

大和北道路
地下水モニタリングシステムとリスク低減計画

平成30年2月

大和北道路 地下水モニタリング検討委員会

目 次

<u>1 計画の目的</u>		P 1
<u>2 検討の項目</u>		P 1
1) モニタリング内容		
2) 管理基準の考え方		
3) 異常時の地下水保全の考え方		
<u>3 地下水のモニタリング項目</u>		P 1
1) 地下水状況把握のためのモニタリング項目		
2) 水文・地下水環境に関する基本データ		
<u>4 モニタリング手法（地下水位観測）について</u>		P 1
1) モニタリングエリア・位置		
2) モニタリング手法・頻度		
(1) モニタリング手法		
(2) モニタリング頻度		
(3) データ収集の方法		
<u>5 管理基準の考え方について</u>		P 2
1) 第1帯水層の地下水位変動の傾向		
2) 管理基準の基本的な考え方		
3) 管理方法		
4) 管理箇所		
5) 管理体制		
<u>6 モニタリング期間について</u>		P 2
<u>7 異常時の地下水保全の考え方について</u>		P 2
1) 文化財保全を念頭に置いた地下水保全		
(1) 基本的な地下水保全策		
(2) 異常時の地下水保全策案		
<u>8 地下水位保全対策のフロー</u>		P 3
<u>9 今後の検討事項</u>		P 3

大和北道路 地下水モニタリングシステムとリスク低減計画

1 計画の目的

- 道路建設による地下水位変動は季節変動に比べ小さいとされているが、さらに文化財の保全の観点から保存のメカニズムと関連性が高いとされている地下水の状況を把握し、適切なモニタリング方針を定める。

2 検討の項目

- ① モニタリング内容
 - モニタリング項目及び、各項目についての観測範囲、位置、手法、期間
- ② 管理基準の考え方
 - 道路建設による地下水の異常と判断する基準の考え方
- ③ 異常時の地下水保全の考え方
 - 文化財の保全等の観点から、地下水の保全に万全を期すため、施工中に地下水の異常が生じた時にを行う対策の考え方

3 地下水のモニタリング項目

- 1) 地下水状況把握のためのモニタリング項目
 - 埋蔵文化財保全の観点から、計測する必要があると考えられる項目
 - 地下水位 等
- 2) 水文・地下水環境に関する基本データ 参考－1
 - 水文・地下水環境に関連する項目
 - 土地利用状況 ■ 地下水利用状況 ■ 降雨量の状況 等

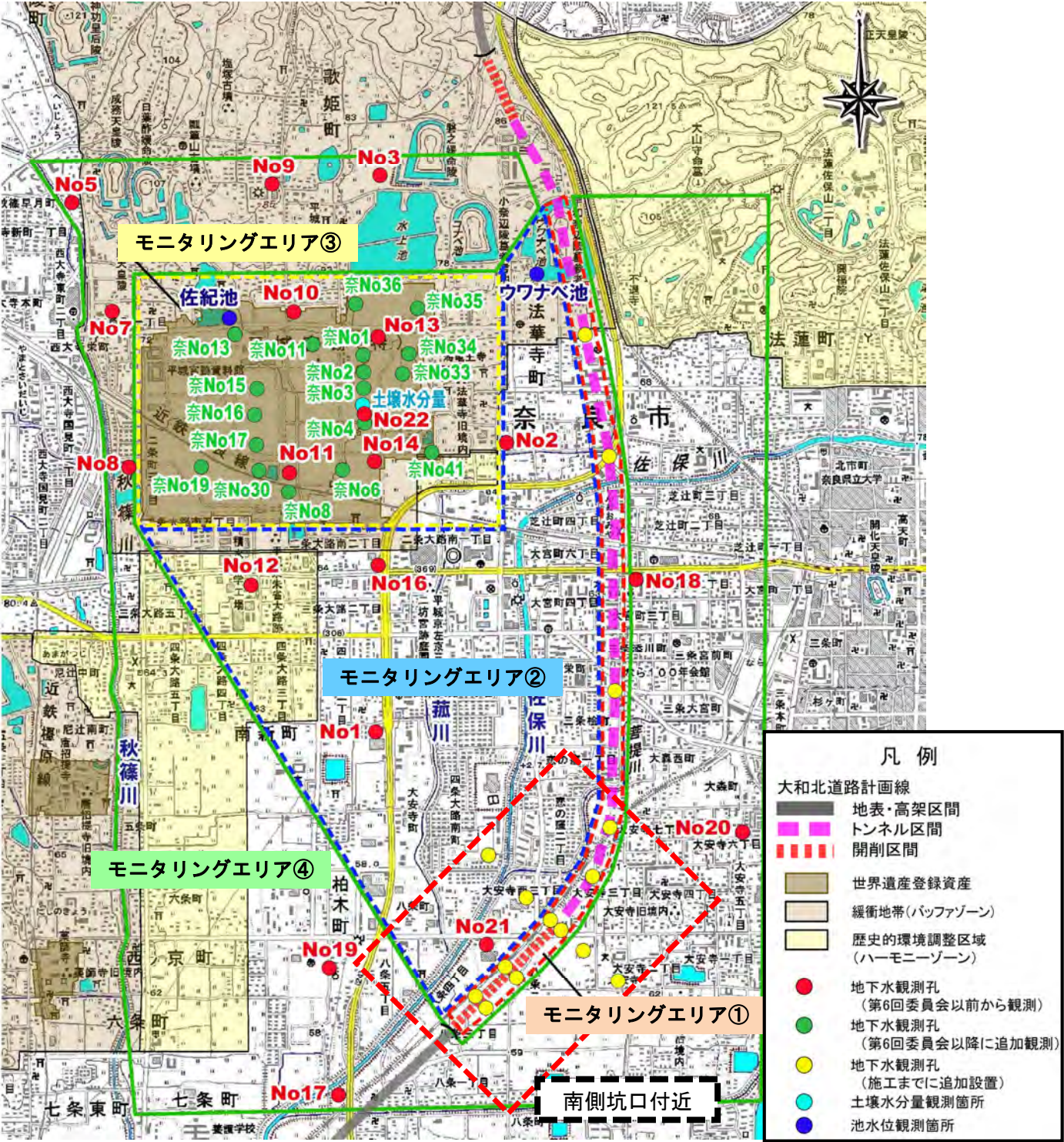
4 モニタリング手法（地下水位観測）について

- 1) モニタリングエリア・位置
 - モニタリングエリアは、道路の建設による異常を早期発見すること、また、異常があった場合でも、保全対象区域である平城宮跡へ影響を及ぼさないよう、伝播状況も確認しながら、異常時対策を進めることを目的として設定する。

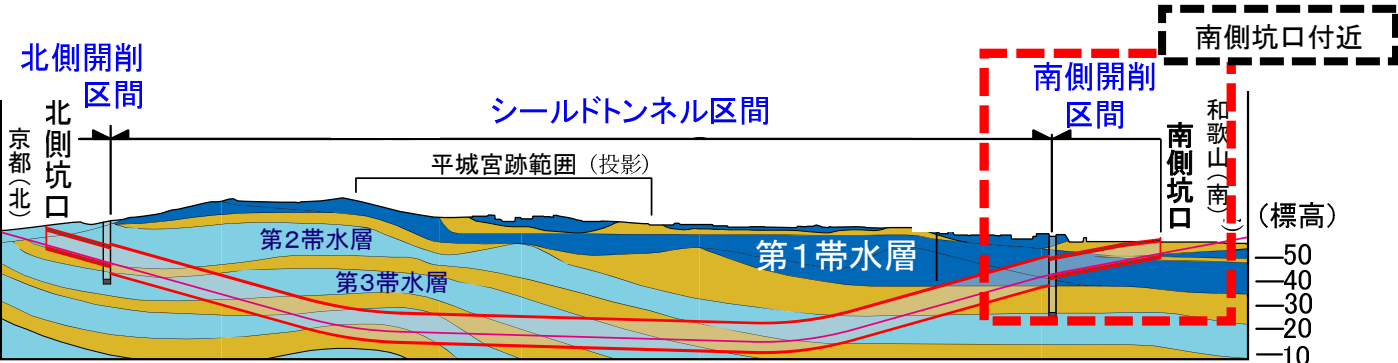
表－1 モニタリングエリアの考え方

モニタリングエリア①	工事区間近傍において工事による地下水への影響をモニタリングするエリア（南側坑口付近含む）（図－1 赤枠）
モニタリングエリア②	工事による地下水への影響が工事区間近傍から平城宮跡に向かって及んでいないかモニタリングするエリア（図－1 青枠）
モニタリングエリア③	工事による地下水への影響が平城宮跡内に及んでいないかモニタリングするエリア（図－1 黄枠）
モニタリングエリア④	①～③のエリア以外で、工事による影響が及んでいないかモニタリングするエリア（図－1 緑枠）

- 観測孔の設置間隔は、約500mを基本とする。
 - モニタリングエリア①（トンネル上） → 既設観測孔を利用、3孔追加
 - モニタリングエリア②、③、④ → 既設観測孔を利用
- 第1帯水層を構造物が通過する箇所は、観測孔をさらに密（約250m間隔等）に設置する。
 - モニタリングエリア①（南側坑口付近） → 既設観測孔を利用、12孔追加



図－1 道路計画、地下水位観測位置、モニタリングエリア①～④



注) 北側開削区間は、第1帯水層を通過しないため対象外とした。また、トンネル部も含め現在観測している第2・3帯水層の水位は継続的に観測する。

図－2 道路構造と地下水帯水層の関係

2) モニタリング手法・頻度

(1) モニタリング手法

- ・自記水位計により連続的に観測する。

(2) モニタリング頻度

- ・工事中は1時間ピッチ、それ以外は3時間ピッチで測定する。

(3) データ収集の方法

- ・モニタリングデータは毎月記録データを回収し、渇水期や工事進捗段階に応じて状況を確認する。
- ・管理基準とする観測孔のデータは、インターネットなどを利用した転送システムにより、収録データを常時事務所へ転送する。

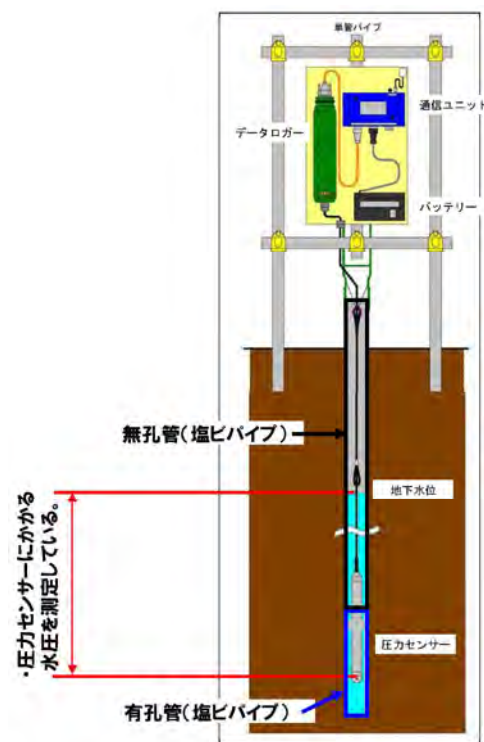


図-3 地下水位データ転送システム(案)

5 管理基準の考え方について

- ・道路建設が地下水変動に及ぼす影響を把握するため、地下水位の変動に着目する。

1) 第1帯水層の地下水位変動の傾向 参考-2

- ・管理対象となる第1帯水層の地下水位は、概ね横ばいもしくは上昇傾向（平成12年以降）

2) 管理基準の基本的な考え方 参考-3

- ・第1帯水層の地下水位について、以下の考え方で管理する。

A：工事前に測定された最低水位

B：工事前の降雨時・無降雨時の水位変動とは異なった変動

3) 管理方法

- ・管理対象の観測孔についてはリアルタイムにモニタリングし、その他の観測孔は1ヶ月毎にデータの収集整理を行う。

4) 管理箇所

- ・既存の観測孔に加え、今後トンネル付近に約500mピッチで設置する観測孔、第1帯水層を通過する南側坑口付近に約250mピッチで設置する観測孔において地下水位を観測する。
- ・上記の内、管理する観測孔は以下のエリアから選定する。

モニタリングエリア①（道路建設が第1帯水層へ影響すると考えられる南側坑口付近）→観測孔NO. 2 1

モニタリングエリア②（南側坑口付近から平城宮跡までのエリア）→観測孔NO. 1、NO. 2、NO. 1 6

モニタリングエリア③（平城宮跡内）→観測孔NO. 1 1、NO. 1 4

※ 管理箇所以外の観測孔についても、モニタリングは継続して実施し、管理箇所では異常が懸念される場合は、それらの観測結果を確認することで原因や影響範囲を特定する。

5) 管理体制 参考-4

- ・管理箇所の観測データと管理基準値を勘案し、異常が懸念される場合は委員会に報告する。
- ・エリア全域の観測結果等を含めて原因を把握する。
- ・工事影響でなければ引き続き地下水位変動を監視し、工事の影響が懸念される場合は追加または緊急対策を実施する。

6 モニタリング期間について

- ・工事前、工事中は各観測孔において継続的に地下水位を観測する。工事完了後は管理箇所における地下水位の収束・安定状況を確認し、地下水モニタリング検討委員会の助言を受けてモニタリングの終了時期を検討する。

■モニタリングエリア①（南側坑口付近含む）

- 工事完了後1年以上は地下水位を観測し、収束・安定状況を確認する。

■モニタリングエリア②、④

- エリア①の状況を踏まえ、地下水位の収束・安定状況を確認する。

■モニタリングエリア③（平城宮跡内）

- 工事完了後3年以上は地下水位を観測し、安定状況を確認する。

現地涵養施設は、エリア①・②・④の地下水位の収束・安定状況を確認した後に撤去の検討を行う。

7 異常時の地下水保全の考え方について

- ・大和北道路建設による地下水への影響は、基本的な保全策により小さいと予測される。しかし、埋蔵文化財保全に万全を期すため、万が一の異常時も念頭においた対策を講じる。

