

速報

2003年12月26日イラン・バム地震被害調査速報

宮島 昌克*・目黒 公郎**・伯野 元彦***・幸左 賢二****・
 飛田 哲男*****・吉村 美保**・高島 正典**・Paola Mayorca**・
 Abdolhossein Fallahi**・鍛田 泰子*****・林 亜紀夫*****

Preliminary Report of the December 26 2003 Bam, Iran, Earthquake

Masakatsu MIYAJIMA*, Kimiro MEGURO**, Motohiko HAKUNO***,
 Kenji KOSA****, Tetsuo TOBITA*****, Miho YOSHIMURA**,
 Masasuke TAKASHIMA**, Paola MAYORCA**,
 Abdolhossein FALLAHI*, Yasuko KUWATA*****
 and Akio HAYASHI*****

Abstract

A destructive earthquake (M_w 6.6) occurred on December 26, 2003, at 7:56 GMT (5:26AM local time), near the city of Bam located southeastern part of Iran. There is the Bam fault just 2 km away from the city, which might be activated for the first time in several thousand years. The focal depth is estimated to be 8 to 10 km and the focal mechanism is reported to be dextral strike-slip with small vertical component. Strong motions were recorded in the city, about 14 km from the epicenter. The maximum peak ground acceleration was 1.0 g in vertical, and 0.81 g and 0.65 g in horizontal components. The number of victims due to the earthquake exceeded 40,000 as of Feb. 26, 2004. A major cause of death could be crashed or hit by the debris while sleeping due to the collapse of housings. The earthquake also destroyed the historical mud brick complex, "Arg-e-Bam" which is more than 1,500 years old.

キーワード : 2003年12月26日, 地震災害, イラン

Key words : December 26, 2003, Earthquake disaster, Iran

- * 金沢大学工学部
Department of Civil Engineering, Kanazawa University
- ** 東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science, University of Tokyo
- *** 攻玉社工科短期大学
Kogyokusha College of Technology
- **** 九州工業大学建設社会工学科
Department of Civil Engineering, Kyushu Institute of Technology

- ***** 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
- ***** 神戸大学工学部建設学科
Department of Civil Engineering and Architecture, Kobe University
- ***** パシフィックコンサルタンツ株式会社
Pacific Consultants, Co. Ltd.

本速報に対する討論は平成16年11月末日まで受け付ける。

1. はじめに

2003年12月26日午前5時26分(現地時間)、イラン南東部(Fig. 1)の人口約12万人の町バム市近郊を震源とする地震が発生した。地震発生が早朝であったため、死者43,200人、治療中の負傷者15,000人(2月26日現在)を超える激甚な災害となった。古い市街地では日干しレンガ(アドベ)による組積造住宅が倒壊、新しい市街地でも焼成レンガを用いた無補強組積造住宅の多くが倒壊した。しかし、RCや鉄骨の柱またはタイルでレンガの壁を拘束・補強した組積造は倒壊を免れているものが多い。町の北東部には日干しレンガの壁を土で塗り固めた「アルゲ・バム」(バム城)と呼ばれる1500年以上の歴史を誇る遺跡があるが、今回の地震で倒壊した。

このような被害に鑑み、土木学会・地震被害調査団(団長：宮島昌克・金沢大学教授)は、日本地震工学会調査団(団長：小長井一男・東京大学教授)と一部合同で、2月15日から26日まで現地調査を行った。著者らは土木学会調査団として調査に参加したのでここにその一部を紹介する。

2. 地震の概要

当該地域の地震活動度を Fig. 2 に示す。バム市

北方の Gowk 断層周辺で多くの地震が発生しているが、バム断層付近では近年大きな地震は記録されていない。バム断層はバム市の東約2 km に位置し、比高約20 mの断層崖が南北に走る右横ずれ逆断層である。断層に対しバム市は上盤側に位置し、下盤側にはバラバット市が位置している。断層崖には、断層線を横切る東西方向のガリー浸食が多く見られるが(Photo 1)、中には古いカナート(灌漑用地下水路)が崩れて谷になっているものもある。

本震は12月26日午前5時26分ごろ発生した(現地時間)。震源の位置と深さは、29.01 N, 58.26 E, 約8 km から10 km と推定されている(IEES, 2003)。マグニチュードは米国国立地質調査所(USGS)の観測ではMw 6.6であった。断層面で最大約1 mの食違いが生じたものと推定されている(東大震研, 2003; Yagi, 2003)が、地表面に明瞭な断層は現れていない。しかし、バム市北方の砂漠地帯において、幅1~2 cm程度で左雁行する地表亀裂が認められたとの報告がある(吾妻, 2004)。

