

## 鉄筋コンクリート造ボックス壁の三次元振動台破壊実験

白井 和 貴      勝 俣 英 雄  
津 田 和 明      関 松 太 郎

## Tri-Axial Shaking Table Tests on Reinforced Concrete Box Shear Walls

Kazutaka Shirai      Hideo Katsumata  
Kazuaki Tsuda      Matsutaro Seki

## Abstract

In order to grasp the earthquake response behavior of reinforced concrete (RC) shear walls, and to evaluate the safety of shear wall structures more appropriately, investigation taking into consideration about multi-dimensional input motion effect is required. The inelastic characteristics of RC shear walls subjected to multi-directional input motions have not yet been clarified. In this research, shaking table tests were conducted on RC box shear wall specimens subjected to uni- or multi-directional input motions to grasp dynamic behavior of RC shear walls. This paper describes outline and the test results, and verifies the fidelity of a real-time compensation system to improve shaking table control accuracy.

## 概 要

鉄筋コンクリート造(RC)耐震壁の耐震安全性をより適切に評価するためには、多次元入力時の地震応答性状を把握する必要がある。しかし、多方向から地震動入力を受ける RC 耐震壁の力学的特性は未だ不明な点が多く、十分には解明されていない。本研究では、RC 耐震壁の地震時弾塑性挙動の把握を目的として、地震動の入力方向と壁開口による偏心の有無をパラメータとした RC ボックス型耐震壁の振動台破壊実験を実施した。本報では、主として実験の概要と結果、および振動台リアルタイム制御システムによる加振精度の検証について報告する。

## 1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震に代表される近年の地震被害から、多次元入力時の地震動が建物に与える影響を無視できないという指摘がなされている。多方向から地震入力を受ける鉄筋コンクリート造(RC)耐震壁の弾塑性力学特性は未だ不明な点が多く、十分には検討されていない。地震動は本来3次元の挙動であるので、RC耐震壁構造の安全性を適切に評価するためには、多次元地震入力時の耐震壁の応答性状を把握する必要がある。

本研究では、RC耐震壁の地震時弾塑性挙動の把握を目的として、3体のRCボックス壁試験体に対する振動台破壊実験を行った。うち2体に対しては地震動の入力方向をパラメータとした実験を行い、多方向入力による影響を検討した。もう1体は壁開口を設けることで偏心させ、ねじれ振動を含む応答性状を検討した。実験には当社の保有する三次元振動台<sup>1)2)</sup>を使用し、入力波形の再現性を向上させるためリアルタイム制御手法による加振を試みた。本報では主として、実験の概要と結果、および振動台の加振・制御精度の検証について報告する。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体

3体のRCボックス型耐震壁模型を製作し、地震動の入力方向と壁開口の有無をパラメータとした実験を行った。試験体概観をPhoto 1に、実験パラメータと主な検討内容をTable 1に、試験体の材料特性をTable 2~Table 3に、試験体概要をFig. 1にそれぞれ示す。

試験体は、(財)原子力発電技術機構の実施したRCボックス型耐震壁の静的加力試験<sup>3)4)</sup>を参考にし、振動台の性能を考慮して壁部分の形状寸法が概ね0.8倍に相当する大きさとした。試験体の壁芯スパンは1200mm、内法高さは760mm、壁厚は60mmである。壁筋は縦横共D6@85ダブル配筋とし、壁筋比は $P_w=1.25\%$ である。壁筋のかぶり厚さは11mmであり、コンクリートは骨材最大寸法9mmの高流動コンクリートを用いた。壁脚部におけるシアスパン比は、トップスラブの回転慣性によるモーメントの影響を無視した場合、 $M/QD=0.8$ である。トップスラブの上下には鋼板製の付加マス(重量241kN)を設置しており、これにより試験体の総重量は390kN、試験体を1

質点系にモデル化した場合の頂部重量は 333kN であり、壁部分の軸方向応力度は 1.14N/mm<sup>2</sup> である。

試験体は 3 体とも同一寸法であるが、うち 1 体は直交する 2 壁面の中央部に開口(幅 360mm×高さ 240mm、等価開口周比 0.31)を設け、開口による剛性・耐力の低下、および偏心によるねじれ振動が生じる様にした。開口の周囲には、開口隅角部の付加斜張力に対して必要な補強量を満足する様に、縦横に補強筋を配筋した。

地震動の入力方向は、2 体の無開口試験体のうち 1 体に対して水平 1 方向入力(CASE 1)、もう 1 体に対しては水平 2 方向～水平上下 3 方向入力(CASE 2)とした。また有開口試験体に対しては 1～3 方向入力(CASE 3)とした。なお CASE 1 および CASE 2 では各種タイル張り仕上げ工法の耐震性に関する検討<sup>5)</sup>も併せて実施した。

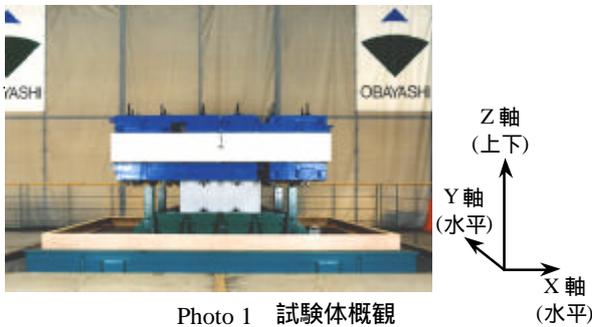


Photo 1 試験体概観  
View of Specimen

Table 1 実験パラメータ  
Test Parameter

		無開口	有開口
入力方向	1	CASE 1	CASE 3
	2～3	CASE 2	
検討内容	多次元入力による影響 タイル張り仕上げの耐震性	偏心によるねじれ振動	
	RC壁の動的挙動に関する検討 振動台リアルタイム制御システムの検証		