1) 文化財保全を念頭に置いた地下水保全

(1) 基本的な地下水保全策

- ・シールド工法を採用し、開削区間は地下水流動保全工法を実施する。

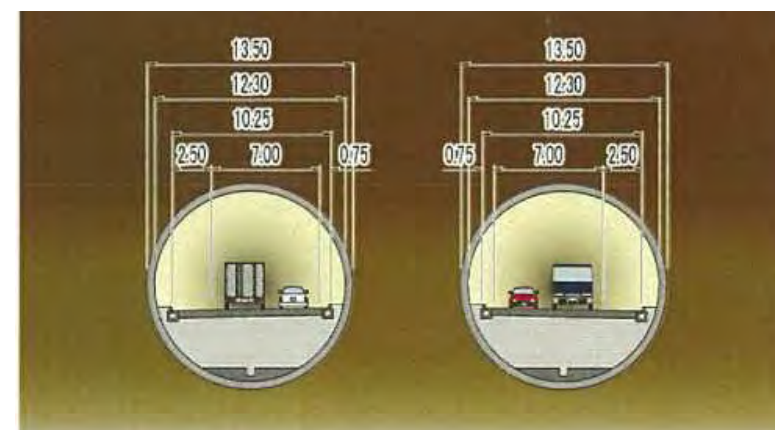
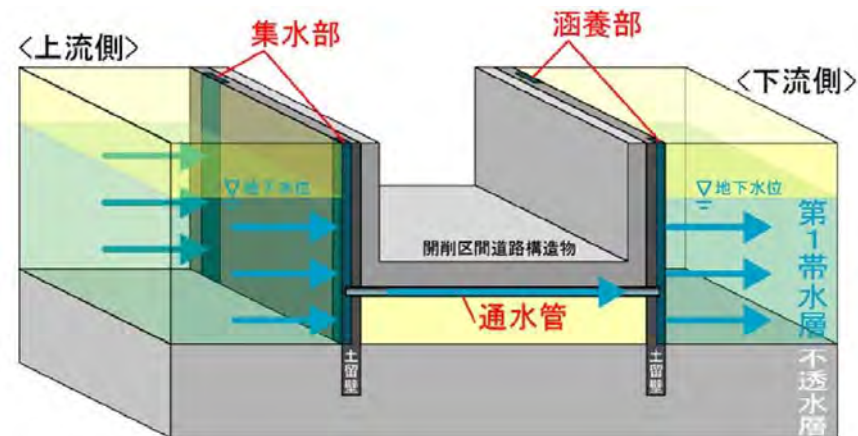
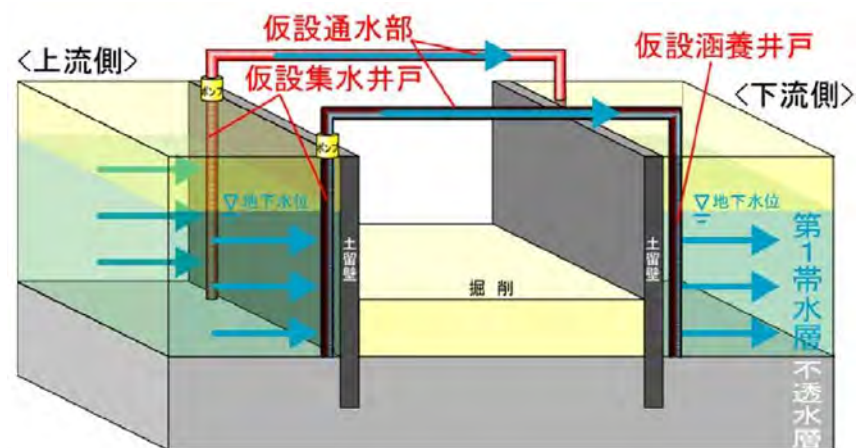


図-4 シールド工法



【地下水流動保全工法イメージ [完成時]】



【地下水流動保全工法イメージ [施工時]】

図－5 地下水流動保全工法

(2) 異常時の地下水保全策案

① 工事着手前に平城宮跡内の地下水を涵養

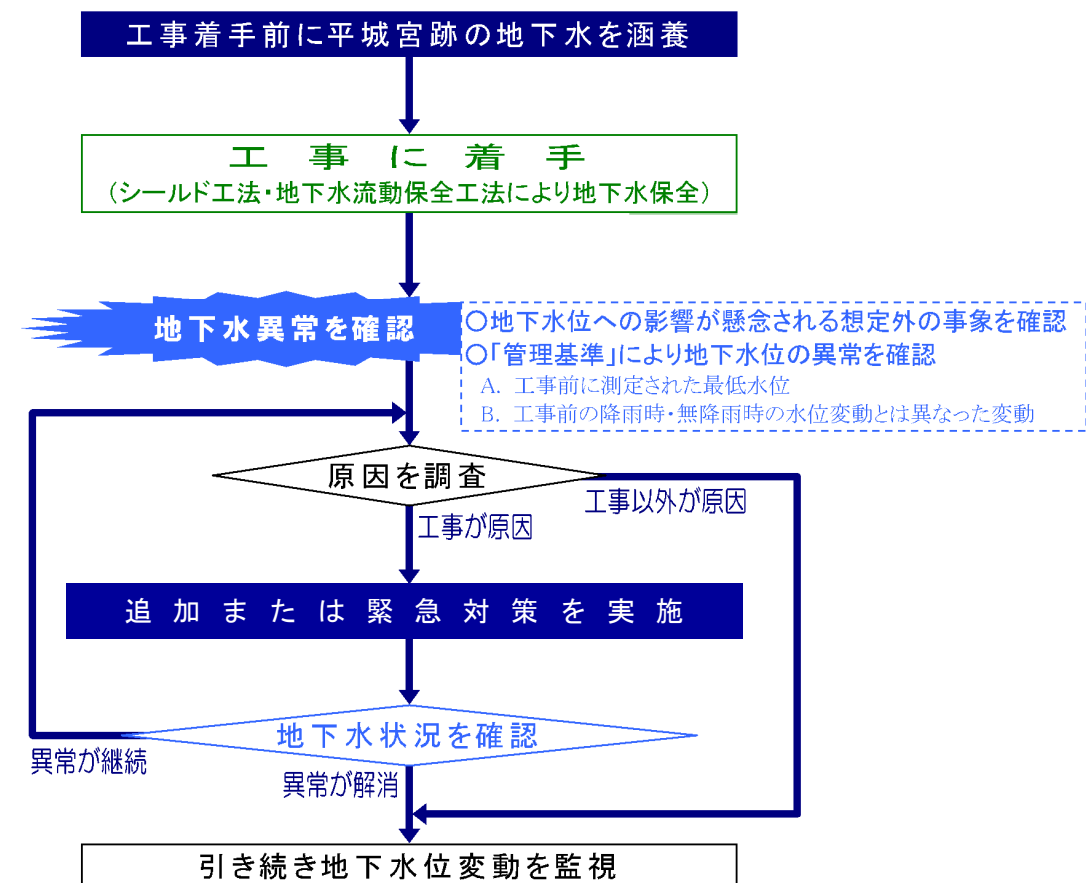
参考－5

- ・平城宮跡内に現存する池・水路等を利用した涵養施設等を構築する。
- ・構築にあたっては、平城宮跡内の既設ため池等を活用した現地検証並びに効果検証を実施する。

② 地下水異常時には追加または緊急対策を実施

- ・原因箇所において地盤改良等による漏水（止水）対策を実施する。
- ・地下水保全施設の点検、修復等による地下水流動の回復措置を講じる。
- ・涵養施設の機能向上（水位上昇）を図る。

8 地下水位保全対策のフロー



図－6 地下水保全対策フロー図

9 今後の検討事項

- ・下記の項目について更に検討等を進め、工事開始までに「地下水モニタリングシステムとリスク低減計画」の精度を高めるものとする。

① 地下水のモニタリングについて

- 事業化後は速やかに追加観測孔を設置し、既設の観測孔を含め地下水位データの継続観測を行うと共に、モニタリング手法に基づき観測・監視体制を整備する。

② モニタリングエリアの管理箇所について

- 追加観測孔の計測データを踏まえ、工事開始までに管理箇所の再検証を行う。

③ 管理基準値の設定について

- 管理箇所における管理基準値は、追加観測孔を含め工事開始までの観測データを基に設定を行う。

④ 異常時の地下水保全（平城宮跡内の地下水涵養）について

- 平城宮跡内において現地検証試験を実施し、効果の検証を行う。
その結果を踏まえ効果的な現地涵養施設（内容、規模など）の検討を行い、工事着手前までに設置する。

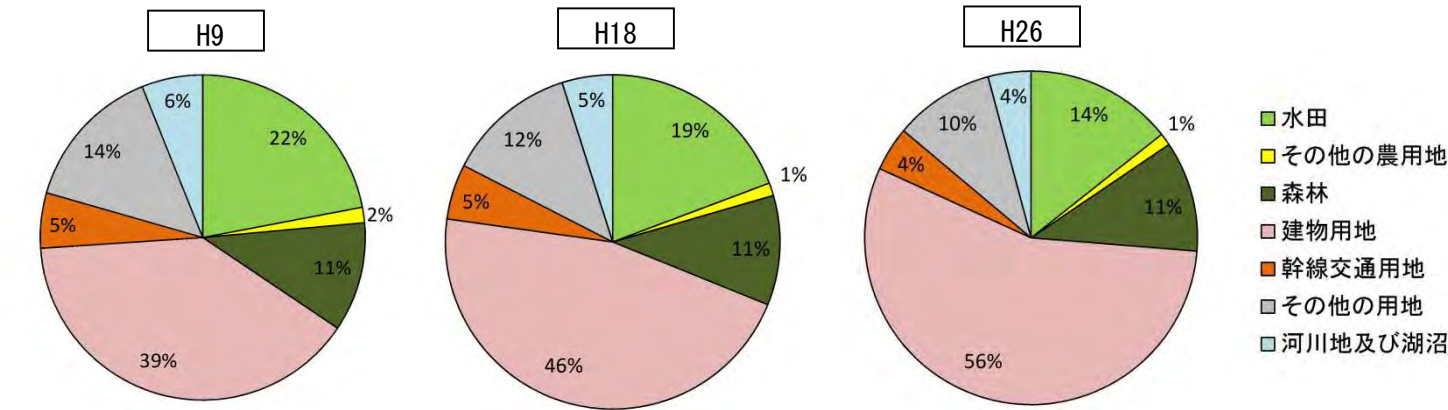
⑤ シミュレーション精度の向上

- 追加観測孔のボーリングにおいては、透水係数等の土質性状について確認し、シミュレーション精度の信頼性向上を図る。

■水文・地下水環境に関する基礎データについて

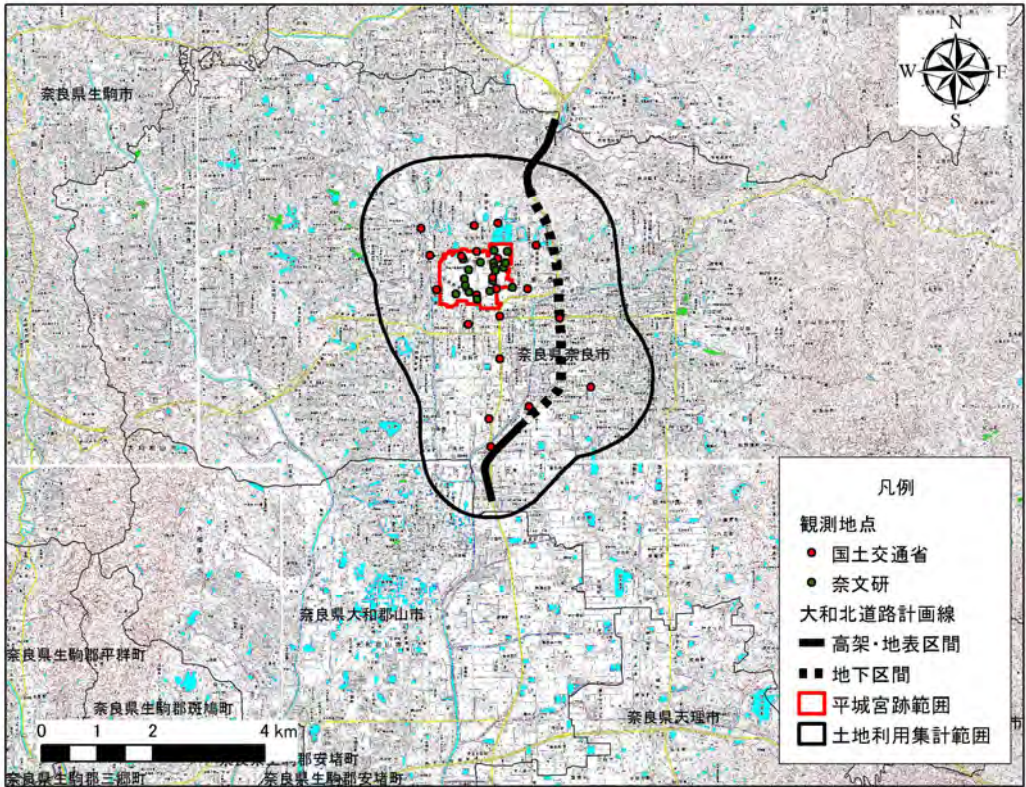
1. 土地利用状況

- ・最近（平成26年）の調査地周辺（観測孔が分布する範囲）の土地利用形態は以下のとおりである。
→建物用地：56％、 水田14％、 森林11％、 その他の用地（平城宮跡等）：19％
- ・平成9年から平成26年の変化を見ると、水田等の割合が減少し、建物用地の割合が増加する傾向を示している。
- ・周辺土地利用はやや変化しているものの、平城宮跡内の地下水位は概ね横ばいの傾向を示している。

