

# 海底軟弱地盤にケーソン基礎を有する橋梁の耐震設計について

日本道路公団 正 三瀬 純  
 “ “ 正〇下村 真弘

## 1. 概要

広島大橋は広島市と呉市を結ぶ国道31号のバイパス「広島呉道路」の一環として、広島湾奥部の海上約1 Kmを横断する橋梁で、上部工は鋼床版箱桁、下部工はT型壁式橋脚、基礎工は円形オープンケーソンである。本橋はきわめて地質条件の悪い地盤に設置された橋梁であり、基礎底面から構造天端まで高さ80 mを超える長大構造物であるところから、その耐震設計については慎重な検討が必要であった。本文はこゝで行われた修正震度法による静的設計、動的地震応答解析および強制振動実験の結果を報告するものである。

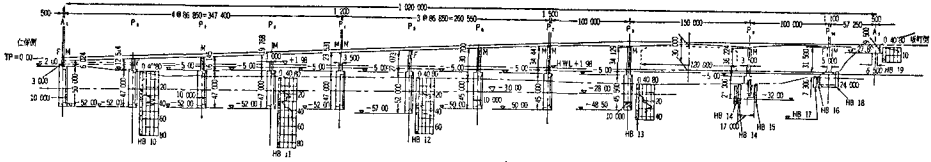


図-1 広島大橋一般図

## 2. 地盤条件

架橋地点は水深約15 mで、海底面よりN値0のシルト層が15 m堆積し、その下に砂層および砂礫層が続き基盤岩(花崗岩)は海面下70 mにある。

第一層の軟弱シルト層の特徴は次のようなことである。

- ① 自然含水比が80~120%で液性限界と同等かそれ以上であること。
- ② 鋭敏比は粘性土下層で3.5~5.0, 上層で5以上であり、攪乱による強度減少が大きいこと。
- ③ N値はすべて0であること。
- ④ 一軸圧縮強度は $0.1 \sim 0.4 \text{ kg/cm}^2$ , 変形係数は $8 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ であること。

研層(TP-30~50 m), 砂礫層(TP-50~70 m)は一部粘土を挟在しているが、比較的粒径のととのった砂、礫のまじった粗砂で、N値は上層で30~40, 下層で70以上となる。

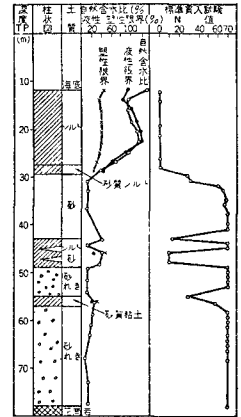


図-2 土質柱状図

## 3. 静的設計

設計震度、耐震計算上の地盤面、慣性力、動水圧等の基本的事項は「道路橋耐震設計指針」(日本道路協会)に準拠した。ケーソンの安定計算の計算式、地盤反力係数等は「道路橋下部構造設計指針ケーソン基礎の設計篇」(日本道路協会)および「設計要領第二集」(日本道路公団)によった。

設計震度は応答を考慮した修正震度法により $k_{km} = 0.25$  (補正係数 $\beta = 1.25$ )となった。

安定計算の力学系を図-3に示す。こゝでの主な仮定は、軟弱シルト層の地盤反力係数 $K_H$ は無視し、この層は有効地盤(TP-30 m以深の砂層)に対してサーチャージとして作用させたこと、鉛直地盤反力係数 $K_v = \frac{1}{3} K_H$ , 水平せん断ばね係数 $K_s = \frac{1}{4} K_v$ としたことである。 $P_0$ の計算結果は図-6の

破線に示してある。

#### 4. 動的解析

本橋の特性は比較的形状の類似した下部構造の上に3径周および4径周の連続桁が載っている形式にある。したがって主として下部構造部分の地震応答に着目すれば、各下部構造を単独に考え、橋脚頂部に上部桁の重量を分担させた振動モデルの応答に近いと思われる。このことより動的解析の基本方針としては下部構造単独の振動性状を重点的に把握することとし、 $P_1 \sim P_{10}$  橋脚全基について静的設計値との比較対象となる橋軸方向および橋軸直角方向の断面力を計算した。

