

天井及びその部材・接合部の耐力・剛性の 設定方法のための試験方法について

その1 接合部の試験方法

1. はじめに

過去の数度の地震による天井の脱落、崩落等の被害が報告され、国土交通省において、振れ止めの設置、クリアランスの確保等の技術的助言を発出し、大規模空間を持つ建築物の天井の脱落防止対策を進めてきた。しかし、平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、体育館、大規模ホール等広範囲にわたる多数の建築物において、天井が脱落し、かつてない規模で甚大な人的・物的被害が発生した。その後の調査では、技術的助言で示された振れ止めの設置、クリアランスの確保が守られている天井がわずか8%であったと報告されている。そこで、本誌既報2013 Vol.49の12月号でも報告されたが、東日本大震災の被害を踏まえて、建築物における天井脱落対策に係る技術基準（建築基準法施行令の一部を改正する政令〔平成25年政令217号〕及び関連告示）が公布された。この中で「特定天井（脱落によって重大な危害を生ずるおそれのあるものとして国土交通大臣が定める天井）」は、構造耐力上安全なものとして国土交通大臣が定めた構造方法又は国土交通大臣の認定を受けたものを用いることとされた。その後、天井脱落対策に係る一連の技術基準告示が公布され、平成26年4月1日より大臣が指定する「特定天井」について、大臣が定める技術基準に従って脱落防止対策を講ずべきことが定められた。これを受けて、国土交通省国土技術政策総合研究所、建築研究所等が中心となり、平成25年10月「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」が公表された。この中で、「天井及びその部材・接合部の耐力・剛性の設定方法」に試験方法等が明記されているが、これらは一つの例として紹介されており、試験方法の詳細については分かり難い部分が見られた。「天井及びその部材・接合部の耐力・剛性の設定方法」の概要に関しては既報2013 Vol.49の12月号を参照していただくこととして、ここでは接合部および天井ユニットの試験方法を中心に詳述することとした。

2. 接合部の試験方法

2.1 吊りボルトの上端接合部の試験

試験体は、吊りボルトの上端が吊り金具を介して、構造耐力上主要な部分また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。コンクリート床スラブを想定した場合の試験方法を図1に、試験実施状況を写真1に示す。図のように、コンクリート母材（形状は埋め込み深さを考慮して、300mm×300mm、厚さ100mmまたは150mm。厚さ