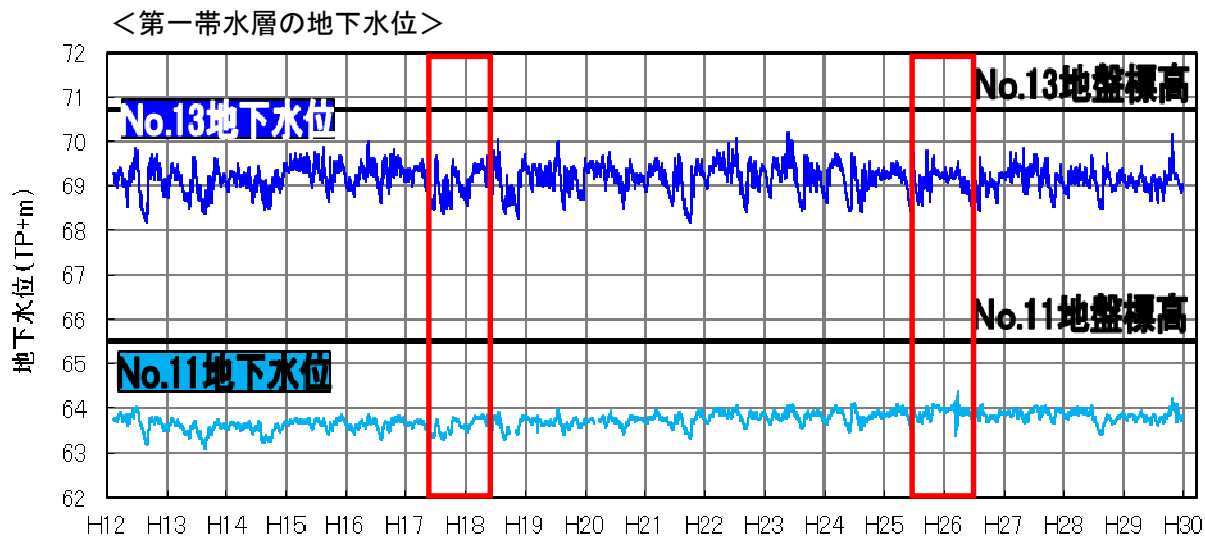


図－1 調査地周辺の土地利用の変化

※出典：国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ（国土交通省・国土情報課HP）



図－3 調査地周辺の土地利用集計範囲

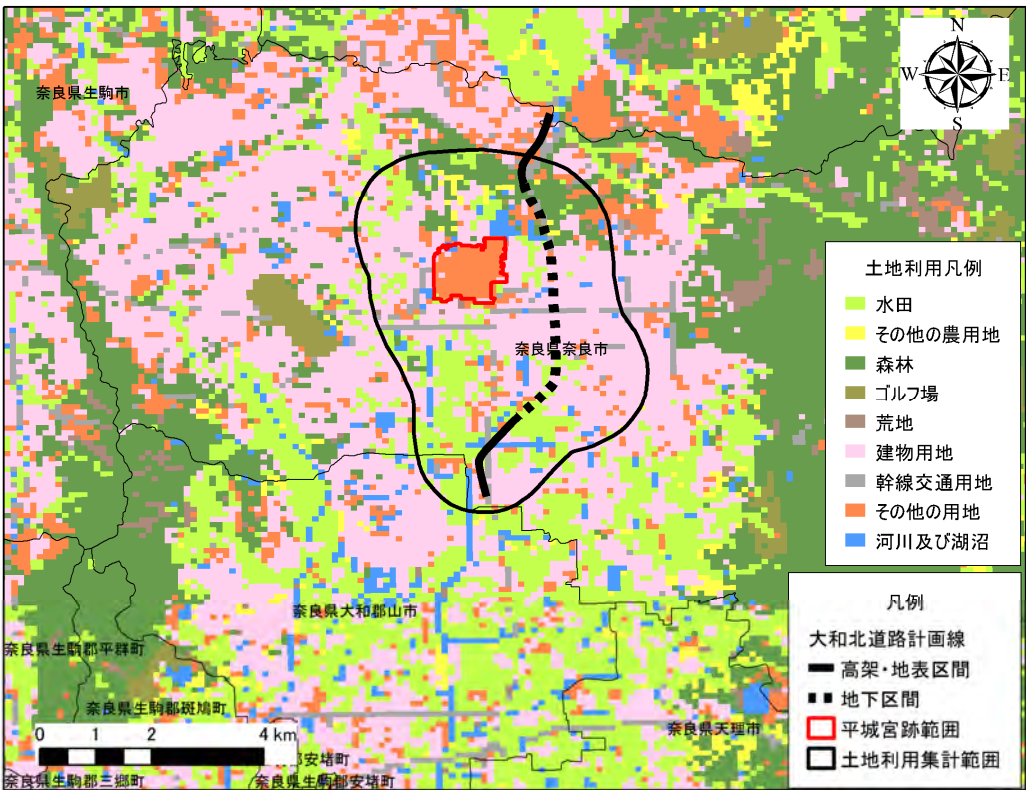


図－2 平城宮跡内の地下水位の変化

※No.11、No.13 は、平城宮跡内の北と南に位置し、第1帯水層の地下水位を観測している水位観測孔である。また、地下水位は周辺水位観測孔と比較すると GL-1.5m 程度と低くなっている。

※出典：国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ（国土交通省・国土情報課 HP）

全国の土地利用の状況について、3次元メッシュ 1/10 細分区画（100m メッシュ）毎に、各利用区分（田、畑、果樹園、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、湖沼、河川等）を整備したものである。利用区分は整備年度により異なる。

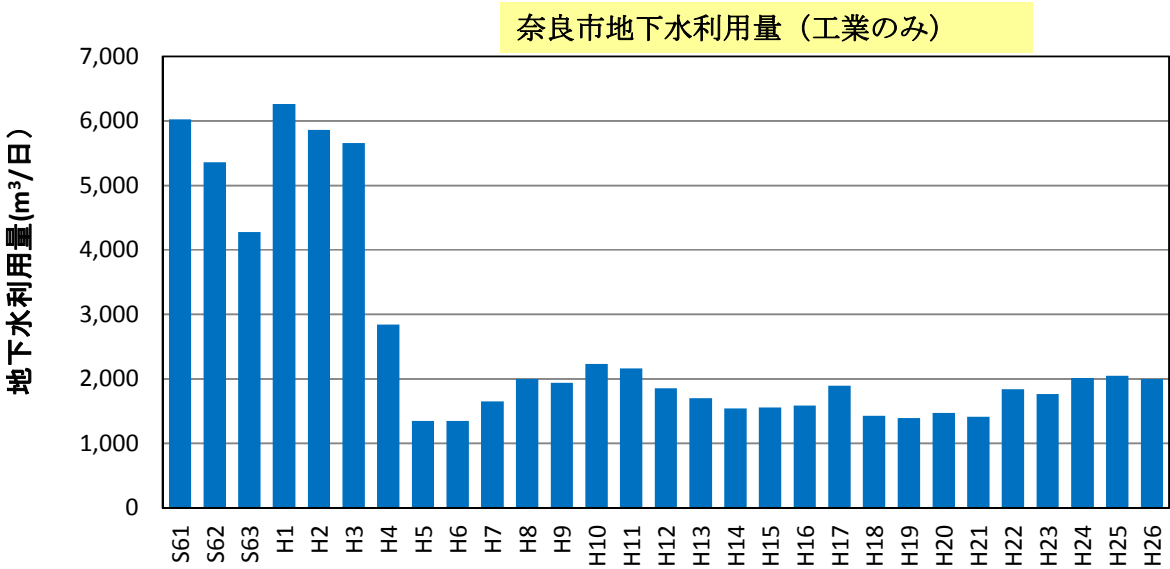
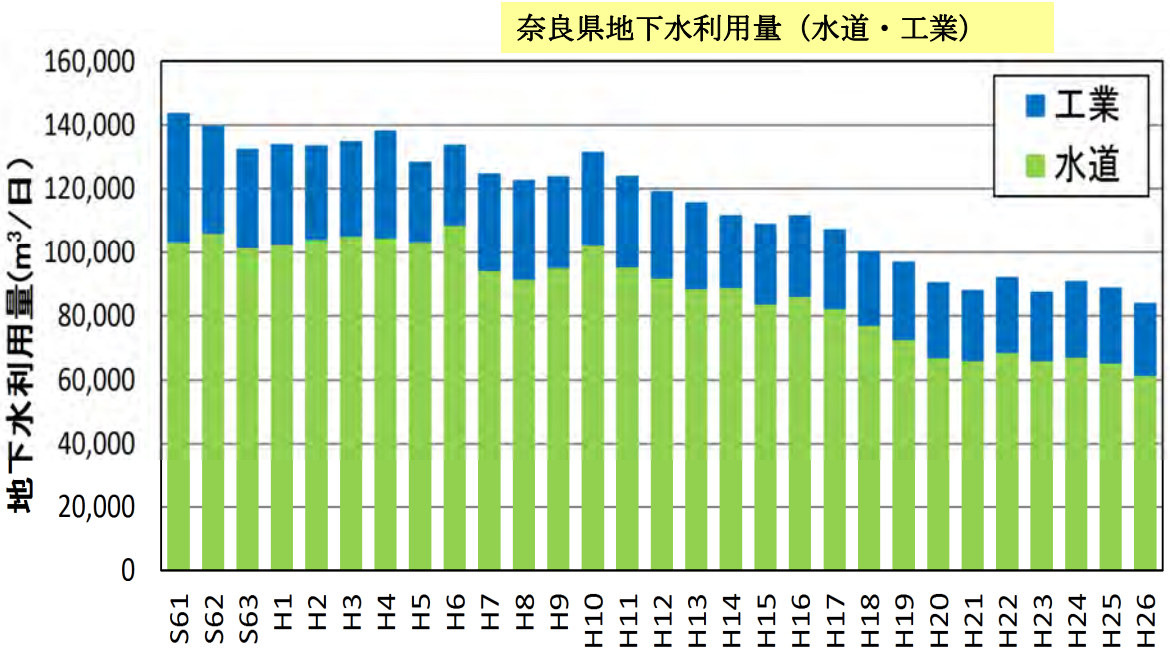


※出典：国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ（国土交通省・国土情報課HP）

図－4 平成18年土地利用状況

2. 地下水利用状況

- ・奈良県では各種用途の井戸が多数分布し、地下水の利用が進んでいる。統計資料の整備されている水道・工業の利用量は経年的に減少傾向を示している。

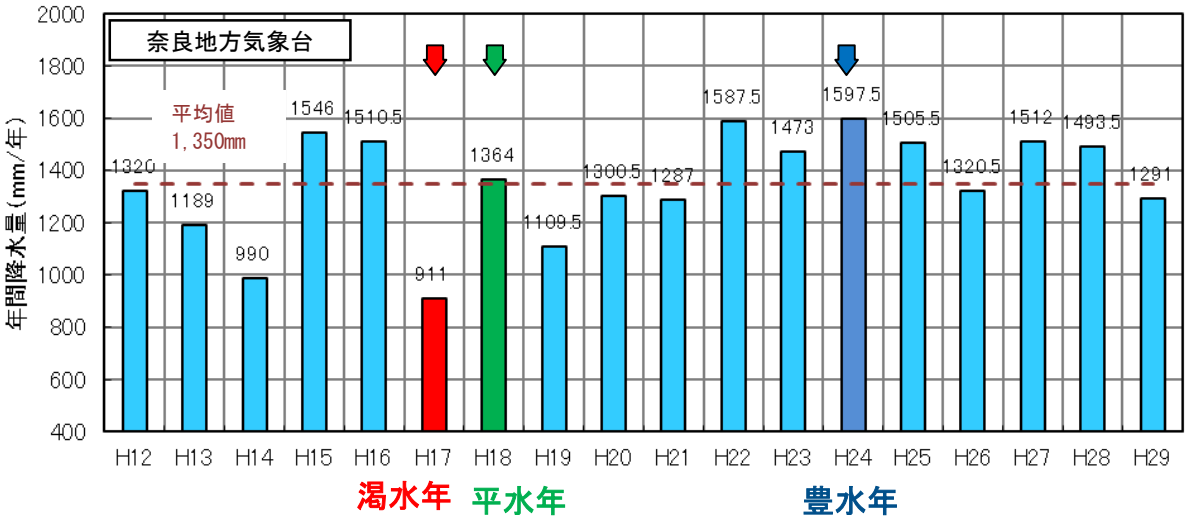


図－5 調査地周辺の地下水利用量の推移

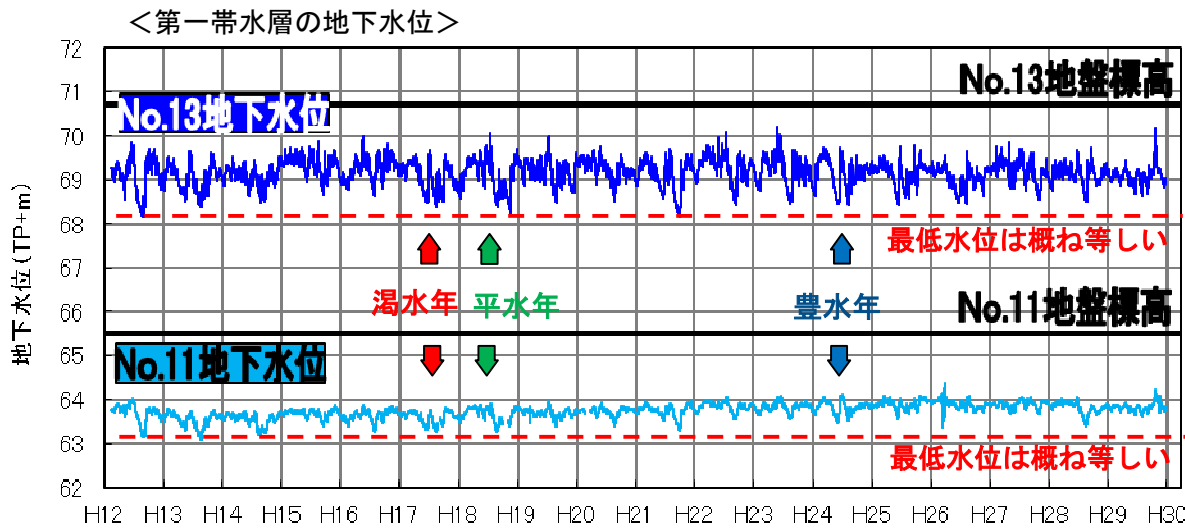
※ 出典：工業統計調査結果（奈良県）、奈良県の水道概要（奈良県）

3. 降雨量の状況（渇水時の状況）

- ・地下水位観測期間（平成12年～平成29年）の年間降水量の推移は以下のとおりである。
 - 渇水年（平成17年）：911mm、 平水年（平成18年）：1,364mm、
 - 豊水年（平成24年）：1,597.5mm
- ・地下水位の変動及び最低水位の状況に顕著な差異は見られない。



図－6 年間降水量の推移



図－7 地下水位変動の対比（観測孔No.11・13 平城宮跡内）

■ 第1～第3帯水層の地下水位変動の傾向

1) 第1帯水層

- ・地下水位の経年傾向は、概ね横ばいもしくは上昇傾向であり、一定レベルで安定的な水位を示している。
※No.8 は、建物改築工事中に一時的な水位低下が見られた。

