

鋼床版横リブのスリット周辺部の疲労強度

FATIGUE STRENGTH AROUND CUTOUT PARTS OF CROSSBEAMS IN ORTHOTROPIC STEEL DECKS

藤原稔* 村越潤** 田中良樹***

by Minoru FUJIWARA, Jun MURAKOSHI, Yoshiki TANAKA

The webs of crossbeams are cut to cross longitudinal ribs through them in orthotropic steel decks of highway bridges. Fatigue strength of the cutout parts, that stress concentrations occur around them under in-plane bending, have been studied experimentally. The following results have been obtained by the static and fatigue tests on crossbeams that U-shape longitudinal ribs cross through.

1) The measured stress σ_s at the highest point of stress concentrations around the cutout parts is linearly proportional to the calculated shear stress τ_n (shear force/net cross-sectional area of a web under cutout parts).

2) The ratio $\alpha_s(\sigma_s/\tau_n)$, as a stress concentration factor, is inversely proportional to the ratio ρ/s , where ρ is a radius of corners of the cutout shape and s is a half width of the cutout shape.

3) The fatigue strength of the cutout parts subject to τ_n and ρ/s . The $S(\tau_n)$ -N curve in case of that ρ/s is 0.23~0.25 is illustrated as a result of fatigue tests in this paper.

1. まえがき

鋼床版の横リブウェブにおいて、縦リブとの溶接部、デッキプレートの現場溶接のために設けられるスカーラップ周辺部、縦リブとの交差部に設けられるスリット周辺部などの細部構造からクラック(き裂)が発生している事例が近年報告されており(ただしスリット周辺部のクラックは開リブでの発生が報告されているが、閉リブでの発生は現在のところ報告されていない^{1)~3)}、横リブの細部構造についても疲労の検討が必要になってきている。これらの横リブの細部構造のうちスリット周辺部についてはこれまでに、種々の形状のスリット周辺の応力分布、スリットを有する横リブの耐力、スリット周辺の疲労性状等について解析や実験が行われている^{4)~6)}。建設省土木研究所においても、近年使用される事例が多いU字型閉断面の縦リブ(以下、Uリブという)を貫通させた横リブの疲労について種々の実験的検討を行ってきている^{5)~7)}。これらの結果を踏まえてさらに新たな疲労試験を行い、今回、横リブウェブのスリットの曲線部(以下、R部という)の疲労強度(S-N線)が、スリットによる断面欠損を考慮して求めた横リブウェブの平均せん断応力 τ_n 、およびスリットのR部の半径 ρ とスリットの幅の1/2である s との比 ρ/s によって整理できることを明らかにした。

以下では、まず文献5~7)に報告されている横リブ支間が3.3mの大型供試体の静的荷重試験および疲労試験の概要を述べ、その後それらの結果を踏まえて新たに行った小型供試体の静的荷重試験および疲労試験の

*	建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室長	(〒305 つくば市大字旭1)
**	建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室研究員	(〒305 つくば市大字旭1)
***	建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室	(〒305 つくば市大字旭1)

結果と考察を述べる。

2. 大型供試体の静的载荷試験および疲労試験の概要

図-1に大型供試体の形状寸法および载荷方法を示す。供試体は、ウェブ高360、480、720mmの3種類である。これらの供試体を用いて行った静的载荷試験および疲労試験により次の結果が得られた^{6~7)}。

- ① 図-2にクラックの発生状況を示す。横リブ高360mm、繰返し荷重8tonfの場合、繰返し数33万回でスリット周辺にクラックが発生した。
- ② 図-3にスリットのへり(板の切断面)で測定した接線方向のひずみ値より求めたスリットR部の応力度 σ_s で整理した、スリットR部のS-N図を示す。
- ③ 図-4に桁高の異なる供試体それぞれの σ_s の測定結果を示す。横リブの桁高を大きくすると、 σ_s は小さくなる傾向が見られる。このことから、横リブの桁高を大きくすることによって疲労寿命を長くすることができると考えられる。
- ④ 図-5に σ_s とそのスリットから40~80mm離れたウェブで測定したせん断応力度 τ_{xy} との関係を示す。 σ_s と τ_{xy} の間に相関が見られる。したがって、 τ_{xy} でもスリットR部の疲労強度を整理できると考えられる。

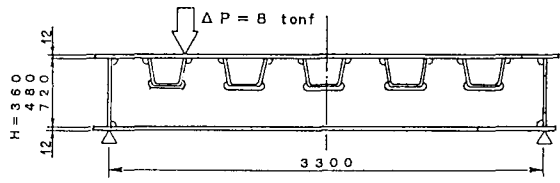


図-1 供試体の形状寸法及び载荷方法

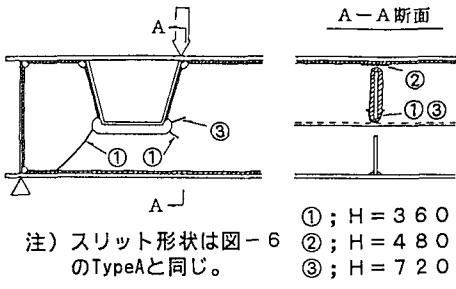


図-2 クラック発生状況

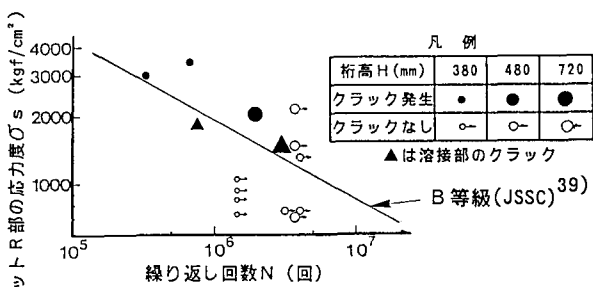


図-3 スリットR部の疲労強度

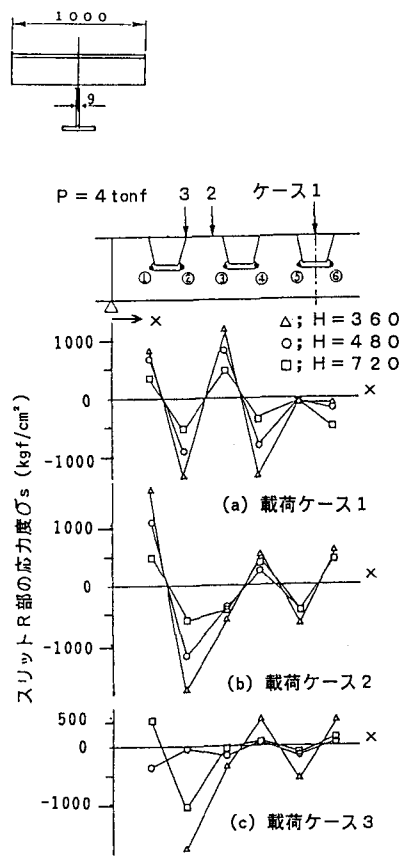


図-4 スリットR部の応力度 σ_s (実験値)

