

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	グリッドシステム天井の鋼製下地材を対象とした引張実験
Title(English)	Tensile Test on T-shape Steel Members for Grid Ceiling Systems
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. 273-276
Citation(English)	, , , pp. 273-276
発行日 / Pub. date	2025, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

グリッドシステム天井の鋼製下地材を対象とした引張実験

構造—集客施設の天井・非構造材

正会員 ○ 李 ミンフェイ^{*1} 正会員 佐藤 大樹^{*2}
〃 元結 正次郎^{*3}

非構造部材 グリッドシステム天井 引張実験

1. はじめに

非構造要素とは、仕上げ材や内装材などの建築要素、給排水や空調システムなどの設備機器、および家具に代表される什器を指し、建築における構造要素以外のすべての要素を含む。この非構造要素は、建物の自重や地震力などの外力を負担しない特性を有する。

芸予地震以降、多くの地震で天井の落下をはじめとする非構造要素の被害が確認されており、特に人的被害が発生した在来工法の吊り天井に関しては耐震化の必要性が指摘されてきた。この結果、2014年に国土交通省による耐震化に関する告示が施行された。

しかし、この告示は在来工法の吊り天井を対象としており、現在より広く普及しているグリッドシステム天井に対する具体的な基準は示されていない。例えば、2013年の四川雅安地震において学校の教室やホールの天井が落下・損傷する被害が発生し (Fig.1(a))¹、その多くがグリッドシステム天井であったことが報告されている。また、2016年の熊本地震では、多数の大規模施設においてグリッドシステム天井面積が広い空間を中心に被害が集中した (Fig.1(b))²。象徴的な被害として、端部の鋼製下地材が地震時の強い衝撃によって破壊され、壁周囲の天井パネルが最初に落下し、被害が天井面の中心部まで広がった後、最終的には大規模な天井落下に至ったケースが挙げられる。このような事例では、負傷者の発生や建物機能の喪失など、甚大な被害が確認されている。

以上の現状を踏まえると、グリッドシステム天井の耐震設計に関する研究の重要性がますます高まっている。グリッドシステム天井は構造が複雑で、地震時の挙動には高度な非線形性が伴うため、地震時における挙動を明らかにするための研究手法として、静力試験と振動台試験が主に用いられてきた。これらの試験では、グリッドシステム天井面内の内力分布を把握するために、鋼製下地材 (Tバー) にひずみゲージを設置し、計測されたひずみから内力を推定する方法が一般的である²⁾。しかし、Tバーの断面形状が不規則であることが多く、得られるデータには精度の限界があり、天井面内の内力分布を十分に解明するには至っていないのが現状である。そこで、

本研究では、グリッドシステム天井の Tバーを対象とした一連の引張試験を実施し、ひずみゲージを用いて最適な Tバーに作用する軸力を測定する手法を提案することを目的とする。

2. Tバーの軸力を測定する方法

グリッドシステム天井の基本構成は、3600 mm のメイン Tバー、1200 mm のクロス Tバー、および 600 mm のサブクロス Tバーで組み立てられている (Fig. 2)。このうち、メイン Tバーとサブクロス Tバーは同じ方向に平行に配置され、クロス Tバーはそれらに対して垂直方向に配置される。メイン Tバー、クロス Tバー、サブクロス Tバーの断面の詳細については、Fig. 3 に示されている。その中で、三種類の Tバーはいずれも上部材と下部



(a) 2013 四川地震 (b) 2016 熊本地震 (水谷先生提供)

Fig. 1 グリッドシステムの被害写真

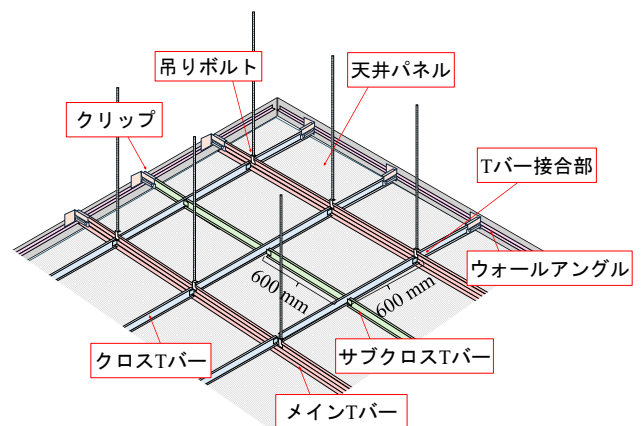


Fig. 2 グリッドシステム天井の構成

材の 2 つのパーツで構成されている。下部材のプレート（下パーツ）は、端部を折り曲げて上部材のプレート（上パーツ）下端に当てがい、隙間を塞ぐ構造となっている。両パーツ間の力は主に摩擦力や接触力によって伝達される。このため、T バー全体が平面性を保持するという仮定が成立するかどうかは、依然として明確ではない。既往研究では、グリッドシステム天井の静的および動的実験において、T バーにかかる軸力を測定するために、T バー上部材の中央部にひずみゲージを 1 枚だけ設置していた。しかし、上述の理由から、1 枚のひずみゲージだけで T バーの軸力を正確に測定できるかどうかについては、まだ疑問が残っている。そこで、本報は二つのひずみゲージの設置方法を提案した。

