平成17年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第62号

ハイアラーキ RC 要素による鉄筋コンクリート床版の 曲げ解析に関する一考察

A Consideration on Bending Analysis of RC Slabs by Hierarchical RC-elements

函館工業高等専門学校正員渡辺力 (Chikara WATANABE)函館工業高等専門学校学生会員東崇広 (Takahiro AZUMA)長岡技術科学大学名誉教授正員林正 (Masa HAYASHI)

1. まえがき

I - 46

コンクリート床版を有する複合橋梁において,その 全体剛性に及ぼす鉄筋コンクリート床版の等価剛性を 正確に評価することを目的としてハイアラーキ RC 要 素^{1),2)}を開発している.この要素では,ソリッド要素 にトラス要素を埋め込むことによって,要素を分割す ることなく要素内の任意の位置に多数の鉄筋を配置で きる.これにより,床版における鉄筋の効果を考慮し た全体解析を効率的に計算できる.

一方,要素細分割法(h法)では節点間にトラス要素 を配置して鉄筋をモデル化することが多いが,汎用プ ログラムではRC要素と同様にソリッド要素内に埋め 込むことのできるトラス要素が装備されている³⁾.本 報告では,これらh法によるモデルとハイアラーキRC 要素の精度と計算効率を比較し,ハイアラーキRC要 素の精度と実用性を検証する.

数値計算例には文献2)と同じ鉄筋コンクリートスラ ブを用いるが,鉛直方向の変位を線支持する境界条件 を用いると,支点部において非現実的な応力集中を起 こす.そこで,モデルを再検討し,ソールプレートと ローラー支承を用いる.単鉄筋断面と複鉄筋断面の数 値計算例より,ハイアラーキ RC 要素と h 法の精度と 計算効率を比較した結果を報告する.



2. ハイアラーキ RC 要素

RC 要素は,図-1のようにソリッド要素に棒要素(ト ラス要素)を埋め込んだ要素である.本研究では,コ



図-2 単純支持鉄筋コンクリートスラブ

ンクリート床版の弾性応力解析を目的としており,鉄 筋とコンクリートは完全に結合しているものとする.

3. 数值計算例

(1) 解析モデル

計算モデルは、図-2に示す支間 3m,幅 1m,厚さ 0.3mの鉄筋コンクリートスラブである.鉄筋は,直径 40mm,純かぶり 50mm として 200mm 間隔で下段に 5本配置した単鉄筋断面と、5本の鉄筋を 2 段に配置し た複鉄筋断面の場合を計算する.このモデルの鉄筋比 は、単鉄筋断面では 2%、複鉄筋断面では 4% である. 荷重はスラブ上面に q=100kN/m² の等分布荷重を満 載し、コンクリートのヤング係数 E_C 、ポアソン比 v_C および鉄筋の E_S 、 v_S には次の値を用いる.

$$E_C = 3.0 \times 10^4 \,\text{N/mm^2}, \quad v_C = 0.167$$

 $E_S = 2.0 \times 10^5 \,\text{N/mm^2}, \quad v_S = 0.30$

計算では,構造の対称性を考慮してスラブの1/2領 域を計算する.支点付近の応力集中を緩和するために ソールプレートとローラー支承をモデル化し,境界条 件は支承下端の鉛直変位を線支持としている. 平成17年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第62号



図-3 要素分割



要素分割は,図-3(a)のように x 軸方向に 3 分割し, y 軸と z 軸方向には分割せずに,スラブを 3 つの RC 要素でモデル化する.また,ソールプレートと支承は ソリッド要素でモデル化して,計5要素を用いる.比 較のために,図-3(b)に示すように,汎用構造解析シ ステム ADINA³⁾を用いて 20 節点ソリッド要素により 45×40×12(x,y,z 軸方向)に細分割し,節点間にトラ ス要素を配置した h 法による解(棒モデル)を用いる.

(2) 支点部のモデル化の影響

一般に支点部のモデル化では図-4(a)のように鉛直 変位を幅(y軸)方向に線支持することが多い(線支持モ デル).本計算例では,支点部に発生する応力を緩和す るために図-4(b)のように実橋で用いられるローラー 支承の上半分を五面体要素でモデル化している(支承 モデル).

