

鋼管を利用した天井耐震化に関する研究

石渡 康弘*1・緒方 昌博*2・糸山 康道*3

概 要

高架下駅等における 2 重天井を対象として鋼管を用いた天井耐震化部材の開発を目的に、耐震化部材の仕様検討及びその耐力試験を行った。

その結果、最終決定した耐震化部材の仕様においては、所定の繰り返し回数まで、耐力低下のない安定した履歴が確認され、最大耐力は、野縁方向では 10.63kN、野縁受け方向は 9.61kN となった。本実験結果から、耐震化部材の許容耐力は、一方向加力試験での損傷時荷重/1.5 と考え、野縁方向は $5.13/1.5=3.4\text{kN}$ 、野縁受け方向は $6.11/1.5=4.0\text{kN}$ と推定することができた。また、許容耐力時の変位量は、野縁方向は $50/1.5=34\text{mm}$ 、野縁受け方向は $58/1.5=39\text{mm}$ となり、ブレース構法に替わる構法として採用が可能であることを確認した。

キーワード：天井耐震，鋼管，高架下駅，2 重天井，折板屋根，静的水平加力試験

DEVELOPMENT OF ASEISMIC CEILING COMPONENTS
WITH STEEL PIPE

Yasuhiro ISHIWATA *1, Masahiro OGATA *2

Yasumichi ITOYAMA *3

Abstract

For the purpose of developing aseismic ceiling components using steel pipes intended for double ceilings of stations under elevated railway tracks, we studied specifications of the aseismic components and conducted a load-bearing test.

As a result, the finalized specifications of the aseismic components have been confirmed to show a stable history without decrease in the load-bearing capacity up to the given number of repetitions. The maximum load-bearing capacity was found to be 10.63 kN in the direction of joists and 9.61 kN in the direction of joist receivers. Based on the results of this experiment, we estimated the allowable load-bearing capacity, which was assumed to be the damaging load in a one-direction loading test/1.5, to be $5.13/1.5 = 3.4$ kN in the direction of joists and $6.11/1.5 = 4.0$ kN in the direction of joist receivers. The displacement at the allowable load-bearing capacity resulted in $50/1.5 = 34$ mm in the direction of joists and $58/1.5 = 39$ mm in the direction of joist receivers. We were able to establish the construction method with these seismic components, and confirm that it can be put into practice to replace the brace method.

Keywords: earthquake proofing of ceilings, steel pipe, station under elevated railway tracks, double ceiling, folded-plate roof, static horizontal loading test

*1 Manager, Environmental Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*2 Manager, Construction Planning Group, Architectural Technology Department, Architectural Division

*3 Nagoya Branch

鋼管を利用した天井耐震化に関する研究

石渡 康弘*1・緒方 昌博*2・糸山 康道*3

1. はじめに

現在、天井の耐震化には、主としてブレース構法が採用されている。しかし、既存駅舎等では、ブレース材がダクトやケーブル等に干渉する可能性がある。一方、高架下駅では、仕上天井の上に漏水対策として折板等を用いた2重天井を採用する機会が多く、仕上天井の吊元の強度検証やブレース材を折板屋根に固定する方法等に課題がある。

そこで、ブレース構法に代わる手法として、2重天井における鋼管を利用した天井耐震化部材の検討を行った(図-1参照)。この構法は、ダクトやケーブル等との干渉を小さくするために耐震化部材として鋼管を使用し、また、様々な天井懐高さに対応できるように、鋼管を上下で分割したさや管方式を採用している。

本報では、2重天井における鋼管を利用した耐震化部材の仕様検討、及びその静的水平加力試験の結果を報告する。

2. 耐震化部材検証方法

今回提案した天井耐震化構法では、鋼管と折板及び仕上天井下地の取合い部分が弱点となることが予想される。特に上部の折板との接合部分は、破壊形態や耐力を予測することが難しい。そこで、最初に、折板と鋼管を接合した上部単体での部材試験を行い、破壊形態と耐力を把握し、次に、仕上天井まで含めた天井全体の試験体で天井ユニット試験を行なうこととした。部材試験では、試験体1体目により基本性能を把握し、試験体2体目にて最終的な試験体の仕様を確定した。

