

大和北道路「地下水検討委員会」報告書（平成14年3月） 補 足 説 明 資 料

1. 地下水検討委員会の目的

本委員会は、平成9年度から実施している地下水観測データやボーリング調査結果などを基に、木簡など埋蔵文化財が数多く存在する平城宮跡周辺地域の地下水の現況を精度高く再現した上で、道路建設が及ぼす地下水挙動等について予測し、現況の地下水に対する影響度合いの評価を行い、大和北道路ルート・構造を検討するための基礎資料を作成することを目的としている。

2. 予測・評価について

予測・評価にあたっては、文献や現地調査により得られた実測値を基に予測解析に用いるモデルを作成し、現況の地下水挙動が再現できるかをシミュレーションにより確認した後に、道路建設が及ぼす地下水挙動の予測計算を行い、その評価を行った。

予測・評価については、現況の地下水が季節による揚水条件の変化や、局所的な揚水条件の影響を受けやすいため、個々の観測孔（井戸）の水位を全て正確に再現するのではなく、相対的に合致するように再現し、地下水の季節変動や経年変化に比べて道路建設が及ぼす地下水挙動がどの程度なのかを把握することで評価を行った。

3. シミュレーションによる現況の地下水挙動の再現

（1）シミュレーションの手法（3次元浸透流解析）

使用するシミュレーションの手法は、3次元陸水シミュレーション（1）を採用することとしたが、シミュレーションだけに頼るのではなく、用いるパラメータのうち、浸透特性については、原位置試験や室内試験、資料等で求められている物性値を用いた。

また、降雨の地下水への涵養量については、降雨記録や揚水量と観測水位を元に設定し、全体の大きな水収支として見たときに整合がとれていることを確認し、さらに、地下水に関するいろいろな情報を集め、多角的かつ総合的に検討を行った。

1 参考文献： 「地表流と地下水流を結合した3次元陸水シミュレーション手法の開発」

登坂他； 地下水学会誌 第38巻第4号 253～267 1996

（2）水理地質モデルの作成

周辺地域の地質文献・ボーリング資料44箇所や平城宮跡及びその周辺でのボーリング16箇所の調査結果などを基に3次元グリッドモデルを作成し、水理パラメータ（2）として水と地盤の圧縮率や各地層に対して有効間隙率、透水係数を与えている。また、降雨の地盤への涵養量を考慮するため、地表を河道部、山林部、市街地・宅地などに区分し、マニングの粗度係数を設定した。モデルの範囲は、予測の際に地下水の境界条件（水位固定）の影響が、対象地域である平城宮跡周辺地域に及ばないように平城宮跡から十分な離隔を確保した。（図1のとおり）

