

平成25年度

地表水・地下水等調査検討業務委託

報 告 書

平成26年 3月

 八千代エンジニアリング株式会社

## 目次

1.	業務概要	1-1
2.	小水力発電関連調査	2-5
2.1	流量観測	2-5
2.2	水車設置概略検討	2-12
2.2.1	発電計画地点	2-12
2.2.2	電力需要候補施設	2-13
2.2.3	発電設備配置計画	2-17
2.2.4	保安林解除申請	2-22
2.3	発電量の調査	2-32
3.	地下熱関連調査	3-36
3.1	地下水流動シミュレーションの実施方針	3-37
3.1.1	水循環モデル構築及び数値シミュレーションの目的	3-37
3.1.2	シミュレーションで考慮する現象	3-37
3.1.3	準3次元モデルの理論（不圧地下水の流れ）	3-39
3.1.1	地下涵養モデルの概念	3-40
3.2	数値シミュレーションモデルの基本条件	3-42
3.2.1	松本盆地における数値シミュレーションモデルの考え方	3-42
3.2.2	境界条件等の設定方針	3-43
3.3	松本盆地モデルの構築と数値シミュレーションの実施	3-62
3.3.1	有限要素解析メッシュ	3-62
3.3.2	現況再現計算	3-64
3.3.3	将来予測計算	3-82
3.4	実証試験データの整理	3-88
3.4.1	実証試験サイトの概要	3-88
3.4.2	原位置調査から把握された地下水特性	3-89
3.4.3	地下熱冷暖房システムの概要	3-92
3.4.4	地下水原位置観測	3-96
3.4.5	調査結果の検討	3-113
3.5	安曇野市における観測データの収集整理	3-120
3.5.1	湛水深観測データ	3-120
3.5.2	地下水位観測データ	3-120
3.6	調査検討結果の評価	3-123
4.	来年度の方針	4-1

- 【資料編】
- 資料 1 地下水位自記記録結果
  - 資料 2 現地観測結果（帯水層別地下水面）
  - 資料 3 現地観測結果（地下水温度プロファイル）

## 1. 業務概要

本業務は、(独)JST 科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム『イノベーション政策に資する公共財としての水資源保全とエネルギー利用に関する研究』における『地表水及び地下水等の水資源の実態と基礎的課題の把握に関する自然科学的調査』の一環として、平成24年度に実施したナノ水力及び地中熱関連研究を進める上で必要となる地表水と地下水に係わる基礎データを収集・整理結果に基づき、ナノ水力の現地設置場所検討及び地下水流動シミュレーションを行うものである。

### (1) 委託業務名

平成25年度 地表水・地下水等調査検討業務委託

### (2) 業務対象地域 (図 1-1～図 1-3 参照)

- 小水力関連：長野県下水内郡栄村
- 地下熱関連：松本盆地(安曇野市を中心とした松本平全般)  
及び信州大学工学部キャンパス内



図 1-1 長野県全図

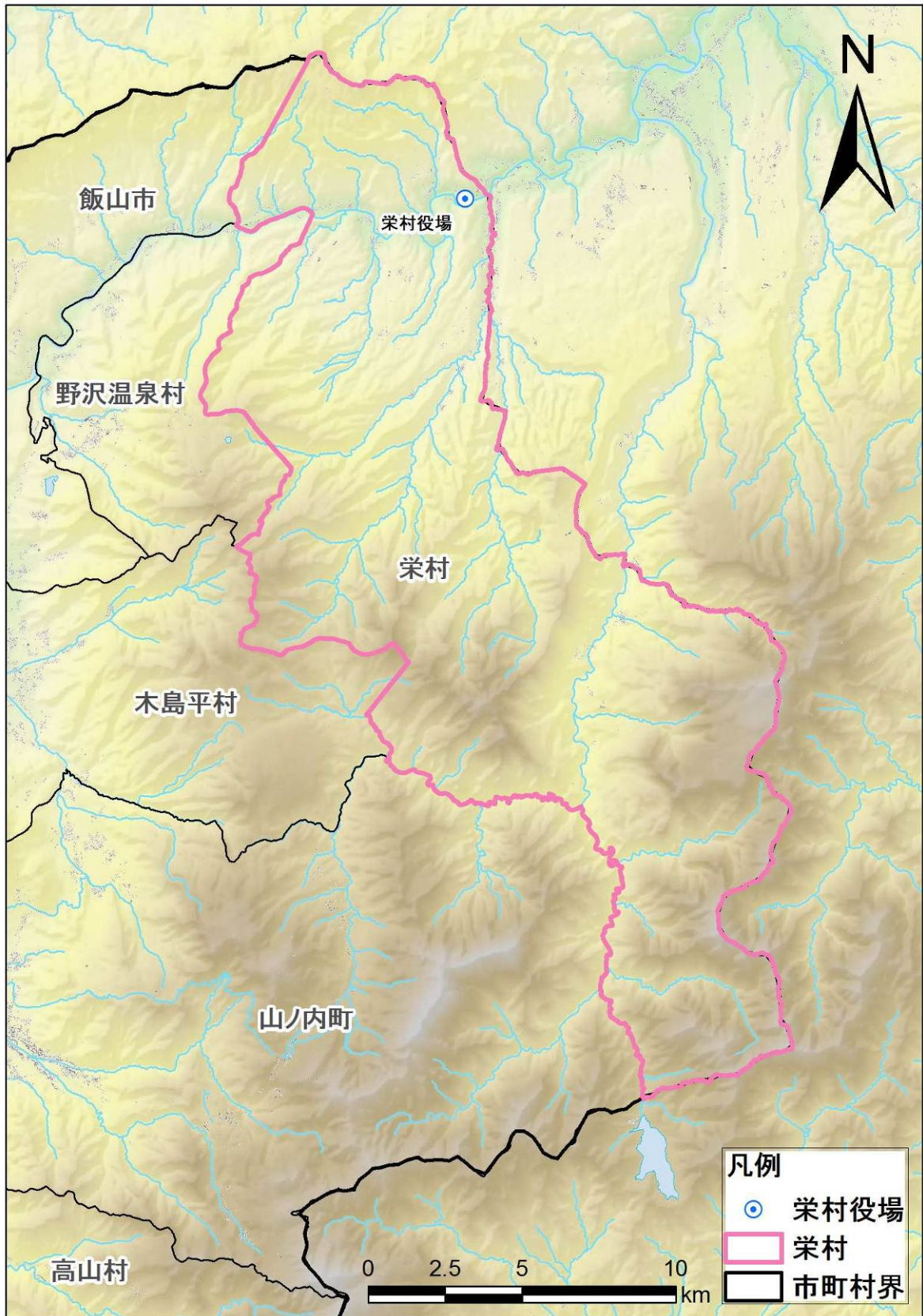


図 1-2 小水力発電施設関連調査の対象地域(長野県栄村)

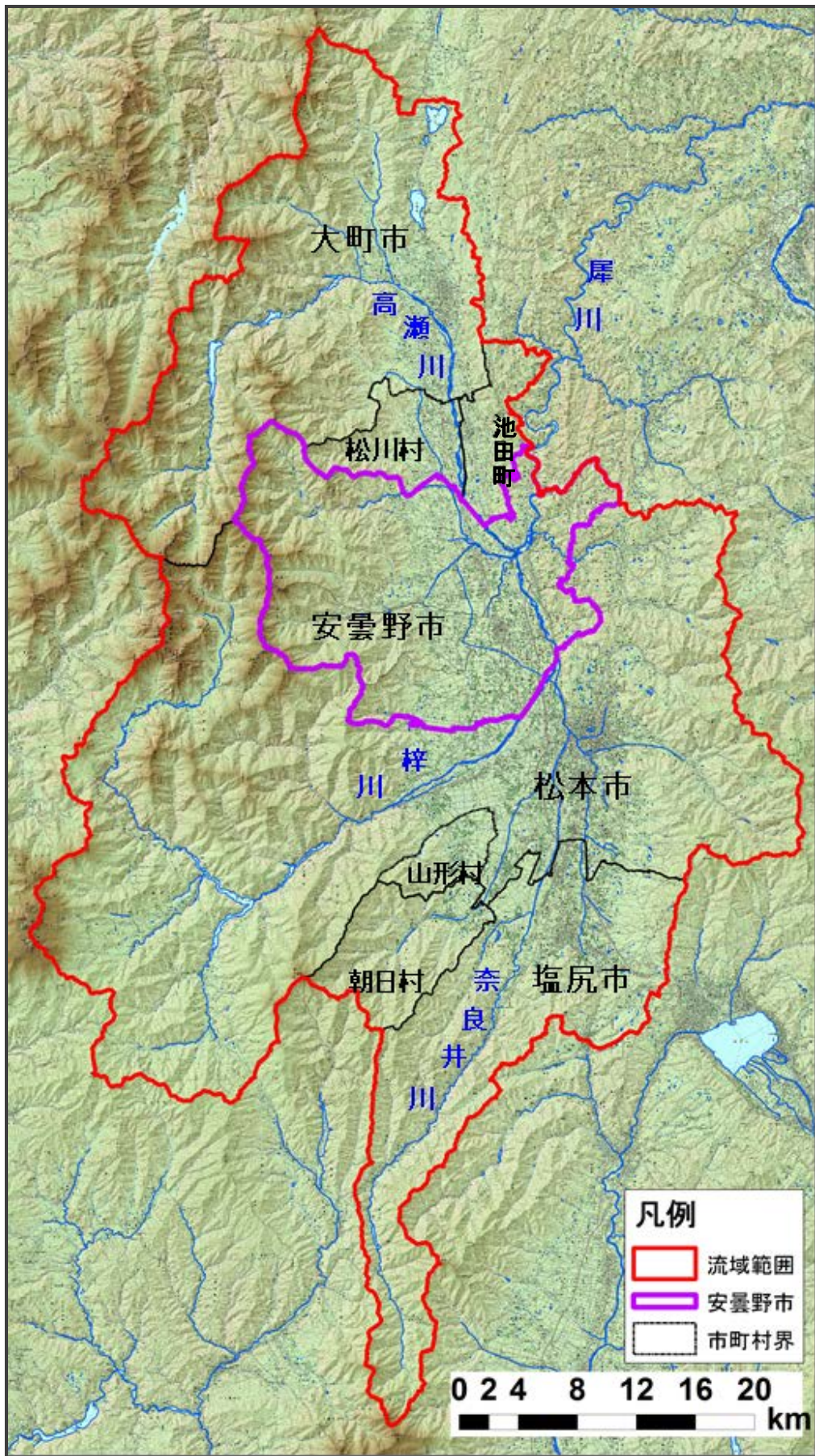


図 1-3 地下熱関連調査の対象地域(松本盆地全体及び安曇野市域)

(3) 委託期間

平成25年4月1日～平成26年3月31日

(4) 工程表

本業務の作業工程を表 1-1に示す。

表 1-1 作業工程表

項目	2013年												2014年			
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月				
計画準備	■															
小水力発電 関連調査	①机上調査		■	■												
	②現地調査			■	■	■	■	■	■	■						
	③発電量の調査							■								
地下熱関連 調査	①地下水流動シミュレーションモデルの構築							■	■	■	■	■	■			
	②実証試験データの整理			■	■	■	■	■								
	③安曇野市における観測データの収集整理								■	■						
	④調査検討結果の評価												■	■		
報告書作成																■

## 2. 小水力発電関連調査

### 2.1 流量観測

水車設置場所である栄村小赤沢地点において、発電取水用の水路1カ所にて水位計を設置し、継続的に水位観測を行った。また、7回/年の頻度で流速、流量観測を行うことで、水位（H）－流量（Q）曲線を求め、水位だけで流量を算定できるようにすることが目的である。

#### (1) 流量観測一覧

流量算定のための流量観測日の一覧は、表 2-1に示すとおりである。

表 2-1 小赤沢地点 水位・流量観測日一覧

回	観測日	流量箇所	備考
第1回	H25. 6. 28	測定水路	水位計設置と流量観測
第2回	H25. 7. 18	〃	
第3回	H25. 8. 6	〃	水車配置検討のため簡易測量も実施
第4回	H25. 9. 17	〃	発電取水路施工
第5回	H25. 10. 10	水槽	小型水車設置
第6回	H25. 11. 20	〃	
第7回	H25. 12. 6	〃	

#### (2) 流量観測変更経緯

流量観測については、水車設置までは水路での流況を調査した。

その後、水車への取水路の水槽（ヘッドタンク）の水位を測定することで、発電出力のパラメータである落差を継続測定することに目的を変えた。

##### <注意点>

水槽の水位は、圧力式水位計で継続測定を行っているが、流量については、実測が未だ行われていない状況であり、水位と流量の関係は今後行われる予定の実測流量との相関を検討していく必要がある。

(3) 流量観測状況

1) 第1回 H25.6.28 (水路に水位計設置、流量観測)



写真 2-1 水位計設置用のマス設置



写真 2-2 水位計設置用のマス設置完了  
(トラロープの先に水圧水位計設置)



写真 2-3 H25. 6. 28の流況①



写真 2-4 H25. 6. 28の流況②

2) 第2回 H25. 7. 18 (流量観測)



写真 2-5 H25. 7. 18の流況①



写真 2. 6 H25. 7. 18の流況②



3) 第3回 H25. 8. 6 (発電取水口施工前仮締切、流量観測)



写真 2-7 発電取水口施工前の仮締切



写真 2-8 H25. 8. 6の流況

4) 第4回 H25.9.17 (発電取水路・ヘッドタンク施工、流量観測)

水位計は、当日夕刻に新設水槽に移設。午前中は、用水路の流量観測を実施した。



写真 2\*9 新設取水口付近の流況①



写真 2-10 新設取水口付近の流況②

5) 第5回 H25. 10. 10 (水車設置と流量観測)



写真 2-11 取水口施工状況



写真 2-12 取水口の流況

6) 第6回 H25. 11. 20 (水位観測)



写真 2-13 取水口付近流況



写真 2-14 取水口塵芥状況

7) 第7回 H25. 12. 6 (水位観測)



写真 2-15 トラロープの先に水位計が設置

(4) 水位観測記録

H25. 6. 28 (第1回) に水路に圧力式水位計を設置し、水車が設置されるH25. 10. 10までは水路の水深を測定した。その後、水車設置に伴う水槽の水深を測定するため、圧力式水位計を水槽に移設した。H25. 12. 6 (第7回) まで水位計による水深の時系列グラフは図 2-1、図 2-2に示すとおりである。



図 2-1 圧力水位計による時系列水深グラフ (6/28~10/10 : 水路水位計測定)

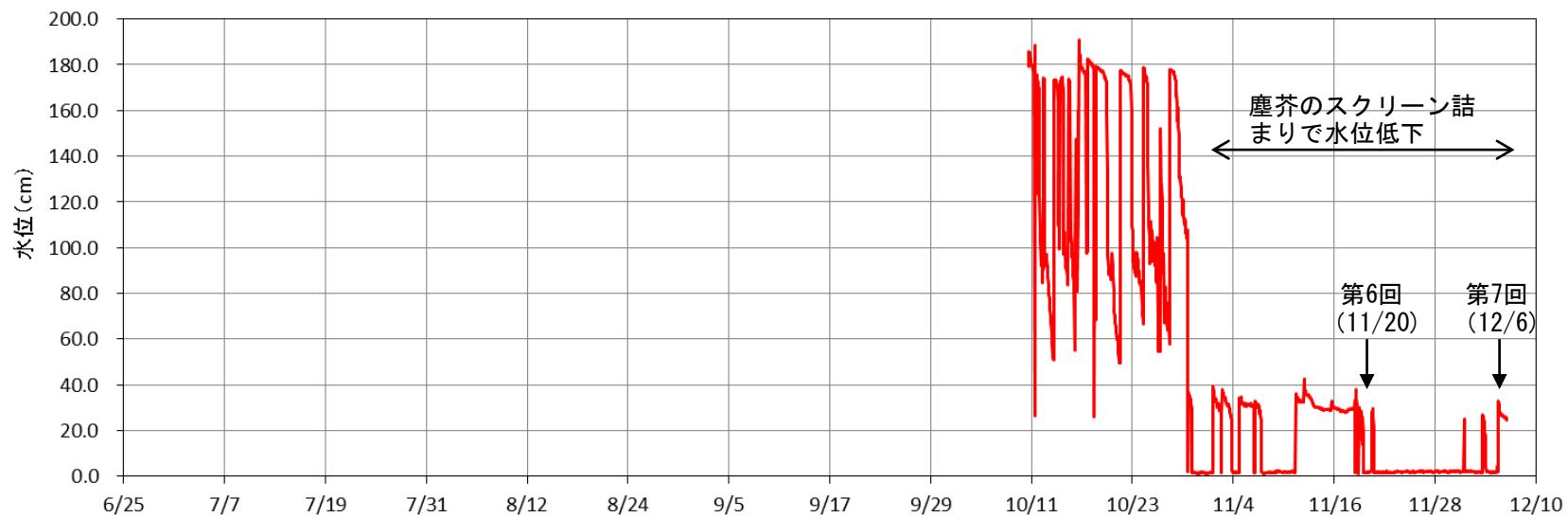


図 2-2 圧力水位計による時系列水深グラフ (10/11~12/6 : 水槽水位測定)

(5) 流量観測結果

1) H25.6.28~H25.9.16(水路での流量観測)

水路の流況を4回測定した。その流量観測の結果は表 2-2に示すとおりである。

水路での流量観測の水深、流速測定箇所については、図 2-3に示すとおりで、流量観測地点の水路幅は1.6mであった。

実測水深測定：金尺により、水路3カ所で水深を測定した。

流速測定：プロペラ流速計を用い5回測定し、最大・最小値を棄却した中間3回の流速の平均値を用いた。

表 2-2 小赤沢水路地点の水路流量観測結果

川幅 B = 1.6 m

		6/28	7/18	8/5	9/17
実測水深	水深① h1(m)	0.21	0.19	0.20	0.24
	水深② h2(m)	0.14	0.10	0.10	0.15
	水深③ h3(m)	0.14	0.10	0.11	0.15
	平均水深 $h=(h1+h2+h3)/3$ (m)	0.16	0.13	0.14	0.18
	水位計水深 H(m)	0.22	0.19	0.14	0.27
断面積 $A=h \times B$	0.26	0.21	0.22	0.29	
流速① v1(m/s)		0.86	0.76	0.68	0.95
流速② v2(m/s)		1.20	0.86	0.92	1.32
流速③ v3(m/s)		1.10	0.82	0.84	1.20
平均流速 $V=v1+v2+v3$ (m/s)		1.05	0.81	0.81	1.16
流量 $Q=A \times V$ (m <sup>3</sup> /s)		0.28	0.17	0.18	0.33

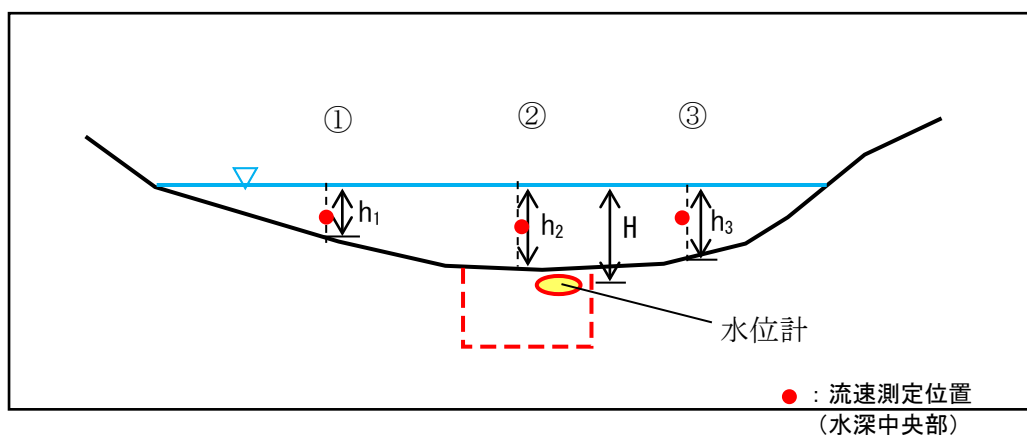


図 2-3 水路水位観測位置概要図

4回の水路流量観測の結果は、図 2-4に示すような相関式曲線で近似される。

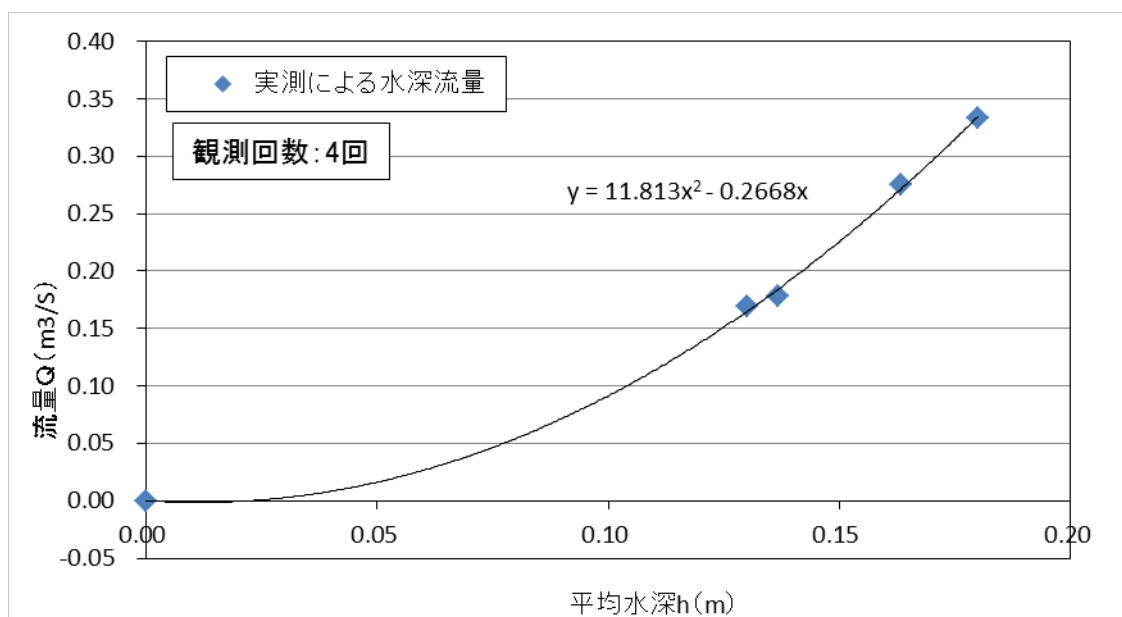


図 2-4 水路の水深と流量の関係グラフ

すなわち、図 2-4に示す相関式で x を h に、y を Q に読み換えると

$$Q = 11.813 \times h^2 - 0.2668h$$

となり、平均水深hから流量Qが推定できることとなる。

## 2) H25.9.17～H25.12.11(水槽での水位観測)

水槽の水深は、図 2-5に示す水槽内のタラップを利用して、ロープで水位計を吊り下げ水深を測定した。10月は落葉により目詰まって正確な水位を測定できていない。また、流量についてはまだ実測できていない。

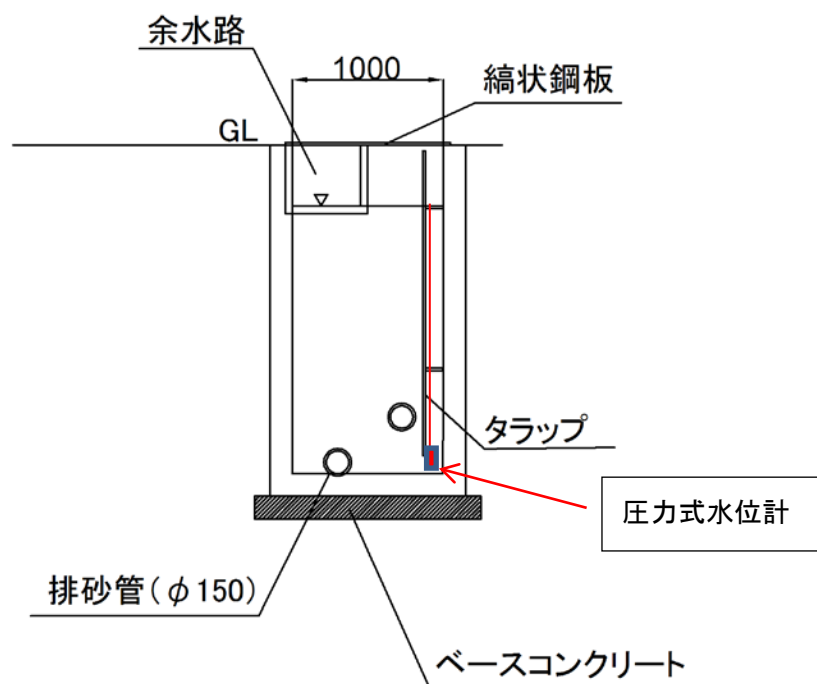


図 2-5 水槽における水圧計設置位置

## 2.2 水車設置概略検討

### 2.2.1 発電計画地点

本業務の発電計画地点は、長野県 下水内郡 栄村 小赤沢地区の小赤沢川左岸に流入する消雪溝水路地点であり、消雪目的で使用された後の水を発電に利用する計画である。図 2-6に発電計画地点の位置図を示す。

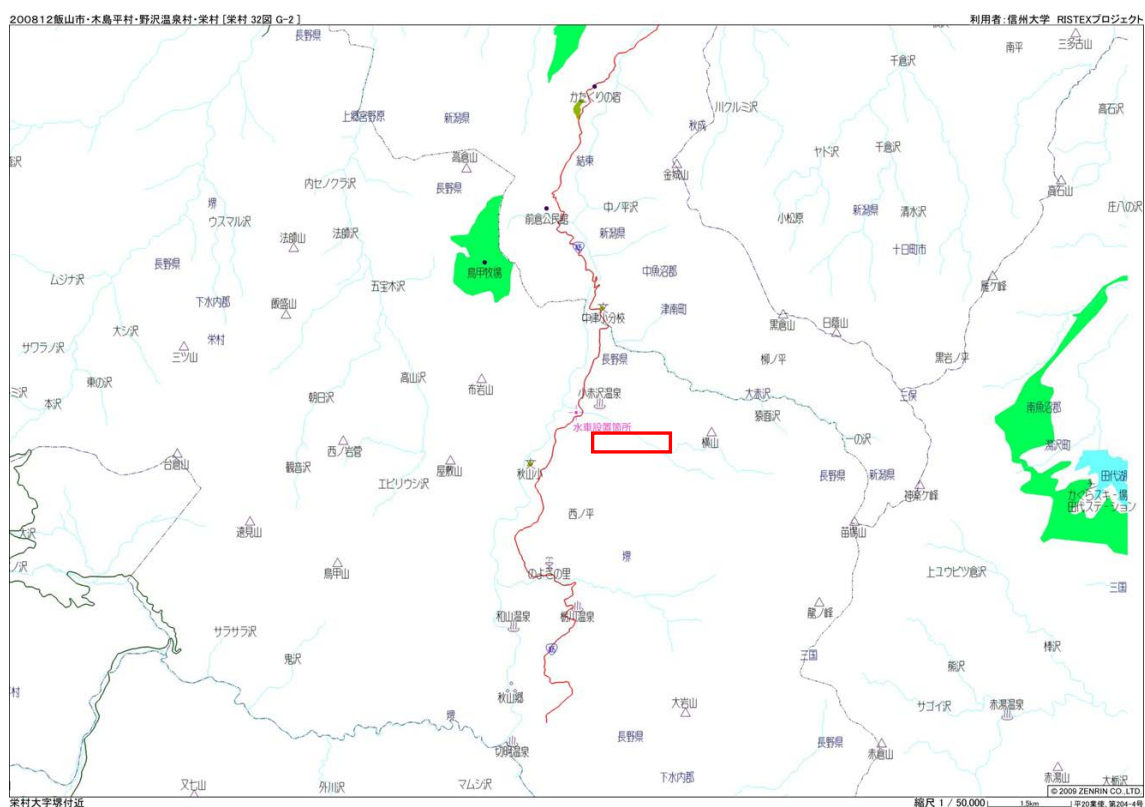


図 2-6 発電計画地点

## 2.2.2 電力需要候補施設

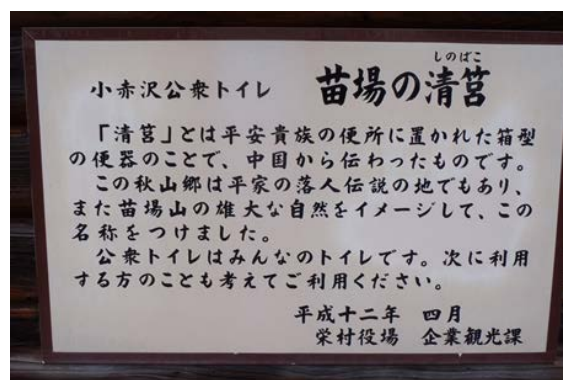
### (1) 電力需要施設概要

発電電力の使用用途としては、公衆トイレもしくは栄村役場秋山支所の2施設を想定しており、将来的には緊急時のバッテリーや照明としての利用も考えている。

平成25年度RISTEXでの発電計画は、実証実験として対象地点のポテンシャルを把握することを目的としており、またコスト面からも発電規模が500W～1kW程度と制限があるため、2施設のうち、対象地点に近く、使用電力量も少ない**公衆トイレを電力需要施設とすることとした。**図 2-7に対象施設および発電計画対象地点を示す。

公衆トイレは循環式トイレであり、汚水処理の際に使用しているブロワやトイレ照明等に発電電力を使用する計画である。この公衆トイレは苗場山の玄関口である小赤沢で唯一の公衆トイレであり、住民や観光客に対するアピール度は高いと考えられる。

対象施設：公衆トイレ 苗場の清筍



(参考) 栄村役場秋山支所 秋山郷総合センターとねんぼ





図 2-7 発電需要施設候補地点



## (2) 電力需要施設の使用電力量

公衆トイレおよび栄村役場秋山支所の平成24年4月から平成25年3月までの使用電力量より1時間当たりの必要電力量を推定した（図2-8、図2-9参照）。

公衆トイレについては、基本的に登山者用のトイレであるため冬期は閉鎖されるが、汚水洗浄のため常にブロワ（送風機）が稼働しているため、一定の電力を消費している。必要電力量は1月当たりの使用電力量が最も大きいH24.6の486kWh/月より、0.68kW（＝486kWh/30日/24時間）とした。

また、栄村役場秋山支所では時間帯によって必要電力が変動するため、次頁に示す電力量の需給バランスを考慮し、必要電力量を6.48kWとした。

表 2-3 施設毎の必要電力量

対象施設	必要電力量
公衆トイレ	0.68kWh/h
栄村役場秋山支所	6.48kWh/h

年月日	使用電力量 (kWh)	金額 (円)
H24.4	245	5,048
H24.5	340	7,232
H24.6	486	10,798
H24.7	468	10,444
H24.8	365	8,083
H24.9	398	8,883
H24.10	363	8,021
H24.11	363	8,021
H24.12	318	6,566
H25.1	274	5,660
H25.2	229	4,660
H25.3	245	5,048
合計	4,094	88,464
平均	341	7,372

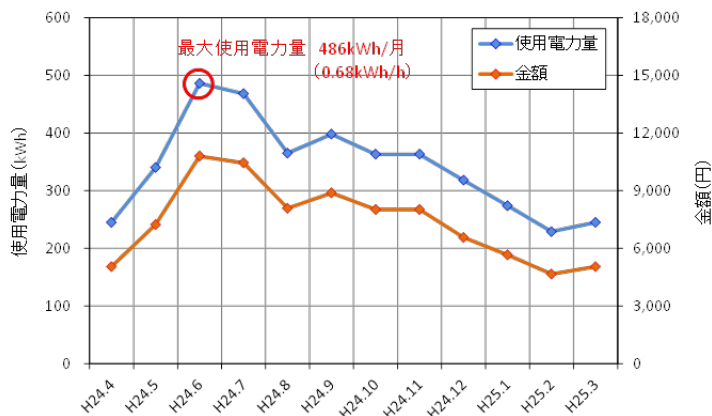


図 2-8 使用電力量（公衆トイレ）

年月日	使用電力量 (kWh)	金額 (円)
H24.4	3,199	82,477
H24.5	3,130	80,632
H24.6	2,799	73,093
H24.7	2,482	65,876
H24.8	2,590	69,480
H24.9	2,568	68,860
H24.10	2,289	61,992
H24.11	2,757	73,404
H24.12	2,424	65,001
H25.1	3,368	87,075
H25.2	3,282	84,209
H25.3	3,219	82,636
合計	34,107	894,735

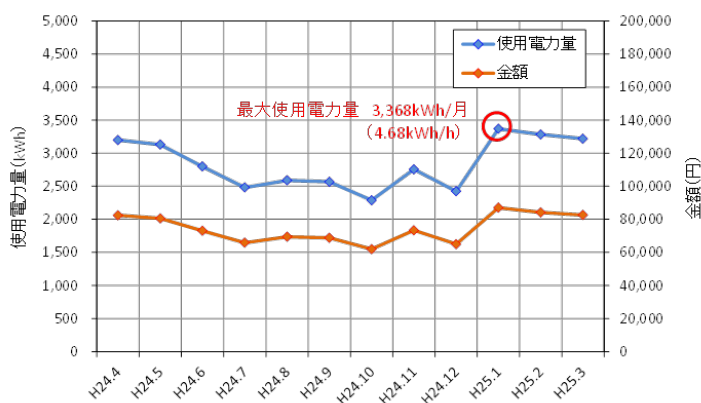


図 2-9 使用電力量（栄村役場秋山支所）

○電力量の需給バランス

電力量の需要は日や季節、時間によって変化し、一般的な需要の負荷形態は概ね図 2-10 に示すとおりであり、住宅地帯では 15 時と 20 時が最大となる。栄村役場秋山支所は時間当たりの使用電力量の変動が大きいいため、電力量の需給バランスを考慮することとし、1 時間当たりの最大使用電力量を算定すると、図 2-11 に示すように 6.48kWh/h となる。

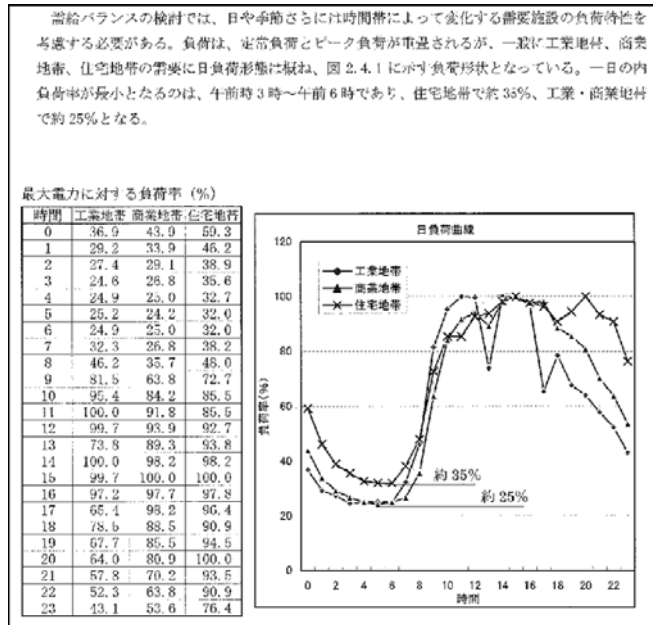


図 2-10 電力量の需給バランス（電気工学ハンドブックより）

時間	最大電力に対する負荷率 (%) 【住宅地帯】	電力量 (kWh/h)
0	59.3	3.84
1	46.2	3.00
2	38.9	2.52
3	35.6	2.31
4	32.7	2.12
5	32.0	2.07
6	32.0	2.07
7	38.2	2.48
8	48.0	3.11
9	72.7	4.71
10	85.5	5.54
11	85.5	5.54
12	92.7	6.01
13	93.8	6.08
14	98.2	6.37
15	100.0	6.48
16	97.8	6.34
17	96.4	6.25
18	90.9	5.89
19	94.5	6.13
20	100.0	6.48
21	93.5	6.06
22	90.9	5.89
23	76.4	4.95

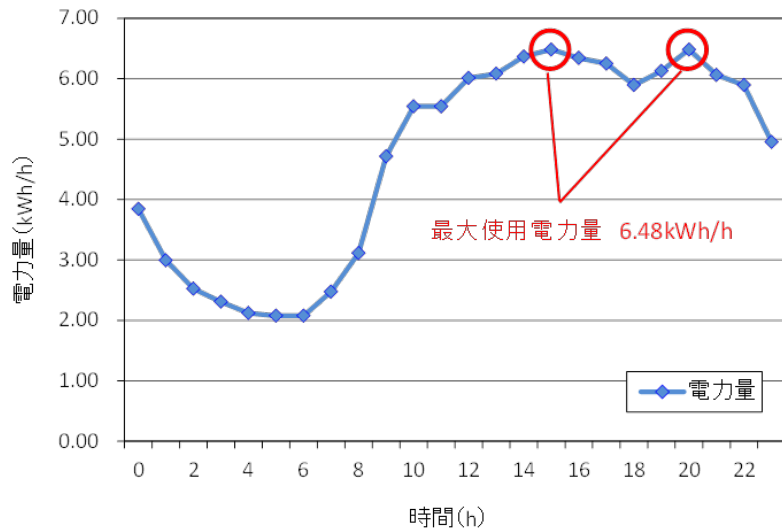


図 2-11 栄村役場秋山支所 需要電力量

## 2.2.3 発電設備配置計画

### (1) 取水路と水車設置位置の現状

水槽（ヘッドタンク）位置は、水路の左岸側の平場に設けるものとして、図 2-12に示すような切株と石積間に設けることを想定している。

水路から取水路への導水は土のうを水路に敷き詰めて水の流水を変えることを考えた。

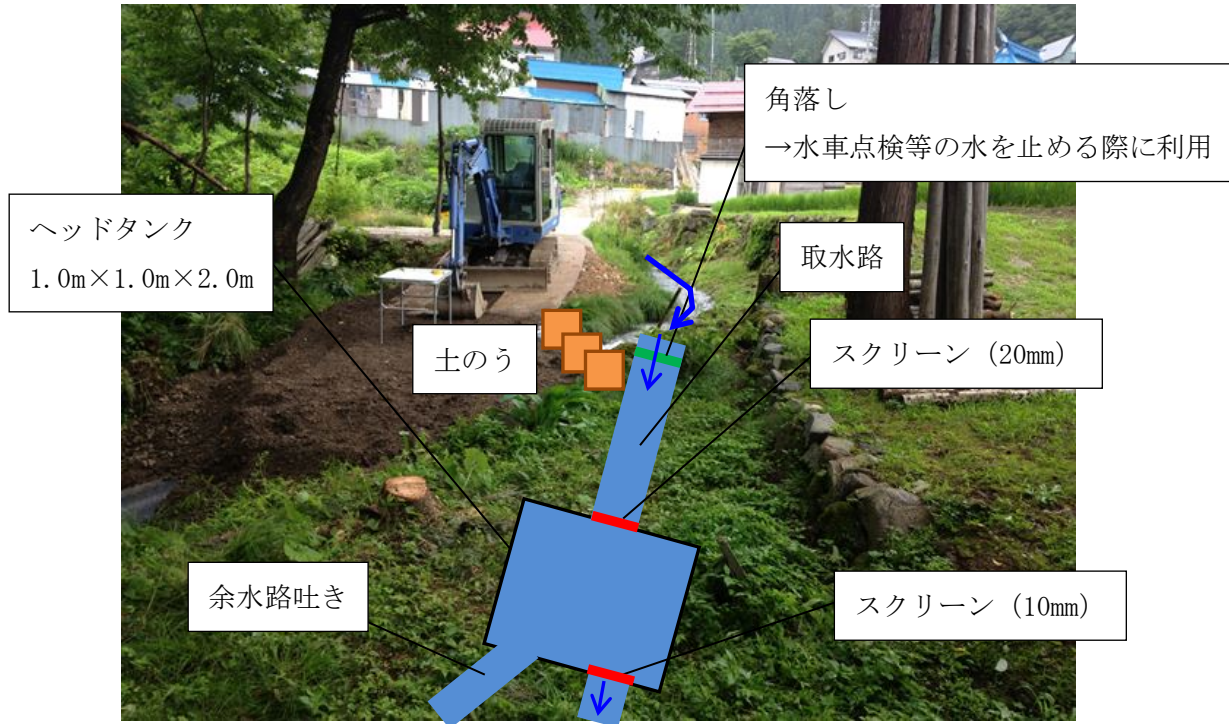


図 2-12 水槽設置地点

水車は急崖部で設置の容易さを考慮し、図 2-13 に示すように、比較的緩勾配の位置を選定するものとした。水車からの排水は、近接の小赤沢川へ流すものとしている。



図 2-13 配管ルート図（崖上から撮影）

## (2) 発電設備配置計画

取水口、取水路、水槽、余水路の配置計画のために、現地にて簡易平板測量を行った結果は図 2-14に示すとおりである。

この図を基に簡易な地形平面図を作成し、上記4施設が無理なく配置できるか検討した。

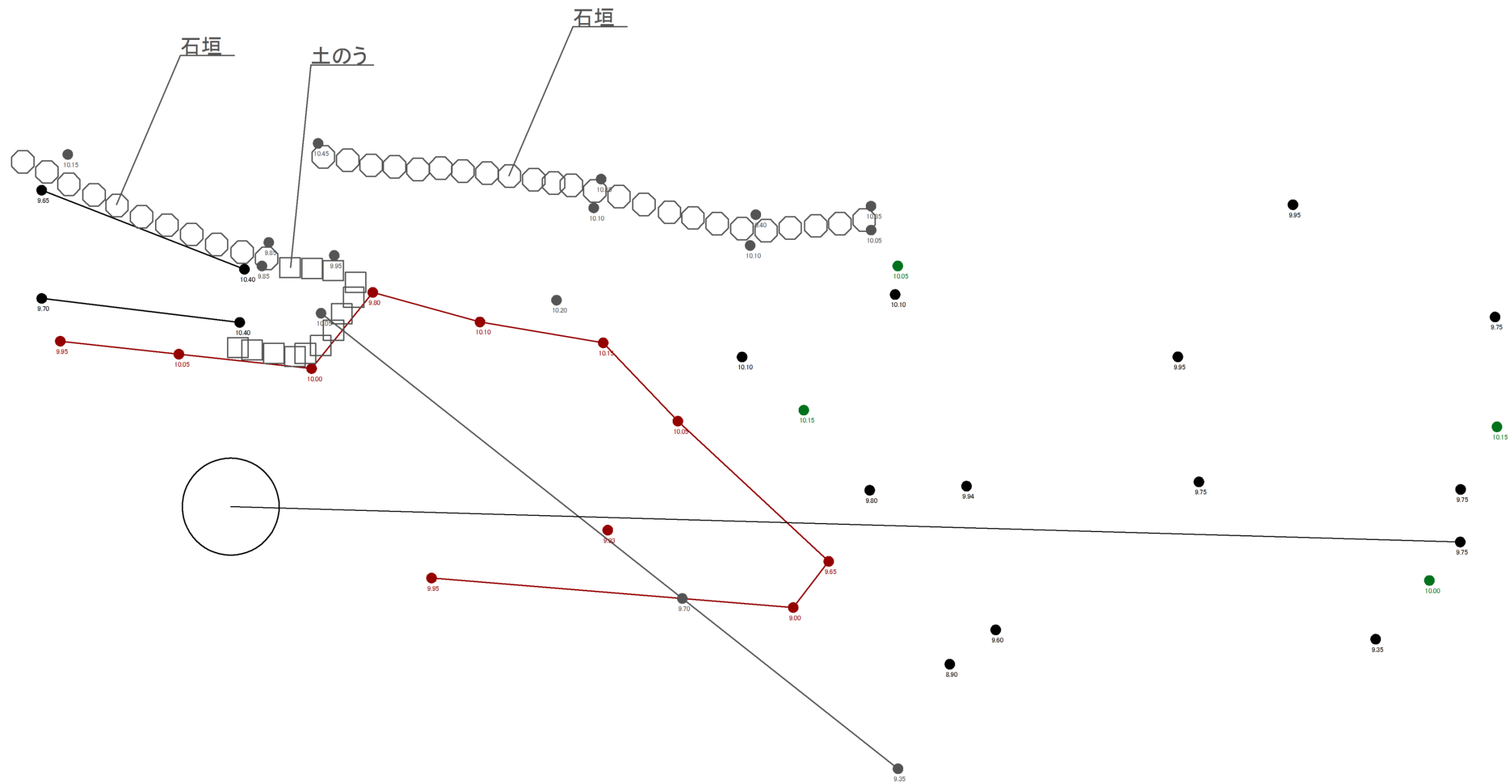


図 2-14 取水口付近の簡易平板測量図

上記簡易平面図を使い、発電設備配置計画は、**図 2-15**に示すとおりである。

水車・発電機へアクセスする急斜面部は単管足場、階段を設けるが、正確な測量図がないので、概略配置し、現地合わせで設置されるものとした。

### 【発電設備配置計画と現地施工との相違】

#### ○仮設階段

現地では急崖部の地形形状が測量できなかったことも影響し、昇降用の仮設階段の線形が現地では大きく変わった。**写真2-16**に示すように、直線的となり、計画していた九十九折りのような線形としていない。これは、計画では1：2勾配の階段を原則としていたが、資機材の搬入には1：1の勾配が短区間であれば可能との判断もあり、仮設階段の延長は計画より短くなっている。



