

Die Bundesautobahnbrücke über den Rhein bei Leverkusen Stählerner Überbau der Strombrücke

(Leverkusenにおける河上の自動車専用橋。低水敷の鋼上部構造)

著 者	誌 名							ページ	図 数	表 数	抄 録		査 読
H. Daniel, H. Schumann	Der Stahlbau, 1967, 9.							225 236	27	0	正道博昭	伊藤鉦一	
											桜田機械工業	立命館大学	
分 類	1	2	③	4	⑤	6	7	⑧	9	10	11	12	備 考
	一般	計画	設計	解析	構造	製作	材料	ケーブル	架設	実験	耐風	その他	
関連ある番号に○印を, 特に詳細なものに◎印を付けた。													

1. 設計諸元 (図 1 2.1 および 1 2.2)

ライン左岸の分離橋脚と Leverkusen 側橋台間の橋長…	686.35 m
低水敷におけるスパン…	280.00 m
高欄間の橋梁幅員 …	37.10 m
1 方向車道の幅 …	13.00 m
ガードレールを含む上流側の歩道 …	3.45 m
ガードレールを含む下流側の自転車道と モーターバイク道	3.95 m
構造高 …	4.20 m
橋格 60 による荷重を用いる。	

2. 構造概要

本橋は Mittelträger 形式の 5 径間斜張橋で、広い張り出しの鋼床版をもつ箱断面補剛桁と、2 本の塔およびその上に 2 本づつ 2 段に張られたケーブルによって構成される。箱桁の構造高は 4.2 m であるが、右岸側端径間のみは 3.92 m まで直線的に漸減している。その理由は将来その下を国道がくぐるからである。橋軸はライン右岸の端部まで直線であるが、Leverkusen 側橋台の手前 147.08 m の区間はクロソイドになっている。幅員も 7.44 m だけ広がっている。塔をセンターに配置したために、中央分離帯を公告の最小値 3.0 m から、3.7 m に拡幅された。したがって、高欄間の橋梁幅員も 36.40 m から 37.10 m に変更された。塔の橋梁側面から見た幅は、3.00 m であるが、橋梁正面から見た塔の幅は、脚部で 1.80 m、塔頂で 2.50 m でくさび形になっている。これは合理的に構造を設計した上側ケーブル支承を、塔のなかに納めうるようにするための処置である。また、くさび形にしたため分離帯幅も 70

cm だけ狭くなっている。

上サドルを塔の中に納めるように塔頂部で広がっている。塔の路面上の全高は 45.10 m で、上側主ケーブルの塔軸との理論的交点から上の塔帽部の長さは 2.10 m であり、この長さは美観を考慮して定められた。ケーブル支承は路面上 17.5 m と 39.5 m の高さであり、ケーブルの傾斜は約 1 : 2.4 で、各ケーブル面には 19 本のロックドコイルロープからなるケーブルが 2 本並列されている。そのケーブル間隔は上面では 1.10 m である。

3. 上部構造

鋼製の連続補剛桁と橋軸上に配置された塔と主ケーブルからなる構造で構成される上部構造は、計算上一体とみなされる。橋軸に対称な荷重は構造全体で分担されるが、橋軸に対して偏心した荷重によって生ずるねじりに対しては、橋軸上に配置されたケーブルは協同作用をしないので、箱断面の補剛桁だけが分担する。補剛桁の断面力は、種々の荷重の組合せに対して求められたが、特に箱桁の底板の設計に決定的な断面力が詳しく計算された(電算を利用)。補剛桁のねじり応力の計算ではそり拘束の影響が考慮され、また、橋軸方向の圧縮力による補剛桁の付加応力は、2 次理論により、変形状態について求められた。本橋のような大きなスパンの斜張橋に対する空力弾性的挙動に関する経験がないため、Darmstadt 工科大学で特別に風洞実験が行われた。また、完成橋梁の観察でも、不具合いな現象は認められていない。

