

ALCブロックを用いた組積体の材料特性と組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究

その14：設計用せん断剛性と振動台実験結果の比較

正会員 ○横田 誠\*<sup>1</sup> 同 高島 健史\*<sup>2</sup>  
同 中村 亮太\*<sup>3</sup> 同 飯田 秀年\*<sup>3</sup>  
同 皆川 隆之\*<sup>3</sup> 同 花井 勉\*<sup>3</sup>  
同 杉本 訓祥\*<sup>4</sup> 同 田才 晃\*<sup>5</sup>

組積造 ALC ブロック  
振動台実験 面内せん断変形 開口付壁

1. はじめに

著者らは ALC ブロックを用いた組積造による実大試験体を用いた振動台実験を行い、固有振動数や減衰定数などの振動特性や架構の動的挙動について確認してきた<sup>1), 2)</sup>。本報では、静的実験結果に基づき提案された設計用せん断剛性<sup>3)</sup>を用いて固有振動数の計算値と実験値の比較を行う。また、地震波加振記録に周波数フィルター処理を行った結果と設計用せん断剛性の比較を行い、設計用せん断剛性の動的挙動への適用性について確認する。

2. 設計用せん断剛性

試験体の各構面壁に対する設計用せん断剛性の計算結果を表1に示す。層間変形角 1/1500rad 時の設計用せん断剛性 $K_D$ は(式1)で求める<sup>3)</sup>。これは、(式2)の弾性理論による設計用基準剛性 $K_{dh}$ に開口による低減係数 $r_{op}$ 、連層による低減係数 $r_{si}$ および壁幅 $L_w$ を乗じ、壁高さ $H_w$ で除して導く。 $K_{dh}$ は、組積壁の地面を固定端とした片持ち梁の集中荷重モデルを用いて導いた。有効壁幅 $D$ と有効壁厚 $b'$ は、モデル化時に実際の壁端部より 50mm 部分を除いたグラウト充填範囲の壁幅と壁厚とした。 $r_{op}$ 、 $r_{si}$ はそれぞれ(式3)、(式4)で算出し、単層壁の時は $r_{si} = 1$ とした。

$$K_D = \frac{r_{op} \times r_{si} \times K_{dh} \times L_w}{H_w} \quad (式1)$$

$$K_{dh} = \frac{1}{H_w^2 L_w / 3mEI + 1.2L_w / mGb'D} \quad (式2)$$

$$\left. \begin{aligned} r_{op} &= 1 - 1.50r_0 && (1.0 \leq L_w \leq 9.0) \\ &&& (\text{ただし } r_0 \leq 0.4) \\ r_{s1} &= 0.058L_w + 0.6 && (1.0 \leq L_w \leq 6.75) \\ r_{s1} &= 1.0 && (7.0 \leq L_w \leq 9.0) \\ r_{s2} &= 0.065L_w + 0.09 && (1.0 \leq L_w \leq 9.0) \end{aligned} \right\} (式3)$$

- $K_D$  : 設計用せん断剛性(kN/mm)
- $r_{op}$  : 開口による低減係数
- $r_{si}$  :  $i$ 階における連層による低減係数
- $K_{dh}$  : 設計用基準剛性(kN/rad/m)
- $L_w$  : 壁幅(m) ( $1.0 \leq L_w \leq 9.0$ )
- $H_w$  : 壁高さ(mm) ( $2.55 \leq H_w \leq 3.0$ )
- $mE$  : 組積壁の壁厚150mmに対するヤング係数(2.0kN/mm<sup>2</sup>)
- $I$  : 組積壁の断面2次モーメント(=  $b'D^3/12$ )
- $mG$  : 組積壁の壁厚150mmに対するせん断弾性係数(0.5kN/mm<sup>2</sup>)
- $b'$  : 組積壁の有効壁厚(150mm)
- $D$  : 組積壁の有効壁幅(=  $L_w - 0.1$ (m))

