

第4章 マイクロゾーニングで用いる社会条件

4-1 建物

(1) 建物インベントリー調査

建物インベントリー調査は、アルジェ県の調査地域内の34コミューンで実施した。調査の目的は、各コミューンの建物種別データを得ることであり、以下の調査項目を含んでいた。

- 建物所在地
- 用途
- 所有者（公共、民間）
- 構造形式
- 階数
- 建設年
- 増築と補強工事の有無
- 地盤条件
- 耐震設計適用の有無
- その他

調査には、構造サーベイシートを作成、使用した。

サンプル数は、調査地域の大きさ（224 km²）、人口（約180万人）、調査期間、費用等を考慮して1,000とした。建物数データが調査時点では不明だったため、コミューンごとのサンプル数は、人口比率で配分し11～59棟であった。

34コミューン各々について、ランダム選定した合計1,003棟の建物を調査した。JICA調査団の指示のもと、調査はURBANISが実施した。調査結果の要約は、以下のとおりである。

1) 構造種別

組積造の建物比率は33.5%で、その多くは石造であり、レンガ造は少ない。鉄筋コンクリート造は64.6%で、その多くは骨組み構造である。鉄筋コンクリート壁式構造と壁式と骨組み構造との併用も使用されている。鉄骨造は、僅か0.9%であった。

2) 建設年

建物の建設年分類による比率は、1955年以前が41%、1956年から1980年が17.1%、1981年から1999年が34.7%、2000年以降が5.7%であった。組積造の建物の建設は1900年代前半に、鉄筋コンクリート造の建物は1900年代後半に多く建設された。例えば、アルジェセンターの組積造建物は、1880年から1940年にかけての約60年間で建設された。

3) 建物の階数

1階から3階建までが59.8%、4階から8階建までが35.4%、9階建以上が3.6%であった（注：この分類は後で1階から2階建、3階から5階建、6階建以上に変更した）。

4) 耐震設計

耐震設計されている建物の比率は23%、耐震設計されていない建物の比率は77%であった。耐震設計されていない建物は、1980年以前に建設されたか、1981年以降2002年までに建設された民間建築である。

(2) 重要・危険物施設インベントリー調査

重要・危険物施設の配置と状況は、建物インベントリーデータと同様に、「地震マイクロゾーニング調査」のハザード、および、リスクマップに含まれるべき有用なデータである。当初、CGSとJICA調査団は協議して、対象530施設を無作為に選択した。これら530施設は、全34コミュニティにそれぞれ14個の重要・危険物施設を選び、特定施設54個を追加した。

施設の主要構造形式は、鉄筋コンクリート造であり、全体の75%を占めている。この値は、建物インベントリー調査結果の65%より多い。表4-1に示すように、鉄骨造の施設は、建物インベントリー調査の1%に比べかなり多く、8%になっているが、組積造は、建物インベントリーでは34%が、重要・危険物施設インベントリーでは16%に減少している。

表 4-1 建物インベントリーと重要・危険物施設インベントリー調査結果の比較

構造形式			建物インベントリー調査		重要・危険物施設インベントリー調査	
			棟数	%	棟数	%
1	組積造	カスバ地区	6	0.6%	11	2.1%
2		石およびレンガ	330	32.9%	75	14.1%
3	鉄筋コンクリート造	規準以前	407	40.6%	184	34.7%
4		初期の耐震規準	100	10.0%	142	26.8%
5		中期の耐震規準	17	1.7%	20	3.8%
6		現行耐震規準	4	0.4%	5	0.9%
7		耐震壁および複合構造	119	11.8%	47	8.9%
8	鉄骨造	鉄骨造	9	0.9%	43	8.1%
9	その他	その他	11	1.1%	3	0.6%
合計			1,003	100.0%	530	100.0%

4-2 インフラ・ライフライン

4-2-1 道路

JICA調査団は、調査地内の道路ネットワークを「高速道路」、「国道」、「県道」、および、「コミュニティ道・その他道路」の4つに分類し、GISを用いて整理・図化した。図4-1に、各コミュニティにおける道路種別ごとの道路延長を、図4-2に、道路幅員ごとの道路延長をそれぞれ示す。

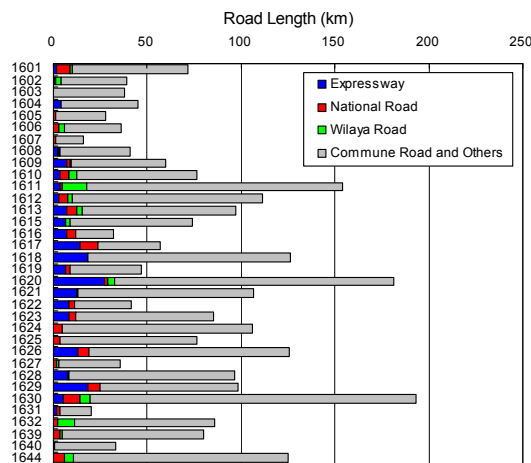


図 4-1 道路種別ごとの道路延長

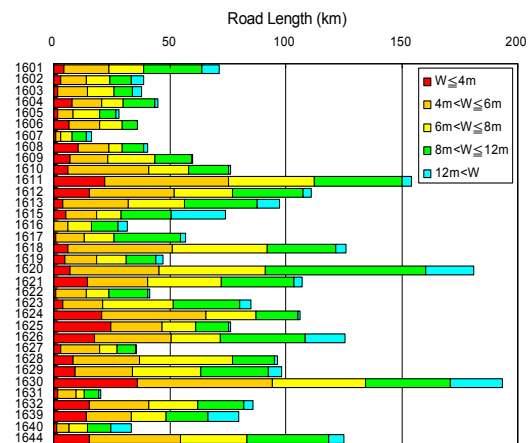


図 4-2 道路幅員ごとの道路延長

4-2-2 橋梁

橋梁インベントリー調査の結果、調査地に位置する橋梁の数は、全部で148橋（そのうちの1橋は、CHERAGA との境界に接する DELY BRAHIM に位置する）であった。

図 4-3 に、橋梁構造の特徴をとりまとめた。桁掛り長をみてみると、70 cm 以上確保している橋梁が大半（121 橋）を占めている。このことは、調査地内の橋梁の多くが、落橋防止に有効な構造を有していることを示唆しているといえよう。

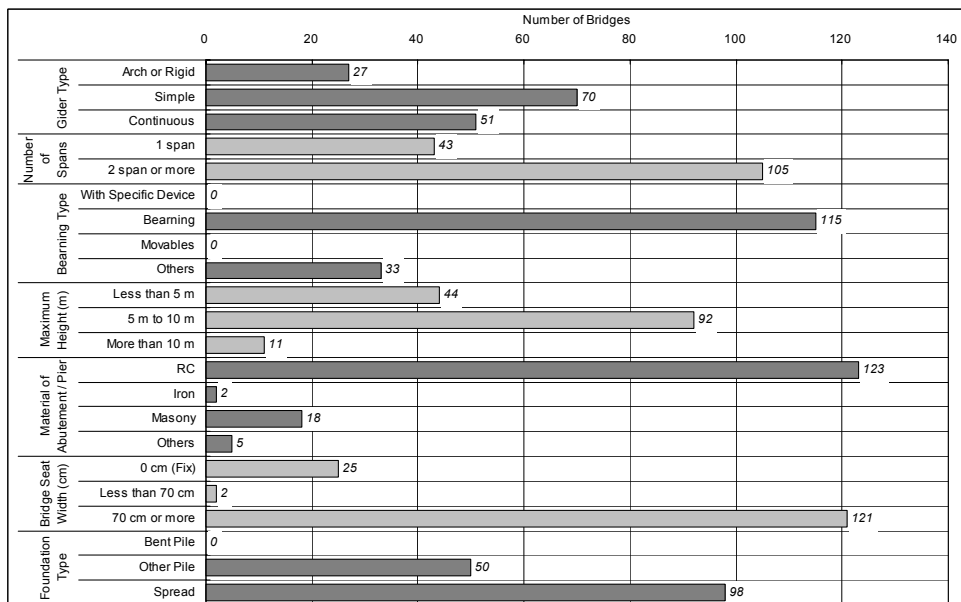


図 4-3 橋梁構造の特徴

橋梁の位置と地勢状況の関係を概観すると、低地部 (q、qt、e、a2、a3、ap) に105橋（全体の71%）、山地部 (mi、p1、p2c、p21) に43橋（29%）が分布している（図 4-4 参照）。

