

2002年イラン・チャングレ地震における 被害と常時微動観測結果の比較

Abdolhossein FALLAHI¹・宮島昌克²・池本敏和³・北浦 勝⁴

¹金沢大学大学院自然科学研究科後期課程3年（〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20）

E-mail: fallahi@pbousa9.ce.t.kanazawa-u.ac.jp

²金沢大学工学部教授（〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20）

E-mail: miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

³金沢大学工学部助手（〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20）

E-mail: tikemoto@t.kanazawa-u.ac.jp

⁴金沢大学工学部教授（〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20）

E-mail: kitaura@t.kanazawa-u.ac.jp

本論文は地震被害調査において地表面と非被災建物において常時微動観測を実施し、被災原因を地盤と建物の動特性の観点から検討しようとしたものである。対象建物はアドベ造建物である。2002年6月22日に発生したイラン・チャングレ地震（ $M_w=6.3$ ）の際の土木学会地震被害調査団の活動の一環として行われたものである。地表面における常時微動のH/Vスペクトル比から地盤の固有周期を、アドベ造建物の屋上と地面との常時微動のスペクトル比および自由振動実験から建物の卓越周期を推定し、検討を行ったところ、アドベ造建物の被災程度の差異が常時微動から推測される地盤動特性と良い対応を示した。

Key Words : *Changureh-Avaj earthquake, adobe house, microtremor, earthquake damage*

1. はじめに

2002年6月22日に発生したイラン・チャングレ地震（ $M_w=6.3$ ）ではイラン北西部のほとんどの地域で揺れを感じた。この地震の震央は、図-1に示すようにテヘラン市から約250km西に離れた、アベガルの西に位置する東西方向の谷の中である。当局の発表によれば、死者233人、負傷者は約1,500人であり、5万人以上が避難を余儀なくされた。被害を受けた村は約50にも上る。最も被害の大きかったところはアブダレ村とチャングレ村である。ほとんどの住宅がアドベ造建物であり、そのほとんどが倒壊した。

地震発生から約1ヵ月後に土木学会地震被害調査団の一員として第1著者と第2著者が被災地を訪れ、地盤およびアドベ造建物の常時微動観測を行った¹⁾。被災地ではボーリング柱状図などの地盤情報が得られていないので、常時微動観測から推測される地盤動特性および建物の振動特性と被害との関係について検討する。

2. 強震動特性

本震の強震記録が多くの地点で得られている。その中で最も大きいものは震央から約28km離れたアヴァジで得られたものであり、最大加速度は約0.5gだった。時刻歴と減衰定数5%の加速度応答スペクトルを図-2に示す。同図によれば、加速度応答スペクトルは、周期0.2秒でピークを示している。

3. 地盤の常時微動観測

被害の激しかった地域でボーリング柱状図などの地盤情報が得られていないので、地表面において常時微動観測を行い、地盤動特性の推定を試みた。計測は速度、加速度計が計測可能なセンサー（東京測振、SPC-35）によって行われた。本センサーは短周期微動計であるので、十分な精度を有する計測可能周期は数秒程度以下であると考えられる。したがって、本論文では1秒以下の領域に注目して考察を行う。サンプリング周波数100Hzで速度を計測し、

