

能動的排水ポンプを用いた揚水井戸中の気液二相流を対象とした三次元モデルでの解析

国土交通省 四国地方整備局 四国山地砂防事務所 ○福井 慧、松下一樹<sup>\*1</sup>  
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 中谷 洋明<sup>\*2</sup>、小嶋 孝徳<sup>\*3</sup>  
 アドバンスソフト (株) 杉中 隆史

\*1:現 内閣府 沖縄総合事務局、\*2:現 (一財) 砂防・地すべり技術センター、\*3:現 国土防災技術 (株)

1. はじめに

地すべり災害時の応急対策における能動的な地下水排除工として、近年開発されたスーパーウェルポイント工法<sup>1)</sup> (以下 SWP 工法という) が意欲的に用いられている<sup>2)</sup>。最近では四国山地砂防事務所直轄地すべり対策災害関連緊急事業を実施している有瀬地区 I-3 ブロックにおいても活用されており<sup>3)</sup>、降雨時の地下水排除に寄与しているところである。

さて、SWP 工法による地下水排除効果を最大化するためのポンプ位置の検討等については、現状では経験知によるところが多い。今後さらなる効果の発揮を実現するためにも、地下水排除の動態を数値計算等により解析することが求められるものと考えている。既往の研究では、SWP 工法の設置孔内を対象に、ポンプ発熱による熱対流及び減圧による気泡析出を考慮した気液二相流の解析が二次元軸対象モデルによって実施されている<sup>4)</sup>。今回、三次元モデルによる解析を実施し、孔内の気液二相流の各種物理量の詳細な分布を可視化し、ポンプ表面の断熱効果等について考察することができたため、報告する。

2. SWP 工法の概要

SWP 工法は、真空ポンプと水中ポンプを組み合わせ、能動的に飽和地下水を集水・揚水する工法である (図-1)。井戸構造は二重管構造となっており、下部に通水孔を持つ鋼管の外側にスクリーンが設置されている。地上に設置した真空ポンプにより鋼管内を減圧して孔内水位を引き上げ、通水孔から地下水を集水する。この際、スクリーンと鋼管の間で空気が分離されて水のみ鋼管内に流入する。鋼管内に流入した水は水中ポンプで揚水する仕組みとなっている。

3. 解析手法

以下では解析に際して設定した各種条件等を示す。

3.1 使用したソフトウェア

解析には、Advance/FrontFlow/MP<sup>5)</sup>を用いた。これは、二流体モデルにより気液二相流の流動特性や伝熱特性を解析することができる汎用的なソフトウェアである。

3.2 三次元モデルの設定

解析にあたり、地すべり対策用の SWP 工法の標準的な孔内形状に準拠して図-2 のような3次元モデルを作成した。なお、実形状では給水口が0°、90°、180°、270°方向と、45°、135°、225°、315°方向に千鳥配置されていることから、周方向に45°毎に対称となる3次元の流れが形成される。そのため、周方向の解析領域は45°とした。

