

大型鋼製下地間仕切壁工法の開発 (その2: マッシブウォール工法の構造実験) Development of High Wall with Steel Furrings (Part 2: Structural Test of Massive-Wall)

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

要 約

物流施設等の階高が高い建築物には、壁高さ7mを超えるような大型の鋼製下地間仕切壁が必要とされる。また、物流施設の間仕切壁には、面外方向に対して、倉庫業法に規定される2500 N/m²以上の耐荷重性能を要求される場合がある。これらの高さおよび荷重に対応するために、筆者らは、断面性能に優れ、かつ施工上の優位性がある新しいスタッド(4隅に折返しを有する角スタッド)を考案し、「マッシブウォール工法」を開発した。

本報では、マッシブウォール工法の概要および構造実験の結果を報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工法概要
- § 3. 構造実験計画
- § 4. 実験結果および考察
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

物流施設等の階高が高い建築物には、壁高さ7mを超えるような間仕切壁が必要である。従来のJIS材の鋼製下地間仕切壁(以降、LGS壁と呼ぶ)を用いる場合、JIS規格の適用限界高さ5mを超えるため、中間梁を設ける必要がある。中間梁の設置は、設計や施工の手間を増加させる。中間梁が不要となる大型LGS壁の開発が望まれる。

大型LGS壁を実現するためには、構造安全性の検証が必要である。LGS壁の面外方向においては、水平震度最大1Gに対してLGS壁が損傷しない構造性能¹⁾が要求される。さらに、物流施設の場合は、倉庫業法(施

行規則3条の4第2項第2号)に規定される2500 N/m²以上の耐荷重性能を要求されることがある。前報その1²⁾では、JIS材のLGS壁の構造実験を行い、最大5.5mの高さまで2500 N/m²以上の荷重に対応することを確認したが、7mを超えるような高さには対応できていない。7mを超えるような高さで2500 N/m²以上の荷重に対応するためには、断面性能に優れた新しいスタッドを考案する必要がある。

筆者らは、八潮建材工業株式会社との共同開発により、断面性能に優れ、かつ施工上の優位性がある新しいスタッド(4隅に折返しを有する角スタッド)である。以

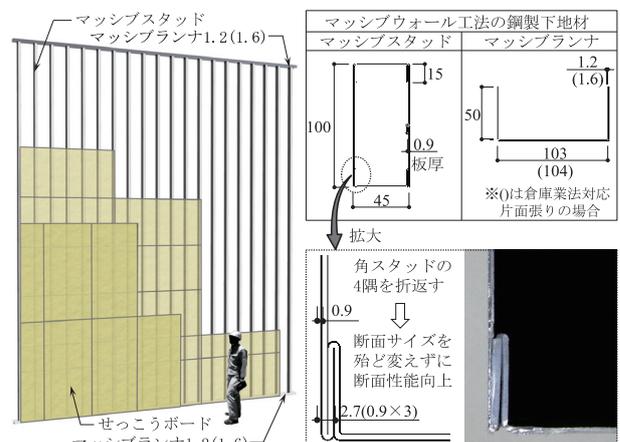


図-1 マッシブウォール工法のイメージ

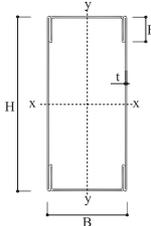
* 建築設計部構造一課
** 技術研究所建築技術グループ
*** 建築事業企画部建築企画課
**** 建築設計部