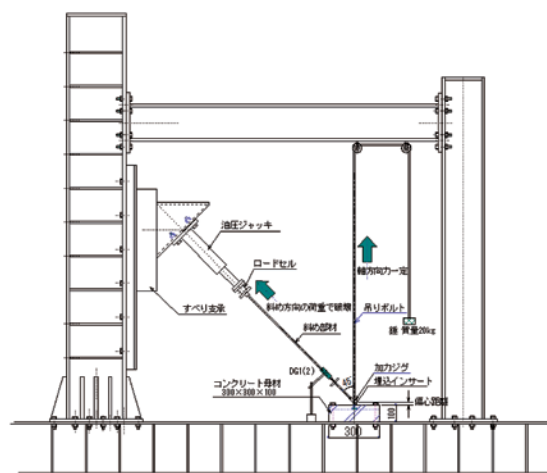


図1 吊りボルト上端接合部（埋込みインサート）の試験方法

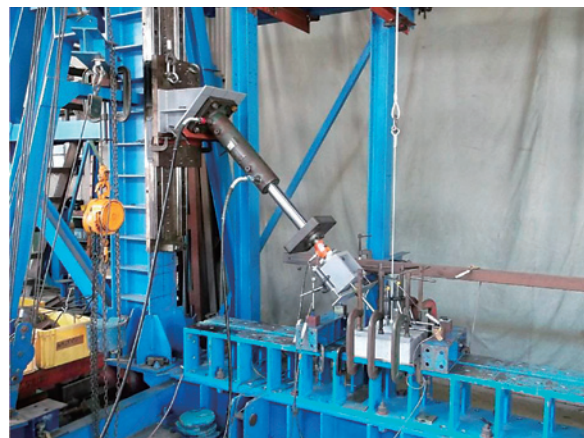


写真1 吊りボルト上端接合部の試験実施状況

は吊り金具の埋め込み深さの3倍以上を確保)の中央に吊り金具(埋め込みインサート、あと施工アンカー等)を設置し、そこに吊りボルトを留め付ける。その後、吊りボルトの軸方向に吊りボルト1本が負担する天井質量に相当する一定の引張荷重を載荷し、吊り元に加力ジグを介して、設置する斜め部材の軸方向(図では45°方向)に引張荷重を最大荷重が得られるまで段階的に加える。この時、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。

実際に吊りボルトが取り付くのはコンクリート床スラブ以外の構造耐力上主要な部分であることも想定されるため、その場合にはさまざまな吊り金具が考えられるので、上述の試験方法を参考として、実況を反映した試験方法を採用する必要がある。

なお、試験結果には①損傷時の荷重(試験体の構成材料に滑りおよび外れ並びに損傷を生ずる時の荷重をいう。以下同じ)および最大荷重、②試験体の変形または破壊の形態、③荷重－変位曲線を記載する。

<試験実施上の注意点>

- ① ここで紹介した試験方法では斜め部材の取り付け角度を45°としているが、角度については実情に合わせて変更する必要がある。角度に範囲がある場合は角度ごとのデータが必要となってくるが、最大角、最小角、その中間など3段階程度の角度について試験を実施し、角度の影響を明確にしておくことで対応が可能である。
- ② 吊りボルトへの載荷は、1本の吊りボルトが負担する天井面の重さである。仕様ルートでは最低でも1m²あたり1本以上設置することとしているため、最大で20kg(196N)となる。その他のルートでは実況に合わせた荷重を載荷することになる。
- ③ 斜め部材の吊りボルト吊り元への取り付けは実際に使用する金具を用い、実際の斜め部材を用いるほか、取り付け部の破壊が先行することが懸念される場合は剛強な加力ジグ等を用いて載荷を行う。
- ④ 変位の測定は斜め部材の軸方向変位について行う。

2.2 クリップ接合部の試験

試験体は、野縁、クリップおよ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およびクリップの掛け方ごとに一方向載荷が3体以上、正負繰返し of 水平方向載荷が1体以上とする。試験方法を図2～図5に、試験実施状況を写真2～写真4に示す。なお、試験結果には、① a^+ 、 a^- (損傷時の荷重から許容耐力を求めるための数値で、1.5以上とする)の数値および繰返し回数(水平方向載荷試験のみ)、②損傷時の荷重および最大荷重、③試験体の変形または破壊の形態、④荷重－変位曲線を記載する。

1) 引張試験

図2のように野縁を固定した状態で、加力ジグを介して野縁受けに一方向の引張荷重を最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階の荷重に対応した野縁受けの鉛直上向きの変位量を電気式変位計等で測定する。

