

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	中国式グリッドシステム天井の面内せん断実験
Title(English)	In-plane shear loading experiment on CHN-US style ceiling
著者(和文)	李ミンフェイ, 佐藤大樹, 元結正次郎
Authors(English)	Minhui LI, Daiki SATO, Shojiro MOTOYUI
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 537-540
Citation(English)	, , , pp. 537-540
発行日 / Pub. date	2024, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

中国式グリッドシステム天井の面内せん断実験

構造—集客施設の天井・非構造材

正会員 ○ 李 ミンフェイ<sup>\*1</sup> 正会員 佐藤 大樹<sup>\*2</sup>  
 // 元結 正次郎<sup>\*3</sup>

非構造部材 中国式天井 せん断実験

1. はじめに

近年、ニュージーランドや中国など多くの国では地震時におけるグリッドシステム天井の崩落や損傷が人的被害や建物機能の損失を招く事象が多数報告されている。特に、中国では2013年の四川雅安地震における学校の教室やホールの天井が落下や損傷などの被害が発生しており、今後大地震が発生した際には甚大な被害が懸念されている<sup>1)</sup>。同済大学と東京工業大学は2019年に共同で振動台実験を企画・実施した<sup>2)</sup>。当該実験によって、中国式天井の一次元の滑り・衝突挙動を明らかにした<sup>3)</sup>。しかし、中国式天井のせん断剛性を含める平面挙動を考察するための実験的研究はまだ少ない現状になっている。本報の目的は中国式天井を対象とするせん断載荷試験によって、中国式天井のせん断剛性を明らかにすることである。

2. 実験概要

2.1 試験体及び治具概要

試験体について、Fig.1(a)~(c)は本せん断試験の平面および立面計画を示す。Fig.2(a)および(b)は全体写真を示す。試験体は2×2グリッドの天井ユニットを組み立て、パネル無しの試験体A(Fig.1(a))と有りの試験体B(Fig.1(b))の2種類の試験を行う。パネルは592mm×592mmの岩綿吸音板を採用している。本試験の天井材は中国で一般的用いられている鋼製下地材であり、1400mmのメインTバー(Fig.1の赤線)、1200mmのクロスTバー(Fig.1の青線)及び600mmのサブクロスTバー(Fig.1の緑線)の3種類を使用する。

実験装置について、試験体の四つの角部位のメインTバーをボルトを介してピンにしている(Fig.2(c))。さらに、加力部位は細長い穴付いている木でメインTバーの下フランジを挿んで強制変位を与えている(Fig.2(d))。実験装置全体とする境界条件は、四角部位はピンとして、載荷部位はローラーとなる(Fig.3)。

