

(29) 裾梁付き免震シェルおよびそのファジィ振動制御に関する研究

A STUDY ON BASE ISOLATION SHELL WITH EDGE BEAM
AND FUZZY VIBRATION CONTROL OF THE STRUCTURE

新宮 清志* 福島 欣哉**

Kiyoshi SHINGU Kinya FUKUSHIMA

A seismic isolation and fuzzy vibration control systems, which are comprised of a shell with springs and variable dampers between the shell and the ground, have been proposed. When the shell shakes due to vertical seismic forces, the seismic isolation system is implemented. This system is named a Seismic Isolation Shell Structure or a Base Isolation Shell Structure. Further, vibration control of the structure is carried out. Then the damping ratios are adjusted by fuzzy theory, and stresses in the shell are reduced. The shell used here has a edge beam.

Key Words: base(seismic)isolation shell, fuzzy control, edge beam

1. まえがき

最近、ラーメン構造については耐震、免震、制振(震)についての研究が多く行われている^{1)~3)}。新宮等はシェル構造物の振動制御に関し、ファジィ理論を応用した研究を行ってきた^{4)~9)}。さらに筆者は、地盤とシェルとの間にバネと可変ダンパーを付加した構造物「免震シェル構造」を命名、提案し、その振動性状を明らかにしてきた^{10)~13)}。これらは、裾梁無しの円錐形シェル及び球形シェルに関するものである。一般に回転体シェルは裾梁を有することが多い^{14), 15)}。そこで、さらに裾梁付き免震円錐形シェルの固有振動性状を明らかにしてきた^{16), 17)}。

本論は、上下動地震を受ける裾梁付き免震円錐形シェル構造の振動特性およびそのファジィ振動制御結果について述べ、本構造の有用性を明かにしたものである。

2. 解析モデル

2.1 円錐形シェル

本論では、文献17)と同様にシェルと地盤との間に、水平方向には剛で鉛直方向には、柔なバネとオイルダンパーを付加した免震円錐形シェル構造を用いる。この解析モデルを図1に、支持部分を図2に示す。

* 工博 日本大学教授 理工学部海洋建築工学科、大学院理工学研究科情報科学専攻

(〒274 船橋市習志野台7-24-1)

** 修士 三菱重工業(株)

(〒733 広島市西区観音新町1-17-18)

シェル及び椀梁の材料定数等は以下のとおりである。

$E = 1.38 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ (シェルの等価ヤング係数)

$\nu = 0$ (シェルのポアソン比)

$t = 1.0 \text{ m}$ (シェル厚)

$\rho = 4.079531 \times 10^{-7} \text{ Kg/cm}^2 \cdot \text{sec}^2$ (シェルの質量密度)

$E_b = 2.1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ (椀梁のヤング係数)

$\nu_b = 1/6$ (椀梁のポアソン比)

$\rho_b = 2.448979 \times 10^{-5} \text{ Kg/cm}^2 \cdot \text{sec}^2$ (椀梁の質量密度)

$M_a = 3085.41 (\text{Kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm})$: 椀梁付きシェルの全質量

要素数 : 円錐台要素 20, 三角形断面リング要素 16

バネ定数 K_a とシェルの全質量 M_a との比 $K_a / M_a = 10^0, 10^1, \dots$ の時をそれぞれ $K_0, K_1, \dots$ と呼称する。ここでは、主に K_1 の場合について論ずる。

2.2 支持条件

椀梁付き非免震シェルの場合で椀梁の底面が全面ピン支持の場合を $H1$ と呼称する (図2)。この場合の境界条件としては椀梁底面において、鉛直方向変位 $u^* = 0$ 、緯線方向変位 $v^* = 0$ 、水平方向変位 $w^* = 0$ 、回転角 $\chi^* \neq 0$ とする。椀梁の大きさは $2.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ である。

また、椀梁底面の全面と地盤との間にバネとダンパーを付加した椀梁付き免震シェルの場合を $SD1$ と呼称する (図2)。この場合の境界条件としては、スプリングとダンパーの下端において鉛直方向変位 $u^* = 0$ 、緯線方向変位 $v^* = 0$ 、水平方向変位 $w^* = 0$ 、回転角 $\chi^* = 0$ とする。

