

## 土木研究所資料

名古屋港西大橋（斜張橋案）の地震応答解析による  
耐震性に関する調査報告

昭和52年 3 月

建設省土木研究所  
耐震研究室

## まえがき

本報告は伊勢湾岸道路の一環として建設省中部地方建設局で計画されている名古屋港西大橋（斜張橋案、センタースパン380m、サイドスパン200m×2、全長780m、6車線）の耐震性を検討するために実施した上・下部構造全体系に対する橋軸方向および橋軸直角方向の地震応答解析の結果をとりまとめたものである。

昭和52年3月

|       |        |      |
|-------|--------|------|
| 地震防災部 | 耐震研究室長 | 栗林栄一 |
|       | 研究員    | 川島一彦 |
|       | 技官     | 宮田忠明 |

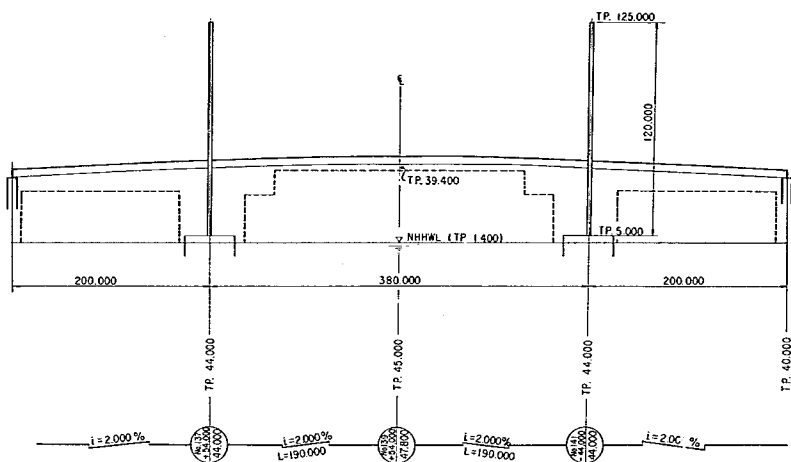
## 目 次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. 概 要 .....               | 1  |
| 2. 地盤条件の概要 .....           | 4  |
| 3. 耐震計算上の基盤面および入力地震動 ..... | 7  |
| 4. 上下部構造全体系の地震応答解析 .....   | 10 |
| 4.1 解 析 モ デ ル .....        | 10 |
| (1) 下部構造のモデル化 .....        | 10 |
| (2) 上部構造のモデル化 .....        | 10 |
| 4.2 解 析 法 .....            | 14 |
| 4.3 解 析 結 果 .....          | 14 |
| (1) 固有振動モード .....          | 14 |
| (2) 地震応答解析による応答値 .....     | 20 |
| 4.4 地震時安全性の検討 .....        | 20 |
| (1) 上 部 構 造 .....          | 20 |
| (2) 下 部 構 造 .....          | 33 |
| 5. 結 論 .....               | 36 |
| 参 考 文 献 .....              | 38 |

## 1. 概 要

本報告は伊勢湾岸道路名古屋港横断部調査の一環として建設省中部地方建設局において計画された金城埠頭と西二区間のA水域をまたぐ名古屋港西大橋<sup>1)2)</sup>の耐震性を検討するため実施した上下部構造全体系の地震応答解析の結果をとりまとめたものである。

対象とした西大橋は図1-1に示すように橋長780m〔センタースパン380m、両サイドスパン200m〕の3径間連続斜張橋である。本橋の基本耐震設計は名港大橋設計基準案<sup>4)</sup>に基づき応答を考慮した修正震度法により行なわれている。



(a) 一般図

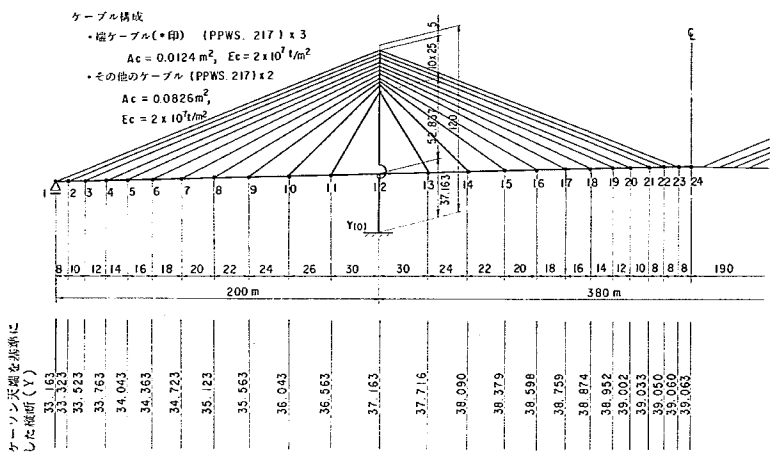
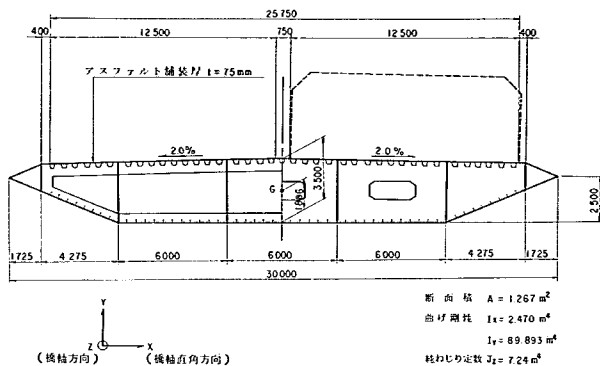
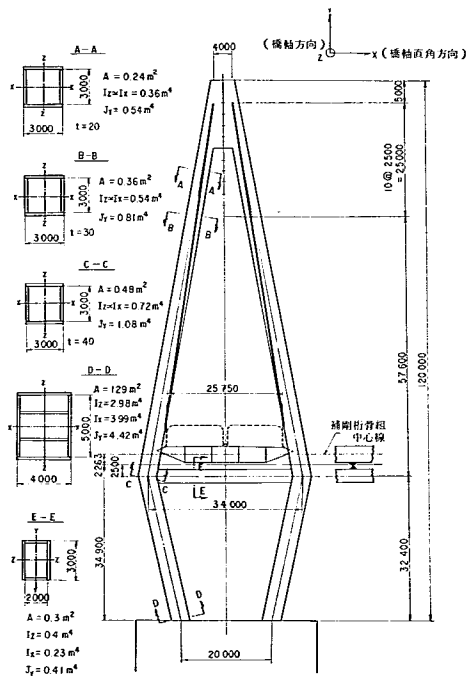


図1-1(a)(b) 西大橋の概要 [1]、[2]



(c) 杭の断面諸元



(d) 主塔の断面諸元

図1-1(c)(d) 西大橋の概要 [1]、[2]

## 2. 地盤条件の概要<sup>1) 2) 3)</sup>

伊勢湾岸道路計画路線は、濃尾平野の南端をおおむね東西方向に横切って、日光川、木曾川、掛斐川、長良川等の河川の河口附近を横断する形になっている。西大橋周辺の地盤、地質の構成は図2-1に示すように第三紀層に属する東海層を基盤とし、この上に第四紀洪積層に属する八事唐山層および熱田層が順に分布し、さらにその上は、第四紀沖積層に属する南陽層等が堆積している。これらの地層は全体として東側から西側に向かっておおむね一様に傾斜しており、西にいく程深く堆積する傾向にある。西大橋建設計画地点においては、八事唐山層は海底面下70m附近に、東海層はさらにその下に存在するとされている。

現在までに建設計画地点を中心として多くの地盤調査が行なわれており、その概略は表2-1<sup>3)</sup>に示す通りである。

金城埠頭においては昭和50年度から地中地震計を設置し、伊勢湾岸道路上の長大橋の耐震設計に用いるべき入力地震動記録を得るための観測体制の整備を図りつつある。現在までの時点では設計に用いることのできる地震動を観測するには至っていないが、地中地震計の設置に伴って行なわれた各種の詳細な現場および室内実験により、耐震計算に必要な地盤の諸定数、ことに、地盤の堅さおよび減衰定数のひずみ依存性に関する資料が収集、蓄積されつつあり、後述<sup>12)-15)</sup>の地震応答解析においては、これらの資料をできる限り計算に取り入れ、実際の状態に近い橋の振動応答が計算されるように図っている。