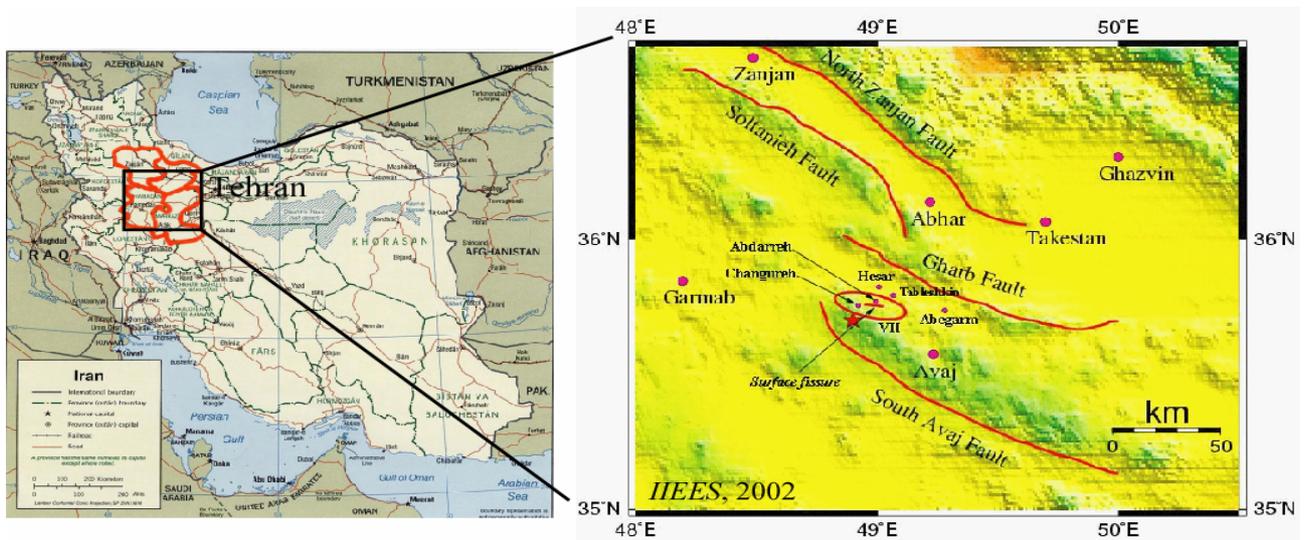


図-1 震源域の位置図と推定される起震断層 (IIEES のウェブサイト²⁾より引用)

ノイズをカットするために 0.1Hz のハイパスフィルター処理を行った。1 地点において 300 秒間計測し、その中から交通振動などのノイズ部分を避けた 1,024 データ (10.24 秒) を 1 組として 5 組抽出して、解析した。それぞれについて高速フーリエ変換により周波数領域に変換した後、5 組のスペクトルを平均した後、H/V スペクトル比を求め、さらにバンド幅 0.4Hz の Parzen ウィンドウによって平滑化した。

被害の最も激しかった村のひとつであるアブダレ村において、常時微動観測を行った。写真-1 に示す 7 箇所が観測点であるが、これらは観測点 1 の付近で見られた地表面断層の方向に沿うように選点されている。観測点 1 から 6 までのアドベ造建物はほぼすべて倒壊しており、観測点 7 において約 50% が倒壊を免れているのみである。なお、観測点 4 は谷の最も低い地点であり、この地点に建てられていた RC 造の公衆浴場は被害を受けなかった。各地点において水平 2 方向 (NS, EW) および上下方向の 3 方向の常時微動を同時観測した。なお、谷筋方向が NS 方向に一致している。

図-3 に、各観測点における NS、EW 成分の H/V スペクトル比を示す。同図によれば、断層方向である EW 成分の方が、NS 成分に比べて H/V スペクトル比が大きくなっている。しかし、断層方向と谷の直交方向がほぼ一致しているので、地形効果により谷の直交方向の H/V スペクトル比が大きくなったとも考えられる。

地盤の卓越周期を表現していると考えられる 1 秒以下のピークを矢印で示している。これらをまとめたものが図-4 である。ただし、観測点 3 の EW 成分と観測点 5 の NS 成分は H/V スペクトル比からだけでは明確なピークがわからなかったので、図-5 に示す水平方向のフーリエスペクトル図と合わせて卓越周期を推定した。さらに、これら水平 2 方向の相乗平均を図-6 に示す。同図によれば、観測点 2 のみが 2 種地盤に相当し、他は 1 種地盤に分類される

