

ラッピング集成材の曲げについて

神戸大学工学部 正員 西村 昭
 ○神戸大学工学部 学生員 飛田博明
 (株) 神戸製鋼所 正員 山本俊二

1 まえがき 平行線ケーブルの曲げ性状に関して, Wyatt^① は, これを2次応力の観点からとりあげ解析しているが この理論に基づき計算した2次応力は 過大な評価となるようであり, その理論展開にも疑問な点がある. 一方 佐賀^②は摩擦を考慮した重ね板ばねについて研究しているが, これはいわゆる板端法^③の考え方をを用いているもので, この考え方を適用して, ラッピングした平行線ケーブルの基礎であるラッピング集成材について考察した.

2. 理論

2.1 局所的に締付けた2枚板ばね (Fig. 1) R, R_1 は局所的締付力 R のためにすべりを阻止され固着状態にある. 固着条件は

$$x = z \text{ に } y_z = y, \quad \Delta x_z^{Rd} = \Delta x_1^{1d} \quad (1)$$

AB部分の各板の曲げモーメントは固着力を F とすれば

$$M_z = -Rz(1-x) + R(1-x) + tF/2 \quad (2)$$

$$M_1 = -R(1-x) + tF/2$$

条件 (1) と式 (2) より

$$(R-R)(1z^2/2 - z^3/6) - tFz^3/4 = R(1z^2/2 - z^3/6) - tFz^3/4 \quad (3)$$

$$t[(R+R)(2l-z)z]/4EI + tFz^3/3EI = t[R(2l-z)]/4EI - tFz^3/3EI \quad (4)$$

式 (4) にて両辺の t 1 項を, たわみ角による x 2 項を加軸力 F による x 方向の変位である. 式 (3) (4) より

$$R = R_1/2, \quad F = 3R(2l-z)/8t \quad (5)$$

式 (5) と BC 部分についての曲げモーメントを考慮すれば $x=l$ でのたわみは

$$EIy = Rl^3/6 + tF(z^3/4 - zl^2/2) \quad (6)$$

$\mu R \leq F$ となる R 範囲にすべりを生じる. この時のすべり荷重 R_1 は $R_1 \geq 8t\mu R/3(2l-z)$ より求まる. たわみは式 (6) F の項に摩擦力 μR を代入すればよい. 途中で荷重方向を変える時には その点を原点として考える. この時初期の段階は固着状態であるから 結局式 (6) と同様になる. 次に すべり荷重は, すでに摩擦力が働いていることを考えれば $R_1 \geq \mu R$ となり 結局 $R_1 \geq 8t\mu R \cdot 2/3(2l-z)$ であり, 処女曲線のすべり荷重の2倍になる. たわみは

$$EIy = Rl^3/6 - t\mu R(z^3/4 - zl^2/2) \quad (7)$$

2.2 一様に締付けた2N枚板ばね (Fig. 2) 一様に締付けた場合は全面で接触することになるので, 同一曲率法的考え方となり, M/EI が各板について等しくなる. この時 固着力は固着部分についての, せん断力に等しく, 最初に面 O がすべる. そのすべり荷重 R_1 は,

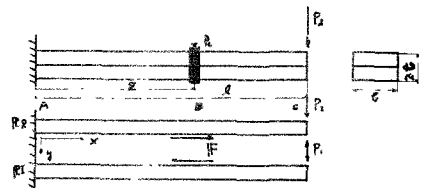
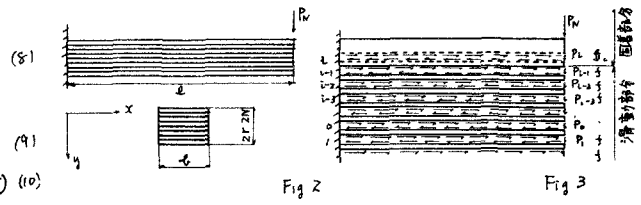


