

(43) 温根沼大橋における強震記録の解析

北海道開発局 開発土木研究所 谷口 秀之
 北海道開発局 開発土木研究所 高橋 陽一
 北海道開発局 開発土木研究所 中野 修
 北海道開発局 開発土木研究所 金子 学

1. まえがき

温根沼大橋（一般国道44号）は、北海道根室市の温根沼（おんねとう）に架かる橋長約97mの鋼曲弦ワーレントラス+鋼合成桁橋である。架橋地点は地震多発地帯に属するため、強震計（SMAC-Q型）が、地盤、橋台および橋脚に設置されており、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成分観測可能となっている。

現在、現温根沼大橋に平行に新橋の建設が進められており、平成7年度に完成予定となっている。新橋は、橋長456mのニールセン系ローゼ+4径間連続鋼桁橋であり（図-1）、強震計の設置も予定されている。新橋の大きな特徴としては、免震支承の採用があげられる。免震支承を用いた橋梁は、全国で8橋の建設計画があり、温根沼大橋はその中の1橋である。温根沼大橋では、免震支承は起点側側径間部のみであるが、地震時におけるその挙動は未知の部分が多い。そのため、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、現橋に設置された強震計により現在まで観測された強震記録のうち、特に地盤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。

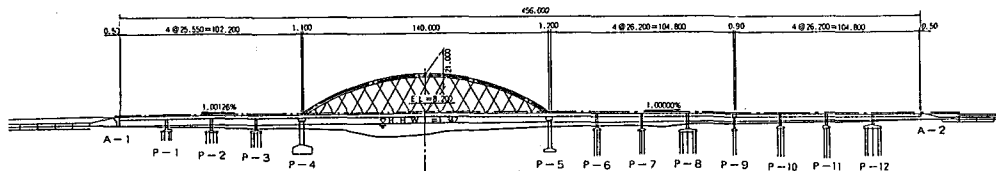


図-1 温根沼大橋（新橋）

2. 温根沼大橋における強震記録

温根沼大橋では、1975年に強震計が設置されて以来、現在まで強震観測が行われてきている。地盤、橋台および橋脚のいずれかにおいて数値化可能な記録が得られたのは、1975年10月2日に根室半島沖で発生した地震をはじめとして表-1に示す13回の地震である。例としてNo.7の強震記録の波形を図-2に示す。この波形は、強震計によって得られた記録をAD変換し、中心軸補正および計器補正を施したものである。

表-1 温根沼大橋における強震記録

No.	年月日	マグニチュード	深さ(km)	震央距離(km)	地盤における最大加速度 (gal)		
1	1975. 5. 27	5.0	40	60	50.24	34.17	40.54
2	1975.10. 2	5.4	60	61	64.17	28.58	84.78
3	1975.12. 6	5.6	40	89	101.41	35.80	56.52
4	1977. 3. 7	5.3	60	57	46.64	33.47	78.71
5	1978. 1.12	5.1	40	31	100.61	22.42	120.57
6	1978. 3.23	7.0	60	359	48.20	18.80	62.85
7	1978.12. 6	7.7	100	203	TR 140.37	UD 58.13	LG 149.58
8	1980. 2.23	6.8	30	89	47.32	17.63	50.13
9	1981.12. 2	6.2	60	355	87.06	33.10	85.58
10	1984. 3.17	5.3	49	37	48.42	25.94	106.36
11	1988. 9.14	4.5	54	266	45.87	20.87	35.98
12	1988.10.10	6.0	81	109	147.23	54.85	99.24
13	1989. 8. 7	5.3	48	61	68.24	32.40	59.98

温根沼大橋と13回の地震の震央との関係を図-3に示す。この図に示されるようにほとんどが釧路沖および根室半島沖で発生した地震の記録であるが、震央距離が200 kmを越えるような東北沖や択捉沖で発生した地震の記録も含まれている。

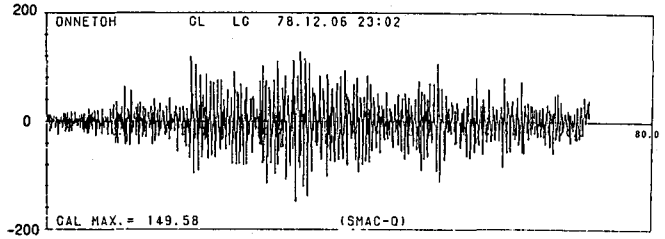


図-2 強震記録波形(地盤、橋軸方向)

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13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。¹⁾

