

はじめに

豊平川は、北海道札幌市を流れる石狩川水系支流の一級河川で、札幌市と千歳市の境界の小漁山を源流に定山溪を抜け、札幌市中心街を北北東に流下する。豊平川扇状地は、豊平川によって形成された、札幌市南部から中心街にかけて半径・幅約7kmの扇状地である(図-1)。

豊平川扇状地は、その形成過程から東側の古い平岸面と、西側の新しい札幌面に分けられる。特に札幌面には、良透水性の砂礫層が厚く堆積し、この砂礫層を通じて河川水の伏没現象が生じるとされてきたが、既往調査では、十分な把握に至らず、その詳細は長く不明とされてきた。

そこで、著者らは、豊平川の伏没現象を解明すべく、既往手法を見直した一連の調査解析を実施し、一定の成果が得られたので、その概要をここに報告する。

調査解析手法

今回、紹介する調査解析の手法は、伏没現象の実態を把握する水文観測、伏没現象の基礎となる扇状地の水理地質構造を把握する地質調査および、把握した伏没現象を数値的に表現する水理地質解析や地表水・地下水連成シミュレーション解析などである(表-1)。

同時流量観測では、低水時の豊平川の浅水深と礫河床という劣悪な観測条件に対し、観測誤差を少なくし伏没量を正確に把握すべく、電磁流速計の採用や測線間隔の細分化などにより、従来法に比べ大幅な精度向上に成功した。

地質調査では、特殊ビットにより従来では困難であった、乱さない砂礫層の採取を行い、深度毎の粒度傾向と併せて、透水性と相関があると考えられる空隙状態を把握した(図-2)

解析では、扇状地の水理地質構造に対して、多変量解析手法により扇状地の透水係数分布の数値モデルを推定し、地表流・地下水流の連成シミュレーション解析により、伏没現象の数値的な再現を試みた。

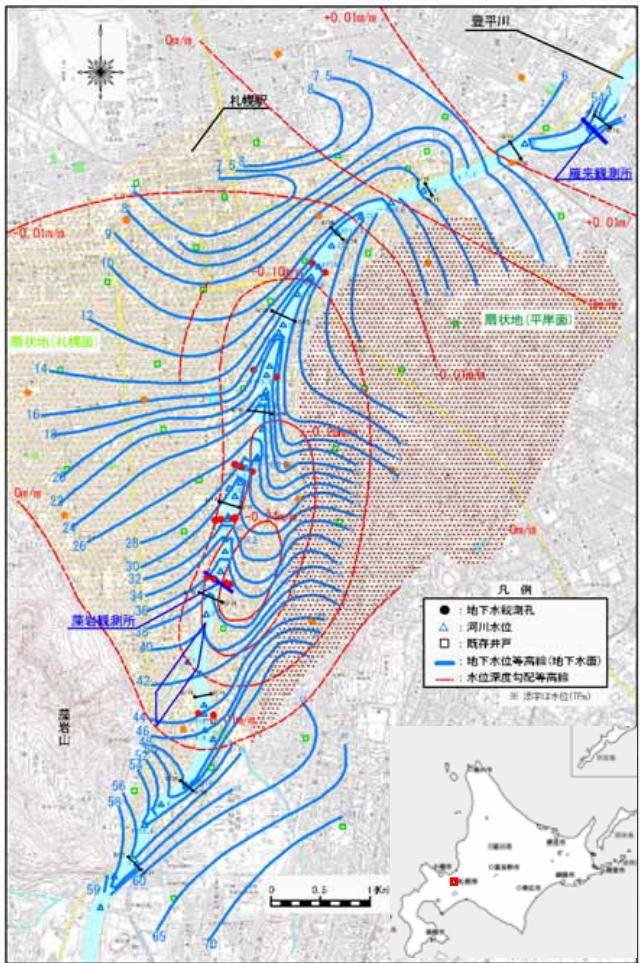


図-1 検討位置(豊平川扇状地)

