

第 編 天井及びその部材・接合部の耐力・剛性の設定方法

第1章 試験・評価の概要

- 1 - 1 試験・評価法の種類
- 1 - 2 天井告示に定める計算ルートとの関係
- 1 - 3 本編に掲げる方法以外の試験・評価法の取扱い

第2章 部材単体の試験・評価

- 2 - 1 天井下地材の試験・評価

第3章 接合部の試験・評価

- 3 - 1 吊りボルトの上端接合部の試験
- 3 - 2 クリップの接合部の試験
- 3 - 3 ハンガーの接合部の試験
- 3 - 4 斜め部材の上端接合部の試験
- 3 - 5 斜め部材の下端接合部の試験
- 3 - 6 接合部の許容耐力・剛性の評価
- 3 - 7 天井全体の許容耐力・剛性の評価

第4章 天井ユニットの試験・評価

- 4 - 1 天井ユニットの試験
- 4 - 2 天井全体の許容耐力・剛性の評価

第1章 試験・評価の概要

平成25年国土交通省告示第771号(以下「天井告示」という。)第3第2項第一号口その他の規定では天井の許容耐力が必要であり、当該数値は繰り返し載荷試験その他の試験又は計算によって確認することとされている。また、使用する部材が一定の剛性や強度を有することや接合部の緊結状態の確認が必要な場合もある。本編ではこれらの検討に資することを目的に、既往の製品規格、試験実績及び研究成果を参考にして部材、接合部及び天井ユニットの標準的な試験・評価の方法を掲げた。なお、本編の方法は主に在来工法の天井を対象にしているが、システム天井の試験・評価もこれに準じて行うことができる。

1-1 試験・評価法の種類

表1.1.1に試験・評価の対象にした範囲を示す。本編に掲げる方法は、編集時点で実績のある試験・評価法を参考にしたものである。試験体の種類は、(1)部材単体、(2)複数の部材から構成される接合部、(3)天井ユニットの3通りに分けられるが、通常(1)は部材単体の構造耐力上の品質に係る剛性及び強度、(2)及び(3)は天井全体の許容耐力及び剛性を評価する場合にそれぞれ用いられる。また、(2)の試験は仕様ルートにおける当該接合部の「緊結」の判断に援用することも可能である。

部材単体及び接合部の試験法については、JIS A 1445(システム天井構成部材の試験方法)-2007に定める試験法及びその解説を参考に行っているが、当該JIS規格との違いもある。主な相違点は以下のとおりである。

- ・ 斜め部材の接合部の試験は、JIS A 1445の解説に掲げられている方法を見直し、上下端別に示す方法によること。
- ・ 水平方向の載荷方法は正負繰り返し載荷によること。
- ・ 試験体数を明記していること。

表1.1.1 本編に掲げる試験・評価の対象範囲

試験体の種類			(1)部材単体	(2)接合部			(3)天井ユニット
			天井下地材	吊りボルトの上端	クリップ	ハンガー	
曲げ	鉛直	一方向					
	水平	一方向	() ¹				
引張		一方向		⁴			
圧縮		一方向		() ²			
水平		一方向及び正負繰り返し			() ³	⁵	
試験結果に基づき評価される数値			当該部材の曲げ許容耐力・曲げ剛性	当該接合部の許容耐力・剛性 天井全体の許容耐力・剛性			天井全体の許容耐力・剛性
<p>1 当該天井下地材が天井板と一体的に挙動し、水平方向に大きな曲げ力が作用しないことが想定される場合(例 システム天井材のHバー)には省略できる。</p> <p>2 圧縮時に野縁と野縁受けが直接接触することにより、クリップに圧縮力が伝達しないことが想定される場合には省略できる。</p> <p>3 斜め部材の取り付け箇所に応じて、ハンガーが水平力を負担しないことが想定される場合には省略できる。</p> <p>4 試験体の吊りボルト上端近くに斜め部材が取り付けられる場合には、斜め部材にも同時に一方向の引張力を作用させる。</p> <p>5 上端接合部の試験では、斜め部材の材軸方向に加力する。</p>							

1 - 2 天井告示に定める計算ルートとの関係

図 1.2.1 は、水平方向の許容耐力・剛性の数値が天井告示に定める計算ルートにどのように反映されるか、試験・評価の流れと計算方法との対応関係を示したものである。天井全体の許容耐力と剛性を評価するためには、各種接合部の試験又は天井ユニットの試験のいずれかを行うことになる。また、計算ルートのうち水平震度法による検証を行う場合には、固有周期算出のための天井全体の剛性評価は不要である。

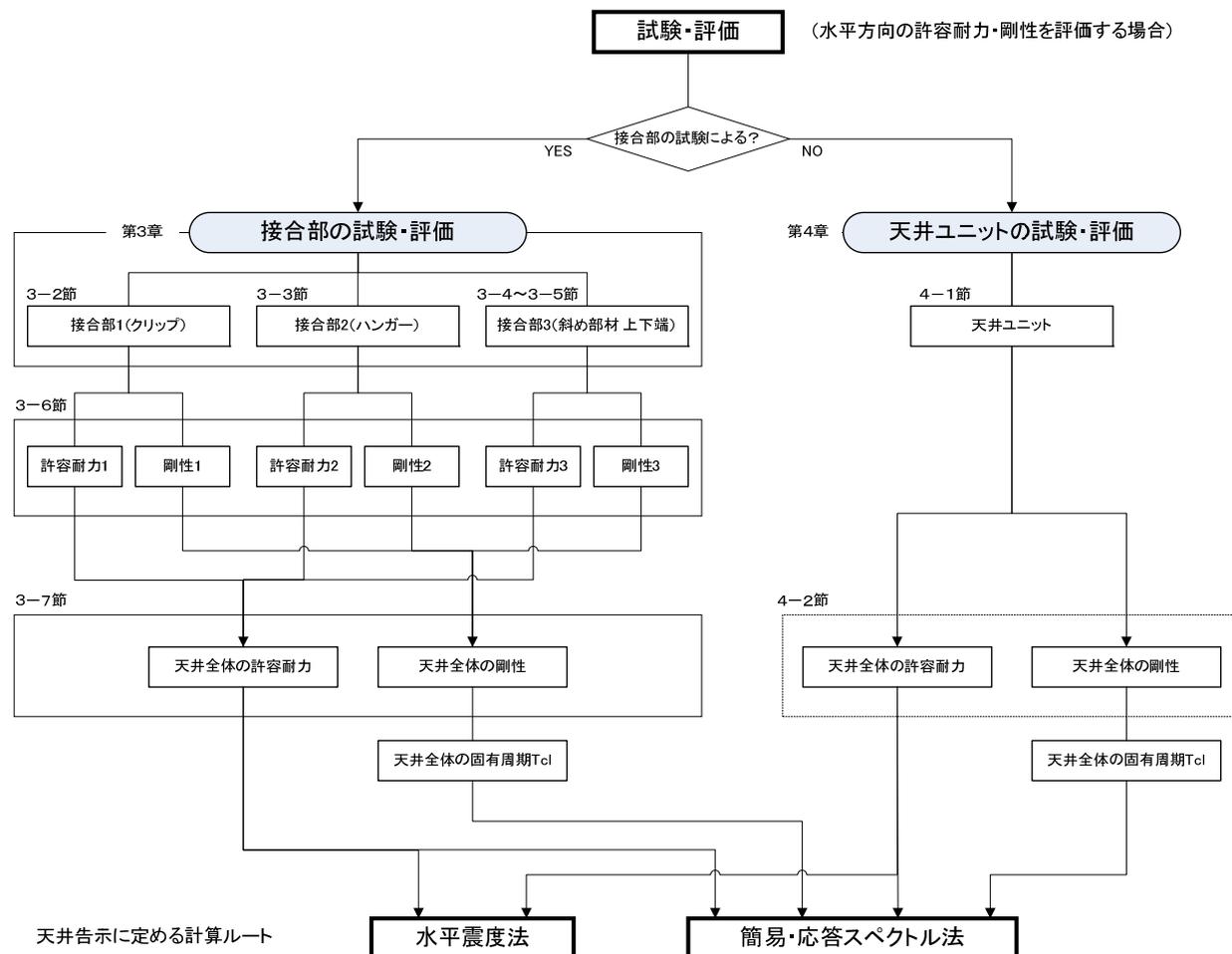


図 1.2.1 接合部又は天井ユニットの試験・評価の方法と天井告示に定める計算ルートとの関係

1 - 3 本編に掲げる方法以外の試験・評価法の取り扱い

本編に掲げる方法以外の試験・評価法であっても、本編に示す考え方を参考にして同等の結果が得られるものであれば、その採用を制限することを意図するものではない。ただし、本編に掲げる方法以外の試験・評価法を採用する場合には、以下の項目に留意する必要がある。

- ・ 実際の構造方法（構成部材の種類や接合部のディテール等）を反映した試験体とすること
- ・ 想定される損傷又は破壊形態を適切に再現できる加力方法とすること
- ・ 試験結果に有意なばらつきが認められる場合には、それを考慮して許容耐力や剛性の数値を評価すること

