

# 大型鋼製下地間仕切壁工法の開発 (その1: 複合部材としての面外構造特性) Development of High Wall with Steel Furrings (Part 1: Out-of-Plane Structural Property of Hybrid Member)

小寺 直幸*	高橋 孝二*
Naoyuki Kodera	Koji Takahashi
高井 茂光**	金川 基**
Shigemitsu Takai	Motoi Kanagawa
生方 弘***	白石 明****
Hiroumu Ubukata	Akira Shiraiishi

## 要 約

近年、物流施設等の大規模建築物に対して、仕上がりの良さや施工上の優位性がある鋼製下地間仕切壁を用いることが期待されている。この場合、鋼製下地間仕切壁は6mや7mの高さが必要となる。JIS規格の適用限界高さ5mを超える大型鋼製下地間仕切壁工法の開発が急がれる。

鋼製下地間仕切壁は非構造部材に類するが、近年の地震による被害も相俟って、面内および面外方向の耐震性能を確保することが要求される。しかし、面外方向に関しては、石膏ボードとスタッドによる複合部材としての難しさから、その構造特性は必ずしも明らかにされていない。

本報では、高さ5mから7mの鋼製下地間仕切壁の実験を実施し、複合部材としての面外構造特性を評価した。さらに、石膏ボードの効果と局部座屈を考慮した設計式を提案し、妥当性を確認した。

## 目 次

- §1. はじめに
- §2. 鋼製下地間仕切壁の等分布載荷実験
- §3. 石膏ボードの曲げ実験
- §4. 設計式の提案
- §5. まとめ

### §1. はじめに

物流施設等の大規模建築物の間仕切壁には、ALCを用いることが一般的である。近年では、仕上がりの良さや施工上の優位性から、ALCの代替として鋼製下地間仕切壁（以下、LGS壁と呼ぶ）を用いることが期待されている。この場合、LGS壁は6mや7mの高さが必要となる。しかし、LGS壁の適用可能高さはJIS規格において5mと制限されている。高さが5mを超える場合は中間梁を設ける必要があり、施工上の優位性が大きく劣る。したがって、高さ5mを超える大型LGS壁工

法の開発が急がれる。大型LGS壁の構成例を図-1に示す。

非構造部材の耐震性能の重要性は、2011年の東北地方太平洋沖地震による建物被害<sup>1)</sup>等より、改めて認識されている。LGS壁には面内および面外方向の耐震性能<sup>2)</sup>を確保することが要求される。しかし、面外方向に関しては、石膏ボードとスタッドによる複合部材としての難しさから、その構造特性は必ずしも明らかにされ

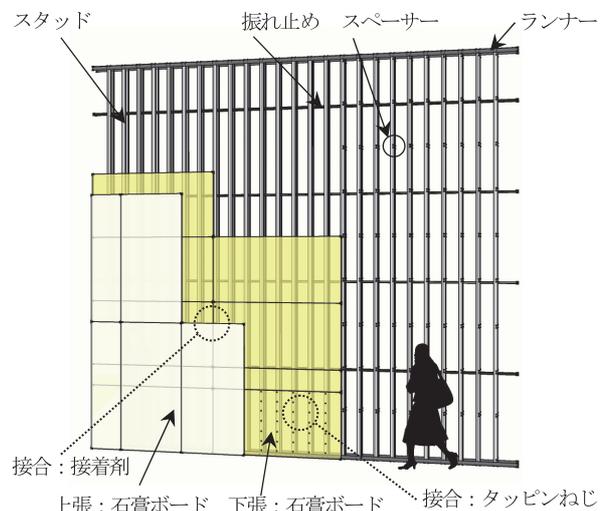


図-1 大型鋼製下地間仕切壁の構成例

\* 本社建築設計部構造1課

\*\* 技術研究所建築技術グループ

\*\*\* 本社建築事業企画部建築企画課

\*\*\*\* 本社建築設計部

表-1 試験体諸元

試験体	形状		面材		鋼製下地材			下張とスタッドの接合 タッピンねじピッチ (mm)	実験時 相対湿度 (%)	石膏ボード 含水率 (%)					
	高さ (mm)	幅 (mm)	上面材 (mm)	下面材 (mm)	スタッド (mm)	スタッドピッチ (mm)	ランナー (mm)								
1	5000	910	上張+下張 12.5+12.5	上張+下張 12.5+12.5	C-100×45×10×0.8 WS-100 材質:SGCC	227.5	[-102×40×0.8 WR-100 材質:SGCC	150	68	0.39					
2						303					55	0.18			
3						227.5							62	0.36	
4						21+21									62
5	6000	150	69	0.58											
6	7000					455									