2 数値解析では、仮に地下水の状態（被圧 不圧）が変化したとしても、被圧/不圧といった地下水の状態を自動的に計算している。

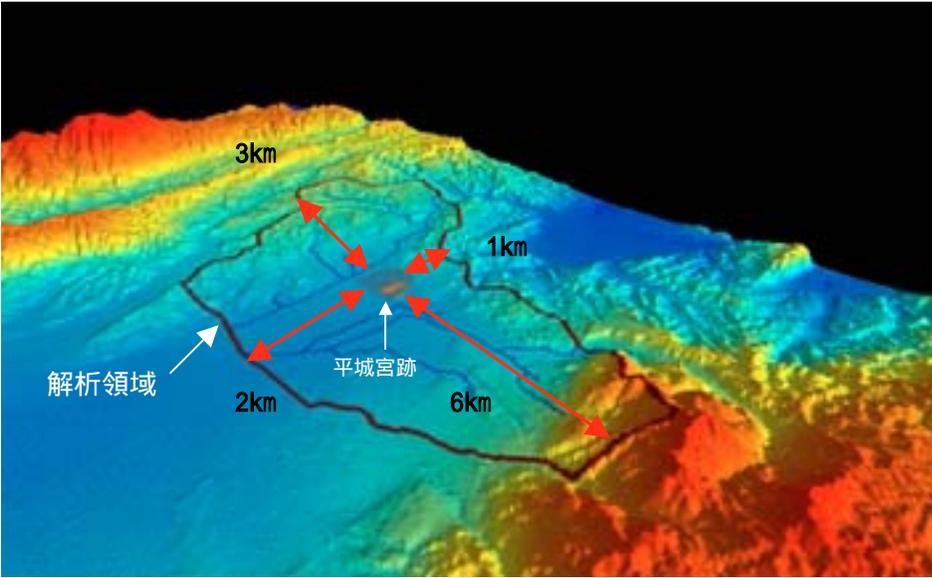


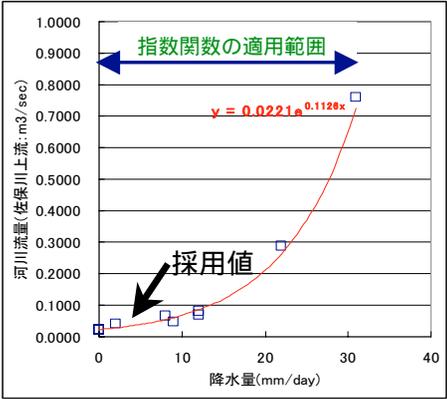
図 - 1 解析領域

(3) 解析条件の設定

降雨および気温条件 : 2000年の降雨条件(非定常)を与え、気温による蒸発散量を考慮

佐保川の初期河川流量 : 佐保川については、流域全体を解析領域とするのではなく、狭く部までとして、境界条件として、上流からの流量を与えることとした。

その流量は、佐保川の現地観測結果から求めた降雨量 - 河川流量の指数関数(図 - 2)を用い、過去10年間の日降雨量の平均値 3.61mm に対して算出し、佐保川の初期河川流量を 2,780m³/日とした。



仮に降雨量 100mm の日があったとしても、指数関数に 100mm を代入した流量を佐保川に与えるわけではなく、常時一定の流量 (2,780m³/日) を与えている。

日降雨量 100mm の佐保川の流量は、シミュレーションの中で、2,780m³/日に河川に流れ込む水量などが加算されて、算定されます。

図 - 2 降水量と佐保川流量の関係

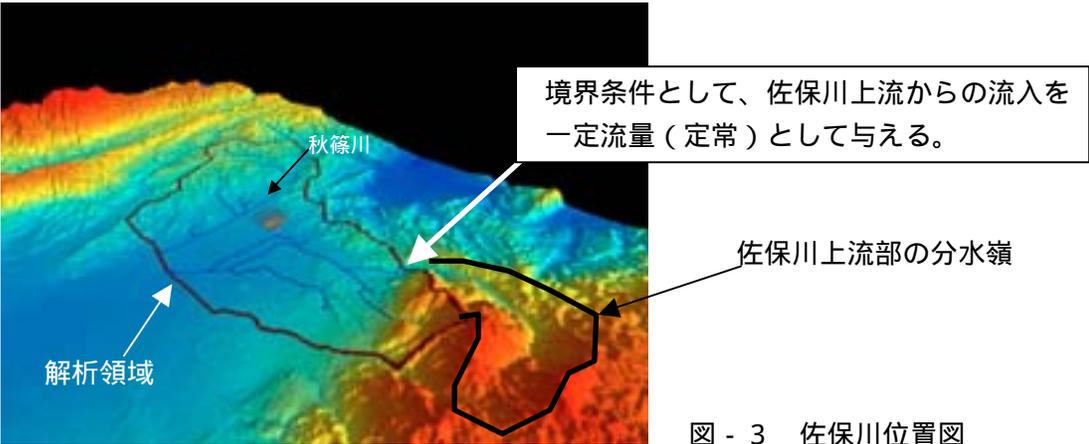


図 - 3 佐保川位置図

地下水の揚水条件（取水量）：

現況の地下水が再現できるように、各帯水層からの取水量を設定。図 - 4 に示すように入手データを基に、主要井戸（工業用水、農業用水及び水道水）など使用目的別に、井戸 1 本 1 本をモデル化した上で、取水量を入力条件としている。その他の井戸（雑水等）取水については、取水層や取水量が不明なものが多いため、第 2、第 3 帯水層全体から均等に揚水を行っており、その量については、各観測地点での水位が再現できるように設定している。

