

5.6 コア分析

5.6.1 コア砒素分析結果

(1) CH-2 サイト[チュアダンガ・ボルシャバ、ガールズカレッジ]

図 5.6.1 は、CH-2 サイトにおける砒素含有量試験および砒素溶出試験の結果を示す。全砒素含有量は、深度 0 から 204 m までの区間で、全般に 10 ppm よりも低い値を示す。浅層部では、深度 0.17 ~ 6.50 m 区間の粘土やシルト試料で、5.6 ~ 9.7 ppm とやや大きな砒素含有量を示す。しかし、深度 13.3 ~ 91.2 m の試料は砒素含有量が小さく、0.5 ~ 2.1 ppm を示す。深度 102.50 ~ 102.63 m で採取されたピート質シルト試料中の砒素含有量は 17.73 ppm である。これに対して、深度 206.0 ~ 245.2 m 区間のコア試料は、20 ~ 117 ppm と大きな砒素含有量を示す。CH-2 サイトおよび本調査による 6 地点のコアボーリングで最も大きな砒素含有量(= 117.26 ppm)は、深度 207.50 ~ 207.72 m のシルト質粘土試料から検出された。ここで指摘しておかなければならないことは、深度 200m を超える深い地層から、これほど高い砒素含有量は、これまでバングラデシュで行われてきた調査では発見されることがないという点である。すなわち、本調査では、これまで知られていなかった深層部に高い砒素含有量を有する地層が存在することを初めて明らかにしたのである。深度 245.3 m より深い試料の砒素含有量は、3.7 ~ 6.4 ppm である。

砒素溶出試験の結果、深度 0.1 ~ 45.7 m 間の試料からはほとんど砒素の溶出はなく、試験の検出限界である 5 ppb 以下を示すものがほとんどであった。深度 52.0 ~ 192.5 m の試料では、深度 52.05 ~ 57.50 m の試料および深度 135.00 ~ 141.36 m の試料から、それぞれ 8.0 ~ 8.8 ppb および 7.1 ~ 9.6 ppb の砒素の溶出が認められた。深度 199.60 ~ 268.60 m の区間では、いくつかの試料が 10 ppb 以上の砒素の溶出を示した。最も高い溶出量は、砒素含有量 5.08 ppm を有する細粒 ~ 中粒砂試料からの 20.5 ppb であった。一方、本調査で最も高い砒素含有量(= 117.26 ppm)を示した試料からの砒素溶出量は、11.0 ppb だけであった。深度 271.3 m 以深の試料からは、6 ppb 以下の砒素溶出しが確認されなかった。

(2) CH-CB サイト [チュアダンガ県ボロドゥウパティラ村]

図 5.6.2 に、CH-CB サイトでのコアの砒素分析結果を示す。

砒素含有量は、深度 0.0 ~ 100.8 m 区間では 10 ppm 以下である。深度 111.65 ~ 111.85 m の粘土質シルトでは砒素含有量は 42.71 ppm であった。深度 119.3 ~ 223.5 m 区間では、砒素含有量は深度とともに 3 ppm から 14 ppm に増加する傾向が見られた。深度 228.50 ~ 229.00 m の粘土質試料では、このサイトでの最高値 93.57 ppm が検出された。

これより深度の深い 233.0～268.2 m 区間では、砒素含有量は 2.2～8.3 ppm と低い。深度 270 m 以深では、2 つの試料が 20 ppm 以上の砒素含有量を示した。そのひとつは、深度 272.40～273.00 m の細粒～中粒砂 (29.76 ppm) で、もうひとつは深度 290.00～290.40 m の極細粒～細粒砂(47.09 ppm)である。

砒素溶出試験の結果をみると、深度 100m以浅の試料のほとんどは、溶出量が 5 ppb と小さかった。しかし、溶出量は深度 100～300 m 区間で深度とともに徐々に高くなる傾向を示した。深度 100～260 m 区間では砒素溶出量は 5～12 ppb で、深度 264.5～290.4 m では 10～20 ppb であった。

(3) JH-1 サイト [ジェナイダ・ボルシャバ、アラブプール]

図 5.6.3 は、JH-1 サイトでのコアの砒素分析結果を示す。

このサイトでの砒素含有量の分布は、深度 200m以浅で比較的高い値を示すが、それより深いコアでは砒素含有量は小さい。ここでは砒素含有量自体が 0～20 ppm と全体的に小さいが、その中で比較的高い 10 ppm 以上を示す試料として、細粒砂(8.40～9.00 m, 11.88 ppm)、シルト質細粒砂 (63.00～63.60 m, 17.95 ppm)、シルト質粘土(100.55～100.37 m, 19.48 ppm)、極細粒～細粒砂(143.28～143.85 m, 16.68 ppm)、そして細粒～中粒砂(183.00～195.85 m, 10.61 to 14.38 ppm)があることが判明した。また、特徴として、深度 100～200 m 区間では、砒素含有量のバックグラウンド値が深度とともに上昇する。一方、深度 210～277 m のサンプルでは、砒素含有量は 3 ppm 以下であった。砒素溶出試験の結果、深度 300mまでの区間では、深度 61.6～67.0 m の試料を除いて、ほとんどの試料が 5 ppb 以下の値を示した。最も高い溶出量 90.5 ppb は、深度 63.00～63.60 m のシルト質細粒砂から検出された。この試料は、17.95 ppm の砒素含有量を有する。2 番目に溶出量の高い試料は細粒～中粒砂(深度 66.40～67.00 m, 59.9 ppb)、3 番目に高い試料は細粒～中粒砂(深度 61.60～62.00 m, 47.9 ppb)であった。砒素含有量の分布と比較すると、この部分だけが砒素含有量と砒素溶出量で比較的高い砒素が検出された。

(4) JH-KC サイト [ジェナイダ県クリシュナ・チャンドラプール村]

図 5.6.4 には、JH-KC サイトでのコアの砒素分析結果を示す。

ここでは、砒素含有量は 0～15 ppm の値を示す。砒素含有量の深度別分布をみると、深度 30m以浅ではやや含有量が高めであり、深度 30～140 m 間では 5 ppm 以下、それ以深では深度 150m付近の 2～5 ppm から深度 210mの 5～10 ppm に含有量が増加し、そこから深度 300mまでは 5～10 ppm の含有量が続く。このサイトでの砒素含有

量の最高値は深度 25.70～25.85 m の砂質粘土で、12.96 ppm を記録した。このサイトでも、JH-1 サイトと同様に、深度 195m 以深の細粒堆積物において砒素含有量のバックグラウンド値が上昇する傾向が見られた。

(5) JS-2 サイト[ジェソール・ボルシャバ、コルキー]

図 5.6.5 には、JS-2 サイトでのコアの砒素分析結果を示す。

砒素含有量は、浅層部では深度 5～20 m 間に 40～60 ppm と高い値が検出された。一方、深層部では、10 ppm 前後のやや高めの値が深度 160 m 付近の試料と 210～250 m 間の試料で検出された。このサイトでの最高値 63.15 ppm は、深度 14.45～14.78 m 間のピート質シルトから検出された。このほか、深度 8.4～19.2 m のピートやピート質シルトおよび粘土質サンプルからも高い砒素含有量が検出され、これが本サイト付近の砒素汚染のソースであると推測された。一方、深層部において 10 ppm 以上の砒素含有量を有する試料は、シルト質粘土(深度 159.50～159.65 m, 14.62 ppm)、シルト(深度 217.30～217.73 m, 10.57 ppm)、および砂質シルト(深度 252.00～252.15 m, 13.71 ppm) である。深度 250m 以深では、深度の増加にともなう砒素含有量のバックグラウンド値の上昇傾向は認められなかった。

(6) JS-RB サイト[ジェソール県ラジュナガール・パンカバルシ村]

図 5.6.6 には、JS-RB サイトでのコアの砒素分析結果を示す。

砒素含有量は、浅層部では深度 10m 以浅、深層部では 250～260m で 50 ppm 以上の高い値が検出された。バックグラウンド値は、深度とともに、1 ppm から 15 ppm へと増加した。このサイトでの砒素含有量の最高値 67.61 ppm は深度 254.54～254.91 m のシルトから検出された。この直下の深度 256.23～256.66 m の粘土質シルトからも、60.22 ppm と高い砒素含有量が検出された。浅層部では、ピート(深度 8.00～8.21 m) が 57.12 ppm を示した。また、深度 7.0～9.9 m のピートやピート質粘土および粘土試料からも、10.0～29.4 ppm の砒素が検出された。なお、深層部の砒素含有量の高い試料(深度 254.54～256.66 m) の下位では、砒素含有量のバックグラウンド値が 10 ppm 以上と高く、これは上位層のバックグラウンド値と明らかに異なる。

砒素溶出試験の結果、砒素の溶出は深度 160m 以浅のいくつかの試料で認められた。一方、深度 160m 以深の試料の砒素溶出量は 5 ppb 以下であった。溶出量の最高値 16.6 ppb は深度 131.08～131.45 m の粘土質シルトから検出された。浅層部では、砒素含有量が 29.4 to 57.1 ppm であるピートの砒素溶出量は 7.3～10.3 ppb だけであった。また、砒素含有量 10.81 ppm を有する深度 61.8～62.0 m のピート質極細粒砂では、砒素溶出

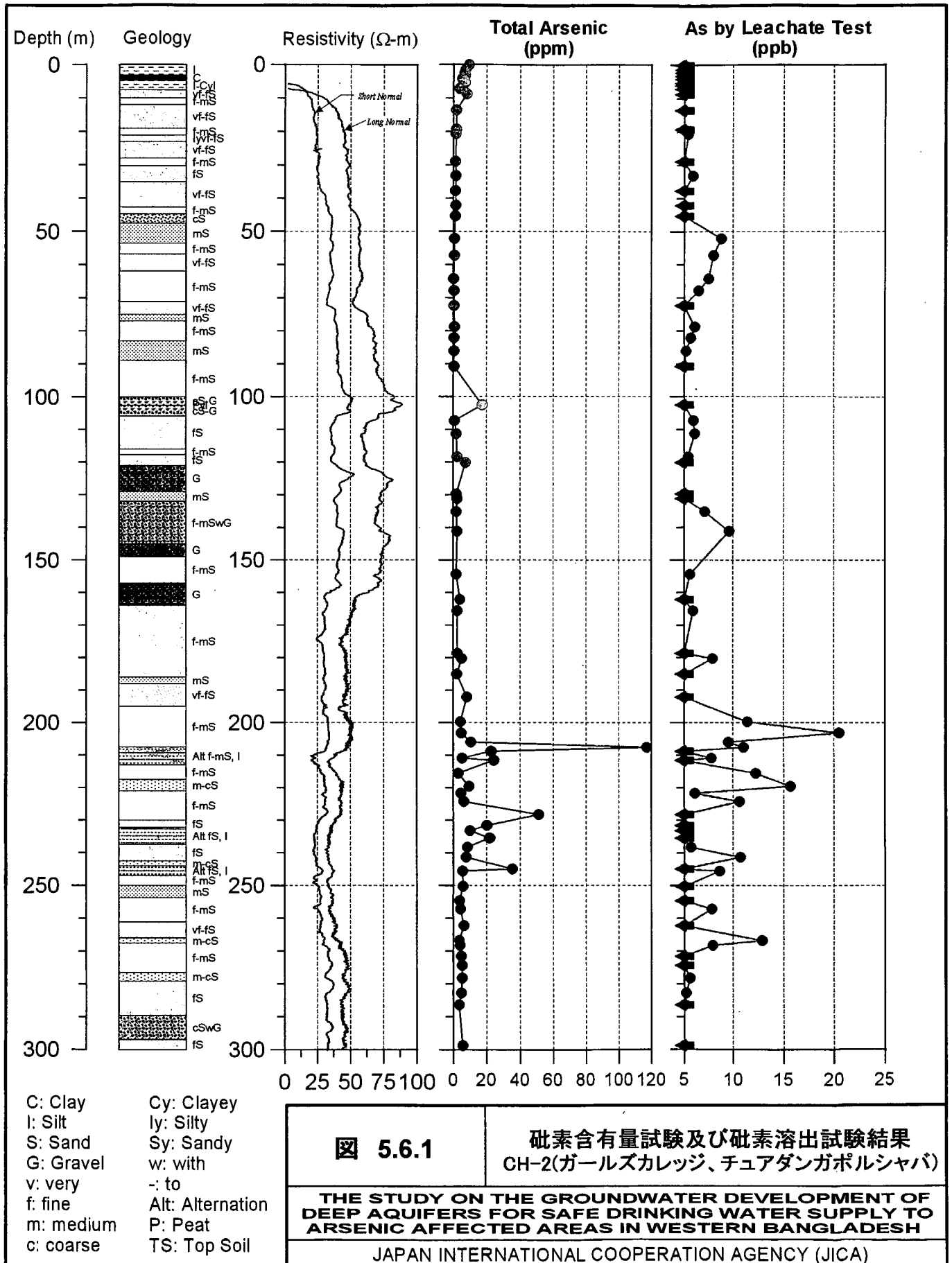
量は 6.5 ~ 7.3 ppb だけであった。

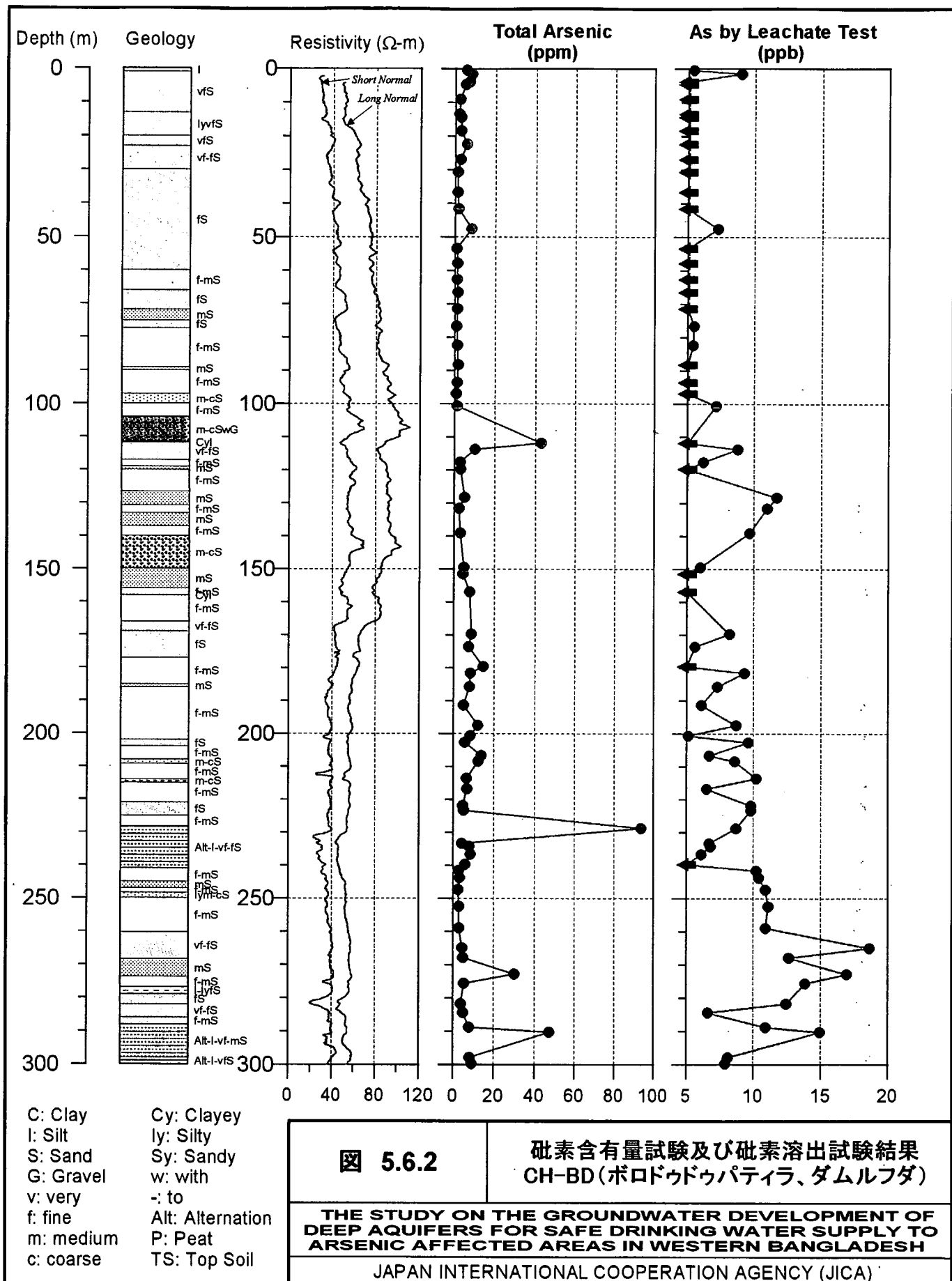
5.6.2 砒素分析の評価

コア中の砒素分析の品質管理テストによると、コア試料の二次汚染は認められなかった。したがって、本調査で採用したコアサンプルの採取方法やサンプル処理のプロセスは問題なく良くできたと評価される。