イランではBHRC (Building and Housing Research Center)が、イラン強震ネットワーク(Iran Strong Motion Network: ISMN)を整備

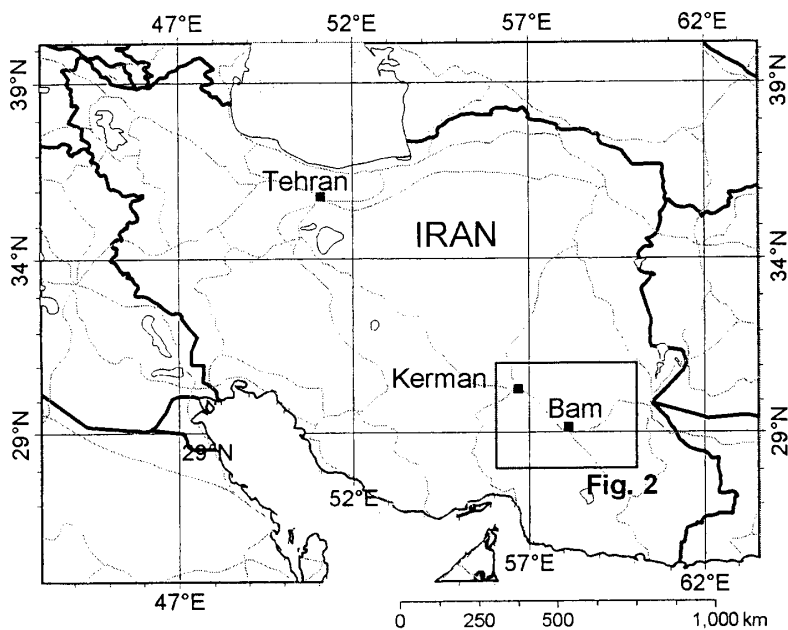


Fig. 1 Location of Bam, Iran

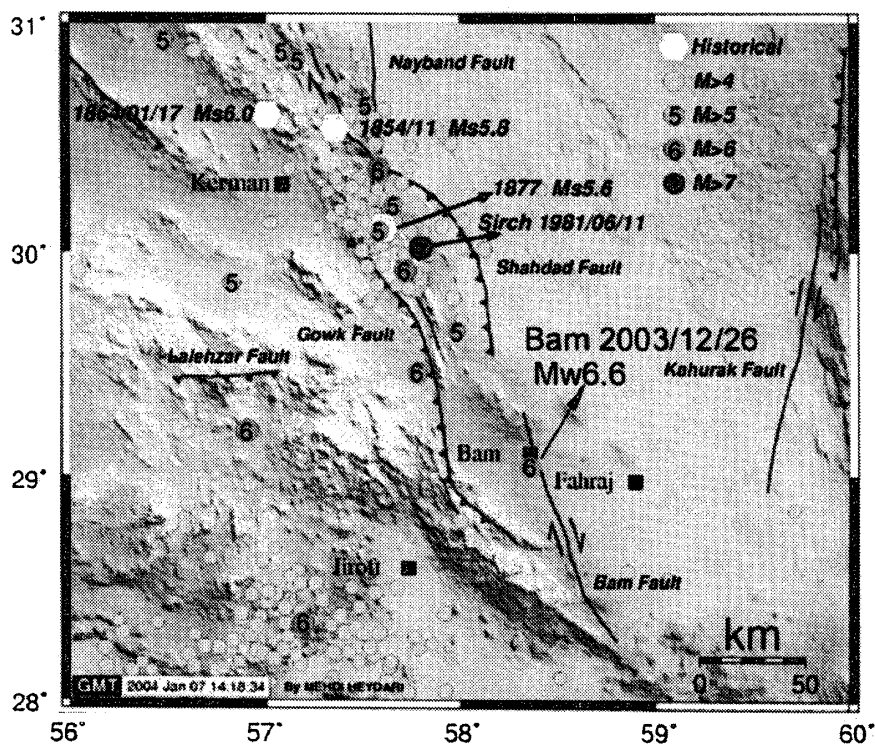


Fig. 2 Seismicity of the area (IIEES 2003, Bam is added by the author)

しており多くの強震記録が得られている。バム市近郊の6観測点における本震の最大加速度と震央距離をTable 1に示す。Fig. 3にBHRCから公開された強震波形を示す(地震計:SSA-2)。バム市の記録は震央距離14kmで観測されたものであり、最大加速度は上下動で約1,000 gal, 東西約800 gal, 南北約650 galの水平動が記録されている。強震計はバム市庁舎(2階建て補強組積造:半壊)の1階の机の下に設置されており落下物の影響はなかったが、近くにあったロッカーが転倒していたとの報告があるので、その影響や建物の振動の影響を受けているものと思われる(Photo 2)。Fig. 4にイラン東部の最大加速度の距離減衰モデルを、今回の強震記録から得られた値と共に示す(BHRC, 2003)。

