

## 2001年インド西部 Kutch 地震 (Mw7.7) の被害調査

1. はじめに
2. Kutch 地域の地形・地質および地震活動
3. インド西部地震の概要
4. 断層運動に伴う地盤変状
5. 地震による建造物の被害
6. 液状化現象による被害
7. 地盤および建造物の常時微動観測
8. まとめ

岩 橋 敏 広\*  
 荏 本 孝 久\*\*

## 要 約

2001年1月26日午前8:46(現地時間)に、インド西部の Gujarat 州 Kutch (Kachchh) 地方、Bhuj 市の東方約20kmを震源とするマグニチュード Mw=7.7 (USGS, IMD) の大地震が起こった(図1)。Gujarat 州の発表では、2月26日現在、死者20,005人、負傷者166,000人、倒壊家屋数370,000戸、損壊家屋数922,000戸、被災総額2126.2億ルピー(約6000億円)である。土木建造物として、橋梁、ダム、変電所・送電線など電力施設、水道管、給水タンク、港湾施設、水道タンクやガスタンクなど大きな被害をうけた。また、震源近くでは多くの地震断層と思われる亀裂や地割れが生じ、海岸や湿地帯などの軟弱地盤では、液状化や地盤変状が確認された。この地震は、インドプレート内に起きた地震で、プレート内地震としては世界で最大級のものである。土木学会地震工学委員会地震調査小委員会では、被害調査団(団長、濱田政則早稲田大学教授)を現地に派遣した。筆者らは同調査団の一員として、3月15日～3月24日に地震被害調査を実施した。今回の地震調査では、地震断層調査、土木建築建造物の被害調査のほか、倒壊した建造物や地盤の動特性を検討するため、主な調査地点において、地盤・建造物の常時微動観測、板たたき法による地盤探査を実施し土木学会の報告書として取りまとめた<sup>12), 13)</sup>。本報告では、地震被害調査結果の概要と常時微動観測結果について述べる。

## 1. はじめに

2001年1月26日午前8:46(現地時間)に、イン

ド西部の Gujarat 州 Kutch (Kachchh) 地方、Bhuj 市の東方約20kmを震源とするマグニチュード Mw=7.7 (USGS, IMD)<sup>1)</sup> の大地震が起こった。

Gujarat 州の発表では、2月26日現在、死者20,005

\*東京都立大学大学院工学研究科

\*\*神奈川大学工学部建築学科

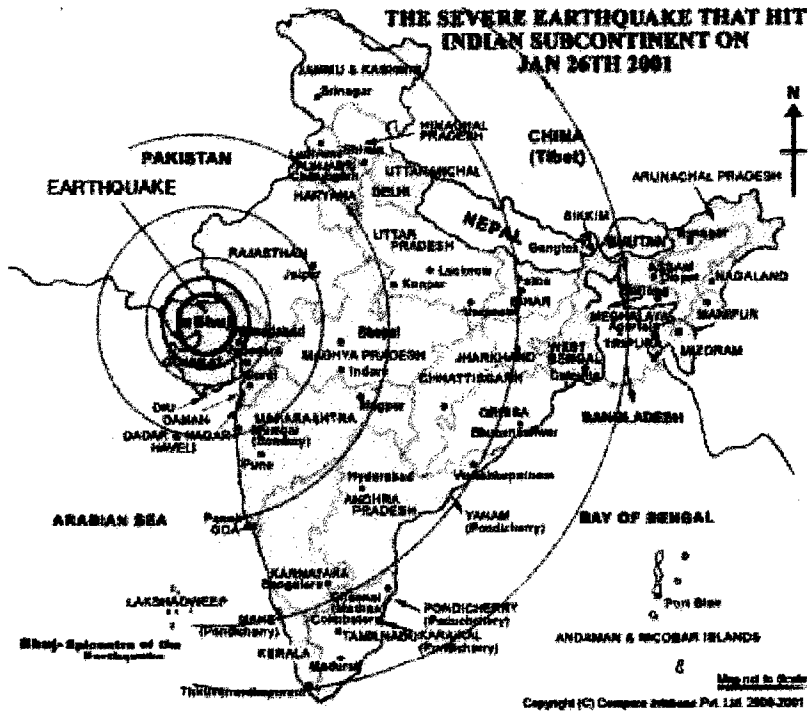


図1 インド西部地震の震央位置

人、負傷者166,000人、倒壊家屋数370,000戸、損壊家屋数922,000戸、被災総額2126.2億ルピー(約6000億円)である。土木構造物として、橋梁、ダム、変電所・送電線など電力施設、水道管、給水タンク、港湾施設、水道タンクやガスタンクなど大きな被害を受けた。また、震源近くでは多くの地震断層と思われる亀裂や地割れが生じ、海岸や湿地帯などの軟弱地盤では、液状化や地盤変状が確認された。この地震は、インドプレート内に起きた地震で、プレート内地震としては世界で最大級のものであり、インドにおいて大きな近代的都市を襲った初めての巨大地震であった。このため、我国から政府関連、学会関連の複数の被害調査団が派遣された。

土木学会では、地震工学委員会地震調査小委員会の濱田正則委員長(早稲田大学教授)を団長とする調査団を現地に派遣した。筆者は同調査団の一員として3月15日～3月24日に地震被害調査を実施した。今回の地震調査では、地震断層調査、土木建築構造物の被害調査のほか、倒壊した構造物

や地盤の動特性を検討するため、主な調査地点において、地盤・構造物の常時微動観測、板たたき法による地盤探査を実施した。これらの結果については、文献13にまとめられている。

本報告では、地震被害調査結果の概要と常時微動観測結果について述べる。

## 2. Kutch 地域の地形・地質および地震活動

### 2. 1 地形・地質の概要

インドは、面積3,287,263 $\text{m}^2$ の中に、約10億2,700万人の人が住んでいる。今回の地震の被災の中心地であるカチ地方は、Gujarat 州最大の面積(45,612 $\text{m}^2$ )を有しており、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。地震が発生した1月は乾季にあたる。

インドには、先カンブリア代から現世の堆積物まで、広範な地質年代の岩石が分布する。年代と

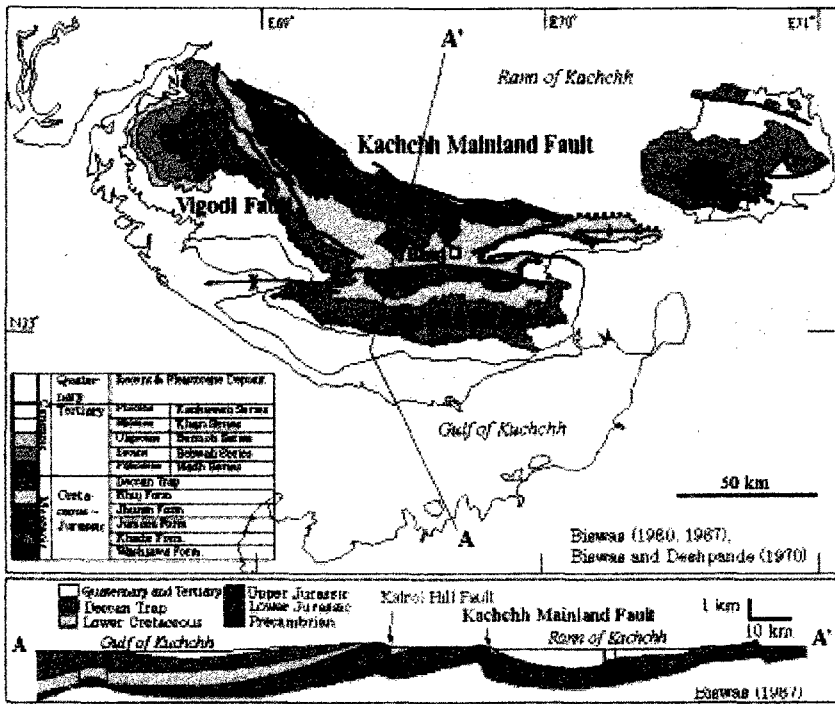


図2 Kutch (Kachchh) 地方の地質 (after Biswas<sup>4)</sup> 1970, 1980, 1987)

岩相に基づき大きく3つに区分できる。すなわち①北部のヒマラヤ地域、②中部から南部の山地、③中間の平野である。北部のヒマラヤの造山運動は比較的新しく、構成岩石は先カンブリア代の古い岩石を含む。中部から南部の山地は、主に先カンブリア代の花崗岩や縞状の片麻岩から成り、インドの南部から南東部、中央部にかけて分布する。インドーガンジス沖積平野は、西のインダス川と東のガンジス川という2つの大河川で運ばれた比較的新しい沖積層で覆われている。

一方、中生代終わりから新生代始めにかけては、インドの中部から西部の広大な地域が「デカン洪水玄武岩」と呼ばれる玄武岩質溶岩流で覆われた。その西側分布域は、層厚が約2000mにも達し、溶岩流は、Gujarat 地域にも達している。図2に Kutch 地域の地質図と断層を示す<sup>4)</sup>。この地方の地形は、①沿岸部 (Costal Zone)、②沿岸平野と山地・丘陵部 (Kutch Mainland)、③海・河成堆積物や干潟部 (Banni Plains) および④砂漠部 (Rann of Kutch & Little Rann of Kutch:ただし雨季には氾濫原) の4つから成り、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 Bund 断層の3本の活断層が走っている。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) から第三紀始新世 (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。良質の石灰岩も産出されており、砂岩とともに構造成材料になっている。Rann と呼ばれる湿地帯は、カチ地域一帯に広がっており、乾季には湿地帯は干上がって孤立した塩湖を残すが、雨季には水が溢れて広大な内陸湖を形成する。また、南側の山地から Rann に向かって数本の河川が流れ込んでおり、その地域では山裾に沿って緩傾斜の扇状地が分布する。

## 2. 2 地震活動の概要

図3に Kutch 地域の過去の主な地震の震央と断層を示す。図から、インドにおける過去の地震は、主にヒマラヤとチベットの境界に発生していることがわかる。しかし、インドプレート内においても、今回の2001年 Kutch 地震 (Mw=7.7) をはじ



図3 Kutch 地方の過去の地震と断層

め、1819年の Allahbund 地震 (M8)、1993年 Latur 地震 (M6.3)、1997年 Jabalpur 地震 (M6)、1970年 Broach 地震 (M5.4) などが発生している。

