

ケーブルの制振方法

田中 洋

目次

Rain-Vibrationの現象

ケーブルの制振方法

仁川大橋の制振装置

- Indentationケーブルの使用
- 摩擦ダンパー(VSLダンパー)
- Ringダンパー(高減衰パート)
- クロスタイケーブル(Cross-ties Cable)

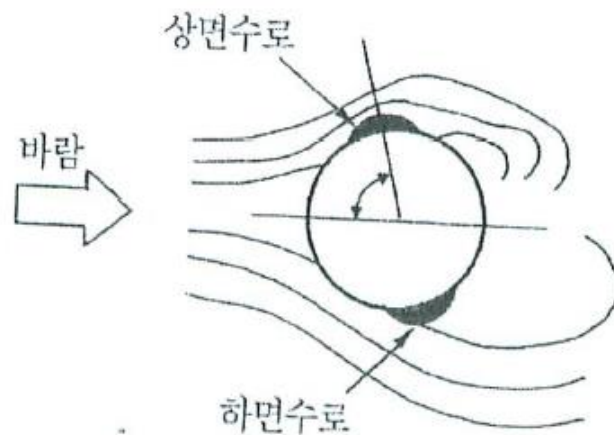
その他の制振

Rain-Vibrationの現象

- 降雨時の観測されているケースが多い
(雨がなくても起こる。)
- 1~4次振動モードが卓越し、振動数は3Hz以下がほとんどである。
- 風向は橋軸と橋軸直角方向の間で風が吹く逆方向にケーブルの高さが低くなっていくいわゆる“下り勾配”をもつケーブルに振動が発生する。

Rain-Vibrationの現象

❖ 振動原理1



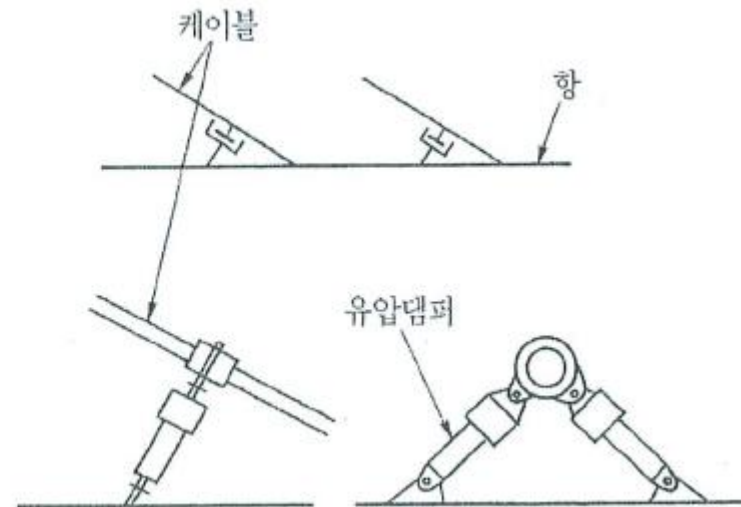
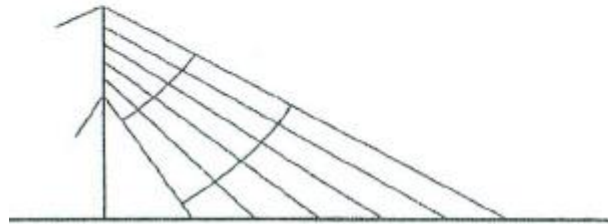
❖ 振動原理2

ケーブルの傾斜(必要条件)

- Rain-Vibration現象フィルム

ケーブルの制振方法

• ケーブルの振動制御



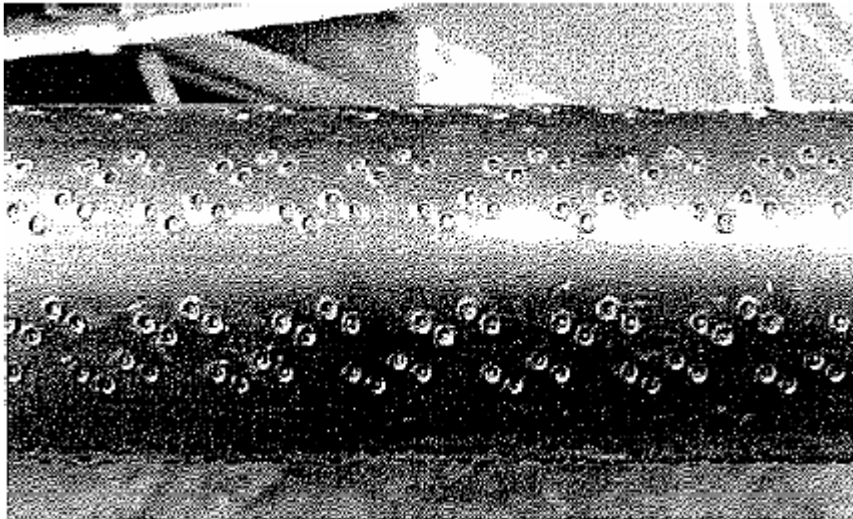
ケーブルの制振装置

- 仁川大橋の制振装置

必要減衰量 $h \geq 0.5\%$

- インデントケーブルの使用

– 仁川大橋に適用されるindentationケーブル



ケーブルの制振装置

■ 摩擦ダンパー(VSLダンパー)