3. 地形・地質

バム市はFig. 1に示すように、テヘランから南東約750kmに位置するケルマン市のさらに南東約180km, ルート砂漠の南端, 標高約1,050mに位置する。市の面積は約5,400haで、地形は平



Photo 1 Gully in the Bam fault viewing from east to west

坦である。バム市周辺の地質は第四紀起源の細砂とシルトが沖積層を形成している(IIEES, 2003)。市街はバム断層西側に広がり、市の北部をPosht川が西から東へ流れている。この川には、調査時点では流水は少なかったが、毎年1月頃の一時期、大量の流水があるとのことである。

河食崖および市内の開削面から判断すると、バ

Table 1 Specifications of recorded mainshock (BHRC)

| Site Name | Geographic Coordinates | | Epicentral distance (km) | Uncorrected PGA (cm/s ²) | | | Elev. (m) |
|--------------|------------------------|-------|--------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-----------|
| | E(°) | N(°) | | L | V | T | |
| Bam | 58.35 | 29.09 | 14 | 799.06 | 988.5 | 636.4 | 1094 |
| Abaraq | 57.94 | 29.34 | 49 | 171.12 | 88.79 | 111.4 | 1644 |
| Mohamad abad | 57.89 | 28.90 | 49 | 123.52 | 70.74 | 71.4 | 1961 |
| Jiroft | 57.74 | 28.67 | 76 | 40.33 | 31.81 | 28.33 | 725 |
| Andoohjerd | 57.75 | 30.23 | 139 | 32.05 | 14.91 | 34.38 | 851 |
| Sirch | 57.55 | 30.20 | 146 | 31.13 | 14.64 | 29.71 | 1685 |

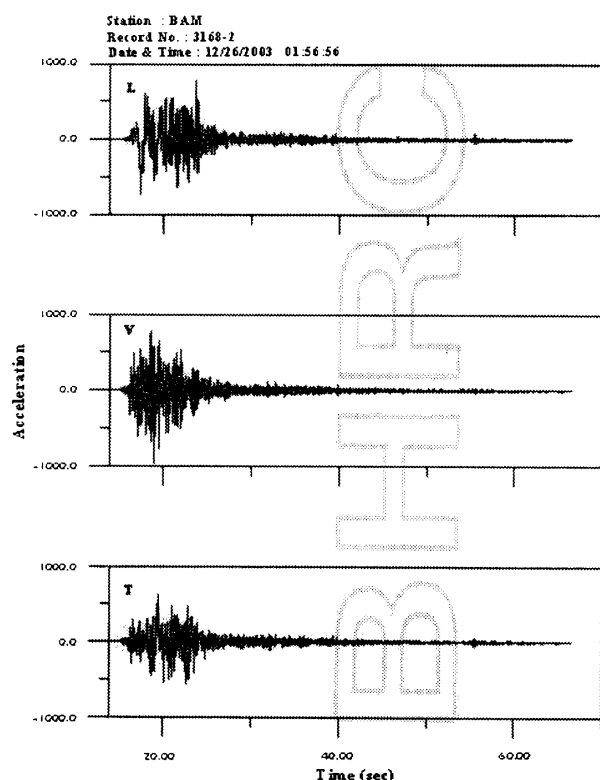


Fig. 3 Strong motion record of the mainshock recorded at the governor's office of Bam city. Unit is in gal. (L: N82 W, T: N8E, V: vertical) (BHRC)

ム市周辺の表層地質は、主に赤灰色のシルト、シルト質細砂の表層、その下部に砂礫の河床堆積層から構成されているものと思われる。Photo 3 はバム市庁舎付近の工事現場の開削面である。この付近の表層のシルト層厚は約 1.4 m であるが、川の北部では 3 m を超えるところもあり、そこでは露天掘りでシルト層から焼成レンガを作っている (Photo 4)。バム市庁舎において行われたボーリ