※ スタッドおよびランナーの素材引張試験結果：降伏応力度  $\sigma_y=308\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数  $E_s=203000\text{N/mm}^2$ 、引張強さ  $\sigma_t=379\text{N/mm}^2$

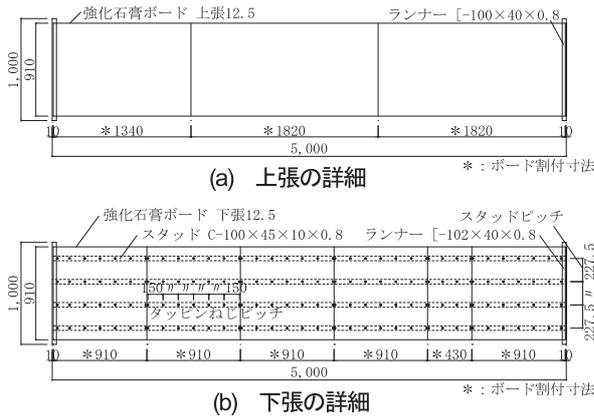


図-2 試験体1の平面形状

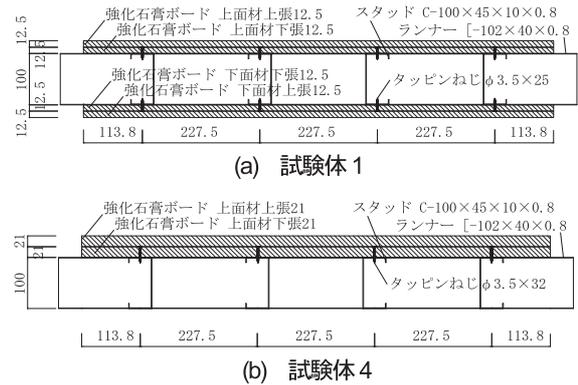


図-3 試験体断面形状



写真-1 試験体端部



写真-2 2500 N/m<sup>2</sup> 載荷時

ていない。

本報では、JIS規格の適用限界高さ5mから物流施設に需要がある高さ7mのLGS壁の実験を実施し、複合部材としての面外構造特性を評価する。さらに、実験結果を模擬した設計式の提案を行い、その妥当性を検証する。

§2. 鋼製下地間仕切壁の等分布載荷実験

本章では、建材試験センター中央試験所で行ったLGS壁の等分布載荷実験について示す。

2-1 試験体

試験体諸元を表-1に示す。試験体は、JIS A 6901の石膏ボードとJIS A 6517の鋼製下地材で構成された実大LGS壁とする。LGS壁に要求される場合がある荷重条件の水平震度1.0G<sup>3)</sup>、2500 N/m<sup>2</sup>（倉庫業法施行規則3条の4第2項第2号）載荷時の挙動および破壊性状を確

認する。試験体パラメータは、高さ、下面材の有無、スタッドピッチおよび下張とスタッドを接合するタッピンねじピッチとする。

試験体1の平面形状を図-2に、試験体断面形状を図-3に示す。石膏ボードは強化石膏ボードGB-Fを用いる。両端部のランナーとスタッドの接合は差し込みとする。スタッドと下張のタッピンねじによる接合はドライウォールスクリーを用いる。下張と上張の接合は炭酸カルシウム系接着剤とし、24時間以上の養生後に実験を行う。下張と上張の石膏ボードの継ぎ目は一致させないように割付ける。スタッドにはスペーサー@600、振れ止め@1200を設ける。天井とスラブを想定したジグと石膏ボード端部は、施工誤差および耐火目地材の充填を考慮し、10mmのクリアランスを設ける（写真-1）。

2-2 載荷方法

試験体セットアップを図-4に示す。天井とスラブを想定したジグに試験体を水平に施工し、試験体下部に自重サポートを設置する。この自重サポートを取り除いて1.0G（自重）のたわみを測定後、鉛袋を用いて2500 N/m<sup>2</sup>まで載荷を行う（写真-2）。2500 N/m<sup>2</sup>を5分間保持した後、鉛袋を全て除荷し、5分間保持して残留たわみを計測する。残留たわみ計測後は、破壊に至るまで載荷を行う。鉛袋は、JIS A 4705を参考に、図-5に示す①から⑩の順番で載荷する。たわみは、図-4中に示す中央変位と端部変位の相対変位とする。歪ゲージは、

