

**Die Brücke über die Norderelbe im Zuge der Bundesautobahn Südliche  
Umgehung Hamburg Teil III Statische Berechnung des Brückenüberbaus**  
(ハンブルグ南郊バイパス自動車道路のノルトエルベ橋 III編：上部構造計算)

著者	誌名							ページ	図数	表数	抄録		査読
H. Aschenberg, G. Freudenberg	Der Stahlbau, 1963, 9.							281 287	10	2	佐岡暖也	成瀬輝男	
											川崎重工業	石川島播磨重工業	
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. 構 造 系

計算は，全ての構造部分の応力が，適用可能な解析方法および補助手段で十分正確に計算できるように分解され，簡略化された。主桁系 (Haupt tragsystem) は，橋軸面でケーブルによって支持された多径間連続で，一部分ねじり剛性のある格子構造として計算された。鋼床版は，局部荷重をうけもつために縦リブ，横リブで補強されており，計算上はねじり剛性のない格子構造としてあつかわれ，さらに主桁系の格子構造としての作用もうけもつものと考えられている。応力が外力のみによる個々の構造部分（例えば揺動支柱，支承，アンカー桁，ケーブルおよび塔）は，それ自体のみで計算された。

## 2. 主桁系の計算方法

格子構造と考えた主桁系は，図 2 3. 1 に示すように 3 本の主桁と 18 本の横桁からなっている。2 枚の腹板をもつ中央主桁（中桁）は，全長にわたりねじり剛性があり，ケーブルアンカー位置および塔位置の横桁も同様にねじり剛性があるものと考えられた。また，主桁は，橋脚，揺動支柱（中間支柱）および橋台で完全に支持され，ねじり回転に対しては自由という仮定のもとに考えると，それらの不静定次数は 58 となる。この計算（58 次不静定格子構造）をそのまま行なうと非常に労力を要するので，主桁系を一本のねじり剛性のある斜張連続桁に置換している。なお，荷重は，連続格子構造としての荷重分配計算から求めている。

### 2.1 斜張格子構造の荷重分配

H.Homberg の方法を適用しており，ねじり剛性のない横

桁は，4 枚の主桁腹板で弾性支持され，各支間の剛性は一定として考えている（図 2 3. 2）。また，Homberg/Weinmeisterの方法で，横桁数に応じて荷重分配係数を考えている。この格子構造の中央径間は，(1)ケーブルの定着点が鉛直方向変位の弾性支持点にはなっているが，ねじりモーメントは吸収できないこと，(2)同じくこの定着点の横桁は他の中間横桁に比して非常に剛性が大きいこと，などから特別の検討を要した。計算は次のように分けて行っている。

- a) 斜張ケーブルのない 4 剛支点上の対称主桁系についてのたわみ計算
- b) 中央径間のケーブル固定点の横桁 2 本を考慮した a) の系についての格子計算
- c) 連続格子桁の計算で，ケーブル作用点を連続格子の弾性支持として考慮した計算（1 次格子構造）
- d) 中間系における横桁の考慮，すなわち塔とケーブル作用点間，ケーブル作用点間の横桁を考慮しての計算（2 次格子構造）

これらの格子計算のための系を図 2 3. 3 に示す。なお，荷重分配計算より求めた値を表 2 3. 1 に示す。

### 2.2 連続斜張橋としての主桁系の計算

全体の構造系は図 2 3. 4 に示すように考えられている。このケーブルをもった 10 次不静定系の弾性方程式を解く電算プログラムがこのとき完成されてなかったので，従来の方法で計算している。代表的な影響線を図 2 3. 5 に示す。また，外桁については，i) 軸力による応力は全桁断面に等分される，ii) 隣接径間の载荷によって生じる応力は常に全断面に等分される，iii) 着目した径間の载荷によって生じる応力は桁に等分されない，といった仮定のもとに補足計算を行なっ

