

24. 井戸に揚水と同時に真空圧を作用させる 地下水水位低下工法の室内実験による検討

○細川土佐男 (九州産業大学)・中山比佐雄 ((有)シエスタクラブ)

1. はじめに

地下水低下のための工法には、重力排水による工法と強制排水による工法がある。工法の選定は、地盤の透水性、工事規模、環境条件等を考慮して行われるが、地下水水位が深く地盤の透水性が低い場合には、水位低下の効果を向上させる目的で、井戸内部からポンプ揚水を行うと同時に真空圧を作用させる地下水水位低下工法が選定される¹⁾。この工法における真空圧の効果は、実験等により十分に検討されていないようである。

そこで本研究は、井戸にポンプによる揚水と同時に真空圧を作用させる地下水水位低下工法において、真空圧が地下水水位の低下や揚水流量の増大に及ぼす効果および井戸ストレーナ下端の高さ、井戸ストレーナの長さが地下水水位低下にどのように関係するか等について室内実験により検討を行った。

2. 実験装置および測定方法

図-1に示すように、実験には井戸からの揚水による井戸に向かう浸透流を考慮して半円筒の水槽を用いた。水槽の大きさは直径 231.0cm、高さ 64.0cm で、円周上の外壁と底は鋼板で、半円筒の切り口面側(装置前面)はアクリル板で出来ている。水槽の外壁から 15.5cm 内側の直径 200.0cm の円周にステンレス製の金網を設置している。この金網と外壁の間が貯水槽になっており、水位測定用の多孔管と水位可変用の排水管を底から取り付けている。井戸は直径 3.5cm、全長 50.0cm、ストレーナの長さが 12.0cm の円筒で、半円筒の水槽の中心線に井戸の中心線を合わせ装置前面のアクリル板の内側面から円筒の半分が出るように設置している。水槽の底には、地下水水位測定用の多孔管を井戸の中心から外壁に向かって 10.0cm 間隔で鉛直に設置し、水槽前面のアクリル板には、帯水層の圧力水頭測定用の細孔を鉛直方向に 9.0cm から 21.6cm までは 3.0cm 間隔、21.6cm から 35.6cm までは 5.0cm 間隔の高さで、井戸中心から水平方向に 6.5cm から 18.5cm までは 3.0cm、18.5cm から 33.5cm までは 5.0cm 間隔の位置にあけてマンメータを接続している。このように各装置を設置した水槽に水を貯水しながら 6号 珪砂を帯水層に気泡が残らないように水槽の上端まで充填し、直径 200.0cm、高さ 64.0cm の浸透層を作成した。

