

# 2001年インド西部地震における建物被害の特徴と 得られた教訓について

篠原秀明<sup>1</sup>・勝間秀樹<sup>2</sup>・古姓昌也<sup>3</sup>・田中莊一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 応用地質株式会社技術本部 (〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5)

<sup>2</sup>応用地質株式会社ITセンター (〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5)

<sup>3</sup>応用地質株式会社神戸支店 (〒652-0807 兵庫県神戸市兵庫区浜崎通 10-20)

<sup>4</sup>正会員 応用地質株式会社技師長室 (〒102-0085 東京都千代田区九段北 4-2-6)

2001年1月26日にインド西部において被害地震 (Mw=7.7) が発生した。筆者らは、現地の被害状況を調査し地震防災に役立てることを目的に、2月12日から17日の6日間にわたり被災地に行き、地盤災害から各種構造物の被害調査を行った。本論文では、まず構造物被害の中から建物被害を取り上げ、被害の特徴のまとめを行った。これによると、震央に近い中小都市や村では伝統的な石を積み上げた組積造建物に被害が集中し多くの死者が出た。一方、大都市の特に新市街地では、1階がピロティ形式となっている鉄筋コンクリート造建物に被害が集中していた。これらの被害の特徴から得られた教訓および地震災害軽減について検討を行った。

**KeyWords :** earthquake damage, reconnaissance of damage, masonry structure, R/C structure

## 1. はじめに

2001年1月26日午前8時46分 (現地時間) に、インド西部、パキスタンとの国境に接する Gujarat 州を震源とする被害地震が発生した。アメリカ地質調査所によるとモーメントマグニチュード7.7となっており、Kachchh 地方や Ahmedabad を中心に甚大な被害が発生した。

筆者らは、被害発生地域を回り、地盤災害、建物被害、土木構造物被害について調査を行って、地震防災に役に立たることを目的に、2月12日から17日までの6日間にわたって現地調査を行った。<sup>1)2)</sup> 図-1に調査ルートを示したが、調査した主な町は Ahmedabad, Rajkot, Morvi, Bhachau, Kandla, Gandhidham, Anjar, Bhauj である。

ここでは、建物の被害について被害の特徴をまとめるとともに、これらより得られた教訓および地震災害軽減について検討を行った。

## 2. 被害全般の概要

被害は、Gujarat 州のほぼ全域で発生した。表-1に示すように、死者数および負傷者数はそれぞれ 20,005 人 (3月15日現在)、68,478 人 (2月5日現在)、建物の倒壊は、大破棟数が 228,906 棟、損壊棟数が 397,615 棟 (いずれも 2月5日現在) となっている。Kachchh 地方に代表される石ないしは土壁の建物は、

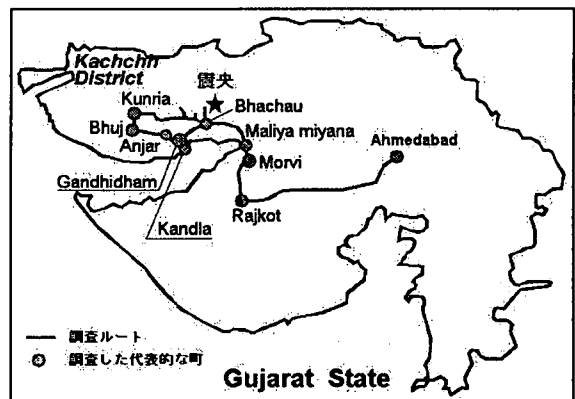


図-1 調査ルート

震央に近い町ではほとんどと言ってよいくらいに崩壊しており、死者が多く発生した。

その他の被害としては、Kachchh 地方の電力供給施設の被害が多数発生したこと (1週間程度で回復)、肥料プラント工場や塩の袋詰め工場では、建物崩壊やベルトコンベヤー崩壊などで、作業ができない工場も見受けられた。Kandla に数多くあるタンクは基礎部分の若干の変状やタンクの僅かなへこみができる程度で大きな被害は見られなかった。道路は、Kachchh Mainland 断層沿いの橋梁が所々で落橋していたが、道路脇の畑に迂回路ができており通行は可能であった。鉄道は、橋梁に被害が出ていたが既に応急処置がなされており、運行していた。Bhuj の北方の村 Kunria の近くにあるフィルダムでは、若干の

