

**Spannungs-und Schwingungsmessungen an der Brücke über die
Norderelbe im Zuge der Bundesautobahn Südliche Umgehung Hamburg**
(ハンブルグ南郊バイパス自動車道路のノルトエルベ橋の応力と振動測定)

著者	誌名							ページ	回数	表数	抄録		査読
H.K. Havemann	Der Stahlbau, 1964, 10.							289 / 297	10	12	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. 課題

1961～1963年にかけて1面ケーブル斜張形式として完成した本橋は, この斜張形式における最初の長大橋梁である。そこで, 上部構造の静的動的挙動を調べ, 計算結果と比較, 確認する必要があった。

2. 構造

本橋(図2.5.1)は, 橋長441m, 幅員30.74m, 中央径間172mで, 西側径間95m, 東側径間144mは中間橋脚から64mの位置で鋼製中間支柱(ペンデル支柱)で支持されている。補剛桁は桁高3.00mの一定で, 箱形中桁と両側のI形外桁を横桁で連結した格子構造の鋼床版である。中間橋脚上の塔は車道面より53.10mの高さで, 17.70mと22.90mで支持された上下2本のケーブルは車道位置でひとまとめにし, 塔から64mの位置で中桁にアンカーされている。

3. 測定の基礎

3.1 静力学的計算

静的計算においては, 複雑な構造を分解あるいは簡略化している。これらは十分合理的なものであったが, これとは無関係に行った照査技師による比較計算と異なった結果になっている。この両者の計算法が原則的に妥当かどうか, また実応力と計算結果との相違を確認する必要があった。

3.2 振動試験

固有振動数と振動形および減衰, とくに振幅の大きい振動時の減衰を測定している。振動は400tの台船を平鋼で橋下

に吊し, 潮の干満により, 荷重が約100tになると平鋼が切断して橋に変位・振動を与える方法をとっている。この場合の初期変位は中心荷重で約50mm, 偏心荷重で約100mmであり, 計算最大たわみの約10%である。

4. 測定計画

測定は以下の項目について行っている。

- 4.1 格子桁のモーメントおよびケーブル張力の影響線と横方向荷重分配の測定
- 4.2 重車輻走行による動的挙動の測定
- 4.3 振動減衰と振幅の関係の測定
- 4.4 台船および起振機による固有振動数と振動形の測定
- 4.5 走行車輛による静的・動的変位, および台船荷重による静的変位の測定

5. 実験体制

5.1 測定器具

測定はEbner 工学博士と西ドイツ国鉄BZAが行った。鉛直および水平振動はDB Hottinger-Schwingwegaufuehmer Type B2, 静的および動的ひずみはひずみゲージで測定している。また, Maihak ゲージ, 水準器も用いている。

5.2 測定点

図2.5.1に示すように, 測定点は橋梁の東側半分を集め, 計算値との比較に適した場所に配置された。ケーブル張力はケーブル収納箱から約2m上方の位置(No.31～34)で測定している。この場合, 各ケーブルは10本のロープから形成されているが, 全部のロープにひずみゲージを貼付け, その平均値を採っている。

6. 荷 重

6.1 影響線測定のための荷重

トレーラー付トラック6台(全重量202t)および100tまで増加する台船荷重を用いている。

6.2 動的荷重

重車輛を高速で走らせている。また、路面上に厚板をならべ、その上も走行している。

7. 振動励起

概略計算による基本振動数は0.9 Hz以下であり、国鉄の起振機で励起させることは困難であったので、台船荷重によった。台船は横桁0, 17¹の主桁Aおよび橋軸中心に順次吊した。高次の振動は国鉄の起振機で振動させた。

8. 測定結果

8.1 静的計算の影響線測定

ひずみ測定結果より荷重1tに対する応力 σ として、各主桁、横桁およびケーブル張力の影響値、影響線を整理している。その結果、計算値(照査技師)と測定値はよく一致しているが、中央径間における外桁(A, D主桁)は計算値が測定値より大きい値となっている。主桁に対する応力影響線図の代表例を図2.5.2に示す。この誤差は計算仮定に起因するものである。計算ではケーブルアンカーおよび塔部の箱形横桁のねじり剛性を無視し、主桁B, Cよりなる箱形中桁のみのねじり剛性を考慮した3本主桁の格子構造として計算している。横桁のねじり剛性の外桁(主桁A, D)への作用は小さく、外桁の荷重軽減は6%以下であり、鋼床版を各桁間で分離したことによる影響が大きく現われている。荷重分配は、対称荷重の場合には計算値と比較的一致しているが、大きな非対称荷重の場合には計算値より小さい。ケーブル張力の影響線は計算値とよく一致している。

