

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	変形増幅機構を有する制振フレーム試験体における部材変形の影響
Title(English)	
著者(和文)	小川晋平, 松田頼征, 佐藤大樹, 岩崎雄一, 石井正人, 佐々木和彦, 北村春幸, 吉江慶祐
Authors(English)	Yoriyuki MATSUDA, Daiki Sato, IWASAKI Yuichi, Masato Ishii, Kazuhiko SASAKI, Haruyuki Kitamura, Keisuke Yoshie
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 441-444
Citation(English)	, , , pp. 441-444
発行日 / Pub. date	2017, 3

変形増幅機構を有する制振フレーム試験体における部材変形の影響

構造—振動

正会員○小川晋平^{*1} 同 松田頼征^{*1} 同 佐藤大樹^{*2}
 同 岩崎雄一^{*3} 同 石井正人^{*4} 同 佐々木和彦^{*3}
 同 北村春幸^{*1} 同 吉江慶祐^{*4}

制振構造 実効変形 粘性制振壁
 動的加振試験 変形増幅機構

1. はじめに

間柱型の制振装置は、それが取り付く梁の曲げ変形により機能が損なわれる¹⁾。著者らは、この問題について、粘性制振壁を対象に梁の中間にピン接合を設けた架構（以下、変形増幅機構と呼ぶ）を考案し、その有用性を調べてきた²⁾。変形増幅機構は図1に示すように、ピン間の梁を幾何学的に回転させることで、ダンパーに生じる変形（以下、実効変形と呼ぶ）を増幅するものである。既報^{3)~5)}では、変形増幅機構を有する制振構造システムの動的加振試験によって実効変形の増大を確認した。動的加振試験ではダンパーを中央に設置した中央フレームと左寄せに設置した左寄せフレームの2種類を実施した。図2にダンパーを左寄せに設置した試験状況を示す。試験結果より、左寄せフレームの方が僅かではあるが、実効変形比の低下が見られた^{3)~5)}。左寄せフレームの実効変形比が低下する要因として、左右の跳ね出し梁の変形が考えられる。本報の目的は、部材変形が実効変形比の低下に及ぼす影響を分析することである。

2. 計測計画

2.1 計測項目

図3に左寄せフレームの各種計測位置と符号を示す。変位計測は、粘性制振壁のせん断変形量を計測するための相対変位の計測を除いて、試験フレーム周辺に設けた計測用フレームから計測される絶対変位である。層間変形角算出用の絶対変位 d_{c1-2} 、跳ね出し梁および中央梁の回転角算出用の絶対変位に、下梁 d_{g1-6} 、ダンパー変形用の計測値 d_{d1-2} とする。加振アームの歪から加振力を算出する。なお、絶対変位は図中の矢印の方向を正とし、相対変位と歪は引張を正とする。

2.2 各部材における回転角の算出方法

図4(a)に左寄せフレームの部材を剛と仮定した場合の変

形図と回転角の定義を示す。フレームの層間変形角 θ_A ，中央梁の回転角 θ_C ，右跳ね出し梁の回転角 θ_R ，左跳ね出し梁の回転角 θ_L とする。また、層間変形を δ_A ，ダンパーの実効変形

