

大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行
阪神高速道路公団 正 員 加賀山泰一
大阪市立大学工学部 学生員 ○沈 睿冰

大阪市立大学工学部 正 員 中井 博
大阪市立大学工学部 学生員 松村政秀

1. まえがき 道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編¹⁾の改訂後、阪神高速道路公団では、既設鋼製橋脚の耐震補強設計要項(案)²⁾を作成している。その耐震補強法によると、既設鋼製橋脚の補剛板パネルの縦補剛材は、増設フランジを高力ボルトによって接合し、補強を施すことになっている。本研究では、この高力ボルト接合におけるボルト間隔の決定法の妥当性を弾塑性有限変位解析を行うことによって検討した。

2. 現行の高力ボルト間隔の決定法 現在、実際の補強設計では、以下のような簡便法が用いられる。すなわち、補剛板パネルの全塑性軸方向力の 1/100 に相当する横荷重をその中央断面の補剛材位置に集中的に作用させ、ボルト位置に発生する単位長さ当たりの水平せん断力 S_H を求める。そして、地震荷重に対する許容応力度の割増し 1.5 を考慮した高力ボルト(M22)の許容力にもとづき、ボルト間隔を、10cm と決めている。

3. 弾塑性有限変位解析 本研究における弾塑性有限変位解析には、解析プログラム USSP³⁾で整備されている Approximate Updated Lagrange 法、および弧長増分法を適用した。なお、ボルト位置におけるせん断力を求めることが目的であるため、この解析では、残留応力を無視して、初期たわみのみを考慮している。また、採用した解析モデルは、この補強工法が実際に採用されている阪神高速道路公団の北港西北出 P-2 Sec2-②の実補剛板パネルを参考にして作成した。図-1、および図-2 には、それぞれの解析モデルとそれに対するの解析対象範囲、および有限要素の分割状況を示している。

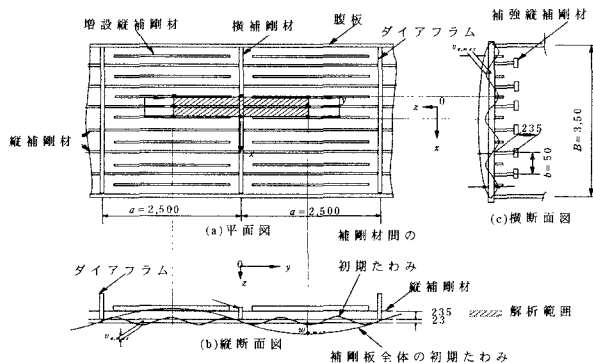


図-1 解析モデルと解析対象範囲

また、解析プログラム USSP の機能上、図-3(a)に示す実際に補強された縦補剛材をそのままモデル化すると、煩雑になる。そのため、同図(b)に示すように、それを、板厚が異なる断面を有する T 形の縦補剛材に置換した。

4. 解析結果とその考察 図-4 には、解析結果である

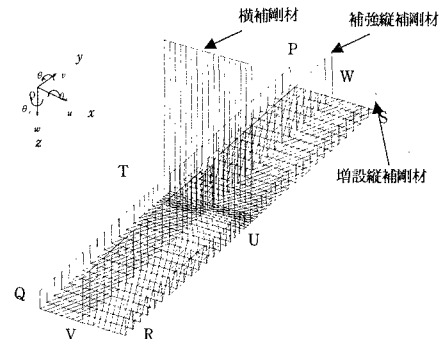


図-2 有限要素の分割状況

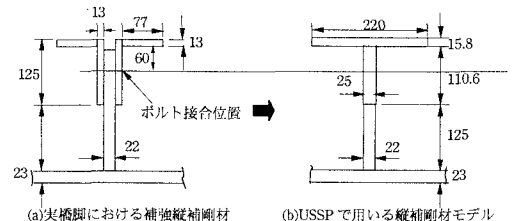


図-3 補強縦補剛材の置換方法 (寸法単位: mm)

軸方向圧縮力-軸方向平均ひずみ曲線 ($P/P_{YSA}' - \bar{\varepsilon}/\varepsilon_Y$) を示す。ここに、 $\bar{\varepsilon} = (u_0/a)$: 軸方向の平均ひずみ、 u_0 : 解析モデルの軸方向縮み量、 a : 解析モデルの長さ、 ε_Y : 降伏ひずみ ($= \sigma_Y/E$)、 σ_Y : 降伏点、また P_{YSA}' : 増設縦補剛材端部の隙間位置における純断面に対する全塑性軸方向力である。そして、縦軸の作用軸方向圧縮力 P は P_{YSA}' によって、また横軸の $\bar{\varepsilon}$ は降伏ひずみ ε_Y によって無次元化している。