Table 2 壁コンクリートの材料特性 (実験日)  
Material Property of Concrete

試験体	CASE 1	CASE 2	CASE 3
圧縮強度: $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	33.8	28.8	27.7
圧縮強度時歪み: $\epsilon_c$ ( $\mu$ )	2828	2673	3192
ヤング係数 $E_c$ ( $\times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> )	2.41	2.16	1.88
ポアソン比:	0.180	0.183	0.164
引張強度: $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.26	2.08	1.88

Table 3 壁 D6 主筋の材料特性  
Material Property of Reinforcing Bar

試験体	CASE 1	CASE 2	CASE 3
降伏強度: $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	369	350	350
ヤング係数 $E_s$ ( $\times 10^5$ N/mm <sup>2</sup> )	1.98	2.02	2.02

## 2.2 入力地震動

各 CASE とも 10 回程度の加振で試験体を破壊させるように計画し、各 Run 毎に基準入力地震動の入力倍率を漸増させて加振を行った。基準入力地震動の加速度時刻歴を Fig. 2 に、加速度応答スペクトルを Fig. 3 に示す。

基準入力地震動は、XYZ 各軸とも、おおむね 15Hz～33Hz の範囲で加速度応答スペクトル  $S_A$  一定、それより低振動数領域で速度応答スペクトル  $S_V$  一定としたターゲットスペクトルに適合する様に作成した模擬地震波を用いた。位相特性は各軸それぞれ異なる乱数により与え、時刻歴包絡関数は Jennings 型とした。

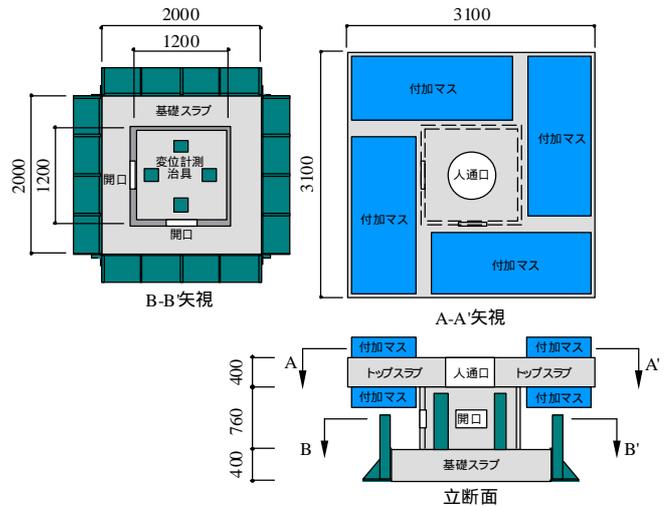


Fig. 1 試験体概要(CASE 3)  
Specimen

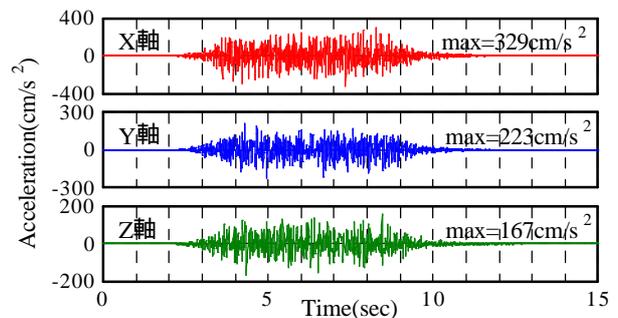


Fig. 2 基準入力地震動の加速度時刻歴  
Acceleration Time History of Input Motion

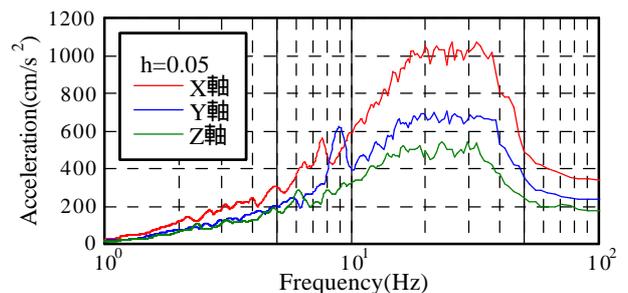


Fig. 3 基準入力地震動の加速度応答スペクトル  
Acceleration Response Spectra of Input Motion

地震動の入力方向は1~3方向とし、2または3方向入力の場合にはXYZ各軸の入力比率が3:2:1.5となる様に加振を行った。また、試験体の損傷の進行に伴う長周期化に対応させて、適宜入力波の時間軸を1.0~2.44倍に引き伸ばして加振を行った。

振動台実験を行う際の問題として、振動台と試験体の相互作用により加振波形の再現精度が低下する点が挙げられる。本実験では、入力波の再現性を向上させるため、逆伝達関数を用いて事前に試加振を行う入力補償法と、「適応フィルタ」<sup>9)</sup>を用いたリアルタイム制御を併せて行った。「適応フィルタ」は、加速度の差異を打ち消す様に設定された可変フィルタにより、フィードフォワード的に入力波の再現性を向上させる制御システムである。

### 3. 実験結果

#### 3.1 最大応答値

各CASE, 各Run 実験結果の最大応答値一覧をTable 4に示す。せん断力 $Q$ および変動軸力 $N$ は、トップスラブ重心位置での応答加速度( $Z$ 軸は重力加速度を含む)に試験体の頂部質量を乗じて求めた。せん断応力度はせん断力 $Q$ をウェブ壁断面積で、軸方向応力度 $\sigma$ は変動軸力 $N$ を全壁断面積でそれぞれ除した値とした。このときCASE 3では開口部分を除いた断面積を用いて $Q$ ,  $\sigma$ を求めた。応答変位は基礎スラブ上端とトップスラブ下端間(測定間高さ760mm)の相対変位であり、変形角 $R$ は応答変位を測定間高さで除した値とした。

