

首都高速道路公団 正 員 富 永 博 夫
 北海道大学工学部 正 員 渡 辺 昇
 北海道大学工学部 正 員 金 子 孝 吉

1. まえがき

本研究はすでに発表した「三成分地震波入力による構造物の多自由度応答の振動解析」の理論 1) を杭で支持された実際の橋脚に適用することにより、水平・上下方向から同時に地震波を入力した場合の橋脚の安定性や杭の安全性など立体的な耐震性に関する検討を行なったものである。橋脚は青森県にある津軽大橋のものをを用いた。なお設計震度は水平・鉛直それぞれ 0.25・0.10 とした。

2. 地盤の状況と下部構造

架橋地点の地盤は深い軟弱層より形成されており、支持層として期待できる N 値 30 以上の砂レキ層は深さ 50 m 以深にある。土質調査の結果横方向地盤係数 (K 値) は杭に最も影響のある上層部 8m 付近で 0.13kg/cm^3 である。解析に用いた橋脚は図-1 に示したような寸法であり、外径 812.8mm、厚さ 12.7mm、長さ 52m の杭頭を剛結させた鋼管 7 本の斜組杭によって支持されている。ここでは橋脚を構造物とし、これを支持する杭および周辺地盤をバネと考えて解析する。

組杭のバネ定数は玉野氏の変位を考慮した計算法²⁾を用いて計算した。杭で支持された橋脚構造系の構造諸元および固有値はそれぞれ表-1、表-2 のようになる。

ここで M、I、C および K は質量、慣性モーメント、減衰係数および復元係数である。

3. 設計入力地震波の選定

1968 年の十勝沖地震の余震が本橋架橋地点において観測された。この加速度記録の主要動部から代表的なものを 36 秒間摘出して示すと図-2 のようになる。このパワースペクトルを求めることにより、地震波の卓越周期は 0.6 秒付近にあることが確かめられた。距離 150km の位置にマグニチュード 8.0 の地震が発生すると仮定すると、最大振幅は金井博士の式を用いれば 130gal となり、図-2 の水平成分がこの程度になるように三成分とも振幅を 10.5 倍したものを設計入力地震波として選んだ。

この地震を橋脚に入力した時に得られる重心の加速度応答は図-3 のようになる。ただし橋脚の橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向をそれぞれ地震波の NS、EW、UD 方向に一致させて解析した。この結果、フーチング底面の図心に作用する橋軸方向、橋軸直角方向の最大ズレせん断力 $H_{x\max}$ 、 $H_{y\max}$ 、最大転倒モーメント $M_{x\max}$ 、 $M_{y\max}$ 、および最大、最小鉛直方向力 $V_{\max}$ 、 $V_{\min}$ は次のようになる。ただし、() 内は震度法による値である。

$$\begin{aligned} H_{x\max} &= 2.855 \times 10^5 (1.350 \times 10^5) \text{ [kg]} \\ M_{x\max} &= 8.473 \times 10^7 (4.058 \times 10^7) \text{ [kg} \cdot \text{cm]} \\ V_{\max} &= 5.754 \times 10^5 (5.941 \times 10^5) \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{y\max} &= 2.641 \times 10^5 (1.350 \times 10^5) \text{ [kg]} \\ M_{y\max} &= 7.856 \times 10^7 (4.058 \times 10^7) \text{ [kg} \cdot \text{cm]} \\ V_{\min} &= 5.048 \times 10^5 (4.861 \times 10^5) \text{ [kg]} \end{aligned}$$