表-1 マッシブスタッド（考案スタッド）と従来スタッドの比較

タイプ	マッシブスタッド(考案スタッド)	厚肉タイプ	ハイCタイプ	JISスタッド
断面形状				
耐荷重性能	角形状のスタッドの4隅に折返しを設けることで、断面性能を向上している。せいや幅を大きくしていないため、局部座屈強度が大きい。 ◎	角形状のスタッドの板厚を厚肉にすることで、断面性能を向上している。せいや幅を大きくしていないため、局部座屈強度が大きい。 ◎	C形状のスタッドのせいを大きくすることで、断面性能を向上している。ただし、C形状であること、せいを大きくしていることから、局部座屈強度が小さい。 ○	断面性能、局部座屈強度共に小さい。 △
ビス留めの容易性	JISスタッドと同等の板厚であるため、ドライウォールスクリューおよびスクリュードライバーによるワンタッチビス留めが可能である。 ◎	ドライウォールスクリューおよびスクリュードライバーの適用板厚1.0mmを超えるため、ワンタッチビス留めができない。 △	JISスタッドと同等の板厚であるため、ドライウォールスクリューおよびスクリュードライバーによるワンタッチビス留めが可能である。 ◎	板厚が0.8mmであるため、ドライウォールスクリューおよびスクリュードライバーによるワンタッチビス留めが可能である。 ◎
設置の容易性	振れ止めやスペーサーが不要であることから、施工を1段階省略してスタッドを建込むことが可能である。 ◎	振れ止めやスペーサーが不要であることから、施工を1段階省略してスタッドを建込むことが可能である。 ◎	C形状のスタッドであることから振れ止めやスペーサーが必要である。 △	C形状のスタッドであることから振れ止めやスペーサーが必要である。重量が軽いことから、作業性は良い。 ○

表-2 マッシブスタッドの断面寸法および断面解析結果

せい	幅	折返し長さ	板厚
H (mm)	B (mm)	F (mm)	t (mm)
100	45	15	0.9
材質	断面積	断面二次モーメント	断面係数
SGC400	A (mm ²)	I _x (mm ⁴)	Z _x (mm ³)
	355.7	514700	10290



※ 表中のI_x、Z_xは実際の設計で用いる値ではない。

降、マッシブスタッドと呼ぶ)を考案し、「マッシブウォール工法」を開発した。マッシブウォール工法のイメージを図-1に示す。本報では、マッシブウォール工法の概要および構造実験の結果を報告する。

§2. 工法概要

2-1 構成

マッシブウォール工法(図-1)は、マッシブスタッド、JIS材ランナより立上り長さおよび板厚が大きいランナ(以降、マッシブランナと呼ぶ)、せっこうボードで構成された大型LGS壁工法である。マッシブスタッドは、スラブ等に固定されたマッシブランナの中に嵌め込まれる。また、マッシブスタッドには振れ止めやスペーサーは設けない。マッシブランナの固定には、ねじ固定式あと施工アンカーや金属拡張式あと施工アンカーを用いる。せっこうボードは、従来のLGS壁と同様に施工する。

2-2 マッシブスタッドの特徴

マッシブスタッドと従来スタッドの比較を表-1に、マッシブスタッドの断面寸法および「CADTOOL フレーム構造解析12」による断面解析結果を表-2に示す。

(1) 耐荷重性能

ハイCタイプのように局部座屈が発生しやすい形状でスタッドのせいや幅を大きくする場合、断面性能は向

上するが、幅厚比が大きくなるため、板要素の局部座屈強度が低下する。板要素の局部座屈強度は、LGS壁の終局耐力に大きな影響を及ぼす²⁾。マッシブスタッドは、角スタッドの4隅に15mmの折返しを設けることで、板厚、せい、幅を従来のJIS材スタッドと同等としながらも、断面性能および局部座屈強度を大きく向上させている。

(2) ビス留めの容易性

厚肉タイプは、角スタッドを厚肉化したもので、断面性能および板要素の局部座屈強度が大きい。しかし、ドライウォールスクリューおよびスクリュードライバーの適用板厚1.0mmを超える板厚であることから、ワンタッチビス留めが出来ない。マッシブスタッドは、板厚が0.9mmであるため、ワンタッチビス留めが可能である。

(3) 設置の容易性

ハイCタイプやJISスタッドは、C形状であることから、振れ止めおよびスペーサーを設けることが耐火認定上、要求される。この場合の施工方法は、①スタッドを片側に集中して建込み、②振れ止めを通す、③スタッドを所定の位置に移動する、といった作業が発生するため、施工に難がある。振れ止めを通すために、スタッドを断面欠損させるため、耐荷重性能も低下する。マッシブスタッドは角形状であることから、振れ止めが不要である。

§3. 構造実験計画

本章では、第三者機関で行ったマッシブウォール工法の構造実験の実験計画について示す。

3-1 試験体

(1) 試験体の設定

試験体はJIS A 6517を参考に、天井とスラブを想定したジグに実大のLGS壁を水平施工する。構造実験により、水平震度1G、2500N/m² 載荷時の挙動および破壊性状等を確認する。試験体諸元を表-3に示す。試験

