

落橋防止システムにおける緩衝材の設計に関する基礎的検討

立命館大学工学部 正会員 ○伊津野 和行
立命館大学大学院 学生員 中尾 尚史

1. 目的

地震時の落橋を防止するために、道路橋には落橋防止システムの設置が義務付けられている。しかし、現行設計法では死荷重反力のみに基づいて要求耐力が規定されており、緩衝効果の具体的な評価方法は規定されていない。本研究では桁間連結ケーブル装置を対象とし、緩衝材の設計法について検討を行った。

2. 緩衝効果の評価

ここでは、図-1 に示す連結ケーブル型落橋防止装置を検討対象とした。緩衝材がいくらでも変形可能であれば、柔らかい緩衝材ほど緩衝効果が大きい。しかし、現実には緩衝材の大きさが有限であるので、生じ得る変形量、すなわち、ある限界変形量 d_{lim} が存在する。剛性が低いと変形量が大きくなり、限界変形量に達しやすい。限界変形量に達すると、剛性が急増して緩衝効果が無くなる。そのため、緩衝材としては剛性が高く、かつ、限界変形量の大きいものが望ましい¹⁾。図-2 のように、隣接する桁が相対速度 V で離れる時点で装置が作動することを仮定する。図-3 に示すモデルを用い、エネルギー保存則によって装置に作用する力と、装置の変形量を計算する。まず、緩衝材が無限に変形できるものとして、装置に作用する力 F_1 と変形量 d_1 を計算する。変形量 d_1 が、装置の限界変形量 d_{lim} 以下であれば、これらが求める力 F と変形量 d になる。限界変形量 d_{lim} より大きい場合には、緩衝材が d_{lim} まで変形したときに吸収できるエネルギーから、力 F と変形量 d を計算する。

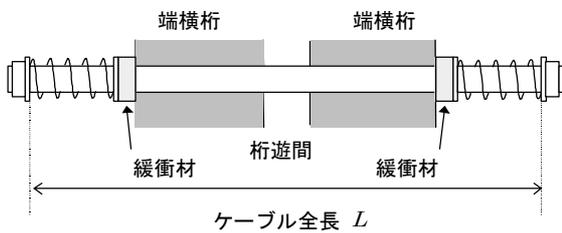


図-1 桁間連結ケーブル型落橋防止構造

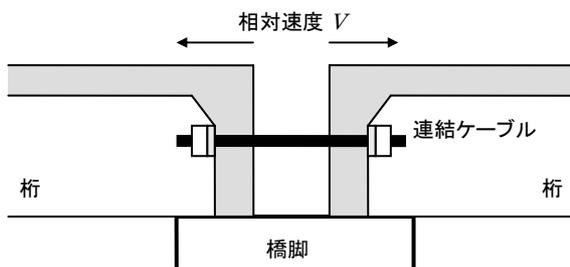


図-2 連結ケーブルの想定作動状況

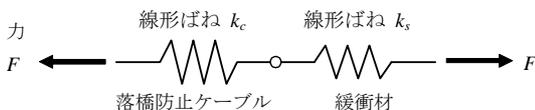


図-3 落橋防止システムのモデル化

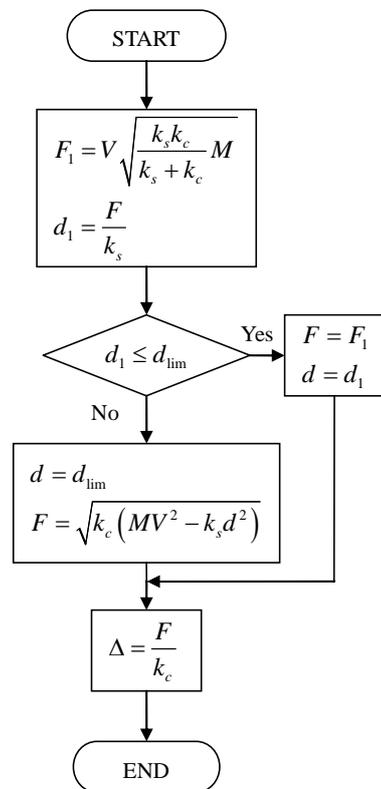


図-4 落橋防止システムに作用する力と変形量を計算するフローチャート

キーワード 落橋防止システム、緩衝材、地震応答、道路橋、金属ばね

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学 工学部 都市システム工学科 TEL./FAX.077-561-2728

