

2003年12月26日イラン・バム地震被害調査報告

日本建築学会イラン・バム地震被害調査団

はじめに

2003年12月26日、現地時間午前5時26分に、図1、図2に示すイラン・ケルマン（Kerman）州のバム（Bam）市の近郊において、マグニチュード6.6（Mw、米国地質調査所¹⁾）の地震が発生し、バム市を中心に甚大な被害が発生した。UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs（3月17日²⁾）によると、バム市とその周辺で約50,000棟の家屋が破壊され、約43,200名が死亡、約90,000名が家を失い、約200,000名の人々が物的・経済的な損害を被っていると報告されている。日本建築学会・災害委員会（委員長：千葉大学・小谷俊介）では、拡大災害委員会（2004年1月13日）を開催し、被災地の今後の復旧・復興に貢献するとともに、イラン国および広く社会に有用な情報と今後の地震工学の発展に役立つ資料と提供することを目的として、主に建築構造物を中心とした被害調査団を派遣することを決定した³⁾。調査団は7名（団長・東北大学：源栄正人、東北大学：前田匡樹・大野晋、工学院大学：久田嘉章・柴山明寛、東京大学：真田靖士、鹿島建設：Ali Niousha）から成り、カウンターパートとして IIEES（International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, M.R.Ghayamghamian 氏）の協力を頂き、2月23日～3月4日の間、調査を実施した。本調査は文部科学省突発災害調査研究（代表：九州大学 鈴木貞臣教授）及び日本地震工学会調査団（団長：東京大学 小長井一男教授）との合同で行われ、さらに神戸大学調査団（平成16年1月24日～2月4日）の北後明彦（神戸大学助教授）及び、東京大学地震研究所の M. Hossein 氏には協力を頂いた。本報告では被害が集中したバム市の地震動特性や建物被害について調査の概要を紹介する。



図1 イラン・バム市と震源位置
（USGS による¹⁾）



写真1 バム市のシンボルであるアルゲ・バム
（バム城塞、世界最大のアドベ建築）の被害

バム市における被害の概要と震源近傍の強震動

図2は航空写真から推定した建物の倒壊率⁴⁾、IIEESによる強震・余震観測点の位置、及びバム断層の位置を示す。バム市では有史以来大きな地震の経験が無いと言われており、実際、写真1に見られるアルゲ・バム（Arge-Bam、バム城塞）は2000年以上の昔に建設が開始され、地震による被害は知られていなかった。一方、バム市の東側には南北に走る右横ずれの活断層であるバム断層

があり、今回の地震もバム断層に関連していると考えられている。USGS による震源位置はバム市中心から約 10 km 南側にあり、深さ約 10 km と浅い地震であったが、規模が M6.6 と比較的小さかったため、断層破壊面は地表まで到達していない。図 2 の建物の倒壊率を見ると、大きな被害はバム市に集中し、特に旧市街地である市の北東部と南東部では 80% 以上の建物が倒壊したと推定されている。市の北東にあるアルゲ・バムも写真 1 にあるように壊滅的な被害を被っている。

バム市では BHR (Building and Housing Research Center) によって強震観測 (写真 2 の Governor ' s Office Building ; 場所は図 2 を参照) が行われており ⁵⁾、図 3 に観測された波形とその応答スペクトルを示す。注目されるのは東西成分 (N82 ° W 成分) の卓越であり、加速度では最大で 800 cm/s² 近くある (上下では 1g を超えている)。さらに速度波形の東西成分では、120 cm/s を超える周期 2 秒弱の大振幅の長周期パルス波が現れている。このため速度応答スペクトルの東西成分では、周期約 1 ~ 2 秒で 200 cm/s を超えている。加速度波形では東向きに大きなパルス状の波形が見られ、建物は西向きに大きな慣性力を受けたと考えられる。実際、後に示すように傾斜している建物はほぼ例外無く西向きに傾いていた。一方、東西方向は断層面の直交方向に相当する。従って今回観測された強震動は 1995 年兵庫県南部地震で大被害の原因として注目された震源近傍に特有の地震動である長周期パルス波 (キラーパルス波) であると考えられる (例えば文献 ⁶⁾)。ちなみに波形から計算した計測震度は 6.1 (6 強) であり、写真 2 にあるように加速度計のあった建物 (2 階建の無補強組石造) は大破していた (一部倒壊)。バム市及び隣接する Barvat 市では IIEES によって図 2 に示すように 8 地点で余震観測が行われている。今後は震源過程の詳細な解析や本震の地震動分布の再現を期待したい。

