

図 9.5.15

実測水頭と計算水頭との比較

中華人民共和国 新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査

日本国際協力機構(JICA)/国際航業株式会社



## 9.6 断面二次元モデル

### 9.6.1 断面二次元モデルの構造

#### a. 断面二次元モデルの平面位置

断面二次元モデルは、トルファン盆地の断面方向の地下水流動を詳細に検討するために、南盆地の東西断面および盆地中央部の南北断面に沿って 2 つのモデルを作成した。図 9.6.1には断面モデルの位置図を示す。

東西方向の断面二次元モデルは、本調査により南盆地で掘削した TW-SW、TW-SS、TW-SE 試掘地点を結ぶ断面線に沿って作成した。断面線は盆地西側の基盤山地から東側の庫木塔格砂漠までを含む。断面線の延長距離は 170 km である。

一方、南北方向の断面二次元モデルは、トルファン盆地の中央部を南北方向に貫く断面線とした。南盆地南側の基盤山地から艾丁湖を通過して、TW-SS 地点、トルファン市街地の TW-SC 地点、北盆地の TW-NC 地点をへて北側の基盤山地に至る延長距離 85 km 間をモデル化した。

#### b. 東西方向モデルの構造

図 9.6.2には、南盆地東西方向の断面二次元モデルの構造図を示す。モデル化した領域は水平方向が 170 km、垂直方向が標高 1,200 ~ - 600 m の範囲であり、各グリッドの大きさは水平方向に 1 km、垂直方向に 20 m とした。したがって、東西方向断面モデルの総グリッド数は、170 列×90 層=15,300 個となる。

断面二次元モデルでは、まず、断面線に沿って SRTM-3 数値地形データをもとに地形断面図を作成した。また、本調査で作成した水文地質基盤上面標高分布図をもとに水文地質基盤上面断面図を作成した。そして、断面線上およびその近傍にある TEM 法比抵抗柱状図および既存井戸柱状図を断面図上に投影し、試掘調査をもとに確立した基本層序区分 (A 層、B 層、C 層) を断面図上で追跡した。その結果、東西断面では、A 層、B 層、C 層ともほぼ全域にわたりよく追跡されることが判明した。

#### c. 南北方向モデルの構造

図 9.6.3には、トルファン盆地南北方向の断面二次元モデルの構造図を示す。モデル化した領域は水平方向が 85 km、垂直方向が標高 1,200 ~ - 600 m の範囲であり、各グリッドの大きさは水平方向に 1 km、垂直方向に 20 m とした。したがって、南北方向断面モデルの総グリッド数は、85 列×90 層=7,650 個となる。

南北方向の断面二次元モデルにおいても東西方向断面モデルと同様に、まず、断面線に沿って SRTM-3 数値地形データをもとに地形断面図を作成した。また、本調査で作成した水文地質基盤上面標高分布図をもとに水文地質基盤上面断面図を作成した。そして、断面線上およびその近傍にある TEM 法比抵抗柱状図および既存井戸柱状図を断面図上に投影し、試掘調査をもとに確立した基本層序区分 (A 層、B 層、C 層) を断面図上で追跡した。その結果、南北断面では、A 層、B 層、C 層の基本層序区分はトルファン市街地付近から南盆地にかけてよく追跡されるが、北盆地では第四系はほとんど砂礫層からなり、基本層序区分の追跡が難しいことが判明した。なお、断面モデルを作成する南北断面は、ちょうど火焰山と塩山の谷間、すなわち北盆地と南盆地の連結部を通過するため、地形断面では火焰山または塩山は現れないが、水文地質基盤上面の構造をみるとトルファン市街地付近の地下に基盤上面の標高が高くなる部分がある。

## 9.6.2 水文地質条件のモデル化

### a. 水文地質断面図の作成方法

断面モデルに水文地質条件を入力するためには、単に基盤標高や地層の境界標高を入力するだけでなく、地層ごとの層相も考慮する必要がある。そこで、東西断面、南北断面それぞれについて、層相を考慮した水文地質断面図を作成した。水文地質断面図の作成にあたっては、既存井戸柱状図を活用するとともに、既存井戸の少ない地域では TEM 法物理探査結果により得られた比抵抗柱状図から地層の層相を推定して層相区分を行った。

### b. 東西方向の水文地質断面図

図 9.6.4には、南盆地東西方向の水文地質断面図を示す。この断面図では、A 層の層相は砂礫相、中～粗粒砂相、細粒砂相、およびシルト・粘土相に区分される。このうち、砂礫相はトクソン県西部の基盤山地に近い地域で顕著に発達しており、東に向かって徐々に層厚を減ずる。A 層基底部の砂礫相は連続性がよく、断面モデル東部のシャンシャン県達朗坎地区まで追跡することができる。一方、南盆地中央部の A 層は、トクソン市街地付近からトルファン市南部の TW-SS 地点付近にかけての地域でシルト・粘土相が少なくとも 2 層準発達し、これらが加圧層となっている。TW-SS 地点よりも東側では、シルト・粘土相は細粒砂相に変化し、それが達朗坎地区の TW-SE 地点付近まで連続している。

B 層は基本的に A 層よりも細粒な堆積物から構成される。とくに南盆地中央部から東部にかけての地域では、B 層はほとんどシルト・粘土相を示す。南盆地西部では B 層の上半部は砂相に変化するものの、B 層の基底部にはシルト・粘土相が連続して分布する。トクソン県の TW-SW 地点付近では B 層中に砂礫相が含まれ、さらに西部の地域でも TEM 法による比抵抗値が高い地層があり、B 層中に砂礫相が含まれるものと推定される。

