

Die Seilverspannung der Autobahnbrücke über die Norderelbe-Bericht über Versuche zur Dauerfestigkeit der Drahtseile

(ノルトエルベ高速自動車道路橋のケーブルに関するワイヤーロープの疲労試験報告)

著者	誌名							ページ	図数	表数	抄録		査読
H.K. Havemann	Der Stahlbau, 1962, 8.							225 232	12	3	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

1面ケーブルの斜張橋は本橋がはじめてのものであり, 上部構造およびケーブルの動力学的作用などはこれまでに研究されていなかった。そこで, 静力学および動力学計算を実験研究で補ない, 特にケーブルに用いるワイヤーロープの耐久性をできる限り実際の条件に近い状態で調査・確認する必要があった。

2. 構造

本橋の一般図を図 2 0.1 に示す。桁高は全径間一定の 3.00m で, 箱形中桁と両側の I 形外桁が横桁により格子構造として連結されている。中間橋脚上の塔にて車道より 17.68 m と 22.88 m の高さで支持されている上下 2 本のケーブルは, 車道位置で誘導金物 (Umlenkschelle) によりひとまとめにされ, 塔より 6.4 m の位置で中桁にアンカーされている。各ケーブルは, $\phi 72$ mm ワイヤーロープ 10 本からなり, 図 2 0.2 に示すように各 5 本 2 層の矩形断面に結束されている。ケーブル自由長の 1 か所をケーブルバンドで束ね, 他の部分では, ロープ間のみぞに永久塑性人造ゴムのパテをつめている。

3. ロープ

3.1 種類と構造

本橋に用いられたロープは冷間引抜加工による円形ワイヤーとフォームワイヤーから形成されたロックドコイルロープで, 公称引張強度は 150 kg/mm^2 である。ロープの直径を 72mm としたのは, 張力, 本数, 緊張装置, 結束方法などを考

慮したものである。ロープの構造は図 2 0.3 に示すように, 1 本の円形ワイヤーを芯にしてそのまわりを環状に, 円形ワイヤーが 3 層, くさび形ワイヤーが 2 層, Z 形ワイヤーが 2 層で形成されている。ワイヤーは総計 185 本で, 断面積は 3607 mm^2 である。

3.2 製作と検査条件

ワイヤーに対する条件は以下のとおりである。円形ワイヤーの引張強度の最大値は 170 kg/mm^2 。個々のワイヤーの破断強度は, 確められた平均値との偏差が 5%~10% の間にあること。くさび形および Z 形ワイヤーについて求めた強度 (平均値) は, 円形ワイヤーについて求めた強度よりそれぞれ 10%, 16% 以上小さくしてはいけないこと。円形ワイヤーとフォームワイヤーの破断伸びは, それぞれ 3%, 3.8% 以上であること。降伏点は破断強さの 75% 以上あること。以上がその条件である。

ロープに対しては求めた破断荷重が理論破断荷重より 8% 以上大きくしてはいけない。ケーブルの理論的な静的破断荷重に対する安全率は少なくとも 2.5 が要求されている。また, 振幅やせん断力の影響を考慮して, 振幅が最低 1500 kg/cm^2 で, 活荷重の最低 60% を含む上限負荷のときに, せん断力 (例えばケーブルサドル上) が作用する中でロープは 200 万回の荷重変化に耐えるよう要求された。ロープの許容せん断力は, ロープを直接スチール上においた場合 1.0 t/ロープ , 柔らかくて腐食に強い材料からなる中間層にロープをおいた場合 2.5 t/ロープ と制限し, ロープと受台の間で圧力ができるだけ一様に分布するようにした。

4. ロープの試験

4.1 ワイヤー

ロープを形成する各層のワイヤーに関して、ロープ加工前と加工後のワイヤーの降伏点、引張強度、伸び、縮み、曲げ、ねじれ試験を行っている。降伏点、引張強度は加工前の方が大きく、破断伸びは加工後が大きくなっている。縮み、曲げ、ねじれについては両者の差があまりない。

4.2 ロープの破断荷重

φ72mmのロープの破断荷重として、St 150の公称引張強度より求めた理論破断荷重は541tであり、ロープに加工する前のワイヤー破断荷重を総計した調査破断荷重は576tである。なお、2回のロープ破断試験（ロープ長2.8m）による真の破断荷重は516t、512tであった。