表-1 本検討における調査解析手法

調査項目		調査方法
水文観測	精密同時流量観測	・本支川での縦断方向の同時流量観測 ・従来法に比べ観測機器・観測方法を改善
	一斉測水	・期別に河川・支川の縦断水位、既設井戸や地下水観測孔の同時水位観測
地質調査	ボーリング調査	・扇頂～扇端の計6測線の両岸で実施 ・乱さない砂礫コアから空隙分布を測定
	温度検層	・6測線で期別に実施し地温勾配を比較 ・サーミスタ温度センサーを使用
	現場透水試験	・ピエゾメーター法 ・各測線で深度10m毎に実施
	揚水試験 室内土質試験	・扇中央部の3測線で実施 ・透水係数モデルの検証 ・透水試験箇所と同一箇所でのサンプリング ・密度試験、粒度試験、含水試験など
解析	水理地質解析	・扇状地での今回調査、既往調査を併せた資料から水理地質構造を推定
	透水係数モデル構築	・多変量解析により透水係数と、砂礫の粒度・空隙を関連させた数値モデルを推定
	地表水・地下水連成シミュレーション解析	・地表水は1次元不等流、地下水は3次元FEM ・期別の流量分布と伏没量を再現

空隙状態分類	コア写真	性状
空隙なし	 BW03-1 (49.10 ~ 49.50m)	健全部。礫と基質の分離や、ヘアクラックは認められない。
	 BW03-1 (59.77 ~ 59.97m)	礫の一部が基質と分離している。または、コア表面が荒れている状態。
	 BW03-1 (56.19 ~ 37m)	基質の一部が流失している。全体にしまりが無く、ルーズな状態。
	 BW03-1 (14.33 ~ 14.36m)	基質の大部分が流失し、礫状に採取されている。

図-2 ボーリングコアの「空隙」区分

調査解析の結果

観測された伏没量(扇端 KP11.1 ~ 扇頂 KP18.2)は、1 ~ 3m³/s の範囲にあり、期別変化(地下水位変化)より河川流量に対してより強い正の相関があるのが特徴である(図-3)。

一斉測水調査による地下水面等高線図(図-1)からは、山鼻川合流点(KP18.5) ~ 扇端部の東橋(KP13)付近まで、河川水位が地下水位より高い「くさび状」の水位分布となり、同区間が伏没区間であることや、等高線密度の高い KP15.5 ~ 16.5 は、伏没量が多い区間であることが窺える。

また扇頂 ~ 扇中央部の地温勾配は、深度 40 ~ 50m 付近まで季節変化が大きく、河川水の鉛直浸透の影響を受けており、特に扇頂では深度 55m 以深で温度勾配が 1 /100m 以下であり(図-4)、深度方向の負の水位深度勾配(図-1)も大きいいため、深部まで相当量の河川水が浸透し、下流で粘性土に被圧される被圧層へ浸透、涵養していると推測される。

シミュレーション解析(図-5)では、パラメータ内挿検定過程で、従来の境界条件や地盤の透水係数の調整では、河川流量・伏没量(期別の流量相関)が再現できなかった。このため本解析では、出水時に河床に沈積した細粒分の除去や水位上昇による高透水な河道側方への流出などを想定した、局所的な「河床透水係数」を設定することで、伏没現象を数値的に再現することに成功した(図-6)。

