

大阪大学工学部 正員 前田 幸雄
川崎製鉄 正員 〇川井 豊
大阪大学大学院 学生員 中西 延仁

1. まえがき ハイブリッド桁の静的載荷状態の考慮及びその終局強度については、筆者らが先に報告した¹⁾他、多くの研究がなされ²⁾静的強度面からは道路橋新橋として使用しても実用上支障のないことが確認されている。しかし、ハイブリッド桁においては、単一鋼種より成る桁に比べ腹板に高い応力が作用すること、腹板とフランジに異種鋼材間の溶接が含まれること等から、疲労強度に関する研究が不可欠である。さらに、プレートガーダーの腹板の華肉化から、華肉腹板特有の疲労亀裂の発生が報告されており、³⁾腹板が高い応力を受ける性質上、この方面からのハイブリッド桁の疲労性状については明らかにしておく必要がある。即ち、この種の亀裂とは、初期応みをもつ腹板が圧縮力を受けて面外変形をすることにより、腹板の境界部(主として圧縮フランジと腹板の隅肉溶接部)に繰り返し二次曲げを受け発生するものである。

今回は、第1報で報告した腹板細長比(β)が400, 300の華肉ハイブリッド桁の疲労試験結果⁴⁾に、その後行なった($\beta=200$ の桁の試験結果を²⁾加えて、ハイブリッド桁の疲労強度については検討を行なったのでここに報告する。

2. 実験概要 (i)試験桁: 試験桁は、全長2.3^m、支間長2.0^mの全長試験体6体から成り、各々純曲げを受ける桁中央部のテストパネルとその両側の支持パネルを有し、支持パネルは試験パネル内に疲労亀裂を生ずることは、このパネルからは疲労破壊しない様充分な強度を有させた。6体の桁は、その腹板細長比により、B4系列($\beta=400$) B3系列($\beta=300$)、B2系列($\beta=200$)の三種態に分けられ、その各々の系列に対して水平補剛材の剛比のみを変化させて2体ずつ製作した。テストパネルの寸法諸元は表-1に示す通りである。又、使用した鋼材は、静的強度試験¹⁾に合わせ、圧縮フランジにSM5B、引張フランジにHT80、腹板にSS41、補剛材にSM5Bを用いて上下非対称の完全ハイブリッド断面とした。材料試験の結果、降伏点は各々、59.4^{kg/mm²}、74.5^{kg/mm²}、31.6^{kg/mm²}、38.8^{kg/mm²}であった。

(ii)試験装置と試験方法: 使用した試験機は、D-ゼンハラゼン型(45°/30°)疲労試験機で荷重繰り返し速度は毎分約285回とした。桁は、単純支持とし両支桌より2.665^mの位置に2点載荷し、ジャッキ間のテストパネルに純曲げを与えた。又、桁の振れを防止するため、ジャッキ位置でD-ラーにより横方向の変位を拘束した。動的載荷に先立ち、下降荷重を含む適当な荷重段階で上降荷重で静的載荷試験を行なうと共に、所定の繰り返し数毎に、動的載荷を止めた静的載荷試験を行なって、荷重と測定諸量をチェックし試験桁の疲れを観察した。

(iii)試験結果: 動的載荷における作用応力及び疲労試験結果の概略を表-1に示す。

3. 考察 純曲げを受けるハイブリッド桁の疲労亀裂は、その発生箇所及び発生原因から図-1に示す三つの型に分類される。表-1に示した破壊形式から判る様ハイブリッド桁の疲れ強さを決定するのは2型亀裂である。そのため2型亀裂について試験結果を整理すれば、腹板の細長比に関係なくハイブリッド桁の疲労強度を推定し得る。図-2は、2型亀裂発生迄の繰り返し回数と引張フランジ最大応力との関係を示したものであるが、かなりバラツキが大きく明確な相関関係が認められない。しかし、引張フランジの応力が振れとの関係を示した図-3では、かなり明確な相関関係が見られることから、応力振れがハイブリッド桁の疲労強度を決める主要なパラメーターであることが判る。図-3には、本実験における6体の試験結果から得られたS-N曲線と、本実験結果にTexas大学で行なわれたA36鋼の腹板をもつハイブリッド桁の試験における2型亀裂の発生データ⁵⁾を加えたときのS-N曲線

