

鋼I桁橋の主桁上フランジと横桁の取合部の応力緩和による疲労強度向上法

IMPROVEMENT METHOD OF FATIGUE STRENGTH
OF WEB GAP PLATE BY SEMI-CIRCULAR CUT-OUT

貝沼重信*, 山田健太郎**, 西岡敬治***, 中村一平****, 石井博典*****

Shigenobu KAINUMA, Kentaro YAMADA, Takaharu NISHIOKA, Ippei NAKAMURA and Hironori ISHII

- * 工修 名古屋大学大学院 助手 工学研究科 土木工学専攻 (〒464-01 名古屋市千種区不老町 1)
- ** Ph. D. 名古屋大学大学院 教授 工学研究科 土木工学専攻 (同 上)
- *** 工修 阪神高速道路公団 保全施設部保全技術課 (〒540 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)
- **** 工修 阪神高速道路公団 大阪第一建設部 (〒542 大阪市中央区西心斎橋 1-2-4)
- ***** ㈱横河ブリッジ 技術本部研究所研究課 (〒261 千葉市美浜区新港 88)

Web gap plates, connecting between upper flange of plate girder and its cross beam, were fatigue-cracked due to heavy traffics. Semi-circular cut-out in the web gap plate is one of the retrofiting measure, because the cut-out decreases the stresses in the upper corner of the web gap plate. The finite element stress analyses were carried out on a part of the web gap details with and without cut-out. Static loading tests full scale model and its stress analysis were also carried out. It was found that the semi-circular cut-out of about 35 mm radius placed at mid-height of the web gap plate reduced the stresses by about 50 percent. It corresponds to the increase in fatigue life by 10 times.

Key Words : stress reduction, local stress, web gap plate, semi-circular cut-out, fatigue strength

1. はじめに

プレートガーダー橋の主桁と荷重分配横桁の上フランジの間に取付けられたウェブギャップ板(以下,ギャップ板と呼ぶ)や対傾構が取付けられた垂直補剛材の溶接部に疲労き裂が発生・進展する事例が数多く報告されている¹⁾。例えば,ギャップ板では,図-1に示すように上端部,スカーラップや主桁の上フランジとウェブの溶接部に疲労損傷が生じている¹⁾。この中で,上端部の溶接止端部あるいはルート部から疲労き裂が発生し,すみ肉溶接に沿って進展するケースが最も多い²⁾。このき裂はギャップ板の全断面を切断し,その後,主桁の上フランジとウェブのすみ肉溶接の止端部に疲労損傷が発生・進展する。この状態になると補修が困難となるため,早期あるいは予防的に補修・補強を行なうことが望ましいと考えられる。

ギャップ板の疲労損傷の補修・補強については,すみ肉溶接部に生じる応力を低減させるためのギャップ板の厚板への取替え^{3),4)},溶接継手部の止端部の応力集中を低減するためのグラインダーあるいはTIGを用いた止端形状の改良⁵⁾,およびスタッドジベルの配置⁶⁾,床版変形を低減するための主桁間の縦桁増設⁷⁾,などについて検討され,実橋で試みられてきた。この中でも,ギャップ板の厚板への取替えは,阪神高速道路の標準的な補修・補強

方法となっている⁸⁾。疲労損傷が発見された場合,阪神高速道路のギャップ板のほとんどが厚板に取替えられている。今後は,疲労損傷の未発生部あるいは補修後に疲

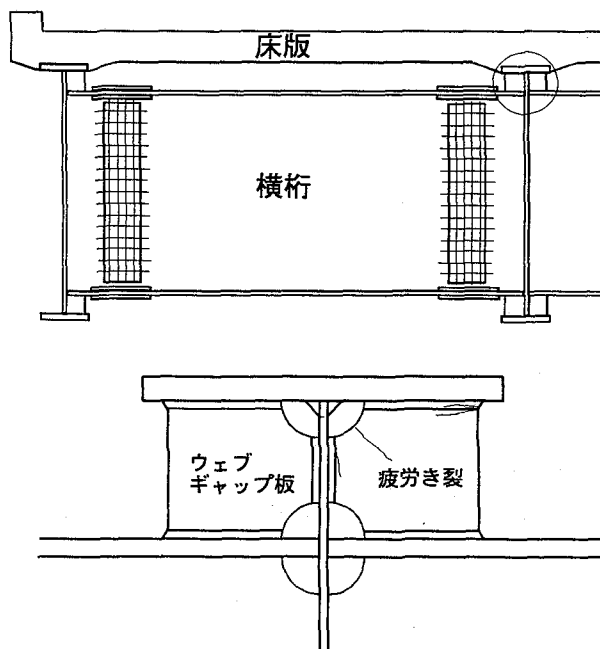


図-1 疲労損傷の事例

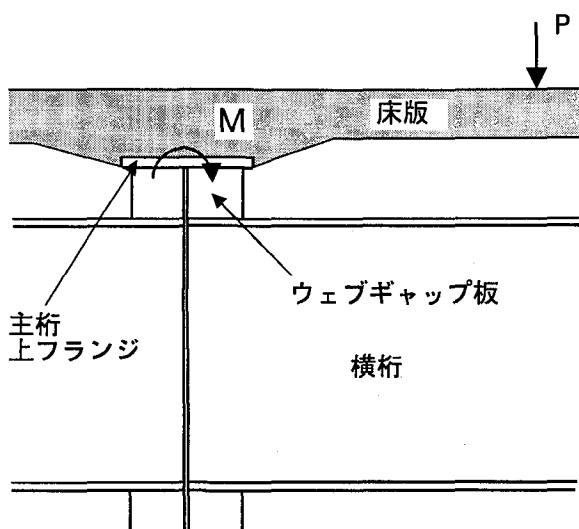


図-2 疲労き裂の発生要因

労損傷が再発した場合が対象となるため、この部位の効率的かつ経済的な補強方法の確立の必要性が高まっています。

ギャップ板の端部の疲労き裂の発生要因として、床版変形に伴う主桁の上フランジの回転変形や、荷重分配作用による主桁の相対変位が挙げられる。これまでの検討の結果、き裂発生は図-2 に示すような床版の回転変形であることが明らかにされている⁹⁾。