3. シェルの振動解析

回転体シェル・椀梁部分ともに変位関数、歪と変位の関係、応力と歪の関係はいずれも文献(17)と同じであるので省略する。

一般に建築構造物には、上下動地震及び水平動地震が作用し両者の影響が考えられるが、比較的扁平なシェルでは水平動地震に比べ上下動地震の影響が大きい¹⁵⁾。

本論では、上下動地震 (緯線方

向展開次数 $n = 0$) について検討を行う。上下動の入力地震加速波形としては、1978年6月12日の宮城県沖地震を用いた。この最大加速度は4.18秒において152.99galであるが、最大が200galになるように拡大して用いた (図3)。地震応答解析に当たっては逐次積分法を用い、減衰率 $\zeta = 0.02$ とし、質量比例型の減衰行列

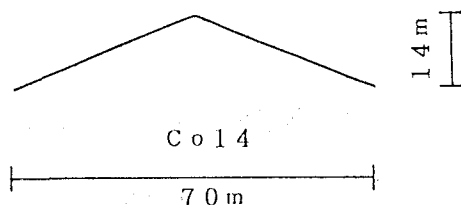
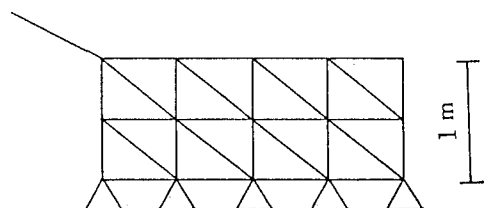
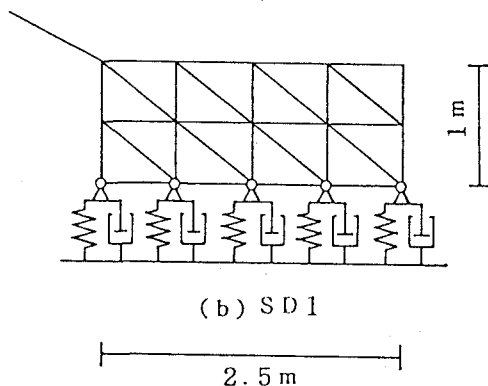


図1. 解析モデル



(a) H1



(b) SD1

図2. 支持部分

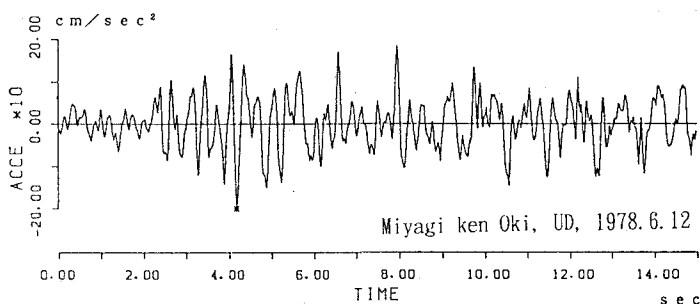


図3. 入力地震加速度波形

を用いた。なお、 $\beta = 1/4$ とし、微小時間間隔 $h = 0.02$ 秒とした。

4. 制御理論

振動制御には、ファジィ推論を用いる。ファジィ推論法・制御方法・制御規則等は、文献(1)と同じであるので省略する。

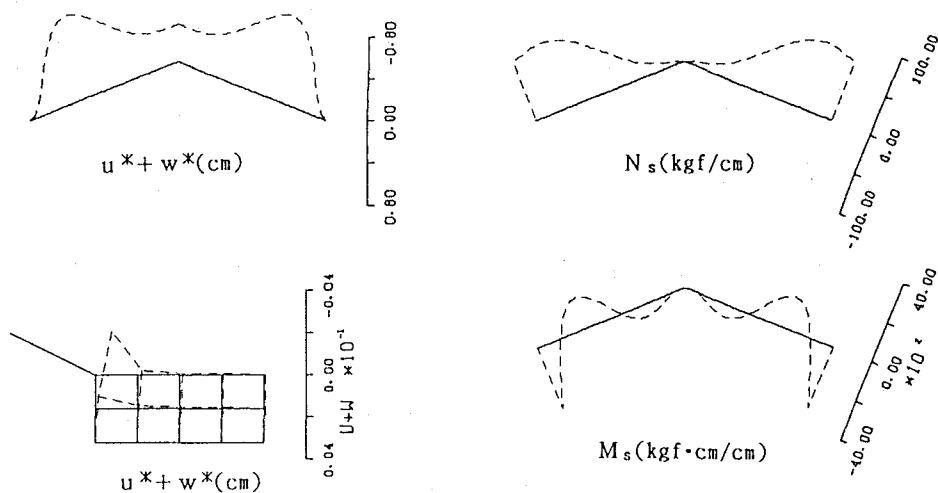


図4. 裾梁付き非免震円錐形シェルの変形・応力 (Co14 H1, 非制御時)