砒素含有量試験の結果、調査地域のいくつかの地点で、地層中の砒素は浅層部だけでなく、深度 300m までの深層部にも存在することが確認された。深層部の地層中での砒素の存在は、深層部起源の地下水砒素汚染が発生する可能性があることを示している。言い方をかえれば、調査地域のいくつかの地点で深層地下水も砒素汚染のポテンシャルがあることを示している。しかしながら、本調査で実施した砒素含有量試験は全量試験であり、砒素がどのような形態で深層部に存在しているのか不明である。したがって、現時点では、深層部の地層中の砒素がすぐに地下水中に溶け込むのかどうか、判断することは難しい。さらに、地層中の砒素が地下水中に溶出することについては、多くの要素が複雑に関係していると推定される。したがって、本調査で深層部の砒素の存在が明らかになった次の段階として、深層部地層中の砒素の存在形態や挙動等についての研究が必要になると考えられる。

本調査で実施した砒素溶出試験の結果は、いくつかの試料で溶出試験の結果と含有量試験の結果がよくマッチしなかった。この理由の一つとして、分析室での溶出環境と原位置での地下水環境が異なっていることが考えられる。例えば、分析室での溶出試験は標準的な手法を採用したが、その手法では溶出液は酸性状態 (pH 7 未満) にコントロールされている。ところが、本調査地域の地下水の pH は、通常 7 以上を示すことが多い。したがって、こうした溶出条件の違いにより、いくつかのサンプルでは砒素が溶液中に溶出しなかった可能性がある。したがって、本調査での試験結果を踏まえて、溶出条件を変えた詳細な溶出試験を研究目的として実施することが必要である。また、地層中の砒素の形態等、さらに詳細な分析を行うためには、そうした試験を満足させるようなサンプリング手法の開発も必要である。





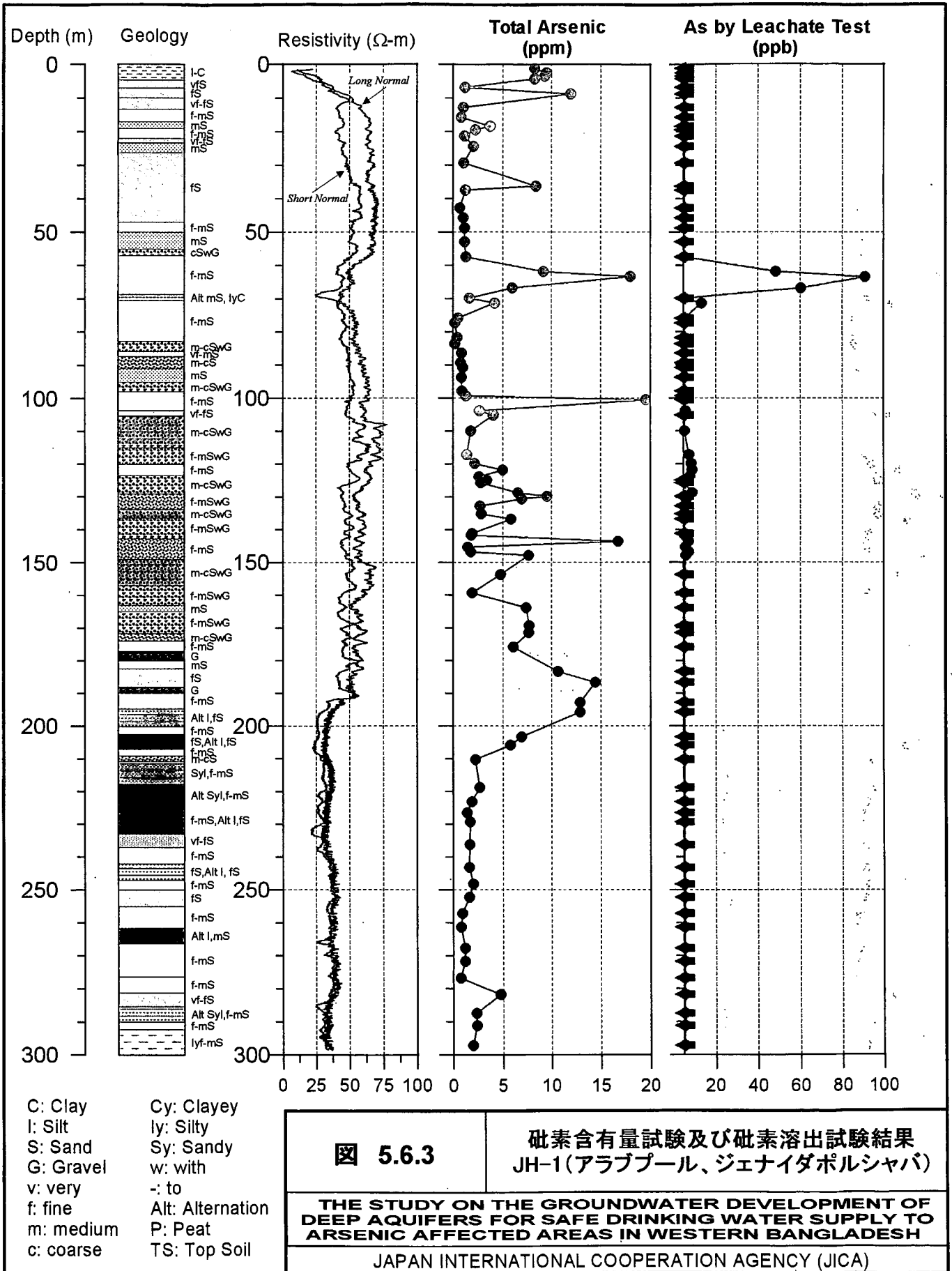
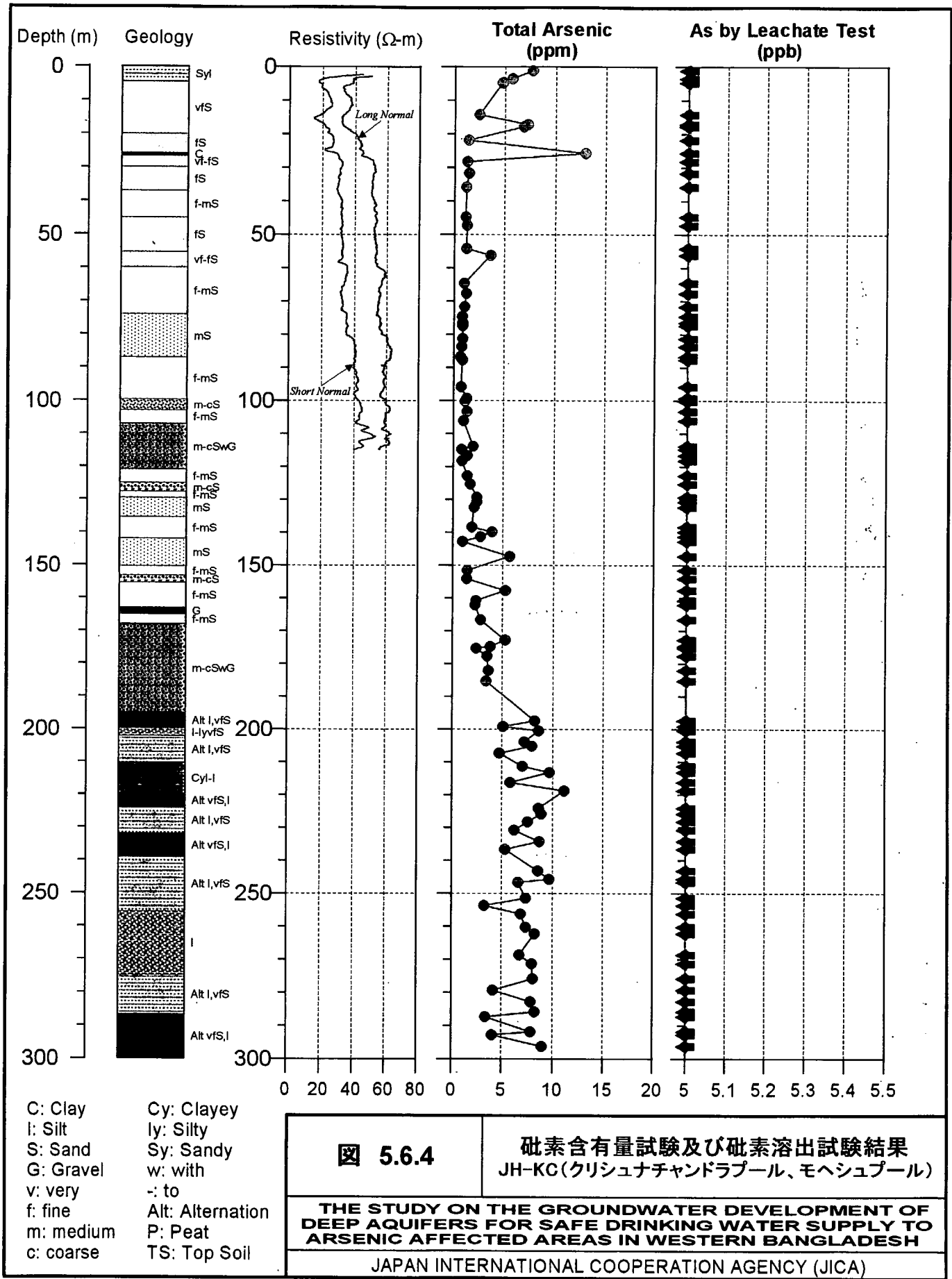


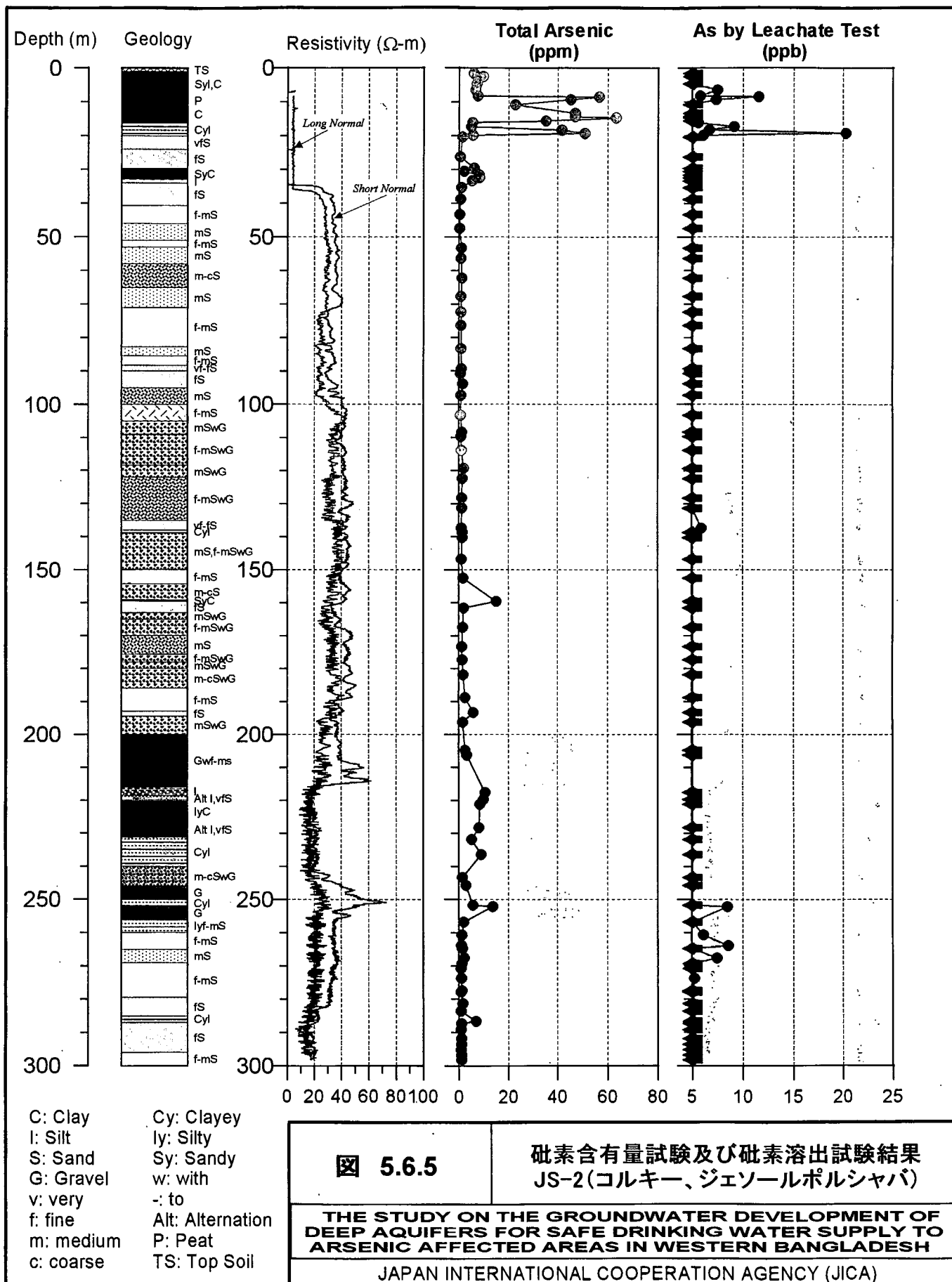
図 5.6.3

砒素含有量試験及び砒素溶出試験結果
JH-1(アラブプール、ジェナイダポルシャバ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)