C 層の層相は、東西断面では上半部の層相しか試掘調査により確認されていないが、南盆地中央部から東部にかけての地域では、上位より砂相と含礫シルト相より構成される。一方、南盆地中央部から西部にかけての地域では、C 層上半部は含礫シルト相が卓越しており、一部で砂礫相が発達する。C 層下半部は南盆地中央部からトクソン市街地付近にかけて TEM 法による比抵抗値が低く、シルト・粘土相が分布していると推定される。

### c. 南北方向の水文地質断面図

図 9.6.5には、トルファン盆地中央部の南北方向の水文地質断面図を示す。南北断面では、北盆地と南盆地の第四系の層相が大きく異なり、トルファン市街地北部で層相が急変する。

この断面図では、南盆地において A 層の層相は砂礫相、中～粗粒砂相、細粒砂相、シルト・粘土相に区分されるほか、艾丁湖付近の浅層部には粘土相が分布することが既存資料により知られている（黄文房等、1998）。B 層では東西断面と同様にシルト・粘土相が卓越するが、トルファン市街地南部から TW-SS 地点付近にかけて下部に砂相がみられる。C 層では含礫シルト相が卓越するが、トルファン市街地付近の C 層下部にはシルト・粘土相に砂礫相が含まれる。

北盆地では井戸掘削資料は TW-NC 地点での掘削結果しかないが、ここではほとんど砂礫相からなり、細粒な堆積層は確認されていない。TEM 法による比抵抗相区分では、北盆地南部から中部にかけて深度 200～400 m 付近に比抵抗値のやや大きな層準があり、そ

の下位には比抵抗値が相対的に低い層準が分布していることから、北部盆地の砂礫相は断面図に図示したように大きく3つに区分できると判断される。

#### d. モデルグリッドの層相区分

東西方向、南北方向で作成した水文地質断面図をもとに、それぞれのモデルグリッドについて地層区分および層相区分を行なった（図 9.6.6、図 9.6.7参照）。各グリッドの大きさは、水平方向に 1 km、垂直方向に 20 m とし、それぞれのグリッドについて地層ラベルと層相ラベルを付した。

### 9.6.3 かん養量と揚水量の入力

東西方向、南北方向の断面モデルは、図 11.5.1 に示すように必ずしも UTM 座標の東西、南北方向のグリッド線と一致せず、それぞれ数箇所屈曲しながら UTM 座標の東西線、南北線と斜交している。そのため、断面モデルに入力するかん養量データと揚水量データは、広域三次元モデルで集計した UTM 座標の 1 km × 1 km グリッドごとのデータをもとに、以下に示す方法で配分した。

#### a. 地下水かん養量データの入力

断面モデルの平面グリッドの構造は、断面線の延長方向（J-Col 方向）に 1 km、それと直交する I-Row 方向に 1 km と設定した。したがって、断面モデルの平面グリッドの面積は、広域三次元モデルのグリッド面積と同じ 1 km<sup>2</sup> である。

地下水かん養量の断面モデルへの配分にあたっては、まず、断面モデルの平面グリッドそれぞれについて、広域三次元モデルのグリッドとの対応関係を設定した。図 9.6.8 にその例を示すが、断面モデルグリッド A の中心点から断面線と直交する方向にそれぞれ 800 m の直線を引き（図中の青線）、断面モデルグリッドの中心点と直交線両端が位置する広域三次元モデルグリッド計 3 個（図中緑色のグリッド）を、その断面モデルグリッドに対応する広域三次元モデルグリッドとした。そして、断面モデルグリッド A には、平面モデルグリッド 3 個の地下水かん養量の平均値を与えた。



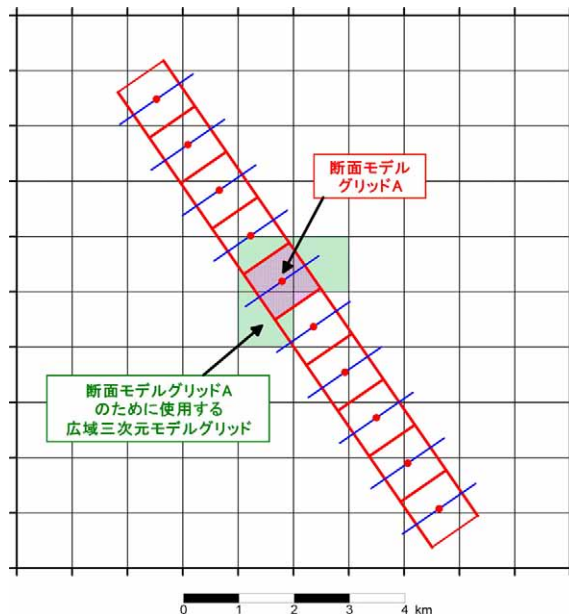


図 9.6.8 断面二次元モデルと広域三次元モデルのグリッド対応

**b. 地下水揚水量データの入力**

断面モデルへの地下水揚水量データの平面的配分は、前述の地下水かん養量の配分と同じ方法を採用した。しかし、揚水量データは深度方向にも与える必要があるので、次のような方法で深度方向の揚水量配分を行った。

まず、広域三次元モデルの揚水量集計で述べたグリッド別・標高別（標高 50 m ごと）の地下水揚水量データ（検証期間 120 ヶ月分）に基づき、各断面モデル平面グリッドについて標高 50 m ごとの深度別揚水量を集計した。