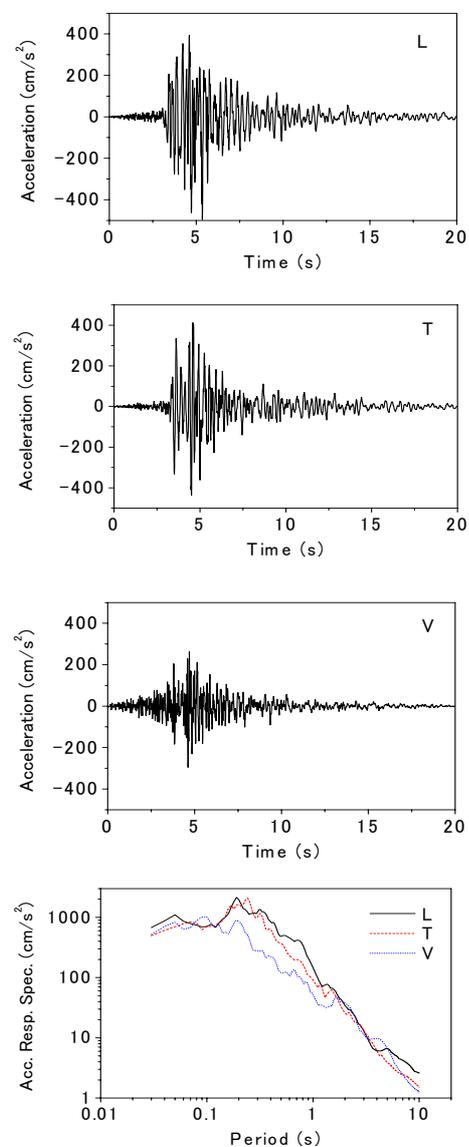


図-2 アヴァジにおける加速度記録と加速度応答スペクトル



写真-1 アブダレ村の被害状況と常時微動観測位置

ので、比較的良好な地盤であることがわかる。また、観測点7だけの卓越周期が極めて小さく、堅固な地盤であることが推測できる。観測点7付近では前述したように、この村で唯一50%近くのアドベ造建物が倒壊せずに残った地域であり、常時微動結果から推測される堅固な地盤ということと良い対応を示している。