- 1) T バーの上パーツ中央部の図心部位に 1 枚だけひずみゲージを設置して、以下の式を用いて T バーにかかる軸力を計算する。

$$F = E \varepsilon_{eu} A_u \quad (1)$$

- 2) T バーの上パーツおよび下パーツの中央部の図心部位にそれぞれ 1 枚ひずみゲージを設置して、二箇所のひずみを用いて以下の式によって T バーにかかる軸力を計算する。

$$F = E \varepsilon_{eu} A_u + \varepsilon_{ed} A_d \quad (2)$$

F : T バーにかかる軸力

E : T バーのヤング係数 (205000 N/mm²)

ε_{eu} : T バー上パーツ中央部図心におけるひずみ

ε_{ed} : T バー下パーツ中央部図心におけるひずみ

A_u : T バー上パーツの断面積

A_d : T バー下パーツの断面積

以上の二つの設置方法による計算結果を比較し、最適なひずみゲージの設置方法を決定する。このようにして、各 T バーの上部パーツ断面における図心を実験によって取得する必要がある（下部パーツは対称形状を持っているため、図心がプレートを中心であることは確定できる）。第 3 節では、T バー上部パーツの図心を取得するための引張試験について説明する。

3. 引張実験

3.1 試験体概要

T バーの上パーツの図心を取得するために、以下の 2 種類の試験体を作成し、引張試験を実施する。

試験体 A: T バー上パーツの下部と下パーツは荷重部位として、軸方向の長さは 350 mm、そのほかの部分は 300 mm とする。

試験体 B: T バー上パーツの頭部（上フランジ）を荷重部位として、上パーツのほかの部分および下パーツより長くする。上フランジの軸方向の長さは 350 mm、そのほかの部分は 300 mm とする。

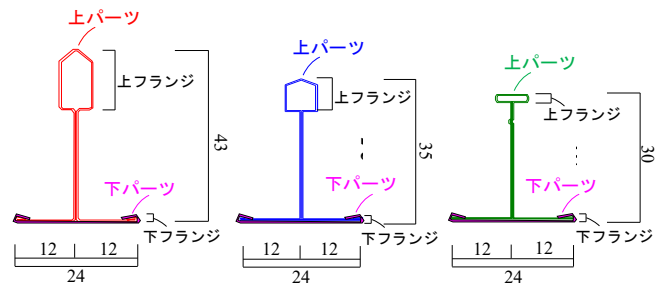
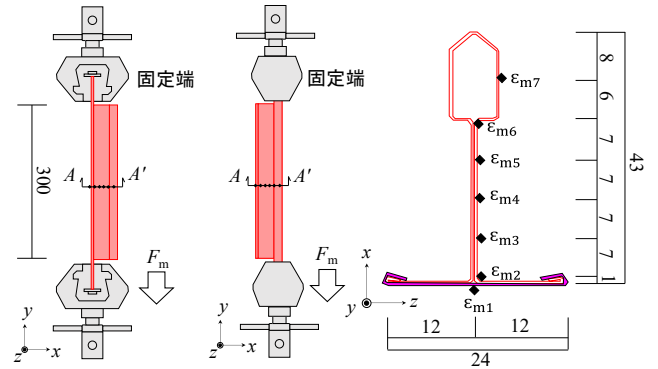
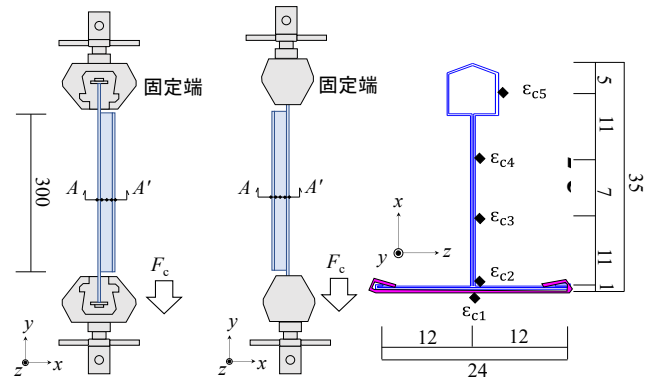