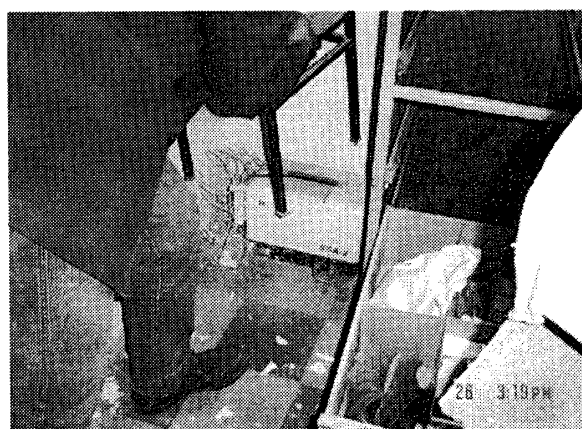


Photo 2 Accelerograph in the Bam's governors office (Photograph by BHRC)

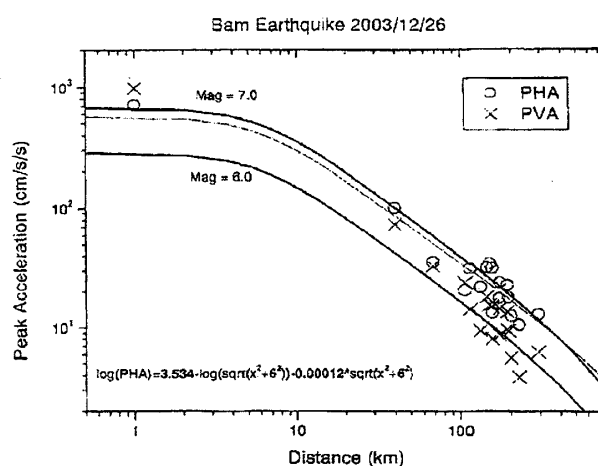


Fig. 4 Attenuation model of peak acceleration of the east part of Iran with observed PGA (BHRC)

ング調査では、さらに深部においてもシルト質砂が堆積しているようである。

日干しレンガを構成するシルト質細砂の室内試験結果を Table 2 に示す。試料にはごくわずかに砂粒子が含まれるが全般的に低塑性のシルト (ML) である。湿潤状態ではやわらかくやや粘性を持つため整形しやすいが、乾燥すると非常に硬くなる。現地盤においても表層のシルト層はとても固く、ハンマーで強くたたいても容易には崩れない。土構造物の被害はカナートを除き皆無であったが、建物被害と灌漑による水を含んだシルト質地盤の地震時挙動との関連を調べる必要があるように思われる。

4. 被害の概要

4.1 人的被害と医療機関の被害

2004年2月26日現在、バム地震による人的被害は、死者約43,200人、治療中の負傷者約15,000人、罹災者約75,600人(約14,730家族)、孤児約2,000人となっている(外務省調べ)。早朝に発生したこともあり、死傷者のほとんどは、睡眠中の住家の倒壊による圧死、または崩壊した建物の破片に当たりそれが致命傷となったものと推定される。また、本震の1時間ほど前に前震があり、家が倒壊するほどではなかったが住民は家を飛び出した。しかし、外は零下で寒く、老人と子供を家に帰したところ、本震が発生したため、多くの老人と子供が犠牲になったとの情報もある。

倒壊した自宅前の路上でテント生活をしている少女にヒアリングを行ったところ (Photo 5)、彼女はアドベ造の家で寝ており、地震により家が倒壊、地震後2から3時間後に隣の補強組積造の家に住む従妹が、近所の人を集めて彼女を救出したが、両親は亡くなったとのことである。

バム市には公立(ホメイニ病院)と私立(アフラトゥニアン病院)の総合病院が2件あったが、調査時点では、入院患者は他市の病院へ移送されていた。両病院とも補強組積造であり、壁の一部崩落と大きな亀裂が見られるものの、建物の倒壊は免れていた。ホメイニ病院には、薬局が開設され国際機関から支給されたテントや移動式の風呂・トイレなどが設置されていた。一方、アフラトゥニアン病院は地震後放置されたままになっており、