第2章 部材単体の試験・評価

2 - 1 天井下地材の試験・評価

(1) 適用の範囲

以下に示す試験体、試験方法、記録項目及び評価方法は、金属製の天井下地材を対象にした曲げ試験及び評価に適用する。

(2) 試験体

試験体は、在来工法天井材のうち野縁又は野縁受け、システム天井材のうちTバー又はHバーとし、支点間距離は実況に応じたものとする。試験体数はそれぞれ3体以上とする。

(3) 試験方法

試験は、試験体の支点間に鉛直方向又は水平方向の2等分点1線又は3等分点2線荷重を加えるものとする。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階ごとの荷重に対応した変位量を電気式変位計等で測定する。変位の測定位置は支点間の加力部及び支点部とし、支点に対する相対たわみを算出できるようにする。

(4) 記録項目

試験結果には、加力方向ごとに次の項目を記録する。

- ・ 試験体の変形又は破壊の状態
- ・ 荷重 - たわみ曲線

(5) 評価方法

1) 天井下地材の曲げ許容耐力は、荷重 - たわみ曲線に基づき(2.1.1)式によって算出する。

$$M_a = \frac{\overline{M}_d}{a} \quad (2.1.1)$$

ここで、 M_a : 曲げ許容耐力(Nm)、 \overline{M}_d : 損傷時の曲げモーメントの平均値 (Nm)、 a : 1.5以上の数値

2) 天井下地材の曲げ剛性は、荷重 - たわみ曲線に基づいて評価する。

【解説】

天井告示の第3第2項第一号イでは、計算ルートを適用できる条件として「天井面構成部材の各部分が、地震の震動により生ずる力を構造耐力上有効に当該天井面構成部材の他の部分に伝えることができる剛性及び強度を有すること」を確かめることとされている。この規定に基づき金属製下地材の曲げ許容耐力及び曲げ剛性を試験によって確かめる場合に、上記の試験方法を参考にすることができる。

上記の試験は、JIS A 1445 (システム天井構成部材の試験方法) - 2007 の9.2 に定めるTバー及びHバーを対象にした曲げ試験の方法に準じているが、この試験方法はシステム天井だけでなく、在来天井を構成する野縁や野縁受けについても適用することができる。なお、JIS A 1445 に倣って、例えばシステム天井材のHバーのように天井板と一体的に挙動し、水平方向に大きな曲げ力が作用しないことが想定される

場合には、当該方向の試験は省略してもよい。図2.1.1に試験体の参考図を示す。

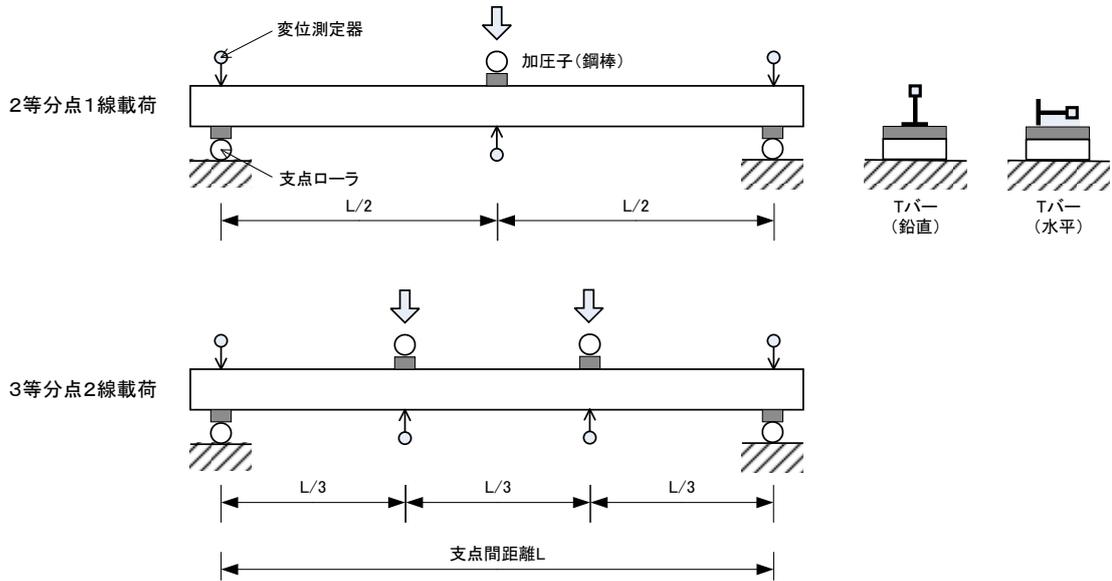


図2.1.1 天井下地材の試験体の例

試験対象の下地材の曲げ剛性は、荷重 - たわみ曲線の結果に基づいて得られる。例えば、2等分点1線載荷の場合は次式によって算出する（図2.1.2参照）

$$EI = \frac{\Delta P l^3}{48 \Delta \delta} \quad (2.1.2)$$

ここで、

E : ヤング係数 (N/mm^2)

I : 断面2次モーメント (mm^4)

ΔP : 所定のたわみ量の差 $\Delta \delta$ に応じた荷重値の差 (N)

l : 支点間距離 (mm)

$\Delta \delta$: 所定のたわみ量の差 (mm)

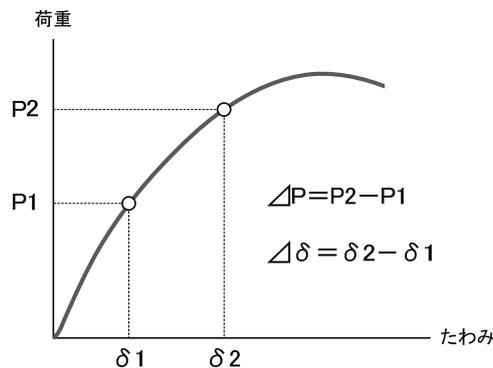


図2.1.2 荷重 - たわみ曲線のイメージ

第3章 接合部の試験・評価

3 - 1 吊りボルトの上端接合部の試験

(1) 適用の範囲

以下に示す試験体、試験方法及び記録項目は、天井材のうち吊りボルトの上端及び吊り金具等から構成される接合部を対象にした試験に適用する。

(2) 試験体

試験体は、吊りボルトの上端が吊り金具等を介して、構造耐力上主要な部分又は天井の支持構造部に相当する試験フレームに実況どおりに取り付けられたものとする。試験体数は3体以上とする。

(3) 試験方法

試験は、吊りボルトに取り付けた治具に一方方向の引張力を加えるものとする。ただし、吊りボルトの上端近傍に斜め部材が取り付けられる場合には、当該斜め部材にも同時に一方方向の引張力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階ごとの荷重に対応した変位量を電気式変位計等で測定する。

(4) 記録項目

試験結果には、次の項目を記録する。

- ・ 損傷時の荷重（試験体の構成材料に滑り及び外れ並びに損傷を生ずるときの荷重をいう。以下同じ。）及び最大荷重
- ・ 試験体の変形又は破壊の状態
- ・ 荷重 - 変位曲線

【解説】

上記の試験は、吊りボルトが構造耐力上主要な部分等に取り付く接合部（吊り元）を対象にしたものであり、引張試験の方法を掲げた。

吊り金具には様々な種類のものが考えられるので、実際の施工で採用する製品を試験体に用いるとともに、その取付け方法も実際の状況を反映しなければならない。試験は吊りボルトに取り付けた治具に一方方向の引張力を加えることを基本としているが、試験体の吊りボルト上端付近に斜め部材が取り付けられる場合には、斜め部材の材軸方向にも同時に引張力を作用させることとする。

試験結果の記録項目としては、損傷時の荷重及び最大荷重、試験体の変形又は破壊の状態、荷重 - 変位曲線を挙げている。ここで、試験体の構成材料に滑り及び外れ並びに損傷を生ずるときの荷重を「損傷時の荷重」と定義している。これらの項目は3 - 2 ~ 3 - 5 節の試験でも同様であり、3 - 6 節「接合部の許容耐力・剛性の評価」において必要となるものである。

また、天井告示の仕様ルートで吊り材が適合すべき要件として、第3第1項第五号では「埋込みインサートを用いた接合、ボルト接合その他これらに類する接合方法により構造耐力上主要な部分等に緊結すること」が規定されており、上記の試験によって吊りボルト上端部の緊結状態を確認することができる（第編 2 - 5 節参照）。

3 - 2 クリップの接合部の試験

(1) 適用の範囲

以下に示す試験体、試験方法及び記録項目は、天井材のうち野縁、クリップ及び野縁受けから構成される接合部を対象とした試験に適用する。

(2) 試験体

試験体は、野縁、クリップ及び野縁受けを実況どおりに組み合わせたものとする。試験体数は加力方向及びクリップの掛け方ごとに3体以上(ただし、(3)3)の試験は1体以上)とする。

(3) 試験方法

試験は、以下の加力方向ごとに示す方法によって行うものとする。ただし、圧縮時に野縁と野縁受けが直接接触することにより、クリップに圧縮力が伝達しないことが想定される場合には、2)を省略することができる。

1) 引張方向

野縁を固定した状態で、野縁受けに取り付けた治具に一方方向の引張力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階ごとの荷重に対応した変位量を電気式変位計等で測定する。

2) 圧縮方向

1)に準じた方法による。

3) 水平方向(野縁方向)

