

超弾性合金材を橋脚補強工法に適用した解析的基礎検討

株式会社 建設技術研究所 正会員 ○松本 崇志, 刑部 清次, 行藤 晋也, 奥田 貴矢
 宇都宮大学 正会員 藤倉 修一 株式会社 高速道路総合技術研究所 正会員 後藤 源太

1. 目的

1995年兵庫県南部地震を教訓に、供用性と修復性の観点から、橋としての機能回復が速やかに行い得るために橋脚の残留変位に対する制限が設けられた。しかしながら、2016年熊本地震では平成14年道路橋示方書以降の耐震設計基準で設計・建設された橋梁においても、制限値を超過する残留変形が生じ、復旧の妨げとなる事例が確認された。これは、同基準以降等(例えば1,2)で耐震補強設計された橋脚にも起こる可能性が考えられ、想定外の地震に対するリスク低減の観点からも、何らかの対応が必要であることが再認識されている。そこで、既設RC橋脚の耐震設計で一般的に採用されるコンクリート巻立て補強工法を対象に、補強の主筋に原点回復能を有する超弾性合金材を適用した場合の解析を行い、残留変位を制御する新しい耐震補強構造の適用性について基礎検討を行った。

2. 対象橋脚

残留変位が生じやすい橋の特徴として、上部構造の偏心荷重を受ける橋脚が兵庫県南部地震の被害調査で確認されている。同形式として逆L型橋脚が一般的には考えられ、用地制約がある都市内のON・OFFランプ橋等での採用が多いことも特徴である。またランプ橋は有事において、本線上に滞留した自動車の早期解放や、交差道路の機能確保が求められ、災害復旧においては重要な構造物である。そこで、本研究では代表的な橋脚として文献3に示される逆L型橋脚を対象とした。ただし、対象橋脚は設計水平震度0.25の設計であり、現行基準の耐震性能を満足できないため、250mm厚のコンクリート巻立て補強を対象とした(図-1)。ここで、補強の主筋に超弾性合金材(以下、SEAと称する)を適用し、残留変位抑制の可能性を検討した。