8.2 車輛の動的作用

車輛走行による動的応力 $\text{dyn } \sigma$ と静的応力 $\text{stat } \sigma$ との比、すなわち振動係数 $\varphi = \text{dyn } \sigma / \text{stat } \sigma$ を求めている。トラック千台が走行した場合、下フランジの振動係数($\text{stat } \varepsilon = 0.07\%$)は、23 km/hのとき $\text{max } \varphi = 1.08$, 44 km/hのとき $\text{max } \varphi = 1.17$, ケーブルの振動係数($\text{stat } \varepsilon = 0.05\%$)は

$\text{max } \varphi = 1.023$ である。また、路面上に敷いた厚板上を走行した場合には、下フランジで $\varphi = 1.48$ ($\text{stat } \varepsilon = 0.050\%$), ケーブルで $\varphi = 1.35$ ($\text{stat } \varepsilon = 0.055\%$)となっている。実験荷重が大きくなると $\text{stat } \sigma$ が大きくなり、一方、振動係数 φ は小さくなっている。したがって、標準的な振動係数は小さな荷重で行った本実験の測定値以下である。厚板無しで約50 km/hの全通行荷重による振動係数は $\text{max } \varphi < 1.03$ ($\text{max } \varepsilon = 0.6\%$)となっている。走行荷重の塔への影響は小さく、橋軸方向の振幅は $a_L = \pm 0.15 \text{ mm}$ で、橋軸直角方向は $a_q = \pm 0.6 \text{ mm}$ 以下の振幅である。

8.3 振動測定

8.3.1 振動数

対称曲げ振動の1次振動数(台船切断による)は $f_0 = 0.62 \text{ Hz}$, 高次振動数(起振機による)は $f = 1.99 \text{ Hz}$, $f = 2.49 \text{ Hz}$ である。

8.3.2 固有振動形

図2.5.3に振動形を示す。高次曲げ振動にねじり振動が連成している。振幅の単位は1 mm/Mpである。

8.3.3 塔の振動

塔の最大振動数は横桁0を起振機で偏心起振した場合、橋軸直角方向で $f = 3.2 \text{ Hz}$ となっている。また、台船切断による実験では、横桁0の中桁に吊した場合 $a_L = \pm 0.04 \text{ mm}$, $a_q = \pm 8.0 \text{ mm}$, 横桁0の外桁に吊した場合 $a_q = \pm 3.7 \text{ mm}$, 横桁17¹の場合 $a_L = \pm 0.7 \text{ mm}$ の最大振幅を示している。

8.3.4 減衰

台船切断実験による補剛桁、ケーブルの対数減衰率 ν と振動振幅の関係を図2.5.4に示す。予想されたように振動振幅が大きいほど、減衰率 ν も大きくなっている。この傾向は可撓性に富む斜張橋や吊橋の耐風安定性に対して重要な意味をもつものである。

9. 総 括

広範な応力と振動測定結果を図表で示している。応力は測定値と計算値を比較しているが、測定値は計算値とよく一致しているが一般に小さい値となっている。車輛走行実験では、固有振動形は得られていない。