写真2-16 発電設備配置計画と違った仮設階段① 写真2-17 発電設備配置計画と違った仮設階段②

#### ○放水路

水車からの落水水を小赤沢川に放流する水路形式はコンクリート製とを考えていたが、簡易な方法として、フレキシブルパイプの半割管を用いて放水している。



写真2-18 発電設備配置計画と違った放水路施設

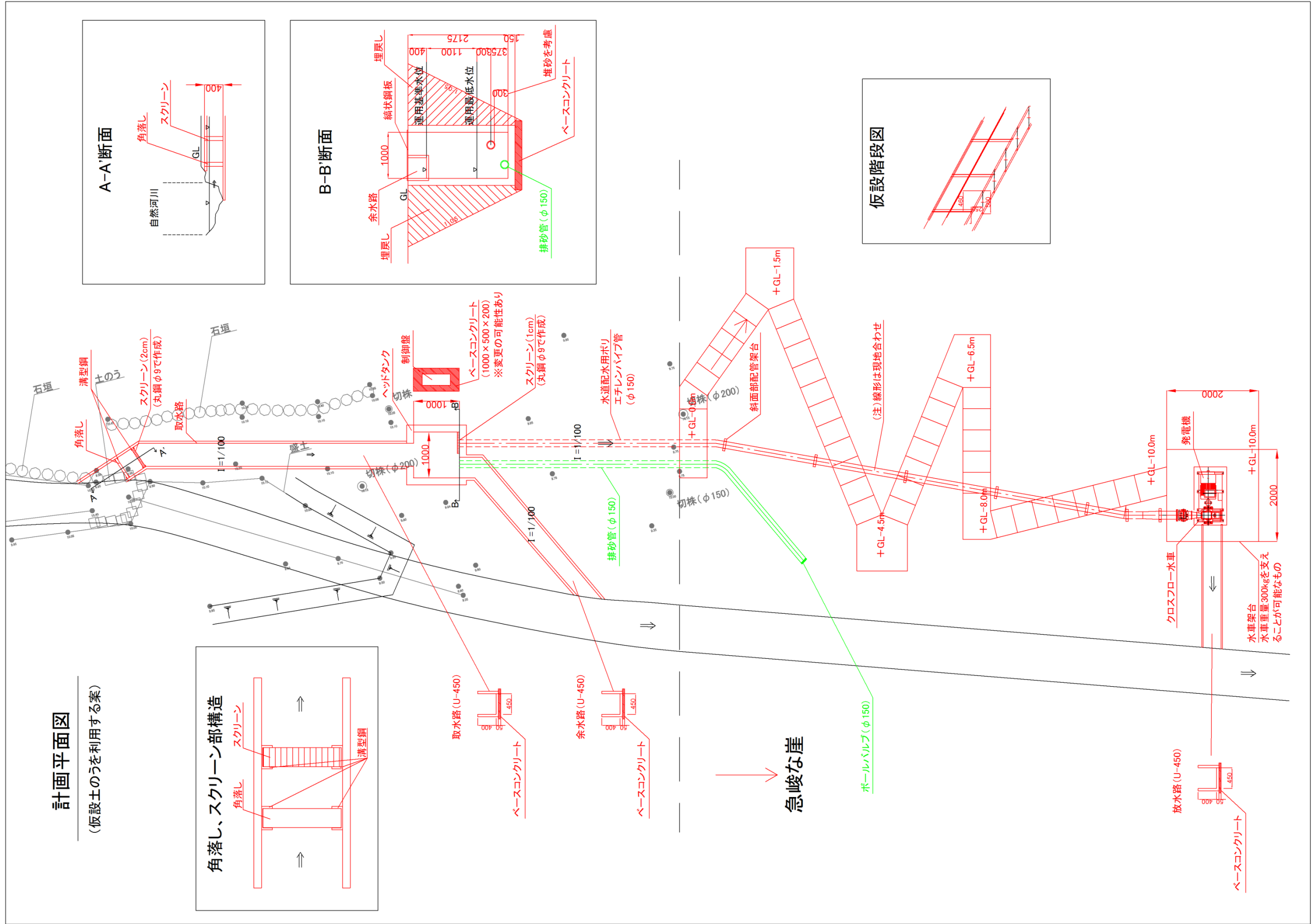


図 2-15 発電設備配置計画平面図

## 2.2.4 保安林解除申請

発電設備配置には、土砂流出防止のための保安林区域が含まれたため、一部解除の申請を行う補助作業を行った。

具体的には図 2-16に示す丈量図において個人所有の保安林区域に発電施設を設置するために、保安林の解除の必要があった。

申請書については次頁のとおりである。



図 2-16 用地境界丈量図



保安林（保安施設地区）内土地の形質変更等許可申請書

平成25年 7月 ●日

北信地方事務所長 殿

住所 長野県松本市旭三丁目1-1  
 申請者 氏名 国立大学法人 信州大学  
 人文学部長 吉田 正明 印  
 (RISTEX研究プロジェクト)

次の森林（土地）において、次のように土地の形質を変更したいので許可されたく、森林法第34条第2項（第44条において準用する同法第34条第2項）の規定によりその許可を申請します。

森林（土地）の所在場所 下水内郡 栄村 大字 堺字 小赤沢 18075-8 地番

保安林（保安施設地区）の指定の目的 土砂流出防備

行 為 の 方 法	土地の形質変更（小水力発電施設設置）	
期 間	始 期	許可の日
	終 期	施設の使用が終了する日（仮設階段は平成27年9月30日まで）
備 考	栄村小赤沢地区における小水力発電設置計画に伴い、保安林の土地形質を変更したく申請いたします。 上記計画に先立ち、対象となる場所の上部取水地付近において、栄村長に行政財産使用許可申請を行い、既に承諾を受けており、7月1日より流量観測調査を実施している。	

注意事項

- 1 申請書は、行為を行うべき箇所ごとに作成すること。
- 2 氏名を自署する場合には、押印を省略することができる。
- 3 行為の方法欄には、次の事項を記載すること。
  - (1) 立竹の伐採にあつては、伐採面積、伐採する立竹の年齢及び束数並びに伐採跡地の取扱い
  - (2) 立木の損傷にあつては、損傷の目的、損傷する立木の樹種、年齢、本数及び面積並びに損傷後の取扱い
  - (3) 家畜の放牧にあつては、放牧面積、家畜の種類及び頭数並びに管理方法
  - (4) 下草、落葉又は落枝の採取にあつては、採取物の種類及び数量並びに採取方法
  - (5) 土石又は樹根の採掘にあつては、採掘の目的、種類（土石の採掘の場合に限る。）、面積、方法及び数量、採掘設備、土地の形質の変更の状況並びに採取後の取扱い
  - (6) 開墾にあつては、開墾の目的、面積及び方法、土地の形質の変更の状況並びに開墾地に係る使用目的達成後の取扱い
  - (7) 土石及び樹根の採掘並びに開墾以外の土地の形質を変更する行為にあつては、変更の目的、行為の種類、内容及び面積、土地の形質の変更の状況、施行設備並びに行為地に係る使用目的の達成後の取扱い
- 4 面積を記載する場合は、実測又は見込みにより、ヘクタールを単位とし、小数第4位まで記載すること。
- 5 添付する図面の様式は、保安林指定（解除）申請書に添付する図面の様式に準ずること。
- 6 表題の「○○○○」欄には、行為の種類を記載すること。

## 作業内容書

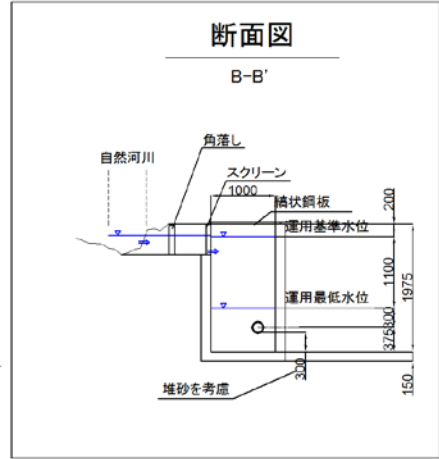
区 分	内 容
行為の内容	栄村小赤沢地点小水力発電 施設の設置
森林所在地 所有者	長野県下水内郡栄村大字塚字小赤沢 18075-8 地番 山田 忠雄 氏
行為の規模	取水施設            1箇所            12.99 m <sup>2</sup> 導水パイプ        L=12.81m        7.04 m <sup>2</sup> 発電用水車施設    1箇所            8.41 m <sup>2</sup> 仮設階段            L=28.00m        72.66 m <sup>2</sup> 計 101.10 m <sup>2</sup> =        0.01011ha
行為の方法	トラックで資材搬入し、ミニバックホウ及び人力で 掘削 及び発電施設の設置を行う。 設置後は切土、盛土部分が生じないように埋め戻しを行う。
面積の算出根拠	別紙計算書のとおり
使用終了後の処理	掘削箇所および作業ヤードは使用終了後に撤去及び原型 復旧を行う。

計画平面図

掘削面積 : 101.10m<sup>2</sup>

[取水施設]

$3.28\text{m} \times 3.96\text{m} = 12.99\text{m}^2$



[導水パイプ]

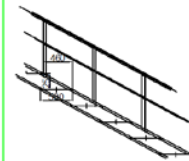
平地部 :  $3.77\text{m} \times 0.55\text{m} = 2.07\text{m}^2$

傾斜部 :  $9.04\text{m} \times 0.55\text{m} = 4.97\text{m}^2$

[仮設階段]

$10.05\text{m} \times 7.19\text{m} = 72.26\text{m}^2$

仮設階段図

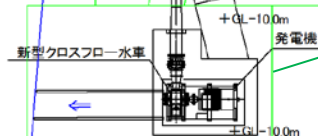


[発電用水車施設]

$2.22\text{m} \times 3.79\text{m} = 8.41\text{m}^2$

急峻な崖

(注) 線形は現地合わせ



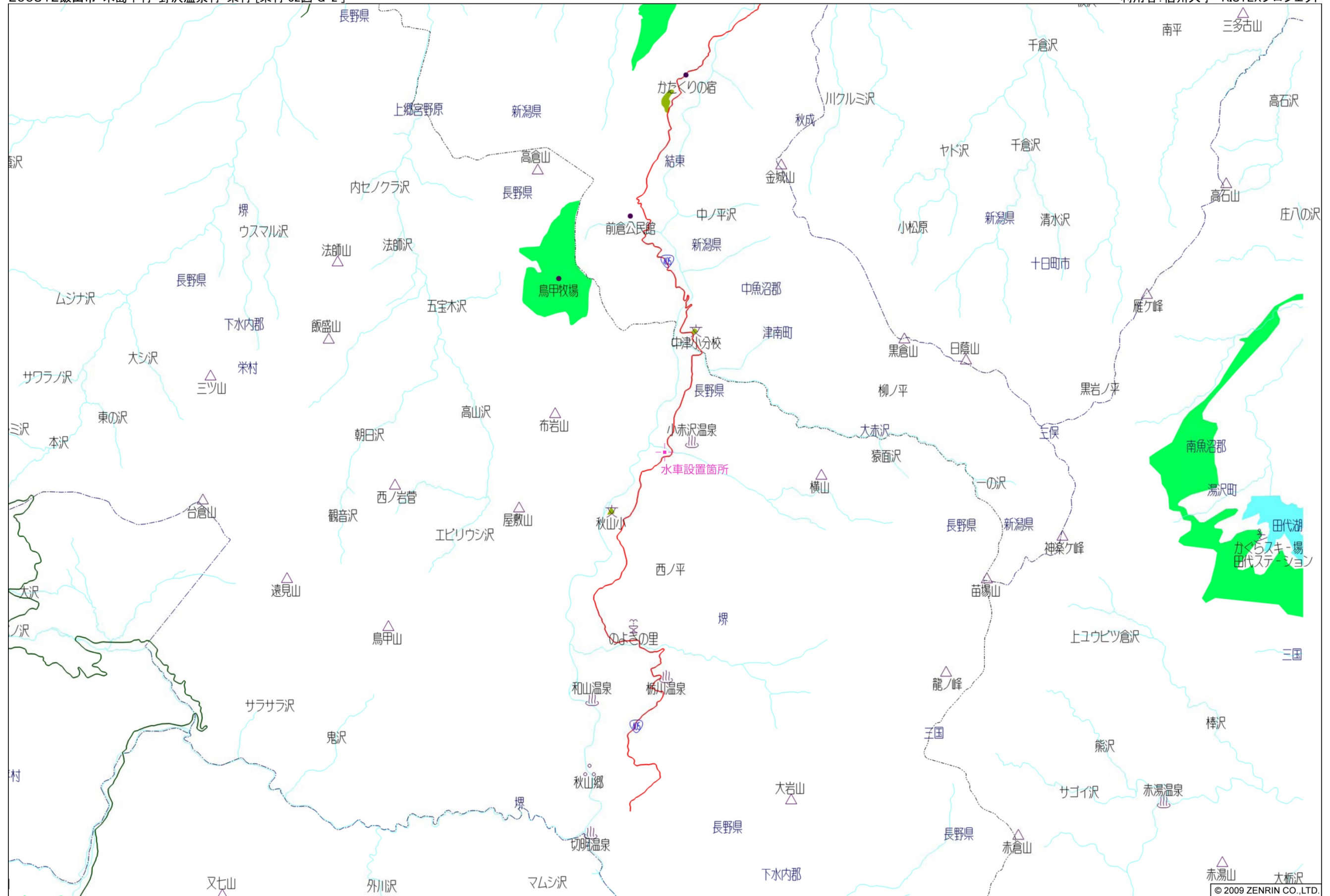
※掘削面積は簡易測量によるものである

図1 掘削面積計算書



栄村大字塚付近

図2 対象位置図



栄村大字塚付近

縮尺 1 / 50,000 1.5km 平20兼使、第204-4号

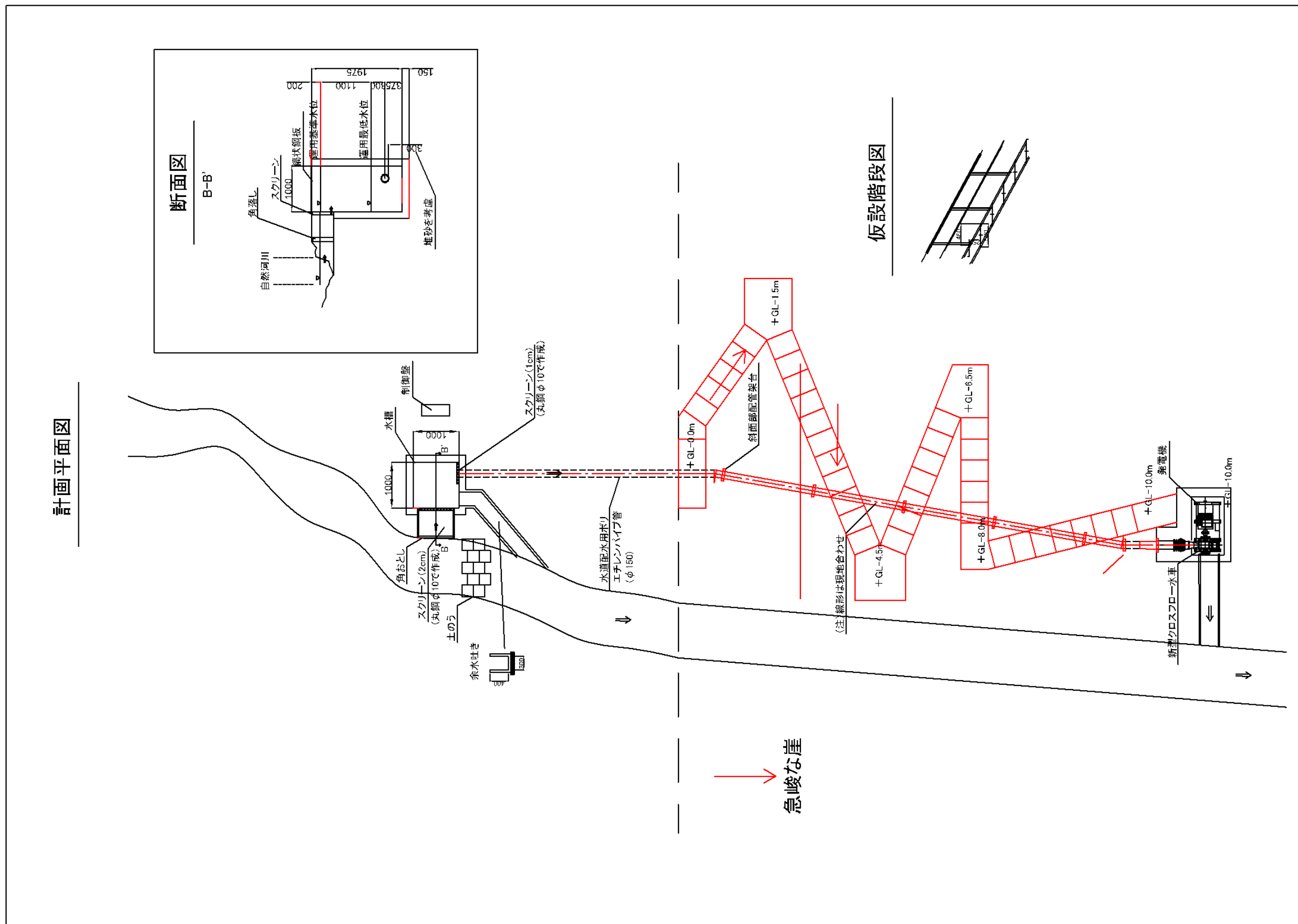


図3 計画平面図

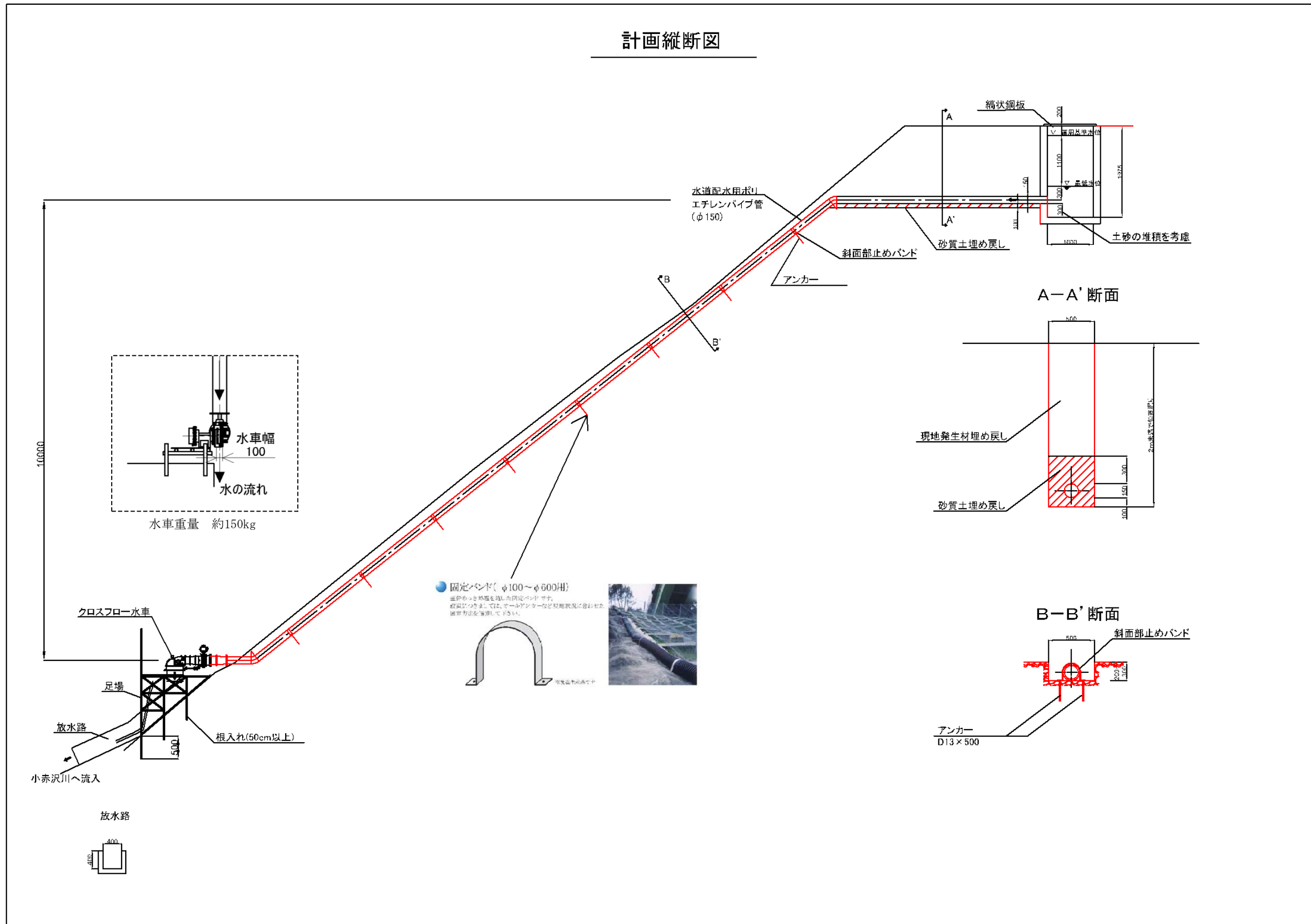


図4 計画縦断図




図5 計画全体イメージ図（小赤沢対岸から撮影）



## 所有地（保安林）利用に関する承諾書

平成 25 年 7 月 18 日

(事業者) 住 所 〒390-8621 長野県  
松本市旭三丁目 1-1  
氏 名 国立大学法人 信州大学  
人文学部長 吉田 正明 殿

(権利者) 住 所 松本市大字塚字小赤沢 18075-8 様、  
氏 名 山田 忠雄 

私が権利を有する敷地について、下記の通り土地利用事業（小水力発電機の設置およびそのための工事）について承諾します。

### 記

所在および地番	下水内郡栄村大字塚字小赤沢 18075-8 (※保安林指定あり：土砂流出防備)
利用の目的	小水力発電機の設置および機器設置のための工事
利用期間	2013年7月下旬～2015年9月30日 (※研究プロジェクト実施期間)
利用後の対応	研究期間終了後は、設備を村に移管する計画のため、 利用後の対応については、三者間で改めて協議する。
その他	別途、所有地利用に関する条件等を明記した契約書を作成する予定。

以上

## 2.3 発電量の調査

発電量は、有効落差と流量、発電効率の関係から求められる。これらの諸量を机上で検討しておき、現地発電調査との比較を行うものとする。

### (1) 発電設備模式図

発電設備の有効落差を想定する上で、管配置や総落差の模式図を図 2-17に示す。

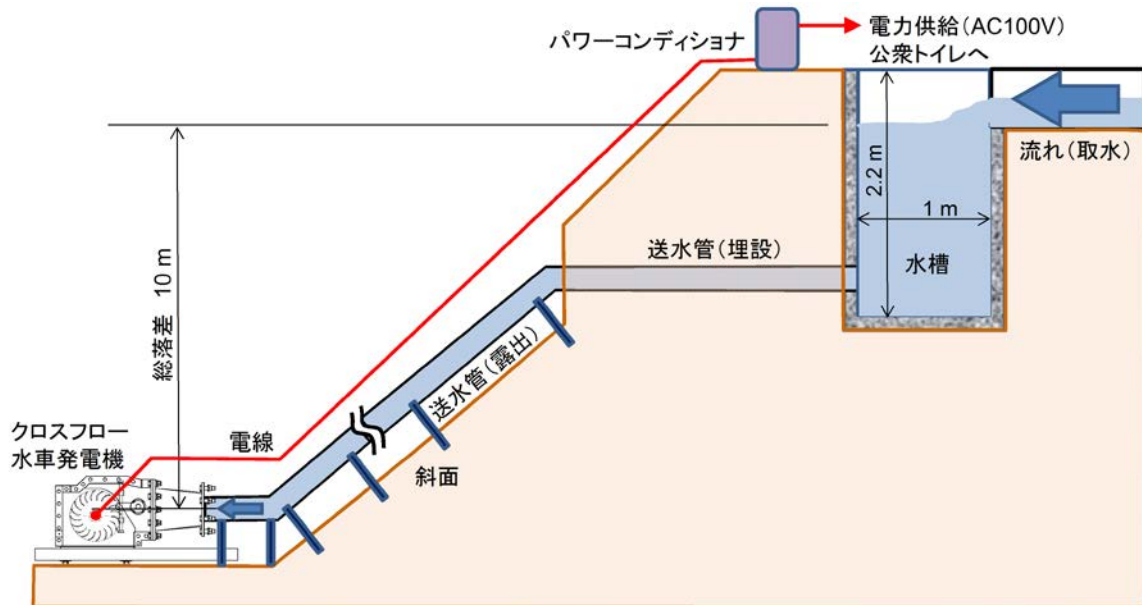


図 2-17 発電設備模式図

### (2) 損失計算

以下より各種損失係数を示す。

#### (a) 損失係数

1) 入口損失  $h_e=0.5$  (角張り)

2) 曲がり損失  $h_b$ =小さな曲率の曲がりはないが、水車手前の曲がり分のみ考慮  $0.3 \times 2$ カ所=0.6と仮定

3) 摩擦損失  $f = \frac{12.7gn^2}{D^{1/3}} = \frac{12.7 \times 9.8 \times 0.012^2}{0.15^{1/3}} = 0.0337$

$$\frac{f \ell}{D} = 0.0337 \times \frac{20\text{m}}{0.15\text{m}} = 4.493$$

4) バルブ損失  $h_v=0.6$

## 5) スクリーン

### 1. スクリーンバーによる損失水頭と水位変化量

内外水位差は、流水中の抵抗として以下の式より求めるが、静水圧と異なりスクリーンの目詰まり等の不確定要素が多いため、これらを考慮して、十分安全な値とする。

Kirschmer (キルシュメール) の式

$$\Delta h_r = h_r + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) = f_r (V_1^2/2g) + (V_2^2/2g) - (V_1^2/2g) \dots\dots\dots (4.1.3-1)$$

$$f_r = \beta \sin \theta (t/b)^{4/3} \dots\dots\dots (4.1.3-2)$$

ここに、 $\Delta h_r$  : スクリーンによる水位変化量 (cm)

$h_r$  : スクリーンによる損失水頭 (cm)

$f_r$  : スクリーン損失係数

✓  $\beta$  : スクリーンのバーの断面形状による係数 (図4.1.3-1参照)

$\theta$  : スクリーンの傾斜角度 (deg)

$t$  : スクリーンのバーの厚さ (cm)

$b$  : スクリーンのバーの目の大きさ (純間隔) (cm)

$V_1$  : スクリーン上流側での平均流速 (cm/s)

$V_2$  : スクリーン下流側での平均流速 (cm/s)

$g$  : 重力加速度 (981cm/s<sup>2</sup>)

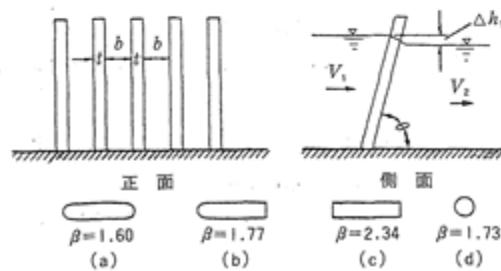


図4.1.3-1 バーの形状と係数

$$\begin{aligned} h_r &= \beta \sin \theta (t/b)^{4/3} \\ &= 1.73 \times 1.0 \times (1/0.5)^{4/3} \\ &= 4.36 \end{aligned}$$

(3) 発電量の推定

前述の水利計算書から出力を求めると、表 2-4 に示すとおりとなる。

なお、発電最大出力 P の算定は下式を用いて算定する。

$$P = 9.8 \times H' \times Q \times \eta$$

ここに、P : 最大出力 (KW)

H' : 有効落差 (m) (= H - HH)

H : 総落差 (m)

HH : 損失落差 (m) (各種損失を考慮)

Q : 流量 (m<sup>3</sup>/s)

η : 効率 (= Cp × Cg)

Cp : 水車効率

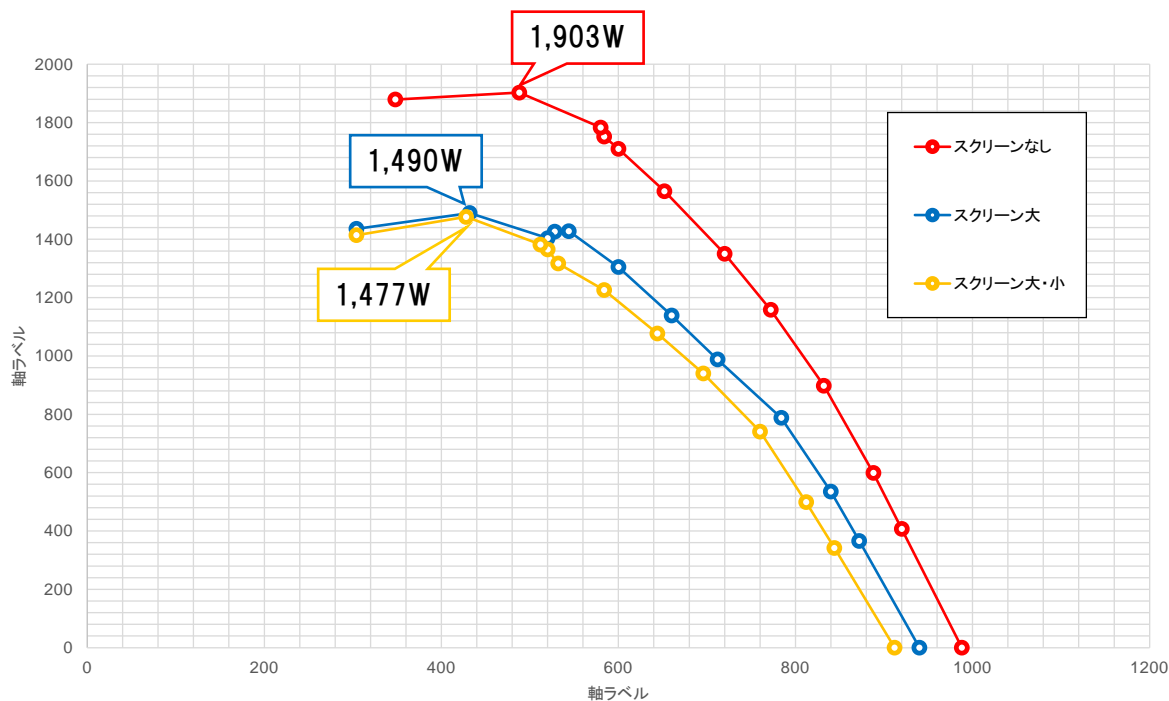
Cg : 発電機効率

表 2-4 発電量推定計算

諸量		スクリーンなし	取水口スクリーン有り	取水口スクリーン+水槽スクリーン有り	備考
損失係数	入口損失	he	0.5	0.5	0.5
	曲がり損失	hb	0.6	0.6	0.6
	摩擦損失	f・L/D	4.493	4.493	4.493
	バルブ損失	hv	0.6	0.6	0.6
	出口損失	ho	1.0	1.0	1.0
	スクリーン損失	hr	0	4.36	4.36
	計	Σ h	7.193	11.553	11.553
総落差(m)	H	10.0	10.0	9.9	スクリーン影響の実測水位低下を考慮
流速(m/s)	$V = (2gH / \Sigma h)^{0.5}$	5.22	4.12	4.10	
流量(m <sup>3</sup> /s)	$Q = \pi \cdot D^2 / 4 \times V$	0.0922	0.0728	0.0724	
損失落差(m)	$HH = (\Sigma h - hr) \times V^2 / 2g$	6.25	6.23	6.17	スクリーン通過後の損失を考慮
有効落差(m)	$H' = H - \Sigma h$	3.75	3.77	3.73	
水車効率	Cp	0.6	0.6	0.6	
発電機効率	Cg	0.9	0.9	0.9	
水車・発電機効率	Cp・Cg	0.54	0.54	0.54	
出力(KW)	$P = 9.8 \times H' \times Q \times Cp \cdot Cg$	1.83	1.45	1.43	

#### (4) 現地発電量調査

H25. 10. 10の現地発電能力調査では実流量が測定できず、水車の回転数と出力の関係図が作成された。



小赤沢水車の特性

図 2-18 回転数（横軸）－出力（縦軸）の関係（現地実験の例）

以上の現地発電量と発電量の推定値を比較したものは以下に示すとおりである。

表 2-5 発電量推定値と現地発電量との比較

	推定発電量	現地発電量
スクリーンなし	1. 83KW	1. 90KW
取水口スクリーンのみ	1. 45KW	1. 49KW
取水口＋水槽スクリーン	1. 43KW	1. 48KW

損失係数は、水理公式集上の値を利用しているため、今後は、計測ケースを増やして水車性能を測定する予定である。

### 3. 地下熱関連調査

地下熱関連調査として、昨年度業務において対象地域の松本盆地における地形、地質、気象、地下水・湧水の流量・水質、河川流量、地下水揚水量、水田湛水実験データ等の基礎データについて収集・整理した。これら収集データに基づき、本業務では、松本盆地を対象とする広域地下水流動シミュレーションモデルを構築し、現況再現計算および将来予測計算を実施する。

また、信州大学工学部キャンパス内講義棟に導入された地下水制御型ヒートポンプ空調システムに関連して設置された10孔の井戸を対象とし、システム実証試験に伴う地下水環境の変化を把握する目的で、現地観測データを整理する。次いで、データ整理結果を踏まえ、地下水解析に必要な各種データを整理・統合するとともに、地下熱冷暖房システムの現地観測データ整理結果について考察する。

なお、前述した信州大学構内における実証試験は、(独)新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)より、「次世代型ヒートポンプシステム研究開発『地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発』」の採択を受けて、信州大学と清水建設株式会社が実施したものであり、本業務の成果の一部は、当該プロジェクトで実施された研究成果を含んでいる。

### 3.1 地下水流動シミュレーションの実施方針

松本盆地を対象として、広域地下水流動シミュレーションモデルを構築し、地下水流動に関わる現況再現計算と将来予測計算を行う。なお、モデル構築に必要な地形、水文地質、地下水等に関わる各種データは、平成24年度に収集・整理したものを活用するものとする。

#### 3.1.1 水循環モデル構築及び数値シミュレーションの目的

本業務における数値シミュレーションの実施目的は、次のとおりである。

- ①松本盆地の帯水層構造を概略的にモデル化し、地下水流動機構を「見える化」する
- ②数値シミュレーションにより地下水流動機構を明らかとし、地下水系における上下流の市町村の関係性を把握する

#### 3.1.2 シミュレーションで考慮する現象

数値シミュレーションでは以下に示す3つの現象を考慮する必要がある（図 3-1 参照）。

##### ◆広域地下水流動シミュレーションで考慮する現象

- 【現象1】 降雨由来の地下浸透
- 【現象2】 地下水の流れ
- 【現象3】 自然地下水への人為的インパクト

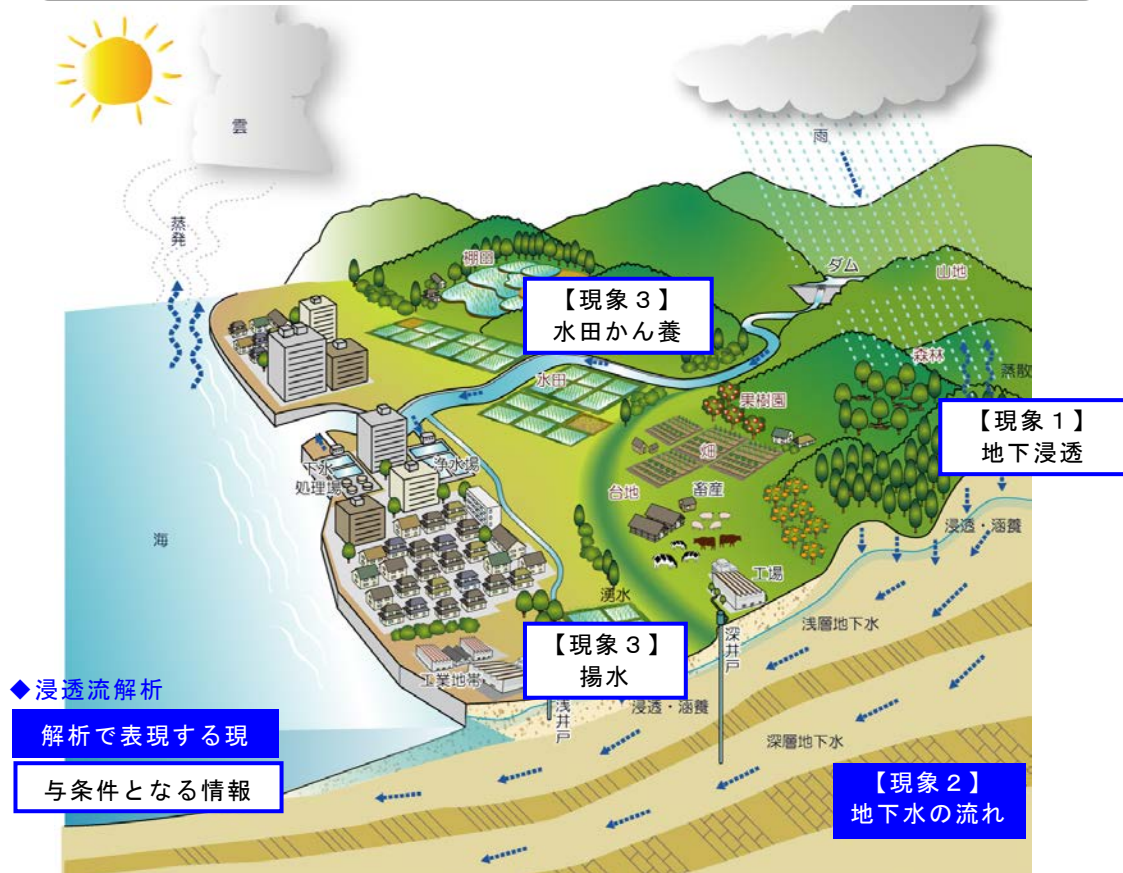


図 3-1 広域地下水流動シミュレーションで考慮する現象

本業務の要件を最も満足する準3次元モデルを地下水流動モデルに採用することとし、これを踏まえ、松本盆地における数値シミュレーションの基本条件について表3-1のとおり整理した。地下水流動機構の概略理解を目的とするため、定常状態での検討を実施する。

採用する数値モデルの模式図を図3-2に示す。図のとおり準3次元モデルでは、地表からの地下浸透量については、対象地域の水収支計算を別途実施して浸透量を求め、これを計算条件として設定する必要がある、したがって本業務では、この地下浸透量を決定する水収支モデルを「地下涵養モデル」と呼ぶこととし、各地域において整理をすすめることとした。

なお本業務においては、すべての地域において帯水層は一層を想定し、不圧地下水を対象として計算を実施する。

表 3-1 松本盆地における数値シミュレーションの基本条件

項目	条件
モデル化する自然現象	地下水流動モデル：地下水の流動 地下涵養モデル：地下浸透条件の設定
評価する現象の状態	定常
評価する現象の空間分布	準3次元
その他	帯水層は一層とし、不圧地下水と見なす

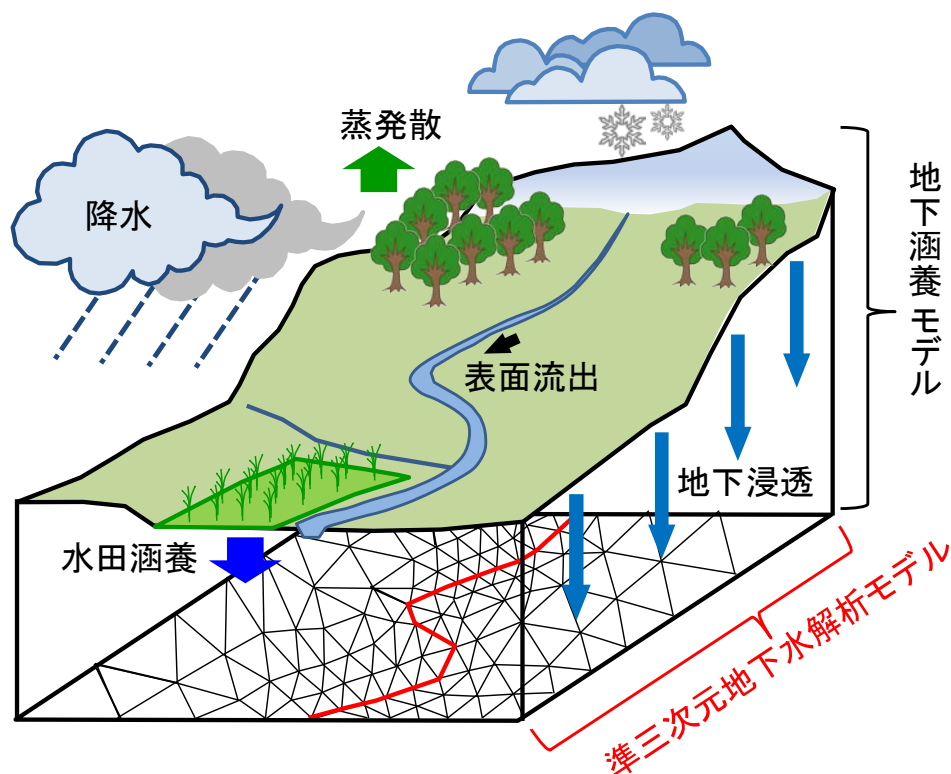


図 3-2 松本盆地水循環モデルの模式図



### 3.1.3 準3次元モデルの理論（不圧地下水の流れ）

デュピエの仮定（圧帯水層の鉛直方向の平均全水頭が基盤における全水頭および自由地下水面における全水頭と等しいと仮定）に従うと、基盤が傾斜している不圧帯水層中の鉛直流れが無視できる準3次元地下水流動の支配方程式は次のとおりとなる<sup>1</sup>。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \{K_{ij}(h^* - b) \frac{\partial h^*}{\partial x_j}\} + N = S_y \frac{\partial h^*}{\partial t} \quad (6.1)$$

ここに、 $K_{ij}$  [L/T] は透水系数テンソルで添え字  $i$ 、 $j$  はそれぞれ  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向である。また、 $b$  は基盤高さ、 $h^*$  は自由地下水面高さ、 $N$  は地表面からの単位面積あたりのかん養量、 $S_y$  [-] は比算出率である。比算出率は被圧帯水層の貯留係数に相当する帯水層定数であり、有効間隙率と同義に用いられることが多い。

なお、地下水を開発する場合、単位長当たりの水位低下に対して汲み出すことのできる水量が多いほど有望である。図3-3は、粒径と間隙率および比産出率との関係を示したものである。図より、間隙率は粒径が小さくなるほど単調に大きくなるが、重力によって排水できる水量は砂を境に少なくなるため比産出率は小さくなる。逆に、砂より粒径が大きくなると間隙率自身が小さくなるため比産出率も小さくなる。つまり、比産出率は砂層が最も大きいことがわかる。

ちなみに、比貯留係数に地層の厚さを乗じた貯留係数より比産出率の方が圧倒的に大きいため、被圧地下水よりも不圧地下水の方が地下水を取水しやすい（単位長当たりの水位低下に対して汲み出すことのできる水量が多い）と言える。

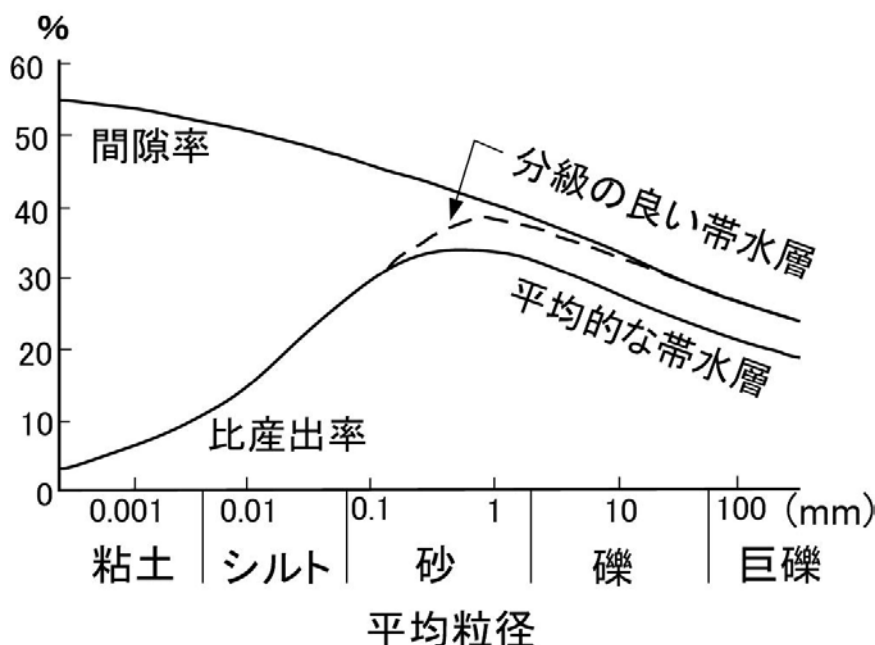


図 3-3 粒径と比産出率

出典/環境地下水学[藤縄, 2010]

<sup>1</sup> 藤縄克之(2010):環境地下水学, 共立出版

### 3.1.1 地下涵養モデルの概念

自然界において地下水位を変動させる要因は、大きく自然的なインパクト（降水、伏流水等）と人為的なインパクト（揚水、水田涵養等の灌漑水）に大別できる。ここに、「地下水位の変動が大きい」場合とは、「帯水層中における水の出入りの量が多い」と言い換えることができる。したがってここでは、地下水の量に着目した水収支の基礎について説明し、本業務で構築する地下涵養モデルの概念を整理する。

水収支に関わる成分を模式的に示したものが図 3-4である<sup>2</sup>。

海や河川あるいは湖沼などの水面、あるいは湿った地表面から水が気化して水蒸気となる現象が**蒸発**である。一方、植物は気温の高い日中に根から吸い上げた土壌水を葉の裏側にある気孔などから水蒸気として大気中へ放出することにより放熱している。このように、植物の根が吸い上げた土壌中の水分、気孔を通して大気へ移行する現象を**蒸散**と呼んでいる。蒸発と蒸散は、水圏や地圏から水が水蒸気として大気圏へ移行する重要なプロセスであり、水の循環を扱う水文学では蒸発と蒸散を一括して**蒸発散**と呼んでいる。

地表面に到達した太陽放射は、入射角や地表面の状態の違いによりその分布が不均一となる。このため、地圏に温度差が生まれ、水や大気は地球規模で循環する。このような水や大気の循環は、同時に地球規模で物質や熱を輸送させる。湿った空気が気流により輸送され、冷却された水蒸気が一定サイズの液滴や固体に成長すると雨や雪となって地圏へ落下する。この現象が**降水**あるいは**降雪**である。地表に到達した雨水や融雪水は浸透し、地表から地中へ浸入する。なお浸透は、河川からの**伏流水**や農地からの**灌漑水**といった様々な形態において生じる。

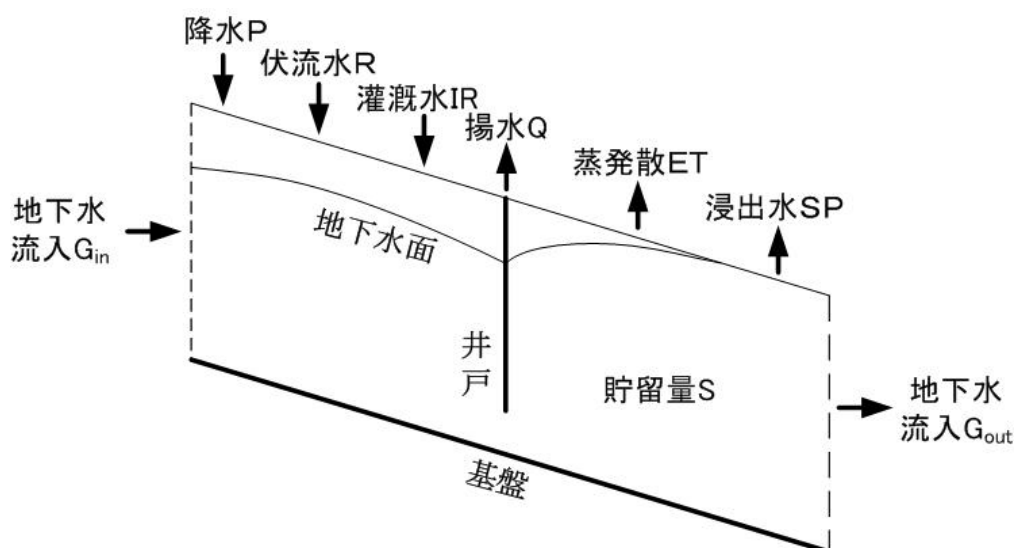


図 3-4 地下水系の収支に関わる成分

出典/環境地下水学[藤縄, 2010]

