

トンネル型処分施設におけるガス発生・移行に伴う力学的な影響について

(株)大林組 正会員 ○武内邦文, 正会員 山本修一
 日本原燃(株) 正会員 庭瀬一仁, 非会員 熊谷守
 (財)電力中央研究所 正会員 田中幸久

1. はじめに

図-1のようなトンネル型処分施設内に放射化金属等を含む低レベル放射性廃棄物を埋設処分すれば, 長期的には腐食等により内部からガスが発生し, その移行に伴い周囲に設置されたバリアシステムへの影響が懸念される. 例えば, 余裕深度処分施設の場合には, 主たるバリアとしてベントナイト低透水層やセメント系低拡散層を構築する計画のため, ガス移行に伴う力学的健全性が確保できるかが課題となる.

そこで, 本研究では, ガス発生速度や解析評価パラメータの不確実性を考慮した予察的評価として, 二相流解析コード(コード名 GETFLOWS)および汎用の力学解析コード(ABAQUS)を用いて, バリアシステムにおけるガス移行挙動およびその結果を利用した力学解析を行い, ガス移行に伴うバリアシステムへの力学的な影響を予測することにより, その健全性の見通しについて考察した. 以下にその結果を報告する.

2. 二相流解析によるガス移行影響評価

二相流解析とは土質系材料のような間隙材料の空隙部を気体と液体が二相状態で移行することを考慮できるもので, 解析コード GETFLOWS はその挙動を解析評価するのに差分法を用いたものである. 図-2は対称性を考慮した空洞18m規模の解析モデルであり, 解析の仮定や条件を以下にまとめる.

- ・ 初期条件で処分施設は完全に冠水・飽和と仮定
- ・ ガス発生は廃棄体層から均一に生じ, 速度は一定と仮定
- ・ トンネルから側方1D(19.7m)までを二次元半断面でモデル化し, 側部境界は左右とも不透水・不透気
- ・ 上部境界は地表面で水圧は大気圧に固定, 下部境界はトンネル底部から2Dの深さ(180m)で静水圧に固定
- ・ セメント系材料の打継ぎ目や材料間の界面透過性はマトリクス部位と同等と仮定
- ・ ベントナイト系材料は文献^[2]の流路拡幅の判定条件を導入し, 二相流パラメータは文献^[3]の実験データで設定

解析ケースとしては, ガス発生源となる物質の量および腐食速度の不確実性を考慮し, case-1のガス発生速度を $0.357\text{Nm}^3/\text{y}/\text{m-tunnel}$, case-2のそれを $0.714\text{Nm}^3/\text{y}/\text{m-tunnel}$ (2倍)と設定した. 図-3はガス圧の評価点であり, 図-4および5はガス圧の経時変化である. 各バリアにおけるガス圧は, case-1に比べてcase-2の方が早く上昇し, 最大ガス圧も大きくなる傾向にある. 両caseとも評価点No.1, No.2ではガス圧が急激に上昇しており, 最大ガス圧はそれぞれ3.2MPa(case-1), 3.8MPa(case-2)に達している. また, 評価点No.3およびNo.4では, 内側のガス圧よりも時間的な遅れを持って上昇する傾向がみられる. したがって, ガス発生速度が大きいほど最大ガス圧も大きく, また, 早期にガス圧がピークを迎える傾向があると判明した.

