

東京大学大学院 学生員 ○山本一之
東京大学 正員 奥村誠恵

1. はじめに

今日、最も一般的なトラス格点部の構造形式と考えられる弦材の腹板とガセットプレートとを一体構造とする格点部の静力学的挙動に関しては、筆者らが先に報告したように、ガセット両側端と弦材の交差するフィレット周辺部及びその近傍の弦材かど継手部に局所的な応力集中が生じる。又ガセット全体としての応力状態は、各腹材軸力の弦材軸方向成分の合力としてのせん断力に支配され、ガセット部は高せん断応力場を呈する。

以上の様な応力状態を呈する格点部にくり返し荷重が作用する場合には、疲労に対する検討が必要である。本報告は以上の観点より、トラス格点部の実物大疲労実験を実施し、き裂発生箇所、き裂進展方向及び速度等の検討を行なった。

2. 実験供試体

Fig.1に示すブラット型式格点模型を7体製作した。その構造詳細は、Table 1に示す様に、フィレット半径 60^{mm} のA型式と、フィレット半径が 100^{mm} で腹材取付位置にダイヤフラムを有するB型式の2種類とし、弦材かど継手部の溶接形状は、隅肉、片開先のグルーブ、裏波溶接の3種類とした。材質はSS41を用い、基本的な板厚は 6^{mm} である。その機械的性質及び化学成分をTable 2に示してある。

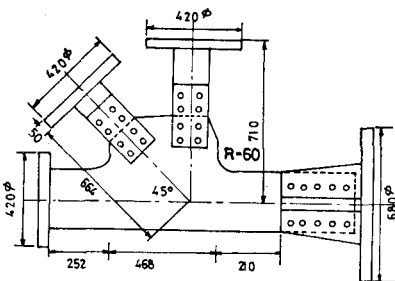


Fig.1 供試体

化 学 成 分 (%)					引 張 試 験		
C	Si	Mn	P	S	降伏点 $\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$	引張強さ $\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$	伸び (%)
0.14	0.23	0.71	0.027	0.024	31	41	33

Table 2 化学成分及び機械的性質 (SS41)

名称	数量	フィレット径	かど溶接
AP	3	60^{mm}	片開先グルーブ
AS	1	60	隅肉
AF	1	60	裏波
BP	2	100	片開先グルーブ

Table 1 供試体の種類

3. 載荷装置及び載荷方法

Fig.2に示す様に供試体を載荷フレーム内に設置し、垂直材よりくり返し軸力を与える型式とした。載荷型式は荷重制御の完全両振り荷重とし、波形は正弦波とし、荷重サイクルは全て 240° 分とした。計測方法は、各供試体とも格点各部にロゼットゲージ6点、シングルゲージ30点を貼付し、あらかじめ定めた動的載荷荷重まで 2^{ton} 間隔で荷重を増加させ歪の計測を行ない、しかる後動的載荷を行なった。動的試験中は定期的に供試体に浸透探傷液を散布し、き裂の発見につとめ、き裂発生後は定期的にき裂長さの計測を行ない、試験機の停止をもって実験を終了させた。

4. 静的載荷実験結果

静的実験結果の1例を有限要素法による理論解とともにFig.3に示す。供試体の設置方法が両腹材及び一方の弦材をピン支承とする3点支持の不静定支持であるため、弦材及び腹材には軸力の他に支持点の変位に原因する2次応力が発生している。

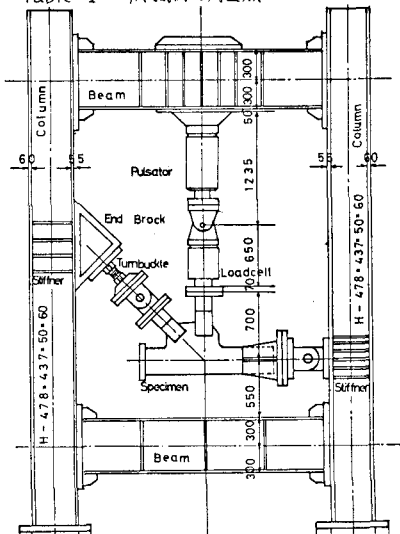


Fig.2 載荷装置

格点部に軸力及び曲げモーメントが作用する場合、格点部の全体的な応力挙動は軸力荷重に支配され、曲げモーメントの影響は僅少であるが、フィレット近傍の応力状態は曲げモーメントの影響により変化する。

フィレット周辺部の応力は、弦枚軸応力に対してはフィレット始端部より約30°内側で最大応力となる分布をし、弦枚曲げ応力に対しては始端部より30°～60°の比較的広範囲にわたり高応力となる分布をする。又それぞれの最大応力集中率は最も一般的な格点形状に対して、

