

愛媛大学工学部	正員	工博	見澤繁光
愛媛大学工学部	正員	工博	安山信雄
愛媛大学工学部	正員		○日笠隆司
愛媛大学工学部	学正員		山出 覚

§ 1. まえがき

最近エポキシ樹脂接着剤のような高分子材料が、土木施工に広く応用されるようになって来た。木材、コンクリートの接着については接着力が大きい為、接着層は破壊しないで、木材、コンクリートが破壊する。しかし、金属の接着については、まだ金属の強度に比較して接着剤の強度が小さいので、接着層が破壊する。この為金属接着においては接着層内の応力分布状態を知る事がより重要となる。この研究では、オ 1 図の如き金属接着継手の接着層面の方向にモーメントが作用した場合の接着層内の応力解析の 1 つの解法を示し、実験値と比較した。

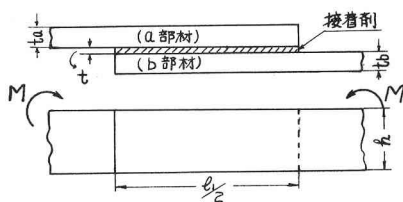
§ 2. 理論的考察

オ 1 図に示す a ・ b 部材の弾性変形を無視すれば、接着層内の剪断応力は、溶接、リベットに用いられている計算式が通用出来る。しかし、この弾性変形を無視出来ない場合が生じる。特に接着長さ l が接着高さ h に比べ、大きくなればなるほど a ・ b 部材の弾性変形が剪断応力に影響するため、 a ・ b 部材を剛体と仮定する事に無理を生じる。これは、接着長さ l が長くなると、弾性変形による a ・ b 部材の相互変位が大となり、従って弾性変形によって生ずる剪断応力が大きくなると推察される。なお、実験によってもこの様な現象が推察される。それを示したものがオ 2 図である。これは接着層の破壊状態の 1 例である。

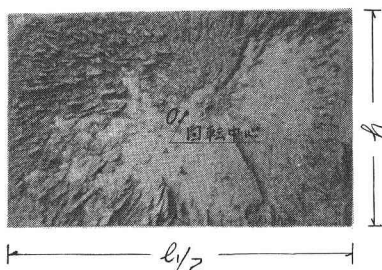
オ 2 図を観察すると、点 O を中心にして a ・ b 部材が回転した様子が見受けられる。これは l/h が比較的、1 に近い値のときか、或いは、1 より小さい場合に見られる現象である。又、この様子のときは a ・ b 部材を剛体と仮定した溶接の理論より求めた剪断応力が比較的に適用出来る。 l/h が大きくなると従って、オ 2 図の如き現象はなくなり、溶接の理論も適用出来なくなる。

上述の結果より、剪断応力は回転中心からの距離に比例すると、 a ・ b 部材の弾性変形、即ち曲げモーメントによって生じる a ・ b 部材の相互変位に比例する剪断応力の合成で表わされる。

ここで問題となるのが撓みによる相互変位を如何に導き出すかという事である。これを導くために



オ 1 図



オ 2 図

は接着部内の a ・ b 部材に働くモーメント分布を明らかにしなければならぬ。ここでは次の如き考え方でモーメント分布を求め、剪断応力を算出する。

(1) 剛体と仮定した場合に生ずる剪断応力より、接着長さ l_1 内の a ・ b 部材に働くモーメントを求め、(2) このモーメントの α 倍が a ・ b 部材に作用し、その相互変位によって生じたモーメント ΔM を求める。(3) $M = \alpha M + \Delta M$ より α を求める。(4) α を知る事によって、回転変位による剪断応力と、撓みの相互変位による剪断応力を求める。(5) 2つの剪断応力の合成が任意の位置における剪断応力である。

(1)~(5) の計算を進めるにあたって接着面上に次の如き座標を定める。

a ・ b 部材に働くモーメントを M_a ・ M_b とすれば

$$M_a = \frac{\alpha M h}{192 I_p} \left\{ 32x^2 - 2(3\ell^2 + 8h^2)x + \ell^3 + 4h^2\ell_1 \right\} \quad (1)$$

$$M_b = \frac{\alpha M h}{192 I_p} \left\{ -32x^2 + 2(3\ell^2 + 8h^2)x + \ell^3 + 4h^2\ell_1 \right\} \quad (2)$$

