

FEAを用いた開口部を有する桁の応力集中部の応答照査法に関する検討

(一財)阪神高速道路技術センター 正会員 ○杉山 直也, 正会員 赤松 伸祐
阪神高速道路(株) 正会員 青木 康素

1. はじめに

鋼桁多主桁橋を対象としてFEAを実施し、応答評価に関する基礎的な検討が行われている¹⁾²⁾。しかし、新設設計や補修設計で応力や変位などを評価する場合に、応力集中部において応答をどのように評価するのか明確な基準や手法は確立できていない。そこで、本検討では応力集中部の応答の事例として、主部材に排水管やマンホール等の開口を設けた場合の開口部の応力集中に着目し、開口部を設けた桁の部分モデルを用いて、局部応力の影響範囲や程度、初等梁理論より求めた公称応力と比較し、将来的に公称応力と許容値との関係で照査できるFEAでの応力抽出法の検討を行った。

2. 解析モデル

汎用有限要素解析ソフト MSC Nastran 2018.1 を用いて3次元弾性解析を行った。解析モデルは、図-1 に示す上下フランジと開口を有するウェブからなる桁モデルとした。断面は、上下フランジ 480×24 、ウェブ 2300×11 とした。開口部形状は阪神高速道路でのマンホールの標準構造に倣い、 600×600 とし、角部は $R100$ とした。3 節点 (開口部付近) および4 節点シェル要素でモデル化し、材料定数は弾性係数を 2.0×10^5 、ポアソン比を 0.30 とした。境界条件を図-1 に、メッシュ分割を表-1 に示す。荷重条件は、図-1 に示すようにウェブ端部に $625 \text{ kN} \cdot \text{m}$ の曲げモーメントを載荷させ、開口部に曲げが作用する状態とした。解析ケースは表-2 に示し、上記の解析条件を基本ケースとして、メッシュ分割の程度、桁高と開口部の比率、ウェブ板厚、開口角部の R 半径、開口部補強の有無を変更した 7 ケースとした。応力抽出ラインは、図-2 に示す開口部中央や開口部端部に着目した 4 ラインとし、要素応力でミーゼス応力、主応力、直応力を抽出した。

3. 解析結果と考察

3. 1 局部応力を含む応答の抽出について

局部応力を含む応答の抽出方法を検討するため、応答抽出ライン①の応答値を確認した(図-3)。開口部角部において、局部的な応力集中が見られ、開口部角部から 50 mm 程度で応答が大きく変化している。梁理論より求めた公称応力とFEモデルの応答値がずれ始めるのは開口部端部から 300 mm 程度であり、この範囲が局部応力の影響範囲と考えられる。また、開口部周辺のミーゼス応力・主応力・直応力を比較すると、最大応力を示すミーゼス応力で応答を抽出してよいと考えられる。

3. 2 開口部中央断面の応力と公称応力の比較

設計において桁の断面を決定する際、開口部の中央断面で断面欠損を考慮して設計する場合が多い。そこで、開口部中央断面の梁理論より求めた公称応力と応答抽出ライン②の応答値を比較した(図-4)。開口部の応力集中の影響範囲以外では公称応力と応答値がほぼ一致した。

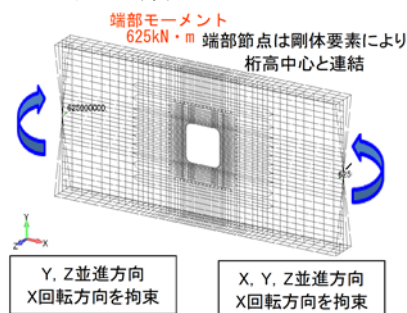


図-1 解析対象

表-1 メッシュ分割

項目	対象箇所	内容
メッシュ分割	ウェブ	30分割程度
	フランジ	幅方向4分割
	桁方向	アスペクト比1.5程度以下
	着目部	開口部周辺: 50 mm , 角部 $10 \sim 20 \text{ mm}$

