

2-2 プロジェクト・サイト及び周辺の状況

2-2-1 関連インフラの整備状況

(1) 鉄道

計画対象地域には Cotonou 市からズー県の Bohicon 市、コリーヌ県の Dassa 市を経てボルグ県の Parakou 市まで北上するベナン・ニジェール共有鉄道が南北に縦貫しており、毎日 2、3 便の客貨車が営業して、地域間及びコトヌ港への農産物・加工品の輸送に利用されている。

(2) 道路

ズー県、コリーヌ県、クフォ県には国道が通じており、水利局各県支所の所在地（Bohicon 市、Dassa 市、Azove 市）へは Cotonou 市から 3～5 時間で達する。Cotonou 市から Bohicon 市、Dassa 市を経て Parakou 市へ至る国道 2 号線、Dassa 市からコリーヌ県の Savalou 市を経て Bante 市へ北上する国道 3 号線、ナイジェリア国境からトーゴ国境まで海岸線を東西に走る国道 1 号線、および Cotonou 市からモノ県の Lokossa 市、クフォ県の Azove 市を経てズー県の Abomey 市、Bohicon 市へ繋がる国道 4 号線の各線は舗装されている。

計画対象集落は、幹線道路から 5～10km 以上も林間に入ったところが多く、道路は未舗装であり特にズー県北西部および起伏の多いコリーヌ県では、雨期には道路状況が悪くなり、河川を横断する道路は増水時に通行不能となる。

(3) 電気・電話・郵便・マスメディア

各集落の電化程度は総じて低く、幹線道路沿いであっても電化されているところはわずかであり、一部で発電機や自動車の蓄電池を用いているが、多くは照明に灯油ランプやロウソク、炊事の燃料として薪炭、製粉機の動力源にはエンジンをしている。電話、郵便の公共サービスも対象外である。Abomey 市、Bohicon 市周辺は携帯電話サービスの範囲であるが集落の住民は携帯電話を所有していない。ラジオは各地で受診でき、特に地方局が発する放送は村落部における情報源となっている。

(4) 学校

我が国の無償資金協力による小学校建設計画が 1996 年-1997 年に行われるなど、全国的に就学率向上に向けた取り組みがなされている。計画対象地域においても、村落の中心となる集落には各国ドナーや「ベ」国内 NGO が建設した小学校がある場合が多いが、人口 1,000 人未満の小規模集落には小学校のないところが殆どであり、徒歩通学可能な範囲に小学校がなく就学の機会を得られない児童は少なくない。

(5) 病院

Abomey 市、Dassa 市に総合病院があるほか、各県内の郡庁所在地には簡易な診療所があり、医師または看護師が常駐し、保健局の指導の下で医療活動を行っているが、都市部に比べると医療機器・器具は不足している。ギニアウォームの症例数が多いコリーヌ県西部の Tchetti 市には対策センターがあり、撲滅活動や治療の拠点となっている。地方部の無医村では、保健局員の巡回により衛生指導や乳幼児の予防接種が行われているほか、町で仕入れた鎮痛剤・抗生物質の薬品が婦人により売られている。

(6) 宿泊施設

宿泊施設については、計画対象地区内では Abomey 市及び Dassa 市には日本人の滞在に適したホテル

があるが、それ以外の町には適切な宿泊施設はない。

(7) 給水施設建設用地

人力ポンプ付深井戸施設建設用地は占有面積もわずかであり、村落の共有地に建設するため建設用地の手当について問題はないとのことであった。

2-2-2 自然条件

(1) 気象・水文

「ベ」国の気候帯は、①亜赤道型気候帯、②亜熱帯性気候帯、③アタコラ気候帯、④サバンナ気候帯の4つに区分できる。計画対象地域のうち、ズー県およびクフォ県はギニア湾の影響を受けた高温多湿の①亜赤道型気候帯に属し、その北に位置するコリーヌ県は②亜熱帯性気候帯に属している。

各気候帯の特徴は以下のとおりである。

① 亜赤道型気候帯

海岸からズー県 Abomey 市の北まで広がる亜赤道型気候帯は、ギニア湾から北東へ吹き抜ける季節風（モンスーン）とサハラ砂漠から南西へ吹く季節風（ハルマタン）の影響を強く受けることを特徴としている。この気候帯では4月から6月にかけて大雨期、9月から10月にかけて小雨期である。

② 亜熱帯性気候帯

内陸部の亜熱帯性気候帯では、サハラ砂漠からの気流の影響を強く受けており、気象の地域的及び年変化が激しく、年間降雨量が少なくなると共にかつ大雨期、小雨期の区別が不明瞭になる傾向にある。ただし、ハルマタンの季節、12月から2月は「ベ」国全土で乾期となり雨量は極端に減少する。

対象地域の降雨パターンの特徴を図2-2-1に示す。ズー県、コリーヌ県の主要都市である、Abomey市、Save市における過去10年間（1991年～2000年）の平均年間降雨量はCotonou市に比べ若干小さく、それぞれ、1,042mm/年、1,071mm/年である。Cotonou市の過去11年間（1990年～2000年）では年平均1,336mm/年であり、また、海岸付近の降雨パターンは季節変化が激しい特徴が認められる。

図2-2-2に対象地域の月別気温を示す。これによると、内陸部のズー県、コリーヌ県では12月～3月は、サハラ砂漠からの風が最も強くなり、低湿かつ夜間の気温が20℃程度まで低下する。しかし、昼間の気温は37℃以上と高くなり、年平均気温は32.5℃となる。これに対しCotonou市の気温は、乾期の12月～1月及び8月が最も低く月平均で22℃、雨期開始前の2月～4月が最も高く35℃を超える。年間平均気温は30℃を越える。

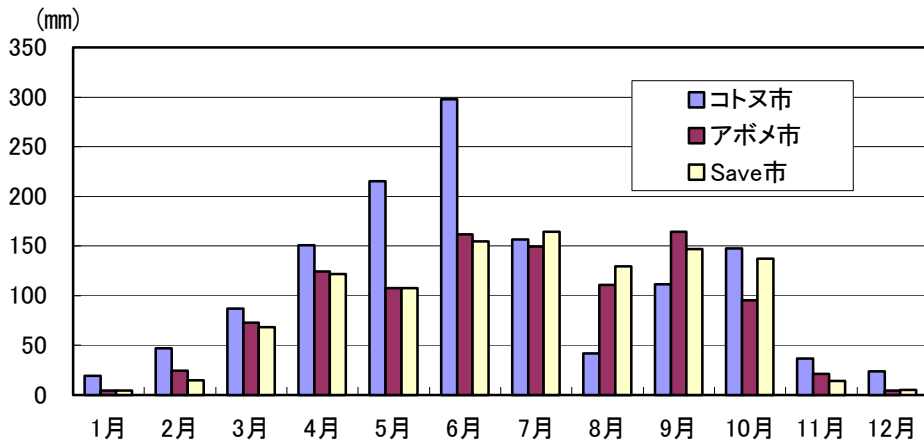


図 2-2-1 対象地域の降雨パターン (1990年～2000年平均値)

