

1.1 水の流入、流出状況の検討

1.1.1 検討の概要

(1) 検討目的

計画地のある流域への水の流入量となる降雨量に対して、水の流出量となる場外への流出量、蒸発散量、湛水の変化量等の概略値の検討を行い、水処理施設や遮水工などの設計を行うための基礎資料を得ることを目的とする。

(2) 計算対象期間

2021年9月19日から2021年10月18日（30日間）までとする。

なお、2021年9月15日及び2021年10月18日に、検討対象範囲内の地点1（上流側）及び地点2-2（地点1からの分岐）、地点2（地点1の下流側）において表流水の流量観測を行っている（図1.1.1参照）。

(3) 検討対象範囲

検討対象範囲を以下に示す。検討対象範囲は、計画地を含む流域とした。

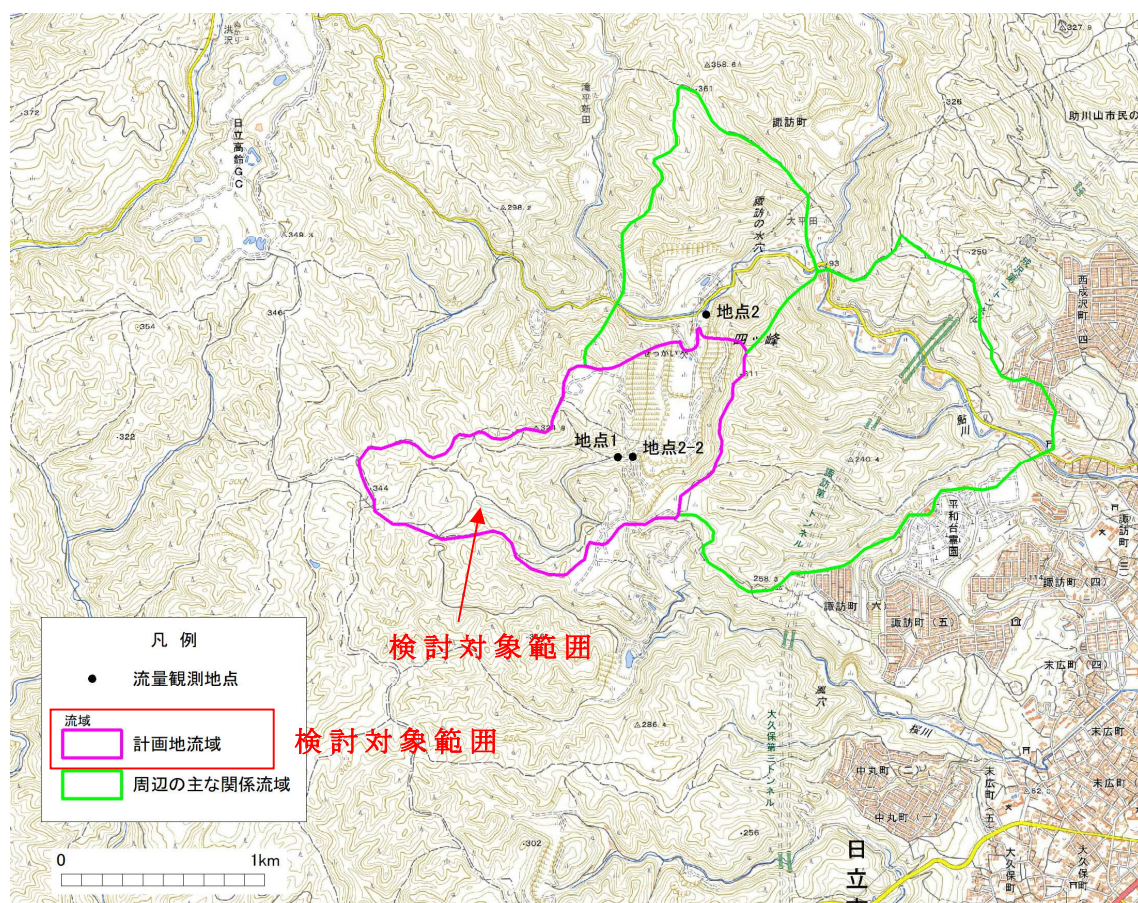


図 1.1.1 検討対象範囲図

1.1.2 水の流入、流出の考え方

「総観地理学講座8 水文学、市川正巳編、1990年、朝倉書店」によれば、水の流入、流出の考え方について、以下のように記載されている。

「水収支は一定の地域内、一定期間内の水の流入、流出の均衡状態を取り扱う学問分野であり(以下省略)、つまり他地域からの河川水や地下水の流入がなければ、降水量のみがその地域への流入すなわち収入のすべてである。支出分としては河川水、地下水として他の流域へ流出し土壌成分として保留され、蒸発散として再び大気中へ帰っていく量がある。(以下省略)

$$P=D+E+\Delta S$$

ΔS はその地域の一定期間内の水保有量の変化である。」

P：降水量、D：流出量、E：蒸発散量

本検討にあたっては、検討領域を3つの流域(流域1(上流側流域)、流域2(下流側流域)、流域3(下流西側))に区分した。この考え方により、流域内における降雨量(P)、蒸発散量(E)、流出量(R)、湛水減少量($\delta L2$)等をパラメータとして、水の流入、流出の概略検討を行うこととした。

