

1990年イラン北西部ルーダーバル地震の被害や 地変の観察と聞き取り調査

地震研究所 { 佃 為 成
酒 井 要
橋 本 信 一
Mohammad Reza GHEITANCHI

アジア経済研究所 鈴 木 均

Institute of Geophysics, Tehran University { Soleiman SOLTANIAN
Parviz MOZAFFARI

(平成3年4月1日受理)

要 旨

1990年6月に発生したイラン北西部の地震 ($M 7.3$) の現地調査を実施した。訪問した市町村はカスピ海沿岸の Rasht 市、本震の震源付近の Rudbar 市や Manjil 市など15以上に上る。建造物や地盤等の地震による変形や破損の様子を観察すると同時に、住民から人的被害の程度、地震にともなった現象の有無や状況について聴取した。建物の調査対象としては Rasht の市役所や Rudbar の病院など、地盤災害ではカスピ海沿岸 Sefidrud デルタ地帯での液状化による地盤の変形が主なものである。激震区の町や村の人的被害は、最高47%の死亡率、そのほかは10~30%であった。ブロック塀の倒壊方向や人の証言に基づき強震動の方向を推定した。とくに、余震域南東端付近の震動は複雑である。震源域一帯では斜面崩壊や地じり、地割れが多数見られた。余震域の南東端付近の Pakdeh 村では西北西-東南東に延びる開口性の大きな地割れ群、この村の1~2km北方には南北走向の地じり性の地割れ群が出現した。これらは、近傍直下の震源断層の活動の2次的な効果であると考えられる。そのほか地震の随伴現象には、発光現象や地下水の変化などがあつた。今度の地震は歴史地震活動の空白域に発生した。イランにおける最近100年間の主な地震活動の時間特性によると、ほぼ10年ぶりの今回の活動期はまだ数年つづくかもしれない。

1. はじめに

世界時で1990年6月20日21時00分(現地時間21日00時30分)、イラン北西部ギーラーン(Gilan)州で $M 7.3$ の浅発直下地震が発生した。テヘラン大学地球物理研究所による速報では、本震の震源は $36^{\circ} 49.00'N$, $49^{\circ} 24.51'E$ 、深さ10kmで、テヘランから北西に約250km、カスピ海沿岸に沿った山地を切ってカスピ海へ注ぐセフィードロード(Sefidrud)川の谷間の町ルーダーバル(Rudbar)市付近である(Fig. 1)。イランでは1981年7月のケルマーン(Kerman)地震($M 7.3$)以来約9年ぶりの大地震である。過去の地震活動(Table 1, Figs. 2, 3)をみると最近の100年間では平均5.6年、最近50年では3.8年に1回の割合で $M 6.8\sim 7.4$ の地震が発生しており、同じ様な規模の地

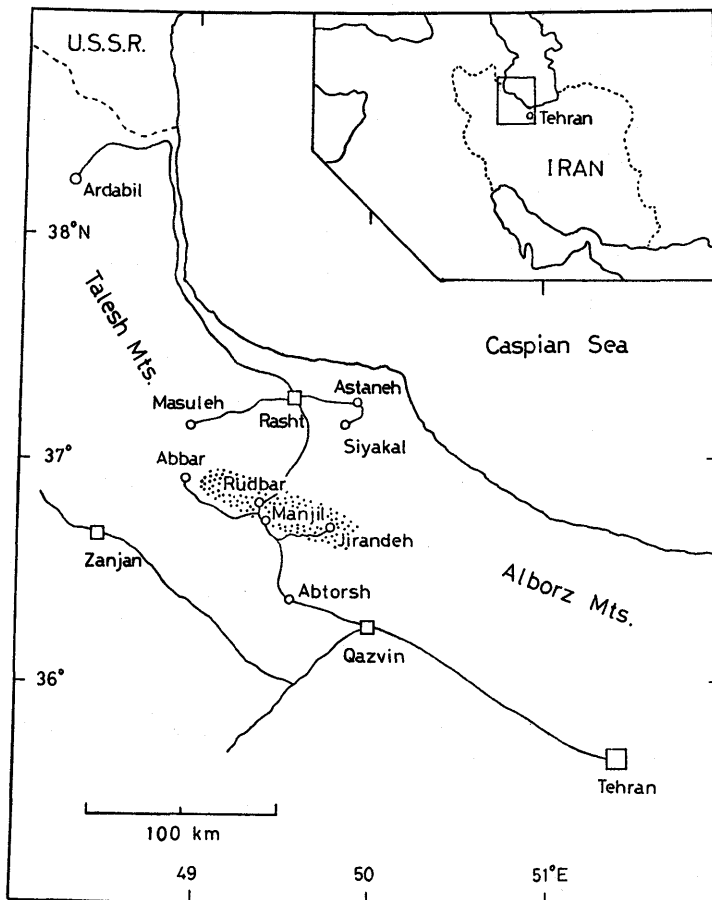


Fig. 1. Map showing regions and sites concerned. Some main intercity roads are drawn. Dotted zone corresponds to the aftershock area of the Rudbar earthquake.

震がイランのどこかで発生してもおかしくない時期にあったと言える。

今回の地震の震源断層の推定やテクトニクスとの関係の解明を目的として余震観測を実施した。また、約 15 の市町村を訪れ地震に伴った被害や地変の観察と住民からの聞き取り調査もおこなった。本論文はその報告を主眼とし、余震分布やその考察についての詳細は別の論文に譲ることとする (TSUKUDA *et al.*, 1991)。日本からの調査隊は 7 月 12 日に本国を立ち、7 月 18 日から 26 日まで震源域一帯に滞在し、8 月 2 日に帰国した。調査のいきさつやエピソードについては佃 (1991) をご覧頂きたい。

今度の地震の犠牲者は新聞報道によると 4 万人とか 5 万人とか言われているが、統計調査がきちんとされていないので大ざっぱな推定にすぎない。MOINFAR and NADERZADEH (1990) の報告書には 35,000 人とある。しかし一部には 15,000 人ぐらいという推定もある。建物の被害の統計もはっきりしない。ギーラーン州副知事の Jahanbakhsh 氏による

Table 1. Major earthquakes ($M \geq 6.8$) in Iran during the period between 1891 and 1990. The data are mostly from UTSU (1990) except for the Rudbar earthquake. Local time is 3 hours and 30 minutes ahead of UT.

No.	Y	M	D (UT)	H	M	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Depth (km)	Magni- tude	Region	Toll of lives
1	1909	1	23	02:48		33.4	49.1		7.3	Silakor	5,500
2	1929	5	1	15:37		37.8	57.8	21	7.2	Kopeh-Dagh	5,803
3	1930	5	6	22:34		38.2	44.6		7.2	Salmas	2,514
4	1945	11	27	21:57		25.0	63.5		8.0	Makran coast	300
5	1947	9	23	12:28		33.4	58.7		6.9	Dustabad	500
6	1957	7	2	00:42		36.1	52.7		7.1	Mazandaran	1,200
7	1957	12	13	01:45		34.5	48.0		7.2	Farsinaj	2,000
8	1962	9	1	19:20		35.6	49.9	20	7.3	Buyin-Zahra	12,225
9	1963	3	31	02:27		37.0	57.9	33	7.0	N. E. Iran	4
10	1968	8	31	10:47		34.0	59.0	13	7.3	Dasht-e Bayaz	15,000
11	1970	7	30	00:52		37.8	55.9		6.9	Karnaveh	220
12	1972	4	10	02:06		28.4	52.8		6.8	Qir	5,010
13	1977	3	21	21:18		27.6	56.3	29	7.0	Bandar-Abbas	167
14	1978	9	16	15:36		33.4	57.4	33	7.4	Tabas	18,220
15	1979	11	27	17:10		34.1	59.9	10	7.1	Ghaenat*	17
16	1981	6	11	07:24		30.0	57.7		6.9	Kerman	3,000
17	1981	7	28	17:22		30.1	57.8		7.3	Kerman	1,500
18	1990	6	20	21:00		36.8	49.4	10	7.3	Rudbar, Manjil	18,000**

* This region name is after CHEITANCHI *et al.* (1990).

** Tentative estimate in this paper.

と、ギーラーン州の被害のひどい地域の 210 の町や村において 23,000 の建物がほぼ全壊し、州全体では、46,000 の建物がほぼ全壊、10% 以上壊れた建物は 120,000 戸に上ったという。我々は被災地の全部を見てきたわけではないが、いくつかの訪問地では独自の統計調査も試みた。今回の地震に関して本論文のような聞き取り調査の報告はほかにないであろう。

ペルシャ語のアルファベット表記は種々のスタイルがあり、文献によってまちまちで混乱に陥り易い。地名の英語式アルファベット表記については主に Gita Shenassi 社発行の Map of Islamic Republic of Iran (Jomhuri-ye Eslawi-ye Iran) (1990) によったが、引用した文献に基づいたものもある。

2. 調査地域

TSUKUDA *et al.* (1991) によると、余震はルドバールを中心にして西北西-東南東に細長く分布し、全長 90 km に達する (Fig. 1)。激震地区はこの余震域にほぼ一致している。全体の被災地はカスピ海沿岸のデルタ地帯を含み、直径 150 km の広範囲になる。

我々はラシュト (Rasht) 市中心部のオルディベヘシュト (Ordibehesht) ホテルを宿舎にして、そこから毎日現地調査に出かけた。ラシュトからセフィードロード (Sefidrud) 川に沿った幹線道路を 100 km 遡るとルドバールに至り、さらにこの道路に沿って南下するとアブトルシュ (Abtorsh), ガズビン (Qazvin) を経てテヘラン (Tehran) 方面へ

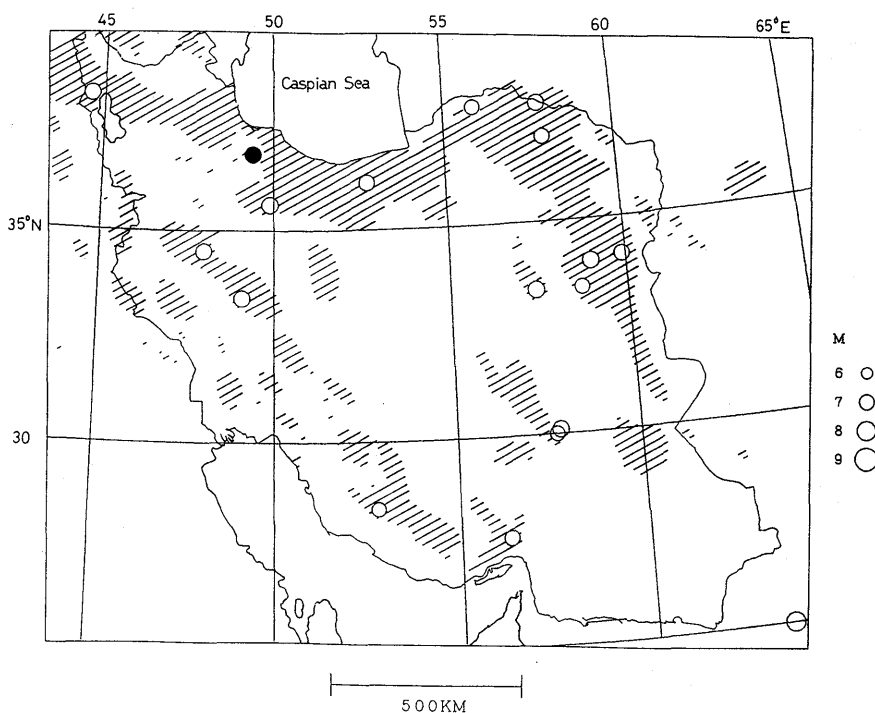


Fig. 2. Distribution of recent major earthquakes in Iran and historical seismicity. Circles, with radii linearly increasing with magnitude, represent the epicenters listed in Table 1. Solid circle indicates the 1990 Rudbar earthquake. The hatched zones are the integrated source areas or areas affected by historical earthquakes (after AMBRASEYS and MELVILLE, 1982).