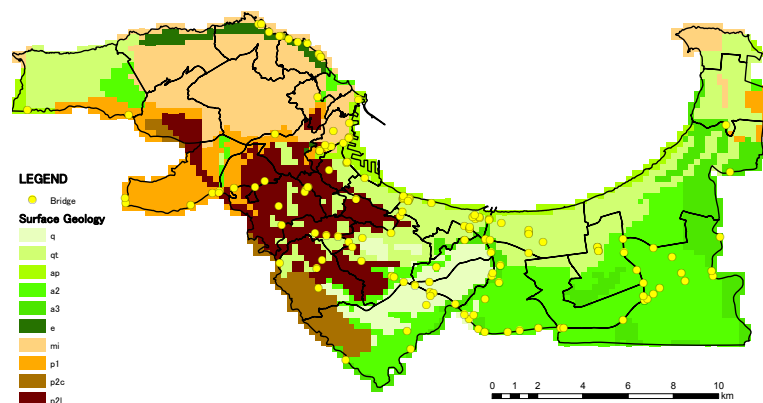
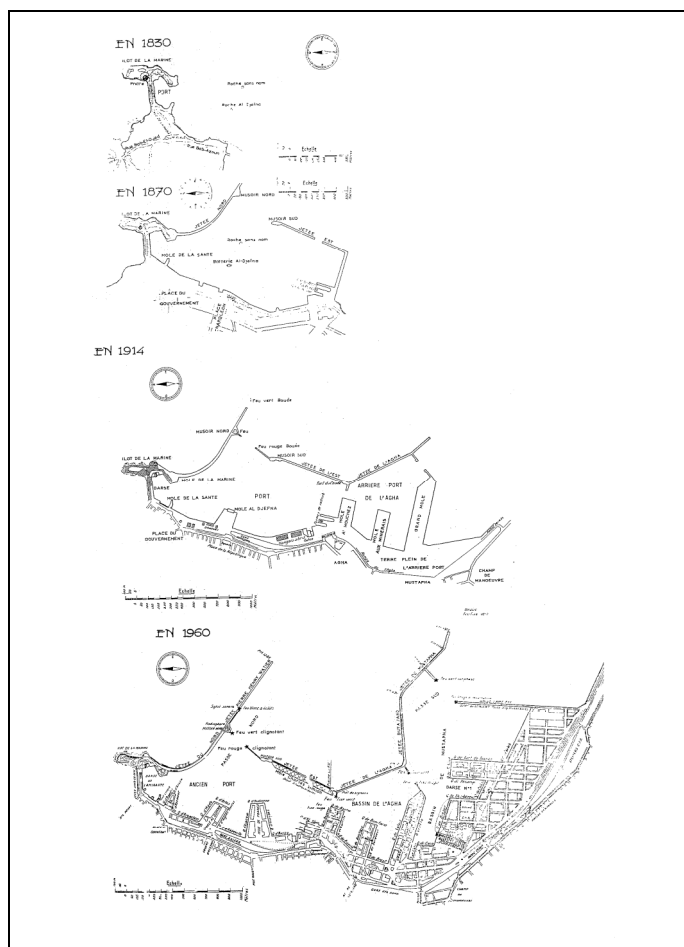


図 4-4 橋梁位置と表層地質分布の関係

4-2-3 港湾

LEM 提供の資料によると、現在の港湾施設の形状は、図 4-5 に示すように、1960 年時点でほぼ形作られていたことがわかる。



資料提供：LEM

図 4-5 港湾施設の変遷

4-2-4 空港

アルジェ空港は、開港60年以上経っており、新国際ターミナルは、現ターミナルの隣に、RPA99の耐震基準に準拠して建設されている。

4-2-5 上水道

調査地には、上水道の管網が延長約2,148.2 km、給水塔が計23基分布する。

表4-2に示すように、上水道管の材質は8種類あり、そのうち、铸铁管（延長979 km）が最も多く使用されている。また、管種と管径の組み合わせでは、管径75 mm～150 mmの铸铁管が、最も多く使用されていることがわかる。

表4-2 管種－管径の組み合わせとその延長

管 種	管 径	管 径						不明	計
		$\phi \leq 75$ mm	75 mm < $\phi \leq 150$ mm	150 mm < $\phi \leq 250$ mm	250 mm < $\phi \leq 450$ mm	450 mm < $\phi \leq 1,000$ mm	1,000 mm < ϕ		
AC、AMC：石綿管		2,603	91,727	33,957	26,768	23,530	9,232	—	187,817
AG：亜鉛メッキ鋼管		91,836	79,634	—	—	—	—	—	171,470
B：コンクリート		—	—	—	—	8	—	—	8
BPAT：プレキャストコンクリート		—	2,772	23,954	34,940	91,807	64,738	—	218,211
F：铸铁管		98,005	545,781	156,987	135,705	41,104	1,016	—	978,598
FD：ダクタイル铸铁管		7,907	179,370	44,122	28,032	19,040	—	—	278,471
FG：灰色铸铁管		46,166	183,861	36,647	19,740	11,536	—	—	297,950
PEHD：ポリエチレン管		1,357	147	1,212	1,717	—	—	—	4,433
PVC：PVCパイプ		2,191	8,337	62	—	—	—	—	10,590
不 明		—	521	—	—	—	—	267	788
計		250,065	1,092,150	296,941	246,902	187,025	74,986	267	2,148,336

資料提供：DHW

4-2-6 下水道

調査地における下水道管の総延長は、JICA調査団がGISを用いて整理・図化したデータに基づくと、約221 kmである（表4-3参照）。ALGIER CENTERとその周辺には、植民地時代に建設された古い下水管が多く分布している。また、郊外では、それらの置き換えや、新設が進められている一方、アルジェ県全体における下水道管網の開発・改善が計画されている。

表4-3 下水道管の状態別延長

状 態	延 長 (km)
古くに建設された下水管	74
現状の下水管	78
施工中の下水管	41
建設計画がある下水管	28
計 画	221

資料提供：DHW

4-2-7 電気

JICA 調査団が GIS を用いて整理・図化したネットワーク図を基に、調査地における高圧電線（220 kV～60 kV）と中圧電線（都市部では 30 kV、地方では 10 kV）の長さを計測したところ、各延長は約 98.9 km、および、約 795.2 km であった（なお、この計測延長については、実際は 1 区間につき複数本配線されている場所でも、1 区間 1 本として計上している）。これらの配線は、架空線と地下埋設線からなり、主に前者は都市部、後者は郊外で採用されている。表 4-4 に、各電圧と配線種類の組み合わせに対する、延長を示す。

表 4-4 電圧－配線の組み合わせとその延長

配線の種類	電 圧		
	高 圧	中 圧	計
架空線	36.0	123.8	159.8
地下埋設線	62.8	671.4	734.2
計	98.8	795.2	894.0

資料提供：SONELGAZ

地下埋設線において、高圧電線はパイプやカルバートで保護されているが、中圧電線は保護工無しに、直接埋設されているケースが多い。

また、架空線の主な支持構造物は、高圧電線が鉄塔、中圧電線が電柱である。

4-2-8 ガス

JICA 調査団が GIS を用いて整理・図化したネットワークを基に、調査地における高圧ガス管（20 bar～70 bar）と中圧ガス管（4 bar～5 bar）の長さを計測したところ、各延長は約 71.2 km、および、約 776.8 km であった（表 4-5 参照）。高圧ガス管は、鋼管が使用され、API 基準に則して建設されている。また、中圧ガス管には、鋼管、ポリエチレン管、銅管が使用されているが、鋼管とポリエチレン管が大半を占めている。

表 4-5 ガス圧ごとの管延長

ガス圧		延 長 (km)	管種別使用割合 (%)
高 圧		71.2	
中 圧	鋼管	379.0	48.8
	ポリエチレン管	372.3	47.9
	銅管	25.5	3.3
計		776.8	100.0

資料提供：SONELGAZ

4-2-9 電話

本調査において、電話線のネットワーク（光ファイバーなど）に関する詳細なデータは、入手できなかった。

ヒアリングの中で得られた情報としては、中継局を結ぶ光ファイバーのほとんどが、保護工無しに埋設されている、とのことであった。

4-3 人口と住居

4-3-1 人口

各コミューンの人口を「1998年版人口・住宅センサス」から取り出し、表4-6に示した。

4-3-2 建物棟数

調査地域内の建物棟数に関する公式な統計資料は、存在しない。本調査では、URBANISから購入したGISデータベースに含まれていた建物の外形ポリゴンをJICA調査団が修正して作成したデータベースを用いて、各コミューンの建物棟数を推定した。表4-6の「建物棟数/コミューン境界内」の数値は、その外形ポリゴンの重心がコミューン内に位置している建物棟数である。