##### 4.1 諸仮定条件

断面力算定に先立って解析上の諸条件について検討を行った。主なものは次のとおりである。

##### (1) 地盤のばね定数

K値の大きさ、分布の仮定によって応答値にどの程度の影響があるかを調べるために、海底軟弱シルト層のK値を考慮する場合と無視する場合(静的設計時の考え方)の2ケースに対して  $K_v = 40 \text{ kg/cm}^2$  と  $K_v = 10 \text{ kg/cm}^2$  の両者の比較を  $P_5$ ,  $P_6$  橋脚について行った。この結果は軟弱シルト層の水平ばね定数は他の点の

5%以下で影響は小さく、 $K_v$  の差異による応答値も著しい差は認められなかった。

また実測値のままのK値分布と静的設計時仮定K値(台形分布)との相違の影響は、1~2次固有周期では台形分布の方が10%程長くなり、3次以上では差が小さい。応力の応答では図-5のようにケーソン部では台形分布が若干大きく、橋脚部では差異はない。変位は台形分布の方が全体的に大きい。以上の検討によりばね定数の取扱いは実測のままの  $K_H$  値(シルト部も含む)と  $K_v = 40 \text{ kg/cm}^2$  を用いることにした。

##### (2) ケーソン部のモデル化

橋脚およびケーソンの全体をビームとみなす場合とケーソンを剛体とみなす場合との比較の結果は振動性状が著しく異なる。剛体系の場合には1次、2次の固有周期が著しく短い。このことから長尺のケーソンを剛体と仮定することが困難であることが明らかになった。

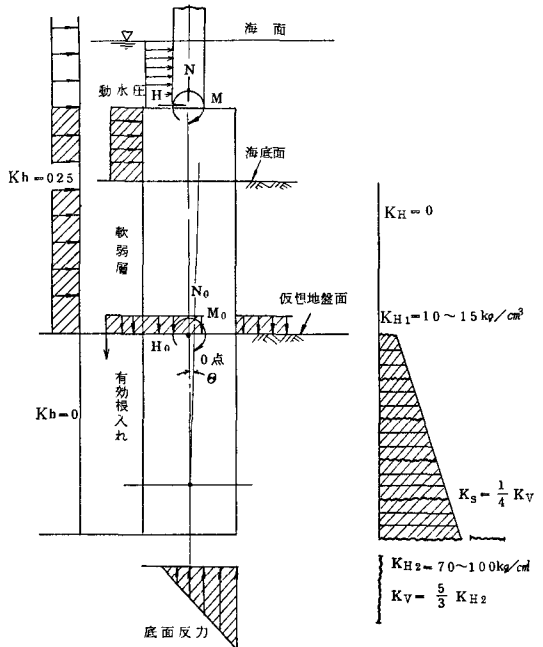


図-3 静的設計の力学系

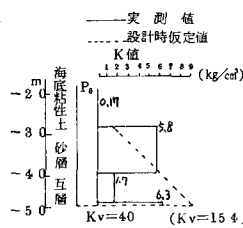


図-4 地盤反力係数

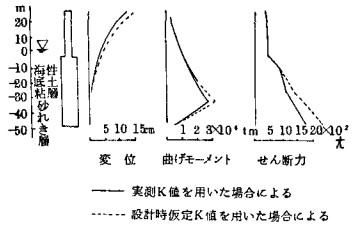


図-5 地盤反力係数による応答の差( $P_6$ )

地震動	土研平均応答スペクトル(1964年) 200gal
地盤ばね定数	実測値にもとづく
減衰定数	10%
付加質量	本四耐震指針(1964)による。(海水および土)
上部工慣性	静的設計の上部工水平反力に相当する重量
ケーソンの取扱	はりと考え

