

動的非線形解析による被災度の推定
橋梁の被災度推定に与える加震方法の影響

学生氏名 荻原 由香里
指導教員 吉川 弘道
青戸 拡起

1. はじめに

地震による構造物への影響は様々で、同じ地震による被害でも構造物によって損傷が大きいものと小さいものがある。この要因の一つに、現存の構造物や活断層の方向は一定ではなく、地震波の入力角度が定まらないことがあげられる。そこで本研究では、地震波の入力角度を変化させながら3次元動的非線形解析¹⁾を行い、入力角度による被災度の差異を検討した。

また図-1 に示すように、地震波の強さは断層の走向直交方向に卓越することが明らかとなっている²⁾。断層の走向直交方向の地震波を用いた1方向からの加震時の結果から、3方向同時加震時の被災度を簡便に推測する手法の提案を行った。

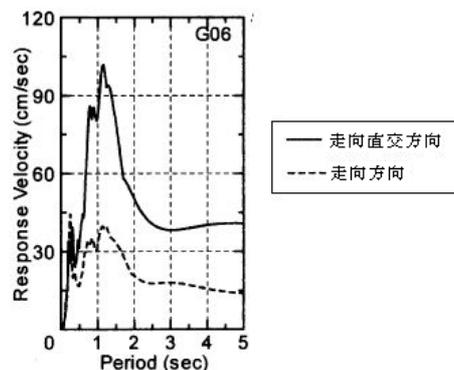


図-1 走向方向と走向直交方向の速度応答スペクトル

2. 解析対象

本研究で使用した構造物の全体図を図-2 に、その諸元を表-1 に示す。

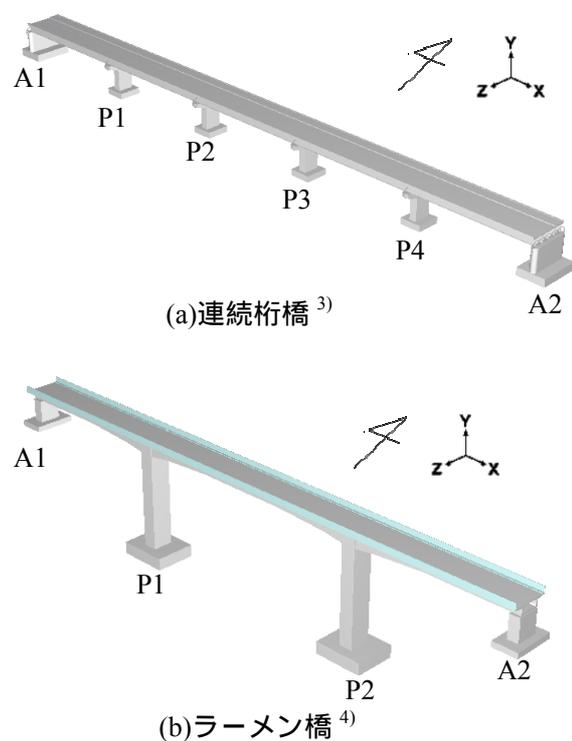


図-2 構造物全体図(θ=0)

表-1 構造物諸元

形式		5 径間連続 免震橋	PC3 径間連続 ラーメン箱げた橋
重要度の区分		B 種の橋	
地域区分		A 地域	
耐震設計上の地域区分		I 種地盤	
地盤条件		N 値 50 (軟岩) の支持層	
活荷重		B 活荷重	
使用 材料	コンクリート	$\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$	$\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$
	鉄筋	SD295	SD345
橋脚		T 型橋脚	柱式橋脚 (充実断面, 段落し無)
基礎		直接基礎	
支承の種類		高減衰積層ゴム支承	—
柱高さ		10.0m	28.0m
スパン		40m×5 径間	47.4m+72.0m+47.4m
幅員		12.0m	10.4m
固有 周期	橋軸方向	0.86 秒	0.96 秒
	橋軸直角方向	0.68 秒	1.15 秒

図中には、入力角度 0 度における、方位と橋梁の関係を示している。本研究では、連続桁橋においては P2 橋脚基部の損傷に、ラーメン橋においては P1 橋脚基部の損傷に着目し、被災度を推定する。

3. 3次元動的非線形解析による被災度の推定

1)解析手法

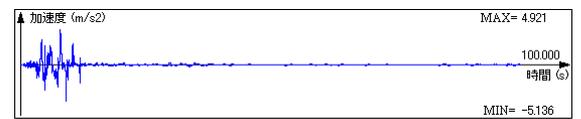
図-2 に示した構造物の動的非線形解析を行い、得られた橋脚断面のひずみ分布図と最大圧縮ひずみから、表-2 に従って被災度を推定する。本研究では、8 種類の地震(岩手・宮城内陸地震,新潟県中越沖地震,能登半島地震,新潟県中越地震,十勝沖地震,三陸南地震,安芸灘地震,鳥取県西部地震)の際に、計測震度 5.5 以上(気象庁震度階級で震度 6 弱以上)を観測した、計 31 箇所の強震記録⁵⁾を使用する。また、図-3 に示す新潟県中越沖地震(柏崎)の地震波のように、本研究で解析に用いる地震波は、水平 2 方向・鉛直の 3 方向とする。

