

I -34

北海道の3大地震で記録された強震波形の上下動に関する伝達特性について

パシフィックコンサルタンツ(株) 正員 小杉貴之
開発土木研究所 正員 小林 将
開発土木研究所 正員 島田 武
専修大学道短大 正員 金子孝吉

1. はじめに

地震による構造物への影響は一般に水平動と比較して上下動の方が小さいとされている。
しかしながら、平成7年に発生した兵庫県南部地震により、震源域に近い地域では上下方向地震動が大きくなる可能性があることがわかった。
平成8年に改訂された道路橋示方書では、一般的な橋梁で上下動の影響を大きく受けられると思われる支承部の設計において、鉛直震度の見直しを行っている。
そこで、地表面の上下動に対して構造物(橋脚、橋台)の上下動がどのような振動特性を持っているかを把握するため、近年、北海道内で大きな被害を発生させた3大地震の強震波形を用いて分析を試みたので報告する。

2. 解析に用いた強震波形

解析に用いたのは、釧路沖地震(M7.8:1993年発生)、北海道南西沖地震(M7.8:1993年発生)、北海道東方沖地震(M8.1:1994年発生)により得られた強震記録のうちの上下動加速度波形で、表-1は観測地点である北海道内の橋梁14カ所の震央距離と観測された上下動の最大加速度を示したものである。

表-1 3大地震の上下動最大加速度

橋梁名	地盤種別	東方沖地震		釧路沖地震		南西沖地震	
		震央距離(km)	上下動最大加速度(gal)	震央距離(km)	上下動最大加速度(gal)	震央距離(km)	上下動最大加速度(gal)
札幌IC高架橋	Ⅲ	509.76	24.94	243.71	40.00	184.04	25.79
七峰橋	I	647.43	5.63	—	—	155.63	96.78
石狩河口橋	Ⅲ	513.45	8.84	250.88	10.87	182.56	11.96
千代田大橋	Ⅲ	352.14	76.66	81.74	70.04	—	—
広尾橋	I	—	—	109.31	177.96	—	—
温根沼大橋	Ⅲ	177.94	378.44	100.29	114.45	—	—
大楽毛橋	Ⅱ	280.73	101.94	20.67	17.85	—	—
新石狩大橋	Ⅲ	500.55	15.66	—	—	193.79	27.53
島松沢橋	Ⅱ	—	—	232.59	26.38	—	—
錦岡橋	Ⅱ	510.58	28.66	—	—	—	—
新浜厚真橋	Ⅲ	—	—	—	—	217.73	8.58
札幌大橋	Ⅲ	—	—	243.98	4.80	—	—
斜里大橋	Ⅲ	—	—	119.38	54.52	—	—
上島崎橋	I	—	—	—	—	140.55	27.68

Characteristics of Vertical Motion Transfer with the 3 Big Earthquake in Hokkaido
by Masaru KOBAYASHI, Takeshi SHIMADA, Takakichi KANEKO, and Takayuki KOSUGI

3. 解析手法

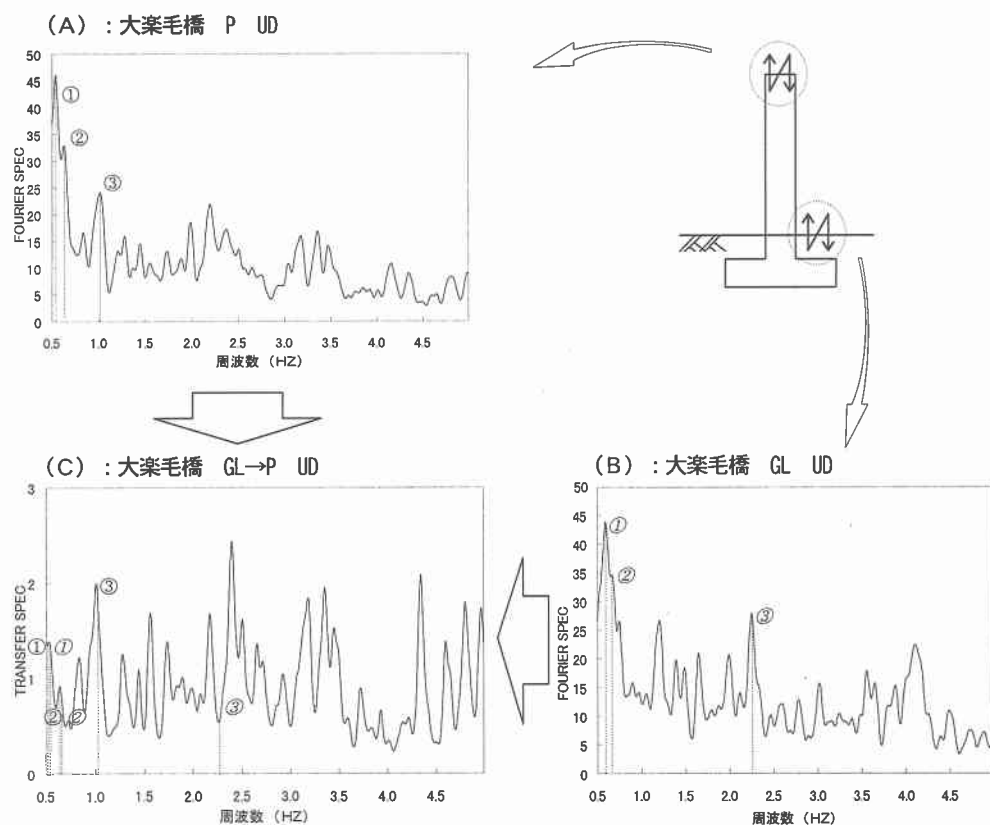
今回の解析では、まず、3大地震による地表面と構造物〔橋脚（橋台）沓座面〕の上下動の加速度波形データについて全てフーリエスペクトル解析を行った。