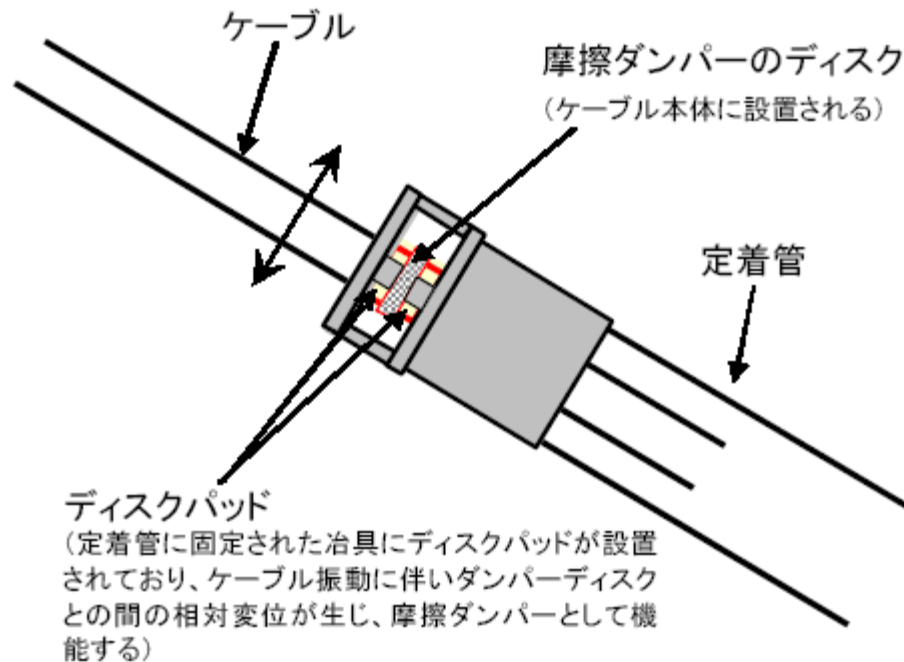
摩擦ダンパーの適用事例
(1: VSL社のHP)



摩擦ダンパーの適用事例
(2: VSL社のHP)

