

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	エネルギー一定則を用いた水平上下応答の重ね合わせによる積層ゴム引張歪みおよび基礎梁曲げモーメントの推定手法
Title(English)	PREDICTION OF THE TENSILE STRAIN OF LAMINATED RUBBER BEARINGS AND THE BENDING MOMENT OF BEAMS DUE TO SUPERIMPOSED HORIZONTAL AND VERTICAL RESPONSES USING CONSTANT ENERGY RULE
著者(和文)	吉江一馬, 佐藤大樹, 松田頼征, 北村春幸, 中村昌弘, 森隆浩, 加藤秀章
Authors(English)	Kazuma YOSHIE, Daiki Sato, Yoriyuki MATSUDA, Haruyuki Kitamura, Masahiro NAKAMURA, Takahiro MORI, Hideaki KATO
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 24, No. 57, pp. 577-582
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 24, No. 57, pp. 577-582
発行日 / Pub. date	2018, 6
権利情報	日本建築学会

エネルギー一定則を用いた水平上下応答の重ね合わせによる積層ゴム引張歪みおよび基礎梁曲げモーメントの推定手法

PREDICTION OF THE TENSILE STRAIN OF LAMINATED RUBBER BEARINGS AND THE BENDING MOMENT OF BEAMS DUE TO SUPERIMPOSED HORIZONTAL AND VERTICAL RESPONSES USING CONSTANT ENERGY RULE

吉江一馬 — * 1 佐藤大樹 — * 2
松田頼征 — * 3 北村春幸 — * 4
中村昌弘 — * 5 森 隆浩 — * 6
加藤秀章 — * 5

Kazuma YOSHIE — * 1 Daiki SATO — * 2
Yoriyuki MATSUDA — * 3 Haruyuki KITAMURA — * 4
Masahiro NAKAMURA — * 5 Takahiro MORI — * 6
Hideaki KATO — * 5

キーワード：

積層ゴム, 引張歪み, 水平上下応答の重ね合わせ, エネルギー一定則, 応力再配分

Keywords:

Laminated rubber bearing, Tensile strain, Superimposed horizontal and vertical responses, Constant energy rule, Stress redistribution

Past study had proposed a design method for base isolated structure considering tensile strain. Therefore, this paper proposes a method to predict the tensile strain of laminated rubber bearings and the moment of beams due to superimposed horizontal and vertical responses using constant energy rule. This proposed method considers that the tensile modulus of rubber bearing is lower than its compression modulus.

1. はじめに

近年, 免震建物の高層化や形態の多様化から, 積層ゴムに生じる引抜きが重要な課題となっている。その中で森らは積層ゴムの引張限界を引張歪みで規定する手法を提案している¹⁾。設計の際にこの手法を用いるためには, 水平方向と上下方向の地震動によって積層ゴムに生じる引張歪みを正しく評価する必要がある。

積層ゴムに生じる引抜きを評価するためには, 水平と上下を同時に入力して解析をすることが望ましい。しかし, 上下方向の固有周期は水平方向のものよりも極めて短いため, 剛性比例減衰を用いた解析を行うと上下方向の減衰は過大に評価される。さらに, 積層ゴムは圧縮側に比べて引張側では弾性率が低くなるという非線形特性を示す²⁾。水平方向だけでなく上下方向でも同時に非線形解析を行う必要があり, 高度な解析技術が必要となる。積層ゴムの歪みは減衰の設定や, 非線形特性の影響を大きく受けるため, 詳細な検討が必要となる。

そこで, 既往の研究では, 水平方向と上下方向の地震動に対して個別に解析して, それらの応答を重ね合わせる方法³⁾⁷⁾が数多く提案されている。しかし, 前述した圧縮弾性率に対し引張弾性率が低くなる特性は考慮されていない。筆者らは積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率より低くなることを考慮すると, 上述した重ね合わせ手法では積層ゴムの引張歪みを危険側で評価してしまうことを示した⁸⁾。加えて, 積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低くなること

が上部構造の応答にどのような影響を及ぼすかの検討を行った⁹⁾。その結果, 上部構造の加速度および層間変形等の最大応答への影響は小さいが, 引抜き時の応力再配分により引抜けた積層ゴム周辺の基礎梁の曲げモーメントが大きくなることを確認した⁹⁾。そのため, 積層ゴムの引張限界を引張歪みで規定して免震建物の設計を行う際には積層ゴム引抜き時の基礎梁の曲げモーメントについても検討する必要がある。

以上を踏まえて本報の目的は, 免震建物に水平上下2方向入力した際の積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低くなることを考慮した水平上下応答値の重ね合わせによる積層ゴムの引張歪みの推定手法および積層ゴム引抜き時の基礎梁の曲げモーメントの推定手法を提案することである。

以下に, 本報の構成について述べる。はじめに, 積層ゴムの圧縮弾性率が引張弾性率と等しい場合および引張弾性率が圧縮弾性率に対して低い場合に, 水平上下単独入力の結果を時刻歴上で足し合わせる手法(以下, 時刻歴和法)によって積層ゴムの引張歪みおよび基礎梁の曲げモーメントが評価できるかを確認する。その後, 引張弾性率が圧縮弾性率に対して低い場合に水平上下それぞれの時刻歴解析結果から, 積層ゴムの引張歪みにエネルギー一定則^{10), 11)}の考えを準用して推定する手法を提案する。最後に, その結果を用いて基礎梁の曲げモーメントの推定手法を提案する。

¹⁾ 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻 大学院生 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²⁾ 東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士(工学)

³⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)

⁴⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

⁵⁾ (株)ブリヂストン 博士(工学)

⁶⁾ (株)ブリヂストン 博士(理学)

⁷⁾ Graduate Student, Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science

⁸⁾ Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Inst. of Technology, Dr. Eng.