また各CASE, 各Run 加振終了後に目視によりひび割れ・破壊状況の観察を行った。CASE 1ではRun8でせん断ひび割れが確認されたが, Run3で横筋歪みの最大値が大きく増加していることから, 実際はRun3でせん断ひび割れが発生し, タイル張り仕上げ部分の面積が広いためにひび割れの確認が遅れたものと推察される。

#### 3.2 最終破壊状況

各CASEの最終破壊状況をFig. 4に示す。CASE 1では、最終的にウェブ壁(C面)の脚部においてせん断すべり破壊に至った。このときフランジ壁(D面)はウェブ壁との交差部近傍以外は損傷が比較的少なく、ウェブ壁のせん断破壊後も軸力を保持し試験体は自立していた。CASE 2では、中盤のRunにおいて入力波の強軸(X軸)方向のせん断力を負担するC面に斜め45度方向のせん断ひび割れが、その直交壁のB面, D面に曲げひび割れが多く発生した。最終的には各面ともほぼ同程度の損傷を示し、C面脚部のせん断破壊によりトップスラブが落階し、B面, D面脚部でかぶりコンクリートが剥落した。1方向入力のCASE 1と比べて、2~3方向入力のCASE 2では各壁面が曲げとせん断の影響を同時に受けたため、崩壊部分の高さ方向の幅が広がったと考えられる。CASE 3では、有開口壁(B面, C面)においては開口部周辺に損傷が集中しており壁脚部の損傷は比較的少なかった。最終的にはC面の開口隅部にて斜め45度方向のせん断ひび割れが発生し、そのひび割れが直交壁B面に流れて開口部を貫通する様に崩壊が進行し、トップスラブの落階に至った。

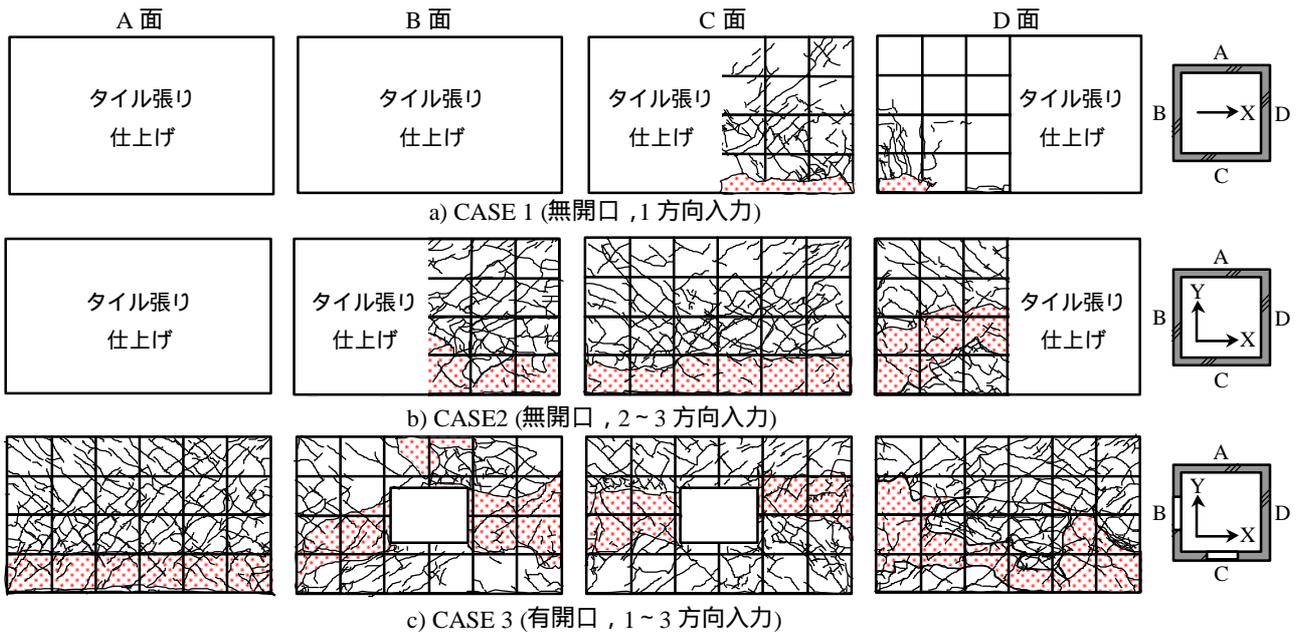


Fig. 4 最終破壊状況  
Final Crack Pattern

Table 4 最大応答値一覧  
Maximum Response

a) CASE 1

Run	入力軸	目標最大入力加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	時間軸	振動台最大 実現加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大応答値						備考
					せん断力 Q (kN)	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	変位 (mm)	変形角 R (×10 <sup>-3</sup> )	縦筋歪み (μ)	横筋歪み (μ)	
1	X	150	1	153	64	0.44	0.09	0.12	64	5	
2	X	300	1	335	149	1.03	0.13	0.17	166	17	
3	X	750	1.11	1035	374	2.60	0.40	0.53	1001	416	曲げひびわれ確認
4	X	1300	1.47	1109	465	3.23	0.97	1.28	1191	576	
5	X	1500	1.47	1629	640	4.44	1.55	2.04	1593	1294	
6	X	2000	1.9	1807	691	4.80	2.43	3.20	2200	1495	フランジ壁縦筋引張降伏
7	X	2000	2.1	1792	685	4.76	2.38	3.13	2094	1527	
8	X	2200	2.1	1821	769	5.34	2.99	3.93	2450	1680	せん断ひび割れ確認
9	X	2400	2.2	2210	924	6.42	3.86	5.08	2680	1848	
10	X	2600	2.44	2720	1032	7.17	4.61	6.07	2740	2230	
11	X	2600	2.44	3050	1011	7.02	>15.0	>19.7	4920	2440	せん断すべり破壊