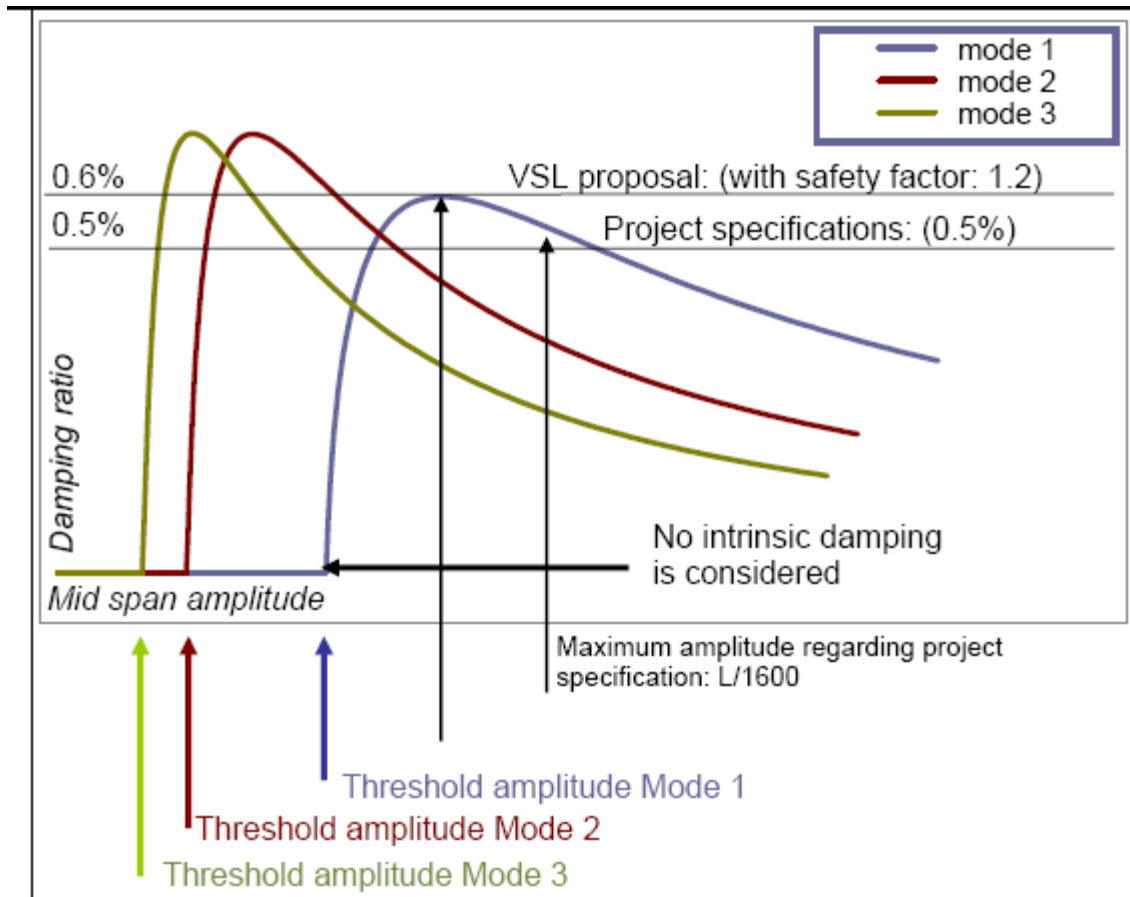
ケーブルの制振装置

■ 摩擦ダンパーの構造概念図



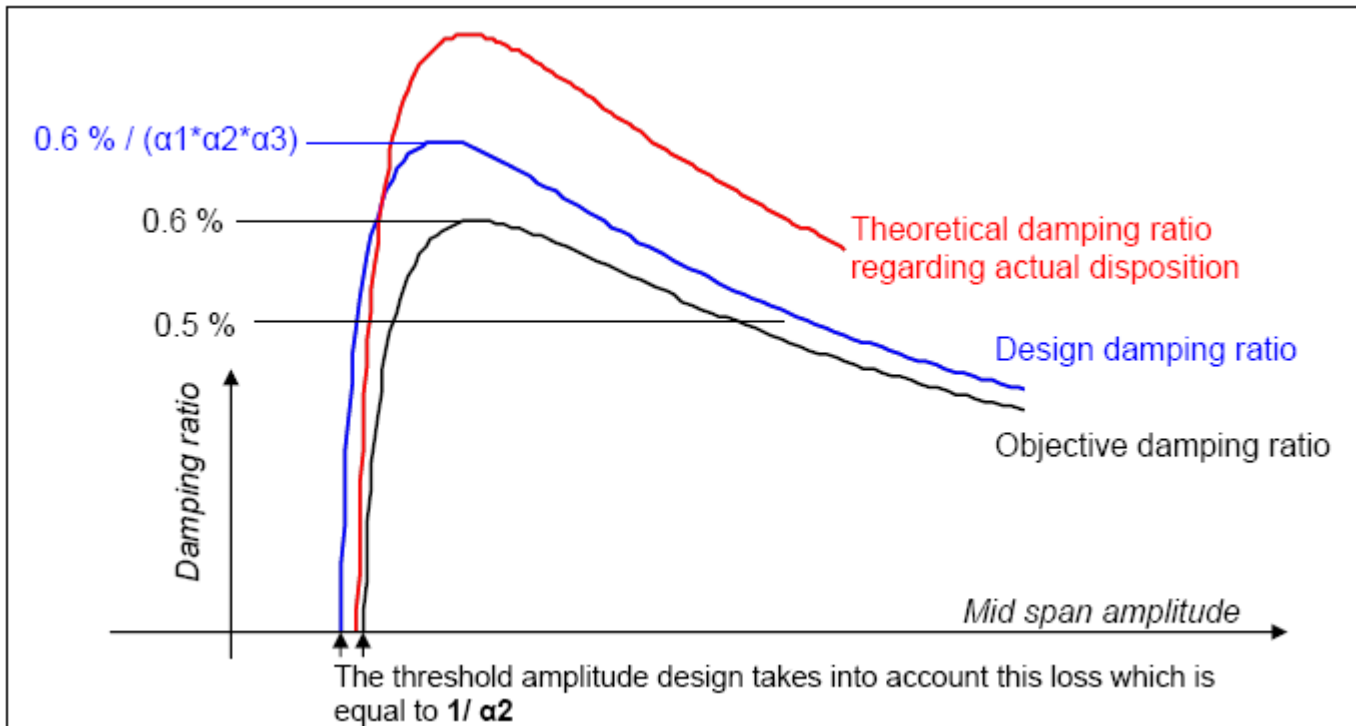
ケーブルの制振装置

■ダンパー設計の原理



ケーブルの制振装置

■ダンパー設計



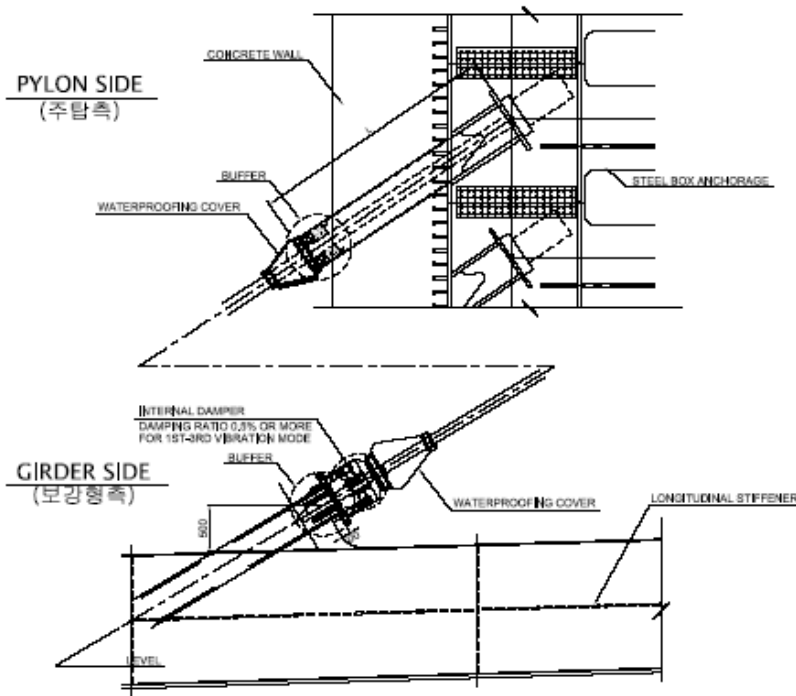
α_1 : 2次的な静的効果に関する低減

α_2 : ダンパー支持体の剛性による低減

