

地震時損傷評価のための強震計による中層 RC 造建築物の復元力特性評価

復元力特性 損傷	層間変形 強震計	実大震動台実験 RC 造	正会員	○海野元伸* <sup>1</sup>	同	飛田潤* <sup>2</sup>
			同	福和伸夫* <sup>3</sup>	同	長江拓也* <sup>4</sup>
			同	松森素造* <sup>4</sup>		

1. はじめに

著者らはこれまでに、実在建築物の適切な振動システムの同定や耐震性能の把握、リアルタイムな損傷検知・評価システムへの適用に向けて、主に強震計を用いた建築物の復元力特性評価に関する研究を進めてきた<sup>1)2)</sup>。文献 1)では、S 造超高層建築物を模擬した試験体の実大震動台実験から、各層の復元力特性を求め、損傷に伴う層剛性の低下が明確に捉えられることを実証している。文献 2)では、実在する PCaPC 造 7 階建て建築物を対象に、弾性域における層剛性と地盤ばねの評価を実施している。

これらの既往の研究を受けて、本稿では実在建築物の非線形復元力特性と損傷の評価に向けた基礎資料の取得を目的として、2010 年末に実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)で実施された中層 RC 造建築物の実大震動台実験<sup>3)4)</sup>で得られた計測記録を分析する。

2. 試験体及び震動台実験の概要

写真 1 に試験体の設置状況を示す。本実験では、鉄筋コンクリート造建築物(RC 試験体)と、プレストレストコンクリート造建築物(PC 試験体)が震動台上に並列して固定され、同時加震が実施された。両試験体は形状がほぼ等しい 4 層骨組である。図 1 に試験体の形状を示す。長辺方向(14.4m)は 2 スパンの純ラーメン構造で、短辺方向(7.2m)は外構面の中央に柱型の無い連層耐震壁を有する。各階高は 3m である。計測は、代表機関が柱・梁・壁・接合部の変形や鉄筋の歪、層間変形、床加速度などの他、各部のビデオ収録を含めた全 679ch の計測体制を構築している<sup>4)</sup>。一方で著者らは、実在建築物に適用することを想定して、3ch 普及型サーボ加速度計(強震計)を主として用い、図 1 に示すように、計 10 台を両試験体の各階床に設置し、独自の計測体制を構築した。収録は強震計毎に独立して実施し、所定のトリガーレベル(10cm/s<sup>2</sup>)に達した際に開始する設定とした。各波形記録は分析上支障の無いように、タイムスタンプ及び位相ずれを直線補正する方法を用いて時刻同期を行った。

表 1 に加震リストを示す。入力地震動は JMA 神戸波と JR 鷹取波の 2 波を用い、試験体の損傷及び変形を段階的に大きくするように振幅倍率が設定された。各地震波間には、試験体の固有振動数を確認する目的で、弱振幅のホワイトノイズ加振が実施された。

3. 試験体の基本的振動性状と損傷による変遷

本稿では RC 試験体に着目し、損傷の著しかった wn005

以降の記録について述べる。図 2 にホワイトノイズ加振(wn005, wn006)により得られた 1 階(1F)に対する屋上階(RF)の伝達関数を示す。いずれの成分も JMA 神戸波 100%(kb100)の加震後でピーク振動数に 4 割程度の低下が見られ、特に上下成分でも 10Hz 超から約 8.5Hz まで低下している。この要因は、柱や壁などの被りコンクリートの剥落によって断面欠損が生じ、上下剛性が著しく低下したためと推定される。

図 3 と図 4 に、wn005 以降のホワイトノイズ加振の記録に対して、SDOF 系の伝達関数カーブフィット法を適用して得られた水平 2 方向の 1 次固有振動数と減衰定数の変遷を示す。地震波を受ける毎に固有振動数は低下傾向、減衰定数は上昇傾向にあり、段階的な損傷が確認できるが、wn006 から wn007 にかけては逆変化である。これは、この間に JMA 神戸波 100%加震で完全に剥落したコンクリートなどを回収したことで、試験体の重量が減少したことが要因と推察される。損傷を把握する際、



