

# 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2 天井ユニットの試験方法及び許容耐力・剛性の評価

単位 mm

### 1. はじめに

天井全体の許容耐力と剛性を評価するためには、各種接合部の試験または天井ユニットの試験のいずれかを行うことが必要である。

今回は、接合部の各種試験方法を紹介したが、今回は天井ユニットの試験方法を紹介するとともに、これまで紹介した試験により得られたデータから接合部・天井全体の許容耐力・剛性の評価について紹介する。

### 2. 天井ユニットの試験方法

試験体は、天井面構成部材、吊り材および斜め部材によって実際の構造方法のとおり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などを取り付ける。吊りボルトの本数は加力方向に3本以上、加力方向に直交する方向に3本とし、吊りボルトの上端は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固定する。試験体数は加力方向（野縁・野縁受け方向）ごとに1体以上、正負繰り返し加力を1体とする。試験体の代表例を図1に示す。

1) 試験は水平方向の荷重を、野縁・野縁受け方向ごとに以下に示す方法によって加えるものとする。

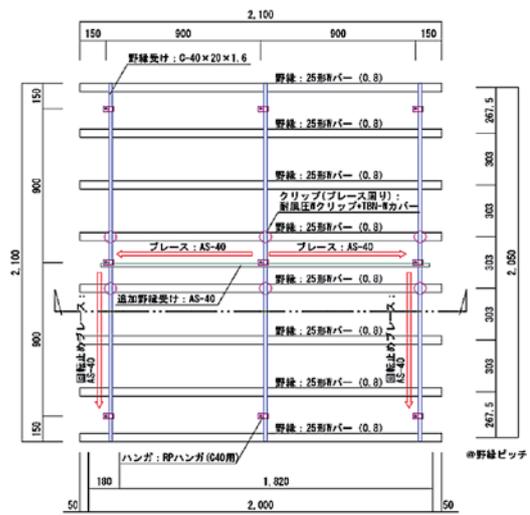
試験方法の実施例を図2に、試験実施状況を写真1～写真3に示す。図のように、天井面構成部材のうち均等に力が作用する箇所に取り付けたジグに正負それぞれの一方向（試験体の形状が原点に対して互いに対称の場合には、正又は負一方向のみ）の水平力を加える。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、損傷時の荷重での変位を用いて次式により制御変位の基準値  $D_a^+$ 、 $D_a^-$  を算出する。

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

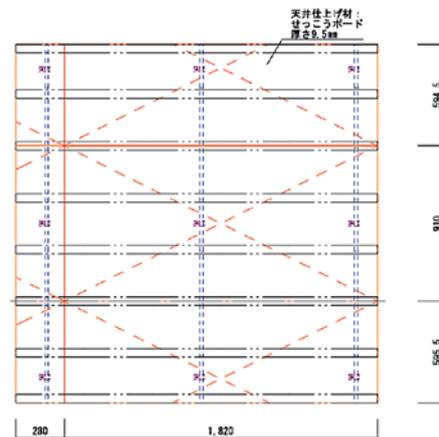
ここで、

$a^+$ ,  $a^-$  : 1.5以上の数値

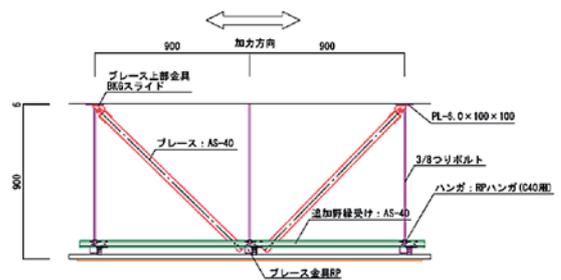
$\bar{d}^+$ ,  $\bar{d}^-$  : 正負の損傷時の荷重での変位の平均値 (mm)



天井下地材 割付図



天井仕上げ材 割付図



試験体 断面図

図1 試験体の代表例 (在来工法)