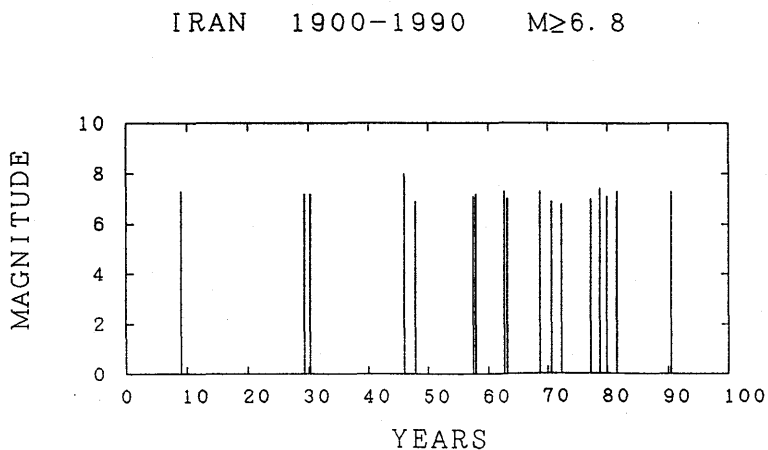


Fig. 3. Time sequence of major earthquakes in Iran. Data taken from Table 1.

出る。Photo 1 にルードバルとラシュトの間の渓谷の様子を示す。ラシュトからテヘランまでの行程は約 300 km である。ラシュトからアブトルシュまでが調査の南北ルートである。

アルボルズ (Alborz) 山地等の山々に囲まれた余震域付近の調査域にあってルードバルのすぐ南のセフィードルード・ダムとマンジール (Manjil) 湖 (人造湖) のあたりは東西南北の交通の十字路になっている。西はゲゼル・オーゼン (Qezel-Owzan) 川に沿った幅約 15 km もある大きな谷ないし盆地が 100 km も続いている (Fig. 4)。この盆地は日本のフォッサマグナ地域の松本盆地や長野盆地より長さや幅でそれぞれ 1.5 倍ほどスケールが大きい。盆地の北縁と南縁には平行した縦ずれ断層が推定される (TSUKUDA *et al.*, 1991)。Photo 2 は盆地内から南側の山々を眺めたものである。この舟状盆地の北側山麓の町アープバル (Abbar) が最も西の調査地点になる。余震域南東部の調査域は山岳地帯である。マンジールの南隣の市ローシャン (Lowshan) 付近から谷間に沿った険しい山道を東へ向かって上って行く。ビーヴァルジン (Bivarzin), パキデヘ (Pakdeh), ジーランドヘ (Jirandeh) という村々がある。アープバルからジーランドヘに至る道が調査の東西ルートである。

訪問した市町村は、カスピ海沿岸地域と南北ルートでは北からラシュト (Rasht), アスターネ (Astaneh), シヤーカーカ (Siyahkal), マスーレ (Masuleh), サラバン (Saravan), ロスタムアバード (Rostam Abad), ルードバル (Rudbar), マンジール (Manjil), ローシャン (Lowshan), アブトルシュ (Abtorsh), 東西ルートでは西のアープバル (Abbar), ギールバーン (Gilvan), 東のビーヴァルジン (Bivarzin), パキデヘ (Pakdeh), ジーランドヘ (Jirandeh) である (Fig. 4)。ラシュトはイランでは有数の大都市で人口 29 万人, ルードバルやマンジール, ローシャン, アスターネは人口 1~2 万の小都市, そ

Table 2. Regionalized toll of lives taken by the Rudbar earthquake. Data on the population and the number of houses are based on the census conducted in October, 1986. The regions are in Gilan Province except for Abbar and Tarom-Olya District in Zanjan Province.

Region	Population	Number of houses	Toll of lives	Death rate
Masuleh Town	1,132		9	0.008
Masuleh and surrounding area			12	
Rasht City	290,897	65,846	200-300	0.006-0.001
Abbar Town	2,249		400-600	0.18 - 0.27
Abbar and Tarom-Olya District (Township of Zanjan, Zanjan Province)	44,151	8,261	800	0.02
Bivarzin Village	638		300	0.47
Jirandeh Town	3,153		460	0.16
Beg Kandi Village	1,594		35-65	0.02 - 0.04
Pakdeh Village	1,462			
Rudbar City	14,834	3,030		
Manjil City	11,107	2,259		
Lowshan City	9,056	1,712		
Township of Rudbar (Rudbar, Manjil, Lowshan, Jirandeh, . . .)	90,771			

のほかは数千人以下の町や村である (Table 2).

調査地の地理や地質, 一般的状況, 被害の概要を以下に述べる. Fig. 1 には調査地点を結ぶ道路, Fig. 4 には調査に訪れた町や村, Fig. 5 には激震地域の行政区域, Fig. 6 と Fig. 7 には調査地点近傍の地形を示した. 時刻は現地時間による.

2.1. カスピ海沿岸地域

カスピ海とアルボルズ (Alborz) 山地の間の地域はこの山地より南側の乾燥地帯とは全く異なって日本と同じく相当の降水量があり, 山は緑の木々に覆われ, 平地には水田があり木造の住居や小屋もあちらこちらに見受けられる. 州都ラシュトを中心にして昔から交易が盛んで人口密度も高い (例えば上岡・他, 1988). セフィードルード川を遡って行くとルードバル付近までは疎ながら緑地が眼に入る. ラシュト付近は沖積層に覆われているが, 西のターレシュ (Talesh) 山地と東のアルボルズ山地のカスピ海側は古生代や中生代の地層が分布し, マスレー (Masuleh) 辺りには先カンブリア時代の地層もある (HAGHIPOUR and AGHANABATI, 1985).

ラシュトは全体的には壊滅的な被害はなかったが, 一部には大きな損害があった. まず, 市中央にあった7階建てのアパートが全部壊れて原型をとどめない状態になったそうである. 7月23日, 我々は車にて現場を通過したが, ガレキの山もきれいに片付けられ, そこはただ空間が残っているだけであった. この崩壊で死者が約200人出た. 助かったの

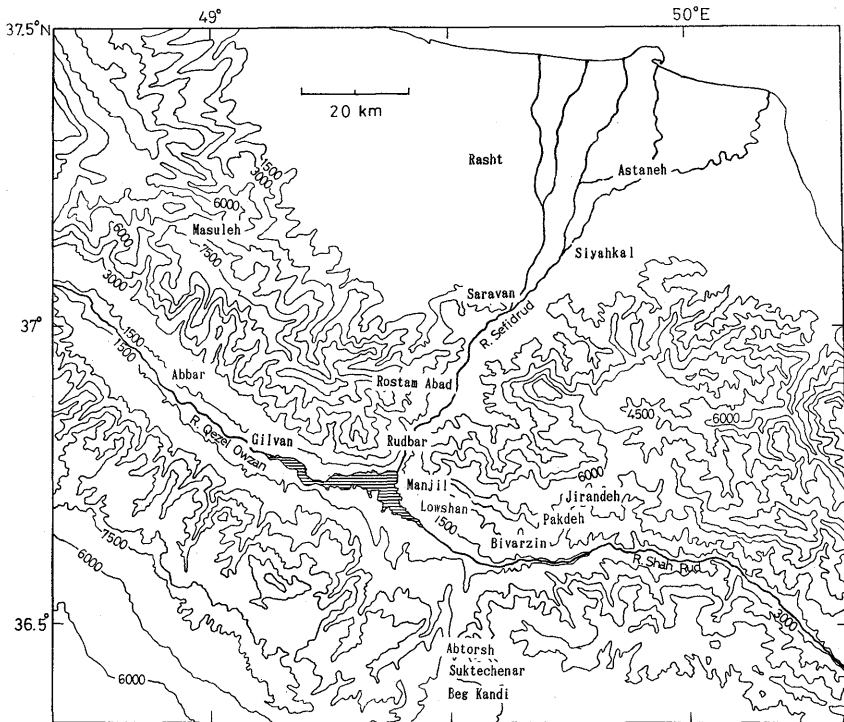


Fig. 4. Region map of the research area. The topographic contours given in feet.

はわずか20人ほどにすぎない。同じ様な建物は市内に多く見られるが、このような壊滅状態の例はこのアパートのみのものである。また、建物のどこに欠陥があったのかはまだ明らかにされていない。

そのほか木造とレンガ造の混合建築である市役所の建物の半壊や貯水塔の倒壊などの被害があった。後者については MOINFAR and NADERZADEH (1990) や ASTANEH and ASHTIANY (1990) に被害の写真や状況報告がある。

マスーレ (Masuleh) は山の急斜面に階段状に家々が建てられた美しい町である。夏場は避暑客で賑わう観光地でもある。この町でただ一人の医者でパキスタンから来ている Yasir Masood 氏によると、山から落ちてきた大岩で家々が壊され、その落石によって町の

なかで 9 人、周囲の地域を入れると 12 人の死者を含む多数の死傷者がでた。怪我人のうち重傷は 31 人、軽傷は 400~500 人であった。また、彼の証言によると救助活動はまず、暗闇のなかタイヤを燃して明りと目印にし、警察の無線で Rasht へ救助要請をおこなった。Rasht に通ずる唯一の道路が落石や土砂崩れで寸断されたが、21日05時(現地時間)にけが人を道路不通箇所のところまでミニバス、あとは人力で運び向こう側の自動車へ渡した。08時30分には道路が開通し、赤十字(イランでは“赤新月”)や州関係の人たちが入ってきた。

セフィードロード川のデルタ地帯では液状化が発生し住居が傾き、ブロック塀の崩壊で子供が圧死するなどの被害が出た。

2.2. 震源域付近 (山岳地帯)

カスピ海沿岸の山脈はセフィードロード川が流れる峡谷によって東西に分割されている。西の山地はギーラーン (Gilan) 山地、東はラーヒージャーン (Lahijan) 山地と呼ばれる。この峡谷はマンジール湖から西はギゼル・オーゼン川に沿った長大な盆地へ、東はガズビン方面へ伸びる細長い入り組んだ谷へと続く。この盆地一帯には第三紀中新世の堆積物が広く分布していて (HAGHIPOUR and AGHANABATI, 1985)、その時期の張力場のもとでの沈降堆積によって盆地を形成したと考えられる。

以上のような地形的特質は、この地域の気候にも影響を与えている。気温の変化がゆるやかなカスピ海と寒暖の差が激しいイラン高原の間で、これらの峡谷を通して気流が生

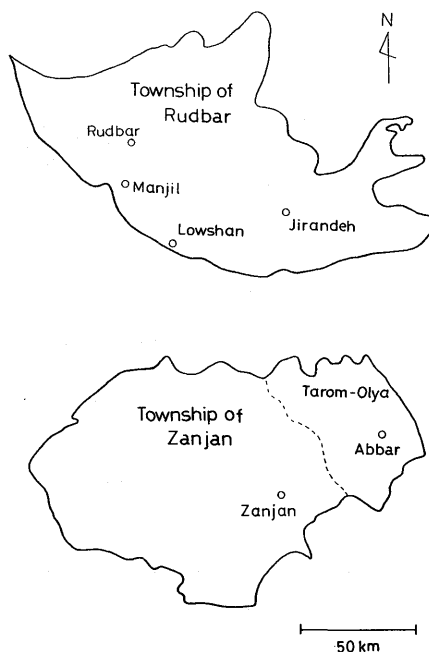


Fig. 5. Rough outline of the administrative borders for the severely affected area of the Rudbar earthquake.