(以下記号は末尾を参照)

a ・ b 部材の撓み量をそれぞれ $f_a(x)$ ・ $f_b(x)$ とし、相互変位量 $f(x) = f_a(x) - f_b(x)$ とすれば、モーラーの定理より、

$$f(x) = \frac{\alpha M h}{192 E I_a I_p} \left\{ -\frac{8}{5}(n+1)x^5 + \frac{1}{3}(n+1)(3\ell^2 + 8h^2)x^3 + \frac{1}{2}(n-1)(\ell^3 + 4h^2\ell_1)x^2 + C_1x + C_2 \right\} \quad (3)$$

(C_1 ・ C_2 は積分定数)

(1)・(2) 式は y 軸に関して対称な事より

$$\frac{df_b(\frac{\ell}{2})}{dx} + \frac{df_a(-\frac{\ell}{2})}{dx} = 0 \quad (4)$$

$$(4) \text{ 式より } C_1 = -(n+1) \left(-\frac{13}{105}\ell^4 + \frac{3}{2}h^2\ell^2 \right) \quad (5)$$

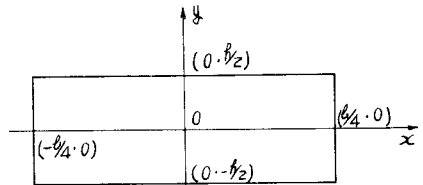
(3) 式の相互変位 $f(x)$ によって生じる接着層内の剪断歪 γ は接着厚さ t より、 $\gamma = \frac{f(x)}{t}$ となる。よって相互変位 $f(x)$ による剪断応力 τ_e は $\tau_e = \frac{f(x)}{t}$ となる。この τ_e によって a ・ b 部材に生じる曲げモーメント

$$M_{ae} = \frac{\alpha M \ell h^2}{192 E I_a I_p t} \left\{ \frac{4}{105}(n+1)x^7 - \frac{(n+1)}{60}(3\ell^2 + 8h^2)x^5 - \frac{(n-1)}{24}(\ell^3 + 4h^2\ell_1)x^4 + \frac{(n+1)}{6} \left(-\frac{13}{32}\ell^4 + \frac{3}{2}h^2\ell^2 \right) \ell^2 x^3 - \frac{1}{2}C_2x^2 - \left\{ (n+1) \left(-\frac{181}{3 \times 5 \times 2^{10}}\ell^6 + \frac{17}{3 \times 2^7}h^2\ell^4 \right) + (n-1) \left(-\frac{\ell^6}{2^2 \times 3} - \frac{h^2\ell^4}{2^2 \times 3} \right) - C_2 \left(\frac{\ell^2}{2^2} \right) \right\} x - \left\{ (n+1) \left(-\frac{13}{7 \times 5 \times 3 \times 2^6}\ell^7 - \frac{7}{3 \times 5 \times 2^6}h^2\ell^5 \right) + \frac{\ell^4}{2^{11}}(n-1)(\ell^3 + 4h^2\ell_1) + \frac{1}{2}C_2 \left(\frac{\ell^2}{2^2} \right) \right\} \right\} \quad (6)$$

$$M_{be} = \frac{\alpha M \ell h^2}{192 E I_b I_p t} \left\{ -\frac{4}{105}(n+1)x^7 + \frac{(n+1)}{60}(3\ell^2 + 8h^2)x^5 + \frac{(n-1)}{24}(\ell^3 + 4h^2\ell_1)x^4 - \frac{(n+1)}{6} \left(\frac{13}{32}\ell^4 + \frac{3}{2}h^2\ell^2 \right) \ell^2 x^3 + \frac{1}{2}C_2x^2 - \left\{ (n+1) \left(-\frac{181}{3 \times 5 \times 2^{10}}\ell^6 - \frac{17}{3 \times 2^7}h^2\ell^4 \right) - \frac{(n-1)}{2^2 \times 3}(\ell^3 + 4h^2\ell_1)\ell^3 - \frac{1}{2^2}C_2\ell_1 \right\} x - \left\{ (n+1) \left(-\frac{13}{3 \times 5 \times 7 \times 2^6}\ell^7 - \frac{7}{2^2 \times 3 \times 5}h^2\ell^5 \right) - \frac{(n-1)}{2^{11}}(\ell^3 + 4h^2\ell_1)\ell^4 - \frac{1}{2^2}C_2\ell_1^2 \right\} \right\} \quad (7)$$

(1)・(2) 式より $M_a + M_b = \text{一定である事より}$ $M_{ae} + M_{be}$ は変数 x にかかわらず一定でなければならぬ。

