

土 木 研 究 所 資 料

高架橋の交通振動解析に関する報告書

平成4年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © (1992) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

高架橋の交通振動解析に関する報告書

構造研究室 室長 横山 功一

研究員 井上 純三^{*1}

研究員 澤田 憲文

伊関 英彦^{*2}

金子 学^{*3}

^{*1}現在 建設省 土木研究所 企画部 橋梁計画官

^{*2}現在 建設省 近畿地方建設局 大滝ダム工事事務所 川上出張所工事第一係長

^{*3}現在 北海道開発局 開発土木研究所 構造部 構造研究室 研究員

要旨

高架橋交通振動軽減対策の効果を解析的に明らかにするため、上下部工をモデル化し走行荷重による応答を求めるシミュレーションプログラムを開発した。この場合、橋梁のモデル化にあたり、橋脚下端をばね支持とすることおよび隣接橋梁を考慮してモデル化することが重要とわかった。また、同プログラムを用いて既設橋に対する交通振動軽減効果の検討を行った。具体的には、T型橋脚を有する単純鈹桁橋の振動軽減対策として、荷重分配横桁の追加、主桁化、T型橋脚の柱断面拡大、動吸振器の設置を想定して検討した。この結果、T型橋脚の剛性不足を補う主桁の箱桁化及び橋脚の柱断面の拡大が相対的に有効であることが分かった。

キーワード：振動解析，高架橋，交通振動，振動軽減対策

ま え が き

走行する車両が加振源となる道路交通振動は、自動車の大型化、交通量の増加に伴い厳しい状況となっている。なかでも、高架橋の交通振動問題は現象が複雑なこともあり、舗装面の凹凸ばかりでなく、桁や伸縮継手、橋脚、基礎など振動発生伝播要因が複雑に関係していることから、対策を一層困難なものにしている。

高架橋交通振動の軽減対策について検討するため、構造研究室では、昭和60年度～平成2年度の「交通振動の特性に関する試験調査」により高架橋交通振動の実測調査を行い、構造形式、橋種の違いによる交通振動軽減効果を明らかにした。その後、実測調査結果を踏まえ振動軽減対策の効果を解析的に明らかにするため、車両が走行した時の高架橋交通振動のシミュレーションプログラム開発を進めてきた。本報告書はこのシミュレーションプログラムに関する解析理論、方法を紹介し、シミュレーション解析の結果と構造的な振動軽減対策の評価についてとりまとめたものである。

目 次

まえがき

1. 概 要	1
2. 解析プログラム	2
2.1 概 要	2
2.2 解析理論	2
2.2.1 固有振動解析	2
2.2.2 時刻歴応答解析	5
3. 適切なモデル化の検討	9
3.1 検討対象	9
3.2 基礎の支持条件の影響	9
3.2.1 検討モデル	9
3.2.2 解析結果	13
3.3 境界条件の検討	17
3.3.1 検討モデル	17
3.3.2 解析結果	21
4. 交通振動軽減対策の検討	32
4.1 対象橋梁と対策工法	32
4.2 解析結果	33
5. ま と め	44

参 考 文 献	45
---------------	----

付属資料『高架橋交通振動解析プログラムの入出力手順』	47
----------------------------------	----

1. 概 要

高架道路は一般の平面道路とは異なり、自動車交通による振動が高架橋の桁、橋脚、基礎等の構造物を介して周辺地盤に伝播するため、振動成分や振動の卓越振動数等の交通振動特性も他の道路とは異なり複雑なものとなり、有効な振動軽減対策のとり方が難しくなっている。高架橋交通振動軽減対策について検討するため、実測調査結果から交通振動軽減対策として、①鋼鈑桁橋よりコンクリート橋の方が、②単純桁形式より連続桁形式の方が、③T型橋脚より門型橋脚の方が有効であることが分かった¹⁾²⁾³⁾。しかし、既設橋における有効な交通振動軽減対策については現在のところ確立されたものはない。

本報告書は、高架橋交通振動のシミュレーションプログラムを開発し、既設橋の振動軽減対策について検討したものである。シミュレーションプログラムは、高架橋を上部、下部一体化した3次元骨組み構造にモデル化し、路面凹凸のある高架道路上を自動車が走行した時の高架橋の動的応答を計算するものであり、高架橋の実測値と解析結果を比較することによる適切なモデル化についても検討した。次に、T型橋脚を有する単純鈑桁橋（支間長 27.0 m）を検討の対象とし、交通振動軽減対策工法として①荷重分配横桁の追加、②主桁の箱桁化、③T型橋脚の柱断面拡大、④TMDの設置を想定し、その効果を評価した。

2. 解析プログラム⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾

2.1 概 要

プログラム開発の対象は、路面凹凸のある高架道路上を自動車が走行したときの高架橋の動的応答を計算するシミュレーションプログラムとした。この場合、解析モデルとし、高架橋は上部、下部を一体化した3次元立体骨組み構造とした。また、車両は大型車を対象とし、できるだけ忠実にモデル化できるように2軸4自由度モデルとした。さらに路面凹凸は実測路面高の入力またはパワースペクトルによる入力が可能となるようにした。

一般に、高架橋の応答は、モード解析法により式(2.1)のように表現することができる。

$$w(x, t) = \sum_n \phi_n(x) q_n(t) \quad (2.1)$$

ここに、 w : 高架橋時刻歴応答

ϕ : 固有振動モード

q : 基準座標

x : 高架橋の着目点の座標

t : 時間

n : モード次数

ϕ は高架橋骨組モデルの固有振動解析により、 q は橋梁振動および車両振動の連立微分方程式の解として求められ、これを式(2.1)に代入することにより、高架橋の時刻歴応答を計算するものである。

応答解析のフローチャートを図-2.1に示す。また、本プログラムの仕様、データ入出力書式等は付属資料として巻末に示す。

2.2 解 析 理 論

2.2.1 固有振動解析

構造物が自由振動する場合、構造物の運動方程式は式(2.2)のようになる。

$$[K]\{u\} + [M]\{\ddot{u}\} = \{0\} \quad (2.2)$$

ここで、 $[K]$: 剛性マトリックス

$[M]$: 質量マトリックス

$\{u\}$: 変位ベクトル

$\{\ddot{u}\}$: 加速度ベクトル

$\{0\}$: 零ベクトル

変位ベクトル $\{u\}$ を最大変位ベクトル $\{u_0\}$ の周期的変化として表すと、

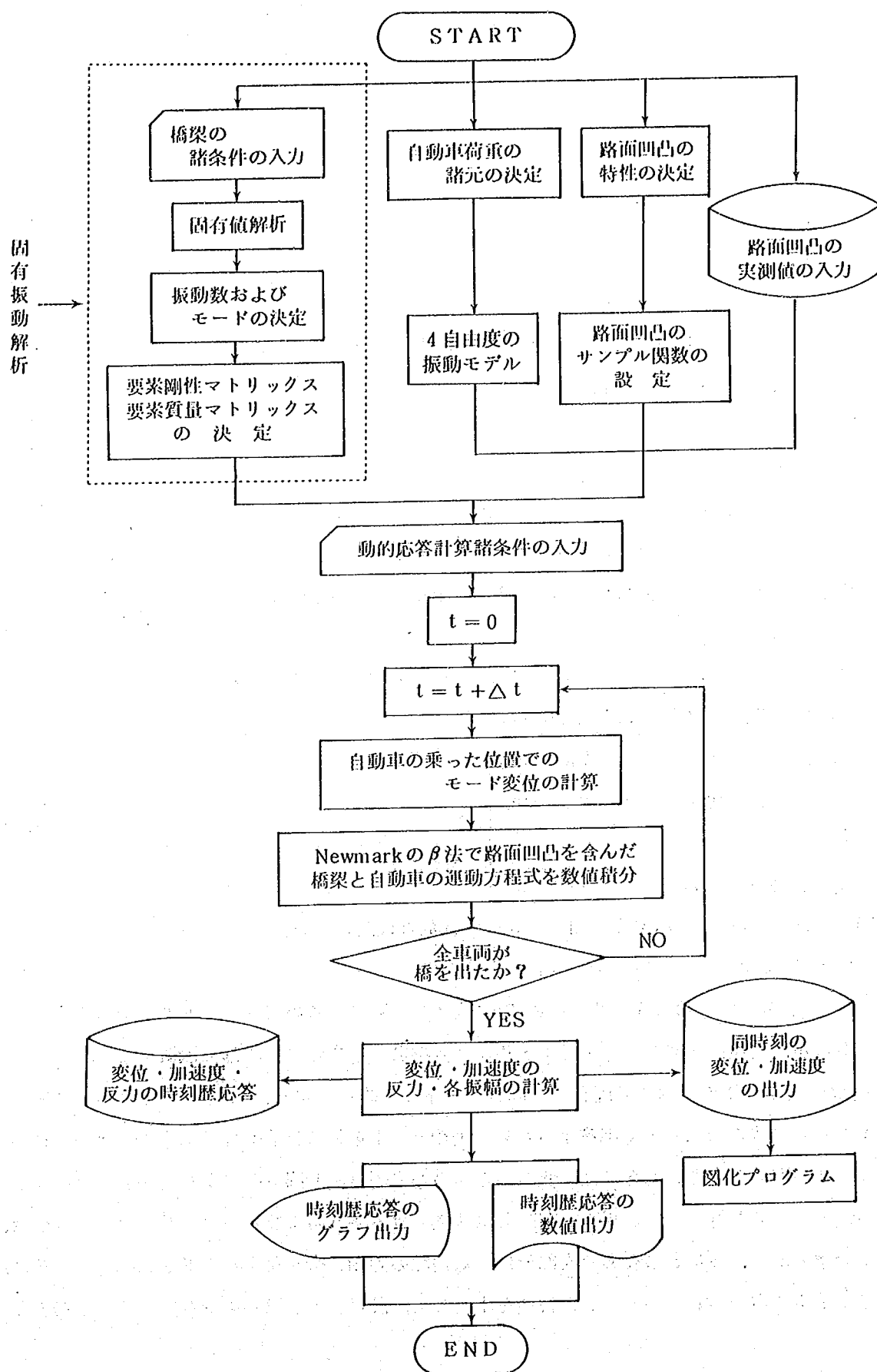


図-2.1 応答解析の流れ

$$\{u\} = \sin \omega t \{u_0\} \quad (2.3)$$

ここに, ω : 加速度

t : 時間

(2.3)式を時間 t について 2 回微分し, $\{u\}$ を求めると

$$\{u\} = -\omega^2 \sin \omega t \{u_0\} = -\omega^2 \{u\} \quad (2.4)$$

式(2.4)を式(2.2)に代入し, $\lambda = \omega^2$ とおくと

$$[K]\{u\} = \lambda[M]\{u\} \quad (2.5)$$

式(2.5)は一般的な固有値の問題であり, 式(2.5)を満たすスカラー量 λ は, 固有値(eigenvalue)と呼ばれ, $\{u\}$ は固有ベクトル (eigenvector) と呼ばれる。

式(2.5)を移項すれば,

$$([K] - \lambda[M])\{u\} = \{0\} \quad (2.6)$$

となり, これは連立一次方程式とみなすことができる。すなわち, $([K] - \lambda[M])$ は係数ベクトル, $\{u\}$ が未知ベクトル(解ベクトル), $\{0\}$ が定数項と考える。定数項が $\{0\}$ であるのでこの連立一次方程式は同次形であるため, $\{u\} = \{0\}$ 以外の解を持つためには, 次式が成立しなければならない。

$$\det([K] - \lambda[M]) = 0 \quad (2.7)$$

また, 構造全体の自由度を n とすると, 剛性マトリックスおよび質量マトリックスは, $n \times n$ の正方形マトリックスになる。従って, 式(2.7)を詳しく書けば,

$$\begin{vmatrix} k_{11} - \lambda m_{11} & k_{12} - \lambda m_{12} & \cdots & k_{1n} - \lambda m_{1n} \\ k_{21} - \lambda m_{21} & k_{22} - \lambda m_{22} & \cdots & k_{2n} - \lambda m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} - \lambda m_{n1} & k_{n2} - \lambda m_{n2} & \cdots & k_{nn} - \lambda m_{nn} \end{vmatrix} = 0 \quad (2.8)$$

これを展開すれば, 式(2.9)に示す λ に関する n 次の代数方程式となる。

$$\lambda^n + C_1 \lambda^{n-1} + C_2 \lambda^{n-2} + \cdots + C_{n-2} \lambda^2 + C_{n-1} \lambda + C_n = 0 \quad (2.9)$$

式(2.9)を解いて n 個の固有値 λ を求め, 式(2.7)に代入して対応する固有ベクトルを求めることは, 理論的には可能であるが, 大規模構造物の大次元マトリックスを扱う場合には, 非常に困難である。

大規模な有限要素集合体のすべての固有値と固有ベクトルを求めるには, 大変な計算時間を必要とするが, 幸いにも構造物は少ないモードで応答するため, 他のモードの寄与は省略することができる。従って, 特性マトリックスの次数が大きいときには, 低次から幾つかの固有値と固有ベクトルを必要なだけ能率よく計算できる方法とした方が好ましい。また, 有限要素法における剛性および質量マトリックスの成分は, 対角線に関して対象であり, 更に非零要素の大部分は, 対角線の両側に帯をなすバンド上に存在し, それ以外の部分は通常零要素で占められている。この特性を生かして, 計算機の記憶要領を節約することが重要である。

このため, 固有値解法の方法としてサブスペース法⁴⁾⁵⁾を採用した。なお, サブスペース法は次のような特徴を持つ。

- ① 固有値のうち、その大きい方または小さい方から、あるいはある値の近傍の必要な任意個を対応する固有ベクトルとともに求めることができる。
- ② 通常のベキ乗法あるいは逆ベキ乗法に比較して、収束が速い。特に、近接固有値、あるいは重複固有値の場合でも、なんら支障なく求めることができる。
- ③ マトリックスが粗であるとき、これを利用することができる。

2.2.2 時刻歴応答解析

橋梁、車両、路面凹凸のモデル化を行い、車両～橋梁の連成系の運動方程式（連立微分方程式）を立て、数値積分により時刻歴応答を求める。

(1) 橋梁のモデル化

橋梁は、上部、下部を一体化した 3 次元立体骨組構造とする。すなわち、橋梁諸元を有限個の要素（最大 320 個）に区分し、各要素を単位長さ当たり質量、曲げ及びねじり剛性で代表させた。

(2) 車両のモデル化

図-2.2 に示すように 2 軸 5 自由度系にモデル化した。

(3) 路面凹凸のモデル化

路面凹凸は、実測による路面高の他、以下に示すパワースペクトルよりシミュレートされる路面高⁸⁾を用いることができる。

路面凹凸パワースペクトル密度は、式(2.10)で表すことができる。

$$S_z(Q) = a \cdot (Q)^{-2} \quad (2.10)$$

ここに、 $S_z(Q)$: パワースペクトル密度 ($\text{mm}^2 \cdot \text{m}/\text{c}$)

Q : 路面凹凸の空間振動数 (c/m)

a : 路面凹凸の良否を表す定数 ($\text{mm}^2 \cdot \text{m}/\text{c}$)

(平滑度パラメーター)

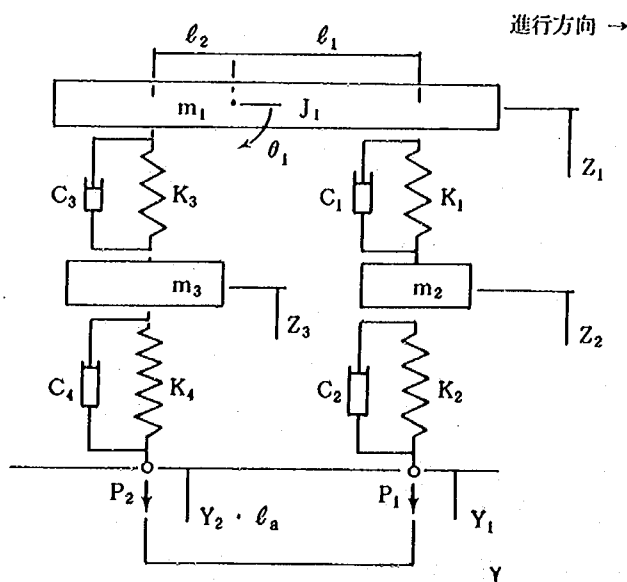


図-2.2 車両モデル

a の値が大きい程路面の状態が悪いことを表し、凹凸が大きいことを表す。したがって、路面の凹凸量は路面凹凸高 Z_0 を平均値 0 の定常確率ガウス過程とすると、次式で表される。

$$Z(x) = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \cos(\omega_k \cdot x + \phi_k) \quad (2.11)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに, } a_k^2 &= 4S_z(\omega_k) \Delta\omega \\ \Delta\omega &= (\omega_u - \omega_l) / N \\ \omega_k &= \omega_l + (k - 1/2) \Delta\omega \\ \omega &= 2\pi Q \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

x : 原点からの水平距離 (m)

$Z(x)$: x における路面凹凸高 (mm)

ω : 路面凹凸の空間円振動数 (rad/m)

ω_u, ω_l : ω の上・下限値 (rad/m)

N : 十分大きな正の整数 ($N=1000$ とする)

ϕ : $[0, 2\pi]$ の一様乱数 (rad)

(4) 橋梁の微分方程式

橋梁の応答は、次式 (再掲) のように表現される。

$$w(x, t) = \sum_n \phi_n(x) \cdot q_n(x) \quad (2.1)$$

ここに, w : 高架橋の応答

ϕ : 固有ベクトル

q : 基準座標

n : モード次数

ここで、固有ベクトル ϕ_n は剛性マトリックスに関して、正規直交化されているので次の関係を満たす⁴⁾。

$$\begin{aligned} \{\phi\}^T [K] \{\phi\} &= [I] \\ \{\phi\}^T [M] \{\phi\} &= [1/\Lambda] \end{aligned} \quad (2.13)$$

ここに, $[K]$: 全体剛性マトリックス

$[M]$: 全体質量マトリックス

$[I]$: 単位マトリックス ($n \times n$)

$[1/\Lambda]$: $\text{diag} 1/\lambda_n (n \times n)$

$$= \frac{1}{\omega_n^2}$$

また、橋梁の振動方程式は式 (2.14) となる。

$$\begin{aligned} \{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} \ddot{q}_n + \{\phi_n\}^T [C] \{\phi_n\} \dot{q}_n \\ + \{\phi_n\}^T [K] \{\phi_n\} q_n = \{\phi_n\}^T P \end{aligned} \quad (2.14)$$

ここに, P : 外力ベクトル

[C]: 減衰マトリックス

$$[C] = \alpha [M]$$

式(2.13)を式(2.14)に代入すると,

$$1/\lambda_n \ddot{q}_n + 2\beta_n \omega_n \dot{q}_n + q_n = \{\phi_n\}^T P \quad (2.15)$$

ここに, β : 減衰定数

ω : 固有円振動数 ($\lambda_n = \omega_n^2$)

車両から加えられる外力に着目して連立方程式を組み立てる。

(車両前軸重)

$$P_1 = C_2(\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + K_2(Z_2 - Y_1) + m_2 g + \frac{(m_1 \ell_2^2 + J_1)g}{\ell_a^2} \quad (2.16)$$

(車両後軸重)

$$P_2 = C_4(\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + K_4(Z_3 - Y_2) + m_3 g + \frac{(m_1 \ell_2^2 + J_1)g}{\ell_a^2} \quad (2.17)$$

式(2.15)と式(2.16), (2.17)より次式のようになる。

$$\ddot{q}_n + 2\beta_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \sum_j \omega_n^2 [P_{j1} \phi_n(x_{j1}) + P_{j2} \phi_n(x_{j2})] \quad (2.18)$$

車両に着目して, 振動方程式を組み立てると以下のようになる。(図-2.2 参照)

m_1 について

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{Z}_1 + C_1(\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + K_1(Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) \\ + C_3(\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + K_3(Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3) = 0 \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\theta}_1 + \ell_1 [C_1(\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + K_1(Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2)] \\ - \ell_3 [C_3(\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + K_3(Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3)] = 0 \end{aligned} \quad (2.20)$$

m_2 について

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{Z}_2 + C_2(\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + K_1(Z_2 - Y_1) \\ - C_1(\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + K_1(Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) = 0 \end{aligned} \quad (2.21)$$

m_3 について

$$\begin{aligned} m_3 \ddot{Z}_3 + C_4(\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + K_4(Z_3 - Y_2) \\ - C_3(\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + K_3(Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3) = 0 \end{aligned} \quad (2.22)$$

ただし, $Y = Z_0$ (路面凹凸) + w (橋のたわみ)

式(2.18), 式(2.19), 式(2.20), 式(2.21), 式(2.22)の連立方程式をニューマーク β 法⁶⁾⁷⁾を用いて数値積

分することにより，車両，橋梁の応答を求める。図-2.3 にニューマーク β 法のフローチャートを示す。

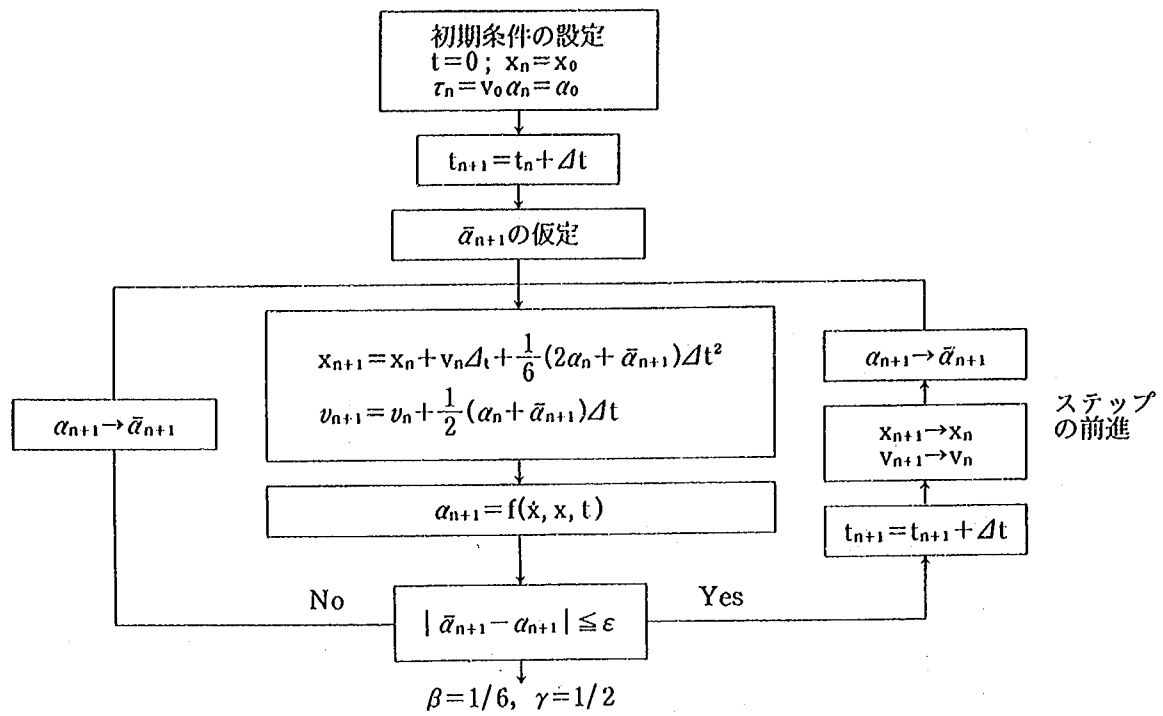


図-2.3 ニューマーク β 法のフローチャート

3. 適切なモデル化の検討

3.1 検討対象

(1) 対象橋梁

高架橋の実測値と解析結果とを比較することにより適切なモデル化の検討を行った。対象とした高架橋は、一般的な高架道路橋でかつ実測データ¹⁾を有することを踏まえて阪神高速道路の橋梁とした。以下に主な仕様を示す。また、一般図および断面図を図-3.1に示す。

上部工形式：単純合成鋼鈑桁

橋 長：27.0 m

支 間 長：26.4 m

幅 員：17.6 m (4車線)

下部工形式：T型橋脚 (高さ 12 m)

基 礎：場所打ちコンクリート杭 ($\phi=1000\text{mm}$, $\ell=20\text{m}$)

(2) 走行車両

走行車両は 20 t 車を対象として、図-3.2 に示す 2 軸 4 自由度モデルとした。

(3) 路面凹凸

路面凹凸データは実測値が得られていないため、シミュレーション結果を用いた。シミュレーションは当研究室の提案による路面凹凸のスペクトルモデル⁸⁾を参考にし、通常の路面状態と思われる平滑度パラメータ $a=0.20264$ (種類 B) を用いた。図-3.3, 表-3.1 に路面モデルを示す。また、シミュレーション結果を図-3.4 に示す。

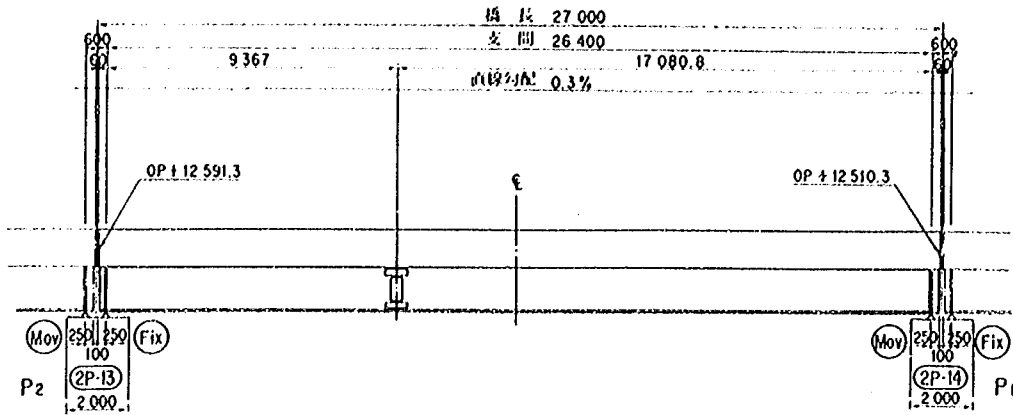
3.2 基礎の支持条件の影響

高架橋の交通振動を解析するにあたって、構造部材の骨組みモデル化における部材剛性や寸法のとり方、あるいは路面凹凸や走行車両の諸元と自由度のとり方が重要な要因になることはいうまでもないが、橋脚下端の境界条件、すなわち基礎及び地盤による支持条件に関しても適切なモデル化を行う必要がある。たとえば、都市内の高架橋における T 型橋脚や門型橋脚の多くは杭基礎と比較的柔らかい地盤とによって支持されており、これが高架橋の振動特性に大きく関与していると考えられる。そこで基礎の支持条件の影響を調べるため橋脚下端の基礎と周辺地盤を弾性ばねを用いてモデル化し、ばね定数と橋梁の振動特性との関係について検討した。

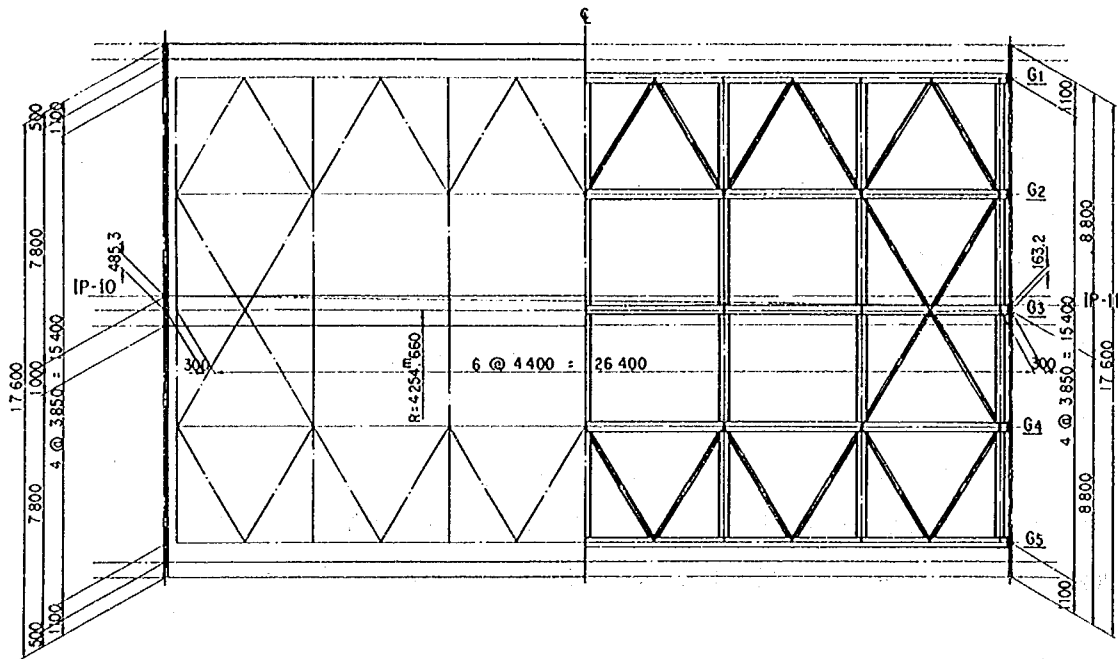
3.2.1 検討モデル

(1) 骨組みモデル

側面図

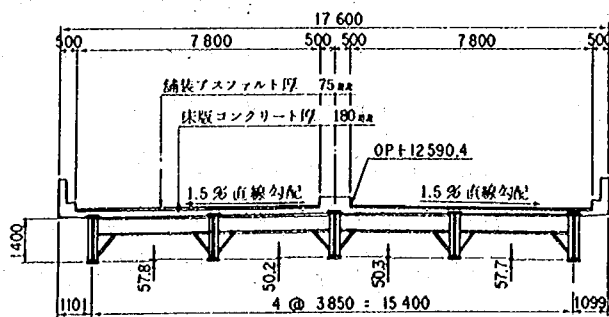


平面図



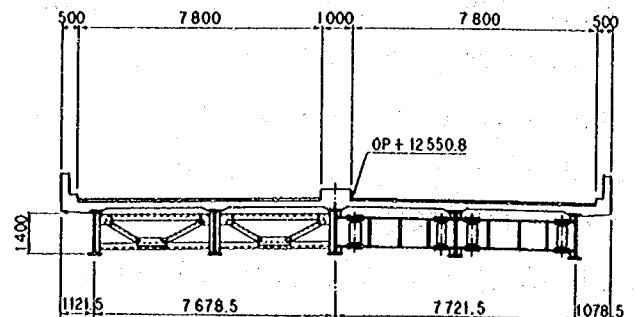
横断面図

支点上断面



中間部断面

中央部断面



図一3.1(a) 対象橋梁上部工図(単純合成鋼鈹桁橋)