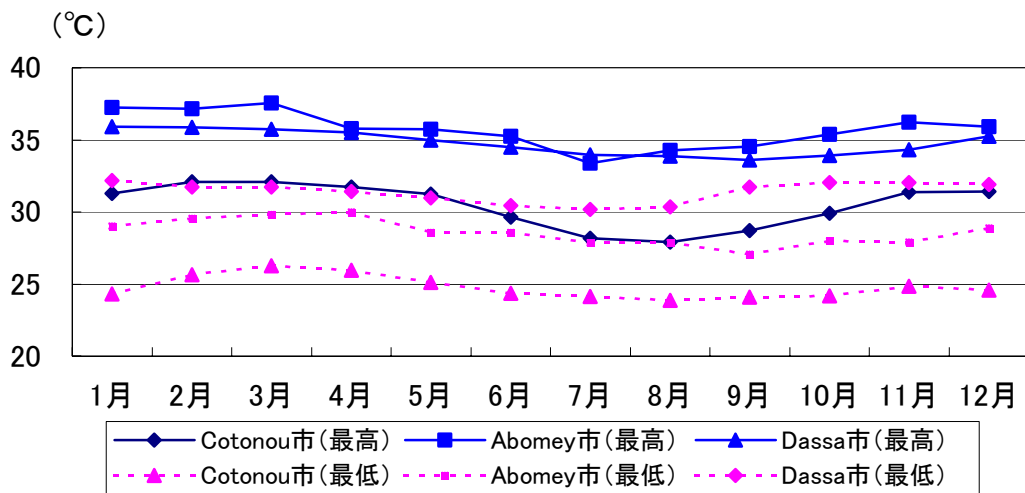


図 2-2-2 対象地域の月別気温 (1990年～2000年平均値)

対象地域内の主要河川は図2-2-4 対象地域地質図に示すとおり、トーゴから流入する Mono 川、Couffo 川、及び調査地を南北に縦断して下流域に広大な沖積平地を形成する Oueme 川である。いずれも南流してギニア湾に注ぐ。中でも Oueme 川は 37,980km²の流域面積を有する「ベ」国最大の河川であり、河川流量は大雨期の末期に Oueme 川で約 600m³/sec、Mono 川で 300m³/sec となる。また、これらの河川は乾期に流量が無くなる季節河川である。

内陸部のゾー県では12月～3月は、サハラ砂漠からの風が最も強くなり、低湿かつ夜間の気温が20℃程度まで低下する。しかし、昼間の気温は37℃以上と高くなり、年平均気温は32.5℃となる。

(2) 地形・地質

対象地域の地形的特長は図 2-2-3 対象地域の地形区分に示すとおり地質構造を反映したものであり、地層の分布とほぼ一致している。地形は海岸から内陸に向かって、①低地帯、②漸移帯、③内陸台地および④内陸準平原に区分される。我が国の過去の無償資金協力で実施した村落給水計画フェーズ I～IV の主な対象地域は、堆積岩よりなる海岸平野および台地であった。本プロジェクトでは海岸台地以北の低地帯およびそれに続く先カンブリア紀の基盤岩からなる内陸準平原が対象地域となる。

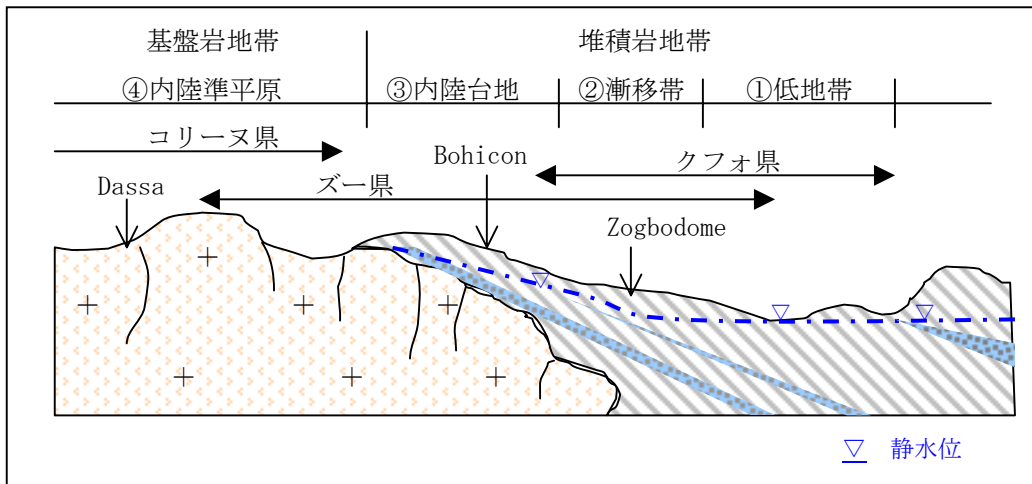


図 2-2-3 対象地域の地形区分

各地形区分の特徴は以下のとおりである。

① 低地帯（内陸低地）

海岸台地の北に位置し、標高 20m～60m である。海洋性堆積物が分布し、中小河川により浸食の進んだ沖積平野となっている。Oueme 川の河岸段丘では、河床から段丘面までの比高差が 10m 以上に達する場合がある。計画対象集落であるズー県の Ouinhi 郡では、このような段丘面上に集落が位置し、一部では生活用水を段丘崖下部の河床に依存している。

② 漸移帯

低地帯から内陸台地への移行域は漸移帯として地形区分されている。標高は 20m～100m 程度まで変化する。コンチネンタル・ターミナル層のうち砂層を主体とする堆積物が分布し、地形、地層ともに北から南にむかって緩く傾斜している。従って、地下水位は深度 0m～70m 程度に分布し、北で深く、南で浅くなる傾向が認められる。クフォ県およびズー県の Zogbodome 郡の計画対象集落が位置する。

③ 内陸台地

海岸から連続して分布している堆積岩はズー県の首都である Bohicon 市の北まで広がり、内陸台地を形成している。内陸台地は Abomey 市周辺では標高 100m～200m 程度である。ここでは堆積岩が結晶岩からなる基盤岩を不整合に覆っている。基盤岩の風化部や、砂層、礫層で構成される帯水層は、基盤岩と堆積岩の境界付近に不規則に分布することから地下水開発が非常に困難な地域である。

計画対象集落は、ズー県の Bohicon 市および Abomey 市周辺と Za-Kpota 市周辺に位置し、深度 50m

～60mに達する手掘りの深井戸が住民によって掘られ利用されている。

④ 内陸準平原

堆積岩の分布する内陸台地以北は基盤岩地帯となり内陸準平原を形成している。Bohicon市(標高約120m)から地形は緩く起伏しながら、対象地域北限のコリーヌ県 Ouesse 郡 Kilbo 市付近の標高約300mまで上昇する。この起伏は、難透水層の基盤岩地帯に樹枝状に発達する河川の浸食によるもので、対象地域を流れる Zou 川、Couffo 川、Oueme 川は、南北方向に発達する褶曲性の地質構造に支配され流下し、あるいはこれに直行して東西方向に流れる。計画対象地域を北上するにしたがって、道路の両側に比高200m～300mにも達する南北に連なる丘陵が見られるようになる。これは岩盤の硬岩部が侵食されずに残った残丘である。残丘は北部へ行くにしたがって多くなり、また地表に岩盤が露頭する地域も多くなる。

コリーヌ県の計画対象集落は全て、また、ズー県の対象集落の大半もこの範囲に位置する。

対象地域の地質分布を図2-2-4に、また、対象地域の地質層序を表2-2-1に示し、以下にそれぞれの地層について取りまとめて示す。

表 2-2-1 対象地域の地質層序表

地質時代		地層区分	岩層・岩質	記号	
第四紀		沖積層	粘土、砂、砂礫	Al	
第三紀	始新世	海洋性堆積物	泥岩、砂岩、粘土、石灰岩	Pl	
	暁新世				
白亜紀		コンチネンタル・ターミナル層	泥岩、砂岩、石灰岩	Cr	
先カンブリア紀		ピラグループ	シグマタイト、片麻岩、珪岩、結晶片岩	Mg1	
		後期汎アフリカ層		花崗岩、花崗岩質片麻岩 シグマタイト質花崗岩	Gr1
		ダホメ・グループ	ウエメ片麻岩沈降帯	片麻岩、角閃岩片岩	Gn
			花崗岩層	花崗岩、グラフェライト、シグマタイト	Gr2
			オクハラモイエン複合層	シグマタイト、片麻岩 花崗岩質岩	Mg2
ウエメ火山砕屑岩層	火山砕屑岩		Vs		