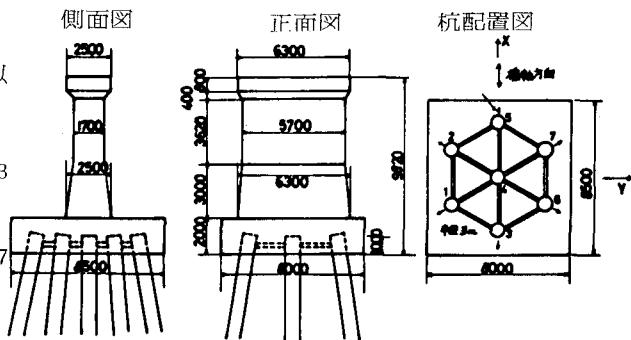


図-1 橋脚と杭の配置図

表-1 橋脚の構造諸元

$M = 5.51 \times 10^7 (\text{kg sec}^2/\text{cm})$ $I_x = 6.88 \times 10^7$ $I_y = 6.50 \times 10^7$ $I_z = 4.45 \times 10^7 (\text{kg sec}^2/\text{cm})$						
$C_x = 4.05 \times 10^2$ $C_y = 4.05 \times 10^2$ $C_z = 2.22 \times 10^3 (\text{kg sec}/\text{cm})$						
$C_x = 2.78 \times 10^3$ $C_y = 2.71 \times 10^3$ $C_z = 4.13 \times 10^7 (\text{kg sec}/\text{cm})$						
$K = \begin{bmatrix} 6.06 \times 10^4 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & -6.32 \times 10^5 & 0.0 \\ 0.0 & 6.06 \times 10^4 & 0.0 & 6.32 \times 10^5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 8.93 \times 10^5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 6.32 \times 10^5 & 0.0 & 2.82 \times 10^{10} & 0.0 & 0.0 \\ -6.32 \times 10^5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 2.82 \times 10^{10} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 3.83 \times 10^9 \end{bmatrix}$						

表-2 固有周期

$T_1 = 0.678 \text{ sec}$
$T_2 = 0.600 \text{ sec}$
$T_3 = 0.600 \text{ sec}$
$T_4 = 0.312 \text{ sec}$
$T_5 = 0.303 \text{ sec}$
$T_6 = 0.156 \text{ sec}$