<sup>2</sup> 藤縄克之(2010):環境地下水学, 共立出版

地下水を利用する場合、生態系の維持や景観の保全に重要な役割を果たしている湧水や日常生活を支えている井戸水を枯渇させたり、あるいは海岸帯水層への塩水浸入や軟弱地盤の沈下を引き起こしたりしないよう十分な注意を払う必要がある。特に、地下水の取水が大規模になるほど、事前に周到な調査を行って地下水収支を明らかにし、環境問題を引き起こさない適正な採取量を決定する必要がある。

地下水の水収支においてプラスの成分となるのは、地下水流入量  $G_{in}$ 、降水量  $P$ 、河川からの伏流量  $R$ 、農地からの灌漑水量  $I$  があり、またマイナスの成分には、地下水流出量  $G_{out}$ 、地下水の揚水量  $Q$ 、蒸発散量  $ET$ 、地表面への浸出（湧出）水量  $SP$  がある。

これらのうち人間活動に関係する成分は、**地下水の揚水量  $Q$**  と **農地からの灌漑水量  $I$**  である。

本業務で構築する地下涵養モデルは、上述の水収支の概念に基づき、図 3-5 のとおりとする。なお図 3-4 で整理された、地下水系における水収支構成要素のうち、地下水流入については、閉鎖的な地下水系を対象としたモデルにするため考慮しないこととし（詳細は後述）、浸出水は地下水流動シミュレーションにおいて河川流出を反映できるモデル構造として対応する。また伏流水については、地域の主要河川をモデル化し、河川からの伏流が考慮できるように工夫することとした。

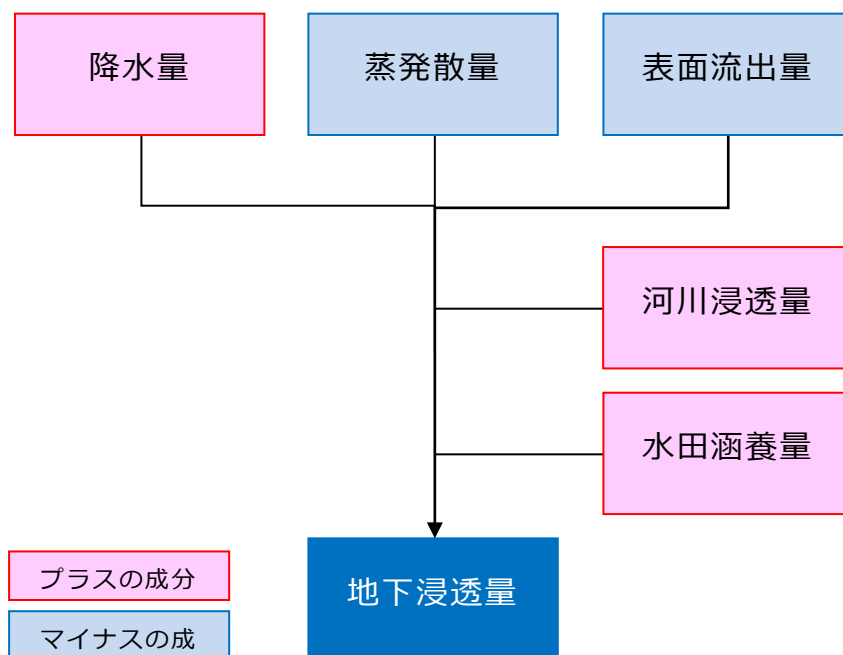


図 3-5 地下涵養モデルの概念図

### 3.2 数値シミュレーションモデルの基本条件

既存資料および文献等より、数値シミュレーションモデルにおける地形、地質、帯水層特性といった基本条件を整理した。

#### 3.2.1 松本盆地における数値シミュレーションモデルの考え方

##### (1) 解析領域

松本盆地を対象とする数値シミュレーションにおいて、解析対象とする領域の諸善および位置図を表 3-2および図 3-6にそれぞれ示す。

表 3-2 解析領域緒元

モデル名称	解析領域の面積 (km <sup>2</sup> )	関係する水系	関係する水文区
松本盆地モデル	450.93	千曲川水系	松本、大北

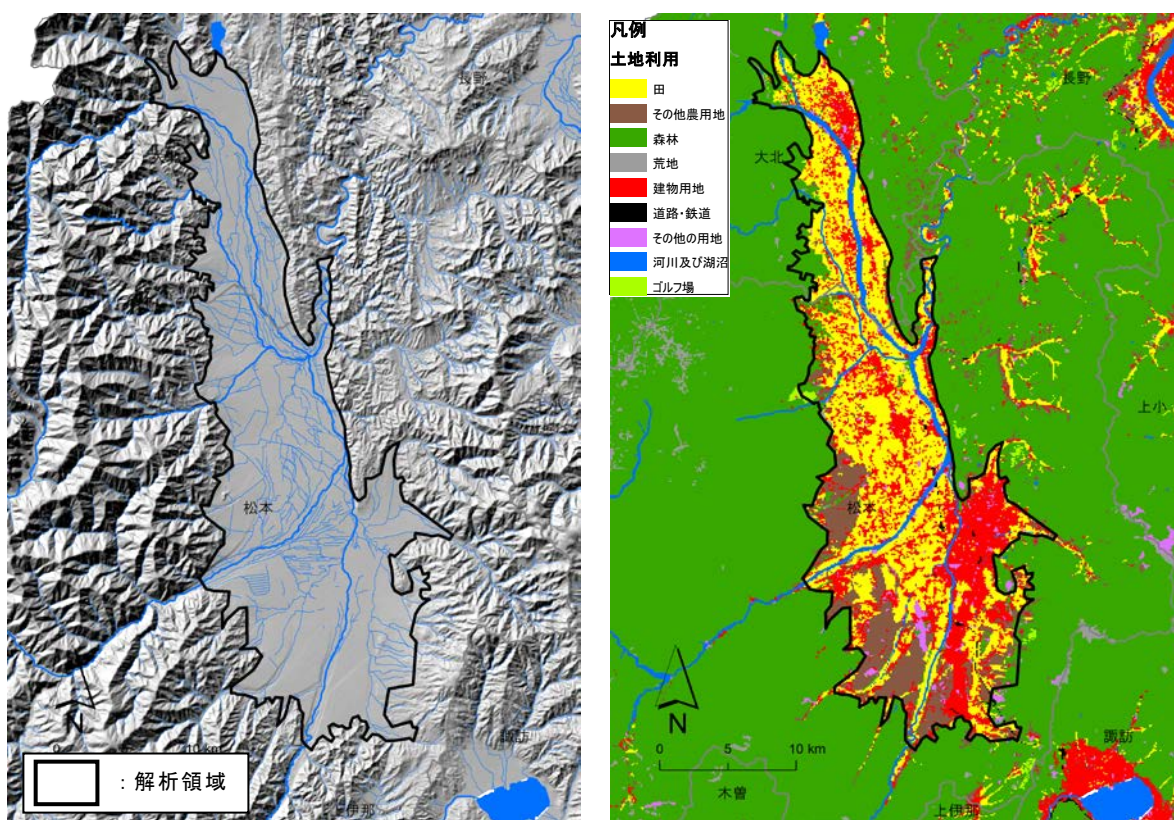


図 3-6 松本盆地モデルの解析領域

## (2) 解析対象となる地域の地質構造およびモデル化する地域の特性

松本盆地の地質構造について、模式図を図 3-7に示す。想定されるこのような水理地質特性を考慮し、地形および土地利用の面的分布を参考に、連続したひとつの地下水盆と想定される範囲を包絡する領域を解析領域として設定した。

モデル化する地域の特性として、水田からの涵養、河川からの伏流、地下水取水等が挙げられる。特に、松本盆地では水田利用が盛んなため、適切な地下浸透量を設定することが重要である。

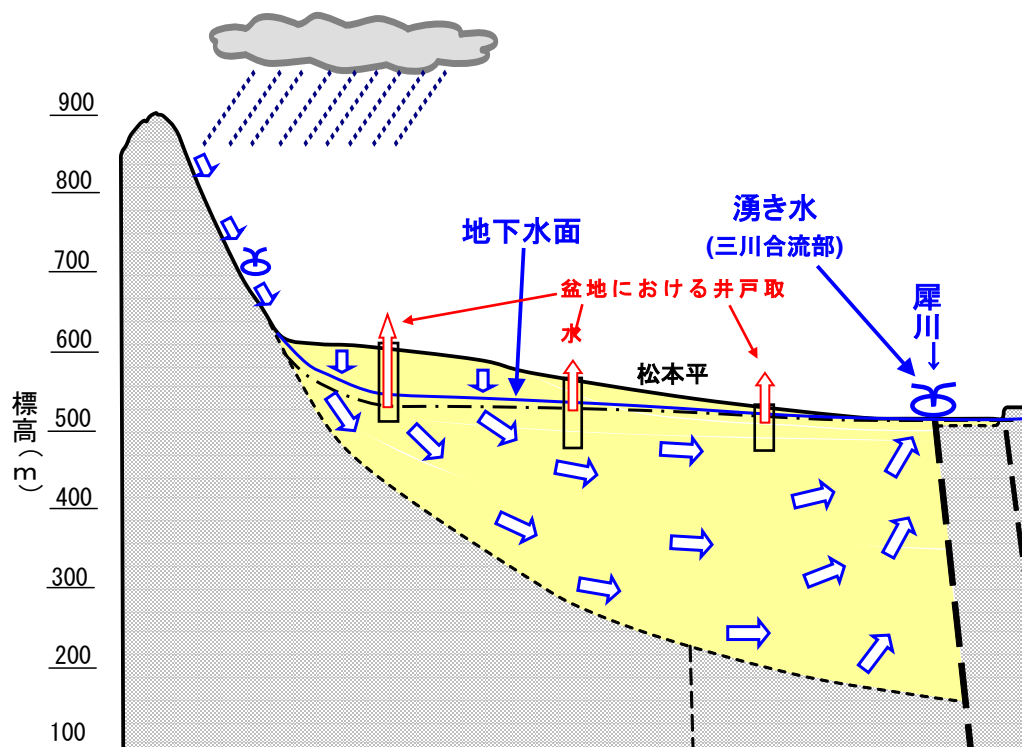


図 3-7 松本盆地モデル（帯水層が広く厚く分布）の模式断面

### 3.2.2 境界条件等の設定方針

設定した解析領域は、図 3-8に示すような閉鎖的な地下水系を有する。したがって、地下水流動シミュレーションの境界条件としては、モデル領域の縁辺上は、基本的に不透水境界として扱うこととする。

また盆地域においては、河川から地下への伏没や河川への地下水流出が、地下水位形成機構において非常に重要な役割を果たす（表 3-3参照）。したがって、地域の主要河川についても計算に反映することとし、基本としてモデル化対象河川からの浸透量を条件設定することとした。

なお、モデル化対象とする河川河床高の細密な縦断情報を取得し、適切にモデル化することが、数値解析の精度向上に寄与することから、次頁以降では河川の縦断情報の整理について詳述する。

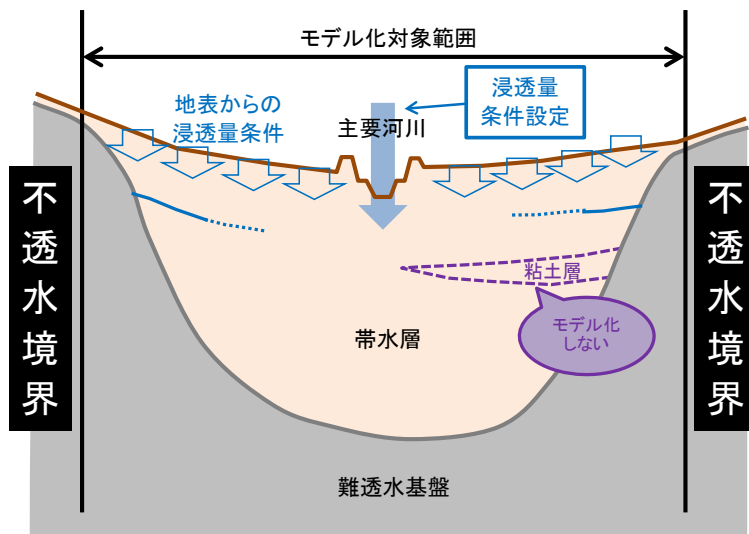


図 3-8 境界条件の設定方法（概念図）

表 3-3 河川水と地下水の相互交流の概念図

形態	河川水位と地下水位の関係（模式図）	
築堤河川	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">得水河川</div>	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">失水河川</div>
	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">得水河川</div>	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">失水河川</div>

(1) モデル化対象河川の選定

国土交通省北陸地方整備局では、管理する一級水系において、流域氾濫原のレーザープロファイラ（LP）データを取得している。

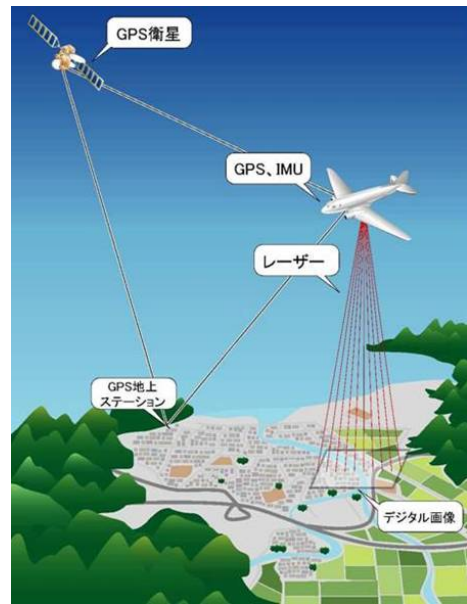
LPデータとは、航空レーザ測量により得られる3次元地形データのことであり、図 3-9に示すような方法により、細密な（約2m四方に1点程度）地形データが取得される。さらに取得したLPデータよりDSM（Digital Surface Model）を作成し、さらに建物や樹木等の標高情報をフィルタリングすることで、DEM（Digital Elevation Model）が整備される。

長野県内の河川はすべてが一級水系に属し、これら河川の氾濫原において国土交通省の整備したDEMが整備されている。そこで本業務では、対象とする松本盆地内の河川において、LPデータから作成した高精度地形情報を基に、図 3-10に示す手法によって河川情報を取得することとした。これら取得した河川情報より、モデル化対象河川および河川水位を設定する。

■ レーザープロファイラ (LP) データについて

LPデータは航空レーザ測量により得られる3次元地形データのことです。航空レーザ測量は、下図に示すとおり、航空機に搭載した航空レーザスキャナから地上に向けてレーザパルスを発射し、反射して戻ってきたレーザパルスを解析することでLPデータを取得する技術です。LPデータから河道横断形状や氾濫原の地形形状などを得ることができます。

信濃川水系におけるLPデータは平成18年度に計測されたものであり、一般的に誤差は±15cm程度（鉛直方向）と言われている。定期横断測量成果に比べ、精度は若干劣るものの、1/2500地形図作成の基となる航空測量よりも精度は高い。



DSM(Digital Surface Model)      DEM(Digital Elevation Model)



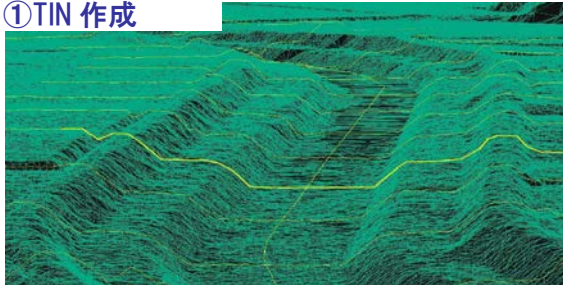
分類	フィルタリングする項目
交通施設	道路施設等: 道路橋(長さ10m以上)、高架橋、横断歩道橋、道路情報板等、照明灯、信号灯、鉄道施設: 鉄道橋(長さ10m以上)、高架橋(モノレールの高架橋含む)、跨線橋、プラットフォーム、プラットフォーム上屋、架線支柱、信号灯支柱
	移動中又は移動可能な物体: 駐車車両、鉄道車両、船舶
建物等	一般住宅、工場、倉庫、公共施設、駅舎、無壁舎(温室、ビニールハウス)、競技場のスタンド、門、プール(土台部分含む)、へい
小物体	記念碑、鳥居、貯水槽、肥料槽、給水塔、起重機、煙突、高塔、電波塔、灯台、灯標、輸送管(地上、空間)、送電線
水部等	浮き棧橋、捨石、堰、水門、透過水制
植生	樹木、竹林、生垣
その他	大規模な改変工事中の地域、地下鉄工事等の開削部、資材置場

図 3-9 レーザープロファイラ (LP) データについて

■作成方法

- ①LPデータ(グラウンド)から不整三角形網(Triangulated Irregular Network:TIN)を作成
- ②各河川で堤防横断測線を25mピッチで設定
- ③各横断測線における横断面図をTINをもとに作成
- ④作成した横断面図をもとに縦断面図を作成

①TIN作成



②横断測線の作成



①200mピッチ

定期横断測量と同一測線で横断測線作成

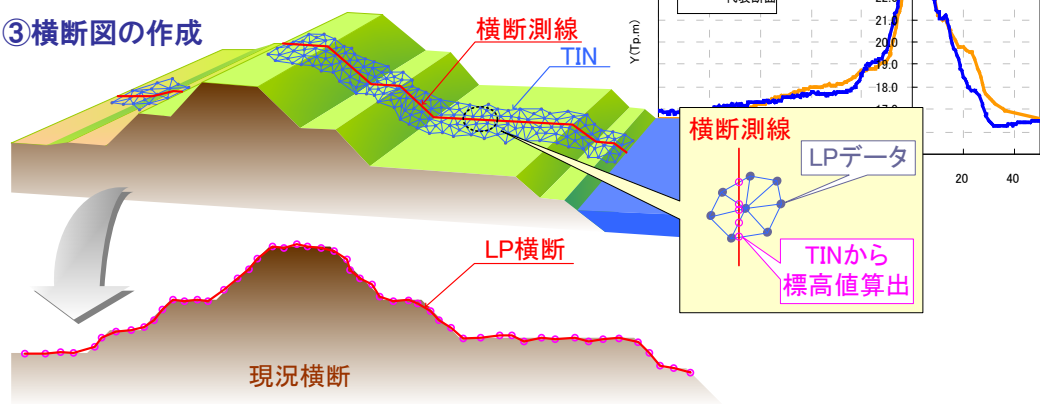
②25mピッチ

1) 堤防法線を定期横断測量のキロ杭で分割し、200mピッチの線分を作成

2) 線分を8等分し、25mピッチのキロ杭を作成

3) 25mピッチのキロ杭を左右岸結び、横断測線を作成

③横断面図の作成



④縦断面図の作成

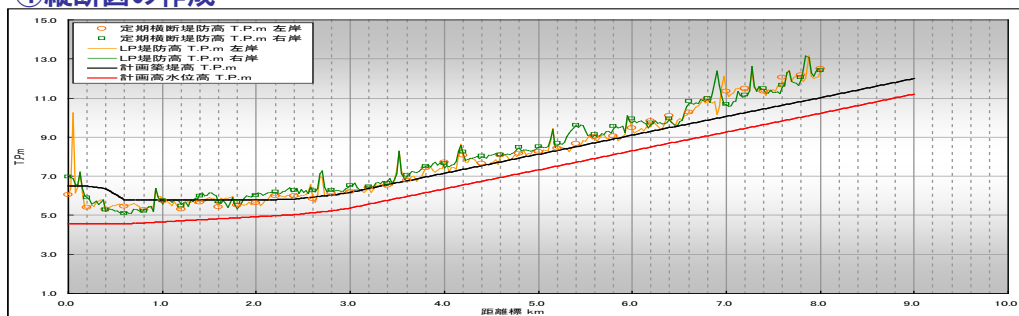


図 3-10 LPデータを用いた河川情報の取得方法



## (2) 取得する河川情報

縦断情報の整理対象とする河川について、河川別に河川情報（河川水位、左右岸堤防高、左右岸背後地盤高、川幅）を整理する。各河川情報は河川形態（築堤河川、掘込河川）別に、図 3-11に示す情報を取得している。

なお図 3-12に示すとおり、LPデータは水面下の地形情報の取得ができない。したがって本検討においては、LPデータで作成する横断情報から得られる最深河床高を河川水位として整理し、さらに河川水位よりマイナス1mの高さを便宜的に河床高として設定する。

その他、表 3-4に整理したLPデータより作成した河川情報を利用する際に留意すべき事項について配慮し、河川情報を整理している。

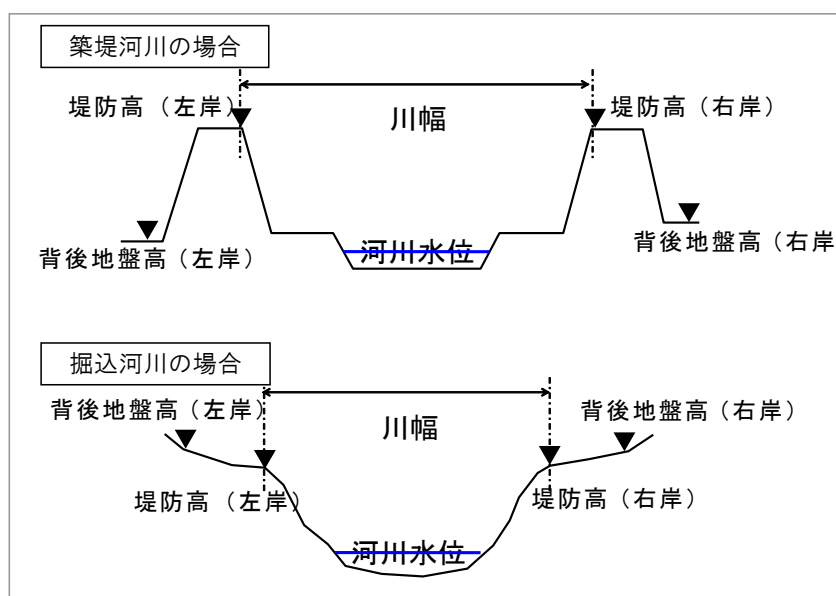


図 3-11 本検討において整理する河川縦断情報

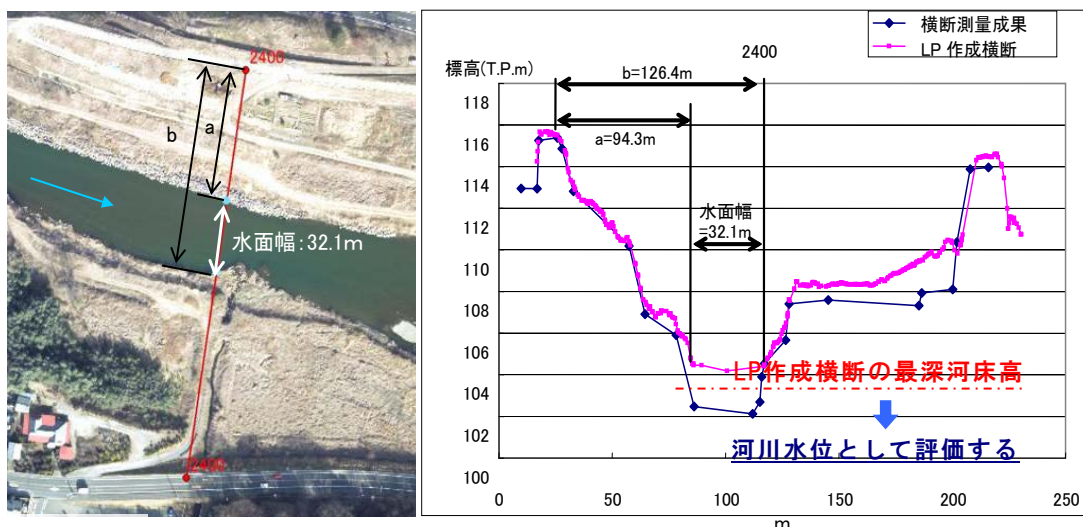
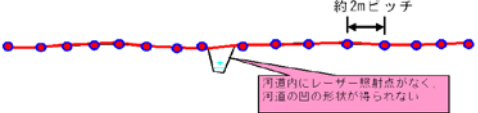
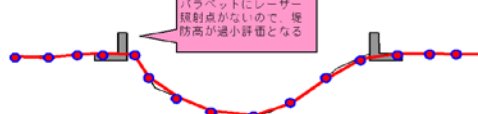
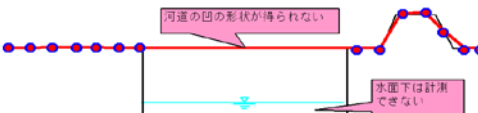
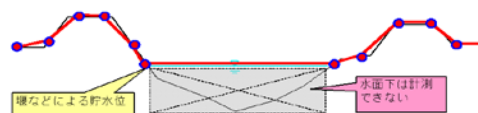
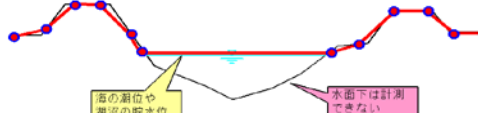
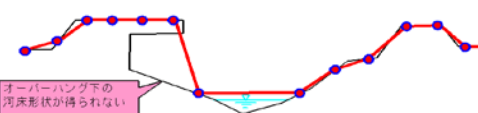
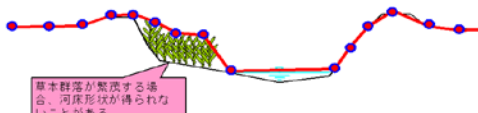





図 3-12 LPデータで評価される河川水位

表 3-4 LPデータから作成した河川情報の留意点

NO	異常断面箇所の例	イメージ	異常断面となる原因
1	幅が狭い河川		
2	パラペット		レーザー照射間隔が約2mのため、レーザー照射による高さ情報の取得が困難である
3	矩形断面の河川		
4	可動堰背水区間		水面は鏡面反射によりレーザー計測による高さ情報の取得はできない(水面に波やゴミがあてば計測できることもある)
5	海の潮位や湖沼の貯水位の下		
6	オーバーハングした道路の下		フィルタリングが困難
7	密集した草本群落の下		
8	密集した樹冠の下		フィルタリングによりグランドレーザー照射点が減少
9	建物・障害物の下		
10	データ欠測		データ取得範囲が不十分

### (3) モデル化対象河川の選定

モデル化対象河川は図 3-11に示すとおり、県内河川の直轄区間および指定区間においてLPデータより作成した河川情報を取得し（図 3-14）、これら河川を対象に川幅でスクリーニングを実施した。図 3-15は川幅50mで分類した場合に選定される個所を着色して示している。これにより、川幅を50mとした場合に地域の主要河川が選定されることがわかる。また本検討の対象領域は広範にわたるため、実務上、数値解析メッシュは細部でも100m程度とするのが現実的である。したがって、川幅50mでスクリーニングをかけた際に抽出された河川をモデル化対象河川と考えることとした。

以上より選定されたモデル対象河川を表 3-5に整理し、各河川の位置図を図 3-16に示す。

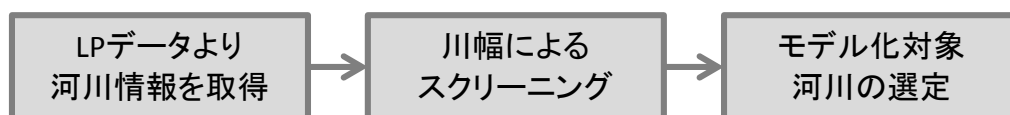


図 3-13 モデル対象河川の選定フロー

表 3-5 モデル化対象河川

松本盆地モデル	1	犀川（梓川）
	2	高瀬川
	3	穂高川
	4	奈良井川
	5	鹿島川
	6	乳川
	7	烏川
	8	鎖川

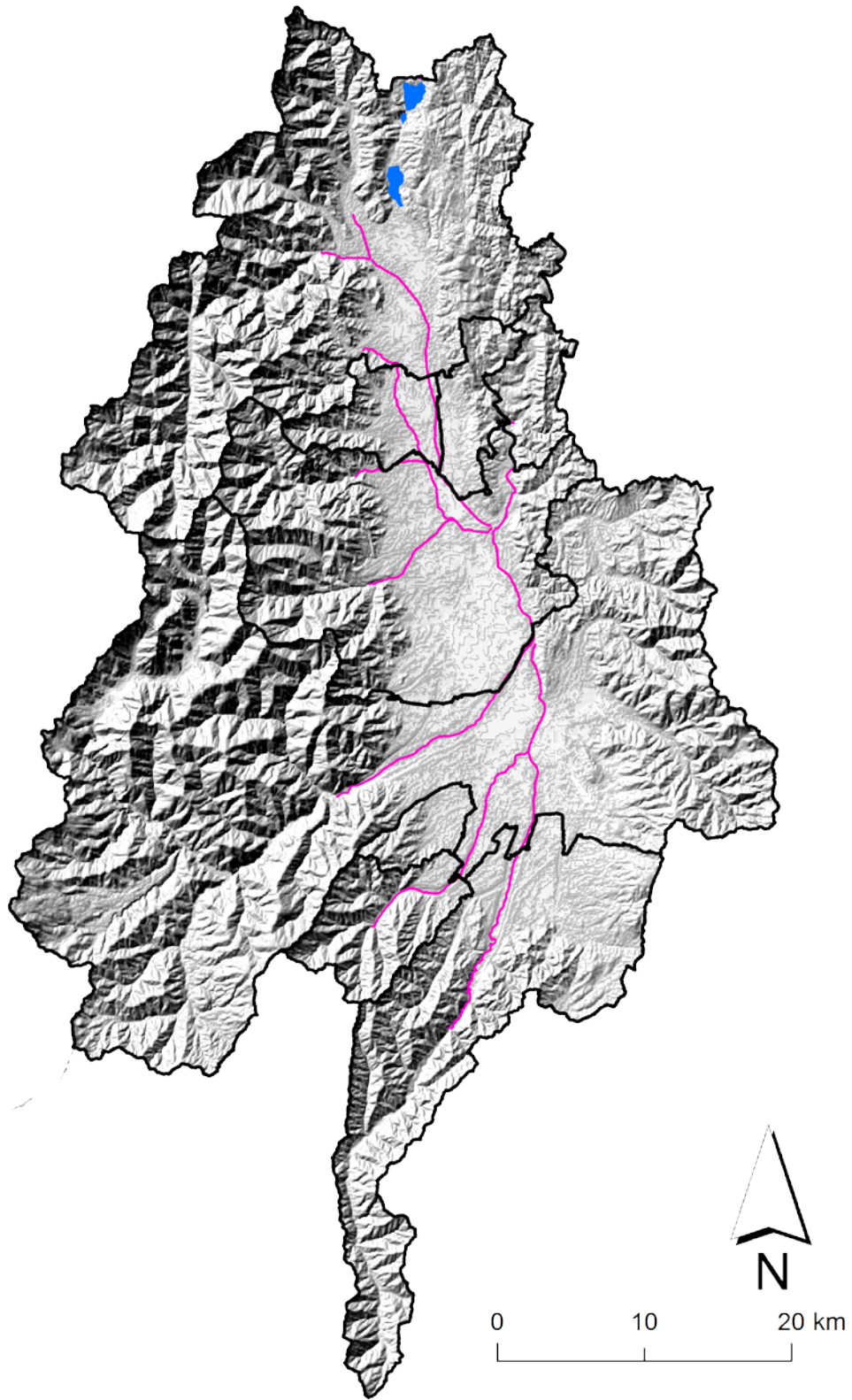


図 3-14 LPデータより縦断情報を作成した河川

凡例

川幅(堤防表法肩幅)

● 50m未満

● 50m以上

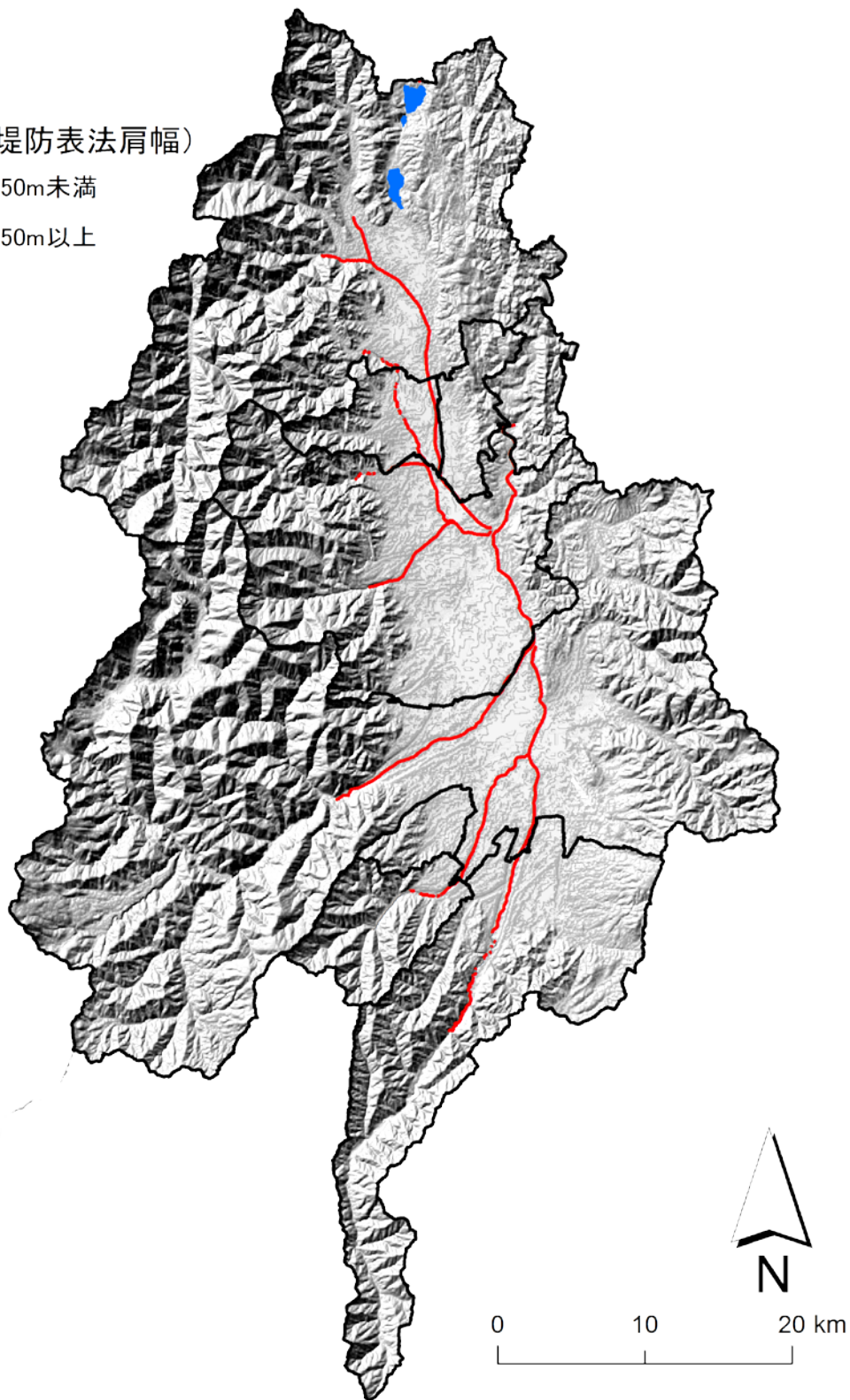


図 3-15 川幅が50m以上となる河川

凡例

解析領域

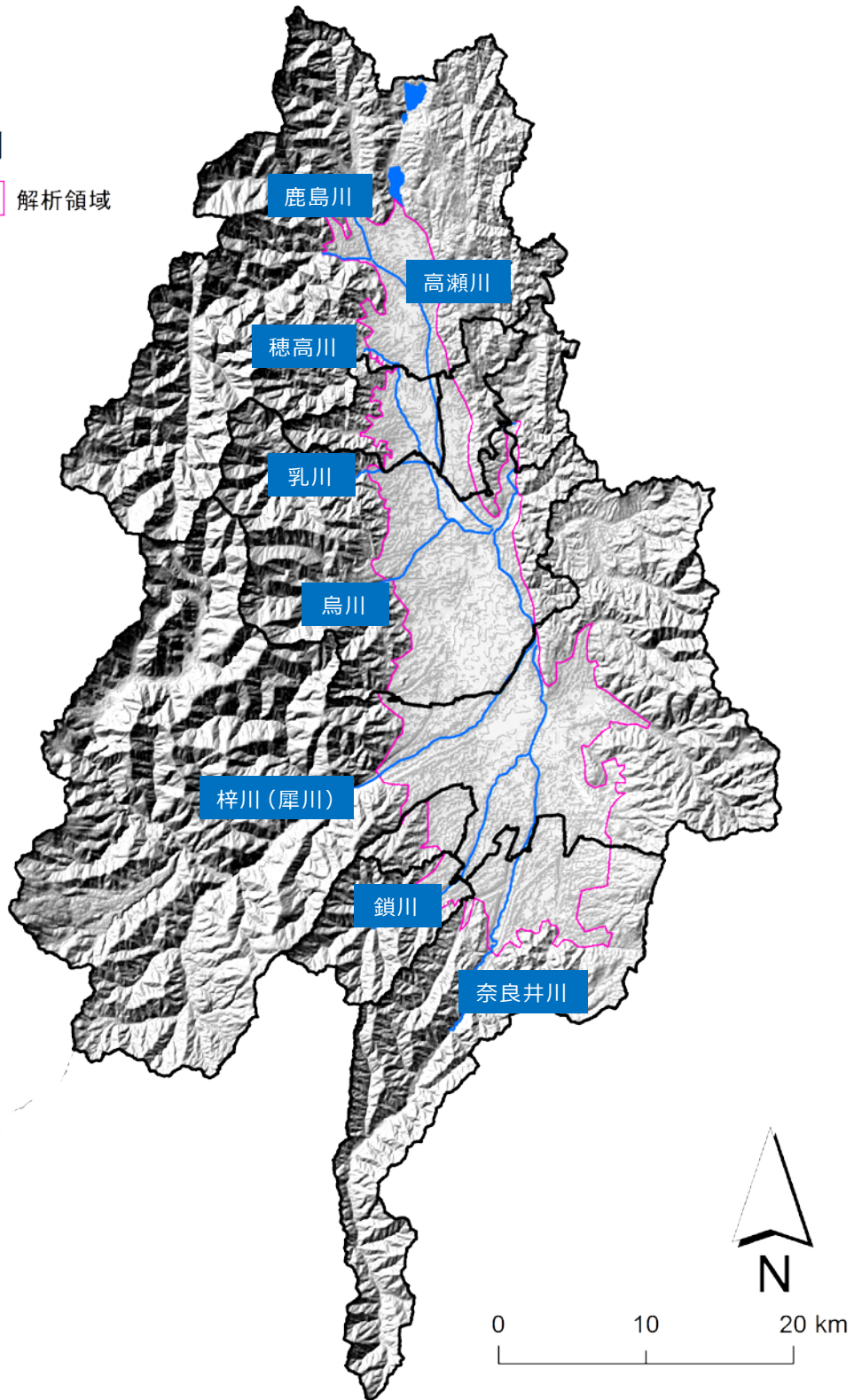


图 3-16 モデル化対象河川位置図

#### (4) 河川水位の整理

モデル化対象河川において河川水位情報を整理する。地下水の地表への湧出や河川からの伏流を再現するには、河川水位および河床高を精度良くモデル化がすることが重要である。本検討では、LPデータを活用し、河川水位および河床高をモデル化することとした。

前項までの整理により得られる河川水位は航空レーザ測量時点のものとなる。本来、数値シミュレーションの境界条件として河川水位を変動条件として設定することが理想的ではあるが、情報の整理に作業時間を要する上、対象河川すべてで水位情報がモニタリングされているわけではないことから、実務上困難であると言える。そのため、河川水位はLPデータより取得する最深河床高（河川水位）を一定値で設定することとした。また、当該地域における航空レーザ測量は、冬期に実施されており、比較的河川流量の少ない時期と想定されることから、河床高については、便宜的にLP横断最深河床高－1mと仮定して条件設定する。

モデル化対象河川において整理した河川水位およびその他河川情報の縦断図を図 3-17および図 3-18に整理する。

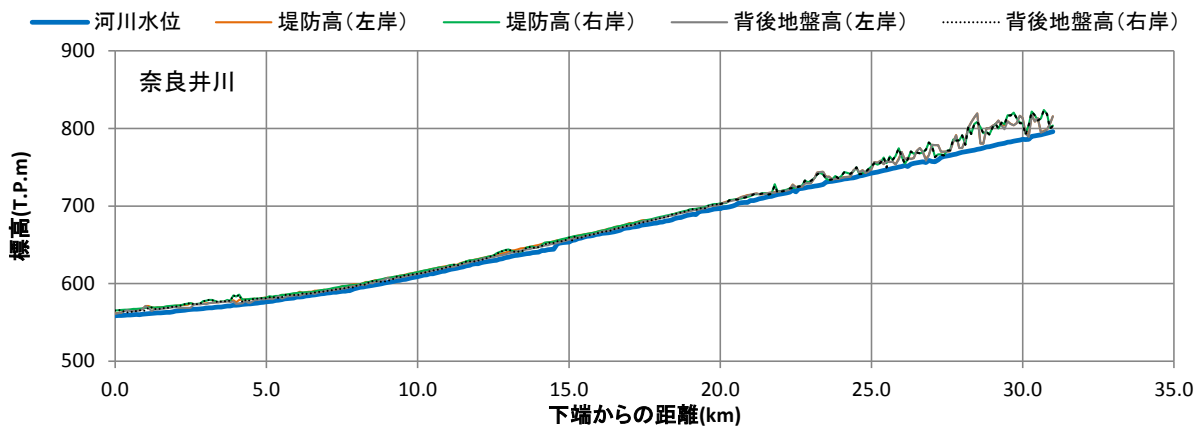
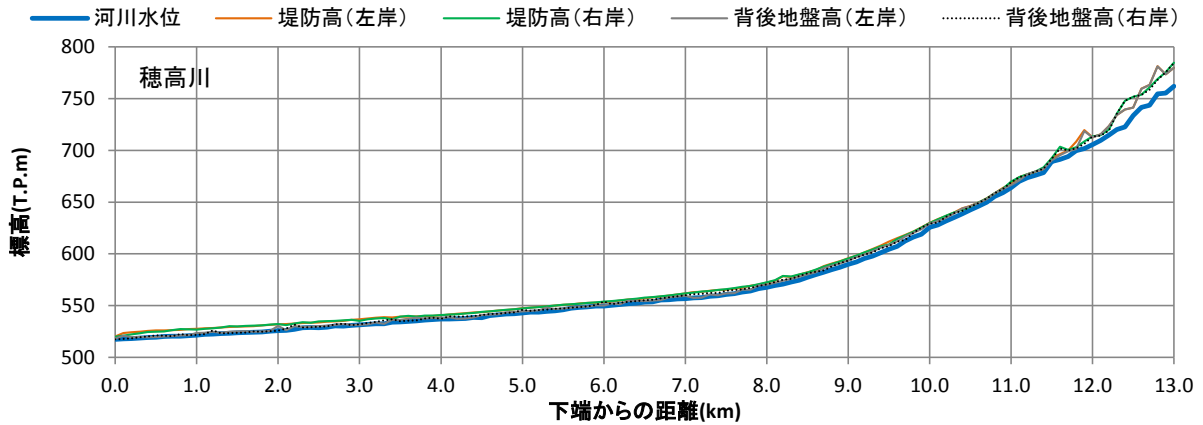
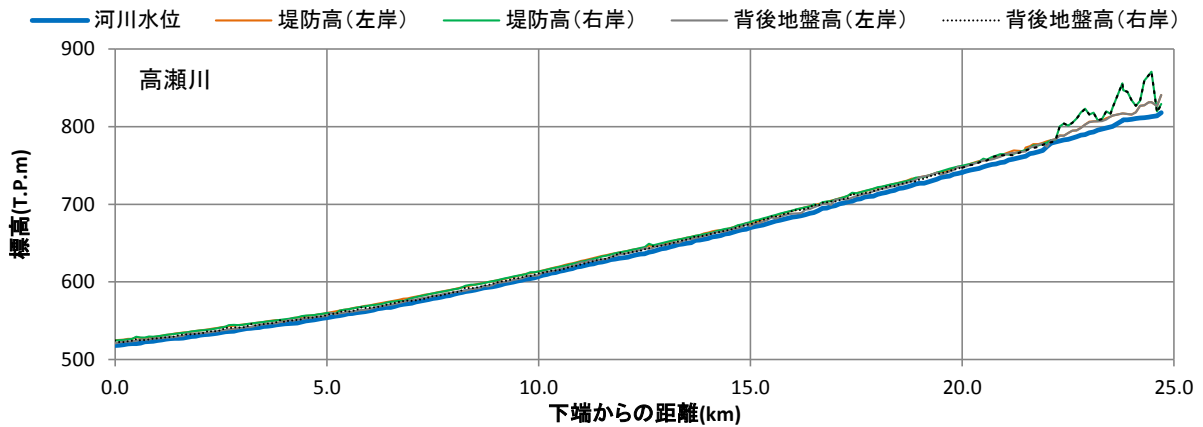
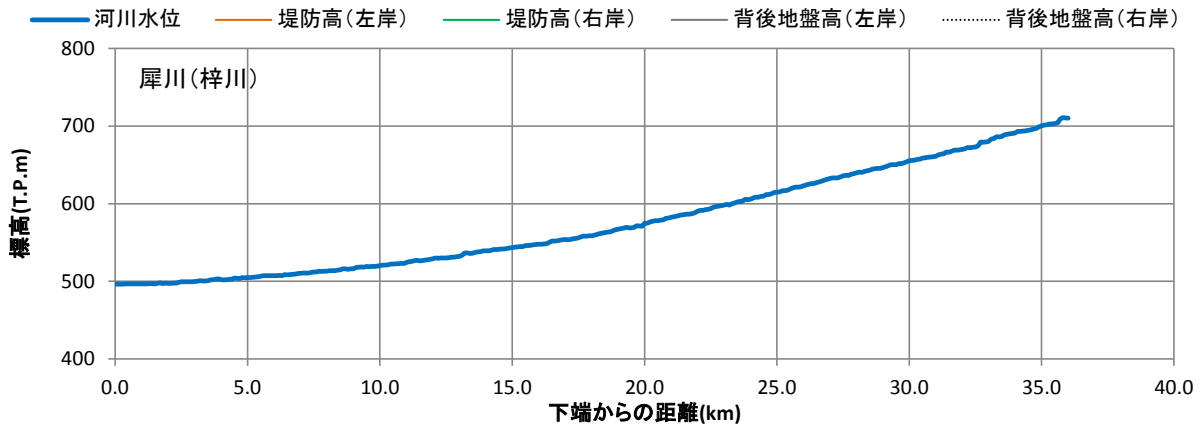


