

2008 四川地震（汶川地震）被災地における地盤・被災 建物の微動測定

Microtremore measurements on ground surface and damaged structures in suffered area due to 2008 Wenchuan Earthquake, China

正木和明[†], 王欣^{††}, 倉橋奨^{†††}, 呉浩^{††}

Kazuaki MASAKI, Xin WANG, Susumu KURAHASHI and Hao WU

AbstractThe Ms 8.0 Wenchuan earthquake was one of the most destructive earthquakes that have occurred in China during the past 50 years. Masonry buildings are widely used and suffered very serious damage in the disastrous areas during the 2008 Wenchuan earthquake. In our study, response parameters and the S-wave velocity are adopted as the damage criteria to perform the quantitative building damage analysis of individual buildings. We found that for severely damaged buildings, the building system response frequency and average S-wave velocity traveling from the 1F to the top of the building will reduce to less than the half of that of the sound building.

1. まえがき

2008年中国四川省で発生した地震は中国では汶川地震と呼ばれている。Msは8.0、死者は約87,000名、全壊建物は約6,525,000房（房は部屋数を指すのか家屋数を指すのか不明）であった。筆者らは、南京市東南大学土木工程学院の叶継紅教授及び陳忠範教授と共同で、2010年11月20日～11月27日、および2010年11月2日～11月16日の2回にわたり、都江堰市11地点及び漢旺鎮3地点において地盤上における常時微動観測、綿竹市において無被害1棟及び漢旺鎮において被災建物4棟における建物微振動（常時微動）測定を実施した。

調査日時は地震後1.5～2.5年後であったが、被災建物は地震当時のまま保存されており、建物の振動を被災状態のまま測定でき、貴重な資料を得る事が出来た。また、測定した被災建物は倒壊寸前の状態であり、日本では当然立ち入り許可が下りない被災建物の測定ができたことは、また貴重な資料と言えよう。さらに、被災地域近傍で強震記録が得られており、本論文の結果と比較

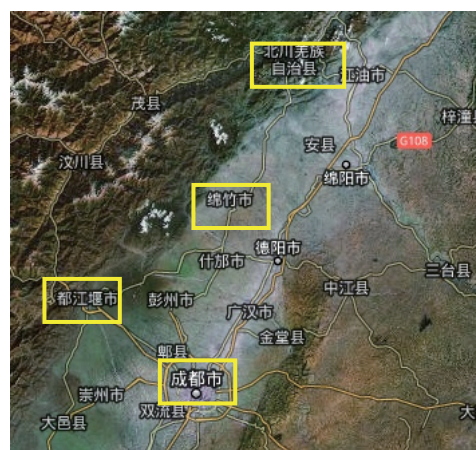


図1 調査地点地域。①成都、②都江堰市、③綿竹市、④漢旺鎮、⑤北川

することにより、被害のメカニズムを解明する事が期待される。

本論文は、成都を中心とした被災地域の被害調査結果と、都江堰市、綿竹市、漢旺鎮における地盤の常時微動観測結果及び被災建物の微振動（常時微動）測定結果を報告するものである。

[†] 愛知工業大学工学部都市環境学科（豊田市）

^{††} 愛知工業大学大学院 工学研究科
生産・建設工学専攻（豊田市）

^{†††} 愛知工業大学地域防災研究センター（豊田市）

2. 被災地域の被害調査

図 1 に調査地域を示す。成都市では、大きな被害はみられる、壁に亀裂が入る程度の被害が散見された。しかし、既に地震後 1.5 年後の調査であり、倒壊被害家屋などは既に撤去されていたと考えられる。写真 1 は都江堰市における被害である。既に撤去された建物も多いが一部は残存しており、被害の大きさがうかがえる。写真 2 は、都江堰市の役所に貼られていた図であり、家屋の復旧計画図であると思われる。写真 3 は都江堰市における仮設住宅の様子を示している。規模は明確でないが、数千人規模の人が地震後 1.5 年でも避難していると見受けられた。住宅内には病院も設置され、共同炊事場、共同シャワー場なども整備されている。



