

天然ゴム系積層ゴムの水平・上下連成部材モデルの構築に関する研究  
その2. シミュレーション解析結果

Study on construction of mechanical model for behavior of natural rubber bearings  
under combined loads of compression and shear

Part2. Results of simulation analysis

○阿久戸信宏<sup>1</sup>, 秦一平<sup>1</sup>, 郭鈞桓<sup>2</sup>, 藤生浩純<sup>3</sup>

\*Nobuhiro Akuto<sup>1</sup>, Ippei Hata<sup>1</sup>, Chunhuan Kuo<sup>2</sup>, Hirozumi Fujii<sup>3</sup>

Abstract: In this paper, a simulation analysis was conducted using the proposed model of Natural rubber bearings. The seismic ground motions were input same time in two directions, horizontally and vertically. The analysis results show that the time response of the proposed model with the horizontal and vertical dependency is significantly different from that of other models without the dependency.

1. はじめに

前報その1では、積層ゴムの面圧変動について考慮するため、水平・上下連成部材モデルの提案をした。

本報その2では、提案した部材モデルの妥当性について検証するため、天然ゴム系積層ゴムの縮小試験体を用いた水平・鉛直性能試験結果と比較確認する。さらに、提案する部材モデルの連成解析を実施し時刻歴応答結果について考察する。

2. 性能試験概要

天然ゴム系積層ゴムを用いた水平・鉛直性能試験を実施するためのセットアップ図を Fig.1 に示す。性能検証試験には、油圧アクチュエータ(最大加力:±400[kN], 最大ストローク:±200[mm], 最大速度:1.0[m/s])を3台使用する。試験では、油圧アクチュエータ2台と載荷梁を用いて試験体に面圧を負荷させ、1台の油圧アクチュエータで試験体に水平変形を与える。試験体に負荷される鉛直荷重と水平荷重は3軸ロードセル(水平2方向±150[kN], 鉛直方向1[MN])を用い、試験体の水平及び鉛直変形は変位センサを用いて計測する。

試験に用いる試験体諸元及び試験条件を Table1, Table2 に示す。各試験で加振周期4.0[s]の正弦波振幅を与える。なお、Table2 の数字は加振波形のサイクル数を示す。水平性能試験は所定の面圧を負荷した状態で、せん断ひずみを与える圧縮せん断試験とする。試験条件は基準面圧  $\sigma_0 = 0$  [MPa]から $\sigma_0 = 15$  [MPa]の4水準、せん断ひずみ  $\gamma$  は  $\gamma = 0.5$  [-]から  $\gamma = 3.0$  [-]の6水準の計24ケースを実施する。鉛直性能試験は試験体にオフセットせん断ひずみを与えた状態で基準面圧  $\sigma_0 \pm 30$  [%]に相当する鉛直荷重を与える。試験条件は

基準面圧 5[MPa]から 15[MPa]の3水準、オフセットせん断ひずみ  $\gamma_0$  は  $\gamma_0 = 0$  [-]から  $\gamma_0 = 0$  [-]の7水準の計21ケースを実施する。

各性能試験より得られた3サイクル目の復元力特性を抽出し部材剛性を評価する。各入力方向に対する剛性評価式および概要図を Fig.1 に示す。

Table1 Parameters of specimen

$G$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_0$ [MPa]	$\gamma$ [-]	$k_{h0}$ [kN/m]	$k_{v0}$ [kN/m]
0.392	39800	15	1.0	348	850000

Table2 Test conditions

Horizontal performance test	$\gamma$					
	50	100	150	200	250	300
$\sigma_0$ [MPa]	0	3	3	3	3	3
	5	3	3	3	3	3
	10	3	3	3	3	3
	15	3	3	3	3	3
Vertical performance test	$\gamma_0$					
	0	50	100	150	200	250
$\sigma_0$ [MPa]	5	3	3	3	3	3
	10	3	3	3	3	3
	15	3	3	3	3	3

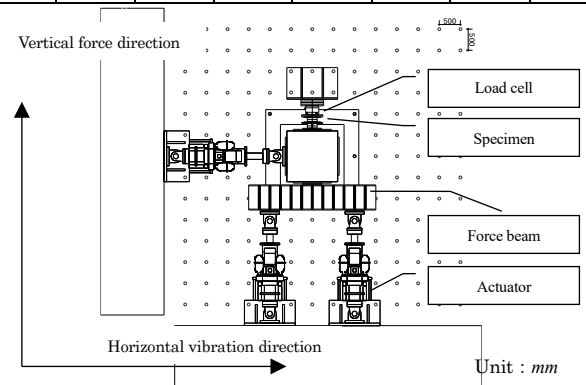


Fig.1 Test setup

3. 性能確認試験結果

Fig.3 に部材性能試験結果を示す。また、本研究で提案した部材剛性評価式を用いて算出した剛性を理論値

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・任期制職員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

とし、抽出した試験結果と比較する。理論値に用いる各諸元は、性能使用に記載されている値を用いる。

Fig.3 (a), (b) に水平性能試験結果を示す。グラフの縦軸は、面圧依存性を考慮していない場合の水平剛性  $k_{h0}$  に対する本研究で提案したモデルの剛性評価式より算出した剛性値の比率である。なお、理論値の算出に用いるせん断弾性係数  $G$  は、試験結果から得られた面圧およびせん断ひずみ依存性を考慮している。Fig.3 (a) より、概ね一致していることが確認できる。