図–5は線支持モデルと支承モデルの応力分布を比較したもので,単鉄筋断面における A-A 線上 (y = 500 mm)スラブ下縁の直応力 $\sigma_x \ge \sigma_z$ を示したものである. RC 要素では各要素の変位関数の次数 M, N, L(x, y, z軸方向) に 6 次式を用いている.

線支持モデル(破線)では支点上で応力集中が発生しているが,支承モデル(実線)では支点付近に大きな応力は生じていない.また,支点付近以外では両モデルの値は良く一致している.



図-5 支点部のモデル化の影響

なお,両モデルともソールプレートとスラブの取付 く位置 (x=200mm) で応力集中が発生しているが,細 分割した h 法棒モデルの値と良く一致している.

(3) 収束性

図-6,7は,単鉄筋断面と複鉄筋断面のA-A線上(y=500mm)の上下縁の直応力分布を示したもので,変位 関数の次数に *M*=*N*=*L*=4~8次式を用いている.比 較のために,図-3(b)のh法(棒モデル)による値を













図-8 h法埋込みモデルとの比較

印で,鉄筋の効果を確認するために無筋要素による値 を 印で示している.

図より,単鉄筋断面,複鉄筋断面ともに収束性は良 好で変位関数の次数に 4~6次式を用いると収束値が得 られており,h法(棒モデル)の値とよく一致している. また,直応力 σ_x を無筋要素の値と比較すると,単鉄筋 断面で 23.8%(下縁),複鉄筋断面で 32.9%(上下縁) ほ ど小さくなっており,鉄筋の効果が良く表われている. (4) h法埋め込みモデルとの比較

h 法により, 節点間にトラス要素を配置した場合 (*h* 法棒モデル) とソリッド要素にトラス要素を埋め込ん だ場合 (*h* 法埋め込みモデル)の値と比較する.

図-8 (a) の h 法棒モデルと図-8 (b) の h 法埋め込みモ デルとも,要素分割を 45×32×10 (x, y, z 軸方向) とし, 総自由度数 253,220 である.RC 要素では M=N=L=6次式,総自由度数 3,675 を用いる.なお,h 法埋め込 みモデルでは要素境界にトラス要素を埋め込んでいる.

図-9,10は,単鉄筋断面および複鉄筋断面の場合の B線上(x=1500mm,y=500mm)の直応力について板 厚方向の分布を示したものである.

直応力 σ_x では h 法棒モデル (印) と h 法埋め込 みモデル (×印) の値は RC 要素の値と良く一致して おり, h 法棒モデルでは σ_y と σ_z でも RC 要素と良く 一致している.それに対して h 法埋め込みモデルでは, 直応力 σ_y と σ_z の鉄筋配置位置の近傍で誤差が大きく



図-10 B線上の応力 (複鉄筋断面)

なっている.なお,h法では平均節点応力を用いているが,汎用プログラムに付属するどのような平滑化手法³⁾を用いても σ_y と σ_z は改善されない.

高次要素を用いる RC 要素では,鉄筋を要素内のどの位置に配置しても安定した解が得られる.

4. まとめ

ハイアラーキ RC 要素による数値計算例から以下の ようなことが言える.

- 1) 単純支持コンクリートスラブの計算例では,支承 をモデル化することにより,支点近傍に非現実的 な応力集中は発生しない.
- 低次要素を用いる h 法において, ソリッド要素に
 トラス要素を埋め込んだモデルでは,鉄筋配置位

置付近の直応力 $\sigma_y \geq \sigma_z$ の精度が悪い.それに対して,本 RC 要素では要素内の任意の位置に鉄筋を配置しても安定した解が得られる.

参考文献

- 渡辺 力,林 正,斎藤道生,小間栄律:ハイアラー キRC要素による鉄筋コンクリート床版の曲げ解析,土 木学会第58回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), pp.425-426, 2003.
- 2) 東 崇広,渡辺 力,林 正:鉄筋コンクリート構造のハ イアラーキ RC 要素モデル,土木学会北海道支部論文報 告集 (CD-ROM),第61号, I-41, 2005.
- ADINA Theory and Modeling Guide : ADINA R & D Inc., 2003.