

# エジプト地震 (1992年10月12日)

## 国際緊急援助隊

## 専門家チーム

## 報告書

平成5年3月

国際協力事業団  
国際緊急援助隊事務局

J R
国 緊
92-02

エジプト地震 (1992年10月12日)

国際緊急援助隊専門家チーム

報告書

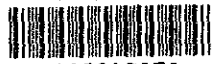
平成5年3月

国

国



JICA LIBRARY



1110613151



**エジプト地震 (1992年10月12日)**

**国際緊急援助隊**

**専門家チーム**

**報告書**

**平成5年3月**

**国際協力事業団  
国際緊急援助隊事務局**

国際協力事業団

25766

## 序 文

日本国政府は、平成4年10月28日、エジプト・アラブ共和国政府からの要請に基づき、同年10月12日に同国カイロ市及び同市周辺部で発生した地震災害に対し、緊急援助を行うことを決定しました。

これを受けて国際協力事業団は、平成4年10月29日から11月13日まで、東京大学生産技術研究所、岡田恒男教授を団長とする国際緊急援助隊（専門家チーム）を同国に派遣しました。同援助隊は今回の地震に対し、我が国の経験に基づく周辺部の被災地における応急対策・災害復旧に関する技術的助言及び防災対策に関する提言を行い、帰国後、活動結果を本報告書に取り纏めました。

本報告書がエジプト・アラブ共和国の今後の本格的災害復旧・復興計画策定に貢献し、両国の友好・親善の一層の発展に寄与することを期待致します。

終わりに、今回の緊急援助活動にご協力とご支援をいただいた関係者の皆様に対し、心から感謝の意を表します。

平成5年3月

国際協力事業団  
理事 西野 世界





## 目次

1.	まえがき	1
2.	日程及び調査団の構成	3
2.1	日程	3
2.2	調査団の構成	7
3.	調査結果	9
3.1	1992年カイロ地震	9
3.2	余震活動	12
3.3	震度分布	16
3.4	地質条件	19
3.5	表層地質	22
3.6	カイロ周辺域の地震活動	24
3.7	強震記録	30
3.8	建築物の耐震基準	34
3.8.1	背景	34
3.8.2	鉄筋コンクリート規準における地震荷重	34
3.9	公共土木施設の耐震規準	35
3.10	全般的被害状況及びその評価	40
3.11	建築物の被害	43
3.11.1	概要	43
3.11.2	構造種別地震被害	43
3.12	公共土木施設の被害	55
3.12.1	道路及び橋梁の被害	55
3.12.2	ライフラインの被害	56
3.12.3	アスワン・ダム	58
3.13	地盤の液状化	72
3.14	地震情報の伝達	78
3.14.1	本震の情報伝達	78
3.14.2	余震に関する地震情報	79
3.14.3	通常地震活動に関する地震活動	79
3.14.4	提案	79
3.15	地震対策訓練及び教育	80
3.15.1	災害対策	80
3.15.2	訓練及び教育	82
3.15.3	地震時の心得	83
4.	まとめ	87
5.	謝辞	89

付属資料



# 1. ま え が き



## 1. まえがき

平成4年10月12日15時9分（現地時間）にエジプト国の首都カイロ市の南西35kmを震源とするマグニチュード5.4の地震が発生し、死者561名、負傷者12,192名という甚大な被害を生じた。地震の規模は、わが国からみればむしろ小規模の範ちゆうに入るが、普段ほとんど地震の発生しない地域であり、地震対策がほとんど行われていないことから大きな被害となったものである。

わが国政府はエジプト政府の要請により、地震の評価、建物の被災状況、地震対策等幅広い分野に関する協力を行うため、東京大学生産技術研究所教授岡田恒男を団長に、9名の専門家からなる国際緊急援助隊（専門家チーム）を派遣した。

専門家チームは、平成4年10月29日から11月13日までの16日間にかけて、カイロ首都圏を中心に現地調査、担当機関との打ち合わせ等からなる技術協力を行った。この間、11月5日には中間報告として余震活動に関する見解書を発表し、11月13日には17次目の提言を含めた暫定報告書（英文40頁）をエジプト政府に提出し、それに基づくプレスリリース及び技術者を対象としたセミナーを開催し技術協力を努めた。

本報告は、暫定報告書及びその後の検討結果に基づき今回の調査から明らかとなったカイロ地震の概要を報告するものである。



## 2. 日程及び調査団の構成





## 2. 日程及び調査団の構成

### 2.1 日程

#### 10月29日（木）

- 10:30 結団式及び打合せ 於 成田空港  
外務省経済協力局国際緊急援助室長、JICA国際緊急援助隊事務局長他関係者同席
- 11:15～50 プレスリリース
- 12:30 東京発（KL862）
- 16:45 アムステルダム着
- 19:10 アムステルダム発（KL553）

#### 10月30日（金）

- 00:30 カイロ着 渡辺日本大使、科学技術省大臣 Dr. Adel Ezz 出迎え
- 00:45～01:30 プレスリリース（Al Aharam紙、Al Gomhoria紙）
- 01:45 カイロ メリディアンホテル着
- 12:10～13:20 調査団内ミーティング
- 14:30 市街地災害状況調査
- 17:00 ホテル着

#### 10月31日（土）

- 08:45 ホテル発
- 09:00 打合せ 於 日本大使館
- 10:00 打合せ 於 科学技術省 科学技術省大臣より「エ」国被災状況の説明を受ける
- 11:00 震源地調査（ダシユールDahshur地方）
- 17:10 ホテル着
- 17:30 団内ミーティング

#### 11月1日（日）

- 09:00 ホテル発
- 10:00 国立宇宙・地球物理学研究所（於 ヘルワン Helwan）地震災害発生状況等聴取
- 17:20 ホテル着
- 17:30 団内ミーティング

#### 11月2日（月）

- 09:45 ホテル発
- 10:00 科学技術省

11:00 カイロ市内災害状況調査  
 17:00 ホテル着  
 17:30 団内ミーティング

11月3日(火)

各班に分かれて調査活動開始

地震防災班

09:45 ホテル発  
 10:00 建設研究センター  
 12:50 建築現場調査  
 17:30 団内ミーティング  
 ホテルにて資料整理  
 11:30 ホテル発  
 11:45 グレーターカイロ上水道庁  
 17:00 ホテル着

地震班

09:00 ホテル発  
 10:00 国立天文・地球物理学研究所  
 (於 ヘルワン Helwan)  
 17:00 ホテル着

11月4日(水)

09:00 ホテル発  
 09:30 カイロ大学  
 11:30 ギザ(Giza)被災地区調査  
 17:00 ホテル着  
 17:30 団内ミーティング  
 11:30 道路橋梁局  
 18:00 ホテル着

09:15 ホテル発  
 09:40 エジプト  
 地質調査所  
 17:00 ホテル着  
 ホテルにて資料整理

11月5日(木)

11:30 ホテル発  
 12:00 科学技術省にて調査  
 状況中間報告  
 (ブリーフレポート提出)  
 13:30 ホテル着  
 ホテルにて資料整理  
 17:30 団内ミーティング  
 09:00 ホテル発  
 09:30 グレーターカイロ  
 上水道庁  
 10:30 道路橋梁局  
 17:00 ホテル着

09:00 ホテル発  
 10:00 国立天文・  
 地球物理学  
 研究所(於  
 ヘルワン  
 Helwan)  
 17:00 ホテル着  
 ホテルにて資料整理

11月6日(金)

09:00 ホテル発  
 ギザ(Giza)周辺地域災害状況調査  
 17:10 ホテル着  
 17:30 団内ミーティング

11月7日(土)

地震防災班

ホテルにて資料整理  
13:00 ホテル発 アイヤート (Aiyat)  
被災地区調査  
  
17:00 ホテル着

地震班

05:15 ホテル発  
07:00 カイロ発 by (MS433)  
  
08:15 アスワン (Aswan) 着  
08:45 地震センター、アレー地震観測テレメータ・システム、アスワンハイダム地震観測システム等視察  
21:15 アスワン発 by (MS422)  
23:15 カイロ着

11月8日(日)

07:30 ホテル発  
08:00 カイロ大学  
11:00 建設省  
17:00 ホテル着  
17:30 団内ミーティング

11:30 内務省 災害救助設備視察  
17:00 ホテル着

07:00 ホテル発  
11:30 ファイユーム被災地区調査  
17:00 ホテル着

11月9日(月)

08:10 ホテル発  
08:30 カイロ大学工学部長表敬  
09:30 ホテル着  
ホテルにて資料整理  
17:30 団内ミーティング

08:00 ホテル発  
08:30 ナイル・デルタ地区橋梁調査  
19:00 橋梁地震設計に関するセミナー  
21:00 ホテル着

ホテルにて資料整理  
17:30 団内ミーティング

11月10日(火)

10:15 ホテル発  
10:30 日本大使館にて打合せ  
11:00 科学技術省にて科学技術大臣宛に調査団からの提言を行う  
12:00 プレスリリース (Al Aharam紙、Al Gomhoria紙、NHK他)  
13:00 ホテル着  
19:00 国際緊急援助隊主催パーティー 於 カイロ メリディアンホテル  
20:00 ATEF MUHAMMAD NAGUIB SIDKI首相表敬 調査概要説明

11月11日(水)

- 09:00 ホテル発
- 10:00 JDRチームによるセミナー 於 建築研究センター
- 16:00 ホテル着
- 19:30 科学技術省大臣 Dr. Adel Ezz 主催晩餐会

11月12日(木)

- 06:00 ホテル発
- 08:25 カイロ発 (BA154)ーロンドン着発 (NH202)

11月13日(金)

- 13:45 成田着
- 14:15 解団式 於 成田  
外務省経済協力局国際緊急援助室長、JICA国際緊急援助隊事務局長他関係者同席

2.2 調査団の構成

エジプト地震国際緊急援助隊（専門家チーム）メンバーズ・リスト

	氏名	所属先・役職	指導科目
団長	岡田恒男	東京大学生産技術研究所 教授	総括
団員	石田瑞穂	科学技術庁 防災科学技術研究所 地圏地球科学技術研究部地震活動研究室長	地震学
	藤井友竝	国土庁防災局震災対策課長	震災対策・土木
	衣笠善博	通商産業省工業技術院地質調査所 環境地質部地震地質課長	地震地質学・地盤調査
	栗原隆治	気象庁地震火山部地震予知情報課長	地震活動解析
	大屋道夫	建設省住宅局建築指導課国際基準調査官	建築基準・国際協力
	川島一彦	建設省土木研究所地震防災部耐震研究室長	耐震構造
	平石久廣	建設省建築研究所第3研究部構造研究室長	耐震構造
	木村 聡	国際協力事業団国際緊急援助隊事務局業務課	業務調整



### 3. 調 査 結 果





### 3. 調査結果

#### 3.1 1992年カイロ地震

1992年10月12日カイロ市から約30km南西でマグニチュード(Msz)5.3の地震が発生した。National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Helwan Institute (NR I A G、エジプト) およびU S G S (米国地質調査所) の速報(1992年10月19日付)によると震源パラメータはそれぞれ以下のものである。

##### NR I A Gの震源

発生時 1992年10月12日15時09分(現地時間) MD=5.3  
震源位置 29.775° N、31.082° E  
深さ 30km

##### U S G Sの震源

発生時 1992年10月12日13時09分(U T) MB=5.9、Msz=5.3  
震源位置 29.826° N、31.228° E  
深さ 25km

ただし、MDは、継続時間から求められたマグニチュードを、MBは実体波マグニチュードを、Mszは表面波マグニチュードを示す。NR I A Gの震源はエジプト国内の観測点(図3.1.1)の記録から求められた結果であるが、用いられた観測点名および観測点数は速報ということで報告されていない。U S G Sの震源は、世界中の観測点175点を用いて求められた結果であり、深さはp Pを用いて求められている。両研究所で求められた震源の位置(図3.1.2)は僅かばかり異なっているが、ここで示された値は速報であり今後数ヶ月以内に最終的な震源が求められるであろう。

本震発生後、ハーヴァード大学(米国)により直ちに求められた発震機構解、モーメント及びモーメントマグニチュードの値は以下のものである。

##### 最適ダブルカップル解(図3.1.3)

1. (走向、傾斜角、すべり角) = (N174° E、46°、-50°)
  2. (走向、傾斜角、すべり角) = (N304° E、56°、-124°)
- 主圧力軸: (傾斜角、方位) = (62°、N157° E)  
主張力軸: (傾斜角、方位) = (5°、N57° E)  
地震波モーメント:  $0.08 \times 10^{26}$  dyne·cm  
モーメントマグニチュード(Mw): 5.8

これらから、本震はN57° Eに主張力軸を持つ僅かに横ずれ成分を含んだ正断層地震であることが示された。Ms 5~8の地震について、宇津(1987)が求めた断層パラメータの表に基づくと断層面積は約25km<sup>2</sup>(7.1km × 3.5km)、すべり量は約22cmと堆定される。

## 提 言

- 1) 正確な震源を決定することは、最も基本的なことである。このためには、地震観測点が不十分である（カイロ付近の地震観測点は、ヘルワン観測所の1箇所のみ）。三成分地震計を設置した観測網を整備し、リアルタイムデータ処理のためにテレメータ化し、常時何が発生しているかを監視する必要がある。
- 2) 中～大地震発生時には震源過程（断層の方向、断層の長さ、断層面上の変位量、地震モーメント、応力降下等）を知ることは、重要である。そのために広帯域地震計の設置が必要であろう。
- 3) 緊急時には、上記の観測データの一次処理を早急に実行するためのソフト面での工夫もなされるべきであろう。