4. 建物の常時微動観測と自由振動実験

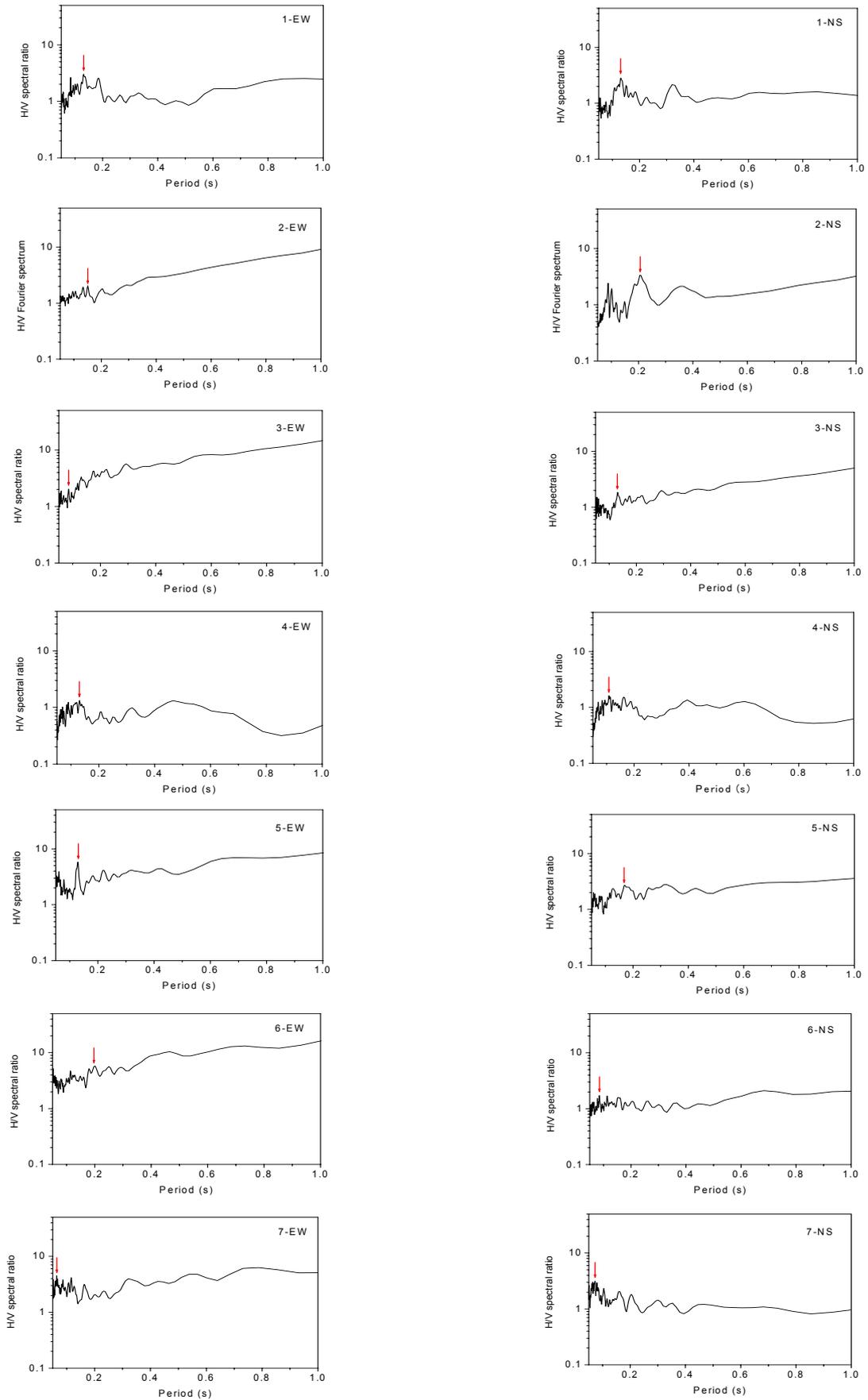
今回の地震で壊滅的な被害を受けたアドベ造建物の動特性を把握するために、アドベ造建物における常時微動観測と人力による自由振動実験を行った。最も被害の大きかったアブダレ村とチャングレ村においてはほとんどのアドベ造建物が倒壊しており、倒壊しなかったものも大きな損傷を受けている。したがって、被災前の健全な状態での動特性を明らかにすることはできない。そこで、健全なアドベ造建物が残っているタブラシュケン村でアドベ造建物の常時微動観測と自由振動実験を行った。この地方のアドベ造建物の建築構法はどれも同じであり、最も平均的な大きさの建物を選んだので、被害が壊滅的であったアブダレ村とチャングレ村で倒壊したアドベ造建物の動特性と大きな違いはないと考えられる。

計測の対象とした建物を写真-2に示すと共に、その平面図を図-7に示す。建物の高さは2.9mであり、下部0.8mは石積みで、その上の2.1mがアドベ造となっている。

まず、常時微動観測を行った。地表面で水平2方向と鉛直方向の3チャンネル、建物屋上では水平2方向の2チャンネルの5チャンネルを同時観測した。水平2方向は建物の長軸方向と短軸方向とした。計測方法は前章に示した方法と同じである。すなわち、300秒間計測し、その中から交通振動などのノイズ部分を避けた1,024データ(10.24秒)を1組として5組抽出して解析した。それぞれについて高速フーリエ変換により周波数領域に変換した後、5組のスペクトルを平均した後、H/Vスペクトル比を求め、さらにバンド幅0.4HzのParzenウィンドウによって平滑化した。H/Vスペクトル比を図-8に示す。ピークの周期は約0.2秒であり、これが地盤の卓越周期であると考えられる。

つぎに、水平2方向のそれぞれについて、屋上/地表面のスペクトル比を求め図-9に示した。これは、それぞれの方向における建物の増幅スペクトルと考えることができ、ピークの周期が建物の固有周期であると考えられる。同図によれば、長軸方向が約0.08秒、短軸方向が約0.2秒のときピークを示しており、これらがそれぞれの方向の建物の卓越周期であると考えられる。2方向で2.5倍も卓越周期が異なるのは、この建物の縦横比が3.7倍もあることに起因していると考えられる。

