

波力を受ける有脚式鋼製人工地盤の振動特性についての基礎的研究

ON VIBRATION CHARACTERISTICS OF LARGE STEEL PLATFORM WITH LEGS SUBJECTED TO WAVE FORCES

-For Assessment of Better Residential Comfortability-

渡邊英一*, 田中稔郎**, 杉浦邦征***, 富永知徳****

Eiichi Watanabe, Toshirou Tanaka, kunitomo Sugiura and Tomonori Tominaga

In recent days, the construction of large-scale steel platforms for residential and recreational spaces has become a matter of great concern due to ever soaring cost of land in Japan. In this study, the vibrational characteristics of the large steel platform subjected to ocean wave forces are examined in order to provide the basic knowledges for their optimum design. From the study, it was found that the platforms are most reasonably designed if the horizontal displacements of the parts of legs that are subjected to large wave forces are kept relatively as small as possible while keeping those of the parts with larger dead weight distribution relatively larger. In addition, it is found from the study that the dynamic response can be reduced if the number of legs is increased and the span length is reduced relative to that of the ocean wave.

1. はじめに

近年、新しい開発・利用空間を海洋に求めようという動きがさかんであり、その構想も年を追って大規模化してきている。このような情勢のもと、水深約100mにも及ぶ沖合いに数キロ四方の規模を有する有脚式鋼製人工地盤(図1参照)を建設し、「海洋情報都市」として機能させようという巨大なスケールの構想が生まれている¹⁾。大水深の海域の開発にも注目するという動きにともない、現在、さまざまな面から検討されている段階である。本研究は、この「海洋情報都市」構想を参考にして、水深100m程度の沖合いに建設を想定される鋼製立体骨組構造物による人工地盤を対象とし、動的応答解析によりその振動特性を明らかにすることを目的とする。静的強度面のみ考慮した設計法は、周期的な荷重が誘発する共振による構造物の崩壊に対する安全性を必ずしも保証しているものでない。また、崩壊にまで至らないまでも、風による高層建築構造物の常微振動は、居住性と言った観点で問題となることが多い。このように、種々の動的な外力を絶えず受ける実構造物の設計に際して、その振動特性を評価することは非常に重要であると考えられる。本研究で対象としている海上での居住空間の創出を目的とした有脚式鋼製人工地盤の建設に際しても、静的強度面からの安全性のみならず人体で感じられる常微振動には十分注意すべきである(図2参照²⁾)。特に、周期的な外力として波浪・海上風を常時受けるため快適性を確保するのに効率よく振動を低減する構造形式を考案する必要がある。このような観点より、本研究においては、波力を受ける

* 工博, Ph. D., 京都大学工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

** 工修, 日本国土開発株式会社 (〒107 東京都港区赤坂4-9-9)

*** Ph. D. 京都大学工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

**** 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻(〒606 京都市左京区吉田本町)

有脚式鋼製人工地盤の一般的な振動特性を骨組有限要素法を用いたパラメトリック解析により明らかにする。特に、居住空間としての快適性に着目した構造物の最適設計を行なう際必要と考えられる各部材相関に基づく振動特性を十分考慮して、最適な構造形式について検討する。

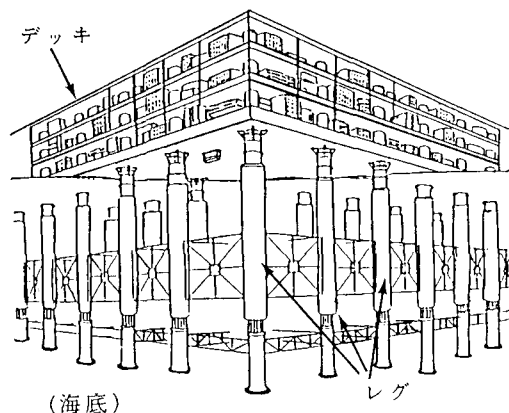


図1 大型有脚式鋼製人工地盤—軟着底型
「海洋情報都市」(寺井精英による¹⁾)

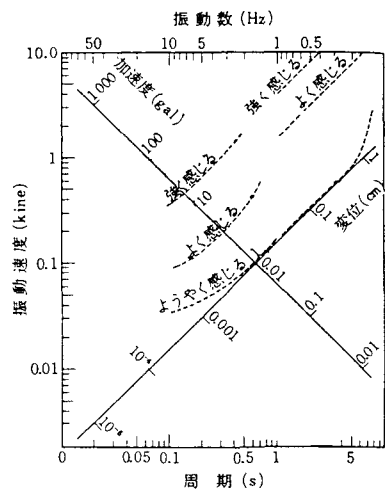


図2 有感微振動と居住性²⁾

2. 解析モデルと定式化

本研究で対象とする大型の有脚式鋼製人工地盤(図1参照)は、大きく分けて、デッキ部材とレグ部材(1次部材)、および、ブレース部材(2次部材)の3種類の部材が、無数に集まって構成される立体鋼製骨組構造物と考えることができる。これら個々の部材は、構造物全体の挙動に何らかの影響を相互におよぼすと考えられるため、構造物全体の応答解析によりその振動特性を明らかにする前に、まずは、構造物全体の1単位となり得る必要最小限の構造形式、ここでは、1スパンラーメンを対象にその振動特性を明らかにし、その後、ブレース材を有する1スパンラーメンや多スパンラーメンなどのより現実的なモデルへと発展させていくという手順で、全体構造物の振動特性に関して考察する。簡便化のため、本研究では解析モデル