以下の手順による。

野縁受けを固定した状態で、野縁に取り付けた治具に正負それぞれ一方方向(試験体の形状が原点に対してお互いに対称の場合には、正又は負一方方向のみ)の水平力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、損傷時の荷重での変位を用いて、(3.2.1)式により制御変位の基準値 D_a^+ 、 D_a^- を算出する。

$$D_a^+ = \frac{\bar{d}^+}{a^+}, \quad D_a^- = \frac{\bar{d}^-}{a^-} \quad (3.2.1)$$

ここで、 a^+ 、 a^- : 1.5以上の数値、 \bar{d}^+ 、 \bar{d}^- : 正負の損傷時の荷重での変位の平均値(mm)

野縁受けを固定した状態で、野縁に取り付けた治具に図3.2.1に掲げる履歴の正負繰り返し力を加える。同図において、 $\pm 0.5D_a$ 、 $\pm D_a$ 及び $\pm 1.5D_a$ の各変位段階でそれぞれ3回以上繰り返すものとする。

4) 水平方向(野縁受け方向)

3)に準じた方法による。

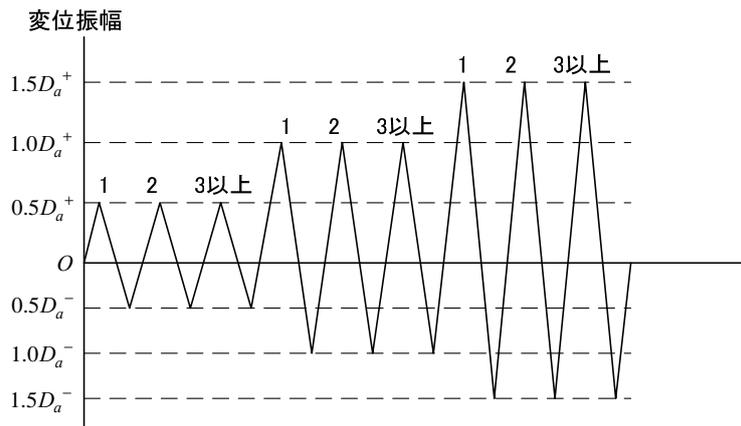


図3.2.1 繰り返し载荷履歴

(4) 記録項目

試験結果には、加力方向ごとに次の項目を記録する。

- a^+ , a^- の数値及び繰り返し回数(加力が水平方向の場合のみ)
- 損傷時の荷重及び最大荷重
- 試験体の変形又は破壊の状態
- 荷重 - 変位曲線

【解説】

(1) 試験の概要

上記の試験はクリップを含む接合部を対象にしたものである。在来工法の天井の場合、クリップの野縁受けへの掛け方には図3.2.2に示す腹掛け、背掛け及びその両方による場合があり、既往の研究では、載荷時の変形や破壊は掛け方によって異なる性状を示すことが報告されている。例えば引張に対して、腹掛けの場合にはクリップ上部でのツメの開きの進行、背掛けの場合にはクリップ下部の降伏又は野縁リップ部の変形が見られ、荷重 - 変位曲線もお互いに異なる結果となる。したがって、試験も実際に採用されるクリップの掛け方ごとに行う必要がある。

クリップを含む接合部の試験体の例を図3.2.3、試験状況の例を図3.2.4に示す。

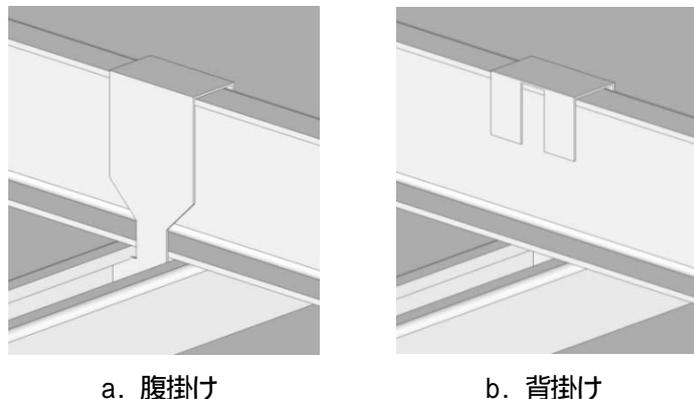


図3.2.2 在来工法の天井に用いるクリップの掛け方の種類

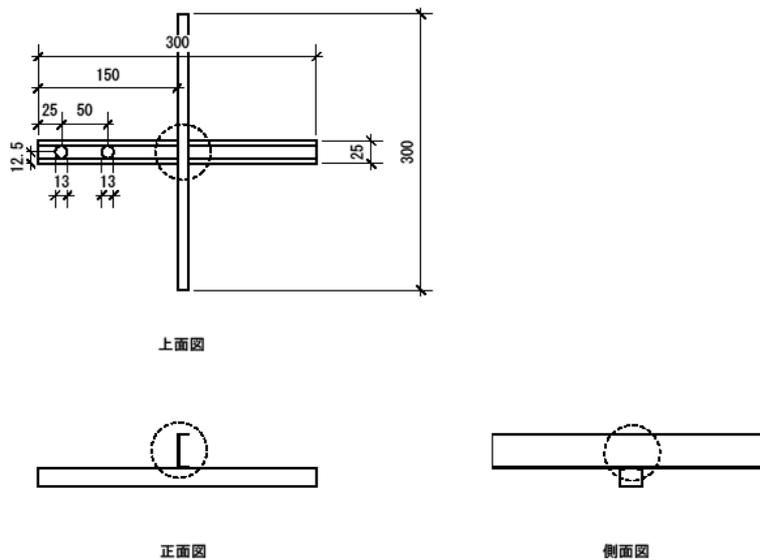


図 3.2.3 クリップを含む接合部の試験体の例

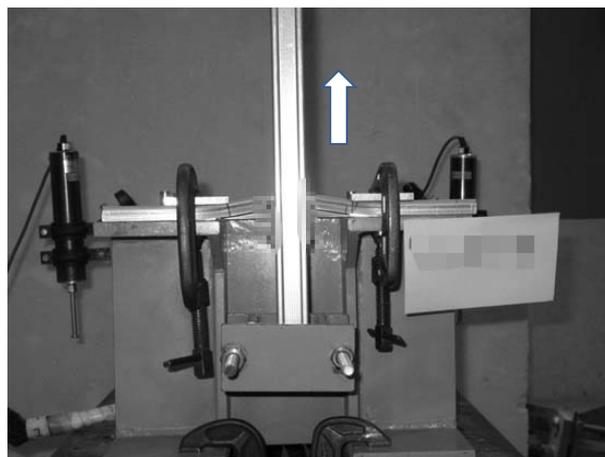


図 3.2.4 クリップを含む接合部の試験状況の例
(野縁方向に加力する場合、矢印は加力方向を表す)

1) 引張・圧縮方向

引張及び圧縮方向の試験は一方向の加力を原則としている。システム天井のクリップを含む接合部の試験体については、JIS A 1445 (システム天井構成部材の試験方法) - 2007 の 9.3 に定める試験体図も参考にすることができる。

2) 水平方向

水平方向の試験は既往の研究成果等を踏まえて、正負繰り返し加力によることを原則とした。

手順 の試験は手順 での繰り返し载荷の振幅設定を目的としている。具体的には、正側と負側それぞれの一方加力試験で得た損傷時の荷重での変位に基づいて、制御変位の基準値 D_a^+ 及び D_a^- を設定するものである。ここで、加力方向の原点に対して試験体の形状が対称であれば、正・負それぞれの一方加力を行う必要はなく、いずれか一方の試験結果で制御変位の基準値を代表させてよい。

手順 の繰り返し加力試験は試験体 1 体以上を基本とし、その制御変位の数値は基準値 D_a だけでなく、

その0.5倍及び1.5倍を対象にしている。振幅 $0.5D_a^+$ 、 $0.5D_a^-$ での载荷（予備载荷）は主に構成材料同士
のなじみをよくすることも期待して行うものであり、振幅 D_a^+ 、 D_a^- は正・負の許容耐力に対応する変位、
振幅 $1.5D_a^+$ 、 $1.5D_a^-$ は正・負の損傷耐力に対応する変位をそれぞれ想定したものである。また、各振幅段
階での繰り返し回数は3回以上と設定した。

なお、例えば制御振幅の設定値が小さくなる場合等、変位制御よりも荷重制御による方法が適切である
と考えられる場合には、上記の方法に準じた荷重制御によることも可能である。このとき、(3.2.1)式を次
式で読み替えることにより、制御荷重の基準値を算出する。

$$P_a^+ = \frac{\bar{P}_d^+}{a^+}, \quad P_a^- = \frac{\bar{P}_d^-}{a^-} \quad (3.2.2)$$

ここで、 P_a^+ 、 P_a^- ：正負の制御荷重の基準値(N)、 a^+ 、 a^- ：1.5以上の数値、 \bar{P}_d^+ 、 \bar{P}_d^- ：正負の損傷時の荷重
の平均値(N)である。

水平方向の载荷方法に関する上記の考え方は、後掲の3 - 3節「ハンガーの接合部」、3 - 4節「斜め部
材の上端接合部」、3 - 5節「斜め部材の下端接合部」においても同様である。