ギャップ板の端部のき裂は、床版の回転変形をギャップ板が拘束し、その回し溶接部に高い応力が生じることで発生する。したがって、ギャップ板の剛性を低下させ、端部に生じる応力を緩和することが、疲労寿命を向上させる上で効果的であると考えられる¹⁰⁾。その方法の一つとして、本研究では半円孔をギャップ板に設置することを考え、その位置および半径を変化させたギャップ板モデルの有限要素解析を床版の回転変形に着目して行なった。また、半円孔を明けることによる応力緩和効果を実物大の試験体を用いた静的載荷試験およびその有限要素解析を行なって検証した。さらに、実物大の試験体の解析モデルを隣り合う横桁まで橋軸方向に拡張した実橋モデルについても解析することで、半円孔を明けることによるギャップ板の材端の応力緩和効果について検討した。

2. 予備解析

ギャップ板の上端部に生じる局部応力の応力緩和に対して最も効果的な半円孔の位置および半径を検討するため、ギャップ板および主桁の一部の簡易モデルを用いて、半円孔を明ける位置Lおよびその半径Rを変化させた有限要素解析を行なった。

2.1 解析モデル

解析対象は、図-3 に示す幅 135mm、高さ 150mm、板厚 19mm のギャップ板と主桁の一部である。なお、ギャップ板の上端部の部分溶込みすみ肉溶接の脚長は、阪神高速道路公団⁸⁾に基づき 6mm としている。有限要素解析は、

表-1に示すように半円孔の半径を 0~60mm、半円孔の中心を主桁の上フランジから 45~75mm まで変化させた計 9 種類のモデルについて行なった。

主桁の上フランジの回転角に比べて、横桁の回転角が小さいことから⁴⁾、ギャップ板が横桁に取付く下端部分の全自由度を拘束した。また、ギャップ板の板厚の増厚後も、板厚ほどギャップ板の端部の応力が低減しないことから⁴⁾、ギャップ板には床版の回転変形による強制変位が生じているものと仮定した。本解析では、単位変位として、主桁の上フランジの材端に最大変位が 0.1mm で三角形分布の強制変位を与えた。要素分割例を図-4に示す。解析モデルの要素には 4 節点のシェル要素を用い、最小要素寸法を 3×3mm とした。なお、本解析モデルでは、半円孔の半径とその位置を変えた場合のギャップ板上端のすみ肉溶接の止端位置での公称応力の相対比較を行うため、すみ肉溶接はモデル化していない。

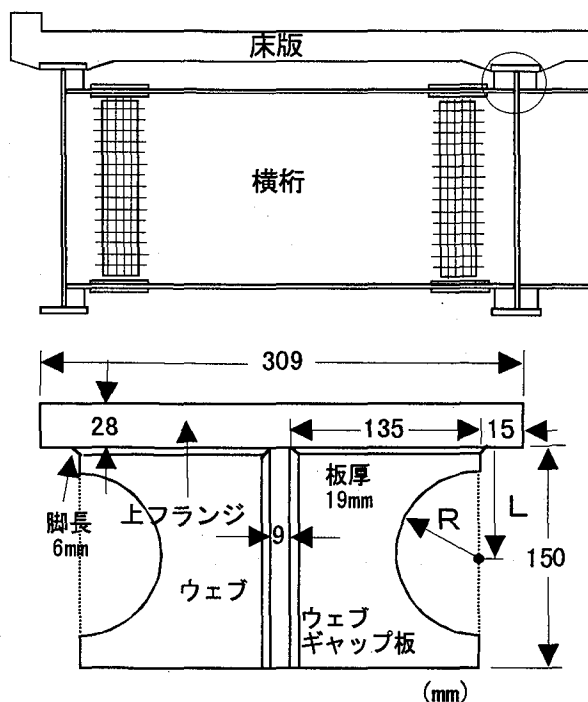


図-3 解析対象

表-1 簡易モデルの種類

解析 モデル	半円孔の半径 : R (mm)	フランジ下端からの 距離 : L (mm)
R30-45	30	45
R30-55	30	55
R30-65	30	65
R20-75	20	75
R30-75	30	75
R40-75	40	75
R50-75	50	75
R60-75	60	75
半円孔無し	0	—

※R○-△ (モデル名)

○ : 半径 R △ : 位置 L

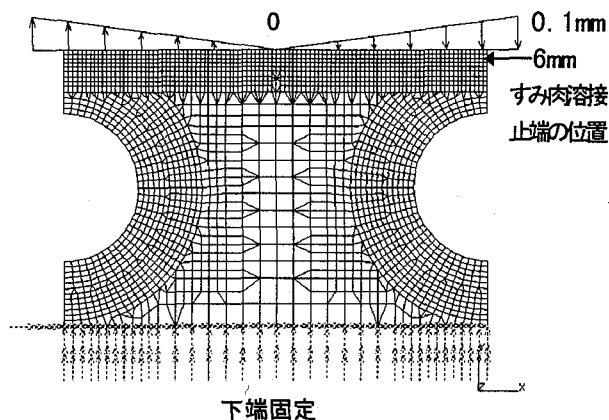


図-4 簡易モデルの要素分割図

2.2 評価応力

ギャップ板の上端部のすみ肉溶接部に発生する疲労き裂は、溶接線方向に進展することが知られている。ところで、主応力の向きが溶接線に直角でない場合には、その角度によっては評価応力として主応力が用いられる。例えば、日本鋼構造協会(以下、JSSCと呼ぶ)の疲労設計指針¹¹⁾では、直応力とせん断応力が同時に作用し、両者が主応力に大きく影響すると予想される場合には、最大主応力の範囲を応力範囲としている。また、照査する許容応力範囲は直応力に対するものを用いることとしている。ギャップ板の上端部では、直応力とせん断応力が同時に作用する。そこで、圧縮側のギャップ板の材端の止端位置に相当する上フランジから6mmの位置の応力に着目して検討する。

