

アルジェリア地震  
日本政府派遣技術協力チーム報告書

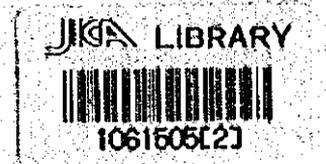
昭和56年10月

国際協力事業団

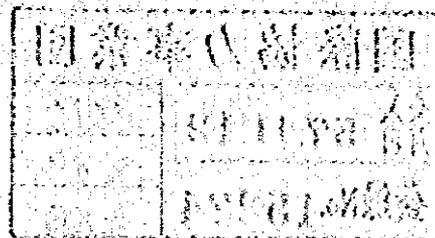
派 二
J R
82 - 13



# アルジェリア地震 日本政府派遣技術協力チーム報告書



昭和56年10月



国際協力事業団

国際協力事業団

受入  
月日 '84.4.17

461

登録No. 03469

55.3

EXS

## はじめに

日本国政府は、アルジェリア国政府の要請に基づき直下型地震に見舞われたエルアスナムの災害復旧の調査、計画策定を行うため1980年12月1日から12月12日まで同国に技術協力チームを派遣した。

同技術協力チームは、12日間亘って現地調査及びアルジェリア国政府関係者との各種協議を行い、帰国後、これらの調査資料等に基づき本報告書をまとめた。

アルジェリア国及び日本国の関係者各位の努力の成果である本報告書が、アルジェリア国の震災復興に資するとともに両国の友好親善の増進に寄与するところがあれば幸いである。

終わりに、本調査の実施にあたり多大の援助を惜しまなかったアルジェリア国政府に対し深甚の謝意を表する次第である。

1981年10月

国際協力事業団

理事 中澤 弼 仁



## 挨拶

震災対策の充実強化は、地震国であるわが国及びアルジェリア国にとっての共通の課題である。日本国派遣アルジェリア地震技術協力チームは、アルジェリア政府との連携のもとに1980年12月1日から12日間、被災地であるエルアスナム県下の地域についての現地調査を含む各種の調査を行った。

調査は、地震観測、耐震建築、耐震土木及び防災体制の4つの分野にわたっている。比較的短い調査期間ではあったが、ブレリ高等教育・科学研究相、ガザリ住宅相、グーゼリルエルアスナム軍管区総司令官をはじめとするアルジェリア国関係者の御協力により、所期の目的を達成することができた。本報告書の提出に当たり、ここに深く感謝の意を表するものである。

本報告書が、エルアスナムの震災復興及び今後のアルジェリア国における震災対策の推進にいささかでも寄与することとなれば幸いである。また、我々技術協力チームは、エルアスナムの震災復興の成功を心から祈るものである。

1981年10月

日本国派遣アルジェリア地震技術協力チーム団長

国土政務次官 大塚雄司

国際協力事業団派遣地震専門家グループ代表

(前)建設省建築研究所長 中野清司

気象庁観測部長 末広重二



# 目 次

第1章 序 説	1
1-1 技術協力チームの派遣目的	1
1-2 技術協力チームの構成	1
1-3 調査日程及び調査活動	2
第2章 アルジェリアの地震	5
2-1 アルジェリアのサイスミシティ	5
2-2 1980年10月10日の地震	8
2-3 アルジェリアの地震観測	11
2-4 提 言	11
第3章 地盤の震動特性および土木施設の被害と復旧	15
3-1 概 説	15
3-2 基盤加速度の推定	15
3-3 エル・アスナム市の地盤構成	21
3-4 地盤の震動応答特性	29
3-5 土木施設の震害および機能障害	36
3-6 機能障害の回復および施設の復旧	49
3-7 道路橋の震害例と解析	50
3-8 提 言	52
補 1980年10月10日エル・アスナム地震調査表	53
(1) ライフライン施設の被害調査表	53
(2) 地震の応急対策現地調査表	57
第4章 アルジェリアの建築行政の現状	61
4-1 アルジェリアの建築行政の概要	61
4-2 アルジェリアの耐震関連法規	62
第5章 建築物の被害及びその特徴	81
5-1 今回の地震による建築物の被害の概要	81
5-2 構造形式別にみた建築物の被害とその特徴	85
5-3 被害の特性	86

5-4	エルアスナム市内等建物の被害の実例	86
5-5	コンクリートの品質	93
5-6	建物及び地盤の振動特性	97
5-7	SEMPAC製粉工場の耐力調査	102
5-8	東部住宅の耐力調査	108
5-9	提 言	112
第6章	1980年10月10日の地震と災害応急対策の概要	113
6-1	地震災害の状況	113
6-2	災害応急対策の状況	114
6-3	アルジェリアの防災体制	116
第7章	地震についての科学技術の国際協力	119
第8章	アルジェリア国家調整委員会に提出した暫定レポート	121
(参考)	日本の震災対策への教訓	132

# 第1章 序 説

## 1-1 技術協力チームの派遣目的

1980年10月10日12時25分頃(UT)にアルジェリア北西部で発生したマグニチュード7.3(GS)の大地震は、エルアスナム県の県都エルアスナム市を中心に大きな被害をもたらした。

日本国政府は、アルジェリアの甚大な被害状況を勘案し、人道的立場から、また、同国との友好関係に鑑み、直ちに、総額三億円の緊急援助を行った。また、震災対策に関する科学技術の発展を図るためには、地震災害を受ける諸国が相互に協力を行うことが重要であるとの見地から、アルジェリア政府に対して、我国からの調査団及び専門家を派遣する意向がある旨を申し出た。

これに対し、アルジェリア政府からは、エルアスナムの震災復興計画の策定に資するため、我国の、地震学、地震工学、耐震建築等専門家とアルジェリア政府の専門家とが共同作業を行いたい旨の意向が示された。

日本国政府は、アルジェリア政府の意向をふまえ、外務省及び国土庁を中心に派遣メンバー等についての検討を行った結果、11月30日から12月14日までの間、大塚雅司国土政務次官及び国際協力事業団から派遣される地震専門家グループ8名の総勢9名よりなる「アルジェリア地震技術協力チーム」を派遣することを決定したのである。

## 1-2 技術協力チームの構成

アルジェリア地震技術協力チームの構成は次のとおりである。なお、中野清司建設省建築研究所長及び末広重二気象庁観測部長は、国際協力事業団から派遣された専門家グループの代表として任命された。

氏 名	所属及び職名	専 門 分 野
(団長) 大塚 雅 司	国土政務次官・中央防災会議事務局長	
(副団長) 中野 清 司	建設省建築研究所長	耐震建築
(副団長) 末広 重 二	気象庁観測部長	地震観測
土岐 憲 三	京都大学防災研究所教授	耐震工学
上田 康 二	建設省住宅局建築指導課長	建築基準
栗林 栄 一	建設省土木研究所地震防災部長	耐震土木
長宗 留 男	気象庁観測部地震予知情報室長	地震予知
浜田 和 郎	科学技術庁国立防災科学技術センター主任研究官	地震学
藤田 博 隆	国土庁長官官房防災企画官	地震防災

### 1-3 調査日程及び調査活動

アルジェリア地震技術協力チームの調査日程及び調査活動の概要は、次のとおりである。

月日(時間帯)	調査内容等
11月30日(夜)	新東京国際空港(成田)発
12月1日(午後)	アルジェ空港着 高等教育省ブカリ(M. BOUKARI)次官, 国立天文天体物理地球科学研究所ベンハル(M. BENHALLOU)所長らと今回の調査の基本的考え方について意見交換を行った。
12月2日(午前)	住宅基準庁において, 専門家から, 建築物の被害の状況, 被災建築物の耐震診断の状況, アルジェリアの耐震建築基準等について説明を受けるとともに, 意見交換を行った。(住宅基準庁からは, シャケイ(M. CHAKER)技監他5名が出席した。)
(午後)	国立天文天体物理地球科学研究所, 高等建築学院, 水資源省等の専門家から, 地震観測, 地質研究, 地質研究の状況, 河川及びダムの被害状況等について説明を受けるとともに, 意見交換を行った。(ベンハル(M. BENHALLOU)所長, イケネ(M. IKENE)高等建築学院教授他10数名が出席した。)
12月3日(午前)	ブレリ(M. Abdelhak BRERHI)高等教育大臣を表敬した。
(午後)	ガザリ(M. Ahmed GHAZALI)住宅大臣を表敬した。
12月4日(午前)	エルアスナム市へ移動した。
(午後)	グーゼリル(M. Abbas GHOUZERIL)エルアスナム軍管区総司令官, マグラウイ(M. MAGHRAOUI)エルアスナム県知事, ムルフィ(M. MOULFI)エルアスナム県議会議長らからエルアスナム市の被災後の状況について説明を受けるとともに, 現地における調査活動の実施方法について打合せを行った(注)。 打合せ終了後, エルアスナム市内の被害状況を視察した。
12月5日(午前)	(1) 防災班及び地震班は, 断層の発生状況等に関する調査を行った。 (2) 建築班は, 市内の製粉工場において, 建築物と地盤の固有周期の測定等を行った。 (3) 土木班は, エルアスナム近郊の土木施設の被害状況に関する調査を行った。
(午後)	(1) 地震班はベニラジエッドの現地観測所において, 地震の発生機構, 余震の発生状況等に関する調査を行った。

月日(時間帯)	調査内容等
	<p>(2) 建築班は、午前と同じ。</p> <p>(3) 土木班は、製粉工場、ホテルシェリフ跡地等において地盤特性の測定等を行った。防災班はこれに同道した。</p>
<p>12月6日(午前)</p> <p>(午後)</p>	<p>(1) 防災班、地震班及び土木班は、軍の協力により、軍用ヘリコプターで上空から被災地の状況を視察した。</p> <p>(2) 建築班は、市内の建築中の団地において、建築物と地盤の固有周期の測定等を行った。</p> <hr/> <p>(1) 建築班は午前と同じ。</p> <p>(2) 土木班は、市内の建築中の団地において地盤特性の測定等を行った。防災班及び地震班はこれに同道した。</p>
<p>12月7日(午前)</p> <p>(午後)</p>	<p>(1) 大塚団長及び中野副団長は、現地調査及びそれに基づく解析によって得られた見解の概要について、グーゼリル総司令官に報告を行った。</p> <p>(2) 防災班及び土木班はエルアスナム県庁において、今回の地震による人的及び物的被害の特徴、災害応急対策の実施状況等に関する調査を行った。</p> <p>(3) 地震班は、ベニラシェッドの現地観測所等において、地震の発生機構等に関する調査を行った。</p> <p>(4) 建築班は、エルアスナム近郊の建築物の被害状況に関する調査を行った。</p> <hr/> <p>(1) 地震班及び建築班はそれぞれ午前と同じ。</p> <p>(2) 土木班は、エルアスナム近郊の土木施設の被害状況に関する調査を行った。</p>
<p>12月8日(午前)</p> <p>(午後)</p>	<p>アルジェへ移動した。</p> <hr/> <p>住宅基準庁、国立天文天体物理地球科学研究所の専門家と個別に意見交換を行った。</p>
<p>12月9日(午前)</p>	<p>高等教育省において、関係省庁の専門家に対して、技術協力チームが現地調査を経てとりまとめた見解を説明し、意見交換を行った。(テバル(M. TEBBAL)住宅基準庁長官、ベンハルCNAAG所長他10数名が出席した。)</p>
<p>12月10日(午前)</p>	<p>大塚団長からベンプリィディア(M. BEN BLIDIA)国家調整委員会委員長に対して暫定報告書を提出した。</p>

月日(時間帯)	調査内容等
(午後)	大塚団長アルジェ発。
12月12日(午前)	副団長以下団員アルジェ発。

(注) 現地においては、次の班別により調査活動を行った。

防災班 …… 大塚雄司団長，藤田博隆

地震班 …… 末広重二副団長，長宗留男，浜田和郎

建築班 …… 中野清司副団長，上田康二

土木班 …… 土岐憲三，栗林栄一

なお、建築班と土木班には日本建築学会が派遣した10名の調査団が行動を共にし、各種の実験の実施等に協力を行った。

## 第2章 アルジェリアの地震

### 2-1 アルジェリアのサイスミシティ

アルジェリア北部の地中海沿岸地域は、地震活動の活発なところで、歴史的にも被害地震が多数発生している。

最近のプレートテクトニクスの理論によると、アフリカ北部、すなわちモロッコ、アルジェリア北部地域は、アフリカプレートとユーラシアプレートの接触部分になっている。この部分ではプレートが互いに押し合っており、これがこの地域に発生する地震の原動力になっていると考えられている。