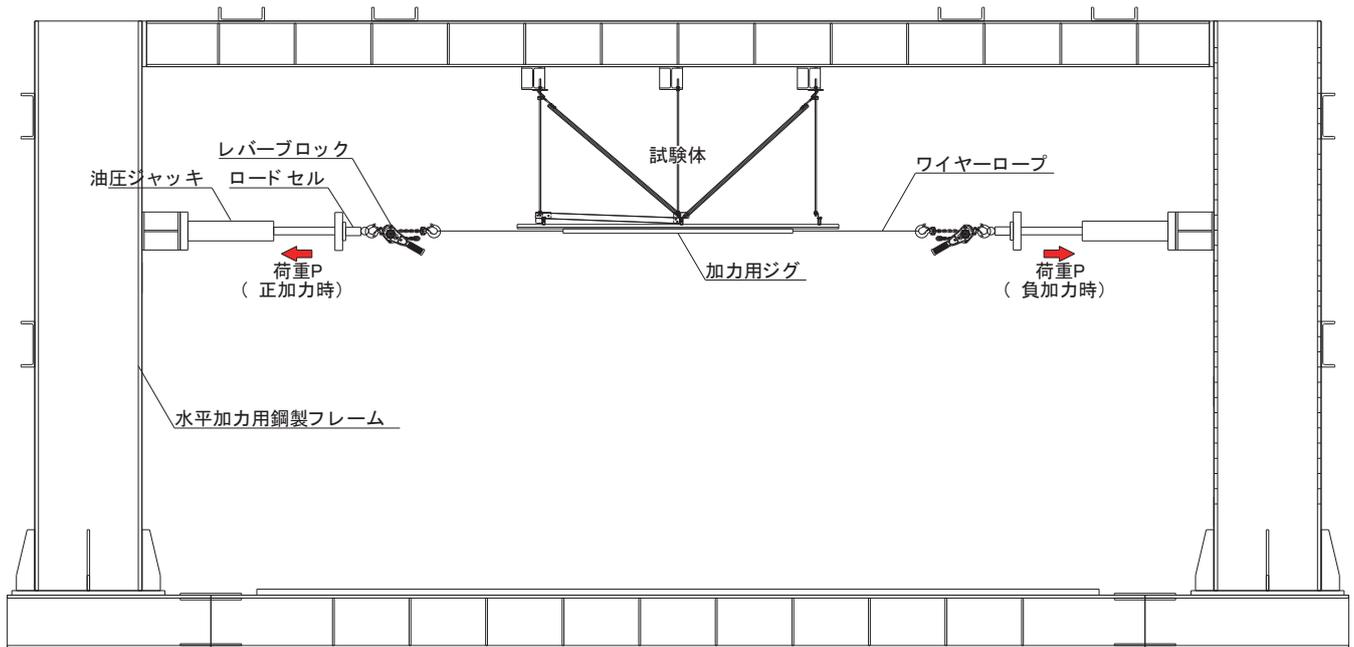


図2 天井ユニットの試験方法の例

2) 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ジグに図3に示す履歴の正負繰り返し力を加える。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回以上繰り返すものとする。

試験結果には、加力方向ごとに、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。)の数値及び繰り返し回数、② 損傷時の荷重及び最大荷重、③ 試験体各部の変形又は破壊の形態、④ 荷重-変位曲線を記載する。