表-1 静的設計と対照する動的解析の条件

以上の検討に基づき最終的に静的設計との対比に用いた動的解析の条件は表-1のとおりである。

#### 4.2 動的解析の結果

##### (1) 固有振動

本橋の特徴的なことは、1次周期は「道路橋耐震設計指針」による計算値とほぼ一致した長周期を示すこと、および2次、3次の高次モードが卓越することである。

##### (2) 応答値

P<sub>6</sub>橋脚、橋軸方向の応答値を図-6に示す。

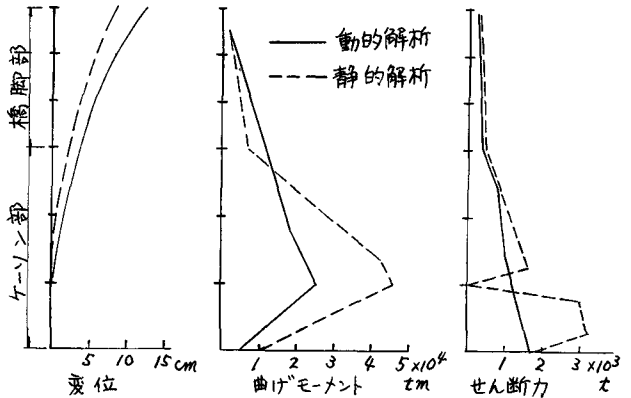


図-6 P<sub>6</sub>の応答図(橋軸方向)

静的設計値との比較で注目されるのは

- ・応答加速度が橋脚部分で300~400 galに達し、静的設計の震度0.25に相当する250 galをかなり超えること。
- ・曲げモーメントはケーソン部分で静的設計値以下であるが、橋脚部分で静的設計値を20%以上上回っており、これはケーソンの運動が橋脚に強く影響していることを表わしていること。

図-7に(動的モーメント/静的モーメント)の橋脚基部での値と橋脚高との関係を示した。固定橋脚(P<sub>1L</sub>, P<sub>5L</sub>)以外は高さの増加にしたがって(動/静)の値が減少している。

最終設計では静的設計と動的解析とで大きい方の断面力を設計値とし、断面が不足する箇所では鉄筋の増加および中空断面を一部中実にすることによって対処した。

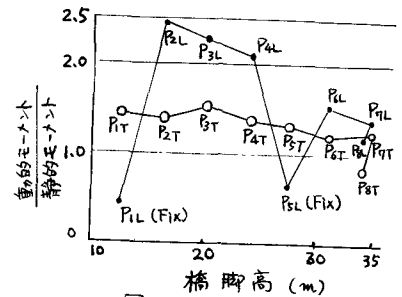


図-7

#### 5. 振動実験

P<sub>6</sub>橋脚が完成した時点で、橋脚頂部において起振機による

強制振動実験を行なった。使用した起振機は起振力50t、振動数0.2~15 Hzで、加振方向は橋軸方向(X方向)と橋軸直角方向(Y方向)の水平2方向とした。測定計器はケーソン部3ヶ所に埋設用動コイル型加速度計、橋脚部4ヶ所にサーボ型加速度計を配置した。

図-8に共振曲線の一例を示す。共振曲線より固有振動数、減衰定数を求めると表-2のようであった。実験時の1次共振点付近の変位、モードと理論値との比較を図-9に示す。

		橋軸方向			橋軸直角方向		
		実験値	理論値	設計値*	実験値	理論値	設計値*
固有振動数 Hz	1次	1.15	1.17	0.91	1.20	1.29	0.81
	2次	2.65	2.58	2.17	3.60	3.90	2.70
減衰定数 %	1次	7.7	—	10	8.6	—	10
	2次	12.5	—	—	13.0	—	—

\* 設計値は設計に使用した動的解析における値で上部工の影響を含む

表-2 固有振動数、減衰定数の比較

## 6. 結論

(1) 道路橋耐震設計指針に基づく静的設計は動的解析による検討によって、かなりの断面修正を余儀なくされた。このことは本橋のような長周期の構造物に対しては、指針の修正震度法による設計のみでは不十分であることを示していると思われる。