4.3 弾性係数の測定

理想的な直線ロープの活荷重下における弾性係数は、試験機で振動を与えて測定し、 1655 t/cm^2 となった。測定結果を図2.0.4に示す。橋梁上部構造の静的計算においては、ロープのたるみ、プレテンション、活荷重などを考慮して理論的弾性係数に修正を加えて用いた。常時荷重におけるロープのクリープについては、測定や経験をもとにして0.1mm/mロープの割合で加算している。

4.4 耐久試験

平均応力ならびに振幅の大きさ、ロープの材質・構造・直径・収縮力、摩擦、結束方法およびせん断力がロープの耐久性に及ぼす影響について試験している。試験条件はできる限り実際の状況に適合するよう、特に試験に用いるロープの長さを長くして、せん断力が実状に近くなるよう工夫している。試験手順は以下のようである。

- ① 模型試験機による測定方法とせん断圧装置の試験。
- ② ロープ破断記録装置の試験。
- ③ 試験機の動力学の実験範囲の再検査。
- ④ 荷重繰返し数200万回の耐久試験。ロープ長 $L=2.7\text{ m}$ 、自由長 $\ell=1.78\text{ m}$ 、せん断力与える。
- ⑤ 荷重繰返し数200万回の耐久試験。ロープ長 $L=2.7\text{ m}$ 、自由長 $\ell=5.46\text{ m}$ 、せん断力与える。

⑥ 荷重繰返し数200万回の耐久試験。ロープ長 $L=6.4\text{ m}$ 、自由長 $\ell=5.46\text{ m}$ 、せん断力与える。

①～③は既存の試験機（ワイヤーロープ用の模型引張試験機）を用いることに対する検定、改良を加えるための試験、④と⑤は今までの疲労試験の諸結果と比較するための試験、⑥は長さ6.4mの試験ロープを用い、できるだけ実状に近い条件で行う試験である。

疲労試験では上限荷重 $P_o=185000\text{ kg}$ 、下限荷重 $P_u=130000\text{ kg}$ 、繰返し速度毎分125回である。これよりロープの応力は $\sigma=5130\text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_u=3605\text{ kg/cm}^2$ となり、振幅は $2\sigma_a=1525\text{ kg/cm}^2$ となる。また、ケーブルサイドにて作用する垂直方向の力に対応して、実験⑤、⑥では特別なせん断圧装置により 1.9 t/cm のせん断力をロープに与えている。なお、 1.9 t/cm のせん断力は $P=130\text{ t}$ のときに与えているが、 $P_o=185\text{ t}$ にロープを引張ったときに生じるせん断力との差異はほとんどない。

疲労試験中に起こったワイヤーの破断を連続して記録し、特に内部のワイヤー破断に対しては聴覚的電気的方法で破断音を記録して、ワイヤー破断と時間（繰返し数）との関係を調べている。また、実験数を確認した。ロープの温度上昇も測定したが、実験結果にはなんら影響を及ぼしていない。実験④～⑥におけるワイヤー破断位置と発生数を図2.0.5に示す。実験ロープNo.6の方が短いロープで行った実験④、⑤よりも諸結果が特に良好であったが、これより実際橋梁に使用するロープの耐久性についての明確な結論を引出すことはできない。しかし、実験⑥の方が実際の使用条件に本質的に似かよっていることより、実際のロープの安全性はもっと高いことは保証される。

実験④と⑤では、ロープの端部にワイヤーの破断が集中しているが、これはソケットの入口におけるロープ剛毛（Seillesen）が特に傷つきやすいことを示しており、ロープ剛毛は根もとまでいちように鋳かためる必要がある。また、ワイヤー破断が同じ個所に集中しているのは、各ワイヤー間の摩擦によるものと思われる。特にロープの外側の方の層が弱く、これがロープの耐久性を損なうものと思われる。

