

# 多数の高張力鋼棒を結束した引張材の実験研究 (特に格点接合について)

能 登 尚 平 \*  
中 山 義 昭 \*  
三 神 昭 五 \*

## 1. ま え が き

構造物の部材で圧縮力を受けるものは主として座屈によって断面形と断面積が決定され、引張力を受けるものではその純断面積によって断面積が決定されるのが普通である。

しかし引張材であっても鋼道路橋設計示方書にあるようにあまり細長比の大きいものは構造物に振動その他の悪影響を与えるものとして不適当とされている。

一方、吊橋の主ケーブル、ハンガーおよびアイバーなどのようにそれに生ずる応力の大部分が死荷重によるものであって活荷重による応力の変動がわずかであるようになっていたり、絶対に圧縮力の生じないような設計になっている部材には、細長比の極めて大きいというより、むしろひものような部材が使われている。

現在普通に使われている引張材は、板の組合せ部材、アイバーが多いがこの方法であると長大スパン橋などで部材応力が極めて大きくなると、その部材寸法が大きくなり、寸法効果による疲労強度の低下が生じたりする。また部材の添接連結のためのリベット穴、ピン穴などの存在によって部材の断面積の損失を生じたり、それらの断面積の損失を補うために材片を添加したり、部材幅を拡大したりすると穴の存在、断面の急変化などによる応力集中は避けられない。これらは降伏比の大きい高張力鋼などの高い応力範囲での使用により一層好ましくない状態になると思われる。

従って、そのような意味では長大吊橋の平行線主ケーブルが径 5 程度の寸法効果、形状効果などに縁のない比較的細い素線の集合体から成っているのは効果的であると思われる。しかし、各素線の継手に着目してみると、必ずしも継手効率のよいものであるとは言えない。それに対してはケーブルのラッピングによる各素線間の摩擦によってカバーしているといえないこともないと思う。

また、この場合細い極めて数多くの素線を 1 本のごとくに一挙にアンカーからアンカーに長距離にわたって張り渡さなければならないのは、種々の架設条件 (例えば風など) からある場合には極めて困難な問題を生ずることもある。

多数の高張力鋼棒を結束した引張材は、上にのべた平行線ケーブルのもつような効果を有し、なお、一挙に支点から支点へ張り渡さないですみ、支点から順次張出してゆけるような架設方法の採れる型式の部材である。その鋼棒の断面は径 20 ~ 30 の円形であるため寸法効果がなく、また接手は転造ねじによるカプラー継手とすると断面積の損失もなしにかなり経済的に、溶接性の問題もなく容易に 100 キロ以上の強度のものを得ることができる。

吊橋の主ケーブルの場合のようにその応力変化がわずかな時 (タワー頂部においては別) は問題ないが、

---

\* 日本鋼管株式会社

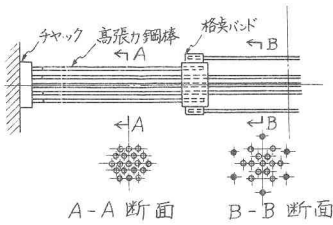
トラス構造の引張弦材では腹材応力の水平分力の合力に相当する比較的大きな応力変化が格点に相隣る弦材間に生ずることになり、格点はこの応力差を腹材に伝達し得る構造になっていれればよい。

ここでは、特にこの格点接合について実験を行ったので報告する。

## 2. 実験概要

前述のようにトラス構造の引張弦材にこれを使用したときにこの格点構造は腹材（斜材）の水平分力をその格点に隣接している弦材（引張材）の部材応力の差に変換できるよう伝達されるようになっていれればよく、その伝達の機構について確認を行う。

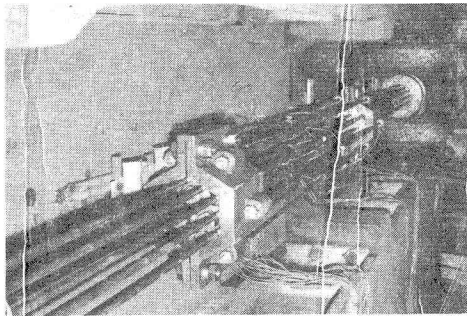
引張試験機に図－１に示すような高張力鋼棒（ここではP C鋼棒の市場品を使用した）を束ねたものを取付け、腹材の水平分力に相当する効果として鋼棒の一部を中断し、格点バンド（トラス構造のガセットプレートにあたる）を経て連続せしめるようにし、格点の左と右のそれぞれの断面における各鋼棒間の応力差を測定する。それによって集合物材の一体性および格点バンドを経ての応力の伝達機構を確認することができる。



