

衝撃応力を考慮した連結ケーブルの所要耐力に関する検討

(株)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、死荷重反力と設計水平震度により規定されている。しかし、落橋防止システムが実際に作動する際、衝撃的な荷重が作用する可能性がある。現在のところ、連結装置が作動する際の衝撃による影響は動的解析により検討されており、煩雑な作業が要求される。桁間に設置された耐震連結装置について、所要耐力を簡易に把握できれば効果的である。

衝突時に発生する衝撃荷重を直接求めるには、衝突時加速度を決定することが必要である。しかし、パルス状を呈する加速度成分を的確に評価することは困難であり、衝突ばね剛性と反発係数に関する詳細な検討が必要となる。本研究では衝撃応力の衝突速度依存性を利用した連結ケーブルの所要耐力算定法について検討した。

2. 衝撃応力の衝突速度依存性の確認

ここでは桁間をPCケーブルで連結した落橋防止システムを想定し、地震動により桁遊間が拡大して連結ケーブルに荷重が作用する場合について検討を試みる。図-1 に本研究で想定した連結部の概略を示す。定常時はケーブルに荷重が作用せず、遊間が拡大することにより落橋防止システムが作動する。

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う。落橋防止システムが衝撃的に作動するのは、PCケーブルの両端部で桁と落橋防止システム間の衝突が生じた場合である。衝撃応力に対する緩衝材の効果不明確であるため、本検討においてはケーブル端における緩衝材は想定していない。

簡単のため図-2 に示すように一端aを固定端とし、他端に質量Mの桁が衝突する場合に置き換えて検討する。図中の速度 V_c は両側の桁が連結ケーブルに引張力を作用させたときの衝突速度であり、桁間の相対速度に相当する。このとき、衝突により連結ケーブルに作用する衝撃応力は応力波の伝播区間と応力波による物体ひずみ量より、弾性係数 E と応力波速度 C_0 を用いて次式のようになる。

$$\sigma_c = E \cdot \epsilon = -E \frac{V_c}{C_0} \quad \dots (1)$$

一方、力積の定義式では衝突時に2つの弾性棒に生じた力積の和と運動量変化の和が等しいことから衝撃応力は次式でも表現される。

$$\sigma_c = \rho_0 \cdot C_0 \cdot V_c \quad \dots (2)$$

(1)式と(2)式より部材内の応力波速度 C_0 を消去すると、衝撃応力 σ_c は(3)式のようになる。

$$\sigma_c = \sqrt{\rho_0 \cdot E} \cdot V_c \quad \dots (3)$$

(3)式によれば、衝突時の衝撃応力は衝突を受ける連結ケーブルの密度、弾性係数及び衝突速度に依存することが確認できた。連結装置作動時の衝突速度を抽出することで、衝撃応力を確認することが可能である。

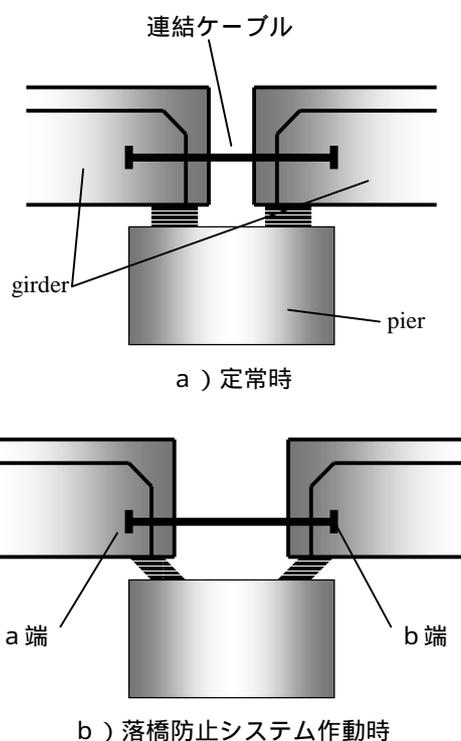


図-1 連結部の概略

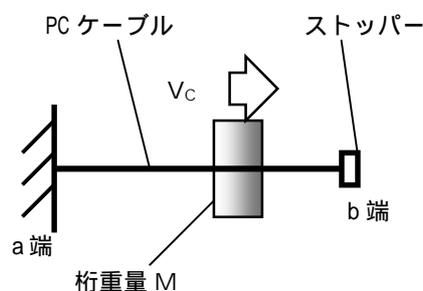


図-2 計算で想定する連結ケーブル

キーワード：落橋防止・連結ケーブル・衝撃応力・衝突速度・衝突速度スペクトル

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

3. 従来設計法に基づくケーブル所要断面

従来、連結ケーブルの耐力は設計地震力 H_f により決定される。したがって、PC ケーブルに作用する最大引張応力は H_f となる。このとき、PC ケーブルの所要断面積 A_c は、次式で算定することが可能である。