2.2 計測概要

計測配置について、試験体変形分布を把握するために、Fig.1に示すように、試験体の四つの角近傍及び中央部両側合計六箇所に最大計測値±50mmのピストン変位計を

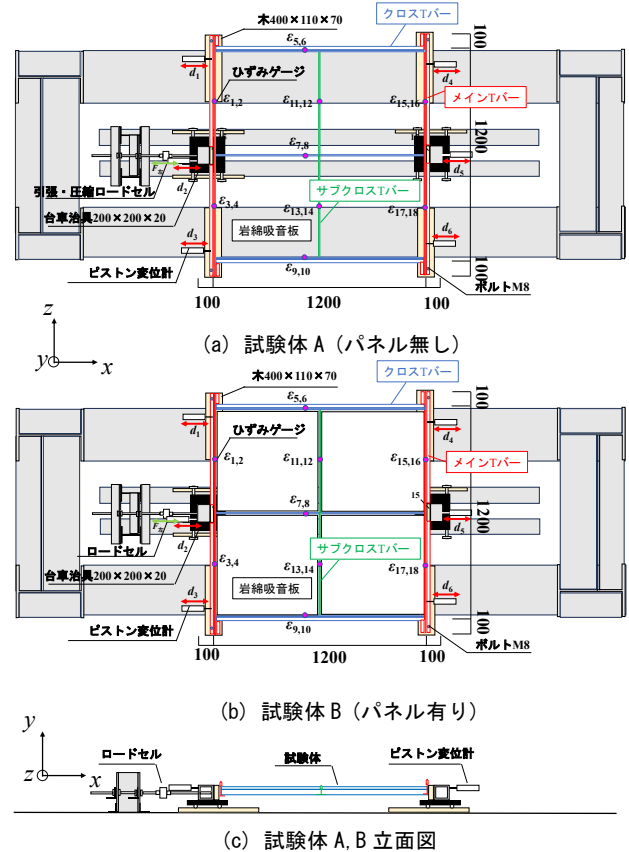


Fig. 1 実験概要

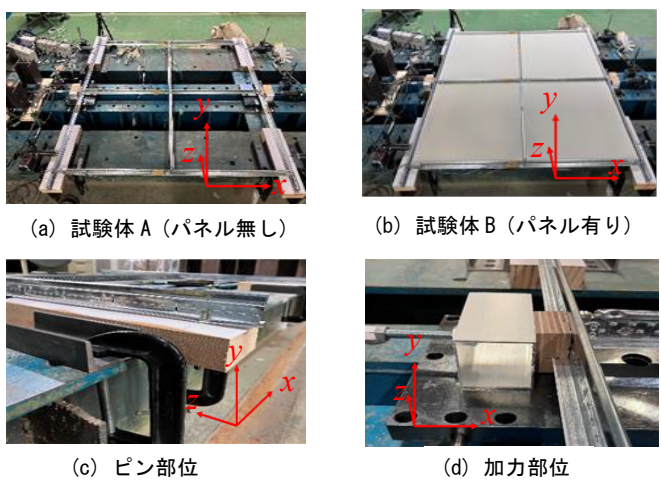


Fig. 2 実験状況及び詳細

設置し、 $d_1 \sim d_6$  を計測する。試験体に载荷する場合与える圧縮力および除荷する場合の引張力を引張圧縮型ロードセルで計測する。また、試験体の応力分布を把握するために、試験体の T バーに歪みゲージを 18 箇所貼っている。ただし、T バーは Fig.4 に示すように青色の上パーツとピンク色の下パーツで構成されているため、歪みゲージは T バーの上パーツおよび下パーツの図心各 1 枚を貼り、下式に従って各 T バーにかかる軸力を算出する<sup>4)</sup>。

$$N = E \cdot A_{\text{upper}} \cdot \varepsilon_{\text{upper}} + E \cdot A_{\text{down}} \cdot \varepsilon_{\text{down}} \quad (1)$$

ここで、 $A_{\text{upper}}$ : 上パーツの断面積(27 mm<sup>2</sup>)、 $A_{\text{down}}$ : 下パーツの断面積(8 mm<sup>2</sup>)、 $\varepsilon_{\text{upper}}$ : 上パーツ図心の歪み、 $\varepsilon_{\text{down}}$ : 下パーツ図心の歪み。T バー上パーツの図心を求める方法は付録 A1 で詳しく説明する。

### 2.2 加力計画

本試験は 2×2 グリッドの天井ユニットのメイン T バーの両端部をピンとして、中央部に载荷する。加力治具について、Fig.1 に示すように、H 型鋼、穴が開いている L 型鋼及び M9 のボルトに組み立てる。ボルトを回すことによって試験体に強制変位を与える (Fig.5)。パネル無しの試験体 A は試験体中央部を 25 mm ( $d_{2\text{max}} = 25$  mm) まで载荷する。一方、パネル有りの試験体 B は、Fig.5(b) に示している 25 mm および 40 mm ( $d_{2\text{max}} = 25, 40$  mm) で载荷する。

## 3. 実験結果

### 3.1 変位荷重関係

Fig.6 に試験体 A の  $d_1 \sim d_6$  の変位時刻歴を示す。Fig.7 に試験体 B の  $d_1 \sim d_6$  の変位時刻歴を示す。図中の実線は加力側の変位  $d_1, d_2, d_3$  であり、点線は反対側の変位  $d_4, d_5, d_6$  である。実線と点線の比較することによって、試験体の x 軸の変形は同等であることが確認できる。つまり、加力方向のクロス T バーの内部変形は発生しないと考えられる。試験体の変形  $d_1$  と  $d_3$ 、 $d_4$  と  $d_6$  をそれぞれ比較すると、おおむね等しく試験体の変形は対称的である。