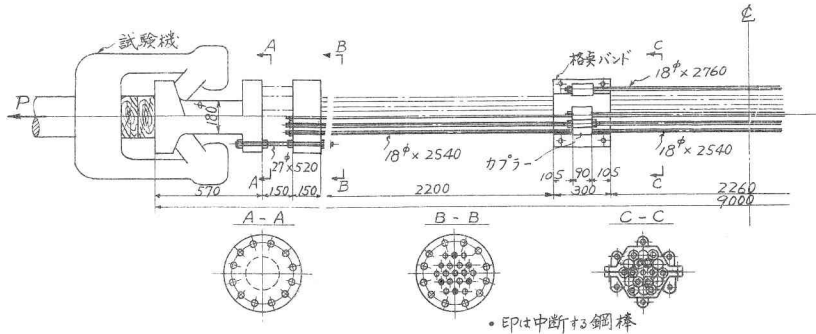
図－１ 試験体機構図

### a) 試験体

試験体の大きさは、試験機的能力により制限されるが、実物のスケールに近い実験を行いたいので、試験機は大きい引張力と長い標点間距離を必要とした。本実験には小松製作所栗津工場の750トン横型錨鎖引張試験機を用いた。従って、試験体は750トンの80％で破断するような大きさに決定した。すなわちP C鋼棒3種（ $\sigma_b = 110 \text{ Kg/mm}^2$ ,  $\sigma_{yield} = 95 \text{ Kg/mm}^2$ ） 径18mmを19本、図－2の如く用いた。実験用に用いた高張力鋼棒の機械的性質は表－1の如くであった。



写真－１ 試験体全体図



図－２ 試験体図

表 - 1 P C 鋼棒の機械的性質

| 呼び径 | 直 径<br>mm        | 断 面 積<br>cm <sup>2</sup> | 引 張 強 さ<br>Kg/mm <sup>2</sup> | 降伏点応力<br>Kg/mm <sup>2</sup> | 伸 率<br>%     |
|-----|------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|
| 18  | 16.92<br>(16.87) | 2.276<br>(2.235)         | 110<br>(125.6)                | 95<br>(113.9)               | 9以上<br>(9.2) |
|     | (16.87)          | (2.235)                  | (123.8)                       | (112.6)                     | (9.6)        |

実測値を ( ) に示す

## b) 実験方法

### 実験 - 1

図 - 3 - a) の如く、19本の高張力鋼棒を全部直接カプラーで連結して載荷し、各鋼棒の応力および伸びを測定し、チャックの変形、試験体組立の不均一などによる影響を調査した。

### 実験 - 2

図 - 3 - b) の如く、格点バンド B と C の間でカプラーにより直接連結してある高張力鋼棒 19 本の内 6 本をはずし、その分をバンドの外周を互いに連結し、バンドを経て応力が伝達される状態、すなわち本実験の目的とする連結（正規のセットと称する）で、各鋼棒、バンドならびにバンド締付ボルトの応力および伸びを鋼棒の降伏点以下の荷重において測定した。