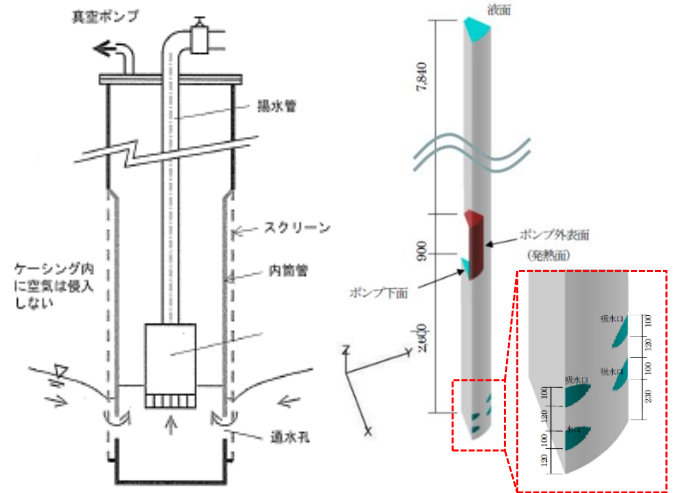


図-1 排水機構イメージ<sup>1)</sup>

図-2 三次元モデル

表-1 計算条件

No.	項目	値	単位	内容
1	水面のゲージ圧	-0.06	Mpa	稼働時の平均表示圧力
2	ポンプが揚水する液相の流量	1.2	m <sup>3</sup> /min	ポンプの定常運転時の排水量 (φ300 mm)
3	通水孔から流入する液相の流量	0.075	m <sup>3</sup> /min	φ100 mm吸水口×16
		1.2	m <sup>3</sup> /min	3次元全体 (=ポンプ揚水量)
4	通水孔から流入する気相の流量	7.7 × 10 <sup>-4</sup>	m <sup>3</sup> /min	φ100 mm吸水口×16
		0.01232	m <sup>3</sup> /min	3次元全体
5	通水孔から流入するボイド率	0.01016	-	気相流量 / (気相流量 + 液相流量)
6	通水孔から流入する液相の温度	12.6	°C	地下水温
7	ポンプから液体への熱流束	2173	W/m <sup>2</sup>	= 発熱量 / 面積 発熱量: 稼働率 (80%)、負荷率 (10%) と仮定した場合のポンプ熱損失量
8	ポンプを除く壁面の温度	12.6	°C	地下水温と同一と仮定
9	乱流モデル	k-ε モデル		
10	液相の密度	999.5	kg/m <sup>3</sup>	標準物性値より導出 (水温2.6°C)
11	液相の動粘性係数	1.22 × 10 <sup>-3</sup>	Pa s	
12	液相の表面張力係数	0.07384	N/m	
13	液相の定圧比熱	4189	J/(kg・K)	
14	液相の熱伝導率	0.59	W/(m・K)	
15	液相のPrandtl数	8.66	-	動粘性係数 × 比熱 / 熱伝導率
16	液相の体積膨張率	1.21 × 10 <sup>-4</sup>	1/K	標準物性値より導出 (水温12.6°C)
17	気相の密度	2.019	kg/m <sup>3</sup>	標準物性値より導出 (気温2.6°C)
18	気相の粘性係数	1.986 × 10 <sup>-5</sup>	Pa s	
19	気相の定圧比熱	918.9	J/(kg・K)	
20	気相の熱伝導率	0.02538	W/(m・K)	
21	気相のPrandtl数	0.719	-	
22	気泡径	0.7	mm	通水孔スリット径より仮定

### 3.3 計算条件

外部との圧力差がある有水位孔内におけるポンプ揚水によって駆動される液相と気泡（酸素気泡の析出を想定）の運動について、液面を固定し、ポンプ表面に熱流束分布を与え（ポンプ発熱を想定）、析出する酸素流量と熱対流を考慮して、水の吸い込みと熱対流の干渉による孔内の水と気泡の運動を解析した。なお、析出する酸素流量は温度と圧力の関数式で計算し、気相の質量・運動量・エネルギーの各保存式に考慮した。気泡の併合は考慮せず、気泡径は解析領域全体で定数（0.7mm）とした。その他、解析時の計算条件は表-1に示す。以上のような条件（1ケースのみ）の計算を実施し、定常状態を求めた。

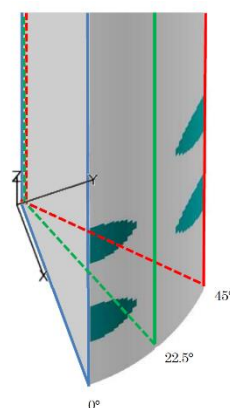


図-3 垂直断面図の出力位置

### 4. 解析結果、考察及び今後について

解析の結果として、孔内の気液二相流の詳細な分布を可視化した。

垂直断面図の出力位置を図-3、孔内の液相温度分布を図-4、液相速度分布を図-5、酸素析出流量を図-6に示す。各物理量の分布より、ポンプ表面付近においては、液相温度は高くなるが液相が下向きに流れ、溶存酸素の濃度は飽和濃度に達しないため、酸素の析出は起こらず、気泡によるポンプ表面の断熱効果は生じないということが言える。

