

## 報告 3 : 2003年 5月 21日アルジェリア地震の被害概要

斉藤大樹<sup>1)</sup>、犬飼瑞郎<sup>2)</sup>

1) 独立行政法人建築研究所構造研究グループ上席研究員 工博

e-mail: tsaito@kenken.go.jp

2) 国土交通省国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター評価システム研究室長

e-mail: inukai-m92hg@nilim.go.jp

### 1. はじめに

2003年5月21日19時44分(現地時間)、アルジェリア国ブーメルデス県ゼンムリ市の北約7キロ海底を震源とするマグニチュード6.8の地震が発生した。6月7日時点での被害状況は、死者2,268名、負傷者1万人強と報告されている。日本政府は、アルジェリア国政府からの要請を受け、地震後直ちに国際緊急援助隊の派遣を決定し、救助チーム(61名)を5月22日に、医療チーム(22名)を同25日に、専門家チーム(7名)を6月12日に、それぞれ派遣した。

筆者を含む専門家チームは、6月13日から18日までの期間、現地を訪れ、アルジェリア政府の震災対策本部、住宅省、公共事業省ほか関係機関に協力し、被災地の調査を行うとともに、建築物の耐震性向上や社会インフラの復興計画策定、都市復興に必要な行政の取り組み等に関する技術的助言を行い、それらを取りまとめた提言書をアルジェリア政府に提出した。表1-1に専門家チームの構成を示す。

本報告では、筆者が担当した建築物被害を中心に、地震被害の概要を報告する。なお、専門化チームの報告書が国際協力事業団より刊行されることになっている。

表1-1 アルジェリア地震国際緊急援助隊専門家チーム

団長		
1	伊藤 真	外務省経済協力局国際援助室首席事務官
建物被害		
2	犬飼瑞郎	国土交通省国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター評価システム研究室室長
3	斉藤大樹	独立行政法人建築研究所構造研究グループ上席研究員
インフラ、都市復興		
4	尾原 勉	兵庫県土木整備部土木局道路建設課課長補佐
5	越山健治	財団法人阪神淡路大震災記念協会人と防災未来センター専任研究員
業務調整		
6	大田孝治	国際協力事業団国際緊急援助隊事務局課長代理
7	阪本真由美	国際協力事業団兵庫国際センター業務課

## 2. 地震概要

### 2-1. 歴史地震の分布と断層位置

アルジェリア北部は、アフリカプレートとユーラシアプレートの境界に位置し、地中海沿岸では、比較的地震の発生が多い地域である。アルジェリアにおける過去の被害地震（期間 1700～2002 年）の震央分布を図 2-1 に示す。最近では、首都アルジェの西約 180 km のエル・アスナム市の近くにおいて、1954 年（M6.7、死者 1409 名）と 1980 年（M7.5、死者 3500 名）に大きな地震が発生している。今回の地震は、アルジェの東約 50km で発生したものであり、これら最近の大地震の発生地域とは異なるものであった。