弦枚軸応力に対しては、

$$\alpha_N = 1.0 + 0.388 \times (D/R)^{0.431}$$

弦枚曲げ応力に対しては、

$$\alpha_B = 1.0 + 1.166 \times (D/R)^{0.283}$$

ここにR:フィレット半径, D:弦枚高さ
 図中フィレット部の理論応力は、弦枚での応力と軸応力と曲げ応力に分離し、その各々に対する応力状態を重畳したものであるが、実験値と比較的良好一致している。

5. 動的载荷実験結果

a) 破壊の形式…… 疲労き裂は全ての供試体ともフィレット周辺部より発生し、そのかざりにおいて溶接形状、構造形状の相違にもとづく差異は認められなかった。き裂の進展はフィレット半径方向の最大主応力面に沿って進展し、そのまま直進して弦枚との溶接線に達して停止する形式(I形式)と、フィレットの半径方向に進展したき裂が、途中で方向を変え、ガセット巾を横切るように、弦枚とガセットプレートとの境界線直上を弦枚軸に平行に進展する形式(II形式)の2種類の形式が生じた。(Fig.4)

フィレット周辺部のき裂発生点に注目すると、I形式はフィレット始端部より $\theta \leq 55^\circ$, II形式は $\theta \geq 60^\circ$ となっており、き裂発生位置の相違により両形式の破壊モードが生じたものと思える。

b) 疲労強度…… 構造物疲労実験に対しては、破壊の定義をどこにおくか議論のわかれるところであるが、本実験に対しては、目視的なき裂の発生(2mm程度)をもって破壊と定義し、疲労強度の推定を行なった。

Fig.5は、本実験で得られたき裂発生点での推定最大応力(σ_{max})と、その時までのくり返し数(N_c)との関係を示す。

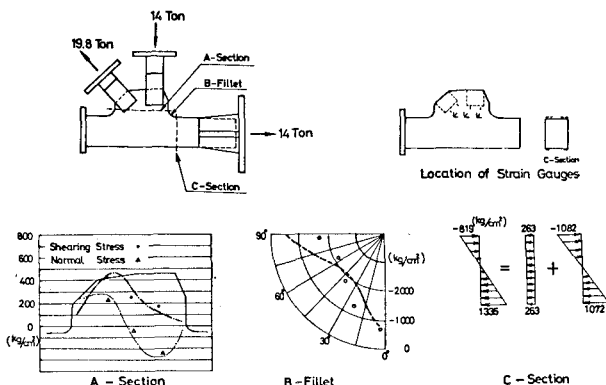


Fig.3 静的試験結果

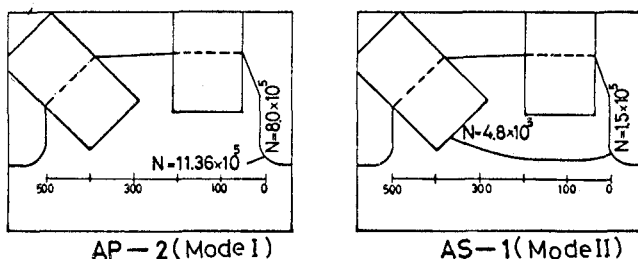


Fig.4 破壊形式

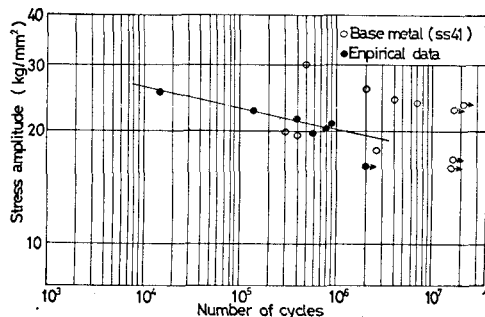


Fig.5 最大応力とくり返し回数の関係

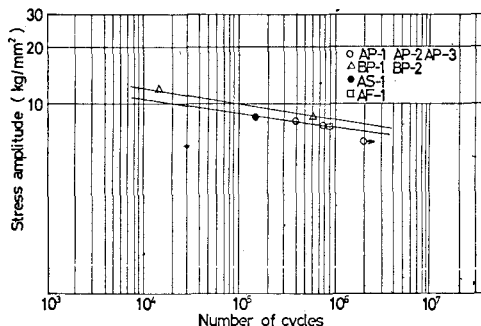


Fig.6 公称応力とくり返し回数の関係

同一規格の材料の小試験片による面振試験結果とともに示してある。Fig. 6は、弦枚での公称応力振巾($\sigma_{nominal}$)と N_c との関係を示したものである。き裂発生点での推定最大応力とくり返し数との関係は、全供試体がほぼ直線上に分布し、

$$\sigma_{max} = 19.4 \times (2.0 \times 10^6 / N_c)^{0.0568} \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

