

II-68 遊離ガスが地層圧縮率におよぼす効果

京都大学 理学部 地球物理学教室 正真 頼野錦藏

1. Wernerは被圧地下水帯水層の組織と水自身の圧縮係数 K_s, K_w によつて, n を地層の空隙率とすると貯留係数 S を次のように表わした。

$$S = K_s + n K_w \quad (1)$$

Tuinzaad は気圧の変動 Δp によつて被圧地下水頭が Δh だけ低下するとき気圧係数 γ を次のように示すことができた

$$\gamma = - \frac{\rho g \Delta h}{\Delta p} = \frac{n K_w}{K_s + n K_w} \quad (2)$$

2. 新潟天然ガス田 G_5 層の貯留係数を求められている。3口の平均値をとる。(表1表) 水の圧縮係数は測定されてよく知られている。

$$K_w = 4.6 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$$

S が求められると(2)式によつて γ を計算することが出来る。空隙率 n は与えられていないが $n=0.1 \sim 0.7$ をとつても表1表の値から γ を推定すると

$$\gamma = \frac{(0.1 \sim 0.7) \times 4.6 \times 10^{-10}}{2.24 \times 10^{-7}} = (0.21 \sim 1.44) \times 10^{-3}$$

この値は実測値(表2表)と著しく異つてゐる。

表1表 新潟 G_5 層

観測井	貯留係数 S
H-27	$3.91 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$
NG-9	$1.19 \times "$
N 9	$1.16 \times "$
平均	$2.24 \times "$

「新潟の地盤沈下」より

3. 方法が異なるためにこのような不致はあり得ることであるが、この不一致を説明する一つの方法は地層中に遊離ガスの存在を仮定することである。新潟天然ガス田 G_5 層の資料によると、 G_5 層への掘さくによつてしばしば爆発的にガスが噴出したという。また、ガス水比は地層中の現場の水圧下において飽和状態以上の値を示すものがある。このような事実から G_5 層に遊離ガスの存在を仮定することは余り無理ではない。

今, Tuinzaad の理論に従つて遊離ガスの項を付け加えてみる。地層の単位体積中に水が n , 遊離ガスが m の体積を占めていゝとすると $n+m$ が空隙率となる。気圧が Δp だけ増加すると帯水層に加えられるこの荷重のうち、地層組織に ΔS , 水自身に Δw , 遊離ガスに Δg だけ圧力が加わる。水と遊離ガスに加わる圧力増加は同じで $\Delta w = \Delta g$ である。この帯水層に属する井戸水頭が Δh だけ低下したとすると

$$\Delta p = \Delta S + \Delta w, \quad \Delta w = \Delta p - \rho g \Delta h, \quad \therefore \Delta S = \rho g \Delta h$$

地層組織の体積 V の縮小を ΔV_s , 水と遊離ガスの体積の縮小をそれぞれ $\Delta V_w, \Delta V_g$ とすると

$$\Delta V_s = -V K_s \Delta S, \quad \Delta V_w = -n V K_w \Delta w, \quad \Delta V_g = -m V K_g \Delta w$$

地層組織の体積縮小は水と遊離ガスの体積の縮小とみてよいから

$$K_s \Delta S = n K_w \Delta w + m K_g \Delta w$$

$$\therefore \frac{\Delta S}{\Delta w} = \frac{nK_w + mK_g}{K_s}, \quad \gamma = \frac{\Delta S}{\Delta p} = \frac{nK_w + mK_g}{K_s + nK_w + mK_g} \quad (3)$$

4. 地層中にある遊離ガスの熱容量は僅かであるから膨脹収縮は等温変化をするとみてよい。

p_g を遊離ガスの壓力, v を比容とすると $p_g v = RT = \text{一定}$ として

$$K_g = -\frac{dv/v}{dp_g} = \frac{1}{p_g} \quad (4)$$

新浮 G_5 層の 610m 井の水頭は -38m ~ -59m であるから $K_g = \frac{1}{5.7 \times 10^4 \text{ cm}} = 1.75 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ となり, $mK_g \gg nK_w$ とすると

$$\gamma \doteq \frac{mK_g}{K_s + mK_g} = \frac{mK_g}{S} \quad (5)$$

とわいてよい。故に γ, K_g, S が与えられると m を求めることが出来る。

$$m = \frac{\gamma S}{K_g} = \frac{0.75 \times 2.24 \times 10^{-7}}{1.75 \times 10^{-5}} = 0.01, \quad \therefore K_s = 4.9 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-1} \quad (6)$$

n は未知であるが, $n = 0.3 \sim 0.5$ とおけば $nK_w = (1.4 \sim 2.3) \times 10^{-10}$, $mK_g = 1.75 \times 10^{-7}$ で $mK_g \gg nK_w$ の仮定を満足する。また, $m/n = 0.02 \sim 0.03$ となる。

5. 新浮天然ガス田 G_5 層のガス水比が報告されていいて 48 孔のうち 17 孔が飽和以上にある。それらの各坑底における遊離ガス (推定) と水の体積を求めると平均 $m/n = 0.00/4$ となる。この実測値の方が上の推定値より小さい。地層中での遊離ガスは壓力が増加するとフーリーの法則によつてガスは水中に溶解し、減壓によつて水中から遊離するものと考えられる。故に等温変化以上に体積は変化し、推定の遊離ガス体積が過大になり得る。

6. 氣圧の低下は地層の荷重を減じ地表は上昇する。壓縮係数 K_s , 厚さ D の地層は氣圧の低下 Δp によつて地表の上昇 ΔH は $\Delta H = K_s \times (-\Delta S) \times D = \gamma \Delta p \times K_s \times D$

$$K_s = \frac{-\Delta H}{\gamma \Delta p \cdot D} = -\frac{1}{\gamma} \times \frac{1}{D} \times \frac{\Delta H}{\Delta p} \quad (7)$$

新浮における地盤沈下の測定から K_s の値は表 2 のようになる。610m 井については (6) 式で求めた値に近い。こゝには粘土層が無視されている。Sample で試験した値よりは大きい。

表 2 氣圧変化より K_s の推定

井戸名	氣圧係数 $\gamma = -\frac{p_g \Delta h}{\Delta p}$	氣圧伸縮 係数 $= -\frac{p_g \Delta h}{\Delta p}$	$K_s = -\frac{1}{\gamma} \times \frac{1}{D} \times \frac{\Delta H}{\Delta p}$
20m 井	0.69 (4)	0.62×10^{-3} (3)	$3.1 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ 1.6×10^{-6}
30m 井	—	1.69 × (4)	
130m 井	—	0.50 × (3)	1.25×10^{-8} 0.31×10^{-8}
260m 井	0.64 (8)	1.97 × (8)	
380m 井	0.84 (13)	1.80 × (4)	2.0×10^{-8}
610m 井	0.75 (12)	2.18 × (6)	

7. 粘土層の壓縮係数は一般に小さく、間隙水圧には氣圧の変化の効果はないと思われるが、ときにその効果が現われる場合がある。これは間隙水中に遊離ガスの存在を仮定すればよい。