表-3 試験体諸元

試験体	形状		せっこうボード		鋼製下地材			下張とスタッドの接合	
	高さ (mm)	幅 (mm)	上面材 (mm)	下面材 (mm)	マッシブスタッド (mm)	スタッドピッチ (mm)	マッシブランナ (mm)	ビスピッチ (mm)	
1	7200	910	-	-	100×45×15×0.9 (H×B×F×t) 材質：SGC400	455	[-103×50×1.2 材質：SGCC	-	
2	6550		強化PB t12.5+強化PB t12.5 (上張+下張)	強化PB t12.5+強化PB t12.5 (上張+下張)		303		@150	
3	7550					227.5			
4	7200		強化PB t21+強化PB t21 (上張+下張)	-		303			[-104×50×1.6 材質：SGCC
5	7700					227.5			[-103×50×1.2 材質：SGCC
6	6550		PB t12.5 (下張)	強化PB t21+強化PB t21 (上張+下張)					

体は、高さ、上面材・下面材の仕様、スタッドピッチ、ランナのサイズをパラメータとし、合計6体とする。試験体1は、マッシブスタッドとマッシブランナのみで構成し、下地材の構造特性を確認する。その他の試験体は、せっこうボード（JIS A 6901）、マッシブスタッド、マッシブランナで構成し、複合部材としての構造特性を確認する。

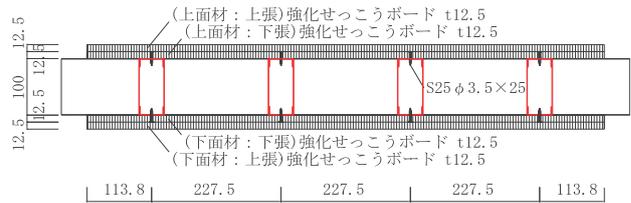
(2) 試験体の詳細

試験体の断面形状を図-2に示す。試験体2および試験体3は、両面張り（吉野石膏㈱耐火認定工法 S12³⁾）で、強化せっこうボード GB-F (t = 12.5) を両面に2枚張りする。試験体2は高さ6.55mでスタッドピッチを@303、試験体3は高さ7.55mでスタッドピッチを@227.5とする。試験体4および試験体5は、片面張り（吉野石膏㈱耐火認定工法 Sウォール 100i⁴⁾）で、強化せっこうボード GB-F (t = 21) を上面に2枚張りする。試験体4は高さ7.2mでスタッドピッチを@303、試験体5は高さ7.7mでスタッドピッチを@227.5とする。また、試験体4および試験体5はランナでの破壊が想定されるため、マッシブランナのサイズを [-104 × 50 × 1.6 とする。

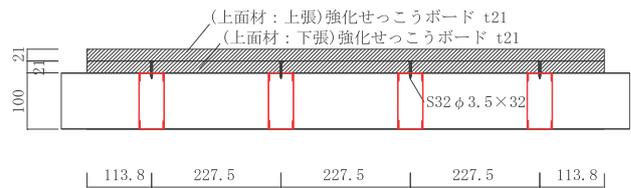
試験体6は、両面張り素地仕上（Sウォール 100i の反対側にせっこうボードを素地張り）で、強化せっこうボード GB-F (t = 21) を下面に2枚張り、上面にせっこうボード GB-R (t = 12.5) を1枚張りする。両面張り素地仕上は、両面張りと同様の区画で用いることを想定し、両方向から荷崩れを考慮する。せっこうボードの厚さが薄い方向を上面とし、実験結果を安全側に評価する。

(3) 共通事項

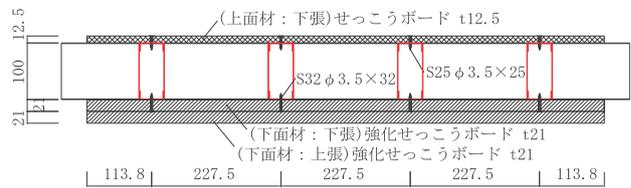
試験体3の平面形状を図-3に示す。マッシブランナとマッシブスタッドはビス等で固定を行わず、嵌め込むだけとする。マッシブスタッドと下張のせっこうボードは、ドライウォールスクリーを用いてビス留めする。下張と上張は炭酸カルシウム系接着剤を用いて24時間養生接着する。下張と上張の継ぎ目は一致しないように割付ける。天井とスラブを想定したジグとせっこうボード端部は、施工誤差および耐火目地材の充填を考慮し、10mmのクリアランスを設ける。



