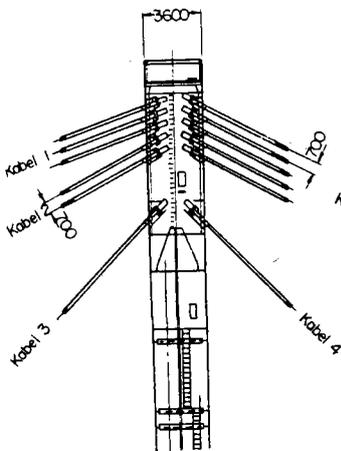
構造図

塔部で非連続
塔部 全ケーブル 固定

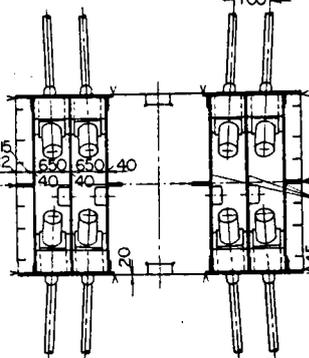


定着

塔側

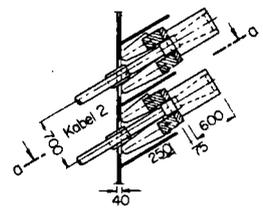


タワー頭部における断面

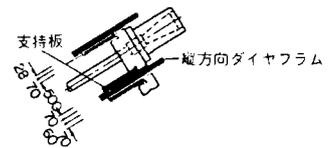


縦方向ダイヤフラム

縦断面

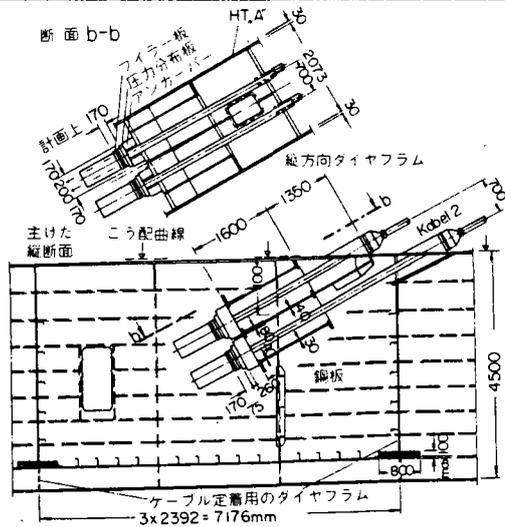


断面0-0



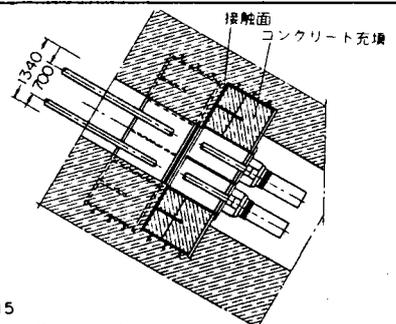
構造

主桁側

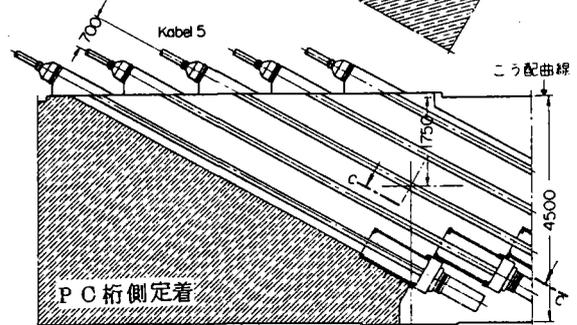


断面C-C

鋼桁側定着



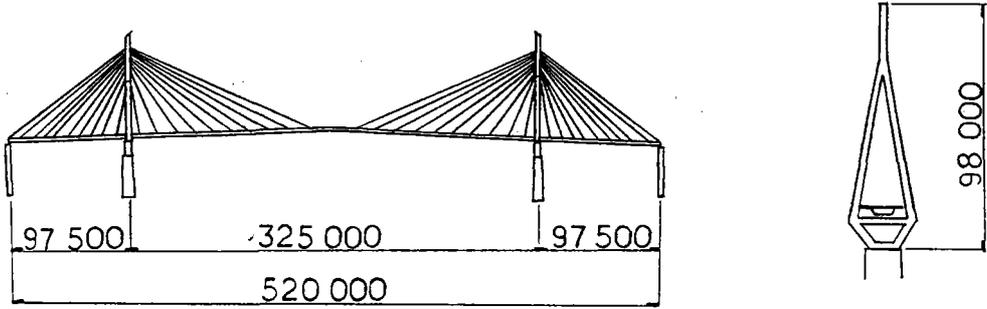
縦断面



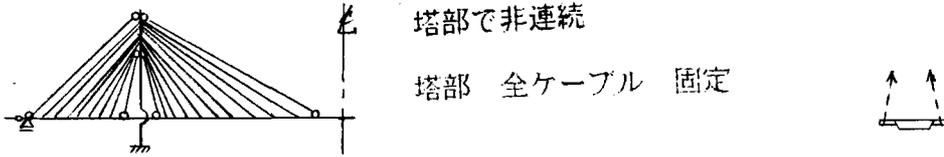
P C 桁側定着

橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
Köhlbrand	西ドイツ	1975	面数	段数	斜張橋資料集成 Der Stahlbau 1975.G.7
			2	10	

一般図

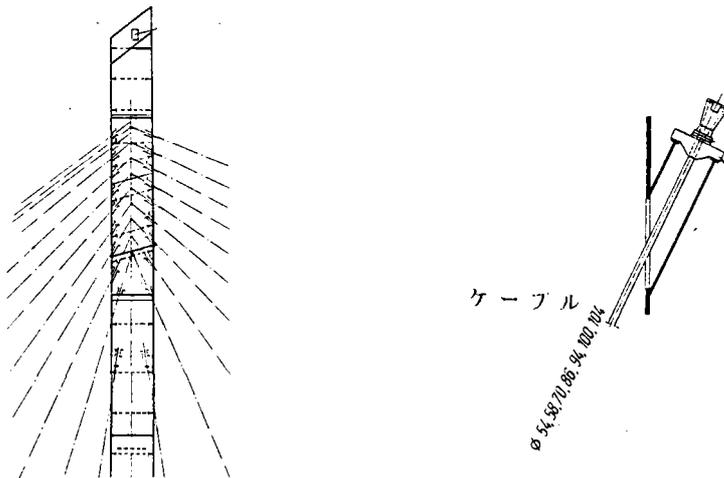


構造図



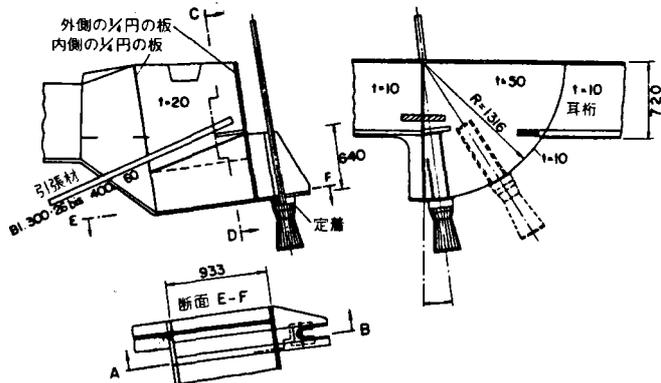
定着

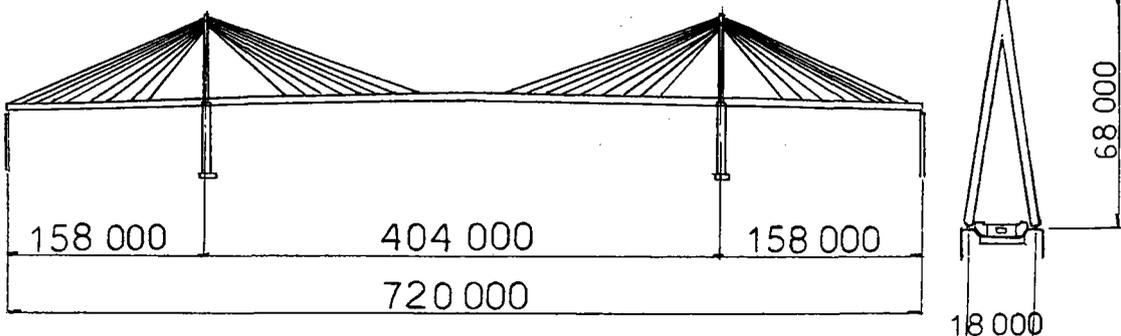
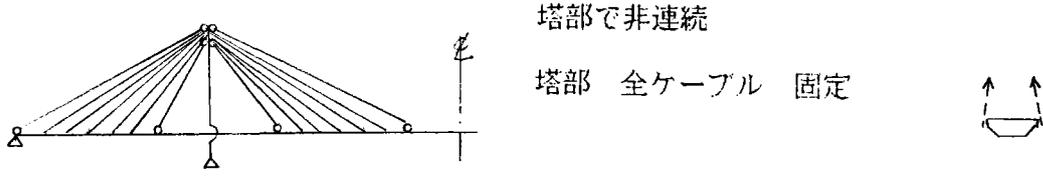
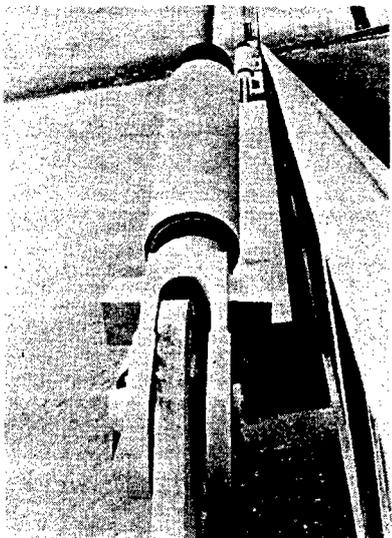
塔側



構造

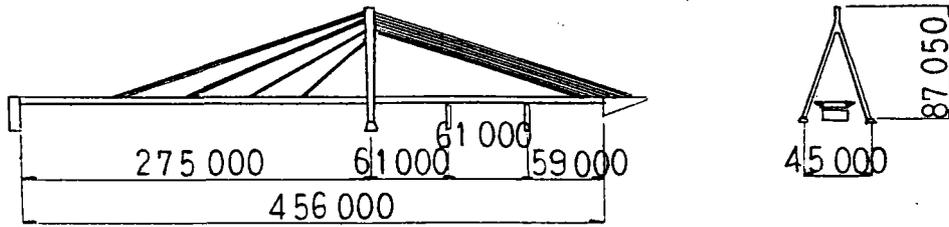
主桁側



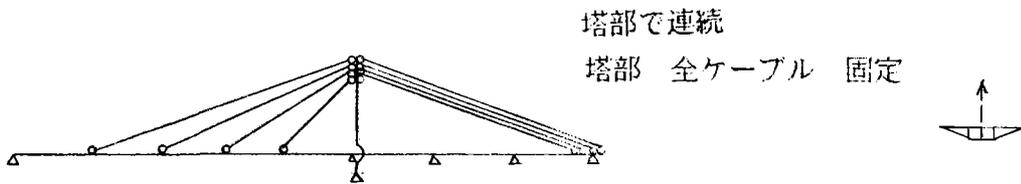
橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Saint-Nazaire	フランス	1975	2	9	橋梁と基礎 1976. 12
一般図					
構造図					
塔側	<p>アイプレート</p>				
定着					
構造	<p>主桁側</p> 				

橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Speyer	西ドイツ	1975	2	4	Der Stahlbau 1977.10

