

干拓地における地下水揚水に伴う地盤沈下について

佐賀大学理工学部 学生員 柴田 政明
同大学低平地研究センター 正会員 柴 錦春
同大学理工学部 正会員 三浦 哲彦

1. はじめに

ある地域の低平地では、干拓地および丘陵に接する平野部において過去 20 年間に大きな地盤沈下が発生し、農業施設や住宅などに深刻な被害が生じている。今後の対策を検討する上で、各地区の沈下の現状を把握すると共に、将来の沈下を予測する必要がある。現地調査によって、地盤沈下の原因は、(a) 過剰な地下水揚水によるもの (b) 軟弱地盤上への不用意な盛土施工によるものの二つが混在していると判断した。このうち前者に起因する地盤沈下を抑制するには、揚水規制など抜本的な対策が必要であるが、当地域には検討に必要なデータの蓄積が極めて少ない。このような状況の中で早急に総合水政策を立案する必要性に迫られた。筆者等は調査チームとして、限られた地盤情報に基づいて地下水位の低下量・低下速度に関するいくつかのシナリオを想定し、一次元 FEM 解析により各地域の沈下一時間曲線を推定した。また、その影響要因も検討した。

2. 解析モデル

図-1 は計算に用いた過剰揚水に伴う有効応力の増加の概念を示したものである。解析にあたっては、図-2 に示す 4 つのパターンを仮定して地盤沈下への影響を検討した。すなわち帯水層の水位が (a) 5 年間で 10m 低下、(b) 5 年間で 20m 低下、(c) 10 年間で 10m 低下、(d) 10 年間で 20m 低下する場合である。

3. 地盤状況と土質パラメーターの決定

干拓区域の二つの地盤状況および各層の物理・力学特性を図-3 に示す。パラメーターは、次の方法で決定した。

粘土層のパラメーターは基本的に既存データによって設定した。圧密係数は平均値しか得られなかったため、それを 50kPa の圧密応力に対応するものと仮定して、各層の初期 C_v 値を初期圧密応力によって設定した。また、透水係数 k と間隙比 e との間には次式が成り立つとした。¹⁾

$$k = k_0 \cdot 10^{(e - e_0) / C_k} \quad (1)$$

ただし、 k_0 は初期透水係数、 e_0 は初期間隙比、 e は現間隙比、 C_k は定数で $C_k = 0.5e_0$ 、砂層のヤング率は標準貫入試験 N より推定した。²⁾

$$E = 25N (\text{kgf/cm}^2) \quad (2)$$

また、砂層の透水係数は $k = 8.64 \times 10^{-2} \text{m/day}$ と仮定した。シルト層については圧縮係数 $C_e = 0.5$ 、透水係数 $k = 8.64 \times 10^{-3} \text{m/day}$ と仮定した。

多層地盤圧密解析において、圧密係数 C_v だけでなく、透水係数と変形係数の二つのパラメーターを利用する必要がある。粘土層の初期透水係数 k_0 は圧密係数 C_v と変形係数から求めた。

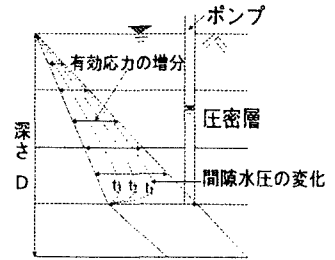


図-1 過剰揚水に伴う有効応力の増加

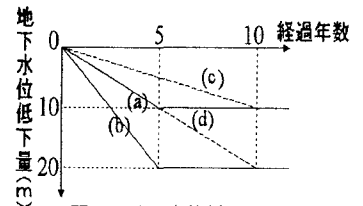


図-2 地下水位低下パターン

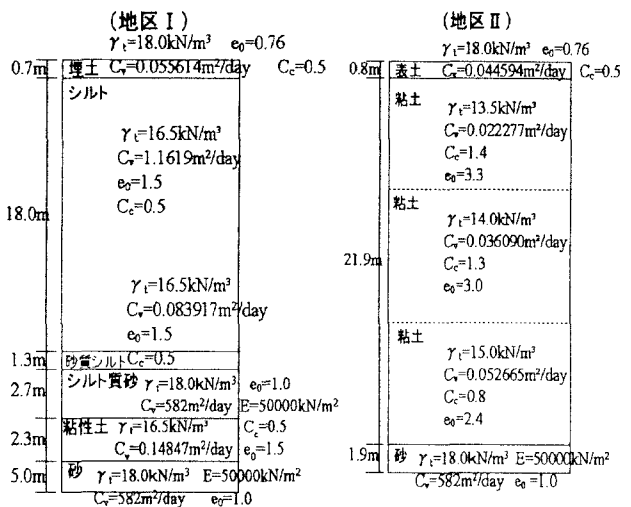


図-3 地盤状況とパラメーター

4. 解析結果と考察

揚水ポンプが施設されている深さは地下 25～30m である。解析では、この深さ付近の砂層に強制的に地下水位の低下を与えた。図-3 に示す C_v 値は室内圧密試験から求められたものである。室内圧密試験から求めた透水係数は現場の透水係数を過小評価する傾向がある。その主な原因は、現場の薄い砂層の影響である。この現象を考慮して、粘土層の C_v を実測値の 5 倍と仮定し、その影響も検討した。

