

調査報告

イラン・バム地震(2003年12月26日)における アドベ造建物被害の特徴

Characteristics of Adobe Structure Damage observed in Iran·Bam Earthquake (Dec. 26, 2003)

目黒 公郎*・吉村 美保*・パオラ マヨルカ*・高島 正典*
Kimiro MEGURO, Miho YOSHIMURA, Paola MAYORCA and Masasuke TAKASHIMA

1. はじめに

2003年12月26日に発生したバム地震では、バム市とその周辺で約50,000棟の建物被害が発生し、約26,271人が死亡した。また、約15,000人が治療を受けており、75,600人が家を失った状態にある^{1),2)}。今回の災害では、目立った火災は生じていない。つまり、大量の人的被害は基本的に建物倒壊によるものである。地震前のバム市及びその周辺の人口は、約125,000人といわれており、住民のほぼ3人に1人が建物倒壊で死亡したことになる。National Cartographic Center of Iran (NCC)は、航空写真をもとに

被害現況図を作成している。図1にこれを示す。凡例が示す通り、バム市街が全壊率80%以上(紫)、50-80%(橙)、20-50%(黄)の3段階で色分けされている。図1は、建築の専門家ではない機関の人々が、航空写真をもとに作成したものであり、実地調査に基づくものではないが、被害分布の傾向は捉えられていると考えられる。もっとも被害程度の軽いカテゴリでも全壊率20%以上であり、色が塗られていない領域では被害が無いというわけではない。つまり、図1は、かなり高い被害程度にフォーカスされており、そうしなければ被害程度の地域差を表現できないほど、バム市街全体の被害水準が高いことを意味している。