(2) 試験の実施例

以下に、クリップを含む接合部を対象にした試験実施例を掲げる。

図3.2.5.aに引張方向、同図bに水平（野縁受け）方向の一方加力試験の結果をそれぞれ示す。3体
の試験体で試験を行った。この試験体仕様では野縁と野縁受けが直接接触し、クリップに圧縮力を伝達す
る機能は期待されていないため、圧縮方向の一方加力試験は省略した。

図3.2.5.bの試験結果から制御変位 D_a を算出した上で行った正負繰り返し加力試験の結果を図3.2.6
に示す。なお、ここでは上記の試験方法にはないが、3段階の繰り返し後に、最大荷重が得られるまで一
方向の加力を行っている。

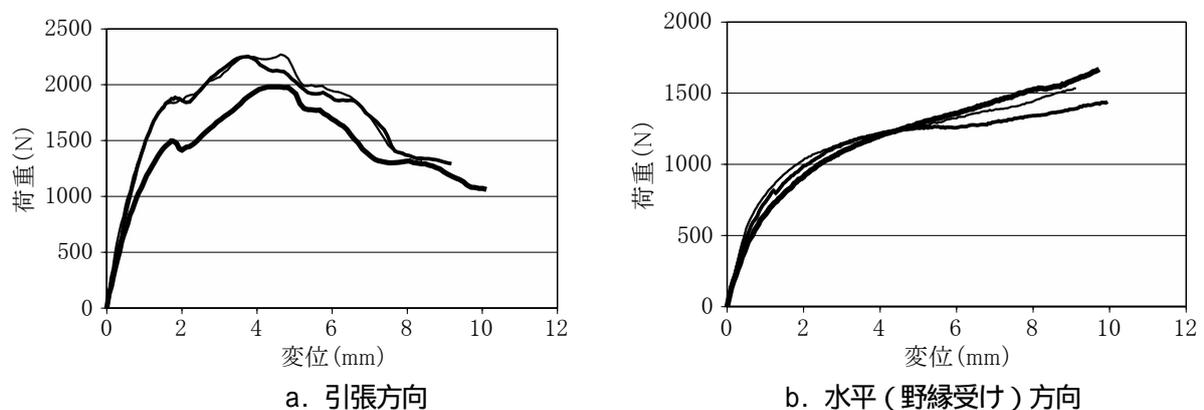


図3.2.5 クリップを含む接合部の一方加力試験の結果例

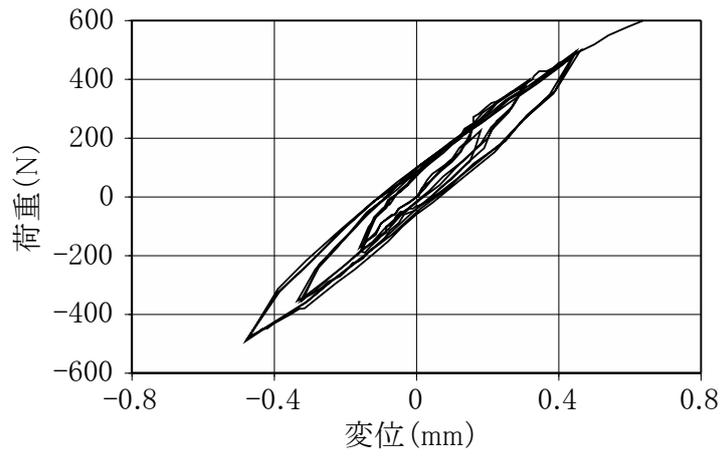


図3.2.6 クリップを含む接合部の正負繰り返し加力試験の結果例（野縁受け方向）

3 - 3 ハンガーの接合部の試験

(1) 適用の範囲

以下に示す試験体、試験方法及び記録項目は、天井材のうち野縁受け、ハンガー及び吊りボルトの下端から構成される接合部を対象とした試験に適用する。

(2) 試験体

試験体は、野縁受け、ハンガー及び吊りボルトの下端を実況どおりに組み合わせたものとする。試験体数は加力方向ごとに3体以上(ただし、(3)3)の試験は1体以上)とする。

(3) 試験方法

試験は、以下の加力方向ごとに示す方法によって行うものとする。

1) 引張方向

野縁受けを固定した状態で、吊りボルトに取り付けた治具に一方方向の引張力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階ごとの荷重に対応した変位量を電気式変位計等で測定する。

2) 圧縮方向

1) に準じた方法による。

3) 水平方向(野縁方向)

以下の手順による。

吊りボルトを固定した状態で、野縁受けに取り付けた治具に正負それぞれ一方方向(試験体の形状が原点に対してお互いに対称の場合には、正又は負一方方向のみ)の水平力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、損傷時の荷重での変位を用いて、(3.3.1)式により制御変位の基準値 D_a^+ 、 D_a^- を算出する。

$$D_a^+ = \frac{\bar{d}^+}{a^+}, \quad D_a^- = \frac{\bar{d}^-}{a^-} \quad (3.3.1)$$

ここで、 a^+ 、 a^- : 1.5 以上の数値、 \bar{d}^+ 、 \bar{d}^- : 正負の損傷時の荷重での変位の平均値 (mm)

吊りボルトを固定した状態で、野縁受けに取り付けた治具に図 3.3.1 に掲げる履歴の正負繰り返し力を加える。同図において、 $\pm 0.5D_a$ 、 $\pm D_a$ 及び $\pm 1.5D_a$ の各変位段階でそれぞれ 3 回以上繰り返すものとする。

4) 水平方向(野縁受け方向)

3) に準じた方法による。

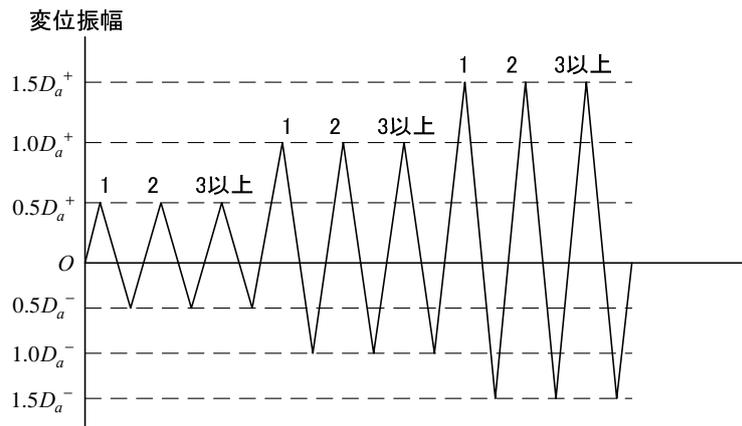


図3.3.1 繰り返し载荷履歴

(4) 記録項目

試験結果には、加力方向ごとに次の項目を記録する。

- a^+ , a^- の数値及び繰り返し回数(加力が水平方向の場合のみ)
- 損傷時の荷重及び最大荷重
- 試験体の変形又は破壊の状態
- 荷重 - 変位曲線

【解説】

上記の試験はハンガーを含む接合部を対象にしたものである。試験の方法はクリップを含む接合部の場合と同じであり、その詳細は3 - 2節の解説を参照されたい。なお、斜め部材の取り付け箇所に応じて、ハンガーが水平方向の地震力を負担しないことが想定される場合には、水平方向の加力を省略してもよい(第編2 - 2節の解説(2)参照)。

ハンガーを含む接合部の試験体の例を図3.3.2、試験体の取り付け状況の例を図3.3.3に示す。

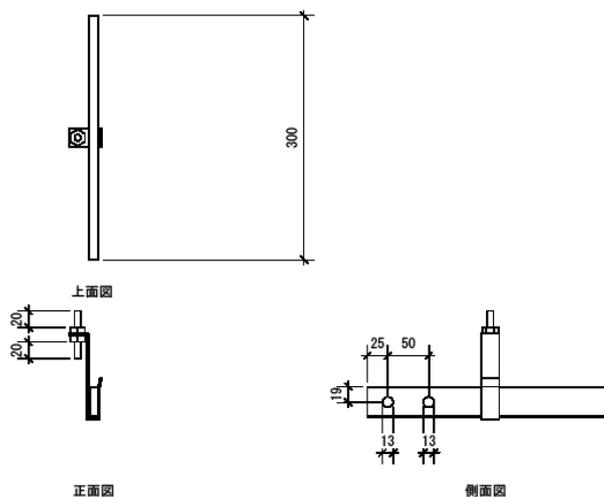


図3.3.2 ハンガーを含む接合部の試験体の例



図 3.3.3 ハンガーを含む接合部の試験体の取り付け状況の例
(野縁方向に加力する場合、矢印は加力方向)

3 - 4 斜め部材の上端接合部の試験

(1) 適用の範囲

以下に示す試験体、試験方法及び記録項目は、天井材のうち吊りボルト及び斜め部材の上端から構成される接合部を対象とした試験に適用する。

(2) 試験体

試験体は、斜め部材の上端が所要の角度及び位置の実況どおりに吊りボルトに取り付けられたものとする。試験体数は加力方向ごとに3体以上(ただし、(3)の試験は1体以上)とする。

(3) 試験方法

試験は、斜め部材の材軸方向に加力するものとし、以下の手順による。

吊りボルトに取り付けた治具を固定した状態で、斜め部材に正負それぞれ一方向の力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、損傷時の荷重での変位を用いて、(3.4.1)式により制御変位の基準値 D_a^+ , D_a^- を算出する。

$$D_a^+ = \frac{\bar{d}^+}{a^+}, \quad D_a^- = \frac{\bar{d}^-}{a^-} \quad (3.4.1)$$