試験体全体の剛性を把握するために、Fig.8 に  $d_2$  と载荷荷重  $F_L$  の関係を示す。Fig.8 より、試験体 A の場合、試験体の剛性は線形で、フレームの剛性  $K_{\text{frame}}$  はおおよそ 5.8 N/mm である。一方、試験体 B の場合、 $d_2 < 15$  mm の範囲までは、剛性  $K_1$  はおおよそ試験体 A の場合の剛性  $K_{\text{frame}}$  と同じ 5.8 N/mm であるか、 $d_2 > 15$  mm では、剛性  $K_2$  は 26.1 N/mm となり、 $K_1$  の約 4 倍となっていることが確認できる。また試験体が除荷してからの剛性  $K_3$  も  $K_{\text{frame}}$  とほぼ同じ 5.7 N/mm であることが確認できる。これは、フレームとパネル間 15mm 程度の初期隙間を持ち、フレームがパネルに接触してから、パネルの剛性が付加され、除荷時にはまたフレームのみの状態に戻っているためと考えられる。

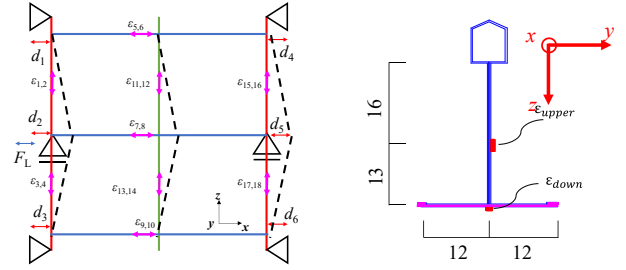
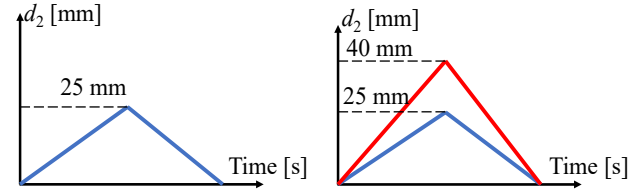


Fig. 3 境界条件 Fig. 4 歪みゲージ位置 (単位 mm)



(a) 試験体 A (パネル無し) (b) 試験体 B (パネル有り)  
Fig. 5 加力計画

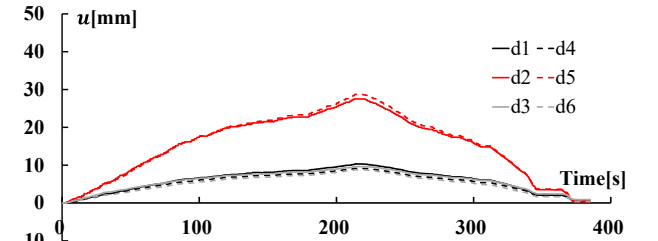
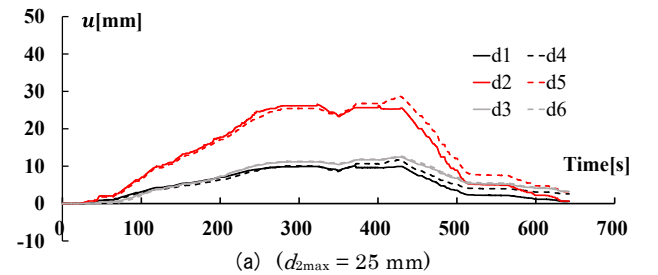
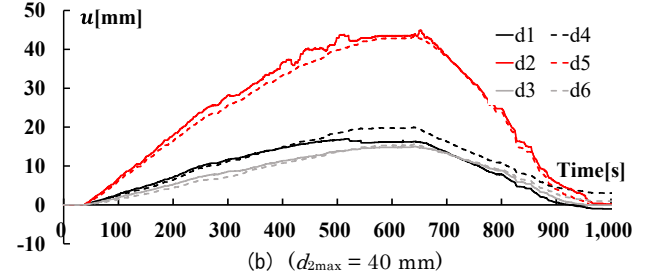


Fig. 6 試験体 A 変位時刻歴 ( $d_{2\text{max}} = 25$  mm)



(a) ( $d_{2\text{max}} = 25$  mm)



(b) ( $d_{2\text{max}} = 40$  mm)