Allahbund 地震では、Bhuj や Anjar などで建物や城壁などが大きな被害を受け、死者も2,000人以上であった。また、Allahbund 断層では断層の北側で約6mの隆起、南側で約4mの沈降が生じて、インダス川が堰止められて、Kutch 湿地帯 (Rann of Kutch) に大きな湖が出来たと報告されている。

### 3. インド西部地震の概要

#### 3. 1 地震の諸元および発生メカニズム

今回のインド西部地震は、震源地付近の地名を

とり「Kutch 地震」と呼ばれている。表1にハーバード大学 (HARVARD)、アメリカ地質調査所 (USGS)<sup>1)</sup>、東大地震研究所(ERI)およびインド気象庁 (IMD) ら各機関で発表した地震の諸元を示す。地震発生直後に公表された、各機関の解析結果によると、震源の破壊形式はインドプレート内部に起こった南北圧縮型の逆断層型である (図4)。最大のすべり量 (アスペリティ) は、約7.5m (平均5.4m) である。破壊継続時間は約20秒、主破壊の断層面積は60km×30kmである。図5に Yagi & Kikuchi による断層運動のメカニズム解を示す<sup>6)</sup>。

#### 3. 2 地震観測記録と震度分布

Gujarat 州では、Roorkee 大学により10数台の簡易地震計が設置されていたとのことであるが、震

表1 各研究機関による地震の諸元

Institute	M <sub>L</sub>	M <sub>s</sub>	M <sub>w</sub>	LAT (N)	LON (E)	H km	Plane 1			Plane 2			Dmax (cm)
							Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake	
HARVARD			7.4	23.45	70.34	18	65	50	50	297	54	127	
USGS		7.9	7.5	23.40	70.32	22	60	66	62	292	36	136	
EMSC		8.1	7.4	23.35	70.83	23	64	60	65	283	33	115	
ERI		7.9	7.4			18	78	58	51	276	33	105	540
IMD	6.9	7.6		23.60	69.80	15							

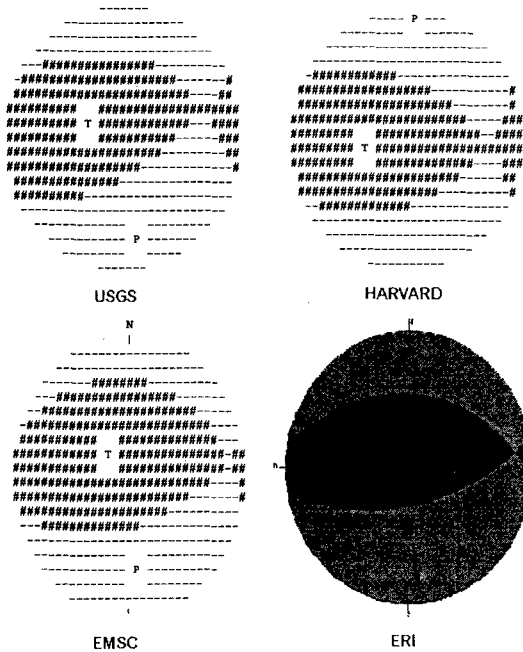


図4 各研究機関による断層メカニズム解

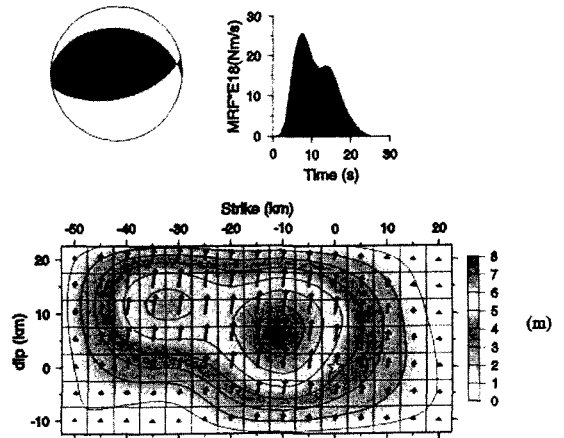


図5 断層運動のメカニズム解(Yagi & Kikuchi)<sup>6)</sup>

央付近における地震記録は殆ど得られてない。しかし、Ahmedabad のパスポート・オフィス(震央から約350km)の1階、Dheli および Roorkee 大学お

よび Bombay (震央から約600km) の地盤等の都市部では若干の記録が得られているが観測記録は良好とは言えない。得られた最大加速度は、Ahmedabad のパスポート・オフィスで約100gal と報告されている(図6)。新聞から集計した建物の被害分布から推定した震度分布も公表されており、Bhuj を中心とした地域では、震度X(楕円形に分布し、面積で約2100km<sup>2</sup>)と推定されている(図7)。

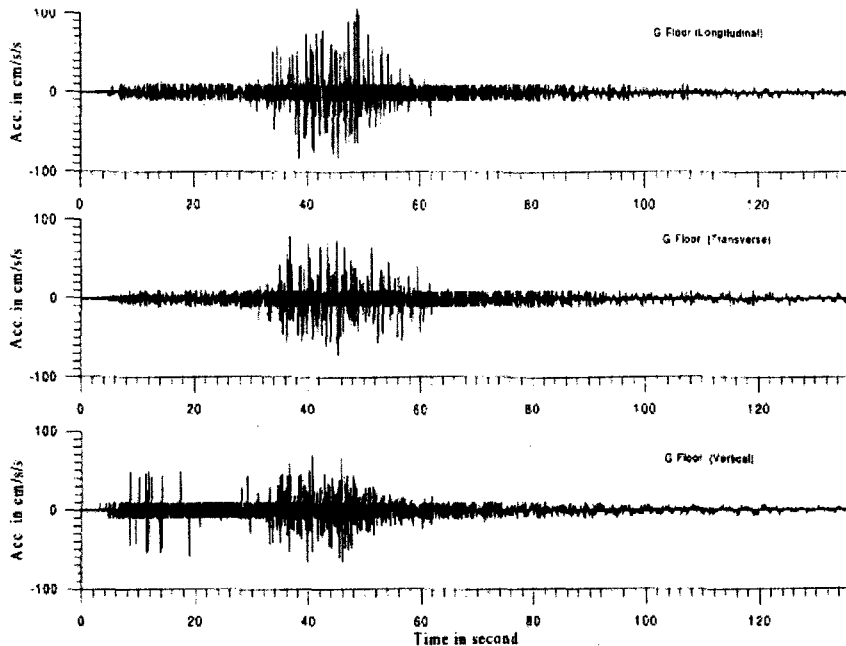
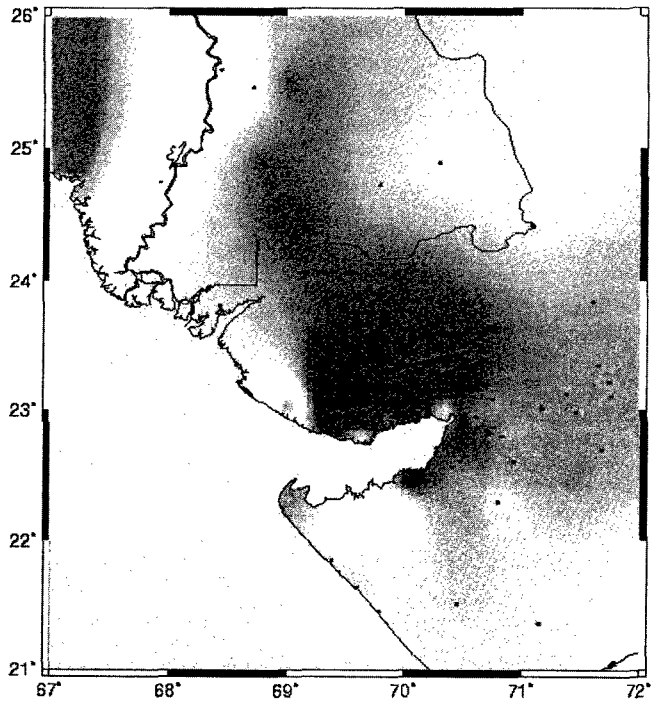


図6 強震観測記録(Ahmedabad)



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(mg)	<0.1	0.1-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-66	66-118	>118
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

図7 Gujarat州の推定震度分布(Martin & Hough)

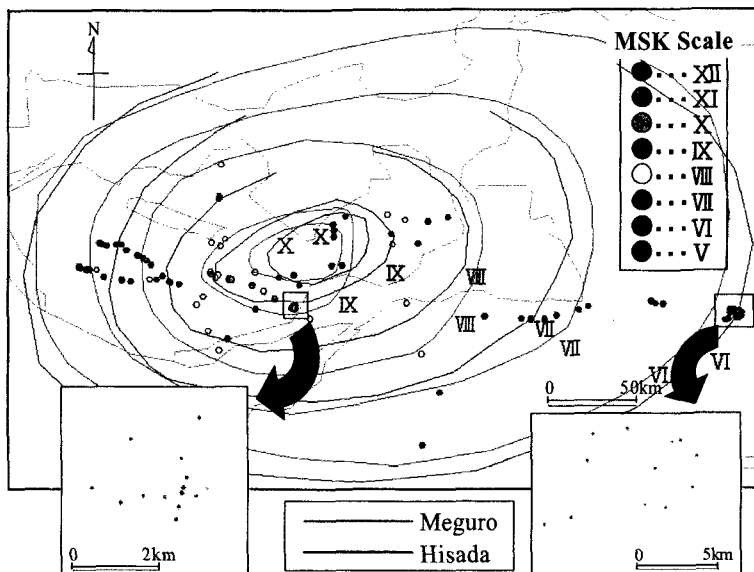


図8 インド西部地震における等震度線図(Meguro & Hisada)