シミュレーションに与えた最終的な揚水量を検証するために、入手データとの比較検討を行った。その結果、表 - 1 に示すように両者の揚水量はほぼ一致し、シミュレーションに与えた揚水量は妥当と判断した。

表 - 1 揚水条件（第 2, 3 帯水層の揚水）

揚水条件	揚水量 (ton/day)	記 事
主要井戸の揚水量	12,000	文献に記載された個別井戸の揚水量
第 2,3 帯水層の均等揚水量	20,000	文献で個別の揚水量が不明な井戸は、下図の水色範囲から均等揚水として評価
計算に用いた揚水量の合計	32,000	-
入手データによる揚水量	33,000	引用データベース：「井戸じびき」(旧地質調査所) 文献：「奈良盆地における地下水(その1) - 賦存量 - 沖泰三、大野克己(1994)」

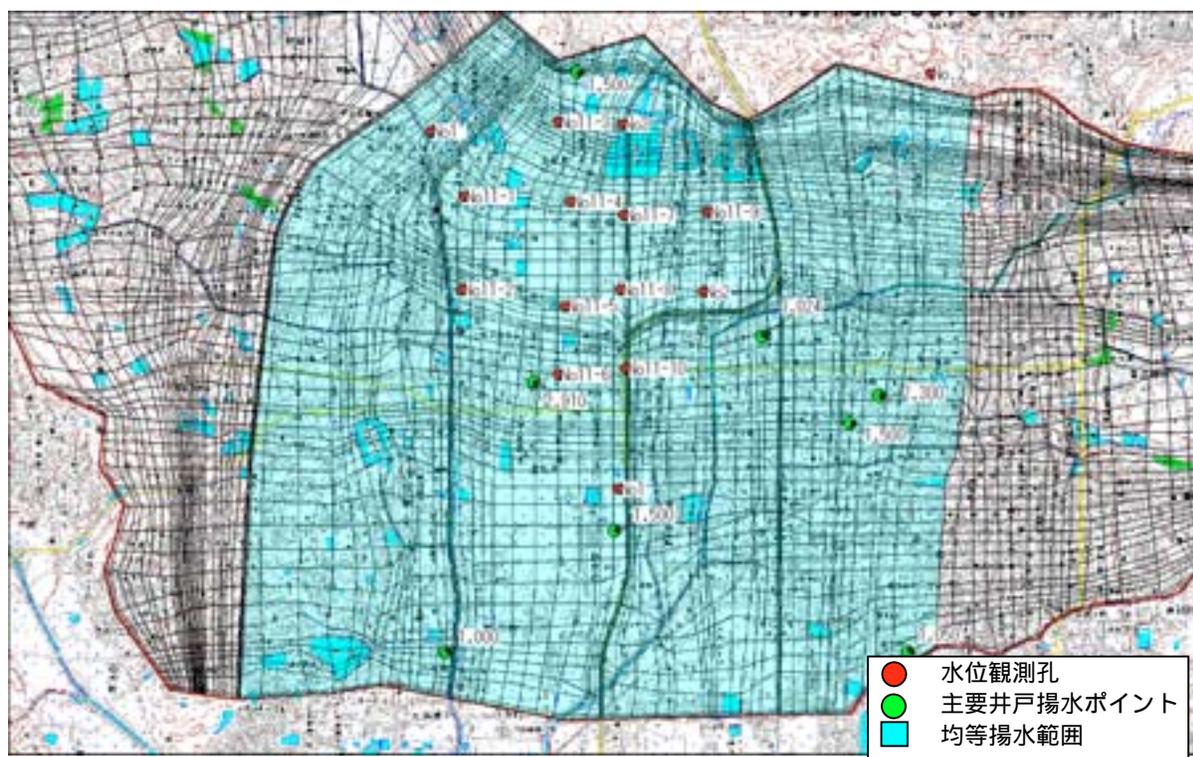


図 - 4 揚水ポイント図

地下水位の境界条件：

地下水の境界条件は、解析領域内の地形や地質・地層の状況などを考慮し、表 - 2 のとおり設定した。

南側の境界条件は、地質が南側に連続しており、かつ地下水も南側に途切れることなく流れていることから水位固定条件としている。道路建設による地下水挙動を予測する際に水位固定条件により影響度が過小評価される可能性があることから、南側境界は対象エリアである平城宮跡周辺地域から十分な離隔（約 2 km）を確保し、課題に対処した。

表 - 2 地下水位の境界条件

境界位置	帯水層	境界条件	設定理由
北側	第 1 帯水層	流入無し	分水嶺であるため