3. 部材試験

3.1 試験体概要

部材試験では、加力装置の都合上、耐震化部材を上下逆にした状態とした。試験体は折板と天井耐震化部材(鋼管φ80mm)をベースプレート(以下、BPL)と折板上金具(アングル材)にて固定している(写真-1, 図-2参照)。

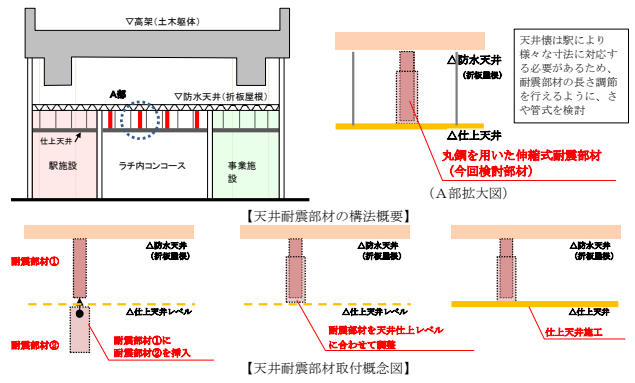


図-1 構法概念図

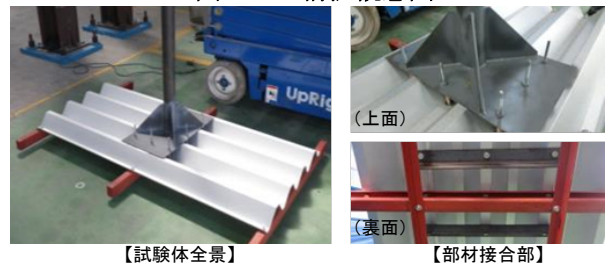


写真-1 試験体概要

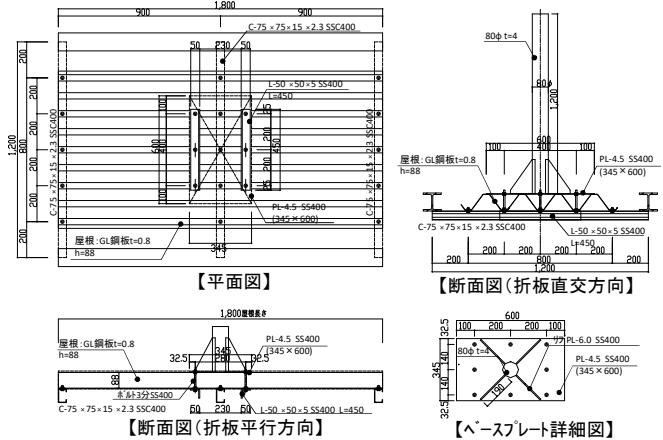


図-2 試験体図面 (試験体1)

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 環境グループ グループリーダー
 *2 建築本部 建築技術部 生産計画グループ グループリーダー
 *3 名古屋支店

試験体は表-1に示す仕様で2種類製作した。今回、試験体加力時には、折板自体の変形が最初に生じると想定されたことから、折板と接合するBPLと折板上金具（アングル材）の仕様を変更点とした。BPLのサイズは、試験体1では345×600mm、試験体2では405×660mmとして設定した。また、折板上金具は、試験体1はL-50×50×5、試験体2はL-75×75×6として、それぞれ試験体に与える影響を検討した。

なお、試験では、同一形状・寸法のを2体用意し、1体は折板直交方向に、もう1体は折板平行方向に加力を行うこととした。

3.2 試験方法

試験は、下地材（C-75×45×15×2.3）の端部を、反力床に固定した固定用フレームに緊結し、取り付けBPL面から高さ1mの位置の天井耐震化部材（鋼管φ80mm）の端部を、水平方向に一方向単調加力で行った。加力は折板直交方向及び折板平行方向にて実施した。加力装置の仕様は、荷重103kN、ストローク500mmとし、制御はインバータ油圧ポンプの吐出量を、計測用PCで変位及び荷重を見ながらの手動制御とした。計測は耐震化部材端部の水平荷重を、ロードセルを用いて、また、加力点の水平変位（DG-1）と天井耐震化部材の取り付け部の水平変位（DG-2）及び中央の下地材の水平変位（DG-3）を、変位計を用いて行った（図-3参照）。