## 参 考 文 献

宇津徳治、浅い地震のマグニチュードと各種パラメータとの標準的な関係、地震の事典（宇津徳治総編集）、243-244、朝倉書店、1987。

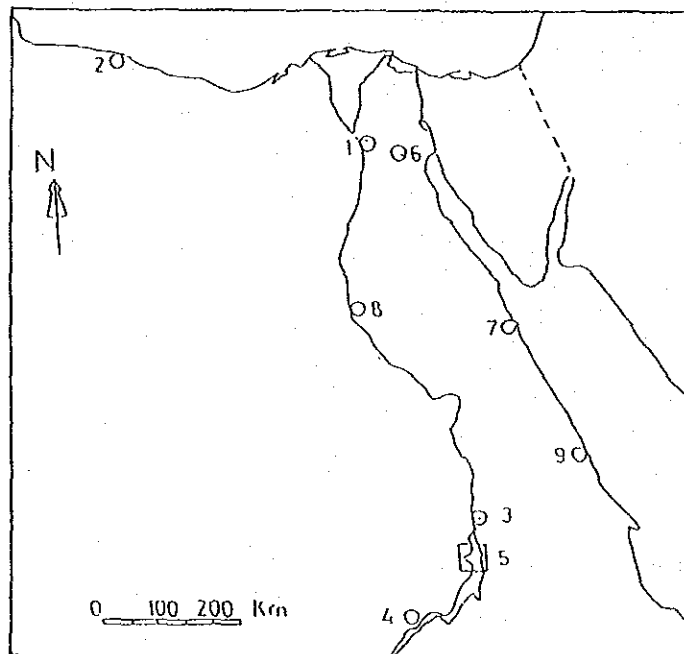


図3.1.1 定常地震観測点分布

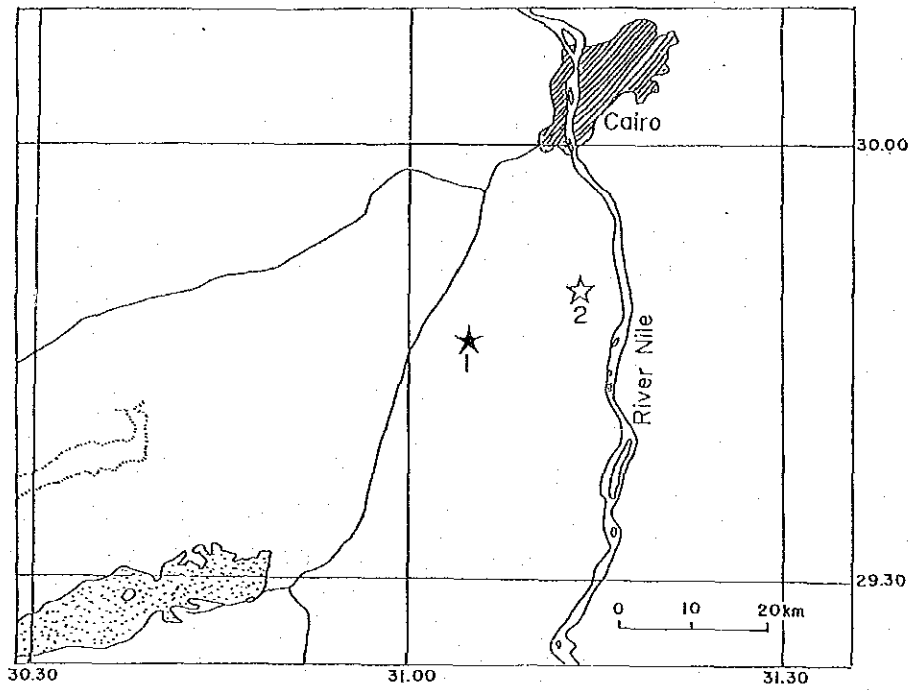


図3.1.2 1992年カイロ地震の震源

1. NRIAGにより求められた震源位置
2. USGSにより求められた震源位置

1992 Oct. 12 Egypt (Harvard CMT)

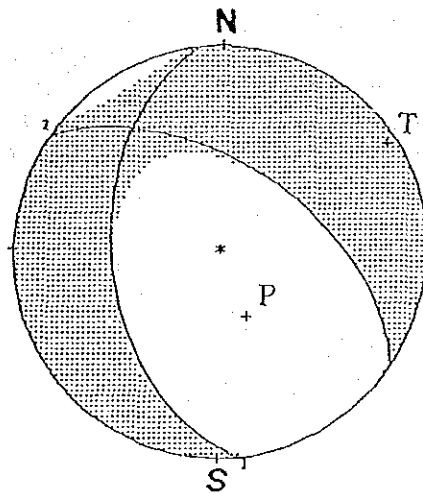


図3.1.3 本震の発震機構ダイヤグラム (ハーヴァード大学によるCMT解)  
 陰影を施した領域は、初動押しを示す。下半球等積投影

## 3.2 余震活動

1992年カイロ地震 (Mw5.8) 発生後、余震観測のために直ちに臨時観測網が整備された。観測点の位置と設置時期は図3.2.1に示されている。図3.2.2.に示された主な余震の分布は、主としてこれら臨時観測点のデータから求められた結果である。最大余震は本震発生後約2時間余に起きたが、震源の位置は11月10日の時点では求められていない。本震と余震の震源は同じ観測点のデータを用いて求められたわけではないため、必ずしも相対的に正確な位置関係を示しているとは言い難いが、図3.2.2.に基づけば以下の事が言える。震源決定された余震の震源の深さはおよそ17km~25kmであり、本震の深さ30kmに比べて数km浅い。本震後24時間以内に発生した地震 (Mb=3.7、図3.2.2.のNo.3) の震源は、本震の北北西約5kmに求められた。

主な余震の震央は、北西-南東の走向に発生していることに注目すると、本震の発震機構解のうち走向N304° E、傾斜角56° の面が断層面と堆定される。一方、余震は主として本震の東側に発生していることに注目すれば、走向N174° E、傾斜角46° の面が断層面と堆定される。どちらの面が断層面であったかは、余震のより正確な分布が求められない限り確定することは困難であろう。

本震発生後6時間ごとの余震の個数の推移が、図3.2.3に示されている。この図には示されていないが、本震後3週間余を経た現在も有感地震が時々発生し、余震活動が活発であることが伺える。11月5日にもM4.0の余震が発生した。しかし、時々有感地震が発生し余震活動が一時活発化することはあっても、全体として余震の発生数は漸次減少し、地震活動が静穏化しつつあることが図3.2.3から伺われる。今回の地震で余震数の減衰が緩慢なようにみえるが、これは有感地震の個数に比べ小・微小地震の数が少ないことから伺われるように、おそらく観測点の検知能力によるところが大きいと思われる。日本においても、M5級の地震で本震後1ヶ月余は有感地震が発生し、余震活動が6ヶ月余も続くことはしばしば見られる。全体として地震活動が衰退に向かっていることは、確かであろう。

### 提 言

- 1) 正確な震源を決定することは、最も基本的なことである。このためには、地震観測点が不十分である(カイロ付近の地震観測点は、ヘルツン観測所の1箇所のみ)。三成分地震計を設置した観測網を整備し、リアルタイムデータ処理のためにテレメータ化し、常時何が発生しているかを監視する必要がある。
- 2) 中~大地震発生時には震源過程(断層の方向、断層の長さ、断層面上の変位量、地震モーメント、応力降下等)を知ることは、重要である。そのために広帯域地震計の設置が必要であろう。
- 3) 緊急時には、上記の観測データの一次処理を早急に実行するためのソフト面での工夫もなされるべきであろう。

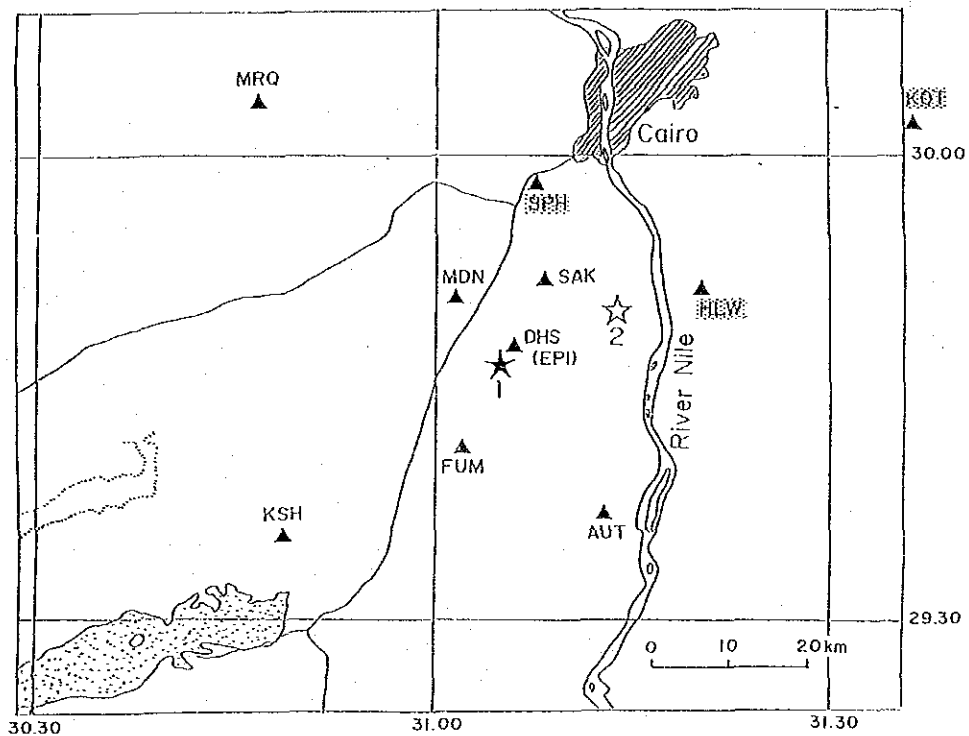


図3.2.1 定常地震観測点と臨時地震観測点の分布

: 定常地震観測点、1 : NRIAGの震源、2 : USGSの震源  
 臨時観測点の観測開始時期は、以下のものである。

SAK : 10月13日、AUT : 10月14日、DHS : 10月15日、KSH : 10月15日、  
 MDN : 10月16日、FUM : 10月18日、MRQ : 10月21日

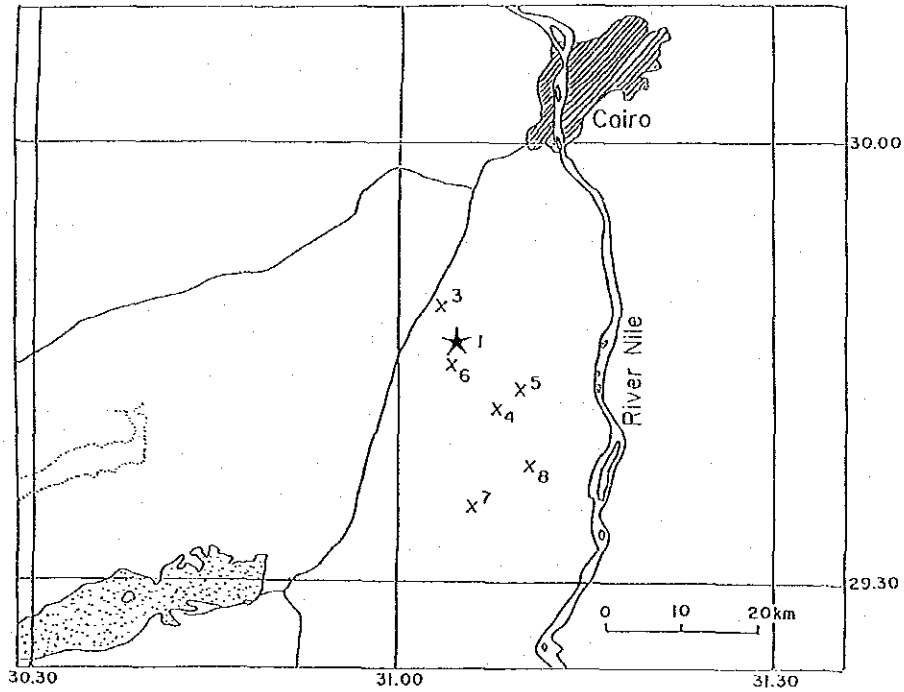


図3.2.2. 本震および余震分布 (NR I A Gによる)

No. 1: Oct 12, 15:09 M5.3 (本震)

No. 2: Oct 16, 15:25 M4.3 (最大余震)、

No. 3: Oct 12, 23:31 M3.7

No. 4: Oct 13, 20:09 M3.6

No. 5: Oct 14, 11:40 M4.0

No. 6: Oct 14, 05:50 M3.7

No. 7: Oct 22, 19:38 M4.2

No. 8: Nov. 5, 20:41 M4.0

Mは継続時間から求められたマグニチュードを示す。No. 2の余震は震源決定されていないため、地図上には示されていない。発震時は、現地時間で示されている。

NUMBER PER 6 HOURS

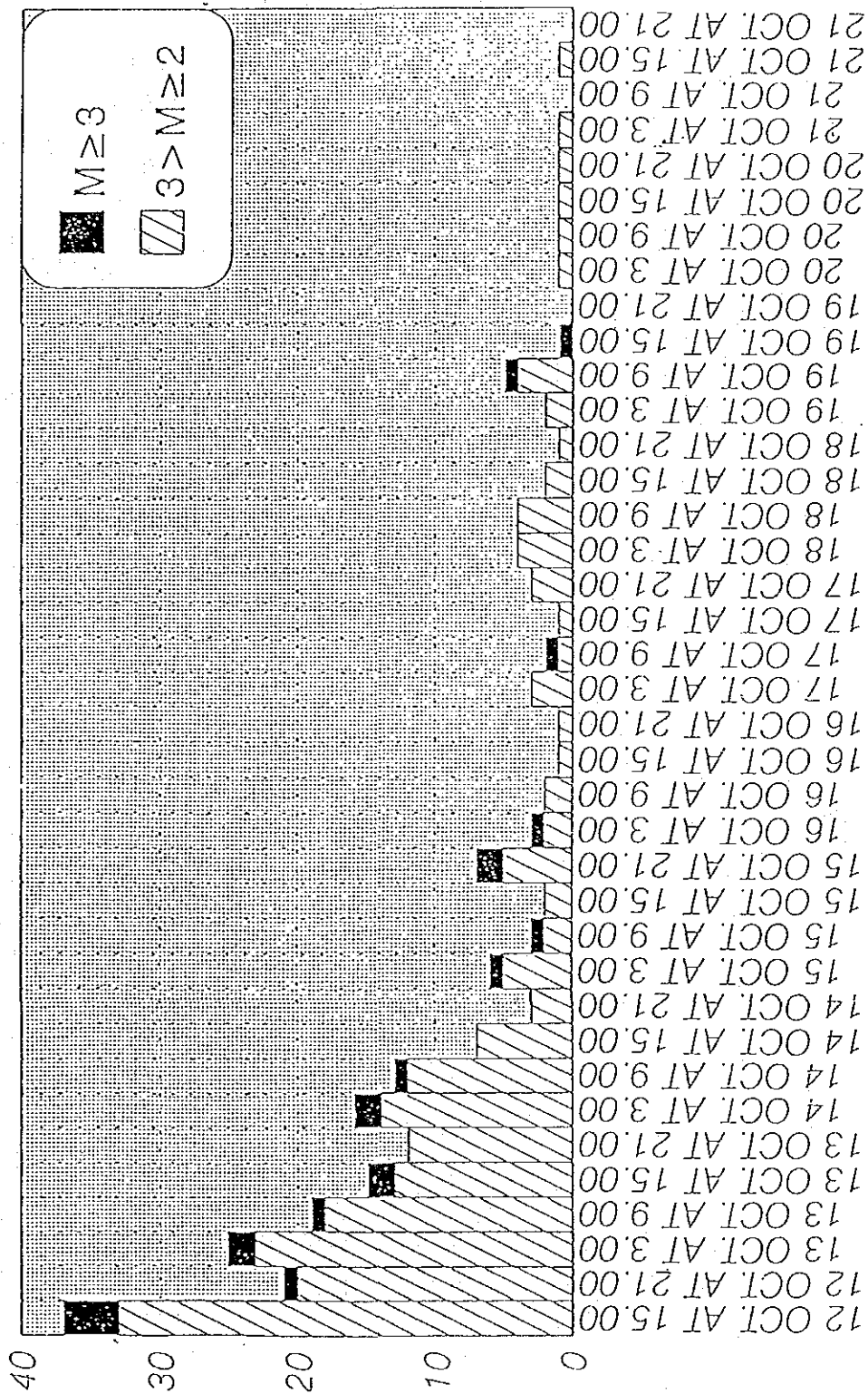


図3.2.3 6時間ごとの余震の頻度分布 (NR I A Gによる)