ここで、 a^+, a^- : 1.5 以上の数値、 \bar{d}^+, \bar{d}^- : 正負の損傷時の荷重での変位の平均値 (mm)

吊りボルトに取り付けた治具を固定した状態で、斜め部材に図3.4.1に掲げる履歴の正負繰り返し力を加える。同図において、 $\pm 0.5D_a$ 、 $\pm D_a$ 及び $\pm 1.5D_a$ の各変位段階でそれぞれ3回以上繰り返すものとする。

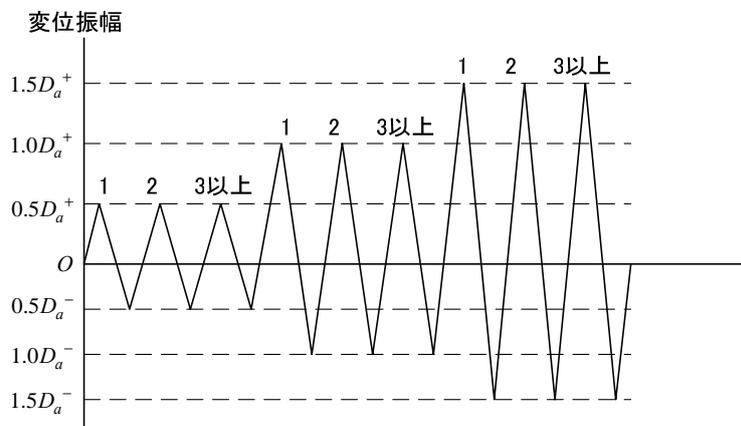


図3.4.1 繰り返し载荷履歴

(4) 記録項目

試験結果には、次の項目を記録する。

- a^+, a^- の数値及び繰り返し回数
- 損傷時の荷重及び最大荷重 (N)
- 試験体の変形又は破壊の状態
- 荷重 - 変位曲線

【解説】

上記の試験は吊りボルトに斜め部材の上端が取り付く部分を対象にしたものであり、斜め部材の材軸方向に加力する方法を掲げている。試験方法はクリップやハンガーを含む接合部の水平方向加力の場合と同じである。

試験体を組み立てる際には斜め部材の角度だけでなく、斜め部材の端部が吊りボルトに取り付く位置についても実況どおりにする必要がある。なお、吊りボルトに取り付く位置に関連して、実際の施工時に偏心距離を0にするのが難しいことが想定される場合には、図3.4.2に示す偏心距離に相当する値をパラメータにした試験を行い、偏心の程度が損傷形態に及ぼす影響をあらかじめ確認しておくことも試験上の配慮として望まれる。斜め部材の上端接合部の試験体の取り付け状況の例を図3.4.3に示す。

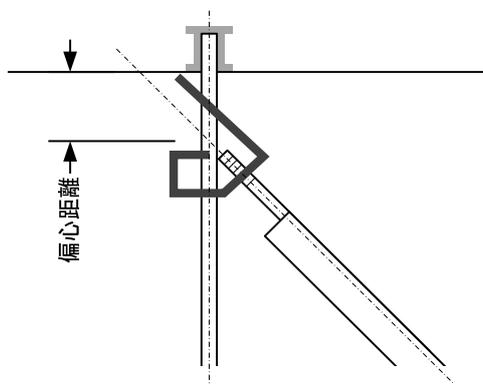


図3.4.2 偏心距離

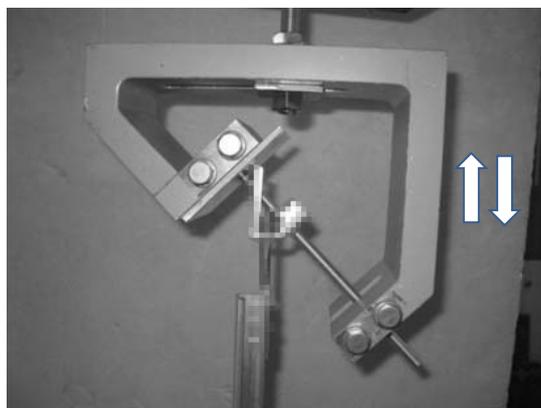


図3.4.3 斜め部材の上端接合部の試験体の取り付け状況の例
(矢印は加力方向を表す。吊りボルトの右下端は自由端としている。)

3 - 5 斜め部材の下端接合部の試験

(1) 適用の範囲

以下に示す試験体、試験方法及び記録項目は、天井材のうち斜め部材の下端及び野縁受け等から構成される接合部を対象とした試験に適用する。

(2) 試験体

試験体は、斜め部材の組の下端が所要の角度及び形状の実況どおりに野縁受け等に取り付けられたものとし、斜め部材の他端は試験フレームにボルト接合する。試験体数は加力方向ごとに3体以上(ただし、(3)1)の試験は1体以上)とする。

(3) 試験方法

試験は、以下の加力方向ごとに示す方法によって行うものとする。

1) 水平方向(野縁受け方向)

以下の手順による。

野縁受けに平行に取り付けた治具に正負それぞれ一方向(試験体の形状が原点に対してお互いに対称の場合には、正又は負一方向のみ)の水平力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、損傷時の荷重での変位を用いて、(3.5.1)式により制御変位の基準値 D_a^+ 、 D_a^- を算出する。

$$D_a^+ = \frac{\bar{d}^+}{a^+}, \quad D_a^- = \frac{\bar{d}^-}{a^-} \quad (3.5.1)$$

ここで、 a^+ 、 a^- : 1.5以上の数値、 \bar{d}^+ 、 \bar{d}^- : 損傷時の荷重での変位の平均値(mm)

野縁受けに平行に取り付けた治具に図3.5.1に掲げる履歴の正負繰り返し力を加える。同図において、 $\pm 0.5D_a$ 、 $\pm D_a$ 及び $\pm 1.5D_a$ の各変位段階でそれぞれ3回以上繰り返すものとする。

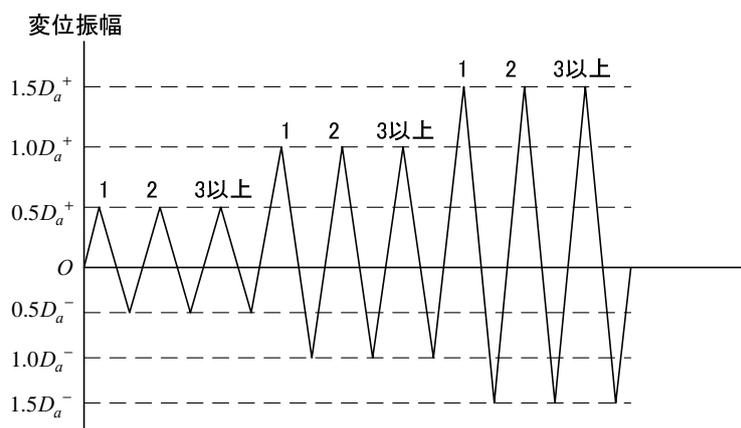


図3.5.1 繰り返し载荷履歴

2) 水平方向(野縁方向)

