

Study on the Fatigue Strength of Thin-walled Hybrid Plate Girders

(Yukio Maeda)

(Masao Ishiwata)

(Yutaka Kawai)

:

80kg/mm<sup>2</sup>

60kg/mm<sup>2</sup>

Toprac

S-N

200

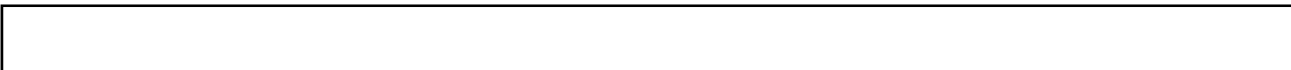
12.9kg/mm<sup>2</sup>

80kg/mm<sup>2</sup>

Synopsis :

An experimental study on thin-walled hybrid plate girders subjected to repeated loading is summarized. Six large-sized hybrid plate girders fabricated with 80 kg/mm<sup>2</sup> class high strength steel (quenched and tempered) at a tension flange, SM-58 at a compression flange and SS-41 at a web are tested under repeated bending. Parameters investigated in this study are maximum stress, stress range, web slenderness ratio and rigidity ratio of longitudinal stiffener. Test results are discussed on the observed fatigue crack patterns according to the classification proposed by Toprac, and S-N curves for hybrid girders are developed and compared with several previous research data. Consequently, it is proved that the fatigue failures can be evaluated well from the crack at the transverse stiffener-to-web fillet weld below the neutral axis and fatigue strength at  $2 \times 10^6$  cycles of these girders is 12.9kg/mm<sup>2</sup> in stress range which is nearly equal in strength to homogeneous girders consisting of 80kg/mm<sup>2</sup> class high strength steel. Moreover, a good correlation is observed in the fatigue test results between model specimens with transverse fillet welded attachments and large-sized girder specimens.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

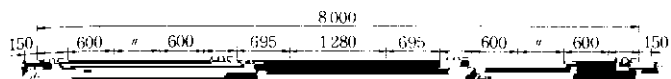




Study on the Fatigue Strength of Thin-walled Hybrid Plate Girders

先に報告<sup>2)</sup>したほか、多くの研究<sup>3)-6)</sup>がなされて  
おり、静的強度面からは消波用桁橋として使用し

新らしく、いまだ余り関心が払われていないよう  
である。しかし、最近の構造物の大形化、高張力



生じないよう十分な強度を持た

スチールとコンクリート

ジは、溶接による疲労強度の低下を避けるため一  
大径フランジに、垂直補脚材を、溶接部の両側

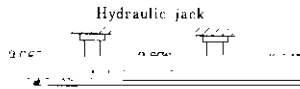
とが必要である。

(a) オス内径座に閉じ、低水素ガス系

集中を忌避して、引張フランジから 2.0 cm 程度

には変りはないが、鉄粉低水素系として良好

をダイヤルゲージと差動トランス型変位計で、桁の断面の歪分布、腹板面外変形に起因する腹板境



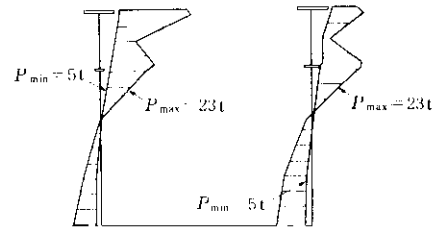
界部の2次曲げ歪分布および垂直補剛材下端付近の歪量を歪ゲージ（共和電業製，KF-5-C1，KFC-5-D16-11，KFC-5-D17-11）で測定した。なお、歪ゲージは腹板の両面に1対づつ貼付

動的載荷試験に先立ち、下限荷重を含む所定の

Stress ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
0 1000 2000 3000

処女載荷時の桁の挙動を観察した。

動的載荷中は所定の載荷回数ごとに動的載荷を中止し、ただちに静的載荷試験を行ない荷重のチェックと試験桁の“疲れ”を観察した。また、約2時間ごと（約35000回）に拡大鏡を用いて溶接熱影響部および応力集中部の亀裂の有無を観察