### 3.3 震度分布

震度は、ある地点における地震動の強さと構造物等の影響の程度の組み合わせによって決まる。構造物の地震による影響の程度は構造物の耐震強度によって大きく異なる。同一の地点でも、十分な耐震設計がなされている構造物にはほとんど被害が見られないにもかかわらず、耐震に対する考慮が払われていない構造物は大きな被害を被る。地震動の強さを正確に求めるためには強震記録が不可欠である。強震記録は、被災構造物がどの程度の強度を持っていたかを判定するのに必要であると同時に、被害を被らなかった構造物の安全性を評価するためにも欠かせない。

震度を段階に分けて表した震度階にはいくつかのものが存在するが、エジプトでは12階級からなるMSK震度階が使われている（表3.3.1）。

今回の地震によってカイロ市内で甚大な被害が発生したが、そのほとんどはもともと老朽化していた組積造の建造物の破壊に起因する。ヘリオポリスにおける14階のRC造のビルの倒壊のような特殊な例（3.11.2項）を除けば、カイロ市内でこの他にはいくつかの建造物でしっくい壁等に若干の亀裂が入った程度で、大きな被害は認められなかった。このような被害の程度から、カイロ市における震度はVI<sup>+</sup>程度と見積もられる。ナイル川沿いのエル・アイヤット等の集落やファイユーム盆地ではアドベ（日干しレンガ）造の建物の破壊が顕著であった（震度VII~VII<sup>+</sup>）。震央直近の集落の被害統計（3.11.2項参考）をMSK震度階にあてはめると震度VII<sup>+</sup>に相当する。

これらの大きな被害が認められた地域は、ナイル・デルタ、ナイル川沿いの沖積低地及びファイユーム盆地に位置しており、未固結の堆積物が厚く発達している所と一致する（3.5節参照）。

図3.3.1に調査団員による調査結果と天文地球物理研究所、地質調査所およびカイロ大学等から得た情報に基づいて作成した概略の震度分布図を示す。

さらに正確な震度分布を把握するために、天文地球物理研究所は新聞に質問事項を掲載し、読書から得た回答を分析中であった。新聞の読者から情報を収集するというこの方法は、広い範囲からの情報を集めるには極めて有効な方法であるが、情報を集め、その分析を完了するまでには多くの日数を必要とする。発生した地震の特徴を把握するためには多くの日数を要しても出来るだけ正確な震度分布図が必要であるが、同時に震度分布に関する情報は地震直後の救助・医療隊の派遣、非常用物資の供給、応急復旧等のために出来るだけ早急に収集する必要がある。

#### 提 言

- 1) 強震計による記録は、地震動の強さを正確に把握するためには不可欠であるとともに、耐震工学上の諸施策にも不可欠である。これらのために強震計の設置が必要とされる。
- 2) 震度分布図は発生した地震の特徴を把握するために日数を要しても正確を期して作成するものと、地震後の救助・医療隊の派遣、非常用物資の供給、応急復旧等のために出来るだけ早急に作成するものに区分して考慮されるべきである。今後再びこのような大きな災害を伴う地震が発生した場合には、まず応急震度分布図を作成し、その後正確な震度分布図を作成すべきである。
- 3) 上記の応急震度分布図は地方行政機関の職員、警察、消防、教員等地震に関する知識を持ち合わせているべき人々からの情報に基づいて作成することになるが、それらの人々に対する地震に関する研修が望まれる。
- 4) 上記に併せて、構造物の被害の程度を評価するマニュアル等の整備が望まれる。



表3.3.1 種々の震度階相互の対比表

気象庁震度階 (1949)	改正メルカリ震度階 (1931)	M S K震度階 (1964)
0 (無感) 人体に感じないで、地震計にのみ感ずる。	(無感) 地震計にのみ感ずる。	I: (無感) 人体には感じないで、地震計から地震のあったことを知る。
I (微震) 静止している人や、特に注意深い人だけに感ずる。	I: 特に感じやすい状態にあるごく少数の人に感ずる。 II: ビルの上層に静止しているような少数の人にのみ感ずる。動きやすい物はゆらく。	II: 家の中や、特に上の階で静かにしていた人だけが感ずる。 III: 一部の人が感ずる。屋内のいくらかの人は感ずる。特に注意深い人はつるしてあるものがゆれるのを認める。振動は軽トラックが通過したような感じ。
II (軽震) 大勢の人が感ずる。戸障子や花瓶の花がわずかに動く。	III: 特にビル上層の屋内で著しく感じ、止っている自動車がわずかにゆらくが、多くの人は地震と思わない。 IV: 日中屋内の多数の人に感じ、皿、窓ガラス、扉などがゆれ、止っている自動車はかなりゆらく。	IV: 大多数が感ずる。屋内では大部分、屋外では少数の人に感ずる。窓、戸、さらなどがガタガタする。器の水もわずかに動く。静止した車の中で震動が感ぜられる。 V: 屋内では全部の人、屋外でも多くの人に感じ、眠っている者も多く目ざめ、戸外に逃げ出す人もでる。振り子時計の止るものあり、器の水のこぼれることがある。A型建物には少し被害が出ることもある。
III (弱震) 家屋がゆれ、戸障子がガタガタ鳴り電燈のようなつり下げ物は相当ゆれ、器内の水の動くのがわかる。	V: ほとんど全部の人に感じ、多くの人は目がさめる。すわりの悪い物は倒れ、振り子時計が止る。	VI: 屋外でも大部分の人に感じ、屋内の人は戸外にとび出す。A型建物の多くに被害が出る。B型建物にも小被害の生ずることがある。割れ目、崖崩れの出る場合もある。
IV (中震) 家屋の動揺がはげしく、すわりの悪い花瓶などは倒れ、器内の水はあふれる。歩いている人にも感じられ、多くの人は戸外にとびだす。	VI: すべての人に感じ、多くの人は驚いて戸外にとびだす。 VII: ほとんどすべての人が戸外にとびだし、すわりの悪い物や、設計のよくないものには被害が出る。進行車の車中の人も感ずる。大きな鐘も鳴る。	VII: 大部分の人は外へ走り出る。運転車の者も振動を感ずる。大きなベルも鳴る。 C型建物に小被害、B型建物に中被害、A型建物に大被害を受ける。道路に亀裂が入り、井戸の水位が変化する。
V (強震) 壁に割れ目が入り、墓石、石燈ろうが倒れ、煙突、石垣などが破損する。木造家屋、土蔵に倒壊するものあり、地面に亀裂を生じ、井戸水が変化する。	VIII: 堅牢な建物にも被害があり、煙突、記念碑、壁などが落ち、家具が転倒する。砂泥を吹出し、井戸水が変化する。自動車の運転困難。木の幹も動く。	VIII: 車の運転困難になる。重量家具も倒れるものが出る。 C型建物にかなりの被害、B型建物に大被害、A型建物の大部分は倒壊する。墓石転倒し、記念碑は動き、石壁は落ちる。盛土した道路に地沈りを生じる。
VI (烈震) 木造家屋の全壊率30%以下、山くずれ、地割れを生じ、多くの人は立っていることができない。鉄道線路湾曲し、堤防の被害大。軟湿地では広い地割れを生じ、砂泥を交えた水が多量に湧出する。	IX: 耐震的れんが造り、中殿風の石造りにも大きな被害が生じ、コンクリート壁にも亀裂が生じる。煙突はすべて破壊される。 X: 石造物の大部分が破壊され、地面の亀裂多大。鉄道線路湾曲。	IX: C型建物の多くが大被害を受け倒壊するものも出る。B型建物の多くは倒壊する。記念碑が倒れ、鉄道線路が曲る。 平地にしばしば砂泥が噴出する。地面の割れ目の幅10cmに達するものあり、山くずれ、地沈りを生じ、水面に波が立つ。
VII (激震) 木造家屋の全壊率30%以上、山くずれ、地割れ、断層を生ずる。多数の割れ目、岩石落下あり、河岸は広範囲に陥落し、水路が変動する。地形が変貌する。	XI: 残有建物少なく、橋も破損、地面には大亀裂。 XII: あらゆるものが破壊され、地表に波形がみられ、空中になげ出されるものもある。	X: C型建物に全壊するものも出る。多くのB型建物は全壊する。A型建物は完全に崩壊、橋にも大被害あり、ダムや堤防に危険を生ずる。地面の割れ目幅数10cm、1mにも達するものも出る。 XI: 施工のよい建物、橋、ダムおよび鉄道にも大被害を生ずる。ハイウエーも使用不可能となり、地下パイプも破壊される。 XII: 地上および地下のすべての構造物は大被害を受けたり、破壊されたりする。地表の相ほうは全く変わり、多数の割れ目、岩石落下、築堤の陥没が広い地域に生ずる。

A型建物:自然石造、アドベ造、粘土造  
 B型建物:普通レンガ造、プレハブ造、半材木構造  
 C型建物:鉄筋造、よくできた木造家屋

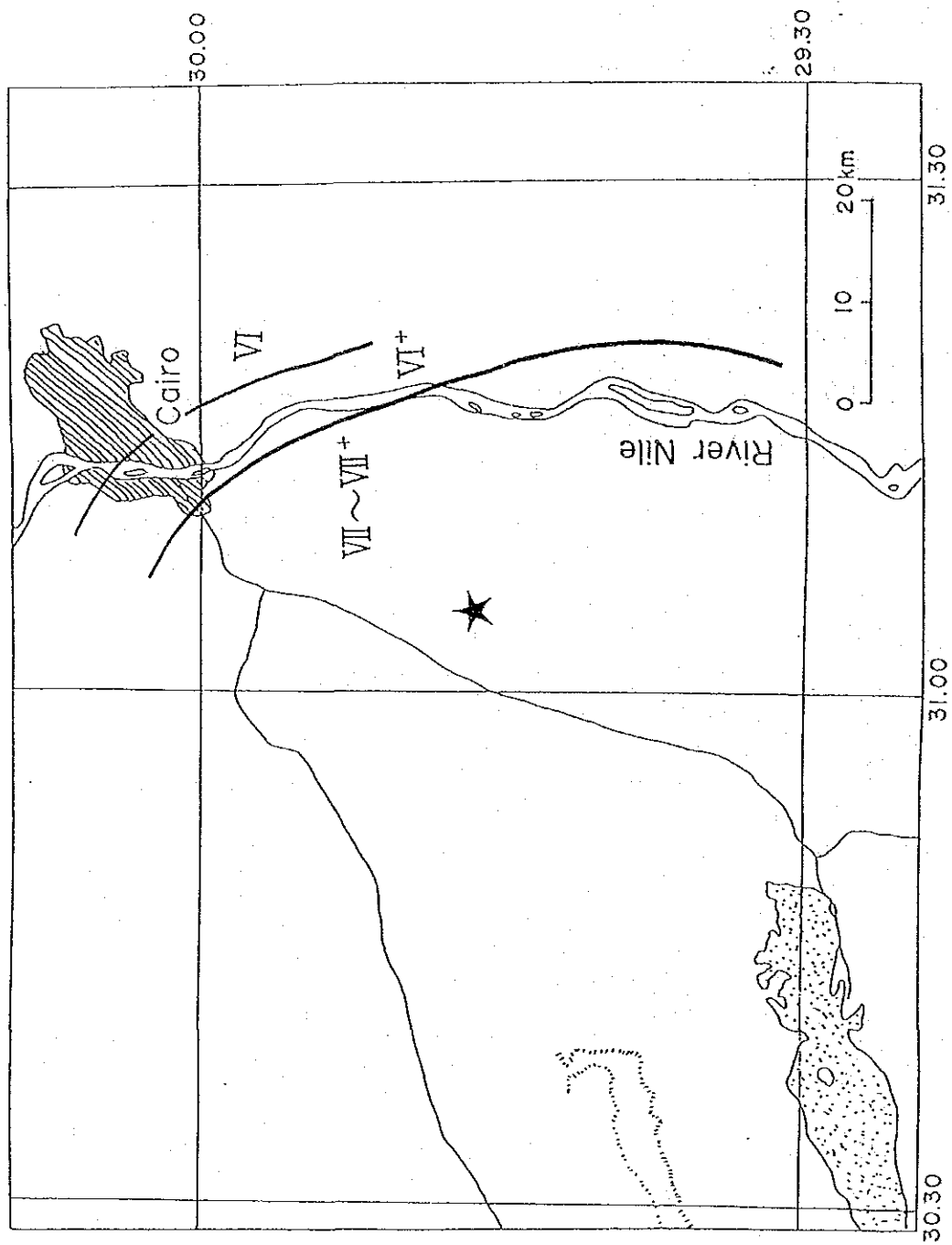


図3.3.1震度分布図 (MSK震度階。★印は天文地球物理研究所が決定した本震の震央)

### 3.4 地質条件

エジプトはアフリカ大陸の北東部を占める。モザンビークからケニア、エチオピアへ続く東アフリカ地溝帯を除けば、アフリカ大陸は一般には安定大陸と見なされている。東アフリカ地溝帯はエチオピアの北で紅海に沿う地溝帯とアデン湾に沿う地溝帯に分かれる。紅海は北緯27°付近でスエズ湾とアカバ湾に分岐する。アカバ湾は北方では活発な地殻変動地域として知られている死海に続く。アフリカ大陸は地中海を境として、その北のユーラシア大陸と衝突している。

エジプトにおいても、上記の大構造に関連すると考えられる構造が発達している。即ち北北西—南南東の紅海方向、北北東—南南西のアカバ湾方向、それに東西の地中海方向であり、既存の地質図、人工衛星写真にもこれらの方向の断層、リニアメントの発達が認められる (Egyptian Geological Survey, 1981<sup>1)</sup>; Egyptian General Petroleum Corporation, 1987<sup>2)</sup>; Remote Sensing Center, 1990<sup>3)</sup>)。

時間が限られた今回の調査では、それらの断層に関する詳細なデータを得る事はできなかったが、1981年のアスワン地震は東西性の走向を示すカラバシャ断層に沿って発生した事が知られている (El Shazly and Abdel Hady, 1984<sup>4)</sup>, 1985<sup>5)</sup>; Kebeasy, 1991<sup>6)</sup>)。今回の地震の震源域周辺には北北西—南南東の紅海方向の断層が顕著に発達している (Egyptian Geological Survey, 1981<sup>1)</sup>、図3.5.1参照)。今回の地震の発震機構解、余震の分布方向もこの方向と一致している (3.1~3.2節参照)。

今回の地震の震源域では、天文地球物理研究所、地質調査所によって、地表に生じた新鮮な地割れが発見された (写真3.4.1~2)。これらの地割れは、上述の断層とは異なり、系統的な方向性を示さない。また、変位はほとんど認められず、認められた場合でも系統的な変位を示さない。このような事実から、これらの地割れは今回の地震の原因となった地下の断層と直接結びつくものではなく、地震断層といえるものではない。今回の地震の発生の源となった断層およびその地学的位置づけに関するデータは皆無に等しく、震源域を初めとする周辺地域の詳細な地質学的・地球物理学的調査が望まれる。

首都カイロのほとんどの部分はナイル・デルタの堆積物上に位置しており、新期の堆積物に覆われているため、断層は地表では直接観察されないが、地質図 (Egyptian Geological Survey, 1983<sup>7)</sup>) から判断すると、直下に断層が存在することが推定される。しかしながら、その詳細は明らかにされていない。

### 提 言

- 1) 地震活動に関する理解を深め、災害軽減を図るため、地質学的調査・研究とくに地震地質に関する研究の強化が望まれる。
- 2) 特に、今回の地震に関しては、震源域の詳細な地質学的・地球物理学的調査が必要である。
- 3) さらに、首都カイロの今後の地震対策のためには、カイロ直下に存在が推定される断層の詳細な調査が必要である。

## 参 考 文 献

- 1) Egyptian Geological Survey: Geological Map of Egypt, 1:2,000,000, 1981.
- 2) Egyptian General Petroleum Corporation: Geological Map of Egypt, 1:500,000, 1987.
- 3) Remote Sensing Center: Space Atlas of MISR, 1990.
- 4) El Shazly, E.M. and Abdel Hady, M.A.: Earthquake Studies in Aswan Environment, Egypt, Applying Space-Borne Imagery Interpretation and Other Techniques, Remote Sensing Center, 12p., 1984.
- 5) El Shazly, E.M. and Abdel Hady, M.A.: Space-borne imagery interpretation: earthquake studies in Aswan, Earth-Orient. Applic Space Technol., Vol. 5, No. 1/2, pp. 139-149, 1985.
- 6) Kebeasy, R.M.: Seismicity of Egypt, MedNet — The Broad-band seismic network for the Mediterranean, pp. 467-494, 1991.
- 7) Egyptian Geological Survey: Geological Map of Greater Cairo Area, 1:100,000, 1983.