1)に準じた方法による。

(4) 記録項目

試験結果には、加力方向ごとに次の項目を記録する。

- a^+, \bar{a} の数値及び繰り返し回数
- 損傷時の荷重及び最大荷重 (N)
- 試験体の変形又は破壊の状態
- 荷重 - 変位曲線

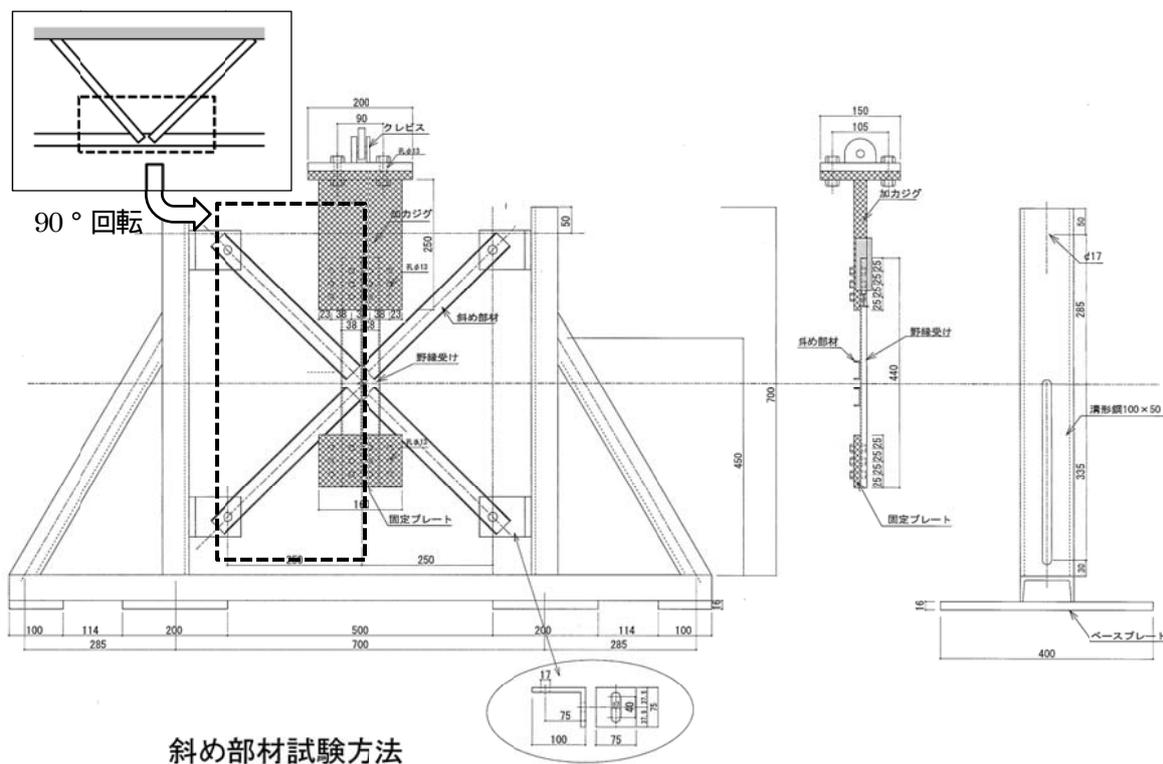
【解説】

(1) 試験の概要

上記の試験は斜め部材の下端が野縁受け等に取り付く部分を対象にしたものであり、試験方法はクリップやハンガーを含む接合部の水平方向加力の場合と同じである。

試験体を組み立てる際には斜め部材の角度だけでなく、斜め部材の組の下端が野縁受け等に取り付く形状 (V字状等) についても実況どおりにする必要がある。また、野縁受け方向に加力する場合には野縁受けに平行に取り付く治具、野縁方向に加力する場合には加力方向に直交する野縁受けをしっかりと掴む治具をそれぞれ用意する。

斜め部材の下端接合部の試験体の例を図 3.5.2、試験体の取り付け状況の例を図 3.5.3 に示す。図 3.5.2 に示すように試験体は 2 組の斜め部材から構成されるため、1 組当たりの斜め部材の損傷時の荷重を求める際には、試験結果を 1/2 倍する必要がある点に留意する。



斜め部材試験方法

図 3.5.2 斜め部材の下端接合部の試験体の例

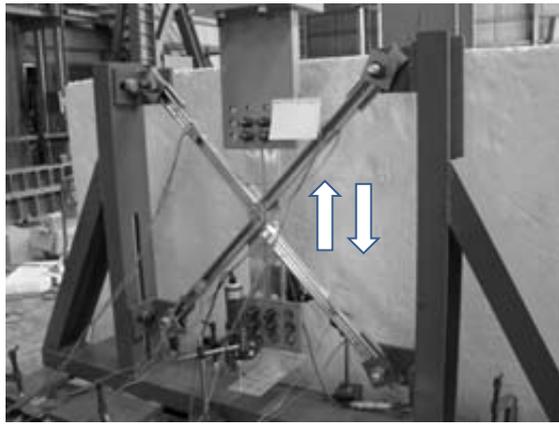


図3.5.3 試験体の取り付け状況の例
(野縁受け方向に加力する場合、矢印は加力方向を表す)

3 - 6 接合部の許容耐力・剛性の評価

(1) 適用の範囲

以下に示す評価方法は、3 - 1 節から 3 - 5 節までに示す試験の結果に基づく接合部の許容耐力及び剛性の評価に適用する。

(2) 評価方法

1) 接合部の許容耐力は、以下の加力方向ごとに示す方法によって得るものとする。

) 引張方向又は圧縮方向

一方向加力試験の結果に基づき、(3.6.1)式によって算出する。

$$P_a = \frac{\bar{P}_d}{a} \quad (3.6.1)$$

ここで、 P_a : 許容耐力 (N)、 \bar{P}_d : 損傷時の荷重の平均値 (N)、 a : 1.5 以上の数値

) 水平方向

正負繰り返し加力試験の結果が一方向加力試験の結果と概ね同等であることが確かめられた場合には、(3.6.2)式によって算出した数値を許容耐力とする。

$$P_a^+ = \frac{\bar{P}_d^+}{a^+}, \quad P_a^- = \frac{\bar{P}_d^-}{a^-} \quad (3.6.2)$$

ここで、 P_a^+ 、 P_a^- : 正負の許容耐力 (N)、 \bar{P}_d^+ 、 \bar{P}_d^- : 一方向加力試験での正負の損傷時の荷重の平均値 (N)、 a^+ 、 a^- : 制御変位の基準値 D_a の設定に用いた 1.5 以上の数値

2) 接合部の剛性は、加力方向ごとの荷重 - 変位曲線に基づき、損傷時の荷重に相当する点と原点を結ぶ直線によって得るものとする。

【解説】

(1) 接合部の許容耐力

天井告示の計算ルートその他の規定では、天井の許容耐力を、繰り返し载荷試験その他の試験又は計算によって確認した損傷耐力（天井材に滑り及び外れ並びに損傷を生ずるときの耐力をいう。）に 3 分の 2 以下の数値を乗じた数値として定義している（第 編 3 - 1 - 3 節参照）。本節では、これに基づいて接合部の許容耐力を評価する方法を示した。以下に損傷時の荷重の設定、引張・圧縮及び水平方向の許容耐力の設定についてそれぞれまとめる。

1) 損傷時の荷重

3 - 1 節から 3 - 5 節までに示した一方向加力試験では、構成部材の種類や加力方向によって様々な形態の荷重 - 変形曲線が得られる。許容耐力を評価する際には、試験体ごとに得た荷重 - 変位曲線から損傷時の荷重 P_d を適切に設定することが重要であり、一般的な降伏荷重の評価方法を参考にするとよい。評価には複数の方法があり得るが、評価手順の一例を以下に示す。

荷重 - 変位曲線に基づき、初期剛性 K の直線 を引く。

$K/3$ の傾きをもつ直線を、荷重 - 変位曲線に接するように平行移動したものを直線 とする。

直線 I と直線 II の交点での荷重を損傷時の荷重 P_d とみなす。

図 3.6.1.a は最大荷重に達する前に非線形な変形が進行する場合、同図 b は弾性剛性を保持して最大荷重付近まで達する場合であり、図中の丸印が P_d に相当する点である。ここで初期剛性 K は、最大荷重 P_{max} の 0.1~0.2 倍に相当する荷重値と原点とを結んだ直線から得ている。

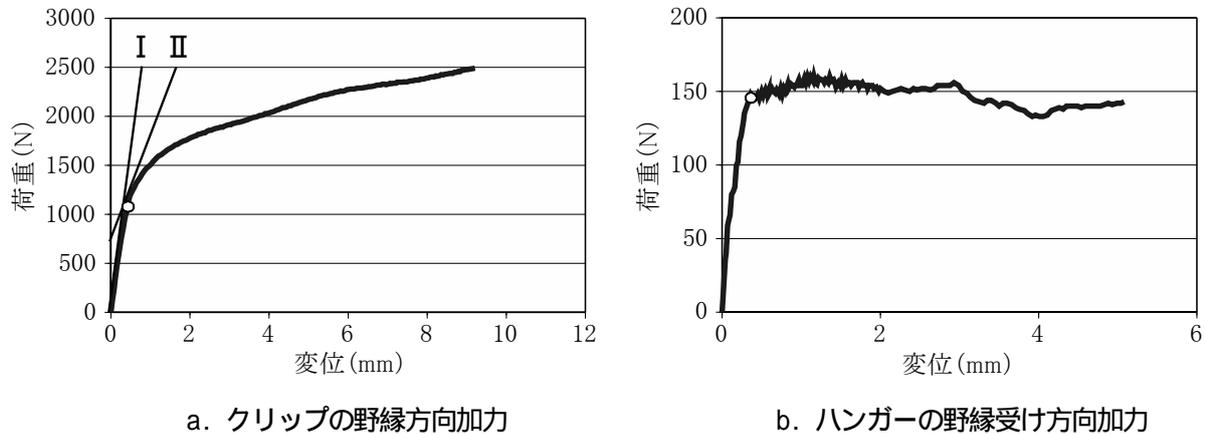


図 3.6.1 一方向加力試験の結果に基づく損傷時の荷重の算出例

2) 引張・圧縮方向の許容耐力

引張又は圧縮方向の許容荷重は、上記の方法で得た損傷時の荷重の平均値を 1.5 以上の数値で除することによって得ることができる。

3) 水平方向の許容耐力

水平方向の許容耐力に関しては、正負繰り返し加力後の結果が一方向加力の結果と概ね同等であることが確認できれば、一方向加力試験で得た損傷時の荷重の平均値に基づいて、正負の許容耐力を(3.6.2)式で算出することができる。ここで同式中の数値 a は、正負繰り返し加力試験での制御変位の基準値 D_a を設定する時に用いた数値である。

同等性評価の基準としては、() 一方向加力試験での荷重 - 変位曲線と正負繰り返し加力試験での荷重 - 変位曲線がほぼ同等であること、() 正負繰り返し加力による荷重の低下が顕著でないことの 2 点が挙げられる。これを満たす具体の方法の例として、以下の評価式を参考にすることができる。なお、概ね同等ではないと評価される試験結果が出た場合には、一方向加力試験の結果から制御変位の基準値 D_a をさらに小さく設定し直し、再度正負繰り返し加力試験を行う必要がある。