(1) 地下水位低下の速さの影響

図-2 のパターン(a),(c)に示すように、5 年間で 10m 地下水位が低下する場合、10 年間で 10m 地下水位が低下する場合を比較した (図-4(a)(b))。前者では、後者より初期の沈下量が大きくなる。しかし、最終的に地盤にかかる有効応力は等しいので、約 20 年後には沈下量がほぼ一致する。また、地下水位が 20m 低下する場合でも同じ傾向である。

(2) 地下水位低下量の影響

図-2 のパターン(a),(d)に示すように 5 年間で 10m 地下水位が低下する場合と 10 年間で 20m 地下水位が低下する場合を比較した (図-4(a)(b))。前者では、後者よりも最終沈下量が小さく、沈下終了に要する時間も短かったことが分かる。従って、地盤沈下を予測する上で、地下水位の観測が必要である。

(3) 圧密係数 C_v の地盤への影響

室内試験からの C_v の値と C_v を 5 倍した場合を比較した (図-5(a)(b))。 C_v の値は圧密沈下速度と最終沈下量に大きな影響を与える。 C_v を 5 倍とした場合は地下水位低下が終わると同時に、ほぼ沈下を完了している。地下水位が低下する帯水層の直上層の透水係数 k は、最終沈下量を左右する。例えば、直上層が不透水の場合、上の粘土層の圧密沈下は起こらない。 C_v を 5 倍にすることは、 k を 5 倍することに相当する (変形係数は一定)。その結果として、帯水層の直上層の k 値が高くなり、最終沈下量も増加した。今後、現場の地下水位変動と地盤沈下の実測値から現場の C_v 値を確認する必要がある。

5. まとめ

仮定した条件での解析結果によれば、以下のことが分かった。(1) 地区Ⅱでは沈下が始まって最終段階に達するまでに、最大 2.5m 沈下する可能性がある。現場調査を行った際、80cm 程度の沈下が見られたことから、今後とも過剰揚水が続けば、まだ 1.7m 程度沈下することが推定できる。(2) 地下水位が低下する帯水層の直上層の特性は、沈下速度と沈下量に大きく影響する。

当該地域における過剰な地下水の揚水は、拡大された干拓地における米生産が盛んになった 1964 年頃から生じ始めたと推定される。その後、約 40 年が経過して現在に至っている。本論で述べた結果を基にして、今後の地盤調査方針および揚水規制対策の方針を検討していきたい。

参考文献：1) Tayler.D.W (1948) Fundamentals of Soil Mechanics, Wiley, New York

2) N 値および $c \cdot \phi$ - 考え方と利用法 - 土質工学会 (平成 4 年)

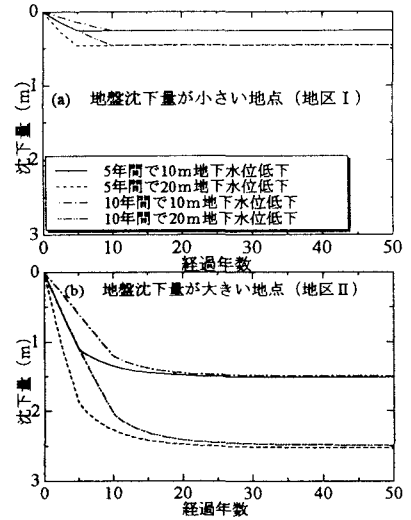


図-4 沈下量の経時変化

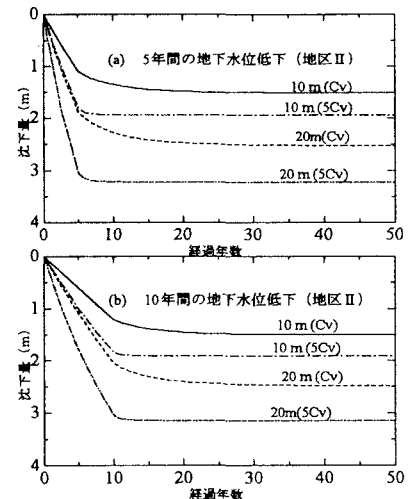


図-5 図-4(b)の C_v の実測値を $5C_v$ とした場合の沈下量