

軽量角形鋼による点検用歩行可能吊り天井下地部材の開発

松本 慎也*1, 佐藤 公章*2, 琴岡 茂樹*3

Development of suspended ceiling foundation member using lightweight square steel on walking load

Shinya MATSUMOTO*1, Masafumi SATO*2 and Shigeki KOTOOKA*3

Dropout damage of non-structural members (ceilings) in large-scale space buildings was reported by the Great East Japan Earthquake in March 11, 2011. Falling ceiling material is at high risk of personal injury. Large public space structures will be used the shelter during earthquakes. Therefore, it must be a safe place. It is important to understand the seismic performance for the ceiling. In addition, it is necessary to design the ceiling space in order to perform regular maintenance of various heavy items suspended from the slab.

Keywords: Ceiling structures, Maintenance, Walking load, Lightweight square steels, Caulking

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、大規模空間を有する建築物における非構造部材（天井）の脱落被害が報告された⁽¹⁾。特に天井材の落下は人的被害の危険性が高く、体育館や公共の大空間構造物は地震時等に避難場所となることであり安全な場所でなくてはならない。そのため、天井の耐震性能を十分に把握するとともに、躯体から吊り下げられている様々な重量物の定期的なメンテナンスが容易に行えるような天井空間の設計が重要となる⁽²⁾⁽⁵⁾。

本研究では天井空間における吊り下げ重量物の定期的なメンテナンスを容易に行うために点検作業員が乗っても耐えることのできる曲げ性能を有する天井用鋼製下地材の検討を行う。本報告では部材同士を接合する際の接合金物を提案し、その接合部の曲げ性能について報告する。

2. 使用部材

本研究では、角形鋼管のコーナー部においてかしめ成形により嵌合した軽量角形鋼管を用いることとした。このかしめ成形角形鋼管は図1に示すような断面形状であり、コーナー部にかしめがあるので、部材周囲四面すべてに対し穴あけ加工が容易に行える特徴を有している。

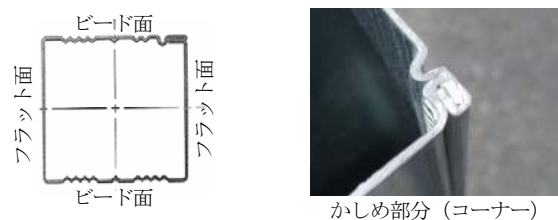


図1 かしめ成形角形鋼管の断面形状

原稿受付 2019年4月10日

*1 近畿大学工学部 建築学科 准教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番)

E-mail matsumoto@hiro.kindai.ac.jp

*2 株式会社佐藤型鋼製作所 代表取締役 (〒733-0802 広島市西区三滝本町2-24-24)

E-mail sato.m@satock.co.jp

*3 株式会社サイトウミクロ 常務取締役 (〒731-3362 広島市安佐北区安佐町久地2683-147)

E-mail micro-shigeki@nifty.com

3. 部材の基礎的曲げ特性

本研究では、コーナーかしめ加工による軽量角形鋼管の基礎的な曲げ特性を把握するために、図 2 に示すような部材の曲げ試験を行った(写真 1 参照)。本曲げ試験では、検討している軽量角形鋼管のなかで最も板厚の薄いタイプ(□45×45×板厚 0.8mm)の部材に対し、3 等分 2 点载荷による曲げ試験を実施し、かしめ部を曲げの圧縮縁に来るように上側にした場合と、引張縁に来るように下側にした場合との比較を連続部材で行うこととした(図 3 参照)。

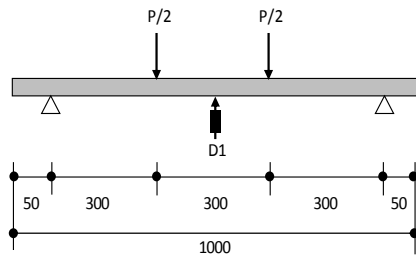
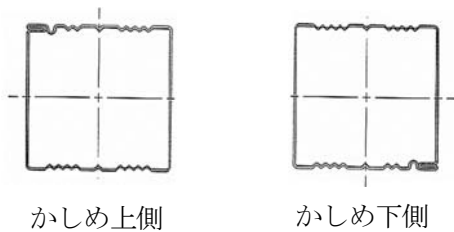


図 2 部材の曲げ試験



かしめ上側

かしめ下側

図 3 試験体(□45×45×0.8)のかしめ位置



写真 1 部材の曲げ試験(かしめ上側)

