

第 I 部門 小補剛材をボルト接合により追加する縦補剛材間の板パネルの
変形性能向上法に関する解析的研究

大阪市立大学工学部 学生員 ○川野 健一 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行 阪神高速道路株式会社 正会員 高田 佳彦

1. はじめに

鋼製橋脚の耐震補強法には、その施工性および経済性からコンクリート充填方式が基本補強工法として採用されている。しかし、コンクリートを充填した橋脚柱の強度が橋脚基部アンカー部の強度よりも大きくなる場合、強地震に対して橋脚柱が塑性変形せず、アンカー部が崩壊に至るといふ道路橋示方書で認められていない崩壊モードが先行することが懸念される。これを避けるために、強度上昇をある程度に留め、変形性能のみを向上できる縦補剛材補強工法¹⁾が採用されている。

この縦補剛材補強工法では、縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_R (式 (1) 参照)²⁾を 0.4 以下にするため、既存の縦補剛材間の板パネルに新たに寸法の小さな縦補剛材を溶接接合により増設する (図-1 参照)。

本研究では、同工法の施工性および経済性を改善すべく、この増設縦補剛材の接合方法および形状に着目し、補強部材をボルトを用いて接合する方法の適用可能性を数値解析により検討する。

$$R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\mu^2)}{4\pi^2}} = \sqrt{\frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}}} \quad (1)$$

ここに、 b :板パネルの幅、 t :板パネルの板厚、 σ_y :降伏点、 σ_{cr} :弾性座屈応力、 E :ヤング係数、 μ :ポアソン比

2. 解析概要

解析には弾塑性有限変位解析プログラムEPASS/USPP³⁾を用いた。解析には、図-2 に示すように、既設縦補剛材とダイアフラムとに囲まれた板パネルを、死荷重による初期圧縮応力を受け、地震荷重によって一様な漸増圧縮変位を受ける周辺単純支持板としてモデル化した。このモデルを対象として、図-3 に示す 2 つの補強解析モデルを設定した。プレート材補強は板厚増の効果、アングル材補強は曲げ剛性の向上をそれぞれ期待した補強方法である。

初期圧縮応力には降伏荷重の 15%を、初期不整には初期たわみと残留応力とを考慮した。初期たわみ波形としては、ダイアフラムの初期たわみ波形と最も近い波形が補強材を設置した側に凸となる初期たわみ波形 (以下、上に凸)、およびその逆の初期たわみ波形 (以下、下に凸) の 2 種類とした。高力ボルトは、各軸方向と各軸まわりの 6 方向のばねによりモデル化し、ボルト軸方向には補強材と板パネルとの接触を考慮し、圧縮に対しては縮み量がゼロのばねとした。鋼板の機械的性質には、板パネルおよび補強材ともに図-4 に示す応力-ひずみ関係を用いた。解析モデルの寸法は $500 \times t \times 3,000\text{mm}$ であり、幅厚比パラメータ R_R を 0.65 ($t=13.868\text{mm}$) および 0.5 ($t=18.028\text{mm}$) の 2 とおりに設定した。補強部材の寸法は $b \times T \times 2,880\text{mm}$ (T は母材板厚で、 h はアングル材高さ) とし、ボルト間隔 (図-5 参照) は 140mm で一定とした。 b を 100 および 150mm、 T を $0.25t \sim 3t$ 、 h を 80, 120 およ

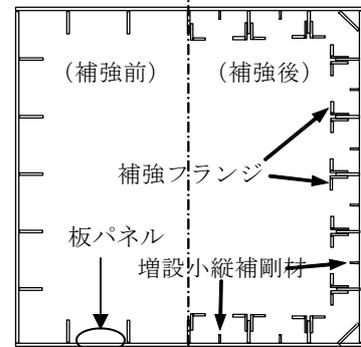


図-1 縦補剛材補強工法の概念図

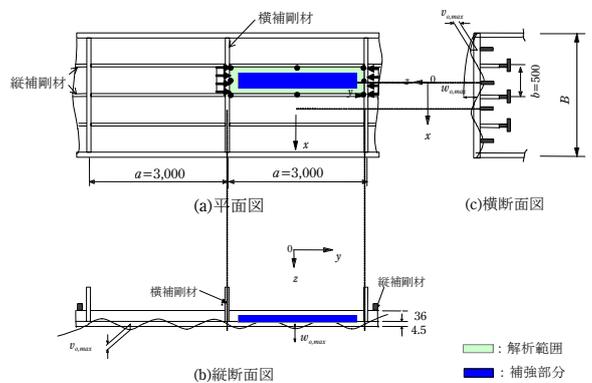


図-2 解析対象範囲

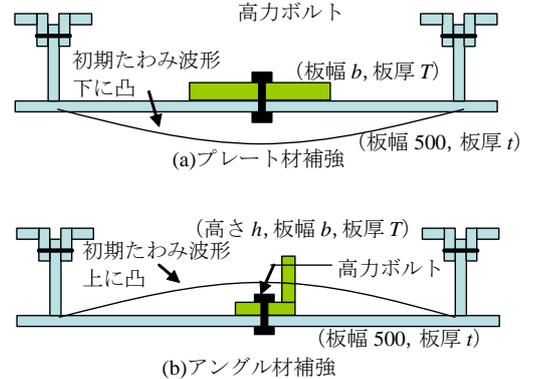


図-3 補強断面図 (単位: mm)