⁹⁾ Assist. Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

¹⁰⁾ Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

¹¹⁾ Bridgestone Corporation, Dr. Eng.

¹²⁾ Bridgestone Corporation, Dr. Sci.

2. 検討用モデルおよび地震動の概要

2.1 上部構造の設計

対象建物は、地上 24 階、高さ 96.0 m、長辺方向 32.0 m、短辺方向 24.0 m、塔状比 4.0 の鉄骨造免震建物とした。基準階伏図と X1, X6 通り軸組図を図 1 に示す。上部部材は SM490 材を用い、 $C_0=0.2$ の水平地震力に対する許容応力度計算を基に断面を定めた。上部構造の 1 次固有周期は X 方向：2.48 s, Y 方向：2.52 s である。上部構造は弾性体とし、免震建物の水平と上下の固有周期の相違に影響を受けない $h=2\%$ の定値減衰として検討を行う。解析時間刻みは 1/1,000 s とする。

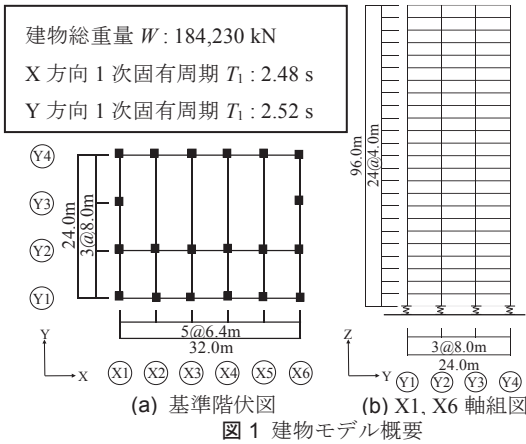


図 1 建物モデル概要

2.2 免震層の概要

図 2 に積層ゴムの配置を、図 3 にダンパーの配置を示す。免震層は、天然ゴム系積層ゴム¹²⁾と履歴減衰型ダンパー¹³⁾で構成されている。天然ゴム系積層ゴムは、せん断弾性係数 $G=0.392 \text{ N/mm}^2$, 2 次形状係数 $S_2=5.0$ とし、柱の長期軸力に対する面圧が 10~15 N/mm^2 となるようにゴム径 ϕ を定め、各柱下に配置した。履歴減衰型ダンパーは、初期剛性 19.2 kN/mm , 降伏荷重 608 kN , 降伏変位 31.7 mm の U 型ダンパーを用いて、建物総重量の約 2.5% で降伏するように設定した。せん断歪み 250% 時の免震建物の固有周期は X 方向：4.38 s, Y 方向：4.40 s である。

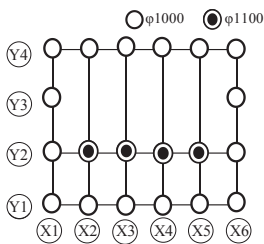


図 2 積層ゴム配置図

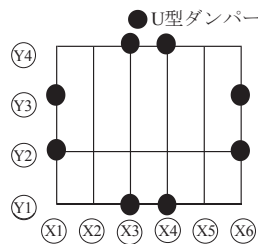


図 3 ダンパー配置図

積層ゴムの鉛直方向の引張特性には 2 つのタイプを用いて比較を行う。図 4 に面圧 σ - ひずみ ϵ 関係を示す。Type-0 は、圧縮側と引張側で弾性率 K_v を同一としたモデルである。Type-1 は、森ら¹⁾が提案している引張弾性率を圧縮弾性率の 1/50 とした非線形弾性の復元力特性である。なお、積層ゴムの引張側でバイリニア型の復元力特性となる場合および圧縮弾性率に対する引張弾性率の比率を変化させた際の検討は文献 14) で報告する。

2.3 検討用地震動

本報では、水平 45 度方向と上下の 2 方向入力を用いる。検討にはコーナー周期 (0.64 s) 以降で擬似速度応答スペクトルを一定とした模擬波 2 つと、観測波 2 つの計 4 つの波を用いる。模擬波における上

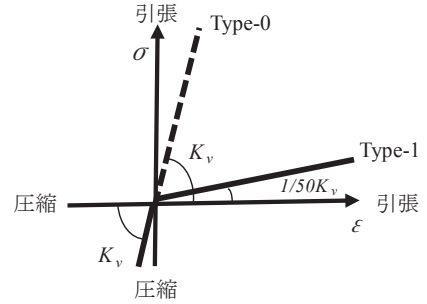


図 4 鉛直方向の面圧 σ - ひずみ ϵ 関係

下動は文献 15) の方法により水平動の応答スペクトルに上下動成分係数を乗じて上下動の応答スペクトルを設定した。模擬波の位相特性は、1995 年兵庫県南部地震 - 神戸海洋気象台記録 (JMA Kobe) の NS 成分と UD 成分, 1968 年の十勝沖地震 (Hachinohe) の EW 成分と UD 成分を用いた。以降, JMA Kobe の位相を用いた模擬地震を Art Kobe, Hachinohe の位相を用いた模擬地震を Art Hachi と呼ぶ。観測波には 1995 年兵庫県南部地震 - 神戸海洋気象台記録 (JMA Kobe) の NS 成分と UD 成分, 1940 年の El Centro 地震の EW 成分と UD 成分を用いる。以降, JMA Kobe, El Centro と呼ぶ。図 5 に、擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$) と時刻歴波形を示す。ここでは例として、模擬波は NS 成分, EW 成分のコーナー周期以降を $pS_v=80 \text{ cm/s}$, 観測波は最大速度を $V_{max}=50 \text{ cm/s}$ とした際の結果を示す。

