

地下水と地下空気の回収による地盤改良

Soil Improvement by Groundwater Pumping and Ground Air Suction

尾崎 哲二 (おざき てつじ)

(株)アサヒテクノ 東京営業所長 (株)NBH 技術顧問

高橋 茂吉 (たかはし しげよし)

(株)アサヒテクノ 代表取締役社長

1. はじめに

地盤改良技術には多くの技術がある。このうち地盤の水分を排除して改良を図る工法に水替工と圧密脱土工法がある。前者は揚水により地下水面を低下させて含水比を下げ、掘削時のワーカビリティの向上を図る。後者は地盤を圧縮することにより間隙水を排水させて密度を高め、強度を増加させるものである。

地下水位低下工法の一つであるスーパーウェルポイント工法（以下、SWP工法と言う）が、地下水と地下空気を回収することにより地盤の改良効果の得られることがわかった。本稿では、SWP工法による地下空気の吸引技術を紹介し、この工法による地盤の改良効果と適用について述べる。

2. スーパーウェルポイント工法

SWP工法で設置する井戸（以下、SWP井戸と言う）の構造図を図-1に示す。鋼管（井戸管）は閉じた構造をしており、開口部は揚水管を除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。主要な装置は吸水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。

SWP工法の仕組みを図-2に示す。

井戸を真空ポンプで吸引すると井戸内の空気は減圧する。空気と接する地下水面には同じ圧力（負圧）が働くため地下水も負圧になる。

ディープウェル工法（以下、DW工法と言う）では井戸内の地下水面の圧力は大気圧（圧力ゼロ）であり、これと比較すれば地下水のピエゾ水頭（=位置水頭+圧力水頭）が低下する。そのため外部の地下水のピエゾ水頭との差が大きくなる。すなわち動水勾配が大きくなる。その結果、多量の地下水が井戸に流れ込む。そしてこれを水中ポンプが揚水する。このようにSWP工法では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。

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（負圧）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 $0.5 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{min}$ の範囲に、対応する負圧は $-0.08 \sim -0.06 \text{ Mpa}$ の範囲にあり、地下水の集水能力が大きく

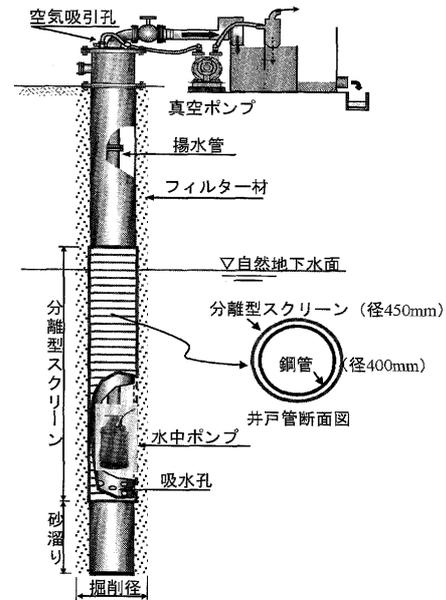


図-1 SWP井戸の構造図

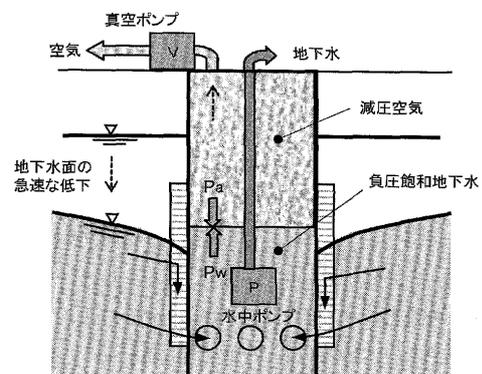


図-2 SWP工法の仕組み

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であり間隙の水分量の変化は少ない。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。これを揚水した場合、揚水される水は重力に支配される水（自由

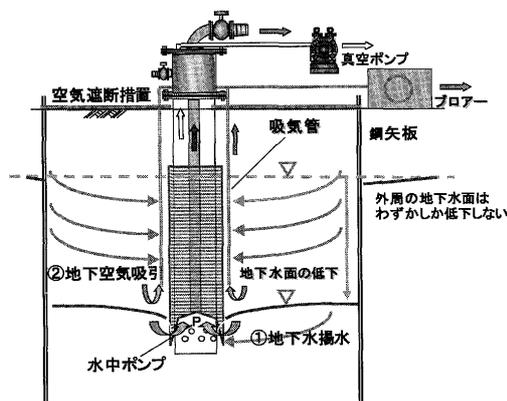


図-3 SKK 工法の概要図

表-1 DW 工法, SWP 工法および SKK 工法の比較

項目	DW 工法	SWP 工法	SKK 工法
主要装置	水中ポンプ	水中ポンプ, 真空ポンプ	水中ポンプ, 真空ポンプ, フロアー
スクリーン	一体型	分離型	分離型
補助設備			鋼矢板, 空気遮断措置, 吸気管
回収物質	地下水	地下水, 地下空気	地下水, 地下空気
揚水量	比較的少	比較的大	比較的大
地下空気	なし	回収, 減圧	比較的多量に回収, 減圧大