Fig. 7 試験体 B 変位時刻歴

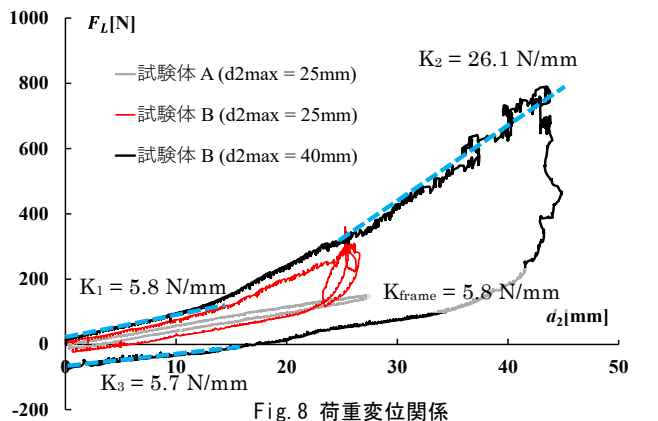


Fig. 8 荷重変位関係

### 3.2 歪み結果

Fig.9,10 に試験体 A および試験体 B のせん断試験による加力方向の 3 列のクロス T バーに貼ってある歪みゲージで計測した歪み時刻歴を示す。ただし、 $\varepsilon_5, \varepsilon_7, \varepsilon_9$  はクロス T バーの上パーツの図心に貼ってある歪みゲージで計測した歪みであり、 $\varepsilon_6, \varepsilon_8, \varepsilon_{10}$  はクロス T バーの下パーツの図心に貼ってある歪みゲージで計測した歪みである。Fig.9 (試験体 A の場合) よりクロス T バーの歪み  $\varepsilon_7$  は大きい一方が、両側のクロス T バーの歪みが非常に小さくて、ほとんど軸力がかかっていないことが分かる。Fig.10 (試験体 B の場合) より、試験体両側のクロス T バーの歪み  $\varepsilon_5, \varepsilon_9$  は中央部荷重されているクロス T バーの歪み  $\varepsilon_7$  より倍程度大きくなっていることが確認できる。さらに、中央部の試験体の変形  $d_2$  と下側のクロス T バーの歪み  $\varepsilon_9$  および中央部荷重されているクロス T バーの歪み  $\varepsilon_7$  の関係を Fig.11 および Fig.12 にそれぞれ示す。Fig.11,12 より、加力部位の変形  $d_2$  と歪み  $\varepsilon_9$  関係は最初から線形性を持つが、両側  $\varepsilon_7$  では  $d_2$  が 15 mm を超えてから線形になる特性が確認できる。

### 3.3 試験体の応力分布

Fig.13 は試験体 A および試験体 B の  $d_2=25\text{mm}$  の場合の応力分布を示す。Fig.13 (a) (試験体 A の場合) より、加力部に荷重する力はロードセルの計測により 145.8 N である。中央部のクロス T バーが負担する軸力は 132.3 N が、両側のクロス T バーの軸力は 15 N 程度で非常に小さくて、試験体にかかる荷重は主に中央部のクロス T バーに負担されることが確認できる。Fig.13 (b) (試験体 B の場合) より、加力部に荷重する力は 352.1 N である。中央部のクロス T バーが負担する軸力は 130.8 N であり、両側のクロス T バーは 150 N 程度の軸力がかかっている。Fig.13 (a) と (b) を比較すると、荷重方向のクロス T バーの応力分布は明らかに異なることが確認できる。これは、試験体 A の場合、パネルが設置せず、試験体に与える圧縮力が主に加力部位を通して、近傍のクロス T バーに流すが、試験体 B の場合圧縮力を受け、フレームがパネルに接触して加力部位に通す力はクロス T バーだけではなく、パネルにも伝達されるためと考えられる。

### 4. まとめ

本研究は中国式天井のせん断剛性を明らかにするために、 $2 \times 2$  グリッドの中国式天井システムを試験体とするせん断試験を実施した。以下の知見が得られた。

- (1) 試験体 A および B を比較するによって、フレームがパネルに接触する前には、フレームの剛性とほぼ同じであり、フレームがパネルに接触した後、試験体システムの全体剛性がフレームの剛性の 4 倍程度になる。
- (2) パネルの有無によって、全体の応力分布が異なることが確認できる。