流域1：上流域。地点1に水が集まる流域。

流域2：下流域。湛水に水が集まる流域。

流域3：下流西側。場内道路水路に水が集まる流域。

表 1.1.1 計算に用いるパラメータ

① 流域1の流入及び流出

区分	流域1	概要	算出方法及び備考	単位
流入	P1	降雨量	観測値(日立観測所)	m ³
流出	E1	蒸発散量	計算式(服部の式等)による	m ³
流出	R1	表面流出量	流量観測結果(実測)	m ³

② 流域2の流入及び流出

区分	流域2	概要	算出方法及び備考	単位
流入	P2	降雨量	観測値(日立観測所)	m ³
流入	I2-2	表面流出量	流量観測結果から計算	m ³
流出	E2	蒸発散量	計算式(服部の式等)による	m ³
流出	$\delta L2$	湛水減少量	湛水面水位測定値から計算	m ³

③ 流域3の流入及び流出

区分	流域3	概要	算出方法及び備考	単位
流入	P3	降雨量	観測値(日立観測所)	m ³
流入	R1-I2-2	表面流出量	流量観測結果から計算	m ³
流出	E3	蒸発散量	計算式(服部の式等)による	m ³
流出	R3	表面流出量		m ³
流出	R1-I2-2	表面流出量	流量観測結果から計算	m ³

