水溶性ガス田における透水量係数の推定

秋 林 智*・軽 部 幸 一**・原 淳 治***

(昭和61年2月5日受付, 61年3月18日受理)

Estimation of Transmissivity in the Water-Dissolved Gas Field

By

Satoshi AKIBAYASHI*, Koichi KARUBE** and Junji HARA***

Abstract: The spatial distribution of transmissivity in the water-dissolved gas field (G_6 formation) in the Nishikanbara district, Niigata prefecture, was estimated using time histories of the groundwater heads which were calculated from the production data such as flow rate, gas-water ratio and wellhead pressure etc. at a number of wells. A quasi-linear approach was used to estimate the transmissivity.

The estimated values of transmissivity were in the region of $2.0 \times 10^{-4} \sim 7.8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, and in the same accuracy as the values of transmissivity which were estimated using time histories of the groundwater heads including the errors which were expressed by random numbers of normal distribution $N(0, 4.9^2)$.

1. ま え が き

水溶性ガス田における産出挙動や還元水の拡がりなどの予測には、広域の地下水流動の解析が必要である。この解析には、透水量係数や貯留係数などの帯水層パラメータは不可欠な要素である。

従来このパラメータの分布は、地下水頭の観測値を用いて推定され、その推定法には線形計画法 (COATS, *et al.*, 1970), 準線形近似法 (DIETESFANO, *et al.*, 1975), 影響係数法 (BECKER, *et al.*, 1972) などの種々の方法がある。しかしながら水溶性ガス田ではガスリフト井やポンプ井による生産方式を採用しているために生産時における水頭の測定が難しく、上記の方法による透水量係数の推定は未だなされていない。

本研究は、ガスリフト井などの生産データを有効に利用して準線形近似法により水溶性ガス田の透水量係数の空間分布の推定を行うとともにその値の精度について検討したものである。

2. 水溶性ガス田の概要

2.1 地 質 構 造

本研究でとりあげた新潟県西蒲原地区の水溶性ガス田

は、新潟平野のなかで広範囲にわたって発達分布する新潟水溶性ガス田の一部をなすものであり、その地質構造について概説すると次のとおりである。

新潟平野は日本海側新第三系を形成する堆積盆地であり、平野部においては、新第三紀層の上位に砂、礫、粘土により構成される第四紀層が厚く堆積し最上部は厚さ150m前後の沖積層が不整合に覆っている。

西蒲原地区は、新潟水溶性ガス田のなかのほぼ中央部にあり、本地区一帯の地質構造は、巨視的にみて新潟向斜構造の東翼の底部近くに位置して、全般的に北西方向に向かって緩い傾斜を示している。

第四紀層および新第三紀層の上部のなかにある砂礫帯水層がいわゆる水溶性ガス鉱床を形成しているわけであるが、第四紀層中には大別して G_1 , G_2 , G_3 , G_4 , G_{4-1} , G_5 の6つのガス層が存在しており、このうち G_1 層は沖積層の基底礫とみられ、さらに G_5 層は洪積層 (魚沼層群) と下位の新第三紀層との境界に相当するものといわれている。

新第三紀層上部は灰色泥岩で代表される灰灰層となるが、本層のなかで発達する G_{5-1} , G_6 層の2層は層厚の厚い砂礫岩からなり、上位の G_6 層と合わせて本地区の主力の稼行ガス層となっている。

$G_1 \sim G_{5-1}$ 層までの各ガス層については、生産井、還元井ともこれらをそれぞれ単層仕上げた坑井が少ないため本研究の対象としては不適当と思われるが、 G_6 層は

* 秋田大学鉱山学部

** 秋田大学大学院鉱山学研究科 (現日本鉱業協)

*** 東邦天然ガス株式会社

生産井、還元井ともこれを単独にとらえており、本研究ではこの G_6 層をとりあげ、その透水量係数の空間分布を推定することにする。

なお、 G_6 層は礫岩および粗粒砂交り細礫岩により構成されているが、その分布範囲はある程度限られており、海岸附近で尖滅し内陸側に向かって広がっているとみなされている。

