有限要素モデルを用いた積層ゴム支承の回転変形に関する設計式の構築

山梨大学 学生会員 〇柚木 和徳,山梨大学 正会員 吉田 純司 ㈱高速道路総合技術研究所 正会員 塩畑 英俊 ゴム支承協会 正会員 今井 隆 山梨大学 フェロー会員 杉山 俊幸

1. はじめに

橋梁における積層ゴム支承の設計方法では,既往 の引張り試験結果を基に,支承全体が引張り変形を 受ける場合の鉛直荷重の許容値を定めている.一方, 積層ゴム支承は活荷重および死荷重による桁のたわ みや,温度変化による桁の収縮により回転変形を生 じ,内部のゴムに局所的な膨張変形を生じる.しか し,回転変形は実験が困難なため,これまでに定量 的評価は行われておらず,設計では局所的にも引張 り変形を許容しないことを規定している¹⁾.この制限 により支承の規模が増加する傾向にありコスト増加 の原因となっている.

今井ら²⁾は、上下が拘束されたゴム層の引張り載荷 試験とFEMによる解析を行い、積層ゴム支承の限界 回転角を算出した.さらに、一次・二次形状係数お よび面圧を変数とする設計式を構築した.ただし、 この研究では正方形の積層ゴム支承のみを対象とし、 また常時のせん断変形を考慮していない.

本研究では、3種類の形状の積層ゴム支承を対象に し、常時のせん断変形を考慮した限界回転角を予測 する設計式を構築する.

2. FEMを用いた支承の回転変形の解析

(1) 解析方法

本研究ではFEMによる3次元解析³⁾を用いて,一定 のせん断変形および圧縮荷重下で回転変形を付与し, 積層ゴム支承の限界回転角を算出する.ここで限界 回転角はゴム内部の静水圧の最小値が弾性限界であ る-6[N/mm²]²⁾に達したときの角度である.さらに, FEMではゴムの構成則としてMullins効果を再現でき るOgden型の準弾性モデル⁴⁾を採用し,ゴムの材料定 数は文献2)と同様とした.

解析モデルは、平面寸法が $1m \times 1m$ の正方形モデル、 $1m \times 0.667m$ の長方形モデルおよび直径1mの円形モ デルの3種類とした。各支承モデルに対し一次形状係 数 $s_i & e_4 \sim 14$ 、二次形状係数 $s_2 & e_4 \sim 8$ の範囲で変動させ、 約700ケースについて解析を行った。解析では図-1に 示す解析条件の下、面圧 $0[N/mm^2]$, $4[N/mm^2]$, $8[N/mm^2]$, $12[N/mm^2]$ の鉛直荷重下で、せん断変形を 付与しない場合および付与した場合の限界回転角を 算出した.また、図-1に示すようにせん断変形の正 負を規定し、せん断変形はゴムの総厚の±15%、±35%、 ±50%、±70%を与えた.ただし、長方形モデルでは支 承の中心から短辺に向かう方向にせん断変形および 回転変形を与えた.

(2) 解析結果

図-2は、円形モデルにおいて面圧0[N/mm²]を載荷 し、せん断変形を与えない場合と+70%のせん断変形 を与えた場合、および面圧4[N/mm²]を載荷しせん断 変形を与えない場合の限界回転角を示している.図 を見るとS、の増加に対して限界回転角は反比例して 減少し、S、の増加に対して限界回転角は全体的に減 少している.また、面圧が増加すると限界回転角は 全体的に増加する. さらに、せん断変形を与えた場 合では与えない場合に対し若干ではあるが限界回転 角が全体的に減少している.図-3は横軸にせん断変 形の割合,縦軸にせん断変形を与えない場合を1とし た限界回転角の比をプロットし, せん断変形と限界 回転角の相関関係を示している.ここで、図中の凡 例は、面圧-S,-S,の順に示している.図を見るとば らつきはあるが、付与するせん断変形の増加に対し 一定の傾向で限界回転角が減少している.以上の傾 向は全解析ケースについて共通であった.