3.3 試験結果

試験状況を写真-2に、荷重-変位関係を図-4に示す。今回、荷重の低減、または剛性が大きく低下した点を損傷時荷重とした。

試験体1では、折板直交方向では、加力後4.8kN時点で、BPLの折板山へのめり込みにより、折板自体に変形が生じ、剛性も低下した。最終的に、6.8kN時点で中央の下地材（C-75×45×15×2.3mm）の引張側ボルト孔付近が拡大し、ボルトの抜けが生じた。折板平行方向では、2.8kN加力時点で、直交方向同様折板自体に変形が生じ、荷重が低下した。

試験体2では、折板直交方向7.4kN、折板平

表-1 試験体仕様

項目	試験体1	試験体2
折板材	t=0.8 GL鋼板、ルーフェッキ h=88	t=0.8 GL鋼板、ルーフェッキ h=88
鋼管	φ=80 t=4.0 材質: STKM13A	φ=80 t=4.0 材質: STKM13A
BPL	PL-4.5 345x600 材質: SS400	PL-4.5 405x660 材質: SS400
BLT取付ボルト	3/8W 8本	3/8W 8本
補強リブ	PL-6.0 4枚 材質: SS400	PL-4.5 4枚 材質: SS400
折板上金具	L-50x50x5 長さ450mm 材質: SS400 φ=450 2本	L-75x75x6 長さ450mm 材質: SS400 φ=450 2本

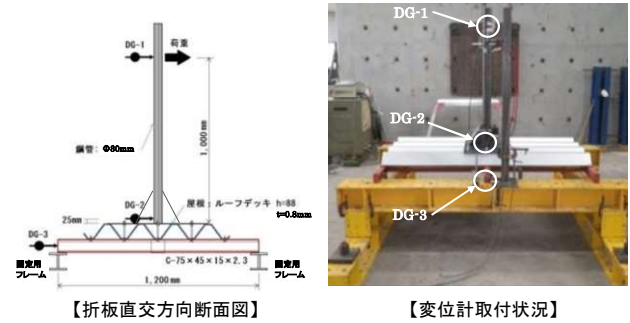


図-3 試験方法概略図



写真-2 試験状況（折板直交方向）

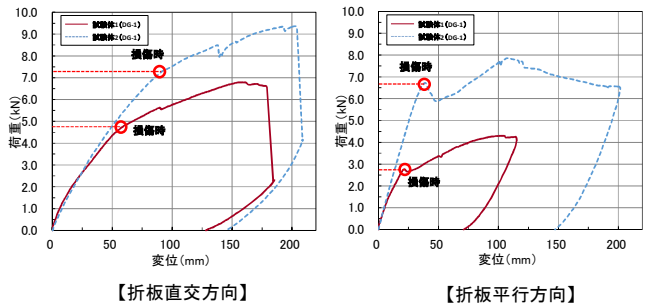


図-4 荷重-変位関係（試験体1,2）



【屋根裏面状況（折板直交方向）】



（試験体1） （試験体2）
【屋根上面状況（折板直交方向）】

写真-3 試験体損傷時の状況

行方向 6.8kN 時点で、試験体 1 と同様に、BPL のめり込みによる折板の変形が最初に生じ、剛性が低下した。

損傷時の状況として、圧縮側では、BPL 端部の回転により折板山の支圧変形、引張側では、**写真-3**（上写真）に示すように、ボルトの引張による折板の変形が生じた。

荷重-変位関係より、折板上金具と BPL のサイズの違いは、折板自体の応力負担低減効果が大きかったと考えられる。これは、折板平行方向では、折板上金具（アングル材）と折板屋根根間の接する面積と、鋼管から BPL 端部までの支点間距離を長くしたことによる影響と考えられる。また折板直交方向については、**写真-3**（下写真）に示すとおり、BPL と屋根の接する面積を拡大した点が、折板自体が負担する応力を低減したと考えられる。

4. 天井ユニット静的水平加力試験

4.1 試験体構成

試験体の概略を図-5、**写真-4**に示す。試験体は文献1)に準じ、鋼製フレーム（H-150×150×7×10）に防水天井（ルーフデッキ h=8.8 mm, T=0.8 mm）、耐震化部材及び仕上天井（スパンドレル W=100mm, h=13mm, T=0.8 mm）を設置した。耐震化部材は部材試験で提案した試験体2の仕様とし、その他の部材は耐震化部材より先に損傷しないよう設計した。耐震化部材と仕上天井との接合部は、アングル材を介して仕上天井から耐震化部材に水平力が伝達するようにし、地震時の耐震化部材の変形によるモーメントによって天井下地が損傷しないよう、貫通ボルト、ルーズホールにより極力ピン接合に近い状態になるよう留意した（**図-6**、**写真-5**）。