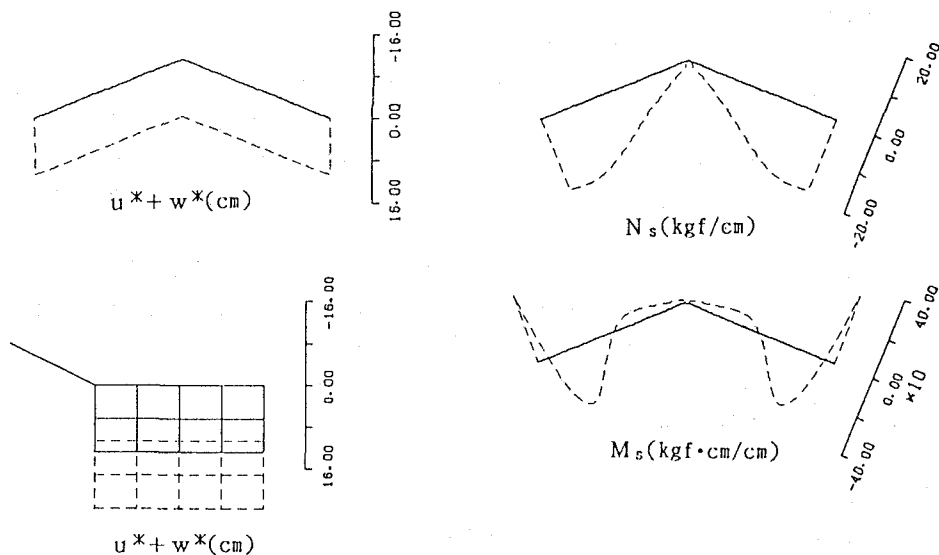


図5. 裾梁付き免震円錐形シェルの変形・応力 (Co14 SD1 K1, 非制御時)

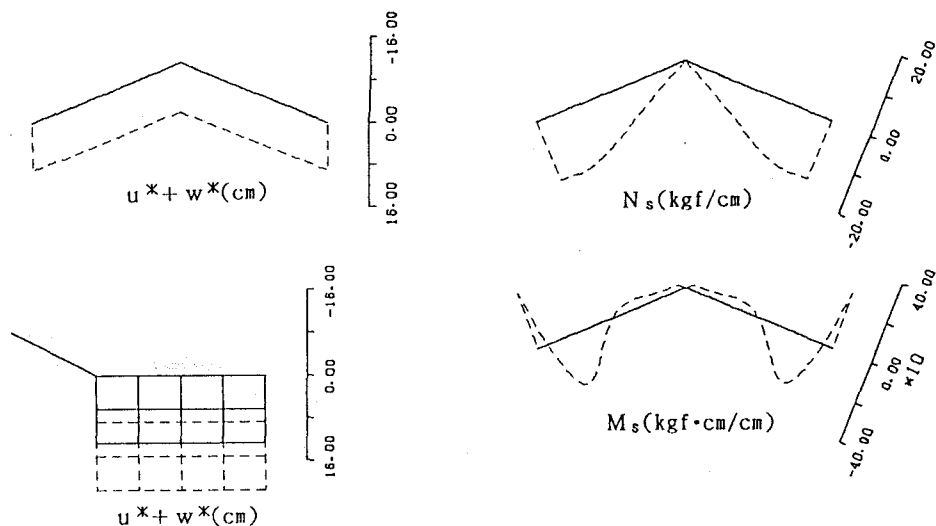


図6. 裾梁付き免震円錐形シェルの変形・応力 (Col4 SD1 K1、ファジィ制御時)

