

構造用鋼材の実測データに基づく鋼板の抵抗係数と許容板厚減少量

岐阜大学総合情報メディアセンター 正会員 ○奈良 敬
 岐阜大学大学院 学生員 杉田 圭哉
 岐阜大学工学部 西尾 修一

1. まえがき

日本工業規格(JIS)に規定されている鋼材の降伏点の基準値には下限値のみ定められている。実際に使用されている鋼材は、一般に基準値を下回らないように製造されており、同一鋼種においても降伏点にはバラつきが生じる。平成14年3月の道路橋示方書・同解説¹⁾（以下道示とする）では、性能規定型の設計基準を目指して、要求する事項とそれを満たす従来からの規定とを併記する書式となった。そのため、構造物の極限状態における鋼材特性を評価し、構造物全体としての使用限界状態及び終局限界状態に対して安全性を評価する限界状態設計法が必要とされている。限界状態設計法では、部分安全係数を用いて安全性を確保している。このことから、部材の終局強度を評価するには、抵抗係数を正しく評価することが重要であり、鋼材特性値の統計的評価ができるよう信頼できる鋼材データの蓄積と充実が必要である²⁾。

一方、無塗装仕様の耐候性鋼橋について、補修・補強工事の要・不要及びその時期判定のための点検手法は、無視できない板厚減少の有無、錆の外観調査や付着塩分量等を考慮して適宜なされているが、十分には確立されていない。腐食により各部位の板厚が減少することによって、どれだけ橋梁全体の強度に影響を与えるかが明らかにされると、補修・補強工事の要・不要のみならず、その必要な場合の優先順位をつけることが可能となる。

そこで本研究は、鉄鋼5社により2001年の1年間に実測された8万件弱の橋梁用厚板圧延鋼板の強度データ³⁾に基づいて抵抗係数を提案する。また、引張、圧縮、曲げ、せん断を受ける板要素について、それぞれ初期強度と等しい強度を有する許容板厚減少量を明らかにする。これにより、限界状態設計法により実際の抵抗係数を、補修・補強工事の必要性の検討に实际的な許容板厚減少量を与えることができるものと考えられる。

2. 実測データに基づく抵抗係数の提案

(1) 鋼材の強度特性値の統計データ

鋼材の強度特性値の統計データとして、鉄鋼5社で製造された橋梁用の厚板圧延鋼板（SS400, SM490, SM490Y, SM570, SMA400, SMA490）の2001年から1年間の降伏点、板厚精度の統計データを得た³⁾。それを図-1, 2および既往のデータ^{4, 5, 6)}と併記して表-1に示す。この表より、今回の測定データは橋梁向け鋼材のデータを示す文献6)に近い基礎統計量を示すことがわかる。

表-1 降伏点の基礎統計量

	平均	標準偏差
文献4)	1.15	0.13
文献5)	1.30	0.17
文献6)	1.26	0.09
鉄鋼5社	1.23	0.10

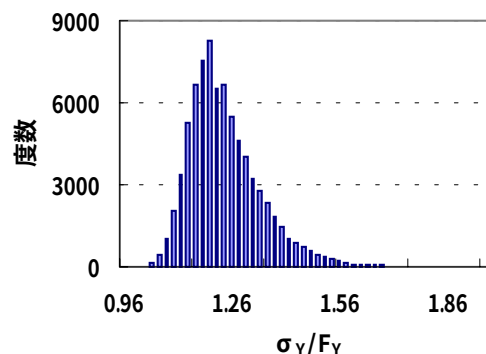


図-2 降伏点ヒストグラム

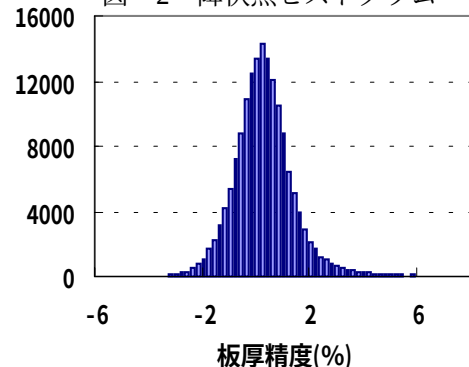


図-3 板厚精度ヒストグラム

(2) 実測データに基づく抵抗係数φ

SGSTフォーマット⁷⁾では道路橋示方書に規定されている許容応力度から求めた耐荷強度式を公称抵抗強度式 R_n とした場合に、この R_n に対して信頼性を保証するために設けた抵抗係数 ϕ を求めている。抵抗係数 ϕ は次式のように定義されている。

