

正規確率場に従う板厚分布を持つ矩形板の圧縮耐荷力特性に与える自己相関距離の影響

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○渡邊 尚彦  
名古屋大学 学生会員 須崎 雅人

1. はじめに

近年、腐食凹凸鋼板の強度評価法を確立するために多くの実験・解析が行われている。本研究では鋼板の凹凸を模擬する手法として有用性が確認されているバリオグラムを用いたシミュレーションを用い、正規確率場によって凹凸を模擬した矩形平板の弾塑性有限要素解析を通して、板厚の自己相関距離が圧縮耐荷力に及ぼす影響を考察する。また、解析結果から凹凸板の圧縮強度に影響を及ぼす部位を明らかにし、強度推定法を検討する。

2. 予備解析

腐食を模擬した板厚分布として、空間的従属性を表すシル ( $\theta_1$ :分散に相当) とレンジ ( $\theta_2$ :自己相関距離に相当) といったバリオグラムパラメータを持つ球型モデルの正規確率場を乱数的に発生させたものを使用した。解析には汎用有限要素解析ソフトウェア ABAQUS を使用した。はじめに予備解析としてシェルとソリッドの要素比較解析を行い、パラメトリック解析で使用するシェル要素によるモデルの妥当性を検討した。600×600[mm]の4辺単純支持板とし、平均板厚  $t_{av}=10$ [mm]として、無凹凸板及び ( $\theta_1, \theta_2$ )=(4.0[mm<sup>2</sup>],100[mm])である正規確率場に従う板厚分布を乱数的に発生させ各節点板厚としたもの5ケースを対象とした。要素分割数はシェル、ソリッドそれぞれのモデルにおいて 30×30, 120×120×4 であり、4節点低減積分シェル要素、8節点レンガ型要素を使用した。予備解析では偏心は考慮しない。材料構成則には 2 次勾配  $E/100$  のバイリニア則を適用し  $E=206$ [GPa],  $\sigma_y=235$ [MPa]とした。初期たわみは最大たわみ  $\Delta=4.0$ [mm]の1半波として各板の中立軸に

与えた。解析結果として得られた凹凸板の荷重変形曲線例を図2に示す。シェルとソリッドモデルで一致が見られたことからシェル要素での解析は妥当であると考へ、シェル要素を用いて以降の解析を行った。

3. 解析条件

次にレンジ値が終局強度に及ぼす影響を評価するにあたり圧縮耐荷力解析を実施した。一連の解析は、生成した各凹凸板に対し座屈固有値解析を実施し、それにより得られた固有モード波形(例:図3)を初期たわみとして導入し圧縮強度解析を行うという手順で実施した。解析に使用したモデルシリーズを表1に示す。板厚分布に関するバリオグラムのパラメータとしてシル  $\theta_1$  を 4.0[mm<sup>2</sup>]で固定し、レンジ  $\theta_2$  を 50, 100, 150, 200, 300 [mm]と変化させ各 10 ケースずつ乱数的に生成したものを解析対象とした。材料構成則、材料特性は表2に示すとおりである。要素は予備解析の結果に従い4節点低減積分シェル要素とした。基本解析では板厚中心を図4 model-A のように定義したが、後に実施した偏心を考慮した解析では、model-B のようなモデルとした。初期たわみの最大たわみは道路橋示方書を参考に  $w_{max}=b/150$  とした。解析は最終変位 5[mm]の変位制御で実施した。

4. 解析結果

(1)レンジ値が終局強度へ及ぼす影響

series1,4,5 についてのレンジ値と終局強度の関係を図5に示す。レンジ =50,100,150[mm]の範囲では、レンジの増加と共に、終局強度は単調減少傾向を示したが  $\theta_2=200,300$ [mm]ではその傾向がなくなり、ばらつきが大きくなり、レンジが 150[mm]から 200[mm]の範囲で単調減少傾向のなくなる閾値が存在すること