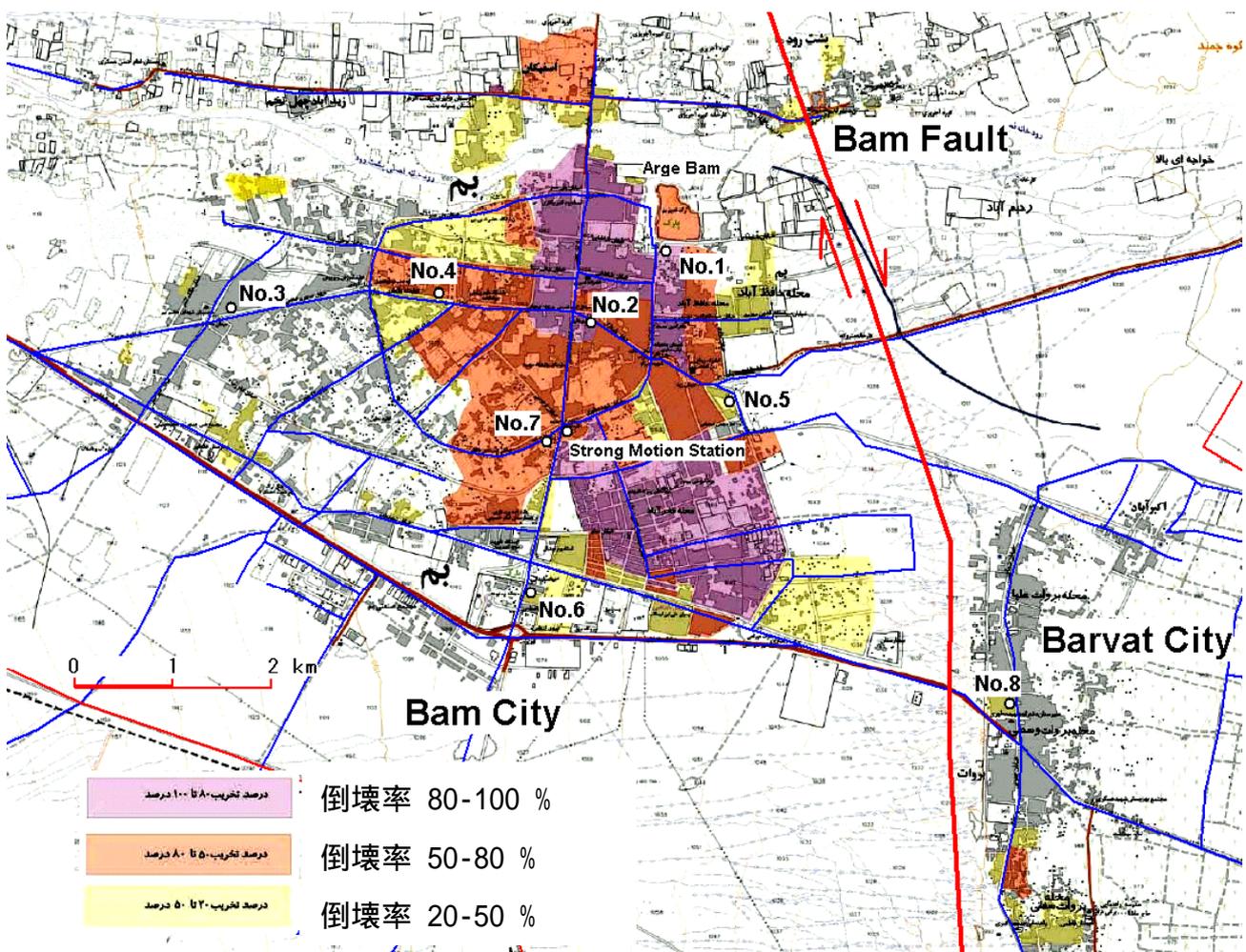
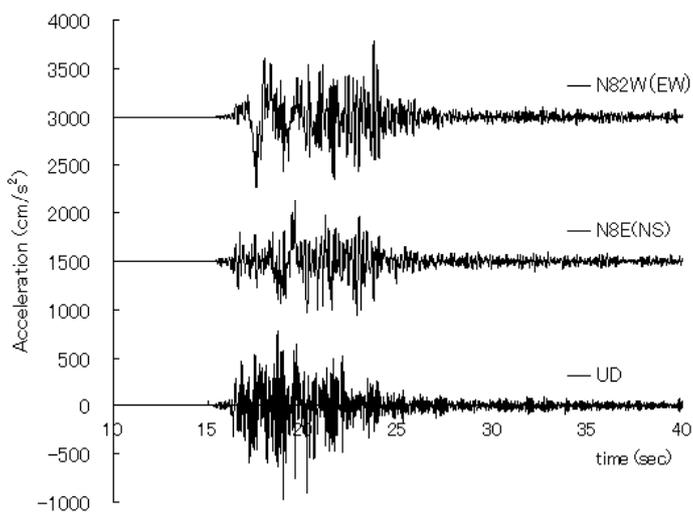
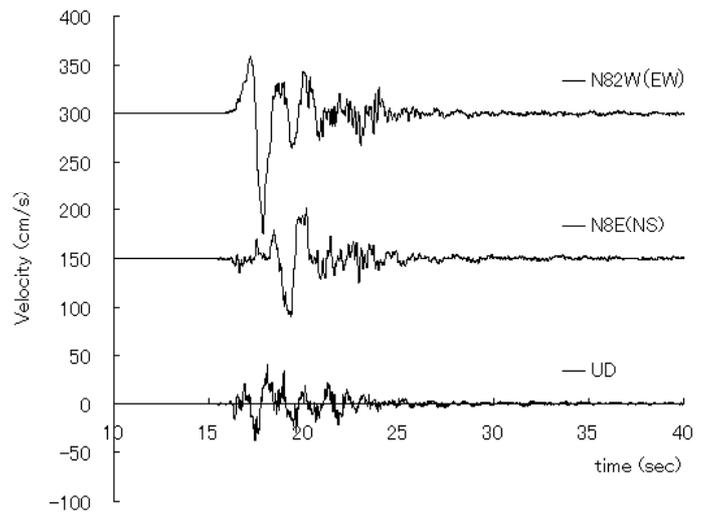


