

新日本製鐵(株) 正会員 桑村 仁

1. まえがき

構造物の塑性設計における大前提是、部材が降伏後も耐力を維持しながら充分な塑性回転をすることである。モーメント勾配下の梁や柱において、材端に塑性ヒンジを形成させるには、降伏域が材端から材中央へ或る程度広がらなくてはならない。その為には、鋼材の降伏比(降伏応力の引張強さに対する比)を或る程度低く押さえておくことが大切である。60キロ級以上の高張力鋼は降伏比が高いので塑性回転能に乏しく、塑性設計には適さないとされてきた。ところが、最近の圧延プロセスに於けるTMCの発達により、降伏比の低い高張力鋼が実用化される段階に来ている。本稿は、この新しい低降伏比高張力鋼を用いた部材の塑性挙動を調査し、従来の高張力鋼と比較したものである。

2. 鋼材特性

解析・実験に用いた高張力鋼は3種類であり、記号A, B, A'で表されている。これらの高張力鋼の主成分および機械的性質を表1に、素材引張試験より得られた応力-歪線図を図1に示す。AとBは同一成分であるが、Bは従来の焼入れ・焼戻し鋼で降伏比が非常に高く9.3%である。一方、Aは二相焼入れ・焼戻し鋼で降伏比を7.4%に低くしたものである。A'はさらに改良されたもので、明瞭な塑性流れ域を有し、より韌性に富む材料である。これらは、いずれも炭素当量C_{eq}・溶接割れ感受性組成P_{cm}が低く、溶接性にも優れたものである。

表1. 高張力鋼の特性

鋼種	成分(重量%)					降伏応力 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	降伏比
	C	Si	Mn	C _{eq}	P _{cm}			
A	0.12	0.27	1.05	0.38	0.21	51.6 ¹⁾	69.6	0.74
B	0.12	0.27	1.05	0.38	0.21	67.4 ²⁾	72.2	0.93
A'	0.14	0.36	1.41	0.39	0.22	48.7 ²⁾	64.8	0.75

1) 0.2%歪オフセット耐力

2) 下降伏点

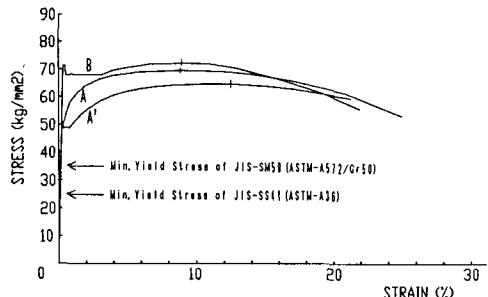


図1. 引張応力-歪線図

3. 面内弾塑性挙動の解析

図2に示すような一定圧縮軸力と漸増する端モーメントを受ける部材に高張力鋼A, B, A'を使用したときの面内挙動について数値解析を行なった。通常のCDC解析と同様、圧縮域の応力-歪関係は引張域のそれ(図1)と同じと仮定している。部材は、強軸曲げを受けるHW-400断面であり、強軸回りの細長比は2.5である。端モーメントMと端部回転角θを軸力が無い時の全塑性モーメントM_p及びその時の回転角θ_pで各々無次元化して、両者の関係を示したのが図3である。図中のpは軸力比であり、eは部材中の最大圧縮歪を降伏歪で除したものである。図には、鋼種毎にpが0.0~0.8のM-θ線図と、eが5~25の等歪線図が示されている。M-θ線図は、部材中の最大圧縮応力が鋼素材の引張強さに達したところで打ち切られ

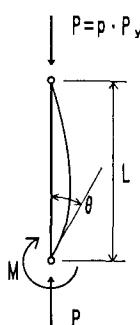


図2. 梁一柱の荷重条件

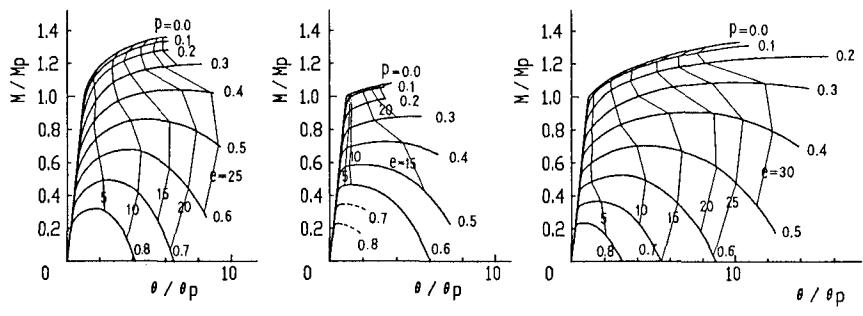


図3. 梁一柱の面内弾塑性曲線

ている。ただし、 $P-\delta$ 効果により崩壊するものについては、崩壊カーブが横軸と交差した時点で自動的にカーブを打ち切っている。このM-θ線図より、鋼Bは塑性回転能が小さいが、低降伏比の鋼Aはそれが改善されており、鋼A'は更に優れていることが分かる。