2.2 坑井配置

図1は、 G_6 層の坑井配置である。図中の W1~W8 は既存の生産井、W9~W17 は既存の還元井である。また A1、A2 は第一次企業化実験でのそれぞれ生産井、還元井であり、両坑井は昭和46年から稼働している。B1~B3 は第二次企業化実験での生産井、B4~B6 は還元井であり、いずれの坑井も昭和55年から稼働している。その他 O1~O4 の4坑井は G_6 層を対象とした地沈観測井である。

図1 G_6 層の坑井配置図 (東邦天然ガス㈱, 1985)

図2 揚水量および圧入水量の測定値と水頭の算定値 (昭和58年)

2.3 生産データ

今回本研究では前述の既存井17坑井、第一次企業化実験井2坑井、地沈観測井2坑井（O1, O2）の合計21坑井の生産データを利用できた（東邦天然ガス㈱, 1985; 新潟県生活環境部公害規制課, 1984）。

(a) 坑井データ

W1～W8の生産井はガスリフト方式、A1の生産井はポンプ方式であり、W9～W17, A2の各還元井はポンプにより圧入している。表1にはそれらの坑井の深度、ストレーナ中央深度、ケーシング直径、リフト管深度、リフト管直径等を示す。

(b) 生産データ

坑底圧力解析に使用した生産データは、昭和58年における揚水量、リフトガス量、産出ガス水比、圧入水量等の時間的変化である。ただしこれらのデータのうち揚水量および圧入水量のみを図2（破線）に示す。図中の○印は欠測部のスプライン補間（FORSYTHE, *et al.*, 1978）による内挿値である。

3. 坑底圧力の解析

生産井および還元井の流動坑底圧力を前述の坑井および生産データを用いて解析する方法について簡単に述べる。なお生産井および還元井はセメント・ライニングを

施している。

(a) ガスリフト井は、ガスおよび水の二相流であり、その流動解析は ORKISZEWSKI (1967) の解法に従った。この解法は、坑口における流量、ガス水比、圧力を与えて坑井内圧力分布を求めるもので、流れの型とガスの流れのすべりを考慮している。

(b) 還元井の流動坑底圧力は次式により求めた。

$$P_{wf} = \left(\frac{D \cdot \rho}{10} + P_{wh} \right) - P_{fr} \quad (1)$$

ここでは P_{wf} は流動坑底圧力、 P_{wh} は坑口圧力（測定値（東邦天然ガス㈱, 1985）を用いた）、 P_{fr} は摩擦圧力損失（池田公式（本間他, 1962）を用いた）、 ρ は還元水の密度（ $=1.02 \text{ g/cm}^3$ ）（天然ガス鉱業会新潟支部, 1973）、 D はストレーナの中央深度（表1参照）である。

以上の(a)および(b)の方法による生産井および還元井の流動坑底圧力の計算結果を水頭に換算し、まとめて図2（実線）に示す。ただし A1, A2 の坑井圧力はデータ不足のために計算できなかった。したがって最適透水量係数の算定には両坑井の揚水量、圧入水量（図2参照）のみを利用して水頭は用いていない。なお本地区は場所によって約 $\pm 0.5 \text{ m}$ 程度の標高差があるけれども、各坑井における坑口の標高については測定データが得られなかったので水頭の換算にあたってはすべての坑井において坑口の標高を一様に海水面にとり、その面から $1,100 \text{ m}$