表1 各壁の設計用せん断剛性

試験体名称	構成壁	Hw (mm)	Lw (m)	K <sub>dh</sub> (kN/rad/m)	r <sub>op</sub>	r <sub>si</sub>	K <sub>D</sub>	
							(kN/mm)	(N/mm <sup>2</sup> /10 <sup>-3</sup> rad)
1A	北壁	3000	3.00	32184	0.45	—	14.56	0.0388
	南壁	3000	3.00	32184	—	—	32.18	0.0858
2A,2B	北壁1層	2250	2.25	31467	—	0.73	22.99	0.0613
	北壁2層	2250	2.25	31467	—	0.24	7.43	0.0198
	南壁1層	2250	2.25	31467	—	0.73	22.99	0.0613
	南壁2層	2250	2.25	31467	—	0.24	7.43	0.0198
3AB, 3C, 3A	壁A北	3000	2.00	19441	—	—	12.96	0.0518
	壁A南	3000	2.00	19441	—	—	12.96	0.0518
	壁B北	3000	1.00	5524	—	—	1.84	0.0074
	壁B南	3000	1.00	5524	—	—	1.84	0.0074

表2 固有振動数の計算値と実験値

(a)単層壁の試験体

試験体名称	対象壁	ΣW (kN)	K <sub>D</sub> (kN/mm)	cal <sub>f</sub> (Hz)	exp <sub>f</sub> BGN (Hz)	exp <sub>f</sub> WN (Hz)	exp <sub>f</sub> Free (Hz)	cal <sub>f</sub>	cal <sub>f</sub>	cal <sub>f</sub>
								exp <sub>f</sub> BGN	exp <sub>f</sub> WN	exp <sub>f</sub> Free
1A	北壁	31.1	14.6	10.8	15.3	13.3	14.1	0.71	0.81	0.77
	南壁	35.6	32.2	15.0	23.8	22.3	14.1	0.63	0.67	1.06
3AB	壁A北	25.3	13.0	11.3	13.5	13.3	13.0	0.83	0.85	0.86
	壁B北	13.2	1.8	5.9	9.8	9.4	9.7	0.60	0.63	0.60
3C	壁A北	6.6	13.0	22.1	12.6	12.3	12.0	1.74	1.79	1.83
	壁B北	22.4	1.8	4.5	12.6	12.3	12.0	0.36	0.37	0.37
	壁A-B北	29.1	14.8	11.3	12.6	12.3	12.0	0.89	0.91	0.93
3A	壁A北	25.5	13.0	11.2	13.0	12.5	—	0.86	0.90	—
	壁A南	25.5	13.0	11.2	13.1	12.5	—	0.86	0.90	—

(b)連層壁の試験体

試験体名称	対象 (R階)	ΣW <sub>1</sub> (kN)	ΣW <sub>2</sub> (kN)	K <sub>D1</sub> (kN/mm)	K <sub>D2</sub> (kN/mm)	cal <sub>f</sub> (Hz)	exp <sub>f</sub> BGN (Hz)	exp <sub>f</sub> WN (Hz)	exp <sub>f</sub> Free (Hz)	cal <sub>f</sub>	cal <sub>f</sub>	cal <sub>f</sub>
										exp <sub>f</sub> BGN	exp <sub>f</sub> WN	exp <sub>f</sub> Free
2A	北壁	10.3	6.0	22.99	7.43	14.3	—	16.5	16.2	—	0.87	0.88
	床上						17.0	16.5	16.2	0.84	0.87	0.88
2B	北壁	19.6	8.3	22.99	7.43	11.7	—	12.7	12.8	—	0.92	0.92
	床上						13.5	12.7	12.8	0.87	0.92	0.92

3. 固有振動数の計算値と実験値の比較

固有振動数 $f$ の計算値(cal-)と実験値(exp-)を表2に示す。計算値は、層ごとに質点を定め上下階高の半分を占める重量ΣWと設計用せん断剛性 $K_D$ から求めた。実験値は地震波加振前の常時微動計測(-BGN)、ホワイトノイズ加振(-WN)、起振機自由振動(-Free)の3種類の計測値を用いた。

比較の結果、計算値は単層壁、連層壁ともに実験値の概ね8~9割程度の傾向が確認された。これは、試験体1A北壁以外では計算モデルと異なり直交壁を持つことや、計測時の層間変形角が設計用せん断剛性で想定する層間変形角 1/1500rad よりも小さいことが要因と考えられる。試験体3Cでは壁が一体化したと仮定した値(壁A-B北)の方が対応が良く、大梁による壁の一体化が確認された。