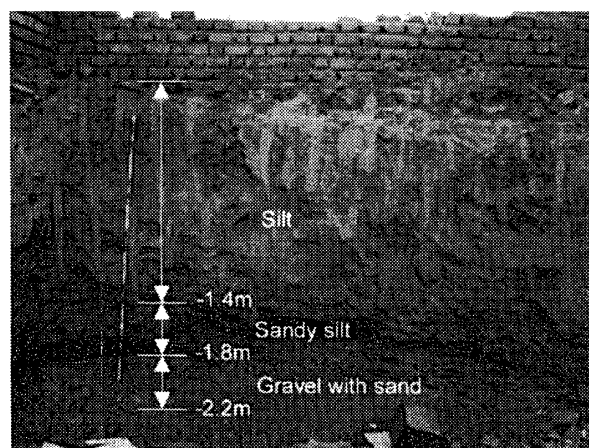


Photo 3 Cross section of the subsurface soil

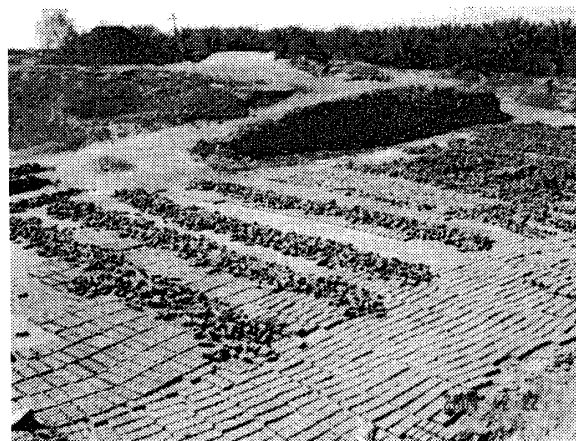


Photo 4 Open cut for producing burnt brick

Table 2 Soil properties of adobe brick

| Property | Value | Unit |
|-----------------------------------|-------|------|
| Water content | 0.91 | % |
| Specific gravity | 2.73 | - |
| Max. void ratio, e_{max} | 1.58 | - |
| Min. void ratio, e_{min} | 0.92 | - |
| Liquid limit | 22.4 | % |
| Plastic limit | 14.3 | % |
| Grain size of 50% finer, D_{50} | 0.02 | mm |
| Grain size of 10% finer, D_{10} | 0.002 | mm |
| Uniformity coef., U_c | 17.5 | - |

関係者は援助を願っていた。Photo 6はアフラトゥニアン病院内部の被害状況である。壁の石膏崩落などが目立ったが、地震による病院関係者の死者

はなかったとのことである。

路上には罹災者の住む多くのテントが設営されている。現地の人々は、普段からいすをあまり使わず床に座って生活しているためか、淡々とテント生活を送っているように見えたが、瓦礫から出るシルト質のほこり、脇を通る自動車の騒音に加え、真昼の強烈な暑さなどに耐えていた。

4.2 建築物・公共構造物の被害

建築物の倒壊率はバム市北東部の旧市街で大きく100%に近いものと思われる。旧市街の被害事例をPhoto 7と8に示す。Photo 7は大通りから路地に入ったところで、元は整然と並んでいたであろうと思われる住宅が倒壊し、一面日干しレンガの山になっている。このような光景は、旧市街の大通り裏手のいたるところで見られた。Photo 8はバム城に近い、比較的大きな住宅が並んでい

る地区であるが、前面の壁が崩壊したもののアーチ部分が残っている事例である。アドベ造では、アーチやドームが残っているものが目立ったが、その周囲の建物は倒壊しており、運良く残っているという印象を受けた。

歴史的建造物であるバム城 (Photo 9) は、要塞とその城下町からなるが、要塞の上部は完全に崩壊しており、下部がわずかに原型をとどめている。城下町はほぼ完全に崩壊しているが、倒壊せずに残ったアーチ部分もある。バム城の東壁の外に岩盤の露頭があり、その傾斜に沿って物見塔(上部の高さ約3 m, 下部の高さ約6 m)がほぼ無傷で残っている (Photo 10)。