写真3.4.1 震央直近のダハシュールで認められた地割れ  
(写真の地割れは西北西-東南東の走向を示すが、  
系統的では無い)



写真3.4.2 震央直近のダハシュールで認められた地割れ (変位は認められない)

### 3.5 表層地質

今回の地震の震源域周辺には、第三紀系が分布し、これを覆ってファイユーム盆地、ナイル川沿い及びナイルデルタ地域には第四紀系が分布する(図3.5.1)。地表では中生代以前の地層はギザ地区に白亜系の小規模な分布がみられるのみである。地質図(Egyptian Geological Survey, 1981<sup>1)</sup>, 1983<sup>2)</sup>; Egyptian General Petroleum Corporation, 1987<sup>3)</sup>)から判読すると、エジプト北東部には、紅海沿岸の山地を構成する先カンブリア系からなる地殻を覆うジュラ紀系及び白亜紀系が、北西に緩やかに傾斜しながら、広く分布していると考えられる。

上記の古期岩類を覆って、ナイル川東岸地域には石灰岩及び砕屑岩からなる古第三紀の地層が広く分布するとともにファイユーム盆地の基盤をなしている。カイロの東北方、ギザの西方及び北方には新第三紀の砕屑岩が分布する。これらの地層は緩やかに北西に傾斜するものの、ほとんど変形を受けていない。

ナイル川沿いの堆積物は、古期から順に、Proto-nile, Pre-nile, Neo-nile及びNile-siltに区分される(Egyptian General Petroleum Corporation, 1987<sup>3)</sup>; Herman et al., 1989<sup>4)</sup>)。Proto-nileは鮮新世～更新世の礫を主とする堆積物であり、Pre-nileは河川堆積の砂及び風成砂の互層から成る。Neo-nile及びNile-siltは細粒砕屑物からなる。Neo-nileまでは段丘化しており、Nile-siltは沖積低地を構成している。沖積堆積物の層厚はカイロ市付近で80m、ヘルワン付近で50m程度と見積もられているがその詳細は不明である。

地盤の安定性にとって地下水位に関する情報は不可欠である。カイロ市付近及びナイル川沿いの沖積地における地下水位は地下2～3mと見積もられている。ファイユーム盆地の地下水位も同様に浅いと見なされる。

前述のように(3.3節)、カイロ市内、ナイル川沿い及びファイユーム盆地では大きな震度が推定されたが、そこは沖積層が発達するとともに地下水位が浅い地域に一致する。そのような地域に相当するエル・アイヤット、エル・ベレアダ及びエル・アクワンでは地盤の液状化が認められた(3.11節参照)。しかしながら沖積層の層序・層厚・分布およびその力学的性質についての詳細なデータは入手することが出来なかった。

### 提 言

- 1) 地震動の増幅に大きな影響を及ぼす表層地質に関するデータ、特に沖積層の層序・層厚・分布およびその力学的性質に関する調査とデータの整備が望まれる。また、これらのデータが土木、建築など地震災害軽減に係わる全ての人々に掌握されるような手だてが考慮されるべきである。

### 参 考 文 献

- 1) Egyptian Geological Survey: Geological Map of Egypt, 1:2,000,000, 1981.
- 2) Egyptian Geological Survey: Geological Map of Greater Cairo Area, 1:100,000, 1983.
- 3) Egyptian General Petroleum Corporation: Geological Map of Egypt, 1:500,000, 1987.
- 4) Herman, M., Klitzch, E. and List, F.K. (ed.): Stratigraphic Lexicon and Explanatory Notes to the Geological Map of Egypt 1:500,000, Conono Inc., Egypt, 264p., 1989.

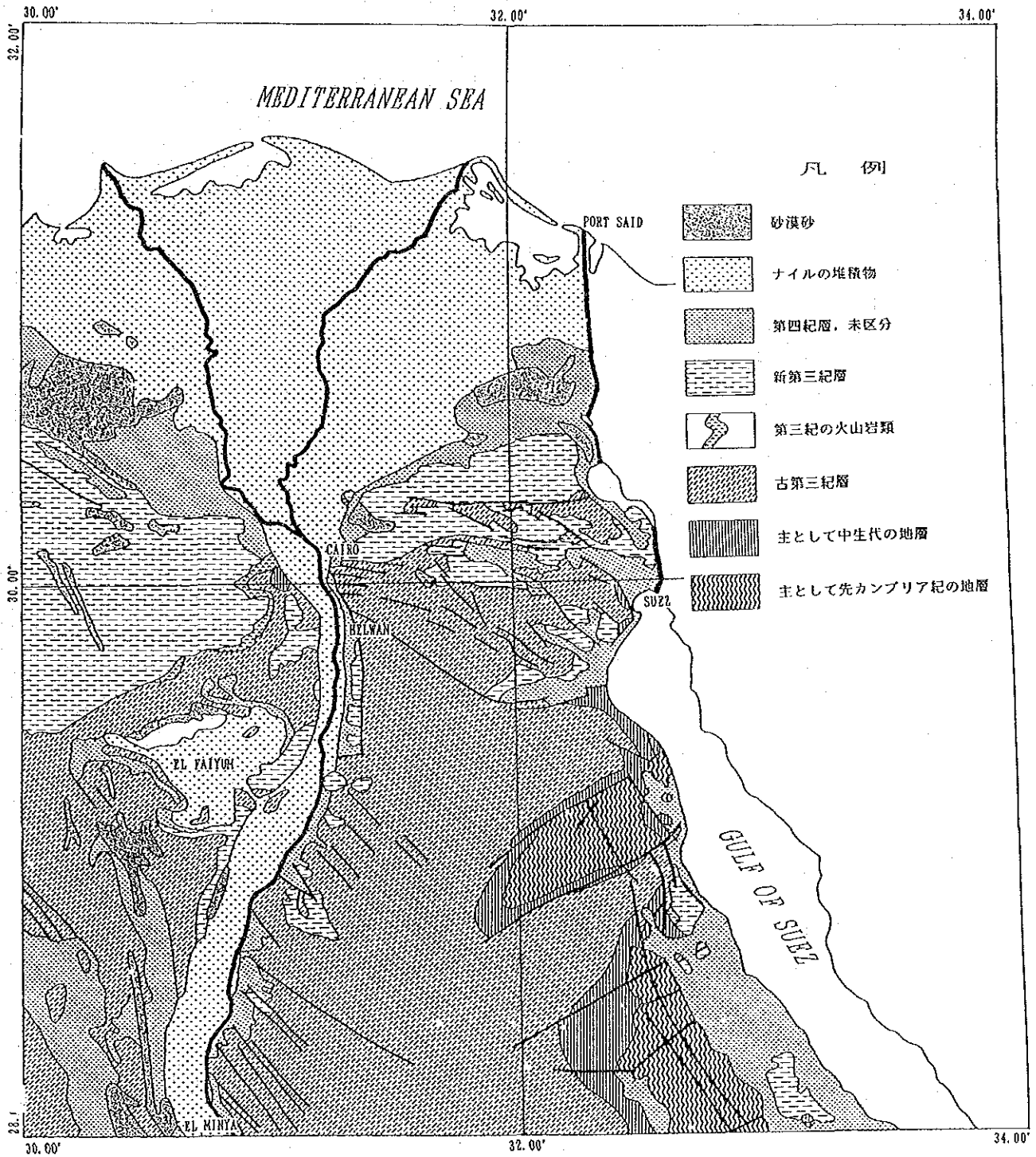


図3.5.1 エジプト東北部（スエズ以西）の地質概略図  
 Egyptian Geological Survey (1981)<sup>1)</sup>を簡略化

### 3.6 カイロ周辺域の地震活動

1992年カイロ地震の発生メカニズム及びカイロ周辺域の地震活動を理解するために、まず最近の微小地震と小地震の震源分布を図3.6.1と図3.6.2に、有史以来の中および大規模地震の震源分布を図3.6.3に示す。また、史料に基づく大地震のリストと最近の主要な地震のリストを表3.6.1と3.6.2に示す。これらの図と表は、エジプト北部の主要な地震活動が、主に次の3つの活動帯に属していることを示している (Kebeasy 1991)。それらは、1: 紅海の北部—スエズ湾—カイロ—アレキサンドリアを結ぶ活動帯、2: 地中海東部からカイロを経てファユームに延びる活動帯、3: リーヴァント—アカバ湾を結ぶ活動帯である。これらの地震活動は、テクトニクス的には次のように説明されている。エジプト北部は、東部を紅海からスエズ湾に抜けるプレートの拡大境界で北部を地中海の中央を走るプレートの収束境界で境され、この2つの異なったプレート境界に挟まれた複雑な応力場の地域に位置していると考えられる。この複雑な応力分布によりエジプト北部ではストライクスリップ型の地震と正断層型の地震が発生する。従って、上記の3つの地震活動帯は、これら2つの異なったプレート境界におけるアフリカプレート、アラビアプレートおよびユーラシアプレートという3つのプレートの相対運動で説明される。

図3.6.4は、世界中の最近のM4.5以上の地震の震央分布を示している。この図から、アフリカ大陸において、東アフリカの大地溝帯を除いては、紅海からエジプト北部にかけて地震活動が比較的活発であることが分かる。しかし、世界的にみたら極めて地震活動度が低い地域であることは明瞭である。

図3.6.3及び表3.6.1~2によると、カイロ周辺 (100km以内) では、今回の地震の他にM5以上の地震は、1847年のFayumuの地震 (M6.2)、1920年のFayumuの地震 (M5.8) が記録されているだけである。但し、1920年の地震に関しては、リストには載っているが図には示されていない場合があり、実際にM5.8の地震が発生したか否かは定かでない。カイロ周辺の地震活動および地震の被害に関する記述を見る限り、1920年の地震に関する記述は1847年の地震に関する記述に比べて非常に少ない。1920年の地震は1847年の地震より小規模ではあるがカイロまでの震央距離は短く、実際に発生していたならカイロ市内および郊外での被害は大きかったと推定される。この1920年の地震にかんする記述が殆どないのは、どのような理由によるのか調べる必要がある。もし、表3.6.2のリストを信ずるとすれば、7~80年に一度今回のようなM5~6級の地震が発生する可能性を示唆していると言えよう。

#### 提 言

- 1) 歴史地震に関して、過去4800年の資料を有するというエジプトであるので、こうした過去の記録の整理が望まれる。
- 2) 機械観測開始以降のエジプトにおける地震のリストなり分布図を整備し、現状把握に資するようにする。

#### 参 考 文 献

- 1) Albert, R.N.H., Seismicity of the Zafarana area, Gulf of Suez, Egypt, 1969.
- 2) Kebeasy, R.M., Seismicity of Egypt, I Workshop on MedNet, the broad-band seismic network for the Mediterranean, Sep. 10-14, 1991.
- 3) Kebeasy, R.M., M. Maamoun, R.N.H. Albert and M. Megahed, Earthquake activity and earthquake risk around Alexandria, Egypt, Bull. ISEE, Vol. 19, 93-113, 1981.



表3.6.1 カイロ周辺域の主な歴史地震のリスト (Kebeasy et al., 1981)

Date	Region	$I_0$	M	Remarks
2200 B.C.	Tell Basta	VII	5.8	Deep fissures.
24-20	Alex. off shore	IV	4.0	Strong sea waves.
320 A.C.	Alex. off shore	VII	5.9	Many houses destructed.
553	Alex. off shore	V	4.8	
4.796	SE Med. Sea	VI	5.2	Felt at different localities of Egypt, partical damage of Alexandria light house.
859	Belbeis	VI	5.5	Felt in Nile Delta and Alexandria.
26.5.1111	East Cairo	VII	5.8	Destruction in Rehachope Temple.
8.8.1303	Fayum	VIII	6.5	Severe earthq., many places in Cairo destructed, affected the Nile valley till Quoos and little damage in Alex.
1326	Alex. off shore	V	4.8	Light house was shocked, felt in many places in Egypt.
3.1687	Alex. off shore	VI	5.2	Alexandria was vibrating for 10-12 days.
2.10.1698	Rosetta	VI	5.5	Nile valley.
9.1754	Tanta	VIII	6.0	Destructive earthq., 2/3 of Cairo buildings were damaged, thousands of people were killed.
7.8.1847	Fayum (29.5° N, 30.5° E)	VIII	6.2	Severe earthq., 3000 houses and 42 mosques were destroyed, 85 persons were killed and 62 were injured; strongly felt on the 10th of August.
24.6.1870	East of Med. (32° N, 30° E)	VIII	6.5	Severe earthq., felt in vast area.
11.7.1879	Alex. off shore	V	4.8	Strongly felt earthquake.
28.12.1908	Alex. off shore	V	4.8	Felt earthquake.

$I_0$  : Maximum intensity at the epicenter.

M : Magnitude as derived from the equation:

$$I = 1.43M - 3.9 \log r + 4.37$$

by M. Maamoun (1979) [9],

where I, M and r are the intensity, magnitude and focal depth respectively.

表3.6.2 カイロ周辺域の最近の主な地震のリスト (Kebeasy et al., 1981)

Date			O.T. (G.M.T.)			Lat.	Long.	h (km)	I <sub>0</sub>	M	Remarks
D	M	Y	h.	m.	s.	N	E				
01	10	1920	02	10	00.0	29.4°	31.0°	20	7.0	5.8	
28	05	1951	14	16	21.0	31.8	27.0	N	6.7	5.6	
24	07	1954	00	52	00.0	31.5	30.0	N	6.7	5.7	Flet in Alex.
28	10	1954	13	39	01.0	32.4	31.4	N	6.0	5.4	
12	09	1955	06	09	22.0	32.2	29.6	N	9.0	6.8	
29	04	1974	20	04	39.7	30.5	31.7	N	5.0	4.9	

O.T. : Origin time.

h : Focal depth, N normal depth.

I<sub>0</sub> : Maximum intensity at the epicenter.

M : Helwan magnitude scale.