3.1 主 桁

主桁は、標準区間では、全幅 14.0 m の 2 室中空箱桁(図

12.2) であるが、ライン右岸の拡幅部では3室の箱桁になっている。鋼床版は主桁の外側腹板から張り出し、横桁の先端ごとに各横桁の位置で傾斜支柱によって支持されている。拡幅区間の箱断面の底板幅は、橋梁の拡幅量と等量だけ広げられているので、床版の張り出し量は全橋長にわたって一定である。主桁の腹板厚さは10mmである。ただし、ケーブルの定着領域の15.18 mの間では中間腹板は2重壁になっており、ここでは最大35mmの腹板厚さが必要とされる。腹板には各横桁の位置に垂直補剛材が、また、計算上の必要に応じて水平補剛材が取り付けられる。前者は溶接T形断面である。また、縦方向補剛材には山形鋼が用いられ、それは垂直補剛材のウェブに設けたOpeningをとおり、貫通している。中空箱桁の底板厚さは8~15mmで、ケーブルの定着部と塔基部の領域では局部的に最大26mm厚としている。箱桁の底板は、各横桁の位置に設けられる横ばり(Qnerspante)三角形の縦リブ(溶接組立)とによって補剛される(図1 2.4)。底板の縦リブは、横ばりのウェブと片側で結合される。主桁腹板と箱の底板は主としてSt 52で、腹板と底板の横方向補剛材はSt 52またはSt 37で、底板の縦方向補剛材はSt 52で、また、腹板の縦方向補剛材はSt 52またはSt 37でつくられる。腹板およびフランジの座屈の検討は、補強されていない板パネルと、縦リブおよび横リブにより補剛された板パネルについても行われたが、この場合、2方向の垂直応力とせん断応力の同時作用が考慮されている。補剛底板の座屈安全度を求める場合には、それが圧縮と曲げを受ける箱断面の板要素であることを考慮した。箱断面の安定のために、約13~13.5mの間隔にトラス形式のダイヤフラム(St 37)を設けるが、ケーブル定着部分ではトラス式の代わりに、充腹ダイヤフラムが用いられている。この部分ではねじりモーメントのほかに、比較的大きなせん断力が主桁の外側腹板に伝達されなければならないからである。また、塔の位置のダイヤフラムも、橋端におけるダイヤフラムも充腹構造である。

3.2 鋼床版

鋼床版は縦、横リブで補剛された12mm厚の直交異方性板で、橋軸方向にはY形リブを用いている(図1 2.5)。このリブは厚さ6mmの2つの傾斜板と1つの1/2 I形断面(T形フランジ)とからなっていて、デッキ・プレートと溶接されて、ねじりに剛な中央断面を形成する。このようにして局所的な輪荷重によるデッキプレートの変形を小さくしている。傾斜板は横桁腹板に溶接されるが、T形の下フランジは横桁

腹板のOpeningを通過して貫通する。横桁は約2.5m間隔に配置され、その腹板は500×10、下フランジは150×(10~12)である。

主桁の外側腹板から縁石までの床版張り出し長さは7.85mで、この突出床版は各横桁の位置において、箱桁底部からの傾斜支柱(I PBI 280と300)によって支持されている(図1 2.2)。横桁と傾斜支柱の骨組線の交点は、主桁の外側腹板から6.5mの距離にある。鋼床版の外縁には荷重分布用の縁縦桁があり、この下フランジは検査車のレールの役目を兼ねる。中央分離帯の領域では、デッキプレートの厚さを10mmに減少させ、間隔約40cmの平鋼リブで補剛している。ケーブル定着部と塔の領域のデッキプレートの最大厚さは30mm(St 52)である。

3.3 塔

塔は橋軸上に設けられSt 52を使った一室箱形断面のリベット構造で、橋軸方向およびそれと直角方向に、曲げに剛に補剛桁に固定されている。その外側寸法は固定位置で3.00×1.80m、また、塔頂で3.00×2.50mである。下方の固定位置から、下方のケーブル支承までの壁の厚さは3×18mmであり、下方ケーブル支承の上の壁厚は2×18mmであって、上方のケーブル力導入部で15mmになるよう低減される。上方ケーブル力導入部より上にある塔帽部の壁厚は8mmである。塔の断面は図1 2.6のようにコーナー山形鋼と壁板とで構成され、壁板は内側のI P B形鋼で縦方向に補剛されている。溝形鋼で作られたラーメン式のダイヤフラムが約3.5mの間隔に配置されている。ケーブルを支持する領域では、溶接構造の特別な台座が設けられた。塔のリベットの現場横継手は、固定位置(路面)と下側のケーブル支承のすぐ上に設けられた。なお、上側ケーブル支承の上の塔帽部もリベットの現場横継手で取り付けられた。補剛桁のなかにある溶接の塔脚部(図1 2.7)は、58~63mmの壁厚であるが、これは現設計ではリベット構造となっていたが、溶接を用いることにより構造を単純化した。橋軸方向に見た塔脚部は、支承の寸法が比較的大きいため、1.80mから2.16m(箱桁の底部で)に広がられている。充腹隔壁は塔脚部を貫通しているが、箱桁の中央の腹板は塔の横方向壁(幅の狭い方)のところで終わっている。

