

**Kurt-Schumacher-Brücke (Strombrücke im Zuge Nordbrücke
Mannheim-Ludwigshafen)**
(Kurt-Schumacher 橋)

著 者	誌 名							ページ	図 数	表 数	抄 録		査 読
E. Volke, C.H. Rademacher	1973, 4. Der Stahlbau, 1973, 5. 1973, 6.							97~105	計 66	計 8	伊藤 敏一		
								138~152			立命館大学		
161~172													
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。												

この論文はⅠ部(構造および計算)とⅡ部(工場製作および架設)とからなり, 著者はⅠ部(1973.4と5)がE.Volke, Ⅱ部(1973.6)がC.H.Rademacherである。Mannheim-Ludwigshafenの北橋(Nordbrücke)を, 一名, Kurt-Schumacher 橋というが, この一連の橋梁の主要部はここで述べる Ludwigshafen 側の河岸橋脚から Mühlauhafen 橋の伸縮継手に至る斜張橋である。以下, この文献に基づいて, 上部構造だけを対象として記述するが, 原文は表記の分類からもわかるように, かなり広範囲にわたり詳記されているので, 必要の際にはそれを参照されたい。

1. 橋梁構造

本橋は図 1.1.1 のように支間 $287.04 + 60.16 + 65.00 = 412.2\text{m}$ の部分と, 長さ 21.25m のそれに接続する突出アームとからなり, 全長 433.45m の橋梁である。この構造系はタワーが1本だけの非対称の斜張橋で, タワーはライン右岸橋脚上にあつて, 5本の斜張ケーブルを支持している。5本のケーブルのうち, 河川上の3本のケーブルは連続補剛桁の弾性支点となり, 陸上の2本のケーブルは中間橋脚上にあつて, 控えアンカーの作用をしている。タワーはA型橋門式のもので, 橋軸方向に自由に揺動できる構造である。ケーブルはこの塔頂から2方向に, 立体的に放射しており, これらは互いに傾斜した2平面内にあつて, 橋門内では2本の支柱軸上で支持されている。

この斜張橋の特徴としては, 傾斜ケーブルに平行ワイヤーストランド(Paralleldrahtbündel)を用いたことと, 補剛桁としての鋼桁(河川部スパン)とPC桁(陸上スパン)とを曲げに剛に連結していることがあげられる。

斜張橋のロープとして一般のロックド・コイル・ロープの

代りに, ドイツの長大橋として初めて平行ワイヤーストランドを使用している。タワー内にケーブルサドルを設けて, 平行ワイヤーストランドの方向を変えることは危険であるので, ケーブルを単一ザイル群に分け, それらを単一ストランドごとに塔頂内でアンカーできる特殊な構造を採用している。このためストランドがコンパクトに配置できるようになっている。

ライン右岸の側スパンにPC桁を用いた理由は, 控えケーブルを定着する橋脚(ⅥとⅦ)における負反力の発生を避けるためである。このようにすると, 鋼桁スパンが大きいかもかわらず, PC桁の自重が鋼桁のそれよりも大きくなり, さらに橋脚Ⅶ上での片持作用と, 控えケーブルの2つの定着橋脚におけるカウンター・ウェイト用コンクリートとにより, 上記の条件が満足される。また控えケーブルの定着パネルでは大きな軸方向圧縮力を受けるので, この範囲にコンクリート桁を用いると経済性が向上する。このPC桁はGrün u. Bilfinger社により, 下部構造と接続PC桁といっしょに施工されているので, ここではこれらを除外して, 鋼橋の部分だけを取り扱う。

1.1 補剛桁

補剛桁は構造高さ 4.5m (一定)の2箱桁からなっているが, その横断面形状は図 1.1.2 に示す標準断面と市電用オフランプのある断面とに区分される。標準断面はライン右岸の橋脚Ⅴからケーブル2の定着点Ⅲまでの間に用いられ, 橋梁の外縁間の全幅員は 36.9m となっている。この幅員には両側の歩道と自転車道, 2つの2車線道および中央部の複線市電軌道敷とが設けられている。各交通車線は鋼製ガードレールにより分離されている。2つの箱桁の幅は 7.8m で, 中心間隔

は19.0mである。ライン両岸にある側径間のPC桁は基本的にはこれと同じ断面形状である。

ケーブル定着点ⅢからⅡまでの横断面は51.9mにまで拡幅されている。そのため標準断面の外側にI形補剛桁が設けられ、拡幅の最大幅は片側にそれぞれ7.5mとなっている。ケーブル定着点Ⅱとライン左岸の橋脚Ⅰの間では、市電軌道部に5%以下のこう配がつけられ、橋脚Ⅰの位置では路面に、328mの高低差がついている。しかし全横断面は橋端に至るまで、せん断剛に結合され、一体構造として作用している。