$$\phi = \phi_1 (1 - k_R V_R) \frac{R_m}{R_n} \quad (1)$$

ここに、 ϕ_1 ：設計、施工時の二次的要因あるいは重要度を考慮する係数、 $V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2}$ ：全体の変動係数、 V_M, V_F, V_P ： M, F, P の変動係数、 k_R ：実験データの下限の程度を表す定数、 $\psi = R_m/R_n = M_m F_m P_m$ ：設計式の信頼度係数、 R ：実測強度、 R_n ：公称抵抗強度、 $M = \sigma_y/F_y$ ：材料係数、 $\sigma_y (F_y)$ ：実測（公称）降伏応力度、 $F = S/S_n$ ：製作係数、 $S (S_n)$ ：実測（公称）断面定数（断面積、断面係数等）、 $P = \bar{R}/\bar{R}_n$ ：設計係数、 $\bar{R} = R/(R_y)_m$ ：実測降伏強度の平均値で無次元化された実測強度、 $\bar{R}_n = R_n/(R_y)_n$ ：公称降伏強度で無次元化された設計式で与えられる公称抵抗強度、下添え字「m」はそれぞれの平均値を表す。

計算条件はSGSTフォーマットに従って、較正係数 $\phi_1 = 1.0$ 、下限の程度を表す定数 $k_R = 1.65$ とする。データから鋼板要素の面内作用応力毎に抵抗係数を算出し、文献6)において示されている抵抗係数と比較した。その結果を表-2に示す。

キーワード 鋼材特性、鋼板、抵抗係数、限界状態設計法、腐食

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学総合情報メディアセンター TEL 058-293-2405

文献 6) の抵抗係数は、座屈実験に用いられた模型実験供試体の鋼材から得られた 1822 個の引張試験の統計データ 4) を基に算出している。このデータと本研究で基にした 8 万件弱の橋梁用厚板圧延鋼板の統計データを比較すると、測定対象としている鋼材の観点から、本研究で使用したデータは、表-2 に示すように文献 6) に別途示される橋梁向け鋼材データと近い値を示しており、実際的なものと考えられる。

3. 許容板厚減少量の算出

面内方向に引張、圧縮、曲げ、せん断を受ける鋼板について 2 種類の許容板厚減少量を考え、それらを t_{p1} 、 t_{p2} とする。これらは次式より得られる。

$$t_{p1} \text{ について (公称値を用いた道示の強度式) = (実測値を用いた道示の強度式)}$$
$$t_{p2} \text{ について (公称値を用いた道示の強度式) = (実測値を用いた文献 6) の強度式)}$$

現行の規定においてどの程度板厚に余裕があるかを知るために t_{p1} を求めた。 t_{p1} は、非超過確率 5% の降伏点の実測値と公称値をそれぞれ道示の規定にあてはめて両者を比較して算出した。次に、実橋を対象として文献 6) の実際的な強度式に非超過確率 5% の実測値をあてはめ、公称値を用いた道示の強度式と比較して t_{p2} を算出した。

ここでは圧縮を受ける両縁単純支持板について示す。圧縮を受ける両縁単純支持板の耐荷力曲線は、道示では式 (2) 文献 6) では、式 (3) で与えている。

$$\frac{N_{un}}{N_{yn}} = \begin{cases} 1 & (\bar{\lambda}_{pn} \leq 0.7) \\ 0.5 / \bar{\lambda}_{pn}^2 & (\bar{\lambda}_{pn} > 0.7) \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{N_u}{N_Y} = \begin{cases} 1 \cdot \phi_0 & (\bar{\lambda}_p \leq 0.64) \\ (0.7 / \bar{\lambda}_p)^{0.80} \cdot \phi & (\bar{\lambda}_p > 0.64) \end{cases} \quad (3)$$

$$\bar{\lambda}_{pn} = \frac{b}{t_n} \sqrt{\frac{F_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}}, \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (4)$$