図 3-17 松本盆地モデルにおける対象河川の河川縦断情報 ( 1 / 2 )



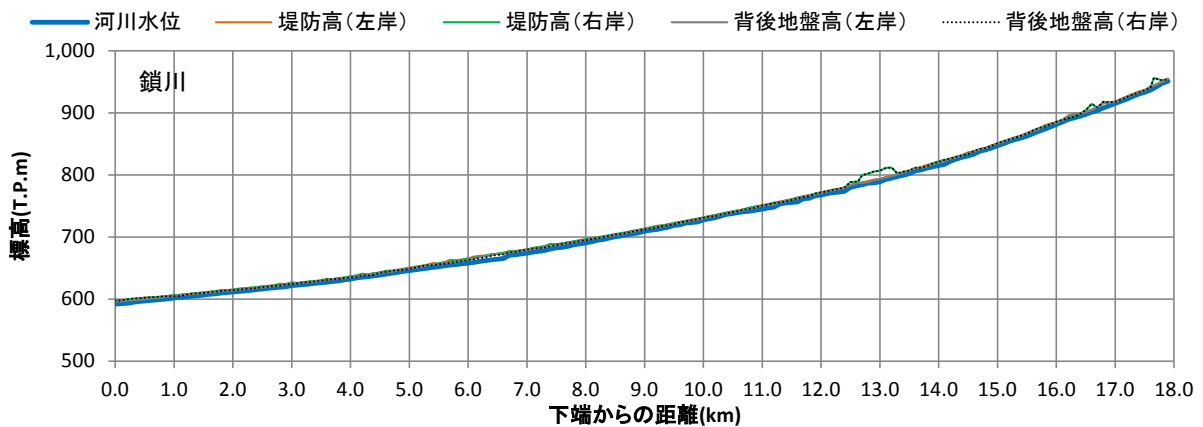
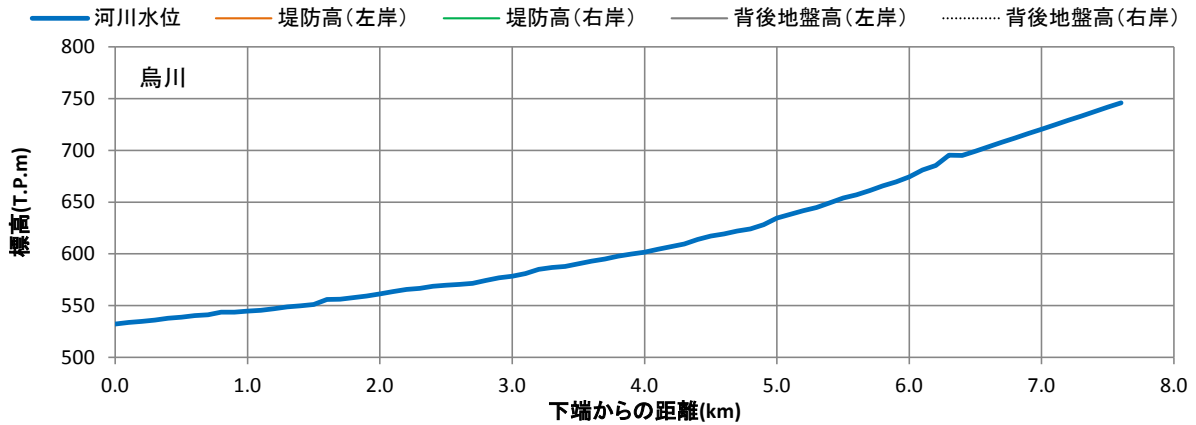
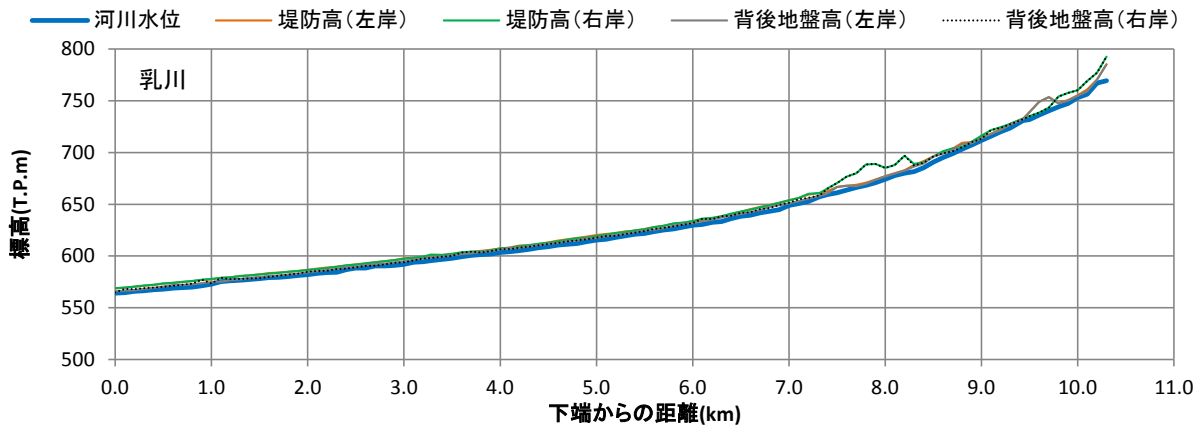
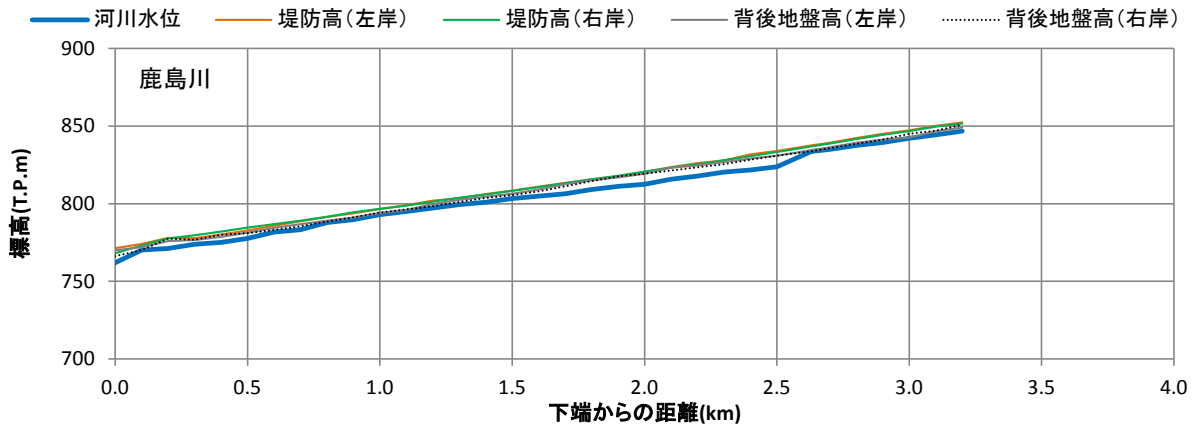


図 3-18 松本盆地モデルにおける対象河川の河川縦断情報 (2/2)

### (5) 標高情報の設定

数値シミュレーションの際に設定する地表面標高は、国土数値情報250メッシュ標高データを用いた。数値シミュレーションに用いた標高データと各解析モデルの解析領域を図 3-19に示す。

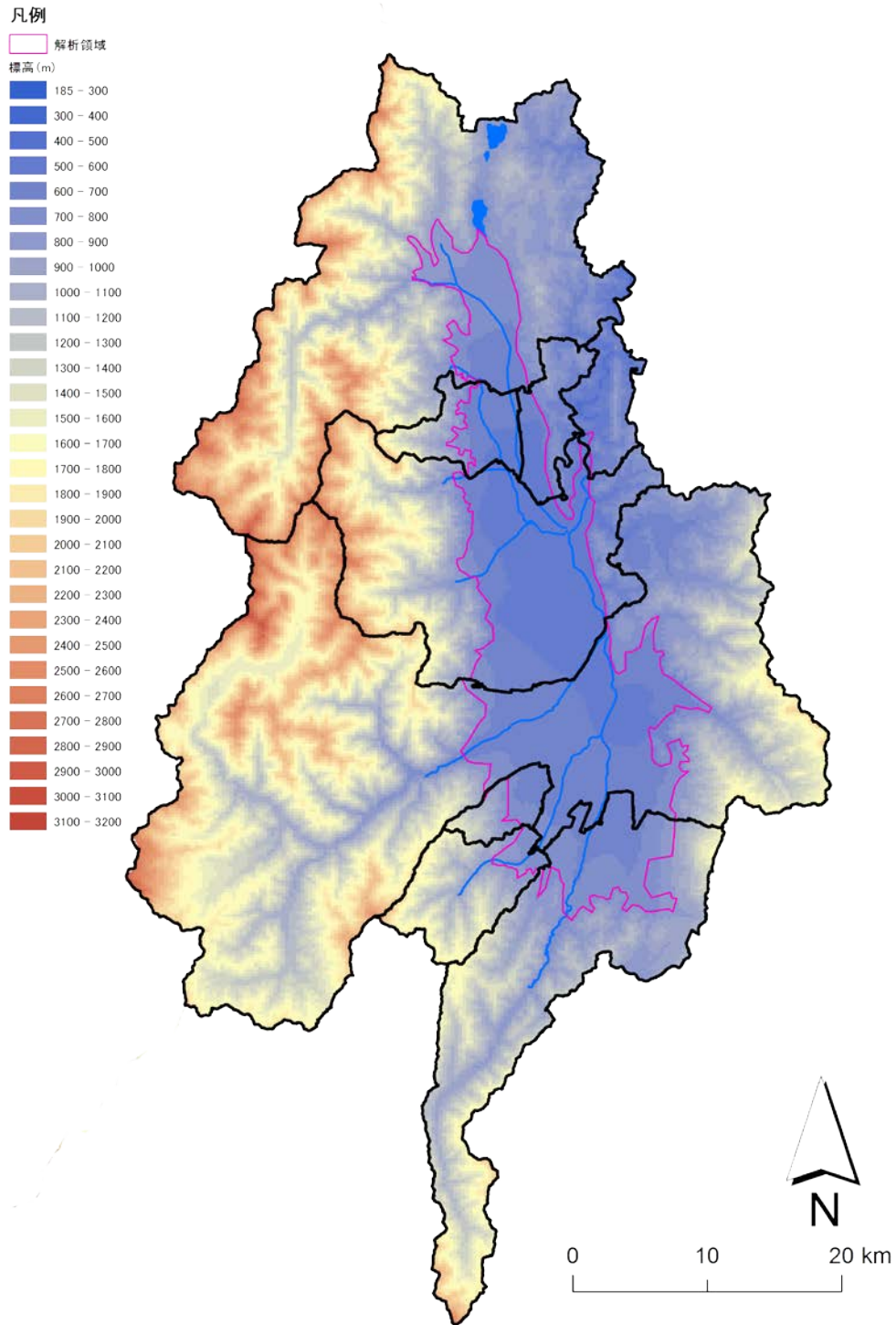


図 3-19 数値シミュレーションに用いた標高データ

### (6) 帯水層基底面等高線および地下水位等高線の設定

帯水層基底面等高線は、解析モデルにおける地下水の器としての帯水層分布を表現するために必要である。今回、盆地内の砂礫層等の堆積物を帯水層とし、この基底面（岩盤等、不透水層との境界）が、盆地内においてどのように分布しているかを等高線図として図化することで行った。

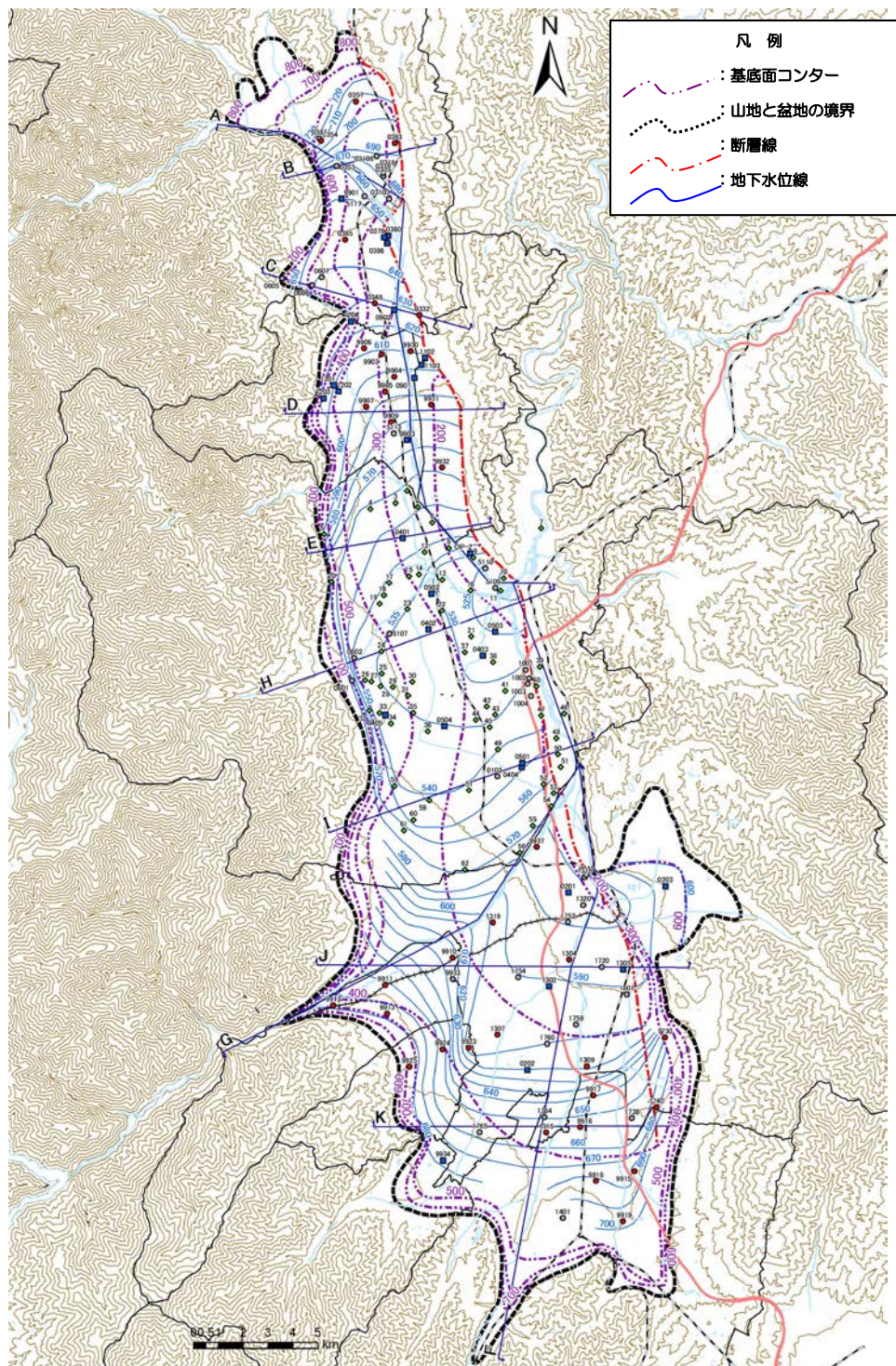


図 3-20 松本盆地モデルの基底面等高線および地下水位等高線分布

(7) 透水係数の設定

既存資料より、松本盆地内の井戸やボーリングにおける地層の透水係数を整理した。松本盆地モデルの透水係数は表 3-6に示すとおりとする。データの豊富な松本盆地では、扇状地の扇頂より扇端で透水係数が高くなるなどの特徴がみられる（表 3-7および図 3-21参照）。

表 3-6 帯水層の透水係数の設定

解析モデル	透水係数 (cm/s) 設定値	設定根拠
犀川	$5.0 \times 10^{-2}$	松本盆地での試験結果から設定する。

表 3-7 松本盆地内の帯水層の透水係数（文献値）

行政区	孔名※1	図での 番号	緯度	経度	透水係数 (cm/sec)	出典資料 番号	出典資料での名称
佐久	-	佐久01	36.199	138.420	$2.50 \times 10^{-3}$	611021	西山
	-	佐久02	36.348	138.482	$1.40 \times 10^{-1}$	242008	乗瀬地区試掘井
上小	-	上小01	36.385	138.271	$4.70 \times 10^{-2}$	611023	11号井 上田市国分
	-	上小02	36.381	138.373	$6.02 \times 10^{-4}$	242009	試掘井 -
	B00913	上小03	36.366	138.325	$8.12 \times 10^{-4}$		上水道用9 海善寺
	B00925	上小04	36.355	138.333	$7.45 \times 10^{-4}$		その他2 田中ストアー
	B00916	上小05	36.356	138.346	$6.10 \times 10^{-4}$		工業用1 新田乳業
	B00917	上小06	36.352	138.339	$7.05 \times 10^{-4}$		工業用2 高周波化学工業
	B00903	上小07	36.397	138.391	$2.08 \times 10^{-4}$		農業用3 東部町農業協同組合
	B00919	上小08	36.354	138.351	$2.17 \times 10^{-4}$		工業用4 榑河田工業
	B00920	上小09	36.353	138.354	$1.98 \times 10^{-4}$		工業用5 信州カーテン
松本	B03611	松本01	36.365	137.865	$1.80 \times 10^{-1}$		612036
	B03612	松本02	36.332	137.877	$1.45 \times 10^{-1}$	II 通産省2号観測井(徳高南小学校)	
	-	松本03	36.321	137.903	$1.33 \times 10^0$	III 通産省3号観測井(豊科運動広場)	
	B03613	松本04	36.284	137.920	$5.47 \times 10^{-3}$	IV 通産省4号観測井(豊科南中学校)	
	-	松本05	36.249	137.877	$7.27 \times 10^{-3}$	1 三郷村水道(長尾水源)	
	B03635	松本06	36.256	137.866	$5.50 \times 10^{-5}$	2 長野県経済連(あづみ種鶏場)	
	-	松本07	36.254	137.917	$3.30 \times 10^{-3}$	3 豊科町水道(真々部1号井)	
	-	松本08	36.301	137.852	$3.82 \times 10^{-3}$	4 堀金村水道(岩原水源)	
	-	松本09	36.297	137.900	$1.23 \times 10^0$	5 豊科フィルム㈱(2号井)	
	-	松本10	36.297	137.929	$1.37 \times 10^{-1}$	6 豊科町水道(熊倉水源)	
	-	松本11	36.332	137.858	$4.78 \times 10^{-2}$	7 徳高町水道(上原2号井)	
	-	松本12	36.345	137.842	$2.31 \times 10^{-2}$	8 徳高町水道(豊里1号井)	
	B03637	松本13	36.343	137.907	$4.12 \times 10^{-1}$	9 日本コンテナ工業徳高工場(2号井)	
	B03638	松本14	36.354	137.903	$1.13 \times 10^{-1}$	10 明科町水道(第3水源池)	
	-	松本15	36.375	137.852	$4.86 \times 10^{-3}$	11 小松種鶏場	
	B03622	松本16	36.414	137.829	$7.24 \times 10^{-4}$	12 松川村水道(第3水源池)	
	B03639	松本17	36.415	137.863	$1.88 \times 10^{-1}$	13 日東光学㈱	
	-	松本18	36.428	137.875	$3.01 \times 10^{-2}$	14 池田町水道(第4水源)	
	B03605	松本19	36.450	137.853	$3.91 \times 10^{-2}$	15 大町市水道(2号井(須沼水源))	
	-	松本20	36.473	137.858	$1.52 \times 10^0$	16 隣近藤紡績所大町工場(2号井)	
	B03640	松本21	36.489	137.847	$1.85 \times 10^{-1}$	17 榑大町富士	
	-	松本22	36.491	137.860	$6.81 \times 10^{-2}$	18 昭和電工㈱大町工場(3号井)	
	-	松本23	36.497	137.857	$1.67 \times 10^0$	19 東洋紡績㈱大町工場(2号井)	
	-	松本24	36.508	137.862	$2.90 \times 10^{-1}$	20 北安曇地方事務所 (第2給食センター)	
長野	-	長野01	36.571	138.177	$1.92 \times 10^{-1}$	611023	1号井 (衛生工場)
	-	長野02	36.622	138.201	$1.29 \times 10^{-1}$		2号井 (木工団地)
	-	長野03	36.643	138.239	$1.77 \times 10^{-3}$		3号井 公民館
	-	長野04	36.711	138.282	$4.36 \times 10^{-4}$		4号井 -
	-	長野05	36.690	138.310	$1.40 \times 10^{-2}$		5号井 須坂市小山
	-	長野06	36.649	138.306	$5.20 \times 10^{-2}$		6号井 中野市一本木
北信	-	北信01	36.759	138.373	$1.08 \times 10^{-2}$	611023	7号井

※1 「-」は本業務での孔名が未設定であることを示す。

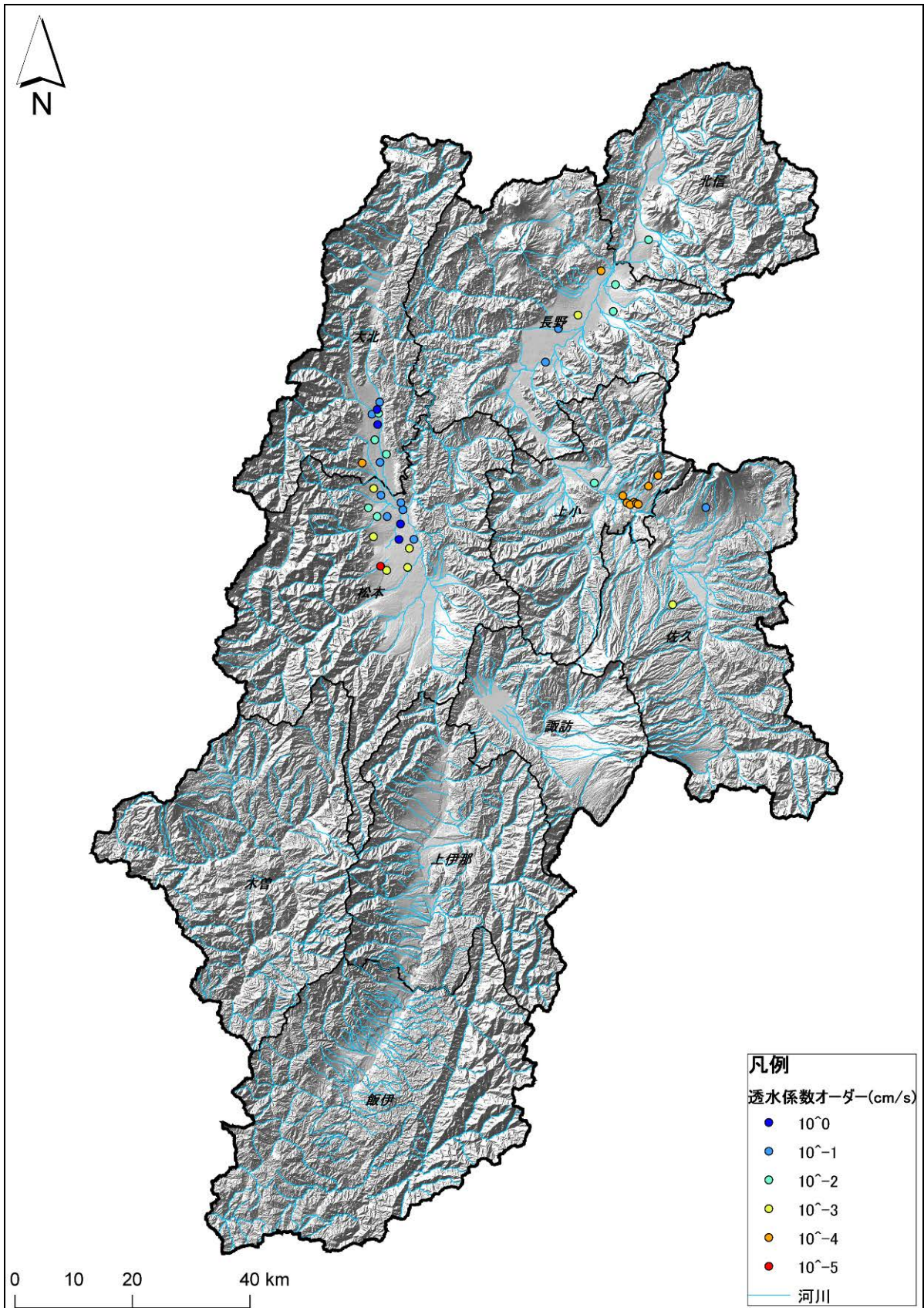


図 3-21 長野県内の透水係数分布

(8) 有孔間隙率

対象地の砂礫層は層相および分布の違いにより、厳密にはそれぞれの有効間隙率<sup>3</sup>は異なる。文献等を参考に、松本盆地の有効間隙率として20%を採用することとした<sup>4</sup>(表 3-8参照)。

表 3-8 層相別の有効間隙率の一般値

(地下水ハンドブック(1998)より引用)

地 層	空隙率 ( $\lambda\%$ )	有効空隙率 ( $\lambda e\%$ )	地 層	空隙率 ( $\lambda\%$ )	有効空隙率 ( $\lambda e\%$ )
沖積礫層	35	15	洪積砂礫層	30	15~20
細 砂	35	15	砂 層	35~40	30
砂丘砂層	30~35	20	ローム層	50~70	20
泥粘土質層	45~50	15~20	泥層粘土層	50~70	5~10

帯水層に相当する砂礫層の有効間隙率

<sup>3</sup> 土粒子間を重力の作用により流動する水分が占めることのできる間隙の割合。いわゆる自由水が流動できる割合を表し、土粒子と物理化学的に結合している水分(結合水)の占める間隙の割合は含まれない。

<sup>4</sup> 「農水省関東農政局(1979), 地下水保全涵養調査松本盆地南部地区報告書」では、井戸調査に基づき砂礫層の貯留係数を示している。その後の地下水賦存量を推定した資料(「松本市(1994), 地下水調査結果の解析委託」, 「大町市(1995), 高瀬川左岸平坦部における地下水調査」)では、この貯留係数より、有効間隙率として20%を設定している。

### (9) 河川伏流量の設定方法

数値シミュレーションの条件として設定する河川からの浸透量を、河川伏流量とよぶ。河川からの伏流量は、河川流量、河床勾配、河川水温、河床材料、周辺地質条件等によって様々に変化する。したがって、河川ごとに伏流のメカニズムは異なり、非常に複雑な現象であると言える。

本検討においては、河川からの伏流量を設定する方法として、国土交通省が管理する全国109水系を主対象として、河川流量および伏流量調査に関する文献収集を実施し、これら情報をもとに河川単位長さあたりの伏流量を設定することとした。全国11水系における文献の収集・整理結果を表 3-9に示す。これより平均的な単位長さあたりの伏流量は0.0007 (m<sup>3</sup>/s/m) であることがわかった。

表 3-9 河川伏流量に関する整理

NO	河川情報		伏流区間情報		②伏流量 (m <sup>3</sup> /s)	③単位長さあたりの 伏流量 (m <sup>2</sup> /s/m) =②/①	引用文献	
	水系名	河川名	①区間長 (m)	備考			文献名	発表者
1	石狩川水系	豊平川	1,500	(南19条橋～南大橋)	1.00	0.0006667	扇状地の地下水シミュレーションにおける高解像度モデルの有効性	北海道大学大学院 理学部地球物理学
			7,100	(KP11.1～KP18.2)	1.00	0.0001408	扇状地の伏没現象とその調査解析手法について-豊平川扇状地を例として-	株式会社 ドーコン
			7,100	(KP11.1～KP18.2)	3.00	0.0004225	"	株式会社 ドーコン
			300	(KP16.7～KP17.0)	0.50	0.0016667	扇状地における三次元地下水流動場の解明と定量化に向けた取組	北海道大学大学院 理学部地球物理学
			300	(KP16.7～KP17.0)	1.00	0.0033333	"	"
2	十勝川水系	札内川	1,080		1.25	0.0011574	札内川の伏没・復水機構	北海道大学 理学部地球物理学
3	阿賀野川水系	早出川	3,000		1.06	0.0003533	阿賀野川水系、早出川扇状地の地下水	独立行政法人産業技術研究所地質調査総合センター
			3,000		0.20	0.0000667	阿賀野川水系、早出川扇状地の地下水	"
			3,000		0.65	0.0002167	阿賀野川水系、早出川扇状地の地下水	"
4	安倍川水系	安倍川	15,000	(野田平付近)	11.00	0.0007333	静岡県安倍川水系工業用水源地調査報告 東海地域調査第9報	"
			15,000	(野田平付近)	4.50	0.0003000	"	"
5	信濃川水系	高瀬川	1,400	(大出橋～バスターゴルフ場)	2.00	0.0014286	大町ダムによる高瀬川の環境改善の取り組み	国土交通省 北陸地方整備局 大町ダム管理所
			1,400	(大出橋～バスターゴルフ場)	5.00	0.0035714	"	"
6	姫川水系	姫川	1,800		2.00	0.0011111	姫川の特徴を踏まえた正常流量の検討	国土交通省北陸地方整備局 高田河川国道事務所
7	庄川水系	庄川	6,300		5.47	0.0008683	流域及び氾濫域の概要	国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所
			1,800	(雄神橋～太田橋)	2.00	0.0011111	流域における健全な水循環系の構築に向けて-富山県庄川扇状地-	国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所
			1,800	(雄神橋～太田橋)	3.00	0.0016667	"	"
			6,200	(太田橋～中田橋)	4.00	0.0006452	"	"
			6,200	(太田橋～中田橋)	7.00	0.0011290	"	"
8	小矢部川水系	小矢部川	11,000	(国条橋～聖人橋)	10.60	0.0009636	"	"
9	手取川水系	手取川	1,000		8.00	0.0080000	手取川扇状地の地下水流動解析	京都大学大学院農学研究科・大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
			1,700	(KP12～KP10.3)	1.50	0.0008824	平成18年度調査報告 ～手取川伏没還元調査～	国土交通省北陸地方整備局 金沢河川国道事務所
			2,300	(KP10.3～KP8.0)	2.00	0.0008696	"	"
10	淀川水系	高時川	10,400		2.00	0.0001923	高時川のあるべき姿(必要な河川流量の検討)	国土交通省近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所
11	番匠川水系	番匠川	4,200		0.11	0.0000262	地下水モデルに関する研究報告書	国土技術政策総合研究所
合計			113,880		79.84	0.0007011		

### 3.3 松本盆地モデルの構築と数値シミュレーションの実施

本項では、前項までに整理した諸条件のもと、広域地下水流動シミュレーションモデルを構築した。また構築したモデルを用いて、数値シミュレーションを実施した。には、信州大学藤縄克之教授が開発した準3次元地下水流動シミュレータ「FEGWF」を基に、本業務にあわせて改良した解析コードを採用した。

#### 3.3.1 有限要素解析メッシュ

松本盆地モデルにおける解析メッシュの緒元を表 3-10に整理する。また、各モデルの解析メッシュを図 3-22に示す。

準3次元地下水流動シミュレータ「FEGWF」は離散化手法に有限要素法を用いることから、ここでは有限要素解析用の三角形メッシュを作成している。なお解析メッシュは、モデル化対象河川近傍を辺長約100mとし、河川から離れるにつれて辺長を200m、400mと徐々に大きくなるように作成した。

表 3-10 解析メッシュ緒元

モデル名称	節点数	要素数	メッシュサイズ (三角形辺長)
松本盆地モデル	8300	16001	100m ~ 400m



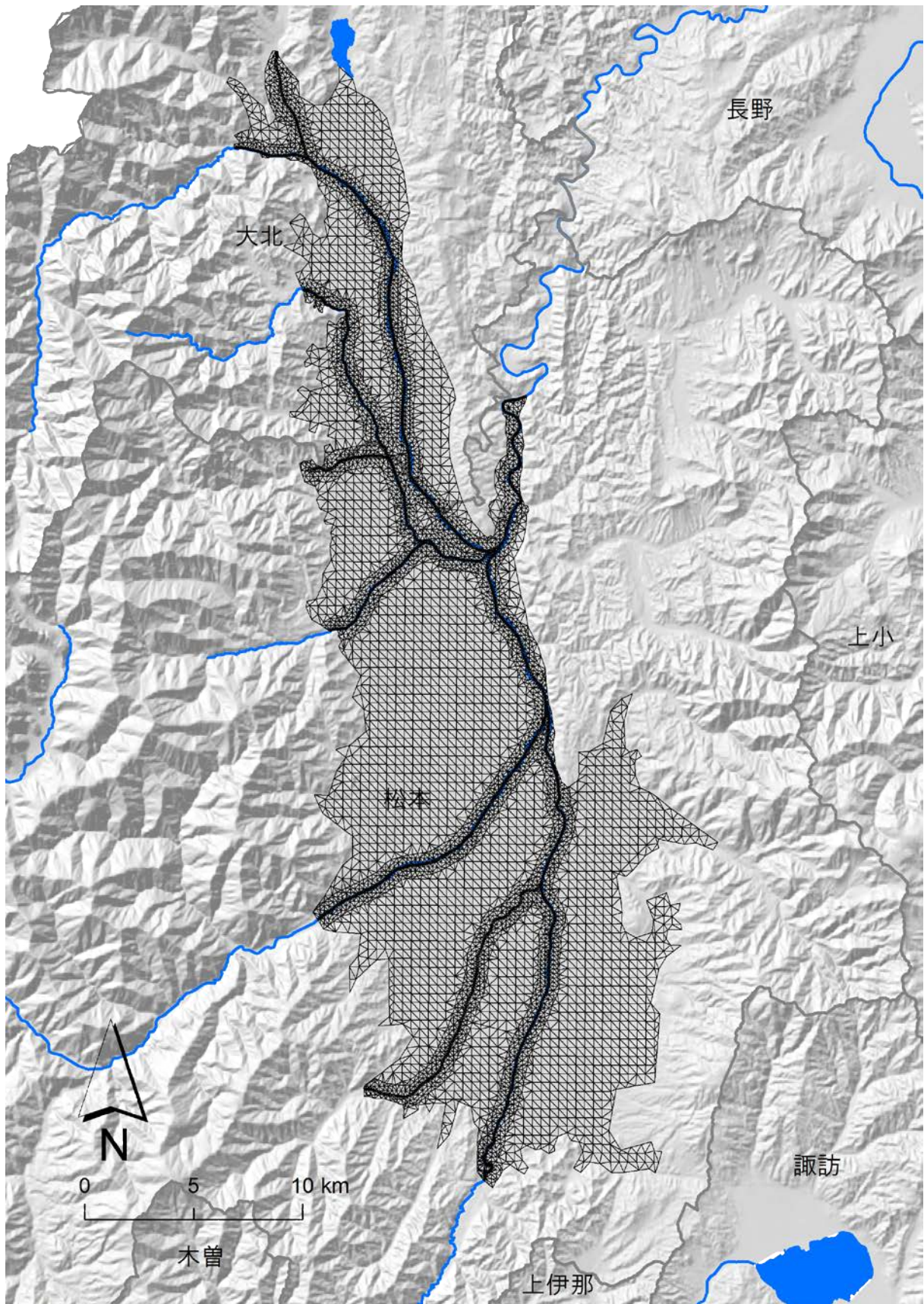


図 3-22 解析メッシュ (松本盆地モデル)

### 3.3.2 現況再現計算

#### (1) 現況再現計算の計算条件

地下水の涵養量については、前章で検討した1 kmメッシュあたりの地下浸透量を計算条件として設定した。

##### ◇計算の方針

- ・ 広域準3次元地下水流動シミュレーション
- ・ 2009年の涵養量、揚水量のもと、地下水位が定常状態になるまで非定常計算（2009年：土地利用情報を入手できる最新年）

##### ◇時刻刻み

- ・ 時刻刻みは0.001時間から開始し、計算の安定状況に応じて最大5時間となるように設定

##### ◇パラメータ（透水係数、有効間隙率）

- ・ 各地域において文献値を元に設定

##### ◇涵養量、揚水量

- ・ 実態に即して分布および量を設定（2章および5章を参照）

##### ◇河川伏流量

- ・ 文献調査結果より、平均的な伏流量を設定

#### (2) パラメータ

準3次元地下水流動解析において必要となるパラメータは、透水係数を有効間隙率となる。これらは、再年度業務における文献整理結果に基づき、現地の水理地質環境を念頭に、以下のとおり設定した。

表 3-11 設定したパラメータ

モデル名称	透水係数 (cm/sec)	有効間隙率
松本盆地モデル	$5.00 \times 10^{-2}$	0.200

### (3) 涵養量

地下水の涵養量については、1 kmメッシュあたりの地下浸透量を基に、GISを用いて要素ごとに適切に割り当て、計算条件として設定した。図 3-23には、松本盆地モデルで設定した涵養量の分布を図化した。図より、特に松本市街地付近では、市街化により地下浸透量が少ないことを反映し、周辺に比べて小さい涵養量を設定している。

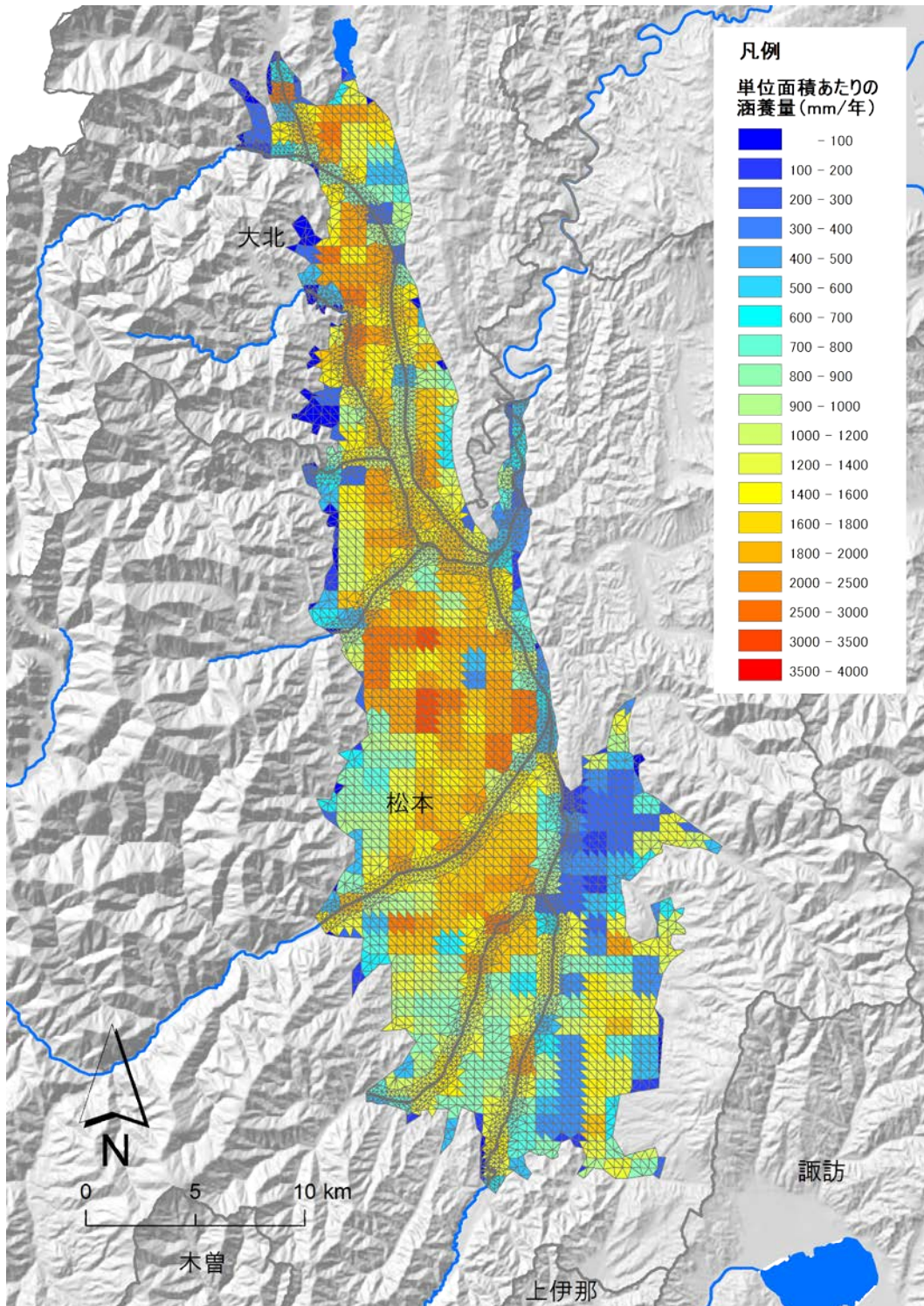


図 3-23 設定した涵養量、(松本盆地モデル)

#### (4) 井戸の揚水量

地下水流動シミュレーションを検討する際、地域における水利用条件を適切にモデルに反映することが、解析精度の向上につながる。

本検討では、広域を対象とするものの、主に上水用、工業用、農業用の井戸を対象とし、それぞれ水道統計、工業統計、農業用地下水利用実態調査の各種調査データを参考に揚水量を設定した。数値シミュレーションで揚水量の条件を設定した井戸の位置図を図 3-24に示す。

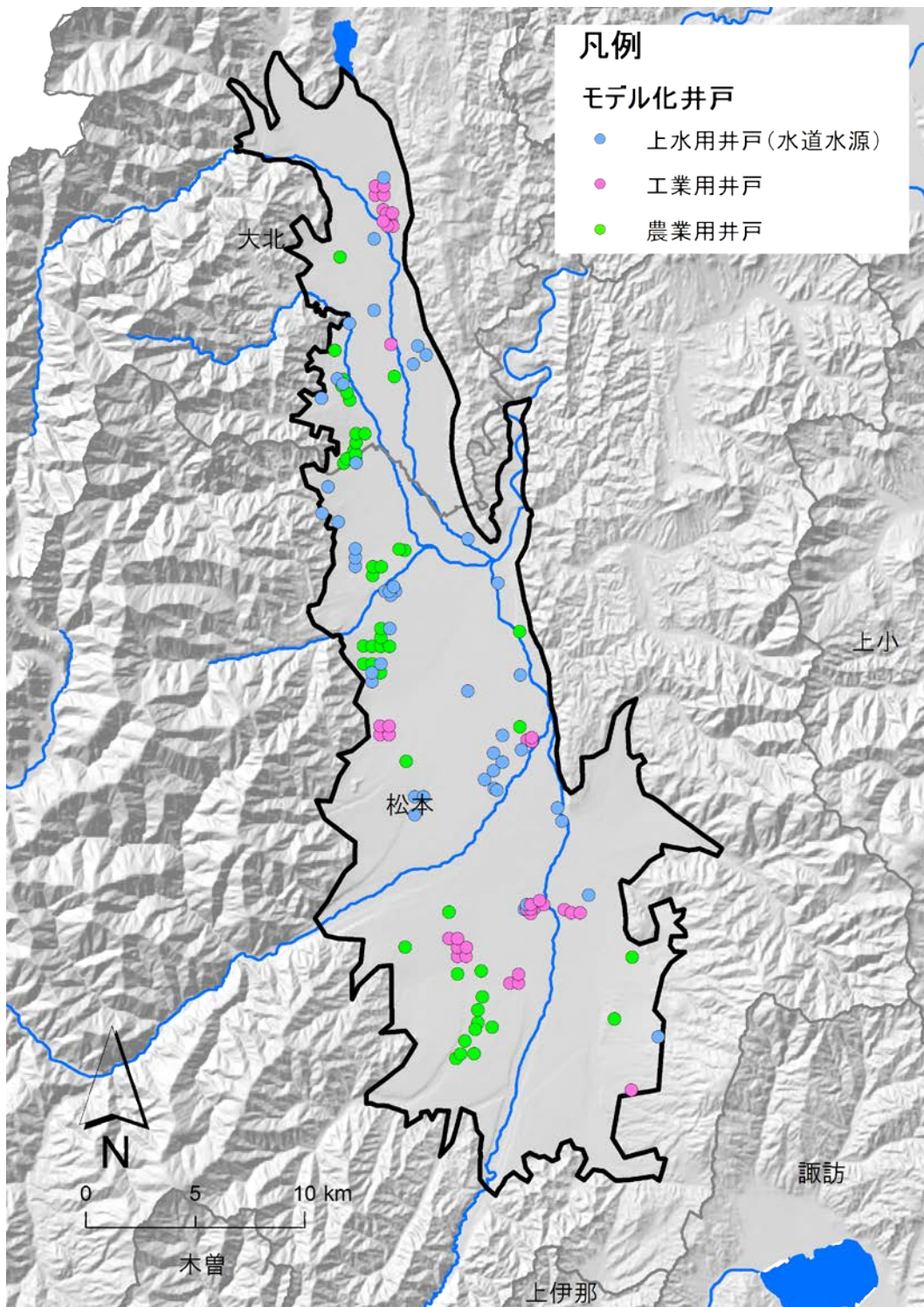


図 3-24 モデル化した井戸（松本盆地モデル）

### (5) 河川からの伏流量の設定

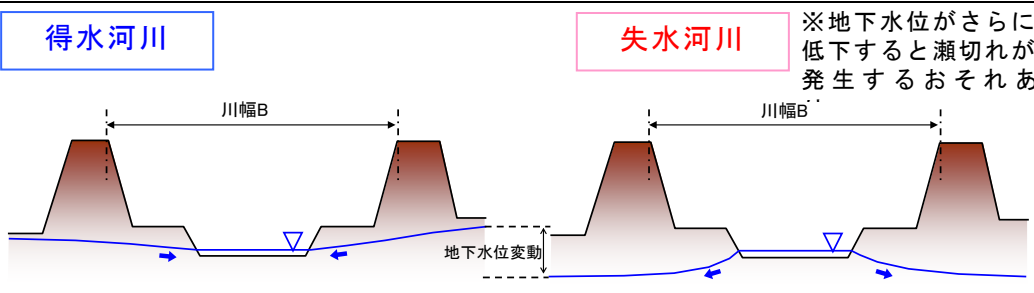
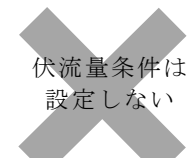

モデル化対象とする地域の主要河川において、河川からの伏流量を設定する場合、現地における主要河川と地下水の交流状況を理解した上で、伏流量の設定区間を判断する必要がある。表 3-12には、本検討における河川からの伏流量の設定方針を示す。