2箱桁はケーブル定着点において、2ダイヤフラムにより相互に連結されており、このダイヤフラム間隔はケーブル傾斜角に従いが、鋼床版横桁間隔の3~4倍である。その中間には荷重分配用ダイヤフラムが配置され、2箱桁断面は1つのねじりに剛な集成断面となっている。この構造的処置によって、この複雑な構造系を簡単な曲げとねじりに剛な骨組構造として、中心荷重および偏心荷重に対して別々に解析することができた。もしこの付加的ダイヤフラムを用いなければ、複雑な格子桁系を立体的に解析しなければならない。

箱桁と充腹ダイヤフラムの腹板継手には高力ボルト摩擦接合が用いられ、また箱桁腹板と溶接された下フランジも高力ボルトを用いて接合されている。摩擦面にはサンドブラストがかけられ、Alkali-Silikat亜鉛粉塗料がぬられた。この塗料の影響を考慮して、高力ボルトの許容耐力を10%割引いて継手の設計が行われている。

1.2 鋼床版

車道部におけるデッキプレートの最小厚さを、縦リブ間隔300mmに対し14mmとしているが、これはアスファルト舗装の安全を配慮した施主の意向によるものであるが、縦リブとしては、車道部ではY形プロフィールが、また歩道および市電軌道部ではバルブプレートが用いられている。なお拡幅部の車道にもバルブプレートが使用されたが、これは拡幅の際の縦リブ追加が構造的に容易になるからである。Y形プロフィールは横桁との交差部において、その支点モーメントを分担するため局部的に平鋼で溶接、補強されている。横桁間隔は2.39mである。

1.3. 補剛鋼桁とPC桁との連結

補剛鋼桁のPC桁への移行点は、図1.1.1の縦断面図からわかるように、ライン右岸橋脚Ⅴの支承軸の河川側において、

この橋脚の前縁と一致している(図1.1.3参照)PC桁との連結構造を、下フランジの範囲で示すと図1.1.4のようで、鋼桁のフランジと腹板とはコンクリートの所要断面積に適合した寸法の強固な接触鋼板と、縦方向補剛材を介してPC桁と突合わせ接合されている。鋼断面では縦方向の合成力は箱の外縁近くに作用するが、それに接続するコンクリート断面では、応力はその板厚とダイヤフラムの厚さに、できるだけ均等に分布するようにしているため、上記の縦方向合力は方向変換をしなければならない。この変更は図1.1.4において横桁0と1との間で行われるとしている。すなわち、この領域では縦補剛材が補強され、この断面部分の重心が対応コンクリート断面の重心と一致するようにしている。またこの場合に生ずる変向力をとらせるため、横桁1の箱桁領域にダイヤフラムを付加的に配置するなどの処置が講じられている。なお鋼桁とコンクリート部との合成構造も図1.1.4に示されている。

鋼箱桁には全橋長にわたって、輸送可能な架設ブロックになるよう、縦および横方向に継手が設けられ、分割されるのが普通である。しかしPC橋と接続する本橋では、実際および構造上の理由からこの分割方針は適用できず、横方向継手だけを設けて分割している。

1.4 タワー

タワーの橋床面上の高さは71.5mで、2本の塔柱により最大20000tの支持力を伝達する。このA型橋門式タワーは下方に向かい直線的に広がり、市電の複線軌道がその間で適当なクリアランスをもって配置されている。塔柱は橋軸方向に見た断面寸法が非常に狭く、橋梁の有効幅の損失をできるだけ小さくするよう配慮されている(図1.1.3参照)

2本の塔柱は箱桁間の鋼床版に設けた切り欠き部を貫通し、橋脚Ⅴの支承台上のNeotopfの長方形支承の上にすね付けられて、塔柱が橋長方向だけに揺動できるようになっている。このゴム支承はTopf内のリブにより横方向には固定作用を生じ、これにより上記の横方向にスレンダーな塔柱の座屈安定が確保されている。

塔柱は長方形断面で、その長辺の中央の強固な補剛材によって断面は2室に分けられ、その1室には電動エレベーター(他方の柱の対応室にはそれに対するカウンターウェイトを納める)が導かれ、他の室には非常用はしごと踊り場が設けられている。

タワー上部では2本の塔柱の長手方向の壁面は、平行ワイ

ワイヤーストランドの定着を考え、内側にのびており、さらにそれぞれの室の中央に長手方向ダイヤフラムが配置されている（図1.1.3右を参照）。塔柱間にあるタワー前面は比較的薄い鋼板でふさがれ、それは塔頂部において2塔柱を相互にせん断剛に連結する。

橋床面より下方部分では、柱の横断面は横方向の鉛直ダイヤフラムによって2分されており、この中間壁面は橋門の内面上において縦方向壁面を貫通し、約10cm突出している。これはタワー橋門全体を、万一手持ち上げる必要が生じたとき、両塔柱を相互に連結するために利用できる。また支承台にはこの際に必要な水圧ジャッキの取り付けが考慮されている。

