

バム市の地盤調査結果から

東京大学 東畑郁生

テヘラン大学 アッバス・ガランダルザデ

イラン工科大学 ハビブ・シャナザリ

防災科学研究所 マスード・モハジェリ

1. はじめに

今回の被害調査にあたって地盤関係の問題を担当することとなり、平成16年2月24日から10日間イランに滞在し、さまざまな活動を行なった。海外調査にあたっては言葉や現地慣習に通ぜぬ第一著者だけでは困難が多く、現地のカウンターパートであるIIEES(地震学/地震工学国際研究所)及び第二~四著者の協力が重要であった。

2. バム市の地盤について

図1は、バム市の航空写真である。おおむね平坦な地形の上に位置しているが、市の北側にPosht川(Posht-e-Rud)が流れている。ただし乾燥地帯の中なので、水は少ない。町の北東部に岩の露頭がそびえ、ここに城塞の遺跡 Arg-e-Bam がある。また川を越えた北東方向及び南東のBaravatの方にも基盤岩の露頭がある。地震断層の位置とされているのは、この地域にあたる。IIEESは市の内外で反射法の地盤探査を行ない、地層構造を推定しているが、深度の誤差は2m程度ある、とのことであった。アレーの調査位置を図2に示す。

反射法は大局的な地層構造を把握するのに適するが、精度には限界がある。これを補うため、同じアレー4ヶ所を選び(図2の地点)、スウェーデン式貫入/載荷試験を行なった(図3)。1m貫入に要する半回転数 N_{sw} は、稲田の経験式

$$SPT-N = 0.02 \times W_{sw} + 0.067 \times N_{sw} \quad (\text{砂対象、今回の調査では荷重 } W_{sw} = 100 \text{ kgf})$$

によって、N値に換算できる。その結果を図4の白抜き記号で示す。これからわかる通り、深度1ないし2mより下にはN値が20を越える硬い土層があり、これ以上の貫入は不可能であった。実際掘削現場で観察すると、ここには礫混じり砂層があり、きわめて安定している。地表部もそれなりに強く、いわゆる軟弱地盤は存在せず、地下水にも出会わなかった。図4の塗りつぶし記号(、など)は、反射法のS波速度 V_s から道路橋示方書の式($V_s = 80N^{1/3}$)によって換算した等価N値を示す。

これも深さ1ないし2mで大きな値となり、その精度を考えれば、スウェーデン式載荷試験と整合していると言って良い。そこで反射法探査は信頼できるものと見なし、バム市内9ヶ所の調査結果から地盤構成を描いたのが、図5である。町の北のPosht川から南へ測った距離(縦軸)に対して、深さ(横軸)ごとに V_s を記入し、基盤とされている部分と表層土の境に、線を曳いた。これからわかるように、南部ほど基盤が深い。このことと地表地震動増幅や被害程度との関係は興味深い話題であるが、実際には市の東部ほど被害が激しいこと、及び後述のように多くの死者を出した原因は上部構造の問題である、と考えられることから、この問題はこれ以上は扱わない。