つぎに、断面モデルの各層の層厚は 20 m であるので、図 9.6.9に示すような方法で 50 m 標高別揚水量を断面二次元モデルに配分した。

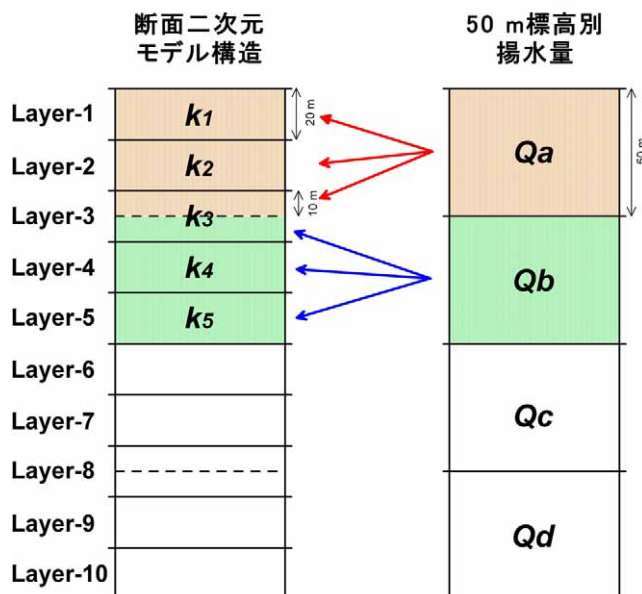


図 9.6.9 断面二次元モデルへの揚水量配分方法

具体的には、断面モデル第1層、第2層、第3層の透水係数をそれぞれ  $k_1, k_2, k_3$  とすると、第1層、第2層、第3層の揚水量  $Q_1, Q_2, Q_3$  を次のように算出した。

$$Q_1 = \frac{2k_1}{2(k_1 + k_2) + k_3} \times Q_a \quad (\text{式 9.6.1})$$

$$Q_2 = \frac{2k_2}{2(k_1 + k_2) + k_3} \times Q_a \quad (\text{式 9.6.2})$$

$$Q_3 = \frac{k_3}{2(k_1 + k_2) + k_3} \times Q_a + \frac{k_3}{2(k_4 + k_5) + k_3} \times Q_b \quad (\text{式 9.6.3})$$

このように、断面モデルではモデルグリッドの層厚と透水係数を考慮して、透水性の高いグリッドから大きく揚水されるような現実にあった配慮を行った。

#### 9.6.4 断面モデルの境界条件

##### a. 南北方向断面モデルの境界条件

南北方向の断面モデルに設定した境界条件を図 9.6.10に示す。固定水頭境界は艾丁湖付近の常に蒸発が発生していると考えられるグリッドに配置し、その水位は艾丁湖の標高と同じ  $-154 \text{ m}$  とした。一方、トルファン市街地北部の北盆地南縁部では湧水が存在するため、一般水頭境界を設定した。一般水頭境界の水力コンダクタンスは  $333 \text{ m}^2/\text{day}$  とし、外部水頭は地形面標高と同じであると仮定した。

上記以外のモデルの周囲は閉鎖境界とした。また、モデル層によってはその分布標高が地形面よりも高く、実際の地層が存在しないグリッドがあるため、そうしたグリッドはモデル上では不透水グリッドとして扱い、計算領域から除外した。

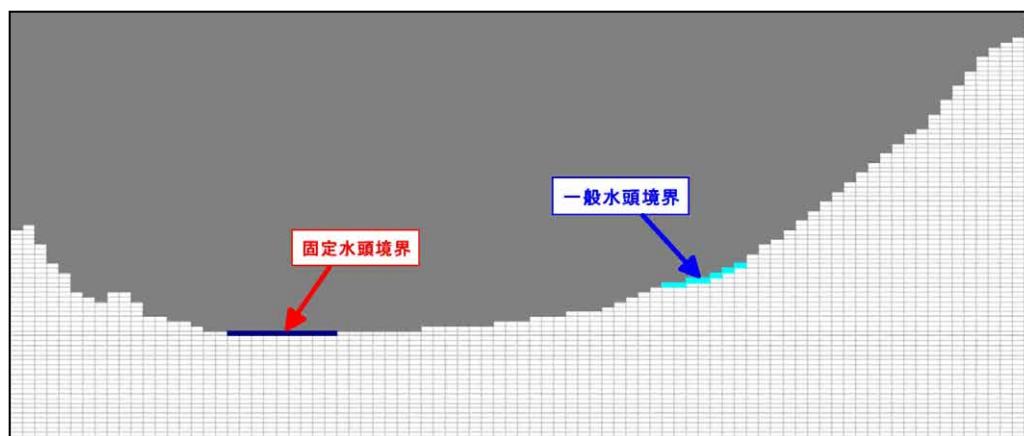


図 9.6.10 南北方向断面モデルの境界条件

##### b. 東西方向断面モデルの境界条件

南北方向の断面モデルに設定した境界条件を図 9.6.11に示す。固定水頭境界は艾丁湖付近の常に蒸発が発生していると考えられるグリッドに配置し、その水位は艾丁湖の標高と同じ  $-154 \text{ m}$  とした。上記以外のモデルの周囲は閉鎖境界とし、実際の地層が存在しないグリッドはモデル上では不透水グリッドとして扱い、計算領域から除外した。

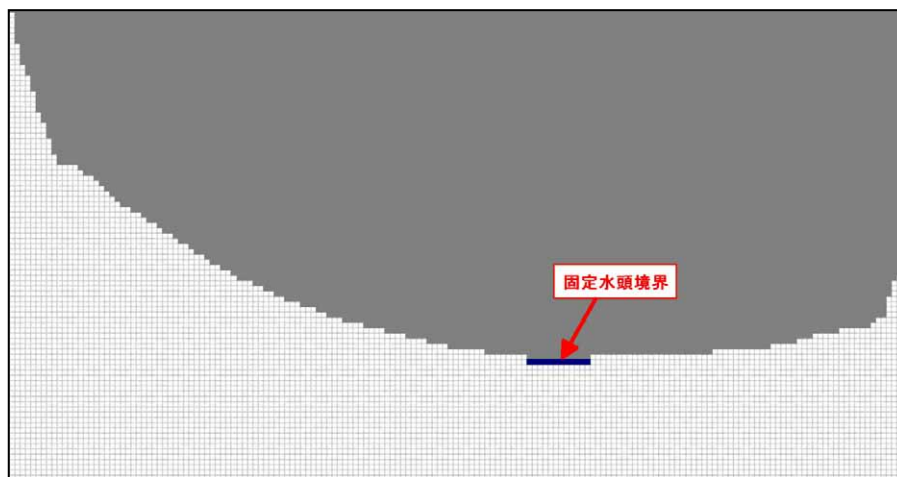


図 9.6.11 南北方向断面モデルの境界条件

### 9.6.5 断面モデルの検証計算

#### a. 南北方向断面モデルの検証結果

南北方向の断面モデルに1994年1月から2003年12月までの地下水かん養量と揚水量を入力して、120ヶ月間の検証計算を行った。それによる2003年12月の計算水頭ポテンシャル分布を図9.6.12に示す。

