

2001年インド西部地震被害調査報告(日本語概要版)

(社)土木学会インド西部地震被害調査団

1. 地震および地震被害の概要と調査目的

2001年1月26日現地時間午前8時46分ごろ(03:16 UTC), インド西部の Gujarat 州 Kutch (Kachchh)地方 Bhuj 市北東約 20km を震源とする Mw7.7 (USGS, IMD) の地震が発生した¹⁾ (Fig.1²⁾). 震央は 23.40°N , 70.32°W , 震源深さ 17km (USGS¹⁾) である. Kutch 地方 (Fig.2²⁾)を中心に Gujarat 州政府により確認された死者は 20,005 人(2/26 現在), 負傷者は 166,000 人以上に達している. 建物被害としては, 全壊家屋が 370,000 戸, 半壊家屋が 922,000 戸, また, 被害総額は 2126.2 億ルピー(約 6000 億円)にも及んでいる³⁾.

また, 建物の倒壊のみならず, 道路, 道路橋, 港湾, ダム等の土木施設や, 電気, 水道, 通信をはじめとするライフラインにも被害が発生した.

(社)土木学会災害緊急対応部門は地震工学委員会との連携の下, 日本の土木分野における地震災害に対する調査と, 地震被害に対するこれまでの対応の経験を生かし, インド国被災地の今後の復旧・復興に貢献するとともに, インド国および広く社会に有用な情報を提供することを目的として, 被害状況を専門的な見地から正確に把握するための調査団派遣を行った(付記参照). 本報では, 主に地震と土木構造物被害の概要について報

告する. 報告書は近日中に英文で出版する予定である.

2. 地形・地質および地震動

インドでは面積 $3,287,263\text{km}^2$ の中に 10 億 2,700 万人の人が住んでいる. その内, 今回の地震による被災の中心地である Gujarat 州最大の面積($45,612\text{km}^2$)を有する Kutch 地方 (Fig.2)の人口は約 135 万人である. この地方は熱帯モンスーン気候に属し, 雨季(6月~10月)と乾季が明瞭に分かれている. 沿岸部 (Coastal Zone), 沿岸平野と山地・丘陵部 (Kutch Mainland), 海・河成堆積物や干潟部 (Banni Plains), そして砂漠部 (Rann of Kutch & Little Rann of Kutch: ただし雨季には氾濫原となる) の 4 つの地形から成り, これら 4 つの地形の境界にはほぼ EW 方向に南から Katrol Hill 断層, Kutch Mainland 断層, Allah Band 断層の 3 本の活断層が走っている.

Fig.3 は Kutch 地方の地質⁴⁾示したものである. Kutch Mainland は主に Deccan Trap と呼ばれる玄武岩溶岩に挟まれたジュラ紀 (Jurassic) から第 3 紀始新世 (Eocene) の堆積岩で覆われ, その北部と南部一帯が第四紀の堆積物となっている⁵⁾. 良質の石灰岩も産出されており, 砂岩ととも

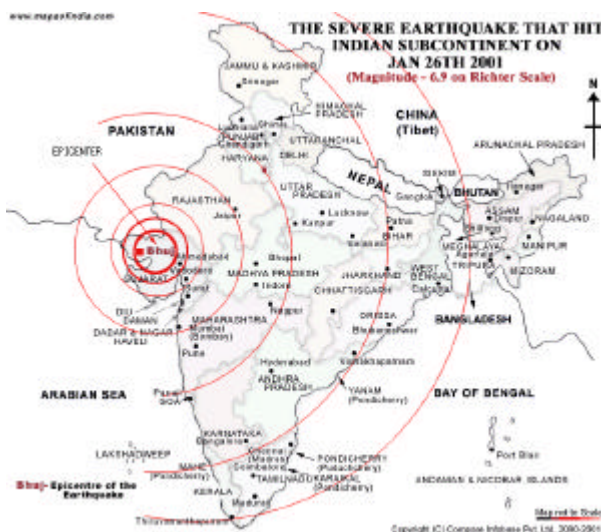


Fig.1 震央位置



Fig.2 Gujarat 州 Kutch 地方の概略

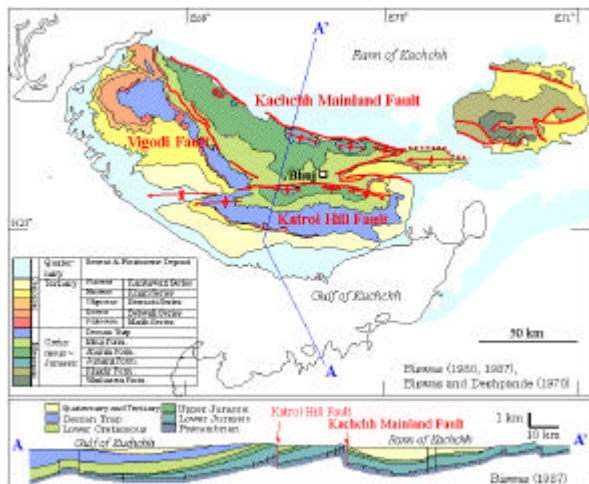


Fig.3 Kutch 地方の地質 (Biswas⁴⁾ 1970,80,87)