ている。

### 2.3 主桁系における偏心とプレストレス

断面の軸力偏心の影響は、不静定系の別の計算で行われ、モーメント・アームの決定時には縦桁勾配は考慮しているが、活荷重による変形は省略された。斜張橋においてはプレストレスの量の選択の幅は広く、上手な選択は断面の有利な決定に有用である。プレストレスは、架設方法を考慮してあらかじめ計算し、最終的なプレストレスを構造計算の結果と照査技師の比較計算の結果によって検討したところ、その断面寸法を基本的には変えることなく、2、3か所について僅かな変更を要したのみであった。

許容プレストレスは、図 2.3.6 に示す構造系で、10の断面量（8つの支点モーメントおよび2つのケーブル力）が一定値を取るという条件のもとで計算された。

### 2.4 主桁の応力照査

応力照査は、全ての荷重状態と決定断面（特に継手および断面変化点）について全桁および単独主桁について行われた。鋼床版部分、底板およびケーブルアンカー部分については、特別な照査が行われた。

### 2.5 主桁系（格子構造）へのケーブル力の導入

ケーブル力の水平方向成分は、アンカー桁の鉛直隔板により鋼床版と下フランジに伝達される。鉛直成分は、約 4.2 m 幅の箱形断面の横桁により、中間支柱および格子構造に伝達される。ケーブル力導入領域の力の伝達機構を図 2.3.7 に示す。この場合の荷重分配として、(1)定着隔板に対する定着桁の位置関係に基づくテコの原理による荷重分配、(2)断面 I における配分荷重に比例した荷重分配を考え、主桁の腹板および下フランジに対しては(1)、鋼床版に対しては(2)の荷重分配が採用された。後の測定では(2)による荷重分配に近いことが確認された。定着隔板の連結は架設時に隔板端部のリベットを最初にかしめ、他のリベットは一部荷重が作用した後にかしめている。計算では、すべてのリベットが等分に荷重をうけもつものとしている。

## 3. 主桁系に対する照査技師の比較計算

Rheinstahl Union Brückenbau A.G. で行った構造計算の審査および新形式であることを考えて、Homberg 博士がHamburg 土木局から依頼された照査技師として格子理論

による比較計算を行った。計算は図 2.3.1 に示す構造系でケーブル作用点および塔部の横桁のねじり剛性を考慮せずに行われた。また、この5径間連続格子構造の計算は、斜張ケーブルと塔の固定を考慮した中桁と考慮しない外桁を分けて2つの互に独立した連続桁とし、横桁は斜張ケーブルと中央径間の範囲にある11個の横桁のみを考慮に入れている。代表的な影響線を図 2.3.8 に示す。なお、構造物の最終設計として、両方の計算結果を比較検討し、両者の計算値の大きいもので検討された。終局的には、主桁カバープレートが数か所で増厚もしくはその長さを延長された。

## 4. 鋼床版の計算

ねじり剛性のないリブをもつ鋼床版は、Pelikan/Esslingerの理論で計算された。横リブの有効幅は、E.Chwallaの式によって求められた。また、鋼床版へのケーブル応力導入部分については、局部応力を減少させるために中間リブを入れ、特別な計算が行われた。ここでもやはり格子理論による比較計算が照査技師により行われた。

## 5. その他の構造計算

### 5.1 塔の計算

塔の計算は、主桁（中桁）上の上側部分および主桁と橋脚間の下側部分にわけて行われた。上側部分については、橋軸方向においては上部はケーブルによる弾性支持、下端は主桁に弾性固定とし、また、横断方向には上方は支持されず、下端は支持ラーメンに剛固定されていると考えた。また、設計は、DIN 4114 10.2 に従って $\gamma$ 倍荷重を用いた2次理論により行われた。下側部分については、横断方向には横桁と安定支柱をもつ三脚ラーメンの中央脚と考えられた。ラーメンの断面力は横方向および橋軸方向に分けて計算された。