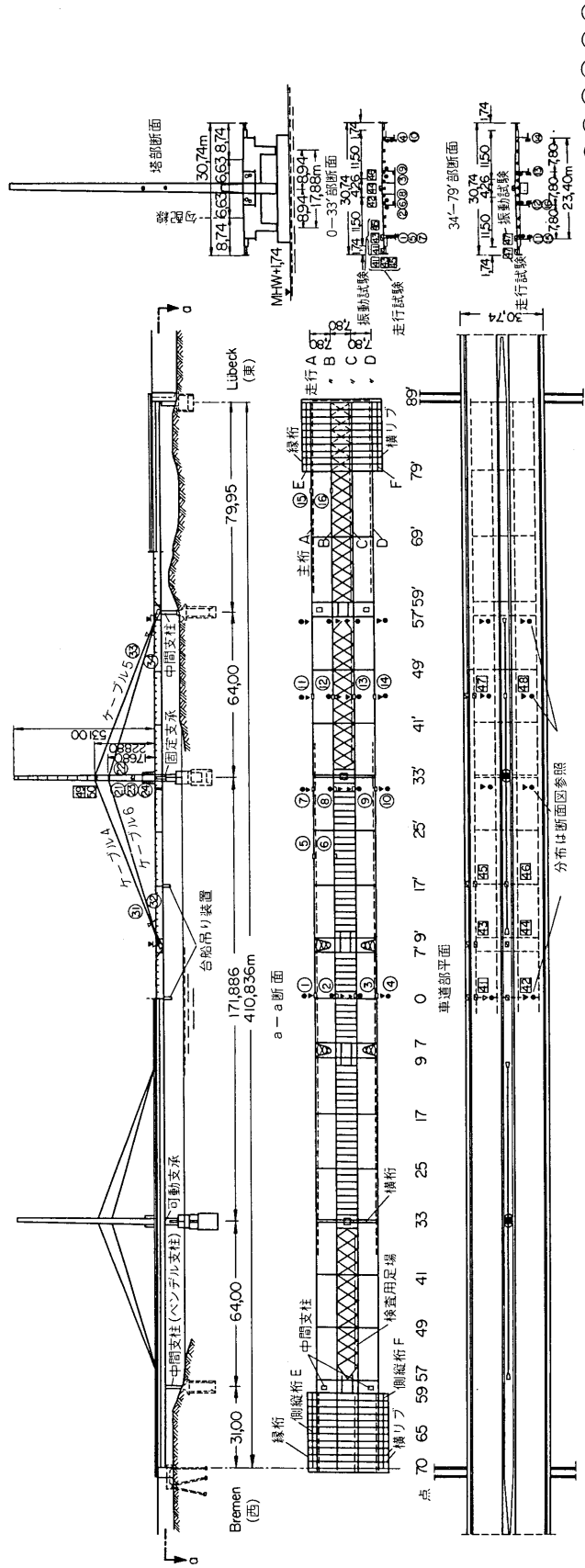


図 2.5.1 測定位置

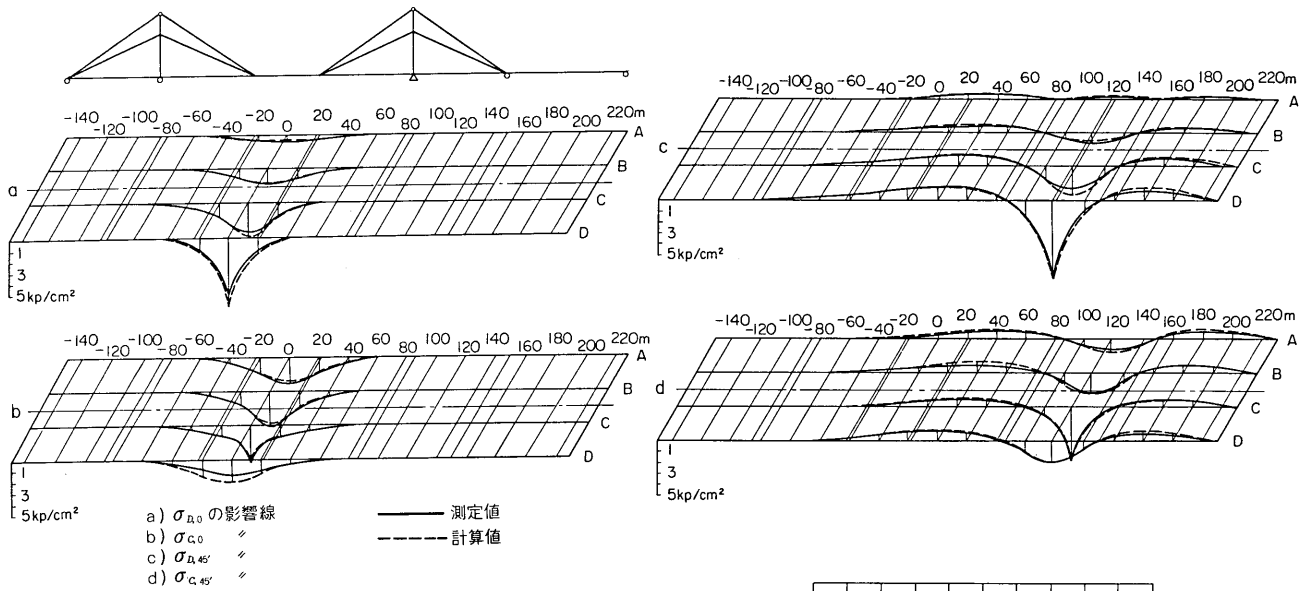


図 2.5.2 $\sigma_{i, k}$ の影響線