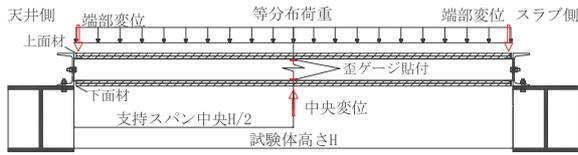


図-4 試験体セットアップ

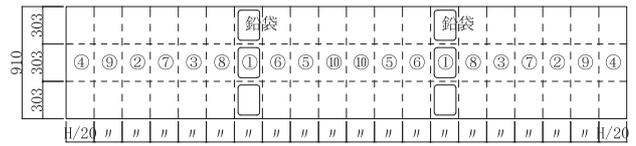
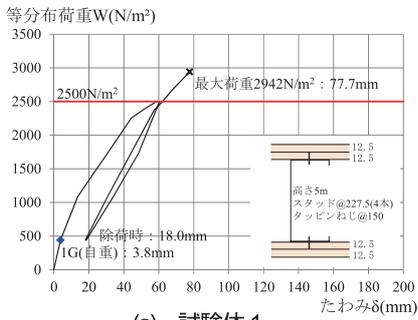
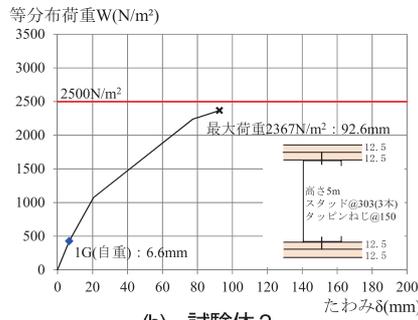


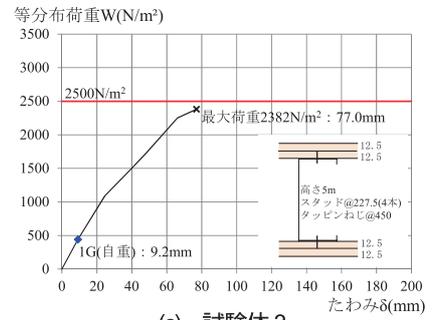
図-5 鉛袋载荷グリッド



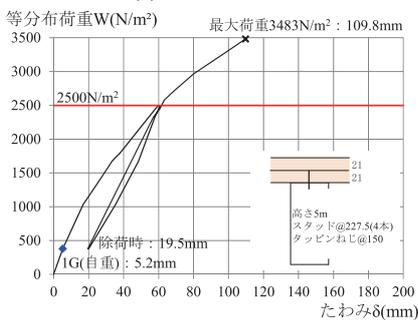
(a) 試験体 1



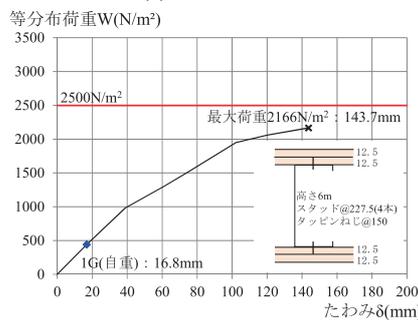
(b) 試験体 2



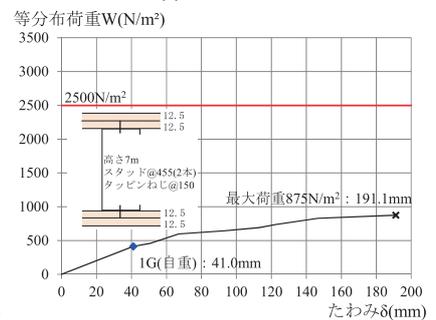
(c) 試験体 3



(d) 試験体 4



(e) 試験体 5



(f) 試験体 6

図-6 等分布荷重 W-たわみ δ 関係

図-4中に示すスタッドのフランジ裏側に貼付し、軸歪を計測する。

### 2-3 実験結果および考察

#### (1) 1.0G および 2500 N/m<sup>2</sup> 載荷時

各試験体の等分布荷重 W-たわみ δ 関係を図-6に、実験結果一覧を表-2に示す。1.0Gにおいて、全ての試験体が石膏ボードの割れや損傷がないことを目視により確認した。また、1.0Gのスタッドフランジの最大軸歪は 643μ (試験体 6) であり、素材引張試験より求めた降伏軸歪 1517μ 以下の弾性範囲であることを確認した。2500 N/m<sup>2</sup> に達した試験体は、試験体 1 と試験体 4 であった。2500 N/m<sup>2</sup> 載荷時において、試験体 1 は、下面材 (引張側) の石膏ボードの一部に割れが生じたが、耐力の急激な低下は見られなかった。

#### (2) スタッドの局部座屈

破壊状況を写真-3に示す。最大耐力時の破壊性状は、全ての試験体がスパン中央部近傍のスタッド圧縮側フランジが局部座屈を生じた後、ランナーからスタッドが脱落する性状であった。また、写真-3 (d) に示すように、石膏ボード解体後の各スタッドを確認すると、全てのスタッドが概ね同位置 (支持スパン中央部近傍) で局部座屈を生じていた。LGS 壁の終局耐力は、スタッドの圧縮側フランジの局部座屈が決まることが分かる。

