

# 緩衝型落橋防止システムの 設計と取り付けに関する検討

中尾尚史<sup>1</sup>・伊津野和行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>立命館大学大学院環境社会学専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:rv005997@se.ritsumeai.ac.jp

<sup>2</sup>立命館大学理工学部教授 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:izuno@se.ritsumeai.ac.jp

道路橋示方書では緩衝効果のある落橋防止システムの採用が望ましいとされているが、緩衝材の設計法は確立されていない。桁の橋脚からの落下までを考えた場合、落橋防止システムの取り付け部の設計についても検討しておく必要がある。本研究では、緩衝材を有する落橋防止システムについて、合理的な設計法を開発することを目的として数値シミュレーションを行った。その結果、簡易設計法によって、落橋防止システムの挙動を予測できることがわかった。そして、落橋防止システムの設置に関する検討を行い、問題点を明らかにした。

**Key Words :** *bridge unseating prevention system, necessary width of setting plate, law of conservation of energy, allowable distance of free fall*

## 1. はじめに

日本は世界有数の地震大国であり、これまでに地震により多くの橋梁が被害を受け、人的な被害を被ってきた。道路橋の耐震設計で最も大きな影響を与えたのが、1995年の兵庫県南部地震である。この地震で高架橋が倒壊するなど最大の被害を引き起こし、初めて落橋による人的被害を受けた。

その後 1996 年に改訂された道路橋示方書 V 耐震設計編<sup>1)</sup>以降、道路橋には緩衝効果のある落橋防止システムの採用が望ましいとされている。

これまでに、緩衝材を用いた落橋防止ケーブルについて、多くの研究<sup>2)~7)</sup>が行われている。また、桁の自由落下に対する落橋防止ケーブルの研究<sup>8)</sup>や、緩衝材の設計法についての研究<sup>9)</sup>も行われている。

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。また道路橋示方書 V 耐震設計編には、落橋防止システムに死荷重反力の 1.5 倍の耐力を持たせるように規定されているが、1.5 の具体的な根拠は不明である。さらにケーブル長の規定がなく、状況に応じて自由なケーブルの長さが設計されている状況にあり、ケーブル長が落橋防止システムに与える影響は検討されていない。

また、落橋防止システムの耐力が大きくなれば、その

取り付け部への影響は増すが、取り付け部について検討された研究は少ない。

これまでの研究で用いられている緩衝材は、ゴムやばねなど、ケーブルに作用する力を低減する、線形の緩衝材がほとんどであり、エネルギーの消費については考えられていない。エネルギーを消費することのできる緩衝材を用いれば、より安全で小型の落橋防止システムを構成することも可能になり<sup>10)</sup>、落橋防止システムの取り付け部に作用する力も低減できると考えられる。

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、取り付け部も含めた合理的な設計法を開発を目的とする。

## 2. 簡易設計法による落橋防止システムの設計

これまでに著者らは、落橋防止システムのモデル化と簡易設計法による運動方程式の誘導を行い、長大橋と中小隣接橋とを対象として、落橋防止システムの設計を行ってきた<sup>10) 11)</sup>。しかし、長大橋という特殊なケースのみの検討では、手法を適用する際の汎用性に問題があると考えられ、より一般的なケースへの適用を試みる必要があると判断した。よって、本研究では中小高架橋に提案手法を適用した例を述べ、手法の有効性を検討する。