この地域では、例えばわが国の太平洋側の沖合いで発生する、プレートの潜り込みによると考えられている巨大地震のような、M8級の大地震が起ることはないが、M7級あるいはそれ以下の地震は多く発生する。第1図に、1951年から1977年までの27年間にアルジェリアに起ったおもな地震の震央を大きさ別に示してある。ただし、1970年まではRoussel(1973)の資料、それ以後はISC(International Seismological Centre)の資料によった。

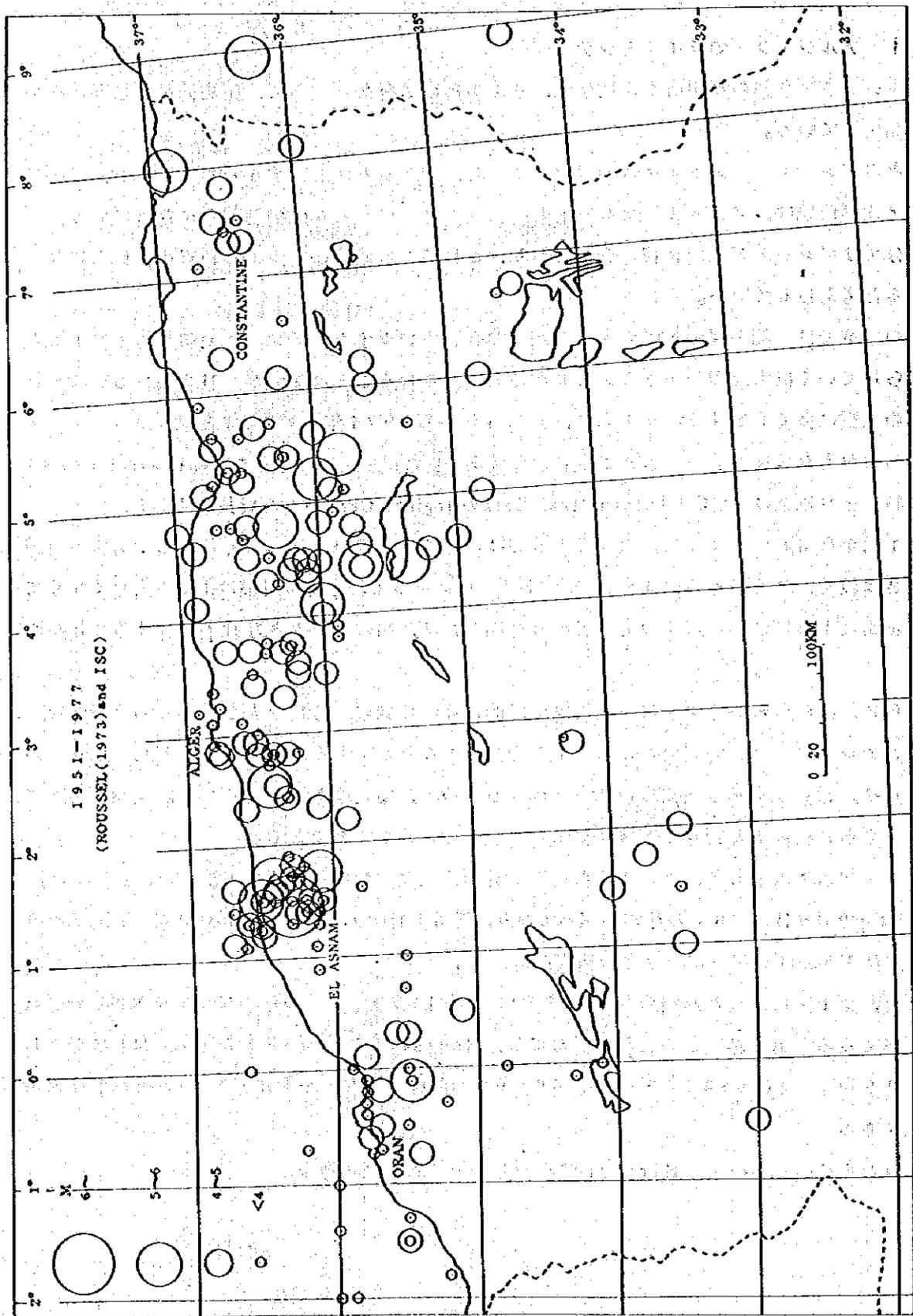
第1図からもわかるように、大部分の地震は陸地で起っている。しかもこれらの地震の震源の深さは浅く、多くのものは5~10kmである。したがって、地震の規模はあまり大きくなくても、市街地あるいはその近くの直下で起った場合には、局部的に大きな被害を生ずることがある。

さらに、図からわかるように、地震は地理的にこの地域に一様に分布しているわけではなく、サイスミシティの比較的高いところとそうでないところとがある。ただし、これらの地震の震源決定は、遠距離にある観測点のデータによるもので、精度はあまりよくない。後述のように、これをさらに精度よく行うことは地震防災上極めて重要なことである。

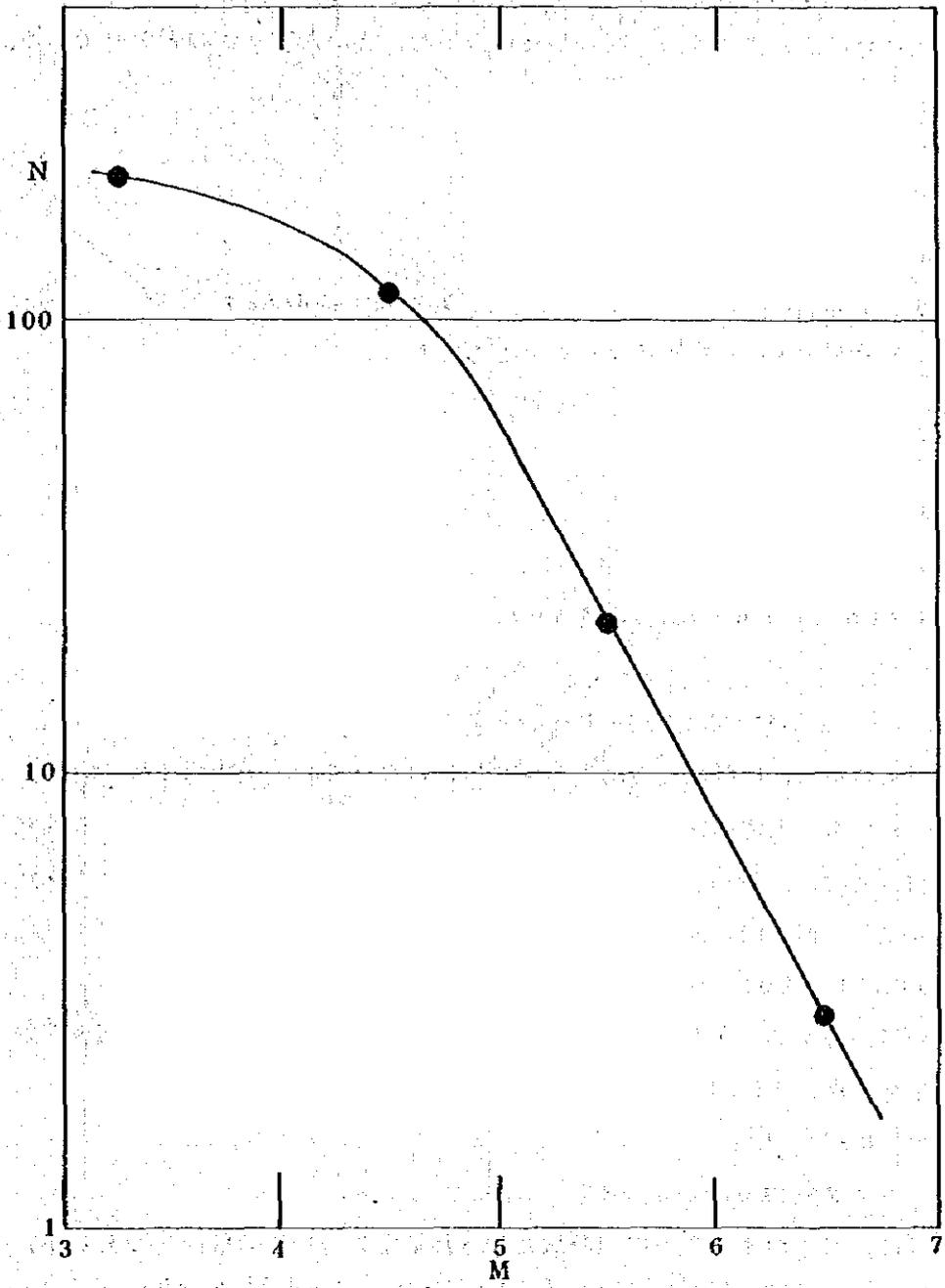
エル・アスナム地方は、このような地震活動の活発な地域の1つである。この地方には、1954年9月9日にM6.7の地震が起っており、死者1,400人、負傷者14,000人、住家18,000戸、非住家35,000戸破損、などの被害があった。

また、第1図に示した地震のうち、1951年から1970年までの地震についてM別度数分布を調べてみると第2図のようになる。ただし、Roussel(1973)の資料から、Mの値がそれぞれ3.9以下、4.0~4.9、5.0~5.9、6.0~6.9の数に直した結果を示したもので、縦軸は累積度数である。

これからGutenberg-Richterの式のbの値は約0.9になる。



第1図 アルジェリアにおける地震の震央分布図



第2図 アルジェリアの地震のM別度数分布図  
Roussel (1973)の資料による

## 2-2 1980年10月10日の地震

米国地質調査局 (United States Geological Survey, USGS) が全地球的観測値を用いて緊急に決めた結果によれば、今回の地震の震源時、震源などは次のとおりである。

震源時：10月10日

12時25分23.7秒 (UT)

震 央：36°143'N, 1°413'E

深 さ：10 km

規模 (MS)：7.3 (GS), 7.7 (Berkeley), 7.2 (Pasadena)

震央は、エル・アスナムの東南東約7 kmのところである。

本震の約3時間後、最大の余震が発生したが、この余震の震源時などは次のとおりである (USGSによる)。

震源時：10月10日

15時39分09.8秒 (UT)

震 源：36.210°N, 1.632°E, 深さ10 km

規 模：MS 6.0

(最大余震は、本震の震源の東北東「二」十数 km のところで起っている。)

本震の震源の南西から、ほぼ北東方向に三十数 km にわたって断層が観測されている。また、アルジェリア国立天文・天体物理・地球科学研究所 (CNAAG) およびフランス国立天文・地球物理研究所合同の余震観測チームによる余震観測結果によると、図に示したように、余震は断層を含み北東～南西方向に伸びた長円内に分布している。この長円の長径および短径は、それぞれ約55 km および20 km でその面積は約  $8.6 \times 10^2 \text{ km}^2$  である。

今回の地震のMの値 (7.3) を、地震の規模Mと余震域の面積S (km<sup>2</sup>) との関係を表わす宇津・関の式 (宇津・関, 1955)