図-5 には、高力ボルト位置における単位長さ当たりのせん断力 S_H の分布図を代表的な荷重パラメータごとに示している。なお、横軸は、縦補剛材の位置を示している。ここで、 S_H は、次式で計算したものである。

$$S_H = S / \Delta L \quad \dots (1)$$

なお、 S は、長さ ΔL の区間の補強縦補剛材のボルト位置に作用する水平せん断力であり、解析によって得られたこの区間の補強フランジ両端に作用する軸方向力の差として求めたものである。同図によると、 S_H が最大となる荷重レベルは、終局限界状態でなく、 $P/P_{YSA}' = 0.6$ 近傍であることがわかる。

そこで、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編¹⁾のスタッド・ジベルに作用するせん断力分布の理想化を参考にして、 S_H の分布を、図-6 に示す三角形分布するとみなして理想化した。一方、F8T・M22 の高力ボルトの最小縁端距離 4.0cm を考慮して、図-6 に示すように、1 本目のボルトを縦補剛材の補強フランジの端部から 4.0cm のところに設定する。そして、2 本目以降の F8T・M22 の高力ボルト (2 面摩擦) を最大中心間隔 15.0cm ピッチ (道路橋示方書の最大ピッチ $6d$ に相当する) に配置するものとする。すると、最も厳しい 1 本目のボルトに作用するせん断力は、 $\rho = 11,340\text{kgf}$ となる。この高力ボルトに対する許容力は、 $\rho_{ae} = 1.5 \times 9,600 (2 \text{ 面摩擦}) = 14,400\text{kgf}$ である。それゆえ、 $\rho < \rho_{ae}$ となり、15cm のボルト間隔で十分に役目を果たすことがわかる。

5. まとめ i) 弾塑性有限変位解析によって、高力ボルト位置に発生する単位長さ当たりのせん断力は、補強縦補剛材の補強フランジの端部付近で著しく大きくなることがわかった。

ii) M22 の高力ボルトを用いた場合、ボルト間隔は、道路橋示方書の最大中心間隔 15cm にとれば、十分に役目を果たすことがわかった。ただし、錯を生じせないことが、前提条件である。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編，Ⅴ耐震設計編，平成 8 年 12 月。

2) 阪神高速道路公団：既設鋼製橋脚の耐震補強設計要領 (案)・同施工要領 (案)，平成 9 年。

3) USSP 研究会：USSP ユーザーズ・マニュアル，理論編，Ver.3.0，日本構研情報(株)，1996 年 10 月。

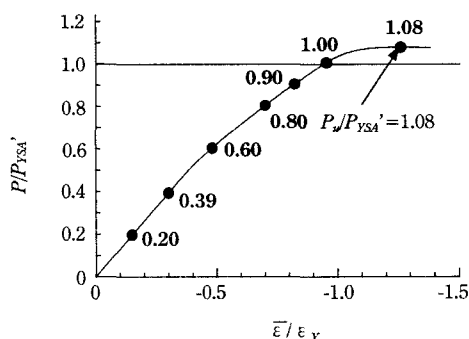


図-4 軸方向圧縮力-軸方向平均ひずみ関係

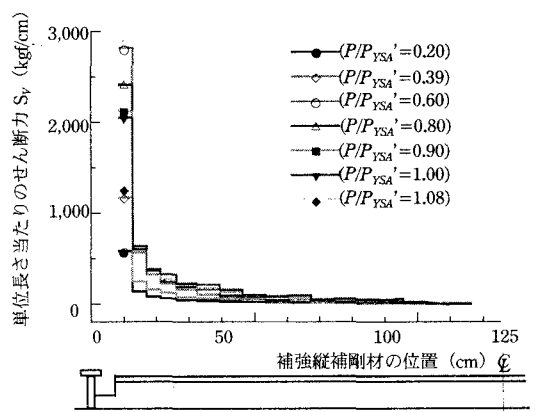


図-5 ボルト位置における単位長さ当たりのせん断力 S_H の分布

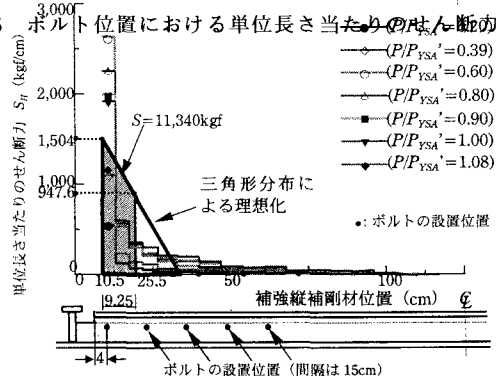


図-6 せん断力分布の理想化とボルト間隔