表-1 Gujarat 州における行政区ごとの被害数量表<sup>3)</sup>  
 (as on 15/3/2001) (as on 15/3/2001) (as on 15/3/2001) (as on 5/2/2001) (as on 5/2/2001) (as on 5/2/2001)

District	No. of Affected Talukas	No. of Affected Villages	Human Deaths	No. of Injured	Houses / Huts Collapsed	Houses / Huts Damaged Partially
	徴税支区	村	死者	負傷者	建物大破	建物損壊
Ahmedabad	11	392	751	4,030	940	15,253
Amreli	11	273	0	5	585	8,580
Anand	8	124	1	20	33	804
Banaskantha	8	452	32	2,770	1,849	8,336
Bharuch	8	248	9	44	292	2,864
Bhavnagar	11	535	4	44	1,010	9,906
Gandhinagar	4	210	8	240	2	913
Jamnagar	11	685	119	4,592	24,858	77,297
Junagadh	14	554	8	87	457	11,593
Kachchh	10	949	18,416	39,765	150,396	107,139
Kheda	10	350	0	28	72	690
Mehsana	9	611	0	1,139	41	1,004
Navsari	5	313	17	51	98	222
Patan	8	349	38	1,686	13,707	31,302
Porbandar	3	157	9	90	2,544	14,736
Rajkot	14	686	433	10,567	3,682	20,522
Sabarkantha	8	68	0	56	1	84
Surat	8	94	46	157	21	860
Surendranagar	10	661	113	2,851	28,256	85,329
Vadodra	6	85	1	256	62	104
Valsad	5	108	0	0	0	77
Total	182	7,904	20,005	68,478	228,906	397,615