った。

る亀裂も生じなかった。 $N=200.0 \times 10^4$  回繰り返

下に進行したが、腹板と引張フランジとの隅肉溶

載荷荷重は、上限荷重で腹板引張部が降伏応力に

剛材下端の亀裂が引張りフランジに進行し、引張

フランジが  $15 \text{ kg/mm}^2$  程度の応力を生ずるよう決

### 4. 考 察

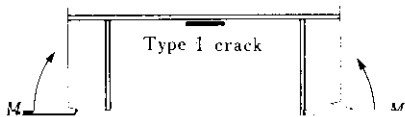
#### 4.1 疲労亀裂の型

鉄鋼溶接部における疲労亀裂の型

- (3-a) 腹板と引張フランジのすみ肉溶接部に生ずる亀裂で、溶接部の溶け込み不良や、その他の溶接欠陥などに起因する。
- (3-b) 引張フランジの切り欠きなどから発

生ずる亀裂

とく3種類に分類される<sup>6)</sup>。すなわち、



る亀裂。

Table 5 には、この分類に従って亀裂の型を示した。表中、B4系列で生じた補修用カバープレートの特肉溶接基部からの亀裂は、発生原因から

もなりかねないので十分な配慮が必要である。次節では、前述の亀裂の分類に従って、実験結果の考察を行ない、ハイブリッド桁の疲れ強さについ

二次曲げモーメントを代表的な例としてB4系列について示したものである。実際に疲労亀裂が発生するすみ肉溶接の趾端部ではFig. 11に示され

#### 4-2 1型亀裂

この種の亀裂は腹板の面外変形に伴う二次曲げが腹板境界部に繰り返し作用することに起因するため、薄肉腹板をもつプレート・ガーダーに特有の亀裂である<sup>9)~13)</sup>。

1型亀裂発生の要因に関するパラメーターとし

て考えられるのは、

- (1) 腹板初期撓みの形状、および大きさ
- (2) 繰り返し荷重下での腹板撓み変化量

えられる。Fig. 11を見れば、B4系列では腹板の二次曲げモーメントの分布および大きさに、水平補剛材の剛比の相違による影響が明瞭に表われているのがわかる。すなわち、水平補剛材の剛比が1のB4-L1桁では、圧縮フランジと腹板のすみ肉溶接付近の歪ゲージ位置での二次曲げモーメントが腹板の降伏モーメントを越える部分があり、この部分で1型亀裂の発生が見られた。

一方、水平補剛材剛比が7という剛な補剛材をもつB7-L1桁では、圧縮フランジと腹板の溶

- (3) 最大荷重と荷重範囲
  - (4) 腹板境界のすみ肉溶接部の疲労強度
- などである。これらの要因は、腹板の幾何学的非

接部付近の二次曲げが緩和されているが、逆に水平補剛材付近に大きな二次曲げモーメントが発生している。これは、B4-L7桁の補剛材の剛度

くなるようである<sup>23)</sup>。

30%座屈荷重があがることがわかった。その結

に関するパラメーターの一つであると思われる。  
**Fig. 12** は、腹板境界部の二次曲げ応力と亀裂発生までの繰返し数との関係を表わすが、今回の実験では1型亀裂に関する S-N 曲線を得るに十分な資料が集まらなかったため、Ostapenko らの資料<sup>11)</sup>との比較にとどめる。

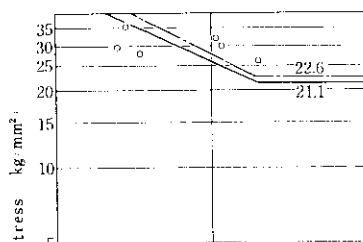
#### 4.3 2型亀裂

4.1 で述べたごとく、ハイブリッド桁の疲れ強さを決定するのは2型亀裂の発生と考えられる。

もつハイブリッド桁に対して、実験による(5)式を提案している。

$$\log(N \times 10^{-3}) = 8.16 - 3.22 \log \sigma_{\max} \quad \dots(5)$$

ここで  $N$  は亀裂発生までの繰返し回数を、



の結果得られた  $\log N$  と  $\log \sigma_{\max}$  の相関係数  $r$  は  $-0.454$  とかなり相関性が弱いものであった。  
 このことから、2型亀裂を最大応力により制限するこ

