

#### 5-4. 窒素施用量

重点調査地域における窒素施用量を把握するため、生産記録で把握された原単位（施肥による単位面積当たりの窒素施用量）と重点調査地域の作物分布（図-5.4.1 参照）に基づき、汚染源地域を含む重点調査地域での段丘毎の窒素施用量を算出した。

その結果、現況での段丘毎の窒素施用量は、中位 1 段丘で全体の 61%、高位及び中位 2 段丘を含めると 84%に達する(図-5.4.2 参照)。県モデル事業で示された第二地下水(深層地下水)の汚染源地域と考えられる中位～高位段丘が他段丘面に比べ極端に窒素施用量が多いことが明らかとなった。

今後、過去の面的な土地利用状況を整理し、過去の窒素施用量を推定することで、現況の地下水汚染の要因と経過をより明確にすることができると思われる。

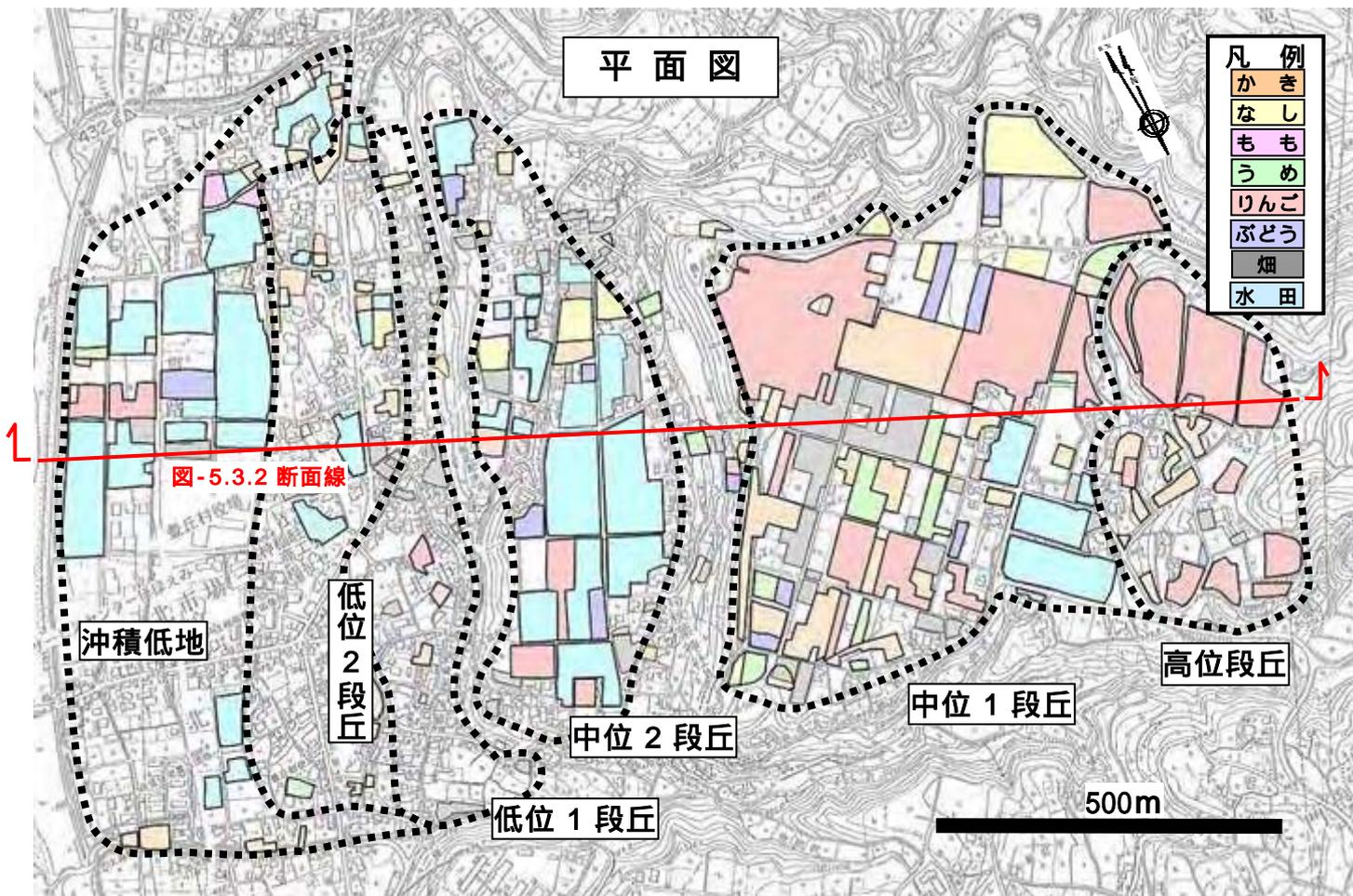


図-5.4.1 重点実施地域の作物分布  
(平成 18 年 2 月 24 日～25 日現地調査結果に基づく)