この試験では、スリットR部の応力度 σ_s によるS-N線を得るためのデータが少なく、またそのばらつきが大きいこと、 σ_s 、 τ_{xy} はその測定位置の影響が明確でないこと、 σ_s 、 τ_{xy} ともに実験値でありこれらの値を求めるための簡便な計算方法が明確でないこと、などの点で必ずしも十分な結論は得られなかった。

一方、文献14)では、Uリブを貫通させた横リブの静的荷重試験およびFEM解析に基づき、そのウェブの直応力度 σ_x 、 σ_y およびせん断応力度 τ_{xy} の分布が示されている。それらの分布によると、横リブのせん断力が均等

な範囲ではスリットR部の応力集中のピーク値はいずれもほとんど変化しないこと、また、純曲げが作用している範囲ではスリットのR部周辺の応力集中がほとんど生じないことなどの傾向が見られる。これに類似した傾向は図-4に示した大型供試体の試験結果や他の実験報告でも見られた。

以上のような結果を踏まえて、スリットR部の応力集中およびスリットR部の疲労強度とせん断応力度の関係を確認することを目的として、以下の実験的検討を行った。

3. 小型供試体の静的荷重試験および疲労試験

3.1 試験方法

(1) 供試体および載荷方法

図-6、表-1に供試体の形状寸法、数量および載荷方法を示す。使用したUリブおよびスリットの形状寸法は図-6に示したTypeAおよびTypeBの2種類である。TypeAのUリブの断面形状寸法は日本鋼構造協会(JSSC)

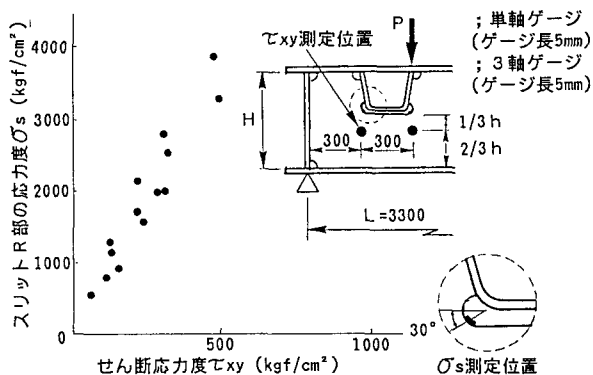


図-5 σ_s と τ_{xy} の関係

表-1 供試体の形状寸法、数量および初期荷重

供試体番号	L	H	H1	b1	b2	数量	初期荷重(tf)
A-1-1~3		400				3	23.1
A-2-1~3	1400	600	220	300	150	3	44.1
A-3-1~3		800				3	44.0
B-1		400				1	23.1
B-2	1480	600	240	320	160	1	44.1
B-3		800				1	44.1

注) L, H, H1, b1, b2は図-6参照、単位はmm

表-2 材料引張試験の結果

部材名	板厚 (mm)	上降伏点 (kgf/cm ²)	下降伏点 (kgf/cm ²)	破断強度 (kgf/cm ²)
ウェブ スティフナ	9.0	3 070	2 970	4 330
デッキプレート 下フランジ	12.0	3 000	2 910	4 630
Uリブ	6.1	3 400	3 220	4 470

注) 板厚の同一の部材については同一の一枚の原板から切り出した。

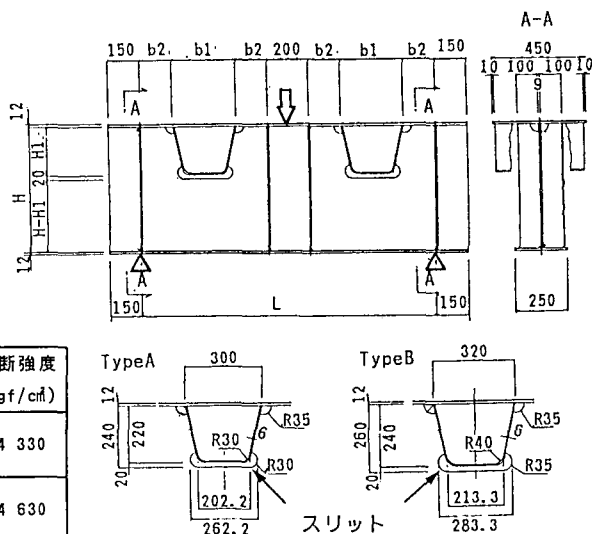


図-6 供試体の形状寸法及び載荷方法

におけるU形鋼の規格JSS 14-1980に示されていたものであり、使用事例が比較的多いものである。またこのUリブの断面形状寸法およびスリットの形状寸法は2. で述べた大型供試体に用いたものと同じである。TypeBのUリブの断面形状寸法はJSS 14-1980がJSS II 08-1983に改正された際に新たに追加されたものであり、Uリブの底面角の曲率半径が40mmのものの中では使用事例が比較的多いものである^{3)1)~3)3)}。供試体の材質は全てSS41材であり、その材料引張試験の結果を表-2に示す。ウェブの下降伏点は2970kgf/cm²である。スリットの切断はアイトレーサによる自動ガス切断機で行った。その切断面の仕上げは、通常の鋼床版の製作と同程度にヘリの角に軽くグラインダをかけたこと(ばり取り)以外に特に行っていないので、ガス切断縁、非仕上げの状態と同様である。

