

ゴムと繊維の複合材料によるトンネル用止水ゴムの有限要素法解析

早稲田大学理工学部 学生会員 中野 圭崇

早稲田大学理工学部 フェロー 清宮 理

住友ゴム工業株式会社

林 信治

1. まえがき

不等沈下、地震等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。今回対象とする止水ゴムでは断面力を吸収することと止水性が重要である。この止水ゴムはゴムと繊維による複合材料で構成されているが、外力による変形でどの程度の変形量やひずみ量が生じるか、現在計測技術の制約から実験的な評価が難しい。今回止水ゴムの載荷試験による変位荷重関係について材料非線形性と幾何学非線形性を考慮した大変形有限要素法解析による計算値と実験値との比較を行ったので報告する。

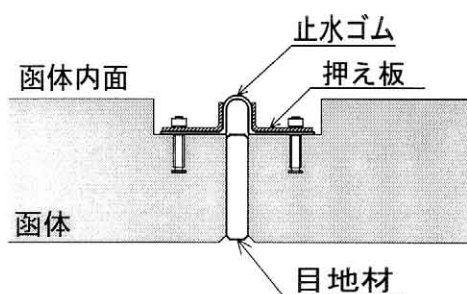


図-1 柔継手の構造

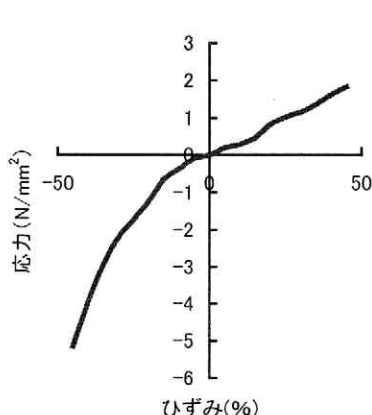


図-2 ゴム材の材料特性

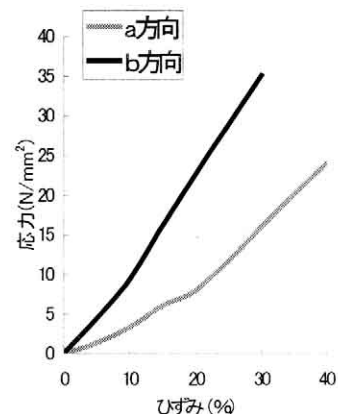


図-3 繊維の材料特性

2. 止水ゴムの構造と材料特性

図-1 にトンネルの柔継手の構造を示す。この継手はゴムと繊維の複合部材で止水性と可とう性を確保する。今回使用するゴム材と繊維の物性試験から得られた応力とひずみの関係を図-2、図-3に示す。このときの硬度は 60 ± 5 度、Mooney-Rivlin の定数 C_{10} 、 C_{01} はそれぞれ 0.46 N/mm^2 、 0 N/mm^2 であった。ゴムは変形中にほとんど体積が変わらないのでポアソン比は 0.49 とした。ゴムの中に配置されている繊維はポリエステルで、直交異方性を示し、図-4のa、bそれぞれの方向に対する弾性率は、 60 N/mm^2 、 115 N/mm^2 であった。