#### 4. 地震波加振結果と設計用せん断剛性の比較

##### 4.1. 地震波加振結果

地震波加振結果概要を表3に、最大層間変形角と固有振動数の推移の代表値として試験体1Aと試験体3Cの結果を図1に示す。地震波加振の計測記録は、500Hzでサンプリングし、移動平均法で100Hzに平滑化したのち、計測記録の4Hzローカットのフィルター処理を実施した。レーザー変位計の計測記録は、フィルター処理前に基線補正を行った。図1の最大層間変形角はフィルター未処理の記録(未処理)、フィルター処理した記録(処理済)及びフィルター未処理の記録の加速度積分変位(加速度積分)を、固有振動数は各加振後のWN加振時の結果(WN)を示した。

最大加速度と最大層間変形角の最大値は、加速度応答が卓越する築館波で確認された。フィルター未処理に比べて、処理後の結果は層間変形角が小さくなり加速度積分変位の値に近づいた。加振後の残留ひび割れが0.1mm未満しか発生せず、固有振動数が大きく低下しなかった加振結果と処理後の最大層間変形角が対応するため、フィルター処理は適切と考えられる。

##### 4.2. 地震波加振結果の剛性評価

設計用せん断剛性と各試験体面内壁の平均せん断応力度一層間変形角関係( $\tau$ - $R$ 関係)の代表値として試験体1A、試験体3Cの値を図2に示す。 $\tau$ は各試験体に作用する層せん断力の値を、直交壁を無視した面内壁の断面積で除して求めた。試験体1A北壁には開口による剛性低減の有無も示した。試験体3Cには壁A、Bに生じる慣性力が大梁の軸力によって分配されると仮定した結果も示した。剛性の計算値は表1に併記した。

単層で無開口の試験体1A南壁では実験結果と剛性の計算値が良く対応し、有開口の試験体1A北壁では開口による剛性低減を考慮した剛性の計算値が実験結果と良く対応した。試験体3Cの壁A北では、大梁の軸力を考慮した実験結果が剛性の計算値と良く対応した。以上の結果から、設計用せん断剛性は動的挙動に適用でき、本構法の剛性評価が行えることが確認された。

#### 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 本構法による面内壁の固有振動数は、設計用せん断剛性により概ね推定できることが確認された。
- ・ 4Hzローカットフィルター処理を行うことで、静的実験結果の損傷状態と対応する振動台実験の層間変形角の実験結果が得られた。
- ・ 設計用せん断剛性 $K_D$ は $\tau$ - $R$ 関係と良く対応し、動的挙動に対しても適用が可能であることが確認された。

表3 地震波加振結果概要

試験体名称	計測位置	告示波100%						JMA神戸100%						益城16日100%						最大計測値	
		$A_{max}$ (gal)	$R_{max}$ (rad)	加振波	$R_{max}$ (rad)	加振波															
1A	北壁	860	1/1947	647	1/2631	1114	1/1542	3180	1/869	1/466	1/466	1/466	1/466	1/466	1/466	築館100%	1/466	築館100%			
	南壁	484	1/4743	491	1/4171	659	1/3751	2616	1/869	1/869	1/869	1/869	1/869	1/869	築館100%	1/869	築館100%				
2A	北壁1層	410	1/3144	361	1/3212	581	1/2716	2753	1/341	1/341	1/341	1/341	1/341	1/341	築館100%*	1/341	築館100%*				
	北壁2層	812	1/4050	843	1/3988	1124	1/3695	4646	1/395	1/395	1/395	1/395	1/395	1/395	築館100%*	1/395	築館100%*				
	面外壁	1190	1/569	944	1/651	1335	1/380	8110	1/12	1/12	1/12	1/12	1/12	1/12	1/12	1/12	1/12				
2B	北壁1層	496	1/2154	385	1/2104	624	1/1519	2009	1/336	1/336	1/336	1/336	1/336	1/336	築館100%	1/336	築館100%				
	北壁2層	1060	1/2264	870	1/2389	1172	1/1816	4297	1/440	1/440	1/440	1/440	1/440	1/440	1/440	1/440	1/440				
3C	壁A北	425	1/4399	484	1/3476	673	1/2812	2021	1/1092	1/1092	1/1092	1/1092	1/1092	1/1092	築館70%	1/1092	築館70%				
	壁B北	481	1/3052	450	1/2756	670	1/2268	2155	1/937	1/937	1/937	1/937	1/937	1/937	1/937	1/937	1/937				
3A	壁A北	644	1/2193	558	1/2748	670	1/2268	2155	1/544	1/544	1/544	1/544	1/544	1/544	1/544	1/544	1/544				