本調査では、建物被害は250mグリッド単位で計算されるため、各250mグリッド内の建物棟数をあらかじめ推定しておく必要がある。そのため、各250mグリッド内にその重心が位置する建物数を数え、被害想定の基本データとして用いた。グリッドごとに計算された建物被害をコミューンで集計し表にまとめるためには、各グリッドをいずれかのコミューンに対応づける必要がある。表4-6の「建物棟数/対応グリッド内」の数値は、各コミューンに対応付けられたグリッド内の建物数の合計である。

4-3-3 住居数

本調査では、人的被害は建物の被害棟数ではなく、住居の被害数に基づいて算定した。各グリッドとコミューンの既存住居数、および、被害住居数は、各コミューンにおける建物1棟あたりの平均住居数を用いて推定した。

4-3-4 まとめ

表4-6中、(a)列と(b)列の数値は、各コミューンに関する正確な値であり、(c)列と(d)列はグリッドとコミューンの対応関係に基づいて集計された数値である。被害想定は250mグリッドを単位として実施され、推定された被害数はコミューン単位で集計されて表にまとめられた。したがって、被害集計表中に示された既存住居数は、センサスによる住居数とは異なっている。被害率の算定の際には、表4-6の(a)列と(b)列ではなく(c)列と(d)列の数値を母数として使っている。まとめると以下のようなものである。

- 1) 「1998年版人口・住居センサス」には、コミューンごとの人口と住居数の統計値が示されている。
- 2) URBANISから購入したGISデータに含まれていた建物外形の数

- 3) (d) = (c) × (a) / (b)
- 4) 「対応グリッド内」にはアルジェ港内の防波堤上の 16 棟の建物は含まれていない。
- 5) 「対応グリッド内」には DAR ELBEIDA の建物のうち、調査地域外に位置する 267 棟は含まれていない。
- 6) 上記 4)、5)の理由により「対応グリッド内」の数値は、建物は GIS データより 283 棟少なく、住居はセンサスより 872 戸少ない。

表 4-6 コミューンごとの建物棟数と住居数

ID	コミュニティ名	1998版センサス ¹⁾		建物棟数 ²⁾		対応グリッド内の住居数 ³⁾
		人口	住居数 (居住者あり)	コミュニティ 境界内	対応グリッド内	
			(a)	(b)	(c)	
1601	ALGER CENTRE	96,329	18,320	3,836	3,396	16,219 4)
1602	SIDI M'HAMED	90,455	15,005	2,388	2,206	13,863
1603	EL MADANIA	51,404	7,741	2,752	3,124	8,788
1604	HAMMA EL ANNASSER	59,248	9,181	2,317	2,169	8,594
1605	BAB EL OUED	87,557	13,297	1,900	1,884	13,184
1606	BOLOGHINE	43,283	6,717	2,965	2,933	6,643
1607	CASBAH	50,453	9,164	2,467	2,739	10,175
1608	OUED KORICHE	53,378	8,629	2,528	2,585	8,823
1609	BIR MOURAD RAIS	43,254	6,865	4,654	4,696	6,927
1610	EL BIAR	52,582	8,846	7,606	7,408	8,616
1611	BOUZAREAH	69,153	10,847	9,578	9,804	11,098
1612	BIRKHADEM	55,084	8,312	6,348	6,459	8,455
1613	EL HARRACH	48,167	7,109	4,442	4,560	7,296
1615	OUED SMAR	21,397	2,858	3,193	3,455	3,092
1616	BOUROUBA	77,498	10,192	5,222	4,808	9,385
1617	HUSSEIN DEY	49,921	7,489	4,326	4,630	8,015
1618	KOUBA	105,253	17,039	9,573	8,940	15,913
1619	BACH DJERAH	90,073	13,294	5,337	6,041	15,048
1620	DAR EL BEIDA	44,753	6,302	8,366	8,094	6,095 5)
1621	BAB EZZOUAR	92,157	14,549	5,519	5,138	13,544
1622	BEN AKNOUN	19,404	3,223	3,136	3,299	3,391
1623	DELY BRAHIM	30,576	4,603	3,877	3,813	4,526
1624	HAMMAMET	19,651	3,219	2,179	2,223	3,283
1625	RAIS HAMIDOU	21,518	3,211	3,410	3,364	3,169
1626	DJASR KACENTINA	82,729	12,527	3,427	3,458	12,639
1627	EL MOURADIA	29,503	4,981	3,253	3,277	5,017
1628	HYDRA	35,727	6,215	7,135	6,980	6,080
1629	MOHAMMADIA	42,079	6,481	4,148	4,321	6,749
1630	BORDJ EL KIFFAN	103,690	14,501	11,010	10,915	14,375
1631	EL MAGHARIA	30,457	4,704	2,727	2,643	4,559
1632	BENI MESSOUS	17,490	2,668	2,286	2,254	2,630
1639	BORDJ EL BAHRI	27,905	4,092	4,797	4,724	4,030
1640	EL MARSA	8,784	1,308	1,273	1,330	1,366
1644	AIN BENIAN	52,343	8,221	6,340	6,362	8,252
	Total	1,803,255	281,710	154,315	154,032	279,838 6)

第5章 地震ハザード評価

5-1 シナリオ地震

5-1-1 5 活断層と地震地体構造モデル

現在の地殻変動パターンを考慮した地震地体構造論に立脚して、調査地域周辺で以下の断層を選択し、その延長、幅と変位速度をモデル化した（図 5-1）。

(1) Sahel 断層

Sahel 断層は、南の Mitidja 盆地と北の Sahel 山地の境界に位置する断層である。Sahel 断層の深い構造は良く分かっていないが、全てのセグメントが地下深くではつながっていて、全体が一度に破壊すると仮定すると、断層長さは約 75 km となる。また、断層は深さ 15 km まで延びているものと推定される。断層変位による地形的な影響を考えると、断層に沿ったすべりは、1年に 0.1~1 mm と推定できる。本調査では、変位速度は 0.5 ± 0.2 mm/年と仮定する。

(2) Chenoua 断層

Chenoua 断層は、Chenoua 山塊の南縁から北東の沖合へと延びている。MARADJA クルーズによって得られた海底地形と地震観測結果から、Chenoua 断層は長さ約 50 km で、傾斜は北西に 45° と考えられる。本調査では、変位速度は 0.5 ± 0.2 mm/年と仮定する。

(3) Blida 断層

Blida 断層（別名：南 Mitidja 断層）は、北の Mitidja 盆地と南の Blida 山脈の境に位置する断層である。深部でのセグメンテーションは不明であるが地形的に判別されるセグメントは全て一度に活動すると考え、断層長さは約 90 km とする。深さ方向には、20 km 程度延びているものと推定される。本調査では、変位速度は 2.5 ± 1.0 mm/年と仮定する。

(4) 海岸線に沿った海域の活断層

最近実施された MARADJA クルーズにおける海底地形探査と反射法探査 (Deverchères et al., 2005) によって、Zemmouri の北の沖合で大陸斜面の裾に沿った海底断層の存在が明らかにされた。海底地形データからは、Zemmouri 断層は西へはおおよそ Matifou 岬の沖合の辺りまで延びていることが分かった。また、同じく MARADJA クルーズのデータからアルジェ湾の西側に位置する Khair al Din 瀬の北にある大陸斜面の裾に沿って、Zemmouri 断層と類似した南傾斜の大きな断層が見つかった (Domzig et al. 投稿中)。海底地形によるとこの断層は東へは AIN BENIAN のあたりまで続いていることが分かった。アルジェ湾まで延びているという証拠は海底地形からは得られないが、Khair al Din 断層は、少なくとも部分的には調査地域にまで達していると考えべきである。これらの断層のセグメント構造は明らかでは無いが、全体が一度に破壊すると考えると、断層長さはいずれも約 100 km とな

る。また、断層は深さ 20 km まで延びているものと考えられる。アフリカプレートとユーラシアプレートの収れんによる変位は、Khair al Din 断層と Blida 断層沿いの変位によって説明され、そのうち約半分が Khair al Din 断層沿いの変位であると考えられる。すなわち Khair al Din 断層沿いの変位は、 2.5 ± 1.0 mm/年となる。また、Zemmouri 断層は、アフリカプレートとユーラシアプレートの収れんによる変位の大部分を担っていると考えられるため、その変位速度は 4.0 ± 1.0 mm/年と仮定する。

(5) Thenia 断層

Thenia 断層はブーメルデス市の近郊にあり、その走向は西北西－東南東の方向である。この断層の延長は、アルジェ湾から Isser 川のあたりまでの約 35 km である。変位速度は、 0.75 ± 0.25 mm/年とする。