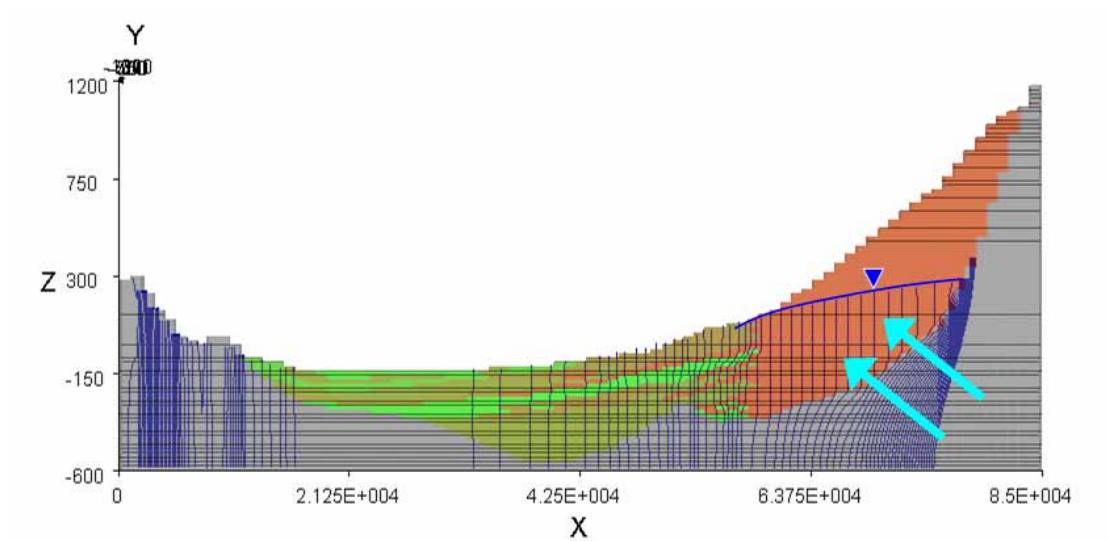


図 9.6.12 南北方向断面モデルの検証計算結果

南北断面モデルでは、モデルのほぼ中央部に位置する吐魯番市付近を境にして北盆地と南盆地で水文地質条件が大きく異なり、計算水頭分布もその影響を受けて異なる分布パターンを示す。北部盆地では第四系中に粘土層が存在しないため、地表から水文地質基盤まで透水係数の高い一連の砂礫層で構成されるため、砂礫層内の計算水頭等ポテンシャル線はほぼ鉛直方向の直線として分布し、砂礫層内で深度方向の水頭差がほとんどないことを示す。また、砂礫層の透水係数が高いため、地下水面の分布形状は、地形面の傾斜よりもかなり緩やかになっており、盆地北部に行くほど地表面から地下水面まで

の距離（＝地下水位）が大きくなる。

一方、吐魯番市付近から南側の南盆地では、地下地質が A 層、B 層、C 層に区分され数層の粘土層が挟在するため、これら透水係数の小さな粘土層を境にして深度方向の計算水頭が異なる。たとえば、吐魯番市付近では、標高-150 m 付近に分布する B 層の粘土層を境にして、下位の帯水層の計算水頭は上位のそれよりも高くなっている。この計算水頭分布は、吐魯番市付近の実際の観測井記録とよく一致している。

なお、地下水盆内の計算水頭分布と水文地質基盤の計算水頭分布をみると、北部盆地の地下では基盤内の計算水頭の方が地下水盆内の計算水頭よりも高いため、地下水盆と基盤の境界部付近で水頭等ポテンシャル線が屈曲する。地下水は水頭ポテンシャルの高い方から低い方に向かって流動するため、北部盆地ではとくに北側部分において、図中の矢印で示すように水文地質基盤から地下水盆に直接地下水が流入していると理解される。ところが、南盆地では、基盤と地下水盆内の計算水頭値に大きな違いはなく、計算水頭等ポテンシャル線は、地表付近から基盤内までほぼ垂直に直線状に分布している。このことは、南盆地において基盤から地下水盆内への地下水の流入はほとんどないことを示している。