(a) 試験体3 (両面張り)

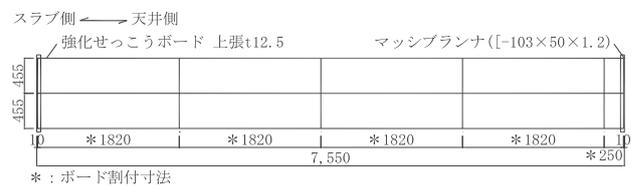


(b) 試験体5 (片面張り)

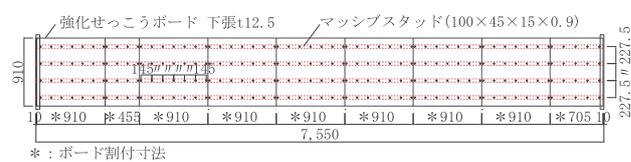


(c) 試験体6 (両面張り素地仕上)

図-2 試験体の断面形状



(a) 上張の詳細



(b) 下張の詳細

図-3 試験体3の平面形状

3-2 載荷・計測方法

(1) 載荷方法

施工時において、水平施工された試験体の下部には、パイプサポートを設けて試験体自重を支持する。実験の第1サイクルは、パイプサポートを取り除いた自重解放時（水平震度1G）とし、たわみを測定する。水平震度1Gのたわみを計測後は、鉛袋を用いて2500 N/m²まで等分布荷重載荷を行う。2500 N/m²載荷後は鉛袋を全て

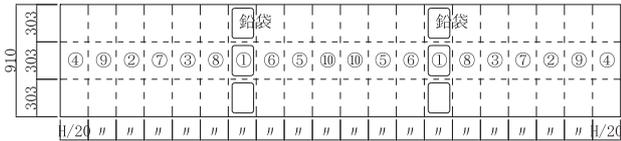


図-4 鉛袋載荷グリッド

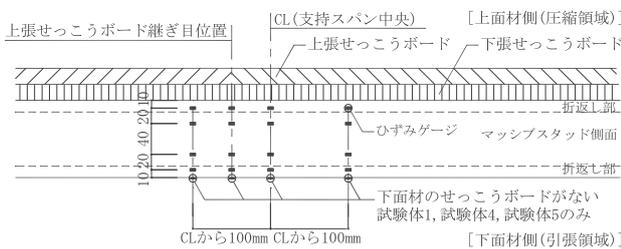


図-5 ひずみ測定位置（側面図）



(a) 2500 N/m₂ 載荷時

(b) 除荷時



(c) 破壊直前の全景

写真-1 構造実験の状況

除荷して、残留たわみを計測する。残留たわみ計測後は、試験体が破壊に至るまで載荷を行う。

鉛袋は、JIS A 4705を参考に、図-4に示す①から⑩の順番で載荷する。鉛袋載荷グリッドは、試験体の高さ方向を20分割、試験体の幅方向を3分割したものとする。自重解放時を除いて、1サイクルは10 kgの鉛袋を6個載荷するものとする。試験体1は、上面にせつこうボードがないため、鉛袋載荷用の普通合板をマッシブスタッド上部に並べる。普通合板は、1類2等で樹種がラワン(t9 × 910 × 1820)を用いる。普通合板とマッシブスタッドはビス留め等による固定を一切行わないものとする。

(2) 計測方法

試験体のたわみは、支持スパン中央の変位と天井・スラブを想定したジグの変位の相対変位とする。マッシブスタッドには図-5に示す通り、断面のひずみ分布を確認できる位置にひずみゲージを貼付する。支持スパン中央の位置、その位置から100 mm離れた位置、上張せつこうボードの継ぎ目位置を計測する。下面にせつこうボードがない試験体1、試験体4および試験体5は、下側フランジ面のひずみも計測する。

§ 4. 実験結果および考察

本章では、第三者機関で行ったマッシブウォール工法の構造実験の実験結果および考察について示す。実験結果一覧を表-4に、構造実験の状況を写真-1に示す。

4-1 荷重変形関係

等分布荷重 W-たわみ δ 関係を図-6に示す。試験体1以外の試験体は、2500 N/m²以上の耐力を有することを確認した。最大耐力は、試験体が破壊に至る前のサイクルの値としている。試験体2から試験体6は、圧縮領域となる部分（圧縮領域：上面材、引張領域：下面材）のせつこうボードの拘束効果により、最大耐力、剛性、変形性能が下地材のみの試験体1より向上している。両面張りの試験体2および試験体3と片面張りの試験体4