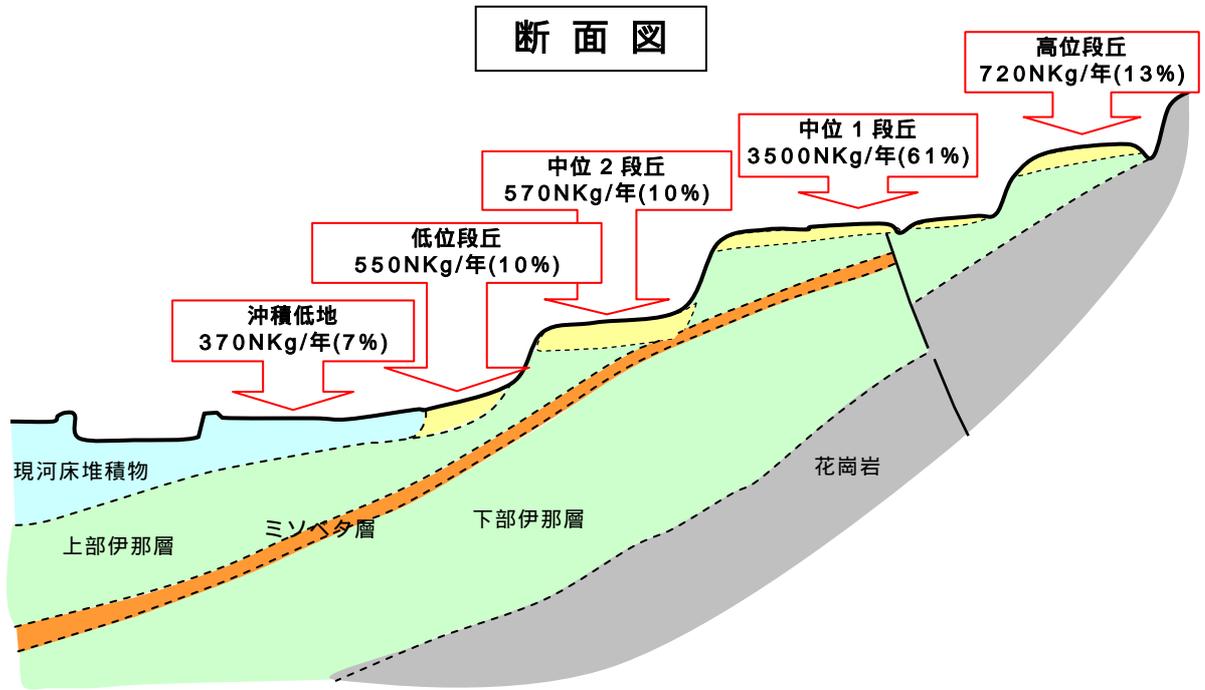


図-5.4.2 重点実施地域の段丘面毎の窒素施用量  
(現地調査結果及び生産記録の原単位に基づく)

### 5-5 . 地下水流動解析モデルの構築

地下水流動解析モデルは、硝酸性窒素汚染原因の把握や将来的な対策の効果予測ならびに評価を行う際のツールの一つとして検討するものである。構築する地下水流動解析モデルを用いたシミュレーションの実施にあたっての基本方針は、以下のとおりとし(図-5.5.1 参照)、現況再現の検証は、対象地の水文地質構造及び地下水位の観測値より求められた解析断面での想定地下水位分布線と解析により求められる地下水位分布線との適合性により判断する。