表-2 実験結果一覧

試験体	1.0G(自重)時		試験体状況	最大耐力時		
	荷重 (N/m <sup>2</sup> )	たわみ (mm)		荷重 (N/m <sup>2</sup> )	たわみ (mm)	破壊状況
1	442	3.8	異常なし	2942	77.7	スパン中央近傍のスタッド局部座屈 ↓ ランナー脱落
2	428	6.6		2367	92.6	
3	442	9.2		2382	77.0	
4	379	5.2		3483	109.8	
5	442	16.8		2166	143.7	
6	413	41.0		875	41.0	



(a) 石膏ボードの割れ



(b) スタッド局部座屈



(c) ランナー脱落



(d) 解体後スタッド

写真-3 破壊状況 (試験体 5)

(3) 石膏ボードの効果

タッピンねじピッチが大きい試験体3は、試験体1より初期剛性および最大耐力が小さい。タッピンねじピッチが大きい場合、スタッドと石膏ボードの拘束効果（一体度）が小さくなり、石膏ボードの剛性がLGS壁全体の剛性に付加されないためだと考えられる。

1.0 G時の支持スパン中央のスタッド軸歪分布を図-7に示す。両面張りの試験体1と片面張りの試験体4の軸歪分布を比較する場合、試験体4は中立軸が図心から圧縮側に寄っていることが分かる。片面張りのボード厚さの合計 21 mm + 21 mm の 42 mm に対して、両面張りのボード厚さの合計は 12.5 mm + 12.5 mm の 25 mm である。断面積が大きいボードを圧縮側のみに配置する

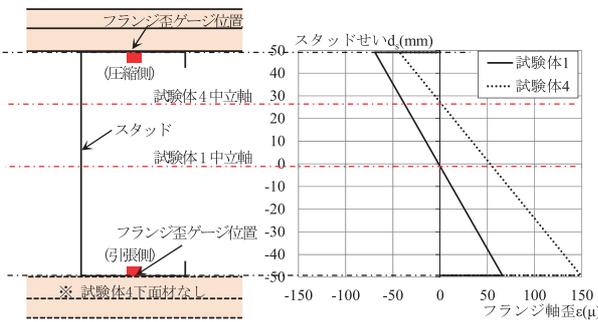


図-7 スタッド軸歪分布 (1.0 G 時 支持スパン中央)

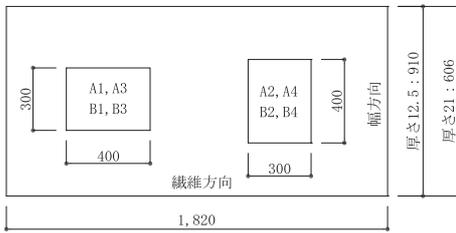


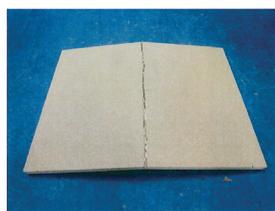
図-8 試験片の切り出し方向

表-3 試験片諸元および実験結果一覧

試験体	寸法			試験片状態	実験結果	
	繊維方向 (mm)	幅方向 (mm)	厚さ (mm)		曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
A1	400	300	12.5	乾燥	7.37	3780
A2	300	400			2.77	3010
A3	400	300		湿潤	5.96	3290
A4	300	400			2.32	2580
B1	400	300	21	乾燥	5.12	3480
B2	300	400			2.31	2930
B3	400	300		湿潤	3.88	2640
B4	300	400			1.73	2390



(a) セットアップ時



(b) 破壊時

写真-4 実験状況

ことで、圧縮側の曲げ剛性が高まり、スタッドの圧縮側軸歪が減少すると考えられる。

タッピンねじピッチ、面材の曲げ剛性はLGS壁の面外構造特性に大きく依存することが分かる。

§3. 石膏ボードの曲げ実験

本章では、建材試験センター中央試験所で行った石膏ボードの曲げ実験について示す。

3-1 試験片および実験方法

石膏ボードの試験片は、JIS A 6901 に従い、400 mm × 300 mm に切り出す。試験片の切り出し方向を図-8に示す。試験片パラメータは、切り出し方向、厚さおよび試験片の乾燥湿潤状態とする。石膏ボードは繊維方向と幅方向、含水率によって曲げ強さおよび曲げヤング係数が異なる。そのため、切り出し方向と乾燥湿潤状態をパラメータとしている。試験片の数量は、試験片符号毎に5体とし、曲げ強さおよび曲げヤング係数は、5体の平均値から算出する。試験片諸元および実験結果一覧を表-3に示す。実験は、JIS A 1408 に従って行う。実験状況を写真-4に示す。切り出した試験片の長手方向400 mm を支持スパン 350 mm とする。荷重は、支持スパン中央に対する1点荷重とし、試験片が破壊するまで荷重を行う。