厚さ30mmの床版は塔壁を貫通し、それは両側のK継手によって互いに連結される。なお、箱桁の底板は、塔領域で26mmの厚さになっている。塔には下側のケーブル支承から最大

2 869 t、上側のケーブル支承から4 270 tの荷重が加わる。塔脚における最大垂直力は7 214 tとなり、それに付随する曲げモーメントは橋軸方向において3 534 t・m、橋軸直角方向において996 t・mである。塔の座屈安定照査は有限変形理論により行われた。

3.4 主ケーブル

上下2段のケーブル面には各2つのケーブルがあり、各ケーブルはそれぞれ19本のロックドコイルロープからなり、六角形に束ねている(図1 2.8)。各2本のケーブルの最大張力は上段で5 563 t、下段で3 743 tであり、また、主荷重による最小張力は上段で3,224 t、下段で2 405 tである。それらの応力に応じて、ケーブルの直径は上段ケーブルに対して59.5mm、また、下段ケーブルに対して49.0mmとした。上段の2本ケーブルの計算上の断面積は934.8 cm²である。上、下段のケーブル長はそれぞれ232mと118mである。各ケーブルは図1 2.8(b)のようなロックドコイルで、公称強度は150 kg/mm²である。ケーブルの耐荷力については次のようであった。

ケーブル直径(mm)	59.5φ	49.0φ
公称強度をもとにした計算破壊荷重(t)	369	249
各素線の実験値から求めた破壊荷重(t)	382	266
5本および3本の試験から求めた有効破壊荷重(t)	355	249
ケーブルにしたことによる破壊荷重の損失(%)	7.1	6.4

すべてのケーブル引張試験において、有効破壊荷重は計算破壊荷重より5%以上低下してはならないという条件を満足した。ケーブルの応力振幅は、活荷重の60%に等しい荷重に対して上段ケーブルで1 390 kg/cm²であり、また、下段ケーブルで1 190 kg/cm²であって、応力振幅が1 500 kg/cm²以下でなければならないという公告の条件を満足している。ヤング係数に対する特別の実験を行って、活荷重に対するヤング係数を上段ケーブルに対して1 690 t/cm²、また、架設時の高い前荷重を考慮して、下段ケーブルに対して1 760 t/cm²とした。ケーブルは通常の方法で作られ、ケーブル頭部を鋳込む前に、800 kg/cm²のプレテンションが与えられ、死荷重の作用下の残留伸びは1mにつき約2.5mmと仮定された。ケーブル頭部には純亜鉛が鋳込まれ、それは工