- ・ 二次元断面に単位厚さをもたせた三次元非定常浸透流解析モデルとする。
- ・ 解析断面は、調査対象地域を代表する上下流代表断面(D断面)とする。

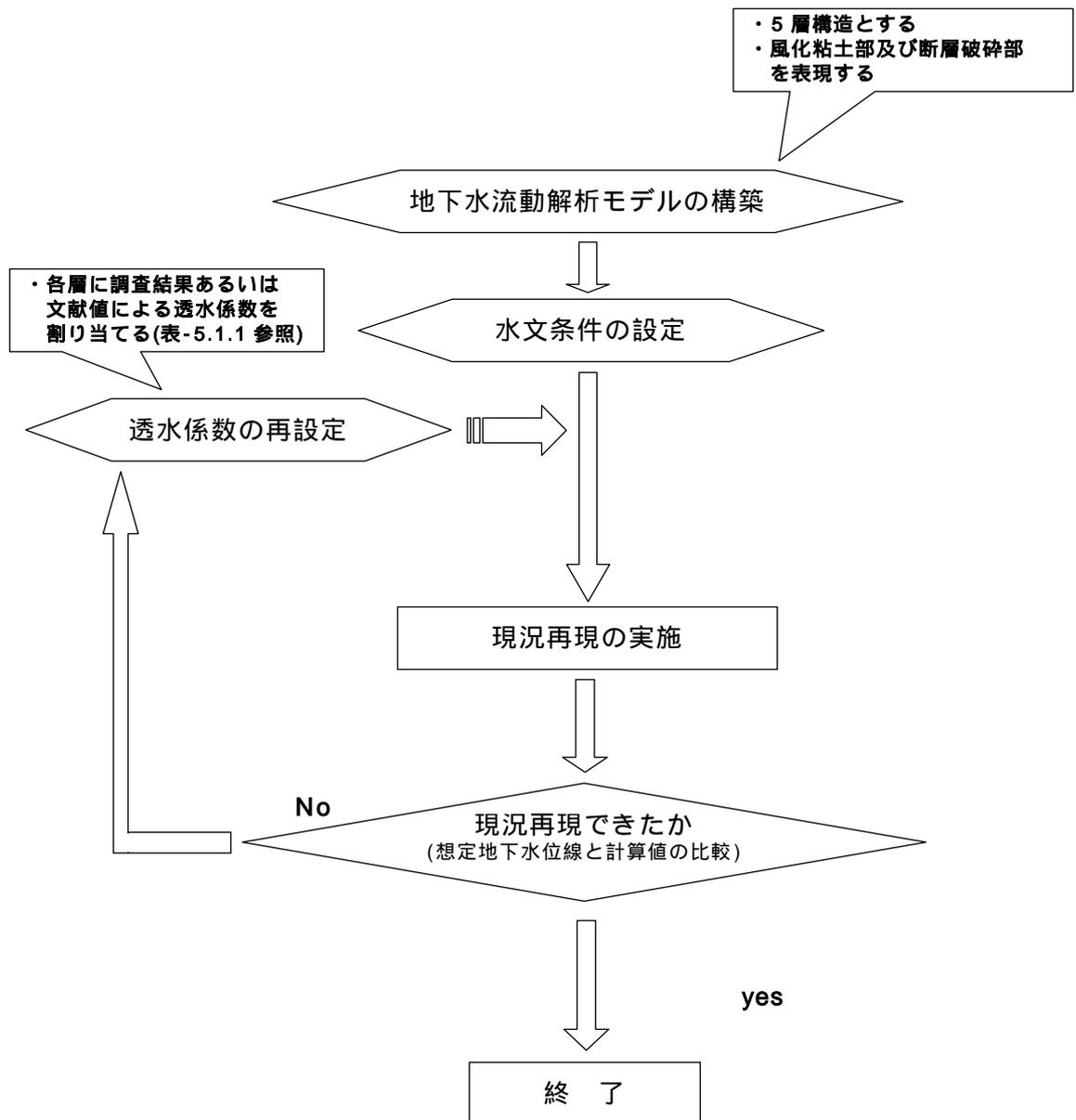


図-5.5.1 地下水シミュレーションのフロー

### 5-5-1. 解析手法

#### (1) 解析コード

シミュレーションの解析コードは信州大学が開発した「SU3D」を用いた。この解析コードの特徴は以下のとおりである。

- ・ 節点数を減らすために、六面体のアイソパラメトリック要素<sup>1</sup>(図-5.5.2 参照)を用いる。これにより、計算容量の軽減につながる。
- ・ 離散化手法にはガラーキソ型有限要素法<sup>2</sup>を用いる。差分法<sup>2</sup>よりも要素分割に自由度があり、精度の高い解析が可能となる。対象となる地質構造に適宜対応できる。
- ・ 地表浸潤面の計算が可能である。
- ・ 不飽和土壌中の水分特性は van Genuchten の経験式<sup>3</sup>を用いる。

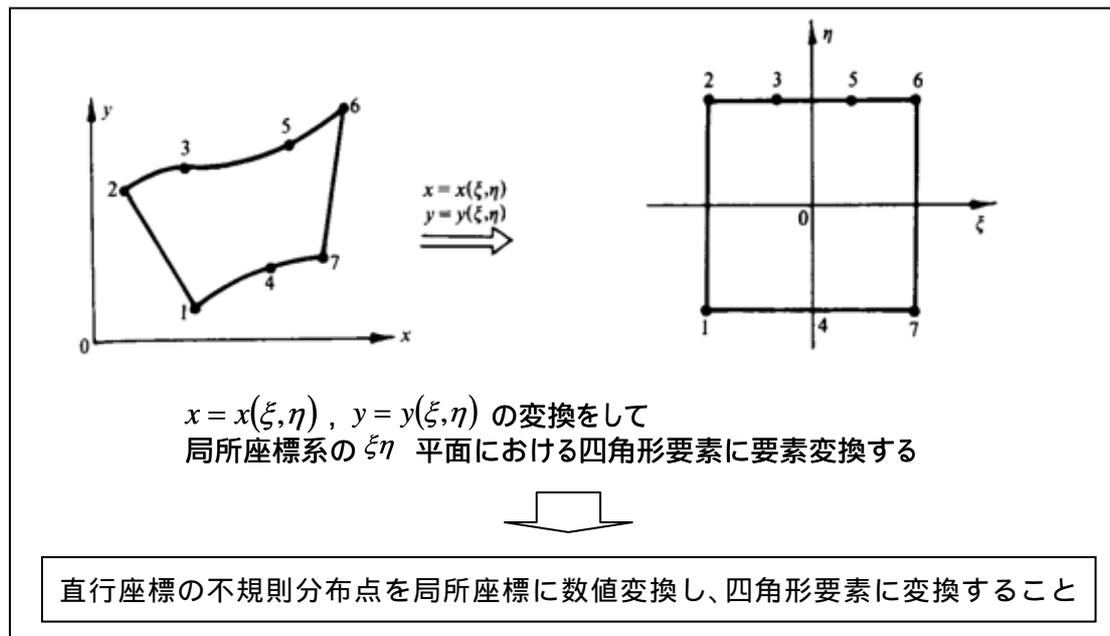


図-5.5.2 アイソパラメトリック有限要素の考え方

- 1 ある不規則な立方体をXYZの直交座標系で表現すると、それぞれの面が座標系と斜行することとなり後の計算が複雑となる。アイソパラメトリックとは、不規則な立方体を局所座標系を用いて要素変換し、それぞれの面が局所座標系のなす面と平行になるよう変換することである。これにより隣り合う立方体と共有する接点が増え、計算容量の減少、計算速度の向上が図られる。また、不規則立方体の表現も可能で複雑な地質に対応できる。
- 2 ともに離散化手法の一種。離散化により地下水流動の基本方程式を定式化できる。偏微分方程式の数値計算の方法は基本的には有限要素法と差分法に大別される。差分法とは、基本的には微分方程式に出てくる空間微分や時間微分の項を、差分で置き換えるものである。有限要素法とは、微分方程式を近似的に解くための数値解析の手法で、複雑な形状・性質を持つ物体を単純な小部分に分割することで近似し求めるもの。ガラーキソ型有限要素法は他の離散化に比べ要素分割に自由度があり精度の高い離散化が可能である。
- 3 不飽和領域における水分特性曲線を表す経験式。事例より推定された経験式で湿潤過程と乾燥過程を異なる経験式で示している。SU3Dの不飽和領域での水分量算出に用いられる。