A1, A2, B1, B2 の乾燥試験片は、温度 40℃ ± 2℃ で調整した乾燥機中で恒量となるまで乾燥させた後、荷重を行う。恒量とは、6 時間以上の間隔において測定したときの質量の差が試験片質量の 0.1% 以下となる状態である。A3, A4, B3, B4 の湿潤試験片は、温度 40℃ ± 2℃、相対湿度 85 ~ 90% に調整した恒温恒湿器の中で 96 時間静置した後、荷重を行う。

3-2 含水曲げヤング係数算定式

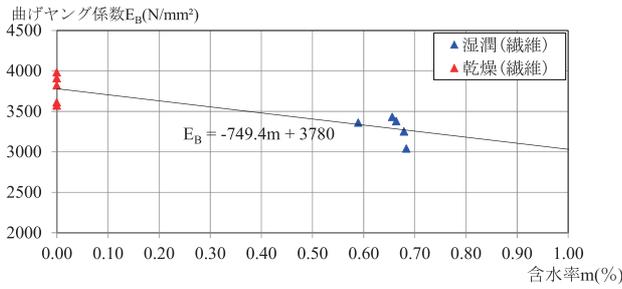
石膏ボードの曲げ実験結果および各試験片の含水率から含水曲げヤング係数算定式を求める。含水曲げヤング係の直線近似を図-9に示す。試験片の含水率は、乾燥前の重量と完全に乾燥させた後の重量から求める全乾法により求めている。含水ヤング係数算定式は厚さおよび切り出し方向に対して、乾燥状態の曲げヤング係数と含水率、湿潤状態の曲げヤング係数と含水率を最小二乗法による直線近似を行って求めた。以下に、含水曲げヤング係数算定式を示す。この式より、含水率を考慮した石膏ボードの曲げヤング係数を算定することが可能である。

$$E_{B1} = -749.4m + 3780 \quad (0 \leq m \leq 0.68) \quad (1)$$

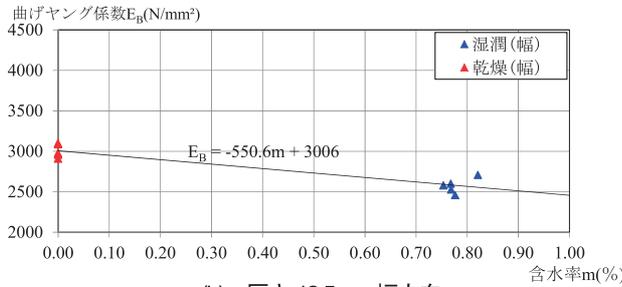
$$E_{B2} = -550.6m + 3006 \quad (0 \leq m \leq 0.82) \quad (2)$$

$$E_{B3} = -1279.5m + 3479 \quad (0 \leq m \leq 0.72) \quad (3)$$

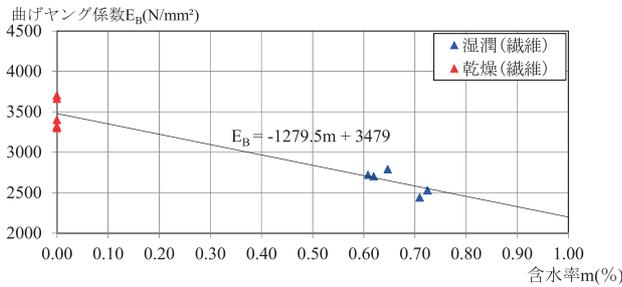
$$E_{B4} = -736.6m + 2935 \quad (0 \leq m \leq 0.77) \quad (4)$$



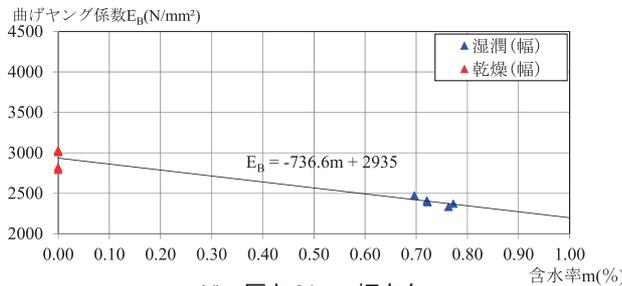
(a) 厚さ 12.5mm 繊維方向



(b) 厚さ 12.5mm 幅方向



(c) 厚さ 21mm 繊維方向



(d) 厚さ 21mm 幅方向

図-9 含水ヤング係数の直線近似

$E_{B1}$  : 厚さ 12.5 mm 繊維方向の含水曲げヤング係数  
 $E_{B2}$  : 厚さ 12.5 mm 幅方向の含水曲げヤング係数  
 $E_{B3}$  : 厚さ 21 mm 繊維方向の含水曲げヤング係数  
 $E_{B4}$  : 厚さ 21 mm 幅方向の含水曲げヤング係数  
 $m$  : 含水率