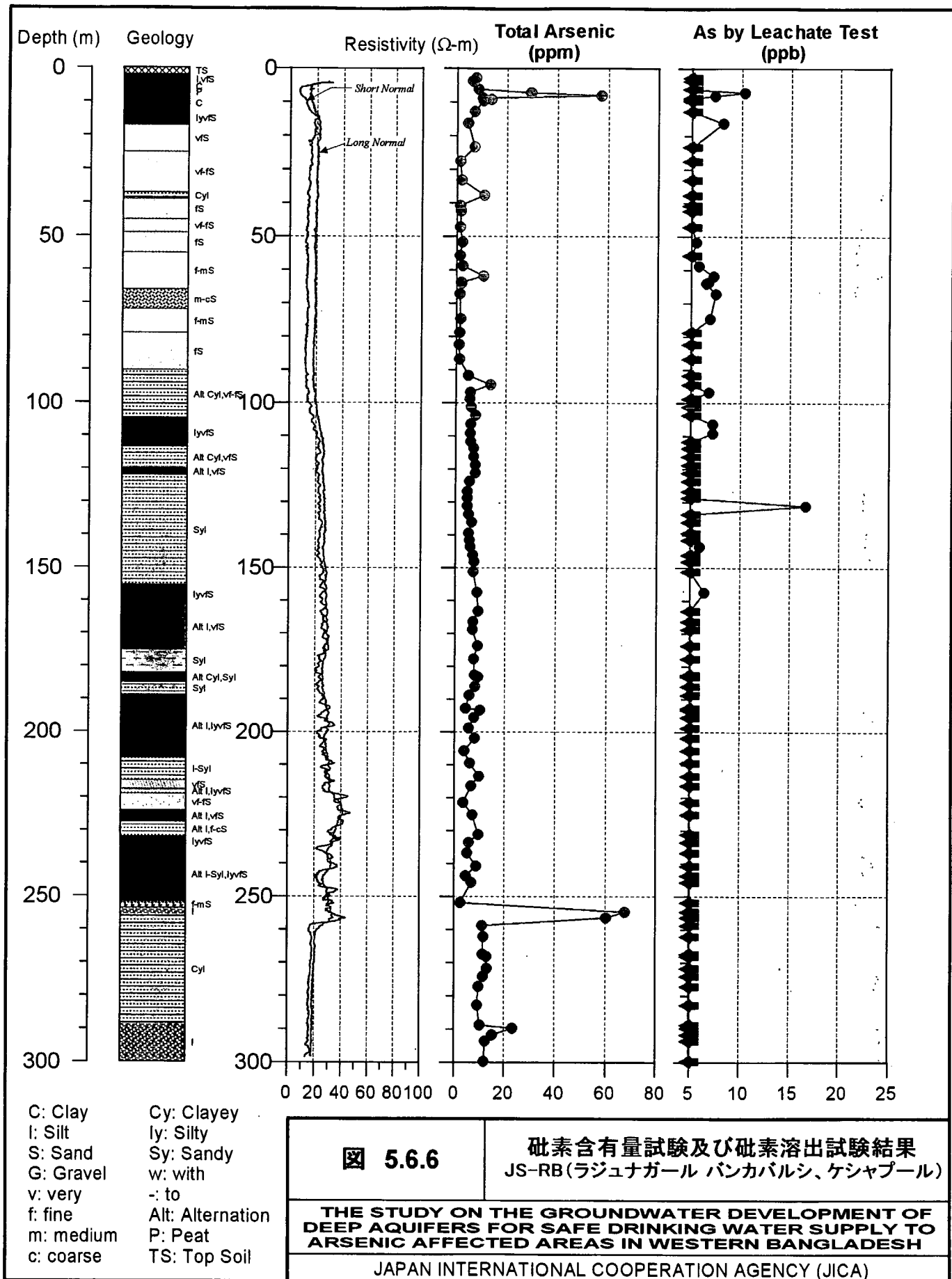


図 5.6.6

砒素含有量試験及び砒素溶出試験結果
JS-RB(ラジュナガール バンカバルシ、ケシャプール)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

5.7 深層帯水層の評価

5.7.1 量的評価

(1) 比湧出量

図 5.7.1 には、試掘サイトごとに得られた比湧出量(S_c)の分布を示す。チュアダンガ・ポルシャバの Ch-1 井戸は最も大きい $257.1 \text{ m}^2/\text{day}$ を有する。2 番目に大きな S_c 値はジェソール・ポルシャバの Js-1 井戸での $85.4 \text{ m}^2/\text{day}$ である。一方、一番小さな S_c 値はジェナイダの Jh-1 井戸で測定された $2.5 \text{ m}^2/\text{day}$ であり、2 番目に小さな値はやはりジェナイダの Jh-2 井戸で得られた $6.5 \text{ m}^2/\text{day}$ である。Ch-2 井戸および Js-2 井戸の S_c 値はそれぞれ 10.5 および $9.1 \text{ m}^2/\text{day}$ であった。

このように、比湧出量で比較すると、本調査地域における深度 200m 以上の深層帯水層の産出能力は、一部で高いものもあるが、全体として現在ポルシャバ水源井が利用している深度 100m 前後の主要帯水層よりも低いと判断される。

(2) 透水量係数

図 5.7.2 には、県別に新設した観測井・観測孔で得られた透水量係数 (T) の分布を示す。チュアダンガ県では、深度 162m 以浅の浅層帯水層では、 T は $300 \sim 830 \text{ m}^2/\text{day}$ の値を示す。深層帯水層では、Ch-1 井戸が約 $16,000 \text{ m}^2/\text{day}$ と非常に大きな T 値を持つが、Ch-2 井戸や Ch-2-4 孔では T は $80 \sim 740 \text{ m}^2/\text{day}$ である。

ジェナイダ県では、深度 100m 程度の観測孔が $2,000 \sim 3,400 \text{ m}^2/\text{day}$ と高い T を示す。震度 150m 程度の観測孔も $400 \sim 1,850 \text{ m}^2/\text{day}$ と高い T を示す。最も浅い観測孔 (深度 50 m 程度) では、 $115 \sim 290 \text{ m}^2/\text{day}$ である。しかし、Jh-1 および Jh-2 井戸では T が非常に小さく、 $2 \text{ m}^2/\text{day}$ 以下である。ジェナイダ・ポルシャバでは、透水量係数から見た深層帯水層の産出能力は、浅層帯水層よりも明らかに小さい。

ジェソール県では、深度 150m 程度の観測孔は $2 \sim 300 \text{ m}^2/\text{day}$ と小さな T を示す。深度約 50 m と 100 m ゾーンの観測孔は、 $200 \sim 3,500 \text{ m}^2/\text{day}$ の T を示す。深層帯水層に設置した観測井・観測孔は、Js-2 井戸を除き $30 \sim 80 \text{ m}^2/\text{day}$ の T をもつ。

このように、深層帯水層の透水量係数は、全般に浅層帯水層よりも小さな値を示すが、深層帯水層の T 値は場所や観測井・観測孔ごとに大きくことなる場合があり、値のばらつきが大きい。チュアダンガの Ch-1 井戸やジェソールの Js-1 井戸は深層帯水層が十分な産出能力を有し、給水管による給水システムで十分な水を供給できると判断されるが、ジェナイダ・ポルシャバでは T があまりにも小さく、試掘井をポルシャバ給水用の生産井戸として利用することは難しい。

5.7.2 質的評価

(1) 砒素濃度と一般水質

1) CH-1 サイト [チュアダंगा・ポルシャバ、ボシュハット]

図 5.7.3 には、CH-1 サイトにおける地下水中の砒素濃度と一般水質の断面分布を示す。このサイトでは、Ch-1-1 孔と Ch-1-3 孔では砒素濃度は 2001 年 2 月から 10 月にかけて 0.03 ~ 0.06 mg/l の範囲で変動した。しかし、Ch-1 井戸および Ch-1-4 孔で測定した深層地下水の砒素濃度は浅層地下水よりも低い 0.002 ~ 0.04 mg/l を示す。主要イオン組成とその量を表すスティフ・ダイアグラムをみると、浅層地下水を測定している Ch-1-1 から Ch-1-3 ではダイアグラムのサイズが小さい。ところが、深層帯水層のダイアグラムはあきらかに形や大きさが浅層地下水とはことなり、水質面から浅層地下水と深層地下水の組成が異なることを示している。

深度 174 ~ 212m に極細粒砂層や細粒砂層などの細粒な堆積物が存在することを考慮すると、深層帯水層はこれによりある程度浅層帯水層と分けられているとみなすことができる。しかし、浅層帯水層と深層帯水層をはっきりと区分するしっかりとした粘土層は存在しないので、2 つの帯水層間の水頭差が大きくなると、この細粒堆積物を通して地下水が垂直方向に移動する可能性がある。参考として図 5.3.6 ~ 図 5.3.7 に CH-1 及び CH-2 サイトにおける深度による水質の違いを明示したトリリニアダイアグラムを示す。

2) JH-1 サイト [ジェナイダ・ポルシャバ、アラブプール]

図 5.7.4 には、JH-1 サイトにおける地下水中の砒素濃度と一般水質の断面分布を示す。このサイトでは、地下水中の砒素濃度は最も浅い Jh-1-1 孔だけで高い。Jh-1-2 孔および Jh-1-3 孔では、砒素濃度は 0.01 ~ 0.03 mg/l である。深層地下水中の砒素濃度は低く、0.005 ~ 0.03 mg/l である。

スティフ・ダイアグラムをみると、Jh-1-1 孔でのサイズが最も小さく、主要イオンの溶存量が少ないことを示している。Jh-1-2 孔および Jh-1-3 孔のダイアグラムのサイズは、Jh-1-1 よりも少し大きい。Jh-1 井戸や Jh-1-4 孔での深層地下水の水質をみると、スティフ・ダイアグラムのサイズは明らかに浅層帯水層のそれよりも大きい。このサイトでは、水文地質構造や水質組成の特徴から、3 つの帯水層ユニットを識別することが可能である。すなわち、浅層帯水層は、その下位の間帯水層とは中粒砂層と珪質粘土層との互層により境され、砒素により中程度に汚染されスティフ・ダイアグラムのサイズが小さい。中間帯水層は深度 80 ~ 190m に分布し、砒素汚染の程度は小さく、やや大きなダイアグラムを示す。深層帯水層は深度 190 ~ 235m に分布している比較的厚い砂質珪層と細粒砂層との互層の下位に分布し、砒素濃度は低くスティフ・ダイアグラムのサイズが大きい。

このサイトでは、深層帯水層とそれより上位の帯水層とを明瞭に区分するしっかりとした厚い粘土層は存在しないが、水文地質状況や地下水の水質組成から見て、深層帯水層は上位の浅い帯水層からは深度 190～235m に分布する細粒堆積物により分けられていると判断される。参考として図 5.3.8～図 5.3.9 に JH-1 及び JH-2 サイトにおける深度による水質の違いを明示したトリリニアダイアグラムを示す。

3) JS-1 Site [ジェソール・ポルシャバ、ゴープ]

図 5.7.5 には、JS-1 サイトにおける地下水中の砒素濃度と一般水質の断面分布を示す。このサイトでは、地下水中の砒素濃度は 2 番目に浅い Js-1-2 井戸（深度約 100 m）において砒素濃度が他の観測井/観測孔より高い（0.001～0.035 mg/l）。同様の砒素濃度分布は、Js-2 サイトでも認められる。

スティフ・ダイアグラムによると、Js-1-1～Js-1-3 孔で観測された浅層地下水は Ca-HCO₃ タイプを示すのに対し、深層地下水を対象とした Js-1 井戸および Js-1-4 孔では (Na+K)-HCO₃ タイプを示す。

地質柱状図によれば、深度 200～260m 間に極細粒砂層や砂質シルト層などからなる細粒堆積層が存在しており、これが深層帯水層を上位の浅層帯水層より隔てていると考えられる。参考として図 5.3.10～図 5.3.11 に JS-1 及び JS-2 サイトにおける深度による水質の違いを明示したトリリニアダイアグラムを示す。

(2) 地層中および地下水中の砒素

地層中および地下水中の砒素の分布状況は、ポルシャバで掘削された 3 つのサイトにてコアボーリング試料の砒素含有量分布と地下水中の砒素濃度を比較することで検討できる。

1) CH-2 サイト [チュアダंगा・ポルシャバ、ガールズカレッジ]

図 5.7.12 には、垂直方向の地層中の砒素含有量分布や砒素溶出量分布、地下水中の砒素濃度分布を示した。深度 200m よりも浅い区間では砒素含有量は 10 ppm 以下と小さい。砒素溶出試験の結果も、この区間で砒素溶出量が小さく、とくに深度 0～50m 間ではほとんどが 5 ppb 以下である。しかしながら、深度 44.5～53.5 m にスクリーンをもつ Ch-2-1 孔では、地下水中の砒素濃度は 0.12～0.23 mg/l と極めて高い。この説明としては、砒素の原因層がこのサイトのコアボーリング地点には存在しないものの、すぐ近傍の浅層部に砒素を含む原因層が分布しており、そこから溶出した砒素が地下水流動による移流、分散により汚染プルームとして広がり、そのプルームが掘削地点に到達したと推測できる。地下水中の砒素濃度が深度とともに減少する様子は、Ch-2-1 孔から Ch-2-3 孔までの観測結果により明らかであるが、この事実も砒素の原因層がこのサイト付近の深度 50m 以浅にある

ことを示唆している。さらに、砒素濃度の断面濃度分布から、このサイト付近では上から下に向かって地下水が垂直的に流動していることも推定される。

深度 200m以上の深層部では、深度 207.50～207.72 m に 117.3 ppm もの砒素を含む地層があり、さらに 20～50 ppm 程度の砒素含有量を有する地層が深度 210～250 m に存在している。しかし、深度 300mクラスの Ch-2 井戸や Ch-2-4 孔では、砒素濃度は非常に低く 0.002 mg/l 以下である。この現象を説明するためには、次の3つの仮説が提案される。

- (a) 深層の地層中の砒素は地下水中に溶け出さず、地層中に残ったままである。
- (b) ある程度の量の砒素は地層中から地下水中に溶け出したが、深層部では透水係数が比較的小さいために地下水の流動速度が遅く、まだ深層の観測井や観測孔に到達していない。
- (c) 地層中の砒素は地下水中に溶け出しているが、上位の浅層帯水層中に位置している被圧水頭の低下中心部に向かって深層帯水層の地下水流動方向は主に上向きになり、深層の観測井・観測孔に汚染水は到達しない。

このサイトでは、上記の仮説のうち、どれが真実かを判断するための決定的な証拠はない。深層部の砒素溶出のメカニズム研究や地下水状況のモニタリングを継続して行う必要がある。

2) JH-1 サイト[ジェナイダ・ボルシャバ、アラブプール]

図 5.7.13 には、垂直方向の地層中の砒素含有量分布や砒素溶出量分布、地下水中の砒素濃度分布を示す。ここでは地表面直下から深度 300mの区間まで砒素含有量は 20 ppm 以下であり、砒素の起源となる地層は見つからなかった。しかし、深度 48～57 m にスクリーンを持つ Jh-1-1 孔の地下水中には、0.043～0.055 mg/l とやや濃度の高い砒素汚染が確認された。また、Jh-1-3 孔や Jh-1-4 孔でも、WHO ガイドライン値を上回る 0.01～0.03 mg/l の砒素濃度が検出された。

この現象は、浅層部では近傍に砒素汚染を引き起こす原因層が分布している可能性を、また、深層部では深層地下水の流動時間や流動経路、さらには深層地下水への砒素の溶出メカニズムなどが関係していると推定され、そうした観点での調査やモニタリングが必要であると考えられる。

3) JS-2 サイト[ジェソール・ボルシャバ、コルキー]

図 5.7.14 には、このサイトでの垂直方向の地層中の砒素含有量分布や砒素溶出量分布、地下水中の砒素濃度分布を示す。ここでは、砒素の原因層は浅層部の粘土質堆積物、とくにピート層であると考えられる。これらの地層は、砒素含有量が 40～65 ppm である。一方、深度 20m以深では、300mまで砒素の原因層は見つからなかった。しかしながら、地下水中には砒素濃度が最も高いのは2番目に浅い

Js-2-2 孔（スクリーン深度 99～111 m）であり、砒素の原因層と想定されるピート層よりも約 30m 下位にスクリーンを有する Js-1-1 孔からは砒素汚染は検出されなかった。

こうした事実から、Js-2-2 孔で検出された地下水中の砒素は、この地点で確認された浅層部のピート層から直接垂直方向の地下水流動でもたらされたものではないと考えられる。とくに、Js-2-1 孔での地下水中の砒素濃度は明らかに Js-2-2 孔よりも低いので、直接の垂直方向の汚染は考えにくい。むしろ、サイト近傍の浅層部に分布する砒素の原因層から溶出した砒素が、水文地質構造や地下水流動に規制されて移動し、汚染プルームが Js-2-2 井戸のスクリーン部に到達したのではないかと考えられる。これを明らかにするためには、平面的に砒素の原因層の分布を特定するために、浅層部の詳細な汚染調査や汚染プルームの形を把握するための地下水調査が必要となる。