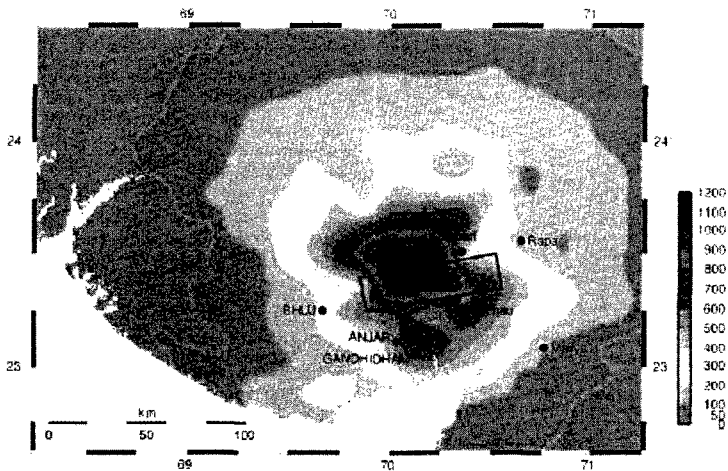


図9 震源モデルによる最大加速度分布 (Kiyono)<sup>7)</sup>

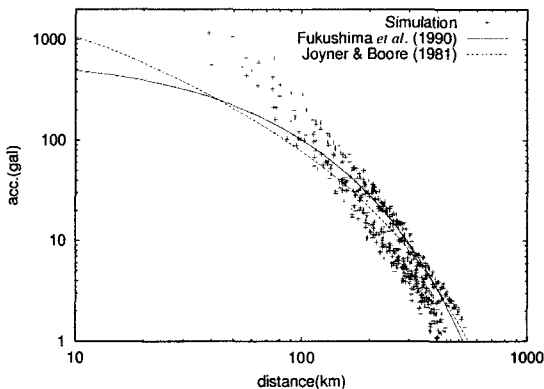


図10 最大加速度値の距離減衰特性 (Kiyono)

図8は、Meguro & Hisada が被害調査の結果から作成した等震度線図(MSK 震度階)である。これによると、震度VIIは東西方向に長く、また南北方向には、第四紀や新生代の堆積層を囲むように楕円形に分布する。図9および図10は、Kiyonoによる震源モデルを用いた地表面の最大加速度分布とその距離減衰を示したものである<sup>7)</sup>。図中には、福島らおよび Joyner & Boore の距離減衰式を合わせ示す。震源近傍で最大加速度は観測されていないが、この図から推定すると断層近傍で1 G以上、また、Bachau, Anjar, Chobari, Gandhidham で約600~800gal。また、Bhujaで約500~600galが得られており、被害の規模や程度と調和している。またIMDの観測では、本震発生後の余震の広がり本震の東側に分布すると報告されている。

#### 4. 断層運動に伴う地盤変状

今回の地震では、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確に定義出来る断層は現れていない。しかし、Kutch Mainland 断層(ほぼ東西方向)に沿って、道路、河床および畑の中に現れているクラックにより、断層運動に伴う地盤変状を確認できた。本調査団が確認した主なものを図11~15に示す。

図11は、Ahmedabad から約80km西にある、川の河床(N23°44')で発見された地割れである(川上下流方向にほぼ直角でNEの方向)。地割れの幅(亀裂)は、最大で約10cmである。図12(N23°23'23", E70°09'23")は、Bachau近くで発見した地割れで、この一帯は液状化しており、地元の話では、噴砂が高さ約1m以上吹き上げ、かなりの時間続いたようである。断層の出現で局所的に地下に貯まっていた地下水が断層により一気に吹き出たものと推察される。断層の長さは2km以上とのことである。図13は、応用地質(株)の調査団が特定した Budarmora 村付近の畑の中の地盤変状(N23°20'11", E70°11'43")の状況を示したものである。この付近一帯に多数の地点で地盤変状が生じており、南北に約300m、東西約2km以上に帯状に分布する。クラックの幅は、最大で約50cm以上のものもある。図14は、同地域を詳細に



図11 断層運動に伴う地盤変状  
(Ahmedabad から 80km 西にある河床)



図12 断層運動に伴う地盤変状 (Bachau 付近の  
地割れと液状化による噴砂跡)

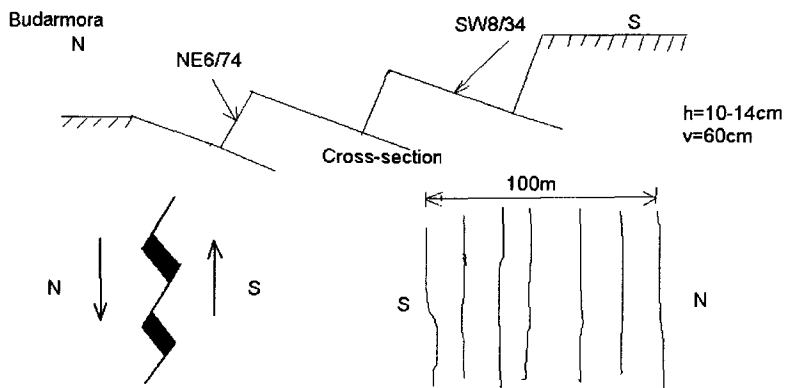
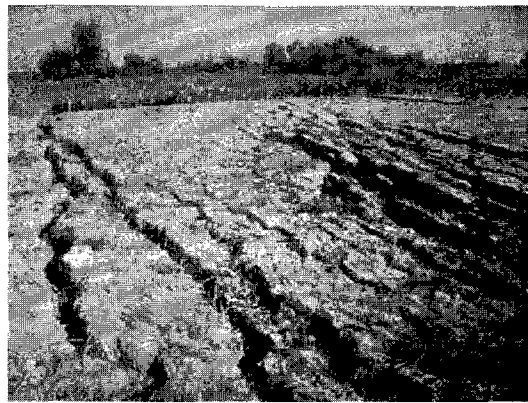


図13 断層運動に伴う地盤変状 (応用地質株による Budarmora 村付近の畑の中のクラック)<sup>3)</sup>



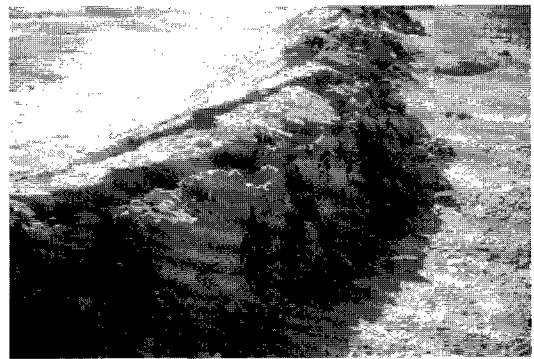
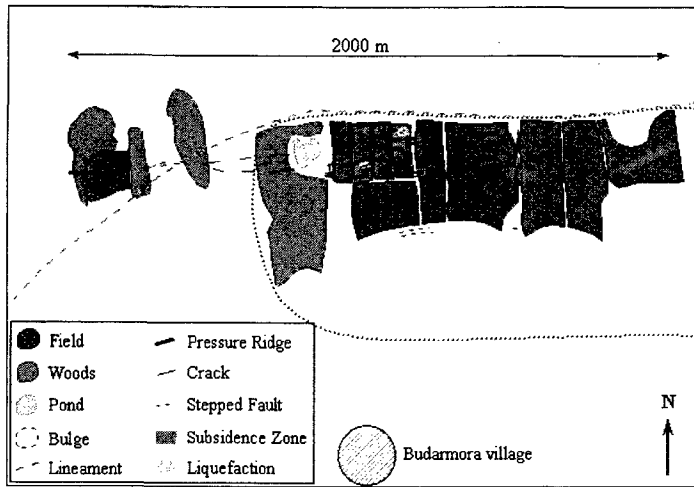


図14 断層運動に伴う地盤変状(応用地質株)による Budarmora 村付近の地盤変状の全体図)



図15 断層運動に伴う地盤変状 (Chang ダム堤頂の地割れ)

5 cm~10cm 程度)、開口クラック、液状化等が発見された<sup>9)</sup>。図15は、Rapar の南西約20km、Nilpor 村の近くにある Chang ダムで発見した地割れである。ダムの堤体の右岸近くでは、深さ 6 m~7 m の地割れが生じている。長さは、200m に渡って続いている。また、上流側の法面には、多数のクラックが生じており、最大のものは長さ20m、最大開口変位4.5m となっている。

### 5. 地震による構造物の被害

被害調査は、Gujarat 州の州都 Ahmedabad から 3 台の車をチャーターして、陸路を移動し約10日間の行程で実施した (図16)。主な調査地点は、Ahmedabad, Gandhidham, Bachau, Bhuj, Kandla port, Rapar, Anjar, Chobari, Manfera である。

調査した応用地質(株)が確認した地盤変状の分布を示したもので、幾つかのプレッシャーリッジ(最大垂直変位60cm~80cm)、畑の畝の曲がり(水平に

主な被害としては、建築物(一般家屋、ビルディング、工場)、道路、橋梁(道路橋と鉄道橋)、港湾構造物、ダム、パイプライン、タンク類(オイルタンク、水道用タンク)、電力施設(鉄塔、変電所)の他、液状化や断層に伴うによる地盤変状、斜面崩壊などがあった。以下に個々の被害について述べる。

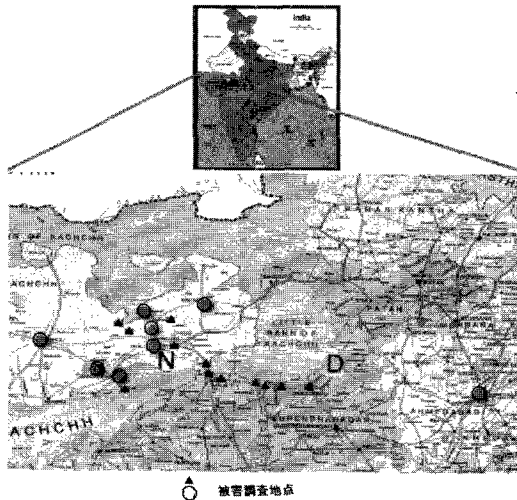


図16 インド西部地震の被害調査場所

### 5. 1 建築物の被害

建築物の被害調査は、州都 Ahmedabad (震源より東北東に約 350km 離れている) と震源域周辺の Bhuj, Bachau, Anjar, Chobari など主要な町および震源域の村落で実施した。建築物の被害の形態は、震源から約 350km 離れた州都、Ahmedabad と震源近くの主要な町村で大きく異なる。

