

東京大学工学部 正 員 奥村 敏恵  
 東京大学工学部 正 員 堀川 浩甫  
 東京大学大学院 学生員 ○星埜 正明

序 近年従来から使用されてきた軟鋼よりも降伏点抗張力の大きい、いわゆる高降伏点高張力鋼が各種開発されている。降伏点が高いということは、降伏点を基準として許容応力を定めている現行の示方書では、大変有利な材料であるといえることができる。しかしこのような材料を構造物に安全かつ有効に使用するには、更に検討されるべき点は多い。筆者の研究室でも構造物の破壊までの挙動に關係する、降伏比及び伸び能力など、材料の降伏後の特性に着目した一連の研究を行なっている<sup>(1)</sup>。一才溶接構造物において重要な構造部分である柱梁接合の耐力、応力集中などの影響によりかなり低下することがあるということが報告されている<sup>(2)(3)</sup>。そこで本報告ではこのような接合部の問題を取り上げて、その性状を検討すると共に、このような構造物で材料の降伏後の特性と構造物の破壊との關係を考察し、材料の構造部材としての性質を明らかにしようとした。

### 1. 試験体

試験体の形状及び寸法を図-1に示す。これは柱と梁の接合部を模型化したものであって、H型をした柱に梁フランジに相当する板を溶接したものである。このような応力集中を受ける接合部試験体を高張力鋼及び軟鋼で製作し引張試験を行なった。柱フランジ板厚 $t_c$ は $6^{mm}$ 、 $8^{mm}$ 、 $10^{mm}$ に変化させ、同一の試験体について3体行なった。なお柱と梁の接合には溶接を用いたのであるが、余盛りは板厚と同じ面になるように仕上げ、初期変形の影響もなないように努めた。

### 2. 実験

材料としては、 $80^{kg}$ 級高張力鋼HT80及び $40^{kg}$ 級軟鋼SM41を使用した。これら使用鋼材の性質を表-1に示す。また応力-歪曲線の代表例を図-2に示す。実験は梁フランジに貼ったストレーン・ゲージを測定しながら破壊まで行なった。実験結果はまとめて図-3に

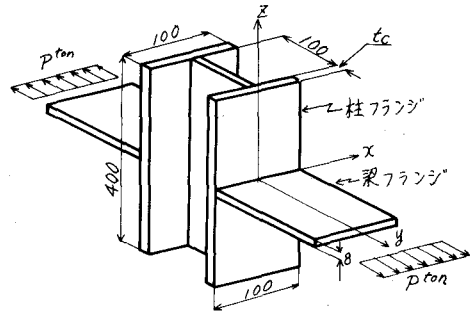


図-1 試験体の形状及び寸法

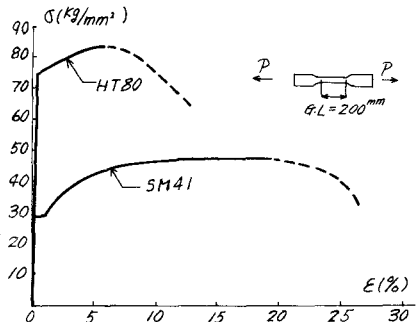


図-2 材料の応力-歪曲線

|      | 素 材 引 張 試 験    |                |          |          |           |           |          | シャルピー<br>衝撃値試験<br>kg-m/cm² |
|------|----------------|----------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------------------------|
|      | 降伏応力<br>kg/mm² | 破断応力<br>kg/mm² | 降伏比<br>% | 全伸び<br>% | 一様伸び<br>% | 局部伸び<br>% | 絞り率<br>% |                            |
| HT80 | 75.7           | 83.9           | 90.2     | 13.3     | 7.4       | 5.9       | 48.1     | 14.9                       |
| SM41 | 28.5           | 47.7           | 59.7     | 27.0     | 19.9      | 7.1       | 56.5     | 7.2                        |

表-1 材料引張試験結果

示す。図の縦軸には破壊強度と梁フランジの板強度の比で表される接合部の継手効率をとってある。この図から認められることを述べると、i)形状による継手効率の差は顕著で、柱フランジ板厚 $t_c$ が大きくなる程良くなる。ii)鋼種による継手効率の差については、僅かながらHT80の方が高くなっているという程度である。破壊状況は、HT80の一部に生じた脆性破壊を除き、ほぼ同一で、その進行過程は梁フランジ、柱フランジ、柱ウェブの合一点での裂開に始まる、梁フランジと柱フランジの接合線及び柱フランジと柱ウェブの接合線に沿う破断であった。