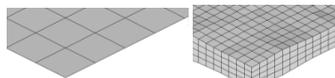


図1 シェル、ソリッド要素モデル

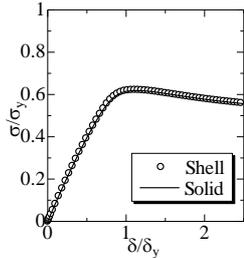


図2 荷重変形曲線比較

表1 各解析シリーズ条件

| series | 寸法[mm]    | 支持条件   | 要素分割数 |
|--------|-----------|--------|-------|
| 1      | 600×1800  | 4辺S.S. | 30×90 |
| 2      | 600×1200  | 4辺S.S. | 30×60 |
| 3      | 600×1500  | 4辺S.S. | 30×75 |
| 4      | 600×1800  | 4辺F.S. | 30×90 |
| 5      | 1200×1800 | 4辺S.S. | 60×90 |

表2 解析条件

|      |                  |                            |
|------|------------------|----------------------------|
| 構成則  | 2次勾配E/100のバイリニア則 |                            |
| 材料特性 | E                | 206000[N/mm <sup>2</sup> ] |
|      | v                | 0.28                       |
|      | $\sigma_y$       | 235[N/mm <sup>2</sup> ]    |
| 平均板厚 | $t_{av}$         | 10.0[mm]                   |



図3 固有モード例

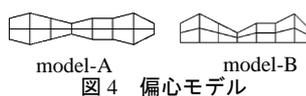


図4 偏心モデル

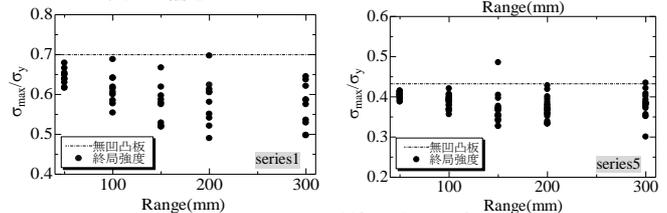


図5 レンジ値と終局強度関係

キーワード 座屈、腐食、バリオグラム、正規確率場、自己相関距離  
連絡先 〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2 岐阜工業高等専門学校

TEL 058-320-1402

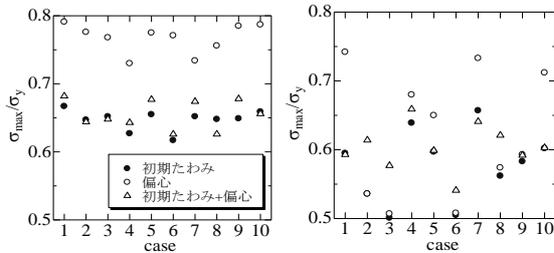


図6 偏心の終局強度への影響

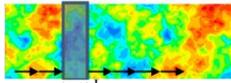


図7 観察領域窓

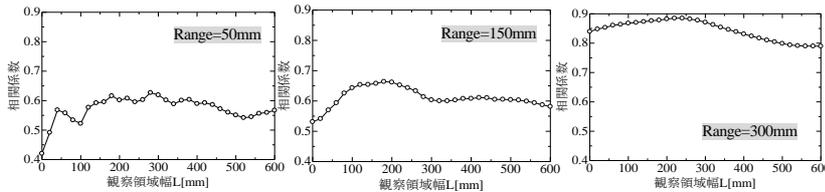


図8 観察領域幅と相関係数

が確認できる。また弾性理論座屈波長が異なるモデルに対してもこの閾値の存在するレンジ値はほぼ同じ値を示している。この理由として、本シリーズで扱ったモデルにおいて塑性化後変形領域が局所化していることが考えられる。

(2)偏心の影響

既存の研究では、凹凸板の圧縮強度解析で偏心が考慮されていることが多い。そこで、series1 で用いた600×1800[mm]の矩形板を対象とし、偏心のみを考慮したモデル(series6)、初期たわみと偏心の両方を考慮したモデル(series7)に対して解析を実施し、series1の終局強度と比較することで、偏心の影響を評価した。レンジ 50,300[mm]での初期たわみ・偏心導入時の終局強度図を図6に示す。レンジ 50~150[mm]までは、偏心が初期たわみに比べて耐荷力減少に及ぼす影響が小さいことが確認できたが、レンジ 200, 300[mm]では、偏心が初期たわみ同様耐荷力減少に大きく影響を及ぼす例も現れるようになった。