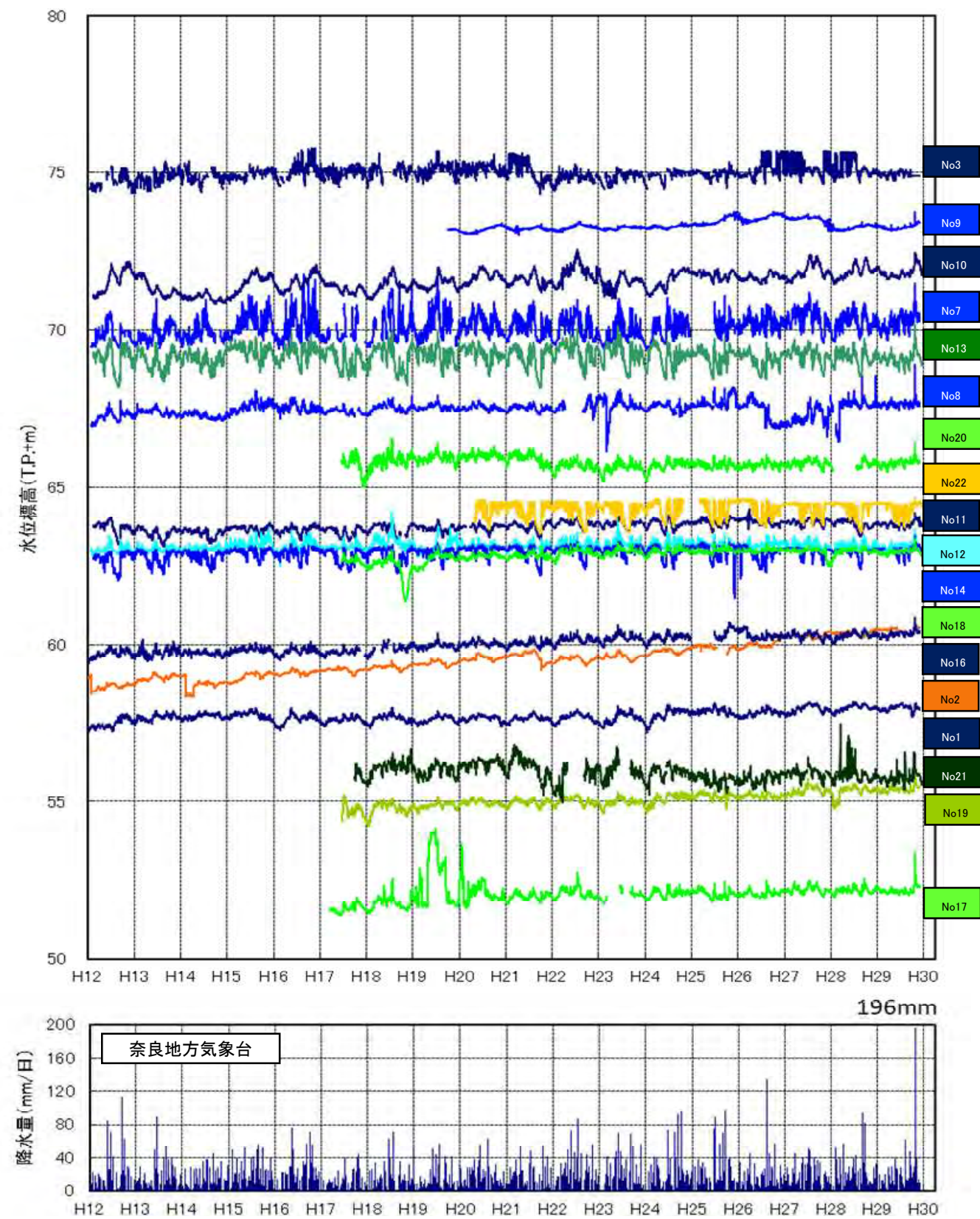


図-8 地下水位変動観測結果（第1帯水層）

2) 第2帯水層

- ・地下水位の経年傾向は、多くの観測孔で上昇傾向を示している。

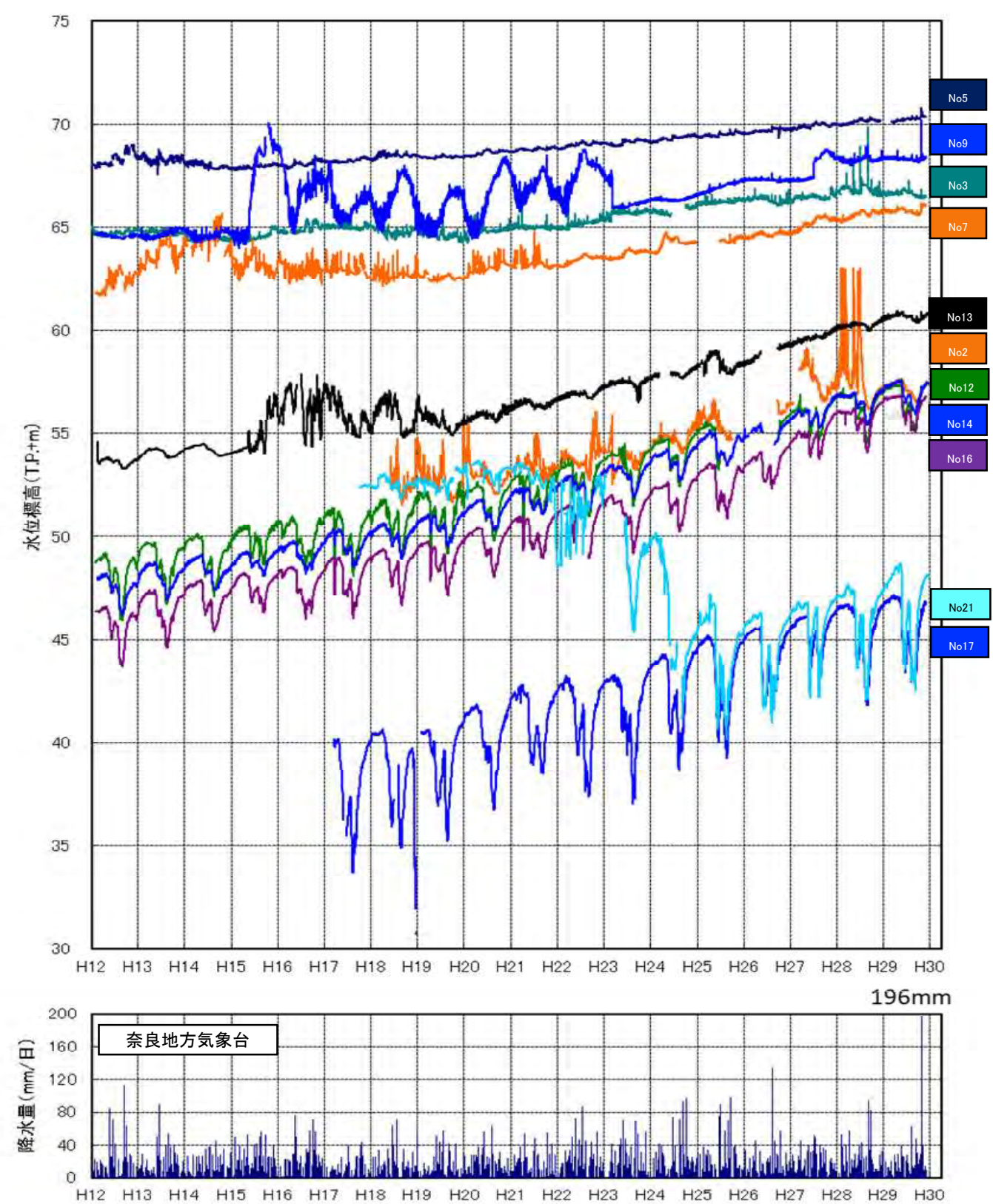
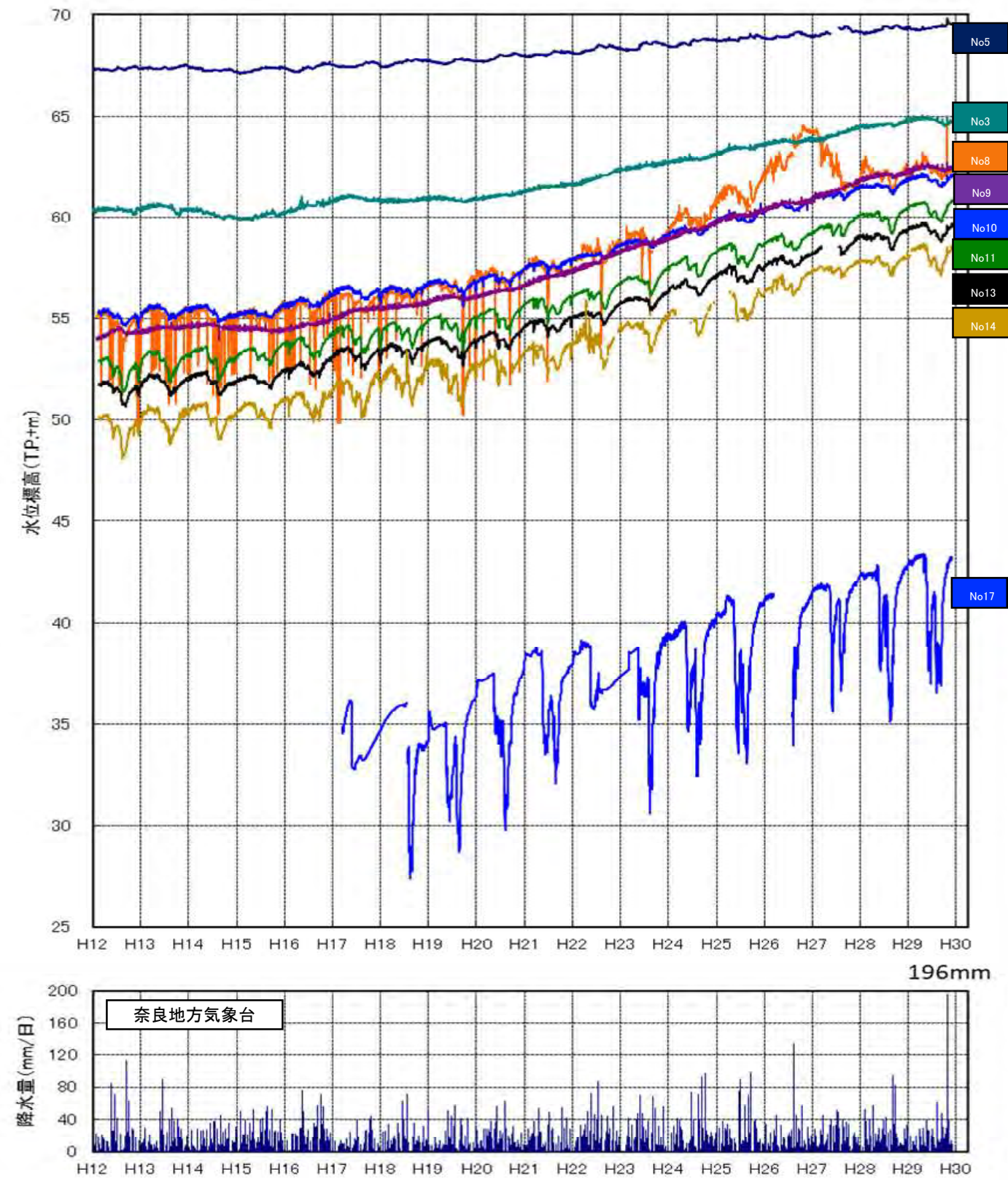


図-9 地下水位変動観測結果（第2帯水層）

3) 第3帯水層

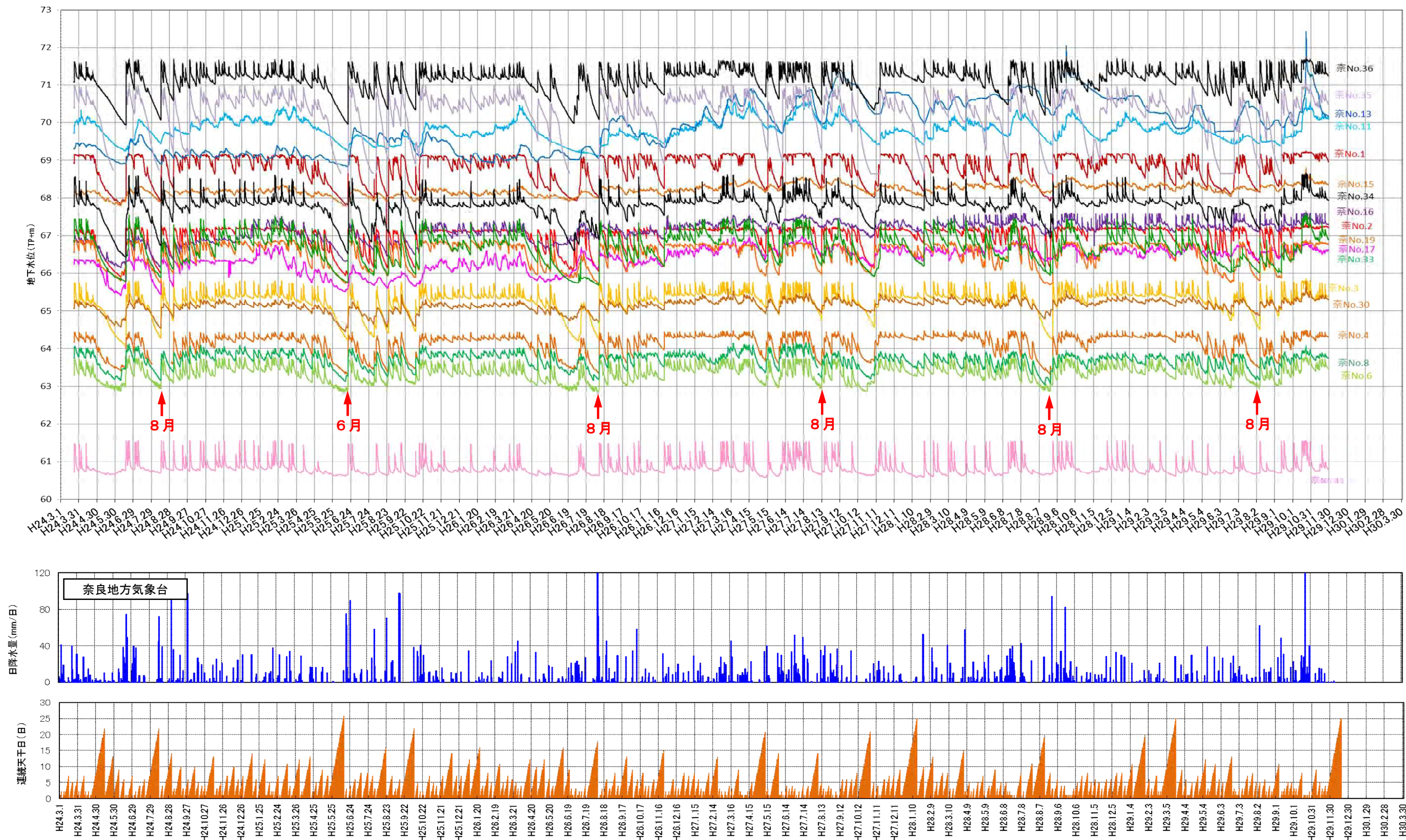
- ・地下水位の経年傾向は、多くの観測孔で上昇傾向を示している。



図－10 地下水位変動観測結果（第3帯水層）

4) 第1帯水層（平城宮跡内）

- ・奈良文化財研究所の観測孔について、平成24年3月から定期観測を開始している。
- ・地下水位の経年傾向は概ね横ばい傾向であり、一定レベルで安定的な水位を示している。
- ・短期的な降雨に応答した水位変動が確認され、低水・渇水状況における年間の最低水位（図中：↑）は、概ね6月上旬と8月上旬に記録されている。



