

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

序

アルジェリア政府と日本国との合意に基づき、日本国政府は、国土政務次官大塚雄司を団長とする地震学及び耐震工学の専門家チームをエルアスナム地域の地震について国家調整委員会と共同作業を行うために派遣した。

専門家チームは、ブレルと高等教育科学研究相及びガザリ住宅・建設相の受け入れのもとに、1980年12月1日から12日までの間滞在した。専門家チームは、アルジェリアの専門家との間で多くの討議と資料交換の機会を持ち、また、現地エルアスナムにおいて被害状況の把握を行った。専門家チームは、このような実り多い調査によって、満足な成果を得ることができた。

専門家チームは、ここに、調査を経て得られたいくつかの有益な事項について、第一次報告書を提出するものである。

この報告書の提出にあたり、専門家チームの全員は、エルアスナムの復興を心からお祈り申し上げるものである。

§1 地震

1. はじめに

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、被害地震も多数発生している。ただし、これらの地震は、この地域に一樣に起っているわけではなく、地震の多いところは、ほど決っているようである。エルアスナム地区は、このような地震活動の活発な地域の1つである。

最近のプレート・テクトニクス理論によると、アルジェリアはアフリカ・プレートの北縁に位置している。ここでは、アフリカ・プレートとユーラシア・プレートの相対運動が行われており、お互いに押し合っている。このことがアルジェリア北部地域の地震の原因と考えられている。

このような地域には、例えば日本の太平洋側沖合いで発生する、いわゆるプレートの潜り込みによる巨大地震のような、大規模な地震が起ることはないが、これより1階級小さいM7級あるいはそれ以下の地震は、常に起り得る。しかもこのような地震は、おおむね内陸部で発生し、震源の深さもごく浅いのが普通である。したがって、都市あるいはその近くの直下で起った場合は、局部的ではあるが大きな被害を生ずることがある。

2. 1980年10月10日エルアスナムの地震

エルアスナム地区は、先にも述べたように、地震活動の活発な地域で、過去にも幾度か被害地震が起っている。

全地球的地震観測データおよびアルジェリアの地震関係者によって行われた新層調査結果から、今回の地震は南北方向の圧縮力によって起されたものと考えられる。地震観測の結果、震央はエルアスナムの東南東5~6kmのところで、破壊はこの地点からほぼ北東方向に伝播したものと考えられる。このことは、等震帯線の型が北東方向に伸びていることから想像できる。

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。従って、アルジェリア北部では、今後も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、次のような事柄を考慮する必要があるであろう。すなわち、アフリカ北部、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活動度の高い地域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、1978年の伊豆大島近海の地震や宮城県沖地震、1973年の中国の地震、1978年のトルコの地震、1979年のバルカン半島の地震、などのように、現在中緯度地震帯は活動期にあると考えられる。この地帯の活動期は約15年続き、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、エルアスナム地区の前回の被害地震が、26年前の1954年であったこととも一致している。

3. 地震観測網の展開

地震の災害防止のための基本対策の1つは、地震活動度(サイスミッター)をできるだけ細かく知ることである。現在作動しているアルジェリアの定常的地震観測所は7カ所あり、これらは全地球的な地震観測のためには大いに寄与している。

しかし、全地球的な観測網による地震の検知能力、震源決定能力には自ら限界があり、M4以下の地震まで正確に震源決定することは不可能である。一方、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。したがって、少なくともM3程度までの地震について震源事項を決めるようにする必要があろう。そうすることによって、アルジェリアにおける詳しい地震活動図を、比較的短い期間に作成することができる。このためには、国内の観測網だけでも十分精度良く震源が決められるだけの施設を整備することが必要である。

先にも述べたように、アルジェリアの地震は、決して地理的に一様に起っているのではなく、地震のよく起るところとそうでないところがある。このような場合、より詳しいサイスミッターマップを作っておくことは、将来の地震対策上極めて重要なことである。

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することができる、ということである。これによってアルジェリアにおける地震の性質が解明され、防災に寄与することができる。さらにこのことは地震の予知にもつながるものである。

このような観測網は、アルジェリアにとっては欠くことのできないものではあるが、全体の計画は慎重に進めて行く必要がある。日本は、アルジェリアと同じような事情にある。そして日本では、上に述べたように日本およびその周辺の地震については日本自体で震源を決め得る