図-5に主応力のなす角度 θ および鉛直応力に対するせん断応力の比 α を示す。図の横軸は解析モデルの種類であり、縦軸は角度 θ および(せん断応力/鉛直応力) α である。 θ および α は半円孔が無いモデルが最も小さく、これらの値はそれぞれ 2° 、0.05となっている。半円孔の位置がギャップ板の上端部に近づくに従って、またRが大きくなるにしたがって、 θ および α の値は大きくなっている。特に、R30-45のモデルでは、 θ の値が 47° 、 α の値が0.72となる。したがって、ここではギャップ板の上端の評価応力として主応力を用いることとした。

2.3 ギャップ板の上端部の局部応力

図-6に各モデルのギャップ板上端の溶接止端部(上フランジから6mm)の位置に沿う主応力分布を示す。図の横軸は主桁のウェブからの距離 x であり、縦軸はギャップ板の上フランジから6mmの位置に沿う主応力である。図-6(a)に半径Rを30mmとして、半円孔の中心とギャップ板の上端までの距離Lを45, 55, 65, 75mmと変化した場合と半円孔が無い場合を比較した結果を示す。半円孔が無い場合には、ギャップ板の材端に近づくとともに発生応力が大きくなる。これが、R=30mmの半円孔を明けることで、ギャップ板の端部の応力が大きく緩和されている。主桁のウェブ取付位置からギャップ板の中央部までは、半円孔による応力緩和効果はほとんど見られない。

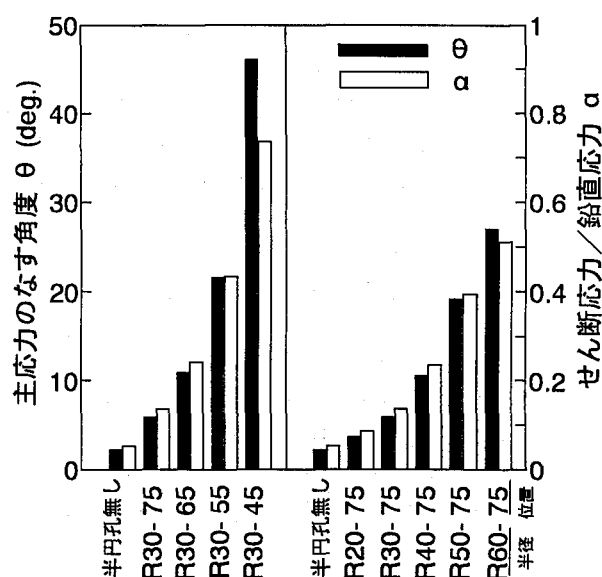


図-5 各モデルの θ および α

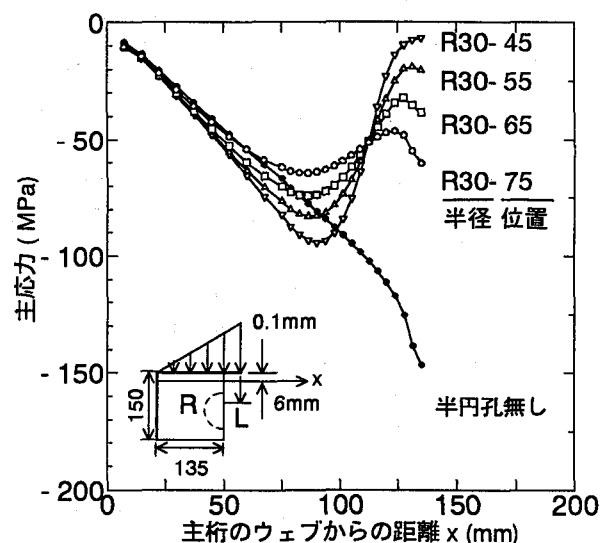


図-6(a) 位置Lを変化させた場合(半径R=30mm)

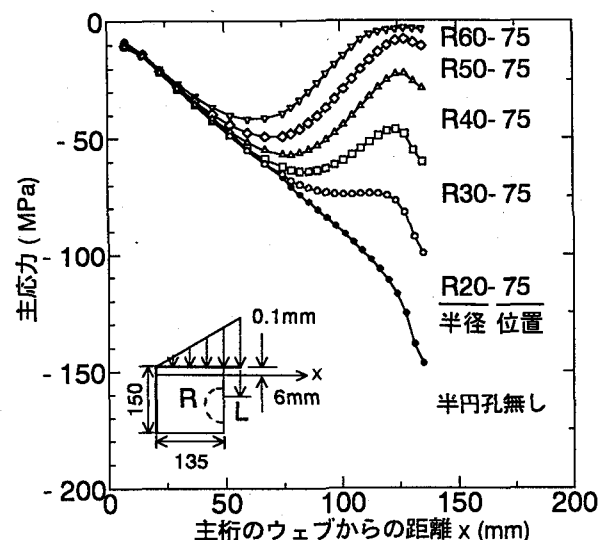


図-6(b) 半径Rを変化させた場合(位置L=75mm)

ギャップ板の上端のすみ肉溶接継手の疲労強度は、溶接線に沿ってほぼ同じであると考えられる。そこで、溶接線の中央と端部の発生応力が同程度となり、なおかつ半円孔の無い場合に比べて局部応力が緩和されるR30-75の半円孔が、疲労強度を向上させる上で最も効果的であると考えられる。