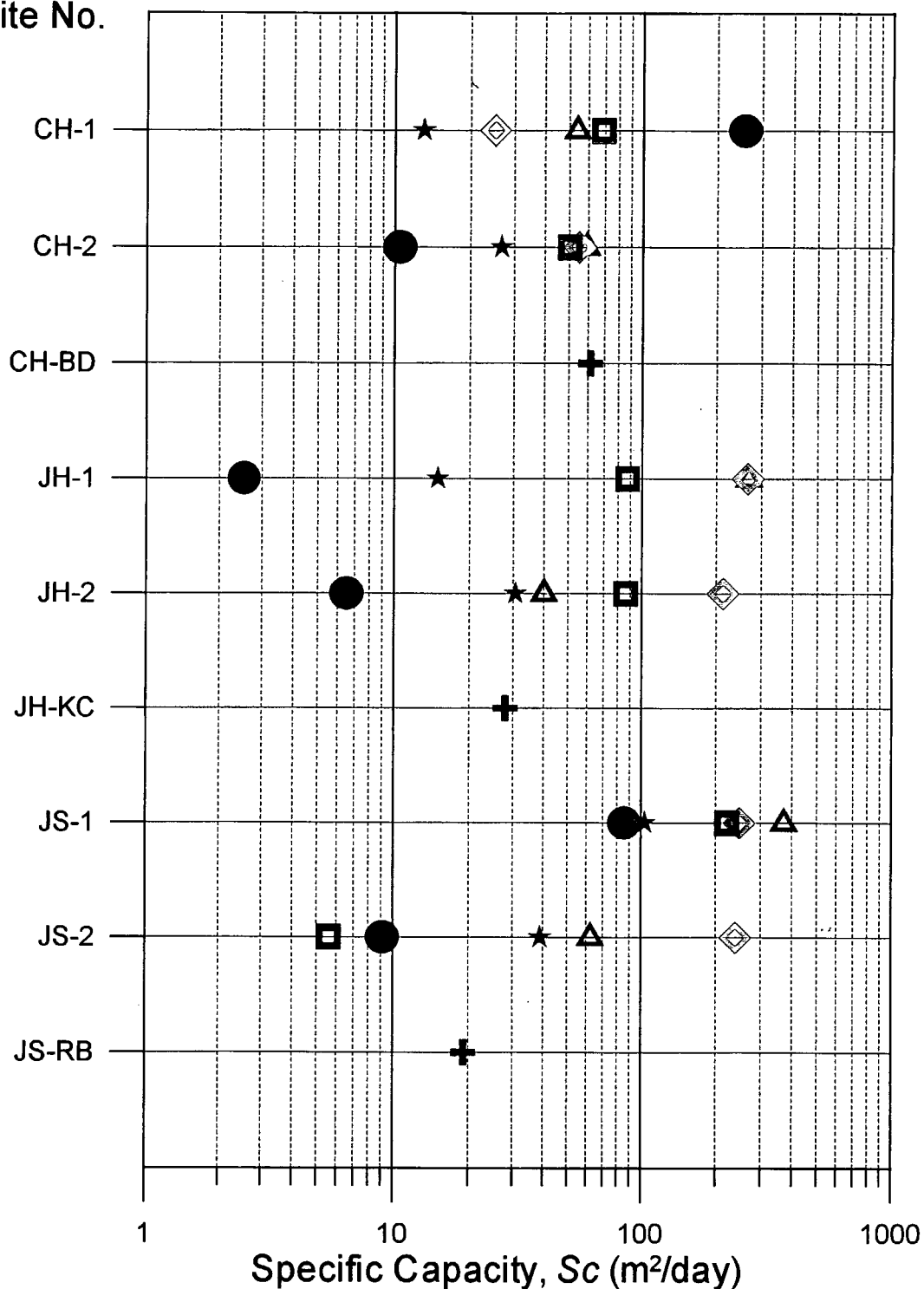
一方、深度 240m 以深の深層帯水層では、砒素の原因層となる地層は存在しないので、ここでは将来も深層部起源の砒素汚染の発生するポテンシャルはないと判断される。

(3) 深層帯水層の砒素汚染発生ポテンシャル

以上述べたような調査結果にもとづき、深層帯水層に砒素汚染が発生する可能性は 2 つあると判断される。その 1 つは、浅層の汚染された地下水が浸透または漏水により深層帯水層に到達して汚染が発生する可能性である。この可能性は、とくに浅層帯水層と深層帯水層との間に明瞭な難透水層が存在しない場合に高い。もし、浅層帯水層と深層帯水層が直接的に連続している場合、深層帯水層の被圧水頭が浅層帯水層のそれよりも低ければ、浅層地下水は容易に深層部へ移動する。2 つめの可能性は、深層部に砒素の原因層がある場合である。コア分析の結果によれば、チュアダンガ県の CH-2 サイトと CH-BD サイト、ジェソール県の JS-RB サイトでこの可能性がある。しかしながら、現時点では、深層地下水に基準を超えるような高濃度の砒素汚染は見つかっていない。将来、深層部に存在する砒素により地下水汚染が発生するポテンシャルは、これらの地点であるものの、深層部の地層中の砒素が地下水中に溶け込むかどうかの判断は、現時点での限られた情報では判断することができない。

深層部起源の砒素による地下水汚染の可能性を評価、予測するためには、さらに地下水モニタリングを継続するとともに、深層地下水の状態や環境、深層帯水層の性状や環境、とくに砒素の存在形態や分布状況等についてさらなる詳細な研究・調査が必要となる。

Site No.



LEGEND

- Production Well (Dep.=300m)
- ▲ Obs. Hole (Dep.=50m)
- ◇ Obs. Hole (Dep.=100m)
- Obs. Hole (Dep.=150m)
- ★ Obs. Hole (Dep.=300m)
- ⊕ Obs. Hole (CB, Dep.=300m)

図 5.7.1

試掘サイトごとの比湧出量

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

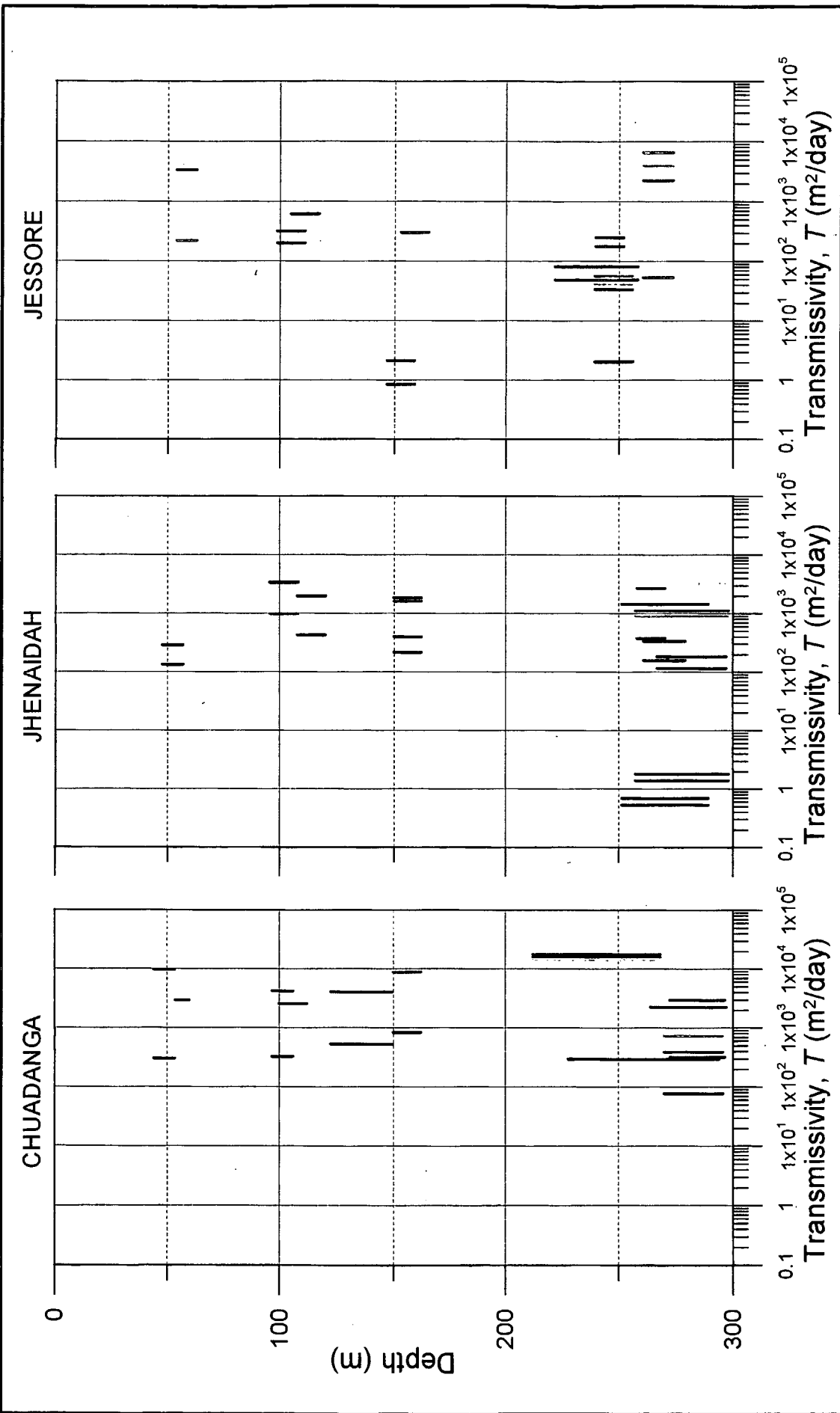


図 5.7.2 県ごとに得られた透水量係数の深度別分布

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

— T by Continuous Pumping Test Using Pumped Well Data

- - - T by Recovery Test Using Pumped Well Data

— T by Continuous Pumping Test Using Obs. Hole Data

- - - T by Recovery Test Using Obs. Hole Data

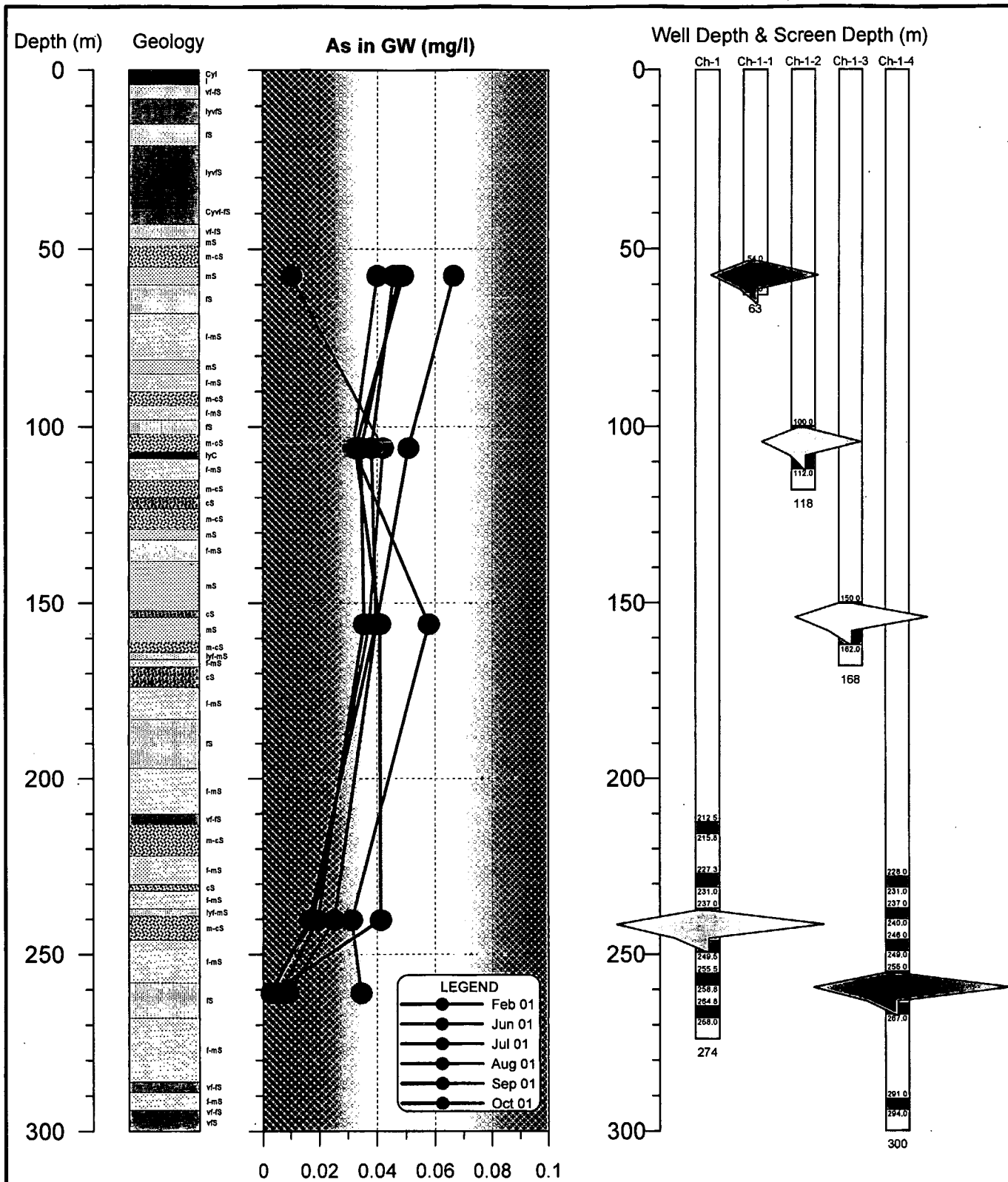


図 5.7.3

地下水中の砒素濃度と水質
CH-1(ポシュハット、チュアダンガポルシャバ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

(General groundwater quality was measured in February 2001.)

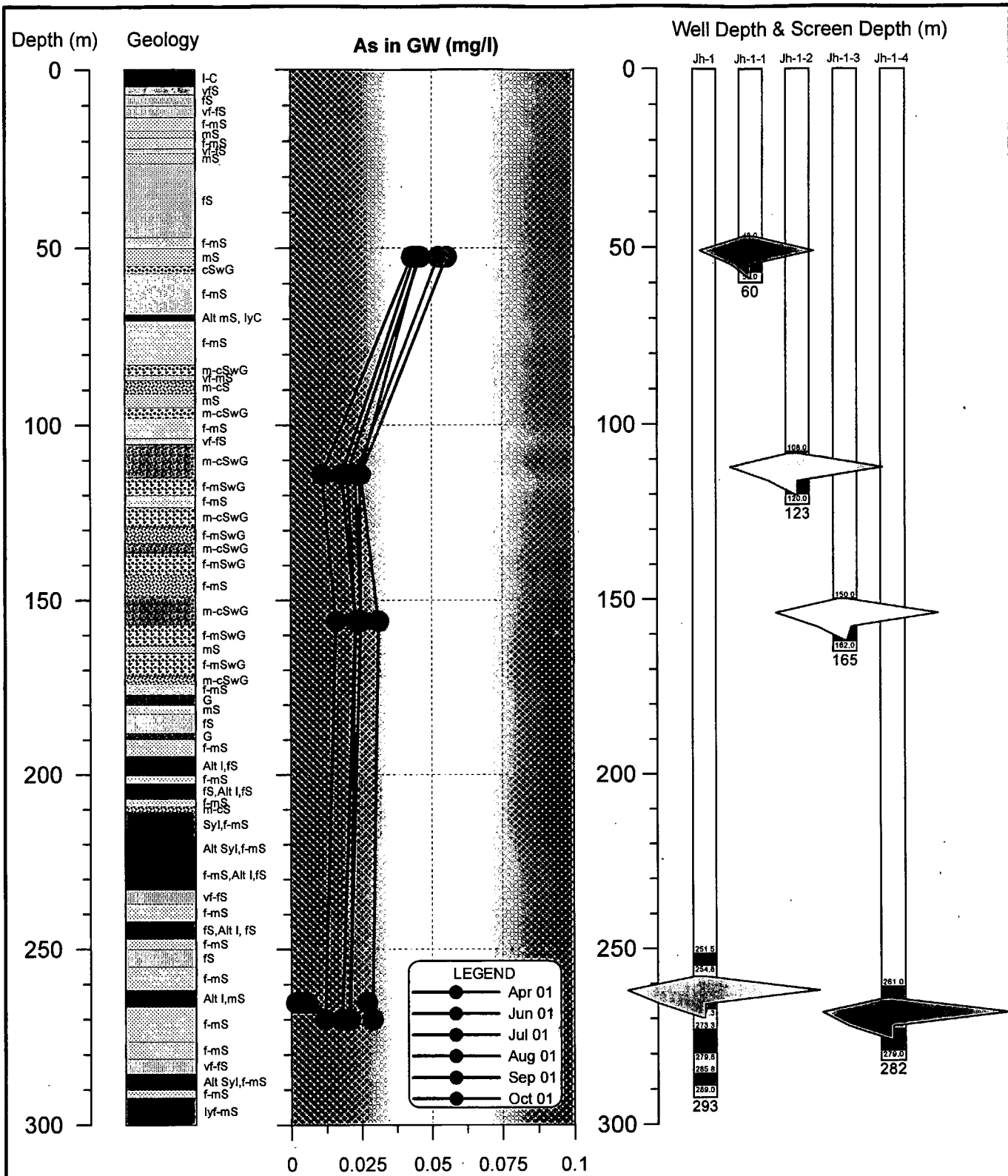


図 5.7.4

地下水中の砒素濃度と水質
JH-1(アラブプール、ジェナイダポルシャバ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

(General groundwater quality was measured in April 2001.)