$$d = 0 \quad (2)$$

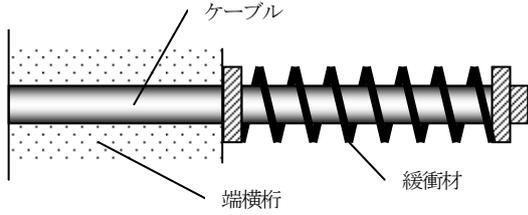


図-1 落橋防止システム

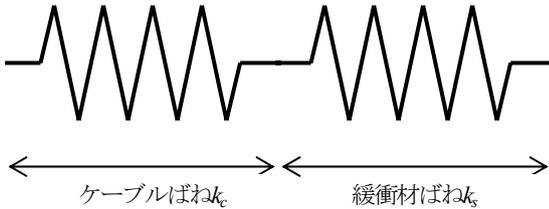


図-2 落橋防止システムのモデル化

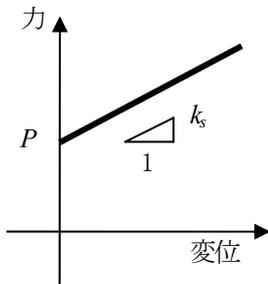


図-3 緩衝材に仮定した非線形特性

(1) 対象橋梁と設計方法

落橋防止システムとしては、図-1に示す桁と桁とを連結するケーブルを考え、金属コイルばね等の線形ばねと、金属の塑性変形の利用などが考えられる非線形ばねで形成される緩衝材からなる装置を対象とし、図-2のようにモデル化した。

本研究ではケーブルには線形特性を仮定し、緩衝材には図-3の剛塑性モデル（非線形ばねの初期復元力 $P$ 、二次剛性 $k_s$ ）を用いた。

設計を簡単にするために、作動中に桁へ作用する地震外力はないと考え、1つの桁が初速度  $V$  で一定の方向のみに作動し、ケーブルおよび緩衝材がそれぞれ  $\Delta$ 、 $d$  だけ変形すると仮定する。

運動方程式を誘導する場合、次に示すa)~c)の3つのケースが考えられる。それぞれの場合についてエネルギー保存則をたて、式を変形すると、ケーブルに作用する力 $F$ と、緩衝材の変形量 $d$ が導き出される<sup>1)</sup>。

a) ケーブルに作用する力  $F$  が緩衝材の初期復元力  $P$  より小さい場合

$$F = \sqrt{k_c MV^2} \quad (1)$$

ここで、 $M$ は桁の換算質量、 $V$ は桁の作動速度である。

b) ケーブルに作用する力  $F$  が緩衝材の初期復元力  $P$  より大きい場合

$$F = \sqrt{\frac{k_c k_s}{k_c + k_s} \left( \frac{P^2}{k_s} + MV^2 \right)} \quad (3)$$

$$d = \frac{F - P}{k_s} \quad (4)$$

c) 緩衝材が限界の変形量に達した場合  
(どんな緩衝材も無限に変形はできないため)

$$F = \sqrt{k_c (MV^2 - 2Pd - k_s d^2)} \quad (5)$$

$$d = d_{\text{lim}} \quad (6)$$

(2) 簡易設計法による試算結果

落橋防止システムを設置する桁としては、構造規模が異なる中小高架橋について考える。桁質量はそれぞれ  $m_1=900t$ 、 $m_2=500t$  とする。道路橋示方書では、隣接する桁の質量を2倍より小さく設定することになっているため、ここでは、2倍より少し小さくなるように桁質量を設定した。

本研究では、ケーブルのばね定数を  $1GN/m$ 、作動速度を  $2m/s$ 、緩衝材の限界変形量を  $50cm$  と  $60cm$  とした場合について検討した。

横軸の  $P$  は、非線形緩衝材の初期復元力であり、数値が大きくなるほど緩衝材の初期復元力が大きくなることを意味する。縦軸の  $F$  および  $d$  は、ケーブルに作用する力、緩衝材の変形量を表している。

図-4と図-5で、緩衝材のばね定数を  $0.01MN/m \sim 1MN/m$  と設定した場合、緩衝材の初期復元力 $P$ が小さいと、緩衝材の変形量 $d$ が限界変形量 $d_{\text{lim}}$ に達してしまい、それによりケーブルに作用する力 $F$ が増加している。緩衝材の初期復元力 $P$ を大きくすると、緩衝材の変形量 $d$ を減少させることができ、ケーブルに作用する力 $F$ も抑えることができる。しかし、緩衝材の初期復元力 $P$ が、ある一定値を超えると、ケーブルに作用する力 $F$ が増加することがわかる。これは緩衝材が動き始めるために必要な作用力が増加し、緩衝効果が低下したためと考えられる。条件に応じて、最適な緩衝材の初期復元力 $P$ が存在する。

また、図-6や図-7のように緩衝材の限界変形量を  $60cm$  と大きくすることも有効ではあるが、大幅に状況が改善されるわけではない。

緩衝材のばね定数を  $10MN/m$  や  $100MN/m$  と設計した場合には、緩衝材の変形量  $d$  は全て限界変形量に達しておらず、ケーブルに作用する力  $F$  も一定の値を示している。これは緩衝材の初期復元力  $P$  に関係なく、緩衝