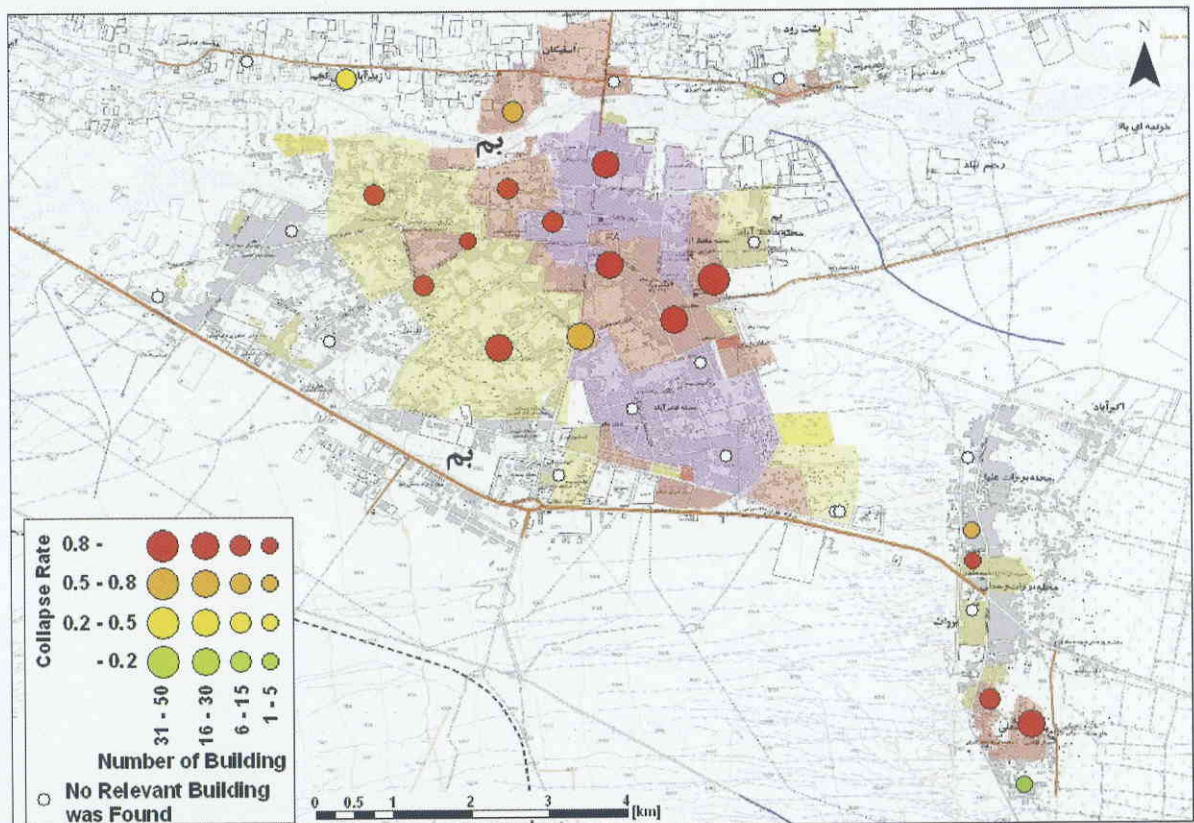


図1 NCCによる被害現況図と著者らによるアドベ造全壊率調査結果

*東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

バム市街全体として建物被害程度は高いが、それでも、地域によって被害程度の差が見られる。この建物被害調査の目的は、その原因を探りつつ、建物被害関数の構築の可能性を検討することである。今回の地震における被害建物の多くは、アドベ造をはじめとする無補強組積造であった。これらの建物形式は、イランだけでなく、中央アジア、西南アジア、中近東、北部アフリカ、中南米をはじめ多くの国々で、一般住民の住宅に採用されているにもかかわらず、その被害関数は、ほとんど提案されていない。今回の調査結果をもとにアドベ造等の無補強組積造に関する被害関数を構築できれば、それらの地域において地震災害リスクを評価する際の重要な参考資料となりうる。バム市街の大きさはおよそ東西 13 km 南北 10 km であり、基盤上の地震動分布はほぼ一様であったとみなせる。よって、バム市街内における被害程度の違いは、ローカルな地盤条件の違いと、建物の耐震性の地域差によるものと考えられる。そこで、バム市街内に、33 点の調査点を設定し微動測定と建物被害調査を行い、各地点における地盤条件および建物形式別の被害データを取得した。本報告では、建物被害のかなりの部分を担ったと考えられるアドベ造建物を中心に、被害調査内容の詳細と調査の結果明らかになった建物被害の特徴について述べる。

2. バム市におけるアドベ造建物の状況

アドベ造建物は、バム市の旧市街に多く分布している。バム市の旧市街は、図 1 中、赤い円で示されるアルゲ・バム遺跡の南西に広がっており、バム市の中心である。今回の地震で 80% 以上が崩壊したとされるアルゲ・バム遺跡内の建物も、アドベ造建物を主体としている。市街の周縁部では、アドベ造以外の形式の構造物の割合が増え、アドベ造構造物はほとんど見られなくなる。図 2 に、バム市街の西北西約 25 km にある集落ダルジンで撮影した健全なアドベ造建物群を示す。図 3 に、バムの南東約 25 km にある集落バキル・アバッドで撮影した老朽化したアドベ造建物を示す。表面に塗られた泥がはがれ、アドベが積み上げられている様子が確認できる。図 4 は、ダルジンで撮影したアドベ作成の様子である。図 4 に示すように、泥を型枠に入れて成型し、枠をはずして日干しにするという簡単な製法である。アドベの大きさはおよそ 25.0 cm × 25.0 cm × 6.5 cm となっている。他の地域で見られるものと同様、バム市周辺のアドベ造建物も、壁が厚く、屋根が重厚である。これは、一日の寒暖差の激しい準砂漠地帯で、外気の変動を緩衝し、屋内を適温に保つための遮熱、蓄熱のしくみだと考えられている。個々のアドベは脆く、構造全体としての一体性も欠如している。また、地震動のような水平荷重に対して抗する構造的な仕組みがない。地震動に対して非常に脆弱な構造物である。Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No. 2800³⁾ では、泥やアドベで作られた伝統的な構造物は耐震性がないため、この形式の建物を建築してはならないとされている



図 2 健全なアドベ造建物群



図 3 老朽化したアドベ造建物

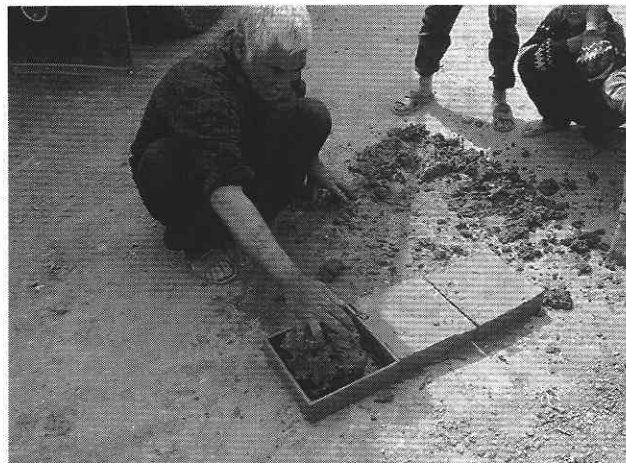


図 4 アドベの作成の様子

(Nesherli K.N. (2004)⁴⁾).

3. 調査方法

今回の調査は、災害発生から約 2 ヶ月後に行われたが、日本出国前に建物被害に関して収集できた情報は、この被害現況図と、複数の研究者による衛星画像を用いた建物被害推定結果であった。これらの情報から、バム市街の被害分布のおおよその状況は把握できるが、これらの情報はあ

くまで推定であり、実地踏査により検証されたものではない。そこで調査の第1日目に、被害現況図と、既に数回にわたり現地調査を行っている Building and Housing Research Center (BHRC) のネシェリ博士の意見を参考にしながら、バム市街全体を車で回り、主な建物形式と、建物被害の地域的な偏りを観察した。この観察の結果と、被害現況図をもとに、被害程度に偏りがないうよう、図1に示すような33の調査点を設定した。また、観察の結果、バム市街内の主な建物形式は、アドベ造、レンガ造、タイ付組積造、S造の4つであることが明らかになった。

