

(101) 橋脚および橋台における強震記録の波形解析

専修大道短大 正員 金子 孝吉  
 専修大道短大 正員 三上 敬司

I. まえがき

強震時に道路橋の橋脚、橋台あるいは橋桁はどのように動くのか。まず全ての土木構造物が周辺の地盤の動きに左右されて一体となって振動すると思われる。しかし、橋脚も橋台もそれ自身が持っている振動特性が誘発されて振動しはじめ、地盤の動きに乗って全体が振動すると思われる。その場合、どのような構造形式であれば構造物固有の振動が卓越しやすくまた卓越しにくいかについて、実測され明確に議論されていないと思われる。この「強震時に橋脚、橋台および橋桁はどのように動くのか。」という問題を解明するために強震記録の波形を解析して振幅特性、周期特性そして方向性などの振動性状を把握しようと考えた。

そこで、本報告は北海道の道路橋で観測された強震記録から地盤と橋脚、橋台上におけるものを中心に三次元ボラリゼーション解析を行い、主軸の大きさ、方向性、軌跡の特性を調べたものである。

II. 強震計設置地点と主要地震

北海道開発局（道路部門）では道内各地に既に25箇所の強震観測地点を設けて強震動の観測を続けている。

表-1は強震計設置地点の橋梁名、設置箇所、機種、設置方向など強震計の記録仕様を示したものである<sup>1)</sup>。観測地点は必要に応じてそれぞれ3文字のコード名を使うことにする。

図-1は千代田大橋（CHI）および広尾橋（HIR）の一般側面図で、強震計設置地

表-1 強震計設置地点と記録仕様

橋梁名	設置箇所	設置機種	設置方向
千代田大橋	GL, A, P	SHAC-B2, B2, B2	N53°45'E
横溝橋	GL, P	SHAC-B2, B2	N52°30'E
大瀬毛橋	GL, P	SHAC-B2, B2	N42°47'E
新石狩大橋	GL, P	SHAC-B2, B2	N45°15'E
七峰橋	GL, P	SHAC-B2, B2	N65°30'E
雁巣根橋	GL, P (BOX)	SHAC-D, D	N08°48'W
旭川大橋	GL, P	SHAC-B2, B2	N23°15'E
石狩河口橋	GL, P, BOX	SHAC-B2, B2, B2	N42°42'E
斜里大橋	GL, A	SHAC-D, E2	N78°53'E
駒谷橋	GL, A	SHAC-D, D	N58°40'W
静内橋	地中 -2, -40m, P	AJE301A, AJE308, AJE308	N02°00'W
別海橋	地中 -2, -40m	AJE301	N33°47'W
滝葉橋	GL, P	SHAC-E2, E2	N84°13'E
芦田橋	GL, A	SHAC-B2, B2	N73°53'E
志摩子橋	GL, A	SHAC-B2, B2	N15°08'E
網走跨線橋	地中 0, -53m, P	PK-130, PTK-130, PTK-130K	N44°30'E
陸奥橋	GL, A	SHA-2, SHA-2	N28°20'E
塩根沼橋	GL, A, P	SHAC-Q, Q, Q	N87°10'E
天塩河口橋	GL, P	SHAC-Q, Q	N88°10'E
広尾橋	GL, A	SHAC-Q, Q	N23°00'E
上島橋	GL, P	SHAC-Q, Q	N48°08'E
空知大橋	GL, A	SHAC-Q, Q	N72°01'W
高松沢橋	地中 0, -40m, P	SHAC-Q, AJE305	N38°25'W
札幌I.C.高架橋	GL, P	SHAC-Q, Q	N09°43'W
白鳥大橋	地中 -2, -13, -25, -35m	AJE308	N15°00'E

