

ゴム製衝撃緩衝材の桁間衝突荷重の低減効果に関する解析的考察

九州大学 学生員 穴水 宏和 九州大学 正 員 園田 佳巨
九州大学 正 員 彦坂 照

1. 序 論

兵庫県南部地震以後、橋梁に免震支承を設けて長周期化することで耐震性の向上が計られることが多い。しかし、それにとまなう桁の応答変位の増大のため、桁間の衝突を考慮する必要が生じており、衝突時の荷重低減を目的としたゴム製緩衝材の検討も行われている。しかし、既往の研究ではゴム製緩衝材の大変形特性を十分に考慮した検討を行っているとは言い難い。そこで、本研究ではゴム製緩衝材の大変形特性を考慮した有限要素解析を行い、その緩衝効果について解析的考察を試みるものである。

2. ゴムの静的大変形解析

2.1 ゴムの材料モデル

一般に、ゴムは大きな非線型弾性領域を有する超弾性体として評価される。しかし、等方弾性を仮定する場合、Mooney-Livlin 等の式を用いず、その特性を簡易に評価することも可能であるものと考えられる。そこで、本研究では図-1 に示す単軸引張試験結果を元に、ひずみエネルギー密度 W の値に応じた弾性係数 E の非線型な評価式を求め、その式を用いて変形状況に応じた剛性の修正を各要素毎に行うことで簡易なモデル化をおこなった。一方、ポアソン比はゴムの非圧縮性を考慮して $\nu=0.49$ とした。

2.2 大変形の考慮

ここでは、ゴムの塑性化は想定していないため、構成式の剛性項に大変形の影響を考慮する必要は無いが、幾何学的な非線形性の影響は解析に取り入れる必要がある。そこで、本研究では Jaumann 応力速度を想定し、剛体回転の影響を仮想外力増分として与えることにした。すなわち、通常の増分型剛性方程式に式(1)で求められる仮想外力増分 $\{dF_s\}$ を差し引いた式(2)を用いた解析を行った。

$$\{dF_s\} = \int_V [B]^T \cdot d\sigma [B] dV \quad (1)$$

ここに、 $d\omega_{ij} = (d\omega_{ik}\sigma_{kj} - \sigma_{ik}d\omega_{kj})$ 、 σ_{ij} : Cauchy 応力、

$$\omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) : \text{回転テンソル}$$

$$\{F\} - \{F_s\} = [K]\{u\} \quad (2)$$

3. ゴム製緩衝材の静的解析結果

(1) ゴム製緩衝材のモデル化

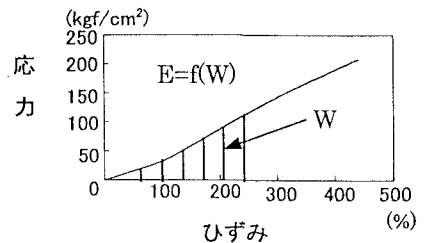


図-1 ゴムの単軸引張試験結果

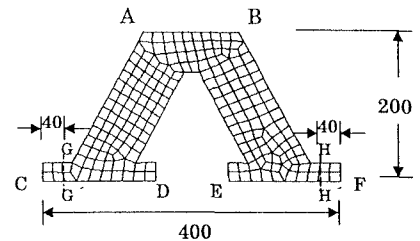


図-2 V字型緩衝壁解析モデル

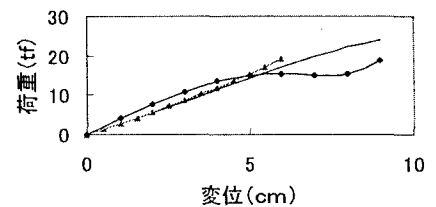


図-3 大変形を考慮した解析結果

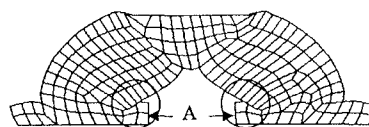


図-4 大変形を考慮しない場合の変形図(35%ひずみ時)

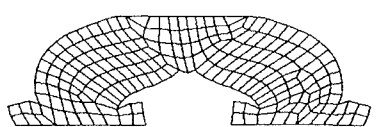


図-5 大変形を考慮した場合の変形図(35%ひずみ時)

