

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I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) ②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。

① 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、(3.2.1)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)

② 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。

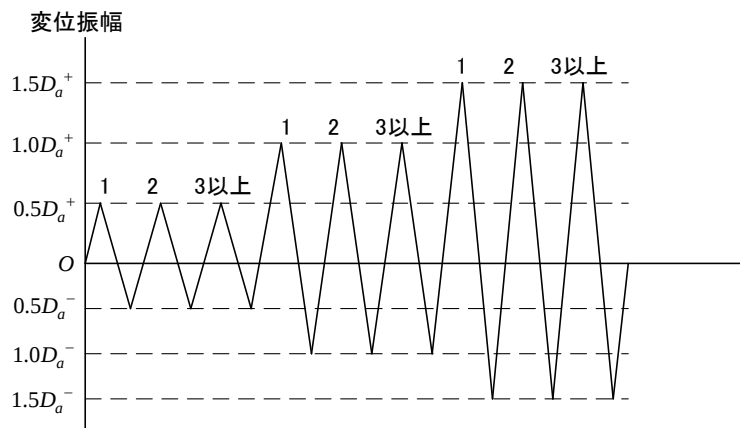


図 3. 2. 1 繰り返し載荷履歴

(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。

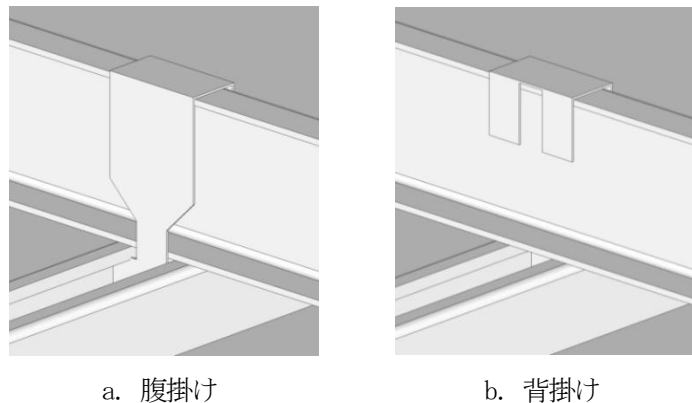


図 3. 2. 2 在来工法の天井に用いるクリップの掛け方の種類

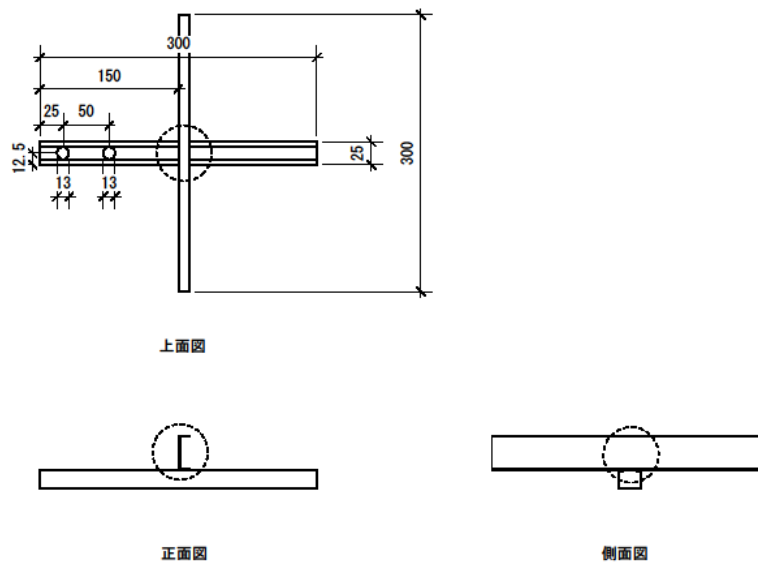


図 3.2.3 クリップを含む接合部の試験体の例



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①の試験は手順②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向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・負それぞれの一方向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②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）方向の一方方向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、圧縮方向の一方方向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。

