

## すっからかーん工法とその応用技術

地下水揚水、地盤浄化、液状化対策

有限会社アサヒテクノ 正会員 高橋茂吉  
有限会社アサヒテクノ 尾崎哲二

### 1. はじめに

スーパーウェルポイント工法（以下、SWP 工法という）は真空ポンプと水中ポンプを利用した地下水位低下工法であり、比較的多量の地下水を揚水する。一方、SWP 工法に地下空気を吸引する機能を付加したすっからかーん工法（以下、SKK 工法という）は地下水面が低下した不飽和地盤の間隙水や揮発性物質を気化させ回収する。

本稿では、これらの工法の概要について述べ、その応用技術として考案した液状化対策について紹介する。

### 2. SWP 工法およびSKK 工法

SWP 工法で設置する井戸（以下 SWP 井戸）の構造図を図1に示す。井戸管は閉じた構造をしており、開口部は揚水管をのぞけば上蓋の空気吸引孔と井戸管下部の吸水孔のみである。スクリーンは井戸管にスリットを設ける方式ではなく、分離して井戸管を取り囲むように配置する。主要な装置は吸引孔の直上に設置する水中ポンプと地上に設置する真空ポンプである。井戸管の深度やスクリーンの設置区間は現状の地下水位や低下目標の地下水位をもとに計画する。

揚水の仕組みは、“真空ポンプで井戸内の空気を減圧して地下水を集め、集まる地下水を水中ポンプで揚水する”というものである<sup>1)</sup>。地下水に負圧を与えて集める機能を真空ポンプが、これを揚水する機能を水中ポンプが担う。この仕組みにより深い深度の地下水に対しても同様の効果を発揮する。

SWP 工法では揚水により地下水面が低下しはじめるとスクリーン部を介して水面上の地下空気が井戸内に吸引される。そのため、井戸内の減圧が弱まり、同時に地下水の負圧も減じる。しかし、その空気量は0.5~1.5m<sup>3</sup>/minの範囲に、対応する負圧は-0.08~0.06Mpaの範囲にあり、地下水の集水能力が大きく低下することはない。

水は揮発性物質である。地下水面上の不飽和地盤では地下空気が動かなければその水蒸気はほぼ飽和状態にあり間隙水の変化は少ない。しかし、地下空気が吸引されて減圧すれば水蒸気圧が低下して間隙水は蒸発する。地下空気が絶えず吸引されれば蒸発は継続して空隙は大きくなる。このため、地下空気が吸引されやすくなり蒸発はさらに進む。上述の SWP 工法における地下空気の吸引はこのようにして地盤の含水比を低下させる。

飽和した地盤の間隙は水で満たされている。これをディープウェル工法（以下、DW 工法という）で揚水した場合、揚水される水は重力に支配される水（自由水）だけである。間隙には毛管水や吸着水が残留する。しかし、本工法では地下空気を吸引するため残留する間隙水は蒸発して含水比はさらに低下する。

この SWP 工法に下記の改良を加え、地下水回収の効率を高めて地下空気吸引の能力を大きくした工法がSKK 工法である<sup>2)</sup>（図2参照）。

- ① 井戸管に沿って吸引パイプを設置し、これをブロアーで吸引する。
- ② 対象地盤を遮水壁（鋼矢板など）で囲う。
- ③ 地表部に空気遮断措置を講じる。

SWP 工法は釜石市で実施した防潮堤水門基礎工事（岩手県沿岸広域振興局農林部）において水替工として利用された。施工では多量の地下水を揚水して良好な水位低下を示した。また、鋼管杭からの上昇流を減じ砂のパイピング防止にも寄与した。一方、SKK 工法は岩手県二戸市の県境部に位置する産業廃棄物不法投棄現場において、地盤中の汚染物質（VOCs）の原位置浄化技術（岩手県生活環境部）として採用され、良好な浄化が得られた<sup>4)</sup>。

SKK method and applied technology

Shigeyoshi Takahashi and Tetsuji Ozaki, ASAHITECHNO CORP.

