

孔あき鋼板ジベルを用いた鋼製ジョイントの弾性解析と疲労寿命の検討

Elastic stress and fatigue life analysis of bridge expansion joint
with perforated steel dowel

埼玉大学	学生会員	○櫛谷	拓馬
埼玉大学	正会員	奥井	義昭
横河住金ブリッジ	正会員	利根川	太郎
横河住金ブリッジ	正会員	松野	正見

1. 序論

車両の通行や地震、直射日光などの温度変化による橋梁の変形を吸収する目的で橋梁の桁端には道路橋伸縮装置が設置されている。適応伸縮量の範囲が広い鋼製ジョイントが道路橋伸縮装置として多くの橋梁に採用されており、本研究では鋼製ジョイントを対象として研究を行った。対象とした鋼製ジョイントはフェイスプレート、ウェブ、孔あき鋼板ジベル(以下PBLとする)の3つの部材で構成されており、比較的大きな遊間を想定して設計されているため、小さな遊間に対して現行の鋼製ジョイントを設置するのは不経済となる。本研究では鋼製ジョイントの製作に必要な鋼材量を減らすことや、取り換え時に削るコンクリート床版の体積を減らすことで経済性を向上させることを目的とした。フェイスプレートやPBLの形状を現行のものから変更させたモデルを6つ作成し、FEM解析と破壊力学に基づいた疲労寿命の試算を行い、合理的な鋼製ジョイントの形状についての検討した。FEM解析では鋼材に働くミーゼス応力、コンクリート床版上面に働く最大主応力が材料強度の範囲内にあるかを比較し、余寿命の試算では対象の亀裂を設定し、破断に至るまでの繰返し載荷数と5年で最終亀裂長さに至る初期亀裂長さを数値計算にて行った。

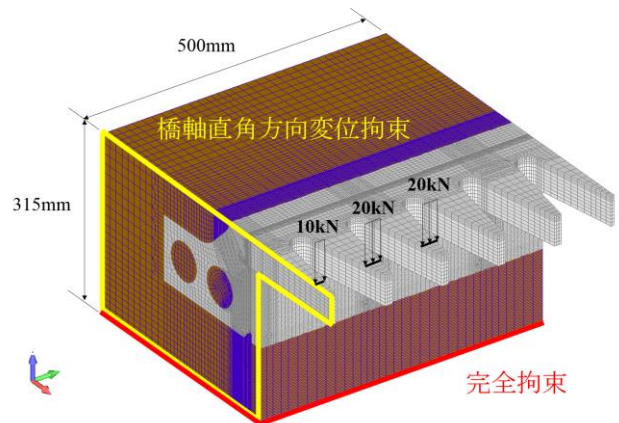


図1 解析モデルの拘束条件と荷重条件

その影響を検討した。

(ii) ジベル孔を1つに変更し、ジベル孔とウェブの距離を変更したモデルを3つ作成した。ジベル孔位置による解析結果の変化を検討した。

(iii) ジベル孔は円形とするのが一般的であるが、ジベル孔をオーバル状にした解析モデルを作成し、1つ孔のモデルとの解析結果と比較することでジベル孔形状の効果を検討した。

2. 接触条件を用いた弾性解析

解析モデルは対称であることを利用し、1/2モデルを作成し、FEM解析を行った。解析モデルに合計50kNの荷重が載荷されるようにフィンガー先端に線荷重を設定し、拘束条件はコンクリート底面に完全拘束、対称面に橋軸直角方向変位の拘束を解析モデルに与えた(図1)。鋼製ジョイントとコンクリートの間と溶接部の非溶着領域には接触条件を設定し解析を行った。

解析モデルは図1の鋼製ジョイントを基本の形状とし次の(i)～(iii)のように形状を変えて解析結果の変化を検討した。

(i) フェイスプレート後方のテーパ加工部を取り除き、

キーワード 鋼製ジョイント、孔あき鋼板ジベル、弾性解析、亀裂、余寿命

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 埼玉大学

3. FEM解析の結果

テーパ加工部の有無による解析結果の比較を行ったところ、鋼製ジョイント本体に働くミーゼス応力は増加したが、コンクリート上面の最大主応力の値は低減されることが確認できた。これはテーパ加工部が取り除かれ、コンクリートの体積が増加したため応力が分散されたためだと考えられる。

1つ孔タイプの解析ではジベル孔位置を離すことによって鋼材に働くミーゼス応力、コンクリート上面に働く最大主応力の値が低減されていくことが分かった。しかし、1つ孔タイプのいずれの解析結果でもコンクリート上面に働く最

大主応力がコンクリートの引張強度である1.9MPaを上回る結果が得られた。また、図2で示すように最もジベル孔位置に近い解析モデルではPBL下辺に接するコンクリートに最大主応力が卓越することが分かった。

