

立命館大学大学院 学生員 ○中尾 尚史

立命館大学 正会員 伊津野和行

1. はじめに

兵庫県南部地震では多くの橋梁構造物が破壊を受けた。その後に改定された道路示方書耐震設計編では緩衝効果のある落橋防止構造の採用が義務づけられている。しかし、緩衝効果の具体的な評価方法や緩衝材の設計法は確立されていない。そこで本研究では、非線形緩衝材モデルを用いて、緩衝効果の定式化・定量化を目指し、合理的な設計法の開発を目的とする。

2. 運動方程式の定式化

落橋防止装置としては、図 1 に示すような、ケーブルと緩衝装置を対象とした。緩衝装置はケーブル端部に設けられた線形ばね k_s と非線形ばね P でモデル化した。

ケーブルのばね定数 k_c はケーブル剛性の現行設計法から、1GN/m とし、非線形ばねは一定の力 P が作用すると仮定した。

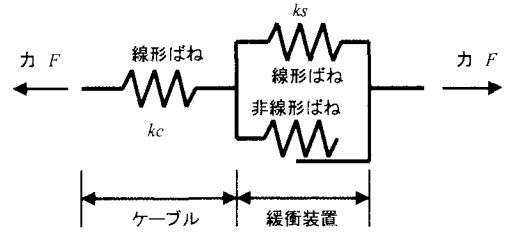


図 1 緩衝材を付加したケーブルのモデル化

図 2 は装置に作用する力と変形の最大値を求めるフローチャートを示したものである。ケーブルのみが変形した場合に、ケーブルに作用する力の最大値 F は桁質量 M とケーブル作動時の桁速度から

$$F = \sqrt{k_s M V^2}$$

となる。この F が、非線形緩衝材の復元力 P と同じか小さければ緩衝材は変形せず、ケーブルの変形のみになる。 F が P よりも大きい場合には、緩衝材も変形し、 F と緩衝材の変形量 d は

$$F = \sqrt{\frac{k_c k_s}{k_c + k_s} \left(\frac{P^2}{k_s} + M V^2 \right)}$$

$$d = (F - P) / k_s$$

となる。この d が限界変形量 d_{lim} より小さいときは、 d は上式となる。しかし、 d が限界変形量 d_{lim} より大きい場合は、緩衝材が d_{lim} までしか変形できない場合に消費するエネルギー量を考え、 F 、 d は次式が得られる。

$$F = \sqrt{k_s (M V^2 - 2 P d - k_s d^2)}$$

$$d = d_{lim}$$

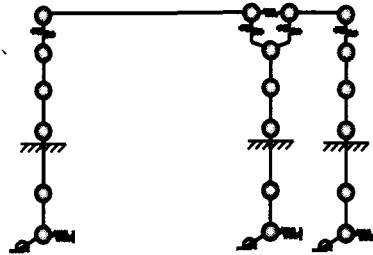


図 3 解析モデル

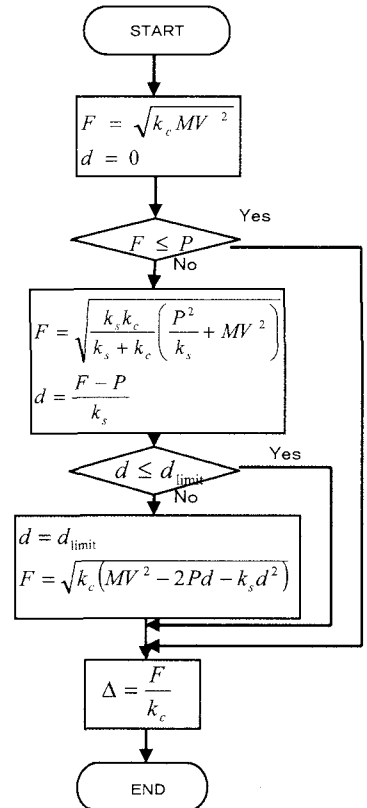
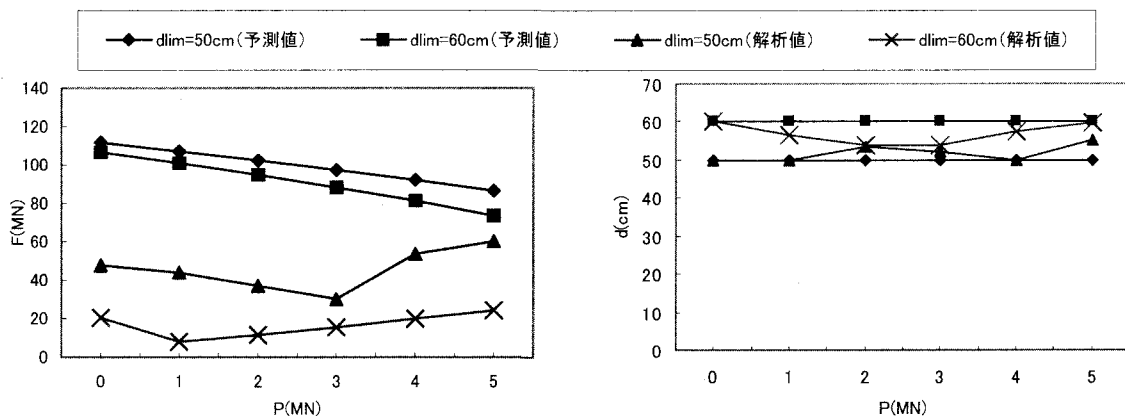
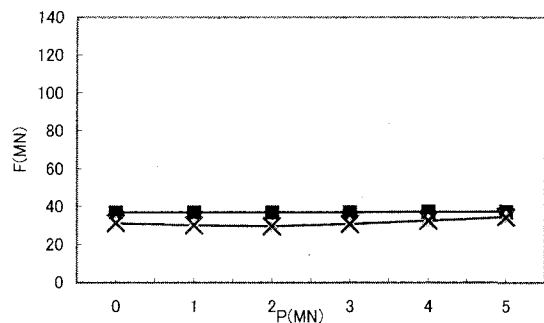