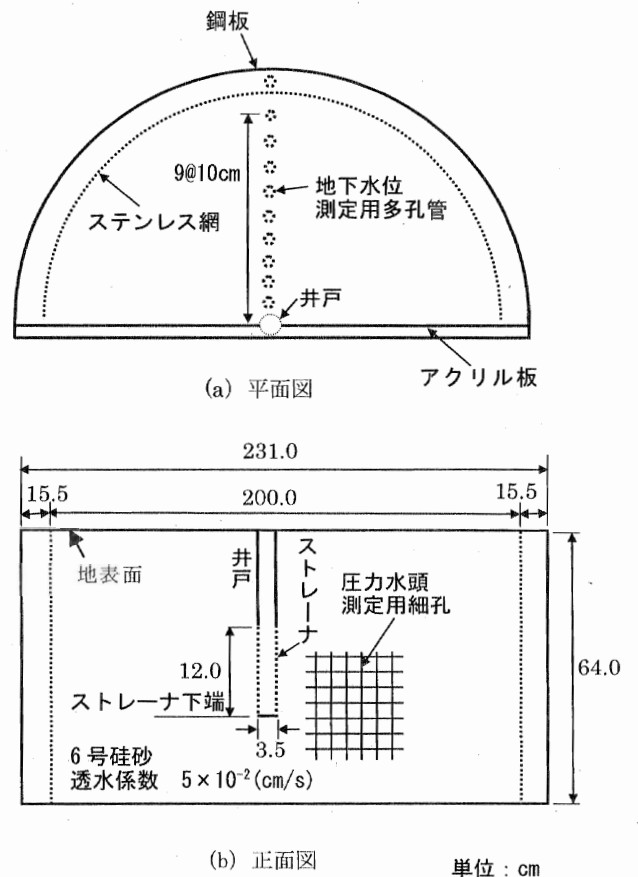


図-1 実験装置の概略

実験は、井戸ストレーナの下端の高さを 14.5cm、24.5cm、34.5cm、井戸ストレーナの長さを 3.0cm、6.0cm、12.0cm、井戸内の圧力を 0.0kgf/cm² (重力排水)、-0.05 kgf/cm²、-0.102 kgf/cm²、-0.204 kgf/cm² を組み合わせた 36 ケースについて行った。揚水流量、圧力水頭、地下水位の測定は、貯水槽の水位を装置の底から 55.0cm の高さに、井戸内の水位をストレーナの下端から 3.0cm の高さに設定し、井戸に大気圧および真空圧を作用させながら揚水を行い、地下水位が変化しなくなった状態で行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 井戸内圧力と地下水位および水位低下量の関係

図-2 には、ストレーナ下端の高さが 14.5cm、ストレーナの長さが 3.0cm の場合、図-3 にはストレーナ下端の高さが同じでストレーナの長さが 12.0cm の場合の井戸内圧力の違いによる地下水位の低下状況を示している。井戸内圧力が 0kgf/cm² の重力排水と比べて井戸内に真空圧を作用させたほうが地下水位の低下が大きくなっている。しかも、真空圧が大きくなるにつれて水位低下も大きくなり、ストレーナの長さが 3.0cm では井戸内圧力が -0.204 kgf/cm² のとき、ストレーナの長さが 12.0cm では圧力が -0.102kgf/cm² より大きいとき井戸中心からの距離が 10cm、20cm の位置の地下水位が井戸内水位とほぼ同じ高さになっている。これは井戸中心からの距離が 20cm より小さい位置の地下水が真空圧により井戸に吸い寄せられるためではないかと考える。また、ストレーナの長さが短い場合と長い場合の地下水位の低下状況を比べてみると、井戸内圧力が最も大きい -0.204 kgf/cm² のときの両方の地下水位はほぼ同じ高さを示しているが、圧力が -0.102 kgf/cm² より小さいときはストレーナが長いほうの地下水位が短いほうの地下水位より大きく低下している。なお、重力排水の地下水位低下は、ストレーナの長さによる違いは見られない。

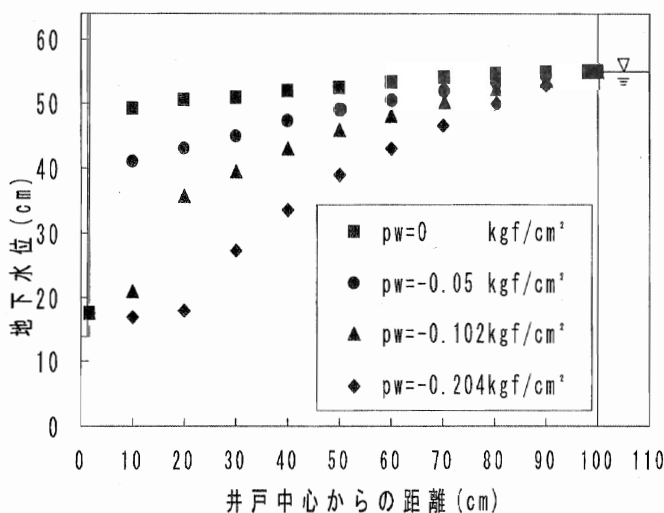


図-2 井戸内圧力と地下水位
 [ストレーナ下端の高さ:14.5cm
 ストレーナの長さ:3.0cm]