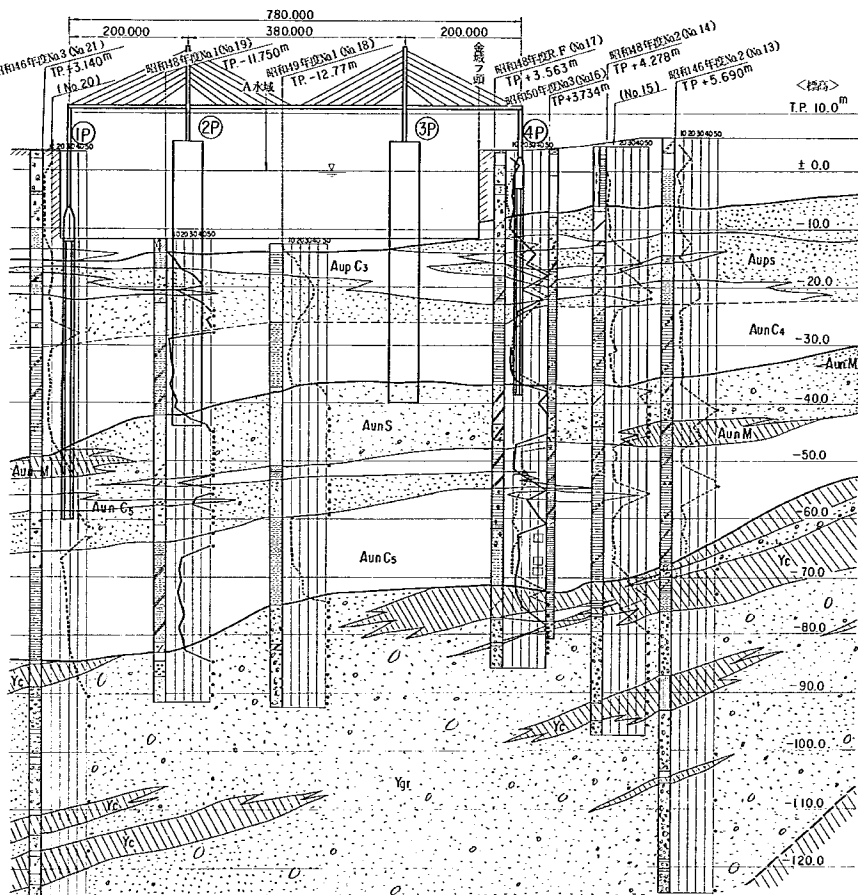


図2-1 西大橋計画地点付近の地盤構成〔3〕

表2-1 地盤の性質に関する調査結果〔3〕

| 地質時代名       |             |                | 地層名              | 断面記号              | N 値     | 記 事                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------|-------------|----------------|------------------|-------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第<br>四<br>紀 | 沖<br>積<br>世 | 南 關 層<br>(Al)  | 埋土、浚渫土           | B                 | 0~10    | 計画路線、中地盤の最上部を構成する地層で、砂・粘性土等非常に不均質である。強度的にみると砂は地表部に近い程締め固められている為N値が高い傾向にあり、粘性土は非常にルーズで軟弱な地層を構成している。いずれも水平方向の連続性に乏しい。                                                                                                                              |
|             |             |                | 砂・砂質土            | Als               | 1~30    | 主にTP±0m付近に連続してみられ部分的に多くの貝が片や腐植物を混入している。全体としてみると、シルト分を多く混入しておりシルト質砂状を呈するものが多い。平均的なN値はN=5~10前後と考えられる。他にAls中あるいは、沖積基底にも分布しているが連続性については明確でない。                                                                                                        |
|             |             |                | 粘土・粘性土           | Almm              | 0~8     | 沖積層の約半分の層厚をもつ軟弱なシルト質粘土~粘土質シルトから成り比較的均質な海成粘土層である。N値に関して埋立前のボーリングデータでは大部分のものがN=0~2を示すのに反し当調査でのデータでは若干上りN=2~6を示すようになり徐々に圧密が進行している事を示している。                                                                                                           |
|             | 洪<br>積<br>世 | 熱田層上部<br>(Aup) | 砂、礫混り砂           | Aups              | 10~50以上 | 調査地を構成する洪積層の最上部を構成する地層で熱田層上部砂層の特徴とされる浮石を各所に混入しているのがみられる。粒度組成は約80%が砂で構成され、粘性土分の混入は比較的少ない。又場所によっては礫を混入、礫混り、砂状を呈する部分もあるが全体として不均質な細中砂である。                                                                                                            |
|             |             |                | 粘 性 土            | AupC <sub>2</sub> | 5~50以上  | AupS 層中にレンズ状あるいは不規則な薄層で存在する砂質シルト、シルト質粘土、砂混り粘土等で粘性土の部分と砂質土に分類した方がよい部分があるがここでは一括して全体に層厚が薄く砂層に挟まれている為圧密が進む粘性土のN値としては比較的高い値を示している。                                                                                                                   |
|             |             | 熱田層下部<br>(Aun) | 粘 性 土            | AunC <sub>4</sub> | 8~12    | 一般に熱田層第4粘土層と呼ばれる海成粘土層でシルト質粘土~粘土質シルトで構成され貝が片を混入している層厚は8~10m前後と比較的一定しており本層中央部のN値は比較的一定の値を示すが上下部の砂分の多い部分ではやや高くなる傾向にある水平方向の連続性は良好である。                                                                                                                |
|             |             |                | 砂 礫 混り砂<br>砂 混り砂 | AunS              | 10~50以上 | やや細粒の細砂を主体とする砂層で本層中央部には礫を混入したり、砂礫層となる礫層がかなり良い連続性で確認される。本層の上面付近には腐植物の混入がみられ本層は陸成層と考えられ、上のAunC <sub>4</sub> 層との間には、時間的にズレがあり不正合面を有するものと考えられる。                                                                                                      |
|             |             |                | 粘 性 土<br>砂 質 土   | AunM              | 15~30   | 主にAunS層中に介在する粘性土、砂質土をAunM層に区分した。N値的にはAunC <sub>4</sub> とAunC <sub>2</sub> の中間的な傾向を示している。連続性に乏しく層厚が薄いためAunS層に含めても大きな問題は無い。                                                                                                                        |
|             |             |                | 粘 性 土            | AunC <sub>3</sub> | 10~20   | 熱田層中段下部を構成する。シルト質粘土~粘土質シルトで一般に熱田第5粘土層と呼ばれその層厚は3m~20mと西に向かって厚くなる傾向にある。本層中に介在する、砂層の挟みやAunS層と入り混れて堆積している部分のN値は、かなり高い値を示す。他は全体に一定したN値をもつようである。                                                                                                       |
|             |             | 八事唐山層<br>(Y)   | 砂、砂礫             | Ygr               | 30~50以上 | 八事唐山層は名古屋市周辺の洪積層中最も古い時代の地層で主に砂礫層(Dgr)から成りその間に砂質土、粘性土層(De)をレンズ状あるいは薄層の形で介在しているDgr層はφ10~30mm前後のチャート円礫を主体としたマトリックスはやや粗粒の砂から成る。De層はシルトを主体とした砂質シルト~粘土質シルトから成り、連続性のよいものは砂質土に近いものが多い。本層をはじめ上位の熱田層、沖積層に至るまで洪積運動の影響で堆積層の傾斜は西にゆくに従って下り、又古い地層程その傾きは急になっている。 |
|             |             |                | 砂質土、粘性土          | Ye                | 10~50以上 |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 第<br>三<br>紀 | 新<br>鮮<br>世 | 東 海 層<br>(T)   | 砂、砂礫<br>粘 性 土 等  | T                 | 40~50以上 | 調査地最下部にみられる基盤層と考えられる非常に硬い地層で珪岩・砂岩・砂礫層などから成り全域で頭中央部では一般に天白所層と呼ばれる断層の影響の為か、その上面は急に深くなり全域で頭中央部以西のボーリングデータではその連続性は確認されていない。                                                                                                                          |

### 3. 耐震計算上の基盤面および入力地震動

西大橋建設計画地点における耐震計算上の基盤面は下記の理由により八事唐山層の上面に想定した。八事唐山層の上に存在する熱田層は洪積層であるが、その分布の不規則性から耐震計算上の基盤と見なすことはできない。また、表層地盤の地震動の影響を受ける度合いの少ない耐震計算上の基盤として最も適当な東海層は、本地点では非常に深く、必要とする地盤のデータを得ることは困難である。このような状況に対して八事唐山層は比較的広い範囲に様に分布し、入射する波動成分に対するこれにより上に存在する地層の影響も大きくはないと考えられる。

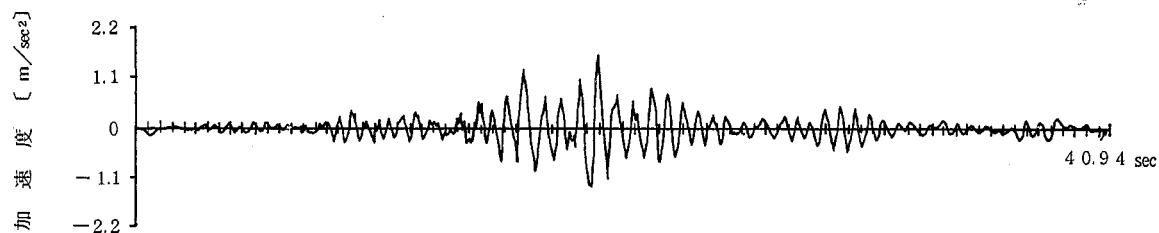
入力地震動としては表3-1に示すように平均応答スペクトル曲線（建設省土木研究所、洪積、1970年）<sup>7)</sup>

表3-1 地震応答解析に用いた地震動

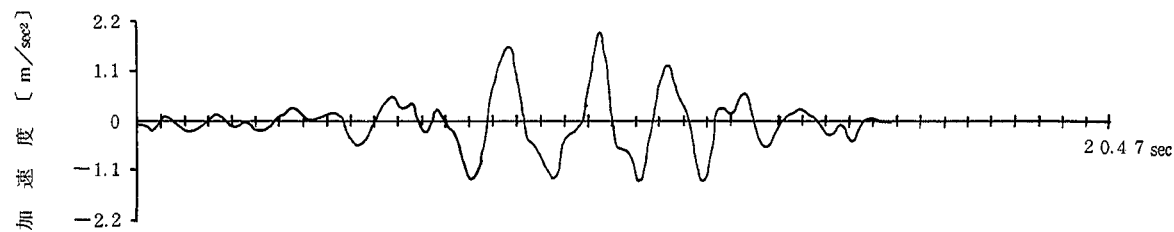
| 地震名                           | 発生年月日     | 記録地            | M   | 震央距離<br>(km) | 断続時間<br>(秒) | 最大加速度<br>(ガル) | 計算に使用した最大<br>加速度(ガル) |
|-------------------------------|-----------|----------------|-----|--------------|-------------|---------------|----------------------|
| 根室半島沖地震                       | 1973.6.17 | 静内橋<br>(地下40m) | 7.4 | 305          | 12          | 45            | 200                  |
| 日向灘沖地震                        | 1968.4.1  | 板島橋            | 7.5 | 104          | 40          | 186           | 150                  |
| 平均応答スペクトル曲線（建設省土木研究所、1970、洪積） |           |                |     |              |             |               | 150                  |

1968年4月の日向灘沖地震による愛媛県宇和島市板島橋付近の地盤地表面で記録された地震動加速度波形<sup>9)</sup>、および、1973年6月の根室半島沖地震によって北海道静内橋付近の地盤の地下40mで記録された加速度波形<sup>10)</sup>を選定した。これらの入力地震動はこれまでに東京湾横断道路沈埋トンネル、大阪湾岸道路沈埋トンネルをはじめ、平戸大橋等の地震応答解析<sup>19)</sup>に使用されてきている。板島橋での記録は比較的軟質な地盤の表面で記録されたものであり、一方、静内橋での記録は比較的良好的な砂礫層中で記録されたものであるが、ともに本地点の地盤とは同じ条件ではない。このような点を正しく計算に取り入れるために両地震動をそれぞれの地点における耐震計算上の基盤面における入射波動に変換し、これらの入射波動を本地点の耐震計算上の基盤における入射波動とみなして表層地盤の地震応答を算定した。その後金城埠頭側および西二区側のケーソン地中部に対応する地盤の水平方向加速度の鉛直分布の重心に相当する地盤の加速度を西大橋の地震応答解析に対する入力地震動として用いた。このようにして求めた入力地震動を図3-1に示す。入力地震動加速度の最大値は、板島橋および静内橋の地震動記録を使用する場合にはともに基盤面位置で150ガル、平均応答スペクトル曲線を使用する場合には下部構造の重心位置で150ガルとした。なお、上記の表層地盤条件の補正を加えた後における下部構造重心位置における入力加速度の最大値は、板島橋地震動の場合には160ガル、静内橋地震動の場合には200ガルであった。

以上、3つの入力地震動の特性を加速度応答スペクトル曲線で比較すると図3-2となる。これらの入力地震動がもつ基本的な特性に関しては参考文献[11]に詳しい。

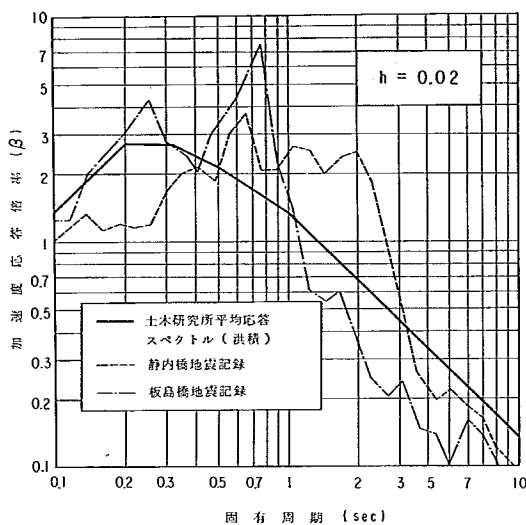


(a) 板島橋地震動記録を使用した場合

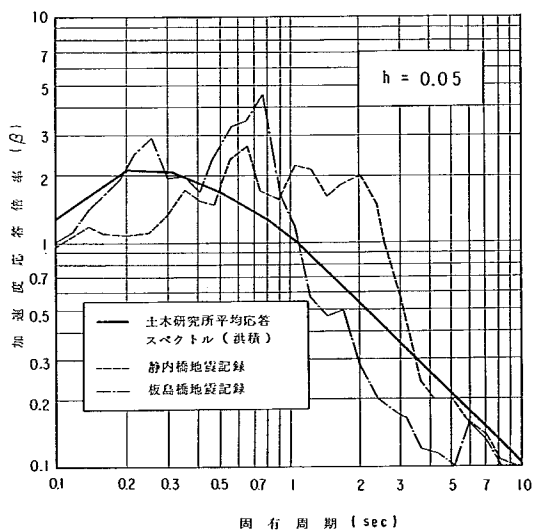


(b) 静内橋地震動記録を使用した場合

図 3-1 地震応答解析に用いた入力地震動



(a) 減衰定数  $h = 0.02$  の場合



(b) 減衰定数  $h = 0.05$  の場合

図3-2 入力地震動の加速度応答スペクトル曲線

## 4. 上下部構造全体系の地震応答解析

### 4.1 解析モデル

#### (1) 下部構造のモデル化

金城埠頭側および西二区側の主塔橋脚ケーソンは図4-1に示すように併進および回転の2自由度を有する剛体基礎力学モデルによってモデル化した。計算で仮定したケーソンモデルの寸法諸元は表4-1に示す通りであり、併進運動および回転運動に抵抗するばねの堅さは表4-2に示す通りである。ここで、併進に伴う回転力および回転に伴う併進力に対応するばね $K_{x\theta}$  ( $=K_{\theta x}$ ) もしくは $K_{y\theta}$  ( $=K_{\theta y}$ ) は図4-1に示したように地震動入力作用させた位置が下部構造物重心点からわずかず離れているために生じたものである。

一方、金城埠頭側および西二区側の門型橋脚は桁の橋軸方向の運動には自由で、橋軸直交方向の運動に対してだけ抵抗するように設計されている。したがって、解析モデルにおいても橋軸直交方向の場合にだけこの効果を取り入れた。門型橋脚の剛性は杭基礎の剛性に基づいて水平および上下方向の併進とこれに回転を加えた3自由度を有する剛体基礎力学モデルによってモデル化した。計算に用いたばね定数は表4-3に示す通りである。