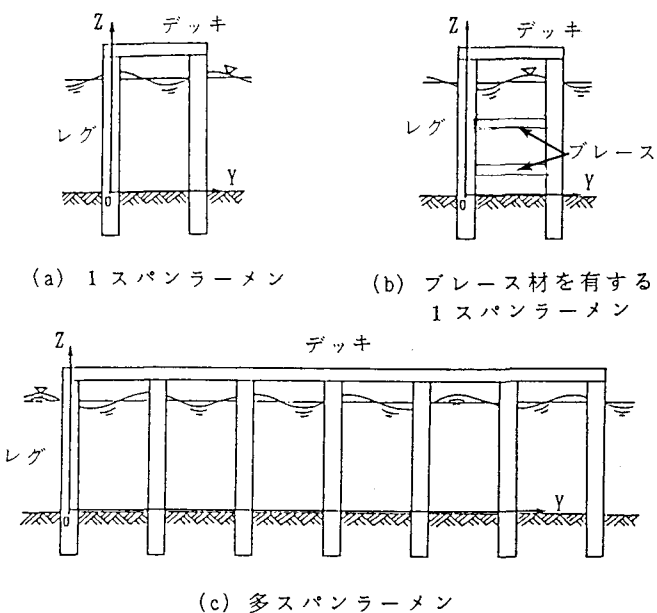


図3 解析対象とした2次元フレーム構造物

として、2次元のフレーム構造を取り扱うものとする。実際の解析に用いたモデル構造物を、図3に示す。また、本研究で用いた解析手法・解析モデルをまとめると以下のようである。

- 1) 数値解析では、各部材をそれぞれ材端において水平・鉛直変位および回転角の3自由度を有する棒要素に分割して2次元の骨組有限要素解析を行う。
- 2) 接地部分は、水平・鉛直方向および回転に対する反力は地盤剛性を評価できるよう等価バネで与える。しかし、本解析では、地盤の剛性の影響は研究の目的としていないため、バネ定数に充分大きな値を与え、ほとんど固定端と見なせるようにした。なお、海底地盤は平坦と仮定している。
- 3) 構造物を構成する部材は、すべて鋼製とする。ここで、デッキ部材、レグ部材、ブレース材のうち、レグ部材については、構造的に円筒形が適していると考えられているため、そのように形状を固定するが、他の部材の形状については固定しないことにする。すなわち、断面2次モーメントと断面積の間に一定の関係があるのはレグ部材のみとする。
- 4) 波浪のモデルとしては、微小振幅波理論を適用し、レグに働く波力の算定には、波と構造物の相互作用を考慮するためモリソン式の修正式を用いる。
- 5) 人工地盤のレグ間距離は、モリソン式の適用に支障がないよう、つまりレグ間の流体をかいして各レグの相互干渉のないよう十分大きくとる³⁾。

本研究は、鋼製人工地盤上の構造形式ではなく水中の構造形式に着目して、レグとデッキの部材相関がどのように振動特性に影響を与えるかについて検討することを目的とする。本来、有脚式鋼製人工地盤およびその他の施設に作用する外力には、波力、潮流力、風力、および地震力が考えられ、居住性等に最も影響を与える常時作用する動的外力として波力のみを考えることにした。

修正モリソン式による波力は、以下のように与えられる。

$$\frac{dF}{dz} = C_D \frac{W}{2g} D (u - \dot{q}) |u - \dot{q}| + (C_M - 1) \frac{W}{g} \frac{\pi D^2}{4} (\ddot{u} - \ddot{q}) + \frac{W}{g} \frac{\pi D^2}{4} \ddot{u} \quad (1)$$

ここで、上式で用いた記号は以下のようである (F : 波力、 z : 水深方向の座標、 C_D : 抗力係数、 C_M : 慣性力係数、 D : 円柱直径、 W : 流体の単位体積重量、 g : 重力加速度、 q : 構造物の変位、 u : 水粒子速度、 $\cdot$ は時間微分を示す)。修正モリソン式の第1項を抗力項と呼び、第2項、第3項を合わせて慣性力項と呼ぶ。モリソン式の適用に際しては、抗力項の扱いが問題となることが多い。式(1)において、抗力項は水粒子と構造物の相対速度に関して非線形であり、これを考慮するかしないかによって、解析の複雑度が大きく左右される。そこで、本研究では、抗力項の効果を検討した上で、事実上無視できると判断された範囲内で、モリソン式の慣性項のみを考慮した線形解析を行った。本解析結果によれば、通常の波浪の状態では構造物の応答に対する抗力項の影響は、ほとんどないことがわかった。従って、流体との相互作用を考慮した線形な

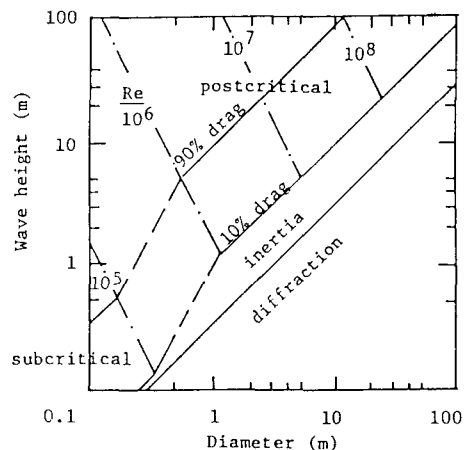


図4 モリソン式の適用限界³⁾

運動方程式は以下のように表される。

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{F\} \quad (2)$$

ここで、 $[M]$ ：整合質量マトリックス、 $[C]$ ：減衰マトリックス、 $[K]$ ：剛性マトリックス、 $\{F\}$ ：式(1)による外力ベクトルである。さらに、外力の中で構造物の振動加速度に関する部分（式(1)・右辺の第2項の一部）は、構造物の加速度の関する項であるので付加質量として式(2)・左辺第一項の整合質量マトリックス $[K]$ に組み込んで、 $[\tilde{M}]$ とすることができる。また、式(2)・右辺の外力ベクトルは、水粒子の運動によってのみ規定される外力ベクトル $\{\tilde{F}\}$ とすることができる。従って、式(2)は以下のように書き換えられる。

$$[\tilde{M}]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{\tilde{F}\} \quad (3)$$

式(3)で規定される構造物の振動をモード解析^{7), 8), 9)}により、一般化すると、(i)番目のモードについて、次のように表すことができる。

$$\ddot{x}_i + 2 h_i \omega_i \dot{x}_i + \omega_i^2 x_i = \frac{f_i}{m_i} \quad (4)$$