表-4 実験結果一覧

試験体	1G時(自重解放時)			2500N/m ² 載荷時				最大耐力時		
	荷重(N/m ²)	変形	試験体状況	荷重(N/m ²)	変形	残留変形	試験体状況	荷重(N/m ²)	変形	破壊性状
1	114	19.0 1/378	たわみの他 異常なし	2500	-	-	-	1011	181.6 1/39	スタッド局部座屈 (支持スパン中央)
2	479	16.8 1/389			178.2 1/36	74.6 1/87	下面材せつこうボード割れ (上張継ぎ目位置)	2848	212.0 1/30	スタッド局部座屈 (上張継ぎ目位置)
3	510	22.4 1/337			204.9 1/36	75.7 1/99		2907	300.9 1/25	
4	416	22.3 1/322			229.4 1/31	97.4 1/73	たわみの他 異常なし	3020	347.7 1/20	ランナ開き破壊
5	447	25.6 1/300			179.8 1/42	60.4 1/127		3386	349.4 1/22	
6	531	16.1 1/406			126.3 1/51	43.1 1/152	下面材せつこうボード割れ (上張継ぎ目位置)	3394	209.5 1/31	スタッド局部座屈 (上張継ぎ目位置)

※表中の変形における上段はたわみ(mm)、下段は変形角(rad)とする。

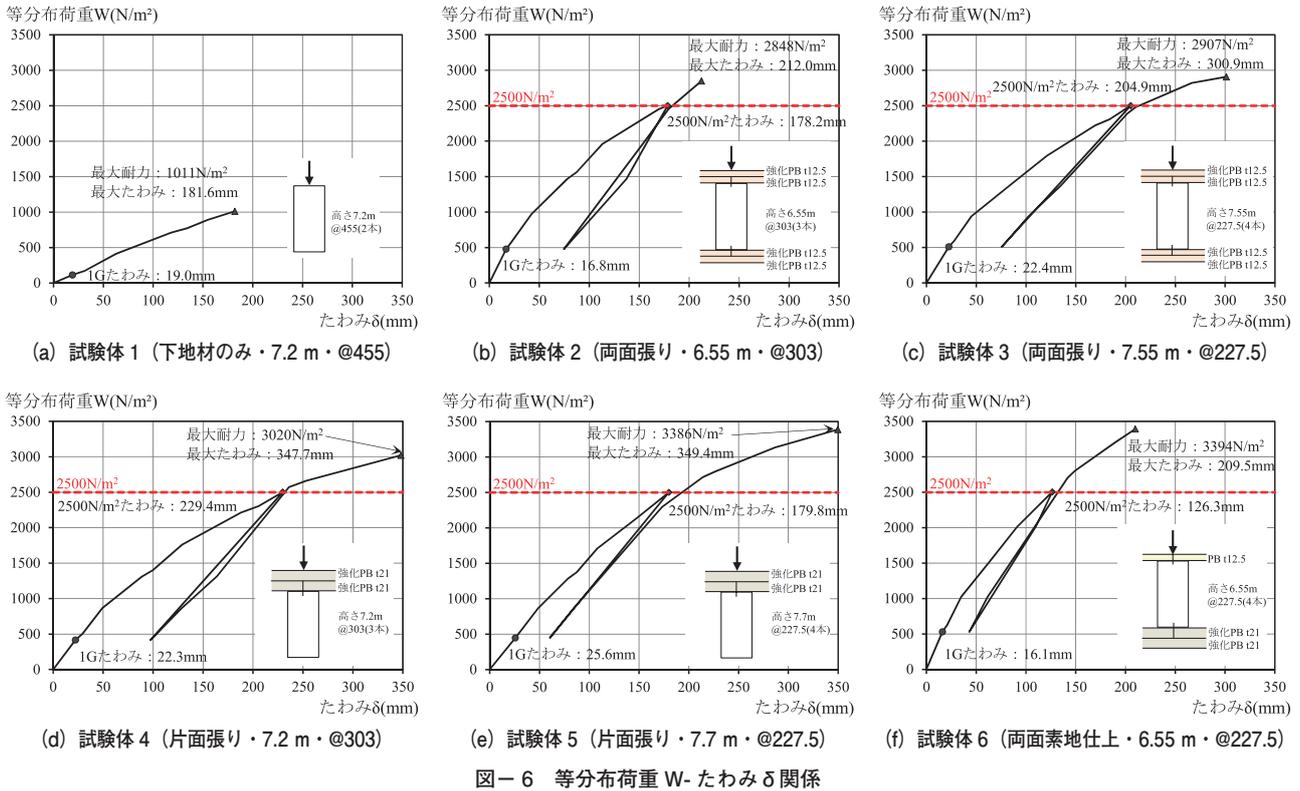


写真-2 各試験体の破壊性状

および試験体 5 を比較すると、圧縮領域 (上面材) のせっこうボードが厚いほど、変形性能が向上している。

4-2 破壊性状

水平震度 1G に対して、全ての試験体があわみの他に異常がないことを確認した。2500 N/m² の荷重に対して、試験体 2、試験体 3、試験体 6 は、上張り継ぎ目位置の引張領域 (下面材) の下張せっこうボードにひび割れが生

じたが、試験体 1 以外の試験体は重大な損傷や脱落がないことを確認した。

各試験体の破壊性状を写真-2 に示す。試験体 1 は、支持スパン中央近傍でマッシブスタッドが局部座屈を起こした。両面張りの試験体 2 および試験体 3、両面張り素地仕上の試験体 6 は、支持スパン中央近傍の上張り継ぎ目位置でマッシブスタッドが局部座屈を起こした。これに対して、片面張りの試験体 4 および試験体 5 は、終局