体制になっている。地震観測網の整備や資料の処理方法などについて日本が持っている知識・経験はアルジェリアのために役立たせたいと考えている。より具体的な事柄は、今回行ったアルジェリア政府関係者との議論の結果も十分考慮して、最終報告書で述べることにしたい。

§ 2 建築物

2-1 エルアスナムの建物の被害の特性

2-1-1 概 論

- (1) ラーメン構造の被害は、ほとんど曲げモーメントによって柱頭・柱脚に生じている。
- (2) 2階または3階建ての住宅で、短柱を持つものは短柱のせん断破壊がみられる。
- (3) ピロティーを持つ建物は大きな被害を受けている。この種の被災建物はほとんど倒潰している。
- (4) 組石造の在来工法の建物は何等かの被害を受けている。
- (5) エキスパンション・ジョイントの巾は小さく、ほとんどの建物は、この部分で衝突による被害をうけている。

2-1-2 振動計測の概要

(1) 目 的

この測定は地盤および建物の動的特性を明らかにするために行なわれた。これらの計測データは建物の耐震設計のための基礎データとして有効である。

(2) 計測箇所

a) 地 盤

硬い地盤と軟い地盤との2種類の地盤があると考えられたので、計測地点として下記の5つの場所を選んだ。

i) エルアスナム製粉工場 (SEMPAC)

ii) シテーベルシェ団地

iii) 東部団地 (2階建住宅建設中)

iv) シェリフ川の北部丘陵地帯

b) 建 物

建物としては下記の2つを選んだ

i) 東部団地の建物。建物としては被害の少ないものと大きいものを選んだ。

ii) エルアスナムの製粉工場

(3) 計測結果概要

計測された波型は付録1に示されている。以下に概要をのべる。

a) 地盤の固有周期

一般的にエルアスナムの地盤条件は良好である。固有周期は0.15～0.30秒であ

る。また地震中においては、まづその初期に0.15～0.30秒の振動が卓越し、次いで2秒程度の振動卓越するようである。この長周期の振動は12月5日13時の地震による地動の中に発見されている。

b) 建物の固有周期

i) 製粉工場

イ) サイロ部	0.3～0.4 秒
中央部	0.9～1.1 秒
東部分	0.6～0.8 秒

ii) 東部団地

被害の小さい建物	0.2～0.25 秒
被害の大きい建物	0.4～0.6 秒

(4) 考 策

エルアスナム地区の建物は通常若干の煉瓦壁をもっていると考えられる。地震動の初期に卓越する短周期の振動によって、これらの煉瓦壁は破壊され、次いで現われる長周期の振動によって、煉瓦壁を失って剛性が低下し長周期化した建物が共振現象をおこしたと考えられる。多くの建物の主たる倒潰原因は上記の共振現象であると推定される。

2-1-3 エルアスナムの製粉工場の調査

(1) 建物の保有耐力

1) 1980年の地震以前の保有耐力

保有体力は計算は図1の4つのブロックについて行った。

ここで用いた計算方法は、いわゆる“一次診断”であって略算である。計算の結果は表1に示してある。

2) 考 察

i) 建物の被害はE-W方向において顕著でありかつ、上階の方が大きい。これは4つのブロックの間にあるエキスパンション・ジョイントの衝突に起因するものと思われる。衝突の影響を考慮するために以下に述べる略算を用いた。すなわち、保有耐力の計算に当って、通常の建物重量に加えて上階部分に仮想重量を考慮した。たとえば、Bブロックの計算に当って、これに隣接するAブロックの上階部分の重量を加算した。この結果各ブロックの見掛けの保有耐力は低下することになる。この計算の結果は表1-(b)に示す。

ii) 保有耐力の計算結果によると、BブロックとCブロックとの保有耐力は大差がない。しかし所届の程度はかなりの差がある。この原因を明らかにするためにはより詳細な調査および構造解析を行う必要がある。(表1-a, 1-b, 1-c参照)