原則として(3.6.3)式に適合すること。

$$|P_d^+| \geq 0.8 \times (1.5P_a^+), \quad |P_d^-| \geq 0.8 \times (1.5P_a^-) \quad (3.6.3)$$

ここで、 P_a^+ 、 P_a^- : (3.6.2)式による正負の許容耐力(N)、 P_d^+ 、 P_d^- : 正負繰り返し試験での制御変位 $\pm 1.5D_a$ における繰り返し回数分の各荷重 (正負各 3 点以上) (N)

(2) 接合部における緊結状態の確認

天井告示の仕様ルート (第 3 第 1 項第二号及び第五号) では、天井材相互の緊結、吊り材の構造耐力上

主要な部分等への緊結がそれぞれ規定されているが、接合部の試験・評価結果を用いてこれらの接合部での緊結状態を確認することができる。具体的には、クリップ、ハンガー及び斜め部材の接合部については第 編 2 - 2 節「天井材の緊結」の解説、吊りボルトの上端接合部については 2 - 5 節「吊り材及び斜め部材の取付け方法」の解説にそれぞれ掲げる方法に従って、接合部の試験で得られる許容耐力が当該接合部に作用する地震力を下回らないことを確かめればよい。

(3) 接合部の剛性

当該接合部の剛性は加力方向ごとの荷重 - 変形曲線を用いて、損傷時の荷重 P_d に相当する点と原点を結ぶ直線の傾きによって得ることを基本とした。

3 - 7 天井全体の許容耐力・剛性の評価

(1) 適用の範囲

以下に定める評価方法は、3 - 6 節に示す結果に基づく天井全体の許容耐力及び剛性の評価に適用する。

(2) 評価方法

許容耐力及び剛性の評価は、以下に示す方法によって行うものとする。

1) 天井全体の許容耐力は、接合部ごとに得た許容耐力に基づき天井材の構成その他の実況を考慮した数値とする。

2) 天井の剛性は、接合部等を線形のパネに置換したモデルを設定して評価する。

【解説】

(1) 許容耐力の評価

本節では、3 - 6 節に示す方法で得られた接合部ごとの許容耐力の数値を用いて、天井告示の第3 第2 項第一号口その他で定める天井の許容耐力を評価する考え方を示している。天井の許容耐力は、(2) に示すモデル等を用いて各接合部に生じる応力状態を考慮し、いずれかの接合部又は部材が許容耐力に達するときの耐力を天井の許容耐力とする。この場合において、斜め部材の座屈耐力等の別途計算で得た数値も必要に応じて考慮する。

(2) 剛性の評価

天井の固有周期を算定する際には、質量とともに天井全体の剛性が必要となる。3 - 6 節に示す方法により接合部ごとに得られた剛性(損傷時の割線剛性) から天井全体の剛性を算定するには、接合部及び部材を線形のパネに置換したモデルを設定して評価する。ここで、在来工法の天井板と野縁などの一体化されていて相対的に剛性が高いと考えられる部分を剛体(剛棒) として、また水平方向に対する吊りボルトの抵抗など相対的に柔性が高いと考えられる部分は無視してモデル化することができる。

図3.7.1 にモデル化の模式図を示す。斜め部材の上端接合部 a 及び c、下端接合部 b をパネで置換したモデルとなっている。野縁受け、野縁及び天井板は緊結され一体化しているとして剛棒としている。接合部のパネ剛性が比較的高い場合には斜め部材を弾性の軸材(トラス要素) としてモデル化してその変形を考慮する。吊り長さが大きく、斜め部材の組数が多い場合には、天井の水平剛性に対する寄与が小さいと考えられる吊りボルトは省略(無視) してもよい。

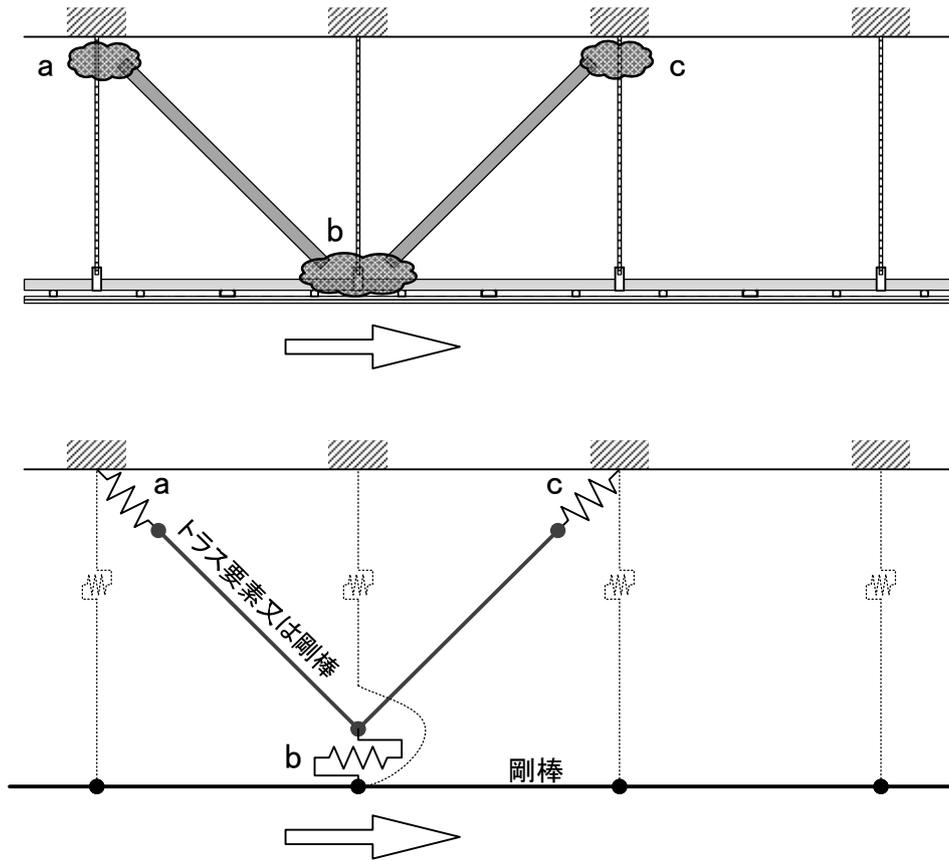


図3.7.1 モデル化の模式図

図3.7.1のようなモデル化に基づき、接合部等の剛性から天井全体の剛性を評価した例を示す。吊りボルト間隔及び吊り長さを900mmとし、斜め部材の角度(仰角)は 45° とする。図3.7.1のa, cについて、吊りボルト側の変形を含めた斜め部材の軸方向の剛性が引張で518 N/mm、圧縮で1410 N/mmと評価されたとする。また図1のbは斜め部材の一部を含んだ形で水平方向の剛性が971 N/mmであるとする。吊りボルトの剛性は無視し、斜め部材は剛体として扱う^{注)}。

バネa, cとV字の斜め部材からなる部分を考え、斜め部材下端に単位水平力が作用する場合の軸力を \bar{N} とすると、水平方向の柔性 $f_{a,c}$ は、

$$f_{a,c} = \sum \frac{\bar{N}^2}{k_i} = \bar{N}^2 \times \left(\frac{1}{k_{引張}} + \frac{1}{k_{圧縮}} \right) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2 \times \left(\frac{1}{518} + \frac{1}{1410} \right) = 1.32 \times 10^{-3} \text{ (mm/N)}$$

バネbによる水平方向の柔性 f_b は、

$$f_b = \frac{1}{k_b} = \frac{1}{971} = 1.03 \times 10^{-3} \text{ (mm/N)}$$

天井全体の水平方向の柔性 f は、

$$f = f_{a,c} + f_b = (1.32 + 1.03) \times 10^{-3} = 2.35 \times 10^{-3} \text{ (mm/N)}$$

天井全体の水平方向の剛性 K は、

$$K = \frac{1}{f} = \frac{1}{2.35 \times 10^{-3}} = 426 \text{ (N/mm)}$$

このように評価された天井全体の剛性をユニット試験（4 - 1 節参照）による水平方向の荷重変位関係と比較したものが図 3.7.2 である。接合部等から評価した剛性が概ね妥当であると判断できる。

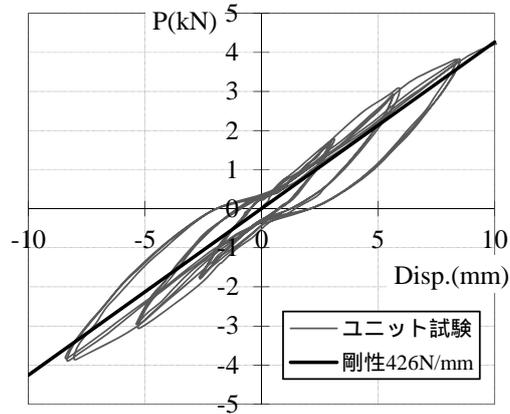


図 3.7.2 荷重変位関係（ユニット試験、野縁受け方向）

注) 斜め部材を C-25×19×5×1.0 (AS-25) として断面積を約 70mm² とすれば、水平方向の斜め部材の変形による水平方向の柔性 f_{br} は次式のように評価され、接合部等に比べて水平方向の柔性が小さい（剛性が高い）ことが分かる。

$$f_{br} = \sum \frac{\bar{N}^2}{EA} l = \bar{N}^2 \times 2 \text{本} \times \frac{l}{EA} = \frac{1}{2} \times 2 \text{本} \times \frac{\sqrt{2} \times 900}{205000 \times 70} = 8.87 \times 10^{-5} \text{ (mm/N)}$$