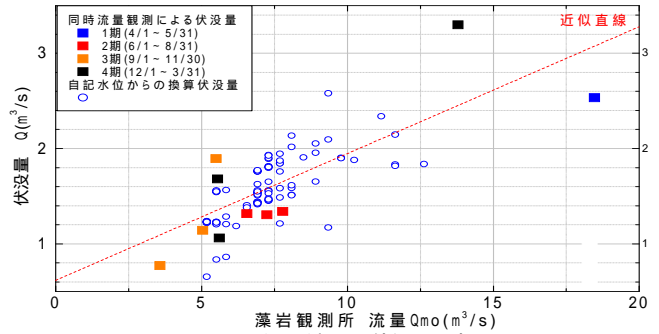


図-3 河川流量と伏没量の相関

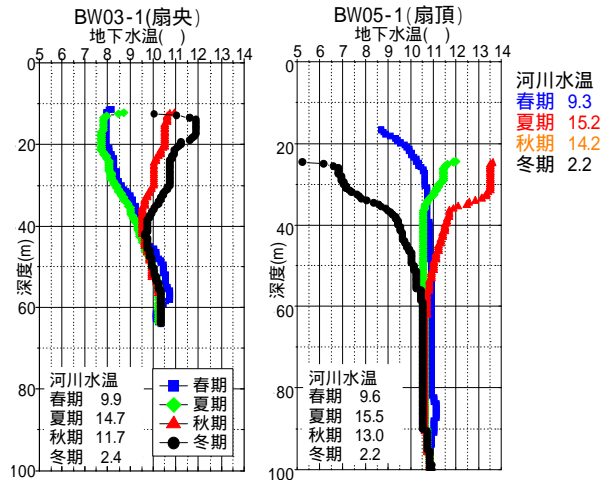


図-4 地下水観測孔(抜粋)の地温分布

考察

以上の調査解析の結果、豊平川扇状地の伏没現象について一定の理解が得られたと考えている。また、ここで述べた一連の調査解析手法は、一般の扇状地河川の伏没現象解明にも有効であり、今後の応用、発展が期待される。

今後の課題には、水文・地質データの蓄積・追加による精度向上のほか、伏没量の流量相関に支配的な、河床部の透水性の把握を挙げる。特に後者は知見が不十分で、未だ調査手法も確立されていないため、今後研究を進めたい。

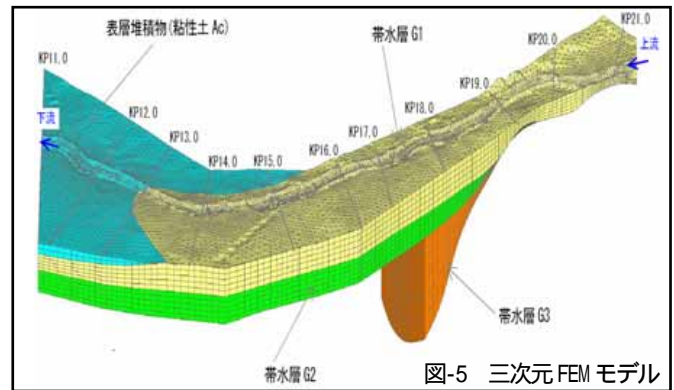


図-5 三次元 FEM モデル

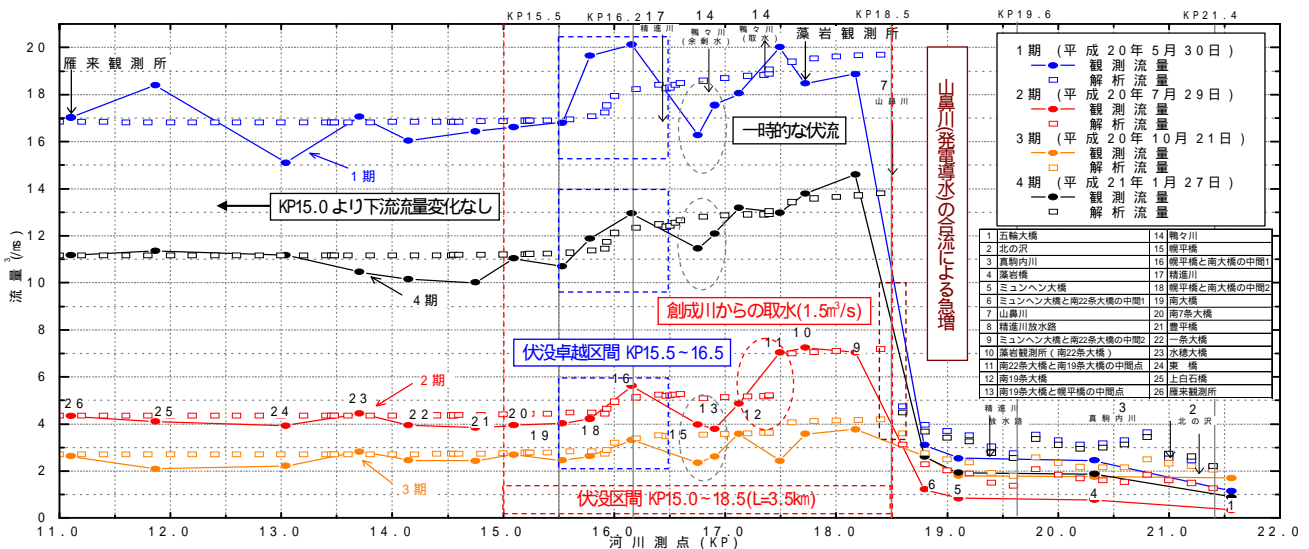


図-6 同時流量観測による河川流量分布と、シミュレーションによる再現結果