\*1: 試験体2Aの築館100%は面外壁の固有振動数低下により4Hzローカット処理を行っていない。

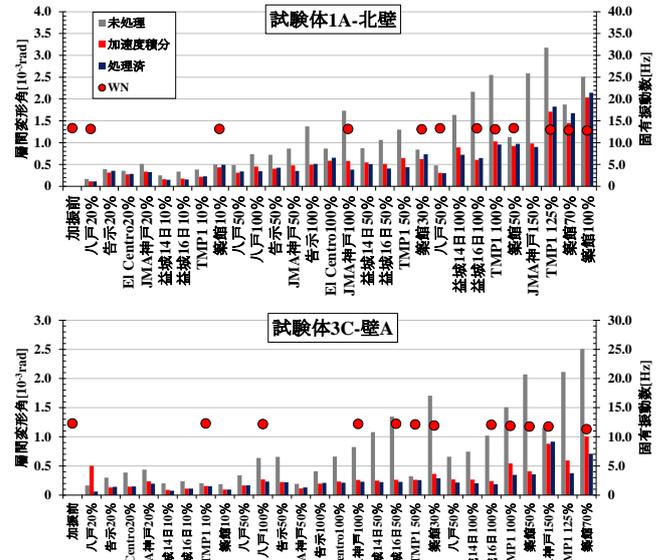


図1 最大層間変形角と固有振動数の推移

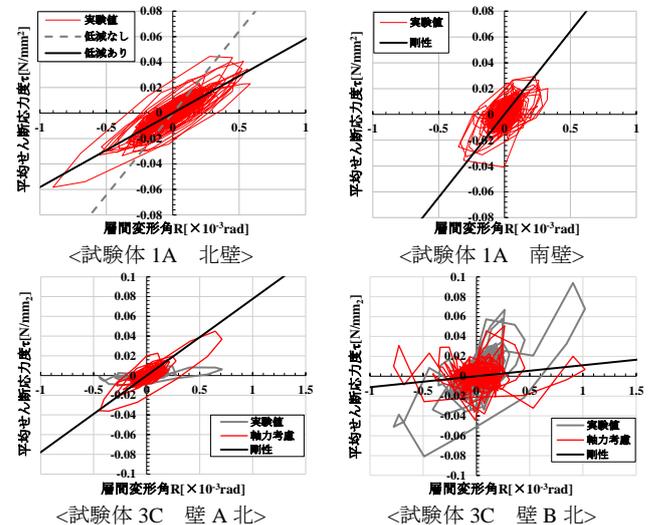


図2 JMA神戸150%加振時  $\tau$ - $R$ 関係

#### 参考文献

- 1) 高島健史 他: ALCブロックを用いた組積体の材料特性と組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究, その9~その11, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.477-482, 2017. 8
- 2) 横田誠 他: 一軸振動台を用いたALC組積体の動的応答に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, 2018.7
- 3) 高島健史: 補強材を有するALCブロックを用いた組積壁の面内せん断性状と剛性評価に関する研究, 横浜国立大学博士学位論文, 2019.3

\*1 大林組 修士 (工学) (元横浜国立大学大学院)  
 \*2 旭化成ホームズ 博士 (工学)  
 \*3 えびす建築研究所  
 \*4 横浜国立大学大学院 准教授・博士 (工学)  
 \*5 横浜国立大学大学院 教授・博士 (工学)

\*1 Obayashi Corporation, M.Eng.  
 \*2 Asahi Kasei Homes Co., Dr.Eng.  
 \*3 Ebisu Building Laboratory Co.  
 \*4 Assoc.Prof., Yokohama National University, Dr.Eng.  
 \*5 Prof., Yokohama National University, Dr.Eng.