T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	エネルギーー定則を用いた積層ゴムの最大引張歪みと基礎梁の曲げモ 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
Title(English)	
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, 脇島健二, 石田安澄
Authors(English)	Daiki Sato, Yoriyuki MATSUDA, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 589-592
Citation(English)	, , , pp. 589-592
発行日 / Pub. date	2018, 3

エネルギーー定則を用いた積層ゴムの最大引張歪み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

構造-振動

	正会員(〕吉江一馬*1]]	佐藤大樹窄]]	松田頼征*1
免震構造 引抜き 上下動 時刻歴和]]	北村春幸和]]	中村昌弘*3]]	森 隆浩。
水平上下応答値の重ね合わせ エネルギーー定則]]	加藤秀章**]]	脇島健二*3]]	石田安澄。

1. はじめに

近年,免震建物の高層化や上部建物形状の多様化もあり, 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¹⁾は積層ゴムの引張限界を従来の応力度ではなく 引張歪みで規定する手法を提案している。積層ゴムの引抜 きの要因には上下動によるものと水平動によるものとが ある。水平と上下で一般的に固有振動数が異なるため,設 計時にはそれを考慮しなければいけないが,水平上下同時 入力では水平方向と鉛直方向の一次固有振動数に対して 任意の減衰定数を与えることは困難な場合が多い。

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^{2)-の}が数多く提案されている。しかし、これらの方 法では圧縮弾性率に対して引張弾性率が低くなる積層ゴ ムの特性⁷は考慮されていない。一方、引張弾性率が低く なることで、積層ゴム引抜き時に応力再配分が発生し引 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 なることを著者らは確認した⁸。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 は積層ゴム歪みのみでなく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。

その1では、圧縮弾性率に対し引張弾性率が低くなる積 層ゴムの特性を考慮して積層ゴムの引張歪みを推定する 手法について提案し、さらに積層ゴムの軸方向での復元 力特性の違いが引張歪みの推定に与える影響を検討する。

2. 検討用モデルの概要

2.1 上部構造の設計

対象建物は、地上24階、高さ96.0m、長辺方向32.0m、 短辺方向24.0m、搭状比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、C₀=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。また,解析時間刻みは 1/1,000 s とする。



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⁹と履歴減衰型ダンパ ー¹⁰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 N/mm², 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/mm² 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。



積層ゴムの鉛直方向の引張特性には 3 つのタイプを用いて比較を行う。図4に各タイプの面圧 σ -ひずみ ϵ 関係を示す。Type-0は、圧縮側と引張側で弾性率を同一としたモデルである。残る 2 タイプは、引張弾性率を圧縮弾性率より小さくして引張側でリニア型のタイプを Type-1(図4(a))、引張弾性率を圧縮弾性率より小さくして、引張応力 1 N/mm² 以降で剛性を 0 とした引張側でバイリニア型のタイプを Type-2(図4(b))とする。以降、歪みは Z 方向のものを指し引張を正値とする。積層ゴムの引張弾性率の圧縮弾性率に対する比率 α は 1/10, 1/20, 1/30, 1/40, 1/50, 1/100の5つを用いる。



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。模擬波における上下動は文献 11)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。摸擬波の位相特性は, 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。本報では、紙幅の都合 の上 Art Kobe, El Centro の結果のみを示す。図5に, Art Kobe および El Centro の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 cm/s, 観測波は最 大速度を V_{max} =50 cm/s とした際の結果を示す。

4. エネルギーー定則を用いた引張歪みの推定手法

既往の研究^{12),13}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



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 いる(エネルギーー定則)。本報ではエネルギーー定則を 準用した引張歪みの推定手法を提案する。以下に図6に 示す推定手法について述べる。



図6エネルギーー定則による引張歪み*ε*⁽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 $_{X,Y}\varepsilon_e^{(n)}$, $_{Z}\varepsilon_e^{(n)}$, 長期歪み $_{Z}\varepsilon_0$ を用いて式(1)より引張歪 み $\varepsilon_e^{(n)}$ 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 7)、 引張歪み $\varepsilon_{eq}^{(n)}$ を算出する(式(2))。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ス テップ n での変動歪み、 $_{Z}\varepsilon_0$ は長期荷重による鉛直歪みで ある。本報では式(1)を時刻歴和法と呼ぶ。

$$\varepsilon_{e}^{(n)} = \chi_{X} \varepsilon_{e}^{(n)} + z \varepsilon_{e}^{(n)} + z \varepsilon_{0}$$

$$\varepsilon_{eq}^{(n)} = \varepsilon_{e}^{(n)} \qquad \varepsilon_{e}^{(n)} \le 0$$

$$\varepsilon_{eq}^{(n)} = \varepsilon_{e}^{(n)} \sqrt{\frac{1}{\alpha}} \qquad 0 \le \varepsilon_{e}^{(n)}$$

$$(1)$$





その後, 次のステップへ進み同じ手順をくり返す。

Type-2 の場合にも、ステップnでの弾性系(Type-0)での 引張歪み $\varepsilon_e^{(n)}$ を(1)式を用いて算出する。その後 Type-0 のエ ネルギーと Type-2 のエネルギーが等しくなるように(図 8)(3)式より引張歪み $\varepsilon_{en}^{(n)}$ を算出する。

$$\begin{cases} \varepsilon_{eq}^{(n)} = \varepsilon_e^{(n)} & \varepsilon_e^{(n)} \le 0\\ \varepsilon_{eq}^{(n)} = \varepsilon_e^{(n)} \sqrt{\frac{1}{\alpha}} & 0 \le \varepsilon_e^{(n)} \le \varepsilon_y \sqrt{\alpha} & (3)\\ \varepsilon_{eq}^{(n)} = \frac{(\varepsilon_e^{(n)})^2 + \alpha(\varepsilon_y)^2}{2\alpha\varepsilon_y} & \varepsilon_y \sqrt{\alpha} \le \varepsilon_e^{(n)} \end{cases}$$