塔柱の壁面厚さは65mm以下で、横継手はメタルタッチとし、個々のブロックを上にも組立てた後、両側からの厚10mmの溶接継手が施工されている。

1.5 傾斜ケーブルと定着

傾斜ケーブルは全部で48本の平行ワイヤーストランドからなり、図1.1.1のケーブル1～5の構成は次のようである。ケーブル1、 $n=3 \times 2 \times 2=12$ ストランド、ケーブル2、 $n=2 \times 2 \times 2=8$ ；ケーブル3、 $n=1 \times 2 \times 2=4$ ；ケーブル4、 $n=1 \times 2 \times 2=4$ ；ケーブル5、 $n=5 \times 2 \times 2=20$ ストランド合計48ストランド。このストランドの原則的な配置は、図1.1.5のようであり、図1.1.6はストランドの横断面とアンカー用ソケットの縦断面を示す。なおストランドはすべて同一横断面である。1ストランド中の素線数は295本で、正六角形を形成するが、幾何学的理由からコーナー部で6本の素線が省かれている。

平行ワイヤーストランドの定着構造は図1.1.7のようである。アンカー用ソケットは2分されたファイラー板と圧力分布板上に置かれ、これらはアンカーバー（Ankerbarren）上に設置される。このアンカーバーは厚さ170mmのHSB55-C鋼版でできており、鋼桁内では強固な横ばりに支持される。なおPC橋の範囲では鋼横ばりからのケーブル力は接触によってコンクリート断面上に伝達される。タワー頂部ではスペースの関係上、横ばりを配置することができないので、アンカーバーは縦方向ダイヤフラムに強固に溶接されたブラケットで支持されている。

1.6 その他

桁の伸縮量はかなり大きいので、車道部ではローラ式のDEMAG伸縮装置が、また歩道部と市電軌道部では引き出し

板構造のものが用いられている。このうち市電軌条の伸縮継手は5%の縦断こう配があるため、設計に特別の工夫がなされている。

鋼上部構造の重量は表1.1.1のようである。

表1.1.1 構造重量表

(単位t)

構造区分	St52	St37	St35	Gs62	HBS 55-C	St 140/ 160	その他	合計
補剛桁	4280.3	391.4	0.5					4672.2
タワー	808.8	36.0	0.4				0.3	845.5
ケーブルと付属品	15.6	17.3		40.8	42.3	655.2		771.2
小計	5104.7	444.7	0.9	40.8	42.3	655.2	0.3	6288.9
ガードレール		157.4						157.4
高欄		42.5						42.5
排水設備		11.5	55.1				10.1	76.7
伸縮継手	47.9	22.7						70.6
支承							37.3	37.3
ケーブルなどの設備		11.4					13.9	25.3
PC領域のアンカー横ばり	56.3	0.1						56.4
合計	5208.9	690.3	56.0	40.8	42.3	655.2	61.6	6755.1

2. 設計計算

設計計算の節に示されている項目は次のようである。

2.1.中心荷重を受ける主構造の計算；2.1.1.一般；2.1.1.1.構造系；2.1.1.2.断面力を求める実際の処置；2.1.2.プレストレスされた構造系における持続荷重の作用；2.1.3.1.次理論による活荷重；2.1.4.Ⅱ次理論；2.1.4.1.イテラチオン法に関する一般事項；2.1.4.2.付加荷重を用いる方法；2.1.5.温度の影響；2.1.6.支点沈下；2.1.7.クリープと収縮；2.2.偏心活荷重に対する主構造の計算；2.2.1.一般；2.2.2.箱桁壁面におけるせん断応力；2.2.3.断面そりによる曲げ応力；2.3.鋼床版の計算；2.3.1.一般；2.3.2.横桁；2.4.荷重分配用ダイヤフラムの計算；2.5.ケーブルの水平分力の補剛桁への導入；2.6.安定照査；2.7.傾斜ケーブルの設計；2.7.1.静的引張試験；2.7.2.疲労試験、

以上のようにかなり広範、かつ詳細に記述されているので、内容は原文によらねたい。

3. 製作

歩道を除く主鋼構造はDüsseldorfのHein Lehmann AGにて製作された。構造設計においては、運搬および架設の特殊事情が考慮された。架橋現場は港内であって船の接岸が容易なため、船輸送が考えられ、比較的大きく、重いブロッ

クが製作輸送された。そして低水敷の長さ約287mの桁橋はわずか10パネルに分割された。

工場に近いNeuss港内の荷積み替え場、仮置き場および仮組立場が利用できたので、ここが工場と現場との好ましい中継地となった。それは架設現場付近は狭くて仮置き場も、仮組立場も確保できない状態だったからである。Düsseldorfの工場からNeuBの仮置場まではトラック輸送され、そこで長さ3.3m以下、最大重量7.1tのブロックに組立てられた。

