

ゴムと繊維の複合材料によるトンネル用止水ゴムの力学特性

早稲田大学大学院 学生員 中野 圭崇 早稲田大学 フェロー 清宮 理
早稲田大学 塚田 俊之

1.はじめに

不等沈下、地震などによる変形を吸収する目的で、トンネル、共同溝、擁壁などには止水ゴムが用いられる。止水ゴムはゴムと繊維による複合材料で構成されており大きな変形能力を有している。本研究では、この複合材料の材料特性を調べるとともに、ねじり力が止水ゴムに加わった際に発生するひずみ量について検討した。

2.ゴムと繊維による複合材料の引張試験

今回使用したゴム材のみの硬度は 65 ± 5 度、Mooney-Rivelin の定数 C_1 、 C_2 は一軸引張試験よりそれぞれ 0.46 N/mm^2 、 0 N/mm^2 であった。繊維はポリエステルで、繊維を直交して織り込んだ布としてゴムの中に配置されている。そのため縦糸方向、横糸方向で引張特性が多少異なる。縦糸方向、横糸方向それぞれの 1 mm あたりの弾性率は 173 N/mm 、 89.3 N/mm であった。この複合材料を $40 \times 200 \text{ mm}$ に切り出して一軸引張試験を行った。

加えた強制変位と供試体の表面に生じたひずみの関係を図-1に示す。表面ひずみから供試体のポアソン比を求めるとほぼ 0.50 だった。引張試験においてゴム材が破断することはなかったが、内部の繊維は破断した。その直前に供試体の表面に生じた最大主ひずみは 0.238 だった。ポアソン比がほぼ 0.50 で複合材料が等体積変化をしていると考えて、Mooney-Rivelin の定数を求めると C_1 、 C_2 はそれぞれ 1.23 N/mm^2 、 0.05 N/mm^2 となった。

3.止水ゴムのねじり実験

3.1 実験方法 図-2に荷重装置の概要を示した。止水ゴムをとりつけるフレームは正八角形で1辺の長さは 621 mm である。このフレームに2台の油圧ジャッキで静的荷重を行い供試体にねじりモーメントを加えた。図-3に供試体の概要を示す。ゴム材および繊維の材質については引張試験で用いたものと同一で、繊維は縦糸と横糸が直交して配置されている。荷重方法は油圧ジャッキによる変位制御とした。

八角形のある1辺の中心を横糸の方向に直線部からU字部の頂点にかけて3等分しそれらをエリア1から3までとした。また、コーナー部においても同様に3等分してエリア4から6とした。これらのエリアには予めメッシュを描いておき、トレーシング紙に写し取り変形の前後で比較するという方法で、各エリアに生じたひずみを計測した。ひずみは、ねじり角が約 1.7° 、 3.5° 、 5.0° で計測した。

3.2 実験結果 荷重実験後の変形状態を図-4に示す。写真からもわかる通り、この止水ゴムはねじりに対しても大変形性能を有してい

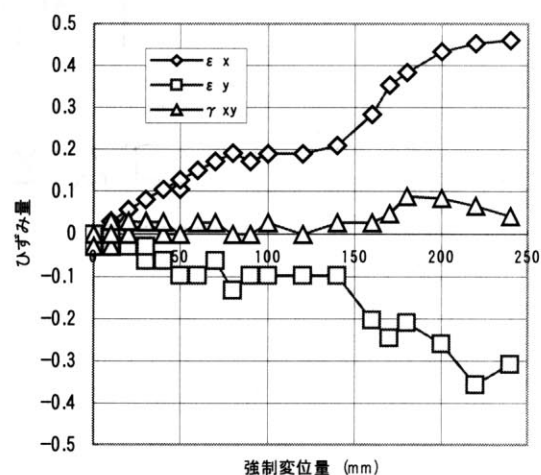


図-1 変位・ひずみ量曲線

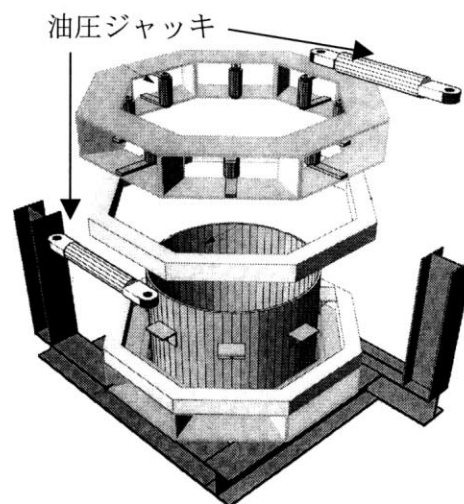


図-2 荷重装置図

キーワード：柔継手、止水ゴム、複合部材、トンネル、ねじり

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51号館 16F-01 TEL,FAX:03-5286-3852

る。ねじり角が 5° のとき、止水ゴムの U 字部が大きく波打つ様に変形しているのがわかる。図-5 にねじり角とねじりモーメントの関係を示した。グラフの傾きから求まるばね定数は各角度においてほぼ一定であることからこの载荷実験では内部の繊維が破断していないと推定できる。図-6、図-7 に直線部とコーナー部に生じたひずみとねじり角の関係を示した。また、図-8 に各エリアの主ひずみとねじり角の関係を示した。これらによると、ねじりによって生じるひずみの成分は、縦糸横糸に沿った軸方向のひずみよりもせん断ひずみが主になっていることが分かる。また、直線部とコーナー部を比べると直線部のほうに大きな変形およびひずみが生じている。その差は、最大値で 3~6 倍程度である。主ひずみは直線部で U 字部の頂点において、0.319 で最大となった。

