

## 軟質溶接継手の延び性能評価

東京工業大学大学院 正会員 ○田辺 篤史 学生員 加藤 雅之

## 1. はじめに

近年、橋梁用高性能鋼材(BHS500,BHS700)が開発された<sup>1)</sup>。BHSは高強度、高溶接性、高じん性、高耐候性といった特徴を有する鋼材である。しかし、その高強度という特徴から、溶接継手部において問題が発生する。一般に溶接は母材より高強度の材料で行われるが、母材の強度が高い場合、溶接金属の降伏点が母材の降伏点よりも低い軟質継手となる危険がある。

この様な軟質継手に外力が作用すると、降伏した溶接金属を未降伏の母材が拘束するため、溶接金属内部は三軸応力状態となる。この三軸応力状態の程度は、一般に式(1)で示される三軸応力度で評価されている<sup>2)</sup>。

$$\begin{aligned} \text{三軸応力度} &= \frac{\sigma_m}{\sigma_{\text{eff}}} \\ &= \frac{\frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})}{\frac{1}{\sqrt{2}}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2]^{1/2}} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_m$ ：平均応力、 $\sigma_{\text{eff}}$ ：Von Misses 応力である。この拘束の影響により、軟質継手の引張強度はさほど低下しないが、延び性能は低下することが知られている<sup>3)</sup>。この延び性能の低下は溶接継手の性能上、重大な問題である。したがって、軟質継手内部の拘束とそれが延び性能に与える影響の評価が必要となる。

本研究では、溶接の軟質化が継手の延び性能に与える影響を把握するために、有限要素解析による拘束効果の特性把握を行った後、引張試験による延び性能の確認を行った。

## 2. 有限要素解析

軟質継手における拘束効果は一般に三軸応力度により評価されるが、応力による指標であるため拘束効果を的確に表現できていない可能性がある。そこで、式(2)に示すひずみ比というパラメータを提案し、これによる評価も試みた。

$$\text{ひずみ比} = \frac{\text{直角方向ひずみ}}{\text{長手方向ひずみ}} \quad (2)$$

ひずみ比は、弾性変形ではポアソン比(鋼材は 0.3)に等しく、また体積一定変形では 0.5 という値を取る。もし拘束が作用していればひずみ比は低下する。

解析モデルと境界条件を図-1に示す。ミラー条件を用いて 1/8 モデルを使用し、端部に強制変位を入力した。母材に対する溶接金属の降伏点の軟質度(式(3))をパラメータとして考慮し、軟質度 10%, 20%について解析を行った。

$$\text{軟質度} = \frac{Y_{P_{\text{base}}} - Y_{P_{\text{weld}}}}{Y_{P_{\text{base}}}} \quad (3)$$

図-2は三軸応力度の分布と継手中心部での変化である。Fusion Lineに沿って三軸応力度が高くなっており、継手中心で最大となっている。また中心部の三軸応力度は、降伏直後に拘束により一度上昇するが、その後低下し、以降は一定の割合で増加する。この三軸応力度の上昇は軟質度 20%のほうが高い。これは、拘束効果の強度の差が要因と思われるが、この図から見てとることは出来なかった。