(2) 試験方法

全ての供試体について疲労試験を行う前に静的載荷試験を行い、そのうち供試体A-1-1, A-2-1, A-3-1, B-1~3の6体に対しては、各供試体に2つずつあるうちの片側のスリットのヘリのひずみとUリブやスリット周辺のウェブのひずみを測定した。残りの6体はスリットR部周辺のウェブのひずみのみを測定した。なお、スリットR部のヘリのひずみの測定には2mmゲージを用い、それ以外のひずみの測定には5mmゲージを用いた。

荷重とスリット周辺部のひずみの関係は1回目の載荷では必ずしも線形ではないが、2回目以降の載荷では1回目の載荷での最大荷重以下で概ね線形である。このことから、全ての供試体について静的載荷を2回行った。また塑性履歴によって疲労強度が変動する場合があると考えられるので^{3)4)~3)5)}、供試体A-1-1~3, A-2-1~3, A-3-1~3それぞれ同一形状で3体あるものについては、1回目の静的載荷で表-1に示す初期荷重を予め載荷して、ウェブのスリット周辺部に概ね同一の塑性履歴を与えるようにした。それらのTypeAの同一形状の供試体については、それぞれ荷重範囲の大きさを変えて疲労試験を行った。疲労試験中はスリット周辺部のウェブのひずみを応力頻度測定器(ヒストグラムレコーダ)³⁾⁶⁾で測定することにより、各部のクラックの発生までの繰り返し数を監視した。

3.2 静的載荷試験の結果

(1) 主応力

図-7に供試体のウェブの主応力の状態を供試体A-2-1を例として示す。スリットR部の下側の主応力が最も大きく、支点側では引張応力、載荷点側では圧縮応力となっている。また、Uリブの直下では、スリット近傍は圧縮応力が概ね水平に生じているが、スリット近傍以外では概ね単

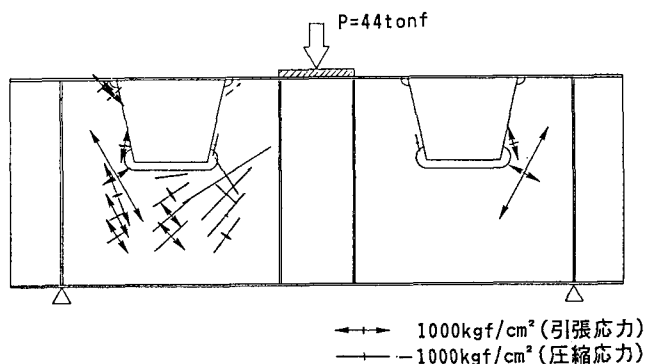


図-7 主応力図(供試体A-2-1の例)

純せん断⁴⁾⁹⁾の状態にある。これらの傾向は表-1に示した全ての供試体で見られた。

(2) せん断応力度

2. に述べたように、本検討では従来の試験結果等を踏まえて、スリットR部の応力集中およびスリットR部の疲労強度とせん断応力度の関係に着目している。図-8(a)~(c)にそれぞれ供試体B-1-3におけるUリブ直下のウェブのせん断応力度 τ_{xy} を示す。これらの図中には、実験値の他に、以下の①~⑤の横リブのせん断応力度の計算値を示す。①~⑤の対象断面は図中に示したとおりである。

- ① Uリブ直下のウェブ断面と下フランジとで構成される逆T断面でせん断力を受け持った場合のせん断応力度
- ② Uリブ直下のウェブ断面のみでせん断力を受け持った場合の平均せん断応力度
(τ_n ; スリットの断面欠損を考慮した平均せん断応力度)

- ③ Uリブ直下のウェブ断面、デッキプレートおよび下フランジでせん断力を受け持つとした場合のせん断応力度
- ④ Uリブ間の断面欠損のない全断面でせん断力を受け持つとした場合のせん断応力度
- ⑤ Uリブ間の断面欠損のない断面のウェブのみでせん断力を受け持つとした場合の平均せん断応力度
(τ_g ; スリットの断面欠損を考慮しない平均せん断応力度)

横リブの桁高が400mmと小さく、桁高に対する断面欠損の割合が比較的大きい供試体B-1では、①の逆T断面を考慮した計算値が実験値とよく一致している。しかし、供試体B-2、B-3の結果に見られるように、横リブの桁高が大きくなると逆T断面を考慮した計算値と実験値が異なる。これらの傾向はTypeAの場合にも見られた。横リブの応力度計算方法が示されている文献³⁷⁾では、横リブウェブのスリットによる断面欠損部のせん断応力度の照査において、平均せん断応力度ではなく、上記の①のせん断応力度を求めることとしているが、図-8(a)~(c)に示した結果より、①のせん断応力度は横リブの桁高が大きくなると実験値と異なることが分かる。

図-8(a)~(b)では明確でないが、図-8(c)より、②のスリットの断面欠損を考慮した平均せん断応力度 τ_n は実験値の平均に概ね相当することが分かる。

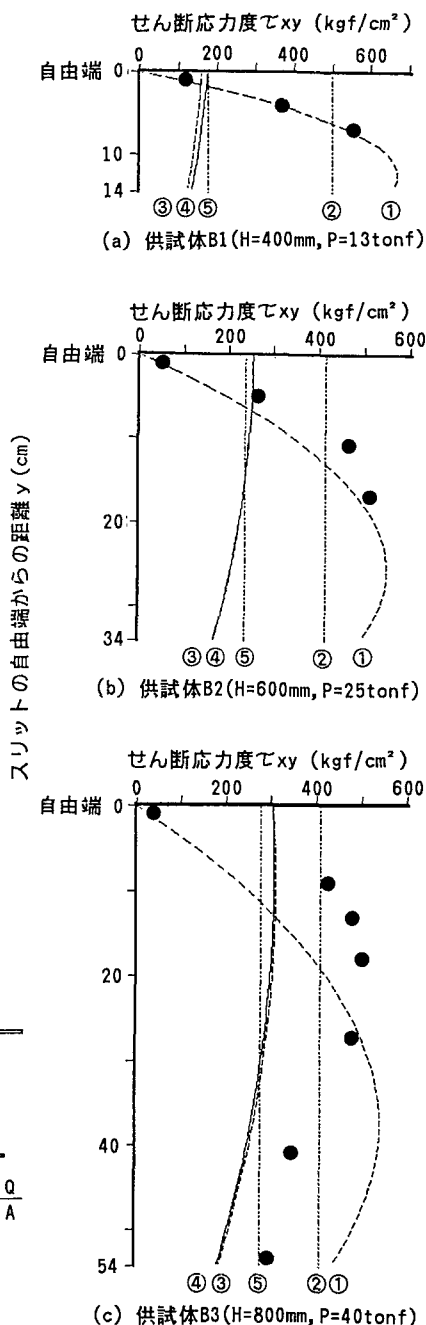
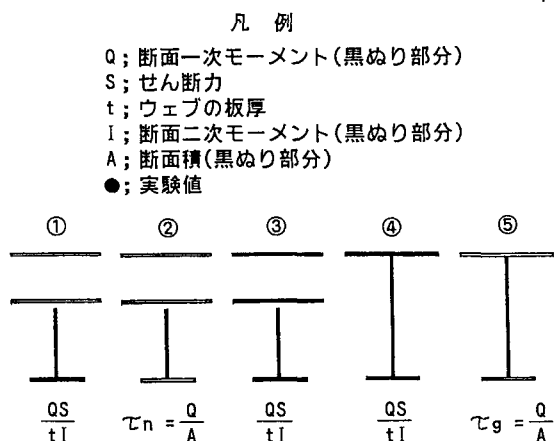