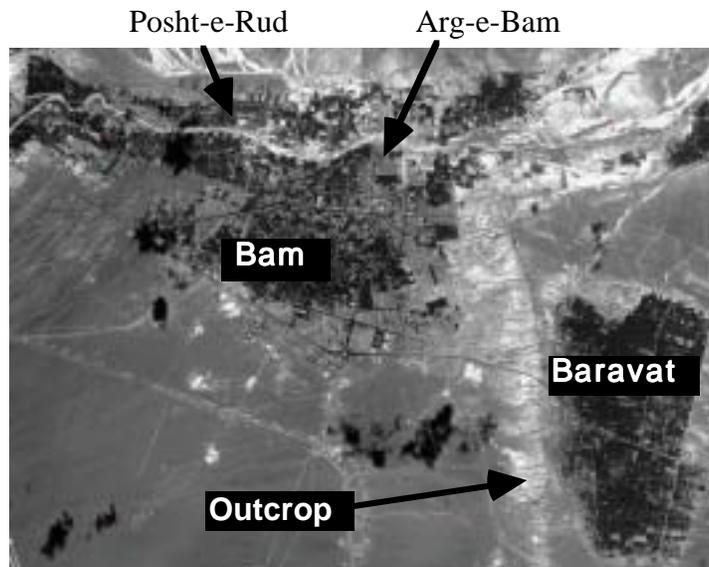


図1 バム市の航空写真

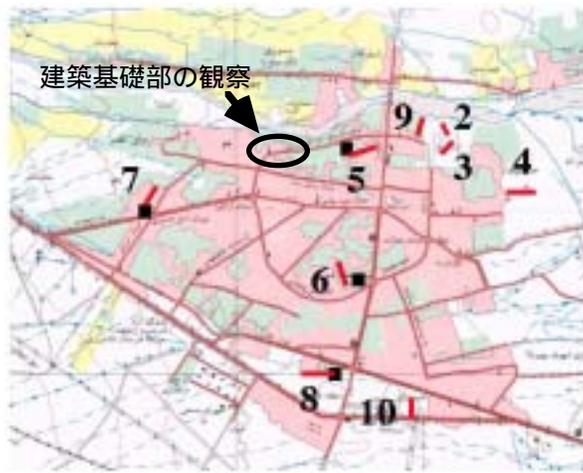


図2 I I E E Sの反射法物理探査実施地点

図3 スウェーデン式貫入試験の実施状況 (アレー 5 地点)

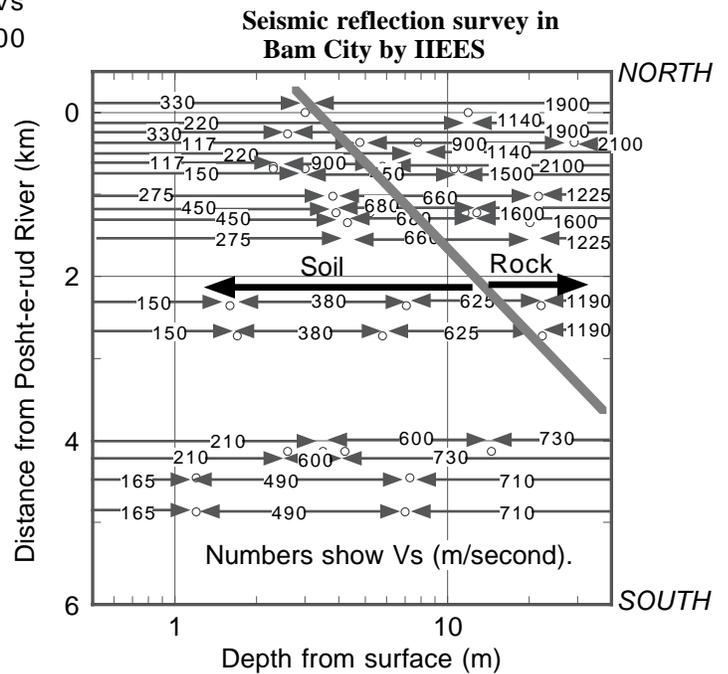
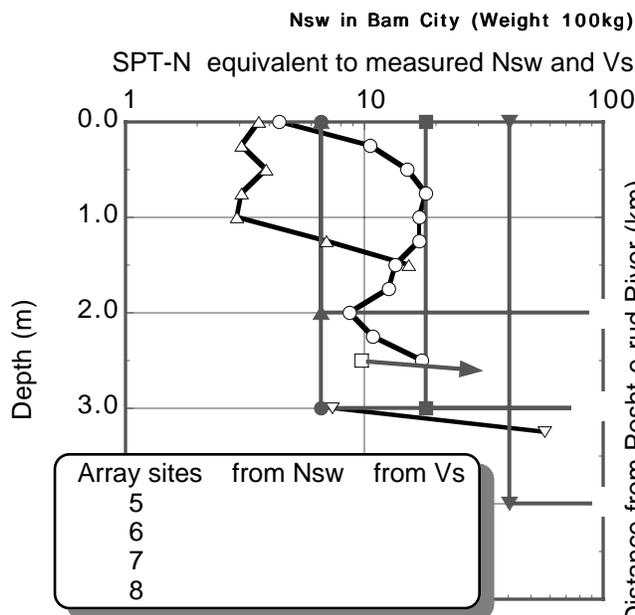