一般図

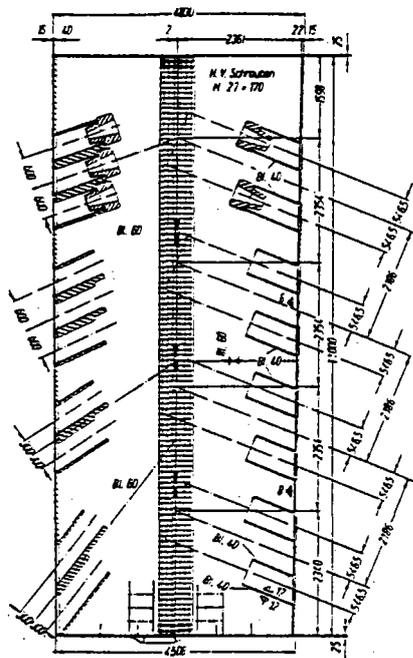


構造図



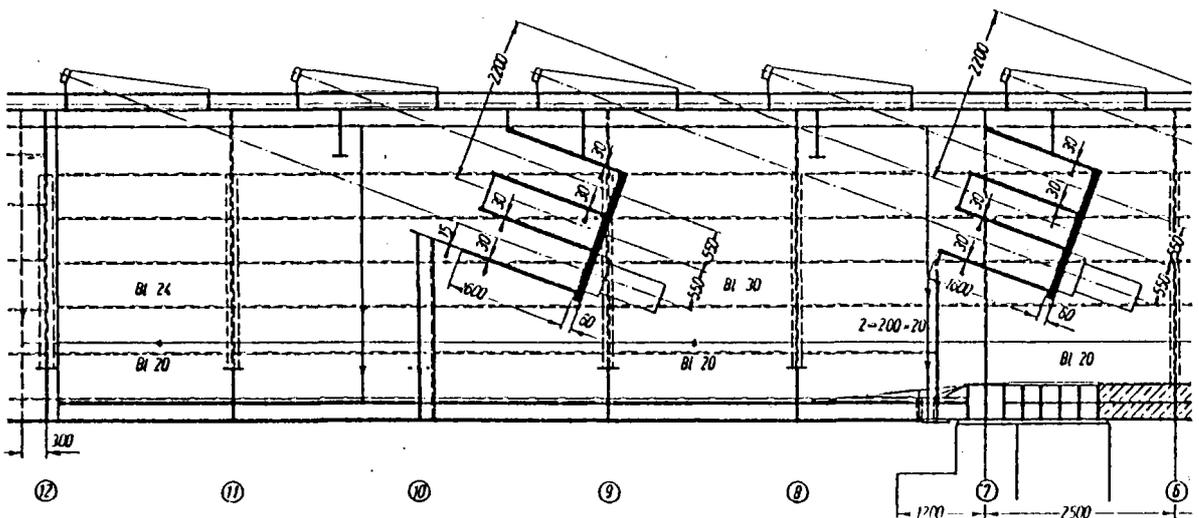
定着

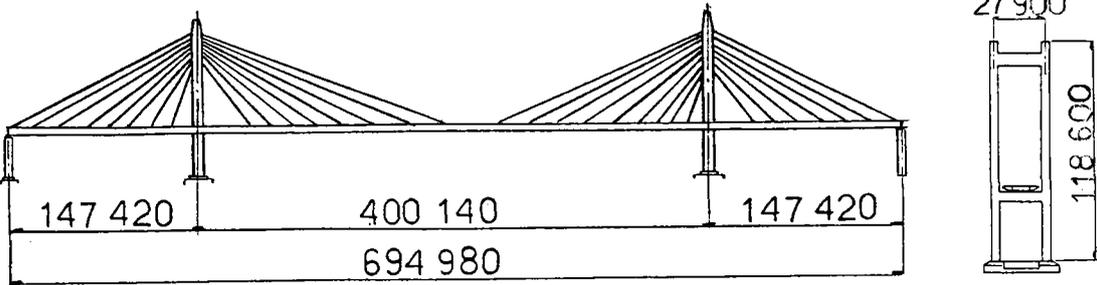
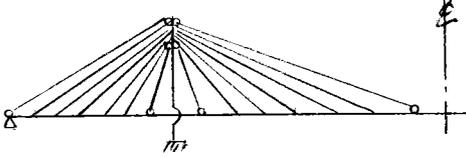
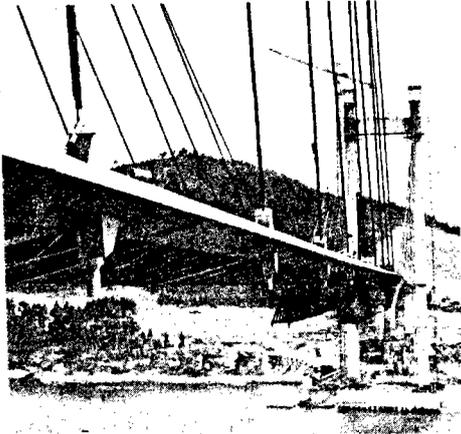
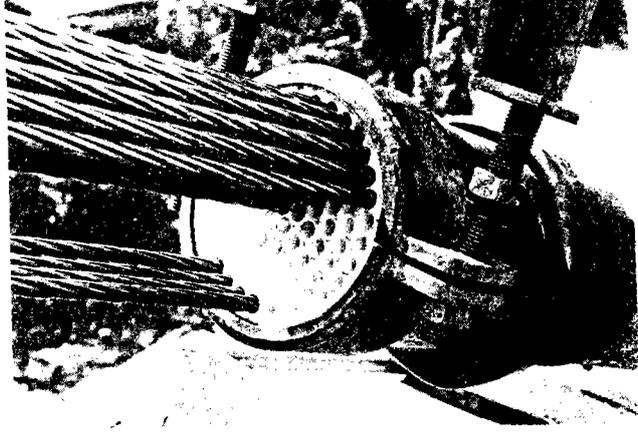
塔側



構造

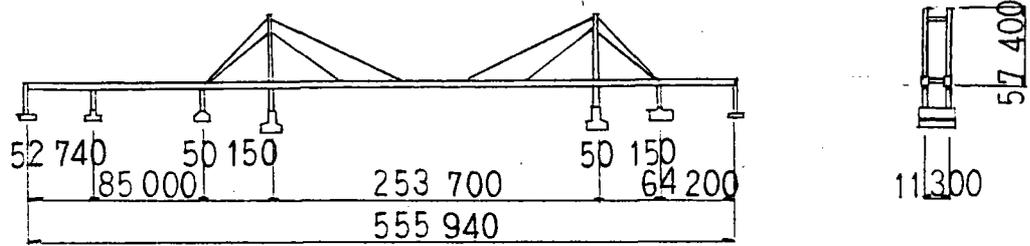
主桁側



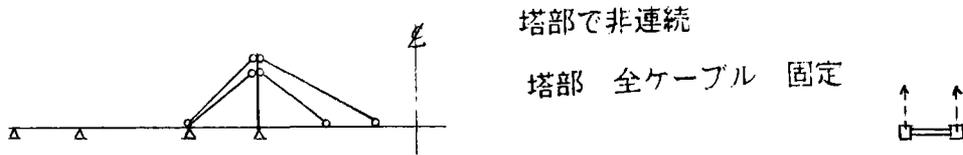
橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Rande	スペイン	1977	2	8	橋梁と基礎 1977. 11
一般図					
					塔部で連続 塔部 全ケーブル 固定
塔側	フレミネー工法				
	定着				
主桁側	構造				
					

橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
Save	ユーゴスラビア	1979	面数	段数	Der Stahlbau 1978.4
			2	2	

一般図

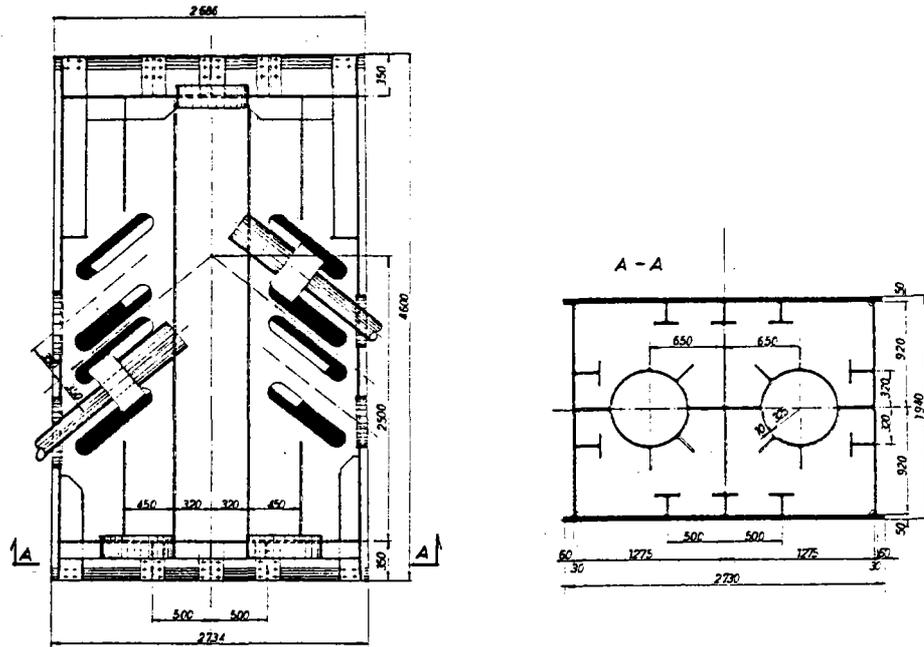


構造図



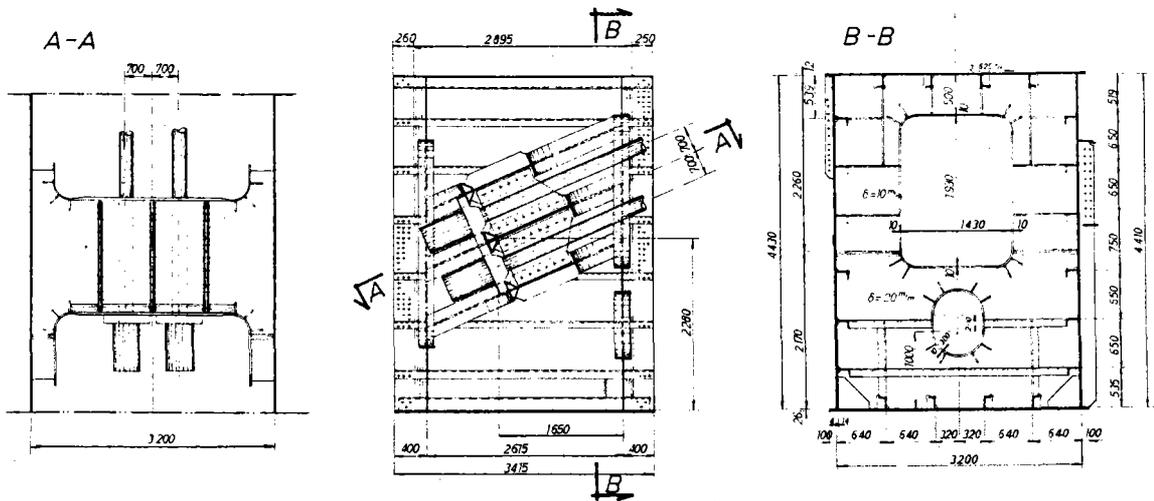
定着

塔側



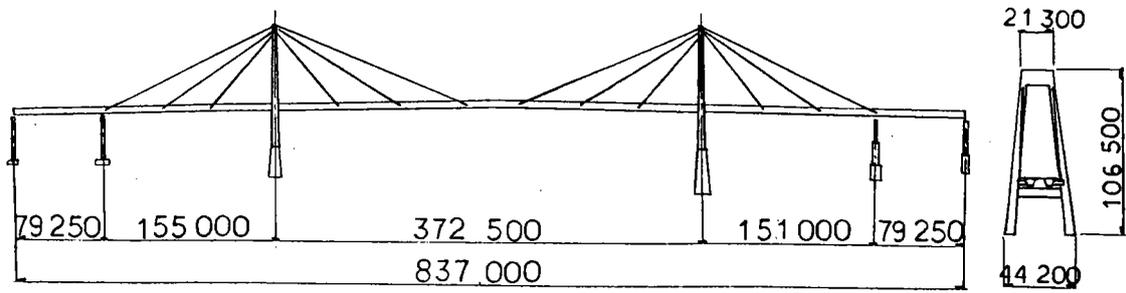
構造

主桁側



橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Luling (Mississippi River)	アメリカ	1982	2	3	入札図面