バム市街では、バム城を含め建物および塙の多くが東西方向に倒壊している。一方、断層を挟んで東側のバラバット市南部では、倒壊にバム市街



Photo 5 Interview with a sufferer

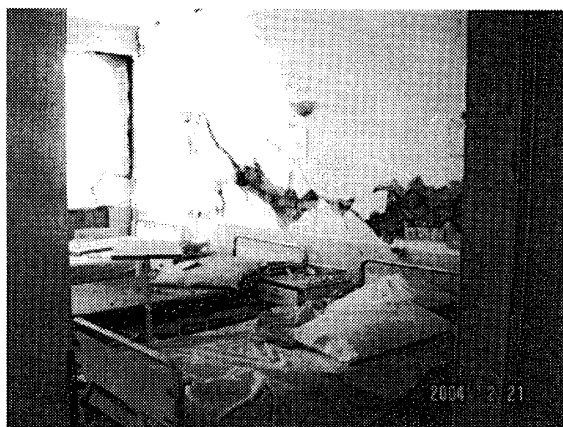


Photo 6 Damaged wall in a hospital



Photo 7 Flattened houses in the old town

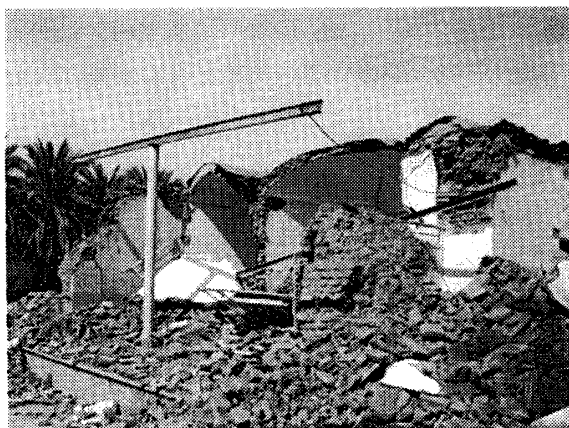


Photo 8 Damaged residential housing made of adobe bricks

ほど明瞭な方向性は見られない。

バム市西部の河原に近い住宅地で無補強組積造の倒壊率が大きい地区があったが、建物の強度とサイト特性の両面から検討する必要がある。

公共構造物は RC 構造が多く被害も比較的少ない。バム市の北を流れる川に 3 本の RC 橋梁がかかっているが、調査の結果被害が認められたのはバム城に最も近いもののみであり、桁が軸直角方向西側に 2 cm 移動、片側橋台にひび割れ損傷が認められた程度であった (土木学会調査団, 2004)。

被害の大きかった市街地に立つ高さ約 20 m の RC 構造の給水塔 (Photo 11) は 8 本の柱を正八角形に配置した中層梁を有する立体ラーメン構造である。この給水塔では、地上から 2.5 m 付近の東西の柱にかぶりコンクリートのはく離が見られ鉄筋が露出していた。コンクリートのはく離は東

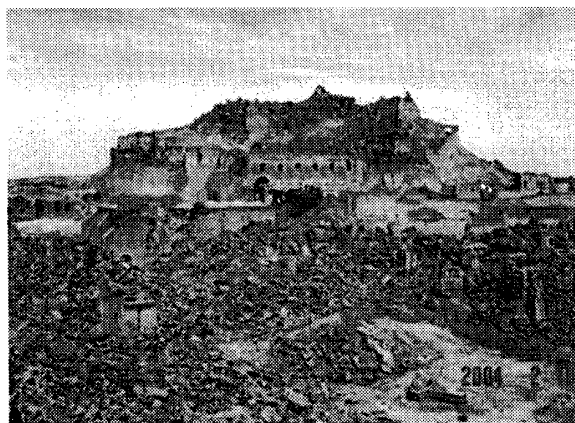


Photo 9 Arg-e Bam after the earthquake

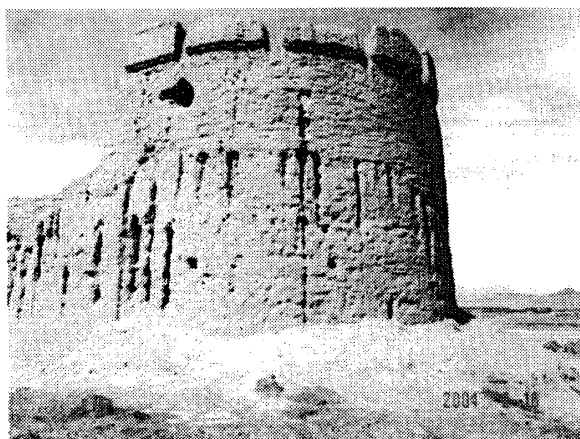


Photo 10 Watchtower near Arg-e Bam

の柱の方が西側よりも縦に大きく、また、軸方向鉄筋は西側の柱では明らかに座屈しているが、東側では座屈ではなく、引っ張りを受けたように見受けられた (Photo 12) (土木学会調査団, 2004)。Photo 13 に示すように付近の建物のほぼすべてが西向きに傾斜・倒壊していることから、この給水塔も西向きに大きな力を受けたものと思われる。

4.3 ライフライン被害

上水道システムに関しては、被害は取水井戸のポンプ施設や貯水施設にも被害があったが、脆弱な埋設管の被害は甚大であった。調査時点で本線はすべての管路で復旧していたが、支線は倒壊し



Photo 11 Water tank in the severely damaged area



Photo 12 Concrete column and rebar on the east side of the water tank shown in Photo 11

た住居の撤去が進んでいないため完全には復旧しておらず、車道を横切って地上仮配管を各テントまで引いているところもある。そのため、Photo 14 に示すように道路に段差が生じ、そこで自動車等が速度を落とすため交通に支障をきたしているところもある。しかし、多くの場所では応急用の水タンクがテント数戸に1つ割り当てられている。