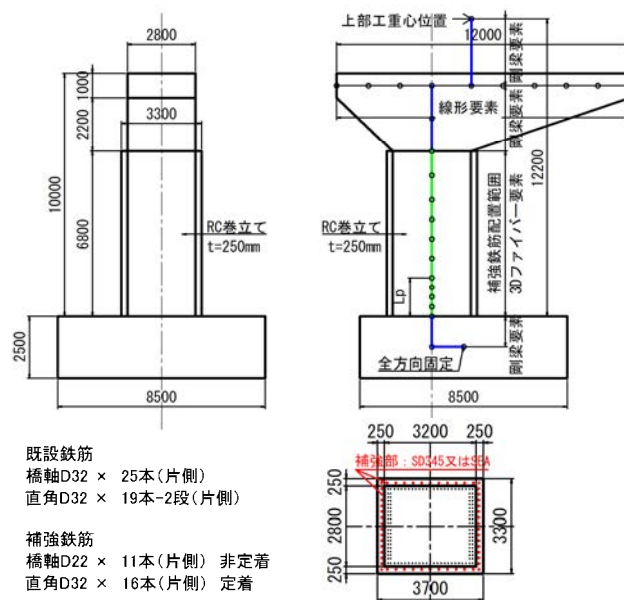


図-1 対象橋脚および配筋諸元

3. 解析モデル

解析モデルは図-1のとおり、上部構造の偏心を考慮した2次元骨組み解析モデルとし、補強の主筋に従来鉄筋を用いたものとSEAを用いたものを、それぞれRCモデルおよびSEAモデルと称する。柱全高をファイバー要素でモデル化し、それ以外は剛性の高い線形梁要素でモデル化した。既設部および補強部のコンクリート設計基準強度は、それぞれ 21N/mm^2 および 24N/mm^2 とし、コンクリートのモデルには横拘束効果を考慮した応力~ひずみ履歴を用いた。既設および補強の主筋の材質は、それぞれSD295およびSD345とし、降伏後の剛性が初期剛性の1%となるバイリニア型モデルを適用した。SEAの非線形特性は、過年度に実施された材料試験による降伏強度 250N/mm^2 、弾性係数 38.3kN/mm^2 とし、除荷・再載荷を含む応力~ひずみ関係はその材料試験結果を包絡するSEA型モデル⁴⁾とした。本稿では、SEAの履歴ループが異なる2つの非線形モデルで検証した(図-2参照)。なお、本研究では橋脚の変形能に着目するため、基礎下端は完全固定とした。

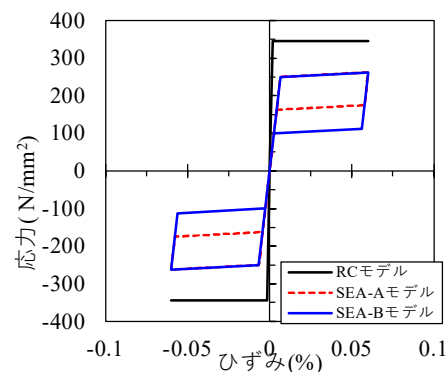


図-2 鉄筋とSEAの応力ひずみ関係

キーワード 超弾性合金材, 残留変位, コンクリート巻立て補強工法, 逆L型橋脚, 静的・動的解析

連絡先 〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7 (株) 建設技術研究所 TEL: 06-6206-5664 E-mail: matsumoto-takashi@ctie.co.jp

4. 静的解析結果

直角方向の上部工重心位置に対し、強制変位で正負交番载荷した際の水平荷重 P と水平変位 δ の関係を図-3 に示す。強制変位は RC モデルの降伏変位 δ_y ($=32\text{mm}$) を基準変位と $\pm 6\delta_y$ まで载荷した。

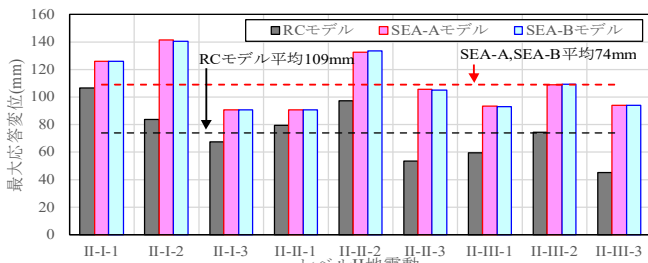
履歴挙動の特徴として、RC モデルの履歴ループ面積は SEA モデルのそれに比較して大きく履歴減衰が大きいこと、両モデルの履歴曲線は逆 S 字型と共通しているが、除荷時の荷重低減量は SEA モデルの方が RC モデルに比較して小さく、原点への指向性が高い挙動を示すことが挙げられる。なお、SEA-A と SEA-B モデルでは大きな違いが見られなかった。

各载荷段階の残留変位はモデル道示で大きな違いが見られないが、図 4 上段に示すような一方向に $5\delta_y$ まで载荷した後、 $1\delta_y$ まで除荷しそこから $2\delta_y$ まで再载荷した場合には、SEA モデルにおける残留変位の方が RC モデルのそれに比較して小さくなるのが同図下段から確認された。これは、SEA モデルは除荷時の荷重低減量が小さく、原点に回復する指向性が高い影響であると考えられる。

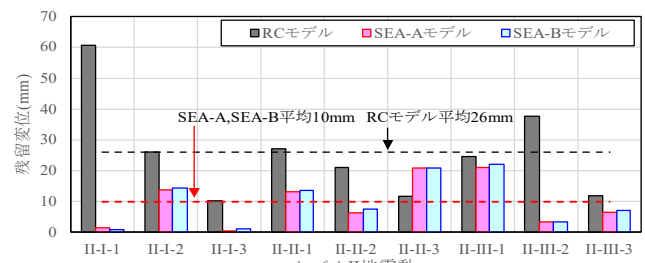
5. 動的解析結果

残留変位は一方向の地震動が大きい場合に生じやすい特徴があることから、平成 24 年道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編に示されるタイプ II 地震動 9 波の動的解析を行った。両モデルには同じ Rayleigh 型減衰モデルを適用した。