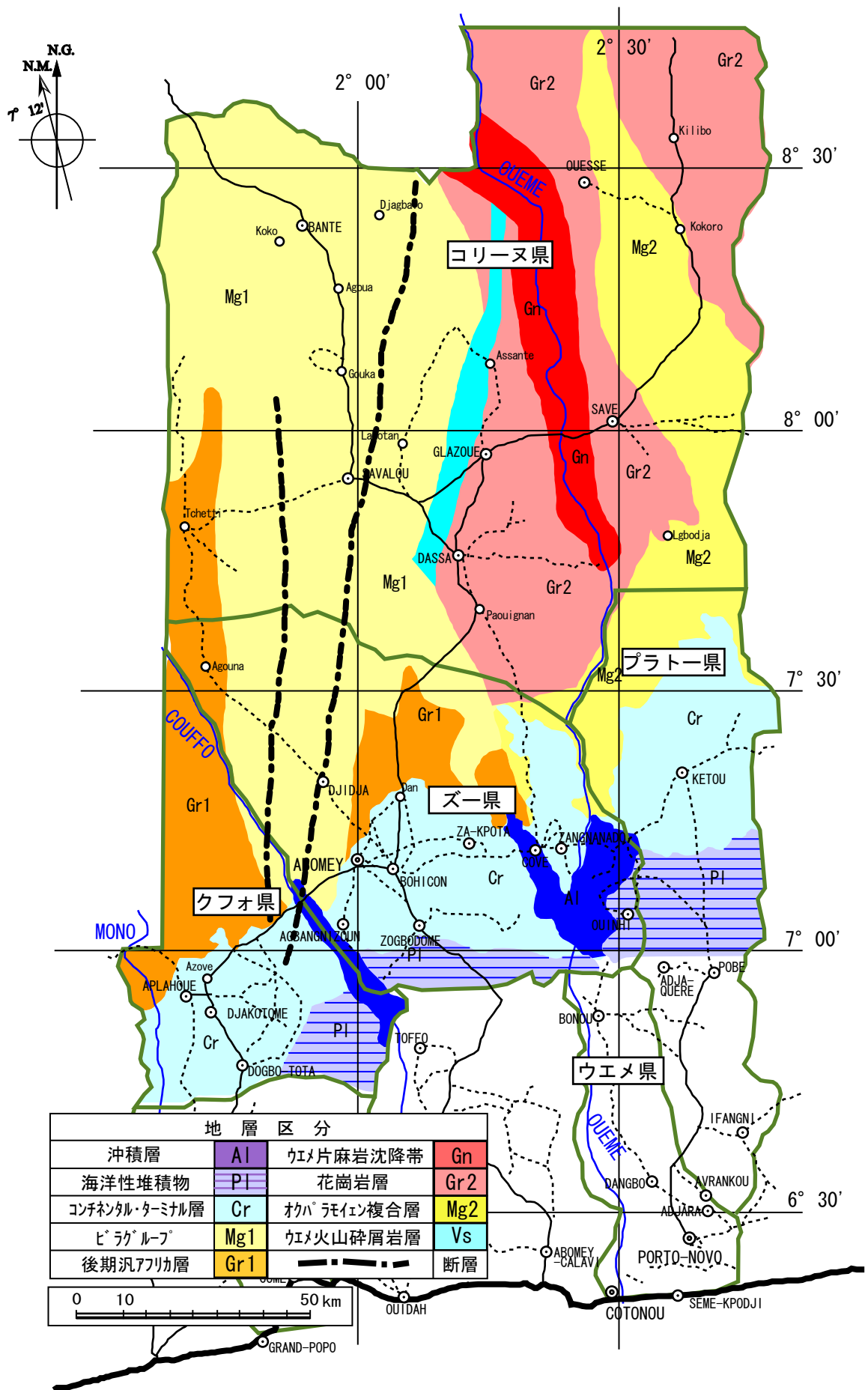


図2-2-4 対象地域地質図

① 堆積岩層(Cr、P1、A1)

コンチネンタル・ターミナル層(Cr)は、海岸台地から内陸台地を構成する海洋性の堆積岩で、砂岩、泥岩、石灰岩などよりなる。第三紀層(P1)は、調査地南部のズー県 Ouinhi 郡および Zogbodome 郡に小規模に分布し、粘土、砂、泥岩、砂岩、石灰岩よりなる。沖積層(A1)は、Oueme 川などの流に湿地帯を造って分布し、粘土、シルト、砂からなる。

② ミグマタイト(Mg1、Mg2)

調査地域に最も広く分布する。結晶片岩の構造的な特徴を残す眼球片麻岩、縞状片麻岩などからなる。これらは片岩のミグマタイト化が中程度に進んだものであるが、非常に硬質で岩盤亀裂の発達が悪く、帯水層を表層風化部に求めることになる。ただし、地質構造線に沿った破碎帯は深層まで風化や亀裂が発達しており有望な帯水層として利用できる。

③ 片麻岩(Gn)

Oueme 川沿いに北緯 7 度 40 分～8 度 30 分の範囲に南北方向に凹地を作る片麻岩が代表的なものである。岩盤が非常に硬質であることから風化が進まず、露岩することが多い。

④ 花崗岩(Gr1、Gr2)

調査地域の中央部に広く分布するバソリス型の花崗岩(Gr2)は、グラニュライト、ペグマタイトなど種々の変成相を持ち、ミグマタイトなどの捕獲岩を伴う。調査地の西端に分布する花崗岩(Gr1)は、ミグマタイト、片麻岩などを伴う。花崗岩(Gr2)は深層風化が進み、亀裂が他の岩層に比べて良く発達する。露岩部ではブロック状に亀裂が発達する。一方、調査地西端及び Abomey 市北部に分布する花崗岩(Gr1)は、花崗岩(Gr2)に比べ生成年代が新しく、表層の風化の発達に乏しいため地表付近まで新鮮岩盤が分布していることが多い。

⑤ 火山砕屑岩(Vs)

変成度の低い礫岩、砂岩、流紋岩、粗面岩などからなり、調査地の中央部に狭長に分布する。一部では地表付近まで新鮮岩盤が露頭し、井戸掘削地点の選定が困難な場合もある。深度 10m 程度の浅井戸が利用されている。

(3) 水理地質

計画対象地域の水理地質図を図 2-2-5 に示し、既存井戸資料より取りまとめた計画対象地域の水理地質特性を表 2-2-2 に示す。これらの既存資料の解析結果から、計画対象地域では白亜紀以降の堆積物で構成される堆積岩層を帯水層とする A タイプと、先カンブリア紀の結晶岩類を主体とする基盤岩類を帯水層とする B タイプとに区分される。それぞれの帯水層の特徴は以下のとおりである。

① 帯水層 A タイプ

堆積岩地域の帯水層は 2 つのパターンに区分でき、これらの帯水層の分布はほぼ地形区分と一致している。対象地域の堆積岩は北から南に向かって単一方向に緩く傾斜する同斜構造であり、一般に泥質岩層と砂質岩層との互層である。従って掘削地点によって帯水層の深度は異なり 50m 程度から 200m 程度に変化することになる。

低地帯(内陸低地)では、帯水層は厚い粘土層に挟まれた石灰岩層や砂層であり、深度 80m～200m

に分布している。また、漸移帯では砂層を主体とした地層を帯水層とするが、傾斜地であることから北では深度 50m 程度、南では深度 120m 程度に帯水層が分布するとされる。

内陸台地では堆積岩層の基底に分布する砂層や砂礫層が主な帯水層となるが、地層の連続性に乏しく、分布が不規則である。また、堆積岩の直下に分布する基盤岩の風化部や亀裂帯も帯水層となるが、その分布も局所的で不規則である。堆積岩層の厚さは約 50m～60m である。

井戸の掘削深度は堆積岩平均 76.8m、湧出量は 21.2m³/時、成功率は 85% である。

② 帯水層 B タイプ

基盤岩は、先カンブリア紀の花崗岩類や、片麻岩、ミグマタイト、結晶片岩などの変成岩類からなり、平均 5m～10m、まれに 15m～20m に達する表層の風化部を除くと一般に硬質である。