結果に Toprac の実験における2型亀裂の発生  
 データーを加えて同様の関係式をもとめると(8)式  
 となる

とには全り信頼性が期待できなから用い

$$\log(N \times 10^{-4}) = 5.69 - 3.05 \log \sigma \quad (8)$$

る。参考のために Toprac の研究による上限応力  $\sigma_{\max}$  の制限値(式(5)による)と本実験により得られた(6)式による制限値とを比較すると **Table 8** のようになり本実験結果による制限値がより厳しい値を与えることになるのがわかる。

次に応力全振幅  $\sigma_R$  の実測値と亀裂発見までの繰り返し数  $N$  を回帰分析した結果(7)式の関係を得た。

$$\log(N \times 10^{-4}) = 5.97 - 3.32 \log \sigma_R \quad \dots (7)$$

( $\sigma_R$  :  $\text{kg/mm}^2$ )

( $\sigma_R$  :  $\text{kg/mm}^2$ )

この場合の相関係数  $r$  は  $-0.85$  と(7)式よりやや相関性は劣るが、最大応力(上限応力)  $\sigma_{\max}$  でまとめるものよりは信頼性が高いと考えられる。なお、(8)式により得られる200万回における応力全振幅は、 $12.9 \text{ kg/mm}^2$  となる。**Fig. 14** に(7)式を実線で、(8)式を一点鎖線で示すとともに実験結果をも示した。**Fig. 14** にはさらに破壊確率5%となるような  $S-N$  線を被線で示した。この場合の200万回における許容応力全振幅は  $10.7 \text{ kg/mm}^2$

この場合の相関係数は  $-0.948$  と比較的良好的な相関が見られた。(7)式から得られる200万回にお

となる。

**Table 9** に Toprac の研究から得られた A36 を



関しても、繰り返し回数との相関が弱かったとは

%小さいが、実測応力では2~3%低いに過ぎな

Table 8 に示す制限値以内におさえるのが安全であらう。

は妥当なものといえよう。このことから、ハイブリッド桁の腹板にS S41以外の鋼種を使用する場合の応力増大の推定は、腹板は必ずしも矩形断面

かる。すなわち、腹板とフランジのすみ肉溶接で

あると考えられるが、腹板細長比の大きな桁

- 4) R. W. Frost and C. G. Schilling : Proc. of ASCE, **90** (1964) ST 3
- 5) H. S. Lew and A. A. Toprac : S.F.R.L. Tech. Rpt., (1968), 550
- 6) R. W. Frost and C. G. Schilling : Proc. of ASCE, **91** (1965) ST 3
- 7) P. S. Carskaddan : Proc. of ASCE, **94**(1968) ST 8
- 8) 西野, 伊藤, 星埜 : JSSC, **7** (1971) 71, 1
- 9) B. T. Yen : Lehigh Univ., Fritz Eng. Lab. Rpt. No. 303.1, (1963)
- 10) J. A. Mueller and B. T. Yen : Lehigh Univ., Fritz Eng. Lab. Rpt., No. 127, (1968)
- 11) S. Parsanejad and A. Ostapenko : Lehigh Univ., Fritz Eng. Lab. Rpt., No. 156, (1970)
- 12) P. J. Patterson, J. A. Corrado, J. S. Huang and B. T. Yen : Lehigh Univ., Fritz Eng. Lab. Rpt., No. 155, (1970)
- 13) 前田 : 1st International Symposium of the J. W. S., 8th-10th (1971)
- 14) A. A. Toprac : Welding Journal, (1969) 195-S
- 15) R. W. Frost and C. G. Schilling : Proc. of ASCE, **97** (1971) ST 1
- 16) Joint ASCE-AASHO Committee on Flexural Member : Proc. of ASCE, (1968) ST 6, 5995
- 17) 前田, 松井, 梶川, 川井 : 第19回橋梁構造工学研究発表会, (1972)
- 18) J. W. Fisher, K. H. Frank, M. A. Hirt, B. M. McNamee : National Cooperative Highway Research Program Report, 102 (1970)
- 19) 国鉄技研 : 技研報告 (1957)