

キャビテーションを利用した地下水位低下と圧密促進

キーワード 1 真空吸引 2 地下水位低下 3 圧密促進

山口大学 国際会員 ○兵動正幸
(株)アサヒテクノ 正会員 高橋茂吉
報国エンジニアリング(株) 国際会員 小川正宏

1. まえがき

スーパーウェルポイント（SWP）工法 は、井戸底部の吸引口から強力な負圧を地盤に与えて地盤の地下水位を低下させ、地盤をドライな状態にしてトンネル、橋梁基礎、放水路や水門工事などを可能とするのみならず、地滑り抑止、液状化対策、軟弱地盤の圧密促進など多くの施工事例を有する工法 ¹⁾ である。本報では、事例を紹介し、そのメカニズムを解析により考察する。

2. SWP の構造と操作手順

図 1 に SWP の本体の構造概要を示す。SWP は、直径40cmの鋼管の井戸からなり、長さは地盤条件により任意に設定することができる。吸水孔は、井戸底部付近にあり、ここから地盤の側方及び上部の地下水を吸引する。吸水孔より少し上方に水中ポンプが装着されており、このポンプで井戸内の水を汲み上げる。この状態で、井戸上部に取り付けた真空ポンプで井戸内にはほぼ真空状態の負圧を付加する。井戸周辺には樹脂のスクリーンが設置されており、スクリーンと井戸間に隙間を数 cm 空けており、地下水に含まれる空気を分離し、井戸内には水だけが吸引される仕組みになっている。水中ポンプの容量は対象によって変えることが出来、井戸長 150m 程度まで対応することができる。真空ポンプは地表に

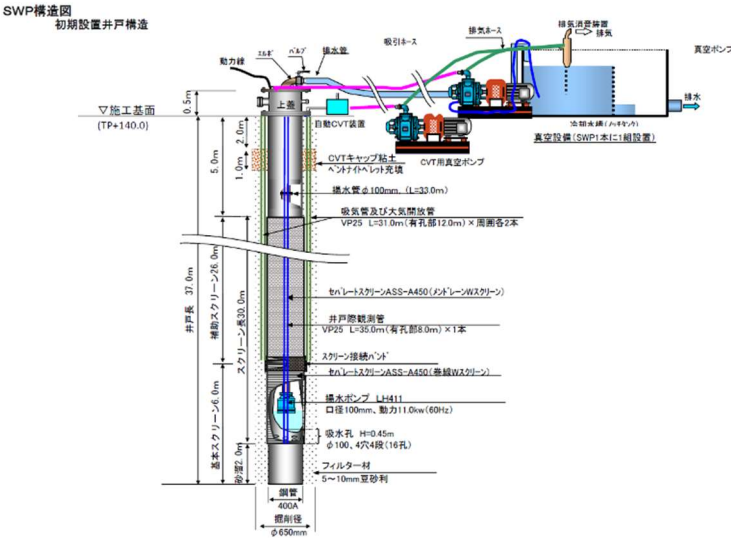


図 1 SWP の本体の構造概要

2 台設置し、1 つは井戸内を真空状態にするため継続的に稼働するものであり、もう一台は、井戸周囲に挿入した細管パイプに取り付け、真空状態の負圧負荷と、負圧除荷を繰り返し、キャビテーションにより生じる水泡を爆縮させ、周辺地盤への負圧伝播を促進させるためのものである。

SWP 設置のために、まず井戸孔の掘削を行う。その中に SWP 本管を立て込み、周囲に玉石を埋め込みフィルターとする。設置が完了したら、SWP より、600kPa の水圧の付加および減圧を繰り返し与えて洗浄を行う。これにより、流速の早い井戸周辺には、礫や粗砂が集まり、井戸周辺に立体的なフィルター層が形成されるとともに、地盤内に水路が形成され透水性が向上する。その後水中ポンプによる汲み上げおよび井戸上部からの負圧付加を継続し、井戸周辺地盤に強力な負圧を与え、キャビテーションを引き起こさせ、地下水位を引き下げ、地盤を乾燥させていく。図 2 に水の 3 相状態を表す水蒸気曲線を示す。図のように水は温度と圧力によって相変化を起こすが、1 気圧では 100℃で沸騰するのに対し、常温では、圧力を減圧することによってもキャビテーションにより水蒸気状態となる。地中での間隙水の流路は複雑であることから、SWP からの吸引による間隙水の流れは途中分断が起こり、真空状態の箇所が各所に起こることが考えられる。また、地盤下部からの吸引により、上部の地盤は、位置エネルギーも加わり水圧低下が大きくなり、キャビテーション状態となることが推察される。