写真 1 試験体の設置状況

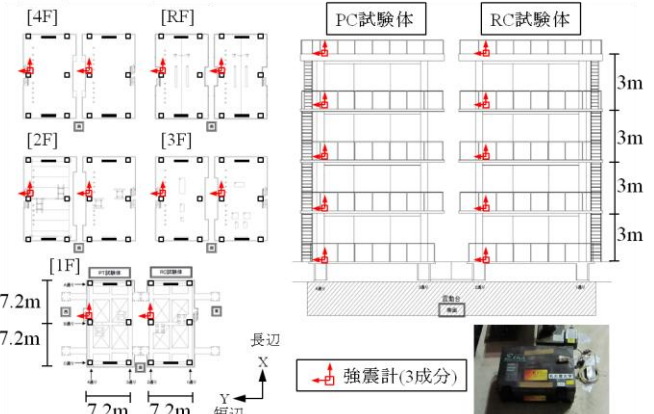


図 1 試験体の形状と観測点配置図

表 1 加震リスト

2010/12/13 (1日目)			2010/12/15 (2日目)			2010/12/17 (3日目)		
No.	Input Wave	Rec.	No.	Input Wave	Rec.	No.	Input Wave	Rec.
1	ホワイトノイズ	wn001	8	ホワイトノイズ	wn005	11	ホワイトノイズ	wn007
2	JMA神戸波 10%	kb010	9	JMA神戸波 100%	kb100	12	JR鷹取波 40%	tk040
3	ホワイトノイズ	wn002	10	ホワイトノイズ	wn006	13	ホワイトノイズ	wn008
4	JMA神戸波 25%	kb025				14	JR鷹取波 60%	tk060
5	ホワイトノイズ	wn003				15	ホワイトノイズ	wn009
6	JMA神戸波 50%	kb050						
7	ホワイトノイズ	wn004						

固有振動数の低下は有益な指標になるが、同時に振幅依存性や P- $\Delta$ 効果の影響も含まれるため、これだけでは具体的な損傷レベルの特定が困難である。よって、復元力特性による剛性変化の把握も併せて評価する必要がある。

#### 4. 地震時の非線形復元力特性と損傷の評価

各層の層せん断力は、その層より上の階に作用する慣性力の和とし、各階質量は文献 3)の値を用いた。層間変形は、上下階の加速度応答の差を取り、高速フーリエ変換を利用した 2 階積分により求めた。その際、長周期成分の誤差を除去するためにローカットフィルタを施す必要があるため、本稿では残留変形の影響を無視している。

ここでは、JMA 神戸波 100%加震時の RC 試験体に着目して述べる。図 5 に水平 2 方向の各層の弾塑性履歴ループと層せん断力の時刻歴波形を示す。この時の 1 層の最

大層間変形(角)は、長辺方向で 9.3cm(0.031rad)、短辺方向で 8.1cm(0.027rad)に達した。各層では、時刻を追う毎に層剛性が低下し、1 サイクルの履歴面積が増大する様子が確認できる。特に 1 層では、地震エネルギーを減じる大きな履歴減衰が生じており、サイクル毎の層せん断力のピーク位置から、塑性化に伴って周期が伸びている。なお、1 層のループ形状は、文献 3)4)とも良い対応を示した。この加震前後のホワイトノイズ加振より、RC 試験体の固有周期は長辺で 0.65 秒から 1.02 秒に、短辺で 0.58 秒から 0.89 秒に伸びたことが確認された。

#### 5. 結論

本実験では、中層 RC 造建築物の復元力特性を明確に捉え、損傷検知・評価に適用可能なことを示した。本成果は、実在建築物の非線形挙動把握に加え、大地震時にお

ける多数の被災建築物の早期損傷診断や応急危険度判定のための有用な資料取得にも繋がると考えられる。

#### 謝辞

本実験は防災科学技術研究所が取り組む耐震工学研究の一環として実施されたものです。実験の際には、多くの関係各位にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 飛田潤他：普及型強震計による高層建物の応答特性と損傷のモニタリング，構造工学論文集 Vol.56B, pp.229-236, 2010.3
- 2) 海野元伸他：高密度観測・強制加振実験に基づく地盤-建物連成系の立体振動性状及び履歴特性評価，構造工学論文集 Vol.57B, pp.239-248, 2011.3
- 3) 長江拓也他：4 階建て鉄筋コンクリート造建築物を対象とした大型振動台実験，日本建築学会構造系論文集，第 76 巻，第 669 号，pp.1961-1970, 2011.11
- 4) 松森泰造他：E-Defense を用いたコンクリート系建物実験 2010/その 1～その 6，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-4, pp.795-806, 2011.8