### 実験 - 3 および 4

実構造における部材の連結の偏心や部材に地震力、風などが作用することによる曲りにより格点

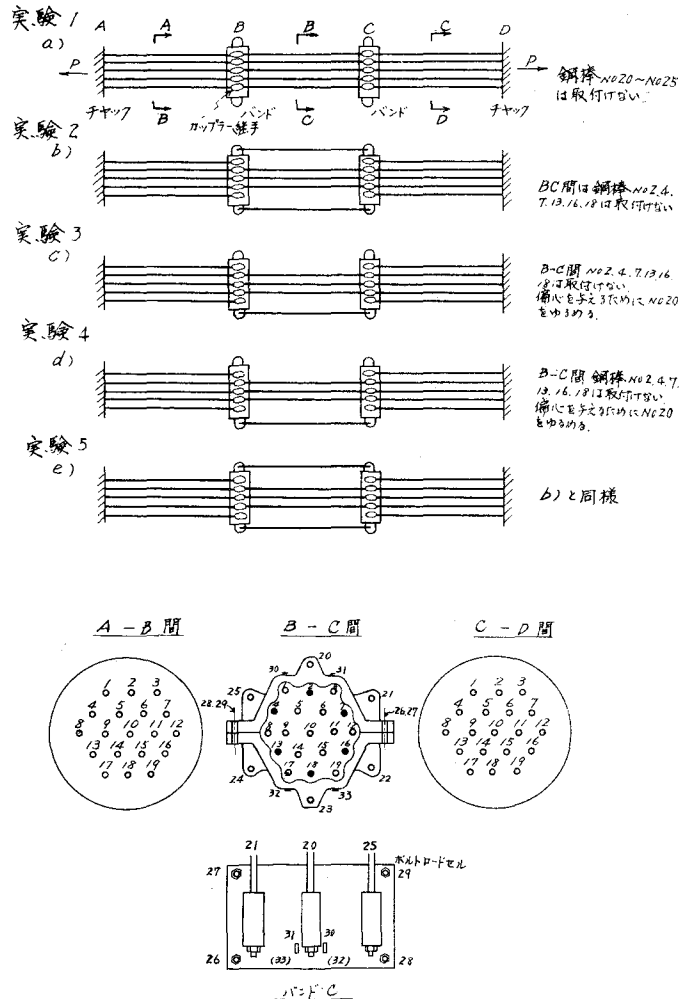


図 - 3 各実験試験体組立要領図



表 - 3 バンド回転角

| 荷 重 (t) |                    |       | 50      | 100     | 150     | 200     | 250     |
|---------|--------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 実験 - 3  | 曲げモーメント計算値 (Kg・cm) |       | 23750   | 47500   | 71200   | 95000   | 118600  |
|         | 回 転 角              | 計 算 値 | 0.00068 | 0.00136 | 0.00204 | 0.00272 | 0.00340 |
|         |                    | 測 定 値 | —       | —       | —       | —       | —       |
| 実験 - 4  | 曲げモーメント計算値 (Kg・cm) |       | 53500   | 107000  | 160500  | 214000  | —       |
|         | 回 転 角              | 計 算 値 | 0.00199 | 0.00398 | 0.00597 | 0.00796 | —       |
|         |                    | 測 定 値 | 0.0081  | 0.0138  | 0.0169  | 0.0192  | —       |

表 - 4 バンド締付ボルト張力測定値

単位: トン

| 荷 重 (t) |          | 100 | 200 | 250  | 350  | 500  | 532  |
|---------|----------|-----|-----|------|------|------|------|
| 実験 - 2  | ボルト № 26 | 3.0 | 6.8 | 8.9  | 13.0 | —    | —    |
|         | 28       | 3.0 | 8.0 | 10.6 | 14.1 | —    | —    |
| 実験 - 3  | 26       | 0.9 | 2.9 | 3.7  | —    | —    | —    |
|         | 28       | 1.4 | 3.7 | 5.0  | —    | —    | —    |
| 実験 - 4  | 26       | 0.8 | 2.3 | —    | —    | —    | —    |
|         | 28       | 0.3 | 2.0 | —    | —    | —    | —    |
| 実験 - 5  | 26       | —   | 6.6 | —    | —    | 23.3 | 28.6 |
|         | 28       | —   | 6.3 | —    | —    | 21.0 | 23.6 |

