

落橋防止用連結ケーブルに発生する応力に関する検討

立命館大学大学院 学生員○大野 敬美
建設技術研究所 正会員 武野 志之歩
立命館大学理工学部 正会員 伊津野 和行

1. はじめに

地震時の落橋を回避する目的で落橋防止システムの設置が行われている。現行の設計法では、対象とする桁の死荷重反力により要求耐力を規定しているが、実挙動下では設計地震力を上回る荷重が作用する可能性がある。

本研究では、桁間連結ケーブル装置による落橋防止システムを対象とした発生応力の誘導を行い、計算例から式の有効性を確認した。発生応力の誘導にはケーブルの吸収エネルギーに基づく振動解析的なアプローチと、応力波伝播による衝撃解析的なアプローチを試みた。

2. 吸収エネルギーに基づく発生応力

連結ケーブル作動時の運動エネルギーが、連結ケーブルのひずみエネルギーにすべて変換されるとして、発生応力の定式化を行う。図1に検討概要を示す。質量 m_1 、 m_2 を有する桁が、連結装置の作動直前に速度 v_1 、 v_2 で運動しているものと仮定する。力積の定義より、ケーブルに作用する荷重は連結ケーブル装置に作用する相対速度に比例する。ケーブル作動直前の桁の相対速度 $v_1 - v_2 = V_c$ とし、ケーブルの長さ L 、断面積 A 、及びヤング率 E より、作用する力は次式のように表される¹⁾。

$$F_E = V_c \sqrt{\frac{EA}{L} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \quad (1)$$

このときの応力式は次式となり、この(2)式を用いて発生応力を求める方法を、以下、エネルギー法とする。

$$\sigma_E = V_c \sqrt{\frac{E}{LA} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \quad (2)$$

3. 応力波伝播を考慮した発生応力

連結装置の作動時における衝撃的挙動について、衝撃問題によるアプローチから衝撃荷重を推定し、連結ケーブル装置の発生応力について検討する。連結ケーブルへの影響を評価するため、桁を剛体、衝突により影響を受ける連結ケーブル装置を弾性体として検討を行った。

地震応答下にある桁が落橋防止システムを作動させ、連結ケーブルに引張力を作用させたときの速度を V_c とし、初期応力 $\sigma_0 = V_c \sqrt{E\rho}$ を代入すると、応力は次式で表せる。

$$\sigma_s = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\sqrt{E\rho}}{M} t\right) \quad (3)$$

E はヤング係数、 ρ は密度、 $M = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ は換算質量である。

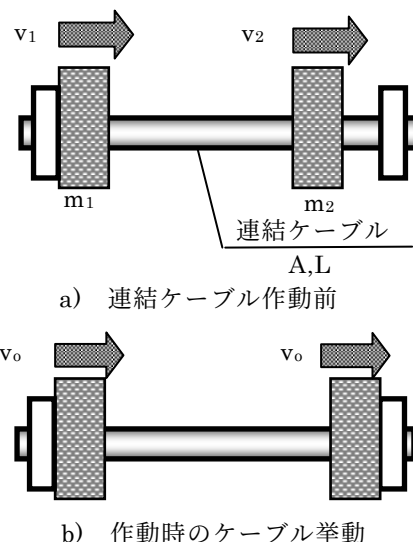


図1 運動エネルギーに着目する場合に想定したケーブルの挙動

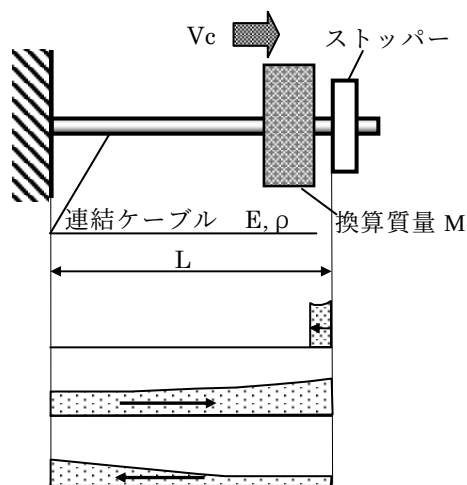


図2 応力波伝播に着目する場合に想定したケーブルの挙動

キーワード：落橋防止、連結ケーブル、衝撃応力、ひずみエネルギー、動的解析

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

この式から分かるように、衝撃端の応力は時間 t の経過とともに指数関数的に減少していくが、波頭は図2のように固定端で反射されたのち、棒を一往復して時間 T のあとに衝撃端に戻ってくる。衝撃が持続していればそこで再び反射される。こうして重畳された波は、1つの応力波のパルスを形成する事になる。衝撃端における n 回目の反射の後に左向きに伝播していく波によって衝撃端に生じている応力の総和を $W_n(t)$ と表すと、このとき衝撃端に帰ってきている波による応力の総和は $W_{n-1}(t-T)$ と表すことが出来る。

