

# 水中に投下された高吸水性ポリマー粒子の 膨潤過程の3次元数値計算 (シンポジウム講演概要)

## Three-Dimensional Numerical Prediction for Swelling Process of Superabsorbent Polymer Particles Falling into Water (Proceedings of Symposium on Applied Mechanics)

牛島 省 (京大・学術情報メディアセンター)

グイネア ニク (京大・大学院工学研究科博士課程)

芝 隆宏 (SDP グローバル株式会社・研究部)

鈴木 一充 (SDP グローバル株式会社・研究部) 松原 佑介 (三洋化成工業株式会社)

Satoru USHIJIMA, ACCMS, Kyoto University

Niku GUINEA, CERE, Kyoto University

Takahiro SHIBA, SDP Global Co., Ltd.

Kazumitsu SUZUKI, SDP Global Co., Ltd.

Yusuke Matsubara, Sanyo Chemical Industries, Ltd.

E-mail: ushijima.satoru.3c@kyoto-u.jp

This paper presents the experimental results in which multiple superabsorbent polymer (SAP) particles were dropped into water to measure the height of the particle layer deposited on the bottom. In addition, the swelling process was numerically predicted with a three-dimensional computation method which deals with fluid-solid and solid-solid interactions to confirm its applicability and discuss the subjects to be improved.

### 1. はじめに

高吸水性ポリマー (Superabsorbent polymer, SAP) は、乾燥状態では高分子鎖が絡まった結晶化した硬い粒子であるが、水に接触すると高分子鎖が広がり内部に水を取り込んで膨潤する<sup>1)</sup>。吸水した粒子は水和ゲルとなり、水を保持する機能を持つ。近年は、生活用品のみならず、土壤保水剤、土木工事用止水剤など広い範囲の産業分野において高吸水性ポリマーの実用化が進められている。

SAP 粒子の膨潤・保水過程には分子的なメカニズムが関係する一方で、実用課題では粒子群としてのマクロな挙動が重要となる<sup>2)</sup>。本研究では、それらの中間の粒子スケールの性質に着目する<sup>3)</sup>。すなわち、3次元場において、複数のSAP粒子が水と接触した際に、膨潤・保水する過程を数値的に把握することを目的として、基本的な実験を行い、粒子スケールの挙動を再現する計算手法の適用を試みた。

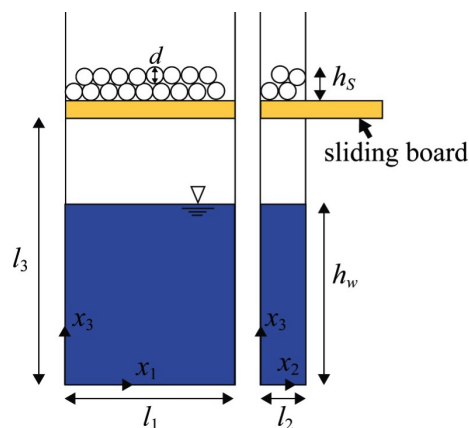


Fig. 1 SAP particles and water tank

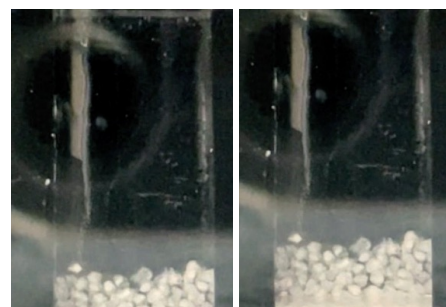
### 2. SAP 粒子の膨潤実験の概要

SAP 粒子が水中で膨潤する過程を把握するために、Fig.1 に示す実験装置を作成した。粒径約 0.5 mm から 0.75 mm のSAP粒子を仕切り板上部に層厚約 1 mm 程度に設置しておき、仕切り板を素早く抜いて粒子を水中に投下した。

Fig.1 の水槽の大きさは、 $l_1$  および  $l_2$  がそれぞれ 8 mm および 3 mm であり、水槽内の水深  $h_w$  は 15 mm である。

投入された粒子は水中を落下し、水槽底部に堆積する。このときのおおよその時刻を  $t = 0$ 、粒子群の高さを  $h_0$  とする。時間の経過とともに、底部に堆積した粒子群が周囲の水を吸収して膨潤し始める。これらの一連の過程をビデオカメラで撮影し、画像を解析することにより、粒子群の上面の高さ  $h$  の時系列データを取得した。

Fig.2 に水槽底部に堆積した粒子群の写真を示す。SAP 粒子が底面に堆積してから約 5 秒時間が経過すると、粒子層厚の比は  $h/h_0 \approx 2$  程度まで増加する状況が観察された。



(a)  $t \approx 0$  [s] (b)  $t \approx 5$  [s]

Fig. 2 Swelling process of SAP particles

### 3. 数値計算と結果の考察

数値計算では、水中に配置した SAP 粒子が落下して底面に堆積した後、膨潤する過程を対象とした。計算では、流体・固体連成に加えて、接触する複数の粒子を適切に扱う必要があり、固体の変形も考慮する可能性があるため、既往の解法<sup>4)</sup> に対して下記に示す機能を考慮した。

