

CS-70 合成構造用鋼材の特性と設計強度の設定に関する提案

ショーボンド建設 補修工学研究所 正会員 佐藤 政勝
早稲田大学 理工学部 土木工学科 正会員 依田 照彦

1. まえがき

鋼・コンクリート合成構造物の設計に関する外国の趨勢としては、荷重係数設計法あるいは限界状態設計法に移行している。^{1), 2)} 土木学会では、限界状態設計法を昭和61年にコンクリート標準示方書に導入した。また、導入を前提に昭和62年に編纂された鋼構造設計指針（案）が本年度には改訂、出版される予定である。

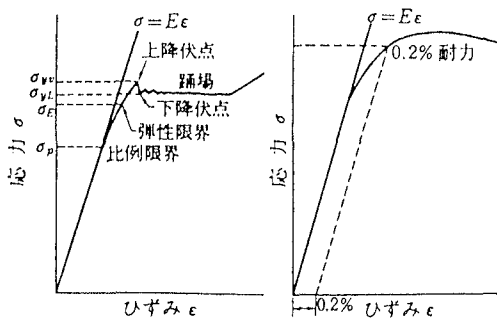
ここでは、鋼材の降伏点・耐力、引張強さおよび国内外における合成構造用鋼材規格とその特性を紹介し、終局限界状態の照査に対する鋼材の設計強度の設定に関して提案する。

2. 降伏点・耐力、引張強さの定義

図-1(a)に示す応力-ひずみ曲線において、急激にひずみが増加し始める現象を降伏と呼び、その開始点を降伏点と称す。軟鋼のような鋼材（体心立方構造の鉄を主体とした鋼）では、降伏点に達した後、いったん応力が低下し、さらに強制変形を与える（引張試験では荷重を増す）ときざざしたほぼ一様なレベルを保ちながらひずみが増加し、一定の応力に落ち着く、最初に降伏した点を上降伏点： σ_{yu} と称し、低下した後の点を下降伏点： σ_{yl} 、応力とひずみが一定な箇所を降伏棚（あるいは踊場、Yield plateau）と称する。さらに、強制変形を持続すると、図-2に示すように、再度応力が上昇し始め、最大強度に達し、鋼材が破断する。この最大強度を引張強さ（ σ_u または f_{uk} ）と称する。

上降伏点は引張試験機荷重計の置き針を使用することによって容易に測定ができること、また踊場における応力が変動することなどの理由で JIS Z 2241 では、降伏点までの平均応力増加率を $10 \sim 30 \text{ N/mm}^2/\text{S}$ 以下に低く抑えたうえで、上降伏点を単に降伏点（ σ_y または f_y ）と呼んでいる。一方、下降伏点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る比較的安定した特性値であるのに対し、上降伏点は転位の急激な増殖の開始点という材料の履歴や試験条件の影響を受けやすい特性値であるとの、冶金工学的見知から、米国の ASTM (American Society for Testing and Materials) A 370 では下降伏点を降伏点と見做している。

図-1(b)に示すように、硬鋼や高張力鋼のように明瞭な降伏棚を示さない鋼材に対しては、ASTMに準拠し、JIS（日本工業規格）では、永久ひずみが0.2%となる（0.2%リセット）応力を耐力と称し、降伏強度の基準としている。しかしながら、ASME、JISにおいても、永久ひずみを0.2%とする明瞭な根拠は提示されていない。ISO 規格 6934-5（プレストレストコンクリートに使用される高張力鋼についての規格）では³⁾、特性値として、永久ひずみに0.1%を採用しており、永久ひずみの設定値については今後の重要課題である。



(a) 降伏点が明瞭な場合 (b) 降伏点が明瞭でない場合

図-1 降伏点近傍の応力-ひずみ関係

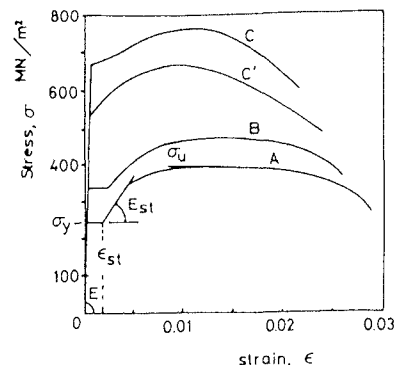


図-2 鋼材の応力-ひずみ関係

表-1 各国規格における鋼材の降伏点・耐力，引張強さ(単位：MPa)