下部構造物の併進質量および回転質量は構造諸元から表4-4のように定めた。

#### (2) 上部構造のモデル化

上部構造の力学モデルは、主塔および桁については質量を考慮した梁もしくは棒部材、ケーブルについては質量を考慮した棒部材とした。ケーブルは桁および主塔に対して計算上ピン結合されていると仮定するとともに、橋軸方向の解析モデルにおいては、桁の両側面のケーブルをまとめてみかけ上2倍の剛性および断面をもったケーブルにおきかえ、一方、橋軸直交方向の解析モデルにお

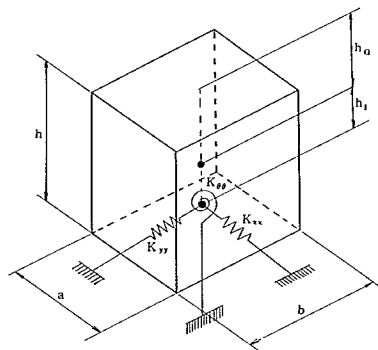


図4-1 主塔橋脚ケーソンのモデル化

表4-1 地震応答計算で仮定した主塔橋脚ケーソンのモデル化

|                    | 西二区側<br>ケーソン | 金城埠頭側<br>ケーソン |
|--------------------|--------------|---------------|
| a[m]               | 45           | 45            |
| b[m]               | 40           | 40            |
| h[m]               | 49           | 45            |
| h <sub>G</sub> [m] | 239          | 22            |
| h <sub>I</sub> [m] | 71           | 9             |

(注) 記号は図4-1参照

表4-2 地震応答計算で使用したばね定数〔主塔橋脚ケーソン〕

| 加振方向   | ばね実数                                      | 西二区側ケーソン           | 金城埠頭側ケーソン          |
|--------|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 橋軸方向   | $K_{xx}$ 〔t/m〕                            | $248 \times 10^6$  | $275 \times 10^6$  |
|        | $K_{\theta_y \theta_y}$ 〔t・m/rad〕         | $1.17 \times 10^9$ | $1.05 \times 10^9$ |
|        | $K_{x \theta_y} = K_{\theta_y x}$ 〔t/rad〕 | $323 \times 10^7$  | $269 \times 10^7$  |
| 橋軸直交方向 | $K_{yy}$ 〔t/m〕                            | $259 \times 10^6$  | $286 \times 10^6$  |
|        | $K_{\theta_x \theta_x}$ 〔t・m/rad〕         | $1.06 \times 10^9$ | $9.18 \times 10^8$ |
|        | $K_{y \theta_x} = K_{\theta_x y}$ 〔t/rad〕 | $3.33 \times 10^7$ | $2.76 \times 10^7$ |

- 注1.  $x, y, z$  はそれぞれ橋軸方向、橋軸直交方向および上下方向を表わす。  
 注2.  $K_{xx}$ ,  $K_{\theta_y \theta_y}$ ,  $K_{x \theta_y}$  はそれぞれ  $x$  方向の併進、 $y$  軸まわりの回転、 $x$  方向の併進に伴う  $y$  軸まわりの回転に対応するばねの堅さを表わす。  
 注3. 上記のばね定数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）に従がひ、ケーソン周辺地盤が3層から成り立ち、各層ごとの地盤反力係数がほぼ同じと考えられ、かつ底面の地盤反力度が台形分布をとするした場合を想定して求めたものである。ここで、鉛直方向地盤反力係数  $K_v$  は西二区側では  $2032 \text{ t/m}^2$ 、金城埠頭側では  $2238 \text{ t/m}^2$  とし、せん断ばね定数  $K_s \approx \frac{1}{3} K_v$  とした。

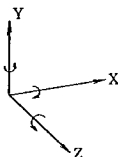
表4-3 地震応答計算で使用したばね定数〔ラーメン橋脚〕

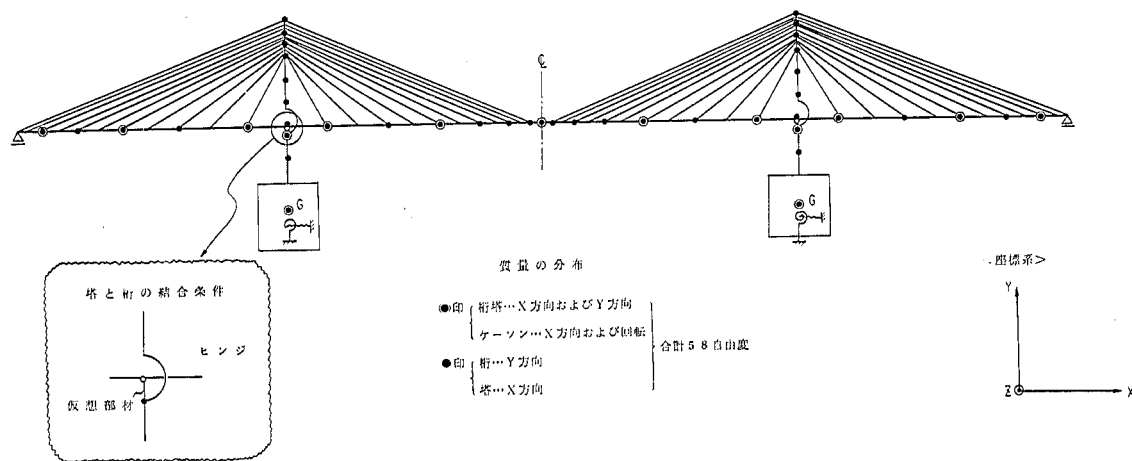
| ばね定数                                      | 西二区側               | 金城埠頭側              |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| $K_{xx}$ 〔t/m〕                            | $3.07 \times 10^5$ | $9.63 \times 10^4$ |
| $K_{yy}$ 〔t/m〕                            | $2.57 \times 10^6$ | $1.24 \times 10^6$ |
| $K_{\theta_y \theta_y}$ 〔t・m/rad〕         | $2.05 \times 10^8$ | $9.93 \times 10^7$ |
| $K_{x \theta_y} = K_{\theta_y x}$ 〔t/rad〕 | $7.75 \times 10^5$ | $2.77 \times 10^5$ |

表4-4 地震応答解析に用いた下部構造の質量（ $\times 1/G$ ）

|                 | 西二区側杭頭フーチング         | 西二区側ケーソン            | 金城埠頭側ケーソン           | 金城埠頭側杭頭フーチング        |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $M_x = M_y$ 〔t〕 | $6.570 \times 10^3$ | $1.434 \times 10^5$ | $1.363 \times 10^5$ | $3.900 \times 10^3$ |
| $J_z$ 〔t・m〕     | —                   | $5.430 \times 10^7$ | $4.702 \times 10^7$ | —                   |
| $J_x$ 〔t・m〕     | $5.093 \times 10^5$ | $4.922 \times 10^7$ | $4.219 \times 10^7$ | $3.023 \times 10^5$ |

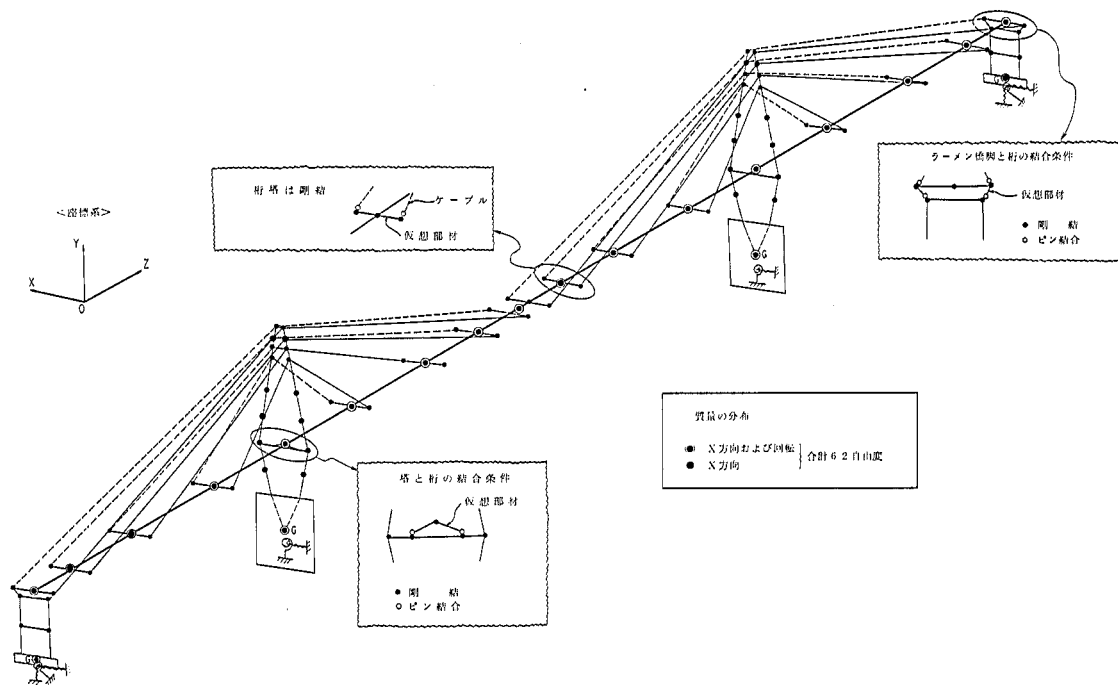
- ④  $M_x$  : 橋軸方向X併進質量  
 $M_z$  : 橋軸直交方向Y併進質量  
 $J_z$  : 橋軸方向の回転質量  
 $J_x$  : 橋軸直角方向の回転質量





(a) 橋 軸 方 向

図 4 - 2 - 1 上下部構造全体系地震応答解析モデル



(b) 橋軸直交方向

図4-2-2 上下部構造全体系地震応答解析モデル

いては桁の両側面のケーブルをそれぞれ個別に考慮するかわりにそれぞれの面内において数本のケーブルをまとめて一本のケーブルに縮合することにより計算上のケーブル本数を減少させた。このようにして求められた上下部構造全体系の地震応答解析モデルを図4-2に示す。解析モデルは固有値計算における自由度を減少させるために、計算の結果に著しい差異を生じない範囲内で図中に示したように質量の縮合を図っている。

## 4.2 解 析 法

地震応答解析はモーダルアナリシスの手法により、3章で示した3種類の入力地震動の応答スペクトルを用いて行なった。モーダルアナリシスでは、1次から58次(橋軸方向)もしくは62次(橋軸直交方向)までの全次数の振動モードを考慮し、ケーブル、主塔、桁からなる上部構造物に対しては2%の減衰定数を、主塔橋脚ケーソンおよび門型橋脚基礎からなる下部構造物に対しては5%の減衰定数をそれぞれ見込んだ。

固有値解析の結果、固有振動数 $\omega_i$ および固有振動モード値、 $\phi_{i,j}$  ( $i=1\sim nm, j=1\sim np$ )が求められると、下部構造に様な地震動が作用した場合の応答値は、各モードごとの応答値の2乗和の平方根によって表わすものとすれば、

$$u_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{nm} u_{i,j}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{nm} (\phi_{i,j} q_i)^2} \quad (1)$$

ここに、

$$q_i = \frac{T_i}{\omega_{D1}^2} \cdot S_{Ai} \quad (2)$$

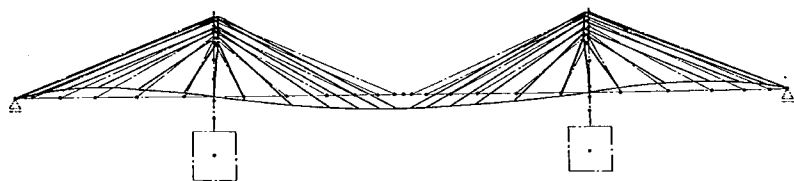
$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^{np} m_j \phi_{i,j}}{\sum_{j=1}^{np} m_j \phi_{i,j}^2} \quad (3)$$