### 5.2 ケーブルの計算

ケーブルの応力は、主桁系の計算によって決められ、格子計算の場合と比較検討された。上方のケーブルは勾配の関係から下方のケーブルに対比して死荷重・活荷重応力とも大であるので、桁に対するプレストレス導入は主として下方のケーブルを緊張して行なった。なお、計算は関係諸規定によって行なったが、安全率は振幅との関連を考慮して高められ、用いられたワイヤー ST 150鋼の許容応力として $\sigma = 5.12 \text{ t/cm}^2 \sim 5.55 \text{ t/cm}^2$ （通常安全率 2.5 の場合、 $\sigma = 6.0 \text{ t/cm}^2$ ）が採用された。

### 5.3 ねじり抵抗材 (Torsionsverband) の底板との接続部

箱桁の底板は、ねじり抵抗材としての下横構との接続部で、フランジ応力 ( $P_o$ ) をスムーズに伝えるように、股状に形成された。なお、股状板 (Hosenblech) 部の構造計算は図 2.3.9 に示すような系で考えられた。

## 6. 振動計算

系の振動計算は、中央径間部に 1 つの波をもつ対称曲げ振動の場合に約 0.65 の振動数、中央径間に 3 つの波の場合に約 2.1、さらに逆対称の場合に約 2.1、ねじり振動の場合に約 1.3 および 2.1 であった。振動数は Rayleigh-Ritz のエネルギー法によって計算された。

## 7. 変形計算

対称活荷重による最大たわみは約 350 mm で、最大支間の 1/500 である。偏載荷重による最大ねじれ量は 1.4 % である。また、SLW60 トレーラー 1 台のみを最も不利な位置に載

荷した場合、約 0.3 % の横断勾配変形が生じた。載荷実験では、計算たわみの約 95 %、計算横断勾配変形の約 70 % の値が測定された。

(Ⅳ編 10/1963 に続く)

表 2.3.1 斜張連続桁の計算のための荷重  
(1/2 橋梁に対する値)

	SLW60 (DIN 1072)	等分布活荷重
31 m 端径間	68.9 t	5.38 t/m
64 m 端径間	49.8 t	4.89 t/m
中央径間		
塔部	38.2 t	4.75 t/m
1/4点部	40.8 t	4.75 t/m
ケーブル作用点部	29.6 t	4.75 t/m
中央部	40.3 t	4.75 t/m
80 m 端径間	51.5 t	4.91 t/m