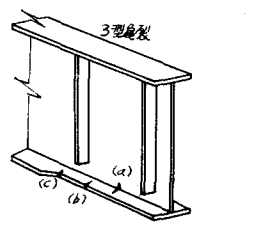
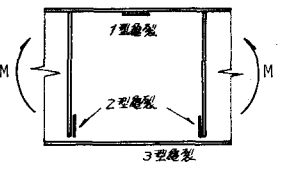


図-1. 純曲げを受けるハイブリッド桁の疲労亀裂の型

並びに、この場合の95%信頼レベルのS-N曲線を示した。図-3から、各々の場合の200万回疲労強度は、12.7, 12.9, 10.7 kg/mm²と推定される。

図-4は小型のモデル試験片(横リブ付小型試験片)の疲労強度と桁試験の疲労強度との比較を示すものである。第1番では横リブ付試験として十字梁内の資料を用いたがモデルとして不適当であったため小型試験結果が桁試験の結果をよるかた下りであった。今回は、より適当な小型試験片としてリブ十字梁内の資料を用いて比較を行った結果、図-3の如く小型試験と桁試験の値が良く一致した。このことから、ハイブリッド桁の疲労強度は、リブ十字梁内の小型試験結果から推定するに可なり、可能であると判った。

次に、図-5は単一鋼種桁とハイブリッド桁の疲労強度を比較するため、試験桁の引張フランジ材であるHT80の単一鋼種桁と本実験結果がより纏められたS-N曲線を示したものである。図から、200万回における疲労強度では、HT80単一鋼種桁が20%近くハイブリッド桁の疲労強度を上まわりますが、50万回付近では、疲労強度における両者の差が見られなくなる。このことから、ハイブリッド桁は、圧縮フランジの産屈強度で支配される静的強度と同様、疲労強度においても、高張力鋼から成る単一鋼種桁に比べて外ほど劣るとなく経済的桁といえよう。

試験桁	B4-L1	B4-L7	B3-L1	B3-L6	B2-L0	B2-L5
腹板縦長比(α)	1.0					
腹板細長比(β)	4/3		3/10		2/06	
腹板(mm)	1280 × 3.1		960 × 3.1		640 × 3.1	
圧縮フランジ(mm)	151 × 9.9	150 × 9.9	151 × 9.9	150 × 9.9	150 × 9.9	150 × 9.9
引張フランジ(mm)	100 × 10	100 × 10	101 × 10	101 × 10	100 × 10	100 × 10
水平補綴材剛性	1	7	1	6	0	5
圧縮フランジ最大応力	21.7	21.9	19.9	23.8	22.0	18.8
引張フランジ最大応力	27.1	29.2	25.6	35.3	31.4	29.5
圧縮フランジ応力係数	17.5	17.6	10.3	14.0	11.1	9.5
引張フランジ応力係数	21.1	23.1	11.7	21.1	17.6	16.1
疲労発生箇所	(1)腹板突合せ溶接の補修用n ₁ -リブ	(1)垂直補綴材下端の隅肉溶接基部	(1)垂直補綴材下端の隅肉溶接基部	(1)垂直補綴材下端の隅肉溶接基部	(1)垂直補綴材下端の隅肉溶接基部	(1)垂直補綴材下端の隅肉溶接基部
発生箇所の繰り返し回数	N=34.1 × 10 ⁴	N=24.3 × 10 ⁴	N=218.0 × 10 ⁴	N=28.0 × 10 ⁴	N=104.0 × 10 ⁴	N=116.6 × 10 ⁴
	(2)圧縮フランジ腹板の隅肉溶接基部	(2)腹板突合せ溶接の補修用n ₁ -リブ隅肉溶接基部	(2)引張フランジ腹板の隅肉溶接	(2)垂直補綴材下端の隅肉溶接基部		
	N=46.5 × 10 ⁴	N=25.0 × 10 ⁴	N=218.0 × 10 ⁴	N=28.0 × 10 ⁴		
疲労寿命	67.0 × 10 ⁴	26.0 × 10 ⁴	224.0 × 10 ⁴	33.5 × 10 ⁴	116.0 × 10 ⁴	123.5 × 10 ⁴
破壊形式	2型亀裂	2型亀裂	2型亀裂	2型亀裂	2型亀裂	2型亀裂