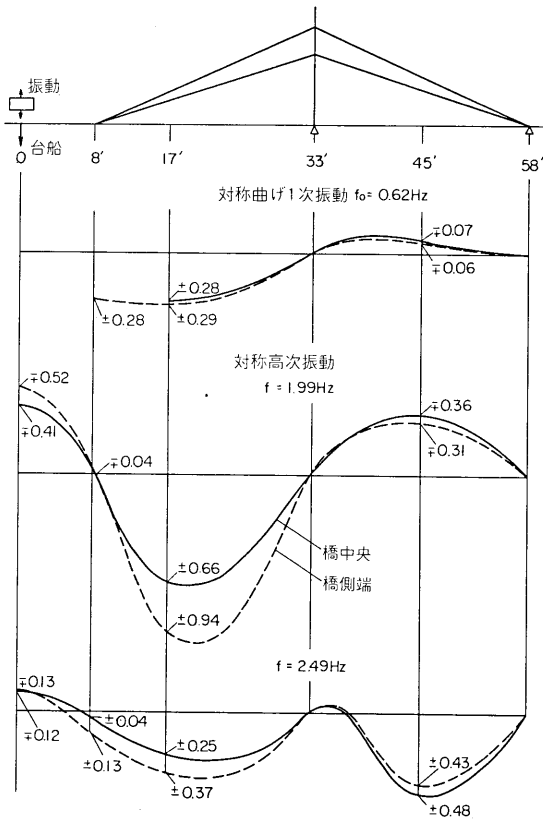


図 2.5.3 振動形

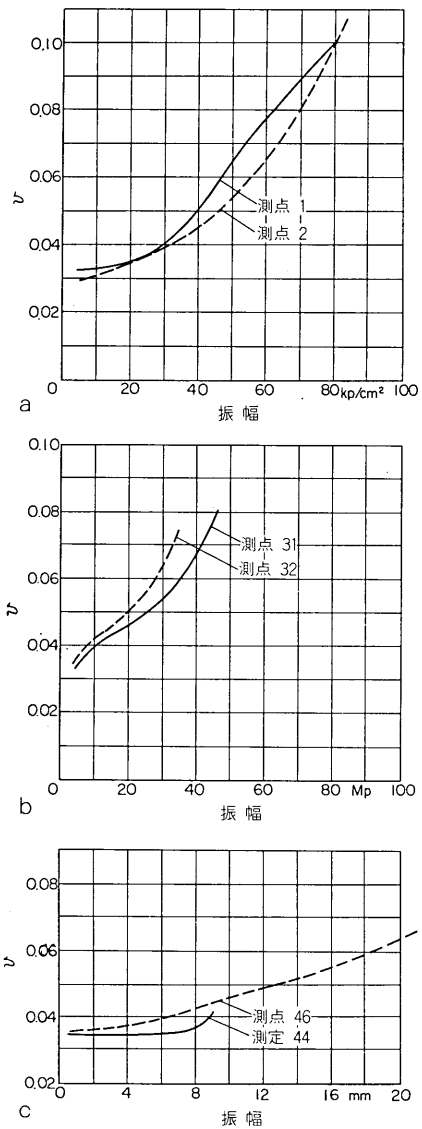


図 2.5.4 対数減衰率