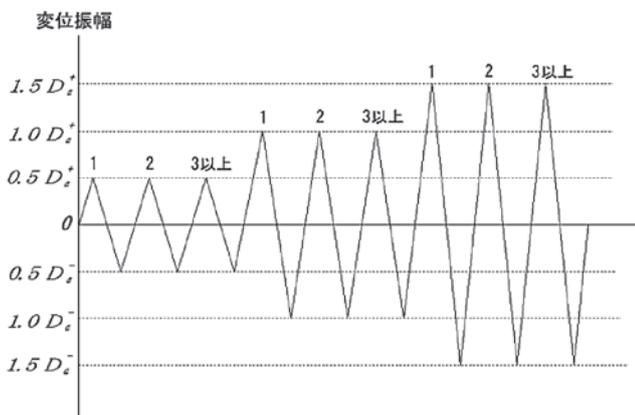


図3 繰り返し载荷履歴

#### <試験実施上の注意点>

- ① 地震時に天井に加わる水平力は天井面構成部材に近い高さに生じることから、加力ジグは天井仕上げ材に取り付けるか、天井仕上げ材が固定されていないシステム天井では、仕上げ材を設置するバー材などに取り付ける。
- ② 水平方向変位の測定箇所は天井面とするが、システム天井では天井仕上げ材が固定されていない場合があるので、その場合は、天井仕上げ材を設置するバー材とする。ただし、バー材の変形が著しい場合は、斜め部材を止め付ける野縁受け・追加野縁受け (斜め部材を止め付けるために設置された野縁受け) なども測定の対象とする。
- ③ 水平方向変位は、中央1箇所だけでなく、周辺・前後を含めて6箇所程度について測定する。
- ④ 斜め部材の軸力を推定する場合は、斜め部材にひずみゲージを貼付し、測定したひずみ量から算定する。
- ⑤ 正負繰り返し加力を行う場合、正負で荷重状態が異ならないよう留意する。当センターでは、天井面構成部材の両側に加力用のジャッキを設置し、加力方向ごとに使用するジャッキを換えて引張により水平荷重を加えている。
- ⑥ 変位の測定は斜め部材の軸方向変位について行う。



写真1 試験実施状況 (在来工法)



写真2 試験実施状況 (在来工法)



写真3 試験実施状況 (システム天井)

### 3. 許容耐力・剛性の評価

#### 3.1 接合部の許容耐力・剛性の評価

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、次式によって算出する。

$$P_a = \frac{\bar{P}_d}{a}$$

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

なお、損傷時の荷重とは、天井材に滑りおよび外れ並びに損傷が生じた時の荷重をいう。

ii) 水平方向

正負繰り返し試験の結果が一方方向試験の結果とおおむね同等であることが確かめられた場合には、次式によって算出した数値を許容耐力とする。

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

ここで、

$P_a^+, P_a^-$  : 正負の許容耐力 (N)

$\bar{P}_d^+, \bar{P}_d^-$  : 一方方向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  $D_d$  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。

#### <評価上の注意点>

① 試験で得られる荷重－変位曲線は、接合部の緊結の程度、構成部材の種類や加力方向によって様々な形態の荷重－変位履歴が得られ、損傷時の荷重が明確に求められない場合がある。この時は、以下に示す方法で降伏荷重を求め、降伏荷重を損傷時の荷重に読み替える。なお、損傷時の荷重は試験体ごとに適切に設定する必要がある。

- i) 荷重-変位曲線に基づき、初期剛性 $K$ の直線 I を引く。
- ii) 初期剛性 $K$ の1/3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。
- iii) 直線 I と直線 II の交点での荷重を損傷時の荷重(降伏荷重)  $\bar{P}_d$  とみなす。

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4に一方方向加力試験で得られた荷重-変形曲線から損傷時の荷重を求める場合の代表例をいくつか示す。

- ② 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方向加力の結果とおおむね同等であることが確認できれば、一方方向加力試験で得た損傷時の荷重の平

