

大阪大学大学院 正 会 員 阿部信晴
大阪大学大学院 学生会員 ○望戸健雄

1. まえがき

近年、有害物質による地盤や地下水の汚染が問題となっているが、粘土地盤においては、地盤の沈下や不安定化も問題になると予測される。表面活性の大きい粘土と化学物質の間では、吸着・体積変化・透水性変化などの相互作用が起きると考えられるからである。汚染地盤の跡地利用の観点から、これらの相互作用による粘土地盤の変形や強度特性を把握する必要がある。本報告では提案する地盤汚染解析手法の適用性を検討するために解析結果と実験結果を比較した。また、本解析手法の特徴である沈下挙動の解析結果についても示している。

2. 地盤汚染解析手法の概要

本解析手法における化学弾粘塑性モデルは、流動曲面履歴変数モデルに化学物質の濃度変化によって生じる化学ひずみを導入したものである。全ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ij}$ は可逆力学(弾性)ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ij}^e$ 、可逆化学ひずみ速度 $_{ch}\dot{\epsilon}_{ij}^e$ と粘塑性ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ij}^{vp}$ の和として次式で与えられる。

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \dot{\epsilon}_{ij}^e + _{ch}\dot{\epsilon}_{ij}^e + \dot{\epsilon}_{ij}^{vp} = C_{ijkl}\dot{\sigma}_{kl} + \psi_{ij}\dot{c} + \Lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad (1)$$

可逆化学ひずみ関数 ψ_{ij} 、流動関数 F 、ひずみ関数 f は、

それぞれ以下のように与えられている。

$$\psi_{ij} = -\frac{\beta \xi}{3(1+e_o)} \exp[-\xi(c-c_o)] \delta_{ij} \quad (2)$$

$$F = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{v}_v^* t \right) \right\} \exp \left(\frac{f_i - h_o}{\mu} \right) + \delta \exp \left(-\frac{\delta}{\mu} \dot{v}_v^* t \right) \right] - v^* = 0 \quad (3)$$

$$f = \frac{\lambda - \kappa}{1+e_o} \left[\ln \left(\frac{p}{p_o} \right) + \ln \left(\frac{M^2 + \eta^2}{M^2 + \eta_o^2} \right) \right] + \frac{\alpha}{1+e_o} (c - c_o) \quad (4)$$

解析方法は応力の平衡方程式、間隙水の質量保存則および化学物質の移流拡散方程式を支配方程式とする物質移行連成圧密有限要素法である提案モデルと解析手法の詳細については参考文献¹⁾を参照されたい。

3. 遠心模型実験の概要

Hensley and Schofield によって汚染物質の移行時間を短縮するための遠心模型実験²⁾が行われた。図1はその実験装置の概要を示したものである。実験は廃棄物処分場を想定しており、深さ3mの廃棄物層を持つシルト層における化学物質の移流拡散挙動を調査したものである。化学物質には塩化ナトリウムが用いられた。実験の相似率 n は100であり汚染物質移行時間は $1/n^2$ に短縮される。3ケースの実験(PJH4, PJH5, PJH6)が行われ、それぞれにおいて動水勾配、拡散係数および廃棄物層における化学物質の濃度変化が異なる。ここではPJH5にお

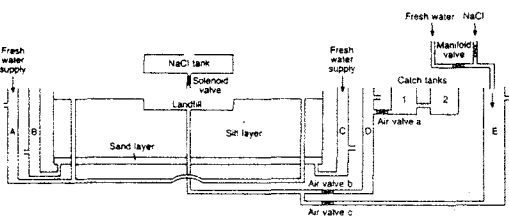


図1：遠心模型実験装置の概要

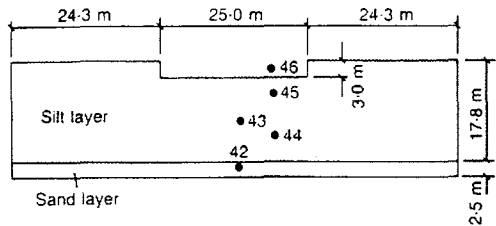


図2：濃度測定位置

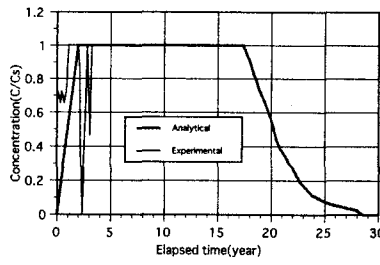


図3：廃棄物層における濃度変化

表1：解析パラメータ

圧縮指数	0.142
膨潤指数	0.017
基準間隙比	0.6129
二次圧縮係数	3.0×10^{-3}
基準ひずみ速度 (1/min)	8.0×10^{-4}
内部拘束ひずみ速度 (1/min)	1.0×10^{-7}
初期間隙比	0.38
初期膨潤度	0.002
土の湿潤単位体積重量 (tf/m ³)	2.67
化学圧縮係数	0.05
化学膨潤係数	0.0
化学弾性ひずみパラメータ	4.0
基準透水係数 (m/min)	1.37×10^{-5}
透水性質変化指数	0.8
化学透水性質変化指数	0.0
分配係数	0.0
拡散係数 (m ² /min)	PJH4: 9.5×10^{-8} PJH5: 2.1×10^{-7} PJH6.2: 2.5×10^{-7}