疲労試験の結果、全体からみて本橋に使用するロープは課せられた技術的諸要求を満足し、安全性を十分保証しているといえる。

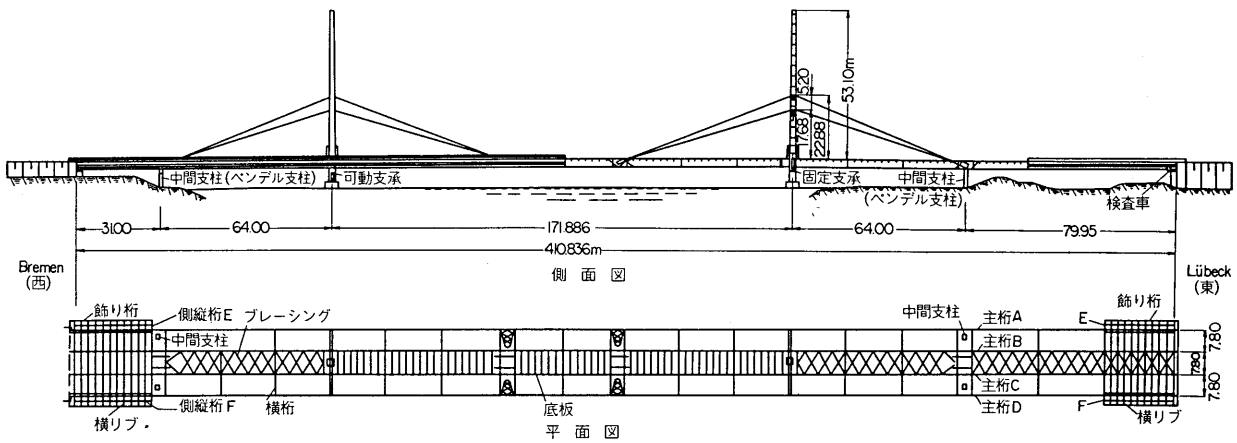


図 2.0.1 Norderelbe 橋の一般図