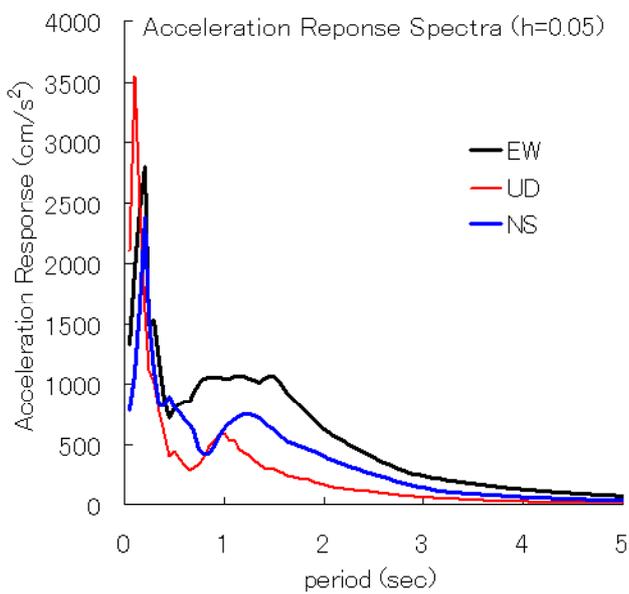
図 2 バム市の地震被害と震観測・余震観測点、及びバム断層
(USGS による震源位置はこの図の約 4 km 南に位置 ; 文献 ⁴⁾ に加筆)