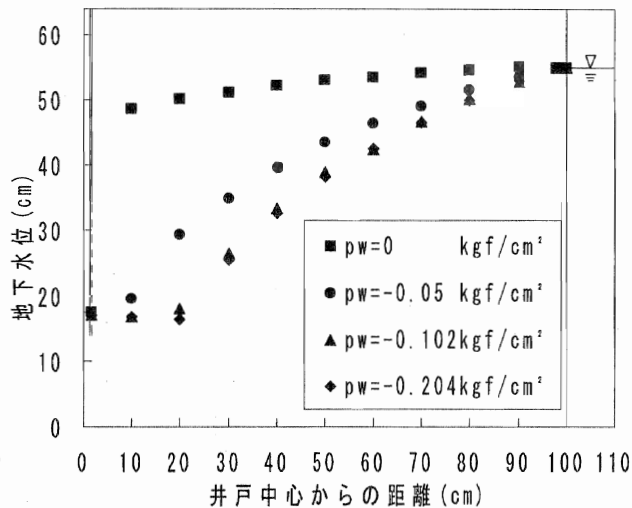


図-3 井戸内圧力と地下水位
 [ストレーナ下端の高さ:14.5cm
 ストレーナの長さ:12.0cm]

図-4 には、ストレーナ下端の高さが 34.5cm、ストレーナの長さが 3.0cm の場合、図-5 には井戸下端の高さが同じでストレーナの長さが 12.0cm の場合の井戸内圧力の違いによる地下水位の低下状況を示している。この場合も井戸内の真空圧が大きくなると地下水位の低下も大きくなっている。しかし、ストレーナの長さが 3.0cm では、井戸内圧力が -0.102kgf/cm² のときに井戸中心から 10cm、圧力が -0.204kgf/cm² のときに 10.0cm および 20cm の地下水位がストレーナ下端の高さより低く、ストレーナの

長さが 12.0cm では圧力が -0.05kgf/cm^2 のときに井戸中心から 10cm、圧力が -0.102kgf/cm^2 のときに 10cm および 20cm の地下水位がストレーナ下端の高さより低くなっている。このことから井戸中心から 10cm および 20cm 離れたところまで真空圧が影響を及ぼし地下水が井戸に吸い上げられていることが考えられる。

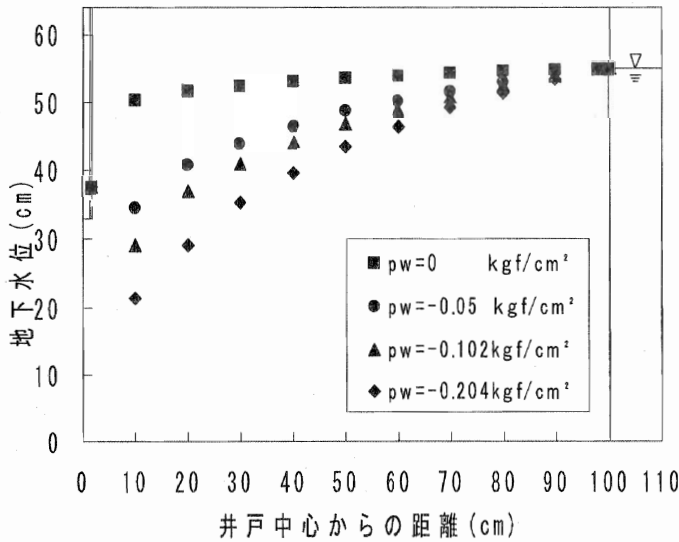


図-4 井戸内圧力と地下水位
 [ストレーナ下端の高さ:34.5cm
 ストレーナの長さ:3.0cm]