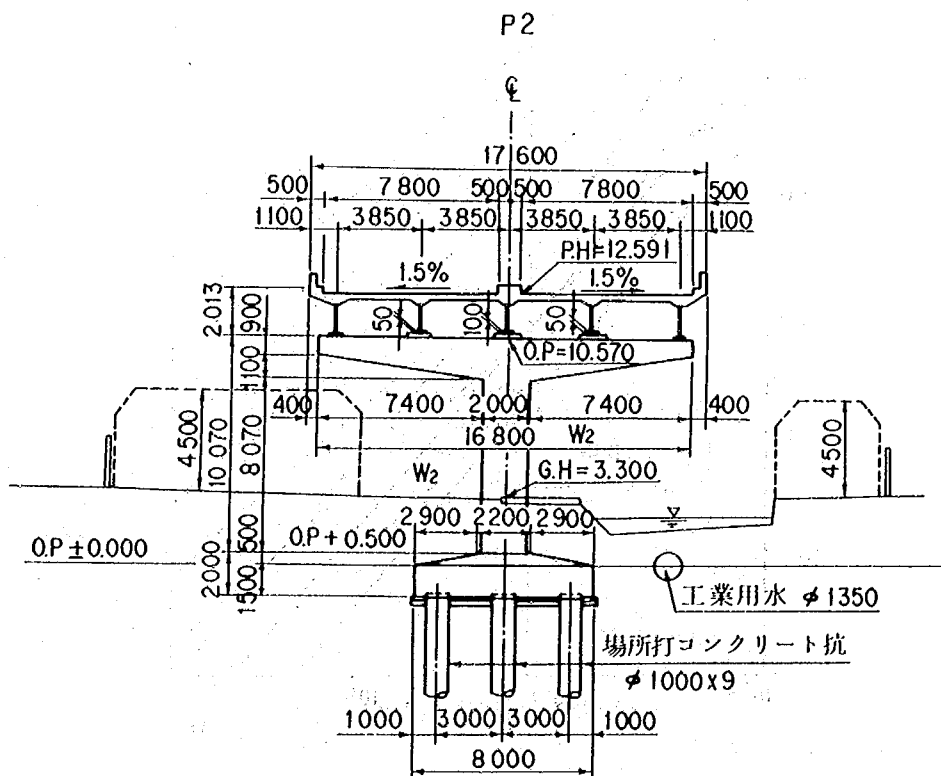
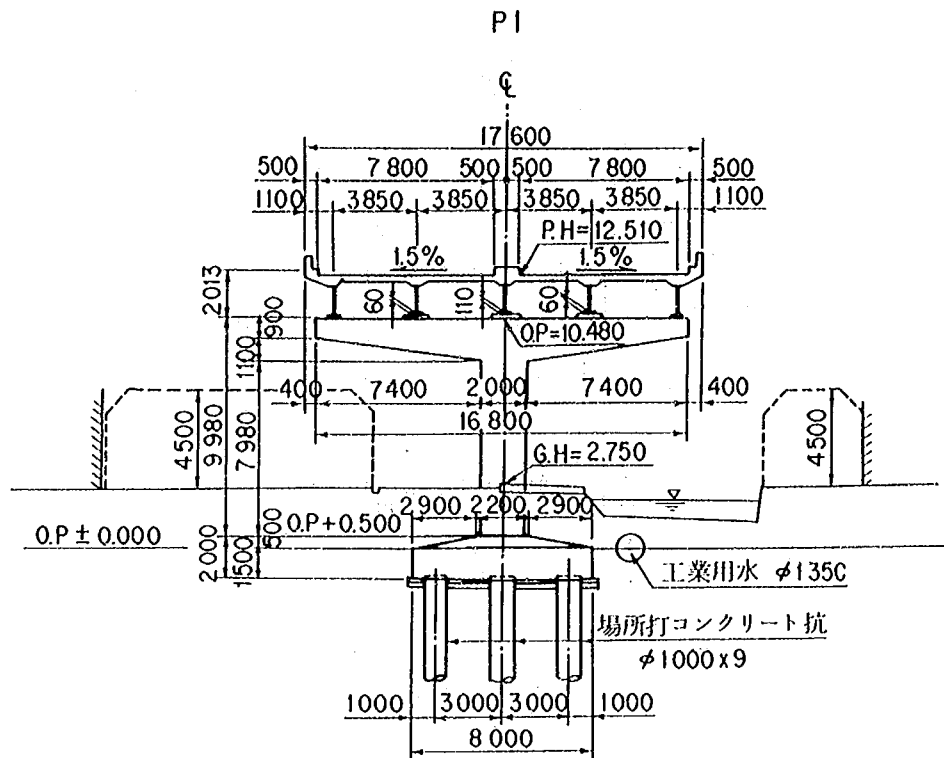


図-3.1(b) 対象橋梁下部工図

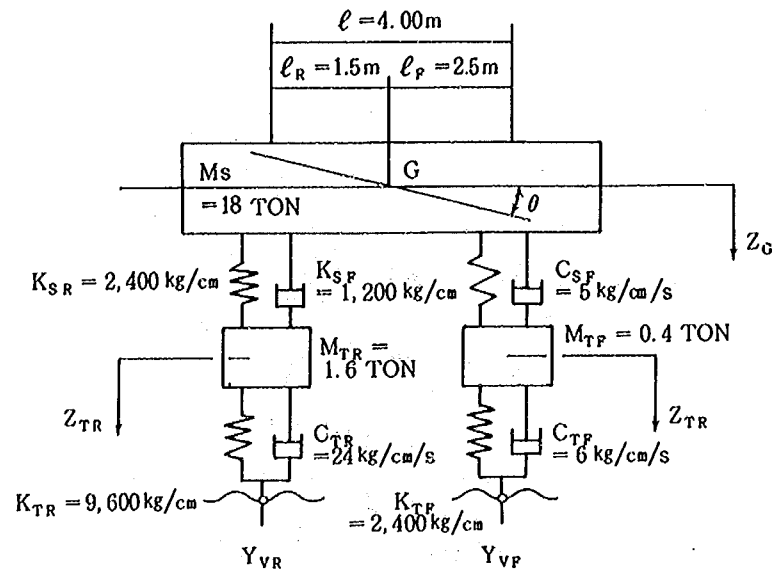


図-3.2 車両モデル (20ton 車)

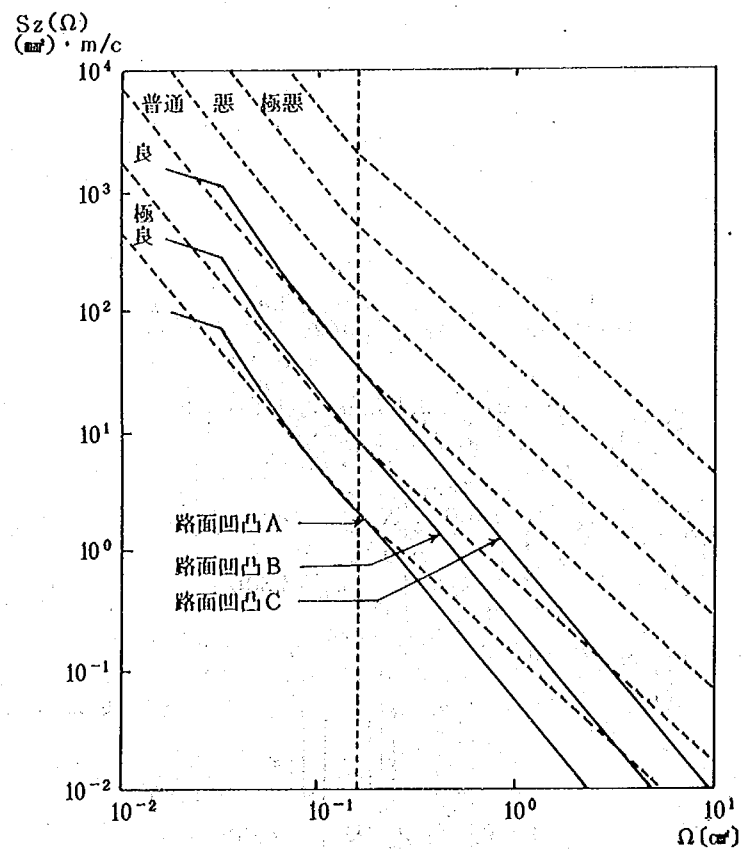


図-3.3 路面凹凸パワースペクトル (A, B, C)

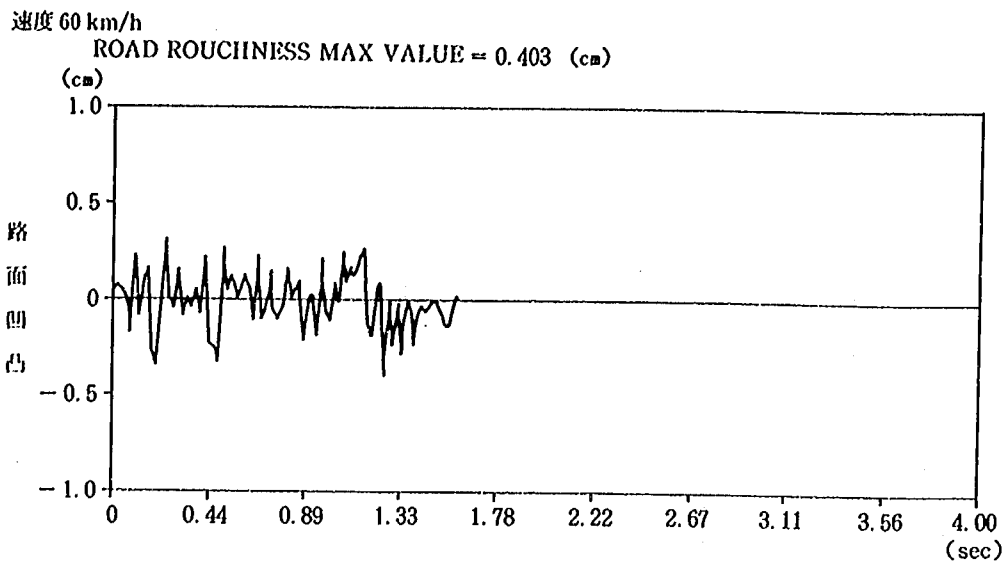


図-3.4 路面のシミュレーション結果

表-3.1 路面凹凸の良否を表す定数

A	0.05066
B	0.20264
C	0.81057

対象構造物を図-3.5 に示すように 88 個の部材と 67 個の節点からなる骨組みモデルにモデル化した。なお、上部構造の主桁位置と走行車線および追越車線の中心位置とが一致しないため、同図に示すように走行位置（各車線の中心位置）に仮想部材を入れた。図中の数字は節点番号，丸印の数字は部材番号を表す。すなわち，T 型橋脚では節点 50 と 66 がフーチング下面を表し，節点 51 と 67 が杭基礎の回転中心点（解析上の橋脚下端）を表す。また，設計図書に基づき，構造諸元を計算した結果を表-3.2 に示す。この場合，上部構造の支承線と橋脚の中心線とは便宜上一致するものと仮定し，橋脚の梁と柱の接点にはそれぞれ剛域を設けた。

(2) 境界条件

杭基礎と周辺地盤の弾性変形を考慮した橋脚下端の支持条件を表すために，図-3.6 に示す 6 個の換算集中ばね K_x ， K_y ， K_z ， R_x ， R_y ， R_z を用いた。道路橋示方書・下部構造編（杭基礎の設計）に基づいて各ばね定数を算定し，その値を 2 倍～100 倍と剛結（ばね定数 $=\infty$ ）にした場合の比較を表-3.3 に示す。この場合，鉛直軸回りの回転ばね R_z の値は無限大と仮定し，また，橋脚下端の変形は微小変形であり非線形性を無視してこれを弾性ばねによって表すこととした。

3.2.2 解析結果

(1) 固有振動解析結果

固有振動解析プログラムにより固有振動数と振動モードを算出した。支持条件のばね定数を変えたときの

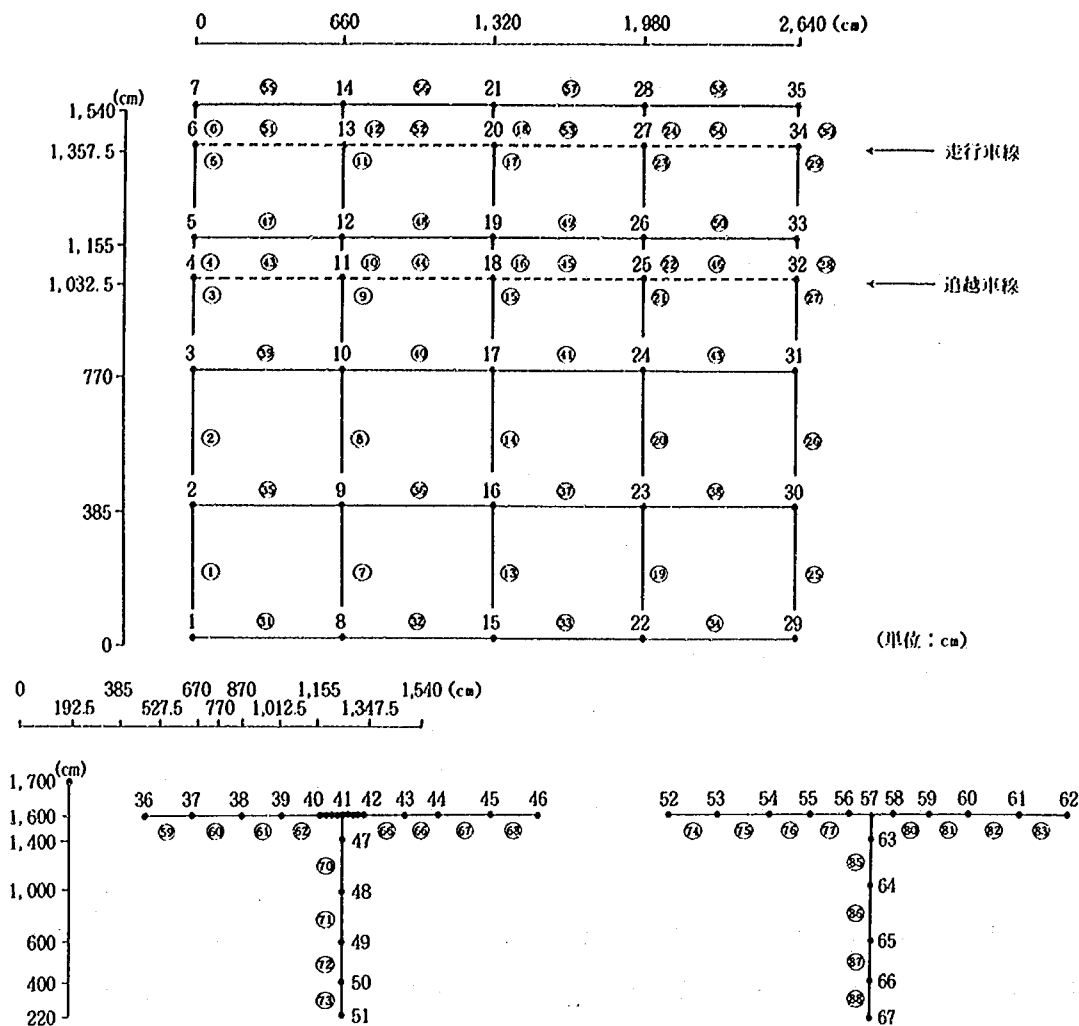


図-3.5(a) 骨組モデル

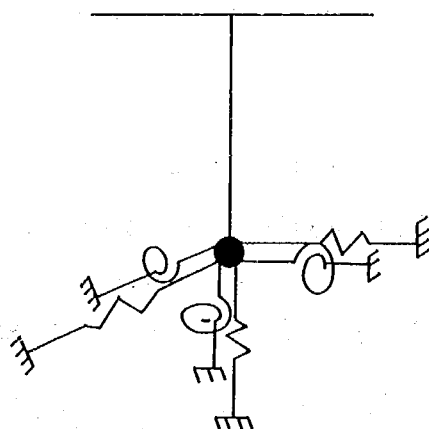


図-3.6 境界条件のモデル化

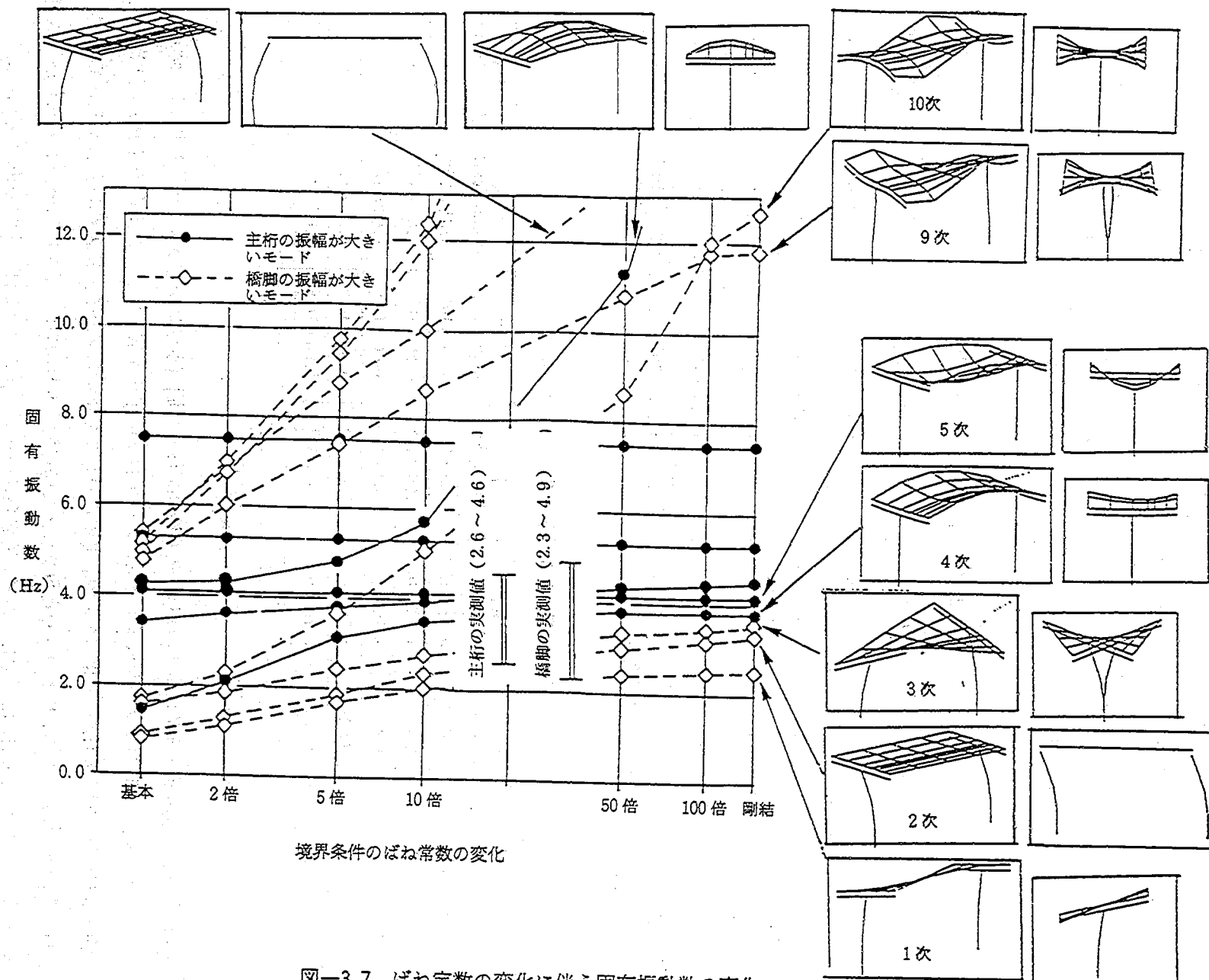


図-3.7 ばね定数の変化に伴う固有振動数の変化

表-3.2(1) 上部工諸元表

部 材	断面積 A (cm ²)	断面 2 次 モーメント I _y (cm ⁴)	断面 2 次 モーメント I _z (cm ⁴)	ねじり剛性 GJ (kgcm ²)	単位重量 (kgf/cm)
主 桁	3.783×10^3	0.418×10^7	0.935×10^7	8.554×10^{10}	29.7
端 横 桁	1.697×10^3	4.583×10^4	6.160×10^7	1.604×10^{11}	0.667
横 桁	1.131×10^3	3.055×10^4	16.429×10^7	1.069×10^{11}	0.540
仮 部 材	3.783×10^2	0.418×10^6	0.935×10^6	8.554×10^9	0.0

表-3.2(2) 下部工諸元表

部 材		断面積 A (cm ²)	断面 2 次 モーメント I _y (cm ⁴)	断面 2 次 モーメント I _z (cm ⁴)	ねじり剛性 GJ (kgcm ²)	単位重量 (kgf/cm)
梁	39—40 42—43	5.400×10 ³	1.796×10 ⁷	1.935×10 ⁷	2.131×10 ¹³	97.5
	38—39 43—44	4.800×10 ³	1.268×10 ⁷	1.726×10 ⁷	1.741×10 ¹³	86.7
	37—38 44—45	4.086×10 ³	7.878×10 ⁶	1.464×10 ⁷	1.253×10 ¹³	73.8
	36—37 45—46	3.286×10 ³	4.139×10 ⁶	1.197×10 ⁷	7.565×10 ¹²	59.3
柱		5.714×10 ³	2.545×10 ⁷	2.545×10 ⁷	2.633×10 ¹³	108.4

注：剛域部材は39-40部材の100倍の剛度とする。

表-3.3 境界条件表

計算ケース	K _x (kg/cm)	K _y (kg/cm)	K _z (kg/cm)	K _{xθ} (kgcm/rad)	K _{yθ} (kgcm/rad)	K _{zθ} (kgcm/rad)
ばね支持(最適)	5.58×10^5	5.58×10^5	1.00×10^5	3.31×10^{10}	3.31×10^{10}	∞
〃 × 2	1.12×10^6	1.12×10^6	2.00×10^5	6.62×10^{10}	6.62×10^{10}	∞
〃 × 5	2.79×10^6	2.79×10^6	5.00×10^5	1.66×10^{11}	1.66×10^{11}	∞
〃 × 10	5.58×10^6	5.58×10^6	1.00×10^6	3.31×10^{11}	3.31×10^{11}	∞
〃 × 50	2.79×10^7	2.79×10^7	5.00×10^6	1.66×10^{12}	1.66×10^{12}	∞
剛 結	∞	∞	∞	∞	∞	∞

固有振動数の変化を図-3.7に示す。ばね定数の増加に伴って固有振動数が大きくなり、とりわけ橋脚のロッキング振動や鉛直振動が支配的な振動モードにおいてはその効果が著しい。また主桁の鉛直曲げ1次振動数は約1.5 Hzから約3.8 Hzに変化しており、主桁に対しても下端における支持条件の影響が表れていることがわかる。いずれにしても、基本のばね定数を与えた時に約2.0 Hz以下を示す低次モードの固有振動数が剛結の仮定では2.0~4.0 Hzに変化しており、境界条件のモデル化におけるばね定数の重要性を示している。一方、解析結果と実測値との対比から見ると、基本のばね定数よりも大きな値を用いる方がよいことがわかる。

(2) 応答解析結果

橋梁の路面凹凸を与え、走行車両 (20 t 車, 速度 60 km/h) による主桁と橋脚の時刻歴応答解析を行った。解析結果と実測値との対比の一例を図-3.8 に示す。その結果, 計算値と実測値との対比が, 着目点により異なる傾向となったが, 全体的にみれば剛結よりばね支持とした方が比較的良好な結果が得られた。以下に各方向別の応答の特徴をまとめる。

橋 軸 方 向: 解析結果は, 実測値より小さかった。これは解析モデルの支承線を簡略化して橋脚中心位置に設けたためであり, 解析結果には橋脚の回転による X 方向の成分が考慮されないことによると思われる。

橋軸直角方向: 主桁, 橋脚とも解析結果は, 実測値より大きかった。これは連続した高架橋のうち 1 スパンのみを取り出して解析したためと思われる。すなわち, 実構造物では多径間に振動エネルギーが分散することによって応答値が小さくなるためと考えられる。

鉛 直 方 向: 実測値と解析結果が比較的一致し, 特にばね定数が基本ばね $\times 1$ 倍 ~ 10 倍の範囲が良好な結果が得られた。

3.3 境界条件の検討

前節 3.2 基礎の支持条件の影響の結果より, 主桁の回転中心及び上部構造の支承位置並びに隣接する橋梁を考慮することが, 解析の精度向上につながる事が分かった。このため, 基礎の支持条件を一定とし以下の項目について検討した。

- ① 主桁の回転中心位置と橋脚天端の差 (主桁の回転中心位置の影響)
- ② 上部構造の支承位置と橋脚中心位置との差 (上部構造の支承位置の影響)
- ③ 対象とする 1 径間に隣接する前後の橋梁の質量や剛性の影響 (隣接橋梁の影響)

3.3.1 検討モデル

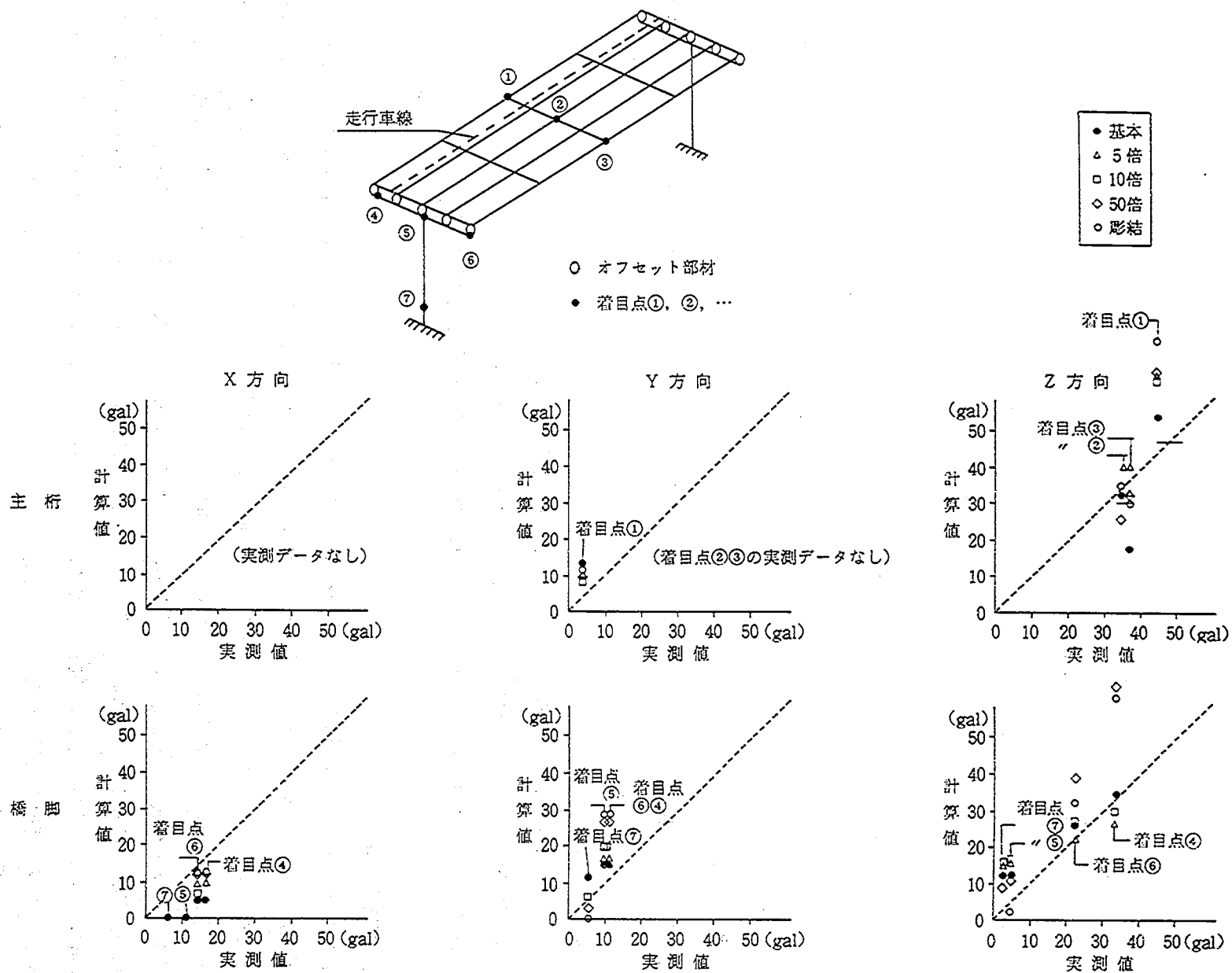
検討した骨組みモデルは, 橋脚下端の支持をばね支持とした 1 径間の橋梁をモデル 1 (基本モデル; 図-3.9(a)参照) とし, 主桁の回転中心位置の影響を検討するため, モデル 2 では主桁端部に回転中心位置と橋脚天端の差を表す 1.0 m のオフセット部材を設けた (図-3.9(b)参照)。また, 上部構造の支承位置の影響を検討するため, モデル 3 では橋脚天端に支承間距離 0.6 m の剛なはり出し部材を設けた (図-3.9(c)参照)。

さらに, 隣接する橋梁の影響を検討するため, モデル 4 では隣接する橋梁を加えた 3 径間分のモデルを作り, 橋梁端部の支持条件として回転が自由な 3 方向の平行ばねを用いてばね支持とした (図-3.9(d)参照)。この場合, 平行ばねのばね定数は橋脚下端のばねによって近似できるものと考え, 橋脚下端の平行ばねの値を 5 等分 (橋梁端部の支点数) した。

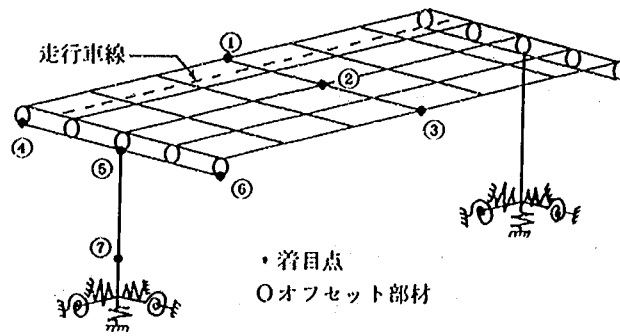
上部工と下部工のモデルおよび基礎工の支持条件について, モデル 1 ~ 4 に共通するモデル化の基本的な考え方を整理すると, 次のようになる。

① 上部工の諸元について

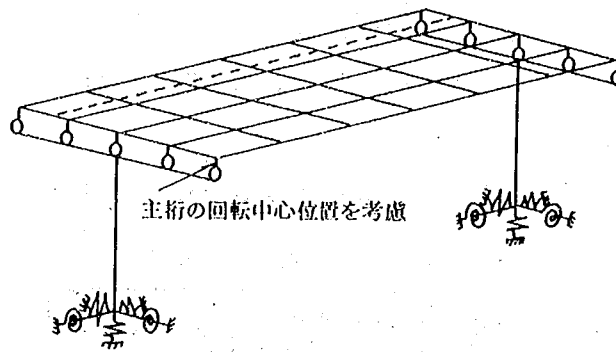
- a. 主桁の剛性と質量には, 剛性桁として床板のみならず壁高欄の影響をも考慮した。



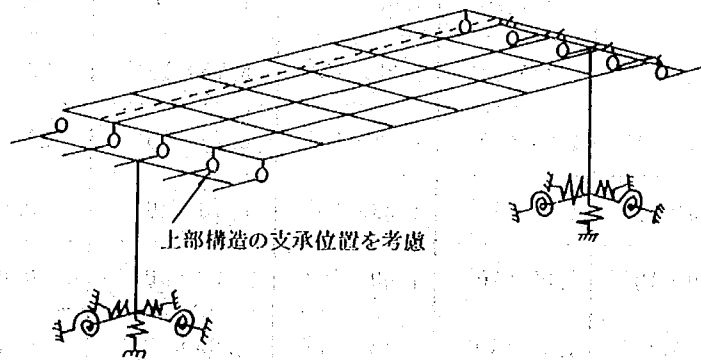
図—3.8 実測値と解析結果の比較



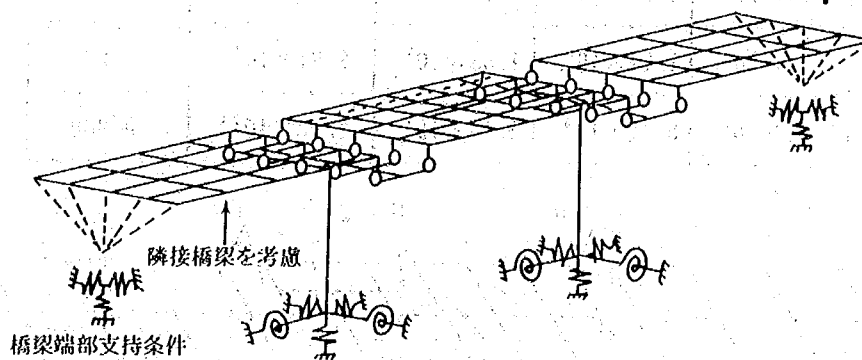
(a) モデル1 (基本モデル)