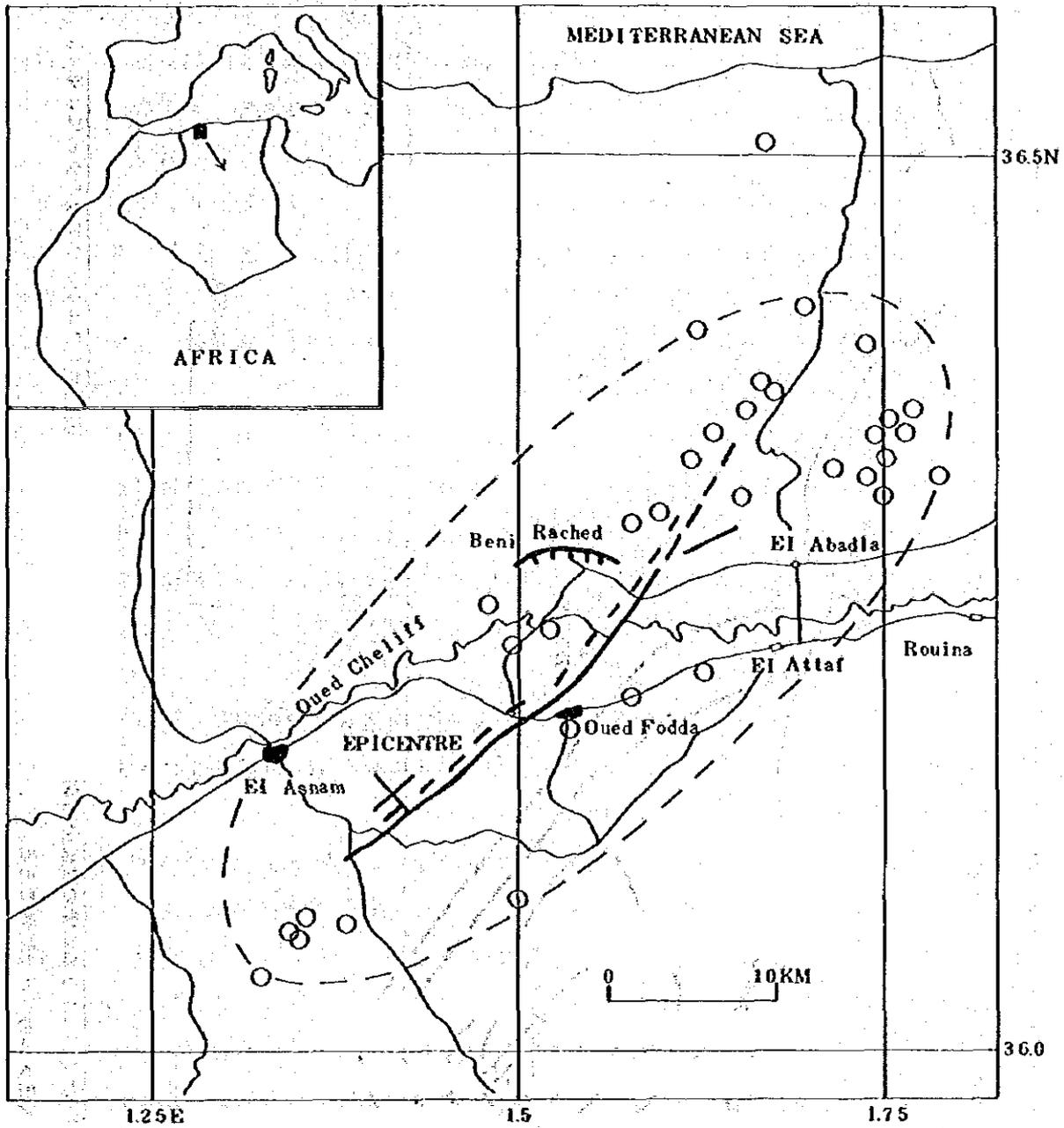
$$\log S = 1.02M - 4.0$$

に代入すると、 $S \approx 28 \times 10^2 \text{ km}^2$  となる。

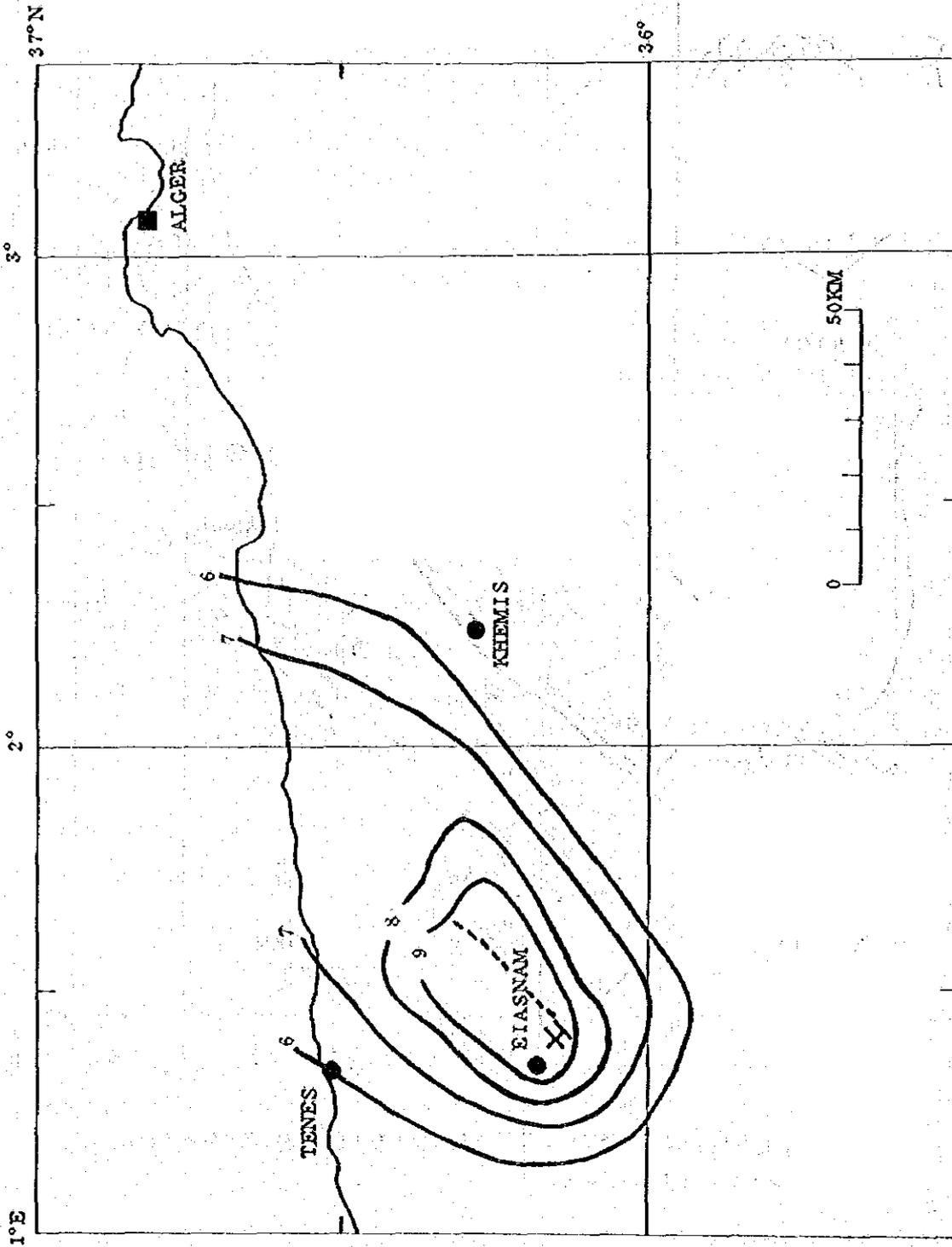
宇津・関の式は、日本およびその周辺海域に起った地震についての統計式であるが、一般に内陸の地震では海域の地震に比べて、Mの値は同じでも、余震域の面積が系統的にかなり小さくなっている。

今回の地震面積は、日本およびその付近の地震についての平均的余震面積に比べ約1/3でかなり小さいが、これは内陸性の地震の特性であると考えられる。なお、この余震域が、おおよそその震源域を表わしていると考えてさしつかえないであろう。

本震の震源において始まった破壊は、主として北東方向に伝播したと考えられる。このことは等震溝線の型からも想像される。すなわち、第4図でわかるように、震源域の南西側では等震溝線の間隔が狭くなっているのに比べて北東側では間隔が異常に広がっており、全体とし



第3図 1980年10月10日の地震による断層(太線)および余震の震央分布(白丸)  
 (アルジェリア政府資料による。)



第4図 1980年10月10日の地震の震度分布図。×印は本震の震央、点線は断層を表わす（アルジェリア政府資料による）。  
震度は改正メルカリ震度階級である。

て等震線は北東方向に伸びている。

ところで、アルジェリアにおける地震は、アフリカプレートとユーラシアプレートとの相対運動によって起ると考えられているが、プレートの運動は絶え間なく続いている。したがって、したがって、アルジェリア北部では、これからもM7級の地震が繰り返されるであろうことは間違いない。

さらに次のような事柄も十分考慮する必要がある。すなわち、アフリカ北部の地中海沿岸地域、バルカン半島、トルコ、イラン、ヒマラヤ、など、いわゆる中緯度の地震帯における地震活動にはかなりはっきりした周期性が認められる。しかも1973年の中国の地震、1976年のイタリア北部の地震、1978年の日本の地震（伊豆大島近海地震や宮城県沖地震）、同じく1978年のイラン北部の地震、1979年のバルカン半島（アルバニア）の地震、さらには今回のエル・アスナムの地震、この約1か月後に起ったイタリア南部の地震、などのように、現在の中緯度地震帯は活動期にあると思われる。

この地帯の地震の活動期は約15年間で、次の約15年は平穏期になる。すなわち約30年の周期で活動期が繰り返されている。このことは、エル・アスナム地区における前回の大きな地震が26年前の1954年であったことも一致している。

### 2-3 アルジェリアの地震観測

先にも述べたように、アルジェリア北部は地震活動の活発なところであり、多くの地震が発生している。一方、アルジェリアにおける地震観測網としては、ISCの報告（1977年後半）によると、7か所の定常的観測所があり、これらの観測点におけるデータは、全地球的な観測データとして大いに寄与している。

7か所の観測点のうち5点は、比較的地震の多い北部に集中して分布しているが、これらのうち2つはいずれもアルゼー市内にある。したがって観測網としては4点と同等であり、隣接の観測所までの距離は最も近い場合でも170~180kmある。しかもこの地域の地形を反映して、観測点はほぼ東西方向に並んでいる。

現在の観測網は、観測点の数から言ってもそれらの配置から言っても、この地域の地震を検知し、震源を求めるためには決して十分でない。

### 2-4 提 言

地震の災害を防止・軽減するための基本対策の1つは、その地域のサイスミンティを細かく把握することである。地球上のいかなる地域に起る地震も全地球的な観測網によっても検知され、震源が求められている。しかし、このような観測網の持つ能力には自から限界があり、M4~5程度より小さい地震まで完全に検知し正確に震源を求めることは、一般に不可能である。

ところで、地震の数は、マグニチュードが小さくなれば急激に多くなる。アルジェリアにお

ける地震の場合は2-1節の最後に述べたように、Gutenberg-Richterの式のbの値は約0.9でありMが1小さくなると地震の回数は約8倍になる。したがって、例えばM3程度までの地震について震源を決めることができれば、比較的短期間で詳細な地震活動図を作成することができる。なお、より正確な震源を求めるためには、極力震源に近いところに観測点を配置し、これらの観測点における観測データによって震源決定を行うことが必要である。すなわち、自国だけの観測データによって十分な精度で震源が決められるような、観測点および配置を含めた観測網の整備が必要である。

前にも述べたように、第1図は比較的震源決定精度の劣る、国外の遠距離観測点のデータによって求められたものであるが、地震は決して地理的に一様に起っているのではなく、サイスミシティの比較的高いところと低いところがあることがわかる。国内の観測網を整備し、より確からしい震源を求めることによって、地震の起るところと起らないところをもっと細かく区別できるような、より細かなサイスミシティ マップを作ることができる。

アルジェリアでは、震源域(建築物等に多大の影響がある範囲)が100kmあるいはそれ以上に及ぶような、巨大地震が起るおそれはなく、最大の地震でもM7級のものと考えてよいであろう。M7級の地震の震源域は、今回の地震でもわかるように、30~40km程度である。地震の起るおそれのある地域を限定することができれば、耐震工学等にも直ちにこれを反映させることが可能になる。

このように、詳細なサイスミシティ マップは地震防災上重要な基礎資料となるものである。観測網を整備することのもう1つの利点は、時々刻々の地震活動の変化を常時監視できることである。これによって、アルジェリアにおける地震発生の機構を解明することが可能になる。さらにこのことは、情報の発表・伝達のための体制の整備と相まって、直接防災に寄与するとともに、将来の地震予知研究のための基礎になるものである。

以上述べたように、アルジェリアにおいて発生する地震のうち、M3程度以上のものについては、国内の観測網によって検知し、震源決定ができる程度に施設を整備することが望ましいが、観測網の整備にあたっては、観測点数、観測点の配置、地震計の性能、観測データの整理方法、などについて総合的に検討して計画案を作る必要がある。これらの事柄について日本の持っている技術・経験はアルジェリア政府のために大いに役立つものと考えられる。さらにわれわれは、観測網の整備および運営のための技術者の研修などについても、協力できるものと思う。

#### 参考文献

- Roussel, J. (1973) : L'Activite Sismique en Algerie de 1951 a 1970, inclus, Bull. de la Soc. Hist. Nat. d'Af. du Nord, t. 64, fasc. 3 et 4. 185~210.

