

# SURE: Shizuoka University REpository

<http://ir.lib.shizuoka.ac.jp/>

Title	1002 分割モード試験における質量と剛性の最適付加位置 (S88-1 宇宙構造・材料(1),S88 宇宙構造・材料)
Author(s)	三澤, 正吉; 小嶋, 茂稔
Citation	年次大会講演論文集 : JSME annual meeting. 2006(5), p. 297-298
Issue Date	2006-09-15
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/4558">http://hdl.handle.net/10297/4558</a>
Version	publisher
Rights	日本機械学会 : 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである

This document is downloaded at: 2017-09-24T23:09:24Z

## 1002 分割モード試験における質量と剛性の最適付加位置

## Optimal Location with Mass and Stiffness in Component Modal Tests

○正 三澤 正吉 (静大工) 学 小嶋 茂稔 (静大院)

Masayoshi MISAWA, Shizuoka University, 3-5-1, Johoku, Hamamatsu, Shizuoka  
Shigetoshi KOJIMA, Shizuoka University

This paper deals with a method to determine dynamic characteristics of space structures by component modal tests. This method uses additional mass and stiffness to consider the effect of untested components. Modal test results depend on a location with additional mass and stiffness. We select optimal location using information about variations of two masses. These masses are found by reducing mass matrices of a tested component and a structure to an arbitrary degree of freedom. It is effective to select the location with large modal amplitude of structure modes for the accuracy of measured frequency and mode in component modal tests. A numerical example is given to show the effectiveness of the method.

**Key Words:** Modal Analysis, Large Space Structures, Component Modal Tests, Additional Mass, Additional Stiffness

## 1. 緒 言

宇宙構造物の大形化にともない、モード試験による振動特性の確認が難しくなっている。このため大形宇宙構造物を複数のコンポーネントに分割し、コンポーネントのモード試験結果から宇宙構造物の振動特性を推定する方法が提案されている<sup>[1]</sup>。本稿では、試験に供さないコンポーネントを付加質量と付加剛性として考慮し、コンポーネントのモード試験によって構造物の振動特性を精度良く得ることを目的として、これらの最適な付加位置について報告する。

## 2. 提案する方法

## 2.1 付加質量と付加剛性

複数のコンポーネントが結合した構造物を対象とし、コンポーネントのモード試験によって構造物の振動特性を得ることを考える。モード試験に供さないコンポーネントの影響を付加質量と付加剛性として考慮する。図1に示すように、質量と剛性を付加する位置(自由度)は同一とし、モード試験に供するコンポーネントの任意の1自由度とする。全自由度を質量と剛性を付加する1自由度  $p$  とそれ以外の自由度  $q$  に分けると、構造物の振動方程式から

$$\begin{Bmatrix} x_{s,q} \\ x_{s,p} \end{Bmatrix} = x_{s,p} \begin{Bmatrix} R_s \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

が得られる。変換ベクトル  $\{R_s\}$  は任意の振動数  $\sigma$  に依存する。式(1)を用いて構造物の振動方程式を自由度  $p$  に縮約すると