一般図

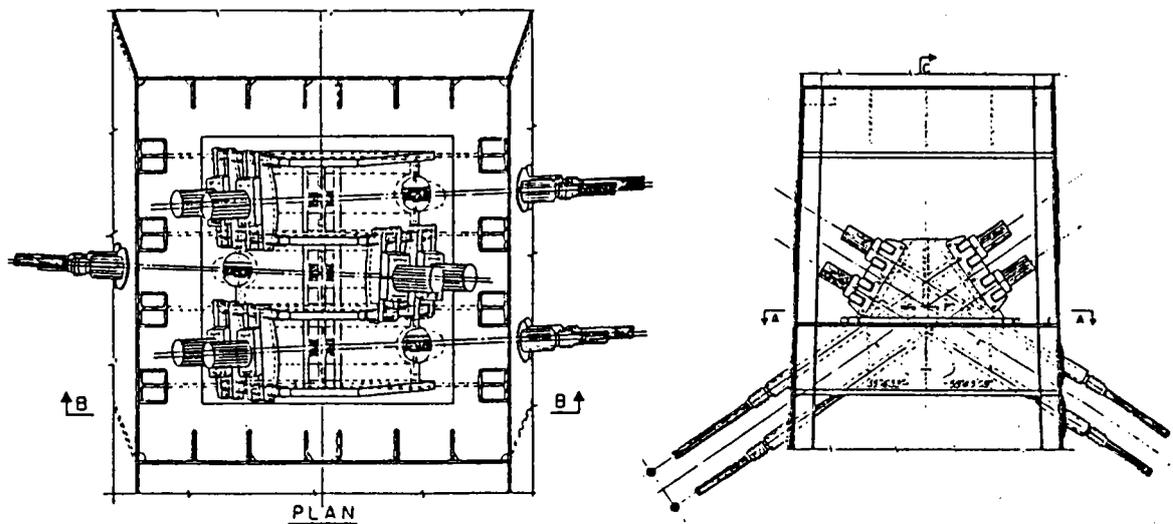


構造図



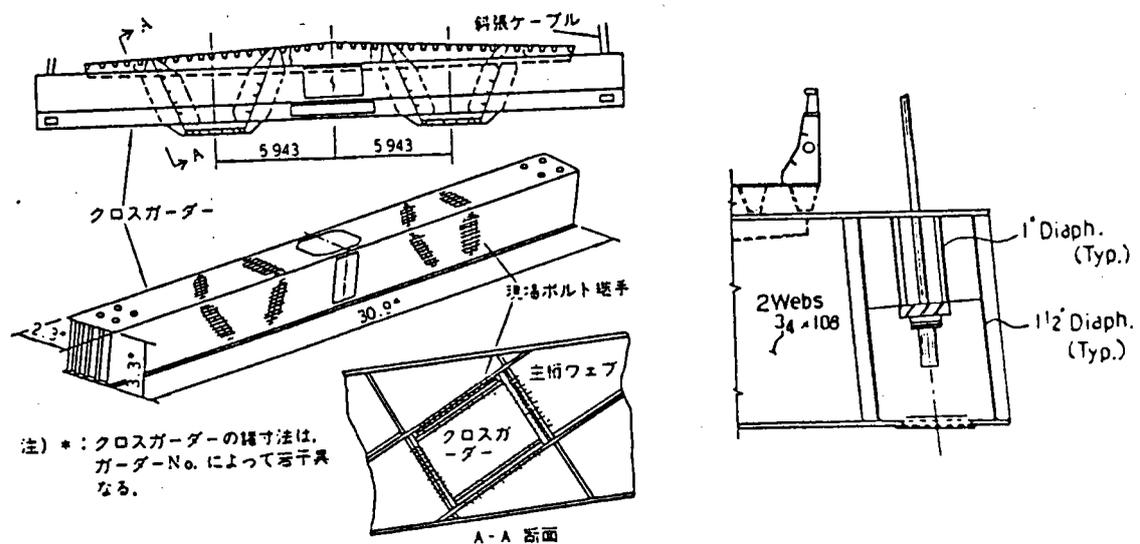
定着

塔側



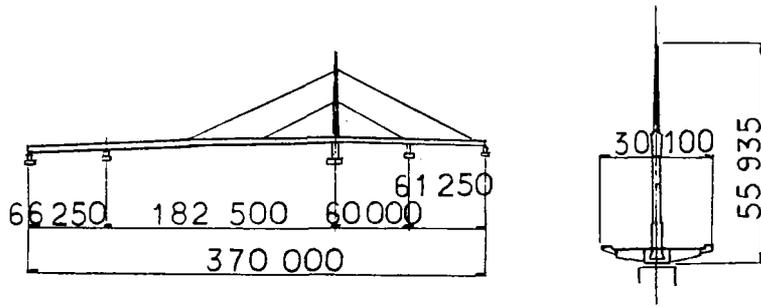
構造

主桁側

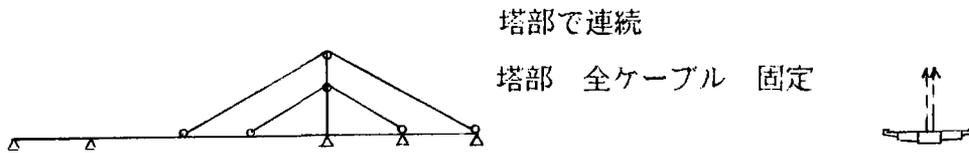


橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Adhamiyah	イラク	1983	2	2	住友重機械技報 1984.8 入札図面

一般図

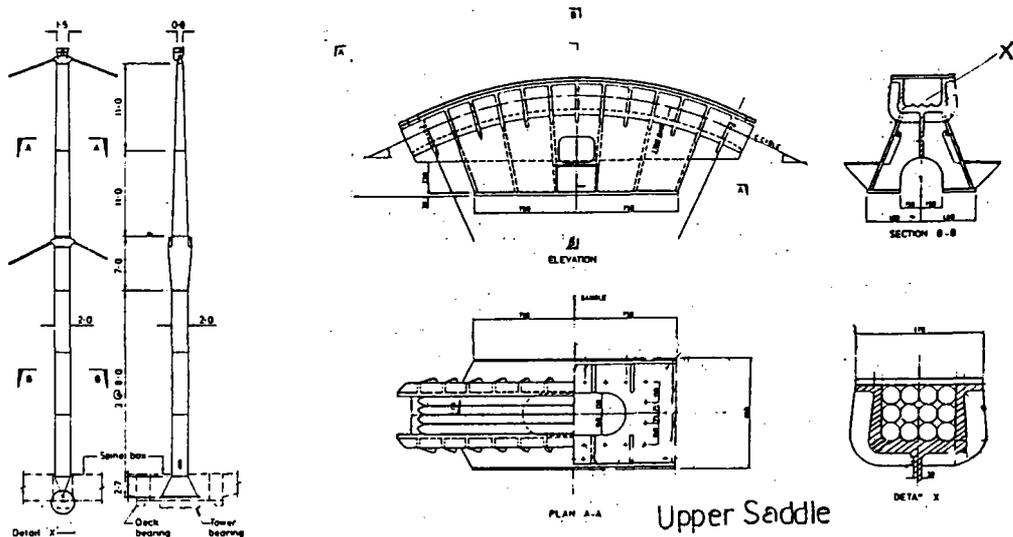


構造図



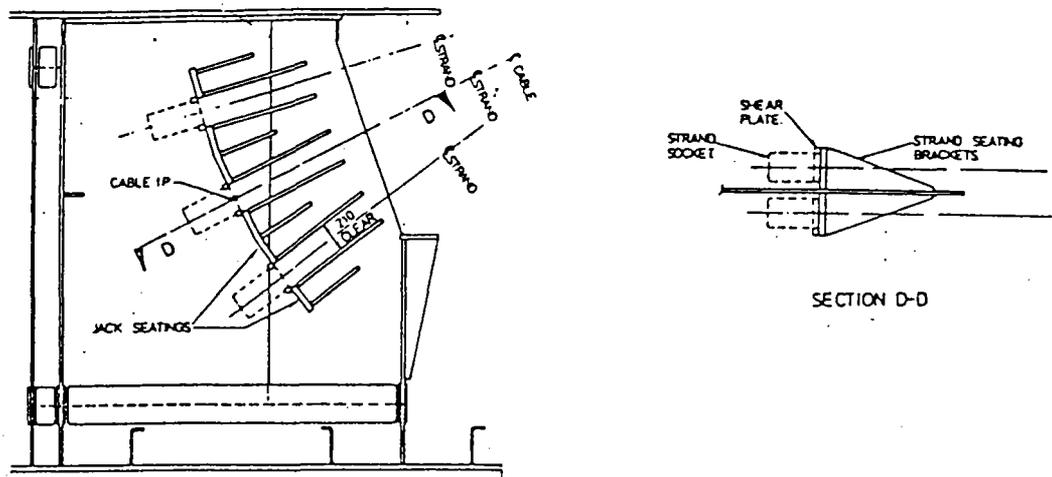
定着

塔側



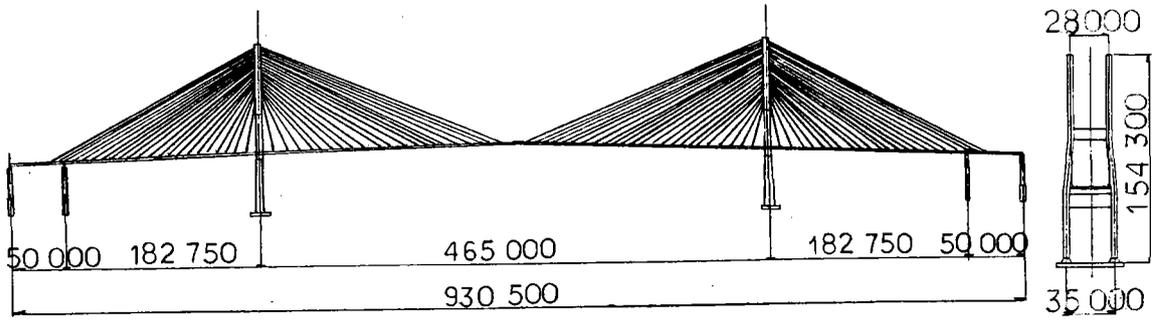
構造

主桁側

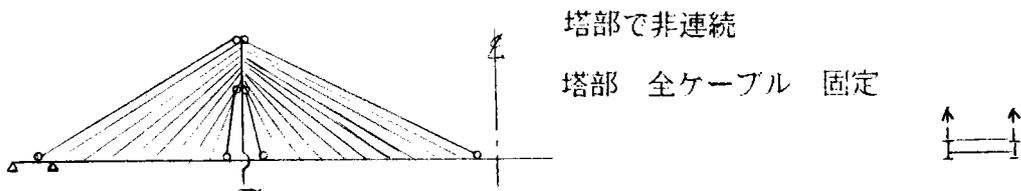


橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Alex-Fraser(Annacis)	カナダ	1986	2	24	入札図面