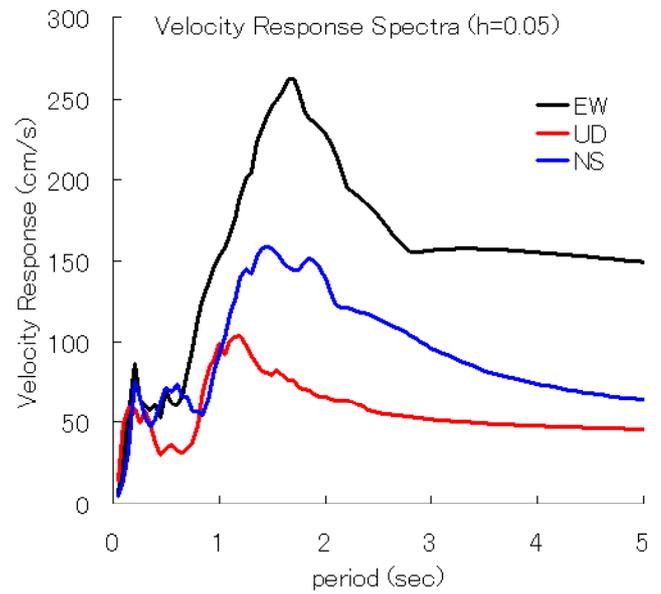
(a) 加速度波形



(b) 速度波形



(c) 加速度応答スペクトル



(d) 速度応答スペクトル

図3 バム市で観測された強震記録と応答スペクトル (BHRC)



写真2 強震観測点のあった Governor's Office Building の被害 (2階建て組石造で大破、一部が倒壊)

主な建物タイプと被害調査の概要

イランでは 1967 年に耐震設計法が導入され、1988 年と 1999 年に改定されている(基準に関しては文献⁷⁾を参照)。バム市の主な建物は、アドベ(adobe、日干し煉瓦造)とレンガ組石造であり、工学的建築(RC 造、S 造)は極めて少ない。写真 3 (a)に見られるようにアドベは地域の伝統的な建築であり、厚い壁とドーム状の屋根からなる。全て平屋であるが、耐震性に極めて劣り、現在では建設は禁止されている。一方、組石造は大きく分けると無補強組石造(unreinforced masonry、または単純組石、simple masonry、写真 3 (b))と、鉄骨フレーム補強組石造(masonry with steel frame、写真 3 (c))及び RC フレーム補強組石造(masonry with RC frame、写真 3 (d))である。古い一般住宅の多くは無補強組石造であり、鉄骨フレーム補強組石造は商業建築に多く見られ、RC フレーム補強組石造は数が少なかった。鉄骨フレーム補強は写真 3 (d)のようにブレースが着いているものと、着いてないものがあったが、後の鉄骨建物の例で示すようにブレースの溶接が不十分で、接合部で破断している例が多々見られた。組石造の典型的な屋根や床面の構造は、鉄骨の小梁を約 90cm 間隔で渡し、小梁間にアーチ状のレンガを敷き詰める構造である。写真 3 (b)に見られるように小梁は壁の上に乗っているだけであり、写真 2 に見られるように壁の一部が崩壊すると床・屋根がそのまま落下する極めて脆弱な構造であった。

今回は様々な調査を行ったが、本報告では図 2 に示す 8 個所の余震観測点の周辺で行った建物全数調査の結果を紹介する。現地には住宅地図が無かったため、クイック・バードによる衛星画像(解像度 0.6 m)を使用した⁸⁾。図 4 (a)に調査建物数と建物タイプ別の内訳を示す。調査した 839 棟のうち、約半数は無補強組石造(simple masonry)であり、アドベと鉄骨フレーム補強組石造はそれぞれ約 2 割であり、その他の RC フレーム補強組石造、RC 造・S 造は極めて数が少なかった。



