

四川地震被害地における建物の応答特性と被害の関係について

愛知工業大学 非会員 ○王 欣 愛知工業大学 正会員 正木 和明
愛知工業大学 正会員 倉橋 奨 愛知工業大学 非会員 入倉 孝次郎

1. はじめに

2008年中国四川地震は震源域において建物に甚大な被害をもたらした。地震後、中国地震局工程力学研究所 (IEM-CEA) は現地で建物の被害状況を調査した。さらに、中国科学院成都分院 (CB-CAS) は地震の前後に撮影された衛星写真と航空写真を対比し、100以上の被害地点の建物の倒壊率 (CR) を求めた。公表された建物の被害分布により、震源域にも被害がそれほど深刻ではない地点もあり、同じ都市の内でも建物の被害状況の違いが存在している。この二つの研究機関は都江堰市の建物被害の分布に注目して建物被害状況に関する論文を発表した。同じ都市内において建物の被害状況が異なる原因は地盤条件の違いと建物自身の特性の違いの両方が関係している。本研究は2009年11月21日から26日まで四川地震で甚大な被害を受けた都江堰で行った常時微動の測定結果について報告する。現地調査の目的は建物の倒壊と地盤の卓越周期の関係を明らかにするものである。

2. 建物の倒壊率 (CR) と地震動特性の関係

著者等は IEM-CEA と CB-CAS が発表した建物の CR データを用いて、四川地震の CR と地震動特性の関係を解明した (王他, 2009)。PGA が 200gal を越えると CR は 10%以上になる。また、PGV が 15cm/s になると CR は 10%になる。建物の固有周期が 0.2 秒~0.9 秒の間で、応答加速度が 500gal になると、建物の被害が 10%になる。しかし、被害地点と地震動の観測所が離れている場合は、建物の被害と地震動特性の関係にばらつきが存在する可能性がある。都江堰市の面積は広いので、一つの観測地点の地震動特性で全市を代表することは適当ではない。市内での建物被害が異なる原因を明らかにするために都江堰で常時微動を測定し、建物の被害と地盤の卓越周期の関係を解明し、また建物の固有周期を確認するために、代表的な 5 階建のレンガ造建物も測定した。

3. 都江堰における地盤の常時微動の測定

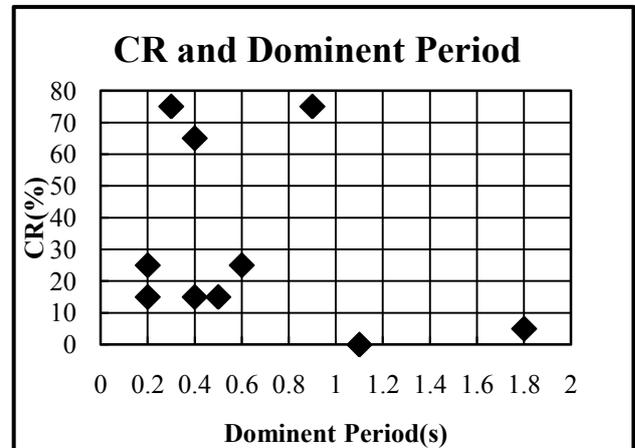


図1 倒壊率と地震動卓越周期の関係

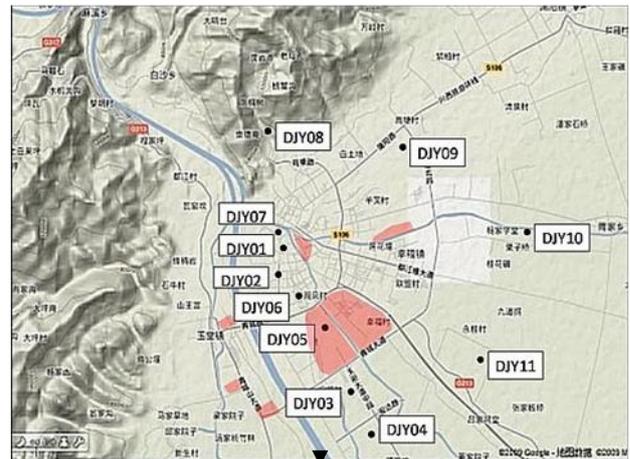


図2 都江堰市内における常時微動測点 (黒い点) の分布と被害が大きい地域 (バッチ)。

3.1 観測点

都江堰市内において合計 11 地点で常時微動を測定した。測点は運河に沿って 6 地点 (DJY01~DJY07)、運河と垂直の方向は 3 地点 (DJY09~DJY11)、岩盤の上 1 地点 (DJY08) である。観測点の分布を図 2 に示す。図に被害が大きい地域も示している。

3.2 常時微動データの解析方法

600 秒間の常時微動データを測定した。サンプルリングは 100Hz である。一か所の常時微動記録のデジタルデータの総数は 60,000 である。解析は記録された 60,000 のデジタルデータを 4096 毎に、全部で 14 カットに分けてフーリエ変換をする。14 カットのフーリエスペクトルの算術平均値を取り平均スペクトルとした。卓越周期の計算方法は式 (*) に示すよ