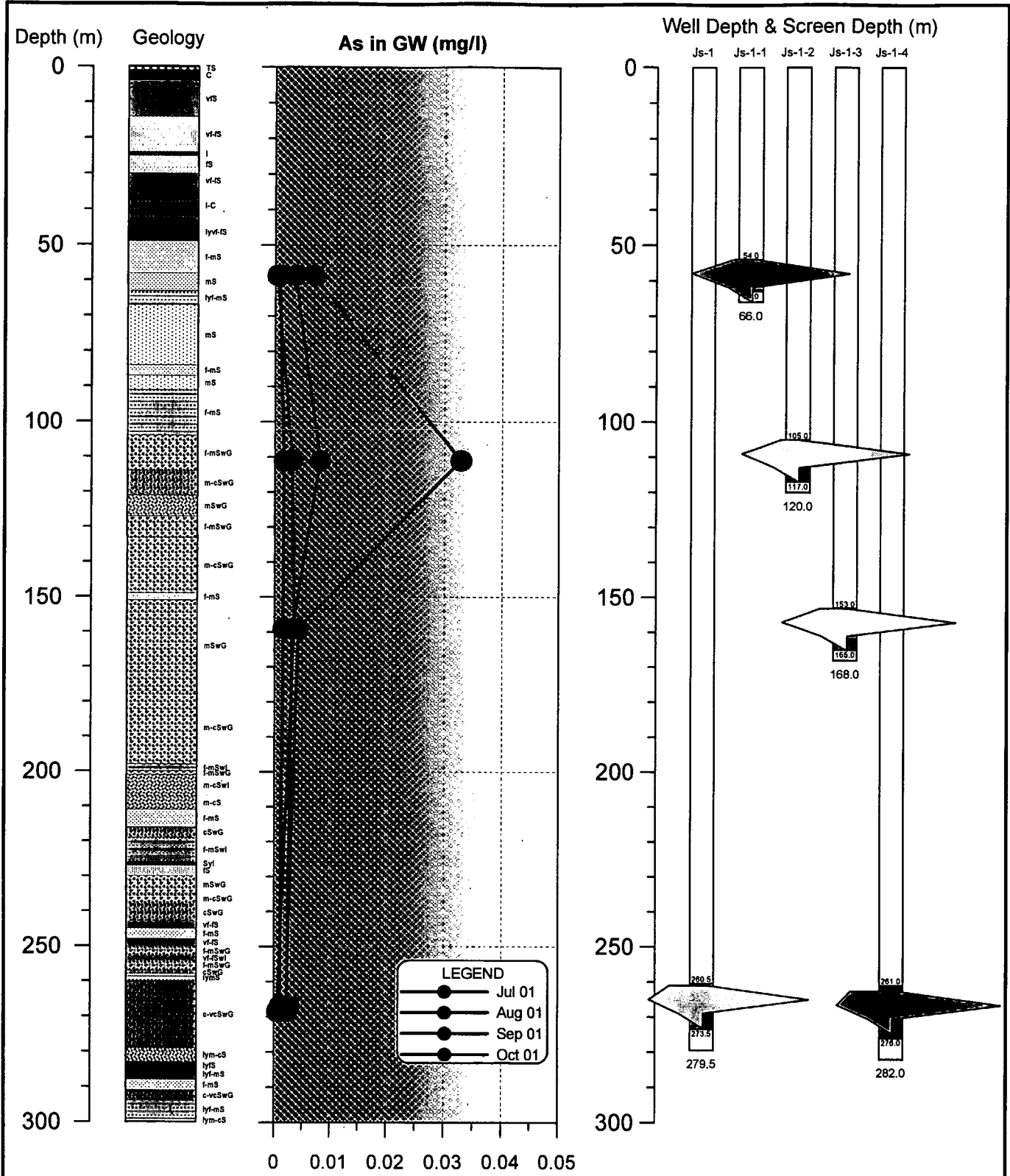
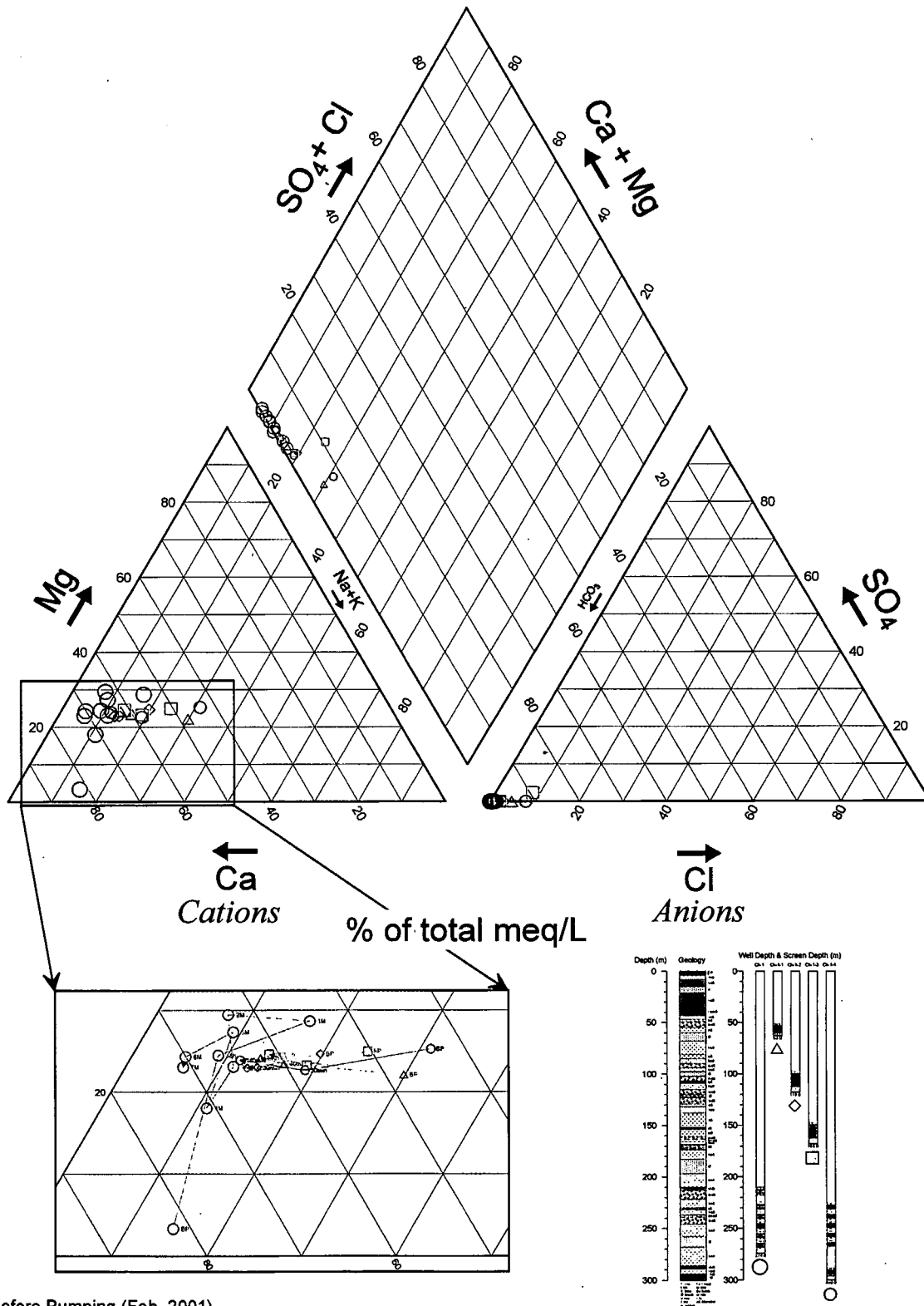


図 5.7.5

地下水中の砒素濃度と水質
JS-1(ゴープ、ジェソールポルシャバ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



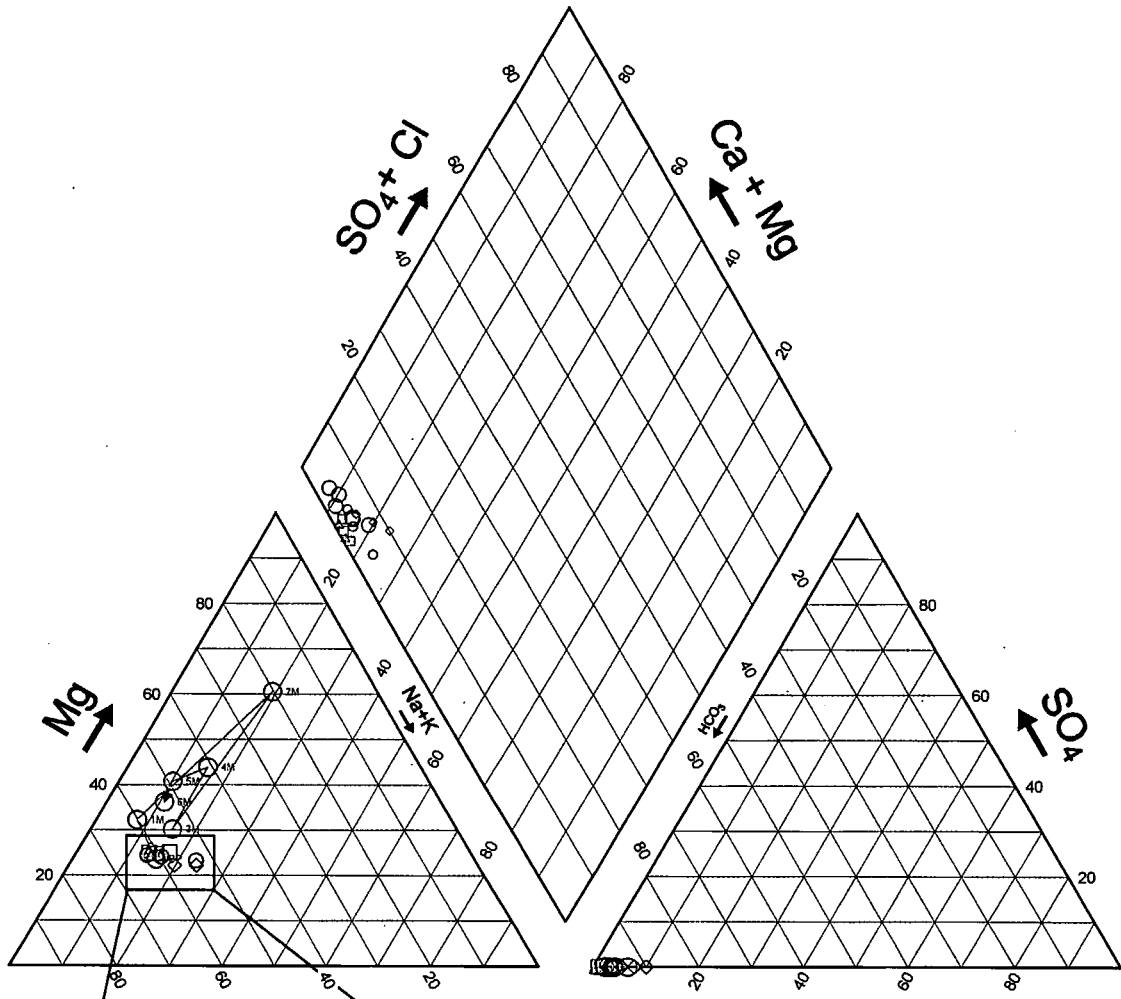
- BP: Before Pumping (Feb. 2001)
- 30min: 30min after Pumping Started
- 140min: 140min after Pumping Started
- 48h: 48 hrs after Pumping Started
- 1M: Mar. 2001
- 2M: Apr. 2001
- 3M: Jun. 2001
- 4M: Jul. 2001
- 5M: Aug. 2001
- 6M: Sep. 2001
- 7M: Oct. 2001

図 5.7.6

地下水のトリリニアダイアグラム
(CH-1、チュアダンガ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

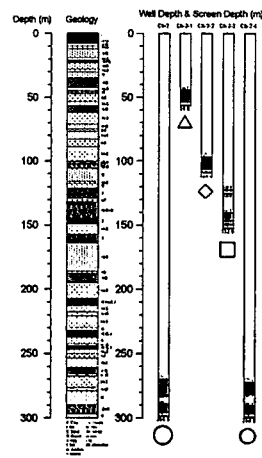
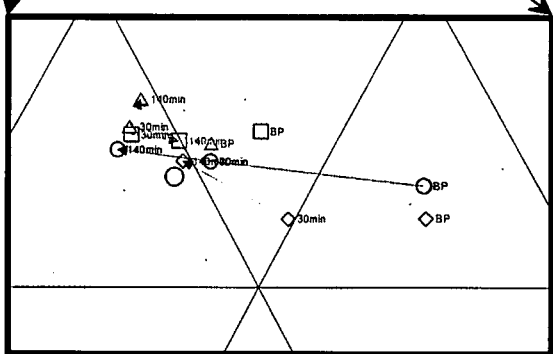
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



←
Ca
Cations

% of total meq/L

→
Cl
Anions



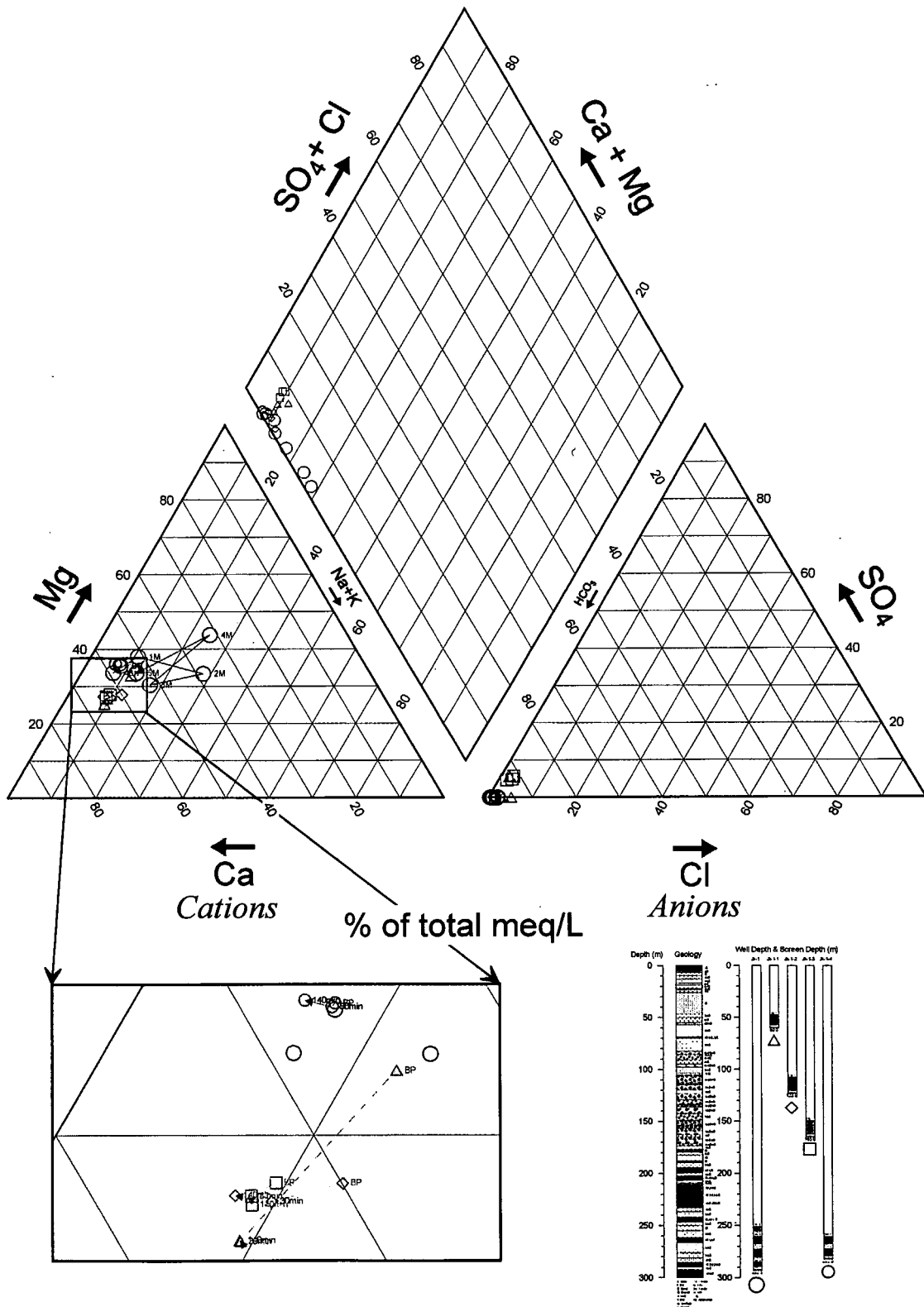
- BP: Before Pumping (Mar. 2001)
- 30min: 30min after Pumping Started
- 140min: 140min after Pumping Started
- 48h: 48hrs after Pumping Started
- 1M: Apr. 2001
- 2M: Jun. 2001
- 3M: Jul. 2001
- 4M: Aug. 2001
- 5M: Sep. 2001
- 6M: Oct. 2001

