

II-518

「AA-N-IPAAm 共重合ゲルの力学的特性」

九州大学工学部 学生員 田村 浩之

九州大学工学部 正会員 楠田 哲也

九州大学機能物質科学研究所 入江 正浩

1.はじめに

現在多くの分野において、高分子ゲルは伸縮や吸収性、相転移に伴う懸濁、溶媒放出など、高分子ゲルの特性を活かし実用化されている。その実用例として、コンタクトレンズ、DDS、衛生用品、脱水・保水剤、土壌改良剤、岩板緑化剤、コンクリート緩和・改質剤、タッチパネル式データ入力装置、浸水防止剤、衝撃緩和剤、防振剤などがある。これらの例のほとんどがその吸水性と弾性・復元性を利用したものである。さらに近年高分子ゲルに、外部からの刺激（温度変化、pH、電場、光など）によって体積を不連続に変化させる相転移を示すものが発見されるに至っている。

本研究では、N-IPAAm（ポリイソプロピルアクリルアミド）に官能基（アクリル酸、AA）を導入することによってpHや温度の刺激に応答する新しい素材を開発した上で、これを下水処理システム中に導入し、排水中の化学エネルギーの変化を機械エネルギーに変換し水質変換を制御するシステムを創出しようとしている。本報はその第一段階として、高分子ゲル（AA-N-IPAAm copolymer）の材料力学的な物性を知ることを目的としている。

2.実験装置・実験条件および実験方法

2-1.AA-N-IPAAm 共重合ゲルの作成

円柱状のAA-N-IPAAm 共重合ゲルの作成手順は以下のとおりである。

（monomer — すべて市販試薬特級）

N-Isopropylacrylamide, N-IPAAm — $\text{CH}_2\text{:CHCONHCH}(\text{CH}_3)_2$ — (S)3.6g

N,N'-Methylen-bis-(acrylamide), BIS — $\text{CH}_2(\text{NHCOCH:CH}_2)_2$ — (S)120mg

2,2'-Azobis(isobutyronitrile), AIBN — $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{CN})\text{N:NC}(\text{CN})(\text{CH}_3)_2$ — (S) 90mg

Acrylic Acid, AA — $\text{CH}_2\text{:CHCOOH}$ — (I)2.4g

Dimethyl Sulfoxide, DMSO — $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$ — (I)6.0ml

上記の試薬をDMSO（溶媒）に溶解させ、マイクロチューブ（内径5.75mm）に注入する。そのマイクロチューブを約50℃のオイルバスに浸漬させ、約5～6時間かけて完全に重合させる。その後ハンマーでマイクロチューブを破壊し、AA-N-IPAAm 共重合ゲルを取り出す。取り出したゲルをAA-N-IPAAm 共重合ゲル中の未重合部分を取り除くために、蒸留水に約1日浸した後、5mm厚にスライスする。さらに、2～3日蒸留水中に浸漬させ、未重合部分を完全に除去する。

2-2.実験装置

AA-N-IPAAm共重合ゲルの膨潤力を利用することを想定し、図1に示す装置を用いてゲルを圧縮し、その力学的特性を調べる。荷重はピストン上部にピーカーを固定し、ピペットを用いて蒸留水を徐々に加えた。測定には読み取り顕微鏡を用い、高分子ゲルの径と高さを測定した。また、AA-N-IPAAm共重合ゲルに均等に応力が働くように、プレートや載荷ピストンと高分子ゲルとの接面に潤滑用シリコンを潤滑剤として用いた。

2-3.実験条件

（圧縮試験）温度を15.5℃に固定し、各pHのリン酸緩衝液中で平衡状態

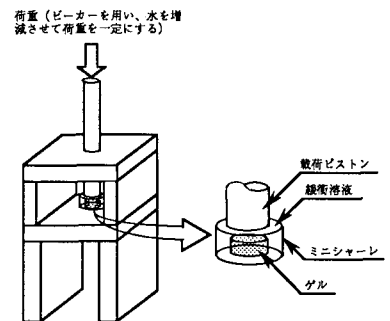


図1.実験装置

になった高分子ゲルを用いて、各応力に対する高分子ゲルの瞬間歪を観察した。pHの設定は、15.5℃で相転移が見られるpH4～6.5を中心に行った。

（クリープ試験）温度を15.5℃に固定し各pHの緩衝液中で平衡状態になった高分子ゲルを用いた。荷重には圧縮試験結果から弾性限と見られる1kgf（約0.1MPa）を採用し、時間経過に伴う歪み変化を各pH毎に観察した。