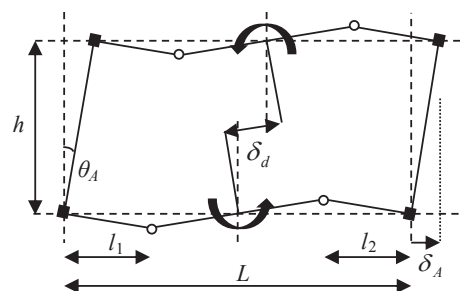


図1 変形増幅機構概要



図2 左寄せフレームの試験状況

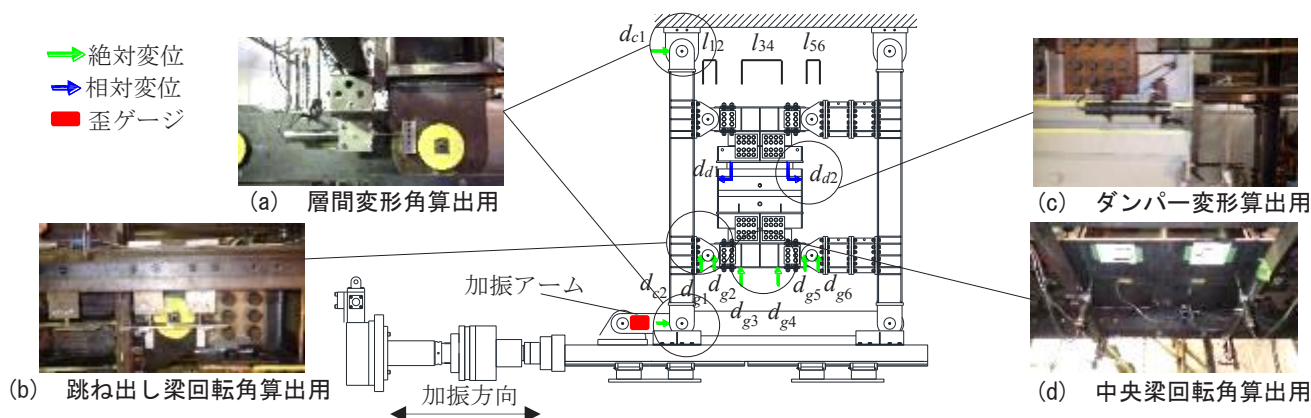


図3 左寄せフレームの各種計測位置と符号

を δ_d とする。各部材の回転角は時計回りを正として、図 3 に示した絶対変位を用いて式(1)～(4)で表される。

$$\theta_A = \frac{d_{c1} - d_{c2}}{2h}, \quad \theta_C = \frac{d_{g4} - d_{g3}}{l_{34}} \quad (1), (2)$$

$$\theta_R = \frac{d_{g6} - d_{g5}}{l_{56}}, \quad \theta_L = \frac{d_{g2} - d_{g1}}{l_{12}} \quad (3), (4)$$

ここで、 l_{ij} : d_{gi} と d_{gj} の間の長さ (図 3) である。

なお、部材を剛と仮定した場合、 θ_C 、 θ_R 、 θ_L と θ_A は一致する。また、ダンパーの実効変形 δ_d は式(5)によって示される。

$$\delta_d = \delta_A + \theta_C \times 1650 \quad (5)$$

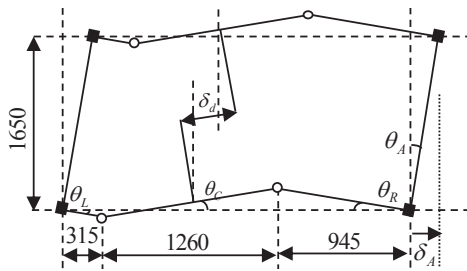


図 4 左寄せフレームの幾何学的変形図
および回転角の定義 (mm)

3. 跳ね出し梁のせん断力の算出

図 5 に中央フレームにおける外力と反力の関係を示す。図 5 に示した跳ね出し梁に働くせん断力 Q_b を左柱下より入力される加振力 F より式(6)によって算出される。

$$Q_b = \frac{h}{2l} F \quad (6)$$

ここで、式(6)を導く計算過程を示す。図 5 では各接点に A～H の記号を定めた。図 5 よりフレーム全体のつり合いから式(7)が求まる。

$$\text{横方向} \quad F + H_D + H_H = 0 \quad (7)$$

次に、接点 E でのモーメントのつり合いより式(8)が求まる。

$$V_A l + H_D h + V_D l + H_H h = 0 \quad (8)$$

式(7)より式(8)は以下のように式(9)に書き換えることができる。

$$\begin{aligned} V_A l + H_D h + V_D l + H_H h &= 0 \\ (V_A + V_D) l + (H_D + H_H) h &= 0 \\ (V_A + V_D) &= -\frac{h}{l} (H_D + H_H) \end{aligned} \quad (9)$$