時においてもマッシブスタッドが局部座屈を起こさず、マッシブランナが開く破壊性状であった。JIS材よりも断面性能に優れたマッシブスタッドを用いて片面張りとする場合、終局状態はランナの破壊となる。

4-3 マッシブスタッドの軸ひずみ分布

支持スパン中央位置、中央部上張継ぎ目位置のマッシブスタッドの軸ひずみ分布（試験体3）を図-7に示す。水平震度1G時、中立軸は両者ともに概ねスタッド中心位置である。引張領域（下面材）のせっこうボードのひび割れ時は、両者ともに中立軸が圧縮領域側に寄っている。さらに荷重が大きくなった2500 N/m² 載荷時の場合、中立軸が圧縮領域側に寄った分布で軸ひずみが大きくなっている。また、支持スパン中央位置と中央部上張継ぎ目位置の軸ひずみの大きさを比較すると、中央部上張継ぎ目位置の方が軸ひずみが大きくなっている。

1G時の場合は引張領域（下面材）のせっこうボードも合成効果を発揮するが、引張領域（下面材）のせっこうボードのひび割れ以降は、引張領域（下面材）のせっこうボードの合成効果が小さくなると考えられる。また、軸ひずみ分布および破壊性状（写真-2）より、引張領域（下面材）のせっこうボードのひび割れ以降の曲げ応力は、中央部上張り継ぎ目位置で最大となる。

4-4 マッシブスタッドの断面性能および終局耐力

(1) 断面性能

試験体1の実験結果から算出したマッシブスタッド1本分の断面二次モーメント I_{ex} および断面係数 Z_{ex} を、表-2に示した断面解析結果と比較する。 I_{ex} は式(1)、 Z_{ex} は式(2)を用いて算出する。マッシブスタッドのヤング係数 E_{ex} は、表-5に示す鋼材の素材試験結果を、1G時のたわみ δ_{ex} は、試験体1の実験結果を用いる。

$$I_{ex} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5wL^4}{384 E_{ex} \delta_{ex}} \quad (1)$$

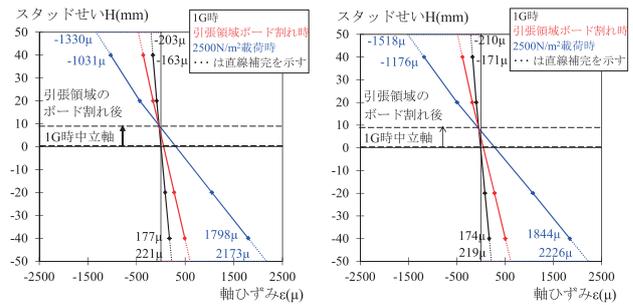
$$Z_{ex} = \frac{I_{ex}}{H/2} \quad (2)$$

w : 試験体自重, L : 高さ,
 E_{ex} : マッシブスタッドのヤング係数 (素材試験結果),
 δ_{ex} : 1G時のたわみ (試験体1の実験結果 19 mm),
 H : マッシブスタッドのせい (100 mm)

