

事 故 災 害

2001年1月26日 インド西部地震 被害調査報告

土木学会 インド西部地震被害調査団

清野 純史

Junji KIYONO 正会員 博士(工学)
京都大学大学院工学研究科 助教授
土木システム工学専攻

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), インド西部のグジャラート州カッチ地方ブジ市北東約20 kmを震源とする Mw 7.7 (USGS, Indian Meteorological Department: インド気象局(IMD))の地震が発生した¹⁾(図-1²⁾). 震央は23.40°N, 70.32°W, 震源深さ17 km (USGS¹⁾)である. カッチ地方(図-2²⁾)を中心にグジャラート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2 126.2億ルピー(約6 000億円)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.

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2参照).

地形・地質および地震動・地盤変状

インドでは面積3 287 263 km²の中に10億2 700万人の人が住んでいる. そのうち, 今回の地震による被災の中心地であるグジャラート州最大の面積(45 612 km²)を有するカッチ地方の人口は約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(6~10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, Katch Mainland 断層, Allah Band 断層の3本の活断層が走っている(図-2). 図中には各機関(USGS, Harvard, IMD)によって決定された震央も示してある.

グジャラート州にはルーキー大学により十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, グジャラート州では州都のアーメダバードのパスポートオフィス敷地内にある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0.11 Gが記録されている. その他はデリーで観測され



図-1 震央位置²⁾

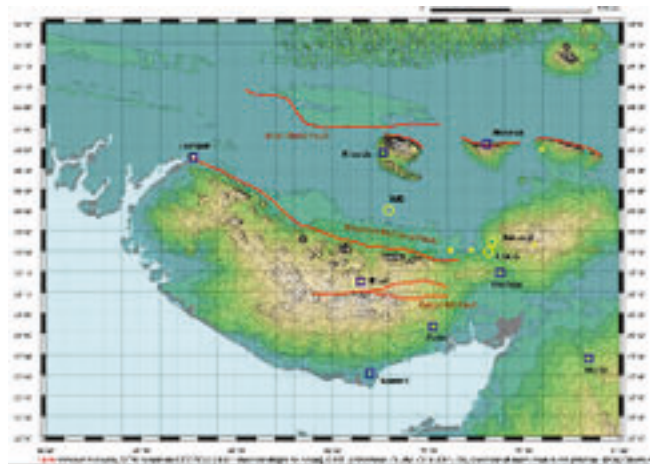


図-2 各機関発表の震央と既存の断層位置



写真-1 畑の中のクラック（南側が50cm程度隆起している）



写真-3 カンドラ埠頭下のパイロンに生じた曲げクラック



写真-2 地盤変状に伴う橋脚の移動



写真-4 スーヴィーダムの堤頂部の沈下

た振幅の小さな記録である。一方、IMD のブジ観測所でも変位記録が収録されている。

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われていない。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われているクラック⁴⁾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(写真-1)。

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。州都アーメダバードから被災地のパチャウやブジ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。概して構造材料の質が悪く、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。写真-2 はパチャウ東方約 40 km のハダキヤクreek（入り江）に架かるハダキヤ橋（30 径間コンクリート橋、全長 1 171.4 m）である。液状化による地盤変状によって橋脚が移動している。桁の床版も波打っており、橋の取付け部も約 40 cm ほど沈下している。

道路の被害は、特にブジやパチャウ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

カッチ湾にはインド最大の貿易港であるカンドラ港があり、これはガントリークレーンをもつ幅 45 m、長さ 1.2 km に及ぶ 8 つのバースを有する港である。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 18 m、直径 60 cm の杭群であり、その上の部分の高さは約 6 m 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(写真-3)、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ため、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。

港湾内の倉庫群では、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ていた。また、5 階建ての港湾ビルは地盤の側方流動により、海側に 1～2 度傾斜していた。

(3) アースダム

カッチ地方に多く見られたダムは、灌漑用のアースダムである。

写真-4 はラパールの東北東十数 km ほどの所に位置するダム高 15 m のスーヴィーダム（1977 年完成）の湖岸側には大口径のクラックが生じていた。L 字型の堤体が



写真-5 鋼製架構から崩れ落ちたパイプライン



写真-6 チョバリ村の倒壊した給水塔

約 2.7 km 続き、その東西方向部分の中央付近の堤頂部（幅 3.7 m）に沈下が生じていた（図-4）。ラパールの南西約 20 km、ニルポール村の近くに位置するチャンギダムも堤体が大きく崩れ、堤頂部が数 m 沈下していた。ブジ北部約 10 km のロードルマタ橋下流に位置するロードルマタダムも、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。

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やすく、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) 産業施設

