

1. まえがき

わが国の鋼橋は、国土の地形上、厳しい腐食環境下に晒されている。鋼橋が腐食損傷すれば、その断面は欠損し、耐荷性能が低下する可能性がある。鋼材の腐食は時間とともに進行する。それゆえ、腐食は鋼橋の維持管理に密接に関わる。鋼橋の合理的な維持管理は、構造物の劣化や損傷の将来予測を的確に行い、LCC が最小になるように計画するのがよい。そのためには、腐食損傷した部材の残存強度と正確な将来予測が求められる。ここでは、腐食減厚による荷重偏心も加味し、腐食の量や形状が鋼板の耐荷力に及ぼす影響を解析的に明らかにする。

2. 腐食損傷した自由突出圧縮板の解析モデル

(1) 解析の対象：図-1 に示すような 3 辺単純支持・1 辺自由の腐食損傷した自由突出板が一樣に圧縮された場合の変形挙動と最高強度を明らかにするため、汎用有限要素プログラム“MARC 2001”で弾塑性有限変位解析を行う。ただし、種々の大きさの腐食深さとさまざまな形状の腐食が最高強度に及ぼす影響を検討するため、鋼板を 3 次元 Solid 要素でモデル化した。鋼板の材料特性を表-1 に示す。

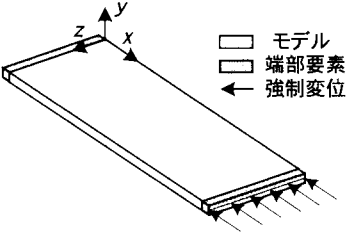


図-1 解析モデルとその軸方向

(2) 解析の条件と解析パラメータ：荷重の载荷は、つぎのとおりである。すなわち、曲げを受ける鋼I桁の圧縮フランジを模擬し、一樣分布の圧縮応力と等価な強制圧縮変位を端部に与える。腐食損傷した鋼桁のフランジでは、損傷による断面欠損によって圧縮荷重の偏心が考えられる。ここでは、偏心を考慮した鋼板（ケース1）と偏心を考慮しない鋼板（ケース2）の2種類を考え、図-2に示すような载荷方法を採用した。ただし、有限要素に3次元Solid要素の採用と、面外方向の変形とともに端部の回転がスムーズに起こるように、端部に剛体要素を取り付けた。

表-1 材料特性

鋼種	鋼材の厚さ (mm)	降伏応力 (MPa)	材料	ヤング率 (GPa)	ポアソン 比
SM400	$16 < t \leq 40$	235	鋼部材	206	0.3

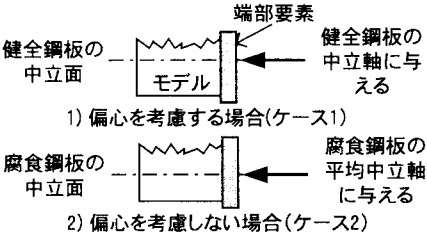
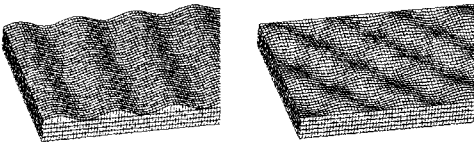


図-2 载荷位置

腐食量を表すパラメータいわゆる体積欠損率を $\alpha=0.1, 0.2, 0.3$ 、幅厚比パラメータを $R_f=0.55, 0.65, 0.75$ とした。腐食形状として、図-3 に示す一方向波形とパッチワーク型波形を考え、鋼板全体に分布させた。表-2 に解析に必要なパラメータと断面寸法を示す。なお、初期たわみと残留応力は無視した。

3. 数値解析結果とその考察

(1) 腐食の形状が鋼板の耐荷力に及ぼす影響：自由突出板の圧縮強度と圧縮変位の関係を図-4に示す。ここに、縦軸は腐食前の健全な鋼板の全強で無次元化した腐食鋼板の圧縮強度、横軸は鋼板の降伏変位で無次元化した圧縮変位である。図中、水平線は体積欠損率が $\alpha=0.3$ の腐食鋼板の純断面に対応する降伏強度で、その値は0.7である。図から明らかなように、ケース1の場合、荷重の初期段階から面外変形が現れ、かなり最高強度が



a) 波形腐食 b) 2重波形腐食
図-3 腐食形状

表-2 解析パラメータおよび断面寸法

幅厚比 パラメータ	体積欠損率	健全鋼板幅 (mm)	健全鋼板厚 さ (mm)
R_f	α	b_f	t_f
0.55~0.75 (0.1間隔)	0.1~0.3 (0.1間隔)	200~280 (40mm間隔)	20

低下するが、最高荷重後の強度劣化は緩やかである。一方、ケース2の場合、腐食損傷した鋼板の純断面に対応する全強にほぼ漸近するが、偏心を考慮した場合と異なって、最高荷重後の強度劣化が著しい。これは、初期不整と偏心を無視した鋼板そのものの変形挙動を端的に表している。また、いずれの載荷状態の場合も腐食形状によって若干の強度に差異が現れる。