図－1は釧路沖地震による大楽毛橋のスペクトル解析結果で、橋脚沓座面の上下動のスペクトル図を（A）に、地表面の上下動のスペクトル図を（B）に示す。

また、地表面から橋脚への伝達関数〔スペクトル比〕を求めたのが（C）である。

解析した結果を整理するにあたり、（A）及び（B）図から地表面と橋脚におけるピーク値上位3点を抽出し、各々のピーク値に対応する周波数について伝達関数を集計した。

周波数領域は通常の橋梁の設計における固有周期の範囲、約0.2s～2sに相当する周波数として0.5～5Hzで範囲設定している。



図－1 地表面から橋脚への上下動伝達関数
(フーリエスペクトル比)

4. 分析結果と考察

先の手法により求めた、全橋梁分の上下動のスペクトル解析及び地表から構造物への伝達関数算出結果の総括を表－2に示す。

震央距離の相違等により、3大地震とも記録されているのは、札幌IC高架橋、七峰橋、石狩河口橋の3橋で他の橋梁は3大地震全てのデータを反映することが出来なかった。

表から、伝達関数の倍率を見ると、1倍を大きく上回るものと、下回るものがあることがあり、また、卓越周波数も様々ではないことが分かる。

表－２　３大地震による地表から構造物への上下動伝達関数

東方沖地震					橋名	釧路沖地震					橋名	南西沖地震				
FOURIER SPEC			TRANSFER SPEC			FOURIER SPEC			TRANSFER SPEC			FOURIER SPEC			TRANSFER SPEC	
橋名	位置	周波数 (Hz) 振幅 (gal)	位置	倍率		位置	周波数 (Hz) 振幅 (gal)	位置	倍率	橋名		位置	周波数 (Hz) 振幅 (gal)	位置	倍率	
札幌C 高架橋	P	(1) 0.92 10.44	P	(1) 1.01	札幌C 高架橋	P	(1) 0.51 22.69	P	(1) 0.55	札幌C 高架橋	P	(1) 0.93 14.62	P	(1) 1.05		
	(2) 1.31 8.64	(2) 0.90	(2) 0.75 20.31	(2) 0.64		(2) 0.72 14.61	(2) 1.03	(2) 0.83 14.61	(2) 1.03							
	(3) 1.57 7.86	(3) 0.84	(3) 0.61 17.79	(3) 0.74		(3) 0.83 14.61	(3) 0.75	(3) 0.85 18.08	(3) 0.75							
	(4) 4.37 11.28	(4) 0.61	(4) 0.86 93.48	(4) 0.10		(4) 0.85 18.08	(4) 0.42	(4) 0.68 17.25	(4) 0.70							
	GL	(2) 3.38 10.73	GL	(2) 0.40		GL	(2) 1.03 64.47	GL	(2) 0.20		GL	(2) 0.68 17.25	GL	(2) 0.70		
七峰橋	(3) 0.91 10.29	(3) 1.00	七峰橋	(3) 1.14 5.74	(3) 1.01	七峰橋	(3) 1.02 4.16	(3) 1.70	七峰橋	(3) 1.40 78.06	(3) 2.71	七峰橋	(3) 1.28 17.20	(3) 0.42		
	P	(2) 0.96 5.62		P	(2) 0.95		P	(2) 0.52 3.28		P	(2) 2.93		P	(2) 3.11 73.19	P	(2) 6.35
	(3) 4.67 4.35	(3) 4.60		(3) 1.26 2.84	(3) 5.80		(3) 1.28 67.33	(3) 1.90								
	(1) 0.96 5.82	(1) 0.95		(1) 3.72 0.13	(1) 2.10		(1) 2.12 60.30	(1) 0.61								
	GL	(2) 1.14 5.60		GL	(2) 1.01		GL	(2) 3.86 0.13		GL	(2) 2.88		GL	(2) 4.16 58.51	GL	(2) 0.73
石狩 河口橋	(3) 1.68 5.27	(3) 0.75	石狩 河口橋	(4) 0.89 14.07	(4) 0.95	石狩 河口橋	(3) 4.10 0.12	(3) 3.11	石狩 河口橋	(3) 2.17 53.59	(3) 0.65	石狩 河口橋	(1) 1.20 0.10	(1) 0.01		