図－11 平城宮跡内の地下水位変動観測結果（第1帯水層）

■管理基準の基本的な考え方 【管理対象： 第1帯水層の地下水位】

1) 工事前に測定された最低水位【管理基準A】

□管理基準Aの考え方

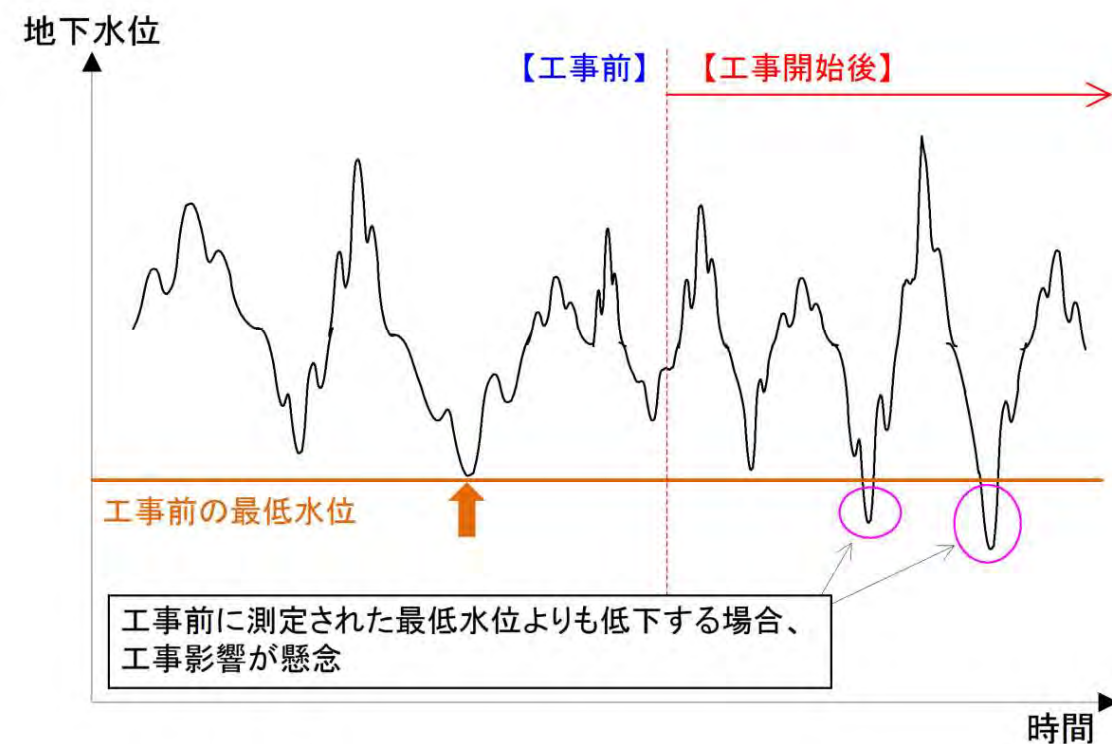
- ・工事前に測定された最低水位

□管理基準値Aの設定方法

- ・全観測期間の地下水位観測結果より、最低水位を抽出して管理基準値に設定

□異常の判断方法

- ・工事開始後の地下水位が管理基準値（最低水位）より低下する場合は工事による影響が懸念される



図－12 管理基準Aの基本的な考え方

2) 工事前の降雨時・無降雨時の水位変動とは異なった変動【管理基準B】

□管理基準Bの考え方

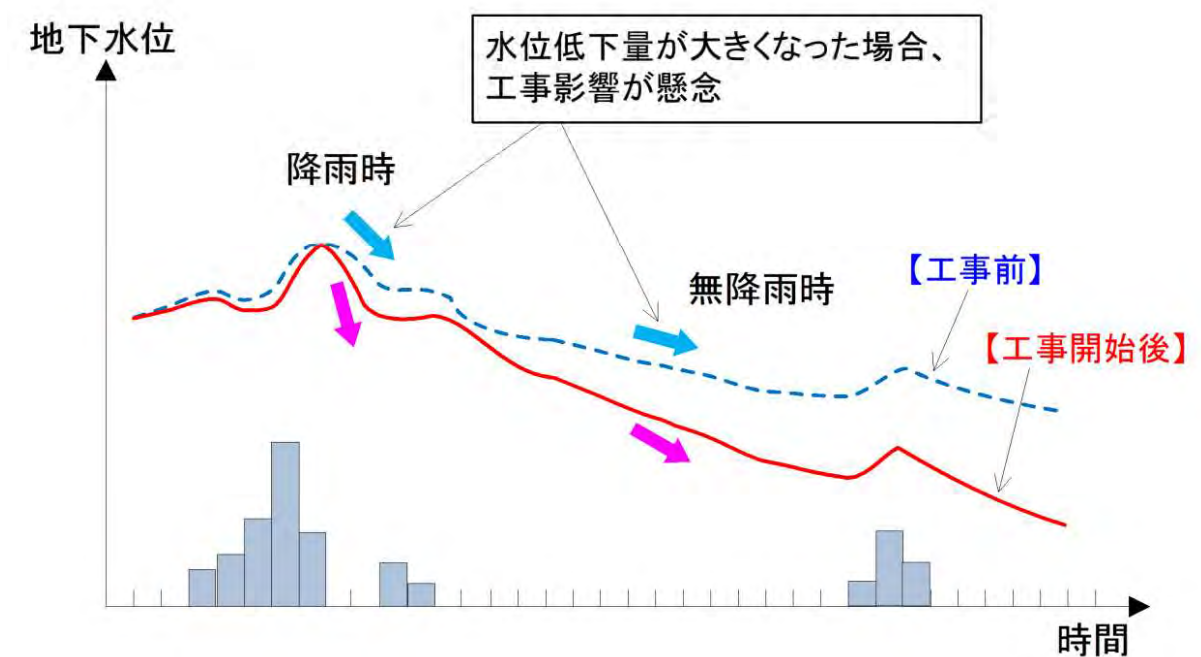
- ・工事前の測定された最大水位低下量

□管理基準値Bの設定方法

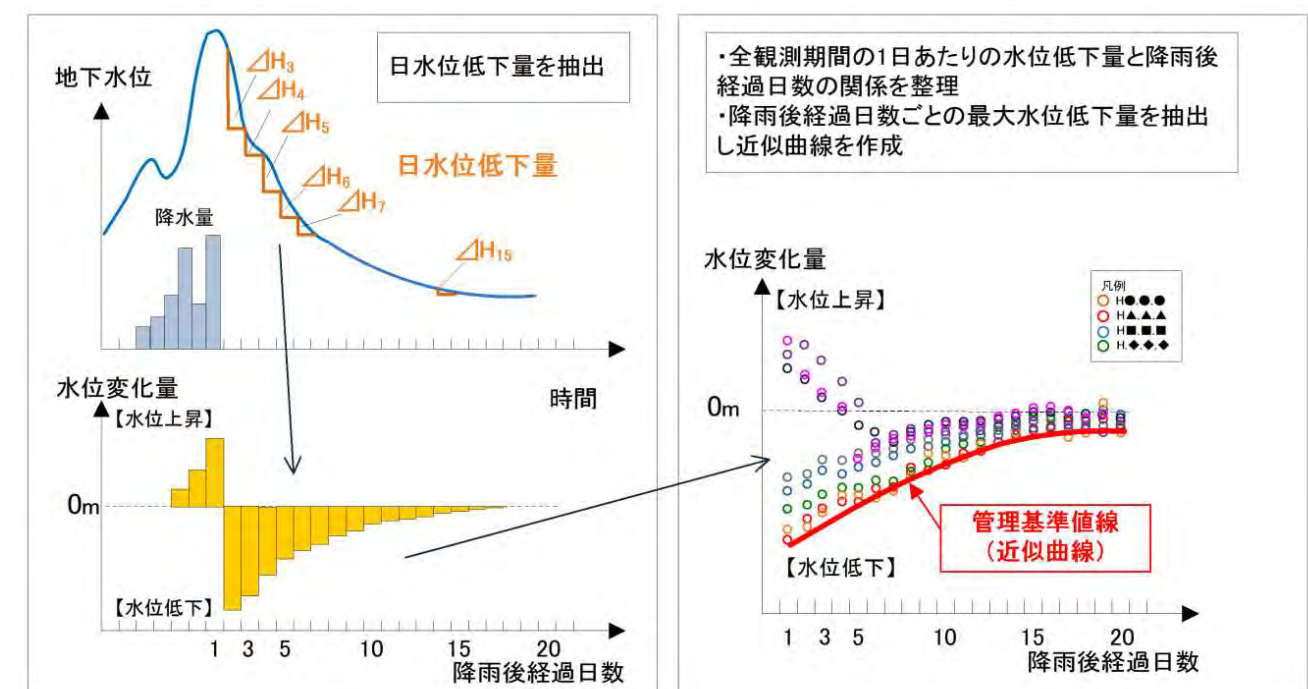
- ・降雨による水位上昇後、1日あたりの水位低下量と降雨後の経過日数の関係を整理
- ・降雨後の経過日数ごとの最大水位低下量を抽出して近似曲線を作成
- ・管理基準線から降雨後経過日数（連続干天日数[5mm/日未満]）ごとに管理基準値を設定