iii) この建物は適切な補修補強を行うことにより、再使用することが可能であると思

われる。その際保有耐力を0.3～0.4に増大することが望ましい。(元来の保有耐力は0.12～0.18と推定される)。

iv) 上記の保有耐力の計算に用いたコンクリート強度は、 280 kg/cm^2 である。この数値はシュミットハンマーによる計測結果にもとづいて採用された。

(2) 振動計測

固有周期の計測は地盤上および5階床上で行なわれた。計測中にたまたま余震が発生したので、この計測結果も以下に示されている。

1) 地盤の卓越周期

- i) 常時微動 0.3秒
- ii) 余震発生時 1.8秒

2) 建物の固有周期は下表に示す。

方 向 ブロック	E-W (秒)	N-S (秒)
A	0.40	0.28
B	1.10	1.10
C	1.10	0.85
D	0.60	0.80

3) 観測波型

付録1参照

4) 考 察

- i) 地盤には2種類の固有周期がある。通常は0.3秒であり、地震中および直後では1.8秒である。
- ii) 地盤と建物との共振は生じる可能性が小さい。
- iii) 構造物および建物内部の機器の被害状況からみて、地動加速度は約0.19であると推定される。
- iv) 補修補強を行うに当っては、保有耐力を0.259相当以上に増加することが望ましい。

2-1-4 東部団地

(1) 各層の重量の概算

1) 屋 根

パラペット	= 184
床	= 115
外壁	= 28
内 壁	= 16
	÷ 1904

2) 2階床

床	=	92
外壁	=	45
内	=	21
		≐ 160 t

一階の全重量

$$w = 190 + 160 \rightarrow 350 \text{ t}$$

(2) 水平耐力の概算

$$Q_u = A_c \times C$$

ここに、 Q_u = 水平耐力

A_c = 柱の全断面積 (cm^2)

C = 柱の公称勢局せん断応力度 = 7 kg/cm^2

$$Q_u = 18 \times 25 \times 25 \times 7 = 78,750 \text{ kg} \rightarrow 78.8 \text{ t}$$

$$Q_u/W = 78.8 / 350 = 0.225$$

したがって1階の水平耐力は約0.225である。

(3) 固有周期

計測周期： 0.4 ~ 0.6 秒

計算値： 0.65 秒

$$w = 350 \text{ t}$$

$$k = 33 \text{ ton/cm}$$

$$T = \frac{1}{5} \sqrt{\frac{w}{k}} \div 0.65$$

上記の結果によると、計測周期は計算値よりやや短い。これは計算に当ってコンクリートブロックを無視したためと考えられる。

2-2 建物の耐震設計に関する問題

アルジェリア当局においては新しい耐震設計規準を作成中であるときいている。この規準の概要について、筆者らはアルジェリアの専門家から説明を受けたが、規準そのものについては、十分なものであって付言することはほとんどない。そこで我国の地震経験および明年施行される新耐震規準に照らして以下の意見をのべることにする。

(1) 規準作成者にとって、設計用地動加速度を決めることは常に困難な問題である。これは地震危険度に関する十分な情報が得られないこと、建物の特性の多様性、現実には最も重要な事項である経済性への配慮などに起因するものである。

上述の困難を克服するため、我国の規準では2段階の設計方法が用いられている。基本的

考え方は、建物はその寿命中に数回生じる程度の地震に際しては、ほとんど無被害でなければならず、また建物寿命中1回以下しか生じないような大地震に際しては、倒壊してはならないというものである。ごく大雑把にいうと、我国の新規準では中程度の地震に対して0.2 γ 、大地震に対して1.0 γ の地震力を考えている。また設計は、まず0.2 γ に対して弾性設計を行い、次いで1.0 γ に対して塑性設計を行う。

我国の各種の建物について、試設計を行ってみたところ、0.2 γ に対して弾力設計された建物は、1.0 γ の地震力をうけても倒壊あるいは人命に損傷を与えることがないということが判明している。

(2) “地震応答倍率”は構造設計上重要である。この係数は、建物の固有困難と地盤の条件との関数で与えられている。地盤条件の定義を行うことは、現状では地盤分類の手法が十分発達していないので若干の困難が伴うものと思われる。

また、応答倍率は通常低層のものが大きくなる点も現実問題として取扱いが難しい点である。すなわち低層建物は通常あまり利用度が高くないし、また安価であることを要求されているからである。応答スペクトラムを工学的判断にもとづいて若干修正することも必要となろう。

