

報告 鉄筋コンクリート造実大6層壁フレーム構造の震動実験に基づく 加速度応答性状

白井 和貴^{*1}・松森 泰造^{*2}・壁谷澤 寿海^{*3}

要旨：本報では、実大三次元震動破壊実験施設Eーディフェンスを用いて鉄筋コンクリート造実大6層壁フレーム試験体を対象として実施された震動実験に基づき、実験における加速度の計測計画について述べる。また、実験結果から得られた試験体各部の加速度応答性状(時刻歴波形, オービット, 層方向の最大値分布, 最大値の応答倍率)に関して報告する。

キーワード：振動台, Eーディフェンス, 地震応答, 加速度分布, 加速度応答倍率

1. はじめに

文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅡ(震動台活用による建造物の耐震性向上研究)」の一環として、独立行政法人防災科学技術研究所の実大三次元震動破壊実験施設(Eーディフェンス)にて2006年1月に実大6層鉄筋コンクリート建物の震動実験が実施された¹⁾。

本報では、実験における加速度の計測計画について述べ、実験結果から得られた試験体各部の加速度応答性状について報告する。

2. 試験体および加振の概要

試験体は、平面2×3スパン、6層、実大スケールの鉄筋コンクリート造壁フレーム構造である。平面的には比較的単純なプランであるが、連層耐震壁、腰壁付き短柱、純フレーム、袖壁などの種々の構造要素を設けていることが特徴である。試験体詳細、実験計画および結果概要については文献^{2), 3)}を参照されたい。

加振はEーディフェンスにて実施した。入力地震動は、1995 JMA Kobe 波を水平方向に45度回転した目標波形を用い、入力倍率を係数倍して三次元加振を行った。主要な加振のプログラムを表-1に示す。Yは試験体平面における長手方向、Xはその直交方向、Zは上下方向である。

表-1 主要な加振プログラム

加振番号	入力倍率	振動台の各方向の実現最大加速度 (cm/sec ²)			目標応答
		X	Y	Z	
1	5%	X: 30.7	Y: 46.9	Z: 19.1	弾性
2	10%	X: 78.5	Y: 91.6	Z: 39.1	ほぼ弾性
3	25%	X: 197	Y: 299	Z: 94.6	ひび割れ
4	50%	X: 343	Y: 474	Z: 186	降伏
5	100%	X: 630	Y: 1140	Z: 345	破壊
6	60%	X: 311	Y: 540	Z: 193	余震

3. 加速度の計測計画

振動台テーブル上、試験体の基礎梁上および各階の床上に、計204chのサーボ型加速度計を設置し、各箇所絶対応答加速度を計測した。加速度計の設置方法は、まずセンサー本体を鋼製プレートにねじ止めし、鋼製プレートをコンクリート表面に対して接着材により固定した。さらに、飛散物から保護するための鋼製防護カバーを、加速度計を覆うように設置した。なお、振動台に搭載されている制御用加速度計のデータについても併せて計測を実施した。

加速度のサンプリング周波数は1kHzとした。本報では、オリジナルの加速度データに0.05Hz~30Hzのバンドパスフィルタ処理を施した加速度データを使用する。

*1 独立行政法人防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 修士(工学)(正会員)

*2 独立行政法人防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター 博士(工学)(正会員)

*3 国立大学法人東京大学地震研究所 地震火山災害部門 教授・工博(正会員)

サーボ型加速度計の設置位置を図-1に示す。各0点は各階平面における計算上の重心位置にほぼ相当しており、以降0点を重心と呼ぶ。各加速度計は、原則として各柱の近傍かつ通り芯

