

アーチ橋・ラーメン橋・斜張橋等の動的設計法に関する研究

九州大学 大学院 工学研究科 フェロー 大塚 久 哲

1. はじめに

平成8年の道路橋示方書の改訂により、複雑な地震時挙動をするアーチ橋、斜張橋、吊橋などの橋梁に対しては、動的解析によって耐震設計を行うこととなった。しかし、どのような設計規範でこの種の橋を動的設計していくのかは明示されておらず、今後の研究が必要となっている。また、平成7年兵庫県南部地震による教訓から、橋脚に対しては昭和55年以前の示方書によって設計されたものに対して耐震補強が施されているが、震度法で設計された地震時挙動の複雑なこの種の橋梁が、新道示の地震荷重に対してどの程度の耐震安全性を有するかもデータがほとんどない状況である。そこで土木学会西部支部において平成9年度から『中径間橋梁の耐震性向上に関する研究委員会』（委員長は著者、委員数45名）が発足し、鋭意検討を行っているところである。本文は本委員会の中間報告としてこれまでに得られた成果の概要をまとめた。

2. 対象橋梁の種類

コンクリートおよび鋼のアーチ橋、斜張橋、ラーメン橋と鋼の水管橋、合計7種類を対象に、九州に現存する橋梁から設計書類等が残されている橋梁を選び出した。その一覧を表1に示す。

表1 対象橋梁の種類と概要

橋 梁 の 種 類		橋 梁 概 要	適 用 道 示
コンクリート 橋	アーチ 橋	上路アーチ橋：橋長411m、アーチ支間235m 中路式ローゼ橋：橋長105.0m、アーチ支間92m	昭和55年 平成2年
	斜張 橋	3径間70-70-70形式：橋長292.1m(61.05+170.0+61.05)、主塔は逆Y字型	平成2年
	ラーメン 橋	5径間連続：330.00m(34.6+57.0+2*90.0+57.0) 3径間連続：橋長230.00m(67.4+94.0+67.4)	昭和55年 昭和55年
鋼 橋	アーチ 橋	中路式ローゼ橋：橋長199.0m	平成2年
	斜張 橋	3径間（主塔1本、中間橋脚1本）：橋長345.0m(184.2+115.0+44.4)	昭和55年
	ラーメン 橋	3径間：橋長186.0m(62.3m×3)	昭和55年
鋼 水 管 橋		単径間ランガー：橋長84.7m、 単径間トラス：橋長28.2m	昭55年準用 平2年準用

3. 解析条件

解 析 手 法：非線形時刻歴地震応答（動的）解析、非線形静的解析（プッシュオーバーアナリシス）
 入力地震動：新道示に示すタイプⅠ、Ⅱの標準波形水平動成分、及び同じ観測点の上下動成分
 使用ソフト：TDAPⅢ、RESP、DYNA2E、NSY-DYNA、RITTAI等

4. 主な検討項目

4.1 対象橋梁の地震時挙動の解析

- 1) 動的非線形解析：非線形領域のモデル化による差：せん断ばねモデル・M-φモデル・N-M 相関履歴モデルによる差：RC部材、PC部材、鋼部材
 減衰定数の評価：Rayleigh型、ひずみエネルギー比例減衰型
 時間刻み・部材分割と解の収束性、入力方向の違い・同時加震
- 2) プッシュオーバーアナリシス：エネルギー一定則の適用性、構造系の終局状態の考え方、動的解析との比較

4.2 耐震性能向上に関する検討

補強工法：橋脚（RC 巻き立て，鋼板接着等），主桁（桁内・外のケーブル補強等）

免震化／パッシブ制震：橋台・桁間，橋脚上端・下端

表2 主な検討項目

橋梁の種類		検討項目
コンクリート橋	アーチ橋	軸力変動の影響、2軸曲げの連成問題、免震化による耐震性の向上、履歴特性の違い、 Fibre Model による解析。
	斜張橋	モデル化の妥当性、軸力変動の影響、耐震性向上。
	ラーメン橋	不等橋脚ラーメン橋の応答特性、PC桁の非線形特性が応答に及ぼす影響。
鋼橋	アーチ橋	桁両端の支承条件、地震入力方向の違いが損傷程度に及ぼす影響。
	斜張橋	橋脚下端の解析条件、支承軸力の大きさ、耐風用 TMD の影響。
	ラーメン橋	軸力変動の影響、タイプII地震動に対する安全性、残留変位の大きさ。
鋼水管橋		固有振動数、減衰定数の把握。形式別耐震設計手法（静的解析／動的解析）の適用に関する検討、伸縮可撓管、支承部、落橋防止構造の設計手法の提案

5. これまでに得られた結果

表3 得られた主な知見

橋梁の種類		得られた知見
コンクリート橋	アーチ橋	上路式：アーチリブは軸直角方向が厳しい、M- ϕ モデルと Fibre Model との差有り。 中路式：橋軸及び橋軸直角方向の免震化による耐震性能の向上が確認された。
	斜張橋	塑性範囲は変動軸力の考慮の有無によって異なる。考慮した場合、軸直角方向入力に対し、降伏域に達する部材有り。
	ラーメン橋	PC桁のエネルギー吸収により橋脚の損傷程度が軽減されることが確認された
鋼橋	アーチ橋	橋軸直角方向入力の場合、スプリング部が塑性化する可能性がある。 橋軸方向入力の場合、補剛桁のピン支承が損傷すると、すべての部材は塑性化しない。
	斜張橋	橋脚基礎の解析条件（固定・地盤ばね考慮）は橋軸直角方向の応答に影響大。支承軸力が大きいことに注意が必要。耐風用 TMD は地震に対し効果がない。
	ラーメン橋	軸力変動の影響はほとんどない、タイプII地震動にも安全である。残留変位は動的解析に若干生じる。
鋼水管橋		実測した減衰定数は、0.002 程度と小さい。動的解析による沓反力は静的解析結果より大きい。

6. 今後の課題

対象橋梁間で解析上の条件や、検討項目に差異があり、今後これらの整合を図る必要がある。この解析によって各橋梁の崩壊に至る経路を把握し、終局状態の定義と動的設計の規範を提示したい。

- 参考文献 1) 大塚・水取・濱崎：弾塑性ばねを有する中路式RCの耐震性に関する研究アーチ橋，
 2) 大江・劉・水田：軸力変動を考慮した鋼アーチ橋の弾塑性応答解析，
 3) 麻生・水取・首藤・有角・百田・大塚：PC斜張橋の非線形動的解析に関する検討，
 4) 大塚・堂上・山平・加藤・藤野：鋼斜張橋（荒津大橋）の非線形地震応答解析とモデル化の検討，
 5) 大塚・矢葺・根井・堤・岡田：上部構造の非線形性を考慮したPCラーメン橋の耐震性照査，
 6) 李・石橋・堂上・大塚：既設3径間連続鋼ラーメン橋の非線形動的解析について，
 7) 神崎・竹内・川口・大塚・水田・野中：水管橋の非線形動的解析，

以上5)を除く文献はいずれも、第2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に所載。5)は構造工学論文集（1999.3）に掲載予定。