	P	(2) 0.82 12.10		P	(2) 1.36		P	(2) 0.52 0.41		P	(2) 0.03		P	(2) 1.52 0.07	P	(2) 0.01
	(3) 0.96 11.67	(3) 1.39		(3) 1.29 0.34	(3) 0.07		(3) 1.82 0.06	(3) 0.02								
	(1) 0.90 14.77	(1) 0.93		(1) 0.65 15.52	(1) 0.02		(1) 0.51 16.30	(1) 0.01								
	GL	(2) 0.73 14.07		GL	(2) 0.53		GL	(2) 0.95 13.55		GL	(2) 0.02		GL	(2) 0.66 15.63	GL	(2) 0.01
千代田 大橋	(3) 1.04 12.43	(3) 0.64	千代田 大橋	(4) 1.17 64.97	(4) 1.81	千代田 大橋	(3) 1.11 12.34	(3) 0.02	千代田 大橋	(3) 0.73 12.52	(3) 0.01	千代田 大橋	(1) 1.14 0.09	(1) 0.02		
	P	(2) 3.63 55.48		P	(2) 2.75		P	(2) 0.72 72.53		P	(2) 2.30		P	(2) 1.41 0.07	P	(2) 0.01
	(3) 0.89 47.48	(3) 0.78		(3) 0.88 57.33	(3) 4.48		(3) 1.74 0.06	(3) 0.01								
	(1) 0.88 63.96	(1) 0.71		(1) 0.67 44.56	(1) 0.70		(1) 3.07 22.42	(1) 0.00								
	GL	(2) 1.06 59.12		GL	(2) 0.50		GL	(2) 0.81 36.90		GL	(2) 1.25		GL	(2) 2.28 18.89	GL	(2) 0.00
広尾橋	(3) 0.56 42.95	(3) 0.95	広尾橋	(4) 0.53 8.88	(4) 0.80	広尾橋	(3) 0.62 34.56	(3) 1.43	広尾橋	(3) 2.99 18.35	(3) 0.00	広尾橋	(1) 0.50 136.36	(1) 5.59		
	A	(2) 2.78 7.88		A	(2) 0.62		A	(2) 1.71 71.58		A	(2) 0.73		A	(2) 0.59 100.68	A	(2) 5.13
	(3) 2.12 7.63	(3) 0.82		(3) 2.67 52.72	(3) 0.50		(3) 1.25 98.49	(3) 6.14								
	(1) 2.89 26.77	(1) 0.06		(1) 2.33 175.76	(1) 0.26		(1) 0.76 25.85	(1) 2.84								
	GL	(2) 3.67 26.48		GL	(2) 0.06		GL	(2) 3.75 165.89		GL	(2) 0.20		GL	(2) 1.25 24.47	GL	(2) 4.78
温根沼 大橋	(3) 2.48 25.32	(3) 0.09	温根沼 大橋	(4) 4.77 108.47	(4) 0.43	温根沼 大橋	(2) 2.16 157.22	(2) 0.26	温根沼 大橋	(3) 0.86 23.03	(3) 3.58	温根沼 大橋	(1) 2.28 150.12	(1) 4.07		
	P	(2) 4.55 95.16		P	(2) 0.55		P	(2) 0.54 4.91		P	(2) 0.06		P	(2) 1.80 113.61	P	(2) 2.70
	(3) 2.27 86.09	(3) 0.95		(3) 0.78 3.90	(3) 0.03		(3) 1.41 111.03	(3) 2.25								
	(1) 4.80 289.82	(1) 0.35		(1) 0.85 151.09	(1) 0.01		(1) 0.92 80.72	(1) 0.97								
