

Ⅲ - A 267

高圧空気貯蔵に関わる岩盤内の水・空気浸透流の数値解析

ニュージェック 正員 新田 昭

神戸大学都市安全研究センター 正員 川谷 健

神戸大学都市安全研究センター 正員 齋藤雅彦

1. はじめに

岩盤内圧縮空気貯蔵における課題の一つは、岩盤亀裂からの漏気対策である。対策として自然の地下水による空気の封じ込めが考えられるが、実施にあたっては漏気過程や周辺の地下水の挙動を十分把握し、実効性を検討する必要がある。本研究では、有限要素解析によって、貯蔵空気圧の変動が漏気過程および空洞周辺の地下水流動に与える影響を調べ、またその影響と影響範囲が浸透領域の大小によってどのように異なるかを調べた。さらに漏気による貯蔵効率の低下を評価した。

2. 解析手法と解析条件

ここでは岩盤には微細な亀裂が均等に分布するものとし、多孔質地盤における気液2相流の支配方程式を適用した。未知量は空気圧と水圧であり、これらを所与の境界条件および初期条件の下で求める。

解析領域を図-1に示す。貯蔵空洞は地下水面下にあり、貯蔵方式は定圧式および変圧式とした。変圧式では、貯蔵圧の変動曲線は正弦曲線で、周期は1日とした。解析条件を表-1に示す。ケース1,2は浸透領域が小さい場合であり、領域は10m(x)×7m(z)である。ケース3,4,5は浸透領域が大きい場合であり、1000m(x)×480m(z)である。

3. 解析結果

ケース1における水面（飽和度 0.999）の経時変化を図-2に示す。空洞周辺の地下水圧が貯蔵空気圧より大きいにもかかわらず漏気が生じている。これは、地下水が空洞に流入する結果、空洞上方での地下水位が低下し、空洞周辺の地下水圧が低下するためと考えられる。図-3に空洞周辺の水の流速分布(10日後)を示す。空洞下部より水が流入している。ケース1,2の貯蔵圧および漏気量の経時変化を図-4に示す。ケース2（変圧式）の貯蔵圧はケース1（定圧式）より小さいのに、漏気が始まって約30日後までは、ケース2のピーク漏気量はケース1の漏気量を上回っている。この理由は次のように考えられる。ケース2では貯蔵圧が低くなっている間、空洞下部からの水の流入は増加する。それを補うため空洞上方の水が空洞下方へと流動する結果、空洞上方の飽和度が低下し、再び貯蔵圧が上昇した時には漏気が生じ易い状況になっている。

ケース3,4における水面の経時変化を図-5,6に示す。ケース3（定圧式）の貯蔵空気圧は空洞周辺の地下水圧を大きく上回っているため、漏気範囲は大きくなっている。一方、貯蔵空気圧と空洞上部付近の地下水圧がほぼ等しいケース4（定圧式）では、空洞下部からの地下水流入の結果として漏気が生じるものの、その範囲は小さい。1915日後では、ケース3の不飽和領域は空洞上方200mに達しているが、ケース4では20m程度である。後者の場合、約4200日後でも漏気範囲は空洞上方の130mほどである。ケース5は変圧式の場合であるが、その漏気過程にはケース3（定圧式）と比べて大きな差が見られなかった。これは、浸透領域が小さい場合におけるケース1（定圧式）とケース2（変圧式）の比較結果と大きく異なる。ケース5では、空洞の大きさが浸透域と比べて非常に小さく、空洞への地下水流入量が十分補償され、その影響が自由地下水面の低下にほとんど及ばないためと考えられる。すなわち、空洞が浸透域と比べて十分小さく、深い位置にあるとき、貯蔵圧の変動の伝播は減衰し、自由水面その他の境界まで達しないと考えられる。このような浸透域の大小による漏気過程の違いは、定圧式の場合にも言える。ケース1では貯蔵圧が空洞周辺の地下水圧より低いのに、空洞へ流入する地下水の供給が十分でないために漏気が生じ、漏気範囲は自由水面に達することになった。一方、浸透領域が大きい場合であるケース4では、漏気範囲は小さく、実質的に自由水面に達することはないと考えられる。