5. 解析結果

非免震・非制御の場合の変形（シェルおよび裾梁）・応力（経線方向軸力 N_s および経線方向曲げモーメント M_s ）を図4に示す。

免震・非制御の場合の変形（シェルおよび裾梁）・応力（経線方向軸力 N_s および経線方向曲げモーメント M_s ）を図5に示す。

免震・制御の場合の変形（シェルおよび裾梁）・応力（経線方向軸力 N_s および経線方向曲げモーメント M_s ）を図6に示す。

6. 考察及び結論

限られた範囲での解析であるが、次のことが言える。

- 1) 非免震・非制御の場合、シェル及び裾梁の弾性変形がかなり生じている。これに対し免震・非制御の場合、シェル及び裾梁部分ともに弾性変形は小さく、剛体変形が支配的である。したがって、前者に比し後者の応力は極めて小さい。具体的には経線方向軸力 N_s 、経線方向曲げモーメント M_s は、それぞれ前者に対し後者の大きさはわずか20%、10%程度となっている。これらはK1の場合である。K0の場合は図には示していないがそれぞれ概略2%、1%程度である。
- 2) ファジィ制御することにより全体の変位及び応力が減少している。すなわち弾性変形はより小さくなり、剛体変形もさらに小さくなっている。剛体変形は概略25%の減少である。応力で見ると経線方向軸力 N_s は約20%減少し、経線方向曲げモーメント M_s は約15%減少している。
- 3) 上記に示すように裾梁付き免震シェル構造の有用性を明らかにすることができた。さらに、ファジィ制御の有効性についても明らかにすることができた。

7. 今後の課題

本論では軸対称問題として扱ったが、今後は水平振動の影響も考慮して行きたい。また、実験により検証を進めて行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 武田寿一：構造物の免震・防振・制振，技報堂出版，1988年5月
- 2) (財)海洋都市開発研究会：アクティブ制御－最新事例と海洋都市への適用－，日刊工業新聞社，1992年3月
- 3) 篠塚正宣、北川良和、藤野陽三、他13名：ミニ特集建築・土木における制御技術，計測と制御，計測自動制御学会，Vol. 31, No4. pp461 508, 1992年4月
- 4) 新宮清志，川西利昌，春本光紀，船本大蔵：地震力を受けるシェル構造へのファジィ制御の応用，日本ファジィ学会，第6回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp227 230, 1990年9月
- 5) K. Shingu, T. Kawanishi & M. Harumoto: A Study on Active Control of a Conical Shell Subjected to Seismic Forces, Proc. of IASS, East Germany, Vol. 1, pp33 42, Oct. 1990
- 6) K. Shingu, M. Harumoto & D. Funamoto: Fuzzy Control of a Rotational Shell Subjected to Dynamic Loads, Proc. of IASS, Denmark, Vol. 3, pp305-309, Sep. 1991
- 7) 新宮清志，船本大蔵：動的外力を受けるシェル構造物および質点系のファジィ制御，日本機械学会論文集(C編)，第58巻550号，pp56 61, 1992年6月
- 8) 新宮清志，福島欣哉：地震力を受ける回転体シェルのファジィ制御に関する研究，日本ファジィ学会誌，第5巻3号，pp650 662, 1993年6月
- 9) K. Shingu & K. Fukushima: Study on Fuzzy Control of Rotational Shells Subjected to Seismic Forces, Japanese Journal of Fuzzy Theory and Systems, Vol. 5, No3, pp447 463, Allerton Press Inc. New York, May 1994
- 10) 新宮清志：上下地震動下のシェルの免震およびファジィ振動制御，日本建築学会，第2回「シェル・空間構造」セミナー，pp15 22, 1993年11月
- 11) 新宮清志，福島欣哉：上下動地震を受けるシェルのファジィ制御及び免震，土木学会，第3回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集，pp181 186, 1993年12月
- 12) 新宮清志，福島欣哉：上下動地震を受けるシェル構造物の免震およびファジィ振動制御，日本機械学会論文集(C編)，第60巻577号，pp2999 3005, 1994年9月
- 13) K. Shingu & K. Fukushima: Base Isolation Shell Structure Subjected to Seismic Forces and Fuzzy Vibration Control of the Structure, Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 44, pp181-190, Nov. 1995 (in press)
- 14) T. Nishimura & K. Shingu: Study on Dynamic Response Analysis of Rotational Shell with Edge Ring, Proc. of Word Congress on Shell and Spatial Structures, Spain, Vol. 1, pp2.107 2.121, Sept. 1979
- 15) 西村敏雄，新宮清志：上下動および水平動地震を受ける裾梁付回転体シェルの動的応答に関する研究，日本建築学会論文報告集，第326号，pp47 59, 昭和58年4月
- 16) 新宮清志，福島欣哉，川村仁：裾梁付免震シェルに関する研究(その1. 固有振動解析)，日本建築学会大会学術講梗概集，2910, pp1819 1820, 1994年9月
- 17) 新宮清志，福島欣哉：裾梁付き及び裾梁無し免震円錐形シェル構造の固有振動性状，日本建築学会，構造工学論文集，Vol. 41B, pp41 53, 1995年3月