図-8 スリットの断面欠損部のウェブのせん断応力度

(3) スリット周辺部のひずみ分布

図-9(a)~(f)に各供試体の横リブのスリットのへりで測定したひずみの分布を示す。これらの図中には、最大荷重載荷時のひずみ(実線)、除荷後の残留ひずみ(点線)および両者の差(以下ひずみ範囲という、一点鎖線)を示す。これらの図の横軸は、凡例の図に示すように、スリットの支点側のUリブの溶接部の止端から载荷点側の溶接部の止端までの距離を示すものであり、R部を一直線上に展開したものである。最大荷重載荷時のひずみとひずみ範囲とは分布形が異なり、後者のひずみ分布は比較的滑らかな曲線となっている。また両者のピークが生じる位置は必ずしも一致していない。ひずみ範囲の最大値は、最大荷重によって異なるようであり、また桁高が大きくなるに従って、载荷点側のピーク値(圧縮側)の方が支点側のピーク値(引張側)よりも大きくなる傾向が見られる。

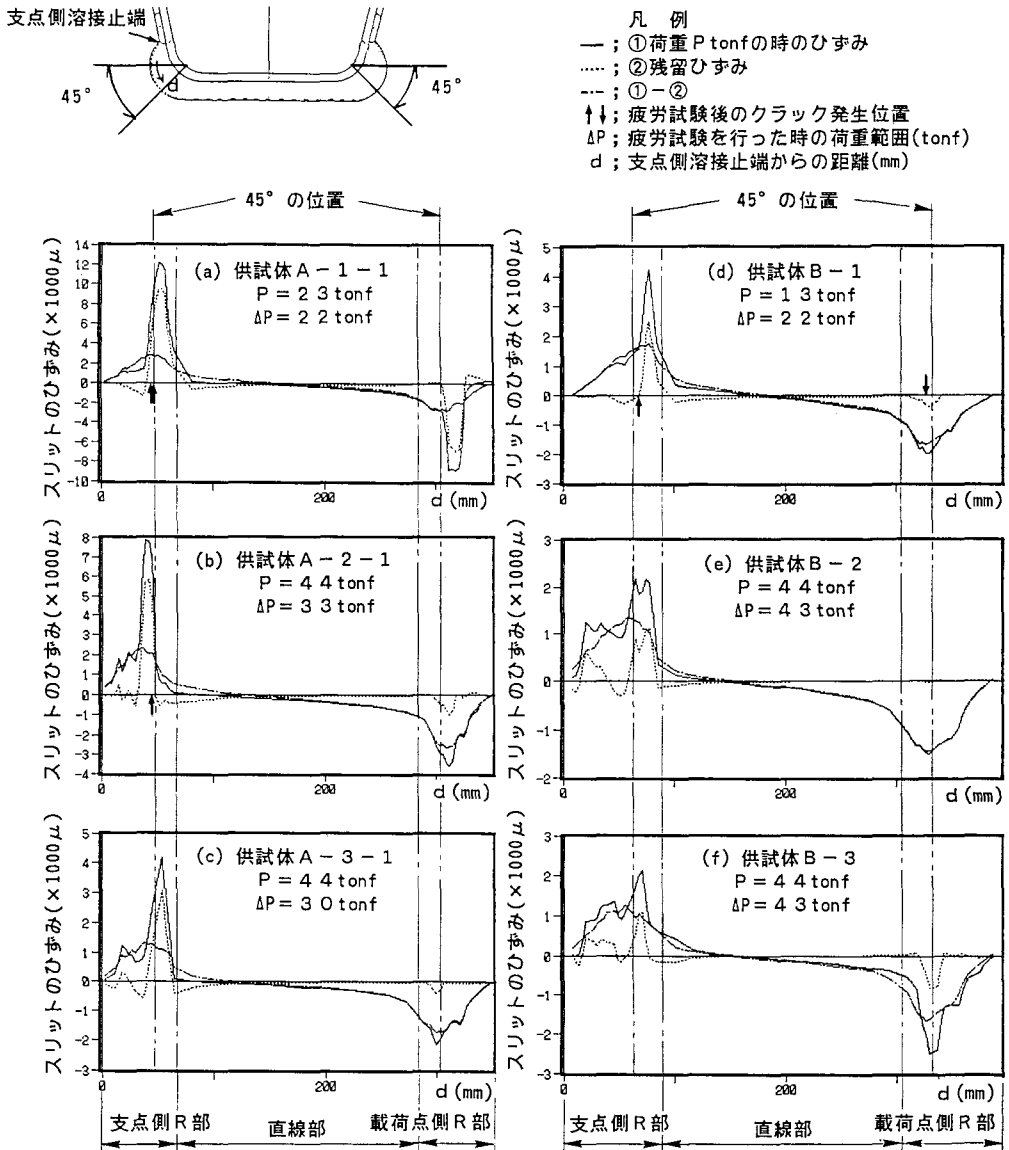


図-9 スリットのひずみ分布
(クラックの発生位置を合わせて示す)

