

構造用鋼材の材料係数に関する一提案

長崎大学 正会員 中村聖三
 JFE 技研(株) 正会員 岡田 淳
 防衛大学校 正会員 古屋信明

1. はじめに

近年、世界的に構造物の設計規準類が性能照査型の限界状態設計法に移行する趨勢である。これからのわが国の設計規準のあり方を考えると、グローバルスタンダードとしての設計規準と国益を考えた戦略的設計規準との2面性を視野に入れた設計指針が必要であることが指摘されている。このような背景から、土木学会鋼構造委員会に鋼・合成構造標準示方書小委員会が設置され、道路橋示方書などの国内設計基準はもとより、アジアコードなどの国際的な設計基準にも参照されるような標準示方書の作成を目指して活動が行われている。著者らは同小委員会の設計部会の一員として材料に関わる規定の原案作成を担当し、構造用鋼材の材料係数についても検討している。そこで本文では、土木学会全国大会の機会を捉えて広く一般に議論していただくことを意図し、鋼材の材料係数に関する現時点での考え方を示すこととする。

2. 材料係数の定義

作成中の標準示方書設計編では部分係数を用いた照査様式が採用されており、照査フォーマットの基本形として構造物係数 γ_i 、荷重係数 γ_f 、材料係数 γ_m 、構造解析係数 γ_a 、部材係数 γ_b の5つの部分係数を導入した式(1)が用いられている。

$$\gamma_i \cdot \frac{\sum \gamma_a \cdot S(\gamma_f \cdot F_k)}{R(f_k / \gamma_m) / \gamma_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 S ：作用、 R ：抵抗、 F_k ：作用の特性値、 f_k ：材料強度の特性値である。

また、材料強度の特性値は「定められた材料強度試験法による試験値のばらつきを想定した上で、試験値がそれを下回る確率がある一定の小さな値以下となることが保証された材料強度の値、またはこれと同等の値」、材料係数は「材料強度の特性値からの望ましくない方向への変動、供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性の限界状態に対する影響、材料特性の経時変化などを考慮するための係数」と定義されている。

3. 鋼材強度の分布

2001年に国内鉄鋼5社から橋梁向けに出荷された厚鋼板を対象とする調査結果¹⁾では、降伏点および引張強さに関して、表-1のような平均値、標準偏差が得られている。鋼構造物の設計では、強度の指標として一般に降伏点（または耐力）が用いられるが、その実績平均値は規格下限値に対し20～43%高めになっている。標準偏差は

表 - 1 引張特性調査結果（規格下限値に対する比）¹⁾

規格	降伏点 or 耐力		引張強さ		データ数
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
SS400, SM400	1.25	0.10	1.11	0.036	31579
SM490	1.26	0.11	1.11	0.034	2448
SM490Y, SM520	1.20	0.08	1.12	0.041	30013
SM570	1.22	0.08	1.13	0.045	9449
SMA400W	1.43	0.11	1.16	0.046	2094
SMA490W	1.25	0.10	1.12	0.047	3318
全鋼種	1.23	0.10	-	-	78901

0.08～0.11であり、比較的狭い範囲に分布している。SMA400Wの降伏点/規格下限値の平均値は他の鋼種と比べて明らかに高いが、これは400N/mm²級のSS材、SM材では添加されないCu、Cr、Niなどの合金成分が、耐候性能付与のために添加されることによる強度上昇が原因と考えられる。SMA400Wを除くと、全鋼種に対する平均値、標準偏差と鋼種ごとの値との差は小さい。同調査では全鋼種をまとめたデータに対して降伏点の確率分布形および1.0%、2.5%、5.0%非超過確率値についても検討しており、正規分布、対数正規分布、ワイブル分布はいずれも適合しないが、非超過確率に関して表-2を示し、特性値を求めるにあたって

キーワード：材料係数、構造用鋼材、部分係数設計法、降伏点

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町1-14 TEL/FAX: 095-819-2613, e-mail: snakamura@civil.nagasaki-u.ac.jp

は、安全側の推定としてワイブル分布を仮定してもよいと結論づけている。

4. 提案する材料係数

2.に示した材料係数の定義に従えば、供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性の限界状態に対する影響、材料特性の経時変化などを考慮する必要があるが、これらの影響は小さく無視できるものと考え、材料強度のばらつきのみを考慮して材料係数 γ_m を提案する。