この地域の帯水層は、表層風化部や地質構造線に沿って発達した亀裂帯である。

基盤岩の湧水量についてみると、亀裂の比較的発達する花崗岩が分布する Dassa-Zoume 群の湧水量が最大で 7.1m³/時、ミグマタイト、片麻岩からなる Djidja 郡のそれが最小で 2.4m³/時である。その他の郡は、Glazoue 郡の一部を除いて主にミグマタイト、片麻岩からなり、湧出量は 4.2～5.9m³/時である。掘削深度の最大は Savalou 郡で 92.2m、全体平均で 53.1m である。地下水位は平均 8.2m～13.2m の範囲にあり、最大は Djidja 郡での 52m である。既存資料による基盤岩の掘削深度は平均 53.1m、湧出量は 5.1m³/時、成功率は 60% である。

表 2-2-2 対象地域の水理地質特性

郡	掘削深度 (m)			湧水量 (m ³ /時)			地下水位 (m)		
	Max.	Min.	Av.	Max.	Min.	Av.	Max.	Min.	Av.
Ouinhi	146.0	12.0	39.4	40.0	0.2	9.3	21.0	2.0	10.4
Zagbodome	151.8	63.7	114.2	108.0	0.9	33.2	63.9	-6.0	17.9
Djidja	85.4	27.0	46.8	36.0	0.1	2.4	52.0	1.5	13.2
Bante	64.5	43.1	51.3	36.0	0.2	4.7	30.0	2.1	12.7
Dassa-Zoume	73.7	36.5	55.6	60.0	0.1	7.1	37.4	0.3	9.2
Glazoue	85.0	36.5	58.8	36.0	0.1	5.9	40.0	0.1	8.2
Ouesse	85.0	37.5	51.5	30.0	0.1	5.9	40.0	0.1	8.2
Savalou	92.2	9.9	54.6	72.0	0.3	5.8	45.4	0.8	8.2
Save	71.5	14.0	53.1	49.0	0.4	5.6	30.0	1.0	9.6
堆積岩	151.8	63.7	76.8	108.0	0.2	21.2	63.9	-6.0	14.2
基盤岩	92.2	9.9	53.1	72.0	0.1	5.1	52.0	2.0	9.9

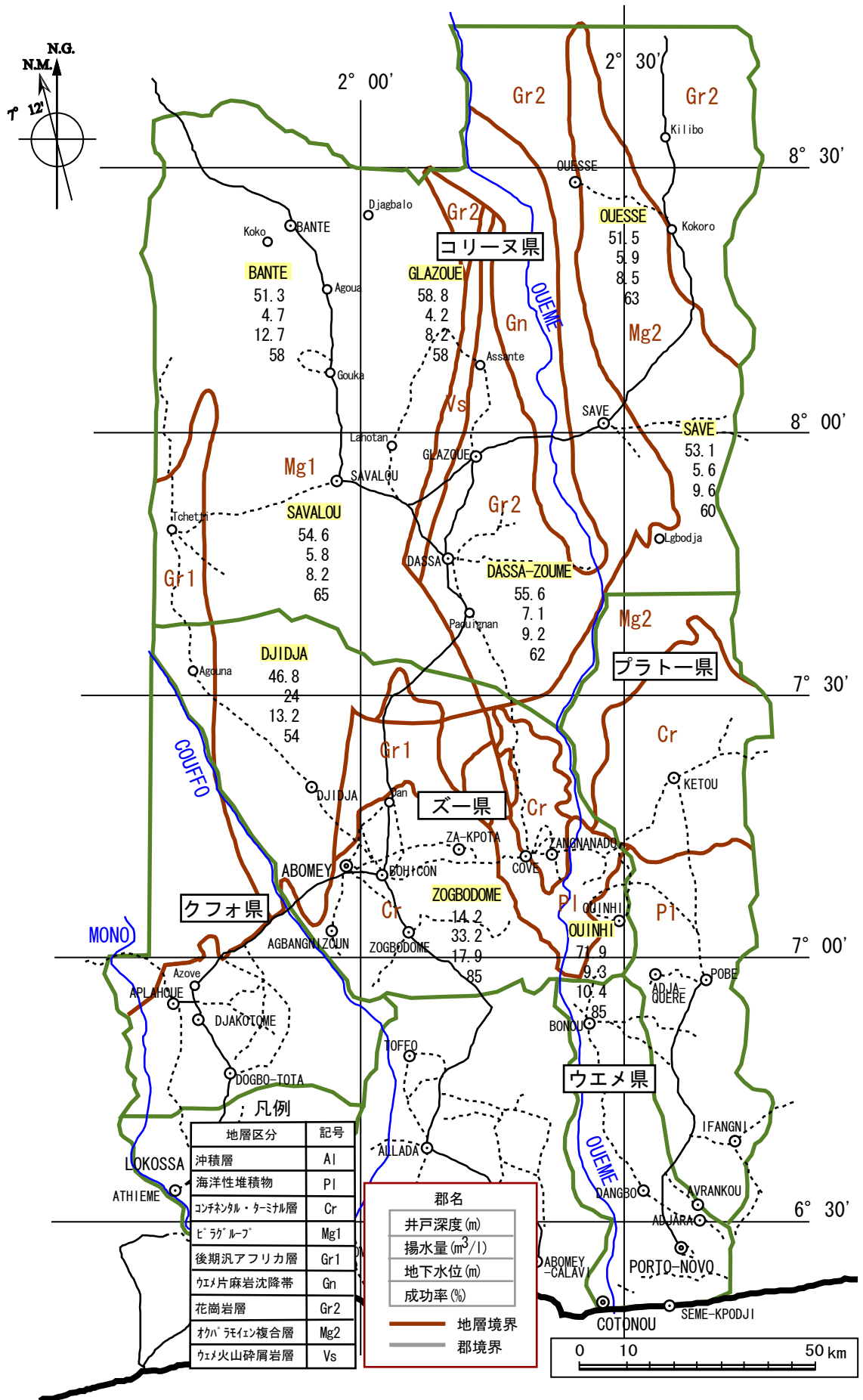


図2-2-5 対象地域水理地質図

(4) 水質試験結果

水質試験は、水理地質条件を考慮して選択した 41 井の既存井戸を対象に実施した。水素イオン濃度 (pH) と電気伝導度 (Ec) は携帯型測定器により 41 サイトで、硝酸イオン (NO_3^-) 及び亜硝酸イオン (NO_2^-) はすべての井戸で測定した。また、20 箇所については下記の全ての項目について、地下水の概略の性質を現地で手早く把握する事のできるパックテストを用いて測定した。

試験結果は図 2-2-6 水質試験調査実施位置図及び巻末資料 8-3 「水質試験結果一覧表」に示した。

パックテストによる水質試験項目

色度、濁度、臭気、味覚、過マンガン酸カリウム、亜硝酸、硝酸、アンモニウム、塩化物、六価クロム、鉄、亜鉛、銅、フッ素、総硬度、残留塩素、一般細菌、大腸菌、pH、Ec

現地調査で実施した水質試験の留意すべき試験項目の評価を以下に示す。

① 水素イオン濃度 (pH)

pH は、コンチネンタル・ターミナル層分布域では弱酸性の pH5.39～pH5.5 を (試験位置番号 9, 10, 11)、基盤岩地域では Bante 郡 Sako (同 34) の pH5.99 を除いて pH6.23～pH7.60 のほぼ中性の値を示す。

② 電気伝導度 (Ec)

Ec は、コンチネンタル・ターミナル層で 0.38～0.44mS/m と低い値を、基盤岩類分布域では 1.01～16.15mS/m を示し、鉱物の溶解度が高い事を示す。

③ 過マンガン酸カリウム消費量 (KMnO_4)

