

落橋防止ケーブルの設計作動速度に関する基礎的研究

立命館大学大学院理工学研究科 学生会員 野瀬 大資
立命館大学理工学部 正会員 伊津野 和行

1. はじめに

近年、落橋防止システムの高機能化・高性能化の必要性が高まっている。落橋防止システムは、設計段階における想定外の事態にも備えなければならないが、設計段階でシステムの作動状況を把握することは困難である。そこで本研究では、落橋防止システムの作動速度に着目し、隣接する構造物間の最大相対速度を推定することによってシステムに作用する力を決め、現行基準の設計と比較し検討した。

2. 隣接構造物の相対運動

図1のように、独立した2つの異なる固有周期を有する構造系間に生じる相対速度を、数値シミュレーションによって検討した。固有周期 $T_1=0.5\sim 1.0$ 秒（0.1秒間隔）を有するモデル1と、それぞれに対する周期比 $T_2/T_1=0.6\sim 1.5$ （0.1間隔）を有するモデル2とを考えた。固有周期1秒を有するモデル1の質量 $m_1=250t$ として、モデル2の質量 m_2 、モデル1のバネ定数 k_1 、モデル2のバネ定数 k_2 はそれぞれの固有周期、固有周期比を満足するように決めた。構造物のばね k_1, k_2 に非線形性を考慮すると、相対速度は線形の場合より小さくなったため、ここでは安全側として線形ばねを仮定した。減衰定数はどちらも $h=0.05$ とした。II種地盤波タイプI地震動の標準波形3波を用いて時刻歴応答解析を行い、その最大相対速度を求めた。

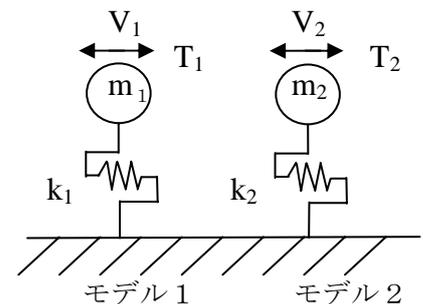


図1：解析モデル

3. 最大相対速度の推定式

まず相対速度に関する提案式の検討を行なった。図2の121, 122, 123は、3つの標準波形それぞれを入力した場合の固有周期 $T_1=1$ 秒の時の相対速度を示したものである。周期比1では2つのモデルが同じ動きをするため相対速度は0となり、固有周期が離れるほど相対速度が大きくなる。②式と④式は3波平均値に対して周期比1で0となる2次式で最小自乗近似した式で、①式と⑤式はそれぞれ②式と④式の係数を有効数字1桁に簡易化した式である。安全のため、標準波形3波の値をすべて包含するよう、①式と⑤式に安全率をかけることにすると、1.8倍した③式と⑥式が得られる。ただし、この式では最大相対速度の推定値が実際の値より大きくなりすぎる領域があるため、 $T_2/T_1 < 1$ では200cm/s, $T_2/T_1 > 1$ では300cm/sを上限値として設定することとする。

図2の③式と⑥式の最大相対速度の値にそれぞれ上限をつけ、かつ固有周期 $T_1=0.5\sim 1.0$ 秒（0.1秒間隔）間ですべての相対速度を求められるようにした提案式を示すのが図3である。

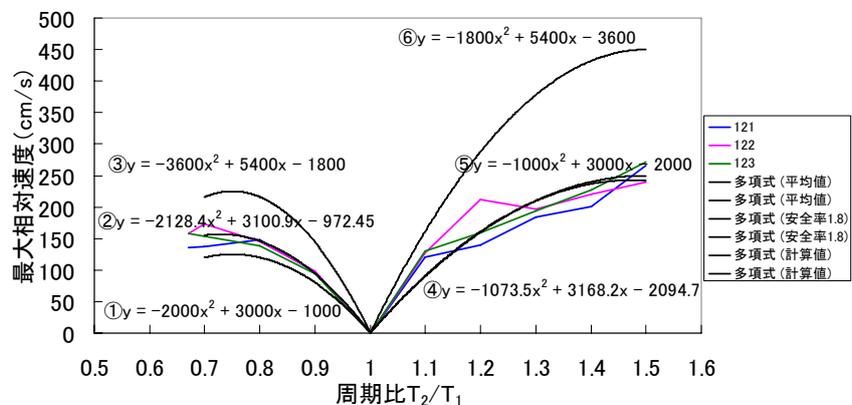


図2：相対速度応答スペクトル

キーワード：落橋防止システム，相対速度，耐震設計法

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 Tel./Fax. 077-561-2728

周期比 $T_2/T_1=0.67\sim 1$ の場合、

$$y = (-3600x^2 + 5400x - 1800) \times T_1, y \leq 200 \times T_1 \quad (1)$$

周期比 $T_2/T_1=1\sim 1.5$ の場合、

$$y = (-1800x^2 + 5400x - 3600) \times T_1, y \leq 300 \times T_1 \quad (2)$$

なお、 y は最大相対速度、 x は周期比 (T_2/T_1)、 T_1 はモデル 1 の固有周期である。これらの式を用いると、II種地盤波タイプ I 地震動の標準波形 3 波を用いた応答結果は、すべて包含されることを確認した。