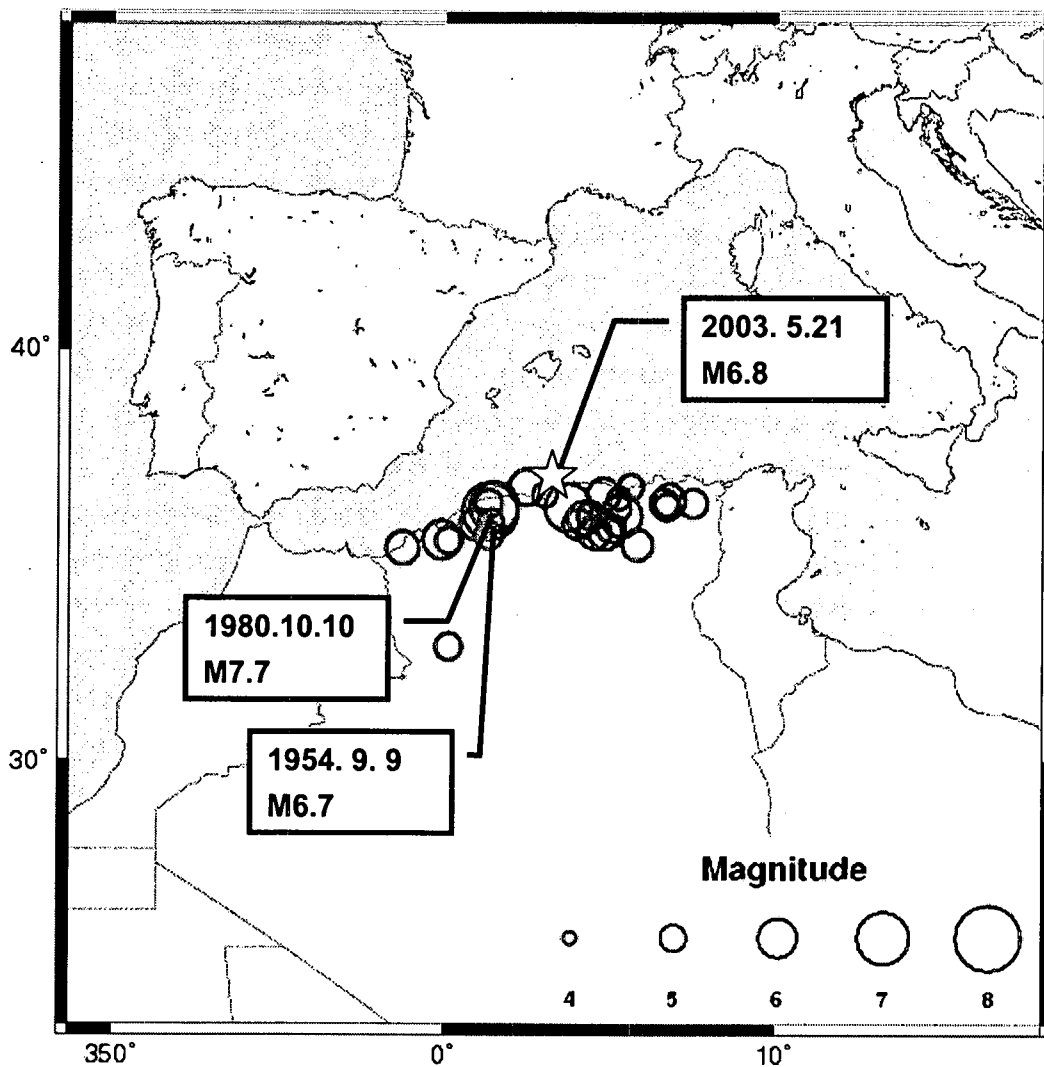


図 2-1 アルジェリアの被害地震（1700-2002）の分布<sup>1)</sup>

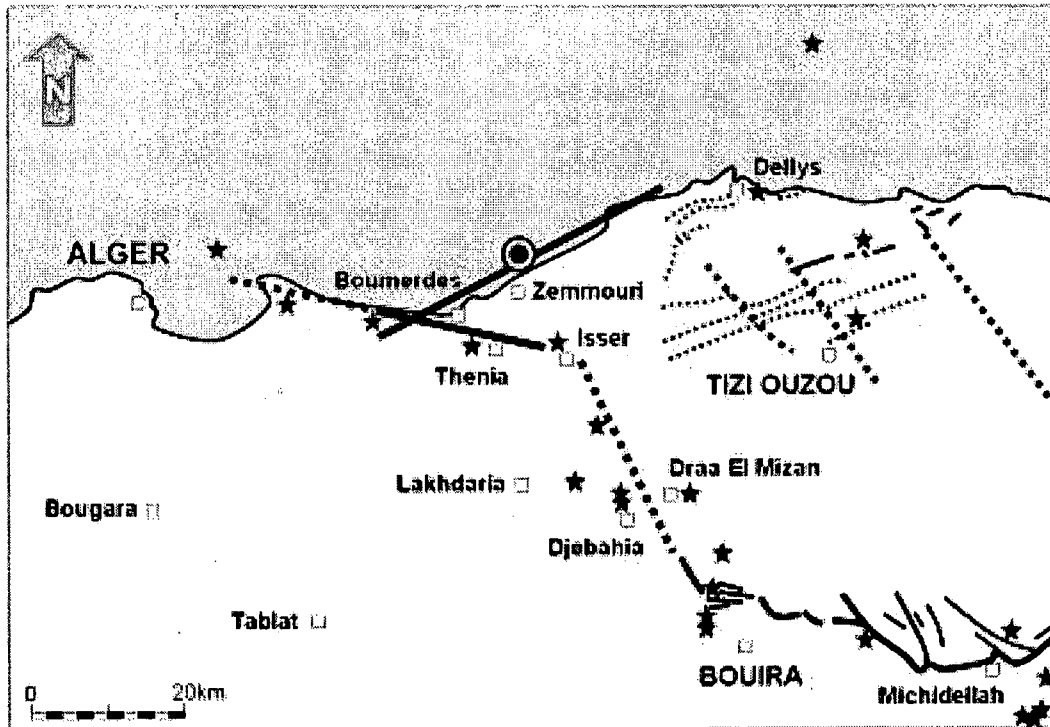


図 2-2 アルジェ周辺の断層分布 (CRAAG からの資料を基に作成)

図 2-2 に、震源近傍の断層と過去の中小地震の分布を示す。図中の●が本地震の震源であり、□が中小地震の震源位置である。CRAAG (アルジェリア国立天文地球物理学研究所) の Chaouche 所長によれば、首都アルジェに向かうテニア (Thenia) 断層の動きを警戒していたところ、これまで知られていなかった別の断層で地震が発生したとのことである。この断層は、地震後にゼンムリ (Zemmouri) 断層と名付けられた。震源深さが 10km と浅く逆断層タイプの地震であったことから、断層が地表に現れているものと思われるが、海底であるため確認されていない。ただし、地震後に海岸線の一部が 50cm ほど隆起したことが分かっている。

## 2-2. 観測地震動記録

アルジェリアでは、CGS (アルジェリア国立地震工学研究所) により強震観測が実施されている。全部で約 40 の観測点があり、そのうちデジタル地震計が 15 台、アナログ地震計が 25 台とのことである。今回の地震において、記録が観測された観測点の位置と最大加速度の値を図 2-3 に示す。全体的に地震波の EW 成分が強いのは、断層が東西に走っていることに起因しており、アルジェリアの地震に共通する特徴と思われる。震源近くの記録は上下動成分が強く、震源の浅い直下型地震の特徴を示している。