	GL	(2) 4.56 181.12		GL	(2) 0.51		GL	(2) 0.93 150.34		GL	(2) 0.01		GL	(2) 2.80 63.24	GL	(2) 0.79
大栗毛橋	(3) 4.65 168.96	(3) 0.46	大栗毛橋	(4) 4.80 289.82	(4) 0.35	大栗毛橋	(3) 1.01 144.19	(3) 0.01	大栗毛橋	(3) 0.64 63.16	(3) 1.23	大栗毛橋				
	P	(1) 3.15 63.80		P	(1) 2.64		P	(1) 0.54 46.11		P	(1) 1.38					
	(2) 2.82 55.91	(2) 1.93		(2) 0.63 33.02	(2) 0.89											
	(3) 2.22 52.54	(3) 0.92		(3) 1.01 24.25	(3) 1.99											
	GL	(2) 2.22 57.44		GL	(2) 0.91		GL	(2) 0.59 43.94		GL	(2) 0.69					
新石狩 大橋	(3) 0.60 47.01	(3) 0.93	新石狩 大橋	(4) 0.72 41.01	(4) 0.75	新石狩 大橋	(2) 0.67 34.60	(2) 0.68	新石狩 大橋			新石狩 大橋				
	(1) 2.38 40.03	(1) 7.72		(3) 2.25 28.02	(3) 0.56											
	A	(2) 1.89 35.87		A	(2) 2.66		(1) 1.66 38.66	(1) 1.64								
	(3) 3.39 29.52	(3) 3.55		(2) 1.88 21.39	(2) 1.32											
	GL	(2) 1.04 14.79		GL	(2) 1.19		(3) 1.97 19.46	(3) 0.90								
鶴岡橋	(3) 1.89 13.64	(3) 2.56	鶴岡橋	(4) 4.05 20.68	(4) 1.85	鶴岡橋	(4) 1.15 50.03	(4) 0.29	鶴岡橋			鶴岡橋				
	P	(2) 3.85 20.42		P	(2) 1.82		P	(2) 0.80 49.04		P	(2) 0.23					
	(3) 0.99 19.68	(3) 0.90		(3) 1.20 47.69	(3) 0.21											
	(1) 0.98 22.25	(1) 0.87		(1) 0.51 5.45	(1) 0.81											
	GL	(2) 3.20 19.29		GL	(2) 0.50		(2) 1.37 5.36	(2) 1.09								
新浜厚真 橋	(3) 3.11 19.20	(3) 0.84	新浜厚真 橋	(4) 1.07 12.85	(4) 0.96	新浜厚真 橋	(4) 0.51 6.62	(4) 0.81	新浜厚真 橋			新浜厚真 橋				
	P	(2) 0.86 9.49		P	(2) 0.70		P	(2) 1.10 5.01		P	(2) 0.79					
	(3) 1.07 12.85	(3) 0.96		(3) 1.39 4.85	(3) 1.07											
	(1) 0.86 9.49	(1) 0.70		(1) 3.05 45.57	(1) 2.35											
	GL	(2) 1.02 17.81		GL	(2) 0.63		A	(2) 3.23 42.72		A	(2) 4.15					
札幌C 高架橋	(3) 1.16 13.01	(3) 0.46	札幌C 高架橋	(4) 1.02 17.81	(4) 0.60	札幌C 高架橋	(3) 0.68 42.19	(3) 0.72	札幌C 高架橋			札幌C 高架橋				
	P	(2) 0.87 14.21		P	(2) 0.63		P	(2) 1.84 99.64		P	(2) 0.21					
	(3) 1.16 13.01	(3) 0.46		(3) 2.04 91.94	(3) 0.22											
				(4) 1.84 99.64	(4) 0.21											
				GL	(2) 2.04 91.94		GL	(2) 0.32								