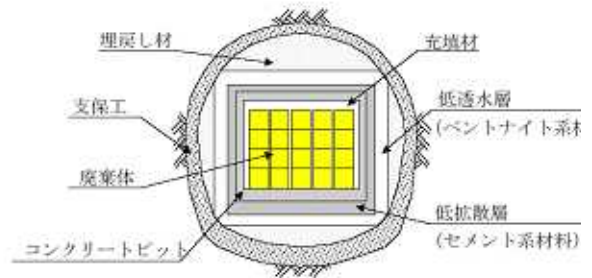
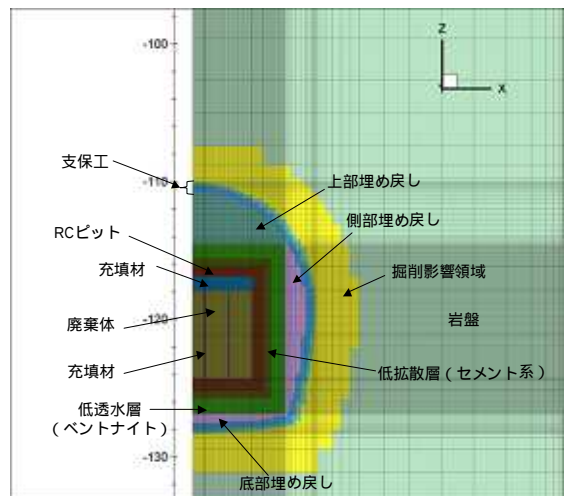
図-1 余裕深度処分の概念¹⁾

図-2 トンネル型処分施設の解析モデル図

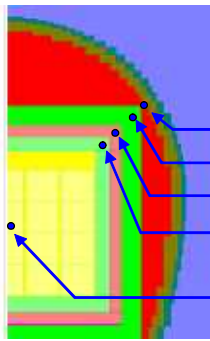


図 - 3 ガス圧の評価点

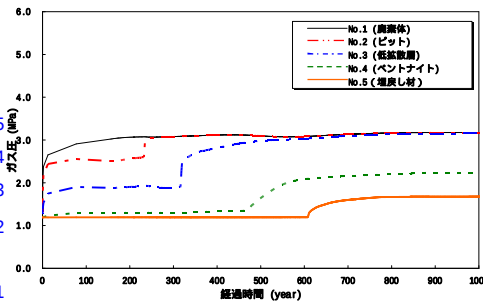


図 - 4 ガス圧の経時変化 (case-1)

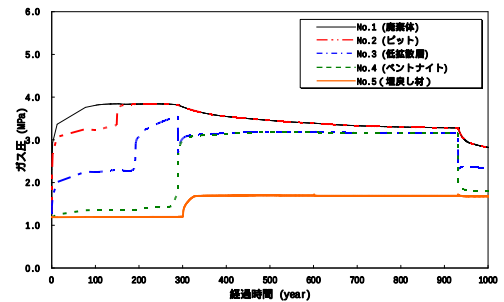


図 - 5 ガス圧の経時変化 (case-2)

(ガス発生速度: $0.357 \text{ Nm}^3/\text{y}/\text{m-tunnel}$) (ガス発生速度: $0.714 \text{ Nm}^3/\text{y}/\text{m-tunnel}$)

3. 二相流解析結果からの載荷重の算定方法について

バリアへの力学的な影響評価には力学解析を行う必要があるが、その入力条件である載荷重は二相流解析結果から直接的には算定できない。そこで、ここでは、図 - 6 に示すように、保守的な仮定として間隙流体圧の部材差圧が内圧として載荷され、かつ、間隙流体圧は平均間隙圧(ガス圧×ガス飽和度+水圧×水飽和度)^{[4][5]}で算定できるものと仮定する。なお、厳密にはベントナイトの変形による応力変化も考慮すべきであるが、ここでは上記のようにセメント系材料の内面に作用する間隙流体圧のみを荷重として考えることにより評価上の保守性を見込んだ。

4. 力学解析によるバリアへの影響評価

図 - 7 はトンネル型処分施設の力学解析モデルで、低透水層(ベントナイト)は修正 Cam-Clay モデル、RC ピット、低拡散層および充填材は非線形ひび割れ分散モデル、その他は線形弾性モデルとした。解析手順としては掘削応力再配分、バリアを設置し自重載荷、低透水層膨潤圧載荷、その後、図 - 7 の平均間隙分布圧を内圧として同時載荷とした(二相流解析結果から算定された内圧 $P_{\max}$ は上部の肩部が最も大きく 1.62 MPa)。図 - 8 は case-2 の結果で、最大引張応力は約 4.7 MPa である(引張強度は 5.4 MPa)。ひび割れ分布結果は、ひび割れた要素は赤く表示されるが、低拡散層と RC ピットにはひび割れが全く生じておらず、これらの結果から両部材とも健全であると評価した。なお、図示はしていないが、低透水層に塑性変形は生じていないことから、バリア健全性が確保できるものと考察された。