Fig. 3 T バー断面の詳細



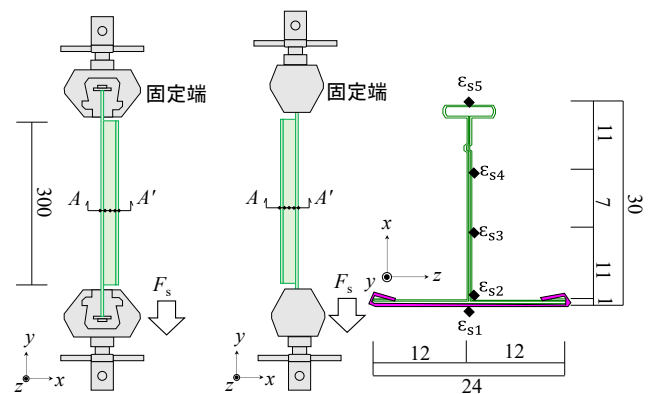
(a) 引張試験 A (b) 引張試験 B (c) A-A'断面

Fig. 4 メイン T バーを対象とする引張試験



(a) 引張試験 A (b) 引張試験 B (c) A-A'断面

Fig. 5 クロス T バーを対象とする引張試験



(a) 引張試験 A (b) 引張試験 B (c) A-A'断面

Fig. 6 サブクロス T バーを対象とする引張試験

3.2 荷重方法

本実験は万能試験機を用いて、メイン T バー、クロス T バーとサブクロス T バーの試験体 A、試験体 B を対象とした引張試験を実施した。試験体 A については、Fig.4~6(a)に示すように、下フランジおよび上パーツの下部の両端が万能試験機のつかみ具に固定され、荷重かかっている(引張試験 A)。一方で、試験体 B では、Fig.4~6(b)に示すように、上フランジの両端が万能試験機に繋がって、載荷されている(引張試験 B)。載荷荷重は、試験体の軸方向に沿って弾性変形範囲内で 0 kN から 1.0 kN までかける。

3.3 計測概要

計測配置について、試験体にかかる荷重は万能試験機に内蔵されているロードセルで計測している。各種類の T バーの上パーツにおける図心の位置を明らかにするために、Fig.4~6(c)に示すように、T バー試験体の中央部の上パーツ断面に複数のひずみゲージを設置し、断面内のひずみ分布を把握している。

3.4 実験結果

Fig.7 はメイン T バーを対象とした引張実験 A と B から得られた、断面内の三つの時点におけるひずみ分布を

示している。Fig.7(a), (b), (c)は載荷荷重 $F_m = 1.0, 0.8, 0.6$ kN 場合における T バー断面内のひずみ分布を示しており(青色線は引張試験 A, ピンク色線は引張試験 B の結果を表している)。これらのグラフによって、以下のことが分かった。

- 引張試験 A の場合、T バー上パーツの下部と下パーツが同時に引張力を受け、上パーツ断面のひずみ ($\epsilon_{m2} - \epsilon_{m7}$) はほぼ直線状分布になっており、下パーツのひずみ ϵ_{m1} はその直線状分布に乗っていない。

さらに、Fig.8 と Fig.9 はクロス T バーとサブクロス T バーが試験体とした場合の引張実験結果を示しており、同様の特性が現れた。この特性から、T バーの上部パーツ面内では平面保持仮定が成り立つ一方で、T バー全体的には平面保持仮定が成り立たないことを確認した。

4. T バーにかかる軸力の計算

本節は 3.4 節で得られたひずみ分布の実験結果を踏まえて、T バー上パーツ図心の位置および各パーツの断面積を明らかにし、2 節で提案した T バーにかかる軸力を導く方法を検証する。