(1) パワースペクトル

13回のそれぞれ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。表-2よりわかるように橋軸方向(LG)および橋軸直角方向(TR)のいずれにおいても約2 Hzあたりが卓越する傾向があることがわかる。

(2) 加速度応答スペクトル

13回の地震の加速度応答スペクトル曲線より得られた減衰定数0.0とした時の最大加速度を与える固有周期を表-3に示した。この表より、水平方向では固有周期が0.5秒前後で最大加速度を与えていることがわかる。

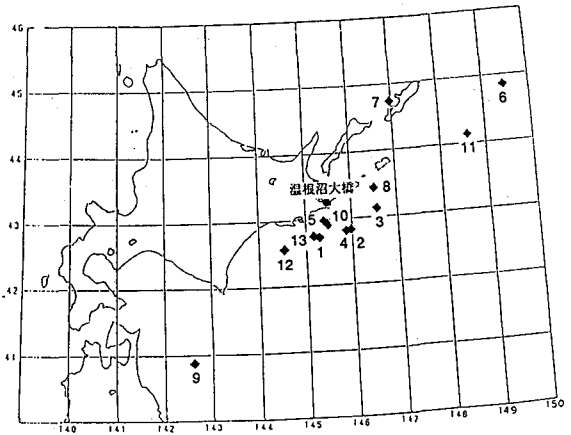


図-3 震央分布図

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。²⁾

(1) 主軸の算出

主軸解析の結果得られる最大主軸の方向成分波は、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際の波である。³⁾ そのため13回の地震すべてについて主軸を算出した。図-4に解析結果としてNo.7の地震の解析結果を示す。この図は、上段から順に主軸の入射角 ϕ (鉛直軸か

表-2 卓越振動数(Hz)

No.	TR	UD	LG
1	1.9	4.8	5.7
2	2.0	3.8	2.0
3	4.8	4.7	4.8
4	5.1	3.5	5.4
5	1.9	3.5	1.8
6	1.9	2.1	2.2
7	1.8	3.8	1.8
8	2.0	2.0	2.3
9	1.9	4.0	1.9
10	2.1	2.1	4.6
11	2.1	9.1	5.6
12	2.0	4.6	2.1
13	1.9	4.4	2.0

表-3 固有周期(s)

No.	TR	UD	LG
1	0.5	0.2	0.2
2	0.5	0.2	0.5
3	0.2	0.2	0.2
4	0.2	0.3	0.2
5	0.6	0.3	0.6
6	0.6	0.5	0.5
7	0.6	0.2	0.6
8	0.5	0.2	0.5
9	0.5	0.2	0.4
10	0.5	0.2	0.2
11	0.5	0.2	0.2
12	0.5	0.2	0.2
13	0.5	0.2	0.5

らの角度)、主軸の方位角 θ (真北を 0° とし時計回りを正とする) および地震動のパワー(強度) σ の時間変化を表す。なお、最大、中間および最小主軸をそれぞれ実線、破線、点線で表してある。また、中段の図中の破線は、観測点と震央を結ぶ線の方位を示している。13回の地震をそれぞれ解析した結果得られた最大主軸の入射角 ϕ 、方位角 θ 、震央の方位 ϕ および最大主軸と震央の方位の差 $|\theta - \phi|$ を表-4 に示す。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。この表から、入射角 ϕ は、ほぼ 90° をなしているため水平動が支配的であることがわかるが、方位角 θ に関しては、明確な傾向がみられなかった。また、震央の方位との間にも明確な関係はみられなかった。したがって、温根沼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。

(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。13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を比較したものを表-5 に示す。表-5 より合成後の最大加速度は、原波形の最大加速度に比較して平均で約4%大きくなっていることがわかる。

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⁴⁾ に示された式を用いて次式のように仮定した。

$$X = a \times 10^{0.8M} \times (\Delta + \Delta_0)^{-0.287}$$

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、次のようになった。

$$X = 97.27 \times 10^{0.098M} \times (\Delta + \Delta_0)^{-0.287}$$

なお、重回帰係数は $R = 0.46$ である。道路橋の耐震設計編に載っている距離減衰式は、温根沼大橋の地盤種別が II 種地盤なので次式のようになる。

$$X = 232.5 \times 10^{0.013M} \times (\Delta + \Delta_0)^{-1.218}$$

上記の2式において、X と Δ の関係をマグニチュード $M = 5, 6, 7$ のそれぞれについて比較した結果を図-5 に示す。図中の黒丸は、実際に得られたデータをプロットしたものである。この図より、示方書の値に