場において10%がレントゲンで、残りが超音波探傷器で検査された。3個のケーブル頭部の荷重試験が行われたが、その最小試験荷重としては設計荷重の3倍が要求された。

3.5 ケーブルの支承と定着

ケーブルの各段に設けられた2つの主ケーブルは、塔内で図1 2.9の扇形サドル上に設置される。ケーブル・サドルの曲率半径は2.53mで、これは上側のケーブル直径(59.5φ)の約4.2倍である。支承はGS 5.2.1の上部のケーブル支承シェルと、St 5.2の補剛リブのついた厚さ50mmの溶接構造の腹板とからなっている。扇形部の脚はGS 5.2.1で作られ、それにはピン(250φ、材質はC35)を納めるために仕上げが行われている。支承台と結合される支承下部はGS 5.2.1を用い、鋳造構造として作られる。ケーブルの疲労強度を高めるために、Rodenkirchen橋の経験からケーブルとサドルの間に2mm厚の鋼板が挟まれた。最悪応力状態におけるケーブルの横圧力は、2.45 t/cmとなっている。この許容値は鋼の上に鋼がおかれるときには1.0 t/cm、また、ケーブルと鋼支承の間に鋼板をいれたときには、2.5 t/cmである。ケーブル・シェル上のケーブル支承領域において、各ロックドコイルロープ間の空隙には、アルミニウムのフィラーが填入された。これは主ケーブル内の圧力分布を均等にするためである。個々のケーブルは、その組み立て前にケーブル・シェルの支承領域において、鉛丹下塗り塗料を除去したのち、エポキシ系硬質塗料で4回塗装される。両側のアルミニウム・フィラー、鋼の敷き板、ケーブル・シェル、扇形支承なども、同様に処置されているが、これは電気分解作用を防止するためである。扇形支承は溶接構造の台座上にのり、台座はケーブル荷重を塔壁面に伝達する。この台座は、ケーブルの組立中は鉛直方向に移動できるようになっており、はじめ図12.11(a)のように低い位置にセットする。このようにすると、各ケーブルの補剛桁における定着作業を比較的小さなケーブル引張力のもとで、容易に行うことができる。この状態において、支承台座は、塔壁にしっかり取り付けられた補助台座上の水圧ジャッキに移しかえられた。下側の補助台座は、塔のなかにそのまま残る構造である。場所の関係上、上側の補助台座は塔壁の内外に取り付けられなければならない。この上側補助台座は、サドル支承が所定高さに達し(図1 2.11b)、そして上側支承台座のテレスコープ式下部構造を連結したのち(図1 2.11c)解体された。支承台座の押し上げ量は、下段ケーブルで1.0m、また、上段ケーブルで、

2.06mとなった。主ケーブルの補剛桁への定着は、主桁の中央腹板が2重壁(間隔2.53m)になった定着領域(図1 2.1.平面図参照)のなかで行われ、それは図1 2.1 0に示される。各主ケーブルはスプレー・サドルによって、平面および側面において扇形に広げて、溶接構造の7本の横ばり(Traversen)に定着されている。定着領域の幅は、最大4本のケーブルしか並列して設置できないので、図1 2.8 aの中央層の5本のケーブルは鉛直方向に3本と2本に分け、図1 2.1 0のケーブル配置において、上から3-4-3-2-4-3のケーブルに分けられる。

ケーブル頭を支持するため、横ばり上には受け台(Barren)2分されている調整ピース、ライナー板(最小板厚2mm)などが用いられたが、それらの材質はSt52である。長さ約1.5mのスプレー・ソケットは2分割されており、ソケット内でまず鉛直面で広げ、次に平面上で広げられる多数のケーブルを高力ボルトを用いて締め付ける。59.5mmφケーブルを用いた上段ケーブルのスプレー・ソケットにおける鉛直面と平面の最小曲率半径は2000mmとしている。直線の締め付け領域と鉛直面スプレーの領域では、各ケーブル間の空隙をさけるため、三角形断面のアルミニウム・フィラーが用いられ、また、平面スプレーに適合する領域では、ケーブル・ガイドとして、特殊くさび形フィラー(St37)が付加的に配置されている。ここでもケーブルの疲労強度を高めるため、ソケットとケーブルの間に銅の中間層が用いられている。しかし、ケーブルが立体的に湾曲するところでは、銅板材料から中間層を作ることが困難であるため、ソケットの支承面には、厚さ2mmの銅の層が工場で作成された。スプレー・ソケット内におけるケーブルの最大横圧力は2.2t/cm(許容値は2.5t/cm)であった。なお、ソケット自身はケーブル軸に直角に配置された曲がり易い板構造によって、補剛桁と連結支持されている。

補剛桁のケーブル定着領域においては、主桁腹板、床版のデッキ・プレートおよび底板を補強しなければならぬので、せん断パネル理論により非常に詳細な応力計算を行った。

3.6 支 承

塔支承は最大鉛直荷重5700tと横シャイベ軸内のモーメント±1650t・mを受け、GS52・1で鋳造された。固定側(左岸側の橋脚Ⅴ上)は線揺支承で、高さ3.0m、重量68tであり、また、可動側(右岸側の橋脚Ⅹ上)はアーマー鋼を用いた図1 2.1 2に示す支承で、高さ3.86m、重量68tで