図-6(b)に L を75mmとし、半円孔の半径 R を0, 20, 30, 40, 50, 60mmと変化させた場合の解析結果を示す。 R が大きくなるとともに、いずれのモデルも主応力の大きさは小さくなる。しかし、半円孔がギャップ板のサイズに比べて過大な場合には、主桁のウェブと上フランジのすみ肉溶接に疲労損傷が生じる可能性が出てくる。したがって、ギャップ板上端の材端の発生応力に対して十分な緩和効果があり、溶接止端に沿う応力分散効果が最も良く、半円孔の半径が小さいR30-75モデルの半円孔がギャップ板に明ける最適な半円孔と考えられる。このモデルは、半円孔が無いモデルに比べ、-149MPa から-65MPa に圧縮の主応力が減少することから、約55%の局部応力の低減効果があると考えられる。

2.4 ギャップ板材端部と半円孔壁の疲労寿命の比較

ギャップ板に $R=30\text{mm}$ の半円孔を明けることで、ギャップ板の上端部の局部応力は緩和されるが、半円孔の中央部には応力集中が生じる。ギャップ板の材端部の疲労寿命が向上したとしても、半円孔の疲労寿命が材端部に比べて短かければ、この部分から疲労損傷が生じることが考えられる。そこで、ギャップ板の材端の主応力を応力範囲として考え、ギャップ板の材端と半円孔の疲労寿命をJSSCの疲労設計指針¹¹⁾に基づき比較・検討する。ここでは、前述の半円孔が無いモデルとR30-75モデルに対し、最大変位が0.1mmとなる三角形分布の強制変位を与えた場合の解析結果を示す。

主桁の上フランジとギャップ板のすみ肉溶接継手部は、JSSCの荷重伝達型の十字すみ肉溶接継手に相当し、この継手の強度等級はF等級となる。また、ギャップ板の半円孔をガス切断によって明け、グラインダー等で仕上げを行なうとすると、この部分は、帯板(黒皮付き、ガス切断縁、仕上げ)のB等級となる。

ギャップ板のすみ肉溶接継手(F等級)と半円孔(B等級)の疲労設計曲線、およびR30-75と半円孔が無いモデルのギャップ板材端部の応力範囲を図-7に示す。半円孔を明ける前では、ギャップ板の材端の応力範囲は149MPaであり、疲労寿命は 1.6×10^5 回となる。また、ギャップ板に半円孔を明けるとこの部分の応力は65MPaに緩和され、疲労寿命は 2.0×10^6 回となる。このとき、半円孔の応力範囲は174MPa、疲労寿命が 1.4×10^6 回となり、ギャップ板の材端部の疲労寿命より小さくなることから、ギャップ板自体の疲労寿命は半円孔の疲労寿命 1.4×10^6 回となる。したがって、ギャップ板の材端中央に半径30mmの半円孔を明けることにより、疲労寿命が 1.6×10^5 回から 1.4×10^6 回に約9倍向上すると考えられる。

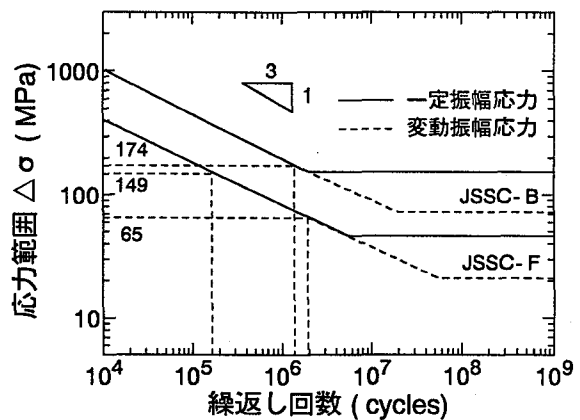


図-7 ギャップ板の端部と半円孔壁の疲労寿命の比較

3. 実物大試験体の静的載荷試験および有限要素解析

3.1 試験方法

実物大の部分試験体のギャップ板に半円孔を明ける前後について静的載荷試験を行ない、半円孔を明けることによる応力緩和効果について検討した。

図-8に試験体の形状と寸法を示す。試験体は主桁間隔3,850mm、コンクリート床版厚180mmの3主桁であり、橋軸方向の長さは2,000mmである。試験体の床版下面には、床版補強用の板厚4.5mmの鋼板がエポキシ樹脂によって接着されている。また、主桁の上フランジと横桁には、幅100mm、高さ135mm、板厚19mmのギャップ板が取り付けられている。このギャップ板に対して前述と同様な簡易モデルを用いて有限要素解析を行なった結果、G3主桁の両側のギャップ板の上端から75mmの位置に $R=35\text{mm}$ の半円孔を明けることとした。半円孔はガス切断によって明けた後、ディスクグラインダーおよびペングライナーによって切断線を仕上げた。

ひずみゲージの貼付位置および変位計の設置位置を図-8に示す。ひずみゲージはギャップ板上端の端部の応力を測定するために、1軸のひずみゲージをウェブ側の溶接止端部から10mm下側へ、ギャップ板の材端から15mm離れた位置に貼付した。変位計は主桁間の中央の床版下面に設置した。静的載荷試験は、外桁G3のウェブを挟む両側のギャップ板に $R=35\text{mm}$ の半円孔を明ける前後について行なった。静的載荷試験には、動的能力 $\pm 600\text{kN}$ の電気油圧式サーボ試験機を用いた。載荷荷重は図-8に示すように、片側に最大78kNで合計156kNとして、橋軸直角方向に計11ケースの位置に載荷した。また、偏心載荷による主桁のアップリフトを防止するため、試験体を試験床にアンカーボルトによって固定した。