図4 スウェーデン式載荷試験とS波速度の対比

図5 I I E E S 反射法物理探査結果に基づくバム市の地盤断面モデル

3. 土木構造物などの状況

バム市内でBHRCによって観測された最大加速度は、図6のように、きわめて強烈である。しかし発生した被害は、全壊家屋の問題を除くと、軽微であったと言わざるを得ない。図7は町の北側でPosht川に架かるEsfikan橋の状況である。一見して変状は無く、車両も問題無く通行していた。下にまわって観察しても、沓の無い単純な支承構造であるにもかかわらず、かすかな横ずれがあるように見られる程度であった。バムの南東2.5kmの山中で

築造の始まっていたNarmashirロックフィルダムの現場でも、土採り場の斜面で落石があった程度であり、斜面崩壊と呼ばれる現象は起こらなかった（図8）。バム市南の化学プラントのタンク、周辺配管にも、スロッシングと液漏れ跡の他には目立った変状は無く（図9）、管理事務所のレンガ壁崩落と対照的であった。

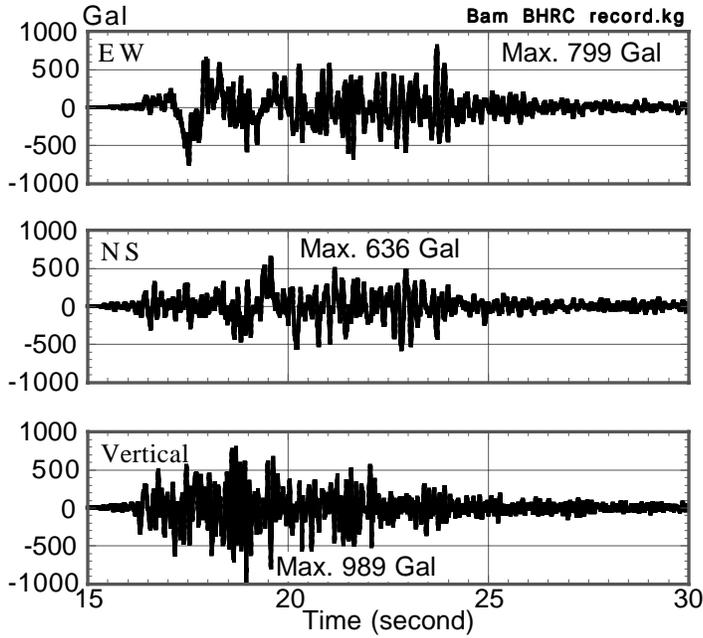


図6 バム市内の加速度記録例(BHRCによる)

(a) 全景



(b) 橋脚の観察



図7 バム市北側のEsfikan橋の状態



図8 Narmashirダム現場の落石跡



図9 バム市南郊の燃料タンクの状況

4. 建築の状況

市の西部（図2参照）で建築基礎部の状況を観察した。この地域には、図10のように無被害の建物がある一方、図11のように全壊に近いレンガ造の建物もある。しかし後者でも基礎部に変状は無く、被害は上部構造の脆弱さによる、と言わざるを得ない。さらに図12のような、壁が崩落しても基礎部は変状の無いことが明らかなケースもあった。

アジア乾燥地帯の地震では、地震規模に比べて犠牲者数の多いことが特徴であり、その原因としてはアドベやレンガ壁の弱いこと、屋根の重いことが、以前から指摘されている。今回の調査に先立ち筆者らは、軽量のEPSを家