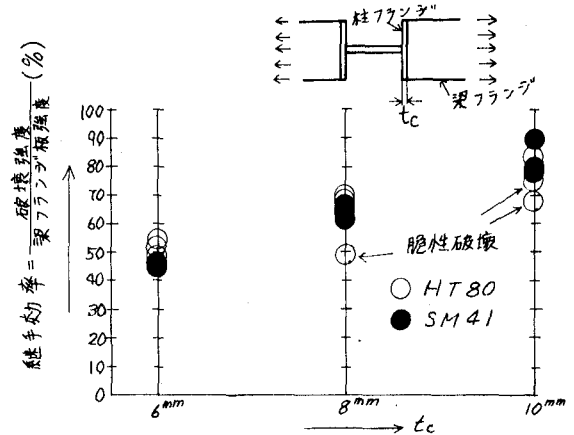


図-3 破壊強度と鋼種及び形状

### 3. 理論解析

実験結果の詳しい検討及び考察のために有限要素法による弾塑性解析を行なった。解析するに際し、梁フランジは面内荷重を受ける板と考え、柱フランジについては柱ウェブで固定された片持無限平板と考え、更に接合部での変位に対してきりだけ等価となるような片持梁で置き換えた。塑性域での応力と歪の関係には Reuss の式を仮定し、材料の応力-歪曲線における歪硬化部分は  $\sigma = \alpha E^n$  の如く理想化して計算に用いた。このような仮定のもとに、荷重を少し加えては塑性域に入った要素を探し出し、応力と歪の関係を塑性用に換えて行くという、荷重増加法で計算を行なった。なお使用計算機は東京大学大型計算機センターの HITAC 5020 である。

### 4. 考察

#### 4.1 実験結果と計算結果との比較

i) HT80,  $t_c = 10\text{mm}$  のものについて、荷重-歪曲線を描くと、図-4 のようになる。このような図から計算値によりその応力挙動の概要を推定することができると考えられる。

#### 4.2 破壊と材料の伸び能力の関係について

図-4 にはまた梁フランジで一番大きな歪が生じている接合部中央での歪もプロットされている。この場合もし破壊が一様伸びで規定されるとすると、計算では破壊強度が  $50\text{ton}$  位になる。実験では  $55.7\text{ton}$  になっている。他の場合について、以上の計算方法の他に塑性域の取り扱いをただヤング係数とポアソン比だけを変えて行なった計算もあるのでそれらも引用して、計算による破壊荷重と実験による破壊荷重を比較し

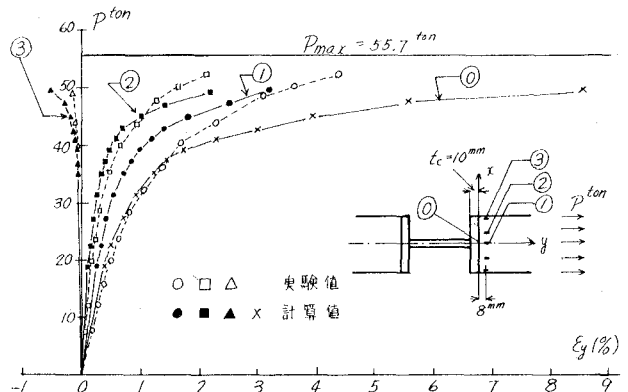


図-4 荷重-歪曲線 (HT80,  $t_c = 10\text{mm}$ )

て示したのが表-2である。この場合も破壊は材料の一樣伸びで規定されるとして計算している。このような結果から、一樣伸びでないにしても、とに再伸びで破壊が規定されるとしても大きな違いはないと思われる。従って伸び能力が小さいということは破壊に対して不利な要素となる。

#### 4.3 歪分布と鋼種形状などとの関係について

柱フランジとの接合線上での梁フランジの歪分布の変化をみるために図-5.a, 図-6.a, 図-7.a を描いた。これらの図は全て計算結果によるものである。図の縦軸には梁フランジのy方向平均歪 $\epsilon_y$ で無次元化した値をとった。これらの図から分るように歪の中央への集中は荷重が大きくなる程即ち降伏試験が進むにつれて増大激しくなる。形状による歪分布の違いとしては図-5.a, 図-6.aを比較しても分るように柱フランジ板厚 $t_c$ が大きい程広がった分布となり、中央への集中は緩やかになる。鋼種の違いによる歪分布の違いはこの範囲では余り認められない。このことは実験からも確かめられている。これは歪の分布が形状にかなり支配されること、SM41には歪硬化の始まる前に、塑性流れがあること、及び接合部では横方向(X方向)の拘束があることのためだと考える。

