

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提案
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. 593-596
Citation(English)	, , , pp. 593-596
発行日 / Pub. date	2018, 3

エネルギー一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提案

構造—振動

正会員 ○ 吉江一馬^{*1} // 佐藤大樹^{*2} // 松田頼征^{*1}
免震構造 引抜き 上下動 時刻歴和 // 北村春幸^{*1} // 中村昌弘^{*3} // 森 隆浩^{*3}
水平上下応答値の重ね合わせ エネルギー一定則 // 加藤秀章^{*3} // 脇島健二^{*3} // 石田安澄^{*3}

1. はじめに

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した。その結果、エネルギー一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 α 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 $\alpha = 1/40$ より小さいときは安全側で推定できることを確認した。また、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きが生じる際、エネルギー一定則ではその引張歪みを推定できないことを示した。

その2では、エネルギー一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積層ゴムの引張歪みの推定手法を提案する。なお、本報その2では、紙幅の都合により Art Kobe での結果のみを示すが、他の地震波についても同様な知見を得ている。

2. 基礎梁の曲げモーメントの推定

本章では、水平上下単独入力の応答値の重ね合わせより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の推定を行う。推定は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積層ゴムの歪みを引抜きが生じた節点に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する。時刻歴和法について後述する。以下に推定手法について説明した後、検討結果を示す。

2.1 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(1)より積層ゴムの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。以降、時刻歴和法と呼ぶ。

$$M_e^{(n')} = x_y M_e^{(n')} + z M_e^{(n')} + z M_0 \quad (1)$$

$x_y M_e^{(n')}$, $z M_e^{(n')}$ 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, $z M_0$ は長期荷重

による基礎梁の曲げモーメントである。次に、その1の式(1), (2), (3)より求めた $\varepsilon_e^{(n')}$, $\varepsilon_{eq}^{(n')}$ と積層ゴムのゴム総厚 h_R を用いて強制変位 Δu を算出する。

$$\Delta u = (\varepsilon_{eq}^{(n')} - \varepsilon_e^{(n')}) h_R \quad (2)$$

引抜きが生じた積層ゴムの部分の節点(図1)に Δu を強制変位として与える。

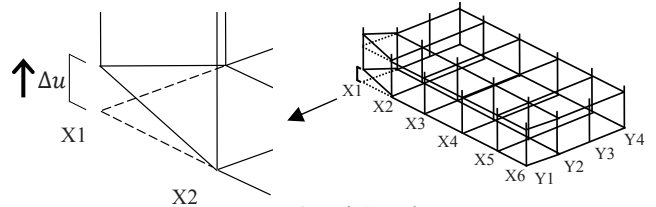


図1 強制変位の概要

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 $M_e^{(n')}$ に足し合わせることで、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(3))。

$$M_{eq} = M_e^{(n')} + M_f \quad (3)$$

以降、これを強制変位手法1と呼ぶ。

2.2 基礎梁の曲げモーメントの検討

図2, 3(a), (b)にX1およびY1通り基礎梁における水平上下同時入力による最大曲げモーメント $M_{\alpha}Max$ に対するType-1およびType-2における基礎梁の最大曲げモーメントのプロット $M_{eq}Max$ をそれぞれ示す。曲げモーメントは積層ゴムの引張歪みが最大となった n' ステップの値を示す。図2, 3より、Type-1, Type-2のどちらにおいても強制変位手法1はX1通りの曲げモーメントを概ね推定できているが、Y1通りではArt Kobe($\rho S_v=80cm/s$)において積層ゴムの引張弾性率の圧縮弾性率に対する比率 α が小さいときに強制変位手法は水平上下同時入力の結果を過大評価している。その要因は、本報その1で示したようにArt Kobe($\rho S_v=80cm/s$)はType1, Type-2では隅角部積層ゴム(X1-Y1)引抜き時の応力再配分によって隣接する積層ゴム(X2-Y1)が引抜けるが、提案した強制変位手法1では2箇所目の積層ゴムの引抜きを考慮できないためである。