(b) モデル2 (主桁の回転中心位置の影響)



(c) モデル3 (上部構造の支承位置の影響)



(d) モデル4 (隣接橋梁の影響)

図-3.9 比較検討モデル

- b. 主桁の中立軸と橋脚の天端（支承位置）との間には桁高による一定の距離が存在するため、部材長 1.0 m のオフセット部材を入れた。
- c. 車両の走行位置は各車線の中央とするが、主桁の位置と一致していないため、車両の走行位置に仮想部材を入れる。

② 下部工の諸元について

- a. 橋脚の梁と柱の接点にはそれぞれ剛域を設けた。
- b. 橋脚のフーチングについては剛性および断面積の等価なはり部材に置き換えた。
- c. 橋脚の下端は下部工のみならず杭基礎の変形を考慮して、杭全体の回転中心にばね支点を設けた。

③ 基礎工の諸元について

- a. 橋脚下端の支持条件を 6 つの独立な弾性ばねによって表した。この場合、ばね定数の値は、前節 3.2 基礎の支持条件の影響の検討結果を踏まえ、ここでは道路橋示方書によって算定されるばね定数を一律に 5 倍した値を用いた。

上記①～③に基づき算出されたモデル 4 の上部工の諸元を表-3.4 に、下部工の諸元を表-3.5 に示す。

表-3.4 上部工諸元表（モデル 4）

部材	断面積 A (cm ²)	断面 2 次 モーメント I _y (cm ⁴)	断面 2 次 モーメント I _z (cm ⁴)	ねじり剛性 GJ (kgf・cm ²)	単位重量 W (kgf/cm)
G 1	1.52×10^3	7.09×10^5	1.09×10^7	1.34×10^{11}	29.7
G 2	1.35×10^3	4.23×10^5	1.23×10^7	8.73×10^{10}	29.7
G 3	1.35×10^3	4.23×10^5	1.23×10^7	8.73×10^{10}	29.7
G 4	1.35×10^2	4.23×10^5	1.23×10^5	8.73×10^9	0.0
G 5	1.00×10^5	1.00×10^9	1.00×10^9	1.00×10^{15}	0.0
L 1	6.67×10^2	1.71×10^5	3.15×10^5	4.95×10^{10}	0.793
L 2	1.19×10^3	4.06×10^5	1.83×10^7	9.90×10^{10}	0.490
L 3	1.34×10^3	1.14×10^5	1.83×10^7	9.91×10^{10}	1.621
L 4	2.38×10^3	8.12×10^5	3.66×10^7	1.98×10^{11}	0.980

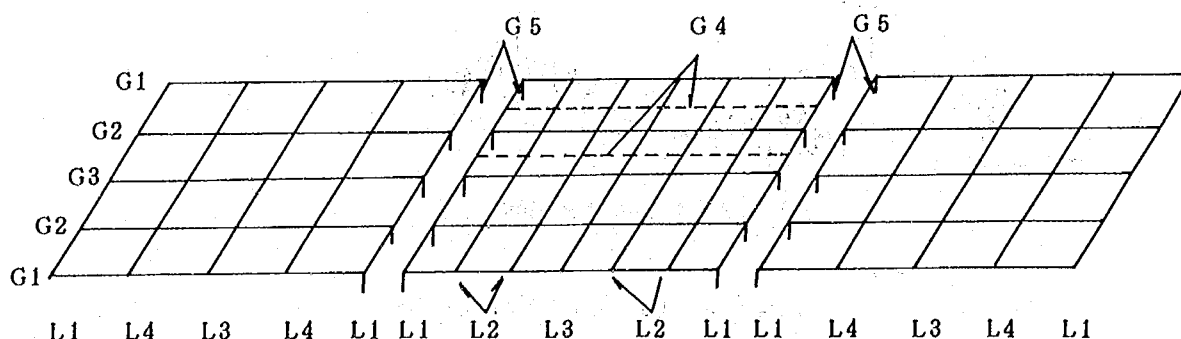
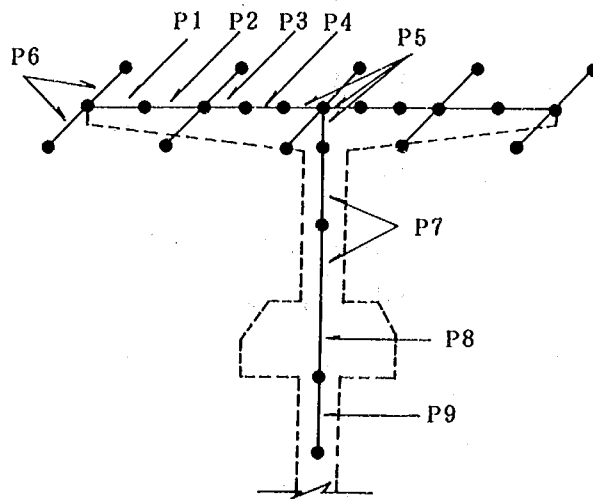


表-3.5 T型橋脚下部工諸元表 (モデル4)

部材	断面積 $\Lambda (\text{cm}^2)$	断面2次 モーメント $I_y (\text{cm}^4)$	断面2次 モーメント $I_z (\text{cm}^4)$	ねじり剛性 $GJ (\text{kgf} \cdot \text{cm}^2)$	単位重量 (kgf/cm)
P 1	3.286×10^3	4.139×10^6	1.197×10^7	7.565×10^{12}	59.3
P 2	4.086×10^3	7.878×10^6	1.464×10^7	1.253×10^{13}	73.8
P 3	4.800×10^3	1.268×10^7	1.726×10^7	1.741×10^{13}	86.7
P 4	5.400×10^3	1.796×10^7	1.935×10^7	2.131×10^{13}	97.5
P 5	5.400×10^3	1.796×10^7	1.935×10^7	2.131×10^{13}	103.2
P 6	3.286×10^3	4.139×10^6	1.197×10^7	7.565×10^{12}	0.0
P 7	5.714×10^3	2.545×10^7	2.545×10^7	2.633×10^{13}	108.4
P 8	9.143×10^4	4.876×10^9	4.876×10^9	6.665×10^{15}	1504.0
P 9	1.010×10^3	6.122×10^8	6.122×10^8	6.665×10^{17}	1514.0



3.3.2 解析結果

(1) 固有振動解析結果

固有振動解析プログラムにより固有振動数と振動モードを算出した。モデルの違いによる振動数の変化を図-3.10に示す。また、モデル4における20次までの振動モードを図-3.11に示す。主桁の回転中心位置を考慮(モデル2)することによって、主桁の振幅が大きいモードに差が生じ、モデル1の8次の振動モードにおける振動数が約7.3 Hzから約8.8 Hzへと変化した。上部構造の支承位置を考慮(モデル3)しても固有振動数にはあまり変化が見られなかった。しかし、隣接する橋梁を考慮(モデル4)すると、主桁の振幅が大きいモードともに変化が見られ、特に橋脚の振幅が大きいモードの変化が大きく、モデル3の2次の振動

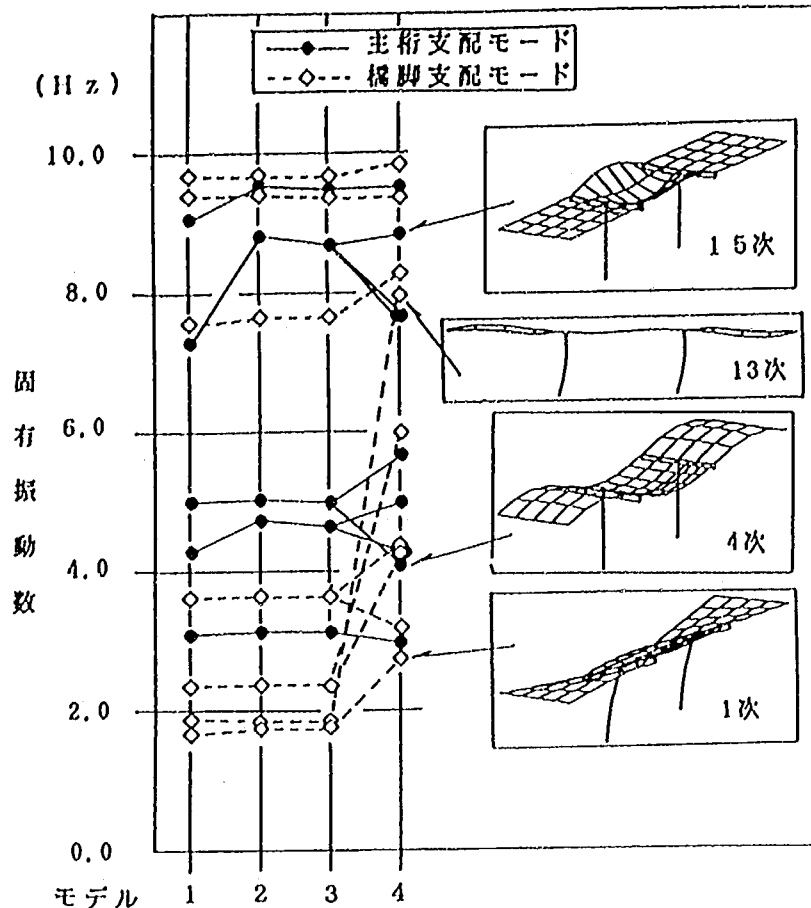


図-3.10 固有振動数の変化

モードがモデル4では13次のモードへと変化し、振動数は、約1.9 Hzから約8.0 Hzへ変化した。すなわち、前後の橋梁を考慮することによって、高架橋全体が橋軸方向に振動するモードに大きな影響を与えることが分かった。

(2) 応答解析結果

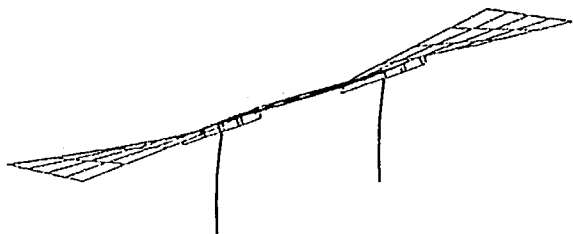
① 最大応答加速度

橋梁の路面凹凸を与え、走行車両(20t車、速度60 km/h)による主桁と橋脚の時刻歴応答解析を行った。最大加速度のモデルの違いによる解析結果と実測値との対比を図-3.12に示す。主桁の応答値は、基本モデル(モデル1)を除き実測値とほぼ一致した。橋脚の応答値は、隣接橋梁の影響(モデル4)を考慮することによって振動エネルギーが分散され応答値が減っているが、橋軸方向では実測値の方が、また、鉛直方向では計算値の方が大きい傾向となった。この原因として、数値の増加傾向がほぼ一定であることから、橋脚下端のばね定数の影響が各方向で異なったためと考えられる。すなわち、本検討ではばね定数を道路橋示方書により算出した値を各方向に一律に5倍して求めたが、鉛直方向のばね定数は固めに評価されたものと思われる。

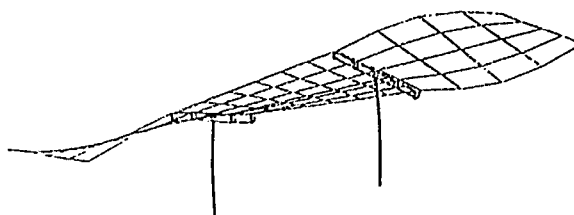
② スペクトル解析

隣接橋梁の影響を詳細にみるため単径間モデル(モデル2)と3径間モデル(モデル4)の応答解析で得ら

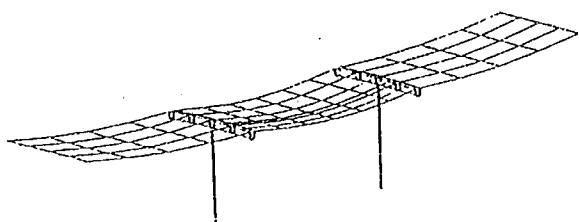
MODE 1 (2.76Hz)



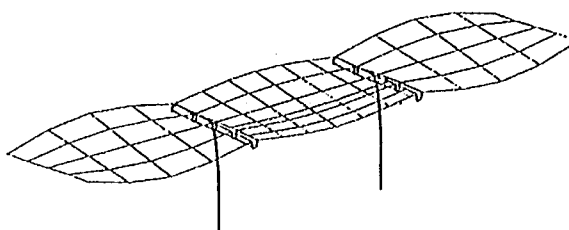
MODE 5 (4.24Hz)



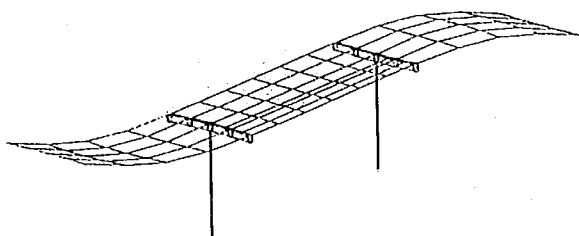
MODE 2 (2.96Hz)



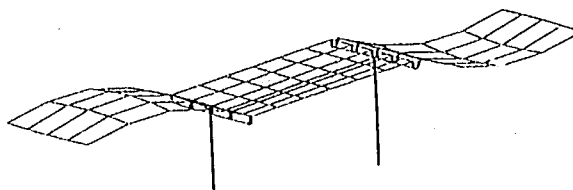
MODE 6 (4.29Hz)



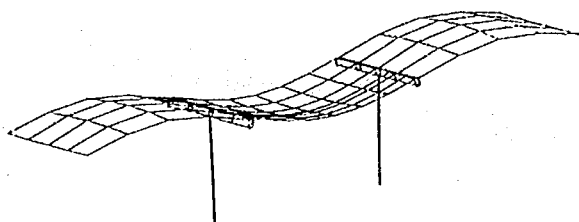
MODE 3 (3.18Hz)



MODE 7 (4.34Hz)



MODE 4 (4.08Hz)



MODE 8 (4.97Hz)

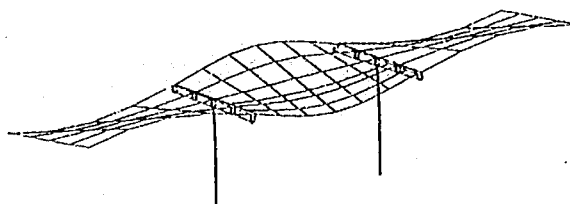
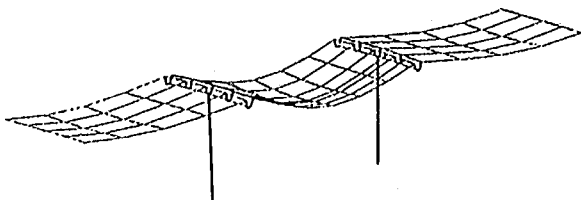
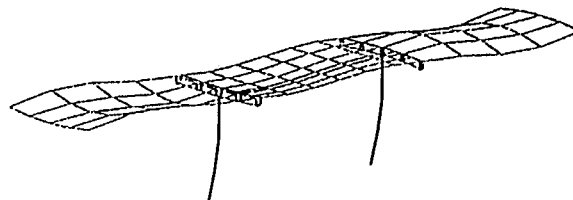


図-3.11(a) 固有振動モード図 (1次~8次)

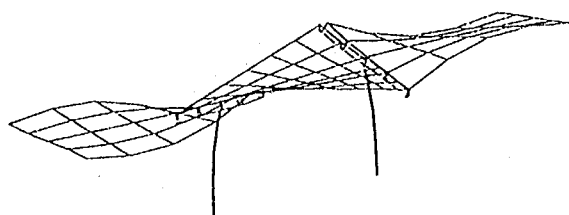
MODE 9 (5.66 Hz)



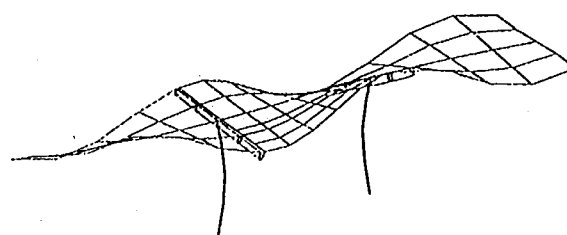
MODE 13 (7.95 Hz)



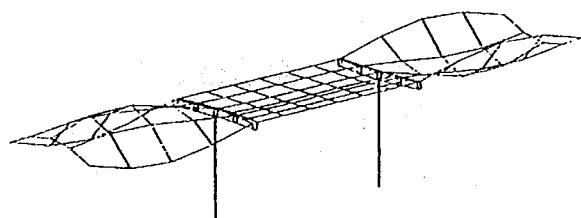
MODE 10 (5.91 Hz)



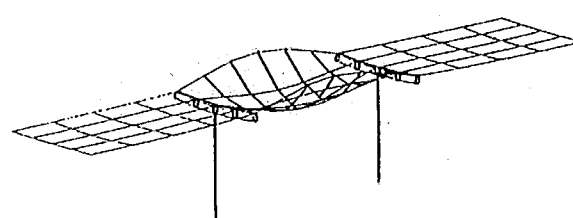
MODE 14 (8.28 Hz)



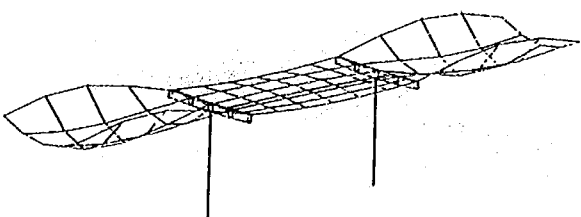
MODE 11 (7.64 Hz)



MODE 15 (8.82 Hz)



MODE 12 (7.64 Hz)



MODE 16 (9.39 Hz)

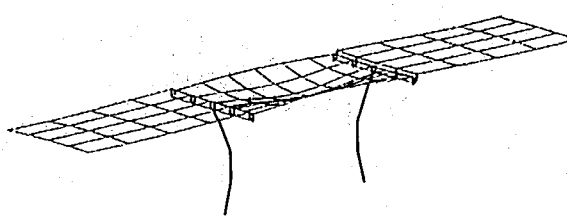
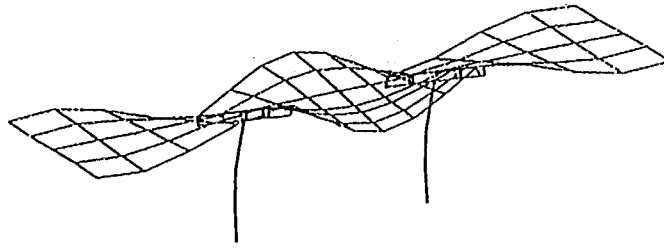
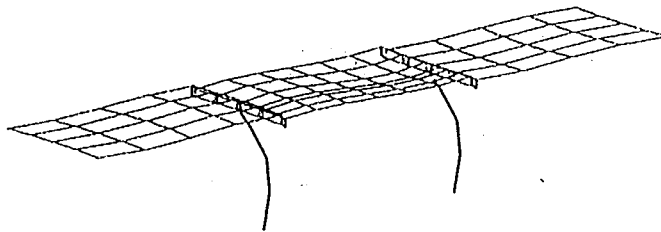


図-3.11(b) 固有振動モード図 (9次~16次)

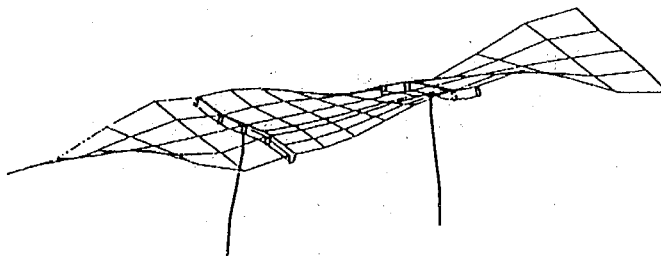
MODE 17 (9.51 Hz)



MODE 18 (9.87 Hz)



MODE 19 (12.51 Hz)



MODE 20 (12.72 Hz)

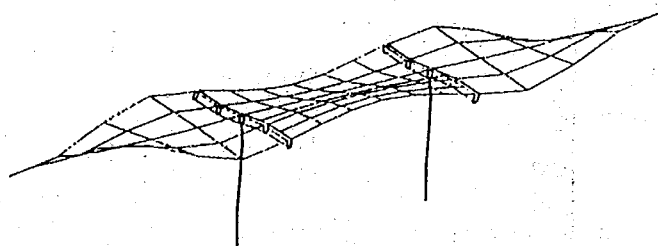


図-3.11(c) 固有振動モード図 (17次~20次)

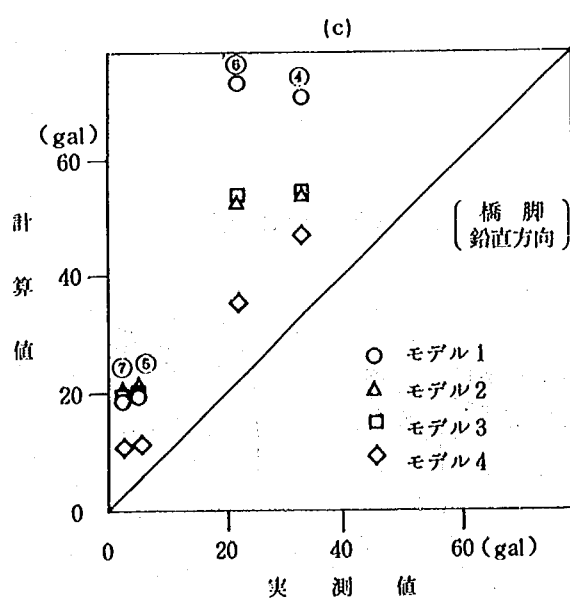
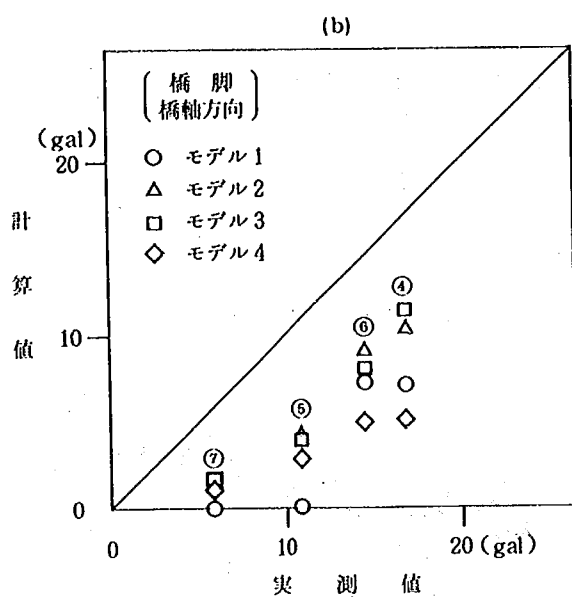
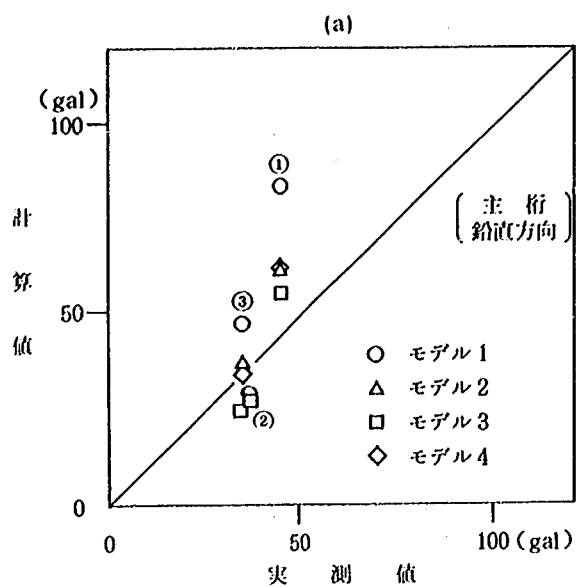


図-3.12 計算値と実測値との比較

れた時刻歴波形に対しスペクトル解析を行った。時刻歴波形のデータは応答解析の条件から次の通りであり、

時間間隔 (Δt) : 0.02 秒

対象データ数 (N) : 200 個

解析対象時間 ($T=N \times \Delta T$) : 4.0 秒

スペクトル解析では高速フーリエ変換 (FFT) を用いたことから、全データ数を $2^8=256$ 個とし、後半部の実データが存在しない部分に対しては 0 のデータを付加した。また解析では 20 Hz までを考慮した。上部工、下部工の代表的な点における鉛直方向のパワースペクトルを図-3.13 に示す。計算値における縦軸は、相対的なパワースペクトルの比(最大値を 1.0 とする)を表している。また、卓越振動数を比較した結果を図-3.14 に示す。これらの結果により以下のことがいえる。

- ① 実測値を見ると上部工の鉛直方向の卓越振動数は 3.6~4.2 Hz である。解析結果は、3 径間モデルで約 2.9~5.7 Hz、単径間モデルで約 4.7~5.1 Hz であり、実測値とほぼ一致する。

また、橋軸直角方向の実測値 2.6~4.6 Hz に対して解析値は 3 径間モデルで約 2.9 Hz で、単径間モデルで 1.9~4.7 Hz である。

- ② 下部工の卓越振動数の実測値は、上部工の実測値と比べると 10 Hz 以上高い振動数成分も含まれるが各方向とも既ね 2.3~4.9 Hz がピークである。解析結果では、3 径間モデルで 2.9~6.1 Hz、単径間モデル 2.0~7.8 Hz が卓越しており、比較的実測値と合っている。