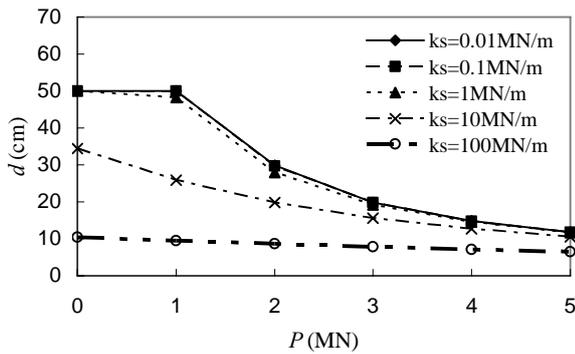


図-4 緩衝材の変形量 ( $d_{\min}=50\text{cm}$ )

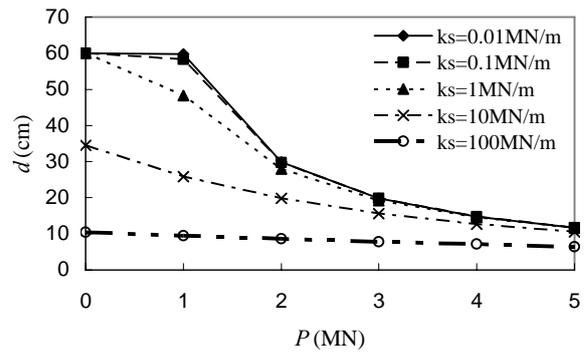


図-6 緩衝材の変形量 ( $d_{\min}=60\text{cm}$ )

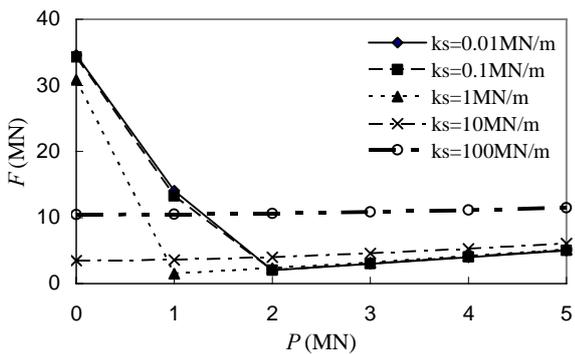


図-5 ケーブルに作用する力 ( $d_{\min}=50\text{cm}$ )

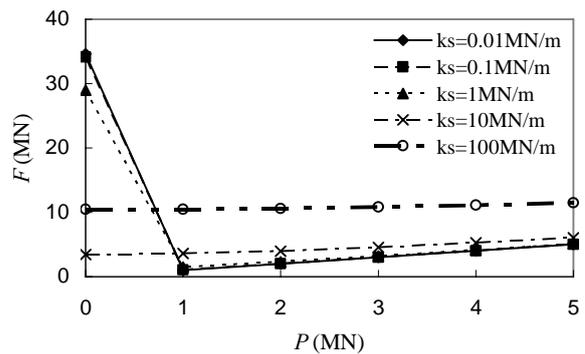


図-7 ケーブルに作用する力 ( $d_{\min}=60\text{cm}$ )

材のばね定数でケーブルに作用する力  $F$  が決まるということである。よって、緩衝材のばね定数が  $10\text{MN/m}$  や  $100\text{MN/m}$  のような、大きな値の緩衝材では、緩衝材の初期復元力  $P$  は任意にすることができるため、線形緩衝材でも十分だといえる。

しかし、緩衝材のばね定数を大きくすると、図-5や図-7に示しているように、ケーブルに作用する力が増加する。初期復元力  $P$  を大きくして線形ばね定数  $k_s$  を小さくするか、 $P$  をゼロとして  $k_s$  を大きくするかを選択が考えられる。

表-1 設計パターン (作動速度  $V=2\text{m/s}$ )

