

非線形復元力特性が橋脚の地震応答に及ぼす影響解析

香川大学大学院 学 ○大守亮輔

香川大学工学部 正 野田 茂

1. はじめに

強震時になると、高架橋の挙動は非弾性域に達し、場合によっては被害に至る。1995年兵庫県南部地震などを契機とした耐震補強や道路橋示方書改訂により、倒壊などを伴う大被害の発生は減少した。しかしながら、東日本大震災での橋脚被害や南海トラフ地震のような超巨大地震の発生を考えれば、高架橋の耐震対策は今後とも重要な課題である。

そこで本研究では、RC橋脚に関して詳細なモデル化を行い、耐荷力や変形特性の観点から、コンクリート・鋼材の非線形復元力特性の相違が橋脚の地震応答特性に及ぼす影響を分析する。その結果より、橋脚の安全性確保のため、断面・部材の動的設計のあり方について検討する。

2. 研究の手法

本研究では、現実的な材料構成則を設定した上で、断面・部材の非線形解析を踏まえ、地震応答解析によって橋脚の動的な非線形挙動を解明する。このため、骨組み解析、時刻歴直接積分法による解法を用いる。

解析対象の橋脚モデルを図1に示す。この橋脚は一般的な張出式RC造である。

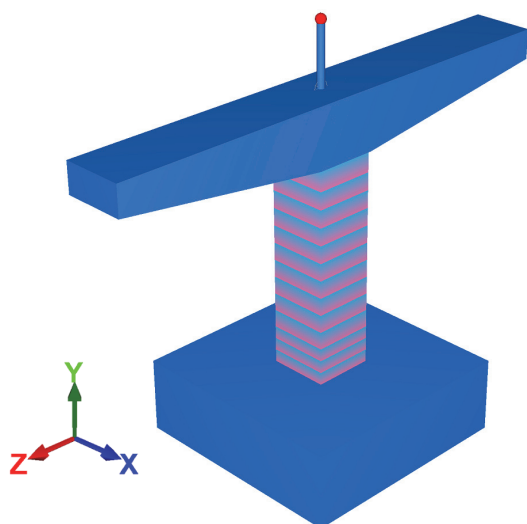


図1 解析対象の橋脚モデル

モデル化は桁部、柱部、フーチング部の各々において実施した。桁部、フーチング部は剛域、柱上部は弾性梁要素とする。柱下部には応力-ひずみの非線形履歴挙動に関する再現性を高めるため、断面を層状に離散化したファイバーモデルを適用した。これ

により、材料の非線形性（ひび割れの発生と進展、鉄筋降伏など）を直接反映させることが可能となる。

図2、図3はファイバー要素の材料非線形履歴モデルの一例である。コンクリートについては、星隈モデル、岡村-前川モデル（COM3モデル）、2次曲線モデル、JSCEモデル、Manderモデルを用いた。一部には内部履歴に堺-川島モデルが適用されている。一方、鉄筋・鋼板には、F3Dモデル、COM3モデル、バイリニアモデル、トリリニアモデルを用いた。図2は星隈モデル、図3はバイリニアモデルの例である。

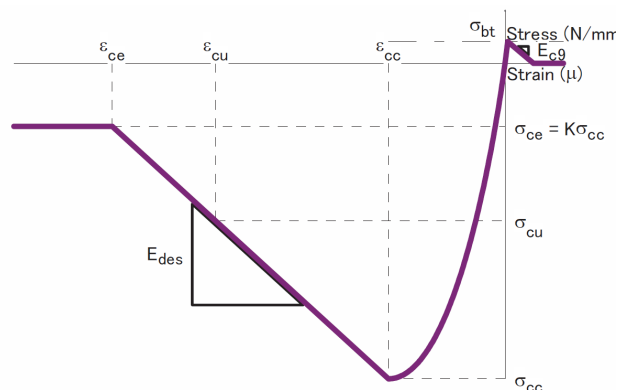


図2 コンクリートの応力-ひずみ関係の一例

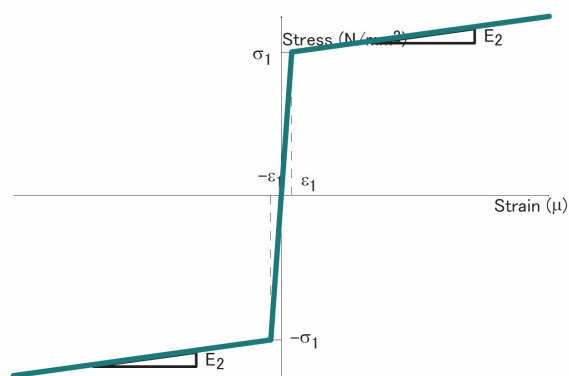


図3 鉄筋の応力-ひずみ関係の一例

ファイバー要素を導入することにより、部材断面のひずみ分布や損傷状態を評価することが可能となり、破壊過程の詳細検討に役立つ。

入力地震波には1995年兵庫県南部地震時に観測された神戸海洋気象台記録の拡大波を用いた。これは、将来の発生が予測される超巨大地震時の破壊過程解明のため、コンクリート部材の破壊状態を観察できるように振幅調整したものである。なお、地震波は