図 4 に曲げ試験結果を示す。かしめを上側にした曲げ試験体の最大耐力は 4.54kN、かしめを下側にした試験体の最大耐力は 3.35kN であり、かしめを下側にした場合、耐力は 26.2%減少することが確認された。このときの部

材の終局状況を写真 2 に示す。これらの結果は、曲げ応力を受ける部材の圧縮縁における部材の局部座屈の影響であると考察される。本結果を受け、かしめ部は上側として使用することを基本とした。

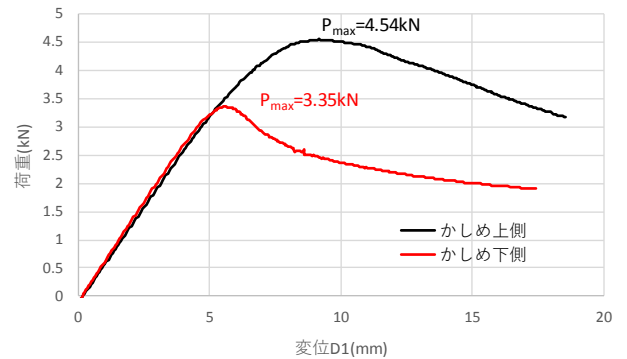


図 4 曲げ試験結果(□45×45×0.8)



かしめ上側試験体

かしめ下側試験体

写真 2 部材の終局状況

4. 部材接合部の曲げ特性

本研究では、図 5 に示すように、角形鋼管の中に入れる挿入金物と外側に添える折り曲げ金物とをビス止めする工法を検討する。挿入金物の外観を写真 3 に示す。

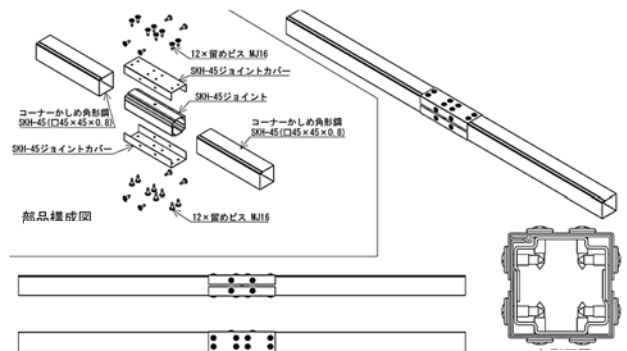


図 5 ジョイント部の詳細




写真 3 挿入金物

ジョイント部の曲げ試験は表 1 に示すように、角形鋼管の部材板厚は、1.2mm (□45×45×1.2)、0.8mm (□45×45×0.8) の 2 種類、外金物の板厚は 1.6mm、1.2mm の種類、挿入金物は共通の仕様とし、比較のために角形鋼管を連続体としジョイント部を有しない試験体も含め、各試験体の曲げ試験を行った (図 6 参照)。かしめ部はいずれも上側としている。曲げ試験体は各シリーズ 3 体ずつ作成し、それぞれの曲げ試験を行った (写真 4 参照)。

曲げ試験に用いた軽量角型鋼の断面性能を表 2 (□45×45×1.2)、表 3 (□45×45×0.8) にそれぞれ示す。

表 1 ジョイント部の曲げ試験体一覧

| 部材板厚(mm) | 角形鋼管 | 外金物の板厚(mm) | 挿入金物 |
|----------|------------|------------|---|
| 1.2 | □45×45×1.2 | 1.6 | 共通  |
| 1.2 | □45×45×1.2 | 1.2 | |
| 0.8 | □45×45×0.8 | 1.2 | |
| 1.2 | □45×45×1.2 | 連続体 | |
| 0.8 | □45×45×0.8 | 連続体 | |