- ③ パワースペクトル図の形及びピークの鋭さは、実測値と似ている。

上記の①~③の結果より、単一橋梁だけでなく、前後の橋梁をモデル化した方が解析の精度向上につながる事が分かった。

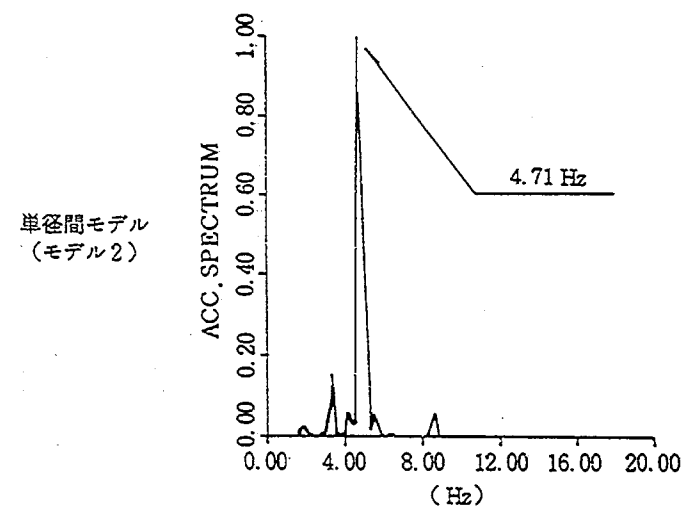
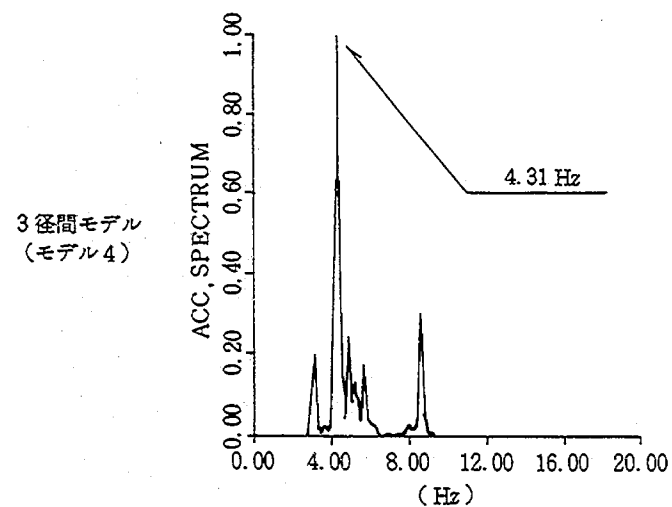
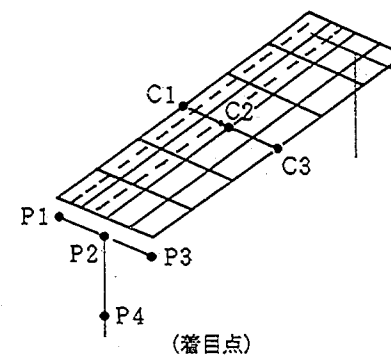
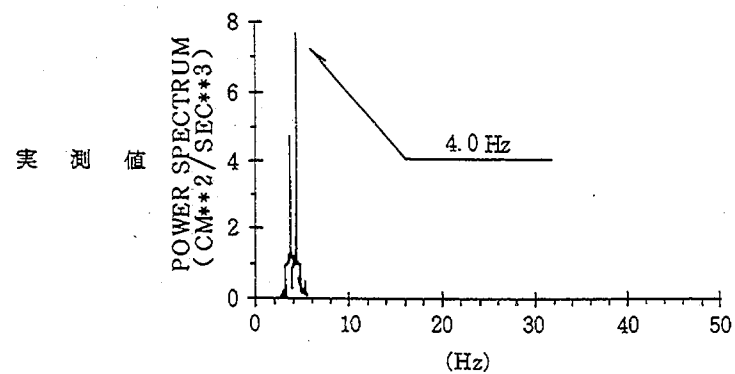
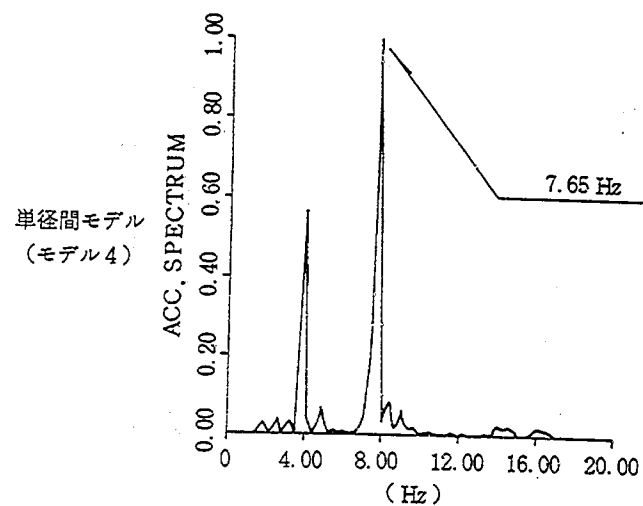
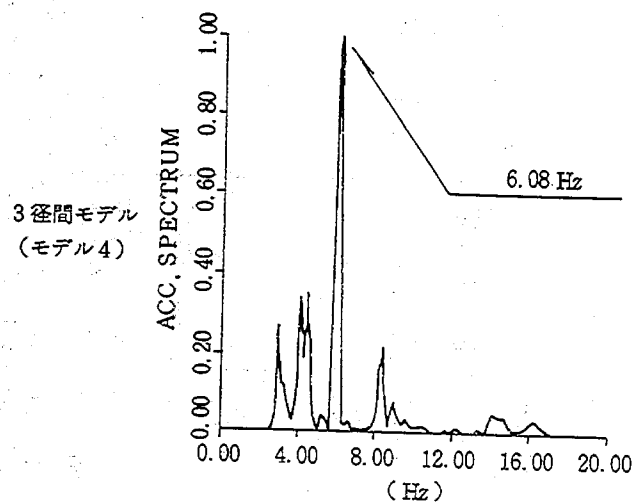
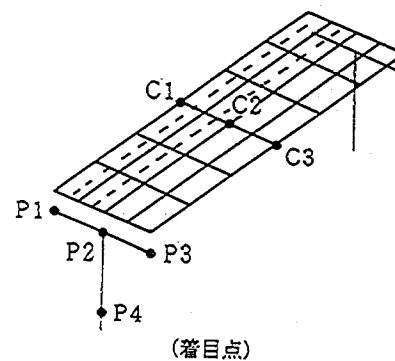
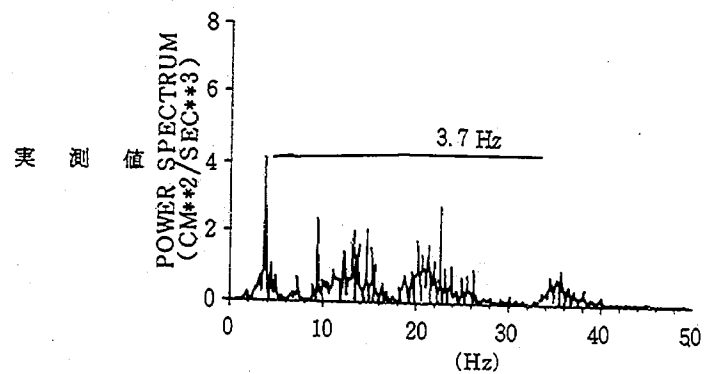
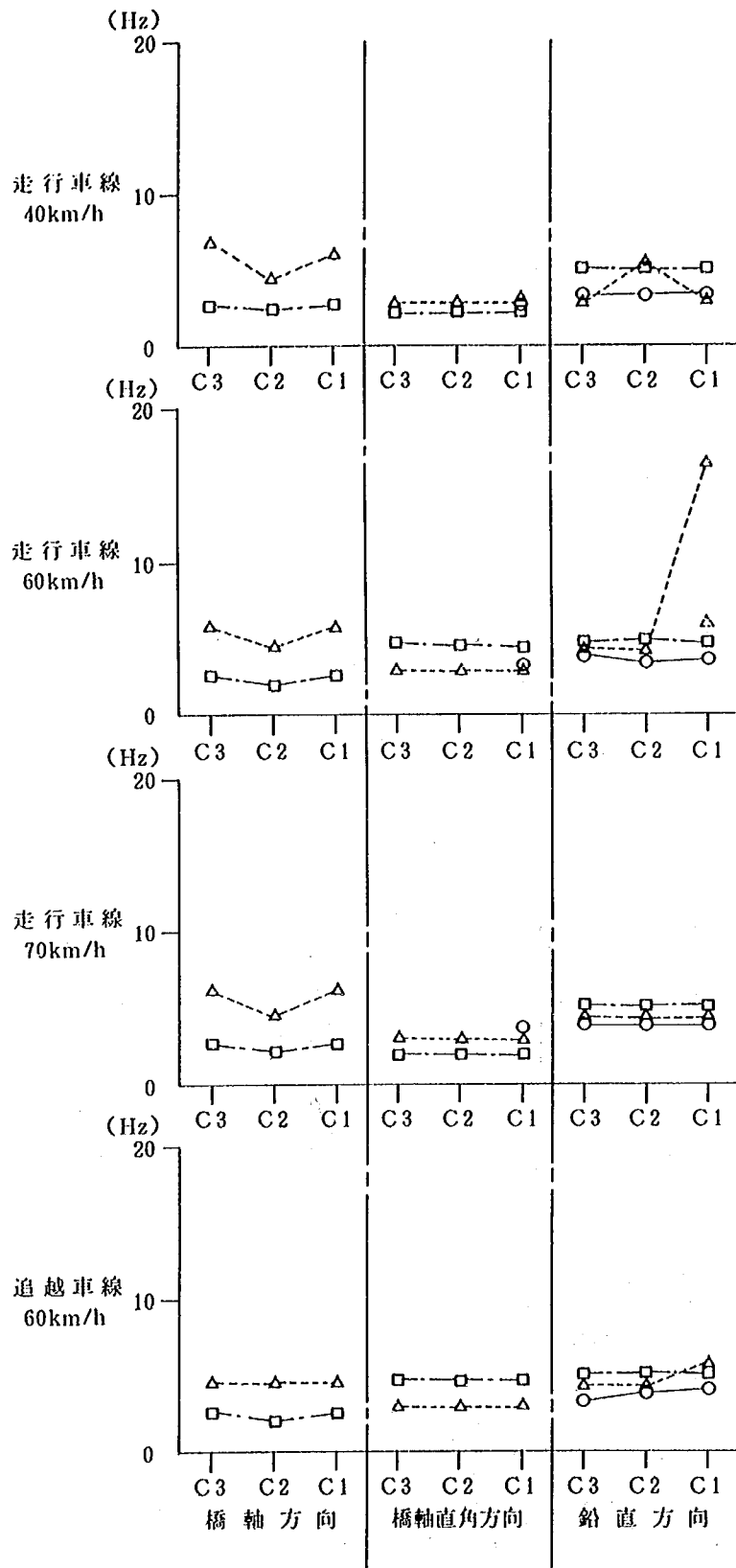


図-3.13(1) パワースペクトル図の比較 (上部工 C3鉛直)

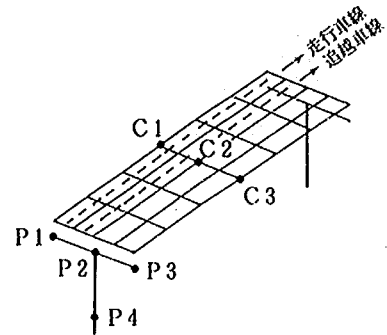


図—3.13(2) パワースペクトル図の比較 (下部工P1鉛直)



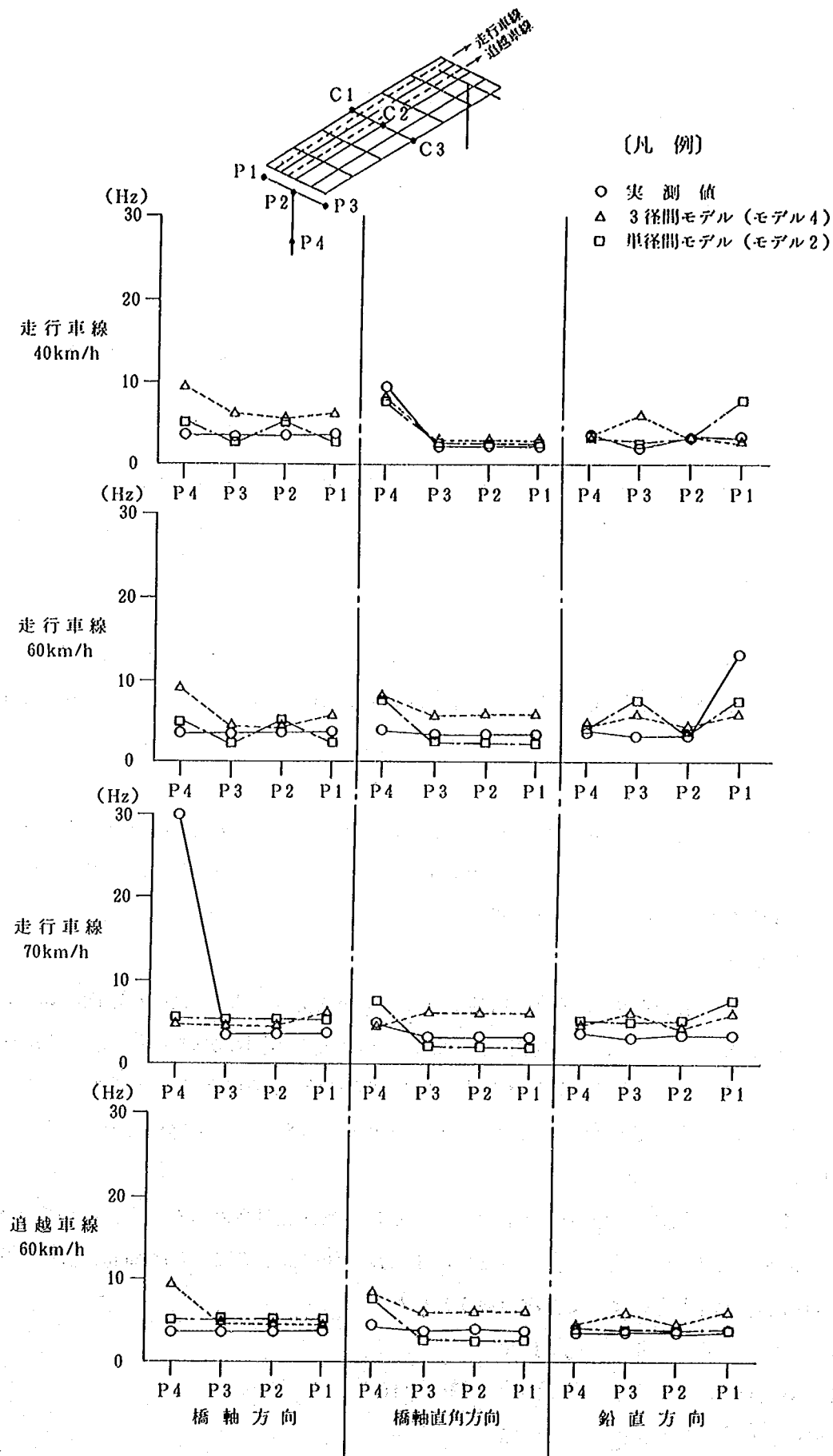
(凡 例)

- 実 測 値
- △ 3 径間モデル (モデル 4)
- 単径間モデル (モデル 2)



*注) ピーク値を抜粋, 解析で20 Hz まで考慮しているためと思われる。

図一3.14(1) T型橋脚パワースペクトル卓越振動数(加速度)の比較(上部工)



図一3.14(2) T型橋脚パワースペクトル卓越振動数(加速度)の比較(下部工)

4. 交通振動軽減対策の検討

4.1 対象橋梁と対策方法

1) 対象橋梁

検討の対象とした橋梁は、3. 適切なモデル化の検討と同一の橋梁、すなわち、T型橋脚を有する単純鈑桁橋(支間長約27m)とし(図-3.1参照)、解析に用いた橋梁モデルは3.3境界条件の検討で用いたモデル4(隣接橋梁の影響を考慮)とした。

2) 対策工法

比較検討した振動軽減対策工法を、図-4.1に示す①荷重分配横桁の追加 ②主桁の箱桁化 ③橋脚の柱断面の拡大 ④TMD(動吸振器)の設置を想定し、モデル4と同様な方法によりモデル化した。それらの構造諸元の変化を表-4.1に示す。ただし、対策は着目する橋梁のみとした。

(1) 荷重分配横桁の追加

中間対傾構を荷重分配横桁に置き換え、剛性の増加が高架橋の振動に与える影響を見たものである。この場合、解析モデルは、4本の中間対傾構すべてを荷重分配横桁に置き換えるものとした(図-4.1参照)。この対策により横桁の橋軸方向まわりの剛性が約2.8倍、重量が約3.3倍になる(表-4.1参照)。

(2) 主桁の箱桁化

上部工を箱桁化して、主桁剛度の増加が高架橋の振動に与える影響を見たものである。上部工の箱桁化は、図-4.1に示すように主桁間を補剛フランジ($t=12\text{ mm}$)でつなぐものとした。この対策により上部工のねじり剛性が約100倍大きくなる(表-4.1参照)。

(3) 橋脚の柱断面拡大

橋脚の柱断面の剛性を増加させ、高架橋の振動に与える影響を見たものである。柱断面の拡大は図-4.1に示す方法によることとした。また、この対策により橋軸方向まわりの剛性が約50倍、ねじり剛性が約8倍大きくなる(表-4.1参照)。この場合、道路橋示方書に基づく柱部材の軸方向鉄筋の最小鉄筋量は柱全断面積の0.15%であるため、鉄筋の剛性は無視しコンクリート断面のみ有効として算出した。

(4) TMD(動吸振器)の設置

高架橋とTMD(動吸振器)との連成作用によりどの程度振動が軽減されるかを見たものである。TMDの個数は5個、設置位置は径間中央とした。設置したTMDの仕様は当研究室と阪神高速道路公団とが共同で行ったTMDの実験結果⁹⁾を踏まえて、次の通りとした。

等 価 質 量 比: 1/20

T M D の 全 質 量: $2\text{ tf} \times 5\text{ 個} = 10\text{ tf}$

TMDと上部工との振動数比: 93%

T M D の 振 動 数: 3.79 Hz ($4.08\text{ Hz} \times 93\%$)

T M D の 減 衰 定 数: 12%

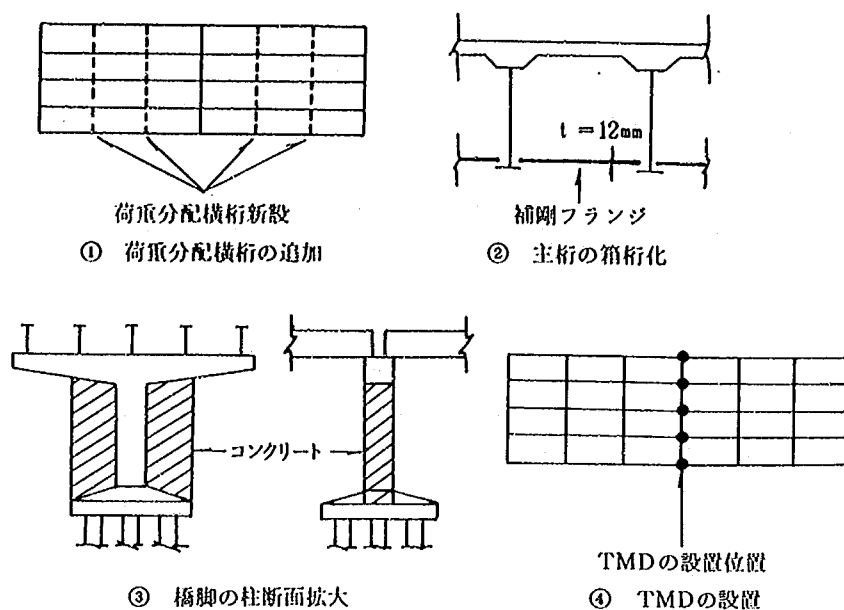


図-4.1 比較検討した振動軽減対策工法

表-4.1 対策後における構造諸元の変化（対策前に対する増加率）

対策	変更する部材	断面2次モーメント(Iy)	断面2次モーメント(Iz)	ねじり剛性	単位重量
①	中間対傾構	2.81倍	1.00倍	1.00倍	3.31倍
②	主桁（外側）	1.61	1.28	64.6	1.06
	主桁（内側）	2.32	1.46	98.4	1.12
③	柱	49.3	3.25	7.98	2.85
④	—	等価質量比1/20（TMDの全質量2tf×5個=10tf，上部工との振動数比 $\beta=93\%$ ）			

（注）断面2次モーメント Iy, Iz は各々の部材座標系による。

また、TMDを設置するには架台が必要であり、解析では架台1個につき1tfを想定し、計5tfの集中質量を考慮した。

4.2 解析結果

1) 固有値解析結果

固有振動解析プログラムにより固有振動数と振動モードを算出した。各対策工法の固有振動数を表-4.2に、また対策前との比較を図-4.2に示す。固有値解析結果から以下のような各対策案の振動数の変化が見られた。

- ① 荷重分配横桁の追加では、対策前の15次モードが振動数8.8→10.1Hzへと高次モードに変化しているが、他のモードはほとんど変わらない。15次モードは図-4.3に示す主桁の変位が大きいモードである。
- ② 上部工の箱桁化では、主桁の振幅が大きいモードに変化があり、主桁剛性の増加により振動数が高く

なっている。特に振動数の変化が大きいのは対策前の15次(図-4.3参照)のモードである。また、橋脚の振幅が大きいモードにも多少変化が見られ、主桁との連成モードを示している。

- ③ 下部工の柱断面の拡大では、橋脚の振幅が大きいモードに変化が見られる。この対策により、対策前の10次モード(図-4.4参照)の振動数が5.9→6.4 Hzへ、13次モード(図-4.5参照)の振動数が8.0→7.4 Hzへ等橋脚の変位が大きい振動数が高次モードへ変化している。ただし、振動数の変化はわずか

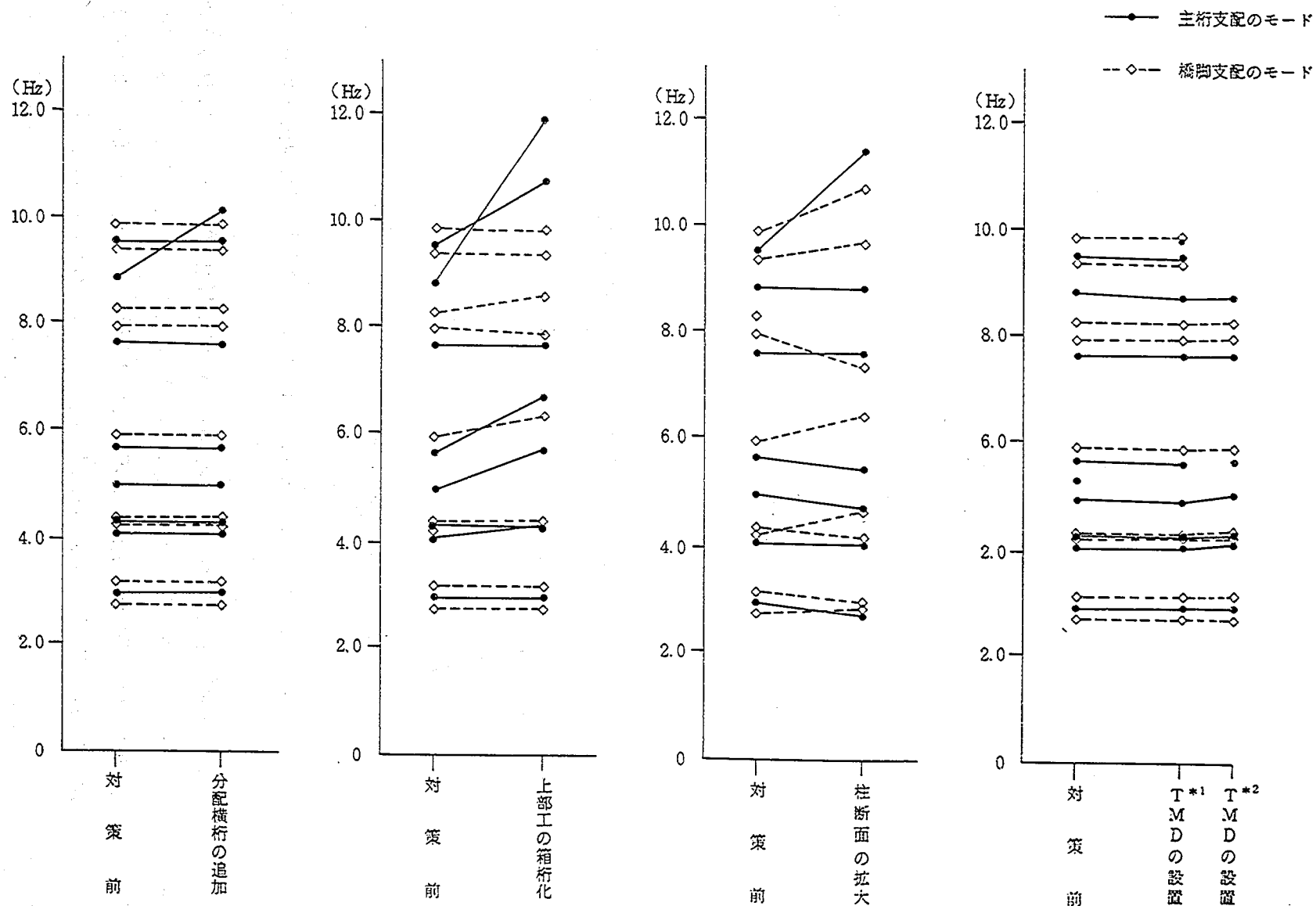
表-4.2 固有振動数の比較

(単位: Hz)

次数	対 策 前	分配横桁の追加	主桁の箱桁化	柱断面の拡大	TMDの設置 *1	TMDの設置 *2
1	2.76	2.75	2.76	2.79	2.75	2.75
2	2.96	3.00	2.98	2.88	2.96	2.92
3	3.18	3.18	3.17	2.97	3.18	3.18
4	4.08	4.07	4.32	4.08	4.07	3.68
5	4.24	4.24	4.32	4.19	4.24	3.69
6	4.29	4.29	4.33	4.68	4.28	3.77
7	4.34	4.37	4.38	4.76	4.34	3.79
8	4.97	4.97	5.71	5.44	4.94	3.79
9	5.66	5.65	6.34	5.73	5.63	4.19
10	5.91	5.90	6.70	6.43	5.90	4.24
11	7.64	7.63	7.65	7.39	7.64	4.33
12	7.64	7.64	7.66	7.64	7.64	4.34
13	7.95	7.93	7.89	7.64	7.93	5.03
14	8.28	8.27	8.55	8.81	8.27	5.68
15	8.82	9.37	9.39	9.69	8.73	5.90
16	9.39	9.50	9.85	10.70	9.39	7.64
17	9.51	9.87	10.74	10.81	9.48	7.64
18	9.87	10.11	11.90	11.44	9.87	7.93
19	12.51	12.51	12.59	12.76	12.51	8.27
20	12.72	12.73	12.79	12.80	12.72	8.77

*1 TMD設置位置に架台1tfの集中質量を追加

*2 TMD設置位置に架台1tfの集中質量を追加およびTMDの質量とばねを考慮



(注) *1 : 架台 1 tf のみ
 *2 : 架台 1 tf + TMD の質量とばね

図一4.2 固有振動数の比較

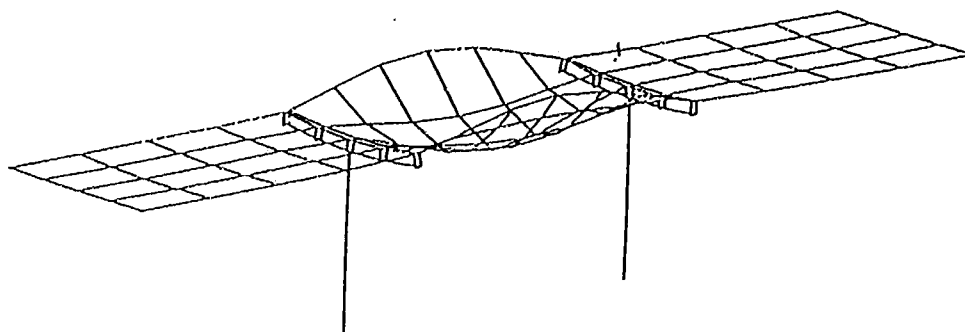


図-4.3 モード図 (15次のモード)

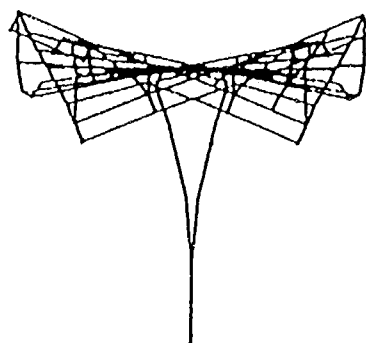


図-4.4 モード図 (10次のモード)

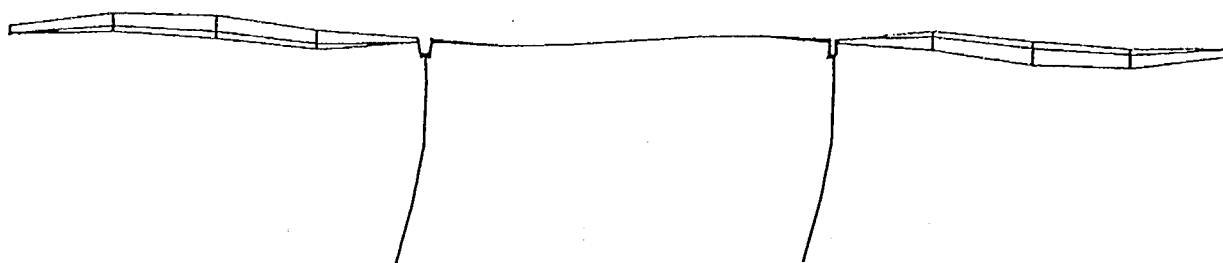


図-4.5 モード図 (13次のモード)

ながら高くなるモードもあれば低くなるモードもあり，それぞれ柱剛性の増加，質量の増加の影響と思われる。

- ④ TMD の設置では，対策前後の振動数はほとんど変わらない。固有値解析では，まず，TMD 設置位置に架台のみの集中質量 1 トン (計 5 トン) を加えた解析-1 を行い，次に，これに加えて TMD 自身の集中質量 2 トン (合計 10 トン) とばね定数を加えた TMD 解析-2 を行った。その結果，解析-2 では 4 次～8 次に TMD 自身の振動モードが見られる。これ以外の振動モードの変化は小さい。

2) 応答解析結果

(1) 最大応答加速度

橋梁の路面凹凸を与え，走行車両 (20 t, 速度 60 km/h) による主桁と橋脚の時刻歴応答解析を行った。

最大応答加速度の結果を表—4.3に示す。また、各対策工法の比較を図—4.6に示す。これらの結果より以下のことが言える。

- ① 荷重分配横桁の追加では、上部工のZ方向（鉛直方向）の応答加速度に変化が見られ、この対策により応答値が逆に高くなっている着目点もある。振動を端部に伝えやすくなり端部での振動が大きくなったためと思われる。X方向（橋軸方向）Y方向（橋軸直角方向）の応答加速度には、大きな差が現れない。下部工の応答加速度を見ると、上部工と同様、端部で応答値が高くなる傾向を示した。
- ② 上部工の箱桁化では、上部工のZ方向（鉛直方向）の応答加速度が特に減少している。対策前の約40%になっている着目点もあり、その効果は大きい。下部工の応答加速度にはあまり変化が見られないが、着目点P3（走行車線の反対側）のZ方向の値は約70%に減少した。
- ③ 下部工の柱断面の拡大では、上部工のX方向（橋軸方向）及びY方向（橋軸直角方向）の応答加速度は、対策前でも10gal以下と数値は小さいがこの対策によって軽減効果が見られるのに対し、Z方向（鉛直方向）の応答加速度にはこの対策の効果はあまり見られない。下部工の応答加速度を見ると、特にY方向（橋軸直角方向）、Z方向（鉛直方向）に対策効果が見られ、対策前の応答値の約50%に減少した。
- ④ TMDの設置では、上部工のZ方向（鉛直方向）の応答加速度を見ると、対策前の約75%となっているが、下部工ではあまり変化していない。

(2) スペクトル解析

応答解析で得られた加速度の時刻歴波形のスペクトル解析を行った。スペクトル解析の方法は、3.3境界条件の影響で検討したスペクトル解析の方法と同様とした。各対策工法別の卓越振動数をまとめて、表—4.4に示す。また、パワースペクトル図の一例として、上部工の中央点（C₂）及び下部工の基部（P4）の鉛直方向のパワースペクトル図を図—4.7に示す。上部工と下部工の着目点において卓越振動数の変化が見られた。また、TMDを設置した場合、最大加速度ではあまり変化が見られなかったが、パワースペクトル図を見ると、ピークは分散される傾向となった。これらのことが振動軽減対策につながるものと期待できる。

3) 各対策工法の効果の特徴

振動軽減対策工法として、①荷重分配横桁の追加、②上部工の箱桁化、③下部工の柱断面図の拡大、④TMDの設置を想定し、固有値解析及び応答解析を行い対策前と比較した。各対策工法の効果の特徴を以下にまとめる。

① 荷重分配横桁の追加

- a) 上部工の鉛直方向の応答加速度は、車両の走行した位置（中央）付近では改善が見られるものの、振動を端部に伝えやすくなるため上部工端部やT型橋脚張出部の振動は増加する。
- b) 固有振動数の変化はほとんど見られない。

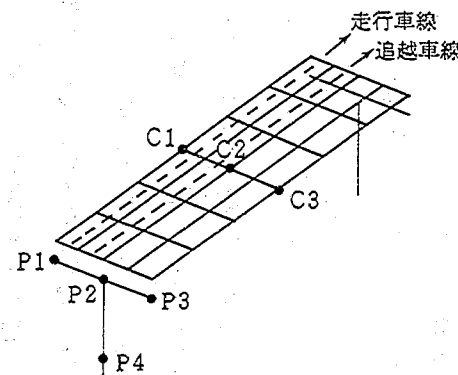
② 上部工の箱桁化

- a) 上部工の鉛直方向の応答加速度が特に減少し、対策前の約40%になっている着目点もあり、その効果は大きい。
- b) 主桁の振幅が大きいモードの振動数が、主桁剛性の増加により高くなる。特に15次モードの振動数が8.8→11.9 Hzと変化は大きい。

表-4.3 最大応答加速度の比較

(単位: gal)

			X方向（橋軸方向）						Y方向（橋軸直角方向）						Z方向（鉛直方向）								
			P 4	P 3	P 2	P 1	C 3	C 2	C 1	P 4	P 3	P 2	P 1	C 3	C 2	C 1	P 4	P 3	P 2	P 1	C 3	C 2	C 1
50 km/h	走行車線	対 策 前	1.2	5.1	3.0	5.2	7.2	2.3	6.3	9.2	20.4	20.4	20.6	8.1	8.1	8.1	11.0	35.4	11.1	47.1	24.3	27.2	54.9
		分配横桁追加	1.6	6.2	3.1	6.3	7.1	2.3	6.3	17.0	21.2	21.2	21.4	8.0	8.0	8.0	11.1	38.3	11.2	56.2	34.8	27.4	58.7
		主桁の箱桁化	2.4	5.0	3.1	3.6	6.2	2.3	5.6	10.1	17.8	17.9	17.9	8.3	8.3	8.3	10.9	24.8	11.0	47.0	19.2	20.2	34.2
		柱断面の拡大	1.3	3.2	2.5	4.3	3.2	2.1	3.3	3.1	9.2	9.2	9.3	4.3	4.3	4.3	9.0	8.6	9.1	17.0	26.3	23.3	52.7
		TMDの設置	1.3	5.0	3.1	5.1	7.2	2.3	6.3	9.0	20.2	20.2	20.3	7.4	7.4	7.4	11.0	35.4	11.1	46.9	18.4	26.3	51.0
60 km/h	追越車線	対 策 前	1.6	3.6	3.8	4.0	3.5	2.4	3.6	3.8	8.4	8.4	8.5	3.3	3.3	3.3	11.3	17.0	11.3	25.6	24.7	57.2	26.1
		分配横桁追加	1.2	3.8	3.3	4.2	3.5	2.4	3.6	7.3	8.7	8.7	8.8	3.3	3.3	3.3	11.3	19.8	11.3	29.9	22.1	29.3	38.4
		主桁の箱桁化	1.8	3.5	3.1	3.2	3.1	2.4	3.7	4.2	7.4	7.5	7.5	3.5	3.4	3.4	11.2	12.9	11.2	25.7	17.7	20.1	24.5
		柱断面の拡大	1.7	2.8	3.5	3.0	2.1	2.0	2.3	1.2	3.6	3.6	3.6	1.8	1.8	1.8	9.3	6.7	9.3	11.6	25.4	54.1	22.6
		TMDの設置	1.6	3.8	4.1	3.5	3.5	2.4	3.6	3.8	8.3	8.3	8.4	3.0	3.0	3.0	11.3	16.0	11.3	25.5	23.0	54.1	26.2