□異常の判断方法

- ・工事開始後の1日あたりの水位低下量が管理基準値を3日以上連続で超過する場合は工事影響が懸念される



図－13 管理基準Bの基本的な考え方



図－14 降雨時・無降雨時の水位変動の管理基準の設定方法

■管理基準値の仮設定（第1帯水層の水位）

1. モニタリングエリア①（南側坑口付近：観測孔No.21）

- ・工事前最低水位TP+54.97m（地盤高TP+58.86m）
（H17～29観測データ）



図-15 管理基準値Aの仮設定（観測孔No.21）

2. モニタリングエリア②（南側坑口付近～平城宮跡：観測孔No.1、No.2、No.16）

- ・工事前最低水位TP+57.19m（地盤高TP+59.48m）
（H12～29観測データ）

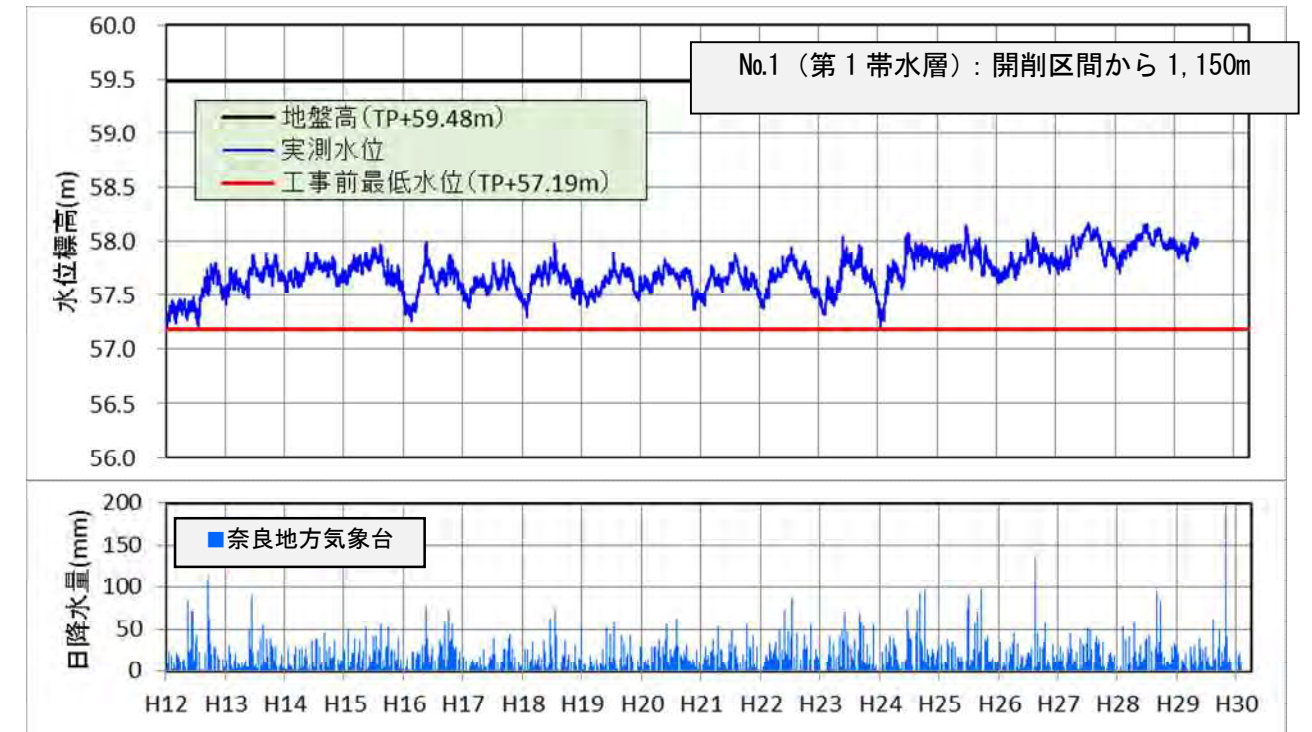


図-17 管理基準値Aの仮設定（観測孔No.1）

- ・最大低下量の近似曲線（H17～29観測データ）

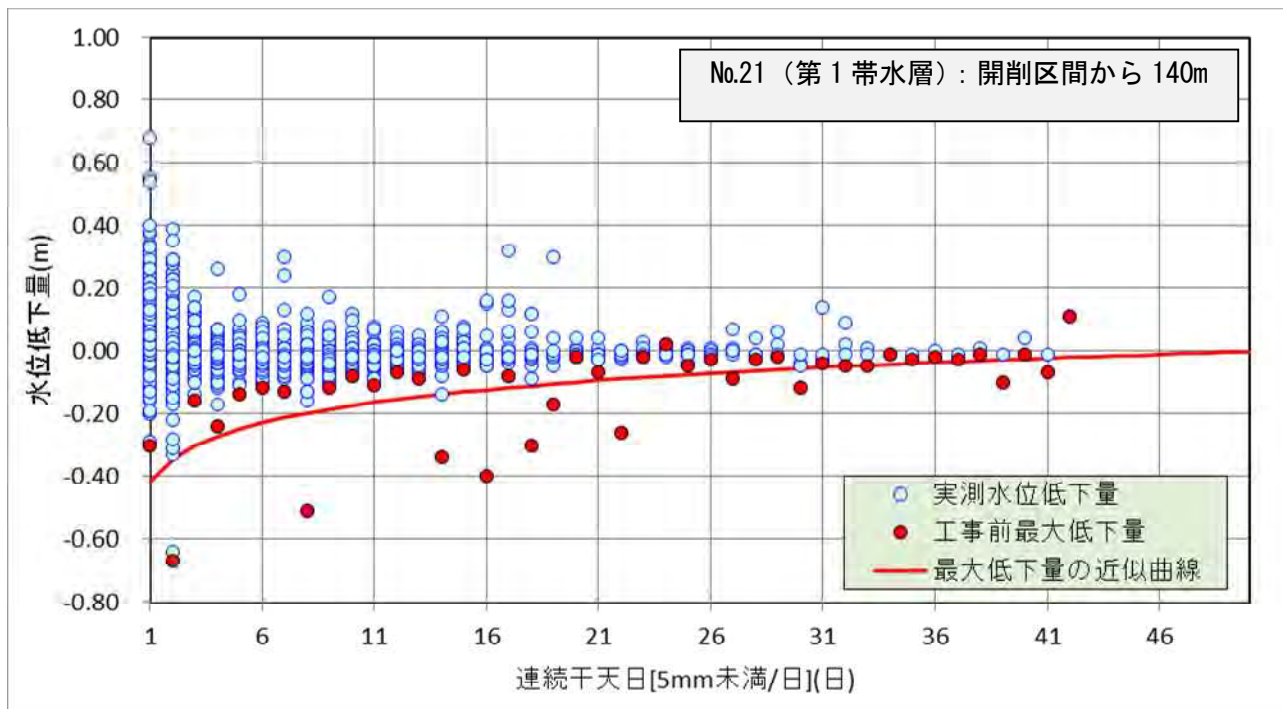


図-16 管理基準値Bの仮設定（観測孔No.21）

- ・最大低下量の近似曲線（H12～29観測データ）

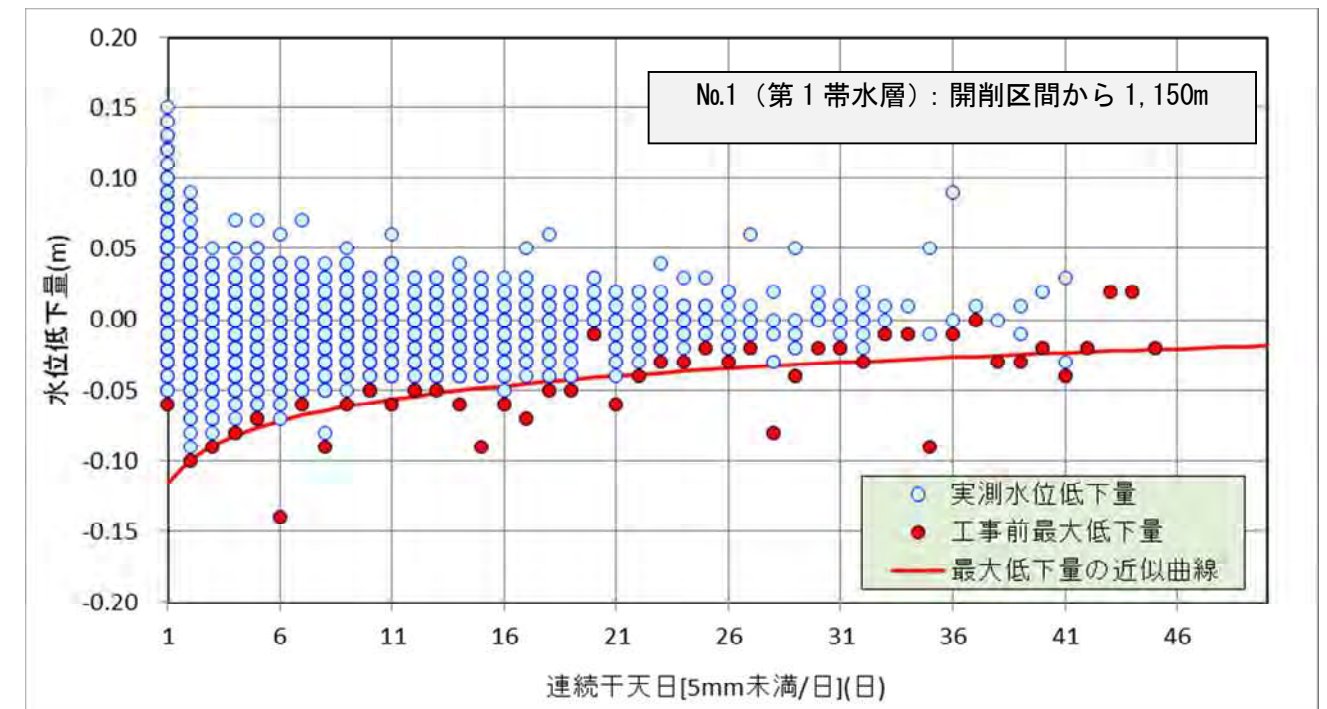


図-18 管理基準値Bの仮設定（観測孔No.1）

- ・工事前最低水位TP+58.32m（地盤高TP+63.16m）
（H12～29観測データ）

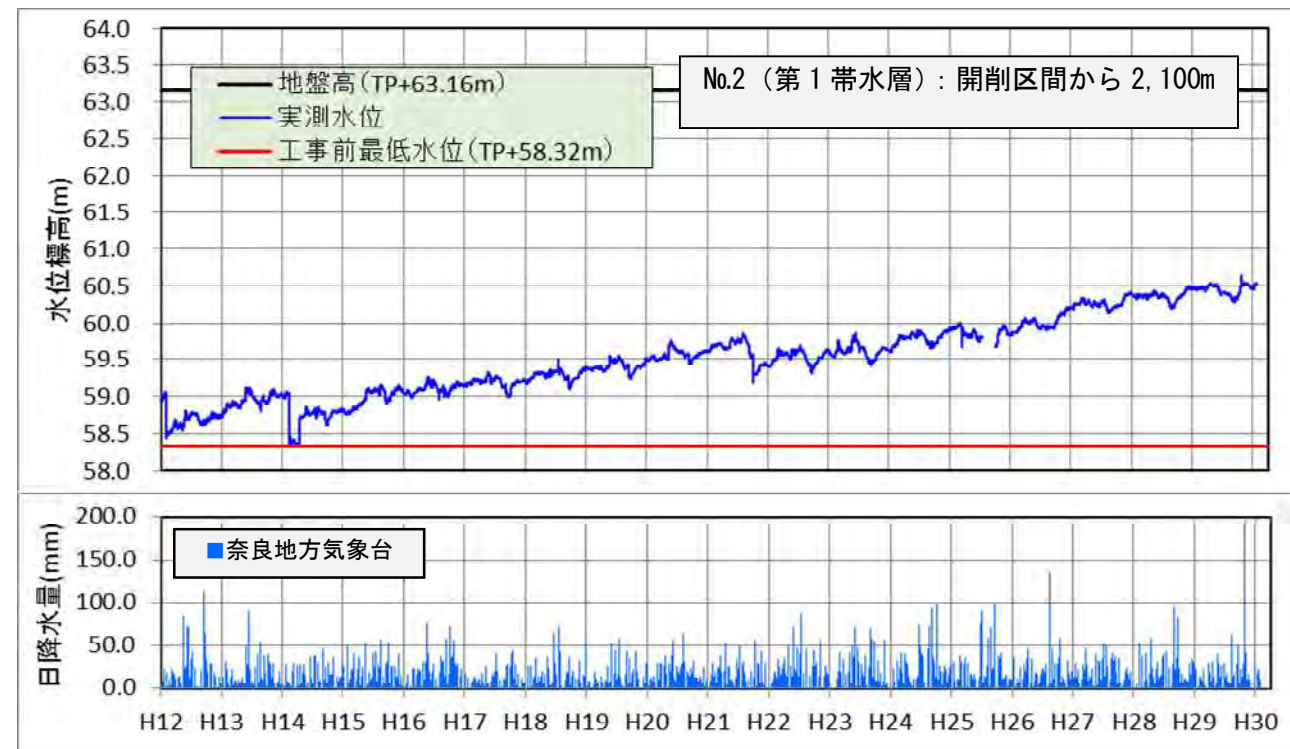


図-19 管理基準値Aの仮設定（観測孔No. 2）

- ・工事前最低水位TP+59.41m（地盤高TP+61.61m）
（H12～29観測データ）

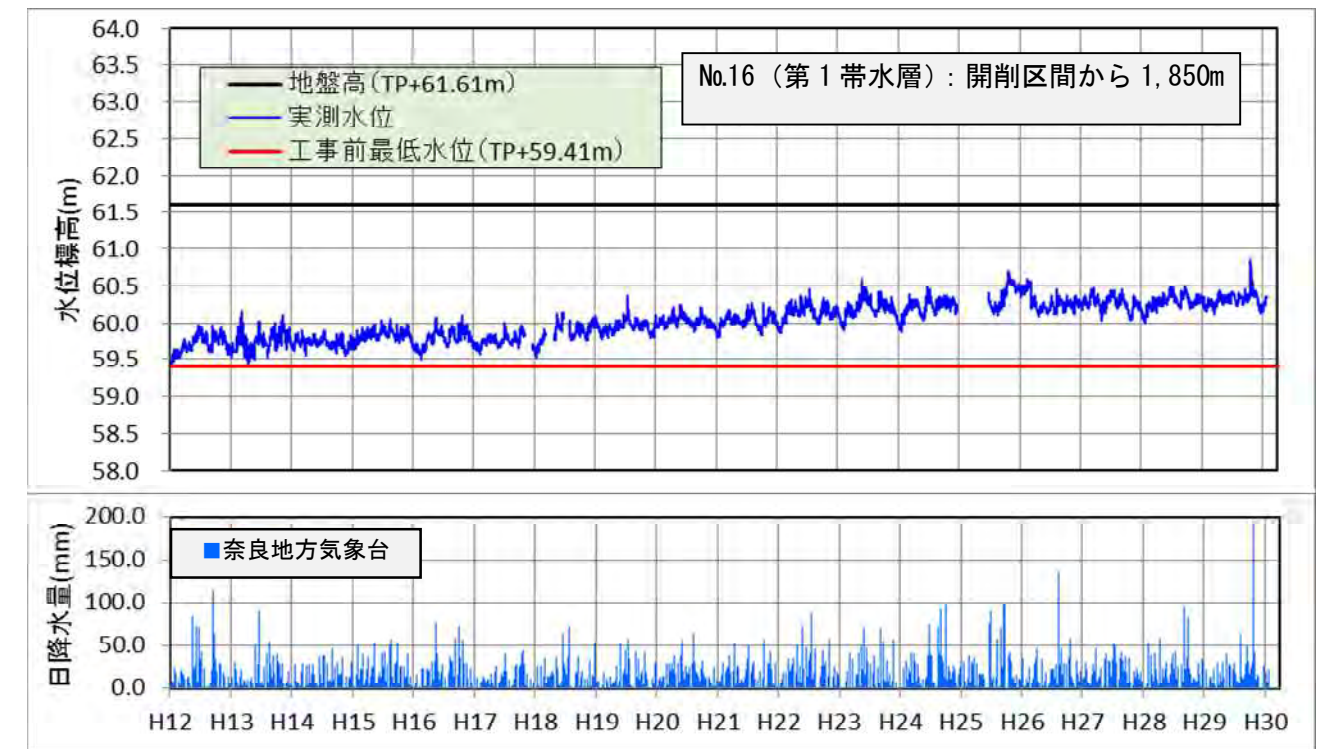