図 2 装置に作用する力と変形の最大値を求めるフローチャート

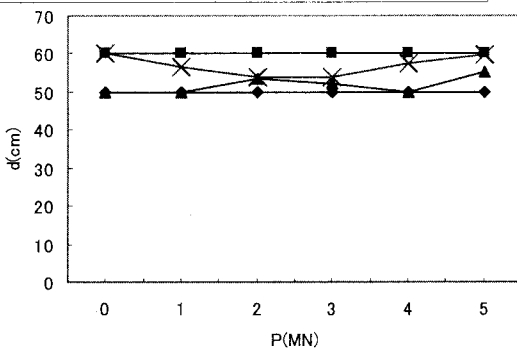


(a) 柔らかい緩衝材 ($k_s = 10 \text{ MN/m}$)

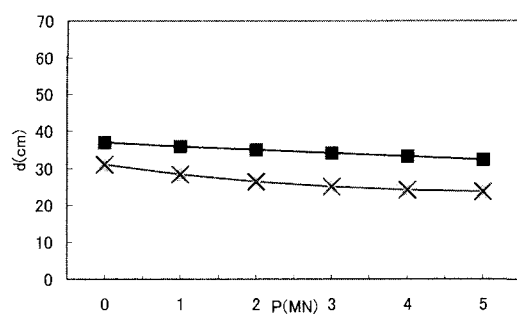


(b) 硬い緩衝材 ($k_s = 100 \text{ MN/m}$)

図4 ケーブルに作用する力



(a) 柔らかい緩衝材 ($k_s = 10 \text{ MN/m}$)



(b) 硬い緩衝材 ($k_s = 100 \text{ MN/m}$)

図5 装置の変形量

3. 解析モデル

解析モデルは長大橋（スパン長 250m）、隣接中小橋（スパン長 50m）からなる図3の橋梁を対象とし、長大橋と隣接中小橋の間に落橋防止装置を設置した。地震波は示方書の標準波を用いて橋軸方向に作用させ、解析により得られた緩衝材の伸びと、ケーブルに作用する力を、図2の予測値と比較する。また、相対速度は解析結果から、5 m/s とする。

4. 解析結果

図4は、柔らかい緩衝材 ($k_s = 10 \text{ MN/m}$) と硬い緩衝材 ($k_s = 100 \text{ MN/m}$) を用いた場合にケーブルに作用する力を表している。両者とも予測値を下回っており、予測値で計算すると安全であると考えられる。また、柔らかい緩衝材 ($k_s = 10 \text{ MN/m}$) では、Pがある一定値を超えるとFが増加するこがわかる。これは非線形ばねが動き始めるために必要な作用力が増加し、緩衝効果が低下していると考えられる。

図5は緩衝装置の変形量を表したものである。柔らかい緩衝材 ($k_s = 10 \text{ MN/m}$) を用いると、ほぼ限界変形量に達している。一方、硬い緩衝材 ($k_s = 100 \text{ MN/m}$) を用いた場合には限界変形量に達しておらず、解析結果と予測値の違いも少ない。

5. おわりに

本研究では緩衝装置の定式化を目的として行った。その結果、今回の設計法で、落橋防止装置の挙動を予測した設計値以下にすることができた。

今後は、今回考えた落橋防止装置の具体的設計や、どのように取り付けるかを考えていく必要がある。