

兵庫県南部地震、想定東海東南海複合型地震、東北地方太平洋沖地震の地震波を用いた  
RC 橋脚の地震応答解析

指導教員 岩本政巳 准教授

瀧能 直紀

### 1. はじめに

過去の地震において、内陸直下型地震の兵庫県南部地震は土木構造物等に大きな被害をもたらした。また、海溝型巨大地震の東北地方太平洋沖地震は地震と共に大きな津波が発生し、三陸沿岸から関東地方沿岸にかけて壊滅的な被害をもたらした。今後高い確率で発生するとされている想定東海東南海複合型地震は海溝型巨大地震であり、非常に広い範囲に大きな被害を与えると予測されている。本研究では、兵庫県南部地震、想定東海東南海複合型地震、東北地方太平洋沖地震の地震波の特徴を明らかにした上でRC橋脚の地震応答解析を行い、RC橋脚に及ぼす影響を調べる。

### 2. 解析対象

解析対象は表1に示す4種のRC橋脚である。道路橋2種類(α橋とβ橋)の橋脚は1本柱形式、鉄道橋2種類(第3愛宕高架橋と第5猪鼻高架橋)の橋脚はラーメン形式である。

表1 解析対象構造物の概要

	橋脚高さ (m)	柱幅 (m×m)	固有周期 (s)
α橋(3径間道路橋)	10.935	1.5×15.984	0.298
β橋(3径間道路橋)	24.5	3.5×11.6	1.140
第3愛宕高架橋R2端部	7.5	0.85×0.85	0.256
第5猪鼻高架橋R12中間部	9	1.0×1.0	0.300

### 3. 入力地震動

入力地震動として、兵庫県南部地震の地震波を4波形、想定東海東南海複合型地震の地震波を4波形、東北地方太平洋沖地震の地震波を5波形用いる。本研究では地震動継続時間と周期特性による影響を調べるため、地震波の計測震度を5.6に振幅調整した。それぞれの地震波の概要を表2に示す。地震波の時刻履歴より、兵庫県南部地震では強い地震動がすぐに終わるのに対し、想定東海東南海複合型地震と東北地方太平洋沖地震では強震継続時間が比較的長い。スペクトル解析を行った結果を見る限り、全ての地震動において小さな値の周期が卓越していた。その中でも東北地方太平洋沖地震の築館で記録された地震動は、極短周期地震動といえるくらい非常に小さい値の周期、0.5秒以下の周期が卓越していた。兵庫県南部地震と東北地方太平洋沖地震の仙台での記録の地震動は、ピーク以外の周期の値が非常に小さく、スペクトル特性が似たようなものであった。また、想定東海東南海複合型地震の地震波は、ピークとなる周期よりも長周期の成分の値において、他の地震波に比べて大きかった。

表2 入力地震波の概要

	番号	観測地点	計測震度	最大加速度 (gal)	T90 (s)	卓越周期 (s)
兵庫県南部地震	①	神戸	6.1	339.34	9.52	0.70
	②	神戸	6.2	389.01	8.34	0.69
	③	伏見	4.5	525.71	25.76	0.90
	④	中ノ島	4.6	325.84	19.24	1.87
想定東海東南海複合型地震	⑤	名古屋	5.2	371.07	67.52	0.69
	⑥	豊橋	5.7	374.76	50.26	0.70
	⑦	四日市	5.3	375.40	77.78	0.71
	⑧	津	5.5	417.83	81.74	0.71
東北地方太平洋沖地震	⑨	仙台	6.3	767.79	106.72	0.67
	⑩	仙台	6.3	713.98	89.54	0.99
	⑪	仙台	6.3	552.10	103.67	0.29
	⑫	築館	6.6	831.69	84.70	0.24
	⑬	築館	6.6	1465.46	64.07	0.12

### 4. 解析方法

本研究では対象となる橋脚を平面骨組みモデルとし、節点とはり要素から成る構造にモデル化し道路橋には橋軸方向、鉄道橋には橋軸直角方向に地震動を入力し地震応答解析を行う。数値解析にはニューマークβ法を用いる。構造物の減衰に関してはレイリー減衰を用い、減衰定数は0.02とする。道路橋のモデル化では、桁と橋脚横張り部は線形要素を用い、橋脚柱部には非線形要素を用いる。鉄道橋のモデル化では、各橋脚柱部材、上層ばりおよび下層ばりに非線形要素を用い、橋脚とはりとの接合部分では線形要素を用いる。橋脚とフーチングの境界で起こる軸方向鉄筋の抜け出しによる変位の増加現象を非線形の回転バネにより表現した。橋脚柱

部の非線形要素の復元力モデルにはひび割れ限界、降伏限界、終局限界からなる曲げモーメントー曲率関係のトリリニアモデルを採用する。地震応答解析では各節点における変位と各はり要素に作用する曲げモーメント、曲率が得られる。また、得られた曲率と別途算定した部材の降伏曲率から塑性率を算出し、履歴エネルギーは部材の履歴応答により算出する。