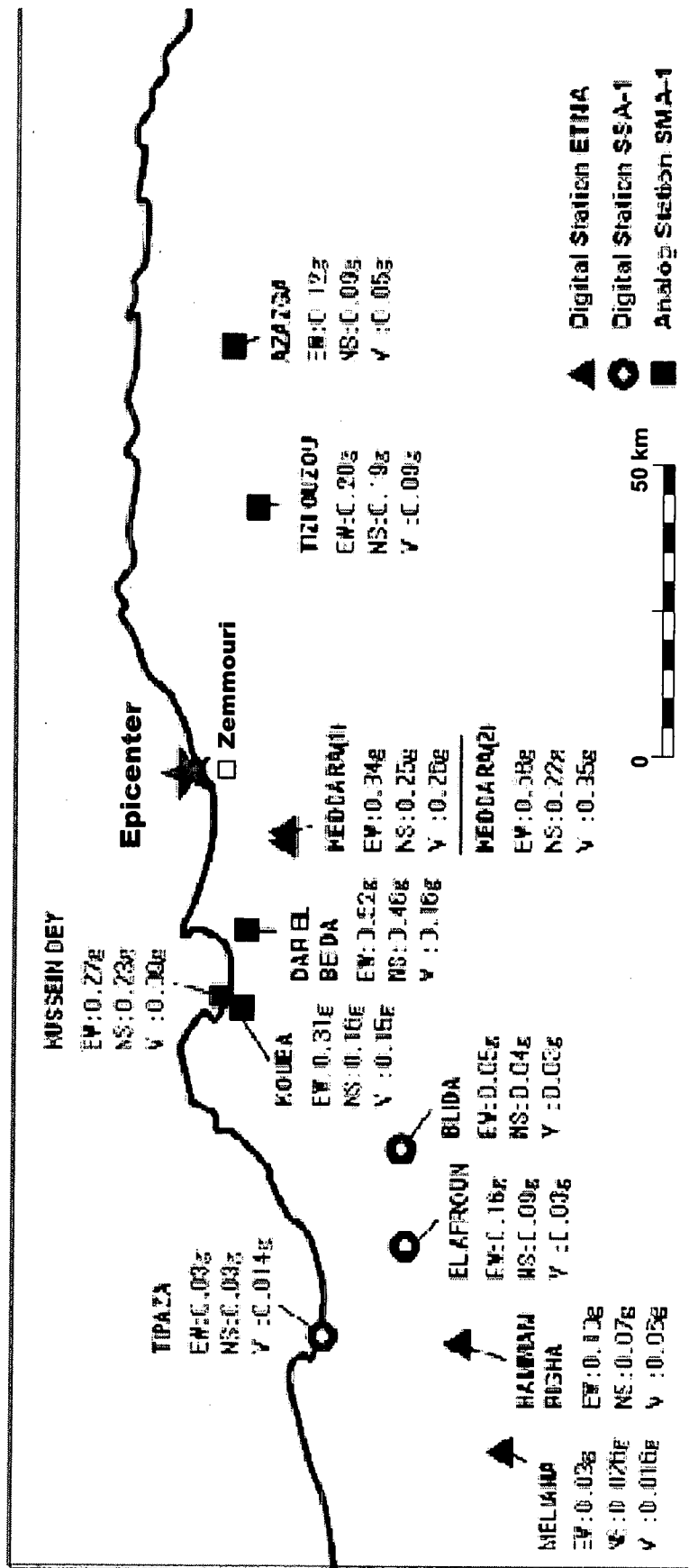


図 2-3 強震観測点の位置と最大加速度の値 (CGS からの資料を基に作成)

図2-4は、震源から約30km離れたケダーラ（Keddara、図2-3参照）において観測された地動加速度記録とその加速度応答スペクトル（減衰定数5%）である。観測点はダム近くの岩盤上に設置されている。なお、同観測点から100mほど離れた別の地震計で580galの最大加速度が記録された。

同じく図2-5は、やや震源から離れたエル・アフロン（El Afroun、図2-3参照）において観測された地動加速度記録とその加速度応答スペクトルである。震源から距離が離れているため、距離減衰の影響で、最大加速度の値はケダーラと比べて小さい。とくに上下動成分の比率が小さくなっている。また、3Hz付近にスペクトルのピークがあるのは、局所的な地盤の影響と思われる。

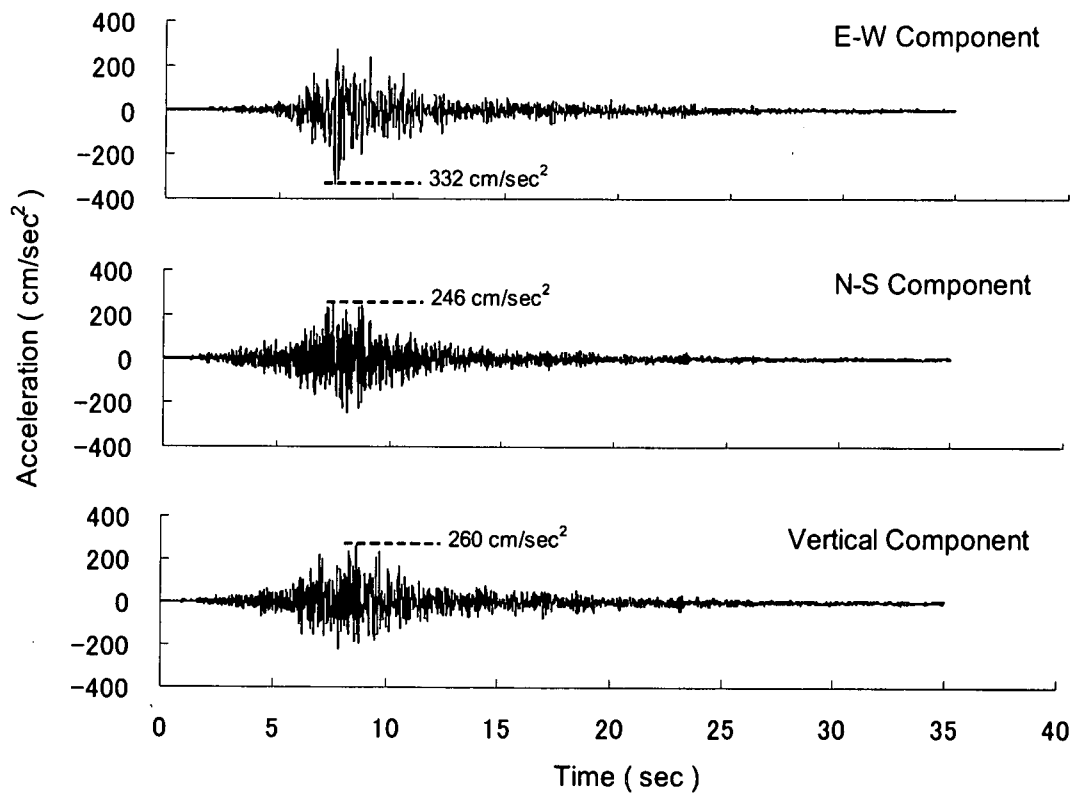
なお、これらの地震動波形から日本の計測震度を計算したところ、ケダーラ（Keddara）で4.7（震度5弱）、エル・アフロンで4.2（震度4）であった。気象庁の震度階級の解説によれば、震度5弱は「耐震性の低い建物では壁などに亀裂が生じるものがある」という程度の地震力であるが、アルジェリアの建物の耐震性が低いために、この程度の地震でも大被害になったものと思われる。

