

地震損傷を受けた鋼製橋脚アンカー部の簡易的な補修方法に関する研究

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○小川 和真 岐阜工業高等専門学校 正会員 水野 剛規

1. 序論：アンカー部はフーチングに埋設されているため、地震による損傷を受けた際の補修には施工上多くの問題を抱える。アンカー部の補修方法としては、アンカーボルトの交換や後施工のアンカーボルトの増設などが考えられるが、いずれも大掛かりな工事が必要で必然的に工期も長期間になる。アンカー部の完全な復旧にはこれらの方法が有効であると考えられるが、重交通路の都市高速道路に多く建設される鋼製橋脚アンカー部においては、これらの補修を即実行することが難しい状況も考えられる。そこで本研究では、一時的な復旧措置として、比較的容易に施工可能なアンカー部の補修方法について提案し、その効果を解析的に検討する。

2. 補修方法の概要：本研究で提案する補修方法は図-1 に示すように 2 段階のステップにより構成される。橋脚基部で作業を行うことができるので施工性に優れているのが大きな特徴である。なお本補修方法はフーチングコンクリートの損傷が軽微な場合に適用するものである。以下にそれぞれのステップについて説明する。

(STEP1)ナット締め直しによる補修：アンカーボルトの損傷によって浮き上がった上ベースプレート上面のアンカーボルトのナットを締め直す。

(STEP2)アンカーボルト上端固定による補強：締め直したナットに対しアンカーボルト上端部を固定する措置（溶接あるいは浮き上がり防止治具の設置）を施す¹⁾。これはアンカー部の複鉄筋化による補強効果を狙ったものである。

3. 検討対象と解析のモデル化：検討対象は図-2 に示す鉄筋コンクリート方式のアンカー部とする。このアンカー部は兵庫県南部地震以前の道路橋示方書に基づき設計したもので、兵庫県南部地震以後のレベル 2 地震動に対応したアンカー部の耐震照査を満足している。このようなアンカー部は既往の研究¹⁾により橋脚躯体に対し相対的に耐力が不足する傾向にあることが明らかにされている。

つぎに解析のモデル化について説明する。解析ソフトは ABAQUS を用いる。アンカー部のモデル化は、高精度な 3 次元履歴モデルである Component method²⁾ により行う。このモデルでは、アンカーボルトおよびフーチングコンクリートはトラス要素によりモデル化し、アンカーボルト上端のナットと上ベースプレートの接触・離間は接触ばね要素により再現する。図-3 は補修部(図-1)の解析のモデル化方法について説明したものである。まず事前にアンカーボルトの B1 節点近傍に節点を必要な分だけ追加しておく。この追加節点は MPC により移動方向を制限する。B1 節点と F1 節点にはナットを模擬した接触ばね要素が挿入されているので、アンカーボルトに塑性変形が生じた場合は B1 節点と F1 節点が離間する。これはナットの浮き上がり状態を示している。STEP1 のナットの締め直しは、まず当初の接触ばね要素を無効化し、つぎに F1 節点直近の追加節点(B1-i)に無効化状態で予め設定しておいた接触ばね要素を再有効化することにより再現する。STEP2 の補強の場合は、F1 節点直近の追加節点(B1-i)と F1 節点を剛結することにより再現する。

材料構成則については、アンカーボルト(S35CN)はバイリニア移動硬化則、フーチングコンクリート($\sigma_{ck}=24\text{MPa}$)は 3 次関数モデルを用いる。