宇津徳治・関彰(1955):余震区域の面積と本震のエネルギーとの関係,地震2,7,233

-240-



## 第3章 地盤の震動特性および土木施設の被害と復旧

### 3-1 概 説

1980年10月10日(金)の正午過ぎに起きたエル・アスナム地震は、いわゆる直下型地震であった。地表に現われた断層の枝端は国道、鉄道、河川、地中管路、地中線等を切断し、それらの経路の一部に重大な損傷を与えた。また、強い震動によって各種の土木施設が損傷を蒙った(図3.1参照)。

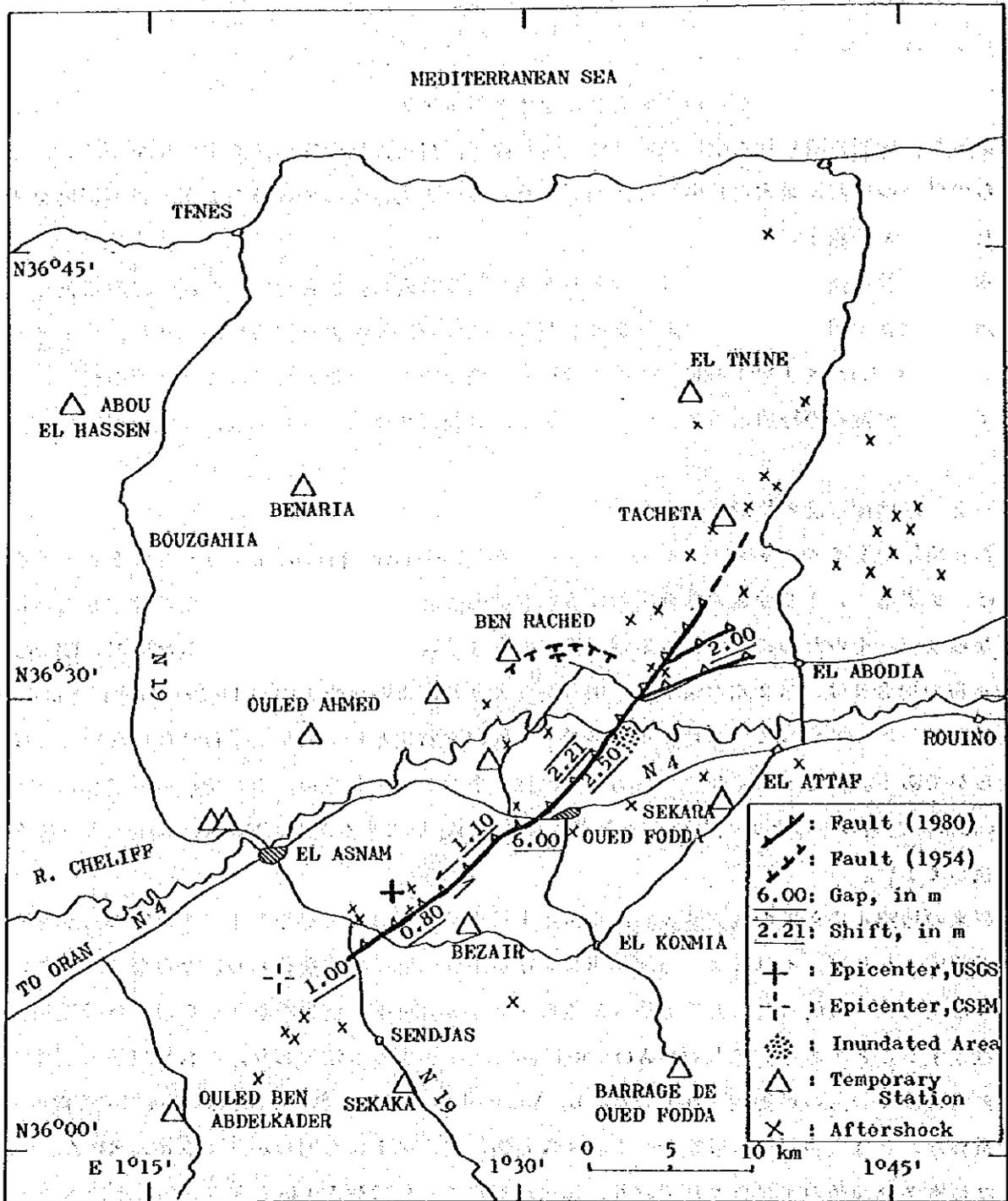
本章では地震基盤において生じたであろう地震動の強度の推定を行い、これと市内で実施した弾性波探査で明らかにされた地盤構成とから、地盤の応答解析を実施した。また、ライフライン(Life-Lines)を中心に土木施設の震害と機能障害、機能と回復および施設の復旧について述べ、構造物の地震応答についても補筆し、最後に今後採るべき施策について提言する。

### 3-2 基盤加速度の推定

ある地域のサイズミック・マイクロゾーニング(Seismic Microzoning)を行おうとする際には、まず第一にその地域の基盤における地震動の強度、一般には最大加速度の設定を行わねばならない。そのためには、当該地域で考慮すべき地震を想定しなければならないが、El Asnam市の場合には、第2章の図1にも明らかなように、市の東南方向約40kmから北西方向60km付近にかけて広がっている地震多発地帯での地震を対象として取り上げねばならないことは明らかである。Algerおよびその東方にも地震の多発地帯があるが、そこでの地震規模はEl Asnam市近辺のものと大差ないことを考えれば、遠距離であるから、El Asnam市への影響を無視してよい。

将来の地震に備えての地震防災計画の策定や被害予測において対象とすべき地震の震央や断層が想定されれば、それにより当該都市における地動強度の推定を行わねばならないが、このような場合に一般的に行われる方法は地震のマグニチュードと震央距離とから最大加速度振幅を推定することである。すなわちAttenuation curveによる推定であり、これに属する関係式は非常に多くのもが提案されている。El Asnam市の場合にこれらの関係式を適用する際に最も重要なことは震央距離の設定である。すなわち、先の図1にも明らかなように、El Asnam市は地震多発地帯の中に含まれており、震央距離が平均して数10kmと非常に短いことである。一般のAttenuation Curveにおいては震央距離の短い所での精度は著しく低下するが、それは以下のような理由によるものである。

いま、図3.2に示すごとく、地点SからRだけ離れた地点に震央を持つ断層ABを考える。断層の長さABに比較して震央距離Rが十分に大きければ、距離SAとSEとはほぼ同じとみなせる。したがって、このような場合には断層線がどのような方向に展開しているかには無関係に、地震の位置関係としては震央距離Rだけで表わしたことになる。これは換言すれば、断



EL ASNAM EARTHQUAKE OF OCTOBER 10TH, 1980, M=7.5

図 3.1 El Asnam市と震央ならびに断層の関係

層の広がりを無視して点Eにすべてを集中させたことになるが、また、Sの回りの等距離Rの位置に円弧状に断層を置き直したとも考えることができる。Attenuation Curveにおいて地震の空間的な位置関係を表わすパラメータは震央距離だけであるから、一般のAttenuation Curveを用いることは、地震の震源に関しては上述のような設定を行っていることになる。

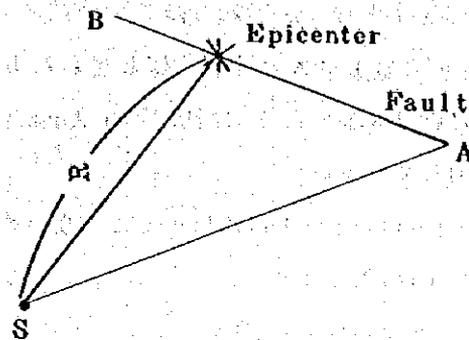


図 3.2

このような、暗黙の想定の下で得られた Attenuation Curve を近距離の地震もしくは断層に適用すると不都合の生じる場合がある。El Asnam地震(1980)における断層、震央および El Asnam市の関係は模式的には図 3.3(a)のように表わせる。これに一般の Attenuation Curve を適用することは図 3.3(b)のように El Asnam市(S)を取り巻いて、等距離Rの位置に断層を配したことになる。

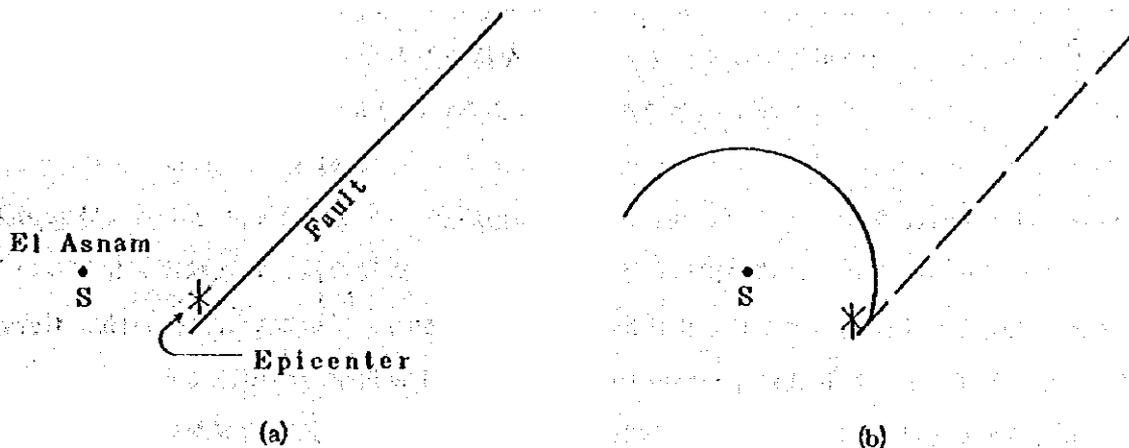


図 3.3

Seedら<sup>1)</sup>による Attenuation Curve は、

$$A = \frac{110 e^{0.8 M}}{R^{1.6}} \quad (\text{for rock site}) \quad (1)$$

で表わされるが、Mがマグニチュード、Rが震央距離であるから、El Asnam地震(1980)

における  $M = 7.5$ ,  $R = 7.5 \text{ km}$  を用いると, 最大加速度  $A$  は  $1766 \text{ gal}$  となる。一方, 土木研究所による Attenuation Curve は地盤種別に応じて異なる関係式が指示されているが, それらのうち, 岩盤もしくはそれに近い地盤に対しては次式で表わされる。

$$A = 28.5 \times 10^{0.297 M} \times R^{-0.593} \quad (R: \text{in km}) \quad (2)$$

この式によれば最大加速度  $A$  は  $305 \text{ gal}$  となる。これらの2つの式による最大加速度振幅はいずれも El Asnam 市の基盤での加速度としては大きすぎる値と思われる。これは, 上記の2つの Attenuation Curve を用いることは図 3.3(b) のように断層が El Asnam 市を取り巻いていると想定したのと同様であることに起因している。

一方, Attenuation Curve によっては近距離地震におけるこのような不都合を補正したものがある。それらの代表的なものとしては,

$$A = 46.0 \times 10^{0.203 M} \times (R + 10)^{-0.686} \quad (\text{土木研究所}) \quad (3)$$

$$A = 1080 \times e^{0.5 M} \times (R + 25)^{-1.32} \quad (\text{Donovan}) \quad (4)$$

$$A = b_1 \times e^{b_2 M} \times (R + 25)^{-b_3} \quad (\text{Blume}) \quad (5)$$

などである。式(5)中の  $b_1 \sim b_3$  は定数である。

これらの諸式はいずれも震央距離  $R$  が零に近くなっても最大加速度があまり大きくならない様に考慮したものであるが, 震央距離  $R$  に  $10$ , もしくは  $25 \text{ km}$  を加えたものによる回帰式が, これらの式による値と実測値との相関度が高くなることにより決められており, 物理的な根拠によるものではない。断層が点でなく, ある広がりを持つことを考慮したものであるならば, これはマグニチュードの関数となるべきであり,  $10$  あるいは  $25 \text{ km}$  という定数となる必然性はない。

