円柱を有する鋼製橋脚隅角部の疲労き裂補修後の耐久性検討

○（財）首都高速道路技術センター　正会員　清川 昇悟　　首都高速道路(株)　正会員　下里 哲弘

1．はじめに

首都高速道路の円柱を有するT型形状の鋼製橋脚隅角部に，約30mmの疲労き裂と思われる磁粉指示模様が発見された．現在までに高力ボルトによる当て板補強と，機械切削によるき裂の除去が完了している．本稿は，この隅角部の補修方法に関して，補修後の疲労耐久性評価を目的として実施された一連の検討について報告するものである．

2．対象橋脚と損傷状況

橋脚の一般図を図-1に示す．竣工は昭和45年，適用基準は鋼道路橋示方書(昭和39年)である．補修の対象となった隅角部は，φ3,000mmの円柱に2,200mm×2,700mmの矩形断面横梁が突き合わせ溶接で接合されている．

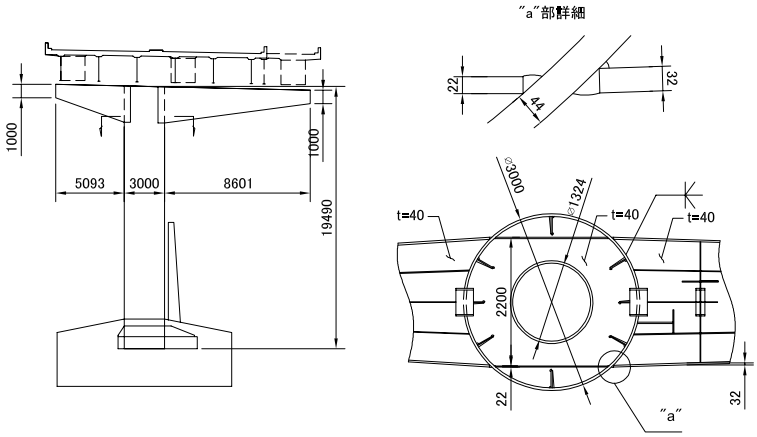


図-1　橋脚緒元

疲労き裂は図-2に示す位置に発見された．このき裂の切削調査を試みたところ，溶接に内在していた未溶着部分につながっており，これを残置することは疲労耐久性上好ましくないと考えられた．そこで，当て板補強で隅角部端部の応力を低減させたのち，き裂と未溶着部を図-3に示すような形状で除去する補修方針とした．

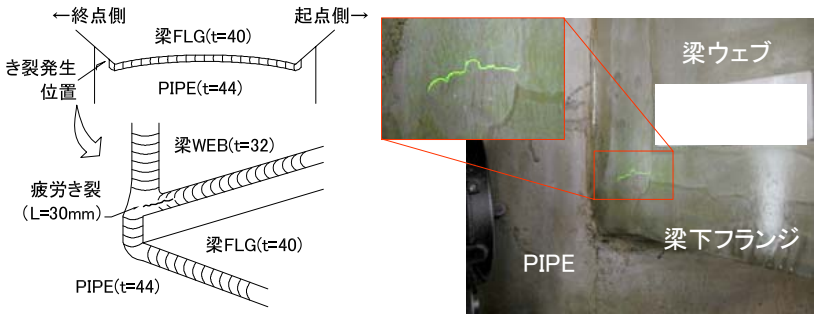


図-2　疲労き裂発生状況

円柱隅角部に発生した疲労損傷への対策事例はまだ少なく，このような大規模な切削補修を実施した報告例はない．ゆえに，この補修形状が適切かどうか検討する必要があった．そこで，FEM解析と実橋脚での応力測定を実施し，その結果から疲労耐久性の評価を試みた．

表-1　解析ケース

解析モデル名	補強材の有無	補修の有無
Original Model	無し	無し
Reinforced Model	有り	無し
Retrofitted Model	有り	有り

3．FEM解析による応力性状調査

FEM解析は補修部位の局部的な応力性状の把握を目的として実施した．解析モデルを図-4に示す．解析手法は線形静解析，使用要素はシェル要素である．なお，溶接ビードはモデル化していない．解析ケースは，補強材の有無と補修の有無をパラメータとして表-1に示す3ケースとした．

図-5に最小主応力分布を示す．Original Modelの応力集中は-237 N/mm^{2}であるが，Reinforced Modelでは補強の効果により半減していることがわかる．Retrofitted Modelでは，フランジ十字継手の端部(A部)と柱-ウェブT継手の端部(B部)に高い応力集中が見られた．応力値はそれぞれ-352 N/mm^2，-219 N/mm^{2}であり，Original Modelの約0.8～1.2倍の値であった．実際の構造物ではこれらの部位には疲労き裂やルートギャップが残存しており，このFEM解析結果から疲労き裂の再発が懸念された．ゆえに，後の応力測定ではこれらの部位に特に着目し検討を行うことにした．