断面性能の検証を表-6に示す。実験結果から算出した断面性能(実験値)は、断面解析結果(解析値)より若干小さい。試験体1のマッシブスタッド、面材、マッシブランナは固定されていないことから、材軸に対するねじれの影響を受けていると考えられる。実際はビス等で固定されることでねじれの影響は小さいと考えられるが、安全側の観点から、設計時に用いる断面性能は、実験結果から算出した断面性能(実験値)を用いる。

(2) 終局耐力

試験体1の終局耐力(実験値)と終局耐力(計算値)



(a) 支持スパン中央位置 (b) 中央部上張継ぎ目位置

図-7 マッシブスタッドの軸ひずみ分布 (試験体3)

表-5 鋼材の素材試験結果

鋼製下地材	材質	板厚 (mm)	降伏応力度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
マッシブスタッド	SGC400	0.9	349	492	205000
マッシブランナ(t1.2)	SGCC	1.2	269	370	204000
マッシブランナ(t1.6)	SGCC	1.6	330	400	204000

表-6 断面性能の検証

断面性能の検証	断面二次モーメント (mm ⁴)	断面係数 (mm ³)
実験値	465170	9300
解析値	514700	10290
実験値/解析値	0.90	0.90

表-7 終局耐力の検証

終局耐力の検証	終局耐力 (N/m ²)
実験値	1011
計算値	964
実験値/計算値	1.05

の比較を行い、終局耐力評価の精度を検証する。マッシブスタッドの断面を4辺固定支持の圧縮板⁵⁾に近似する場合、局部座屈強度は、次式で表すことができる。

$$\sigma_u = \begin{cases} \sigma_{yex} & (R \leq 0.5) \\ \{0.433(R-0.5)^2 - 0.831(R-0.5) + 1.0\} \sigma_{yex} & (R > 0.5) \end{cases} \quad (3)$$

$$R = \frac{B}{\pi t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k}} \sqrt{\frac{\sigma_{yex}}{E_{ex}}} \quad (4)$$

σ_u : 鋼材の局部座屈強度,
 σ_{yex} : マッシブスタッドの降伏応力度 (素材試験結果),
 R : 幅厚比パラメータ,
 B : マッシブスタッドの幅 (45 mm), t : 板厚 (0.9 mm),
 ν : ポアソン比 (0.3), k : 座屈係数 ($k \geq 10.67$)

終局耐力(計算値)は、式(3)、式(4)および既報のLGS壁の終局耐力式²⁾を用いて算出する。既報のLGS壁の終局耐力式²⁾におけるせっこうボードの項は全て0として計算する。断面性能は実験結果から算出した断面性能(実験値)を、マッシブスタッドの降伏応力度 σ_{yex} および E_{ex} は表-5に示す鋼材の素材試験結果を用いる。表-7に示す通り、終局耐力(計算値)は、終局耐力(実験値)を精度良く評価できており、安全側の良い対応を示す。

§5. まとめ

(1) 開発したマッシブウォール工法の構造実験を行い、両面張りは最大7.55 m、片面張りは最大7.7 mまで

2500 N/m²以上の荷重に対応することを確認した。

- (2) マッシブウォール工法の面外終局耐力は、本報のパラメータの場合、両面張りはマッシブスタッドの局部座屈で決まり、片面張りはマッシブランナの開き破壊で決まる。
- (3) 等分布荷重が作用する場合における引張領域側せつこうボードの合成効果は、引張領域側せつこうボードのひび割れ以降は期待できない。
- (4) マッシブスタッド単体において、本報の実験結果から算出した断面性能を用いれば、局部座屈で決まる終局耐力を精度良く評価できる。

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) 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
- 2) 小寺直幸，他5名：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），西松建設技報，vol.39，2016
- 3) 吉野石膏株式会社：認定番号 FP060NP-0369
- 4) 吉野石膏株式会社：認定番号 FP060NP-0360
- 5) 土木学会：座屈設計ガイドライン，丸善，2005