一般図

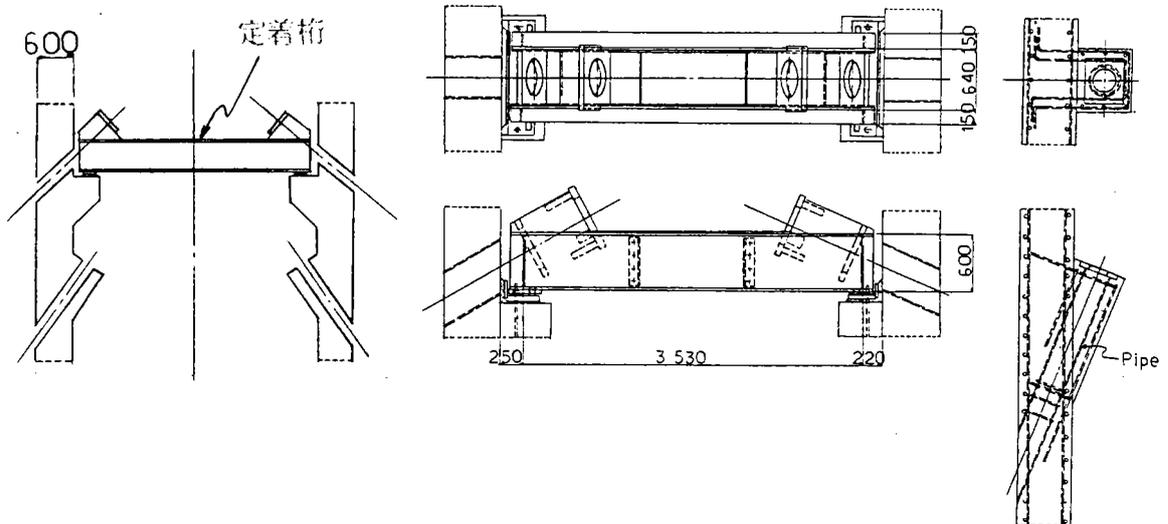


構造図



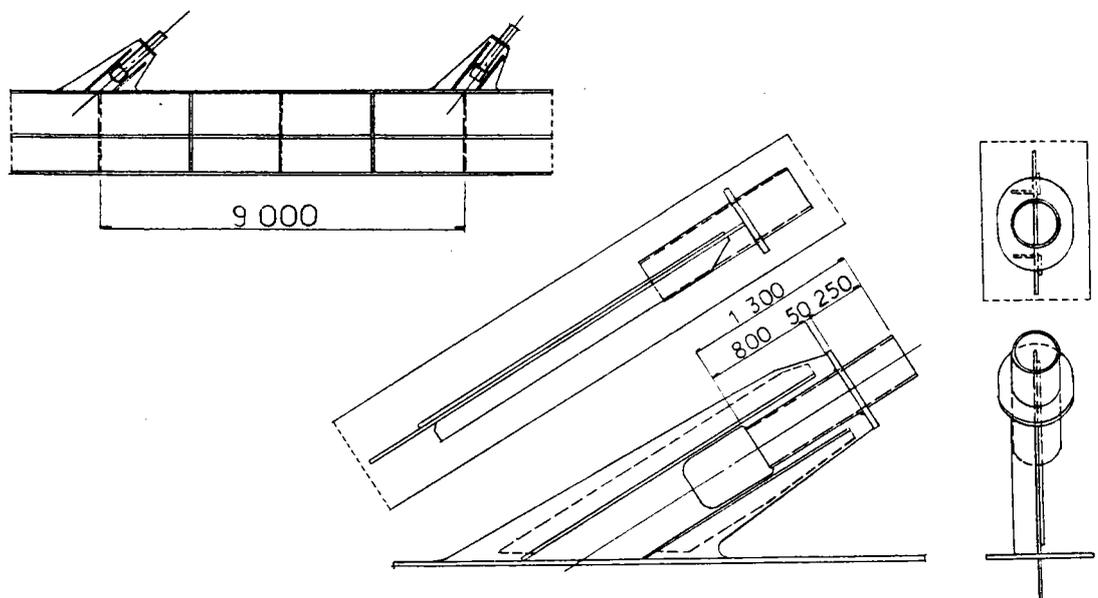
定着

塔側



構造

主桁側



橋名	国名	完成年	ケーブル		出典
			面数	段数	
Chao-Phya	タイ	1987	1	17	入札図面
一般図					
構造図					
塔側					
主桁側					

第4章 塔の現場継手

§1. まえがき

吊橋および斜張橋の塔は、桁およびケーブルの自重を支持するため、軸圧縮力が卓越する特徴を持っている。従って、塔に曲げモーメントが作用する場合でも、架設系で引張応力の発生することはあるが、完成系では断面に引張応力の発生することは稀であるこの力学的特徴から、塔の現場水平継手には、メタルタッチによる力の伝達を期待する接合方法が採用することが一般的である。メタルタッチを期待する継手方法でも、国によって塔の現場継手構造は異なっている。

本章では、塔の現場水平継手について、継手構造の文献調査、実施例の調査、設計法の調査、メタルタッチ規定の調査および継手構造に対する検討を実施した。

§2. 継手構造に関する文献調査

海外の吊橋および斜張橋の塔の継手の設計計算書を入手することが事実上不可能であることから、継手構造に関する国内文献調査を行なった。文献リストは次のとおりである。

継手に関する文献

- 1) 塔の継手設計要領 本州四国連絡橋公団 第二建設局 1981-10
- 2) 吊橋主塔継手部の一考察 石川島播磨技報 21巻 2号/1981.3
- 3) 吊橋主塔の現場水平継手の応力・変形挙動に関する実験的研究
土木学会論文報告集 332号/1983.4
- 4) 高力ボルト引張接合の設計式 J S S C Vol.5 No.46/1969
- 5) 特集 高力ボルトの引張ボルト接合について J S S C Vol.3 No.24/1967
- 6) 鋼橋現場溶接の現況と今後の課題 日本橋梁建設協会 1986.3

海外の吊橋・斜張橋に関する報告

- 7) ザイール共和国マタディ橋の設計 橋梁と基礎 1981-6,7
- 8) Zaire共和国Matadi橋の建設 橋梁と基礎 1983-10,11,12
- 9) Mississippi River橋(ルーリング)の製作と架設 橋梁と基礎 1982-10
- 10) アダミヤ橋(イラク共和国)の設計・製作と架設 橋梁と基礎 1984-3,4
- 11) ライン橋Duisburg-Neuenkampの塔の計算 橋梁と基礎 1984-12
- 12) 第二ボスポラス橋 三菱重工技報 Vol.24 No.4/1987.7
- 13) 第二ボスポラス橋の施工 日本鋼管技報 No.122/1987.7

- 14) B o s p o r u s プロジェクト報告 石川島播磨技報 橋梁特集号 1989
 (第二ボスボラス橋の工事報告については、上記のほか、橋梁 1988-1, 土木
 施工 NO.29-8/1988.8, 建設の機械化 NO.464/1988.10, 道路 1988-10に掲
 載されている。)

塔の現場継手に特徴がある国内の斜張橋に関する報告

- 15) S時形曲線斜張橋上部工の製作と施工計画 橋梁と基礎 1986-1
 16) メタルタッチ継手を用いた斜張橋・塔現場継手の設計と製作
 横河橋梁技報 No.16/1987.1
 17) 鳥飼仁和寺大橋(斜張橋)の架設工事 技報まつお No.13/1987.4
 18) 淀川橋(斜張橋)の面接触継手の設計・施工 橋梁と基礎 1987-4

§ 3. 国内外における塔の継手構造の代表例

継手構造の代表的な実施例を国別(基本設計)に分類すれば表4.1となる。

表4.1 継手構造の分類

基本設計	圧縮応力の伝達	引張応力の伝達
イギリス	メタルタッチ100%	引張ボルト(プレストレス)
ドイツ	メタルタッチ 0~75%	シール溶接(リベット・ボルト)
アメリカ	メタルタッチ50%未満+ ボルト50%以上	リベット、ボルト
国内(本四架橋)	メタルタッチ 50,25% +ボルト(50,75%)	ボルト
国内(斜張橋)	メタルタッチ+縦リブ	縦リブのボルト
	部分溶込み溶接+メタルタッチ	縦リブのボルト
	全断面溶込溶接	全断面溶込溶接