じ、マンジール辺りでは連日のように突風が吹く。著者らもこれを体験した。KEYHAN (1931) はこの気象現象を次のように説明している。「夏にはイラン高原の空気が非常に高温になり、カスピ海の空気は比較的中庸であるために、湖の方から高原の方向に向けて気流が生じ、セフィードルード峡谷に流れ込む。そして先の方に行けば行くほど風はその速さと激しさを増してくる。マンジール橋を通る頃には日中の空気は非常に強風となる。それと同時に峡谷に入り込んできた湿った空気は、山地にぶつかって山裾に滞留し雲を発生せしめる。冬の季節には高原の空気はカスピ海の空気よりも冷えるため、風向きが逆転して峡谷より湖方向に吹く。」

震源域はこの峡谷の川辺の町ルードバルを中心にした地域である。改良メルカリ(MM)震度 IX に達する地域はルードバルを中心に東西 100 km, 南北 30 km の地域である(MOINFAR and NADERZADEH, 1990)。また、震災の程度が著しいのはギーラーン州のルードバル郡とザンジャン (Zanjan) 州のザンジャン郡ターロム・オリヤー (Tarom-Olya) 地区を併せた地域 (Fig. 5) であるが、ここに 13 万 5 千人の人が住んでいる (1986 年の人口センサス, Table 2)。その中でもギゼル・オーゼン川をせき止めセフィードルード川に水を流しているマンジール・ダム付近は、1 万 5 千の人口をもつルードバル市、1 万 1 千人のマンジール市、9 千人のローシャン市が並び人口密集地となっている。

ルードバル、マンジール、ローシャンの小都市では、ほんの一部の鉄筋コンクリートの建物を除けばほとんどの建物が半壊以上の被害を受けた。つまりそのまま使用できる住居がほとんど見あたらない。ルードバルは川沿いの町並みと山の斜面の住宅地がほとんど壊滅状態であった (Photo 3)。マンジールは町全体が押しつぶされた感じで一面“ガレキの原”であった (Photo 4, Photo 5)。人々は路上や空き地にテントを張って暮らしていた。

我々が通行した道路は、地震から約 1 ヶ月が経ってほとんど復旧されており、地震直後の被害の様子を想像することは困難であった。橋梁やトンネルの被害は、MOINFAR and NADERZADEH (1990) に紹介されているが、軽微で注意深く観察しなければ損傷が認められない。

我々が訪れた町や村で被害が最も顕著だったのは西の Abbar と東の Bivarzin である。Abbar は人口 2,200 人ぐらいの町である。数人の住民の証言によれば約 400~600 人が死亡した。周囲の地域 (ターロム, 138 ケ村) には 42,000 人 (住民の証言; センサスでは 44,000 人) が生活しており、死者は 800 人に達した。市内でとくに被害が大きかった地区は 3 つ (ガンバラバード, マスジェド周辺, ピーレハマダン) ある。そのうちのガンバラバード地区では住民 400 人のうち 45 人が死亡した。Photo 6 はこの地区の建物の被害の様子を写している。丸太の梁や煉瓦が比較的良好で倒壊を免れたレンガ住居のすぐ隣の崩れた家にいた人たちが亡くなった。ここへ救助隊が到着したのは翌日 (22 日) とのことである。この地区の郊外の墓地には、震災犠牲者の共同墓地であろう、少なくとも 100 ぐらいの急ごしらえの標識 (小石) が認められた。

Shah Rud 川の流れる谷からさらに山間部に入った Bivarzin 村では数人の住民の話によると約 600~700 人の村人のうち約 300 人が死亡した。村の集落は山の頂上付近と山の斜面一帯の地区に分かれているが頂上の地区では建物のほとんどが全壊した (Photo 7)。

この村の象徴的存在であったであろう鉄筋コンクリートブロックのモスクの塔ももろくも崩壊した (Photo 8). 斜面の家々の損傷は比較的軽い. この村に設置した地震計は被害が最も軽微であった住宅を利用した. 頂上付近の被害が著しいのは突き出した山体の地形効果による振動の共鳴の効果も考えられる. 救助隊は翌々日に到着している. 遅れたのは途中の道路の崩壊物の除去に手間取ったためであろう.

さらに山奥の *Jirandeh* も山の斜面に発達した町である (Photo 9). 郊外の農民の話によると 460 人の死亡者がでた. 町の人口は 3,200 人である. 救助隊の到着は地震の翌々日の午前 10 時であった.

本震の震央から南へ 40 km, ルードバルとガズビン (*Qazvin*) の中間点にある *Abtorsh* 付近のベクキャンディ (*Beg Kandi*) 村は広大な平地の中央にある集落である. 遠くからはオアシスのように見える. Photo 10 はレンガ建築の被害の様子である. 鉄筋が入っていないレンガの壁は崩れたが, 貯水槽の鉄製の櫓は無事であった. 我々の周りに集まった村人達は, 人口 2,000 人のうち 65 人が死亡したと証言している. ここから数 km しか離れていないクルド族の集落スークテチェナル (*Suktechenar*) 村は山裾に位置しているが建物の被害は小さく一人の死者もでなかったということである.

Talesh 山地と *Alborz* 山地のイラン高原側は第三紀始新世や漸新世の火山噴出物が広く堆積している (*HAGHIPOUR and AGHANABATI, 1985*). *Pakdeh* や *Jirandeh* もこの地質区に入るようである.

9 日間のフィールドワークでは, 東西 100 km, 南北 90 km の地域に全部で 7 カ所に地震計を設置し, そのうち, 3 点は長期観測を行うため, 装置をそのまま残してきた.

3. 調査の経過

以下に現地調査行動の概略を記す. 余震観測を主目的にした調査であったので, 観測点の設置とそこへの移動が中心になった. 被害地域の中で比較的被害を免れた建物を観測点として利用した. この節の時刻も現地時間による.

7 月 18 日 (水):

14 時, テヘランを立ち, 4 台の車にて現地へ向かう. *Qazvin* あたりから避難民のテントが目につく. 夕刻, *Lowshan*, *Manjil*, *Rudbar* の各市を通過. *Manjil* では突風, いつも風が強いとのこと. 都市被害の惨状を目の当たりにする. 21 時ごろ *Rasht* の *Ordibehesht* ホテルに着く.

7 月 19 日 (木):

Rasht 市中心部の被害状況観察. *Gilan* 州庁舎にて, 副知事格の *Jahanbakhsh* 氏に会見. 州庁敷地内のコンテナに器材を保管. 観測および調査の準備の後, *Saravan* へ向かう. 水道貯水施設に地震計を設置する (Fig. 6 の Site No. 1). 貯水槽の機能はまだ稼働していない. ここは辺境警察が常時警備している.

7 月 20 日 (金):

朝, *Saravan* の観測点の点検. *Rudbar* 方面へ向かう. 11 時ごろ, *Rostam Abad* 北部付近で道路沿いの山の斜面が崩壊しつつあり, 交通規制で待機させられる (Fig. 6 の Site No. 2). 昼, *Rostam Abad* から *Pudbar* にかけて, 建物などの被害の状況, *Sefi-*

drud 川の対岸 (東) の山々に見える地割りの跡を車中から観察。12 時ごろ, Manjil の Sefidrud ダム付近の巨大な落石を見ながら Qezel-Owzan 川が流れる大きな谷へ入る。ダムは写真撮影禁止。13 時ごろ, テヘラン大学の Gilvan 観測点に立ち寄り。16 時ごろ, Abbar に到着。ここは激震地域の西端付近にあたる。観測点として町内の 3 カ所について検討した結果, 教育委員会の施設内の地下室に決めた。Ganbarabad 地区の被害調査。19 時ごろ帰路に着く。

7 月 21 日 (土):

09 時ごろ, Saravan 観測点で時計のチェック。11 時頃, 昨日と同じ所で渋滞。斜面崩壊がまだ続いている。昼, Manjil, Lowshan を通過。Lowshan の発電所にテヘラン大の観測点がある。13 時ごろ, Abtorsh に入る。平野部の Beg Kandi 村。観測に適した所なし。15 時ごろ, 山裾の村スークテチュナール, 候補地点の小学校では商用電源がないため観測断念。16 時ごろ, 山頂のテレビ塔へ。ここにはテレビ中継局, 通信局, 石油会社の施設がある。これらの施設の写真撮影は禁止。16 時 20 分, テレビ局の使用許可が下りる。地震計 (センサ) はテレビアンテナの土台に, 記録計 (STR-100) は厨房の隅に置く。テレビ局の常駐職員などから地震時の様子を聞く。地震動の様子, 発光現象など。20 時ごろ帰路に着く。

7 月 22 日 (日):

10 時 30 分ごろ, Manjil の近くにあるテヘラン大学の震災救助基地へ立ち寄り。11 時ごろ, Lowshan のセメント工場を外から見る。施設に被害。ここから Jirandeh まで砂利道。11 時 30 分ごろ, Pakdeh 村付近から南がわ対岸の山の斜面の大崩壊を見る。11 時 47 分, 道路に湧水 (鉱泉)。地震の直後水温上昇とのこと。12 時ごろ, Jirandeh 入口 (あと 15 km, 検問所あり)。12 時 20 分, Pakdeh 村。道路の亀裂や, 崩壊を観察。上下の落差 2 m。12 時 36 分, Jirandeh 村。余震域の東南端付近。テヘラン大の観測点がある。同じ所に, カセットテープレコーダ DR-10 を設置する (Photos 11, 12)。地震計は 3 成分。他の観測点はいずれも上下動 1 成分のみ。住民より地震時の様子を聞く。発光現象があったようだ。15 時ごろ, Pakdeh の北部。ここから Jirandeh および Pakdeh の村が一望できる。農作物を蓄える大きな倉庫の敷地を囲んでいるブロック塀がほとんど倒れていた。さらに, 北へ向かって多数の地割れ帯が延びており, 谷を挟んだ対岸の山にも大きな地割れが見える。これらは, 山の斜面の地割りの初期の段階を示していると思われる。16 時ごろ, Pakdeh. NW-SE 走向の地割れ群を観察。住民の証言を聞く。17 時ごろ帰路につく。22 時ごろ, ホテルにて全員でミーティング。残りの 3 点の観測について討議した。

7 月 23 日 (月):

10 時ごろ, 2 班に分かれて州庁を出発。北部班: 佃, Mozaffari, Hamidi, 鈴木; 南部班: Soltanian, 酒井, 橋本, Gheitanchi。

北部班: 午前, 山の急斜面に町ができている Masuleh を訪れる。途中, 小雨。町の入口の病院の建物内にインク書きドラム式地震計 (MEQ-800) を設置。午後, カスピ海デルタ地帯の町 Siyahkal へ。町はずれの農家の畑内に MEQ-800 を設置。

南部班: 午後, Abbar 観測点の点検とデータ回収。ほとんどの家が全壊した Bivarzin 村へ。辛うじて残った半壊家屋の半地下室に MEQ-800 を設置。いつもの箇所での交通規

制, 車のタイヤパンクのため遅延.

7月24日(火):

09時30分, 州庁を出発. 北部班: 佃, Gheitanchi; 南部班: Soltanian, 酒井, 橋本, 鈴木.