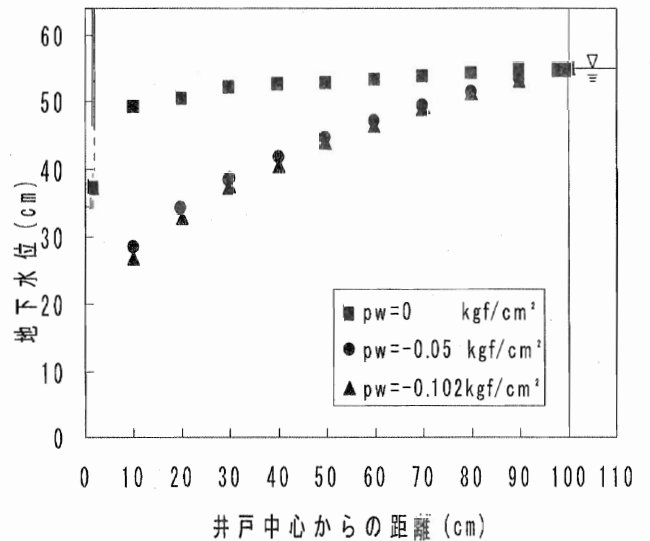


図-5 井戸内圧力と地下水位
 [ストレーナ下端の高さ:34.5cm
 ストレーナの長さ:12.0cm]

図-6 には、ストレーナ下端の高さが 14.5cm、ストレーナの長さが 3.0cm の場合、図-7 には井戸下端の高さが同じでストレーナの長さが 12.0cm の場合の井戸内圧力の違いによる井戸中心からの距離と地下水位低下量の関係を片対数紙にプロットしている。井戸内圧力が 0kgf/cm^2 の重力排水の場合、ストレーナの長さが 3.0cm あるいは 12.0cm とも井戸中心からの距離と地下水位低下量の関係が一般的に言われている²⁾ようにほぼ直線になっている。しかし、井戸内に真空圧を作用させるとストレーナの長さが 3.0cm あるいは 12.0cm とも井戸中心からの距離が 20cm から 100cm までは井戸中心からの距離と地

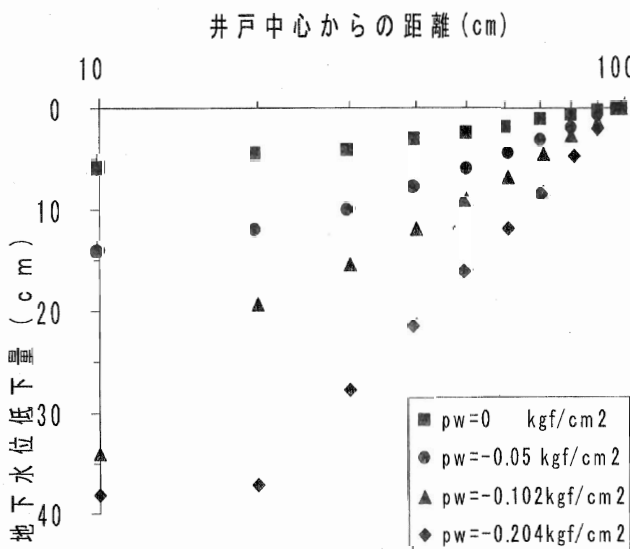


図-6 井戸内圧力と水位低下量:
 [ストレーナ下端の高さ:14.5cm
 ストレーナの長さ:3.0cm]

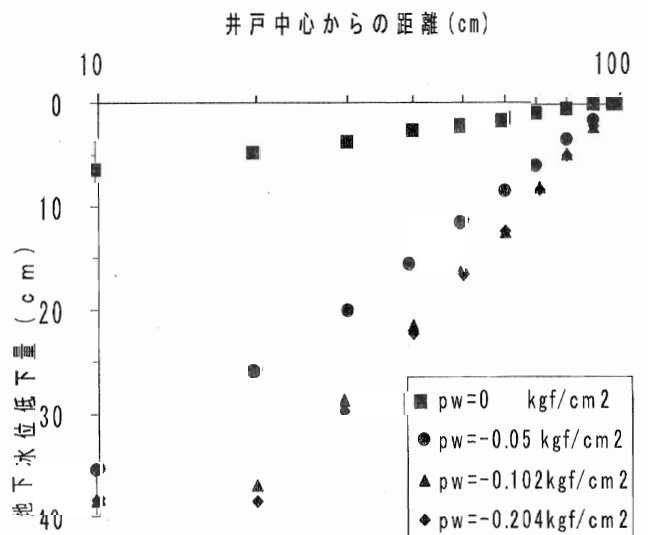


図-7 井戸内圧力と水位低下量:
 [ストレーナ下端の高さ:14.5cm
 ストレーナの長さ:12.0cm]