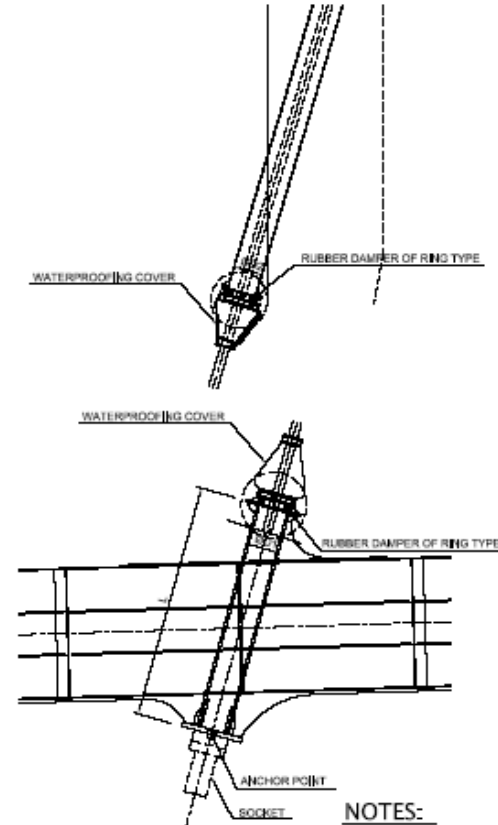
α_3 : ダンパーの固有の効率(VSLは100%)

ケーブルの制振装置

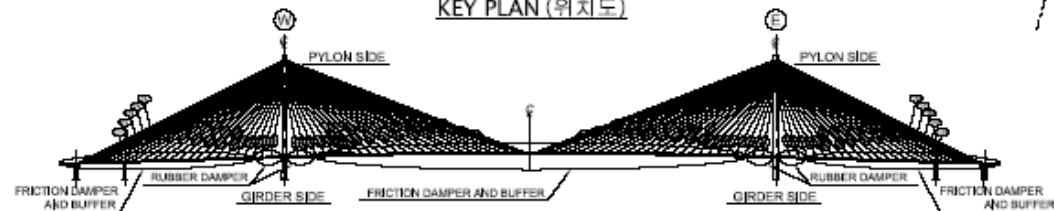
CABLE BUFFER AND FRICTION DAMPER (케이블 완충장치 및 덤퍼)
C1-C24, C29-C52 1:25



RUBBER DAMPER OF RING TYPE
C25-C28 1:25



KEY PLAN (위치도)

