

東北地方太平洋沖地震による鉄道高架橋の被害分析

指導教官 岩本 政巳 准教授

高田稔之

1. はじめに

2011年3月11日に起きた海溝型巨大地震の東北地方太平洋沖地震は、構造物への影響が小さい地震波であるとされてきたが、実際には被害についても明らかになってきた。本研究では、この地震に注目し、地震動の性質を把握したうえで、RC新幹線鉄道高架橋を対象に地震応答解析を行い、実被害との比較を行った。また、比較のために振幅調整した1968年十勝沖地震と兵庫県南部地震の地震波をそれぞれ入力し、解析を行った。

2. 解析対象とする高架橋とモデル化

解析対象とする構造物は、東北地方太平洋沖地震での被害が明らかになっている鉄道橋脚で、表-1に示す6種類である。モデル化するに当たり、鋼板巻き立てによる補強が行われていた第3愛宕高架橋R2に関しては、断面二次モーメントが等しくなるように鉄筋量を増やし、詳細な図面の手に入らなかった、第1中曽根高架橋に関しては、同様の構造形式の第3愛宕高架橋の、矢巾南高架橋・第2谷地高架橋に関しては、同様の構造形式である阪水高架橋R5端部の図面を元にモデル化を行った。

表-1 モデル概要

構造物名	橋脚高さ(m)	柱幅(m×m)	固有振動数(Hz)
第3愛宕R2	7.5	0.85×0.85	6.41
第3愛宕R4	9.2	1.05×1.05	3.97
第5猪鼻R12	8.1	1.0×1.0	3.45
第1中曽根R4	7.5	0.85×0.85	5.72
矢巾南BLR6.....	10.6	0.90×0.90	4.15
第2谷地BLR2			

3. 解析方法

ラーメン高架橋を節点と梁要素からなる橋軸直角方向の平面骨組みモデルとし、地震応答解析を行った。高架橋の梁と橋脚の接合部周辺は剛体要素とし、それ以外の部分は非線形要素とした。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。減衰はレイリー減衰とし、減衰定数は0.02とした。橋脚断面の復元力特性は、鉄道構造物設計基準・同解説を参考にした曲げモーメント-曲率関係のトリリニアモデルを採用した。数値解法にはNewmark-β法を用いた。履歴エネルギーは部材の履歴応答により算出した。

4. 入力地震波のスペクトル解析

入力地震動として、対象構造物付近で観測された東北地方太平洋沖地震の地震波を全部で3波形、それらの震度と等しくなるよう振幅調整した1968年十勝沖地震、兵庫県南部地震の地震波をそれぞれ3波形ずつ用いた。地震波加速度データを連続ウェーブレット変換、パワー・スペクトルを用いて解析を行い、地震波の特性を調べた。各入力地震波の概要を表-2に示す。

表-2 入力地震波概要

地震波	観測点	震度	最大加速度(gal)	卓越振動数(Hz)
東北地方太平洋沖地震	① 岩手県 盛岡市	4.8	249	3.55~4.98, 7.76~9.20
	② 岩手県 花巻市	5.0	189	0.87, 1.96~2.96
	③ 岩手県 北上市	5.6	455	1.14, 3.32~4.41
1968年十勝沖地震	④	4.8	126	0.32~1.14
	⑤ 青森県 青森市	5.0	160	
	⑥	5.6	320	
兵庫県南部地震	⑦	4.8	135	0.95~1.48, 2.20~2.92
	⑧ 兵庫県 神戸市	5.0	170	
	⑨	5.6	339	

表-2に示す。

ウェーブレット変換、パワー・スペクトルにより検出した卓越振動数を見てみると東北地方太平洋沖地震では概ね1~4Hz、1968年十勝沖地震では、0.3~1Hz、兵庫県南部地震では1~3Hzが卓越しており、長周期地震動として有名な1968年十勝沖地震で、長周期成分が卓越していることが確認できる。ウェーブレット変換の結果から、東北地方太平洋沖地震では、振動数が広範囲に分布している状態が90秒程度と

