

3次元動的非線形解析による橋梁の被災度推定に関する考察

東京都市大学 正会員 ○青戸 拓起
東京都市大学 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

動的非線形解析を用いて地震時の安全性照査を行う際、地震動の方向性と3次元性に配慮する必要がある。本論は、鉄筋コンクリート橋脚を有する5径間連続免震橋を対象に、まず、K-NETの強震記録を用い、3方向同時加震による3次元動的非線形解析を行い、地震動の方向性が「被災度」推定に与える影響を示す。さらに、現行の設計基準で標準としている、水平1方向加振による動的非線形解析結果との差異について、考察するものである。

2. 解析対象と解析方法

(1) 解析対象

対象は、支間40mの5径間連続免震橋である。橋軸方向を弾性支持とし、図-1に示す5m×2.2m断面のRC橋脚を有している。平成14年道路橋示方書の地震時保有水平耐力法により、配筋を決定している。

(2) 解析手法

図-2(a)に、解析モデルを示す。橋梁全体系を骨組みにモデル化し、免震支承にはバイリニア型のばね要素を用い、橋脚柱部は2軸曲げ非線形挙動を表すことのできるファイバー要素とする。基礎をS-Rばねで置換し、上部構造およびその他の部材は線形梁要素とする。ファイバー要素に用いる材料非線形モデルを、図-2(b)(c)に示す。コンクリートは、Hoshikumaらの骨格曲線とSakai-Kawashimaによる履歴則を用いる。鉄筋は、バイリニア型の骨格にSakai-Kawashimaの修正M-Pモデルによる履歴則とする。ファイバー要素の長さは、断面の短辺長の半分(=1.1m)で、数値解析はNewmark-β法による直接積分法、減衰は要素別剛性比例型とする。

(3) 被災度の推定方法

動的非線形解析の結果に基づき、被災度を定量的に推定/表現するため、ここでは、1次応答量である“最大ひずみ”を用いる手法を整理した(表-1)。これは、

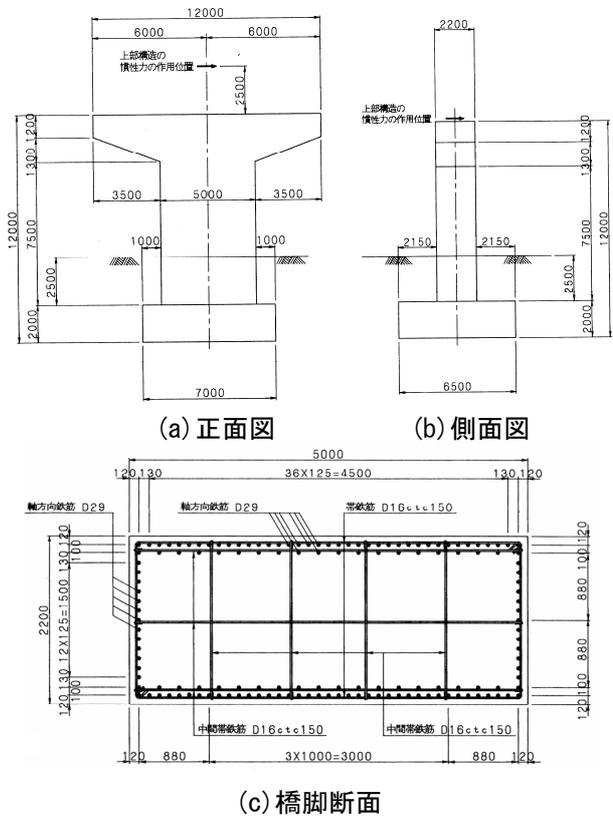


図-1 橋脚部の一般図及び断面配筋図

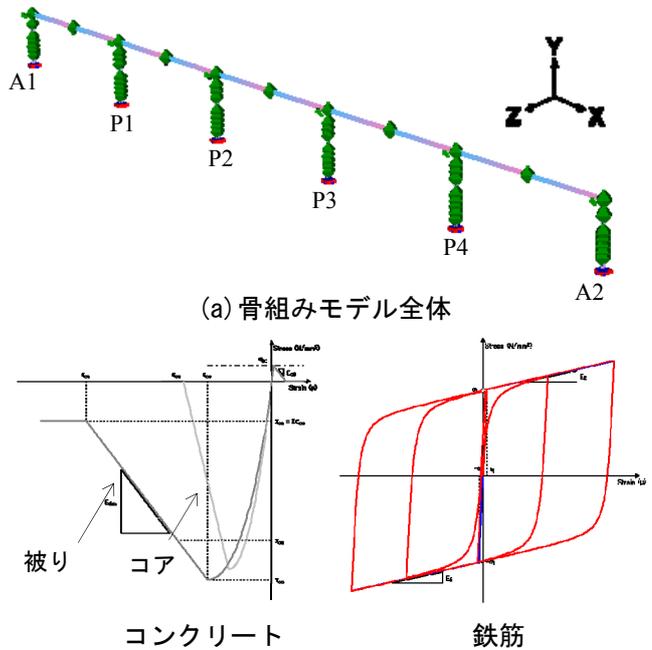


図-2 解析モデル

キーワード 鉄筋コンクリート橋脚, 3次元地震動, ひずみ, 動的非線形応答

連絡先 〒158-0082 東京都世田谷区等々力 8-15-1 東京都市大学総合研究所 TEL 03-5706-3879(直通)

