

中径間橋梁の耐震性向上に関する研究(委員会報告)

九州大学大学院工学研究科 フェロ 大塚 久 哲
九州共立大学工学部 正員 成 富 勝

1. まえがき 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が、どのような設計規範でこの種の橋を動的設計していくかについては、今後の研究が必要である。また、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は不明な状況である。本文は土木学会西部支部で平成9年度から3年間にわたって行われた『中径間橋梁の耐震性向上に関する研究委員会』(委員数45名)の成果の概要を報告する。

2. 対象橋梁の種類 コンクリートおよび鋼のラーメン橋、アーチ橋、斜張橋と鋼の水管橋、合計7種類を対象に、現存する橋梁から設計書類等のあ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	ラーメン橋	5径間連続:橋長330.00m(支間割34.6+57.0+2×90.0+57.0) 3径間連続:橋長230.00m(支間割67.4+94.0+67.4)	昭和55年 昭和55年
	アーチ橋	上路アーチ橋:橋長411m,アーチ支間235m	昭和55 年
	斜張橋	3径間フロック形式:橋長292.1m(支間割61.05+170.0+61.05),主塔は逆Y字型	平成2年
鋼 橋	ラーメン橋	3径間連続:橋長186.0m(支間割62.0×3) 3径間連続:橋長320.0m(支間割90.0+140.0+90.0)	昭和55年 昭和55年
	アーチ橋	中路式ローゼ橋:橋長199.0m	昭和46年
	斜張橋	3径間(主塔1本,中間橋脚1本):橋長345.0m(支間割184.2+115.0+44.4)	昭和55年
鋼 水 管 橋		単径間三角トラス形式:橋長28.2m 4径間ランガー形式:橋長329.8(支間割66.5+84.7×3) 斜張形式:橋長82.0m(単径間) 斜張形式:橋長116.1m(2径間,支間割46.8+66.3)	平2 年準用 昭55年準用 平2 年準用 昭55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(フッシュオーバー・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(表2)

表2 主な検討項目(その1)

橋 梁 の 種 類		検 討 項 目
コンクリート 橋	ラーメン橋	非線形領域のモデル化の違い,エネルギー一定則の適用の可能性,構造系の終局状態の考え方,PC桁の非線形特性の影響,橋台部免震構造,補強対策.
	アーチ 橋	非線形部材のモデル化(軸力変動・ファイバ・モデル)・支承部結合条件・3方向同時加震の検討,2軸曲げの連成問題.
	斜 張 橋	軸力変動の影響,ファイバ・モデルによる解析,積分時間間隔・減衰定数・継続時間の影響,1方向及び2方向非線形モデルの検討,耐震補強対策の検討.
鋼 橋	ラーメン 橋	解析プログラムの比較,各種復元力モデルの影響,軸力変動の影響,ファイバ・モデルによる解析,減衰定数の評価,積分方法の検討,静的設計法の適用性.

表2 主な検討項目（その2）

鋼 橋	アーチ 橋	構造のモデル化の検討，非線形部材のモデル化の検討，地震入力方向の違いの影響，軸力変動の影響，耐震性向上対策．
	斜 張 橋	解析プログラムの比較，地盤ばね・TMD・支承のモデル化の影響，入力地震波の違い，補強対策．
鋼 水 管 橋		被害事例の検討，固有振動数・減衰定数に関する実験，形式別耐震設計手法（静的解析／動的解析）の適用性の検討，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）

表3 得られた主な知見

橋 梁 の 種 類		得 れ た 知 見
コンクリート 橋	ラーメン橋	P C 桁の非線形特性を考慮すると弾性時より応答が減少する．非線形領域のモデル化の違いにより塑性ヒンジ領域の応答塑性率に差が生じる．エネルギー一定則による変位は動的解析の結果を大きく上回る．橋台部免震構造の効果は小さい．P C 桁に対する補強は，外ケーブルと鋼板接着のどちらも有効である．
	アーチ 橋	軸力変動量は大きいので考慮する必要がある．軸力変動が応答値に与える影響は非線形モデルにより差が生じる．支持条件の違いは橋脚・鉛直材等の応答値に影響する．橋軸方向にはアーチ基部でせん断耐力が不足する．橋軸直角方向にはアーチリブ全域でせん断耐力が不足し，アーチ基部ではねじりも厳しい．鉛直動の影響は少ない．
	斜 張 橋	橋軸方向加震時には主桁と主塔はほぼ同周期で振動するが，橋軸直角方向加震時には主塔は主桁に比べて短周期振動となり，各々独自に振動する．3つの非線形モデルによる差が大きいのは，橋軸直角方向加震時である．桁の補強には外ケーブルが有効であり，主塔のせん断補強には鋼板巻き立ての有効性を確認した．
鋼 橋	ラーメン橋	軸力変動の影響はほとんどない．レイリー減衰で十分評価可能．ファブ-モデルの結果は，断面力が大きく，変位で小さい．タイプⅡ地震動にも安全である．動的解析によれば残留変位は若干生じるが十分許容値以内であった．コンクリート充填鋼製橋脚を有する鋼ラーメン橋の橋軸直角方向にはエネルギー一定則が適用できる．
	アーチ 橋	縦桁やRC床板の剛性評価が必要．タイプⅡ地震動に対し，橋軸方向入力の場合の応答塑性率は許容塑性率より小さいが，橋軸直角方向入力の場合にはスプリング部の軸方向耐力を上回る軸力が作用する．3方向同時加震時の塑性領域は，他の加震時に比べて多い．
	斜 張 橋	橋脚基礎のモデル化（固定・地盤ばね考慮）は橋軸直角方向の応答に影響大．支承はすべてモデル化する必要がある．支承軸力は設計値を上回る．可動支承の上下部の相対変位は大きい．1本形式の主塔は橋軸直角方向加震時に振動しやすい．橋軸直角方向加震時の支承反力と橋脚曲げモーメントの低減策が必要である．
鋼 水 管 橋		実測した減衰定数は，0.007 から 0.008 程度とかなり小さい．斜張橋形式の主塔の加速度応答倍率は最大 18 倍と大きい．動的解析による脊反力は静的解析結果より大きく，伸縮可撓管も含めて，詳細な耐震検討が必要．

6. 今後の課題

標準波形では崩壊に至らない橋梁が多く，振幅を増して動的解析を繰り返し，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．また損傷の大きな部位の具体的な補強方法に関しては今後さらに検討を加えていく予定である．

- 参考文献 1)大塚・矢葺・根井・堤・岡田：上部構造の非線形性を考慮したP C ラーメン橋の耐震性照査，
 2)水取・大塚・濱崎：中落式RCアーチ橋の耐震性向上に関する弾塑性ばねの効果，
 3)大塚・水取・首藤・麻生・有角・百田：P C 斜張橋の非線形地震応答に及ぼす軸力変動の影響，
 4)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，
 5)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，
 6)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，
 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，1),2),3)は構造工学論文集（1999.3），4),5),6),7)は第2回地震時保有耐力法シンポジウム講演論文集（1998.12）に所載．