表-2 記録された主要地震

記録年月日	時刻	地震名	M/D
42. 7. 5	08:42	Middle part of Hokkaido	- /170
9.19	19:58	E of Hokkaido	- /90
43. 5.16	09:49	E off N Honshu	7.9/0
44. 1.19	16:02	NE off Hokkaido	- /280
8.12	06:28	E off Hokkaido	7.8/30
45. 1.21	02:33	S part of Hokkaido	6.7/50
48. 6.17	12:55	off Nemuro pen	7.4/40
6.24	11:43	"	7.1/30
6.29	12:27	"	5.8/50
49. 1.25	04:13	off Tokachi	6.0/40
9.27	14:47	off Nemuro pen	6.6/30
11. 9	06:23	off Tomakomai	6.5/130
50. 5.27	03:23	off Nemuro pen	5.0/40
52. 2.24	20:40	Southern Hokkaido	5.8/70
3. 7	18:12	off Nemuro pen	5.3/60
53. 1.12	05:27	off Kushiro	5.1/40
10.29	07:46	off Kushiro	5.4/70
12. 6	23:02	Near Kunashiri Is	7.7/100
54. 5.17	18:58	off Kushiro	5.0/60
56. 1.23	13:58	S coast of Hokkaido	7.1/130
11.23	19:17	SE off Hokkaido	6.0/40
57. 3.21	11:32	S off Hokkaido	7.1/40
58. 5.26	11:59	W off N Tohoku	7.7/14
5.30	05:53	S coast of Hokkaido	5.7/84
6.21	15:25	W off N Tohoku	7.1/6

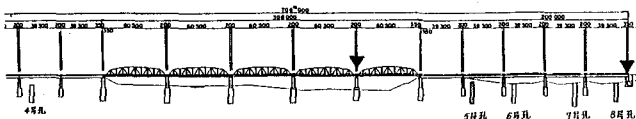
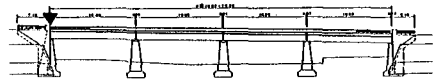


図-1 橋梁の側面図と強震計設置地点



HIR

点の橋脚と橋台の所に▼が付けられている<sup>2)</sup>。

また、表-2には対象とした昭和42年以降における特に顕著な地震を挙げた。各観測地点では全ての地震が記録されるわけではなく、地震の発生域、規模、震源距離などによって当然異なってくる。

同じ地点でも地盤および橋脚、橋台全てが記録されているとは限らない。そのため、ここで利用した記録は観測点数、地震数ともに10個程度になった。

### III. 地盤および橋脚、橋台の振動主軸

前記した地震の各観測地点における記録の中から3成分の加速度波が鮮明に記録されているものを用いて、最大の振幅を含む主要動部の主軸の計算を行った。主軸の計算には非線形ポーラリゼーションフィルター解析を使用し<sup>3), 4)</sup>、主要動部の入射角、方位角、主軸のパワーおよびレクティリニアリティを求めた。ここで言うレクティリニアリティとは震動軌跡の楕円球の性質を0から1の間の数値で示すもので振動が直線的であるほど1に近づき丸い球ほど0に近い値になるものである。