上記の構造事例として、次の橋梁について、表4.2~表4.7に示す。

イギリスタイプ-----第2ボスボラス, アダミヤ橋

ドイツタイプ -----チャオプラヤ橋

アメリカ・国内(本四架橋) -----大鳴門橋

国内(斜張橋) -----荒津大橋, 鳥飼仁和寺大橋

また、塔の現場継手に溶接を用いた斜張橋の事例を表4.8~表4.10に示す。

表4.2a 第2ボスボラス橋

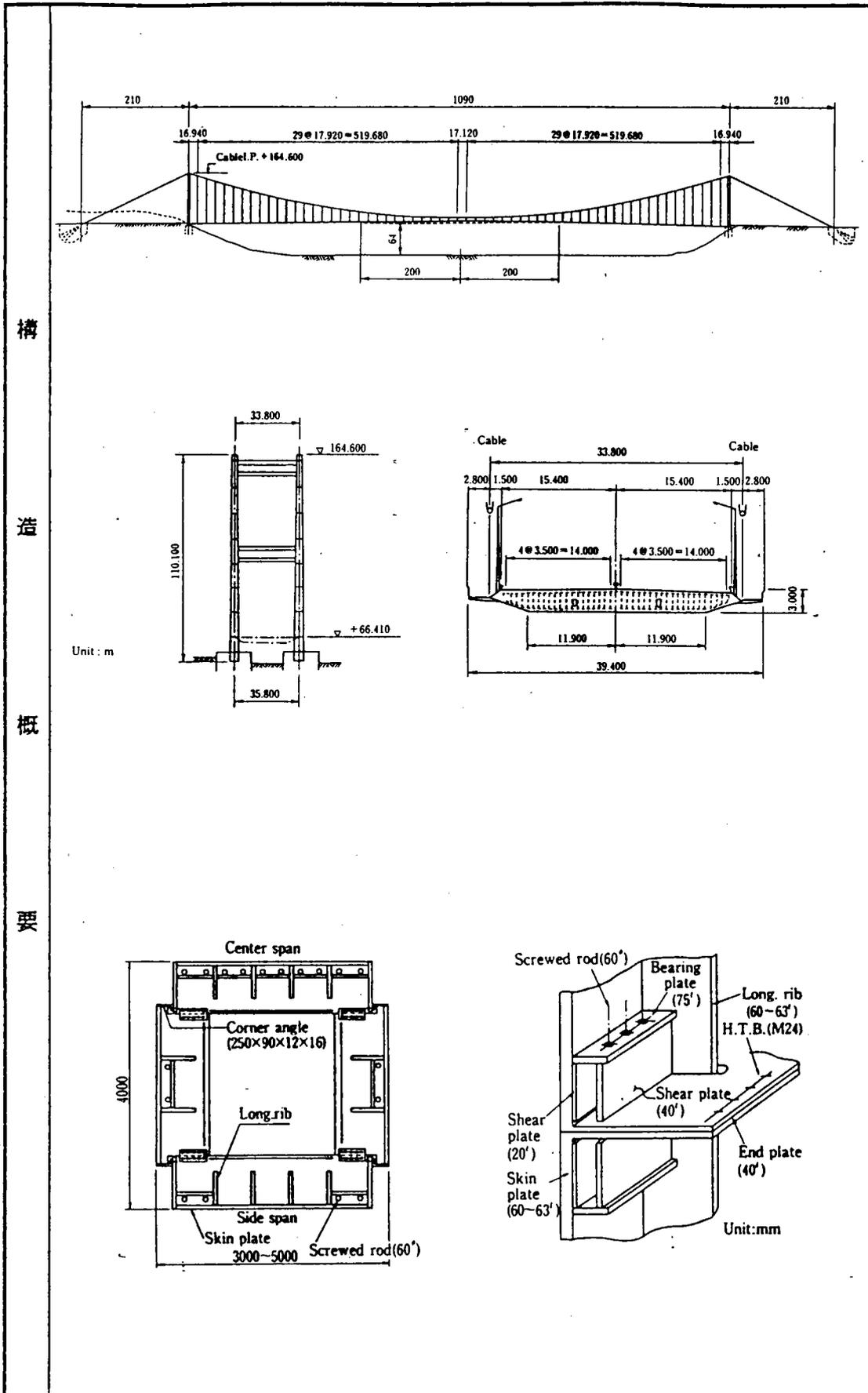


表4.3a アダミヤ橋

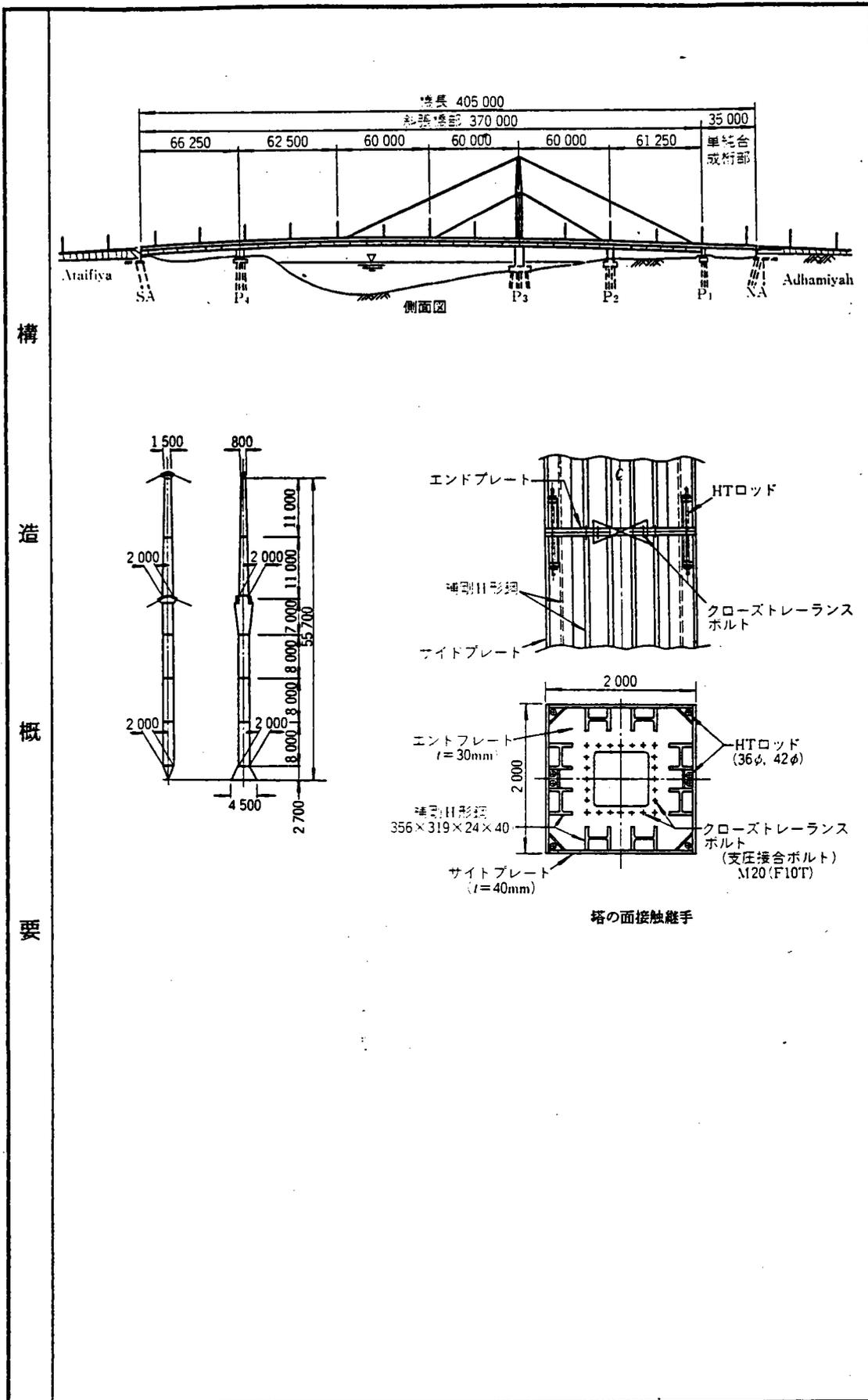


表4.3b アダミヤ橋

力の伝達	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軸力 ; エンドプレートによる100%面接触継手により伝達。 ・ せん断力 ; エンドプレート内の支圧接合ボルトにより伝達。 ・ 曲げモーメント ; 作用軸力の小さな架設時の曲げに対してはHTロッドによる引張接合で抵抗させる。 		
設計方法			
基準		製作基準	架設基準
	メタルタッチ基準 (mm)		
	許容最大すきま (%)		
	表面粗さ (μ)		
	架組(設)時のタッチ率 (%)		
	塔柱の高さ精度 (mm)		
	鉛直度		
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補剛材に日本では見られない大きなH形鋼を使用している。 (356*319*24*40) ・ エンドプレートの機械加工に精度を要する。 ----- 製作 12.5S 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁と基礎 84-3、4 「アダミヤ橋 (イラク共和国) の設計・製作と架設」 (上・下) アダミヤ橋プロジェクトチーム 		

表4.4a チャオプラヤ橋

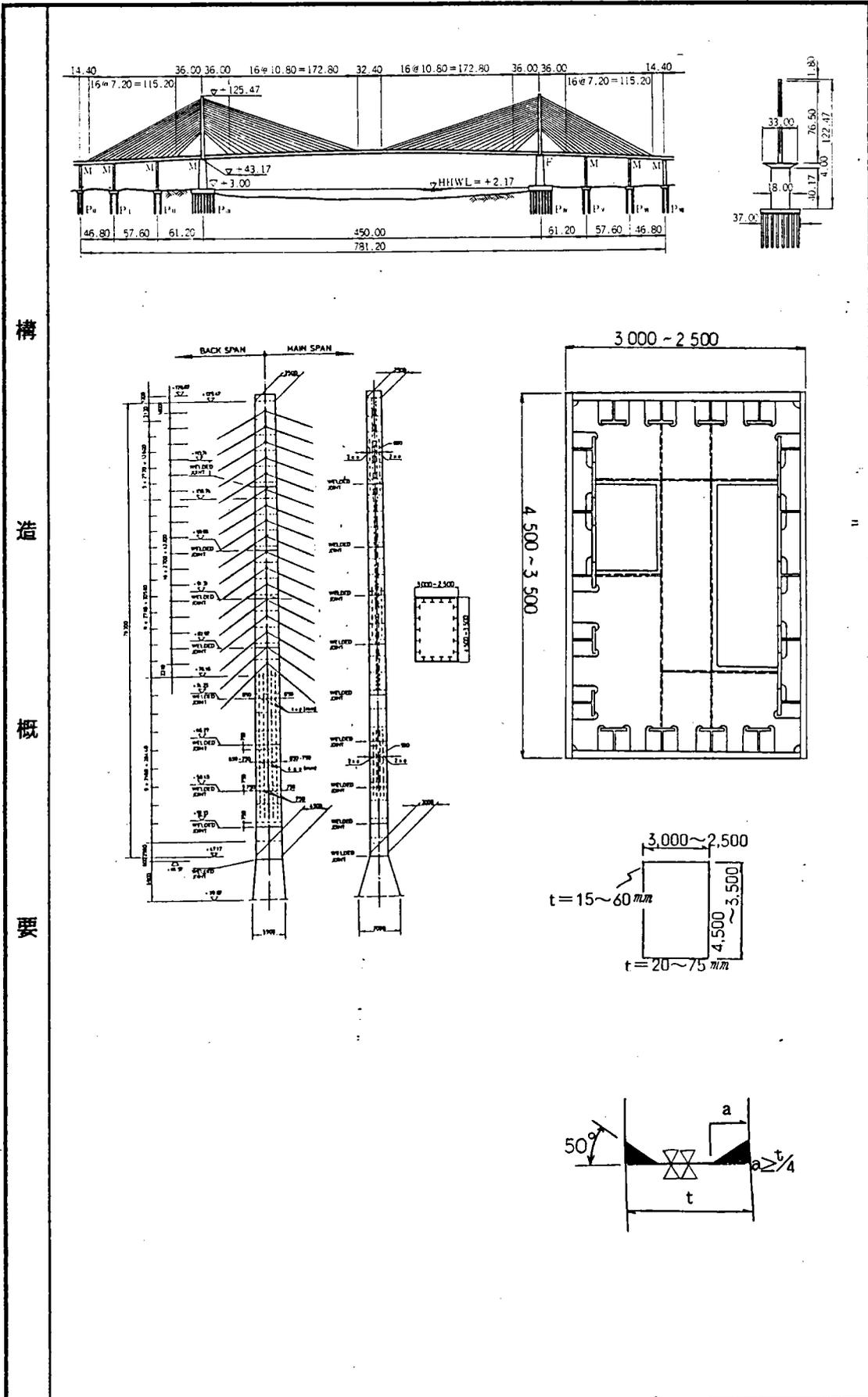


表4.4b チャオプラヤ橋

力の伝達			
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> 腹板-腹板及びフランジ-フランジ間は、のど厚を母材板厚の1/2以上確保する、部分溶け込み溶接としている。 軸方向力の1/2に対してメタルタッチ構造を期待している。 		
基準		製 作 基 準	架 設 基 準
	メタルタッチ基準 (mm)		
	許容最大すきま (μ)		
	表面粗さ (μ)		
	架組(設)時のタッチ率 (%)		
	塔柱の高さ精度 (mm)		
	鉛 直 度		
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> 補剛材にC T形鋼を使用している。 		
参考文献			

表4.5a 大 鳴 門 橋

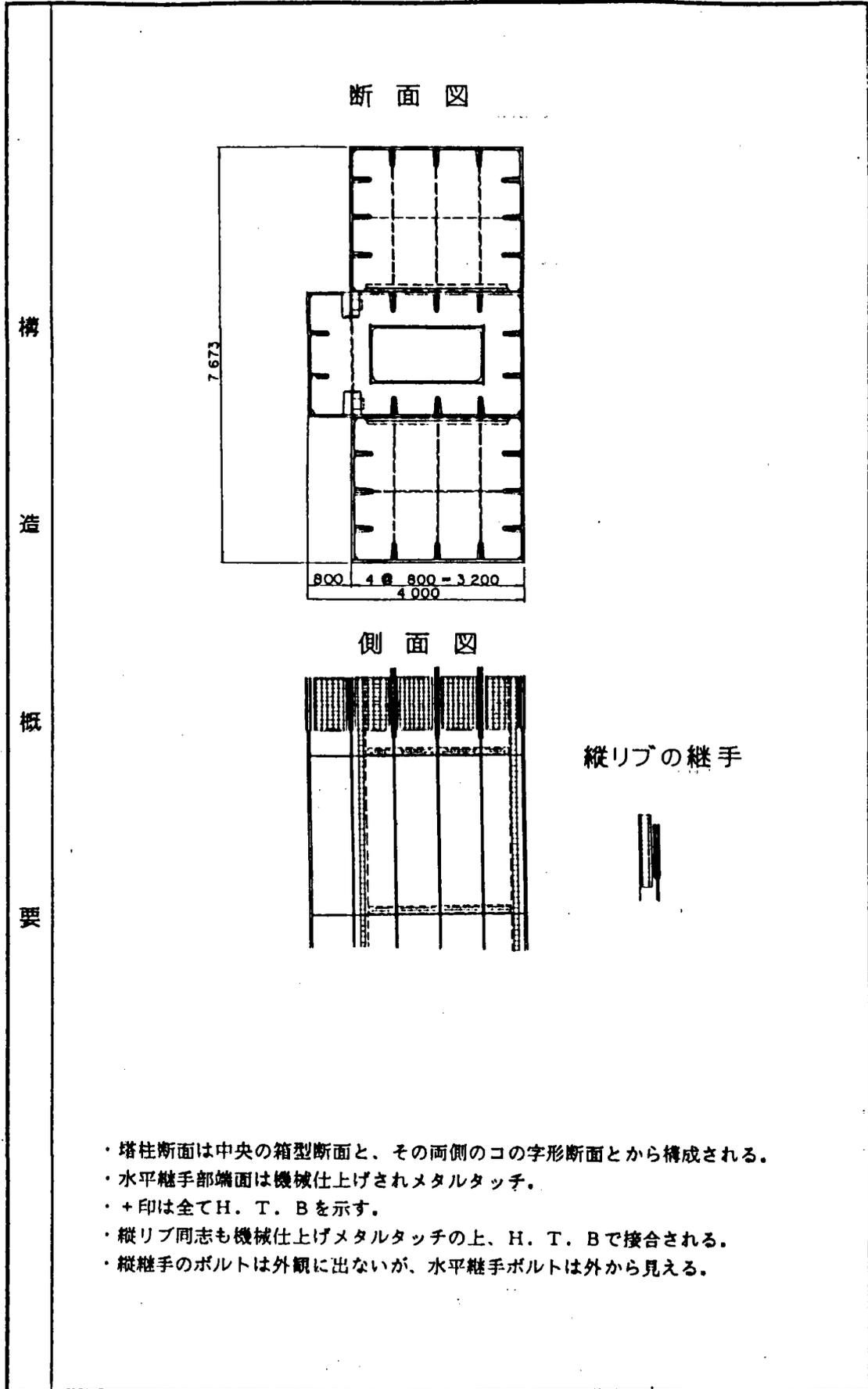


表4.5b 大 鳴 門 橋

力の伝達	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮力 ; メタルタッチとH, T, B摩擦接合で50%ずつ伝達。 ・引張力 ; H, T, B摩擦接合で 100%伝達。 ・せん断力; " 		
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> ・塔柱解析により添接部の応力度を算出し設計する。(但し、全強の75%以上) ・継手は設計力の50%をメタルタッチで伝達させるものとし、残りの50%の力に対し、H, T, B摩擦接合の設計を行う。 ・縦方向補強材については塔壁よりメタルタッチ率が低下するものと考え、25%をメタルタッチ、残りの75%をH, T, B摩擦接合で設計する。 <p style="text-align: center;"> 継手部設計応力度 σ kg/c m² > 0.75 f_a " 断面積 A c m² 許容H, T, B力 f_a kg 必要ボルト本数 $n = \frac{\sigma A}{f_a} \times 0.5$ </p>		
基準		製 作 基 準	架 設 基 準
	メタルタッチ基準 (mm)	0.04	0.04
	許容最大すきま (‰)	0.20	0.20
	表面粗さ (μ)	12S	—
	架組(設)時のタッチ率 (%)	外板50%, リブ25%	外板50%, リブ25%
	塔柱の高さ精度 (mm)	±1.0 (ブロック)	—
	鉛 直 度	1/10 000	1/10 000
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・端面機械仕上げは、ウェブ、フランジ、リブの端のみである。 ・ボルト列数は全H, B, T継手の場合に比べて1/2になる。 ・輸送は大ブロックで陸上輸送、長距離輸送には適さない。 		
参考文献			