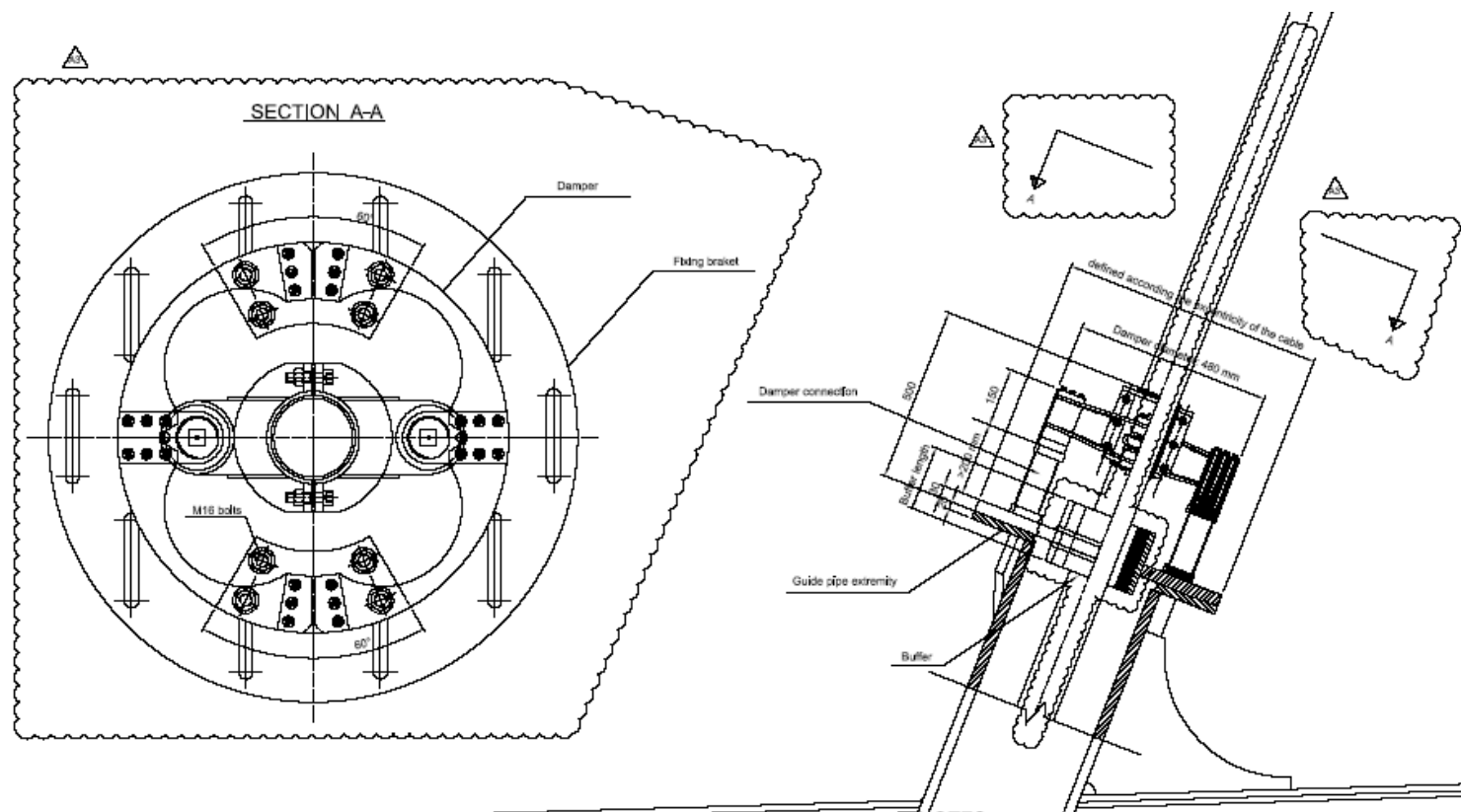


NOTES:

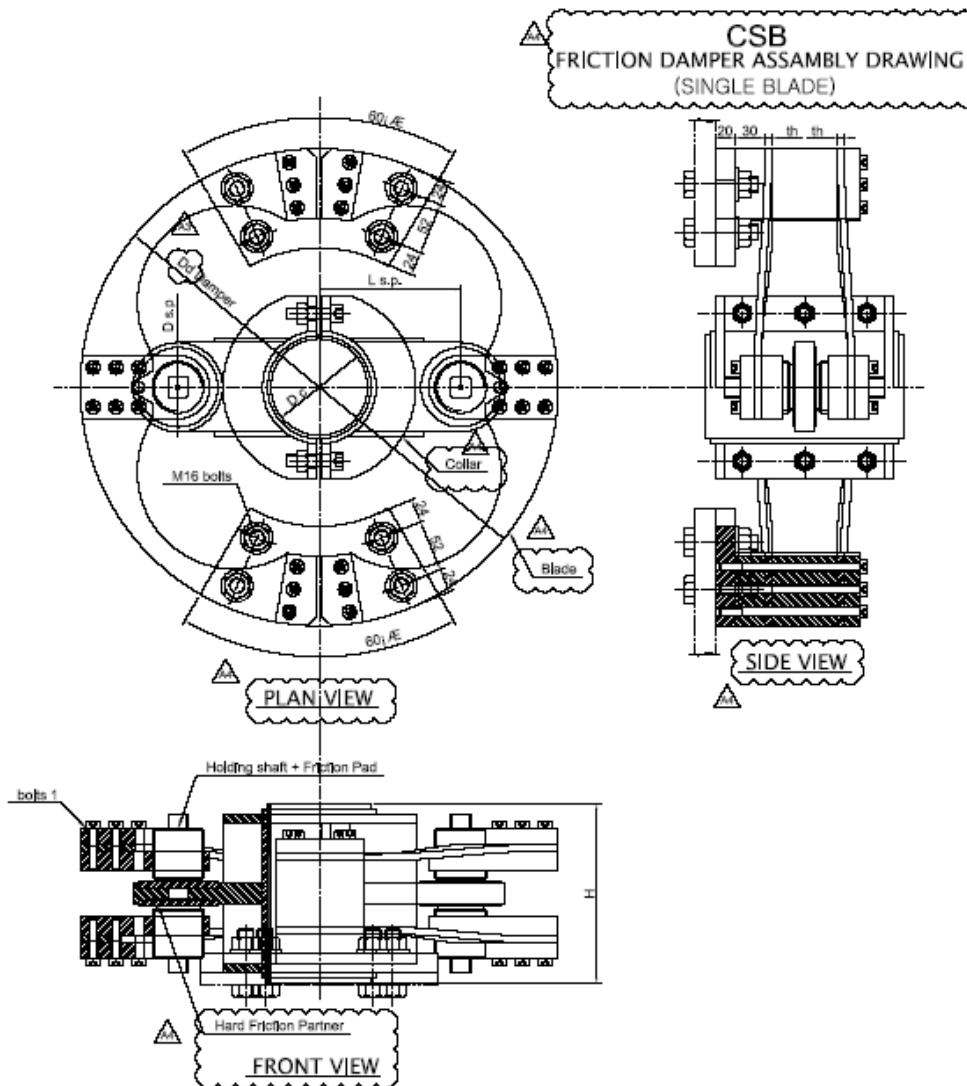
1. CABLE BUFFER REQUIRE AND REDUCING THE SEC
 2. MECHANICAL DAMPER IS DAMPING RATIO FOR 1ST
 3. PYLON SIDE BUFFER IS IN GIRDER SIDE BUFFER NOT IT IS INSTALLED AFTER A1
1. 케이블완충장치는 케이블과
2. 기계적 덤퍼는 기댁에 설치
해 상대 강성이 0.2% 이상

ケーブルの制振装置

■ BUFFER AND DAMPER(C24)