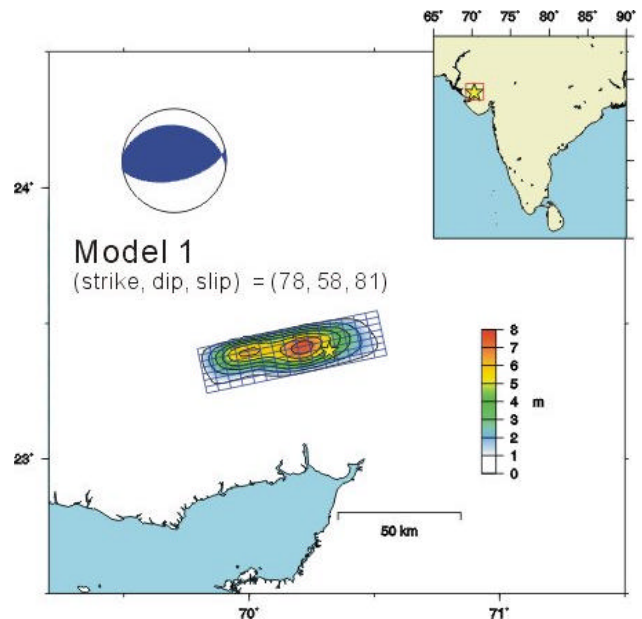


Fig.5 Yagi&Kikuchi によるスリップ分布のモデル⁷⁾

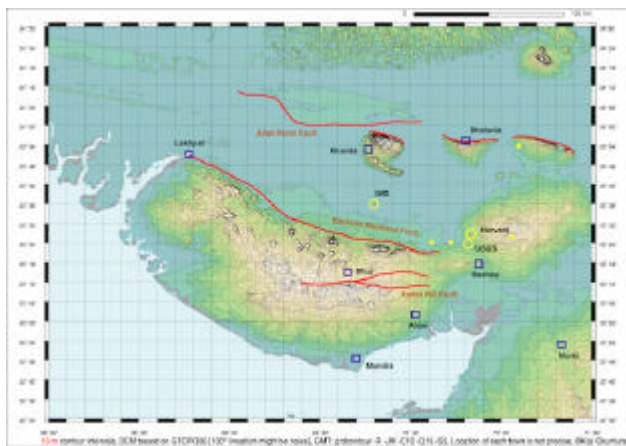


Fig.4 各機関発表の震央と既存の断層位置

に構造材料になっている。

インドにおける過去の大地震は主にヒマラヤとチベットの境界に発生しており、Gujarat 州においては、1819 年に今回の地震の東部を震源とする、約 3,200 人の死者を出した The Great Rann of Kutch Earthquake ($M_w=7.8$)が最大級の地震である。また、1956 年には Anjar 北部で $M_w=6.1$ ($M_L=7.0$) の地震も発生しており、この時は Bhuj, Gandhidham, Kandla 等の町に被害が生じ、少なくとも 156 人の死者が出ている⁶⁾。

Yagi&Kikuchi によるメカニズム解⁷⁾ (model 1) によると、(Strike,Dip,Slip)=(78,58,81)であり、23.4N, 70.32E, Depth=18km の破壊開始点からバイラテラルに破壊が進行している。最大くい違い量は 7.5m と推定されている (Fig.5)。