過マンガン酸カリウム消費量とは、主として有機物によって消費される過マンガン酸カリウムの量を言い、地下水に生活廃水などの汚水が混入した場合にも増加し、汚染の指標となる。

試験位置(3)、(7)、(28)で基準値の 10mg/l を超える値が検出されているが、井戸周囲で観察された汚染された環境や、同サンプルで検出された高い亜硝酸及び硝酸イオン値、または細菌テストの結果などから、これらは人的な汚染によるものと考えられる。

④ 亜硝酸イオン (NO_2^-) 及び硝酸イオン (NO_3^-)

亜硝酸イオン及び硝酸イオンについては、全 41 サイトの内 40 サイトで行った。硝酸イオンの基準値 45mg/l を超える値が、先に述べた汚染によると思われる井戸を含め 10 サイトで検出された。また基準値内ではあるが、8 サイトで 15～30mg/l の値が検出されている。パックテストは標準色と検水の色とを比較する方法で概略の値を決めるが、硝酸イオンの場合、測定範囲は 45mg/l までで、それ以上の標準色はない。しかし、この 10 サイトの場合、明らかに検水の色が 45mg/l の標準色を超えると判断された為、基準値以上 (>45mg/l) とした。亜硝酸イオンは、40 サイトの内 25 サイトで検出された。そのうち基準値の 0.1mg/l を超えるのは 9 サイトである。

亜硝酸イオン (NO_2^-) 及び硝酸イオン (NO_3^-) が基準値を超え、人体に被害が及ぶ恐れが対象地

域で問題となっている。特にコリーヌ県に多く、この問題については下記 (5) に詳細を述べる。

⑤ 全硬度 (CaCO₃)

一般に、やや硬水の範囲の地下水が多い。

⑥ 残留塩素 (ClO)、塩化物 (Cl⁻)

残留塩素、塩化物ともおおむね基準値内である。

⑦ 総鉄 (Fe^{2+, 3+})

ズー県 Agouna 郡で 2 件、Monsourau 郡で 1 件、コリーヌ県 Dassa-Zoume 郡で 2 件、基準値 (0.3mg/ℓ) を超える 0.5~2mg/ℓの値が検出された。これら地下水は金属味を感じるが、住民からは臭味や生地への着色などの苦情は聞かれなかった。実施時に基準値を超える鉄分が検出された場合には、原則として、不成功井戸として取り扱われる。

⑧ 六価クロム (Cr⁶⁺)、銅 (Cu²⁺)、亜鉛 (Zn²⁺)、フッ素 (F⁻)

何れも基準値を超える値は検出されていない。

(5) 亜硝酸イオン (NO₂⁻) 及び硝酸イオン (NO₃⁻) の存在とその影響

WHO によれば、飲料水に含まれる硝酸イオンが 45mg/ℓを超える場合、人体で硝酸イオンが亜硝酸イオンに変わり血液中の血液中のヘモグロビンと結合し、赤血球を徐々に減少させて血液障害を起こし、特に幼児の発育や妊婦に強い影響を与えるとしている。

前項で述べたように今回の水質試験の結果、硝酸イオンの測定を行った全 40 サイトの内 10 サイトで基準値を越える値が検出された。対象地域内の各所に、高濃度の硝酸イオンを含む地下水が存在する事は以前より知られていた。1998 年にはフランスの医療ミッションによる調査が行われ、高濃度の硝酸イオンを含む地下水を飲用することの人体への影響が指摘された。

1998 年から 2000 年までにズー県及びコリーヌ県で DANIDA により建設が行われた 191 本(ズー 46 本、コリーヌ 145 本)の井戸の内、コリーヌ県で 32 本、ズー県で 2 本の井戸が硝酸イオンの基準値を大きく上回っていた。このため基準値を上回る井戸については、両支所ともポンプの設置を中止して井戸を閉鎖した。その後、住民が独自にポンプを設置するなどして 7 本にポンプを設置、現在は 27 本の井戸が閉鎖されたままになっている (巻末資料 8-3(2)「閉鎖井戸水質試験結果一覧表」参照)。

このような事態を受け、水利局では昨年 (2002 年)、硝酸イオン濃度の高い地下水が分布する原因を探る為に、井戸 51 サイト、表流水 4 ヶ所の計 55 サイトで井戸周辺の環境、対象地域の農作物と肥料、地質、水質などについて調査を実施し、報告書にまとめた (DANIDA 援助)。それによれば 40.5%の井戸が基準値の 50mg/ℓを超え、さらにその内 14.3%が 100mg/ℓを超えていることが分かった。特にコリーヌ県の Ouesse 郡、Glazoue 郡、Dassa-Zoume 郡の各郡でこの傾向が強い。報告書は高い硝酸イオン濃度を含む地下水の原因について色々な角度から議論しているが、次のような理由が考えられるとしている。

- ① 綿花畑で使用した、又は使用している肥料による地下水の汚染。
- ② 井戸周囲の環境の悪化。

③ 分布する岩石の性質による。

報告書では原因は特定せず、上記は何れも有りうるものとしているが、綿花畑の肥料による汚染を重視しているようである。過去に使われた肥料の窒素分は、窒素(N)、リン酸(P)、カリ(K)の3要素が45%を占める高い濃度であったという。しかしながら、報告書も指摘しているように今回の水理地質踏査による観察では、綿花畑の分布状態、規模、水源との位置関係から見て、綿花畑の肥料が地下水汚染の全てではないと考える。

井戸周囲の環境悪化による人的な地下水汚染に関しては、硝酸イオン以外の項目でも、過マンガン酸カリウム、亜硝酸、細菌が検出された井戸番号(3)、(7)、(28)が考えられる。これらの井戸周囲の環境は劣悪であった。岩石の鉱物、例えば、biotite(黒雲母)に含まれるアンモニア(NH₄⁺)などが硝酸態窒素(NO₃⁻-N)の値を高めているのかもしれない。しかし、議論を進めるに必要な分析データは無く、推定に過ぎない。高濃度の硝酸イオンの原因が特定できず、また、その分布域も100m程度離れた井戸では水質が異なるなど、地表からの調査では帯水層深度の水質が判断できない。そのため、本計画実施時に、井戸洗浄後の水質試験で硝酸イオンの値が基準値を超えた場合は、不成功井戸として取り扱うが、埋め戻しは行わず、水質の経年変化を調べるための水質観測井戸として利用することが適切と思われる。