### 2-3. 余震被害

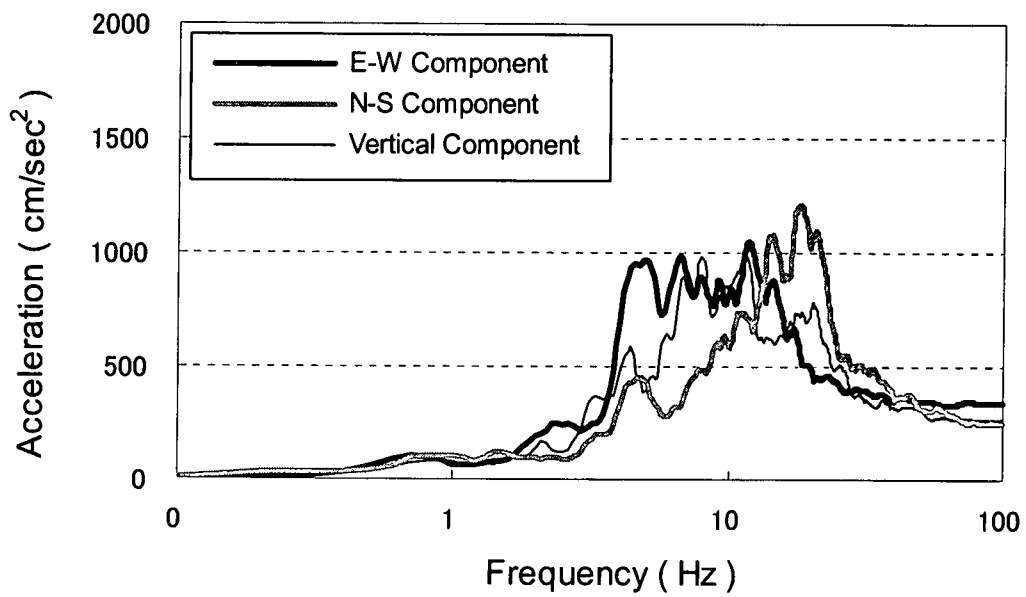
余震は5月27日（M5.8）と29日（M5.8）に発生した。報道記事によれば、最初の余震により、首都アルジェの東約35kmのレガイア（Rhegaia）で15階建てアパートが崩壊し、死者9名が生じたとのことであるが、調査時点では、崩壊したアパートはすでに撤去されており、確認はできなかった。

#### 参考資料

- 1) 建築研究所国際地震工学部ホームページ (<http://iisee.kenken.go.jp>)