Gujarat 州には Roorkee 大学により 10 数台の簡易地震計が設置されていたといわれるが、現在までに公開されているのは、Gujarat 州では州都

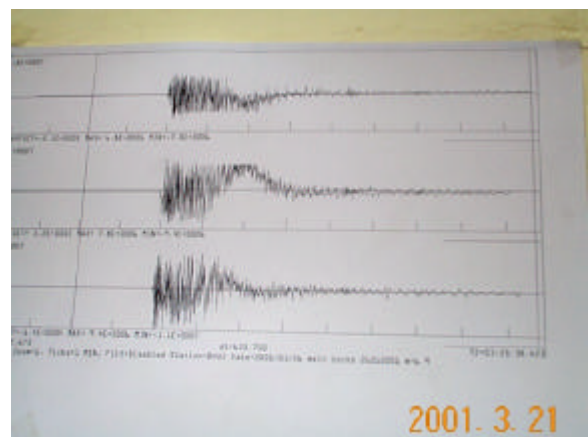


Photo 1 Bhuj 地震観測所で録れた変位記録

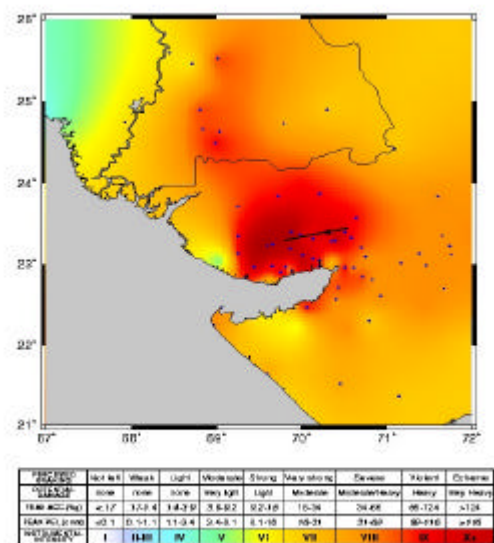


Fig.6 Kutch 地方の推定震度分布⁸⁾

の Ahmedabad の Passport Office 敷地内にある 9 階建てビルで観測された一連の記録だけであり、地階で最大加速度 0.11g が記録されている。その他は Delhi で観測された振幅の小さな記録である。一方、インド気象局 (IMD) の Bhuj 観測所でも Kinemetric 社の Direct Write Recorder によって Photo 1 のような変位記録が収録されている。図中の片振幅スケールは 10cm である。また、新聞から集計した建物の被害分布から推定された MM 震度分布も公表されており、Bhuj を中心とした地域で震度 X_s が推定されている。⁸⁾。

3. 断層運動に伴う地盤の変状

インドプレートの地殻の剛性に起因するためか、地表面には全体像として明瞭に定義できる断層は現れていない。しかし、Katch Mainland 断層（ほぼ東西方向）に沿って道路や畑の中に現れているクラック⁹⁾により、断層運動に伴う地盤変状を確認することができた。

Photo 2 は応用地質(株)の調査団⁹⁾が特定した Budarmora 村付近の畑の中の地盤の変状である。畑の中に多数の平行したクラックや数十 cm の鉛



Photo 2 畑の中に生じているクラック

直変位を持つ地盤変状が生じている。

ただし、震央 (USGS) の 17km 北東方向の Manfera 村近郊ではほぼ南北方向に数 km にわたって地割れが生じており (Photo 4)、また Chobari 村近郊の畑にも Photo 5 のような南北方向の地割れが生じているなど、震源域では複雑な地盤変上が地表に現れている。

4. 土木構造物被害

(1) 道路・道路橋

調査時は乾季であったため、道路橋の下を流れるほとんどの川は干上がっていた。州都 Ahmedabad から被災地の Bachau や Bhuj へ向かう道路に架かる道路橋は、震源地に向かうにつれてその被災度が徐々に大きくなっていった。概して構造物の質が悪く、多くの橋桁でコンクリートの剥落や床版両サイドのコンクリート製ガードフェンスの崩落、支承部の損傷が生じており、またアバット部の地盤の沈下や側方へはらみ出しも多数生じていた。Photo 5 は震央から 150km 以上離れた Dhrangadhra という町のバイパス橋である。レンガ組積造の橋脚を持つ 10 径間のコンク



Photo 3 Manfera 村付近の荒野の中の地割れ



Photo 3 南側が 50cm 程度隆起しているリッジ



Photo 4 Chobari 村近くの畑の中の地割れ

リート橋である。支障部のコンクリートが剥落しており、また橋軸直行方向への桁の移動跡も見られた。Photo 6 は震源から 120km 程離れた、同じくレンガ組積造の橋脚であるカンカワティ橋である。桁側面のモルタルが剥落し、鉄筋が露出している。Photo 7 はカンカワティ橋に並行して走る鉄道橋のアバット部である。レンガ造りの擁壁にクラックが入っている。