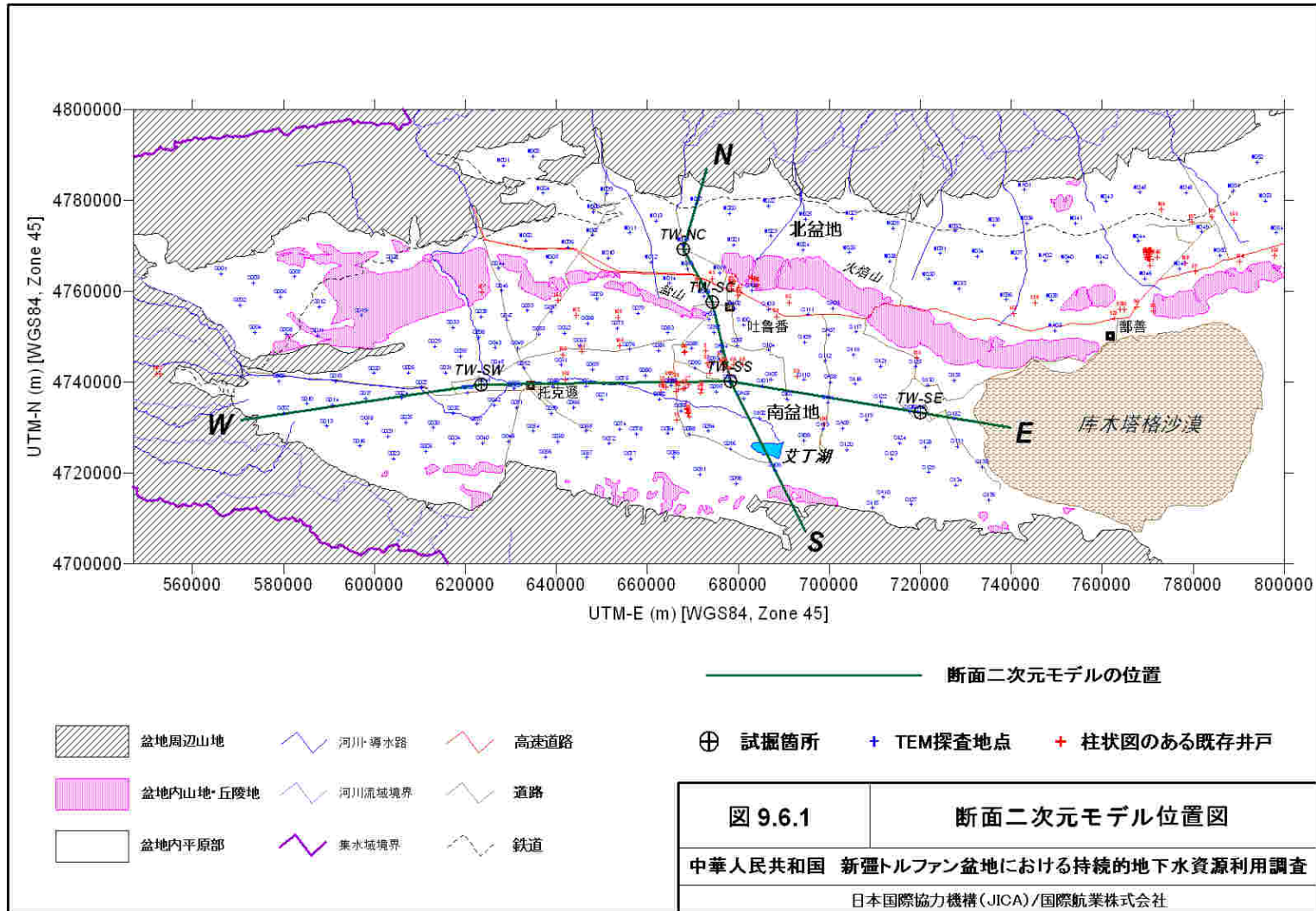
#### b. 東西方向断面モデルの検証結果

南北方向の断面モデルに 1994 年 1 月から 2003 年 12 月までの地下水かん養量と揚水量を入力して、120 ヶ月間の検証計算を行った。それによる 2003 年 7 月の計算水頭ポテンシャル分布および揚水量分布を図 9.6.13 に示す。

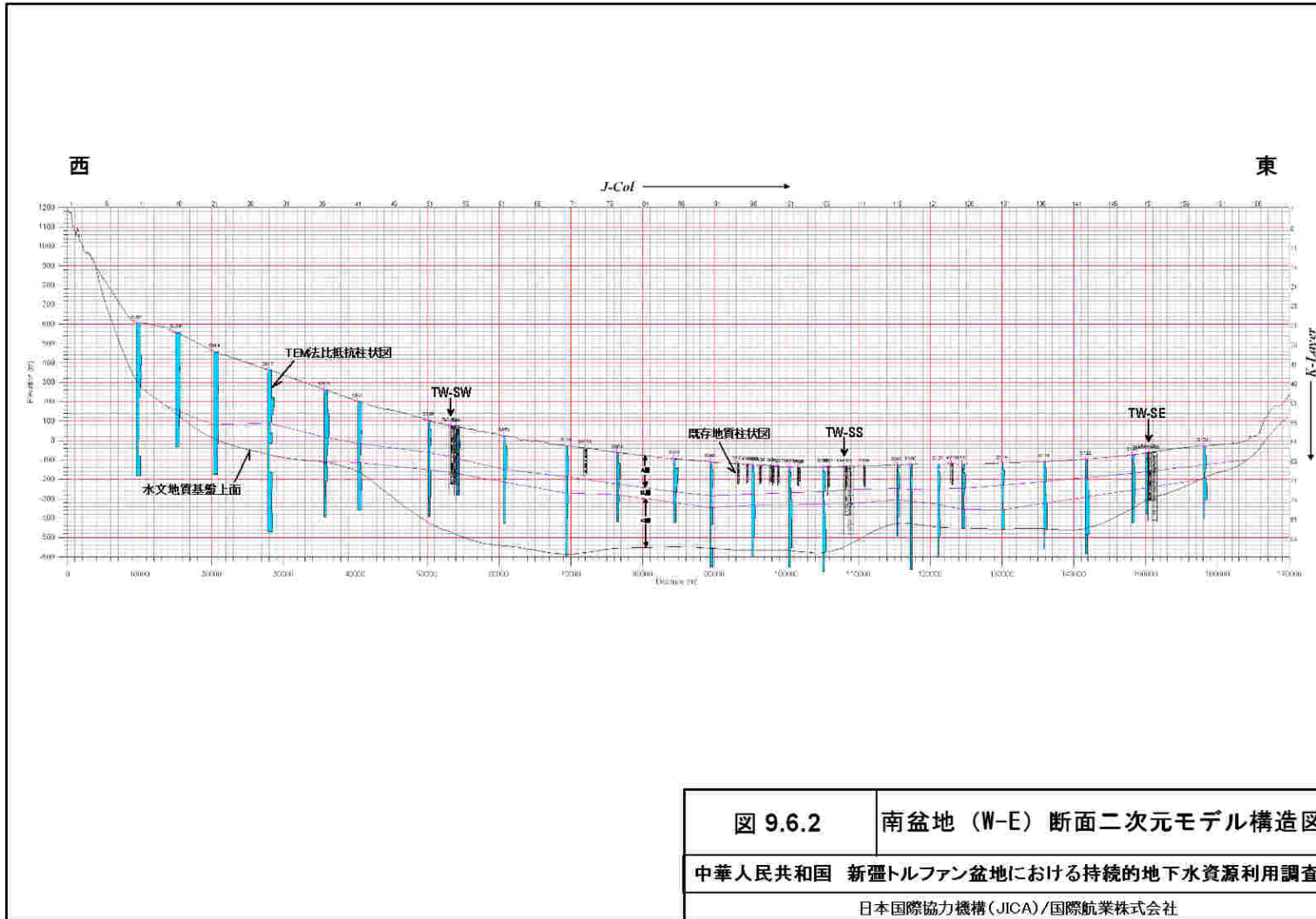
東西断面モデルでは、西側のトクソン県において計算地下水頭が高く、また、基盤岩から地下水盆への地下水の直接流入が発生していることが理解される。また、トクソン県中部から下流の艾丁湖付近にかけては、計算地下水頭が地表面標高よりも高くなっており、自噴帯が形成されていることを示す。これは、観測井による実際水位の分布状況とよく一致している。