Attenuation Curve を用いる際のこうした問題を避ける一つの方法として以下のような考え方について検討を行う。まず, 震央距離の大小に関わらず, 震動の減衰の機構は変化しないものと考え, 式(1)もしくは(2)のように震央距離に対する補正を行っていない Attenuation Curve を用いるものとする。一般に Attenuation Curve においては断層を一つの点で表わしてしまうことに問題があるのは上述のとおりであるから, 図 3.3(a) のような長い断層をいくつかの小さな領域に分割し, それぞれの領域の代表点と  $S$  点との距離を考慮すればよいことになる。この場合に, 断層の分割数の設定方法が問題となるが, その一つの方法として以下のような方法が考えられる。いま, 図 3.3(a) のような断層において, 震央距離を  $R$  とするとき, 同図(b) のように半径  $R$  の同心円状に断層があるものとして, 式(1), (2) などの Attenuation Curve により  $S$  点での最大加速度  $A$  を定める。一方, 実際の地震動は震源で発生した破壊が順次伝播して断層が生じることによるものであることを勘案してこの同心円状の断層をマグニチュードが  $M'$  である

ような  $n$  個の小断層に分割する。このときの  $M'$  は、

$$M > M' \quad (6)$$

である適当な値を設定する。このとき第  $j$  番目の小断層により  $S$  点に生ずる最大加速度を  $a_j$  とする。これらの小断層が  $S$  点に最大加速度を生ぜしめるのは同時刻ではないことを考慮して、同心円状の単一の地震動によるものと、小断層によるものとの最大加速度の実効値が等しいという規範を設ける。すなわち、

$$A = \sqrt{\sum_{j=1}^n \{ a_j (M', R) \}^2} \quad (7)$$

の関係が成立つものとする。  $M'$  を先に設定すれば、  $n$  の値が上の式(7)より定まり、  $n$  を一定とすれば  $M'$  が上式から一義的に決定される。このようにして、小断層の数  $n$  とそれらのマグニチュード  $M'$  が定まれば、これを図 3.3 (a) のように本来の位置を配置し、各小断層の代表位置から  $S$  点までの距離  $\Delta_j$  とから、Attenuation Curve により、 $S$  点における各小断層による最大加速度  $\bar{a}_j$  が定まる。これらの実効値により  $S$  点での最大加速度  $\bar{A}$  が次式で求められる。

$$\bar{A} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \{ \bar{a}_j (\Delta_j) \}^2} \quad (8)$$

El Asnam 地震 (1980) を例として、上述の方法により El Asnam 市の基盤における最大加速度を推定する。この地震の諸元は以下のとおりである。

マグニチュード  $M$  : 7.5

震央距離 : 7 ~ 8 km

震源深さ : 7 ~ 8 km

断層の長さ : 約 30 km

また、El Asnam 市と断層および震央距離の関係は図 3.1 に示されるとおりである。  $M'$  として 5.5、Attenuation Curve として(2)を用いるものとするれば、

$$A = 305 \text{ gal}, a_j (M', R) = 118 \text{ gal}$$

となる。これらを式(7)に用いれば、

$$n = 7$$

となる。

次に、震源深さ  $D$  を 7.5 km とし、これが小断層の中央点にあるものとみなして、全長約 30 km の断層を図 3.4 に示すように 7 つの小断層に分割する。このとき、第  $j$  番目の小断層の震源から El Asnam 市  $S$  迄の距離  $\Delta_j$  は図から容易に定まる。このとき、小断層の鉛直面からの傾斜角度は問題としないものとする。

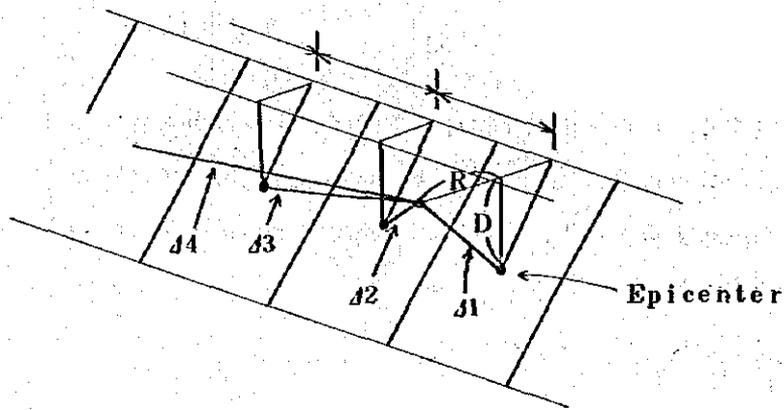


図 3.4

この結果は、

$$\Delta_1 = 10.6 \text{ km}$$

$$\Delta_2 = 11.5 \text{ km}$$

$$\Delta_3 = 13.9 \text{ km}$$

$$\Delta_4 = 17.2 \text{ km}$$

$$\Delta_5 = 20.9 \text{ km}$$

$$\Delta_6 = 24.9 \text{ km}$$

$$\Delta_7 = 29.0 \text{ km}$$

である。M' を 5.5 としているから、これらを式(2)に用いて  $a_s(M', \Delta_i)$  を定めると、式(8)より El Asnam 市における基盤の最大加速度  $\bar{A}$  は、

$$\bar{A} = 198 \text{ gal}$$

となる。これは先述の  $A_{\max}$  と比較すれば 67% であり、断層の部位による当該地点までの距離の違いにより最大加速度が低減する効果が評価できたことになる。

Attenuation Curve として、Seed らによる式(1)を用いた場合には  $\bar{A}$  は 1766 gal となることは前述したが、いま、M' を 5.5 とすれば  $n = 25$  となる。これより  $\bar{A}$  を求めれば  $\bar{A} = 597 \text{ gal}$  となる。また、逆に  $n$  を 7 として、先と同じ  $\Delta_i$  を用いることとすれば、M' = 6.3 となる。これより  $\bar{A}$  を定めれば、 $\bar{A}$  は 629 gal となる。この両者の差は 5% であり、M' と  $n$  のいずれを先に定めても結果には大きな影響を及ぼさないことがわかる。

地盤が洪積地盤である場合には式(2)に代わるものとして次式が提案されている。

$$A = 13.2 \times 10^{0.330 M'} \times \Delta^{-0.806} \quad (9)$$

この式によれば、

$$A = 777 \text{ gal}$$

である。また、 $M' = 5.5$ とすれば  $n = 21$ となり、これより定まる  $A$ は、

$$A = 432 \text{ gal}$$

となる。洪積地盤上での記録から定めたものであるから、ここに得られる最大加速度も El Asnam 市内の洪積地盤の地表面での値と解すべきである。この場合の低減率は 56% である。

### 3-3 エル・アスナム市の地盤構成

El Asnam 市は Chelif 河の河岸段丘に展開しており、地盤としては洪積地盤に相当する。Chelif 河沿いの低地には沖積層もみられるが、ここには家屋や構造物はほとんど存在しない。また、鉄道の駅の南側は丘陵地帯へとつながり、薄い表土の下には丘陵を構成する岩もしくは風化岩の存在が推定される。したがって、El Asnam 市の支持地盤は概して良好な地盤と評価することができる。しかしながら、洪積地盤を支持する岩盤の現われる深さによっては、洪積地盤内での増幅作用の卓越する場合もあるから、Seismic Microzoning に際しては岩盤までの地盤構成を明らかにする必要がある。

El Asnam 市内の数箇所およびインデフラのセメントプラントにおいて実施した地盤の弾性波探査の方法ならびにその結果について述べる。

#### 1) 弾性波探査の方法

弾性波探査に用いたのは応用地質調査用製の簡易型の弾性波探査装置一式であり、ピックアップ 6 個、増幅器、記録器から構成されている。ピックアップは 5 m 間隔で連結コードで結ばれており、測線の延長は最大 30 m である。したがって、探査可能なのは地表面から数 m ないしは 10 m 程度までである。

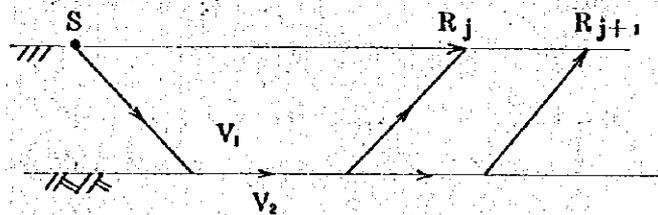


図 3.5 弾性波探査

探査は板たたきによる屈折波法を用いたが、その概要は図 3.5 に示される。S 点において、測線に直角な水平方向に衝撃を与えて横波を発生させる。このとき、S 点から近い観測点には表層を伝わる直達波が先に達するが、衝撃の発生時からの時間差と距離とから表層での波動伝

播速度が定まる。S点から離れた点では第2番目の層を伝わる波動が先に到着するが、 $R_i$ と $R_{i+1}$ 地点間の時間差から、第2層の伝播速度が推定できる。また、衝撃に際しては横波のみならず縦波も発生するから、記録波形においてこの両者を識別することにより、横波および縦波の伝播速度も知ることが可能となる。

弾性波による地盤の探査を実施したのは図3.6に示す4地点ならびにアインデフラのセメントプラント地点である。これらの地点付近の概要と測線を図3.7～図3.11に示す。

Site 1 : 製粉工場裏, 建築工事現場

当該地点は工事のために約2 m程度表土を掘り下げている。測線は $\delta 1$ と $\delta 2$ である。

Site 2 : Cheliff ホテル玄関前

測線は $\delta 3$ のみ。

Site 3 : 鉄道駅南側住宅団地内

測線は $\delta 4$ と $\delta 5$ である。

Site 4 : Cheliff 河, 河川敷内農場裏

測線は $\delta 6$

Site 5 : セメントプラント

測線は $\delta 7$

以上の各Siteにおいて、1つの測線ごとに数回ずつの打撃による測定を行ったが、その一例が図3.12である。

## 2) 測定結果

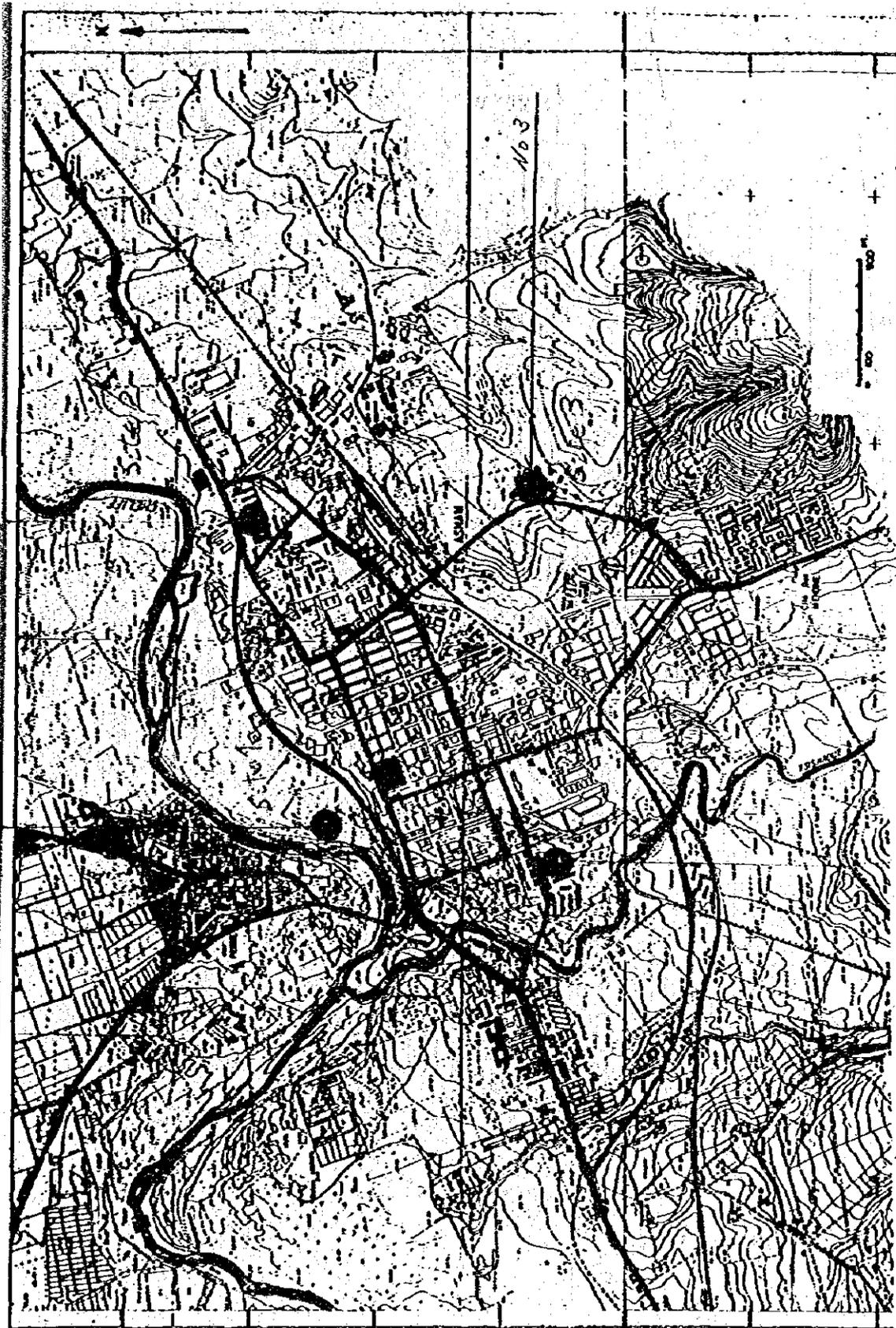
各Siteにおける測定記録から定めた地盤構成は図3.13～図3.17に示すとおりである。以下は各Siteでの測定についてのコメントである。