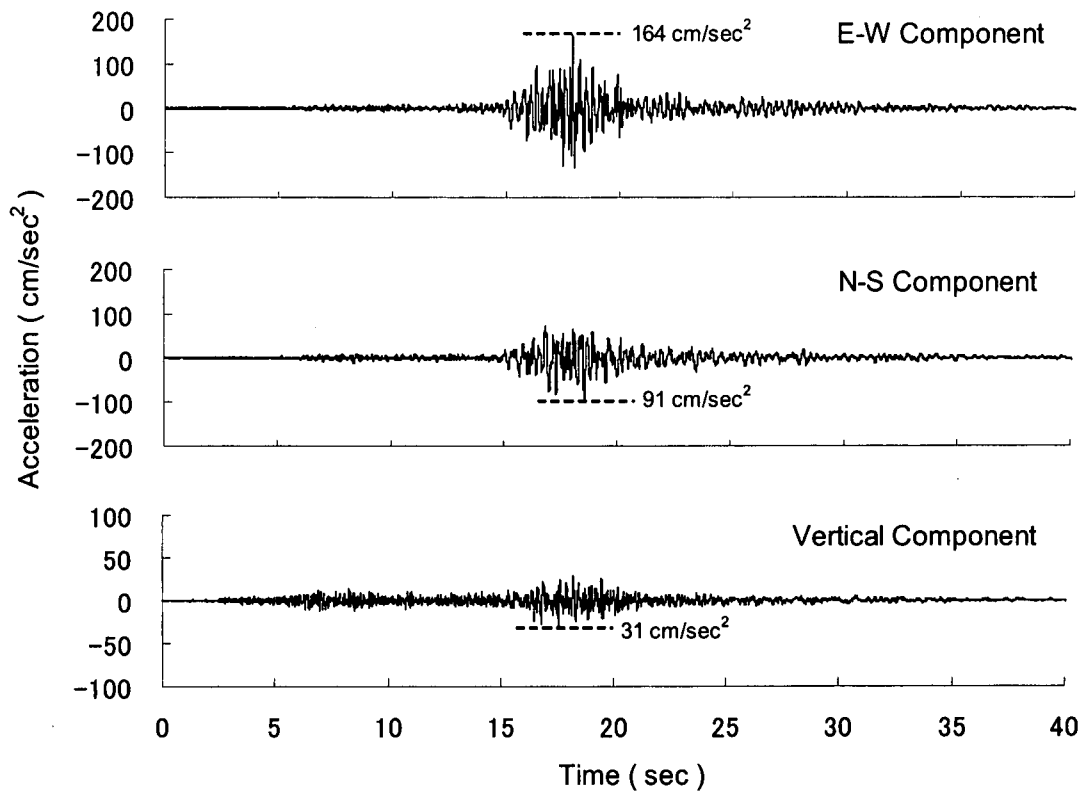


(a) 地震動加速度記録

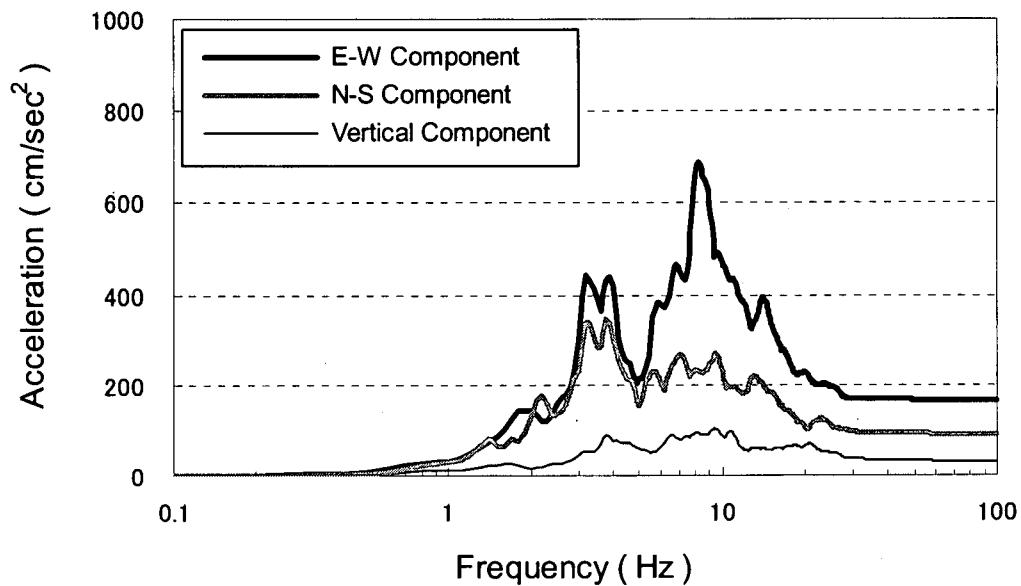


(b) 加速度応答スペクトル (減衰定数5%)

図2-4 観測点ケダラ (Keddara) の地震動記録 (CGSからの資料を基に作成)



(a) 地震動加速度記録



(b) 加速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図 2-5 観測点エル・アフロン (El Afroun) の地震動記録 (CGS からの資料を基に作成)

### 3. 建築物被害の概要

#### 3-1. 調査地点

今回の地震被害では、道路・橋などのインフラ施設の被害が比較的少なく、建築物の被害が甚大であった。図3-1に、調査を行った場所を示す。建築物の被害は、震源に近いゼンムリ市から首都アルジェの近郊にかけての広い範囲で見られた。