(2) 解析断面

解析断面は芦部川と漆沢川に挟まれたD断面とする(図-5.5.3参照)。

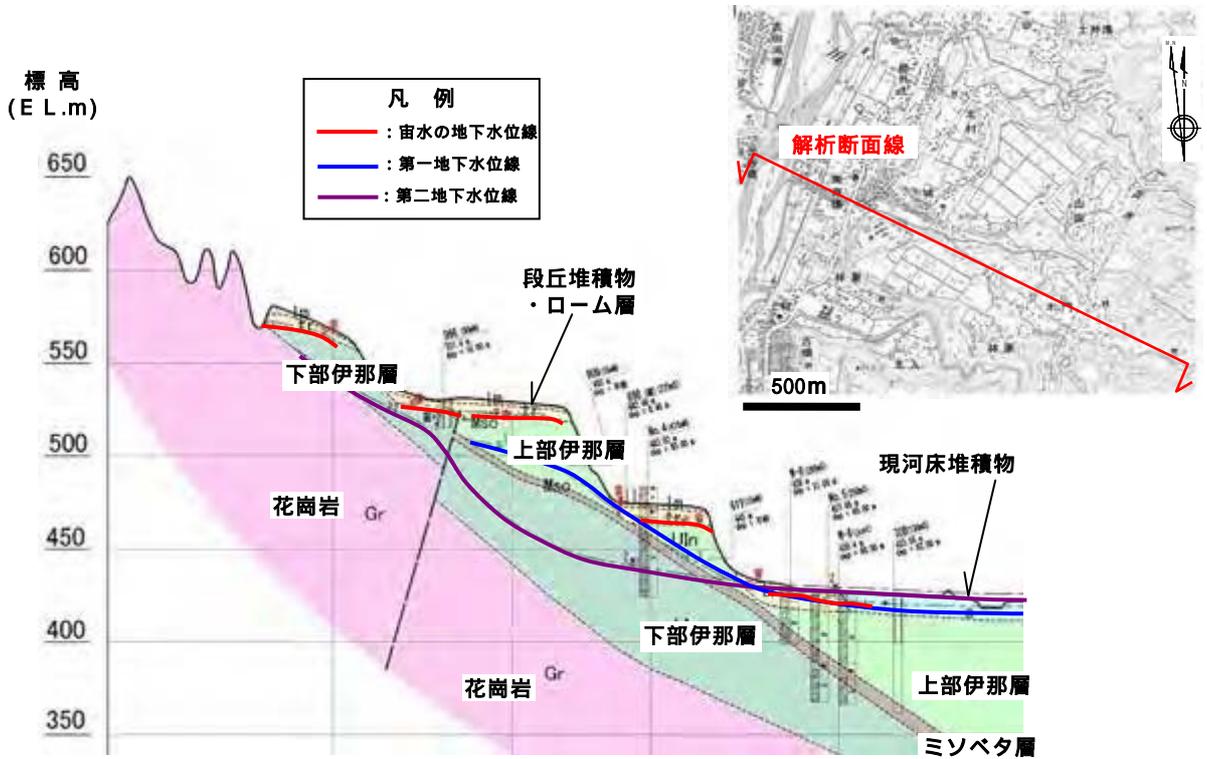


図-5.5.3 解析断面(D断面)及び断面位置

(3) 解析メッシュ

解析メッシュは幅10m、厚さ10mを基本とし、不飽和領域、ミソベタ層周辺及び揚水井周辺ではメッシュを密にした。解が発散し、計算が収束しない可能性のある箇所(地形勾配急変部付近等)についてもメッシュを密に設定した(総要素数3,566、総節点数7,566)。

(4) 境界条件

境界条件は、表-5.5.1に示すとおりとした(図-5.5.4参照)。

表-5.5.1 境界条件

境界区分	内容	採用値
既知水頭境界	解析モデル右端に設定	天竜川の平均水深：0.6 m 最深水深：1.2 m
	解析モデル左端部に設定	定水頭境界
不透水境界	花崗岩を不透水層と評価	伊那層下部と花崗岩の境界