地下水位低下量の関係がほぼ直線になるが、井戸中心からの距離が 10cm の地下水位低下量は直線から大きく外れている。このことから井戸中心からの距離が 10cm 位まで地下水は、井戸内の真空圧の影響を受けていると言える。

3. 2 ストレーナ下端の高さおよびストレーナの長さとの関係

図-8には、井戸内圧力が -0.204kgf/cm^2 、ストレーナの長さが 3.0cm の場合、図-9には井戸内圧力が同じでストレーナの長さが 12.0cm の場合のストレーナ下端の高さの違いによる地下水位の低下状況を示している。ストレーナ下端の高さが低いほどすなわち初期地下水位から深く貫入させるほど真空圧の効果が発揮され地下水位が大きく低下している。ストレーナの長さが 12.0cm でストレーナ下端の高さが 34.5cm の場合は、地表面にストレーナの上端が最も近くなるため地表面から大気圧を井戸内に吸引し、地下水位の低下が起こらなかった。

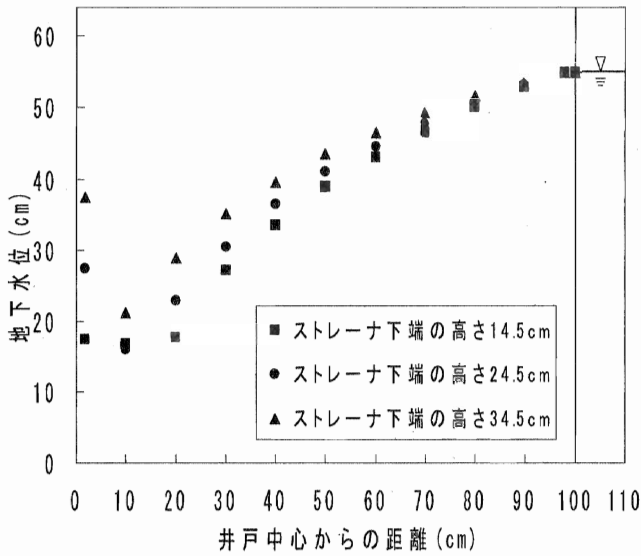


図-8 ストレーナ下端の高さと地下水位
 井戸内圧力: -0.204kgf/cm^2
 ストレーナの長さ:3.0cm

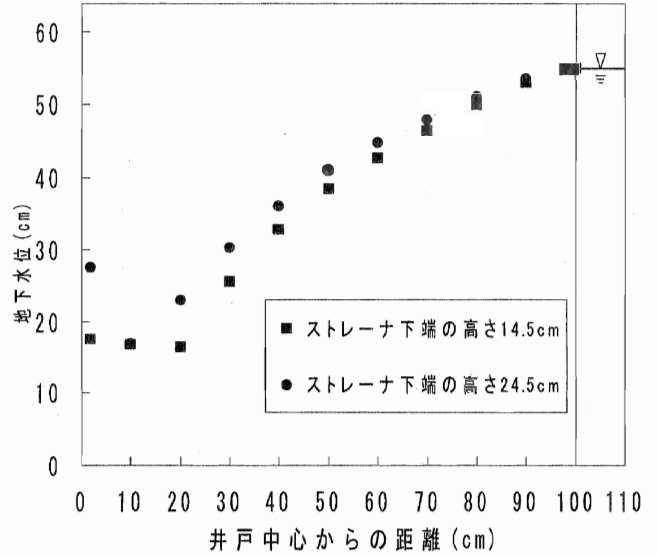


図-9 ストレーナ下端の高さと地下水位
 井戸内圧力: -0.204kgf/cm^2
 ストレーナの長さ:12.0cm

図-10には、井戸内圧力が -0.204kgf/cm^2 、ストレーナ下端の高さが 34.5cm の場合、図-11には井戸内圧力が同じでストレーナ下端の高さが 14.5cm の場合のストレーナの長さの違いによる地下水位の低下状況を示している。ストレーナ下端の高さが 34.5cm の場合には、ストレーナの長さが 6.0cm のときが真空圧の効果が効率的に発揮され、ストレーナの長さが 3cm の地下水位より大きく低下し、12.0cm の地下水位とほぼ同じ高さを示している。ストレーナ下端の高さが 14.5cm の場合には、ストレーナの長さの違いにより地下水位の低下の大きさは変わらない。すなわち、ストレーナの長さが短くても真空圧の効果が発揮され地下水位が大きく低下する。

3. 3 井戸内の圧力と揚水量の関係

図-12(a)には、ストレーナ下端の高さが 14.5cm でストレーナの長さが 3.0cm の場合、(b)にはストレーナ下端の高さが同じでストレーナの長さが 12.0cm の場合の井戸内圧力の違いによる揚水量を示している。井戸内の圧力が負の方向に大きくなると揚水量も大きくなっている。図-2、3に示した井戸内圧力の変化に対する地下水位の低下の大きさと揚水量の大きさの関連を見てみると、ストレーナの長さが 3.0cm では、揚水量が大きくなると地下水位も大きく低下している。ストレーナの長さが 12.0cm では、井戸内圧力が -0.05kgf/cm^2 のときよりも -0.102kgf/cm^2 のときが揚水量も大きくなり地下水位も大