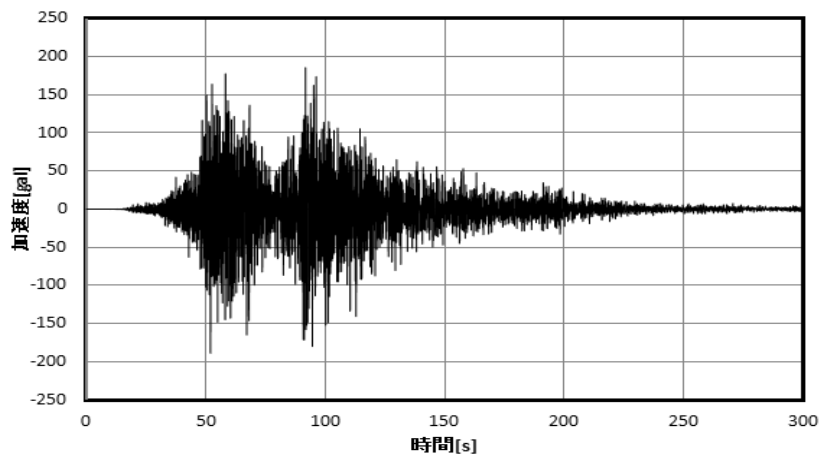


表-1 東北地方太平洋沖地震の地震波

長く続いていることがわかる。東北地方太平洋沖地震の地震波形を、図-1に、ウェーブレット変換の結果を図-2に示す。

5. 地震応答解析の結果と被害分析

各高架橋に地震応答解析を行ない、実被害との比較を行った。また同震度の異なる地震波を入力し、応答の比較を行なった。解析結果を表-3に示す。

実被害との比較については、解析の方のせん断力が大きめに出る傾向があったものの、曲げについては全体としてよく再現できていた。なお、実被害の調査結果は、岩手県内コンクリート構造物被害調査報告書を参照した。また、同じ構造物モデルにおける入力地震波の違いによる被害の大小に関して、いずれのモデルでも東北地方太平洋沖地震の地震波を入力した際に最も高い塑性率や履歴エネルギーを記録した。これは、この地震波が幅広い振動数の揺れを長い時間保ったために、多くの構造物で共振が発生したためであると考えられる。今回の解析では、対象構造物の固有振動数が比較的高かったため、一般に被害が大きくなるとされる長周期地震動の1968年十勝沖地震では共振は確認できず、同じ震度の兵庫県南部地震と被害の大きさがあまり変わらないという結果となった。

7. まとめ

本研究では材料非線形性を考慮した解析を用い、鉄道高架橋の被害の検証と地震波の違いが被害分析においてどのような影響を及ぼすかを検証した。本解析を用いることで破壊形態については概ね再現できると思われる。また、他の地震波に比べ被害が大きくなった地震波については共振の可能性があったことが確認できた。しかし、地震波を受けている構造物の固有振動数がどのように変化していくかを探るかという問題にも今後取り組まなければならない。その問題点を解決していくことによって、より正確な地震被害分析を行うことができるであろう。尚、この研究では防災科学技術研究所の強振観測網のデータを使用させていただきました。

参考文献

[1] 三木朋広ほか：岩手県内コンクリート構造物被害調査報告書 2011年
http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/concrete_iwate_nols_v2.pdf

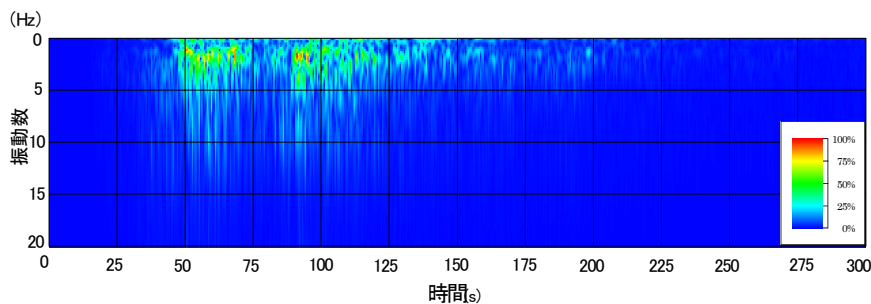


図-2東北地方太平洋沖地震のウェーブレット変換

表-3 解析結果

構造物名	入力地震波	塑性率	せん断耐力比	中層梁せん断耐力比	履歴エネルギー	解析破壊形態	実破壊形態
第3愛宕 R2	㊸	0.25	0.53		39	ひび割れ	被害なし
	㊹	0.09	0.23		3.0	ひび割れ	
	㊺	0.08	0.21		1.0	ひび割れ	
第3愛宕 R4	㊸	0.82	0.50		193	ひび割れ	橋脚でひび割れ
	㊹	0.40	0.29		25	ひび割れ	
	㊺	0.59	0.38		27	ひび割れ	
第5猪鼻 R12	㊻	0.47	0.35		41	ひび割れ	被害なし
	㊼	0.29	0.25		13	ひび割れ	
	㊽	0.46	0.35		18	ひび割れ	
第1中曽根 R4	㊾	2.87	1.24		449	鉄筋降伏	かぶり剥落
	㊿	0.43	0.54		27	ひび割れ	
	㊽	0.45	0.56		12	ひび割れ	
矢巾南 R6	㊿	0.39	0.69	0.92	91	中層梁で鉄筋降伏	中層梁でせん断ひび割れ
	㊽	0.14	0.35	0.40	4.0	ひび割れ	
	㊾	0.12	0.31	0.36	1.6	ひび割れ	
谷地 R2	㊾	0.68	0.98	0.95	516	中層梁で鉄筋降伏	中層梁でせん断ひび割れ
	㊿	0.49	0.79	0.80	95	中層梁で鉄筋降伏	
	㊽	0.67	0.96	0.94	109	中層梁で鉄筋降伏	