(4) スリット最大応力度 σ_s とせん断応力度の関係

図-10にTypeA、Bの支点側のスリット最大
応力度 σ_s とスリットを考慮した平均せん断
応力度 τ_n (せん断力/スリットの断面欠損部
のウェブ断面積)およびスリットを考慮しな
い平均せん断応力度 τ_g (せん断力/ウェブ断
面積)の関係を示す。ここに示した σ_s は図-9
(a)~(f)に示したスリットのひずみ範囲のう
ちの支点側(引張側)の最大値に 2.1×10^6 を乗
じた値である。図中には2. で述べたTypeA
と同じ形状寸法のUリブとスリットを有する
大型供試体の結果も示している。図-10に示
したデータは支間、桁高、Uリブ断面寸法、
スリットR部の半径、載荷荷重などが種々異
なるが、 σ_s と τ_n の相関が強い(相関係数0.99)。

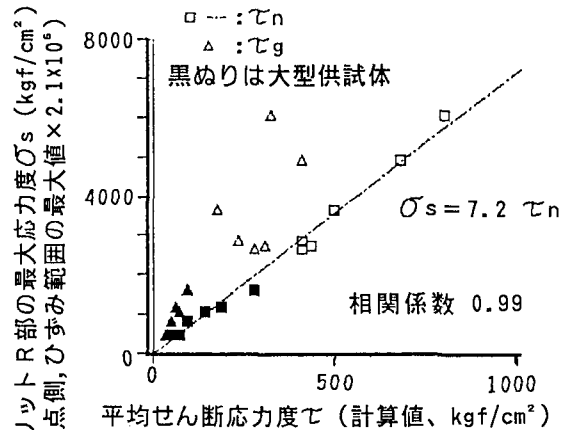


図-10 σ_s と τ の関係

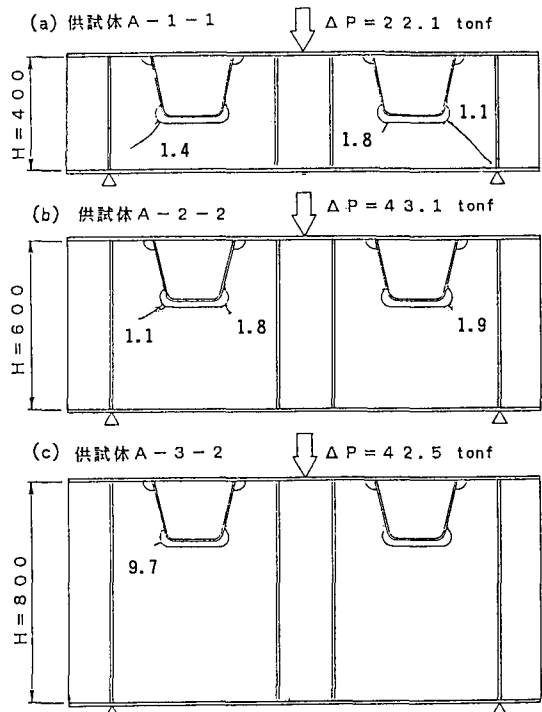
図中に原点を通るとした場合の回帰式を示す。一方、 σ_s と τ_g の関係は明確でない。

なお、スリットの周辺が塑性化した後も、スリットのひずみ範囲(図-10では σ_s として表す)は2回目以降の載荷では荷重と直線関係にあり、その傾きは降伏するまでの傾きに等しい。疲労試験の際には、供試体に変状がない限り、設定したひずみ範囲が繰り返される。

3.3 疲労試験結果

(1) クラックの発生状況

前出の図-9(a)~(f)に、ひずみ分布を測定し
たスリットのクラック発生位置を示す。また図
-11(a)~(c)にクラック発生状況の例として、供
試体A-1-1、A-2-2およびA-3-2の結果を示す。
クラックが発生した全ての供試体において、ク
ラックは全てスリットR部に発生しており、そ
れ以外の横リブウェブと縦リブの溶接部など
には発生しなかった。また、供試体A-2-3を除く
全ての供試体において、クラックは支点側のス
リットR部に載荷点側より先に発生した。供試
体A-2-3では、載荷点側のR部の方から先にク
ラックが発生したが、その載荷点側のR部のク
ラック始点にガス切断時に生じたと考えられる
直径1.5mm程度のノッチが見られた。クラック
の長さは荷重や繰り返し数によって異なるが、
今回の12体の小型供試体の結果では載荷点側
に発生したクラックの長さが18~37mm程度で
あるのに対して、支点側に発生したクラックは下
フランジまたは端垂直接剛材の近くまで進展し
ているものが見られた。



注) 図中の数値はクラック発生までの
繰り返し数($\times 10^5$ 回)を示す。

図-11 クラックの発生状況(一例)

(2) スリットのS-N図

図-12に、支点側のスリットR部に発生したクラックについて、スリット最大応力度 σ_s (実験値)で整理したS-N図を示す。比較のため、図中に公称応力範囲(荷重/母材断面積)で整理した帯板(ガス切断縁、41 kgf/mm²級)の疲労試験結果³⁸⁾を示す。また参考として図中にはJSSCの疲労設計指針(案)に示されているガス切断縁の疲労設計曲線(B等級)³⁹⁾を示す。これらの結果によれば、スリットR部の疲労強度は帯板の疲労強度と同程度である。

図-13に、支点側のスリットR部に発生したクラックについて、断面欠損を考慮した平均せん断応力度 τ_n (計算値)で整理したS-N図を示す。図中には支点側のスリットR部に発生したクラックについて、クラックなしのデータを除いた回帰式を示す。 $\log \tau_n$ と $\log N$ の相関が強い(相関係数0.98)。