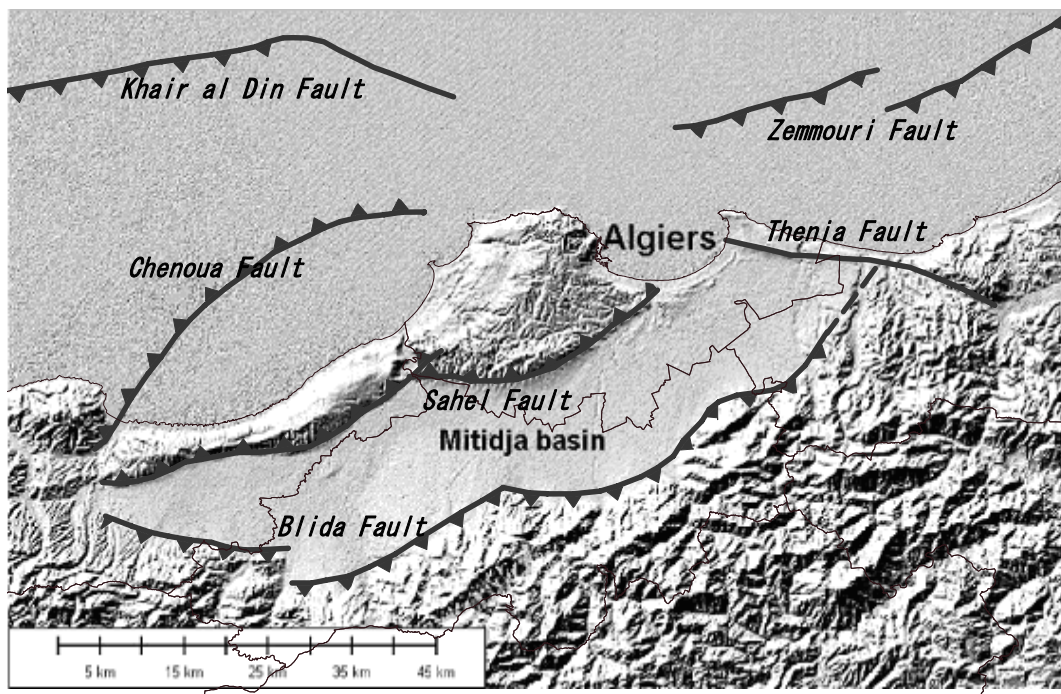


図 5-1 断層の位置

5-1-2 マグニチュードの推定

(1) 最大マグニチュード

それぞれの断層上で、合理的にその発生が考えられる最大地震 (MCE) のマグニチュードを、Wells & Coppersmith (1994) によるモーメントマグニチュードと断層面積の関係式を用いて推定した (表 5-1)。

(2) 再来周期を考慮したマグニチュード

アルジェで得られる地震カタログは、期間的にも数量的にも貧弱であり、統計的な解析

を行うには不十分である。現状のカタログデータを使って解析を行っても、きわめて大雑把な結果しか得られない。

純確定論的解析では、歴史上の大地震が対応する断層上で最も影響が大きくなる場所に発生すると考え、地震の再来間隔を考慮しないために過大な結果を得ることが多い。

本調査では、活断層に着目した上で、統計的地震動解析と確定論的地震動解析を併用する Youngs and Coppersmith (1985) の提案した解析手法に従うこととする。

各活断層で発生する、平均再来間隔が T_m である地震のマグニチュード m^0 は、Youngs and Coppersmith (1985) によると以下の式で推定できる。

$$m^0 = m^u - \frac{1}{b \cdot \ln 10} \ln \left[1 + \frac{N(m^0) b M_o^u}{(1.5 - b) \mu A_f S} \right]$$

ここで、 m^u は最大マグニチュード、 b はグーテンベルグ&リヒターの関係における b 値、 $N(m^0) = 1/T_m$ 、 M_o^u はマグニチュード m^0 に対応する地震モーメント、 μ は剛性率、 A_f は断層面積、 S は平均変位速度である。

表 5-1 は各活断層で発生する地震のマグニチュードの 475 年再来期待値と、推定に使用したパラメータである。

表 5-1 アルジェにおける震源域とそこで発生する地震の
マグニチュードの 475 年再来期待値

震源域	最大マグニチュード (Mw)	震源域 (km ²)	変位速度 (mm/年)	475 年再来マグニチュード (Mw)
Sahel Fault	7.2±0.3	1590±210	0.5 ± 0.2	5.9±0.3
Chenoua Fault	7.0±0.3	1060±210	0.5 ± 0.2	5.8±0.3
Blida Fault	7.4±0.3	2545±280	2.5 ± 1.0	6.8±0.2
Khair al Din Fault	7.4±0.3	2830±565	2.5 ± 1.0	6.8±0.2
Zemmouri Fault	7.4±0.3	2830±565	4.0 ± 1.0	7.0±0.1
Thenia Fault	6.8±0.3	600±150	0.75 ± 0.25	5.9±0.2

[参考文献]

Deverchère J., Yelles K., Domzig A., Mercier de Lepinay B., Bouillin J.P., Gaullier V., Bracène R., Calais E., Savoye B., Kherroubi A., Le Roy P., Pauc H., and Dan G., 2005. Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relation to the 2003 Mw 6.9 earthquake. *Geophysical Research Letters*, v. 32, L04311

Domzig A., Le Roy C., Yelles K., Deverchère J., Bouillin J-P., Bracene R., Mercier de Lèpinay B., Le Roy P., Calais E., Kherroubi A., Gaullier V., Savoye B., and Pauc H, submitted. Africa-Eurasia Miocene collision and neotectonics offshore Algeria: Preliminary results from the MARADJA cruise. Under review for publication in *C.R. Géosciences* (July 2005).

Wells D.L., & Coppersmith K.J., 1994, New empirical relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, 84, pp. 974-1002.

Youngs R. R. and Coppersmith K. J., 1985, Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates, Bull. Seism. Soc. Am. 75, 939-964.

5-2 地盤のモデル化

表層の地盤特性は、地表地震動に強く影響を与える。この影響を数値計算で評価するために、表層地盤を地質データ、地盤工学的データを基に、250 m グリッドごとにモデル化した。この地盤モデルは、液状化解析でも使用した。モデル化のフローを、図 5-2 に示す。

(1) ボーリング柱状図と PS 検層結果の整理

本調査で行ったボーリング調査結果と PS 検層結果を整理し、別途収集した既存ボーリングデータとともに取りまとめた。

(2) 地震工学的基盤の設定

整理したボーリング柱状図、PS 検層結果、および、既存の地質図、地質文献から、プライサンシアン期のブルーマール (p1-f) と片岩 (mi-f) を地震工学的基盤として選定した。S 波速度は、それぞれ 630 m/sec と 1,030 m/sec である。

(3) 室内土質試験結果の整理

室内土質試験結果を整理し、別途収集した既存土質試験結果とともに取りまとめた。

(4) 地質区分の設定

取りまとめたボーリングデータ、PS 検層データ、室内土質試験結果から、調査地域内で出現する地質を認定し、地盤工学的観点から分類した。さらに、各ボーリング柱状図で観察された地質をこの分類に従って判定した。

(5) 地層境界の内挿近似

各 250 m グリッドにおけるシスト、プライサンシアン期のブルーマール、アスティアン層の上面深度を、ボーリング地点における深度を基に数値解析によって内挿近似した。