3.2 有限要素解析

解析モデルは、橋軸方向に2,000mmの試験体モデル(Type I)と、床版を隣り合う対傾構取付位置まで橋軸方向に5,000mmに拡張した実橋モデル(Type II)の2種類である。解析はギャップ板に試験体と同様な位置に半円孔を明ける前後について行なった。解析モデルの要素分割図を図-9示す。ここで、コンクリート床版にはソリ

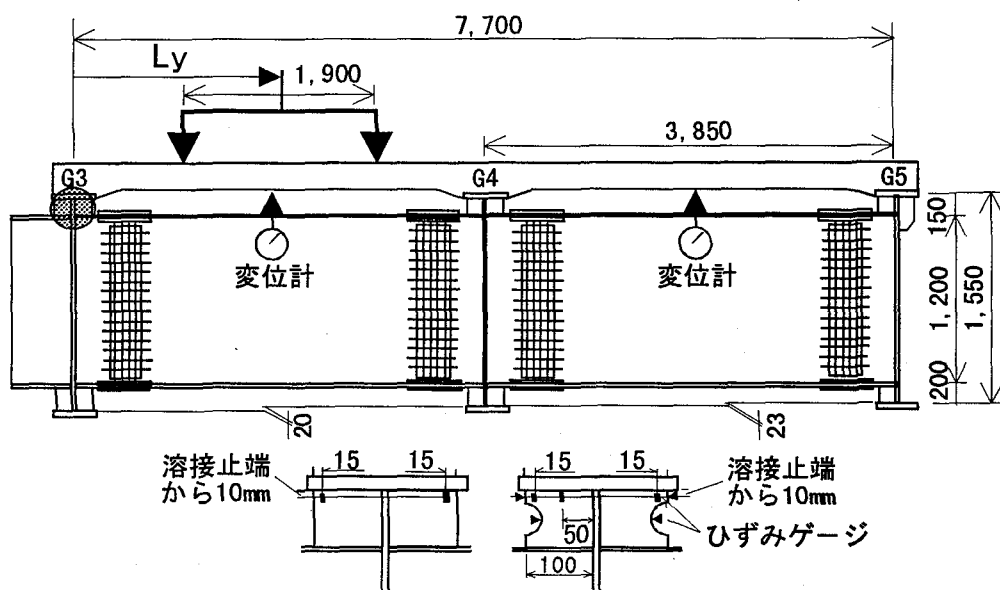


図-8 試験体の形状と寸法, ゲージと変位計の設置位置, および荷重載荷位置

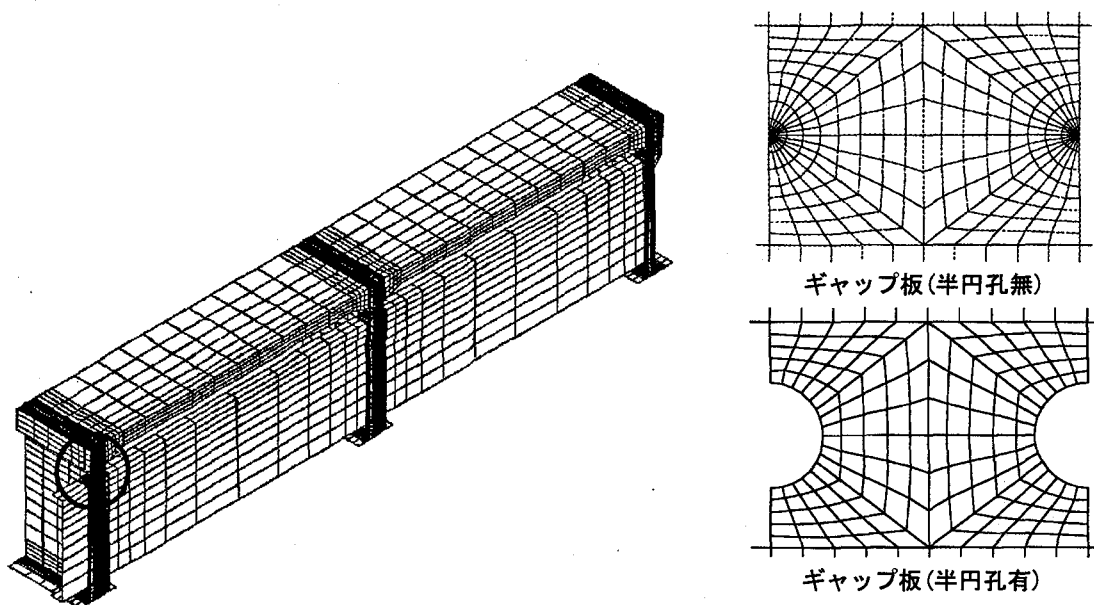


図-9 試験体の要素分割図

ッド要素, その他の部材にはシェル要素を用いた。また, 床版のコンクリートの弾性係数は 2.9×10^4 MPa として与えている。拘束条件としては, 静的荷重試験と同様に, 主桁の下フランジで全自由度を拘束した。

ギャップ板の材端におけるすみ肉溶接止端部の位置の応力を求めるため, 主桁 G3 のギャップ板を取り出して細分化し, 1 次メッシュの解析で得た節点変位を拘束条件として与え, 2 次メッシュの解析を行なった。要素には, 2 次元平面応力要素を用い, 最小要素寸法を 3×3 mm とした。

3.3 試験結果

(1) 試験結果と解析結果の比較

図-10 にギャップ板の材端の応力と床版中央のたわみの試験値および Type I (試験体モデル) の解析値を示す。図-10(a) には, G3 主桁の G4 主桁側のギャップ板上端の

