

東京大学工学部 正員 奥 村 敏 恵

東京大学工学部 正員 星 埜 正 明

は じ め に

現在の設計基準はいわゆる弾性設計法に基礎を置いていると言える。しかしながら構造物には応力集中の避けられない部分があることなどにより、弾性設計法においても材料の塑性的性質が大きな役割を果たしていると考えられる。もし各種鋼材において機械的諸性質、特に、応力ひずみ挙動の間に相似な関係があれば、軟鋼に対すると同様な設計基準を80キロ鋼までの鋼材に拡張できることが予想されるが、一般にこれら機械的諸性質の間の関係は著しく異なるものである。従って鋼材の特性を考慮した合理的な設計を行なうためには、材料の特性を良く知り、構造部材としてどのような性質を有するか検討することが是非とも必要であると考えられる。この種の問題の解決は、現在80キロ級高張力鋼が長大支間橋梁の建設と関連し、実際に使用される気運にあることを考えると一層強く望まれる。以上の観点から本報告においては、従来よく議論の対象として取り扱われている、応力集中の典型的な例である円弧程度の切欠を有する平面板(Scheibe)を取り上げ、主に有限要素法による解析結果に基づき、このような部材の静的な耐力挙動と材料の力学的性質との関係を明らかにし、合せて軟鋼と高張力鋼の構造部材としての差異について検討することにする。

1. 解析の対象とした切欠部材

図-1に解析の対象とした切欠部材を示す。解析は80キロ級高張力鋼HT80及び41キロ級軟鋼SM41を用いた場合について行なった。更に60キロ級高張力鋼HT60とSM41とを混用した場合について詳細な実験が広大永井教授によって行なわれているので¹⁾この場合についての解析も行なった。

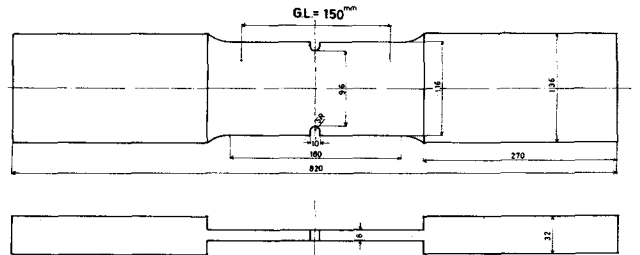


図-1 解析の対象とした切欠部材

2. 鋼材の応力 - ひずみ関係

入力データとして用いた鋼材の真応力-真ひずみ関係を図-2に示す。これらの曲線は全て丸棒引張試験から得られた測定値を数式化して表わしたものである。図には公称応力-ひずみ曲線もプロットしてあるが、この曲線については最大荷重点までしか描いていない。

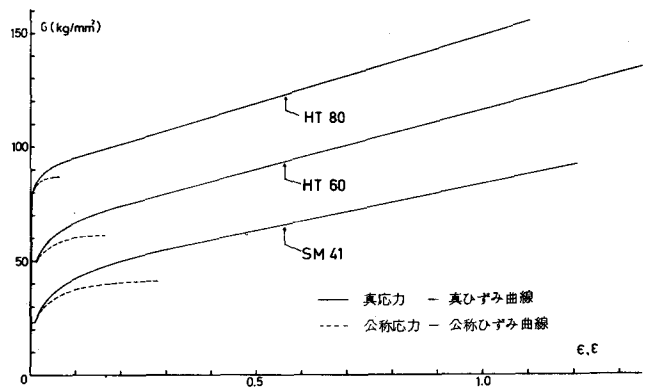


図-2 応力-ひずみ曲線

ここで一軸引張試験から得られる最大荷重点（引張り強さ）について考えてみよう。最大荷重点というのは材料の塑性的性質によってのみ決まるもので、変形の進行に伴なり材料の真の抵抗力の増加分よりも、断面減少による抵抗力の低下分の方が大きくなる点として特徴づけられることができる。² このような断面の減少による耐力力の低下のことを“不安定現象”と呼ぶことにする。最大荷重点以後伸びはくびれ部に集中すると考えられるので、一様伸びというのは一軸引張応力状態において不安定なくびれが生じるまでの伸びと言うことができる。