(3) “構造係数”は多様な建物の構造特性の取扱いを簡素化するために便利な係数である。この係数は実際の地震時における建物の挙動を勘案して定めるべきである。また、各国における建築工学上の慣習を適切に勘案する必要がある。

(4) “品質係数”もまた実用設計上大切な係数である。我国の過去の震害の経験に照らして、次の2つの事項を考えることが必要であると思われる。

- i) 各層の剛性の偏り(偏心)
- ii) 高さ方向の剛性分布

上記の事項については、我国の規準にその例が見出される。

(5) 我国の新規準に採用されている基本的な方針は次のようなものである。

- i) 設計規準は下記に示す様々な資料にもとづいて作成する。
 - a) 強震計の記録
 - b) 各種建物の地震的挙動
 - c) 構造物および構造部材の実験結果
 - d) 構造物の動的解析の結果
 - e) 現場における材料・施工の特性
- ii) 規準は出来る限り単純であること。これは現業の設計者に十分理解される必要があるからである。実際上次のような方針をとっている。
 - a) 建物を4つのグループに分けた。Aグループは1~2階の木造建物など小規模のもの、Bグループは高さ31m以下のもの、Cグループは31m以上60m以下のもの、

Dグループは60m以上の建物である。

- b) 設計上の規定は6つのカテゴリーに分れている。第1グループは最も簡単で計算を要しないものであり、第6グループは詳細な解析を必要とするものである。
- c) 建物のグループA, B, Cは設計規定のカテゴリー1~6に対応させてある。このような手順は設計実務上もまた設計費の節約の上でも有効であると考えられる。

2-3 建物の耐震性向上のための提言

2-3-1 建築物の耐震性向上のための提案

(1) 耐震基準の改正

- 1) 設計上の地震力については、現在検討している方向で、より実際に近い形のものに改めることはよいことであるが、この場合ベースシアを最大0.2g程度になるように引上げることが望ましい。
- 2) しかし、地震力の引上げを行わないとしても、次のような点に留意すれば建築物の耐震性は著しく向上するであろう。すなわち、①粘り強さを高めるために耐震壁を一定量入れることを義務づけるとともに、それらが構造計画上バランスよく配置されるよう「階層別の剛性の変化率」を一定限度以下に抑え、「各階における平面的な偏り」を少なくするような指標を新たに基準の中に導入する。(日本の新耐震設計法) ②RCラーメン構造については、柱の小径、主筋及び帯筋、あばら筋の配置、梁の鉄筋の柱への定着法等構造上配慮すべき基本的な事項を基準に盛り込む。
- 3) 一定規模以上の建築物(例えば2階以上又は床面積200m²以上)は、原則として石造又はレンガ造としてはならないこととする。

(2) 設計・施工面での改善

RC造の建築物については、次のような点の改善を図る必要がある。

- 1) コンクリート、鉄筋等構造材料の規格の制定及びチェックシステムの確立
- 2) 床及び主要な壁をRC造とし、建築物全体の耐震性の向上に寄与させるための工法の改善(この事により建物全体の崩壊につながりかねないスラブの破壊を防ぎ、又、組積造壁に比べてより高い水平耐力とねばりを確保できる)。
- 3) 屋根及び床の軽量化による自重の軽減を図るための工法の改善(軽量な材料を用いた床工法が必要と思われる)
- 4) 耐震性向上の見地から柱と梁の接合部における配筋方法、コンクリートの打継ぎ方法等設計及び施工面での改善
- 5) エキスパンション・ジョイントについて、地震時のぶつかり合いによる破壊の防止(温度応力や乾燥収縮に伴うひびわれが許容されるならば、耐震設計の立場からは、エキスパンション・ジョイントを設けるべきではない)。

§ 3 地盤工学的観点とライフラインシステム

3-1 地盤工学的観点

(1) 地質の状況

エルアスナム市の地盤はシェリフ (Cheriff) 川の南岸の河岸段丘上に発達した洪積層に分類される。その地盤条件は一般的に多階建のビルのような建造物を支持するために十分良好である。これは基礎の支持力の不足によって被害が発生したということはほとんど見当らない、という事実によって裏付けられる。