ジベル孔の形状を変更したモデルではミーゼス応力の値と最大主応力の値がともに増加していることが分かった。鋼材に働くミーゼス応力は降伏応力を超えていなかったが、コンクリート上面に働く最大主応力が1.9MPaを超えていた。また、ジベル孔の形状を変更したモデルでは図2のモデルと同様にPBL下辺部に接するコンクリートに最大主応力の卓越することが分かった。

6つのモデルの解析結果を見てみると、鋼材に働くミーゼス応力、コンクリート上面に働く最大主応力が材料強度を超えなかったのは基本形状のモデルとテーパー加工部を取り除いたモデルであった。

4. 疲労寿命の試算

余寿命の算定では腐食による影響は考慮せず、繰返し载荷による亀裂の進展のみを考えた。亀裂の進展は以下の式に従って進むとして余寿命の計算を行った。

$$da/dN = C(\Delta K_{eff})^n = C(U\Delta K)^n \quad (1)$$

ここで、 a : 亀裂長さ、 N : 繰返し载荷の回数、 ΔK_{eff} : 有効応力拡大係数範囲、 U : 開口比、 ΔK : 応力拡大係数範囲、 C, n : 材料定数。疲労試験から $C = 5.2 \times 10^{-15}$ 、 $n = 4.9$ を用い、応力拡大係数範囲は次式で求めた。

$$\Delta K = 1.1215\Delta\sigma\sqrt{\pi a} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\sigma$: 応力範囲である。応力範囲には解析結果の最小主応力を代入した。4つの解析モデルの最小主応力の値はほぼ同じであるため4つのモデルの中で最も絶対値の大きい217.4MPaを用いた。他の2つの疲労寿命は解析結果から225.1MPaと238.5MPaを代入して算定した。式(1)を N について解くことで、ある亀裂長さ a_i から最終亀裂長さ a_c に至るまでの繰返し载荷の回数を求めることができる。1年間に12万回の繰返し载荷が発生するとして、5年で最終亀裂長さ(50mm×2/3≈33.3mm)に至る亀裂長さ a_i を求めた。このとき、開口比は0.45であると仮定した。

余寿命の計算結果を図3と表1に示す。図3はルングクッタ法を用いて求めた繰返し载荷回数とクラック長の関係である。

基本形状とテーパー加工部を取り除いたモデルの余寿命の計算結果を比較すると年数で55年もの差があり、2/3程度余寿命が短くなることが分かった。また、55年もの余寿命の差があるにも関わらず補修が必要となる亀裂長さは2.3mmしか変わらないことも計算結果から読み取れる。

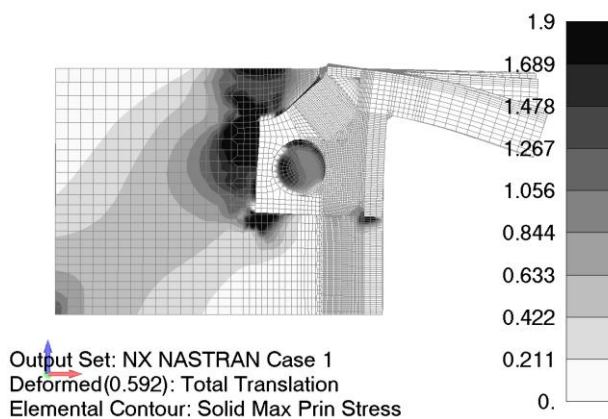


図2 1つ孔モデルの最大主応力コンター図[単位:MPa]

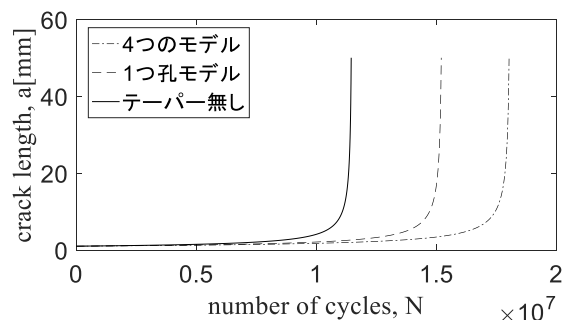


図3 亀裂長さと繰返し载荷の関係

表1 余寿命の計算結果

	余寿命[年]	a_i [mm]
4つのモデル	150	9.4
1つ孔モデル	127	8.5
テーパー無し	95	7.1

5. まとめ

FEM解析の結果が材料強度の範囲内となったのは基本形状とテーパー加工部を取り除いたモデルだけであった。しかし、テーパー加工部を取り除いたモデルは余寿命が基本形状のものに対して2/3程度まで減少することが分かった。他のモデルはコンクリート上面の最大主応力がコンクリートの引張強度を超えていたが、本研究では線荷重をフィンガー先端に载荷する厳しい荷重条件であり、現実の荷重に近い分布荷重で载荷した場合については、許容値を満足する結果になると思われる。

参考文献

- [1] 岡村弘之, 線形破壊力学入門, 培風館, 1976.
- [2] 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本株式会社, 設計要領 第二集 橋梁設計編, 2016. 8.