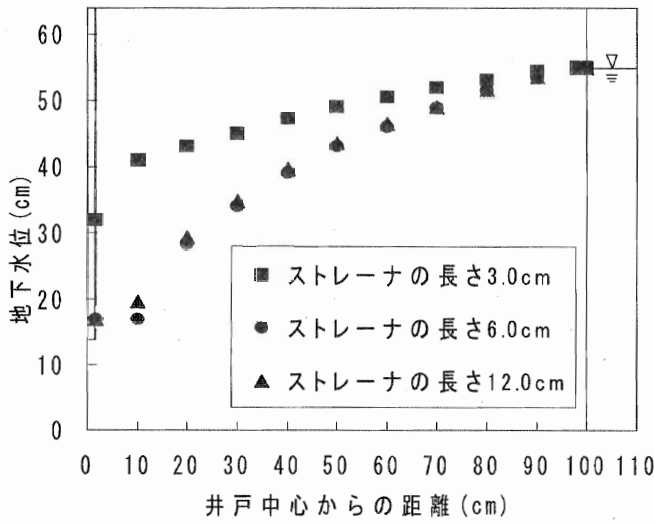


図-10 ストレーナの長さで地下水水位
井戸内圧力: -0.204 kgf/cm^2
ストレーナ下端の高さ: 34.5 cm

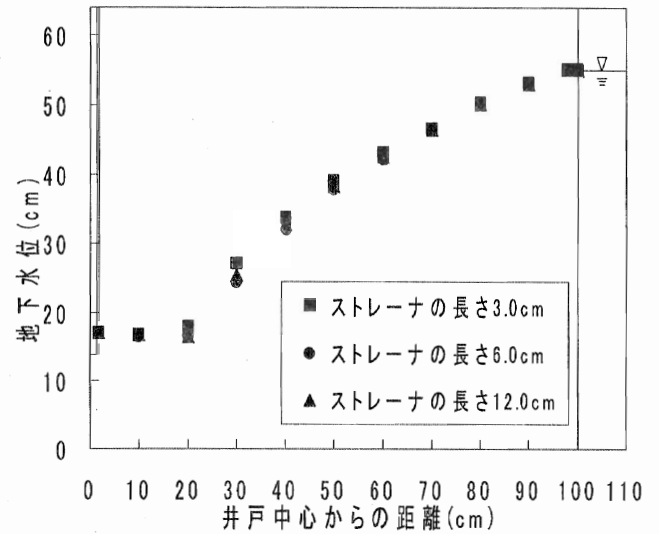
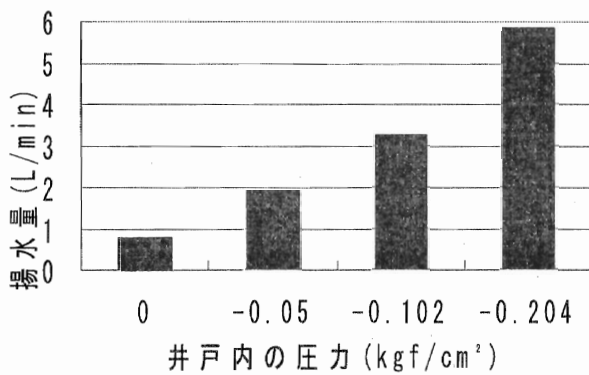
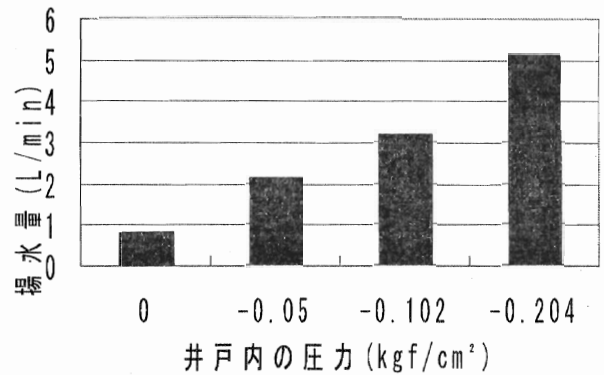


図-11 ストレーナの長さで地下水水位
井戸内圧力: -0.204 kgf/cm^2
ストレーナ下端の高さ: 14.5 cm

大きく低下している。しかし、井戸内圧力が -0.204 kgf/cm^2 では、 -0.102 kgf/cm^2 のときよりも揚水量は大きくなっているが地下水水位はほとんど変わらない。このことからストレーナの長さを 12.0 cm 、井戸内圧力を -0.102 kgf/cm^2 に設定すると効率よく地下水水位の低下が行われることになる。



(a) ストレーナの長さ 3.0 cm



(b) ストレーナの長さ 12.0 cm

図-12 井戸内圧力と揚水量

3.4 真空圧の伝播

図-13には、井戸内圧力が -0.204 kgf/cm^2 、ストレーナ下端の高さが 14.5 cm 、ストレーナの長さが 12.0 cm のときの井戸近傍の帯水層に配置した細孔にマンメータを連結し、測定した圧力水頭から求めた水圧の等値線と地下水水位の測定値を●印で示している。