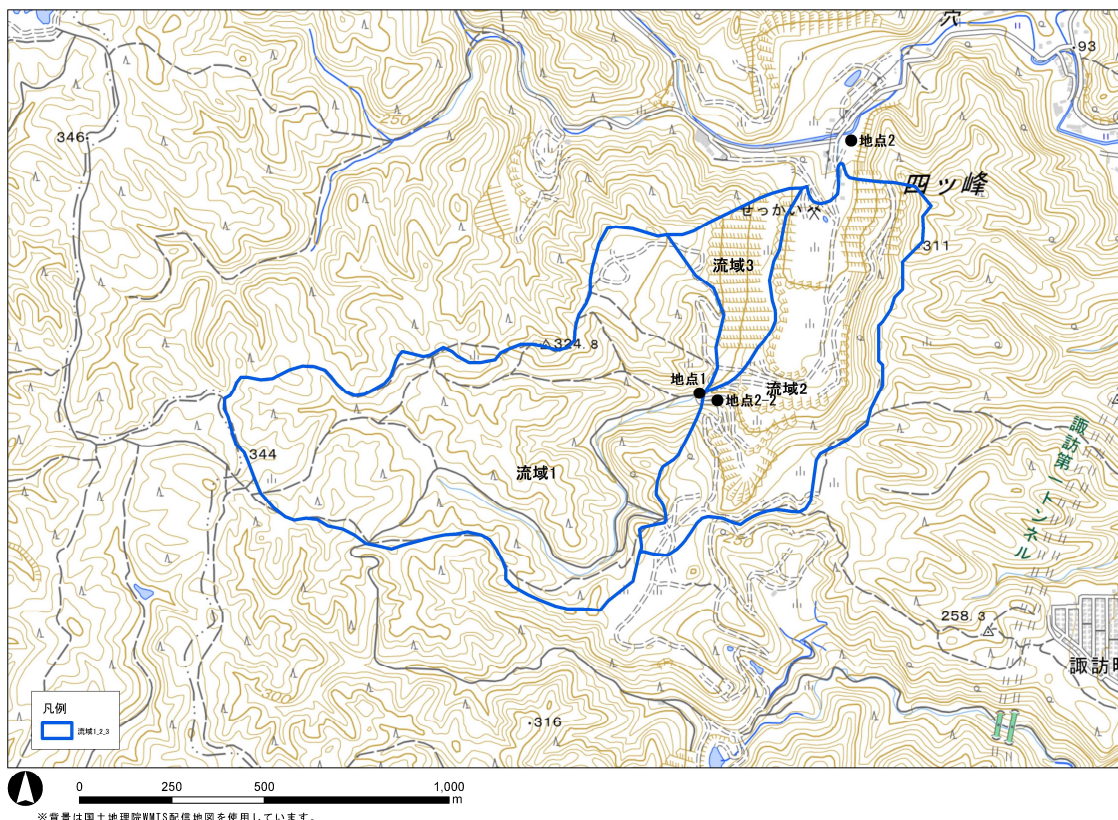


図 1.1.2 水の流入及び流出の概略検討上の流域区分

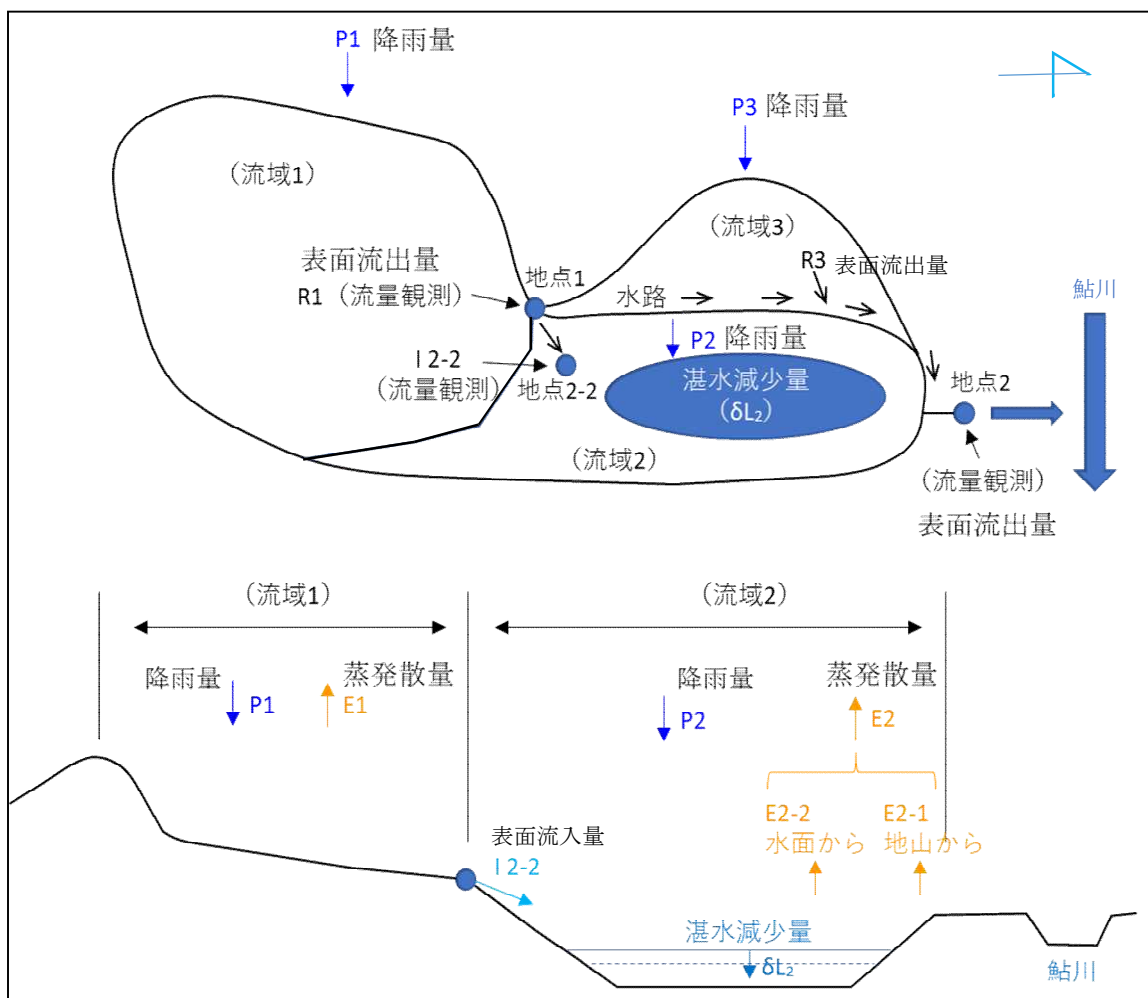
【計算の方針】

計算対象期間の降雨量、地表及び湛水面からの蒸発散量及び流量観測結果から、流域1（上流側流域）、流域2（下流側流域）、流域3（下流西側）に分けて計算を行う。計算の基本式を示す。

(流域 1) 流入 = P1 [降雨量]	・	流出 = E1 + R1 [蒸発散量] [表面流出量]
----------------------------	---	--------------------------------

(流域 2) 流入 = P2 + I2-2 [降雨量] [表面流入量] (地点 2-2 における流量)	・	流出 = E2 + δ L2 [蒸発散量] [湛水減少量]
--------------------------------------------------------------	---	----------------------------------

(流域 3) 流入 = P3 + (R1 - I2-2) [降雨量] [表面流入量]	・	流出 = E3 + R3 + (R1 - I2-2) [蒸発散量] [表面流出量] [表面流出量]
--------------------------------------------------	---	------------------------------------------------------



※流域1からの流出量(R1)から流域2の表面流入量(I2-2)を差し引いた水量と、流域3から表面流出した水量(R3)は流域2へ流入せず、西側斜面沿いの水路を通り、地点2より流域外へ排水される。

図1.1.3 水の流入、流出の概略検討のイメージ

1.1.3 計算方法

水の流入、流出の概略検討にあたっては、下記のとおり必要なパラメータの算出を行った。

(1) 雨量 (P)

雨量は、最寄りの気象庁観測所である日立観測所における日雨量のデータを使用した。検討期間（9月19日から10月18日までの30日間）において、降雨は9日間観測されており、最大の日降雨量は、10月1日の44.5mmであった。

9月18日に台風の影響により日降水量が73.5mmを記録したが、一時的に大きく増加する表流水の量を観測ではとらえられないことから、検討対象期間を豪雨の影響が小さく、表流水の流量を比較的適切に評価できると考えられる、9月19日から10月18日の30日間とした。