キーワード：圧縮空気貯蔵、変圧式貯蔵、漏気過程、地下水圧、有限要素解析

〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町, (川谷) Tel. 078-803-6055 Fax. 078-803-6394

貯蔵効率の定義は、一般に、投入エネルギーに対する生産エネルギーの割合であるが、ここでは（初期貯蔵量－漏気量）／（初期貯蔵量）とする。ケース5の貯蔵効率の経時変化を図-7に示す。貯蔵効率は、漏気が始まった直後は0.8程度であるが、漏気量の増加とともに低下し、400日後では0.62まで下がっている。さらに時間が経過して漏気範囲が地表面に到達した場合、貯蔵効率はさらに低下すると考えられる。

4. おわりに

解析により得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 空洞周辺の地下水压が貯蔵空気圧より大きい場合でも、空洞内に流入する地下水量の補給が十分でなければ、長期的には地下水压の低下を招き、漏気が生じる。貯蔵圧が変動すると、低圧時に空洞への地下水流入量が増加するので、漏気の可能性が高くなる。
- (2) 貯蔵空気圧の変動は、空洞が十分深い位置にあれば、定圧の場合と比べて、漏気過程にあまり大きな差は生じない。しかし、空洞が浅い位置にあるとき、貯蔵圧変動の影響が自由地下水面に及びやすく、地表面からの漏気のために漏気量は非常に大きくなる。
- (3) 貯蔵圧が地下水压よりも高いとき、貯蔵効率はかなり悪くなり、この解析例では、漏気の初期は0.8程度であり、その後0.6程度まで低下した。

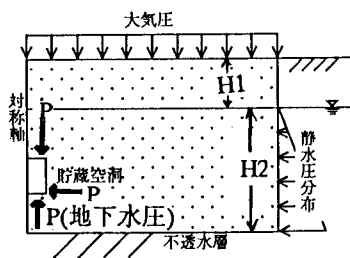


図-1

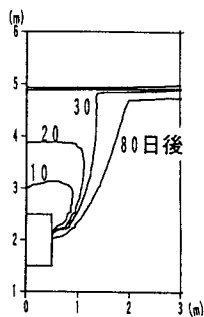


図-2

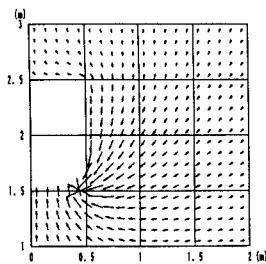


図-3

表-1

ケース	貯蔵方式	H1(m)	H2(m)	X(m)	P(MPa)	貯蔵圧(MPa)
1	定圧式	2	4.5	1	0.025~0.034	0.023
2	変圧式	2	4.5	1	0.025~0.034	0.017~0.023
3	定圧式	40	400	10	3.5~3.6	4.9
4	定圧式	40	400	10	3.5~3.6	3.5
5	変圧式	40	400	10	3.5~3.6	4.5~4.9

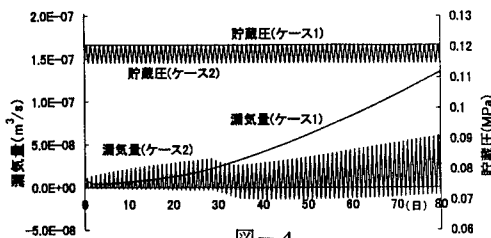


図-4

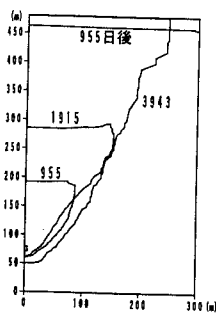


図-5

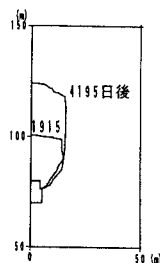


図-6

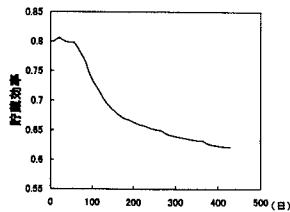


図-7