

I-56

白鳥大橋における強震計の記録の解析

北海道開発局 道路建設課 正員 熊谷 勝弘

同 開発土木研究所 同 中野 修

同 同 同 山内 敏夫

同 同 同 小野 裕二

1. はじめに

白鳥大橋は、室蘭市（国道37号）の陣屋と祝津とを結んで室蘭港に架けられる吊橋で、現在、主塔から上部工へと建設が進められており、平成8年度完成の予定である。完成後は、橋長1,380m（330m+720m+330m）で道内最長の吊橋となる（図-1）。また、架設地点は地震多発地帯に属しているため、強震計（AJE-306）が、地下3m、13m、25mおよび35mに設置されており、それぞれ橋軸方向（LG）、橋軸直角方向（TR）および上下方向（UD）の3成分の観測が可能となっている。

白鳥大橋は、道内初の長大吊橋であるため、耐震解析に有効な入力波および入力スペクトルを得るため、現在まで観測された強震記録の内、特に地下3mで観測された記録についてスペクトル解析および主軸解析を行った。また、最大主軸方向の成分波を合成し、最大加速度の距離減衰式も算出した。

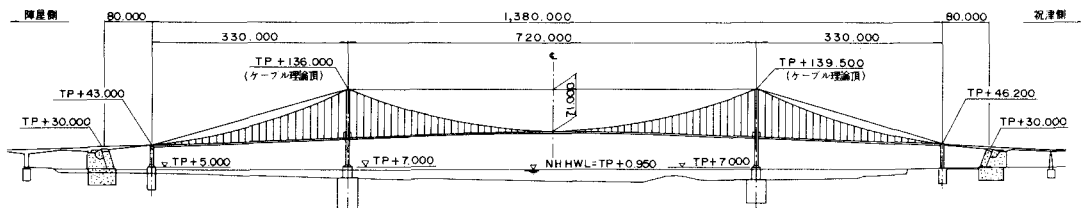


図-1 白鳥大橋

2. 白鳥大橋における強震記録

白鳥大橋では、1982年に強震計が設置（図-2）されて以来、現在まで強震観測が行われてきている。地下3mにおいて数値化可能な記録が得られたのは、1987年1月14日に日高山脈地方で発生した地震をはじめとして表-1に示す7回の地震である。図-3にNo.1の強震記録の波形の一例を示す。この波形は、強震計によって得られた記録に中心軸補正を施したものである。

白鳥大橋と7回の地震の震央との関係を図-4に示す。この図に示されるように、ほとんどが浦河沖から内浦湾にかけての近海で発生した地震の記録であるが、日高山脈地方や上川空知地方等の内陸で発生した地震の記録も含まれている。