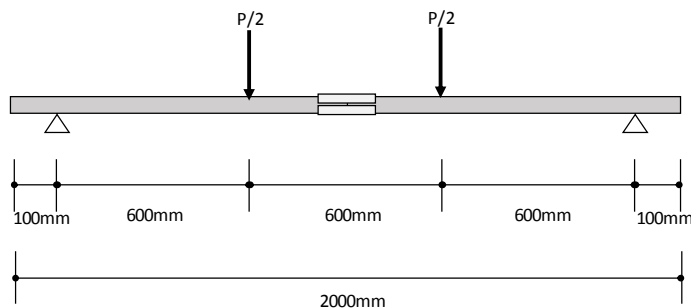


図 6 ジョイント部の曲げ試験

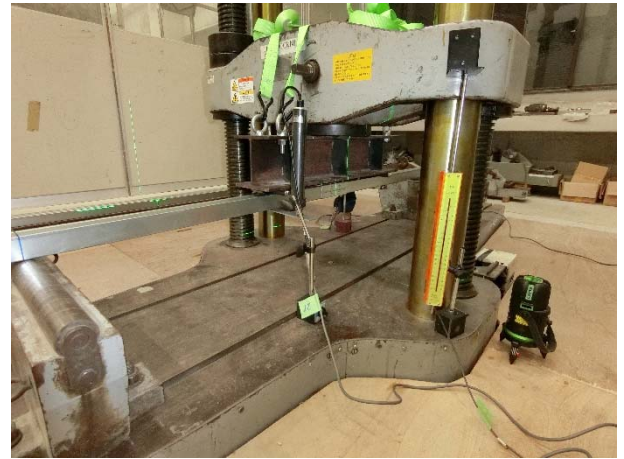


写真 4 ジョイント部の曲げ試験風景 (□45×45×1.2、外金物板厚 1.6mm)

表 2 □45×45×1.2 の断面性能

| | | |
|-------------|----|----------------------|
| 断面積 | A | 2.39 cm ² |
| 断面 2 次モーメント | Ix | 7.66 cm ⁴ |
| | Iy | 7.35 cm ⁴ |
| 断面係数 | Zx | 3.41 cm ³ |
| | Zy | 3.27 cm ³ |
| 断面 2 次半径 | ix | 1.79 cm |
| | iy | 1.76 cm |

表 3 □45×45×0.8 の断面性能

| | | |
|-------------|----|----------------------|
| 断面積 | A | 1.69 cm ² |
| 断面 2 次モーメント | Ix | 5.67 cm ⁴ |
| | Iy | 5.21 cm ⁴ |
| 断面係数 | Zx | 2.52 cm ³ |
| | Zy | 2.32 cm ³ |
| 断面 2 次半径 | ix | 1.84 cm |
| | iy | 1.76 cm |

5. □45×45×1.2 シリーズの試験結果

□45×45×1.2 シリーズの曲げ試験における荷重-変位 (ストローク変位) 関係を図 7~図 9 に示す。図中には、鋼材 (SGCC 材) の降伏点を 205N/mm²、断面係数 3.27cm³ として計算した降伏荷重の値 (2.23kN) を点線で示す。図 7 はジョイント部のない連続体の部材の加力試験結果、図 8 は外金物の板厚が 1.6mm のジョイント部の結果、図 9 は外金物の板厚が 1.2mm のジョイント部の試験結果である。またこれら □45×45×1.2 シリーズの曲げ試験結果の一覧 (各最大荷重およびその 3 体平均値、および、ストローク変位における初期剛性 k およびその 3 体平均値)

を表 4 に示す。また、各仕様いずれも終局状況は局部座屈を伴う部材断面の曲げ降伏であった。典型的な各仕様の終局状況の写真を写真 5～写真 7 に示す。

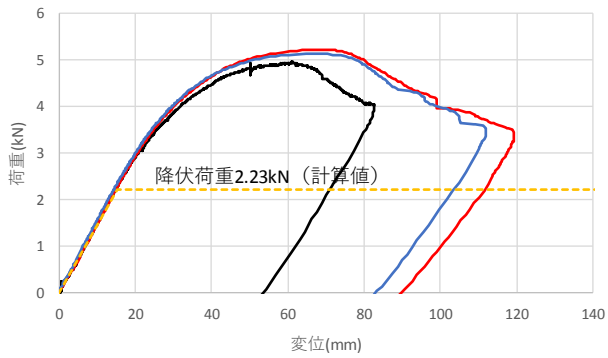


図 7 荷重-変位関係 (□45×45×1.2・連続体)

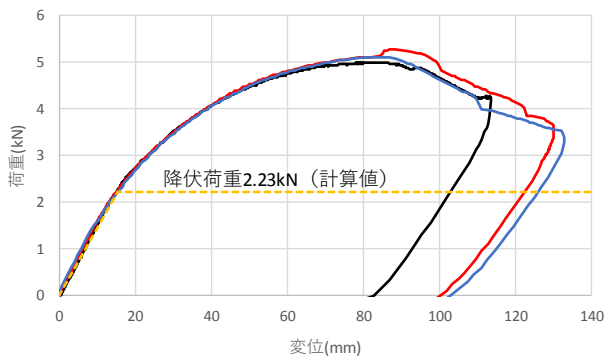


図 8 荷重-変位関係
(□45×45×1.2・外金物板厚 1.6mm)

