

東京都立大学工学部 正員 堀川 浩甫

現在工事が進められている阪神高速道路公団の南港連絡橋、九州電力大平電圧所の水圧鉄管などにおいては、その規模の大きさに対処するために抗張力 80 kg/mm^2 のいわゆる80キロ鋼 (HT80) を使用している。目下計画中的本四連絡ルートや東京湾岸道路のいくつかの橋梁あるいは揚水発電所水圧鉄管のいくつかにおいてもHT80の使用が考えられている。HT80の溶接を考えると母材の溶接性については種々の改善がなされた結果、かなりの品質の鋼材を入手出来るようになった。しかし溶着鋼は、母材が圧延組織であるのに対して、いわば鑄状組織とまじり合うべきものであって、強度、靱性を確保し、かつ、われ感受性を小さくすることは母材に比べて容易ではない。

高張力鋼部材の荷重軸と直交する継手(横継手、図1参照)を母材に比べて軟い溶着鋼を用いて接合しても、軟質部の塑性流動を周辺の母材が拘束するために継手全体として強度は母材の強度と匹敵する程度にまで上昇することが知られている。^{(1),(2),(3)} 筆者も有限要素法を用いた弾塑性解析によりこのことを説明し、⁽⁴⁾ 実験により確認した。⁽⁵⁾ しかし継手の伸び能力はいらじるしく減少していた。

今回は、まず横継手の伸びについて考察し、ついで横継手以外のいくつかの継手型式への軟質継手の応用について論じたい。また、軟質継手がくり返し負荷を受ける場合には、弾性体に拘束された領域がその材料の降伏ひずみをこえてくり返しひずみを受けるといふ、疲労によって興味深い現象とされる。この点についてと若干の実験を行なったので、併せて報告したい。

横継手の伸び能力 軟質横継手の伸び能力を考察するために軟質溶着鋼の伸びと母材の伸びとに分けて考えてみよう。軟質溶着鋼の伸びはくわぬを伴っており、素材の引張試験における局部伸びに対応し、一方、母材の伸びは一樣伸びに対応するものを考えることが出来る。溶着鋼の伸びは溶着鋼に固有のものであるが、軟質継手の母材部に生ずる伸びは継手の強度に依存し、継手の強度が与えられるとその伸びは素材の応力-ひずみ曲線により与えられる(図2)。継手の伸びは溶着鋼の伸びと母材の伸びの和であるから、継手の強度が素材の引張強さに比べて低い場合には、溶着鋼の伸びだけとなり、継手全体としての(試験片の両端を標点とした)伸び率は小さいものとなる。図2は奥戸による実験データ⁽⁶⁾を再整理した結果であるが上述の推論とよく一致している。

構造物として必要な継手の伸び能力は、目下検討中であり、よくわかっていないが、例えば1% (これはSM5

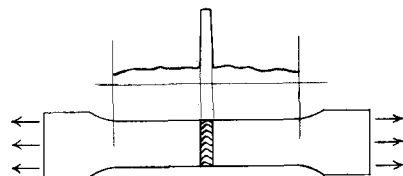


図1 横継手と伸び分布

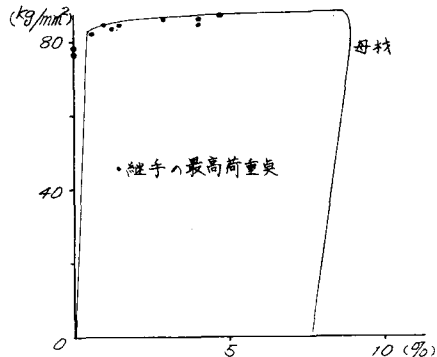


図2 応力ひずみ曲線

8ボルト継手が板の純断面で破断するときの伸びにはほぼ等しい。(7)とすれば軟質継手が実用に供されるためには 母材の1%耐力をもたなければならぬ。

横継手における脆化 いくつかの実験において母材と溶着鋼の強度差が大きい場合に脆性破面が認められた事例があった。(3)(5) これは溶着鋼の荷重軸方向の強度を上昇させる働きをする多軸性が脆性破壊をおこしやすくしているものと考えられ この問題はさらに検討しなければならない。