$$-\omega_s^2 \bar{M}_s x_{s,p} + \bar{K}_s x_{s,p} = 0 \quad (2)$$

また、モード試験に供するコンポーネント単体の振動方程式を自由度  $p$  に縮約すると

$$-\omega_t^2 \bar{M}_t x_{t,p} + \bar{K}_t x_{t,p} = 0 \quad (3)$$

式(2)と式(3)の違いはモード試験に供さないコンポーネントが考慮されているか否かであり、式(2)と(3)の質量の差

$$\Delta M = \bar{M}_s - \bar{M}_t \quad (4)$$

が付加質量となる。付加剛性も同様にして求められる。

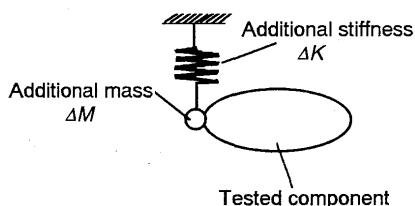


Fig. 1 Test configuration in component modal tests

## 2.2 付加位置の選定

質量と剛性の付加位置は同一なので、以下では質量について述べる。式(1)を書き直すと

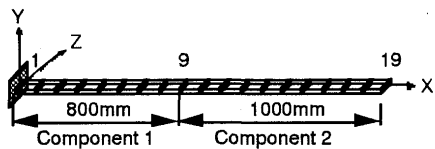
$$\begin{aligned} & \left( \begin{Bmatrix} K_{s,qq} \end{Bmatrix} - (2\pi\sigma_s)^2 \begin{Bmatrix} M_{s,qq} \end{Bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} x_{s,q} \end{Bmatrix} \\ & = -x_{s,p} \left( \begin{Bmatrix} K_{s,qp} \end{Bmatrix} - (2\pi\sigma_s)^2 \begin{Bmatrix} M_{s,qp} \end{Bmatrix} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

振動数  $\sigma$  を 0 から増加させると、質量を付加する自由度の変位  $x_{s,p}$  が 0 でなくても式(5)の右辺が 0 になる振動数が存在する。この振動数は質量を付加する自由度を固定した時の構造物の固有振動数に等しく、質量  $\bar{M}_s$  はこの振動数(ピーク振動数)で増大する。したがって、 $\bar{M}_s$  のピーク振動数が測定対象とする構造物の固有振動数に接近すると、振動数  $\sigma$  の小さな変化にも付加質量は大きく変化する。このため、コンポーネントのモード試験によって精度良く構造物の固有振動数を得ることができない。したがって、付加質量のピーク振動数を構造物の固有振動数から離す必要があり、構造物の変位の大きな位置を選定することが有効である。

試験に供するコンポーネントについても同様のことが言える。質量  $\bar{M}_t$  のピーク振動数が構造物の固有振動数に近づくとき質量  $\bar{M}_t$  は大きく増加し、この振動数近傍で付加質量が負になる。このため、質量  $\bar{M}_t$  のピーク振動数が構造物の固有振動数から離れるように付加位置を決める必要がある。この場合 2つの方法が考えられる。測定対象とする構造物の  $i$  次の固有振動数がコンポーネントの  $j$  次と  $j+1$  次の固有振動数の範囲にあるとする。構造物の固有振動数が  $j$  次あるいは  $j+1$  次のコンポーネントの固有振動数に近い時、質量  $\bar{M}_t$  のピーク振動数をこれらの固有振動数から離すには両者の中間に持っていくことが有効であり、コンポーネントのモードで変位の大きな点が付加位置となる。一方、構造物の固有振動数がコンポーネントの  $j$  次と  $j+1$  次の固有振動数の中間にある場合には、質量  $\bar{M}_t$  のピーク振動数を  $j+1$  次のコンポーネントの固有振動数に近づけることにより構造物の固有振動数から離すことができる。

## 3. 数値計算例

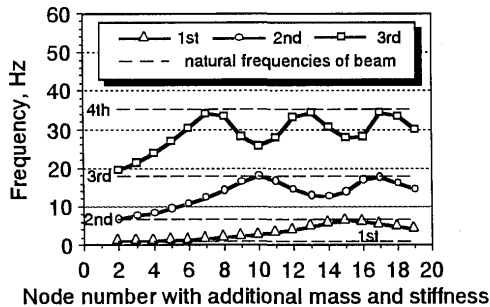
図2に示した節点数 19 の片持梁を用いて数値計算を行った。片持梁は節点 9 を境界節点とする 2つのコンポーネントからなる。簡単のため、紙面内の曲げ振動のみを対象とする。以下では、紙面の都合上、コンポーネント 1 をモード試験に供する場合の結果を示す。



**Material properties**  
 Young's modulus =  $7.6 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$   
 Density =  $1.6 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$