長さ1.1mまでの塔柱の長方形箱断面は、最初長さ方向にけずり代をつけて工場製作され、あとから両端を理論寸法にフライス盤で仕上げられている。このようにしてメタルタッチ面の適合性が保証された。タワーはヒンジ支持のため、圧縮応力だけしか受けず、継手断面には引張応力を生じないので、接合部は内外から、のど厚10mmの気密溶接を施工している。

4. 架 設

水面上では舟航を妨げないため、橋桁をキャンティレバー架設するのを原則として計画されている。この主スパンの架設要領は図11.8のようである。

この節に示されている項目は次のようである。

4.1 補剛桁第1パネルの架設； 4.2 タワーの架設； 4.3 ケーブルの架設； 4.4 その他の架設； 4.5 架設計算と測定

このうち4.5の架設計算では、電子計算機を用いて、種々の架設段階における応力と変形が求められている。これらは $t=0$ の時点で、持続荷重下の完成系の最終状態から出発して、系を解体しつつ計算されている。またケーブルカの測定

について報告され、3種の測定結果からケーブルの振動数測定による方法が最良であるとしている。なお1564tの荷重による載荷試験も行なわれている。

5. 平行ワイヤー・ストランド

平行ワイヤー・ストランドを実際に作る方法の開発と、防食問題（架橋地点は化学工場が近くにあるので重要）の解明を目的に、広範な予備実験が行われている。ここで用いたストランドの設計荷重は818tで、これに対し引張破壊荷重が約2000tのSt140/160鋼7mmφワイヤー295本のストランドが使用された。

防食については、アメリカで開発された、ガラスファイバーで補強したアクリル樹脂で被覆する方法では、Mannheimの大気環境に対し不十分であるとして、ストランド内部の有効な防食法を研究した。StuttgartのOtto-Graf研究所での耐候性試験に基づき、活性顔料としてタール混合物の代わりに亜鉛クローム・ポリウレタン(Zinkchromat-Polyuretan)が添加された。結局実施された防食要領は次のようである。

- (i) 亜鉛クローム酸塩-ポリウレタンによる内部防食
- (ii) 対向するように巻かれた2つのポリエステル格子あみ(Polyester-Gittergewebe)によるストランドの被覆
- (iii) 最小4mm厚さのポリウレタン層による耐候性外層
- (iv) 紫外線に対する安定性と外観を改善するため、架設後に行う、ストランドの外表面塗装

なお、本橋で実施された平行ワイヤーストランドの製作法はDüsseldorfのUnitecta社（合成樹脂材料）とHein Lehmann A.G.の協同開発によるもので、西ドイツ国および外国のпатентを申請している。