北部班: Masuleh と Siyahkal の点検と記録紙交換. Siyahkal では記録紙が外れていて, 観測ができていなかった. 夕刻, Astaneh 市にて液状化があった地域を訪れる. 19時ごろ, ギーラーン大学のゲストハウスを訪問. ここにテヘラン大の観測チームが宿泊し, 毎日5観測点のすず書きの記録紙交換をおこなっている.

南部班: Saravan, Abtorsh, Bivarzin 3点の点検とデータ回収, 記録紙交換. 中国チームのテレメータ観測点 (Rostam Abad) を訪問.

7月25日(水):

09時30分, 州庁発, 北部班: Soltanian, 酒井, 橋本, 鈴木; 南部班: 佃, Gheitanchi.

北部班: Masuleh と Siyahkal の点検とデータ回収, 計器の撤収. Siyahkal では地震計が倒されていて, 観測ができていなかった.

南部班: Bivarzin を訪問. 観測点の点検とデータ回収, 記録紙交換.

7月26日(木):

09時ごろ, 州庁にて荷物の整理. 10時ごろ, ギラン州副知事に対し, 日本隊の調査報告. 11時ごろ, 3班に別れテヘランに向かう. Bivarzin と Jirandeh の観測機器の撤収, Rudbar の病院の建物や, Manjil 市全景などの写真撮影を行う. 夜, テヘランに到着.

4. 建造物の被害

この地震の物的被害の特徴を明らかにするためいくつかの建造物の被害についての描写を試みる. 我々が観察したものはごく一部に過ぎないが, 典型的な事例を含んでいるにちがいない.

4.1. 大規模建築

Rasht 市には7~8階建てのビルが多く存在する. Photo 13 は市の中央にある典型的な建築でこれは建設中のアパートらしい. 鉄骨がむきだしで, 壁体は中空煉瓦を使用している. 山田 (1991) によると鉄骨煉瓦真壁造ということになる. 壁や間仕切りの脱落が見える. MOINFAR and NADERZADEH (1990) の報告書にもこの建物の写真が載せられているが, 後で撮影した我々の写真のほうが破損部が大きい. これは余震の影響で被害が拡大したためか, 危険な部分を人為的に排除したためであろう.

市中心部にある二階建ての市役所 (木造とレンガ造りの混合建築) の入口のホールの高い屋根の部分 (レンガ) が倒壊し, 歩道上に落下した (Photo 14). これに隣接する電信電話局の4階建てビルでは窓ガラスが多数破損しているのが見られた.

電信電話局の斜め向いが我々の宿舎であった Ordibehesht Hotel である. 鉄筋コンクリート3階建てで壁や天井などに小さい亀裂が多数生じた.

震源地付近では Rudbar の Vali-e-Asr 病院が最もおおきな建物のうちのひとつである. Rudbar 北部の川べりにある. 主要部は鉄筋コンクリートブロック造り2階建てである (Photos 15, 16). 別棟の1階建ての鉄筋コンクリート構造では長い片持ち梁が破壊した

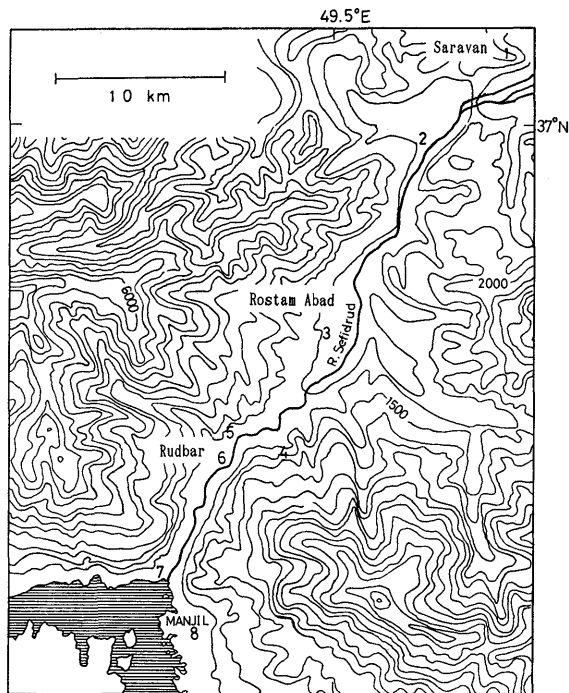


Fig. 6. Region map around Rudbar City. Topographic contours given in feet with an interval of 500 feet. 3000 and 6000 feet are equal to 914 and 1829 meters, respectively. Toward the upstream of the Sefidrud River is the Sefidrud reservoir. Site number: 1: Seismic station in Saravan; 2: Slumping of slope near Saravan; 3: Rostam Abad; 4: Landslide in Jubon or Ganjeh; 5: Rudbar Hospital; 6: Rudbar City; 7: Dam site of the Sefidrud.

(MOINFAR and NADERZADEH, 1990).

Rudbar, Manjil Lowshan の一帯にはレーダーの製造工場やセメント工場などの工場が存在する。Rudbar の北方にある鉄骨フレームの靴の工場では、外見では建物全体が大きく変形したようには見えないが、窓ガラスの破損が目立つ。Lowshan 郊外のセメント工場では、タンクの上部のクレーンが折れ曲がっていた (Fig. 7 の Site No. 7)。工場内部の設備ではコンテナの支持部の破損があった (ASTANEH and ASHTIANY, 1990)。

4.2. 小規模建築

Rudbar や Manjil などの都市部では鉄の骨組みだけ残って床や壁がほとんど剥げ落ちてしまった建物が多く見られた。Photo 17 は Manjil での 2 階建て鉄骨ビルである。鉄筋を使っているが、本数が少なくジョイントがないように見える。

Photo 18 は Pakdeh 村の小学校である。屋根は木の骨組みで支えている。しかし上からの重さを支えているだけで筋違などなくせん断力には弱そうな造りである。

村々では土を用いた住居が多数を占める。正確には練土を用いる。これは石灰質で凝固性の強い微粒子の土にサス (麦藁などを細かく切ったもの) を混ぜ水を加えて練ったものである (山田, 1990)。練土造りの家というのは、この練土を 60~80 cm の厚さで 30 cm

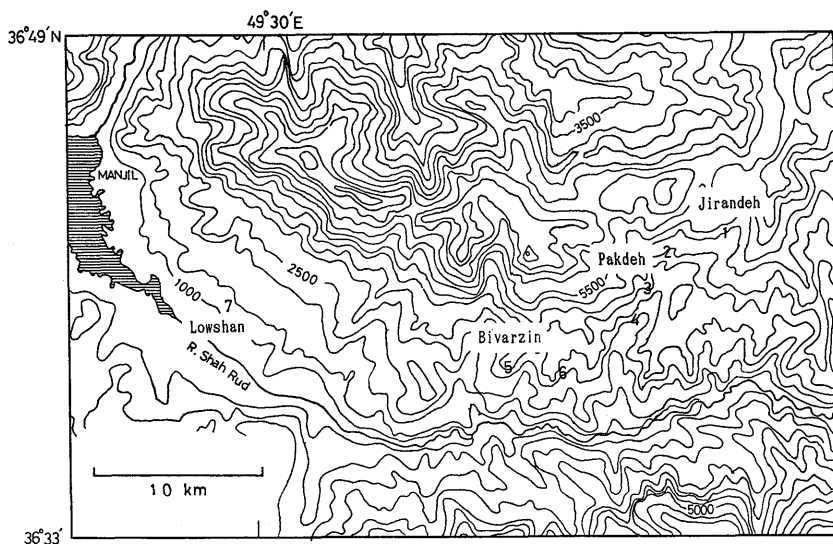


Fig. 7. Region map around Pakdeh Village, similar to that in Fig. 6. Site number: 1: Jirandeh; 2: N-S trending surface fissure north of Pakdeh; 3: Pakdeh; 4: Landslide south of Pakdeh; 5: Bivarzin; 6: Mineral spring; 7: Cement factory in Lowshan.

ぐらいの高さに盛り上げ、乾燥させながら層状に積み上げて壁体を造る。このタイプの家々はイランでは全戸数の 32.7% になる (石井, 1963; 山田, 1990)。Abbar のガンバラバード地区 (Photo 6) やスークテチェナルの家々はたいていそのようなものであろう。練土を型枠で型をとり天日で乾燥したものが日干し煉瓦で、これだけを用いた家の割合は 9.9% と少ない。Photo 19 は日干し煉瓦の住居の例である。屋根は丸太を渡した陸屋根で、これもただ煉瓦の上に乗せてあるだけのものが大半である。丸太であってもうまく補強すれば有効な場合もある。Jirandeh の住民から丸太で補強した 2 階家にいたため助かった人がいたという話を聞いた。

屋根がアーチ状に組んだ煉瓦で造られたものは意外に丈夫で地震に耐えていた。Photo 20 は Jirandeh の観測点に使用している建物の屋根天井である。外観は Photo 11 に示した。この古来の工法はイランの現代建築にも応用されている (藤上, 1963)。

4.3. ブロック塀の倒壊

我々が眼にしたブロック塀にはどれも全く鉄筋が入っていなかった。

Photo 21 は Pakdeh 村北部にある農作物を蓄える倉庫の敷地を囲むブロック塀の倒壊の様子を示す。東西方向の塀は南へ、南北方向のは西へ倒れた。地面の主要動の方向は北ないし東であろう。

Photo 22 は Pakdeh の村はずれのブロック塀である。北東方向に倒壊した。

Rostam Abad にある中国チームの観測点近くの建物のブロック塀は東の方角へ倒れた (Fig. 6 の Site No. 3)。Abbar ガンバラバード地区の教育委員会の施設に隣接するブロック塀も東側に倒壊した。

これらの倒壊方向から推定される地震の主要動の向きについてはあとで議論する。

4.4. その他の建造物

橋梁の被害については我々はほとんど確認できなかった。MOINFAR and NADERZADEH (1990) によると Rudbar 橋では橋脚の直上の道路面のつなぎの部分が圧縮のため少し盛り上がったとのことである。

鉄塔や電柱の倒壊も以外に少ない印象を受けた。ほとんどの建物が崩壊した Bivarzin でもコンクリートの電柱はどれもそのまま立っていた。眼にした送電線の鉄塔の倒壊は Rostam Abad から Rudbar にかけての幹線道路沿いの一カ所のみであった。

本震の震央からわずか 6 km 南に Sefidrud ダム (Manjil ダム) がある (Photo 23)。これはバットレス (控え壁) タイプのコンクリート造りで、フランス Hachette 社の旅行ガイドブック (1966) によると幅 420 m、高さ 100 m の大きさがあり、1956 年から 1962 年の間にフランスの企業によって建設された電力および灌漑用の多目的ダムである。幸いダムそのものの被害はほとんどなかった。ただ、各バットレスの上部に若干の亀裂が入ったようである (MOINFAR and NADERZADEH, 1990)。また、聞くところによると、強震計が設置してあった建物が壊れ貴重な加速度の記録も失われた。

このダムに近いトンネル内では、東畑 (1991) によると道路を横断する亀裂が入り、路面が波うつように変形していたとのことである。

5. 地 変

5.1. 斜面崩壊および地じり

地震時には落石によって多数カ所道路が寸断された。Sefidrud ダム付近では直径 10 m ほどの巨大な岩がダムサイトを襲った (Photo 23)。Saravan と Rostam Abad の間の幹線道路に面した斜面では土砂の崩壊が、我々の滞在期間中も続いた (Photo 24)。