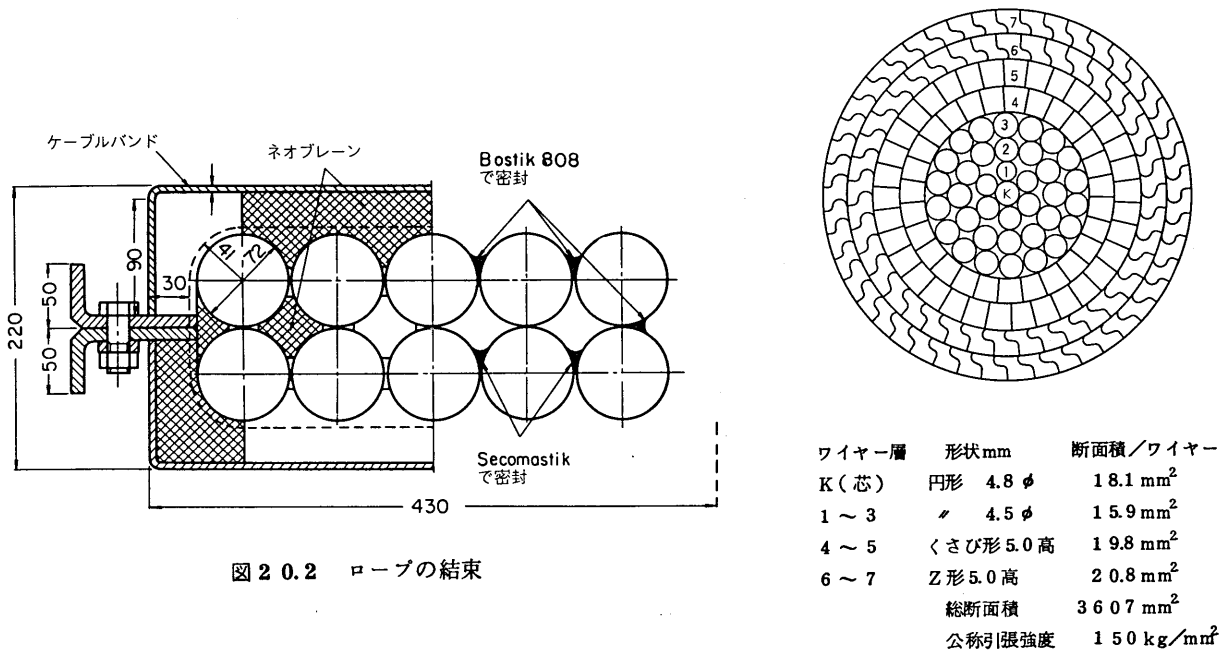


図 2.0.2 ロープの結束

図 2.0.3 ロープの断面

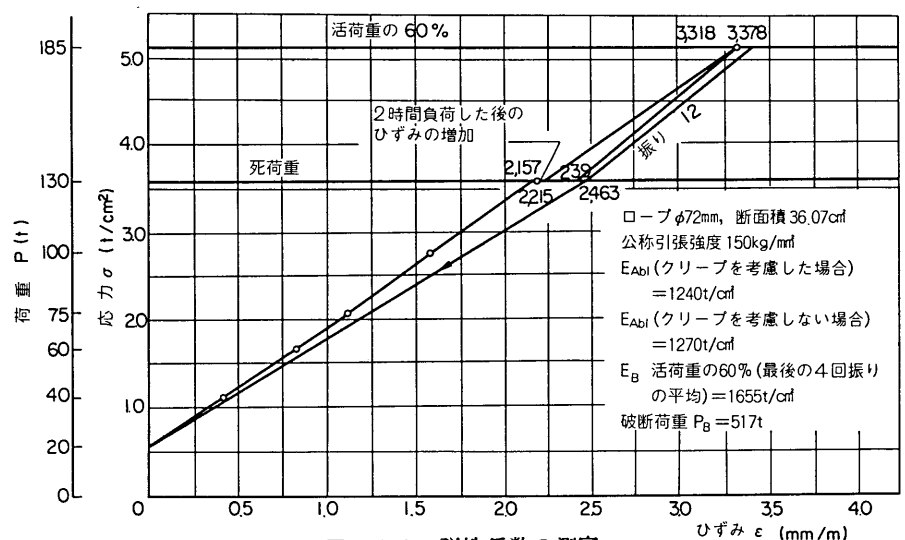


図 2.0.4 弾性係数の測定