今後、構築した3次元モデルを用いて、SWP工法における地下水排除効果を最大化するためのポンプ位置等の検討を進めるとともに、その他の各種地すべり地下水排除工においても今回の解析手法を準用し、地下水排除の信頼性の向上について検討していきたい。

#### 引用文献

- 1) 荒井紀之ら（2001）スーパーウェルポイント工法の開発、西松建設技報、Vol24、p101-102
- 2) 中谷洋明ら（2016）能動的な斜面排水工法の適用性の検討、砂防学会誌、Vol. 69、No. 4、p21-24
- 3) 笠井庸宏（2022）スーパーウェルポイント工法による地すべりの応急対策、土木施工、2022年6月号、p96-99
- 4) 高原晃宙ら（2022）能動的排水ポンプを用いた揚水井戸中の気液二相流を対象とした基礎的な解析、令和4年度砂防学会研究発表会概要集、p585-586
- 5) アドバンスソフト（株）HP <https://www.advancesoft.jp/products/fluid/advance-frontflow-mp/>

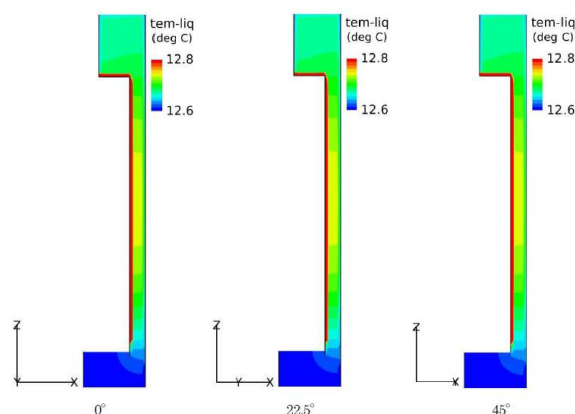


図-4 液相温度分布（Z=2.5~3.7m、ポンプ周囲）

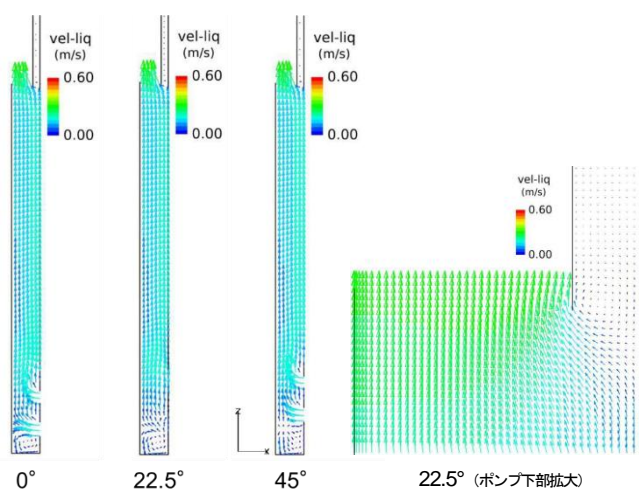


図-5 液相速度分布

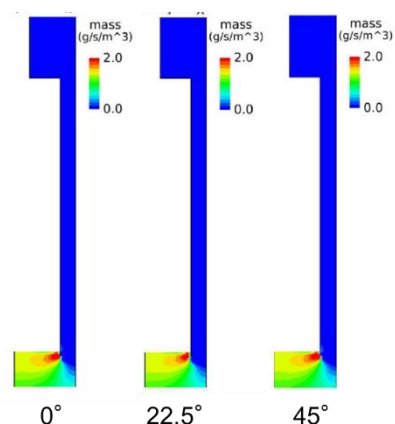


図-6 酸素析出流量（Z=2.5~3.7m）