道路震災対策便覧に示される各被災度の外観上の被害を、D：降伏前，C：曲げひび割れ程度，B：被りコンクリートの圧縮破壊，A：コアコンクリートの圧縮破壊と想定し，これらを，被り/コアコンクリートの最大圧縮ひずみを用いて定量的に表したものである。被害予測/事前解析における，客観的な判断指標になることが期待できる。

3. 解析結果

(1) 地震動の入力方向と被災度

NS成分をZ方向に入力した時を，入力角度 $\theta=0^\circ$ とし， 10° 刻みで地震動の入力方向を変化させた。図-3に，新潟県中越地震本震における，K-NET長岡支所の記録を用いた結果の例を示す。同図は， $\theta=10^\circ$ と 120° の時の，柱基部断面の最大圧縮ひずみの分布を表したものである。 $\theta=10^\circ$ では，被りコンクリートの圧縮ひずみ ϵ'_c が ϵ'_{cu} 未満のため，被災度はCと評価される。一方， $\theta=120^\circ$ では，コアコンクリートの圧縮ひずみ ϵ'_c が ϵ'_{cu} を超えたため，被災度はAとなる(この時，最も被災度が大きかった)。地震動の入力角度が，被災度の推定に大きな影響を及ぼすことを示唆するものである。

(2) 加振方法と被災度

前述の結果と，設計基準で多用される水平1方向加振による結果との差異を考察する。1方向加振用の地震動としては，断層から生じる地震動の強さが最も卓越するとされる断層直交方向の地震動とし，これを橋軸方向，橋軸直角方向，それぞれ別々に入力する。この時の結果を，図-4に示す。橋軸直角方向において，3方向同時加振の結果(図-3)と，同じ被災度が得られている。しかし，他のK-NET強震記録(震度6弱以上の8地震30記録)による解析結果を整理すると(表-2)，3方向加振の結果は，1方向加振の結果よりも，被災度が1~2ランク上昇するケースが多い。1方向加振では，被災度を過小評価する可能性が高いものと推察される。

4. まとめ

- ・3次元非線形動的解析の1次応答量である“最大ひずみ”を用いて，被災度を推定/表現する手法を整理した。
- ・K-NET強震記録を用いた3方向同時加振解析から，地震動の入力方向が，被災度推定に大きな影響を及ぼすことを示した。
- ・K-NET強震記録(震度6弱以上の8地震30記録)を用いた検討によると，断層直交方向地震動を用いた1方向加振の解析から得られる被災度は，3方向同時加振の解析によるものより過小評価することを，定量的に示した。

謝辞 本研究の一部は，平成20/22年度科学研究補助金「鉄道施設の地震リスク解析とリスク転嫁策の研究：代表/吉川弘道」の助成にて実施したものである。

表-1 ひずみによる被災度推定方法

被災度	D	C	B	A	As
鉄筋 ϵ_s (引張)	$\epsilon_s \leq \epsilon_y$		$\epsilon_y < \epsilon_s$		
コンクリート ϵ'_c (圧縮)	被り	$\epsilon'_c \leq \epsilon'_{cu}$		$\epsilon'_{cu} < \epsilon'_c$	
	コア	$\epsilon'_c \leq \epsilon'_{cu}$		$\epsilon'_{cu} < \epsilon'_c$	$(0.1 \leq \epsilon'_c)$

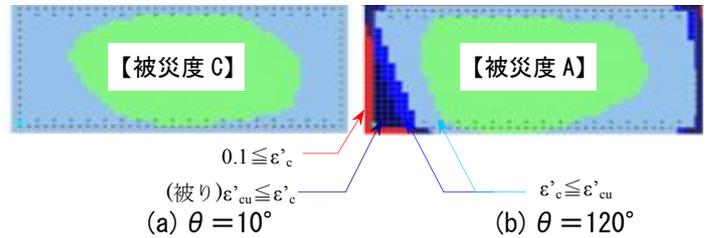


図-3 3次元地震動による3方向加振の結果 (K-NET長岡支所の強震記録による解析結果の例)

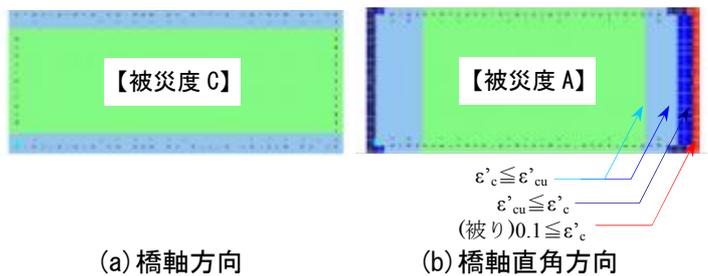


図-4 断層直交方向地震動による1方向加振の結果 (K-NET長岡支所の強震記録による解析結果の例)

表-2 加振方法と被災度の評価結果

3方向同時加振の被災度	①橋軸方向の被災度					
	D	C	B	A	As	
②橋軸直角方向の被災度	D	D~B	C~A	B~As	A~	As
	C	C~A	C~A	B~As	A~	As
	B	B~As	B~As	B~As	A~	As
	A	A~	A~	A~	A~	As
	As	As	As	As	As	As

- ※①：橋軸方向のみに断層直交方向の地震動を作用させた，1方向加振の結果による被災度
- ※②：橋軸直角方向のみに断層直交方向の地震動を作用させた，1方向加振の結果による被災度
- ※表中：強震記録による3方向同時加振の結果による被災度