小雨と乾燥した気候のため、灌漑用水と飲料用水は深井戸と「カナート」または「ガナット」と呼ばれる地下用水路に頼っている。バム地震前には126のカナートが需要の50%、残りを深井戸がまかなっていたが、地震による陥没で水の供給が止まるなどの被害が報告されている (IIEES, 2003)。

ケルマン市とバム市の間には、片側1車線の道路が1本あるのみで、平常時には片道2時間あまりのところ、地震当日の夕方には6時間以上かかったとのことである (土木学会調査団, 2004)。

負傷した人々や支援物資の緊急輸送手段としてバム市にある民間企業所有の飛行場が使われた。地震当日はイラン各地に向けて重傷患者を搬送するとともに、救援・救出スタッフ、資材などを被災地に届けた。当飛行場では地震により管制塔が使用不能となったため、野戦用の移動式管制塔が急遽滑走路の脇に設置された (神戸大学調査団, 2004)。

電気・通信はほぼ1日で応急的に使用可能となったとのことである。埋設管によるガス供給は行われていなかった。

5. 家屋の倒壊率調査

今回の被害調査では、Table 3 に示すように3つのワーキンググループが構成された。ここではグループG1の調査概要について述べる。

バム市における被害分布と震度分布、表層の地質構造を詳細に調べるために、バム市内に測線を設け微動観測を行った。Fig. 5において白線で囲まれた地区は、旧市街で被害の大きかった地区である (German Remote Sensing Data Centerによる)。また同図中丸印に示す番号(1から4, 7と8の6点のみ示す)は微動観測点に付けた番号、



Photo 13 Collapsed steel frame building near by the water tank. This building was dislocated about 1.3 meters westward (rightward)

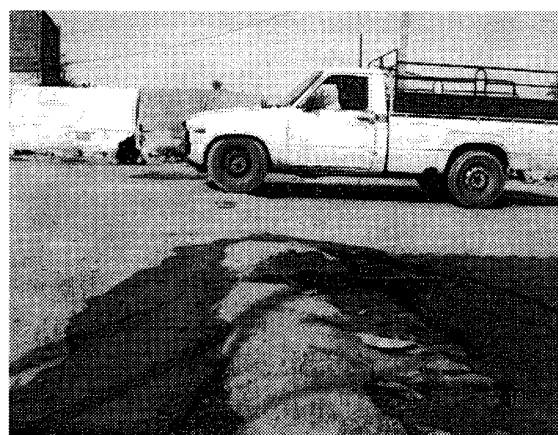


Photo 14 Bulge on a traffic road due to water hose underneath

Table 3 Working group of reconnaissance

| | 調査項目 | グループリーダー |
|----|---------------|--------------|
| G1 | 微動・アンケート・建物倒壊 | 宮島昌克 (金沢大) |
| G2 | 電柱のひずみ分布 | 小長井一男 (東大生研) |
| G3 | 微動・建物倒壊・緊急対応 | 目黒公郎 (東大生研) |

四角に示すP5などの番号は、本稿中に示す写真番号とその撮影地点である。同図中観測点2で交差するほぼ東西・南北の測線に沿う合計20点で微動観測、アンケート調査(18点)、建物の種類の倒壊率調査(18点)を行った。倒壊率調査は微動観測点を中心に半径50m以内の建物につい