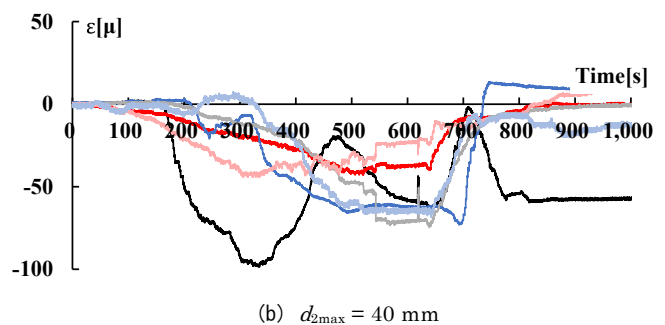
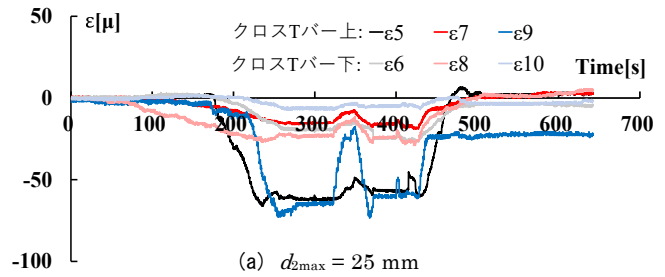
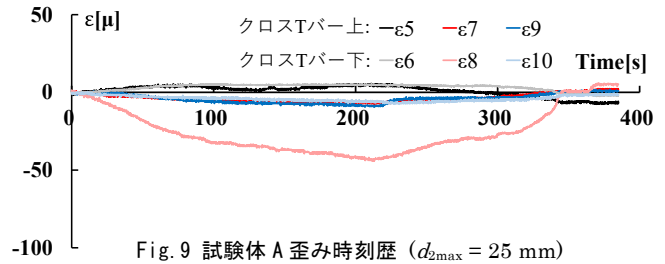


Fig. 10 試験体 B 歪み時刻歴

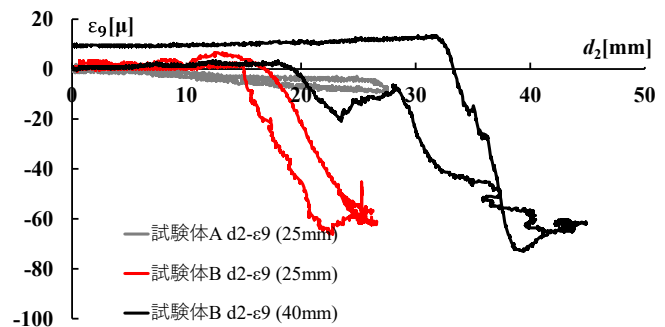


Fig. 11 変位  $d_2$ -歪み  $\varepsilon_9$

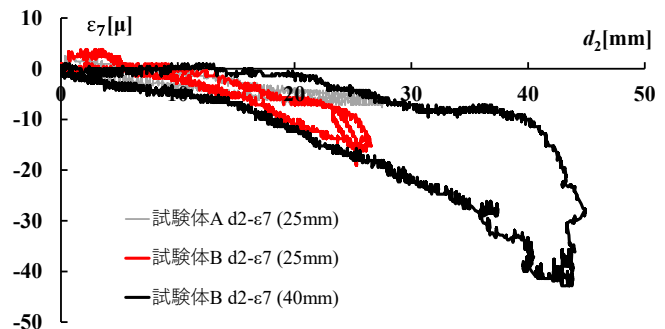


Fig. 12 変位  $d_2$ -歪み  $\varepsilon_7$

参考文献

- 1) Li Qiqi, Qu Zhe: Study on the seismic damage characteristic of suspended ceilings of exposed runners and mineral wool boards, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 2019.6
- 2) Yong Wang, Huanjun Jiang, Shojiro Motoyui, Kazuhiko Kasai: Study on seismic performance of suspended ceiling system with semi-free boundary condition, Engineering Structures Volume 275, Part A, 15 January 2023, 115208
- 3) 李 ミンフェイ, 元結 正次郎 : 中国式グリッドシステム天井の動的性状に関する数値解析的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.953-954, 2021.9
- 4) 李 ミンフェイ, 元結 正次郎 : 中国式グリッドシステム天井を構成する T バーにかかる軸力を導く手法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.993-994, 2022.9

付録 A1

Fig.A1 に示すように, 歪みゲージで中国式天井の T バー上パーツ図心を算出することを目的として T バーの引張試験を実施した. 引張試験は下フランジ固定および上フランジ固定 2 種類の試験を行う. 本引張試験の試験体に歪みゲージの貼る位置を Fig.A2(a)に示す. 歪みゲージによって計測される試験体の歪み分布を Fig.A2(b)に示す. 黒色線は下フランジ固定する場合(Fig.A1(b)), 赤色線は上フランジ固定する場合(Fig.A1(c))の実験結果である. クロス T バーの上パーツ図心位置は 2 種類の引張試験の歪み分布の交差点  $y_T = 16\text{mm}$  である ( $y_T$  は上フランジの下端まで  $y$  方向の距離)ことが確認できる. さらに上パーツの歪み分布が線形であるために, 上パーツ図心の歪みは下式に従って算出できる.