(6) 地表地質

各 250 m グリッドにおける地表地質は、地質図で判定した。図 5-3 は、グリッドで表示した地表地質の分布である。

(7) 土質定数の設定

S波速度、密度、層境界の深さなどの地盤工学的、物理的パラメータを、各250mグリッドモデルの各層に与え、数値解析で使用するモデルを作成した。

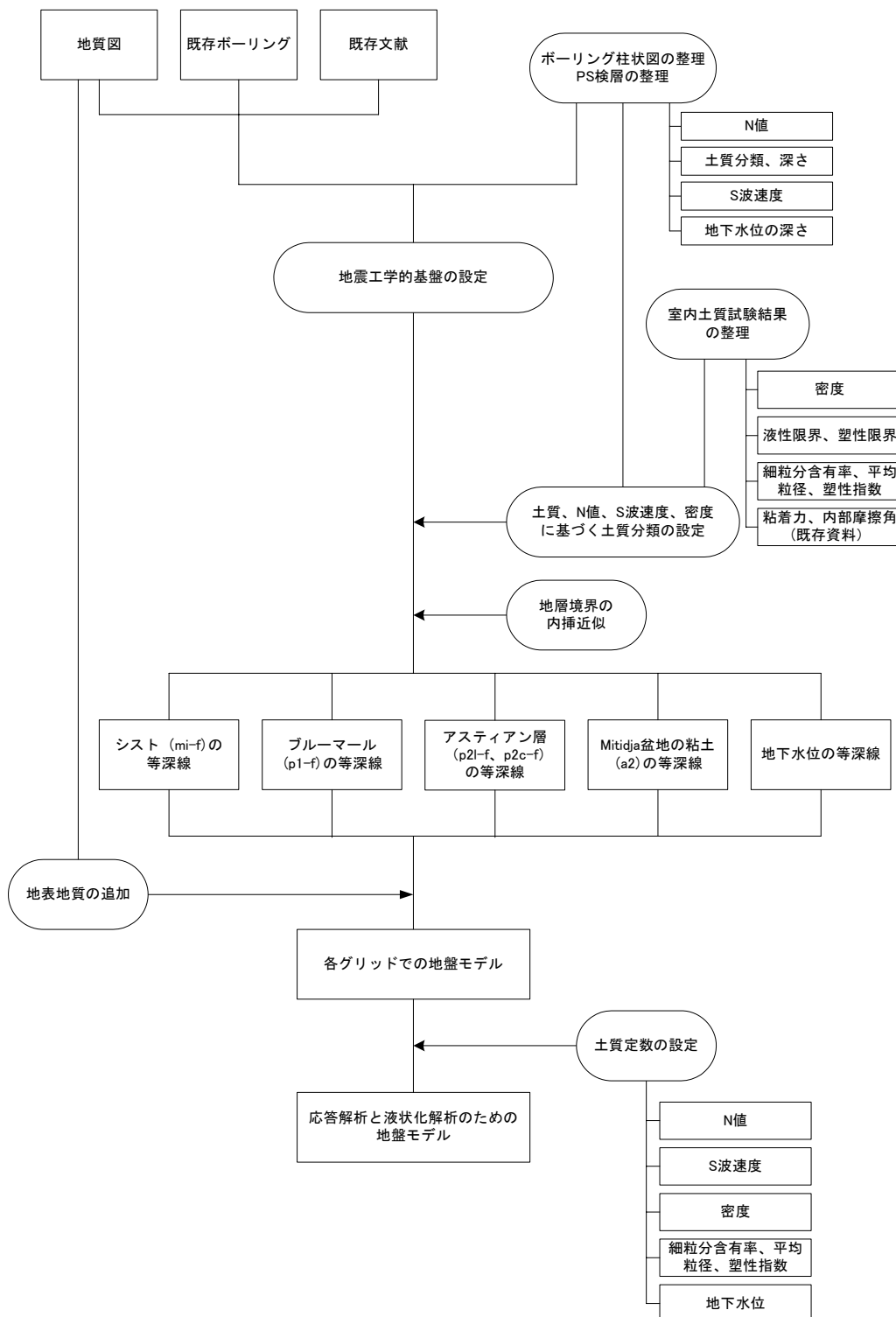


図 5-2 地盤モデル作成の流れ

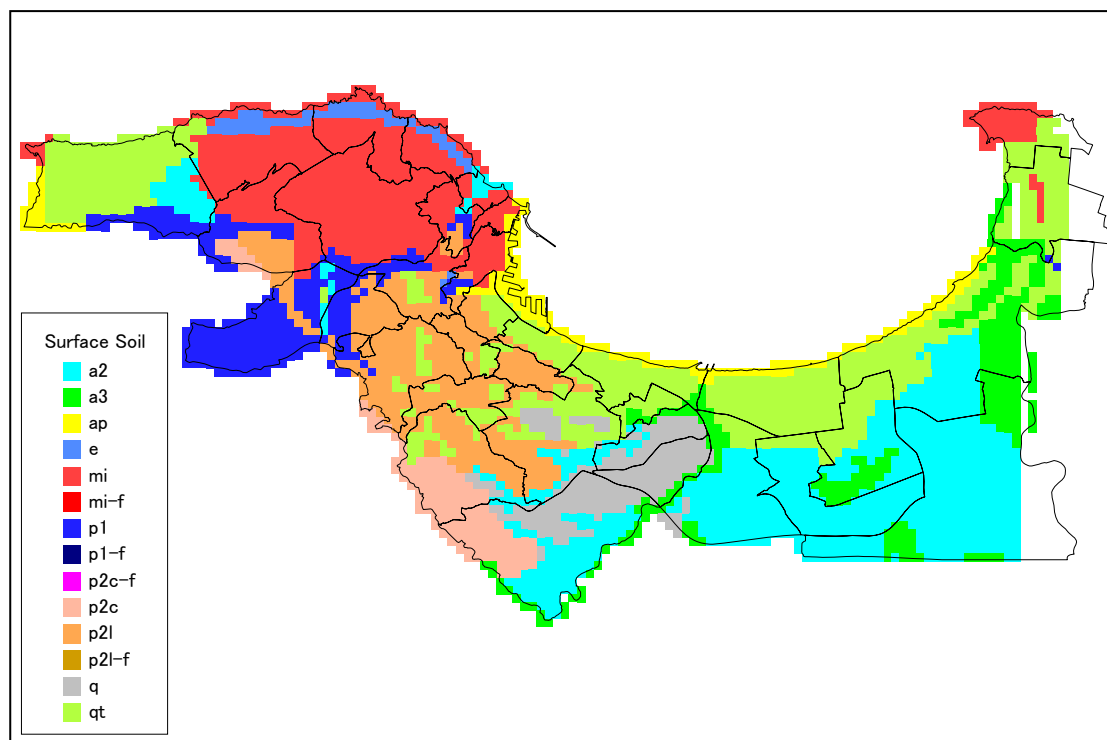


図 5-3 表層地質

5-3 地震動解析

5-3-1 基盤地震動

アルジェでの使用に適した距離減衰式を選定し、地震基盤での水平加速度を算定した。距離減衰式の選定は、2003 年ブーメルデス地震の際に観測された強震記録を用いて行い、観測結果を最もよく説明できる式を選定した。以下に示すのは、選定された Ambraseys et al. (2005) の式である。

$$\log y = 2.522 - 0.142 Mw + (-3.184 + 0.314 Mw) \log \sqrt{d^2 + 7.6^2} + \begin{cases} 0.137 & \text{： 軟弱地盤} \\ 0.050 & \text{： 硬質地盤} \\ 0.0 & \text{： 岩盤} \end{cases} + \begin{cases} 0.062 & \text{： 逆断層} \\ 0.0 & \text{： 横ずれ断層} \end{cases}$$

y : 最大加速度 (m/sec²)

Mw : モーメントマグニチュード

d : 断層の地表投影までの最短距離 (km)

図 5-4 に、6 シナリオ地震の断層モデルの地表投影を示す。各グリッドの中心から各断層の地表投影までの最短距離を計測し、最大加速度(PGA)を計算した。

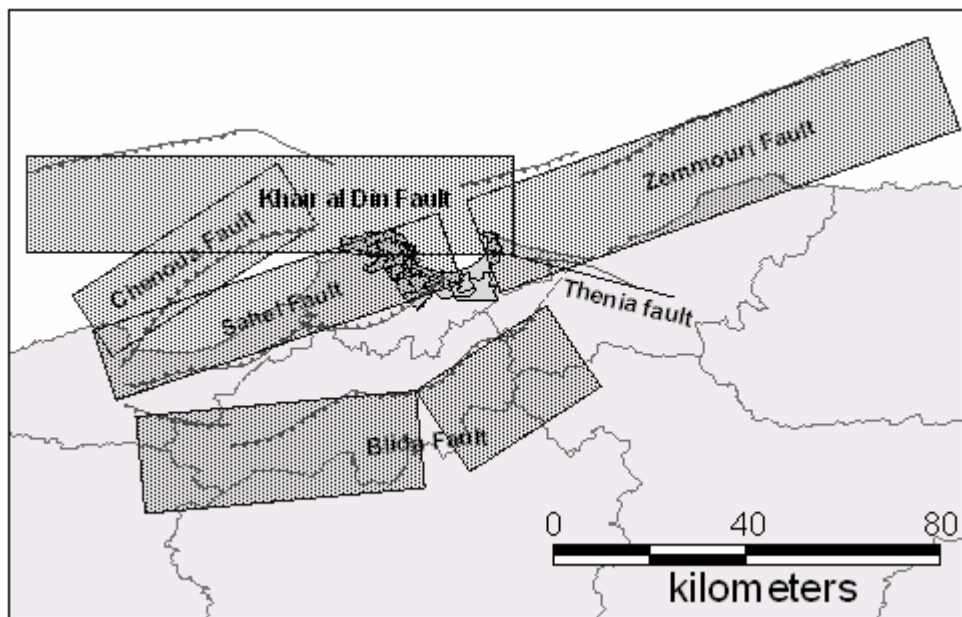


図 5-4 シナリオ地震の断層モデル

5-3-2 表層増幅特性の評価

地表地震動は、表層の地盤構造の影響が大きく、特に第四紀の堆積物が分布している地域では顕著である。表層地盤の影響は、250 m グリッドごとの 4,013 種類の地盤モデルに基づく応答解析で評価した。地震工学的基盤より上部の表層の増幅特性を 1 次元応答計算 (SHAKE) で評価した。