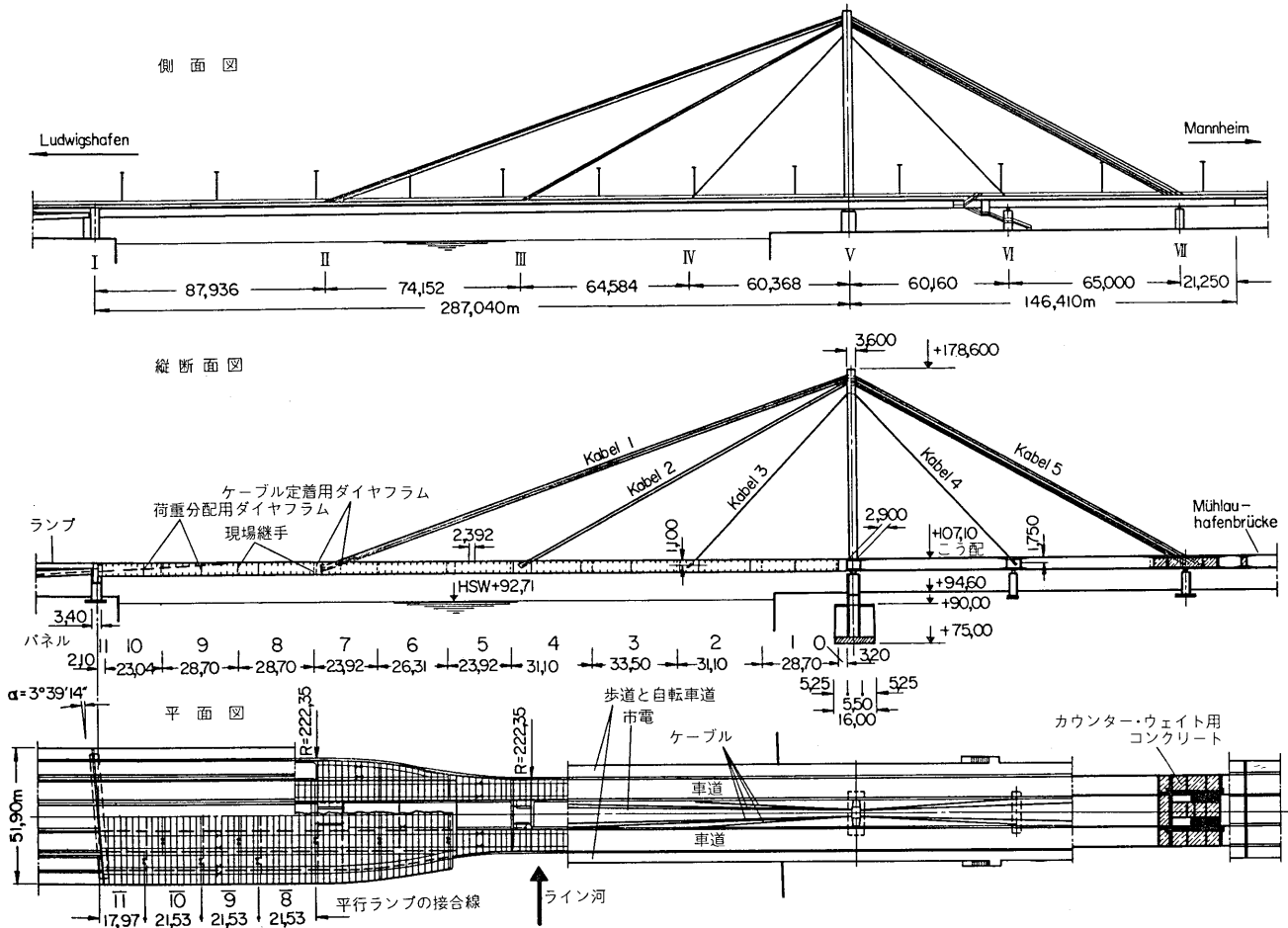


図 1.1.1 斜張橋の一般図

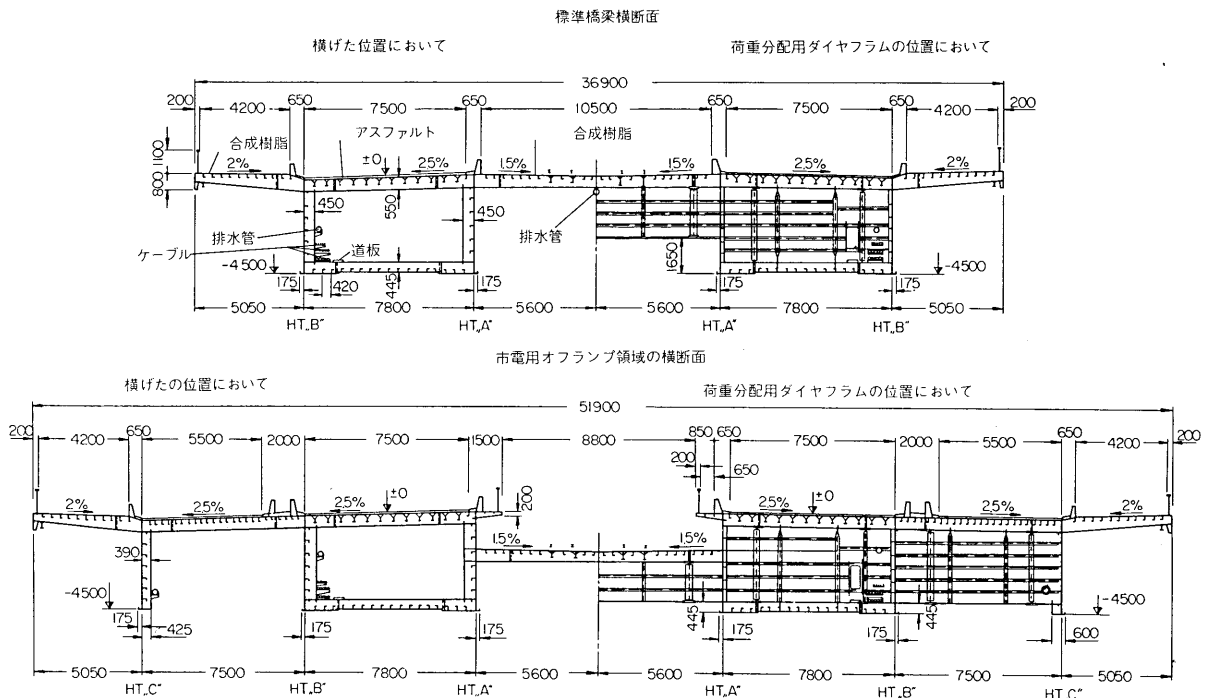


図 1.1.2

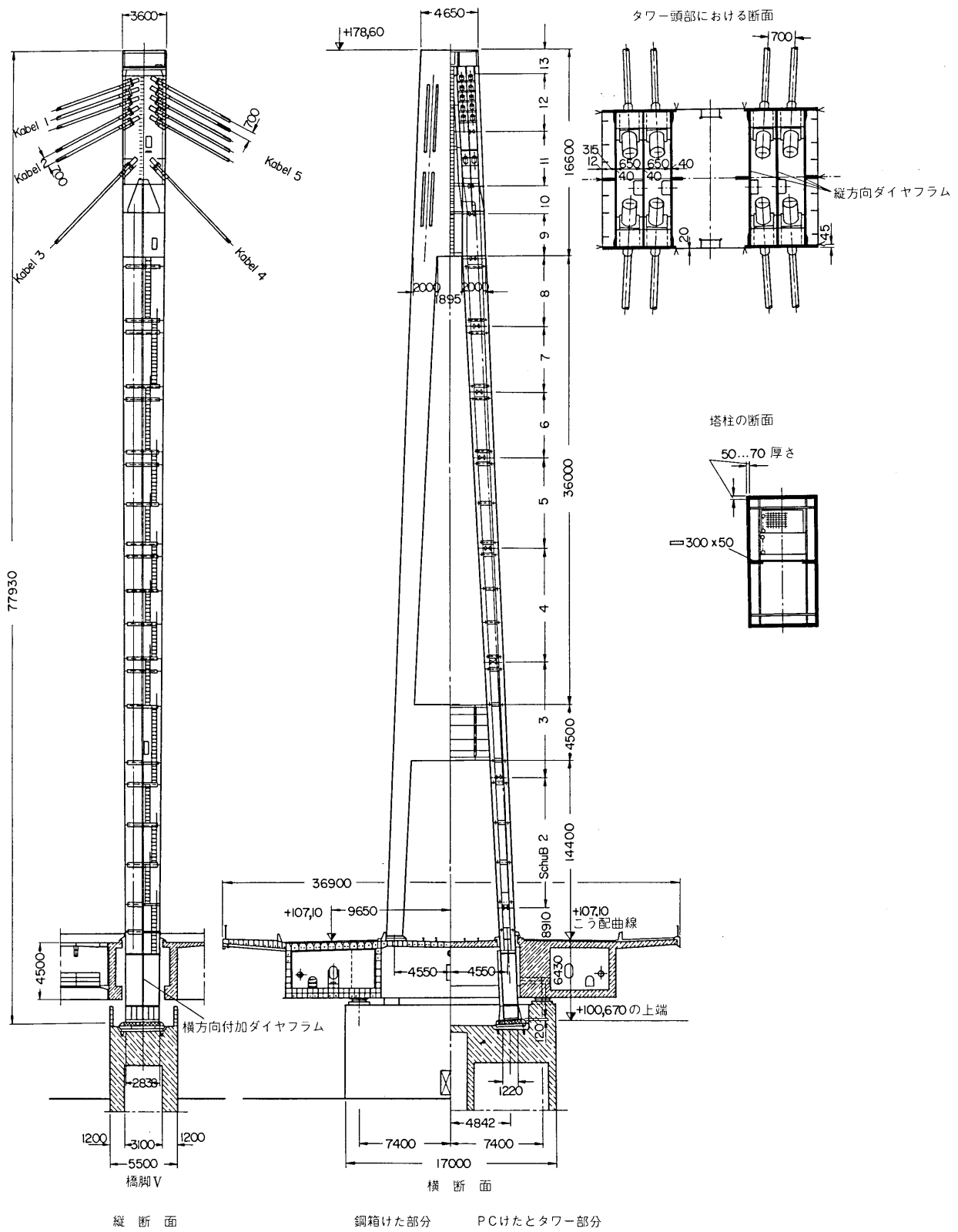