図4, 5(a), (b)に $\rho S_v=60cm/s$ 入力時のType-1($\alpha = 1/50$), Type-2($\alpha = 1/50$)における積層ゴムの引張歪み最大時のX1, Y1通り基礎梁の曲げモーメント M_{eq} と、水平上下同時入力による基礎梁の曲げモーメント M_{α} をそれぞれ示す。また、図6, 7(a), (b)に $\rho S_v=80cm/s$ 入力時の結果をそれぞれ示す。図4, 5より、積層ゴムの引抜きが隅各部のみである

$\rho S_V=60\text{cm/s}$ 入力時において Type-1, Type-2 ともに強制変位手法は水平上下同時入力の結果を推定することができていることが分かる。図 6, 7(a)の X1 通りに着目すると強制変位手法は基礎梁の曲げモーメントを推定できているが、Y1 通りでは強制変位手法 1 は基礎梁の曲げモーメントを過大評価していることが確認できる(図 6, 7(b))。これは前述したとおり Type-0 では積層ゴムの引抜きが 1 箇所(X1-Y1)だが Type-1, Type-2 では隅角部積層ゴム(X1-Y1)引抜き時の応力再分配によって隣接する積層ゴム(X2-Y1)が引抜けるためである。

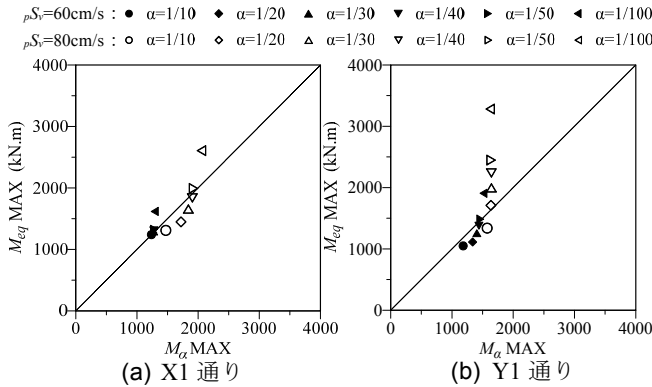


図 2 基礎梁の最大曲げモーメント (Type-1)(強制変位手法 1)

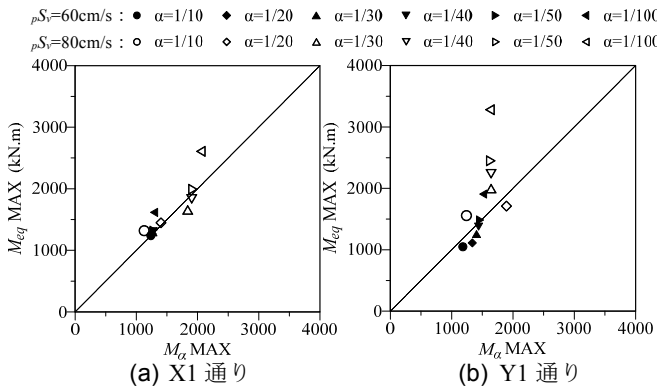


図 3 基礎梁の最大曲げモーメント (Type-2)(強制変位手法 1)

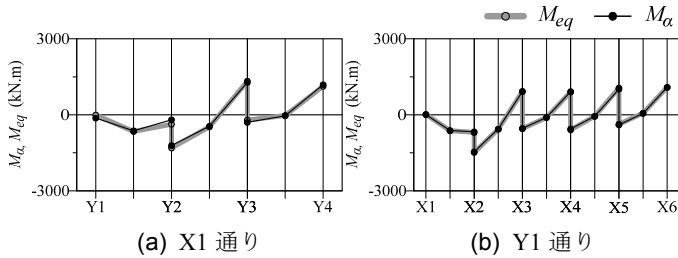


図 4 Type-1 $\alpha = 1/50$ における M_α , M_{eq} ($\rho S_V=60\text{cm/s}$)