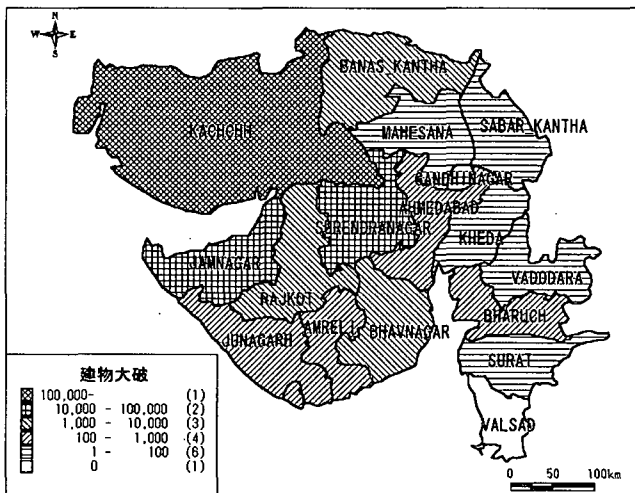


図-2 Gujarat 州における行政区ごとの建物大破数分布

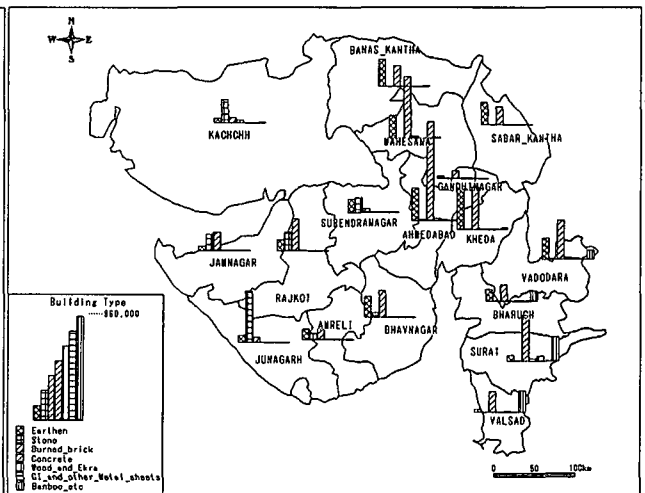


図-3 Gujarat 州における行政区ごとの建物タイプ別棟数<sup>4)</sup>

変状がある程度であった。なお、今回の調査範囲では火災の発生は確認できなかった。

### 3. 建物の被害

#### (1) 建物被害の概要

建物の被害は表-1にまとめたように、Gujarat 州全体で、大破数が 228,906 棟、損壊数が 397,615 棟（以上 2 月 5 日現在）となっている。行政区単位では、Kachchh 地方の大破 150,396 棟が突出しており、次に Surendranagar や Jamnagar の 2 万棟を越える大破棟数であった。図-2 に表-1 の建物大破数を分布図として表現した。

#### (2) 建物の構造タイプ

インドでは 10 年に一度国税調査を行い、この時に建物の壁構造も調べている。図-3 に Gujarat 州の行政区ごとの建物タイプについて示す。これによると、

被害の多かった Gujarat 州の西部地域では石またはレンガを積み上げた壁による建物（組積造）が多くなっている。特に震央の位置する Kachchh 地方の Bhachau や Anjar などの中小の町や村では石を使った壁の建物が多く分布している。Ahmedabad 周辺の地域では土壁（日干しレンガ造りを含む）と焼きレンガ壁の建物が多くなっている。数としてレンガ造りに比べると少ないが、コンクリート壁による建物もある。南東部になると焼きレンガ壁と竹や草などの壁の建物が多くなっている。

#### (3) 組積造建物の被害の特徴

Kachchh 地方は雨季には冠水し、乾季には砂漠となる過酷な地域であるため、建築材料として土と石、若干の木材を使った建物が多く建てられている。被害が多かったのは、震央に近い Bhachau や Anjar、Bhuj、Morvi などの都市やそれらの周辺の町や村であった。