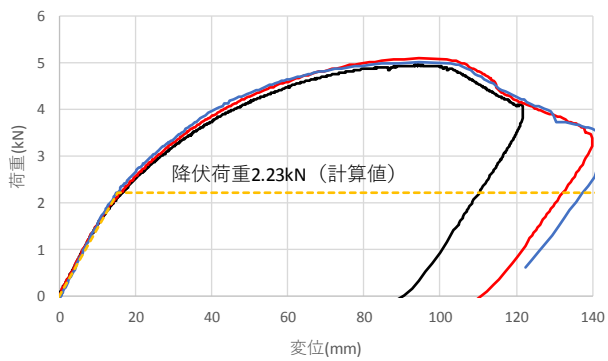


図 9 荷重-変位関係
(□45×45×1.2・外金物板厚 1.2mm)



写真 5 試験体の終局状況
(□45×45×1.2・連続体)



写真 6 試験体の終局状況
(□45×45×1.2・外金物板厚 1.6mm)



写真 7 試験体の終局状況
(□45×45×1.2・外金物板厚 1.2mm)

表 4 曲げ試験結果一覧 (□45×45×1.2)

| 角形鋼管板厚 | ジョイント部 | 枝番 | Pmax(kN) | 平均(kN) | δ (mm) | k(kN/mm) | 平均(kN/m) |
|--------|----------|----|----------|--------|---------------|----------|----------|
| 1.2mm | 連続体 | 1 | 4.95 | 5.11 | 61.1 | 0.154 | 0.154 |
| | | 2 | 5.24 | | 67.1 | 0.152 | |
| | | 3 | 5.14 | | 70.4 | 0.157 | |
| | 外金物板厚1.6 | 1 | 4.99 | 5.13 | 81.2 | 0.155 | 0.146 |
| | | 2 | 5.28 | | 88.3 | 0.145 | |
| | | 3 | 5.11 | | 83.2 | 0.139 | |
| | 外金物板厚1.2 | 1 | 4.96 | 5.03 | 93.5 | 0.136 | 0.142 |
| | | 2 | 5.11 | | 94.5 | 0.136 | |
| | | 3 | 5.03 | | 94.5 | 0.153 | |

以上の図表より、□45×45×1.2 シリーズのジョイント部の最大耐力は、外金物の板厚が 1.6mm の場合は 5.13kN (3 体平均)、外金物の板厚が 1.2mm の場合は 5.03kN (3 体平均) と外金物の板厚が厚い方が若干耐力は大きいものの、連続体部材の最大耐力 5.11kN (3 体平均) と同程度であることがわかる。初期剛性 k については、外金物の板厚が 1.6mm の場合は 0.146kN/m (3 体平均)、外金物の板厚が 1.2mm の場合は 0.142kN/m (3 体平均) と、連続体部材に比べジョイント部を有する試験体の初期剛性は若干小さくなることが確認された。

6. □45×45×0.8 シリーズの試験結果

□45×45×0.8 シリーズの曲げ試験における荷重-変位 (ストローク変位) 関係を図 10～図 11 に示す。図中には、鋼材 (SGCC 材) の降伏点を 205N/mm^2 、断面係数 2.32cm^3 として計算した降伏荷重の値 (1.59kN) を点線で示す。図 10 はジョイント部のない連続体の部材の加力試験結果、図 11 は外金物の板厚が 1.2mm のジョイント部の試験結果である。またこれら□45×45×0.8 シリーズの曲げ試験結果の一覧 (各最大荷重およびその 3 体平均値、および、ストローク変位における初期剛性 k およびその 3 体平均値) を表 5 に示す。また、各仕様いずれも終局状況は局部座屈を伴う部材断面の曲げ降伏であった。典型的な各仕様の終局状況の写真を写真 8～写真 9 に示す。

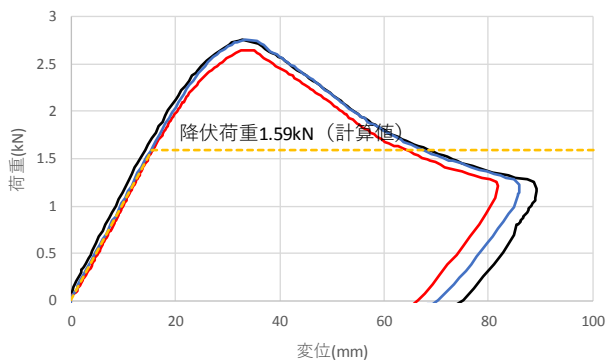


図 10 荷重-変位関係 (□45×45×0.8・連続体)