び160mmと変化させた。解析モデル名の最初に-がつくものを、初期たわみ波形が上に凸のものとした。

ここで、解析モデル-150_2tは、プレート材補強で、プレート材の板幅が150mm、板厚が2tである。また、解析モデル-s100_80は、アングル材補強で、アングル材の板幅が100mm、アングル材高さが80mm、板厚がt、母材を全面プレート材により補強されている解析モデル-400_taは、プレート材補強で、プレート材の板幅が400、板厚がt、ボルトを3列配置したモデルである。なお、 $R_R=0.5, 0.65$ 、および0.4の時の無補強（補強前）の解析モデルは、それぞれr0.5, r0.65およびr0.4である。

3. 解析結果

図-6 および図-7 には、危険側（上に凸）かつ最も効果的なケースに着目して、それぞれ荷重一軸方向変位曲線および最大荷重時のボルト接合部におけるボルトの伸び量（以下、ボルト部離間量）を示す。縦軸は作用荷重を補強前の板パネルの降伏荷重で、横軸は軸方向縮みを補強前の板パネルの降伏変位（縮み）で、除して無次元化している。また、無次元化した終局荷重が1.0を超えない範囲で強度上昇に改善が見られ、かつボルトの伸び量が相対的に小さい場合に、座屈抑制効果が認められるものとした。

これらの図によると、プレート材およびアングル材を追加する

両ケースにおいて、終局強度にほとんど差はみられないが、ともに幅厚比パラメータの改善効果が認められる。アングル材の場合には、補強材の曲げ剛性が板パネルのそれに比べ高いため、板パネルの座屈変形に伴いボルトの伸びが増大し、ボルト径、本数および配置を変えても、ボルトを弾性内にとどめることが困難であった。

板パネルのほぼ全面を補強した解析モデル-400_taでは、変形性能の向上および座屈抑制効果が認められ、ボルトの伸びも2mm以内に収まっている。

今後、ボルトの破断の有無、および柱部材の板パネルへの本補強法の補強効果を、実験により確認することが必要である。

4. まとめ

鋼製橋脚の補剛板の耐震補強において、縦補剛材間の板パネルの座屈発生を抑制するため、板パネルには、増設小縦補剛材が溶接接合により追加される。本研究では、施工性・経済性の改善を目的として、高力ボルト接合を用いる増設小縦補剛材の設置可能性を数値解析により検討した。得られた主な結果は以下のとおりである。i) 板パネル両端部から順次塑性化し、板パネルには局部座屈が発生する。ii) 補強部材としてプレート材、あるいはアングル材を追加すると、板パネルの座屈抑制効果が認められた。iii) 最大荷重時のボルトの伸び量は、プレート材の板厚、板幅、およびアングル材高さの設定に影響を受け、剛性の大きい補強材の追加はボルト部離間量の増大に繋がる。

今後、本補強方法の箱断面柱への適用効果については別途実験を実施するなどして確認する必要がある。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：既設鋼製橋脚の耐震補強設計要領（案）・同施工マニュアル（案），平成11年3月。
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II 鋼橋編，平成14年12月。
- 3) 大阪市立大学橋梁工学分野・JIPテクノサイエンス(株)：EPASS/USSP, Ver1.0 ユーザーズ・マニュアル入力編（Draft），平成17年7月。

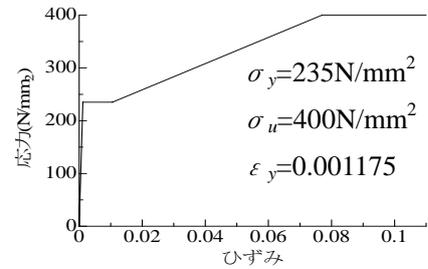


図-4 鋼材の応力-ひずみ曲線

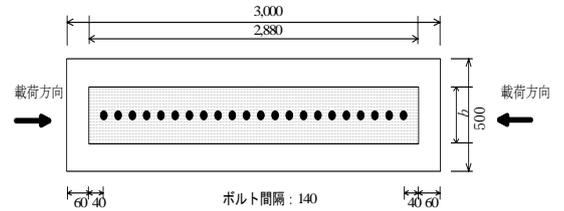


図-5 ボルト配置図（寸法単位：mm）

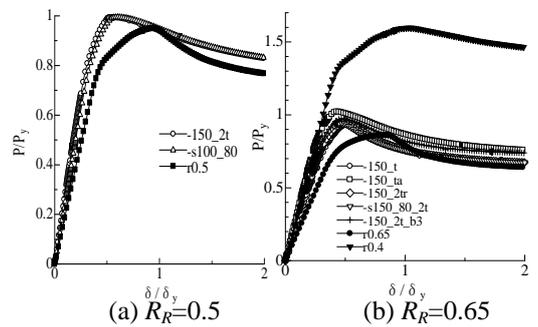


図-6 荷重一軸方向変位曲線

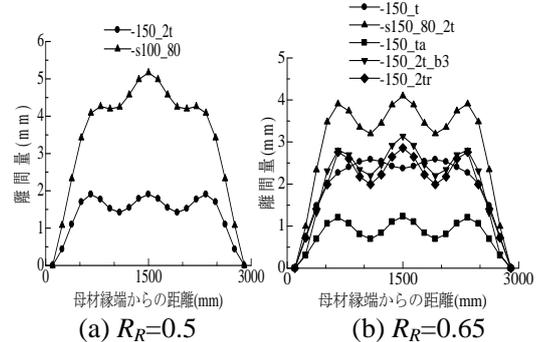


図-7 ボルト部離間量