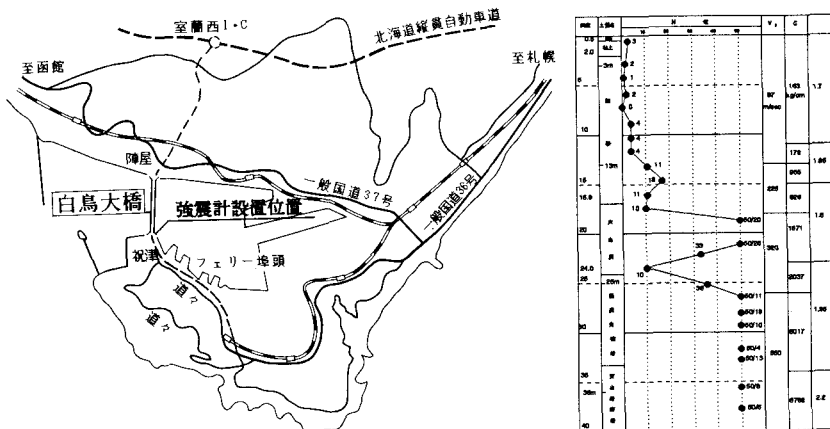


図-2 強震計設置位置図および土質柱状図

Wave analysis of strong earthquake on HAKUCHO bridge

by Katsuhiro KUMAGAI, Osamu NAKANO, Toshio YAMAUCHI and Yuji ONO

表-1 白鳥大橋における強震記録

No.	発生年月日	時間	M	D(km)	Δ(km)	LG	TR	UD
1	1987. 1.14	20:03	7.0	119	164	44.00	47.60	29.90
2	1988. 1. 2	21:42	6.4	175	160	12.69	10.91	6.26
3	1988. 5. 7	11:00	6.3	93	240	13.75	17.47	8.66
4	1988.12.21	19:53	5.1	74	130	11.40	12.25	8.04
5	1989. 1.25	5:03	5.8	49	152	27.64	24.69	11.48
6	1989. 1.25	12:18	3.3	13	18	9.74	16.58	6.23
7	1989.12.30	14:15	3.4	4	29	5.27	12.09	5.67

3. スペクトル解析

スペクトル解析として、表-1に示された7回の地震に関してパワースペクトルおよび加速度応答スペクトルを算出した²⁾。

(1) パワースペクトル

7回の地震について得られた強震記録のパワースペクトルの卓越振動数を表-2に示す。今回用いた地震記録の最大加速度が10～50galと比較的小さいため卓越振動数にばらつきが見られたが、いずれの方向でも2, 5, 8 Hz前後、あるいはそのいずれかで卓越していた。

(2) 加速度応答スペクトル

7回の地震の加速度応答スペクトルにおいて、減衰定数を0.0としたときの卓越周期を表-3に示す。表中、太字で書かれたものは、最大の加速度を与えている周期である。これより、約0.15secで最大加速度を与えていることが分かる。

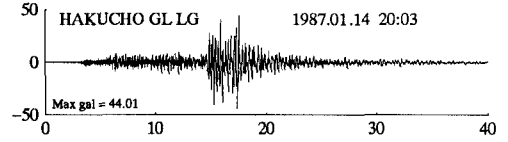


図-3 強震記録波形（橋軸方向）

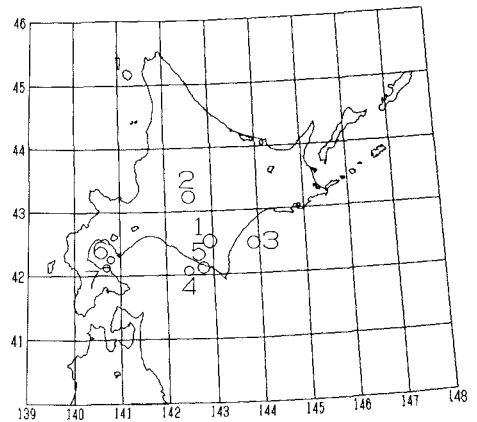


図-4 震央分布図

表-2 卓越振動数 (Hz)

No.	LG			TR			UD		
1	2.4	4.1	9.2	2.7	7.2	9.2	-	5.0	9.2
2	2.3	6.3	7.8	1.4	4.7	7.6	2.8	5.9	9.6
3	2.0	6.0	-	2.6	4.4	7.3	2.3	5.2	7.3
4	2.1	-	7.4	2.2	4.6	7.4	-	4.6	7.2
5	1.6	-	-	1.7	4.8	-	1.4	5.3	7.8
6	2.5	4.7	7.2	-	6.1	-	-	5.4	8.0
7	2.3	5.2	7.9	2.3	5.9	7.8	-	5.4	-

表-3 卓越周期 (sec)

No.	LG			TR			UD		
1	0.12	0.25	0.65	0.10	0.27	0.35	0.15	0.25	0.85
2	0.12	0.40	0.70	0.17	0.50	2.00	0.12	0.60	1.50
3	0.17	0.35	0.90	0.20	0.80	1.70	0.12	0.20	0.80
4	0.12	0.50	0.90	0.17	0.35	0.55	0.15	0.35	0.80
5	0.12	0.60	1.70	0.20	0.55	1.00	0.12	0.35	0.70
6	0.15	0.40	0.55	0.15	0.22	0.45	0.12	0.22	0.40
7	0.15	0.30	0.45	0.17	0.40	0.55	0.20	0.30	-

