

# 第1編 委員会の研究内容と成果の概要

## 第1章 本委員会の目的と経緯

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、具体的記述がほとんどない。

また、阪神大震災の教訓から、昭和55年以前の示方書によって設計されたRC橋脚に対する耐震補強はかなり実施されているようであるが、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が不明な状況である。

土木学会西部支部では平成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』（委員名別掲）において、上記の問題点に関してまとまった知見を得るべく検討を行ってきた。

本編では、対象橋梁、解析条件、得られた主な知見について概説する。詳しい内容については、第2編からの各編に譲る。

## 第2章 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種類の橋梁を対象に、現存する橋梁から設計書類等が整備されている橋梁を選び出した。その一覧を表-1に示す。

## 第3章 解析条件

本委員会で用いた入力地震動、解析条件及び使用ソフトを以下に示す。

- ・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）、及び同じ観測点の上下動成分
- ・使用ソフト：
  - TDAP III, RESP, DYNA2E, NSY-DYNA, RITTAI 等

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径間フーチング形式：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 82.0 m（単径間） 斜張形式：橋長 116.1 m（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

## 第4章 主な検討項目

### 4.1 対象橋梁の地震時挙動の解析

#### 4.1.1 動的非線形解析

橋梁の種類によって、検討項目は若干異なるが、動的非線形解析において着目した諸点は以下のようなものである。

- ・非線形領域のモデル化の検討：  
せん断ばねモデル，M- $\phi$ モデル，M- $\theta$ モデル，  
N-M 相関，2軸相関
- ・履歴モデルの検討：  
RC 部材・・・武藤，武田，江戸型モデル  
PC 部材・・・原点指向，岡本，林モデル  
鋼部材・・・バイリニア，2パラメータ
- ・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（3方向，2方向）
- ・構造系の終局状態の考え方

#### 4.1.2 静的解析法の適用性

本委員会で対象とした橋梁に対して、静的設計法の適用性についても検討した。

- ・エネルギー一定則の適用性
- ・動的解析との比較

### 4.2 耐震性能向上に関する検討

解析の結果、何らかの耐震安全性の向上策が必要であると判断される橋梁に関しては、補強あるいは免震化の検討を行った。

- ・補強工法  
橋脚（RC 巻き立て，鋼板接着等）  
主桁（桁内・外におけるケーブル補強等）
- ・免震構造の採用  
免震装置の設置位置の検討  
橋台・主桁間，主桁・横繋ぎ材間，  
橋脚上端・下端 等

### 4.3 橋梁種別ごとの検討項目

以上の検討項目を、対象橋梁ごとに示せば次のようにまとめられる。

#### 4.3.1 コンクリート橋

##### 1) ラーメン橋

- ・非線形領域のモデル化の違いの影響
- ・PC 桁の履歴モデルの違いの影響
- ・減衰定数の評価方法
- ・積分方法の検討
- ・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
- ・不等橋脚ラーメン橋の応答特性
- ・橋台部の免震構造の有効性
- ・補強対策法

##### 2) アーチ橋

- ・非線形部材のモデル化  
軸力変動モデルとファイバーモデル
- ・支承部結合条件のモデル化の影響
- ・3方向同時加震の検討
- ・2軸曲げの連成問題

##### 3) 斜張橋

- ・軸力変動の影響
- ・ファイバーモデルの有効性
- ・積分時間間隔
- ・減衰定数の評価方法
- ・地震動の継続時間の影響
- ・1方向及び2方向非線形モデルの比較
- ・耐震補強対策の検討  
外ケーブルと鋼板巻き立て

#### 4.3.2 鋼橋

##### 1) ラーメン橋

- ・解析プログラムによる結果の差異
- ・履歴モデルの違いの影響
- ・軸力変動の影響
- ・ファイバーモデルによる解析
- ・減衰定数の評価評価
- ・積分方法の検討
- ・静的設計法の適用性

2) 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
- ・軸力変動考慮の簡易モデルの提案
- ・耐震性向上対策の検討

3) 斜張橋

- ・解析プログラムによる結果の差異の検討
- ・解析モデルによる差異の検討  
支承・地盤ばね・TMDのモデル化
- ・入力地震波の違い
- ・補強対策

4) 鋼水管橋

- ・被害事例の検討
- ・解析による基本的な動特性の把握
- ・実橋試験による振動モードと減衰定数
- ・橋梁形式ごとの耐震設計手法（静的解析／動的解析）の適用性の検討
- ・支承部の改善
- ・落橋防止構造の設計手法の提案

- ・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。
- ・支承部結合条件の違いは橋脚・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。

3) 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。
- ・橋軸直角方向加震時に非線形モデルの影響が顕著である。
- ・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が有効。

第5章 本委員会の主な成果

得られた主な知見を各橋梁形式ごとに述べると以下の通りである。

5.1 コンクリート橋

1) ラーメン橋

- ・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た。
- ・PC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。
- ・減衰定数の評価手法や解析ソフトにより結果に若干の差が生じる。
- ・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。
- ・PC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。

2) アーチ橋

5.2 鋼橋

1) 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。
- ・ファイバモデルの結果は、断面力が他より大きく、変位が他より小さい。
- ・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。

2) 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。
- ・ 弾性解析の軸力を用いる簡易モデルでも、軸力変動の影響は考慮できる。

### 3) 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。
- ・ 耐風用 TMD は地震に対し効果がない。
- ・ 地震時最大変位は大きい、残留変位は小さい。
- ・ 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。

### 4) 鋼水管橋

- ・ 地震時被害としては、橋台、橋脚の破損や変形による伸縮管等の損傷、脱管が多い。
- ・ 実測した減衰定数は、0.002 から 0.008 程度とかなり小さい。
- ・ 低減衰により大きな応答加速度が発生する。
- ・ 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。

・ 動的解析による支承反力は設計値を上回る。

・ 伸縮管部の地震時変位が、脱管する程度に大きい水管橋もある。

## 第6章 今後の課題

標準波形では崩壊に至らない橋梁が多かったので、今後、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検討したい。また損傷の大きな部位の具体的な補強方法に関しては、今後もさらに検討を加えていく予定である。

### 参考文献

- 1) 大塚・矢暮・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
- 2) 水取・大塚・濱崎：中路式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：PC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講演論文集（1998.12）に所載。