(2) 液状化

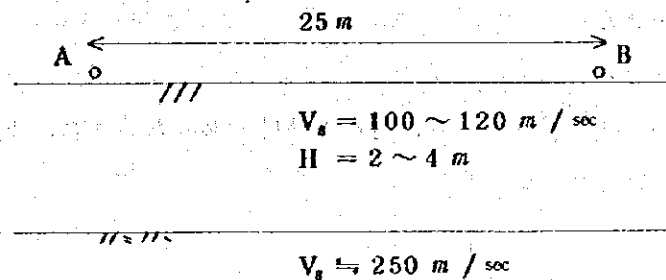
多数の液状化が報告されているシェリフ川のはんらん原には住居は存在しない。したがって液状化による建造物の被害は見当らない。

(3) マイクロゾーネーション

地盤は建築物を支持するのに堅固ではあるが、地盤の振動は全市域ないし被害地域にわたって必ずしも均一ではない。なぜならば土層構成は市が丘陵の周辺の緩傾斜地に発達しているため、地域的な地形に依存し、場所によって変化するためである。したがってマイクロゾーネーションは将来の地震災害を予測するための有用な情報を提供し、また大規模住宅プロジェクトにおいて同一の建築形式を用いている場合の建築物被害の不均一性を説明することとなる。

(4) 現位置地盤性状の調査

この調査を、地盤性状を得るためにエルアスナム市の5地点において行った。採用された手続はマイクロゾーネーションのための有効な情報となる地盤の弾性的性質を知るためのせん断弾性波探査法である。観測記録の予備解析から地表面付近での $250 \sim 120 \text{ m/sec}$ のせん断弾性波速度を得た。エル・シリーのセメント工場でなされた実験を通して、地表面で得られた記録から次の図に示す地層構成が推定される。



V_s : せん断波速度

H: 表層の深さ

(これらは最終報告では変わることがある。)

3-2 ライフラインシステム

(1) ライフラインシステムの定義

ライフラインシステムは、次の4つに分類される公共施設から構成されている。

i) 交通施設

道路

鉄道

水航路

航空路

ii) 通信施設

電信・電話

ラジオ・テレビ

地域通信システム

iii) 水供給・処理施設

水・供給システム

下水処理システム

iv) エネルギー供給施設

電力供給システム

ガス供給システム

石油供給システム

(2) ライフラインの施設被害

エルアスナム市においては1980年10月10日に地震に見舞われた時には水航路を除くあらゆる種類のライフラインが存在していた。その中でも以下の施設に甚大な被害がもたらされた。

i) 電話システム

ii) 下水処理システム

iii) ガス供給システム

最も被害の著しいのは電話システム、特に電話局であった。また、下水処理施設およびガス供給システムの被害も著しかった。

3-3 ライフラインシステムの機能障害

エルアスナム県においては、補修したり応急的な仮り橋を設けることにより、2時間以内に国道を再開し、道路の機能を急速に回復することができた。一方、鉄道は、再開までに10日を要した。

地震発生後、ただちに、道路および航空機は、医療品、食糧、飲料水、建設機械、復旧資材

の輸送に重要な役割を果たした。エルアスナム県内の行政事務局間には、応急電話のシステムが地震当日に敷設されるとともに、地域ごとの緊急的な無線通信システムも地震後日を置かずに設置された。水道の復旧は地震後10日であった。下水道システムおよびガスシステムは、被害地点と被害度が明確にならないため、まだ、復旧されていない。電気は地震発生の日から徐々に供給され始めており、また、応急的に据え付けられたディーゼルの発電機が地震当日の深夜から稼働を開始している。都市ガスは、可搬型のプロパンガスにより代替されている。

以上より、橋および埋設パイプを補強もしくは既存のものより強く設計し、地震後のライフライン施設の機能を保持できるようにすることが助言される。

付 録 3

1. 土木構造物の耐震設計法(1980)。
2. ライフラインシステムにおける米日セミナーのプロシーディング(1976)。
3. 日本におけるいくつかの地震工学研究とその適用(1980)。
4. ライフラインシステムに関する文献。

§ 4 結 語

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考え、この目的を達成するために、我々技術協力チームは、日本国政府がアルジェリア政府に対して次のような分野において協力を行うよう働きかけるものである。