ここで、 x_i は一般化変位（ $\{q\} = [\phi]\{x\}$ 、 $[\phi]$ ：各モードの固有ベクトル $\{\phi\}_i$ によるマトリックス、 $\{x\}^T = \{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots\}$ ）、 h_i は減衰定数、 ω_i は固有角振動数（ $=\sqrt{\{\phi\}_i^T [K] \{\phi\}_i / m_i}$ ）、 f_i は一般化波力、そして m_i は一般化質量（ $=\{\phi\}_i^T [\tilde{M}] \{\phi\}_i$ ）である。これらの値は、構造物近傍の流体の関連振動を考慮したものとなっている。波力が慣性項のみで与えられる場合に対して、外力ベクトルは水粒子の深さ方向の加速度分布によって規定されるので、一般的に以下のように表される。

$$\{\tilde{F}\} = \{p_1\} \cos(\omega_0 t) + \{p_2\} \sin(\omega_0 t) \quad (5)$$

ここで、 ω_0 ：波浪の固有角振動数である。従って、一般化波力 f_i は、次のように表される。

$$\begin{aligned} f_i &= \{\phi\}_i^T \{p_1\} \cos(\omega_0 t) + \{\phi\}_i^T \{p_2\} \sin(\omega_0 t) \\ &= p_{1i} \cos(\omega_0 t) + p_{2i} \sin(\omega_0 t) \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、一般化変位、 x_i の無次元量 $\overline{x}_i$ を次のように定める。

$$\overline{x}_i = \frac{k_i}{f_{pi}} x_i, \quad f_{pi} = \sqrt{\{p_1\}_i^2 + \{p_2\}_i^2} \quad (7)$$

k_i は一般化剛性であり、 $k_i = m_i \omega_i^2$ で表される。これを、式(4)に代入すると、 $\overline{x}_i$ の最大値、 $\overline{x}_i)_{max}$ は結局、次のように表すことができる。

$$\overline{x_i})_{max} = \frac{1}{\sqrt{(1-\gamma_i^2)^2 + (2h_i\gamma_i)^2}} \quad (8)$$

すなわち、 $\overline{x_i})_{max}$ は、振動数比 γ_i ($=\omega/\omega_i$) と減衰定数 h_i のみの関数で、一般に図5のような曲線を描く。式(7)より、一般化変位の最大値 $x_i)_{max}$ は、

$$x_i)_{max} = \frac{f_{Di}}{k_i} \overline{x_i})_{max} \quad (9)$$

と表される。従って、ある変形モードにおける最大応答は、次の3つのパラメータによって支配される。

1. $\overline{x_i})_{max}$: 振動数比 γ_i と減衰定数 h_i の効果
2. f_{Di} : 波力とモード形の効果
3. k_i ($=m_i\omega_i^2$) : 剛性、付加質量、モード形の効果

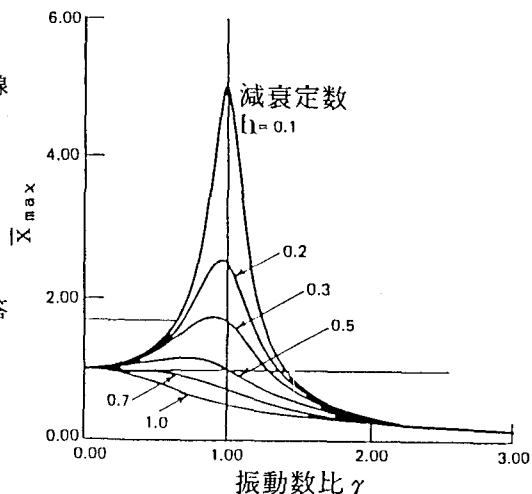
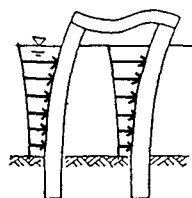


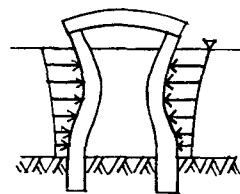
図5 一質点系の応答倍率 ($\overline{x_{max}}$)

特に、同じ固有振動数における深さ方向のモード形状の違いによる着目し、一般化波力・付加質量・一般化剛性の変動にともなう動的応答変化に関してパラメトリック解析を行った。ここで、構造物の動的応答値は外力と構造物の振動数比 γ の値に大きく影響されるが(1. の効果)、一般化波力・付加質量・一般化剛性の変動特性(2. および3. の効果)は振動数比によって影響されないと仮定した。また、本研究では構造物の変形モードのうち、図6に示すレグ水平変位の位相が同じである水平変形モードを対象とし、以後、構造物特性値および応答値には、下添字として“H”を用いる(x_H , m_H , k_H , f_H など)。

波浪の周波数帯は、比較的低周波の領域(周期 6秒~15秒)にその卓越周波数帯を有することが知られている。外力として単一の波力のみを想定した場合、共振現象を避けるために構造物全体の剛性を極端に低くしたり、高めることにより、固有振動数を外力のそれと一致させないことが考えられる(1. の効果)。しかし、実際には、自然界に実在する外力の振動数帯は広域に存在し、例えば地震力という高周波の外力が存在し、硬質な地盤の場合は約 2Hz(周期 0.5秒)の卓越振動数を有するといわれている¹⁰⁾。構造物の低次の変形モードの固有周期を地震の卓越周期に近づけることは逆に危険であり、構造物全体の剛性を高めるという方法は注意を要する。本研究の目的は、周期的な外力を受け共振したとしても居住性を損なわない程度しか振動しない構造形式を検討することであるので、デッキの剛性の高い有脚式鋼製人工地盤の居住性に対して最も影響ある構造物の変形モードとしては、水平変形モードが考えられる。また、水平変形モードは低次の変形モードとして存在し、水平変形モードの中でも深さ方向でのモード形状に着目し水平変形モードで、2. および3. の効果(振動



水平変形モード



対称変形モード

図6 1スパンラーメンの変形モード

数比 γ は一定) に限定して検討することは、十分意義がある。

3. 1 スパンラーメン構造の解析結果及び考察

まず、基本構造モデルとして1 スパンラーメンを取り上げる。これは2本のレグをデッキによってつないだものであると考えることができるが、主に、レグの構造をデッキの構造と相対的に変化させることによって、すなわち部材相関を考慮して構造物の振動応答がいかに変化していくか検討する。振動特性面において望ましいレグおよびデッキ構造の最適強度比を求めることを目的とした。1 スパンラーメンの基本モデル(図7 参照)の諸数値は表1 に示すとおりである。