Ahmedabad 等の都市部では、4、5 階建または 10 階建前後の枠組構造または RC 造の建物が広く分布する。この中で、大きな被害を受けたものは、1 階が駐車場などに使用され壁がない構造やピロティー形式のものが多かった。一方、Kutch 地域の農村部では、Kuchcha や Pucca とよばれる伝統的なレンガ石積みの組積造の家屋が多く、大部分が全壊か半壊の大きな被害を受けた。以下に、Ahmedabad および震源近傍域の主な村落での被害を示す。

#### (1) Ahmedabad の被害

図17~19は、市街地の建物の被害を示したものである。被害は、高さは10階建程度の中層ビルに集中していた。このような被害を受けたビルは、28棟とのことであった。これらの建物は構造的には、1階がピロティー式のものが多い。また、図19は、4階建のアパートの被害を示したものであり、1階がピロティー形式で、この部分が崩壊しており、柱や壁はレンガ構造となっていた。地震動の大きさは、パスポート・オフィスの強震観測データから推定すると約100galである。地盤条件は不明であるが、被害のあった地域は昔多くの池が点在し、埋め立てなどがおこなわれたとのこと



図17 Ahmedabad の10階建て建物の被害



図18 Ahmedabad の4階建て建物の被害  
(1階がピロティー形式)



図19 Ahmedabad の4階建て建物の被害(1階がピロティー形式で全壊した建物位置で常時微動観測)

で、かなり軟弱な地盤の可能性がある。この地域では、軟弱地盤および構造物の応答が共振現象によりかなり増幅したものと推察される。さらに、壊れたビルの殆どが、耐震基準を満たしておらず、鉄筋などが不十分であるなど構造的にも多くの問題が指摘されている。

## (2) 震源域の被害

震源域では、どの村落においても、一般家屋は、レンガまたは石積み(目地は泥)構造である。また、3階建以上の比較的新しい建築物では、一部RCの柱、梁などがあるが、フレームの間は、レンガまたは石で満たした組積構造になっている。

### ①石またはレンガ組積造の被害の特徴

この種の構造形式の建物の被害は、Kukma, Ratna, Bhuj, Anjar などの農村部で多く見られた。この場



図20 震央付近の農村部のレンガまたは石積の家屋の被害(Kukmaの全壊跡)



図21 震央付近の村落の被害(Anjar)

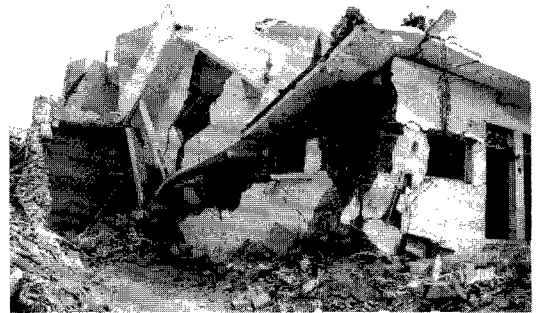


図22 震央付近の組積造家屋の被害(Anjar)

合は、図20～22に示すように、殆どの建物が跡形を留めることなく全壊しており、倒壊率はほぼ100%に近い。

### ②RC造建物の被害

この主な建物は、各都市の中心部に集中しており、レンガや石積み組積造建物の被害に比べて若干軽いが、RC柱や梁が破壊、レンガ積みの壁の破壊など被災した建物が多かった(図23、図24)。また、新築のRC造建物でも、ピロティー形式のものに被害が集中していた(図25、図26)。

### ③地盤、地形が被害に及ぼす影響

谷地、盆地、崖地等の不整形地盤では、地震動の散乱・合成に伴う振幅の増大と位相特性の変化(地震動の焦点効果)により、大きな地震被害が生じていることが、過去の地震被害でも明らかとなっている。今回の地震被害でも、この特徴が見られた。図27は、Bachauの小高い丘(岩盤露頭)の上から町全体の被害状況を見たものであるが、多くの被害は、特に丘の麓に集中しているようで



図23 震央付近のRC造建物の被害(Bhuji)



図26 図25に示した新築建物の柱の被害状況



図24 震央付近のRC造建物の被害(Manfera)



図27 付近の丘から概観したBachauの町の被害状況  
(丘の麓に被害が集中)



図25 震央付近の4階建て新築建物の被害  
(GandhidhamのRC造建物)



図28 Bachauの町の反対側の村落の被害状況  
(谷地の村落が全壊)

ある。これは、基盤から堆積層に透過する波の増幅によるものと推定される。一方、図28は、後方の谷地の集落の地震被害を示したものであるが、ほぼ全壊の状態である。この部分にも、地震動の散乱、合成により、表層地盤が増幅し、大きな被害が生じたものと考えられる。

## 5. 2 土木構造物の被害

### (1) 鉄道・道路の被害

鉄道の被害は、主として次の4つの路線で生じていた。

- (a) Viramgam-Gandhidham(Broad Gauge:BG)
- (b) Gandhidham-Bhuj(BG)
- (c) Viramgam-Okha(BG)
- (d) Palanpur-Gandhidham(Metre Gauge:MG)

この内、Viramgam-Gandhidham 区間の交通が完全に遮断した。1月30日までに、5つの駅舎で信号系統の補修が終了し、また2月1日まで、13の駅が営業を再開した。

鉄道の主な被害は、地盤の揺れと変形に伴うレールや鉄道線路の変状(曲げやねじれ)である(図29)。また、20の鉄道駅舎で構造物被害が、25の駅舎で信号系統に被害が生じた。その中で最も被害の大きかったのがGandhidham駅の被害である(図30)。道路の被害は、Kutch地域の全長約650kmの高速道路の内、約100kmで大きな被害を受けた。主な被害は、路面の変状に伴う亀裂である(図31)。さらに、橋梁との境界部の段差(沈下)および亀裂などがある。図32は、Bachau近くの高速道路5A

の通行料金徴収所の被害(転倒)を示したものである。かなりの加速度(数100gal以上)が作用したものと考えられる。



図30 Gandhidhamの鉄道駅舎の被害



図31 地盤変状に伴う道路の被害(路面の亀裂)



図29 Gandhidhamの鉄道の被害(レールのずれ)



図32 高速道路5Aの通行料金徴収所の転倒

## (2) 鉄道橋・道路橋の被害

鉄道橋・道路橋の被害調査は、州都 Ahmedabad から Virangham, Danghadra, Halvard, Malia, Bachau および Anjar を通過して Gandhidham までの路線で実施した。Virangham までは被害は殆ど無かったが、これより以西に被害が現れ、震源に近づくにつれ徐々に被害が大きくなっていった。しかし、長期間にわたって交通を遮断する様な大きな被害では無かった。主な被害としては、橋桁の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、橋脚の移動、支承部の損傷などである。また、アバット部の沈下やはらみ出しも多数生じていた。図33および図34は、Halvard から7kmの地点にある Kankawati River に架かる鉄道橋であるが、殆ど被害が生じていない。

道路橋では、Godra River に架かる Dhagadhala 橋 (USGS の震央より 116km の地点) は、レンガ組

積造の橋脚を持つ10径間のコンクリート橋であり、支承部のコンクリートが剥落している他、橋軸直角方向に桁の移動跡も見られた。USGS の震央から約 120km 離れた Kankawati 橋 (10 径間、6 m 間隔) では、レンガ積みの橋脚 (1.3m 厚さ、幅 7.3m) の桁の移動 (N' 75E) による亀裂や、橋梁の側面のコンクリートフェンスの損壊の被害が見られた (図35)。また、震央から 55km 離れた Macchu 川に架かる 3 径間長 25m のゲルバー橋では、支承部、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、液状化の跡や無数のクラックが見られた。図36は、震源から 50km の位置にある Hadakiya

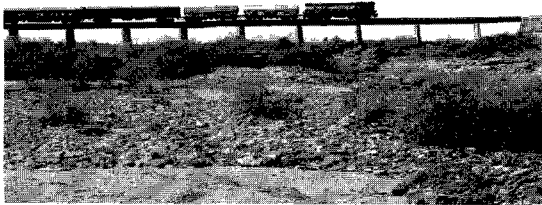


図33 Kankawati River 鉄道橋(被害無し)



図35 Godra River に架かる Dhagadhala 橋の被害



図34 図33に示した鉄道橋の近景



図36 Hadakiya Creek 橋の被害 (床版の波打ち)

Creek 橋の被害を示したものである。この橋は 30 径間(径間長:32.2m, 全長 1171.4m)のゲルバー橋であるが、床版が波を打っており、北側の橋の取り付け部が約 60cm 沈下していた。床版は、長軸方向(ほぼ NS 方向)に圧縮力を受けている様に見える。橋脚の周辺地盤は至る所液状化しており、側方流動により橋脚の何基かが移動している。橋の西側の地盤では、N50°E のすべりを持つ極めて長い地盤の亀裂が見られた。この橋に平行して建設中の New Hadakiya 橋では、南側の橋台と桁の衝突などの被害が見られた。また、Wanda 付近の新設のコンクリート橋付近では、液状化による地盤の変状、噴砂が激しく、橋台の変状、桁の移動やコンクリートに亀裂、剥落が生じていた。



図37 Suvi ダム堤頂の沈下被害

### (3) ダムの被害

Kutch 地域には、174 個所以上の灌漑用のアースダムが存在する。そのうち中小併せて21個所のアースダムが被害を受けた。その主なものを以下に示す。

①Suvi ダム：1977 年に完成した Suvi ダムは、想定断層の北 Rapar の東北東十数キロに位置している。ダムの諸元は、ダム高15m, 堤頂の長さ2.7km, 幅3.66m である。図37に、ダムの被害の概要を示す。ダムは、液状化に伴う側方流動により堤体下部の湖岸側で、すべりおよびクラック(幅20cm以上)が、広範囲に生じていた(図38)。また、堤頂部では、中央付近の旧河川がある位置で、幅20~30mに渡り、2m以上の巨大な沈下が見られた。