3.結果および考察

圧縮試験におけるゲルの応力－歪み曲線を図2に、弾性係数－応力の関係を図3に、体積変化率－応力の関係を図4に、クリープ試験におけるクリープ時間経過の関係を図5に示す。

圧縮試験では、応力が増加すると同時にゲルの表面から内部水が浸出した。荷重開始直後から体積減少が生じ、その後も荷重増加により体積変化率は緩やかに減少した（各pHで5～15%減少）。これより、応力によって若干の脱水が起こることが分かる。また、図3からも分かるように弾性係数は応力に伴って変化するが、より膨潤をしているpH6.51のゲルは一定の弾性係数を示している。これは、膨潤することによって高分子鎖中の高分子セグメントが完全に伸長し、各セグメントが均一の性質を示したことによると思われる。

クリープ試験では、各pH毎にそのクリープが異なり、そのクリープの形態から図6に示す四要素モデルが考察できる。そこで、実験結果よりその係数を求めると表1のようになり、各係数がpHに依存することが判明した。

4.おわりに

今後の課題として、同組成の共重合ゲルで本実験で得られたデータの再現性を確認する必要がある。また、本実験では薄い共重合ゲルで試験を行なったため破壊が瞬時に発生し、その形態が確認できなかった。このため、厚い共重合ゲルを作成し、その形態を確認する必要もある。

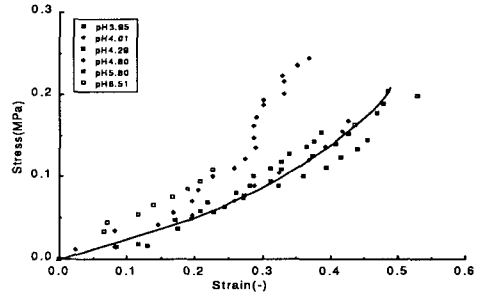


図2.圧縮試験におけるpH毎の応力歪曲線

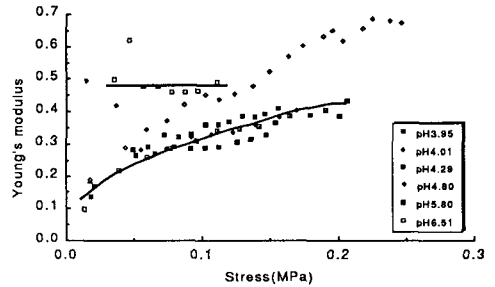


図3.圧縮試験におけるpH毎の弾性係数－応力図

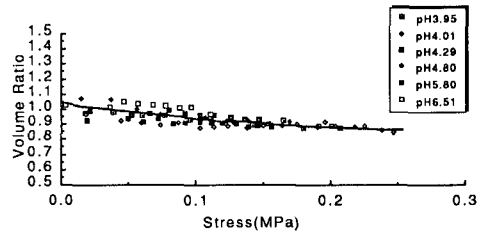


図4.圧縮試験におけるpH毎の体積変化率－応力図

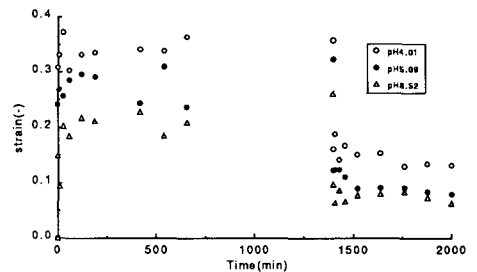


図5.各pH毎のクリープ図

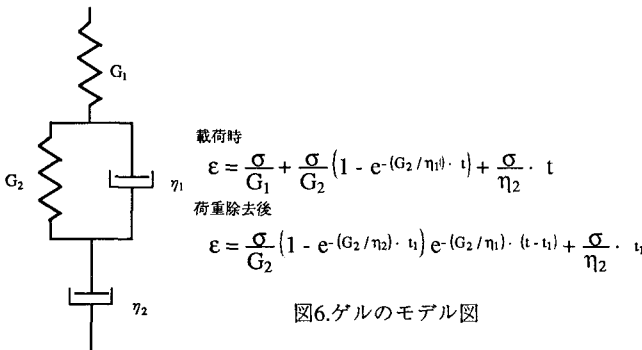


図6.ゲルのモデル図

pH	G_1	G_2	η_1	η_2
4.01	0.36	40	4000	80000
5.02	0.31	5.0	5500	82000
6.52	0.44	2.3	7200	87000

表1.実験結果より得られた弾性係数