一方、東西モデル東半部では、シャンシャン県南部の地下水揚水量が大きいことと、東側の庫木塔格砂漠のからは地下水の補給がほとんどないことから、計算地下水頭は地表面よりも低く、モデルにおいても自噴帯はみられない。

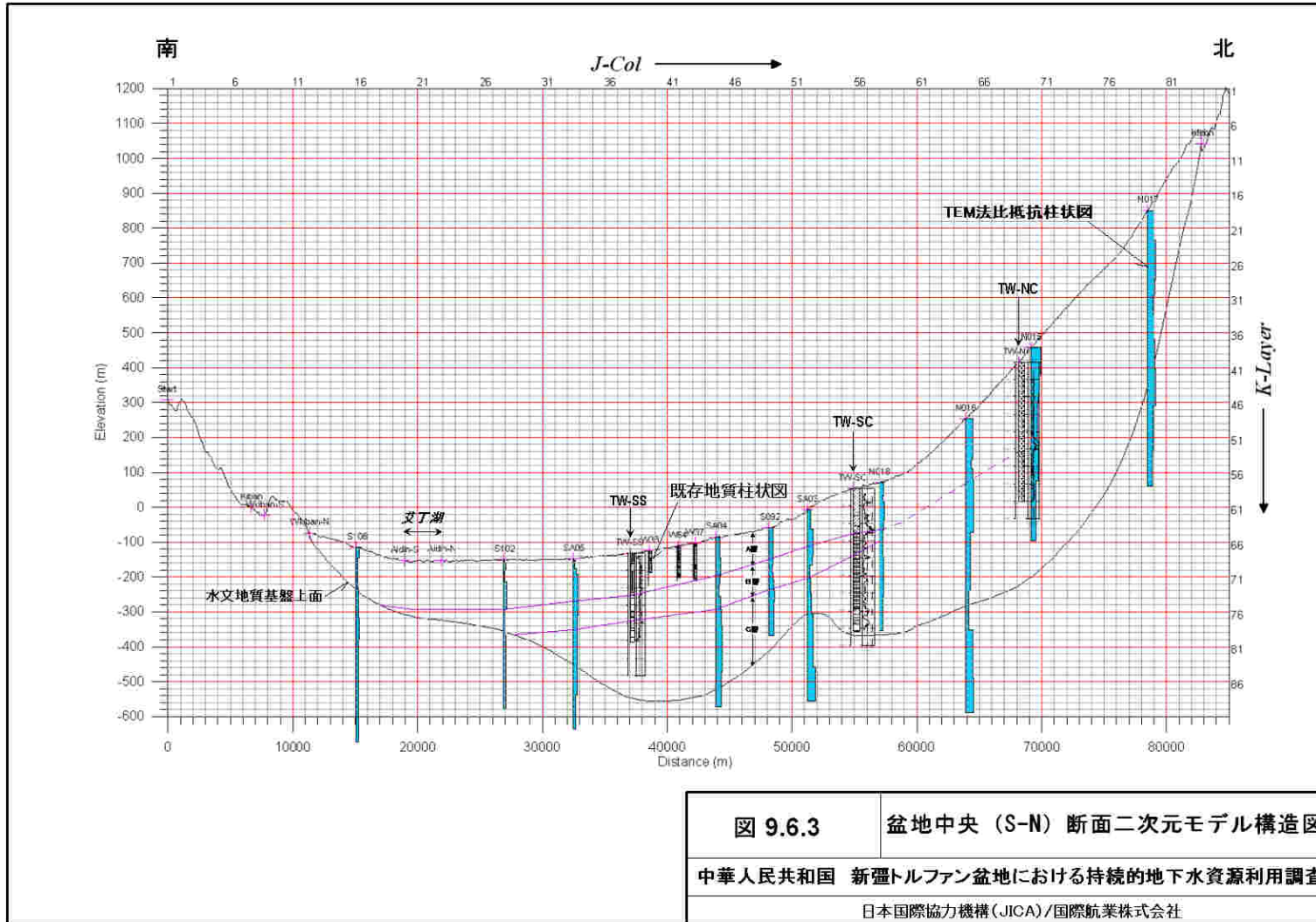
このように、東西断面モデルも実際の地下水位の分布状況をよく再現していると判断される。