ける実験結果との比較について示す。図 2 は P J H5 における濃度測定位置を示したものである。長さは原型スケールで表記されている。廃棄物層における化学物質の濃度変化は図 3 で示している。

4. 解析の概要

解析モデルは原型を想定しており、一次元有限要素法で 60 個の有限要素に分割した(上面が要素 1, 下面が要素 60)。排水条件は上下面排水である。濃度条件は上面が濃度指定で、下面が濃度勾配ゼロである。解析パラメータ³⁾は実験に基づいて決定されており、その概要は表 1 に示している。

5. 解析結果と考察

図 4 は実験値と解析値の濃度経時変化の比較図である。飽和濃度に達するまでの挙動以外で良好な対応が見られる。深さ方向の濃度分布については図 5 で示している。図 6, 7 は要素別の濃度経時変化および鉛直ひずみ経時変化である。各要素において濃度変化に伴う鉛直ひずみが発生している。図 8 は沈下挙動の比較を示したものである。化学物質の浸透によって 3% の沈下が発生することがわかる。化学的なひずみに関するパラメータは実験に基づいて決定しており、実地盤においても解析結果に示す程度の沈下が起こる可能性がある。よって化学物質による沈下を考慮することが必要であると考えられる。

6. まとめ

移流拡散挙動に関しては、解析結果と実験結果の間に良好な対応が見られた。沈下挙動の解析結果は、粘性土地盤において化学物質の浸透に伴って発生するひずみを考慮すべきことを示しており、今後検討することが必要である。

参考文献

- 1) 阿部・八杉・加藤 廃棄物処分場の汚染物質による粘土地盤の物質移行 連成圧密解析, 第 36 回地盤工学研究会発表, pp. 227-228, 2001
- 2) P.J.Hensley and A.N.Schofield Accelerated physical modeling of hazardous-waste transport, Geotechnique 41, No. 3, pp. 447-465, 1991
- 3) T.Hueckel Chemo-plasticity of clays subjected to stress and flow of a single contaminant, International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, Vol. 21, pp. 43-72, 1997

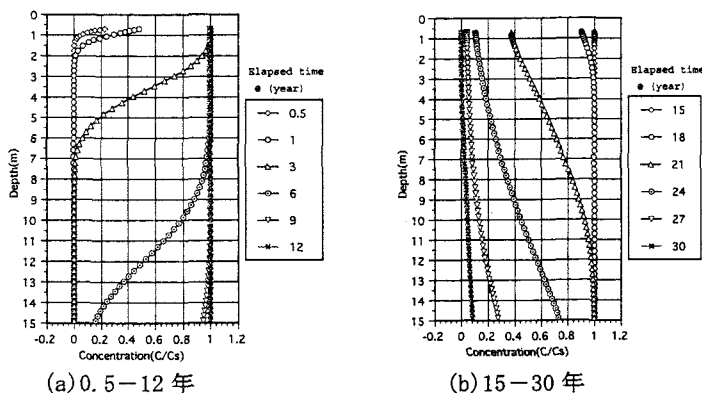
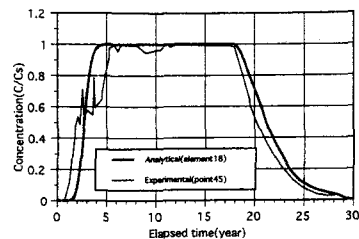
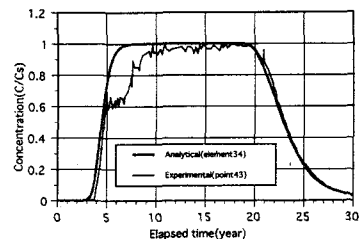


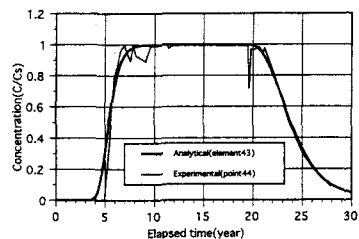
図 5 : 濃度の深さ分布



(a) 測点 45 と要素 18



(b) 測点 43 と要素 34



(c) 測点 44 と要素 43

図 4 : 濃度経時変化の比較図

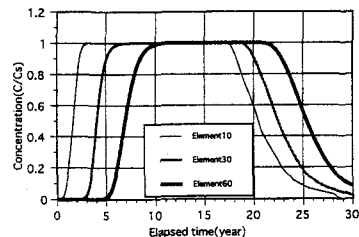


図 6 : 要素別濃度経時変化

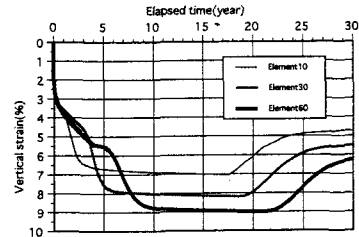


図 7 : 要素別ひずみ経時変化

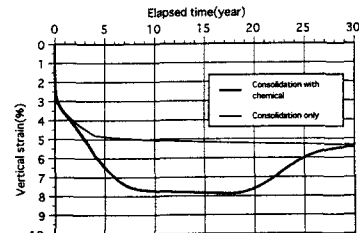


図 8 : 沈下挙動の比較