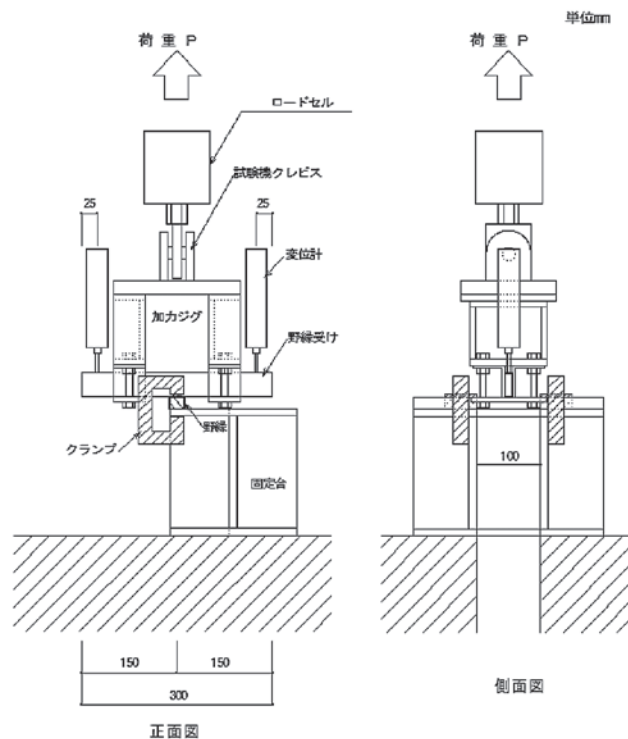


図2 クリップ接合部の引張試験方法



写真2 クリップ接合部の引張試験実施状況

2) 野縁方向の水平方向載荷試験

- ① 図3のように、野縁受けを固定した状態で、加力ジグを介して野縁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、正または負のどちらか一方のみ)の水平荷重を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階の荷重に対応した野縁の軸方向の変位量を電気式変位計等で測定する。この時、損傷時の荷重における変位を用いて次式により制御

変位の基準値 D_a^+ , D_a^- を算出する。

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

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、加力ジグを介して野縁に図4に示す履歴の正負繰返し荷重を加える。同図において、 $\pm 0.5 D_a$, $\pm D_a \pm 1.5 D_a$ の各変位段階でそれぞれ3回以上繰返すものとする。

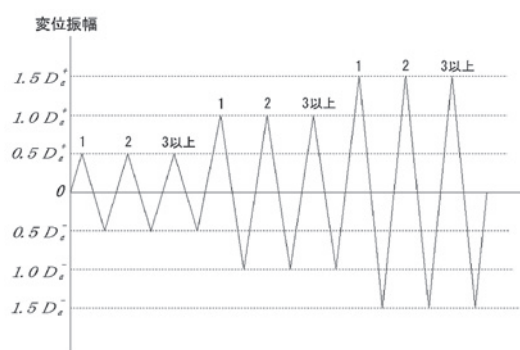


図4 繰返し载荷履歴

- ③ なお、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、上記の方法に準じて次式により求めた荷重制御によることも可能である。

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

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)

3) 野縁受け方向の水平方向载荷試験

図5のように野縁を固定した状態で、加力ジグを介して野縁受けに正負それぞれ一方方向の水平荷重及び正負繰返しの水平荷重を加える。荷重の載荷方法については2)に準じて行う。変位は野縁受けの軸方向の変位量について測定する。

