腐食鋼板の圧縮強度評価に関する考察

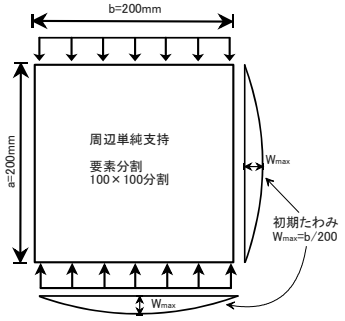
京都大学大学院　学生会員　田村　　功　　京都大学大学院　フェロー　　渡邊　英一
京都大学大学院　正会員　　杉浦　邦征　　京都大学大学院　正会員　　○永田　和寿
新日本製鐵（株）　　岡　　扶樹

１．はじめに

現在、我が国は高度成長期に建設された多くの構造物が高齢化しており、補修・補強、更新が必要な構造物が飛躍的に増大している。しかし、腐食損傷を有する構造物の残存性能を判定するための基礎資料が不足しており、その評価基準は確立されていない。そこで、本研究では、板厚分布を単純モデル化した周辺単純支持の鋼板のパラメトリック解析を行い、鋼板の凹凸が力学特性に与える影響を調べ、腐食鋼板の残存強度推定法の構築を試みた。さらに、腐食鋼管の板厚データを使用した腐食鋼板に対しても同様の解析を行い、実腐食形状を有する鋼板の圧縮強度ならびに提案した残存強度推定法の適用性について検討した。

２．解析モデル

汎用有限要素解析プログラム ABAQUS(Ver. 6.4)を用いて腐食鋼板の残存強度を解析的に検討した。解析モデルは図－1 に示すように周辺単純支持の正方形板(200mm×200mm)を想定した。要素は 4 節点低減積分シェル要素を使用し、分割数は縦横ともに 100 分割とした。初期たわみは最大値が板幅 b の 1/200 の sin 半波形を考慮し、残留応力は考慮していない。鋼種は SM490Y 材を想定し、弾性係数 210kN/mm^2、降伏応力 315N/mm^2、降伏後の応力－ひずみ関係は JSSC/鋼構造新技術委員会で採用されている関係式を用い、ミーゼスの降伏関数および等方硬化則を採用した。



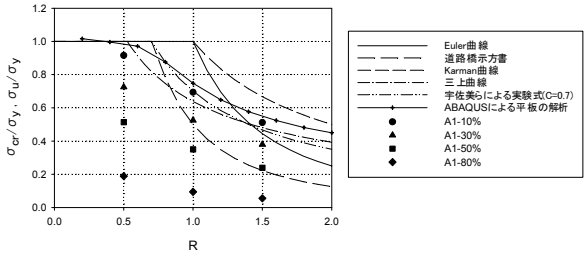
図－1　解析モデル

３．板厚分布のモデル化

本解析では、板厚分布を正弦波でモデル化し、板厚が変動する方向、板厚が変化する周期、平均板厚、板厚の変化率を変えながら鋼板の凹凸が力学特性に与える影響を調べる。荷重軸方向にのみ板厚が変化する板厚分布を有するモデルを縦波モデル(A)、幅方向にのみ板厚が変化するものを横波モデル(B)、荷重軸方向、幅方向ともに板厚が変化するものを縦横波モデル(C)と呼ぶこととし、各モデルにおいて板厚変動の周期を 1/2 波、1 波で両端が厚い場合、1 波で中央が厚い場合、2 波で両端が厚い場合、2 波で中央が厚い場合、5 波、10 波と変化させ、それぞれ 1～7 までの No.を付けた。また、幅厚比が 0.5、1.0、1.5 になるように平均板厚を設定した。さらに、最大、最小板厚が平均板厚から±10%、±30%、±50%、±80%となるように板厚変化率を調整した。解析ケースの呼び名は、荷重軸方向にのみ板厚が変化し、波の数が 1/2 波、幅厚比が 0.5、板厚変化率が 10%の場合には A1-0.5-10%と呼ぶこととする。

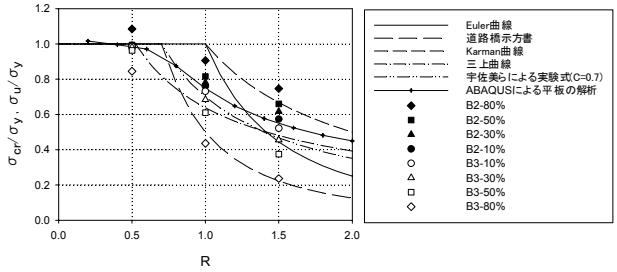
４．腐食形状と残存耐荷力

モデル化された板厚分布を有する鋼板の解析結果と耐荷力曲線との比較を縦波モデル、横波モデル、縦横波モデルそれぞれについて図－2、図－3 に示す。図中における幅厚比 R、終局強度 σ_u/σ_y は平均板厚で整理したものをプロットしている。図－2 から断面積の減少により耐荷力が著しく低下すること、図－3