となる。ここで、 $\omega_{D1}$ 、 $S_{Ai}$ は*i*次の減衰固有振動数および図3-4に示した加速度応答スペクトル値である。

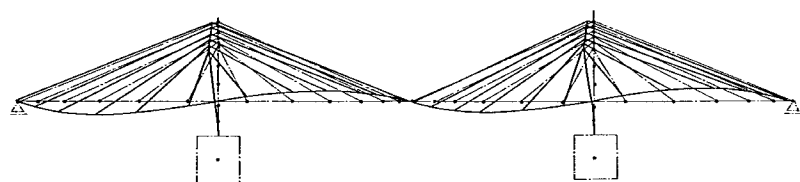
## 4.3 解 析 結 果

### (1) 固有振動モード

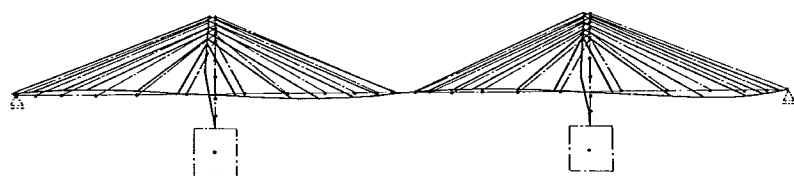
橋軸方向の固有振動モード(1次～6次)を図4-3に、橋軸直角方向の固有振動モード(1次～6次)を図4-4に示す。また、各次の固有周期、モード寄与率、振動エネルギー分配率を表4-5に示す。



(a) 1次 ( $T=3.74$  秒)

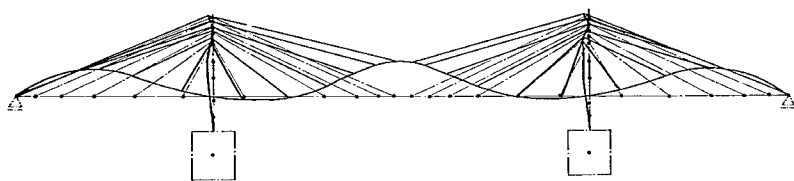


(b) 2次 ( $T=3.09$  秒)

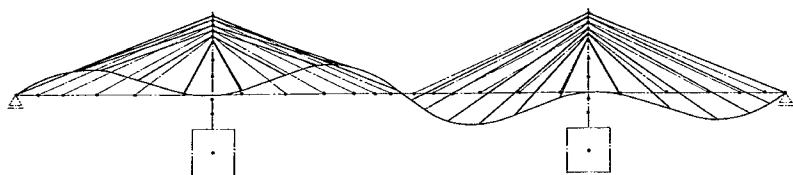


(c) 3次 ( $T=2.18$  秒)

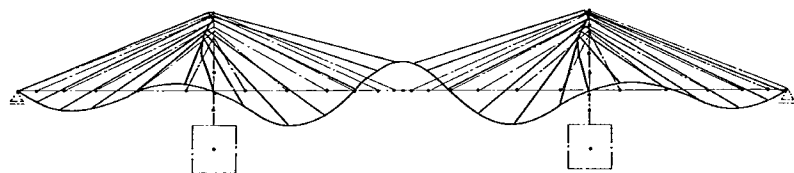
図4-3-1 橋軸方向の振動モード (1次~3次)



(d) 4次 ( $T=1.77$  秒)



(e) 5次 ( $T=1.48$  秒)



(f) 6次 ( $T=1.19$  秒)

図4-3-2 橋軸方向の振動モード (4次~6次)

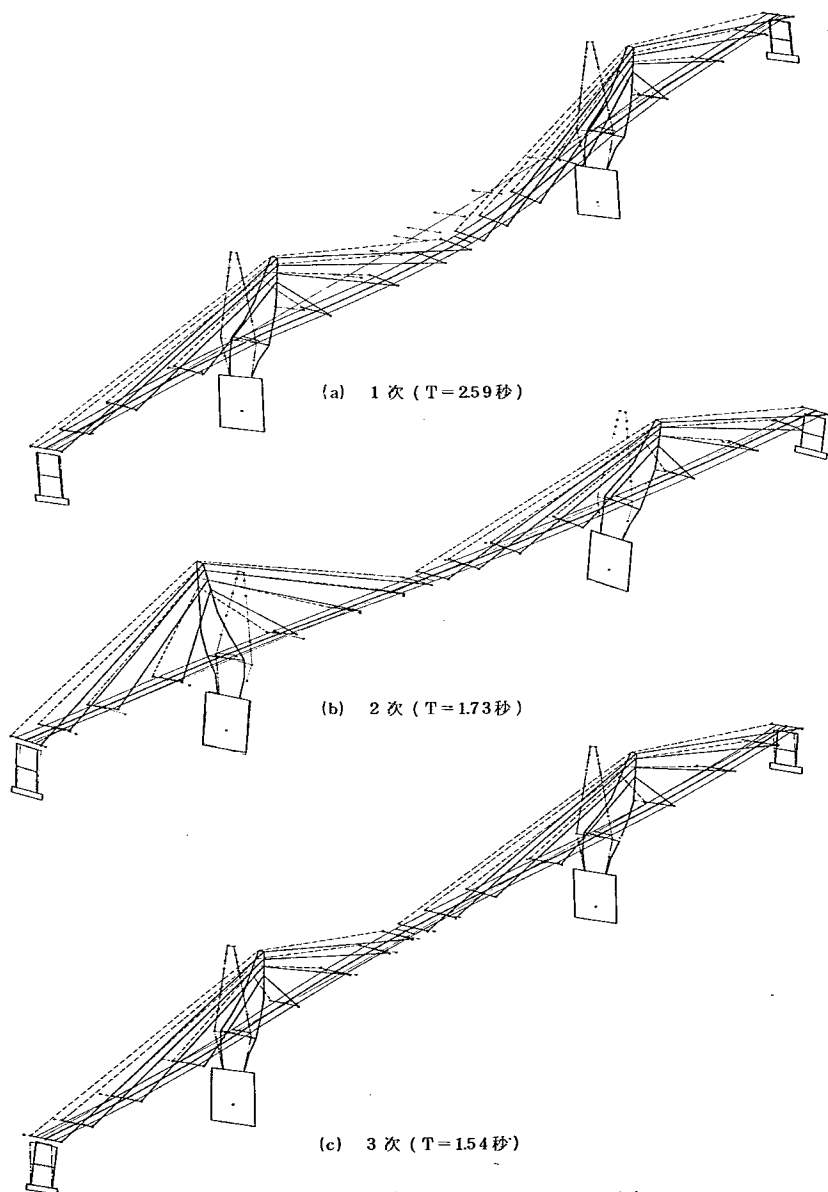
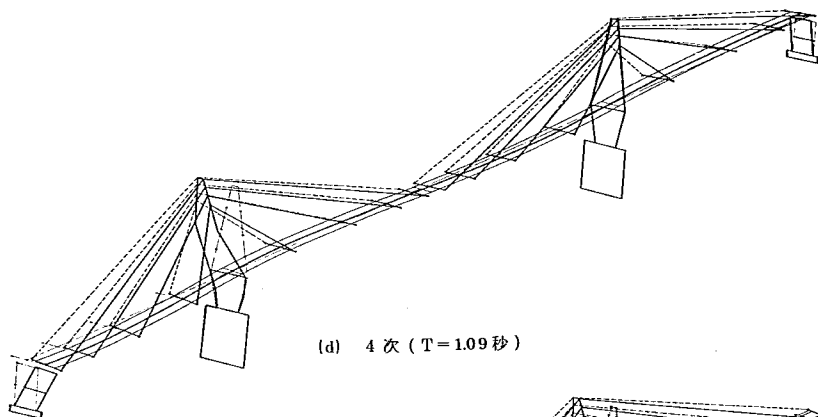
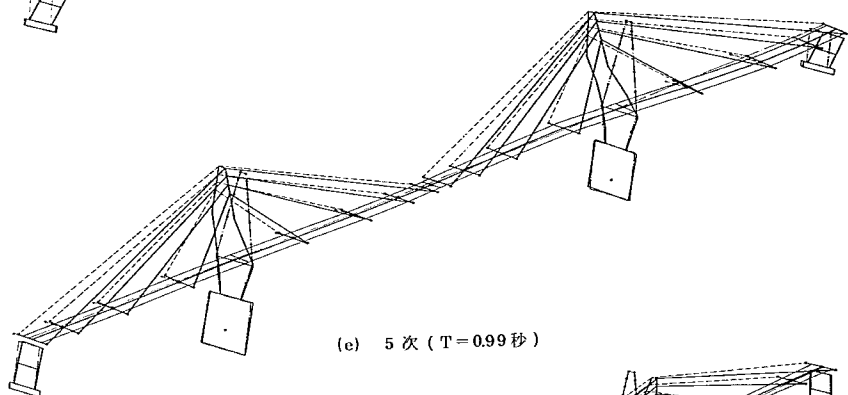


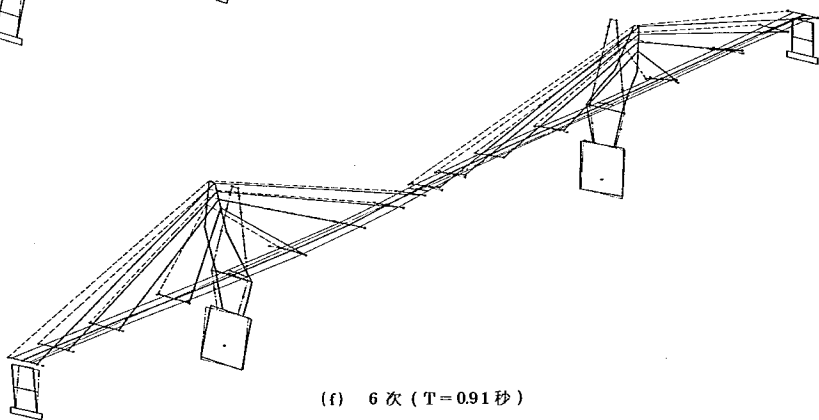
図4-4-1 橋軸直交方向の振動モード(1次~3次)



(d) 4次 ( $T=1.09$ 秒)



(e) 5次 ( $T=0.99$ 秒)



(f) 6次 ( $T=0.91$ 秒)

図4-4-2 橋軸直交方向の振動モード(4次~6次)