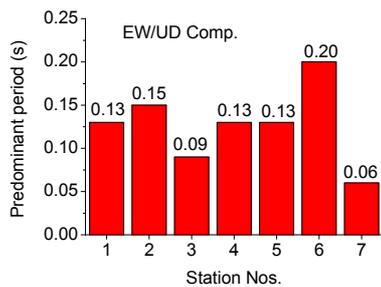
写真-3に示すように、屋上に人が乗り、固有周期に近い周期で加振し、その後、加振を止めた後の自由振動を計測することにより、建物の固有周期と減衰定数を求めようとした。図-9に短軸方向に加振したときの速度記録を示す。約15秒後以降が自



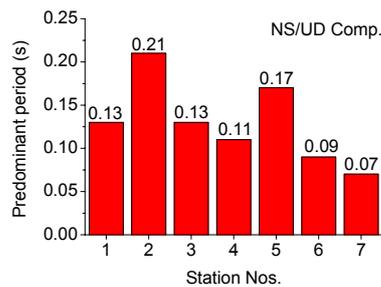
(a) EW 成分

(b) NS 成分

図-3 各観測点における H/V スペクトル比



(a) EW 成分



(b) NS 成分

図-4 各観測点の常時微動の卓越周期

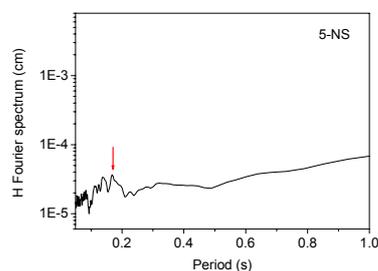
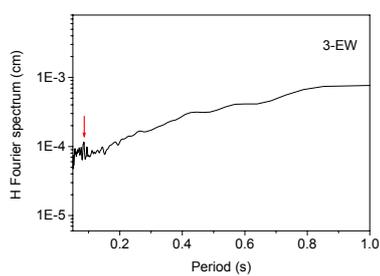


図-5 観測点 3 EW 成分との観測点 5 NS 成分のフーリエスペクト

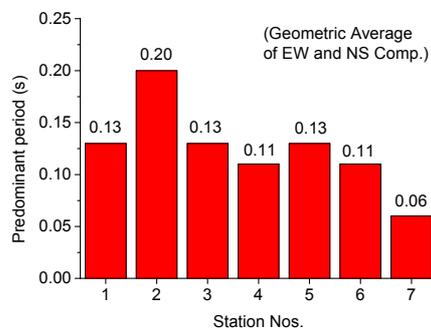


図-6 常時微動から推定された地盤の固有周期

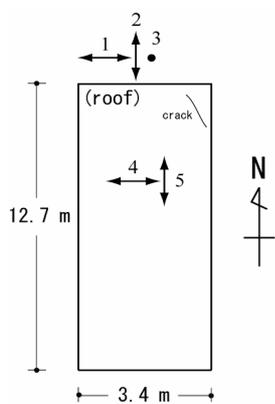


図-7 計測したアドベ造建物の平面図



写真-2 計測したアドベ造建物の外観

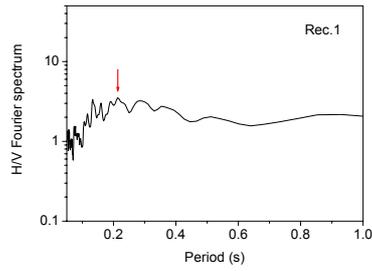
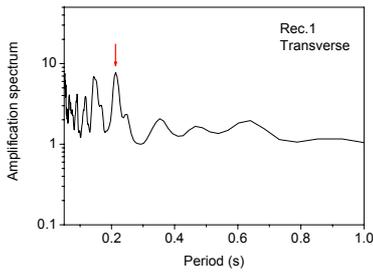
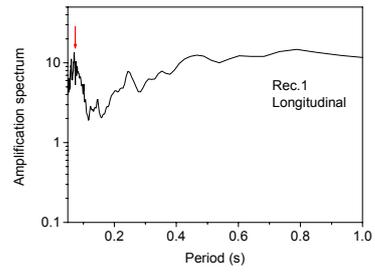