4. 局部座屈挙動の実験

実際の梁や柱の終局状態は局部座屈に支配されることが多い、上記の面内挙動は局部座屈に乱されるのが一般的である。そこで、高張力鋼AとBについて局部座屈挙動を比較するために、図4・図5に示すH形断面短柱の圧縮実験を行なった。試験体のウェブ及びフランジの幅厚比の組合せは、次の6ケースである。 $(d/t_w, b/t_f) = (15, 6), (15, 8), (15, 10), (20, 6), (20, 8), (25, 6)$ 。なお、 $t_w=t_f=9\text{ mm}$ である。この6ケースの短柱圧縮試験から得られた応力-歪線図を鋼A、B各々について示したのが図6a、bである。試験体は25-6-Aなどのように表記されており、最初の数字はウェブ幅厚比、2番目の数字はフランジ幅厚比、最後の記号は鋼種を表している。図中には、引張試験から得られた応力-歪線図も破線で示してある。

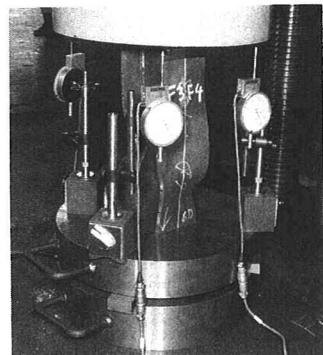


図4. 短柱圧縮テスト

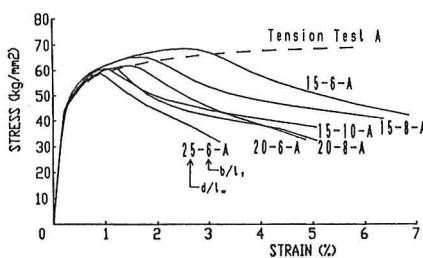


図6a. 圧縮応力-歪線図(鋼A)

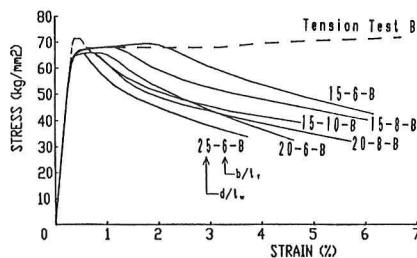


図6b. 圧縮応力-歪線図(鋼B)

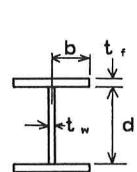


図5. 部材断面

この短柱圧縮の最大耐力は、すべて局部座屈で限界づけられている。最大圧縮応力を素材の降伏応力で無次元化したもの（応力上昇率）をウェブ幅厚比-フランジ幅厚比の座標系で立体的に表したのが図7である。白丸で表した鋼Aのほうが、黒丸で表した鋼Bよりも高い応力上昇率を発揮することが分かる。同様に、最大耐力時の歪を素材の降伏歪で無次元化したもの（歪塑性率）について、鋼Aと鋼Bを比較したのが図8である。この場合も、鋼Aのほうが高い歪塑性率を有していることが分かる。このことより、柱や梁の終局状態が局部座屈に支配される場合にも、降伏比の低い高張力鋼Aのほうが、従来の降伏比の高い高張力鋼Bよりも大きな塑性回転能を発揮することが分かる。

5. 結び

新しく開発された降伏比の低い60キロ級高張力鋼は、柱や梁に使用した場合、従来の60キロ級鋼よりも高い塑性回転能を発揮するので、或る程度塑性化を期待した設計に用いることができると考えられる。更に、降伏後の余耐力も大きいので、従来のSM58よりも許容応力度を高く設定できると考えられる。

- 参考文献
- 1) 加藤：高張力鋼の高層建築物への利用、製鐵研究、61.4.
 - 2) 桑村：降伏比の異なる鋼材を用いた梁一柱の面内弾塑性挙動に関する解析、建築学会大会、62.10.
 - 3) 桑村他：降伏比の異なる高張力鋼梁の曲げ実験、同。
 - 4) 桑村：降伏比の異なる高張力鋼を用いたH形断面短柱の終局強度と変形能力について、構造工学論文集、63.3.
 - 5) 桑村他：低YR70キロ高張力鋼の溶接継手強度について、同。
 - 6) Kuwamura, H.:Effect of Yield Ratio on the Ductility of High-Strength Steels under Seismic Loading, Proc. SSRC, 1988.4, Minneapolis.