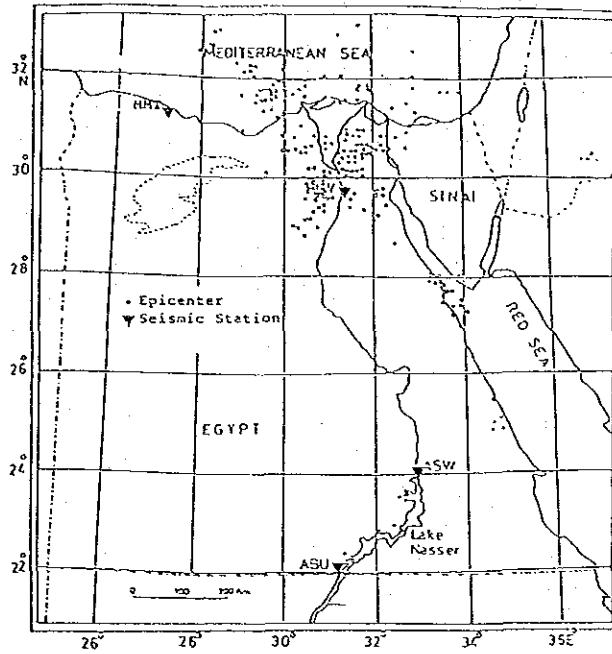


図3.6.1 カイロ周辺域における最近の微小地震活動 (Kebeasy, 1991)

▼ : 定常地震観測点

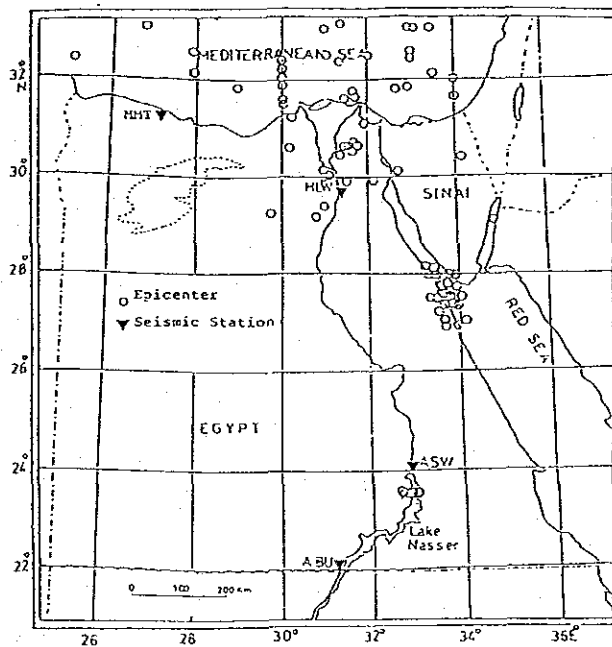


図3.6.2 カイロ周辺域における最近の小地震活動 (Kebeasy, 1991)

▼ : 定常地震観測点

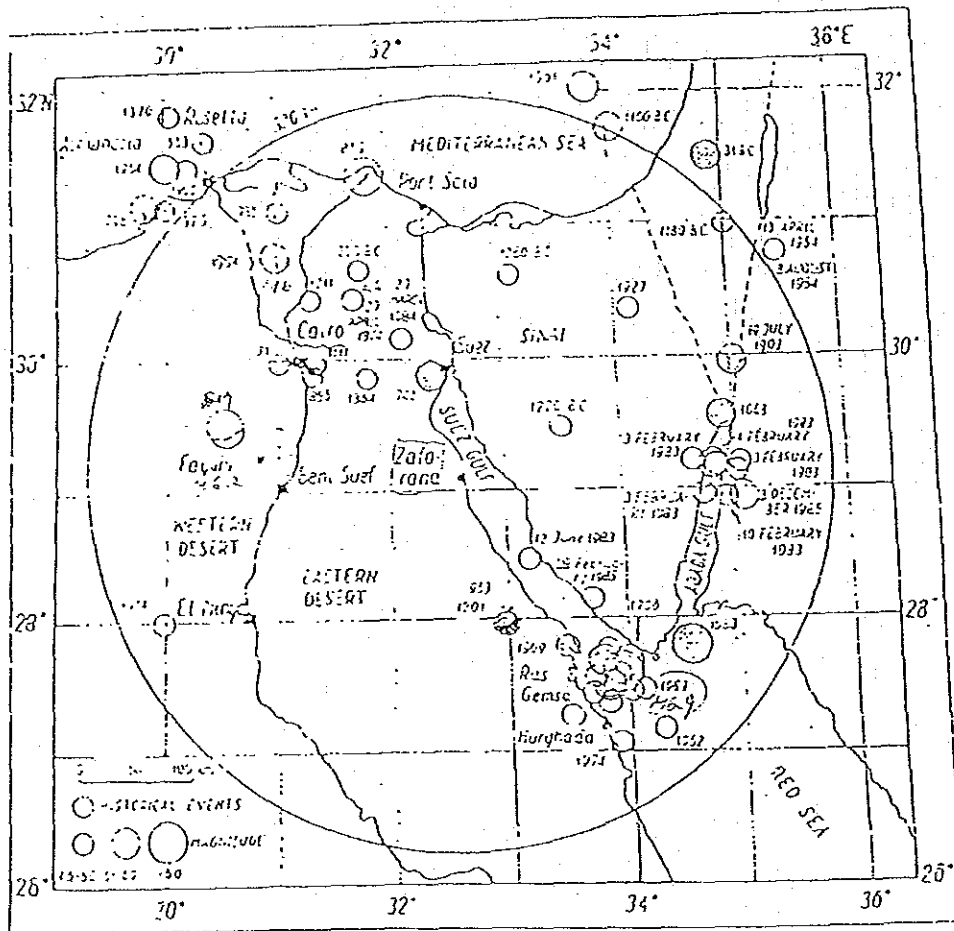


図3.6.3 カイロ周辺域における有史以降のM4.5以上の地震の震源分布 (Albert, 1969)

M: 4.5-9.9

M  
7  
6  
5  
4

1km  
99km

N= 56880

1964 1/1 0:0 -- 1989 12/31 24:0

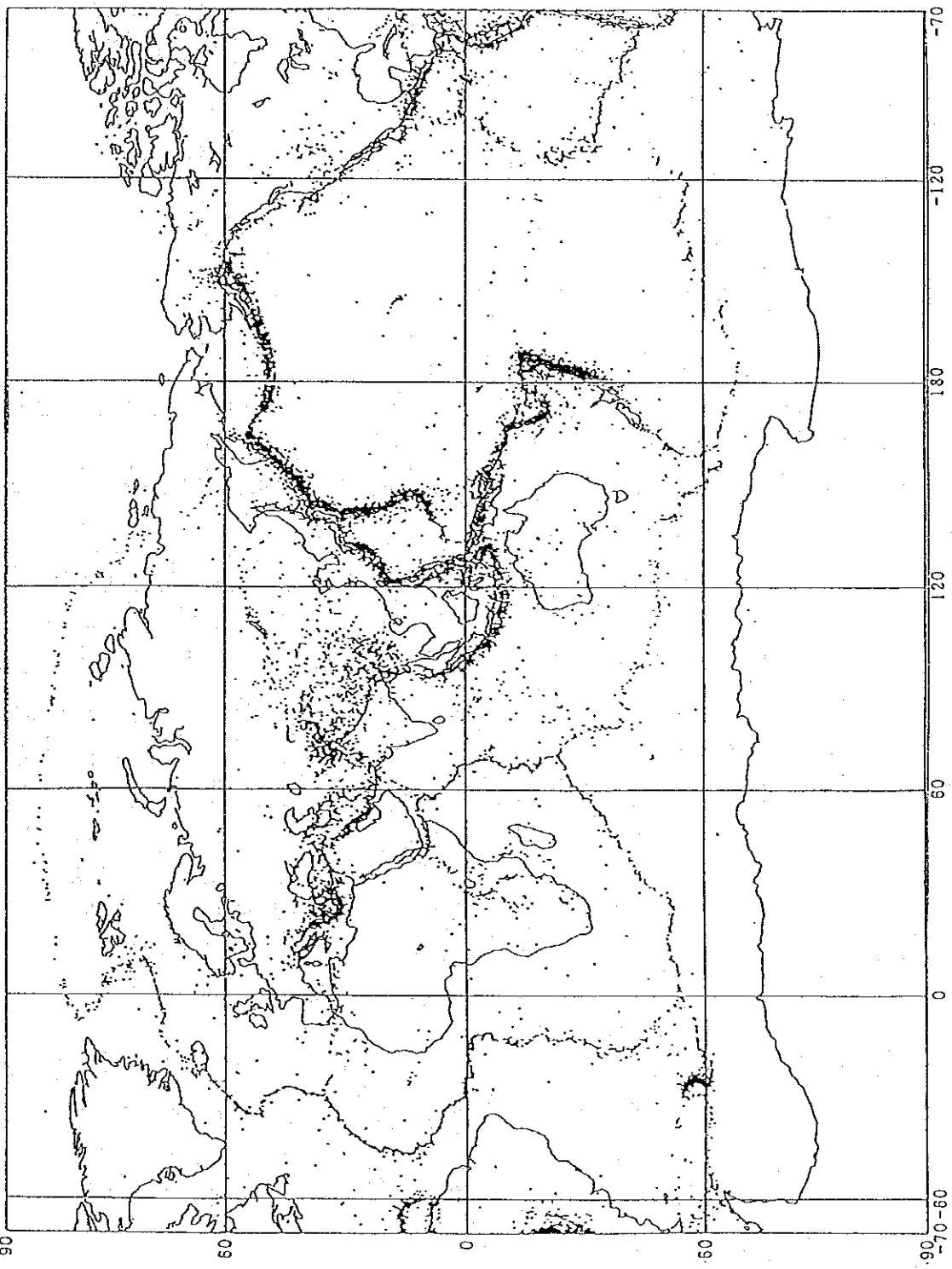


図3.6.4 世界中の浅い地震の震央分布 (ISCのデータに基づく)  
 期間: 1964~1989年、深さ: 100km以下、M4.5以上

### 3.7 強震記録

エジプトでは、アスワン・ハイ・ダムに6台、そこから約60km離れた地盤上に1台の強震計が設置されているだけで、カイロ市周辺には1台の強震計も設置されていなかった。このため、今回の地震では強震記録が全く得られなかったため、どの程度の地震動が生じたかを推定する手がかりがない。したがって、わが国で得られた394成分の強震記録の統計解析結果から地震動の最大加速度を推定してみよう。地震動の最大加速度は、地震のマグニチュードと震央距離に応じて次のように変化することが知られている<sup>1)</sup>。

$$a_{\max} : 232.5 \times 10^{0.313M} \times (\Delta + 30)^{-1.218} \quad (3.7.1)$$

ここで、

$a_{\max}$  : 地震動の最大加速度 (gal)

M : 地震のマグニチュード

$\Delta$  : 震央距離 (km)

今回の地震のマグニチュードは5.4程度であるから、式(3.7.1)より加速度の距離減衰を計算すると図3.7.1のようになる。後述するように今回の地震では主としてギザ市やカイロ市で被害が生じたが、これらの震央距離は約30km~45kmとなる。したがって、図3.7.1からギザ市やカイロ市の地震動の強度を推定すると、約60gal程度となる。

一方、建設業に従事するエジプト在住の日本人の協力を得て、どの程度の揺れを感じたかをまとめた結果が表3.7.1である。これによれば、カイロ市内ではエジプト人がパニックを起こし興奮のあまり泣き出す人間もいた。物の振動の様子を見ると、天井から照明のカバーがずれ落ちた例もあるが、落下や転倒等はほとんど生じていない。ただし、鍵のかかっていない机の引き出しが開く程度の振動はあったようである。

過去に日本で同程度の地震を経験したことがあるかとの問いに、地震と経験した場所と特定して答えたC氏とD氏の回答がカイロ市内の地震動強度を推定する上で興味深い。これによれば、C氏は、昭和53年の宮城県沖地震(M=7.4)の際に福島県富岡町(震央距離は約140km)で体験した振動に、また、D氏は、昭和62年12月17日の千葉県東方沖地震(M=6.7)の際に千葉県我孫子で体験した振動に、それぞれ近いという。宮城県沖地震の際には、富岡町と非常に近いいわき市において強震記録が2箇所所得られており、水平方向の最大加速度は、50gal~88galである。また、千葉県東方沖地震による我孫子市の最大加速度は、100gal程度と考えられる。

こうした点からC氏及びD氏の体験やその他の体験者の証言からみて、式(3.7.1)による上記の推定はおおむね妥当なものではないかと考えられる。

表3.7.1でもう1点興味深いのは、震源から140kmも離れたスエズ市でも振動を感じ、かなりのエジプト人が部分的なパニックを起こしたという点である。式(3.7.1)によれば、スエズ市の最大加速度は25gal程度と推定される。

### 参 考 文 献

- 1) Kawashima, K. et al.: Attenuation of Peak Ground Acceleration, Velocity and Displacement Based on Multiple Regression Analysis of Japanese Strong Motion Records, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 14, 1986.

表3.7.1 建設業に従事する日本人がカイロ市及びエズ市で感じた地震時の振動の様子(1)

体験者	地震時にいた場所		振動の様子	今度の地震と同程度の揺れを日本で経験したときと同程度	気象庁震度	エジプト人の地震時の反応
	位置	建物等				
A氏	カイロ市内 (ローダス島)	カイロ大学の キャンパス道路上	○初期微動(縦揺れ、1~2秒程度)は、5m程度の距離を大型トラックまたはトレーラーが走行している感じ ○主要動(5~7秒程度)は、それ程大きくは感じなかった。多少足を聞いて普通に立っているのに不自由は感じなかった。	東京都内で震度III程度の地震を経験したときと同程度	III	付近の大学付属病院(4階建)から、全体の3割程度と思われる人間が建物の外に出てきた。数人の女性には恐怖のあまり泣きだし、ほとんどが興奮状態であった。
B氏	カイロ市内 (ザマレック地区)	RC4階建て の自宅	特に縦揺れは感じなかった。	日本では1~2年に一度程度経験する程度の地震	III~IV	打ち合わせのエジプト人スタッフは驚いてエレベータに飛びのろうとした。
C氏	カイロ市内	3階建ビルの 3階のオフィス	天井のライトカバーがずれ落ちた。振動は一分弱続いた。	昭和53年6月の宮城県沖地震を福島県双葉郡富岡町の原子力発電所建設現場で体験した時とほぼ同じ程度の地震。	III~IV	事務所のスタッフのうち一人は外に飛び出し、二人は机の下にもぐった。大勢のエジプト人が道路に避難していた。
D氏	カイロ市内	26階建ビルの 8階のオフィス	最初はロケット弾でも落ちたかと思った。地震と分かり、日本では感じる以上に恐かった。	平成2年千葉県東方沖地震を千葉県孫子氏で体験した際の振動に近い。	III上~IV	パニック。廊下に飛び出した者や顔面蒼白となった者もいるもの多数。

表3.7.1 建設業に従事する日本人がカイロ市及びスエズ市で感じた地震時の振動の様子(2)