真空圧は井戸中心からの距離が 10 cm から 20 cm の間まで伝播し拡がっている。この付近の地下水水位は井戸内の水位とほぼ同じになっている。

3.5 ストレーナの長さでストレーナ下端の高さの関係

図-14には、井戸内圧力を -0.204 kgf/cm^2 に設定し、井戸ストレーナの下端の高さを 14.5 cm 、 24.5 cm 、 34.5 cm 、井戸ストレーナの長さを 3.0 cm 、 6.0 cm 、 12.0 cm を組み合わせた9種類の実験により得られた地下水水位の測定結果を用い、実験ごとに井戸の水位、地下水水位および貯水槽の水位を直線をつないで求め

た地下水面から上の不飽和領域の面積を浸透層の半分の面積で割った不飽和領域の面積比の等値線を示している。ストレーナ下端の高さが約 22cm より小さい場合よりも大きい場合がストレーナの長さが面積比に与える影響が大きい。また、図からストレーナ下端の高さが小さく、すなわち深く貫入させてストレーナの長さを 7cm 程度にすれば面積比が最も大

きくなる。しかし、面積比の値と地下水位の低下の度合いとの関係はさらに検討する必要がある。

4. おわりに

本研究では、井戸に真空圧を作用させながら揚水を行う地下水位低下工法の真空圧と地下水位の低下量および揚水流量の関係あるいは井戸ストレーナ下端の高さ、井戸ストレーナの長さが地下水位低下にどのように関係するかを室内実験により検討した。その結果、以下のようなことがわかった。