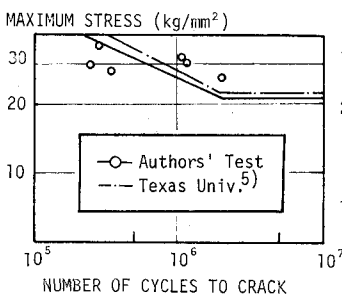


図-2. 2型亀裂発生箇所の繰り返し回数と引張フランジ最大応力の関係

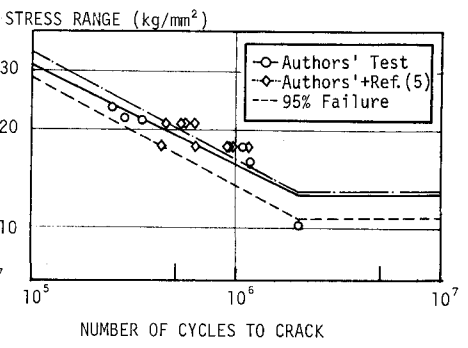


図-3. 引張フランジ応力係数と2型亀裂発生箇所の繰り返し回数

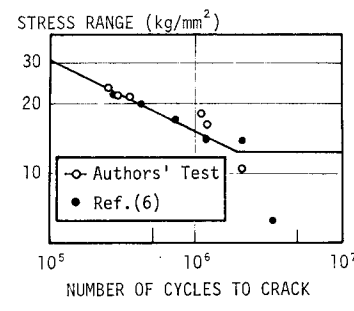


図-4. ハイブリッド桁の引張フランジ部試験片のS-N曲線

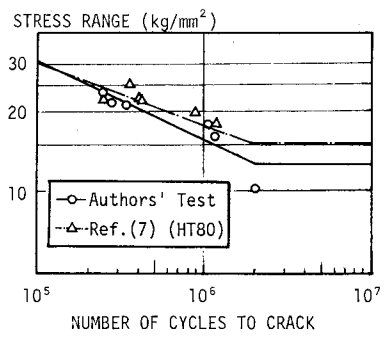


図-5. ハイブリッド桁とHT80単一鋼種桁のS-N曲線

薄肉プレートガーダー特有の亀裂である1型亀裂については、第1報⁴⁾で腹板細長比及び水平補剛板剛比と腹板の面外二次曲げモーメントとの関係を示した。又、これまでの研究²⁾で1型亀裂の発生は腹板の細長比を制限することにより防げる事が明らかになり、この腹板細長比制限値とし³⁾

$\beta_c = 9680/\sqrt{b_y}$ (垂直補剛板を有する桁), $\beta_c = 19400/\sqrt{b_y}$ (垂直・水平補剛板を有する桁) があげられている。上式中 b_y は kg/cm^2 を示した腹板の降伏応力であり、上下非対称桁の制限値は腹板圧縮側の細長比の2倍の値を示す。今回の実験桁6体中、上式の制限値以上の細長比をもつものはB4系列の2体であったが、1型亀裂を生じたのは水平補剛板剛比の小さいB4-L1桁のみであった。このことから、ハイブリッド桁においても、1型亀裂防止のための腹板細長比の制限値は上式で与えられる値が有効であると考えられるが、水平補剛板を有する桁については、その剛比を何らかの形でパラメータとして取り入れる必要があると思われる。