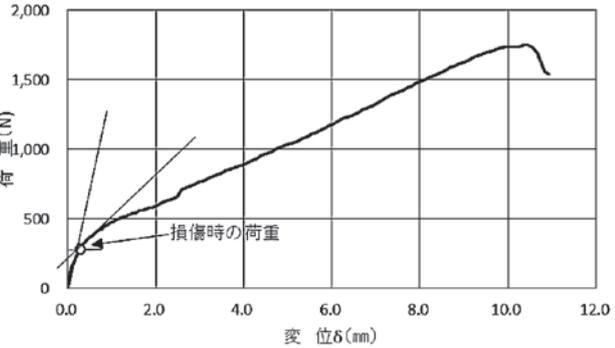
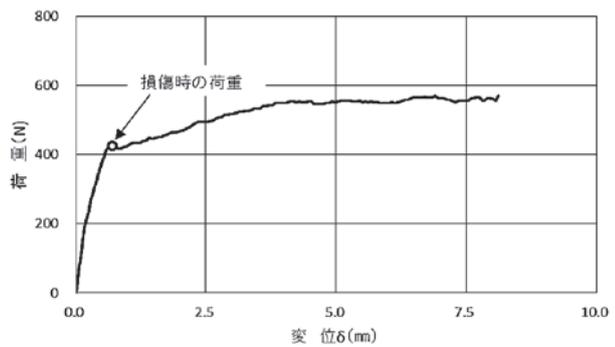
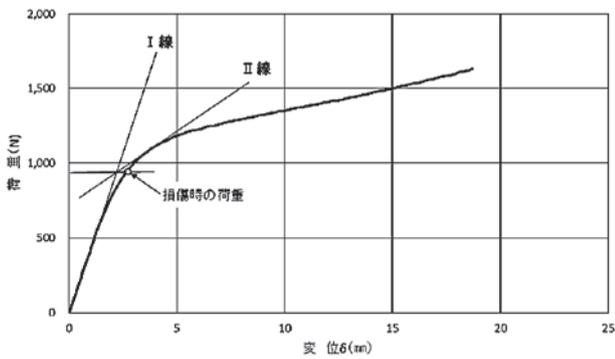


図4 損傷時の荷重の求め方の例

均値から算出することが可能である。  
同等性評価の基準としては、i) 一方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) 正負繰り返し加力試験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。

なお、おおむね同等でないと評価される試験結果が出た場合には、一方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、正負繰り返し試験を行う必要がある。

### 3.2 天井全体の許容耐力・剛性の評価

- 1) 天井全体の許容耐力は、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。

正負繰り返し試験の結果が一方方向試験の結果とおおむね同等であることが確かめられた場合には、天井材の構成その他の実況を考慮し、次式によって算出した数値を天井全体の許容耐力とする。

$$P_a^+ = \frac{P_d^+}{a^+}, P_a^- = \frac{P_d^-}{a^-}$$

ここで、

$P_a^+, P_a^-$  : 正負の許容耐力 (N)

$P_d^+, P_d^-$  : 一方方向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) 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、天井材の構成およびその他の実況を考慮した数値とする。

#### <評価上の注意点>

- ① 許容耐力の評価方法は、3.1で示した接合部の水平方向の許容耐力の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方向の結果とおおむね同等であることが確かめられれば、一方方向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は、一方方向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上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。