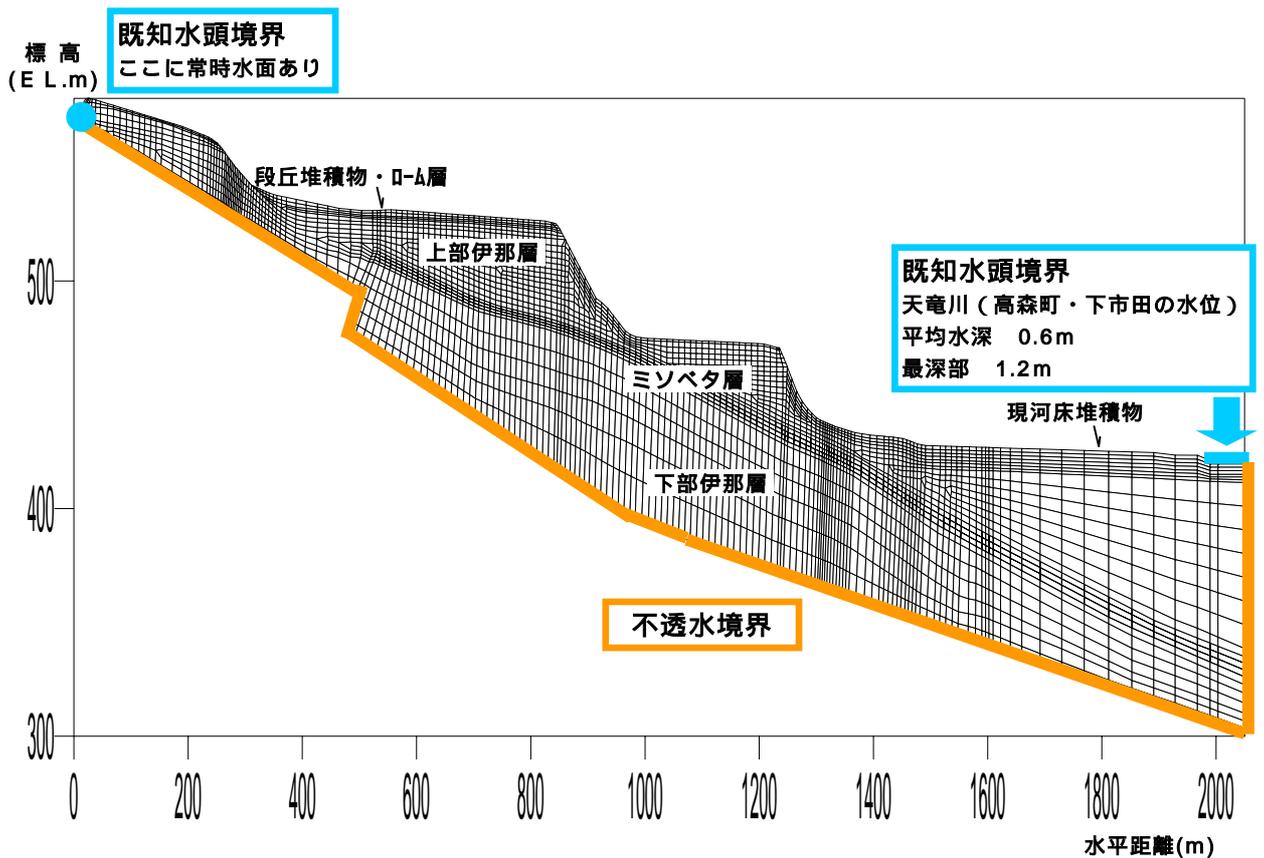


図-5.5.4 境界条件

(5) 涵養量及び揚水量の設定

涵養は、降水による浸透、スプリンクラーによる散水及び水田からの涵養からなる。  
 今回、それぞれの合計値が年間最大となる7月の涵養量を与えた(表-5.5.2参照)。涵養  
 域区分を図-5.5.5に示す。

表-5.5.2 涵養量及び揚水量の設定

区 分		涵養域区分および涵養・揚水量(mm/day) <sup>1</sup>					備 考
		(浸透+散水(高位))	(浸透+散水(中位1))	(浸透+田涵養(中位2))	(浸透)	(浸透+田涵養(低位))	
涵 養	浸 透	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	(降雨量-蒸発散量)×2/3 飯田測候所過去10年間の データより算出
	スプリンクラー 散水	3.6	2.6	-	-	-	散水記録より算出。
	水田涵養	-	-	20.0	-	30.0	県農業技術課提供の減水深 を引用
	合 計	5.0	4.0	21.4	1.4	31.4	-
揚 水	W-6水源井	W-6水源井位置で151mm/dayの揚水					平成13年～平成15年の 平均揚水量より算出