b) CASE 2

Run	入力軸	目標最大入力加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	時間軸	振動台最大 実現加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大応答値						備考
					せん断力, 軸力 Q, N (kN)	応力度 σ, ν (N/mm <sup>2</sup> )	変位 (mm)	変形角 R (×10 <sup>-3</sup> )	縦筋歪み (μ)	横筋歪み (μ)	
1	X	150	1	148	68	0.47	0.10	0.13	70	21	
	Y	100		103	50	0.35	0.07	0.09			
	Z	75		86	411	1.43	0.08	-			
2	X	300	1	375	145	1.01	0.12	0.16	306	39	
	Y	200		224	93	0.65	0.10	0.13			
	Z	150		158	486	1.69	0.09	-			
3	X	750	1	848	348	2.42	0.44	0.58	964	630	曲げひび割れ確認
	Y	500		592	261	1.81	0.33	0.43			
	Z	375		461	659	2.29	0.27	-			
4	X	1100	1	940	465	3.23	0.86	1.13	1321	856	せん断ひび割れ確認
	Y	733		942	371	2.58	0.77	1.01			
	Z	550		754	853	2.96	0.41	-			
5	X	1300	1.41	962	469	3.26	1.20	1.58	1357	888	
	Y	867		1107	376	2.61	0.85	1.12			
	Z	650		766	866	3.01	0.48	-			
6	X	1600	1.41	1320	531	3.69	1.71	2.25	1780	1204	コーナー部縦筋引張降伏
	Y	1067		1199	436	3.03	1.35	1.78			
	Z	1900		1721	681	4.73	2.38	3.13			
7	X	1900	1.41	1721	681	4.73	2.38	3.13	2128	1374	
	Y	1267		1230	491	3.41	1.68	2.21			
	Z	2400		2256	861	5.98	3.29	4.33			
8	X	2400	1.41	2256	861	5.98	3.29	4.33	2346	1499	
	Y	1600		1594	656	4.56	2.47	3.25			
	Z	2600		3016	952	6.61	> 15.3	> 20.1			
9	X	2600	2.0	3016	952	6.61	> 15.3	> 20.1	9908	9948	せん断破壊
	Y	1733		1938	723	5.02	> 15.3	> 20.1			

c) CASE 3

Run	入力軸	目標最大入力加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	時間軸	振動台最大 実現加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大応答値						備考
					せん断力, 軸力 Q, N (kN)	応力度 σ, ν (N/mm <sup>2</sup> )	変位 (mm)	変形角 R (×10 <sup>-3</sup> )	縦筋歪み (μ)	横筋歪み (μ)	
1	X	100	1	103	71	0.58	0.10	0.13	68	20	
2	X	100	1	105	71	0.58	0.09	0.12	88	22	
	Y	67		76	42	0.34	0.07	0.09			
	Z	50		60	412	1.68	0.07	-			
3	X	300	1	295	133	1.09	0.21	0.28	282	51	
	Y	200		206	123	1.00	0.17	0.22			
	Z	150		153	534	2.18	0.08	-			
4	X	900	1	1043	351	2.87	1.01	1.33	986	742	曲げ及びせん断ひび割れ確認
5	X	900	1	909	390	3.19	1.58	2.08	1332	989	
	Y	600		1559	363	2.97	1.31	1.72			
	Z	450		750	834	3.41	0.47	-			
6	X	1100	1.41	1096	463	3.78	2.27	2.99	1931	1188	コーナー部縦筋引張降伏
	Y	733		747	363	2.97	1.62	2.13			
	Z	900		1173	540	4.41	2.60	3.42			
7	X	1450	1.41	1511	558	4.56	3.27	4.30	2472	1470	開口補強筋引張降伏(縦横共)
	Y	967		994	442	3.61	2.51	3.30			
	Z	2000		2835	726	5.93	> 18.9	> 24.9			
9	X	2000	2.0	2835	726	5.93	> 18.9	> 24.9	9907	9888	せん断破壊
	Y	1333		1903	564	4.61	> 19.0	> 25.0			

### 3.3 慣性力 - 変位関係

各 CASE の実験結果から得られた X 軸, Y 軸の応答慣性力と応答変位の関係を Fig. 5 に示す。

CASE 1 (無開口, 1 方向入力) では, 曲げひび割れが確認された Run3 ではやや膨らんだループを, Run4 ではやや逆 S 字型のループをそれぞれ示しており, 履歴ループの形状からもひび割れの進展状況が伺える。その後 Run6 においてフランジ壁縦筋の引張降伏が判断されたが, 試験体の損傷の進行に伴い逆 S 字型のループ形状が顕著となっていき様子がわかる。最終破壊に至った Run11 では, 最大耐力点以降にも耐力低下をしながら数回の履歴ループを繰返し描く状況が示されている。