表-2 被災度推定表⁶⁾

ランク		D	C	B	A	As
		無被害	小被害	中被害	大被害	倒壊
損傷状態	コンクリート	無し	無し	無し	無し	無し
		ひび割れ	ひび割れ	ひび割れ	ひび割れ	ひび割れ
		軽微	軽微	軽微	軽微	軽微
				終局	終局	終局
						破壊
		ϵ'_c ϵ'_{cc}	$\epsilon'_{cc} < \epsilon'_c$ ϵ'_{cu}	$\epsilon'_{cu} < \epsilon'_c$		
	カバーコンクリート			コアコンクリート		
	鉄筋	無し	圧縮降伏			
			引張降伏			
		ϵ_s ϵ_y	$\epsilon_s > \epsilon_y$			



(a)EW 成分



(b)NS 成分



(c)UD 成分

図-3 新潟県中越沖地震(柏崎)

2)解析結果

新潟県中越沖地震の強震記録(柏崎,小千谷)による、被災度の推定例を表-3 に示す。

表-3 新潟県中越沖地震被災度一覧

入力角度		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
連続桁橋	柏崎	As	As	A	A	A	A	A	A	A	As	As	As	As	A	As	As	As	As	As
	小千谷	D	D	D	D	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D
ラーメン橋	柏崎	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	小千谷	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

表-3 を見ると、連続桁橋では柏崎と小千谷において、入力角度による被災度が 1 ランク変化している。一方ラーメン橋では、柏崎において被災度が 1 ランク変化するが、小千谷においては変化が見られなかった。

同様に、31 箇所の強震記録から得られた被災度の推定結果より、入力角度による被災度の変化について、以下の 3 タイプに分類できる。

- ・被災度に変化がないタイプ
- ・被災度が 1 ランク変化するタイプ
- ・被災度が 2 ランク変化するタイプ

以上より、入力角度によって、被災度が最大で 2 ランクの変化を生じる可能性が確認された。よって、地震波の入力角度に配慮せずに被災度の推定を行うと、被災度を過小評価してしまう危険性がある。

4. 1方向からの加震による被災度の比較

1)解析手法

断層の走向直交方向を算出するために、図-3 に示す発震機構解⁷⁾を用いる。発震機構解を見ると、地震時の断層の動きなどを知ることができる。図-3 中の NP が断層パラメータで、STR が走向、DIP が傾斜角、SLIP がすべり角を示している。発震機構解から算出した断層の走向直交方向の地震を、構造物に作用させて得られた最大圧縮ひずみとひずみ分布図から被災度を推定する。このとき、地震波を橋軸方向、橋軸直角方向それぞれ別々に作用させる。また、入力角度によって被災度に変化があった3方向同時加震時の結果と比較し、断層の向きと被災度との関連性も検証する。なお、3方向同時加震時の結果は、入力角度ごとの被災度および最大圧縮ひずみが最大となったときのものを用いる。

2)解析結果

一例として新潟県中越沖地震の結果を表-4 に示す。

表-4 加震方法による被災度の比較(新潟県中越沖地震)

(a)柏崎

		柏崎							
		連続桁橋			ラーメン橋				
		損傷状態	ひずみ分布図	被災度	損傷状態	ひずみ分布図	被災度		
1方向からの加震	橋軸方向	カバーコンクリート	破壊		A	カバーコンクリート	軽微		D
		コアコンクリート	終局			コアコンクリート	軽微		
		鉄筋	圧縮降伏			鉄筋	無し		
	橋軸直角方向	カバーコンクリート	破壊		A	カバーコンクリート	軽微		C
		コアコンクリート	終局			コアコンクリート	軽微		
		鉄筋	圧縮降伏			鉄筋	弓形降伏		
3方向同時加震	カバーコンクリート	破壊		As	カバーコンクリート	終局		B	
	コアコンクリート	破壊			コアコンクリート	軽微			
	鉄筋	圧縮降伏			鉄筋	圧縮降伏			

(b)小千谷

		小千谷							
		連続桁橋			ラーメン橋				
		損傷状態	ひずみ分布図	被災度	損傷状態	ひずみ分布図	被災度		
1方向からの加震	橋軸方向	カバーコンクリート	無し		D	カバーコンクリート	ひび割れ		D
		コアコンクリート	無し			コアコンクリート	ひび割れ		
		鉄筋	無し			鉄筋	無し		
	橋軸直角方向	カバーコンクリート	無し		D	カバーコンクリート	ひび割れ		D
		コアコンクリート	無し			コアコンクリート	ひび割れ		
		鉄筋	無し			鉄筋	無し		
3方向同時加震	カバーコンクリート	軽微		C	カバーコンクリート	軽微		D	
	コアコンクリート	軽微			コアコンクリート	軽微			
	鉄筋	弓形降伏			鉄筋	無し			