ある。支承上部と支承下部との間の力の伝達は、支承線の中央部に空間が設けられているので、支承線の両端だけで行われる。したがって、塔が橋軸直角方向に固定されていることによって生ずる鉛直力と曲げモーメントが同時に作用する場合でも、支承線にすき間を生じない。塔支承は一般に塔からの鉛直荷重と固定モーメントのほかに、橋軸に対し直角方向に作用する全水平力をとる。その固定支承(橋脚Ⅴ上)は以上のほか、橋軸方向の水平力をもとる。塔のある橋脚上には、塔支承のほかに橋軸から6.3m離れた位置に、補剛桁を支持する外側支承が配置される(図1 2.3)。この支承は補剛桁のねじりモーメントのほかに、活荷重と橋軸直角方向の風荷重による鉛直反力をも分担する。外側支承がねじり荷重を受けて浮きあがるのを防止するため、架設処置により自重による正反力を外側支承に移す(1支承につき約1100t)。この支承の最大鉛直荷重は約2600tとなった。ライン左岸側の橋脚Ⅴ上の外側支承は、中間にテフロンすべり層を入れたNeotopf支承で、全方向に揺動と変位(10mm以下)が可能である。この外側支承では、わずかではあるが橋軸方向へ変位しうることが必要なため、この種の支承が用いられた。右岸側橋脚Ⅹ(塔は可動)上の外側支承も上記と同様、テフロンすべり層を用いたNeotopf支承が使用されているが、ここでは橋軸方向に比較的大きな変位が必要であるため、Neotopfの下に100mmφの針状ローラーからなるローラー組が配置されている。なお、この針状ローラー組と下部支承板とは特殊オイルの充填された箱形容器に納められている。橋端には上記の右岸橋脚上で用いた外側支承と同様のテフロンすべり層を用いたNeotopfnadel支承が設けられた。この支承は外側腹板から400mmはいたたジャイベの下に設置され、その最大支承力は約950t(1支承当たり)である。中間橋脚Ⅶ、Ⅹでは最大1298tの正反力のほかに、534tの負反力(いずれも1支承について)を受けるため、ペンデル支承が用いられたが、右岸側Ⅹ橋脚上では、橋軸方向の移動量が大きいので、ペンデル長さを7.0mにしたが、左岸側Ⅲ橋脚上ではペンデル長さを4.0mとした。橋軸直角方向の風荷重はライン右岸の橋台、中間橋脚およびライン左岸の端橋脚(Ⅶ)においてはウインドシューによって分担される。

3.7 高欄、伸縮継手、排水

3.8 検査用設備

補剛桁の外面の検査のために上・下流側に電動検査車が設けられる。補剛桁のボックス内部はすべての部分にはいるこ

とができ、各室の中には長さ 4.85m の広い通路が作られる。
 塔の内部とサドルは内部のはしごにより、また、塔の外側についてあとで特別の昇降足場が作られ、ケーブルに対してもあとでケーブル上をゴム製ローラーで走るゴンドラが設けられる。

4. 結 語

本橋の合計鋼重は 9 030 t で、その内訳は補剛桁 7 678 t、塔 436 t、ケーブル 505 t、支承およびサドル 188 t、高欄・伸縮継手・その他 223 t である。