Site 1 : 測線1では3回、測線2では2回の実験結果の平均値である。当該地点では表土が剥がれていたことと、測線延長が20 m程度であったため、約5 m以上の深い地点での地盤構造は不明である。

Site 2 : 測定記録にnoiseが多いことから、( )で示した第2層の横波速度の信頼度は他のものより低い。また、( )で示した表層厚4.6 mは縦波による結果である。

Site 3 : 測線5については観測記録の状態が不良であり、測線4から地盤構成を推定した。2回の打撃による結果の平均値である。当該地点の第2層は風化岩もしくは軟岩であると推測される。

Site 4 : 測線 $\delta 6$ においては、測線の両側から打撃を行っているが、それらから定めた地盤構成に相違が見られ、第2層が傾斜していると考えられる。しかし、



No. 1 EL ASNAM CITY  
 图 3.6 弹性波探查地点

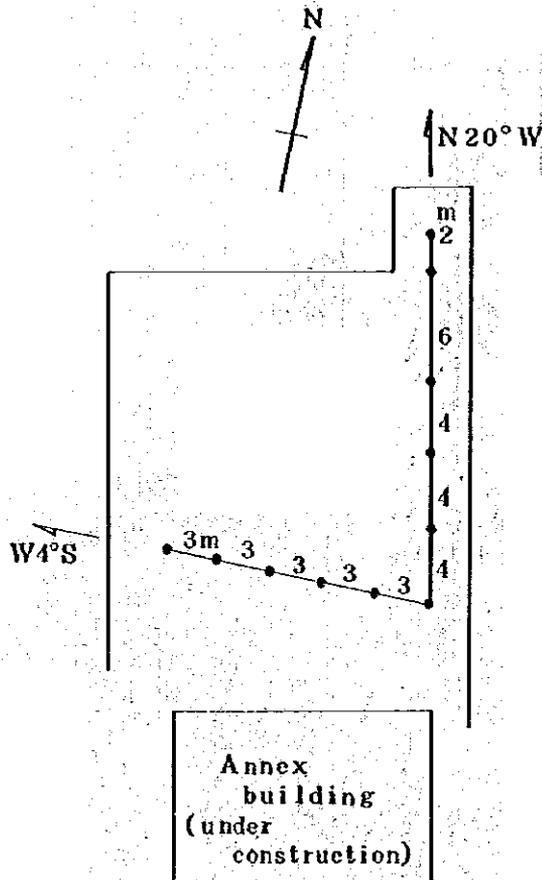


図 3.7 SEMPAC 製粉工場の測線 (No. 1)

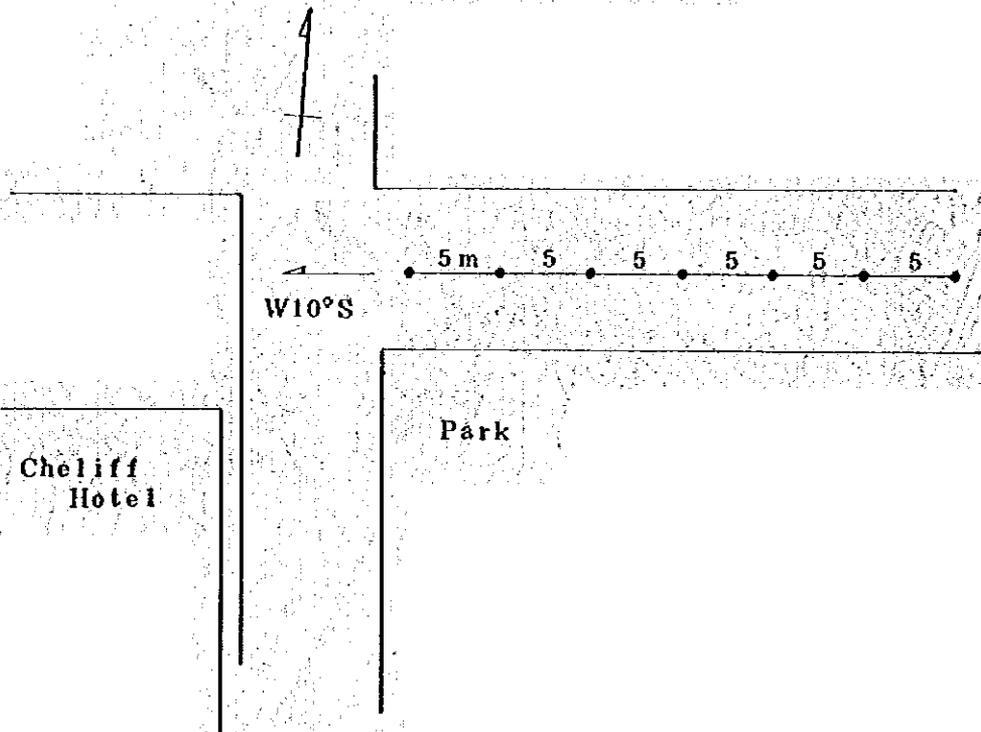


図 3.8 Cheliff ホテルの測線 (No. 2)

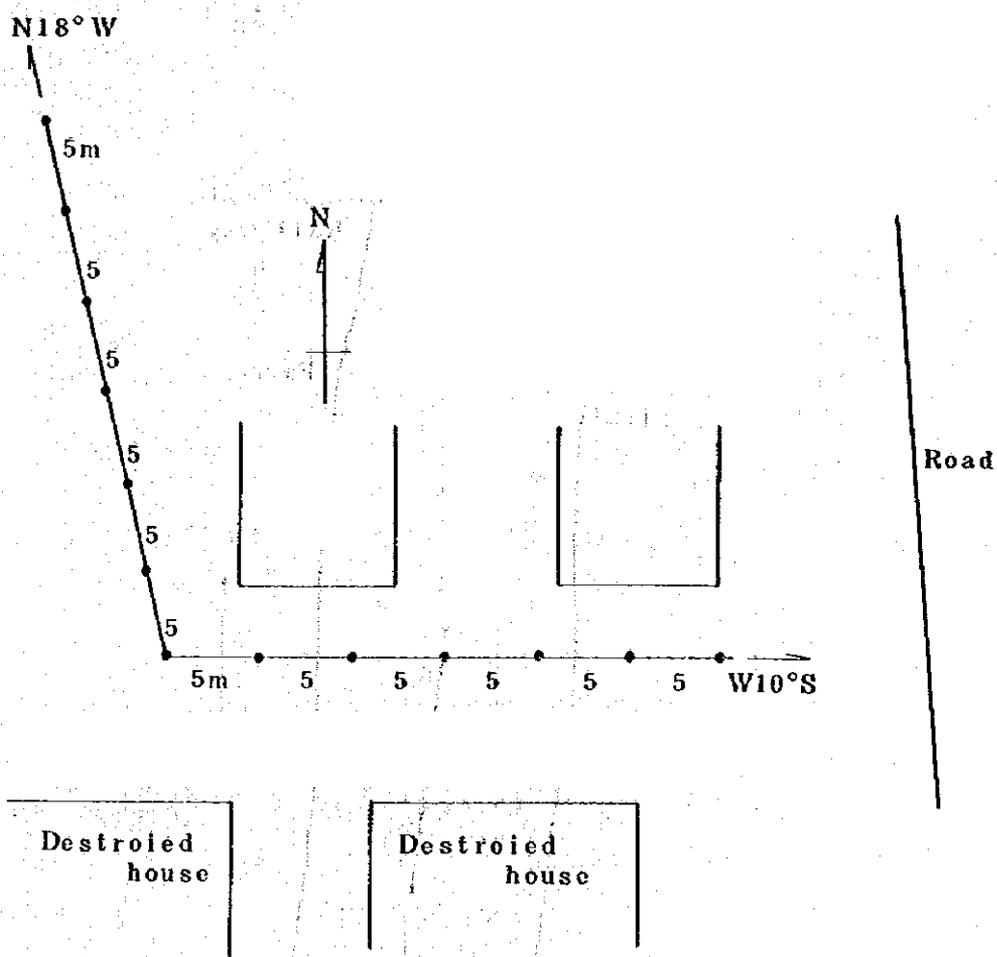


図 3.9 住宅団地の測線 (No 3)

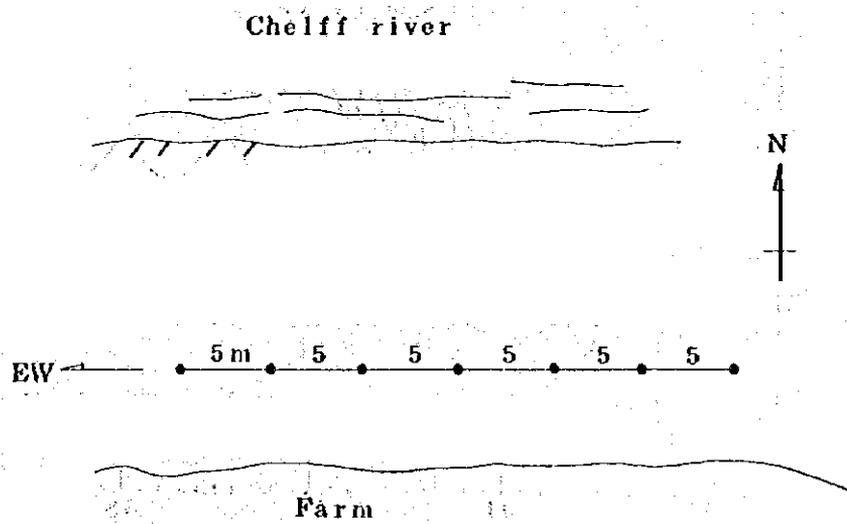


図 3.10 Cheliff 河岸の測線 (No 4)

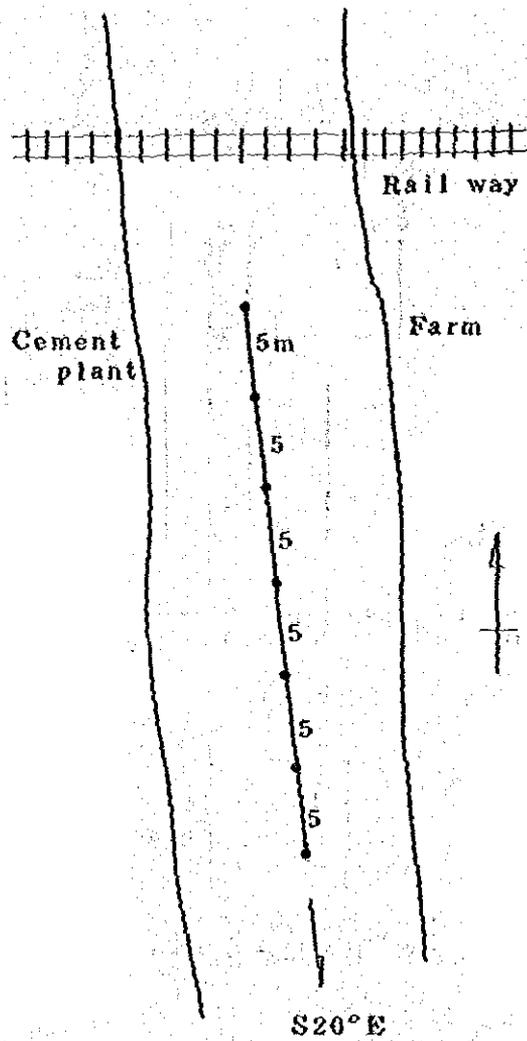


図 3.11 セメント工場の測線 (No. 5)