河川水位と地下水位が交流する際、その交流形態により得水河川と失水河川に大別できるが、このうち河川からの伏流が生じるのは失水河川である。したがって、本検討では失水河川（失水区間）にあたる河川（または区間）について、現地調査や文献調査等の結果を基に、図 3-25に示すとおり設定した。

松本盆地モデルでは、松本盆地を貫流する地域の主要河川の多くが失水河川となることから、伏流量を設定する。また天竜川の右岸の一部支川についても同様に失水河川の形態が確認できたことから、伏流量を設定する。これら以外の河川または区間については、すべて背後より地下水が河川に供給される得水河川となるため、伏流条件は設定しないこととした。

なお、伏流量の設定値は、前項までの文献調査結果より得られた、平均的な河川単位長さあたりの値となる $0.0007 \text{ (m}^3\text{/s/m)}$ を採用することとする。伏流量条件は、河川ミオ筋に位置する節点に注入量として与え、このとき、各節点の受け持ち長さ（河川ミオ筋上で隣接する節点間の距離）を整理し、条件設定する河川区間延長に応じて設定している。

表 3-12 河川からの伏流量の設定方針

項目	河川水位と地下水位の関係（模式図）	
模式図	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;">得水河川</div> 	※地下水位がさらに低下すると瀨切れが発生するおそれあり
伏流条件	 <p>伏流量条件は設定しない</p>	 <p>伏流量条件設定</p>

### 凡例

- 解析領域
- 得水区間
- 失水区間(伏流条件設定)

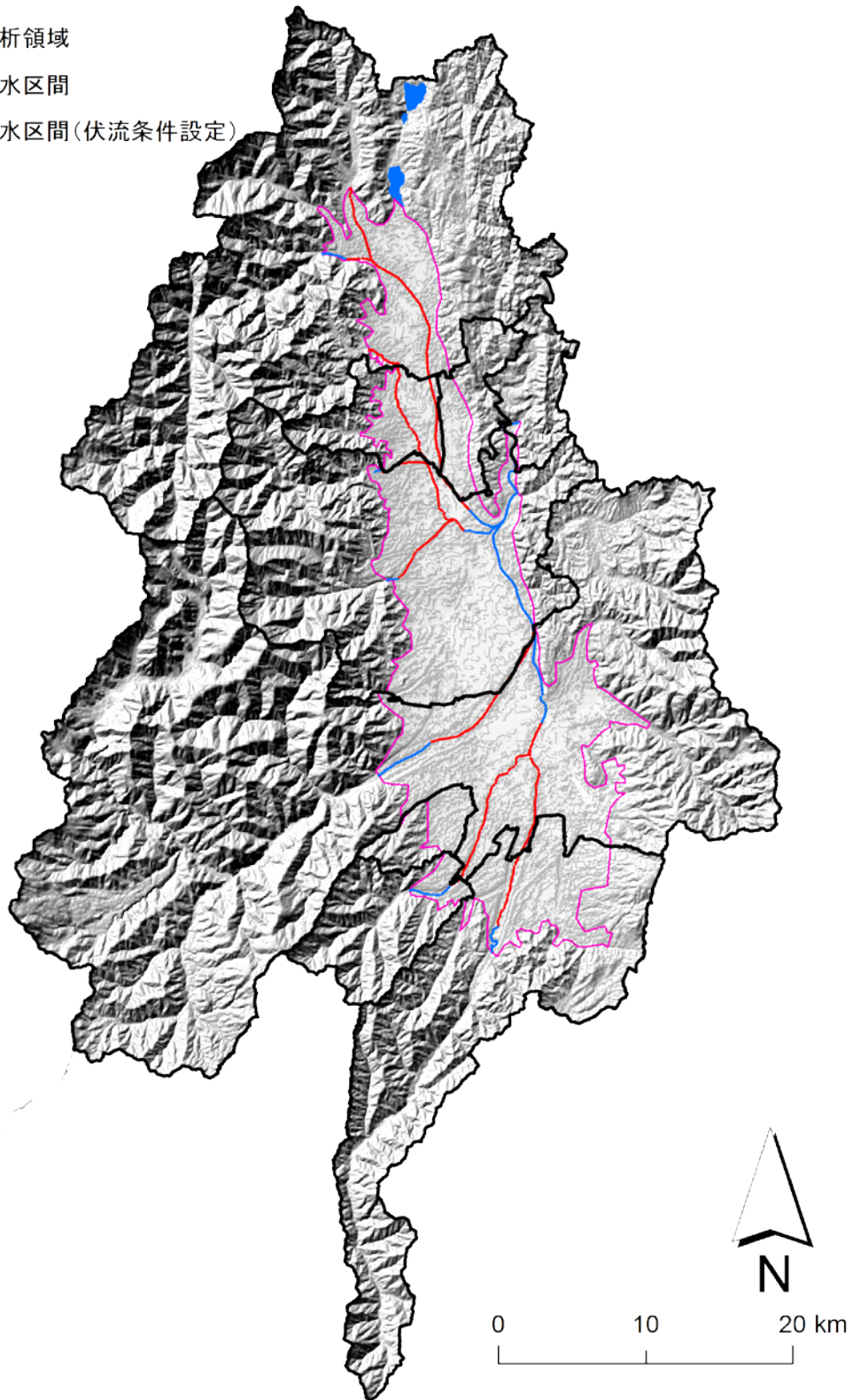


図 3-25 河川伏流量の条件設定区間

#### (6) 現況再現計算結果の再現性検証（面的評価）

前項までに整理した条件の下、準3次元地下水流動シミュレーションを実施した。地下水流動シミュレーションの計算結果として、地下水位および地下水流速ベクトルの情報が得られるが、ここではまず地下水位の面的な分布に関して、計算結果の検証を行うこととする。

現地観測および文献調査より作成した実際の地下水位コンターを図 3-26に、数値シミュレーションにより得られた計算値の地下水位コンターを図 3-27にそれぞれ示す。これらより、松本盆地全域から犀川の三川合流部付近に地下水が集まる流動機構が再現できていることがわかる。

しかしながら、安曇野市付近の550mおよび鎖川周辺（松本市と山形村の境界付近）の600mの地下水位コンターに着目すると、計算値と観測値で乖離している。特に、観測結果より松本盆地南部において得られている600mの歪な地下水位コンターは、松本工業団地付近の工業利用の揚水による影響が大きいと想定される（図 3-26参照）。

そこで、地下水揚水量の影響を感度分析するために、参考ケースとしてすべてのモデル化対象井戸からの揚水量を10倍の条件（その他は同条件）で試算することとした。試算結果を図 3-28に示す。図中には、工業団地単および独工業用地が整理されている「国土数値情報 工業用地データ（H21：国土交通省作成）」の情報を併記している。参考ケースより得られた620mの地下水位コンターを見ると、観測結果（図 3-26）と同様に、松本工業団地付近の影響を受けていることから、これら工業用地からの取水量を正確に評価することが、地下水シミュレーションの精度向上に寄与するものと考えられる。

ただし本検討では、現状で収集および把握が可能な範囲で適切にモデル化していることから、不確かさの多い参考ケースは採用せず、以降において図 3-27で示した結果を現況再現したの計算結果として整理をすすめることとする。

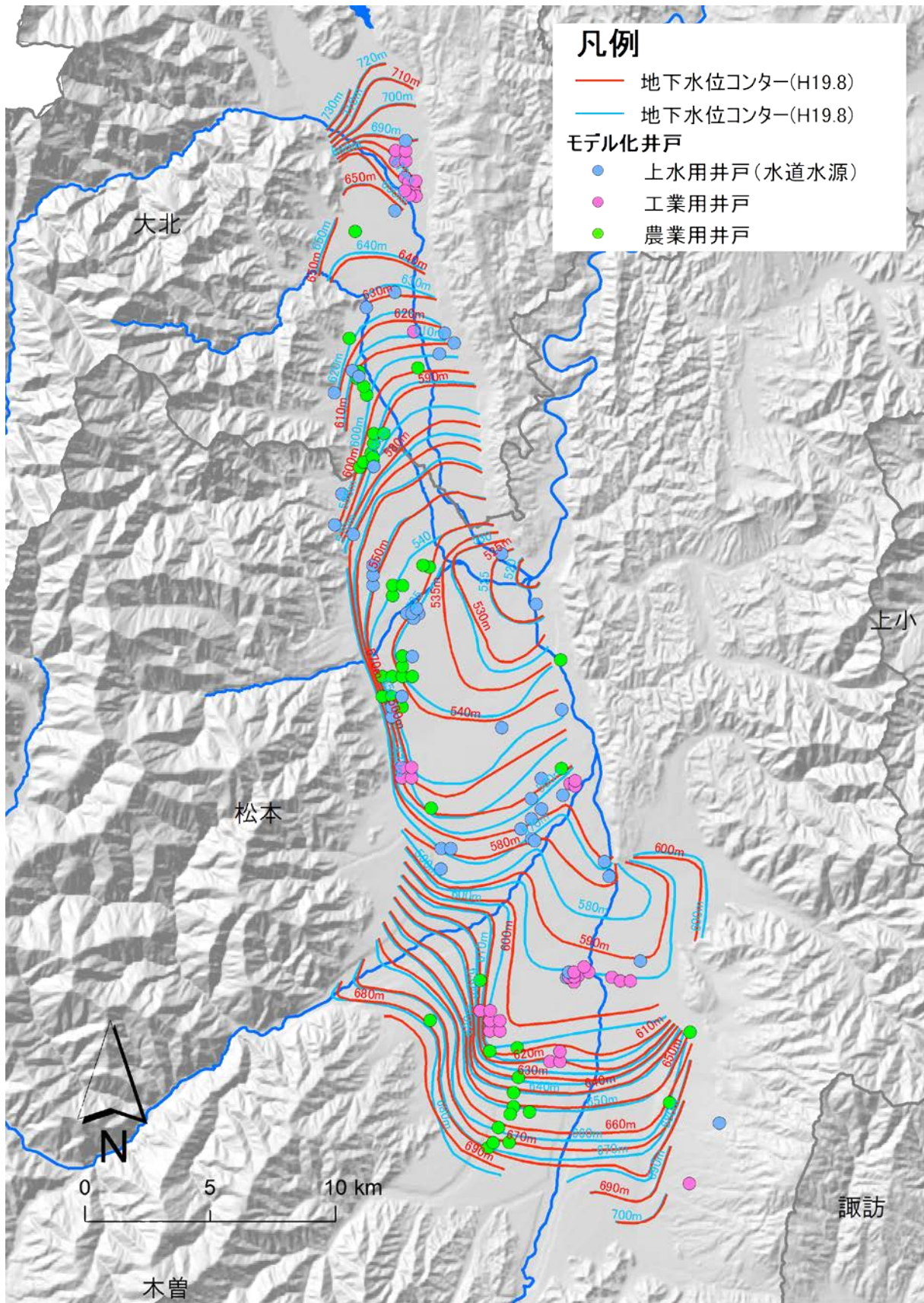


図 3-26 観測結果：地下水水位コンター



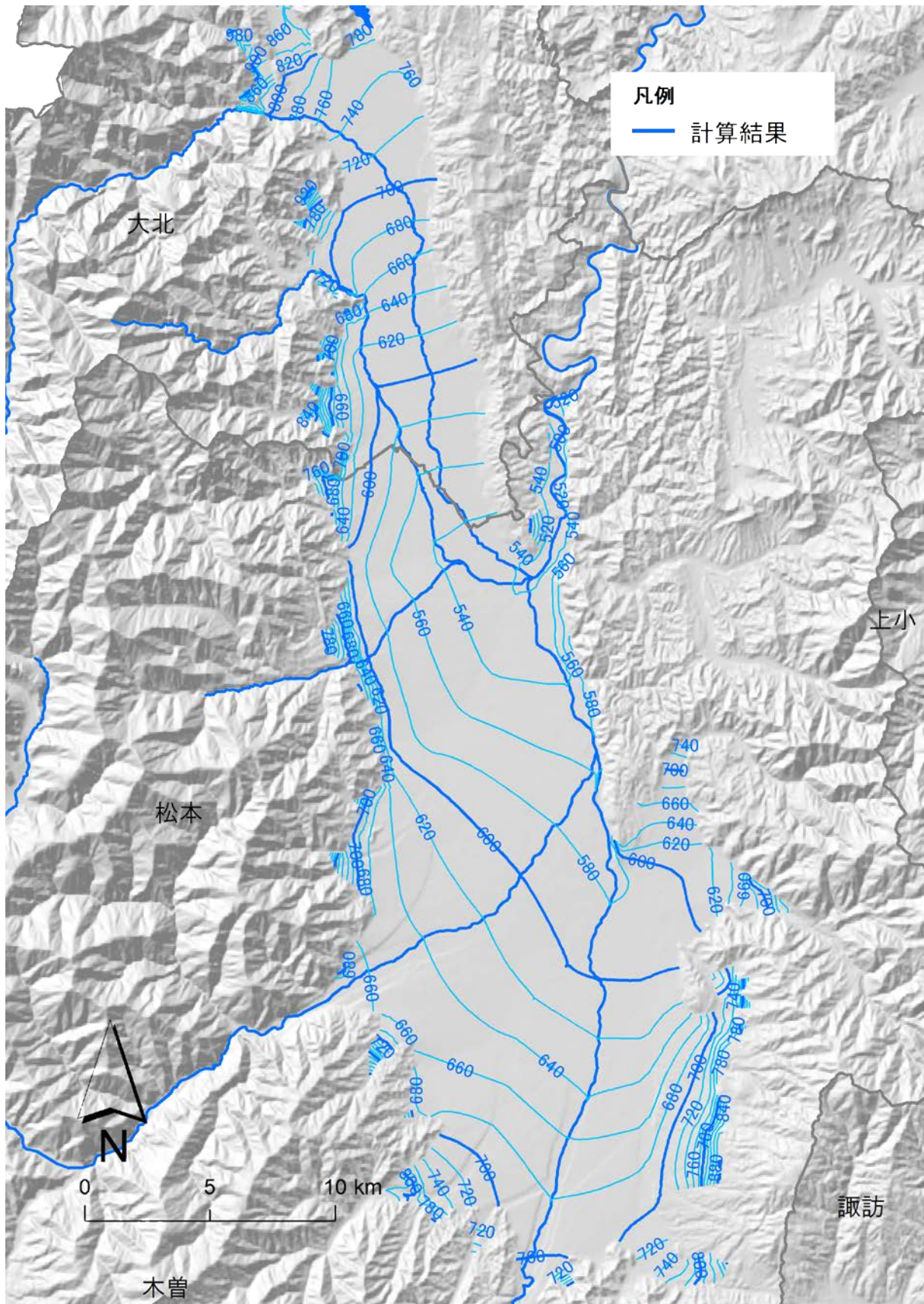


図 3-27 解析結果：地下水位コンター

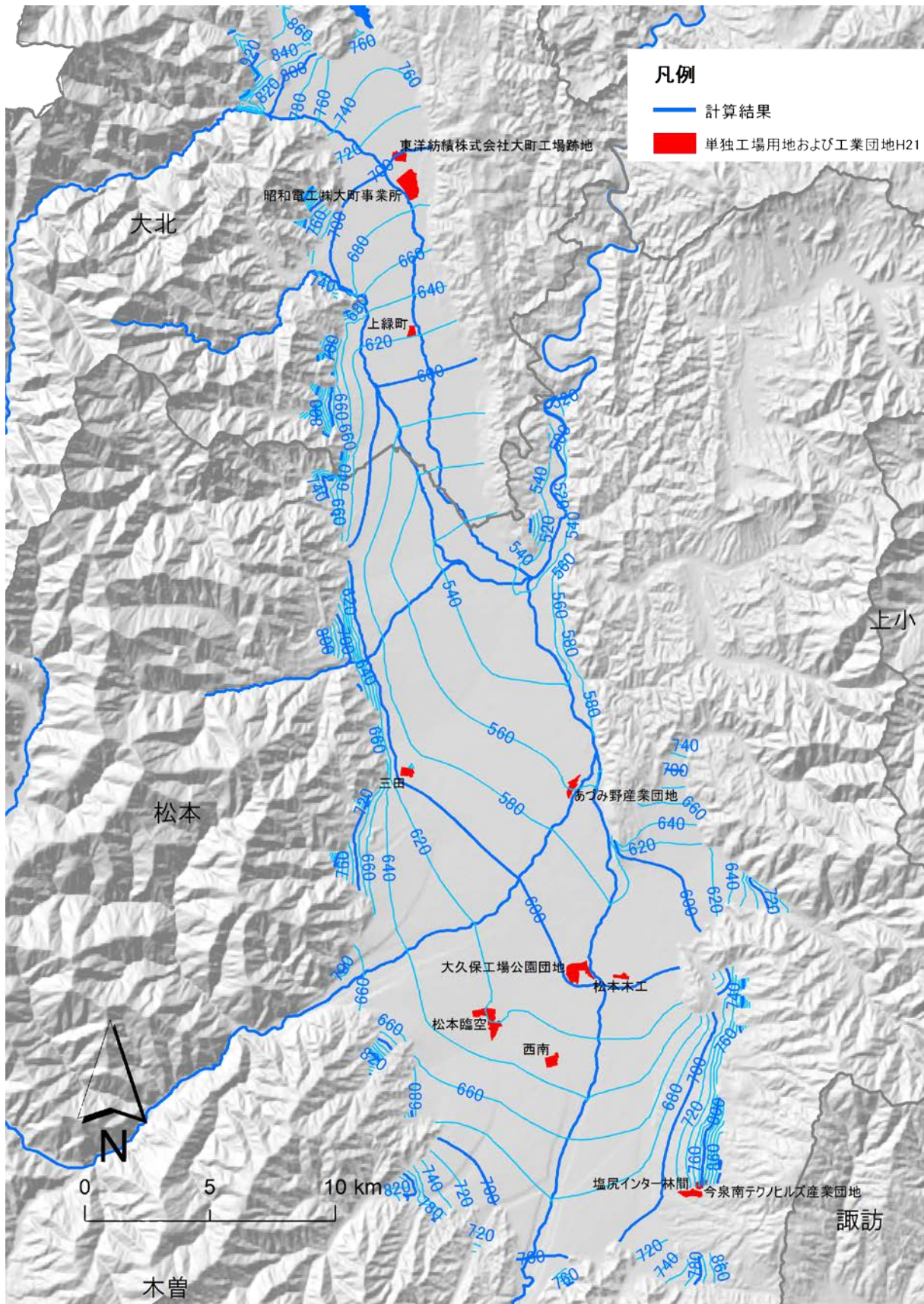


図 3-28 解析結果（参考ケース）：地下水位コンター

### (7) 計算結果の再現性検証（地点評価）

地下水位観測結果のある井戸地点において、現況再現計算結果と観測値を比較し、計算結果の再現性を検証する。図 3-29には、松本盆地モデルで計算結果の検証に用いた井戸地点を示す。検証に用いる井戸地点は、河川近傍のみでなく、広く解析領域全域に分布するように留意して選定している。

図 3-30には、松本盆地モデルの計算値と観測値（または文献値）との比較を整理した。一部地域では計算値と観測値の乖離が見られるが、切片をゼロとした場合の近似式の傾きが1.0263と1.0に近いことから、全体の傾向については概ね再現できていると言える。

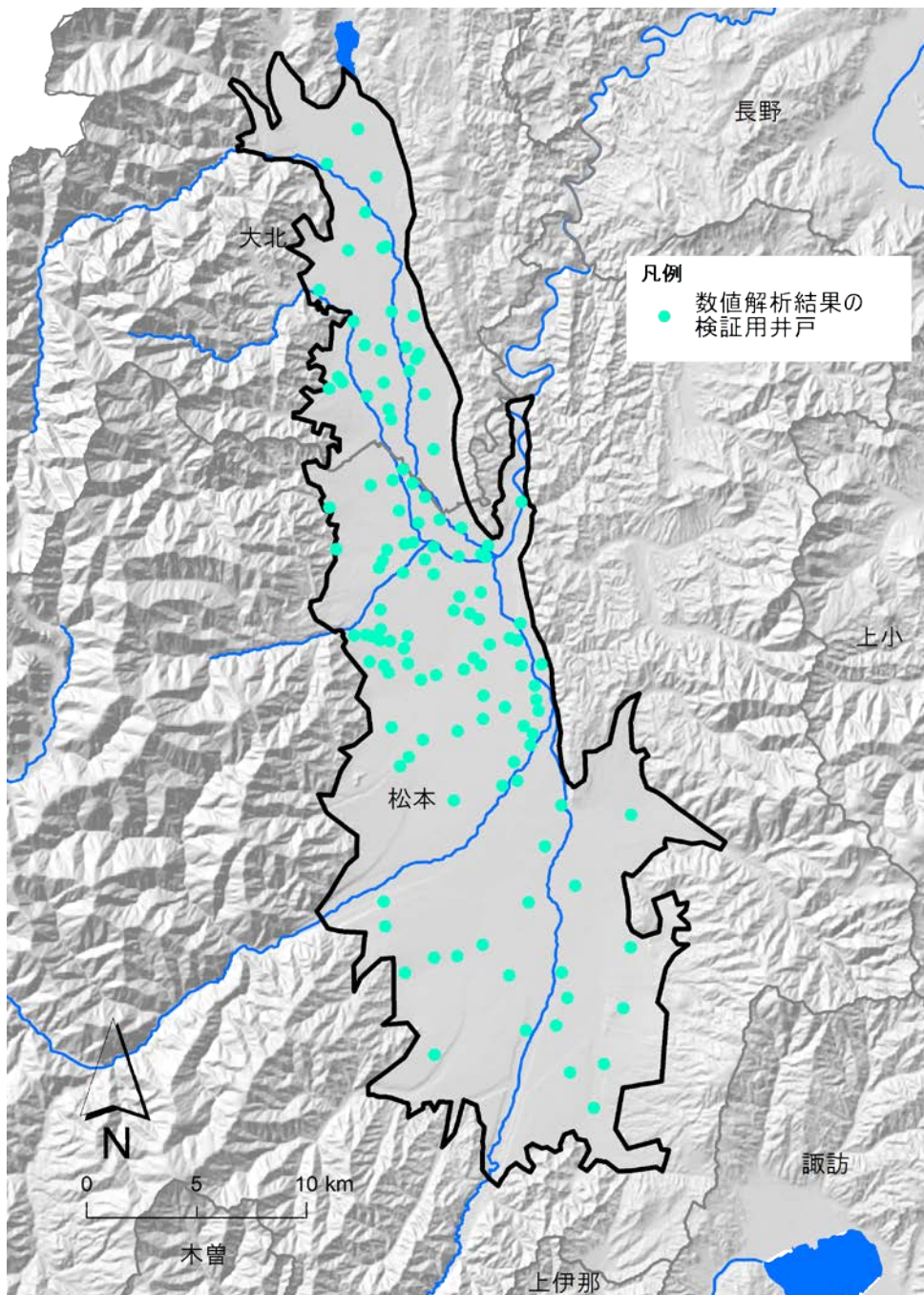


図 3-29 計算結果の検証用井戸（松本盆地モデル）

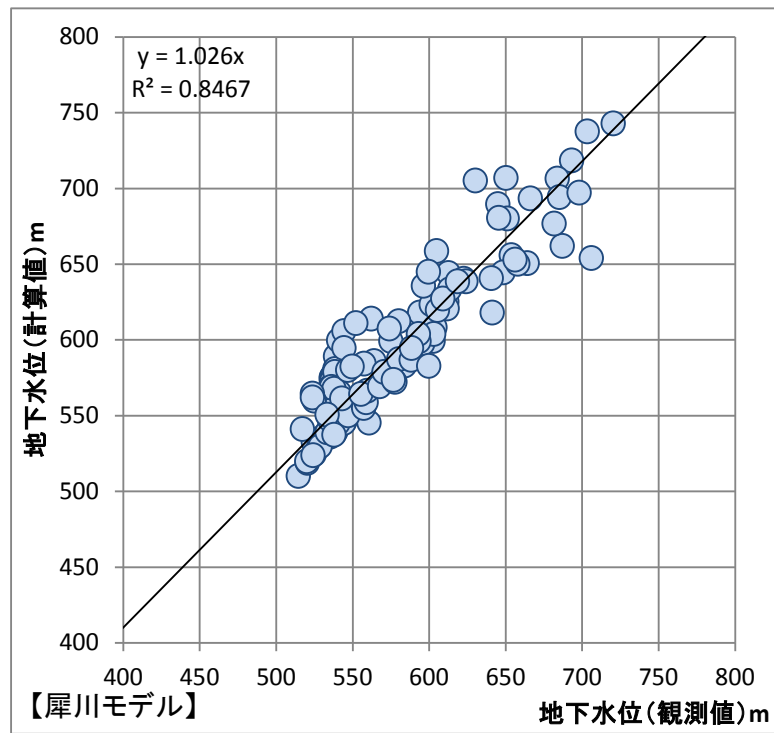


図 3-30 地下水位の計算結果と観測値（または文献値）との比較

#### (8) 飽和帯および不飽和帯の分布

クローズド方式（地中熱交換方式）の地下熱利用システムを導入する場合、地中に埋設する熱交換器は、なるべく飽和帯と熱交換することが望ましい。したがって、クローズド方式の導入適地となるのは、飽和帯幅が厚く、不飽和帯幅が薄い地下水環境を有する地域となる。

そこで、現況再現結果より、飽和帯幅、不飽和帯幅をそれぞれ図化したものが図 3-31および図 3-32である。これら図より、特に安曇野市や松本市の湧水域や河川沿川においてクローズド方式のシステム導入効果が期待できると言える。

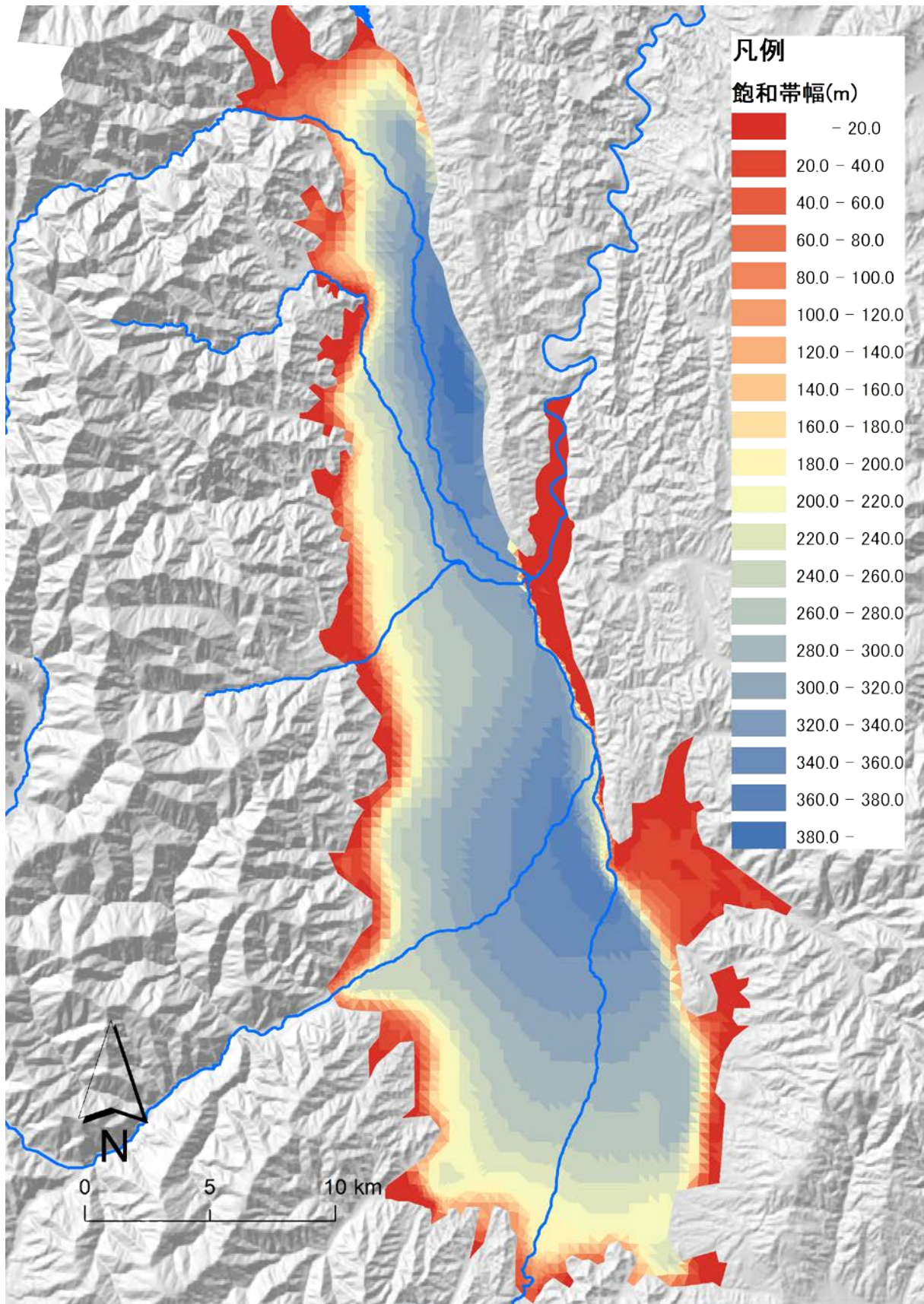


図 3-31 現況再現計算より得られた飽和帯幅の分布

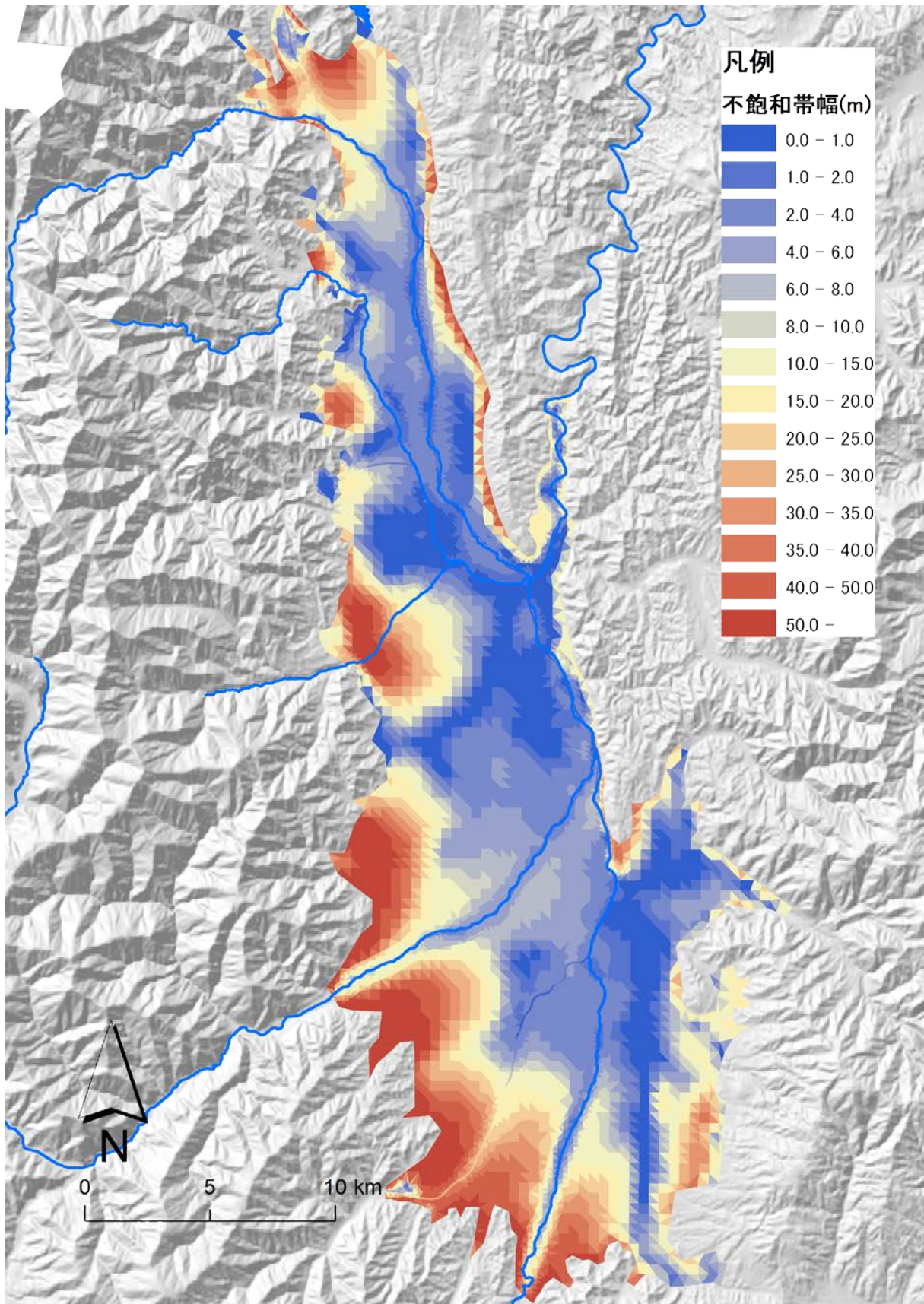


図 3-32 現況再現計算より得られた不飽和帯幅の分布

### (9) 地下水流速の分布

クローズド方式（地中熱交換方式）の地下熱利用システムでは、地下水流動のある地域では、システム運用に伴い蓄積される熱交換器周辺の熱を奪い、且つ定温の地下水を上流域より供給することから、システム導入が高いとされている。特に地下水流速の早い地域ほど、その導入効果が高まることが期待される。

そこでここでは、現況再現計算より得られた地下水流速（ダルシー流速）を整理する。計算より得られたダルシー流速分布を図 3-33に示す。盆地縁辺部は帯水層基底面となる難透水基盤の傾斜が急であり、これに伴いダルシー流速が大きくなる。一方、安曇野市の三川合流部や梓川や奈良井川の沿川では、地下水の動水勾配が小さいため、これによりダルシー流速も小さくなることが見てとれる。

なお、元来目に見えないものである地下水の流動機構を表現するために、地下水位コンターを用いて地下水面分布および形状を描くことが多い。しかしながら、本検討のように対象領域が広範にわたる場合には、地下水位コンターからは広域地下水流動機構が直感的に理解しにくい。

そこで、地下水流動シミュレーションの計算結果の可視化を工夫し、地下水の流動機構を直感的に理解するための支援を行う。

ここでは、計算結果である流速ベクトルを用いて粒子追跡計算を行い、粒子の移動経路を線分（流線）で示すこととした。また、これら流線を複数描写することで流線網を作成し、解析領域全体での地下水流動機構を「見える化」した。

松本盆地モデルにおいて作成した流線網をダルシー流速分布に重ね合わせたものが図 3-34である。また図 3-35には地形解析より得た地表水の流動経路と数値シミュレーションより得た地下水の流動経路を重ね合わせて表示した。これら図より、検討対象領域における地下水流動経路が直感的に理解でき、地下水盆における上下流の関係性や、地域の主要河川と地下水との関係性についても把握が可能となる。



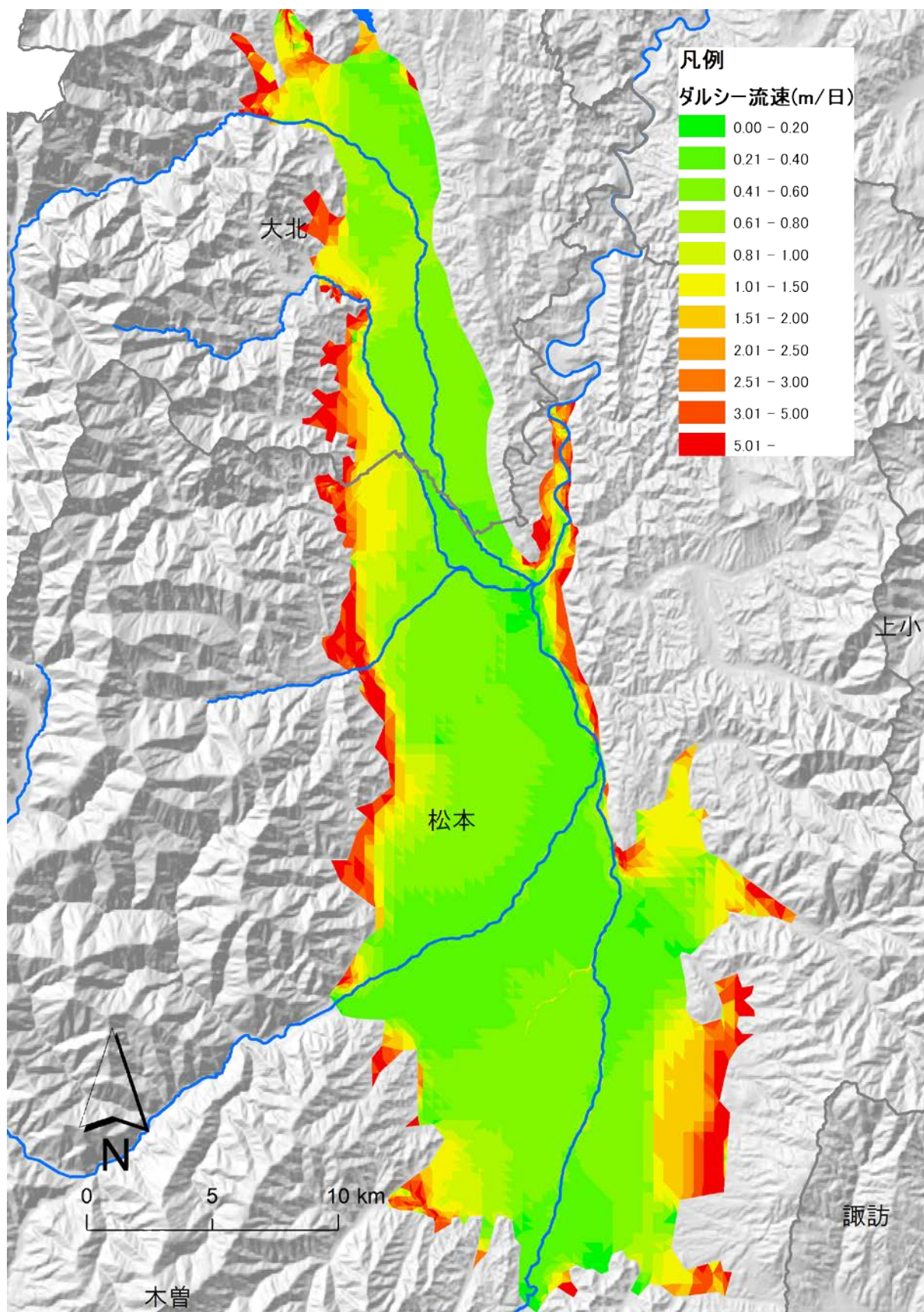


図 3-33 解析結果：ダルシー流速分布

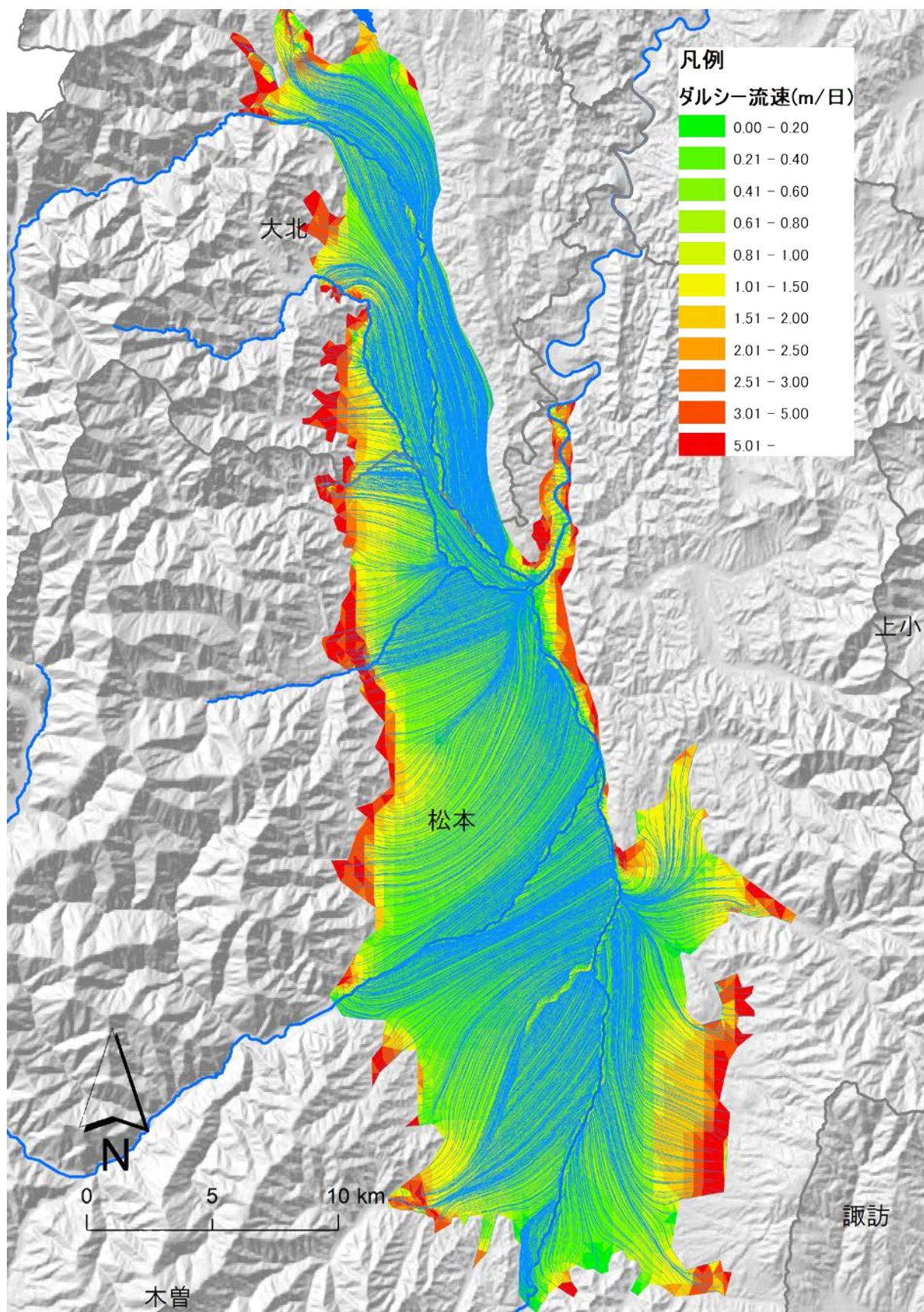


図 3-34 解析結果：ダルシー流速分布+流線網

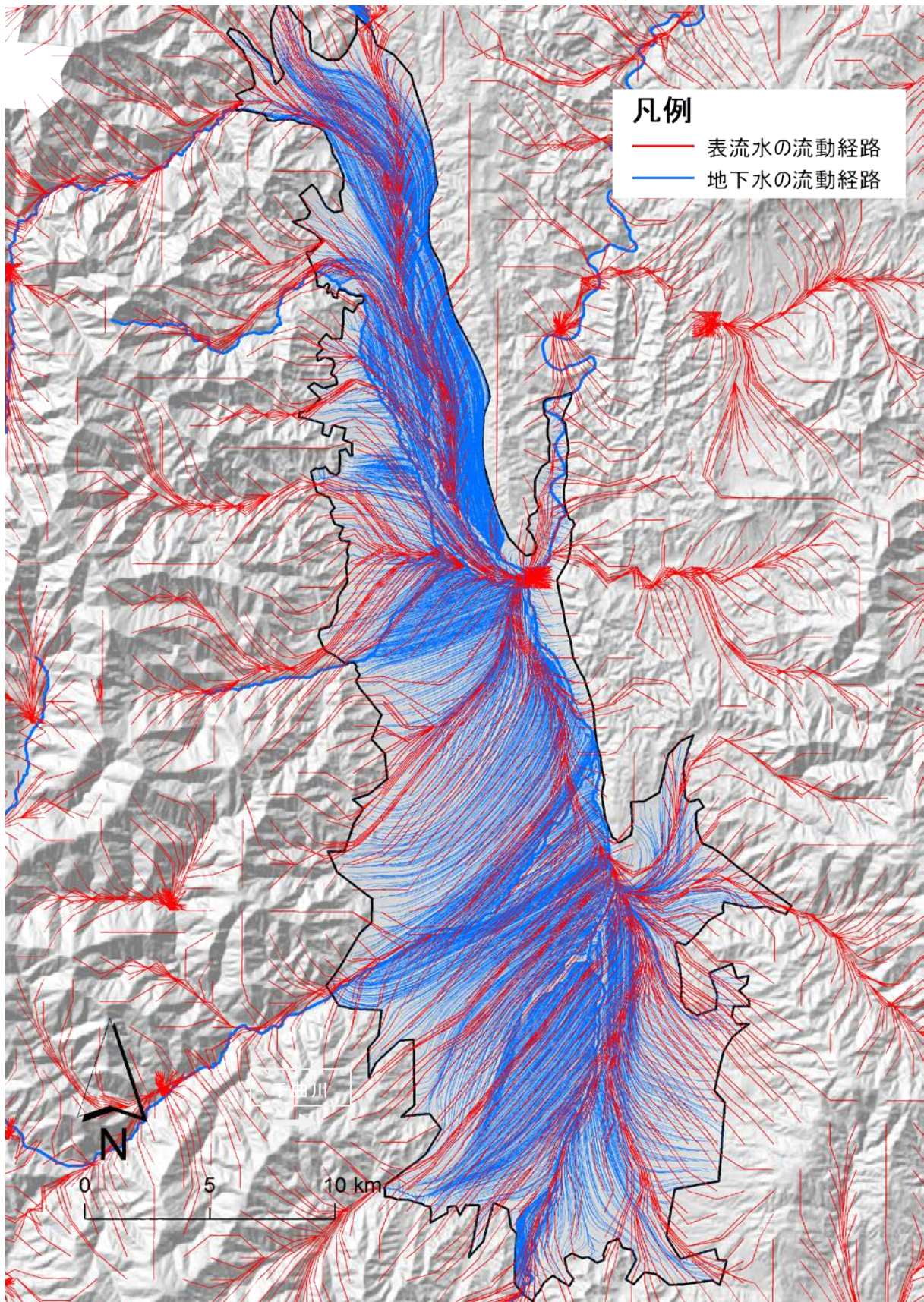


図 3-35 解析結果：地表水と地下水の流線網の重ね合せ

### 3.3.3 将来予測計算

#### (1) 将来予測のシナリオ

松本盆地において構築した広域地下水流動シミュレーションモデルを用いて将来予測計算を実施する。ここでは特に、松本盆地の地下水賦存量に着目し、以下に示す2つのシナリオの下、地域の地下水資源の脆弱性について、将来予測計算により把握することとした。