4.2 試験条件

試験体の荷重-変形関係を把握するため、防水天井から吊り下げられた仕上天井に加力フレームを設置し、一方向単調加力を行った。計測は、変位計を3カ所（DG-1~DG-3）に、ロー

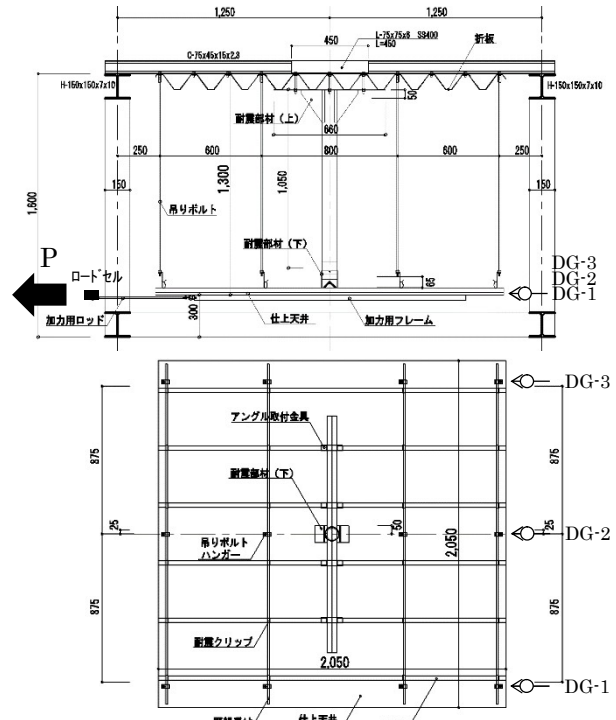


図-5 試験体略図（折板直交・野縁方向）

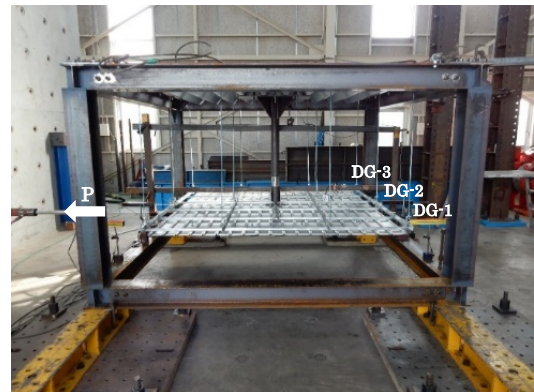


写真-4 試験体写真（折板直交・野縁方向）

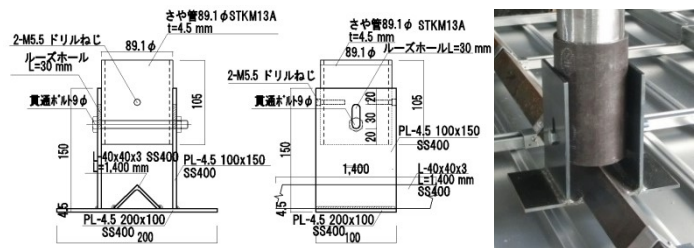


図-6 接合部概要

写真-5 接合部写真

表-2 試験ケース

	加力方向	
	折板直交方向	野縁方向
ケース1	折板直交方向	野縁方向
ケース2	折板平行方向	野縁受方向
ケース3	折板直交方向	野縁受方向
ケース4	折板平行方向	野縁方向

ドセルを加力点付近に1カ所設置した。試験体は折板山の方向と野縁の配置方向により異方性があるため、折板方向及び野縁方向の組み合わせにより2タイプとし、加力方向(2条件)により計4ケースの試験を行った(表-2)。

4.3 実験結果

試験状況を写真-6に示す。最大荷重時には、すべての試験ケースにおいて、折板の支圧による変形がみられた(写真-7)。また、野縁方向加力の試験体では、耐震化部材の回転により野縁に変形が生じ、破断が生じた(写真-8)。