図 6 に A 点での力のつり合いを示す。式(10)に A 点での縦方向の力のつり合いを示す。

$$V_A + N_{AB} = 0 \quad (10)$$

図 7 に B 点での力のつり合いを示す。式(11)に B 点での縦方向の力のつり合いを示す。

$$N_{BC} - Q_{BF} - N_{AB} = 0 \quad (11)$$

図 8 に C 点での力のつり合いを示す。式(12)に C 点での縦方向の力のつり合いを示す。

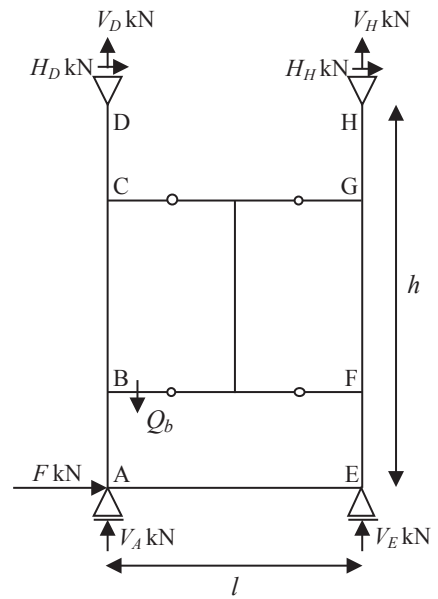


図 5 中央フレームにおける外力と反力の関係

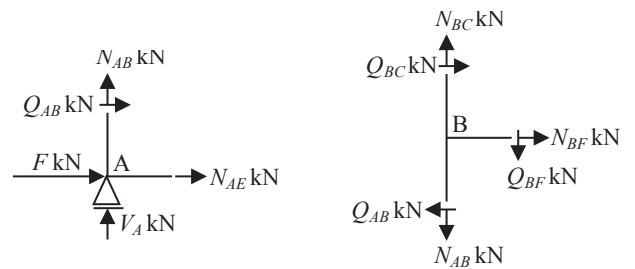


図 6 A 点での力のつり合い 図 7 B 点での力のつり合い

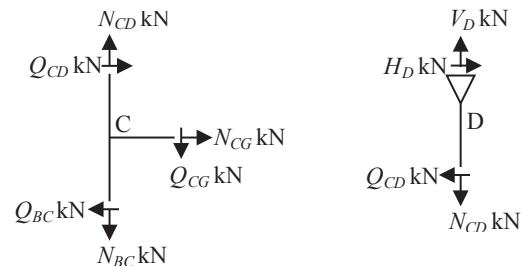


図 8 C 点での力のつり合い 図 9 D 点での力のつり合い

$$N_{CD} - Q_{CG} - N_{BC} = 0 \quad (12)$$

図 9 に D 点での力のつり合いを示す。式(13)に D 点での縦方向の力のつり合いを示す。

$$V_D - N_{CD} = 0 \quad (13)$$

式(10)より式(11)は以下のように式(14)に書き換えることができる。

$$\begin{aligned} N_{BC} - Q_{BF} - N_{AB} &= 0 \\ N_{BC} + V_A - Q_{BF} &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

式(13)より式(12)は以下のように式(15)に書き換えることができる。

$$\begin{aligned} N_{CD} - Q_{CG} - N_{BC} &= 0 \\ V_D - Q_{CG} - N_{BC} &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