## 5. 解析結果

地震応答解析によって得られた解析結果の変位、曲げモーメントー曲率関係、履歴エネルギーの時刻歴の一例を図1に示す。これは、第5猪鼻高架橋 R12 中間部に⑪の地震波を入力したときの解析結果である。変位については橋脚上端、曲げモーメントと曲率については橋脚下端において検証した。

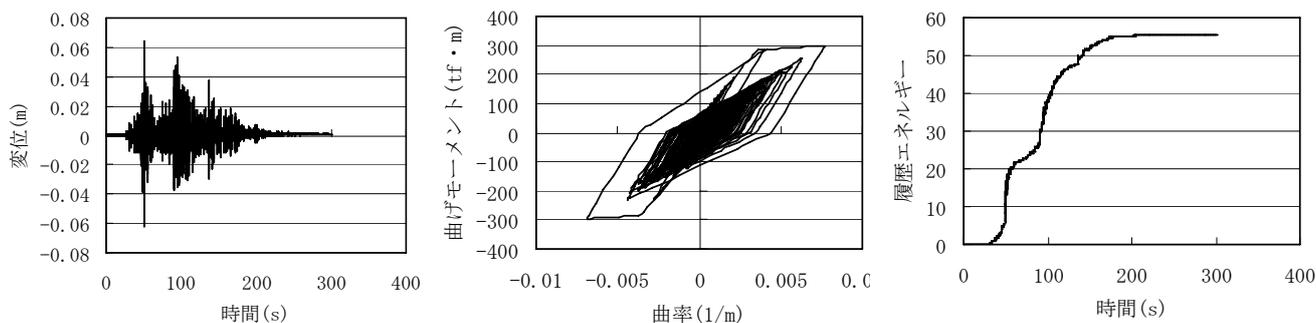


図1 時刻歴応答の例

地震応答解析の解析結果において、塑性率と履歴エネルギーに着目したものを表3に示す。どの橋脚においても兵庫県南部地震では履歴エネルギーは小さいが塑性率は大きくなり、想定東海東南海複合型地震では塑性率、履歴エネルギーともに大きくなる。東北地方太平洋沖地震では、仙台と築館での記録により大きな違いが生じた。仙台の記録では、塑性率、履歴エネルギーともに比較的大きくなり、築館での記録では、塑性率、履歴エネルギーともに小さくなるという傾向があることがわかった。β橋においては、いくつかのケースで履歴エネルギーが非常に大きくなっているが、これはβ橋の固有値解析の結果と地震波のスペクトル解析の結果から共振によるものだと考えられる。また、スペクトル特性が似ている兵庫県南部地震と東北地方太平洋沖地震の仙台の記録による解析結果は比較的似たようなものとなったが、履歴エネルギーには大きな差が生じた。この原因は、地震動の継続時間の違いによるものだと考えられる。地震応答解析の結果を見ると、東北地方太平洋沖地震の築館での記録の地震波は構造物に大きな影響を与えていないが、この地震波のスペクトル解析の結果より非常に小さな値の周期が卓越しているため、構造物への影響が小さかったと考えられる。

表3 塑性率と履歴エネルギーの解析結果

	α橋		β橋		第3愛宕高架橋R2端部		第5猪鼻高架橋R12中間部	
	塑性率	履歴エネルギー	塑性率	履歴エネルギー	塑性率	履歴エネルギー	塑性率	履歴エネルギー
①	2.79	54.35	0.75	130.90	0.73	7.61	0.79	6.85
②	3.51	59.71	1.51	247.20	2.27	13.11	1.78	11.59
③	2.76	105.31	2.01	812.20	0.83	16.95	0.90	14.06
④	2.76	55.56	1.63	775.20	1.06	9.47	0.92	11.44
⑤	4.12	205.92	1.37	586.10	1.85	48.44	1.96	49.15
⑥	4.72	166.12	1.24	568.10	2.36	43.16	2.60	40.18
⑦	4.12	264.29	1.24	551.90	2.11	51.98	2.48	57.43
⑧	4.39	204.90	0.76	373.80	2.78	57.36	2.61	53.20
⑨	2.76	260.10	0.98	900.70	1.98	41.46	1.06	45.75
⑩	4.10	159.90	1.00	317.80	0.82	19.73	1.87	32.77
⑪	3.92	240.10	0.68	446.10	1.48	61.69	2.18	55.32
⑫	0.75	53.21	0.75	391.20	1.21	19.89	0.77	17.60
⑬	0.24	14.28	0.34	165.30	0.30	4.41	0.21	3.50

6. まとめ

本研究では、兵庫県南部地震、想定東海東南海複合型地震、東北地方太平洋沖地震の地震波の特徴を明らかにした上でRC橋脚の地震応答解析を行った。東北地方太平洋沖地震の地震波は一般的に言われている海溝型地震のように長周期成分が卓越しているわけではなく、今回用いた東北地方太平洋沖地震の築館での地震波はRC橋脚に被害を与えにくい周期特性であった。