故に (6)・(7) 式より $C_2 = -\frac{1}{96}(n-1)(\ell^3 + 4h^2\ell_1)\ell^2 \quad (8)$



※3 図

$M_a + M_{ae} + M_b + M_{be} = M$ より、 α を求めると

$$\alpha = \frac{1}{1 + \beta} \quad \text{--- (9)} \quad \left\{ \text{但し } \beta = \frac{(n+1) G h^2 l^5}{192 E I_a I_p t} \left\{ \frac{13}{3360} l^2 + \frac{7}{480} h^2 \right\} \right\}$$

(9) 式より、 α の値を求め、回転変位による剪断応力で及ぶ弾性変形によって生じる剪断応力 τ_e を求めると、合成剪断応力では

$$\tau = \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} G \right\}^2 + \left\{ \frac{\alpha M}{I_p} \sqrt{x^2 + y^2} \right\}^2} - 2 \left\{ \frac{1}{2} G \right\} \left\{ \frac{\alpha M}{I_p} \sqrt{x^2 + y^2} \right\} \cos \theta \quad \text{--- (10)}$$

なお、最大剪断応力の作用する点は $(-\frac{l}{4}, \frac{h}{2})$ 、あるいは $(\frac{l}{4}, \frac{h}{2})$ である。(10) 式の値がどの程度適合しているかを検討するために実験的に接着長さ l 内の各断面に働く曲げモーメントをストレインゲージにより求め、(1)、(6)、(2)、(7) 式より、a 材に働く曲げモーメント $M_a + M_{ae}$ 、b 材に働く曲げモーメント $M_b + M_{be}$ を算出し、その計算値と比較した。

§3 実験結果

オ4図にモーメント測定の各断面位置を示し、

この値手について算出したモーメントの理論値と実験より測定した実験値とをオ5図に表わし比較した。

§4 結び

前述の理論的前提より求めたモーメント分布

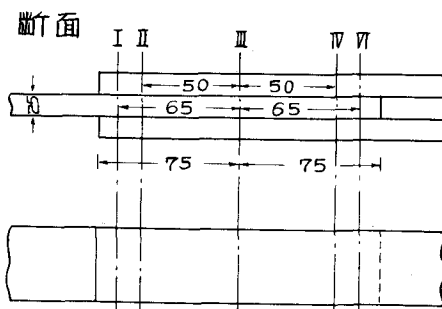
曲線が、実験値とほぼ一致しているため、これより理論的に求めた剪断応力は、実存に近い状態を示すものと思われる。

記号の説明

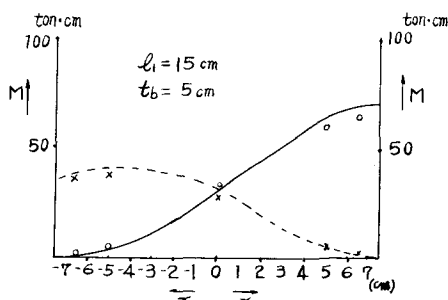
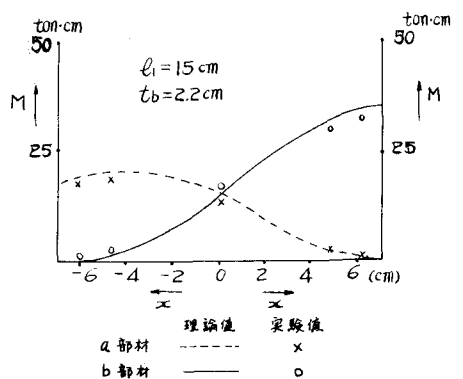
- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| M : 外力モーメント | G : 接着剤の剪断弾性係数 |
| l : 接着長さ | E : a, b 部材の弾性係数 |
| h : 接着高さ | I_a : a 部材の断面二次モーメント |
| t : 接着厚さ | I_b : b 部材の断面二次モーメント |
| $n = \frac{I_a}{I_b}$ | M_{ae} : $f(x)$ において生じる a 材のモーメント |
| $I_p = \frac{1}{12} (l^3 + 4h^2) l h$ | M_{be} : $f(x)$ において生じる b 材のモーメント |
| t_a : a 部材の厚さ | τ : 回転変位による剪断応力 |
| t_b : b 部材の厚さ | τ_e : $f(x)$ において生じる剪断応力 |
| θ : τ, τ_e の角度 | |

参考文献

- 1) 吉町太郎 - 鋼橋の理論と計算 P.260 ~ P.262



オ4図



オ5図