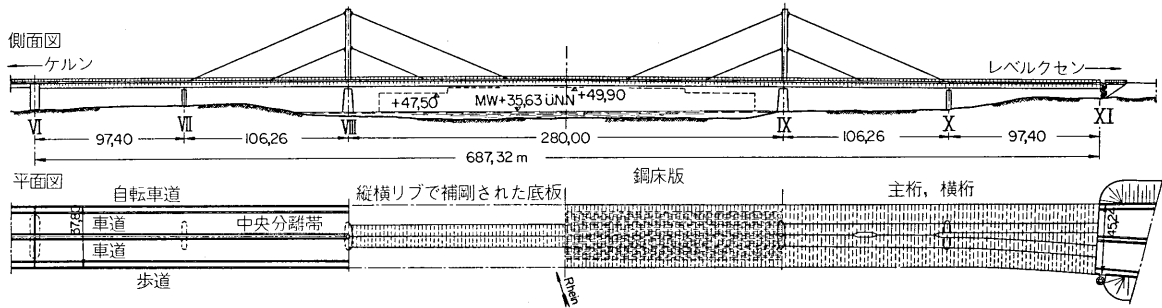


図 1 2.1 一 般 図

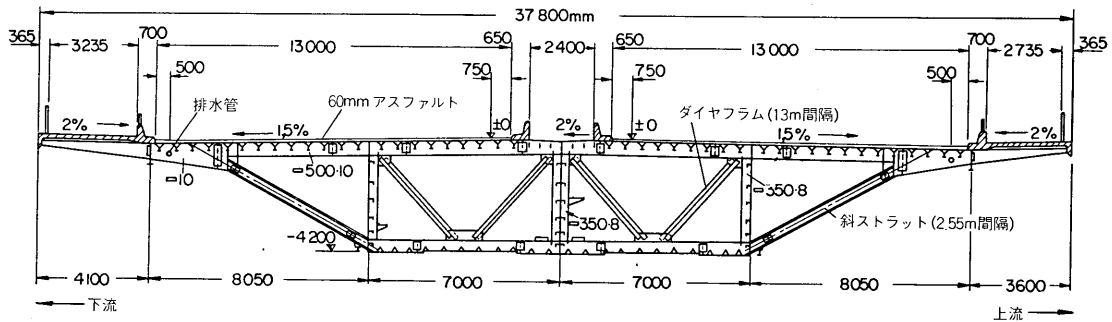


図 1 2.2 標準断面図

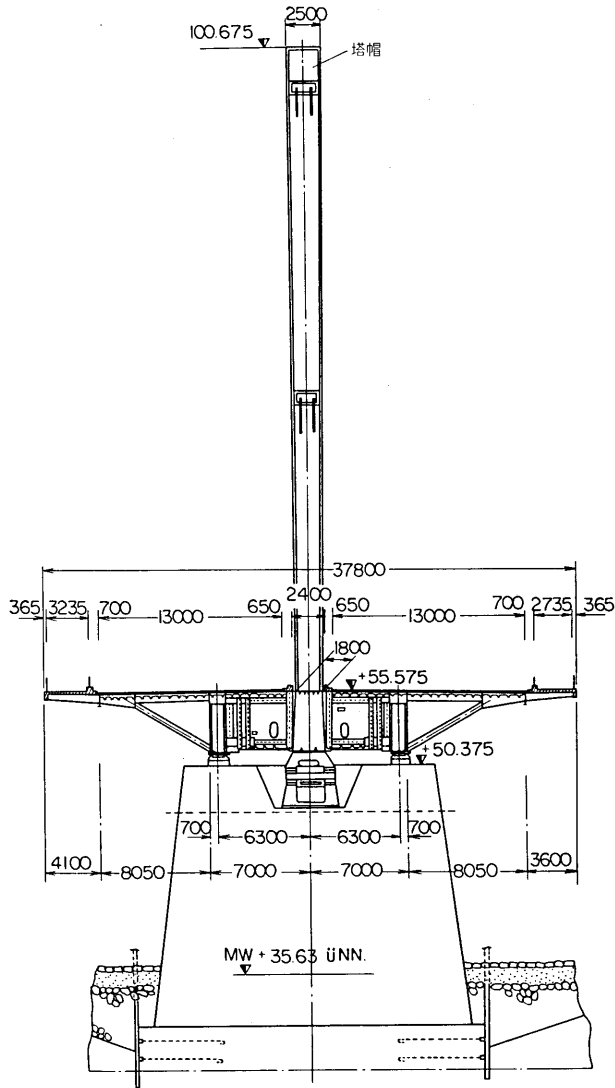


図 1 2.3 橋脚Ⅸ上の断面図

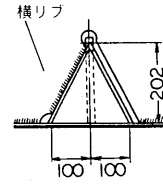


図 1 2.4 底板の縦リブ

