

(株)熊谷組(埼玉大学研究生) 正員○伊藤 洋

(株)熊谷組 正員 清水 昭男

埼玉大学工学部 正員 佐藤 邦明

はじめに

昨今では、海岸付近に燃料地下貯蔵のための空洞も建設されつつあるが、空洞掘削による地下水の塩水化現象に関して技術的に興味もてる。本研究は、空洞が海岸付近に掘削された場合、地下水の湧水により塩水が浸入するプロセスをヘル・ショウモデルにより実験的に検討したものである。

1. 実験方法

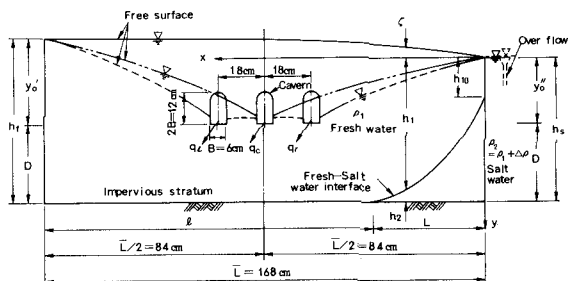
実験装置¹⁾は、ヘル・ショウモデルであり、透水部は168 cm 高さ93 cm, 平行間隙幅は1 mmである。地下空洞は、中央付近に(幅6 cm, 高さ12 cm)3連設置し、空洞部には同形のフタを取り付け、単設と連設の区別をした。また、境界水位の調整は、オーバーフロータンクの高さを変化させることにより行い、不透水層は、ゴムパッキングをはさむことにより作る。実験は、塩水側の水位を一定とし、淡水側の水位を種々変えて、まず自然状態の下で定常安定させ、水面形、くさび形状、流量を測定する。次に、空洞を抜き、湧水量、淡塩界面(写真撮影)を実測した。表-1に、実験ケースと自然状態の下での初期塩水くさびの条件を示した。図-1は、実験モデルの記号と諸元を示したものであり、左側が淡水、右側が塩水である。

実験に使用した液体は、淡水に相当するものとしてエンジンオイル(動粘性係数 $\nu = 5.286 \text{ cm}^2/\text{s}$, 油温 21°C , 比重 $\gamma = 0.886$), また塩水には同じくオイル($\nu = 5.286 \text{ cm}^2/\text{s}$)にベンガラ赤色微粉末を加えて比重 $\gamma = 0.907 \sim 0.917$ とした。なお、実験はすべて恒温室(21°C)で行われた。

表-1 実験ケース(記号は図-1参照)

実験番号	ρ_1 (g/cm^3)	ρ_2 (g/cm^3)	ε	k (cm/sec)	y_0' (cm)	y_0'' (cm)	D (cm)	L (cm)	h_{10} (cm)	淡水のみによる実験
単設EXP-1	0.886	0.917	0.0350	0.155	30.6	23.5	30	10	42	○
連設EXP-1	"	"	0.0350	"	"	"	"	12	40	○
単設EXP-2	"	0.907	0.0237	"	27.8	"	30	23.5	-	-
連設EXP-2	"	0.910	0.0271	"	"	"	"	26.5	26.5	-
単設EXP-3	"	0.913	0.0305	"	26.5	"	51	10	○	○
連設EXP-3	"	0.917	0.0350	"	26.5	"	54	10.5	○	○

ρ_1 : 淡水の密度, ρ_2 : 塩水の密度, k : 浸透係数, $\varepsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1$



2. 実験結果と考察

図-1 実験モデル

実験結果の二例を、図-2～4およびPhoto-1に

示す。図-2は、単設EXP-3における淡塩界面の経時変化を示したものである。これより、自由表面は5分程度でほぼ定常状態に至っているが、淡塩界面は、その間やや左方へ移動しただけであり、最終的に右側半分の帯水層が塩水化するには、約40分程度を要することがわかる。淡塩界面は、空洞を抜いた後、空洞側へ移動し、空洞に近くなると不透水層上にある界面は、分離流線よりやや右側で一旦停止したようになり、その後急速に空洞底面へ向かって上昇する。塩水は、まず空洞底面より流入し、しばらくの間空洞底面のみから生じる。この間、界面は下に凸型である。その後、塩水は空洞側面からも流入するようになり、この時点では、右側帯水層のほとんどは塩水で占められていることになる。次に、空洞下の界面に着目すると、一旦停止したかに見えた界面は、さらに左方へ移動し、不透水層上の界面先端は、最終的にはやや分離流線を越え空洞左端直下あたりで止る。なお、Photo-1は、17分後の淡塩界面を示したものである。図-3は、連設EXP-3における淡塩界面の経時変化を示したものであるが、基本的には単設の場合と類似である。