さて、解析した中からここでは昭和57年3月21日に発生した浦河沖地震から図-1に示した千代田大

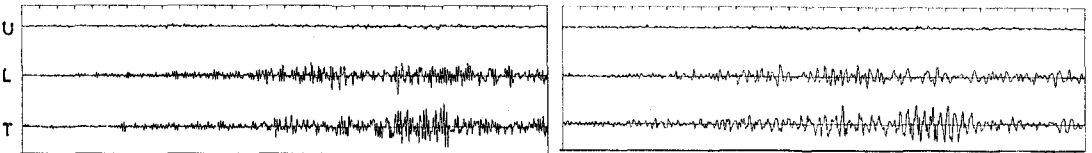


図-2 地盤と橋脚の3成分加速度波形 (CHI) <sup>GL</sup>

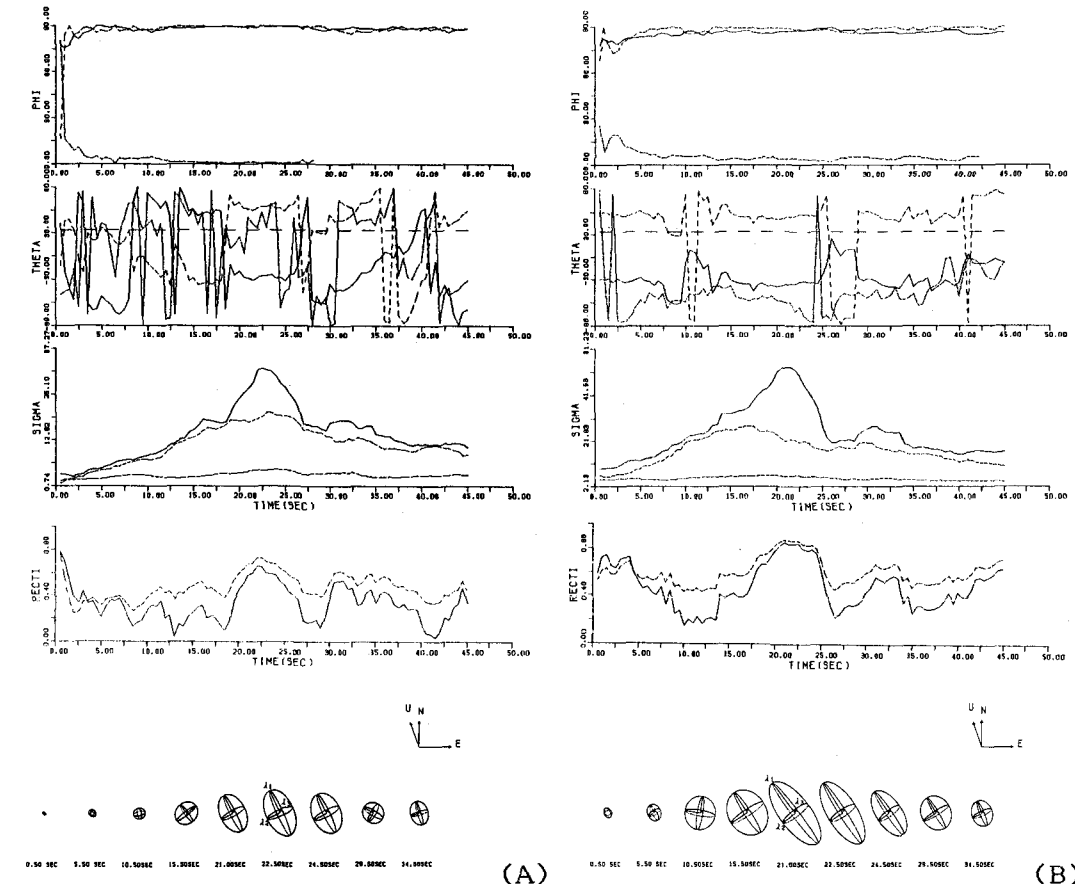


図-3 地盤と橋脚における主軸の入射角、方位角、パワー、レクティリニアリティおよび楕円球

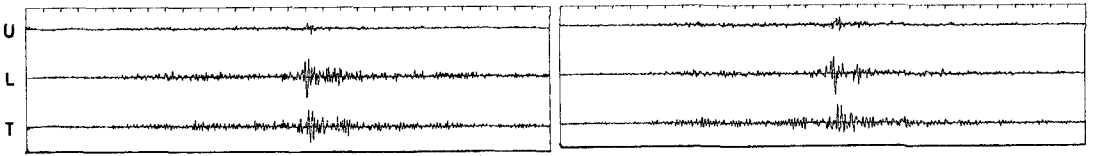


図-4 地盤と橋台の3成分加速度波形 (HIR) GL

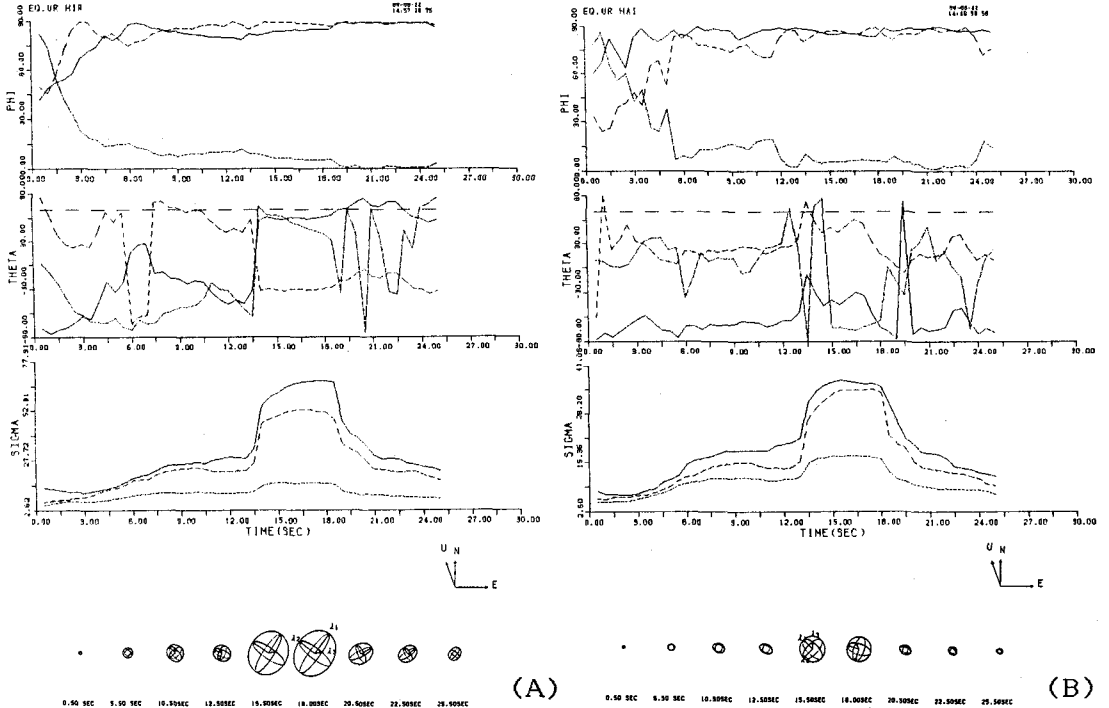


図-5 地盤と橋台における主軸の入射角、方位角、パワーおよび楕円球の時間変化

橋 (CHI) と広尾橋 (HIR) における記録を例にとって説明する。図-1 から CHI では橋脚、HIR では橋台における3成分加速度記録を用いた。

図-2 には CHI での地盤と橋脚の浦河沖地震加速度波を示した。上から上下方向 (UD)、橋軸方向 (L) および橋軸直角方向 (T) の成分である。波形から一見して橋軸直角方向 (T) の成分が卓越しており、橋脚では地盤にみられる細かな周期の波がみられず、卓越した周期を有するとみられる波形になっている。