余震域あるいは震度 IX の地域ではあちこちで山の斜面崩壊や地じりが認められた。Photo 25 は Rostam Abad と Rudbar の間の村 Jubon (あるいは Ganjeh かもしれない) の地じり現場の望遠写真である。すべり面の崖やすべった土砂の頭、土砂が木々をなぎ倒している様子が判る。

東畑 (1991) によれば Rudbar 付近の村 Galdian でも大きな地じりがあった。規模は幅 200 m、長さ 3000 m であった。

Photo 26 は Pakdeh の近くの斜面崩壊である。このあたりは Alborz 山地の南側なので、気候がイラン高原のそれに近く、植生がほとんどない。風化した石や岩が崩落しやすい条件ができています。

さて、地球上で最大規模の地じりとして知られているのは今から 10,000 年以上前に発生したイラン南西部の Saidmarreh の地じりである (BLOOM, 1978)。その跡が長さ 15 km、幅 5 km にわたって現在も残っている。この発生の直接の原因は地震ではないかと言われている。今回の地震による地じりはこれに比べれば規模が小さかったが、イランでは常に大地じりの可能性と危険性をはらんでいると思われる。

5.2. 山の斜面の地割れ

Pakdeh の北部 (Fig. 7 の地点 No. 2) には南北走向の長い亀裂が山の斜面に生じて

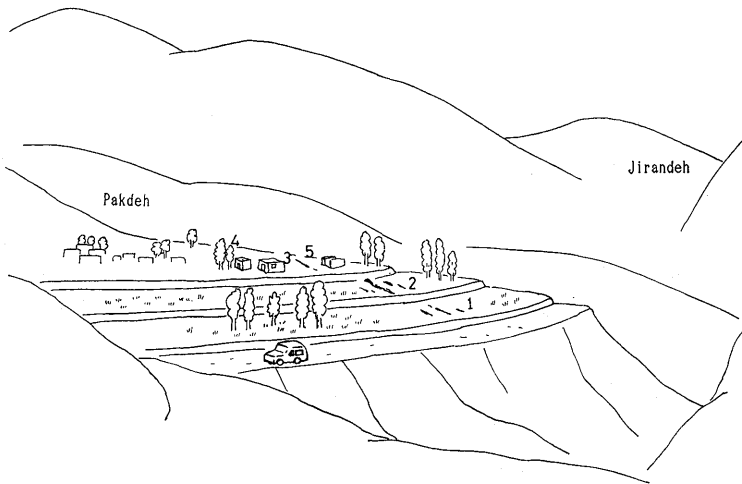


Fig. 8. Sketch map of the village of Pakdeh looking north.

いた (Photo 27). それぞれ少し雁行した何本かの筋が平行して存在する. 谷を隔てて北方の山の中腹の斜面にも亀裂が見える. この一連の亀裂は山の斜面の地氾りの初期の段階を示していると思われる. この亀裂帯の南端付近に 4.3 節に述べた大きな倉庫があり, これを囲むブロック塀が一部を残してほとんど倒壊していた (Photo 21).

倉庫のあたりから少し山へ登ると Jirandeh 村と Pakdeh 村が見渡せる. Photo 9 は Jirandeh, Photo 28 は Pakdeh の村の眺めである.

5.3. 開口性の地割れ

Pakdeh 村 (Photo 28, Fig. 8) はゆるやかな傾斜をもった高台にある. この村を横切って開口性の地割れ群が生じていた. まず, 崖沿いの道路には何本もの小さい亀裂や膨らみが認められた. 全体の幅は 400 m ぐらいになる. 道路から山手に向けて 2 段の草地があるが, ここに平行した数本の大きな地割れの列がある. とくに 2 段目の地割れが最も規模が大きい (Photo 29). 幅は 2 m, 深さは 10 m ぐらいはあると思われる. 地割れ群はそれぞれ WNW-ESE の走向をもつ. Photo 30 は 1 段目の地割れ群である. 住宅地を通り山の方へ向かって断続的に追跡でき, 全長は 500~600 m になる. Photo 31 は最上部の亀裂で, Photo 32 のように幅やずれを測定をすると, 左ずれ成分は高々 20 cm である. この付近は石灰質凝灰岩の岩盤を割っている. 大きな転石を割ったところもある (Fig. 8 の Site No. 3). Pakdeh 付近には余震が最も多く発生しており, この地域の直下まで震源断層が延びてきていることを暗示しているが, この地割れ群が震源断層の地上への出現であるとは断定できない. というのは, 地割れの横ずれの変位成分が極めて小さいからである. 初老の男性は割れ目から火 (ペルシャ語で atesh) が出るのを見たという. そして, 他に現在 Qazvin 在住の人物も火を見たという. さらに, 一人の農民は土ぼこりと “ガス” を見たと話した. 子供が割れ目に落ちたが無事に救出されたそうである.

中国チームの報告や MOINFAR and NADERZADEH (1990) によると地割れや亀裂は Rudbar や Gilvan の近くでも多数発見されている.

5.4. 地下水

Pakdeh 村から Lowshan より 5km ほど南西へ行ったところに地下水が湧きだしていた (Fig. 7 の Site No. 6). 水に手をふれると冷たくなく, 温泉ではないが鉱泉と言える. この水は多少塩分を含んでいる. 地震直後は水温がかなり高かった (著者の一人 Soltanian の体験).

Masuleh では泉が涸れたり増水した (Y. Masood 氏). 増水の場合が多い.

著者の一人鈴木の友人からの伝聞によれば震源域から 180 km 北東の町アルダビール (Ardabil) において地震当時, 近くの温泉の温度が上昇したりガスがでるなどの異常現象があったという. ちなみにこの付近において 1990 年 9 月 24 日 10 時 05 分 (世界時) に地震が発生した. イランの新聞ケイハンによると MM 震度は V であり, 被害はなかった. この地震は観測点 ABB (Abbar) でも記録されたが, SAR (Saravan) では地震波の初動部分が記録されず, ABT (Abtorsh) が欠測のため我々は震源決定できなかった. また, この地域には古くは西暦 893 年 3 月 23 日に大地震があり, 15 万人の死者をだしたことが記録に残っている (川床, 1990; NABAVI, 1978). そのほか宇津 (1990) の表には 891 年に $M 6.3$, 1863 年 12 月 30 日に $M 6.1$, 1864 年 1 月 3 日と 1879 年 3 月 22 日に $M 6.5$ などの地震の記録がある.

5.5. 地盤の液状化

Sefidrud 川のデルタ地帯の一部で液状化現象が発生し, 水が地下から噴き出した. 我々は Astaneh 市の一角 (500 m 四方) で砂地を走る亀裂を観察した. 証言によると噴き上げた水柱は最高 2 m 50 cm に達したという. 深さ 2 m のところまで水があった井戸が砂で埋まってしまった. コンクリートの土間が盛り上がり波うった (Photo 33). その高低差は 50 cm ぐらいであった. 一帯が水浸しになったが, その水の温度が熱かったという. 温度を尋ねると 50 度 ($^{\circ}\text{C}$ と思う) という返事が帰ってきた. 火傷しそうな温度は信じ難いが, 常温より熱い水があふれたことは本当であろう. 1990 年 7 月 16 日のフィリピン地震のときにも, 広範囲に熱水が噴き出し, 魚が煮えるほど熱かったという報告がある (浜田・他, 1991). フィリピンの調査に参加した早稲田大学理工学研究所の若松加寿江氏によると, 住民は熱水の噴出は極短時間で終わり, 温度は 60°C ぐらいであったと証言したという. フィリピンの場合もイランの場合も温泉と直接結び付く証拠はない. 上述の熱水噴出の原因については不明であるが, ここでは震動摩擦熱の可能性を指摘するにとどめておく.

東畑 (1991) によると Astaneh の東隣の町 Rudbaneh でも液状化が発生した. また, 震源域付近でも Manjil 近郊の橋脚が立っている河川の地盤に液状化現象が見られたとのことである (ASTANEH and ASHTIANY, 1990; 東畑, 1991).

6. 地震に伴ったその他の現象

6.1. 地 動

Abtorsh 観測点は Rudbar の南方約 40 km にあるが, ここのテレビ中継所に寝泊まりしている職員 (Shali 氏, 30 才前後) が身振り手振りで地震の揺れ方を次のように説明してくれた.

「当日、0時20分頃（現地時間）宿直室でサッカーのワールドカップ試合の中継を見るためテレビのスイッチを入れた。しばらくして（0時25分ぐらいと思う）地震が始まったので、廊下に出てドアを閉めた。すると大きな横ゆれがきて東西に伸びる廊下に沿って最初西へ、次に東へ身体をもって行かれた。その後、1分間ほど続く小刻みの縦ゆれに変わった。あとで寝るため横になると地面が波うっているように感じた。」

この山頂で夜間の工事にたずさわっていた青年の証言によると最初の振動は北のほうから押し上げるような感じだったということである。

Rudbarの北東60~70kmに位置するAstanehでは、数人の証言によると「最初は東西の横ゆれがあり、1分ぐらいして縦ゆれがきた。」

上の二つに共通するのは強いゆれは最初横ゆれで、そのあとに縦ゆれである。縦ゆれが卓越するはずの初期微動は無視されていると思われるが、その後の縦ゆれは何を意味するのであろうか。短周期の表面波かもしれない。

Jirandehの青年は、「最初、南東方向にゆれた」と語った。

Masulehの老人は最初小さく縦にゆれ、つぎに大きく横ゆれがきたと説明した。

6.2. 発光現象

Abtorshのテレビ中継所に宿直していた職員は「地震のあと全体的に空が赤くなった」と証言した。また、地震時、中継所の外で作業をしていた青年は、「はじめ北から風が吹いて地震がきた。空の2方向に光を見た。地鳴りが聞こえた」という。

Jirandehの青年は「空全体が黄色く光っていた。地鳴りも聞こえた」と語り、また別の青年は、その日は作物に水をやる仕事をしていた農民の話として、「地震の前に発光、黄色と緑色の光がぶつかって炸裂して見えた。そのあと地震がきた」という話を伝えてくれた。

Rudbarから北西50kmにあるMasulehの老人の証言は「地震の後、東から西へ光が走った。色ははっきりしない。」というものであったが、前出のパキスタン人医師は「自分は寝ていたが地震で起きた。外は真っ暗だったのでタイヤを燃して明りにした。」と語り発光を否定した。

6.3. 前兆現象

地震の前兆に関する証言は少なく次の2件に過ぎない。前述のように地震の時農作物に水をやっていたJirandehの農民によると、地震前に発光現象があった。Masuleh在住のパキスタン人医師がカスピ海（バンドレ・アンザリー）(Bandar-e Anzali)の漁師の話として述べたところによると、海辺で網を投げたところ通常の水位まで水がなく、潮が引いていた。そして水が戻ってきたので逃げたら、地震が起こったという。

前震があったかどうか知りたい点であるが、テヘランにある地震計のデータでは確実なものは見あたらない。Manjilには別の研究機関(Organization of Housing Study)が地震計を設置していたが、地震の発生の2週間前から器械の不調で記録がとれていないとのことである。

7. 考 察

7.1. 人的被害の推定

被害の程度を定量的に評価することは災害の予防の研究に不可欠である。にもかかわら

ず今回の地震の被害の統計調査が充分なされているとはいえない。人口が少ない村々に対する我々の聞き取りによる被害調査によると、死亡率が最も高かったのは Bivarzin で 47% である。そのほかの町や村ではせいぜい 10~30% であった。Rudbar や Manjil などの犠牲者の数については我々の調査の限界を越える。公的機関による発表もなされていない。Bivarzin は地形的高まりの上に来た村で、その高い死亡率は地形による震動の増幅効果のためかもしれない。