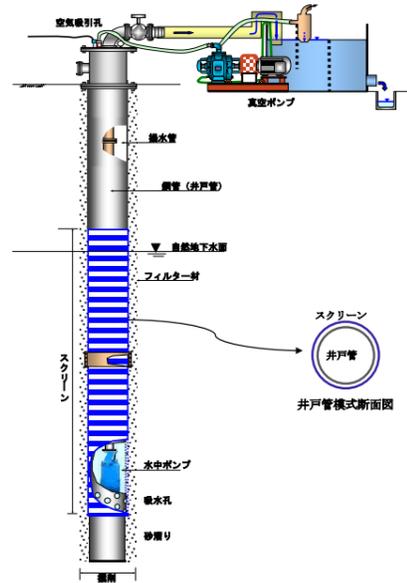


図1 SWP 井戸の構造図

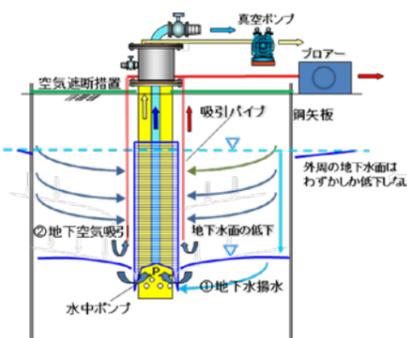


図2 SKK 工法の概要図

### 3. SKK 工法による砂地盤の液状化対策

砂地盤の液状化対策の一つとして、飽和度を 90%程度にすると効果的であることが知られる。このため、どのようにして飽和度を低下させるか、すなわち空気をどのようにして封入するかがポイントである<sup>5)</sup>。

SKK 工法では地下水面を大きく下げ、地下空気を吸引するため DW 工法に比べ、含水比が大きく低下することを前述した。

ここで、土質の粒径と比浸出量・比保留量の関係を図3に示す。比浸出量は有効間隙率と同じと考えてよい。図3でDW 工法とSKK 工法を比較すると、DW 工法では青色で示す間隙水（比浸出量）のみの排水となり、黄色で示す間隙水（比保留量）は残留する。しかし、SKK 工法では青色の間隙水の回収に加えて黄色で示す間隙水を減圧蒸発させ回収する。

そこで、飽和した砂を水位低下により含水比を低下させたのち、復水したらどのような飽和度になるのか簡単な実験を試みた。

使用した試料は砂分97.6%、残り2.4%はシルト・粘土分の砂である。

実験ではカップ（600cc）に水を満たしたあと水中落下法により砂を入れ、その時の飽和度（初期飽和度）を測定する。次にカップの底から重力排水させたのち、一方は自然乾燥させ、他方は真空ポンプを使って減圧蒸発（-0.082MPa、真空乾燥）させる。その後、カップの底から復水させ飽和度（復水後飽和度）を測定するというものである。実験試料は自然、真空乾燥とも13試料であった。

実験結果を図4、5に示す。なお、初期飽和度については自然乾燥、真空乾燥ともほぼ同じ値を示した。

図4は初期飽和度と復水後飽和度の関係を示す。図4より、自然乾燥、真空乾燥とも復水後飽和度が初期飽和度に比べ低下している。両者を比較すると自然乾燥では3~5%の低下、真空乾燥では7~9%の低下であり真空乾燥の方が飽和度の低下が大きい。

図5は砂の相対密度と飽和度比（復水後飽和度 / 初期飽和度）との関係を示す。図5より、相対密度の大小にかかわらず自然乾燥、真空乾燥ともに飽和度が低下している。また両者とも相対密度が大きい場合には飽和度の低下は小さくなる。しかし、この場合でも真空乾燥では5%以上の低下を示す。