ダンパー部分に生じる軸力を 0 と仮定した場合、上下の跳ね出し梁のせん断力の関係は式(16)によって示される。

$$Q_{BF} = Q_{CG} \quad (16)$$

式(14)と式(15)の各両辺を足し合わせると式(17)となる。

$$V_A + V_D - (Q_{BF} + Q_{CG}) = 0 \quad (17)$$

式(9)と式(16)より式(17) は以下のように式(18)に書き換えることができる。

$$V_A + V_D - (Q_{BF} + Q_{CG}) = 0$$

$$\frac{h}{l} F - 2Q_{BF} = 0$$

$$Q_{BF} = \frac{h}{2l} F \quad (18)$$

よって、式(6)と同様の式が得られた。また、左寄せフレームの場合でも同様の式(6)が得られる。

4. 左寄せフレームにおける実効変形比の低下要因

左寄せフレームで実効変形比が低下する要因として、右跳ね出し梁の変形の影響があげられる。左寄せフレームにおける右跳ね出し梁の変形は長さが長い為、せん断力や曲げによる影響を大きく受けたと考えられる。そこで、図 10 に左寄せフレームの右跳ね出し梁における回転角の成分分離を示す。実験値による跳ね出し梁の回転角 θ_R は梁の回転による回転角 θ_R' とせん断力や曲げによる回転角 θ_b に分けられる。梁の回転による回転角 θ_R' は実験値による跳ね出し梁の回転角 θ_R とせん断力や曲げによる回転角 θ_b を足し合わせることで算出される。また、せん断力や曲げによる回転角 θ_b はせん断力による回転角 θ_{bs} と曲げによる回転角 θ_{bm} の足し合わせによって算出した。せん断力による回転角 θ_{bs} と曲げによる回転角 θ_{bm} は片持ち梁の公式を基にした。図 11 に片持ち梁の変形図を示す。せん断力による片持ち梁の回転角と力の関係を式(19)に示す。同様に、曲げによる片持ち梁の回転角と力の関係を式(20)に示す。

$$\theta_{bs} = \frac{Q_b l}{GA} \quad (19)$$

$$\theta_{bm} = \frac{Q_b l^2}{3EI} \quad (20)$$

ここで、 G はせん断弾性係数、 A は断面積、 E はヤング係数、 I は断面 2 次モーメント、 l は梁の長さを示す。図 12 に左寄せフレームで最も実効変形比が低下した振動数 1.0Hz、層間変形の最大振幅 3.3mm の条件で、実験値による跳ね出し梁の回転角 θ_R と層間変形角 θ_A 、せん断力と曲げによる回転角 θ_b との時刻歴波形の比較を示す。同様に、図 13 に梁の回転による回転角 θ_R' と層間変形角 θ_A との時刻歴波形の比較を示す。図 12 より実験値による跳ね出し梁の回転角 θ_R と層間変形角 θ_A で位相差が生じていることが確認できる。また、図 13 より跳ね出し梁の回転角 θ_R' と層間変形角 θ_A では位相差が無くなることが確認できる。よって、右跳ね出し梁の変形を考慮することによって、跳ね出し梁の回転角 θ_R' と層間変形角 θ_A での位相差が無くなることが確認した。

同様に、振動数 1.0Hz、層間変形の最大振幅 23.6mm の条件でも検討を行った。図 14 に実験値による跳ね出し梁の回転角 θ_R と層間変形角 θ_A 、せん断力と曲げによる回転角 θ_b との

時刻歴波形の比較を示す。図 15 に梁の回転による回転角 θ_R' と層間変形角 θ_A との時刻歴波形の比較を示す。図 14 では、層間変形の最大振幅が大きくなることによって図 12 の小振幅時に比べて跳ね出し梁の回転角 θ_R と層間変形角 θ_A で位相差が小さくなっていることが確認できる。また、図 15 では図 13 と同様に右跳ね出し梁の変形を考慮することによって、跳ね出し梁の回転角 θ_R' と層間変形角 θ_A では位相差が無くなることが確認できる。

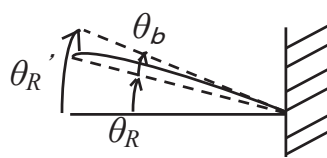


図 10 右跳ね出し梁における
回転角の成分分離



図 11 片持ち梁の変形図

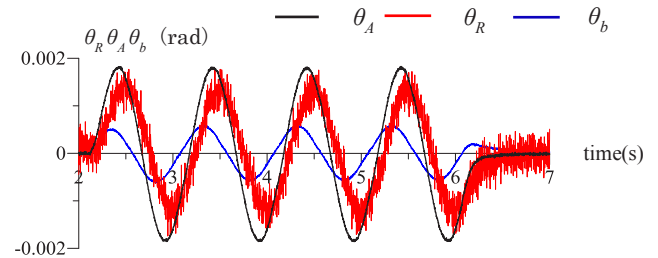


図 12 θ_A と θ_R の比較 (振動数 1.0Hz 最大振幅 3.3mm)

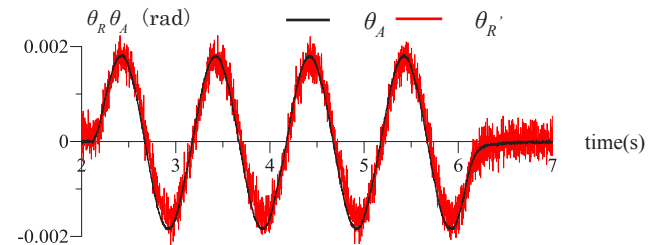


図 13 θ_A と θ_R' の比較 (振動数 1.0Hz 最大振幅 3.3mm)