以降の検討では、積層ゴムの隅角部の積層ゴムのみが引抜け、最大引張歪みが 5% 以下となるように定数倍した地震動を入力波として用いており、2 箇所以上の積層ゴムが同時に引抜ける際の検討は文献 16) で報告する

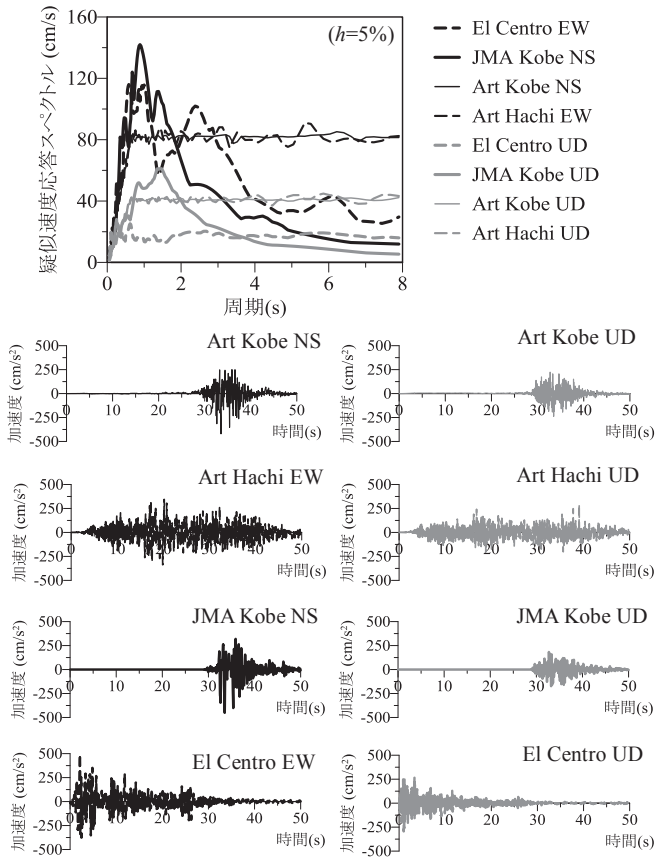


図 5 入力動の (上) 擬似速度応答スペクトルと (下) 時刻歴波形

3. 積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率と等しい場合における検討

本章では積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率と等しい場合(Type-0)での水平上下の時刻歴和法を検討する。はじめに、積層ゴムの引張歪みにおいて時刻歴和法と水平上下同時入力時の積層ゴムの引張歪みを比較する。その後、積層ゴムの引張歪みが最大となるときの基礎梁の曲げモーメントについて検討する。

3.1 積層ゴムの引張歪みの検討

時刻歴和法による n ステップの積層ゴムの引張歪み $\varepsilon_e^{(n)}$ を式(1)より算出する。

$$\varepsilon_e^{(n)} = x,y\varepsilon_e^{(n)} + z\varepsilon_e^{(n)} + z\varepsilon_0 \quad (1)$$

ここで、 $x,y\varepsilon_e^{(n)}$ 、 $z\varepsilon_e^{(n)}$ はそれぞれ水平方向単独、上下方向単独を入力した解析の変動歪み、 $z\varepsilon_0$ は長期荷重による鉛直歪みとする。

図 6 に引張歪みが最も大きくなった X1-Y1(図 2)の位置における、時刻歴和法より算出した積層ゴムの歪み $\varepsilon_e^{(n)}$ の時刻歴と、水平上下同時入力した際の積層ゴムの歪み ε の時刻歴を示す。図より、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率と等しい場合(Type-0)は、時刻歴和法によって水平上下同時入力時における積層ゴムの引張歪みを評価できることが確認できる。

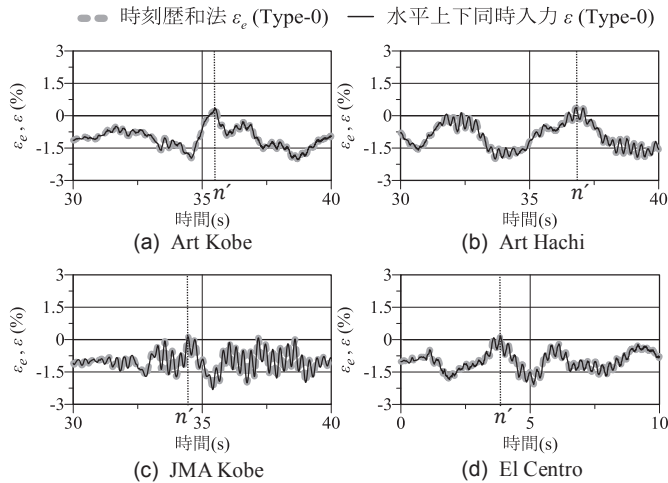


図 6 積層ゴムの引張歪みの時刻歴

3.2 基礎梁の曲げモーメントの検討

積層ゴムの引張歪みが最大となったステップの基礎梁の曲げモーメントを比較する。以降の検討では、引張歪みが生じた積層ゴム直上の梁 X1 通りと Y1 通りの基礎梁の曲げモーメントを検討する。

