

I-95 斜組杭を用いた棧橋の地震応答性状

震島建設(株) 正員 三村長二郎
" 中山 三生

震島建設(株) 正員 村山八洲雄
" 正員 野尻 陽一

1. まえがき 近年、橋脚基礎杭等で杭が軟弱な表層地盤を貫いている場合、その地震時の挙動が重視され、多くの研究がなされている。その代表例として、Pengian⁽¹⁾、後藤⁽²⁾、小坪⁽³⁾らの研究がみられるが、いずれも鉛直杭に関するもので、斜組杭については僅かに小坪⁽⁴⁾の研究がみられる程度であり、未だ解明されざる部分も多い。筆者らは長尺で杭角度の比較的大きい斜組杭を用いた棧橋を対象として、軟弱な表層地盤の震動などのような影響を及ぼすか、地震応答解析を行なって調べてみた。ただしこの種の構造物では斜杭の軸力と曲げモーメントを検討する必要があるが、ここでは水平抵抗性と密接な関係にある斜杭軸力に注目し、これとほぼ比例関係にある杭頭変位についてまとめてみた。

2. 棧橋の解析モデル 棧橋は図-1に示すように、斜杭と鉛直杭の組合せより成っているのが通例であり、また上部工の剛性が大きければそのロッキング振動は無視しうるので、解析モデルは最も簡素化して図-2に示すものを想定した。杭および表層地盤の諸数値はそれぞれ表-1、表-2に示すものとした。ここで固有周期を求めてみると、表層地盤の震動は考えずまた杭との相互作用を弾性域で考えた場合、基本周期は $T=1.1\text{sec}$ となる。この値は、斜杭軸力が水平抵抗性の大部分を占めるので、横方向地盤反力係数を多少変えても殆んど変わらない。

3. 地震応答解析 表層地盤が軟弱であれば、その地震時挙動はセン断振動で表現されると云われている。そこで、表層地盤の振動方程式は次式で与えた。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \{f\} = -[M]\{\ddot{z}\} \dots \dots (1)$$

$[M]$ は質量、 $[C]$ は減衰係数、 $\{f\}$ は質点間の相対変位に対して Bi-linear の復元力、 $\{u\}$ は水平変位、 $\{\ddot{z}\}$ は地震波の加速度である。一方、長尺斜組杭では杭は地盤と殆んど同じ動きをして、杭の存在による地盤の乱れは無視しうるものとみられる。したがって斜組杭の振動方程式は(1)式の結果を用いて(2)式のように与えた。

$$[M']\{\ddot{d}\} + r[K']\{\dot{d}\} + [K']\{d\} = -[M']\{\ddot{z}\} - [M']\{\ddot{u}\} - \{F\} \dots (2)$$

$[M']$ は杭の回転慣性も考慮した構造系の質量、 $[K']$ は地

図-1 種々の斜組杭棧橋

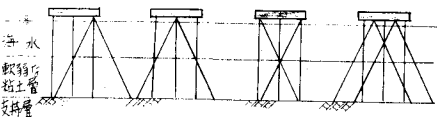


図-2 解析モデル

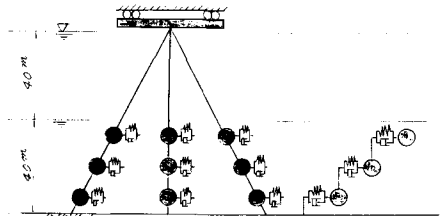


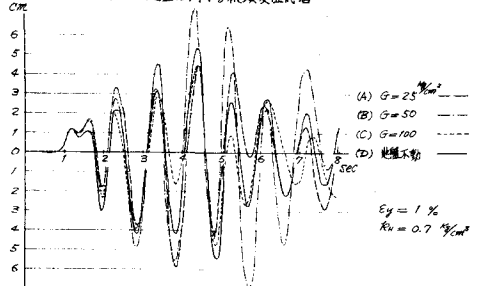
表-1 構造物諸元

	TL (m)	φ (mm)	t (mm)	L (m)	N (c)
斜杭	2	1200	18	90	—
直杭	6.7	1500	15	80	—
上部工	1	—	—	—	1500

表-2 地盤特性

T-ス	地盤震動	地 盤		地盤と杭間	
		G (kg/cm ²)	E _p (%)	R _H (%)	E _H (%)
①	考慮	25	1	0.7	1
②	考慮	50	1	0.7	1
③	考慮	100	1	0.7	1
④	無視	—	—	0.7	1