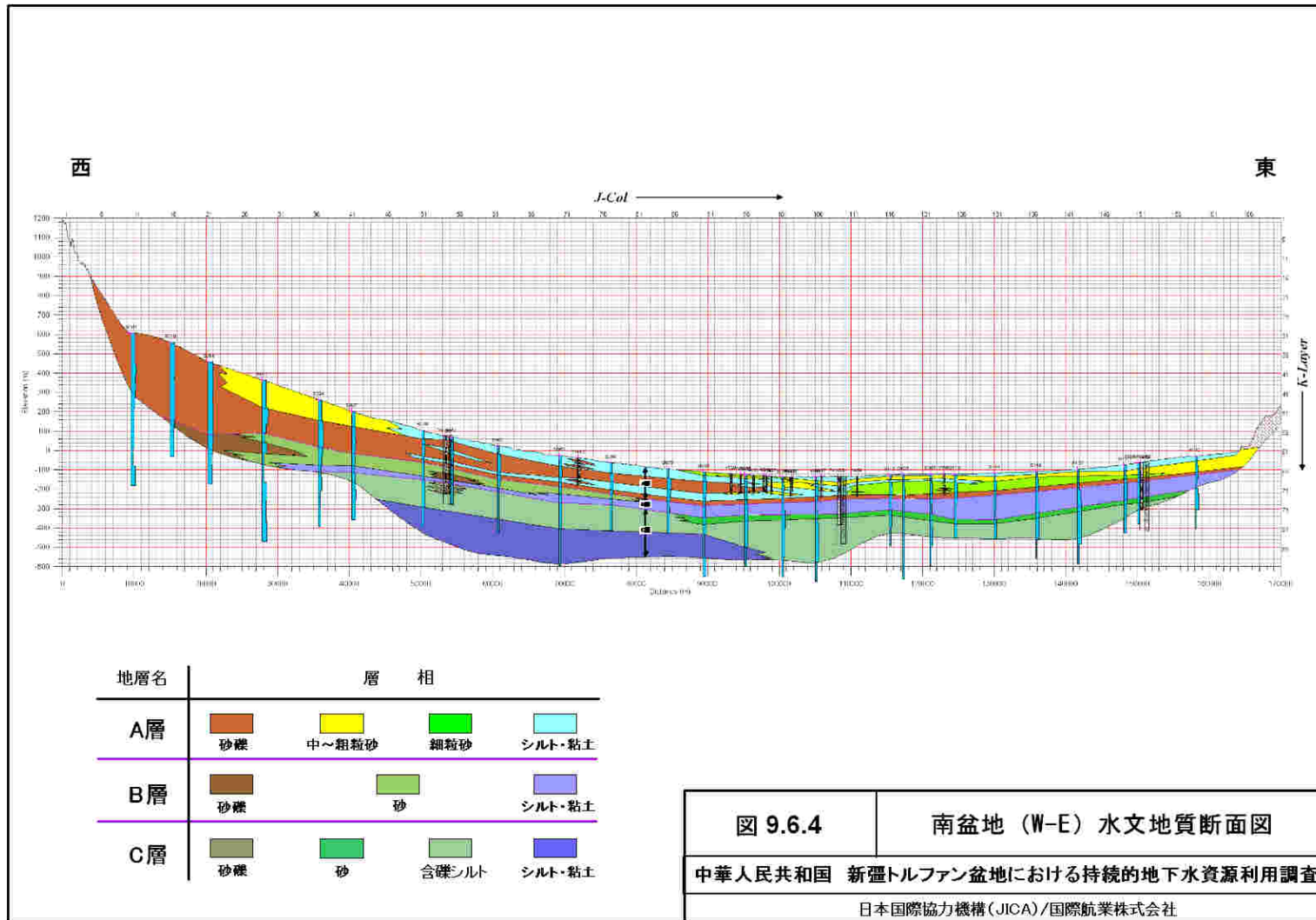


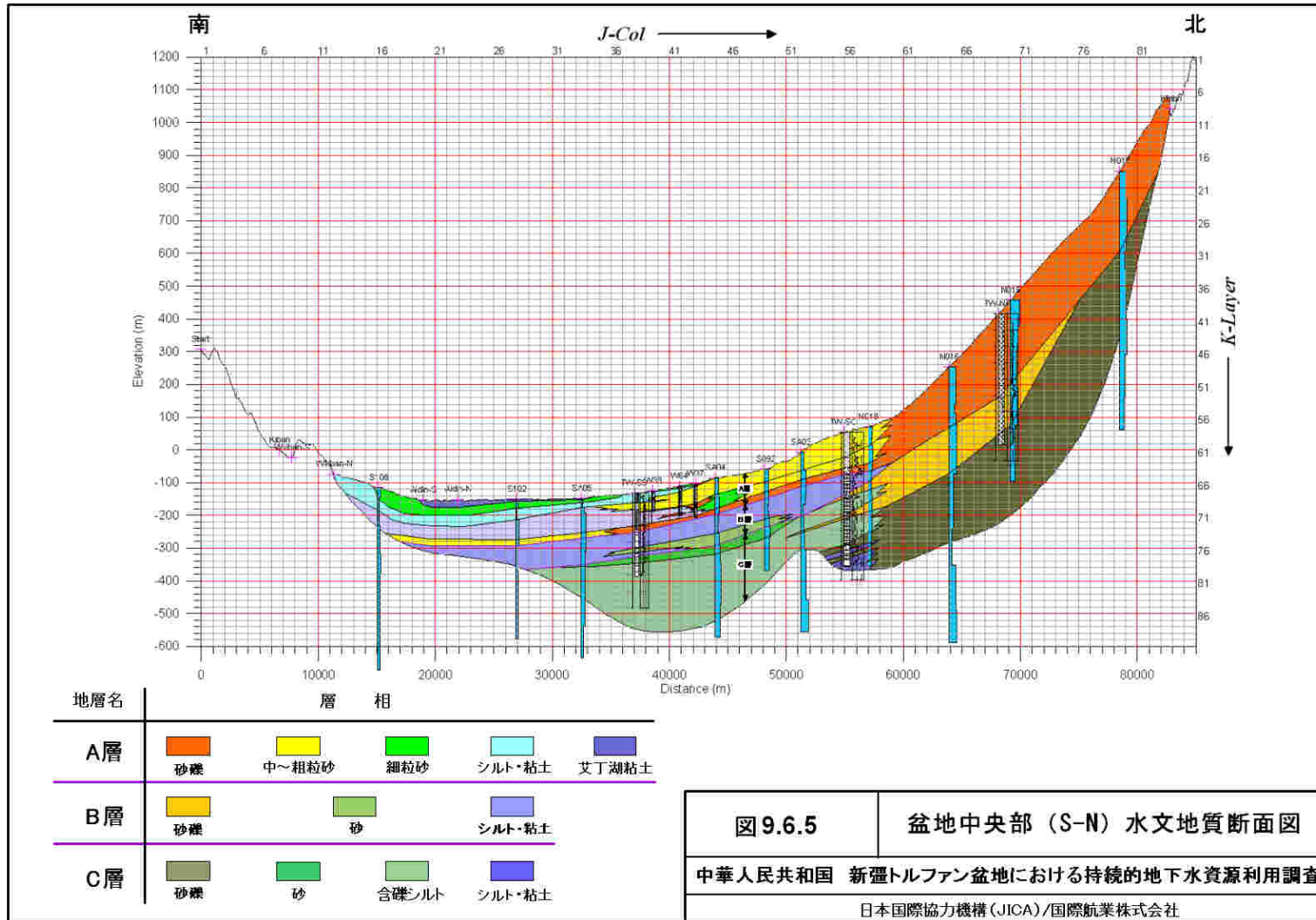