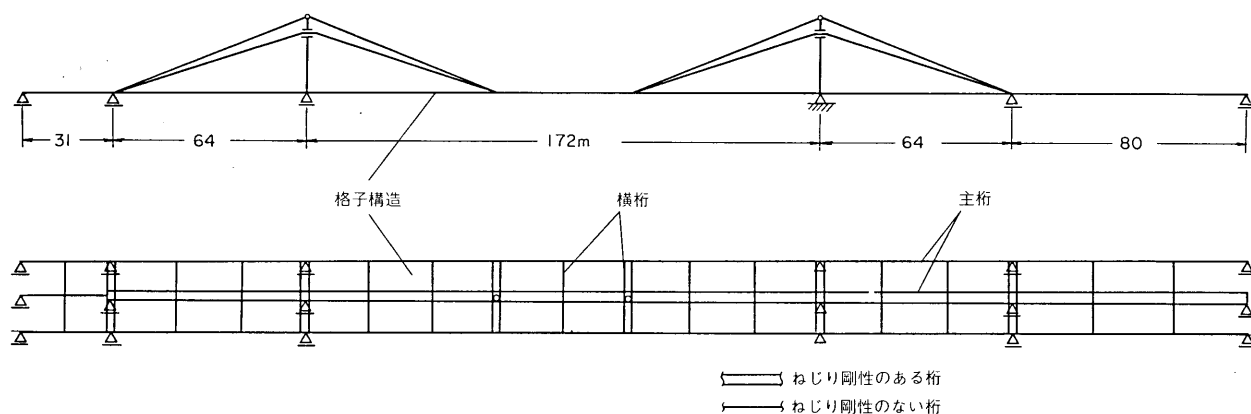


図 2.3.1 斜張格子構造の一般構造系

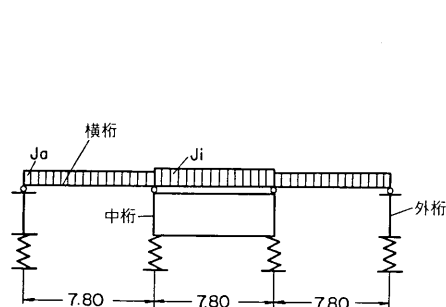


図 2.3.2

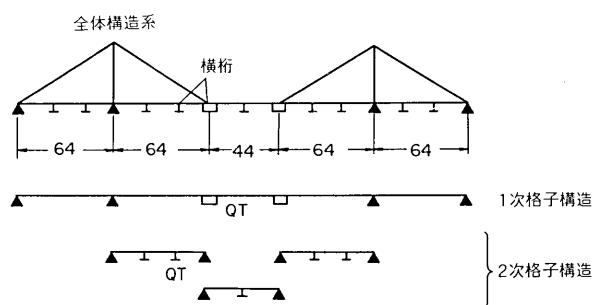
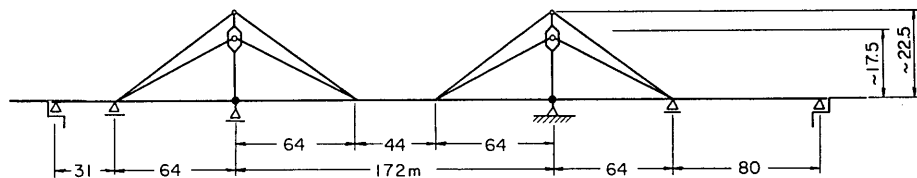