T バー上パーツの図心におけるひずみは T バー断面の

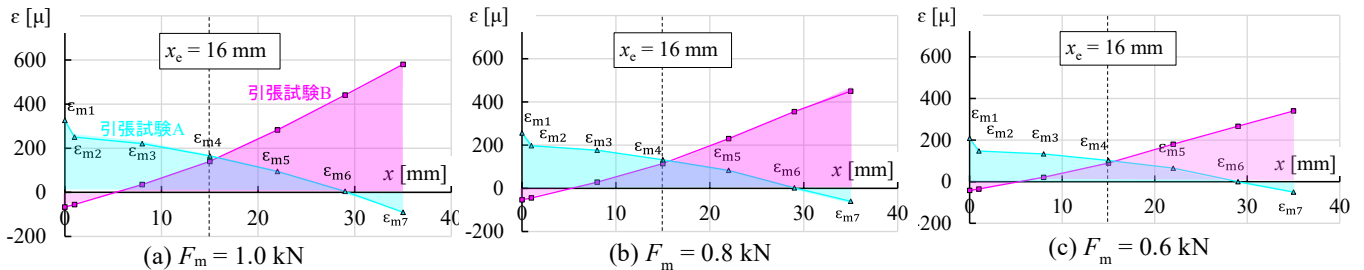


Fig. 7 メイン T バーの図心位置

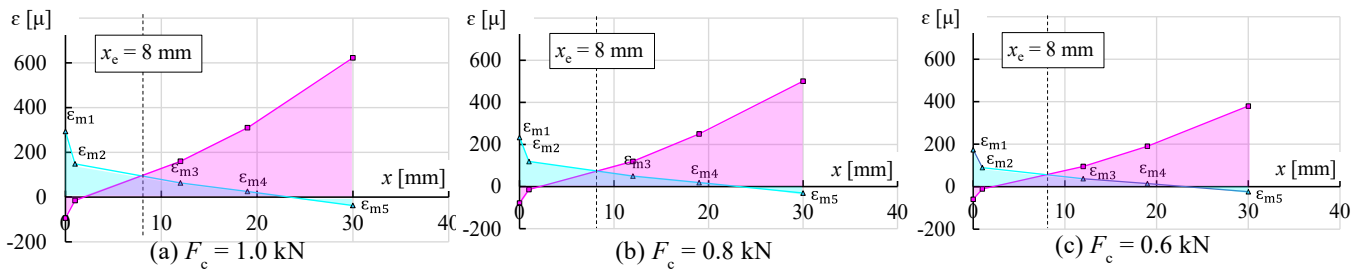


Fig. 8 クロス T バーの図心位置

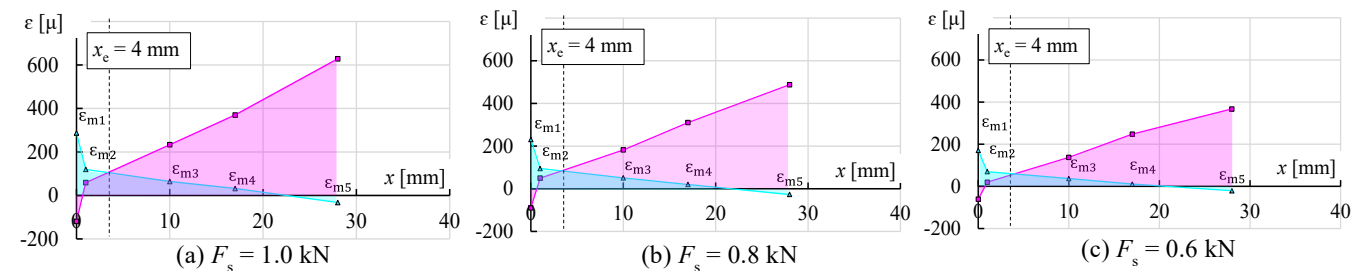


Fig. 9 サブクロス T バーの図心位置

Z 軸まわりの曲げモーメントの影響を受けなくて、Tバにかかる軸方向の力しか影響されない。そのために、引張実験 A, B にかかわらず、Tバーが軸方向で同じ荷重を受けた場合、上パーツ図心のひずみも同じになるはずである。いわゆる、Fig.7-9 では、引張実験 A と B のひずみ分布の交差点が Tバー上パーツ図心の位置になる。このように、メインTバー、クロスTバーおよびサブクロスTバーの図心位置 x_e はそれぞれ 16 mm, 8 mm, および 4 mm である。さらに、 $F=1.0\text{ kN}, 0.8\text{ kN}, 0.6\text{ kN}$ 三つの場合の上パーツ図心のひずみ ϵ_{eu} 、下パーツ図心のひずみ ϵ_{ed} 、およびTバーにかかる荷重 F が分かるため、それらの結果を式(2)に代入し、Tバー上パーツおよび下パーツの断面積 A_u, A_d を導く。このように、メインTバー、クロスTバー、およびサブクロスTバーの図心位置と断面積は下記の通りである。

Table 1

	メインTバー	クロスTバー	サブクロスTバー
x_e	16 mm	8 mm	4 mm
A_u	32 mm ²	27 mm ²	23 mm ²
A_d	8 mm ²	8 mm ²	8 mm ²