応答計算は、地盤の非線形特性の影響度合いを確認するため、線形計算と非線形計算の双方を実施した。アルジェリアでは、非線形特性を評価できる動的な土質試験結果が得られていないため、非線形特性曲線としては、土質、S 波速度、N 値の相似を考慮して東京都地震被害想定調査で用いられた曲線を用いた。

応答計算の入力地震波形としては、2003 年ブーメルデス地震のアルジェでの強震観測波形を用いた。ブーメルデス地震のマグニチュードは $M_w=6.9$ で、本調査のシナリオ地震のマグニチュードと近く、震源と観測点の距離の関係も似通っている。このため、ブーメルデス地震の際のアルジェでの観測記録の周期特性は、応答解析の入力として適している。

5-3-3 地表地震動

基盤地震動に表層地盤の増幅特性を乗じることで、地表での加速度分布を算定した (図 5-5)。線形計算による地表加速度は、調査地域の東でやや非線形解析より大きい値を示したが、その差は大きくない。以降では、非線形解析による地表加速度を用いることとした。

図 5-6 には、新たに作成した経験式を用いて加速度から換算した MSK 震度分布を示した。新たな経験式は、1989 年 Chenoua 地震、1999 年 Ain Timouchent 地震、および、2003 年ブーメルデス地震の際に CGS が観測した強震記録と震度分布資料を解析して作成した。

[参考文献]

Ambraseys N. N., Douglas J., Sarma S. K. and Smit P. M., 2005, Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration. Bulletin of Earthquake Engineering, 3, pp.1-53.