縦継手 荷重軸と平行方向の溶接継手(縦継手 図3)を軟質継手とした場合は 溶着鋼を軟質材とした縦方向混用部材の一つと考えられ その強度は

$$P = (\text{軟質材の引張強さ}) \times (\text{軟質材の断面積}) + (\text{硬質材の引張強さ}) \times (\text{硬質材の断面積})$$

で与えられることが知られている。(8),(9) 縦継手において溶着鋼の断面積は母材の断面積に比べてはるかに小さいから 部材の強度は母材だけの場合の強度に等しいとみなせる。縦方向混用部材の伸び能力は構成材料の内の伸び能力の小さい方に支配されるが(8)軟質継手の場合 溶着鋼の伸び能力は母材のそれを上回るのが通例であるから 軟質溶着鋼によって部材の伸び能力が支配されることはない。

よって 疲労の問題は別として 軟質継手の箱形断面H形断面の柱のとじ合せ溶接(図3)などの縦継手に利用出来るよう。

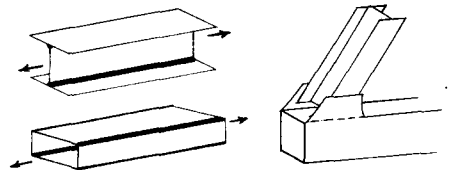


図3 とじ合せ溶接

図4 格戻部

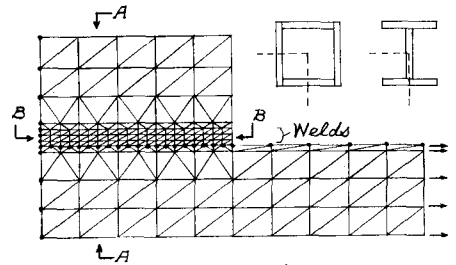


図5 分割要素

せん断力を伝えるとじ合せ溶接 溶接組立柱部材の部材端においては 格戻部の構造によっては断面力がフランジまたはウェブの一方のみ負荷され とじ合せ溶接にゆくせん断力によって応力の分散がなされる場合がある。(図4) このようなせん断力を伝達する溶接を軟質継手とすることの可能性を計算により検討した。

計算は有限要素による弾塑性解析で モデルは部材をその対象性を利用して1/4だけとりだし 展開して図5に示す要素に分割した。溶着鋼に相当する部分の応力のみ曲線を母材と同じHT 80のもの(等質)とSM41のもの(軟質)の双方として計算した。計算結果によれば 塑性域の広がり方は一例を図6に示すように大きく異っており また このときの応力分布を図7にみられるように軟質継手において溶接部が早期に降伏するためにせん断力が頭打ちとなり 応力の分散がわる

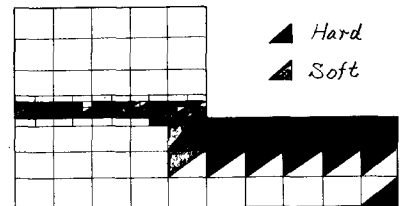


図6 塑性域

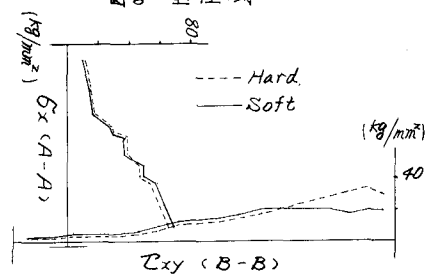


図7 応力分布

くなっている。一方、部材全体としての荷重は伸び曲線にはほとんど差がない(図8)。これは部材の塑性変形がつかみ部の母材の塑性変形に支配されたためと考えられ、つかみ部が早期に降伏することないように設計した場合についてはさらに検討する必要がある。