表1 基本モデルの寸法および波浪に関する諸数値

構造物に関する諸数値								
部材ヤング率 E (tf/m ²)	ν [*] 平均密度 ρ (t/m ³)	ν [*] 管径 D (m)	ν [*] 長 L (m)	s [*] 長 s (m)	デッキ断面積 A _D (m ²)	デッキ重量 W _D (t)		
2.1×10 ⁷	0.20	8	120	50	15	4000		
波浪に関する諸数値								
水深 h (m)	波の振動数 ω ₀ (rad/s)	周期 (sec)	波長 L _w (m)	波高 H (m)	波速 u (m/s)	慣性係数 C _M	抗力係数 C _D	海水密度 W (t/m ³)
100	0.628	10	155.9	4	15.6	2	1	1.03

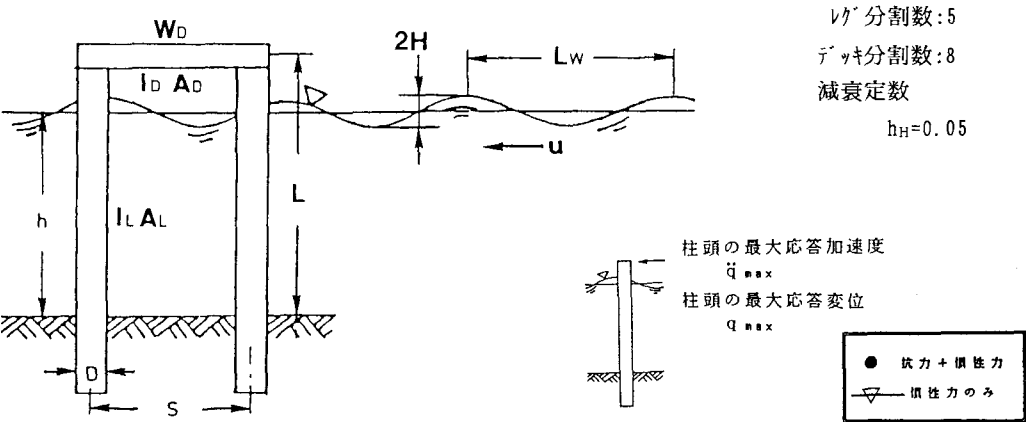


図7 基本構造モデルおよび海洋環境

まず波力算定のための修正モリソン式の適用に関して数値解析の簡便化に影響を及ぼす抗力項について検討する。波浪による海中の単円柱構造物の動揺応答解析の結果を図8に示す。ここでは、波力算定に円柱の直径がパラメータとなつたため、単円柱の直径を一定に保ち、断面2次モーメントを変化させることで振動数比を変化させている。なお、抗力項を含む非線形応答解析

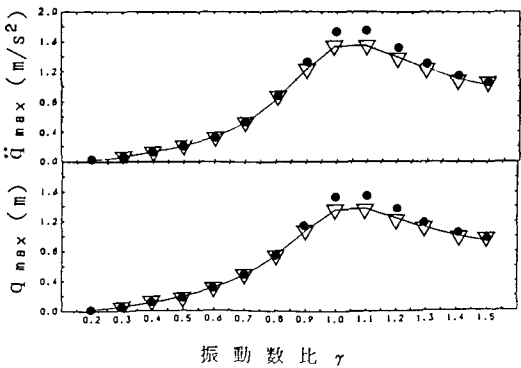


図8 抗力項に対する検討(柱頭の最大応答値)

にはニューマーク β 法 ($\beta = 1/6$, $\Delta t = 0.025 \text{ sec}$) による直接積分を用いた。(●)が抗力項を考慮したときの結果を、実線が慣性項のみ考慮したときの結果を示している。これより、抗力項の影響は振動数比 γ が 0.9未満もしくは1.2以上(共振時を除いた領域)ではほとんど無視することができる事が分かる。解析結果より判断すると、加速度応答として $1(\text{m/sec}^2)$ を越えなければ、構造物のレグ部が受ける波力の算定に抗力項を除いたモリソン式を用いても精度良い応答結果が得られると考えられる。本研究で考慮している波浪の状態では、共振時においても加速度応答がこの値を上回ることなく抗力項の影響をほとんど受けないことが分かったので、また安全側として今後のパラメトリック解析で用いる振動数比は $\gamma = 0.6$ に設定し、抗力項を省いてモード解析法による応答解析を行った。

次に、デッキとレグの曲げ剛度の比(以後、曲げ剛度比と呼ぶことにする)をパラメータとして行った応答解析結果について述べる。水平変形モードに対する固有振動数を一定という条件のもとで、デッキとレグの曲げ剛度比を変えて、

