

腐食鋼板の引張強さの確率論的推定法

鳥取大学工学部 正会員 池内智行
鳥取大学大学院 学生員 古城武志

高田機工(株) 正会員 有馬博人
鳥取大学工学部 フェロー会員 上田 茂

1. はじめに 長期間の供用によって、腐食を受けた鋼板は不均一な板厚減少を起こす。この様な損傷を受けた橋梁の維持管理にあたっては、現状での残存耐力の正確な評価がまず重要となる。不均一な板厚分布となっている鋼板はその形状が測定によって明確になれば、耐力を求めることはFEM等を用いることで容易に可能である。しかし、維持管理の現場において腐食を起こした鋼板の全形状を測定することは不可能に近いといえる。そこで、本研究では、不均一な板厚分布を確率論的にとらえることで、引張強さも確率的に評価することを考えた。この手法を用いることで、鋼板の全形状を測定することなく、引張強さを推定することが可能となる。

2. 引張強さの確率論的推定法 腐食によって板厚の減少した鋼板の引張強さを評価するにあたって、既往の研究成果にもとづいて以下のような仮定を設ける。

- ①板厚全体が腐食によって不均一に板厚減少を起こしており、板厚の分布は正規分布に従う¹⁾ものとする。
- ②引張破壊は、断面方向の平均板厚が最小の断面で起こる²⁾。

この2つの仮定にもとづき引張強さの確率論的推定法を提案する。対象とする腐食鋼板は幅が一定で、任意の点 (i, j) での板厚を t_{ij} とおくとその確率分布は正規分布に従う(仮定①より)。この正規分布の平均と分散は $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ だとする。この時、 j 断面での平均板厚の分布を考える。板厚が与えられている点の総数は $n \times m$ とする。断面方向に n 点ある板厚の平均を平均板厚と定義すると、平均板厚の平均と分散は以下のように求められる。

$$E\left[\frac{1}{n}(t_{1j} + t_{2j} + \dots + t_{nj})\right] = \frac{1}{n}(E[t_{1j}] + E[t_{2j}] + \dots + E[t_{nj}]) = \frac{1}{n}n \cdot \mu_{ij} = \mu_{ij} \quad (1)$$

$$V\left[\frac{1}{n}(t_{1j} + t_{2j} + \dots + t_{nj})\right] = \frac{1}{n^2}(V[t_{1j}] + V[t_{2j}] + \dots + V[t_{nj}]) = \frac{1}{n^2}n \cdot \sigma_{ij}^2 = \frac{\sigma_{ij}^2}{n} \quad (2)$$

ここで、 $E[\cdot]$:平均値、 $V[\cdot]$:分散を示す。よって、平均板厚は $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2/n)$ の正規分布に従う。また、引張強さは鋼板の引張強度に断面積を乗じたものとする以下で式が成り立つ。

$$R_j = s_u \cdot A_j = s_u \cdot B \cdot \bar{t}_j \quad (3)$$

ここで、 R_j : j 断面での引張強さ、 s_u :引張強度、 A_j : j 断面での断面積、 B :板幅、 $\bar{t}_j$: j 断面での平均板厚である。この関係より、式(1),(2)と同様の変形を行うことで、 j 断面での引張強さは $N(s_u B \mu_{ij}, (s_u B \sigma_{ij})^2/n)$ の正規分布に従うことが分かる。

仮定②により鋼板の任意断面のなかで最小断面、すなわち引張強さが最小となる断面で引張破壊が起こり鋼板の引張強さが決まる。任意断面での引張強さの分布は正規分布であるが、その最小値で決まる鋼板の引張強さは極値分布となり、分布関数は以下のグンベル分布で近似できる³⁾。

$$\phi_R(r) = 1 - \exp\{\exp\{\alpha(r-u)\}\} \quad (3)$$

ここで、 u, α は基礎変量の分布関数(本研究の場合、任意断面での引張強さの分布関数にあたる)から求められる特性値で以下の式より求められる。

$$F_{R_j}(u) = \frac{1}{m}, \alpha = m \cdot f_{R_j}(u) \quad (4)$$

ここで、 $F_{R_j}(\cdot): N(s_u B \mu_{ij}, (s_u B \sigma_{ij})^2/n)$ の分布関数、 $f_{R_j}(\cdot): N(s_u B \mu_{ij}, (s_u B \sigma_{ij})^2/n)$ の確率密度関数 鋼板の引張強さの分布関数が式(3)で表されるとすると、その平均と分散は以下の式で求めることができる³⁾。

$$\mu_R = u - 0.57722/\alpha, \sigma_R^2 = \pi^2/(6\alpha^2) \quad (5)$$

Keywords:腐食, 鋼板, 引張強さ, 確率分布

連絡先:鳥取市湖山町南 4-101 Tel 0857-31-5288 Fax 0857-28-7899

3. 数値解析と推定法との比較 提案した推定法の適用性を検討するため、数値解析との比較を行った。数値解析では図-1 に示すように 20mm×100mm の鋼板をモデル化した。要素の各節点では乱数を用いて板厚の分布が正規分布となるように与えた。このとき、正規分布の平均と分散は $N(9.6\text{mm}, 1\text{mm}^2)$ とした。解析上考慮した材料定数は、弾性係数 $E=2.1 \times 10^4 \text{kgf/mm}^2$, 降伏応力 38.7kgf/mm^2 とした。また、構成則はひずみ硬化のない完全弾塑性とした。