なお、すべてのケースにおいて鋼管の残留変形はみられず、溶接部に異常はなかった。

各試験ケースにおける荷重-変形関係を図-7に示す。変位 δ は三台の変位計(DG-1~DG-3)の平均値とした。また、载荷中、初めて大きな荷重低下がみられた時点の荷重を「損傷時荷重」と定義した。

【ケース1】[5.13kN, 50.16mm]付近で折板が支圧によりへこみ、荷重低下がみられた。また9.13kN付近で野縁が破断し、最大荷重状態から降下した。

【ケース2】[6.46kN, 60.7mm]付近で折板が支圧によりへこみ、荷重低下がみられた。9.66kN付近で野縁のビス抜けに伴い、最大荷重状態から降下した。

【ケース3】[6.11kN, 57.95mm]付近で折板が支圧によりへこみ、荷重低下がみられた。また11.29kN付近で野縁の曲がり及び潰れ、仕上天井のはずれが生じ、最大荷重状態から降下した。

【ケース4】[6.33kN, 58.3mm]付近で折板が支圧によりへこみ、荷重低下がみられた。また、10.54kN付近で野縁が破断し、最大荷重状態から降下した。

4.4 剛性・変形の評価

荷重-変形関係と損傷状況より、当初の想定通りすべてのケースにおいて、部材試験結果と同じく折板の局部変形により荷重が大きく低下することを確認した。また、折板平行方向加力(ケース2, ケース4)に比べ、折板直交方向



写真-6 試験状況写真(ケース1)

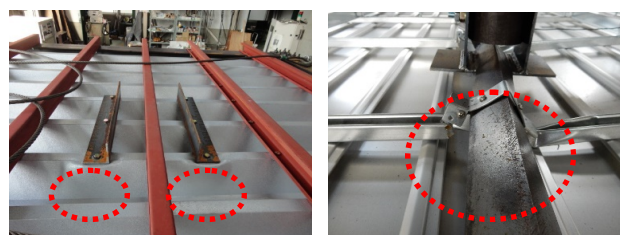


写真-7 折板の支圧変形 写真-8 野縁の破断

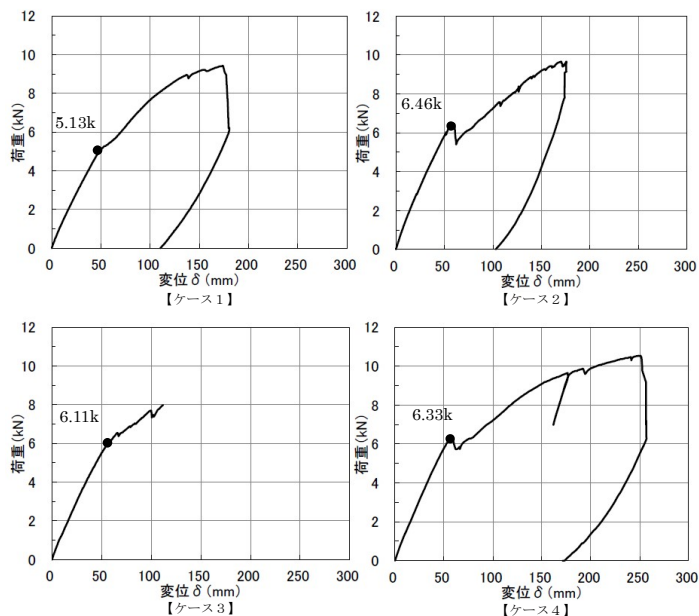


図-7 荷重-変形関係

加力(ケース1, ケース3)は損傷時荷重が低く、部材試験と同様の傾向にあることを確認した。

以上のことより、提案した耐震化部材を2重天井に取り付けた場合においても、耐震化部材自体が損傷する前にその他の部材が損傷することはなく、荷重が適切に伝達できることを確認することができた。なお、本試験では部材試験に比べ損傷時荷重が低下しているが、これは耐震化部材と仕上天井の自重が折板の変形に不利