4. 主軸解析

一般に強震記録の水平成分は、橋軸方向（LG）および橋軸直角方向（TR）として得られるため、観測地点が異なれば水平成分の方向も異なる。そのため、観測地点が異なった場合に比較を容易にするため強震記録をNSおよびEW成分に座標変換し、その共分散行列の固有値解析を行うことによって、最大、中間および最小主軸を求め、かつ最大主軸方向にNSおよびEW成分波を合成し、その地震動の最大成分波を作成した³⁾。

(1) 主軸の算出

主軸解析の結果得られる最大主軸方向の成分波は、その地震動の持つ最大成分波と見なせるため、耐震解析における入力地震動としてより実動的な波である⁴⁾。そのため、7回の地震全てについて主軸を算出した。図-5にNo.5の地震の解析結果を示す。この図において、上段から順に主軸の入射角 ϕ （鉛直軸からの角度）、方位角 θ

(真北を0°として時計回りを正とする)および地震動のパワー(強度) σ の時間変化を表している。なお、最大、中間および最小主軸をそれぞれ実線、点線および破線で表してある。また、中段の図中の長破線は、観測点と震央を結ぶ線の方位を示している。表-4に7回の地震の ϕ 、 θ および $|\theta - \phi|$ を示す。なお、この表における ϕ 、 θ の値は最大パワー時のものである。これより、 ϕ がほぼ90°をなしているといえ、水平動が支配的であることが分かる。しかし、 θ に関しては明確な傾向が見られなかった。また、震央の方位との間にも明確な関係は見られなかった。したがって、白鳥大橋の架橋地点付近の地盤には特に方向性はないと考えられる。

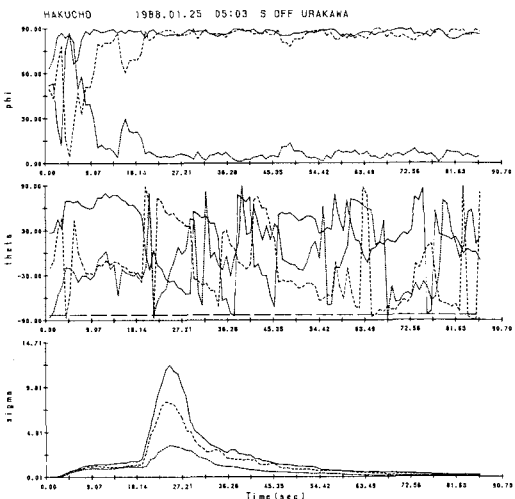


図-5 主軸解析結果

(2) 最大主軸成分波

主軸を算出した後、最大主軸方向に原波形を合成し、その地震動の持つ最大成分波とした。表-5では、7回の地震に対して最大成分波を合成した後の最大加速度と原波形とを比較した。ここでは、No.2およびNo.6が合成後に非常に小さくなっているが、合成後の最大加速度が加重平均で約2%大きくなっていることが分かる。

表-4 最大主軸方向					表-5 最大加速度の比較			
No.	ϕ	θ	ϕ	$ \theta - \phi $	No.	最大主軸	原波形	増分(%)
1	88.7	-70.2	82.7	152.9	1	52.86	47.60	11.05
2	84.3	89.6	52.0	37.6	2	9.63	12.69	-24.11
3	86.7	-89.3	86.3	175.6	3	19.30	17.47	10.48
4	81.2	26.1	103.8	77.3	4	12.90	12.25	5.31
5	85.8	-38.6	97.5	136.1	5	26.85	27.64	-2.86
6	88.4	-81.8	23.3	105.1	6	13.30	16.58	-19.78
7	86.0	-80.3	226.5	306.8	7	12.41	12.09	2.65