CASE 2 (無開口, 2~3 方向入力) では, 入力波の強軸である X 軸の方が Y 軸よりも大きな応答を示しているが,

損傷の進行によるループ形状の進展状況に関しては CASE 1 と比べて大きな違いは見られなかった。

CASE 3 (有開口, 1~3 方向入力) に関しては, 偏心によるねじれ振動の影響を検討するため, 水平面上での各壁の中央位置(A 点~D 点)にそれぞれ対応する応答加速度と応答変位の関係を Fig. 5 に示している。CASE 3 Run6 のループでは, 同じ X 軸(または Y 軸)の最大応答を比較した場合, 有開口壁の C 点(または B 点)よりも, 無開口壁の A 点(または D 点)の方が最大応答加速度, 最大応答変位ともに大きくなった。この傾向は CASE 3 の他の Run でも見られており, 動的なねじれ振動によって, 剛性・耐力の高い無開口壁側の方が, 剛性・耐力の低い有開口壁側よりも最大応答変位が大きくなる場合があることが示された。

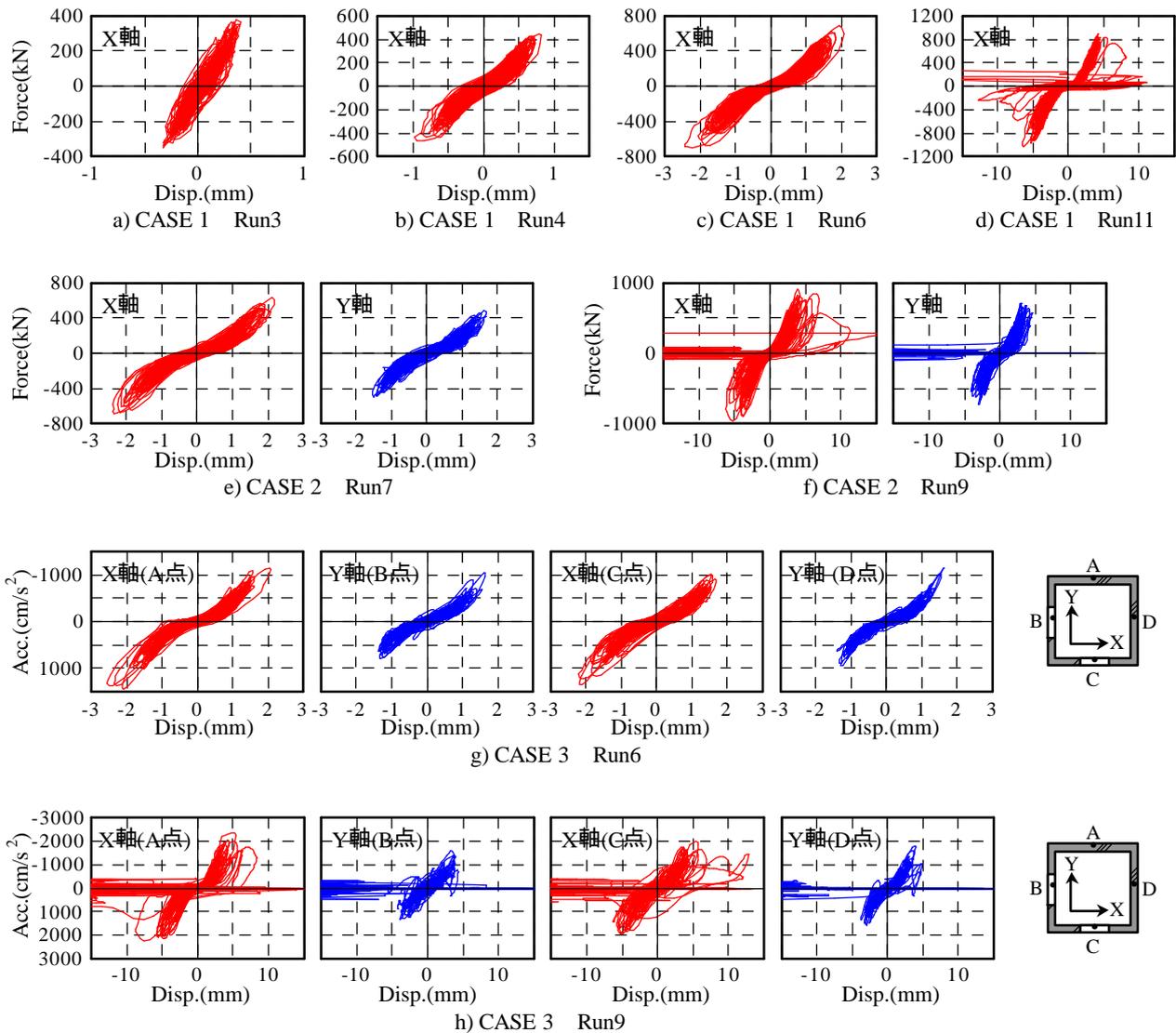


Fig. 5 慣性力 - 変位関係  
Inertia Force - Displacement Relationship

### 3.4 応答変位オービット

実験 CASE 2 の水平 2 方向入力時の応答変位オービットを Fig. 6 に示す。水平方向(X 軸 - Y 軸)のオービットは、概して X 軸を長辺とする矩形内にオービットの外形が収まる様な性状を示した。上下方向(X 軸 - Z 軸)のオービットは、試験体の損傷の進行に伴いすり鉢状のオービットを描く傾向が見られた。

### 3.5 固有振動数

各 CASE, 各 Run の地震波加振終了後に White Noise 100cm/s<sup>2</sup> 入力による固有値検索加振を行った。固有値検索加振により得られた基礎スラブ - トップスラブ間の応答加速度の伝達関数から求めた, X, Y, Z および Z 軸方向に関する試験体の固有振動数を Fig. 7 に示す。グラフの横軸は X 軸方向の経験最大変形角で表しており, 地震波加振による損傷の進行に伴って試験体の固有振動数が低下していく様子がわかる。