#### 【シナリオ1】「1994年の気象状況が継続する」

図 3-36に示すとおり、過去20年程度のうち長野県内の各地において年間降水量が最も少なかったのは、平成6年渇水（または1994年渇水）と呼ばれる1994年である。1994年は全国的に記録的な異常気象が続き、特に夏には高温と小雨が継続したことにより起因する水不足が全国で深刻な問題となった。

こうした渇水の影響を受けて、全国で用水利用のための地表水が不足し、不足を補うために各地で地下水の利用する動きが多くみられた。結果として全国各地で地下水位低下などの地下水障害が発生し、例えば、濃尾平野<sup>5</sup>では地盤沈下地域が拡大することとなった。

このような以上渇水が仮に複数年継続した場合に、地下水賦存量に対してどのような影響を及ぼすのかを検証するため、シナリオ1として1994年の気象条件（降水量、気温、日射量）が継続する条件を設定することとした。

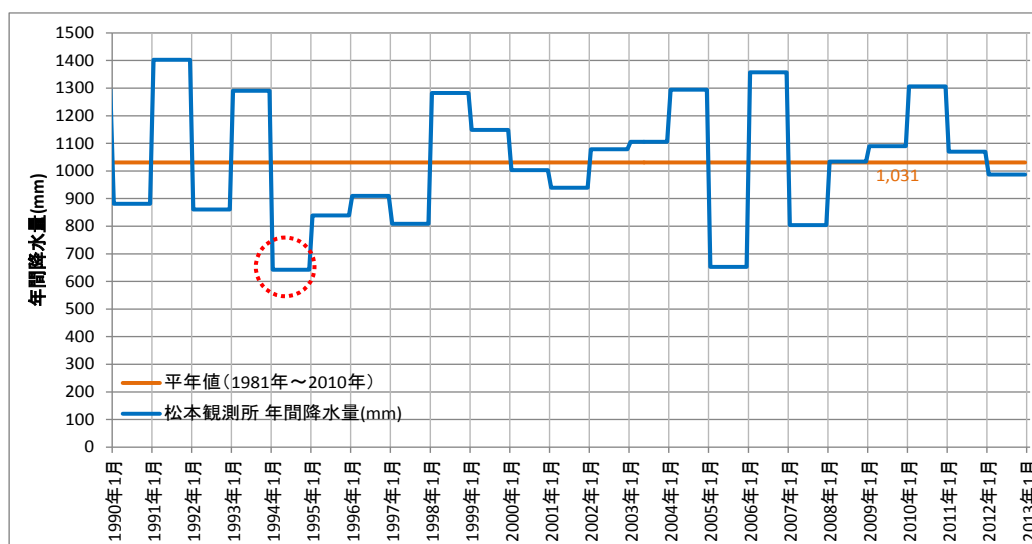


図 3-36 松本観測所における年降水量の経年変化

<sup>5</sup>大東・植下：濃尾平野の地盤沈下地域を拡大させた平成6年異常渇水 地下水学会誌Vol. 38 (1996) No. 4 p. 279-294

### 【シナリオ2】「耕作放棄地率が50%となる」

水田湛水期間における地下水涵養機能が、地域の地下水資源を形成する上で非常に大きな役割を果たすことは明らかである。そこでここでは、水田からの地下浸透量が減少するシナリオを設定し、予測計算を実施することとした。

表 3-13には、作物統計（2009年）より整理した耕作放棄地率を示す。この内容は現況再現計算の条件にも採用している。表より、木曽を除くと、県内全域で概ね10%後半から30%前半の耕作放棄率であることがわかる。今後、水田農業の担い手の減少が予想されるだけでなく、2018年をめどにコメの生産調整（減反）の廃止が予定される状況下において、米価下落を招き、今後将来的に耕作放棄地が増加することを懸念する声も聴かれる。

以上の背景を踏まえ、シナリオ2として、現状（2009年時点）の水田に対して耕作放棄率が50%に達した場合に想定される地水浸透量を概算し、これを計算条件に設定した。

表 3-13 作物統計（2009年）より整理した耕作放棄地率とシナリオ2の設定値

計算シナリオ	作物統計(2009年)			③耕作放棄地率 =(①-②)/①
	田耕地面積 (ha)	①本地面積 (ha)	②水稲作付面積 (ha)	
現況	12,503	11,249	7,324	34.9%
シナリオ2	12,503	11,249	5,625	50.0%

## (2) 計算ケースと条件

将来予測計算は、前述した2つのシナリオに基づき、以下に整理する2ケースで実施する。

CASE1：渇水継続ケース

CASE2：水田涵養量減少ケース

各ケースにおける計算の方針および計算条件の詳細は以下のとおりである。将来予測計算では涵養量の違いが地下水位（地下水賦存量）にどのような影響を及ぼすのかを評価することとした。

### ◇計算の方針

- ・広域準3次元地下水流動シミュレーション
- ・各シナリオで設定した条件が5年間継続すると想定した非定常計算

### ◇時間刻み

- ・時間刻みは0.001時間から開始し、計算の安定状況に応じて最大5時間となるように設定（現況再現計算と同様）

### ◇パラメータ（透水係数、有効間隙率）

- ・各地域において文献値を元に設定（現況再現計算と同様）

### ◇涵養量、揚水量

- ・CASE1：渇水継続ケース 涵養量は1994年気象条件より設定
  - ・CASE2：水田涵養量減少ケース 涵養量は耕作放棄地率50%として設定
- ※特に涵養量、揚水量に関する記載がない場合は、現況再現計算と同様

### ◇河川伏流量

- ・文献調査結果より、平均的な伏流量を設定（現況再現計算と同様）

各ケースで設定した涵養量条件をに示す。なお参考までに現況（2009年時点）の再現計算で設定した涵養量および、特にCASE2で重要となる水田の位置がわかるように、2009年（平成21年）の土地利用図を併せて示す。

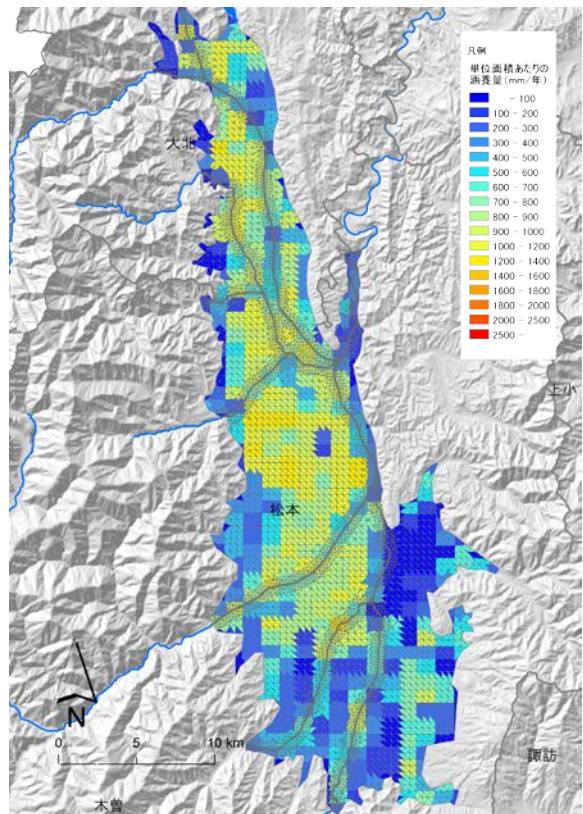
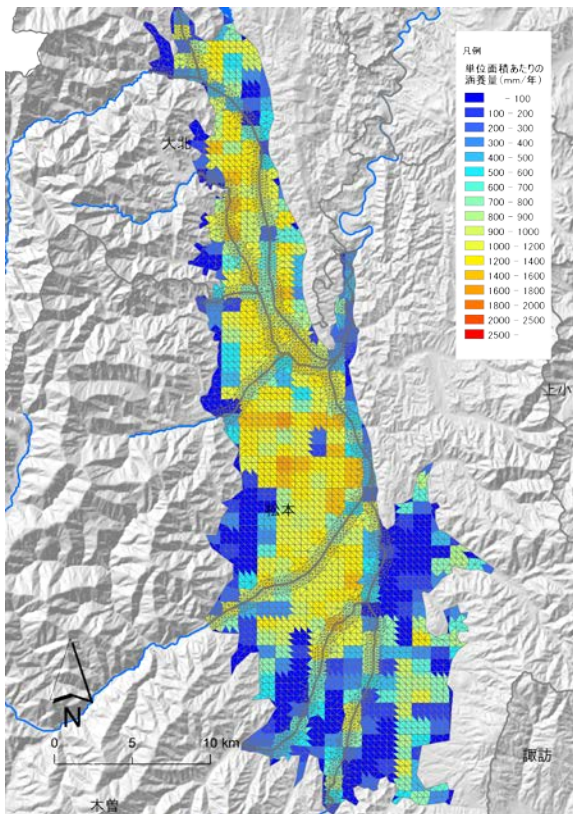
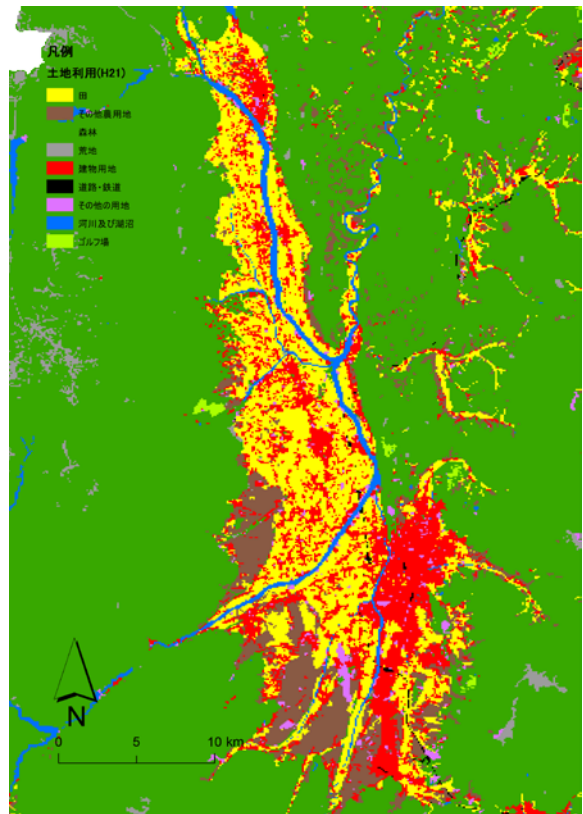
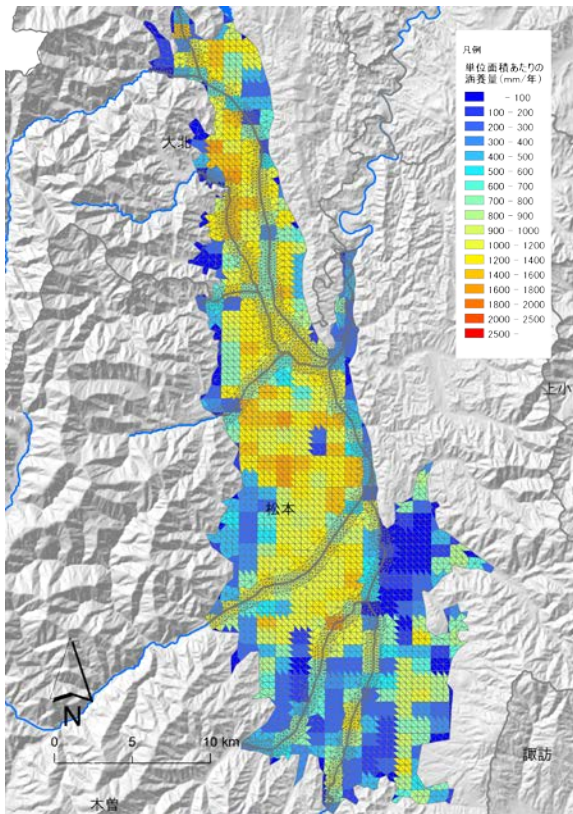


図 3-37 現況（2009年時点）再現計算で設定した涵養量および松本地域の土地利用図（2009年）と、将来予測計算で設定した涵養量

### (3) 将来予測計算結果

2 ケースで実施した将来予測計算結果を表 3-14に整理する。両ケース共に、現況に比べて涵養量を小さく設定した条件となるため、地下水面が減少することとなり、松本盆地全域（計算領域全域）で見た場合、共に地下水賦存量が約500万トン減少する結果となった。また、地点別に地下水位低下状況を確認したものが、図 3-38および図 3-39である。将来予測計算における地下水位の傾向としては、地域の主要河川に近接しない地点（W1、W2、W4、W5、W6）では、涵養量の減少に伴い地下水位も低下しており、その低下量が数センチから数十センチとなることがわかった。

表 3-14 将来予測計算結果（地下水賦存量）

項目		将来予測計算ケース		
		現況	CASE1 渇水継続	CASE2 水田涵養量減少
松本 盆地	地下水賦存量(百万 m <sup>3</sup> )	16,106	16,101	16,101
	現況からの減少量(百万 m <sup>3</sup> )	-	5	5

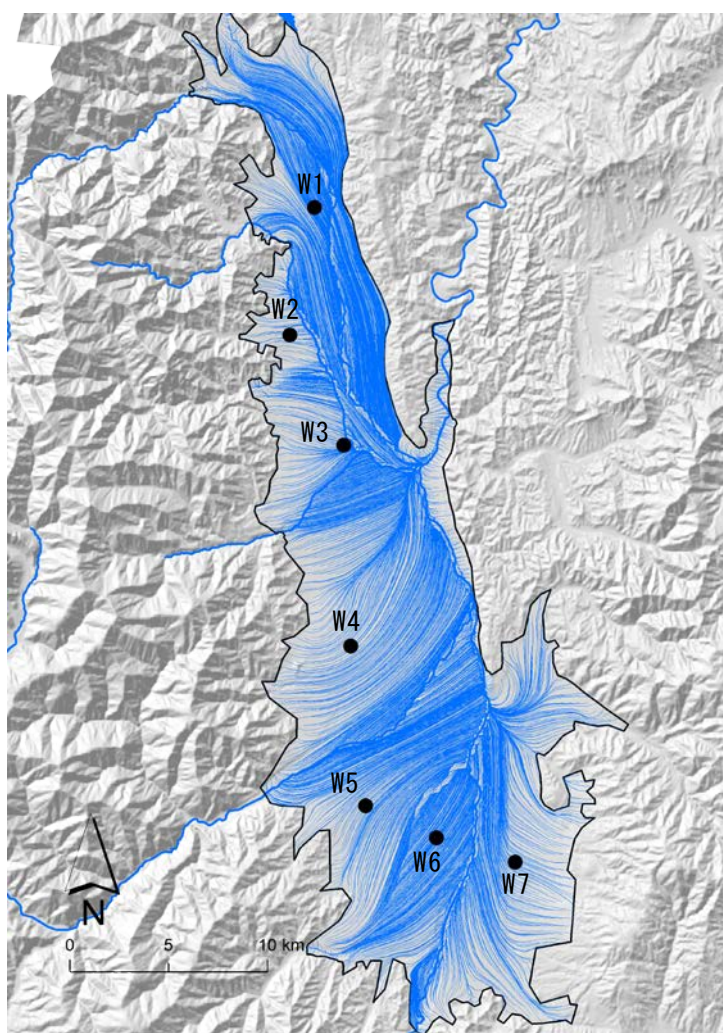


図 3-38 将来予測計算結果整理地点



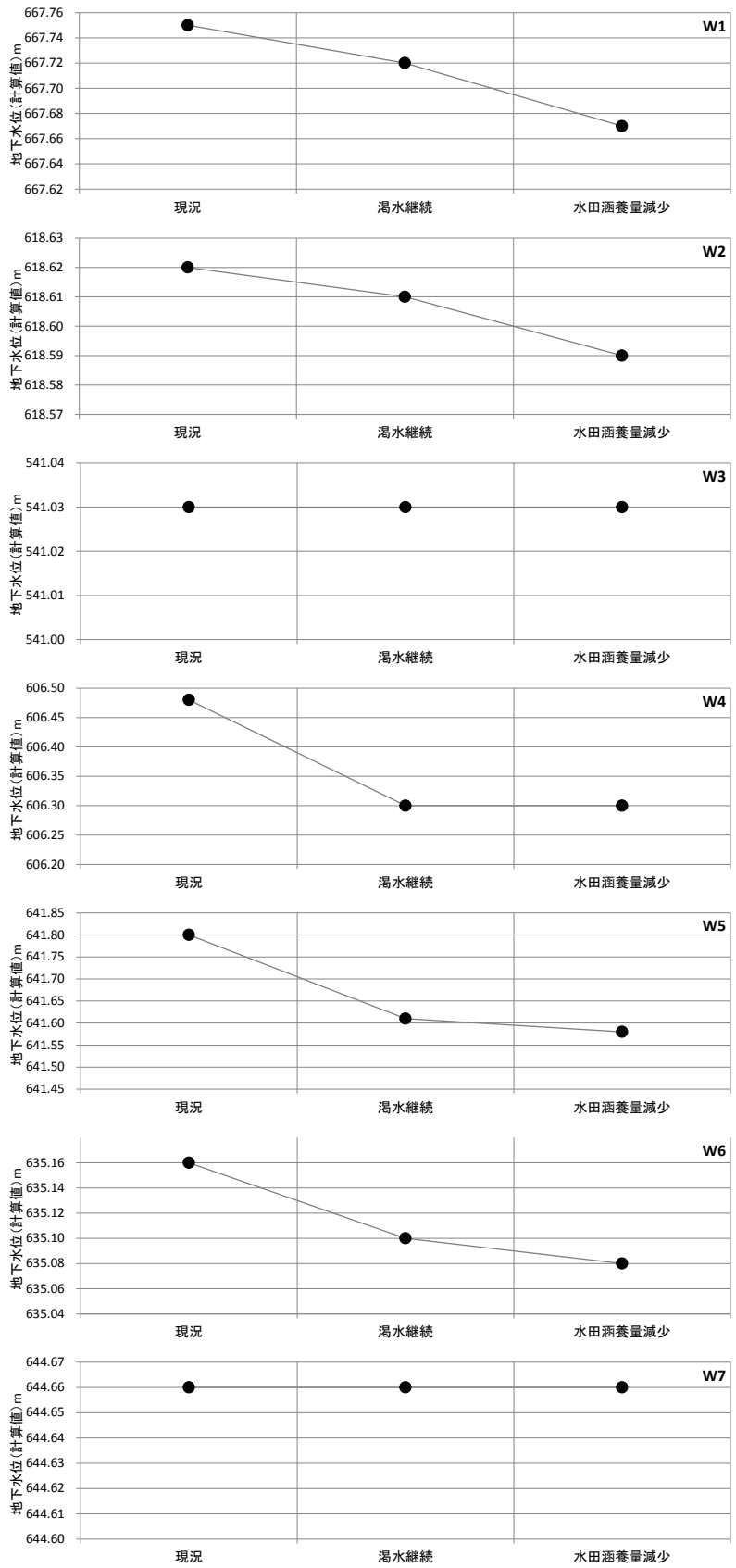


図 3-39 計算結果整理地点における計算地下水位の変化

### 3.4 実証試験データの整理

信州大学工学部キャンパス内に設置してある10孔の井戸を利用した地下熱冷暖房システムの現地観測データを整理する。

#### 3.4.1 実証試験サイトの概要

研究対象地域となる信州大学工学部(北緯36度37分53秒、東経138度11分20秒)の位置をに図 3-40示す。

導入サイトが位置する長野市市街地の標高は概ね350m程度であり、周囲を標高1,000~2,000m級の山地に囲まれている。これら山地に抱かれた善光寺平と呼ばれる長野盆地の中央よりやや西側付近に導入サイトは位置する。

長野盆地は当該地域を南から北へ貫流する千曲川やその支川となる犀川、裾花川等の河川により形成された沖積低地で、沖積層は千曲川とその支川の現河床および氾濫原堆積層と新期扇状地堆積物からなり、いずれも砂礫層を主とし、砂やシルトを挟む互層の地層である。

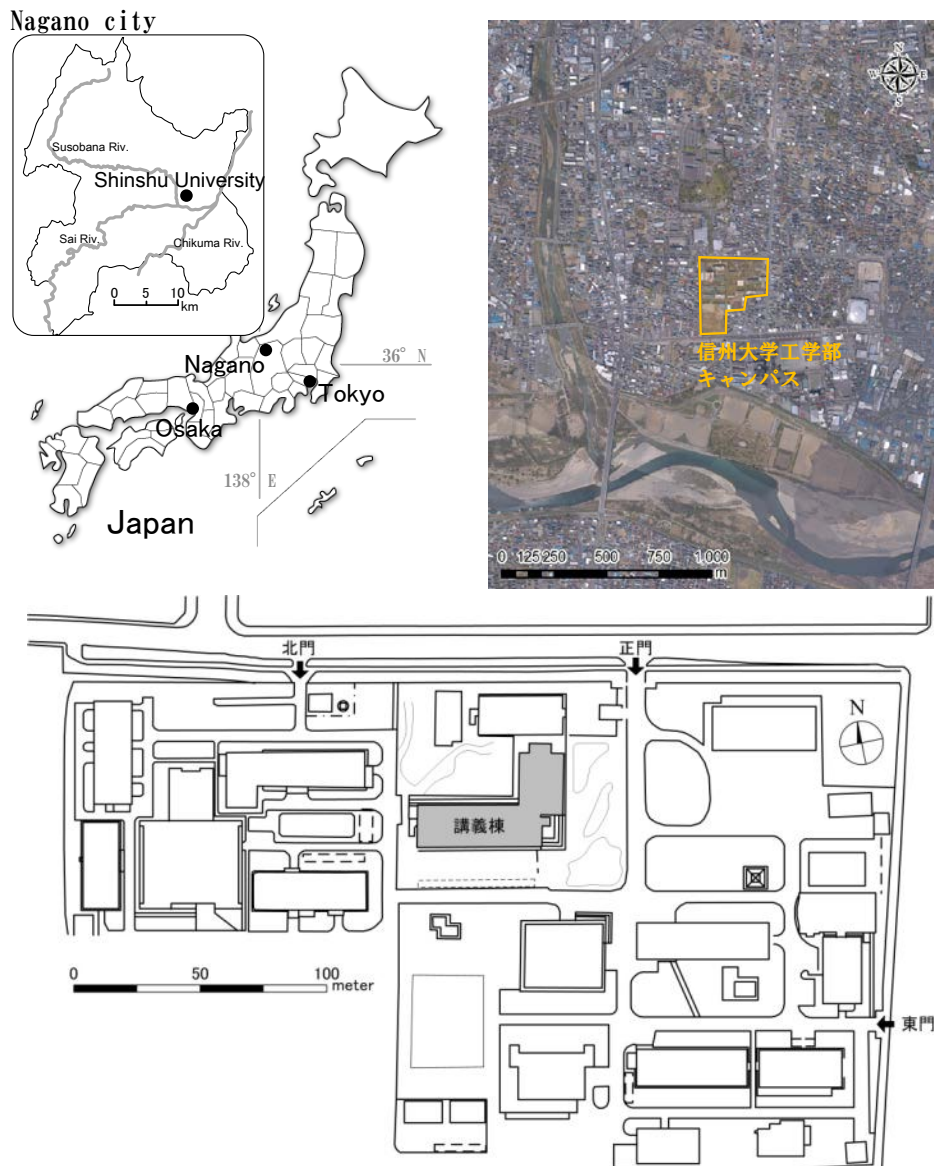


図 3-40 導入サイト位置図

### 3.4.2 原位置調査から把握された地下水特性

#### (1) 調査孔の層序

「次世代型ヒートポンプシステム研究開発『地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発』(以降、NEDOプロジェクトと呼ぶ)において、地盤構造を明らかにするため、オールコアボーリング(φ66mm、DL-75m)と電気検層を行っている。

調査結果から把握した対象位置における層序の模式図と電気検層結果を図 3-41 に示す。これより、砂礫層が地表面から8.1m~40.8m(層厚31.7m)と43.5m~64.7m(層厚21.2m)、また66.0m以深に存在し、各層は数メートルの厚さの粘土層で分離されていることがわかる。以降、各砂礫層で構成される帯水層のうち、上方を第一帯水層、中間を第二帯水層、下方を第三帯水層と呼ぶ。なお、地表面直下には層厚8m程度の粘土層が確認できる。このため、揚水した地下水の帯水層への還元を原位置で行う際に、地表面からの人工涵養は困難であることがわかった。

層序が明らかになったことから、調査孔・観測孔を図 3-42に示すとおり設置した。このうち、C1孔、C2孔、D1孔、D2孔は空調システムで揚水井、注水位としてまたシステム稼働中はA1孔、A2孔、A3孔、B孔、E1孔、E2孔を観測用井戸としてそれぞれ用いている。さらに、B孔を中心とする半径約3.8mの同心円上にA孔群を配置した。このうちA3孔がオールコアボーリングを実施した調査孔である。各調査孔名の数字は、それぞれが対象とする帯水層の番号を指す(例えば、A1孔は第一帯水層を対象とする)。

NEDOプロジェクトにおいて、これら井戸を用いて各帯水層別の地下水、地下水質、流向、流速、揚水試験等の各種調査を実施している。

本実証試験に伴い設置した井戸群の設置範囲で想定される地質断面図を図 3-43 に示す。図に示すとおり、3つの帯水層が連続して存在することが想定される。

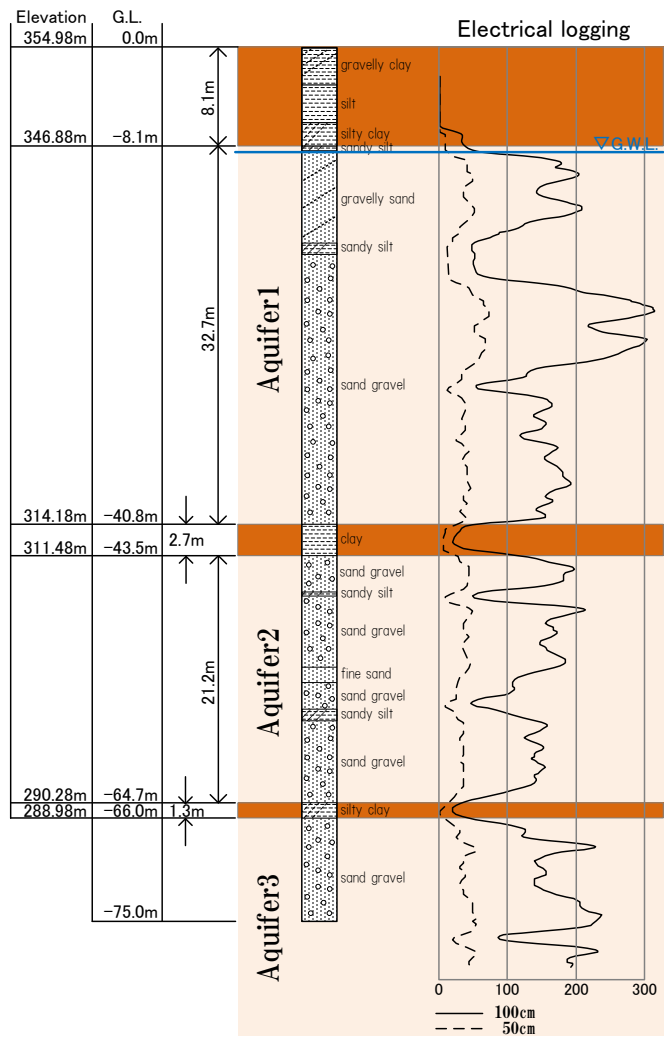


図 3-41 オールコアボーリングおよび電気検層結果

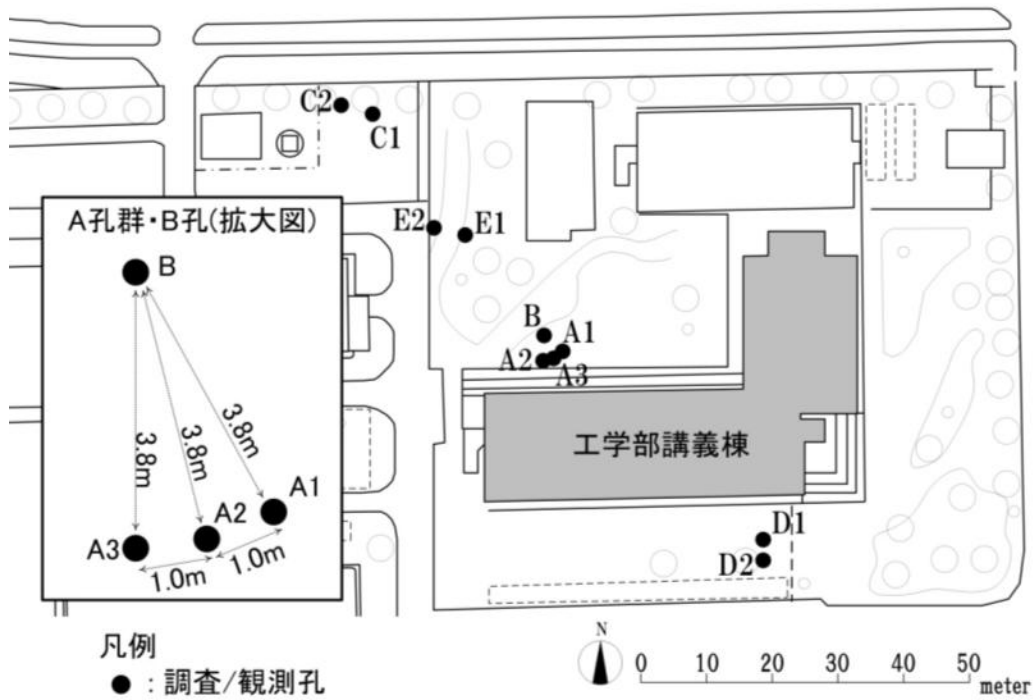


図 3-42 調査孔、観測孔の位置図

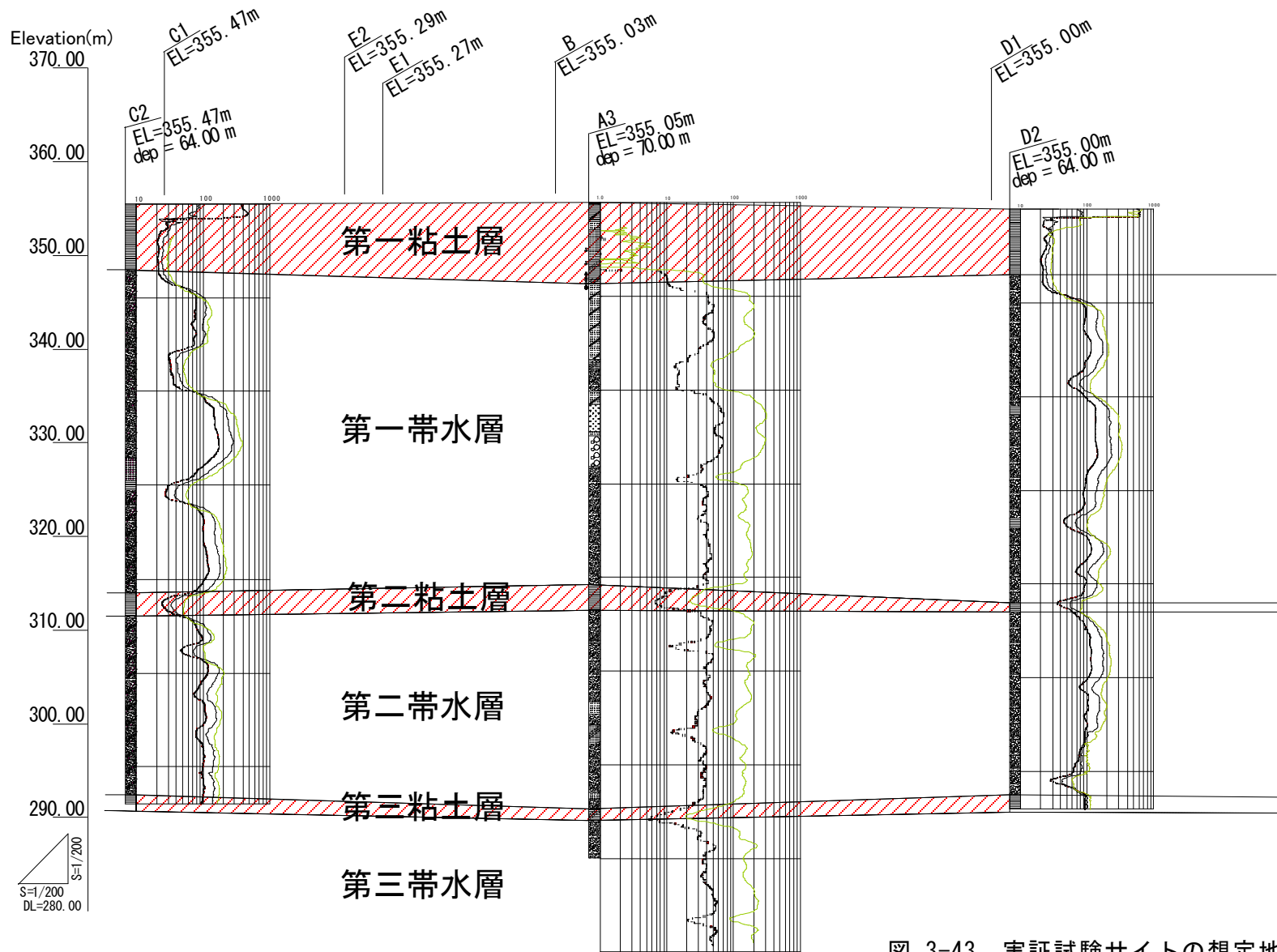


図 3-43 実証試験サイトの想定地質断面図

### 3.4.3 地下熱冷暖房システムの概要

当該システムは高効率な帯水層蓄熱の実現も目標としており、空調時の排熱は温水または冷水として帯水層に貯留することになる。

実証試験は2シーズンにわたり実施されており、それぞれ表 3-15のとおり運転した。実証試験のシーズン1における各井戸の機能を図 3-44に、シーズン2における各井戸の機能を図 3-45にそれぞれ示す。

原位置地質調査より明らかになった上下2層の帯水層構造を利用し、1シーズン目となる2011年度の暖房運転においては、第二帯水層から地下水を揚水（揚水井D2孔）して空調システムに利用することとした。また、このときに生じる冷排水は第一帯水層に注水（注水井C1孔）して冷熱を帯水層へ蓄熱した。一方、1シーズン目の冷房運転では、暖房運転時に貯留した冷熱を第一帯水層から揚水（揚水井D1孔）して、冷房時の効率向上を目指し、さらに第二帯水層に温排水を注入・貯留（注入井C2孔）して、次シーズンの暖房運転に利用することとした。

2012年度の暖房期間は調整のためシステムは運転しなかったが、実証試験の2シーズン目は、2013年の冷房運転は第一帯水層から揚水（揚水井D1孔）して、生じた温排水は1シーズン目とは反対に、第一帯水層に注水（注水井C1孔）した。また2シーズン目の暖房運転は、冷房時と同様に第一帯水層から揚水（揚水井D1孔）して、生じた冷排水は、1シーズン目とは反対に、第二帯水層に注水（注水井C2孔）し、蓄熱した。

以上のように温水と冷水でそれぞれ貯留する層を使い分けることにより、季節間の熱利用を実現する。蓄熱状況については、A孔群、B孔、E孔群を観測孔として地下水位と地下水温の鉛直分布を定期的に取り得し、把握することとした。

また、表 3-16では実証試験における各井戸の使用用途、位置座標、井戸間距離について整理しており、表 3-17には揚水井、注水井となるC孔群とD孔群の各井戸のスクリーン構造について示す。さらに、詳細は後述するが、各井戸に設置する自記記録計による地下水観測体制を表 3-18に整理する。

表 3-15 実証試験のシーズン1およびシーズン2の運転条件

実証試験	年度	空調運転	揚水井	注水井
シーズン1	2011年度	暖房	D2孔	C1孔
	2012年度	冷房	D1孔	C2孔
—		暖房	システム調整のため休止	
シーズン2	2013年度	冷房	D1孔	C1孔
		暖房	D1孔	C2孔

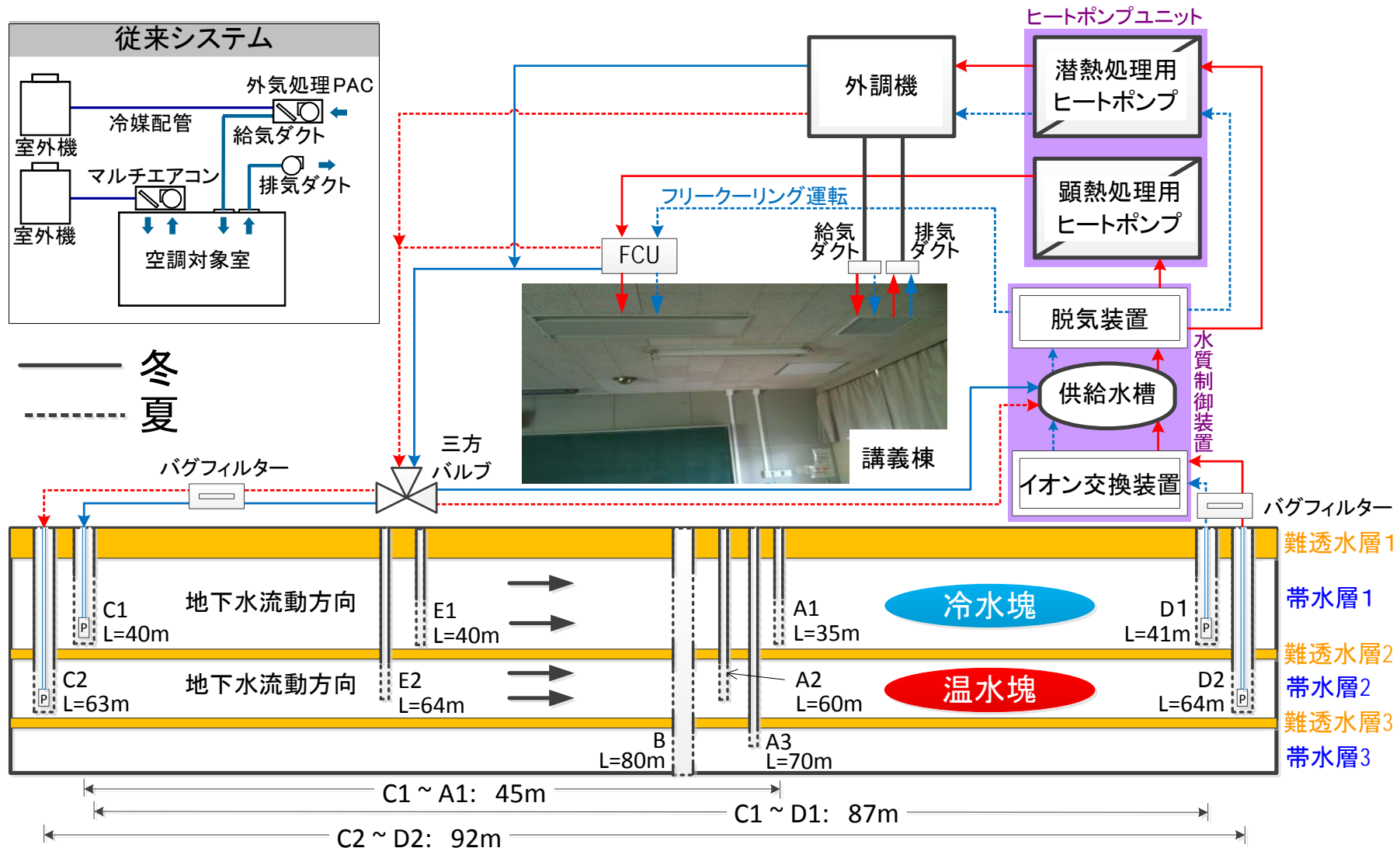


図 3-44 地下水制御型HPシステム模式図 (実証試験シーズン1)

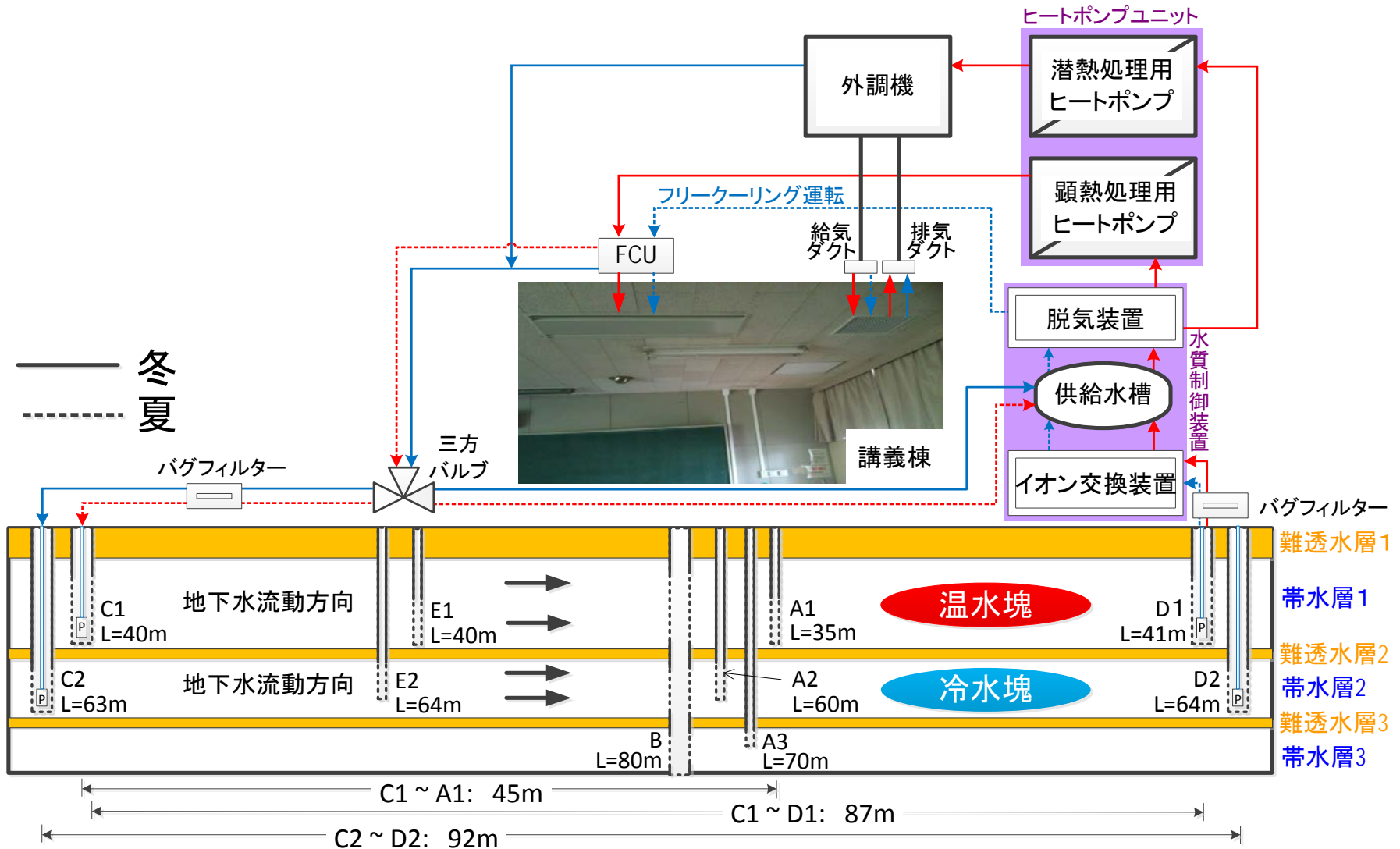


図 3-45 地下水制御型HPシステム模式図 (実証試験シーズン2)



表 3-16 実証試験時における調査孔機能と孔間距離

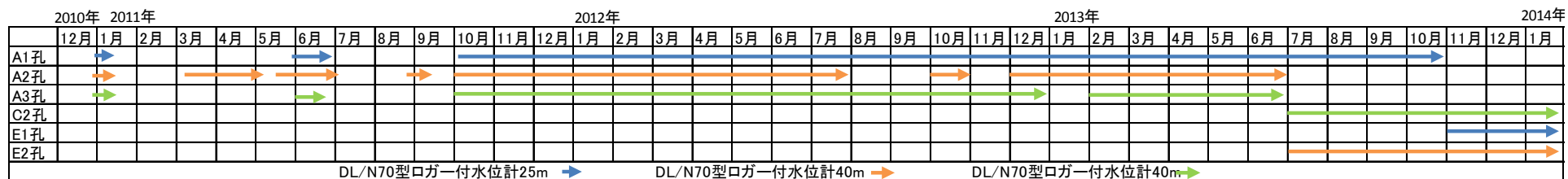
調査孔名	対象とする帯水層	実証実験時の機能			座標		孔間距離m									
		用途	暖房利用	冷房利用	X	Y	A1	A2	A3	B	C1	C2	D1	D2	E1	E2
A1	1	観測孔			-27817.051	70104.935	—									
A2	2	観測孔			-27818.499	70103.707	1.90	—								
A3	3	観測孔			-27817.559	70104.083	0.99	1.01	—							
B	1,2,3	観測孔			-27819.776	70107.252	3.58	3.77	3.87	—						
C1	1	注水井	1年目	2年目	-27845.569	70140.326	45.45	45.54	45.81	41.94	—					
C2	2	注水井	2年目	1年目	-27850.038	70142.024	49.64	49.63	49.94	46.10	4.78	—				
D1	1	揚水井	2年目	1,2年目	-27783.724	70077.605	43.10	43.48	42.96	46.68	88.08	92.45	—			
D2	2	揚水井	1年目		-27783.671	70074.690	45.04	45.33	44.86	48.62	90.22	94.54	2.92	—		
E1	1	観測孔			-27830.966	70121.972	22.00	22.11	22.36	18.49	23.45	27.67	64.81	66.88	—	
E2	2	観測孔			-27835.224	70123.962	26.31	26.27	26.59	22.76	19.36	23.36	69.29	71.31	4.70	—

※座標は世界測地系、平面直角座標系第8系

表 3-17 実証試験における揚水井・注水井のスクリーン構造

第一帯水層				第二帯水層			
C1		D1		C2		D2	
上端(E.Lm)	スクリーン長 (m)	上端(E.Lm)	スクリーン長 (m)	上端(E.Lm)	スクリーン長 (m)	上端(E.Lm)	スクリーン長 (m)
下端(E.Lm)		下端(E.Lm)		下端(E.Lm)		下端(E.Lm)	
348.47	33.0	349	33.0	310.47	16.5	311.7	16.5
315.47		316		293.97		295.2	

表 3-18 実証試験期間の地下水観測体制



### 3.4.4 地下水原位置観測

NEDOプロジェクトの実証試験期間中において、地下水原位置観測が実施されている。原位置観測は、全ての井戸を対象に週1～2回の頻度を基本として、手測り計測で地下水水位と地下水温の鉛直分布を把握しており、またA孔群には自記記録センサーを設置し、1時間ピッチで観測データ（地下水水位、地下水温）が自記記録されている。