うに、算術平均を取った水平両方向のフーリエスペクトルの二乗の和をルートして、算術平均を取った上下方向のスペクトルで割って得たスペクトルのピクに対応する卓越周期を決める。

$$X \text{ 方向の } \frac{H}{V} = \frac{\sqrt{H_{NS}^2 + H_{EW}^2}}{V_{ud}} \quad (*)$$

H_{NS} —平均した NS 方向のフーリエスペクトル；
 H_{EW} —平均した EW 方向のフーリエスペクトル；
 V_{ud} —平均した UD 方向のフーリエスペクトル。

3.3 卓越周期の解析結果

卓越周期の解析結果を表 1 に示す。

表 1：常時微動を観測した地点との卓越周期

観測点	卓越周期 (s)	観測点	卓越周期 (s)
DJY01	0.14	DJY07	0.13
DJY02	0.15	DJY08	0.25
DJY03	0.17	DJY09	0.13
DJY04	0.55	DJY10	0.15
DJY05	0.11	DJY11	0.10
DJY06	0.14	-----	-----

4. 都江堰における建物の常時微動の測定

4.1 地震動の応答計算結果

IEM-CEA 発表した都江堰の建物の種類と階数などに関する被害調査の結果から、6、7階のレンガ造の建物の被害インデックスが一番高い。本研究は南京民用建築設計研究院からもらった耐震設計震度と都江堰と同じ7階のレンガ造建物を解析した。解析結果はこの建物の卓越周期は約 0.34 秒である。この結果とレンガ造の建物の固有周期はやや短いはずと言う印象は一致する。

4.2 建物の固有周期の測定結果

都江堰の代表的な建物の卓越周期を確認するために5階建のレンガ造建物の1階と4階で常時微動を同時に測定した。図3のaとbはそれぞれ4階と1階のX方向（長軸方向）とY方向（短軸方向）のフーリエスペクトルの比である。図3から見れば、この測定したレンガ造の建物のX方向の固有周期は0.2秒で、Y方向のは0.24秒である。この結果はX方向がY方向に比して柔らかいことによく対応している。ここで観測された卓越周期は上の解析結果と比較し

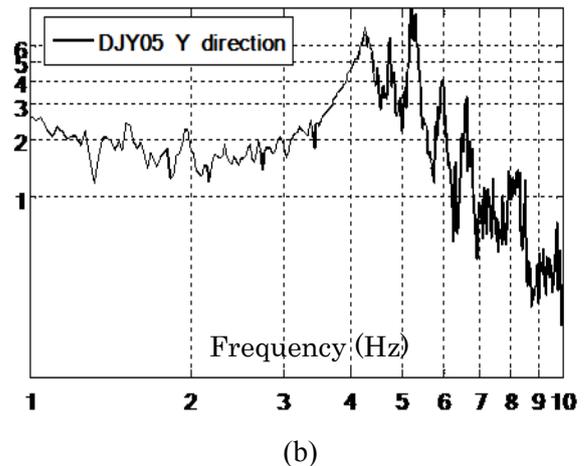
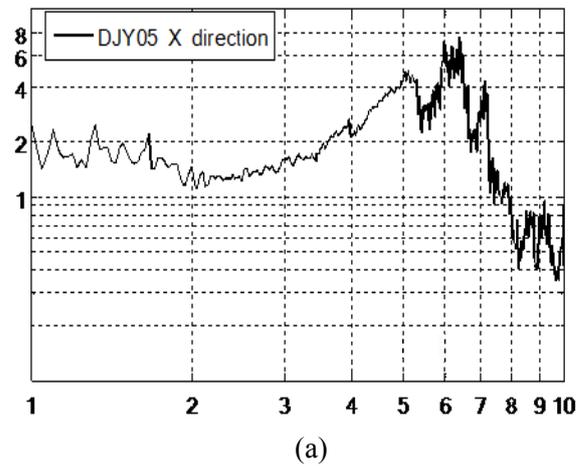


図 3 (a) X 方向（長軸方向）、(b) Y 方向（短軸方向）の 4 階と 1 階フーリエスペクトル比。

て短周期（0.24 秒）になっているが強震動に対しては建物が非線形になり、上の値（0.34 秒）に近づいた可能性がある。

5. まとめ

運河に沿って、地盤の卓越周期は長くなる可能性が見えるが、DJY05 と DJY06 は少しいずれている。建物の被害と卓越周期の関係からみれば、DJY01 と DJY07 の近くおよび DJY05 と DJY06 の近くの建物の被害がより高いのは建物の固有周期と地盤の卓越周期が近い可能性がある。

参考文献：

- 1) Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics and Institute of Engineering Mechanics, CEA: General Introduction to Engineering damage during Wenchuan Earthquake, J. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 28, supplement, 8-10, 2008.
- 2) 王 欣, 倉橋 奨, 正木 和明, 入倉 孝次郎：2008 年中国四川地震の建物被害と強震動の関係, 日本地震工学会—2009 梗概集, pp. 212-213, 2009.
- 3) 張敏政：汶川地震中都江堰市の建物震害, 汶川地震建築震害調査と災後重建分析報告, 中国建築工業出版社, pp. 116-122, 2008.
- 4) 郭華東：汶川地震災害リモートセンシング写真集, 科学出版社, pp. 98-99, 2008.