

中径間橋梁の動的設計法に関する研究

九州大学大学院工学研究科 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-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ものである。

2. 対象橋梁の種類 コンクリートおよび鋼のラ-メン橋、ア-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-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-チ橋	上路ア-チ橋:橋長411m, ア-チ支間235m	昭和55年
	斜張橋	3径間70-チング形式: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-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-チ橋	中路式口-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-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(フックの法則)

入力地震動: 新道示に示すタイプ, 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: TDAP, RESP, DYNA2E, NSY-DYNA, RITTAI 等

4. 主な検討項目(表2)

対象橋梁の地震時挙動の解析:

- 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-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

- フックの法則: 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

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-ブル補強等)

免震化/パッシブ制震: 橋台・桁間, 橋脚上端・下端

キーワード: 中径間橋梁, 動的解析, ア-チ橋, ラ-メン橋, 斜張橋, 水管橋

連絡先: 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1, TEL&FAX: 092-642-3266

表2 主な検討項目 (検討済み, 要検討)

対象橋梁 \ 検討項目	C アーチ	C 斜張橋	C ラーメン	鋼 アーチ	鋼 斜張橋	鋼 ラーメン	鋼 水管橋
モデル化・計算法 履歴特性の違い 軸力変動の影響 2軸曲げの連成 ファイバ-モデル 入力方向 補強対策・免震化							

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	得られた知見	
コンクリ -ト橋	ラ-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-ブルと鋼板接着のどちらも有効である。
	ア-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-チ基部でせん断耐力が不足する。橋軸直角方向にはア-チリブ全域でせん断耐力が不足し、ア-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-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-メン橋	軸力変動の影響はほとんどない。レイリ-減衰で十分評価可能。ファイバ-モデルの結果は、断面力が大きく、変位で小さい。タイプ 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-ト充填鋼製橋脚を有する鋼ラ-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-チ橋	縦桁や RC 床板の剛性評価が必要。タイプ 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。動的解析による沓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

今後は、各橋梁の崩壊に至る経路を動的に把握し、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補強方法に関しては、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-メン橋の耐震性照査, 2)水取・大塚・濱崎：中路式 R C ア-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)季・石橋・堂上・大塚：既設 3 径間連続鋼ラ-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-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講演論文集(1998.12)に所載。