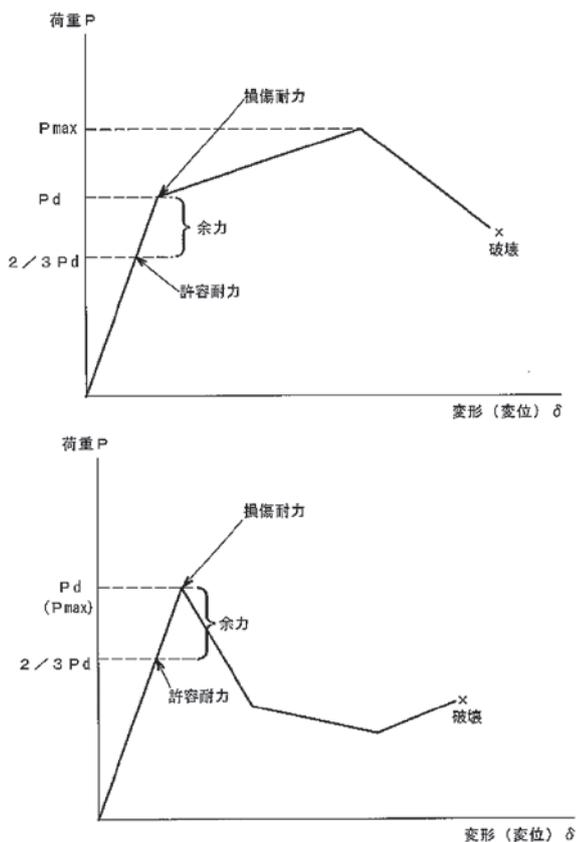


図5 荷重-変位曲線のイメージ

② 天井全体の荷重-変位曲線において、図5に示すように、最大耐力に達する前に非線形が生じる場合や、ほぼ弾性剛性で最大耐力に達するが、その後の劣化が急激な場合が想定される。しかし、いずれの場合も構造耐力上の安全性についての余裕をみて、天井の許容耐力は、損傷耐力(降伏耐力)の2/3以下に設定することとしている。また、実際に行った正負繰り返し加力試験の荷重-変位曲線の代表例を参考として図6に示す。

#### 4. おわりに

本年4月から義務付けられた「特定天井」は、「脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井」と定義され、その条件は、吊り天井であること、6mを超える高さに設置する天井であること、水平投影面積が200m<sup>2</sup>を超える規模の天井であること、天井面構成部材の重さが2kg/m<sup>2</sup>を超えるものであること、人が日常の活動の中で立ち入ることが想定される場所にあることの全てに当てはまる天井とされている。音楽ホールや劇場、映画館、宴会場、体育館、ホテルやオフィスのビルエントランスロビーなどがその対象に含

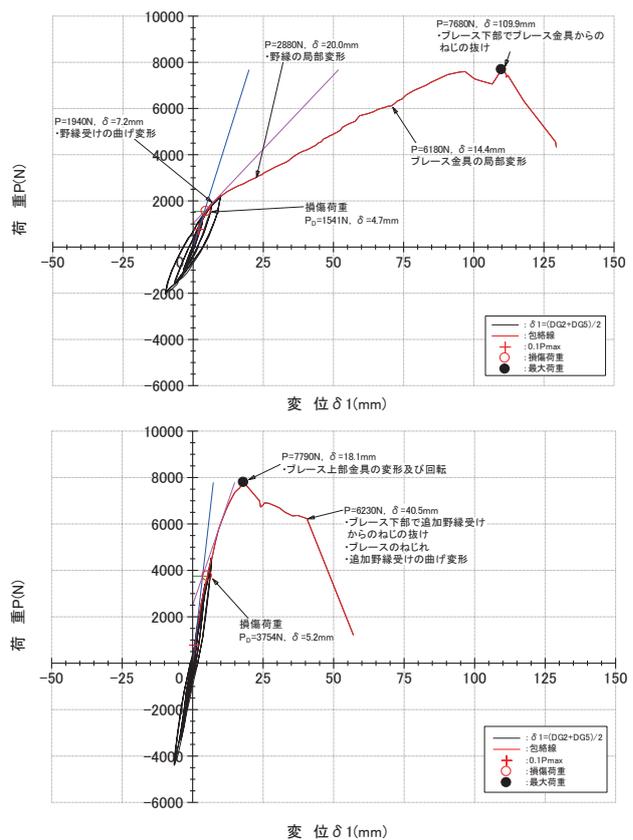


図6 荷重-変位曲線の代表例

まれることが予想される。

「建築物における天井脱落対策に係わる技術基準の解説」によれば、天井脱落対策に係る技術基準としては、本来、極めて稀な地震動の発生時(大地震時)においても脱落しないことを目標とすべきではあるが、現在の技術的知見では、大地震時における構造躯体に吊られている天井の性状を明らかにすることは困難である。このため、今回の技術基準では、天井の性状をある程度想定することが可能な稀な地震動の発生時(中地震時)において天井の損傷を防止することにより、中地震を超える一定の地震時においても天井の脱落の低減を図ることを目標としている。従って、ここで紹介した、接合部・天井ユニットの試験・評価から許容耐力・剛性を算定する場合、定められたルールに従って進めることは言うまでもないが、単純に機械的に進めるのではなく、天井面全体を想定し、設置条件、破壊メカニズム、その他考慮すべき事項などを勘案し、余裕をもって評価する配慮が必要である。

(文責：中央試験所 副所長 川上 修)