4.まとめ

今回の実験で確認されたゴムと繊維の複合材料による止水ゴムの力学特性を以下に示す。

(1) 複合材料は繊維が内部にあっても表面では、ゴムの性質である等体積変化の特徴を持っていた。

(2) 引張試験によると、繊維が破断する主ひずみは 0.238 だった。ねじりによって止水ゴムに生じた主ひずみがこの値を超えても内部の繊維は破断しなかった。せん断によって格子状の繊維が平行四辺形に変化するだけで、繊維の一本一本に引張力が加わらないためであると考えられる。

(3) ゴム材はひずみ量が約 40~50% で長期間放置されると通常よりも劣化が早く進むといわれている。今回の実験で生じた最大ひずみはねじり角が約 5° で 31.9% だったので、この程度のねじりでは止水ゴムの耐久性に与える影響はあまりないと考えられる。

(4) ひずみはコーナー部に比べて直線部の方が 3~6 倍大きく、同一断面では U 字部に比べて直線部の方が大きかった。

参考文献：L.R.G.Treloar: The physics of rubber elasticity, Oxford: Clarendon Press, c1975

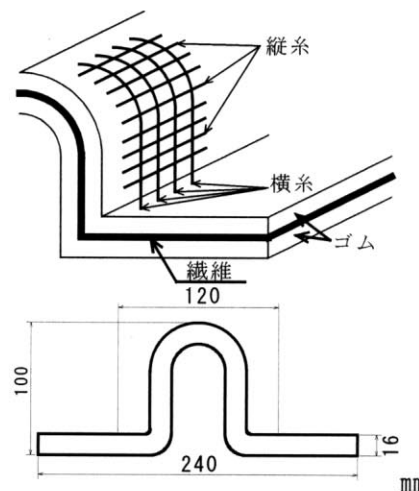


図-3 供試体の概要

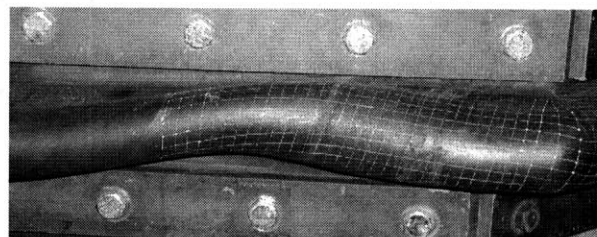


図-4 変形状況図(ねじり角 5°)

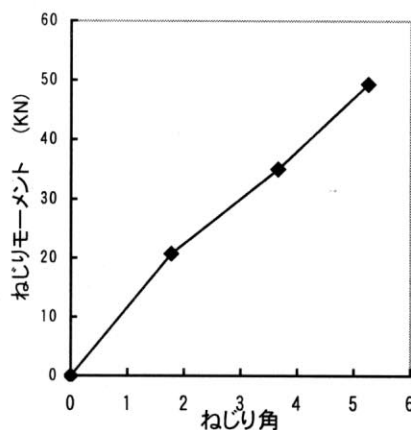


図-5 ねじり角・モーメント関係

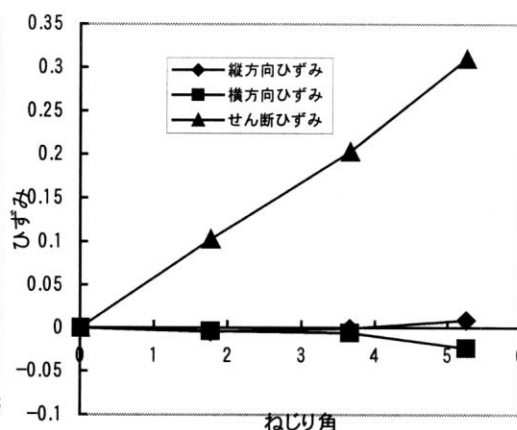


図-6 ねじり角と直線部の平均ひずみの関係

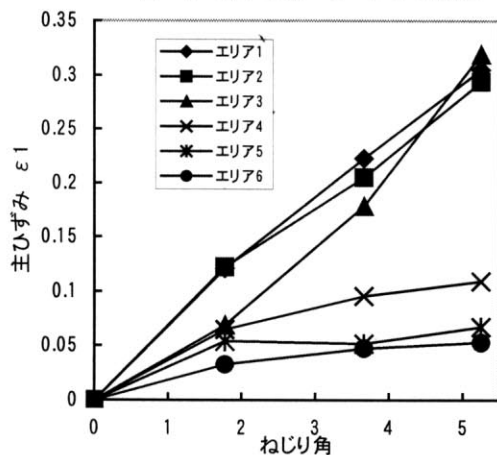


図-7 ねじり角とコーナー部の平均ひずみの関係

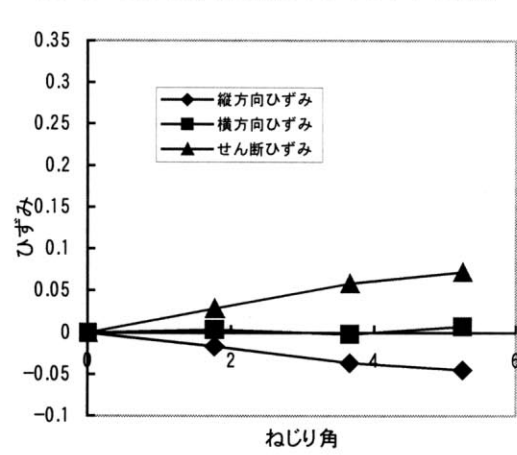


図-8 ねじり角と主ひずみの関係