から各階内側へ350mm距離をおいて設置した。

4. 実験結果

4.1 時刻歴加速度

XYZ各方向，加振2および5の，振動台テー

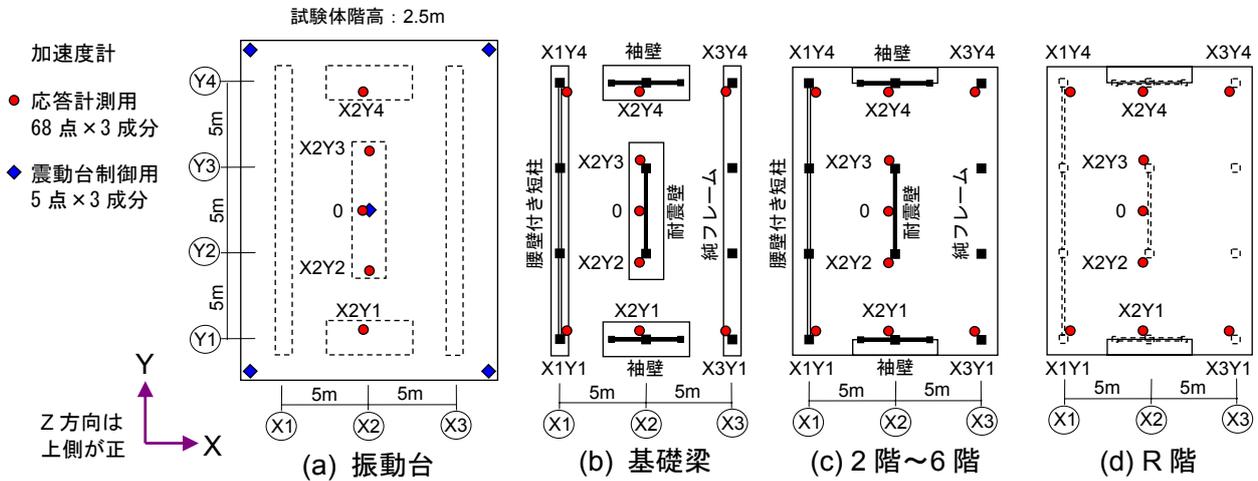
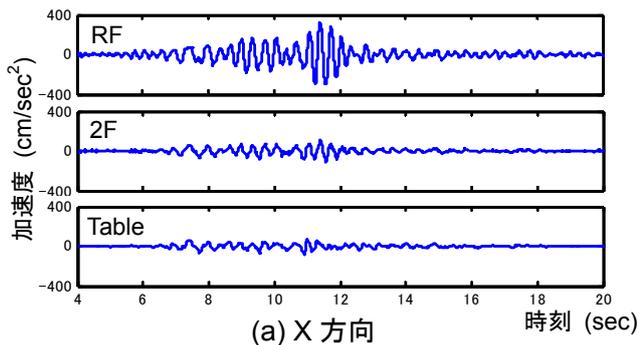
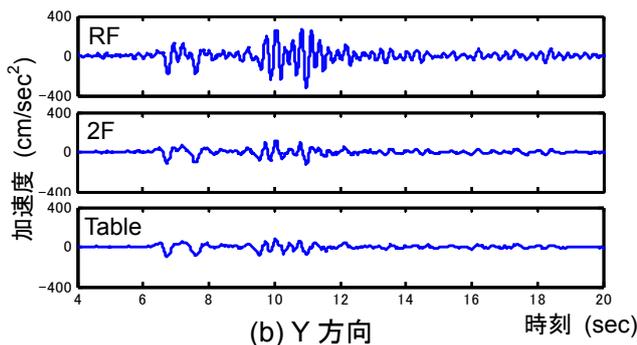