	第 2 第 3 帯水層	水位固定	地質の連続性から境界外との水のやり取りがあるため
南側	すべての帯水層	水位固定	地質の連続性から境界外との水のやり取りがあるため
東・西側	第 1 帯水層	流入無し	分水嶺であるため (第 2 第 3 帯水層は境界端まで達していない。)

(4) 地下水の現況再現結果 (解析結果)

地下水の現況再現結果は、現地の地下水の状況をよく再現している。

図 - 5、6 に第 1 帯水層の観測結果及び解析結果の地下水等高線図を示しているが、解析結果は現況をよく再現していると言える。また、第 2、第 3 帯水層については、調査で判明した解析範囲の北側で水位が自然状態で想定されるよりも低いことが解析で再現できており、これは境界条件として地下水利用の実態を反映した適切な揚水条件が用いられたためと評価される。

ただし、現況の地下水挙動は、季節による揚水条件の変化や、局所的な揚水条件の影響を受けやすいため、個々の観測孔 (16 孔) の水位について観測結果と解析結果を比較すると、局所的 (揚水量が増大する夏期など) には整合が図れていない箇所もあるが、相対的にはよく合致している。

また、奈良文化財研究所が管理する平城宮跡内の地下水観測孔 (24 孔) における第 1 帯水層の水位観測結果とも相対的に合致していることを確認しており、シミュレーションに用いたモデルの地盤条件や水理パラメータは信頼が高いと考えられる。

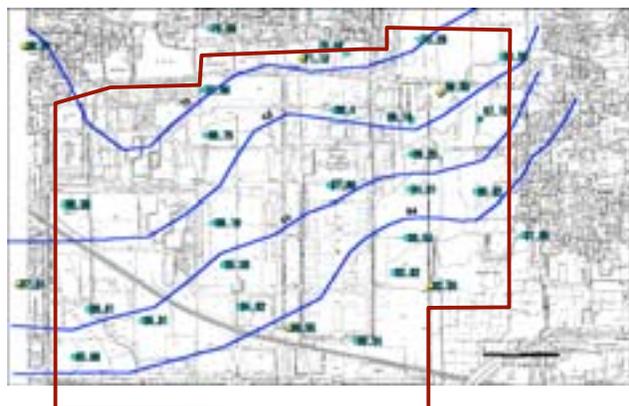


図 - 5 第 1 帯水層の地下水位等高線図
(観測結果：奈文研の観測孔含む)