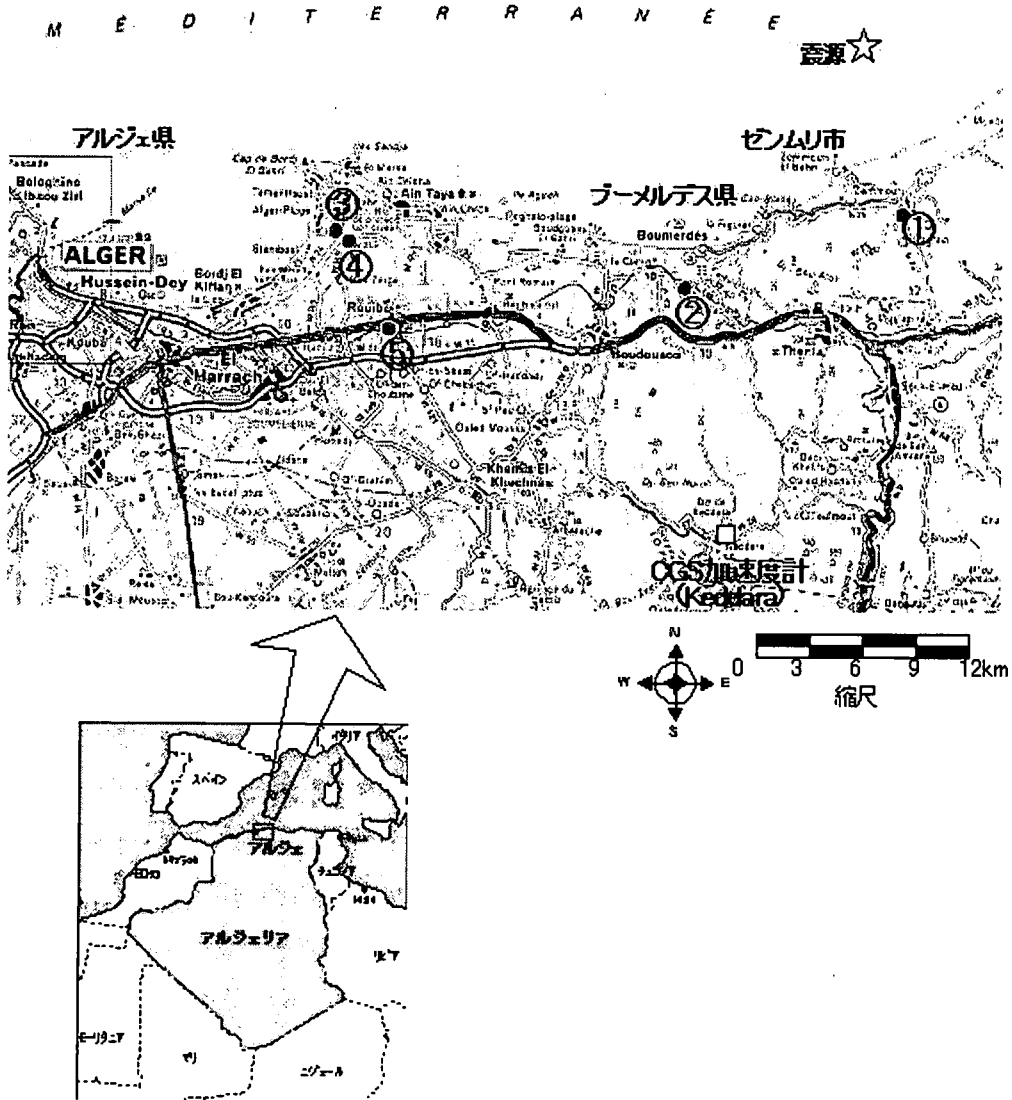


図3-1 被災地域周辺地図と調査地(①~⑥)の位置



### 3-2. CTCによる建築物の応急危険度判定

地震直後から CTC（アルジェリア建設技術管理機構）により建築物の応急危険度判定が行われた。判定作業では、CTC の職員と一般の構造技術者からなる調査チームが構成され、建築物の被害を目視で調査し、結果を調査シート(補足資料2参照)に記入する。その結果は、地区ごとの責任者が取りまとめて本部に報告することになっている。判定結果は5段階（色区分は3段階）に分けられ、1と2は居住可能（無被害あるいは軽微）で緑色、3と4は精査の上使用可否を決定（中破）で橙色、5は使用不可（大破あるいは倒壊）で赤色である。とくに使用不可の建物には赤のペンキで×印を付けて周囲の住民に周知させている。同様の判定作業は、1980年の地震の際にも行われており、日本の応急危険度判定制度よりも歴史がある。ただし、判定士のような特別な資格はなく、今回の地震後に、一般の構造設計者を対象とする講習会を開催したそうである。

表3-1にアルジェ県とブーメルデス県の応急危険度判定結果を示す。すでに約13万棟の建物を判定し、作業はほぼ終了している。被害の大きかったブーメルデス県では大破（赤色）の割合は1割を超えている。

表3-1 応急危険度判定結果（6月13日時点）

	棟数	緑	橙	赤
アルジェ県	97,778	44.6%	47.0%	8.4%
ブーメルデス県	34,671	56.5%	30.6%	12.9%

### 3-3. 建築物被害の特徴

構造形式ごとに被害状況を以下にまとめる。

#### 1) RC ラーメンに煉瓦壁を有する構造

アルジェリアでは最も一般的な構造形式であり、低層から高層の建物まで幅広く見られる。今回の地震では、この構造の建物が大きな被害を受けた。被害の特徴は、低層部分の煉瓦壁が崩れ落ち、残された柱の柱頭・柱脚部に損傷が集中するもので、中にはパンケーキ状に層崩壊しているものも見られた。柱は30cm角程度と細く、損傷は柱端部のコンクリート打ち継ぎ面や梁との接合部に生じている。接合部にせん断補強筋がないもの、コンクリートの品質が悪いもの、主筋が錆びているものなど、明らかに施工不良と思われるものも数多く見受けられた。また、1階をガレージや店舗にして他の階よりも壁が少ない建物では、1階部分に被害が集中しているものが多数あった。

(写真1～12はゼンムリ市内。そのうち、写真1～10は、図3-1の調査地①)



写真1 1階の煉瓦壁の崩落



写真2 1階の煉瓦壁の崩落



写真3 完全に崩壊した建物



写真4 完全に崩壊した建物

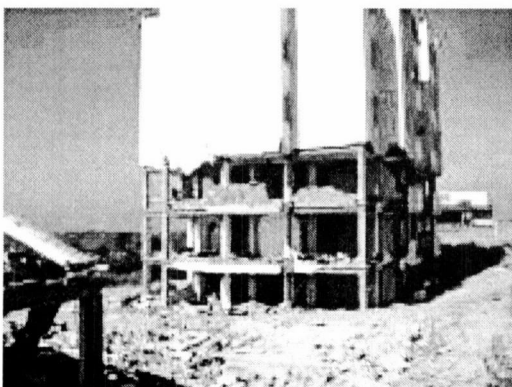


写真5 崩壊を免れた建物



写真6 柱端部の破壊



写真7 大破した建物



写真8 柱端部の破壊



写真9 接合部の破壊



写真10 柱の破壊（主筋の破断）



写真11 ピロティ階の崩壊

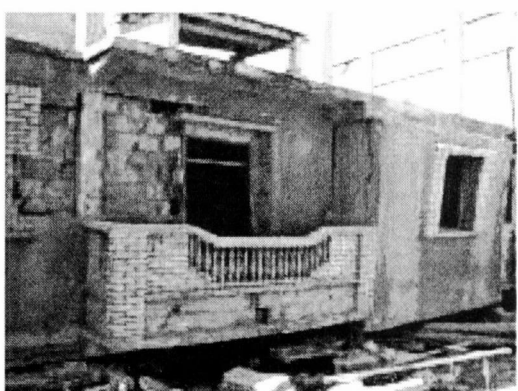


写真12 ピロティ階の崩壊

(写真13～18はアルジェ県内。写真13は調査地③、写真14～18は調査地④)



写真13 比較的新しい住宅の被害



写真14 比較的新しい公共住宅の被害



写真15 崩壊した建物と残った建物

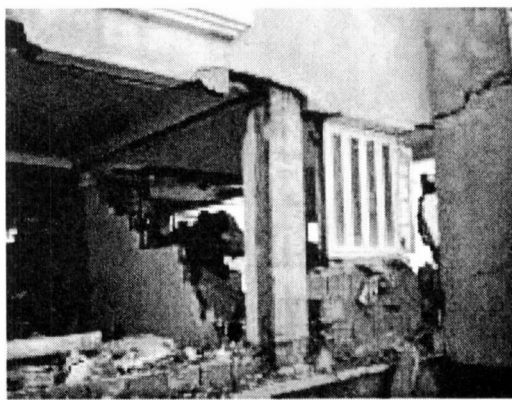


写真16 大破建物の内部



写真17 柱の打ち継ぎ部の被害



写真18 柱の打ち継ぎ部の被害

## 2) 半地下の設備階を有するRCラーメン構造（アルジェ県内、調査地⑤）

比較的古い中層の集合住宅に見られる構造形式で、半地下の設備階があり、地表部分の短い柱で上の建物を支えている。この短柱が地震によりせん断破壊しているものが見られた。ただし、短柱には比較的主筋が密に配置されており、建物全体が傾斜するほどの被害は生じていないように見受けられた。