**Cross section**  
 Height = 3mm  
 Width = 10mm

**Fig. 2 Analytical model**

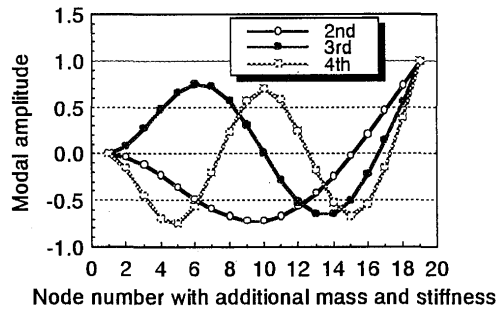


**Fig. 3 Variation in peak frequencies of reduced mass  $\bar{M}_s$**

片持梁の各節点ごとに質量と剛性を付加するとき、質量  $\bar{M}_s$  のピーク振動数の変化を図3に示す。図には、片持梁の固有振動数も破線で示した。質量と剛性の付加位置を変化させると、1次のピーク振動数は片持梁の1次固有振動数から上昇し、節点15では2次固有振動数にほぼ等しい値をとる。2次のピーク振動数は節点10と節点17で3次固有振動数にほぼ等しい値をとり、極小値をとる節点14で片持梁の固有振動数から離れる。ピーク振動数が片持梁の固有振動数に近い値をとる節点は、図4に示したモードから分かるように、モードの節である。また、ピーク振動数が極小値をとる節点はモードの腹に近いことが分かる。したがって、 $\bar{M}_s$  のピーク振動数を測定対象の片持梁の固有振動数から離すには、片持梁の変位の大きな点を付加位置として選定する必要がある。例えば、コンポーネント1を試験する場合、片持梁の変位の大きな点として、1次モードは節点9、2次モードも節点9、3次モードは節点7が質量と剛性の付加位置として選定される。

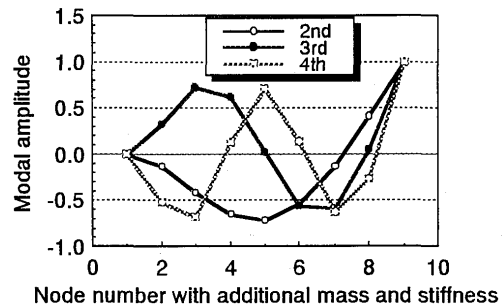
一方、質量  $\bar{M}_s$  のピーク振動数を測定対象の片持梁の固有振動数から離すことによって、その固有振動数近傍で付加質量と付加剛性が負になることを避けることができる。表1に示すように、片持梁の2次固有振動数 6.4Hz はコンポーネント1の固有振動数 5.2Hz と 32.3Hz の間にあり、5.2Hz に近い。このため、質量  $\bar{M}_s$  の1次ピーク振動数を片持梁の固有振動数から離すには、コンポーネント1の2次モードで変位の大きな節点9が付加位置として選択される(図5参照)。3次固有振動数 17.9Hz はコンポーネント1の固有振動数 5.2Hz と 32.3Hz のほぼ中間にあるため、質量  $\bar{M}_s$  の1次ピーク振動数を片持梁の固有振動数から離すにはコンポーネント1の2次モードで節となる節点7を付加位置として選定する必要がある。

質量と剛性の付加位置を変え、測定対象の片持梁の固有振動数の精度を調べた。一例として、コンポーネント1の

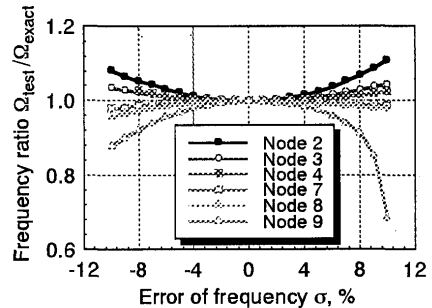


**Fig. 4 Mode shape of cantilever beam**

Mode number	Beam	Component 1
1	1.0	5.2
2	6.4	32.3
3	17.9	90.5
4	35.0	177.7



**Fig. 5 Mode shape of component 1**



**Fig. 6 Frequency accuracy of the third mode**

モード試験によって片持梁の3次固有振動数を得る場合の結果を図6に示す。上述したように、3次モードでは節点7が質量と剛性の付加位置として選定されるが、振動数  $\sigma$  に誤差がある場合でも、1%程度の誤差で片持梁の3次固有振動数を得ることができる。

**4. 結論**

コンポーネントのモード試験によって構造物の振動特性を精度良く得ることを目的として、質量と剛性の最適な付加位置について提案し、その有効性を示した。

**参考文献**

[1] Misawa, M., and Funamoto, K., "Dynamic Characteristic Prediction of Large Satellite Antennas by Component Tests," *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 42, No. 5, September-October, 2005, pp. 845-849.