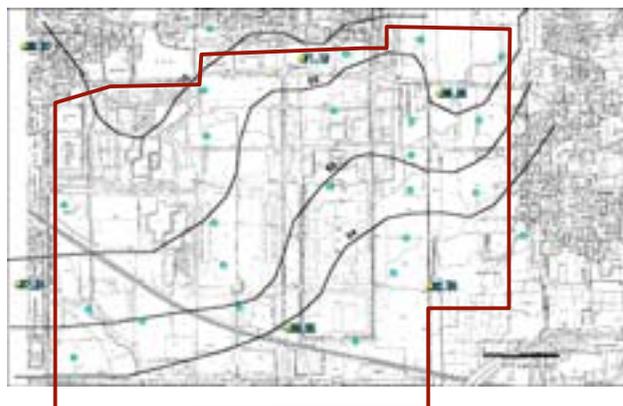


図 - 6 第 1 帯水層の地下水位等高線図
(解析結果)

4. 道路建設が及ぼす地下水への影響検討

(1) 道路建設(トンネル)の設定条件

最新のトンネル施工工法(シールド工法)を採用し、適切な設計・施工を行えばトンネル内への地下水の漏水を防止できることから、トンネルの壁面は、図-7に示すように不透水層としてモデル化した。

また、トンネル坑口付近は、図-8に示すように開削工法になり、それによる地下水の流動障害が懸念されるが、これに対しては、図-8に示すような対策(通水管の設置などの事例がある)によって防止できる。

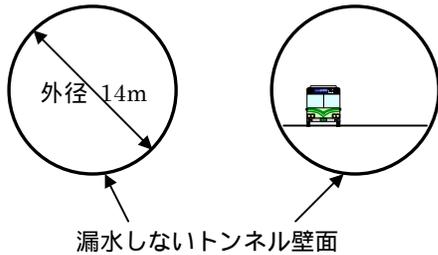


図-7 モデル化したトンネル断面

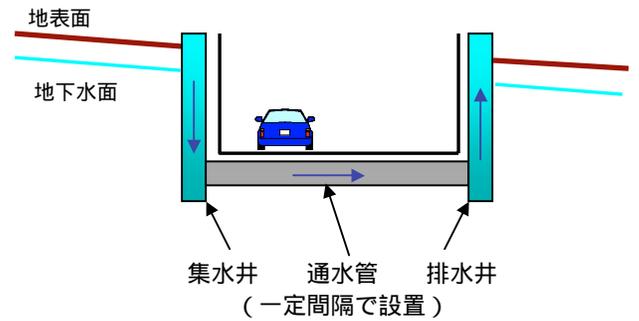


図-8 坑口付近の地下水流動保全対策

(2) トンネル構造物の設置位置

道路構造物(トンネル)を図-9に示すような位置に仮想的に設置し、地下水流の代表的な流動環境(4ケース)を考慮して、地下水への影響(感度分析)の予測を行った。

表-3 解析ケース

【解析ケース1】 西 東の流動環境に対応
【解析ケース2】 地下水が集まりやすい流動環境(秋篠川)に対応
【解析ケース3】 北 南の流動環境に対応
【解析ケース4】 東 西の流動環境に対応