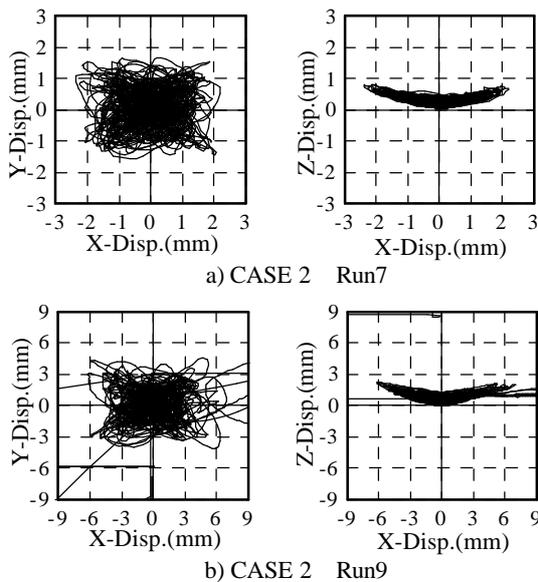


Fig. 6 応答変位オービット  
Orbit of Response Displacement

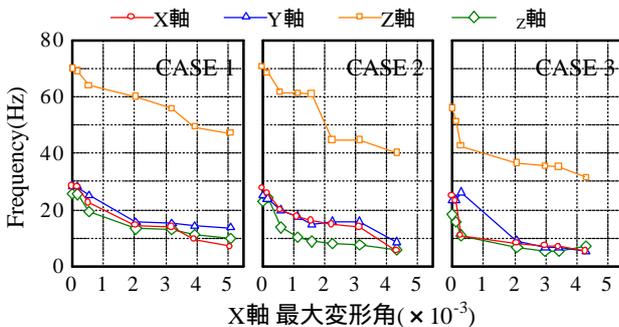


Fig. 7 固有振動数の比較  
Comparison of Natural Frequency

### 3.6 包絡線の比較

各 CASE, 各 Run の XY 各軸, 正負両側についての変形更新時の応答加速度 - 変形角の包絡線を Fig. 8 に示す。各 CASE とも, 包絡線のピーク点近傍から正負で性状が異なってくる傾向を示した。また CASE 2, CASE 3 では入力波の弱軸(Y 軸)の方が最大加速度, ピーク時変形とともに強軸(X 軸)よりも小さくなった。さらに, トラス理論に基づくマクロモデル解析<sup>8)9)</sup>により算定した各 CASE の最大耐力を Fig. 8 に併せて示す。CASE 3 では等価開口周比を用いて無開口時の耐力を低減した場合も示す。各 CASE とも解析値は X 軸の実験結果とほぼ対応している。

試験体の最大耐力以降の挙動を検討するため, 包絡線の最大加速度点以降にピーク値の 80% 以上の加速度を維持できた限界点を Fig. 8 に併せて示し, 一覧を Table 5 に示す。無開口試験体(CASE 1, CASE 2)の X 軸正負両側についてのピーク時変形角の平均値は  $R=6.44 \times 10^{-3}$ , 80% 限界変形角の平均値は  $R=8.20 \times 10^{-3}$  であった。

CASE 1, CASE 2 の XY 各軸についてのせん断応力度 - 変形角の包絡線を Fig. 9 に示す。は各軸の応答せん断力をウェブ壁断面積で除して求めた。ただし各 CASE で試験体の材料強度が異なるため, マクロモデル解析で求めた CASE 1 と CASE 2 の最大耐力の比を CASE 2 の X 軸, Y 軸の に乗じることにより包絡線を基準化して比較を行った。Fig. 9 より, CASE 2 では Y 軸の の最大値が X 軸と比べて低下しているが, X 軸方向に関しては CASE 1 と CASE 2 で の最大値に大きな違いは見られなかった。本実験では X 軸と Y 軸の入力比率が 3 : 2 であり, X 軸と Y 軸で入力波の位相特性に相関を持たせていないため, CASE 1 と CASE 2 で X 軸の包絡線に差異が生じなかったものと推察される。また, 既往の静的加力試験結果<sup>34)</sup>(SD-08-00 試験体)を, マクロモデル解析により を基準化して Fig. 9 に併せて示すが, 本実験結果と SD-08-00 の包絡線はおおむね対応しているといえる。

水平 2 方向入力の相関関係を検討するため, CASE 2 全 Run の X 軸 - Y 軸の慣性力オービットを Fig. 10 に示す。Q<sub>x</sub>, Q<sub>y</sub> は, CASE 2 実験結果の X 軸, Y 軸の慣性力をマクロモデル解析により算定した最大耐力比で基準化した慣性力である。また Q<sub>xu</sub> は CASE 1 実験結果の X 軸の最大耐力であり, Q<sub>xu</sub>=Q<sub>yu</sub> である。Q<sub>x</sub>, Q<sub>y</sub> をそれぞれ Q<sub>xu</sub>, Q<sub>yu</sub> で除して無次元化し, 得られたオービットを正負両側とも絶対値をとりグラフの第 1 象限に示している。また式(1)で表される円弧状の耐力曲面を併せて示す。