端部の鉛直方向の応力を示す。図の横軸は G3 主桁のウェブから荷重位置の中央までの距離 L_y である。

荷重位置によらず, 解析値の大きさは試験値よりも大きくなっているが, 主桁 G4 と G3 間の中央位置に荷重を載荷した場合, 解析値および試験値は, いずれも半円孔を明けることにより, ひずみゲージ貼付位置(すみ肉溶接の止端部から 10mm 離れた位置)で, 応力が約 35% 低減している。

図-10(b) に床版のたわみの試験値および解析値を示す。いずれの荷重位置においても, 解析値は試験値と良く一致している。試験値は G4 主桁と G5 主桁の間で上に凸となっているが, G3 主桁と G4 主桁の間では下に凸となっていない。この傾向は, 前述のギャップ板の上端の材端の応力と同様である。また, 半円孔を明ける前後で床版のた

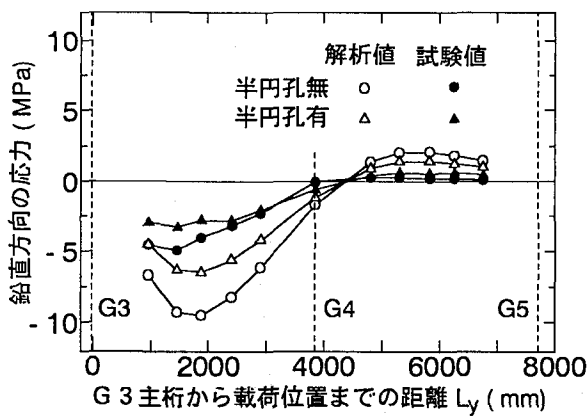


図-10(a) ギャップ板の端部の応力

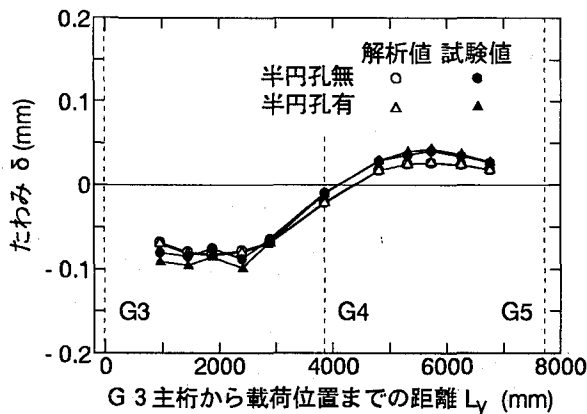


図-10(b) G3主桁とG4主桁の床版中央のたわみ

わみがほとんど変化していない。したがって、ギャップ板に半円孔を明けることで、床版のたわみが増加しないことから床版に及ぼす影響はほとんど無いものと考えられる。

(2) 橋軸方向の床版の長さが局部応力に及ぼす影響

次に、Type I と Type II モデルの荷重に対する床版の挙動を床版のたわみを用いて比較・検討する。図-11 は Type I および Type II モデルの G3 主桁と G4 主桁間の中央に荷重 9.8kN を載荷した場合の床版の解析値のたわみ分布を示している。Type I については、横桁のウェブ直上および橋軸方向の端部の床版のたわみを示す。また、Type II モデルについては、横桁のウェブ直上から橋軸方向に 2,500mm 離れた位置での床版のたわみについても示している。Type I の床版の横桁ウェブの直上のたわみと橋軸方向の床版のたわみは一致している。したがって、Type I の床版は荷重に対して梁として作用すると言える。一方、横桁のウェブ直上で Type II のたわみは Type I の 1/2 程度となっている。また、Type II は、横桁のウェブ直上から離れるに従って、床版のたわみが小さくなっており、床版の橋軸方向の端部ではたわみはほとんど生じていない。したがって、Type II の実橋モデルは、床版は荷重に対して版として挙動すると言える。

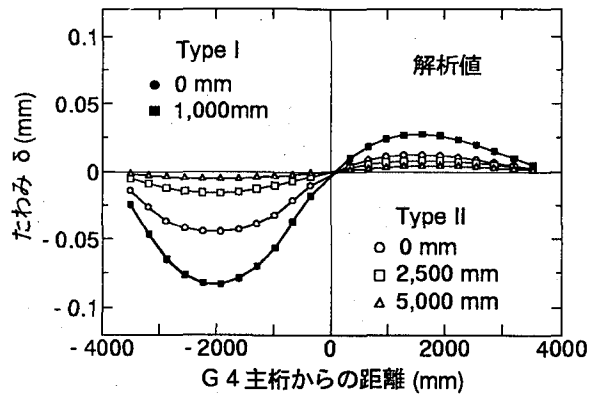


図-11 Type I と Type II モデルの床版中央のたわみ

表-2(a) ゲージ貼付位置の応力

モデル	半円孔無 (MPa)	半円孔有 (MPa)	半円孔無/半円孔有
Type I	-7.6	-5.6	0.74
Type II	-4.3	-2.9	0.67
試験値	-4.6	-3.0	0.65

※Type I および Type II : 解析値

表-2(b) すみ肉溶接の止端部の応力(解析値)

モデル	半円孔無 (MPa)	半円孔有 (MPa)	半円孔無/半円孔有
Type I	-12.2	-6.5	0.53
Type II	-6.9	-3.1	0.45

以上のように、Type I モデルの床版は荷重に対して梁として作用し、Type II モデルでは版として挙動することから、実橋モデルの Type II について、半円孔による応力緩和効果を検証する必要があると考えられる。

表-2 に Type I および Type II モデルの半円孔を明ける前後のギャップ板の上端の端部の主応力値を示す。表-2(a) は G3 主桁と G4 主桁間の中央 ($L_y = 1,925$ mm) に単位荷重 9.8kN を載荷した場合のひずみゲージ貼付位置における応力についても示している。半円孔を明けることにより、主応力は Type I モデルでは 0.74 倍、Type II では 0.67 倍に低減している。また、試験値は、0.65 倍となっていることから、ゲージ貼付位置で約 35% の応力低減効果があると考えられる。