緩衝材 ばね定数 $k_s$ (MN/m)	初期 復元力 $P$ (MN)	ケー ブル長 $L$ (m)	ケー ブル 作用力 $F$ (MN)	緩衝材 変形量 $d$ (cm)	必要ケー ブル断面 積 $An$ ( $\text{mm}^2$ )	必要ケー ブル数 $N$ (本)
0.01	2	8	2	28.5	1267.6	1
0.01	2	6	2	28.8	1267.6	1
0.01	2	4	2	29.2	1267.7	1
0.01	2	2	2	29.6	1267.7	1
0.1	2	8	2	28.2	1283.7	1
0.1	2	6	2	28.6	1283.9	1
1	1	8	1.5	47.2	931.7	1
1	1	6	1.5	47.5	933.5	1
1	1	4	1.5	47.8	935.2	1
1	1	2	1.5	48	937	1

### 3. 落橋防止システムの設置に関する検討

前章では、落橋防止システムの設計法の提案を行った。ここでは、落橋防止システムを設置するにあたり、必要なケーブル数や、取り付け部の必要強度に関する検討を行う。

#### (1) ケーブルの設計

##### a) ケーブル長

ケーブル長は、主にケーブルのばね定数  $k_c$  に影響を与える。ケーブル長を  $L$  としたとき、ケーブルのばね定数  $k_c$  は以下で表すことができる。

表-2 設計パターン (作動速度  $V=5\text{m/s}$ )

緩衝材 ばね定数 $k_s$ (MN/m)	初期 復元力 $P$ (MN)	ケー ブル長 $L$ (m)	ケー ブル 作用力 $F$ (MN)	緩衝材 変形量 $d$ (cm)	必要ケー ブル断面 積 $An$ ( $\text{mm}^2$ )	必要ケー ブル数 $N$ (本)
0.1	5	8	12.8	50	8081.9	5
1	5	8	12.2	50	7705.8	5
10	4	8	8.9	48.9	5625.7	4
10	5	8	9.3	43.2	5897.4	4
10	4	6	9.4	50	5931.9	4
10	5	6	9.5	44.8	5997	4
10	5	4	9.6	46.4	6101.8	4
10	5	2	9.8	48.2	6212.3	4
10	4	4	11.5	50	7265.1	5
10	3	8	11.5	50	7265.1	5

$$k_c = \frac{EA}{L} \quad (7)$$

ここで、 $E$ はヤング係数、 $A$ は用いるケーブル1本の断面積である。

次節では、ケーブル長 $L$ を変化させてケーブルのばね定数 $k_c$ を求め、前章の(1)式、(3)式および(5)式からケーブルに作用する力 $F$ を求める。

#### b) 必要ケーブル数

ケーブルに作用する力 $F$ が求められると、実際に設置するケーブル数を決める必要がある。ケーブル数を計算するには、必要なケーブルの断面積を求めればよい。ケーブルは降伏までを許容することにする。必要なケーブルの断面積は、ケーブルに作用する力 $F$ をケーブルの降伏応力で除することにより求められる。

$$A_n = \frac{F}{\sigma_y} \quad (8)$$

ここで、 $A_n$ は必要なケーブルの総断面積、 $\sigma_y$ はケーブルの降伏応力であり、PCケーブルを想定する場合、ケーブルの降伏応力 $\sigma_y$ は1.2GPaである。

必要なケーブルの総断面積 $A_n$ が求められたら、用いるケーブル1本の断面積 $A$ で除することにより、必要なケーブル数 $N$ が算出される。

$$N = \frac{A_n}{A} \quad (9)$$

### (2) 作動速度による落橋防止システムの設置条件

落橋防止システムを設計・設置するにあたり、設計の基準となるのが桁の作動速度である。今回の研究では桁の作動速度を2m/sと5m/sと想定した場合、有効な設計ケースを検討した。

ケーブル長や緩衝材の初期復元力とばね定数を種々に変化させて検討し、前章の簡易設計法によりケーブルに作用する力 $F$ を求めた。それらのパラメトリックスタディの結果、ケーブル作用力 $F$ の小さいものをそれぞれ10ケースずつ選定した。なお、緩衝材の限界変形量は50cmとした。