表1 坑井データ

坑井名	坑井深度 m	ケーシング径 mm	リフト管深度 m	リフト管径 mm	ストレーナ 中央深度 m
W1	1,029	194	100, 113	25	998.0
W2	1,040	194	118, 120	27, 28	1,010.2
W3	1,029	194	100, 112	25	1,002.8
W4	1,017	194	112, 124, 132, 140	25	992.5
W5	1,001	218	98, 98.4, 108	25, 31	975.7
W6	995	194	128, 136	31, 28	954.6
W7	991	194	92, 100, 114	25	955.8
W8	983	194	90	25	952.0
W9	1,025	194			999.8
W10	1,077	194			1,049.0
W11	1,036	194			1,007.8
W12	1,025	194			992.3
W13	1,032	194			1,005.0
W14	1,034	194			994.1
W15	1,008	194			979.6
W16	1,009	194			981.2
W17	1,013	194			983.7
A1	976				941.8
A2	975				950.8
O1	1,050				1,007.5
O2	950				917.0

の深度を水頭の基準にとった。

4. 問題の定式化

本研究では帯水層の貯留係数が一様に与えられている場合における透水量係数を推定する問題について考察する。

図3 水平二次元帯水層モデル、差分格子座標、坑井位置

G_0 層は被圧された帯水層であり、そこには生産井、還元井が完全に貫入しているものとする。と G_0 層は図3に示すように水平二次元のモデルで表せる。したがって流動方程式は次のように与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H}{\partial y} \right) = S \frac{\partial H}{\partial t} + Q \quad (2)$$

この式は次の初期および境界条件の下で差分法により解かれる。

$$\text{初期条件: } H(x, y, 0) = H_i \quad (3)$$

$$\text{境界条件: 透水性の場合, } H = \text{const.} \quad (4)$$

$$\text{不透水性の場合, } \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial H}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

ここで T は透水量係数, H は水頭, S は貯留係数, Q は揚水量または圧入水量, t は時間, x, y は直交座標, L_x, L_y はそれぞれ帯水層の x 方向, y 方向の距離, H_i は初期水頭である。

いま最適透水量係数を決定するために次に定義する目的関数 J を導入する。

$$J = \sum_{i=1}^M \int_{t_0}^{t_1} [H_{ob,i}(t) - H_{cal}(x_i, y_i, t)]^2 dt \quad (6)$$

ここで H_{cal} は水頭の計算値, H_{ob} は測定値, 下添字の i は坑井位置の指標, M は坑井数である。

そこで次の制約条件

$$T(x, y) \geq 0 \quad (7)$$

と上記の式(2)~(5)を満足するように J の値を最小化することによって T の最適値が決定される。

5. 透水量係数の算定法

準線形近似法 (DISTEFANO, *et al.*, 1975) による最適透水量係数の算定法について述べる。

一般に水頭 H は透水量係数 T や貯留係数 S の関数であるが, 前述のように本研究では S を一定としたことにより H は T のみの関数となる。

いま最小二乗法の原理を用いて M 個の水頭測定値から m 個の T の値を推定する。ただし m は M の 2~3 倍程度である (JAHNS, 1966)。ここで m 個の T で構成される列ベクトル

$$T = \text{Col} [T_1, T_2, \dots, T_m] \quad (8)$$

を定義し, これを用いて目的関数 J を微分する。

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial T_i} = & -2 \sum_{i=1}^M \int_{t_0}^{t_1} [H_{ob,i}(t) - H_{cal}(x_i, y_i, t)] \\ & \times \frac{\partial H_{cal}(x_i, y_i, t)}{\partial T_i} dt \end{aligned} \quad (9)$$

ただし $i=1 \sim m$ 。

J の最小値を求めるためには式(9)がゼロとなる解を求めればよい。しかし式(9)は非線形方程式であるので, それを次のように線形化しなければならない。

まず H を次のように線形近似する。

$$\begin{aligned} H_{cal}(x_i, y_i, t, T^{n+1}) = & H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n) \\ & + (\text{grad}_T H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n), \Delta T^{n+1}) \end{aligned} \quad (10)$$