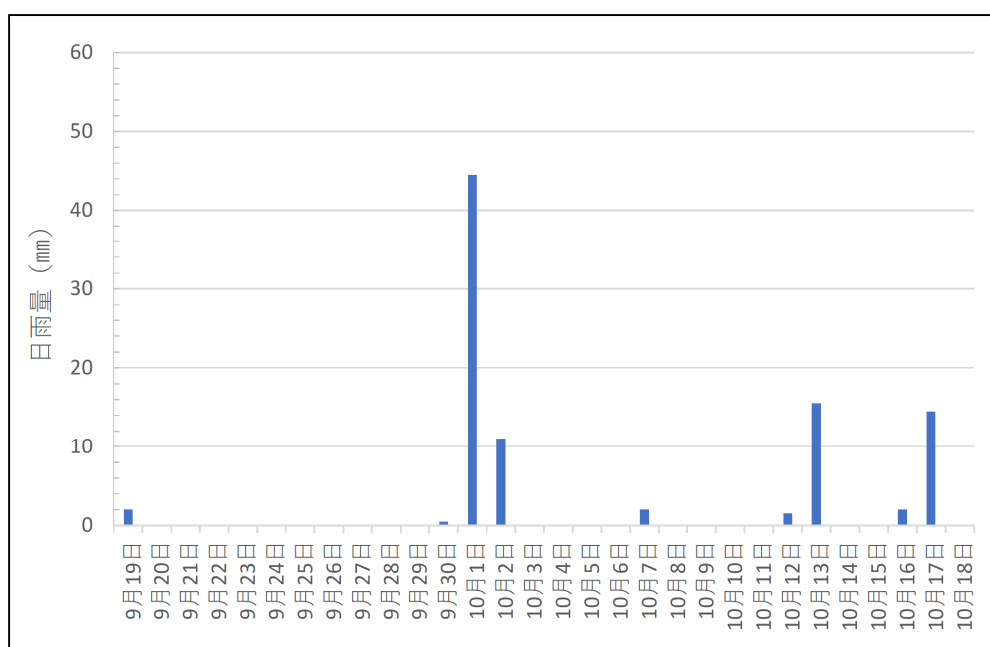


図 1.1.4 検討対象期間の日降水量（気象庁日立観測所）

(2) 流量 (R、I)

流量は、場内水路、暗渠排水等、9月15日及び10月18日に実施した3地点の流量観測結果を用いる。

流量観測地点を図1.1.5に、流量観測結果を表1.1.2に示す。

表 1.1.2 場内水路、暗渠排水等の流量観測結果

地点名	位置	流量 (m ³ /s)		9月と10月の差 (m ³ /s) R3.10.18-R3.9.15
		R3.9.15	R3.10.18	
1	場内最上流沢水	0.01026	0.01126	0.001
2	場内最下流暗渠排水	0.00261	0.00195	-0.00066
2-2	地点1から分岐した 沢水	0.00193	0.00156	-0.00037

観測期間における流量は、地点1、2及び地点2-2の2回の流量観測結果の平均から観測期間30日の流量を設定した。なお、水文観測地点における地点1の流量が、「流域1からの表面流出量 (R1)」に該当する。また、地点2の流量が「流域1の表面流出量から地点2-2における表面流出量を差し引いた流出量及び流域3からの表面流出量 (R1 - (I2-2) + R3)」に該当する。

流量観測結果から推計した期間内における総流量を表1.1.3に示す。

表 1.1.3 流量観測結果から推定した期間内における総流量

流量	地点	流量観測結果 (m ³ /s)			対象期間 (日)	観測期間 (秒)	対象期間にお ける流量 (m ³)
		第一回	第二回	平均			
R1 流域1からの表面流出量	地点1	0.01026	0.01126	0.01076	30	2,592,000	27,890
R1-(I2-2)+R3 流域1からの表面流出量からI2-2 を差し引いた流出量及び流域3か らの表面流出量	地点2	0.00261	0.00195	0.00228			5,910
I2-2 流域1から流域2への表面流入量	地点2-2	0.00193	0.00156	0.00175			4,536