<sup>1</sup> 涵養量は年間最大月の7月の値を使用した

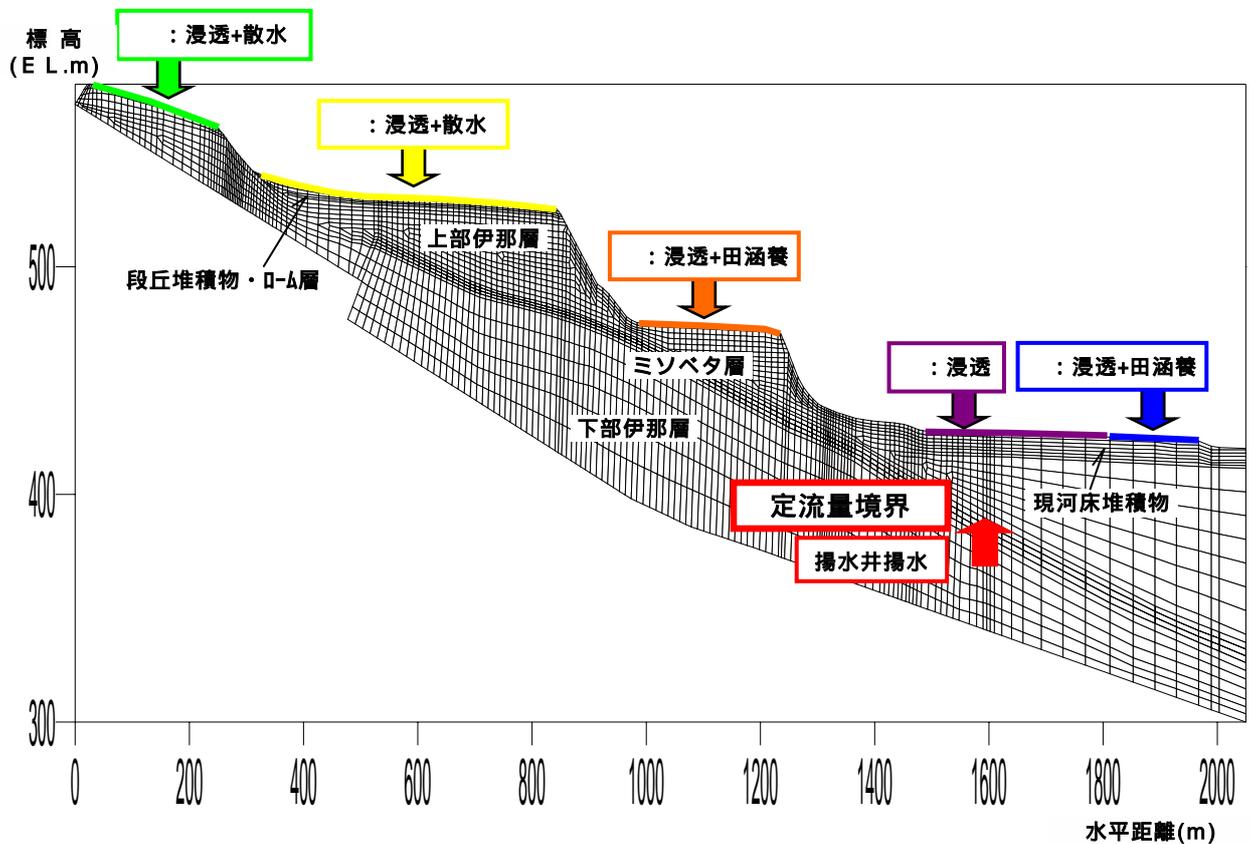


図-5.5.5 涵養域区分

(6) 地層毎の透水係数設定

地層毎の透水係数は、前述の水文地質構造及び地層の透水係数(前出表-5.2.1)を用いた。  
メッシュ毎の地層区分を図-5.5.6に示す。

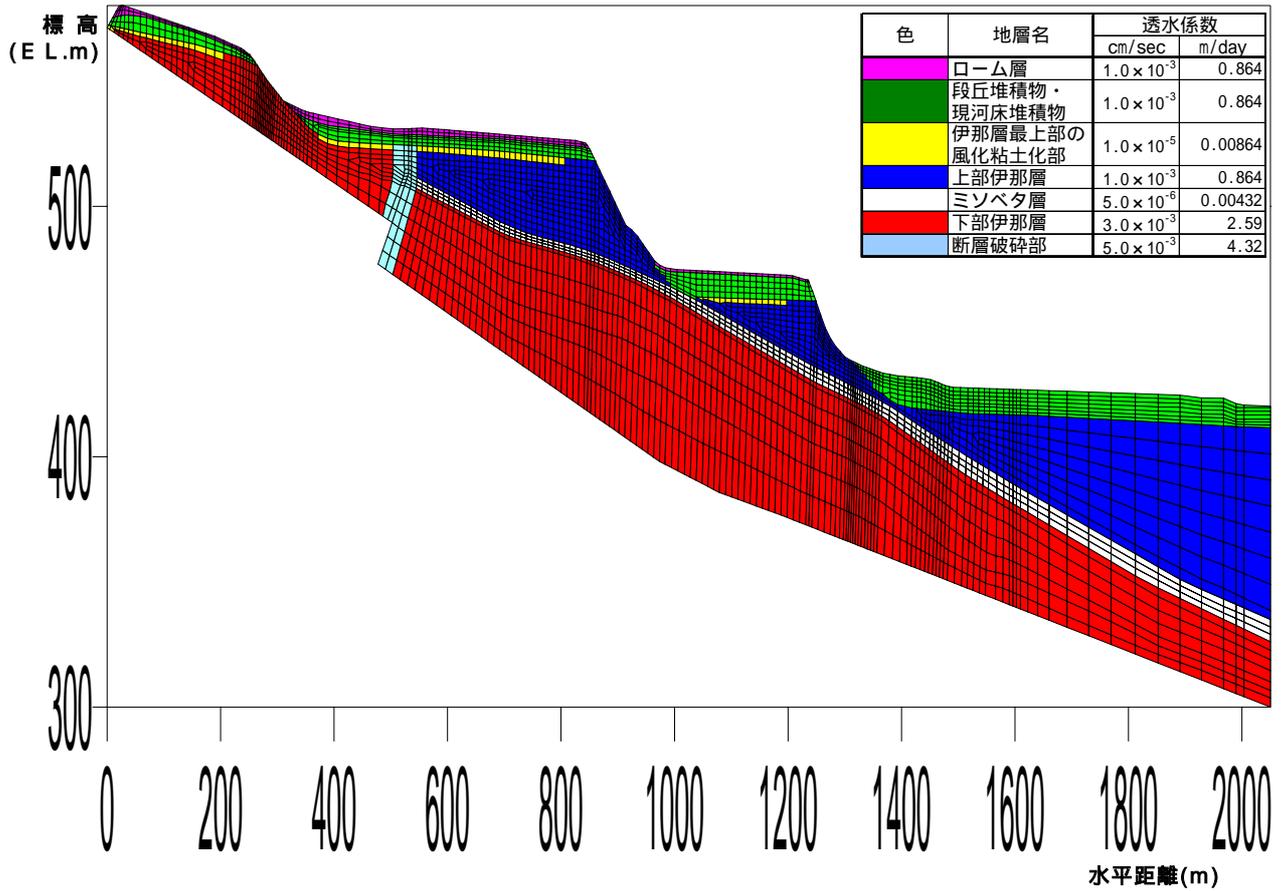


図-5.5.6 地盤モデルの透水係数による色分け

(7) 初期条件及び定常時の判断

初期条件は、初期水頭値を標高550m、時間刻みを0.5日とした。定常時の判断は、節点水頭の最大差が0.125(m)となった時点とし、この時点の地下水位分布線を当該の涵養量及び揚水量の設定条件における解として採用した。

5-5-2.再現性評価

前述した条件(年間最大月値)で再現を図ったところ、想定第一地下水位線、第二地下水位線及び宙水の地下水位線に相当する地下水位線が表現され、現況再現が図れた(図-5.5.7 参照)。