側に働いたことにより生じたもとと考えられる。

5. 天井ユニット静的繰返し水平加力試験

5.1 実験概要

試験は、一方向の静的水平加力試験結果より初期剛性及び損傷荷重が低い方から2ケースを選定して行った。試験体一覧を表-3に示す。試験体は天井ユニット静的水平加力試験と同様とし、上部折板と下部仕上天井及び鋼管を用いた耐震化部材で構成された、天井寸法 2,050×2,050mm、吊り長さ 1,300mm の実大部分天井である。天井下地は在来工法 (JIS19 形) に耐震クリップ、仕上材は働き幅 100mm、厚さ 0.8mm のアルミスパンドレルを使用している。試験体は折板と仕上天井下地の方向により2種類、加力方向は折板直交方向とした。

試験方法の概略を図-8に、試験実施状況を写真-9に示す。試験方法は、反力床に固定した鋼製フレームに試験体を設置し、折板屋根から吊り下げた仕上天井の下面に取付けた加力フレームを介して正負繰返し加力を行う方式とし、所定サイクルの加力後に終局まで加力した。計測は、水平荷重を試験体両側のロードセルを用いて、仕上天井の水平変位 (東西各3箇所) は変位計を用いて行った。

損傷時荷重と変位を表-4に、試験体Aの繰返し載荷履歴を図-9に示す。繰返し載荷履歴は、文献1)に準じ、一方向の静的水平加力試験の損傷時荷重の変位を用いて、(1)式により制御変位の基準値 Da^+ と Da^- を算出した。

$$D_a^+ = \frac{\bar{d}^+}{a^+}, \quad D_a^- = \frac{\bar{d}^-}{a^-} \quad \dots(1)$$

ここで、 $a^+, a^- : 1.5$

$\bar{d}^+, \bar{d}^- : 損傷時荷重変位の平均値$

表-3 試験体一覧

試験体	加力方向	吊り長さ	上部鋼管	下部鋼管
A	折板直交(野縁)	1,300mm	φ80 t=4.0mm	φ89.1 t=4.5mm
B	折板直交(野縁受)			

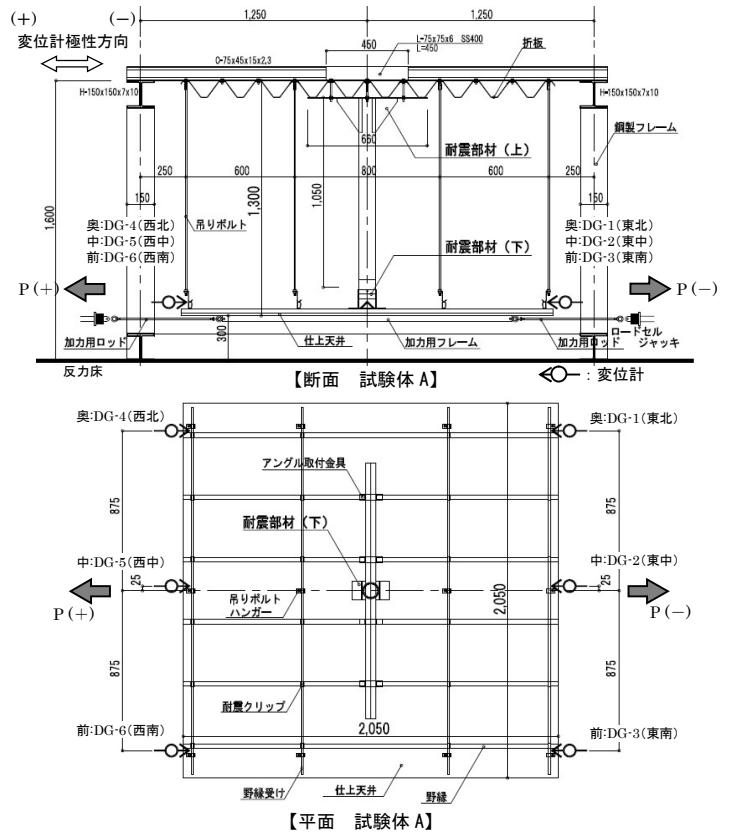


図-8 試験方法



写真-9 試験実施状況

表-4 一方向試験の損傷時荷重と変位

試験体	損傷時荷重 (kN)	\bar{d}^+, \bar{d}^- (mm)	D_a^+, D_a^- (mm)
A	5.13	50	±33.3
B	6.11	58	±38.7