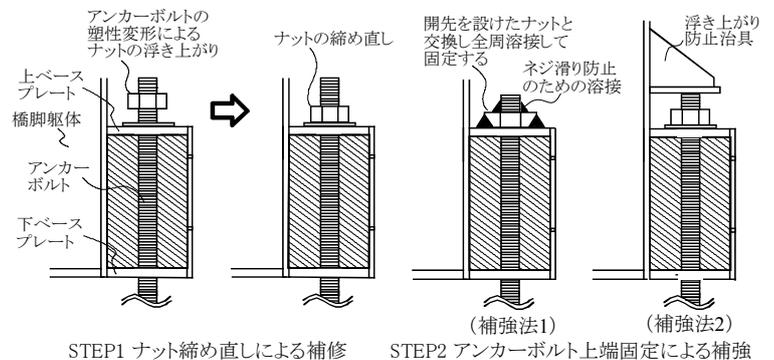


図-1 提案する補修方法

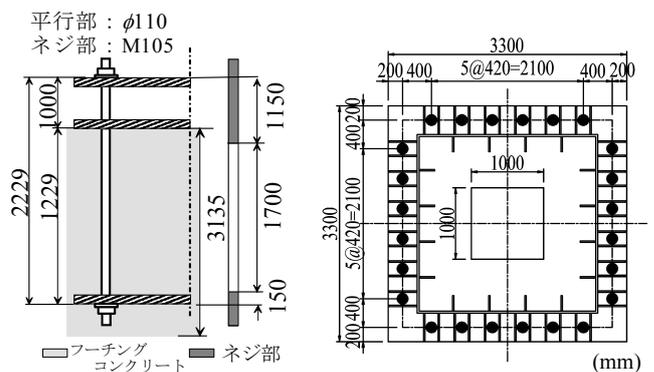


図-2 対象とするアンカー部の諸元

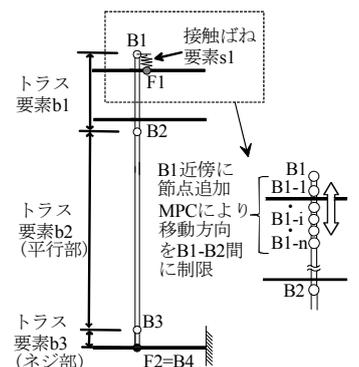


図-3 補修部の解析のモデル化

4. 検討ケースと繰り返し載荷パターン:

アンカー部に事前に与える損傷の載荷パターンは、**図-4**に示す水平2方向繰り返し載荷とする。このとき載荷サイクル数は4回までとする。検討ケースは、①補修(STEP1)、②補修・補強(STEP1,2)の2ケースとし、いずれもPushover解析、水平2方向繰り返し載荷(**図-4**)により補修効果を確認する。

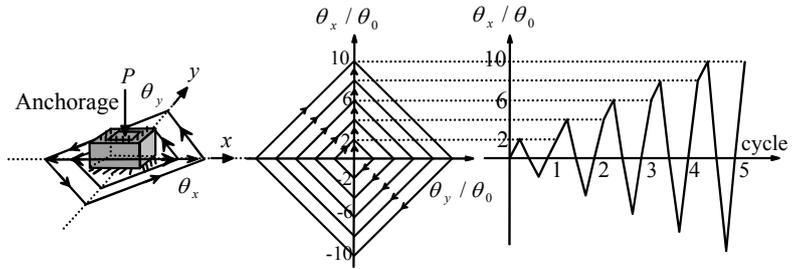


図-4 2方向繰り返し載荷パターン

5. アンカー部の補修効果: 補修後の Pushover

解析および水平2方向繰り返し載荷における基部回転角と基部モーメントの関係(y軸回り)を**図-5**に示す。基部回転角はアンカー部の基部降伏回転角($\theta_0=0.00181$ rad)により、基部モーメントは道路橋示方書に基づき算出されるアンカー部の設計モーメント M_0 により無次元化している。なお補修前に与えた損傷に対してアンカーボルトのナットの浮き上がり量は約3cm程度であった。