時刻歴和法より算出する曲げモーメント M_e は、式(1)の引張歪み $\varepsilon_e^{(n)}$ が最大となるステップ n' における曲げモーメントを用いて算出する(式(2))。

$$M_e^{(n')} = x,yM_e^{(n')} + zM_e^{(n')} + zM_0 \quad (2)$$

ここで、 $x,yM_e^{(n')}$ 、 $zM_e^{(n')}$ はそれぞれ水平方向単独、上下方向単独を入力した解析の基礎梁の曲げモーメント、 zM_0 は長期荷重による基礎梁の曲げモーメントである。

図 7, 8 に、時刻歴和法(式(2))より算出した X1 および Y1 通りにおける基礎梁の曲げモーメント M_e と、水平上下同時入力した際の基礎梁の曲げモーメント M を示す。図 7, 8 より、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率と等しい場合(Type-0)は、時刻歴和法によって水平上下同時入力による基礎梁の曲げモーメントを評価できることが分かる。

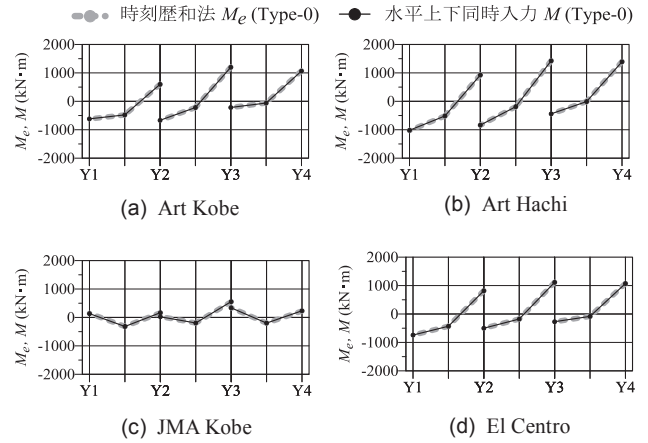


図 7 X1 通り基礎梁の曲げモーメント

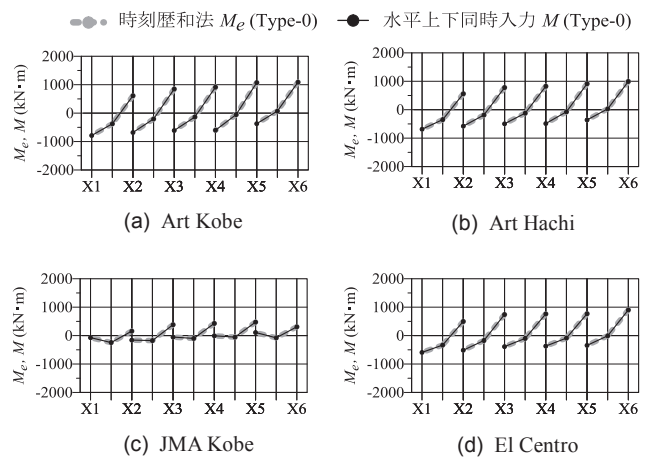


図 8 Y1 通り基礎梁の曲げモーメント

4. 積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対し低くなる場合の検討

前章では、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率と等しい場合(Type-0)に時刻歴和法を用いることで積層ゴムの引張歪みおよび基礎梁の曲げモーメントを評価できることを示した。本章では、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率より低くなる場合(Type-1)においても時刻歴和法によって積層ゴムの引張歪みおよび基礎梁の曲げモーメントを評価できるかを検討する。

4.1 積層ゴムの引張歪みの検討

図 9 に、積層ゴムの引張弾性率を Type-1 とした場合での時刻歴和法より算出した積層ゴムの歪み $\varepsilon_e^{(n)}$ と、水平上下同時入力での積層ゴムの歪み $\varepsilon^{(n)}$ の時刻歴を示す。図 10 に、水平方向と上下方向に地震動を単独入力させた際の積層ゴムの歪みの時刻歴を示す。図 9 より、引張歪み発生時に $\varepsilon^{(n)}$ が $\varepsilon_e^{(n)}$ よりも大きいことが確認され、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率より低くなる場合には時刻歴和法によって積層ゴムの引張歪みを評価できないことが確認できる。この要因としては、水平上下同時入力では、積層ゴム引抜き後に引張弾性率が低くなることで引張歪みが大きくなるが、図 10 に示すように、水平および上下の単独入力では大部分で引抜きが生じていない。もしくは、生じていても小さい値となっているためである。つまり、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率より低くなる場合、時刻歴和法で算出した積層ゴムの引張歪みは危険側の評価となる。