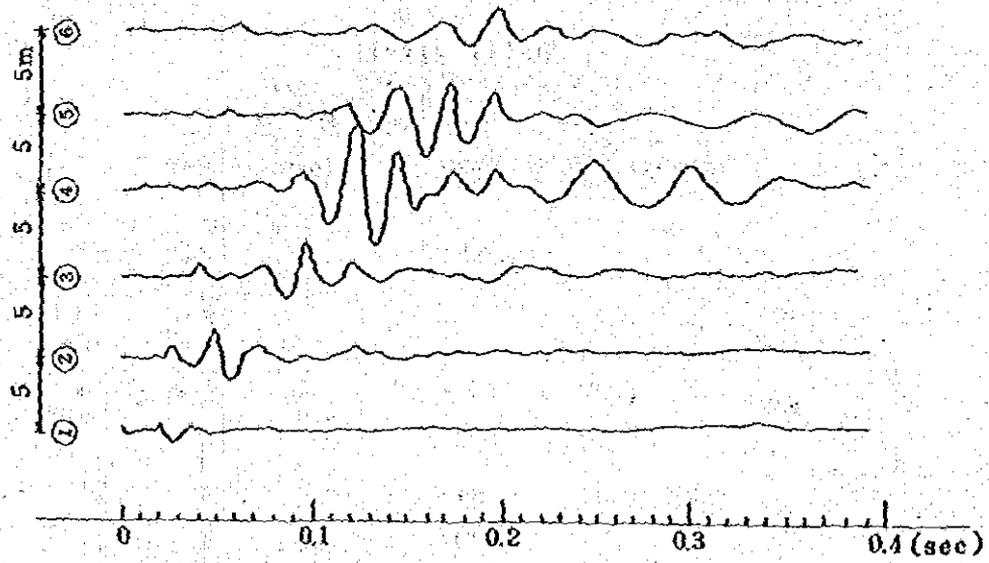


図 3.12 弾性波探査の例 (セメントプラント)

Test 1

$$V_s = 245 \text{ m/s}$$

$$V_p = 472 \text{ m/s}$$

Test 2

$$V_s = 231 \text{ m/s}$$

$$V_p = 429 \text{ m/s}$$

図 3.13 SEMPAC 製粉工場の地盤構造

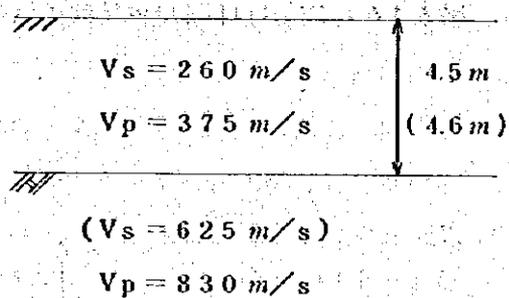


図 3.14 Cheliff ホテルの地盤構造

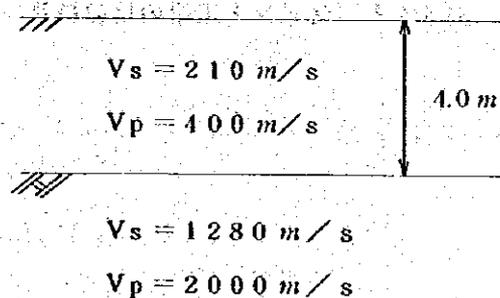


図 3.15 住宅団地の地盤構造

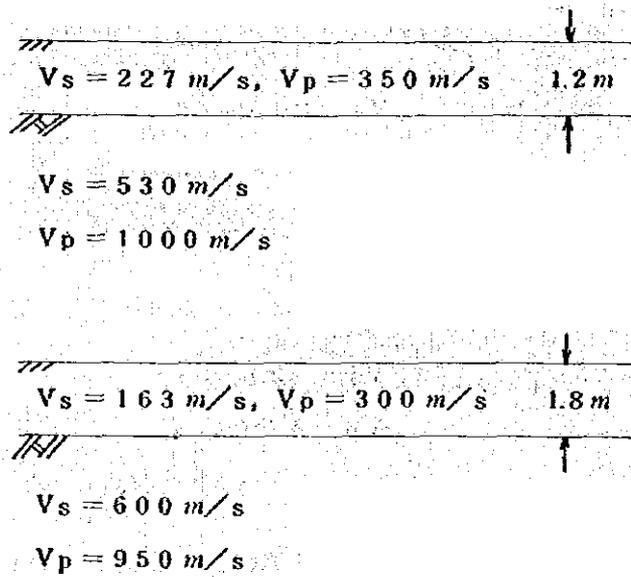


図 3.16 Cheliff 河岸の地盤構造

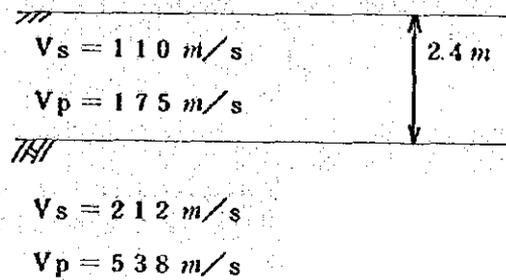


図 3.17 セメント工場の地盤構造

その傾斜を定めるには測線の延長が十分でなかった。

Site 5 : 当該地点は El Asnam 市内と違って低平な地盤地域であり、表層は沖積層であって、第2層に洪積層と思われる地盤がある。

### 3.4 地盤の地震応答特性

Site 2～Site 5までの地盤構成に基づいて地震応答解析を実施した。Site 1では層構成が不明のため、表層で増幅効果が現われず、地表面の振幅は常に入射波の2倍になることから、応答解析は行っていない。他のSiteにおいては第2層を基盤と考えて、重複反射法による解析を行った。この際に、地盤定数は弾性波探査結果から定めたものであり、それらの定数は微小ひずみにおける値であることから、弾性定数のひずみ依存性を考慮した。この場合、表層地盤は洪積層とみなして、これに相当する図3.18を用いた。これは多数の洪積粘土についての動的試験結果から得たものであり、微小なせん断ひずみ時のせん断性係数に対しての、大きなひずみ振幅時の弾性定数の低下率を表わしている。

図3.18のせん断ひずみは正弦波状の繰り返し荷重に対するものであり、地震動入力に対する応答は不規則な変動をするから、この両者のひずみの履歴は異なる。したがって、実験による最大ひずみ振幅と地震応答解析による最大ひずみ振幅を等置するのは適当でない。そこで、この両者を結びつけるのに、両者の実効値 (rms) が等しいという規範を用いることにする。このとき、実験による最大ひずみ振幅を  $a$  とすれば、その実効値  $P_s$  は、

$$P_s = \frac{a}{\sqrt{2}}$$

である。一方、地震応答解析における加速度応答のように不規則な波形を示す場合には最大振幅  $b$  と実効値との関係は大略次のように表わせる。

$$P_s \doteq \frac{b}{3}$$

したがって、この両者を等置することにより、

$$\frac{a}{b} \doteq 0.5$$

となる。すなわち、応答解析による最大ひずみ振幅の約0.5倍したものを図3.18の横軸にとればよいことになる。

地盤の応答解析に際しては Taft (1952) の S69°E 成分を選定した。この記録は堅固な、岩盤に近い洪積層内のトンネルで得られたものであり、地表面近くでの増幅作用を受けておらず、また、その波形特性を表わす応答スペクトルが比較的滑らかであることにより、これを入力波形とした。この記録の最大加速度は 176 gal であるが、これを 3-2 における検討結果に基づいて、岩盤の露頭している場合の最大加速度を 200 gal とすれば、入射波はその 0.5 倍で

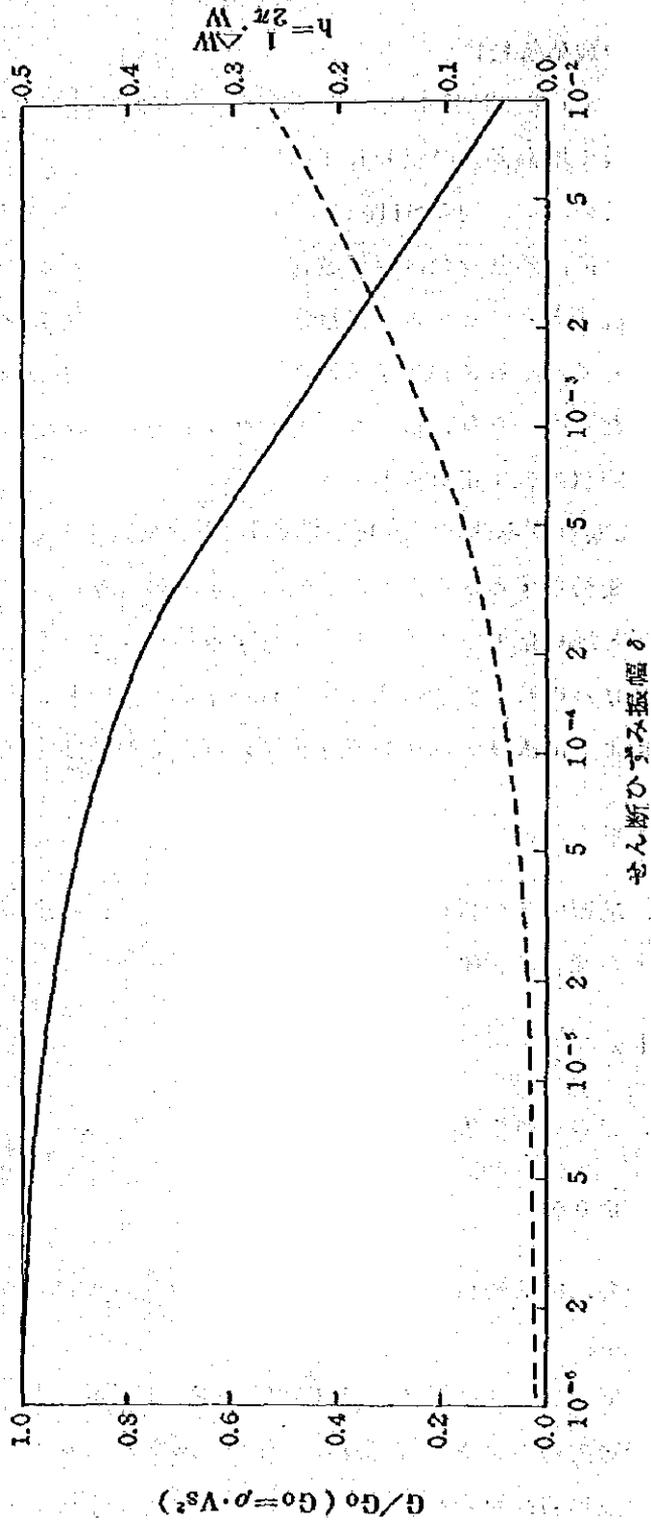


図 3.18 応答計算に用いる  $G/G_0 \sim r$  関係および  $h \sim r$  関係

であることから、原波形を100 galに縮小して用いた。

図3.19はCheliffホテルの地点での応答解析結果であり、a)は最大せん断ひずみ、b)は最大応答加速度、の深さ方向の分布を示したものである。また、c)は地表面での周波数応答関数を示したものである。この結果によれば、深さ4.5 mの表層地盤内での増幅は小さく、入射波振幅100 galに対して、応答加速度は基盤で175 gal、地表面で235 galである。このように増幅が小さいのは当該地盤の表層地盤の横波送度が大きく、かつ層厚が薄いことによるものである。したがって、ここで基盤と考えた層よりもさらに深い所にインピーダンスのコントラストの強い層があれば、c)図に示す周波数応答関数の低振動数域にピークが生じることになり、加速度応答倍率も増大する可能性がある。