表4-5 固有周期、モード寄与率および振動モード分配率一覧

| 振動<br>モード | 橋 梁 方 向      |        |       |            |       | 橋 梁 直 角 方 向  |        |      |            |       |
|-----------|--------------|--------|-------|------------|-------|--------------|--------|------|------------|-------|
|           | 固有周<br>期 (秒) | モード寄与率 |       | 振動エネルギー分配率 |       | 固有周<br>期 (秒) | モード寄与率 |      | 振動エネルギー分配率 |       |
|           |              | 橋軸方向   | 上下方向  | 上部工        | 下部工   |              | 橋軸方向   | 上下方向 | 上部工        | 下部工   |
| 1         | 3736         | -0.15  | -510  | 1.0        | 0.0   | 2587         | -4213  | 0.00 | 0.994      | 0.006 |
| 2         | 3085         | -1830  | 0.01  | 1.0        | 0.0   | 1730         | 599    | 0.00 | 0.977      | 0.023 |
| 3         | 2184         | -5518  | 0.03  | 0.990      | 0.010 | 1541         | -3815  | 0.00 | 0.987      | 0.013 |
| 4         | 1767         | -0.12  | 3109  | 1.0        | 0.0   | 1085         | -1747  | 0.00 | 0.989      | 0.011 |
| 5         | 1481         | 261    | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0986         | -5536  | 0.00 | 0.923      | 0.077 |
| 6         | 1188         | -0.49  | -1732 | 1.0        | 0.0   | 0911         | -5132  | 0.00 | 0.348      | 0.652 |
| 7         | 0941         | 1387   | -0.02 | 0.992      | 0.008 | 0829         | -10187 | 0.00 | 0.332      | 0.668 |
| 8         | 0881         | -354   | 753   | 0.997      | 0.003 | 0766         | -265   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 9         | 0838         | 9316   | 0.43  | 0.027      | 0.973 | 0730         | -2142  | 0.00 | 0.571      | 0.429 |
| 10        | 0781         | 774    | -0.03 | 0.985      | 0.015 | 0610         | -1434  | 0.00 | 0.888      | 0.112 |
| 11        | 0760         | -9816  | 0.18  | 0.030      | 0.970 | 0561         | 1588   | 0.00 | 0.887      | 0.113 |
| 12        | 0607         | -0.26  | -378  | 1.0        | 0.0   | 0504         | 0.98   | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 13        | 0526         | 1.32   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0477         | 130    | 0.00 | 0.998      | 0.002 |
| 14        | 0489         | 0.01   | -1180 | 1.0        | 0.0   | 0434         | -275   | 0.00 | 0.853      | 0.147 |
| 15        | 0475         | -0.20  | -0.67 | 0.998      | 0.002 | 0433         | 0.21   | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 16        | 0427         | 0.27   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0398         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 17        | 0398         | -0.02  | 711   | 1.0        | 0.0   | 0387         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 18        | 0372         | 0.36   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0370         | -1300  | 0.00 | 0.317      | 0.683 |
| 19        | 0350         | -0.02  | 1039  | 1.0        | 0.0   | 0318         | 533    | 0.00 | 0.878      | 0.122 |
| 20        | 0325         | -1.03  | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0311         | -172   | 0.00 | 0.998      | 0.002 |
| 21        | 0304         | -4952  | 0.08  | 0.542      | 0.458 | 0296         | 2838   | 0.00 | 0.057      | 0.943 |
| 22        | 0301         | 2889   | -0.21 | 0.665      | 0.335 | 0292         | 6576   | 0.00 | 0.027      | 0.973 |
| 23        | 0297         | -3628  | -0.44 | 0.772      | 0.228 | 0282         | 761    | 0.00 | 0.992      | 0.008 |
| 24        | 0280         | -6378  | 0.08  | 0.023      | 0.977 | 0282         | 120    | 0.00 | 0.995      | 0.005 |
| 25        | 0253         | -0.01  | 159   | 1.0        | 0.0   | 0272         | -6432  | 0.00 | 0.019      | 0.981 |
| 26        | 0228         | -0.15  | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0261         | 170    | 0.00 | 0.998      | 0.002 |
| 27        | 0179         | 0.00   | 396   | 1.0        | 0.0   | 0250         | -294   | 0.00 | 0.981      | 0.019 |
| 28        | 0179         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0233         | 0.59   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 29        | 0168         | 0.01   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0209         | 0.17   | 0.00 | 0.997      | 0.003 |
| 30        | 0162         | 0.03   | 0.85  | 0.999      | 0.001 | 0206         | -0.24  | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 31        | 0149         | -0.07  | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0205         | -0.03  | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 32        | 0147         | -0.01  | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0195         | 0.01   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 33        | 0129         | 0.17   | 0.00  | 0.999      | 0.001 | 0182         | 0.93   | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 34        | 0125         | -0.01  | 0.04  | 0.999      | 0.001 | 0181         | 0.22   | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 35        | 0124         | -0.20  | 0.00  | 0.999      | 0.001 | 0166         | 0.51   | 0.00 | 0.998      | 0.002 |
| 36        | 0108         | 0.00   | 0.14  | 1.0        | 0.0   | 0156         | -0.01  | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 37        | 0104         | 0.01   | -0.34 | 0.999      | 0.001 | 0138         | 0.01   | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 38        | 0092         | -0.26  | 0.01  | 0.992      | 0.008 | 0122         | 0.02   | 0.00 | 0.999      | 0.001 |
| 39        | 0092         | 0.02   | 0.97  | 0.993      | 0.007 | 0111         | 0.04   | 0.00 | 0.998      | 0.002 |
| 40        | 0085         | 0.01   | 0.01  | 1.0        | 0.0   | 0110         | -0.42  | 0.00 | 0.998      | 0.002 |
| 41        | 0085         | 0.00   | -1960 | 1.0        | 0.0   | 0109         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 42        | 0083         | -0.01  | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0109         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 43        | 0076         | 0.00   | -0.17 | 1.0        | 0.0   | 0100         | -0.74  | 0.00 | 0.065      | 0.935 |
| 44        | 0074         | -0.01  | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0095         | 1.74   | 0.00 | 0.033      | 0.967 |
| 45        | 0073         | 0.00   | -0.03 | 1.0        | 0.0   | 0087         | 0.01   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 46        | 0073         | 0.02   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0087         | 0.03   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 47        | 0070         | 0.00   | 0.10  | 1.0        | 0.0   | 0086         | 0.03   | 0.00 | 0.998      | 0.002 |
| 48        | 0069         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0084         | 0.11   | 0.00 | 0.994      | 0.006 |
| 49        | 0055         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0082         | -0.06  | 0.00 | 0.987      | 0.013 |
| 50        | 0039         | 0.00   | 0.01  | 1.0        | 0.0   | 0077         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 51        | 0039         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0077         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 52        | 0033         | 0.00   | 0.01  | 1.0        | 0.0   | 0071         | -0.12  | 0.00 | 0.995      | 0.005 |
| 53        | 0033         | 0.00   | 0.01  | 1.0        | 0.0   | 0071         | 0.02   | 0.00 | 0.995      | 0.005 |
| 54        | 0021         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0065         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 55        | 0015         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0065         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 56        | 0015         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0050         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 57        | 0003         | 0.00   | 0.00  | 1.0        | 0.0   | 0035         | -0.04  | 0.00 | 0.976      | 0.024 |
| 58        | 0003         | 0.00   | -0.02 | 1.0        | 0.0   | 0031         | 0.02   | 0.00 | 0.962      | 0.038 |
| 59        |              |        |       |            |       | 0028         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 60        |              |        |       |            |       | 0028         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 61        |              |        |       |            |       | 0024         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |
| 62        |              |        |       |            |       | 0024         | 0.00   | 0.00 | 1.0        | 0.0   |

## (2) 地震応答解析による応答値

(1) 式によって計算された西大橋の上部桁の応答値の分布を図4-5に、西二区側主塔および金城埠頭側主塔の応答値の分布をそれぞれ図4-6および図4-7に示す。ここで、橋軸方向に加振した場合の金城埠頭側主塔の応答値は西二区側主塔の応答値と非常に以かよっていた(±5%以内)ので図化されていない。主塔基部の曲げモーメントの応答値に着目して、これに対する各次応答の寄与の度合いを示すと表4-6のようになり、橋軸方向に加振した場合には2次、3次、9次、11次の振動モードが、橋軸直交方向に加振した場合には1次、2次、3次、5次、7次、9次の振動モードがそれぞれ高い寄与率を示しているのが認められる。これらのモードに着目して主塔だけの振動モードを図4-8に示す。ケーブル張力の応答値を表4-7に、下部構造物底面における応答反力値および重心位置における応答変位値を表4-8にそれぞれ示す。また、門型ラーメン橋脚の応答値を表4-9に示す。応答の最大値に着目すれば、一般に上部構造は静内橋地震動を作用させた場合が、下部構造は板島橋地震動を作用させた場合がそれぞれ卓越しているのが認められる。

## 4.4 地震時安全性の検討

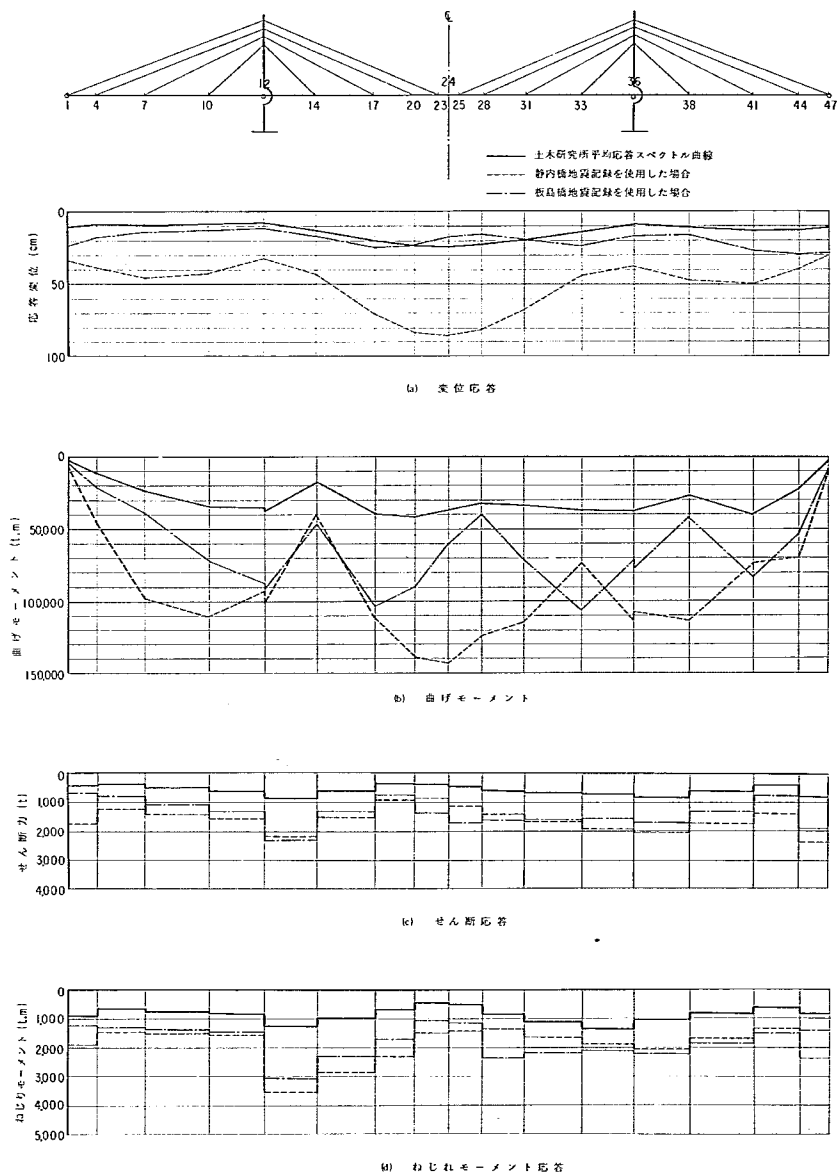
地震応答解析によって求められた上部構造物の断面力および下部構造物底面の反力は常時における死荷重、活荷重、温度荷重等による応答値と適当な重畳を施し、それぞれの許容断面力値もしくは許容支持力値と比較することによって地震時の安全性を検討することが必要である。ここでは便宜的に地震応答解析による応答値についてのみ検討した。

### (1) 上 部 構 造

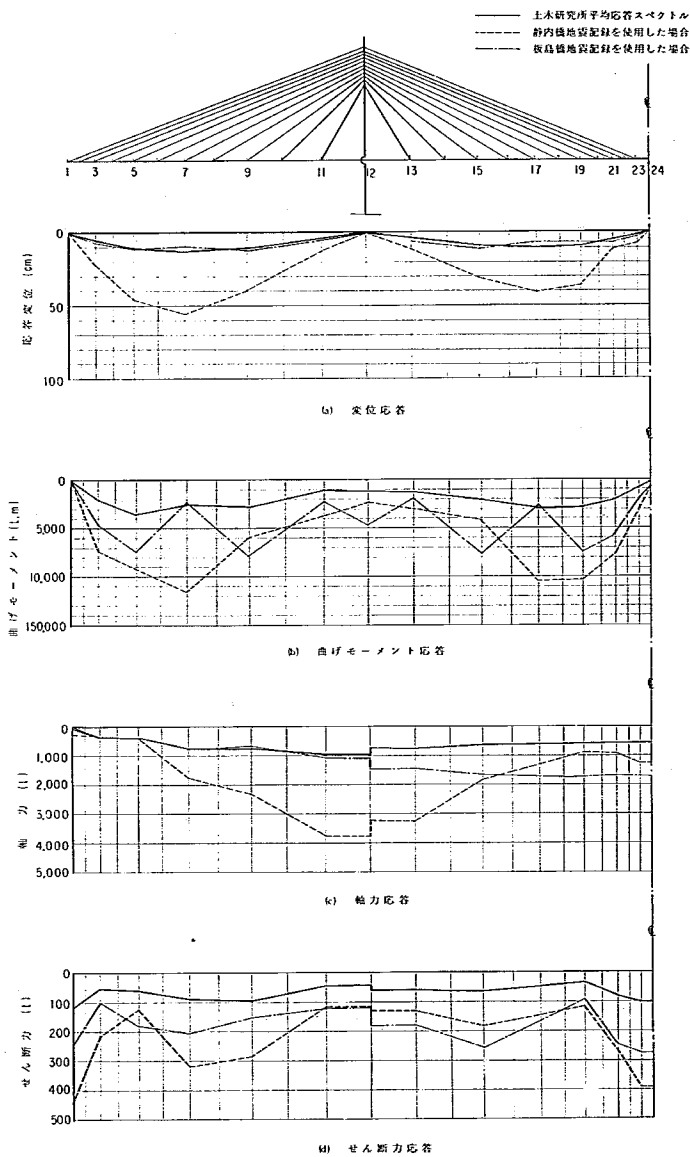
地震により桁に生じる応力値を代表的な点(それぞれの入力地震動ごとに断面応力度が最も大きくなると考えられる点を選んだ)で計算すると表4-10に示すようになった。地震による主塔の応力値をその基部および水平材取付位置において求めた結果を表4-11に示す。ここで、応答値は金城埠頭側主塔および西二区側主塔のうち、いずれか大きい方を示したものである。これにより、地震による主塔の応力度は基部および水平材取付位置において大きく、静内橋地震動を作用させた場合には許容応力度を上廻っているのが認められる。主塔に関しては今後データの見直しを図り、地震時安全性を確保するよう入念な検討を加えることが望まれる。