表4.6a 荒津大橋

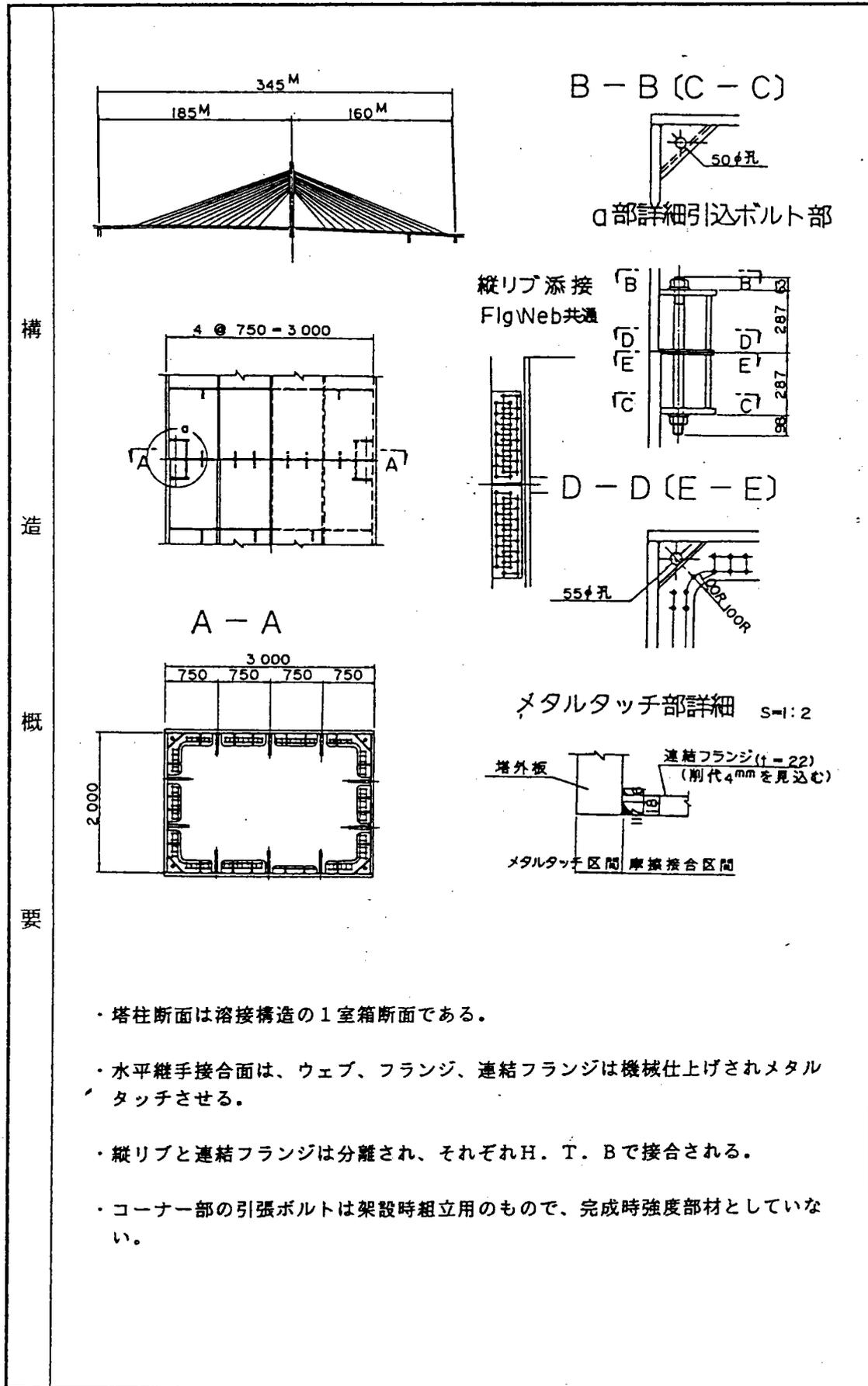


表4.6b 荒津大橋

力の伝達	<ul style="list-style-type: none"> ・ 圧縮力 ; フランジ、ウェブ等外板のメタルタッチにより伝達。 縦リブはメタルタッチさせずHTB継手で圧縮力も分担させる。 ・ 引張力 ; 縦リブのHTB継手により伝達。 ・ せん断力; 連結フランジのHTB摩擦接合により伝達。 		
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 継手部に作用する軸力、曲げモーメントに対し、引張力が発生する場合、引張域の断面を無効として断面計算を行う。 ・ 引張力は縦リブH、T、B継手でとらせるが、架設時応力に対し特に注意を払う。 ・ 圧縮に対する照査; メタルタッチ面の作用応力を許容支圧応力度まで許せば、応力伝達に必要な支圧面積は断面積の40~50%となる。 ・ 縦リブ継手の設計 外板の間隙の影響による付加圧縮力を設計に考慮する。 引張力に対しては、全引張力を縦リブ継手でとらせるとして設計。 ・ 連結フランジ継手の設計 作用せん断力に塔高を有効座屈長とする柱の座屈時のせん断力を1.7で除した値を加えたせん断力に対し設計。 		
基準		製作基準	架設基準
	メタルタッチ基準 (mm)		
	許容最大すきま (‰)	0.20(0.08max)	
	表面粗さ (μ)	12S以下	
	架組(設)時のタッチ率 (%)	50以上(59min)	
標準	塔柱の高さ精度 (mm)		
	鉛直度	(13mm)	
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 接合面の機械加工には高い精度が要求される。 ・ 継手にはプレストレス圧縮力は導入されていない。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ 横河橋梁技報 No16 1987、1 「メタルタッチ継手を用いた斜張橋、塔現場継手の設計と施工」 浜田, 梶 		

表4.7b 鳥飼仁和寺橋

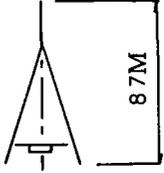
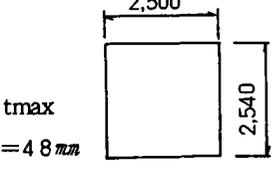
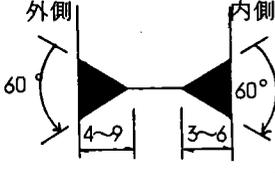
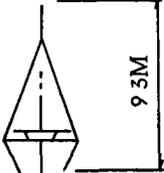
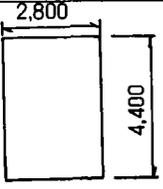
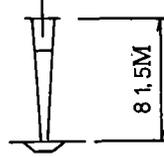
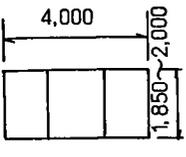
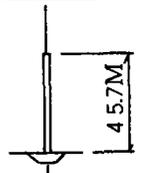
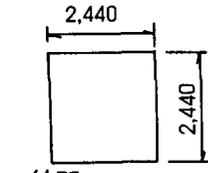
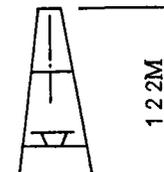
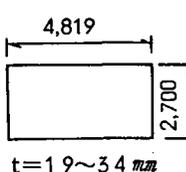
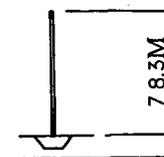
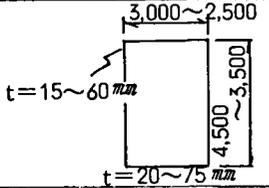
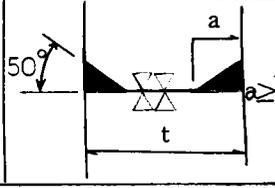
力の伝達	<ul style="list-style-type: none"> ・ 圧縮力 ; 面接触接合と高力ボルト摩擦接合した縦リブにより伝達。 ・ 引張力 ; 高力ボルト摩擦接合した縦リブにより伝達。 ・ せん断力; 高力ボルト摩擦接合した縦リブにより伝達。 		
設計方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 完成系、架設系各々について照査した結果全ての継手で完成系の応力が支配的となる。(圧縮が支配的) ・ せん断力に対する処置 補剛材及びケーブル取付板の高力ボルト摩擦接合で抵抗させるのを基本とする。(ただし一部の継手で補剛材に全断面溶込みグループ溶接を採用) シール溶接による抵抗もあるが、設計上期待しない。 		
基準		製 作 基 準	架 設 基 準
	メタルタッチ基準 (mm)	0.2(0.14max)	
	許容最大すきま (μ)		
	表面粗さ (μ)		
	架組(設)時のタッチ率 (%)		
	塔柱の高さ精度 (mm)		
	鉛 直 度		
構造の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ フランジ、ウェブの面接触継手部には「防水シール溶接」を採用。 ・ 接合面の機械加工には高い精度が要求される。 		
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁と基礎 87-4 「淀川橋梁(斜張橋)の面接触継手の設計・施工」 牧野,西川,安藤 ・ 技報まつお No.13 1987, 4 「鳥飼仁和寺大橋(斜張橋)の架設工事」 桑田,佐伯,折口 		

表4.8 塔の現場継手に溶接を用いた斜張橋（その1）

橋名 (国名)	型式	建設年	塔の形状・高さ	断面形状	材質	現場溶接方法	文献
Maxau (西ドイツ)	一面 2径間連続	1966			St 52	Box内外から溶接	Stahlbau 1968
Friedrich-Ebert (西ドイツ)	一面 3径間連続	1967				少なくとも50%タッチ面、残り溶接	Bauingenieur 1971/9
Ludwigshafen (西ドイツ)	二面 2径間連続	1968				ブロック間はず互いにボルト接合され、後に溶接された。	Stahlbau 1970/10
Neuenkamp (西ドイツ)	一面 3径間連続	1971			N-A -XTRA70		Stahlbau 1971/11
Kurt-Schumacher (西ドイツ)	二面 3径間連続	1971			St 52		Stahlbau 1973/4
Oberkassel (西ドイツ)	一面 7径間連続	1973			St 52		Stahlbau 1977/3.4.5.6

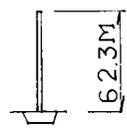
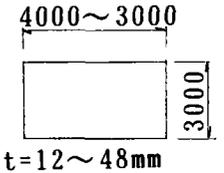
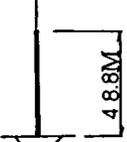
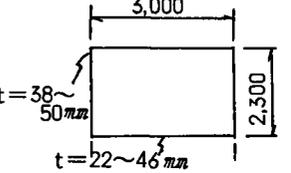
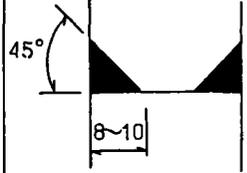
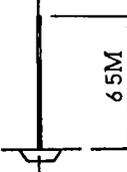
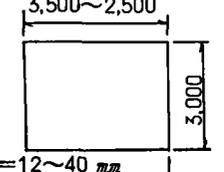
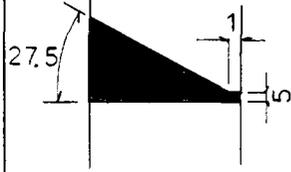
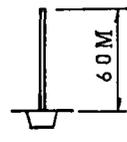
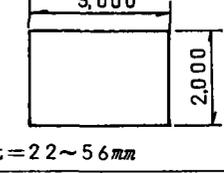
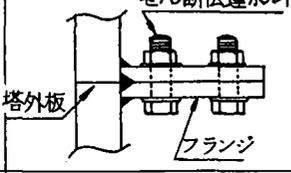
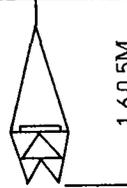
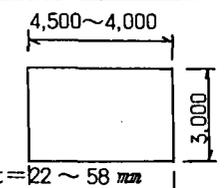
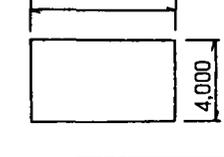
注) この表は文献6より引用した。

表4.9 塔の現場継手に溶接を用いた斜張橋 (その2)