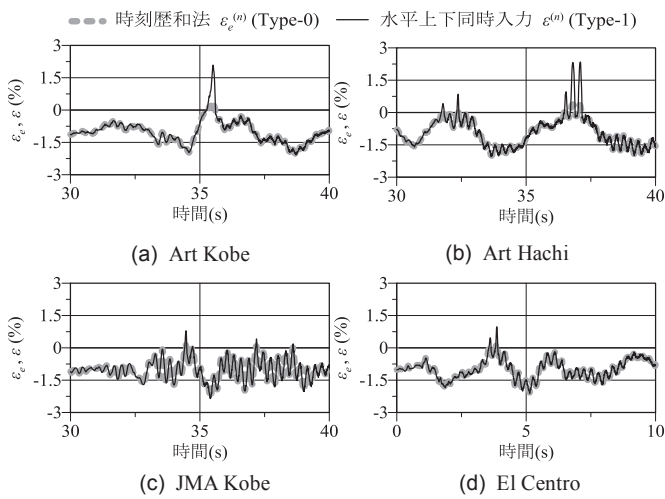


図9 積層ゴムの引張歪みの時刻歴

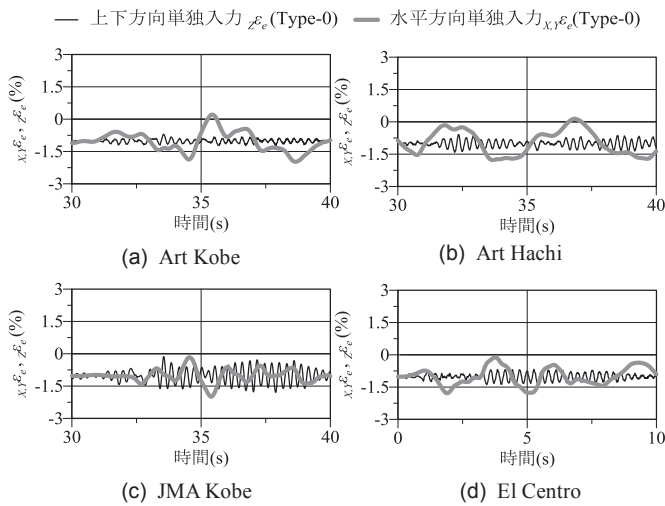


図10 各方向単独入力時の積層ゴムの引張歪みの時刻歴

4.2 基礎梁の曲げモーメントの検討

前章と同様に、積層ゴムの引張歪みが最大となったステップでの基礎梁の曲げモーメントを比較する。図11, 12に、X1およびY1通りの時刻歴和法(式(2))より算出した基礎梁の曲げモーメント M_e と、水平上下同時入力をした際の基礎梁の曲げモーメント M を示す。図11, 12より、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低い場合(Type-1)、時刻歴和法では水平上下同時入力による基礎梁の曲げモーメントを評価できないことが確認できる。特に引張歪みが生じた積層ゴム直上のY1-Y2, X1-X2の基礎梁では曲げモーメントに大きな差が生じていることが分かる。この要因は、時刻歴和法において積層ゴム引抜き時の応力再配分により基礎梁に生じる曲げモーメントを考慮することができていないためである。

5. エネルギー一定則を用いた引張歪みの推定

5.1 引張歪みの推定方法

既往の研究^{(10), (11)}より、比較的短周期の範囲での弾塑性系の地震応答では、短周期領域において弾性系と弾塑性系のエネルギーは降伏力に関わらずほぼ等しいとされている(エネルギー一定則)。本報で