(2) 鋼板の最高圧縮強度と幅厚比パラメータとの関係：鋼板の幅厚比パラメータが圧縮強度と圧縮変位の関係に及ぼす影響を調べた結果、図-5を得た。ここに、幅厚比パラメータ $R_f=0.55$ と 0.75 の場合である。図から明らかなように、ケース1の場合、荷重の初期段階から面外変形が現れ、最高強度が低下する。ただし、最高荷重後の強度劣化は緩やかである。一方、ケース2の場合、その最高強度は幅厚比パラメータによってかなり異なる。また、偏心を考慮した場合と異なり、最高荷重後の強度劣化が著しい。とくに、幅厚比パラメータが大きい場合に顕著である。

(3) 鋼板の最高圧縮荷重と体積欠損率との関係：自由突出板の最高荷重と腐食欠損率との関係を図-6に示す。図から明らかなように、体積欠損率の増加とともに、最高荷重は低下する。その割合はほぼ一定である。この結果から腐食した鋼板の近似耐荷力算定式が、体積欠損率を変数として、つぎのように得られた。

ケース 1 :

$$\frac{N_{max}}{N_y} = 0.909 - 1.478\alpha$$

ケース 2 :

$$\frac{N_{max}}{N_y} = 0.966 - 1.135\alpha$$

ただし、 $R_f=0.75$ の場合である。

5. あとがき

- 得られた結果を集約すれば、つぎのとおりである。
- 作用圧縮力の断面欠損による主板パネル中立軸からの偏心を考慮した。その結果、作用圧縮力の偏心が最高荷重の顕著な低下を招いた。
 - 2ケースの腐食形状を考えた。形状の凹凸に大差がなければ、腐食モード間による最高荷重の差異はほとんど認められなかった。
 - 最高荷重は体積欠損率に大いに影響される。2種類の腐食パターンに対して、体積欠損率を変数とする近似耐荷力算定式を提示した。

以上のように、ここでは腐食が鋼板全体に広がった場合の圧縮強度を検討した。今後、局所的な腐食も含めて、フランジの腐食が鋼桁の曲げ強度に及ぼす影響を調べ、腐食の進行と残存強度との関係など、LCC ベースの橋梁維持管理計画に必要な資料を充実する必要があるだろう。

参考文献 1) 森 猛・渡邊 一・正井資之：腐食した鋼板の表面形状シミュレーションと腐食鋼桁の曲げ耐力，構造工学論文集，土木学会，Vol.49A，pp.675-686，2003-3。

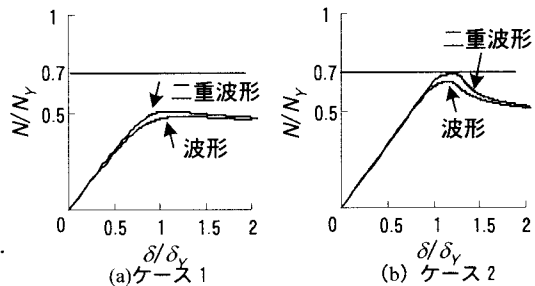


図-4 腐食形状が鋼板の耐荷力に及ぼす影響 ($R_f=0.65$)

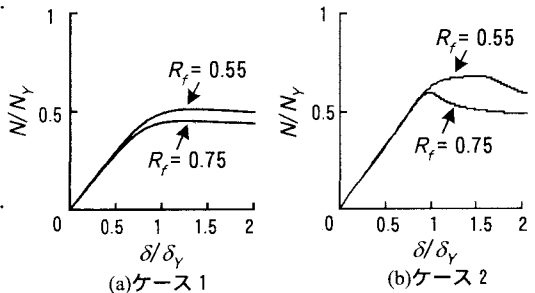


図-5 幅厚比パラメータが鋼板の耐荷力に及ぼす影響
(波形腐食， $\alpha=0.3$)

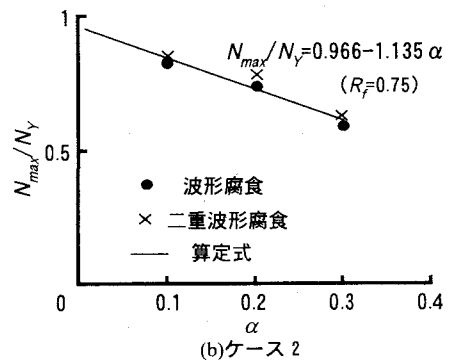
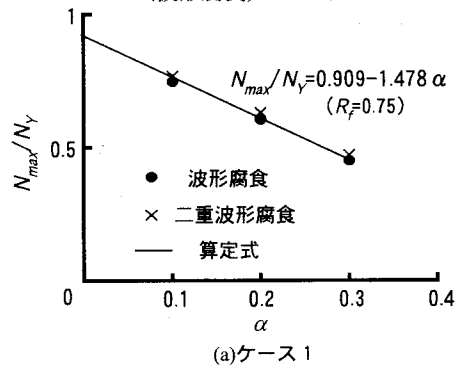


図-6 最高荷重と体積欠損率との関係