(国名) 橋 梁	型 式	建設年	塔の形状・高さ	断面形状	材 質	現場溶接方法	文 献
(西ドイツ) Speyer	一 面 2 径間連続	1974			St 52		Stahlbau 1977/9
(西ドイツ) Köhlbrand	二 面 3 径間連続	1974			St 52	Site で2ブロック に溶接、2ブロック 毎に架設し現場溶接	Stahlbau 1975/1
(西ドイツ) Deggenau	一 面 2 径間連続	1975			St 52	少なくとも60%は メタルタッチ。 残り溶接	Stahlbau 1978/10
(オーストラリア) West Gate	一 面 5 径間連続	1978				架設完了後、継手部 は外側より防水用に 溶接された。	Stahlbau 1979 1980
(日 本) 名 港 西 大 橋	二 面 3 径間連続	1985			SM58 SM50Y SS41	地組時溶接 一括架設	橋梁と基礎 1985/4
(タ イ) チャオブラヤ橋	一 面 3 径間連続	1987			SM50Y 相当		設計図

注) この表は文献6より引用した表に加筆したものである。

表4.10 塔の現場継手に溶接を用いた斜張橋 (その3)

(国名) 橋梁	型式	建設年	塔の形状・高さ	断面形状	材質	現場溶接方法	文献
(日本) 大和川橋梁	一面 3径間連続	1982			HT80 SM58 SM50	メタルタッチ +HTB継手	大和川橋梁 工事誌
(日本) 鳥飼仁和寺大橋	一面 3径間連続	1987			SM58 SM50Y		橋梁と基礎 1987/4
(日本) かつしかハープ橋	一面 4径間連続	1986			SM58 SM50Y SS41		橋梁と基礎 1985/4 1986/1
(日本) 荒津大橋	一面 3径間連続	1988			SM58 SM50Y SS41		橋梁 1986/3
安治川橋梁	二面 3径間連続	1989			SM58 SM50Y	HTB継手 F10T M24 (一部M30)	設計図
横浜港横断橋	二面 3径間連続	建設中				HTB継手 (一部メタルタッチ)	設計図

注) この表は文献6より引用した表に加筆したものである。

§ 4. メタルタッチ関連規定の調査

§ 3で見たように、塔の継手構造ではメタルタッチを併用するケースが多い。そこで、メタルタッチに関する規定を調査した(表4.11)。また、国内外の事例における製作基準および架設基準の調査結果を示す(表4.12)。

表4.11に見るように、AASHTO, BS5400および DIN1073では、メタルタッチの基準値および許容最大すきまは規定しておらず、製作基準として表面粗さもしくは平面度を規定しているのみである。一方、国内の本四架橋では、メタルタッチの判定基準値を設け、すきまが基準値以下である場合をタッチしているとし、また、添接板に約40cm間隔に検査孔を設け基準を満足する箇所の割合(タッチ率と称している)の最低値を50%と規定している。このように、設計でメタルタッチによる圧縮力の伝達割合を50%期待するため、製作・架設に厳しい条件を課している。

表4.12でも上記と同様なことがわかる。

また、AASHTO, BS5400および DIN1073のメタルタッチに関連する箇所の訳文を参考に示す。

表4.11 メタルタッチに関する規定

		本 四 架 橋 (注1)	A A S H T O	B S 5 4 0 0	D I N 1 0 7 3
設 計	メタルタッチによる 伝達率(%)	外板: 作用力の 50% リブ: 作用力の 25%	許容応力度の 50%未満	通常: 作用力の 75% 端板有り: 作用力の100%	作用力の 75%以下 (細長比によって変化)
	製作 基準				
製 作 基 準	メタルタッチ基準 (mm)	0.04			
	許容最大すきま (mm)	0.20			
	表面粗さ (μ)	12S	12.7S (500 μ inch)	平面度: 50cm角内で±0.25mm	
	仮組時のタッチ率 (%)	外板 50%, リブ 25%			
	塔柱の高さ精度 (mm)	±1.0 (ブロック)			
	鉛 直 度	1/10 000			
架 設 基 準	メタルタッチ基準 (mm)	0.04			
	許容最大すきま (mm)	0.20			
	表面粗さ (μ)	-			
	架設時のタッチ率 (%)	外板 50%, リブ 25%			
	塔柱の高さ精度 (mm)	-			
	鉛 直 度	1/10 000 (1/5000)			

注1: 因島大橋以後に建設された吊橋および斜張橋の塔の製作工事および架設工事の特記仕様書にて規定している。
架設時の鉛直精度について、南・北備讃瀬戸大橋、下津井瀬戸大橋、大島大橋では1/5000を適用している。

表4.12 メタルタッチ関連の製作・架設基準の事例

項目	国籍	米 国	米 国	米 国	Z a i r e	ト ル コ	イ ラ ク	タ イ	日 本	日 本	日 本
	橋名	Golden Gate Br.	Verrazano Narrows Br.	Mississippi River Br.	Matadi Br.	Second Bospours Br.	Adhamiyah Br.	Chao Phya River Crossing	本四架橋	荒津大橋	島飼仁和寺大橋
形式		吊橋	吊橋	斜張橋	吊橋	吊橋	斜張橋	斜張橋	吊橋・斜張橋	斜張橋	斜張橋
中央支間(m)		1 280	1 298	372.5	520	1090	182.5	450	—	184.2	200
適用示方書		AASHO	AASHO	AASHTO	本四基準	BS	BS	DIN	本四基準	道路橋示方書	道路橋示方書
主塔断面寸法(m)	頂部	3.23×7.49	8.71×10.64	3.8×3.7	3.2×4.2	3.0~4.0	1.5×0.8	2.5×3.5	—	2.0×3.0	2.3×3.9
	底部	7.49×13.89	10.85×14.94	6.1×7.4		5.0~4.0	2.0×2.0	3.0×4.5		2.0×3.0	2.3×3.0
主塔高さ(m)		210	192	106.5	95.1	110.1	52.6	87.1	—	60	48.8
主塔の傾き		直塔	直塔	斜塔	斜塔	直塔	直塔	斜塔	—	直塔	直塔
完成年		1937年	1964年	1983年	1983年	1988年	1984年	1987年	—	1988年	1987年
主塔現場継手方法		面接触+リベット	面接触+リベット	面接触+HTB	面接触+HTB	引張ボルト	引張ボルト	面接触+溶接	面接触+ボルト	面接触+継ぎ目連結	シール溶接+同左
主塔製作 メタル 基準	メタルタッチ基準(mm)	—	—	0.127	0.04	—	—	—	0.04	—	—
	許容最大すきま(%)	—	—	0.762	0.20	—	—	—	0.20	0.20 (0.08 max)	0.20
	表面粗さ(μ)	—	—	12.7	12	—	—	12.5S	12	12S以下	—
	仮組時のタッチ率(%)	—	—	母材平均70 最小60	母材:50 リブ:30	(100)	(100)	(50)	母材:50 リブ:25	50以上 (59 min)	—
	塔柱の高さ精度(mm)	—	—	—	各ブロック±1.0	—	—	—	各ブロック±1.0	—	—
	鉛直度	—	—	—	1/10 000	—	—	—	1/10 000	(13 mm)	25mm (1/2000)
タッチ架設 基準	メタルタッチ基準(mm)	0.1524	0.127	0.127	—	—	—	—	0.04	—	—
	許容最大すきま(%)	0.381	0.254	1.016	—	—	—	—	0.20	—	0.20 (0.14 max)
	架設時のタッチ率(%)	100	100	60 (母材最小)	—	—	—	—	母材:50 リブ:25	—	—
	塔柱の高さ精度(mm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉛直度	—	—	7/10 000	—	—	—	—	1/10 000[5000]	—	25mm (1/2000)	

(注) 本四吊橋の架設時の精度は特記仕様書で規定している。また、架設時の鉛直精度 1/5000は昭和58年3月以降に用いられている値である。

メタルタッチ関係規定

AASHTO

DTVTSTON I DESIGN

10. Steel Structures

10.18 Splices

10.18.3 柱

10.18.3.1

柱、弦材の様な圧縮部材のリベット、ボルト継手の母材端部は密着させるものとする。接合部の母材端部が十分に密着する様に機械加工し、制作時と架設時に厳密な検査を行う部材の連結は、リベット又はHTBを連結断面の許容応力度の50%を下回らない応力で配置してもよい。

DTVTSTON II CONSTRUCTION

10. Steel structures

10.20 Facing of bearing surfaces

10.20 支圧面

鋼と鋼また鋼とコンクリートの接触支圧面あるいはベースプレートの表面仕上げは、ANSI B46.1 表面粗さうねり加工模様Part I（一部を以下に示す）の表面粗さの規定による。

機械加工する圧縮部材端部、

機械加工または切削した補剛材、フィラー ANSI 500 *

*表面粗さ 500 μ inch

10.21 Abutting joints

10.21 接触継手

トラス、柱の圧縮部材の継手は正確な継手と一様な支圧を得るために、機械切断又は機械切削加工するものとする。他の継手においては端面を密着させる必要は無いが、開きは 3/8inch (9.525mm)を越えてはならない。

Steel, Concrete and Composite bridges

Part 3 Code of practice of design of steel bridges 1982

14. Design of connections

14.4 Splices

14.4.2 Compression members

14.4.2.3 切削加工された圧縮部材メタルタッチ部

継手の母材断面全体が接触する様端部を機械加工した場合、この接触面を通して圧縮力の75%が伝達するとしてよい。機械加工した端板を使用して接触面を増加させた場合は、接触面を通し全圧縮力が伝達するとしてもよい。

接触面のずれば、カバープレート等の方法で防止しなければならない。カバープレート及び添接材は部材に作用する圧縮力の2.5%が部材軸直角方向に作用するものとして設計しなければならない。

14.6 Welded connections

14.6.5 接触部による荷重伝達

鋼板とこれに接触する断面の端が十分になじんでいる場合、下記の割合で圧縮力を接触部の支圧でとらせる。

(a) 機械加工した場合 100%

(b) 自動ガス切断縁、機械切断縁 75%

Part 6 Specification for materials and workmanship,

4. Workmanship

4.2 Fabrication tolerances

4.2.3. 機械加工された支圧面の平面度

The Engineerの指示がある場合機械加工する支圧面は、50cm四方の正四角形内で±0.25mmの平面度としなければならない。

4.3. Preparation of edges and surfaces

4.3.4. バット継手の機械加工

バット継手の表面を機械加工する様指示のある場合、部材を組み立ててから加工しなければならない。

7. 部材の連結

7. 1 連結と継手の設計原則

個々の横断面要素は、それらが分担する力に対して連結し、また接合するものとする。密着継手 (Kontaktstöße, メタルタッチ) は、7.1.1 項により設計する。

圧縮部材の連結においては、座屈割増係数 (Knickbeiwert) ω を乗じない圧縮力を用いるものとする。

7. 1. 1 密着継手 (Kontaktstöße, メタルタッチ)

7. 1. 1. 1 仮定

次の仮定が満足される場合には、圧縮部材に密着継手を用いることができる。継手面は部材軸に対して正確に直角でなければならない。その施工については、1973年12月発行のD I N 1000, 4.2.7 項に従っていること。また、継手位置に生ずるせん断力が、それと同時に作用する垂直力の1/10を越えていてはならない。

密着継手は、引張りに対して強い連結材 (Verbindungsmittel) (ボルト、溶接継手) によって、十分に連結されなければならない。また、連結材は、継手断面上の各断面要素の面積に応じて配置するものとする。

7. 1. 1. 2

1次理論による計算で、継手断面に引張り応力を生じない場合には、連結材を簡単に、 $n \cdot P$ という力に対して設計してもよい。ただし、記号は次のようである。

P = 部材の最大圧縮力

n = λ に関する表3により与えられる係数

λ = D I N 4114による部材の細長比

表3 密着継手における連結材を設計するための係数 n

$\lambda \leq 40$	$n = 0.25$
$40 < \lambda < 120$	$n = 0.25 + 0.75 \frac{\lambda - 40}{80}$
$120 \leq \lambda \leq 150$	$n = 1.0$

1次理論による計算で、継手断面に引張応力を生じるか、あるいは連結材を上記（第1段落）の簡単化した計算法によらないで、厳密に設計しようとする場合には、次のように取り扱うものとする。

2次理論によって計算を行うが、その場合、 ν 倍（ $\nu_H = 1.71$: $\nu_{HZ} = 1.5$ ）の荷重のもとで、引張領域にある連結材の応力が、荷重ケースHZにおけるその許容応力の1.5倍の値を越えないように設計する。