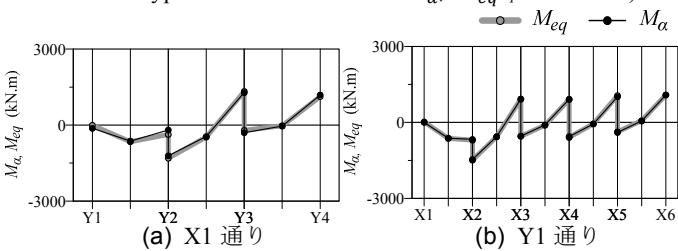


図 5 Type-2 $\alpha = 1/50$ における M_α , M_{eq} ($\rho S_V=60\text{cm/s}$)

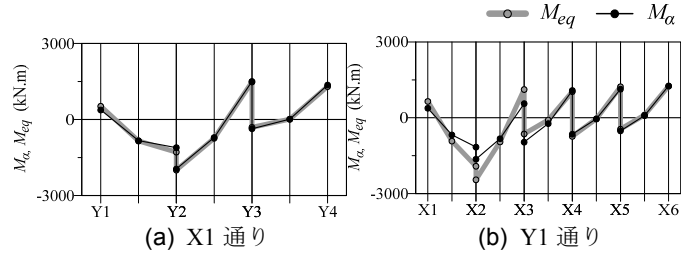


図 6 Type-1 $\alpha = 1/50$ における M_α , M_{eq} ($\rho S_V=80\text{cm/s}$)

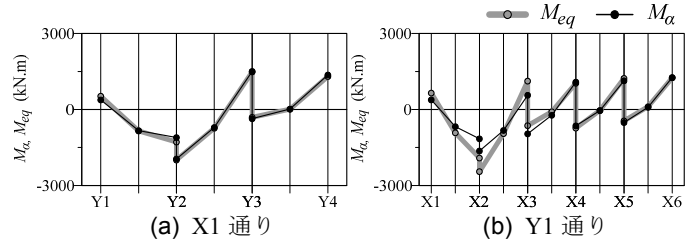


図 7 Type-2 $\alpha = 1/50$ における M_α , M_{eq} ($\rho S_V=80\text{cm/s}$)

以上より、強制変位手法 1 を用いることによって積層ゴムの引抜きが 1 箇所の場合は概ね基礎梁の曲げモーメントを推定できるが、1 箇所目の積層ゴム引抜き時の応力再分配によって 2 箇所目の積層ゴムが引抜ける場合、基礎梁の曲げモーメントを過大評価することが確認できた。次章において、2 箇所の積層ゴムが引抜ける場合の基礎梁の曲げモーメントの推定手法を提案する。

3. 引抜きが 2 箇所の際の基礎梁の曲げモーメントの推定

3.1 基礎梁の曲げモーメントの推定方法

以下に、2 箇所の積層ゴム引抜き時の応力再分配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。以降は例として、Type-0 では積層ゴムの引抜きが 1 箇所(X1-Y1)だが Type-1, Type-2 では隅角部積層ゴム(X1-Y1)引抜き時の応力再分配によって隣接する積層ゴム(X2-Y1)が引抜ける場合の手順を示す。

はじめに式(2)より、X1-Y1 積層ゴムに与える強制変位 Δu_{X1-Y1} を算出する。引抜きが生じた積層ゴムの部分の節点(図 1)に Δu_{X1-Y1} を強制変位として与える。その際、強制変位 Δu_{X1-Y1} によって隣の積層ゴム X2-Y1 に生じる変位 u_{X2-Y1} を求める(図(8))。