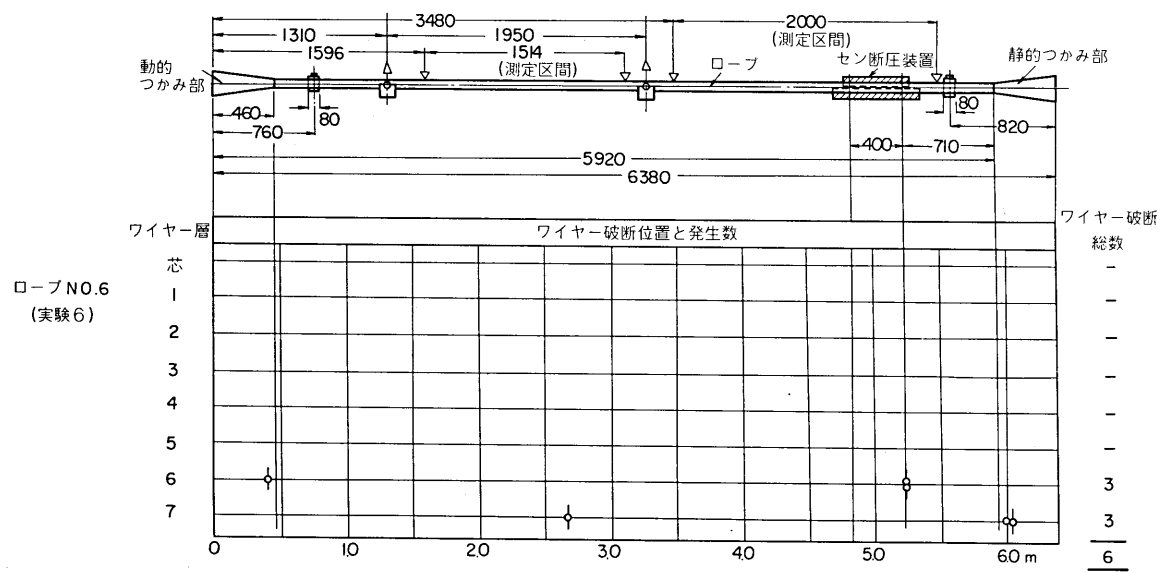
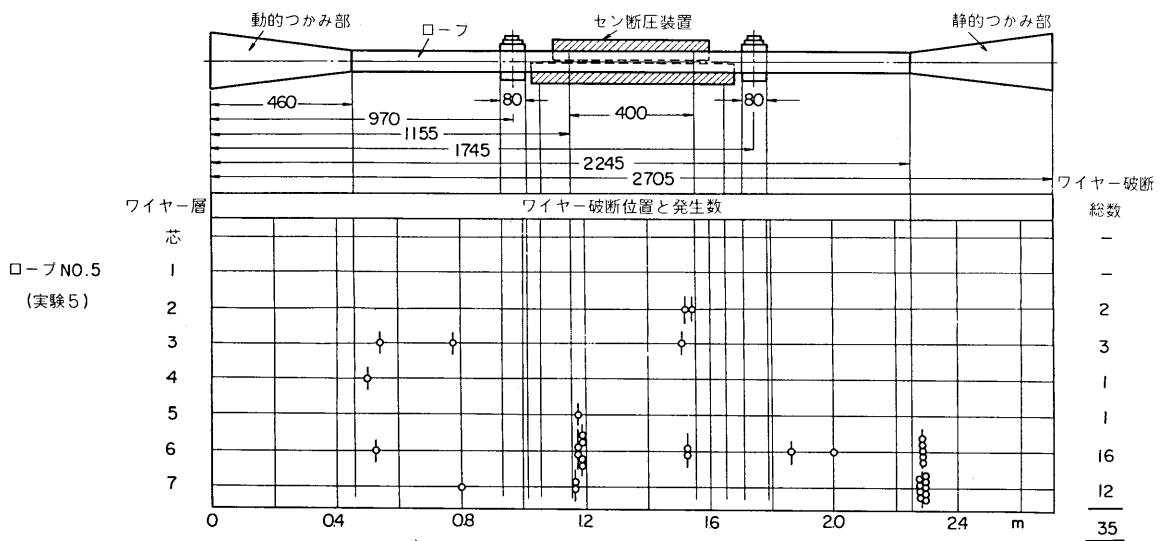
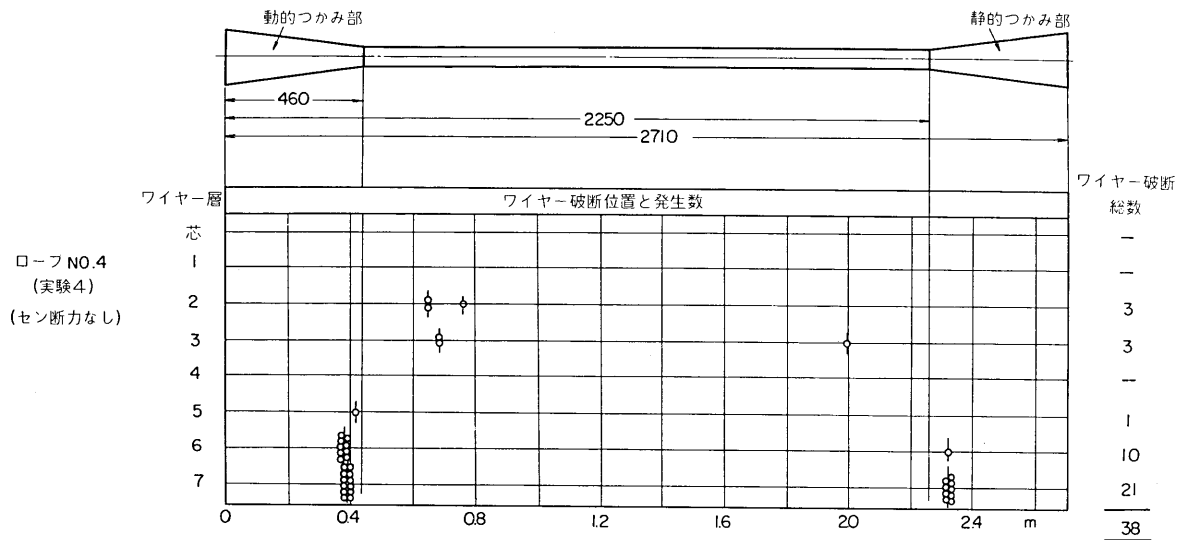


図 2 0.5 ワイヤー破断位置と発生数