そこで、衝撃端に生じる応力は衝撃端から出ていく波による応力と帰ってくる波による応力の和をとって、波頭が棒を n 往復したあと $n+1$ 往復するまでの間、すなわち $nT < t < (n+1)T$ に対しては次式となる。

$$\sigma = W_n(t) + W_{n-1}(t-T) \quad (4)$$

この(3)、(4)式を用いて発生応力を求める方法を、衝撃法とする。

4. 計算例

ここでは、ケーブルの断面積を試設計する。

(2)式より、 $\sigma_E = \sigma_y$ となる断面積 A は次式となる。桁の質量として $m_1 = 5700\text{ton}$ 、 $m_2 = 945\text{ton}$ を想定すると、換算質量は $M = 810\text{ton}$ になる。表1に、用いた連結ケーブルの諸元を示す。

$$A = (E \times M \times V^2) / (L \times \sigma_y^2) = 2300(\text{cm}^2) \quad (5)$$

これに対し、現行の設計荷重を H_F とした時、断面積 A は以下となる。

$$H_F = 1.5R_d = 1.5 \times \frac{m_1 g}{2} = 4.2 \times 10^4 (\text{kN}) \quad (6)$$

$$A = H_F / (\sigma_y / 1.7 \times 1.5) = 400(\text{cm}^2) \quad (7)$$

(5)式と(7)式を比較すると、 $V_c = 2\text{m/s}$ としてエネルギー法で算定した断面は、現行の設計断面より6倍太くなることが分かる。また、 $V_c = 1\text{m/s}$ と仮定すれば、現行断面の1.5倍になる。このエネルギー法では、作動速度をどのように設定するかが非常に重要である。今回の計算では、(5)式から求められた断面積を用いた。

図3に、 $V_c = 2\text{m/s}$ とした時、(3)(4)式から導き出された衝撃応力を示す。この時の最大値は422GPaとなる。一方(2)式よりエネルギー法での最大応力は1200GPaとなり、エネルギー法で求めた応力は、衝撃応力の約3倍となった。なお、エネルギー法で求めた最大応力は、ケーブル作動後約0.3秒で生じるのに対し、衝撃応力の最大値は図3に示すとおり0.01秒までに発生する。

次に、発生する衝撃応力にケーブル長の違いが及ぼす影響について検討した。長さの違うケーブルに生じる応力を、表2に示す。(2)式よりエネルギー法で求められる応力が降伏応力となるよう断面を設計したため、エネルギー法による応力値は、ケーブル長によって変化しない。ケーブルが長くなるほど、発生する衝撃応力は小さくなる。一般に連結ケーブルは最短でも1mほどあり、この短いケーブルでも衝撃応力がエネルギー法で求められる応力よりも小さいことがわかる。

5. まとめ

ケーブルに発生する応力式の誘導を、吸収エネルギーに基づく式と、応力波伝播による衝撃解析的な式を行った。この時、衝撃応力はエネルギー法で求められた応力よりも小さくなった。よって、ケーブルの発生応力を求めるにあたっては、衝撃の影響を無視しても良いと考えられる。

参考文献 1)大野、武野、伊津野：衝突速度に基づく落橋防止用桁間連結ケーブルの所要耐力算定法，第5回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，2002.1.

表1 連結ケーブルの諸元

L(m)	2
E (GPa)	20
$\rho(\text{kg/m}^3)$	7860
$\sigma_y(\text{GPa})$	1.2

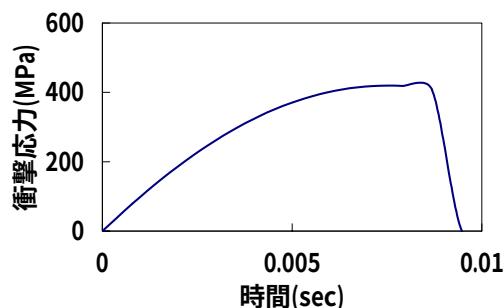


図3 衝撃応力

表2 応力の最大値

	L=1m	L=2m	L=5m
エネルギー法 (GPa)	1200	1200	1200
衝撃法 (GPa)	646	422	233