各調査点では、微動計測と、被害調査を行った。微動計測には、物探サービス株式会社の常時微動測定システム GEODAS-10 および速度計 CR 4.5-2 SV を用いた。被害調査では、各調査点の周辺約半径50-100 m 圏内を目安に、3人の調査員が独立に踏査し、各調査員が踏査した範囲について、建物形式別に、存在したと想定される建物棟数と、その全壊率を判定した。ここで、全壊とは、建物の完全な崩壊を意味し、EMS-98の被害尺度 Grade5に相当するものを想定している。全壊率の判定は、被害現況図の凡例に対応する4カテゴリ(a: 20%以下, b: 20~50%, c: 50~80%, d: 80%以上)で行った。建物形式の識別、建物棟数、被害程度に関しては、個々の調査員の主観が入りうるが、3人の調査員が独立に判定することで、比較的客户観性の高い結果が得られたと考えられる。

4. 被災地で見られた建物形式とその被害

アドベ造建物に関しては、これまでの地震災害と同様、その耐震性能の低さを確認する結果となった。重厚な壁と屋根が脆い材料で作られていることで、図5に示すような完全な崩壊を招くこととなった。タイ付組積造建物 (Confined Masonry) は、比較的高い耐震性能を示した。図6において、奥に見える建物はタイ付組積造であり、その手前に見える瓦礫は崩壊したアドベ造建物のものである。アドベ造建物とタイ付組積造建物の耐震性能の違いははっきりとあらわれている。図7に示すように、タイ付組積造でも、梁だけが柱が無い場合は、建物の角の部分で被害が見受けられた。また、図8に示すように、建物本体がタイ付組積造で軽度の被害にとどまりながら、接続する無補強レンガ造の壁が崩れているという例も見受けられた。この例からもタイ付組積造の耐震性が高いことがわかる。図9は、不適切に施工されたアドベ造壁の被害例である。この壁の場合、アドベを積み上げる際に、壁に対して鉛直方向にアドベ同士をかみ合わせず、2枚の壁を平行に並べた構造にしたため、地震動により壁の中心面からアドベがはがれてしまっている。

無補強組積造構造物の場合、目地の弱さも被害を大きくしている。図10に示される倒れた壁は、目地の弱さを示す例である。倒れた衝撃だけで一体性を失ってしまっている。図11は、レンガ造構造物の典型的な破壊例である。レンガを積んだ壁の上にH鋼を渡し、重い屋根を構築し



図5 完全に崩壊したアドベ造建物



図6 タイ付組積造とアドベ造の耐震性能の違い



図7 梁だけが施されたタイ付組積造の被害例

ている。地震動を受けて一体性の低いレンガ造の壁が崩壊し、支えを失った屋根がそのまま落下している。

図1には、アドベ造被害の調査結果も各調査点の色と、大きさで示してある。各点の色は、各調査点における全壊率を示し、大きさは、アドベ造建物の数を示す。2.でも述べたように、アドベ造は、市街中心部の旧市街で多く見られるが、アドベ造のみられたほとんどの地点で、80%



図8 タイ付組積造とそれに接続するレンガ造の壁



図9 アドベ造壁の不適切な施工による被害



図10 脆弱な目地による壁の一体性の欠如の例

以上の全壊率が確認された。バム市街全域において、アドベ造構造物はほぼ壊滅状態といえる。



図11 崩壊したレンガ造の学校校舎

5. 最 後 に

以上、本報告では、アドベ造建物被害を中心に、イラン・バム地震における建物被害状況について述べた。今後、これらのデータと、International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES) より提供された、バム市街で実施されたPS検層データをもとに、被害関数の構築を進める予定である。

今回被害の中心となったアドベ造を中心とした無補強組積造建物は、地震災害があるたびに耐震性の低さが指摘されている一方、イランだけでなく多くの国々で一般住民の住宅として広く採用されているものである。今後、これらの既存の建物の耐震性を広く向上させない限り、このような大規模な人的被害の発生を防ぐことは困難であろう。Mayorca, P. and Meguro, K. (2003)⁵⁾ が提唱するように、既存のこれらの建物を、高度な専門知識・技術を必要としない手法で、また、現地での入手が可能な素材で、安価に補強する手法の普及が急務である。

(2004年9月28日受理)

参 考 文 献

- 1) UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs: Iran-Earthquake OCHA Situation Report No. 15, Date: 17 Mar. 2004.
- 2) International Foundation of Red Cross and Red Crescent: Iran: Bam earthquake Revised Appeal No. 25/03 Operations Update No. 16, Date: 9 Aug 2004.
- 3) Permanent Committee for Revising the Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings: Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No. 2800 2nd Edition, pp. 20, 1999.
- 4) Neshlerli, K.N.: Reconnaissance Report on Structural Damages to Buildings due to Bam Earthquake (Dec. 26, 2003, Iran), 2004.
- 5) Mayorca, P. and Meguro, K.: Efficiency of Polypropylene Bands for the Strengthening of Masonry Structures in Developing Countries, The 5th International Summer Symposium, Japan Society of Civil Engineers, 2003.