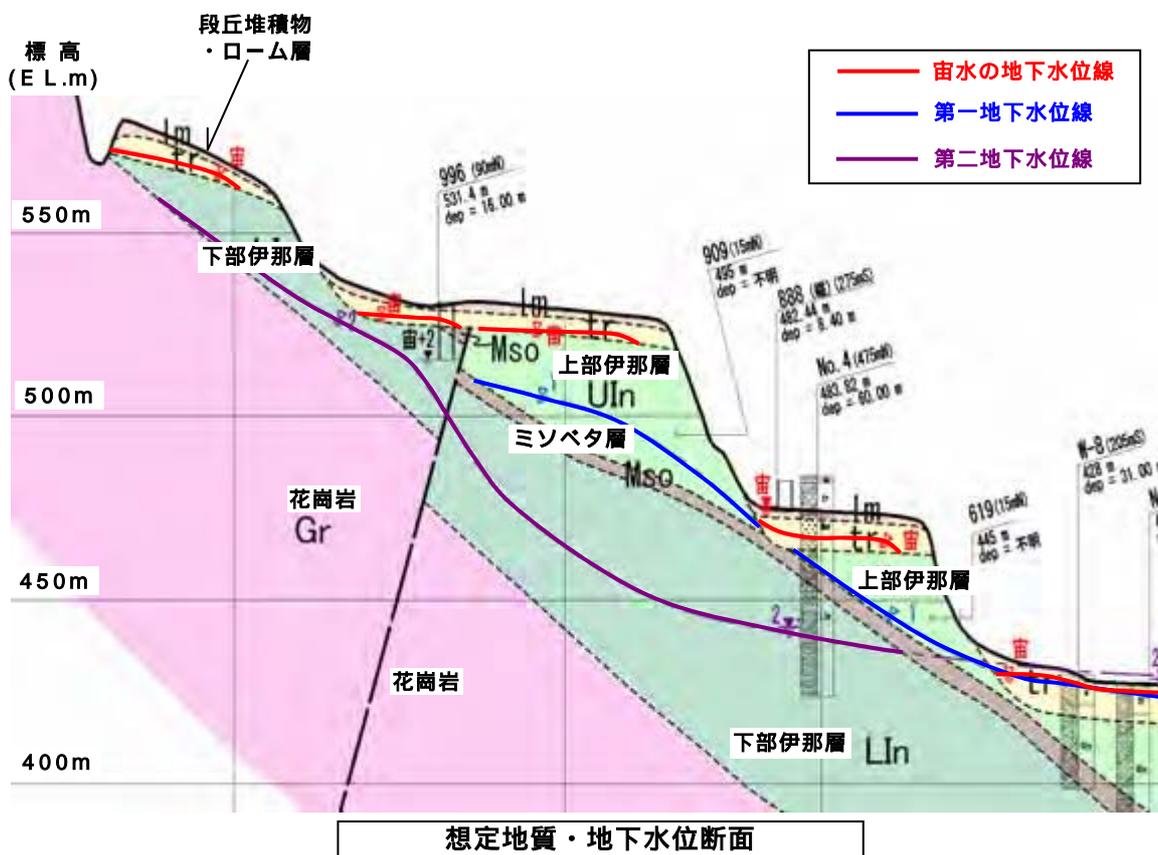
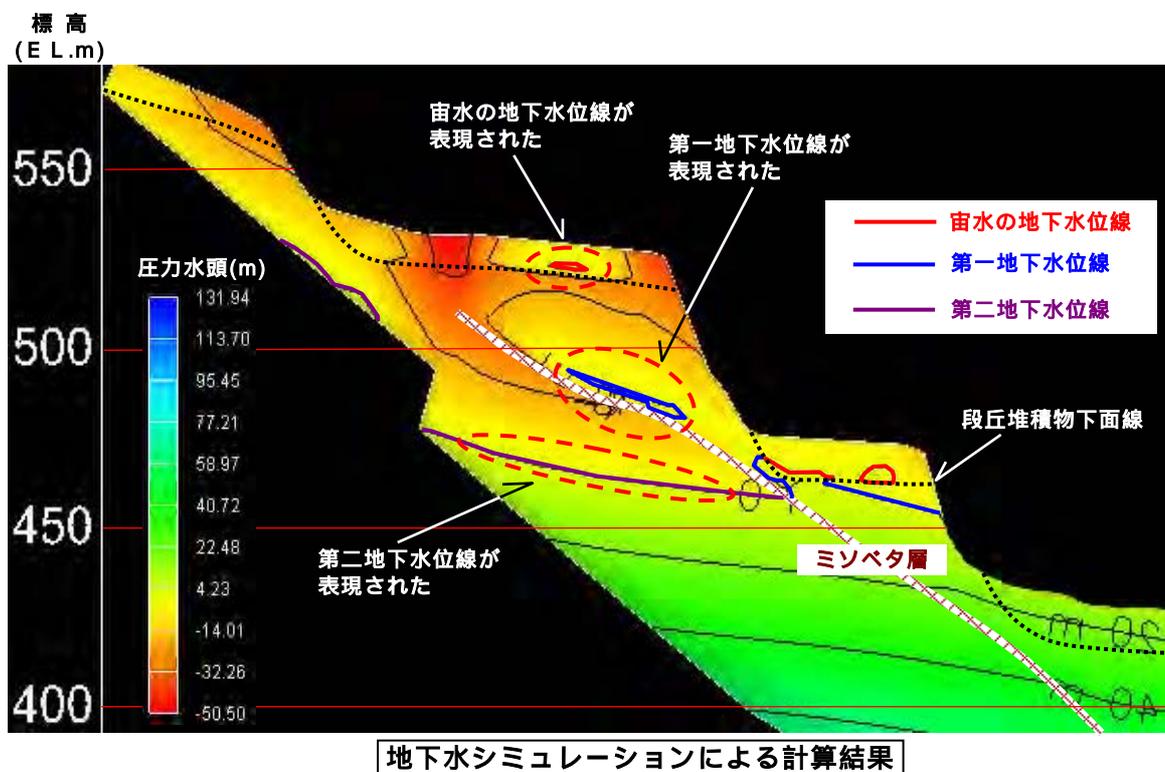