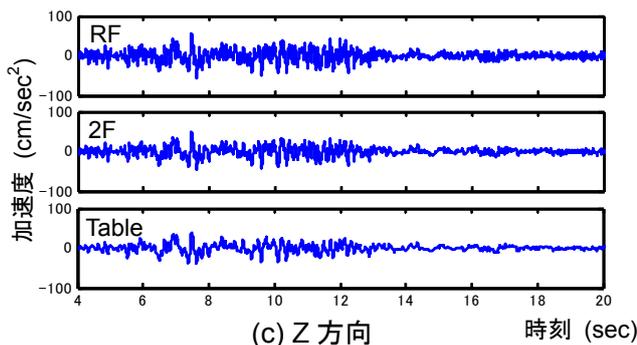
図-1 加速度計の設置位置



(a) X方向

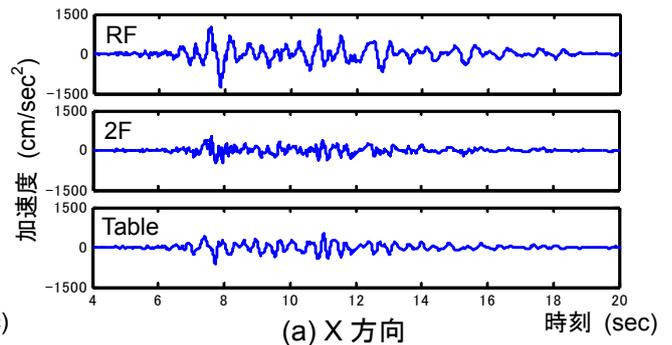


(b) Y方向

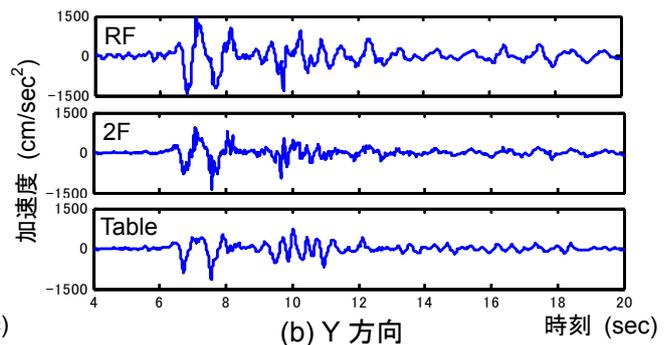


(c) Z方向

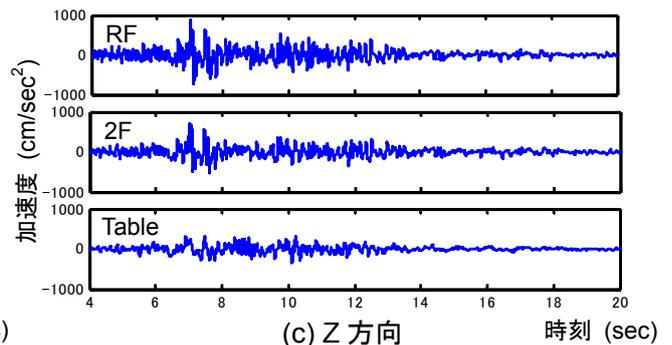
図-2 時刻歴加速度 (加振2 10%入力)



(a) X方向



(b) Y方向



(c) Z方向

図-3 時刻歴加速度 (加振5 100%入力)

ブル中央位置，2 階および R 階床上の重心位置における加速度時刻歴を図-2，図-3 に示す。

水平方向 (X, Y) に関して加振 2 と加振 5 の時刻歴波形をそれぞれ比較すると，入力レベルが小さく試験体が概ね弾性的な挙動を示した加振 2 では，入力波の主要動の後半 (9~12sec 付近) で 2F および RF の応答加速度が徐々に増大し最大値に達している。一方，100% 入力の場合の加振 5 では，入力波の主要動の前半 (6~9sec 付近) において応答加速度がピークに達し，試験体の連層耐震壁および短柱 2 本が 1 層で破壊に至り，以降は応答加速度が頭打ちとなった。

4.2 加速度オービット

加振 2 および加振 5 についての，振動台テーブル中央位置，2 階および R 階床上の重心位置における加速度のオービットを図-4，図-5 に示す。ここで，オービットは X-Y 平面，X-Z 立面，Y-Z 立面についてそれぞれ示した。

加振 2 では，振動台加速度 (Table) のオービットに対し，2F ではほぼ同じか若干上回る程度の応答を示し，RF では応答が大きく増加している。特に，X-Z 立面および Y-Z 立面では水平方向に平坦な形状のオービットを示している。

加振 5 では，2F および RF の X-Z 立面，Y-Z 立面において，加振 2 の場合と比べて乱れた形状のオービットを示しており，加振 5 で連層耐震壁が 1 層脚部で破壊した影響が上下方向の応答に反映されたものと考えられる。

4.3 各階重心における加速度分布

XYZ 各方向，各加振について，振動台テーブル中央位置および各階床上の重心位置における最大加速度の分布を図-6 に示す。ここで，最大加速度は正負それぞれについて示した。

加振 5 では，最大 X 630, Y 1140, Z 345 cm/sec^2 の振動台入力に対して，R 階では X 1251, Y 1433, Z 889 cm/sec^2 の最大応答加速度が計測された。