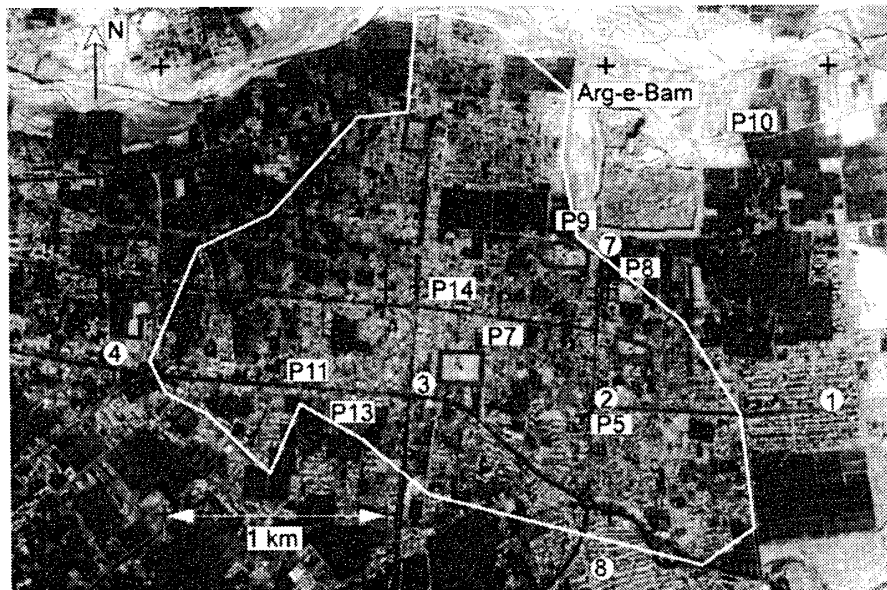


Fig. 5 Satellite image of heavily damaged area (delineated area), investigation points of microtremor and damage distribution (shown as number in a circle), and location where photographs were taken (shown in a square: P5 denotes Photo 5, etc.) (Basemap: Space IMAGING and German Remote Sensing Data Center)

Table 4 Damage classification of various types of architecture

| Building type | Obs. Point No. | | | | | |
|--------------------|----------------|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 |
| Adobe | a | d | d | c | d | - |
| Adobe wall | c | d | - | - | d | - |
| Unreinforced-Brick | b | c | d | b | d | d |
| Confined brick | - | a | b | a | b | - |
| Steel frame | - | a | b | - | - | a |

Damage classification

| | |
|---|--------------------------|
| a | less than 20 % collapsed |
| b | 20 to 50 % collapsed |
| c | 50 to 80 % collapsed |
| d | more than 80 % collapsed |

て行った。その結果を Table 4 に示す。最も被害の大きかった観測点 2, 3, 7 ではアドベ組積造、無補強組積造の倒壊率が大きい。そこから 1 km ほど離れた観測点 1 や 4 では、建物の倒壊率は明らかに小さかった。この点に関する詳細な検討は今後の課題である。

6. まとめ

2003 年 12 月 26 日にイラン南東部バム市近郊で発生した地震 (Mw 6.6) について現地調査に基

づき報告した。被害の特徴としては以下の点が挙げられる。

- (1) 断層の西に位置するバム市では、多くの建物の倒壊・傾斜方向が東西方向であった。一方、断層の東に位置し、大きな被害が生じたバラバット市南部では倒壊方向にバム市街ほど明瞭な方向性は見られなかった。
- (2) アドベ組積造、無補強組積造家屋の多くが倒壊した。特にアドベ組積造の場合、アーチやドーム屋根を支えていた水平反力が、壁の倒壊・傾斜によって失われた結果、その屋根が崩落している。しかし、無補強組積造家屋の壁に吹き付けコンクリートを施したものについては、倒壊を免れているものが多い。
- (3) 鉄骨柱または RC 柱による補強を施した組積造、鉄骨骨組み建屋の完全倒壊は少ない。
- (4) 土木構造物の数は少なく、その被害は軽微であった。
- (5) バム市西部の河原に近い地域で無補強組積造家屋の倒壊率が大きいところがある。
- (6) 土構造物の被害はカナートを除き皆無であったが、灌漑等による水の浸透が表層のシルト質

地盤の動特性に与える影響を考慮する必要がある。

謝 辞

被害調査にあたり、土木学会災害緊急部門、地震工学会調査団、文部科学省突発災害研究、日本建築学会調査団の関係各位に厚くお礼申し上げます。先遣隊として情報を提供していただいた神戸大学調査団、カウンターパートとして現地での宿泊・移動手段の手配をはじめ、調査に同行し通訳をしていただいたイランの IIEES (International Institute of Earthquake Engineering and Seismology), University of Tehran, BHRC (Building and Housing Research Center) の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- BHRC, The very urgent preliminary report on Bam earthquake of Dec. 26-2003. <http://www.bhrc.gov.ir/>, 2003.
- IIEES: http://www.iiees.ac.ir/English/Bam_report_english.html, 2003.
- Yagi, Y.: Preliminary Results of Rupture Process for 2003 December 26 Southeastern IRAN, Earthquake, http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/Iran_20031226/IRAN_20031226.htm, 2003.
- 神戸大学調査団, イラン・バム地震・神戸大学調査団報告会資料, 2004.
- 東京大学地震研究所情報センター: 遠地実体波解析(暫定解), EIC 地震学ノート, 145, http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/EIC_145.html, 2003.
- 土木学会調査団, 2003年12月26日イラン・バム地震被害調査報告, イラン・バム地震地震被害調査団, Vol. 89, 4月, 2004.
- 吾妻 崇:活断層研究センター, http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/news/no.33/azuma/topics_02.html, 2004.

(投稿受理:平成16年4月13日)

訂正稿受理:平成16年4月27日)