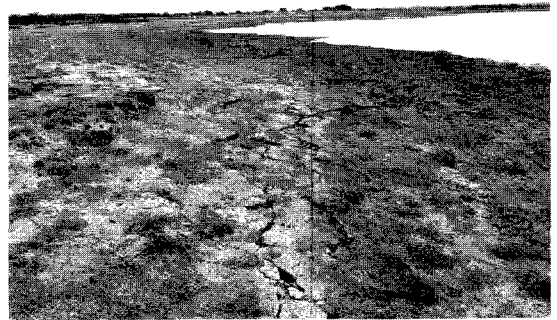


図38 Suvi ダムの地盤の液状化による斜面のすべり破壊

②Chang ダム：堤体の高さ20mの灌漑用のアースダムであり、堤体はほぼEW方向に直線であるが、西側の端部で北方に曲がっている。被害箇所は、曲率を持つ西側の端部に集中していた。もっとも被害が大きかった位置は、旧河川に一致しており、堤頂部では、幅約20mに渡り最大で約5m以上沈下しており、多くの巨大なクラックが見られた(図39)。ダム湖底の地盤では、各所で液状化が生じていた。このため、液状化による側方流動により上流側の法面では、斜面崩壊(すべりと沈下)および多くのクラック(最大開口変位4.5m程度)が見られた(図40)。また、取水口も大きな被害を受けた(図41)。Chang ダムの堤体頂部において、常時微



図39 Chang ダムの堤頂部の大被害(沈下約5m)

動観測中に偶然余震が観測された。最大速度は、50mkine で極めて小さいが貴重な記録である。この余震記録のフーリエスペクトル解析結果により、ダムの卓越周期は約0.17~0.2秒程度と推定された。



図40 Chang ダム法面の斜面崩壊

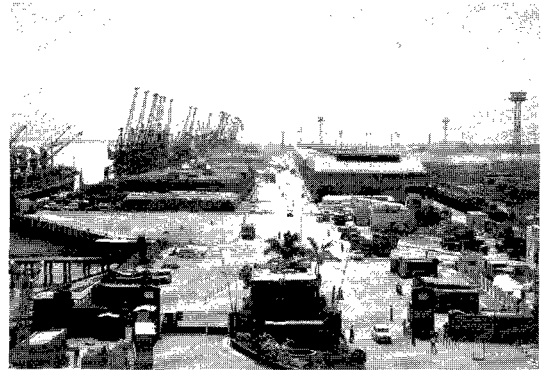


図43 Kandla 港の全景



図41 Chang ダム取水口の被害



図42 Rudramata ダム取水口の被害

③Rudramataダム：Bhuj 北部約10km の Rudramata 橋下流にあり、堤体の高さ20m のアースフィルダムである。前の2つのダムに比べて被害は軽微であるが、堤頂部や法面にクラックが生じ、レンガ造りの洪水吐きにも損傷が認められた(図42)。

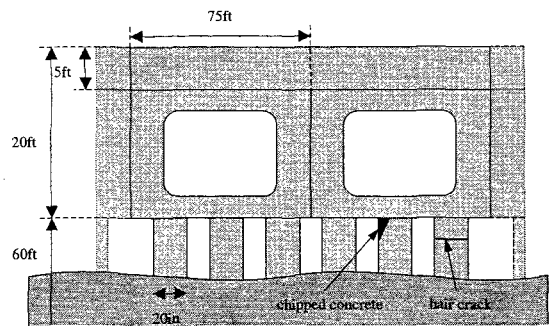


図44 Kandla 港 (No. 1～No. 5埠頭) の全体模式図

#### (4) 港湾構造物の被害

Kutch 地域では、今回の地震で Kandla 港が大きな被害を受けた。Kandla 港は、英国統治下の時代に建設(1895年)されたインド最大の貿易港であり、ガントリークレーンを持つ幅45m、長さ1.2km に及ぶ9つのバース(No. 1～No. 9)がある(図43)。

①No. 1～No. 5の5つのバースで大きな被害を受けた。No. 6～No. 9のバースは、被害が少なく使用されていた。図44にパイロン部分(No. 1～No. 5のバース)の構造模式図を示す。コンクリートパイロンには、曲げによるヘアクラックが多数生じているが、構造的には問題とはならない軽微なものであった(図45, 図46)。ただし、常に海水に晒されているので、腐食による劣化が進む可能性があり、鋼板や炭素繊維などにより、早急に劣化防止をする必要がある。

②栈橋の杭にも被害があり杭頭の部分で曲げによるヘアクラックなどが見られた。栈橋の裏側の埋め立て地盤では、液状化や沈下(約7cm)の被害



(図47)があり、また局所的ではあるが、コンテナヤードのコンクリート床版の沈下 (30cm) も見られた (図48)。

③港湾内の倉庫群では、通気用の壁面開口部を中心に短柱のせん断破壊、鉄筋の座屈が見られた(図

49)。また港湾の正門近くの、5階建ての事務所ビルは、周辺地盤の液状化による側方流動の影響により約1~2°程傾斜していた (図50)。本調査団は、このビルで常時微動観測を行い、被災の程度を調査するとともに、補修補強方法について、日



図45 Kandla 埠頭のコンクリート杭と床盤の付け根に生じたコンクリートの剥離



図48 Kandla 埠頭コンクリート床盤の沈下

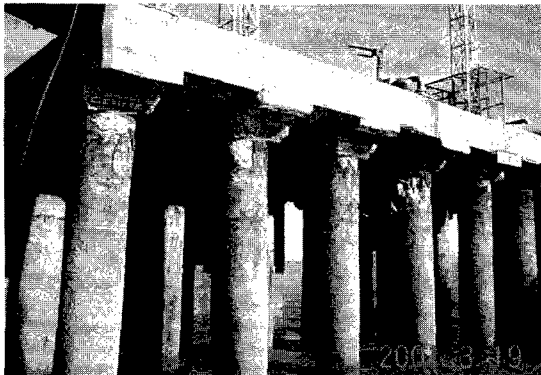


図46 Kandla 埠頭の杭の被害



図49 Kandla 港内の倉庫の短柱のせん断破壊と鉄筋の座屈



図47 Kandla 埠頭裏側の埋め立て部分の噴砂

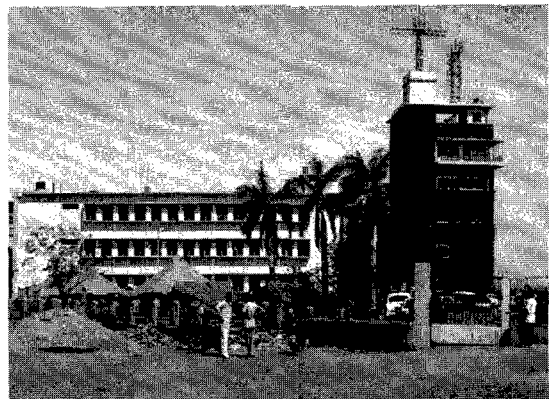


図50 Kandla 港内の事務所ビルの被害

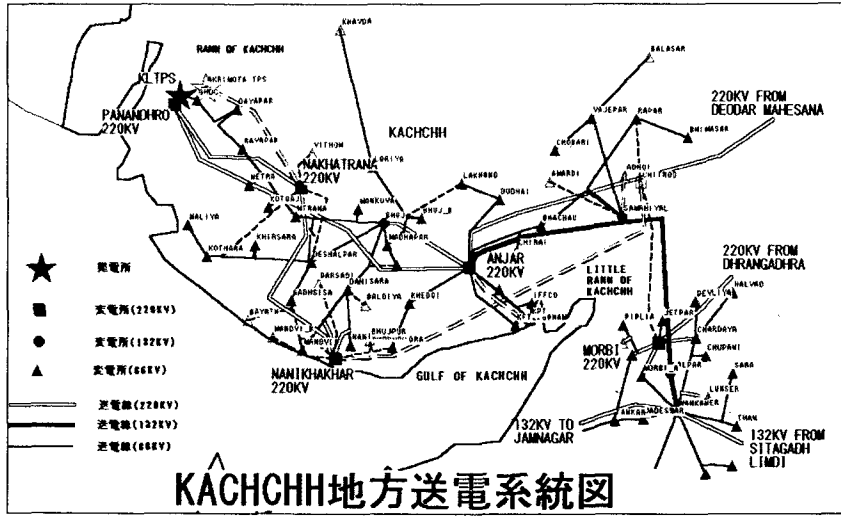


図51 Kutch 地方の送電系統図

本の補強事例など呈示してアドバイスをを行った。

(5) 電力施設の被害

インドでは、最大のエネルギー資源は石炭であり、約 390 の炭田を有しその推定埋蔵量は、1860 億トンである。総発電設備容量は、92, 298MW(1998 年)で、我が国の約 1/2 以下である。原子力発電所は、2000 年 3 月現在で BWR (沸騰水型) 2 基と PHWR (重水炉) 9 基が稼働中である。原子力の発電電力量に占めるシェアは 2. 65%と少ない。

今回の地震では、発電設備の機能に関わるような大きな被害は無かったとのことである。

①Bombay の北、震源地から約 400km 離れたカクラバー原子力発電所 No. 1 (220MW) &No. 2 およびタラプール原子力発電所では、地震による被害は無く、運転停止も無かった。

②図51に Kutch 地方の送電系統図を示す。ここには、3 箇所の石炭火力発電所 (TPP)、すなわち、Panandra TPP, Mahesna TPP および Ahmedabad TPP がある。これらの火力発電所構造物には地震による被害は無かったが、電力系統の遮断事故により全体で 2600MW の発電ロスが生じた。

③送電系統の被害は極めて少ない。Hadakia 橋近くの塩田内にある送電鉄塔では、液状化に伴う地盤変状により、基礎のコンクリート桁にクラックまた鉄塔部材には座屈が生じた。地盤と基礎杭の