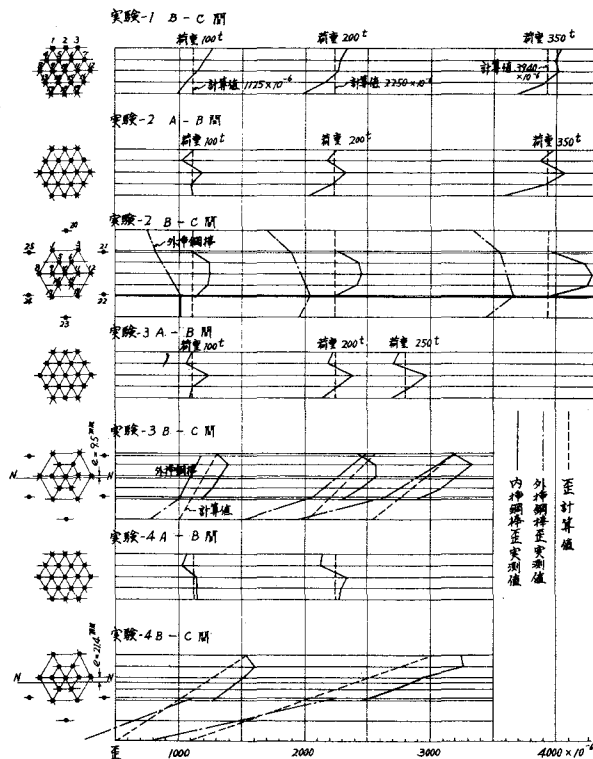


図 - 4 各段平均歪図

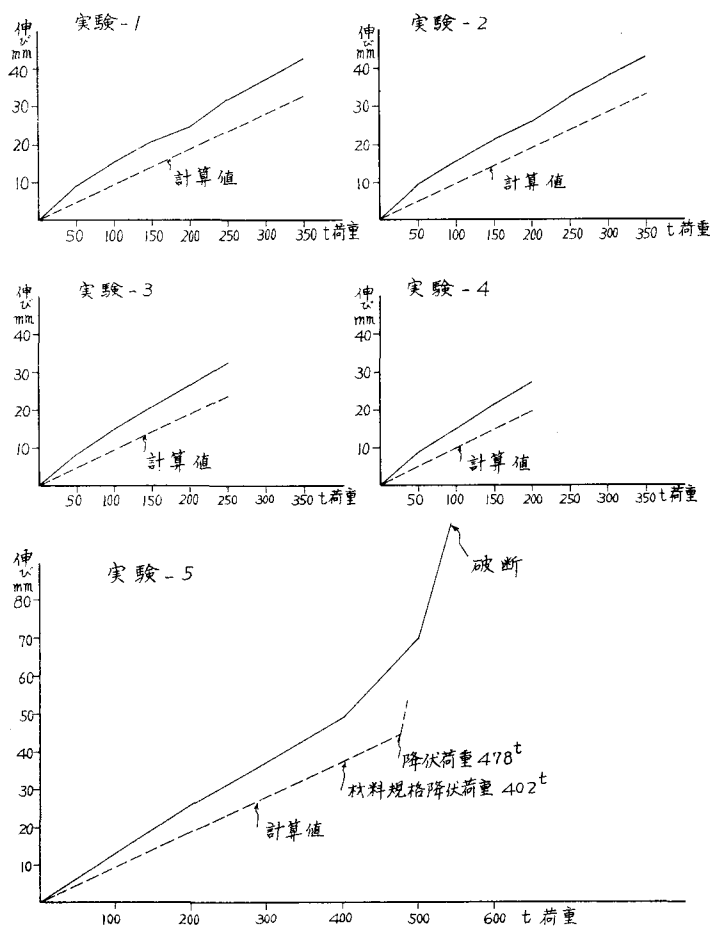


図 - 5 荷重 - 伸び 図

#### 4. 実験結果の考察

##### 実験 - 1

- ① チャックの変形による影響は、表-2および図-4よりほとんど認められない。
- ② 図-4より鋼棒の最上段と最下段の応力差がほとんど荷重の大きさに無関係に  $280 \text{ Kg/cm}^2$  の差を生じている。これは試験体据付けに際し、バンドBおよびCが沈下し、その偏心分が負の曲げモーメントとして表われていることがわかった。鋼棒群の断面係数は  $155 \text{ cm}^3$  であるので、この偏心モーメントは  $M_e = 21700 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$  である。以後の試験結果の解析にはこの影響を考慮する。
- ③ 各段の鋼棒の応力差は25%以下であった。
- ④ 伸びについて試験機のチャック間距離を測定したが、図-5の如く、計算値より荷重200トンで7mm大きく実測された。ストレインゲージによる歪測定値と応力度によれば、ヤング係数は  $21 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  にほとんど一致していること、また伸びの計算値との差は初期荷重100トン

で、すでに6mmの差を生じ、荷重が増大し350トンに達しても伸びは9mm大きく測定されたのみであることから、チャックの滑り変形があったものと思われる。

## 実験-2

- ① A～BおよびC～D間の鋼棒で、B～C間の鋼棒と直接連結されたもの（直接連結鋼棒と称する）と中断されバンドを経てバンドの外周に取付けられた鋼棒（外挿鋼棒と称する）と接合されたもの（中断鋼棒と称する）との応力差は表-5および図-6の如く、中段鋼棒の歪は直接連結鋼棒に比べ、はじめの荷重50トンまで  $277 \times 10^{-6}$ 、荷重100トンで  $320 \times 10^{-6}$  低くその後ほとんど歪差の変化がない。