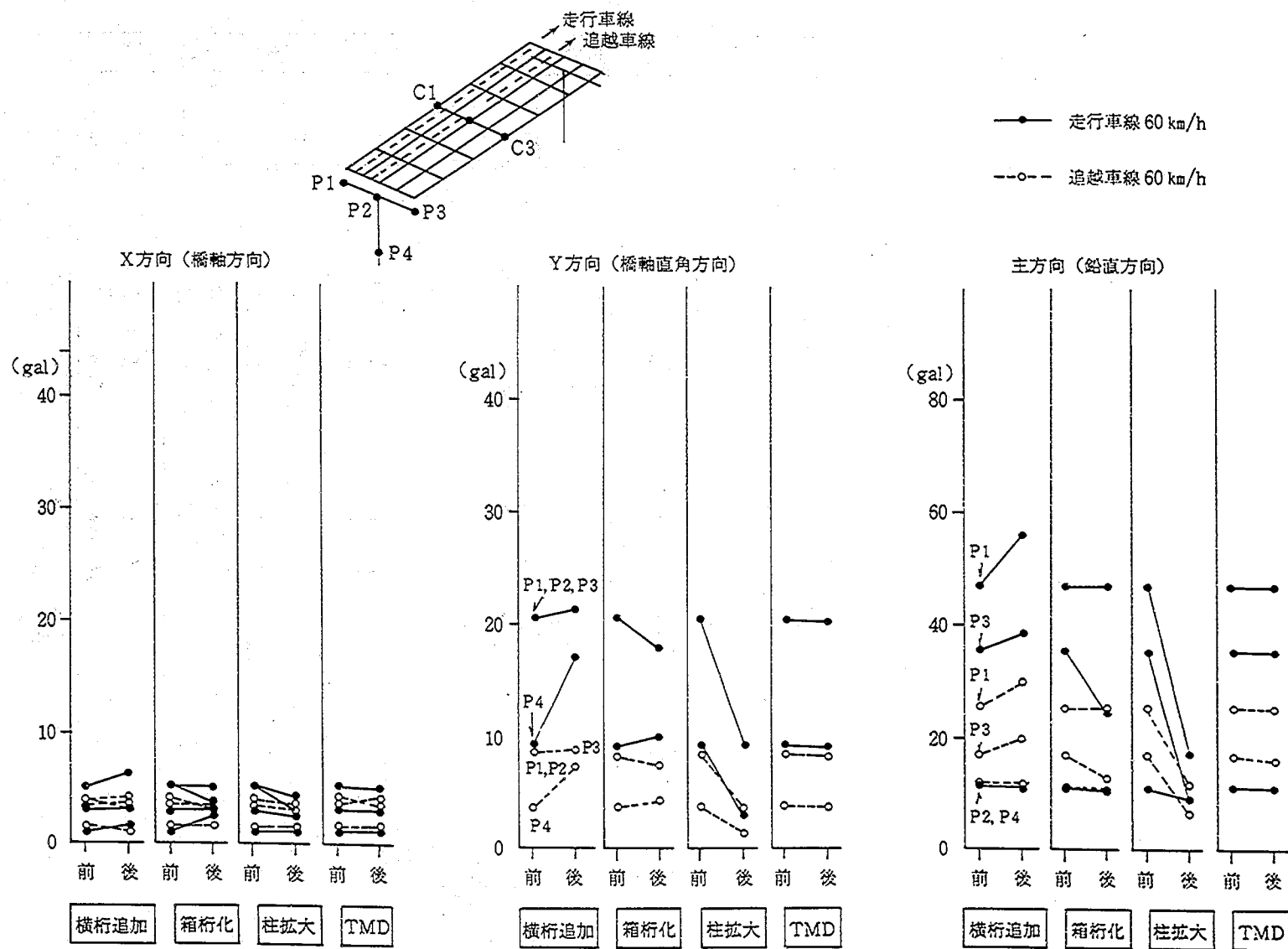


図-4.6(1) 最大応答加速度の比較（上部工）

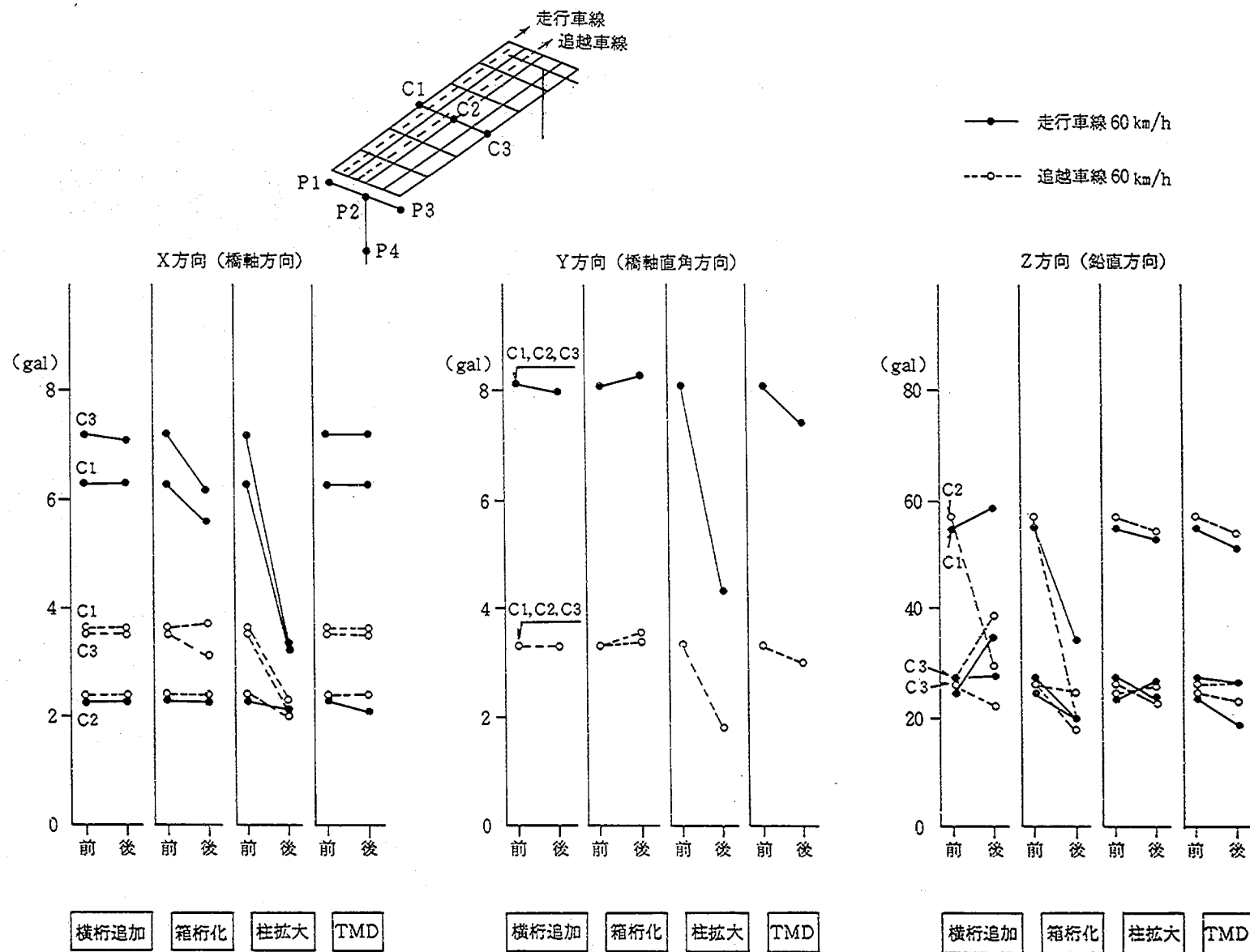


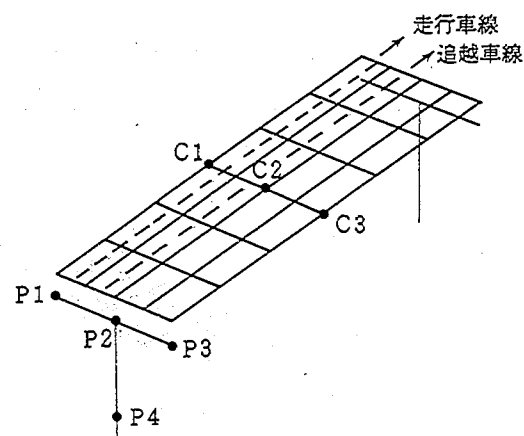
図-4.6(2) 最大応答加速度の比較 (下部工)

表-4.4 パワースペクトル卓越振動数（加速度）の比較

（単位：Hz）

			X方向（橋軸方向）							Y方向（橋軸直角方向）							Z方向（鉛直方向）						
			P4	P3	P2	P1	C3	C2	C1	P4	P3	P2	P1	C3	C2	C1	P4	P3	P2	P1	C3	C2	C1
60 km/h	走行車線	対 策 前	9.22	4.51	4.51	5.88	5.88	4.51	5.88	8.24	5.88	5.88	5.88	2.94	2.94	2.94	4.51	5.88	4.51	6.08	4.31	4.31	16.47
		分配横桁追加	9.22	4.51	4.51	5.88	5.88	4.51	5.88	9.41	5.88	5.88	5.88	2.94	2.94	2.94	4.51	5.88	4.51	5.88	4.31	4.31	9.22
		主桁の箱桁化	9.22	4.51	4.51	8.43	4.51	4.51	6.47	8.43	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	3.33	8.43	3.33	8.43	5.69	3.14	5.69
		柱断面の拡大	4.12	4.12	4.12	4.12	6.47	4.12	4.12	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	2.94	2.94	2.94	2.94	5.49	4.31	16.47
		TMDの設置	9.22	4.51	4.51	5.88	5.88	4.51	5.88	8.24	5.88	5.88	5.88	2.94	2.94	2.94	4.51	5.88	4.51	6.08	4.31	3.14	3.73
60 km/h	追越車線	対 策 前	9.22	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	8.24	5.88	5.88	5.88	2.94	2.94	2.94	4.51	5.88	4.51	6.08	4.31	4.31	5.69
		分配横桁追加	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	9.41	5.88	5.88	5.88	2.94	2.94	2.94	4.51	5.88	4.51	6.08	4.31	5.69	5.69
		主桁の箱桁化	9.22	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	8.43	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	3.33	8.43	3.33	8.43	3.14	3.14	3.14
		柱断面の拡大	9.41	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	2.94	2.94	2.94	2.94	4.31	4.31	4.31
		TMDの設置	9.22	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	8.24	5.88	5.88	5.88	2.94	2.94	2.94	4.51	5.88	4.51	6.08	4.31	5.69	5.69

*注）ピーク値を抜粋する。



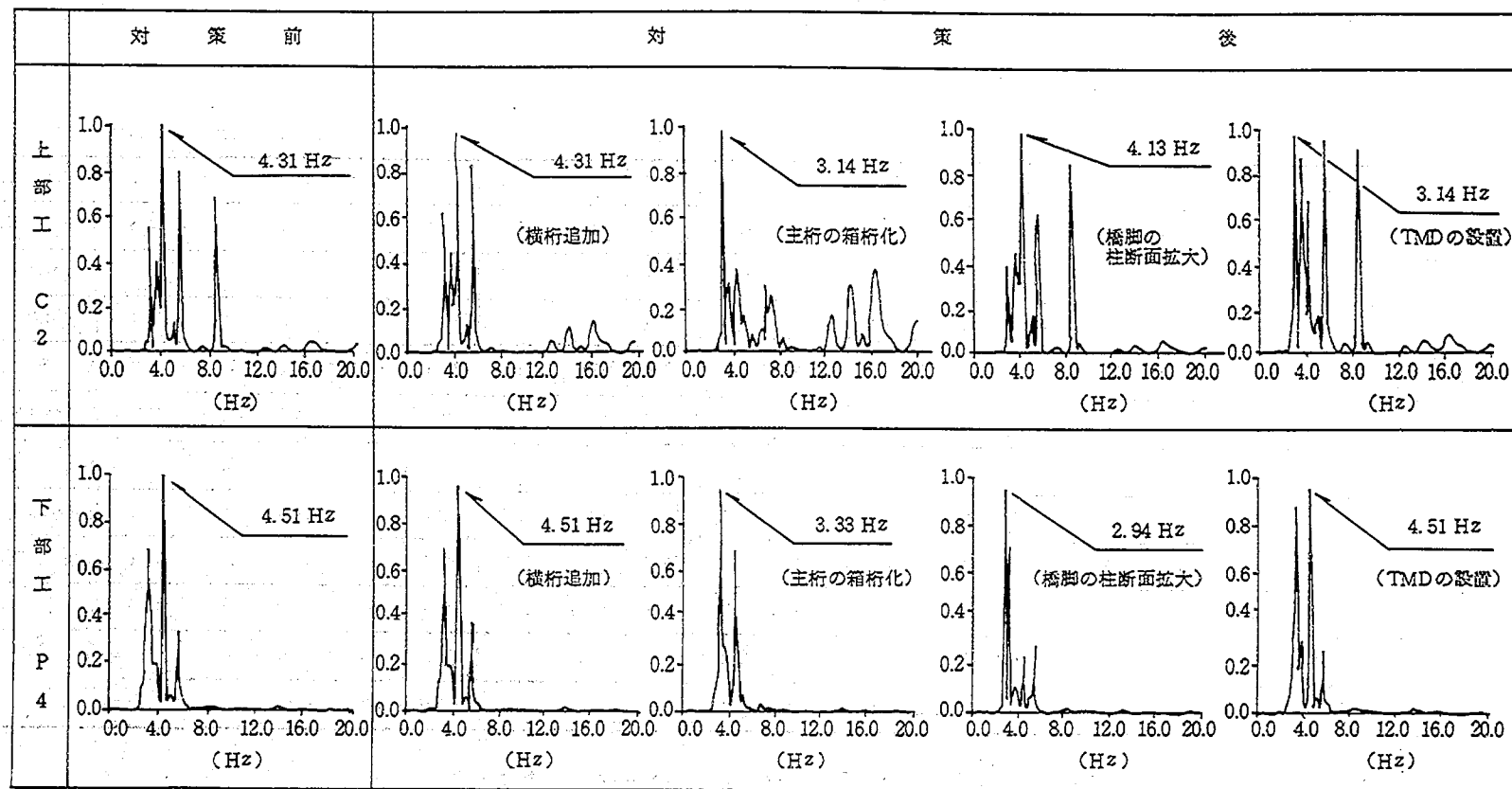
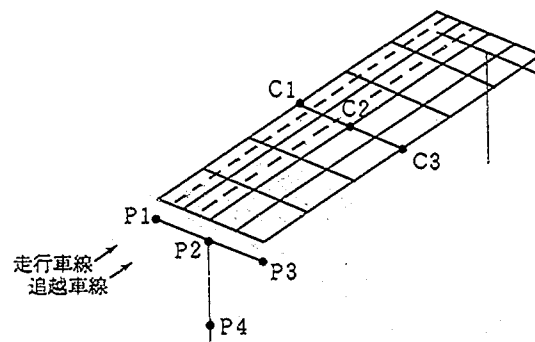


図-4.7 振動加速度のパワースペクトル図

c) 主桁との連成振動により、橋脚の振幅が大きいモードの振動数も多少変化する。

③ 下部工の柱断面の拡大

a) 下部工の橋軸直角方向及び鉛直方向の応答加速度が対策前の応答値の 50% にまで減少し、対策の効果が大きい。

b) 上部工の橋軸方向及び橋軸直角方向の応答加速度も減少し、対策の効果が見られる。

c) 橋脚の振幅が大きいモードの振動数に変化が見られる。振動数は、柱剛性の増加の影響、質量増加の影響によって高くなるモードもあれば低くなるモードもある。

④ TMD の設置

a) 上部工の鉛直方向の応答加速度は、対策前と比べて約 75% 程度になっているが、下部工の応答は、あまり変化しない。

b) 固有振動数の変化はほとんど見られないが、パワースペクトルは分散される傾向となる。

上記結果から、T 型橋脚を有する単純鈑桁橋の振動軽減対策としては上部工の振動を軽減するには主桁の箱桁化が、下部工の振動を軽減するには橋脚の柱断面拡大が有効な対策となり得ることが分かった。

5. ま と め

高架橋の交通振動解析における基礎の支持条件及び境界条件の影響を調査し、適切なモデル化について検討した結果を以下にまとめる。

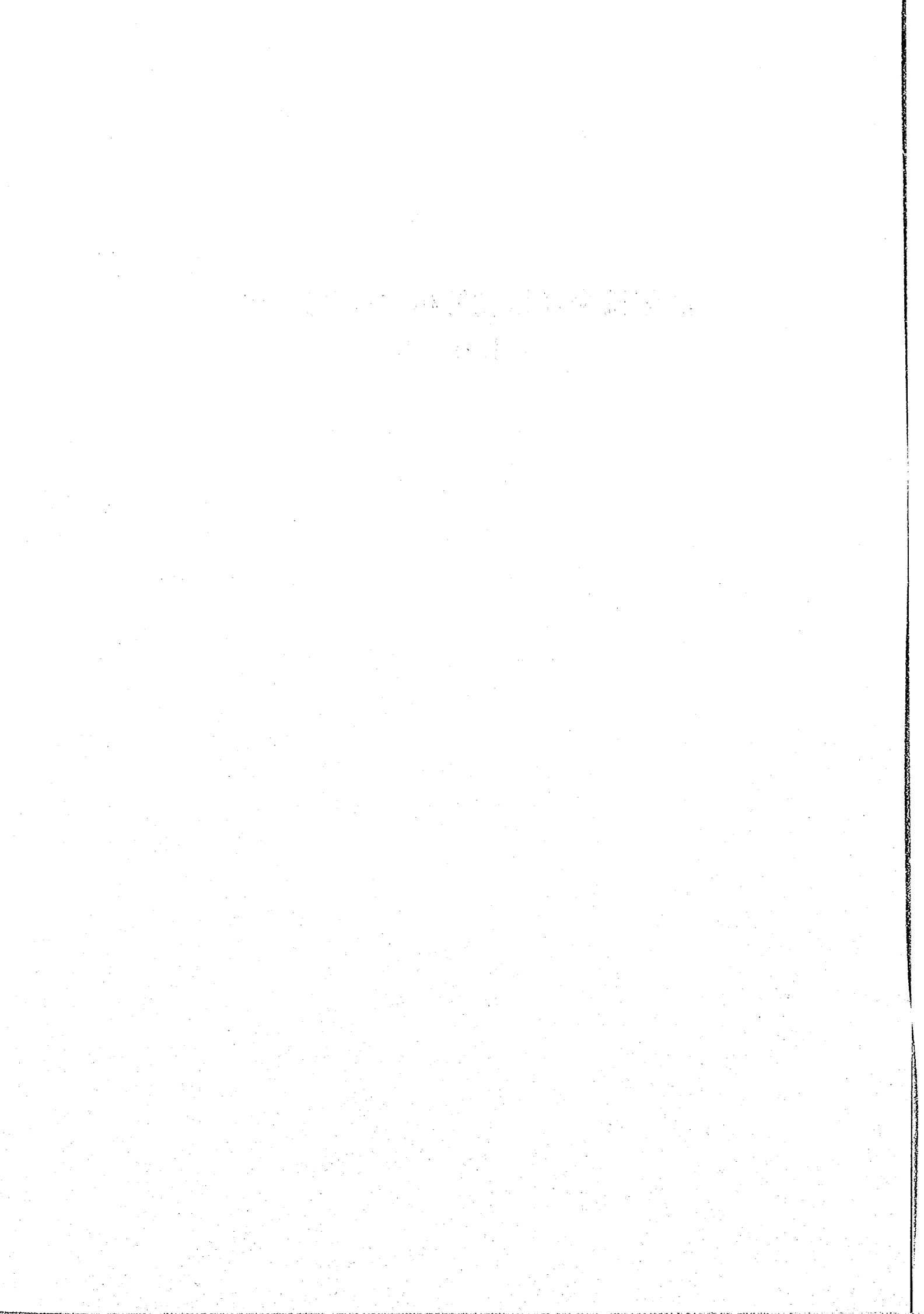
- ① 解析モデルにおける基礎のばね定数の値によって固有振動数や応答値が大きく異なるため、連路橋示方書に従って算出した基礎のばね定数を用いる場合は、算出されるばね定数よりも大きめの値を用いる方がよい。
- ② 橋梁のモデル化にあたっては、主桁の回転中心の位置と橋脚天端との差、上部構造の支承位置と橋脚中心位置との差を考慮しなければならないが、解析結果に最も大きな影響を及ぼすのは隣接橋梁の質量と剛性である。

また、解析により既設橋（T型橋橋脚を有する単純鈑桁橋）における交通振動軽減対策として、①荷重分配横桁の追加 ②主桁の箱桁化 ③橋脚の柱断面拡大 ④TMD（動吸振器）の設置を対象に振動解析した。その結果、T型橋脚は横桁方向にたわみやすい構造であり、上部工のねじれ振動を引き起こしやすいため、この点を改善する対策が有効であり主桁の箱桁化および橋脚の柱断面拡大が有効な対策となり得ることが分かった。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所構造研究室：高架橋交通振動実測調査報告書，土木研究所資料 2428 号，昭和 62 年 1 月。
- 2) 建設省土木研究所構造研究室：連続桁高架橋交通振動実測調査報告書，土木研究所資料第 2500 号，昭和 62 年 7 月。
- 3) 建設省土木研究所構造研究室：コンクリート桁高架橋交通振動実測調査報告書，土木研究所資料第 2569 号，昭和 63 年 8 月。
- 4) 鷺津久一郎他：有限要素法ハンドブック I 基礎編及びII応用編，培風館，1981 年。
- 5) K. J. Bathe, E. L. Wilson, 菊地文雄訳：有限要素法の数値計算，科学技術出版社，1979 年。
- 6) 小堀為雄：応用土木振動学，森北出版，1982 年。
- 7) 戸川隼人：有限要素法による振動解析，サイエンス出版社，1975 年。
- 8) 建設省土木研究所構造研究室：橋の構造特性に関する試験調査報告書，(II-1976)，土木研究所資料第 1233 号，昭和 52 年 3 月。
- 9) 澤田憲文・横山功一他：動吸振器 (TMD) による道路交通振動の軽減効果について，振動コロキウム講演論文集 PartB，土木学会振動制御小委員会，1991 年 7 月。

高架橋交通振動解析プログラムの 入出力手順



目 次

1. 解析プログラムの全体概要	51
2. 立体骨組構造の固有値解析プログラム (EIGPRO)	52
2.1 プログラム仕様	52
(1) ブロックチャート	52
(2) サブルーチンの概略	52
(3) 入力制限値	57
2.2 データ入出力書式	58
(1) データ入力書式	58
(2) 解析結果の出力書式	61
3. 立体骨組構造の応答解析プログラム (RESPPRO)	66
3.1 プログラム仕様	66
(1) ブロックチャート	66
(2) サブルーチンの概略	67
(3) 入力制限値	73
3.2 データ入出力書式	74
(1) データ入力書式	74
(2) 解析結果の出力書式	77
4. 図化プログラム (MODEPRO)	87
4.1 プログラム仕様	87
(1) ブロックチャート	87
(2) サブルーチンの概略	88
4.2 データ入出力書式	90
(1) データ入力書式	90

1. 解析プログラムの全体概要

本解析プログラムは固有値解析プログラム (EIGPRO) と応答解析プログラム (RESPPRO) および図化プログラム (MODEPRO) から構成されているが、各プログラムは独立しており、別々に実行される必要がある。また、実行は固有値解析、応答解析、図化の順であり、主要内容は、以下のとおりである。

(1) 固有値解析プログラム (EIGPRO)

- ① 固有値解析プログラムは、部材データを入力すると固有値と固有振動数が出力される。
- ② 上記①と同時に、骨組モデルの解析データとモードベクトルおよび固有振動数、また計算した要素剛性マトリックスと要素質量マトリックスはそれぞれ指定するファイルに保存される。これらのファイルは、後の応答解析プログラムと図化プログラムで使用する。

(2) 応答解析プログラム (RESPPRO)

- ① 応答解析プログラムは固有解析の結果と別途入力する路面凹凸データにより、車両と着目点の応答変位、応答加速度の時刻歴結果が数値出力される。また、同時にこのプログラムにより各々の時刻歴応答は図化される。
- ② 上記①に引き続き、解析モデルの着目点における応答加速度のみスペクトル解析が行われ、パワースペクトル、卓越振動数が出力される。
- ③ 上記②に引き続き、解析モデルの着目点における応答値が最大となる同時刻のモードが計算され、指定するファイルに保存される。このファイルは、後の図化プログラムで使用する。

(3) 図化プログラム (MODEPRO)

- ① 固有値解析で得られた固有ベクトル（固有振動モード）と応答解析で得られた結果から、すなわち着目点の応答値（変位、加速度）が最大になるときの振動モード（同時刻モード）をファイルから読み込み、図化が実行される。

なお、本プログラムは、㈱総合技術コンサルタント大阪支社研究開発課の協力のもとに作成したものである。

2. 立体骨組構造の固有値解析プログラム

2.1 プログラム仕様

(1) ブロックチャート

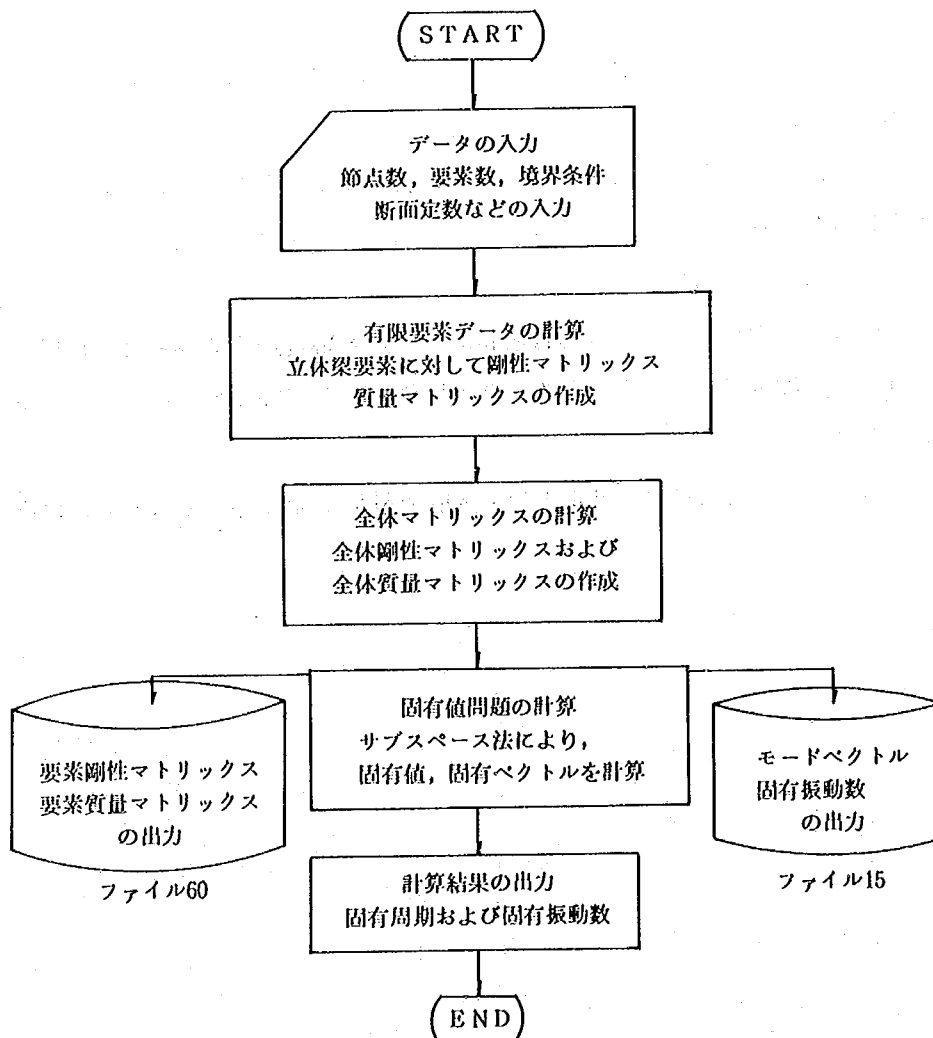
立体骨組モデルの固有値（固有振動数）、固有ベクトル（固有振動モード）を求めるプログラムのブロックチャートを付図-2.1 に示す。

(2) サブルーチンの概略

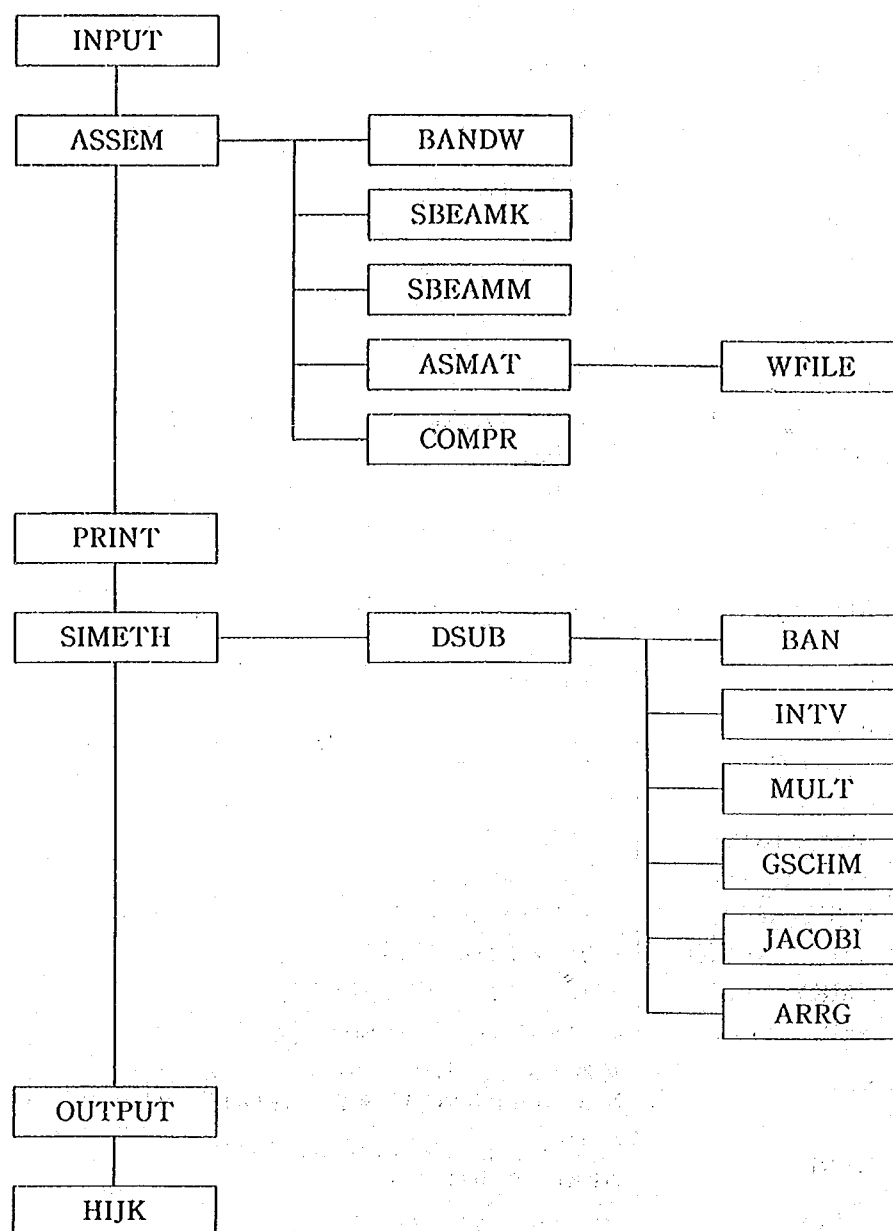
固有振動解析プログラムのサブルーチンの概略を付図-2.2 に示し、サブルーチンの内容を以下に説明する。