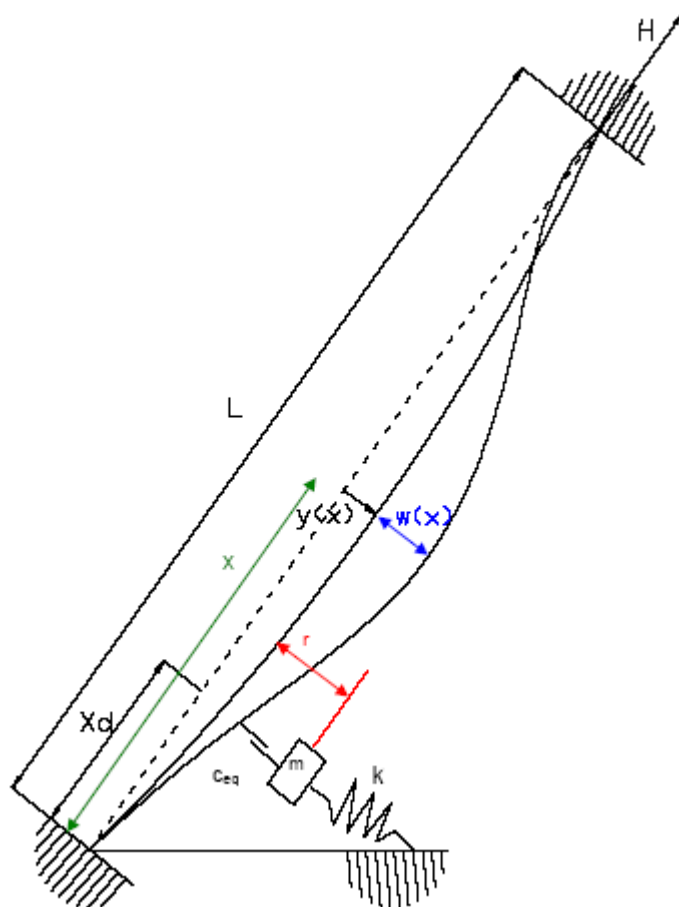
ケーブルの制振装置



All (c) are reserved to Hiroshi TANAKA

ケーブルの制振装置

■ 計算モデル図



ケーブルの制振装置

■ 計算式

$$\begin{cases} H \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}(x, t) + h(t) \frac{d^2 y}{dx^2}(x) = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(x, t) \\ m \frac{d^2 r}{dt^2} + kr = 0 \end{cases}$$

- 上式の解：

$$\Phi_n(x) = \frac{1}{B_n} \left(1 - \cos \left(\frac{\omega_n x}{\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right) - \tan \left(\frac{\omega_n L}{2\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right) \sin \left(\frac{\omega_n x}{\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right) \right)$$

$$\text{With: } B_n = \frac{\cos \left(\frac{\omega_n L}{2\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right) - 1}{\cos \left(\frac{\omega_n L}{2\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right)} \text{ and } \tan \left(\frac{\omega_n L}{2\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right) = \left(\frac{\omega_n L}{2\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right) - \frac{4}{\lambda^2} \left(\frac{\omega_n L}{2\sqrt{\frac{H}{\rho}}} \right)^3$$

ケーブルの制振装置

ただし、 ω_γ は下記の複素式をとりて得る。

$$\ddot{Y} + C\dot{Y} + KY = 0$$

$$Y = \begin{pmatrix} r \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad K = \begin{pmatrix} \omega_r^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \omega_1^2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \omega_n^2 \end{pmatrix}, \quad \text{and}$$

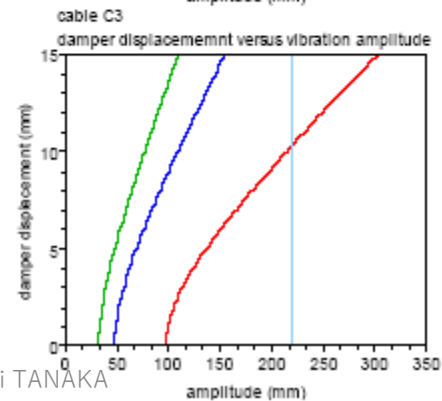
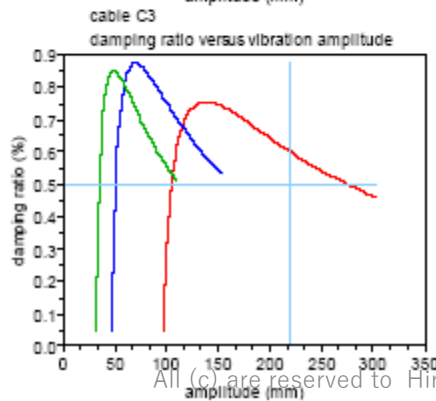
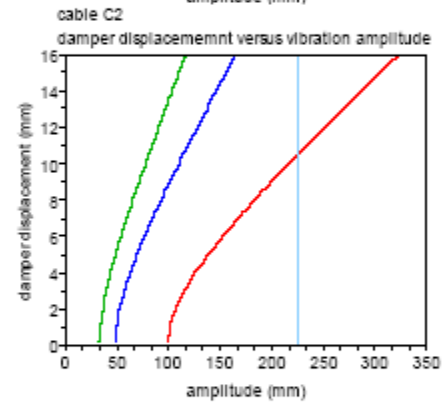
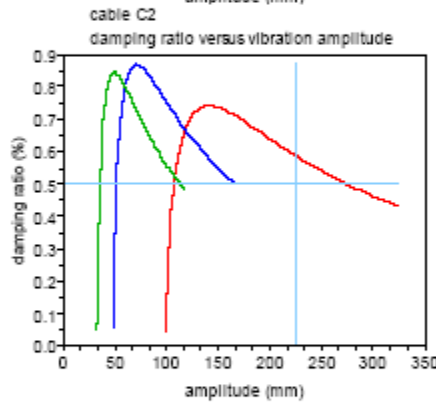
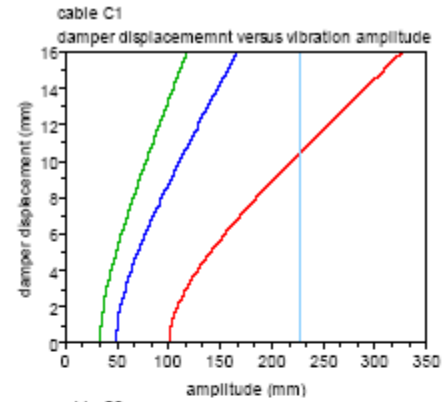
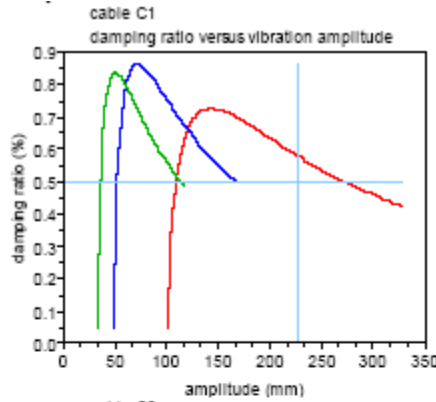
$$C = \begin{pmatrix} \frac{c_{eq}}{m} & -\frac{c_{eq}\Phi_1(Xd)}{m} & \cdots & -\frac{c_{eq}\Phi_n(Xd)}{m} \\ -\frac{c_{eq}\Phi_1(Xd)}{\rho L \gamma_1} & \frac{c_{eq}}{\rho L \gamma_1} \Phi_1(Xd)^2 + \frac{c_s}{\rho} & \frac{c_{eq}}{\rho L \gamma_1} \Phi_1(Xd)\Phi_2(Xd) & \cdots & -\frac{c_{eq}}{\rho L \gamma_1} \Phi_1(Xd)\Phi_n(Xd) \\ \vdots & \frac{c_{eq}}{\rho L \gamma_1} \Phi_1(Xd)\Phi_2(Xd) & \ddots & \vdots & \vdots \\ -\frac{c_{eq}\Phi_n(Xd)}{\rho L \gamma_n} & \frac{c_{eq}}{\rho L \gamma_1} \Phi_1(Xd)\Phi_n(Xd) & \cdots & \frac{c_{eq}}{\rho L \gamma_n} \Phi_n(Xd)^2 + \frac{c_s}{\rho} \end{pmatrix}$$