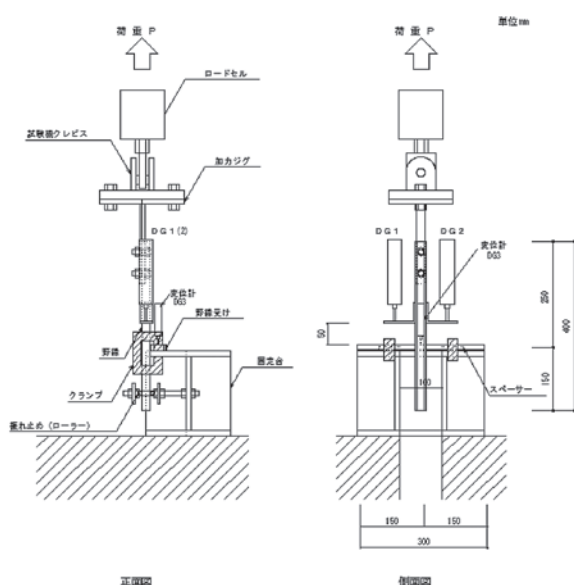


図3 クリップ接合部の野縁方向の水平荷重試験方法



写真3 クリップ接合部の野縁方向の水平荷重試験状況

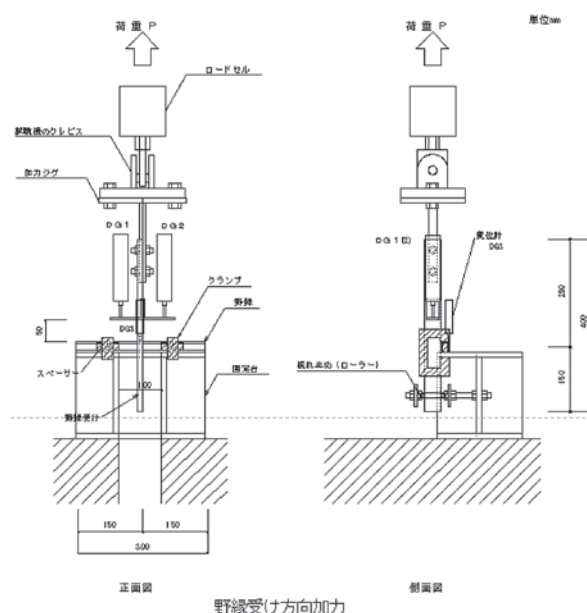


図5 クリップ接合部の野縁受け方向の水平荷重試験方法



写真4 クリップ接合部の野縁受け方向の水平荷重試験実施状況

<試験実施上の注意点>

- ① 試験では接合部の部材相互の変位が評価対象となる。しかし、耐力的に十分な緊結の接合部においては、部材相互の変位量が非常に少なく、部材の変形が接合部変位の支配的な要因になる。この場合は部材の変形を含んだ値により接合部を評価する。
- ② 固定する部材の曲げ変形のみが進行し、荷重の低下が認められない場合は、曲げ変形が引張変形に移行するポイントを最大荷重と読み替えて、試験を終了する。
- ③ 野縁、野縁受けを固定する場合、各部材に変形を与えないよう留意する。
- ④ クリップの種類によっては加力側の部材と固定側の部材の直交が確保されない場合が生じる。その場合は拘束用のジグを用いて直交を確保し試験を行う。

2.3 ハンガー接合部の試験

試験体は、野縁受け、ハンガーおよ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、正負繰返しの水平方向載荷が1体以上とする。試験方法を図6および図7に、試験実施状況を写真5および写真6に示す。なお、試験結果には、① a^+ 、 a^- の数値および繰返し回数（水平荷重試験のみ）、②損傷時の荷重および最大荷重（N）、③試験体の変形または破壊の形態、④荷重－変位曲線を記載する。

1) 引張・圧縮試験

野縁受けを固定した状態で、加力ジグを介して吊りボルトに一方方向の引張または圧縮力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階の荷重に対応

した吊りボルトの軸方向の変位量を電気式変位計等で測定する。

2) 野縁方向の水平方向載荷試験

図6のように吊りボルトを固定した状態で、加力ジグを介して野縁受けの直交方向（野縁方向）に正負それぞれ一方方向の水平荷重および正負繰返しの水平荷重を加える。荷重の載荷方法については2.2.2)に準じて行う。変位は野縁受け両端の直交方向（野縁方向）の変位量を電気式変位計等で測定する。