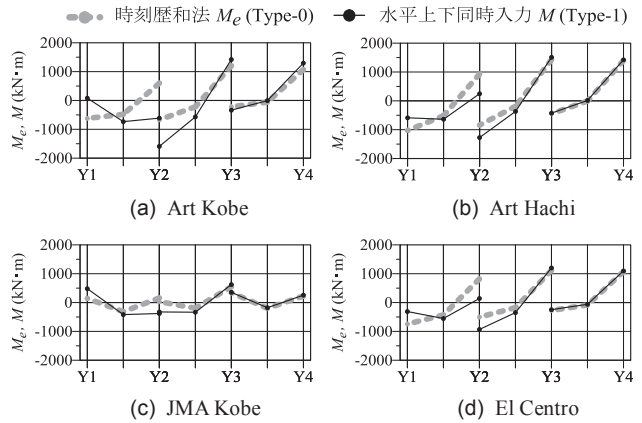


図11 X1通り基礎梁の曲げモーメント

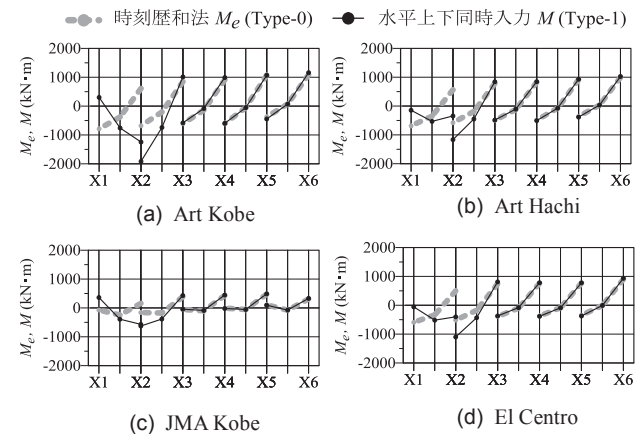


図12 Y1通り基礎梁の曲げモーメント

はエネルギー一定則を準用したType-1における引張歪みの推定手法を提案する。以下に提案する推定手法について述べる(図13)。

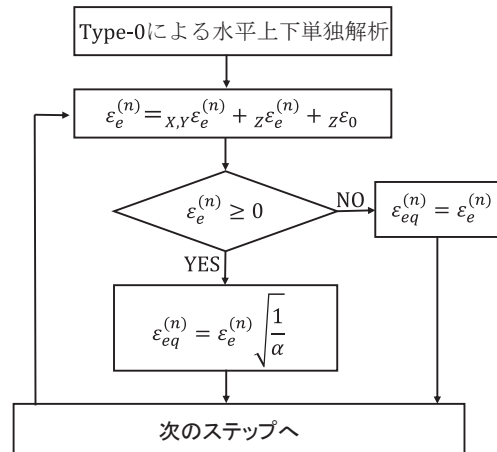


図13 Type-1におけるエネルギー一定則による引張歪み $\epsilon_{eq}^{(n)}$ の算出手順

はじめに、Type-0を用いて水平方向、上下方向単独での時刻歴解析を行う。次に、Type-0での水平上下単独入力による $x_{Y}\epsilon_e^{(n)}$ 、 $z\epsilon_e^{(n)}$ 、長期歪み $z\epsilon_0$ を用いて(1)式より引張歪み $\epsilon_e^{(n)}$ を求める。Type-0における積層ゴムの鉛直方向の弾性歪みエネルギーと、引張弾性率が圧縮弾性率より低いType-1の弾性歪みエネルギーが等しくなるように(図14)、引張歪み $\epsilon_{eq}^{(n)}$ を算出する(式(3))。

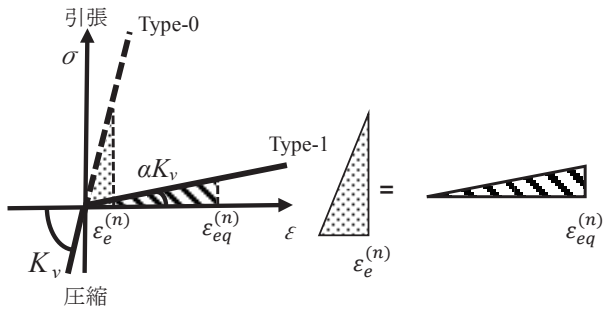


図 14 エネルギー一定則の概要

$$\begin{cases} \varepsilon_{eq}^{(n)} = \varepsilon_e^{(n)} & (\varepsilon_e^{(n)} \leq 0) \\ \varepsilon_{eq}^{(n)} = \varepsilon_e^{(n)} \sqrt{\frac{1}{\alpha}} & (\varepsilon_e^{(n)} \geq 0) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 α は引張弾性率の圧縮弾性率に対する低下率であり、前章までと同様に Type-1 では $\alpha = 1/50$ とする。

その後、次のステップへ進み同じ手順をくり返す。

5.2 積層ゴムの引張歪みの検討

図 15 にエネルギー一定則によって算出した積層ゴムの歪み $\varepsilon_{eq}^{(n)}$ と水平上下同時入力での積層ゴムの歪み $\varepsilon^{(n)}$ の時刻歴波形を示す。図 15 より、エネルギー一定則によって算出した歪み $\varepsilon_{eq}^{(n)}$ は、 $\varepsilon^{(n)}$ と良い対応を示していることが分かる。図 16 に、入力地震動のレベルを変化させた場合において、Type-1 を用いた水平上下同時入力時における積層ゴムの引張歪みの最大値 ε_{max} と、Type-0 を用いたエネルギー一定則により算出した引張歪みの最大値 $\varepsilon_{eq,max}$ の比較を示す。図 16 より、いずれの地震動やレベルにおいても、 $\varepsilon_{eq,max}$ は ε_{max} に対して良い対応を示していることが確認できる。

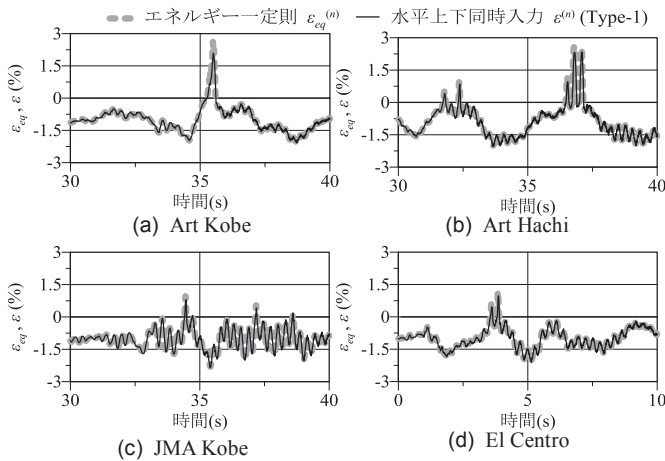


図 15 積層ゴムの引張歪みの時刻歴

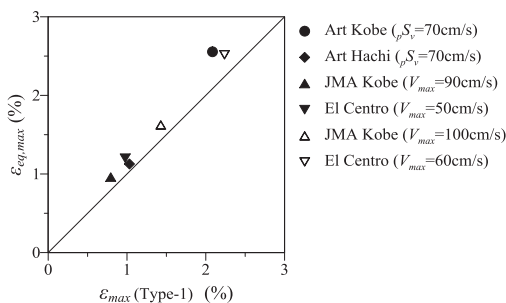


図 16 積層ゴムの最大引張歪みの比較

以上より、Type-0 による水平、上下方向の単独での解析結果を用いて、エネルギー一定則(式(3))より積層ゴムの引張歪みを算出すれば、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率より低くなる場合(Type-1)においても良い対応を示すことを確認した。