① サブルーチン (INPUT)

データの入力を行う（付表-2.1 参照）



付図-2.1 ブロックチャート



付図—2.2 サブルーチンの概略

付表-2.1 入力データの一覧表

NODT	全節点数
NELT	全要素数
NROOT	求めたい固有値と固有スペクトルの数
KOX	x 方向変位拘束点の総数
KOY	y 方向変位拘束点の総数
KOZ	z 方向変位拘束点の総数
NEKX	x 軸まわりの拘束点の総数
NEKY	y 軸まわりの拘束点の総数
NEKZ	z 軸まわりの拘束点の総数
KAKOM(I, J)	要素のもつ節点番号 I=1, NELT J=1, 2
DA(NELT)	要素の断面積
YI(NELT)	要素の Y 軸まわりの断面 2 次モーメント
ZI(NELT)	要素の Z 軸まわりの断面 2 次モーメント
GJ(NELT)	ねじり剛性
RO(NELT)	要素の単位長さあたりの重量
EI	弾性係数
GG	重力加速度
X(NODT)	} 節点の座標値
Y(NODT)	
Z(NODT)	
NOKX(KOX)	x 方向の拘束節点番号
NOKY(KOY)	y 方向の拘束節点番号
NOKZ(KOZ)	z 方向の拘束節点番号
NMKX(NEKX)	x 方向軸まわりの拘束節点番号
NMKY(NEKY)	y 方向軸まわりの拘束節点番号
NMKZ(NEKZ)	z 方向軸まわりの拘束節点番号
NCC	必要とされる固有値とモードベクトルの数 $NCC = \min(NROOT * 2, NROOT + 8)$
NFRE	構造系の全自由度 (1 節点 6 自由度) $NFRE = NODT * 6$
NBANE	弾性節点 (結合) の数
NODEB(I, J)	弾性節点 (結合) 番号 I=NBANE, J=1, 2
* BKSP(I, J)	弾性結合ばね定数 I=NBANE, J=1, 6
IBFLG(I, J)	剛結パラメーター
NBSUP	弾性支点の数 (主として下部構造を対象とする)
NSPS(I)	弾性支点番号 I=NBSUP
* BKSPS(I, J)	弾性支点ばね定数 I=NBSUP, J=1, 6

* J = 1 X 軸方向のばね定数
 J = 2 Y 軸方向のばね定数
 J = 3 Z 軸方向のばね定数
 J = 4 X 軸まわりのばね定数
 J = 5 Y 軸まわりのばね定数
 J = 6 Z 軸まわりのばね定数

(注) 本プログラムにおいては、主軸角 ξ は入力せず、 $\xi = 0$ としている。

② サブルーチン (ASSEM)

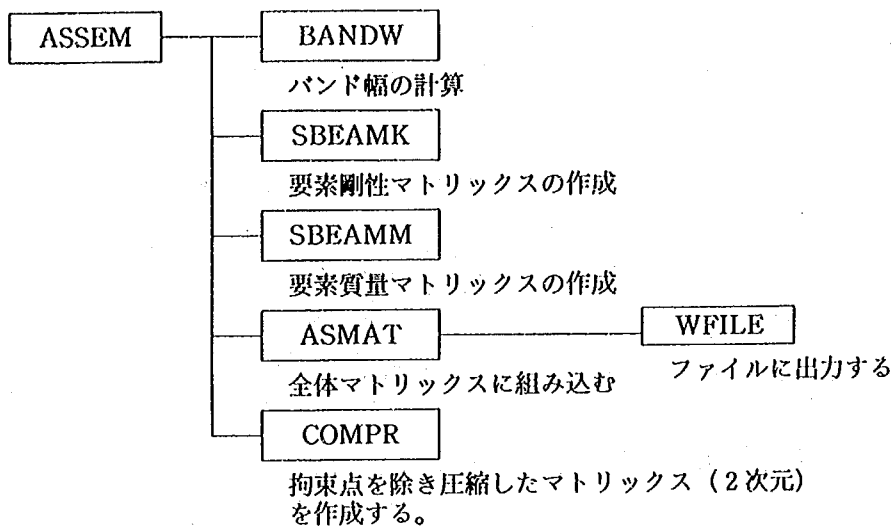
このサブルーチンでは、全体剛性マトリックスおよび全体質量マトリックスを作成するためのコントロールサブルーチンである。

また、弾性節点、弾性支点を全体剛性マトリックス、全体質量マトリックスに取り込むサブルーチンである。

以下に、サブルーチン構成と簡単な作業内容を示す。

TSM (I, J)	全体剛性マトリックス (2次元配列)
	全体質量マトリックス (2次元配列)

I = 1, NFRE
J = 1, NFRE



③ サブルーチン (BANDW)

このサブルーチンでは、全体マトリックスにおける最大半バンド幅を計算するものである。

MAXBW	最大半バンド幅
NELNU	全体マトリックスの一次元配列の数 最大半バンド幅 × 総自由度

④ サブルーチン (SBEAMK)

サブルーチン (SBEAMM)

これら2つのサブルーチンでは、部材座標系での剛性マトリックスおよび質量マトリックスの作成および全体座標系への変換を行うルーチンである。

⑤ サブルーチン (ASMAT)

部材要素ごとに計算されたマトリックスを全体マトリックスに組み込むサブルーチンである。後の計算の都合により、2次元配列にして全体マトリックスを作成している。

⑥ サブルーチン (WFILE)

応答解析プログラムで反力を計算するため、必要なデータをファイル 60 に出力する(全節点数, 全要素数, 要素番号, 要素剛性マトリックス, 質量マトリックス)。

⑦ サブルーチン (COMPR)

このサブルーチンの作業内容について述べる。

INDEX の中に, 1 から NFRE=6 * NODT までの一連番号を入れる。x, y, z 方向, x, y, z 軸まわりの変位が拘束されている節点変位番号をそれぞれ, NOKX, NOKY, NOKZ, NMKX, NMKY, NMKZ から求めて, 対応する INDEX の中味を 0 にする。

INDEX の中味が 0 でないものを MM でカウントしながら, INDEX の中味を順次前につめる。

この演算ループを終了すると, INDEX およびマトリックスの大きさを示す MM が求められる。

全体マトリックスは, 2 次元配列のままである。

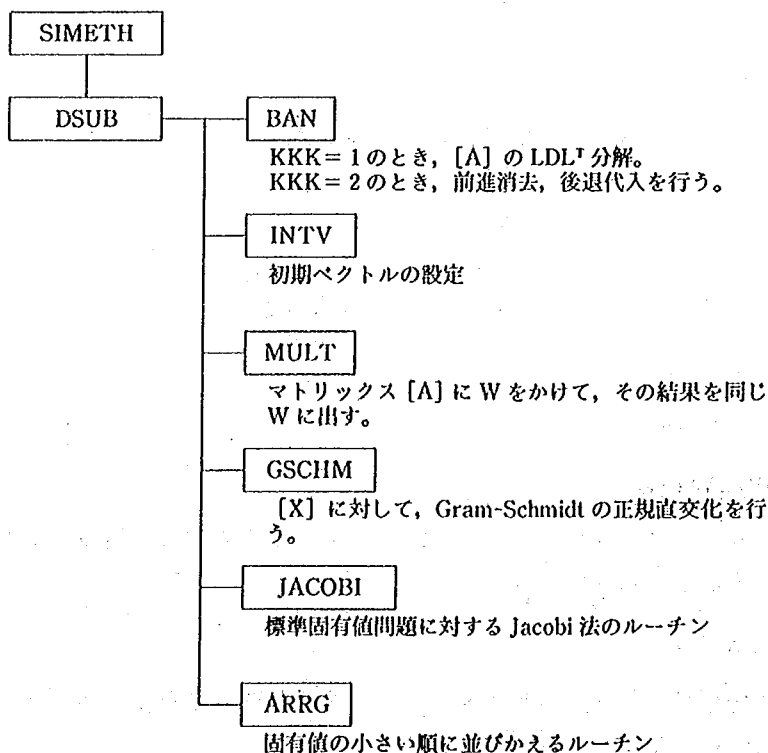
⑧ サブルーチン (SIMETH)

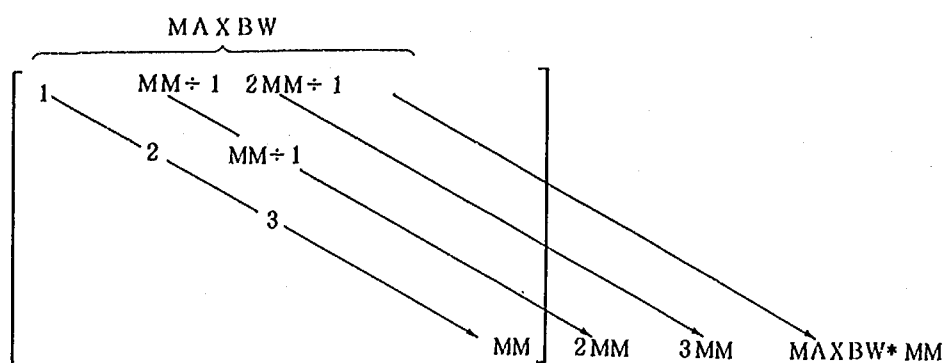
このサブルーチンでは, 固有値計算のためのサブスペース法を呼び出し, 計算された固有値から振動数 (Hz) を求めるためのものである。

さらに全体剛性マトリックス, 全体質量マトリックスを 1 次元配列に変換する。(付図-2.3 参照)。

VIB (NNC)	振動数 (Hz)
EIGV (NNC)	固有値
U (MM, NNC)	固有ベクトル

以下サブスペース法の簡単な内容について述べる。





注) 補助記憶装置として1個の順編成ファイルを使用しているので, JCL 文で定義する必要がある。(ファイル参照番号14)

付図-2.3 対称バンドマトリックスの1次元配列

⑨ サブルーチン (PRINT)

入力データの出力を行う。

⑩ サブルーチン (OUTPUT)

計算結果の出力を行う (固有振動数, 固有値)。

⑪ サブルーチン (HIJK)

応答解析プログラムに必要なデータをファイル 15 に出力する (節点数, 要素数, 固有値の数, 構造系の全自由度, 座標値, 節点番号, モードベクトル, 固有振動数)。

(3) 入力制限値

固有値解析プログラムの入力制限を付表-2.2 に示す。

付表-2.2 入 力 制 限 値

項 目	変 数	最大値
節 点 数	NODO	200
要 素 数	NELT	320
振動モード	NROOT	42
支点数 (固定)	KOX, KOY, KOZ NEKX, NEKY, NEKZ	20
弾性節点 (結合) の数	NBANE	250
弾性支点数	NBSUP	50
集中質量の入力数	NMASS	10

解析モデルの全体座標は右手直交系とし, 部材軸はそれぞれに平行でなければならない。

X 軸 ————— 橋軸方向

Y軸 ————— 橋軸直角方向 全体座標

Z軸 ————— 鉛直上方向

また、計算過程で全体剛性マトリックス、全体質量マトリックスを1次元配列に変換している。プログラムでは99,000個の配列を設定している。すなわち解析モデルの全自由度 (NEQ) × バンド幅 (MAXBW) が99,000までが計算可能である。

また、固有値解析結果を用いて、応答解析を行う場合の制限として次の点がある。

- ・モードの重ね合わせに使える振動モードの数は最大20個である。
- ・支点反力の計算を行う時、支点に集まる要素数は4個までである。

2.2 データ入出力書式

(1) データ入力書式

データ入力フォーマットを以下に示す。ただし、データは cgs 系 (kgf, cm) 単位とする。

高架橋固有値解析プログラムカード入力フォーマット

カードNo	フォーマット	1	11	21	31	41	51	61	71
1	315	1) NODO	2) NELT	3) NROOT					
		1) : 全節点数 2) : 全要素数 3) : 全計算モード次数							
2	615	4) KOX	5) KOY	6) KOZ	7) NEKX	8) NEKY	9) KEKZ		
		4) : X方向拘束節点数 5) : Y方向拘束節点数 6) : Z方向拘束節点数 7) : X軸まわり回転拘束節点数 8) : Y軸まわり回転拘束節点数 9) : Z軸まわり回転拘束節点数							
3	215, 5E12.5	10) KAKOM(L,J)	11) DA(I)	12) ZI(I)	13) YI(I)	14) GJ(I)	15) RO(I)		
		10) : 各要素の両端の節点番号 11) : 断面積 * 12) : Z軸まわり断面2次モーメント ** 13) : Y軸まわり断面2次モーメント ** 14) : おじり剛性GJ 15) : 単位長さ当たり重量 カードNo3をNELTに戻す							
4	3F12.0	16) X(I)	17) Y(I)	18) Z(I)					
		16) : 節点X座標 17) : 節点Y座標 18) : 節点Z座標 カードNo4をNODTに戻す。							
5	1015	19) NOKX(I)							
		19) : X方向拘束節点No. I=1~KOX							
6	1015	20) NOKY(I)							
		20) : Y方向拘束節点No. I=1~KOY							
7	1015	21) NOKZ(I)							
		21) : Z方向拘束節点No. I=1~KOZ							
8	1015	22) NMXK(I)							
		22) : X軸まわりの回転拘束節点No. I=1~NEKX							
9	1015	23) NMKY(I)							
		23) : Y軸まわりの回転拘束節点No. I=1~NEKY							
10	1015	24) NMRZ(I)							
		24) : Z軸まわりの回転拘束節点No. I=1~NEKZ							
11	2F12.0	25) EI	26) GG						
		25) : 弾性係数 26) : 重力加速度 (980cm/s ²)							

* 単位はcgs系を使用 (kgf, cm) ** 部材データは部材座標系

カードNo	フォーマット	1	11	21	31	41	51	61	72
12	15	27) NBANE							
		27) : 弾性節点(結合)の数							
13	215	28) NODEB(L,J)							
		28) : ばね結合される節点No 1=1~NBANE J=1~2							
14	6E10.3	29) BKSP(I,J)							
		29) : ばね定数の値 I=1~NBANE J=1~6(1:X方向 2:Y方向 3:Z方向 4:X軸まわり 5:Y軸まわり 6:Z軸まわり)							
15	6110	30) IBFLG(I,J)							
		30) : 剛結パラメータ I=1~NBSUP J=1~6 IBFLG(I,J) (1:剛結 0:ばね結合) カードNo13~15を弾性節点(結合)の数NBANE回繰返す。							
16	15	31) NBSUP							
		31) : ばね支点の数							
17	15	32) NSPS(I)							
		32) : ばね支点の節点番号							
18	6E10.3	33) BKSPS(I,J)							
		33) : ばね定数の値 I=1~NBSUP J=1~6(1:X方向 2:Y方向 3:Z方向 4:X軸まわり 5:Y軸まわり 6:Z軸まわり) カードNo17~18をばね支点の数NBSUP回繰返す。							
19	15	34) NMASS							
		34) : 集中質量の入力数							
20	1015	35) NMAN(I)							
		35) : 集中質量の入力位置(節点番号) I=1~NMASS							
21	6E10.3	36) BMAS(I)							
		36) : 集中質量(kgf) I=1~NMASS							
22	2E10.3 15	37) SHIFT	38) RTOL	39) NITEM					
		サブスペース法におけるパラメータ 37) : シフト量(0.00) 38) : 収束判定値(1.0E-5) 39) : ヤコビ法における繰返し回数(100) 注()は規定値							

(2) 解析結果の出力書式

ファイル出力(機番 15:モードベクトル, 固有振動数等, 機番 60:要素剛性マトリックス, 要素質量マトリックス等)の書式とアウトプットの出力書式を以下に示す。

機番15 (モードベクトル, 固有振動数等)

書 式	出 力 項 目
415	NODT, NELT, NROOT, NFRE 節点数, 要素数, 固有値の数, 構造系の全自由度 (NODT×6)
3F12.0	X (I), Y (I), Z (I), (I=1, NODT) 全体座標系での節点座標, 節点数分の座標を出力する。
215	KAKOM (I, 1), KAKOM (I, 2), (I=1, NELT) 部材端の節点番号, 要素数分の節点番号を出力する。
6E12.5	((ZT (I, J), I=1, NFRE), J=1, NROOT) モードベクトル, 構造系の全自由度×固有値の数だけ出力する。
6E12.5	VIB (I), (I=1, NROOT) 固有振動数, 求めたい固有値の数だけ出力する。

機番60 (要素剛性マトリックス, 要素質量マトリックス等)

書 式	出 力 項 目
15	NODT 節 点 数
15	NELT 要 素 数
15	KN 要 素 番 号
6D12.5	(SM (I, J), J=1, 12) (I=1, 12) 要素剛性マトリックス
要素数 NELT 回繰返し出力する。	
15	KN 要 素 番 号
6D12.5	(SM (I, J), J=1, 12) (I=1, 12) 要素質量マトリックス
要素数 NELT 回繰返し出力する。	

***** VIBRATION ANALYSIS OF SPACE FRAMES *****

アウトプットの出力形式

<<<< BASIC PARAMETERS OF SPACE FRAMES >>>>

NUMBER OF NODAL POINT ----- (NODT); 111
 NUMBER OF BEAM ELEMENT ----- (NELT); 144
 NUMBER OF X-DIRECTION FIXED NODAL POINT ----- (K0X); 0
 NUMBER OF Y-DIRECTION FIXED NODAL POINT ----- (K0Y); 0
 NUMBER OF Z-DIRECTION FIXED NODAL POINT ----- (K0Z); 0
 NUMBER OF X-REVOLVE FIXED NODAL POINT ----- (NEIX); 0
 NUMBER OF Y-REVOLVE FIXED NODAL POINT ----- (NEYX); 0
 NUMBER OF Z-REVOLVE FIXED NODAL POINT ----- (NEKZ); 2
 YOUNG'S MODULUS ----- (EI); 0.210000e+07

節点数
要素数
支点数
(大座標系の各方向の拘束条件)
弾性係数 (kgf/cm ²)

NUMBER OF SPRING CONNECTION ----- 10

NODE NO.	KPX KGF/CM	KPY KGF/CM	KPZ KGF/CM	KMX KGFCM/RD	KMY KGFCM/RD	KMZ KGFCM/RD
17 27	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
18 28	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
19 29	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
20 30	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
21 31	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
86 81	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
87 82	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
88 83	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
89 84	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1
90 85	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00	0.000e+00
RIGID	1	1	1	1	0	1

弾性節点 (結合) の数

弾性結合する節点番号						
X 軸方向	Y 軸方向	Z 軸方向	X 軸まわり	Y 軸まわり	Z 軸まわり	
大座標系での各方向のばね定数 (kgf/cm, kgf/rad)						
剛結パラメーター 0:自由 1:剛結						

NUMBER OF SPRING SUPPORT ----- 2

NODE NO.	KPX KGF/CM	KPY KGF/CM	KPZ KGF/CM	KMX KGFCM/RD	KMY KGFCM/RD	KMZ KGFCM/RD
26	0.279e+07	0.279e+07	0.500e+06	0.166e+12	0.166e+12	0.100e+16
111	0.279e+07	0.279e+07	0.500e+06	0.166e+12	0.166e+12	0.100e+16

弾性支点の数

弾性支点の節点番号						
X 軸方向	Y 軸方向	Z 軸方向	X 軸まわり	Y 軸まわり	Z 軸まわり	
大座標系での各方向のばね定数 (kgf/cm, kgf/rad)						

NUMBER OF LUMPED MASS ----- 1

NODE NO. KGF

55 0.100e+04

集中質量の入力数

Z-REVOLVE FIXED NODAL POINT ----- 26 111

集中質量の入力位置 (節点番号), 集中質量 (kgf)

拘束支点の節点番号 (上記支点で入力した各方向の数だけ出力する)

***** NODE DATA *****
 NO X Y Z
 1 0. 0. 1600.000

節点座標 (cm)

節点番号 X 軸 Y 軸 Z 軸 (大座標系の節点座標)

NUMBER OF FREEDOM ----- (NFRE); 666
NUMBER OF SEMI-BANDWIDTH ----- (MAXBW); 81

全自由度 (節点数 × 6)

NUMBER OF REQUIRED EIGENVALUES & VECTORS ---- (NRROOT); 20

計算するモード数

バンド幅

<<<< BASIC PARAMETERS OF SUBSPACE ITERATION METHOD >>>>
NUMBER OF FREEDOM(AFTER COMPRESS) ----- (NEQ); 614
NUMBER OF DIMENSION(1-D ARRAY) ----- (NWA); 49734
NUMBER OF ITERATION VECTORS USED ----- (NC); 28
NUMBER OF ABANDONED EIGENVALUES ----- (NAB); 8
MAXIMUM NUMBER OF SUBSPACE ITERATION PERMITTED (NITEM); 100
CONVERGENCE TOLERANCE ON EIGENVALUE ----- (RTOL); 0.100000e-04

全自由度 NFRE から拘束点の自由度を差し引いた数

1次元配列に変換したときの回数 (MAXBW × NEQ)

サブスペース法におけるパラメーター (ヤコビ法における繰返し回数)

サブスペース法におけるパラメーター (収束判定誤差)

ITERATION NO. 1
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 2
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 3
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 4
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 5
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 6
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 7
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 8
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 9
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 10
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100
ITERATION NO. 11
NO. OF SWEEP IN JACOBI = 100

***** CALCULATED EIGENVALUES AND FREQUENCY *****

解析結果

(1) REQUIRED EIGENVALUES AND FREQUENCY

(MODE)	(EIGENVALUE)	(FREQUENCY)
1 TH	0.1231813e+03	0.1766414e+01 (HZ)
2 TH	0.1357433e+03	0.1854297e+01 (HZ)
3 TH	0.2225703e+03	0.2374399e+01 (HZ)
4 TH	0.3810039e+03	0.3106597e+01 (HZ)
5 TH	0.5187644e+03	0.3624977e+01 (HZ)
6 TH	0.8461785e+03	0.4629682e+01 (HZ)
7 TH	0.9748147e+03	0.4969139e+01 (HZ)
8 TH	0.2286538e+04	0.7610433e+01 (HZ)
9 TH	0.2962450e+04	0.8662549e+01 (HZ)
10 TH	0.3476066e+04	0.9383485e+01 (HZ)
11 TH	0.3530735e+04	0.9456985e+01 (HZ)
12 TH	0.3688597e+04	0.9666089e+01 (HZ)
13 TH	0.7505435e+04	0.1378822e+02 (HZ)
14 TH	0.9457002e+04	0.1547736e+02 (HZ)
15 TH	0.9579573e+04	0.1557734e+02 (HZ)
16 TH	0.1136598e+05	0.1696772e+02 (HZ)
17 TH	0.1185802e+05	0.1733110e+02 (HZ)
18 TH	0.1801182e+05	0.2135989e+02 (HZ)
19 TH	0.2117894e+05	0.2316180e+02 (HZ)
20 TH	0.2312380e+05	0.2420192e+02 (HZ)

モード次数, 固有値, 固有振動数

(2) ABANDONED EIGENVALUES AND FREQUENCY

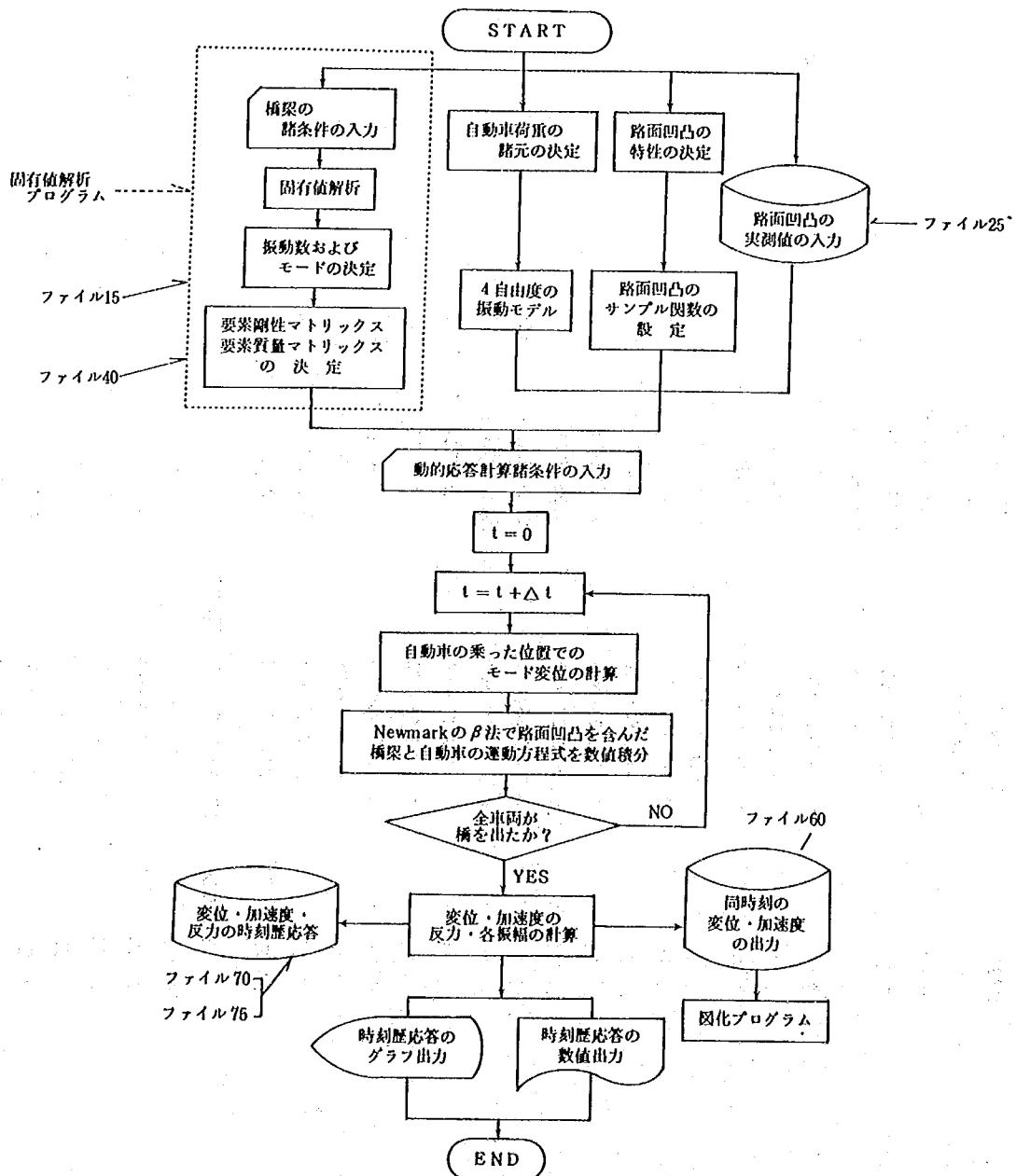
(MODE)	(EIGENVALUE)	(FREQUENCY)
21 TH	0.2415327e+05	0.2473479e+02 (HZ)
22 TH	0.2873551e+05	0.2697923e+02 (HZ)
23 TH	0.2957312e+05	0.2736962e+02 (HZ)
24 TH	0.3163268e+05	0.2830663e+02 (HZ)
25 TH	0.3494193e+05	0.2975045e+02 (HZ)
26 TH	0.3716922e+05	0.3068399e+02 (HZ)
27 TH	0.4167061e+05	0.3248890e+02 (HZ)

3. 立体骨組構造の応答解析プログラム

3.1 プログラム仕様

(1) ブロックチャート

立体骨組モデルの自動車荷重による応答値(応答加速度, 応答変位)を求めるプログラムのブロックチャートを付図-3.1に示す。この応答解析プログラムは、第2章で示した固有値解析プログラムの解析結果を用いている。



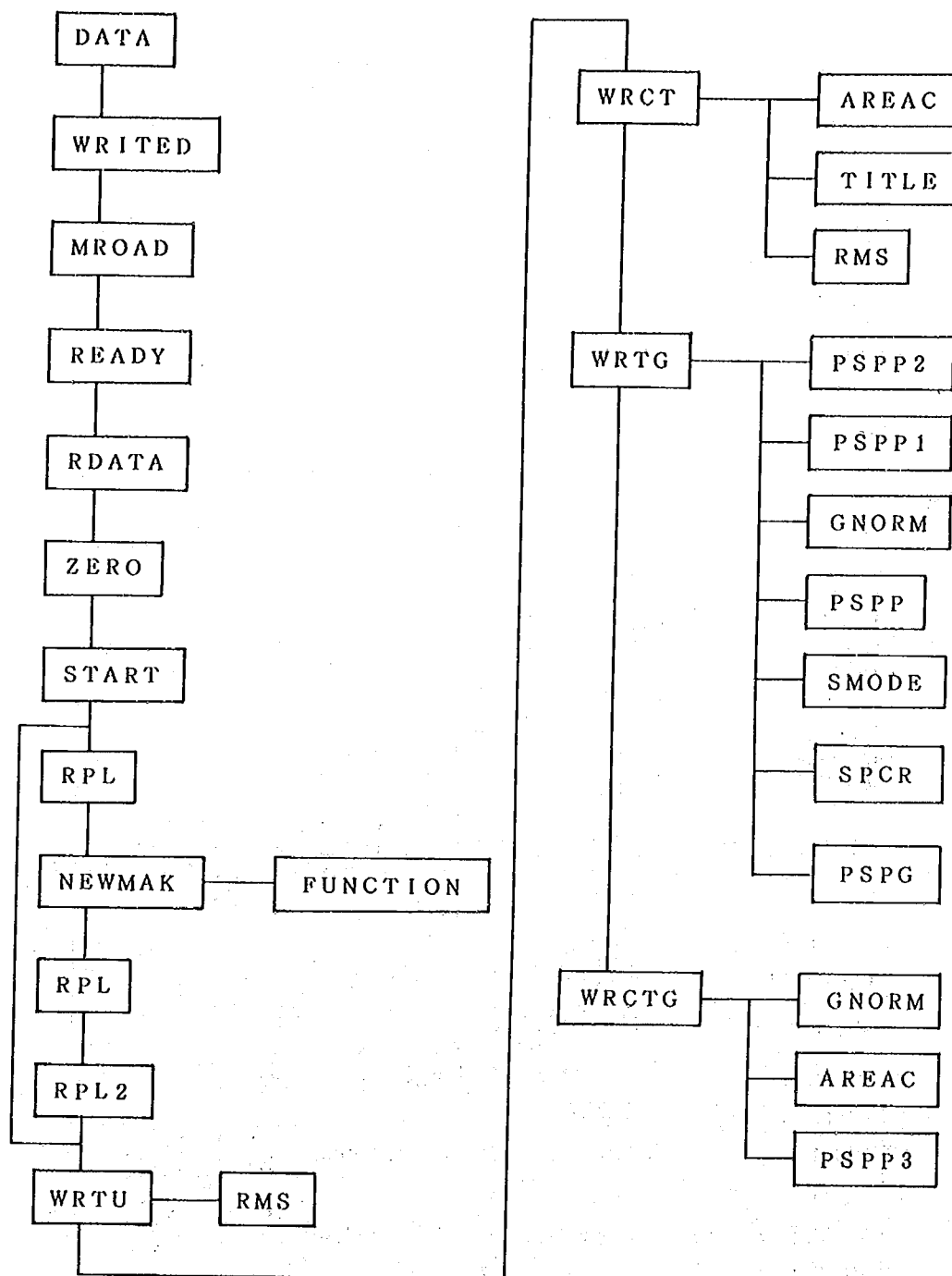
付図-3.1 ブロックチャート

(2) サブルーチンの概略

応答解析プログラムのサブルーチンの概略を付図-3.2 に示し、サブルーチンの内容を以下に説明する。

① サブルーチン (DATA, WRITED)