しかし、実際の構造物においては、とじ合せ溶接の溶接長は部材の巾に比べて充分に長いので、例へば軟質継手を用いた場合であっても、部材端からはなれるにしたがって応力の分散がなされ、部材全体としての挙動には大きな差はいはないものと考えられる。

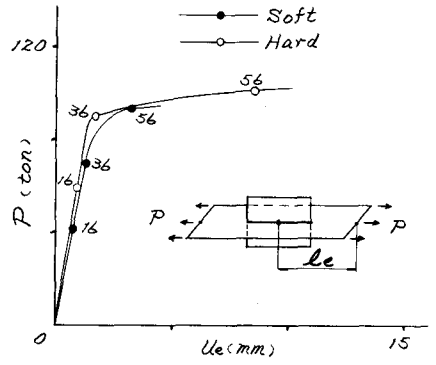
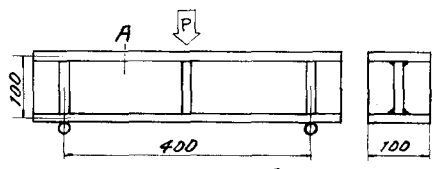


図8 荷重-伸び曲線

梁のフランジとウエブの溶接 上記と同様にせん断応力を伝達する溶接継手である梁のフランジとウエブの溶接に軟質継手を用いることを検討するために、梁模形を静的曲げ試験を行った。⁽¹⁰⁾ 試験体の形状および寸法は図9に示す通りである。母材は12mm厚のHT80溶着鋼は軟質および等質とした。梁模形の支間、けた高、フランジの断面積などは、試験機の容量を考慮して全耐荷力を100ton程度にあわせ、溶接部に生ずるせん断応力から出来るだけ大きくなるよう、*try and error* をくり返して決定した。しかし軟質用溶接材料として軟鋼用の溶接棒(◇LB47A)を用いた場合には全断面が降伏するまで溶着鋼も降伏しなかった。(溶接材料の強度の呼称はJISに定められた条件のもとで作成した全溶着鋼の保証強度によっているが、溶着鋼の強度は冷却速度に依存し、ここに用いたすみ肉溶接では硬度の測定結果から、60kg/m²程度の強度であったと推定されている。) このため、純鉄に近い試作溶接棒(◇L180)を行なった。この場合には溶着鋼にせん断応力による早期降伏を生じた(図10)が、この場合でも部材全体としての荷重たわみ曲線は、図11に示すように、軟質の場合、等質の場合ともよく似ていた。



板厚 13mm
すみ肉サイズ 7mm
図9 供試体

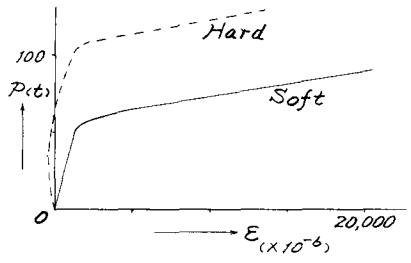


図10 A 莫のせん断ひずみ

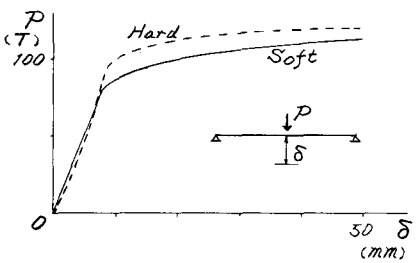


図11 中央莫の変位曲線

疲 勞 軟質継手がくり返し荷重を受ける場合、溶着鋼に生ずる塑性流れは周辺の弾性体により抱束されるので、ひずみ制架のくり返し塑性ひずみを受けることになる。このような莫も考え、軟質継手の実験を継続している。試験片の形状は図11中に示したような横継手と縦継手とし、母材