図 5.7.7

地下水のトリリニアダイアグラム
(CH-2、チュアダンガ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



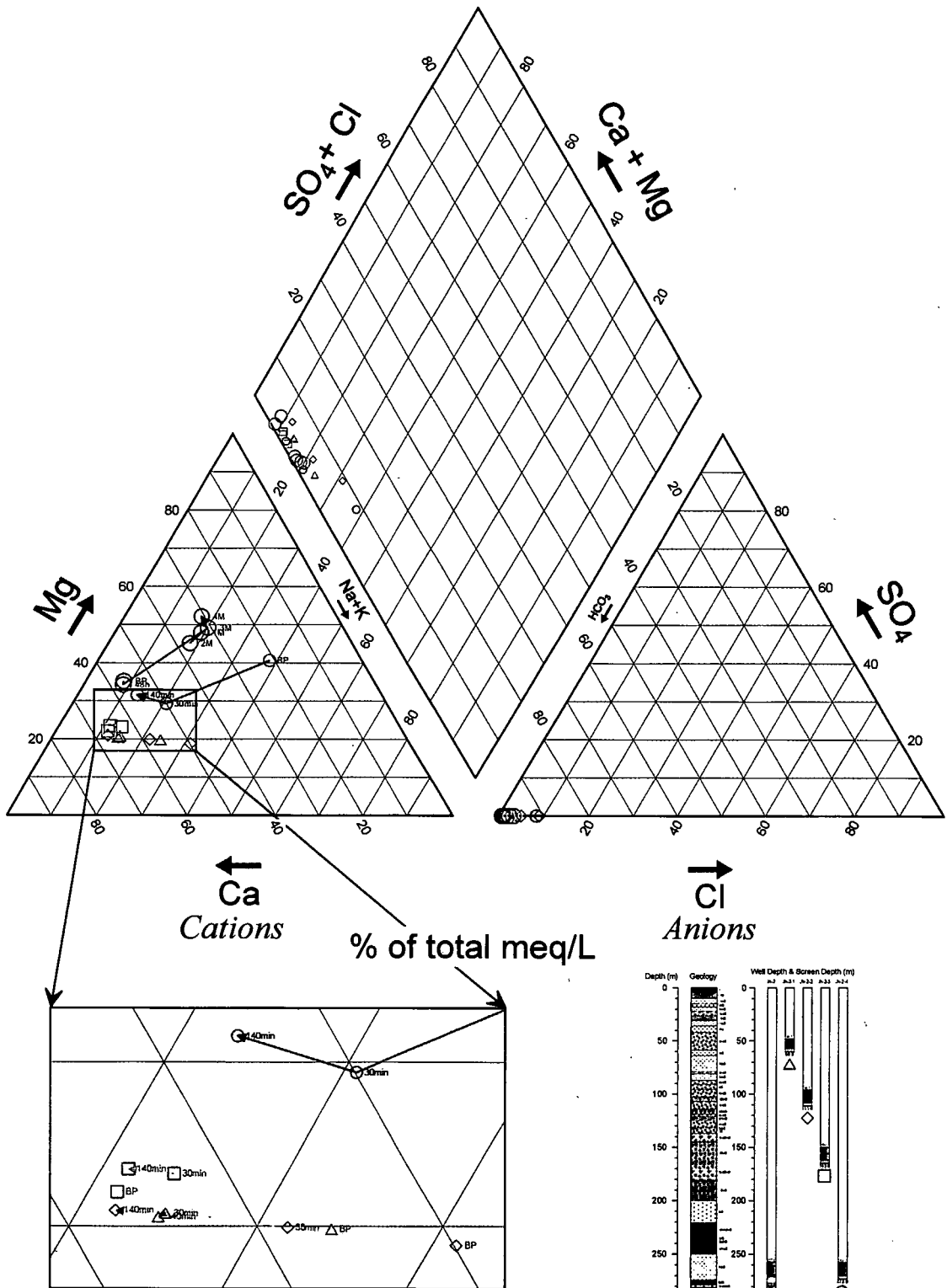
BP: Before Pumping (Apr. 2001)
 30min: 30min after Pumping Started
 140min: 140min after Pumping Started
 48h: 48hrs after Pumping Started
 1M: Jun. 2001
 2M: Jul. 2001
 3M: Aug. 2001
 4M: Sep. 2001
 5M: Oct. 2001

図 5.7.8

地下水のトリリニアダイアグラム
 (JH-1、ジェナイダ)

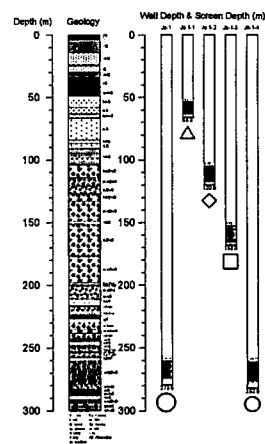
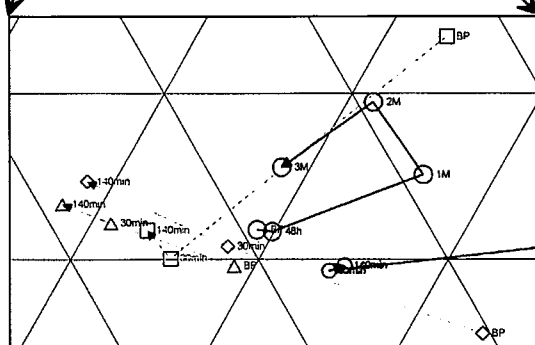
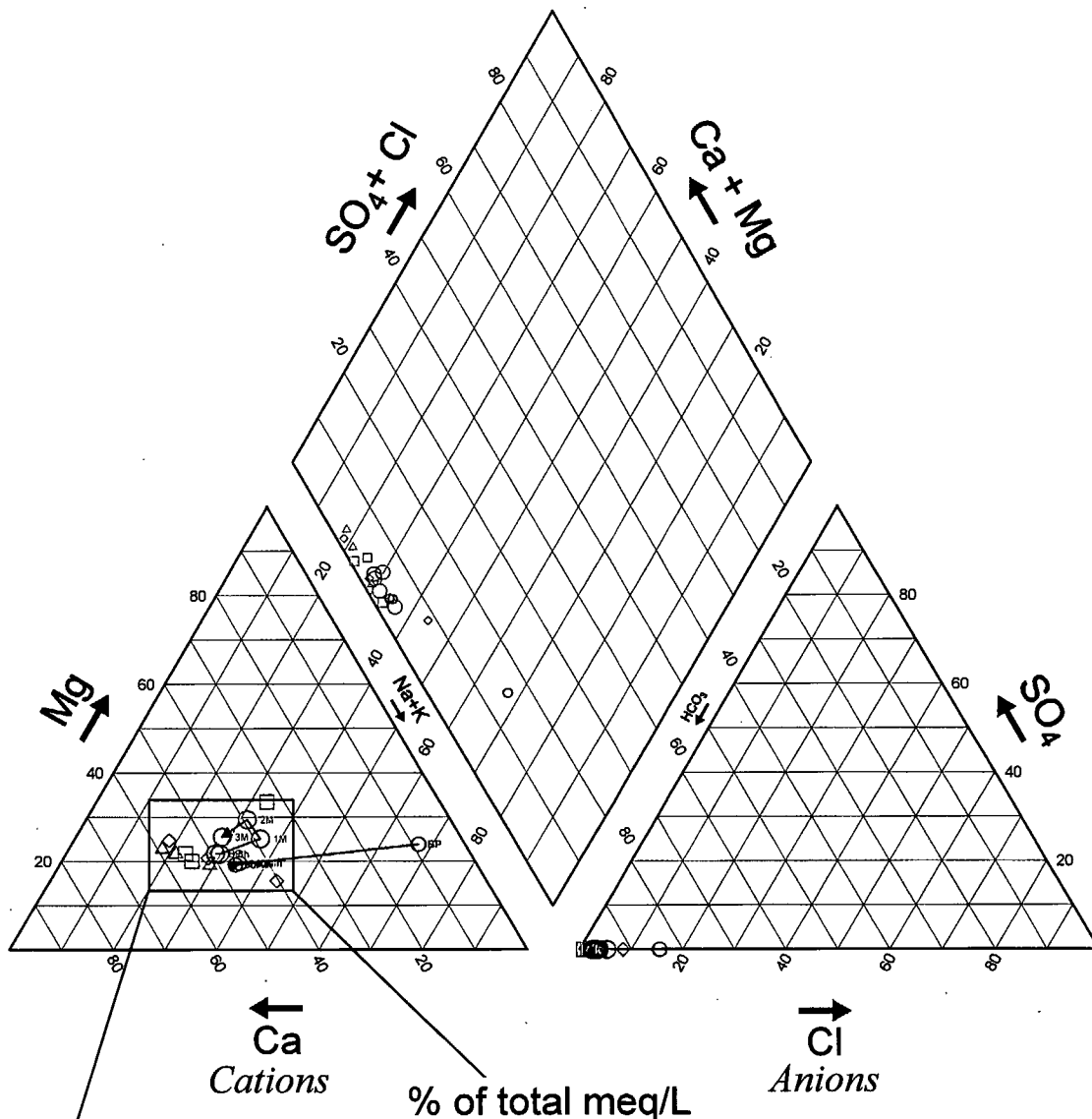
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
 DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
 ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



BP: Before Pumping (Jun. 2001)
 30min: 30min after Pumping Started
 140min: 140min after Pumping Started
 48h: 48hrs after Pumping Started
 1M: Jul. 2001
 2M: Aug. 2001
 3M: Sep. 2001
 4M: Oct. 2001

5.7.9	地下水のトリリニアダイアグラム (JH-2、ジェナイダ)
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	



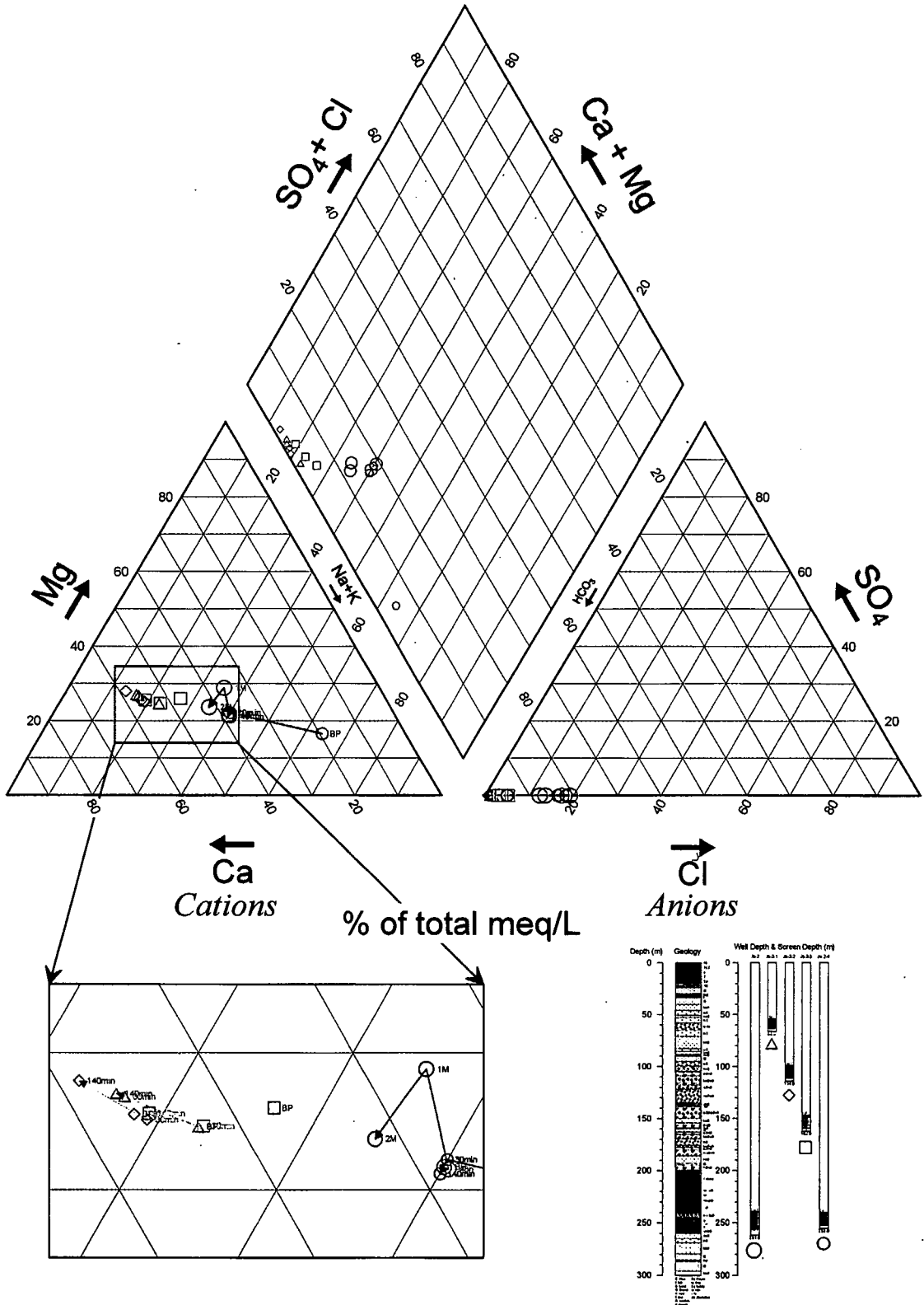
BP: Before Pumping (Jul. 2001)
 30min: 30min after Pumping Started
 140min: 140min after Pumping Started
 48h: 48hrs after Pumping Started
 1M: Aug. 2001
 2M: Sep. 2001
 3M: Oct. 2001

 5.7.10

地下水のトリリニアダイアグラム
 (JS-1、ジェソール)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
 DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
 ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