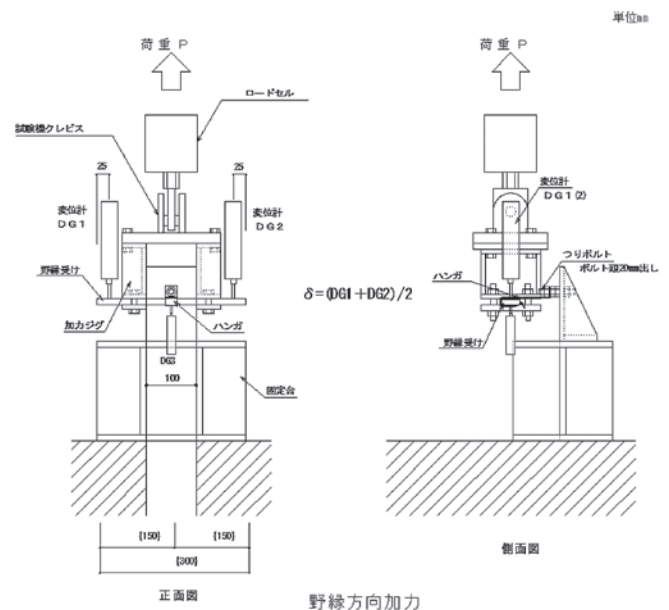


図6 ハンガー接合部の野縁方向の水平荷重試験方法

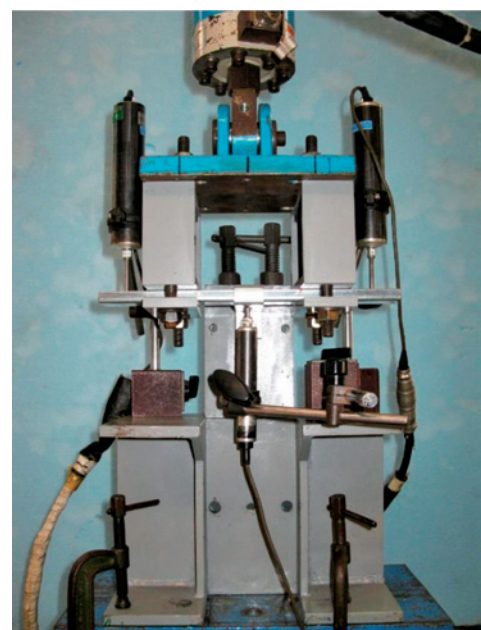


写真5 ハンガー接合部の野縁方向の水平荷重試験実施状況

3) 野縁受け方向の水平方向荷重試験

図7のように吊りボルトを固定した状態で、加力ジグを介して野縁受けの軸方向に正負それぞれ一方向の水平荷重（試験体の形状が原点に対してお互いに対称の場合には、正または負のどちらか一方のみ）および正負繰返しの水平荷重を加える。荷重の載荷方法については2)に準じて行う。変位は野縁受けの軸方向の変位量について測定する。

<試験実施上の注意点>

- ① ハンガーの圧縮・引張試験では実際のハンガーに圧縮力や引張力を加えるのではなく、ハンガーに取り付けた野縁受けを固定し、吊りボルトに上向きまたは下向きの荷重を加え、野縁受けに取り付けたハンガーの外れの状況を確認する。