キーワード 高架橋、非線形復元力特性、ファイバーモデル、動的応答挙動

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20, Tel & Fax: 087-864-2153

橋軸 x 方向と橋軸直角 z 方向の 2 方向同時加振とした。

3. 解析結果と考察

コンクリートに星隈モデルを採用したとき、橋脚の全体損傷は図 4 のようになる。柱部は 13 部材に分割しており、同図には各部材の損傷状態を示す。

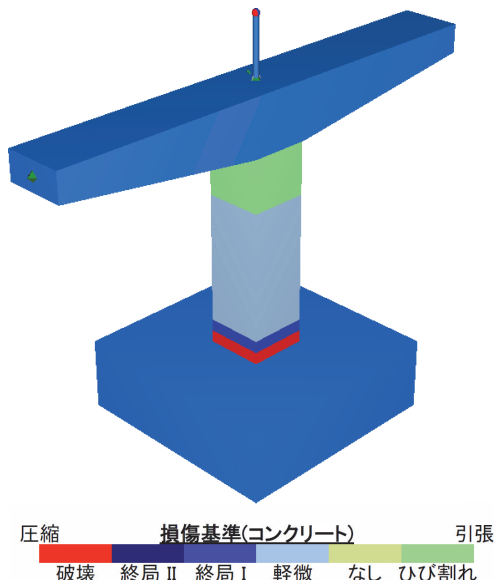
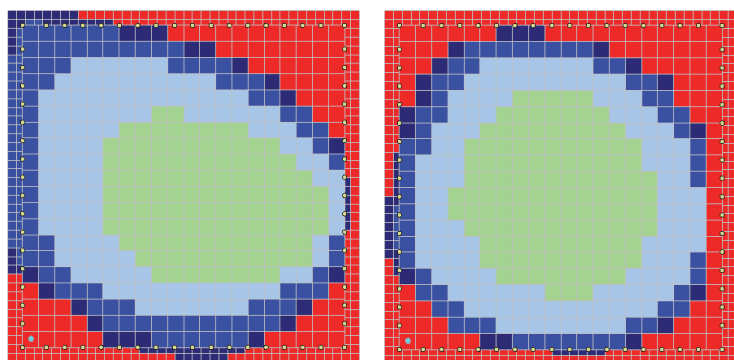


図 4 星隈モデルによるコンクリートの損傷状態

上図から、柱上部より柱下部に向かうにつれ、被害が大きくなり、橋脚基部ではコンクリートの圧縮破壊が発生していることが確認できる。解析結果は土木研究所で実施された振動実験結果ならびに実地震被害実態と対応しており、再現性が確認できた。

図 5 には橋脚基部断面のひずみ分布から判定した損傷状態を示す。凡例は図 4 と同じである。材料構成則には星隈モデルを用いているが、(a)では F3D オリジナルの、(b)では堺-川島モデルの内部履歴を採用している。



(a) F3D オリジナル

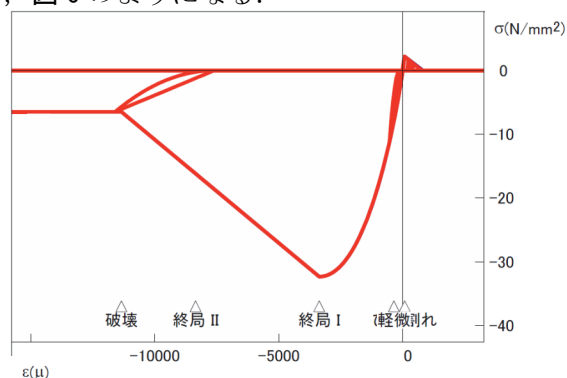
(b) 堺-川島モデル

図 5 橋脚基部断面の損傷状態

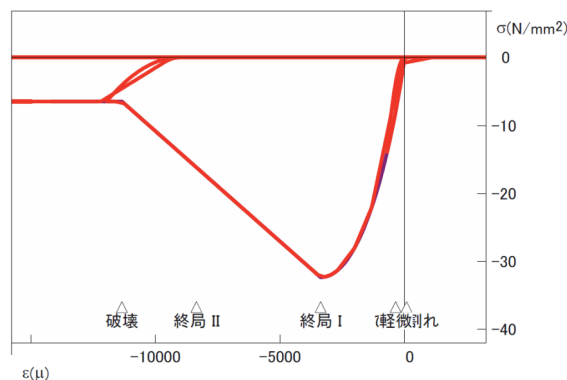
図 5 より、内部履歴の違いによる損傷状態の差異が確認できる。どちらも右上次いで左下側断面から、かぶりコンクリート・コアコンクリートに至るまで圧縮破壊が広がった。内部履歴として堺-川島モデル

を採用した方が破壊状態に至る断面積が大きく、被害が大きくなっていることがわかる。なお、大きな破壊状態は、F3D オリジナルで加振後 2.63 秒に、堺-川島モデルで 3.53 秒に生じた。

上述した被害程度の相違はファイバー要素の応力-ひずみ曲線の履歴からも確認できる。図 6 における最大累積損傷の発生した箇所でのヒステリシスを示すと、図 6 のようになる。



(a) F3D オリジナル



(b) 堺-川島モデル

図 6 最大累積損傷箇所でのヒステリシス

F3D オリジナルと堺-川島モデルの内部履歴の違いはもともと大きくない。終局ひずみを越えた後の除荷・再載荷時の傾き（剛性）は F3D オリジナルにおいて小さい。コンクリートが圧縮破壊を受けるほどの応力を受けると、その後剛性は F3D オリジナルで低くなるので、靱性に富んだ変形挙動に至り、損傷が小さくなったものと考えられる。

4. おわりに

ファイバー要素解析の結果、非線形材料構成則の相違が橋脚の地震応答に及ぼす影響が大きいことが明らかになった。コンクリートでは星隈モデルや COM3 モデルが、鉄筋では F3D モデルや COM3 モデルが部材の引張応力まで忠実に考慮できるので、非線形地震応答解析には有効である。損傷被害については材料構成則の形状、履歴則の特徴、条件から考察することが可能となる。実態に合うような材料非線形復元力特性を用いた耐震解析の実施が橋脚の地震被害を把握する上で重要な条件になると言える。