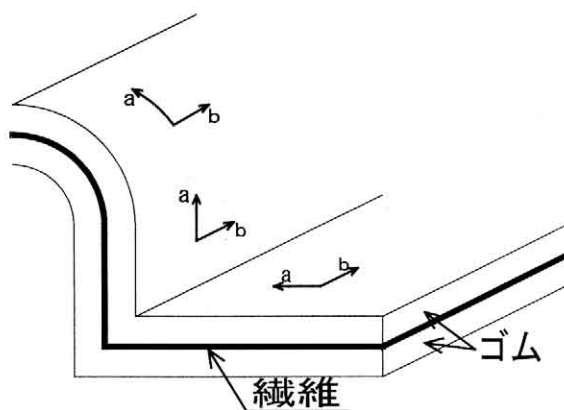


図-4 止水ゴムの断面の構成

3. 有限要素法のモデル化

今回解析の対象とする止水ゴムの形状を図-4に示す。止水ゴムの厚さは 14 mm とし、長さは 1000 mm とした。繊維の厚さは、 0.5 mm とした。解析モデルの節点数は 5661 、要素数は 5400 である。片方の函体との接触面は完全に拘束して、もう一方の接触面は強制変位を与える方向のみを自由にして、それ以外の方向には拘束した。以上の条件で、Mooney-Rivlin 定数 $C_{10}=0.46, 0.23, 0.15, 0.10 (\text{N/mm}^2)$ と変えて一方の接触面に軸引張、軸方向のせん断の2方向にそれぞれ強制変位量を与えた。強制変位量は解が発散するまで、静的に軸引張では 1 mm 、軸方向のせん断では 2 mm ごと段階的に与えた。

キーワード：有限要素法、柔継手、止水ゴム、複合部材、トンネル

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

4. 実験結果と計算結果の比較

図-6 に止水ゴム断面の軸引張り対する変形状況を示す。図-7 にせん断の変形状況を示す。図-8 に軸引張、図-9 に軸方向のせん断の載荷実験と計算から得られた変位荷重関係を示す。表-1 に軸引張における Mooney-Rivlin 定数 C_{10} と解が発散したときの強制変位量の関係と変位荷重関係から得られたばね定数の実験値と解析値の比較を示す。トンネルの耐震設計ではトンネルを弾性支床上の梁として仮定するので柔継手をばねで置換する。このためばね定数の評価が重要となる。同様に軸方向のせん断については表-2 に示す。ばね定数を比較した範囲は軸引張が 0~60mm、軸方向のせん断が 0~100mm である。

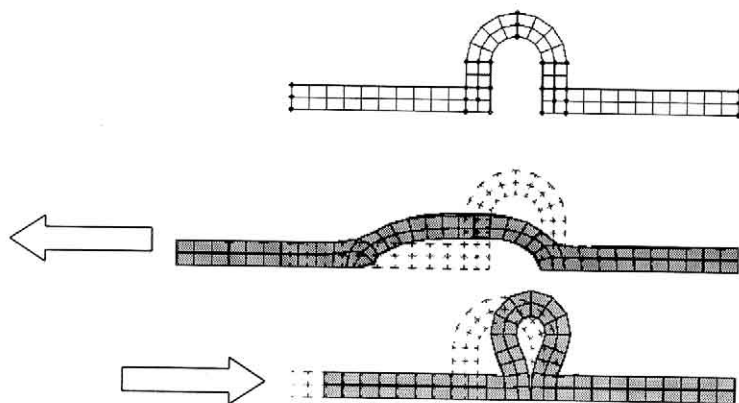


図-6 軸引張圧縮変形状況図

表-1 実験値と計算値のばね定数の比較 (引張)

C_{10} (N/mm ²)	0.46	0.23	0.15	0.10
発散時変位量(mm)	76	72	68	53
ばね定数(N/mm)	59.6	32.5	23.5	12.9

実験値より求めたばね定数: 15.7 (N/mm)

表-2 実験値と計算値のばね定数の比較 (せん断)

C_{10} (N/mm ²)	0.46	0.23	0.15	0.10
発散時変位量(mm)	100	64	52	46
ばね定数(N/mm)	135.4	86.1	65.1	49.9

実験値より求めたばね定数: 74.6 (N/mm)

5. 結論

ゴムと繊維の複合材料の載荷試験を有限要素法で再現しようとする、材料試験から得られた Mooney-Rivlin 定数 C_{10} よりも小さな値を用いなければならず、軸引張では 1/3~1/4 軸方向のせん断では 1/2~1/3 の値を用いれば変位荷重曲線がよく一致した。しかし、 C_{10} 値を小さくするに従い小さな強制変位量で解が発散した。ゴム材料の定数の設定方法を更に材料試験などにより検討したい。