写真 1 都江堰市内の被害の様子 (2009.11.23 撮影)

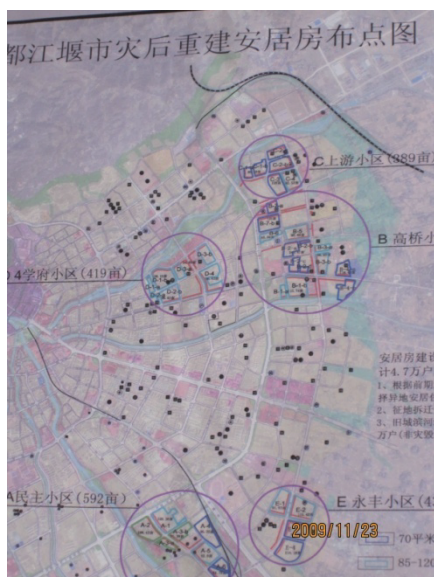


写真 2 都江堰被害分布図 (2009.11.23 撮影)



写真 3 都江堰市の仮設住宅 (2009.11.23 撮影)



写真 4 漢旺鎮中心部の被害 (2009.11.24 撮影)



写真 5 被災地内の看板 (2009.11.24 撮影)



写真6 3つの異なる構造物被害（2009.11.24 撮影）



写真9 北川市の学校の被害（2009.11.25 撮影）



写真7 北川市中心部の被害（2009.11.25 撮影）



写真8 北川市5階建てビルの崩壊（2009.11.25 撮影）

写真4は漢旺鎮における被災の様子である。5～6階建てのレンガ造が多い。市の中心部は全壊（壊滅）状態であり、立ち入りは規制されている。写真5は、規制地域内の様子であり、中国語、英語、日本語、韓国語による見学者に対する案内版が設置されている。写真6は、給水塔は無被害であり、3階建レンガ造建物は全壊し、手前の青い屋根の建物は耐震補強を施してあった2階建を示している。地震動特性との関係で被害が異なることを示した興味深い現状を示している。写真7は、極めて被害が大きく、町全体への立ち入りが規制されている北川市の被災状況を示している。強震動に加え山体斜面崩壊による被害が大きい。写真8の建物は5階建てと思われるが、完全に倒壊し、約48名の犠牲者が出た。写真9は、裏山の崩壊により校舎が埋没して多くの犠牲者を出した中学校の被災跡に建てられた記念碑を示している。

3. 都江堰市における地盤及び建物の常時微動測定調査

都江堰市の11地点において、地盤の常時微動を測定した。図2に測定地点及び測定地点周辺の被害状況を示す。図3にH/Vスペクトルから求めた卓越周期分布を示す。都江堰市は、岷江が山岳地帯から四川盆地に流出する扇状地に発達している。地盤情報はないが、地表面を踏査した結果では、地盤は砂質粘土に直径数cm～数10cmの丸形礫を含み、乾燥状態ではかなり堅い印象を受けた。中心街の卓越周期は0.1～0.2秒であり比較的堅い地盤であることを示している。地域差はみられず、被災地域の震動特性は概ね均一であり、被害が大きかった地域で特性が異なるとは考えにくい。図4に観測地点におけるH/Vスペクトルを示す。



