

(株)神戸製鋼所 正会員 新永 徹
 (株)神戸製鋼所 正会員 広中 邦汎
 (株)神戸製鋼所 正会員 土居 恵司

1. まえがき

従来から、吊橋の主ケーブルは曲げ変形などにより生ずる2次応力を無視し、純張力材として設計されている。しかしながら、ケーブルをケーブルバンドやラッピングワイヤーで拘束した場合、曲げ変形に伴って生ずる2次応力が無視できる範囲内にあるか否か検討する必要がある。筆者らは先に、2次応力を中心としたケーブルの挙動に関する室内実験¹⁾を行ない多くの基礎資料を得ると同時に、別途導いた理論²⁾の検証を行なった。前回ではラッピングのないケーブルを用いたが、今回はワイヤーラッピングを施したケーブルで前回と同様な実験を実施し、ラッピングがケーブルの曲げ剛性あるいは2次応力に及ぼす影響を定性的に把握した。また、とくにケーブルとケーブルバンド間の相対すべりをも取り上げ考察を加えた。

2. 実験概要

実験装置ならびに供試体は前回の実験と同一のものを使用し、測定方法も同様である。ケーブルのラッピングには右図に示す装置を用い、無張力状態のケーブルを自転させる手法を採用した。ラッピングワイヤーは直径約1.9mmの巻線($\sigma_0 = 41 \text{ kg/mm}^2$)であり、ワイヤーの初期張力 T_0 は26kgとした。実験系列はTable-1に示すとおりであり、曲げ載荷に加え今回は集中横荷重載荷の実験も加えて、計9種類とした。

3. 実験結果と考察

Band 3 (Table-1参照)に外力モーメントが作用した場合のケーブルのたわみ形図および各バンドの回転角を示したものがそれぞれFig-1およびFig-2である。図中にはラッピング前ケーブルバンドのみで縛付けられたケーブルおよび、さらにラッピングを施した後のケーブル(実験No.1, $P_0 = 29.0\%$)についてそれぞれ実験値と、ラッピング前の理論値を併せて示した。Fig-2におけるBand 3の回転角から明らかに、ケーブルの剪断剛度に対するラッピング効果が認められる。ケーブル断面方向における2次応力の分布図をFig-3に、またケーブルパネルとバンドがなす相対角 θ と2次応力の関係をFig-4にそれぞれラッピングの前後を比較しながら示した。これらの2次応力はいずれもケーブル素線の軸力差によるものであり、素線の局部曲げによる応

Table-1 Series of Tests

Tensional Stresses of Cable σ_c (kg/mm ²)	Clamping Forces by Cable Bands P (kg/cm ²)	Seizing Forces by Wrapping Wire P_0 (kg/cm ²)	Situations of Tests	
1 10	for All Bands ≥ 20	29.0		
2 20		24.9		
3 10		29.0		
4 20		24.9		
5 10		29.0		
6 10				
7 20				
8 30				
9 10		20 for Band 2 Over 20 for the Others		

$P_c = 2/D \cdot b$ Z = Tension in Clamping Bolts, D = Diameter of Cable, b = Length of Cable Bands
 $P_0 = 2t_w / D \cdot d_w$ t_w = Tension in Wrapping Wire, d_w = Diameter of Wrapping Wire

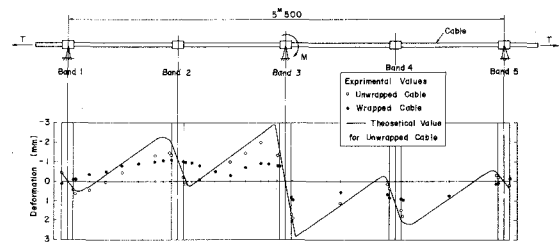
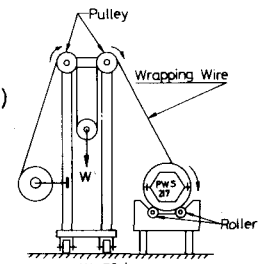


Fig-1 Deflection of Cable ($T = 42.6 \text{ tons}$ ($\sigma_c = 10 \text{ kg/mm}^2$), $M = 93 \text{ ton-cm}$)

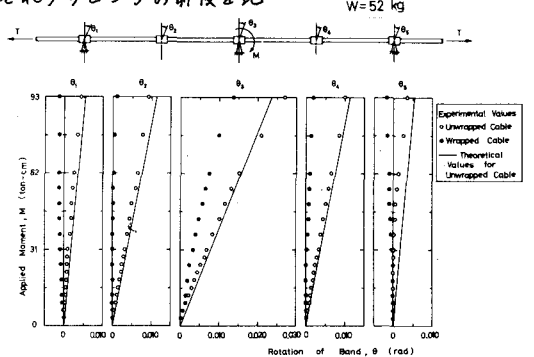


Fig-2 Applied Moment-Rotation Diagram ($T = 42.6 \text{ tons}$ ($\sigma_c = 10 \text{ kg/mm}^2$))