各波形の最大応答変位および残留変位を図 5 に示す。SEA-A および SEA-B モデルの平均最大応答変位は伴に 109mm (標準偏差 $\sigma=\pm 19.6\text{mm}$) と、RC モデルの 74mm ($\sigma=\pm 20.1\text{mm}$) に比較して 1.47 倍程度大きい。これは SEA の弾性係数が低いことが影響している。しかし、SEA-A および SEA-B モデルの自由振動下における平均残留変位は伴に 10mm ($\sigma=\pm 8.0\text{mm}$) と、RC モデルの 26mm ($\sigma=\pm 15.9\text{mm}$) に対して 38% 程度に低減され、ばらつきも小さかった。SEA モデルでも残留変位が生じた要因は、既設の主筋やコンクリートが塑性化した影響によるものであるが、原点回復能を有する材料をコンクリート巻立て補強工法の補強の主筋に用いることで残留変位の抑制効果が期待できる可能性がある。なお、SEA の履歴ループの違いが応答に与える顕著な効果は見られなかった。以上のように、全体の傾向としては残留変位抑制効果が確認されたものの、地震動 II-II-3 では、SEA モデルの残留変位が RC モデルを超過した。ただし、これは全体から見れば一部の結果であり制御可能と考えることから、今後は、確実に残留変位抑制効果を得られる条件を明確にしていく必要があると考える。



(a) 最大応答変位



(b) 残留変位

図-5 レベル II 地震動の動的解析による最大応答変位と残留変位

6. まとめ

本研究では、コンクリート巻立て補強工法の補強の主筋に SEA を用いた解析を実施し、補強の主筋に SEA を用いることで残留変位抑制効果が期待できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 I~V, (社)日本道路協会, 2002, 2)既設橋の耐震補強設計に関する技術資料, 国総研資料第 700 号 土研資料第 4244 号, 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所, 平成 24 年 11 月, 3)道路橋の耐震設計に関する資料, (社)日本道路協会, 平成 10 年 1 月, 4) 金澤ら: ファイバー解析における超弾性合金のモデル化に関する検討, 土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, V-360, 2022.9.

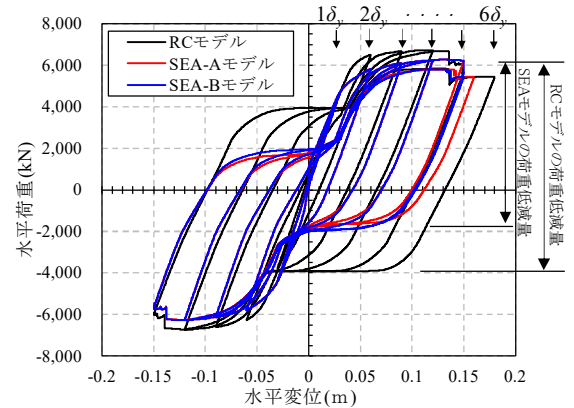


図-3 正負交番载荷解析による P - δ 関係

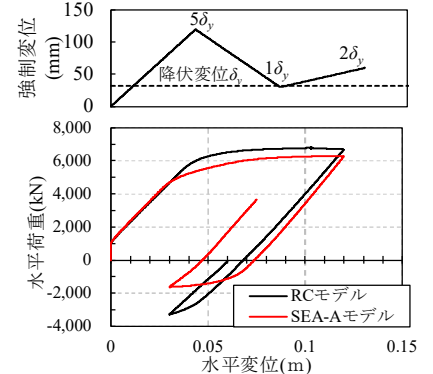


図-4 载荷方法(上段)と水平荷重~水平変位の関係(下段)