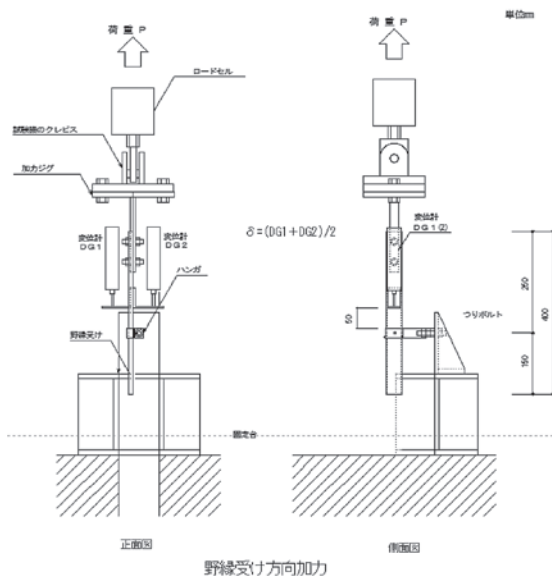


図7 ハンガー接合部の野縁受け方向の水平荷重試験方法

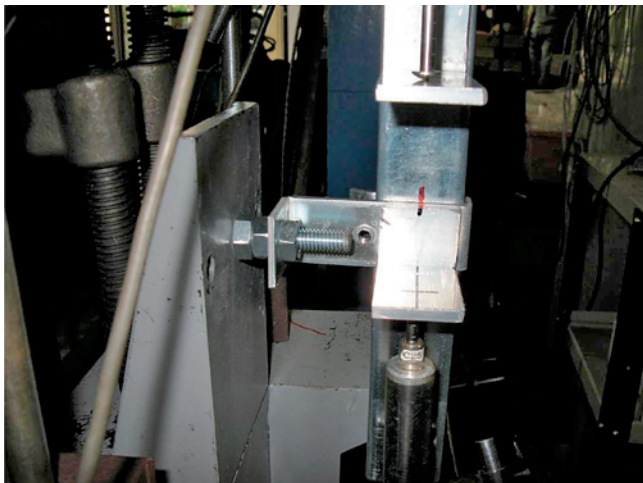


写真6 ハンガー接合部の野縁受け方向の水平荷重試験実施状況

- ② 斜め部材の取り付け個所に応じて、ハンガーが水平力を負担しないことが想定される場合は水平荷重試験を省略できる。
- ③ 仕様ルートでは、ハンガーに地震動等による外れ防止用のねじ留め等の措置（開き止め）を講ずることが求められているが、試験ではその効果を確認する。

2. 4 斜め部材の上端接合部の試験方法

- ① 試験体は、斜め部材の上端が所要の角度およ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一方向荷重が3体以上、正負繰返し荷重が1体以上とする。試験方法を図8に、試験実施状況を写真7に示す。図のように吊りボルトを所要の角度（ここでは45°）で加力ジグに取り付けた後、斜め部材が鉛直になるように留め付ける。その後、斜め部材の軸方向に正（引張）または負（圧縮）それぞれ一方向の荷重を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階の荷重に対応した加力ジグと斜め部材軸方向の相対変位および吊りボルト自由端の曲げ変位について電気式変位計等で測定する。この時、損傷時の荷重における変位を用いて次式により制御変位の基準値 D_a^+ 、 D_a^- を算出する。

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

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 ①と同様に試験体を設置し、図4（前掲）に示す履歴の正負繰返し荷重を加える。同図において、 $\pm 0.5D_a$ 、 $\pm D_a$ 、 $\pm 1.5D_a$ の各変位段階でそれぞれ3回以上繰返すものとする。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階の荷重に対応した加力ジグと斜め部材軸方向の相対変位および吊りボルト自由端の曲げ変位について電気式変位計等で測定する。
- ③ 試験結果には、① a^+ , a^- の数値および繰返し回数（水平荷重試験のみ）、② 損傷時の荷重および最大荷重、③ 試験体の変形または破壊の形態、④ 荷重－変位曲線を記載する。

<試験上の注意点>

- ① ここでは吊りボルトにW3/8を用い、斜め部材を45度方向に設置して試験を行っているが、実況に応じて、W1/2の吊りボルトや斜め部材の設置角度をバリエーションとして試験体を設定する。