データの入力および入力データの印刷を行う (付表-3.1, 3.2 参照)。



付図-3.2 サブルーチンの概略

付表-3.1 入力データ一覧表

NODT*	全節点数
NELT*	全要素数
NROOT*	全計算モード数
NFRE*	全自由度数
X(I)*	節点座標, X座標 I=1~NODT
Y(I)*	〃, Y座標 〃
Z(I)*	〃, Z座標 〃
KAKOM(I, J)*	各要素の両端の節点番号 I=1~NELT J=1, 2
VEC(I, J)*	モードベクトル I=1~NFRE J=1~NROOT
VIB(I)*	固有振動数 I=1~NROOT
AYO(LL, J)**	路面凹凸データ J=1~2
ICASE	計算ケース番号
KFR	応答計算に用いるモード数
NDTM	全計算ステップ
LN	走行レーン数
LWR	出力レベル 1:数値+図 2:数値のみ
NPR	路面データ種類 0:実測値 1:シミュレーション値
NELM	全要素数
NFRQ	全計算モード数
NSPNP	応答着目点数
IJM	NEWMARK β 法の最大反復数
IXP	応答出力データ間隔(通常1)
DT	1ステップ増分時間 Δt
SD	車両の静たわみを考慮するか否かの別 1:する 0:しない
EPS	収束判定誤差
JRSP(I)	応答着目節点番号 I=1~NSPNP
JFRQ(I)	応答計算に用いたモード次数 I=1~KFR
B(I)	各モードの減衰定数 h I=1~KFR
JKK***	応答を出力する車両のレーン番号
KV***	〃 車両番号
BL(J)	走行レーン長(cm) J=1~LN
DRX(J)	路面データ間隔 J=1~LN
RAP(J)	路面データにかける係数 J=1~LN
NV(J)	各走行レーンの車両数 J=1~LN
NDIRC(J)****	各走行レーンの方向 1:順方向(X軸+方向) J=1~LN -1:逆方向(X軸-方向)
VV(J, I)	各車両の走行速度(cm/sec) J=1~LN I=1~NV(J)
NSPN(J)	車両が走行する要素数 J=1~LN
LOADS(J, I)	車両が走行する要素番号 J=1~LN I=1~NSPN(J)
THW(J, I)	各車両(前軸)が橋梁に進入する時刻 J=1~LN, I=1~NV(J)
RV(J, K, 1)	前軸のばね下重量(kgf) J=1~LN K=1~NV(J)
RV(J, K, 2)	後軸の 〃 〃
VU(J, K, 1)	前軸のばね上ばね定数(kgf/cm) J=1~LN K=1~NV(J)
VU(J, K, 2)	後軸の 〃 〃
VUT(J, K, 1)	前軸のばね下ばね定数(kgf/cm) J=1~LN K=1~NV(J)
VUT(J, K, 2)	後軸の 〃 〃

*固有値解析結果より入力 入力機番:15

**実測データを用いる場合 入力機番:25

***第 JKK レーンの KV 番目車両

****全体座標系

付表-3.2 使用変数一覧表

ES (I, J, K)	各車両 (前軸, 後軸) の位置パラメーター I: 走行レーン番号 (1~LN) J: 車両番号 (1~NV (LN)) K: 1=前軸, 2=後軸
TS (I, J, K)	各車両 (前軸, 後軸) が橋梁に進入してからの時刻 I: 走行レーン番号 J: 車両番号 K: 1=前軸, 2=後軸
ZBS (I, J, K, L)	各車両のばね上質量の応答 I: 走行レーン番号 (1~LN) J: 1=変位, 2=速度, 3=加速度 K: 車両番号 (1~NV (I)) L: 1=ピッチング, 2=鉛直方向
XBS (I, J, K, L)	各車両のばね下質量の応答 I: 走行レーン番号 (1~LN) J: 1=変位, 2=速度, 3=加速度 K: 車両番号 (1~NV (I)) L: 1=ピッチング, 2=鉛直方向
T (I, J, K)	各車両 (前軸, 後軸) が橋梁に進入する時刻 I: 走行レーン番号 J: 車両番号 K: 1=前軸, 2=後軸
THW (I, J)	各車両 (前軸) が橋梁に進入する時刻 I: 走行レーン番号 J: 車両番号
TM (I, J, K)	各車両 (前軸, 後軸) が橋梁から出て行く時刻 I: 走行レーン番号 J: 車両番号 K: 1=前軸, 2=後軸
TMAX	デバッグ用変数
TMIN	"
G	重力加速度 980cm/sec ²
NDT	計算時間ステップ
DT	時間増分値 Δt
DDT	1/2 Δt
DDT	1/2 Δt^2
GMODE (I, J, K)	応答着目点のモード変位 I: 1~6 (x, y, z, θ_x , θ_y , θ_z) J: 1~NSPNP K: 1~KFR
AM (I, J, K, L)	荷重載荷要素のモード変位 I: 1~4 (z_1 , θ_{y1} , z_2 , θ_{y2}) J: 1~KFR K: 1~LOADS L: 1~LN
YBQ (I, J, K)	一般座標値 q_1, q_2, q_3 をストアする
YB (I, J)	各時刻における q_1, q_2, q_3
SP (I, J)	荷重が載荷する要素の長さ I: レーン番号 J: 要素数
RMAX (I)	計算に使用した路面凹凸の最大値 I: 1~LN
VUMAX (I, J)	車両ばね上質量の応答値の最大値 I: 1~LN J: 1~NV (2)
VLMAX (I, J)	車両ばね下質量の応答値の最大値 I: 1~LN J: 1~NV (2)
VUMAXC (I, J)	車両ばね上質量の実効値の最大値 I: 1~LN J: 1~NV (2)
VLMAXC (I, J)	車両ばね下質量の実効値の最大値 I: 1~LN J: 1~NV (2)
BBMAX (I, J, K)	橋梁応答着目点の最大値 I: 1~NSPNP J: 1~3 (=x, y, z) K: 1=変位, 2=加速度
BCMAX (I, J, K)	橋梁応答着目点の実効値の最大値 I: 1~NSPNP J: 1~3 (=x, y, z) K: 1=変位, 2=加速度
MMAX (I, J, K)	橋梁応答の最大値が生じる時間ステップをストアする I: 1~NSPNP J: 1~3 (=x, y, z) K: 1=変位, 2=加速度
BYO (I, J)	路面凹凸の速度成分 (入力データ AYO より計算)
CYO (I, J)	計算に使用した路面凹凸 (出力用)
VUAC (I, J, K)	ばね上質量の応答値をストアする
VLAC (I, J, K)	ばね下質量の応答値をストアする
EYO (I)	各計算ステップにおける路面凹凸 (出力用) I: 1~LN
ZB (I, J, K, L)	各車両ばね上応答の入れ替え用配列 I: 走行レーン番号 (1~LN) J: 1=変位, 2=速度, 3=加速度 K: 車両番号 (1~NV (I)) L: 1=ピッチング, 2=鉛直方向
XB (I, J, K, L)	各車両ばね下応答の入れ替え用配列 I: 走行レーン番号 (1~LN) J: 1=変位, 2=速度, 3=加速度 K: 車両番号 (1~NV (I)) L: 1=ピッチング, 2=鉛直方向
SESM (I, J, K)	要素剛性マトリックス I: 1~NELT J: 1~12 K: 1~12
SEMM (I, J, K)	要素質量マトリックス I: 1~NELT J: 1~12 K: 1~12
VMAX (I, J, K)	橋脚反力の最大値 I: 1~NSUP J: 1~3 (x, y, z) K: 1=軸方向反力, 2=モーメント
RVMAX (I, J, K)	橋脚反力の実効値の最大値 I: 1~NSUP J: 1~3 (x, y, z) K: 1=軸方向反力, 2=モーメント

② サブルーチン (MROAD)

路面凹凸のパワースペクトル密度 $S_z(Q)$ を与え、シミュレーションにより定常ガウス過程として路面をモデル化し、路面凹凸を作成する。

Λ	路面凹凸の良否を表わす係数
OMEGA _U	Ω_u Ω 軸上の上限値 (c/m)
OMEGA _L	Ω_l Ω 軸上の下限値 (c/m)
N	十分大きな正の整数

③ サブルーチン (READY)

数値計算のための準備

主な計算内容を次に示す。

車 両

- ・各車両の前軸、後軸が橋梁に進入する時刻
- ・ばね上重量の前軸、後軸への分配分の計算
- ・単位換算 (重量→質量)

路 面

- ・単位換算 (mm → cm)
- ・各路面データ間の勾配の計算 (直線補間)

橋 梁

- ・荷重載荷要素長の計算 (要素間モード変位算出用)
- ・固有振動数の計算 $f = 2 \pi \omega$
- ・必要モードベクトルの入れ替え

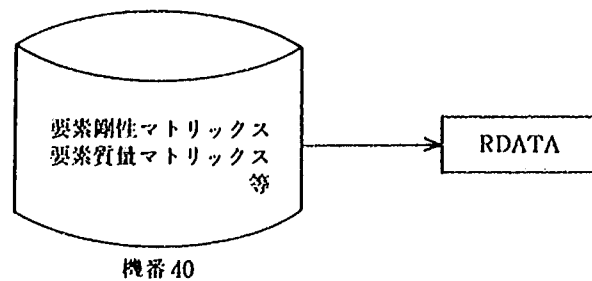
TMD (動吸振器)

- ・単位換算 (重量→質量)

④ サブルーチン (RDATA)

反力算出用データ (全節点数, 全要素番号, 要素番号, 要素剛性マトリックス, 質量マトリックス) の読み込みを行う。

NNODE	全節点数
NALL	全要素数
KN	要素番号



⑤ サブルーチン (ZERO)

車両、橋梁、路面凹凸、TMD（動吸振器）に関する配列のゼロクリアを行う。

⑥ サブルーチン (START)

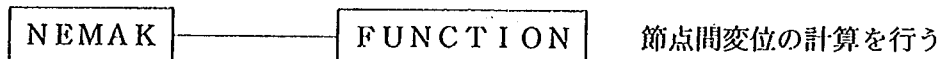
車両が橋梁上に存在するかどうかの判定を行う。

⑦ サブルーチン (RPL)

前ステップにおける車両の加速度、速度、変位と TMD の加速度、速度、変位を現ステップの初期値として入れ替える。

⑧ サブルーチン (NEWMARK)

NEWMARK 法による数値積分を行い、橋梁—車両系の連立 2 階常微分方程式を解く。

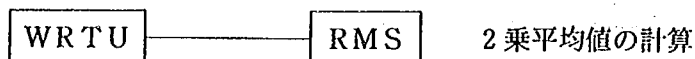


⑨ サブルーチン (RPL2)

各ステップにおける路面凹凸、必要な車両と TMD の加速度、速度、変位をストアする。

⑩ サブルーチン (WRTU)

計算結果の数値出力（路面凹凸、車両応答、TMD の応答、橋梁の応答）



路面凹凸は、着目車両の前軸がトレースした値を出力している。

車両応答は、指定した車両（走行レーン、車両番号にて指定）1 台分（4 自由度）のみ出力している。

TMD の応答は、指定した TMD（番号にて指定）1 個分（1 自由度）のみ出力している。

橋梁の応答は、求めた $\ddot{q}_t$, q_t を用いて次式により算出する。

$$y_{t,x} = \sum_{i=1}^N \ddot{q}_i \cdot \phi_{xi}, \quad y_{t,x} = \sum_{i=1}^N q_i \cdot \phi_{xi}$$

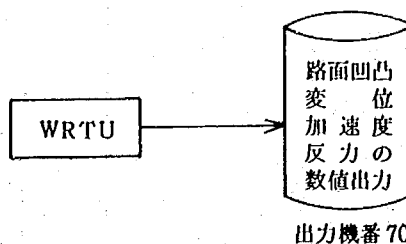
N: 計算に用いたモード数

$y_{t,x}$: 加速度

$y_{t,x}$: 変位

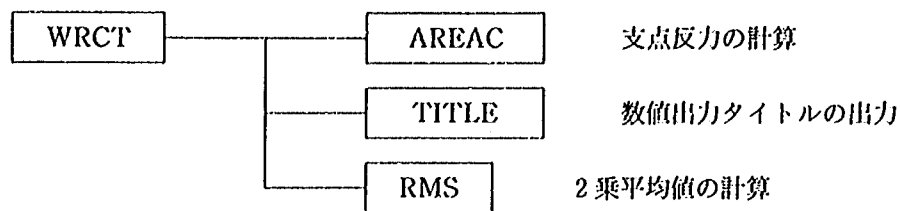
ϕ_{xi} : 応答着目点のモード変位

$\left. \begin{matrix} \ddot{q}_i \\ q_i \end{matrix} \right\}$ 一般座標値



⑪ サブルーチン (WRCT)

支点反力の計算および数値出力



各支点反力は、その支点に集まる要素の要素剛性マトリックス、要素質量マトリックスを用いて算出する。

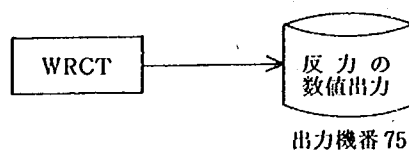
$$\{P\} = \sum_{i=1}^N [\{k\}_i \{u\}_i + \{m\}_i \{u\}_i]$$

N: 各支点に集まる要素の数

$\{k\}_i$: i要素の要素剛性マトリックス (全体座標系)

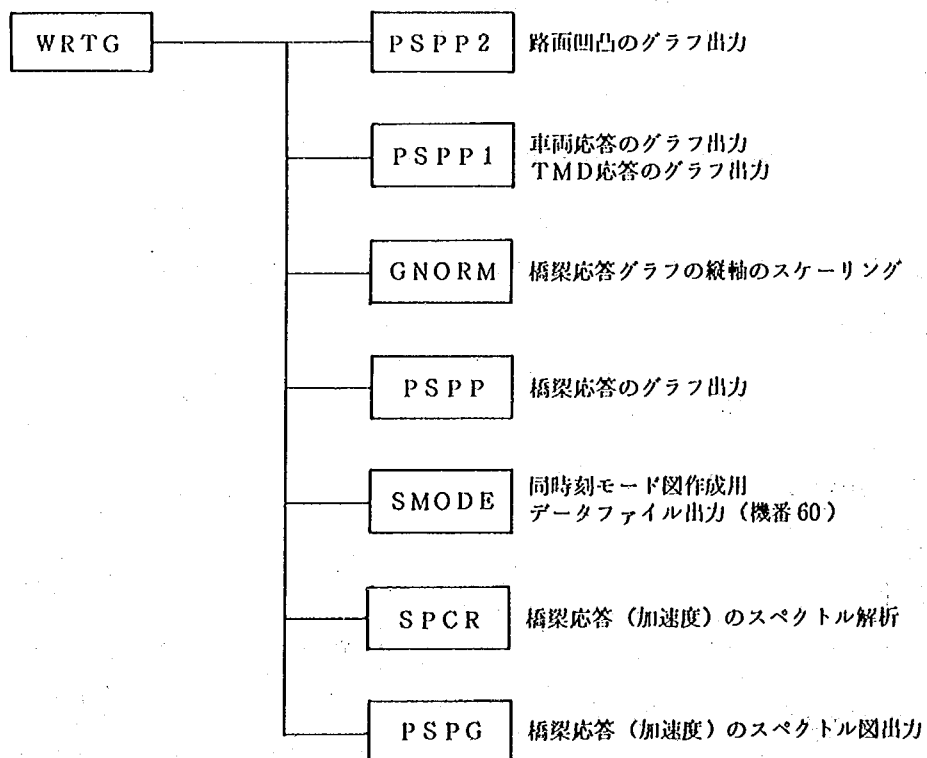
$\{m\}_i$: i要素の要素質量マトリックス (全体座標系)

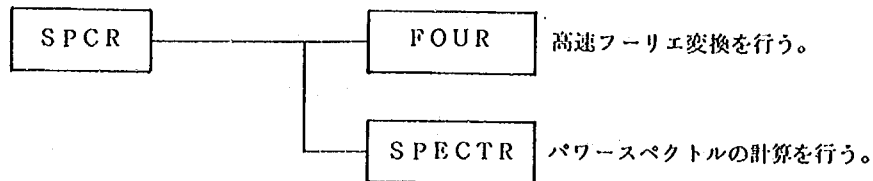
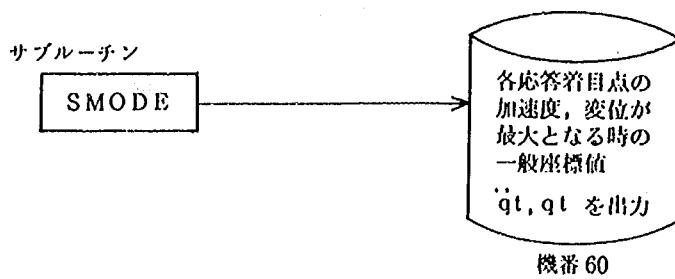
$\{u\}_i$: 部材 i 両端の変位ベクトル



⑫ サブルーチン (WRTG)

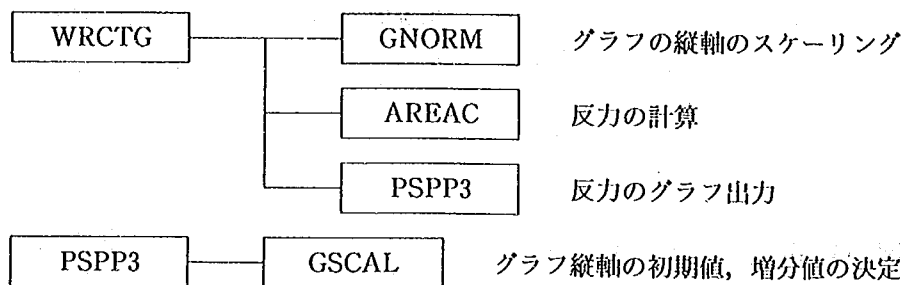
計算結果のグラフ出力 (路面凹凸, 車両・橋梁変位, 加速度)





⑬ サブルーチン (WRCTG)

支点反力の計算およびグラフ出力



(3) 入力制限値

応答解析プログラムは固有値解析結果を読み込む方式をとっている。したがって、モデルの制限は固有値解析プログラム（付表—2.2）と同様である。解析条件の制限を付表—3.3 に示す。

走行車両は 2 軸 4 自由度モデルで入力するものとする。

New mark β 法で数値積分を行ない車両と橋梁の応答を求めている。ステップ増分時間 Δt (変数名 DT) によって収束精度が異なるため、 Δt の入力に注意する必要がある。付表—3.4 に振動系の最高次の固有周期と Δt の比と β との関係を示している。あくまでも目安であるが、この関係から Δt を設定するのが望ましい。また、New mark β 法の全計算ステップ (変数名 NDTM) は $\Delta t \times \text{NDTM}$ が時刻歴の計算範囲 (sec) となるため注意が必要である。

付表—3.3 入力制限値

項 目	変 数	最 大 値
応答着目点数	NSPNP	50
振動モード（重ね合せ用）	NFRQ	20
走行車線数	LN	2
走行車線要素数	NSPN	80
車両台数	NV	2×5
TMDの数	NTMD	5
支点に集まる要素数	MEM	4
計算ステップ	NDTM	1,000
路面データ数	AYO	1,000

付表—3.4 Tと Δt との関係

β	0	1/12	1/8	1/6	1/4
安 定 限 界 $\Delta t/T$	0.318	0.389	0.450	0.551	∞
収れん限界 $\Delta t/T$	∞	0.551	0.450	0.389	0.318

3.2 データ入出力書式

(1) データ入力書式

データ入力フォーマットを以下に示す。ただし、データは cgs 系 (kgf, cm) 単位とする。

高架橋固有値解析プログラムカード入フォーマット

カードNo	フォーマット	1	11	21	31	41	51	61	71
1	415	1) ICASE	2)* KFR	3) NDTM	4) LN				
		1): 計算ケース番号 2): 応答計算に用いるモード個数 3): 全計算ステップ 4): 歩行レーン数							
2	215	5) LWR	6) NPR						
		5): 出力レベル 6): 路面データ種類							
3	315	7) NELM	8)* NFRQ	9) NSPNP					
		7): 全要素数 8): 全計算モード数 9): 応答着目点数							
4	215	10) IJM	11) IXP						
		10): NEWMARK ρ 法の最大反復数 11) 応答出力データ間隔							
5	3F10.0	12) DT	13) SD	14) EPS					
		12): 1ステップ増分時間 13): 車両の静たわみを考慮するか否かの別 14): 収束判定誤差							
6	1015	15) JRSP(I)							
		15): 応答着目節点番号 I=1~NSPNP							
7	1015	16)* JFRQ(I)							
		16): 応答計算に用いるモード次数 I=1~KFR							
8	5F10.3	17) B(I)							
		17): 各モードの減衰定数h I=1~KFR							
9	215	18) JKK	19) KV						
		18): 応答を出力する車両のレーン番号 19): 応答を出力する車両の車両番号							
10	3F10.0	20) BL(J)	21) DRX(J)	22) RAP(J)					
		20): 走行レーン長 21): 路面データ間隔 22): 路面データにかける係数 J=1~LN カードNo19までの第Jレーンの車両データの入力が終わる次第、次のレーンを入力する。							
11	215	23) NV(J)	24) NDIRC(J)						
		23): 各歩行レーンの車両数 24): 各走行レーンの方向							
12	5F10.0	24) VV(J,I)							
		25): 各車両の走行速度 I=1~NV(J)							
13	1015	26) NSPN(J)							
		26): 車両が走行する要素数							

カードNo	フォーマット	1	11	21	31	41	51	61	71
14	1015	27) LOADS(J, I)							
		27) : 車両が走行する要素番号 I=1~NSPN(J)							
15	5F10.3	28) THW(J, I)							
		28) : 各車両 (前軸) が橋梁に進入する時刻 I=1~NV(J)							
16	5F10.0	29) RV(J,K,1)	30) VU(J,K,1)	31) VUT(J,K,1)	32) VCS(J,K,1)	33) VCT(J,K,1)			
		29) : 前軸のばね下重量 30) : 前軸のばね上ばね定数 32) : 前軸のばね上減衰定数 31) : 前軸のばね下ばね定数 33) : 前軸のばね下減衰定数 カードNo19までの車両1台分の入力が終わる次第、次の車両を入力する。							
17	5F10.0	34) RV(J,K,2)	35) VU(J,K,2)	36) VUT(J,K,2)	37) VCS(J,K,2)	38) VCT(J,K,2)			
		34) : 後軸のばね下重量 35) : 後軸のばね上ばね定数 37) : 後軸のばね上減衰定数 36) : 後軸のばね下ばね定数 38) : 後軸のばね下減衰定数							
18	2F10.0	39) VM(J,U)	40) RI(J,K)						
		39) : ばね上重量 40) : ばね上慣性モーメント							
19	2F10.0	41) VLO(J,K,1)	VLO(J,K,2)						
		41) : 車両重心からの距離 1=前軸～重心の距離 2=後軸～重心の距離							
20	215	42) NTMD	43) KTM						
		42) : TMDの個数 43) : 応答を出力するTMDの番号							
21	15 3F10.0	44) NPO(I)	45) RTM(I)	46) TMK(I)	47) TMC(I)				
		44) : TMDの設置位置の節点番号 45) : TMDの重量 46) : TMDのばね定数 47) : TMDの減衰定数 I=1~NPO(I) TMDの個数だけ繰返し入力する。							
22	1015	48) NSUP							
		49) : 支点の数 (ばね支点を含む)							
23	15	49) MEM(I)							
		49) : 各支点に集まる要素数 I=1~NSUP カードNo24までのデータ入力を支点の数だけ繰返す。							
24	1015	50) NSND(I)	51) NUMS (I,J)						
		50) : 支点の節点番号 51) : 支点に集まる要素番号 J=1~MEM							
25	E15.5, 2F10.3 15	52) A	53) OMEGA U	54) OMEGA L	55) N				
		52) : 路面凹凸を表す係数 53) : Ω 軸上の上限値 54) : Ω 軸上の下限値 55) : 十分大きな正の整数							

*固有値解析により求めた全モード数 (NFRQ) のうち応答計算に用いる振動モードの数 (KFR) を指定し、さらに第何次のモード (JFRQ) を応答計算に用いるかを決定する (システム検査結果 (同時刻モード図) 参照)。

(2) 解析結果の出力書式

ファイル出力（機番 60：同時刻モード）の書式とアウトプットの出力書式例を示す。

機番60（同時刻モード図作成用データ）

書 式	出 力 項 目
10I4/10I4/10I4/10I4/10I4	KFR, (JFRQ (I), I= 1, KFR) 応答計算に用いるモード数, 応答計算に用いたモード次数
10I4/10I4/10I4/10I4/10I4	NSPNP, (JRSP (I), I= 1, NSPNP) 応答着目点数, 応答着目節点番号
3I3, 3 (I3, E13.5)	K, J, M, (I, YMODE (K, I, J, M), I= 1, 3) 各応答着目点の変位または加速度において最大値となるとき各モード一般座標値 K: モード次数 I: 1~3 (=X, Y, Z) J: 応答着目点 M: 1~2 (加速度, 変位)
2E15.5	BBMAX (I, J, K) 応答の最大値 I: 1~3 (=X, Y, Z) J: 応答着目点 K: モード次数

アウトプットの出力書式

XXXX CASE NO. XXXXXXXXXXXXXXXX: ICASE=10000
XXXX NUMBER OF USING MODE XXXXXXXX: KFR = 10
XXXX MAXIMUM NUMBER OF STEPS XXXX: NDTM=200
XXXX NUMBER OF RUNNING LANE XXXX: LN= 1

XXXX OUT PUT LEVEL XXXXXXXXXXXX: LWR 2
XX KIND OF ROAD DATA XXXXXXXXXXXX
XX NPR=1: SIMULATED DATA XXXXXXXX NPR= 0

X NUMBER OF MEMBER XXXXXXXXXXXX: NELM= 144
X NUMBER OF MODE XXXXXXXXXXXX: NFRQ= 20
X NUMBER OF NODE (VIEW POINT) XX: NSPNP= 7

XX MAXIMUM NUMBER OF ITERATION (NEWMARK): IJM= 100
X OUTPUT DATA PITCH XXXXXXXXXXXX: IXP= 1
XX INCREMENT TIME: DT= 0.200E-01
XX CALCULATION TYPE XXX
SD=1: DYNAMIC+STATIC RESPONSE SD=0: DYNAMIC ONLY
SD=1.000
XX CONVERGENCE TOLERANCE XXX: EPS= 0.100E-02

XX VIEW POINT (NODE NO.): JRSP (I), I=1, NSPNP XX
24 6 11 16 53 55 59
XXXX USING MODE NO. XXXXXXXXXXXX: JFRQ (I), I=1, KFR
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
XXXX DAMPING MODULUS XXXXXXXXXXXX: B (I), I=1, KFR
0.020 0.020 0.020 0.020 0.020 0.020 0.020 0.020 0.020 0.020

XXXX OUT PUT VEHICLE XXXXXXXXXXXX
LANE NO.: JXK= 1 VEHICLE NO.: XV= 1

XXXX RUNNING LANE NO. XXXXXXXX 1
XXXX LENGTH OF LANE XXXXXXXX: BL 2640.0
XXXX ROAD SURFACE MODULAS XXXX: RAP 1.000
XXXX INPUT ROAD DATA PITCH XXXX: DRX 25.000

XXXX NUMBER OF LOADING MEMBER (EVERY LANE) 6
XXXX ELEMENT NO. XXXXXXXXXXXX: LOADS
61 62 63 64 65 66
XXXX VEHICLE NO. XXXXXXXXXXXX 1
XXXX DELETE TIME XXXXXXXXXXXX: THW
0.000

XXXX VEHICLE DATA XXXXXXXXXXXX
XX FRONT AXLE XX

LOWER WEIGHT (KGF) XXXXXXXXXXXX 0.400E+03
UPPER SPRING MODULAS (KGF/CM) XXXXXXXX 0.120E+04
LOWER SPRING MODULAS (KGF/CM) XXXXXXXX 0.240E+04
UPPER DAMPING MODULAS (KGF*SEC/CM) XX 0.500E+01
LOWER DAMPING MODULAS (KGF*SEC/CM) XX 0.600E+01

XX REAR AXLE XX

LOWER WEIGHT (KGF) XXXXXXXXXXXX 0.160E+04
UPPER SPRING MODULAS (KGF/CM) XXXXXXXX 0.480E+04
LOWER SPRING MODULAS (KGF/CM) XXXXXXXX 0.960E+04
UPPER DAMPING MODULAS (KGF*SEC/CM) XX 0.200E+02
LOWER DAMPING MODULAS (KGF*SEC/CM) XX 0.240E+02
UPPER WEIGHT= 0.180E+05 MOMENT OF INERTIA= 0.689E+06

ケース番号
モード重ね合わせに使用するモード
ステップ数
走行車線数

アウトプットのレベル	1: 数値+図	2: 数値
路面データの種別	0: 実測値	1: シミュレーション

解析モデルの要素数
固有値解析でのモード数
応答者目点数

ニューマークβ法の繰返し回数
出力データのピッチ (規定1)
ステップ増分時間
車両の静たわみを考慮するか否かの別
収束判定誤差

応答者目点の節点番号

モード重ね合わせに使用するモード次数

各モードの減衰定数

応答を出力する車両のレーン番号、応答を出力する車両の車両番号

車両レーンデータ
レーン長
路面データにかける係数
路面データ間隔

レーンの要素数
要素番号
車両 (前軸) が橋梁に進入する時刻

車両データ	
前軸	ばね下重量
	ばね上ばね定数
	ばね下ばね定数
	ばね上減衰定数
	ばね下減衰定数
後軸	"
ばね上重量, ばね上慣性モーメント	

REAR AXLE DISTANCE:VLO2 (CM) = 0.150E+03

一 夕子兩車

車両重心からの距離	前軸	後軸
1	1.00	0.00
2	0.80	0.20
3	0.60	0.40
4	0.40	0.60
5	0.20	0.80
6	0.00	1.00

XXXXXX TUNED MASS DAMPER DATA XXXXXXXXXXXXXXXX

XXX. NUMBER OF TMD XXX N= 1

XXX SETING POINT XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
55

XXX WEIGHT (KGF) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

0.200E+04

XXX SPRING MODULAS (KGF/CM) XXXXXXXXXX

0.609E+03

XXXX DUMPER MODULAS (KGFXSEC/CM) XXXXX

0.846E+01

XXXXXX OUTPUT TMD NUMBER XXX N= 1

XXXNUMBER OF SUPORT=NSUP= 0

TMDデータ

TMDを設置する節点番号

の重量

のばね定数

π の減速定数

応答を出力するTMDの番号

支点反力の応答を計算する支点数

~~XXXX~~ROAD ROUGHNESS (CM) CASE NUMBER~~XXXX~~ 10000 ROAD NO. 1

XXMAX VALUE= 0.6096657E+00 XXRMS= 0.4175664E+00

路面凹凸データ (cm)