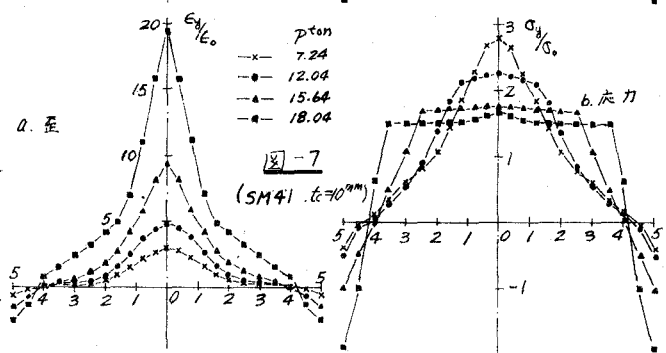
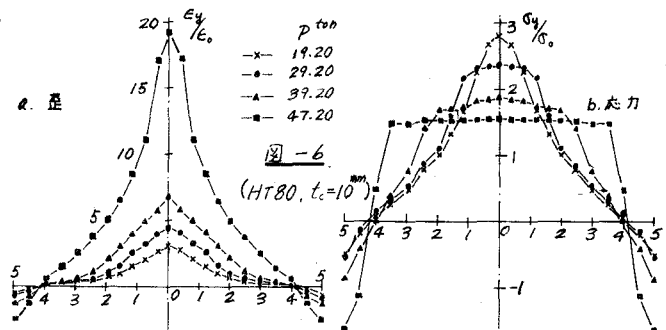
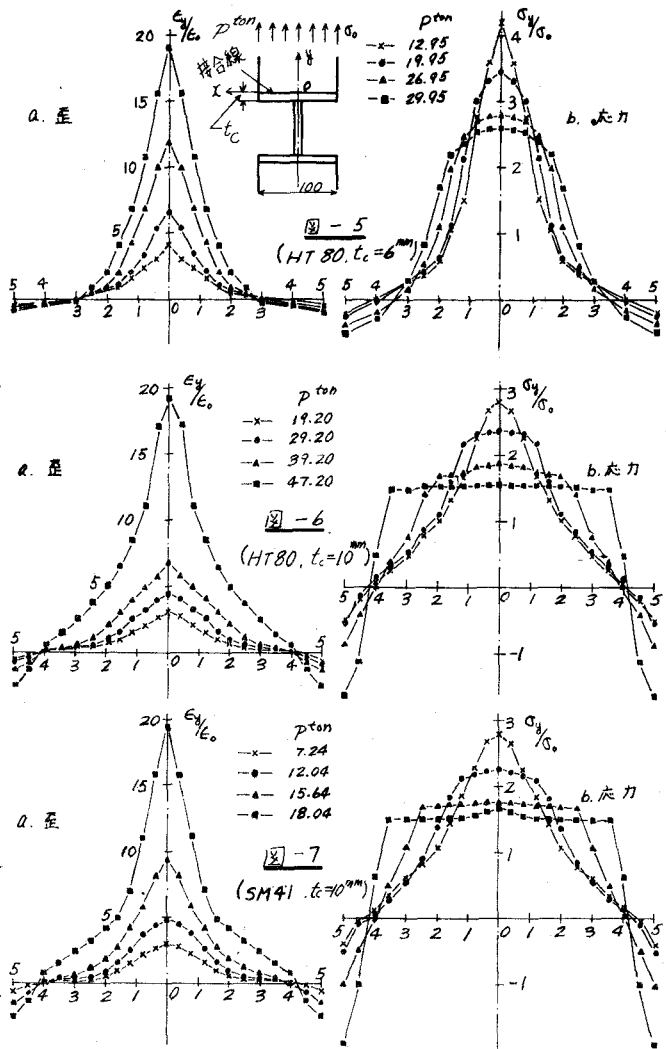
#### 4.4 応力分布と鋼種形状などとの関係について

接合線上での応力分布の変化をみるために図-5.b, 図-6.b, 図-7.b を描いた。これらの図の縦軸には梁フランジのy方向平均応力 $\sigma_y$ で無次元化した値をとっている。歪分布の場合とは逆に降伏試験が進むにつれて応力の集中度は緩和されて、いわゆる応力の再分布が行なわれている。形状による分布の違いについては、歪分布の場合と同様で、柱フランジ板厚 $t_c$ が大きい程、横に広が

| 鋼種   | $t_c$            | 計算値   | 実験値* |
|------|------------------|-------|------|
| HT80 | 6 <sup>mm</sup>  | 30~36 | 34.4 |
|      | 8 <sup>mm</sup>  | 40.0  | 46.2 |
|      | 10 <sup>mm</sup> | 49.2  | 55.7 |
| SM   | 6 <sup>mm</sup>  | 18.6  | 17.6 |
|      | 8 <sup>mm</sup>  | 21.4  | 24.4 |
|      | 10 <sup>mm</sup> |       | 31.5 |