$$\epsilon_{upper} = \frac{1}{14} \left[ \frac{\epsilon_a + \epsilon'_a}{2} + \frac{13(\epsilon_b + \epsilon'_b)}{2} \right] \quad (A1)$$

$$\epsilon_{down} = \epsilon_e \quad (A2)$$

A1 および A2 式を用いて(1)式の軸力  $N$  を算出する. さらに引張試験の荷重  $F$  と  $N$  を比較するを Fig.A3 に示す. Fig.A3 より, 上パーツおよび下パーツ図心の歪みで算出されたクロス T バーの軸力は  $F$  に対して 5%以下の誤差に収まり, 十分高い精度を持つことが確認できた.

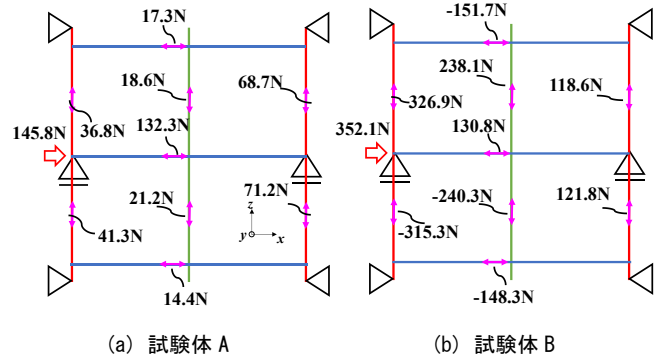


Fig. 13 応力分布 ( $d_2 = 25 \text{ mm}$ )

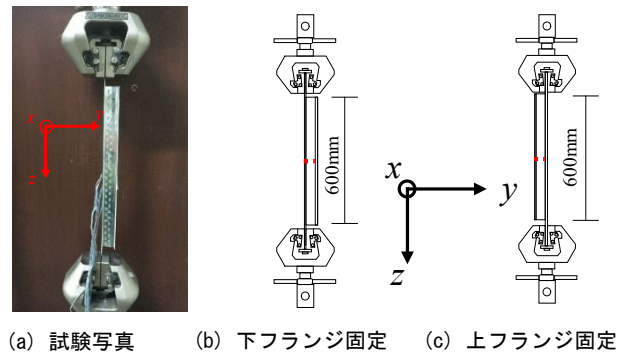


Fig. A1 クロス T バー引張試験

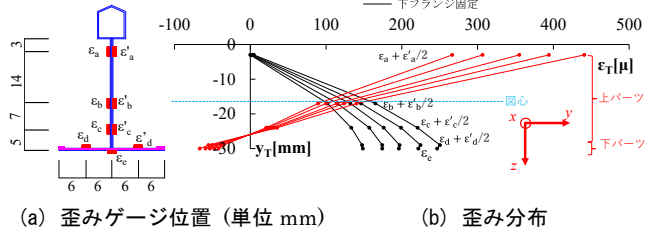


Fig. A2 引張試験結果

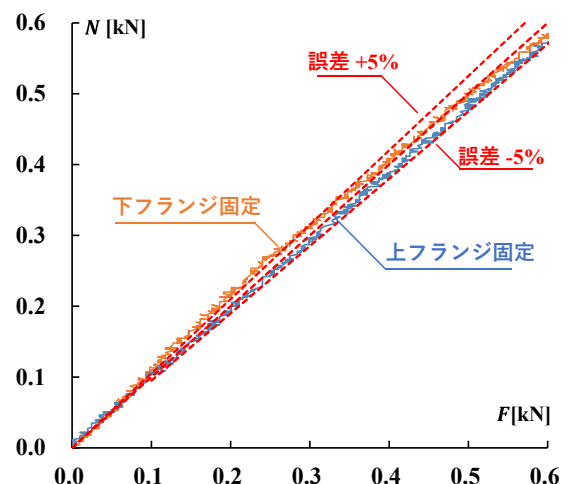


Fig. A3 軸力の精度

\*1 東京工業大学 博士学生

\*2 東京工業大学 准教授・博士(工学)

\*3 東京工業大学 名誉教授・博士(工学)

\* Doctoral Student, Tokyo Institute of Technology \*1

\* Associate Prof, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng \*2

\* Emeritus Prof, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng \*3