写真19 半地下の設備階を有する建物

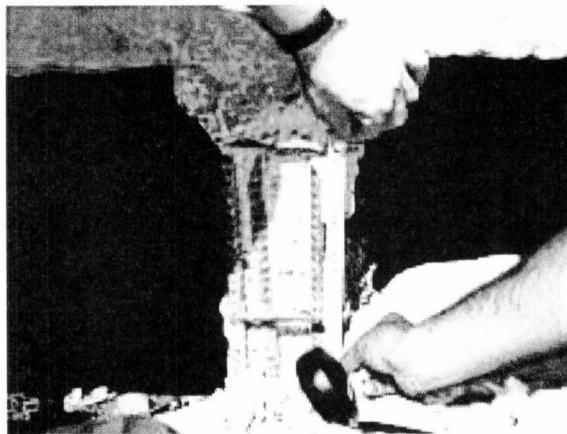


写真20 短柱の被害

## 3) 壁式RC構造（アルジェ県内、調査地⑤）

中低層の集合住宅に見られる構造形式で、数は多くない。この構造の建物は、古い建物でもほとんど被害が見られず、耐震性に優れていることが確認された。

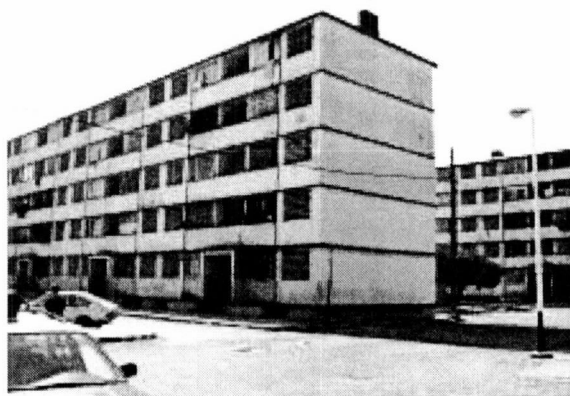


写真21 壁式構造の建物（無被害）

#### D. その他

震源に近いゼンムリ市の比較的新しい団地において、広い範囲で外装材の RC 造パネルの損傷、落下が見られた。パネルを接合する金属金具の強度が不足していたものと思われる。

(写真 2 1～2 2 はゼンムリ市内、調査地①)

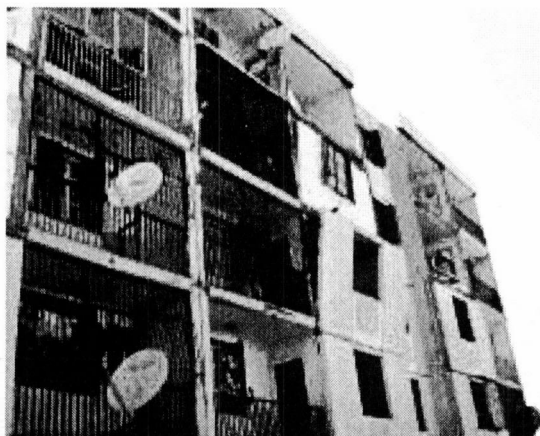


写真 2 1 外装 PC パネルの損傷・落下



写真 2 2 落下した PC パネル

また、震源に近いブーメルデス大学では、南キャンパスの講義棟の建物が 2 棟完全に崩壊する被害が見られた。建設時が 1970 年代で耐震設計が十分になされていないことも考えられるが、同じ設計の講義棟でも、震源に近い北キャンパスがほとんど無被害であるのに対し、高台にある南キャンパスの被害が大きいなど、地盤や地形の影響で地震波が増幅された可能性も考えられる。

(写真 2 3～2 4 はブーメルデス県ブーメルデス市内、調査地②)

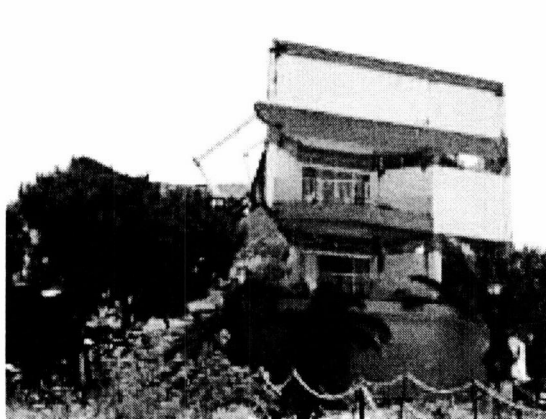


写真 2 3 崩壊した大学の講義棟



写真 2 4 壊れ落ちた煉瓦の外壁

#### 4. 耐震設計法について

アルジェリアでは、1954年の地震のあと、フランスの基準に基づき耐震設計が行われるようになった。その後、1978年に米国のスタンフォード大学の協力のもとに新しい耐震基準案が作られ、1980年の地震を契機に徐々に使われるようになったようである。ただし、法律として公文化されたのは1999年で、耐震設計法(RPA99)として施行されたのは2000年からである。今回の地震では、1980年以前に建てられた建物に被害が多いとの現地側の指摘もあり、耐震設計と被害との間に強い相関があるものと考えられる。今後の地震対策にとって重要な情報と思われるので、現地側の詳細な調査を望みたい。

現在の耐震設計法 RPA99 では、設計用層せん断力係数を次式により求めている。

$$V = ADQW/R \quad (4-1)$$

ここに、A は基準加速度の地域係数で、建物の重要度と地域 (ZONE0~ZONEIII) の組み合わせで 0.1 から 0.35 の値をとる (図 4-1 参照)。D は動的増幅係数で、地盤種別に応じたスペクトルで与え、最大で 2.5 の値をとる。Q は品質係数で、施工品質や建物の不整形性の程度に応じて最大で 1.35 の値をとる。W は建物全重量、R は建物の挙動係数で構造種別により 2 から 5 の値をとる。

