

弾塑性有限変位 FEM 解析を用いた複合橋脚の終局限界状態に関する一考察

首都高速道路株式会社 正会員 磯部 龍太郎
 株式会社横河ブリッジ 正会員 ○水口 知樹
 大成建設株式会社 正会員 大嶋 雄

首都高速道路株式会社 正会員 副島 直史
 株式会社 IHI インフラシステム 正会員 志治 謙一

1. まえがき

鋼製橋脚と鉄筋コンクリート柱（以下、「RC 柱」という）を柱部で接合した複合橋脚において、鋼製橋脚、RC 柱、接合部の各部材は崩壊に至るまでの粘り強さや損傷した場合の修復しやすさが異なる。そのため、複合橋脚の維持管理を考慮した設計を行うためには、構造物全体の破壊シナリオと、それに対応した各部材の終局限界状態を適切に設定する必要がある。

ところで、各部材では使用材料が異なり、コンクリートと鋼材ではその強度のばらつきの程度にも違いが生じる。その場合、設計で想定した耐力に対して実構造の方が大きく上回ることも考えられる¹⁾。各部材の耐力の組合せが異なると、構造物全体の破壊シナリオや粘り強さも変わる可能性がある。その結果、点検時の判断基準などの維持管理にも影響を与える。

また、各部材の剛性も同じではなく、剛性が大きく異なると剛性変化点に応力が集中し、ぜい性的な破壊を生じる危険性もある。そのため、鋼製橋脚の内部に中詰めコンクリートを設置することが多いものの、その効果は定量的に明らかではない。

以上より、本論文では複合橋脚の各部材間の破壊順序、および構造物全体の終局強度に対する材料強度のばらつきおよび隅角部中詰めコンクリートの影響について検討する。

2. 解析モデルと解析条件

(1) 解析モデル

解析対象は図 1 に示す複合門型橋脚とし、柱基部から梁部までの片持ち梁形式を抽出してモデル化する。鋼板はシェル要素、鉄筋はトラス要素でそれぞれモデル化し、鋼材の材料構成則は 2 次勾配が 1 次勾配の 1/100 となるバイリニアとする。コンクリートはソリッド要素でモデル化し、材料構成則は土木学会複合構造標準示方書を参考に設定する²⁾。鋼製橋脚と RC 柱の接合部は、図 2 に示す通り、孔あきリブと RC 柱主鉄筋をラップさせた構造とし、同標準示方書を参考に、孔あきリブをせん断バネ剛性でモデル化する。解析は、死荷重を一定載荷したのち、地震時の発生断面力を漸増載荷させる弾塑性有限変位を考慮したプッシュオーバー解析とする。

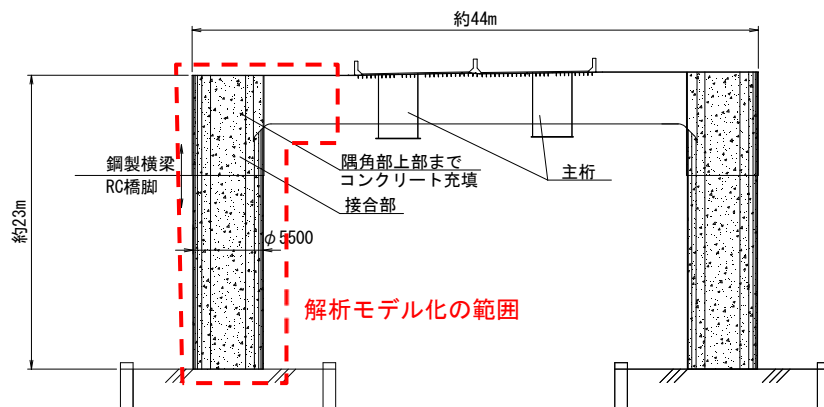


図 1 複合橋脚の概要図

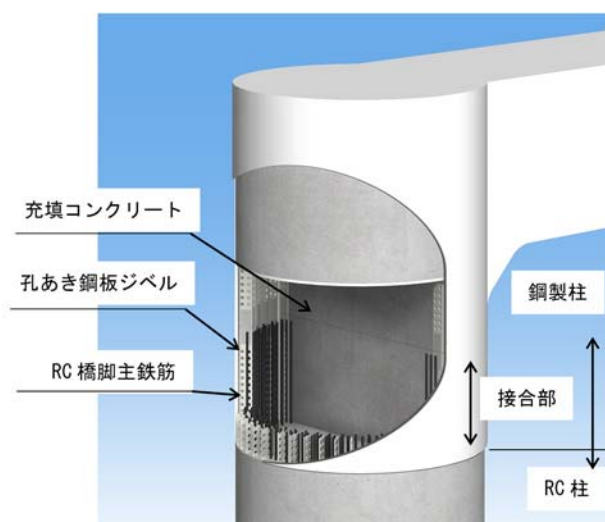


図 2 RC 柱と鋼製柱の接合部

キーワード 複合橋脚, 終局限界状態, 材料強度のばらつき, 弾塑性有限変位 FEM 解析

連絡先 〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地 株式会社横河ブリッジ TEL 047-435-6277

