A Consideration on Hierarchical Element Modeling for Local Stress Analysis of 2-I Girder Bridge.

函館工業高等専門学校 函館工業高等専門学校 長岡技術科学大学名誉教授 正会員 渡辺 力 (Chikara WATANABE) 学生会員 大上裕之 (Hiroyuki OHGAMI) 正会員 林 正 (Masa HAYASHI)

# 1. まえがき

2 主桁橋などの合理化橋梁では, 主桁や床版の疲労 損傷は構造全体の耐荷力を著しく低下させることから, 有限要素解析を実施して部材の結合部などに生じる局 所応力が調べられている<sup>1),2)</sup>.

著者らは,ハイアラーキ有限要素法を鋼・コンクリー ト複合構造物の局所応力解析に用いて,有限要素解析 の効率化を検討している<sup>3)</sup>.特に応力集中を生じる箇 所には特異要素を用いる手法<sup>4)</sup>を提案し,1/4 写像点の 入力を必要としないハイアラーキ特異要素を開発して いる<sup>5)</sup>.このハイアラーキ特異要素は曲線要素に用い ても特異性が消滅することがなく,1 つの要素内に複 数の特異点を有する多特異点要素を容易に生成できる.

本報告では,2主桁橋の計算モデルにより,主桁ウェ ブと横桁の連結部,床版と主桁上フランジの結合部に 生じる局所応力に着目し,これらを高精度かつ効率的 に求めるための効果的な要素分割法と特異点の配置方 法を検討する.死活荷重時,ねじれ荷重時,風荷重時な どの設計荷重の作用下における局所応力を効果的に求 めるためのモデル化について検討した結果を報告する.

### 2. ハイアラーキ特異要素

ハイアラーキ特異要素では,要素の写像関数に特異 性のある特異写像関数を直接用いることにより,1/4写 像点の入力が不要である.さらに,特異多項式の組み 合わせにより特異性の方向を任意に与えることができ, 図-1に示す1特異点要素,2特異点・特異線要素,2特 異点要素などの多特異点要素が容易に生成できる<sup>5)</sup>.





## 3. 計算モデルと荷重

(1) 計算モデル

計算モデルは図-2に示す支間 20m の 2 主桁橋で,文献 3) と同じ計算モデルを用いる.

床版はソリッド要素で, 主桁と横桁は平面シェル要 素でモデル化し, 対象条件を考慮して構造全体の 1/2 領域を計算する.要素分割は図-3のように 2 通り行い, Model-A では主桁上フランジの下側と横桁の主桁との 取り付け位置近傍で分割する以外は部材の結合箇所で のみ分割する. Model-B は, Model-A の長手方向(X 軸方向)に分割を加えたモデルである(図-4).変位関 数の次数には 5 次式を用いるが,図-3の図中に示すよ うに床版の Y, Z 軸方向に 4 次式, 主桁の X 軸方向の 一部に 8 次式を用いている.なお,床版の要素分割に ついては 5.で説明する.

特異点は図-5に示すように, Model-A では横桁と補 剛材の取り付く位置に計 12 個の特異点( 印)と, ソー ルプレートと主桁下フランジの取り付く位置に特異線 を配置する. Model-B では, これらに加えて主桁ウェ ブとガセットプレートの結合部に 16 個の特異点( と 印)を追加する.なお, 図中の 印は X, Y, Z 方向, 印は X, Z 方向, 印は X 方向に特異性を与えたこ とを意味する.また, 主桁 G<sub>2</sub> でも主桁 G<sub>1</sub> と同様の特



### 異点を配置している.

また,比較のための h 法は汎用構造解析システム ADINA<sup>6)</sup>を用いて,20節点ソリッド要素と8節点シェ ル要素により,節点数244,363,要素数60,444,総自 由度数842,711でモデル化し,要素図心点応力と比較 する.

(2) 荷 重

図-6に示す死活荷重,ねじれ荷重,風荷重に対して 検討を行う.

図-6(a)の死活荷重では,自重を物体力で与え,B活 荷重を図のように偏心載荷する.図-6(b)のねじれ荷 重では床版を無視し,図(a)のようにB活荷重を偏心 載荷させたときに生じるねじりモーメントと同じ大き さのねじりモーメントが生じるように,主桁上フラン ジに等分布荷重  $(p_3, p_4)$ を載荷する.図-6(c)の風荷 重では,道路橋示方書<sup>7)</sup>により  $p_5=3.5$ kN/m<sup>2</sup>の横荷 重を図のように載荷する.