1. 四面体要素が水中にあるとき、四面体要素の各節点が粒子の重心点から離反する速度 (粒子膨張速度) を実験結果に基づいて設定した。
2. 既往研究例から吸水した流体体積と粒子の膨潤体積はほぼ等しいことを利用して粒子密度を設定した。
3. 吸水した粒子は上部の粒子群の重力で変形するほどの柔軟性はないことが判明したため、膨潤以外の四面体頂点間の変位は考慮しないこととした。
4. 壁面および粒子間の接触力が基準値以上となった場合は粒子の膨張を停止した。

実験と計算で得られた粒子層高さ  $h/h_0$  の時系列を Fig.3 に示す。また、Fig.4 に計算結果のスナップショットを示す。

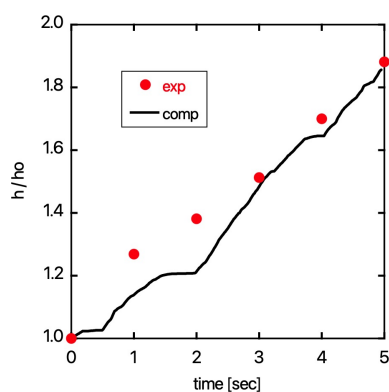


Fig. 3 Time history of  $h/h_0$

実験結果から推定される粒子膨張速度を与えているため、Fig.3 に示された計算結果は実験結果と当然ながらほぼ一致する傾向を示すが、安定な計算を進めるためには上記に示したようなモデリング機能の再検討が必要となり、解決すべき課題も残されている。

SAP 粒子は、素材や表面処理、また外力の有無などの諸条件により、既往の文献に示された膨潤特性とは大きく異なる性質を示すようである。このため、実験を通じて膨潤過程を十分把握した上で、計算モデルを適切に構築する必要があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 小林高俊：高吸水性ポリマーの構造と物性，高分子，Vol. 36, pp. 612–615, 1987.
- 2) Diersch, H.-J. G., Clausnitzer, V., Myrnyy, V., Rosati, R., Schmidt, M., Beruda, H., Ehrnsperger, B. J. and Virgilio, R.: Modeling Unsaturated Flow in Absorbent Swelling Porous Media: Part 2. Numerical Simulation, *Transp Porous Med*, Vol. 86, pp. 753–776, 2011.
- 3) Sweijen, T., Chareyre, B., Hassanizadeh, S. and Karadimitriou, N.: Grain-scale modelling of swelling granular materials; application to super absorbent polymers, *Power Technology*, Vol. 318, pp. 411–422, 2017.
- 4) 牛島省, 福谷彰, 牧野統師, 瀬津家久：3次元流体中を運動する接触と変形を考慮した任意形状固体モデルの数値解法，応用力学論文集，Vol. 10, pp. 139–146, 2007.

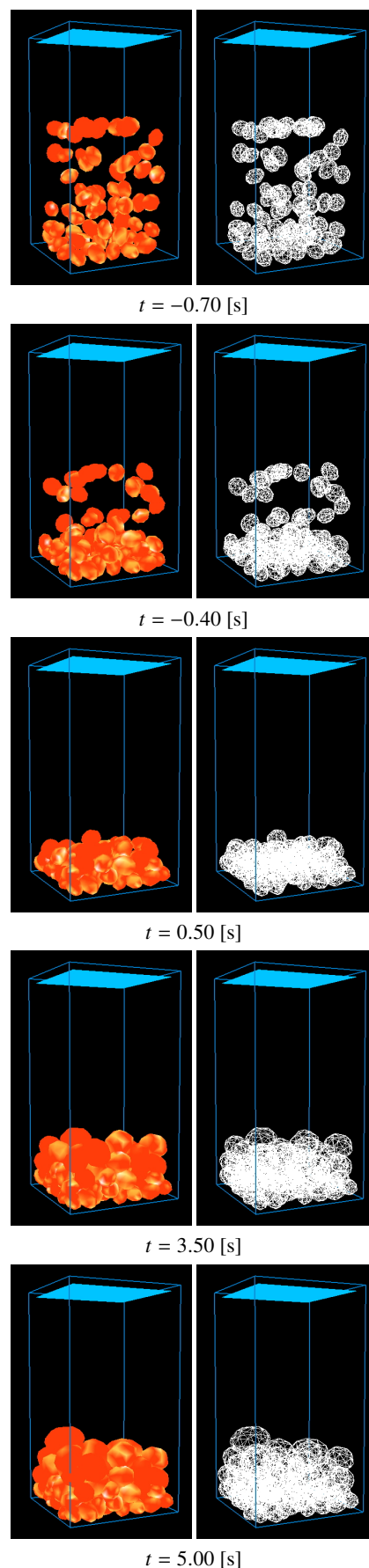


Fig. 4 Calculated SAP particles in water (left = surface, right = wire frame)