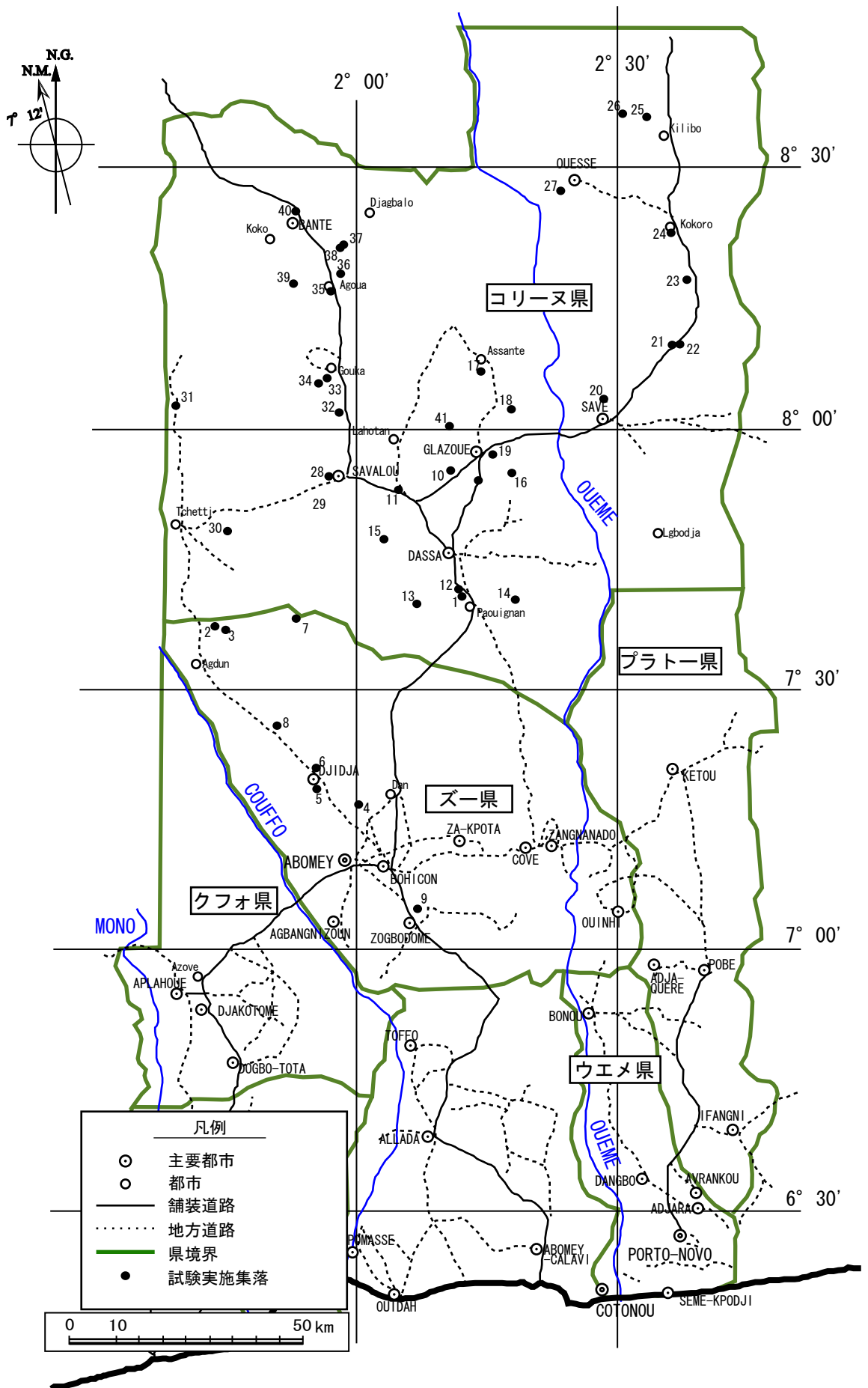


図2-2-6 水質試験実施位置図

(6) 物理探査結果

要請集落に対する物理探査は、水質分析および社会条件調査結果を踏まえて、118 集落が調査の対象となった。このうち水理地質条件により、地下水開発可能性低い 15 集落を除いた 103 集落で物理探査を実施した。集落の内訳は以下のとおりである。

物理探査の対象集落

水質・社会条件により探査対象となった村落の総数	118 集落
水理地質条件により、地下水開発可能性低い	13 集落
既存の深井戸がない村落	61 集落
既存深井戸はあるが、人口が多く一人当たりの給水量が少ない村落	39 集落
レベルⅡ→Ⅰに変更し追加調査を実施した村落	3 集落
探査実施村落合計	103 集落

図 2-2-7 に調査集落の位置を、また巻末資料 8-4 に電気探査解析結果をそれぞれ示す。

1) 探査方法

探査は、「①資料解析→②空中写真判読→③地表踏査→④探査機器による測定→⑤解析」の手順で、調査団 1 班、再委託先 2 班の 3 班編成で実施した。各調査の方法と仕様は以下のとおりである。

① 既存資料解析

深井戸建設工事完了報告書（主に我が国のフェーズⅣ、DANIDA 実施分）、対象地域地形図（1/200,000）、水理地質図（1/200,000、1/500,000）から地形と帯水層の分布状況を把握した。

② 空中写真判読

空中写真（1/100,000）の判読により、地質構造線等のリニアメントを抽出し探査側線の設定条件とした。

③ 地表踏査

井戸施工条件および水理地質条件を考慮し、探査側線の配置をおこなった。調査対象集落の大半は自然林やカシューナッツ等のプランテーションの中に位置し、調査時は樹木によって視界や作業範囲が限定されることが多く探査地点の選定には制限があった。計画の実施では、視界の広がる季節に探査を実施するか、または樹木の伐開を行ない探査を実施する必要があると考える。

④ 測定

探査機による測定は、平面的な広がりの中から井戸掘削地点を限定するために、電磁探査機または電気探査機により直線状に測線を設ける水平探査を実施した。水平探査で選定されたポイントで、帯水層の分布深度を把握する目的で、電気探査により垂直探査を実施した。また、正確に帯水層の分布を把握するために井戸柱状図の明らかな既存井戸においても探査を行い、探査結果の精度を高めた。

物理探査仕様

探査区分	探査方法	探査機器	測線配置	探査仕様
水平探査	電磁探査	ABEM BEVAC or VLF ABM WADI	直線 100m×5m 間隔	2 深度×2 周波数以上
	電気探査	SYSCA0 R2 or ABEM SAS 300C	直線 100m×5m 間隔	深度 30m×4 極法
垂直探査	電気探査	SYSCA0 R2 or ABEM SAS 300C	1 地点×1-10m 間隔	平均深度 100m×4 極法

⑤ 解析方法

井戸成功率に対する評価として、電気探査結果を下記の評価基準で区分した。評価基準については帯水層の探査の難易度を基準に設定した。評価の結果、8 村落がランク 4、3 に区分された。これらの 8 村落（ズー県で 3 村、コリーヌ県で 5 村）は、要請村落内で良好な帯水層を求めることが非常に困難と考えられ、深井戸の開発において調査コストが上がり、また井戸成功率も非常に低く、空井戸の発生の可能性が高いと考えられる地点である。8 村落は、岩盤が地表または地表付近まで露頭しているか、既往の実績で 3 本以上の空井戸が発生している地点である。

解析では、「電気探査結果の評価」に示した「ランク 0 および 1」を成功井戸とし水理地質条件を考慮して地質別の井戸成功率を算出した。

電気探査結果の評価

ランク	評価基準
4	既往実績で空井戸が 3 本以上出ている地点。本調査でも良好な帯水層の賦存が認められない地点。
3	探査地点の村落では良好な帯水層の賦存が認められず、村落の範囲外に調査範囲を広げる必要がある地点。岩盤が地表付近まで分布している。
2	今回の調査結果では良好な帯水層が見とめられず再調査が必要な地点。ただし、既存井戸や水理地質条件から帯水層が賦存する地域に位置する地点。
1	既設井戸での調査結果であるが、要請地点で同様な地質条件を探査すれば帯水層が求められる地点。
0	今回の調査地点においても井戸建設が可能。良好な帯水層の賦存が確認できた地点。

（評価ランクの数字は、今後同集落で井戸掘削地点を選定するために最低限必要となる探査日数に相当する）

2) 探査結果

探査結果から得られた ρ -a 曲線を解析すると、対象地域の帯水層を示す ρ -a 曲線は、ほぼ 4 つのパターンに取りまとめることができる。図 2-2-8 に帯水層と標準的な ρ -a 曲線を示す。また、巻末資料 8-4(2)には全調査地点の ρ -a 曲線を示す。

4 パターンの ρ -a 曲線のうち、パターン 1 とパターン 2 は堆積岩を帯水層とするものであり、一方、パターン 3 とパターン 4 は結晶岩類の風化部や亀裂部を帯水層とするものであり、前者を「帯水層 A タイプ」とし、後者を「帯水層 B タイプ」として水理地質区分した。

① ρ -a 曲線パターン 1 の帯水層（帯水層 A タイプ）

白亜紀から第三紀の海洋性堆積物が分布する。厚い粘土層を主体とし、これに挟まれる砂層または石灰岩層が帯水層となっている。電気探査では、地表から一様に粘土層を示す低比抵抗帯が連続し、これに高比抵抗帯が挟在して出現する。ほぼ深度 80m 以深に帯水層となる比抵抗帯が確認