イランにおける他の大地震の例を見てみよう。Qazvin 南方の 1962 年 Buyin-Zahra 地震の時は震源域付近の町 Buyin の死亡率は 19% (人口 2,515), そのほかの村々では 9~15% であった (AMBRASEYS, 1963)。これらは今回の調査の結果と同じような数値である。イラン東部の 1968 年 Dasht-e Bayaz の地震の時は人口 11,000 の Ferdows 市では 700 人 (6%), 人口 1,200 の Charmeh では 35 人 (3%) (AMBRASEYS and TCHALENKO, 1969) というように死亡率は低い。一方、高い死亡率が報告されている例もある。イラン南東部の 1972 年 Qir 地震では、5,068 人の町 Qir の死者は 3,399 人を数え (67%), 震央から半径 50 km 以内の地域の人口 23,000 に対し、およそ 25% の犠牲者がでた (MCEVILLY and RAZANI, 1973)。1978 年の Tabas 地震の時は人口 13,000 の Tabas 市では 85% にあたる 11,000 人、Fahalanj 村では人口の 71% にあたる 2,500 人が死亡した (BERBERIAN, 1979) という。

イランの地震災害の多くは土を用いた住居の重たい屋根や壁の崩壊によってもたらされている。そのような住居の分布はテヘランやラシュトのような大都市を除き地域によって大きく変わらない。したがって、人的被害は第 1 近似としては死亡率一定、つまり死者の数は人口ないし戸数に比例するであろう。ただ、地理的条件や気候、発生時刻そのほかの要因が多少の変動を与える。Buyin-Zahra 地震は今回の震源域に比較的近く、地震の規模も同程度、地震発生時刻も夜中であったということで類似点が多いから、死亡率が同じような数値になるのは理解できる。Tabas 地震の死亡率は異常に高い。地震は現地時間で 19 時頃発生したが、BERBERIAN (1979) は本震 2 時間後の月食、Tabas 発電所の電気供給停止のため救助活動が滞り大災害になったとしている。しかし数値が大ざっぱなので Tabas の数値は信頼性に疑問がある。

Rudbar などの都市の被害は時間的にもまた政治や社会情勢の上からも調査はできなかった。都市と山村とを比べると、建物の破壊の程度は田舎の方が一般的にひどい。また、都市部は救助隊が駆けつけたのも早かったので、ガレキの中から助けられた人も多かったにちがいない。都市では人口が密集しているとは言っても、1 戸当りの人数は例えば Table 2 からわかるように、Rasht で 4.4 人、Rudbar と Manjil でそれぞれ 4.9 人のように都市部では少なく、Lowshan の 5.3 人、Tarom-Olya 地区では 5.3 人のように田舎へ行くほど多くなる。家屋の崩壊に際し、家族数が多いほど被害が大きくなることも考えられる。したがって、Rudbar や Manjil の死亡率が山村の平均を大きく上回ることはないであろう。

2.2 節で述べたように Gilan 州の Rudbar 郡 (Township) と Zanjan 州の Zanjan 郡 Tarom-Olya 地区 (District) を合わせた範囲が主な被害地域であるが、Table 2 に示したように Tarom Olya 地区の死亡率は 0.02% と小さいのでこれを無視し、Rudbar 郡

(人口 90,771) だけの人口で全体の被害を推定してみよう。Bivarzin の 47% は特別に高いとし、Abbar や Jirandeh で 16~27% がこの地域を代表していると考え、地域全体でだいたい 20% とすると、死者の推定は約 18,000 人となる。

7.2. 地震動の推定

建物などの被害状況から、地震動の様子を推定できないであろうか。5 節で述べたように Rasht の市役所の玄関の頂上の煉瓦造りの部分が道路上に落下したが、建物の内部に落下してもおかしくないの、水平の大きなゆれによって外へ飛び出したと考えられる。ここでは最初に西へ地面が強く動いたことになる。これは震源断層の左横ずれの運動から期待される方向と一致する。やはり震源の北方にある Rostam Abad のブロック塀の倒壊も同様である。Pakdeh 村は震源断層のやや北に位置する。Photo 21 のブロック塀から予想される地面の動きは北ないし東であるが、左ずれの断層運動に合った方向とはむしろ逆の方向を示す。村内の例 (Photo 22) では南ないし西の動きになる。これは発震機構や余震分布 (TSUKUDA *et al.*, 1991) から予想される震動方向に近い。

地震のモデルから簡単に予想される地動の方向と実際とが大きく異なることはあるらしい。例えば Tabas 地震の際、南北走向で東向きにスラストした地震断層の近く、下盤側にあった発電所で発電機の台が東へ移動した。これが断層運動から予想される方向とは逆の方向であった (BERBERIAN, 1979)。地震波の初動から推定される発震機構はほぼ横ずれを示す (AKASHEH and ESHGHI, 1980/1981) ので、これに従えば予想される地動は北向きであるが、いずれにしろ単純なゆれではなかった。このように地動が複雑なのは地域的な地形や地下構造の効果のせいであろう。

人の証言についても考察してみよう。テレビ中継所の職員の話で、最初の大きな横ゆれによる身体の西への移動は、地面が東に動いて身体が西へ傾斜したものと解釈できる。というのは、振動の周期は 1 秒より短いであろうから、身体が地面と一緒に動くとは考えられないからである。実際、この地点の震央距離約 40 km と同じくらいの距離における実際の器械振動記録はないが、MOINFAR (1990) に示してある震央距離約 100 km の地点の加速度記録やそれを変位に変換した波形をみると、変位でも卓越周期が 1~2 秒である。そのように解釈すると左ずれのメカニズムによく合ったゆれということになる。

次に、震度について若干の考察をおこなう。AMBRASEYS (1963) は練土造りや日干し煉瓦造りの家の被害の程度を判定基準に加えた。これによると震度 IX では、地面に根をもつ日干し煉瓦のアーチ状のドームが被害を受け、平らな屋根をもつ日干し煉瓦造りの家にいた人のうち最大 65% が死亡するとされている。震度 VIII では上の死亡率が 30% になる。イランにおいて実際に統計をとるのは困難である。MOINFAR and NADERZADEH (1990) などに発表されている震度分布のなかで震度 VIII と震度 IX の区分などはあまりあてにならないと思われる。器械による測定については、MOINFAR and NADERZADEH (1990) や MOINFAR (1990) に各地の最大加速度が記されている。激震区のデータは Abbar だけしかないが、ここでは水平成分で 0.65 g (637 gal) を記録した。

7.3. テクトニクスと長期的地震活動

イランは Himalaya から Alps へかけての地震活動帯に位置する。この活動帯はペルシャ湾からカスピ海までの 1000 km に及ぶ広大な幅をもつ。南は Zagros 山地に沿った

変動帯で、新生代第三紀中新世の初め頃まで Arabia からの沈み込みがあったところである (TAKIN, 1972; SENGÖR and KIDD, 1979). 現在は沈み込んだプレートが下方へ落ちて、Himalaya と同じような衝突境界となっている。イラン高原は Eurasia プレートと Arabia プレートの間で南北ないし北東-南西方向の圧縮を受け、短縮による隆起と地殻の厚さの増加が起こって出来たものである。イラン地域はさらに西は Arabia と小アジア、東はインドのプレートにも挟まれ、身動きできないようになっている。そこで短縮がいつそう進行することになる (BERBERIAN, 1881). 北に位置する Eurasia プレートの剛体的な部分 (Turan プレートとも呼ばれる; 例えば, BERBERIAN, 1981) とイラン短縮地域の境界がカスピ海の南部地域にある。カスピ海の西岸の Caucasus 山地と東岸の Kopeh Dagh 山地を結びカスピ海を横断する地震活動帯およびイラン北西部カスピ海沿岸の Talesh 山地や Alborz 山地に沿った湾曲した地震活動帯がそれに対応する。LE PICHON (1968) は、イランの地塊は Eurasia プレートに固定されているものと考えたが、MORGAN (1968) は後者にプレート境界を設定し、Eurasia プレートとイランを分けた。MCKENZIE (1972) や NOWROOZI (1972) はもっと細かく分割し、例えば、南部カスピ海の地域も一つのマイクロ・プレートとした。

上のどのプレート・テクトニクス論が適当かはまだ確定したとはいえないが、いずれにせよ、イラン北西部が活動的なテクトニクスのものであることは疑いない。今回の地震はそのような活動帯で発生した。

今度の地震の余震は本震の震源があるルードバール付近から南東の方に伸びる地域に頻発しており、とくにその端に多い (TSUKUDA *et al.*, 1991). Jirandeh や Pakdeh は地震密集域の近傍に位置する。この地震により北東-南西の圧縮場に調和した西北西-東南東方向の走向をもつ垂直左横ずれ断層が地下に生じたことが推定されるが、この地震断層は地上には出現していない。Pakdeh の地割れは2次的な現象である。また、活断層が活動した証拠はまだ見つからない。ただ、余震分布に現れている地震断層の走向は Qezel-Owzan 川が流れる盆地を画する縦ずれの活断層に一致し、地震は北側の断層の隆起側に発生した。Landsat 写真や地形図の判読から余震分布とほぼ一致する左横ずれの活断層の存在も推定されている (TSUKUDA *et al.*, 1991).

さて、イランの地震の発生系列 (Fig. 3) を見ると、ある時期にかたままって発生し、しばらく間をおいてまた連発することを繰り返している。1930年、1947年、1960年、1970年、1980年の前後に連発があり、1990年の今回の地震となった。Rudbar 地震だけで終わるのではなく、今後もしばらく活動が続くかも知れない。地震予知研究の推進が急がれる。

また、100年の活動で見ると、今回の震源地の近辺のイラン北西部の活動はイラン北東部とともにレベルが高い。この一帯北西部の Ardabil 付近の活動は最近はおとなしいが、過去に大地震があったことはすでに述べた (5.4節)。そのさらに北西側に最近の 1988年 12月 7日にソ連アルメニアで大地震 ($M 7$) (スピタク地震) が起きた。今回の地震より東の大地震想定域は Qazvin から Tehran までの地域であるが、ここには A. D. 958年 2月 23日に Ray-Taliqan 地震が発生している (AMBRASEYS and MELVILLE, 1982).