図 1 1.4 タワー構造図

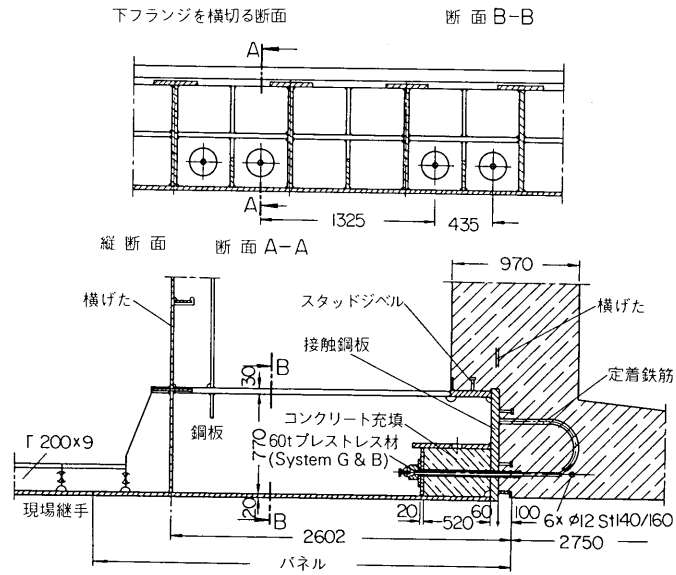


図 1 1.3

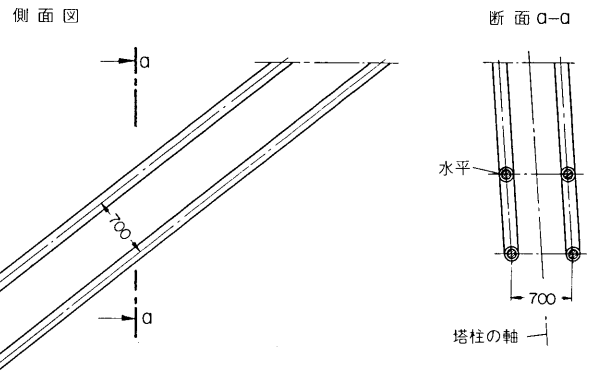