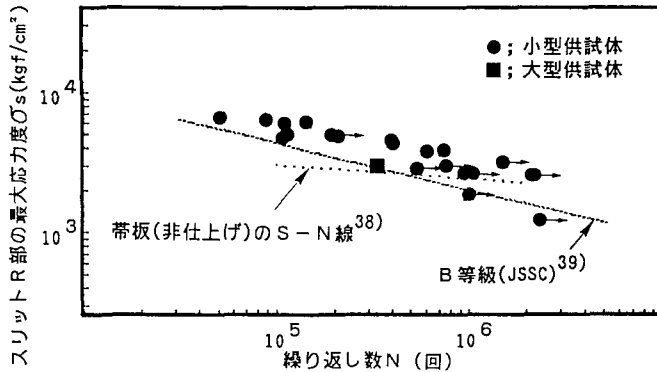


図-12 スリットの支点側R部について
 σ_s で整理したS-N図

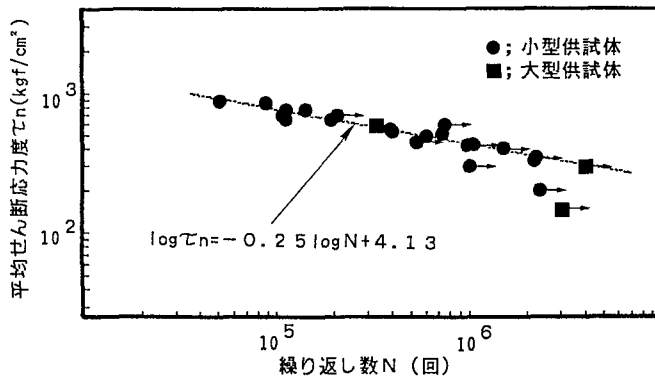


図-13 スリットの支点側R部について
 τ_n で整理したS-N図

3.4 スリットの形状に関する考察

文献41~42)では、図-14に示すような「すみに丸みのある正四角形孔をもつ無限板がせん断力を受ける場合」の応力集中度 α が示されている。 α は、孔のへりで接線方向に生じる応力度の最大値(図-15のA, A'の点に生じる応力度) σ_t を、無限板の孔から遠方で一樣に生じているせん断応力度 τ で除した値である。図-15に実線で示すように、 α は正四角形孔のすみの丸みの半径 ρ と正四角形孔の幅の1/2である s との比 ρ/s と反比例の関係があることが知られている。

3.2(4)で述べたように、スリットの最大応力度 σ_s とスリットによる断面欠損を考慮して求めたウェブの平均せん断応力度 τ_n は直線関係にあり、図-10に示した σ_s と τ_n の回帰式の傾き σ_s/τ_n は一種の応力集中度(以下、 α_s で表す)に相当すると考えられる。図-16(a)、(b)に示すようにスリットのR部の半径を ρ 、その幅を $2s$ として、図-15に前述のTypeA、TypeBそれぞれの静的載荷試験結果より得られた α_s をプロットし

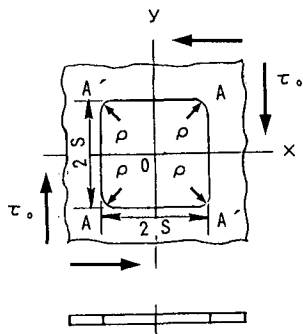


図-14 すみに丸みのある正四角形孔をもつ無限板⁴¹⁾

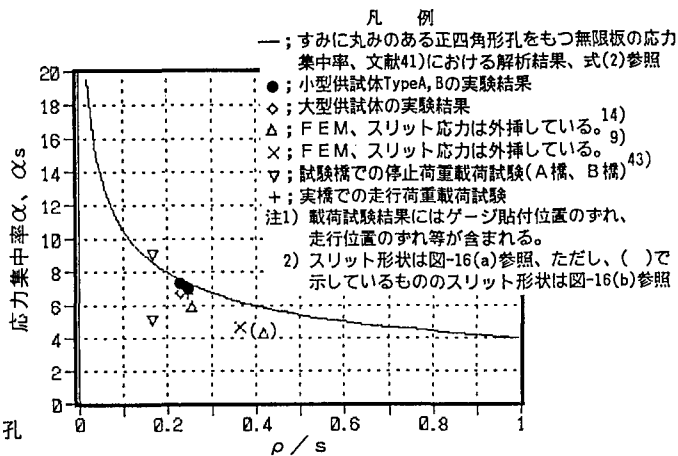


図-15 すみに丸みのある正四角形孔をもつ無限板がせん断力を受ける場合の応力集中率と横リブスリットの応力集中率

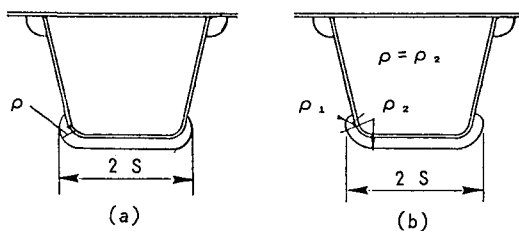


図-16 スリット形状

た。また同様にして、他の文献で報告されている結果も合わせてプロットした。これらのデータはFEM解析および試験橋梁や実橋における応力測定の結果を含むためにばらついているが、すみに丸みのある正四角形孔をもつ無限板の結果(解析値)と同様の傾向が見られる。

この結果から次のことが分かる。

- ① 図-15に示すように、 ρ/s が0.3程度より小さくなると急激に応力集中率 α_s が高くなる。前述の疲労試験に用いた供試体のTypeA($\rho/s=0.23$)、TypeB(同0.25)の形状は α_s が急激に高くなりだす付近にある。

逆に、 ρ/s が0.3程度より大きい場合、 α_s の変化は緩やかである。せん断応力を受ける無限板において、応力集中が最も小さくなる孔の形状は円($\rho/s=1.0$ 、そのとき $\alpha=4$)であることが知られている^{41)~42)}。これと同様に、スリットの形状を工夫しても α_s の低減には限界があると考えられる。

- ② 図-13ではTypeAとTypeBの結果を合わせてS-N線を整理したが、両者の形状の差はほとんど見られなかった。これはTypeAとTypeBの α_s の差が4%と少なかったためと考えられる。しかし、スリットの形状がTypeAやTypeBと極端に異なる場合、図-13に示したS-N線は、 ρ/s が1(すなわち円孔)に近づけば疲労強度が高くなり(S-N線は右上にシフトする)、0に近づけば疲労強度が低くなる(左下にシフトする)と考えられる。このことから、図-13に示したS-N線は ρ/s が0.23~0.25の範囲に限定されるものと考えられる。参考までに図-17に、スリットの形状(ρ/s)と疲労強度の関係として、図-13のS-N線を基本として試算した、 ρ/s が0.1、0.4、0.7、1.0の場合のスリットR部の疲労強度(S-N線)を示す。これらのS-N線は次式で得られる。なお、式(2)は文献41)の式23"および数表2に基づき、 α_s と ρ/s の関係を表したものである。

$$\tau_n \cdot N^{0.25} = \frac{10^{8.00}}{\alpha_s} \quad (1)$$

$$\alpha_s = \frac{12}{\{2 + (\rho/s)^{1/3}\}(\rho/s)^{1/3}} \quad (2)$$

ここに、 τ_n ；スリットの断面欠損を考慮したウェブの平均せん断応力度
(kgf/cm^2)