使用するケーブルは、弾性係数 $E=200\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y=1.2\text{GPa}$ 、長さ $L=2\text{m}$ の PC 鋼材を想定する。また、隣接する桁の質量は 5700ton と 945ton とした。装置が作動する時の隣接桁相対速度は 5m/s を仮定した。緩衝材の限界変形量 d_{lim} を 50cm とし、限界変形量に達すれば緩衝材は剛体として取り扱い、達する前のばね定数 k_s を 1MN/m と 100MN/m とした場合の計算を行った。ばね定数 k_s を 1MN/m にした場合には、作用する力が 120MN 、変形量は限界変形量 50cm に達する。ばね定数を 100MN/m とした場合には、変形量が限界変形量以下の 40cm であり、作用する力は 40MN であった。緩衝材の変形が限界変形量に達してしまうと、作用する力が3倍以上になる。限界変形量に達しない限りにおいて、なるべく柔らかい緩衝材を使うのが望ましい。

3. 緩衝材の設計

堅い緩衝材で、しかも限界変形量の大きなものを設計するのは難しい。金属のコイルばねを用いることを考えると、ばね定数 k_s は以下の式(1)で表される。

$$k_s = \frac{G\phi^4}{8nD^3} \quad (1)$$

ただし、 G はコイルばね材のせん断弾性係数、 ϕ はコイル材の直径、 n はコイルの巻き数、 D はコイル平均径である（図-5 参照）。ばねが圧縮されてコイルの空隙がなくなれば、限界変形量に達する。巻き数 n を多くすればコイル間の空隙が多くなるため限界変形量が大きくなるが、自由長 H も長くなって装置が大型化する。また、(1)式よりばね定数も小さくなる。コイル平均径 D を小さくすると(1)式よりばね定数は大きくなるが、縦横比 H/D が大きくなると座屈しやすくなる。縦横比は $0.8\sim 4$ 程度が望ましいとされている²⁾。そのため、コイル平均径を小さくしてばね定数を上げることと、限界変形量を大きくすることとは両立しにくい。ピッチ角 γ にも実用上の限界（約 14 度）があり²⁾、ピッチ角を大きくして限界変形量を大きくすることにも限界がある。

例として、鋼のコイルばねを用いることにし、ばね定数 k_s を 10kN/m として設計した場合、表-1 のような諸元が考えられる。これは、市販のばね製品として規格のあるコイル平均径 $D=220\text{mm}$ 、コイル材の直径 $\phi=20\text{mm}$ のばねを使うことにし、ピッチ角を $1\sim 10$ 度の範囲で考えて、限界変形量が 50cm 以上になるように巻き数を調整した結果である。縦横比 H/D を 4 以下にするためには、ピッチ角を $8\sim 10$ 度にする必要がある。また、自由長 H は 80cm ほどになる。このばねを1本のケーブルに 10 個並列で使い、隣接する桁間に 10 本のケーブルを使うとすれば、 1MN/m の緩衝ばねを設置することができる。しかし、1本のケーブルに 10 個のばねを設置するためには、直径 22cm で長さ 80cm のばねを片側に 5 個ずつ並べるとして、 $50\times 50\times 100\text{cm}$ ほどの緩衝装置が、ケーブルの両側に必要となる。さらに、これらの緩衝装置を桁に設置するための部材も大型化することが予測される。さらに、前章で用いた大きなばね定数 100MN/m の緩衝材を実現するには、通常のコイルばねでは実現が困難になることが考えられる。せん断弾性係数の大きな材料や非線形緩衝材の利用等、新しい緩衝装置の考案が必要である。

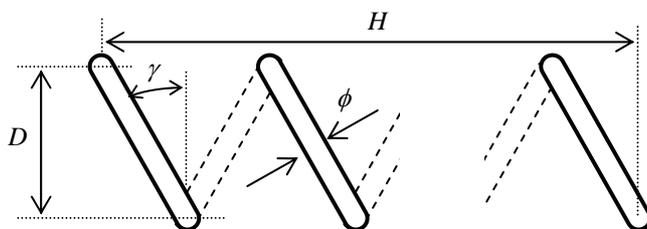


図-5 コイルばね

表-1 ばねの試算

$D(\text{mm})$	$\gamma(\text{度})$	n	$d_{\text{lim}}(\text{cm})$	$H(\text{cm})$	H/D
220	1	131	50.3	503	23
220	7	19	51.3	92	4.2
220	8	17	52.6	88	4.0
220	9	15	52.3	82	3.7
220	10	13	50.4	76	3.4

参考文献

- 1) 伊津野和行・小林紘士：落橋防止ケーブルに対する緩衝材の適用と効果に関する研究，土木学会地震工学論文集，Vol. 27，CD-ROM Paper No.30，pp.1-6，2003年12月。
- 2) 渡辺彬・武田定彦：ばねの基礎（訂正版），パワー社，1997年3月。