Fig. 1

$\delta \geq 2f$ より $P_0 \geq 8Nr\delta/3$. ここで δ, f は単位長さあたりの固着力と摩擦力である. この時の
 ねじりひずみは $y = 3P_N/16\delta N^2r^2$ であり, 面0がすべり, 面 $i-1$ まですべりた状態を考える. (Fig.3)
 各板についての曲げモーメントは

$$\begin{aligned}
 M_{0 \rightarrow 1} &= (-P_1 + P_0)(l-x) + 2fr(l-x) \\
 &\vdots \\
 M_{i-1 \rightarrow i} &= (-P_i + P_{i-1})(l-x) + 2fr(l-x) \\
 M_{i \rightarrow i+1} &= (-P_i + P_{i-1})(l-x) + (f + f_i)r(l-x) \quad (9) \\
 M_{i+1 \rightarrow N} &= (-P_N + P_i)(l-x) + f_i(N-i)r(l-x) \quad (10) \\
 M_{i+1 \rightarrow N} &= (-P_N + P_{i+1})(l-x) + f(N-i+1)r(l-x) \quad (11)
 \end{aligned}$$



式(9)(10)は固着部分 $R(i-1, N)$ と $R(i-1, N)$ と $R(i-1, i)$ とに分けて考えたもので式(11)に対応する. 式(8)から $M_j - M_{j-1}$ より

$$P_j = P_0 + j(R - P_0) \quad j = 1, 2, \dots, i-1 \quad (12)$$

式(12) 条件式 $y_{i-1 \rightarrow N} = y_{i \rightarrow N} = y_i$ の各式から, 未知数 P, f, R を解く. その結果 $R = P_N/2$ と考慮すれば

$$P_i = \frac{P_N [i + (N-i+1)^2/2 - fr(N-i+1)(1-2(N-i+1)^2)]}{(i-1) + (N-i+1)} \quad (13)$$

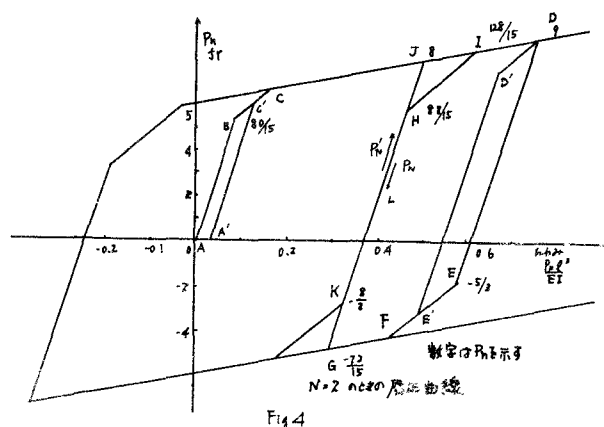
$$R = P_0 + i(R - P_0) - (f - f_i)r \quad (14)$$

$$f_i = \frac{1}{r(N-i+1)} \left[\frac{3(N-i+1)(N-i)}{2[(i-1) + (N-i+1)^2]} + \frac{N(N-i+1)^3 + (N-i)^3(N-i+1)fr}{(i-1) + (N-i+1)^3} \right] \quad (15)$$

$\delta \geq f$ は面 i まですべりた状態で次の面 i がすべる状態をあらわす. 式(13)(14)(15)よりねじりひずみ

$$y = \frac{-l^3}{2E\delta r^2} \left[\frac{-P_N}{2[(i-1) + (N-i+1)^2]} + \frac{(N-i+1)fr}{(i-1) + (N-i+1)^3} \right] \quad (16)$$

式(16)は, 面 i がすべり, 面 i がすべるまでのねじりひずみを表わしている. $i=N-1$ となれば, 全面ですべると全く個々に板が働くと考えた時と y の tangent は等しくなる. 例えば $N=2$ となれば $2N=4$ の場合を考えてみるとその履歴曲線 (Fig.4) は, 夏荷では A-B-C-D, 除荷では D-E-F-G となる. この時 D-E-E-F は双曲線の2倍のすべり荷重を示す. J-K の範囲まで除荷して再び, 夏荷した時には 固着状態のままであるので 面0には 固着力 $f_0 = 3P_N/16r$ $f_1 = 9P_N/64r$ が働いており, 次に夏荷状態での面0のすべりは



$$\frac{3P_N'}{16r} - \left(\frac{3P_N}{16r} - f \right) \geq f \quad P_N' \geq P_N$$