そこで、この2つの波を解析し図-3に地盤 (A)、橋脚 (B) の場合としてその結果を示した。上から、入射角、方位角、主軸のパワー、レクティリニアリティおよび主軸を包絡する楕円球、の時間変化が示されている。入射角、方位角そして主軸のパワーは最大、中間および最小の主軸をそれぞれ実線、破線および点線で示した。まず、入射角で最大と中間が上の  $90^\circ$  付近を進んでいるのはほとんど水平動が卓越していることを示している。方位角は縦軸中央Nから上へ  $90^\circ$  でE、下へ  $90^\circ$  でWの方位を表している。そして地震の震源の方向が  $N35^\circ E$  に長い破線で示してある。ここで、地盤に比べ橋脚の最大主軸の方位が明らかに一定しており変化が少ないことがわかる。また、パワーの振幅は橋脚で1.6倍に増幅している。しかも、最大振幅を示す主要動部でみれば橋脚の場合、レクティリニアリティが1に近くより直線的な動きをしていることがわかる。しかしここに示した場合以外、CHI地点では橋脚、橋台ともに橋軸直角方向よりはむしろ橋軸方向の振幅が大きかった。

次に広尾橋 (HIR) の場合を見てみよう。図-4は地盤と橋台における3成分の波形であるがこの場合、

波形そのものからも両者に明確な相違点がない。図-5の入射角、方位角、主軸パワーおよび楕円球の軌跡を比較しても地盤と橋台では形状的な相違はみられない。これは最大と中間の振幅の大きさがそれほど違わないために、明確な方向性が現れていないのである。しかし、特筆すべきは橋台の振幅が0.5倍とかなり地盤の加速度に比べて減少していることである。このHIR地点では解析した地震の全ての場合が橋台の振動加速度が軽減されていた。