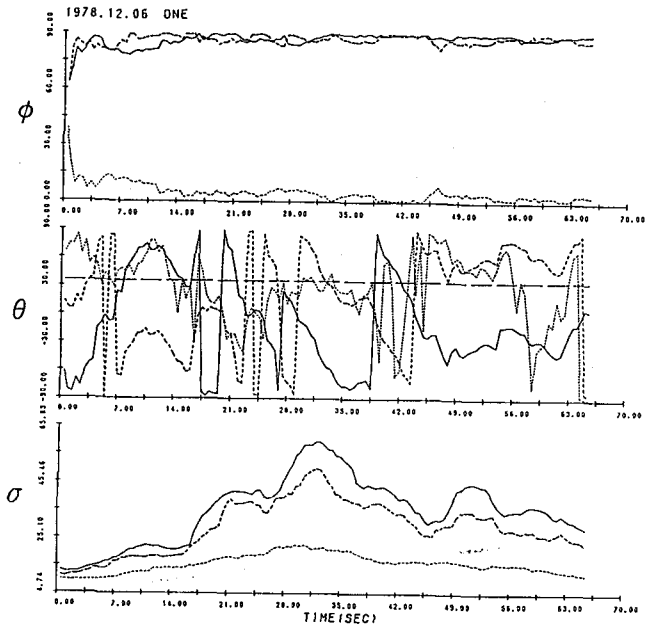


図-4 主軸解析結果

表-4 最大主軸方向

No.	ϕ	θ	ϕ	$ \theta - \phi $
1	85	-20	15	35
2	80	-80	-40	40
3	80	10	-80	90
4	90	-90	-30	60
5	90	-50	15	65
6	85	-10	75	85
7	90	-30	35	65
8	85	-15	75	90
9	85	-15	40	55
10	90	-80	0	80
11	90	15	70	85
12	85	-20	45	65
13	80	15	25	10

比較して今回の解析の値は距離による減衰が非常に小さいことがわかる。

表-5 最大加速度の比較

No.	最大加速度 (gal)		増加比 (%)
	最大主軸	原波形	
1	52.42	50.24	4.34
2	84.19	84.78	5.20
3	104.98	101.41	3.52
4	78.58	78.71	1.11
5	141.54	120.57	17.39
6	64.02	62.85	1.86
7	159.82	149.58	6.85
8	49.64	50.13	-0.98
9	90.20	87.06	3.61
10	110.68	106.36	4.06
11	44.73	45.87	-2.35
12	148.59	147.23	0.92
13	72.68	68.24	6.51

6. まとめ

今回の温根沼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明らかになったことを挙げると以下のとおりである。

1) 温根沼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振動数が2 Hz前後であり、また、最大加速度を与える固有周期が0.5秒前後であることから架橋地点付近の地盤の固有周期は約0.5秒と考えられる。

2) 最大主軸の入射角がほとんどの地震で約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、それぞれの地震においてばらついており明確な傾向はみられなかった。また、震央の方位との間にも明確な関係はみられなかった。したがって、温根沼大橋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4%程大きな値となった。

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、温根沼大橋付近では道路橋示方書に示された式に較べて距離減衰が小さいことがわかった。

7. あとがき

今回の解析によって最大主軸方向の成分波を合成する事ができたので、温根沼大橋の耐震解析における有効な入力地震波として用いることが可能となった。また、今回の解析では、加速度応答スペクトルの算出に原波形のデータを用いたが、最大主軸方向成分波を用いることによってより有効な入力スペクトルを作成することも可能である。今後はこれらのデータを耐震解析に反映させていくつもりである。

最後に、本研究を進めるにあたり御指導頂いた専修大学北海道短期大学金子孝吉教授に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大崎順彦：地震動のスペクトル解析入門 鹿島出版会
- 2) 北海道開発局開発土木研究所：地震動の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
- 3) 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. 3
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・V耐震設計編 平成2年2月

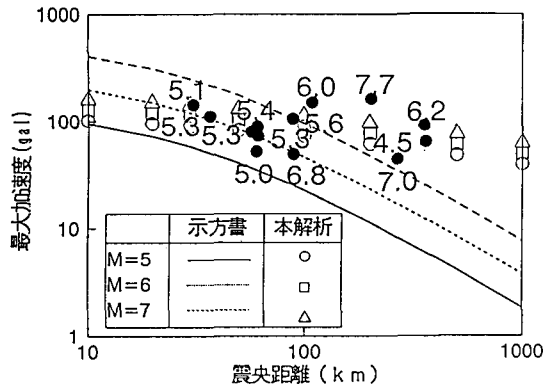


図-5 加速度の距離減衰