例えば、標準的な RC フレームで煉瓦の非構造壁を有する場合、首都アルジェ (ZONE II) では、設計ベースシャー係数はおよそ 0.1 ( $A=0.15$ ,  $D=2.5$ ,  $Q=1.0$ ,  $R=3.5$ ) となり、日本の 3分の1 程度の値である。

今回の地震が、地域係数の 2 番目の地域 (ZONE II) で起きたことから、地域係数の見直しが議論されているようである。

その他、今回の被害に多く関係する鉄筋コンクリート造建築物の短柱や帯筋間隔に関する規定も設けられている。短柱については、柱せいが柱内のり高さの 4分の1 以下になることが要求されている。腰壁等の非構造部材が柱に取り付いている場合、柱内のり高さに、腰壁等の高さを含まない。帯筋間隔については、柱頭、柱脚部において、10 センチメートル以下、柱の中段においては、柱幅の半分あるいは柱奥行きをの半分、または主筋径の 10 倍のうち最も小さい値以下であることが要求されている。

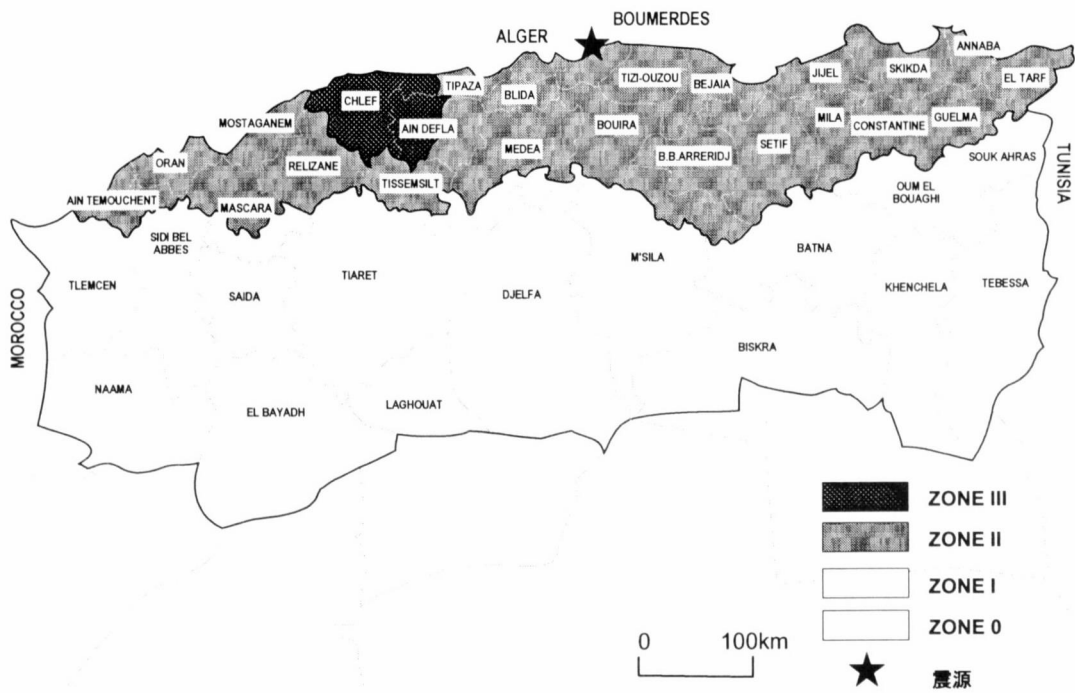


図 4 - 1 基準加速度の地域係数

参考資料

- 1) 「アルジェリア地震日本政府派遣技術協力チーム報告書」国際協力事業団、昭和 56 年 10 月
- 2) 「1980 年アルジェリア地震およびイタリア南部地震災害調査報告」日本建築学会、昭和 57 年 9 月



## 5. まとめ

今回の地震では、2千人以上の犠牲者が生じたが、地震後の政府の対応は比較的迅速で、被災者の避難や応急危険度判定なども効率的に行われているとの印象を得た。これは前回1980年の地震の教訓が生かされたものと思われる。しかしながら、13万棟の被災建物に対して、応急危険度判定に携わる技術者の数が400人程度と少なく、迅速な判定作業を行うための体制が十分とは言えない。今後の地震災害に備えるためにも、建築物危険度の判定作業が行える十分な数の人材を日頃から育成しておくことが有効と思われる。

一方、建築物の被害の特徴は、1980年の地震のときとほとんど同じと言ってよく、その意味では、以前の地震の教訓が生かされているとは言えない。とくに、前回の地震被害と同様、被害を受けた建物の多くで、コンクリートの品質がよくないものや、柱端部や接合部の鉄筋量が不足しているもの、鉄筋が錆びているものが見られた。こうした耐震性の劣る不良建築をなくすためにも、建築物の建設に関わる行政の検査・確認の制度を強化し、基準に従って適切に施工をするように指導することが求められる。

また、被害建物の多くが、耐震設計が普及する1980年以前に建設された建物であるという指摘もある。同様の古い建物は、今回の被災地に限らず、アルジェリアの全ての都市に数多く存在することから、既存建築物の耐震性を調査し、必要に応じて補修・補強するような対策が必要である。

今回の地震では、煉瓦壁を有する鉄筋コンクリート柱梁フレーム（ラーメン構造）が大きな被害を受けた。一方、鉄筋コンクリートの壁式構造の建物は、古い建物でもほとんど被害が見られなかった。このように、より耐震性の高い構造システムの採用や研究開発を、行政が中心となって促進することが重要である。

また、耐震設計の基本的な情報である地震動についても、対象地域周辺の地震活動や地盤や地形による地震波の増幅特性などの情報を基に、想定される地震動の大きさを地図上に表示する、いわゆる地震マイクロゾーニングを行って、その結果を耐震設計に反映していくことが大切である。

なお、今回の派遣では、昨年まで建築研究所の国際地震工学研修（JICA 集団コース「地震・耐震工学」）に参加したCGSのBourzam氏が、アルジェリア政府側の一員として多大な協力をしてくれた。研修事業の重要性を最後に指摘したい。

(以上)