N ；繰返し数 (回)

α_s ；スリットR部の応力集中係数

ρ ；スリットR部の半径

s ；スリットの幅の1/2

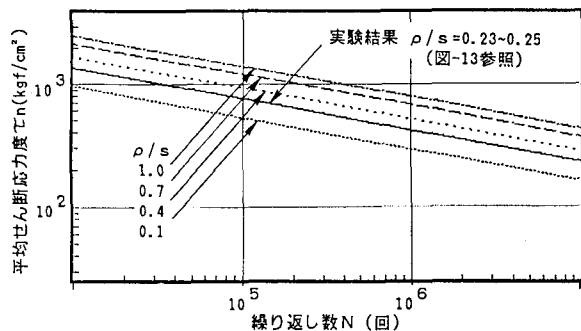


図-17 スリットの形状(ρ/s)と疲労強度の関係 (試算)

4. まとめ

Uリブを有する鋼床版横リブの供試体の静的荷重試験および疲労試験より次の結果を得た。

- ① 横リブウェブのスリットのへり(板の切断面)で測定した接線方向の直応力度 σ_s とスリットの断面欠損を考慮した平均せん断応力度 τ_n (せん断力/スリットによる断面欠損部のウェブ断面積)は直線関係にある(相関係数0.99)。
- ② 小型供試体の疲労試験後、スリットの支点側および載荷点側のR部からクラック(き裂)が発生した。ひずみが圧縮域の載荷点側のR部から発生したクラックの進展長は18-37mm程度であったのに対して、引張域の支点側のR部から発生したクラックは下フランジまたは端垂直補剛材の近くまで進展しているものが見られた。 τ_n はこの支点側のスリットR部周辺のクラック発生までの繰返し数 N と両対数軸上で直線関係にある(相関係数0.98)。これより、支点側のスリットR部周辺の疲労強度($S-N$ 線)は、比較的簡単に計算できる τ_n で表わせることが分かった。

また、以上の結果を踏まえて、スリットの形状とスリットR部周辺の疲労強度の関係について検討を行い、次の結果を得た。

- ③ ①で得られた相関式の傾き σ_s/τ_n は一種の応力集中率 α_s に相当すると考えられる。静的荷重試験のデータおよび他の文献のFEM解析や実橋計測のデータを整理した結果、スリットのR部の径 ρ とその幅の1/2である s との比 ρ/s と α_s の関係は、「すみに半径 ρ なる丸みのある一辺 $2s$ の正四角形孔をもつ無限板がせん断力を受ける場合」における ρ/s と応力集中率 $\alpha(=\sigma_t/\tau_o)$ の関係と同様の傾向が見られる。 α_s は ρ/s と反比例の関係にあり、例えば、 ρ/s が0.1、0.25、1.0の場合、 α_s はそれぞれ10.5、7.2、4.0である。
- ④ ②で述べた $S-N$ 線は、スリットの寸法が異なるTypeA($\rho/s=0.23$)とTypeB(同0.25)の小型供試体の結果から得られたものであるが、ばらつきは小さかった。しかし、③の結果を踏まえると、今回の疲労試験より得られた $S(\tau_n)-N$ 線は ρ/s が0.23~0.25の範囲にある場合に限られるものと考えられる。この範囲よりも ρ/s が1.0に近づけば疲労強度は高くなり、逆に0に近づけば疲労強度は低くなるものと考えられる。

5. あとがき

まえがきで述べたように、これまでに報告されている既設橋梁の疲労損傷事例では、ここで取り上げたような縦リブがUリブの場合の横リブスリットR部に疲労損傷は見られない。しかし、上述の面内曲げでの疲労試験では、スリットR部のみにクラックが発生しており、供試体の挙動と既設橋梁の実態とは異なっていた。これは、これまでの損傷事例が横リブの面内曲げ以外の輪荷重載荷点の局所的な影響や縦リブの曲げ変