ただし

$$\Delta T^{n+1} = T^{n+1} - T^n$$

$$T^n = \begin{pmatrix} T_1^n \\ T_2^n \\ \vdots \\ T_m^n \end{pmatrix},$$

$$\text{grad}_T H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n) = \begin{pmatrix} \frac{\partial H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)}{\partial T_1^n} \\ \frac{\partial H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)}{\partial T_2^n} \\ \vdots \\ \frac{\partial H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)}{\partial T_m^n} \end{pmatrix}$$

ここで上添字の n は計算の反復回数, $(\text{grad}_T H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n), \Delta T^{n+1})$ は, ベクトル $\text{grad}_T H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)$ と ΔT^{n+1} の内積を意味する。

式(9)に式(10)を代入し整理すると線形方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^M \int_{t_0}^{t_1} \frac{\partial H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)}{\partial T_i^n} \frac{\partial H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)}{\partial T_j^n} \\ dt \Delta T_j^{n+1} = \sum_{i=1}^M \int_{t_0}^{t_1} [H_{ob,i}(t) - H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)] \\ \frac{\partial H_{cal}(x_i, y_i, t, T^n)}{\partial T_i^n} dt \end{aligned} \quad (11)$$

式(11)をマトリクス表示すれば

$$A^n \Delta T^{n+1} = B^n \quad (12)$$

となる。ただし

$$A^n = (a_{ij}^n)$$

$$B^n = (b_i^n)$$

a_{ij}^n, b_i^n はマトリクスの成分でそれぞれ次式により表される。

$$a_{ij}^n = \sum_{l=1}^M \int_{t_0}^{t_l} \frac{\partial H_{cal}(x_l, y_l, t, T^n)}{\partial T_i^n} \frac{\partial H_{cal}(x_l, y_l, t, T^n)}{\partial T_j^n} dt$$

$$b_i^n = \sum_{l=1}^M \int_{t_0}^{t_l} [H_{ob,i}(t) - H_{cal}(x_l, y_l, t, T^n)]$$

$$\frac{\partial H_{cal}(x_l, y_l, t, T^n)}{\partial T_i^n} dt$$

式(12)を解いて修正値 ΔT^{n+1} が求められる。したがって反復回数 $n+1$ のときの T の値は次式で与えられる。

$$T^{n+1} = T^n + \Delta T^{n+1} \quad (13)$$

本計算では $\text{grad}_r H$ は次の差分近似式により求められた。

$$\frac{\partial H(x, y, t, T)}{\partial T_i} \div \frac{H(x, y, t, T + \Delta T \cdot e_i) - H(x, y, t, T)}{\Delta T \cdot e_i} \quad (14)$$

ここで e_i は i 番目の単位ベクトルである。

計算を行うにあたって特に注意を要することは、 T^{n+1} の値は前述の制約条件(式(7))を満足し、 ΔT は H の値を十分変化させると同時に式(14)の一次近似を成立させるような小さな値でなければならない。そこで $\Delta T = \alpha \cdot T$ と表し、 α の値を $10^{-4} \sim 10^{-14}$ の範囲で種々変えて試行錯誤的に $\text{grad}_r H$ を計算した。

T の最適値を決定するための計算手順を以下に示す。

- (1) 初めに全計算領域の T の値として一様に任意の値を与える。
- (2) 前述の算定法により J の値が最小となるように T の値を修正する。
- (3) (2)の段階で得られた T の値を用いて H を計算する。
- (4) 次に J の値を計算する。
- (5) J の値が許容誤差内にあるかどうかを判定する。許容誤差内にあれば計算を終了し T は決定される。もし許容誤差内になければ、(1)の段階に戻り、計算領域をさらに細かく分割し、その段階までに得られた T の値を初期推定値として与え再び許容誤差内になるまで以上の手順を反復する。

6. 透水量係数の分布

G_6 層の計算対象領域 ($L_x=5,500\text{m}$, $L_y=4,000\text{m}$) を図3に示すような差分格子座標 ($\Delta x=\Delta y=500\text{m}$) で表