(1) 重力排水と比べて井戸内に真空圧を作用させたほうが地下水位の低下が大きくなる。また、真空圧が大きくなるにつれて水位低下も大きくなり、井戸内に作用させる真空圧が大きいと井戸近傍の地下水位が井戸内水位とほぼ同じ高さまで低下する。

(2) 井戸内に作用させる真空圧が大きくなると揚水量も大きくなる。また、揚水量が大きくなると地下水位も大きく低下する。

(3) 真空圧が帯水層の井戸近傍まで伝播し拡がり、この拡がった範囲の地下水位は井戸内の水位とほぼ同じ高さになる。

(4) ストレーナ下端の高さが約 22cm より小さい場合よりも大きい場合がストレーナの長さが面積比に与える影響が大きい。また、ストレーナ下端の高さが小さく、すなわち深く貫入させてストレーナの長さを 7cm 程度にすれば面積比が最も大きくなる。しかし、面積比の値と地下水位の低下の度合いとの関係はさらに検討を行う必要がある。

今後は、透水性がさらに小さい浸透層で実験を行い、今回の結果と比較検討を行う予定である。

謝辞：本研究を行うにあたり、九州大学工学研究院神野健二教授、(有)アサヒテクノ高橋茂吉氏から貴重なご意見をいただいた。この場を借りて謝意を申し上げます。

参考文献

1) 土木施工管理技術協会 (2000) : 土木施工管理技術テキスト専門土木編 (水工)、363~367。
2) 河野伊一郎 (1989) : 地下水工学、98~99。

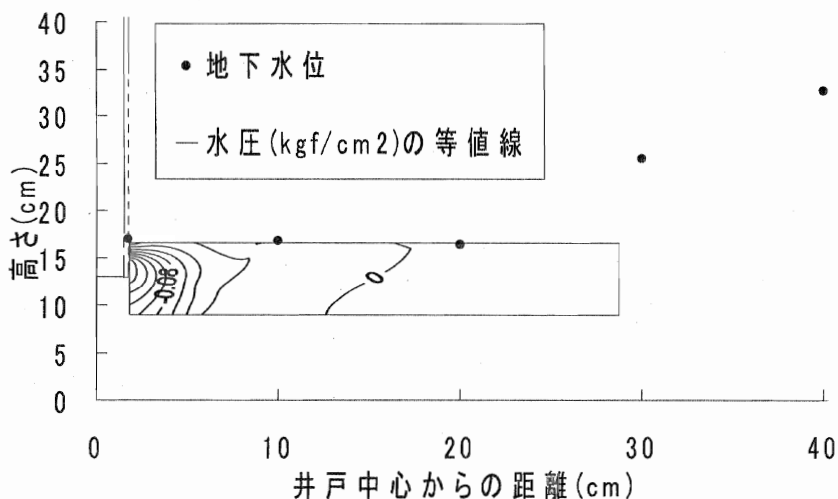


図-13 井戸近傍の帯水層の真空圧

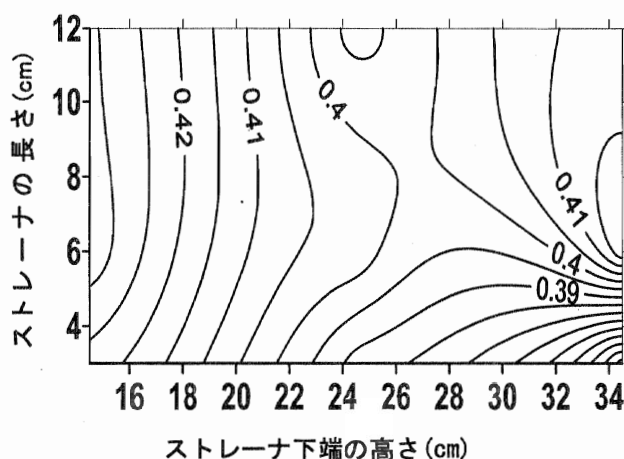


図-14 ストレーナ下端の高さとストレーナの長さ