図-5.5.7 解析結果

ただし、現時点で検証値である想定地下水位線を十分表現できていない。原因は、涵養量及び地層の透水係数を細かく設定していないためと考えられる。また、河川からの伏没水による地下水涵養を今回のモデルでは考慮していないことも原因と考えられる。

なお、今回のモデルの計算条件によると、第一地下水及び第二地下水の実流速は、50～150m/年、50～180m/年程度である。また、窒素施用量の6割を占める中位1段丘から水源井のある沖積低地までの地下水の移動時間は、おおよそ10年かかることとなる。汚染源域の負荷削減を進め、降雨浸透、河川水伏没及び人為的に供給される他流域からのかんがい用水が付加されることで、水質改善効果が得られると考えられる。

### 5-6 . 硝酸性窒素汚染到達メカニズムの推定

豊丘村における硝酸性窒素汚染は、段丘部の窒素施用量、段丘崖に位置する横井戸の高い硝酸性窒素濃度から、段丘部の施肥が主因と考えられる。段丘面は平坦で表面流出が生じにくく、降雨の多くが地下へ浸透する過程で窒素成分を溶かし込むことによって、宙水の硝酸性窒素汚染が引き起こされる。硝酸性窒素濃度が高くなった宙水は、下位の第一帯水層に付加し汚染が拡大している。

第一地下水は、難透水層であるミソベタ層の分布に規制され東から西方へ流動する。この過程で宙水からの付加を受け続けることによって、高濃度の硝酸性窒素に汚染された地下水が沖積低地に達する。なお、天竜川近傍では天竜川から浸透した伏流水によって希釈されている。

第二地下水は、帯水層である下部伊那層に直接段丘堆積物が上載する高位段丘付近で、第一地下水と同様に窒素成分に富む浸透水の供給によって汚染される。上部伊那層分布域では、直接、宙水の付加を受けることはないが、難透水と考えられているミソベタ層中の縦割れ目や断層を介した第一地下水の漏洩により汚染が助長されている可能性がある。高濃度の硝酸性窒素を含む第二地下水は、東から西方へ流動するにつれミソベタ層が加圧層として機能し被圧状態となる（図-5.6.1 参照）。

なお、河川水が第一・第二帯水層に伏没していると推定され、これによって、高濃度の硝酸性窒素を含む地下水が局部的に希釈されている可能性がある。

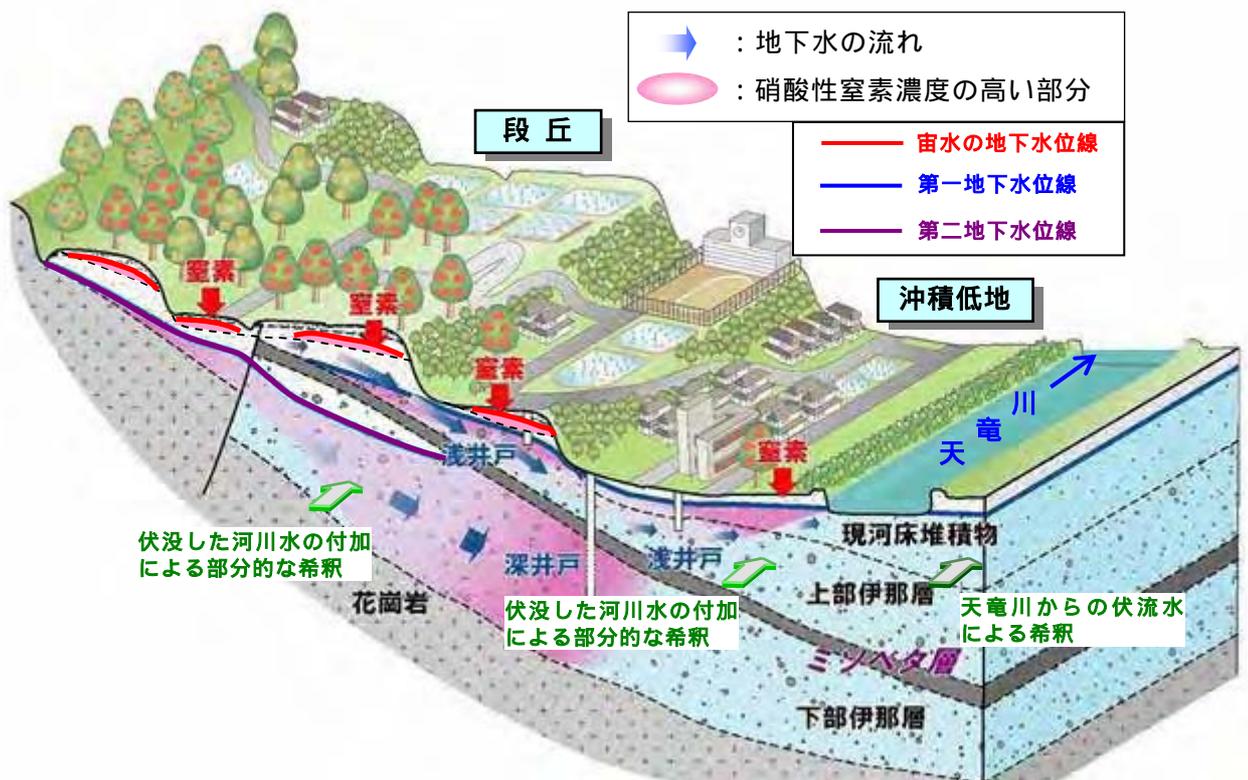


図-5.6.1 豊丘村の硝酸性窒素汚染メカニズム