ここで、
 N_{un} : 公称極限圧縮荷重
 N_u : 実測極限圧縮荷重
 N_{yn} : 公称降伏荷重
 N_Y : 実測降伏荷重
 $\bar{\lambda}_{pn}$: 公称幅厚比パラメータ
 $\bar{\lambda}_p$: 実測幅厚比パラメータ
 ϕ : 抵抗係数
 ϕ_0 : 降伏強度時の抵抗係数
 E : ヤング係数 (= 206GPa)
 ν : ポアソン比 (= 0.3)
 k : 座屈係数 (= 4.0)

ϕ については表-2 より $\phi = 0.94$ 、 ϕ_0 については表-2 において $P_M = 1.00$ 、 $V_P = 0.00$ として得られる値 $\phi_0 = 1.03$ を用いた。横軸に公称値を用いた幅厚比パラメータを、縦軸に許容板厚減少量を取り整理した。結果を図-3 に示す。 t_{p1} は $\bar{\lambda}_{pn} \leq 0.7$ で板厚の減少を許容できる。 t_{p2} は $0.69 \leq \bar{\lambda}_{pn} \leq 0.71$ を除いて板厚の減少を許容できることがわかる。

4. まとめ

橋梁向けの実際的な鋼材データに基づいた抵抗係数を提案することができた。抵抗係数は過去に提案されたものより約 10% 大きく設定することが可能である。また種々の面内力を受ける鋼板に許容される板厚減少量を算出した結果より、板厚の減少を許容できることがわかった。抵抗係数の算定に用いた今回の実測データは、1989 年の土木分野の鋼材データ 6) と大きな差異がないため過去の鋼材にも適応できるものと考えられる。また、鋼材特性値の大きな変化がなければこの抵抗係数を今後の鋼材にも適応させることができるため、今後も鋼材特性値の実測データの開示が必要である。

謝辞

本研究は、JSSC 鋼橋の性能照査型設計対応研究委員会「鋼橋の安全性・使用性部会（主査 依田照彦 早稲田大学教授）」の活動の一環として実施したものである。部会委員各位に貴重な意見をいただいたことを記し、ここに謝意を表する。

参考文献

1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，2002. 2) 奈良敬・朝日伸也：鋼材の強度特性値が鋼板要素の極限強度に与える影響，鋼構造年次論文集，第 10 巻，2002. 3) 奈良敬・中村聖三・安波博道・川端文丸・塩飽豊明：橋梁用鋼材の板厚および強度に関する統計的調査，土木学会論文集（投稿中）. 4) 福本 士編：座屈設計ガイドライン，土木学会，1987. 5) 青木博文・村田耕司：構造用鋼材の降伏点，引張強さおよび降伏比に関する統計的調査，日本建築学会論文報告集，第 335 号，1984. 6) 倉西茂編：鋼構造物の終局強度と設計，土木学会，1994. 7) 東海鋼構造研究グループ：鋼構造物材の抵抗強度の評価と信頼性設計への適用，橋梁と基礎，1980.

表-2 面内荷重を受ける鋼板の抵抗係数

面内荷重	データ	F_M	V_F	M_M	V_M	P_M	V_P	ϕ
圧縮	文献6)	1.00	0.05	1.15	0.11	1.004	0.107	0.85
	鉄鋼5社			1.23	0.08			0.94
曲げ	文献6)	1.00	0.05	1.15	0.11	1.000	0.028	0.92
	鉄鋼5社			1.23	0.08			1.03
せん断	文献6)	1.00	0.05	1.15	0.11	1.000	0.038	0.91
	鉄鋼5社			1.23	0.08			1.02

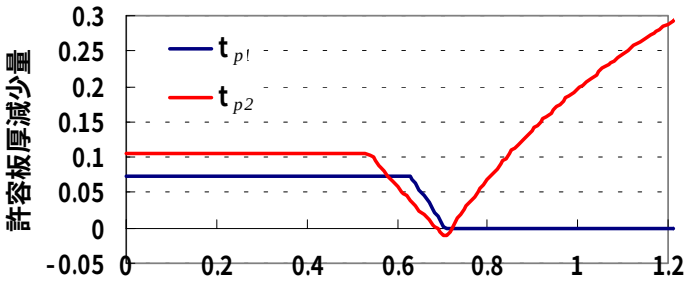


図-3 圧縮を受ける両縁支持板の許容板厚減少量