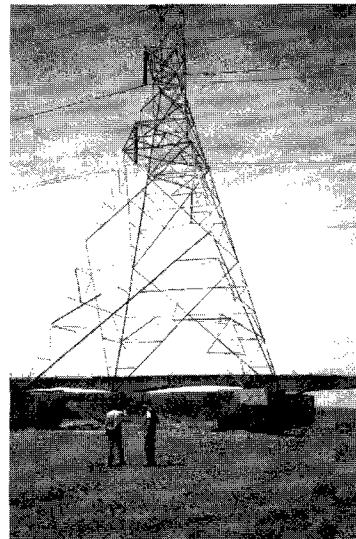


図52 送電鉄塔の被害

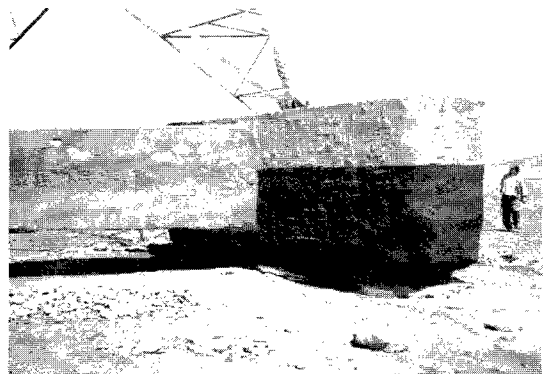


図53 図52に示した送電鉄塔の基礎部分

間に約 10cm 程度の間隙が生じていたが鉄塔が倒れるような大きな被害に至らなかった (図52, 図53)。

④Kutch 地方には、3 個所の220KV 変電所、2 個所の132KV 変電所、40個所の66KV 変電所がある。発電された電気は、架空送電を通じ、400KV、45 個所の変電所の内37個所の変電所で建物や電力機器に被害が生じた。この中で、本調査団は、Anjar 変電所(250MVA)の被害調査を行った。変電所内では、中央制御室のある建屋が損壊し、3つの遮断器が損壊した。オイル漏れは無かったが、レール上の変電機器が脱輪移動し、碍子、ブッシングなどの破損の被害が見られた(図54, 図55)。調査時点では制御パネルを仮設備内移動し、一時的に電力の供給を行っていた。また、同時に行った常時微動観測結果から、地盤は、卓越周期が短周期(0.07秒以下)でかなり硬いことが分かった。被害

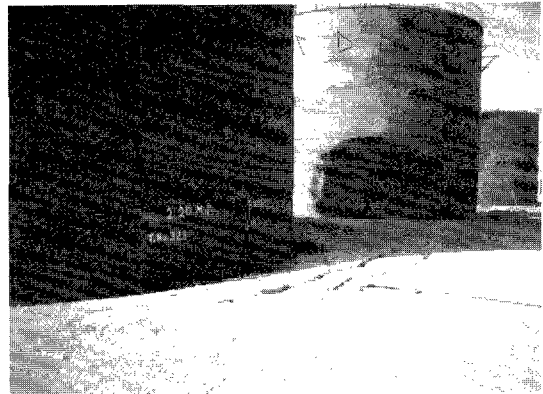


図56 Friend Association のタンクの被害



図57 図56のタンク周辺基礎地盤の被害状況



図54 変電機器の被害 (碍子、ブッシングの破損)



図55 変電機器の被害 (変電設備の移動)



図58 Oil India のタンクの被害状況

の主な原因は、振動によるものと考えられる。送電線の被害は確認されていない。電力の仮復旧は早く、Bhuj では、地震の翌日、Anjar では3日後、Gandhidham では2週間後に約80%が回復した。電柱の被害（破損、傾斜）は、震源近くの各所で見られた。

#### (6) タンクの被害

Kandla 港には多くの備蓄タンク基地がある。調査団は、Kandla 港に隣接する Friends Association と Oil India の2個所のタンクヤードを調査した。

①Friend Association：このタンクヤードは、直径が7～26mの円筒形の地上式タンクが66基ある。タンクは原地盤の上に約3.5mの高さまで埋戻しを行い、転圧して締固められた地盤上に建設されている。タンク基礎およびタンクヤードの被害状況を図56に示す。このうち、2基のタンクが大きな被害を受け、沈下や傾斜（図57）によりバルブとパイプラインの継ぎ目が破損した。また、タンク周辺の地盤には液状化による多くの亀裂と沈下が見られた。このタンク基地は、約20年前に建設されたものであるが、今まで沈下などの被害はなかった。

②Oil India：Friend Association に比べてタンクの被害が小さかったが、周辺地盤の液状化によるタンクの傾斜などが見られた（図58）。

③Trisuns Chemical Ind.Ltd.：ここには、6基の円錐状の屋根をもつ鋼製タンクがあった。震源に極めて近いにも関わらず、ほとんど被害を受けていない（図59）。ただし、隣接の平屋の倉庫は、完全に倒壊していた。

#### (7) パイプラインの被害

Kandla 港周辺では、港と各地域を繋ぐ数多くのパイプラインが走っている。Vadinar から Kandla と Kandla から Bhatinda に至るパイプラインが被害を受けた。Kandla 港では、鋼製の架構が座屈し、上部3本のパイプラインが落下破損し（図60）、下面には、振動による痕跡も残っていた（図61）。また、図62に示すように、パイプラインには、移動（軸方向に約40cm、軸直交方向に約30cm 移動）と支承部のストッパーの破損などの被害が多く見られた。パイプラインの基礎地盤には、液状化による側方

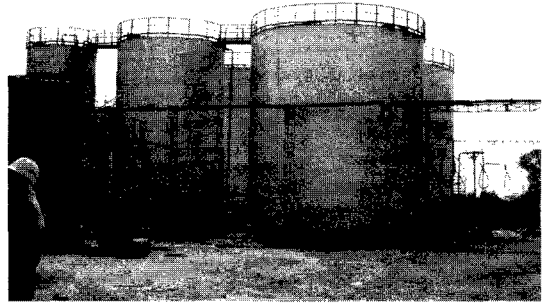


図59 Trisuns Chemical Ind.Ltd. のタンクの被害



図60 Kandla 港鋼製架構から崩れ落ちたパイプライン被害



図61 図60の被害状況

流動が見られ、パイプラインの被害の原因であると考えられる（図63）。これらのパイプラインの一部は、検査の後の1月27日には、稼動が再開された。

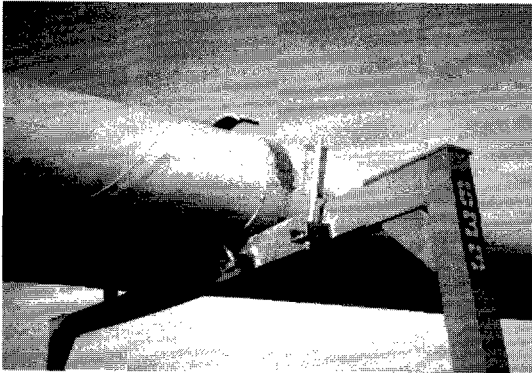


図62 Kandla 港パイプライン被害(管路の水平移動と取り付け金具の破損)



図63 パイプライン被害地点の液状化による地盤変状

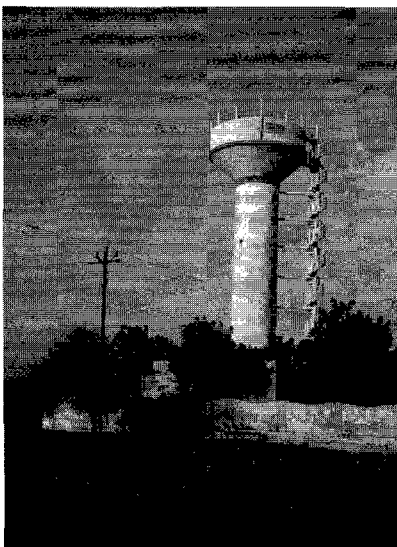


図64 Malia のコンクリート製給水塔 (大きな被害無し)

#### (8) 給水塔の被害

Kutch 地域では、各村に図64のようなコンクリート製の給水塔が250個以上ある。これらの給水塔は、周辺の家屋等の被害に比べて比較的被害が小さかった。しかし、Kutch 湾の南に位置する Malia-Morbi 地域では、5基の給水塔に被害があった。特に、建物の全壊率100%であった Chobari 村の給水塔(直径10m、高さ10m、板厚10cmのコンクリート製のシェル構造)は、完全に倒壊していた(図65)。



図65 Chobari の給水塔の完全倒壊

### 6. 液状化現象による被害

Kutch 地域では、砂漠部 (Rann of Kutch & Little Rann of Kutch) や Gandhidham, Kandla, Malia と Samakhiali の間の海岸地域で広い範囲に渡って液状化が生じた。特に海岸線の砂地盤や河床や池や沼地、塩田地域およびダムの湖底で見られた。海岸線の砂地盤では、液状化に伴う側方流動も観察された。

①Malia Creek や Hadakiya Creek では、広範囲に渡って液状化や側方流動(図66)が生じ、堤防の沈下、橋脚の移動など被害が見られた。

②Chang ダム, Rudramata ダムにおいても、湖底の砂地盤が液状化し、大きなクレータが生じていた(図67)。また、液状化に伴う側方流動により、上流側法面の多くの地盤変状(沈下と亀裂)が生じていた(図68)。

③Kandla 港およびその近傍の海岸地域一帯で液状

化や側方流動が生じた。しかし液状化に伴う港湾構造物の被害は顕著でなかった。図69は Kandla 港内の引込み線ヤードに生じた液状化現象の痕跡である。

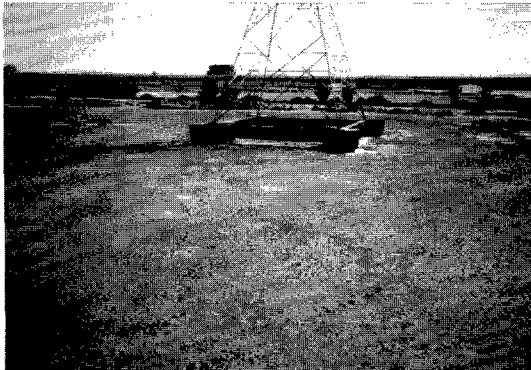


図66 液状化被害 (Hadakiya Creek の液状化現象)

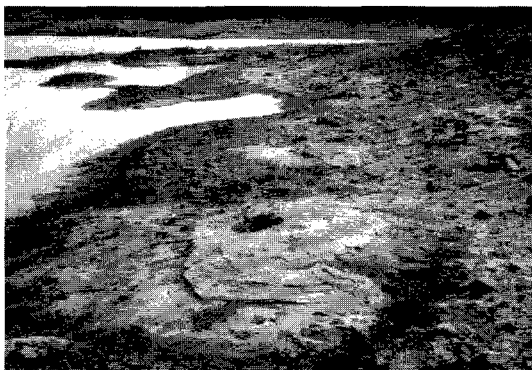


図67 液状化被害 (Chang ダム湖底の液状化によるクレータ)



図68 液状化被害 (Chang ダムの法面のすべり破壊)