Photo 8 は震央から 70km 程離れた Maliya という町にかかる 3 径間のゲルバー橋である。支障部分、桁上部のガード部分が被害を受けており、周辺の土手には液状化跡と無数のクラックが走っている。Photo 9 は Bachau 東方約 40km の Hadakiya Creek に架かる Hadakiya 橋 (30 径間、全長 1171.4m) である。床版が波打っており、橋の取り付け部も約 40cm 程沈下している。また、橋の下には多数の液状化跡があった。Bhuj 北部約 10km の Rudermata 橋 (高さ 10m、10 径間) では、河岸の側方



Photo 5 支障部の被害



Photo 6 カンカワティ橋の被害



Photo 7 鉄道橋取り付け部レンガ擁壁の被害



Photo 8 橋周辺に生じているクラックと液状化跡



Photo 9 波打つように変形している Hadakia 橋の桁



Photo 10 フーチングと地盤との間に生じた間隙

流動のため、基礎フーチングと地盤との間に20cm程の間隙が生じていた(Photo 10).

鉄道橋の被害もいくつか報告されていたが、主に組積造のスパン数の少ない古いアーチ橋であった。鋼製桁を用いた鉄道橋はほとんど無被害であり、また同じレンガ組積造アーチでも無被害のものも多数存在した。鋼製桁は軽いためか橋脚自体に被害は見られず、また道路橋に比べ概して施工が良い。



Photo 11 Kandla 埠頭のパイロン

道路の被害は、特に Bhuj や Bachau 以北の村道で断層運動に伴う地盤変状によるクラックが多く見られた。

(2)港湾

Kutch 湾にはインド最大の貿易港である Kandla 港があり、これはガントリークレーンをもつ幅 45m、長さ 1.2km に及ぶ 8つのバースを有する港である。



Photo 14 被害を受けた倉庫群



Photo 12 杭に生じた曲げクラック



Photo 15 港湾ビル前面の被害



Photo 13 埋め立て部分の液状化跡



Photo 16 栈橋の杭の被害

Photo 11 はバースの接岸部であり，英国統治下時代に設計・建設されたものである．パイロン部分は長さ 18m，直径 60cm の杭群であり，その上の部分の高さは約 6m である．コンクリートパイロンには曲げによるヘアクラックが生じているものが多数あるが (Photo 12)，構造的には全く問題にならない程度であった．ただし，常に海水と接しているので，腐食による劣化が進む可能性もあるので，早急な補修が必要である．

埠頭裏側の埋め立て部分 (海成粘土の上に 5m) には液状化の跡 (Photo 13) も見られたが，あくまで局所的な被害であった．

港湾内の倉庫群には，Photo 14 に示すように甚大な被害が生じたものもあった．通気のための

壁面の開口部を中心に，その柱部がせん断破壊を起こし，鉄筋も座屈を起こしている．また，5階建ての港湾ビル (Photo 15) は地盤の側方流動により，海側に 1～2 度傾斜しており，責任者は補修か取り壊しかの判断を決めかねている状態であった．

栈橋の杭にも被害が出ており (Photo 16)，この栈橋は鋼管 (94 本) がかなり腐食していた上に震動が加わったため，杭頭の部分で鋼管の損傷や，



Photo 17 堤体下部の側方流動によるクラック



Photo 19 堤頂部の大被害



Photo 20 法面に生じたクラック



Photo 18 堤頂部の沈下



Photo 21 Rudermata ダムの取水塔周辺の被害

中込コンクリートの剥落などが生じていた。

(3)アースダム

Kutch地方に多く見られたダムは、灌漑用のアースダムである。

Photo 17 は Rapar の東北東十数 km 程の所に位置するダム高 15m の Suvie ダム(1977 年完成)の湖岸側に生じたクラックである。L 字型の堤体が約 2.7km 続き、その東西方向部分の中央付近の堤頂部(幅 3.7m)に沈下が生じていた(Photo 18)。湖岸に残る液状化跡から判断して、液状化による側方流動と、損傷部分が旧河川上に位置したこと(現地での聞き取り)が被害の理由であろう。

Rapar の南西約 20km, Nilpor 村の近くに位置する Chang ダムも堤体が大きく崩れ、堤頂部が数 m 沈下していた(Photo 19)。また、上流側の法面には長さ 20m, 最大開口部 4.5m のクラックが生じていたが、これもダム湖底の液状化により堤体に側方流動が生じたためである。Photo 20 に見られるように、法面が円弧状に滑っているため、水面に隆起した土塊が現れている。

Bhuj 北部約 10km の Rudermata 橋下流に位置す

る Rudermata ダムも、前者に比べ被害は軽微であるが、堤頂部や法面にクラックが生じ、レンガ造りの取水口にも損傷が認められた(Photo 21)。

いずれのダムも調査時は乾季で水位が低かったため、堤体損傷による 2 次災害は発生しなかったが、雨季で水位が高い場合には滑りも発生し易く、危険度はさらに高くなっていたであろう。今後、雨季に向けて早急な補修・補強対策が必要である。