表-1、表-2は、作動速度 $V$ を2m/sと5m/sに設定したケースの、ケーブルに作用する力が小さくなる設計パターンを、ケーブルばね定数 $k_c$ の小さいものから並べて整理したものである。表中の $k_c$ は緩衝材のばね定数、 $P$ は緩衝材の初期復元力、 $L$ はケーブル長、 $d$ および $F$ は緩衝材の変形量とケーブルに作用する力を表しており、 $A_n$ と $N$ は必要ケーブル断面積と必要ケーブル数である。ケーブル本数は、参考値として引張耐力が3200kNのケーブルを用いた場合の必要なケーブル数を記した。

作動速度を2m/sと設定した表-1では、緩衝材のばね定数 $k_c$ が0.01MN/m、0.1MN/mのように、ばね定数の小さ

な緩衝材を使用したほうがケーブルに作用する力を小さくすることができ、有効であると考えられる。この場合、緩衝材の初期復元力 $P$ はばね定数 $k_c$ に応じて設定した方が効果的である。一方、ケーブル長 $L$ を変化させても、ケーブルに作用する力 $F$ は変化せず、ケーブル長 $L$ は自由に設定することができる。

表-2のように、作動速度 $V$ が5m/sと大きくなると、緩衝材のばね定数が10MN/mのような、ばね定数の大きな緩衝材を使用したほうがケーブル作用力が小さくなるケースが多くなる。また、ケーブル長 $L$ も長くとったほうが有効であると考えられる。

また、作動速度 $V$ が5m/sの表-2の場合、大半のケースでは、緩衝材は限界の変形量、またはそれに近い値に達しており、限界変形量を長くとることによって、さらにケーブル作用力を抑えられる可能性がある。しかし、50cm以上変形できる緩衝材の実現には工夫を要する。

### (3) 取り付け部の設計

#### a) 取り付けパターン

落橋防止システムを取り付ける際に、どの程度の板厚の鋼材が必要になるのか検討した。

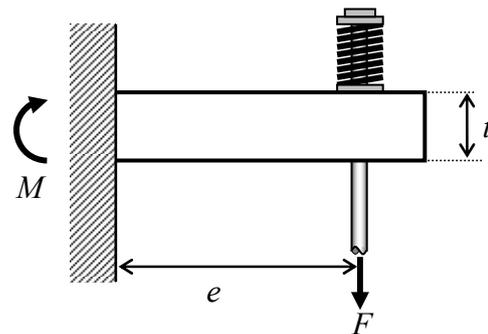


図-8 取り付けパターン（はり型）

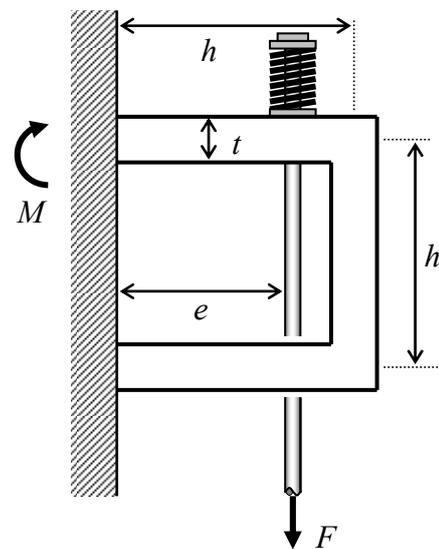


図-9 取り付けパターン（ラーメン型）

本研究では図-8に示すはり型と、図-9に示すラーメン型の2つのパターンについて考えた。図中の $e$ は作用点までの距離、 $F$ はケーブルに作用する力であり、 $t$ は部材の板厚を表している。

図-9に表示されている $h$ はラーメンの張り出した部材の長さであり、軸方向の長さも、張り出し部材の長さと同じ $h$ とした。また、簡単のためすべての断面二次モーメントは同じとして設計する。