$$A_c = \frac{H_f}{\sigma_y} \quad \dots (4)$$

ただし、 σ_y はケーブルの降伏応力である。

4. 衝撃応力に基づいた連結ケーブルの衝撃耐力係数

(3)式で誘導される衝撃応力に基づき、連結装置の所要耐力について検討する。現行の設計法で導かれた(4)式のケーブル所要断面積 A_c を用いると、衝撃応力作用時の耐力 H_s は(5)式により導かれる。

$$H_s = A_c \cdot \sigma_c = \frac{H_f}{\sigma_y} \sqrt{\rho E} \cdot V_c \quad \dots (5)$$

すなわち、設計地震力と衝撃応力考慮時の耐力の比は(6)式となる。本研究では、設計地震力に対する衝撃応力考慮時の耐力の比を衝撃耐力係数と呼ぶこととする。

$$\frac{H_s}{H_f} = \frac{\sqrt{\rho E}}{\sigma_y} V_c \quad \dots (6)$$

落橋防止システムが作動する際の衝撃応力を考慮した場合、連結ケーブルの所要耐力はケーブルの密度、弾性係数、許容応力と衝突速度により算定されることが示された。(6)式で定義される衝撃耐力係数が1以下の場合、衝撃応力による所要耐力は設計地震力以下となるため、現行設計で十分な耐力が保証される。一方、衝撃耐力係数が1以上となった場合、衝撃応力による所要耐力が設計地震力を上回るため、落橋防止システムに緩衝材を設置することが必要となる。図-3 に算定例を示す。算定例では衝撃耐力係数として $3.3V_c$ が得られていることから、衝突速度が 0.30m/sec 以下であれば衝撃応力による所要耐力を考慮する必要がないと判断できる。一方、(6)式において衝突速度を決定することで、所要耐力を具体的に算定することも可能である。衝突速度は図-3 中に示すような衝突速度スペクトルにより誘導可能である。

5. まとめ

以上、本研究では桁間を連結ケーブルで接続する落橋防止システムについて、システム作動時の衝撃応力を考慮した所要耐力の算定方法について検討した。今後、落橋防止システムにおける緩衝材の評価について検討していくことが必要である。以下、得られた結果を示す。

- 1) 衝突発生時の衝撃応力は、衝突を受ける物体の密度、弾性係数及び衝突速度に依存することを確認した。
- 2) 衝撃応力に基づく連結ケーブルの所要耐力と設計地震力の比を衝撃耐力係数として定義した。衝撃耐力係数は連結ケーブル諸元と衝突速度により決定される。
- 3) 衝突速度スペクトルを用いることで、衝撃応力を考慮したケーブルの所要耐力を算定することが可能である。

参考文献

- 1) 日本機会学会編：衝撃破壊工学，技報堂出版株式会社，1990。
- 2) 武野 志之歩，伊津野 和行：隣接橋梁間の地震時相対速度応答と衝突速度スペクトルに関する研究，土木学会論文集，N0.668/ -54，pp.163-175，2001。

衝撃応力を考慮した連結ケーブルの
所要耐力算定例

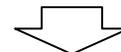
衝撃耐力係数の算定

ケーブル諸元

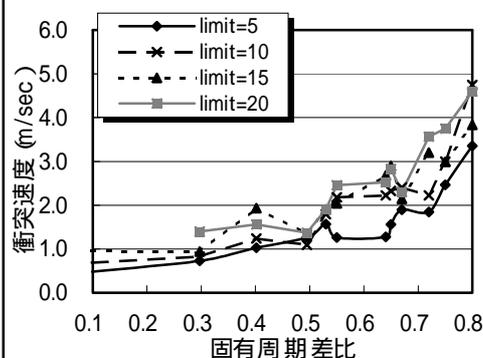
降伏応力 $\sigma_y = 1.2 \times 10^3 \text{MN/m}^2$
 弾性係数 $E = 2.0 \times 10^2 \text{GN/m}$
 密度 $\rho = 7.85 \times 10^1 \text{MN/m}^3$

衝撃耐力係数の算定

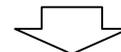
$$\frac{H_s}{H_f} = \frac{\sqrt{\rho E}}{\sigma_y} V_c = 3.3V_c$$



衝突速度の推定



衝突速度スペクトルの例



衝撃応力を考慮した設計耐力

$V_c = 0.3 \text{ m/sec}$ のとき $H_s = H_f$
 $V_c = 1.0 \text{ m/sec}$ のとき $H_s = 3H_f$

図-3 所要耐力算定例