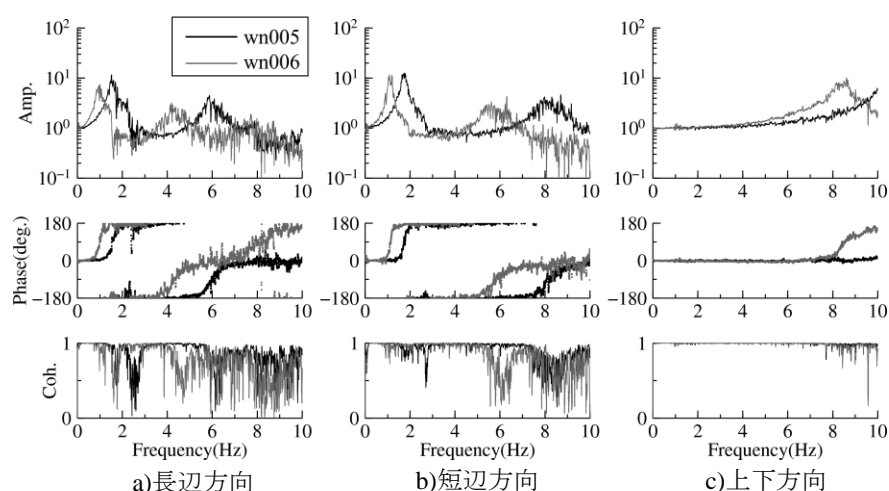


図 2 RC 試験体における RF/IF の伝達関数

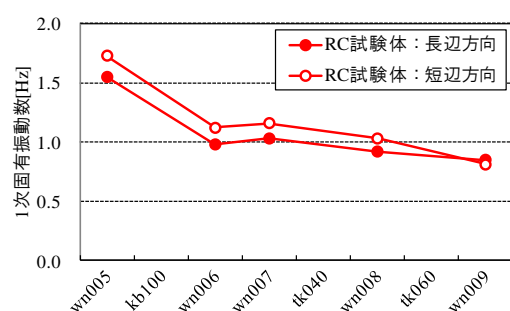


図 3 RC 試験体の 1 次固有振動数の変遷

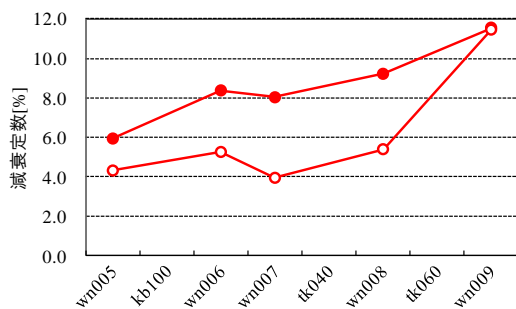


図 4 RC 試験体の減衰定数の変遷

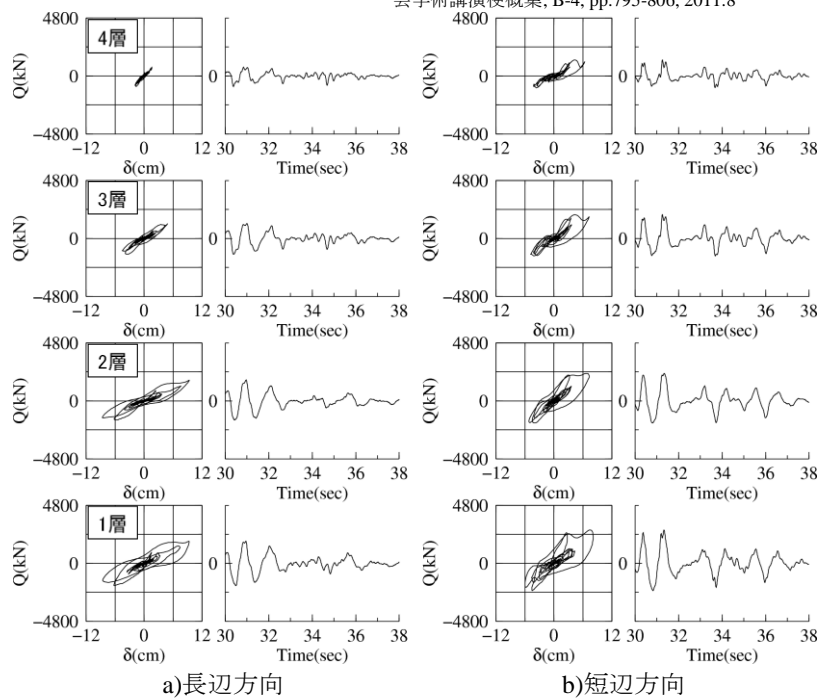


図 5 RC 試験体の履歴ループと層せん断力の時刻歴波形(kb100)

\*1 中部電力(株) (元名古屋大学大学院・大学院生)  
 \*2 名古屋大学災害対策室・教授・工博  
 \*3 名古屋大学減災連携研究センター・教授・工博  
 \*4 独立行政法人防災科学技術研究所・主任研究員・博士(工学)

CHUBU Electric Power Co., Inc.  
 Professor, Disaster Management Office, Nagoya Univ., Dr. Eng.  
 Professor, Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr. Eng.  
 Senior Researcher, Hyogo EERC, NIED, Dr. Eng.