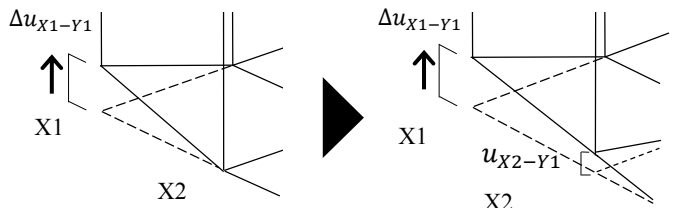


図 8 強制変位により生じる u_{X2-Y1} の概要

X2-Y1 に生じる変位 u_{X2-Y1} を Type-0 での時刻歴和法より得られる X2-Y1 位置での変位 $\epsilon_{e,X2-Y1}^{(n)} h_R$ に加えた場合に

において、圧縮側の場合は引抜きが1箇所の場合であり強制変位手法1を用いて基礎梁の曲げモーメントを算出する。

一方、引張側となった場合は、式(4)に示すようにエネルギー一定則を用いて X2-Y1 の積層ゴムの引張歪み $\varepsilon_{eq,X2-Y1}^{(n)}$ を推定する。その後、式(5)より X2-Y1 に加える強制変位 Δu_{X2-Y1} を求める。

$$\varepsilon_{eq,X2-Y1}^{(n)} = (\varepsilon_{e,X2-Y1}^{(n)} h_R + u_{X2-Y1}) \sqrt{\frac{1}{\alpha}} \quad (4)$$

$$\Delta u_{X2-Y1} = (\varepsilon_{eq,X2-Y1}^{(n)} - \varepsilon_{e,X2-Y1}^{(n)}) h_R \quad (5)$$

X1-Y1, X2-Y1 の2箇所に強制変位 Δu_{X1-Y1} および Δu_{X2-Y1} をそれぞれ与え(図9)その時の基礎梁の曲げモーメント M_f を求める。

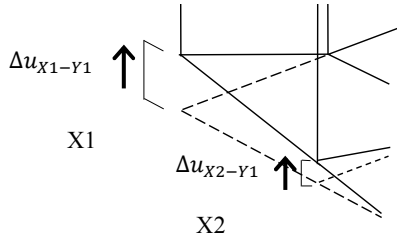


図9 強制変位 Δu_{X1-Y1} , Δu_{X2-Y1} の概要

最後に強制変位を2箇所に与えた際に基礎梁に生じる曲げモーメント M_f を式(1)より算出した $M_e^{(n)}$ 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(3))

以降、これを強制変位手法2と呼ぶ。

3.2 基礎梁の曲げモーメントの検討

図10, 11(a), (b)に、X1 および Y1 通りにおける水平上下同時入力による積層ゴムの最大引張歪み $M_a \text{MAX}$ に対する Type-1, Type-2 での基礎梁の最大曲げモーメントのプロット $M_{eq} \text{MAX}$ をそれぞれ示す。図10, 11より、Type-1, Type-2 どちらにおいても X1 通り, Y1 通りの基礎梁の最大曲げモーメントを概ね推定することができている。図2, 3において、1箇所にのみ強制変位を与える強制変位手法1では過度に安全側で評価していた Y1 通りにおいても、2箇所に強制変位を与えた強制変位手法2では概ね推定できていることが確認できる。

図12, 13(a), (b)に、Type-1 ($\alpha = 1/50$), Type-2 ($\alpha = 1/50$)における2箇所に強制変位を与えた強制変位手法2より算出した X1, Y1 通り基礎梁の曲げモーメント M_{eq} と水平上下同時入力による基礎梁の曲げモーメント M_a をそれぞれ示す。図12, 13より、強制変位手法2より算出した基礎梁の曲げモーメントは水平上下同時入力による曲げモーメントと概ね一致しており、1箇所に強制変位を与えた強制変位手法1では推定することができない2箇所の積層ゴム

が引抜ける場合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ことが可能であることが確認できた。

以上より、2箇所に強制変位を与える強制変位手法2を用いることによって積層ゴムの引抜きが2箇所の場合においても概ね基礎梁の曲げモーメントを推定できることが確認できた。