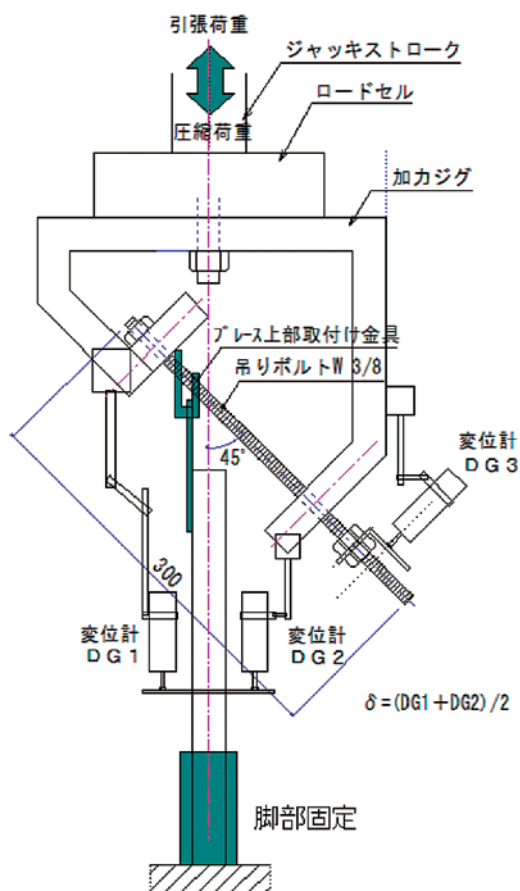


図8 斜め部材の上端接合部の試験方法



写真7 斜め部材の上端接合部の試験実施状況

- ② 斜め部材接合部の変位は吊りボルトの吊り元 (床スラブ等) と斜め部材の軸方向の相対変位として計測している。天井の剛性評価を行う時には、試験で得られた変位から天井の水平方向変位を算出する手順を明確にしておく必要がある。
- ③ 斜め部材の設置が吊りボルトのねじ部の影響を受ける場合、正負繰返し载荷試験時に、荷重ゼロ近傍で滑りを生じる場合がある。ユニット試験ではほとんど影響のない程度の変位であっても、単体試験では評価に大きく影響を及ぼすことも考えられるため、注意が必要である。
- ④ 圧縮試験では、斜め部材の設置位置により载荷中心と反力の中心がずれる場合が想定される。この場合は固定ジグに回転方向の力が生じるため、回転を拘束するための措置を講ずる必要がある。

2.5 斜め部材の下端接合部の試験方法

- ① 試験体は斜め部材の下端が所要の角度および形状が実況どおりに野縁受け等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、正負繰返しが1体以上とする。試験方法を図9に、試験実施状況を写真8に示す。図のように、所要の角度（ここでは45°）で斜め部材下端をV字型に野縁受けに緊結した試験体を2組用意する。その後、野縁受けが鉛直かつ左右対称になるように2組の試験体を加力ジグおよび固定プレートに留め付ける。斜め部材の他端を試験フレームにボルト接合し、野縁受けの軸方向に一方方向の荷重を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階の荷重に対応した野縁受けの軸方向の変位量について電気式変位計等で測定する。必要に応じて、各部の変位、斜め部材のひずみ量の測定を行う。この時、損傷時の荷重における変位を用いて次式により制御変位の基準値 D_a^+ 、 D_a^- を算出する。

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

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 ①と同様に試験体を設置し、図4 (前掲) に示す履歴の正負繰返し荷重を加える。同図において、 $\pm 0.5D_a$ 、 $\pm D_a$ 、 $\pm 1.5D_a$ の各変位段階でそれぞれ3回以上繰返すものとする。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階の荷重に対応した野縁受けの軸方向の変位量について電気式変位計等で測定する。
- ③ なお、試験結果には、① a^+ , a^- の数値および繰返し回数 (水平荷重試験のみ)、② 損傷時の荷重および最大荷重、

③試験体の変形または破壊の形態，④荷重－変位曲線を記載する。

<試験上の注意点>

- ①斜め部材上端接合部の試験同様，ここで示した試験方法では斜め部材を野縁受けに対して45度方向に設置した。実況では45度以外の設置角度も想定されるため，設置角度の異なる仕様についても明らかにする必要がある。
- ②試験では圧縮・引張の斜め部材を1組として，左右に各1組ずつ計2組で試験を行うため，得られた荷重を1/2として評価を行う。
- ③固定用のフレームと斜め部材の取り付け部分（接合部の反対側の端部）に緩みがあると，それがすべて変位となって計測されてしまうため，取り付け部分は緩みなく接合する。
- ④正負繰返し载荷時の圧縮側の载荷では，野縁受けが面外に座屈することが想定される場合は，面外への座屈を拘束するジグを設ける。
- ⑤斜め部材が野縁受けと直交して接合される場合で，専用の接合金具を用いる場合は，実際の接合部を再現し，試験を実施する。