§4. 設計式の提案

本章では、等分布荷重実験結果および石膏ボードの曲げ実験結果を踏まえて、設計式の提案を行う。

4-1 等価曲げ剛性

実験結果より、石膏ボードの曲げ剛性はLGS壁全体の曲げ剛性に付加される。合成梁理論を基本とする場合、スタッドと石膏ボードを合成したLGS壁の等価曲げ剛性  $E_H I_H$  は、次式で表すことができる。

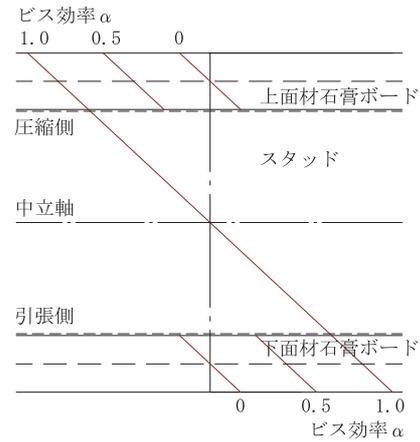


図-10 合成断面の歪分布<sup>4)</sup>

$$E_H I_H = E_s I_s + E_{BU} I_{BU} + E_{BD} I_{BD} \tag{5}$$

$E_s I_s$  : スタッドの曲げ剛性  
 $E_{BU} I_{BU}$  : 上面材石膏ボードの曲げ剛性  
 $E_{BD} I_{BD}$  : 下面材石膏ボードの曲げ剛性

スタッドの曲げ剛性および石膏ボードの曲げ剛性は、各々次式で表すことができる。

$$E_s I_s = E_s (I_{s0} + A_s x_G^2) \tag{6}$$

$$E_{BU} I_{BU} = E_{BU} \{I_{BU0} + \alpha A_{BU} (x_u - x_G)^2\} \tag{7}$$

$$E_{BD} I_{BD} = E_{BD} \{I_{BD0} + \alpha A_{BD} (x_d - x_G)^2\} \tag{8}$$

$E_s$  : 鋼材のヤング係数,  $I_{s0}$  : 図心を通るスタッドの断面二次モーメント,  $A_s$  : スタッドの断面積,  $x_G$  : スタッドの図心から合成断面の中立軸までの距離 (以下、中立軸から上の領域を正、下の領域を負とする),  $E_{BU}$  : 上面材石膏ボードのヤング係数,  $I_{BU0}$  : 図心を通る上面材石膏ボードの断面二次モーメント,  $\alpha$  : ビス効率,  $A_{BU}$  : 上面材石膏ボードの断面積,  $x_u$  : スタッドの図心から上面材石膏ボードの図心までの距離,  $E_{BD}$  : 下面材石膏ボードのヤング係数,  $I_{BD0}$  : 図心を通る下面材石膏ボードの断面二次モーメント,  $A_{BD}$  : 下面材石膏ボードの断面積,  $x_d$  : スタッドの図心から下面材石膏ボードの図心までの距離

ここで、ビス効率<sup>4)</sup>  $\alpha$  は、相原ら<sup>4)</sup> が提案したものであり、タッピンねじにより曲げ歪が伝達する率である。石膏ボードとスタッドの曲げ歪が線形に伝達する場合はビス効率1.0、別々に変形する場合はビス効率0である。合成断面の歪分布を図-10に示す。ビス効率 $\alpha$ は、等分布荷重  $w$  時のたわみ  $\delta$  の公式(9)を用いて、実験時の1.0Gたわみとなる $\alpha$ を算出する。

$$\delta = \frac{5wL^4}{384 E_H I_H} \tag{9}$$

$L$  : LGS壁の高さ

また、スタッドの図心から合成断面の中立軸までの距離  $x_G$  は軸力の釣合い条件より、次式で表すことができる。

$$x_G = \frac{E_{BU} \alpha A_{BU} x_u + E_{BD} \alpha A_{BD} x_d}{E_s A_s + E_{BU} \alpha A_{BU} + E_{BD} \alpha A_{BD}} \tag{10}$$