表-5 実験-2 直接連結鋼棒と中断鋼棒の平均歪値

単位：  $\times 10^{-6}$

| 荷 重 (t) |            | 50  | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 350  |
|---------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| A～B間    | 直接連結鋼棒歪平均値 | 668 | 1220 | 1730 | 2300 | 2920 | 3490 | 4050 |
|         | 中断鋼棒歪平均値   | 391 | 900  | 1420 | 1980 | 2560 | 3220 | 3820 |
|         | 差          | 277 | 320  | 310  | 320  | 360  | 270  | 230  |
| B～C間    | 直接連結鋼棒歪平均値 | 632 | 1220 | 1750 | 2360 | 2970 | 3590 | 4180 |
|         | 外挿鋼棒歪平均値   | 456 | 916  | 1400 | 1910 | 2490 | 3030 | 3520 |
|         | 差          | 176 | 304  | 350  | 450  | 480  | 560  | 660  |
| 計 算 歪 値 |            | 562 | 1125 | 1690 | 2250 | 2810 | 3370 | 3940 |

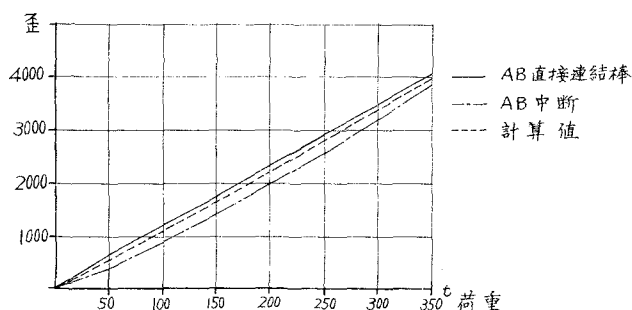


図-6 実験-2 直接連結鋼棒と中断鋼棒の平均歪値

この現象は図-8の如く、バンドのあごとカブラーとの間に作業性を考慮して2mmの間隙をもたせたことによる。組立のとき片側の間隙は平均1mmと考えてよい。従って直接連結鋼棒が1mm伸びる間中断鋼棒には応力は生じない。間隙1mmに相当する歪 $\epsilon$ および応力度 $\sigma$ は

$$\epsilon = \frac{1}{l} = \frac{1}{2500} = 400 \times 10^{-6}$$

$$\sigma = \epsilon \cdot E = 400 \times 10^{-6} \times 21 \times 10^6 = 820 \text{ Kg/cm}^2$$

実測された歪差は計算値の80～90%である。

実際橋梁の場合も2mmの間隙があれば作業性からは十分であって、パネル間隔を20mとすれば直接連結鋼棒と中断鋼棒の応力差は次の如くなり。

$$\varepsilon = \frac{1}{20000} = 50 \times 10^{-6}$$

$$\sigma = 50 \times 10^{-6} \times 21 \times 10^6 = 105 \text{ Kg/cm}^2$$

許容応力度を5600 Kg/cm<sup>2</sup>とすると応力のばらつきは1.9%である。

- ② 直接連結鋼棒と外挿鋼棒との平均歪の差は表-5および図-8に示す如く、外挿鋼棒の歪はA～B間およびC～D間の鋼棒と同様にバンドのあごとカブラーとの間隙に相当する分だけ直接連結鋼棒より少ない。

外挿鋼棒と直接連結鋼棒との歪の差は、初期荷重でほとんどその大部分を示すが、それ以後も若干増大している。これは外挿鋼棒のため上下のバンドを締付けているボルトに引張力を与え、図-9の如き変形により、鋼棒群の重心よりレバーの大きい外挿鋼棒の歪は小さくなっている。特にこのレバーの最も大きい鋼棒No.20, 23は荷重が小さい150トン以下においては他のものより歪値は大きい、荷重が200トンを超えると逆に小さい値を示す。

- ③ A～BおよびC～D間の中断鋼棒と、B～C間の外挿鋼棒との歪の差、ならびにA～BおよびC～D間と、B～C間の直接連結鋼棒との歪の差が認められる。これは、図10の如く、連結部で互いにカブラー両端をワッシャーで押え、ずれを生じないようにした効果とみてよい。