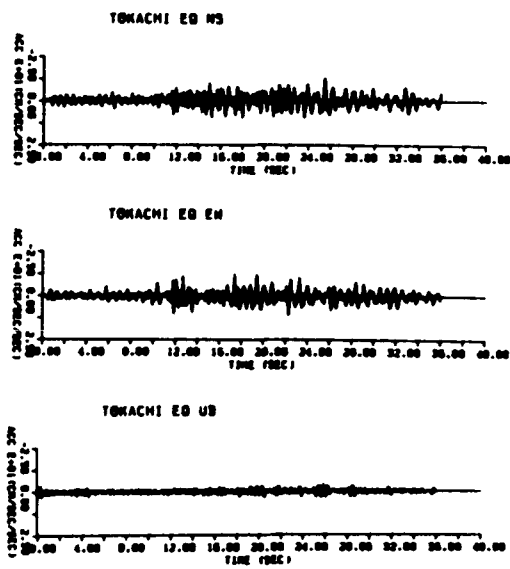


図- 2 余震の加速度波形

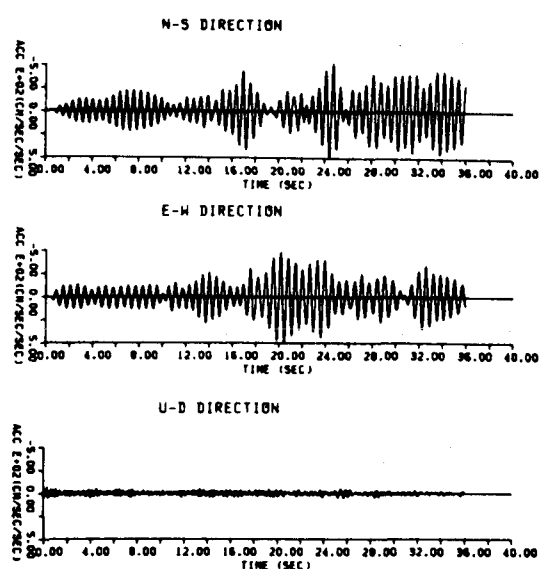


図- 3 加速度応答波形

4. 橋脚の耐震性に関する検討

これらの力を外力として静力学的に作用させたときの橋脚の安定性および鋼管杭の応力度を計算し、その安全性を次の 4 ケースについて検討した。

- 1) 地震応答解析 H_{xmax} , M_{xmax} , V_{max} , V_{min}
- 2) 地震応答解析 H_{ymax} , M_{ymax} , V_{max} , V_{min}
- 3) 震度法 H_{xmax} , M_{xmax} , V_{max} , V_{min}
- 4) 震度法 H_{ymax} , M_{ymax} , V_{max} , V_{min}

各杭に生じる軸方向力の最大値 P_{max} 最小値 P_{min} および偏心量 $e (=V_{max}/V_{min})$ を求め、その一部を表- 3 に示したがいずれも許容値以内となり橋脚の安定性が確認された。

各杭に生じる曲げモーメントは杭頭で最大となり (M_0)、最大応力 σ_{max} 、最小応力 σ_{min} が求まり、その一部を表- 4 に示したが、いずれも許容値以内となり安全である。ここで許容応力度 σ_a は地震荷重の際の許容応力度の割増係数 1.7 を乗じた値となり $\sigma_a = 1400 \times 1.7 = 2380 \text{ kg/cm}^2$ となる。表中の杭の番号は図- 1 に示してある。

5. あとがき

解析の結果、本橋脚は十分な耐震性を持っていることが確認されたが、地震応答解析による杭に作用する軸直角方向力、曲げモーメントは震度法によるものよりかなり大きな値となっている。したがって本橋架橋地点のような軟弱地盤では、従来の震度法による設計で考えられる応力よりも実際には鋼管杭に曲げによる大きな応力が生じることが考えられ、今後このような軟弱地盤で鋼管杭で支持された橋脚を設計する場合はこれらのことを充分考慮する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 舩田・渡辺・金子：三成分地震波入力による構造物の振動応答の理論と解析、土木学会第35回年次学術講演会講演集、1980
- 2) 玉野治光：変位が制限される基礎の設計について、第 6 回日本道路会議論文集、1962

表- 3 橋脚の安定性

杭の 番号	(1)			(2)			(3)			(4)		
	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$e(m)$	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$e(m)$	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$e(m)$	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$e(m)$
4	83.2	73.0	1.68	83.2	73.0	1.56	85.9	70.3	0.83	85.9	70.3	0.83
5	182.7	172.6		83.2	73.0		132.8	117.4		85.9	70.3	
平均	522.6	-72.9	3.00	522.6	-72.9	2.60	522.6	-72.9	3.00	522.6	-72.9	2.60

表- 4 鋼管杭の応力度

杭の 番号	(1)						(2)					
	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$R_x(t)$	$M_x(t)$	$\sigma_{max}(t)$	$\sigma_{min}(t)$	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$R_x(t)$	$M_x(t)$	$\sigma_{max}(t)$	$\sigma_{min}(t)$
4	83.2	73.0	33.7	112.9	2057	-1567	83.2	73.0	31.1	104.4	1922	-1432
5	182.7	172.6	32.4	108.7	2302	-1194	83.2	73.0	31.1	104.4	1922	-1432
杭の 番号	(3)						(4)					
	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$R_x(t)$	$M_x(t)$	$\sigma_{max}(t)$	$\sigma_{min}(t)$	$P_{max}(t)$	$P_{min}(t)$	$R_x(t)$	$M_x(t)$	$\sigma_{max}(t)$	$\sigma_{min}(t)$
4	85.9	70.3	15.9	53.3	1117	-627	85.9	70.3	15.9	53.3	1117	-627
5	132.8	117.4	14.8	49.8	1208	-432	85.9	70.3	15.9	53.3	1117	-627
平均					2380	-2380					2380	-2380