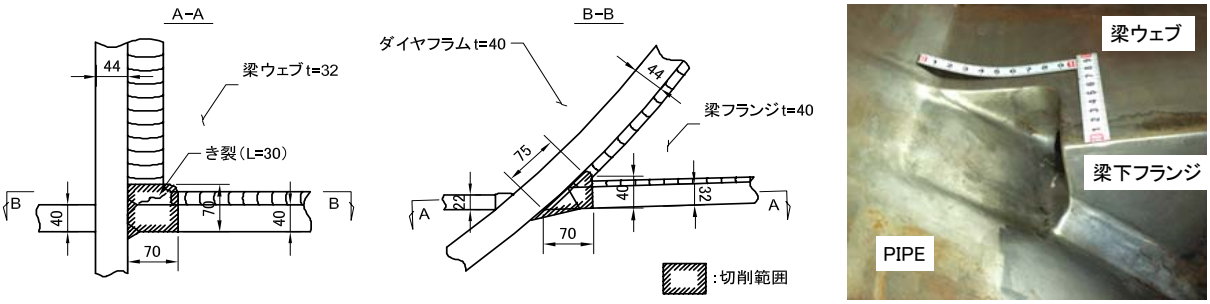


図-3　き裂部位の切削補修形状

Keyword：鋼製橋脚，円柱隅角部，疲労き裂，補修，疲労耐久性

〒105-0001　東京都港区虎ノ門3丁目10番11号　虎ノ門PFビル，　Tel: 03-3578-5757　　Fax : 03-3578-5763

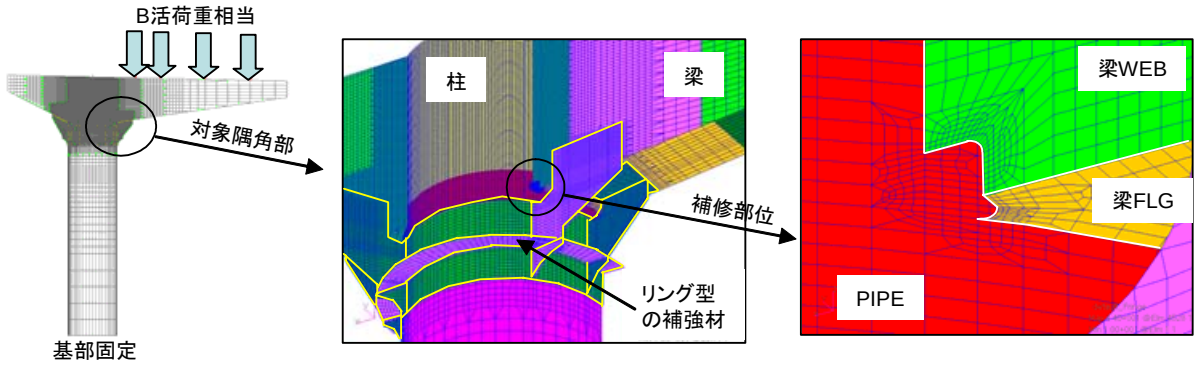
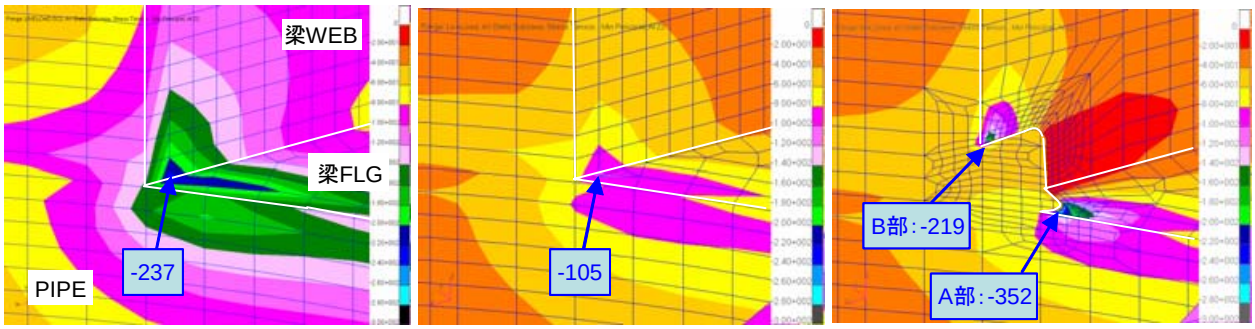