- ④ バンド締付ボルトは径28mmの普通ボルトを用いた。このボルトの張力をロードセル歪と、その較正曲線より求めると、表-4に示す如く、本実験ではこのボルトに

対しては over load で、350トン荷重したときに降伏点に近い応力となった。実施設計にはバンドの幅を拡げ締付ボルトの数を増し、変形を少なくする必要がある。

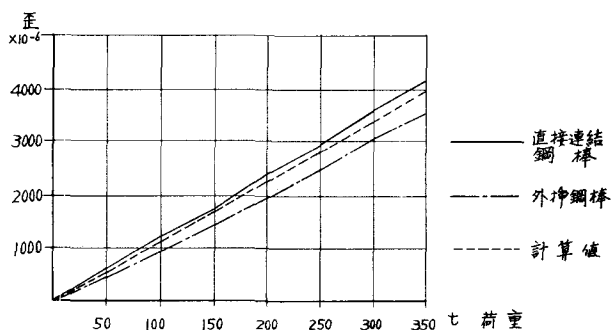


図-7 実験-2 B～C間直接連結鋼棒と外挿鋼棒との平均歪図

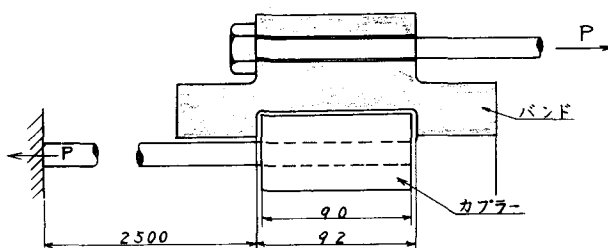


図-8

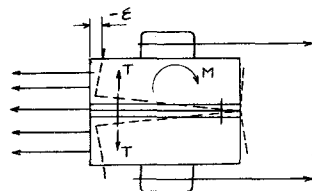


図-9

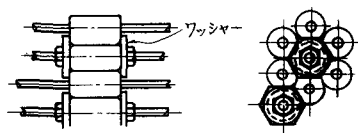


図-10

### 実験-3 および 4

B～C間の鋼棒群の偏心量は実験-3 および 4 についてそれぞれ  $0.95\text{ cm}$  および  $2.14\text{ cm}$  であって、導入される曲げモーメントの分布は図-11の如く考え、各荷重に対して理論偏心モーメントおよび鋼棒応力を求めて以下の検討を行う。

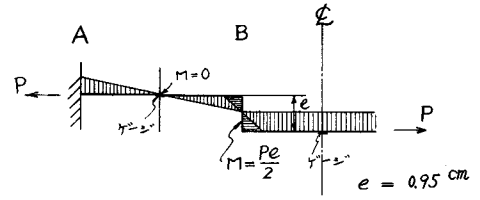


図-11 実験-3 および 4  
偏心モーメント分布図

- ① A～B間においては、図-4の実験-3 および 4

より偏心モーメントの影響はほとんど認められない。

これは図-11でわかるようにストレインゲージの位置が丁度反曲点附近であるからと思われる。

- ② B～C間において外挿鋼棒の歪は直接連結鋼棒より小さく、かつ、曲げの影響がいちじるしい。

これはカブラーとバンドのあごとの間隙の影響、カブラーとバンドの円周方向の間隙のためバンドが回転したためである。実験-4について実測したバンドの回転角は表-3の如くであって、理論値を大幅に上廻っている。しかし、変形がある以上になると間隙がなくなり、角変化は理論値に近い増加率を示している。このバンドの回転を少なくし、腹材の応力を格点から円滑に弦材に伝達せしめるためには、バンドの幅を大きくし、図-12に示す如くバンドの両端にはライナーを挿入して回転を拘束した方がよい。

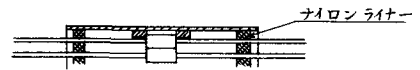


図 - 12

- ③ B～C間において直接連結鋼棒は外挿鋼棒の歪のおくれによる荷重分担率の減少分だけ大きい値を示しているが、曲げの影響は理論値とよく一致している。

### 実験-5

- ① 各鋼棒の歪のばらつきは計算歪に対し  $+200 \times 10^{-6}$  および  $-400 \times 10^{-6}$  附近の頻度が割合に高い傾向を示している。

- ② 伸びは、図-5に示す如く、荷重  $400\text{ トン}$  (応力度  $95\text{ Kg/cm}^2$ ) より著しく増大しているが、明瞭に降伏点は示していない。