(2) 解析条件

境界条件は、RC 柱基部を完全拘束とする。

荷重条件は、別途、橋梁全体を対象とした立体骨組モデルを用いたレベル2地震動に対する非線形時刻歴応答解析から抽出した、同時性を考慮した6成分を鋼製梁のモデル先端に漸増载荷させる。着目した同時性のある鋼製梁の断面力は、鋼製梁の断面決定に支配的な面内曲げモーメント最大時、もしくはRC柱基部の曲率が大きくなるねじりモーメント最大時の2ケースである。なお、本橋梁はレベル2地震動が作用した場合でも各部材は弾性範囲に収まるように設計されている。

(3) 材料強度のばらつき

鋼材よりも材料特性のばらつきが大きく、RC柱基部の耐力に直接影響を与えるコンクリート強度のばらつきをパラメータとする。解析に用いるコンクリート強度は、設計基準強度 30N/mm^2 のほか、対象橋梁で使用する生コンプラントの実績から標準偏差の2倍（非超過確率 97.7%）を考慮した 42.6N/mm^2 の合計2ケースとする。

3. 解析結果と破壊シナリオ

プッシュオーバー解析の結果として、面内曲げモーメント最大時に着目した場合の荷重－変位図を各部材の損傷イベントとともに図3に示す。横軸は横梁先端に発生する3方向を合成した変位、縦軸は柱基部に発生する3方向を合成した反力とする。また、本図は死荷重载荷後をゼロ点とする。次に、荷重最大時の変形図、および荷重最大後の変形が進行した後の変形図をそれぞれ図4に示す。図のコンターは Von-Mises 等価応力である。

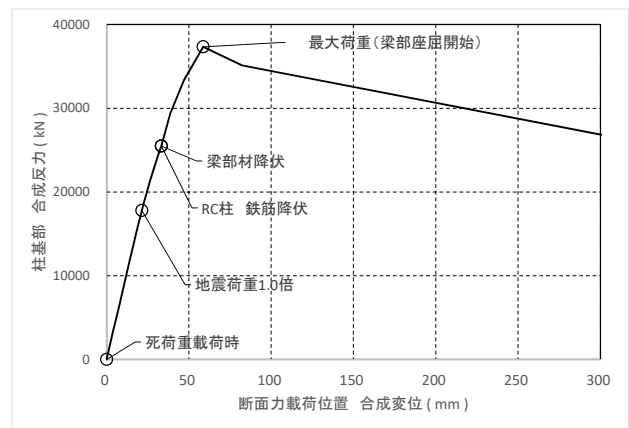


図3 荷重－変位図 ($\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$, 面内曲げモーメント着目, 中詰めコンあり)

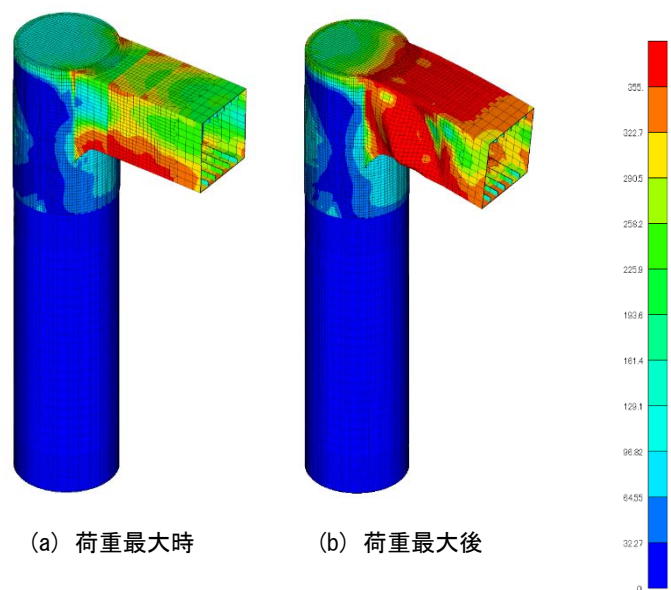


図4 変形図 (変形倍率 3.0)

図3の荷重－変位図を見ると、地震時荷重の1.0倍までは各部材は弾性範囲であり、非線形時刻歴応答解析と整合していることがわかる。荷重を増加させ続けると、まずRC柱基部の鉄筋の降伏と鋼製梁部の降伏がほぼ同時に発生し、その後、鋼製梁ウェブに座屈変形が生じた時点で荷重が最大となった。補修が難しいことから損傷を生じさせないことを耐震設計性能目標とした接合部および隅角部は荷重最大時でも弾性範囲に収まっている。図4の変形図を見ても、降伏を示す赤色が鋼製梁ウェブ下方に主に生じているものの、隅角部の発生応力は比較的小さい。鋼製梁ウェブの座屈変形が進行した後は、隅角部の一部にも塑性化が見られる。

4. まとめ

本検討で対象とした複合橋脚に対してプッシュオーバー解析を行ったところ、損傷を生じさせたくない部位を弾性範囲で収めたまま構造物全体の終局限界状態を迎え、設計思想と整合した破壊シナリオであることを確認できた。

参考文献

- 1) 大住道生, 運上茂樹: 材料強度のばらつきが道路橋の耐震性能に及ぼす影響, 第3回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.283-288, 1999.12
- 2) (公社) 土木学会: 複合構造標準示方書 2014年制定, 2015.5