〔表中の GL：地表面、A：橋台、P：橋脚、GL→P (A)：地表から橋脚 (橋台) への伝達関数を表す〕

更に、上表をもとにグラフ化したものを図－２に示す。

上から、東方沖地震、釧路沖地震、南西沖地震の結果であり、横軸を周波数とし、縦軸には伝達関数の倍率を１倍を中心に上下に対数表示としている。

(図中、地表面でのピーク値の倍率を▲、構造物のピーク値の倍率を○で表す)

図－２より地表から構造物への上下動の伝達に関し以下の様な特徴が分る。

- ①周波数が 0.5 ～ 2 Hz 程度の範囲で構造物と地盤のスペクトル比の特性がほぼ決定される
- ②構造物の卓越周波数 (○印) におけるスペクトル比は地表面の卓越周波数 (▲印) のそれよりも大きな値を示すものが多い
- ③橋梁構造物の特殊性により 2 Hz 以上の高い周波数にもスペクトル比のピークを有するところがある

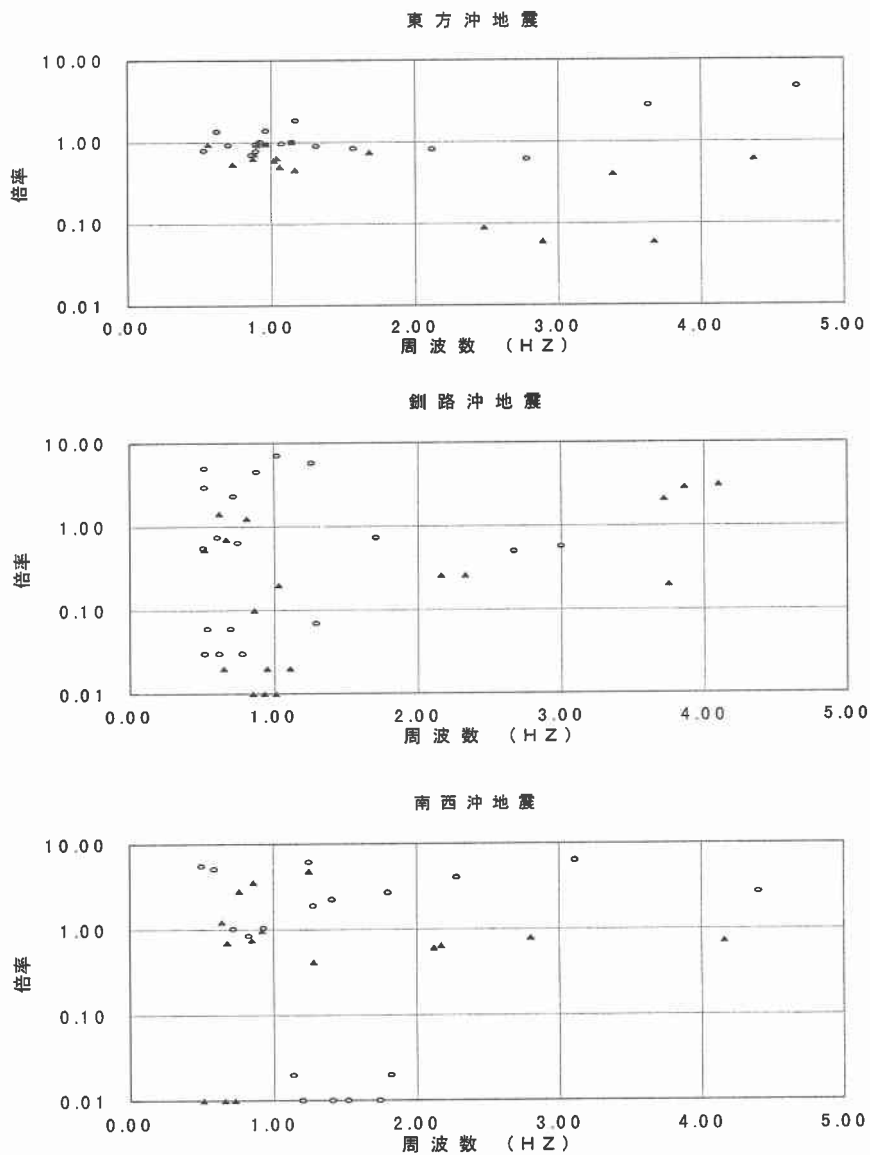


図-2 3大地震による地表から構造物への上下動伝達関数

5. まとめ

上下動の伝達においては重力の影響、基礎と地盤との境界条件、さらに、上部工の振動の影響や水平動との相関等、解析的に理解するには複雑な要因が多く困難であると思われるが、観測値のスペクトル解析により、構造物の振動特性と上下動の周波数がある条件で一致した場合、上下方向においても地表面から構造物にかけて加速度が増幅されていることがわかった。今後は、速度、変位についての上下動の伝達特性に関する研究を行いたいと考えている。