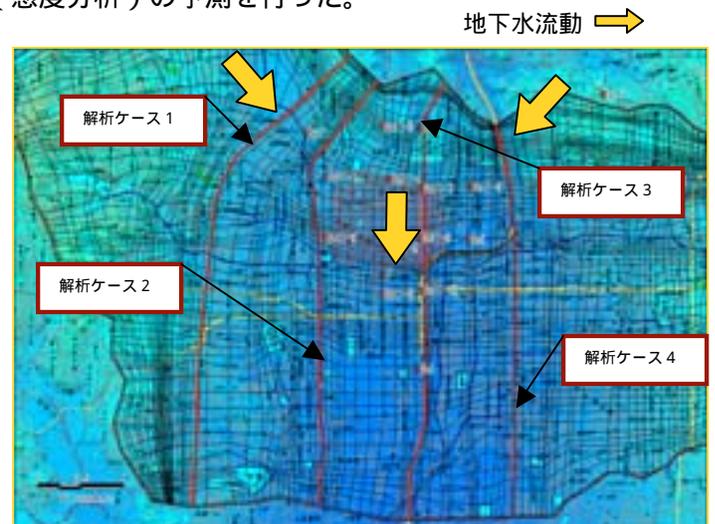


図-9 解析ケース

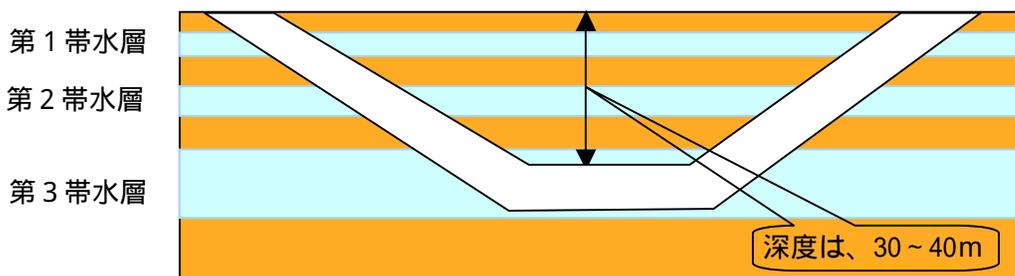


図-10 トンネル側面図(イメージ図)

(3) 道路建設が及ぼす地下水挙動 (解析結果)

地下水挙動が顕著に現れると思われる地下水流の代表的な流動環境 (4 ケース) を考慮して道路構造物 (トンネル) を仮想的に設置した 3 次元の浸透流解析を行い、解析より得られた現状の地下水位分布と比較した。

その結果、表 - 4 に示すように、道路建設による第 1 帯水層の地下水低下は約 1 ~ 7 mm であった。このことは、西暦 2,000 年の年間をとおした降雨による地下水の季節変動より小さいことを示している。また、第 2 , 第 3 帯水層への影響は極めて微少であることがわかった。

(4) その他の要因による平城宮跡周辺の地下水位への影響

新たな道路建設による平城宮跡付近の地下水挙動を検討したが、それは極めて微少であることがわかった。しかし、この地区での地下水の環境が将来も維持されるかどうか懸念されるため、ここでは、他のどのような要因が平城宮跡周辺の地下水位に影響するかを検討した。

対象地区内における大規模工場の揚水量増大による影響

対象地区へ地下水を供給する役割をもつ涵養地での土地利用改変による影響 (農地・山地の宅地化 (奈良盆地の北西部の丘陵地帯))

その結果、表 - 4、図 - 11, 12 に示すように、道路建設による地下水挙動は、 に示した要因より比較的小さいことがわかった。

表 - 4 開発行為による地下水変動の解析条件及び検討結果一覧表

	解析条件	第 1 帯水層の地下水低下
道路建設による影響	深度約 30 ~ 40m に地下道路を設置	1 ~ 7mm
雨量の季節変動による影響	-	400 ~ 1500mm (2000 年の観測結果)
大規模工場による影響	揚水量 32,000 トン / 日に対し、揚水量を 10% 増加	200 ~ 300mm
農地山地の減少による影響	S44 と H12 を比較し農地山地が約 750ha 減少 (雨水の浸透量が年間平均降雨量 1319mm / 年に対し 10% 減少)	20 ~ 40mm



図 - 11 揚水量増大による地下水位低下図



図 - 12 農地・山地減少による地下水位低下図

現在の地下水位は、過去に比べると揚水量の増大や都市開発に伴う地下水涵養源の減少により低下傾向にあると考えられる。

また、今後、更なる揚水量の増大や宅地開発などの開発行為により大きな影響の及ぶことが予想されることから、関係機関を含め地域全体で適切な措置が講じられるべきであると考えられる。

5. 地下水位低下による土中の含水量変化について

地下水位低下時に、土中の含水量がどの程度変化するかを検討を行った。

検討にあたっては、1994年の渇水年の地下水位低下量をもとに、現地で採取した土質（砂質土、粘性土）を用い、土中の含水量変化の測定を行った。

- ・ 検討条件： 地下水位低下量 GL - 1.0m ~ GL - 4.0m (渇水年 1994 年の低下量)
- ・ 検討結果： 表 - 5 のとおり

表 - 5 飽和度の低下量

深 度	砂質土	粘性土
・ GL - 1.0m	・ 約 40%低下	・ 約 5%低下
・ GL - 2.0m	・ 約 35%低下	・ 数% (5%以下) の低下
・ GL - 3.0m	・ 約 10%低下	・ ほとんど低下しない