6. 強制変位を用いた基礎梁の曲げモーメントの推定

6.1 基礎梁の曲げモーメントの推定方法

以下に、積層ゴム引抜き時の応力再配分を考慮した基礎梁の曲げモーメントを推定する手順について述べる。まず、式(2)に示した時刻歴和法より算出した最大引張歪み発生ステップ n' における Type-0 での基礎梁の曲げモーメント M_e を算出する。次に、積層ゴムのゴム総厚 h_R を用いて式(4)より求めた強制変位 Δu を算出する。

$$\Delta u = (\varepsilon_{eq}^{(n')} - \varepsilon_e^{(n')})h_R \quad (4)$$

引抜きが生じた積層ゴムの部分の節点(図 17)に Δu を強制変位として与える。最後に Δu を与えた際に基礎梁に生じる曲げモーメント M_f を M_e に足し合わせることで、積層ゴム引抜き時の応力再配分を考慮した基礎梁の曲げモーメント M_{eq} を推定する(式(5))。

$$M_{eq} = M_e + M_f \quad (5)$$

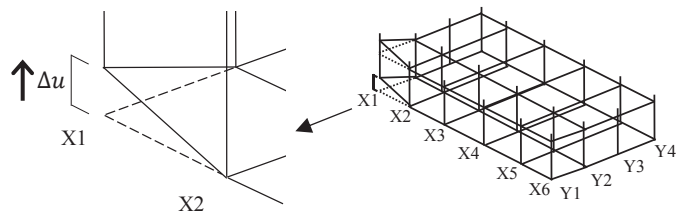


図 17 強制変位の概要

以降、強制変位手法と呼ぶ。図 18 に例として Type-1 において Art Kobe 入力時の結果より算出した強制変位 Δu を引抜きが生じた積層ゴムの位置(X1-Y1)に与えた場合の基礎梁の曲げモーメント M_f を示す。図 18 より、引抜きによる強制変位によって、Y2 および X2 通りだけでなく、Y3 および X3 通りまで影響を受けていることが確認できる。

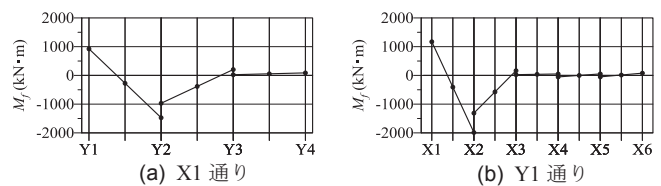


図 18 Art Kobe 入力時の結果より算出した強制変位を与えた基礎梁の曲げモーメント

6.2 基礎梁の曲げモーメントの検討

図 19, 20 に X1 および Y1 通りの梁における強制変位手法より算出した基礎梁の曲げモーメント M_{eq} と、水平上下同時入力をした際の基礎梁の曲げモーメント M を示す。図 19, 20 より強制変位手法より算出した基礎梁の曲げモーメント M_{eq} は積層ゴムの引張歪み発生時に応力再配分により基礎梁に生じる曲げモーメントを評価できていることが確認できる。特に、時刻歴和法(式(2))では評価できなかった引張歪みが生じた積層ゴム直上の基礎梁においても(図 10, 11)、エネルギー一定則から算出した強制変位 Δu を与えた際の曲げモーメントを加えることで評価できる。

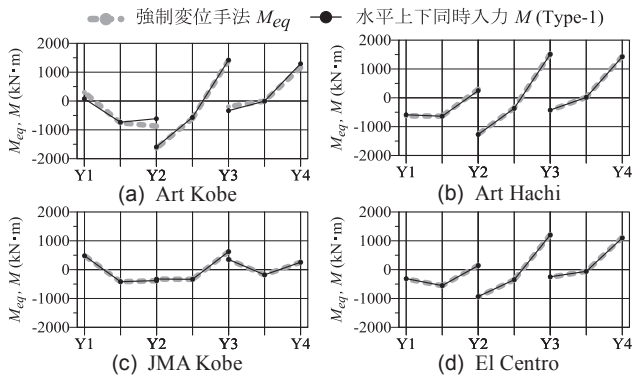


図 19 X1 通り基礎梁の曲げモーメント

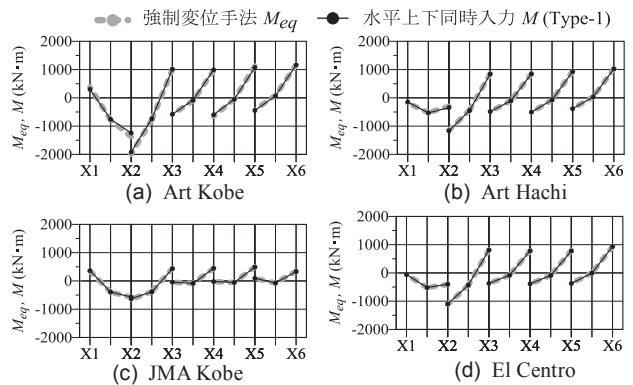


図 20 Y1 通り基礎梁の曲げモーメント

以上より、積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低くなる場合の基礎梁の曲げモーメントを、時刻歴和法から算出した曲げモーメントと、エネルギー一定則から算出した引張歪みを強制変位として与えた解析の曲げモーメントとの和で算出できることを示した。ただし、本報では隣り合う積層ゴムが同時に引抜けない応答レベルを本手法の適用範囲としている。2 箇所以上の積層ゴムが同時に引抜ける際の検討は文献 16) で報告する。