④Friend タンクヤードにおいても、タンク周辺の地盤が液状化し、海に向かって側方流動が生じていた。その他 Chobari, Bhuj, South of Khadir island Kadhan (Pakisutan) においても液状化が認められた。⑤図70は、液状化が生じた Kandla 港、Chang ダム、Chobari で採取した砂の粒径加積曲線を新潟の液状化地点で採取した砂の結果と比較して示したものである。これらの地盤で採取したものは、平均粒径  $0.15 \sim 0.30 \text{ mm}$  の液状化細粒分を多く含んでいることが分かった。



図69 Kandla 港内引込み線ヤードの液状化被害

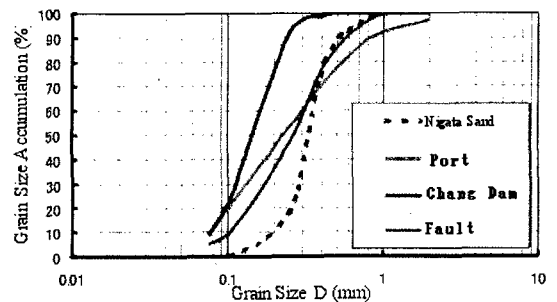


図70 液状化地点の地盤材料の粒径加積曲線

## 7. 地盤および構造物の常時微動観測

### 7. 1 常時微動観測の概要

主な被害調査地点において、地盤、構造物(橋梁、ダム、家屋等)の常時微動観測を実施し、地盤の振動特性や構造物の応答特性を評価し、被害との関

連について検討した(図71)。常時微動観測を実施した地点および対象構造物を表2に示す。同表中に示したように、地盤上での微動観測地点は19地点、構造物では、Chang ダムの堤頂部で7地点、Hadakiya Creek 橋の橋桁上で1地点、建物で、5地点の合計13地点である。

観測機器は、携帯用振動計 (SPC-35:東京測振) を使用した(図72)。この振動計はサーボ型速度計 (VSE-15D:分解能16ビット, 周波数特性0.2~10.0Hz) 3台を一体化して3成分を測定し、専用アンプ, A/D変換器およびソフトウェア制御・データ収録用パソコンを組み込んで観測データを記録する可搬・内臓一体型のコンパクトな携帯用振動計測器である。



図71 常時微動観測の実施状況



図72 常時微動観測の観測装置

## 7. 2 常時微動の観測結果

微動観測は、各地点においてサンプリング間隔

100Hzで5分間(30,000個)実施した。観測したデータの中から、ノイズの少ないと思われる20,48秒(2048個)のデータを選んでFFT解析によりフーリエスペクトルを算定した。また、地盤上の観測記録に対しては、水平成分(H)の上下成分(V)に対するフーリエスペクトル比(H/V)を算定し、表層地盤の卓越周期を推定した。

観測記録の波形およびスペクトルの例を図73および図74に示す。また、H/Vスペクトルおよびフーリエスペクトルから得られた各地点の卓越周期は、表2中に示してある。なお、地盤上の観測記録に対してはH/Vスペクトルから抽出し、構造物上の観測記録に対しては、フーリエスペクトルから抽出した。

表2に示したように、地盤上の微動観測の結果では、Ahmedbadでは0.2~0.6秒と卓越周期はやや長い値を示しているが、調査した他の被災地域であるBhuj, Anjar, Bachau, Raparなどでは卓越周期は比較的短く0.1秒前後を示した。我国では通常、表層地盤が存在する地域で得られる0.1~1.0秒の周期領域には明瞭なピークが存在しないため、被災地域における地盤条件は良好であると考えられる。地震発生および被害調査時期は前述したように乾季であり、その影響で表層地盤はかなり乾燥し締まっている状況にあるものと推測されるが、被災地域の地盤条件は全体的に堅固であると考えられる。また、Changダム堤体頂部での卓越周期は、堤体の高さが10~15m程度の堤高の低いアースダムであり、堤軸および堤軸直交方向とも約0.1秒程度であった。また、Hadakiya Creek橋の橋桁上での卓越周期は、橋軸方向で0.3秒、橋軸直交方向で0.5秒であった。

## 7. 3 建築物の周期特性

建物上での微動観測結果は表2に示したように5棟で行った。通常、建物上の微動観測結果による卓越周期は、建物の弾性状態の1次固有周期と考えられるが、上記5棟は程度の差はあるが地震により被害を受けているため被災前の弾性状態の1次固有周期とは考え難い。しかし、被災地域では被害を受けていない建築物を特定することは困