図－2　縦波モデルの座屈強度

キーワード　腐食鋼板、残存圧縮強度、弾塑性有限変位解析
連絡先　　〒606-8501　京都市左京区吉田本町　TEL 075-753-5079

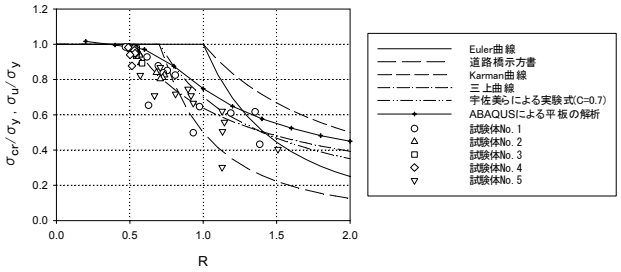


図－3　横波モデルの座屈強度

からは側辺付近が厚い場合は耐荷力が上昇し、薄い場合には低下することが分かる。

５．実環境における腐食を有する鋼板の解析

前述の解析モデルに対して、実環境において 19 年間暴露された鋼管から 200㎜×200㎜（計測点は 101 点×101 点）の板厚計測データを局所的に取り出したときの板厚分布（計 60 パターン）を各節点に入力して同様の解析を行った。図－4 に幅厚比、終局強度を平均板厚で整理したときの座屈強度を示す。この図より、腐食鋼板の残存強度は平均板厚で評価するとばらつきが大きく、ほぼ危険側の評価となることが分かる。

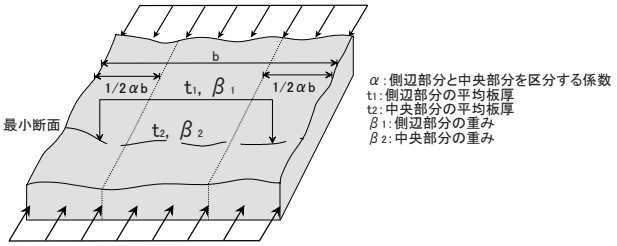


図－4　腐食鋼板の座屈強度

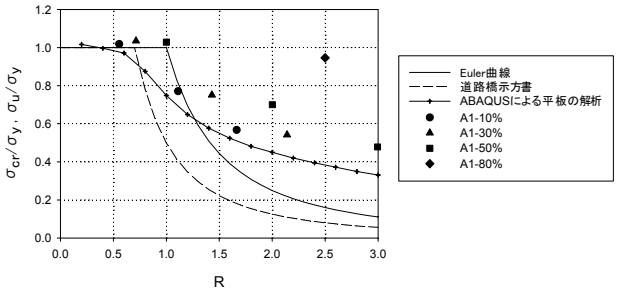
６．腐食鋼板の強度推定法の提案

以上の結果を受けて、荷重軸方向、幅方向の板厚分布を考慮した腐食損傷を有する鋼板の強度推定法を提案する。図－5 に強度推定法の概念図を示す。まず、最小断面位置を探し、最小断面を幅方向に係数 α を用いて側辺部分と中央部分に区分する。次に、それぞれの部位における平均板厚 t_1、t_2 に対して重み β_1、β_2 をかけて板厚の評価を補正することを考える。この様にして算出される推定板厚を t_{est} は下式のように表される。

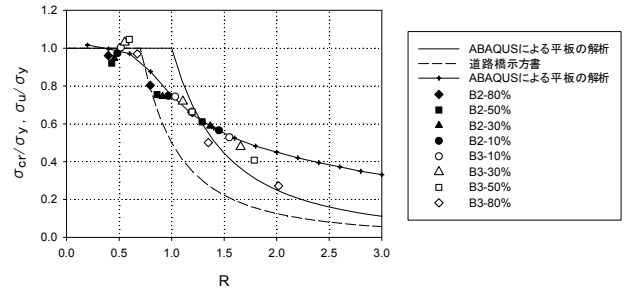
$$t_{est} = \alpha \cdot \beta_1 \cdot t_1 + (1-\alpha) \cdot \beta_2 \cdot t_2 \qquad (1)$$



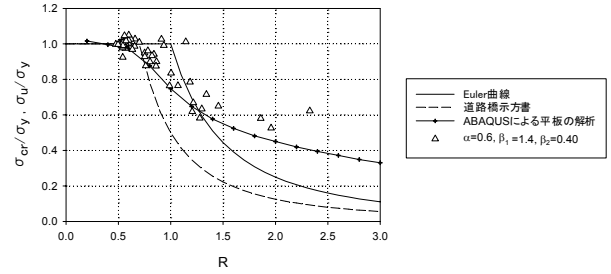
図－5　腐食鋼板の強度推定法の概念図



図－6　縦波モデルの強度推定結果



図－7　横波モデルの強度推定結果



図－8　腐食鋼板の強度推定結果

α=0.6、β_1=1.4、β_2=0.4 として縦波モデル、横波モデル、腐食鋼板の強度曲線を(1)式により算出した推定板厚で整理した結果をそれぞれ図－6～図－8 に示す。これらの図より、極端に板厚が変動する場合を除いて、平板の解析と比較的よく合致しており、腐食損傷を有する鋼板に対して上記の残存強度推定法が適用できると考えられる。