表2 生産停止時における水頭の測定値(昭和57年12月)

坑井名	昭和57年12月 静止水頭 m	坑井名	昭和57年12月 静止水頭 m
W1	1,084.3	W12	1,100.3
W2	1,083.1	W13	1,100.0
W3	1,078.0	W14	1,099.4
W4	1,100.0	W15	1,097.7
W5	1,083.0	W16	1,096.4
W6	1,085.1	W17	1,095.8
W7	1,089.0	A1	欠 測
W8	1,088.7	A2	1,091.5
W9	1,099.7	O1	1,084.0
W10	1,096.2	O2	1,089.0
W11	1,102.1		

表3 計算領域の分割数と J の値

分割数	J の値 m^2
1	22,240
2	17,610
4	14,460
8	7,978
16	3,062
44	3,027

した。

境界条件：前述のように G_6 層は海岸線近傍で尖滅していることから計算領域の北側境界を不透水性 ($\partial H/\partial y=0$) とし、その他の3つの境界を透水性 ($H=\text{const.}$) と与えた。なお差分格子座標上では実際の坑井位置は格子ブロックの中心にとった(図3参照)。

初期条件：差分格子上の初期水頭は次のように与えた。まず昭和57年12月に生産を一時停止したときの各坑井の水頭測定値(表2参照)を差分格子上におけるそれぞれの坑井ブロックの初期水頭として与えた。次に生産停止時における帯水層内の水頭差による自然流は微小であると考えて、計算領域の南側、東側、西側の3つの境界も北側境界と同様に不透水性と与えた。以上のような境界条件の下で、前述の式(2)において非定常項 $\partial H/\partial t$ およびソース項 Q をゼロ、透水量係数 T を一様に与えた式を解き、その定常解をその他の格子ブロックの初期水頭値として与えた。

以上の初期及び境界条件の下で、図3に示す揚水量および圧入水量の測定値、水頭の算定値を用いて、前述の算定法により G_6 層の透水量係数 T を推定した。表3には計算領域の透水量係数の初期推定値として $T=9.6 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ を与えて、領域の分割数を2, 4, 8, 16, 44と順次細かくしたときの目的関数 J の値を示す。分割数をこれ

unit: m²/s

4.0 ×10 ⁻¹²	5.1 ×10 ⁻¹²	4.7 ×10 ⁻¹²	2.9 ×10 ⁻¹²	2.9 ×10 ⁻¹²	9.1 ×10 ⁻¹²	2.7 ×10 ⁻¹²	6.1 ×10 ⁻¹²	5.3 ×10 ⁻¹²	3.8 ×10 ⁻¹²	7.7 ×10 ⁻¹²
2.8 ×10 ⁻¹²	3.1 ×10 ⁻¹²	3.0 ×10 ⁻¹²	3.8 ×10 ⁻¹²	3.8 ×10 ⁻¹²	2.0 ×10 ⁻¹²	2.0 ×10 ⁻¹²	2.0 ×10 ⁻¹²	1.1 ×10 ⁻¹²	1.0 ×10 ⁻¹²	1.1 ×10 ⁻¹²
7.2 ×10 ⁻¹²	7.8 ×10 ⁻¹²	7.3 ×10 ⁻¹²	1.4 ×10 ⁻¹²	1.3 ×10 ⁻¹²	8.5 ×10 ⁻¹²	8.5 ×10 ⁻¹²	9.6 ×10 ⁻¹²	4.2 ×10 ⁻¹²	4.2 ×10 ⁻¹²	4.2 ×10 ⁻¹²
4.2 ×10 ⁻¹²	2.3 ×10 ⁻¹²	3.1 ×10 ⁻¹²	3.8 ×10 ⁻¹²	3.8 ×10 ⁻¹²	1.2 ×10 ⁻¹²	1.3 ×10 ⁻¹²	1.2 ×10 ⁻¹²	5.9 ×10 ⁻¹²	5.4 ×10 ⁻¹²	5.5 ×10 ⁻¹²