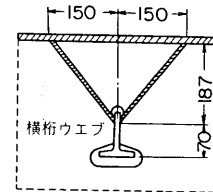


図 1 2.5 鋼床板の縦リブ

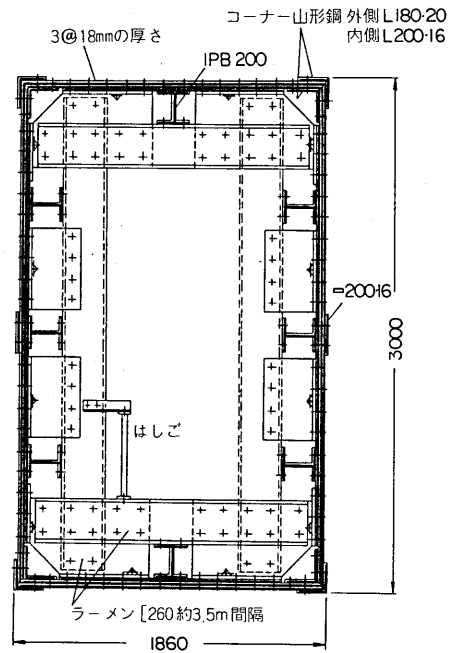


図 1 2.6 塔の断面 (路面高約 3.6 m)

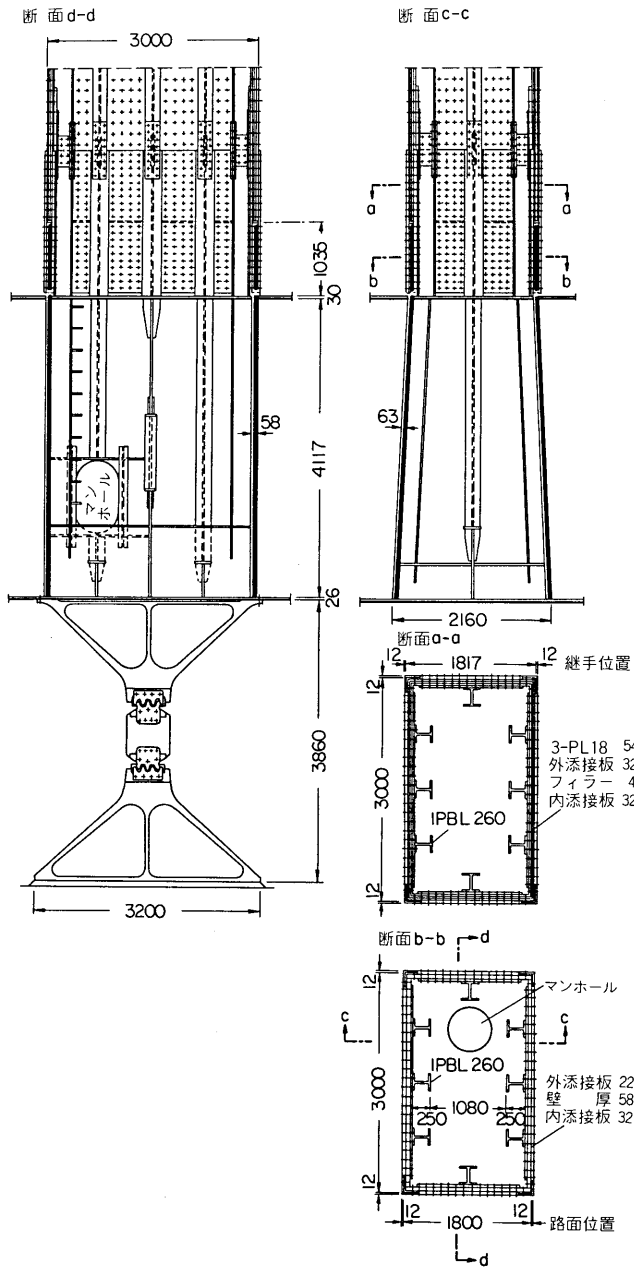


図 1 2. 7 塔脚部

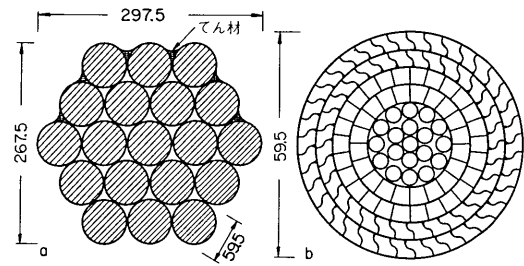


図 1 2. 8 主ケーブル断面(a)と個々のケーブル断面(b)