カンドラ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。

フレンズ社のタンクヤードでは直径 7 ~ 26 m の 66 基の石油化学タンクのうちの 2 基が基礎地盤の変状により傾き、パイプへの取付け口が損傷を受けていた。オイルインディア社のタンクヤードでも、タンクに傾斜が生じたほか、タンク基礎部と周辺地盤にも被害が生じていた。

写真-5 はカンドラ港内のオイルパイプラインの被害である。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大きな被害が生じていた。

(5) 電力施設・給水設備

今回の地震で最も大きな被害を受けた町の一つであるアンジャーの変電所では、車輪のついた変電設備がレールから脱輪するとともに、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、220 kV を 132 kV、66 kV、11 kV と変電しており、カッチ地方では域内 45 の変電所から各需要家へと配電されている。管理棟が倒壊し、内部の制御パネルも損傷を受けた。ただし、送電線の被害は確認されていない。ブジでは地震の翌日、アンジャーでは地震から 3 日後、ガンディーダ



写真-7 アーメダバード市内の10階建てRC建物の被害（同形式の建物が前方で完全崩壊していた）

ムでは 2 週間後には復旧したとのことであった。

多くの村では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、震源に近い全壊率ほぼ 100% のチョバリ村の給水塔は根元から倒壊していた（写真-6）。

建物被害

震央から約 350 km ほど東に離れたグジャラート州の州都であるアーメダバードではピロティ形式の中層 RC 建物に被害が多く見られた（写真-7）。この地域はかなり厚い堆積層をもつともいわれ、今後、地震動・地盤の周期特性と建物被害の関連を検討する必要がある。

また、甚大な被害を被った震源域のブジやパチャウ、アンジャーなどではレンガや地元石を泥で積み上げた組積造建物の被害が中心であった（写真-8）。

その他の調査

アーメダバードやガンディーダム、ブジ等の各市内の地盤上、および橋梁、ダムをはじめとする土木構造物に



写真-8 ブジ市内の城壁の中（旧市街）の組積造建物の被害



写真-9 海側へ1～2度傾斜した港湾ビル

において微動計測を行った。Kandla Port Trust の港湾ビルの傾斜（写真-9）に伴い、補修または建て直しの判断材料としての微動計測結果の提示や、図-3 に示すようなジャッキアップによるビル補修の可能性についての提案等も行った。また、酷暑と建物被害で苦しんでいた乳児院でも、微動計測やAE による調査を行い、建て直しの推奨や仮建物の基礎に関するアドバイスを行った。

付記1：調査内容の詳細について

紙面の都合上、調査結果を含めた詳細は今後出版する英文報告書に譲る。また、10 ページの日本語概要版は土木学会 HP に掲載中であるので、そちらも参照されたい。 <http://www.jsce.or.jp/>

付記2：調査団について

土木学会・地震工学委員会（委員長（当時）：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うえ、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（団長：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

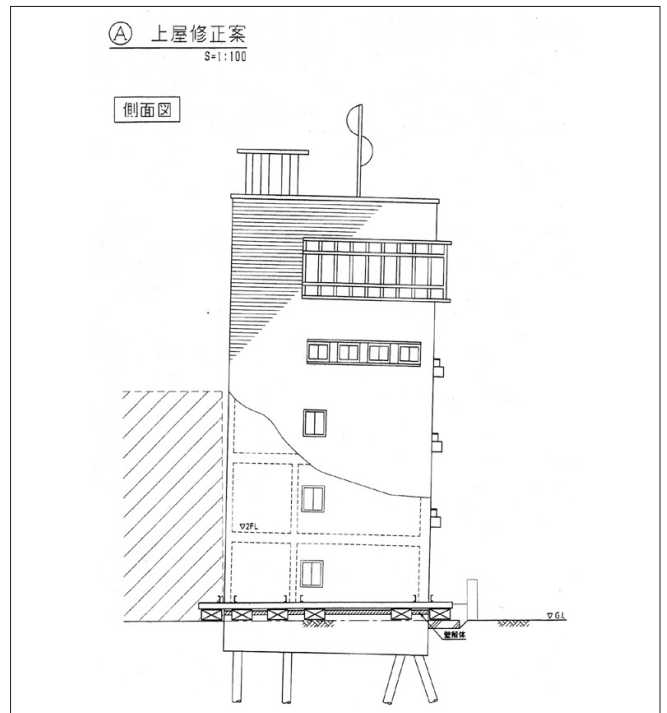


図-3 カンドラ港の傾斜した港湾ビル修復のためのジャッキ配置図



写真-10 ブジ市内の乳児院での微動計測

害全般）、AYDAN Omer（東海大学海洋学部：地震動、地盤災害）、岩橋敞広（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（㈱土木技術サービス：土木構造物被害）の8名を現地に派遣し、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.ndmindia.nic.in/eq2001/eq2001.html>
- 4 - 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/taisyou/jisin/indo/index.html>