5. まとめ

予想的検討であるが、本研究の成果として、低拡散層の部材としてのひずみ量は小さく、また、低透水層に塑性変形は生じていないことから、バリア健全性が確保できるものと考察された。【謝辞】ご指導・ご協力頂いた関係者の皆様に末筆ながら謝意を記します。

参考文献

- 1) 京谷：土木学会平成 17 年度全国大会研究討論会コンクリート構造物の長期耐久性評価資料(2005)
- 2) 藤山ほか：日本原子力学会 2008 年春の大会, I6(2008)
- 3) 田中ほか：電力中央研究報告 N07005(2007)
- 4) 鈴木・岡ほか：土木学会第 61 回年次学術講演会, 第 III 部門, 平成 18 年 9 月
- 5) 田中ほか：電力中央研究報告 N08065(2009)

二相流解析結果からバリア載荷重は算定不可

- ・保守的に、間隙流体圧の部材差圧が内圧として載荷されると仮定(下図)
- ・間隙流体圧は平均間隙圧と仮定(ガス圧×ガス飽和度+水圧×水飽和度)

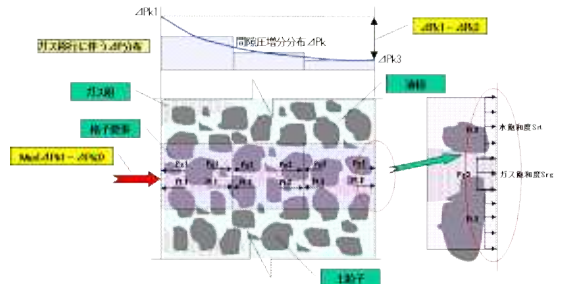


図 - 6 二相流解析結果からの載荷重算定方法

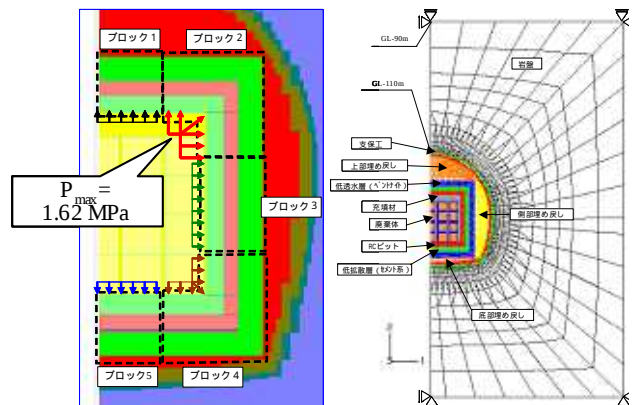


図 - 7 力学解析モデルと case-2 内圧分布

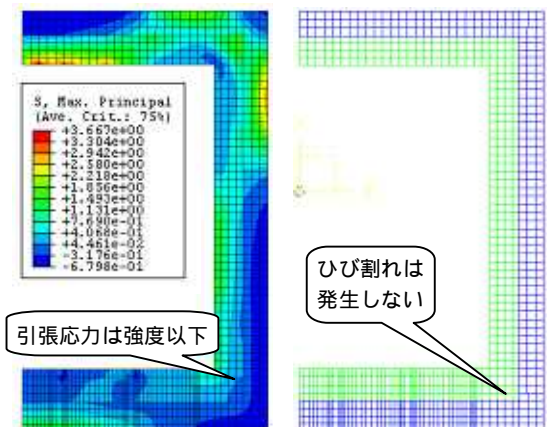


図 - 8 case-2 力学解析結果