図-21 管理基準値Aの仮設定（観測孔No. 16）

- ・最大低下量の近似曲線（H12～29観測データ）

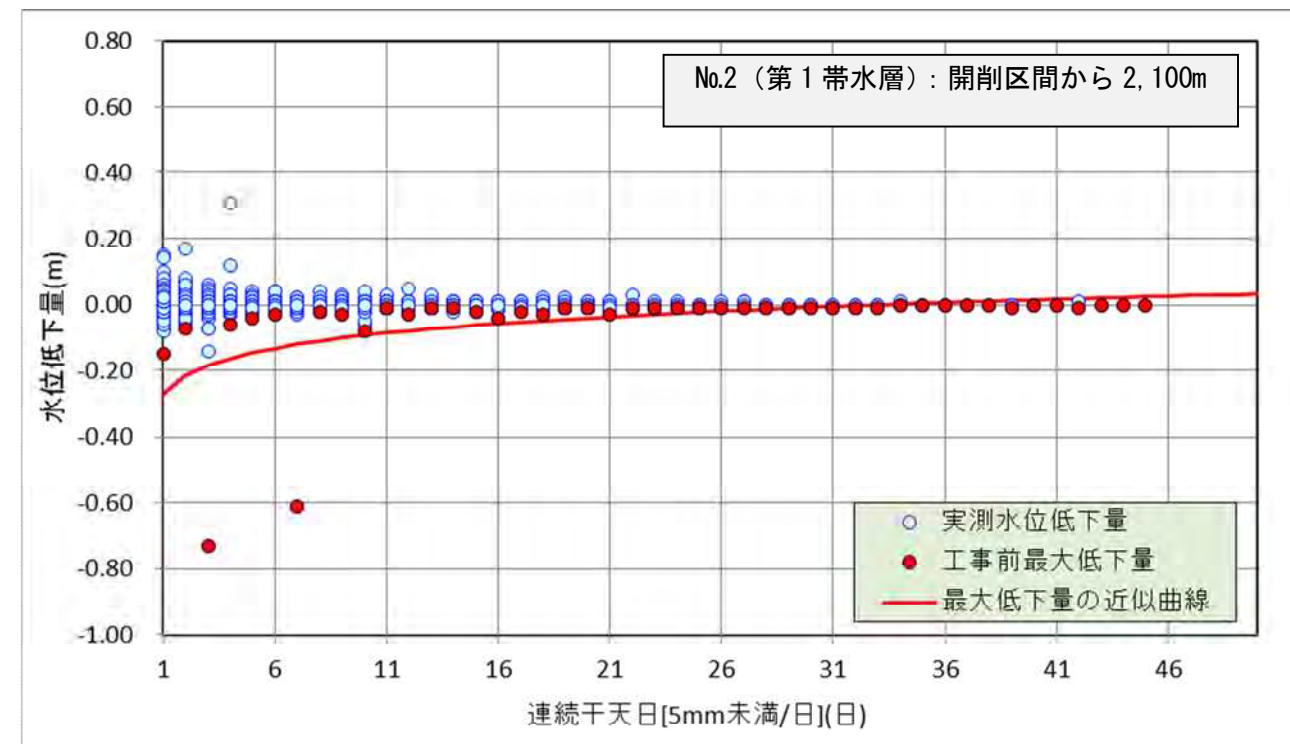


図-20 管理基準値Bの仮設定（観測孔No. 2）

- ・最大低下量の近似曲線（H12～29観測データ）

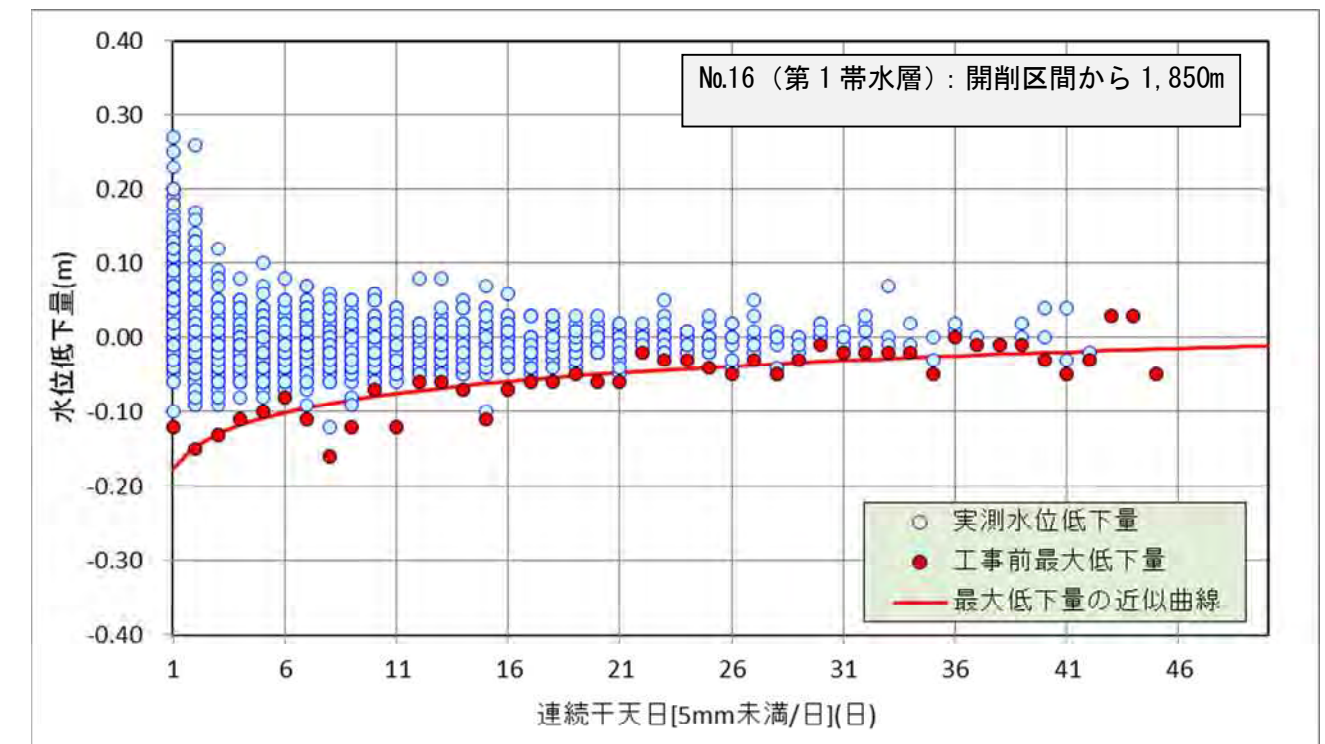


図-22 管理基準値Bの仮設定（観測孔No. 16）

3. モニタリングエリア③（平城宮跡：観測孔No.11、No.14）

- ・最低水位TP+63.11m（地盤高TP+65.51m）
（H12～29観測データ）

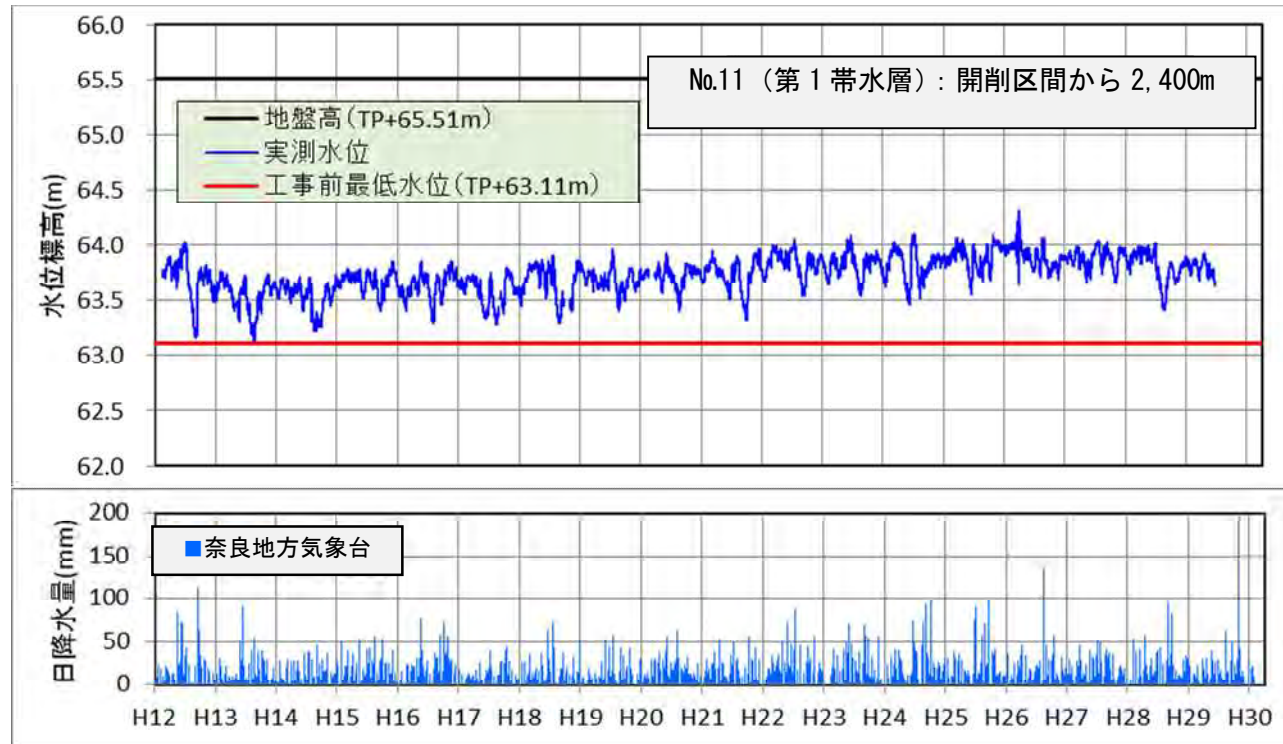


図-23 管理基準値Aの仮設定（観測孔No.11）

- ・最低水位TP+61.47m（地盤高TP+62.93m）
（H12～29観測データ）

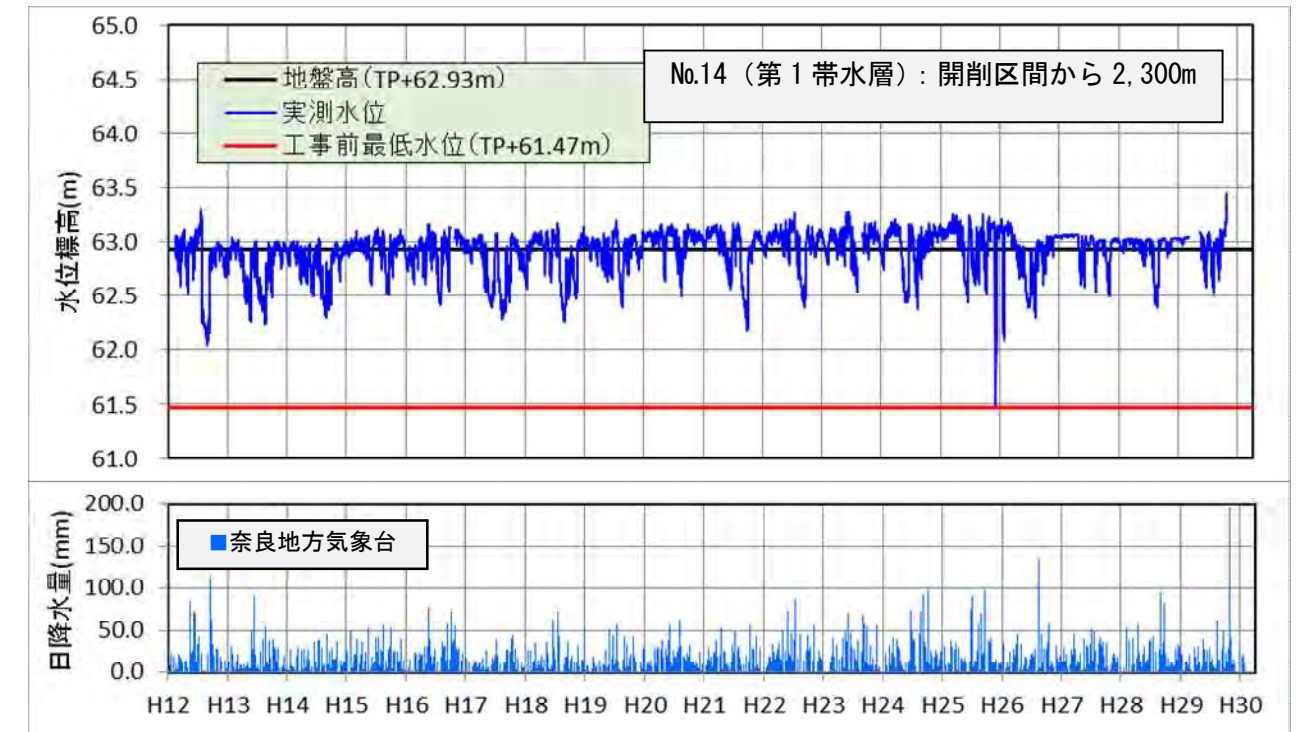


図-25 管理基準値Aの仮設定（観測孔No.14）

- ・最大低下量の近似曲線（H12～29観測データ）

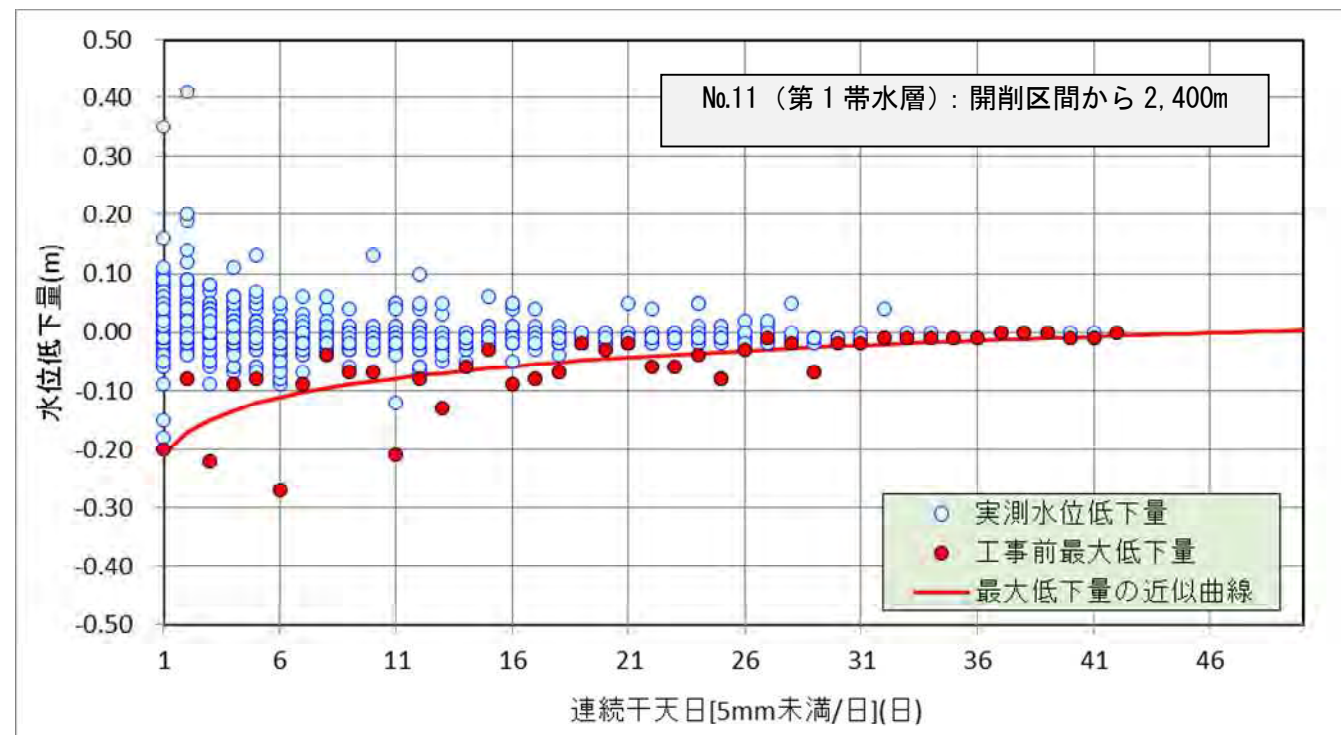


図-24 管理基準値Bの仮設定（観測孔No.11）

- ・最大低下量の近似曲線（H12～29観測データ）

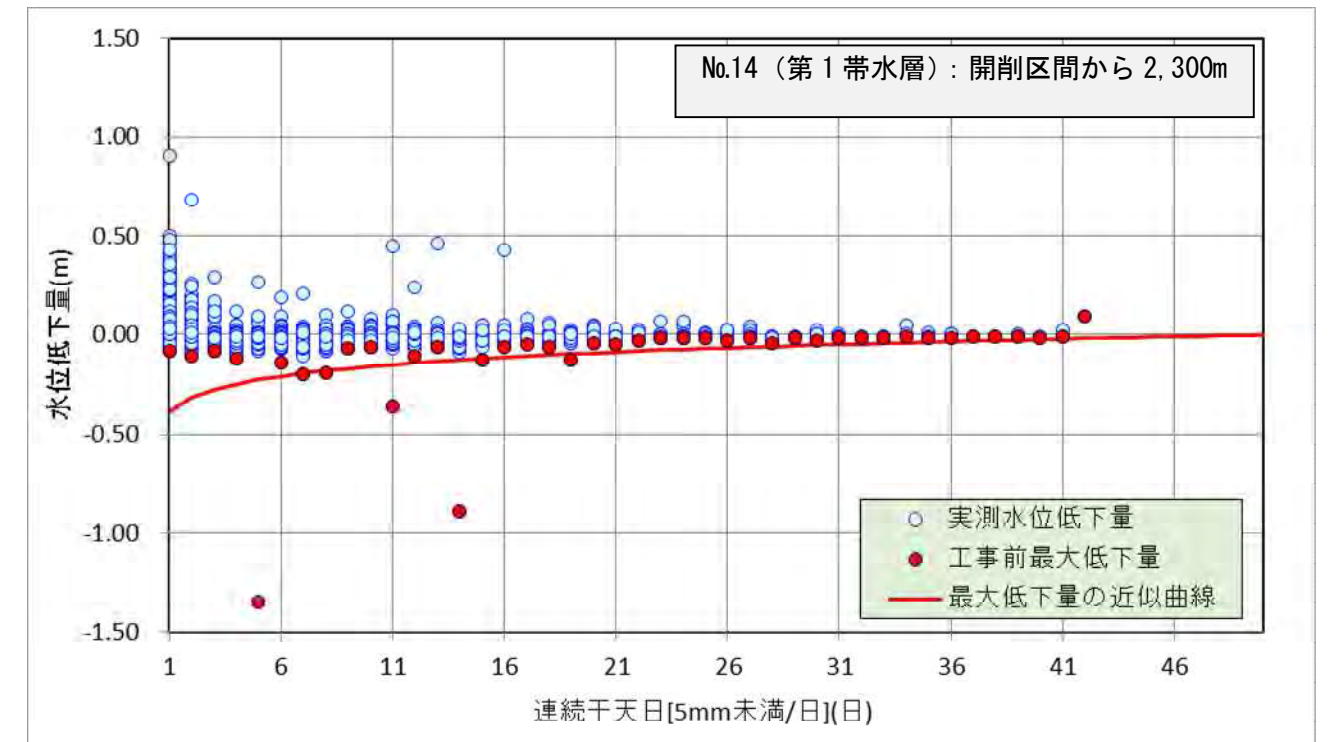


図-26 管理基準値Bの仮設定（観測孔No.14）

■管理体制

- ・工事開始後、モニタリングエリア（管理箇所）の測定データに異常が発生し、管理基準値A、Bのいずれかを満足しない場合の管理体制
 - 管理基準値A：工事前に測定された最低水位
 - 管理基準値B：工事前の降雨時・無降雨時の水位変動とは異なった変動（3日以上）