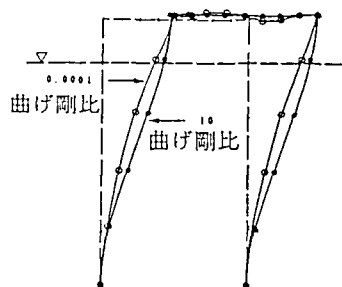


図9 曲げ剛度比の変化にともなう水平変形モードの違い

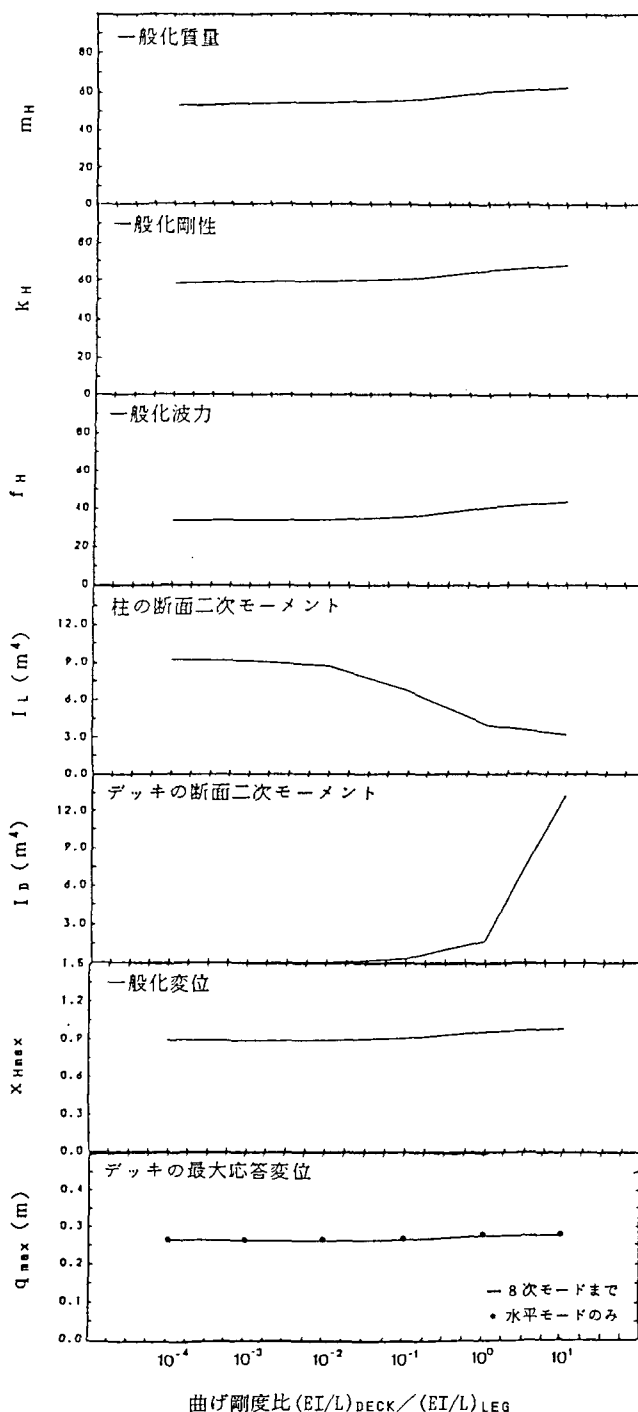


図10 曲げ剛度比をパラメータとした場合の解析結果

構造物の応答の変化に着目し適切な剛度比のあり方について検討する。水平変形モードの違いを図9（曲げ剛度比は0.0001および10に対して）に、また応答値および構造変化を図10に示す。曲げ剛度比が大きくなるにしたがい、水平変形モードにおけるデッキの上下方向の変形は小さくなる。上下方向の振動はレグの曲げ剛度に比してデッキの曲げ剛度を高めることで解決できると考えられる。これに反して、水平方向の最大応答変位は微増している。曲げ剛度比が大きくなると、デッキのレグへの拘束度も高まるためレグの最大縁応力は増加、逆に、デッキの最大縁応力は剛性の増加にともない、減少すると考えられる。構造物の水平変位応答は、各モードの水平変位応答の和として求められるが、最低次数の水平変形モードのみによる構造物の水平変位を（●）で、また、図10には8次変形モードまで考慮したときの水平変位が実線で示されている。ここで、最低次数の水平変形モードの水平変位が構造物の応答を支配し、対称変形モードの水平変位に対する寄与度は非常に小さいことが判る。一般化質量、一般化剛性ならびに一般化波力は曲げ剛度比が大きくなるにつれて、わずかに増加している。式(9)により、一般化変位は、一般化波力に比例し、一般化質量に反比例することがわかるが、曲げ剛度比が大きくなるにつれて一般化波力の増加率が一般化質量のそれを上回るようになるのである。また、質量マトリックスは一定であるため、一般化質量の増加は、モード形の変化に起因するものであると考えられる。図9の水平モード形の変化を注意して見れば、曲げ剛度比を上げてデッキの水平変位量そのものにはほとんど変化がないが、海中部のレグの水平変位量は相対的に増大することになる。このことにより、つぎのような仮説を考えてみた。つまり、デッキ部分のように質量分布の大きな部分の一般化水平変位に対してレグの水中部分の変位が相対的に大きくなれば、一般化波力も同時に大きくなるのは避けられない。したがって逆に、水平変形モード形状に関して、大きな波力の作用するレグ部分の水平変位に対して、重いデッキ部分の水平変位を相対的に小さくすれば一般化質量の増加率を一般化波力の増加に比して小さくすることができ、構造物の応答変位を小さくすることができる。このような考察に基づき、以下のような2つのケースに対してパラメトリック解析を行ってこのような仮説が正しいかどうかを判断することにした。

ケース1：水面上からデッキの位置を高くすることにより、海中上部のレグの水平変位に対してデッキの相対水平変位を大きくする。

ケース2：デッキに付加質量を加え、上部の重量を大きくする。

まず、水面上のデッキの高さをパラメータとした場合の応答解析結果を図11（水平変形モード）および図12（応答値および構造変化）に示す。デッキを高くしても、一般化質量および一般化剛性はほとんど変化しないが、これに反して一般化波力は小さくなる。従って、一般化変位はデッキの高さにともない減少する。図11の水平変形モードの違い（水面からのデッキに高さ：5および50mに対して）から一般化波力の低下が波力を受ける海中部のレグの水平変位量の低減に起因していることがわかる。このようにデッキの高さを大きくすることで加速度・変位応答を小さくし

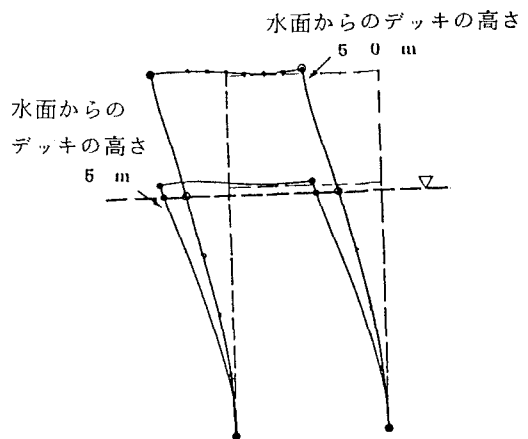


図11 水面上のデッキの高さ変化にともなう水平変形モードの違い

定値に落ちつかせることができるが、構造の変化を見ると、レグおよびデッキの各断面の曲げ剛度をかなり上げねばならないことが分かるため、これらとの兼ね合いを考えた上で、デッキの高さを決めていく必要がある。つぎに、デッキの重量をパラメータとした場合に対する応答解析結果を図13に示す。デッキの重量を増すと、構造物の応答加速度・変位は小さくなる。これは、一般化波力がほぼ一定であるのに対して、振動数比を一定に保つにはデッキ重量増加にともなう一般化質量の増加に合わせて構造物全体の剛性を高める必要があるためである。振動を抑えるためにデッキの重量を増すことは、レグおよびデッキ