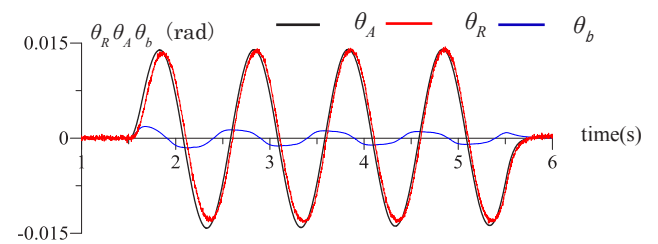


図 14 θ_A と θ_R の比較 (振動数 1.0Hz 最大振幅 23.6mm)

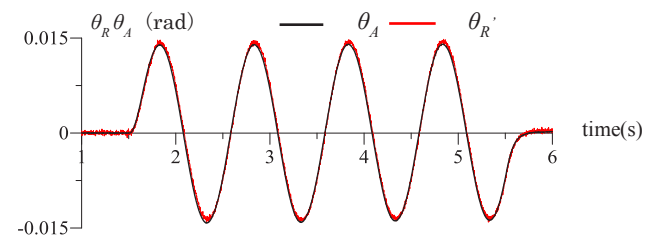


図 15 θ_A と θ_R' の比較 (振動数 1.0Hz 最大振幅 23.6mm)

図 16(a) に θ_R / θ_A , (b) に $\theta_{R'} / \theta_A$ の各パラメーターでの値を示し、曲げとせん断による影響を考慮したことで位相差が無くなることを確認する。ここで、 θ_R / θ_A と $\theta_{R'} / \theta_A$ は 3 波目における層間変形の最大変形時での値より算出した。図 16(a) では θ_R / θ_A の値が 1 の値に対して散布していることより、位相差の影響が大きいことが確認できる。図 16(b) では $\theta_{R'} / \theta_A$ の値が (a) に比べ、1 に収束していることが確認できる。よって、左寄せフレームでは右跳ね出し梁の曲げとせん断力が位相差に影響していると考えられる。

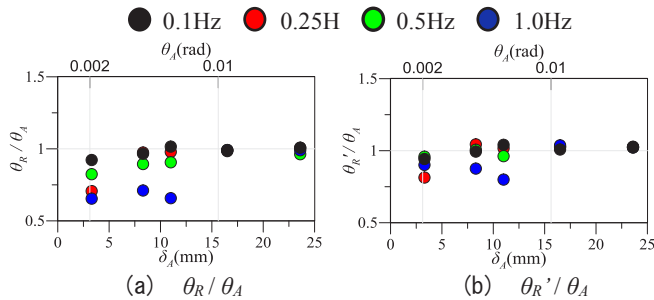


図 16 位相差の確認

5. 右跳ね出し梁の変形が実効変形比に及ぼす影響

今までの一連の検討によって、左寄せフレームにおいて跳ね出し梁の変形が実効変形比に影響を与えていることが考えられる。そこで、位相差の要因であるせん断と曲げの影響を無くした右跳ね出し梁の回転角 $\theta_{R'}$ と左跳ね出し梁の回転角 θ_L より位相差を考慮した中央梁の回転角 θ_C' を算出する。中央梁の回転角 θ_C' は式(21)により求める。

$$\theta_C' = \frac{315 \times \theta_L + 945 \times \theta_{R'}}{1260} \quad (21)$$

θ_C' より位相差の要因であるせん断と曲げの影響を考慮したダンパーの実効変形 δ_d' は式(22)によって示される。

$$\delta_d' = \delta_A + \theta_C' \times 1650 \quad (22)$$

図 17 に振動数 1.0Hz、層間変形の最大振幅 3.3mm の条件で、式(5)より求めたダンパーの実効変形 δ_d と式(22)より求めたダンパーの実効変形 δ_d' の比較を示す。図 17 よりせん断と曲げの考慮に入れることで、せん断と曲げの考慮しない場合の実効変形 δ_d に対して実効変形 δ_d' が大きくなり、より理論的な値に近づくことが確認できる。