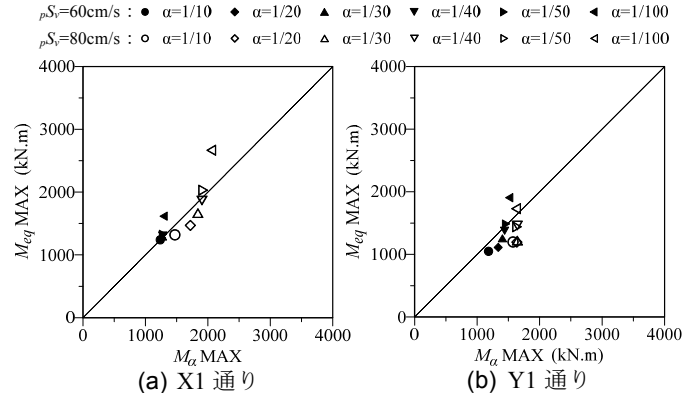


図10 基礎梁の最大曲げモーメント(Type-1)(強制変位手法2)

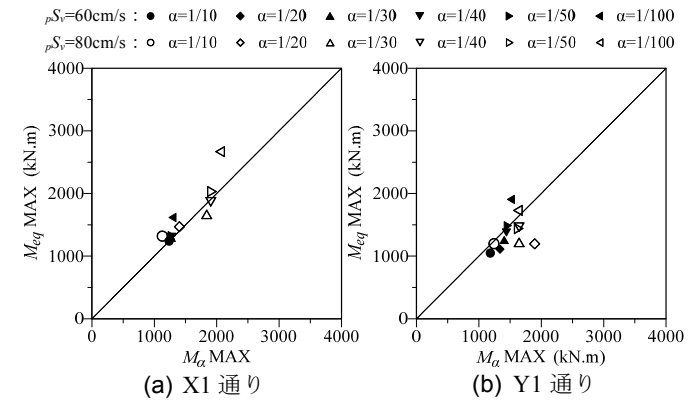


図11 基礎梁の最大曲げモーメント(Type-2)(強制変位手法2)

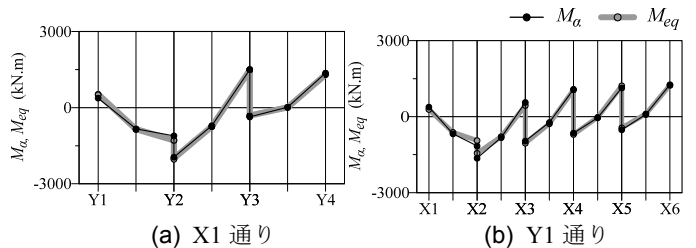


図12 Type-1 $\alpha = 1/10$ における M_a , M_{eq} ($pS_v=80\text{cm/s}$)

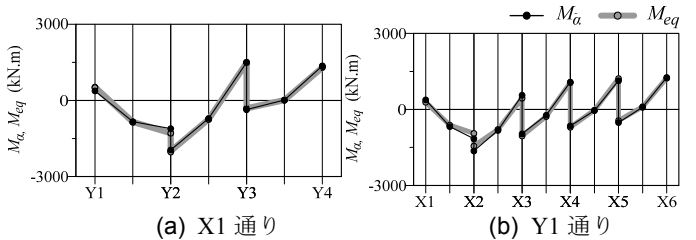


図13 Type-2 $\alpha = 1/50$ における M_a , M_{eq} ($pS_v=80\text{cm/s}$)

4. 隣接する積層ゴムの引張歪みの推定 (X2-Y1)

本報その1において、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きが生じる際、エネルギー一定則ではその引張歪みを推定できないことを示した。本章では式(4)より推定した積層ゴムの引張歪み $\varepsilon_{eq,X2-Y1}^{(n)}$ と水平上下同時入力による積層ゴムの引張歪み $\varepsilon_{\alpha,X2-Y1}^{(n)}$ を比較する。