形に伴う横リブの面外曲げなどの他の作用に起因しているものと考えられる。したがって、横リブの疲労照査を行う場合や、スリットの形状を疲労に対して最適化する場合には、横リブの面内曲げに対する検討だけでなく、さらに上記のような他の作用の影響についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 岩崎雅紀、名取暢、深沢誠、寺田博昌；鋼橋の疲労損傷事例と補修・補強対策、横河橋梁技報、No.18、1989.1
- 2) 鋼構造委員会鋼床版の疲労小委員会；鋼床版の疲労、土木学会論文集、第410号、1989.10
- 3) 中井博；都市高速道路橋の疲労損傷事例、橋梁と基礎、1990.2
- 4) S.Caramelli,P.Croce,S.Danieli,M.Froli,L.Sanpaulesi;An experimental study on the fatigue behaviour of orthotropic steel bridge decks,Costruzioni Mettalliche n.2/3-1988,pp.79~90
(E.C.S.C.における鋼床版疲労に関する研究の概要と中間報告)
- 5) 藤原稔、西川和廣、滝沢晃、小田訓男；鋼床版横リブの静的載荷試験および疲労試験、土木研究所資料第2643号、1988.7
- 6) 藤原稔、西川和廣、滝沢晃、小田訓男；鋼床版横リブの疲労強度に関する実験的研究、第17回日本道路会議、(社)日本道路協会、1987、pp.784~785
- 7) 藤原稔、村越潤、小田訓男、滝沢晃；鋼床版縦リブと横リブの交差部の疲労強度に関する検討、土木学会第43回年次講演集、1988、pp.422~423
- 8) 渡辺昇、林川俊郎、高久達将；鋼床版の耐荷性の研究(その二)、土木学会第29回年次講演集、昭和49年10月、pp.272~273
- 9) 成瀬輝男；ゴールデンホーン橋の構造特性、土木学会論文報告集第241号、1975.9
- 10) 大村裕、上野谷実、金沢和久；鋼床版横リブスリット周辺の応力分布と耐荷力、橋梁と基礎、昭和51年8月
- 11) 阪神高速道路公団・鋼構造物設計基準改訂委員会；Uリブスリットを有する鋼床版横リブの検討、1981.3
- 12) 吉川紀、石崎浩、伊藤満；鋼床版横リブの耐荷力に関する実験的研究、土木学会第36回年次講演集、昭和56年10月、pp.279~280
- 13) 尾下里治、梶田文雄、伊藤満；鋼床版横リブの耐荷力に関する実験的研究(その2)、土木学会第37回年次講演集、昭和57年10月、pp.375~376
- 14) 北原俊男、檜垣孝二、和田三夫、渡辺昇；鋼床版の横リブ設計法の研究(その1)、住友重機械技報、Vol.36、No.106、昭和63年4月
- 15) 檜垣孝二、北原俊男、和田三夫、渡辺昇；鋼床版の横リブのUリブ切欠形状と腹板の応力性状、土木学会第42回年次講演集、昭和62年10月、pp.434~435
- 16) 田口俊彦、北原俊男；鋼床版の横リブのUリブ切欠き形状と腹板の応力性状(その2)、土木学会第44回年次講演集、平成元年10月、pp.528~529
- 17) 国広昌史、迫田治行、公江茂樹、仁瓶寛太；閉断面縦リブを有する鋼床版の疲労実験、川崎重工技報、No.92、昭和61年4月
- 18) 田中雅人；鋼床版の横リブとUリブ交差部の疲労強度の検討、東京鉄骨技術報、No.26、昭和63年
- 19) 三木千寿、森猛、酒井克己、田中雅人；鋼床版縦リブー横リブ交差部の疲労強度、土木学会第43回年次講演集、昭和63年10月、pp.336~337
- 20) 藤原清隆、伊藤満；U形孔ばりの耐荷力に及ぼすせん断力の影響について、土木学会第43回年次講演集、昭和63年10月
- 21) 佐藤昌哉、村田勝弘、浮橋秀明、渡辺昇、佐藤浩一；鋼床版横リブスカーラップ近傍の応力解析につい

- て、土木学会第44回年次講演集、平成元年10月、pp.524~525
- 22) 黒田英文、小野裕二、本名一夫；鋼床版横リブスラップ付近の応力性状に関する模型実験、土木学会第44回年次講演集、平成元年10月、pp.526~527
 - 23) Y.Maeda,M.Sera;Fatigue Characteristics of Steel Plate Decks for Steel Bridges,IABSE Colloquium,1982
 - 24) 小西一郎編；鋼橋、設計編Ⅰ、昭和50年3月、pp.179~181
 - 25) K.Kunert,P.Wagner;Querrippen orthotroper Platten mit an den Durchdringungspunkten der Längsrippen geschlitzten Stegen,Bauingenieur,43,7,1968,S.244~249
 - 26) K.Kunert;Einige Überlegungen zur Projektierung von Stahlbrücken am Beispiel der Mainbrücke Hochheim,Bauingenieur,42,9,1967,S.313
 - 27) E.Haibach,I.Plasil;Untersuchungen zur Betriebsfestigkeit von Stahlleichtfahrbahnen mit Trapezhohlsteifen im Eisenbahnbrückenbau,STAHLBAU,9/1983
 - 28) J.Falke;Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu Querträgern orthotroper Platten und deren näherungsweise Berechnung,Bauingenieur,59,1984,S.131~136
 - 29) 船体構造委員会関東地区部会スロット対策懇談会；大型船の横桁材におけるスロット周辺の損傷防止に関する検討、日本造船学会誌、第505・506号、昭和46年7・8月
 - 30) (社)日本造船研究協会第120研究部会；大型船の横部材におけるスロット周辺のクラック防止に関する研究報告書、日本造船研究協会研究資料No.136、1971
 - 31) 渡辺昇、大島久；鋼床版設計実例の全国調査と鋼床版の経済設計、橋梁と基礎、1976.9
 - 32) 鋼構造委員会鋼構造進歩調査小委員会橋床構造の進歩調査分科会；鋼床版の発展と現況、土木学会誌、1982.9
 - 33) 中井博、北田俊行、鈴木巖、古田富保；トラフリブを有する鋼床版の実績調査、橋梁と基礎、1990.10
 - 34) 後藤芳顯、柴山昌和、長谷川彰夫、松浦聖；塑性履歴を受けた鋼切欠き部および2,3の溶接継手の疲労強度、構造工学論文集、Vol.32A、昭和61年3月
 - 35) 峯村充、後藤芳顯、小畑誠、松浦聖；切欠き材の塑性履歴による残留応力分布とその疲労強度への影響、土木学会第43回年次講演集、昭和63年10月、pp.318~319
 - 36) 篠原洋司、西川和廣、滝沢晃；疲労損傷を受けた合成H形鋼橋の応力頻度測定、土木研究所資料第2344号、昭和61年3月
 - 37) 尾下里治；特殊な形状を有する部材の応力度計算方法、横河橋梁技報、No.13、昭和58年11月
 - 38) 田島二郎；自動ガス切断試験片による疲労試験、土木学会誌、1961.10
 - 39) 疲労設計指針(案)、JSSCレポートNo.14、日本鋼構造協会、平成元年11月
 - 40) 小松定夫；薄肉構造物の理論と計算(Ⅰ)、昭和44年11月、p.9
 - 41) 浅羽隆太郎；孔ある薄板に於ける応力の分布、九州帝国大学工学彙報第1巻、大正15年、pp.217~228
 - 42) 浅羽隆太郎；有孔板に於ける応力に就いて、造船協会会報、第42号、昭和3年4月、pp.25~49
 - 43) 藤原稔、西川和廣、滝沢晃、小田訓男；鋼床版試験橋の静的載荷試験、土木研究所資料第2534号、昭和63年1月
 - 44) 藤原稔、村越潤、田中良樹；鋼床版横リブのスリットの疲労強度、土木学会第45回年次講演集、平成2年9月、pp.832~833

(1990年10月12日 受付)