T_1 が大きくなると相対速度も大きくなる傾向にある。

これらの式によって、落橋防止システムの作動速度を推定することとする。

4. 落橋防止ケーブルの設計

落橋防止ケーブルの設計に関して、システムの作動速度からケーブル所要断面積・ケーブル耐力を算定し、現行設計法と比較し検討した。作動速度が推定されれば、エネルギー保存則より、2 つの物体の相対運動のエネルギーを、連結するケーブルのひずみエネルギーに置換して止めるのに必要なケーブル緒元を決定することができる¹⁾。ケーブル所要断面積 A_E は次式により定義される。

$$A_E \geq \frac{m_1 m_2 E}{(m_1 + m_2) L} \left(\frac{y}{\sigma_a} \right)^2 \quad (3)$$

ただし、 m_1 と m_2 は隣接する桁の質量、 E はケーブルのヤング率、 L はケーブル長、 y は(1)式と(2)式の設計作動速度、 σ_a は本研究では降伏まで許容することとしてケーブルの降伏応力である。例として、固有周期 $T_1=0.5$ 秒と $T_2=0.75$ 秒時の相対速度により求めたケーブル所要断面積とケーブル長さの関係を図 4 に示す。ケーブルも力学特性はバネと見なせるため、相対運動を止める際にある限度以内に応力を抑えるには、長いケーブルの方が有利である。現行基準の 1.5Rd で設計したケーブル所要断面積は約 7.4cm^2 である。現行の基準を採用するのであれば、ケーブルの長さが 10m でも提案式による所要断面積に満たない。提案式を採用する場合には、現行より太いケーブルが必要になる。また、設計作動速度でケーブルが作動した場合、許容応力に達しないようにするためには、ある程度長いケーブルが必要である。

5. おわりに

本研究では、落橋防止システムの作動速度を推定する式を提案し、それに基づいた落橋防止ケーブルの設計法について示した。ここでは II 種地盤に対する値を示したが、同様の考え方で他の地盤種別に対する作動速度も推定することができる。なお本研究は、平成 17 年度科学研究費補助金・基盤研究 (B) 「緩衝機能を有する落橋防止装置の耐力と変形性能の評価および動的設計法の開発」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 武野志之歩・大野敬美・伊津野和行：作動速度に基づく落橋防止用連結ケーブルと緩衝材の設計法に関する研究，土木学会論文集，No.731/I-63,pp.341-352,2003 年 4 月

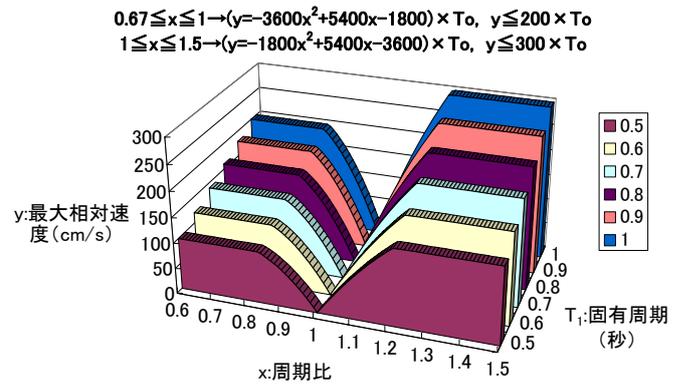


図 3：各固有周期に対するスペクトル

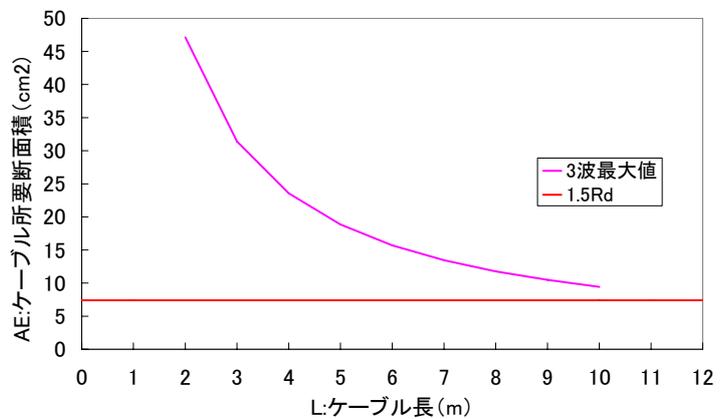


図 4：ケーブル長とケーブル所要断面積の関係