8. 終わりに

この論文は余震観測を目的として現地へ入った我々が地震観測の合間を抜って見聞きしたことからまとめたものである。イランにおける地震活動や、地形・地質、気候について解説や考察も試みた。地質学者でもなく地震工学者でも防災研究の専門家でもない、いわ

ば素人の調査隊の報告であって、調査の方法、論文の記述に至らないことが多々あるかと思うが読者の御批判を仰ぎたいと思う。今回の地震は夜中とはいえ、ワールドカップのサッカー実況中継をテレビで観戦していた人も多く、地震時の諸現象の生き証人も少なくないと考えられる。それら人間センサーによる地震のデータは貴重であるから、できるだけ多くのデータを集めようと思ったが、時間の制限や我々の能力の限界があつて不満足に終わった。

イランは地震災害国である。Table 3 に示したように最近 100 年間に死者 500 人以上の被害を出した地震は世界で 153 回あるが、そのうち 27 回がイランで発生した。実に 17.6% になる。次が中国 (台湾を含む) の 15.7% で、トルコの 14.3%、日本の 7.1% とつづく。イランとトルコを合わせると 32.0% に達する。地震の頻度で言えば日本が世界一であることはよく知られているが、地震災害では中東の突出が目立つ。その主な原因は脆弱な建築構造に存すると思われるが、そのほかにも根本的な原因があるかもしれない。Rudbar 地震についてのこの現地調査報告がこの地域の地震災害の実態の理解に寄与できることを念じている。考古学的な証拠を含め、地震の記録で世界最古のものは紀元前 3,000 年頃に発生したイランの Buyin Zahra 付近 Sagzabad 遺跡の地震である (川床, 1990)。世界最大の規模を誇る先史時代の地震性大地じりの跡がイランにあることは 5.1 節で述べた。このように過去の地震の資料も豊富であり、地震観測調査に加えて活断層などの地質調査や歴史資料調査をさらに進めなければならないことを痛感する。

謝 辞

今回の調査の準備や遂行にあたって文部省学術国際局の大山 超主任学術調査官、高塩至学術課長補佐、浅井孝司研究交流係長、外務省中近東アフリカ局の飯塚裕一氏、在テヘラン日本大使館の斉藤邦彦大使、栗原真行氏、芳川恒志氏、東京大学地震研究所の伯野元彦所長、阿部勝征教授、村上智子研究協力掛長、中尾ゆかり氏、荻野 泉氏、在東京イラン大使館のハッサン・タヘリアン公使参事官、マスウド・マレキ参事官、アブドラヒム・ジャワヘリアン所長をはじめとするテヘラン大学地球物理研究所の多くの方々、さらに東京大学東洋文化研究所の松谷敏夫教授、丸尾常喜教授、東京外国語大学の上岡弘二教授、テヘラン在住の早稲田大学大学院生山内和也氏そのほかの方々は大変お世話になった。駒沢大学文学部の小池一之教授にはイラン地域のランドサット衛星写真を貸して頂き、東京大学理学部の池田安隆氏には地形に関する種々の情報の提供やランドサットのモザイク写真

Table 3. Number of damaging earthquakes in the world causing loss of 500 lives or more during the period from 1891 to 1989. Data from Utsu (1990).

Region	Number	Percent
World	153	100.0
Iran	27	17.6
China (including Taiwan region)	24	15.7
Turkey	22	14.3
Japan	11	7.1

の作成をして頂いた。地震研究所の松田時彦教授にも地形の判読についてご指導を賜った。東京都立大学の山田幸正教授には中東地域の建築についての文献を紹介して頂き、応用地質株式会社の高橋政一氏や地震研究所の工藤一嘉氏にはイランの文献資料の提供を受けた。早稲田大学理工学研究所の若松加寿江氏にはフィリピン地震の資料をお送り頂いた。以上の方々に深く感謝いたします。なお、調査の費用として主に文部省科学研究費補助金（国際学術研究-共同研究）（研究課題番号 02044171）を用いた。

参 考 文 献

- AKASHEH, B. and I. ESHGHI, 1980/81, The Tabas (Iran) earthquake of 16 September 1978, *PAGEOPH*, **119**, 207-211.
- AMBRASEYS, N. N., 1963, The Buyin-Zara (Iran) earthquake of September, 1962—A field report, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **53**, 705-740.
- AMBRASEYS, N. N. and C. P. MELVILLE, 1982, A history of Persian earthquakes, *Cambridge University Press*, 219 pp.
- AMBRASEYS, N. N. and J. S. TCHALENKO, 1969, The Dasht-e Bayaz (Iran) earthquake of August 31, 1968—A field report, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **59**, 1751-1792.
- ASTANEH, A. and M. G. ASHTIANY, 1990, The Manjil, Iran earthquake of June 21, 1990, *EERI SPECIAL EARTHQUAKE REPORT*, 5-13.
- BERBERIAN, M., 1979, Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-Golshan (Iran) earthquake of September 16, 1978, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **69**, 1861-1887.
- BERBERIAN, M., 1981, Active faulting and tectonics of Iran, *Zagros, Hindu Kush, Himalaya Geodynamic Evolution* (eds. H. K. Gupta and F. M. Delany), *Geodynamics Series Volume 3*, American Geophysical Union, 33-69.
- BLOOM, A. L., 1978, *Geomorphology — A systematic analysis of late Cenozoic landforms—*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 510 pp.
- 藤上輝之, 1963, イランで見た現代建築, *国際建築*, **30**, No. 6, 73-82.
- GHEITANCHI, M. R., M. KIKUCHI and M. MIZOUE, 1990, The 1979 Ghaenat, northeast Iran, earthquake, *地震学会講演予稿集*, 1990 No. 1, 120.
- HAGHIPOUR, A. and A. AGHANABATI (eds.), 1985, *Geological map of Iran*, Geological Survey of Iran, Ministry of Mine and Metals.
- 浜田政則・若松加寿江・田蔵 隆・吉田 望, 1991, 1990年フィリピン地震による液状化と被害, *土と基礎*, **33-2 (397)**, 51-56.
- 石井 昭, 1963, 土の住宅, *国際建築*, **30**, No. 6, 105-107.
- 上岡弘二・羽田亨一・家島彦一, 1988, *IRANIAN STUDIES 2 ギーラーンの定期市 —1986年度予備調査報告—*, イスラム文化研究シリーズ第37集, 東京外国語大学アジア・アフリカ言語文化研究所, 214 pp.
- 川床睦夫, 1991, 歴史にみる中東・イランの地震, *イラン・地震・都市性を考える* (文部省科学研究費重点領域研究「イスラムの都市性」総括班), 25-36.
- KEYHAN, M. (ed.), 1931/1932, *Detailed Geography of Iran*, Vol. 1, Printing Office of Parliament, Tehran, 195 pp (in Persian).
- LE PICHON, X., 1968, Sea-floor spreading and continental drift, *J. Geophys. Res.*, **73**, 3661-3705.
- McKENZIE D., 1972, Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **30**, 109-185.
- McEVILLY, T. V. and R. RAZANI, 1973, The Qir, Iran, earthquake of April 10, 1972, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **63**, 339-354.
- MOINFAR, A. A., 1990, The Manjil, Iran earthquake of 20th June 1990, *THE EIGHTH JAPAN EARTHQUAKE ENGINEERING SYMPOSIUM 1990*, 29 pp.

- MOINFAR, A. A. and A. NADERZADEH, 1990, An immediate and preliminary report on the Manjil, Iran earthquake of 20 June 1990, Building and Housing Research Center, Ministry of Housing and Development, Islamic Republic of Iran (in Persian with English abstract).
- MORGAN W. J., 1968, Rises, trenches, great faults, and crustal blocks, *J. Geophys. Res.*, **73**, 1959-1982.
- NABAVI, M. S., 1978, Historical earthquakes in Iran c. 300 B. C.-1900 A. D., *J. Earth Space Phys.*, **7**, 70-117.
- NOWROOZI, A. A., 1972, Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan, and Afghanistan and plate tectonics of the Middle East, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **62**, 823-850.
- SENGÖR, A. M. C. and W. S. F. KIDD, 1979, Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet, *Tectonophysics*, **55**, 361-375.
- TAKIN, M., 1972, Iranian geology and continental drift in the Middle East, *Nature*, **235**, 147-150.
- 東畑郁生, 1991, 地震被害調査報告 イランのマンジール地震 1. 地盤と土木構造物についての被害調査報告, 地震工学振興会ニュース, **116**, 19-24.
- 佃 為成, 1991, 地震被害調査報告 イランのマンジール地震 2. 余震観測について, 地震工学振興会ニュース, **116**, 25-30.
- TSUKUDA, T., K. SAKAI, S. HASHIMOTO, M. R. GHETANCHI, S. SOLTANIAN, P. MOZAFFARI, N. MOZAFFARI, B. AKASHEH and A. JAVAHERIAN, 1991, Aftershock distribution of the 1990 Rudbar, northwest Iran, earthquake of M 7.3 and its tectonic implications, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **66**, 351-381.
- 宇津徳治, 1990, 世界の被害地震の表 (古代から 1989 年まで), 243 pp.
- 山田幸正, 1991, イランにおける民家の伝統工芸, イラン・地震・都市性を考える (文部省科学研究費重点領域研究「イスラムの都市性」総括班), 39-51.



Photo 1. Valley with the River Sefdrud viewed toward north. Many slumping slopes are seen on the mountains.



Photo 2. The River Qezel-Owsan and the southern mountain range viewed from near Gilvan. The arrow points the active fault confirmed by a Landsat image (TSUKUDA *et al.*, 1991).



Photo 3. Destroyed Rudbar City. Looking north. Olive trees were planted as in Mediterranean Sea regions.



Photo 4. General view of the ruins in Manjil City. Looking north.



Photo 5. Close-up view of the City of Manjil. Almost all the buildings were destroyed completely or beyond repair. The scene looked as if a giant had crushed them under his foot.



Photo 6. Ganbarabad area in the town of Abbar. Looking north. Mud-brick houses collapsed. A two-storied burned-brick house with a wooden frame at the back stood, suffering relatively light damage. 45 people were killed among the total 400 population in this area.



Photo 7. Bivarzin Village on the spur of a hill. Looking south. The loss of lives amounted to 47% of the 638 inhabitants. On the top of the hill is a destroyed mosque as shown in Photo 8. Utility poles remained undamaged.



Photo 8. Mosque in Bivarzin. Reinforced brick tower fell down to the ground.

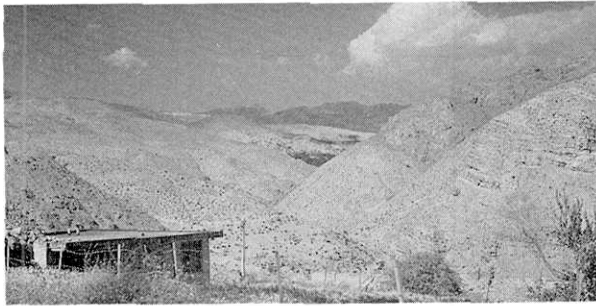


Photo 9. Distant view of the Village of Jirandeh, where the loss of lives amounted to 16% of the 3,153 inhabitants. Photograph taken at Site No. 2 in Fig. 7, 1-2 km north of Pakdeh Village.



Photo 10. Destroyed adobe houses and an undamaged water tank in Beg Kandi located in the vicinity of Abtorsh, 50 km south of the source area. The death rate was 0.02-0.04% for the 1,600 inhabitants.

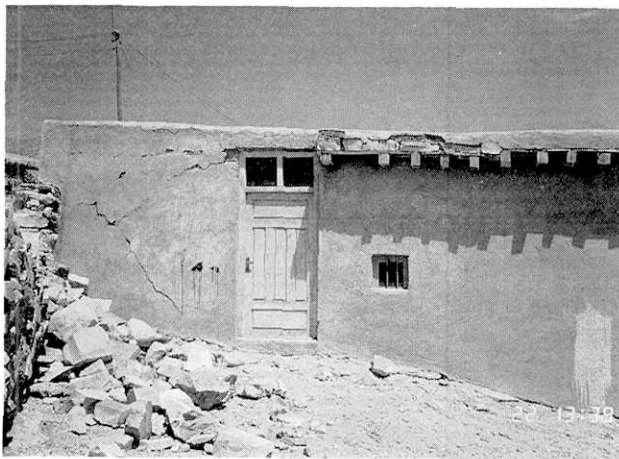


Photo 11. Jirandeh Seismic Station.

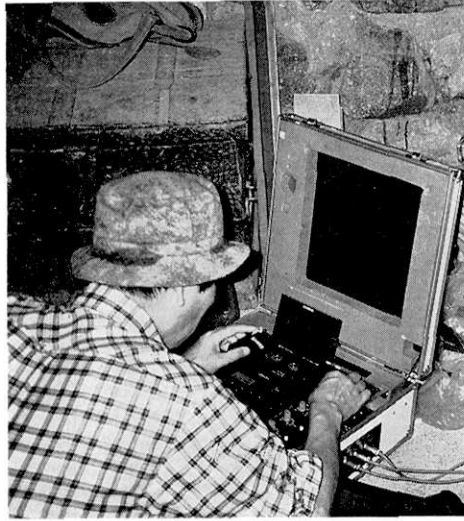


Photo 12. TEAC DR-10 seismic cassette recorder at the Jirandeh Station.



