高強度ダブルネットワークゲルを用いた光学素子の創製

横尾友博^{*1}, 日出間るり^{*2}, 古川英光^{*3}

Novel Optical Devices Developed with High-Strength Double-Network Gels

Tomohiro YOKOO^{*4}, Ruri HIDE^{*5}, and Hidemitsu FURUKAWA^{*6}

^{*4} Department of Mechanical Systems Engineering, Faculty of Engineering, Yamagata University,
Jonan 4-3-16, Yonezawa, Yamagata, 992-8510, Japan

^{*5} Department of Biochemistry and Biotechnology, United Graduate School of Agricultural Science,
Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwai-cho 3-5-8, Fuchu, Tokyo, 183-8509, Japan

^{*6} Department of Mechanical Systems Engineering, Graduate School of Science and Engineering,
Yamagata University, Jonan 4-3-16, Yonezawa, Yamagata, 992-8510, Japan

Key Words : High-strength gels, Tensile strength, Compression strength, Transparency, Optical lens

1. 緒言

生体は多くの水を含むやわらかい軟組織で構成されている。その中でも眼球の硝子体液の含水率は99%、水晶体は含水率66%となっているにもかかわらず、圧縮応力による水晶体の変形で破壊せず我々に鮮明な映像を提供している。また、高分子ゲルはソフトでウェットな物質系に属し、生体組織と構造や特性が類似している。しかしながら、生体機能材料として高分子ゲルを用いる場合、力学的特性の低さが欠点となっていた。近年新しく開発されたDouble Network (DN) gelは硬くて脆いゲルを1st Networkに、軟らかくて延性の高いゲルを2nd Networkとして絡み合わせた相互侵入網目ゲルであり、90%以上の含水率と同時に10-20MPaの圧縮強度を有する優れた素材で、生体代替材料として期待されている。

本研究ではDNゲルの透明性、大変形性を利用し生物の水晶体を模倣したゲルレンズを作成し、新しい光学素子を開発することを目的とする。本研究で得られた知見は新しい眼の治療法の開発にも資する。

2. 材料及び実験方法

2・1 材料 本研究で使用した薬品及び実験装置は1stゲルのアニオン性モノマーとしてNaSS

(*p*-styrenesulfonic acid salt), NaAMPS (2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid, sodium salt, 50 wt.% solution in water), AMPS (2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid), 2ndゲルの中性モノマーとしてDMAAm (dimethylacrylamide), 架橋剤としてMBAA (*N,N'*-methylenebisacryl amide), 開始剤として α -keto (glutaric acid), を使用した。

2・2 実験方法 1stゲルではモノマー、架橋剤、開始剤の比率を1M:4mol%:0.01mol%とし、2ndゲルでは1M:0.02mol%:0.1mol%のとして、DNゲルを合成した。チャートを使用して肉眼で透明性の比較を行った後、卓上型材料試験機(オリエンテック STA-1150/1225)を使用し、引張試験及び圧縮試験によりDNゲルの力学特性の評価を行った。

引張試験の試験片形状はダンベル状8号試験片を用い、標点間距離を16mmとし卓上型材料試験機にゲル用引張試験器具を取り付け、50Nのロードセルを用いて測定を行った。

Fig.1 Comparison of the transparency of DN gels.

*原稿受付 2010年01月29日

^{*1} 学生員, 山形大学工学部機械システム工学科

^{*2} 学生員, 東京農工大学院連合農学研究科生物工学専攻

^{*3} 正員, 山形大学大学院理工研究科専攻 (〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学理工研究科機械システム工学専攻 古川研究室)

E-mail: tomohiro.yokoo@gmail.com

Fig. 2 Stress – strain curve of NaSS- and NaAMPS-DN gels in tensile test (3 times for both).

Fig. 3 Stress – strain curve of NaAMPS-DN gels in compression test (3 times).

Fig. 4 Stress - strain curve of NaSS-DN gels in compression test (3 times).

圧縮試験片形状は $\phi 5.5\text{mm}$ 高さ 4.70mm とし、圧縮試験機具を取り付け、 500N ロードセルを用いて測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3・1 透明度の比較 Fig.1 あるいは「画」という文字を厚さ 5mm 、 $\phi 5.5\text{mm}$ の試験片を通して観測した。Fig.1 左は NaAMPS-DN ゲル、右は NaSS-DN ゲルを用いたものである。いずれのゲルも透明度が高く文字が鮮明に観測できるというところから、レンズとして使用できるということがわかる。

3・2 引張試験・圧縮試験 Fig.2 に引張試験で得られた応力-ひずみ線図を示す。NaAMPS をモノマーとした DN ゲルの場合、応力が全体的に高い値を示している。一方 NaSS をモノマーとした DN ゲルの場合、応力は非常に低いがひずみの値が、大きくなっていることがわかる。レンズとして使用することを考慮してもそれほどひずみの値は必要ないと考えられるので、この場合は NaAMPS が適していると判断した。

Fig.3, Fig.4 に圧縮試験で得られた応力-ひずみ線図を示す。どちらも破断応力が最小 10MPa 以上あり、レンズとして使用する場合の変形による圧縮荷重がかかった場合の破断の恐れはないことがわかる。また、NaAMPS を使用した DN ゲルの破断応力が高く、応力に比較的強いということがわかった。

ゲルのようなやわらかい素材を測定するに当たり、試験片と卓上型試験機のチャックとの固定部によるチャック間距離の変動、試験片打ち抜きによる亀裂の発生又はひずみの蓄積などによる影響が考えられたが、大きな影響は見られなかった。

4. 結言

肉眼による透明度の比較、及び卓上型材料試験機を用いての評価を行った。今回の測定により、ゲルレンズを製作する場合には NaAMPS を使用することが好ましいことがわかった。今後は実際にレンズを作成し変形性の評価を行う。

文 献

- (1) Mitsuhiro Shibayama and Kanji Kajiwara, Ed., "Preparation, Characterization, and application-Recent Advances in Polymer Gels", CMC Publishing Co.,Ltd, 2004, pp. 140-149 (in Japanese)
- (2) Yoshihito Osada, Kanji Kajiwara, "Gels Handbook", NTS, 2003, pp. 508-514 (in Japanese)
- (3) Jian Ping Gong, "Double Network Hydrogel with High Modulus and Toughness: A Novel Material for Load-Bearing Soft Tissues", *KOBUNSHI High Polymer, Japan*, **58**(5), 321(2009) (in Japanese)