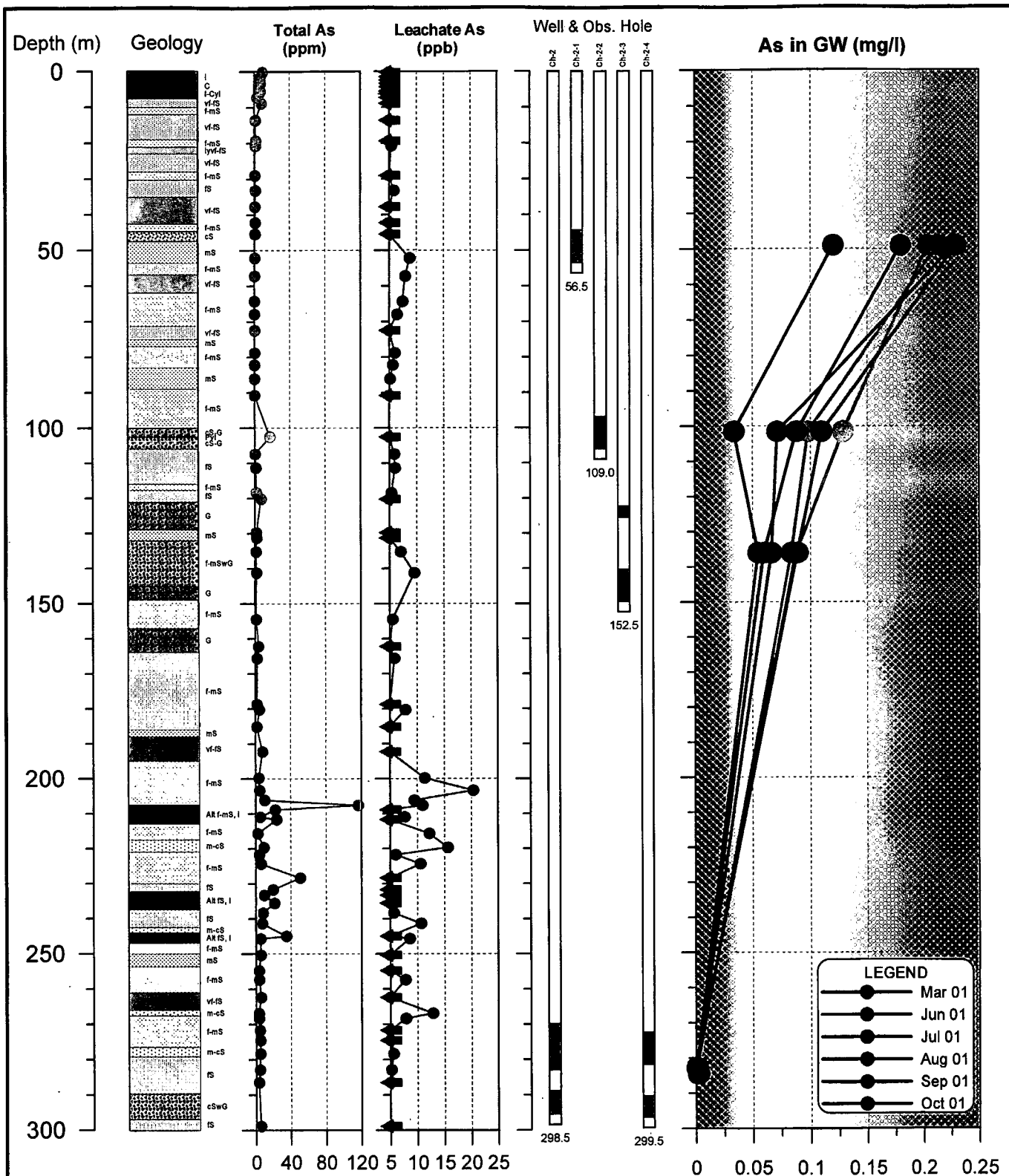
BP: Before Pumping (Aug. 2001)
 30min: 30min after Pumping Started
 140min: 140min after Pumping Started
 48h: 48hrs after Pumping Started
 1M: Sep. 2001
 2M: Oct. 2001

図 5.7.11

地下水のトリリニアダイアグラム
 (JS-2、ジェソール)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
 DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
 ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



C: Clay
 I: Silt
 S: Sand
 G: Gravel
 v: very
 f: fine
 m: medium
 c: coarse

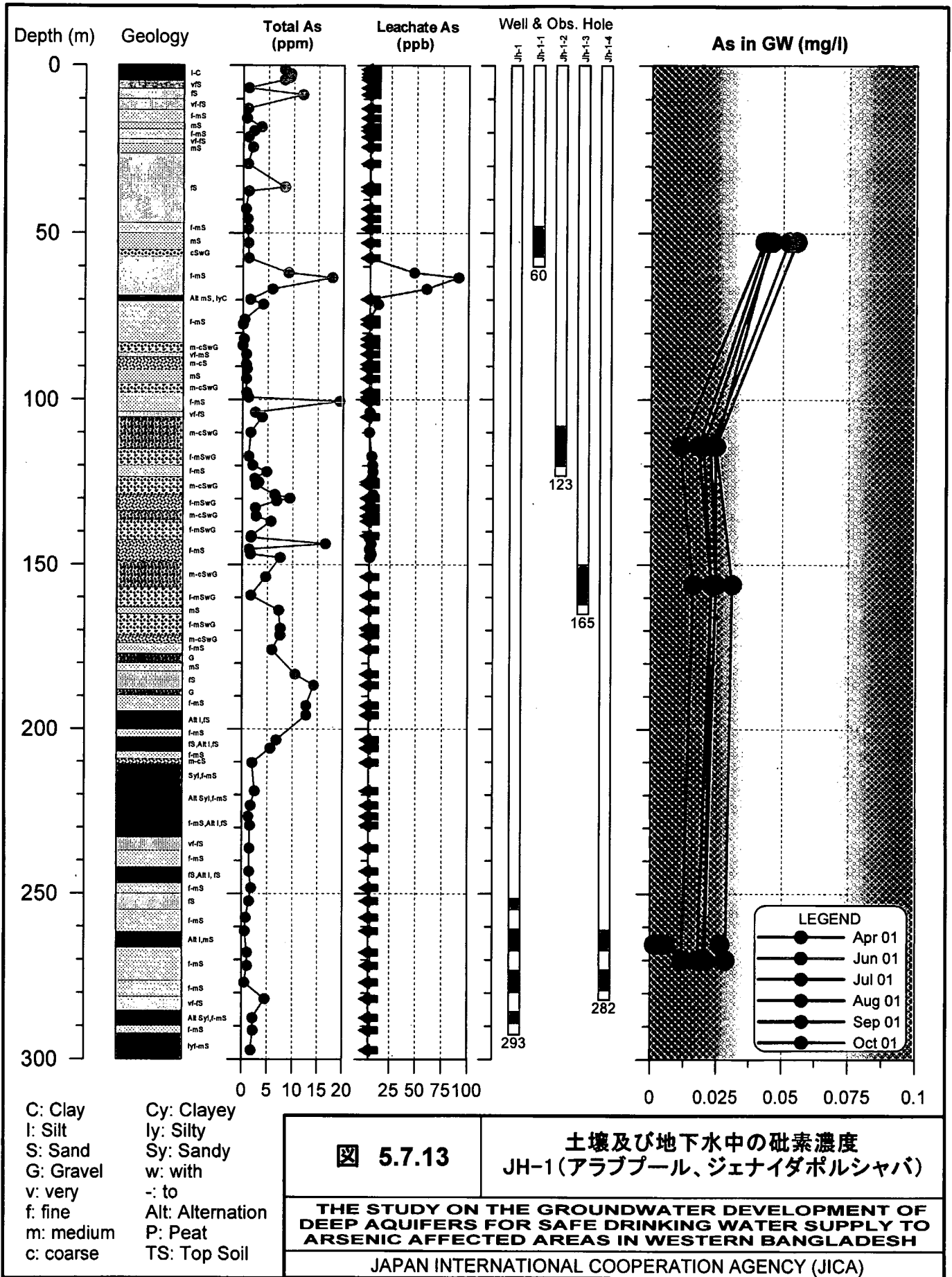
Cy: Clayey
 Iy: Silty
 Sy: Sandy
 w: with
 -: to
 Alt: Alternation
 P: Peat
 TS: Top Soil

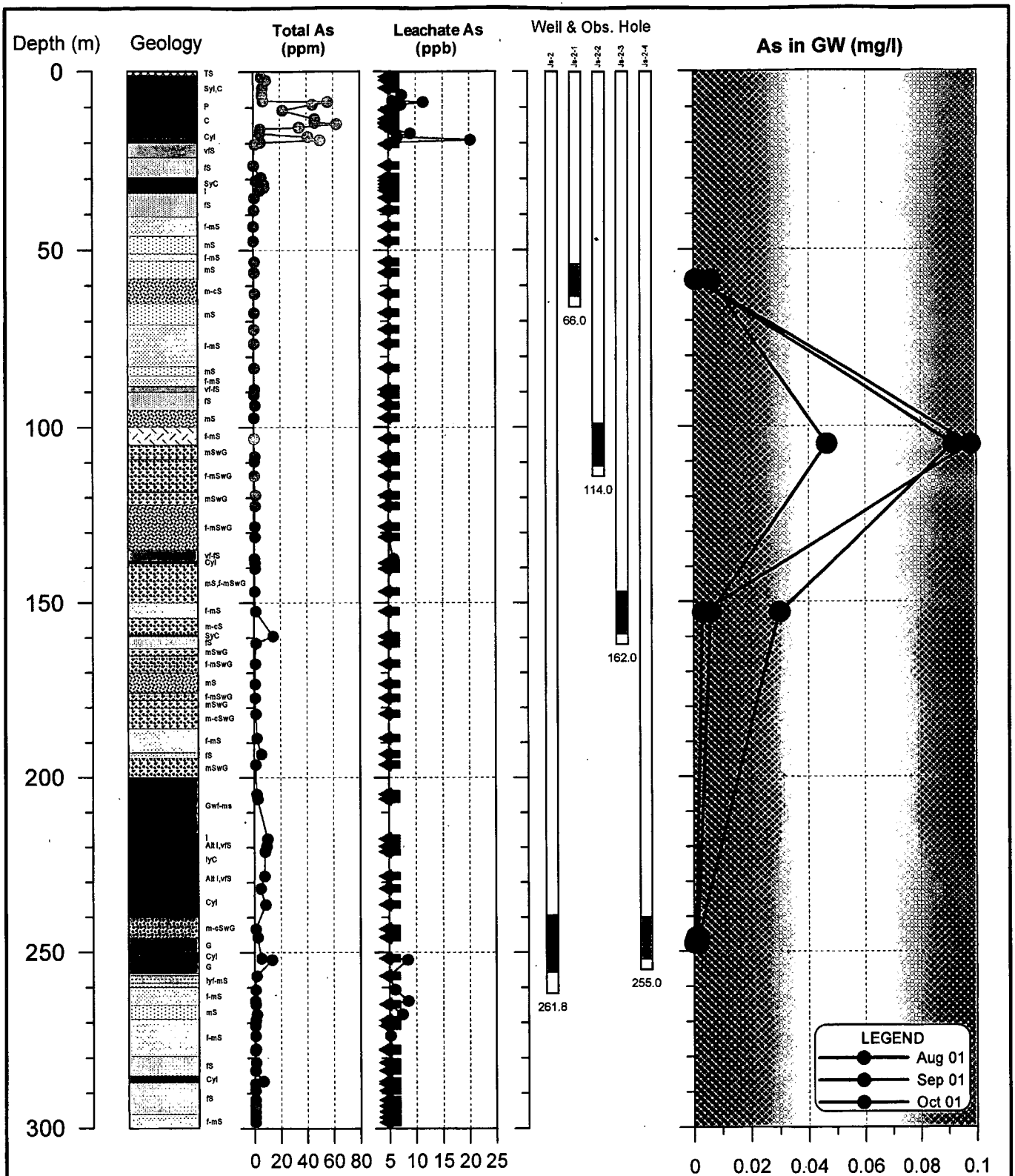
図 5.7.12

土壤及び地下水中の砒素濃度
 CH-2(ガールズカレッジ、チュアダンガポルシャバ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)





C: Clay
 l: Silt
 S: Sand
 G: Gravel
 v: very
 f: fine
 m: medium
 c: coarse

Cy: Clayey
 ly: Silty
 Sy: Sandy
 w: with
 -: to
 Alt: Alternation
 P: Peat
 TS: Top Soil

図 5.7.14

土壤及び地下水中の砒素濃度
 JS-2(コルキー、ジェソールポルシャバ)

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF
 DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO
 ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

5.8 広域地質構造

5.8.1 地質断面図

本調査では、合計7枚の南北方向および東西方向の地質断面図を作成した。個々の既存井戸柱状図で地質区分を行ったが、それに際して既存試料の記載を十分に吟味するだけでなく、隣接する地質柱状図と比較したり物理探査結果と比較したりして、注意深く地質対比を行った。物理探査法として TEM 法 (Transient Electromagnetic Measurement) とシュランベルジャー電極配置による電気探査法を用いた。調査地域内 200 地点において実施した TEM の結果、深度 400m までの比抵抗区分が明確に現れた。第 2 帯水層 (中間帯水層) に対応する高い比抵抗値は調査地域の深度 100 ~ 200m で広範囲に追跡できたが、調査地域南部では粘土層で構成される C 層のため、高い比抵抗は見られなかった。

作成した地質断面図のうち、南北方向の断面図 (A-A'断面と B-B'断面) を図 5.8.1 と 5.8.2 に示す。南北方向の断面では、地層の層相は北で粗粒で南に向かって細粒化する傾向がある。A 層と B 層、E 層はほぼ平坦に堆積しているが、C 層と D 層は南に向かってわずかに傾斜している。E 層の上部は傾斜不整合により D 層に覆われていると判断される。

D 層は調査地域北部のチュアダングから南のアブハイナガールに向かって傾斜している。D 層の基底面深度は GL- 190 ~ 300m+ と大きく変化している。

C 層は D 層と同様に北部のチュアダングから南部のアブハイナガールに向かって傾斜して分布している。基底面までの深度は、GL- 160 to 270m+ と大きく変化している。

B 層の基底面は、比較的平坦に分布している。B 層基底面までの深度は北東部のサイルクパで深く、南部のケシャプールで浅い。

A 層の層厚は 25 ~ 50m である。A 層の基底面は平坦ではなく、基底面までの深度は北東のサイルクパで GL-25m と浅く、南部のケシャプールで GL-50m と厚くなる傾向がある。

1) A-A'地質断面図(図 5.8.2)

この断面線は、調査地域の西部を南北に縦断する。この断面線に沿って、3ヶ所のコアボーリングサイトがある。地層の境界は、南に向かって深くなる。堆積物の粒度は一般に南に向かって細粒化する。C 層中には、チュアダング県からジェナイダ県にかけて数層の厚い礫層が発達する。しかし、これらの礫層はジェナイダ県モヘシュプールとジェソール県チョウガッチャの間で消滅し、代わって厚い粘

土層がジェソール県ジカルガチャで発達する。しかし、このC層粘土層はジェソール県西部のシャルシャ郡では見られない。

2) B-B'地質断面図(図 5.8.3)

この断面線は、調査地域東部を南北に縦断する。この断面線に沿って3ヶ所のコアボーリングサイトが分布している。E層とD層の地質境界およびD層とC層の地質境界は南に向かって傾斜しているが、他の地層の境界は場所ごとに深度が異なる。C層中には厚い礫層が発達し、それはチュアダング県からジェナイダ県を通過してジェソール県ジェソール市の南方まで連続している。しかし、この礫層はジェソール県南部のモニランプルには分布していない。代わって、ジェソール市南方からケシャプールにかけてC層中に粘土層が発達する。とくにモニランプルからケシャプールにかけて、粘土層の層厚は急激に厚くなり、ケシャプール南部では層厚は100mを超える。

5.8.2 粘土層等層厚線図

調査地域の地質断面図から、C層中に発達する粘土層の分布や層厚が、調査地域の地下水流動を規制する重要な地層となっていることが分かる。この粘土層は、浅層帯水層と深層帯水層を明瞭に分けており、この粘土層の上下で地下水中の砒素濃度や他の地下水水質も大きく異なる。この粘土層に覆われた深層帯水層の地下水は砒素濃度および一般水質も浅層地下水の水質と比較して極めて良好である。