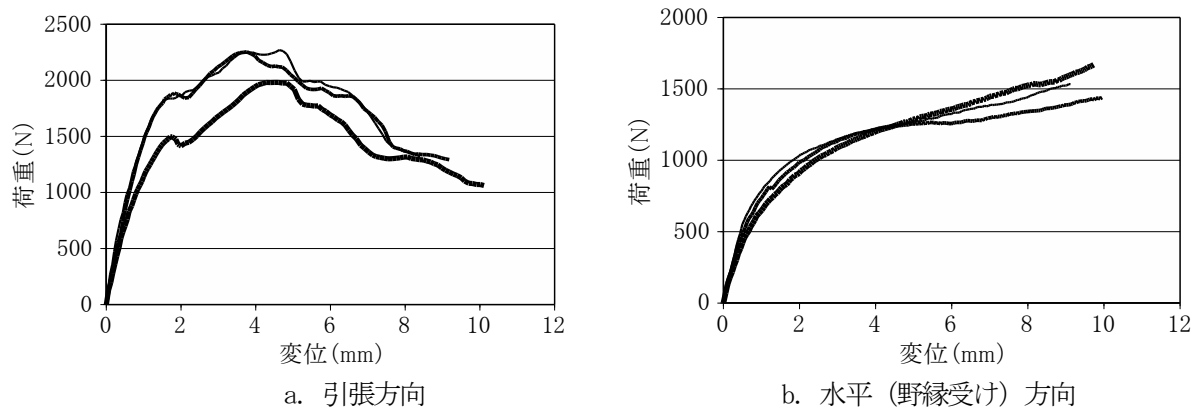


図3.2.5 クリップを含む接合部の一方方向加力試験の結果例

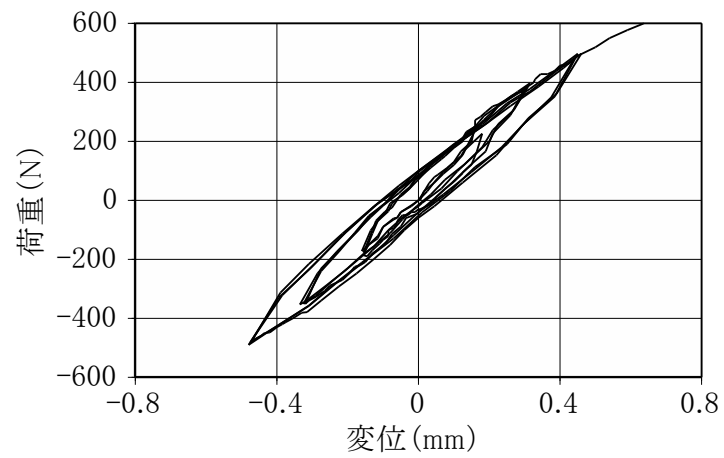


図 3. 2. 6 クリップを含む接合部の正負繰り返し加力試験の結果例（野縁受け方向）

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) ②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。

① 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)

② 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。

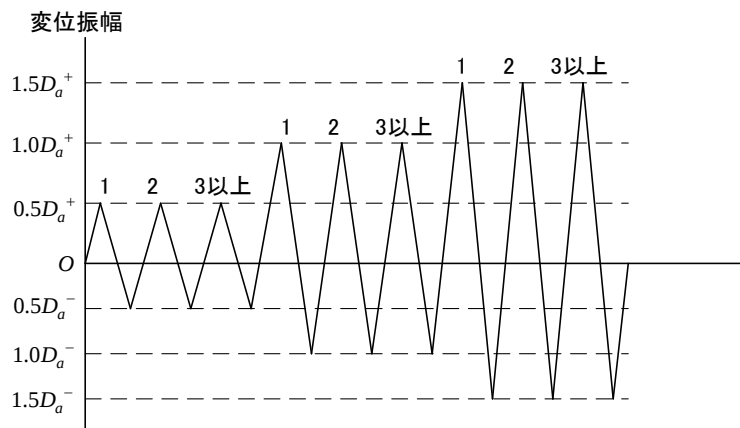


図 3. 3. 1 繰り返し載荷履歴

(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Ⅰ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。

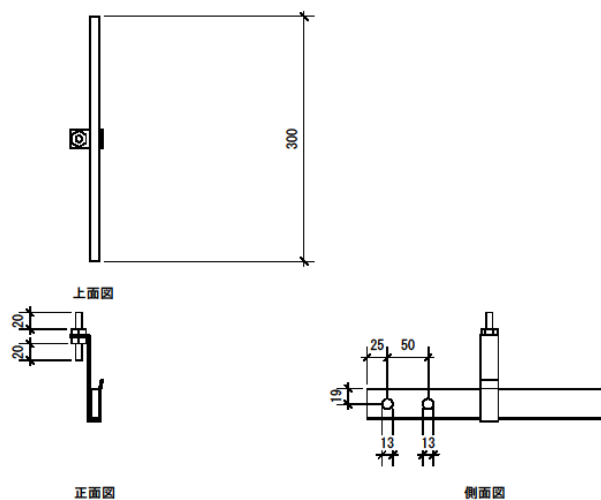


図 3. 3. 2 ハンガーを含む接合部の試験体の例



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) ②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。