表-2 解析ケース

解析 ケース	CASE0	基本ケース
	CASE1	メッシュ細(半分)
	CASE2-1	桁高(2.3→3.0m)
	CASE2-2	桁高(2.3→1.5m)
	CASE3	ウェブ板厚(11→22mm)
	CASE4	開口角部($R100 \rightarrow R50$)
	CASE5	開口ダブルリング補強

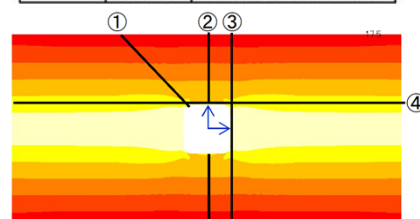


図-2 応答抽出ライン

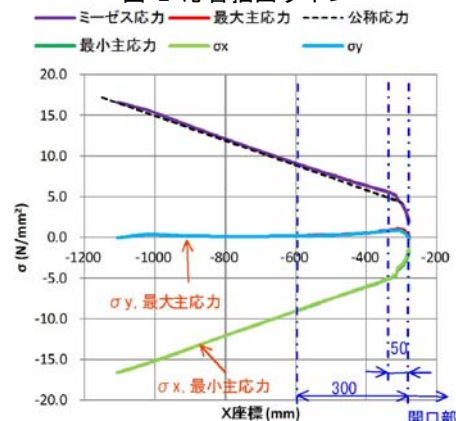


図-3 応答抽出ライン①の各種応力

キーワード 鋼桁橋, FEA, 応答照査法, 応答抽出, 応力集中部

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7 東亜ビル内 (一財)阪神高速道路技術センター TEL 06-6244-6038

これは開口部が桁の中立軸近傍であり、一般部断面と開口部断面で剛性に差異が少なかったことが考えられる。開口部端部からウェブ下(上)端を応力集中の影響範囲(概ね300mm程度)より離しておけば、ウェブ縁応力(ミーゼス応力)の最大応力を断面設計で考慮する公称応力として評価することが有効と考えられる。

3. 3 開口部の局部応力(応力集中)の影響範囲について

開口部角部の高さ方向および桁軸方向に着目した応答抽出ライン③、④より、開口部の局部応力およびその影響範囲について分析した(図-5(a)(b))。図-5(a)より、公称応力からのずれが見られるのは、ライン①同様に開口部から300mm程度までであり、ウェブ縁応力付近ではほぼ一致している。図-5(b)より、ミーゼス応力を確認すると、桁軸方向では、開口部から300mm程度離れても公称応力からのずれが生じていた。

また、応力集中の影響範囲や程度の要因を分析するため、パラメータスタディを実施した(表-2)。CASE2,3では、桁高やウェブ板厚を変更しており、FEモデルの応答値で直接に比較はできないため、各解析ケースのミーゼス応力を公称応力で割り戻した値で応力集中の影響範囲および程度を比較した(図-6)。開口部で曲げを受ける場合、開口部の応力集中の影響範囲に大きな変化はなかった。但し、開口部にダブリング補強を施したCASE5では、補強効果により全体的に応力が下がっているが、ダブリング端部では剛性変化位置による応力集中が発生している。開口部角部の応力集中の程度は、メッシュが細かいほど、角部のR半径が小さいほど応力比が増加していた。また、桁高と開口部の比率やウェブ板厚の変化による影響はほとんどなかった。

4. まとめ

本検討では、開口部を設けたFEモデルを作成し、応力集中の影響範囲および程度について検討した。得られた結果を以下にまとめる。

- ・開口部端部からウェブ下(上)端を応力集中の影響範囲(概ね300mm程度)より離しておけば、ウェブ縁応力(ミーゼス応力)の最大応力を断面設計で考慮する公称応力として評価することが有効と考えられる。
- ・桁軸方向と高さ方向では応力集中の影響範囲に差異があった。
- ・応力集中の影響範囲や程度の要因を分析するため、パラメータスタディを実施した結果、応力集中の影響範囲に変化はなかった。
- ・開口部角部の応力集中の程度は、メッシュが細くなるほど、角部のR半径が小さくなるほど応力比が増大し、桁高と開口部の比率やウェブの板厚の変化による影響はほとんどなかった。