## 4. 主桁ウェブと横桁連結部の応力

主桁ウェブと横桁の連結部での局所応力を精度良く 求めるための主桁の要素分割と特異点の配置方法を検 討する.

(1) 主桁ウェブの応力

図-7と図-8は,死活荷重時と風荷重時の主桁ウェブ (Z=1,325mm)の板表面応力( $\sigma_X$ )の分布を示したもの



図-9 横桁  $C_1$  下フランジの直応力  $\sigma_Y$ (Model-A)

である . 図-7は Model-A,図-8は Model-B によるもので,主桁の外側の応力を実線で,内側の応力を点線で示している.

死活荷重時にはガセットプレート取り付け位置近傍 にさほど大きな応力集中が発生しないことから Model-A(図→7(a)) でも細分割した h 法と良く一致した値が得 られている.

風荷重時には曲げ応力が卓越し,ガセットプレート 取り付け位置に大きな局所応力が生じる.図-7(b)の Model-A では全体的に h 法の値と良く一致しているが, 応力集中箇所で応力が不連続となっている.これらを 連続させるためには,さらに変位関数の次数を高める 必要がある.それに対して,図-8(b)の Model-B では 応力集中部も含め細分割した h 法の図心点応力と良く 一致しており,ガセットプレート取り付け位置の局所 応力を精度良く計算できている.

なお, Model-B では主桁ウェブとガセットプレート の連結部に1方向(印)と2方向(印)に特異性の



ある特異点を配置して2特異要素を用いているが,こ れらの特異点をすべて2方向(印)とする場合に比べ て精度が良い.

(2) 横桁の連結部の応力

図–9は Model-A により計算した横桁 C<sub>1</sub> 下フランジ とガセットプレート (*X*=15mm)の表面応力 (*σ*<sub>Y</sub>)の分 布を示したものである.板上面の応力を実線で,板下 面の応力を点線で示している.

図 (a) の死活荷重時,図 (b) の風荷重時ともに,ガ セットプレートと横桁の取り付く位置の近傍で大きな 応力集中が発生し,ガセットプレートと横桁端部では 曲げ応力が大きくなっている.Model-A でも細分割し た h 法の図心点応力と良く一致した値が得られている.

## 5. 床版の要素分割

コンクリート床版と主桁上フランジの接合部に生じ る局所応力を精度良く求めるための床版の要素分割を 検討する.床版の要素分割は図-10のように3通り行 い,Model-SA では主桁上フランジとの結合箇所での み分割し,Model-SB と SC ではさらに接合部近傍で 分割を加えている.

図-11に支点上 (X = -15mm) における床版の直応力  $\sigma_Z$  の板厚方向の分布図を示す (死活荷重時). Model-SA を点線, Model-SB を実線, Model-SC を破線で表 している.支点上では,主桁上フランジとの結合部に大 きな応力が発生する.これらの応力に対して, Model-SA と SC では精度が悪いが,床版と上フランジ近傍に 分割を加えた Model-SB の要素分割を用いれば局所応 力を十分な精度で計算できる.

#### 6. まとめ

ハイアラーキ要素を用いた2主桁橋の数値計算結果 から以下のようなことが言える.

- 特異要素により、風荷重のような横方向荷重が作用 する場合でも十分な精度で局所応力を計算できる.
- 2) 床版では,支点上で上フランジとの接合部に大きな応力を生じるが,接合部近傍で分割を加えた Model-SBの要素分割により十分な精度で局所応力を計算できる.

本計算例では, h法に比べ約1/7.5の自由度数で同等 以上の精度で局所応力が求められており, ハイアラー キ有限要素法により効率的な鋼・コンクリート複合構 造物の局所応力解析が可能となる.

#### 参考文献

- 長井正嗣,吉田康治:合成2主I桁橋の横補剛材をパラ メータとした2次応力に関する検討,構造工学論文集,土 木学会,Vol.42A,pp.1061–1072,1996.
- 2) 佐々木保隆,小山明久,山田金喜,長井正嗣: 合成2 主桁 橋の中間横桁位置での床版-鋼桁接合部の応力性状の解明 と設計,土木学会論文集A, Vol.62, pp.41-52, 2006.
- 4) 林 正,渡辺 力,斎藤道生:ハイアラーキ要素による 薄肉構造の局所応力解析,土木学会論文集,No.654/I-52, 2000.
- 5) 林 正, 渡辺 力, 齋藤道生: 応力集中問題に対する特 異写像関数, 土木学会論文集, No.738/I-64, pp.113-123, 2003.
- ADINA Theory and Modeling Guide : ADINA R & D Inc., 2003.
- 7) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋 編), 2002.