① 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)

② 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。

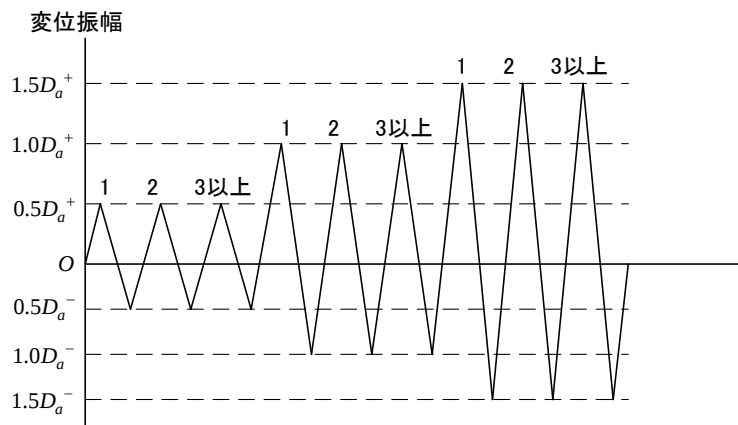


図 3.4.1 繰り返し载荷履歴

(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。

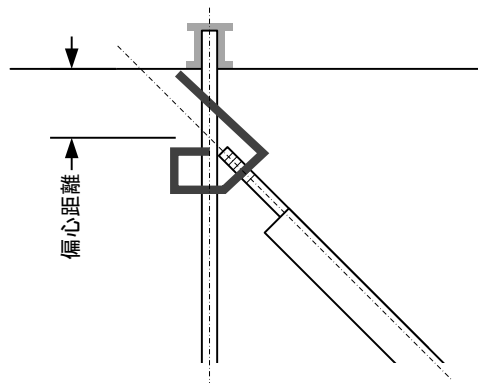


図 3. 4. 2 偏心距離



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) ②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。

① 野縁受けに平行に取り付けた治具に正負それぞれ一方（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)

② 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。

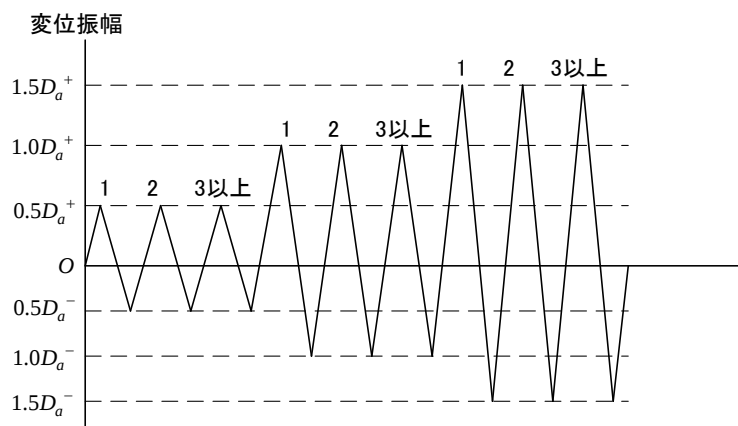


図 3.5.1 繰り返し载荷履歴

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。



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。

i) 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

ii) 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 I 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。