国・規格	記号	f_y or σ_y	f_y or σ_u	区分	備考
JIS G 3106 (日本)	SM400	235 ($16 < t \leq 40$)	400 ~ 510	A	溶接構造用
	SM490	315 "	490 ~ 610	B	
	SM490Y	355 "	490 ~ 610	B	
	SM520	355 "	520 ~ 640	B'	
	SM570	460 "	570 ~ 720	C	
HBS G 3102	HT70	590 ($8 \leq t \leq 75$)	685 ~ 830	C	本四連絡橋公団
	HT80	685 ($8 \leq t \leq 75$)	785 ~ 930	C	
				C	
ASME A 370, (米国)	A36	250	400 ~ 550	A	AASHTO M 183
	A572, Gr42	290 ($t \leq 152$)	415	A	AASHTO M 223
	Gr50	345 ($t \leq 51$)	450	B	"
	A588	345 ($t \leq 102$)	485	B	AASHTO M 222
	A514	690 ($t \leq 64$)	760 ~ 895	C	AASHTO M 224
DIN 17100 (独 国)	St 37-2	235 ($t \leq 100$)	340 ~ 470	A	
	St 52-3	360 ($t \leq 100$)	490 ~ 630	B	
	DaSt-R1 011	460 ($t \leq 60$)	560 ~ 730	C	
	St E460	460 ($t \leq 40$)	560 ~ 730	C	
	St E690	690 ($t \leq 40$)	790 ~ 940	C	
Eurocode 3, (欧州) ⁴⁾	Fe E235	235 ($t \leq 40$)	360	A	
	Fe E275	275 ($t \leq 40$)	430	A	
	Fe E355	355 ($t \leq 40$)	510	B	

3. 各国の鋼材規格と応力-ひずみ関係

鋼材の応力-ひずみ関係を大別すると、軟鋼(A)，高張力低合金鋼(B)，調質高張力炭素(C')，調質構造用合金鋼(C)に分けられる。炭素鋼(A)に対応するものとし、JISでは、SS400, SM400, ASTMでは、A36, DINでは、St37、高張力低合金鋼に対応するものとし、SM490, SM490Y, SM520(JIS), A572, A588(ASTM), St52(DIN)、調質構造用合金鋼(C)に対応するものとして、SM570(JIS), HT70, HT80(本四連絡橋規格), A514(ASTM), St E460, E690(DaSt9)がある。

Eurocode 3では、コンパクト断面(塑性解析)に使用しうる鋼材のみ規定されている。塑性解析を行いうる条件として、次のような鋼材特性が明記されている⁴⁾。

- ① $f_{uk}/f_y \geq 1.2$ ② $\epsilon_{max} \geq 0.15$ ③ $\epsilon_u/\epsilon_y \geq 20$

ここに、 ϵ_y は0.2%引張耐力のひずみ値、 ϵ_u は最大引張り強度時における全ひずみ値、 ϵ_{max} は鋼材破断時の最大ひずみ値である。また、表-1のFe E355鋼にあてはめると、 $\epsilon_u \geq 0.034(3.4\%)$ となる。

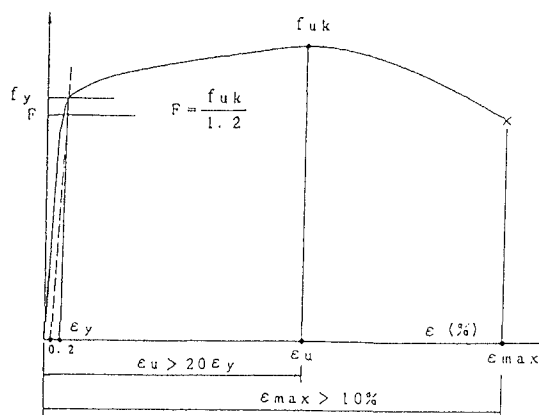


図-3 合成構造用高張力鋼の設計強度の設定

4. 合成構造用鋼材の設計強度の設定に対する提案⁵⁾

(1) 明瞭な降伏棚が有る合成構造用鋼材の設計強度の設定

引張応力に対する設計材料強度：Fは、材料係数を1.0とし、保証降伏点： f_y としてよい。

(2) 明瞭な降伏点を示さない合成構造用高張力鋼の設計強度の設定

図-3 に示す応力-ひずみ関係において、 ϵ_u が ϵ_y の20倍以上あり、かつ ϵ_{max} が10%を満たす合成構造用高張力鋼材の引張応力に対する設計材料強度：Fは、保証引張強さ： f_{uk} を材料係数1.2で乗じた商としてよい。但し、 $\epsilon_u > 20\epsilon_y$ 、かつ $\epsilon_{max} > 10\%$ の条件を満たさない高張力鋼材の引張応力に対する材料係数は1.3とするものとする。

参考文献

- 1) AASHTO: Standard Specification for Highway Bridge, 13th Edition, 1983
- 2) BSI: BS 5400 Steel, Concrete and Composite Bridge, Part 1, 1978
- 3) 川上泰治: P C鋼材の ISO 規格とJIS, コンクリート工学, 第34巻3号, pp. 36~44(1996)
- 4) Eurocode No. 3: Design of Steel Structures, Draft, 1990
- 5) 土木学会・鋼構造委員会: 鋼構造物の終局強度と設計, 鋼構造シリーズ 6, pp. 45~48(1994)