図 5.8.4 は、このC層中の粘土層の等層厚線図を示す。この図面は、コアボーリングや観測井・観測孔掘削により得られた地質情報や物理探査結果、既存井戸資料を用いて作成された。粘土層はジェソール県の南部や西部地域に厚く分布している。しかし、ジェナイダ県やチュアダング県には分布していない。ジェソール県では、層厚 80m以上の地域がケシャプールとジカルガチャに広がっている。アブハイナガールでは、層厚 80m以上の地域が南部に広がっており、クルナに向かって層厚を増す。層厚 50m以上の地域は、ケシャプール郡全域とアブハイナガール南部および中部、モニランプル郡南部～中部、ジカルガチャ郡中部～北部、そしてシャルシャ郡北東部である。一方、ジェソール県でも、シャルシャ郡西部やジェソール・サダール郡北部、バガルパラ郡北西部には分布していない。

この等層厚線図は、本調査地域の広域水文地質構造を特徴付ける重要な図面であり、安全な飲料水供給のために深層地下水開発計画の戦略を練る上で極めて重要な役割を果たす。

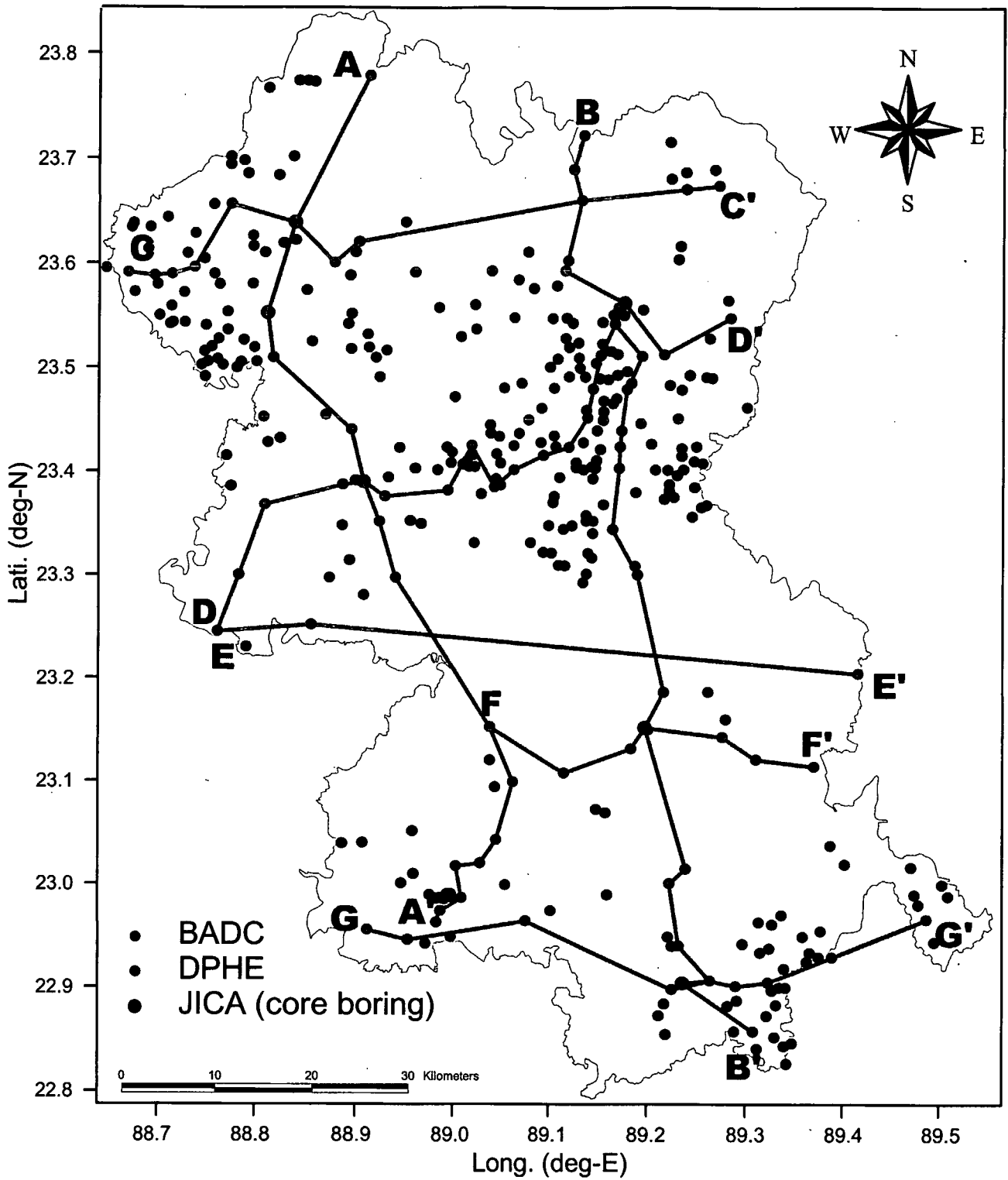


図 5.8.1

地質断面位置図

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

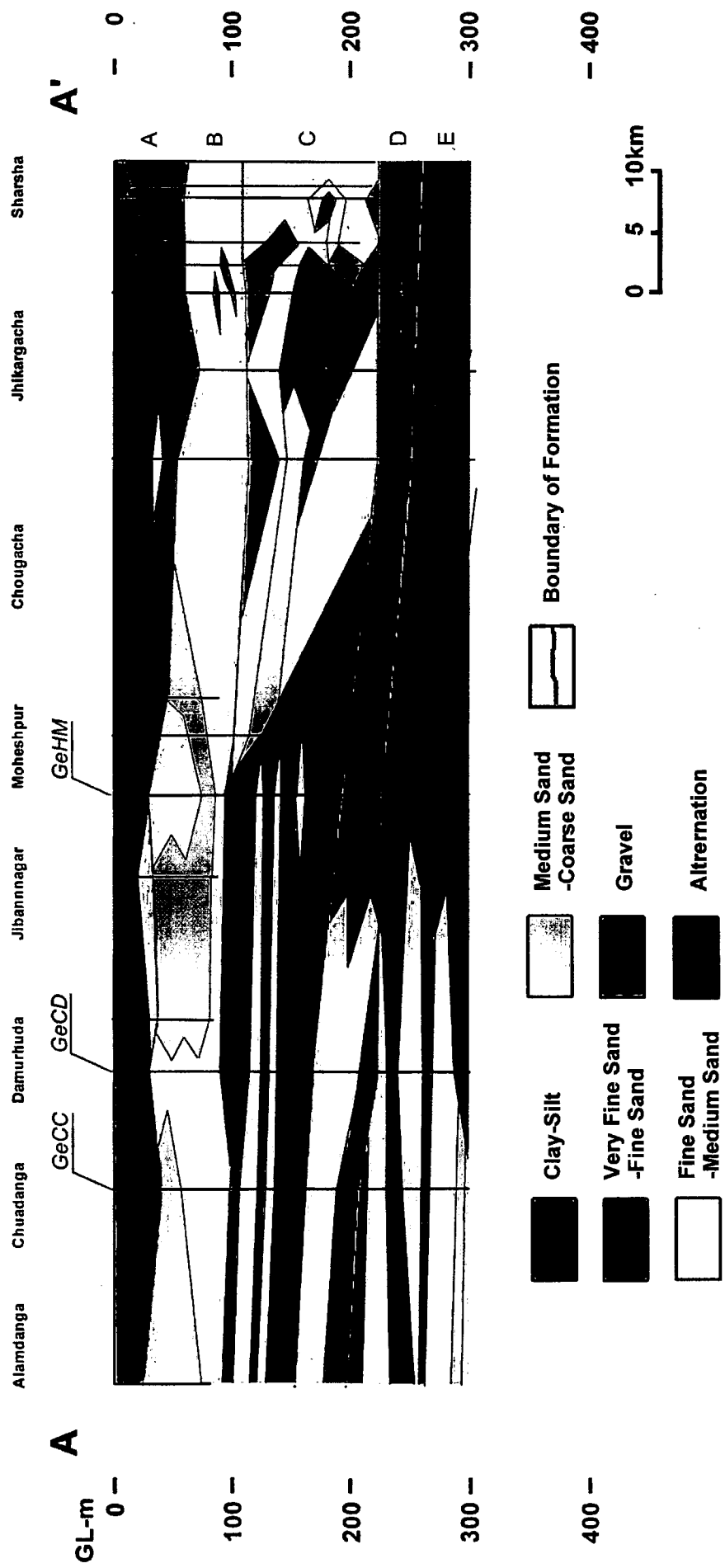


図 5.8.2 地質断面図 (A-A')

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

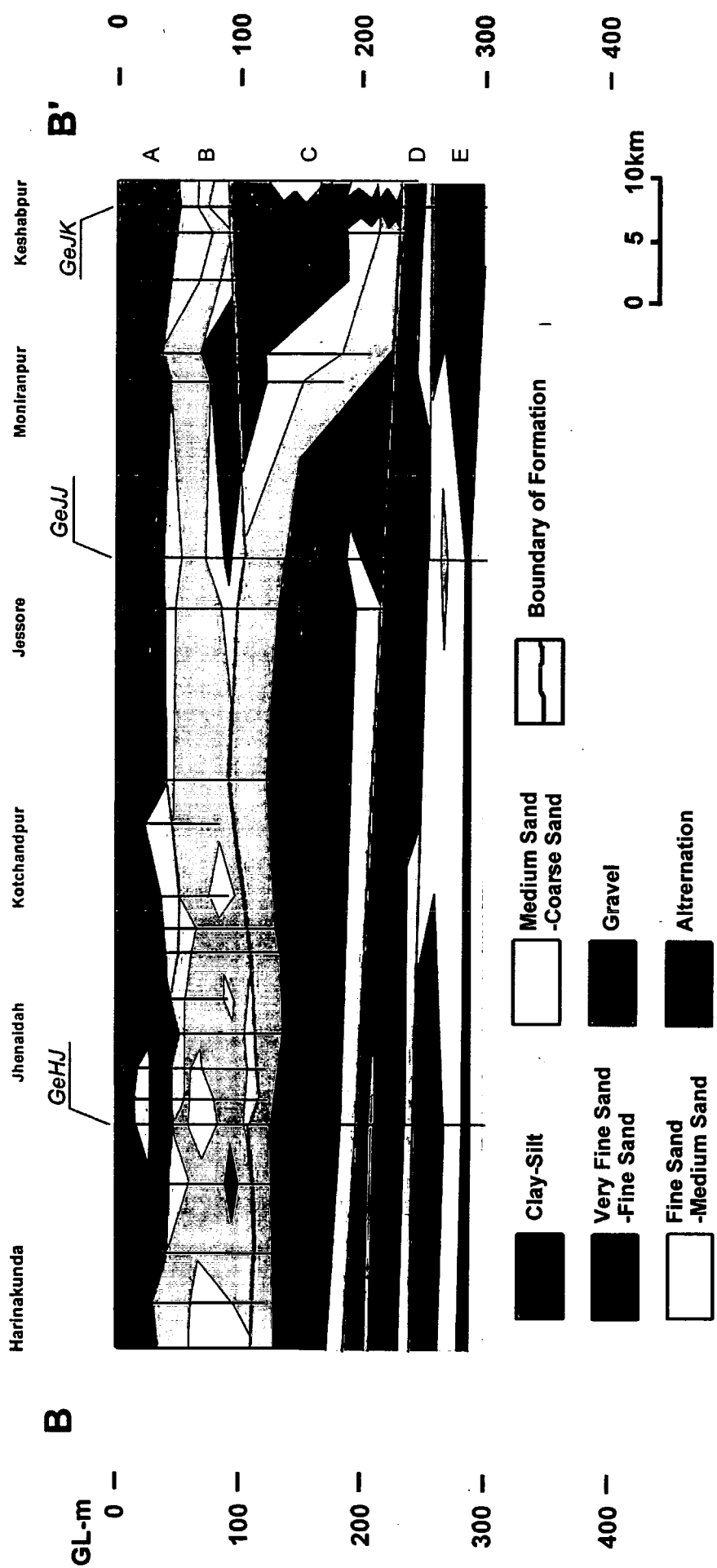
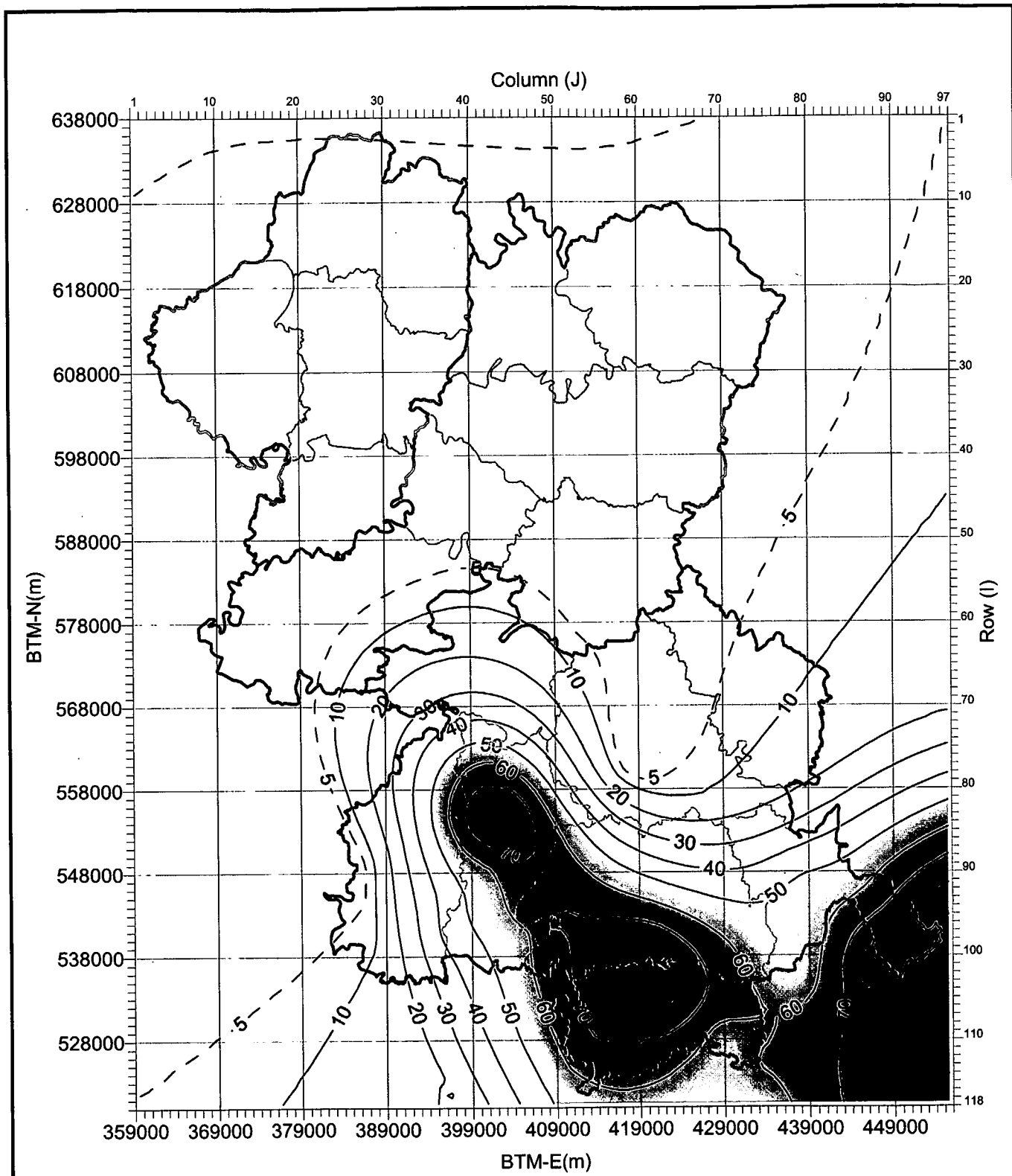


図 5.8.3

地質断面図 (B-B')

THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)



— Equal Line of Clay Thickness (m)

図 5.8.4	C層中粘土層の等層厚分布図
THE STUDY ON THE GROUNDWATER DEVELOPMENT OF DEEP AQUIFERS FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY TO ARSENIC AFFECTED AREAS IN WESTERN BANGLADESH	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	