各井戸の実証試験時の機能と地下水原位置観測において計測する項目について、表3-19に整理する。また、手測りによる観測の様子を写真-3-1に示す。

表 3-19 調査孔別の地下水原位置観測項目

調査孔名	対象とする帯水層	実証試験時の機能			地下水水位		地下水温	
		用途	暖房利用	冷房利用	手測り (触針式)	自記記録 (定点)	手測り	自記記録 (定点)
A1	1	観測孔			●	●	●	●
A2	2	観測孔			●	●	●	●
A3	3	観測孔			●	●	●	●
B	1.2.3	観測孔			●		●	
C1	1	注水井	1年目	2年目	●		●	
C2	2	注水井	2年目	1年目	●	●	●	●
D1	1	揚水井	2年目	1年目 2年目	●		●	
D2	2	揚水井	1年目		●		●	
E1	1	観測孔			●	●	●	●
E2	2	観測孔			●	●	●	●



写- 3-1 地下水原位置観測の様子

(1) 地下水位

1) 観測機器

地下水位の手測り観測および自記記録には表 3-20に示すセンサーを用いる。  
各センサーの詳細は写真- 3-2に示すとおりである。

表 3-20 地下水位の計測に用いるセンサー

観測種別	NO	対象井戸	機器(センサー)名称	計測深度(G.L.-m)	分解能(m)
手測り	1	A1, A2, A3, B, C1, C2, D1, D2, E1, E2	アルファ工学 ロープ式水位計 (株式会社アジアポケット)	30	0.01
自記記録	2	A1	アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社)	25	0.001
	3	A2	アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社)	40	0.001
	4	A3	アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社)	70	0.001



写真- 3-2 地下水位観測に用いたセンサー  
(左：ロープ式水位計，右：DL/N70型ロガー付水位計)

## 2) 観測結果

手測り観測により得られた各調査孔の地下水位を表 3-21におよび表 3-22整理する。また、各調査孔における観測データを時系列でグラフ化したものが図 3-46（第一帯水層）、図 3-47（第二帯水層）、図 3-48（全て）である。これら図より、すべての調査孔において地下水位の年間変動が確認できる。観測期間中の最低地下水位および最高地下水位は、第一帯水層、第二帯水層ともに、それぞれ2013年3月、2013年9月に観測された。

第一帯水層の地下水位を示す図 3-46より、シーズン1の暖房期間では注水の影響を受けてC1孔の地下水位が他井戸よりも顕著に上昇を示すことがわかる。またシーズン2の冷房期間においては、揚水の影響によりD1孔の地下水位の低減が確認できる。一方で、シーズン2の冷房期間では注水の影響を受けてC1孔の地下水位が顕著に上昇すると共に揚水井となるD1孔の地下水位は低下しており、シーズン2の冷房期間においては、シーズン1に比べると揚水の影響によりD1孔の地下水位の低減は確認できない。

また、他の第一帯水層を対象とする調査孔においては、システム運転に起因するC1孔の注水やD1孔の揚水の影響は、C1孔、D1孔に比べるとそれほど大きく受けていない。

図 3-47より、第一帯水層と同様に第二帯水層においても、シーズン1の暖房期間では暖房運転時の揚水の影響でD2孔では地下水位が低下する。またシーズン1の冷房期間ではC2孔の地下水位が注水の影響により上昇し、このときの水位上昇量は、第一帯水層の暖房時にC1で計測された上昇量よりも大きい。これは、第二帯水層は第一帯水層よりも帯水層が小さく、また冷房時はフリークーリング運転をしており暖房時に比べてシステム循環水量が多かったことが要因と考えられる。

シーズン2では暖房運転時にC2孔より第二帯水層に冷水を注入したため、C2孔の地下水位が高くなる場合あったことが観測結果より確認できる。

図 3-48から、B孔の地下水位は、第一帯水層の他調査孔よりも若干低く、第二帯水層の他調査孔よりも40cm程度高いことがわかる。これは図 3-49に示すとおり、B孔が3つの帯水層すべてにスクリーンを有しており、B孔の観測値は各帯水層の合成地下水位となっているためである。B孔の他調査孔との水位差を見ると、B孔の合成地下水位は第一帯水層の影響を最も大きく受けている。これについては、図 3-49のとおりB孔の第一帯水層のスクリーン長が第二帯水層の2倍の長さとなる33.0mと最も長いことに起因すると考えられる。

また、図 3-48より第一帯水層は第二帯水層に比べて、地下水位が約30cm～約50cm程度高いことがわかる。

1時間ピッチの自記記録により、導入サイトの地下水位の日変動についても把握することができる。地下水位の日変動が生じる要因には、周辺施設における地下水利用の影響が考えられる。一週間単位の地下水位の変動状況を示すグラフについては、別途参考資料で整理する。



表 3-22 手測りによる地下水位観測結果 (2/2)

観測NO	観測日	地下水位 (E.L.m)									
		【項目】上段:調査孔名称、下段:観測データ数									
		A35	A60	B	C1	C2	D1	D2	E1	E2	A70
		141	141	139	140	137	136	137	142	142	141
101	2013/3/23	344.57	344.35	344.59	344.66	344.28	344.64	344.28	344.65	344.3	344.33
102	2013/3/29	344.57	344.37	344.66	344.75	344.3	344.72	344.25	344.74	344.33	344.28
103	2013/4/4	344.48	344.74	344.76	344.83	344.41	344.82	344.36	344.82	344.41	344.35
104	2013/4/11	344.93	344.64	344.92	345.05	344.57	345	344.56	345.01	344.59	344.55
105	2013/4/18	345.04	344.75	345.06	345.15	344.66	345.13	344.64	345.13	344.67	344.63
106	2013/4/25	345.14	344.84	345.16	345.25	344.76	345.23	344.74	345.24	344.77	344.66
107	2013/5/1	345.22	344.99	345.25	345.34	344.89	345.3	344.88	345.34	344.87	344.85
108	2013/5/9	345.25	344.94	345.27	345.37	344.86	345.33	344.84	345.38	344.87	344.7
109	2013/5/16	355.05	344.98	345.29	345.4	344.89	345.39	344.86	345.43	344.92	344.71
110	2013/5/22	345.35	345.04	345.37	345.49	344.94	345.35	344.9	345.46	344.79	344.82
111	2013/5/28	345.33	345.04	345.34	345.89	344.95	344.92	344.92	345.46	344.98	344.8
112	2013/6/5	345.37	345.08	345.42	345.49	344.97	345.48	344.99	355.27	345	344.89
113	2013/6/12	345.44	345.11	345.48	345.57	344.96	345.46	345	345.57	345.02	344.92
114	2013/6/22	345.68	345.44	345.7	345.8	345.37	345.77	345.38	345.77	345.38	345.27
115	2013/6/26	345.75	345.49	345.8	346.49	345.42	345.87	345.43	345.94	345.44	345.24
116	2013/7/2	346	345.68	345.96	346.07	345.59	345.77	345.58	346.06	345.58	345.44
117	2013/7/10	346.11	345.82	346.17	346.81	345.63	346.18	345.69	346.24	345.65	345.46
118	2013/7/16	346.21	345.87	346.24	346.92	345.89	346.31	345.73	346.33	345.8	345.38
119	2013/7/25	345.95	345.65	346.12	346.31	345.89	345.97	345.42	355.27	355.29	345.18
120	2013/8/2	346.4	346.12	346.46	346.56	346.04	346.5	346.01	346.59	346.05	345.8
121	2013/8/6	346.47	346.14	346.51	346.65	346.47	346.58	346.03	346.65	346.05	345.79
122	2013/8/14	346.53	346.27	346.57	346.66	346.22	346.62	346.11	346.66	346.21	345.93
123	2013/8/21	346.52	346.21	346.56	346.64	346.15	346.61	346.08	346.67	346.18	345.81
124	2013/8/27	346.86	346.57	346.92	347.06	346.48	346.8	346.42	347.09	346.48	346.12
125	2013/9/4	347.03	346.84	347.06	347.76	346.65	346.85	346.61	347.22	346.67	346.23
126	2013/9/11	347.59	347.28	347.65	347.81	347.22	347.7	347.2	347.81	347.2	346.74
127	2013/9/17	347.85	347.5	347.91	348.04	347.43	347.95	347.35	348.04	347.43	346.92
128	2013/9/26	347.63	347.35	347.69	348.4	347.29	347.43	347.22	347.82	347.28	346.89
129	2013/10/1	347.48	347.22	347.53	347.68	347.11	347.55	347.1	347.66	347.14	346.65
130	2013/10/8	347.12	346.77	347.18	347.32	346.72	347.24	346.62	347.28	346.72	346.28
131	2013/10/17	347.02	346.64	347	347.12	346.55	347.02	346.51	347.16	346.54	346.09
132	2013/10/23	346.92	346.58	346.95	347.09	346.53	347.02	346.45	347.14	346.49	346.07
133	2013/11/1	346.95	346.64	346.98	347.12	346.59	347.04	346.51	347.09	346.54	346.1
134	2013/11/5	346.89	346.56	346.96	347.05	346.49	346.99	346.44	347.05	346.49	346.04
135	2013/11/12	346.73	346.37	346.76	346.9	346.3	346.86	346.25	346.88	346.31	345.87
136	2013/11/22	346.44	346.17	346.51	346.62	346.07	346.56	346.02	346.61	346.08	345.75
137	2013/11/27	346.31	345.95	346.36	346.47	347.53	346.44	345.86	346.48	345.9	345.56
138	2013/12/6	346.05	345.67	346.07	346.16	345.57	346.14	345.55	346.21	345.6	345.22
139	2013/12/13	345.79	345.41	345.83	345.88	345.27	345.9	345.2	345.93	345.36	344.85
140	2013/12/20	345.52	345.15	345.51	345.66	344.97	345.67	344.98	345.67	345.03	344.69
141	2013/12/27	345.4	345.11	345.37	345.53	345.36	345.26	344.93	345.53	345.09	344.62
142	2014/1/8	345.1	344.67	345.11	345.23	344.48	345.25	344.68	345.29	344.75	344.3
143	2014/1/15	344.91	344.49	344.92	345.06	344.25	344.76	344.26	345.07	344.35	344.14
144	2014/1/22	344.74	344.55	344.82	344.87	345.97	344.6	344.42	344.88	344.53	344.14

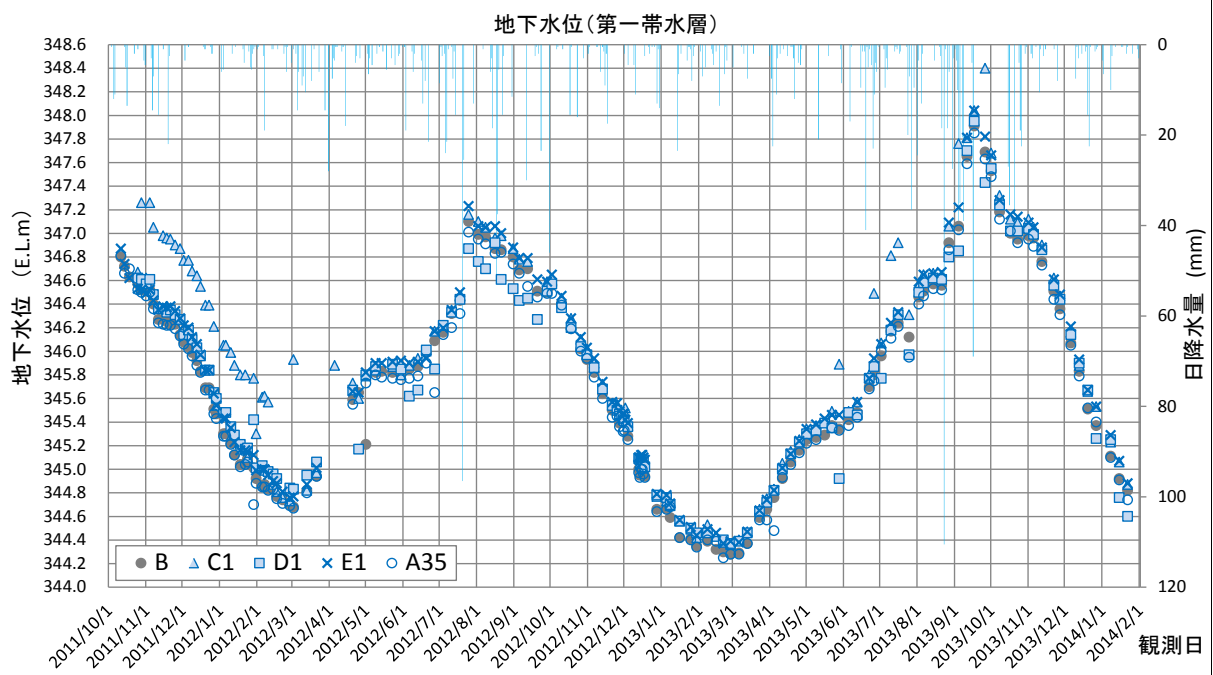


図 3-46 手測りによる地下水位観測結果（第一帯水層）

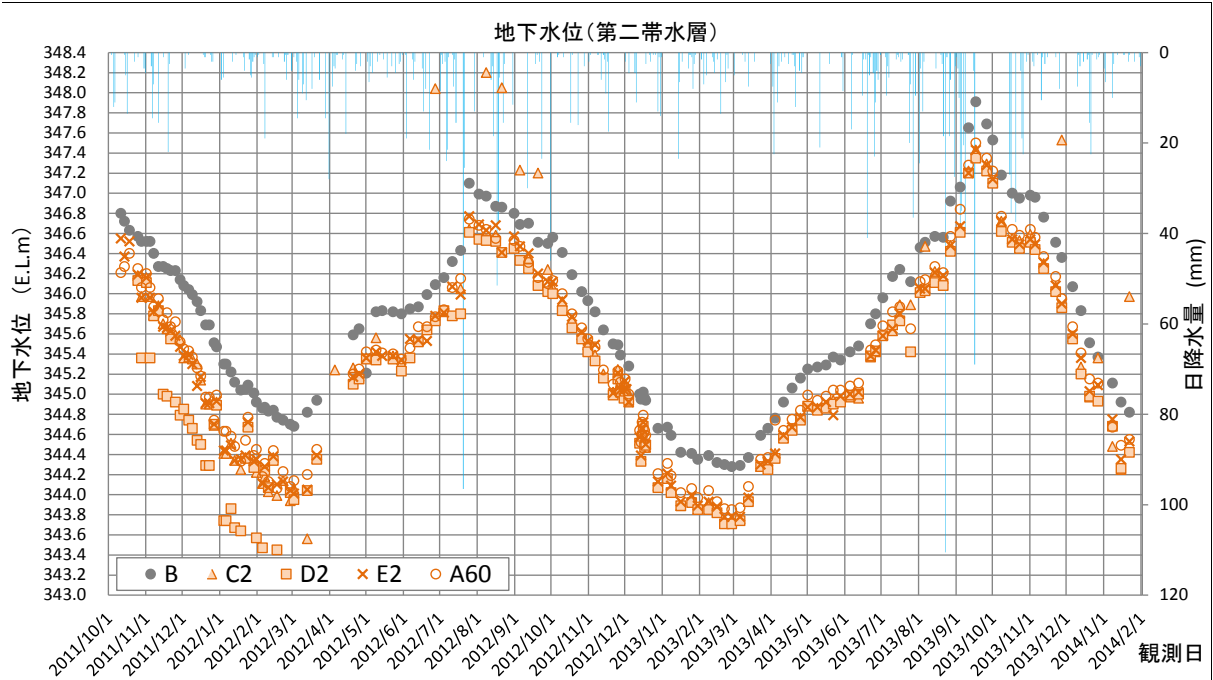


図 3-47 手測りによる地下水位観測結果（第二帯水層）

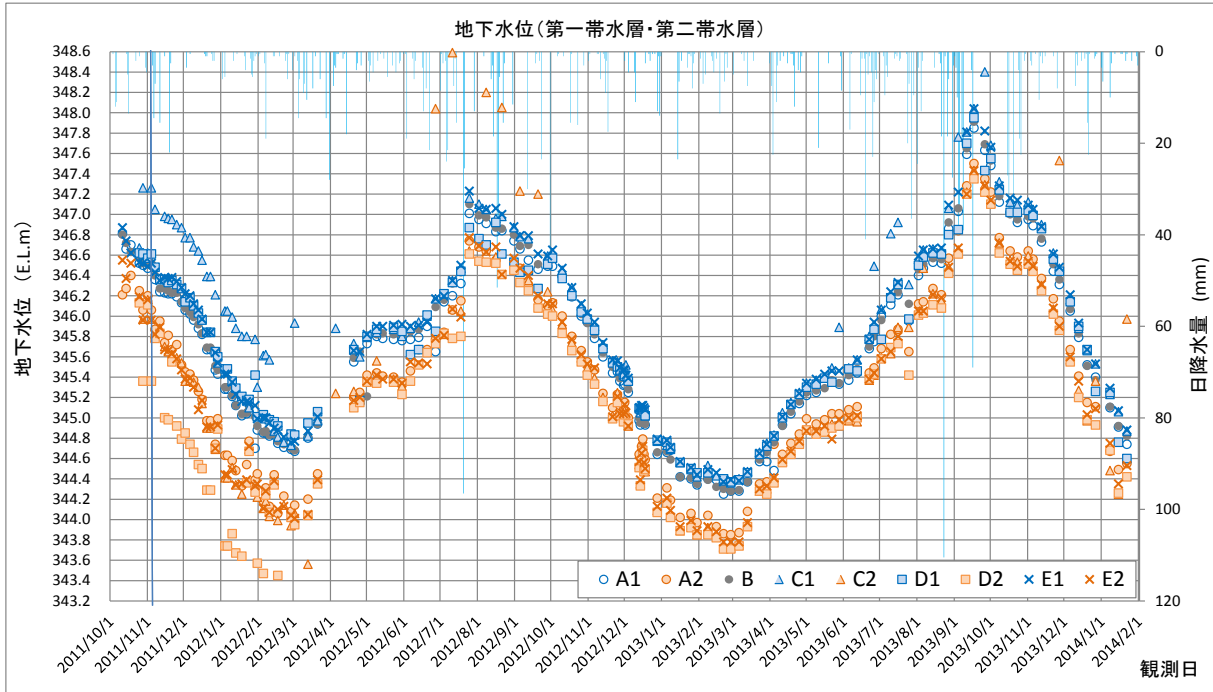


図 3-48 手測りによる地下水位観測結果（全調査孔）

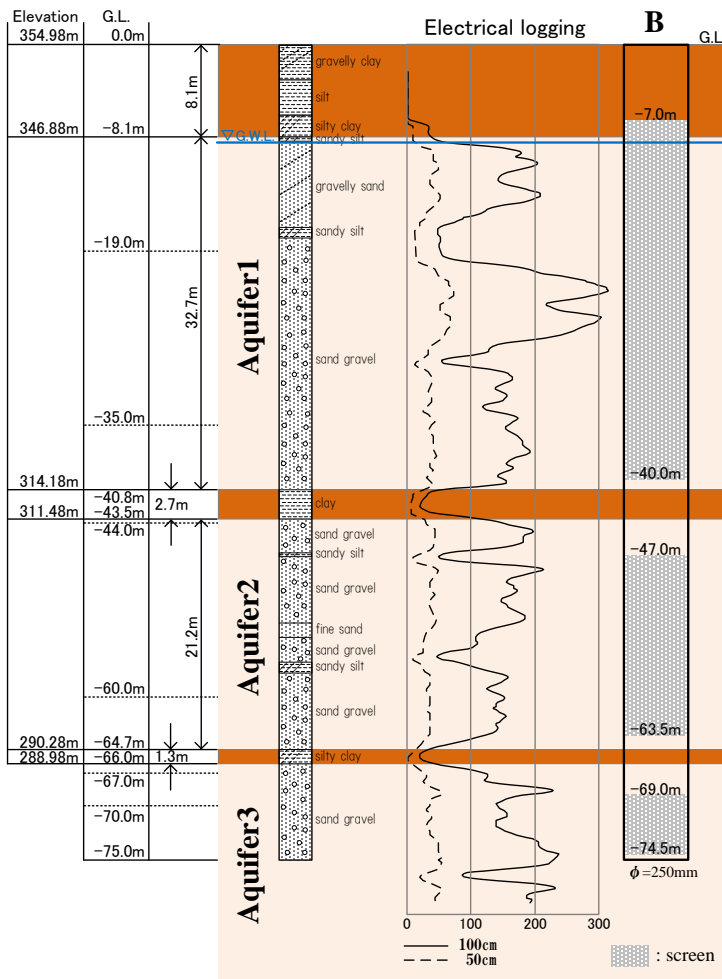


図 3-49 B孔のスクリーン構造



(2) 地下水温度

1) 観測機器

地下水温度の手測り観測および自記記録には表 3-23に示すセンサーを用いる。各センサーの詳細は写真3-3に示すとおりである。

表 3-23 地下水温度の計測に用いるセンサー

観測種別	NO.	対象井戸	機器(センサー)名称	計測深度 (G. L. -m)	分解能 (°C)
手測り	1	A1, A2, A3, B, E1, E2 (C1, C2)	1/100°Cポケッタブル温度計D717 (立山科学工業株式会社)	1~80	0.01
	2	C1, C2, D1, D2	ET-50X(W)型 電気水温計 (株式会社東邦電探)	1~30	0.01
	3	C1, C2, D1, D2	ET-50X(W)型 電気水温計 (株式会社東邦電探)	1~65	0.01
	4	A1, A2, A3, B, E1, E2 (C1, C2)	S-C-Tメータ Model 30 Model 30M (ワイエスアイ・ナノテック株式会社)	1~30	0.1
自記記録	5	A1	アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社)	25	0.1
	6	A2	アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社)	40	0.1
	7	A3	アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社)	70	0.1

\*C1, C2 は 2012/11/6 から No. 1 で計測を行う

\*C1, C2, D1, D2 は 2013/2/15 から No. 3 で計測を行う (No. 3 は No. 2 と同仕様で計測深度 65m となる)

\*観測の際、水銀温度計で検定し補正を行う



写真 3-3 地下水温度観測に用いたセンサー

(左上 : 1/100°Cポケッタブル温度計 D717, 左下 : DL/N70 型ロガー付水位計,  
右 : ET-50X(W) 型電気水温計)

## 2) 観測結果

各調査孔において手測り観測により地下水温を取得した日を表 3-24に整理する。また各孔の地下水温観測に用いたセンサーを表 3-26に整理する。なお写真3-3中のセンサーは、No. 1が1/100℃ポケッタブル温度計D717、No. 2がDL/N70型ロガー付水位計（ケーブル長30m）、No. 3がDL/N70型ロガー付水位計（ケーブル長65m）である。

手測りによる地下水温計測はシステムの本運転に併せて開始しており、当初はA孔群とE孔群のみを対象とし、深度方向に5mピッチで地下水温を計測していた。その後、計測機器の充足を図り、2012年4月以降は全調査孔を対象に、深度方向1mピッチでデータを取得している。取得したデータは、図 3-50～図 3-52に示すように調査孔別にグラフ化し、鉛直温度プロファイルを整理している。これらグラフよりほとんどの調査孔において表面付近は外気の影響を受けていることがわかる。

表 3-24 手測りによる地下水温観測日 (1/2)

観測NO	観測日	地下水温の観測日									
		●: 深度1mピッチ、○: 深度5mピッチ									
		【項目】上段: 調査孔名称、下段: 観測データ数									
	A1	A2	A3	B	C1	C2	D1	D2	E1	E2	
	133	133	133	95	95	92	95	95	132	136	
1	2011/10/7				○						
2	2011/10/11				○						
3	2011/10/14				○						
4	2011/10/18	○	○	○							
5	2011/10/25	○	○	○					○	○	
6	2011/10/28	○	○	○					○	○	
7	2011/11/1	○	○	○					○	○	
8	2011/11/4	○	○	○					○	○	
9	2011/11/7	○	○	○					○	○	
10	2011/11/11	○	○	○					○	○	
11	2011/11/15	○	○	○					○	○	
12	2011/11/18	○	○	○					○	○	
13	2011/11/21	○	○	○					○	○	
14	2011/11/25	○	○	○					○	○	
15	2011/11/29	○	○	○					○	○	
16	2011/12/2	○	○	○					○	○	
17	2011/12/6	○	○	○					○	○	
18	2011/12/9	○	○	○					○	○	
19	2011/12/13	○	○	○					○	○	
20	2011/12/16	○	○	○					○	○	
21	2011/12/20	○	○	○					○	○	
22	2011/12/23	○	○	○					○	○	
23	2011/12/27	○	○	○					○	○	
24	2011/12/29	○	○	○					○	○	
25	2012/1/4	○	○	○					○	○	
26	2012/1/6	○	○	○					○	○	
27	2012/1/10	○	○	○					○	○	
28	2012/1/13	○	○	○					○	○	
29	2012/1/18	○	○	○					○	○	
30	2012/1/22	○	○	○					○	○	
31	2012/1/24	○	○	○					○	○	
32	2012/1/29	○	○	○					○	○	
33	2012/1/31	○	○	○					○	○	
34	2012/2/5	○	○	○					○	○	
35	2012/2/7	○	○	○					○	○	
36	2012/2/10	○	○	○					○	○	
37	2012/2/14	○	○	○					○	○	
38	2012/2/17	○	○	○					○	○	
39	2012/2/22	○	○	○					○	○	
40	2012/2/28	○	○	○					○	○	
41	2012/3/2	○	○	○					○	○	
42	2012/3/13	○	○	○		○	○	○	○	○	
43	2012/3/21	○	○	○		○	○	○	○	○	
44	2012/4/5	○	○	○	●	●	●	●	●	●	
45	2012/4/20	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
46	2012/4/25	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
47	2012/5/1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
48	2012/5/9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
49	2012/5/14	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
50	2012/5/23	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
51	2012/5/30	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
52	2012/6/6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
53	2012/6/13	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
54	2012/6/20	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
55	2012/6/27	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
56	2012/7/4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
57	2012/7/11	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
58	2012/7/18	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
59	2012/7/25	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
60	2012/8/2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
61	2012/8/8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
62	2012/8/16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
63	2012/8/21	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
64	2012/8/31	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
65	2012/9/5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
66	2012/9/12	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
67	2012/9/20	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
68	2012/9/28	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
69	2012/10/2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
70	2012/10/10	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
71	2012/10/18	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
72	2012/10/26	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
73	2012/10/31	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
74	2012/11/6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
75	2012/11/13	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
76	2012/11/21	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
77	2012/11/25	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
78	2012/11/27	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
79	2012/11/30	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
80	2012/12/1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
81	2012/12/2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
82	2012/12/4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
83	2012/12/13	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
84	2012/12/14	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
85	2012/12/15	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
86	2012/12/16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
87	2012/12/17	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
88	2012/12/18	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
89	2012/12/28	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
90	2013/1/5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
91	2013/1/8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
92	2013/1/16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
93	2013/1/25	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
94	2013/1/30	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
95	2013/2/8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
96	2013/2/15	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
97	2013/2/21	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
98	2013/2/27	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
99	2013/3/6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
100	2013/3/13	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

表 3-25 手測りによる地下水温観測日 (2/2)

観測NO	観測日	地下水温の観測日									
		●: 深度1mピッチ、○: 深度5mピッチ 【項目】上段: 調査孔名称、下段: 観測データ数									
		A1 133	A2 133	A3 133	B 95	C1 95	C2 92	D1 95	D2 95	E1 132	E2 136
101	2013/3/23	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
102	2013/3/29	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
103	2013/4/4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
104	2013/4/11	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
105	2013/4/18	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
106	2013/4/25	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
107	2013/5/1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
108	2013/5/9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
109	2013/5/16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
110	2013/5/22	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
111	2013/5/28	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
112	2013/6/5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
113	2013/6/12	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
114	2013/6/22	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
115	2013/6/26	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
116	2013/7/2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
117	2013/7/10	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
118	2013/7/16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
119	2013/7/25	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
120	2013/8/2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
121	2013/8/6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
122	2013/8/14	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
123	2013/8/21	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
124	2013/8/27	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
125	2013/9/4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
126	2013/9/11	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
127	2013/9/17	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
128	2013/9/26	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
129	2013/10/1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
130	2013/10/8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
131	2013/10/17	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
132	2013/10/23	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
133	2013/11/1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
134	2013/11/5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
135	2013/11/12	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
136	2013/11/22	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
137	2013/11/27	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
138	2013/12/6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
139	2013/12/13	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
140	2013/12/20	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
141	2013/12/27	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
142	2014/1/8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
143	2014/1/15	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
144	2014/1/22	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

表 3-26 地下水温観測に用いたセンサー (1/2)

観測NO	観測日	地下水温の観測日 ○:No.1、●:No.2、◎:No.3 【項目】上段:調査孔名称、下段:観測データ数									
		A1	A2	A3	B	C1	C2	D1	D2	E1	E2
		133	133	133	95	46	43	92	92	132	136
1	2011/10/7				○						○
2	2011/10/11				○						○
3	2011/10/14				○						○
4	2011/10/18	○	○	○							○
5	2011/10/25	○	○	○						○	○
6	2011/10/28	○	○	○						○	○
7	2011/11/1	○	○	○						○	○
8	2011/11/4	○	○	○						○	○
9	2011/11/7	○	○	○						○	○
10	2011/11/11	○	○	○						○	○
11	2011/11/15	○	○	○						○	○
12	2011/11/18	○	○	○						○	○
13	2011/11/21	○	○	○						○	○
14	2011/11/25	○	○	○						○	○
15	2011/11/29	○	○	○						○	○
16	2011/12/2	○	○	○						○	○
17	2011/12/6	○	○	○						○	○
18	2011/12/9	○	○	○						○	○
19	2011/12/13	○	○	○						○	○
20	2011/12/16	○	○	○						○	○
21	2011/12/20	○	○	○						○	○
22	2011/12/23	○	○	○						○	○
23	2011/12/27	○	○	○						○	○
24	2011/12/29	○	○	○						○	○
25	2012/1/4	○	○	○						○	○
26	2012/1/6	○	○	○						○	○
27	2012/1/10	○	○	○						○	○
28	2012/1/13	○	○	○						○	○
29	2012/1/18	○	○	○						○	○
30	2012/1/22	○	○	○						○	○
31	2012/1/24	○	○	○						○	○
32	2012/1/29	○	○	○						○	○
33	2012/1/31	○	○	○						○	○
34	2012/2/5	○	○	○						○	○
35	2012/2/7	○	○	○						○	○
36	2012/2/10	○	○	○						○	○
37	2012/2/14	○	○	○						○	○
38	2012/2/17	○	○	○						○	○
39	2012/2/22	○	○	○						○	○
40	2012/2/28	○	○	○						○	○
41	2012/3/2	○	○	○						○	○
42	2012/3/13	○	○	○		●	●	●	●	○	○
43	2012/3/21	○	○	○		●	●	●	●	○	○
44	2012/4/5	○	○	○		●	●	●	●	○	○
45	2012/4/20	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
46	2012/4/25	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
47	2012/5/1	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
48	2012/5/9	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
49	2012/5/14	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
50	2012/5/23	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
51	2012/5/30	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
52	2012/6/6	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
53	2012/6/13	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
54	2012/6/20	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
55	2012/6/27	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
56	2012/7/4	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
57	2012/7/11	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
58	2012/7/18	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
59	2012/7/25	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
60	2012/8/2	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
61	2012/8/8	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
62	2012/8/16	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
63	2012/8/21	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
64	2012/8/31	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
65	2012/9/5	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
66	2012/9/12	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
67	2012/9/20	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
68	2012/9/28	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
69	2012/10/2	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
70	2012/10/10	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
71	2012/10/18	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
72	2012/10/26	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
73	2012/10/31	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○
74	2012/11/6	○	○	○	○	●	○	●	●	○	○
75	2012/11/13	○	○	○	○	●	○	●	●	○	○
76	2012/11/21	○	○	○	○	●		●	●	○	○
77	2012/11/25	○	○	○	○	●		●	●	○	○
78	2012/11/27	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
79	2012/11/30	○	○	○	○					○	○
80	2012/12/1										
81	2012/12/2										
82	2012/12/4	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
83	2012/12/13										
84	2012/12/14	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
85	2012/12/15										
86	2012/12/16										
87	2012/12/17										
88	2012/12/18	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
89	2012/12/28	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
90	2013/1/5	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
91	2013/1/8	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
92	2013/1/16	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
93	2013/1/25	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
94	2013/1/30	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
95	2013/2/8	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
96	2013/2/15	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○
97	2013/2/21	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○
98	2013/2/27	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○
99	2013/3/6	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
100	2013/3/13	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○

表 3-27 地下水温観測に用いたセンサー (2/2)

観測NO	観測日	地下水温の観測日									
		●: 深度1mピッチ、○: 深度5mピッチ 【項目】上段: 調査孔名称、下段: 観測データ数									
		A1 133	A2 133	A3 133	B 95	C1 95	C2 92	D1 95	D2 95	E1 132	E2 136
101	2013/3/23	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
102	2013/3/29	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
103	2013/4/4	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
104	2013/4/11	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
105	2013/4/18	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
106	2013/4/25	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
107	2013/5/1	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
108	2013/5/9	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
109	2013/5/16	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
110	2013/5/22	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
111	2013/5/28	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
112	2013/6/5	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
113	2013/6/12	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
114	2013/6/22	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
115	2013/6/26	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
116	2013/7/2	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
117	2013/7/10	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
118	2013/7/16	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
119	2013/7/25	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
120	2013/8/2	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
121	2013/8/6	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
122	2013/8/14	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
123	2013/8/21	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
124	2013/8/27	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
125	2013/9/4	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
126	2013/9/11	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
127	2013/9/17	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
128	2013/9/26	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
129	2013/10/1	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
130	2013/10/8	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
131	2013/10/17	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
132	2013/10/23	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
133	2013/11/1	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
134	2013/11/5	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
135	2013/11/12	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
136	2013/11/22	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
137	2013/11/27	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
138	2013/12/6	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
139	2013/12/13	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
140	2013/12/20	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
141	2013/12/27	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
142	2014/1/8	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
143	2014/1/15	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○
144	2014/1/22	○	○	○	○	◎	◎	●	●	○	○

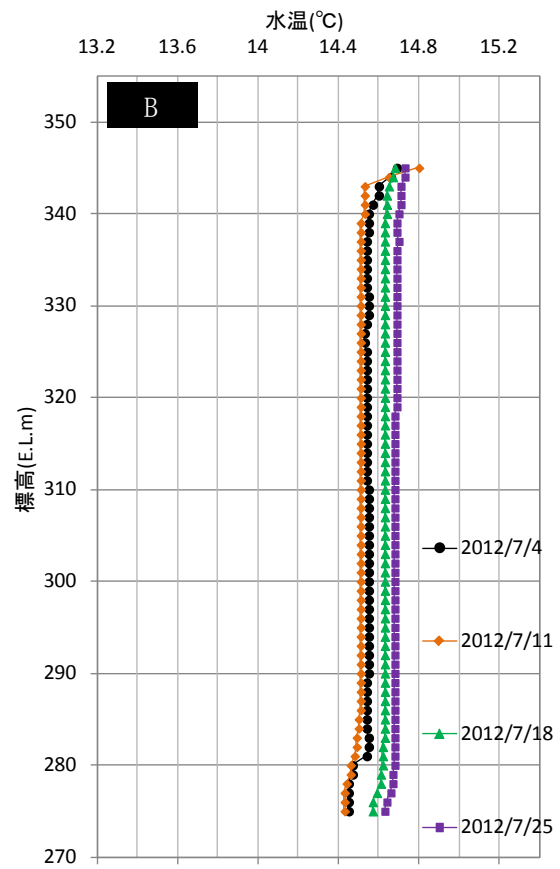
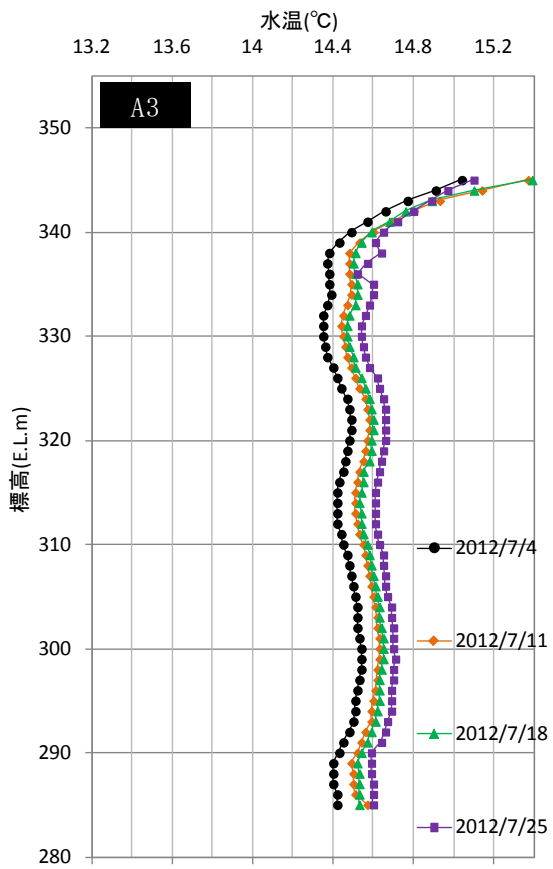
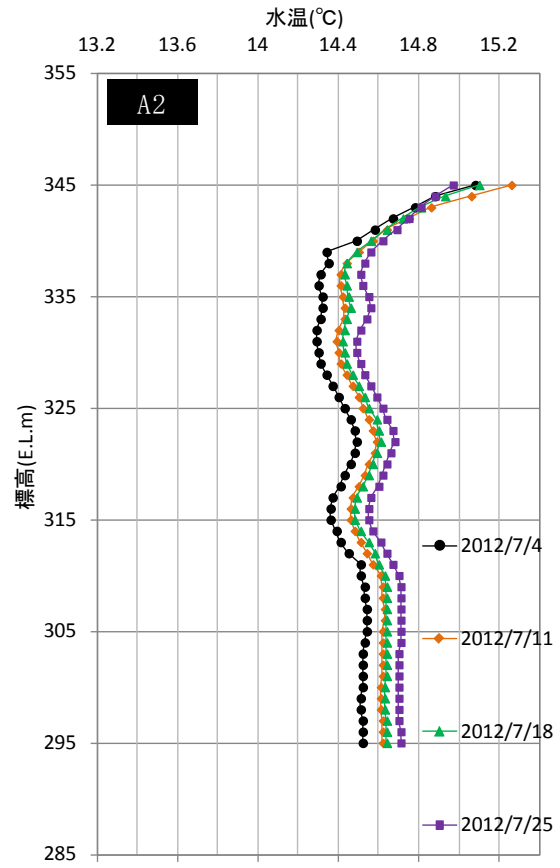
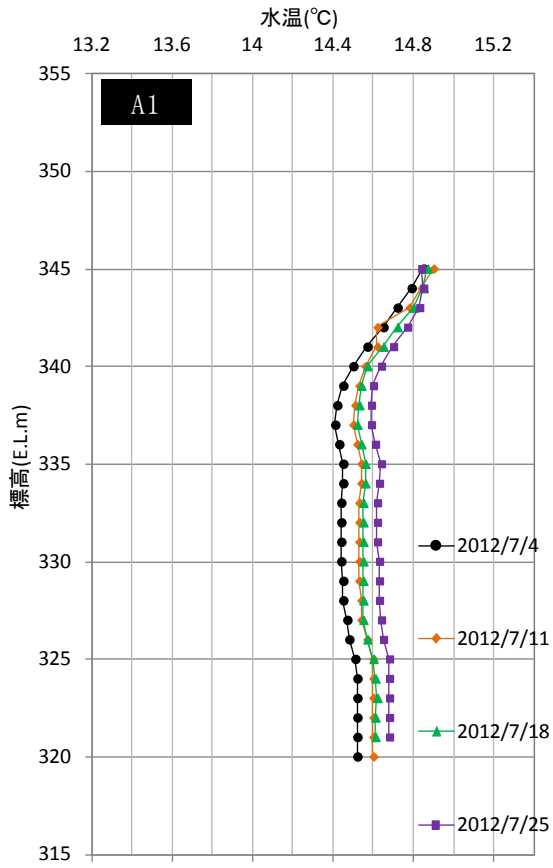


図 3-50 地下水温度鉛直プロファイル例 (2012年7月観測分) 1 / 3

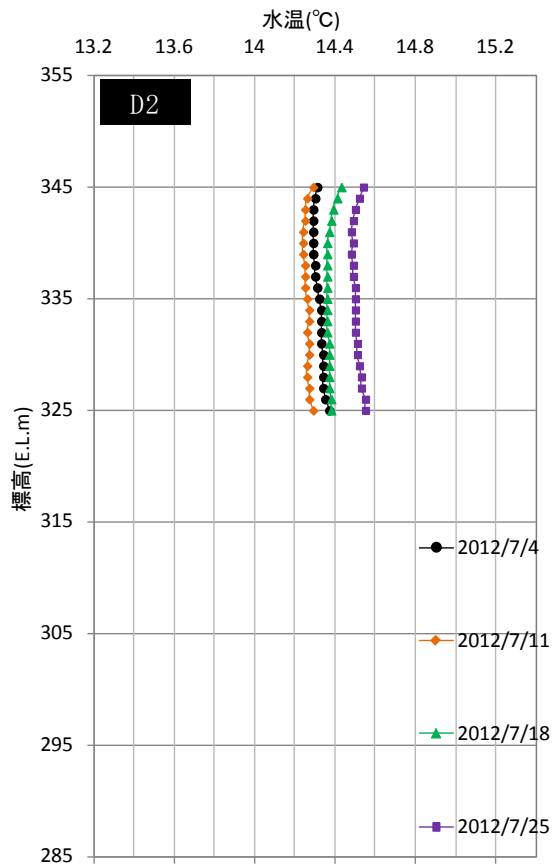
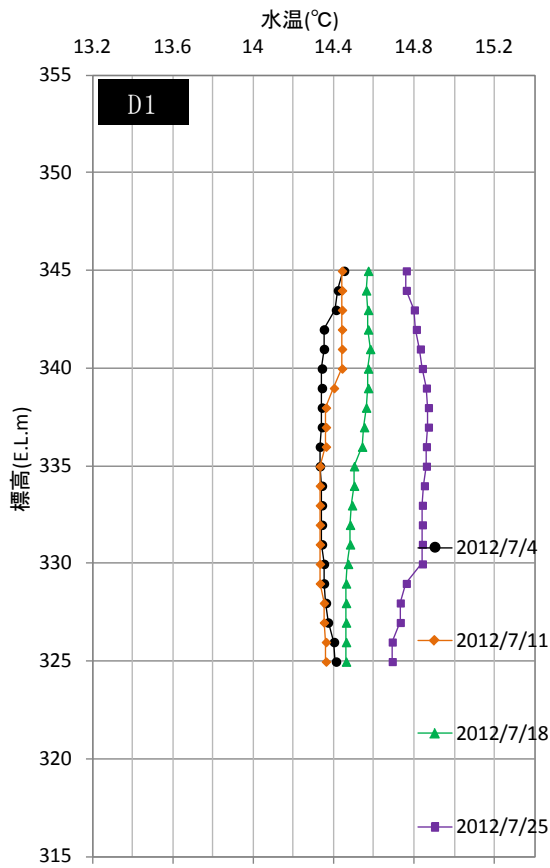
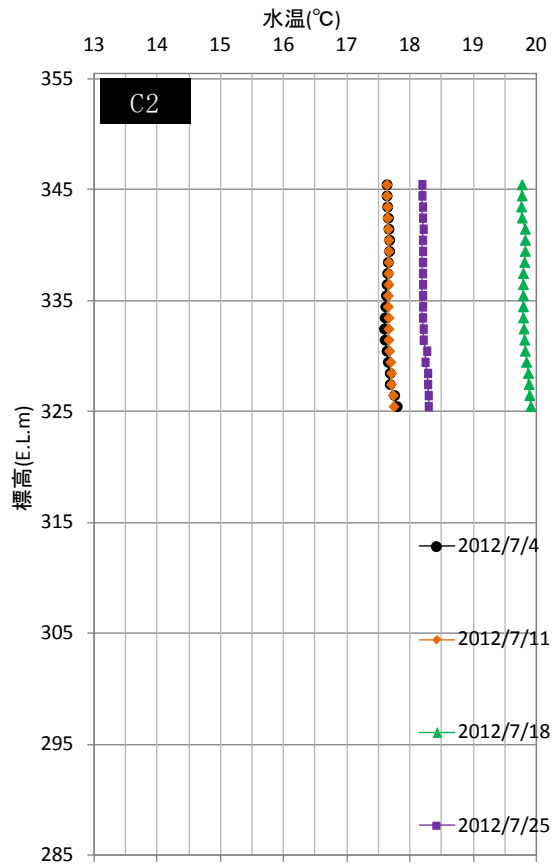
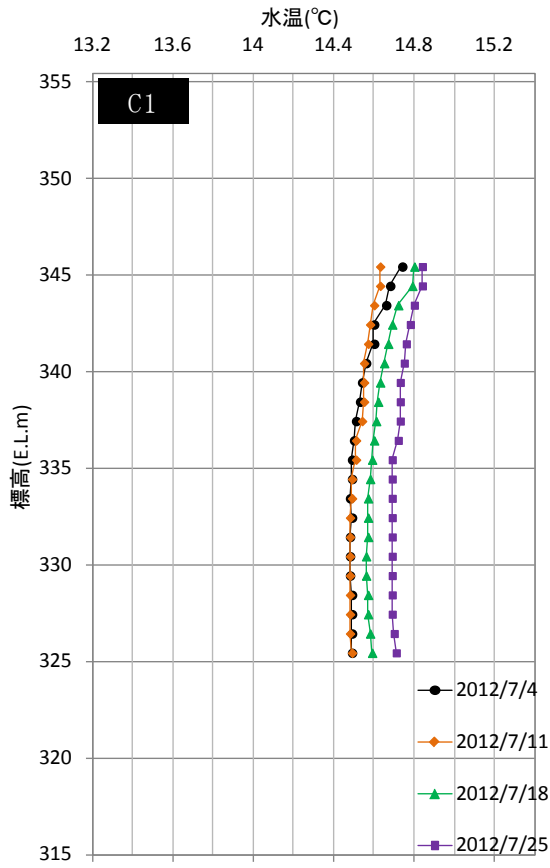