図14(a),(b)に、Type-1, Type-2における水平上下同時入力による積層ゴムの最大引張歪み $\varepsilon_{\alpha,X2-Y1}^{MAX}$ に対するエネルギー一定則より算出した最大引張歪み $\varepsilon_{eq,X2-Y1}^{MAX}$ の値をそれぞれ示す。図14より、エネルギー一定則を用いて算出した $\varepsilon_{eq,X2-Y1}$ は積層ゴムの引張弾性率の圧縮弾性率に対する比率 α が小さくなるほど、水平上下同時入力の結果を評価できているが、 α が大きくなるとエネルギー一定則は水平上下同時入力の結果より小さく評価していることが確認できる。しかし、本報その1の図14~16においてはエネルギー一定則では積層ゴムの引抜きすら推定することができなかつたが、本報その2で示した強制変位手法2を用いることで隣接する積層ゴム(X2-Y1)の引張歪みを概ね推定できることが確認できた。

図15(a),(b)に、Type-1, Type-2における $\varepsilon_{\alpha,X2-Y1}^{MAX}$ に対する $\varepsilon_{eq,X2-Y1}^{MAX}$ の比率をそれぞれ示す。図15より、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(X2-Y1)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。

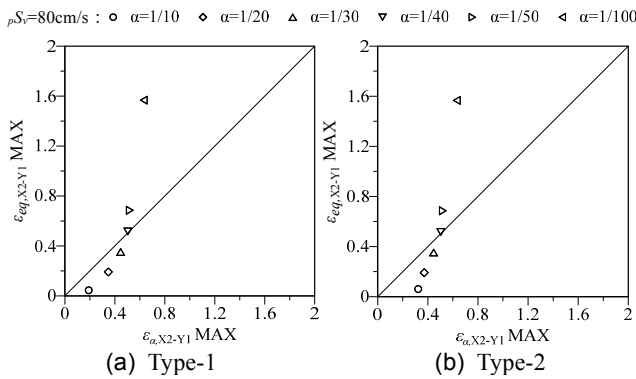


図14 積層ゴムの最大引張歪みのプロット(X2-Y1)

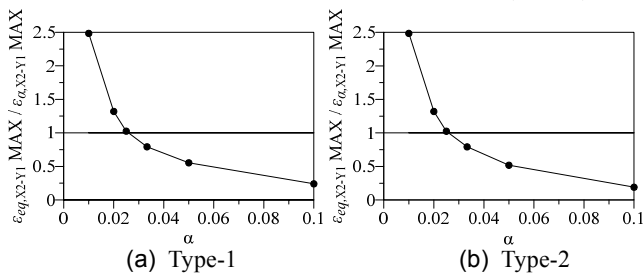


図15 $\varepsilon_{\alpha,X2-Y1}^{MAX}$ に対する $\varepsilon_{eq,X2-Y1}^{MAX}$ の比率

5. まとめ

その2では、エネルギー一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積層ゴムの引張歪みの推定手法を提案した。

その結果、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は、引抜きが1箇所の場合は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積層ゴムの歪みを引抜きが生じた部分1箇所だけに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。2箇所のときは過大評価する可能性があることを示した。

強制変位を2箇所に与えた強制変位手法は1箇所に強制変位を与えた強制変位手法では推定することができない2箇所の積層ゴムが引抜ける場合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ことが可能である。

また、1箇所に強制変位を与えたときに隣接する積層ゴムに生じる変位を、その積層ゴムの引張歪みの時刻歴和に足し合わせてエネルギー一定則を用いることによって、隣接する積層ゴムの引張歪みを概ね推定でき、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。

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) 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
- 3) 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
- 4) 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手法), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.503-504, 2016.8
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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, 日本機化学会論文集(A編), 68巻, 669号, pp.52-57, 2002.5
- 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) ㈱ブリヂストン: 天然ゴム系積層ゴム技術資料, 2009.4
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 大沢胖, 柴田明德: 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
- 13) 柴田明德: 最新耐震構造解析, 第3版 pp.132-133, 2014.12

*1 東京理科大学 *2 東京工業大学 *3 株式会社ブリヂストン