図 2 都江塚市 (DJY) で地盤常時微動観測された 11 地点の分布図

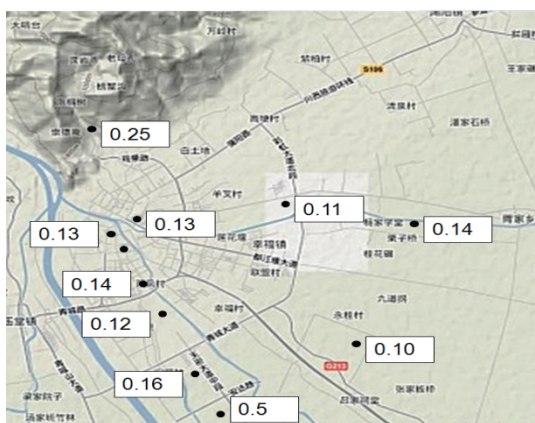


図 3 観測点の卓越周期 (秒) の分布図

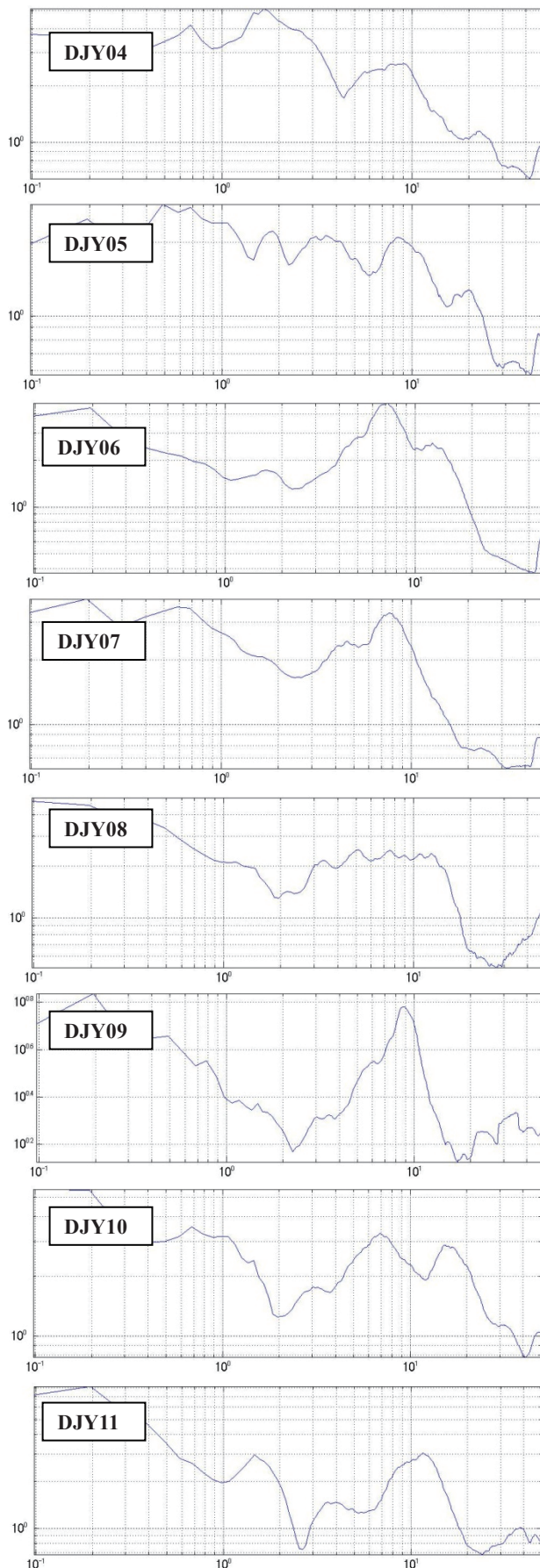
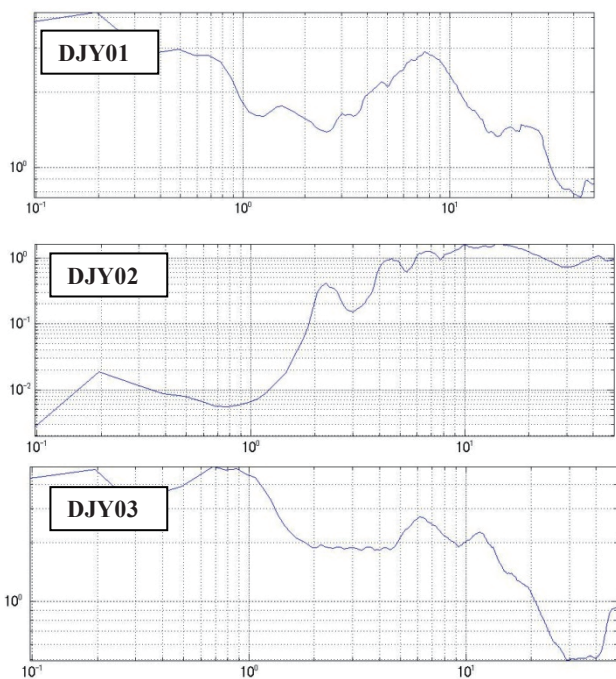
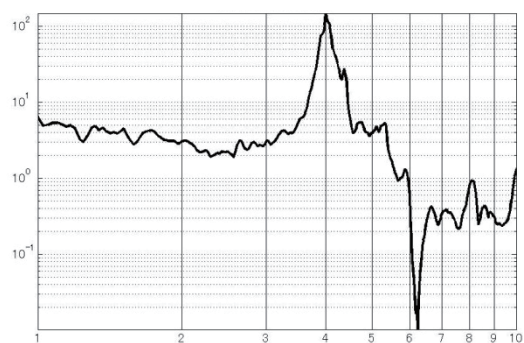