Fig.3 (c) から (d) に鉛直性能試験結果を示す。試験結果より、試験値と理論値が概ね一致していることが確認できる。また、低面圧下 (5[MPa]) では、試験値が理論値よりも低い剛性値を示している。これは、面圧が小さい試験条件の場合、積層ゴムが偏心曲げ状態となり、曲げによる回転角の影響で浮き上がろうと軸力に抵抗するため、鉛直変形が理論値よりも低い値で計測されること<sup>[1]</sup>が原因だと考えられる。

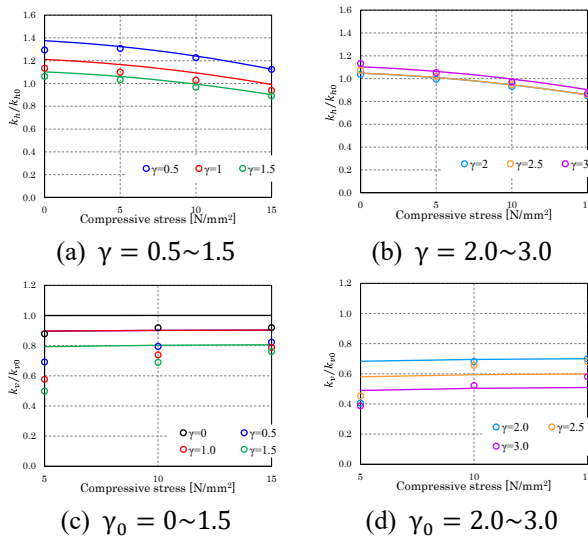


Fig.2 Test results

#### 4. シミュレーション解析条件

(1) 式に示す 1 質点系モデルを対象とした時刻歴応答解析を実施する。数値積分法は平均加速度法 ( $\beta = 1/4$ ) とする。入力地震動は Hachinohe1968<sup>[2]</sup> の NS 波と UD 波を用いる。検討モデルは、各種依存性を考慮しない Model-1 (水平固有周期 4.0[s]) を基準として、瓜生らの部材剛性評価式を用いた Model-2, 提案した力学モデルを用いた Model-3 の計 3 モデルとする。なお、入力地震波倍率はせん断ひずみ  $\gamma = 3.0$  [-] となる地震波倍率に調整する。また、水平・鉛直方向に内部減衰として 初期剛性比例型で  $h = 0.01$  付与している。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]i\ddot{g}_h - [M]i\ddot{g}_v \quad (1)$$

#### 5. 時刻歴応答解析結果

Fig.4 に時刻歴応答解析結果を示す。Fig.4 (a) のせん断ひずみ波形より、Model1 と Model2 の応答に大きな違いは見られないが、提案する Model3 の応答は約 20[s] 以降から周期特性の変化が顕著であることが確認できる。Fig.4 (b) の水平応答の結果については、Model3 より依存性の影響による若干の水平剛性の増大が確認できる。Fig.4 (d) の鉛直応答については、水平変形による鉛直剛性の低下を考慮した Model2 と Model3 での大きな変化はないことが確認できる。以上より、水平・鉛直の性能特性に連成作用を考慮した提案モデルは時々刻々と変動する面圧に対して積層ゴムの挙動を模擬した応答評価が可能であることを示した。また、本提案モデルは各種要素 (水平・鉛直・曲げ) を定義していることから、各種要素試験との比較を行うことで、精度向上を見込めると考えられる。

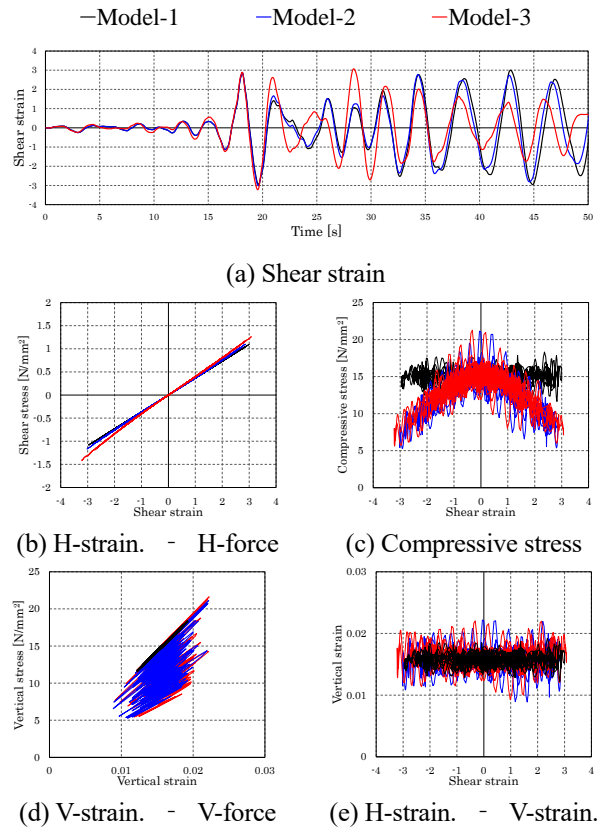


Fig.3 Result of response analysis

#### 6. まとめ

本報その 2 では、提案した力学モデルの妥当性を検討するため、性能確認試験と比較を行い、時刻歴応答解析結果から面圧変動による影響について考察した。

#### 参考文献

- [1] 瓜生満, 西川孝夫: 免震用積層ゴムの剛性, 変形及び境界特性に関する研究(せん断変形下における水平及び鉛直方向特性について), 日本建築学会構造系論文集, 第 479 号, 119-128, 1996.1
- [2] 松島豊: 高層建築物の動的解析用地震動に関する研究(財)日本建築センター, 研究助成報告書 NO.9404, 1994
- [3] 大崎順彦: 建築振動理論, 彰国社, 1996