その後, 次のステップへ進み同じ手順をくり返す。

5. 検討結果

本章では,前章に示したエネルギー一定則によって積 層ゴムの引張歪みを算出した際に,積層ゴムの引張弾性 率が圧縮弾性率よりも小さくなることを考慮した水平上 下同時入力による積層ゴムの引張歪みを推定できるかを 検討する。その際,積層ゴムの引張側の復元力特性の差異 が推定に与える影響に着目して検討する。

5.1 最大引張歪みによる検討

図 9,10(a), (b)に, Art Kobe および El Centro 入力時におけ る Type-1, Type-2 の ε_{α} Maxに対する ε_{eq} Maxの比率をそれぞ れ示す。なお,検討は隅角部 X1-Y1 の積層ゴム(図 1)にお いて行っている。図 9,10 より,積層ゴムの復元力特性が Type-1, Type-2 の際も積層ゴムの引張弾性率の圧縮弾性率 に対する比率 α が小さくなるほど水平上下同時入力の結果 を安全側で評価しており, $\alpha = 1/40$ より小さくなると積層 ゴムの復元力特性が Type-1, Type-2 のどちらにおいても積 層ゴムの最大引張歪みを安全側で推定できることが確認 できる。



図 10 ε_αMaxに対するε_{eq}Maxの比率(El Centro)

5.2 引張歪みの時刻歴による検討(X1-Y1)

5.1 節において積層ゴムの最大引張歪みにおいて引張側 の復元力特性の差異がエネルギー一定則による推定精度 に与える影響について検討した。本節では,積層ゴム引張 歪みの時刻歴を用いて検討する。

図 11~13(a), (b)に Type-1, Type-2 において X1-Y1 の積層 ゴムで α = 1/10, 1/50, 1/100 のときの水平上下同時入力によ る積層ゴムの引張歪み ε_{α} とエネルギーー定則を用いて算 出した積層ゴムの引張歪み ε_{eq} の時刻歴をそれぞれ示す。 入力は Art Kobe ($_{p}S_{v}$ =80cm/s)である。図 11~13 より積層ゴ ム引抜き時に弾性率が小さくなることによって引張歪み が大きくなるという挙動を推定することができている。ま た,図 11 より, α = 1/10 のときには, Type-1, Type-2 ともに エネルギーー定則は水平上下同時入力による引張歪みを 小さく評価していることが確認できる。図 12, 13 より, α = 1/50 および 1/100 の時にはエネルギーー定則は積層ゴムの 引張歪みを安全側で評価していることが確認できる。



5.3 隣接する積層ゴムの引張歪みの検討(X2-Y1)

5.1 節,5.2 節では隅角部 X1-Y1 の積層ゴムに着目して積 層ゴムの引張歪みの検討を行ったが、積層ゴム引抜き時 には応力再配分によって隣接する積層ゴムに引張力を伝 達して引張歪みが大きくなると考えられる。そのため、本 節では X2-Y1 の積層ゴムの引張歪みにおいて検討する。

図 14~16(a), (b)に Art Kobe ($_{\rho}S_{\nu}$ =80cm/s)入力時における Type-1, Type-2 での α = 1/10, 1/50, 1/100 のときの水平上下 同時入力による X2-Y1 の積層ゴムの引張歪み ε_{α} とエネル ギーー定則を用いて算出した積層ゴムの引張歪み ε_{eq} の時 刻歴をそれぞれ示す。図 14~16 の Art Kobe ($_{\rho}S_{\nu}$ =80cm/s)入 力時における α = 1/10, 1/50,より,水平上下同時入力では積 層ゴムの引張弾性率の圧縮弾性率に対する比率 α が小さい ほど引張歪みが大きくなることが確認できる。対して,エ ネルギーー定則より算出した引張歪みは式(1)より算出し た X2-Y1 の積層ゴムの引張歪み $\varepsilon_{e,X2-Y1}^{(n)}$ が引張側とならな いため,引抜き時に弾性率が小さくなることによって引 張歪みが大きくなるという挙動を推定できていない。

以上より,隅角部積層ゴム引抜き時の応力再配分によって2箇所目の積層ゴムに引抜が生じる際,エネルギーー 定則ではその引張歪みを推定できない。これについては, 本報その2で新たな手法を提案する。



図 16 α = 1/100 での ε_{α} , ε_{eq} の時刻歴(_pS_v=80cm/s)(X2-Y1)

6. まとめ

その1では、積層ゴムの有する圧縮弾性率に対し引張弾 性率が低くなる特性を考慮して積層ゴムの引張歪みを推 定する手法について提案し、さらに積層ゴムの軸方向で の復元力特性の違いが引張歪みの推定に与える影響を検 討した。

その結果,エネルギーー定則を用いて積層ゴムの引張 歪みを推定する場合,引抜き時に弾性率が小さくなるこ とによって引張歪みが大きくなる挙動を推定することが できる。その際,積層ゴムの引張弾性率の圧縮弾性率に対 する比率が小さくなるほど水平上下入力による引張歪み を安全側で評価しており 1/40 より小さいときは安全側で 推定できることを確認した。

しかし,隅角部積層ゴム引抜き時の応力再配分によっ て隣接する2箇所目の積層ゴムに引抜が生じる際,エネル ギーー定則ではその引張歪みを推定できない。

その2では、エネルギーー定則より算出した引張歪みを 用いた基礎梁曲げモーメントの推定手法および隣接する2 箇所目以降での積層ゴムの引張歪みの推定手法を提案す る。

参考文献はその2にまとめて示す。

-592-