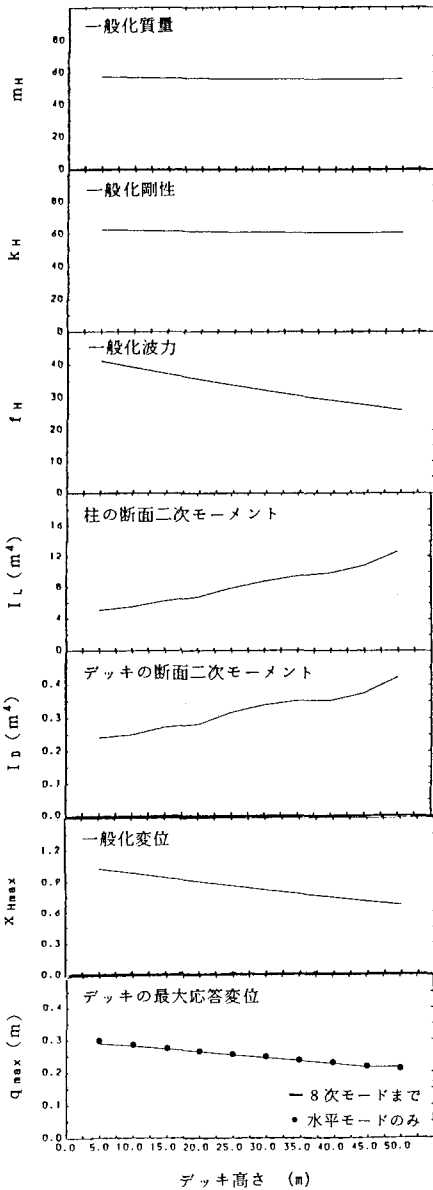


図12 デッキの高さをパラメータ
とした場合の解析結果

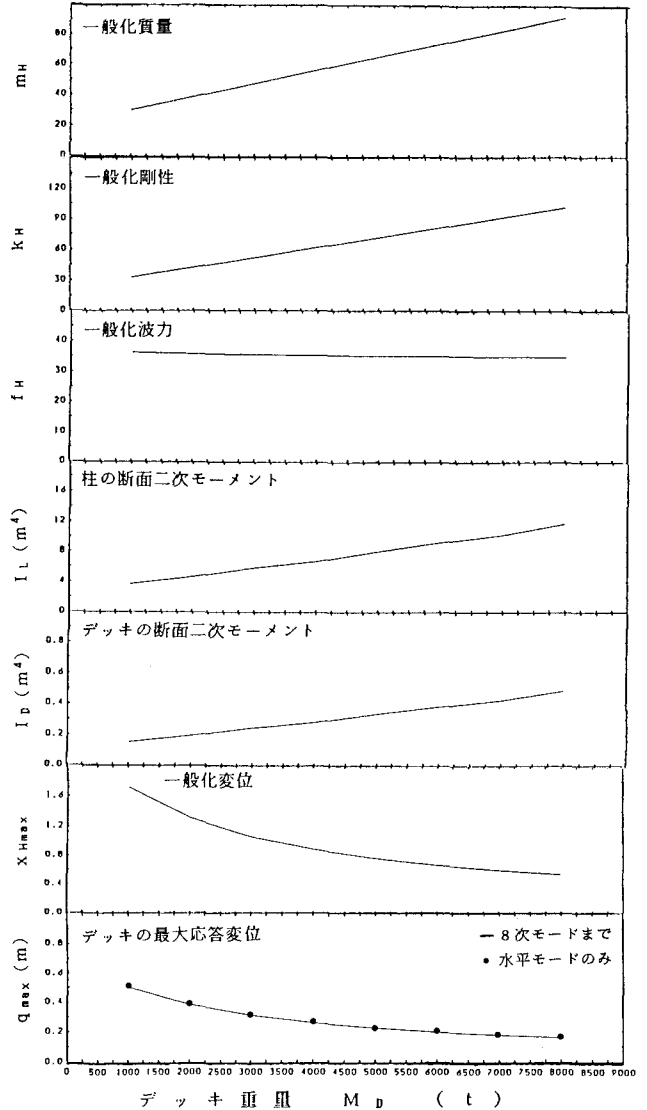


図13 デッキの重量をパラメータ
とした場合の解析結果

の剛性を高めることを必要とするため有効な手法とは考えられない。

以上の結果に加え、1 スパンラーメン構造物の水平変形モードの固有振動数を一定にしたうえで、各種パラメータを設定して行った解析結果より、次の3つの結果が得られ、ここにまとめて示す。

- 1) 構造物の重量は大きくした方が有利であり、特にデッキ部分の重量は大きくすべきである。しかし、構造物の剛性を高める必要がある。
- 2) デッキとレグの曲げ剛度比を変化させても、構造物の振動応答はほとんど変化しない。しかし、デッキの剛性が高いとデッキの上下振動を抑えることができるので有利である。
- 3) デッキの高さを大きくするなどして、一般に波力を受ける部位の変位を小さくして、そうでない部位の相対変位を大きくすることが望ましい。

以上の結果を踏まえて、1 スパンラーメンでこのような振動特性を考慮すれば、次の2つの構造形式が有利であると考えられる。

- ・海面上のレグ部分を長くして、デッキを高くし、そのレグ部位の曲げ剛度を重いデッキの曲げ剛度に比較して小さくする。
- ・ブレース材等の適切な配置で、レグの大きな波力を受ける部分の変位を拘束する。

4. 2次部材の配置・多スパン化に関する考察

実際の構造物には、ブレース材などが補剛のために設けられるものと思われるので、ブレース材の配置の仕方に関して検討した。大水深域における有脚式鋼製人工地盤のレグ部分を設計する場合、無補剛ではレグが非常に長い柱となり、重い上部構造物を支えなければならず、座屈に対する安全照査を必要とする。したがって、適度に各レグ間にブレース材を施すことによってより経済的な設計を行うことができると考えられる。ここでは、ブレース材の配置を工夫することによって、構造物の振動応答を効率よく抑えていく方法について考えていく。まず、ブレース材を配置した構造モデルを図14に示す。ブレース材の配置の仕方としては、通常、トラス構造が採用されることが多いが、ここでは構造解析の簡便化のため、レグをお互いに拘束する一本の梁で置き換えることができると仮定した。ブレース材のサイズはデッキに比例させてあり、その断面積はデッキの0.01倍で、断面2次モーメントはその10倍とした。解析に用いたその他の値は、すべて表1の基本モデル