$M$ は橋梁との接合点での曲げモーメントであり、はり型とラーメン型で以下の式となる。

$$M_{\text{はり}} = -Fe \quad (10)$$

$$M_{\text{ラーメン}} = -Fe + F \frac{e^2}{2h^2} \frac{44h - 14e}{21} \quad (11)$$

#### b) 必要板厚

落橋防止システムを取り付けるために必要な板厚を、与えられた曲げモーメントから計算する。板厚の設計には曲げに対する縁応力 $\sigma$ から算出する。

$$\sigma = \frac{M t}{I} = \frac{6M}{bt^2} \quad (12)$$

ただし、図-8および図-9の板の、奥行き方向の長さを $b$ とし、 $I$ は断面二次モーメント( $I=bt^3/12$ )である。この式を変形して、次式によって $t$ が求められる。

$$t = \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \quad (13)$$

道路橋示方書で規定されている許容曲げ引張応力度 $\sigma_a$ 時の板厚を求めることとした。鋼種SS400を使用し、道路橋示方書<sup>12)</sup>より、許容曲げ引張応力度 $\sigma_a = 125\text{N/mm}^2$ とし、同示方書の規定に従って板厚 $t$ が40mmに満たない場合は $\sigma_a = 140\text{N/mm}^2$ とした。

#### (4) 試算結果

前章の簡易設計法に基づいて設計を行った。作動速度は $V=2\text{m/s}$ 、換算質量は $M=300\text{t}$ 、限界変形量 $d_{\text{lim}}=50\text{cm}$ と設定し、部材の奥行き方向の長さ $b$ とラーメンの張り出した部材の長さ $h$ をそれぞれ300mmとした。

実際には1本のみ落橋防止ケーブルを設置することはなく、複数のケーブルを設置する。ここではケーブルを10本設置することを想定して、必要な板厚を求めることとする。よって、簡易設計法により求めたケーブルに作用する力 $F$ をケーブル数(10本)で割った値( $F/10$ )で試設計を行った。

図-10と図-11にケーブルの長さを4m、緩衝材のばね定数を1MN/m、作用点までの距離 $e$ を100mm, 200mmとした場合の必要とする板厚を示す。図の横軸は緩衝材の初

期復元力、縦軸は必要な板厚を示しており、上方に行くほど厚い板厚を要する。

ラーメン型にしたほうが当然必要板厚は小さくなるが、図-10に示す $e=100\text{mm}$ のケースでは、はり型との差は小さい。

一番板厚が薄くなる図-11の $P=1\text{MN}$ のラーメン型で設計した場合でも、必要とする板厚はおよそ50mmであり、実際には適用が困難だと考えられる。ケーブル本数をさらに増加させるなど、落橋防止システムの取り付け部に作用するモーメントを小さくする必要がある。

#### 4. 桁の自由落下に関する検討

これまで検討してきた落橋防止システムは、桁を橋脚上で止めることを想定してきた。万一桁が橋脚上で止まらなかった場合、落下しようとする桁を落橋防止ケーブルによってつり下げた状態でも、地上までの桁落下を防ぐことが必要だと考えられる。よって本章では、桁が自由落下に耐えることができるか検討を行う。

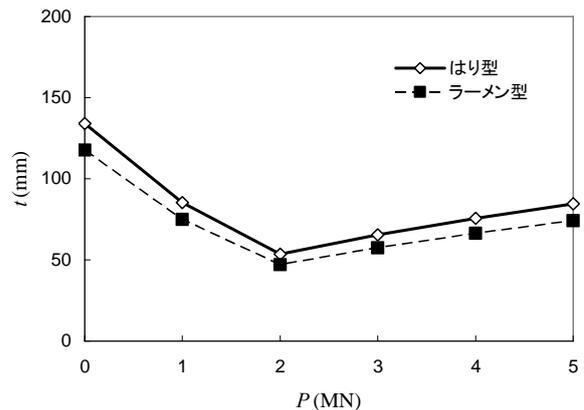


図-10 必要板厚( $e=100\text{mm}$ )

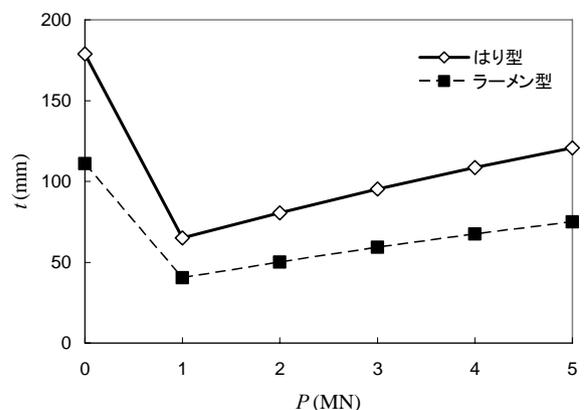


図-11 必要板厚( $e=200\text{mm}$ )