5. 距離減衰式

最大主軸方向に合成した成分波を用いて最大加速度距離減衰式を求めた。推定式は道路橋示方書⁹⁾に示された式を用いて次式のように仮定した。

$$X = a \times 10^{bM} \times (\Delta + \Delta_0)^c$$

ここで、X : 最大主軸成分波の最大加速度[gal]

M : マグニチュード

Δ : 震央距離[km]

Δ_0 : Δ が小さい範囲のXを調整する定数で30kmとした。

上式を重回帰分析した結果、次式のようになった。

$$X = 107.8 \times 10^{0.271M} \times (\Delta + \Delta_0)^{-1.039}$$

なお、重相関係数Rは0.8465である。白鳥大橋の地盤種別はⅢ種地盤であるから、道路橋示方書の耐震設計編に記載されている距離減衰式は、次式の通りである。

$$X = 403.8 \times 10^{0.265M} \times (\Delta + \Delta_0)^{-1.218}$$

上記の2式において、Xと Δ の関係をマグニチュードM=3, 5, 7のそれぞれについて比較した結果を図-6に示す。図中、実線は回帰式、破線は示方書の距離減衰式で、○印は実際に得られたデータをプロットしたものである。この図から、今回解析した結果は、示方書の式に比較して距離減衰が若干小さいことが分かる。

6. まとめ

今回の白鳥大橋における強震記録を用いたスペクトル解析および主軸解析の結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 白鳥大橋の地盤において得られた強震記録のパワースペクトルの卓越周波数が2, 5, 8Hz程度であり、また、最大加速度を与える固有周期0.15sec程度であることから、架橋地点付近の地盤の固有周期は、約0.15secと考えられる。
- 2) 最大主軸の入射角がほぼ全ての地震で約 90° となっているのは、水平動が支配的であることを示している。
- 3) 最大主軸の方位角に関しては、それぞれの地震によって異なっており、明確な傾向は見られなかった。また、震央の方位との間でも同様であった。したがって、白鳥大橋の架橋地点付近の地盤には特に方向性はないと判断できる。
- 4) 最大主軸成分波が与える最大加速度は、原波形の値に比較して2%程度大きな値となった。
- 5) 最大主軸成分波を用いて加速度の距離減衰式を算出した結果、白鳥大橋付近では道路橋示方書に示された式と比較して距離減衰が小さいことが分かった。

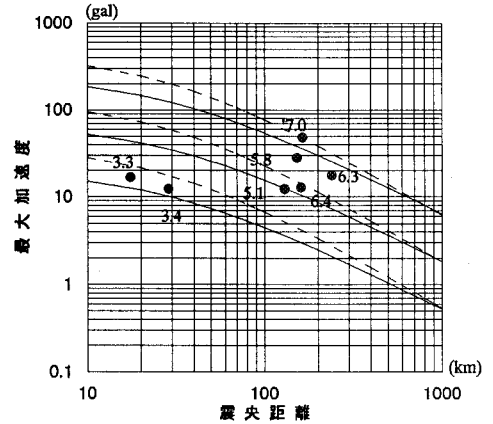


図-6 加速度の距離減衰

7. おわりに

今回の解析によって最大主軸方向の成分波を合成することができたので、白鳥大橋の耐震解析における入力地震波との比較を行い、入力地震波について検討する必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたりご指導頂いた諸氏に、ここに記して謝意を表します。

<<参考文献>>

- 1) 谷口秀之，高橋陽一，中野 修，金子 学：温根沼大橋における強震記録の解析，地震工学研究発表会，平成3年7月
- 2) 大崎順彦：地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，昭和51年7月
- 3) 北海道開発局開発土木研究所：地震動の三次元ポーラリゼーション解析プログラム，構造研究室資料第7号，平成2年2月
- 4) 金子孝吉，三上敬司：強震記録のポーラリゼーション解析，構造工学論文集 Vol.35A，1989年3月
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・Ⅴ耐震設計編，平成2年2月