第4章 天井ユニットの試験・評価

4 - 1 天井ユニットの試験

(1) 適用の範囲

以下に示す試験体、試験方法及び記録項目は、天井ユニットを対象にした試験に適用する。

(2) 試験体

試験体は、天井面構成部材、吊り材及び斜め部材によって実際の構造方法の通りに組み上げられたものとし、必要に応じて加力方向に直交する方向への変形を拘束するための斜め部材等を取り付ける。吊りボルトの本数は加力方向を3本以上、加力方向に直交する方向を3本とし、吊りボルトの上端は構造耐力上主要な部分又は天井の支持構造部に相当する試験フレームに固定する。試験体数は加力方向ごとに1体以上とする。

(3) 試験方法

試験は原則として、以下の加力方向ごとに示す方法によって行うものとする。

1) 水平方向(野縁方向)

以下の手順による。

天井面構成部材のうち均等に力が作用する箇所に取り付けた治具に正負それぞれ一方向(試験体の形状が原点に対してお互いに対称の場合には、正又は負一方向のみ)の水平力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、損傷時の荷重での変位を用いて、(4.1.1)式により制御変位の基準値 D_a^+ 、 D_a^- を算出する。

$$D_a^+ = \frac{\bar{d}^+}{a^+}, \quad D_a^- = \frac{\bar{d}^-}{a^-} \quad (4.1.1)$$

ここで、 a^+ 、 a^- : 1.5以上の数値、 \bar{d}^+ 、 \bar{d}^- : 損傷時の荷重での変位の平均値(mm)

天井面構成部材のうち均等に力が作用する箇所に取り付けた治具に図4.1.1に掲げる履歴の正負繰り返し力を加える。同図において、 $\pm 0.5D_a$ 、 $\pm D_a$ 及び $\pm 1.5D_a$ の各変位段階でそれぞれ3回以上繰り返すものとする。

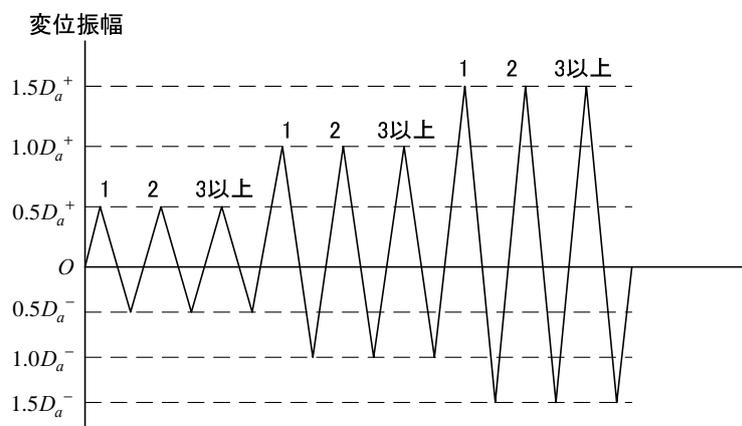


図4.1.1 繰り返し载荷履歴

2) 水平方向(野縁受け方向)

1) に準じた方法による。

(4) 記録項目

試験結果には、加力方向ごとに次の項目を記録する。

- ・ a^+ , a^- の数値及び繰り返し回数
- ・ 損傷時の荷重及び最大荷重(N)
- ・ 試験体各部の変形又は破壊の状態
- ・ 荷重 - 変位曲線

【解説】

(1) 試験の概要

天井ユニットの試験体を用いた試験は、比較的多くの既往の研究実績のほか、JIS A 1445(システム天井構成部材の試験方法) - 2007 の解説 6.1.2 にも例が掲げられている。上記の試験方法はこれらの原則的な考え方をまとめたものであり、水平方向の加力方法を掲げている。

図 4.1.2 に天井ユニットの試験体の例を示す。天井ユニットの規模は吊りボルトの本数で規定し、加力方向を3本以上(2スパン以上)、加力方向に直交する方向を3本(2スパン)とした。水平方向加力の方法は第3章に示した接合部の試験と同様であり、手順 の一方向の荷重によって許容耐力に対応する制御変位の基準値を把握した上で、手順 の正負繰り返し荷重によることとしている。

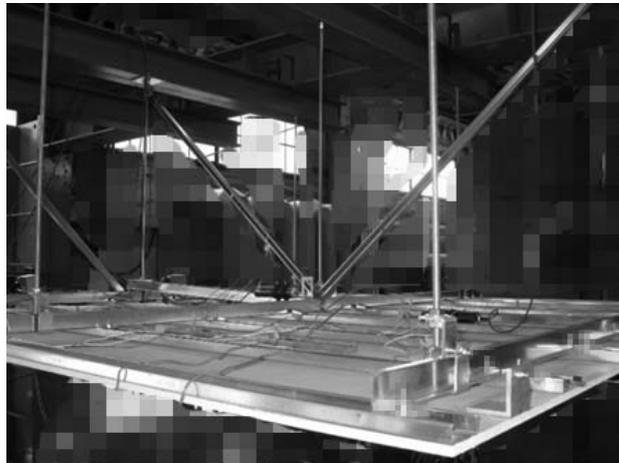


図 4.1.2 天井ユニットの試験体の例

(2) 試験の実施例

天井ユニットの試験体を用いた繰り返し荷重試験の実施例を図 4.1.3 に示す。なお、ここでは上記の試験方法にはないが、3段階の繰り返し後に、破壊性状を確認するため一方向の加力を行っている。

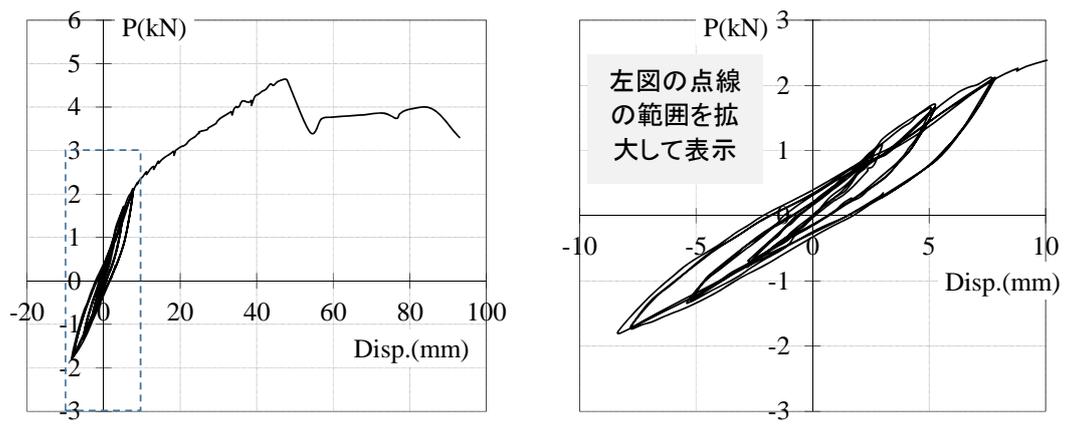


図 4.1.3 正負繰り返し荷重試験の例（野縁方向）

4 - 2 天井全体の許容耐力・剛性の評価

(1) 適用の範囲

以下に示す評価方法は、4 - 1 節に示す試験の結果に基づく天井全体の許容耐力及び剛性の評価に適用する。

(2) 評価方法

許容耐力及び剛性の評価は、以下に示す方法によって行うものとする。

1) 許容耐力

正負繰り返し加力試験の結果が一方加力試験の結果と概ね同等であることが確かめられた場合には、(4.2.1)式によって算出した数値に、天井材の構成その他の実況を考慮した数値を天井全体の許容耐力とする。

$$P_a^+ = \frac{P_d^+}{a^+}, \quad P_a^- = \frac{P_d^-}{a^-} \quad (4.2.1)$$

ここで、 P_a^+ 、 P_a^- ：正負の許容耐力(N)、 P_d^+ 、 P_d^- ：一方加力試験での正負の損傷時の荷重(N)、 a^+ 、 a^- ：制御変位の基準値 D_a の設定に用いた1.5以上の数値

2) 剛性

天井全体の剛性は、加力方向ごとの荷重 - 変位曲線に基づき、損傷時の荷重に相当する点と原点を結ぶ直線によって得た剛性に、天井材の構成その他の実況を考慮した数値とする。

【解説】

本節では、4 - 1 節に示す天井ユニットの試験結果に基づいて天井の許容耐力と剛性を評価する考え方を示している。許容耐力の評価方法は、3 - 6 節に示した接合部の水平方向の許容耐力評価の考え方と同じである。具体的には、正負繰り返し加力後の結果が一方加力の結果と概ね同等であることが確かめられれば、一方加力試験で得た損傷時の荷重に基づく数値を天井の許容耐力として設定することができる。

正負繰り返し加力の結果が同等性の評価基準を満たさない場合には、一方加力試験の結果から損傷時の荷重をさらに小さく見積もったうえで制御変位の基準値を設定し直し、再度正負繰り返し加力試験を行う必要がある。