Fig.10 は提案 1 (式 1) と提案 2 (式 2) で導く軸力の比較図である。横軸は万能試験機で内蔵されるロードセルで測った軸力 F であり、縦軸は推定式で導く軸力 \hat{F} である。Fig.10 によって、提案 1 は上パーツ図心のひずみ ϵ_{eu} だけを考慮して T バーの軸力を計算するために、誤差は 10% 以上越えている。一方で、提案 2 は上パーツと下パーツの図心ひずみ $\epsilon_{eu}, \epsilon_{ed}$ を配慮して軸力を導くために、誤差は 5% 以下収まっている。

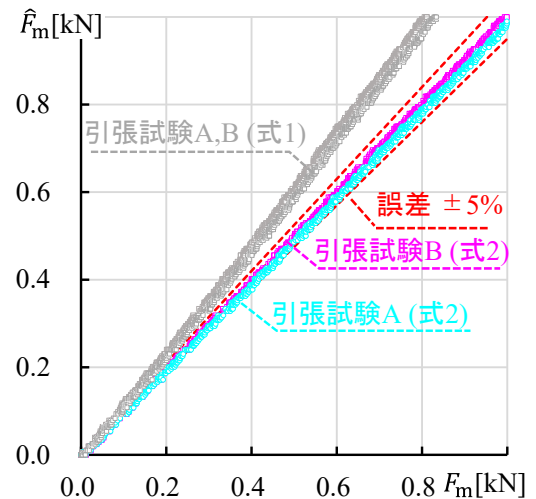
5. まとめ

本報はグリッドシステム天井の鋼製下地材 T バーを対象とした一連の引張実験を実施し、以下の知見を得た。

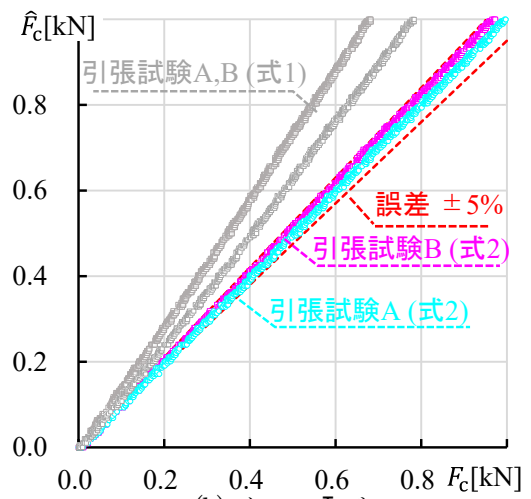
- T バー上パーツ面内は平面保持仮定に従われる一方で、下パーツを含む T バー全体は平面保持仮定に従わない。
- Tバーの上パーツ、下パーツ両方の図心ひずみで導く軸力のほうが精度高い。

参考文献

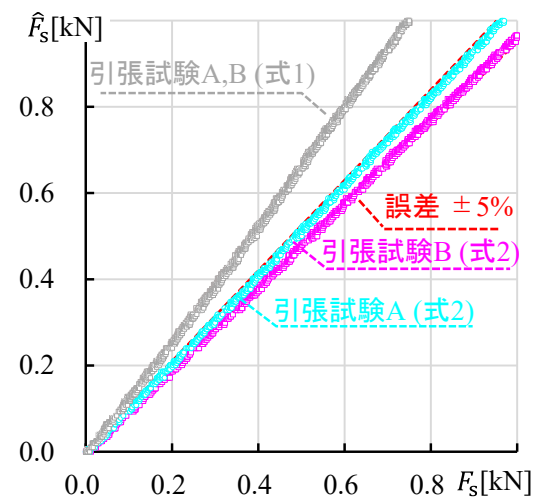
- 1) B. Sun, B. F. Spencer, P. Yan, X. Chen, G. Zhang, Analysis of the seismic vulnerability of buildings in the lushan ms 7.0 earthquake in the sichuan province of china, Journal of Earthquake Engineering 26 (2) (2022) 764-792. doi: 10.1080/13632469.2019.1692742.
- 2) Y. Wang, H. Jiang, S. Motoyui, K. Kasai, Z. Qin, Y. Huang, Study on seismic performance of suspended ceiling system with semi-free boundary condition, Engineering Structures 275 (2023) 115208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115208>.



(a) メイン Tバー



(b) クロス Tバー



(c) サブクロス Tバー

Fig. 10 提案 1 と提案 2 の比較

*1 東京科学大学 博士学生

*2 東京科学大学 准教授・博士(工学)

*3 東京工業大学 名誉教授・工学博士

* Doctoral Student, Institute of Science Tokyo *1

* Associate Prof, Institute of Science Tokyo, Dr.Eng *2

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