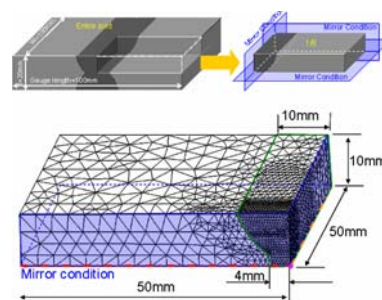


図-1 FEM モデル

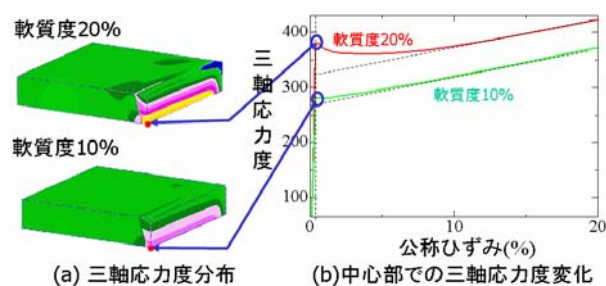


図-2 三軸応力度分布および継手中心部での変化

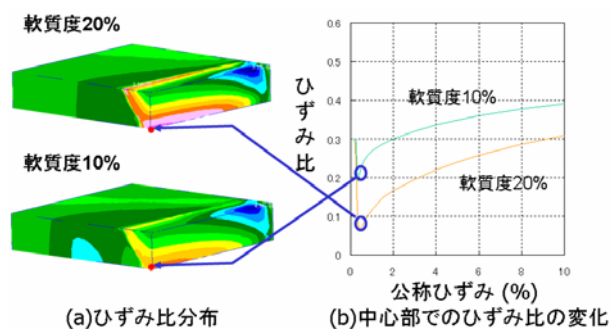


図-3 ひずみ比分布と継手中心部での変化

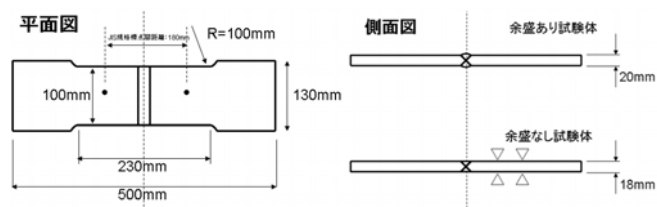


図-4 試験体寸法

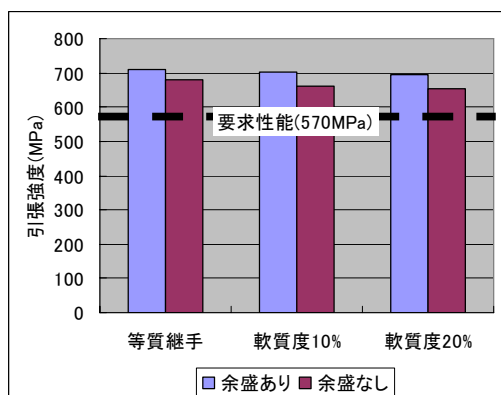


図-5 引張強度の比較

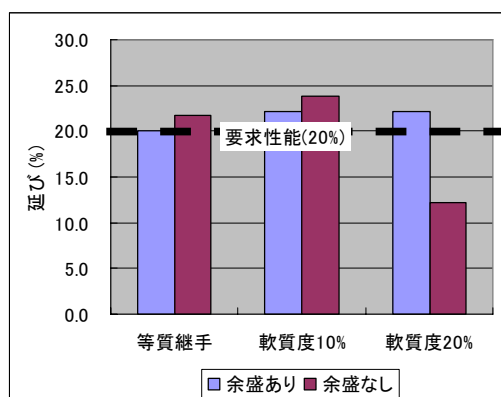


図-6 伸びの比較

ひずみ比分布の変化と継手中心点におけるひずみ比の変化を図-3 に示す。ひずみ比の分布は三軸応力度とほぼ同等の傾向があることがわかる。図-3 を見ると、降伏直後に拘束効果が発生していること、また、軟質化 20%の方が高い拘束を受けていることが分る。この様にひずみ比を用いることにより、拘束効果を明瞭に知ることができると考えられる。

### 3. 引張試験

実際に軟質溶接継手が有する伸び性能を把握するため、引張試験を実施した。引張試験におけるパラメータは軟質化と余盛の有無とした。余盛は溶接金属部の降伏を遅らせ、拘束効果による影響を低減させると考えてパラメータとして考慮した。軟質化としては解析と同じく 10%, 20%に比較の為に軟質化 0%(等質継手)を加えた 3 ケースを検討し、計 6 体の試験体を製作した。試験体の寸法を図-4 に示す。寸法は JIS7 号試験体を採用した。試験体の母材には BHS500 (YP:611MPa, TS:691MPa, 伸び:36%)を使用した。



(a)余盛あり



(b)余盛なし

図-7 破断状況(軟質化 20%試験体)

引張試験により得られた引張強度の比較を図-5 に、伸びの比較を図-6に、試験体の破断状況を図-7に示す。図中の点線は BHS500 の要求性能である。引張強度は全て要求性能を満しているのに対し、伸びでは軟質化 20%余盛なし試験体は要求性能を満していない。この原因として軟質化 20%余盛なし試験体では溶接金属内部で破断(図-7)していることから、軟質化による拘束効果により伸び性能が低下したと考えられる。これに対し、余盛あり試験体では軟質化 20%においても母材で破断しているため、要求値を満したものと考えられる。したがって、軟質化 20%の軟質溶接継手においても、余盛の存在により、十分な伸び性能を有すると考えられる。

### 4. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1) 軟質化 20%の軟質継手においても、余盛ありの場合は要求性能以上の伸び性能を有していた。
- 2) 軟質化 10%までは余盛なしでも要求性能を満した。
- 3) 軟質継手に引張力が作用すると、溶接金属内部に Fusion line に沿って高い拘束が生じる。
- 4) ひずみ比を使用することにより、溶接金属内部の拘束効果を明瞭に知ることができた。

### 参考文献

- 1) 三木千壽, 市川篤司, 楠木隆, 川端文丸: 橋梁用高性能鋼材(BHS500, BHS700)の提案, 土木学会論文集, No.738/I-64, 2003.7
- 2) たとえば, Hancock, J.W. et al.: Constraint and toughness parameterized by T., *Constraint Effects in Fracture*, ASTM STP1171, pp. 21-40
- 3) たとえば, 佐藤邦彦, 豊田政男: 機械的性質の不連続部をふくむ材の静的引張強度に関する基礎的研究, 溶接学会誌 第 40 巻 9 号 pp.885-900, 1971