① 荷重－変位曲線に基づき、初期剛性 K の直線Ⅰを引く。

② $K/3$ 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Ⅱとする。

③ 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。

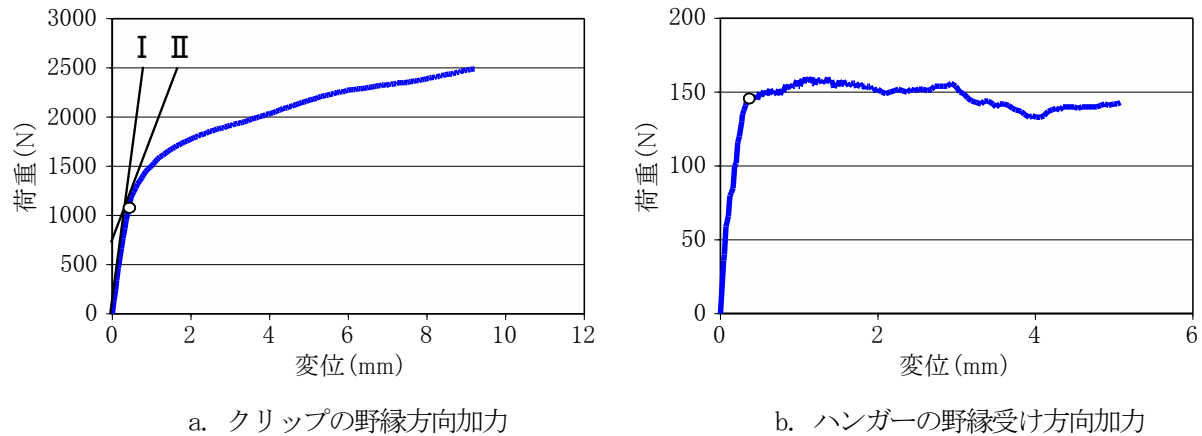


図3.6.1 一方向加力試験の結果に基づく損傷時の荷重の算出例

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、i) 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、ii) 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Ⅰ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項第一号ロ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をバ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。接合部のバ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。

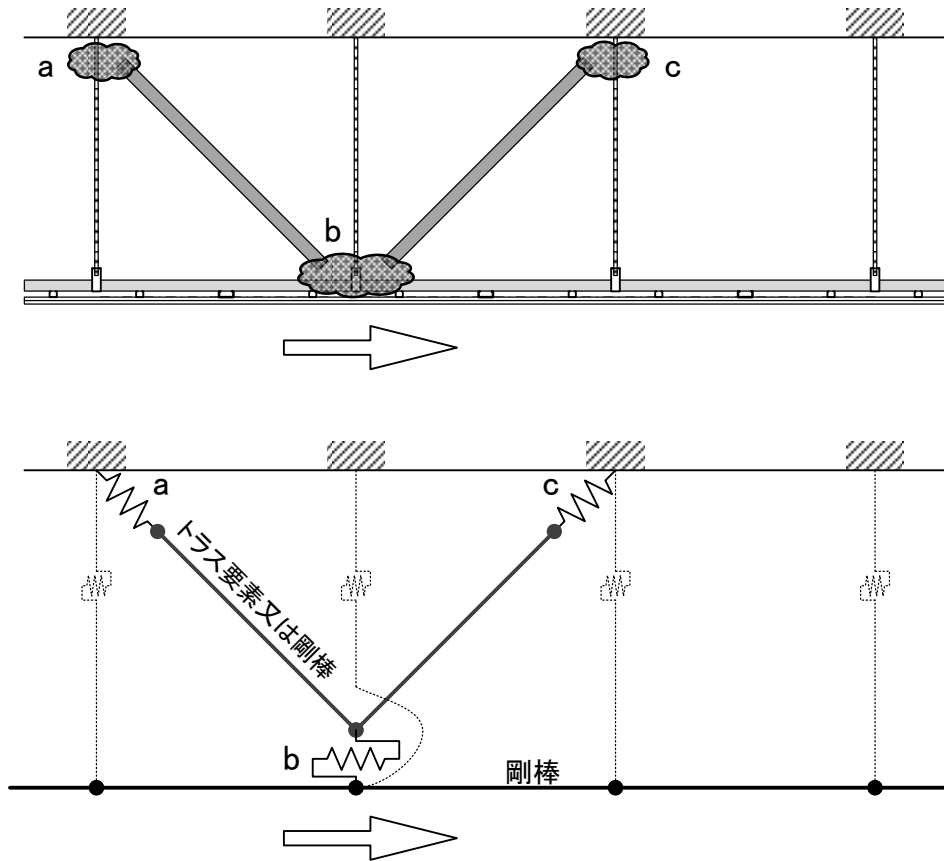


図 3.7.1 モデル化の模式図

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[※]。

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、

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

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。

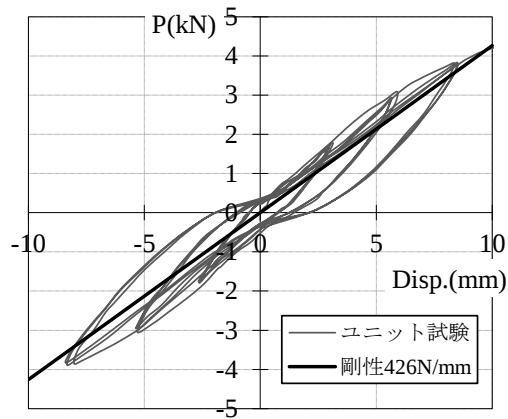


図 3. 7. 2 荷重変位関係（ユニット試験、野縁受け方向）

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。

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