

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¹
同 福和伸夫³
同 松森泰造⁴

同 飛田潤²
同 長江拓也⁴

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^{1,2)}。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る、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、弹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^{3,4)}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⁴⁾。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/s²)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、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、



RC試験体
PC試験体
写真1 試験体の設置状況

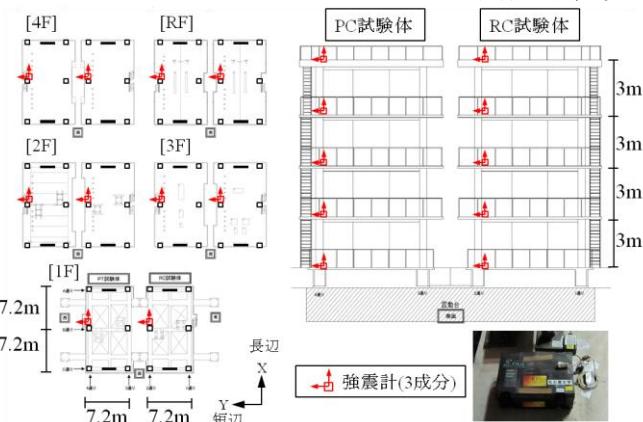


図1 試験体の形状と観測点配置図

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%	kb10	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-△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

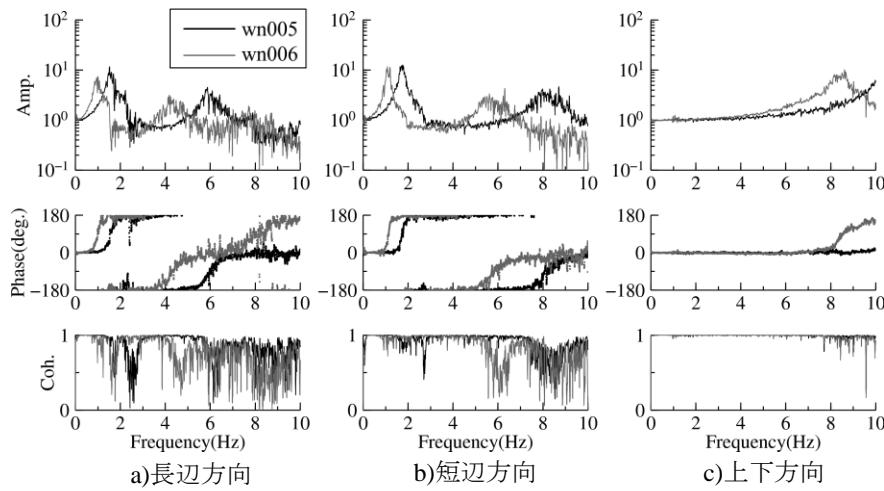


図2 RC試験体におけるRF/1Fの伝達関数

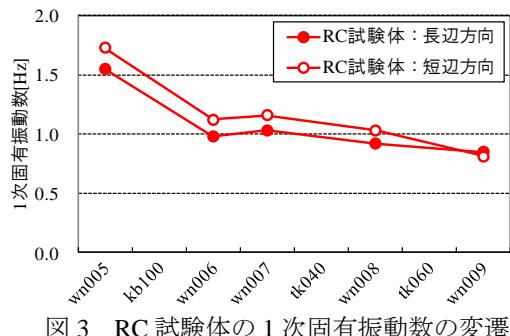


図3 RC試験体の1次固有振動数の変遷

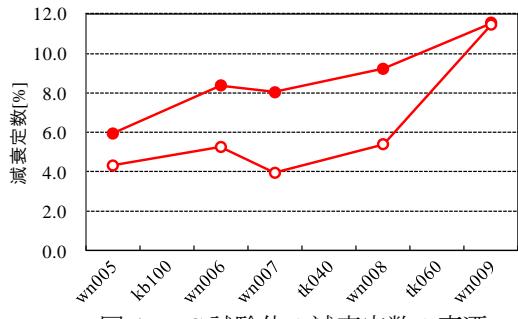


図4 RC試験体の減衰定数の変遷

*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)

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)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

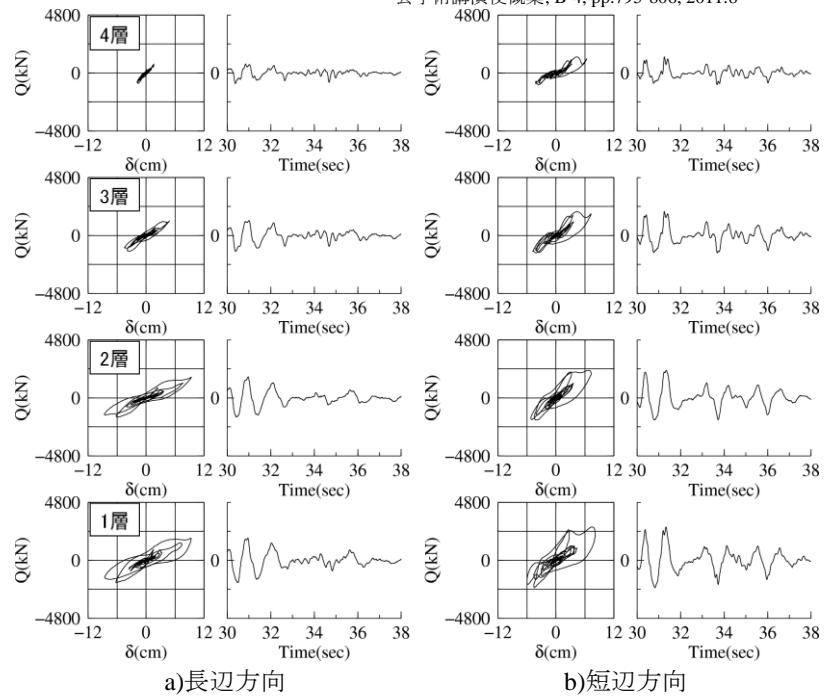


図5 RC試験体の履歴ループと層せん断力の時刻歴波形(kb100)

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.