体験者	地震時にいた場所		振動の様子	今度の地震と同程度の揺れを日本で経験したことがあるか	気象庁震度	エジプト人の地震時の反応
	位置	建物等				
E氏	カイロ市内	10階建ビルの2階のアパート	ビルあるいはその周りに大きな物を落としたような感じ。	12~15年前に和歌山県竜神村で経験した程度の振動。	IV	天を見上げてお祈りを始めたり、裸足で外へ走り出す等、大騒ぎでパニック状態。
F氏	カイロ市内 (モハデス シーン)	25階建ビルの23階	鍵のかかっていない机の引出しが開いた。ブラインドが窓をたたいた。	感じたことはない。	分からない	地震がはじまるとすぐに階段に殺到し、足を踏み外して転倒したのもいる。興奮のあまり泣き出す者がいた。
G氏	スエズ市	6階建ビルの6階オフィス	軽い揺れが次第に大きくなり、食卓上のコップが音を立てて振動した。約20秒間振動が続いた。	7~8年前に鹿児島県で就寝中に生じた地震と同程度。この時は思わず外に飛び出した。	III	子供達の悲鳴が聞こえ、一時パニック状態となり、一時間程度ざわついていた。
H氏	スエズ市	6階建ビルの6階オフィス	約1分程振動が続いた。事務所内では物の破壊や落下は生じていない。	東京で2回(ともに震度V)を経験した際と同程度の振動。	III~III+(3.5)	比較的落ち着いていた。
I氏	スエズ市		隣の庭で作業していた大工が、窓から飛びのいた。	愛知県宇和島市と東京都で1回ずつ経験したことがある。	II	事務所のスタッフは初めての経験で興奮していた。その日の作業ははかどらなかつた。



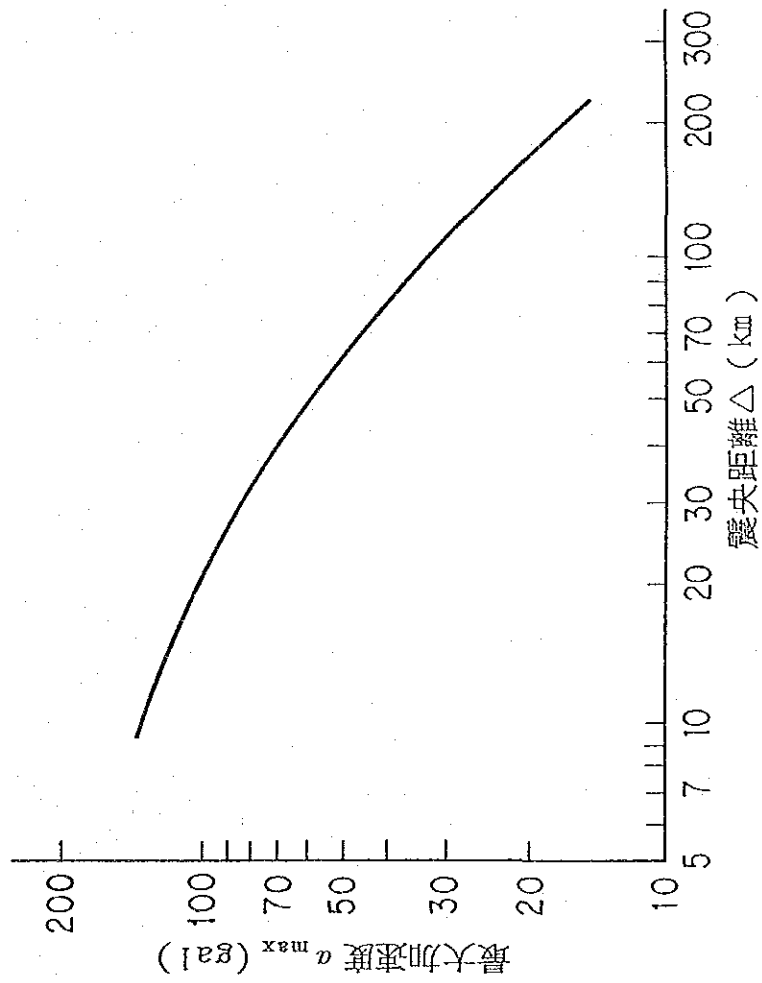


図3.7.1 最大加速度の距離減衰

### 3.8 建築物の耐震基準

#### 3.8.1 背景

エジプトは地震被害には無縁な国であるとエジプトでは一般に考えられてきた。このため耐震規定が設けられたのは極めて遅く、1988年にエジプト地震工学協会 (The Egyptian Society for Earthquake Engineering (ESEE)) が米国 UBC コードとほぼ同様の耐震モデルコード 「エジプト建築物耐震設計指針 (Regulations for Earthquake-Resistant Design of Building in Egypt)」を提案した。しかしながら本指針は実用に供されていないと言われている。その後1989年の後半に、エジプトの住宅、新地域社会省 (The Ministry of Housing and New Communities) は「鉄筋コンクリート構造物の設計と施工のエジプト規準 (The Egyptian Code for Design and Execution of Reinforced Concrete Constructions)」を出版した。この規準は1912年版の改訂版であり初めて法的に耐震規定を包含している。

この改訂版以前においては、エジプトでは耐震設計に関しては規定による設計が行われてきたものの、耐震設計が行われてきたかどうかは不明である。ただし、超高層建築物等のエジプトを代表する近代建築物では、米国等の外国の耐震設計手法を参照しつつ耐震設計が行われてきたと一般には言われている。設計手法に関しては、1989年の改訂規準では、許容応力度設計法と終局強度設計法が併記されており前者が広く用いられている。また、30～40階建の超高層建築物では地震応答解析による設計も行われている。

一方、10月12日に生じた地震によって極めて大きな被害を被った組積造に関する耐震的な規定は定められていない。

#### 3.8.2 鉄筋コンクリート規準における地震荷重

##### (1) 地震地域係数

エジプトは地震活性度により2つの地域に分けられており、緊急援助隊が被害調査を主として行ったカイロやギザ及びその周辺は第一地域に分類されている。ここで、第一地域では低い地震活性度を想定し、生じるであろう地震動に対して建築物は比較的小さな損傷にとどまることを意図し、1%のせん断力係数に対して設計されている。これに対し第二地域は中程度の地震活性度を想定している。

一方、ESEE指針の規定では、極めて詳細な地震地域マップが示されているが我が国の経験からすればその妥当性についてはさらに議論の余地があるようである。この分野については今後さらなる研究・検討が望まれる。

##### (2) 設計用静的地震力

第二地域における全静的水平力は3.8.1式による

$$V = 0.3 KCIW \quad (3.8.1)$$

ただし、

V : 全静的水平力

K : 靱性に依存する係数 (ただしKは2/3以上3/4以下とする)

C : 標準スペクトル係数

$$C = 1/(15\sqrt{T})$$

$$T = 0.09H/\sqrt{B} \text{ (秒)}$$

H = 建物高さ (m)

B = 建物の当該方向の幅 (m)

I : 重要度係数

I = 1.5 (重要建築物)

I = 1.0 (普通建築物)

W : 等価全鉛直荷重

全静的水平力は第一地域及び第二地域における建物にあつては等価鉛直荷重のそれぞれ1%及び2%を下回ってはならない。おおまかに言うと第二地域においては設計用の地動の最大加速度として30~40gal程度が考えられているようである。ただし、部材の設計において部材強度に対して1.5の低減係数がとられているため、我が国の設計用の加速度と比較する場合にはこの数値を約1.5倍する必要がある。

E S E E指針の規定では、上述の因子の他、危険度係数、施工品質係数の関数として設計用のせん断力を定めている。行政的な関点はさておき工学的な関点から論ずれば設計用せん断力の本規定はかなり完成された形式を呈していると言えよう。この他、エジプトにおける設計用地震力を考える際一つの重要な因子として地震の再現期間の問題があろう。即ち、エジプトでは大地震の再現期間が地震高活性地域として著名な国々に比べれば極めて長いのが特徴である。危険度係数や重要度係数はこの再現期間の問題を考慮するのに適切な係数であろう。

なお、エジプトでは設計用地震力の大きさを論ずるのに必要な強震記録が今回においても測定されておらず、今後この分野での観測研究の充実が望まれる。

### 3.9 公共土木施設の耐震規準

エジプトにおける公共土木施設の規定としては、開発省 (Ministry of Development, New Communities, Housing and Utilities) が定めた施工令がある。これには、以下の4種類がある<sup>1)</sup>。

- 1) 鋼構造物及び橋梁 (施工令、No. 451-1989)
- 2) しっくい仕上げ (施工令、No. 454-1991)
- 3) 鉄筋コンクリート構造物 (施工令、No. 464-1989)
- 4) 土質及び基礎
  - ① 現地調査 (施工令、No. 444-1991)
  - ② 室内試験 (施工令、No. 445-1991)

- ③ 浅い基礎（施工令、No. 446-1991）
- ④ 深い基礎（施工令、No. 447-1991）
- ⑤ 土の性質（施工令、No. 448-1991）
- ⑥ 振動及び動的な荷重を受ける基礎（施工令、No. 449-1991）
- ⑦ 擁壁（施工令、No. 450-1991）
- ⑧ 斜面の安定（施工令、No. 451-1991）
- ⑨ 土止め、アースアンカー（施工令、No. 452-1991）

ここで、「鋼構造物及び橋梁」の中の鋼構造物とは、主として橋梁の上部構造を表している。現在は、橋梁の上部構造としては、プレストレストコンクリートをはじめとして大部分がコンクリート製になっているが、従来は橋梁上部構造としては鋼構造が多かったためである。したがって、「鋼構造物及び橋梁」は、主として橋梁上部構造を対象としたものと考えてよい。内容としては、設計と施工に分かれるが、設計では、荷重、許容応力度、疲労、座屈、検査、品質管理、許容誤差等を含んだしっかりしたものとなっている。ただし、耐震設計に関する規定は含まれていない。

また、「土質及び基礎」の中には、10種類の施工令が含まれている。アラビア語で書かれているため、十分内容を理解したわけではないが、なかなかしっかりした構成で、例えば、「擁壁」の中には土圧が規定されており、また、「振動及び動的な荷重を受ける基礎」の中には応答スペクトル、液状化、起振機を用いた振動実験、地盤バネ定数、減衰定数、固有周期といった基本的な項目が規定されている。ただし、後者の規定については、耐震工学の紹介的な内容で、実際にどうすればよいかといった内容にはなっていないようである。

このように、かなりしっかりした規定はあるが、耐震設計に関する規定は定められていない中で、エジプトにおける耐震設計法を提案したものとして、エジプト地震工学会が1988年に提案したエジプト耐震規定がある<sup>1)2)</sup>。これは、実際の設計に際してはほとんど使用されていないようであるが、どのような形の耐震規定が専門家の間では提案されていたかを知る上では興味深いので、これについて紹介しよう。この規定は、許容応力度設計法を基本としてもので、死荷重に対する許容応力度を、コンクリートに対しては設計強度の1/3、鋼材に対しては降伏強度の0.6倍としたうえで、次の荷重組合せを考慮することとしている。

$$\begin{aligned}
 1) & \quad D + Lr + E \\
 2) & \quad 0.85D + E
 \end{aligned}
 \tag{3.9.1}$$

ここで、D: 主荷重、Lr: 活荷重、E: 地震荷重である。地震荷重を算出する際の設計水平震度は、次式で与えられる。

$$Cs = ZISMRQ \tag{3.9.2}$$

ここで、

- Cs: 設計水平震度
- Z: 地域別補正係数で、次式で算出する。

$$Z = ACF$$

(3.9.3)

- A : 地盤加速度の基準値で、表3.9.1による。
- C : 標準加速度応答スペクトルで、図3.9.1による。
- F : 地盤別補正係数で、表3.9.2による。
- I : 重要度別補正係数 (1.0~1.5)
- S : 構造タイプ補正係数 (0.67~1.6)
- M : 材料別補正係数 (0.8~1.2)
- R : 危険度補正係数 (1.0~3.0)
- Q : 施工精度補正係数 (1.0、1.2)

各補正係数については細かく規定されているので、少し説明すると、重要度別補正係数Iは構造物の重要性に応じた補正係数で、病院のように地震後に非常に重要な構造物では1.5、よく使用される構造物では1.3、一般の住居では1.0となっている。構造タイプ別補正係数Sは、どのような機構で地震力に耐えるかによって異なる係数で、モーメント・レジスティング・フレームでは1.0、ダクタイル・モーメント・レジスティング・フレームでは0.67とまったくあいである。材料別補正係数Mは、RCでは1.0、PCでは1.2、鋼材では0.8である。危険度別補正係数Rは、内容物の危険性に応じた補正係数で、毒ガス等の危険物を内容する場合には3.0、天然ガス等を内容する場合には2.0、特別に危険性の無い場合には1.0である。施工精度別補正係数Qは、きわめてユニークな補正係数で、施工の重要な各ステージで検査することが契約書に示されている場合には1.0、そうでない場合には1.2となっている。

これをもとに、橋梁に対する設計水平震度を試算してみよう。地域区分を最も震度が大きい3種とカイロが属する2種とし、地盤種別を1種~3種、橋の固有周期を0.4秒と1秒として、式(6)、(7)から設計水平震度Csを算出すると表3.9.3のようになる。ここで、よく使用するという事で重要度別補正係数Iは1.3とした。これによれば、首都カイロでは設計水平震度は0.03~0.08程度となる。

#### 参考文献

- 1) Ministry of Development, new Communities, Housing and Utilities: Egyptian Code of Practice of Steel Constructions and Bridges (Ministrial Decree No. 451-1989), Egyptian Code of Practice for Plastering (Ministrial Decree No. 454-1991), Egyptian Code of Practice for Reinforced Concrete (Ministrial Decree, No. 464-1989), Egyptian Code of Practice for Soil Mechanics and Foundations なお Egyptian Code of Practice for Reinforced Concreteに関しては、El-Behairy, S.: Reinforced Concrete Design Handbook, Vol. 2, Applications to the New Egyptian Code for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures, Ain Shams University, 1990によった。
- 2) Egyptian Society for Earthquake Engineering: Regulations for Earthquake Resistant Design of Buildings in Egypt, January 1988.

