

洪積帯水層からの大量揚水に伴う 地盤環境保全

九州大学工学部 学生会員○吉田 敏晴

正会員 江崎 哲郎

正会員 木村 強

鹿田 光一

1. 緒言

わが国の水溶性天然ガスは、全国各地に賦存し化学工業原料、都市ガス用などとして1930年代以降広く利用されてきた。しかし、その後、新潟、千葉などの天然ガス田において天然ガスの過剰採取が原因と思われる地表沈下が生じ深刻な公害問題となった。そこで、公害防止および地盤環境保全の見地から、天然ガス田における沈下機構の解明および沈下解析法に関する研究が行われている。しかし、従来の研究¹⁾ではガス層の降縮が地表に及ぼす影響について1次元的にしか考えられていないこと、広域の浸透流解析において多数の坑井の水頭値の取り扱いに問題点があり、完全な3次元解析は行われていない。したがって、本研究ではこれらの欠点を補う浸透流と沈下の同時解析法を考え、その解析法の有効性を実証する。

2. 沈下機構

沈下の機構は次の通りである。ガス層内の圧力(水頭)は開発にともない低下する。ガス層内の水頭が低下することは有効応力が増加することであり、この有効応力の増加がガス層の変形を生じせしめる。したがって、地盤が塑性的である場合には圧密沈下を生じる。一方、洪積層のように層の固結度が高く弾性的な場合には地盤のヤング率、ポアソン比などを定数としてガス層内の水頭低下量すなわち有効応力の増分に比例して変形を生じることになる。また、実際、地表に表れる沈下は各坑井のまわりのガス層の変形がそれぞれ影響を及ぼし合うためそれらをすべて重ね合わせたものとなる。

3. 解析方法

本研究で用いた沈下解析法は大別すると次の2つからなる。

1) FEMを用いた浸透流解析によってガス層内の平面的な水頭分布を求める。

FEMによる浸透流解析は応力解析と同様に、最終的には解析領域にわたって

$$[h]\{H\} + \{F\} = 0$$

を解くことであり、 $[h]$ は浸透性マトリックスと呼ばれ、透水係数および節点の座標値によって決まり、 $\{H\}$ および $\{F\}$ はそれぞれ節点の水頭値、流量である。ところで、浸透流解析の際の境界条件は、

(1)境界上において水頭値が与えられる。

(2)境界上において流出あるいは流入する水量が与えられる。

の2つが考えられるが、ここでは各坑井および周囲の境界上にそれぞれ水頭値を次のように与えて解析する。すなわち、ガス田開発前の水頭はすべて地表と仮定し、ガス田開発後の水頭は、各坑井では計測された値を用い、周囲の境界での水頭は地表にあるものとする。その条件で、浸透流解析を行い、水頭分布およびガス田全域の総揚水量を求め、実測による総揚水量とを比較し、透水係数を変化させてほぼ一致するまで計算を繰り返す。

2) 前段階で求めた解析領域内の各地点での Δh を用いてガス層の変形量 D を求め、それを筆者らの開発している影響円解析法²⁾によって地表沈下を求める。

水頭圧に比例したガス層の変形量は次式によって表される。

$$D = m/E \cdot (1 - 2\nu) \cdot \gamma_g \cdot \Delta h \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで D : 変形量

m : 層の有効層厚

E : 層のヤング率

ν : 層のポアソン比

γ_g : 天然ガスかん水の単位重量 Δh : 水頭低下量

影響円解析法は、空洞閉塞量などの地盤内変形量による影響係数に基づく解析法であり、沈下量、水平移動量など沈下5要素が求められる。計算は微小面積要素毎に実行されるため、変形量が複雑な形状に分布しているような場合には特に有効である。手法としては、デジタイザーを用いて水頭分布コンターを読み取り、パソコンのグラフィック画面に表示して影響円と重ね合わせ、結果はXYプロッタ、プリンタを用いて出力した。

4. 解析および結果

以上の沈下解析を用い解析を試みた地域は、洪積帯水層からの大量揚水に伴う地表沈下が問題になっているガス田である。解析に用いたインプットデータは各坑井のボーリングコアの一軸試験、透水試験、また現場での揚水試験などの結果を用いた。各坑井の水頭値は、坑井で局所的に水頭低下しており、その周辺の水頭値を表していない。そこで、Thiemの式を用い坑井の平均揚水量から局所的な低下量を求め、実測値を補正してインプットデータとした。

解析結果は次の通りである。Fig.1は浸透流解析により得られた水頭分布であり、水頭変化量 Δh を求めることが出来る。Fig.2、に解析により得られた沈下コンターを示す。また、a-a'およびb-b'断面における解析と実測による沈下量の比較をFig.3に示す。a-a'断面では沈下の傾向がよく符合していることがわかる。また、b-b'断面では西側で計算値が大きな値を示すが、これは開発までもない坑井が存在し、沈下が終了していないためと考えられる。

5. 結言

本研究で用いた沈下解析法は、ガス層内の水頭値低下量に相当する有効圧力増分をガス層に作用させ、その変形の影響を任意の計算点において求めることが出来る。なお、現在、本解析法を用いてさらに広い地域での将来予測の検討が進められている。

最後にFEMによる浸透流解析のプログラムは岡山大学工学部西垣誠先生の御提供によることを付記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西田正他：日本鉱業会誌，Vol.97 No.1115，13～18，(1981)
- 2) 江崎哲郎他：第7回岩の力学国内シンポジウム講演文集，413～418，(1987)

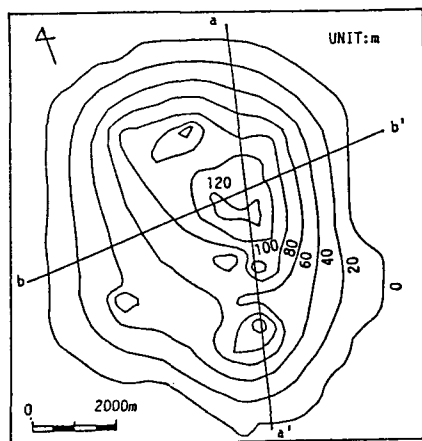


Fig.1 Contour map of piezometric head (calculated).

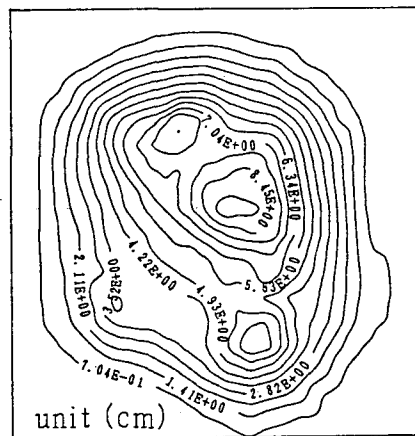


Fig.2 Contour map of subsidence (calculated).

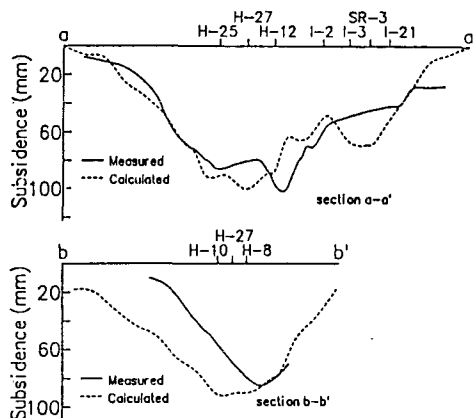


Fig.3 Subsidence profile.