(4)備蓄タンク・パイプライン

Kandla 港には多くの備蓄タンクがあり、それに付随して数多くのパイプラインも走っている。

Photo 22 は Kandla 港のオイルパイプラインの被害である。他のパイプライン被害はほとんど報告されていないが、この場所のこのパイプラインに限り甚大な被害が生じていた。鋼製の架構が座屈し、上部 3 本のパイプラインが落下して破損を受けていた。また、パイプラインの下面には震動に伴う傷跡が残されていた(Photo 23)。南北方向に伸びる架構上の 3 本のパイプラインが南端で大きな曲率で曲がっているため、平行する 3 本の



Photo 22 鋼製架構から崩れ落ちたパイプライン



Photo 24 レールから脱輪した変電設備



Photo 23 下面に残された震動の跡



Photo 25 コントロール室の天井を支える丸太

震動性状に違いが現れ、それが架構の面外振動に偏心を与えた可能性があるとともに、架構の震動中に過大な上下動が作用した結果、架構に座屈が生じこのような被害に至った等の理由が考えられる。

(5)電力・給水塔被害

今回の地震で最も大きな被害を受けた町の一つである Anjar の変電所では、レールのついた変電



Photo 26 Maliya の給水塔



Photo 27 Anjar の給水塔



Photo 28 Chobari の倒壊した給水塔

設備が脱輪するとともに(Photo 24)、サーキットブレーカーやアイソレータにも被害が生じた。ここでは、220kV を 132kV、66kV、11kV と変電しており、Kutch 地方には域内 45 の変電所から各需要家へと配電されている。本来の管理棟が倒壊したため、制御パネルは損傷を受けているコントロール室(Photo 25)に設置されていた。送電線の被害は確認されていない。Bhuj では地震の翌日、Anjar では地震から 3 日後、Gandhidham では 2 週間後には復旧したとの事であった。

多くの村では Photo 26(Maliya)や Photo 27(Anjar)のような給水塔を有しているが、軽微な被害のものが多かった。ただし、全壊率ほぼ100%の Chobari 村の給水塔は根元から倒壊していた(Photo 28)。

付記：調査団について

土木学会・地震工学委員会（委員長：片山恒雄・独立行政法人防災科学技術研究所理事長）は、地震発生後直ちに被害調査団派遣に関する検討に入り、土木学会災害緊急対応部門と協議の上、インド西部地震被害に関する調査団派遣を決定した。調査期間は 2001 年 3 月 15 日から 24 日（一部 3 月 4 日から 13 日）まで、濱田政則（团长：早稲田大学理工学部：地盤災害、液状化）、伯野元彦（東洋大学工学部：地震被害全般）、AYDAN Omer（東海大学海洋学部：地震動、地盤災害）、岩橋敏広（東京都立大学大学院工学研究科：地盤災害、基礎構造物被害）、荏本孝久（神奈川大学工学部：地盤震動、建築構造物被害）、清野純史（京都大学工学研究科：地盤震動、地震動）、目黒公郎（東京大学生産技術研究所：構造物被害、災害対応）、志毛宏次（（株）土木技術サービス：土木構造物被害）の 8 名を現地派遣し、調査を行った。

参考文献

- 1) USGS, <http://neic.usgs.gov/neis/eqhaz/010126.html>
- 2) Mapsofindia.com, <http://www.mapsofindia.com/maps/mapinews/27012001.htm>
- 3) Government of India, <http://www.ndmindianic.in/eq2001/eq2001.html>
- 4) Biswas, S.K.: Regional Tectonic Framework, structure and evolution of the western marginal basin of India, Tectonophysics, 135, pp.307-327.
- 5) Krishnan:
- 6) Amateur Seismic Center, <http://www.geocities.com/sasarin/gujarat.htm>
- 7) Y.Yagi and M.Kikuchi(2000): Result of Rupture Process for January 26, 2001 Western India Earthquake (Ms7.9), <http://www.wicet.u-tokyo.ac.jp/>
- 8) Stacey Martin and Susan Hough: Intensity Distribution as compiled from Newspaper Accounts http://neic.usgs.gov/neis/eqhaz/010126_int.html

- 9) 応用地質(株)：2001年1月26日インド・グジャラート地震被害調査報告
<http://www.oyo.co.jp/service/taisyuu/jisin/indo/index.html>