高張力鋼と軟鋼の差異としては、引張り強さが高い材料ほど一様伸びは小さくなり、引張り強さに対する降伏点強さの比である降伏比は高くなることが認められる。

3. 解析方法

解析は材料の真応力-真ひずみ関係を忠実に追跡する必要があるので変形の影響を考慮した有限要素法により行なった。計算はいわゆる荷重漸増法を用い、荷重を少しずつ加えながら刻々の変形を求めているわけであるが、変形の影響を考慮する

ためにその度毎に変形したことによる力の釣合の乱れを修正するようにしている。そして常に変形した状態を基本にして次の荷重段階へ進んでいる。要素への分割状態を図-3に示す。使用計算機は東京大学大型計算機センターのHITAC5020Eである。

4 考 察

既に述べたようにHT60とSM41を混用した場合について実験が広大、永井教授によって行なわれている¹ので、この結果を引用させて頂いて解析結果と比較してみよう。図-4は比較の一例である、図の縦軸には荷重を切欠断面積で割った公称応力 σ_n をとり、横軸にはゲージ長15^{mm}の平均的なひずみ $\bar{\epsilon}$ をとっている。図に・印で示したのは不安定現象を意味しており、×印で示したのは真の破壊を意味している。計算において真の破壊とは切欠先端の要素における荷重方向の真ひずみ ϵ_x が材料の最大真ひずみ ϵ_{max} に達したときと仮定している。この他ここでは省略するが、部材内のひずみ分布についての比較などにより、変形を考慮した有限要素法による弾塑性解析はこのような切欠部材の耐力挙動をよく説明しているといえることができる。

HT80とSM41を単独で用いた場合について両者を比較検討しよう。図-5、図-6はそれぞれHT80とSM41を用いた場合についての切欠部材の応力-ひずみ関係を示したものである。図-5から分るようにHT80を用いた場合には最高荷重点は不安定現象によって決まっている。このときの切欠先端の要素における真ひずみの値は0.717(71.7%)となっており、通常考えられているひず

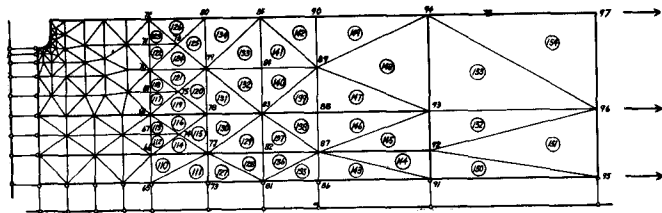


図-3 要素への分割

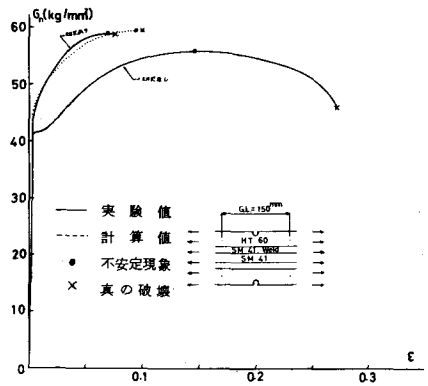


図-4 切欠部材の応力-ひずみ曲線

みの値にくらべると極めて大きい値になっているが、材料の最大真ひずみ値 1.100 にはまだ余裕がある。一方図-6 から認められるように SM 41 を用いた場合には断面の不安定現象が生じる前に、切欠先端の要素における真ひずみの値が材料の最大真ひずみ 1.219 に達している。次に最大荷重までの部材としての伸びについてみると、HT 80 を用いた場合の方が著しく小さくなっていることが認められる。これは既に変断面材の場合について詳しく論じられているように⁸、材料の降状比の高いことが塑性変形量を制限するためである。