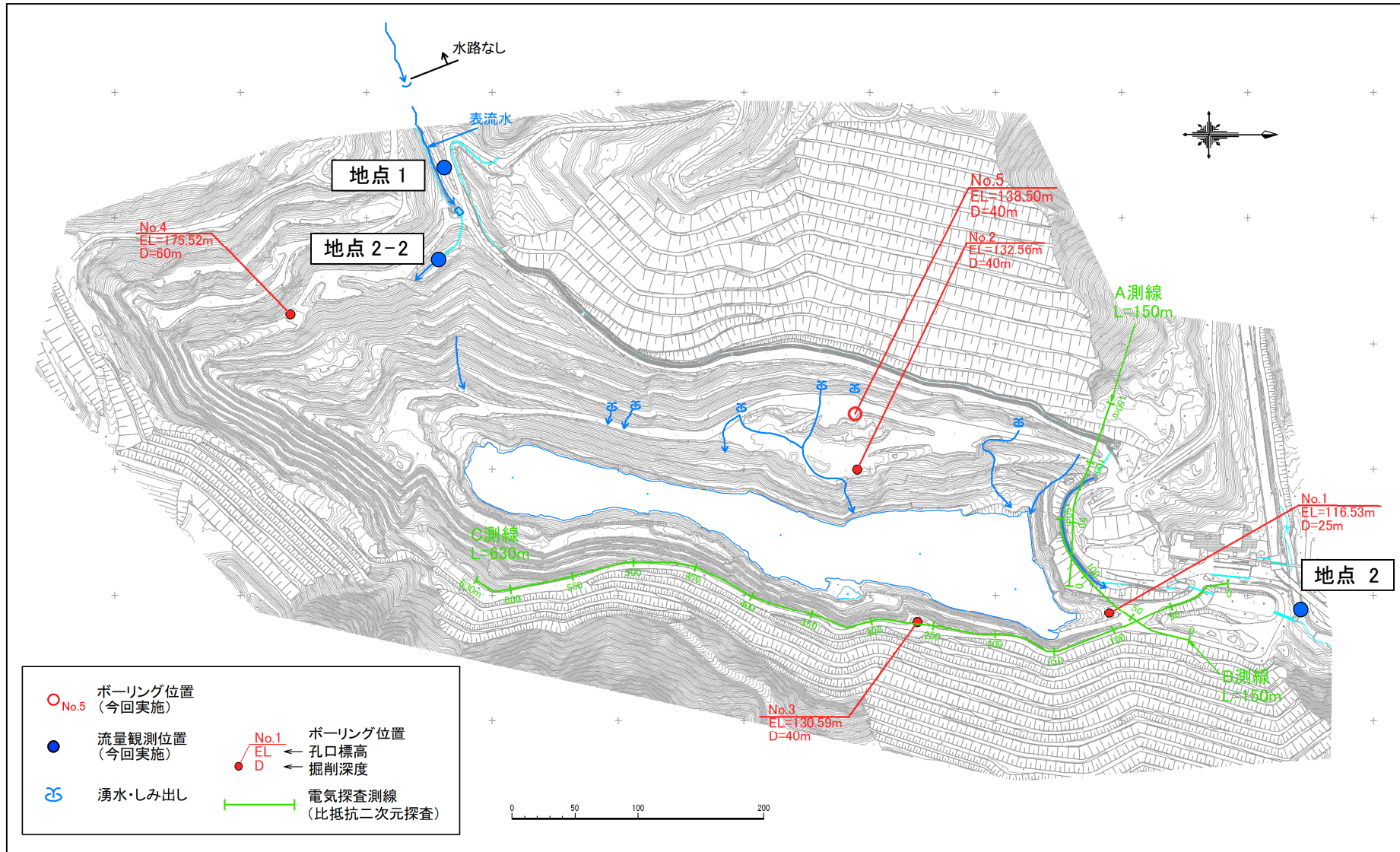


図 1.1.5 ボーリング位置および流量観測地点位置図

(3) 湛水減少量 ($\delta L2$)

湛水減少量は、9月15日及び10月18日の湛水面の測量結果より設定した。なお、湛水量は、対象地の平面図を用い湛水箇所の想定の等高線を復元して湛水量を算出した。測量結果と算出した湛水量は、以下のとおりである。

表 1.1.4 湛水面の測量結果

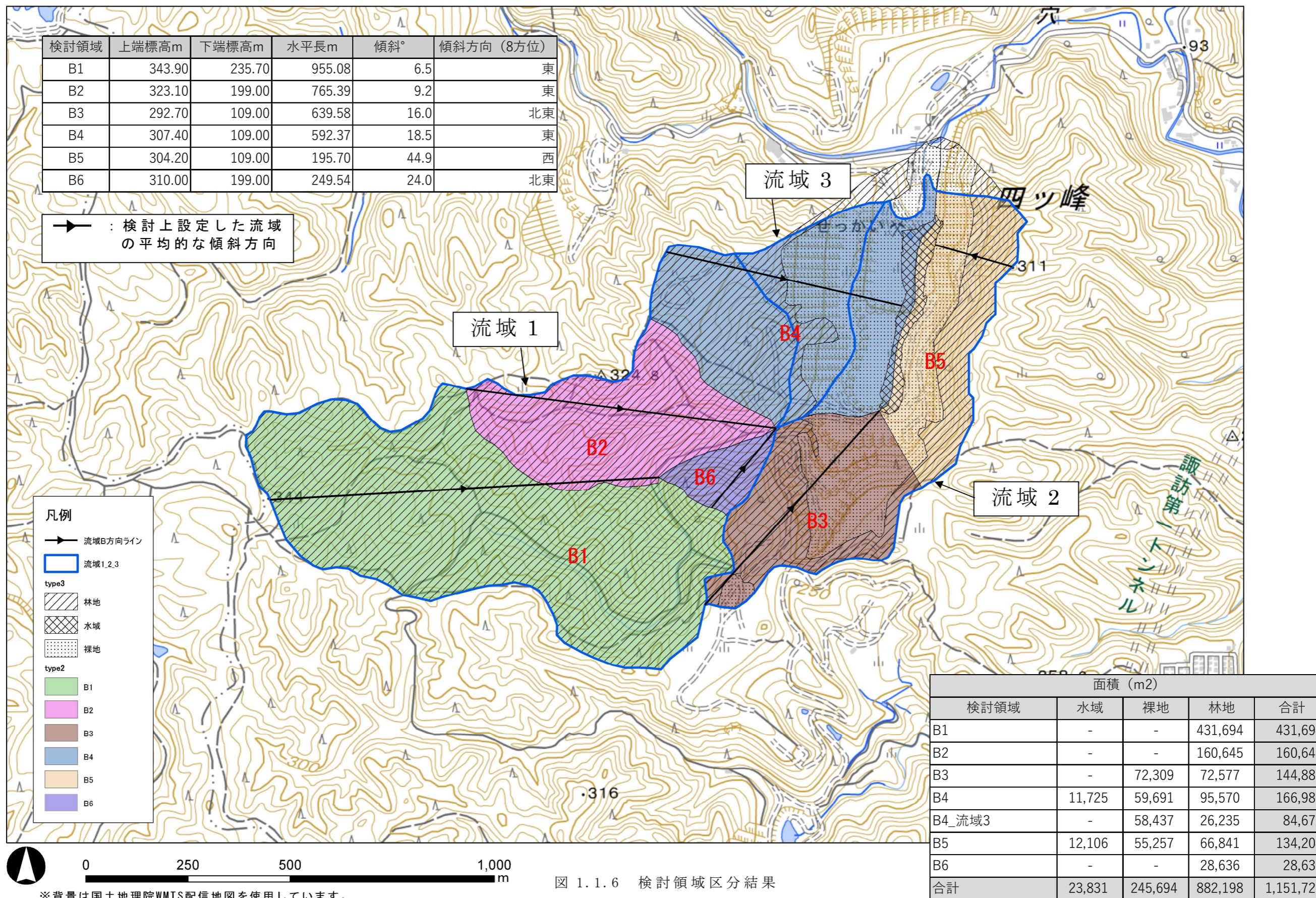
測量日	水面標高 (TP+m)	推定湛水量 (m ³)
2021年9月15日	109.72m	156,138
2021年10月18日	109.46m	149,652
差分	-0.26m	-6,486