(1) 地震及び震災対策に関する情報の交換

(2) 共同研究並びに地震学及び地震工学の研究を深めるために、アルジェリアからの研究者を我国の国立の研究機関に受け入れること。なお、我国における研修は、1981年9月から1982年8月までの間実施される。

また、正式な要請があった場合には、技術協力チームは日本国政府とともに、地震、震災復興計画及び耐震工学に関する専門家をアルジェリアに派遣することの可能性について検討するものである。

(参考) 日本の震災対策への教訓

我国とアルジェリア国との事情の相違を前提におきつつ、日本の震災対策の現況をアルジェリアの被災の状況にてらしてみた場合、今回の調査を通じて我国の震災対策の推進に向けていくつかの教訓を得ることができると考えられる。

(1) 都市大火対策の推進

アルジェリア国では、多数の家屋が倒壊したにもかかわらず、レンガ造、石造、鉄筋コンクリート造等の建物が大多数であるところから家屋等からの出火は稀であり、延焼火災は発生せず、顕著な二次災害をまぬかれている。

我国、特に大都市の地域においては、大震災時の延焼火災による被害の拡大が懸念されているところであり、大震災時の避難地、避難路の整備を強力に進めるとともに、建築物等の不燃化を初めとする都市の防災不燃化の一層の推進が重要であると考えられる。

(2) 既存建築物の耐震診断及び補強の推進

今回の調査からみると、鉄筋コンクリート造等の建物が倒壊した場合には、建築物の中にいるものの生命に直接の影響を及ぼすことが考えられる。

我国では、本年施行の建築基準法施行令の改正規定(新耐震基準)により十分な耐震性を有するものと考えられる。

また、既存の建築物についても一般的には相当の水準の耐震性を有すると考えられるが、一部耐震性が十分でないものもあるので、震災時に安心して建物の中の安全な場所に身をおくことができることとなるよう、既存の建築物についての的確な耐震診断及び耐震補強の推進が望まれる。

(3) 震災構造物の被災度判定と補修手法の開発

本文にも記したようにエルアスナムにおいては、被害を受けた建物について「使用可能であるか」、「とりこわすべきものか」、「詳細調査をして補強又はとりこわしを決定すべきものであるか」、の三段階に区分する作業が進められていた。しかし、この三区分の作業ですら相当の作業量を要するとともに、詳細調査については緒についたばかりであった。

被災し、耐震性が低下した構造物の使用を誤ると、余震や次の中規模の地震でも大きな被害を招くこととなる。震災後に被害を受けた建築物等が構造的に安全であるか、またどのような補強を要するかを早急に判定することは、避難者の帰宅、震災復興計画の作成等、震災後の諸対策の内容を決定づける重要な作業であると考えられる。都市部において膨大な建築物等を有する我国においては、被災構造物の残存耐力を把握し、継続使用の可能性の判定と補修の推進を図るための簡易でかつ合理的な判定手法の開発が望まれる。

(4) 公共施設、ライフライン関係施設の耐震強化及び復旧対策の充実

エルアスナム市で多数の建築物が倒壊したにもかかわらず、その後の救援対策等が比較的順調に行われた背景には、道路、水道等の災害対策上重要な施設の損壊の程度が軽微であり、

早期の復旧が図られたことが挙げられる。

我国においても、情報通信施設、緊急輸送道路、港湾、電気、水道、ガス施設等災害対策上重要な施設の耐震性の強化が一層図られるべきであると考えられる。

また、震災後に緊急輸送路の交通確保を図るためには、大量の機械力が必要であるので、クレーン、トラクター・ショベル等を保有する民間企業との協力体制を確保するための施策を講ずる必要がある。

(5) 内陸型地震の観測及び研究の推進

今回調査の対象となったアルジェリア地震は、内陸部で発生したマグニチュード7級の浅発性のものであった。

我国においても、大都市地域等においてこれらいわゆる直下型地震の発生した場合には著しい被害が予想されるところから、今後とも地震観測及び各種の調査研究の進展を図り、現在は予知が可能となっていない直下型地震を予知して防災と結びつけることが可能となるよう、一層の努力を払うことが重要であると考えられる。

JICA