(a) アドベ造建築



(b) 無補強組石造建築



(c) 鉄骨フレーム補強組石造建築



(d) RC フレーム補強組石造建築

写真 3 バム市の典型的な建築

被災度の判定は European Macroseismic Scale 1998 (EMS98)⁹⁾の組石造建物の判定基準を用いて行った。建物タイプ別の被災度 (Grade) 分布を図 4 (b)に示す。図で G5 は崩壊 (destruction)、G4 が大破 (very heavy damage)、G3 が中破 (substantial to heavy damage)、G2 が小破 (moderate damage)、G1 は軽微 (negligible to slight damage) である。図から明らかなように今回調査した地域では、アドベはほぼ 100%近い潰滅であったが、無補強組石造、鉄骨フレーム補強組石造、RC フレーム補強組石造、工学的建築 (RC・S 造) と耐震性が増すと考えられる建物ほど被災度が小さくなる傾向が確認できた。より詳細な地域別の被災度では、図 2 の被害分布と同様な傾向が確認された。すなわち旧市街地で古い建築が多い市の北東部では大きな被災度 (例えば、Station No.1 では 80 %の建物が G4 以上、Station No.2 では 76 %が G4 以上など) であり、一方、市の南や西部では比較的新しい建物が多く、低い被災度 (例えば、Station No.3 では 17 %の建物が G4 以上、Station No.6 では 50 %が G4 以上など) であった。

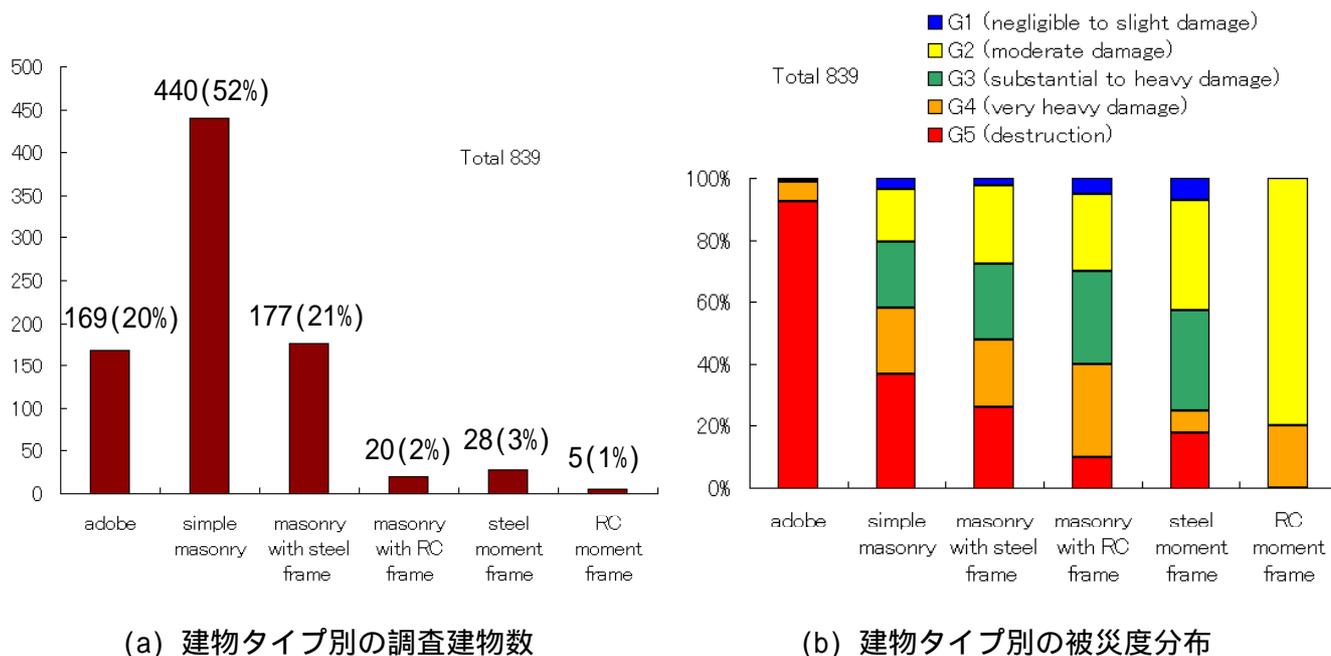


図 4 8 箇所の余震観測点 (図 2) の周辺で全数調査した建物の調査数と被災度分布

鉄骨造建物の被害、及びその他の調査など

数は多くなかったが、鉄骨造建物の被害例を紹介したい。写真 4 はバム市中心部にある建設中の鉄骨フレーム建物であるが、西向きに大きく傾斜していた。柱・はり接合部の拡大写真から分かるように、溶接の不良により梁が柱から破断している。この他、多くの鉄骨フレーム組石建物にも同様な溶接不良による柱・はり接合部やブレース取り付け部の破断が見られた。イランでは鉄骨の溶接に資格が不要と聞いているが、資格導入などにより溶接技術を向上させる必要性を感じた。