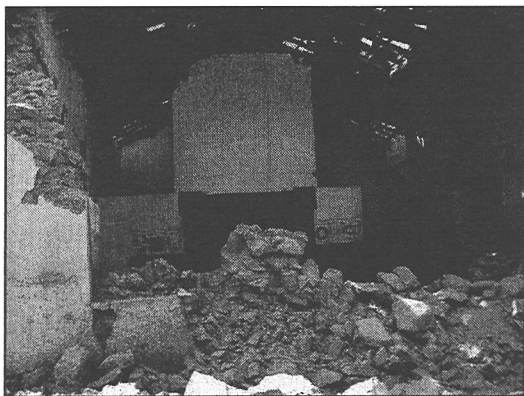


写真-1 Morvi の町の中にあった学校の被害

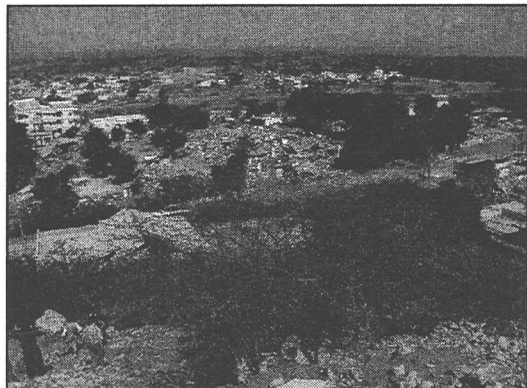


写真-2 Bhachau の丘の上から町を撮った写真。土および石壁建物は全て倒れている。

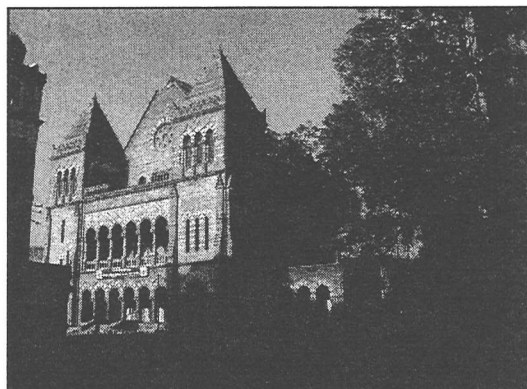


写真-3 Bhuj にあるアーイナー・マハル (旧宮殿)。軽微な被害。

写真-1 に組積造建物の典型例を示す。これは Morvi の町の中にある学校の被害状況である。周辺の建物はほとんど全壊であった、辛うじて残っていたものである。壁は不定形な石に土を充填して積み上げた構造となっており、屋根は木材を梁にして薄いレンガを置いているだけであった。地震動のような横方向の揺れには、大変弱い構造となっている。今回の地震では、震央地付近に土および石の組積造住宅が多く分布しており、町のほとんどの建物が倒壊した町もあった。写真-2 は、Bhachau の丘の上からの写真で、土および石壁の住宅はほぼ 100% に近い倒壊であった。

写真-3 は、Bhuj にあるアーイナー・マハル (旧宮殿) である。歴史的建物は整形した石またはレンガ

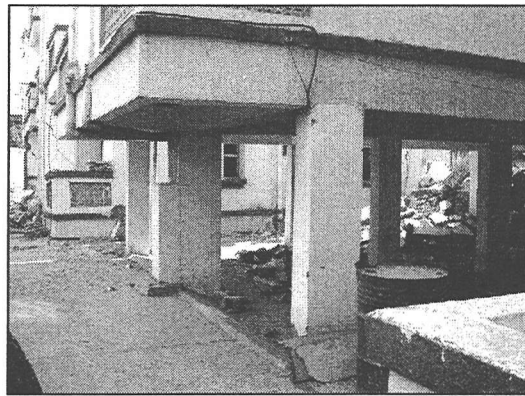


写真-4 Ahmedabad のアパートの1階部分



写真-5 Anjar 郊外のアパート。1階に複数の店が入っており、それぞれが壁で区切られている。

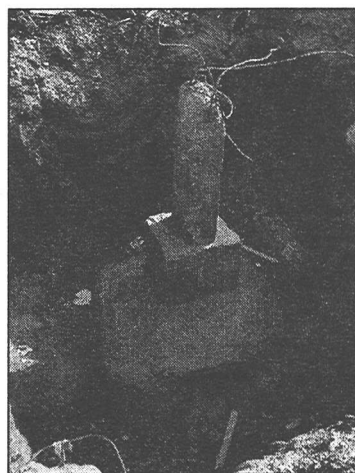


写真-6 倒壊した建物の基礎

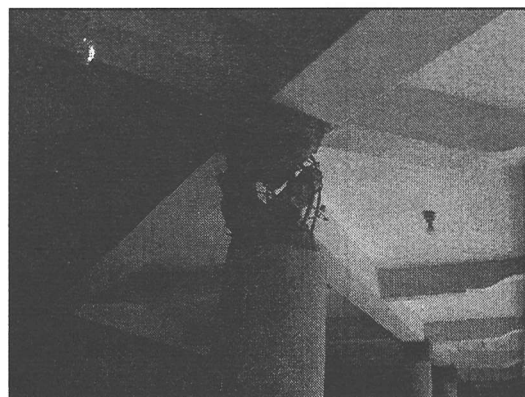


写真-7 柱頭の被害

を石灰モルタルで固めており、レンガが若干ずれる程度で大きな被害は少なかった。

#### (4) 鉄筋コンクリート建物の被害の特徴

震央から約 250km 離れている Ahmedabad では、鉄筋コンクリート建物（以下 RC 造建物）の倒壊被害によって人的被害が出ている。RC 造建物といっても RC のフレームにレンガやコンクリートブロックで壁を造るといった構造になっている。

写真-4 に Ahmedabad のアパートの 1 階部分の写真を示す。近年建物の 1 階部分を駐車場等の用途に使うためにピロティ形式にしている。注目されるのは柱が細く長方形であること、2 階以上が片持ち梁で床がせり出していることである。1 階が貧弱な割には上部が重い構造となっている。写真-4 の後部のアパートは 1 階部分が完全につぶれている。一方、写真-5 には、アパートの 1 階に複数の店が入っており、それぞれが壁で区切られている。このアパートは被害がなかったようである。ただし、写真の右にあった建物が倒壊してこのアパートに寄りかかり一部分に被害が出ている。