図 3-51 地下水温度鉛直プロファイル例 (2012年7月観測分) 2 / 3



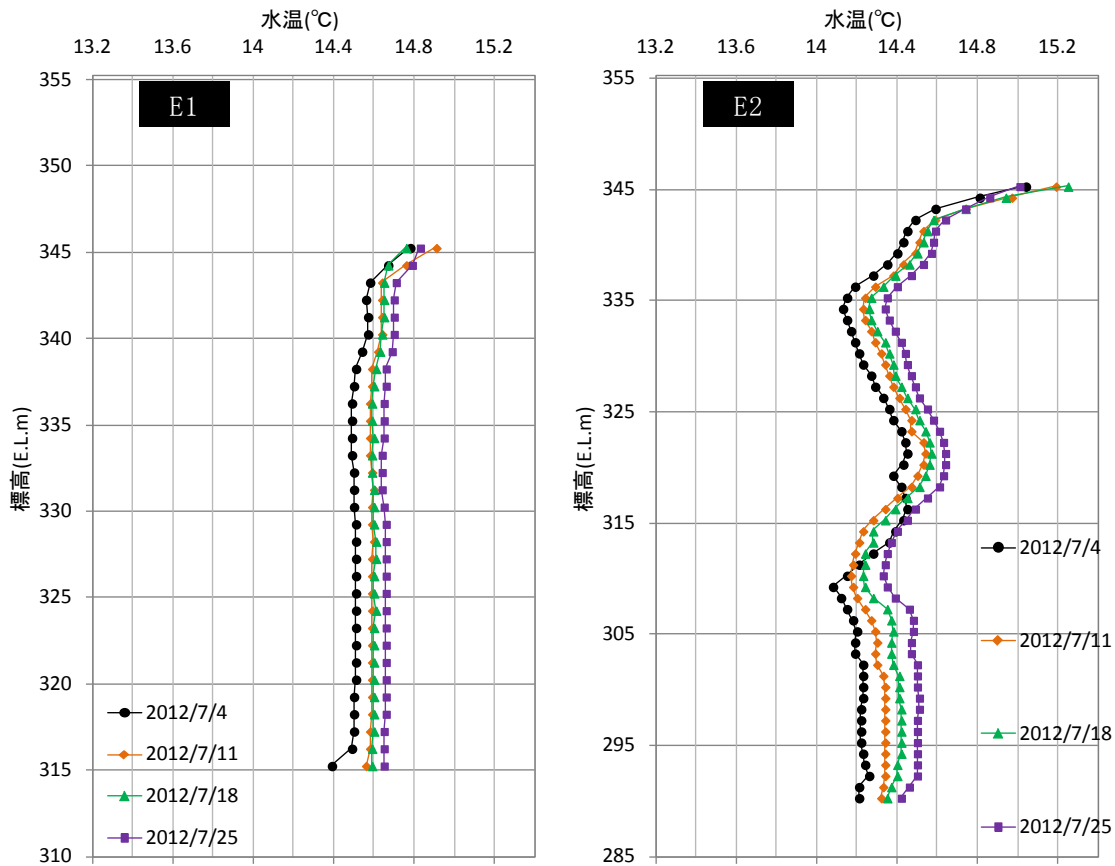


図 3-52 地下水温度鉛直プロファイル例（2012年7月観測分） 3 / 3

図 3-53に、A孔群における自記記録による地下水温度モニタリング結果を示す。また図中にはA孔群に設置しているセンサーと同深度における手測り観測結果をプロットしている。図より、2012年1月以降の水温を見ると、すべての帯水層において水温変化は0.2～0.3℃程度と、ほぼ一定の水温が維持されていることがわかる。なお、2011年秋頃までの自記記録結果は、同じセンサーで計測している地下水位（間隙水圧）のモニタリング状況より、計測データの確からしさが不明瞭である。

自記記録結果と手測り結果を比較すると、第一帯水層および第二帯水層では概ね両者が合致しているが、第三帯水層では、特に2012年5月以降において、手測りの結果が0.1℃～0.3℃ほど高いことがわかる。この理由には手測りによる人為的な計測誤差も考えられるが、はっきりとした理由は不明である。

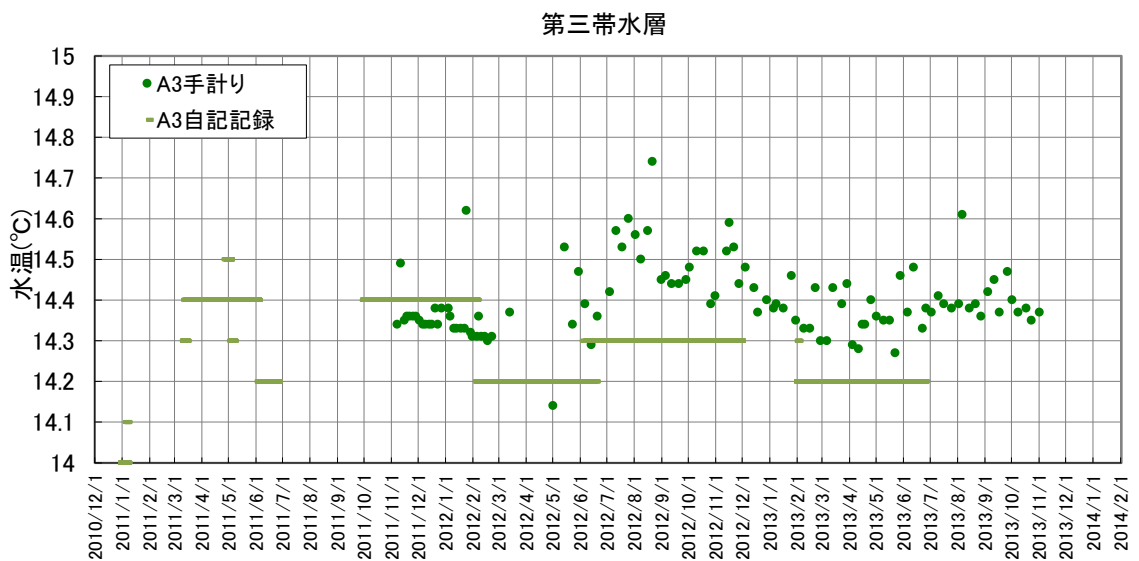
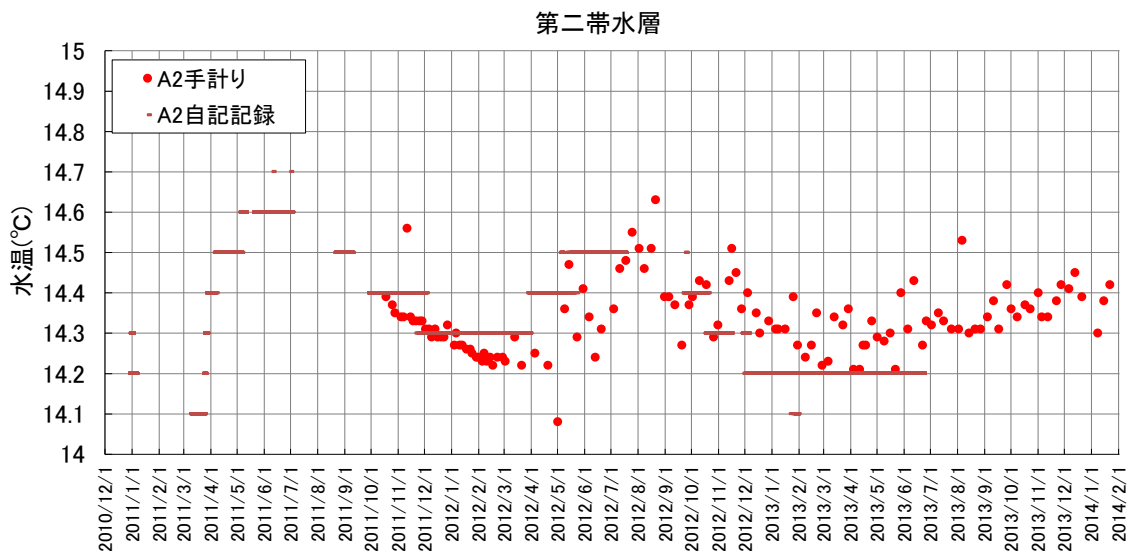
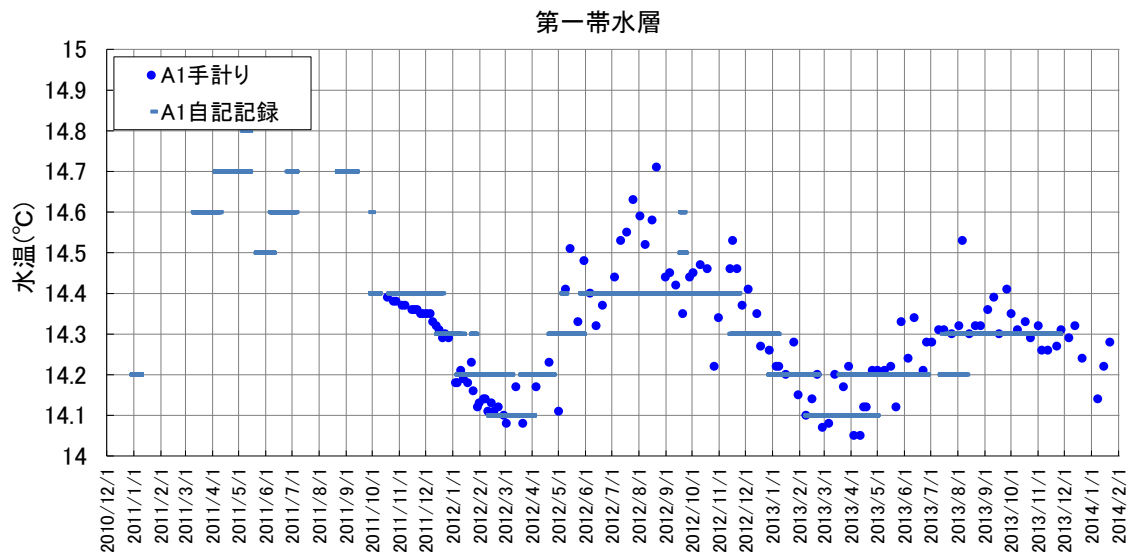


図 3-53 地下水温の自記記録と手測りの結果比較

### 3.4.5 調査結果の検討

NEDOプロジェクトで開発した地下水制御型ヒートポンプシステムは、帯水層蓄熱状況に応じた柔軟な井戸運用システムの実現が不可欠である。そのため、システム運用と並行し、地下水環境（主に地下水位）と地中の水温分布についての調査を実施することが肝要であり、これらデータの蓄積が井戸運用システムの最適化につながるものと考えられる。

本項においては、先ず地下水原位置観測結果を整理し、次いで実証試験期間中における帯水層蓄熱状況を、原位置観測と数値シミュレーションから把握することとした。

#### (1) 原位置観測結果の考察

A孔群を対象とする自記記録により得られた地下水位を図 3-54に整理する。これら図より、手測りの観測値は自記記録のデータと概ね一致することがわかる。また自記記録データは一部センサーの故障等により欠測する期間があるが、これら期間については手測りの観測値による補間が可能であると言える。

図 3-55および図 3-56は、グラフの横軸は1月1日から12月31日までの一年間として、縦軸には地下水位標高をとり、地下水位の年間変動状況と年別の比較ができるようにした。なお参考までに、図中には手測りの地下水位計測値もプロットしている。

2011年、2012年、2013年の地下水変動状況を比較すると、第一帯水層、第二帯水層ともに、5月後半の地下水位は2011年が最も高い。これは、長野気象台長野観測所の月別降水量をグラフ化した図 3-57よりわかるとおり、2011年は4月、5月が平年に比べて多かったのに対して、2012年および2013年の同時期は平年を下回る降水量であり、これにより乖離が顕著に生じたものと考えられる。

また、2012年は9月以降の降水量が少なかったこともあり、秋季、冬季の地下水位が2011年に比べて約1m程度低い値となっている。2013年は8月、9月、10月の降水量が平年を大きく超過し、この期間の地下水位は3年間で最も高い値を記録している（図 3-54に示す手測りの結果も参照）。

3年間の観測により、大河川（犀川）に近い信州大学工学部においても、年間でおよそ3m程度の地下水位変動があることがわかる。今後、大河川に近接しない箇所においても、年間の地下水位の変動幅の実態把握がのぞまれる。

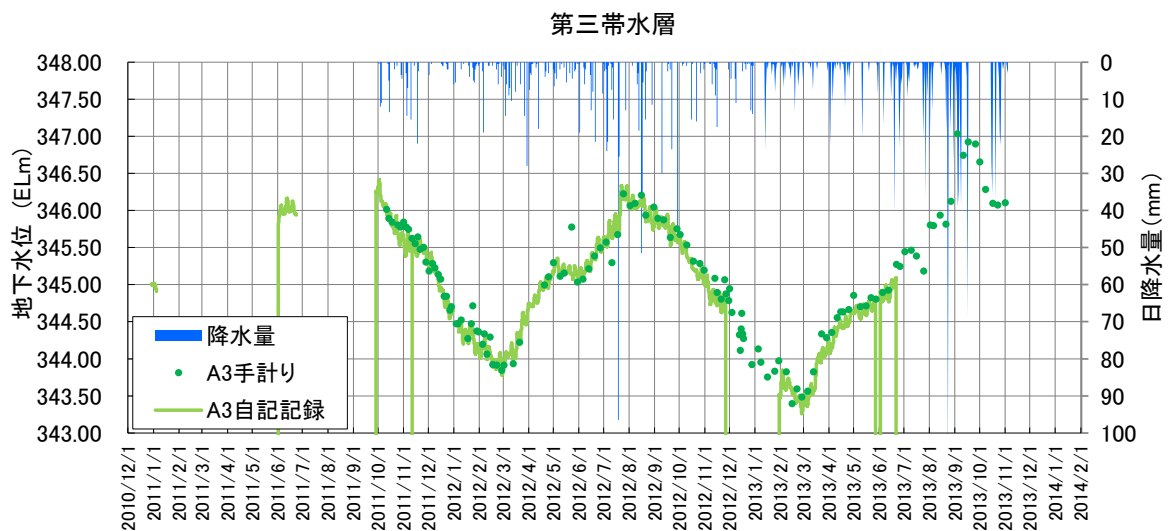
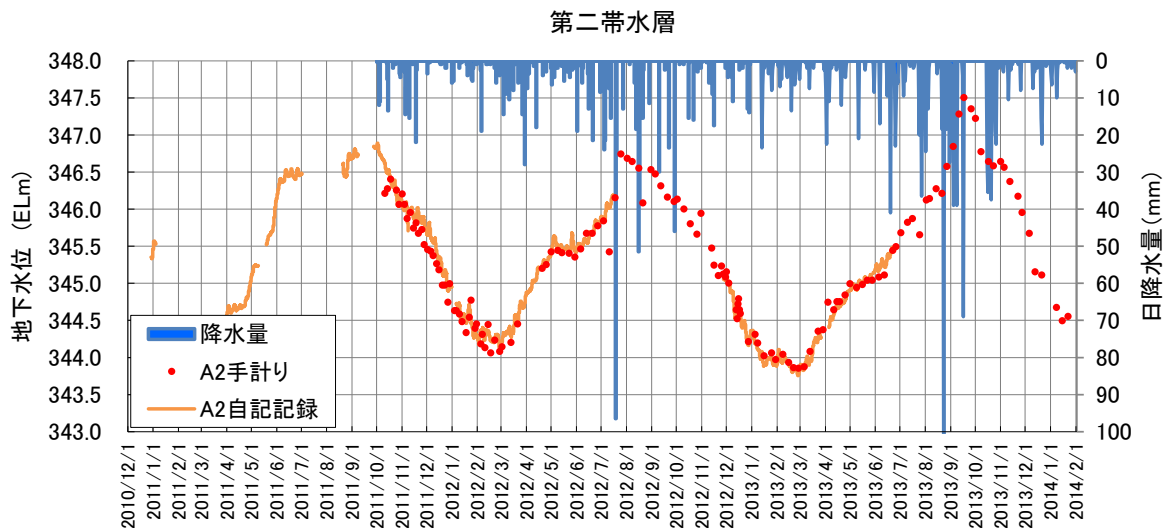
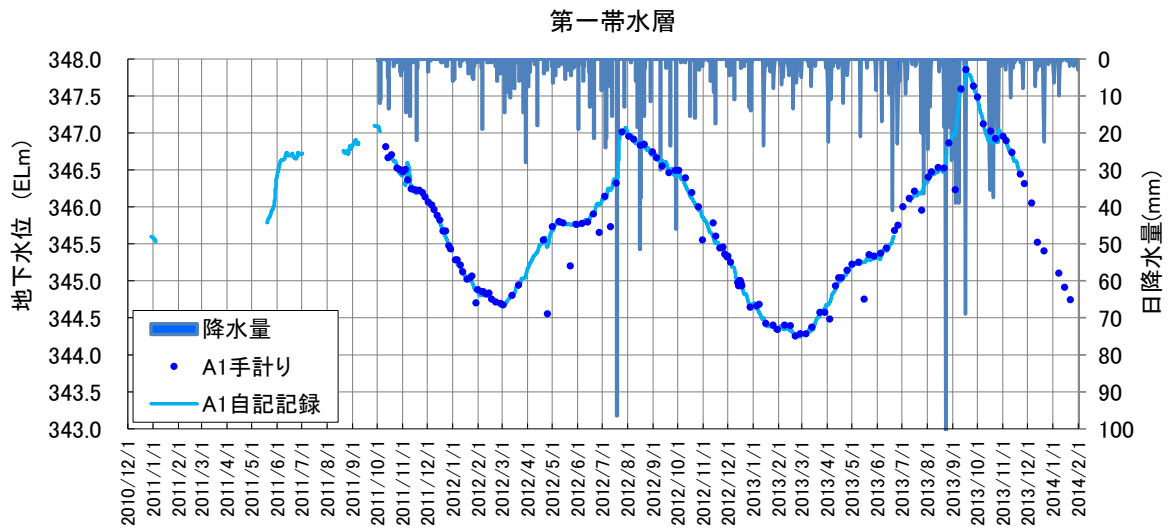


図 3-54 地下水位の自記記録と手測りの結果比較

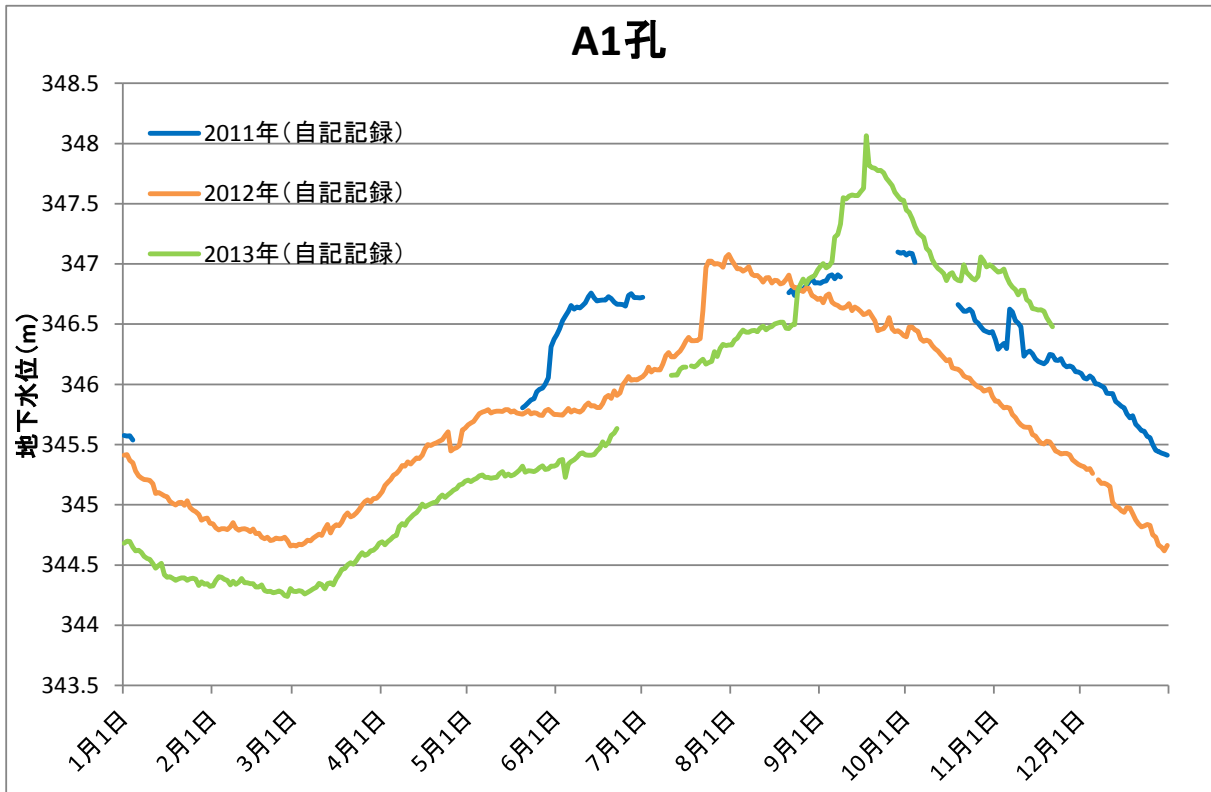


図 3-55 地下水位の年間変動特性 (第一帯水層)

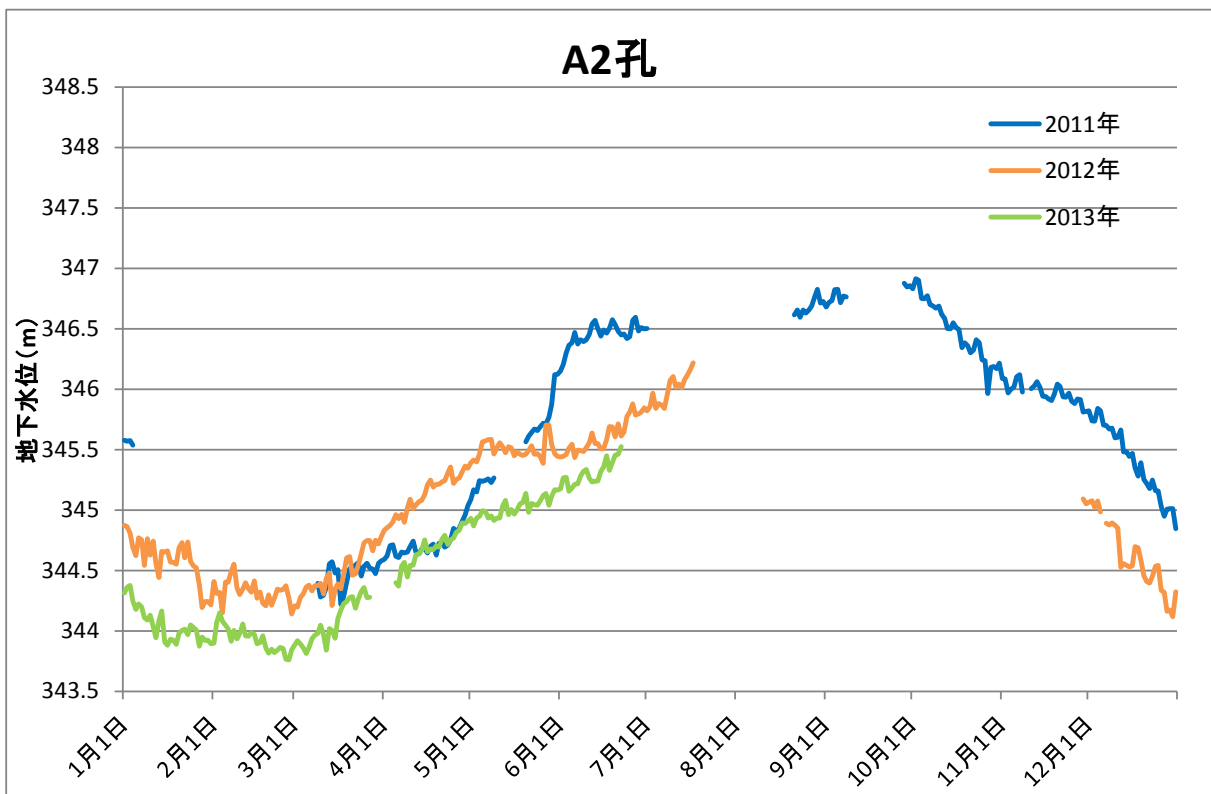


図 3-56 地下水位の年間変動特性 (第二帯水層)

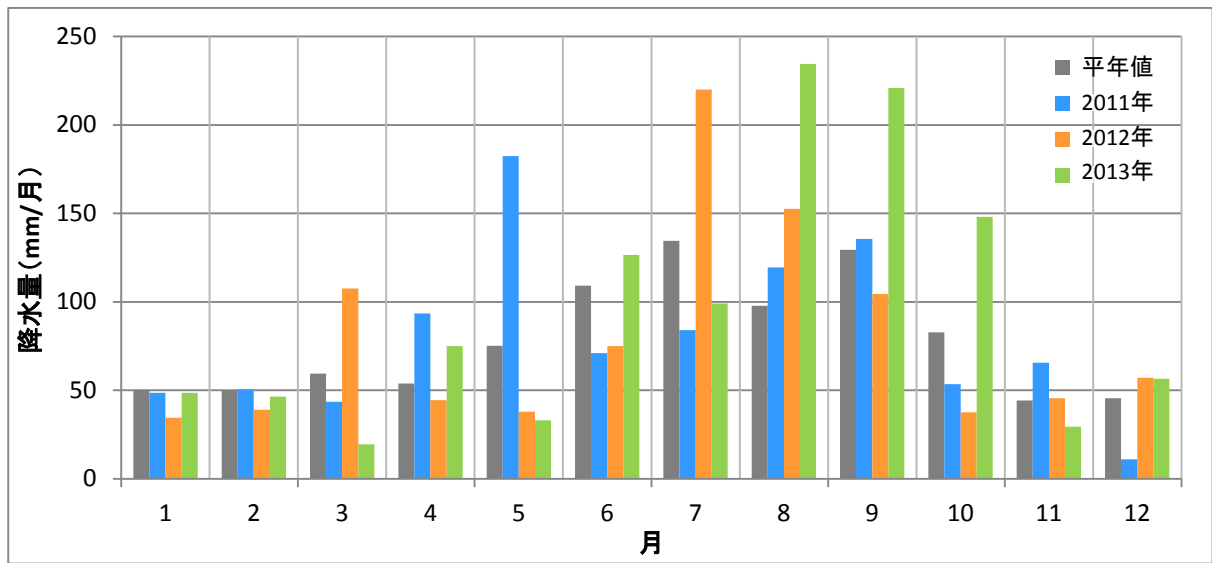


図 3-57 月別降水量の比較：長野（長野気象台）

## (2) 蓄熱状況の評価

本実証試験においては帯水層の蓄熱状況を把握することが重要である。そこで各調査孔における地下水温度の時系列変化を視覚化するため、可視化ソフトウェア Surfer (Hulinks社) を用いて図化した。可視化結果を図 3-58示す。なお、図化の際のデータの補間法にはInverse Distance to a Power法を採用し、図の縦軸の単位は(m)、横軸(時間軸)の単位は(日)として図化を行った。

次頁に、作成した図より考えられる蓄熱状況について整理する。

◆地下水温の原位置観測結果の考察

総論	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・シーズン1の夏季実証運転期間中にC2孔より注入した温水が貯留されていることが確認できた。</li> <li>・シーズン2の夏季実証運転期間中にC1孔より注入した温水が貯留されていることが確認できた。</li> <li>・シーズン2の冬季実証運転期間中にC2孔より注入した冷水が貯留されていることが確認できた。</li> <li>・E2孔では、シーズン1およびシーズン2にC1孔より第一帯水層に貯留した冷水および温水が確認でき、第一帯水層と第二帯水層のシールド（遮水）が機能していない可能性が高い。</li> </ul>	
調査孔名	考察
C1孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シーズン1の冬季実証運転時の冷水注入孔であり、暖房運転時に注水した冷水が数回観測できている。</li> <li>・シーズン2の夏季実証運転期間の温水注入孔であり、当該期間において温水蓄熱が確認できる。しかしながら、2013年10月以降は自然の地下水温度程度（14℃台）まで速やかに低下しており、代わりにE2孔の温度が上昇しているため、C1孔付近の温水が移動したものと考えられる。</li> </ul>
E1孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・年間を通して、大きな温度変化がない。C1孔へ注入した冷水が確認できていない。これはE1孔がC孔群とD孔群を結ぶ直線から少し離れた場所に配置されており、他の井戸からの影響を受けにくいと考えられる。</li> <li>・地下水温は、冬季は低下、夏場は上昇し、季節変動が見られる。</li> </ul>
A1孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水温は、夏季は上昇し、冬季は低下する。ただし、ほぼ14℃台で推移しており、年間の温度差は0.5℃程度であるため、この温度変化はシステム運転によるものではなく、自然系由来の可能性が高い。</li> </ul>
D1孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水温は、夏季は上昇し、冬季は低下する。ただし、ほぼ14℃台で推移しており、年間の温度差は0.5℃程度であるため、この温度変化はシステム運転によるものではなく、自然系由来であると考えられる。</li> <li>・2012年の冷房期にはやや温かい水を冷房に使っていたが、2013年冷房ではほぼ自然地下水を熱源として使用していたことがわかる。</li> </ul>
C2孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シーズン1の冷房運転時に注水した温水は、冷房運転終了後、温水塊の温度が徐々に低下したものの、1年以上にわたり貯留されていたことが明らかとなった。</li> <li>・シーズン2の暖房期間に注水した冷水の蓄熱が確認でき、また他調査孔への影響も確認できていないことから、第二帯水層は蓄熱層として効果的に機能していることがわかる。</li> <li>・C2孔はC1孔より注水した温度の残留時間が長いため、第二帯水層は蓄熱層として第一帯水層よりも優れていると考えられる。</li> </ul>
E2孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・注水孔としたC1孔およびC2孔に最も近い井戸であり、これら井戸の温度変化の影響を強く受けていることがわかる。</li> <li>・C1孔で注入した温冷水は、主にC2孔およびE2孔より</li> </ul>
A2孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水温は、夏季は上昇し、冬季は低下する。ただし、ほぼ14℃台で推移しており、年間の温度差は0.5℃程度であるため、この温度変化はシステム運転によるものではなく、自然系由来の可能性が高い。</li> <li>・第二帯水層は、周辺施設の地下水利用の影響を強く受けることがわかっており、この影響も無視できないものと考えられる。</li> </ul>
D2孔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水温は、夏季は上昇し、冬季は低下する。ただし、ほぼ14℃台で推移しており、年間の温度差は0.5℃程度であるため、この温度変化はシステム運転によるものではなく、自然系由来の可能性が高い。</li> <li>・第二帯水層は、周辺施設の地下水利用の影響を強く受けることがわかっており、この影響も無視できないものと考えられる。</li> </ul>



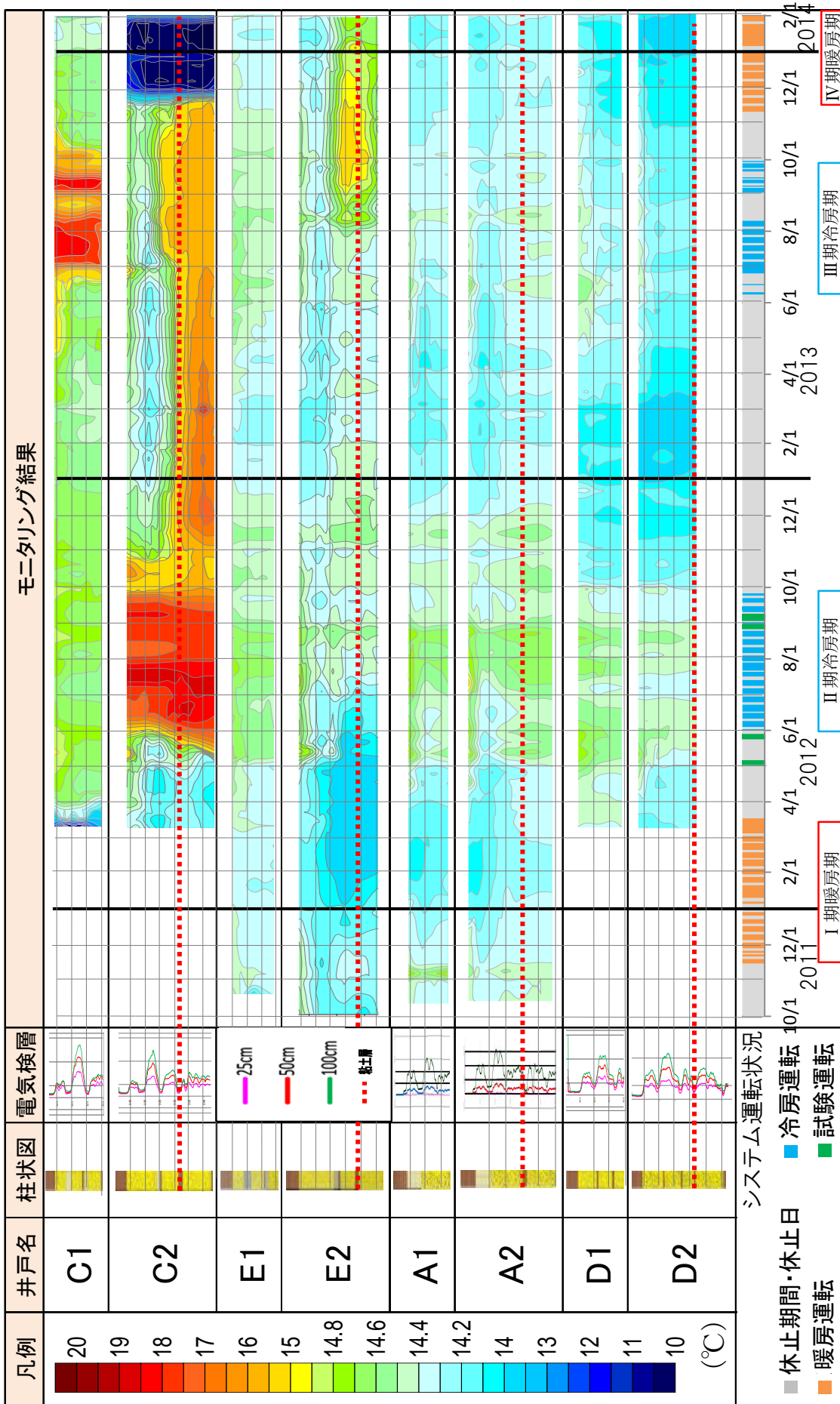


図 3-58 地下水温分布の時間変化

### 3.5 安曇野市における観測データの収集整理

安曇野市における湛水田観測データや地下水位観測データを収集・整理した。

#### 3.5.1 湛水深観測データ

安曇野市より、市内10圃場で実施した減水深の調査結果を得た（表 3-28参照）。

表 3-28 安曇野市における圃場の減水深データ

（別表）安曇野市内10圃場での減水深調査実施結果

圃場地番	面積 (㎡)	①		②		③		減水深(mm) ・1日当
		調査期間 入水量 (mm)	調査期間 降水量(mm)※1	調査期間 浸透量 (mm)	調査期間 蒸発量(mm)※2	調査期間 (日)	調査期間 減水深(mm)	
豊科1052-1	1,110	1,190	109	1,299	189	43	1,110	25.1
穂高有明5978	5,737	90	52	142	39	9	103	4.2
穂高有明6007-1,4	1,329	220	51	271	47	11	224	15.4
穂高柏原15	3,148	340	20	360	69	16	291	20.0
三郷明盛234-2	2,923	140	6	146	34	8	112	16.8
三郷明盛251-2	3,121	290	6	296	39	9	257	31.6
三郷明盛3607	2,598	960	109	1,069	181	42	888	20.3
三郷温204-1	2,212	730	24	754	52	12	702	58.8
三郷温937-1	3,025	320	24	344	51	12	293	24.7
堀金烏川4310	2,772	120	18	138	52	12	86	8.5
平均								<b>22.5</b>

※1：「降水量」はアメダス穂高観測所の数値を使用(気象庁Webサイト気象統計情報 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>)  
 ※2：「蒸発量」は1日平均4.3mmで計算(長野県環境保全研究所研究報告 第5号/2009：豊丘村で2009年8月調査時の数値)

#### 3.5.2 地下水位観測データ

安曇野市より、地下水位観測データを得た（図 3-59および図 3-60参照）

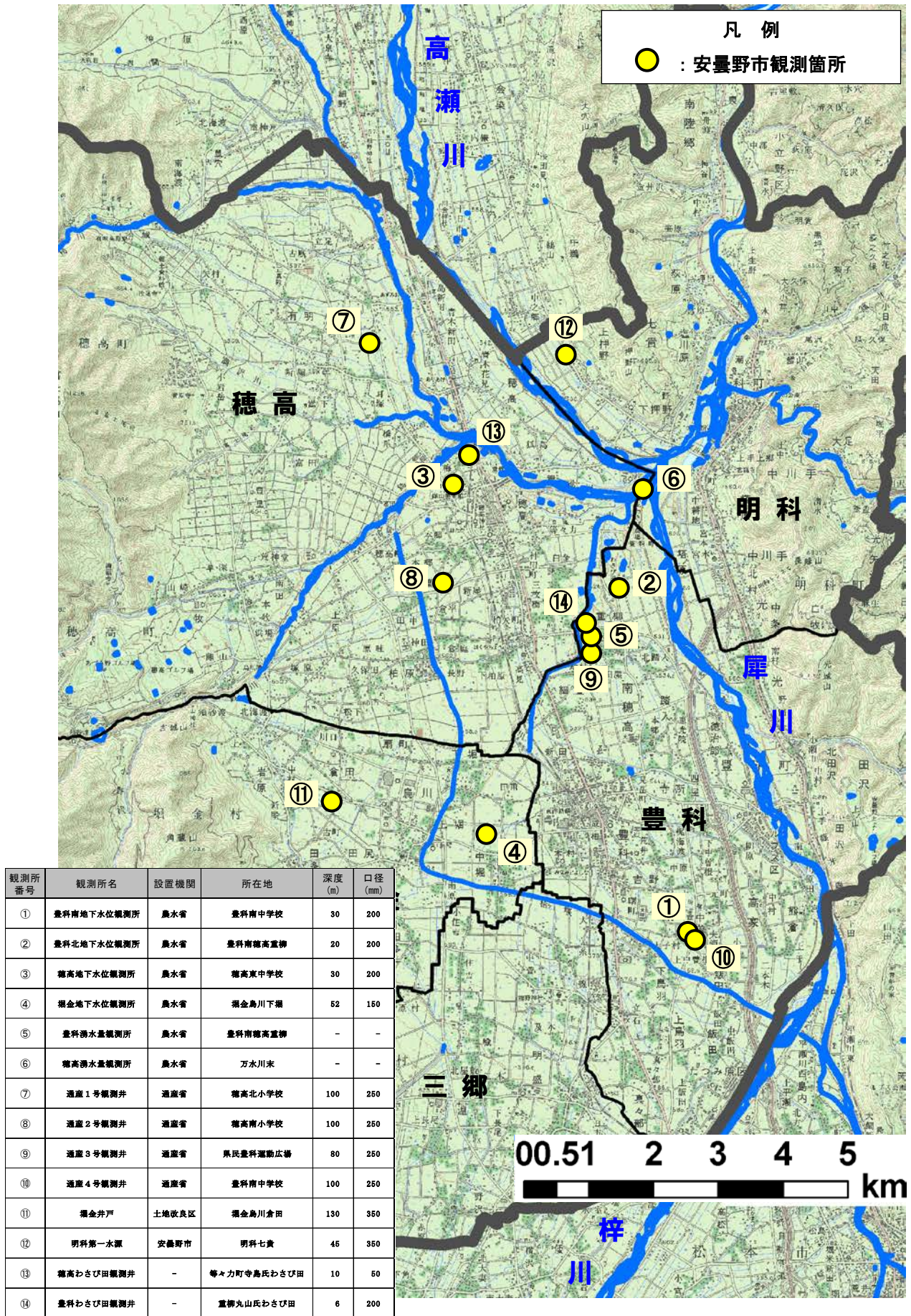


図 3-59 安曇野市における水位観測箇所

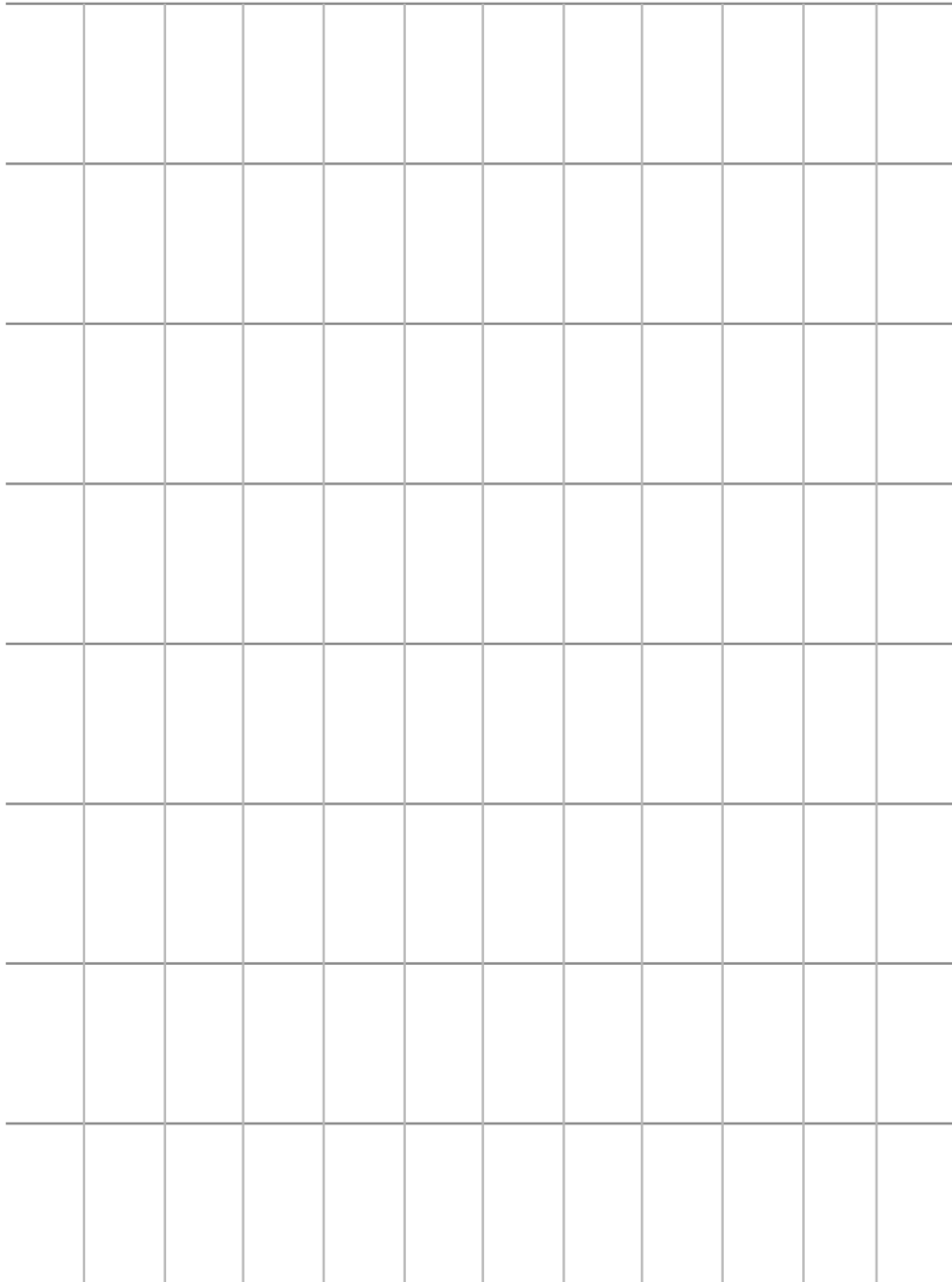


図 3-60 安曇野市における平成25年度の地下水位変化

### 3.6 調査検討結果の評価

本章では、松本盆地を対象に広域地下水流動シミュレーションモデルを構築する際の基本方針をとりまとめ、方針に従い各種条件を整理した。その後、松本盆地モデルを構築し、現況再現計算および将来予測計算を実施した。

現況再現計算の結果、松本盆地における大局的な地下水流動機構は概ね再現できたが、人為的なインパクトと考えられる一部地域の地下水面形の制限性が低い。再現性向上を図るには、実態に見合う地下水揚水量の設定が重要となる。また、非定常過程における再現シミュレーションによる地下水面形の評価の必要性も考えられる。

本業務で実施した数値シミュレーション結果は、地下熱利用の際の効率を左右する地下水環境（地下水面高、地下水流速）に特に着目して整理した。今後これらの情報は、システム導入を考える事業者に対して有用となるが、このとき、地域性を定量化し、かつ分かりやすい情報提供を心がけることが重要であると考えられる。

信州大学工学部キャンパスにおいて実施した実証試験データを取りまとめ、帯水層蓄熱の状況を把握した。その結果、帯水層に貯留した温水および冷水は、少なくとも1年程度は残存することが明らかとなり、今後、帯水層蓄熱によるシステム性能の向上が期待できることがわかった。なおこれは、実証試験サイトの地下水流速が非常に遅く、貯留した温冷水の移動がわずかであることが条件である。したがって将来的に周辺施設での地下水利用等、人為的なインパクトが生じた場合には、熱塊が強制的に移動するため、期待される効果が発現しないことも考えられる。

#### 4. 来年度の方針

本業務の検討成果を踏まえ、小水力発電関連および地下熱関連のそれぞれで、次年度の調査計画（案）を以下のとおり整理した。

小水力発電関連調査では、引き続き水量観測を継続するとともに、安定した装置の稼働のための方策を検討する必要がある。

地下熱関連調査では、クローズド方式とオープン方式の各システムの導入促進を図るため、数値シミュレーションおよび地下熱システム導入シミュレーションの計算結果をそれぞれどのように活用するかが重要になるものと考えられる。

表 4-1 来年度の調査計画（案）

		小水力発電関連調査	地下熱関連調査
<b>平成 26 年度</b>	↓	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>1.水量観測 (フォローアップ)</b> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 水路水位観測</li> <li>2) 定期流量・流速測定</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>1.各種データの整理</b> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 信州大学工学部の地下熱冷暖房施設の観測データのとりまとめ</li> <li>2) 安曇野市における湛水田観測データ地下水位データのとりまとめ</li> </ul>
	↓	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>2.調査結果の評価</b> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 水路水位観測</li> <li>2) 定期流量・流速測定</li> <li>3) 3年間の調査検討結果のとりまとめ</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>2.地下熱利用シミュレーションモデルの構築</b> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 地下熱利用シミュレーションモデルの構築</li> <li>2) シミュレーションの実施</li> <li>3) 導入効果および導入適地の評価</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>3.調査結果の評価</b> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 各種データの解析</li> <li>2) 地下水涵養湛水田の効果検討(生態系への寄与など)</li> <li>3) 地下熱利用の効果検討</li> <li>4) 3年間の調査検討結果のとりまとめ</li> </ul>