N
↑

図4 G₆層の透水量係数の推定値の分布

以上細かくしても J の値は減少しなかったので本計算では G_6 層の T の分布の最適値として44分割のときの値を採用した。その結果を図4に示す。この分布をみると領域の北側境界の一部において T の値が $10^{-12} \sim 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ のオーダーの値で極端に小さくなっているがそれ以外の大部分の領域では $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ のオーダーの値である。この値から、いま層厚の平均を40m (天然ガス鉱業新潟支部, 1973) として透水系数を求めると $5.0 \times 10^{-6} \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ の範囲の値が得られる。この値は、前述のように G_6 層が礫岩、粗粒砂交り細礫岩からなることを考えれば、妥当の値であると思われる (建設産業調査会, 1980)。なお J の値 ($3,027 \text{ m}^2$) から水頭の測定値と計算値との平均誤差は約 $\pm 3.6 \text{ m}$ と概算された。

7. 透水量係数の精度

前述の透水量係数 T の推定値の精度について考察するために次の模擬計算を行った。まず図5に示すように前述の G_6 層の計算領域と同じ大きさ、坑井配置の領域に図5のカッコ内の数字で示すような T の分布を与え、こ

unit: $\times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

1.8 (2.3)	2.4 (2.7)	2.3 (2.9)	3.5 (3.5)	3.3 (3.7)	3.8 (4.2)	4.4 (4.4)	3.8 (4.6)	5.0 (5.4)	4.8 (6.2)	4.7 (5.8)
2.2 (2.1)	2.3 (2.5)	2.4 (2.7)	3.3 (2.9)	3.8 (3.3)	3.5 (4.0)	3.6 (4.2)	3.6 (4.4)	2.1 (4.6)	1.8 (5.4)	2.1 (5.0)
2.4 (1.9)	2.7 (2.3)	2.2 (2.5)	2.6 (2.7)	2.6 (2.9)	3.8 (3.5)	3.8 (3.7)	3.5 (3.8)	10.0 (4.2)	12.0 (4.6)	8.0 (4.8)
1.8 (1.5)	1.8 (2.1)	2.4 (2.3)	2.8 (2.9)	2.9 (3.1)	3.2 (3.3)	3.6 (3.5)	3.2 (3.7)	3.3 (4.0)	5.0 (4.4)	1.2 (4.6)

N
↑

注: () 内数字は真値

図5 模擬計算における透水量係数の真値(カッコ内)および推定値の分布

unit: %

-21.7	-11.0	-20.7	0.0	-10.8	-9.5	0.0	-17.3	825.0	674.0	710.0
4.7	-8.0	-11.1	-13.8	15.1	-12.5	-14.3	-18.2	-54.3	-66.7	-58.0
26.3	17.4	-12.0	-3.7	-10.3	8.6	2.7	-7.9	138.0	160.5	66.6
20.0	-14.3	4.3	-3.4	-6.5	-3.0	2.9	-13.5	-17.5	13.6	-73.9

N
↑

図6 模擬計算における透水量係数の推定値と真値の相対誤差

れを本領域における透水量係数の真値 T_{tr} と仮定する。また各坑井の揚水量および圧入水量には前述の図2に示す測定値を用いて式(2)により各格子ブロックの水頭を計算し、この計算値を各坑井の測定値 H_{ob}^* と仮定した。ただしこの計算では初期および境界条件は図3の計算領域と同様に与えた。この H_{ob}^* の値を利用して T を算定した結果、44分割のときの目的関数が $J = 2.3 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ となり、 T の推定値はほとんど真値と一致した。