7. まとめ

本報では、免震建物に水平上下 2 方向入力した際の積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低くなる場合にエネルギー一定則を用いた水平上下応答の重ね合わせによる積層ゴム引張歪みの推定手法を提案した。さらに引抜き時の応力再配分を考慮した基礎梁の曲げモーメントを推定する手法を示した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低くなる場合、水平方向と上下方向に対して個別に解析した 2 つの解析結果を時刻歴上で足し合わせる方法では、積層ゴムの引張歪み及び基礎梁の曲げモーメントは評価することができない。
- (2) 引張弾性率と圧縮弾性率が等しいモデルの水平方向および上下方向の 2 つの時刻歴解析結果の和から、エネルギー一定則を用いることで積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低くなる場合での引張歪みを概ね評価することができる。
- (3) 積層ゴムの引張弾性率が圧縮弾性率に対して低くなる場合の基礎梁の曲げモーメントを、時刻歴和法から算出した曲げモーメントと、エネルギー一定則から算出した引張歪みを強制変位として与えた解析の曲げモーメントとの和で算出できる。

本手法を用いることで、水平と上下に独立した減衰を設定して検

討を行うことができる。さらに引張弾性率が圧縮弾性率より低くなる場合においても、引張弾性率と圧縮弾性率を等しくした弾性解析により、上下応答の検討が行えることは大きな利点である。ただし、本報は森ら¹⁾の提案した積層ゴムは引張弾性率を圧縮弾性率の 1/50 とした非線形弾性の復元力特性であり、隣り合う積層ゴムが同時に引抜けない応答レベルを本手法の適用範囲としている。積層ゴムの引張側でバイリニア型の復元力特性となる場合および圧縮弾性率に対する引張弾性率の比率を変化させた際の検討は文献 14) で、2 箇所以上の積層ゴムが同時に引抜ける際の検討は文献 16) で報告する。

謝辞

本研究は(株)ブリヂストンと東京理科大学北村研究室による共同研究の成果の一部をまとめたものです。脇島健二氏、石田安澄氏には貴重なご意見をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森隆浩, 中村昌弘, 室田伸夫他: 引張限界ひずみによる免震構造物設計のための積層ゴムの引張特性の評価, 日本建築学構造系論文集, pp.2021-2030, 2015.12
- 2) 納富充雄, 下坂陽男, 下田博一, 鈴木重信, 芳沢利和: 引張負荷による免震用ゴム材料のポイド生成, 日本機会学会論文集(A 編), 68 巻, 669 号, pp.52-57, 2002.5
- 3) 日本建築センター: 評価・評定を踏まえた高層建築物の構造設計実務, 2002
- 4) 西山隆, 杉山達也, 柏崎琢也: 観測波を用いた水平応答と上下応答による組合せ法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1697-1698, 1994.7
- 5) 松平有生, 木本幸一郎: 多数の観測強震動を用いた免震層の最大変位の解析的検討(その 5 水平上下最大値の重ね合わせ方法), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.503-504, 2016.8
- 6) 佐藤大樹, 福田優輝, 北村春幸: 多点同時地震動観測記録にもとづく免震建物の上下応答解析手法日本建築学構造系論文集, pp.1853-1862, 2012.12
- 7) 本郷貴之, 佐藤大樹, 北村春幸: 地震動観測記録を用いた超高層・中高層免震建物の水平・上下応答解析に基づく積層ゴムの軸力評価, 日本建築学会技術報告集, pp.905-910, 2014.10
- 8) 吉江一馬, 佐藤大樹, 松田頼征, 北村春幸, 中村昌弘, 森隆浩, 加藤秀章, 脇島健二, 石田安澄: 積層ゴム引抜き時の剛性低下を考慮した時刻歴解析結果を用いる水平上下重ね合わせ手法の提案, 関東支部研究報告集, pp.405-408, 2017.2
- 9) 横田伶未, 吉江一馬, 佐藤利昭, 北村春幸, 中村昌弘, 森隆浩, 加藤秀章, 脇島健二, 石田安澄: 免震建物のアスペクト比が積層ゴム引抜き時の応力再配分に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.479-480, 2016.8
- 10) 大沢胖, 柴田明徳: 地震動に対する 1 質点系の非線形レスポンスの特性 - 最大変形に関する既往の研究と整理と考察, 日本建築学会論文報告集第 69 号, pp.401-404, 1961.10
- 11) 柴田明徳: 最新耐震構造解析, 第 3 版 pp.132-133, 2014.12
- 12) (株)ブリヂストン: 天然ゴム系積層ゴム技術資料, 2009.4
- 13) 社団法人 日本免震構造協会: 免震部材標準品リスト 2009, 第 3 版, p.616, 2009.10
- 14) 吉江一馬, 佐藤大樹, 松田頼征, 北村春幸, 中村昌弘, 森隆浩, 加藤秀章, 脇島健二, 石田安澄: エネルギー一定則を用いた積層ゴムの最大引張歪みの予測と基礎梁の曲げモーメントの推定手法の提案(その 1)積層ゴム軸方向の復元力特性の違いが引張歪みの推定に与える影響の検討, 関東支部研究報告集, 2018.3
- 15) 社団法人日本免震構造協会: JSSI 時刻歴応答解析による免震建物の設計基準 - 同マニュアル及び設計例, pp.70-71, 2010.3
- 16) 吉江一馬, 佐藤大樹, 松田頼征, 北村春幸, 中村昌弘, 森隆浩, 加藤秀章, 脇島健二, 石田安澄: エネルギー一定則を用いた積層ゴムの最大引張歪みの予測と基礎梁の曲げモーメントの推定手法の提案(その 2)基礎梁曲げモーメントおよび隣接する積層ゴム引張歪みの推定手法の検討, 関東支部研究報告集, 2018.3

[2017 年 10 月 4 日原稿受理 2017 年 12 月 18 日採用決定]