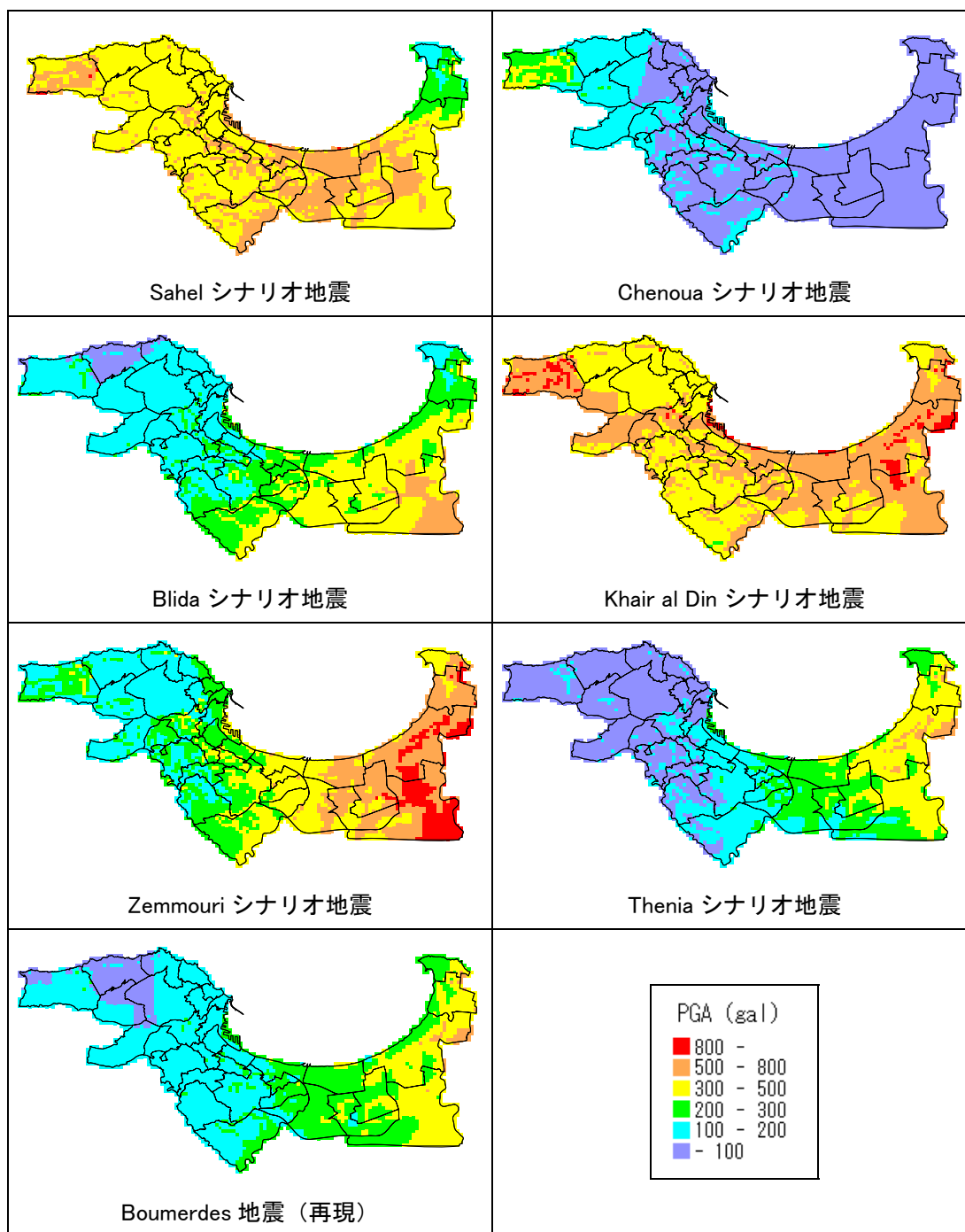


図 5-5 地表加速度分布

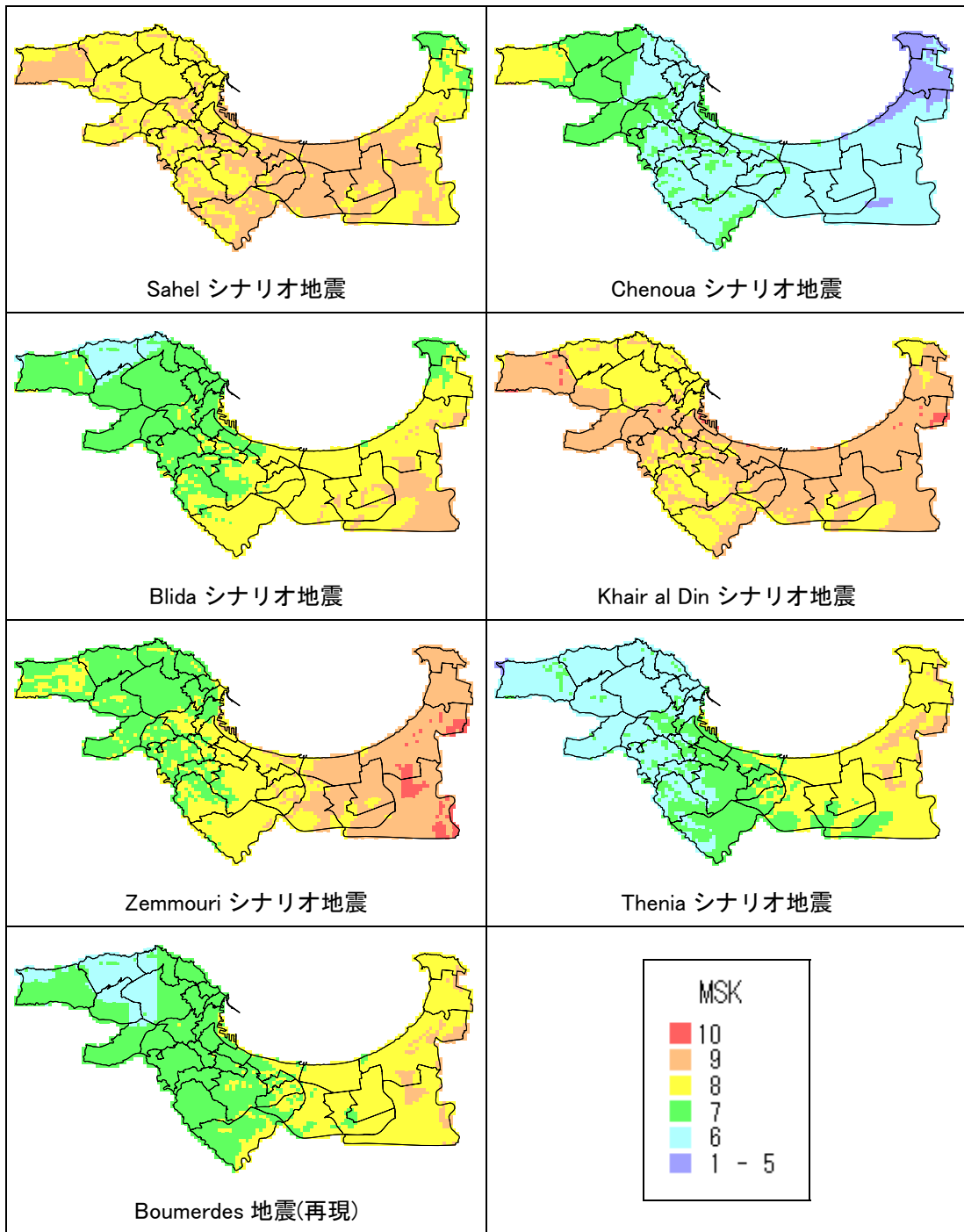


図 5-6 MSK 震度階による震度分布

5-4 液状化危険度評価

5-4-1 手法

各深度での液状化危険度を評価する手法としては、 F_L 法（道路橋示方書、2002）を採用した。 F_L 法での液状化危険度判定の手順は以下の様である。

- 1) 液状化に対する土の抵抗力を表す、動的せん断強度比（ R ）を算定する
- 2) 地震動によって生じる、地震時せん断応力比（ L ）を算定する
- 3) 両者から、液状化に対する抵抗率 $F_L=R/L$ を算定する

サイスミックマイクロゾーニングの目的から考えると、各深度での液状化危険度ではなく地表の構造物に与える影響を評価することが重要である。このため、地表での液状化危険度を評価するパラメータとしては、Iwasaki et al.（1982）の P_L を採用した。

5-4-2 解析条件

(1) 対象層と地盤物性

基本的に、液状化評価の対象となる土層は、沖積層に代表される新しい堆積層である。細粒分含有率が35%以上で、かつ、塑性指数が15%以上である土層は液状化の危険は無いとされている。この基準に従うと、本調査での液状化評価対象土層は「ap」、「e」、「a3」、「q」、「qt」となる。

(2) 地下水位

補足現地調査で観測された地下水位と既存資料による地下水位のうちのいくつかは周囲の地下水位と大きく異なる値を示しているが、これは表層の地下水位ではなく、地下深部の帯水層の地下水位であると判断された。液状化危険度評価に必要な地下水位は最も浅い地下水位であるため、解析で使用する地下水位は、観測データに工学的判断を加えて再評価して得た値を採用した。

5-4-3 液状化危険度

液状化危険度は、表 5-2 に示した P_L 値を用いて評価した。結果は、図 5-7 に示した。

表 5-2 液状化危険度の定義

液状化危険度	区 分	説 明
High	$15 < P_L$	地盤改良が必要
Relatively High	$5 < P_L \leq 15$	地盤改良が望ましい 重要構造物については詳細調査が必要
Relatively Low	$0 < P_L \leq 5$	重要構造物については詳細調査が望ましい
Low	$P_L = 0$	液状化の影響が考えられる

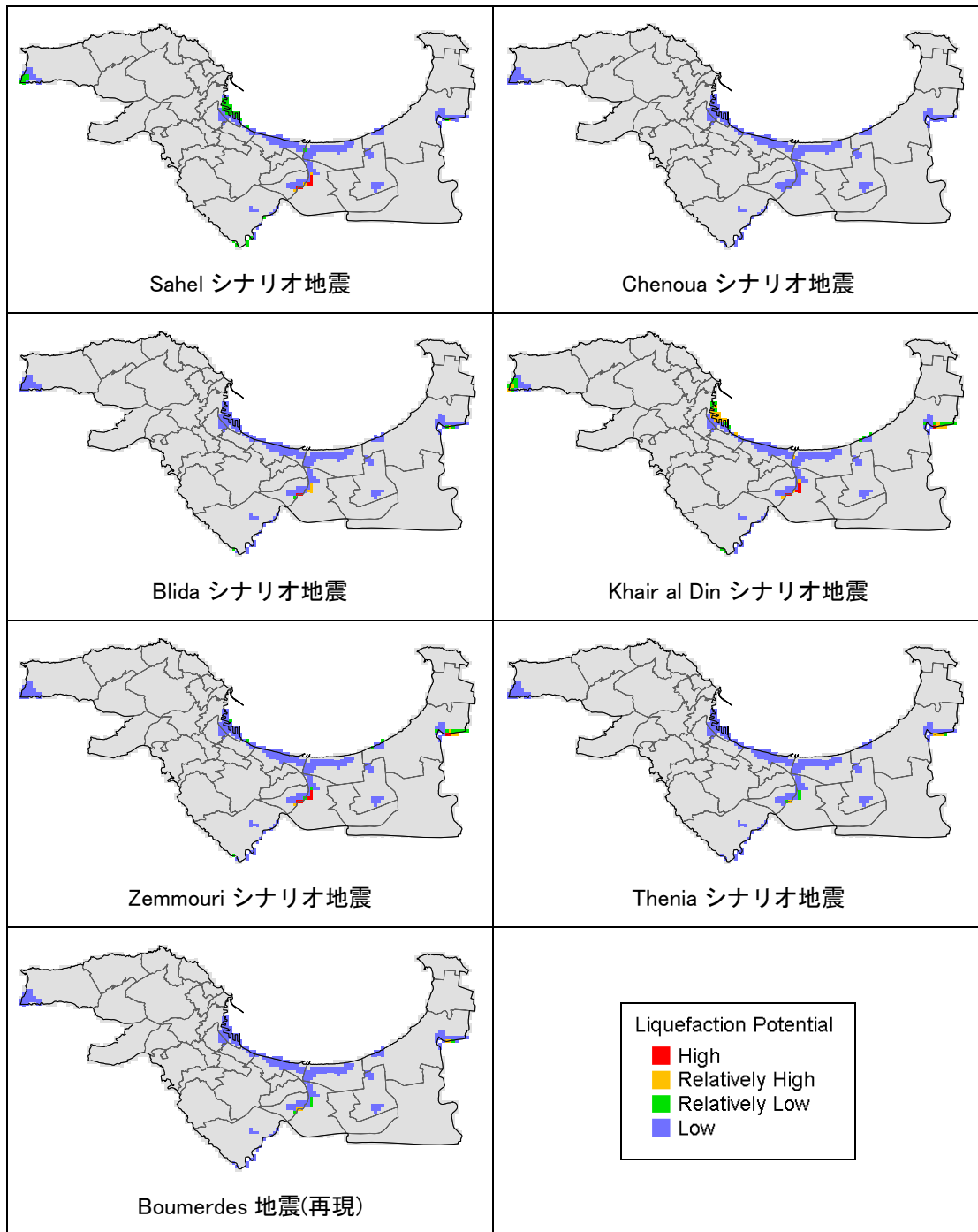


図 5-7 液状化危険度

[参考文献]

Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H., 1982, Microzonation for Soil Liquefaction Potential Using Simplified Methods, Proc., 3rd Int. Conf. on Microzonation, Seattle, Vol.3, pp.1319-1330.

Japan Road Association (2002). Specifications for Highway Bridges, Part V Earthquake Resistant Design.

5-5 斜面崩壊危険度の評価

5-5-1 手法

調査地域内の斜面は、急傾斜斜面と緩傾斜斜面の2つのタイプに大きく分類できる。このタイプの違いは、主に斜面を構成する地質に起因しており、急傾斜斜面は片岩 (mi) と石灰質砂岩 (p21)、緩傾斜斜面は他の地質から成り立っている。崩壊の形式に関しては、急傾斜斜面の場合は「崩壊」、緩傾斜斜面の場合は「地すべり」が発生するものと考えられる。このため、片岩 (mi) と石灰質砂岩 (p21) の分布域の斜面評価には Wilson et al. (1979) の方法を使い、他の斜面には Ansal and Siyahi (1994) の方法を用いた。

5-5-2 解析条件

(1) 限界加速度

Wilson の方法と Ansal and Siyahi の方法に従って、各地層の c 、 ϕ と斜面の傾斜から限界加速度を計算した。

(2) 斜面の傾斜

斜面の傾斜は、INCT から提供された 5 m ピッチの DEM データと、1/10,000 地形図の等高線から作成した DEM から算出した。

(3) 傾斜角の補正

DEM から算定した斜面の傾斜角には、DEM のデータ間隔に基づく精度の限界が存在する。様々な幅と高さを持った斜面について、実際の傾斜と DEM データを用いた場合の傾斜を数値実験で比較し、その限界を明らかにした。実験結果に基づいて、DEM データから算定される傾斜の補正式を作成し、これを用いて傾斜補正を行った。