図-4　FEM 解析モデル



Original Model　　Reinforced model　　Retrofitted Model

図-5　最小主応力図（単位はN/㎟）

4．供用下での応力測定

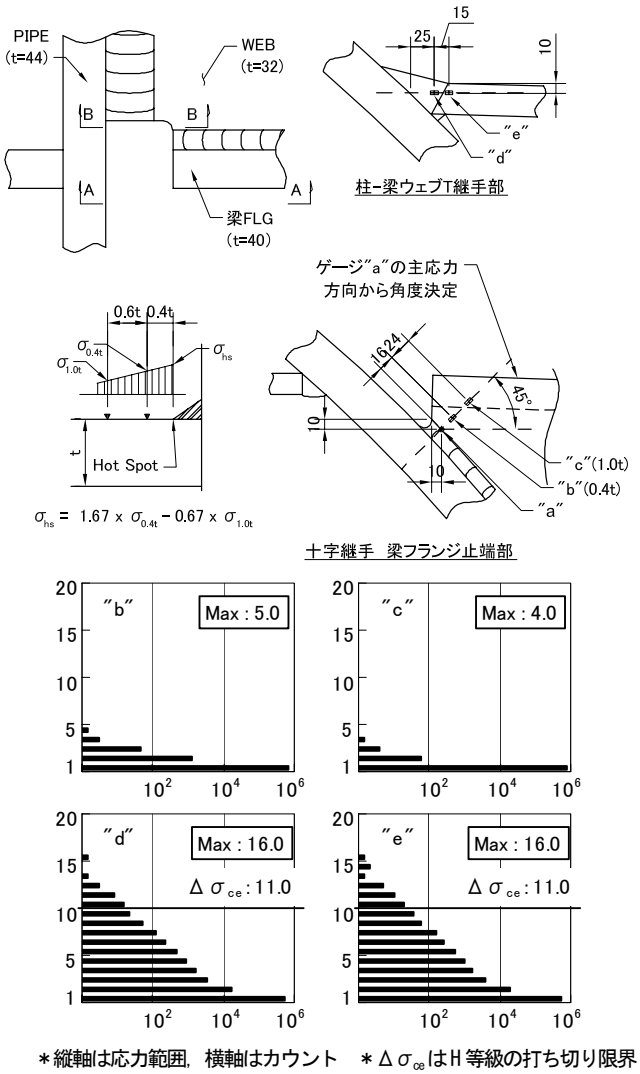
FEM 解析結果に基づき，供用下で応力測定を行い実橋脚の発生応力を調査した．ひずみゲージを用いて 24 時間の動ひずみ波形を収録し，得られた波形をレインフロー法で頻度解析した．FEM 解析で高い応力集中が見られた 2 箇所は実橋脚でも応力集中が確認されたので，これらの部位の応力頻度を求めて疲労耐久性を推定した．図-6 に応力頻度分布を示す．

十字継手部は局部応力として梁フランジ溶接止端の Hot Spot 応力に着目した．応力頻度から得られる最大応力範囲から，2 点法により Hot Spot での最大応力範囲を求めた．なお，FEM 解析結果を参考に，あらかじめ”a”部の 3 軸ゲージから局部の主応力方向を求め，その方向に沿って 2 点のゲージ（”b”と”c”）の位置を決定している．計算の結果，Hot Spot での最大応力範囲は 5.67 N/mm^2 であり，Hot Spot の疲労強度（E 等級）における変動振幅応力作用下での打ち切り限界より小さい応力であった．

柱-ウェブ T 継手部については，ウェブ板端面に直列に貼り付けされた二つのゲージ（”d”と”e”）の応力頻度がほぼ一致しており，応力の勾配はないと思われた．よって，”d”の応力を代表してこの継手を流れる応力と仮定し疲労寿命を求めた．疲労強度は荷重伝達型すみ肉継手（ルート破壊）の H 等級と仮定し，応力頻度から 24 時間の累積損傷度 D を求めた．この結果，D=8.06×10^{-8} と小さく，この部位の疲労寿命は非常に長いと推定された．

5．おわりに

円柱を有する鋼製橋脚隅角部を対象に，FEM 解析と供用下での応力測定を実施し，疲労き裂を切削補修した後の隅角部について局部応力を用いた疲労耐久性評価を行った．その結果，実橋脚での発生応力は比較的小さく，補修後の隅角部は高い疲労耐久性を有していることがわかった．



$\sigma_{hs} = 1.67 \times \sigma_{0.4t} - 0.67 \times \sigma_{1.0t}$

＊縦軸は応力範囲，横軸はカウント　＊$\Delta\sigma_{ce}$はH等級の打ち切り限界

図-6　応力計測結果