(2) モデルの設定については長尺ケーソンに対しては、剛体よりもビームとする方が適当であることが示された。

(3) 減衰定数は実験の結果、仮定値の10%に近いことが示された。この値は土研報告139号の2の「橋梁の固有周期と減衰定数の関係」の図にプロットすると図-10のように、ケーソン基礎を有する他の橋梁に比べてかなり大きいことが示された。

(4) 地盤のばね定数、付加重量、解析モデル等の仮定は、実験値と理論値とに大きな差がないことから、これらの仮定に当たって大きな誤差は避けることができたものと思われる。

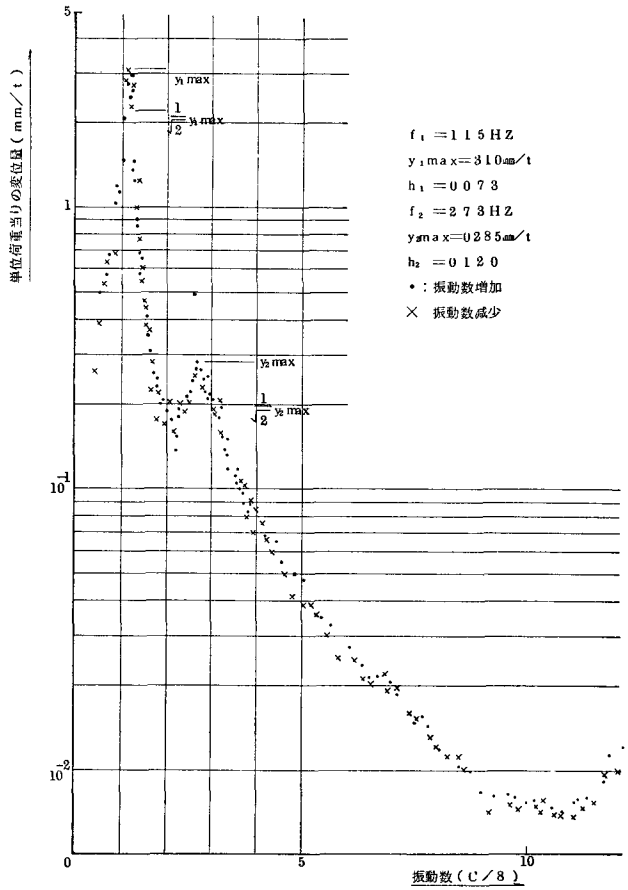


図-8 共振曲線(測定点X-1 (X方向))

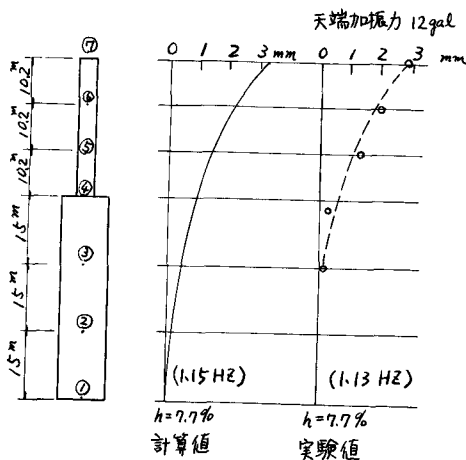


図-9 脚頭変位最大時の変位モード(1次) P&L

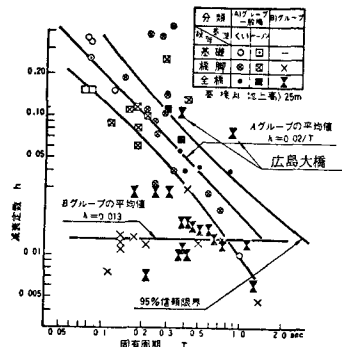


図-10 橋梁の固有周期と減衰定数の関係(土研報告による)

参考文献: 耐震設計に関する調査研究昭和46年度報告書および同昭和48年度報告書(財団法人高速道路調査会)