$$(Q_x / Q_{xu})^2 + (Q_y / Q_{yu})^2 = 1 \quad (1)$$

Fig. 10 より, 2 方向入力時の慣性力オービットのベクトル最大点は式(1)の耐力曲面の近傍にあり, わずかに曲面の外側に達する結果が示された。

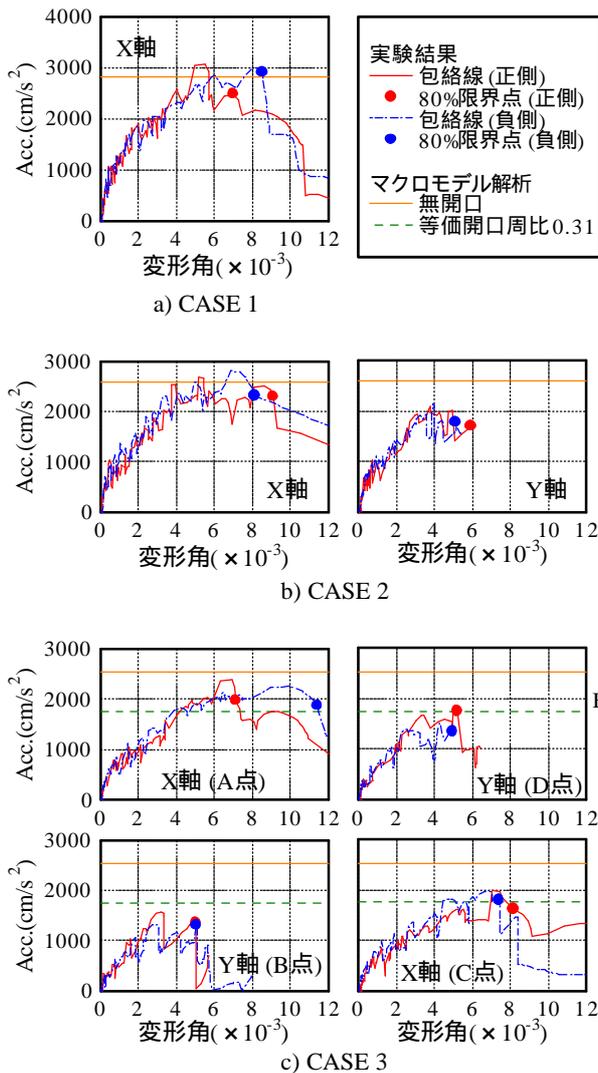


Fig. 8 応答加速度 - 変形角関係の包絡線  
Skeleton Curve of Acceleration - Rotation Angle Relationship

Table 5 応答加速度ピーク点一覧  
Maximum Acceleration Response Points

実験	軸	測点 符号	応答加速度ピーク点		80% 限界点 R (× 10 <sup>-3</sup> )
			Acc. (cm/s <sup>2</sup> )	R (× 10 <sup>-3</sup> )	
CASE 1	X	中央正	3071	5.48	6.99
		中央負	3009	8.25	8.54
CASE 2	X	中央正	2691	5.19	9.11
		中央負	2810	6.84	8.14
	Y	中央正	2089	3.79	5.92
		中央負	2133	3.88	5.12
CASE 3	X	A点正	2378	6.97	7.16
		A点負	2259	9.93	11.44
		C点正	1991	7.00	8.16
		C点負	1969	6.79	7.39
	Y	B点正	1577	3.20	5.05
		B点負	1346	5.08	5.08
		D点正	1819	5.14	5.19
		D点負	1517	4.28	4.95

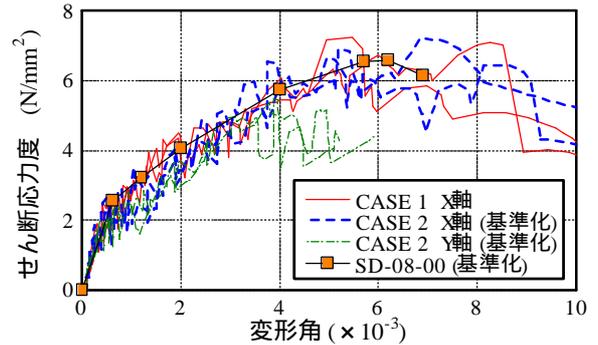


Fig. 9 せん断応力度 - 変形角関係  
Comparison of Shear Stress - Rotation Angle Relationship

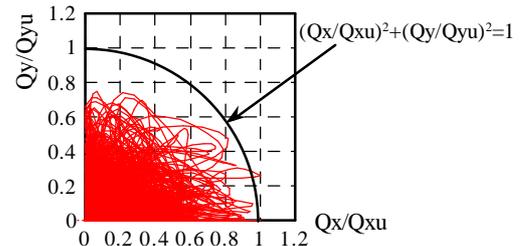


Fig. 10 水平 2 方向入力的相关関係(CASE 2)  
Correlation of Horizontal Bi-directional Input

#### 4. 振動台波形再現性の検討

振動台による加振波形の再現精度を検証するため、各 CASE 実験結果から得られた振動台の実現加速度、基礎スラブ上面の応答加速度、および目標波それぞれの加速度応答スペクトル(h=0.05)の比較を Fig. 11 に示す。

1 方向入力の CASE 1 では、Run1(弾性時)、Run6(壁フランジ縦筋引張降伏時)、Run9(大変形時)と、全般にわたり比較的精度良く目標波を再現できており、逆伝達関数を用いた事前の試加振による入力補償と「適応フィルタ」によるリアルタイム制御の有効性が確認できる。ただし、ひび割れが多く発生した Run3 では、目標波と比較して大きく持ち上がったスペクトルのピークを示した。これは、試験体の剛性が高くかつ重量が振動台最大積載重量の約 80%と重いため、リアルタイム制御が加振中の試験体の大きな剛性変化に十分には対応しきれず、入力波形の加振精度が低下したと考えられる。

2 方向入力の CASE 2 Run6、および CASE 3 Run6 でも比較的精度良く入力波を再現できており、本実験の条件下では 1 方向入力時と 2 方向入力時で入力波形の再現性に大きな違いはないといえる。CASE 3 Run3 の Z 軸方向のスペクトルを見ると、振動台実現加速度は目標波とほぼ一致しているが、基礎スラブ上面加速度は大きく持ち上がったピークを示しており、これは上下方向の加振によりトップスラブの振動が励起され、基礎スラブ上面までその振動が伝達したものと推察される。

