

I-640

積層ゴムの大変形解析の一方

日本大学大学院 学生員 石黒 平樹利 日本大学

正会員 塩尻 弘雄

日本大学

正会員 石川 文敏

電力中央研究所

正会員 松田 泰治

電力計算センター 正会員 野村 幸男

1 はじめに

近年、積層ゴムは製造技術の向上によってその特異な力学的特性により免震装置として幅広く使用されてきている。積層ゴムの力学的特性はモデル実験や、比較的小さい歪に対する理論式、有限要素法等により評価されている。しかし、大型構造物や軟弱地盤への適用や、また大地震への対応として大変形における挙動の検討が必要である。解析方法としては、有限要素法があるが、膨大な計算量を要するためパラメーター解析には不向きと考えられる。ここでは、より簡単な方法として、積層ゴム一層一要素とし、内挿関数の次数を変化させることのできる特殊な有限要素法で検討する。

2 方法

鋼板は、板理論に従うものとし、この中心に節点を設ける。水平変位 U 、鉛直変位 V 、回転変位 Φ 、曲げ変位 $a_{21}X^2 + a_{31}X^3$ を変数とする。ゴム内は、下部鋼板の上端変位と上部鋼板の下部変位を線形に内挿する変位関数と、上下端で値が0の変位関数の組み合わせからなるものとする。内挿関数は、水平方向は多項式、鉛直方向はフーリエ項数を用いる。混合法を使用する場合は、圧力の内挿関数も加える。Greenの歪テンソルを用い、超弾性体として定式化する。等方体と考え歪の不変量でエネルギー関数を表す。非線形方程式であるため、増分形方程式として扱う。

3 計算例

積層ゴムの鋼板を剛体と考えてその曲げ変形を無視した2つの積層ゴムを基本ケースとして扱う。一つは、ゴム厚8.4mm剛板2mm半径35mm全厚50mmとした5層モデルで、垂直方向に1.7929mmの強制変位を加えた水平方向に徐々に強制変位を加えたケース、もう一つは、ゴム厚10mm剛板5mm半径100mm全厚20mmの一層からなる積層ゴムで、水平方向垂直方向に徐々に強制変位を加えたケースである。2つのモデルの圧縮、せん断方向の内挿関数フーリエ項数、多項式次数を変化させた。表-1は、5層モデルでのせん断歪240%のケースである。圧縮歪は、内挿関数の次数が小さいとばらつきが見られるが、水平応力と最上層のモーメントは、小さい次数からも安定した結果が得られた。表-2は、1層モデルでのせん断歪500%のケースである。圧縮応力、最上層のモーメントは、内挿関数の次数が小さいとばらつきが見られるが、水平応力では、精度の高い結果が得られた。2者のケースとも上下方向では、5層モデルでは4次以上、1層モデルでは1次以上で安定した結果が得られた。図-1、図-2は、5層モデル $M:7 \quad N:5 \quad MD:7 \quad ND:4$ の解析結果と実験結果¹⁾、FEM解析結果²⁾、である。三者の結果は、ほぼ同一の値が得られた。

4 まとめ

2つの積層ゴムモデルの解析を行った。解析結果、実験結果、FEMの結果ほぼ近い値が得られた。本手法は、内挿関数の次数を変化させることで比較的小さい自由度で安定で精度の良い解析結果が得られることが証明できた。

表-1 5層モデルでの内挿関数の変化の影響

	M	N	MD	ND	H. R. F (MPa)	R. M (Kg. mm)	V. D (%)
ケース1	0	1	0	1	0.8808	254	1.683
ケース2	1	1	0	1	0.8801	248	3.440
ケース3	3	1	3	1	0.8800	248	3.413
ケース4	4	3	4	3	0.8453	225	16.80
ケース5	5	4	5	4	0.8414	223	17.78
ケース6	8	4	8	4	0.8402	223	17.98
ケース7	7	5	8	3	0.8178	211	24.76
ケース8	7	8	8	5	0.8204	212	24.52
ケース9	7	5	7	4	0.8288	215	22.80

M : 変位のY方向内挿関数フーリエ項数
N : 変位のX方向内挿関数多項式次数
MD : 圧縮のY方向内挿関数フーリエ項数
ND : 圧縮のX方向内挿関数多項式次数
H. R. F : せん断応力
R. M : 最上層のモーメント
V. D : 圧縮率

表-2 1層モデルでの内挿関数変化の影響

	M	N	MD	ND	H. R. F (MPa)	V. R. F (MPa)	R. M (Kg. mm)
ケース1	0	1	0	1	0.2377	0.4518	2670
ケース2	1	1	0	1	0.2372	0.0410	572
ケース3	3	1	3	1	0.2372	0.0446	591
ケース4	3	2	3	2	0.2372	0.0393	564
ケース5	4	2	3	2	0.2372	0.0356	545

M : 変位のY方向内挿関数フーリエ項数
N : 変位のX方向内挿関数多項式次数
MD : 圧縮のY方向内挿関数フーリエ項数
ND : 圧縮のX方向内挿関数多項式次数
H. R. F : せん断応力
V. R. F : 圧縮応力
R. M : 最上層のモーメント

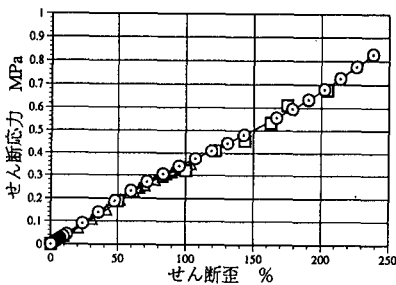


図-1 せん断歪とせん断応力の関係

○	解析結果
□	実験結果
△	FEM

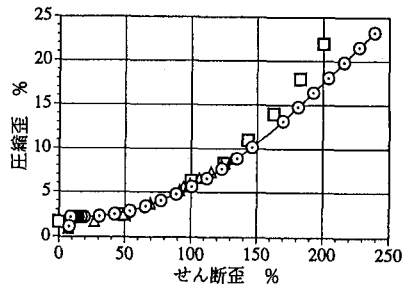


図-2 せん断歪と圧縮歪の関係

(参考文献)

- 1) 松田、塩尻『伝達マトリックス法による積層ゴムの簡易解析法』日本建築学会構造工学論文集 V o l . 3 9 B (1993年3月)
- 2) 塩尻、松田『積層ゴムの有限要素法による解析(その2)専用コードの開発』日本建築学会大会学術講演概集 1992