表3.9.1 地盤加速度の標準値

地域	MM震度	地盤加速度A
0	≦V	0
1	VI	0.02g
2	VII	0.04g
3	VIII	0.08g

表3.9.2 地盤別補正係数

地盤種別	定義	地盤別補正係数
1	岩盤、しまっているか非常に粒径の粗い土、非常に固いか、固い粒径の粗い土、よくしまった厚さが15m未満の粒径の小さい土	1.0
2	ある程度しまった粒径の粗い土、厚さが15m以上のよくしまった粒径の小さい土、厚さが15m未満の非常にゆるいか、ゆるい粒径の粗い土、非常に軟らかいか、軟らかい粒径の小さい土	1.3
3	非常にゆるいか、ゆるい粒径の大きな土、厚さが15m以上の非常に軟らかいか、軟らかい粒径の小さい土	1.5

表3.9.3 橋梁に対する設計水平震度の試算

(a) 地域区分が3の場合 (A=0.08g)

固有周期	1種	2種	3種
0.4秒	0.10	0.14	0.16
1秒	0.05	0.07	0.08

(b) 地域区分が2の場合 (A=0.04g)

固有周期	1種	2種	3種
0.4秒	0.05	0.07	0.08
1秒	0.03	0.03	0.04

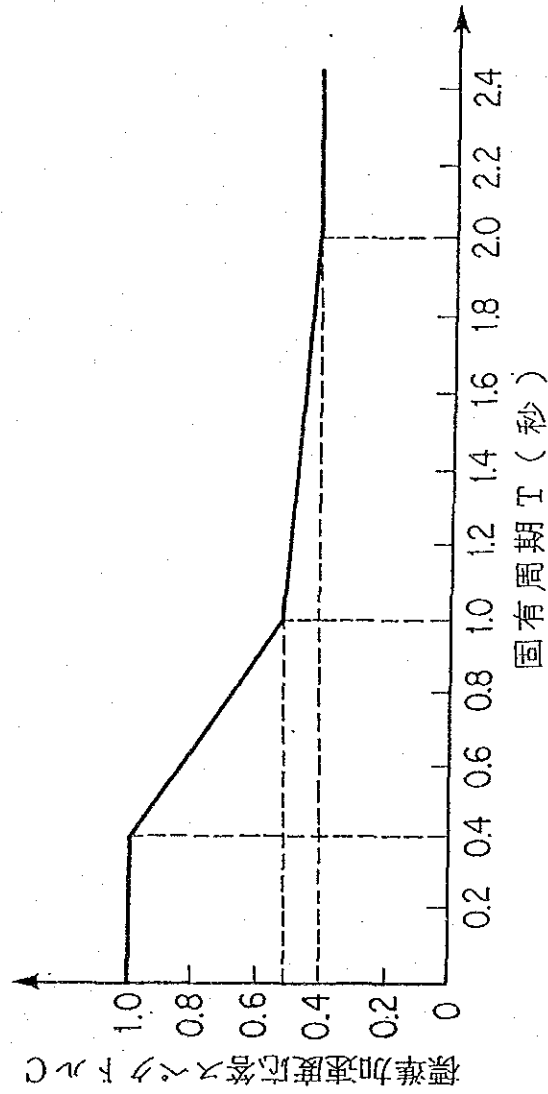


図3.9.1 標準加速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

### 3.10 全般的被害状況及びその評価

1992年10月12日の地震による被害は次のようであった。

(1) 人的被害	
死者	561名
負傷者	12,192名
うち病院での治療を必要とした者	2,270名
病院での治療が必要でない者	9,922名
(2) 教育施設の被害	
大修理が必要	2,301校
小修理が必要	3,569校
使用不能	1,087校
(3) モスクの被害	
大修理が必要	211
小修理が必要	544
(4) 遺跡の被害	
大修理が必要	14
小修理が必要	104
(5) 住家の被害	
大修理が必要	4,395戸
小修理が必要	22,235戸
使用不能	7,796戸

出典： (1)～(4)は、10月31日付総理大臣発表による。

(5)は、General Ameen of Local Administrationのデータによる。

被害状況を概観して見ると、まず、死傷者は、カイロ、ギザ、ファイユームが多かった。そのうち、約200人の生徒が亡くなっているが、その多くは地震そのものよりは、パニック状態で逃げようとして階段等に殺到したことによるものであった。ヘリオポリスでは、継ぎ足された古い14階建てのアパートが崩壊して、73名が亡くなった。ただ、幸い地震による火災の発生はなかった。

現地調査で知ることができた範囲では建物被害はギザ及びファイユームで大きかった。被災した学校では、校庭にテントを設営して、その中で授業が再開(10月31日から)されているものもあった。また、被災した住家の近くにテントを張って仮設の住居にしている風景も見られた。これらの例を写真3.10.1～3.10.5に示した。



又、液状化現象がギザの南部エルアライヤットとダシヨールの間で観察されたが、液状化による住家等の被害はみられなかった。また、土木建造物の被害は小さかった。

上記の建物の被災度診断は、地震後、多くのエンジニアによって取り急ぎ行われたものである。このために、学校施設の被災度診断のための調査票が教育省によって準備された。しかしながら、結果的に主としてエンジニアの個人的主観によって診断されたために、まだ多くの建物が“使用不能”に分類されており、それらの中には、修理したり、補強することによって使用できるものも含まれていると思われる。このようなことを避けるためには、付録I-8、9、10に示したように、建築物の構造様式ごとに、被災度診断の為のガイドラインを開発すべきである。

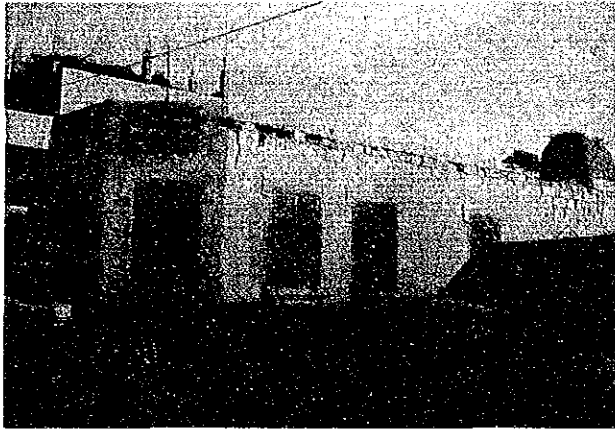


写真3.10.1 被災した学校 (El Aiyatにて)



写真3.10.2 テントでの授業 (El Aiyatにて)

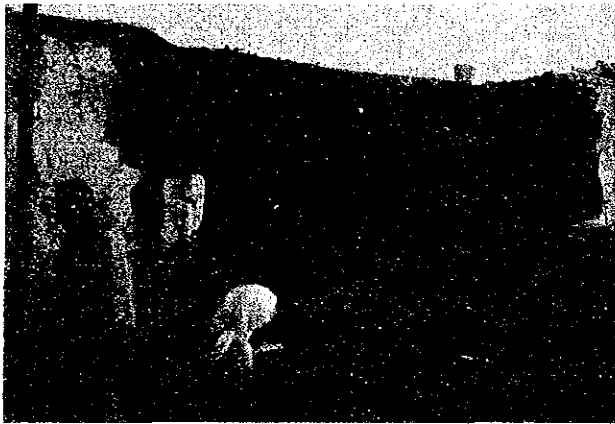


写真3.10.3 被災した住家 (Al Aiyatにて)



写真3.10.4 テントでの生活 (Al Aiyatにて)



写真3.10.5 テントでの生活 (Al Aiyatにて)

### 3.11 建築物の被害

#### 3.11.1 概要

緊急援助隊チームはカイロ市街の東部、ギザ市街、ギザ郊外、ファヒューム北部の4つの地域において建築物の地震被害調査を行った。

概略的には、地震学的見地から推定された震度にほぼ見合った建築物の被害が生じており、また被害率もそれを裏づけていると言えよう。

建築物の著しい被害はアドベ（日ほしレンガ造）や古い無補強の組積造建築物及び構造設計されていない鉄筋コンクリート造に集中していると言える。一方、超高層建築物の被害例は報告されていない（写真3.11.1, 3.11.2参照）。

#### 3.11.2 構造種別地震被害

##### (1) 組積造

多くのアドベや無補強のレンガ組積造の建築物が完全に倒壊あるいは極めて大きな被害を被った事が報告されている。

カイロ旧市街には3～5階建のこれらの古い組積造の建築物が集中している。これらは主として、住居として供されているが材料の劣化が著しく被害率も高い（写真3.11.3～3.11.5参照）。

また階数についても、組積造でこのような階数を有する事は地震活性度の高い国々ではまず考えられないことである。新たに建設する費用をも上回るような経費をかける事なく、これらの建築物を修理あるいは補強する事はほとんど不可能と考えられる。またこれらの建物の一部では角材を使ったいわゆるつつかい棒による応急補強を行っている（写真3.11.6参照）。重量のある組積造のような建物に対してこのような補強による効果には疑問が多い。早急に何らかの対策が必要と考えられる。なお、これらの建築物には石造のカンティレバーの階段が内部に設けられており、数棟の建築物でその被害が観察された（写真3.11.7, 3.11.8参照）。

エジプトでは、古いモスクのほとんどは石造であり、それらのいくつかは大きな被害をうけている（写真3.11.9～3.11.12参照）。ただしこれらの建築物で観察された被害の内のある程度は今回の地震以前から生じていた可能性が高い。いずれにしてもこれらは歴史的な建築物であり、エポキシモルタルの注入等の恒久的な復旧対策が望まれる。なお屋根の架構形式及びドームの構造については構造的な詳細の改良が必要と思われる。また郊外では、モスク以外の石造の学校や住居建築物の被害例も見られた（写真3.11.13, 3.11.14参照）。

エジプトの農村の典型的な住居建築物であるアドベ造（写真3.11.15, 3.11.16参照）は屋根の構造に大きな特徴があり、このことがアドベ造の被害を大きくしているようである。即ちエジプトでは、屋根形式を下から、対面する耐力壁の頂部間に横架材（主として椰子の木）を単純支持形式で渡し、その上に椰子の葉

の莖の層を形成し、その上に泥土をおき最上部に軽量の枯れた植物を載せている。従って主として泥土層の厚さによって屋根の重量が異なる。今回のアドベ造の被害はこの屋根の重量によって二つの形式に分類される。うち一つは重い屋根形式に見られる横架材の中央部の曲げ破壊による被害（写真3.11.17, 3.11.8参照）である。もう一つは軽い屋根形式にみられる被害であり、屋根形式が耐力壁の面外方向の動きに対してほとんど抵抗しえない事から生じた耐力壁の面外方向の転倒による被害（写真3.11.19, 3.11.20参照）である。

アドベ造に対する今後の地震対策にはこのような被害を十分配慮して行う必要がある。

## (2) 鉄筋コンクリート造

鉄筋コンクリート造の被害を述べる前にここではまずエジプトの鉄筋コンクリート造の概要を述べる。

コンクリートについては、一般に20~30MPaの圧縮強度のコンクリートが用いられていると言われる。骨材には最大寸法に規定があるが、既定値を大幅に上回る5cmを上回るような粒径のものも実際には使用されている（写真3.11.21参照）。

鉄筋は数年前から異径鉄筋が国内で生産され始め土木構造物や超高層の建築物で使用されてきているが、一般の建築物のほとんどは丸鋼を使用しているようである。

施工的な関点から特に改良した方が良いと思われる点としては、コンクリートの打つ継ぎ不良の改善及び配筋詳細の改良が挙げられる。このうちコンクリートの打ち継ぎ不良は、木材が豊富でない為良い型枠材が得られない事にも起因しているようである（写真3.11.22, 3.11.23参照）。一方、配筋詳細については、主筋の重ね継手においてフックを設けない例やせん断補強筋の端部を135°フックとせず90°フックとしている例が見られた（写真3.11.24, 3.11.25参照）。このような配筋は地震国では推奨されない配筋詳細であり、今後改善が望まれる。

なお住居建築物の平面形は柱芯が一般的にずれているケース（写真3.11.26参照）が多いようである。このように柱芯がずれた建物は水平荷重に対してはあまりよい構造性能を有しない事に注意する必要がある。

被害については、違法あるいは施工不良建物に集中している。違法建物の代表的な例としては階数を違法に増設した建築物が挙げられる。このような建築物はエジプトでは多く見られ、確認申請後、申請した階数を越えて上層階が違法に増設されていると報告されている。RC造の高層建築物で唯一完全に崩壊し60人を越える犠牲者を出したヘリオポリスの14階のフレーム形式の建物もそのような違法建築物の一つであり、当初8階建てで確認申請を取った建物に上部6階が増設されたと言われている（写真3.11.27, 3.11.28参照）。本建築物の平面形は現在のエジプトの中高層住宅の典型的な平面形であり、前述のように柱芯が不揃いである（写真3.11.29参照）。また柱は偏平な断面を有しており主筋には丸鋼が使用されていた（写真3.11.30参照）。配筋は我が国の壁式ラーメン構造の壁柱に極めて近い。本建築物は数分間大きく揺れた後崩壊したことが報告されている。また増設した境界にあたる8階あたりがまず崩壊し、このような全体崩壊に至ったと言われている。

一方、施工不良の建築物の代表的な例として学校建築物が挙げられる。これは、学校建築物が公共の建築物である事から、現在のエジプトの建築物の品質保障の重要な鍵となっている民間の建築物に対する保険

制度の枠外にあり、十分な検査が行われていない為と言われている。このためコンクリートの品質や施工も一般に悪い。今回の地震以前に既に構造体に被害が生じていた建築物も見られた（写真3.11.31, 3.11.32参照）。

また施工不良というよりはむしろ構造計画の不備とも言えるものであるが、建物棟間のエキスパンションジョイントの間隔がほとんどとられていないことから、建物の衝突による被害が多く見られた（写真3.11.33～3.11.36参照）。このように学校建築物でエキスパンションが多く設けられているのは国の予算が年度毎に決められることに起因していると考えられる。建築物の衝突は1985年のメキシコ地震で見られたように想像を越える被害をもたらし、今回の地震においてもエキスパンション部の被害だけでなく、柱やレンガ壁のせん断破壊を生じさせている。なおこれらの破壊した柱内には規準で定められた間隔でのせん断補強筋が配筋されておらず（ほとんど確認されなかった）このことも被害を大きくした要因の一つであると言える。

### (3) 合成構造

エジプトの古い建築物ではアドベやレンガ造、石造及び鉄筋コンクリート造等異種の構造を平面的あるいは立面的に使い分けている。これらの建築物では弱い構造形式の部分が大きな被害を受けている。

### (4) 鉄骨造

鉄骨造の建築物の被害の報告はなされていない。また超高層建築物で使用されている鉄骨造と鉄筋コンクリート造の混合構造の建築物の被害も報告されていない。

### (5) 住宅

#### 1) 住宅被害の概要

住宅の被害はギザ（Giza）州が最も大きく、特にアライヤット（El Aiyat）市周辺の農村集落が大きな被害を受けた。

たとえば、震源近くに位置するベルワシ（Ber wash）村 一人口約5,000人、戸数約1,000戸 一で、我々調査団が聞いたところによれば、

- ① 死亡 16名（内1名は崩壊した学校で死亡）
- ② 負傷 約100名
- ③ 崩壊 約300戸（全戸数の30%）
- ④ 大きな被害を受けた住宅 約500戸（全戸数の50%）
- ⑤ 軽い被害を受けた住宅 約100戸（全戸数の10%）
- ⑥ 現在1,000～1,500名がテント生活という被害状況の説明があった。（写真3.11.37～39）

住宅省（Ministry of Housing and Communities）によれば、都市部ではカイロ市等の老朽密集住宅地が大きな被害を受け、崩壊または修理不能な住宅13,000戸、修理可能な被害住宅23,000戸とのことであった。（写真3.11.40, 3.11.41）

## 2) 被災者への住宅対策

これらの被災者に対して、エジプト政府は応急対策としてテント等を支給すると共に、ニュータウンに建設中の50,000戸の住宅を被災者用住宅に転用することとし、その完成を急がせていた。また更に、「地震による被災者補償のための法律（新法）」を準備中とのことであった。

## 3) 都市住宅の復旧

エジプト政府は、住宅省、国防技術局、市政府による合同委員会を設置し、地方政府は建物被害を3クラスに分類して被害調査を実施した。第1クラスは使用不能、第2クラスは大規模な修理を要する被害、第3クラスは小さな修理でよい被害である。これらの被害に対する住宅省の復旧方針は、第1クラスは政府が早急に再建する一特にアズハル（Az Har）地区のような歴史的地区、第2クラスも政府により再開発する、第3のクラスは持主が修理する、とのことであった。

## 4) 農村住宅の復旧

農村住宅の復旧について、住宅省は現在2つの案を検討中である。第1案は被害のあった住宅と同じ住宅を再建する方法であり、第2案は新しいタイプの住宅を研究して建設する方法である。いずれにせよ、住宅省は農村住宅の復旧について対応を迫られており、日本の技術協力が期待されていた。