また、図 18(a) にせん断と曲げの考慮を入れた場合の実効変形比と(b) に考慮入れない場合の実効変形比 α_e をそれぞれ比較する。図 18 より、右跳ね出し梁における曲げとせん断の影響を考慮することで、実効変形比の低下が解消されたことが確認できる。図 18(b) にて実効変形比が理論値である 2 を超えてしまう理由は、小振幅の加振条件ではノイズの影響が顕著であることが考えられる。

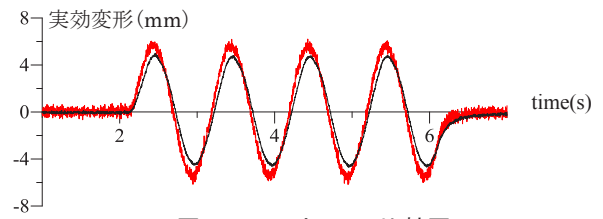
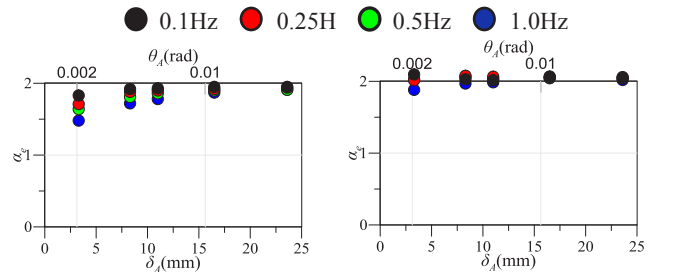


図 17 δ_d と δ_d' の比較図



(a) 実験に基づく実効変形比 (b) $\theta_{R'}$ に基づく実効変形比

図 18 実効変形比の比較

7. まとめ

本論文では、動的加振試験の結果より左寄せフレームにおいて右跳ね出し梁の変形が実効変形比に及ぼす影響について検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 左寄せフレームにおいて実効変形比が低下する要因として、右跳ね出し梁が長いこと、曲げやせん断力の変形による影響を受けていることがあげられる。
- (2) 実験より得られた右跳ね出し梁の回転角から曲げとせん断変形の影響による回転角を引いた値が層間変形角と一致することを確認した。
- (3) 右跳ね出し梁における曲げとせん断の影響を考慮した跳ね出し梁の変形より、ダンパーの実効変形の低下が解消されることを確認した。
- (4) 右跳ね出し梁における曲げとせん断の影響を考慮することで、左寄せフレームの実効変形比は理論値である 2 に近づいた。

謝辞

本研究は、株式会社日建設計、オイレス工業株式会社、東京理科大学北村研究室、東京工業大学佐藤研究室による共同研究の成果の一部である。

参考文献

- 1) 倉本洋, 小平渉, 加藤清也, 松井智哉, 中村博志, 所健, 植松工, 笠井和彦, 和田章: 粘弾性ダンパー付き間柱を設置した鉄骨フレームの動的挙動, 日本建築学会構造系論文集, No.606, pp.97-104, 2006.8
- 2) 戸張涼太, 後上和也, 石井正人, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一, 北村春幸, 佐藤利昭, 吉江慶祐: 変形増幅機構を有する制振構造システムの提案(その 1), (その 2), 日本建築学会関東支部研究報告集, 2014.2
- 3) 岩崎雄一, 小川晋平, 佐々木和彦, 石井正人, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 後上和也: 変形増幅機構を有する制振フレーム試験体の動的加振試験(その 1 変形増幅機構の概要と動的加振試験の計画), 日本建築学会大会学術講演, 2016.8
- 4) 小川晋平, 岩崎雄一, 佐々木和彦, 石井正人, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 後上和也: 変形増幅機構を有する制振フレーム試験体の動的加振試験 (その 2 動的加振試験の結果と実効変形比の分析), 日本建築学会大会学術講演, 2016.8
- 5) 後上和也, 岩崎雄一, 石井正人, 小川晋平, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 佐々木和彦: 変形増幅機構を有する制振フレーム試験体の動的加振試験 (その 3 梁と取付け部材のモデル化の提案と検証), 日本建築学会大会学術講演, 2016.8

*1 東京理科大学 *2 東京工業大学 *3 オイレス工業 (株) *4 (株) 日建設計