[illegible]

亦兩忘也

にお上重屋の応答

變位 (回轉) (rad)

最大值 2 乘平均值

— 80 —

加速度 (回転) (rad/sec²)

[illegible]

ばね上重量の応答
変位 (cm)

XXMAX VALUE= 0.4889427E+00 XXRMS= 0.3225451E+00

加速度 (α/sec^2)

XXMAX VALUE= -0.1073214E+03 XXRMS= 0.6174661E+02

[illegible]

ばね下重量の応答

前糖交位 (ca)

XXMAX VALUE= 0.4738679E+00 XXRMS= 0.2504522E+00

[illegible]前輪加速度 (α/sec^2)

XXMAX VALUE= -0.1561581E+04 XXRMS= 0.6694531E+03

[illegible]

[illegible]

後轉空位 (or) _____

[illegible]後軸加速度 (α/sec^2)[illegible]

TMD NO = 1

TMDの応答

XXX TMD DIS XXXX

変位 (a)

XXMAX VALUE= -0.2457696E+00 XXRMS= 0.1542978E+00

0.1630E-04	0.1414E-03	0.4584E-03	0.7653E-03	0.2676E-03	-0.2219E-02	-0.7962E-02	-0.1788E-01	-0.3220E-01	-0.5021E-01
-0.7020E-01	-0.8953E-01	-0.1049E+00	-0.1133E+00	-0.1124E+00	-0.1021E+00	-0.8442E-01	-0.6325E-01	-0.4343E-01	-0.2976E-01
-0.2597E-01	-0.3385E-01	-0.5279E-01	-0.7976E-01	-0.1101E+00	-0.1386E+00	-0.1608E+00	-0.1740E+00	-0.1777E+00	-0.1727E+00
-0.1613E+00	-0.1462E+00	-0.1303E+00	-0.1161E+00	-0.1055E+00	-0.9969E-01	-0.9923E-01	-0.1041E+00	-0.1139E+00	-0.1281E+00
-0.1454E+00	-0.1636E+00	-0.1799E+00	-0.1909E+00	-0.1938E+00	-0.1868E+00	-0.1699E+00	-0.1451E+00	-0.1157E+00	-0.8673E-01
-0.6321E-01	-0.4988E-01	-0.4998E-01	-0.6435E-01	-0.9127E-01	-0.1268E+00	-0.1656E+00	-0.2019E+00	-0.2301E+00	-0.2458E+00
-0.2458E+00	-0.2290E+00	-0.1965E+00	-0.1514E+00	-0.9857E-01	-0.4470E-01	0.5563E-02	0.4421E-01	0.6654E-01	0.6898E-01
0.5052E-01	0.1325E-01	-0.3769E-01	-0.9475E-01	-0.1492E+00	-0.1928E+00	-0.2188E+00	-0.2231E+00	-0.2045E+00	-0.1653E+00
-0.1108E+00	-0.4847E-01	0.1382E-01	0.6896E-01	0.1117E+00	0.1387E+00	0.1483E+00	0.1405E+00	0.1164E+00	0.7857E-01
0.3115E-01	-0.2077E-01	-0.7149E-01	-0.1152E+00	-0.1462E+00	-0.1596E+00	-0.1522E+00	-0.1234E+00	-0.7642E-01	-0.1769E-01
0.4407E-01	0.9955E-01	0.1405E+00	0.1611E+00	0.1585E+00	0.1334E+00	0.9004E-01	0.3548E-01	-0.2183E-01	-0.7355E-01
-0.1130E+00	-0.1357E+00	-0.1401E+00	-0.1264E+00	-0.9706E-01	-0.5588E-01	-0.8211E-02	0.3978E-01	0.8184E-01	0.1124E+00
0.1276E+00	0.1251E+00	0.1051E+00	0.7022E-01	0.2521E-01	-0.2317E-01	-0.6735E-01	-0.1004E+00	-0.1173E+00	-0.1159E+00
-0.9737E-01	-0.6517E-01	-0.2487E-01	0.1714E-01	0.5453E-01	0.8202E-01	0.9621E-01	0.9600E-01	0.8248E-01	0.5846E-01
0.2774E-01	-0.5469E-02	-0.3691E-01	-0.6260E-01	-0.7917E-01	-0.8435E-01	-0.7737E-01	-0.5920E-01	-0.3247E-01	-0.1109E-02
0.3021E-01	0.5668E-01	0.7409E-01	0.7957E-01	0.7224E-01	0.5346E-01	0.2667E-01	-0.3399E-02	-0.3167E-01	-0.5370E-01
-0.6640E-01	-0.6836E-01	-0.5990E-01	-0.4291E-01	-0.2044E-01	0.3888E-02	0.2647E-01	0.4431E-01	0.5531E-01	0.5839E-01
0.5338E-01	0.4103E-01	0.2291E-01	0.1425E-02	-0.2043E-01	-0.3943E-01	-0.5261E-01	-0.5784E-01	-0.5414E-01	-0.4194E-01
-0.2305E-01	-0.4388E-03	0.2217E-01	0.4097E-01	0.5282E-01	0.5587E-01	0.4990E-01	0.3627E-01	0.1754E-01	-0.3092E-02
-0.2238E-01	-0.3750E-01	-0.4647E-01	-0.4832E-01	-0.4320E-01	-0.3220E-01	-0.1712E-01	-0.1066E-03	0.1659E-01	0.3085E-01

XXX TMD ACC XXXX

加速度 (a/sec²)

XXMAX VALUE= -0.5951088E+02 XXRMS= 0.4000586E+02

0.2445E+00	0.6537E+00	0.1706E+00	-0.1788E+01	-0.4936E+01	-0.8296E+01	-0.1074E+02	-0.1139E+02	-0.9674E+01	-0.5349E+01
0.1380E+01	0.9779E+01	0.1818E+02	0.2388E+02	0.2449E+02	0.1922E+02	0.9177E+01	-0.3397E+01	-0.1582E+02	-0.2552E+02
-0.3025E+02	-0.2865E+02	-0.2086E+02	-0.8599E+01	0.5010E+01	0.1645E+02	0.2324E+02	0.2477E+02	0.2198E+02	0.1630E+02
0.9207E+01	0.1975E+01	-0.4445E+01	-0.9362E+01	-0.1237E+02	-0.1353E+02	-0.1339E+02	-0.1257E+02	-0.1111E+02	-0.8141E+01
-0.2795E+01	0.4762E+01	0.1331E+02	0.2086E+02	0.2535E+02	0.2550E+02	0.2079E+02	0.1161E+02	-0.5619E+00	-0.1390E+02
-0.2615E+02	-0.3456E+02	-0.3683E+02	-0.3231E+02	-0.2216E+02	-0.8418E+01	0.6545E+01	0.2057E+02	0.3209E+02	0.3983E+02
0.4280E+02	0.4031E+02	0.3233E+02	0.1974E+02	0.4256E+01	-0.1212E+02	-0.2793E+02	-0.4148E+02	-0.5080E+02	-0.5363E+02
-0.4830E+02	-0.3522E+02	-0.1583E+02	0.6603E+01	0.2798E+02	0.4507E+02	0.5569E+02	0.5845E+02	0.5280E+02	0.3920E+02
0.1997E+02	-0.6149E+00	-0.1869E+02	-0.3193E+02	-0.4002E+02	-0.4388E+02	-0.4430E+02	-0.4134E+02	-0.3475E+02	-0.2455E+02
-0.1149E+02	0.2967E+01	0.1760E+02	0.3193E+02	0.4470E+02	0.5339E+02	0.5485E+02	0.4702E+02	0.3033E+02	0.7793E+01
-0.1615E+02	-0.3725E+02	-0.5237E+02	-0.5951E+02	-0.5763E+02	-0.4681E+02	-0.2872E+02	-0.6771E+01	0.1468E+02	0.3183E+02
0.4264E+02	0.4699E+02	0.4581E+02	0.4000E+02	0.3008E+02	0.1661E+02	0.8539E+00	-0.1518E+02	-0.2925E+02	-0.3953E+02
-0.4491E+02	-0.4470E+02	-0.3841E+02	-0.2607E+02	-0.8797E+01	0.1073E+02	0.2875E+02	0.4159E+02	0.4690E+02	0.4425E+02
0.3481E+02	0.2067E+02	0.4223E+01	-0.1202E+02	-0.2554E+02	-0.3423E+02	-0.3697E+02	-0.3398E+02	-0.2668E+02	-0.1692E+02
-0.6209E+01	0.4525E+01	0.1463E+02	0.2323E+02	0.2913E+02	0.3116E+02	0.2868E+02	0.2195E+02	0.1191E+02	-0.5916E-01
-0.1236E+02	-0.2321E+02	-0.3066E+02	-0.3303E+02	-0.2949E+02	-0.2062E+02	-0.8314E+01	0.4785E+01	0.1617E+02	0.2406E+02
0.2760E+02	0.2670E+02	0.2182E+02	0.1397E+02	0.4605E+01	-0.4613E+01	-0.1226E+02	-0.1752E+02	-0.2022E+02	-0.2056E+02
-0.1873E+02	-0.1475E+02	-0.8701E+01	-0.1028E+01	0.7277E+01	0.1487E+02	0.2040E+02	0.2290E+02	0.2185E+02	0.1725E+02
0.9607E+01	0.3860E-01	-0.9790E+01	-0.1794E+02	-0.2271E+02	-0.2324E+02	-0.1966E+02	-0.1301E+02	-0.4776E+01	0.3565E+01

XXXX DISPLACEMENT (CM) XXXX CASE NUMBERXXX 10000 NODE NO. 24 X-DIRECTION

若目点の応答

XXMAX VALUE= -0.3855573E-02 XXRMS= 0.2620395E-02

変位 (cm)

0.3075E-04	0.1895E-03	0.3723E-03	0.4105E-03	0.2179E-03	-0.1790E-03	-0.7001E-03	-0.1277E-02	-0.1862E-02	-0.2384E-02
-0.2725E-02	-0.2757E-02	-0.2393E-02	-0.1776E-02	-0.1188E-02	-0.8547E-03	-0.8395E-03	-0.1090E-02	-0.1542E-02	-0.2128E-02
-0.2743E-02	-0.3216E-02	-0.3364E-02	-0.3127E-02	-0.2626E-02	-0.2092E-02	-0.1721E-02	-0.1585E-02	-0.1636E-02	-0.1770E-02
-0.1921E-02	-0.2078E-02	-0.2240E-02	-0.2369E-02	-0.2426E-02	-0.2442E-02	-0.2514E-02	-0.2731E-02	-0.3096E-02	-0.3508E-02
-0.3810E-02	-0.3856E-02	-0.3601E-02	-0.3124E-02	-0.2563E-02	-0.2042E-02	-0.1643E-02	-0.1430E-02	-0.1476E-02	-0.1799E-02
-0.2305E-02	-0.2830E-02	-0.3223E-02	-0.3379E-02	-0.3264E-02	-0.2934E-02	-0.2507E-02	-0.2081E-02	-0.1699E-02	-0.1364E-02
-0.1083E-02	-0.8803E-03	-0.7757E-03	-0.7667E-03	-0.8299E-03	-0.9372E-03	-0.1066E-02	-0.1228E-02	-0.1459E-02	-0.1746E-02
-0.1980E-02	-0.1981E-02	-0.1677E-02	-0.1158E-02	-0.5790E-03	-0.6155E-04	0.3538E-03	0.6903E-03	0.9624E-03	0.1096E-02
0.9550E-03	0.6785E-03	0.5485E-03	0.7314E-03	0.1134E-02	0.1500E-02	0.1606E-02	0.1381E-02	0.8943E-03	0.2632E-03
-0.4059E-03	-0.1065E-02	-0.1693E-02	-0.2061E-02	-0.1937E-02	-0.1301E-02	-0.3990E-03	0.4120E-03	0.8813E-03	0.9708E-03
0.7920E-03	0.4688E-03	0.6817E-04	-0.3609E-03	-0.7193E-03	-0.8635E-03	-0.6973E-03	-0.2635E-03	0.2608E-03	0.6732E-03
0.8702E-03	0.8892E-03	0.8448E-03	0.8241E-03	0.8285E-03	0.7948E-03	0.6611E-03	0.4125E-03	0.7629E-04	-0.3118E-03
-0.7270E-03	-0.1139E-02	-0.1483E-02	-0.1654E-02	-0.1550E-02	-0.1143E-02	-0.5211E-03	0.1397E-03	0.6535E-03	0.9119E-03
0.9169E-03	0.7483E-03	0.5009E-03	0.2453E-03	0.3210E-04	-0.8762E-04	-0.6646E-04	0.1017E-03	0.3490E-03	0.5512E-03
0.5993E-03	0.4717E-03	0.2459E-03	0.3666E-04	-0.8608E-04	-0.1315E-03	-0.1541E-03	-0.1933E-03	-0.2484E-03	-0.3049E-03
-0.3717E-03	-0.4792E-03	-0.6343E-03	-0.7812E-03	-0.8197E-03	-0.6751E-03	-0.3622E-03	0.1689E-04	0.3399E-03	0.5382E-03
0.6182E-03	0.6240E-03	0.5878E-03	0.5186E-03	0.4283E-03	0.3539E-03	0.3404E-03	0.3947E-03	0.4597E-03	0.4426E-03
0.2794E-03	-0.1610E-04	-0.3591E-03	-0.6475E-03	-0.8156E-03	-0.8484E-03	-0.7618E-03	-0.5795E-03	-0.3310E-03	-0.6621E-04
0.1453E-03	0.2405E-03	0.2010E-03	0.6933E-04	-0.7394E-04	-0.1552E-03	-0.1434E-03	-0.5309E-04	0.7817E-04	0.2155E-03
0.3365E-03	0.4270E-03	0.4759E-03	0.4779E-03	0.4408E-03	0.3860E-03	0.3349E-03	0.2917E-03	0.2356E-03	0.1315E-03

XXXXXXXX ACCELERATION (GAL) XXXXXXXX

加速度 (gal)

XXMAX VALUE= 0.1404629E+01 XXRMS= 0.6638216E+00

0.4613E+00	0.7535E-01	-0.4030E+00	-0.6318E+00	-0.5325E+00	-0.3012E+00	-0.1272E+00	-0.3053E-01	0.1321E+00	0.4520E+00
0.7679E+00	0.1118E+01	0.6930E+00	-0.9753E-01	-0.7231E+00	-0.8457E+00	-0.6589E+00	-0.5022E+00	-0.3539E+00	-0.1022E+00
0.3382E+00	0.8718E+00	0.1053E+01	0.7038E+00	0.6751E-01	-0.4646E+00	-0.6452E+00	-0.4917E+00	-0.1899E+00	-0.6572E-02
-0.1656E-01	-0.3442E-01	0.8209E-01	0.2118E+00	0.1383E+00	-0.1440E+00	-0.4052E+00	-0.4140E+00	-0.1462E+00	0.2814E+00
0.6849E+00	0.8098E+00	0.5839E+00	0.1984E+00	-0.1251E+00	-0.3085E+00	-0.4539E+00	-0.6705E+00	-0.7498E+00	-0.4867E+00
-0.4160E-01	0.3541E+00	0.6173E+00	0.7224E+00	0.5657E+00	0.2325E+00	-0.2996E-01	-0.1306E+00	-0.1128E+00	-0.1238E+00
-0.1987E+00	-0.2559E+00	-0.2494E+00	-0.1808E+00	-0.1110E+00	-0.3550E-01	-0.6747E-01	-0.1953E+00	-0.1950E+00	0.8791E-01
0.6390E+00	0.8437E+00	0.5612E+00	0.1358E+00	-0.1946E+00	-0.2860E+00	-0.1929E+00	-0.1261E+00	-0.2691E+00	-0.8671E+00
-0.3949E+00	0.4200E+00	0.9126E+00	0.6232E+00	-0.1117E+00	-0.7217E+00	-0.8960E+00	-0.5689E+00	-0.3560E+00	-0.6989E-01
0.6788E-01	-0.5874E-01	0.6507E+00	0.1335E+01	0.1405E+01	0.7174E+00	-0.2813E+00	-0.9573E+00	-0.1017E+01	-0.6702E+00
-0.3278E+00	-0.1838E+00	-0.9838E-01	0.1505E+00	0.5555E+00	0.8418E+00	0.7331E+00	0.2384E+00	-0.3278E+00	-0.6058E+00
-0.4803E+00	-0.1432E+00	0.1018E+00	0.9258E-01	-0.9734E-01	-0.2736E+00	-0.3074E+00	-0.2213E+00	-0.1221E+00	-0.6841E-01
-0.9890E-02	0.1506E+00	0.4335E+00	0.7186E+00	0.8089E+00	0.5813E+00	0.1007E+00	-0.4036E+00	-0.6900E+00	-0.6680E+00
-0.4384E+00	-0.1832E+00	-0.1071E-01	0.1035E+00	0.2323E+00	0.3696E+00	0.4026E+00	0.2255E+00	-0.1188E+00	-0.4265E+00
-0.4862E+00	-0.2630E+00	0.6391E-01	0.2551E+00	0.2140E+00	0.4799E-01	-0.6268E-01	-0.4662E-01	0.9771E-02	-0.1297E-01
-0.1120E+00	-0.1496E+00	-0.2757E-02	0.2824E+00	0.5001E+00	0.4626E+00	0.1746E+00	-0.1672E+00	-0.3479E+00	-0.3120E+00
-0.1777E+00	-0.9184E-01	-0.8405E-01	-0.6675E-01	0.3417E-01	0.1694E+00	0.2005E+00	0.4515E-01	-0.2189E+00	-0.4024E+00
-0.3637E+00	-0.1258E+00	0.1544E+00	0.3253E+00	0.3510E+00	0.2995E+00	0.2410E+00	0.1744E+00	0.5180E-01	-0.1352E+00
-0.3111E+00	-0.3650E+00	-0.2485E+00	-0.2510E-01	0.1752E+00	0.2539E+00	0.2058E+00	0.9996E-01	0.8619E-02	-0.4413E-01
-0.7645E-01	-0.1063E+00	-0.1236E+00	-0.1040E+00	-0.4505E-01	0.1733E-01	0.3173E-01	-0.2541E-01	-0.1242E+00	-0.1972E+00

POWER SPECTRUM=	0.2516E+00	FREQUENCY=	5.10
POWER SPECTRUM=	0.4465E+02	FREQUENCY=	7.65
POWER SPECTRUM=	0.1597E+03	FREQUENCY=	3.92
POWER SPECTRUM=	0.3550E+01	FREQUENCY=	5.10
POWER SPECTRUM=	0.1534E+02	FREQUENCY=	2.55
POWER SPECTRUM=	0.2990E+03	FREQUENCY=	7.65
POWER SPECTRUM=	0.3770E+01	FREQUENCY=	5.10
POWER SPECTRUM=	0.1531E+02	FREQUENCY=	2.55
POWER SPECTRUM=	0.1625E+03	FREQUENCY=	3.92
POWER SPECTRUM=	0.4768E+01	FREQUENCY=	2.75
POWER SPECTRUM=	0.1532E+02	FREQUENCY=	2.55
POWER SPECTRUM=	0.2981E+03	FREQUENCY=	7.65
POWER SPECTRUM=	0.4257E+01	FREQUENCY=	2.75
POWER SPECTRUM=	0.1165E+02	FREQUENCY=	1.96
POWER SPECTRUM=	0.3005E+03	FREQUENCY=	4.71
POWER SPECTRUM=	0.1249E+00	FREQUENCY=	1.96
POWER SPECTRUM=	0.1165E+02	FREQUENCY=	1.96
POWER SPECTRUM=	0.1780E+03	FREQUENCY=	5.10
POWER SPECTRUM=	0.4434E+01	FREQUENCY=	2.75
POWER SPECTRUM=	0.1165E+02	FREQUENCY=	1.96
POWER SPECTRUM=	0.3639E+03	FREQUENCY=	4.90

スペクトル解析結果

若目点 i x 方向 パワースペクトル (cm²/sec²) 卓越振動数 (Hz)

y 方向

z 方向

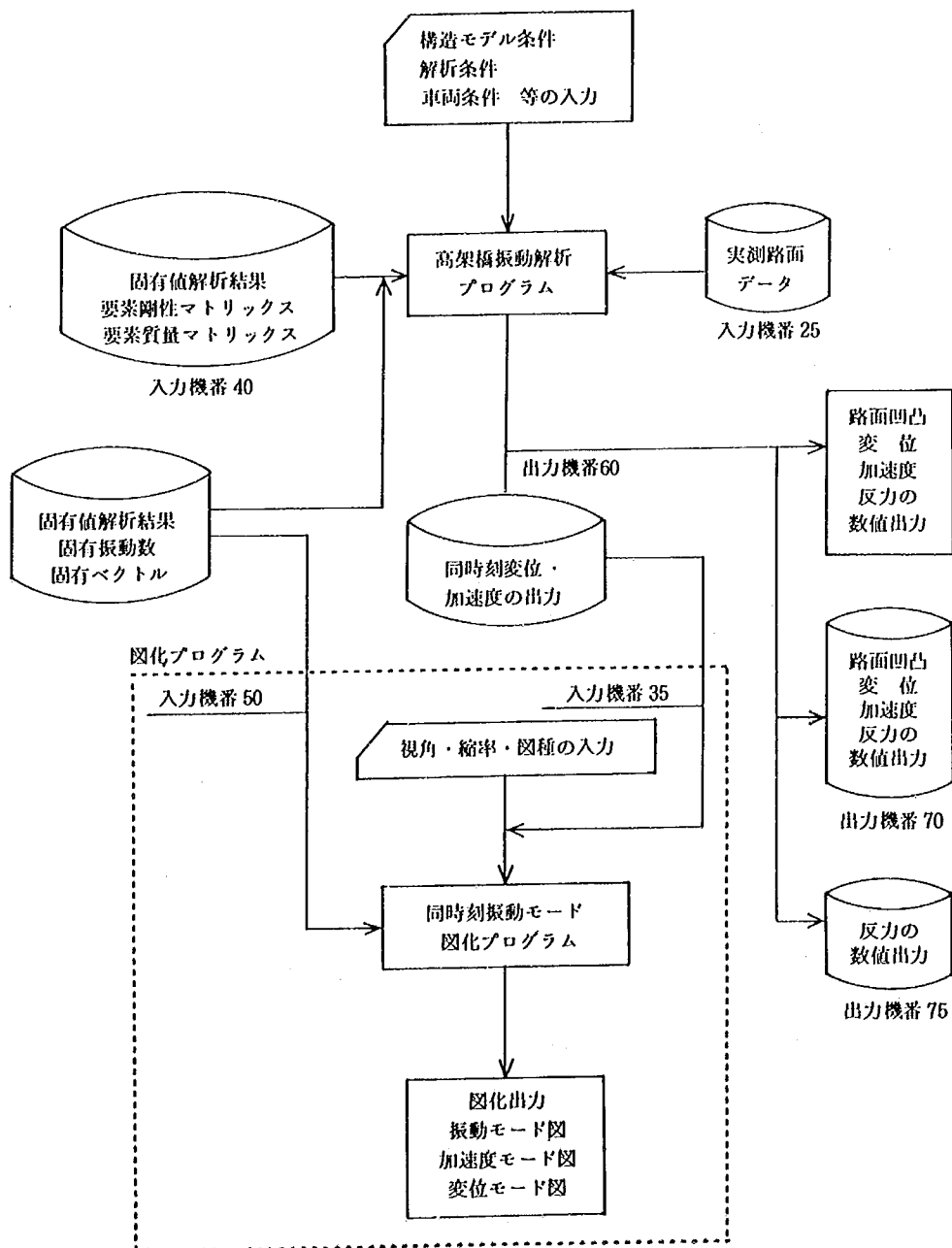
(i = 1 ~ N S P N P)

4. 図化プログラム

4.1 プログラム仕様

(1) ブロックチャート

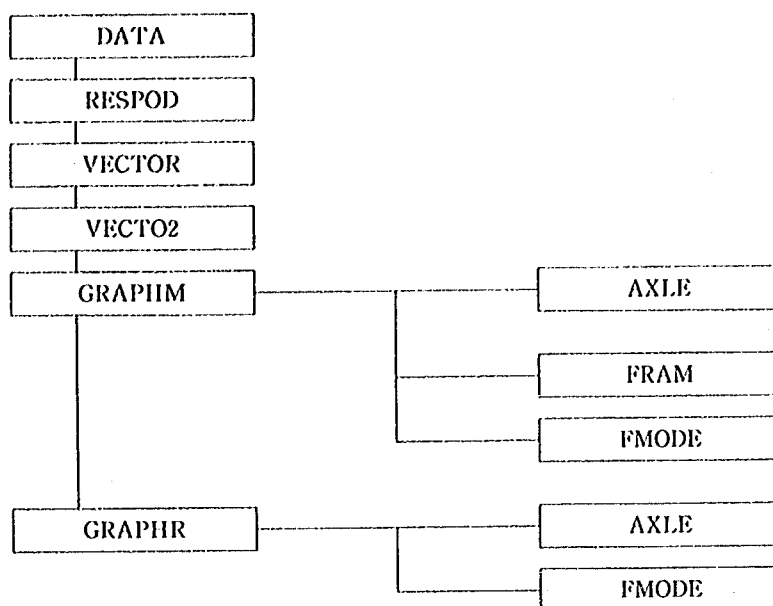
固有値解析で得られた固有ベクトル(固有振動モード)、応答解析で得られた結果、すなわち着目点の応答値(変位、加速度)が最大になるときの振動モード(同時刻モード)を図化するプログラムのブロックチャートを付図-4.1 に示す。



付図-4.1 ブロックチャート

(2) サブルーチンの概略

図化プログラムのサブルーチンの概略を付図-4.2 に示し、サブルーチンの内容を以下に説明する。



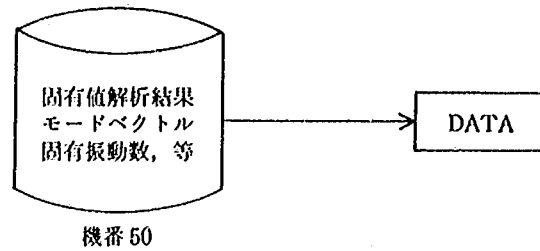
付図-4.2 サブルーチンの概略

① サブルーチン (DATA)

データの入力を行う。

NODT*	全節点数
NELT*	全要素数
NROOT*	全計算モード数
NFRE*	全自由度数
X (I)*	節点座標, X座標 I=1~NODT
Y (I)*	〃, Y座標 〃
Z (I)*	〃, Z座標 〃
KAKOM (I, J)*	各要素の両端の節点番号 I=1~NELT J=1~2
VEC (I, J)*	モードベクトル I=1~NFRE J=1~NROOT
VIB (I)*	固有振動数 I=1~NROOT
XR	X軸まわりの回転角
YR	Y軸まわりの 〃
ZR	Z軸まわりの 〃
BAI	縮率 橋長 (cm)/BAI ≤ 40
IFLAG	図種の選択 1: 骨組のみ 3: 重ね合わせ 2: モードのみ

*固有値解析結果より入力 入力機番50

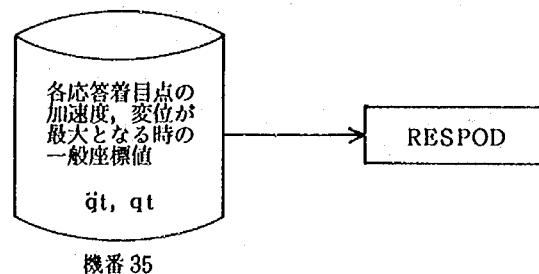


② サブルーチン (RESPOD)

同時刻モード図作成用データの入力を行う。

KFR*	応答計算に用いた振動モード数
JFREQ (I)*	// 振動モード I=1~KFR
NP*	応答着目点の数
JRSP (J)*	応答着目点の節点番号 J=1~NP
KK	モード次数 KK=1~KFR
JJ	応答着目点 JJ=1~NP
MM	加速度, 変位の別 1:加速度 2:変位
II	x, y, zの別 1:x 2:y 3:z
YMODE (K, I, J, M)*	各応答着目点の変位または加速度において, 最大値となる時の各モードの一般座標値 K:モード次数 I:1~3 (=x, y, z) J:1~NP 応答着目点 M:1~2 加速度・変位の別
BBMAX (I, J, K)*	応答の最大値

* 応答解析結果より入力 入力機番35



③ サブルーチン (VECTOR)

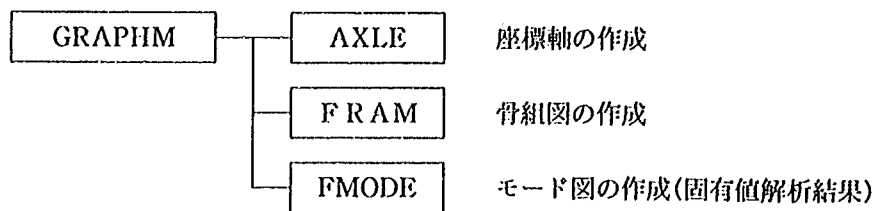
固有値解析結果による各節点変位の計算を行う。

サブルーチン (VECTO2)

応答解析結果による各節点変位, 加速度の計算を行う。

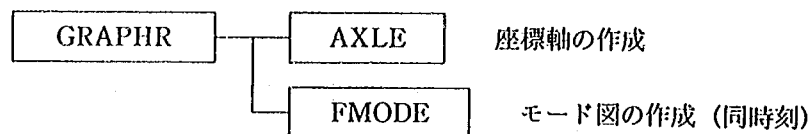
⑤ サブルーチン (GRAPHM)

振動モード図の作成を行う。



⑥ サブルーチン (GRAPHR)

同時刻モード図の作成の行う。



4.2 データ入力書式

(1) データ入力書式

データ入力フォーマットを以下に示す。

図化プログラム (モード, 同時刻モード図) カード入力フォーマット

カードNo.	フォーマット	1	11	21	31	41	51	61	71
1	4F10.3 I10	1) YR	2) XR	3) ZR	4) BAI	5) IFLAG			
1): Y軸まわりの回転角(°C) 2): X軸まわりの回転角(°C) 3): Z軸まわりの回転角(°C) 4): 総率 5): 図種の指定									

高架橋の交通振動解析に関する
報告書

ISSN 0386-5876
土木研究所資料第3078号
平成4年3月(1992)

構造研究室 室長 横山 功一
研究員 井上 純三 澤田 憲文
伊関 英彦 金子 学

要旨

高架橋交通振動軽減対策の効果を解析的に明らかにするため、上下部工をモデル化し走行荷重による応答を求めるシミュレーションプログラムを開発した。この場合、橋梁のモデル化にあたり、橋脚下端をばね支持とすることおよび隣接橋梁を考慮してモデル化することが重要とわかった。また、同プログラムを用いて既設橋に対する交通振動軽減効果の検討を行った。具体的には、T型橋脚を有する単純鉸桁橋の振動軽減対策として、荷重分配横桁の追加、主桁化、T型橋脚の柱断面拡大、動吸振器の設置を想定して検討した。この結果、T型橋脚の剛性不足を補う主桁の箱桁化及び橋脚の柱断面の拡大が相対的に有効であることが分かった。

キーワード：振動解析，高架橋，交通振動，振動軽減対策

郵便はがき

郵便切手
はって下さ
い

305-□□

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3078号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印