次に、地震によるケーブルの応力値を表4-12に示す。表4-7に示したように、橋軸方向に加振した場合には、橋軸直交方向に加振した場合に比較してケーブル張力は非常に小さいため、ここでは橋軸方向に加振した場合を中心に検討した結果を示した。端ケーブルの方がそれ以外のケーブルに比較し一般に応力度が高くなっているのが認められる。

地震による門型ラーメン橋脚基部の応答値を表4-13に示す。応力度は静内橋地震動、板島橋地震動のいずれを作用させた場合においても許容応力度を上廻っており、金城埠頭側においてこの傾向はより著しい。



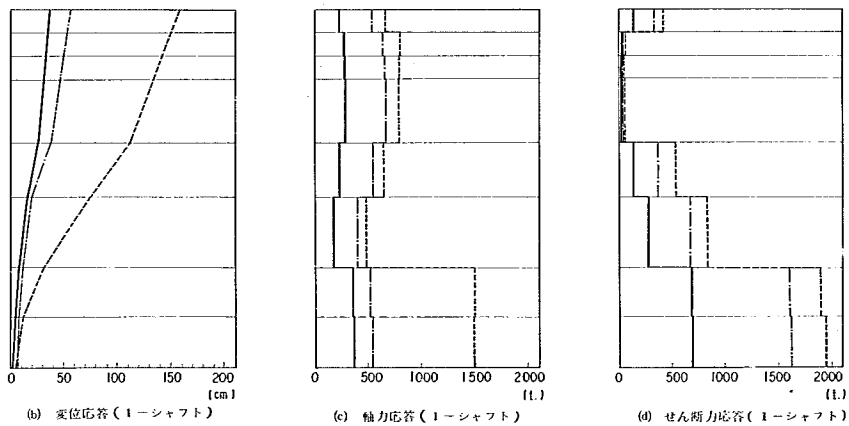
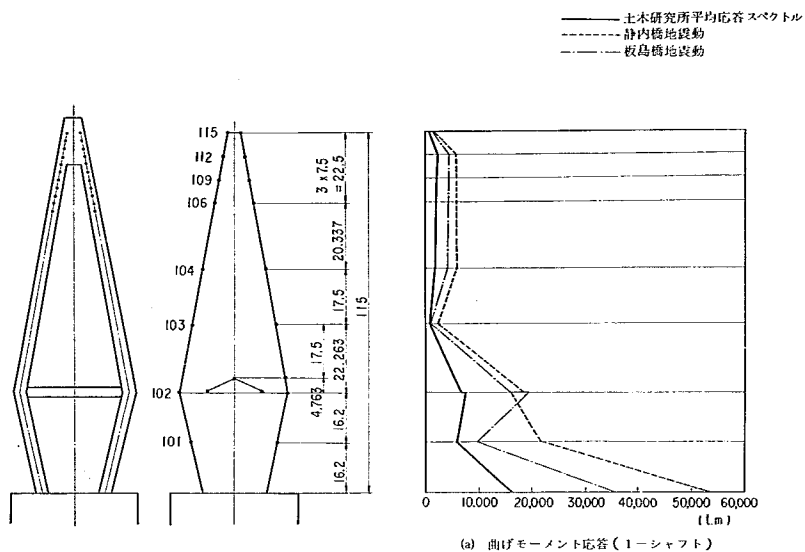
(a) 橋軸方向に加振した場合  
図4-5-1 上部桁の応答値の分布  
- 21 -



(b) 橋軸直交方向に加振した場合

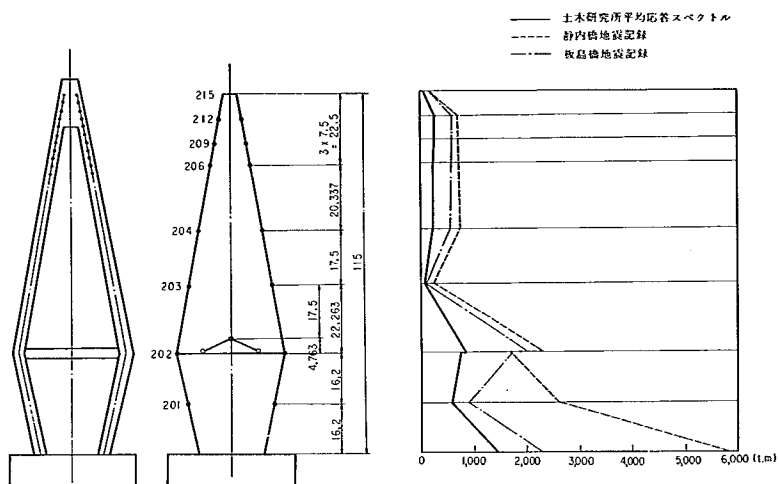
図4-5-2 上部桁の応答値の分布



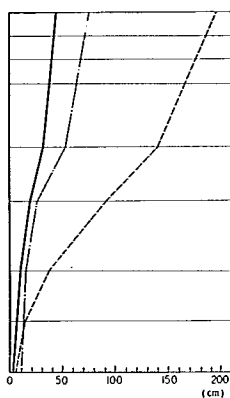


(b) 橋軸直交方向に加振した場合

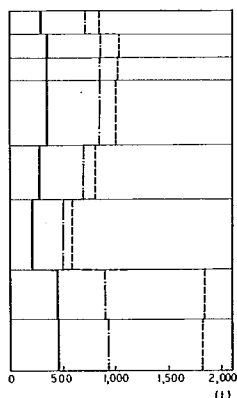
図4-6-2 西二区側主塔の応答値の分布



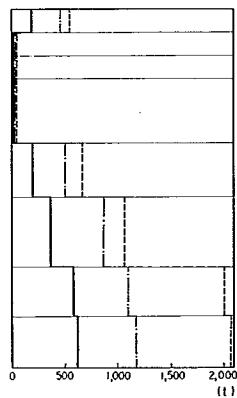
(a) 曲げモーメント (1-シャフト)



(b) 変位応答 (1-シャフト)



(c) 軸力応答 (1-シャフト)



(d) せん断力応答 (1-シャフト)

図4-7 金城埠頭側主塔の応答値の分布〔橋軸直交方向に加振した場合〕

表 4-6 主塔基部の曲げモーメント応答値に対する各次応答の寄与の度合い

(a) 橋軸方向に加振した場合 — 西二区側主塔

[単位 tm]

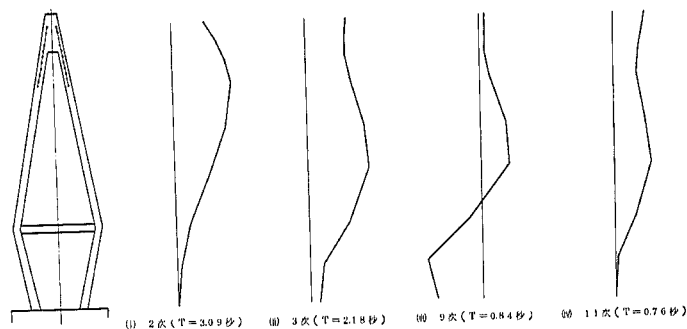
| 振動次数          | 固有周期〔秒〕 | 平均応答スペクトル | 静内橋地震動  | 板島橋地震動 |
|---------------|---------|-----------|---------|--------|
| 1             | 3.736   | 8         | 8       | 4      |
| 2             | 3.085   | 4,179     | 8,292   | 2,881  |
| 3             | 2.184   | 31,930    | 193,100 | 20,040 |
| 4             | 1.767   | 4         | 29      | 4      |
| 5             | 1.481   | 64        | 361     | 69     |
| 6             | 1.188   | 10        | 36      | 12     |
| 7             | 0.941   | 373       | 788     | 783    |
| 8             | 0.881   | 10        | 17      | 25     |
| 9             | 0.838   | 16,310    | 29,580  | 48,080 |
| 10            | 0.781   | 155       | 231     | 776    |
| 11            | 0.760   | 2,281     | 3,871   | 9,261  |
| 12            | 0.607   | 2         | 5       | 6      |
| 13            | 0.526   | 21        | 27      | 33     |
| 14            | 0.489   | 0         | 0       | 0      |
| 15            | 0.475   | 19        | 17      | 25     |
| 16            | 0.427   | 1         | 1       | 1      |
| 17            | 0.398   | 0         | 0       | 0      |
| 18            | 0.372   | 2         | 1       | 2      |
| 19            | 0.350   | 0         | 0       | 0      |
| 20            | 0.325   | 8         | 5       | 6      |
| 21            | 0.304   | 2,868     | 1,667   | 1,886  |
| 22            | 0.301   | 916       | 514     | 586    |
| 23            | 0.297   | 3,878     | 2,133   | 2,410  |
| ⋮             | ⋮       | ⋮         | ⋮       | ⋮      |
| 58            | 0.003   | 0         | 0       | 0      |
| 自乗和の平方根による合成値 |         | 36,506    | 195,632 | 53,088 |

〔注〕 金城埠頭側主塔についても上記とおおむね同じである。

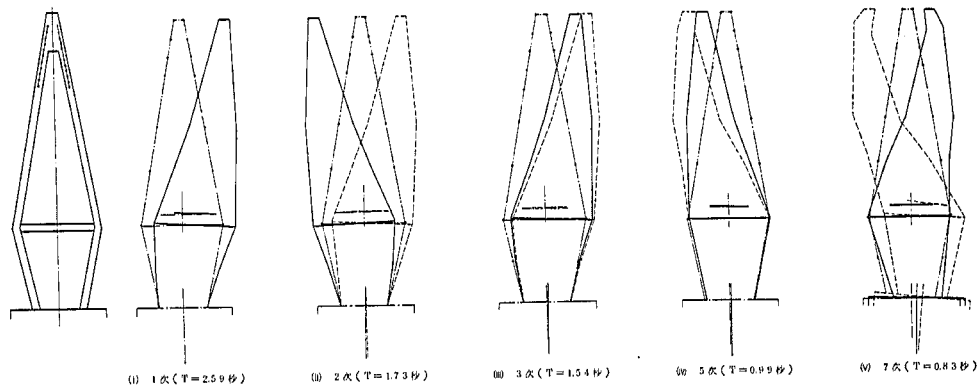
(b) 橋軸直交方向に加振した場合

〔単位 tm〕

| 振動<br>次数          | 固有周<br>期〔秒〕 | 西二区鋼主塔        |            |            | 金城埠頭鋼主塔       |            |            |
|-------------------|-------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
|                   |             | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 |
| 1                 | 2.587       | 9577          | 33010      | 5410       | 9649          | 33260      | 5451       |
| 2                 | 1.730       | 1606          | 12050      | 1732       | 1443          | 10830      | 1556       |
| 3                 | 1.541       | 5346          | 32860      | 5864       | 7136          | 43860      | 7828       |
| 4                 | 1.085       | 186           | 590        | 303        | 4             | 12         | 6          |
| 5                 | 0.986       | 1219          | 2954       | 2375       | 3176          | 7691       | 6190       |
| 6                 | 0.911       | 629           | 1240       | 1365       | 2048          | 4037       | 4442       |
| 7                 | 0.829       | 7573          | 13140      | 24740      | 203           | 352        | 663        |
| 8                 | 0.766       | 8             | 12         | 44         | 4             | 6          | 21         |
| 9                 | 0.730       | 3098          | 5306       | 12760      | 3188          | 5460       | 13130      |
| 10                | 0.610       | 8496          | 16330      | 19580      | 6012          | 11560      | 13850      |
| 11                | 0.561       | 707           | 1197       | 1238       | 2226          | 3767       | 3896       |
| 12                | 0.504       | 3             | 4          | 5          | 8             | 8          | 12         |
| 13                | 0.477       | 7             | 6          | 9          | 7             | 6          | 10         |
| 14                | 0.434       | 175           | 140        | 195        | 190           | 151        | 211        |
| 15                | 0.433       | 0             | 0          | 0          | 3             | 2          | 3          |
| 16                | 0.398       | 0             | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          |
| 17                | 0.387       | 0             | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          |
| 18                | 0.370       | 484           | 367        | 453        | 394           | 298        | 368        |
| 19                | 0.318       | 358           | 207        | 253        | 327           | 189        | 231        |
| 20                | 0.311       | 9             | 5          | 6          | 26            | 15         | 18         |
| 21                | 0.296       | 172           | 109        | 111        | 325           | 206        | 211        |
| 22                | 0.292       | 2037          | 1304       | 1294       | 463           | 297        | 294        |
| 23                | 0.282       | 12            | 6          | 7          | 11            | 6          | 6          |
| .....             | .....       | .....         | .....      | .....      | .....         | .....      | .....      |
| 62                | 0.024       | 0             | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          |
| 自乗和の平方根に<br>よる合成値 |             | 16405         | 52877      | 35155      | 14641         | 58323      | 23076      |