図3.20は住宅団地における応答解析結果であり、c)に示す周波数応答関数においては、インピーダンス比が大きいため最大増幅倍率も大きい。共振振動数が高いことにより、b)に示す加速度倍率はCheliffホテルと同様である。住宅団地はその地形からも明らかなように、丘陵を背にしているため、岩盤までの深さが場所により著しく異なると思われる。そこで、岩盤の出現深さが2 mとした場合を図3.21に、これを8 mとした場合を図3.22に示す。これらを表層厚4 mとした図3.20と比較すると、表層厚の深いほどb)の加速度応答振幅が大きくなっていることがわかる。このような結果は基盤と表層が同じ力量定数であっても表層の厚さが違えば、応答特性が著るしく変化することを示しており、地盤の震動と表層厚とが密接な関係のあることを示唆している。したがって、住宅団地での地盤構成が多くの地点においても明らかにされたならば、上述のような検討を行うことにより、地震応答特性の観点からのSeismic Microzoningが可能となり、これと実際に生じた震害とを対比することができ、その有効性を確認できよう。また、このようなMicrozoningを行って震害との対応関係を明らかにしておけば、将来の地震防災計画に際してのMicrozoningが高い信頼度で行えることになる。

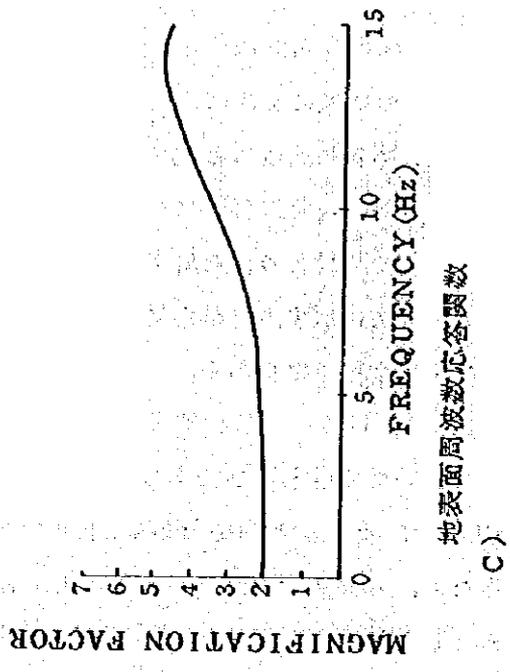
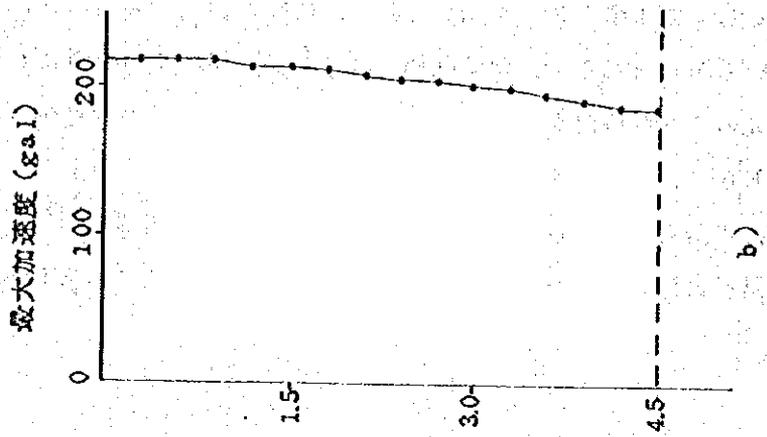
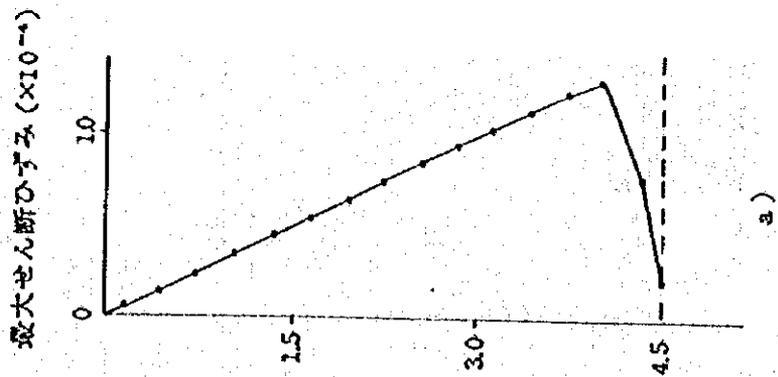
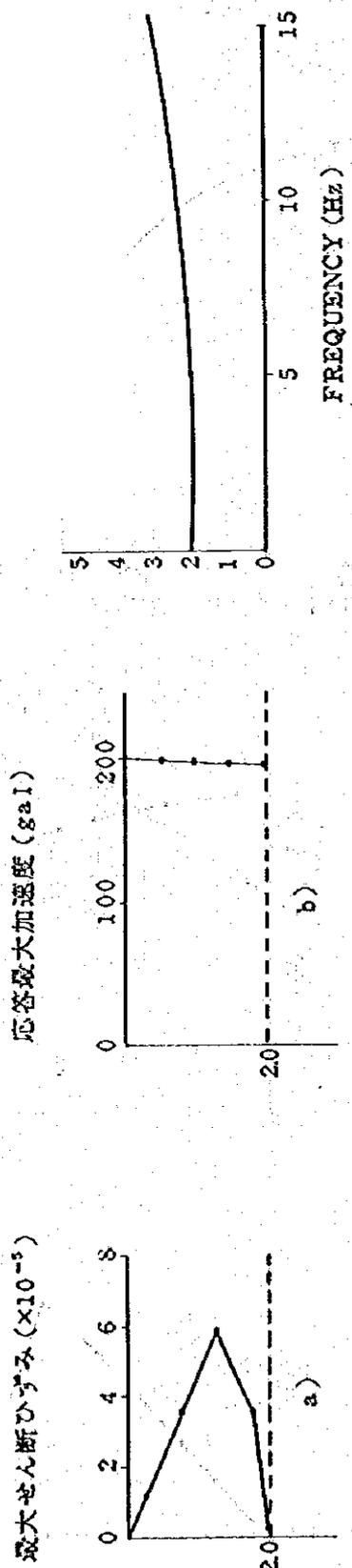


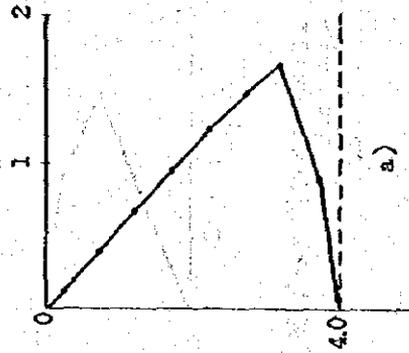
図 3.19 Cheliffホテルにおける応答特性



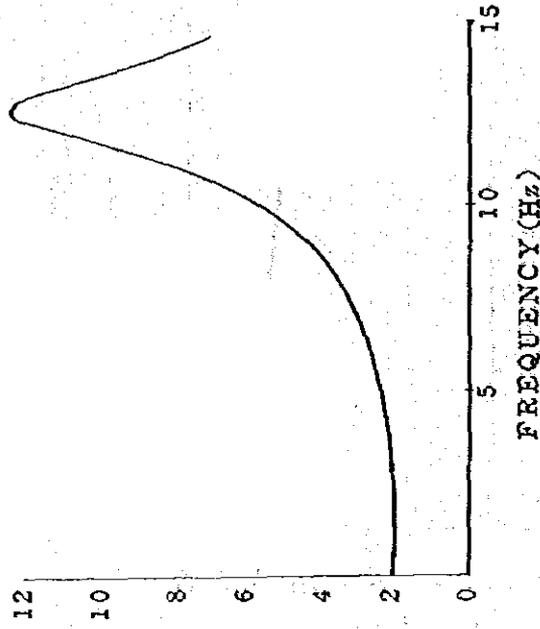
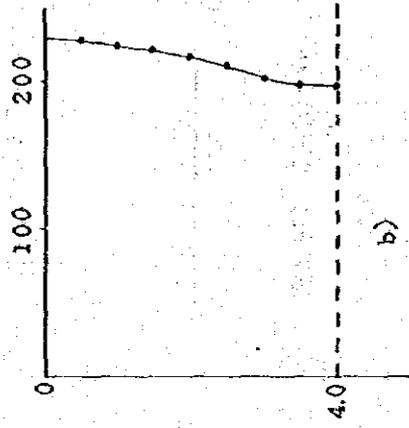
c) 地表面周波数応答関数

図 3.21 住宅団地における応答特性

最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-4}$ )

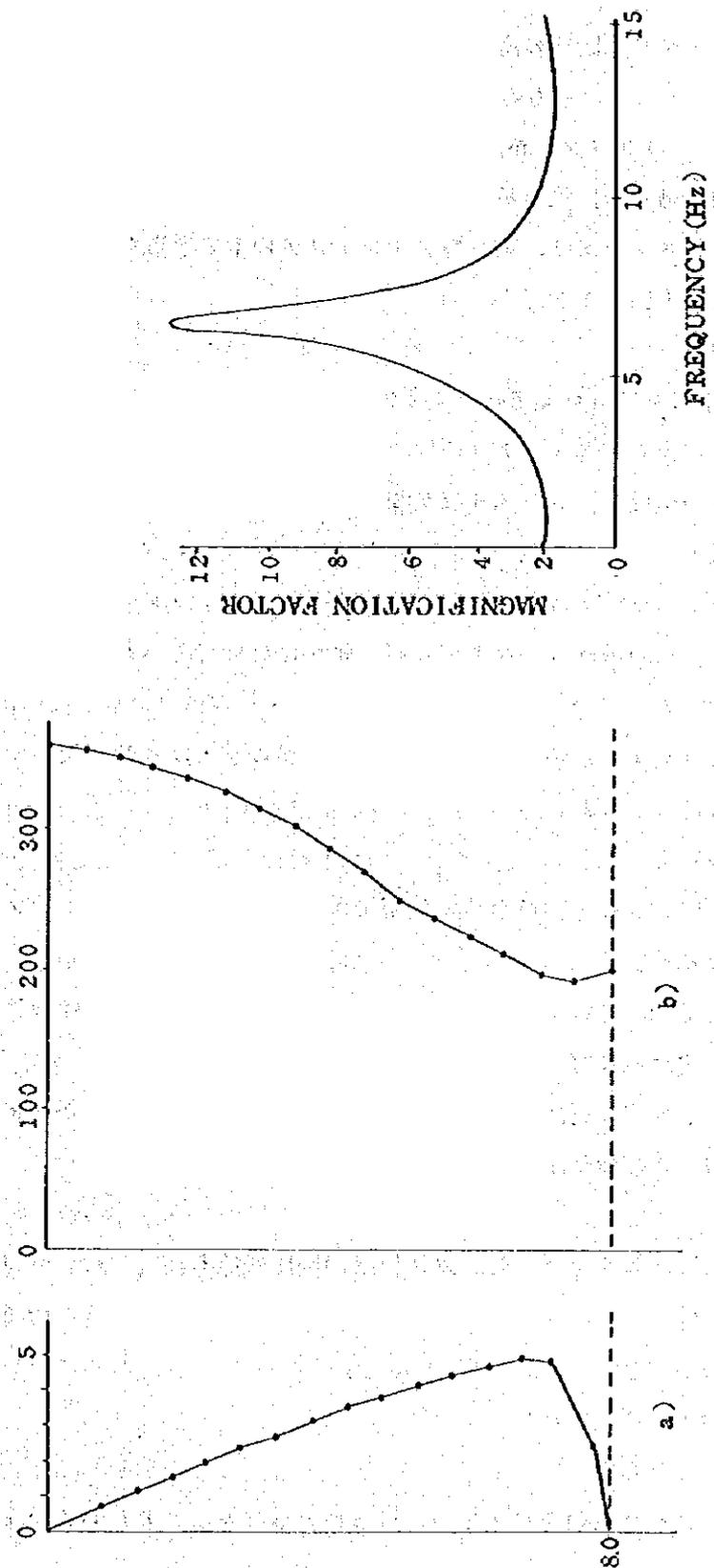


応答最大加速度 (gal)



c) 地表面周波数応答関数

図 3.20 住宅団地における応答特性



c) 地表面周波数応答関数

図 3.2.2 住宅団地における応答特性