- ③ 荷重  $542\text{ トン}$  でC～D間の鋼棒No.1が破断した。この応力度は  $127.5\text{ Kg/mm}^2$  である。本材料の引張強さは  $1256\text{ Kg/mm}^2$  であった。

- ④ 破断箇所はC～D間の鋼棒No.1で図-13に示す位置で、ねじ部で切断したが、カブラーの付根からは  $80\text{ mm}$  離れ、接手の曲げ、あるいは応力集中等によるものではない。破断面は収縮を伴い、 $45^\circ$  のすべり面をもつもので脆性破壊の如きものではない。

- ⑤ バンドの締付けボルトの張力は表-4の如く、この実験では相当オーバーストレスであった。中断鋼棒の応力がバンドの周辺にあごに作用し、鋼棒群の水平重心軸の周りにモーメントを生ずる。これに対し、締

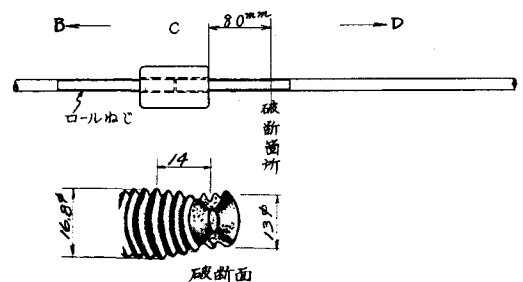


図-13 C～D間No.1鋼棒破断面

付けボルトが十分な抵抗力をもたなければならない。また、この作用によるバンドの円周方向の変形を定量的に本実験で確認することはできなかったが、なるべくバンドの剛性は高める必要がある。

## 5. 設 計 例

前述の実験結果を総合して、格間長  $20\text{ m}$ 、弦材の軸力  $8600\text{ トン}$ 、腹材の水平分力  $300\text{ トン}$  のトラスの引張上弦材の設計例を図-14に示す。

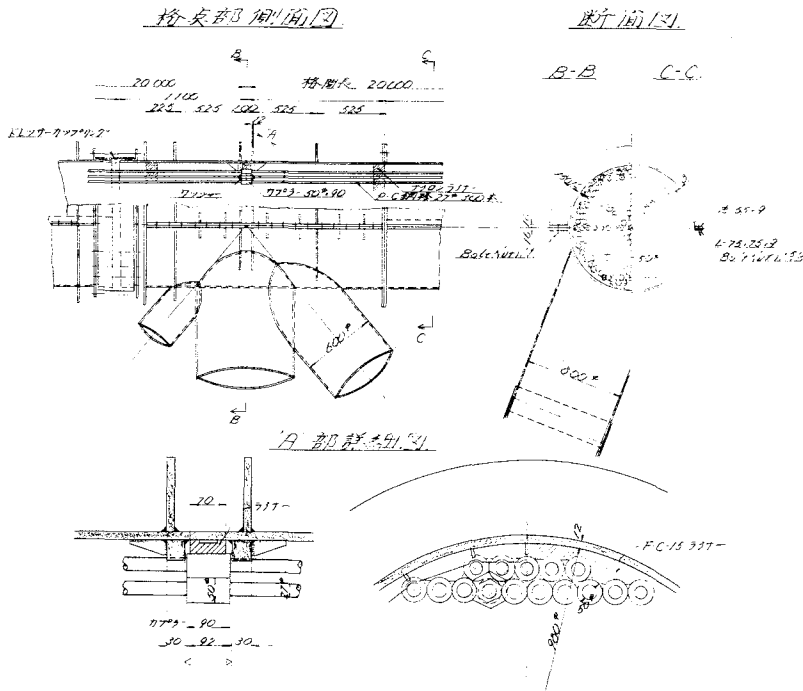


図-14 格点設計図

## 6. む す び

この実験により、多数の高張力鋼棒を結束した引張材で、特に問題となる格点接合と、格点の前後における各鋼棒間の応力のばらつきについて検討の結果、それらの点は実用上の問題がないことがわかった。なお、格点バンドの設計上参考となる事項も明らかとなった。

## 参 考 文 献

- 1) 中山、三神：長大スパン Cantilever 橋の構造設計について  
第11回橋梁構造工学研究発表会
- 2) 中山、三神：長大スパン Cantilever 橋の引張材について  
第20回土木学会年次講演会