となり、母材の $S-N_f$ データのバラツキの下限值に近い値を示している。又弦枚での公称応力とくり返し数の関係は、フィレット半径が 60^{mm} の供試体(5体)については、

$$\sigma_{nominal} = 7.2 \times (2.0 \times 10^6 / N_c)^{0.0745} \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

となった。

C)き裂の進展

フィレット周辺部より発生したき裂は、その発生位置によりI形式とII形式の2種類の破壊モードを生じる。Fig. 7はAP-1, BP-1供試体のき裂長さ(a)とその時のくり返し数(N_c)の関係を示してある。I形式は非常にゆるやかな進展を示し、き裂先端が溶接線に達する $a = 26^{\text{mm}}$, $N = 7 \times 10^5$ 以後はほとんど進展が見られなかった。II形式はき裂長さが 40^{mm} を越えると急速にき裂は進展し、その傾向はガセット剛性の大きなBP供試体により顕著である。

一般に、き裂進展速度は応力拡大係数の変動分 ΔK で整理すると、

$$da/dN = c \times (\Delta K)^m \quad c, m: \text{ 常数}$$

の関係があり、両対数で直線の関係がある事が実験的に確かめられている。応力拡大係数の変動分 ΔK は、き裂より十分離れた場所の称呼応力振巾 $\Delta \sigma$ とき裂長さ a により $\Delta K = A \cdot \Delta \sigma \sqrt{a}$ と表わす事ができる。Aは試験片の形状とき裂長さ a による関係であるが、ガセット部をき裂長さ a に比較して無限に大きいと仮定すると常数となる。又称呼応力振幅 $\Delta \sigma$ は格点部の巨視的応力状態より判断して、フィレット近傍と格点内部とは変化する。Fig. 8は以上の観点よりII形式の破壊モードに対して $\Delta K \propto \sqrt{a}$ と仮定した時の da/dN と $\sqrt{a}$ の関係を示したものであるが、明らかに $\sqrt{a} = 4.5^{\text{mm}}$ で変化する2種類の直線となり、き裂がある程度進展した後、その進展速度が変化する事を示している。き裂長さが 20^{mm} 程度になると、き裂先端部はフィレット近傍で支配的な開口形の K_I のみならず、ガセットに作用する腹枚合力としてのせん断応力による面内せん断形の K_{II} が同時に作用する事となり、進展速度が増加したものと考え事ができる。

6. おわりに

一般の格点部に作用する外力系は複雑であり、その各々に対しき裂発生点にも多少の差異が生ずるものと考えられるが、本実験で得られた破壊形式より、フィレット周辺部で発生したき裂は格点全体の破壊につながる事があり疲労設計には十分注意する必要がある。

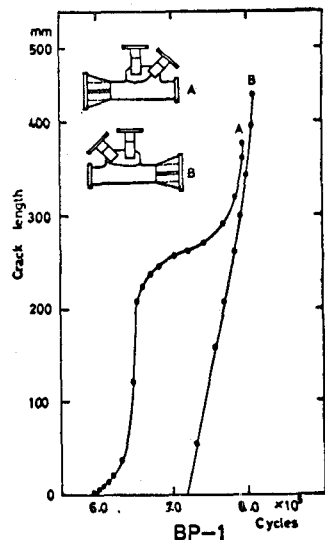
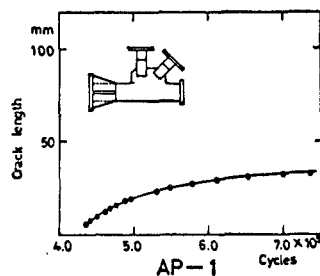


Fig. 7 $a \sim N$ の関係

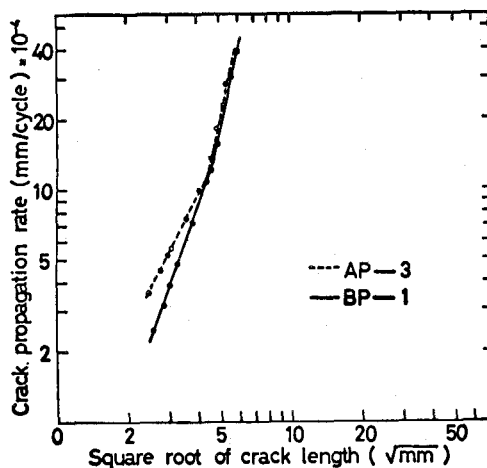


Fig. 8 $da/dN \sim \sqrt{a}$ の関係