水平方向 (X, Y) については，加振レベルが小さいほど各層の最大加速度が比較的直線的な分布を示しているのに対し，加振が進行し応答レベルが大きくなると非線形な分布形状を呈し

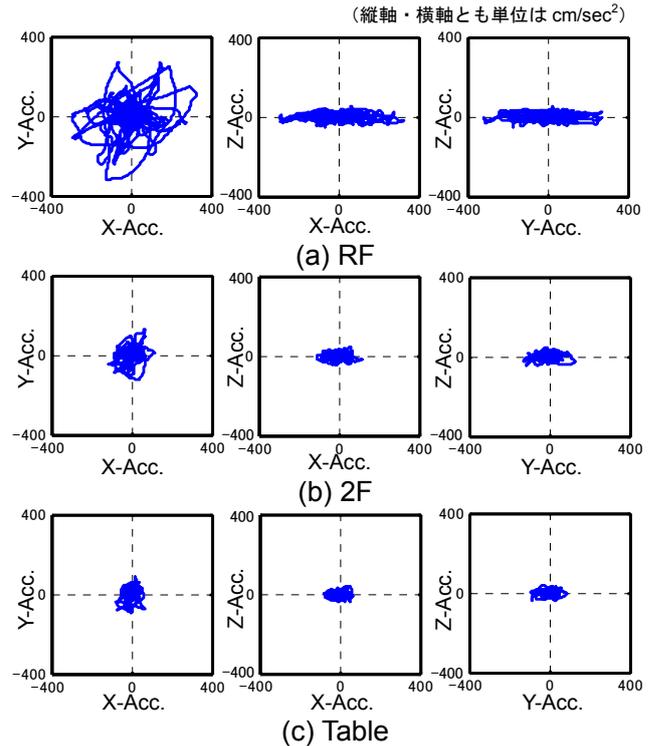


図-4 加速度オービット (加振 2 10%入力)

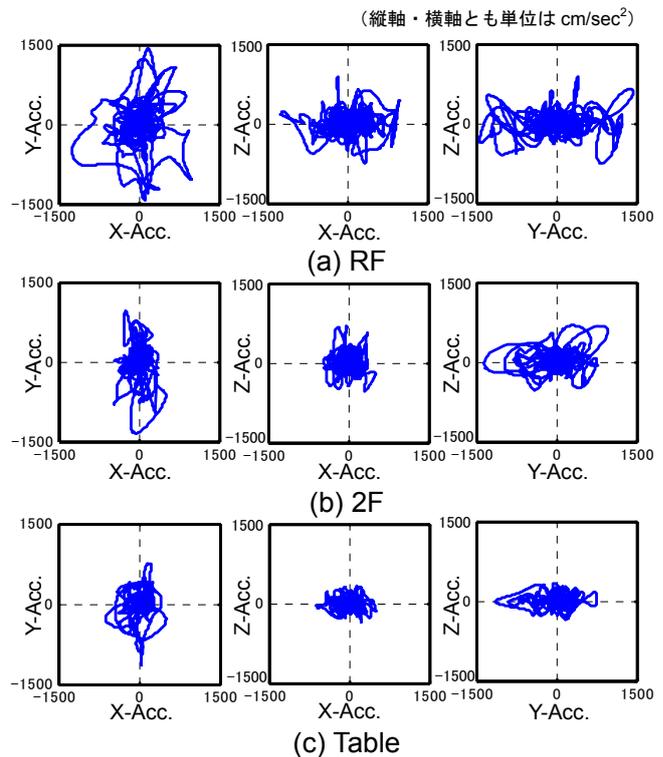


図-5 加速度オービット (加振 5 100%入力)

ている。特に，1 層の耐震壁と短柱が破壊した加振 5，およびその後の加振 6 では，最大加速度がいびつな分布形状を示しており，下層の損傷が急激に進展したことで層剛性の上下方向の分布