各観測地点において、他の主要な地震の記録についても上に述べたような方法で解析し整理した。中から、方向性があり、橋脚、橋台の振動の振幅の増減が明確なものを示すと、表-3の7橋の観測点が選び出された。

橋梁名	コード	型式・連数・支間(m)	橋長(m)	地盤種別	方向性	振幅の増減 (A, P < G <sub>L</sub> )
千代田大橋	CHI	T 5860.5	306.0 A, P	3	縦軸(大)	増
櫻満橋	HOR	C 5827.3	140.0 P	1	縦軸(中)	増
大楽毛橋	OTA	G <sub>c</sub> 6836.0	220.8 P	2	不明確	増(70%)
石狩河口橋	KAK	G <sub>co</sub> 2861.9, 4862.2 S 64.0+160.0+64.0	374.8 P 288.7 P	4	縦軸(大)	増
訓網跨線橋	SEK	π 19.2+26.0+19.2	65.0 P	4	不明確	減
温根沼大橋	ONE	T 1860.0, G <sub>c</sub> 1835.0	97.2 A, P	4	縦軸(大)	減
広尾橋	HIR	G <sub>c</sub> 4818.9	75.5 A	1	不明確	減

x: T: トラス C: コンクリート橋 G<sub>c</sub>: 鋼桁 G<sub>co</sub>: 鋼桁(連続桁) π: ラーメン S: 斜張橋

表には橋梁の型式、連数、支間、橋長および地盤種別(道路橋示方書・v耐震設計編、日本道路協会、1980規定による)と

いった固定条件に対し、強震時に橋脚、橋台が持っている振動の方向性と振幅の増幅性、軽減性について大局的に示している。

また、橋軸方向に指向性の強い橋梁が4橋あり、残りの3橋は明確な方向性は見られなかった。しかし、これは実際には方向性があるが、データ不足のための地震条件に原因しているのか、方向性のなさが橋梁の構造特性に起因しているのかは明確に言うことができない。

さらに、橋脚、橋台の振幅増加は4橋あり、いずれも橋長が比較的長い場合であった。一般的に橋長の短い橋梁で全体の剛性が強い場合に振動加速度の振幅が減少する傾向にある。

#### IV. あとがき

時間領域で適用する非線形ポーラリゼーション解析を用いて北海道内の道路橋の橋脚、橋台および架設地点の地盤における強震記録の三次元波形解析を行った。ここでは橋脚、橋台と地盤で記録された3成分加速度強震記録を用いて波動主成分の識別と分離を行い、主軸の大きさと方向を求めて整理した。

その結果、地盤と橋台あるいは橋脚が一体となって振動する場合とその橋梁が持っている固有の特性(橋軸方向)が強く現れて振動する場合が表-3のように認められた。また、地盤の加速度振幅に対して橋脚、橋台の加速度振幅が増大する場合と減少する場合が認められた。

これらの明確な理由付けはまだ不十分であるが橋梁の耐震性の判定には有益な資料を提供していると思われる。特に、地盤の振動に対して橋脚や橋台の振動を軽減させる橋梁型式や支承条件についての研究調査が必要であると思われる。さらに、橋梁の基礎構造と地盤条件との関係についても重要であり別途研究を進めていく予定である。

最後に、本研究を進める上で北海道開発局土木研究所構造研究室長 中野 修 氏には貴重なデータを提供して戴いた。ここに深謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 北海道開発局土木試験所構造研究室: 強震観測記録報告書(1966.11-1983.3)、1985。
- 2) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会: 北海道における鋼道路橋の歴史(資料編)、1982。
- 3) 金子、三上: 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、pp.643-650、1989。
- 4) Montalbetti, J. F. & Kanasevich, E. R.: Enhancement of Teleseismic Body Phases with a Polarization Filter, Geophys. J. R. Astr. Soc., 21, pp.119-129, 1979。