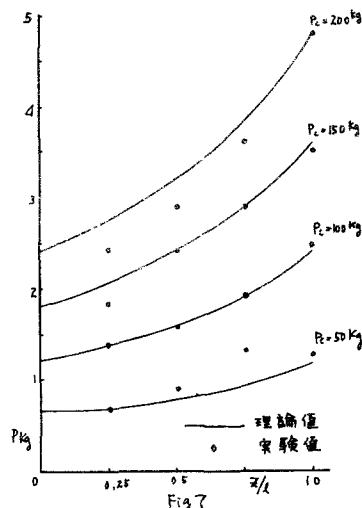
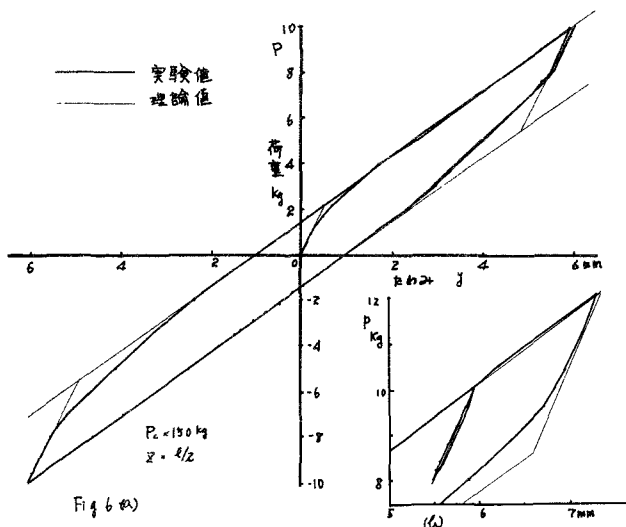
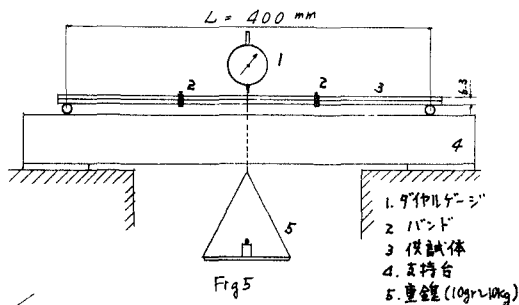
一方面1のすべりは, $\frac{9P_N'}{64r} - \left(\frac{9P_N}{64r} - f \right) \geq f \quad P_N' \geq P_N$ 以上より面1, 面0 ともとの点Jで, 一度にすべりを生ずる. B-C'-A'-C'-C の場合も同様に説明できる.

る. 実験

2.1の理論に対して次のような実験を行なった。(Fig5)この場合単純支持であることを注意せねばならない。計算に必要な諸元は

$$\begin{aligned} t &= 3.15 \text{ mm} & E &= 2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2 & \mu &= 0.287 \text{ (測定値)} \\ d &= 200 \text{ mm} & I &= 45 \text{ mm}^4 & Z &= d/4, d/2, 3d/4, d \\ P_c &= 50, 100, 150, 200 \text{ kg} \end{aligned}$$

Fig(6)に $P_c = 150 \text{ kg}$, $Z = d/2$ の場合についてそのたわみと, Fig(7)にそれぞれの場合のすべり荷重を実験値と理論値と共に示す。($P_2 = P/2$)



たわみは 実験値 理論値は非常に良い近似を示している。処女曲線以後は、あべり荷重が2倍になることを示しており、 $\tan \theta$ が徐々に変化しているのは、バンドの幅の影響である。Fig(6.b)では固着状態のまま再び負荷すれば、前述の理論と同様に、一度にもとの点であべりを生じること示している。Fig(7)では、理論値は双曲線で Z 加大になる程、固着力が小さくなり、あべり荷重が大になることを示している。また締付部分に薄い板を挿入して実験を行なったがその影響は認められず、板端法的考え方の適当であることを示した。

4 むろび
Wyattの考え方と違って、ワヤの本体と取り扱い、板端法的考え方の可能なことわかった。この考え方を発展させると、引張力のかかる多層の場合についても適用できる。これについては別な機会に発表する。また2.2の理論は従来行なわれた ケーブルの曲げ試験の結果をも十分に説明でき、さらに摩擦構造物の一般的な履歴曲線にも適用できる。

参考文献

1. T.A Wyatt, Secondary stresses in Parallel wires suspension cables, Trans. A.S.C.E vol.128, 1963.
2. 佐賀二郎, 重板ばねの履歴曲線に関する研究, 1961
3. Final Report of the Board of Engineers to the Delaware River Bridge Joint Commission of the States of Penn. and N.J. 1927