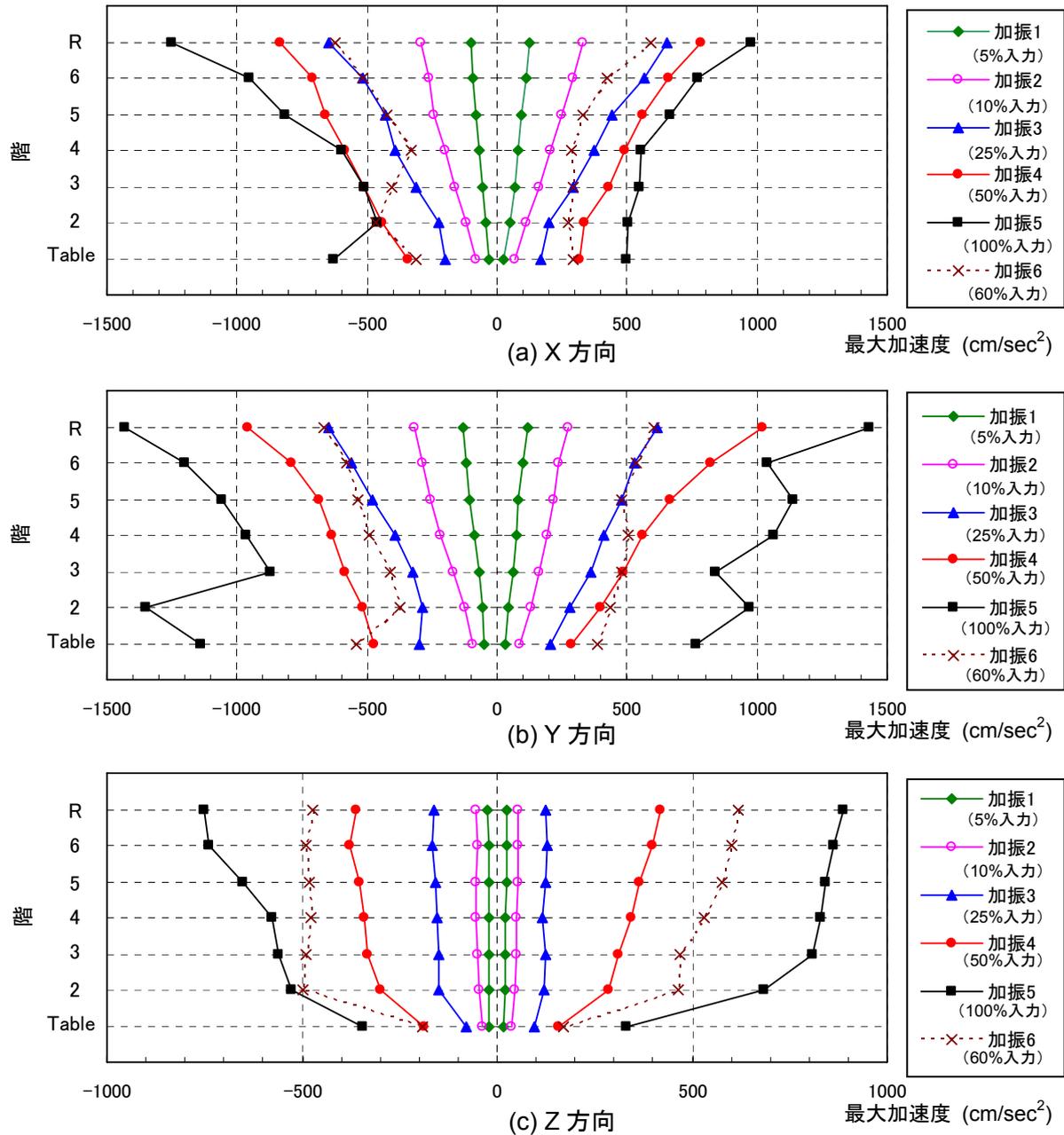


図-6 各階重心位置の最大加速度

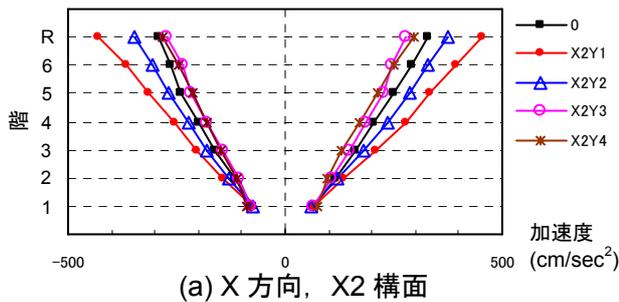
が不連続になったためと考えられる。

上下方向 (Z) については、振動台から2階の間における最大加速度の変化が著しく、上層では最大加速度の変化が比較的緩やかであり、水平方向の場合と比べて異なる性状を示した。これは、水平方向では層せん断モードと全体曲げ・回転モードが合算されるため上層ほど大きな加速度が生じやすいのに対し、上下方向では大きな水平力とモーメントを負担する連層耐震壁の1層脚部に損傷が集中し1層の鉛直剛性が顕著に低下したことが一因と考えられる。

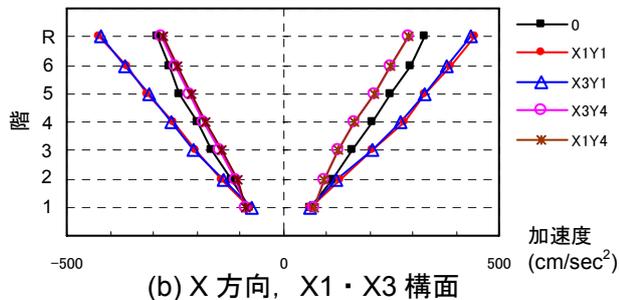
4.4 平面各位置における加速度応答