はHT80, 溶着鋼はHT80用のもの(◇LB1/16)と軟鋼用のもの(◇LB47A)とした。溶接部の余盛は削除したものとしないものの両方を計画しているが、現在までに終了しているのは削除しないものの方である。負荷応力はHT80の許容応力と目される 36 kg/mm^2 と軟質溶着鋼の引張強さの 55 kg/mm^2 (これは地震時などに対し50%の割増しを行なった許容応力の 54 kg/mm^2 にほぼ一致する)とした。試験の結果を図13に示すが余盛つきの場合には、疲労強度は余盛の形状による応力集中に支配されてしまったものとみえて、軟質等質の間に有意差といえるほどのらがい認められない。例えば鉄道橋などのように疲労を考慮して余盛を削除している構造物を除いては軟質継手を用いても疲労強度が等質の場合と比較していちじるしく低下することはないものと考えられる。

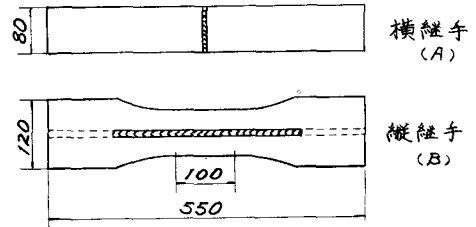


図12 試験片形状

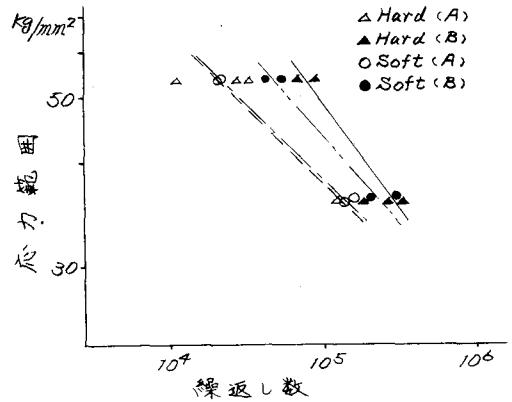


図13 疲労試験結果

溶接われ はじめにも述べたように軟質継手はHT80などの高張力鋼の溶接われを防止する手段の一つとして検討されている。すなわち、溶着鋼の強度を低くすることによって溶着鋼のおくれわれ感受性を小さくし、また溶着鋼の延性を高めることによって熱影響部のわれの発生傾向を低減しようとするものである。しかし、溶着鋼は強度をおさえるために合金成分を抜くと自由収縮量が増大する、⁽¹¹⁾ 靱性が低下する⁽¹²⁾ などの内題点もあり、いたづらに低強度とすることはわれ防止の面からも好ましくなくなる。

以上軟質溶着継手を実際の構造物を使用するにあたっての問題点のいくつかにつき考察を行なった。今後さらに検討を続けなければならぬ点もあるがHT80で部材を組立るときのときと比べ溶接に公称60キロ級の溶着材料を使用することは、(この場合、入熱量にもよるが 70 kg/mm^2 程度の強度が期待される)力学的には特別の問題はなく溶接われ防止の観点から考え、むしろ好ましいものであると考えられる。

- (1) Bakuhi: Svar. Proj. No. 5 (1962) (2) 佐藤: 溶接学会誌37号11号(1968) (3) 日本溶接協会SJ委員会46年度共同報告
 (4) 嶋田 堀川: 沖18回橋梁構造研究発表会(1971) (5) 堀川, 赤沢: 土木学会中27回年次学術講演会(1971)
 (6) 奥戸: SJ委員会資料(1971) (7) 堀川, 上野: 土木学会中24回年次学術講演会(1969)
 (8) 奥村 堀川: 東京大学総合試験所年報中28巻(1969) (9) 金沢: IIW X-585-70
 (10) SJ委員会共同研究(継続中) (11) 坪井: Private communication (12) 五代: Private communication