図-3 種々の地盤に対する杭頭変位応答



盤反力を考えない構造系の剛性、 $[M]$ は土の付加質量、 α は減衰係数、 $\{x\}$ は杭と地盤との相対変位に対して Bi-linear の復元力、 $\{y\}$ は構造系の水平変位である。

数値計算は(1)式の場合、直接積分法によったが、(2)式はモータル・アサリシスを用いた。すなわち(2)式の右辺式から求める固有モードを $\{y\}$ とし、一般座標を $\{x\}$ とすれば、 $\{y\}$ は次のように表わせる。

$$\{y\} = [y] \{x\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

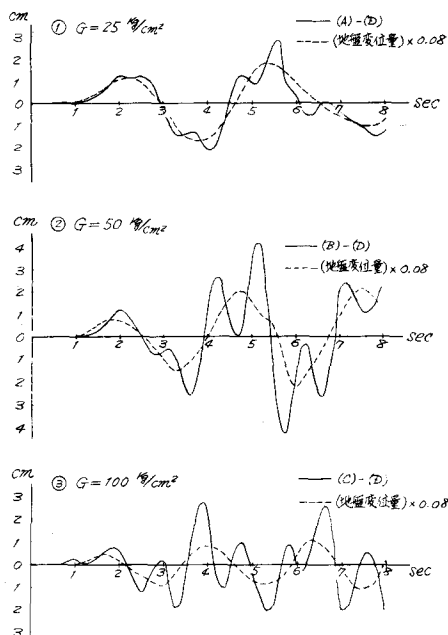
モードの直交条件を用いると(2)式は次のようになる。

$$\{x\} + r [\omega] \{x\} + [\omega^2] \{x\} = -\{y\} - \{E\} \quad \dots\dots (4)$$

$$\{x\} = [y] \{x\}, \{E\} = [y] [M] (\omega^2 \{y\} - \ddot{u}) + \{F\}$$

ただし、 $\{E\}$ は $\{x\}$ の関数となっているため、線形微分方程式を用いて、各時間ステップ毎に比較的短い収束計算を行ない、 $\{x\}$ を求めた。なお、地震波はその特性がよく調べられている El-Centro N-S 1940 を用いた。

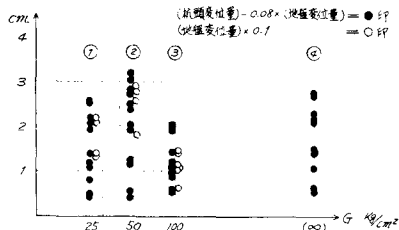
図-4 地震震動の及ぼす影響



4. 解析結果と考察

杭頭の応答変位で、表層地盤の震動を考慮した場合としない場合との差を求め、さらに表層地盤の震動をこの差と同程度のスケールで併記すると図-4のようになる。ケース①においては、両者がよく対応しているので、この差異は杭のタワミに伴って生じる杭頭部反力がもたらすものとみることが出来る。これは杭を両端固定梁として杭頭部反力を略算し、この反力を斜組杭に作用させて杭頭部の水平変位を計算すると、丁度縮小した地震震動の大きさに近似していることからわかる。しかしケース②、ケース③においては、構造系の応答卓越周期分が著しく付加され、さらによくみると、ケース②とケース③とは位相が異なっている。これは図-5のように整理するとよくわかるが、ケース②では応答を増大させ、ケース③では逆に減少させる作用をしている。またこのように応答を増減させる要因としては、同じく図-5から表層地盤の応答特性によっているということが推察される。したがって、この種の斜組杭構造物の地震応答特性は、基本的には表層地盤の震動を無視した場合の応答と、その震動が杭を強制変位させることによって生じる応答の重ね合わせとみることが出来るが、厳密にはその重ね合わせにも表層地盤の応答特性による動的効果が付加されることがわかる。今後はこの動的効果を定量的に調べる必要がある。

図-5 地震震動の及ぼす動的効果—2.7mで比較—



<参考文献> (1) Penzien; Seismic Effects On Structures Supported On Piles Extended Through Deep Sensitive Clay, 1964, Univ. of California (2) 後藤 豊田; 土木学会誌 131号 (3) 小坪 高直; 土木学会論文集 148号 156号 (4) 小坪 高直; 土木学会誌 42巻 (5) 野原, 三村, 村山, 中山; 土木学会 25回講演集 I-166