(a) 橋軸方向に加振した場合



(b) 橋軸直交方向に加振した場合

図4-8 主塔基部の曲げモーメント応答に対して寄与の度合いの高い振動モード

表4-7 ケーブル張力の応答値

| ケーブル | 橋 軸 方 向       |        |        | 橋 軸 直 角 方 向   |          |         |
|------|---------------|--------|--------|---------------|----------|---------|
|      | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋地震動 | 板島橋地震動 | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋地震動   | 板島橋地震動  |
| 1    | 69            | 305    | 54     | 35(55)        | 104(150) | 60(100) |
| 2    | 38            | 165    | 30     |               |          |         |
| 3    | 29            | 113    | 36     |               |          |         |
| 4    | 23            | 57     | 51     | 25(38)        | 79(101)  | 43(68)  |
| 5    | 28            | 78     | 65     |               |          |         |
| 6    | 40            | 164    | 64     |               |          |         |
| 7    | 57            | 257    | 52     | 24(25)        | 69(73)   | 36(41)  |
| 8    | 80            | 333    | 94     |               |          |         |
| 9    | 114           | 385    | 197    |               |          |         |
| 10   | 142           | 372    | 254    | 33(35)        | 79(95)   | 45(64)  |
| 11   | 145           | 283    | 219    |               |          |         |
| 12   | 143           | 232    | 239    |               |          |         |
| 13   | 123           | 259    | 250    | 36(31)        | 103(95)  | 76(46)  |
| 14   | 90            | 247    | 176    |               |          |         |
| 15   | 61            | 204    | 74     |               |          |         |
| 16   | 42            | 148    | 48     | 19(24)        | 47(53)   | 46(68)  |
| 17   | 28            | 88     | 67     |               |          |         |
| 18   | 21            | 46     | 68     |               |          |         |
| 19   | 21            | 61     | 55     | 35(30)        | 88(83)   | 101(84) |
| 20   | 28            | 99     | 38     |               |          |         |
| 21   | 35            | 130    | 30     |               |          |         |
| 22   | 43            | 162    | 34     | 45(40)        | 142(149) | 118(94) |

注) ( )内は橋軸直角方向に加振した場合の金城埠頭側(主塔橋脚)の応答値である。  
ケーブル番号は下記の図を参照されたい。

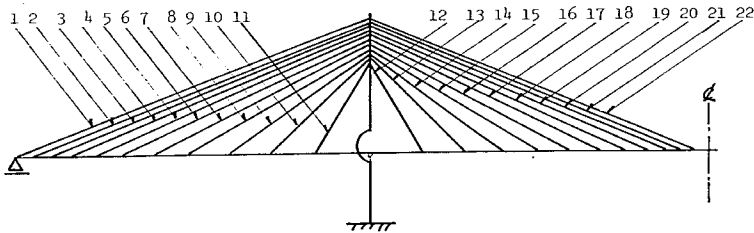


表4-8 下部構造の応答値

(a) 反力応答値

|                 |           | 橋 軸 方 向   |         |           |           | 橋 軸 直 角 方 向 |         |         |
|-----------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-------------|---------|---------|
|                 |           | 平均応答スペクトル | 静内橋地震動  | 板島橋地震動    |           | 平均応答スペクトル   | 静内橋地震動  | 板島橋地震動  |
| 西二区側<br>門形ラーメン  | 鉛直反力(t)   | 137       | 545     | 254       | 水平反力(t)   | 2518        | 2999    | 2512    |
|                 |           |           |         |           | 曲げ反力(t・m) | 36,249      | 116,890 | 80,776  |
| 西二区側<br>主塔橋脚    | 水平反力(t)   | 19,144    | 30,950  | 47,923    | 水平反力(t)   | 18,203      | 23,144  | 31,407  |
|                 | 曲げ反力(t・m) | 381,602   | 707,811 | 892,473   | 曲げ反力(t・m) | 356,620     | 485,002 | 535,281 |
| 金城埠頭側<br>主塔橋脚   | 水平反力(t)   | 22,373    | 32,350  | 72,340    | 水平反力(t)   | 20,086      | 27,814  | 47,980  |
|                 | 曲げ反力(t・m) | 445,872   | 762,277 | 1,451,410 | 曲げ反力(t・m) | 389,549     | 631,864 | 986,988 |
| 金城埠頭側<br>門形ラーメン | 鉛直反力(t)   | 125       | 538     | 185       | 水平反力(t)   | 1,728       | 3,908   | 3,965   |
|                 |           |           |         |           | 曲げ反力(t・m) | 50,404      | 128,615 | 119,727 |

(b) 重心位置の変位応答値

〔単位cmまたはradian〕

|                 |      | 橋 軸 方 向               |                       |                       |      | 橋 軸 直 角 方 向           |                       |                       |
|-----------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                 |      | 平均応答スペクトル             | 静内橋地震動                | 板島橋地震動                |      | 平均応答スペクトル             | 静内橋地震動                | 板島橋地震動                |
| 西二区側<br>門形ラーメン  | 水平変位 | 127                   | 76.0                  | 8.5                   | 水平変位 | 0.88                  | 1.27                  | 1.01                  |
|                 |      |                       |                       |                       | 回転変位 | $1.94 \times 10^{-4}$ | $6.08 \times 10^{-4}$ | $4.23 \times 10^{-4}$ |
| 西二区側<br>主塔橋脚    | 水平変位 | 2.04                  | 4.07                  | 5.93                  | 水平変位 | 1.51                  | 3.04                  | 3.97                  |
|                 | 回転変位 | $6.99 \times 10^{-4}$ | $1.43 \times 10^{-3}$ | $2.00 \times 10^{-3}$ | 回転変位 | $5.64 \times 10^{-4}$ | $1.13 \times 10^{-3}$ | $1.41 \times 10^{-3}$ |
| 金城埠頭側<br>主塔橋脚   | 水平変位 | 1.93                  | 3.58                  | 7.74                  | 水平変位 | 1.81                  | 3.36                  | 5.76                  |
|                 | 回転変位 | $6.98 \times 10^{-4}$ | $1.32 \times 10^{-3}$ | $2.73 \times 10^{-3}$ | 回転変位 | $7.10 \times 10^{-4}$ | $1.32 \times 10^{-3}$ | $2.20 \times 10^{-3}$ |
| 金城埠頭側<br>門形ラーメン | 水平変位 | 168                   | 76.0                  | 8.4                   | 水平変位 | 2.09                  | 4.85                  | 4.86                  |
|                 |      |                       |                       |                       | 回転変位 | $5.58 \times 10^{-4}$ | $1.42 \times 10^{-3}$ | $1.33 \times 10^{-3}$ |

表 4-9 門型ラーメン橋脚の応答値

| 位 置   | 応 答           | 平均応答スペクトル | 静内橋地震動 | 板島橋地震動 |
|-------|---------------|-----------|--------|--------|
| 西二区側  | 橋脚天端変位 (cm)   | 10        | 33     | 22     |
|       | 軸 力 (ton)     | 1,031     | 3,349  | 2,278  |
|       | せん断力 (ton)    | 355       | 1,153  | 781    |
|       | 曲げモーメント (t・m) | 5,463     | 17,731 | 12,009 |
| 金城埠頭側 | 橋脚天端変位 (cm)   | 12        | 29     | 28     |
|       | 軸 力 (ton)     | 1,354     | 3,488  | 3,195  |
|       | せん断力 (ton)    | 596       | 1,525  | 1,406  |
|       | 曲げモーメント (t・m) | 7,477     | 19,147 | 17,636 |

表 4-10 地震応答計算による上部桁の応力度

| 加振方向                       | 断面力および断面応力度                   | 平均応答スペクトル | 静内橋地震動  | 板島橋地震動  |
|----------------------------|-------------------------------|-----------|---------|---------|
| 橋<br>軸<br>方<br>向           | 検討した断面位置                      | 5         | 7       | 9       |
|                            | 曲げモーメント (t・m)                 | 3,500     | 11,500  | 7,800   |
|                            | 軸 力 (t)                       | 400       | 1,750   | 2,300   |
|                            | せん断力 (t)                      | 70        | 330     | 290     |
|                            | 曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | 141       | 465     | 317     |
|                            | 軸応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )    | 32        | 138     | 182     |
|                            | 合成応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | 173       | 603     | 498     |
|                            | せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )  | 6         | 26      | 23      |
| 橋<br>軸<br>直<br>交<br>方<br>向 | 検討した断面位置                      | 20        | 24      | 33      |
|                            | 曲げモーメント (t・m)                 | 41,000    | 143,000 | 106,000 |
|                            | せん断力 (t)                      | 400       | 1,200   | 1,600   |
|                            | ねじりモーメント (t・m)                | 700       | 1,500   | 2,200   |
|                            | 曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | 45        | 159     | 119     |
|                            | 合せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 71        | 177     | 246     |

(注) 検討した断面位置は、橋軸方向に加振した場合は図4-5 (b)を、橋軸直交方向に加振した場合は図4-5 (a)を参照。

表4-11 地震応答計算により求めた塔の応力度

## (a) 塔基部における応力度

| 加振方向        | 断面力および断面応力度                   | 平均応答スペクトル | 静内橋地震動  | 板島橋地震動 |
|-------------|-------------------------------|-----------|---------|--------|
| 橋軸方向        | 曲げモーメント (t・m)                 | 18,500    | 98,000  | 26,500 |
|             | 軸 力 (t)                       | 120       | 265     | 445    |
|             | せん断力 (t)                      | 600       | 3,200   | 750    |
|             | 曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | 1,160     | 6,141   | 1,661  |
|             | 軸 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 9         | 21      | 35     |
|             | 合 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1,169     | 6,162   | 1,695  |
|             | せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )  | 47        | 248     | 59     |
| 橋 軸<br>直交方向 | 曲げモーメント (t・m)                 | *14,500   | *58,500 | 35,500 |
|             | 軸 力 (t)                       | * 450     | * 1,830 | 540    |
|             | せん断力 (t)                      | * 620     | * 2,080 | 1,620  |
|             | 曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | * 974     | * 3,926 | 2,382  |
|             | 軸 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | * 35      | * 143   | 42     |
|             | 合 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | * 1,008   | * 4,068 | 2,427  |
|             | せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )  | * 48      | * 161   | 126    |

## (b) 水平材取付位置における応力度

| 加振方向        | 断面力および断面応力度                   | 平均応答スペクトル | 静内橋地震動  | 板島橋地震動 |
|-------------|-------------------------------|-----------|---------|--------|
| 橋軸方向        | 曲げモーメント (t・m)                 | 5,000     | 21,500  | 5,000  |
|             | 軸 力 (t)                       | 90        | 250     | 305    |
|             | せん断力 (t)                      | 200       | 400     | 250    |
|             | 曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | 1,041     | 4,479   | 1,041  |
|             | 軸 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 20        | 53      | 63     |
|             | 合 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1,061     | 4,532   | 1,104  |
|             | せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )  | 42        | 84      | 53     |
| 橋 軸<br>直交方向 | 曲げモーメント (t・m)                 | *8,500    | *23,500 | 19,500 |
|             | 軸 力 (t)                       | * 200     | * 590   | 490    |
|             | せん断力 (t)                      | * 370     | * 1,070 | 660    |
|             | 曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | *1,772    | * 4,896 | 4,062  |
|             | 軸 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | * 42      | * 123   | 102    |
|             | 合 応 力 度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | *1,814    | * 5,019 | 4,164  |
|             | せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )  | * 77      | * 224   | 138    |

注) 上記の応力度は金城埠頭側主塔および西二区側主塔のうちいずれか大きい方をとりあげて検討したものであり、\*のついている数値は金城埠頭側主塔の応答値を、\*のついていない数値は西二区側主塔の応答値であることを示している。