図 1 1.6

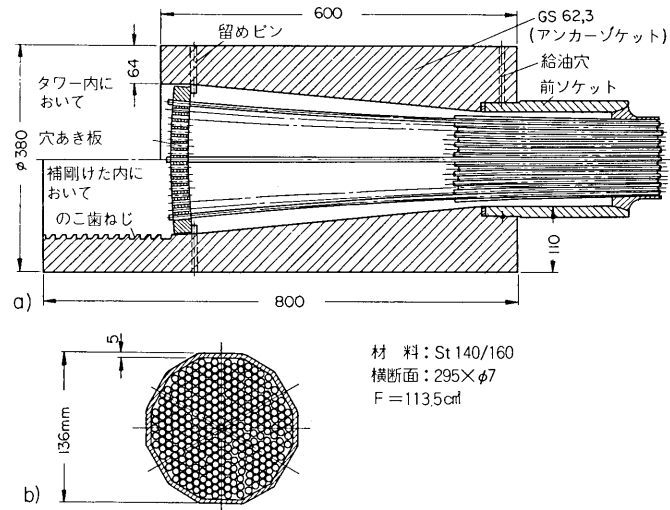
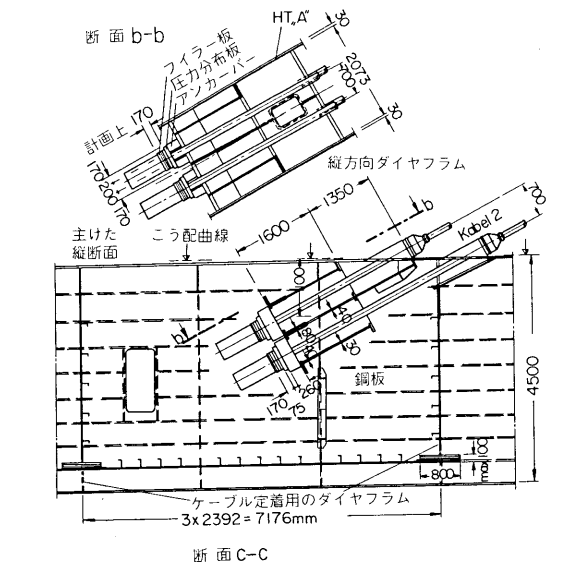
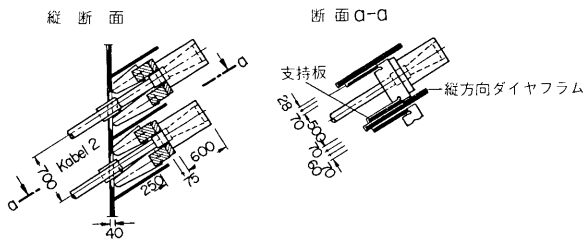