次に測定値には誤差が含まれているものと考えて上記の H_{ob}^* の値に種々の標準偏差 σ で発生させた正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ (ここで μ は平均) の乱数を誤差 e として加え、それを水頭の測定値 ($H_{ob} = H_{ob}^* + e$) として T の推定を行った。その結果、標準偏差 4.9 で発生させた正規分布 $N(0, 4.9^2)$ の乱数の誤差を加えた水頭 (これは水頭に $-4.9 \text{ m} \sim 4.9 \text{ m}$ の範囲内の誤差を 68% 含むことを意味する) を利用したときの目的関数の値が $J = 3,072 \text{ m}^2$ であり、前述の G_6 層の最適透水量係数のときの J の値 ($3,027 \text{ m}^2$) に近い。このときの T の計算結果を図5に示す。また透水量係数の推定値 T_{cal} と真値 T_{tr} を比較するために両者の相対誤差 $\varepsilon = (T_{cal} - T_{tr}) / T_{tr}$ を計算した結果を図6に示す。これによると ε の値が $\pm 20\%$ より小さい領域が全領域の約75%を占めている。

以上のように模擬計算と前述の G_6 層の計算における J の値がほぼ同じであることから、 G_6 層の透水量係数の推定値 (図4) は、模擬計算の精度と同程度であろうと推測される。これは今回入手した生産データの精度から考えてはば妥当の結果と思われる。なお G_6 層における T の推定値の精度に関する主な問題点として次のことがあげられる。

- (1) 今回利用した生産データの精度が悪いこと
- (2) 生産井および還元井の流動坑底圧力の算定値の精度を確認できなかったこと

(3) 坑底圧力を水頭に換算する際にすべての坑井における坑口の標高を一様に海水面にとったこと

(4) G_6 層の計算領域の南側境界では第二次企業化実験井の干渉が考えられること

(5) 本計算領域の初期水頭に式(2)の計算による定常解を用いたこと

今後さらに T の推定値の精度を高めるためには以上の5つの点について総合的に検討されねばならない。

8. あとがき

本研究では、新潟県西蒲原地区水溶性ガス田における揚水量、ガス水比などの生産データから算定された水頭の値を利用して、準線形近似法により G_6 層の透水量係数の空間分布を推定した。その結果透水量係数の推定値は $2.0 \times 10^{-4} \sim 7.8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ の範囲の値であった。その推定値の精度は、標準偏差 4.9 で発生させた正規乱数の誤差を含む水頭測定値から推定された透水量係数の精度にほぼ等しいものと推測された。

今後生産データの誤差、流動坑底圧力の算定精度、計算領域の境界及び初期条件の与え方などを総合的に検討することによってさらに高い精度の結果が得られるものと思われる。

参 考 文 献

- K.H. COATS and J.H. HENDERSON, 1970: A new technique for determining reservoir description from field performance data, *Trans., AIME*, **249**, 66-74.
- L. BECKER and W.W.-G. YEH, 1972: Identification of parameters in unsteady open channel flows, *Wat. Res. Res.*, **8**(4), 956-965.
- N. DISTEFANO and A. RATH, 1975: An identification approach to surface hydrological systems, *Wat. Res. Res.*, **11**(6), 1005-1012.
- J. ORKISZEWSKI, 1967: Predicting two-phase pressure drops in vertical pipe, *JPT*, Aug., 829-838.
- 本間 仁, 安芸皎一編, 1962: 水理学, 岩波書店, 173.
- 東邦天然ガス(株), 1985: 社内資料.
- 天然ガス鉱業会新潟支部, 1973: 非排水方式による水溶性天然ガス企業化実験中間報告書.
- 新潟県生活環境部公害規制課, 1984: 新潟平野の地盤沈下, 1-11.
- G.E. FORSYTHE, M.A. MALCOLM, C.B. MOLER (森正武訳), 1978: 計算機のための数値計算法, 科学技術出版社, 82-91.
- H.O. JAHNS, 1966: A rapid method for obtaining a two-dimensional reservoir description from well pressure response data, *SPEJ*, Dec., 315-327.
- 地下水ハンドブック編集委員会, 1980: 地下水ハンドブック, 建設産業調査会, 287.