### (1) 運動方程式

2章で考えた質量 $m_1$ の桁が橋脚上にとどまり、質量 $m_2$ の単純桁の一端が片方の支承を中心として回転落下する(図-12)と考えると運動方程式をたて、ケーブルに作用する力 $F$ の最大値を求めると以下の式になる<sup>8)</sup>。

$$F_{\max} = \frac{m_2 g}{2} + \frac{m_2 g}{2} \sqrt{\left( \frac{2P}{m_2 g} \cdot \frac{k_c}{k_c + k_s} - 1 \right)^2 + \frac{4\delta_0}{m_2 g} \cdot \frac{k_c k_s}{k_c + k_s}} \quad (14)$$

ただし、 $\delta_0$ はケーブルによって支えられるまでに桁が自由落下する距離、 $g$ は重力加速度である。 $P$ も $\delta_0$ もゼロの場合、つまり線形の緩衝材を有し初期自由落下距離がゼロの場合には、 $F_{\max} = m_2 g$ となる。

(14)式で求められたケーブルに作用する力と、簡易設計法により求められたケーブルに作用する力を比較し、初期自由落下距離 $\delta_0$ 、つまり許容できる自由落下量がどれくらい取れるか検討する。

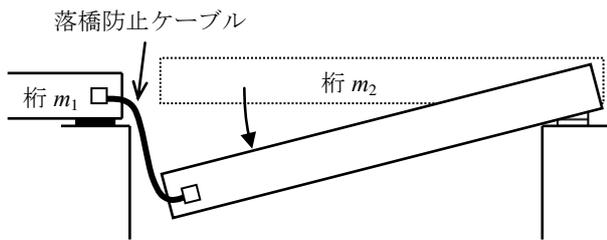


図-12 桁の落下状況の仮定

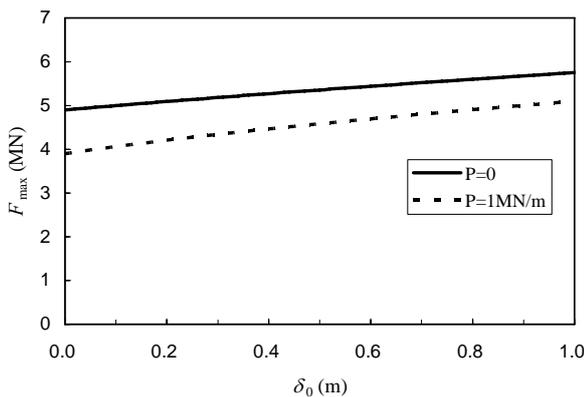


図-13 初期落下距離とケーブルに作用する力の最大値

### (2) 比較結果

桁落下によってケーブルに作用する力の最大値 $F_{\max}$ を算出するにあたり、落下する桁の質量 $m_2$ を500t、ケーブルのばね定数 $k_c = 1\text{GN/m}$ 、緩衝材のばね定数を1MN/mとして、緩衝材の初期復元力 $P$ をゼロとした場合と1MN/m

とした場合について検討した。横軸に初期落下距離をとったグラフを図-13に示す。

簡易設計法で求めた設計耐力は、緩衝材の初期復元力がゼロ(初期復元力がない線形緩衝材)の場合に12MN、初期復元力を1MNとした場合に1.5MNとなる。

図-13の実線で表される初期復元力がゼロ( $P=0$ )の場合は、自由落下によってケーブルに作用する力が設計耐力12MNより小さく、落下にも耐えられることがわかる。グラフでは1mまでの初期落下について示したが、(14)式の値が設計耐力12MNになる初期落下距離は約18mである。ケーブルが作動するまでの初期落下距離は、桁遊間やケーブルの遊びからもたらされるため、現実的にはこの図で表される1mまでの範囲だと考えられ、十分落下に耐えられると考えられる。しかし、ケーブルの設計耐力として12MNを実現するためには、必要とされるケーブル本数が多くなることが考えられる。