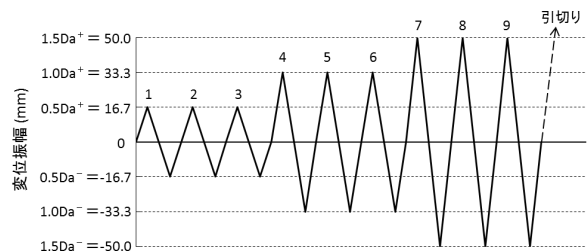


図-9 繰返し載荷履歴 (試験体A)

5. 2 実験結果

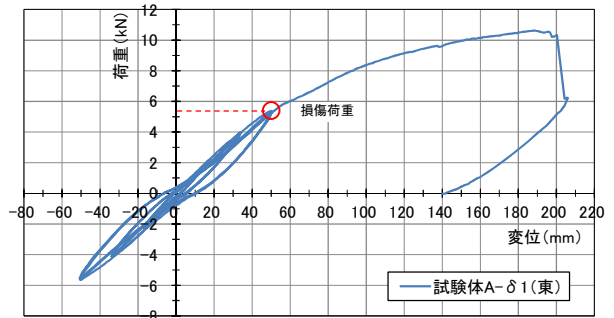
荷重-変位(東側平均 $\delta 1$) 関係を図-10に、一方向の静的水平加力試験との比較を図-11に、試験体 A, 試験体 B の鋼管上下の終局時の変形状況を写真-10に示す。

【試験体 A (野縁方向)】

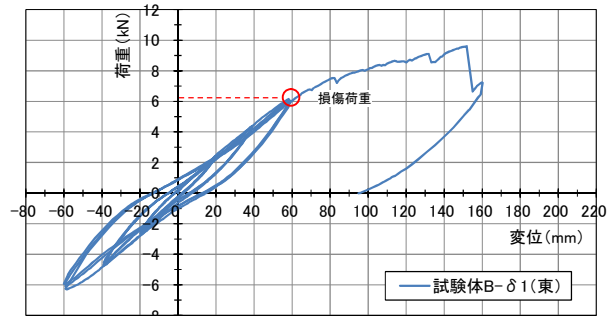
- ・ ± 3 サイクル：正側荷重 2.13kN 時の変位は 17.0mm，負側荷重 2.30kN 時の変位は 16.9mm であった。耐力低下や変形はみられなかった。
- ・ ± 6 サイクル：正側荷重 3.91kN 時の変位は 33.5mm，負側荷重 4.09kN 時の変位は 33.9mm であった。耐力低下はみられなかったが，BPL に僅かな変形が生じた。
- ・ ± 9 サイクル：正側荷重 5.29kN 時の変位は 50.3mm，負側荷重 5.55kN 時の変位は 50.8mm であった。耐力低下はみられなかったが，BPL の変形が進行し，折板山に若干の支圧変形がみられた。また，アングル取付金具と野縁に僅かな隙間が生じた。
- ・ 終局時：最大耐力 10.63kN 時の変位は 188.5mm であった。BPL の変形は更に進行した。回転により野縁に著しい変形が生じ，野縁が破断した。折板山に支圧によるへこみが生じた。鋼管に残留変形や溶接部の異常はみられなかった。

【試験体 B (野縁受方向)】

- ・ ± 3 サイクル：正側荷重 2.41kN 時の変位は 19.6mm，負側荷重 2.60kN 時の変位は 19.5mm であった。耐力低下や変形はみられなかった。
- ・ ± 6 サイクル：正側荷重 4.36kN 時の変位は 38.9mm，負側荷重 4.63kN 時の変位は 38.9mm であった。耐力低下はみられなかったが，BPL に僅かな変形が生じた。また，野縁が加力方向に若干変形した。
- ・ ± 9 サイクル：正側荷重 6.06kN 時の変位は 58.5mm，負側荷重 5.93kN 時の変位は 59.5mm であった。耐力低下はみられなかったが，BPL の変形が進行し，折板山に若干の