図 4 全観測点の H/V スペクトル

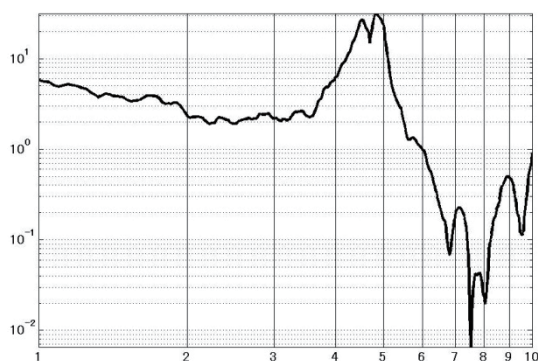


写真10 都江堰市内で観測した地震後補強された5階建のレンガ造建物

写真10に示す建物は図2のDJY05地点の近くに存在し、地震で軽微な被害があったために、現在簡単に耐震補強がなされたレンガ造5階建ての集合住宅である。この建物における常時微動測定結果を図5に示す。卓越周期は、長軸方向4.0Hz、短軸方向4.8Hzであった。



(a)



(b)

図5 写真1に示している5階建レンガ造建物の4階で記録した(a)長軸と(b)短軸の常時微動記録を用いて、求めたパワースペクトル。長軸方向の一次固有振動数は約4.0Hzで、短軸方向の約4.8Hzである。

4. 漢旺鎮における被災建物振動特性調査

漢旺鎮は壊滅的被害を受けた。現在は、郊外に新市街地が建設され町全体が移設する計画と考えられる。旧市の中心街には被災建物が被災当時のまま存在している。著者らは、2010年度にレンガ造建物4棟(A、B、C、D、それぞれ写真11,12,13,14)の常時微動を測定した。地震計3台を、1階、最上階、及び途中階に設置し、GPSを用いた同時観測を実施した。測定時間は1時間、サンプリング振動数は200Hzである。測定建物は6階建てレンガ造であり、建物Bは中国の被害程度基準で moderate 被害、建物C、Dは sever 被害である。建物A(写真11)は、綿竹市における無被害建物である。

図6にフーリエスペクトルを示す。表1は卓越周期を示す。建物階数は6階である。構造はレンガ造である点は共通である。階数、構造、建築年代はそれぞれ異なる可能性があるが、近似的には同一構造物と考えて良い。建物B、C、Dの卓越周期は、無被害建物Aに対し、約2倍程度である。

卓越周期を建物高さで除した平均S波伝搬速度を表2に示す。被災建物B、C、Dは無被害の建物Aに比較し、約半分の程度であることが分かる。この事は被災した建物の剛性が大きく低下している事を示している。建物Bは外見上 moderate 被害であるが、微動測定結果からは sever 被害であったことが推察される。