- 1 正常レベル： 全てのモニタリングエリアにおいて測定データに異常なし
- 2 注意レベル： いずれか1つのモニタリングエリアにおいて測定データに異常が発生した場合
- 3 警戒レベル： いずれか2つのモニタリングエリアにおいて測定データに異常が発生した場合
- 4 非常レベル： 全てのモニタリングエリアにおいて測定データに異常が発生した場合

表－1 地下水モニタリングにおける管理体制

管理レベル	エリア① （南側坑口付近）	エリア② （工事区間～平城宮跡）	エリア③ （平城宮跡）	対 応	委員会対応	対策の内容
	観測孔No. 21 （L=140m）	観測孔No. 1（L=1, 150m） 観測孔No. 2（L=2, 100m） 観測孔No. 16（L=1, 850m）	観測孔No. 11（L=2, 400m） 観測孔No.14（L=2, 300m）			
【正常レベル】	○	○	○	・モニタリングによる継続監視	—	—
【注意レベル】	○	○	×	・工事との因果関係分析（外的要因の確認） ・必要に応じて追加対策の検討 ・モニタリングによる継続監視	・委員会への報告・相談	・委員会の助言を受けて追加対策の検討 →地盤改良等による漏水（止水）対策、地下水流動保全工法の修復、涵養施設の機能向上（水位上昇）など
	○	×	○	・工事との因果関係分析（外的要因の確認） ・必要に応じて追加対策の検討 ・モニタリングによる継続監視	・委員会への報告・相談	
	×	○	○	・工事との因果関係分析（外的要因の確認） ・追加対策の検討 ・モニタリングによる継続監視	・委員会への報告・相談	
【警戒レベル】	○	×	×	・工事との因果関係分析（外的要因の確認） ・緊急対策の検討 ・モニタリングによる継続監視	・委員会への報告・相談 （委員による現場検証）	・委員会の助言を受けて緊急対策の検討 →地下水流動保全工法の追加、涵養施設の機能向上（水位上昇）など
	×	○	×	・工事との因果関係分析（外的要因の確認） ・緊急対策の検討 ・モニタリングによる継続監視	・委員会への報告・相談 （委員による現場検証）	
	×	×	○	・緊急対策の実施 ・工事との因果関係分析（外的要因の確認） ・モニタリングによる継続監視	・委員会の緊急開催 （委員による現場検証）	
【非常レベル】	×	×	×	・緊急対策の実施 ・工事との因果関係分析（外的要因の確認） ・モニタリングによる継続監視	・委員会の緊急開催 （委員による現場検証）	・委員会の助言を受けて更なる緊急対策の実施 →地下水流動保全工法の追加、涵養施設の機能向上（水位上昇）など

- 【備考】 1）管理体制は、地下水位の回復状況等を踏まえ、委員会への報告・相談を行い、管理レベルを変更するものとする。
- 2）大和北道路建設工事以外の外的要因により地下水位に異常が発生した場合は評価対象外とする。

■平城宮跡内の地下水の涵養について

- ・施工時における平城宮跡内の地下水保全対策として、工事着手前から平城宮跡内に地下水涵養施設を構築する。

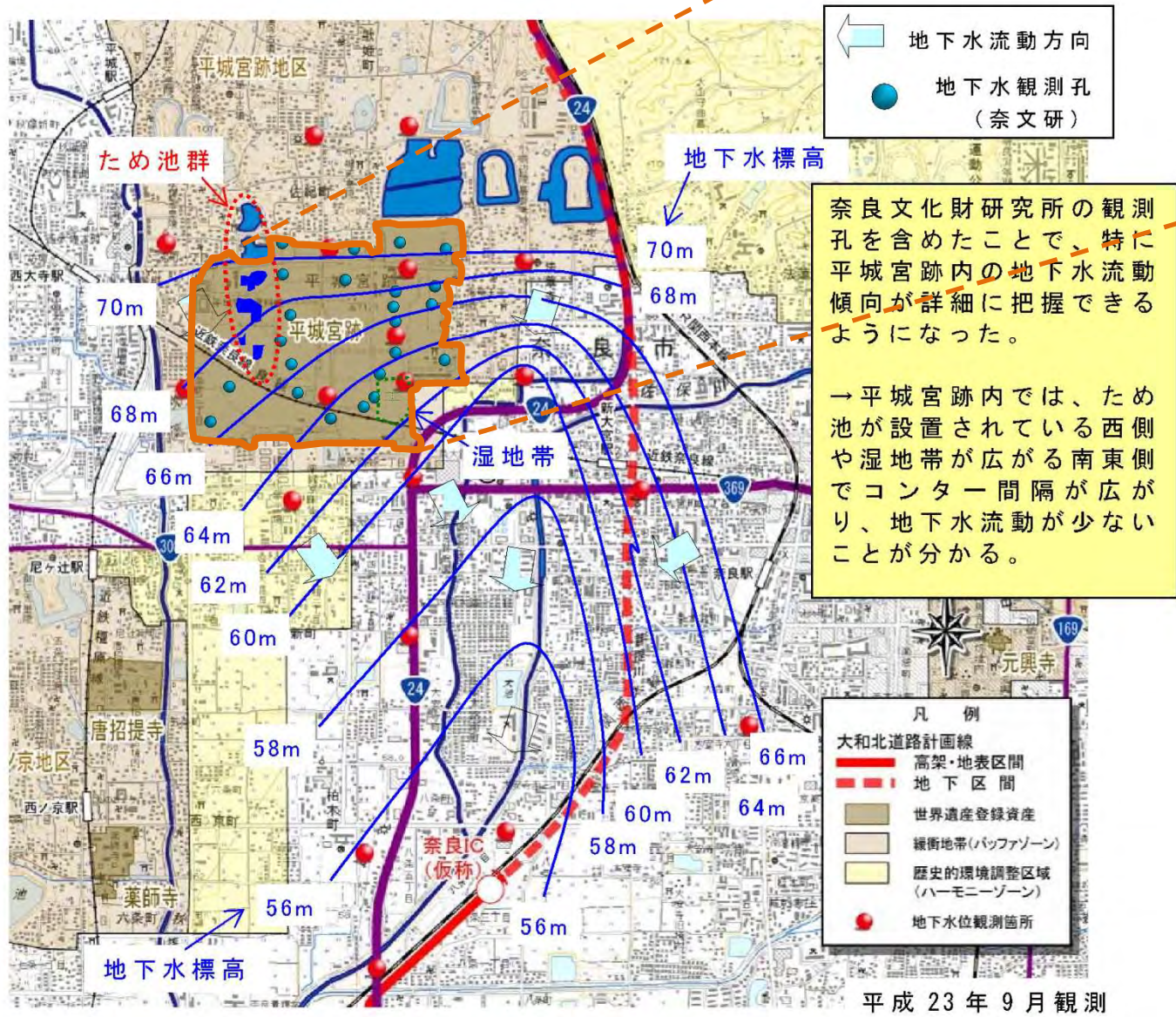
1) 現地検証方法（案）

- ・目的： ため池（もしくは水路、人工池）を活用した周辺地下水への涵養効果を検証する。
- ・現地検証予定箇所： ①ため池（平城宮跡内_佐紀池南側）
②水 路（平城宮跡東側）
③人工池（改変が伴わない構造で、任意の位置に設置）

2) 検証結果の活用

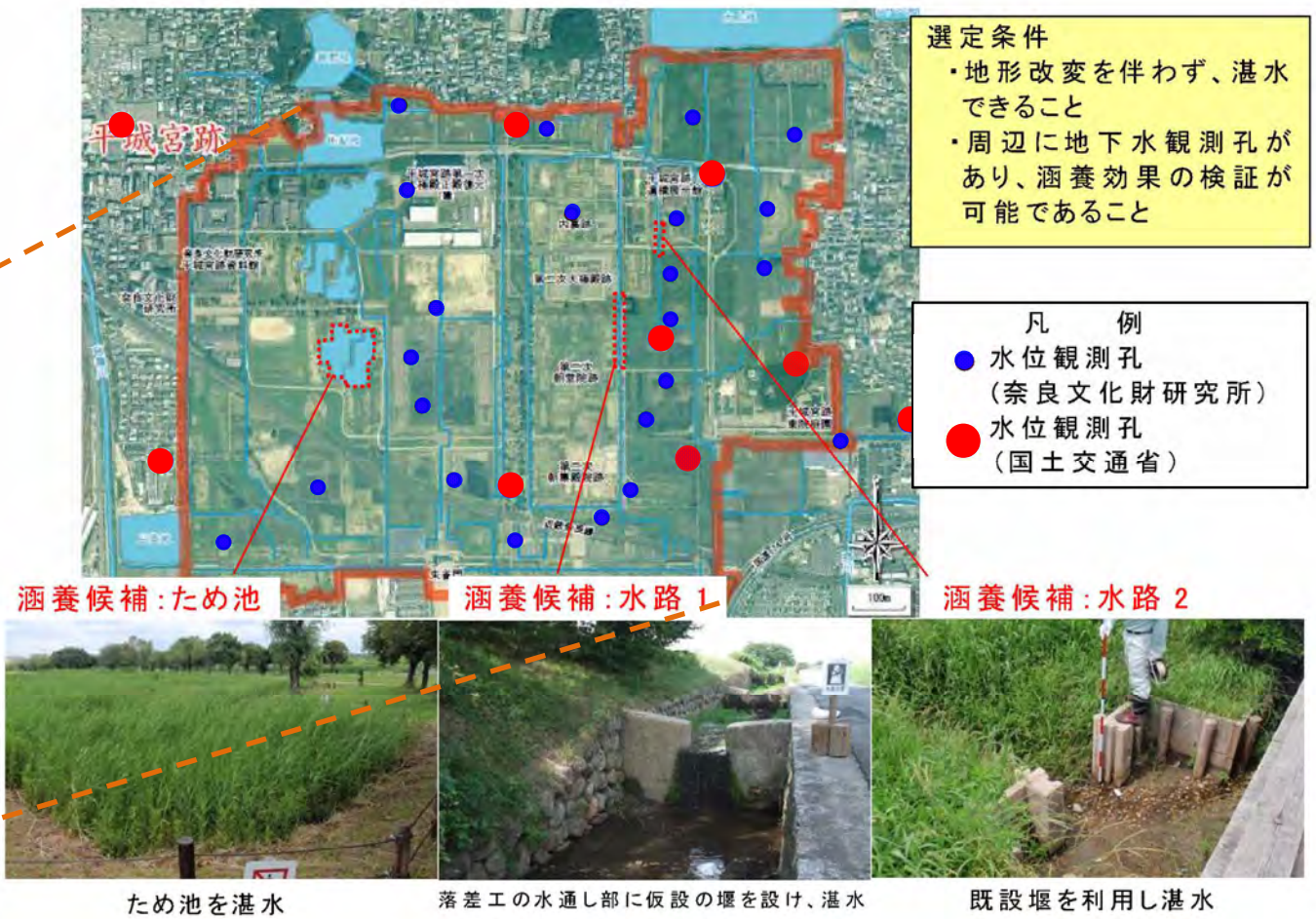
- ・平城宮跡内の既設観測孔を有効に活用し、地下水涵養の事前効果検証の結果を踏まえ、効果的な地下水涵養施設の構造、規模などの検討の基礎資料とする。

3) 平城宮跡周辺の地下水流動



図－27 平城宮跡周辺の地下水流動

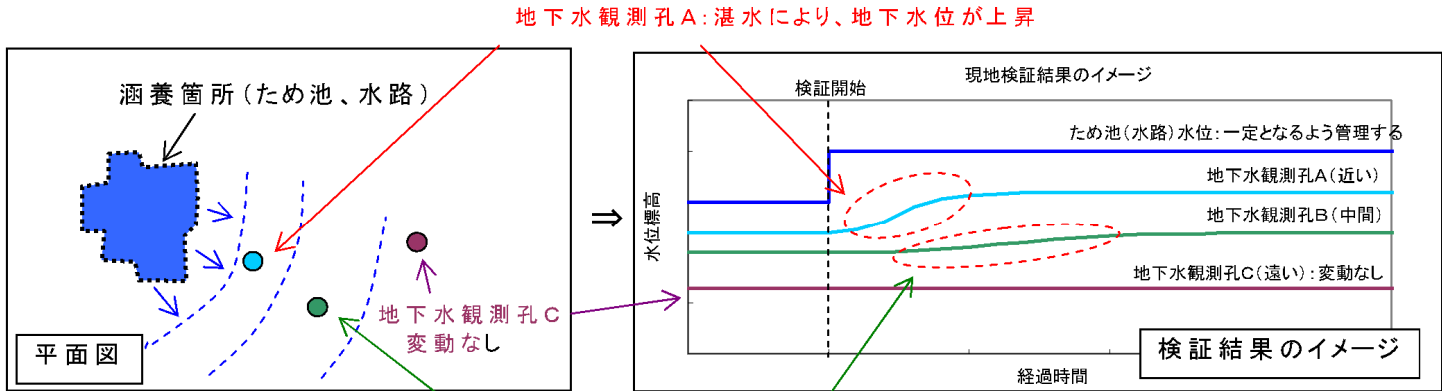
4) 現地検証の候補箇所



図－28 現地検証の候補箇所

5) 現地検証の実施時期と想定される結果

- ・実施時期： 降水量が少なく、地下水位が低い時期
→これまでの気象庁の降水量観測データより、11月～2月頃に実施する
- ・現地検証期間： 2ヶ月程度
- ・想定される検証結果（判明する内容）
①涵養による周辺地下水位の上昇量
②涵養による影響範囲（→涵養施設の構造、規模などの検討に活用）



図－29 現地検証結果のイメージ