4-2 等価断面性能

石膏ボードのヤング係数  $E_{BU}$  および  $E_{BD}$  を、鋼材のヤ

ング係数  $E_s$  で除した値をヤング係数比  $n$  とし、等価な鋼断面に置換する。合成断面の等価断面二次モーメント  $I_e$  および等価断面係数  $Z_e$  は、各々次式で表すことができる。

$$I_e = I_s + nI_{BU} + nI_{BD} \quad (11)$$

$$Z_e = \frac{I_e}{y} \quad (12)$$

$y$ : 中立軸から合成断面縁端までの距離

### 4-3 局部座屈応力度

実験結果より、LGS 壁の終局耐力はスタッド圧縮側フランジの局部座屈で決まる。圧縮側フランジが石膏ボードで拘束されている場合、座屈波形は石膏ボード側に生じなくなる。したがって、田中ら<sup>5)</sup>の文献を参考に3辺固定支持1辺自由の圧縮板<sup>6)</sup>に近似する(図-11)。この場合、スタッドの局部座屈応力度は次式で表すことができる。

$$\sigma_u = \begin{cases} \sigma_y & (R \leq 0.5) \\ \{0.571(R-0.5)^2 - 1.01(R-0.5) + 1.0\} \sigma_y & (R > 0.5) \end{cases} \quad (13)$$

$\sigma_u$ : 鋼材の局部座屈応力度(終局応力度),  $\sigma_y$ : 鋼材の降伏応力度  
 $R$ : 幅厚比パラメータ

(13) 式中の幅厚比パラメータ  $R$  を次式に示す。

$$R = \frac{b_s}{\pi t_s} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E_s}} \quad (14)$$

$b_s$ : フランジ幅,  $t_s$ : 板厚,  $\nu$ : ポアソン比,  $k$ : 座屈係数 ( $k \geq 2.31$ )

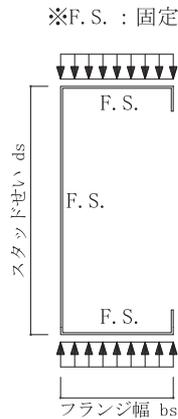


図-11 計算モデル<sup>6)</sup>

(14) 式中の座屈係数  $k$  を次式に示す。

$$k = \frac{4}{\rho^2} + \frac{40}{3\pi^2} + \frac{15\rho^2}{\pi^4} - \frac{20\nu}{\pi^2} \quad (15)$$

$\rho$ : 縦横比 ( $d_s/b_s$ ,  $d_s$ : スタッドせい)

### 4-4 鋼製下地間仕切壁の終局耐力式

(5) 式および(13)式、田中ら<sup>5)</sup>の文献を参考として、LGS 壁の終局耐力  $W_u$  は以下の式で求めることができる。

$$W_u = \frac{8E_H I_H N}{E_s y_c B L^2} \sigma_u \quad (16)$$

$y_c$ : 合成断面の中立軸から圧縮フランジまでの距離  
 $B$ : LGS 壁の幅,  $N$ : スタッド本数

### 4-5 設計式としての妥当性

#### (1) 終局耐力式の精度

終局耐力式の精度を図-12に示す。終局耐力(実験値)  $W_{uE}$  は表-2に示す値である。終局耐力(計算値)  $W_{uC}$  は、(16)式により算定した。 $E_{BU}$ ,  $E_{BD}$  は、表-1に示す含水率を用いて(1)から(4)式で算定し、上張が繊維方向、下張が幅方向で構成されていることを考慮して、繊維方向と幅方向の平均値を用いた。 $A_{BU}$ ,  $A_{BD}$  および  $I_{BU}$ ,  $I_{BD}$  算定上の石膏ボードの幅は、スタッドピッチと同値とした。 $\alpha$  は(9)式から算出した0.56(タッピンねじ@150の試験体の平均値), 0.22(タッピンねじ@450の試験体3)を用いた。 $\sigma_y$ ,  $E_s$  は表-1の素材引張試験結果を用いた。図-12より、概ね±20%の精度で終局耐力を評価できている。

#### (2) 安全性の検証

終局耐力の安全性の検証を図-13(a)に示す。終局耐力(設計値)  $W_{uD}$  は、(16)式で算定した。 $E_{BU}$ ,  $E_{BD}$  は安全側となる湿潤状態を想定し、表-3に示す湿潤状態の繊維方向と幅方向の平均値を用いた。 $A_{BU}$ ,  $A_{BD}$  および  $I_{BU}$ ,  $I_{BD}$  算定上の石膏ボードの幅はスタッドピッチ最小と想定される227.5mmとし、安全側とした。 $\sigma_y$ ,  $E_s$  はスタッドの材料強度下限値である205 N/mm<sup>2</sup>, 205000 N/mm<sup>2</sup>を各々用いた。