写真11 綿竹市における無被害建物A



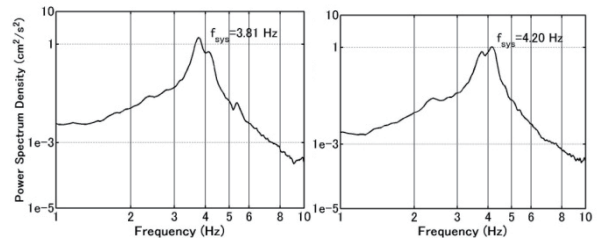
写真 12 漢旺鎮被害建物 B



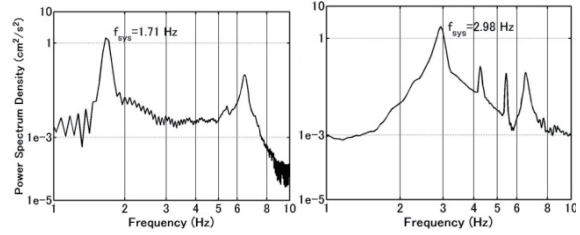
写真 13 漢旺鎮被害建物 C



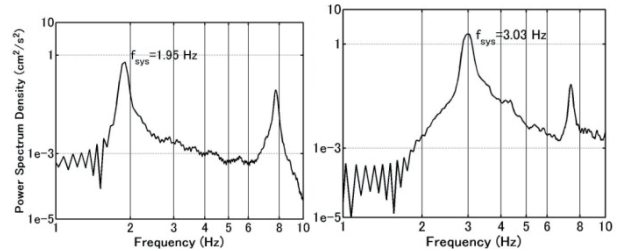
写真 14 漢旺鎮被害建物 D



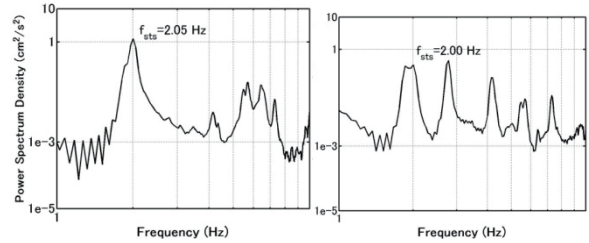
(a)



(b)



(c)



(d)

図 6 建物(a)A,(b)B,(c)C,(d)D の最上階の記録のフーリエスペクトル,左の図は長軸、右の図は短軸

表 1 建物 A,B,C,D のシステム固有振動数 (f_{sys})

建物	f_{sys} (Hz)	
	長軸	短軸
A	3.81	4.20
B	1.71	2.98
C	1.95	3.03
D	2.05	2.00

表 2 建物 A,B,C,D の S 波伝搬速度

建物	S 波平均伝搬速度 (m/s)	
	長軸	短軸
A	376	376
B	146	258
C	168	240
D	141	308

5. まとめ

中国四川の市街地における集合住宅は 5～6 階建てレンガ造が代表的であり、強震動により倒壊した。漢旺鎮や北川市の中心部では倒壊率 80%以上、被害率 100%に達している。都江堰における地盤の卓越周期は 0.1～0.2 秒と端周期であり、地域特性の大きな違いは見られない。倒壊寸前の被災建物の卓越周期は無被害の建物に対し約 2 倍であり、したがって S 波伝搬速度は約半分の 250m/s 程度である。

参考文献

- 1) Xin wang, Kazuaki Masaki and Kojiro Irikura: Building Damage and Strong Ground Motion Characteristics during the 2008 Wenchuan Earthquake, Intern. Symp. On earthquake Seismology and earthquake Predicability, beijin, China, July 5-9, 2009
- 2) 王欣、正木和明、入倉孝次郎、倉橋奨：四川地震被災地における建物応答：常時微動観測による建物応答パラメーターの抽出、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、21512、2010 年 8 月
- 3) 欣、入倉孝次郎、正木和明：四川地震の被害地における建物常時微動観測および被害建物の応答特性の抽出、第 13 回日本地震工学シンポジウム、GO27-Thu-PM-3、2010 年 11 月
- 4) Xin Wang, Kazuaki Masaki and Kojiro Irikura: Building Damage Criteria from Strong Ground Motion Characteristics during the 2008 Wenchuan Earthquake, J. Earthquake Engineering (in press)

(受理 平成 23 年 3 月 19 日)