水平 X, Y 方向の加振2および加振5について、各階床の平面各位置 (図-1 参照) における最大加速度の分布を図-7, 図-8 に示す。ここで、最大加速度は正負それぞれについて示し、縦軸の1階は基礎梁上面での加速度を表す。

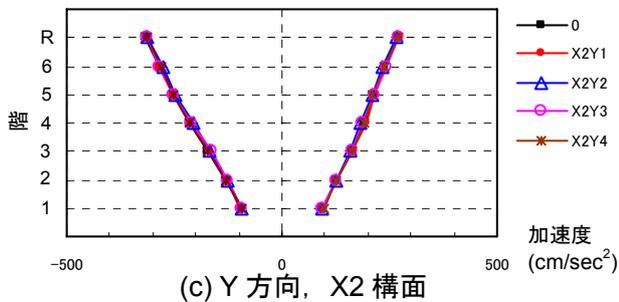
加振レベルの小さい加振2 (10%入力) については、図-7 (c)より、連層耐震壁のある X2 構面の各計測点 (0, X2Y1, X2Y2, X2Y3, X2Y4) が Y 方向についてほぼ同じ最大値を示していることが確認できる。



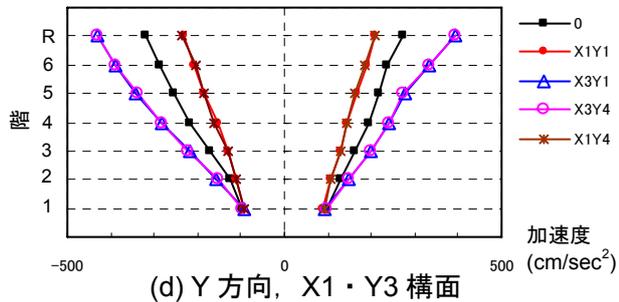
(a) X方向, X2 構面



(b) X方向, X1 · X3 構面



(c) Y方向, X2 構面

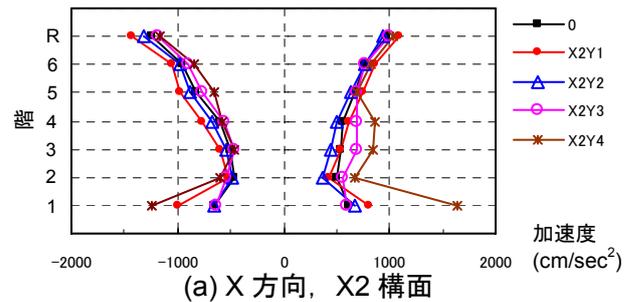


(d) Y方向, X1 · Y3 構面

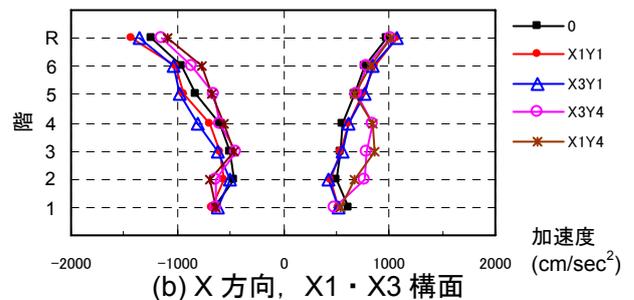
図-7 各階の最大加速度 (加振 2 10%入力)