以上の条件のもとで、各シナリオ地震における斜面での加速度と限界加速度を比較して安定 ($F_s \geq 1$) か不安定 ($F_s < 1$) かを、5 m ピッチの DEM データポイントごとに判定した。250 m グリッドごとの崩壊危険度は、各グリッド内に存在する 2,500 個の DEM ポイントのうち、不安定ポイントの割合で評価した。

5-5-3 斜面崩壊危険度

図 5-8 に、斜面崩壊危険度を示した。図中に示したブーメルデス地震の再現計算は、調査対象地域内での斜面崩壊危険度が非常に低いことを示している。このことは米国地震工学会 (2003) による「ブーメルデス地震後の予備調査では、いくつかの小規模な地すべりと道路被害が見られたが、大きな斜面崩壊は見られなかった」とする調査結果と一致している。

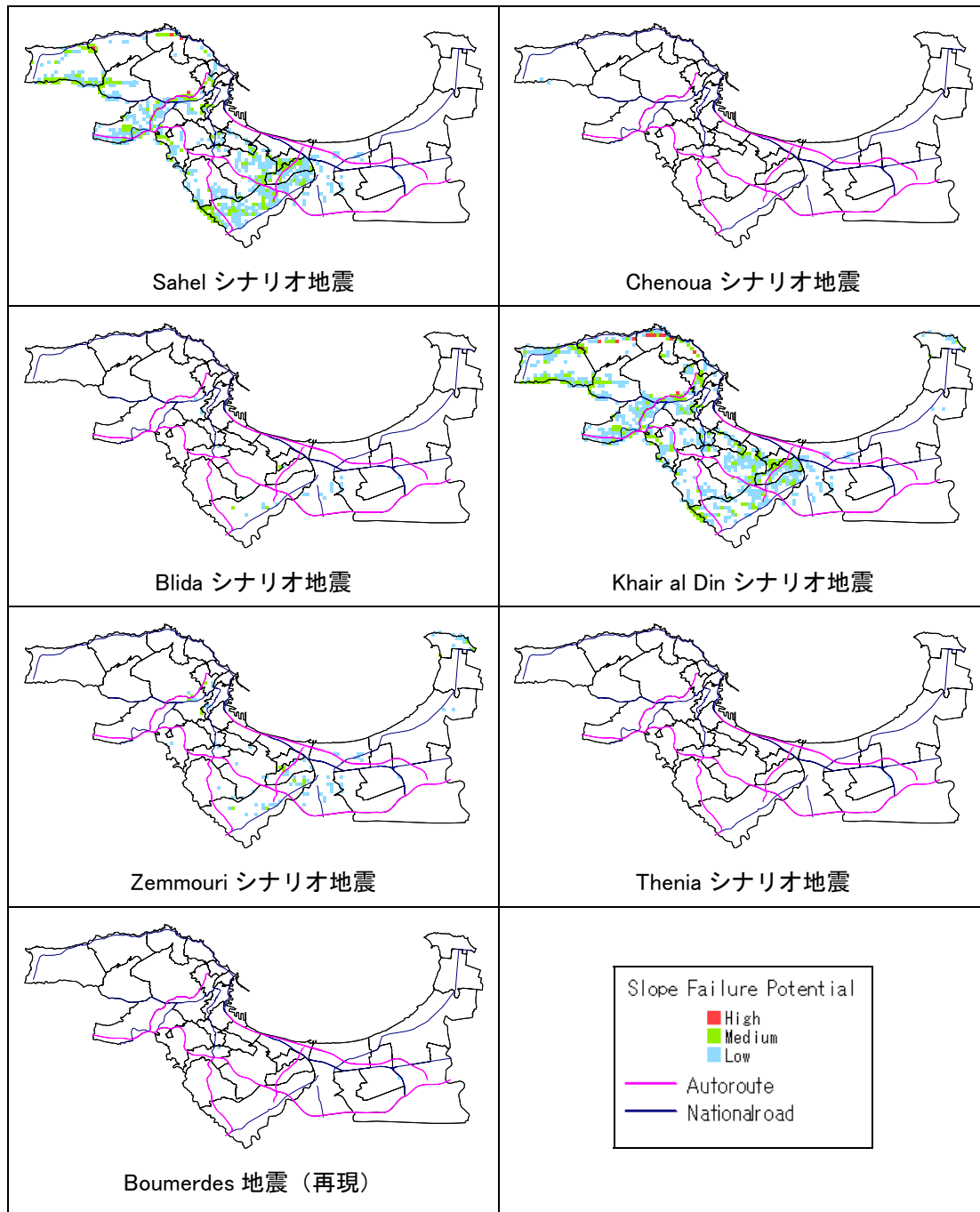


図 5-8 斜面崩壊危険度

5-5-4 斜面の現地調査

斜面に関する被害推定の次の段階として、抽出された危険度が高いグリッドに含まれる個別の斜面を点検することがあげられる。この個別調査の目的は、以下の各項目である。

- 斜面の実際の広がりを確認する
- 斜面の安定性を評価する
- 斜面が崩壊した際に影響を受ける構造物の種類と量を確認する

現地斜面調査は CGS メンバーと JICA 調査団の混成チームで実施した。調査を行った斜面の位置図を図 5-9 に、調査結果のまとめを表 5-3 に示す。

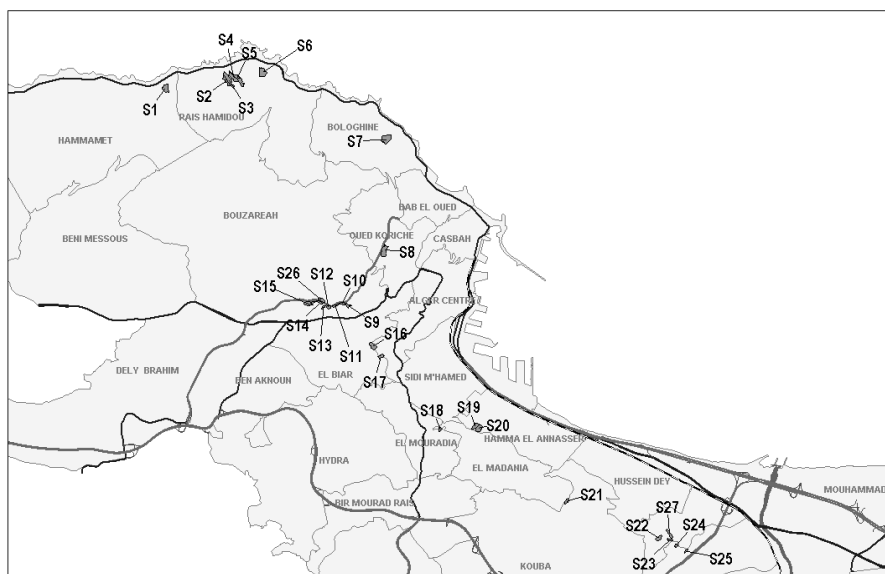


図 5-9 調査斜面位置図

表 5-3 斜面現地調査のまとめ

地点ID	評価点	震度による評価				
		X <	IX - X	VIII - IX	VII - VIII	VI - VII
S1	18	A	A	B	C	C
S2	23	A	A	A	B	C
S3	23	A	A	A	B	C
S4	27	A	A	A	B	C
S5	21	A	A	B	C	C
S6	23	A	A	A	B	C
S7	23	A	A	A	B	C
S8	24	A	A	A	B	C
S9	18	A	A	B	C	C
S10	17	A	A	B	C	C
S11	20	A	A	B	C	C
S12	21	A	A	B	C	C
S13	17	A	A	B	C	C
S14	21	A	A	B	C	C
S15	27	A	A	A	B	C
S16	24	A	A	A	B	C
S17	24	A	A	A	B	C
S18	24	A	A	A	B	C
S19	29	A	A	A	B	C
S20	26	A	A	A	B	C
S21	27	A	A	A	B	C
S22	20	A	A	B	C	C
S23	21	A	A	B	C	C
S24	29	A	A	A	B	C
S25	11	A	B	C	C	C
S26	21	A	A	B	C	C
S27	20	A	A	B	C	C

[参考文献]

Ansal, A and B.G. Siyahi, 1994, Microzonation for landslides during earthquakes, 2nd Int. Conf. on Earthquake Resistant Construction & Design, Savidis (ed), Balkema, 151-157.

EERI, 2003, The Boumerdes, Algeria, Earthquake of May 21, 2003, EERI Learning from Earthquakes Reconnaissance Report.

Wilson, R.C., G.F. Wieczorek, E.L. Horp, 1979, Development of Criteria for regional Mapping of Seismic Slope Stability, Abstract, 1979 Annual Meeting of the Geological Society of America.

Seismic Slope Stability, Abstract, 1979 Annual Meeting of the Geological Society of America.