図 2.3.3 中央径間における格子計算のための系



2 3.4 連続斜張桁の構造系

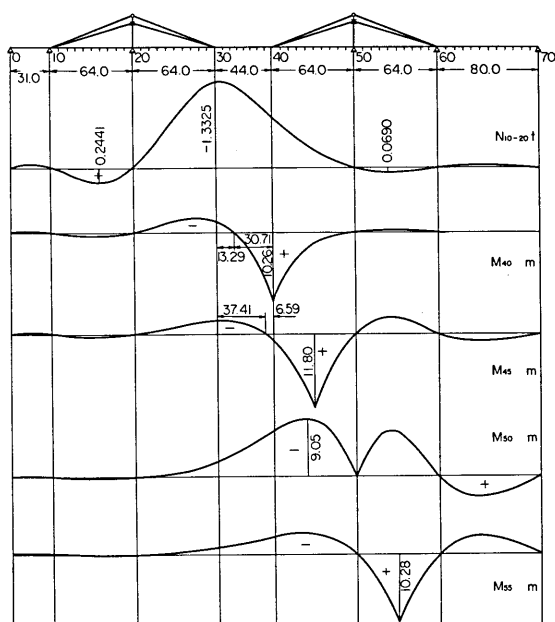


図 2 3.5 連続斜張桁の影響線

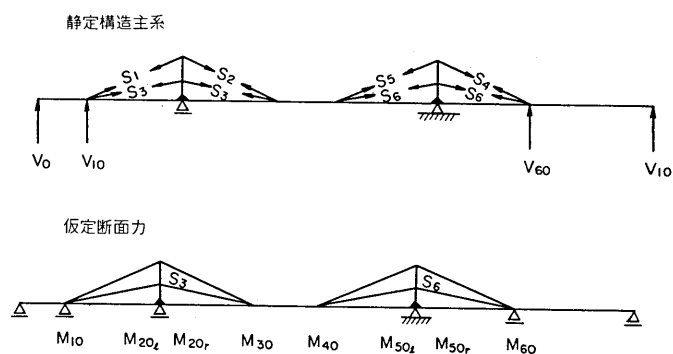


図 2 3.6 許容プレストレスの計算のための構造系

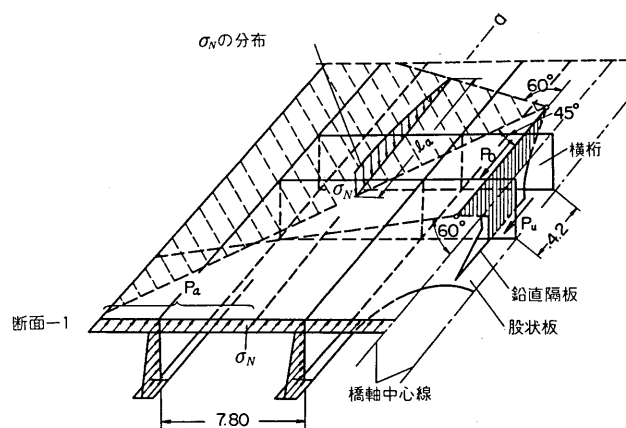


図 2 3.7 ケーブル力導入領域の力の伝達機構

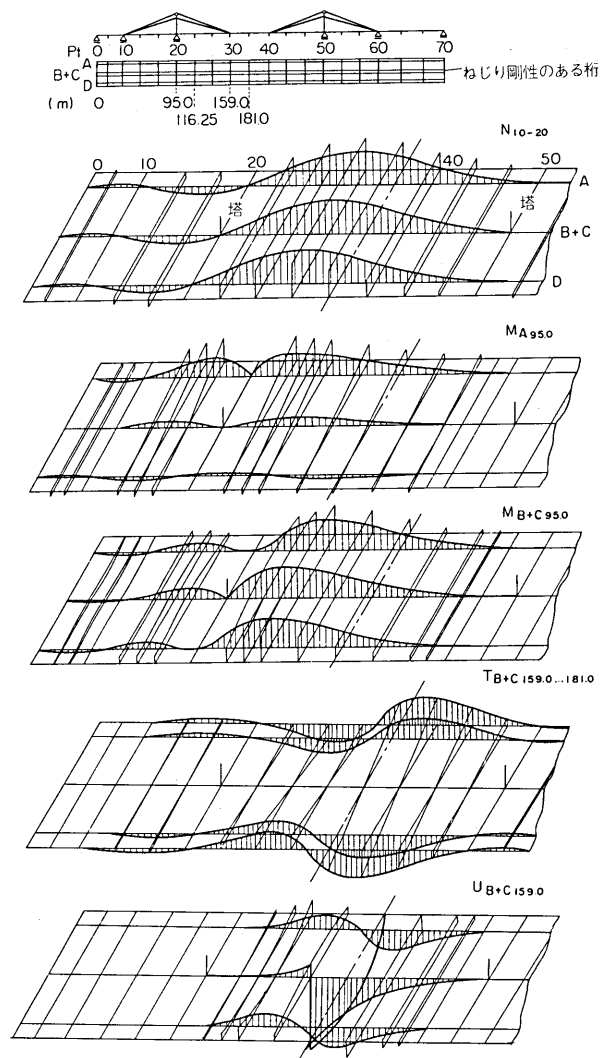


図 2.3.8 格子構造の影響線

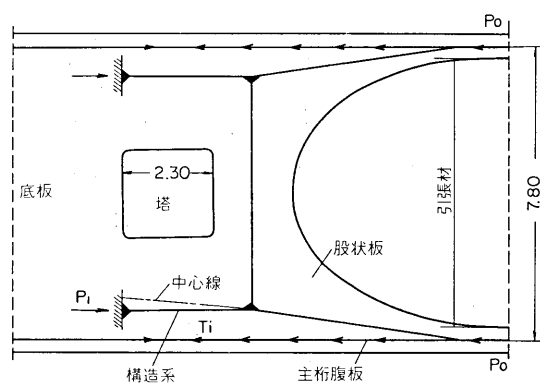


図 2.3.9 股状板の計算のための構造系