表-1,2のデータに基づき、設計材料強度として非超過確率5%に対する降伏点を、材料強度の特性値として規格下限値を採用することとすれば、 γ_m は $1.0/1.1=0.91$ となるが、同表の値は製品検査としてミルメーカーで実施された引張試験の結果を整理したものであり、いわゆる上降伏点である。しかし、上降伏点は転位の急激な増殖の開始点であり、材料の履歴や試験条件の影響を受けやすいことから、構造設計には転位増殖による応力低下と加工硬化とが平衡状態にあり

比較的安定した特性値である下降伏点あるいは静的降伏点を用いるべきであると考えられる。上降伏点と下降伏点との違いに関しては表-3のような試験結果²⁾があるが、両者の平均値、標準偏差の差は3~5%程度である。またJISの試験法では静的降伏点の10%程度高い降伏点が見られるとの報告²⁾もある。

以上のことを勘案するとともにコンクリート標準示方書³⁾等の規定を参考にし、JIS規格に適合する構造用鋼材の引張降伏強度の特性値および材料係数に関して、一般に以下のようにすることを提案する。

特性値：JIS規格下限値、材料係数：すべての限界状態に対して $\gamma_m=1.0$

なお、コンクリート標準示方書では、引張降伏強度の特性値はJIS規格下限値としてよいと規定されているものの、材料係数は表-4のように定められており、今回の提案とは異なっている。終局限界状態の検討に用いる材料係数が、鉄筋およびPC鋼材では1.0であるのに対して、それ以外の鋼材では1.05となっているのは、一般に前者はそのままの状態で構造物中に用いられるが、後者は溶接等の加工が加えられるためであると考えられる。しかし、鉄筋も圧接等が施される場合があること、部材強度の設計式には一般に残留応力等の初期不整の影響が考慮されていることなどから、今回は構造用鋼材に対しても1.0とすることとした。

5. おわりに

本文では構造用鋼材の降伏点の分布に基づき、すべての限界状態に対して材料係数を1.0とすることを提案した。今回の提案は材料強度のみの観点から行ったものであり、示方書全体で整合性が確保できるよう調整したものではない。今後、各限界状態に対して確保すべき安全率、示方書に採用する部材強度式などについても議論を行い、最終的な値を決定していきたい。

参考文献 1) 奈良敬, 中村聖三, 安波博道, 川端文丸, 塩飽豊明: 橋梁向け構造用鋼板の板厚および強度に関する統計調査, 土木学会論文集, No.752/I-66, 2004.1. 2) 土木学会鋼構造委員会鋼構造終局強度研究小委員会: 鋼構造物の終局強度と設計, 平成6年7月 3) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 平成8年3月

表-2 非超過確率値(規格下限値に対する比)¹⁾

非超過確率	観測値	正規分布	対数正規分布	ワイブル分布
1.0%	1.062	0.997	1.012	1.040
2.5%	1.083	1.033	1.043	1.058
5.0%	1.101	1.065	1.070	1.077
95.0%	1.423	1.395	1.399	1.406
97.5%	1.477	1.427	1.436	1.441
99.0%	1.543	1.463	1.479	1.484

表-3 上降伏点, 下降伏点に関する引張試験結果(kgf/mm²)²⁾

鋼種	降伏点種別	個数 N	保証降伏点 F	平均値 M	M/F	標準偏差 s
SS400, SM400	σ_{Yu}	41	24	30.2	1.256	2.21
	σ_{Yl}			29.2	1.218	2.15
SM490	σ_{Yu}	44	32	38.4	1.200	2.51
	σ_{Yl}			37.0	1.157	2.60
SM490Y	σ_{Yu}	21	36	42.1	1.169	2.21
	σ_{Yl}			40.1	1.113	2.27
SM520	σ_{Yu}	27	36	43.3	1.202	2.93
	σ_{Yl}			41.9	1.165	2.78
SMA490	σ_{Yu}	15	36	44.8	1.243	3.44
	σ_{Yl}			43.0	1.193	3.35

表-4 コンクリート標準示方書の材料係数

限界状態	鉄筋・PC鋼材	それ以外
終局	1.0	1.05
疲労	1.05	
使用	1.0	