写真-6 は、倒壊した建物の基礎部である。上述のように柱が細く、鉄筋量が少ない。また、他の柱の基礎との接合もなく、全く単独の基礎となっている。

写真-7 は、柱頭の配筋の不足によって強度が不足し、被害が生じたものである。RC 造建物は 1 階ピロティ形式の建物が多く、このような柱頭の被害が多く見られた。

### 4. 得られた教訓および災害軽減について

以上、組積造建物と RC 造建物について被害の特徴を述べた。これらから得られた教訓および地震被害軽減について以下にまとめる。

#### (1) 組積造建物

- ①土や石を材料とした組積造建物は、何も対策をしていない限り、地震には大変弱いものである。
- ②組積造建物の中でも歴史的建物は、比較的被害が軽微であった。今後造られる建物の参考にするために、なぜ軽微であったのかを分析しておくことが必要と考えられる。

土や石を材料とした組積造の住宅は、現地の材料を活かした建物として、今後も建てられていくものと考えられる。IAEE Committee は文献 5) の中で耐震対策を考えた土壁住宅の例を示しており、このようなものが世に広がっていくことを期待したい。そのためには、設計・施工業者、または一般市民への指導や教育が必要と考える。

#### (2) RC 造建物

- ①RC 造構造物では、最近建てられた建物の多くは 1 階部分がピロティ形式でかつ柱が扁平となっており地震力に対して弱い構造となっている。1 階

に店舗が入っていてピロティ形式となっていない建物では、無被害か軽微な被害程度であった。兵庫県南部地震においてもピロティ形式の建物の被害が多く見られた。1 階をピロティ形式にする場合には柱を太くし、壁を設けるなど設計時に十分な検討をする必要がある。

- ②RC 造建物の柱の配筋が十分でなく、杭頭などに被害が出た。本論文に写真を載せていないが、建物各階の RC フレームにおいても配筋が不十分のためにせん断破壊を生じているものが多い見られた。柱には適切な配筋が必要である。

RC 造建物については、Ahmedabad で基準階の床面積制限があっても 2 階以上は適用されず、バルコニーがはみ出した建物の建設が可能という問題<sup>6)</sup>もある。また、設計や施工時の違法建築の問題も後を絶たないようである。

このためには、法律を作るだけでなく、州政府、大学そして民間も視野に入れた組織を作り、設計から施工、メンテナンスに至る審査や相談窓口のシステム化を行っていくとともに、建築構造の専門家を育てていくことも必要と考える。なお、インドでは、カーストや宗教、慣習など日本とは大きな違いがあること、また地域で用意できる建築材料が異なることなどを十分考慮に入れる必要がある。

### 5. おわりに

今回の調査にあたっては、グジャラート政府の Mr. Mukesh K. Shah のコーディネートにより、地震被害の概要の説明を頂き、さらに地震対策等についての意見交換を行うことができた。これを契機に交流が深まり、耐震対策に対して何らかの形で支援ができればと考えている。

#### 参考文献

- 1) 応用地質株式会社のホームページ：  
<http://www.oyo.co.jp/service/taisyuu/jisin/indo/index.html>
- 2) 篠原秀明、古庄昌也、勝間秀樹、田中莊一：2001 年 1 月 26 日インド・グジャラート地震被害調査速報、地震工学ニュース、No. 177, pp. 26-31, 2001.
- 3) Gujarat Informatics Limited のホームページ：  
[http://www.gujaratinformatics.com/quake/district\\_details.html](http://www.gujaratinformatics.com/quake/district_details.html)
- 4) Building Materials & Technology Promotion Council, Ministry of Urban Development, Government of India: Vulnerability Atlas of India 1997, 1997.
- 5) IAEE Committee : Guidelines for Earthquake Resistant Non-engineered Construction, Revised Edition of "Basic Concepts of Seismic Codes", Vol. I, Part 2, 1980.
- 6) インド工科大学土木工学科ホームページ：  
<http://www.civil.iitb.ernet.in/BhujWarthquake/Report1.htm>