された。深度 100m以深では砂層が卓越する傾向が認められた。地形区分では低地帯から漸移帯に位置し、クフォ県とズー県の一部が含まれている。

静水位は既存資料によると 0~80mであり、比較的地表近くに水位が分布しているものは被圧帯水層を水源としている。標高が高くなる北に向かって静水位が低くなる傾向があり、ズー県 Zogbodome 市では静水位が深度 60m以深となる場合がある。

② ρ -a 曲線パターン 2 の帯水層 (帯水層 A タイプ)

既存資料では、堆積岩層が基盤岩を不整合に覆い、この地層境界付近に帯水層があるものと考えられている。帯水層は、堆積物基底の砂層や砂礫層、または基盤岩上部の風化帯と考えられているが、いずれも連続性に乏しく、分布が限られている。地形区分では内陸台地に位置し、ズー県の Bohicon 市周辺から東部の Cove 市周辺に至る範囲が含まれる。

堆積層の厚さは 50mないし 60m以上あり、手掘りの井戸はこの範囲まで掘削されている。これらの井戸の水位は乾期に徐々に低下していく。したがって、静水位も 40m以上と深くなっている。電気探査による帯水層の把握が非常に困難な地域であるが、探査方法としては基盤岩に達する深度を確認することにより帯水層深度を推定することができる。被覆層が厚く、基盤岩に発達した風化帯や地質構造線の空中写真判読も困難な地域であり、他の地域に比べ井戸成功率が低くなることが考えられる。

③ ρ -a 曲線パターン 3 の帯水層 (帯水層 B タイプ)

先カンブリア紀の花崗岩(Gr2)を主体とする基盤岩類の分布範囲であり、帯水層は深層風化部や岩盤中に発達した構造線や亀裂帯である。電気探査結果では、風化帯に引き続き岩盤中に発達した亀裂帯の分布を示唆する低比抵抗帯が認められるパターンであった。既存井戸では、静水位が深度 40m以内でありハンドポンプでの対応が可能である。コリーヌ県のほぼ東半分が位置する。電気探査で帯水層として適切な比抵抗帯を確認し、さらに帯水層の集水条件(地下水涵養)を考慮して井戸掘削地点を選定することにより深井戸開発の可能性が高くなる地域である。

④ 帯水層タイプ

先カンブリア紀の片麻岩(Mn)を主体とする地域であり、帯水層タイプ 3 の花崗岩(Gr2)に対し、比較的新しい花崗岩(Gr1)の分布範囲も含む。また、対象地域中央に帯状に分布する火山砕屑岩類も含まれる。ズー県の基盤岩の分布範囲とコリーヌ県の西半分が位置する。

電気探査結果は既存の水利地質資料との整合性が良く、この地域では表層からの風化が比較的浅く、風化部につづいて下位に出現する基盤岩は硬質で新鮮な状態を反映した高比抵抗帯として把握されている。一般に風化深度が浅めであることから、地下水涵養と流出を考慮した井戸掘削地点の選定が必要と考える。

コリーヌ県の Bante 市周辺やズー県の Djidja 市付近ではまれに地質構造線に沿った破碎帯と思われる深度の深い低比抵抗帯が確認できており、この地層で井戸成功率を向上させるためには、地質構造線の空中写真判読と、これをカバーする探査側線の配置がポイントとなる。

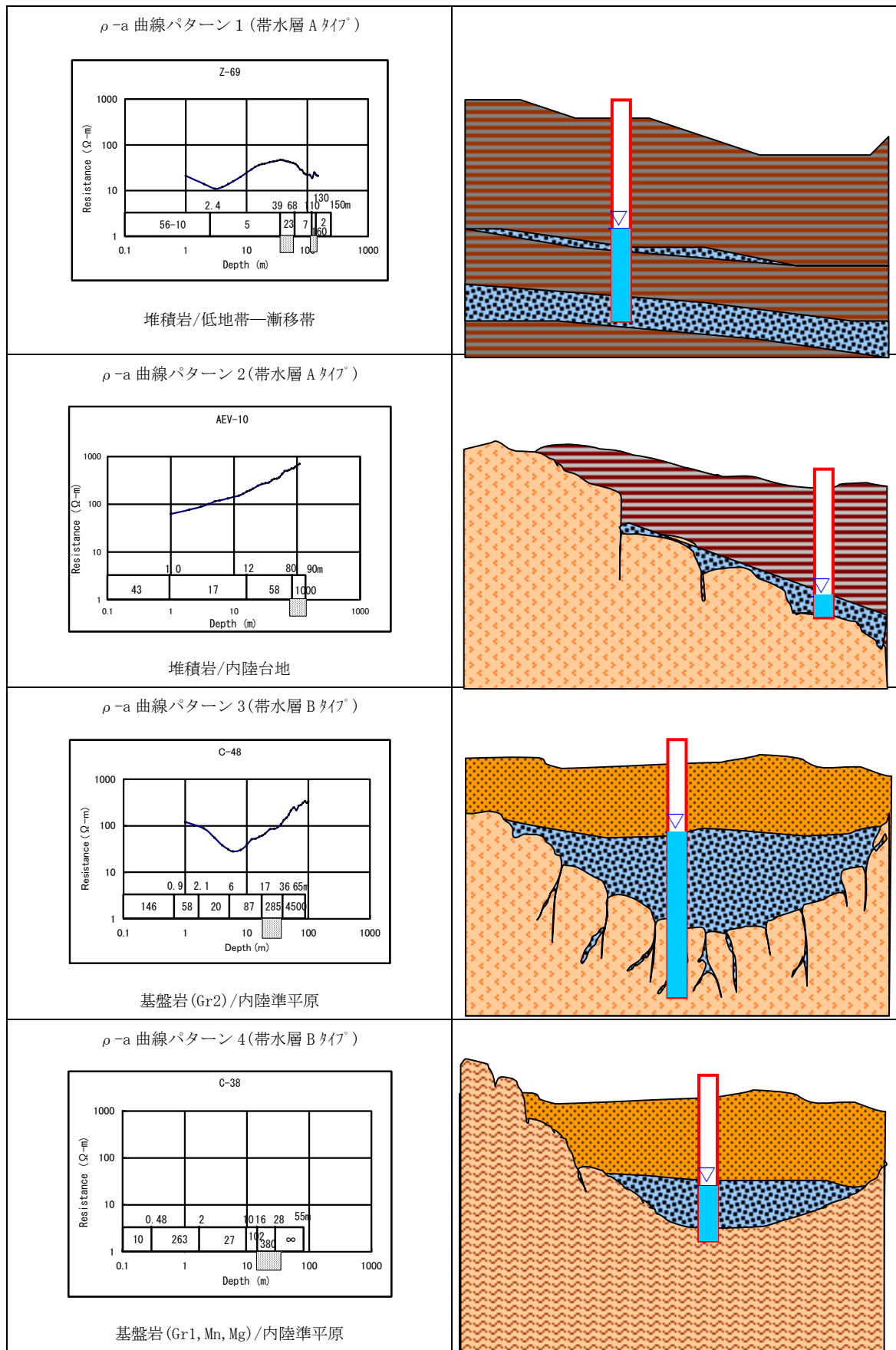


図 2-2-8 対象地域の帯水層と ρ-a 曲線のパターン

(7) 井戸成功率及び掘削深度の検討

1) 水源能力

既存資料から見た深井戸の湧水量は、南部のコンチネンタル・ターミナル層で平均 21.2m³/時、基盤岩層で平均 5.1m³/時である。人力ポンプの最大能力が 1.2m³/時とすれば、いずれの地質条件でも平均湧水量から見て開発に必要な水源能力を有する。

2) 地下水水質

南部の堆積岩分布域の水質は、pH が 6.0 以下の弱酸性である。このためこの地域の揚水管やポンプロッドは、耐腐食性の材質を考慮する必要がある。

北部の基盤岩分布域、特にコリーヌ県では、硝酸性イオンの値がベナン国水質基準（WHO の水質基準と同じ）45mg/l を大幅に超える井戸が全体の約 20% に達する。硝酸性イオンの長期間、多量の摂取は、赤血球の減少をもたらす、呼吸困難に陥るなどの弊害をもたらすとされている。