図-2に示すような可撓性に富むゴム製V字型緩衝材を解析対象とし、設置方法がその耐力特性に与える影響について2通りのケースで検討した。すなわち、図-2においてCD、EF辺を鉛直、水平方向に完全固定する場合（下端拘束）と、GG'、HH'断面をボルトで固定する場合（ボルト固定）の2通りで比較した。载荷についてはAB辺に鉛直下向きに強制変位を与えるものとした。なお、ゴムの非圧縮性により、通常の有限要素モデルでは過拘束の問題が生じて良好な解が得られないことから、体積ひずみに対する剛性は選択低減積分法により評価した。

(2)大変形を考慮した解析

下端拘束の条件で大変形を考慮した場合と考慮しない場合の荷重 - 変位関係を図-3に示す。ここで、大変形を考慮しない場合、ひずみが30%(変位6cm)の段階で、図-4のA部に示すように脚部の変形に現実には発生しないフォールディングが発生し、以後の解析は不可能となった。このように、大変形を考慮しないと現実とは異なる挙動が得られるなど、この種のゴム製緩衝材の力学特性評価に大変形の影響を考慮する必要性が確認された。

(3)設置条件（拘束条件）の影響

ゴム製緩衝材の変形特性は、設置条件により大きく変化するものと思われる。そこでV字型緩衝材に対して拘束条件を変えた場合の解析結果を比較した。図-6は、下端拘束と、ボルト固定の2ケースで荷重 - 変位関係を比較したもので、この図より45%圧縮時(9cm変位時)に両者に35%の耐力の相違が認められた。また図-7,8は45%圧縮時の変形状況を比較したもので、この図より拘束条件の相違が脚下部の変形に大きな影響を与え、水平方向力に対して全く異なる力の釣り合い状況になることが確認された。

4.ゴム製緩衝材による衝突荷重の低減効果

図-9に示す3径間PC連続桁橋を対象に、橋台1、2の両端に、ゴム製緩衝材を10個設置した場合の地震応答解析を行った。本解析では桁および橋脚は曲げと軸力を考慮した骨組要素とし、ゴム製緩衝材の特性は図-6に示す荷重 - 変位曲線をバイリニア型にモデル化した。入力地震波形は保有水平耐力法レベルの入力地震(Ⅱ種地盤)を用い、遊間は5cmとし、緩衝材の設置条件による緩衝効果の相違を比較した。図-10は、緩衝材1個当りに発生した衝突荷重 - 時間曲線を示したもので、この図より同一の緩衝材でも設置条件が異なれば衝突荷重が半減し、緩衝効果が大きく変化する可能性があることが認められ、ゴム製緩衝材の設置条件等にも十分な検討が必要であることが推察された。

参考文献：1)桁間衝突を低減するための緩衝装置の有効性、庄司学・川島一彦、第一回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、1998年1月

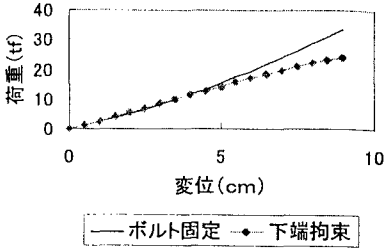


図-6 拘束条件の相違による影響

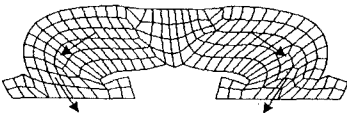


図-7 下端拘束時の変形状態

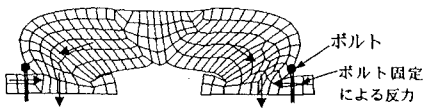


図-8 ボルト固定時の変形状態

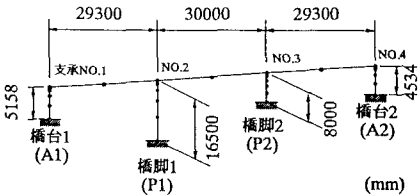


図-9 解析モデル

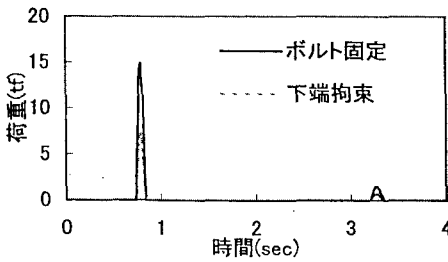


図-10 衝突荷重 - 時間曲線