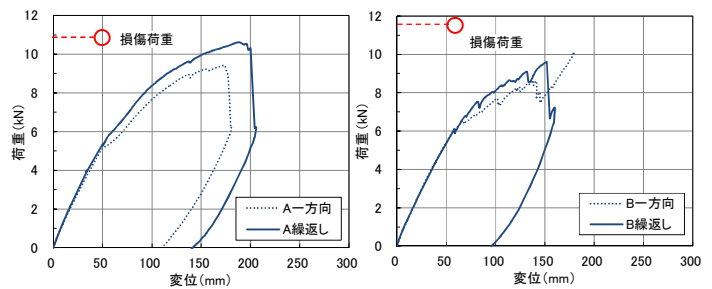


【試験体 A】



【試験体 B】

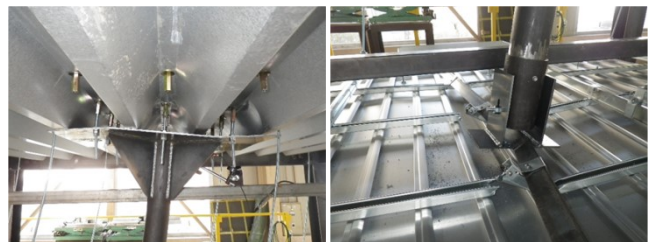
図-10 荷重-変位関係



【試験体 A】

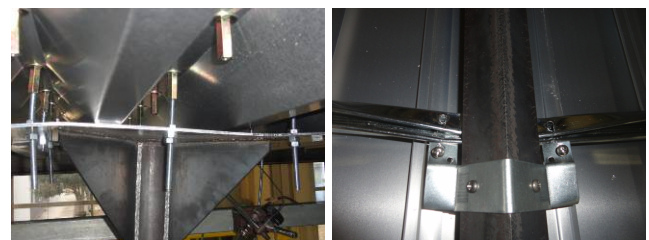
【試験体 B】

図-11 一方向試験と繰返し試験の比較



【試験体 A：鋼管上】

【試験体 A：鋼管下】



【試験体 B：鋼管上】

【試験体 B：鋼管下】

写真-10 終局時の試験体変形状況

支圧変形がみられた。また、野縁の加力方向の変形が進み、アングル取付金物と野縁に隙間が生じた。

- ・終局時：最大耐力 9.61kN 時の変位は 151.9mm であった。BPL の変形は更に進行した。野縁に著しい変形が生じたが破断にはいたらなかった。また、アングル取付金具が大きく開きビス抜けがみられた。鋼管の残留変形や溶接部の異常はみられなかった。

【比較検討】

野縁方向、野縁受方向共に、所定の繰り返し回数まで、耐力及び剛性低下のない安定した履歴を確認することができた。また、繰り返し加力を行った損傷時荷重までは一方向加力試験の結果と概ね同等であった。

6. まとめ

2重天井を対象としたブレース構法に変わる補強構法として、鋼管を利用した天井耐震化部材の仕様検討及びその静的水平加力試験を行った結果、以下のことを確認した。

(1) 部材試験より

BPL と折板上金具(アングル材)の仕様が、本構法に与える影響は大きい。

(2) 天井ユニット一方向静的水平加力試験より

提案した耐震化部材は、4 ケースの荷重-変形関係と損傷状況から、損傷時荷重に至るまで、適切に荷重が伝達される。

また、折板平行方向加力(ケース 2, ケース 4) に比べ、折板直交方向加力(ケース 1, ケー

ス 3) は損傷時荷重が低く、部材試験と同様の傾向にある。

なお、天井ユニット試験では、部材試験に比べ損傷時荷重が低下したが、これは耐震化部材と仕上天井の自重が折板の変形に不利側に働いたことにより生じたものと考えられる。

(3) 天井ユニット静的繰返し水平加力試験より

所定の繰り返し回数まで、耐力低下のない安定した履歴が確認され、最大耐力は野縁方向では 10.63kN, 野縁受け方向は 9.61kN となった。

本実験結果から、耐震化部材の許容耐力は、一方向加力試験での損傷時荷重/1.5 と考え、野縁方向は $5.13/1.5=3.4\text{kN}$, 野縁受け方向は $6.11/1.5=4.0\text{kN}$ と推定した。また、許容耐力時の変位量は、野縁方向は $50/1.5=34\text{mm}$, 野縁受け方向は $58/1.5=39\text{mm}$ となり、ブレース構法に替わる構法として採用が可能である。

謝辞

本研究は東日本旅客鉄道株式会社東京工務所との共同研究開発である。実験の実施に当たりご協力頂きました大野板金株式会社の関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所、一般社団法人新・建築士制度普及協会、平成 25 年 10 月