(4) 蒸発散量 (E)

1) 検討領域の区分

蒸発散量の検討にあたっては、検討対象範囲を B1~B6 の6つの領域に区分した上で、地被条件や斜面の傾斜方向、傾斜角を算出した。地被条件は、国土地理院の地理院地図より、2017年撮影の空中写真を判読し、裸地及び林地に区分した。また、水域は令和3年2月測量結果の等高線図をもとに設定した。

検討領域区分結果を図 1.1.6 に示す。



2) 水面からの蒸発散量

水面からの蒸発散量の設定には、気象庁東京観測所における大型蒸発計の実測データなどがあるが、2002年以降観測を休止していることから、「日本の水文気象(1)：放射量と水面蒸発」(近藤・桑形(1992) 水文・水資源学会誌；vol15, No. 2)に示される計算値(東京の9月及び10月の平均値を日数で除したもの)を日当たり蒸発散量として使用することとした。

(蒸発散量の計算値)

9月 60 mm/month

10月 46 mm/month

日当たり蒸発散量 1.73 mm/day

3) 地表面からの蒸発散量

i) 純放射量の算出

地表面からの蒸発散量は、「エネルギー収支から見た森林蒸発散」(服部重昭(1985), 水利科学第29号第5号)に示される純放射量と日射量の関係式から算出した。

$$\text{純放射量/日射量} = 0.81 \exp(-0.00275a)$$

a: アルベド(反射率; 地被条件により、裸地35%、森林10%とした)

【服部の式】	
$R_n/Q = 0.81 * \exp(-0.0275a)$	
R _n ; 純放射量	
Q; 日射量	
a; アルベド	
年蒸発量の一般式	
ET = e × R _n ※e: 蒸発散率。ここでは裸地0.82、林地0.90とした。	
ET; 年蒸発散量	
$ET = 0.81 \times \exp(-0.0275a) \times Q \times e$	
【日射量; つくば(館野)、月平均気温; 日立】	
2021	
9月19日～10月18日	
Q; 日射量(MJ/m ²)	12.96466667 ※期間平均
Q; 日射量(J/m ²)	12964666.67 ※期間平均
T; 期間平均気温(°C)	20.4 ※期間平均
λ; 気化潜熱(J/kg)	2450992 ※期間平均
ρ; 水の密度(kg/m ³)	1000
Q/λ/ρ; 日射量(m)	0.0053
日射量(mm) 1日あたり	5.290
日射量(mm) 該当期間あたり	158.7
裸地	
a; アルベド	35
R _n ; 純放射量(mm)	49
林地	
a; アルベド	10
R _n ; 純放射量(mm)	98

ii) 放射量の斜面補正

日射量は、斜面の傾斜、方位などの影響を受けることが知られている。計画地は山地の自然斜面や碎石場跡の急峻な人工斜面からなり、斜面の傾斜方向も多様であることから、ここでは、「森林水文学 現代の林学6」（塚本良則編（1992）, 文英堂出版）に示される方法に従い、日射量の補正を行った。

なお、斜面方位 α 及び傾斜角 ω は、対象範囲の領域区分ごとに、数値標高モデル（DEM；5mメッシュサイズ）を用いて各領域の最高標高点もしくは最上流部及び最低標高点を抽出し、それらを結んだ線分の方角（八方位で表し、北を 0° とした場合の方角）及び傾斜とした。また、緯度 36.4° 、天体の位置に関する値である時角は昼12時として 0° 、赤緯は、 -3 （10月1日12時の値）とした。