4. 結論 本実験における6体の試験結果と各種の疲労試験結果とを比較検討した結果、次の様な結論が得られた。

(1) ハイブリッド桁の疲労強度は、2型亀裂の発生によって決まり、引張フランジの応力範囲で表わした95%信頼レベルでの疲労強度は 10.7 kg/mm^2 であった。又、2型亀裂の発生に関するS-N曲線は、リブ付溶接肉溶接の小型試験片結果とよく一致する。

(2) ハイブリッド桁の疲労設計においては、2型亀裂発生迄の繰返し回数に基づいて最大応力で制限するよりも、応力範囲で制限する方が信頼性が高いと考えられるが、資料が充分集まる迄は最大応力と応力範囲の両方で制限するのが望ましい。

(3) 試験桁の引張フランジ側であるHTB0の単一鉋接から成る桁の疲労強度と比較した結果、200万回疲労強度では2割近くハイブリッド桁が劣るが、50万回以下の疲労強度ではほとんど差がない。

(4) ハイブリッド桁の疲労強度を決定する2型亀裂は、垂直補剛板等腹板の引張側に溶接で取付けられたアタッチメントへの応力集中に起因するものであるから、設計においては腹板引張側のディテールには充分の配慮が必要である。

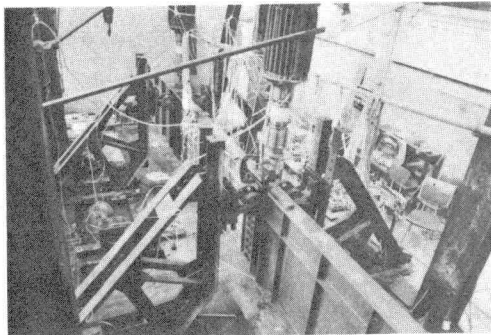


写真1. 試験装置全景

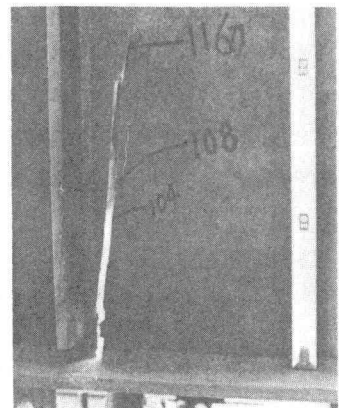


写真2. 2型亀裂 (B2-L0)

参考文献

- 1) 前田・川井, "水平補剛板を有する上下非対称ハイブリッドプレートガーダーの終局強度" 第18回橋梁構造工学研究発表会, 1971.12
- 2) 柳元, H.S. Lew and A.A. Toprac, "The Static Strength of Hybrid Plate Girders", S.F.R.L Tech Report, p.550-11, Jan., 1968
- 3) 柳元, P.J. Patterson, J.A. Corrado, J.S. Huang and B.T. Yen, "Fatigue and Static Tests of Two Welded Plate Girders", Frizz. Eng. Lab. Rpt. No.135, Dec., 1970
- 4) 前田・川井・中西・大橋, "薄肉ハイブリッドガーダーの曲げ-疲労試験結果(1)第報", 土木学会関西支部年次講演会, 1973.6
- 5) A.A. Toprac and M. Natarajan, "Fatigue Strength of Hybrid Plate Girders", Proc. of ASCE, Vol.97, No. ST4 Apr., 1971
- 6) "溶接接合部のはたき疲労強度", 報告書, 国鉄技研, 1957
- 7) 田島・伊藤・石原・嶋・船越, "80 kg/mm^2 級高張力鋼の鉄道橋への適用", 川鉄技報, 第4巻第3号, 1971