参考文献: (1)清宮 理、他 4 名; 沈埋トンネル用ゴムガスケットの有限要素法解析、構造工学論文集 pp.113~121、1989 年
(2)運輸省; 埋設構造物用柔継手の載荷試験業務報告書、1992 年

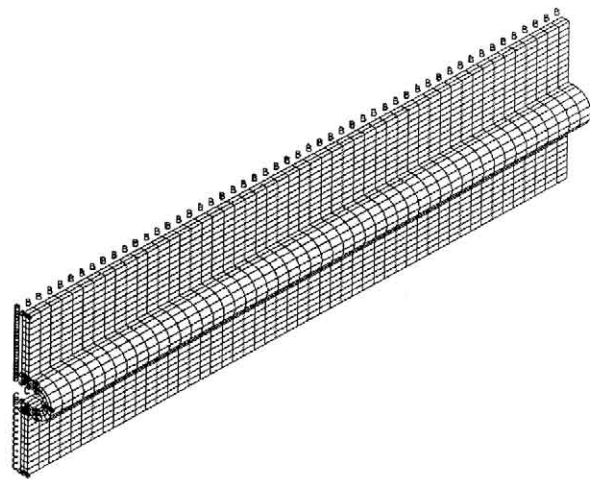


図-5 有限要素法解析モデル

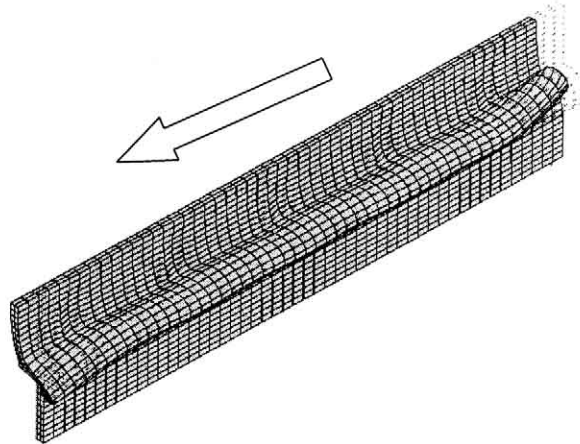


図-7 せん断変形状況図

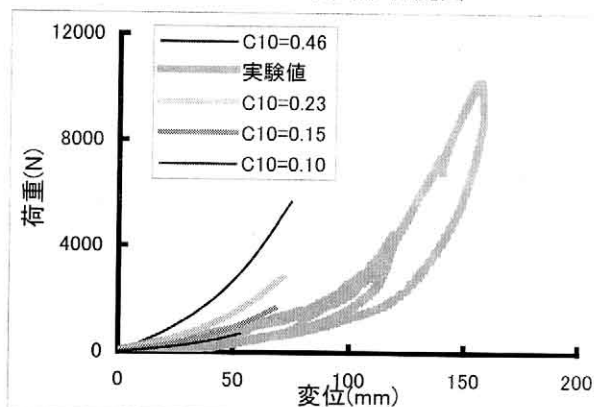


図-8 軸引張変位荷重関係

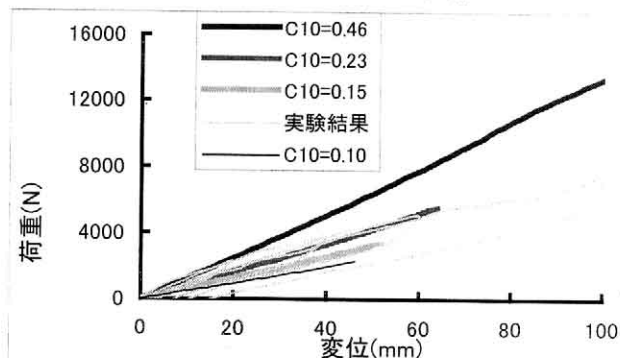


図-9 軸方向せん断変位荷重関係