表4-12 ケーブルの応力度(ケーブル1本当り)

| ケーブル位置    | 断面力および応力度                | 平均応答スペクトル | 静内橋地震動 | 板島橋地震動 |
|-----------|--------------------------|-----------|--------|--------|
| 端ケーブル     | 軸力(t)                    | 35        | 153    | 27     |
|           | 断面積(cm <sup>2</sup> )    | 124       |        |        |
|           | 応力度(kg/cm <sup>2</sup> ) | 282       | 1233   | 218    |
| 上記以外のケーブル | 軸力(t)                    | 73        | 193    | 127    |
|           | 断面積(cm <sup>2</sup> )    | 826       |        |        |
|           | 応力度(kg/cm <sup>2</sup> ) | 884       | 2337   | 1,538  |

(註) 上記の応力は橋軸方向に加振した場合の端ケーブルおよびそれ以外のケーブルのうち、最も張力の大きいケーブルに対する応力である。橋軸直交方向に加振した場合に生じるケーブル張力は上記値よりも小さい(表4-7 参照)ので、応力度の照査は省略している。

表4-13 地震応答計算により求めた門型ラーメン橋脚基部の応力度

(橋軸直交方向に加振した場合)

|                              | 西二区側門型ラーメン橋脚  |            |            | 金城埠頭側門型ラーメン橋脚 |            |            |
|------------------------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
|                              | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 |
| 曲げ応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )  | 1,060         | 3,341      | 2,330      | 1,451         | 3,715      | 3,422      |
| 軸応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | 230           | 748        | 508        | 302           | 779        | 713        |
| 合応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )   | 1,290         | 4,089      | 2,838      | 1,754         | 4,494      | 4,136      |
| せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 80            | 258        | 174        | 134           | 341        | 314        |

## (2) 下部構造

主塔橋脚のケーソン前面における地盤反力が許容値に納まっているかどうかを検討するために、応力値の最も大きい橋軸方向に加振した場合の西二区側主塔橋脚のケーソンを取り上げ地盤反力度および許容水平支持力を求めた。地盤反力度はケーソンの応答変位値を推算し、これにばね定数を乗じるにより算定し、一方、許容水平支持力は道路橋下部構造設計指針(ケーソン基礎の設計篇)<sup>5)</sup>に基づいて算定した。このようにして求めた西二区側主塔橋脚のケーソンの地盤反力度および許容支持力の比較を図4-9に示す。地盤反力度はおおむね許容支持力の範囲に納まっていると考えられるが、板島橋地震動を作用させた場合には上半分において、わずかに許容値を越えている所もあるので、更に地盤定数等の詳細な検討を行なうのがよいと考えられる。

次に、門型ラーメン橋脚を支持している基礎杭の頂部に作用する地震力およびこれにより杭に生じる断面応力度を表4-14に示す。表中の許容支持力は鉛直方向については修正震度法による耐震設計に用いられた値であり、水平方向については地震時に許容できる杭頭変位を仮に1.5cmとした場合の値である。地震による荷重だけに限定すれば西二区側では作用力はおおむね許容支持力の範囲に納まっており、今後、常時の荷重等との重ね合わせを図り、杭の地震時安全性の検討をする必要がある。しか

しながら、金城埠頭側門型ラーメン橋脚においては杭の作用力は許容支持力を上廻っており、また、杭応力度も許容値を超過する結果となっている。

表4-14 地震応答計算により求めた門型ラーメン橋脚の基礎杭の応答値  
〔橋軸直交方向に加振した場合〕

(a) 地震による杭頭の作用荷重および許容支持力(杭1本当り)

|                   | 西二区側門型ラーメン橋脚の基礎杭 |            |            |       | 金城埠頭側門型ラーメン橋脚の基礎杭 |            |            |       |
|-------------------|------------------|------------|------------|-------|-------------------|------------|------------|-------|
|                   | 平均応答<br>スペクトル    | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 | 許容支持力 | 平均応答<br>スペクトル     | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 | 許容支持力 |
| 軸力 $P_N$ [t]      | 86               | 269        | 187        | 300   | 258               | 656        | 615        | 300   |
| 水平力 $P_H$ [t]     | 36               | 55         | 43         | 58    | 59                | 137        | 136        | 39    |
| モーメント $P_M$ [t・m] | 95               | 153        | 119        |       | 180               | 424        | 421        |       |

(b) 杭 応 力 度

|                                        | 西二区側門型ラーメン橋脚の基礎杭 |            |            | 金城埠頭側門型ラーメン橋脚の基礎杭 |            |            |
|----------------------------------------|------------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|
|                                        | 平均応答<br>スペクトル    | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 | 平均応答<br>スペクトル     | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 |
| 軸応力度 $\sigma_N$ (kg/cm <sup>2</sup> )  | 175              | 547        | 380        | 525               | 1,334      | 1,251      |
| 曲げ応力度 $\sigma_M$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 803              | 1,293      | 1,006      | 1,521             | 3,584      | 3,558      |
| 合応力度 $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )    | 978              | 1,841      | 1,386      | 2,046             | 4,919      | 4,809      |

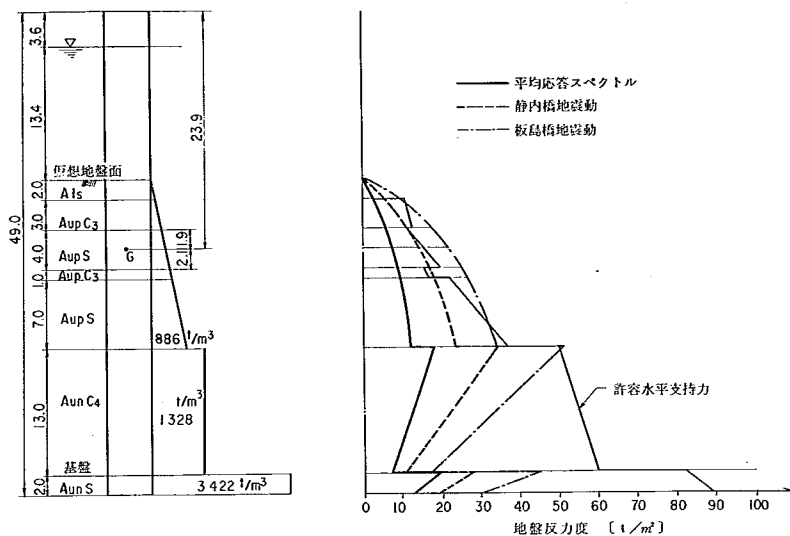


図4-9 主塔ケーソン前面の地盤反力度および許容水平支持力

## 5. 結 論

名古屋港西大橋（斜張橋案）の概略設計案に対して上下部構造全橋の地震応答解析を行ない、地震による応答値を応力度もしくは地盤反力値の大きさによって分類して表5-1に示す結果を得た。これを要約

表5-1 地震による応答値の一覧

| 検討箇所        |                     | 加振方向<br>入力地震動 | 橋軸方向に加振した場合   |            |            | 橋軸直交方向に加振した場合 |            |            |
|-------------|---------------------|---------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|
|             |                     |               | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 | 平均応答<br>スペクトル | 静内橋<br>地震動 | 板島橋<br>地震動 |
| 上 部 桁       |                     |               | ○             | ○          | ○          | ○             | ○          | ○          |
| ケ ー ブ ル     |                     |               | ○             | ×          | △          | ○             | ○          | ○          |
| 主 塔         | 基 部                 | 西二区側          | △             | ×          | △          | ○             | ×          | ×          |
|             |                     | 金城埠頭側         | △             | ×          | △          | ○             | ×          | ×          |
|             | 水平材取付部              | 西二区側          | △             | ×          | △          | △             | ×          | ×          |
|             |                     | 金城埠頭側         | △             | ×          | △          | △             | ×          | ×          |
|             | ケーソン前面<br>地盤反力度     | 西二区側          | ○             | ○          | △          | ○             | ○          | ○          |
|             |                     | 金城埠頭側         | ○             | ○          | ○          | ○             | ○          | ○          |
| 門 型<br>ラーメン | ラーメン基部              | 西二区側          | —             | —          | —          | △             | ×          | ×          |
|             |                     | 金城埠頭側         | —             | —          | —          | △             | ×          | ×          |
|             | 下 部 構 造<br>( 杭応力度 ) | 西二区側          | —             | —          | —          | ○             | △          | △          |
|             |                     | 金城埠頭側         | —             | —          | —          | ×             | ×          | ×          |

(注) 上記で○、△、×記号の意味は以下の通りである。

地震の影響だけによる応力（合成応力）が

|                                                        |   |
|--------------------------------------------------------|---|
| 1,050 kg/cm <sup>2</sup> 以下の場合                         | ○ |
| 1,050 kg/cm <sup>2</sup> ～2,100 kg/cm <sup>2</sup> の場合 | △ |
| 2,100 kg/cm <sup>2</sup> 以上の場合                         | × |

ただし、主塔ケーソン前面の支持力に関しては許容支持力以内に納まっている場合は○、わずかに上まわっている場合は△とした。

すると以下の通りとなる。

- (1) 平均応答スペクトル（建設省土木研究所、1970年、洪積）を作用させた場合には、上部構造の桁およびケーブルに生じる応力は許容応力の範囲内にあり、また、下部構造のうち、主塔橋脚ケーソンの前面の地盤反力度は許容支持力の範囲内にある。
- (2) 静内橋の地震動記録に代表される遠距離に発生した規模の大きい地震による周期の比較長い成分を多く含んだ地震動に対しては、主塔および門型ラーメン橋脚の応力度は許容される範囲を上廻っている。また、板島橋の地震動に代表される中程度の距離に発生した規模の大きい地震による記録を作

用させた場合にも主塔および門型橋脚の一部で応力度が許容値を上廻っている。

- (3) 以上の点から観て、今後、常時の荷重による断面力もしくは支持力との重畳を図り、上部構造および下部構造の地震時の安全性をさらに吟味していく必要があると考えられるが、主塔および門型ラーメンの応力値が許容値を上廻る点からは、今後断面形状および断面諸定数、地盤定数等の見直しを図り、動的安全性を確保することが必要であると考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 建設省中部地方建設局：昭和49年度大規模特殊事業計画調査報告書（伊勢湾岸道路調査）、昭和50年6月。
- 2) 建設省中部地方建設局：伊勢湾岸道路名古屋港横断部技術調査報告書（第一次）、昭和51年9月。
- 3) 建設省中部地方建設局：昭和51年度伊勢湾岸道路地質調査、地質断面図および土質柱状図No16～No21。
- 4) 建設省中部地方建設局：名港大橋設計基準案。
- 5) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針（ケーソン基礎の設計篇）。
- 6) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針（くい基礎の設計篇）。
- 7) 日本道路協会：道路橋耐震設計指針、同解説、昭和47年。
- 8) 名古屋地盤調査会：名古屋地盤図、コロナ社、昭和44年。
- 9) 栗林、岩崎、若月、高木：強震記録のデジタル数値改訂版、土木研究所資料第876号、建設省土木研究所、昭和48年。
- 10) 岩崎、若林、堀内：地中地震動の観測結果（その1）、（その2）、土木研究所資料第1103号、建設省土木研究所、昭和51年。
- 11) 栗林、川島、宮田：地震動入力の設定法に関する研究、土木研究所資料第1192号、建設省土木研究所、昭和52年。
- 12) 栗林、岩崎、龍岡、堀内：土の動的変形特性、土木研究所資料第912号、建設省土木研究所、昭和49年。
- 13) 岩崎、龍岡、横田：不攪乱粘性土の変形係数についての室内実験結果、第13回土質工学研究発表会、昭和52年。
- 14) 岩崎、龍岡、高木：砂のセン断変形係数と減衰の歪依存性について、第13回土質工学研究発表会、昭和52年。
- 15) 岩崎、龍岡、佐伯：N値とひずみレベルを考慮したS波速度との関係例、第13回土質工学研究発表会、昭和52年。
- 16) 栗林、川島、友沢：設計基盤の設定法に関する二、三の考察、第13回土質工学研究発表会、昭和52年。
- 17) 建設省土木研究所：名港横断橋の地震応答解析業務報告書、株式会社長大橋設計センター、昭和52年。
- 18) 建設省土木研究所：関門橋設計施工調査報告書、土木研究所資料第825号、昭和48年。
- 19) 栗林、川島、宮田：平戸大橋の耐震性に関する調査報告、土木研究所資料第1201号、建設省土木研究所、昭和52年。
- 20) 建設省関東地方建設局：横浜航路横断橋（斜張橋）構造設計概要書、昭和51年。