一方、図-7 (d)より、純フレームの X3 構面 (X3Y1, X3Y4) の最大加速度が、腰壁付き短柱の X1 構面 (X1Y1, X1Y4) と比べて2階以上で約 1.4~1.9 倍ほど大きな値を示しており、偏心によるねじれ応答が生じたことが認められる。同様のねじれは図-7 (a), (b)からも見受けられる。試験体の各構造要素は X 方向に関して平面的に左右対称であり、主に Y 方向に関する偏心によりねじれ振動が発生したと考えられる。

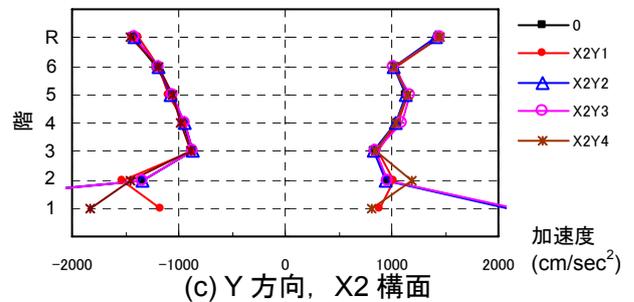
加振レベルの大きい加振 5 (100%入力、図-8) では、最大加速度から見られるねじれは加振 2 と比べてやや不明瞭な分布を示した。この要因



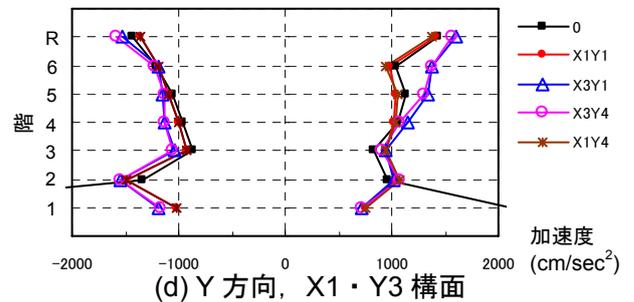
(a) X方向, X2 構面



(b) X方向, X1 · X3 構面



(c) Y方向, X2 構面



(d) Y方向, X1 · Y3 構面

図-8 各階の最大加速度 (加振 5 100%入力)

の一つに、Y1 · Y4 構面の袖壁の損傷が X1 短柱や X2 耐震壁の損傷と比べて相対的に少なく、袖壁がねじれを抑制する働きをしたものと推察される。なお、加振 5 で 1 階 (基礎梁) の加速度が極めて大きい値を示しているのは、耐震壁が破壊した際の影響を受けたものと考えられる。

4.5 加速度応答倍率

XYZ 各方向について、各加振の加速度応答倍率の推移を図-9 に示す。ここで、正側と負側の応答倍率は、R 階床重心位置の最大加速度を振動台テーブル中央位置の最大加速度で除して求めた。また絶対値の応答倍率は、R 階加速度の