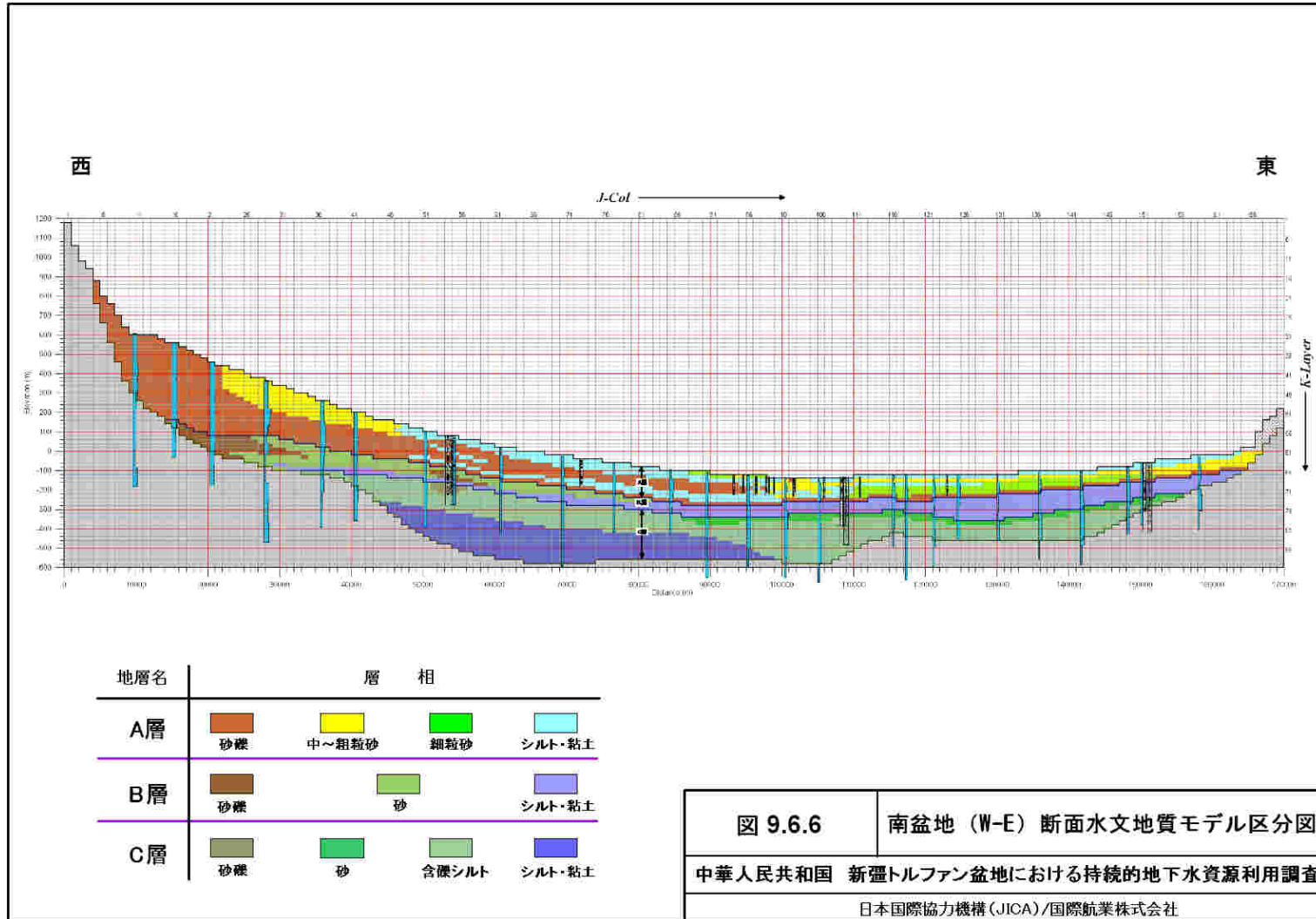








98-6



9-87