単位 ton  
\*脆性破壊したものを除いた平均の値

表-2 破壊強度



た形になる。次に鋼種による応力分布の違いについて述べる。HT80 では応力の再分布が進行し、そのまま平らな形になるが、一オ SM41 では最初のうちはやはり中央の山が平らになって行くが、ある程度進をと再び中央に山が生じ、これがまた横に分布していくというような過程をとる。この中央に再び山が生じ始める時期は枝材に歪硬化が生じ始める時期と一致している。このために SM41 では HT80 のようには山が平らになり難く、従って応力の再分布がうまく行なわれなくなる。従って歪硬化の大きいことは応力の再分布に対して不利な要素となると考える。

#### 4.5 降伏域の拡がりについて

伸び能力が小さいということは破壊までの降伏域の拡がりを小さくする。また降伏歪、従って降伏応力が大きいということは降伏域が拡がるのに大きな伸びを必要とする。従って実験からも認められるのであるが、HT80 の破壊までの降伏域の拡がりには SM41 に比べかなり小さなものとなる。

#### 4.6 接合部での二軸性について

柱フランジと梁フランジの接合部ではス方向の応力も存在する。いまはス方向の応力は無視する。接合部中央 ( $x=0, y=0$ ) での応力  $\sigma_y$  と  $\sigma_x$  について考えると、この点では  $\sigma_y$  と  $\sigma_x$  が主応力になっている。この  $\sigma_y$  と  $\sigma_x$  がどのような割合で降伏が起ってから動いて行くかを、 $t_c=10\text{mm}$  の場合について示したのが図-8 である。HT80 の場合降伏は  $\sigma_x$  が僅かに圧縮になっているところで起り、降伏が進をにつれて  $\sigma_x$  は引張に転じそれと共に  $\sigma_y$  は増加する。一オ SM41 の場合降伏はやはり同じ位置で起り、 $\sigma_x$  は引張側へ動いて行くが、ある程度行くとまた圧縮側に逆戻りをしてしまう。これは丁度歪硬化の始まった時に一致している。つまりいまの場合歪硬化が接合部の二軸性を弱めることになっている。

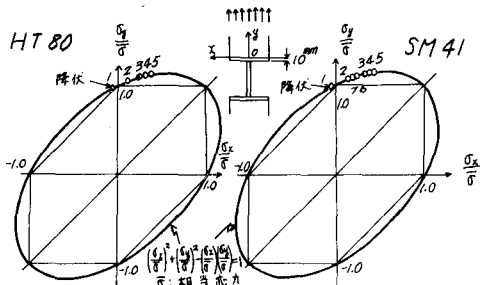


図-8 接合部中央 ( $x=0, y=0$ ) での  $\sigma_x$  と  $\sigma_y$  の関係

#### 4.7 総括

HT80 と SM41 の比較でまとめる。強度という点での破壊に対する安全性、この場合継手効率という形で表わされているが、については HT80 は SM41 に比べ伸び能力が小さいということでも不利になるが、歪硬化が小さい、即ち降伏比が大きいということでも逆に有利であると考えられるので結局殆んど差がなくなっているのだと考えられる。もちろん破壊強度に対してはほぼ同程度の安全性を有しているということは降伏応力を基準にする考え方では降伏比の高いものほど実際には危険になっているわけである。一オ破壊するまでの降伏域の拡がり、或は変形能力と言っても良いと思うが、この点での破壊に対する安全性については HT80 は SM41 に比べ伸び能力が小さい、そして降伏歪が大きいということでも著しく劣ったものになっている。また HT80 は、SM41 に比べ、応力の二軸性が強いと考えられ脆性破壊の危険性をもつことが示された。

#### 参考文献

- (1) 堀川浩甫：高張力鋼の構造部材としての力学的特性に関する研究 東大土木論文集録第4輯 1967
- (2) 三木三省 大庭浩：鉄骨構造の強度に関する研究 川崎重工業技術資料 1964
- (3) 仲威雄 斎藤光：全溶接鉄骨構造の強度に関する研究 建築学会論文報告集 1958