表-2(b) は、Type I および Type II モデルのギャップ板上端の材端で上フランジから 6mm の位置における主応力値を示している。Type I モデルは、半円孔を明けることで主応力は半円孔を明ける前の 0.53 倍となっている。また、Type II モデルは、0.45 倍となっており、Type I モデルよりも応力低減効果は大きくなっている。これは、Type I の床版は荷重に対して梁の挙動を示し、Type II モデルは版として挙動するためである。

以上から、実橋においては半円孔を明けることで、約 55% の応力緩和効果が期待でき、疲労寿命の向上は 10 倍以上となることが考えられる。

次に、半円孔が床版のたわみに及ぼす影響を明らかに

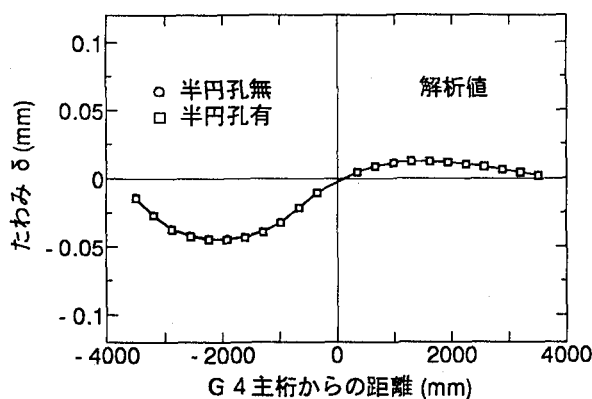


図-12 Type II モデルの床版中央のたわみ

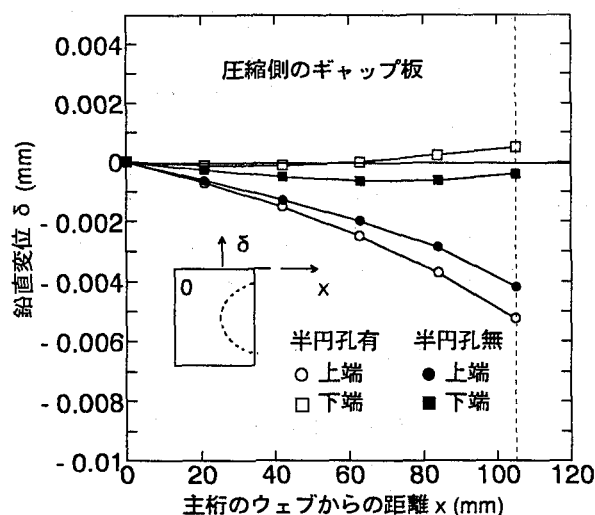


図-13 ギャップ板の上下端の鉛直変位 (Type I)

するため、Type II モデルのギャップ板に半円孔を明ける前後の床版のたわみの変化について検討する。図-12 に半円孔を明ける前後の Type II モデルの横桁ウェブ直上の床版のたわみを示す。なお、載荷荷重は 9.8kN で G3 主桁と G4 主桁間の中央に載荷されている。前述の Type I の結果と同様に Type II に半円孔を明けても床版中央のたわみは変化していない。したがって、実橋においても、ギャップ板の半円孔が床版のたわみに及ぼす影響はほとんど無いと考えられる。

4. 簡易モデルの妥当性の検討

まず、前述の簡易モデルの下端に与えた境界条件の妥当性の検討と簡易モデルの上端に与える鉛直変位について検討する。図-13 に G3 主桁と G4 主桁間の中央 ($L_y = 1,925$ mm) に荷重 9.8kN を載荷した場合の Type I モデルの圧縮側のギャップ板の上下端部の鉛直変位を示す。ここでは、ギャップ板の上下端のいずれも主桁のウェブの位置の鉛直変位を 0 とした場合の相対変位を示している。ギャップ板の下端部の鉛直変位は上端部の 9% 以下となる。この傾向は Type II モデルについても同様であった。したがって、前述の簡易モデルの下端の境界条件は妥当

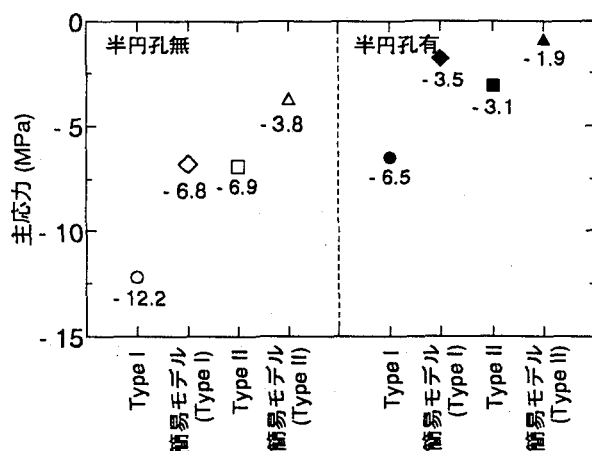


図-14 各モデルのギャップ板の端部の主応力 (解析値)