ここで、表-4(a)の連続桁橋の結果を用いて、被災度推定の一例を示す。1方向からの加震時に、橋軸方向では鉄筋が圧縮降伏しており、コアコンクリートが終局に至っている。よって、このときの被災度は A の大被害と推定される。同様に橋軸直角方向も A の大被害、3方向同時加震時はコアコンクリートが破壊に達しているため、As の倒壊と推定される。

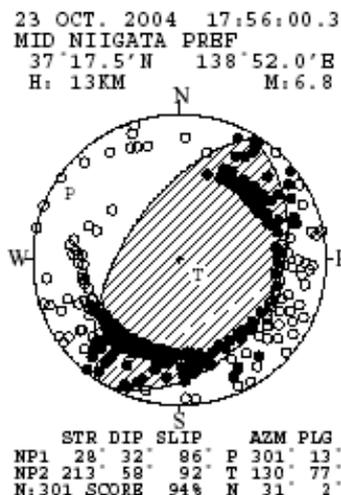


図-3 発震機構解

また、1方向からの加震時と3方向同時加震時の被災度の変化には、いくつかのパターンがあることがわかる。同様に31箇所の強震記録から得られた被災度を比較し、1方向からの加震時と3方向同時加震時の被災度の変化、および規則性の有無を検討していく。

表-5 1方向からの加震による被災度推定表

(a)解析結果一覧

		橋軸方向の被災度				
		D	C	B	A	As
橋軸直角方向 の被災度	D	D, C	C			
	C	C, B	B, A			
	B	A	As			
	A	A			As	
	As		As	As		

表-5に、31箇所の強震記録による被災度の結果を示す。横軸と縦軸の被災度は1方向からの加震時の被災度であり、その交点の被災度は、3方向同時加震時の被災度である。表-5(a)から、1方向からの加震時の被災度が、橋軸方向と橋軸直角方向で一致している場合、3方向同時加震時の被災度は1方向からの加震時の被災度より、最大で2ランク大きくなることが確認できる(表-5(a)中の橋軸方向、橋軸直角方向ともにCの時)。次に、1方向からの加震時の被災度が、橋軸方向と橋軸直角方向で異なる場合、3方向同時加震時の被災度は橋軸方向、橋軸直角方向の被災度のうち、大きい方よりも最大で2ランク大きくなることが確認できる(表-5(a)中の橋軸方向C、橋軸直角方向Bの時)。以上より、1方向からの加震時の被災度を用いることにより、表-5(b)のように3方向同時加震時の被災度を簡便に推測できると考えられる。

(b)1方向加震による被災度の推測

		橋軸方向の被災度				
		D	C	B	A	As
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

5. まとめ

本研究で行った1方向からの加震には、強度が最も大きい断層の走向直交方向の地震波を用いた。しかし表-5(a)のように、1方向からの加震のみでは3方向同時加震時の被災度を、過小評価してしまう危険性がある。よって3方向同時加震における被災度の推定が重要となる。

しかし、3方向同時加震における被災度の推定は、入力角度への配慮が必要でデータ量が膨大となり、被災度を推定するまでに時間を要する。そのため本研究では、1方向からの加震による被災度から、表-5(b)に従って3方向同時加震時の被災度を推定することを提案した。これにより容易に被災度を推定できるようになり、その結果をもとに耐震補強工事などを行えば、地震時の建造物の損傷を大幅に軽減できると考えられる。

【参考文献】

- 1) 株式会社 FORUM8 : UC-win/F-RAME(3D) Ver.3
- 2) 広島大学大学院工学研究科 : 神野達夫 三浦賢治, 強震記録に見られる断層破壊の指向性効果とその地震波特性への影響, 平成 18 年 12 月
- 3) 社団法人 日本道路協会 : 道路橋の耐震設計に関する資料, 平成 9 年 3 月
- 4) 社団法人 日本道路協会 : 道路橋の耐震設計に関する資料 - PC ラーメン橋・RC アーチ橋・PC 斜張橋・地中連続壁基礎・深礎基礎等の耐震設計計算例 -, 平成 10 年 1 月
- 5) 防災科学技術研究所 : 強震ネット K-NET, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 6) 社団法人 日本コンクリート工学協会 : コンクリート建造物の災害復旧・耐震補強技術と事例, 平成 10 年 8 月
- 7) 気象庁ホームページ 気象統計情報, 発震機構, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/index.html>