4) 蒸発散量計算結果

水面及び地表面からの蒸発散量の計算の結果を表1.1.5に示す。

表 1.1.5 各流域の蒸発散量計算結果

	検討領域区分	蒸発散量 (m ³)	うち湛水面からの蒸発散量 (m ³)
流域1 (E1)	B1	30,188	—
	B2	11,268	
	B4	6,821	
	B6	1,574	
	計	49,850	
流域2 (E2)	B3	6,294	1,237
	B4	2,560	
	B5	7,765	
	計	16,619	
流域3 (E3)	B4	3,783	—
合計		70,252	1,237

※合計値は、小数点以下を含む蒸発散量を合計し最終的に四捨五入したものであるため、表1.1.5内の数値の合計と僅かに異なる可能性がある。

1.1.4 計算結果

最終的な流入、流出量のパラメータは、表1.1.6に示すとおりであった。

流域1において、降雨による流入量 (P1) は 66,997 m³、蒸発散量 (E1) は 49,850 m³、表面流出量 (R1) は 27,890 m³であった。

流域2において降雨による流入量 (P2) は 32,772 m³、表面流入量 (I2-2) は 4,536 m³、総流入量 (P2 + (I2-2)) は 37,308 m³、蒸発散量 (E2) は 16,619 m³、(湛水面以外は 15,382 m³) となった。蒸発散量に湛水減少量 $\delta L2=6,486$ m³ (湛水面からの蒸発量を除くと 5,249 m³) を加算した総流出量 (E2 + $\delta L2$) は 21,868 m³であった。

流域3において、降雨による流入量 (P3) は 7,917 m³、蒸発散量 (E3) は 3,783 m³である。表面流出量 (R3) は、水路の流量が流域1、3の混合となっており、下流側の暗渠との接続や暗渠の状況が不明のため詳細は不明である。流域1から表面流入量 (R1-I2-2) と表面流出量 (R3) の合計が、地点2における表面流出量 5,910 m³となる。

(流域1) 上流側流域

$$\text{流入量} = P1 = 66,997 \text{ m}^3$$

[降雨量]

$$\text{流出量} = E1 + R1 = 77,740 \text{ m}^3$$

[蒸発散量] [表面流出量]

$$\text{流入量} - \text{流出量} = -10,743 \text{ m}^3$$

(流域2) 下流側流域

$$\text{流入量} = P2 + I2-2 = 37,308 \text{ m}^3$$

[降雨量] [表面流入量]

$$\text{流出量} = E2 + \delta L2 = 21,868 \text{ m}^3$$

[蒸発散量] [湛水減少量]

$$\text{流入量} - \text{流出量} = 15,440 \text{ m}^3$$

(流域3) 下流西側流域

$$\text{流入量} = P3 + (R1 - I2-2) = 7,917 \text{ m}^3 + (27,890 \text{ m}^3 - 4,536 \text{ m}^3) = 31,271 \text{ m}^3$$

[降雨量] [表面流入量]

$$\text{流出量} = E3 + R3 + (R1 - I2-2) = 3,783 \text{ m}^3 + 5,910 \text{ m}^3 = 9,693 \text{ m}^3$$

[蒸発散量] [表面流出量]

$$\text{流入量} - \text{流出量} = 21,578 \text{ m}^3$$

表 1.1.6 水の流入・流出の概略検討結果

①流域1の流入及び流出

区分	流域1	概要	算出方法及び備考	値	単位	備考
流入	P1	降雨量	観測値(日立観測所)	66,997	m ³	
流出	E1	蒸発散量	計算式(服部の式等)による	49,850	m ³	降雨量の74.7%に相当
流出	R1	表面流出量	流量観測結果(実測)	27,890	m ³	

②流域2の流入及び流出

区分	流域2	概要	算出方法及び備考	値	単位	備考
流入	P2	降雨量	観測値(日立観測所)	32,772	m ³	
流入	I2-2	表面流出量	流量観測(地点2-2実測)	4,536	m ³	
流出	E2	蒸発散量	計算式(服部の式等)による	16,619	m ³	このうち、湛水面からの蒸発量は1,237 m ³ 。降雨量の50.7%に相当。
流出	Δ2	湛水減少量	湛水面水位測定値から計算	6486 (5,249)	m ³	湛水減少量。()内は、湛水面からの蒸発散を差し引いた値。

③流域3の流入及び流出

区分	流域3	概要	算出方法及び備考	値	単位	備考
流入	P3	降雨量	観測値(日立観測所)	7,917	m ³	
流入	R1-I2-2	表面流出量	流量観測結果から計算	23,354	m ³	
流出	E3	蒸発散量	計算式(服部の式等)による	3,783	m ³	降雨量の47.8%に相当。
流出	R1-(I2-2)	表面流出量	流量観測結果(地点2実測)	5,910	m ³	流域1及び流域3からの表面流出量
流出	R3	表面流出量				R3の流量は不明