図-7 は切欠断面上での荷重方向の真ひずみ ϵ_x の分布を示している。図において K は荷重段階を表わしている。この図から分るように、切欠先端にはひずみの集中が生じており、その値は材料の一樣伸びを越えて増大している。図-8 は切欠断面上での公称応力の分布の変化を示している。計算結果は真応力で得られているのであるが、耐荷力について考える場合には断面減少の影響を含んだ公称応力に直した方が都合が良い。図から認められるように、切欠先端のひずみが材料の一樣伸びを越えて増大していくことに対応して、切欠先端

近傍では公称応力が減少していく。しかしながら、この切欠先端近傍における耐荷力の減少分を切欠から離れた中央断面部分が補なっている間は部材としての耐荷力は増大していく。HT 80 を用いた場合は、ついには断面の減少による抵抗力の低下分の方が大きくなって不安定現象が生じている。一方 SM 41 を用いた場合には不安定現象が生じるまえに切欠先端

のひずみが材料の最大真ひずみ ϵ_{max} に達している。

以上のように、このような切欠部材の耐力というのは不安定現象によって定まる場合と真の破壊によって定まる場合の二つに分けて考えるのが妥当であると思われる。そして不安定現象というのは局部的な要因によって起るのではなく、断面全体としての応力性状に依存するものと考えられる。それに対して真の破壊というのは切欠先端の応力値或はひずみ値などという比較的局部的な要因によって決まってくると考えられる。また一樣伸びというのは、一軸引張応力状態において不安定現象が生じるまでの伸び量と考えられるので、他の構造形式における不安定現象発生を直接説明するものではなく、その生じ易さを表わす一つの尺度と考える方が適当であると思われる。従って HT 80 は SM 41 にくらべ不安定現象の生じ易い材料であると言うことができる。

図-9 は横軸に切欠先端の要素における荷重方向の真ひずみ ϵ_x をとり、縦軸には切欠断面について

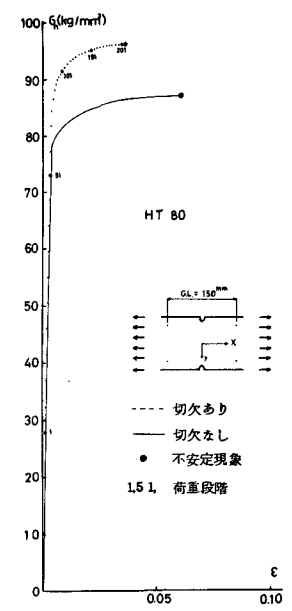


図-5 切欠部材の応力-ひずみ曲線

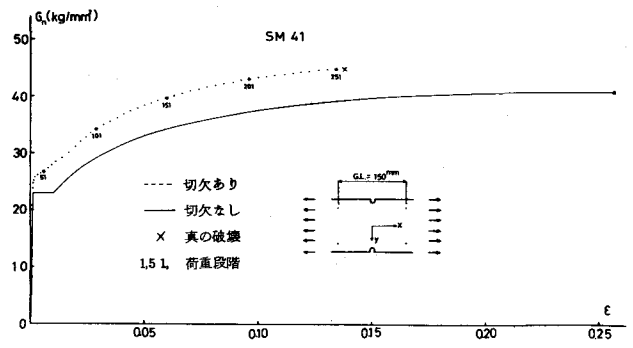


図-6 切欠部材の応力-ひずみ曲線

の平均公称応力 σ_n と引張り強さ σ_s の比 $\frac{\sigma_n}{\sigma_s}$ をとってプロットしたものである。この図にはまた切欠のない一軸引張の場合についての曲線も描いてある。切欠を有する部材についての曲線が一軸の場合の曲線にくらべて右側に引き伸ばされた形になっているのは、切欠先端においてひずみの集中があることを意味している。