力は含んでいない。これまでの実験結果をとりまとめるとつぎのようである。ケーブルバンドのみで締付けられたケーブルの場合、①ケーブル部分の剪断剛性が小さいためケーブルの変形状態はソリッドビームのそれと大きくかけはなれ、任意のバンドに強制回転を与えた場合他の各バンドの回転に注目する必要がある。②ケーブル部分を重ね板と仮定した文献2)の解析結果は実験値と良好な近似を示した。つぎにワイヤーラッピングされたケーブルについては、③ケーブルの変形状態はソリッドビームのそれに近づきバンドのみで締付けられたケーブルと大きく異なる。したがって、強制変形を与えた場合ケーブルとバンドの傾斜角差は小さくなる。④ケーブル素線の軸力差による2次応力はラッピングのないケーブルではパネル内にあたり一定となるが、ラッピングにより素線間の滑動が拘束されるためパネル中央では非常に小さく、バンド近傍部などに著しく集中する。したがって、バンド近傍部などでは素線の局部曲げを含めた2次応力としては相当大きな値が予想されよう。

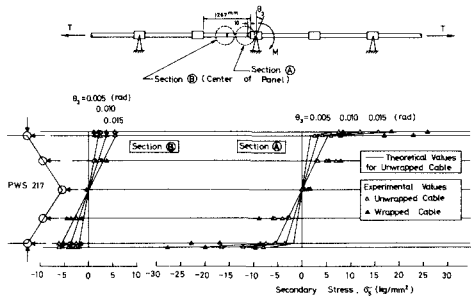


Fig-3 Secondary Stresses (To 89.22 MPa, $\psi_c = 20 \mu\text{rad}$, $\mu = 24.9 \mu\text{rad}$)

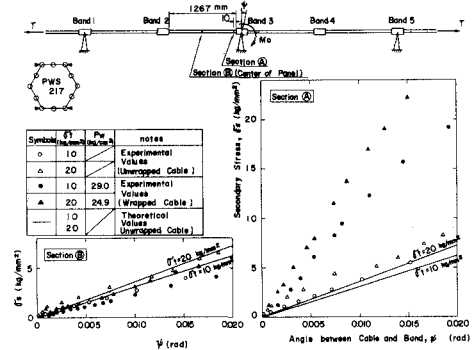


Fig-4 Relation between Secondary Stresses, σ_2 and Angle, ψ

以上はケーブルとバンド間に相対すべりが無い場合であるが、もしすべりが生ずるとケーブルの変形状態、2次応力などにかなり影響が及ぶため、この相対すべりには注目する必要がある。ケーブルバンドは隣接両側パネルのモーメント差によりパネルと相対的傾斜角差を生ずる。この傾斜角差 ψ が限界値を超えるとケーブルとバンド間には図に示すような相対すべりが発生する。正六角形断面を有するケーブルの場合、バンド部における

$$\text{最大せん断応力 } \tau_{max} \text{ は, } \tau_{max} = \frac{1}{4} \left(\frac{13}{12} - \log 2 \right) \frac{Mc}{I} a^2 \quad \text{----- (1)}$$

(M = モーメント差, I = ケーブルの慣性モーメント) であり、相対すべりが開始するのは $\tau_{max} > \mu \cdot p \cdot a$ (μ = 摩擦係数, p = 単位幅当りの締付力) のときであるから、バンド部において全くすべりが起らない状態での最大抵抗モーメント M_{cr} が求められる。

$$M_{cr} = 5\sqrt{3} (13/3 - 4 \log 2)^{-1} a \cdot \mu \cdot p \cdot l_c \quad \text{----- (2)}$$

同様に、バンド内全域が最終的なすべり状態になるときの限界抵抗モーメント M_{cr} も求められる。

$$M_{cr} = 3\sqrt{3} a \cdot \mu \cdot p \cdot l_c \quad \text{----- (3) バンド両側}$$

パネルのモーメント差は近似的に $T \cdot l_c \cdot \psi$ で表わされるから、 ψ_{max} と ψ_{cr} はそれぞれ次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \psi_{max} &= \frac{l_c}{3} \left(\frac{13}{3} - 4 \log 2 \right)^{-1} \mu \cdot p / \sigma_t \\ \psi_{cr} &= 2 \mu \cdot p / \sigma_t \end{aligned} \right\} \text{---- (4)}$$

Fig-5はBand 2とケーブルのなす相対角差 ψ と、Band 2におけるケーブルとバンド間の相対すべり量の関係を図示したもの(実験No.9)である。図中に ψ_{max} と ψ_{cr} の理論値も記入した。図から $\psi = 0.008 \text{ rad}$ 付近で相対すべりが顕著に現れていることが認められる。モーメント差がさらに増大しても ψ は ψ_{cr} を大きく超えることはできず、相対すべりが進行するのみである。

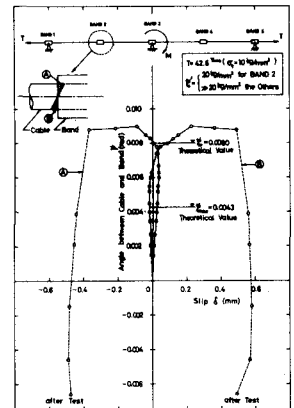
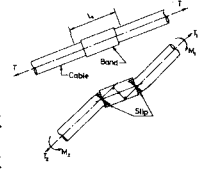


Fig-5 Relation of Slip, δ to Angle, ψ between Cable and Band

- 1) 新家, 広中, 土屋, "吊橋平行線ケーブルの2次応力実験" 第29回土木学会全国大会, 昭和49年10月。
- 2) 新家, 広中, 中村, "吊橋平行線ケーブルの2次応力解析(その1)" 第29回土木学会全国大会, 昭和49年10月。