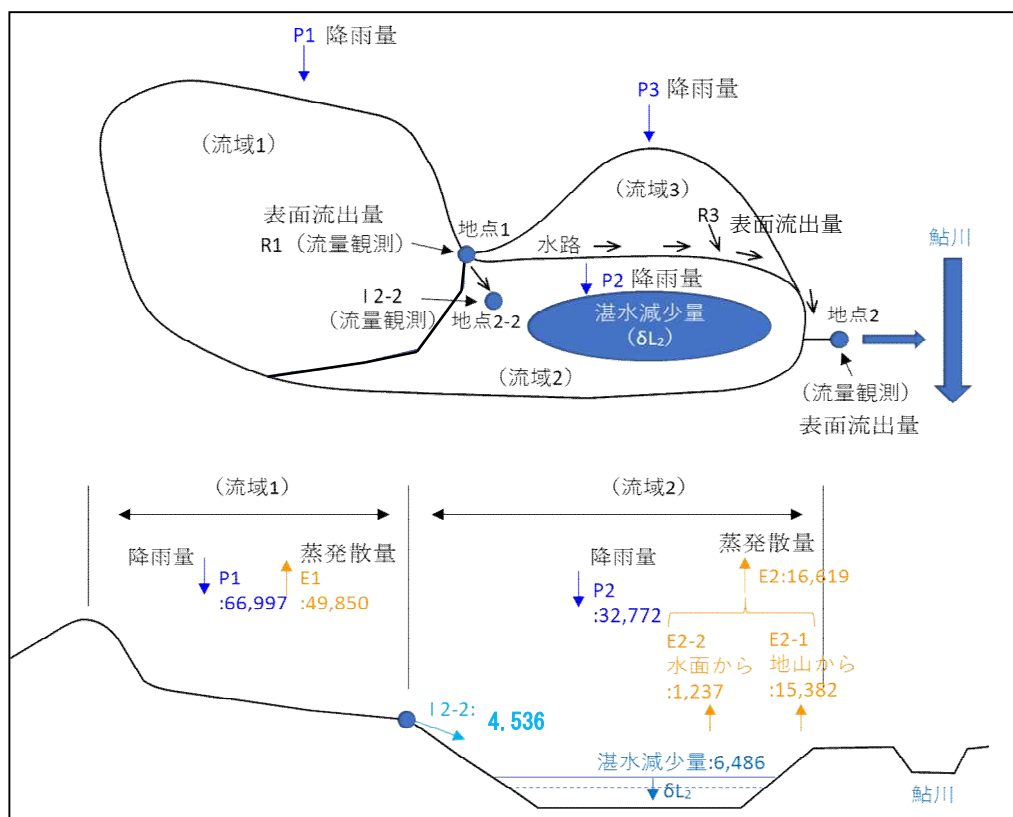


図 1.1.7 水の流入及び流出の概略検討結果図

【水の流入、流出の概略検討結果に関して】

- 検討対象範囲では、降雨量の47.8～74.4%が蒸発散により流出していることが明らかとなった。
- 湛水量は、全体で約15万m³と想定されるが、検討対象期間においては6,486m³の減少（湛水面からの蒸発を除くと、5,249m³の減少）にとどまった。
- 各流域の水の流入、流出の概略検討の結果は、9月19日から10月18日の期間においては、以下の通りとなった。
- 上流側流域1では10,743m³、流出が流入を上回る事となり、原因としては、流域の水保有量の変化 ΔS が考えられる。

$$P=D+E+\Delta S$$

ΔS はその地域の一定期間内の水保有量の変化

P：降水量、D：流出量、E：蒸発散量

これは検討期間中（9/19～10/18）の30日間総雨量が93.5mmで、その前の30日間（8/20～9/18）の総雨量が237.5mmに比べて少ない中で、土壌中に保有していた地下水を蒸発散と表面流出として放出した可能性がある。

- 湛水に水が集まる下流側の流域2では、流入量は37,308m³、流出量は21,868m³で、15,440m³流入が流出を上回る結果となった。
北側にある鮎川は、標高116m程度で湛水面の標高109.72mやボーリングNo.1地点の水位標高107.81mよりも高く、表流水として直接鮎川に合流することはない。
湛水が維持され、オーバーフローしないことから、表面からの流出は考えづらく、現地では確認できないが、湛水面の水位より下に流出口があると推定される。
流出の方向を考察すると、東側は、ボーリングNo.3地点の水位標高が109.07mで湛水面の標高109.72mより0.65m低いが、尾根が高く、地形なりに地下水位が上昇していると予想されることから、流出の可能性は低いと考えられる。
西側及び南側は、ボーリングNo.2地点及びNo.4地点の水位標高がそれぞれ、131.3m、165.15mと高く、尾根も高いことから、流出は考え難い。
北側は、ボーリングNo.1地点の水位標高が107.81mと湛水面の標高109.72mより1.91m低く、同方向（下流側）に流れている可能性があるかと推測される。
- 流域3では、流入量は降雨量7,917m³と流入量23,354m³の合計31,271m³、流出量が、蒸発散量（E3）3,783m³、地点2からの流出量5,910m³で、流入量と流出量の差が21,578m³生じている。表面流出量（R3）が不明であるため、詳細不明であるが、地下浸透や一部流域2への流出も考えられる。

【まとめ】

計画地は降雨による水の流入があり、その一部が蒸発散や表面流出により外部に流出していることを確認できた。また、流入した水の一部が湛水になり、北側（鮎川）方向に流出していると考えられる。

本調査で得られた結果を、遮水工や地下水集排水設備、浸出水処理施設等の設計に活用する。