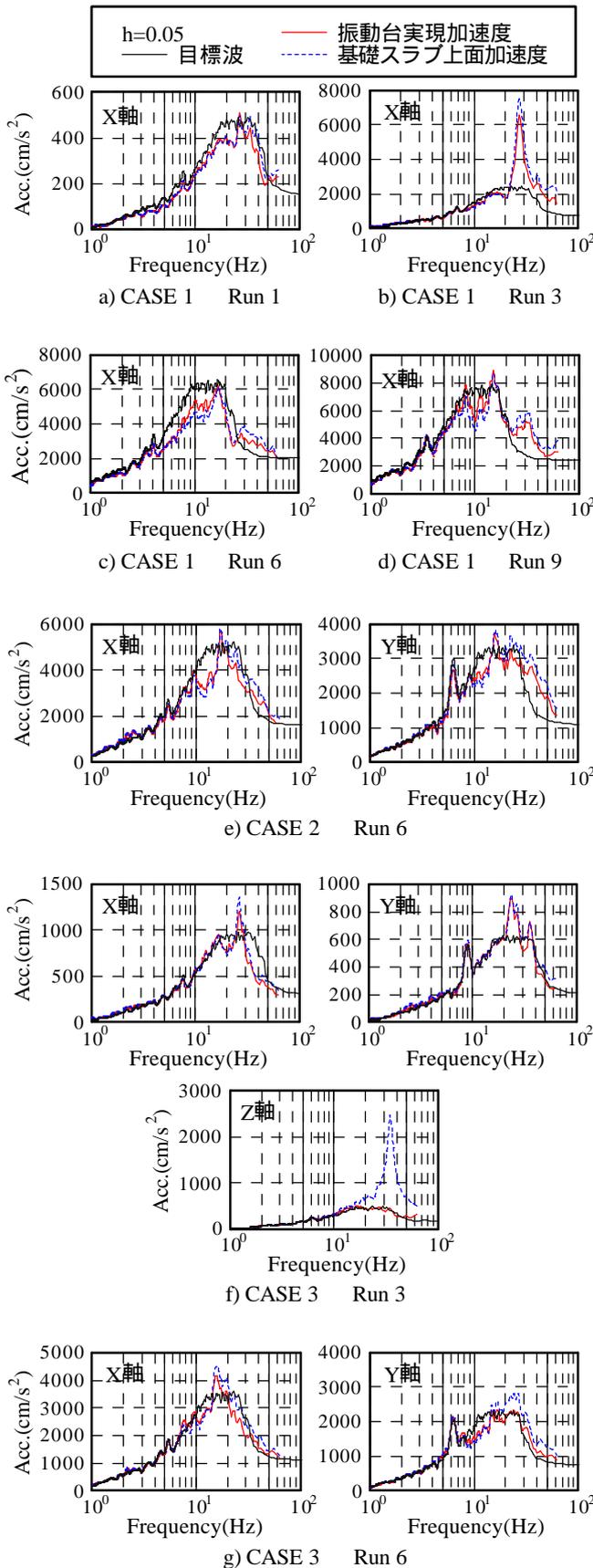


Fig. 11 加速度応答スペクトルの比較  
Comparison of Acceleration Response Spectra

## 5. まとめ

3体のRCボックス耐震壁試験体に対して、地震動の入力方向と開口の有無をパラメータとした振動台実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 地震動の入力方向と開口の有無による試験体の損傷・破壊状況の違いを把握できた。
- 2) 基準化したせん断応力度 - 変形角関係の包絡線を X 軸・Y 軸で個別に比較した場合、1 方向地震入力時と比べて 2 方向入力時には、入力波の弱軸(Y 軸)方向の最大せん断応力度は低下したが、強軸(X 軸)方向の包絡線には大きな違いは見られなかった。
- 3) 振動台リアルタイム制御システム「適応フィルタ」の使用により、入力波を比較的精度良く再現可能であることが確認できた。

今後も実験結果の検討を継続して行い、FEM 解析等により多次元地震入力を受ける RC 耐震壁の弾塑性力学挙動を定量的に評価していく方針である。

## 参考文献

- 1), 2) 勝俣英雄, 此上典文: 技術紹介 三次元振動台の紹介(その 1, その 2), 大林組技術研究所報, No.66, pp.113-120, (2003)
- 3) 鳥田晴彦, 西川孝夫, 斎藤秀人, 石川祐次, 北田義夫: 斜め加力による RC ボックス型耐震壁の復元力特性(その 1 試験の概要), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, pp.865-866, (1998)
- 4) 持田哲雄, 瀧口克己, 斎藤秀人, 神野靖夫, 桐内直樹: 斜め加力による RC ボックス型耐震壁の復元力特性(その 2 試験結果および結果の検討), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, pp.867-868, (1998)
- 5) 三谷一房, 小川晴果, 津田和明, 勝俣英雄, 川口徹: タイル剥落防止工法の耐震性能(その 2), 大林組技術研究所報, No.64, pp.13-18, (2002)
- 6) Dozono, Y., Katsumata, H. and Konno, T.: Improvement of Shaking-Table Control by Real-Time Compensation of the Reaction Force Caused by Non-Linear Specimen, PVP-Vol.428-1, Vol.1, ASME, pp.247-255, (2001)
- 7) 堂蘭美礼, 堀内敏彦, 今野隆雄: 適応フィルタによる振動台制御性能の向上(第 1 報 補償原理と補償器設計の指針), 日本機械学会論文集(C 編)67 巻 664 号, pp.125-131, (2001)
- 8), 9) 津田和明, 高田香織: 鉄筋コンクリート造耐震壁の復元力特性の評価に関する研究(その 2, その 3), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, pp.367-370, (1999)