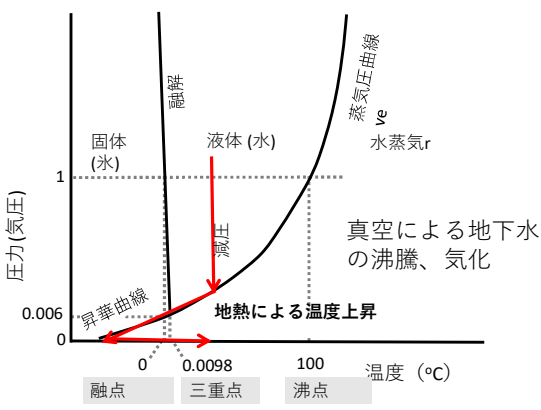


図 2 真空による水の沸騰と気化（水の状態曲線）

3. トンネル工事の事例

トンネル工事に適用した事例を示す。このトンネルは国定公園の中を通るものであり、公園内の施工は許可されない。地質は、軽石まじりの火山灰ロームであり、地下水位はほぼ地表面に達しており地盤は非常に緩い状態にあった。トンネルの発進口の施工のため、地下水位を3m下げる必要があった。トンネル発信口付近に深さ50mの2本のSWPが設置され、稼働した。その結果、発信口付近の地下水位は完全に下げることができドライで工事が出来た。また、ドライな状態は、坑口から170m奥まで続いており、地盤強度も増加しており、NATMによる施工が可能となった。図3にトンネル切羽の写真を示すが、ドライな状態であることが認められる。SWPにより下層の間隙水圧を減圧にすると、上層地盤の間隙水の圧力水頭は負となり、次第に地下水位は低下していく。その過渡的状況で表層が飽和状態にあるとき、負圧-100kPa以下となる場合はキャビテーションが発生し、間隙水が気化して土の含水比が低下するものと思われる。



図3 トンネル工事の事例

4. 軟弱地盤の圧密促進

SWP工法は粘性土地盤の圧密促進にも有効である。初期の加圧・減圧繰り返しの洗浄により地盤内に水みちをつけて透水性を向上させていること、キャビテーションによる脱水気化がそのメカニズムと思われる。通常のPVDなどに比べ、大幅に期間が短縮できること、1本の有効半径が大きく工費が軽減できることなどが特長である。試験工事を行った現場を対象にFEM弾塑性解析を行った。図4に解析モデルと入力パラメータを示す。粘土層の下方に砂層があったので、ここからSWPにより-85kPaの負圧を負荷する。SWPの周りには透水係数 $k=10^{-1}\text{cm/s}$ のスクリーンを設けた。SWPによる負圧負荷後65日目に高さ2m盛土をし、その後も負圧負荷を継続した。図5は、盛土載荷後75日目の間隙水圧のコンターを示す。図中+記号が負圧であり、黄緑から赤色は負圧を意味する。井戸下部から地表面に向けて負圧領域が広がっている。本解析では、水は連続体としているため、水圧が-350kPaの負圧に至っているが、実際は、-97kPa付近でキャビテーションを起こし、気化を生じる。-100kPa以下の領域はキャビテーションを起こし、不飽和状態になっている可能性がある。図6は、井戸中央から側方30mの位置までの間隙水圧の深度分布を示している。初期の静水圧は、地表面では0で深度方向に増加する。SWPの井戸内を-85kPaまで減圧した場合井戸から離れるほど間隙水圧の低下度合いは低くなるが、井戸から20mより近傍では、地盤上部が負圧となり、-100kPa以下となっている。この領域ではキャビテーションの発生が推測される。参考文献:1)角田・白江・尾崎・高橋:沼川新放流口建設工事(富士海岸)における地下水位低下について、令和5年土木学会全国大会第78回年次学術講演会, VI-1039.

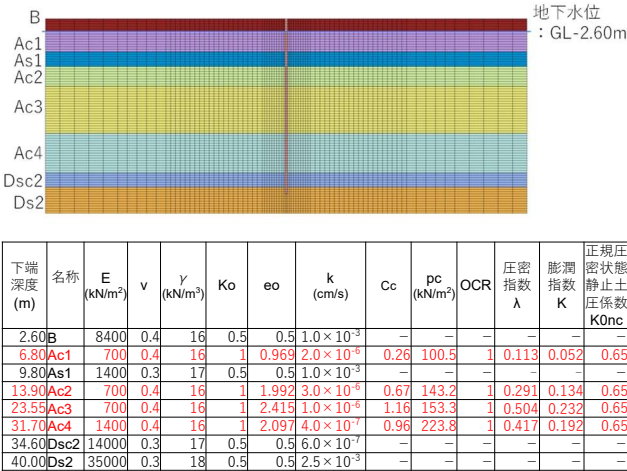


図4 解析モデルと入力パラメータ

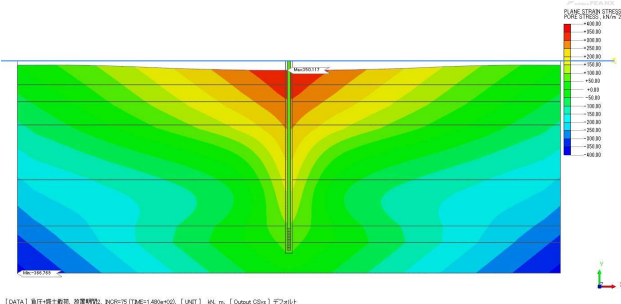


図5 盛土載荷後75日目の間隙水圧のコンター

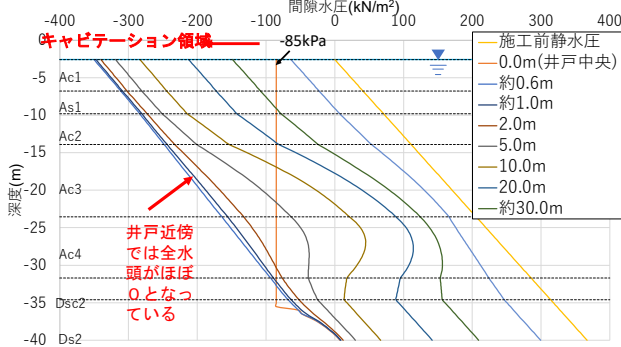


図6 盛土載荷後75日目の間隙水圧のコンター