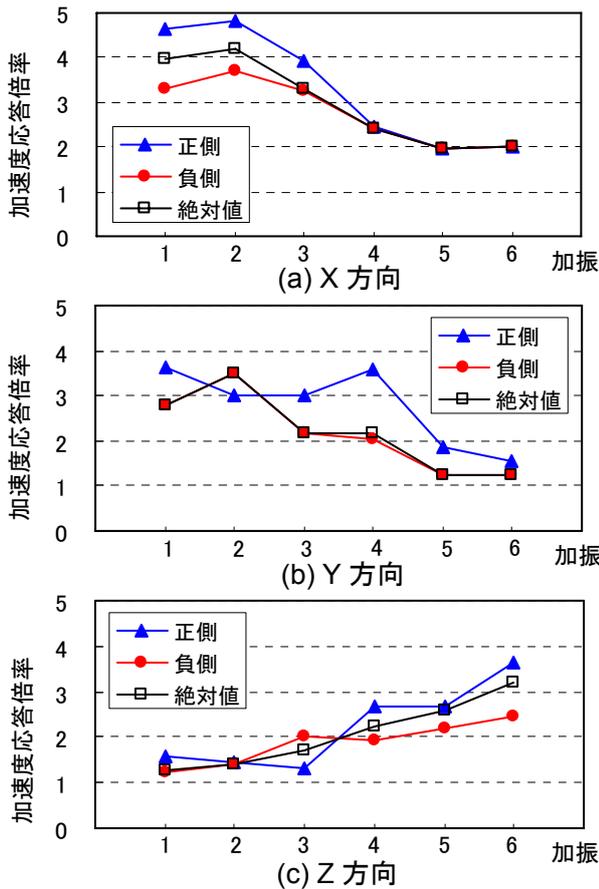


図-9 加速度応答倍率の推移

正負絶対値の最大値を、振動台加速度の正負絶対値の最大値で除した値とした。

加振を重ね試験体の損傷が進展するのに伴い、水平方向 (X, Y) については概して加速度応答倍率が低下し、一方上下方向 (Z) については応答倍率が徐々に増大する傾向を示した。

この一因として、試験体の振動特性の変化と入力地震動のスペクトル性状との関係が考えられる。目標入力波の加速度応答スペクトルを図-10に示す。また、ランダム波 30cm/sec^2 加振から求めた試験体の1次固有周期は、加振1前は X 0.315, Y 0.250, Z 0.045sec, 加振6前は X 0.529, Y 0.699, Z 0.130secであった³⁾。これより、試験体の損傷が進み長周期化する過程において、上下方向は入力波の卓越周期に向かう上り坂の状況にあり、水平方向は 0.3~0.5sec 付近のスペクトルのピークを短周期側から通過したことがわかる。更なる検討のためには、地震波加振の最大応答時の周期や減衰の評価が必要といえる。

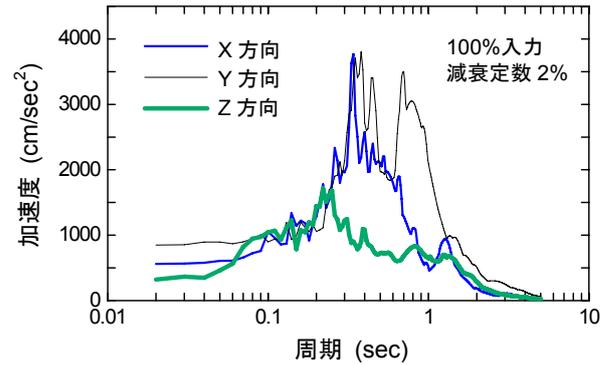


図-10 目標入力波の加速度応答スペクトル

5. まとめ

本報では、実大三次元震動破壊実験施設 E-ディフェンスを用いて実施された、鉄筋コンクリート造実大6層壁フレーム試験体の加振実験に基づき、加速度の計測計画について述べた。また、実験で得られた試験体各部の加速度応答性状 (時刻歴波形, オービット, 層方向の最大値分布, 最大値の応答倍率) について報告した。

謝辞

実験計画にあたり大大特鉄筋コンクリート建物実験委員会の関係各位にご助言を頂き、計測実施は震動実験総合エンジニアリング株式会社に請け負って頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 文部科学省, 防災科学技術研究所: 大都市大震災軽減化特別プロジェクトII 震動台活用による建造物の耐震性向上研究 (平成 17 年度) 成果報告書, 2006
- 2) 松森泰造, 壁谷澤寿海, 白井和貴, 勝俣英雄: 鉄筋コンクリート造実大6層壁フレーム構造の震動実験概要, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.409-414, 2006.6
- 3) 松森泰造, 白井和貴, 壁谷澤寿海: 大型振動台による鉄筋コンクリート耐震壁フレーム構造の耐震性に関する研究- 実大6層試験体と3次元振動台実験結果の概要 -, 日本建築学会構造系論文集, No.614, pp.85-90, 2007.4