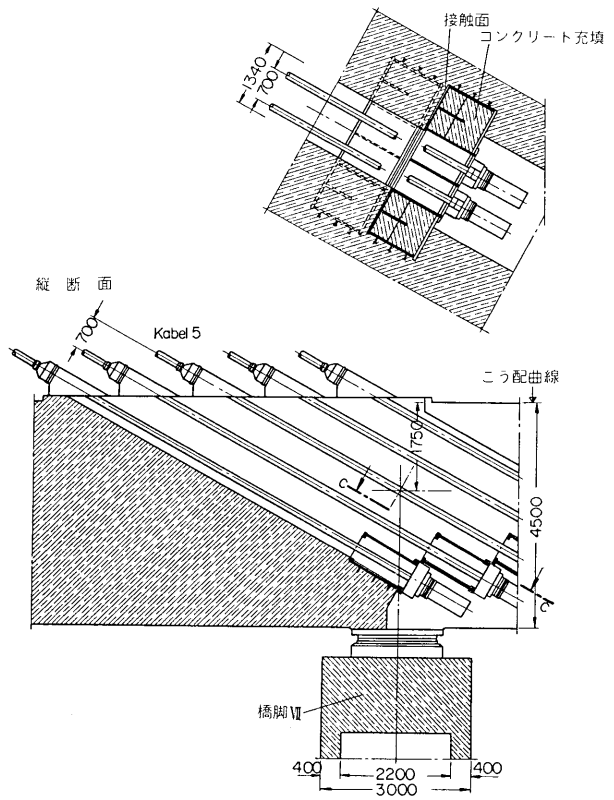
図 1 1.5 ストランド群の原則配置



(a) 鋼桁側定着



(c) 塔側定着



(b) PC桁側定着

図 1.1.7 平行ワイヤーストランドの定着

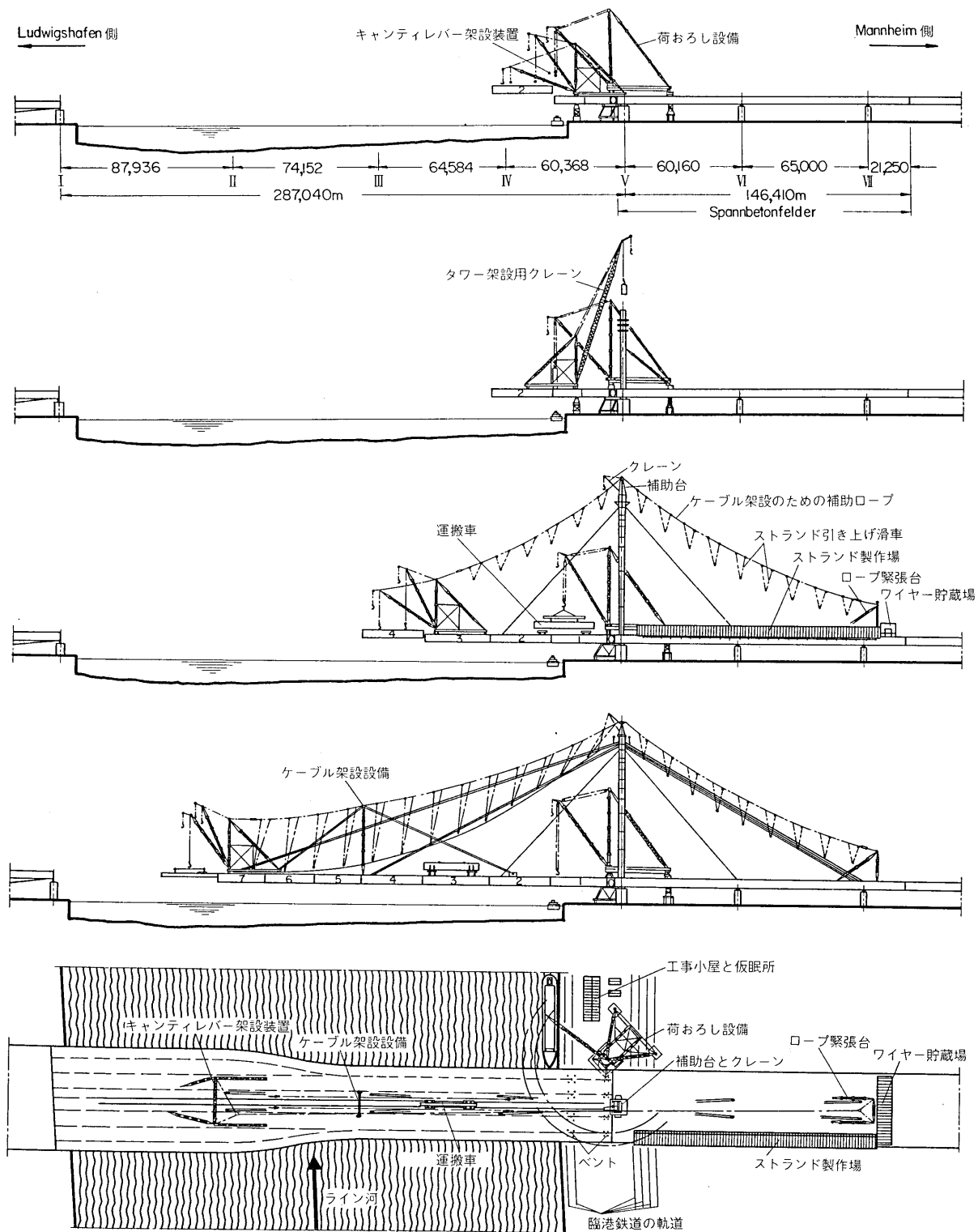


図 1 1. 8