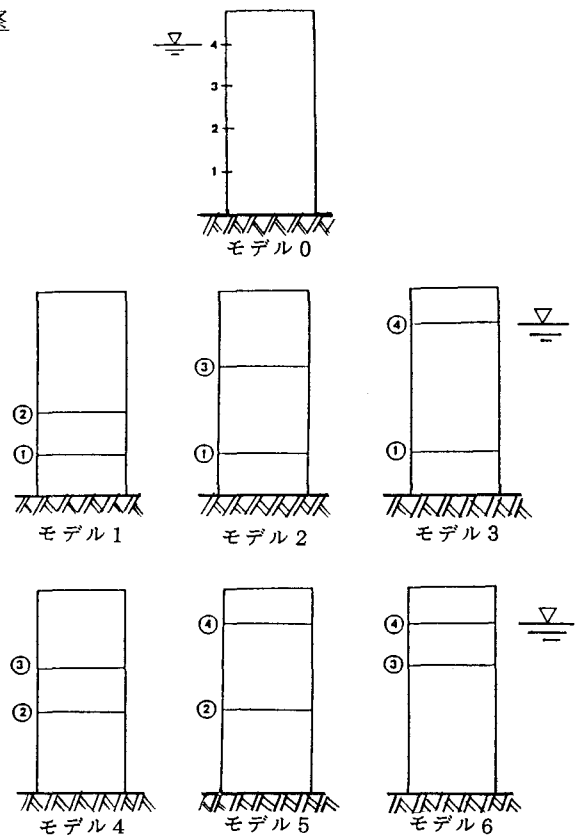


図14 ブレース材を配置を変えたモデル構造物

に等しいものとする。解析結果を図16に示す。特に、モデル0、1、6に対しては表2に比較のため諸数値を記し、水平変形モードの違いを図15に示す。応答最大変位の値より、明らかにモデル1の配置の方が他のモデルに比べて有利であると言えよう。モデル1では、波力を受けるレグの変位が拘束さるが、これに反してデッキが比較的自由なため、水平変形モード形状において、デッキの変位がレグ水中部分の変位に対して相対的に大きくなり、その結果として加速度・変位応答が小さくなったものと考えられる。しかし、モデル6では、ブレース材があたかもデッキの剛性を増すような働きをし、デッキと一体となって揺れるため、水平モード形におけるデッキの変位はかえって小さくなり、そのため一般化質量はブレース材なしの場合（モデル0）とほぼ同等の値となっていることがわかる。すなわち、「レグはできるだけ拘束し、デッキはできるだけ解放するようにブレース材を配置できれば、構造物の振動は効率よく抑えることができる」ということである。ここでは、ブレース材が受ける波力を考慮していないので、よりレグ部材を拘束し水平変位を小さくする必要がある。また、水中下方における波力は上方に比べ比較的小さいため、今までの考察どおりブレース材は下方に配置する方が最適であると考えの上では問題ないと思われる。また、ブレース材を効率よく配置すると、レグやデッキの剛性を小さくしながら、振動を小さくすることができるため、有脚式鋼製人工地盤の設計には不可欠のものであると思われる。