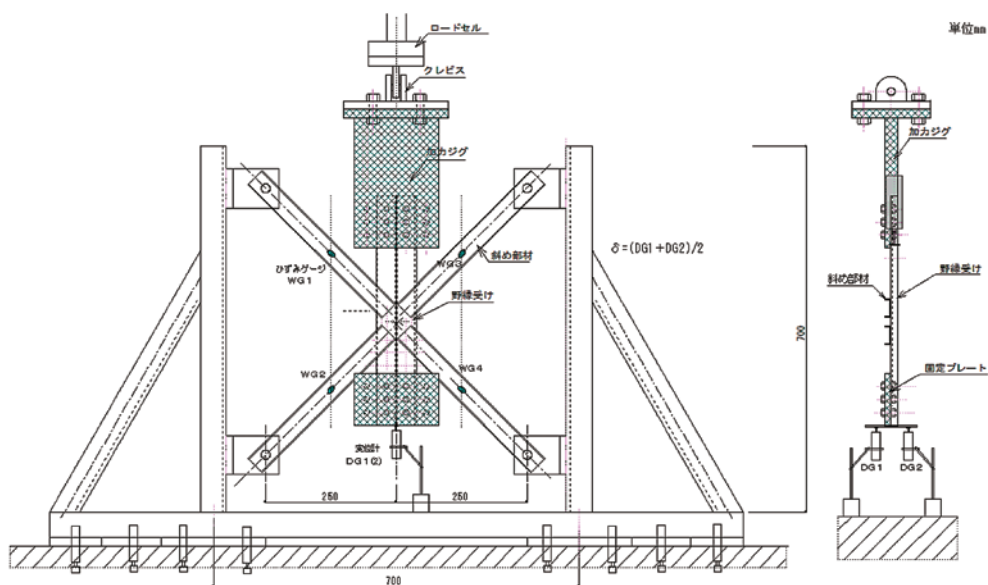


図9 斜め部材の下端接合部の試験方法

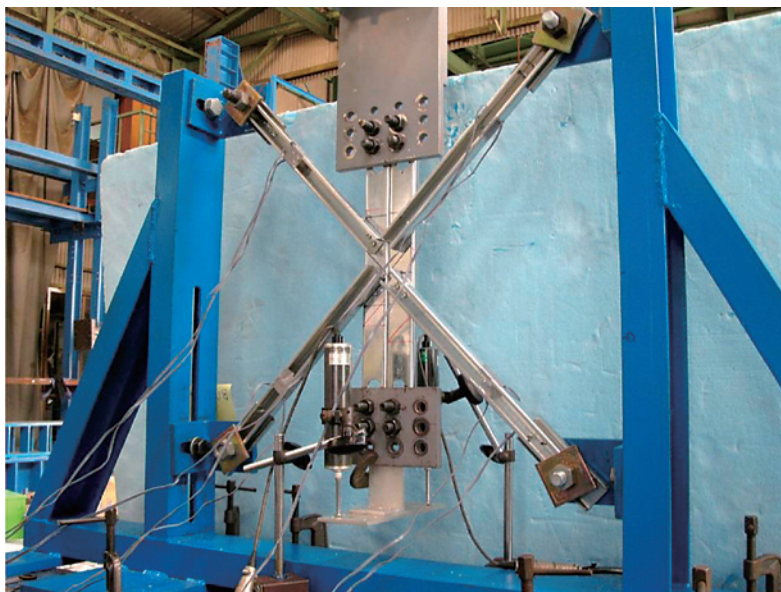


写真8 斜め部材の下端接合部の試験実施状況

3. おわりに

建築物の天井脱落対策に係る一連の技術基準告示が公布され，平成26年4月1日から施行される。今回は，技術基準の解説の示される試験方法のうち，その1として接合部の試験方法について紹介した。次回はその2として天井ユニットの試験方法を紹介する予定である。

これまで，構造計画と設備計画の狭間にあった，天井の構造計画を考える上で，一定規模を超える天井については技術基準に従って脱落防止対策を講ずべきことが定められた。新たな制度として根付くまで多少の時間が必要と考えられるが，試験機関としての役割を担っていきたい。

(文責：中央試験所 副所長 川上 修)