この照査において、部材の弾性変形だけでなく、場合によっては、連結材（リベット、ボルト）のすべりによって生ずる継手部の屈曲（Knicke）をも考慮するものとする。

連結材は継手断面に作用する最大圧縮力の少なくとも25%の力に対して設計しなければならない。

§ 5. 継手構造に対する検討

継手構造の実施例の調査、メタルタッチ関連規定の調査および継手構造に関する文献調査の結果を基に継手構造に対し考察を加える。

5. 1 継手構造の分類

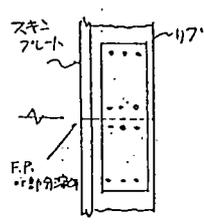
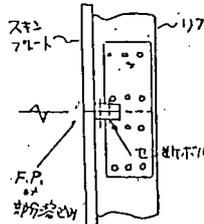
基本となる接合方法は、高力ボルト接合、引張ボルト接合、溶接接合およびメタルタッチの4種類であり、塔の現場継手はこれらの単一あるいは併用した構造となる。

吊橋・斜張橋の塔の現場継手構造を分類すれば表4.13のようになる。

表4.13 塔の現場継手構造の分類

現場継手の方法		特徴	備考
単一	高力ボルト継手 (摩擦接合)	①一般に板厚が厚い為ボルト本数が非常に多い。 ②塔外面にボルトが出る。	
	溶接継手	①厚板の完全溶込み溶接となり作業性が悪いことが多い。 ②架設精度の確保が困難	
併用	高力ボルト継手 +メタルタッチ	①メタルタッチの利用によりボルト本数は少なくなるが、塔柱の大型化に伴いボルト本数が増加 ②端面切削を必要とする。	米国等実績多数 日本の吊橋
	引張りボルト継手 +メタルタッチ	①塔面内のみの作業となり、基本的に外面足場を必要とせず安全性に優れている。 ②外面に突起なし。 ③端面切断を必要とする。	セバーン橋 第1, 2ポスポラス橋 アダミヤ橋
	溶接継手+メタルタッチ	①部分溶込み溶接 ②外面に突起なし ③端面切削を必要とする。	ドイツの斜張橋 チャオブラヤ橋

表4.16 溶接を利用した継手構造

概略図	設計の考え方			特徴
	圧縮力	スキンプレート リップ	溶接部 メタル HTB	<ul style="list-style-type: none"> ・F・Pの時はヤード溶接が多い。 ・ボルト接合に比べて架設作業が気象条件（風・湿度・気温等）に影響を受けやすい為、機材・設備に注意を要する。 ・工場と同等の溶接作業条件としないと、許容応力度が低減（90%）となりHTB接合と比較して鋼量減とならない。 ・ることが多い。 ・添接板・HTBが外面にでない為、外観が良い。 ・架設時の合わせの為に、クロストランスボルト等を設置する必要がある。
	引張力	スキンプレート リップ	溶接部 HTB	
	せん断・振じり	スキンプレート		
	圧縮力	スキンプレート リップ	溶接部 メタル HTB	<ul style="list-style-type: none"> ・F・P.の時はヤード溶接が多く、実際はシール溶接の採用が多い。 ・斜張橋に実績がある。 ・ボルト接合に比べて架設作業が気象条件（風・湿度・気温等）に影響を受けやすい為、機材・設備に注意を要する。 ・工場と同等の溶接作業条件としないと、許容応力度が低減（90%）となりHTB接合と比較して鋼重減とならない。 ・添接板・HTBが外面にでない為、外観が良い。
	引張力	スキンプレート リップ	溶接部 HTB	
	せん断・振じり	せん断ボルト		

5. 3 外板の圧縮応力をメタルタッチのみで伝達する継手構造の検討

外板の圧縮応力をメタルタッチのみで伝達する継手構造には、第2ボスボラス橋等の英国の設計による吊橋・斜張橋と荒津大橋がある。この種の継手構造では塔の外面に添接板およびボルトがないために、架設期間の短縮が計れること、塔の外面での架設作業を必要としないこと、また、美観上有利であることが特徴となっている。

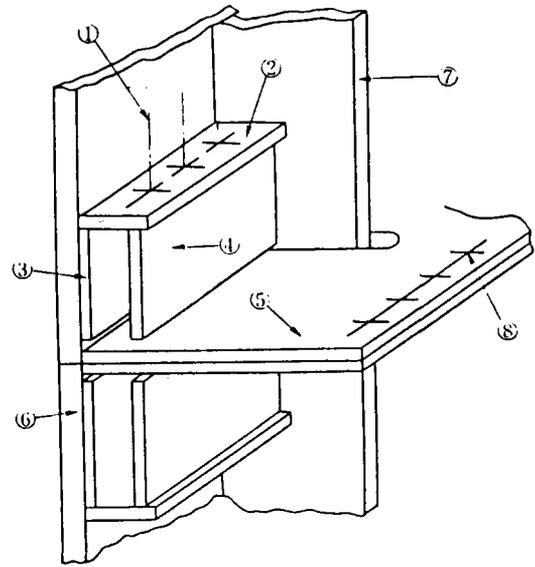
このような特徴から、今後国内で吊橋・斜張橋の塔の継手方法として採用することが予想される。しかし、この種の継手を国内で採用する上で、解明すべき問題点があると考えられる。

(1) 第2ボスボラス橋等の英国式継手構造¹⁴⁾

第2ボスボラス橋の継手部の構造を図4.1に示す。この継手構造は高力ボルトではなく、直径60mmのテンションロッド（SNB23）を使用した引張接合である。塔の圧縮応力は単面を切削した外板と縦リップの支圧で伝達させ、曲げに伴う引張応力はテンションロッドのプレストレスにより抵抗する。また、せん断力は両ブロックのエンドプレートの支圧接合で抵抗する。

この吊橋は、設計がFreeman Fox & Partner社の基本設計によるが、工事は国内のメーカーが中心とするコンソーシアムで行われた。塔は国内のメーカーで製作され、この継手に生じる2次応力を検討し、継手構造の改良を行っている。

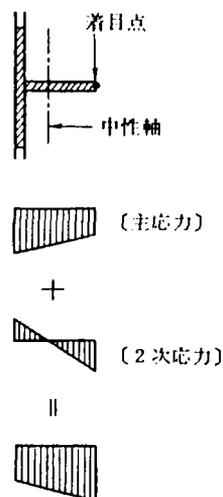
継手に生じる2次応力を概念的に示した図を図4.2に示す。曲げによって、テンションロッドでプレストレスをうけている接合部に隙間が生じた場合（本橋では架設時のセットバック時であるが）、ダイアフラムとエンドプレート間の縦リブに2次曲げ応力が働く。この2次応力を極力小さくするため、外板と縦リブからなるT断面の中立軸とテンションロッドとの偏心を小さくするように、テンションロッドの配列を1列に、また、本数を減らして太径に変更している。



- (注) ①：スクリューロッド
 ②：ベアリングプレート
 ③：シャーププレート（厚さ：20 mm）
 ④：シャーププレート（厚さ：40 〃）
 ⑤：エンドプレート（厚さ：40 〃）
 ⑥：スキンプレート（厚さ：60～63 〃）
 ⑦：縦リブ（ 〃 ）
 ⑧：高力ボルト M24

図4.1 継手部の構造 ¹⁴⁾

引張側T形断面要素



$$(\text{主応力}) + (\text{2次応力}) < \text{許容応力}(\sigma_{ta})$$

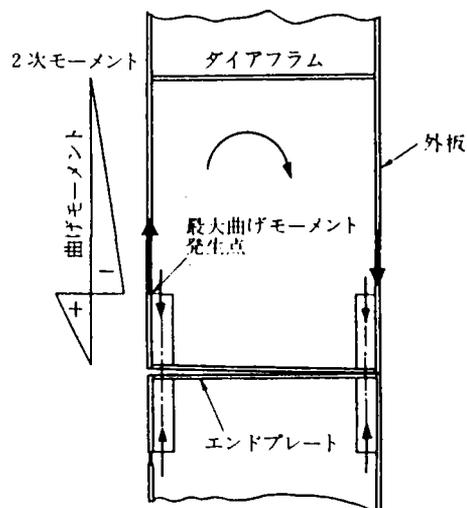


図4.2 継手部に生ずる2次応力 ¹⁴⁾

(2) 荒津大橋の継手構造

この継手構造は、外板のみメタルタッチさせ、縦リブは高力ボルトによる摩擦接合としている。英国式継手と異なり、テンションロッドを架設時の補助部材として、設計上はテンションロッドの効果を見逃している。また、エンドプレートは連続構造とせず、縦リブ間で独立した構造となっている。この継手方法は、メタルタッチ・縦リブ連結継手と称されており、設計方法を表4.17に示す。

表4.17 荒津大橋の継手設計方法

応力度の計算	<p>断面に引張応力が作用する場合、次の2つのケースの重ね合せにより応力を求める。</p> <p>ケース1：軸力+面内曲げモーメント</p> <p>ケース2：面外曲げモーメント</p> <p>なお、上記の2ケースは共に、引張域外板は無効として求める。</p>
圧縮応力照査	<p>外板の板厚のうち50%がタッチしているとし、外板のタッチ面の作用応力は許容応力度 ($\approx 1.5 \cdot \sigma_{ca0}$) まで許容する。</p>
縦リブの継手	<p>外板の初期間隙(0.04mm)による付加応力を継手設計応力に加える。なお、この付加応力は縦リブ連結板の第1ボルト間隔に生じるひずみとして計算する。</p>
引張力の照査	<p>縦リブ継手部の設計引張力は、縦リブの値ではなく、引張側のコーナーストレスを用いる。</p>
せん断力の伝達	<p>せん断力は、その作用方向に平行に配置したせん断伝達フランジにより伝達させる。</p> <p>設計せん断力には、計算せん断力のほかに、塔高を有効座屈長とする柱の座屈時のせん断力を1.7で除した値を加える。</p>
その他	<p>四隅にジョイント引込みボルトを設置し、各ボルトに50tのプレストレスを導入するが継手の応力計算には考慮しない。</p>

(3) 検討課題

AASHTOとDINでは、メタルタッチによる力の伝達率の上限値を規定している。特に、DINでは塔の細長比(1/r)に応じてメタルタッチによる力の伝達率の上限値を規定している。従って、アメリカと西ドイツでは実質的に英国式継手構造および荒津大橋の継手構造は許されていない。

なお、BS5400でも無条件にメタルタッチによる伝達率100%を許容している訳ではなく、端面を機械切削しているほかに、エンドプレートを設けて接触面を増加し、接触面に軸圧縮力の2.5%を作用させることとしている。

この種の継手を採用する上で、設計で検討すべき事項として次の点が考えられる。

- ① 全体座屈の照査方法
- ② 2次応力の評価方法およびそれに対する許容応力度
- ③ 外板の支圧応力度照査時の接触面の割合
- ④ 製作・架設誤差の影響

特に、断面に引張応力が発生し、外板に隙間が発生する場合、塔の変形及び応力度は非線形挙動をすることとなり、2次応力度の評価および全体座屈の照査方法が課題となる。

V. あとがき

鋼橋技術研究会の改組にともない、昭和63年度をもって当分科会は消滅することとなった。したがって、この報告書は最終の報告書である。

研究を開始した昭和60年度より今日までに得られた、当分科会の主な成果は次のとおりである。

- ①挫折せずに、4年間で26回の研究集会（分科会）を続けることができた。
- ②2年に1度の割で、研究報告書をまとめた。
- ③「海外と我が国との鋼橋構造の相違」（正、続）を研究報告書に発表した。
- ④「鋼橋の継手」を研究報告書に発表した。
- ⑤鋼橋技術研究会の一員として「東南アジア橋梁事情調査団」（昭和62年11月）に参加し、その調査報告を雑誌「橋梁」に連載した。

海外橋梁技術研究部会の川口部会長より、研究報告書を濃縮して雑誌に発表するよう、再三にわたりご指示を頂いたが、ついに果たせず心残りである。

最後に、研究活動に熱心に協力して頂いた分科会員の皆様初め、ご指導を頂いた川口部会長、暖かく見守って下さった会の運営幹事各位には深く感謝申し上げますとともに、鋼橋技術研究会のますますの発展を祈ります。

（ 分科会長：森田泰生 記 ）