屋に積極的に使うことを提案していた。EPSの長所としては、軽量以外に断熱性に優れていること、道路の路盤に使用実績があるように、耐久性も備えていることがあった。この発想は現地ですでに、仮設住宅として実行されていた(図13)。ただし永久住宅に使うには、次のような問題があるとのことであった。

伝統的な住宅では、屋根が木材、泥、石などの積み重ねで出来ている。これは重いという欠点はあるものの、断熱性に加えて蓄熱性(昼間の太陽熱を貯えて夜間に家の内部に放散する)という長所がある。EPSには蓄熱性が期待できない。

バムのような歴史観光都市では、EPS住宅の並ぶ景観は、ふさわしくない。

このようなことから、EPSの影響建築への適用提案は、不首尾であった。



図10 バム市西部の無被害建築



図11 バム市西部の被害建築の基礎状況1



図12 バム市西部の被害建築の基礎状況2



図13 EPS仮設住宅

5. ケルマン市にて

崩壊前の現地の住宅の状況を調べるため、バム市の西方150kmのケルマン市で、住宅地を踏査した。ケルマン市でも地震記録が得られており、それを図14に示す。最大加速度が1.0ないし2.0ガルに過ぎず微弱である。それにもかかわらず図15のような被害が起こっており、現地の建築物にはきわめて脆弱なものが存在していることがわかった。続いて図16の民家を訪問し、地震についてインタビューを行なった。この家は自分で建築したものであり、外見はレンガであるが、屋根は泥塗りである(図17)。きわめて重いものと推察され、またこれをEPSなどに取り替えることが、容易ではない、と感じた。住民はケルマン市も地震に襲われるのではないかと心配しており、毎晩、テーブルの下で眠っている、と語った。

現況では、既存建築（家屋）の耐震補強は困難である。唯一の助言は、床に座って食事する習慣をテーブル式に転換し、その下を天井崩落の場合のシェルターとすること、ベッドにも屋根をつけること、程度であった。

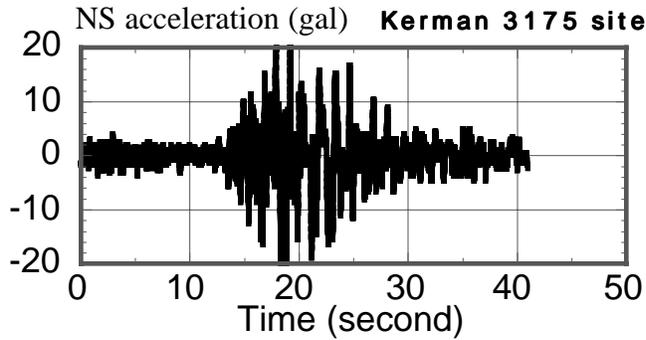


図 1 4 ケルマン市の加速度記録 (BHRCによる)



図 1 5 ケルマン市の建築物被害



図 1 6 ケルマン市で訪問した民家



図 1 7 ケルマン市の民家の屋根

6 . 結論

バム市内外で地震被害の調査および地盤の試験を行なった。結論は次の通りである。

- 1) バム市の地盤は強固である。
- 2) 設計計算に基づいて造られている、と見られる構造物には、ほとんど被害が無い。斜面崩壊現象も見受けられなかった。
- 3) 家屋、建物の中にはきわめて脆弱なものがある。
- 4) 既存建物の住人を将来の地震災害から救うには、家屋内部にシェルター的家具を導入すれば良いのではないか。
- 5) 被災地の家屋再建に軽量材料の導入を考えたが、仮設住宅以外には、問題もあった。

謝辞

今回の調査にあたり、地震動記録をBHRCから提供された。また現地側カウンターパートであったI I E E S やテヘラン大学、イラン工科大学の学生諸君の協力に感謝致します。

参考文献

稲田倍穂 (1960) スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について、土と基礎、8(1), pp.13-18.