Photo 13. Tall building in Rasht. Eight-storied steel frame masonry structure. Some part of the bearing brick wall fell down. Wooden structure used under the roof.



Photo 14. City Hall of Rasht. Two-storied wooden frame masonry structure looking southwest. The heavy cap made of brick at the entrance hall fell down on the pavement in front.



Photo 15. Damage to a two-storied building of the Vali-e-Asr Hospital in the suburbs of the City of Rudbar (Site No. 5 in Fig. 6). Looking northwest.



Photo 16. Same as Photo 15. The floor collapsed due to damage to the concrete columns and timbers.



Photo 17. Damage to a two-storied steel frame building in Manjil. Roofs, floors and bearing walls collapsed.



Photo 18. Destroyed elementary school building in Pakdeh (Site No. 3 in Fig. 7). The brick walls collapsed. No bracing in the wooden structure under the roof.

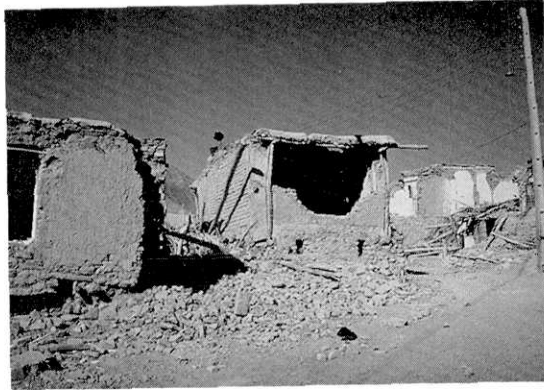


Photo 19. Damaged adobe houses in Abbar.

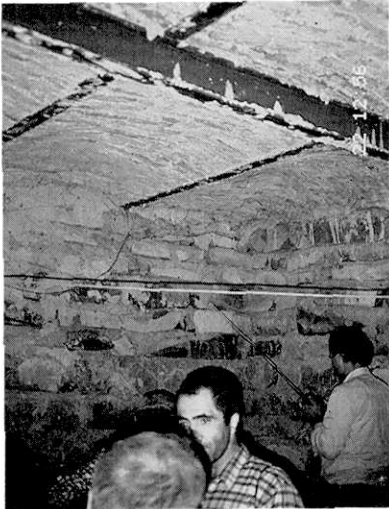


Photo 20. Dome brick roof without damage at the Jirandeh Seismic Station. One of the earthquake resistant structures in Iran.



Photo 21. Collapse of the block wall enclosing the site of a storehouse for farm products 1-2 km north of Pakdeh (Site No. 2 in Fig. 7).



Photo 22. Collapse of a block wall in Pakdeh (Site No. 5 in Fig. 8).

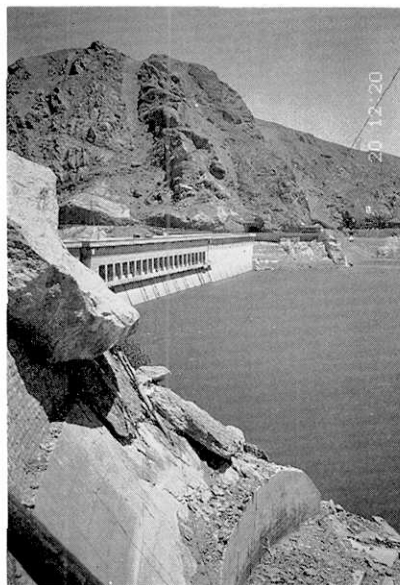


Photo 23. Huge rock fallen on the dam site (the Sefidrud dam) (Site No. 7 in Fig. 6).



Photo 24. Slumping of a slope beside the road between Saravan and Rostam Abad (Site No. 2 in Fig. 6). Looking west.



Photo 25. Landslide at Jubon or Ganjeh looking east (Site No. 4 in Fig. 6). A fresh scarp at the left top is the sliding surface. The head of the slump block and debris tearing many trees are seen.



Photo 26. Landslide at the south of Pakdeh (Site No. 4 in Fig. 7).



Photo 27. Fissures on the upper slope of a mountain north of Pakdeh (Site No. 2 in Fig. 7). Looking north. The fissures are aligned in several strips trending N-S, extended further across the northern valley.

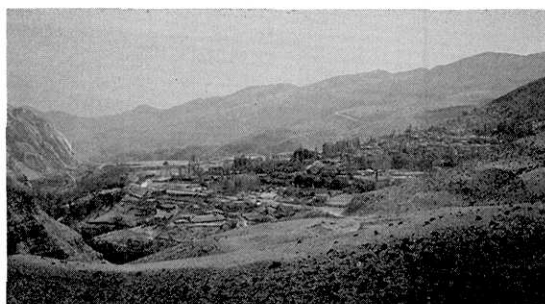


Photo 28. Pakdeh Village viewed from Site No. 2 in Fig. 7 photographed by a camera with a zoom lens. Looking south.



Photo 29. The largest open crack on the second terrace of grassland in Pakdeh (Site No. 2 in Fig. 8). Looking west.

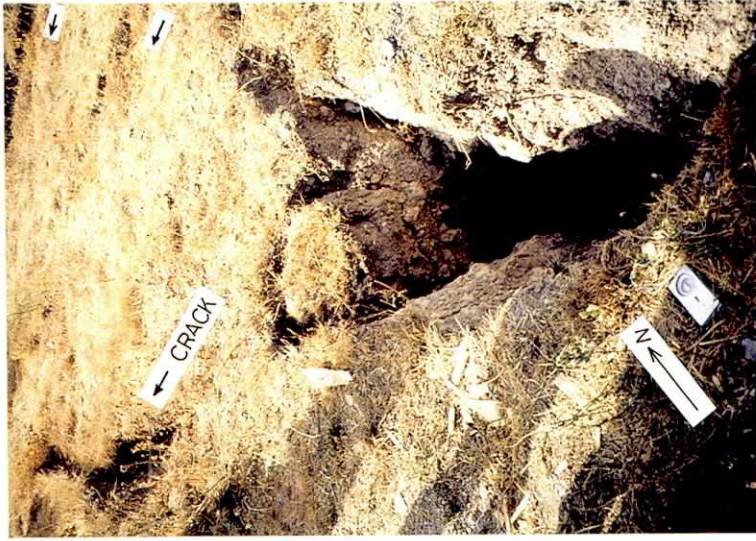


Photo 30. Group of surface cracks extending WNW-ESE on the first terrace in Pakdeh (Site No. 1 in Fig. 8). A clinometer with a compass, put on the flat level, indicates the direction and the scale of the object. The long side of the rectangle was oriented in an N-S direction, the compass side pointing north. The clinometer measures $10.7 \text{ cm} \times 5.9 \text{ cm} \times 1.7 \text{ cm}$.

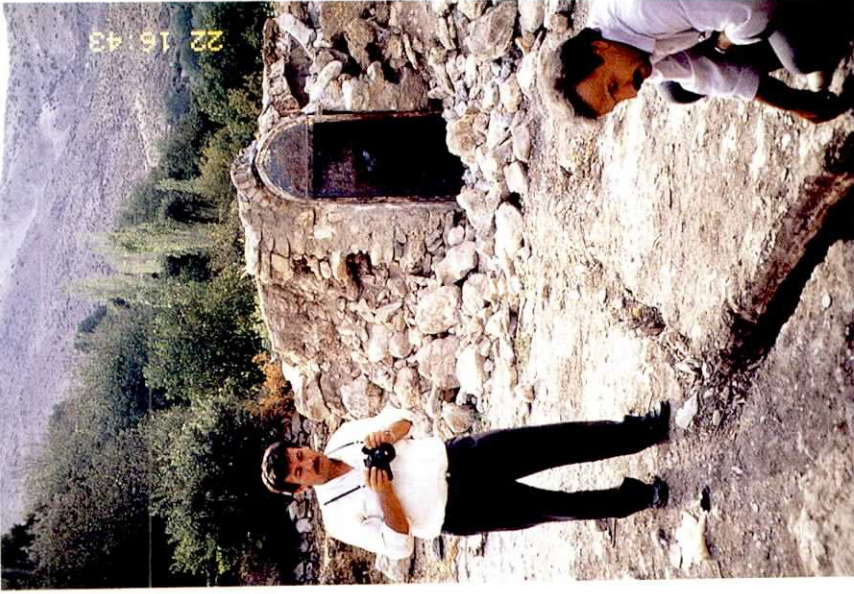


Photo 31. Surface crack at the end of the Village of Pakdeh on the hill side (Site No. 4 in Fig. 8).



Photo 32. The measurement of cracks on the ground of the calcareous tuff (Site No. 4 in Fig. 8). The horizontal offset was less than 20 cm left laterally.



Photo 33. Ground uplift due to liquefaction in Astaneh. The total vertical amplitude of the deformation was as much as 50 cm.

*A Field Study on Various Phenomena Associated with the
1990 Rudbar, Northwest Iran, Earthquake of M 7.3*

Tameshige TSUKUDA, Kaname SAKAI, Shin'ichi HASHIMOTO
Mohammad Reza GHEITANCHI

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Hitoshi SUZUKI

Institute of Developing Economies

Soleiman SOLTANIAN and Parviz MOZAFFARI

Institute of Geophysics, Tehran University

Damage to buildings, facilities and people as well as various earthquake phenomena caused by the Rudbar earthquake of June 20, 1990 were studied by using the method of field observation and inquiry of the inhabitants. We visited more than 15 cities and villages from July 18 to July 26, 1990.

Buildings closely observed include the City Hall of Rasht, the Rudbar Hospital, steel frame brick structures in cities and adobe houses in villages. The direction in which cement or brick block walls topple down provides a clue as to the direction of strong motion. Some findings were contradictory to the ground motion expected from a simple earthquake source model.

Liquefaction in Astaneh City was one of the most noticeable effects on ground foundation. The ground deformation was as much as 50 cm in vertical amplitude. The flooding water was reportedly hot.

Slope slumping and landslides were noted in many places in and around the aftershock area. A clear scarp and massive soil slumping were seen in a landslide north of Rudbar. Several strips of cracking extending along the crest of a hill on the uppermost of the slope may possibly be an initial fracture which will release the surface layer on the slope causing a landslide by another strong earthquake.

Fissures found on the ground in Pakdeh Village included a huge open crack 2 m wide and 10 m deep. The crack intermittently extended 500-600 m length in a WNW-ESE direction accompanied by several subparallel small cracks over 400 m in width. The cracks broke the hard rock ground, where we measured the lateral offset to be 20 cm at the largest. Consequently, these fissures do not imply the direct appearance of the underground earthquake fault. The inhabitants reportedly observed flame coming out from the open crack.

Inhabitants and workers who were in the field at the time of the destructive earthquake saw colourful lightning in the air and heard audible sounds from the ground. There were some more information regarding the direction of ground motion, the mode of shaking, ground water change, sea level change etc., which may include both reliable and unreliable reports.

The Rudbar earthquake occurred after 9 years absence of large events with magnitudes of 6.8 or more in Iran. Since large Iranian earthquakes tend to occur in succession, there is some possibility that another large earthquake occurs somewhere in Iran within a few years.