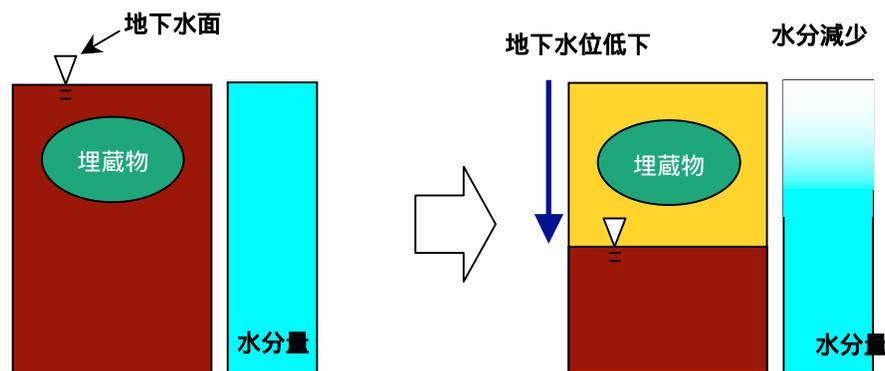


図 - 13 地下水位低下に伴う水分減少のイメージ図

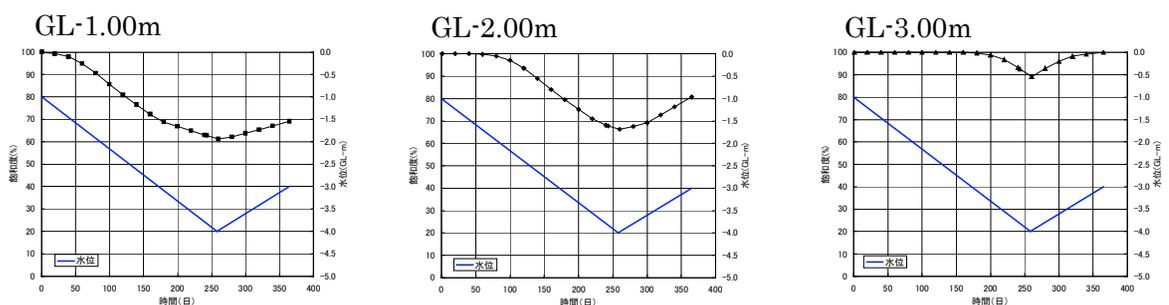


図 - 14 (N02地点現地採取) 砂質土の飽和度変化図

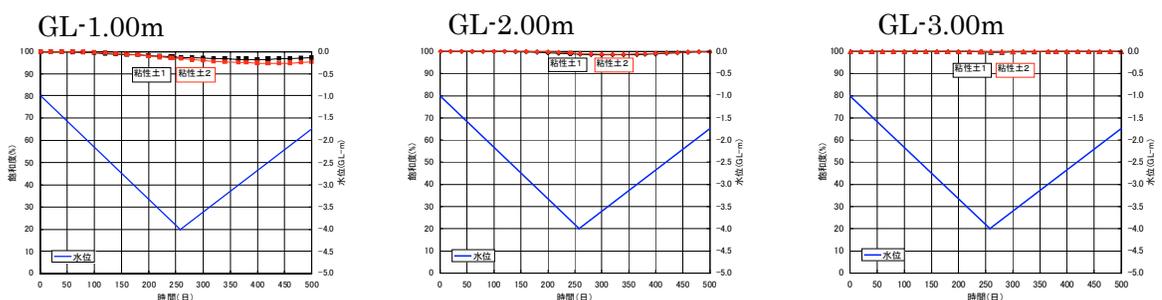


図 - 15 (N011-10地点現地採取) 粘性土の飽和度変化図

6. 化学的变化の検討について

道路建設が及ぼす地下水 pH への影響について検討を行った。

道路建設に伴う流況阻害によって、第 1 帯水層に与える影響は極僅かであり、pH の変化も極めて小さいものと考えられる。

また、地下水変動に伴う水質の変化については、現在の水質と土に含まれる鉱物の種類によって変化するが、これらは現地の土壌条件によって異なるため、今後、ルート構造の詳細が決定した段階で、現地の土の性質を調査したうえで、水質保全対策を検討する必要がある。

7. まとめ

(1) 予測・評価について

(a) シミュレーションの手法を用いて、平城宮跡周辺地域の地下水の現況を精度高く再現し、また、再現した地下水に対して道路建設が及ぼす地下水挙動等について予測を行った。

(b) シミュレーション手法において、地下水の現況を再現するにあたっては、さらに詳細な地下水の揚水条件などをシミュレーションに与えれば個々の井戸の地下水位を再現することは可能であるが、以下の点を考慮して、全て正確に再現するのではなく平均的に合致するように再現した。

詳細な地下水揚水条件の入手が困難なこと

評価にあたっては、季節変動や経年変化などの自然現象におけるトレンドと比べ、絶対値としての変動値（数 mm や数 cm 単位の変動）は意味をなさないこと

(c) 道路建設が及ぼす地下水挙動の評価については、(b) と同等の評価を採用した。

(2) シミュレーションに用いる水理モデルの作成

(a) 既設の地質文献やボーリング資料 4 4 箇所、平城宮跡内及びその周辺でのボーリング資料 1 6 箇所の計 6 0 箇所の調査結果を基に 3 次元グリッドモデルを作成し、モデルの範囲は対象地域である平城宮跡周辺地域から十分な離隔を確保した。