図-8 計測した地点における常時微動の H/V スペクトル比



(a) 短軸方向の建物の増幅スペクトル



(b) 長軸方向の建物の増幅スペクトル

図-9 アドベ造建物の増幅スペクトル



写真-3 人力による加振

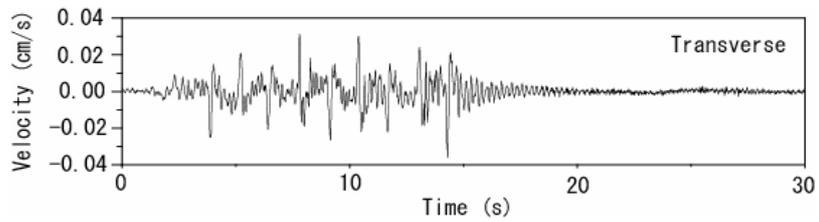


図-10 人力による強制振動とその後の自由振動における建物の応答加速度波形

由振動をしていると考えられるので、この部分を対象に固有周期と減衰定数を求めた。その結果、固有周期は約 0.2 秒、減衰定数は約 3% であった。

5. 結論

この地方の平均的なアドベ造建物の常時微動観測により、短軸方向の固有周期は約 0.2 秒と推測された。また、自由振動実験からも同様に、短軸方向の固有周期が 0.2 秒と推測された。一方、被害の最も激しかった村のひとつであるアブダレ村における常時微動観測によれば、倒壊率が 100% の地域における卓越周期は 0.1 秒から 0.2 秒であった。これは、常時微動という微小振動時の卓越周期であるので、地震時には非線形振動により卓越周期が大きくなるのが容易に想像できる。したがって、地震動の卓越周期とアドベ造建物の固有周期がより近かったものと考えられる。

アドベ造建物が壊滅的に倒壊したのは耐震強度が低いことに起因していることは言うまでもないが³⁾、アブダレ村のほとんどにおいて倒壊率が 100% であったにもかかわらず、約 50% が倒壊を免れた地域があった。アドベ造の耐震強度はほとんど同じであると考えられるので、地盤の動特性の違いによるものと考えられる。すなわち、図-6 に示したように、他

の地域に比べてこの地域の地盤の卓越周期が短かったことが、地盤動特性の違いを説明していると考えられる。

謝辞：本研究における常時微動観測は、土木学会地震被害調査団の活動の一環として行われました。団長の小長井一男先生（東京大学教授）をはじめ団員の皆様、調査団派遣にご尽力いただきました関係各位に感謝いたします。また、テヘラン大学の Dr. Alaghebandian 先生には現地にて常時微動観測を手伝っていただきました。深謝いたします。

参考文献

- 1) Japan Society of Civil Engineers, website: Provisional Report of the June 22, 2002, Changureh (Avaj) Earthquake, Iran, <http://www.jsce.or.jp/report/frameset.htm>.
- 2) International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), website. <http://www.iiees.ac.ir/>.
- 3) Fallahi, A., Alaghebandian, R. and Miyajima, M.: Microtremor measurements and building damage during the Changureh-Avaj, Iran earthquake of June 2002, *Journal of Natural Disaster Science* (accepted for publication).

(2003. 6. 29 受付)

COMPARISON BETWEEN MICROTREMOR RESULTS AND DAMAGE IN THE CHANGUREH-AVAJ, IRAN EARTHQUAKE OF JUNE 22, 2002

Abdolhossein FALLAHI, Masakatsu MIYAJIMA,
Toshikazu IKEMOTO and Masaru KITAURA

A large number of buildings were severely damaged and collapsed during the earthquake that struck northwestern parts of Iran on June 22, 2002. In order to examine surface ground and structural seismic response characteristics in the affected area, microtremor measurements were conducted in several locations on the surface ground of Abdareh village, where almost 100% of adobe dwellings were completely flattened, and on an adobe house in Tablashkin village. Based on the H/V spectral analysis of microtremors, it is clarified that there is good agreement between the measurement results and damage affected by local site conditions.