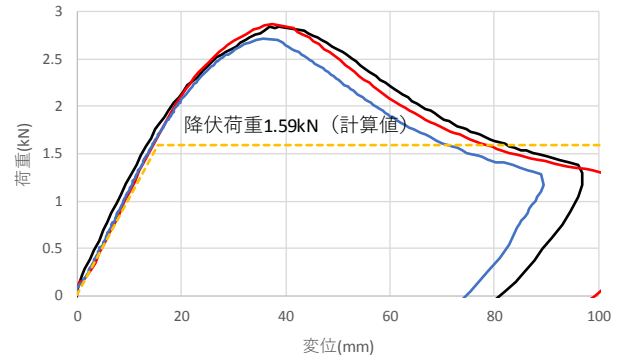


図 11 荷重-変位関係 (□45×45×0.8・外金物板厚 1.2mm)



写真 8 試験体の終局状況 (□45×45×0.8・連続体)



写真 9 試験体の終局状況 (□45×45×0.8・外金物板厚 1.2mm)

表 5 曲げ試験結果一覧 (□45×45×0.8)

| 角形鋼管板厚 | ジョイント部 | 枝番 | Pmax(kN) | 平均(kN) | δx(mm) | k(kN/mm) | 平均(kN/m) |
|--------|----------|----|----------|--------|--------|----------|----------|
| 0.8mm | 連続体 | 1 | 2.75 | 2.72 | 32.8 | 0.110 | 0.103 |
| | | 2 | 2.64 | | 32.5 | 0.103 | |
| | | 3 | 2.76 | | 33.3 | 0.097 | |
| | 外金物板厚1.2 | 1 | 2.84 | 2.81 | 38.8 | 0.113 | 0.113 |
| | | 2 | 2.87 | | 37.3 | 0.115 | |
| | | 3 | 2.71 | | 35.7 | 0.110 | |

以上の図表より、□45×45×0.8 シリーズのジョイント部の最大耐力 (外金物板厚 1.2mm) は 2.81kN (3 体平均) であり、連続体部材の最大耐力 2.72kN (3 体平均) よりも大きくなっていることがわかる。また、初期剛性 k についても、ジョイント部 (外金物板厚 1.2mm) のある試験体は 0.113kN/m (3 体平均) であり、連続体部材の場合の 0.103kN/m (3 体平均) に比べ大きくなっており、最大耐力、初期剛性とともジョイント部を有する試験体の方が大きくなることが確認された。これは、ジョイント部において十分な曲げ補強がなされており、部材である角形鋼管の板厚が 0.8mm の場合、検討した補強金物で十分な補強がされていることを示す結果と言える。

また、各部材断面 (□45×45×1.2, □45×45×0.8) において、降伏点を 205N/mm² とした際の降伏荷重 P_y および安全率を 1.5 として算出した短期許容荷重 P_a ($P_y/1.5$) の値を表 6 に示す。前節で示した各ジョイント部の曲げ試験における最大耐力はいずれも短期許容荷重以上の値であった。

表 6 設計用荷重値

| 部材 | 設計値 | |
|------------|-----------------|-------------------|
| | 降伏荷重 P_y (kN) | 短期許容荷重 P_a (kN) |
| □45×45×1.2 | 2.23 | 1.49 |
| □45×45×0.8 | 1.59 | 1.06 |

7. まとめ

本研究では天井空間における吊り下げ重量物の定期的なメンテナンスを容易に行うために点検作業員が乗っても耐えることのできる曲げ性能を有する天井用鋼製下地材の検討を行うことを目的として、軽量角形鋼管のジョイント部を提案し、その曲げ耐力実験を行った。その結果、提案したジョイント部の仕様はいずれも連続部材とした場合と同様の部材曲げ耐力を有することを確認した。よって、ジョイント部に大きな曲げが作用する場合でも、部材の曲げ性能が発揮され、曲げに対し提案するジョイント部は設計上任意の場所に設けることが可能であることが検証された。

参考文献

- (1) 日経アーキテクチュア編, 東日本大震災の教訓 都市・建築編, 日経 BP 社, 2011 年 6 月
- (2) 小林俊夫, 由利隆行, 荒井智一, 鋼製天井下地を用いた吊り天井の耐震性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 73 巻, 第 630 号, pp.1295-1302, 2008 年 8 月
- (3) 日本建築学会, 非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会, 天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン, 2013 年 3 月 4 日版報告書
- (4) 松本慎也, 佐藤公章, 藤谷義信, 軽量角形鋼管による耐震吊り天井構造の力学的特性に関する研究, 近畿大学工学部研究報告, No.47, pp.49-54, 2013 年 12 月
- (5) 松本慎也, 佐藤公章, 藤谷義信, 軽量角形鋼による耐震天井構造の開発, 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, Vol.5, pp.73-78, 2014 年 6 月