## 5) コメント

農村集落が大きな被害を受けた原因は、その位置が震源に近いため、直下型地震が村々を襲い震度も大きかったことによるが、それに加えて日干レンガ構造と厚い土の屋根が被害を大きくしたといえよう。

従って、日干レンガ以外の構造が新しい建物に採用されるべきである。



写真3.11.1 カイロ市の42階建超高層建築物

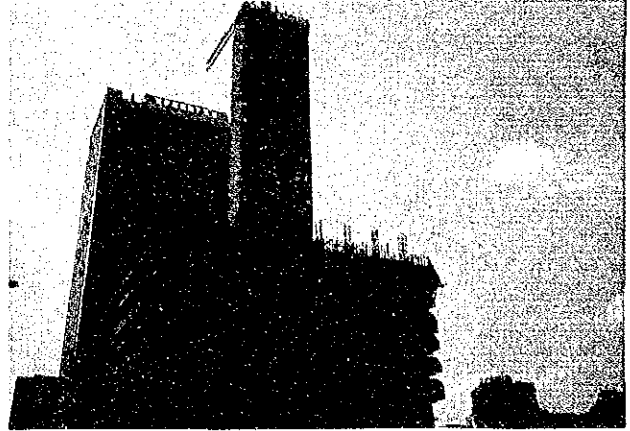


写真3.11.2 建築中の超高層鉄筋コンクリート造建築物



写真3.11.3 泥の山となった5階建無筋組積造住宅建築物  
(後方の建築物は同じ形式の建築物)

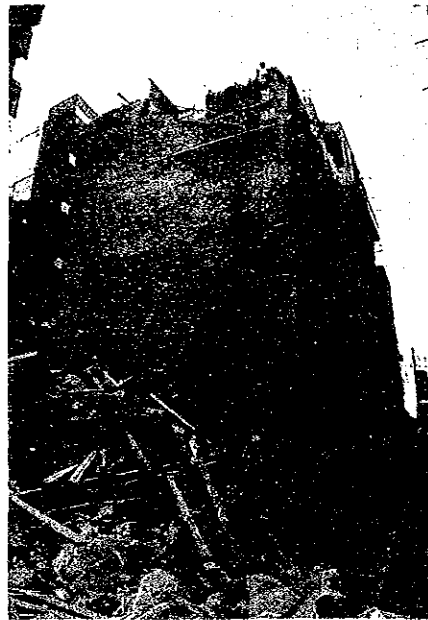


写真3.11.4 写真3.11.3の後方の建築物の拡大写真(材料の品質の劣化が著しく、今にも崩壊しそうである)



写真3.11.5 無筋組積造(両外方向に壁が崩れ落ちている)



写真3.11.6 無筋組積造に対する木材による応急補強例



写真3.11.7 無筋組積造建築物  
内部の石造階段の被害例（その1）

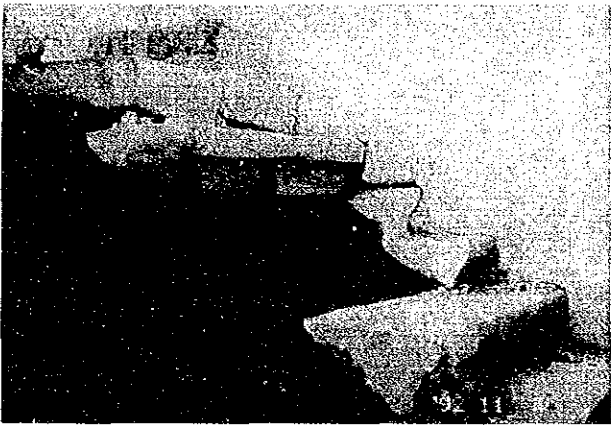


写真3.11.8 無筋組積造建築物  
内部の石造階段の被害例（その2）



写真3.11.9 石造の古いモスク（頂部のドームは落下した）

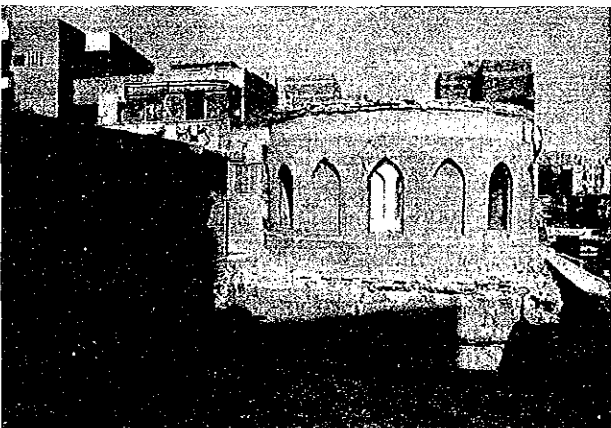


写真3.11.10 落下したドームの下部及び落下したため穴のあいた屋根



写真3.11.11 外壁のひび割れ





写真3.11.12 アーチ部のひび割れとスチールパイプによる応急補強例



写真3.11.13 石造の学校建築物の被害例



写真3.11.14 完全に崩壊した石造建築物



写真3.11.15 崩壊したアドベ造及び避難テント（屋根のある2階部分の被害が極めて多い）



写真3.11.16 アドベに供される日干しレンガ



写真3.11.17 崩壊寸前の屋根

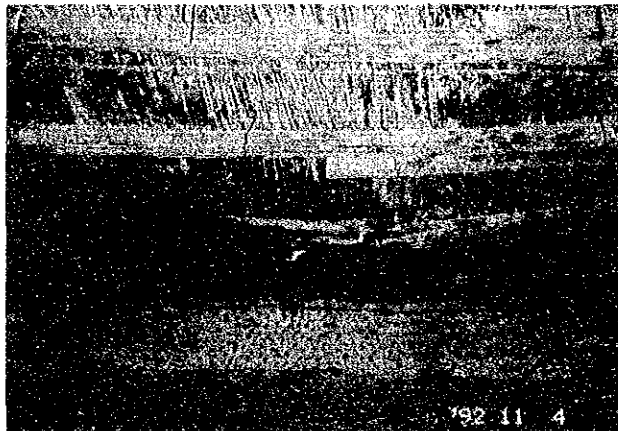


写真3.11.18 鉛直荷重により横架材の中央部が曲げ破壊し崩壊寸前に至っている例



写真3.11.19 壁の面外方向の転倒により崩壊したアドベ

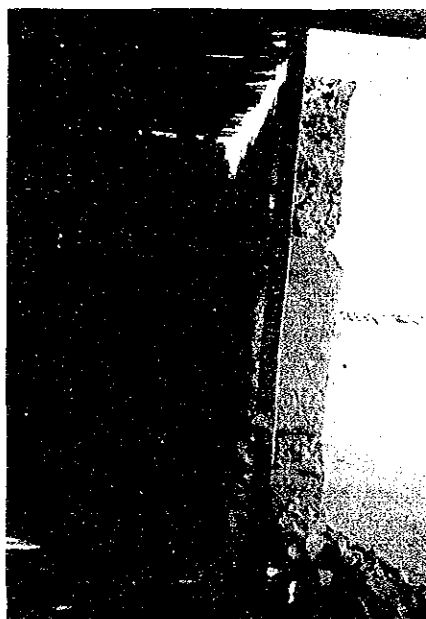


写真3.11.20 両外方向に転倒寸前の壁  
(屋根による壁への拘束がほとんどない)

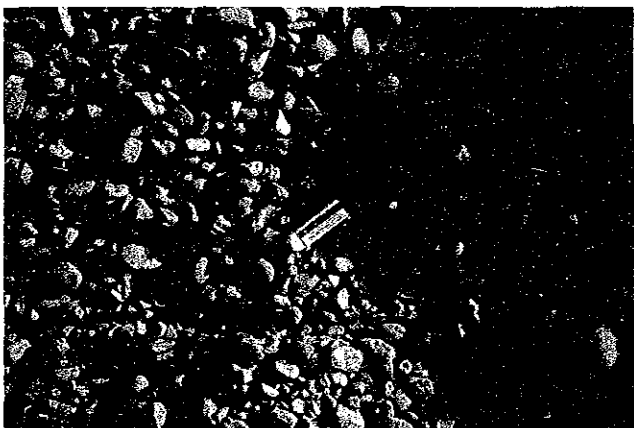


写真3.11.21 コンクリート用骨材 (中央の白いのは消ゴム)

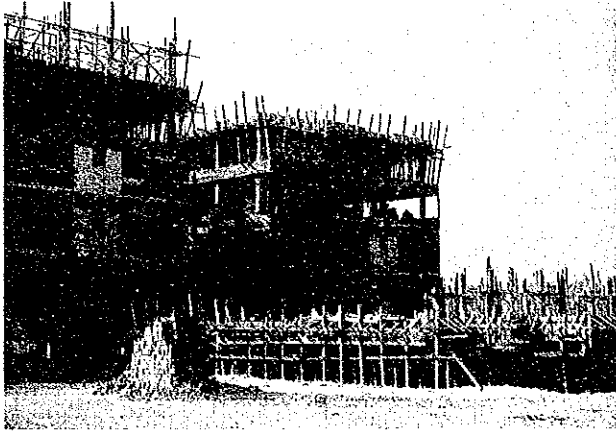


写真3.11.22 建設中の鉄筋コンクリート造住宅建築物



写真3.11.23 柱の打ち継ぎ部（表面処理を行うのが望ましい）



写真3.11.24 柱脚部配筋  
（柱主筋の重ね継手部にはフックを設けるのが望ましい）

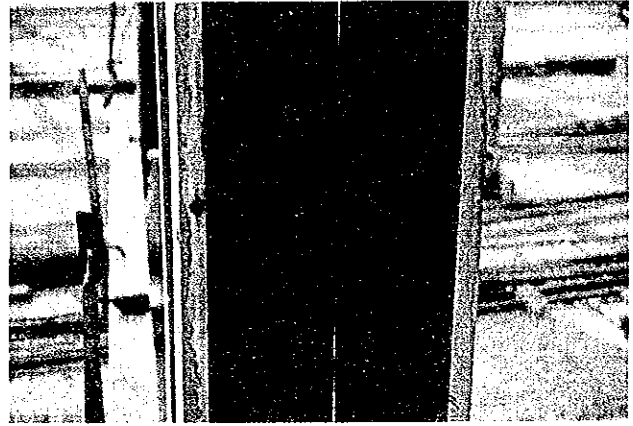


写真3.11.25 柱の配筋（せん断補強筋の端部は135°フックとするのが望ましい）



写真3.11.26 住宅建築物における大梁および小梁  
（柱芯が不揃いである）



写真3.11.27 崩壊したヘリオポリス14階建住居建築物の地震前の写真（The Egyptian Gazette による）

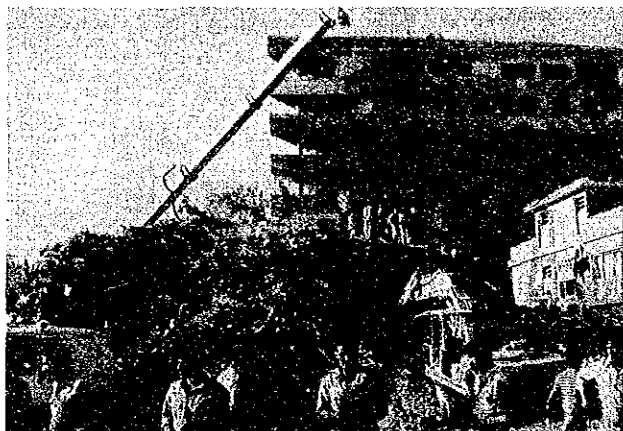


写真3.11.28 崩壊後のヘリオポリス14階建住居建築物  
(鹿島建設 古市氏提供)



写真3.11.29 崩壊後のヘリオポリス14階建住居建築物の基礎



写真3.11.30 崩壊後のヘリオポリス14階建住居建築物の柱の断面  
面および配筋(柱の断面寸法は約130cm×30cm)



写真3.11.31 かぶりコンクリートの脱落及び錆びた梁主筋(位置  
は梁主筋の重ね継ぎ手部で主筋のフック部のかぶり  
コンクリートが脱落している)



写真3.11.32 柱梁接合部の斜めせん断破壊(今回の地震以前に既  
に被害が生じていた)

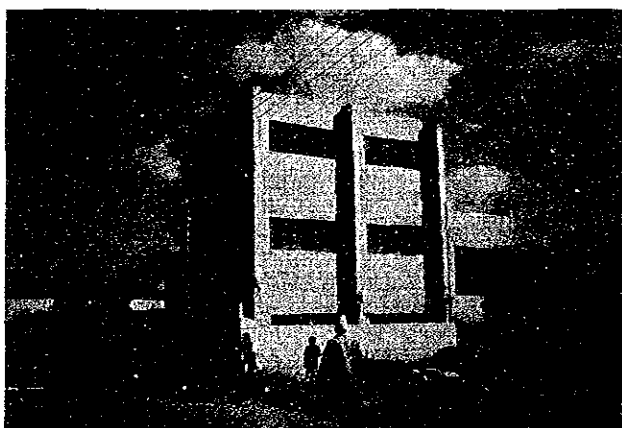


写真3.11.33 衝突により被害が生じた学校建築物の例(その1)  
(高低の差がある所がエキスパンション部)

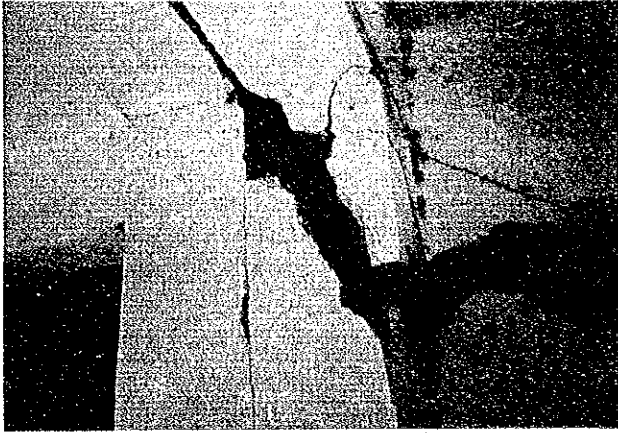


写真3.11.34 同上エキスパンション部の柱のせん断破壊  
(せん断補強筋は見られない)



写真3.11.35 衝突により被害の生じた学校建築物 (その2)



写真3.11.36 同上 柱のせん断破壊



写真3.11.37 農村住宅の被害 (アライアット市周辺)



写真3.11.38 ベルワシ村の石造小学校の被害



写真3.11.39 テントで授業



写真3.11.40 カイロ市内の崩壊した日干レンガ造住宅

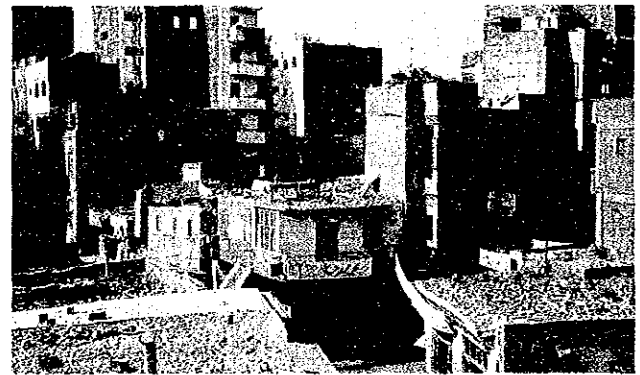


写真3.11.41 カイロ市の住宅密集市街地