1.0G時の曲げ応力度の安全性の検証を図-13(b)に示す。曲げ応力度(実験値)  $\sigma_{BE}$  は、図-4に示すスタッドフランジ裏側で計測した軸歪に素材引張試験結果の  $E_s$  を乗じて算出した。曲げ応力度(設計値)  $\sigma_{BD}$  は、自重の等分布荷重  $wL^2/8$  を(12)式で除して算出した。(12)式算定時の  $E_{BU}$ ,  $E_{BD}$ ,  $A_{BU}$ ,  $A_{BD}$ ,  $\sigma_y$ ,  $E_s$  は、 $W_{uD}$  算定時と同様とした。

図-13(a)および図-13(b)より、 $W_{uD}$ ,  $\sigma_{BD}$  は、 $W_{uE}$ ,  $\sigma_{BE}$  を安全側に示すことができる。

## §5. まとめ

- (1) 高さ5mから7mの鋼製下地間仕切壁の面外水平力に対する終局耐力は、スタッド圧縮側フランジの局部座屈で決まる。
- (2) タッピンねじピッチが小さい、あるいは圧縮側石膏ボードの曲げ剛性が大きいほど、石膏ボードによる拘束度が向上する。本報のパラメータの場合、前者は23%、後者は18%終局耐力が大きくなる。
- (3) 石膏ボードの曲げ実験結果に対して最小二乗法による直線近似を行い、含水率を考慮した石膏ボードの曲げヤング係数算定式を求めた。

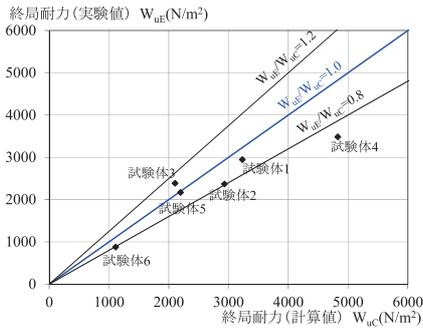
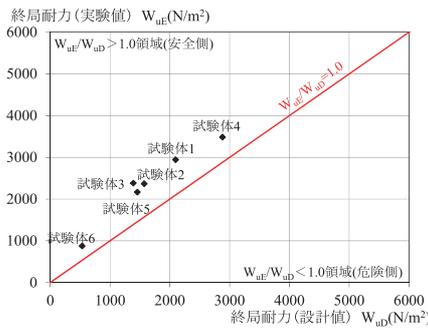
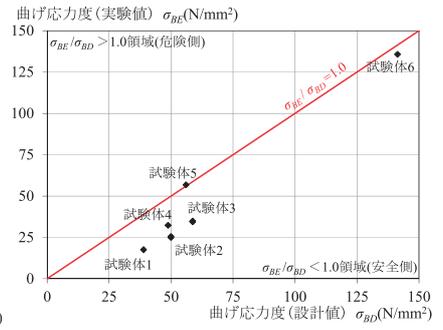


図-12 終局耐力式の精度



(a) 終局耐力



(b) 1.0G時の曲げ応力度

図-13 安全性の検証

- (4) 石膏ボードによる拘束度合を考慮した等価曲げ剛性および等価断面性能，スタッドの局部座屈応力度から成る終局耐力式を提案した。
- (5) 実験値と提案した設計式を用いて算定した計算値との比較を行い，概ね±20%の精度で終局耐力を評価できることを示した。さらに，安全性の検証を行い，総じて安全側に設計できることを示した。  
本研究で得られた知見を基に，新しい鋼製下地材を提案する予定である。

謝辞

本研究は，八潮建材工業株式会社との共同研究として実施したものである。八潮建材工業株式会社 岩下裕樹氏らには多大なるご協力を頂きました。ここに記して，深い謝意を表します。

参考文献

- 1) 熊谷亮平，他4名：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震における関東地方の非構造部材の被害—その2内装等—，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），pp.73-pp.76，2012.9.
- 2) 日本建築構造技術者協会：設計者のための見落としはならない非構造部材，2015.6.
- 3) 建設省大臣官房官庁営繕部監修：官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説，pp.38-pp.39，1996.11.
- 4) 相原正志，他2名：鋼製下地材を用いた壁の曲げ剛性に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），pp.1101-pp.1102，2009.8.
- 5) 田中栄次，他5名：軽量鉄骨下地間仕切壁の面外静的加力実験，日本建築学会技術報告集，第18巻，第39号，pp.575-pp.578，2012.6.
- 6) 土木学会：座屈設計ガイドライン，丸善，2005.