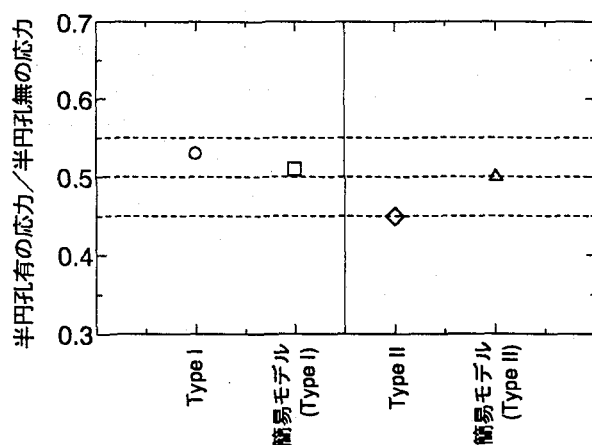


図-15 各モデルの半円孔による応力低減効果

であると考えられる。上端部の材端の鉛直変位の大きさは、半円孔を明ける前後でそれぞれ 4.2×10^{-4} mm, 5.3×10^{-4} mm であり、半円孔を明けることで鉛直変位が約 25% 増加している。これは、主桁の上フランジの回転変位は床版変形によるものが支配的ではあるが⁴⁾、半円孔を明けることでギャップ板の剛性が低下し、上フランジの回転変位が増加したためである。ここでは、前述のように、上端部のみの鉛直変位をそれぞれの簡易モデルに与えることとした。前述の解析では、簡易モデルの上フランジの材端に最大変位を 0.1mm とした三角形分布の単位変位を与えた。ここでは、Type I および Type II モデルのギャップ板上端の材端の鉛直変位に基づいて三角形分布の鉛直変位を決定し、これを図-4 で示したような簡易モデルを与えることで行なった。

図-14 に簡易モデル、Type I モデルおよび Type II モデルの荷重載荷側のギャップ板上端の材端の主応力を示す。図の横軸は解析モデルの種類であり、図の縦軸は G3 主桁と G4 主桁の間に荷重 9.8kN を載荷した場合のギャップ板材端のすみ肉溶接の止端位置での応力を示している。Type I および Type II モデルの境界条件を与えた簡易モデルの解析値は、いずれも Type I および Type II モ

デルの解析値の 1/2 程度となっている。これは、図-13 に示したように、ギャップ板の上端の変位分布の形状が非線形となっており、前述の簡易モデルに与えた様な三角形分布となっていないことが考えられる。しかし、図-15 に示すように、半円孔を明けることによって、簡易モデルの主応力は 0.5 倍となり、Type I モデルでは 0.53 倍、Type II モデルでは 0.45 倍にギャップ板の材端の応力低減効果が同程度となっている。

以上から、簡易モデルの解析を行えば、実橋のギャップ板に明ける最適な半円孔の位置および半径を決定でき、半円孔による応力緩和効果も評価することができると言える。

5. まとめ

本研究では、ギャップ板に明ける半円孔の位置およびその半径を種々に変化させた簡易モデルについて、有限要素解析を行なった。また、実物大試験体の静的載荷試験およびその有限要素解析を行なうことで応力緩和効果を検証した。さらに、試験体モデルを隣り合う横桁まで橋軸方向に拡張した場合についても、解析を行なうことで、ウェブギャップ板に半円孔を明けることによる応力低減を明らかにし、疲労寿命の向上効果について検討した。本研究で得られた主な結果は、以下に示すとおりである。

- 1) ウェブギャップ板の材端中央の位置に半径 30mm 程度の半円孔を明けることが局部応力を緩和する上で効果的である。このように半円孔を明けることで、ウェブギャップ板の上端部の材端の局部応力が 50% 以上低減する。
- 2) 半円孔を明けることで、ウェブギャップ板上端の応力を低減させるが、半円孔の応力集中も考慮しなくてはならない。
- 3) 半円孔はガス切断によって明け、グラインダー処理するとこの部分の疲労強度は高くなり、結果的にウェブギャップ板自体として、10 倍程度の疲労寿命の向上が期待できる。
- 4) ウェブギャップ板に半円孔を明けても、コンクリート床版のたわみには影響を及ぼさない。

- 5) 本研究の簡易モデルを用いれば、実橋のウェブギャップ板に明ける最適な半円孔を決定でき、それによる応力緩和効果の評価が可能である。

本論文では、ギャップ板に半円孔を明けることによる局部応力の緩和効果を明らかにした。今後は、ウェブギャップ部をモデル化した小型試験体の疲労試験を行うことにより、半円孔を明けることによる疲労寿命の向上効果について検討する。また、半円孔の加工方法についても検討した上で、実用化に向けて実橋の応力測定を行なう予定である。

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会疲労変状調査小委員会：鋼橋の疲労変状調査，土木学会論文集，第 368 号/I-5，1986。
- 2) 西川和廣：道路橋における疲労問題と補修・補強，橋梁と基礎，pp. 19-23，1983。
- 3) 永津省吾：鋼桁の主桁及び横桁の取り付け部の疲れ試験，名古屋大学卒業論文，1984。
- 4) 阪神高速道路公団，川崎重工業株式会社：合成 I 桁の主桁及び横桁の取合部検討(その 2)業務，1985。
- 5) 三木千壽，竹之内博行，森猛，大川征治：主桁と対傾構との取合部の疲労損傷に対する補修方法の提案，構造工学論文集，Vol. 34A，pp. 543-550，1988。
- 6) 大倉一郎，坂本洋，塩崎哲也，福本誘士，南荘淳：プレートガーダー橋の垂直補剛材の上端部の局部応力と疲労き裂，構造工学論文集，Vol. 40A，pp. 1087-1100，1994。
- 7) 富沢修次，木暮深，山田実，岩崎雅紀，新井弘：予防保全を目的とした鋼 I 桁橋の疲労損傷に対する補修・補強に関する検討，構造工学論文集，Vol. 37A，pp. 1141-1149，1991。
- 8) 阪神高速道路公団：道路構造物の補修要領・第 1 部，鋼構造物，1990。
- 9) 松本信二，堀川浩甫，北沢正彦：合成 I 桁橋の主桁と横桁の取合い部の疲労，土木学会論文集，第 386 号/I-8，pp. 247-255，1987。
- 10) P. Grundy：Fatigue Studies of Westgate Bridge，ASEC，pp. 81-87，1994。
- 11) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993。

(1996 年 9 月 6 日受付)