一方、初期復元力を $P=1\text{MN}$ とした場合(図-13の点線)は、初期復元力がゼロのケース(図-13の実線)よりも小さな値となるが、初期落下距離にかかわらずケーブルの設計耐力1.5MNよりも大きな値となり、このままでは落下に耐えることができない。橋脚上で桁を止めるためのケーブルとしては、初期復元力の大きな非線形緩衝材を利用することによって必要なケーブル耐力を低減させることができるが、桁の落下に対しては一定以上の耐力が必要になる。よって、簡易設計法によってケーブルに作用する力が小さく設計された場合、桁を落下させない(橋脚上で静止させる)ことが重要であるとともに、桁の落下に対しても耐えられるよう、最低限のケーブル耐力は確保しておくことが必要である。

## 5. おわりに

本研究では、高架橋を対象として非線形緩衝材を用いた落橋防止ケーブルの検討を行った。得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 作動速度の違いにより、有効な緩衝材やケーブル長が異なってくる。作動速度が2m/sか5m/sかで、緩衝材のばね定数は10倍以上違う。よって、作動速度をどのように設定するかが重要である。
- (2) 落橋防止ケーブルの取り付け部には、大きな曲げモーメントが発生する。作動速度2m/s、緩衝材のばね定数1MN/mの条件では、板厚が50mm以上必要になる。より合理的な取り付け方法や、桁の補強方法についても検討する必要がある。
- (3) 緩衝材に初期復元力があると、初期復元力がない場合に比べて、必要なケーブル耐力を小さくできる場合がある。作動速度2m/s、緩衝材のばね定数1MN/mの条件では、初期復元力がない場合には12MN必要だったものが、初期復元力1MNを与え

ると 1.5MN になる。桁の落下に対しても初期復元力がない場合よりは要求耐力が小さくなるが、ケーブル耐力を小さくしすぎると落下に耐えられなくなる。桁を落下させずに橋脚上で止めるよう設計することが重要であるとともに、桁の橋脚からの落下に耐えるための必要耐力（前述の条件では 4MN 以上）よりは大きくする必要がある。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V. 耐震設計編，1996.
- 2) 土木学会関西支部調査研究委員会：緩衝型落橋防止システムに関する調査研究，2001.
- 3) 北原武嗣，梶田幸秀，西本安志，鈴木智子，磯貝幸子：桁間衝突時の衝撃力緩和・エネルギー吸収能に与える緩衝用ゴム厚の影響，第 6 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，pp. 139-144. 2003.
- 4) 梶田幸秀，北原武嗣，西本安志，香月智：ゴム厚に注目したゴム製緩衝材の衝撃力低減効果に関する検討，第 8 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，pp. 163-168, 2005.
- 6) 川島一彦，庄司学：衝突緩衝用落橋防止システムによる桁間衝突の影響の低減効果，土木学会論文集，No.612/I-46, pp. 129-142. 1999.
- 7) 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.
- 8) 伊津野和行，小林紘士，鎌田耕平：桁落下を想定した桁間ケーブル連結装置の所要条件に関する考察，土木学会論文集，No.668/I-54, pp. 319-324, 2001.
- 9) Izuno, K., Takeno, S., Nakao, H. and Kobayashi, H.: Demand capacity for unseating prevention cable of bridges, Proc. of 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 3149, 10 pages (CD-ROM), Aug. 2004.
- 10) 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, Paper No. 30, 6 pages (CD-ROM), 2003.
- 11) 中尾尚史，伊津野和行：非線形緩衝材を有する落橋防止ケーブルの設計法に関する研究，構造工学論文集，土木学会，Vol. 51A, pp. 751-758, 2005.
- 12) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I. 共通編，II. 鋼橋編，2002.

(2005. 3. 14 受付)

## Design and installation method of unseating prevention cable with shock absorber

Hisashi NAKAO and Kazuyuki IZUNO

A rational design method of an unseating prevention cable is not established yet especially for that with a shock absorber. This study aims to clarify a dynamic property of an unseating prevention cable with a shock absorber considering its deformation limit and nonlinearity. The results show that the shock absorber can be designed according to the law of conservation of energy. New check procedure for the cable to support the falling girder is also shown in this paper. Large inelastic shock absorber enables to use a thin cable, however, the thin cable is not capable to stop the girder from falling even with its damping effect.