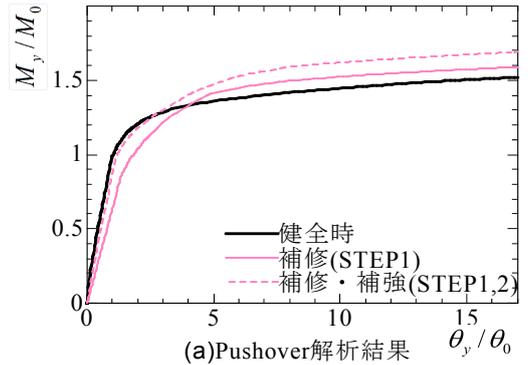
図-5(a)のPushover解析結果から、補修のみ(STEP1)を施した場合、基部回転角の小さい範囲においては、事前載荷の際のフーチングコンクリートの軽微な損傷に起因した初期剛性の低下が見られるものの、 $4\theta_y/\theta_0$ 以降には健全時に比べ基部モーメントが7%程度向上している。一方、補修と補強の組み合わせ(STEP1,2)については、アンカー部の複鉄筋化によりアンカーボルトが圧縮に対しても抵抗するようになったため、初期剛性の低下はほとんど見られない。また基部モーメントについては最終的に15%程度向上している。

図-5(b)(1),(2)に示す補修のみ(STEP1)と補修と補強の組み合わせ(STEP1,2)の2方向繰り返し解析結果を比較すると、補修のみの場合、Pushover解析と同様、基部回転角の小さい範囲においては初期剛性の低下が見られるが、載荷が進むに従って、基部モーメントは健全時の状態まで回復していることが確認できる。これに対し補修と補強を組み合わせた場合は、これもPushover解析と同様に初期剛性の低下は見られない。基部モーメントは載荷が進むに従い大きな改善効果が見られ30%程度耐力が向上している。加えて健全時と比較してアンカー部のエネルギー吸収性能が格段に向上していることが確認できる。これはアンカーボルト上端を固定したことによるアンカー部の複鉄筋化により、繰り返し載荷時にアンカーボルトが押し引きし、アンカーボルトの吸収エネルギーが十分に得られたからである。

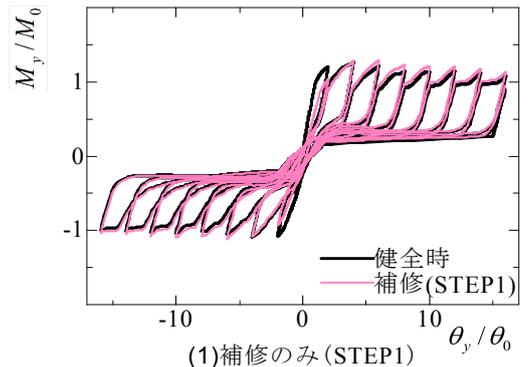
6. 結論:ナットの締め直しのみでは耐力は健全時まで回復するものの初期剛性の低下が多少見られ補修効果は十分とは言えないが、これにアンカーボルト上端固定による補強を組み合わせれば、初期剛性の低下は見られず、加えてアンカー部の耐力向上とエネルギー吸収性能の向上が見られ補修効果が格段に向上する。今後は補修の妥当性を確認するために実験による検証が必要である。

【参考文献】

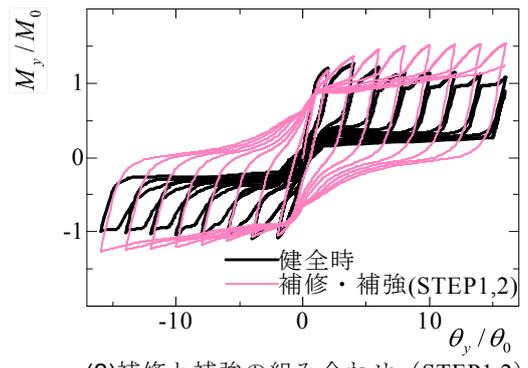
- 1) 水野ら：水平2方向繰り返しを受けるアンカー部の損傷が鋼製橋脚の終局挙動に及ぼす影響，土木学会論文集 A1, Vol.69 No.2, pp.295-314, 2013.
- 2) 後藤ら：鋼製橋脚アンカー部の3次元履歴モデル，土木学会論文集 A, Vol.64, No.2, 513-529, 2008.



(a) Pushover解析結果



(1) 補修のみ (STEP1)



(2) 補修と補強の組み合わせ (STEP1,2)

(b) 2方向繰り返し解析結果

図-5 アンカー部の基部回転角と基部モーメントの関係(y軸回り)