以上より、地下水位低下・復水による方法は飽和度低下（空気封入）に効果があること、また真空ポンプを使った真空乾燥による方法が自然乾燥による方法に比べ飽和度の低下が大きいことが確認される。

前述の釜石市の防潮堤水門の建設は完成を待たず、2011年3月11日に発生した震災により大きな損傷を受けた。しかし、SWP 工法で水替工を実施した場所では液状化が生じていなかった。この原因について調査したいと考えている。

### 4. まとめ

震災復興の建設工事において水替工は必要になる技術である。今回の場合、地下水が豊富な沿岸地域での工事が多く見込まれ、その排水方法は建設工事の進捗に影響を与えることが予想される。SWP 工法はこれらの工事に力を発揮することが期待される。またSKK 工法は汚染地盤の浄化技術として、さらには液状化対策の技術として有望である。

参考文献

- 1) 尾崎哲二、高橋茂吉、中山比佐雄、神野健二(2007); 真空ポンプを利用した新しい地下水位低下工法, CE リポート, 土木学会誌 Vol.92 No.8 August, 2007
- 2) 尾崎哲二、高橋茂吉(2010); 地下水と地下空気の回収による地盤改良, 技術紹介, 地盤工学会誌, 58-5(628), May, 2010
- 3) 古村哲史、合田弘司、高橋茂吉、尾崎哲二(2010); 防潮堤水門基礎工事における地下水位低下工法, 土木学会第65回年次学術講演会, pp543-544, 2010.9
- 4) 尾崎哲二・高橋裕幸・高橋慶吉・岡野英樹・片桐章・木幡剛(2010); 廃棄物不法投棄岩手県側サイトにおける VOC 複合汚染土壌の減圧ガス吸引法による浄化実証試験, 第17回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, pp544-549
- 5) 藤井直, 西垣誠, 大内正敏(2010); 飽和砂の液状化強度特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 C Vol.66 No.3, 564-576, 2010.8
- 6) 水収支研究グループ編 (1993); 地下水資源・環境論—その理論と実践, 共立出版株式会社から引用・加筆

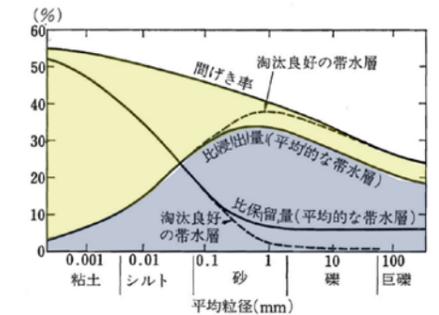


図3 粒径と比浸出量・比保留量との関係

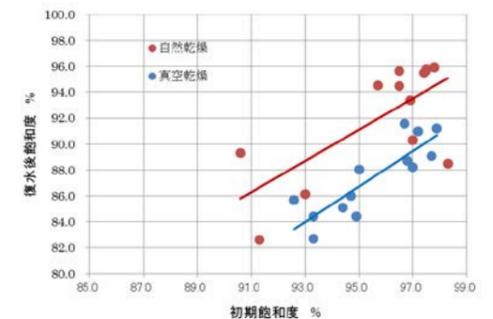


図4 初期飽和度と復水後飽和度との関係

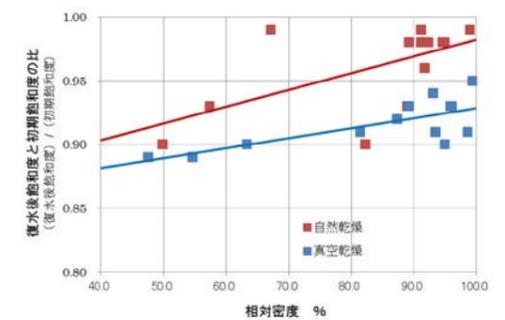


図5 相対密度と飽和度比との関係 (復水後飽和度 / 初期飽和度)