参考文献

- 1) 赤松伸祐, 青木康素: FEAを用いた鋼桁橋の応答照査法に関する検討, 土木学会第74回年次学術講演会, 2019.9
- 2) 土木研究所資料: 鋼桁橋の設計へのFEM解析の適用に関する研究, 土木研究所資料第4047号, 2007.4

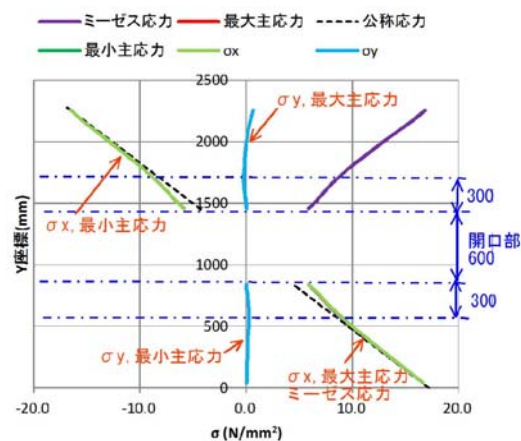
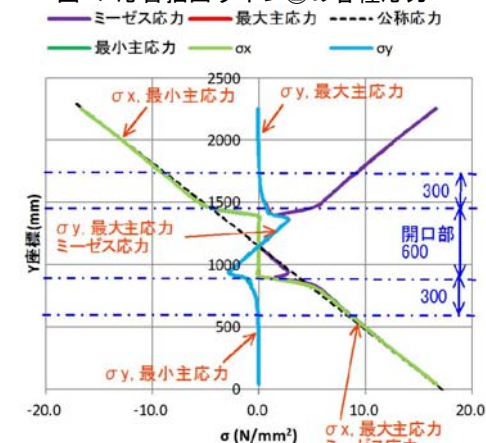
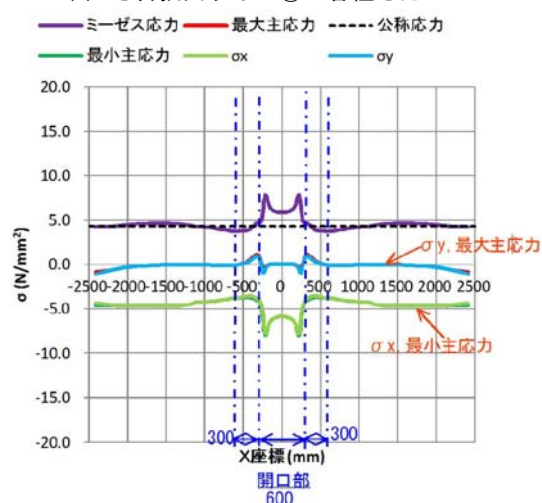


図-4 応答抽出ライン②の各種応力



(a) 応答抽出ライン③の各種応力



(b) 応答抽出ライン④の各種応力

図-5 開口部の応力集中の影響範囲

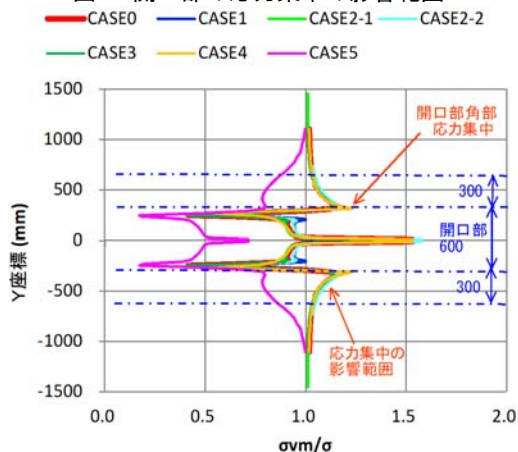


図-6 応答抽出ライン③のミーゼス応力の比較