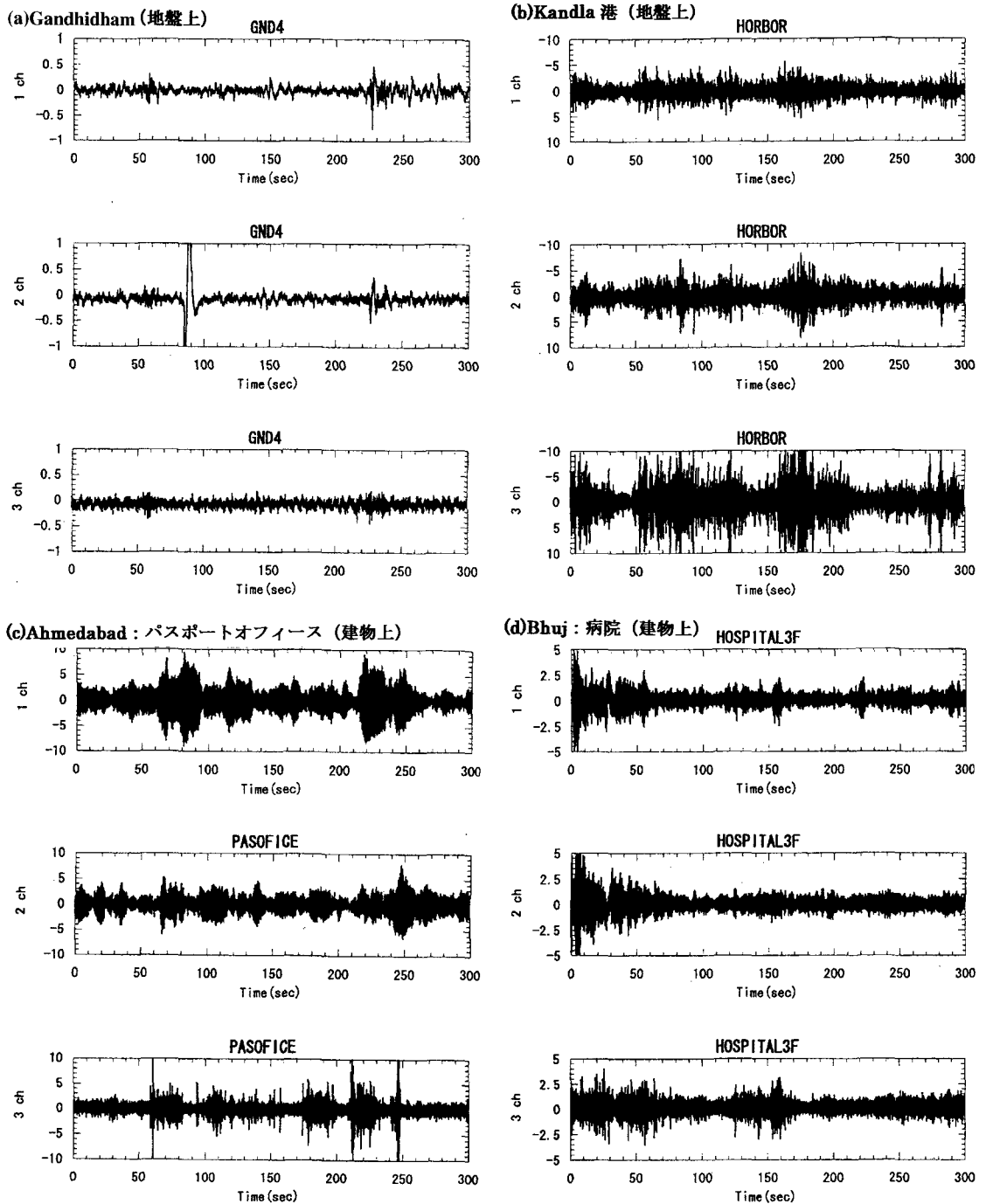


図73 常時微動の観測波形の例



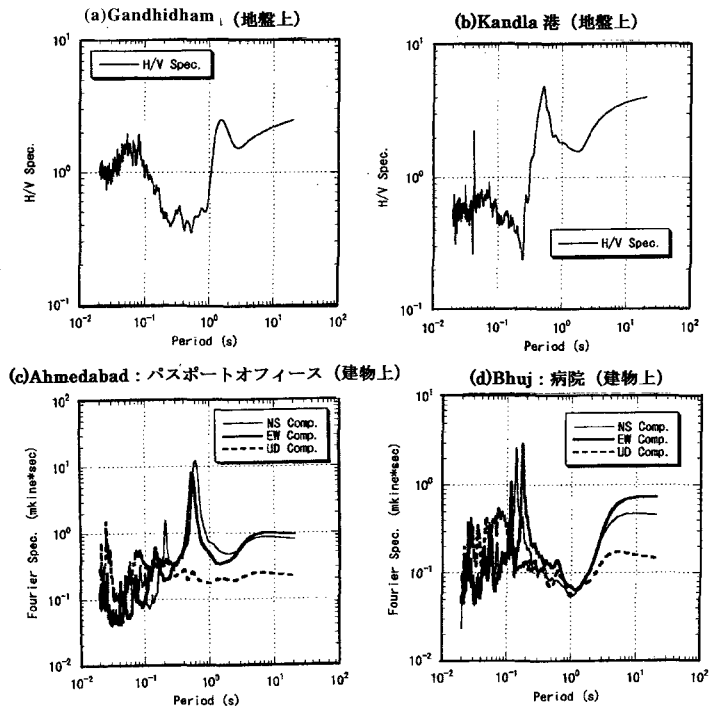


図74 常時微動の観測波形のスペクトルの例

表2 常時微動観測の実施地点および解析結果の概要

観測場所 (地名)	記号	観測地点	観測位置	卓越周期 (sec)
Ahmedabad	AD16-11	被災市街地内	地盤	0.6
	Amd01	被災市街地内	地盤	0.2
	AD16-44	タージ・ホテル	地盤	0.3
	Pasofice	パスポート・オフィス	地盤	0.3
	Pasoficedg	パスポート・オフィス	建物屋上	Table7-2
Anjar	Anjar	被災市街地内	地盤	0.06
Bavhau	Bach	被災市街地内	地盤	0.05
	Substn	変電所	地盤	0.06
	Buji	建物倒壊地点	地盤	0.07
Hadakiya Creek	Hospital3f	赤十字病院	建物3階	Table7-2
	HA-11	ハダキヤ・クリーク橋	橋桁上	0.3
Chang Dam	Brg-1	ハダキヤ・クリーク橋	地盤	0.9
	Cha-11	チャング・ダム	堤頂部	0.12
	Cha-22	チャング・ダム	堤頂部	0.11
	Cha-33	チャング・ダム	堤頂部	0.11
	Cha-44	チャング・ダム	堤頂部	?
	Changi-1	チャング・ダム	堤頂部	0.1
	Changi-2	チャング・ダム	堤頂部	0.11
	Changi-3	チャング・ダム	堤頂部	0.1
Manfera	Fault-1	断層付近	地盤	0.4
Rapar	RAPA-1	被災市街地内	地盤	0.22
Gandhidham	Gan-11	被災市街地内	地盤	0.17
	Gan-22	被災市街地内	地盤	0.13
	Gan-33	被災市街地内	地盤	0.18
	Gand4	被災市街地内	地盤	0.33
	Gand5	被災市街地内	地盤	0.23
	Gand6	被災市街地内	地盤	0.25
Kandla Port	Horbor	カンドラ港事務所	地盤	0.5
	Horbuilid	カンドラ港事務所	建物3階	Table7-2
	Hortower	カンドラ港事務所	監視塔6階	Table7-2
Gandhidham	Hotelgij	シャーマ・デザート・リゾートホテル	地盤	0.2
	Hotelgij3f	シャーマ・デザート・リゾートホテル	建物3階	Table7-2

表3 建物の微動観測結果

Building	Number of Stories	Building Type	Natural Period (sec)	
			Lg. Comp.	Tr. Comp.
Passport Office	10F	RC Frame	Lg. Comp.	0.55
			Tr. Comp.	0.45
			Ve. Comp.	?
Sharma Desert Resort	3F	RC Frame	Lg. Comp.	0.19
			Tr. Comp.	0.15
			Ve. Comp.	0.19
Kandla Port Building	3F	RC Frame	Lg. Comp.	0.2
			Tr. Comp.	0.2
			Ve. Comp.	0.18
Kandla Port Tower	6F	RC Frame	Lg. Comp.	0.55
			Tr. Comp.	0.45
			Ve. Comp.	0.5
Bhuj Hospital Building	3F	RC Frame	Lg. Comp.	0.17
			Tr. Comp.	0.13
			Ve. Comp.	?

難であり、厳密には問題があるが、ここでは上記の結果からインドにおける建築物の周期特性について若干の検討を行った。図75は、建物の階数と固有周期の関係をプロットしたものであり、同図中には日本、メキシコ、ベネズエラ、スペインおよびフィリピンの各国における両者の関係を調査した回帰式による結果を示してある。この結果、今回の観測例は数少ないが、日本やメキシコにおける結果とは異なるもののベネズエラ、スペイン、フィリピンでの結果と同様な関係を示している。

8. まとめ

今回のインド西部地震による被害調査の結果を以下にまとめる。

(1) インド西部は地殻内の南北方向の圧縮力により

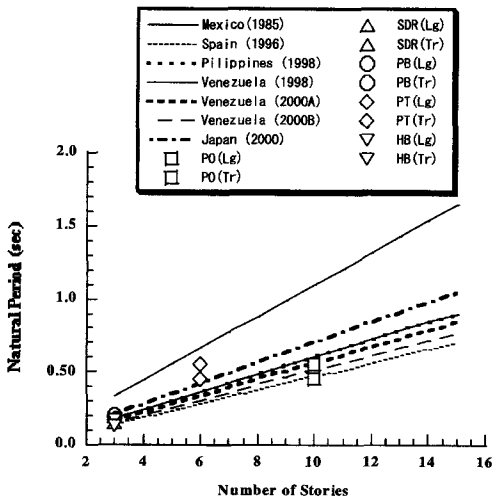


図75 建物階数と1次固有周期の関係

逆断層タイプの地震が多く発生しており、Kutch地震も同様なメカニズムで発生したものと考えられている。しかしながら、断層運動に伴うものと考えられる地表面の地盤変状は認められるものの明確な起震断層は確認されていない。

(2) 震源域で観測された地震働きの記録がほとんど無いため、被災値でどの程度の揺れが生じたのかが判断しにくい。インド気象庁(IMD)やRoorkee大学の記録はあるものの、それぞれ変位記録、震源から350km離れたオフラインの加速度記録であり、観測記録は良好とは言えない。今後強震動観測点の増設とオンライン化を視野に入れた整備が望まれる。

(3) 建物被害としては、ピロティー形式のRC構造物に被害が集中していた。RCフレームの壁はほとんどレンガ組積造で無筋であった。また、地方の村ではブロック間を泥で固めたようなレンガや不成型の地元石の組積造が多く、このような建物に被害が集中していた。

(4) 土木構造物の被害は、道路・鉄道、橋梁、ダム、港湾、電力施設、タンク、パイプラインなど多岐にわたる構造物を調査した結果、ダム（主に灌漑用で規模の小さいアースダム）の被害を除いて、地震規模に比して被災状況は比較的軽微であった。これは、これら土木構造物の分布数（密度）が少なく、全般的に地盤条件が良好であったためと考えられる。

(5) 被害調査を行った主な被災地域において地盤上および構造物上で常時微動観測を実施し、観測記録のスペクトル解析結果より、地盤および構造物の卓越周期を推定した。その結果、地盤の卓越周

期は Ahmedabad で 0.2~0.6 秒と比較的長い周期特性を示した。一方、震源域の Bhuj, Anjar, Bachau および Gandhidham などの被害集中地区では 0.1 秒程度以下の値を示し、地盤条件は良好であると推定された。

(6) 常時微動観測の結果から得られた、建築物の周期特性は、建物階数に伴って固有周期は長くなる傾向を示し、スペイン、フィリピン、ベネズエラでの結果と比較的良く一致する傾向を示した。ただし、今回常時微動観測を実施した建築物は、程度の差はあるが地震による被害を受けていたことに注意しておく必要がある。

インド西部の Gujarat 州では、今回のような地震による大被害はほとんど経験していなかったため、各種構造物への対応（取り壊し、補強・補修など）の判断に苦労していた。このようなノウハウの移転は国際協力の一環として今後とも必要である。

## 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、土木学会地震工学委員会地震調査小委員会インド西部地震被害調査団の濱田政則団長を始めとして調査団メンバーの方々に大変お世話になった。末筆ながら心より深く感謝の意を表すとともに厚く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) USGS, <http://neic.usgs.gov/neis/eqhaz/010126.html>
- 2) Mapsofindia.com, <http://www.mapsofindia.com/maps/mapinnews/27012001.htm>

- 3) Government of India, <http://www.ndmindia.nic.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) Amateur Seismic Center, <http://www.geocities.com/stasertin/gujarat.htm>
- 6) Y. Yagi and M. Kikuchi, *Result of Rupture Process for January 26, 2001 Western India Earthquake (Ms7.9)*, <http://www.eic.eri.utokyo.ac.jp/>
- 7) K. Toki, T. Sato, J. Kiyono and T. Matsuoka, "Attenuation of Peak Ground Motion Taking into Account Multiple Fault Rupture Mechanisms", *Proc. Of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. II, pp.373-378, 1998.
- 8) 応用地質株式会社『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>
- 9) 日本地震工学会『エルサルバドル地震・インド西部地震講演会資料, 2001年5月.
- 10) 日本建築学会災害委員会『2001年インド西部地震被害調査報告会』2001年5月.
- 11) 篠原秀明, 古姓昌也, 藤間秀樹, 田中荘一「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, p.26-31, 2001年3月.
- 12) 土木学会『2001年インド・カッチ地震被害調査報告(震害調査シリーズ7)』2001年6月.
- 13) Japan Society of Civil Engineers (JSCE), *THE 2001 KUTCH EARTHQUAKE, GUJARAT STATE, INDIA - Investigation into Damage to Civil Engineering Structures-*, 15. March. 2001~24. March. 2001, CD-ROM.

## Key Words (キー・ワード)

Kutch Earthquake (カチ地震), Damage Investigation (被害調査), Damage of Buildings (建築構造物被害), Damage of Civil Engineering Structures (土木構造物被害), Microtremor Measurements (常時微動観測)

Report on Damage Investigation due to the 2001 Kutch  
(Western India) Earthquake (Mw7.7)

Takahiro Iwatate\* and Takahisa Enomoto\*\*

\*Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

\*\*Faculty of Engineering, Kanagawa University

*Comprehensive Urban Studies*, No.75, 2001, pp.25-52

Kutch region in Gujarat State of India was severely shaken by a powerful earthquake at 8:46am on 26 January 2001 of the India Standard Time, which has been the most damaging earthquake in the last five decades in India. This M7.7 earthquake is the first to hit metropolitan cities of India in the recent times and the modern industrial constructions. The hypocenter was placed at a shallow depth of about 17km below the surface and the fault plane solutions indicated predominantly reverse faulting along a moderately dipping, nearly east-west trending fault plane with a slight sinistral sense. The quake have caused diluted surface fault rupture. Over 20,000 persons are reported to be dead and over 166,000 injured. The estimated economic loss due to this quake is placed at around \$5 billions. The entire Kutch region of Gujarat sustained highest damage with maximum intensity of shaking as high as X on the MSK intensity scale. Several towns and large villages, like Bhuj, Anjar, Vondh and Bachau sustained widespread destruction. The investigation by the earthquake engineering sub-committee of The Japan Society of Civil Engineering (JSCE) has been undertaken between March 16 and 24, 2001 for such purpose. The investigation on the 2001 West India earthquake covered various aspects of the earthquake. Specifically, the geology, tectonics and seismicity of the earthquake region, characteristics of strong motion records, damage to buildings, infra structures, geotechnical structures and lifelines have been investigated and also the microtremors were measured at several places in the damage investigated area on the ground surface and on the structures in order to estimate the predominant period of grounds and structures. The outcomes of this investigation are presented and discussed in this report.