図-2 に、解析モデルに軸方向引張を与えた時の载荷辺での荷重と変位の関係を示す。図では、降伏が起きたあと緩やかに荷重が上昇し、記号▼で示す最大荷重点に達している。図中の最大荷重をこの解析モデルの引張強さとして定義した。同様に、乱数を用いて正規分布 $N(9.6\text{mm}, 1\text{mm}^2)$ に板厚分布が従うように節点での板厚を与えた解析モデルを 1000 ケース作成し、この 1000 ケースについて数値解析により引張強さを求めた。解析結果から得られた引張強さの頻度分布を図-3 に示す。

数値解析によって求めた引張強さと比較するため、式(3)を用いて板厚分布から推定される鋼板引張強さの分布形を図-3 に曲線でプロットした。この時利用した値は板厚分布 $N(\mu_{ij} = 9.6, \sigma_{ij}^2 = 1)$ 、板幅 $B = 20$ 、引張強度 $s_u = 38.7$ 、 $n=100$ 、 $m=20$ (要素分割 50×10 で中間節点を持つため)である。図-3 の推定値と数値解析との比較より、推定値がすこし引張強さを低めに評価しているものの似かよった分布形を示していることが分かる。それぞれの分布形から得られる引張強さの平均値と分散を表-1 に示す。両者が非常に近い値となっている。

4. まとめ 腐食により板厚が不均一となった鋼板の引張強さを推定する方法を提案した。提案した方法では板厚分布を仮定することで引張強さの確率分布を推定することが可能である。この提案方法の妥当性を検討するため数値解析結果と推定値の比較を行ったが、平均、標準偏差共に近い値となった。

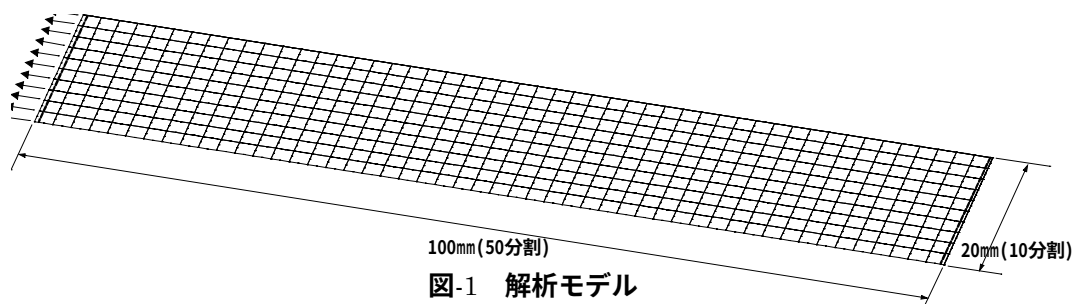


図-1 解析モデル

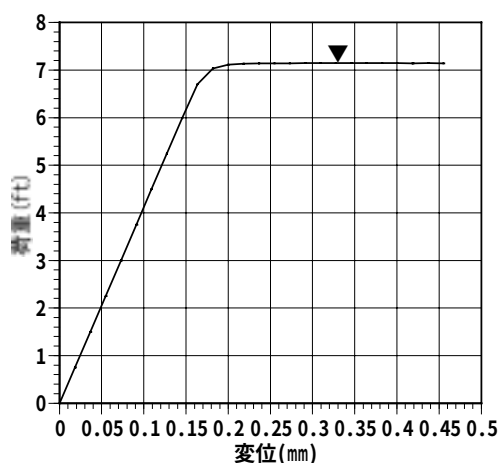


図-2 荷重-変位関係

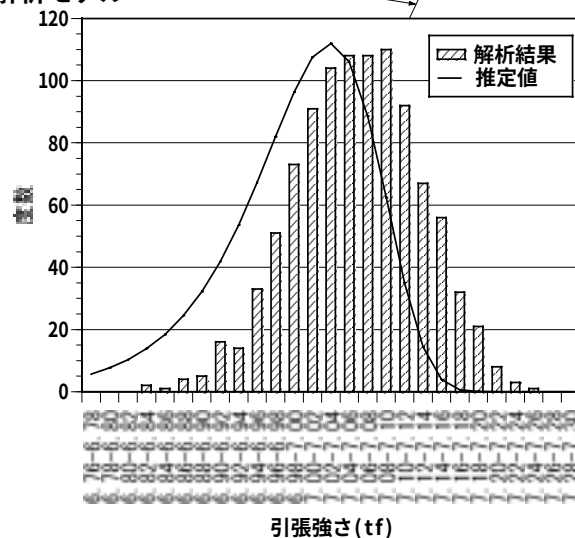


図-3 引張強さの分布

表-1 引張強さの平均と標準偏差の比較

	解析結果	推定値
平均 μ_R (tf)	7.06	6.99
標準偏差 σ_R (tf)	0.068	0.084

<参考文献>1)日本鋼構造協会:既設鋼橋部材の耐力・耐久性診断と補修・補強に関する資料集,2002. 2)建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室,日本橋梁建設協会:橋梁部材の腐食に対する健全度評価手法に関する共同研究報告書,2000. 3)例えば 亀田弘行,池淵周一,春名攻:新体系土木工学 2 確率・統計解析,1981.