水) だけであり間隙には毛管水や吸着水が残留する。DW 工法で揚水する場合にはこの状態であると考えられる。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し空隙は大きくなる。

SWP 工法に下記①から③の改良を加えた工法（以下、SKK 工法と呼ぶ）もある。SKK 工法では、地下水回収の効率が高められ、地下空気の吸引能力も増加する（図-3 参照）。

- ① 井戸管に沿って吸気管を設置し、これをフロアーで吸引する。
- 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。

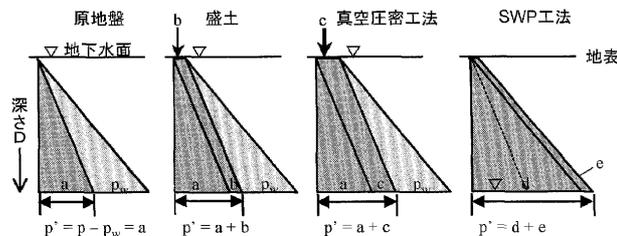
地下水と地下空気の回収について DW 工法, SWP 工法および SKK 工法を比較すると表-1 のようである。

3. 地盤の改良効果と適用

SWP 工法を水替工に用いた場合、DW 工法に比べ多量の地下水を揚水するため地下水面の低下が速い。同時に地下空気を吸引するため地盤の含水比が大きく低下する。この結果、掘削や運搬におけるワーカビリティが向上する。残土処分では石灰などによる処理が不要となる。

SWP 工法の水分低下のメカニズムは圧密脱水工法として応用できる。

軟弱地盤の地盤改良に用いられる圧密脱水工法は地盤に上載荷重（盛土）をかけて圧縮（圧密）し、間隙水を排水して土の密度を高めるものである。また、真空ポンプにより地下水を減圧して圧縮力を発生させ、間隙水を



p': 有効応力, p: 原地盤の全応力, p_w: 水圧(中立応力), a: 原地盤の有効応力, b: 上載圧による応力, c: 間隙水の減圧による応力, d: 湿潤土による応力, e: 地下空気の減圧による応力

図-4 有効応力の比較

排水して地盤を圧密する真空圧密工法がある²⁾。

これらは地下水面を低下させることなく土の密度を高める工法であり、排水には鉛直ドレーンが利用される。

SWP 工法を圧密脱水工法として用いる場合の手順は次のとおりである。

まず、地下水を揚水して水面を低下させる。これにより、それまで働いていた浮力がなくなり、その分が圧縮力として働く。この時の排水は前述の圧密脱水工法の場合に比べ速く、土の圧縮も比較的短期間に進む。かつて過剰な地下水揚水により生じた地盤沈下はこの理由によるものである。

水位低下後、不飽和となった地盤の地下空気を吸引する。これにより残留する間隙水は蒸発して回収され、空隙は次第に大きくなる。そのため圧縮はさらに進む。

この工法では地下空気が負圧となる。真空圧密工法では地下水を負圧にして地盤を圧縮する力とした。同様に負圧地下空気により圧縮力の生じることが推測される。

以上の内容について、地盤に働く有効応力を比較すると図-4 のようである³⁾。SWP 工法では有効応力が下方において強く働くことがわかる。

SWP 工法を圧密工法として利用する場合、地質や地下水の存在状況により地下水面低下の速さや地下空気の吸引力に差が生じる。圧密効果が不足と考えられる場合には SWP 井戸の増設、空気吸引井戸の設置、鋼矢板の設置あるいはその範囲の再設定などが必要である。

4. おわりに

SWP 工法（SKK 工法含む）を紹介し、これを利用した地盤改良技術について述べた。今後、データを得ながら SWP 工法による地盤改良技術の確立を目指したい。

（株）建設技術研究所の孫建生博士には圧密工法についてご教授いただいた。ここに記してお礼を申しあげる。

参考文献

- 1) 尾崎哲二・高橋茂吉・中山比佐雄・神野健二：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, pp. 68~69, 2007.
- 2) 今井五郎：招待論文「真空圧密工法」のさらなる発展に向けて—真空圧を利用した地盤改良の原理とその適用—, 土木学会論文集, No. 789/VI-68, pp. 1~16, 2005.
- 3) 山内豊聡：土質力学, 理工図書, pp. 77~78, 1981.

(原稿受理 2010.2.1)