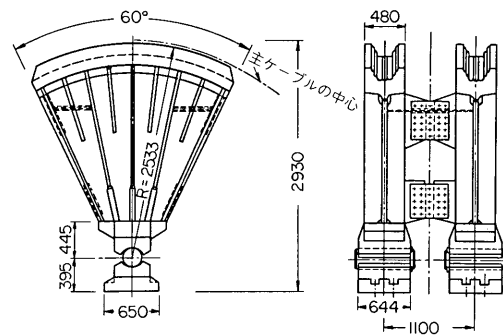


図 1 2. 9 主ケーブルのサドル支承

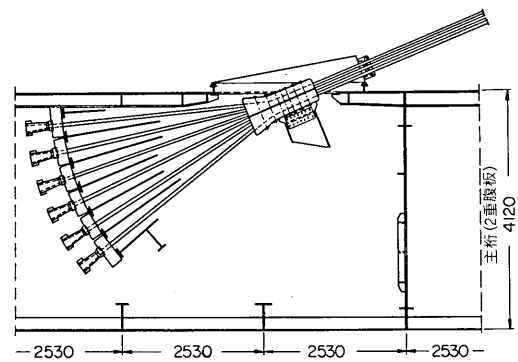
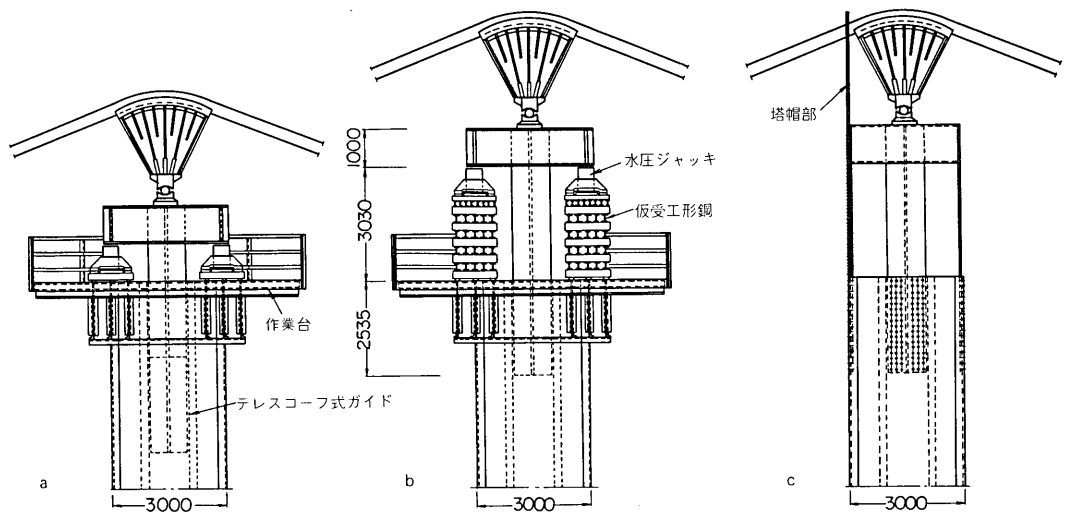


図 1 2. 1 0 中央主桁の位置のあけるケーブル定着部



a) おしあげ前の上段ケーブル

b) 押し上げ後の上段ケーブル

c) テレスコープ式ガイドを塔壁に取り付ける

図 1.2.1.1 上段サドル支承の受け台

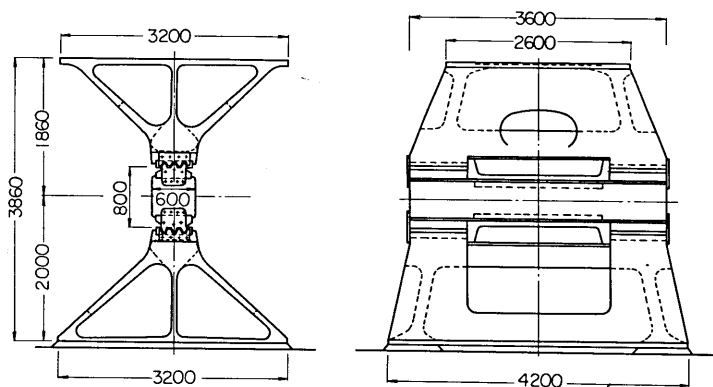


図 1.2.1.2 塔支承(可動)