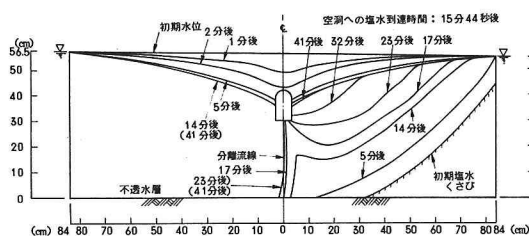


図-2 単設空洞における淡塩界面の経時変化
(単設EXP-3の場合)

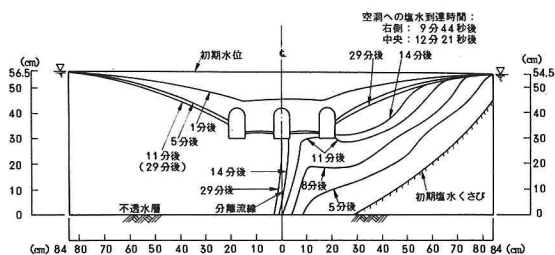


図-3 連設空洞における淡塩界面の経時変化
(連設EXP-3の場合)

ただ、自然条件下での淡塩界面が単設の場合に比べ空洞に近い場合、塩水は空洞底面より浸入するが比較的早期に側面からも浸入するようになる。また、中央空洞への浸入は、右端空洞へ浸入後、比較的早期に流入していることがわかる。図-4は、淡水のみの場合の実験湧水量と塩水くさびの有る場合のそれを比較したものである。両者の場合の湧水量は、ほとんど差がなく、塩水浸入が空洞掘削後の地下水挙動にほとんど影響を与えていないことがわかる。図-5は、F.E.Mにより求めた淡水側流速分布であり、これによって塩水浸入機構を考えてみる。空洞よりやや離れた位置までは、準一様流であり、空洞掘削後界面が、平行移動することが納得できる。また、空洞に近くなると流速が早くなるため、先端の界面より空洞へ向かって塩水が進行することもある。つまり、空洞掘削後は、淡・塩水とも流れの方向が一致するため、塩水は流れの場に支配されるものと考えられる。

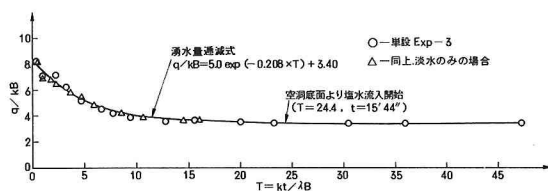


図-4 単設空洞における実験湧水量の経時変化
(単設EXP-3の場合)

最終的には、淡・塩水の界面は分離流線に一致するが、空洞下の不透水層上(図-5中、A部)では流速が非常に小さいため、分離流線を越え、Ghyben-Herzbergの条件式²⁾により求まるくさび形状となって安定するものと考えられる。

以上の結果により、自由表面をもつ空洞周辺流れであれば、地下水の塩水化現象は流れの場に支配されることがわかった。

参考文献

1) 佐藤邦明・清水昭男・伊藤洋：地下空洞周辺の地下水流に関する実験的研究、第27回水理講演会論文集1983-2

2) 嶋 祐之：地下水(密度流的諸問題)、1971年度水工学に関する夏期研修会講演集、A-8-1~A-8-25, 1971

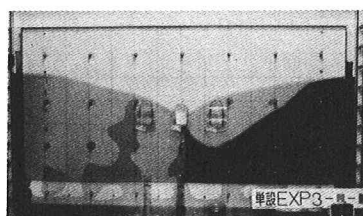


Photo-1(単-3, 17分後の界面形状)

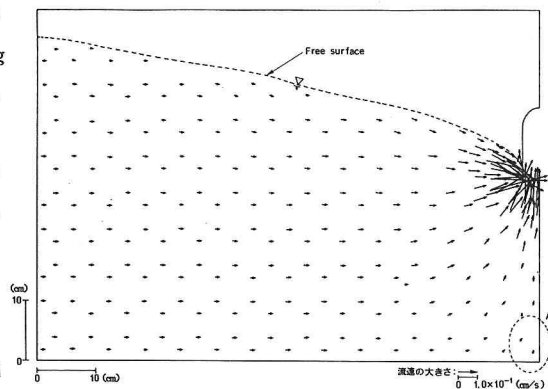


図-5 F.E.Mによる淡水側の流速分布