この他、本調査団では震源近傍の地震動特性と建物被害の調査、学校校舎や商業建築など個別建物の詳細調査⁷⁾、衛星画像より自動検出した推定被害分布の検証⁸⁾、衛星携帯電話を用いた準リアルタイムな被害調査マップの作成¹⁰⁾など様々な調査研究を行っている。現在、得られたデータを整理・解析中であり、近々これらの成果は報告書やホームページ³⁾等で公表する予定である。

おわりに

今回の地震はマグニチュード 6.6 と比較的規模の小さな地震であったにもかかわらず、地震に極めて脆弱な都市のごく近くで起きたため、死者 4 万人を超える大災害を生じてしまった。特に地震に殆ど抵抗力のないアドベ建築や古い無補強組石建物は軒並み倒壊し、人的被害を非常に大きくしていた。対照的に何らかの耐震対策を施している建物の多くは軽微な被害であった。今回の貴重な教訓から地震に強い建物が出ることを切に願うばかりである。一方、アルゲ・バムに代表されるアドベ建築は地域特有な文化建築であり、その伝統美により多くの観光客を魅了している。アドベは既に建設が禁止されており、さらにこの地震を契機に多くが取り壊されているのを目撃したが、地域の伝統的文化が消えつつあるのを見るのは残念であった。地震工学者は最先端の研究だけでなく、大きな役割があることを認識した次第である。

最後に、調査に際し、IIEES や BHRC などの関係機関の多くの方々に多大なるご協力を頂きました。強震記録は、BHRC と日本地震工学会調査団（東京大学生産研 ERS 研究グループ代表：小長井一男教授）との協定に基づき使用させて頂きました。住宅地図として使用した衛星画像は東京工業大学の小杉研究室に提供して頂きました。また被災地の方々には、多大な被害を受けたにもかかわらず快く調査に協力頂きました。心からお悔みを申し上げるとともに、記して感謝致します。本地震調査は文部科学省・平成 15 年度科学研究費補助金「2003 年イラン南東部バム地震の総合調査研究（代表：九州大学 鈴木貞臣）」、及び文部科学省による大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる助成を頂いています。

（ 文責 久田嘉章/工学院大学建築学科 ）

参考文献・資料

- 1) USGS, <http://earthquake.usgs.gov/recenteqswm/Quakes/uscvad.htm>
- 2) UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, <http://www.reliefweb.int/w/rwb.nsf/vID/70BE072E2C37A60AC1256E5A003A7E03?OpenDocument>
- 3) 日本建築学会災害委員会, <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Saigai/>
- 4) National Cartographic Center of Iran, <http://www.ngdir.ir/Downloads/Downloads.asp?offset=0>
- 5) BHRC, <http://www.bhrc.gov.ir/Bhrc/d-stgrmo/shabakeh/earthquake/bam/bam.htm>
- 6) 久田嘉章、震原丘傍の強震動特性 <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/2001/jiban2001.htm>
- 7) 前田国樹 他、2003 年 12 月 26 日イラン Bam 地震による建築物の被害調査報告、建築防災、5 月号
- 8) 東工大・アジア航測共同研究チーム、イラン南東部地震バム市の家屋被害分布を衛星画像より自動抽出 <http://www-kosugi.pms.titech.ac.jp/media/20040129/index.htm>
- 9) European Macroseismic Scale 1998, EMS-98, <http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projekt/ems/>
- 10) 工学院大学久田研・Informatix, Near-Real-Time Information System of Bam (Iran) Earthquake Damage Investigation <http://sisasc.informatix.co.jp/iran/>



写真 4 建設中の鉄骨フレーム造建築の被害（左：全景、右：破断した柱・はり接合部）