キーワード:積層ゴム支承,回転変形,せん断変形,FEM解析,設計式
連絡先:〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11 山梨大学工学部 土木環境工学科 Tell:0554-220-8521





せん断変形+70%を付与した場合

せん断変形を与えない場合

各支承における設計式の未知係数

図-2 円形モデルにおいて各条件下で回転変形を与えた場合にゴム内部の静水圧が-6[N/mm²]に達する角度

表_1



限界回転角とせん断変形の相関関係

支承の回転限界性能に関する設計式の構築

上述した解析より得られた3種類の支承形状の限 界回転角 $\tilde{\theta}$ は、一次形状係数 S_1 、二次形状係数 S_2 、 面 E_P ,およびせん断変形ひずみ γ に依存して変化 する.よって、文献 2)で提案された式を基に、せん 断変形を考慮した回転限界角を予測する以下のよう な設計式を構築した.

$$\tilde{\theta}(S_1, S_2, P, \gamma) = Z(\gamma) \cdot F(P) \cdot H(S_1, S_2)$$
(1)

$$H(S_1, S_2) = \sum_{i=1}^{3} \frac{L_i(S_2)}{S_1^i} , \quad L_i(S_2) = \sum_{k=0}^{3} a_{ki} S_2^k$$
(2)

$$F(P) = 1 + \frac{P}{b_1} + \frac{P^2}{b_2}$$
(3)

$$Z(\gamma) = -\left|\frac{\gamma}{c_1}\right|^{c_2} + 1 \tag{4}$$

ただし、限界回転角 $\tilde{\theta}$ および面圧Pの単位は、それぞれ [度]および[N/mm²]である. また, a_{ki} ($k = 0 \sim 3$, $i = 1 \sim 3$), b_1 , b_2 , c_1 , c_2 は未知係数であり, FEM解析による限 界回転角と設計式による限界回転角の差の二乗の和が 最小となるように決定した.表-1に各支承の設計式の係 数を示す.

	正方形	長方形	円形
a_{01}	-6.75×10 ²	-1.04×10 ³	-1.96×10 ³
a_{11}	1.68×10 ³	72.2	9.39×10 ²
a_{21}	2.64×10 ²	1.69	-1.53×10 ²
a_{31}	14.3	0.192	7.64
a_{02}	-1.26×10^{3}	1.23×10 ³	-3.40×10 ²
a_{12}	-1.41×10^{3}	4.20×10 ²	5.65×10 ²
a_{22}	-1.43×10 ³	2.82×10 ²	-74.4
a_{32}	42.4	-31.8	13.0
a_{03}	-3.36×10 ²	-5.55×10 ²	2.71×10^{2}
a_{13}	-6.03×10 ²	-1.86×10 ²	3.84×10 ²
a_{23}	-1.04×10^{2}	-3.73×10 ²	-17.6
a_{33}	1.06×10 ³	-34.0	-77.7
$b_1 [\text{N/mm}^2]$	-0.799	-0.206	0.411
$b_2^{2} [N^2/mm^4]$	7.71×10 ⁻³	2.76×10 ⁻⁵	-4.82×10 ⁻³
c_1	5.82	2.61	12.3
C.	1 32	1.85	1.06

まとめ

本研究では、3種類の支承形状を対象に、一次形状係 数,二次形状係数,面圧に加えせん断変形を変数とす る限界回転角を予測する設計式を構築した.

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋支承便覧, 丸善, 2004
- 2) 今井隆,吉田純司,西村貴明,田中弘紀:積層ゴム支承の 回転限界に関する設計式の構築,土木学会第62回年次学 術講演会概要集, I-344, 2007.9.
- 3) 吉田純司,阿部雅人,藤野陽三:高減衰積層ゴム支承の3 次元有限要素解析法, 土木学会論文集, No.717, pp.37-52, 2002.
- 4) Ogden, R.W. and Roxburgh, D.G. : A pseudo-elastic model for the Mullins effect in filled rubber, The Royal Society of London, A-455, pp.2861-2877, 1999.