4. 強度推定

ここで、これまでに得られた凹凸板の解析結果をもとに圧縮強度推定手法として、終局強度と高い相関を示す板領域に着目して調査した。シル  $\theta_1=4.0[\text{mm}^2]$  レンジ  $\theta_2=50,100,150,200,300 [\text{mm}]$  で生成した各 100 ケースの凹凸板を対象に図7に示すように観察領域を X 方向に 20[mm]ずつ移動させながら、各位置ごとの観察領域平均板厚を算出し、その最小値  $t_{ob,min}$  と終局強度の関係性を評価した。このとき、観察領域幅 L を 20[mm]から 600[mm]まで変化させ、終局強度と最も

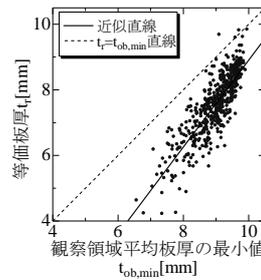


図9  $t_{ob,min}$  と等価板厚  $t_e$

|       | $\theta_1$ | $\theta_2$ | $\sigma_{max}/\sigma_y$ | $t_{ob,min}[\text{mm}]$ |
|-------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| Case1 | 4.0        | 150        | 0.571                   | 8.86                    |
| Case2 |            |            | 0.642                   | 8.88                    |

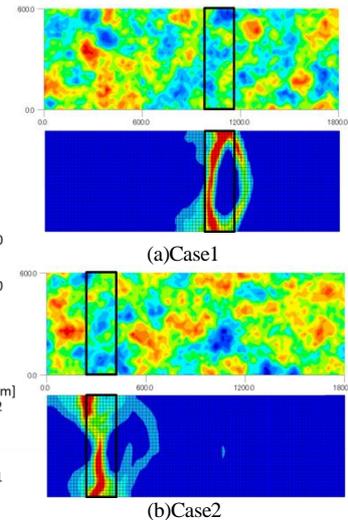


図10 最小平均を示した観察領域(上)と終局時相当塑性ひずみ分布(下)

関係を持つような幅長を検討した。

図8に各レンジにおける「観察領域幅 L」と「終局強度と観察領域平均板厚の最小値の相関係数」の関係図の例を示す。相関係数はレンジ 300[mm]を除くレンジ値の全てのケースで、観察領域幅 180[mm]のときに相関係数は最大、もしくは最大に近い値になっていることが確認できた。またその時の最小平均板厚となる観察領域部位は終局変形図における局所塑性変形部位に対応していることが観察された。そこでこの  $L=180[\text{mm}]$  を採用して観察領域平均板厚の最小値  $t_{ob,min}$  と各凹凸板の終局強度を強度的に等価な無凹凸板の板厚で表現した等価板厚  $t_e$  の関係を図9を示す。

ここで同じ  $t_{ob,min}$  値でありながら、終局強度に差が現れた板厚分布ケースに着目する。図10に2ケースについて最小平均板厚を示した観察領域と終局時の相当塑性ひずみ分布を示す。相対的に高い耐荷力を示した case2 では case1 に比べて観察領域内の側辺近傍は比較的板厚が厚くなっていることが分かる。板座屈の有効幅理論を踏まえると観察領域の側辺近傍板厚が終局強度に強く影響を及ぼすことが予想でき、これを考慮することでより精度の良い強度推定が可能と考えられる。

5. まとめ

- ・終局強度について、特定の距離まで板厚の自己相関距離の増加に伴い単調減少傾向を示し、それ以降は変化しないという閾値の存在が示唆された。
- ・特定幅の観察領域平均板厚の最小値から強度推定が可能であることが示された。

【参考文献】 1)貝沼重信, 細見直史: 鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的腐食表面性状の数値シミュレーション, 土木学会論文集, Vol.62 No.2, pp440-453, 2006.4.