HT80についての曲線とSM41についての曲線とを比較すると、HT80についての曲線の方が上側にきており、従ってHT80を用いた場合の方が最大荷重に近く接近するということが分る。このことは材料の降伏比と密接な関係がある、即ち切欠断面全体が降伏 (general yielding)

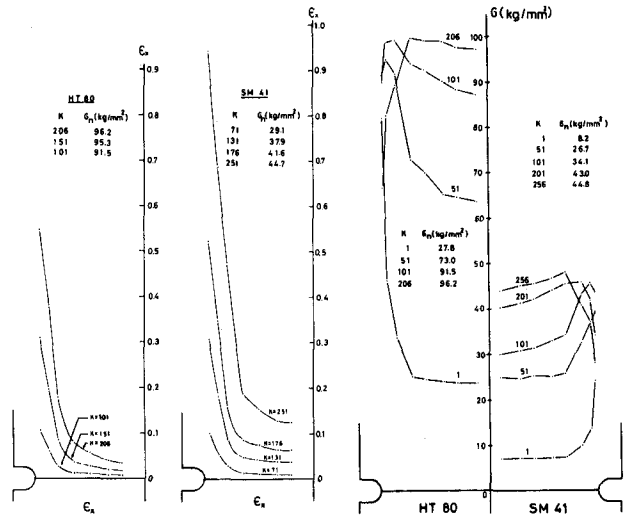


図-7 切欠断面上の真ひずみ分布

図-8 切欠断面上の公称応力分布

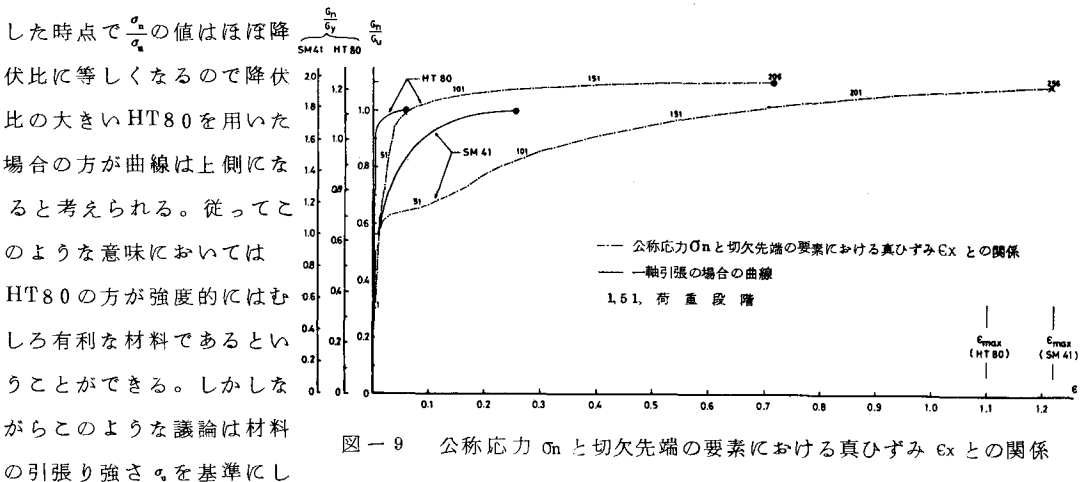


図-9 公称応力 σ_n と切欠先端の要素における真ひずみ ϵ_x との関係

て考えたために生じたものであって降伏応力 σ_s を基準にして考えれば、図からも分るように SM41 についての曲線の方が HT80 についてのものより上側にくる。従って降伏応力を基準にした考え方では、SM41の方がHT80よりも破壊までの余力は圧倒的に大きいとすることができる。

謝 辞

広島大学永井欣一教授に貴重な実験データを引用させて頂きました。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 永井欣一：異種鋼材混用継手の静的引張試験結果 広島大学 工学部 1970.4
- 2) 横堀武夫：材料強度学 技報堂 1966
- 3) 青木博文他：変断面材の伸び能力と降伏比に関する研究 建築学会関東支部第37回梗概集1966