(b) 水理パラメータについては、極力現地で採取したボーリング資料等から試験等で求めた値を採用した。

(3) 道路建設（トンネル）の設定条件

(a) 最新のトンネル施工工法（シールド工法）を採用すれば、トンネル内への地下水の漏水は完全に防止できることから、トンネルの壁面は不透水層としてモデル化した。

(b) トンネル坑口付近については、トンネルの壁面が流況阻害を引き起こす可能性があるため、対策として通水管の設置を考慮した。

(c) 道路構造物（トンネル）は、平面的には代表的な地下水流動環境（4 ケース）を考慮して設置した。また、深度は最も深い位置で地表から 30 ~ 40m の位置とした。

(4) 道路建設が及ぼす地下水挙動(解析結果)

- (a) 道路建設が及ぼす地下水挙動(第1帯水層の変動分としての地下水位低下量)は、数 mm 程度(解析結果: 1~7mm)と予測した。一方、2000年の地下水位の観測結果を見ると季節変動(地下水低下量)は 400~1,500mm であり、結果、漏水しない最新のトンネル施工工法を採用し、トンネル坑口付近では適切な地下水流動保全対策工法(通水管等の設置)を講ずれば、道路建設が及ぼす地下水挙動は、季節変動に比べて比較的小さいことが分かった。
- (b) 地下水位低下のその他の要因として「大規模工場の揚水量増大による影響」「地下水を供給する役割をもつ涵養地での土地利用改変による影響」を検討した結果、道路建設による地下水挙動は、いずれの要因より比較的小さいことがわかった。
- (c) 道路建設が地下水に与える影響は小さいことが判明したが、川からの正確な涵養量や詳細な地下水利用状況が把握できるようなシステムが構築されれば、これらのデータを利用してさらに精度の良い解析を行うことができる。
- (d) また、道路建設に伴う水質の変化については、ルート構造の詳細が決定した段階で、現地の土の性質を調査したうえで、水質保全対策を検討する必要がある。

以上

平成15年 9月 9日

地下水検討委員会 委員長 大西 有三