このため、本計画では井戸洗浄後の水質試験を早急に行い、基準値を超えるものについては不成功井戸とした理由を水管理委員会に十分説明し、理解させる必要があるとともに、井戸掘削成功率の算定に際しては、水量だけではなく水質の観点も加味して考慮する必要がある。

3) 深井戸掘削成功率

深井戸掘削成功率は、既存の類似計画の実績と今回の基本設計調査による物理探査結果に対象地域の水理地質条件を考慮して決定した。

井戸成功率は、堆積岩地域で高く基盤岩地域で低くなり、さらに基盤岩地域では地質年代が新しくなるにしたがって低くなる傾向が認められた。調査の結果、計画地域で深井戸開発において不成功井戸の発生が懸念され、特に留意すべき地域は以下のとおりである。

- ① 基盤岩と堆積岩の境界域（地形区分の内陸台地）。
- ② アボメ北部に分布する花崗岩類（Gr1）の分布範囲。
- ③ 調査地西端にほぼ南北に分布する花崗岩類（Gr1）の分布範囲。
- ④ 調査地中央とそれに平行にほぼ南北に脈状に分布する火成岩の分布範囲。特にこの分布地では新鮮岩盤が地表付近まで露頭し、岩盤上に位置している村落も認められた。

物理探査結果の解析による井戸成功率は全体で 62% と推定され、また既存資料（水利局の井戸台帳：UNICEF、DANIDA 及び日本のフェーズIV井戸掘削結果合計 1,131 本）の解析結果では 60% 程度となっている。調査サンプルの偏りを既存資料で修正し、基盤岩地域ではこれまでに明らかにされていない水質の問題と新鮮岩盤が地表浅部まで露頭している範囲が含まれること、また、堆積岩地域では帯水層の分布が連続的でない内陸台地での施工を考慮し、計画対象村落全体では 65% 程度の成功率と推定した。

表 2-2-3 に地質別の成功率を、表 2-2-4 に地域別の井戸成功率を示す。

表 2-2-3 水理地質条件と井戸成功率

記号	地層区分	層相	井戸深度 (m)	地下水位 (m)	産出量 (m ³ /時)	成功率 (%)	修正成功率 (%)
PL	海洋性堆積物	泥岩, 砂岩, 粘土, 細砂, 石灰岩	>60	>60~+	0~90	65~85	85
Cr	コンチネンタル・ターミナル層	泥岩, 砂岩, 礫岩, 石灰岩	>50	>60~+	0~50	0~80	85
Cr	コンチネンタル・ターミナル層 (狭小に分布)	珪岩, 片岩類	<45	10~25	2<	67	50
Mg1	ヒラグループ	シクマタイト, 片麻岩, 珪岩, 片岩類	<45	10~25	2~5	58	63
Gr1	後期汎アフリカ層	花崗岩, 花崗岩質片麻岩	<45	10~25	2~5, >5	70~80	50
Gn	ウエメ片麻岩沈降帯	片麻岩, 角閃石片岩, 珪岩	<45	10~25	<2	50~67	70
Gr2	花崗岩層	花崗岩, グラニュイト, シクマタイト	<45	10~25	<2	62	66
Mg2	オカパロモイエン複合層	シクマタイト, 片麻岩, 花崗岩質岩	<45	10~25	2~5	63	65
Vs	ウエメ火山砕屑岩層	火山砕屑岩	<45	10~25	<2	60	-
Gr1	後期貫入岩帯 (汎アフリカ層を含む)	花崗岩, 花崗閃緑岩	<45	10~25	2~5	52	50

表 2-2-4 地域別井戸成功率

県	郡	地質記号	既存資料からの推定			要請集落数 (集落)	対象井戸本数 (本)	物理探査結果による成功率 (%)	修正成功率 (%)		
			地質占有面積割合 (%)	占有面積別井戸成功率 (%)	算出成功率 (%)				堆積岩 (TYPE A)	基盤岩 (TYPE B)	全体
ズー県	Djidja	Vs	-	-	-	-	3	30	50	-	50
		Mg1	80	50	-	62	19	68	-	60	60
		Gr1	20	70	54	-	3	33	-	55	55
		Gr1	-	-	-	-	10	50	-	50	50
		Cr	漸移帯	-	-	-	-	3	30	50	-
	Ouinhi	pl	100	85	85	2	1	95	85	-	85
Zagbodome	p1	-	-	-	-	1	95	85	-	85	
	Cr	100	85	85	10	11	79	85	-	85	
コリーヌ県	Bante	Mg1	100	58	58	12	11	73	-	70	70
		DassaZoume	Gr2	100	62	62	7	6	70	-	70
	Glazoue	Mg1	30	58	-	-	2	30	-	60	60
		Gn	20	48	-	-	-	-	-	-	-
		Gr2	30	62	-	-	10	71	-	70	70
		Gr2	20	60	58	11	-	-	-	-	-
	Ouesse	Gn	-	-	-	-	6	67	-	70	70
		Gr2	50	62	-	-	7	57	-	60	60
		Mg2	50	63	63	18	2	95	-	65	65
	Savalou	Mg1	70	58	-	-	4	50	-	55	55
		Gr1	30	80	65	20	6	30	-	55	55
	Save	Gn	10	48	-	-	-	-	-	-	-
Gr2		40	62	-	-	2	30	-	50	50	
Mg2		50	63	60	6	3	67	-	65	65	
レベルIIからの変更村落	クフオ県	AEV-5	100	85	85	-	3	67	85	-	85
	ズー県	AEV-8 AEV-10									
合計						148	113	62%	76%	62%	65%

(9) 深井戸計画深度

深井戸の計画深度は、全調査地点の電気探査結果から水理地質条件を考慮して決定した。

堆積岩地域のうち、低地帯から漸移帯にかけては深度 100m 前後に分布する砂層を帯水層として掘削する計画とした。また、内陸台地では被覆層を通過し基盤岩に達してから最低 5m程度は掘削する計画とした。

基盤岩地帯のうち花崗岩（Gr2）に代表されるように、風化帯以深の岩盤中に亀裂帯が認められる範囲までを掘削深度とした。また、片麻岩（Gn）に代表されるとおり風化帯以深の基盤岩が新鮮、硬質な状態であることを示す場合は、基盤岩到達後 5mまで掘削する計画とした。

各対象村落の掘削区分の詳細は巻末資料 8-4 に示すとおりであり、表 2-2-5 に地質・地域別の掘削深度を取りまとめて示す。なお、使用するポンプのタイプは対象地域の静水位とポンプの揚水能力を考慮して決定した。

表 2-2-5 地質・地域別の掘削深度

地質区分	県	井戸本数(本)	掘削区分(m)					人力ポンプ区分(基)				
			軟岩(泥岩)	軟岩(砂岩)	表土(土砂)	中硬岩	硬岩	計	手押し式	足踏み式(-60Type)	足踏み式(-80Type)	計
堆積岩類	ズー	13	1,014	801	55	0	0	1,870	8	5	0	13
	レベルⅡ→Ⅰ	3	25	145	9	53	88	320	0	2	1	3
	計	16	1,039	946	64	53	88	2,190	8	7	1	16
	平均	-	65	59	4	3	6	137	-	-	-	-
基盤岩類	ズー	38	0	0	394	856	1,145	2,395	34	3	1	38
	コリーヌ	59	0	0	429	1,282	1,929	3,640	59	0	0	59
	計	97	0	0	823	2,138	3,047	6,035	93	3	1	97
	平均	-	0	0	8	22	32	62	-	-	-	-
合計		113	1,039	946	887	2,191	3,162	8,225	101	10	2	113
平均		-	9	8	8	19	73	73	-	-	-	-