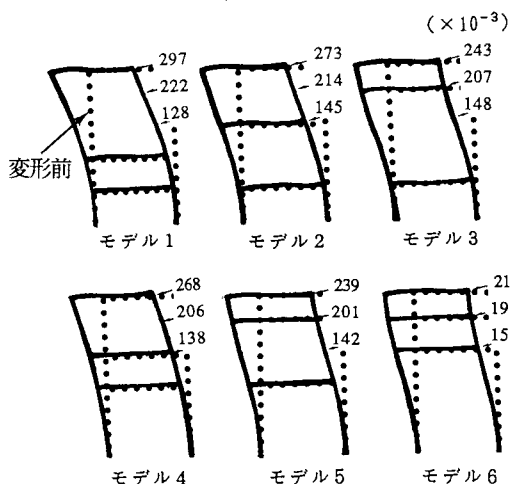


図15 ブレース材を配置を変えた場合
の水平変形モードの比較

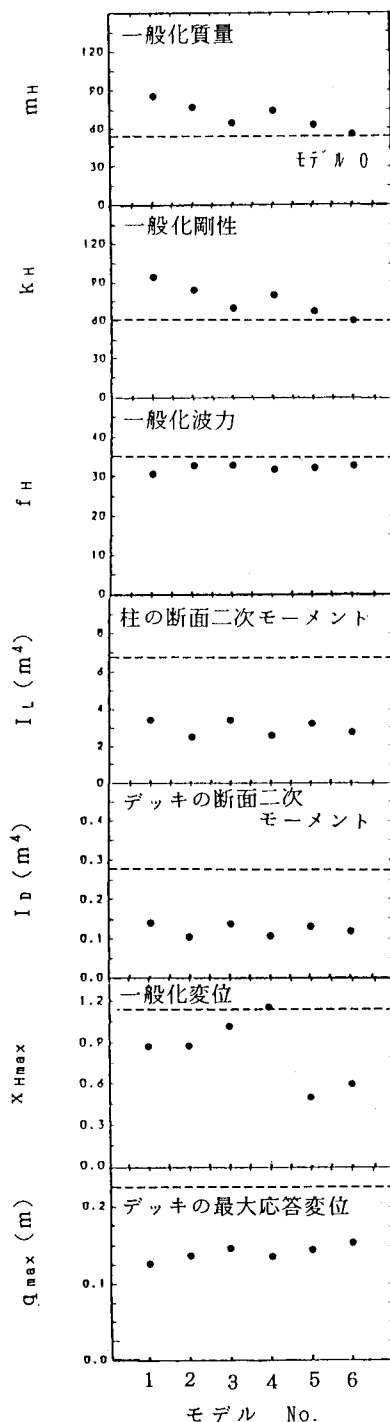


図16 ブレース材を配置を変えた場合の解析結果

「海洋情報都市」は、約50m 間隔のレグが格子状に縦横 100本程度、合計10,000本を列べた大規模な構造物となっている。従って、ここでは、これまで取り上げてきた1スパンラーメンを対象とした解析による考察をもとに、より実的な多スパンラーメンを対象としたパラメトリック解析を行い、レグの本数の影響について検討する。本解析では、レグの本数を増やしていくとき、1スパンラーメンにデッキ部材とレグ部材を等間隔に1組ずつ継ぎ足していくような方法をとる。なお、解析に用いる諸数値は、表1に示す基本モデルのとおりである。解析結果を図17に示す。多少の増減はあるものの、全般的にレグ本数を増やすほど応答は小さくなり、結局ある一定値に落ちつくようである。また、レグ本数を増やして変わるのは、一般化波力のみであることが分かる。すなわち、レグの本数が増えることによって、各レグに作用する波力が構造物全体のスウェイを起こさせないよう互いに逆に作用する確率が高くなる。結局、構造物全体に作用する合計波力ベクトルは、レグの本数が増加するとともに減少し、ある一定値に落ちつき、構造物の水平変位応答もそれに追随しているものと考えられる。このように、レグ本数の変化が受ける波力のみに影響を及ぼすのであれば、単柱や1スパンラーメンについての考察のうち、構造物の重量、剛性、スケールに関する考察は、そのまま多スパンラーメンについても活かせると思われることができる。

5. 結論

本研究では、居住空間としての快適性に着目した有脚式鋼製人工地盤の最適構造形式を検討するために、各部材相関に基づく振動特性をパラメトリック解析により明らかにした。本研究で得られた結果をまとめると以下のようである。

- 1) 振動特性面から優れた有脚式鋼製人工地盤とは、その水平変形モード形において、

表-2 ブレース材の配置による応答の比較

	$q_H)_{max}$ (m)	$x_H)_{max}$ (m)	$f_H)_{max}$ (tf)	$m_H)_{max}$ (t)
モデル 0	0.262	0.907	35.5	55.5
モデル 1	0.117	0.513	31.4	86.7
モデル 6	0.149	0.435	32.8	55.8

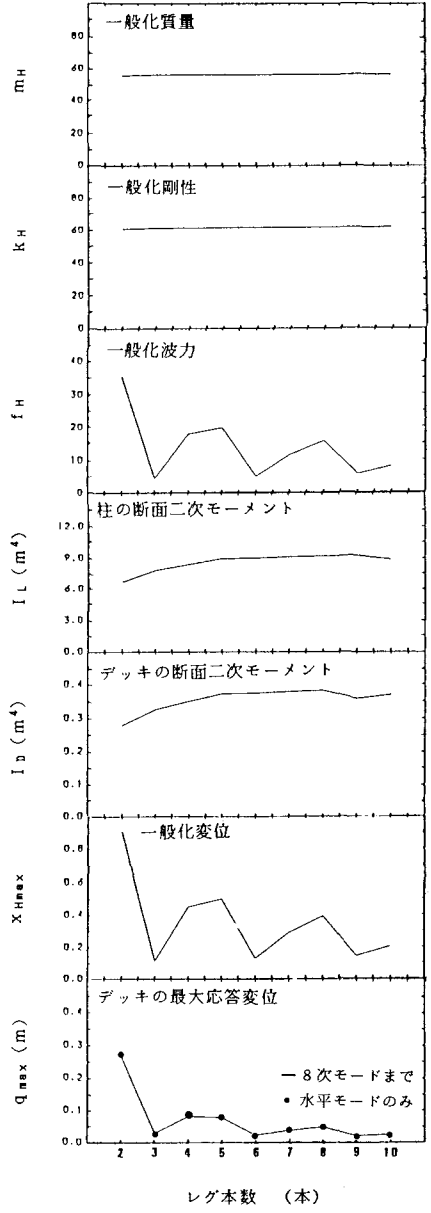


図17 レグ本数をパラメータとした場合の解析結果

重量の大きい部分の変位が大きく、波力を受ける部分の変位が小さいような構造物である。たとえば、デッキの高さをある程度高くしたり、レグの水中下方の部分にブレース材を施したりすれば、この効果を得ることができる。

- 2) レグの本数の影響は、それぞれのレグに受ける波力を打ち消しあう効果となって現れる。構造物全体に作用する波力はレグの本数が増えるにしたがって、次第に一定値に落ちつき、それに伴い、構造物の応答も一定になる。
- 3) 水平変形モードの固有振動数が一定の場合、デッキとレグの曲げ剛度比が構造物の振動に与える影響は小さい。
- 4) 構造物の重量が大きいほど、振動特性面からは有利であるが、水平変形モードの固有振動数を一定に保つためには、剛性もそれに比例させて大きくしなければならない。また、重量の変化が振動に及ぼす影響は、レグ重量より、デッキ重量の方が大きい。

参考文献

- [1] 寺井精英：海洋情報都市，TBSブリタニカ，1986年。
- [2] 武田寿一：構造物の免震・防震・制震，技報堂出版，1988年。
- [3] Hogben, N.: Wave Loads on Structures, Proc. of BOSS' 76, Trondheim, Vol.1, 1976, pp.187-219.
- [4] 伊藤喜行・谷本勝利・小舟浩治：柱状構造物の波力応答計算，港湾技術研究所報告，第2巻，第3号，運輸省港湾技術研究所，1972年，pp.59-86.
- [5] 岩垣雄一：最新海岸工学，森北出版，1987年。
- [6] 荻原国宏：土木学会編 新体系土木工学-25 流体力，技報堂出版，1986年，pp.56-63.
- [7] 土岐憲三：土木学会編 新体系土木工学-11 構造物の耐震解析，技報堂出版，1981年，pp.132-133.
- [8] Roy R. Craig, Jr.: Structural Dynamics, John Wiley & Sons Inc., 1981.
- [9] Clough, R.W., Penzien, J.: Dynamics of Structures, McGraw-Hill Inc., 1975.
- [10] 大崎順彦：地震と建築，岩波新書，1983年。

(1990年10月12日受付)