Resolutionは行列Aの複雑な固有値の研究を通じて次のように定義される。

$$A = \begin{pmatrix} 0 & Id \\ -K & -C \end{pmatrix}$$

ケーブルの制振装置

- Damping and displacement curves
-Side Span



ケーブルの制振装置

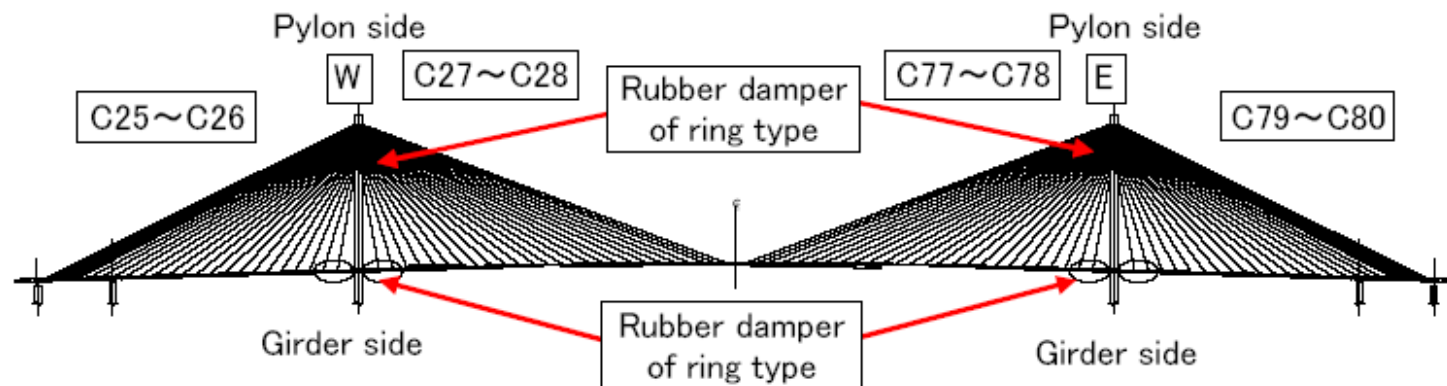
- 世界での実績
 - Uddevalla Bridge (スウェーデン、120個設置)
 - Gramsk Bridge(ポーランド、4個設置)

❖ 特徴

- 景観の優れる
- メンテナンスが容易
- 安価

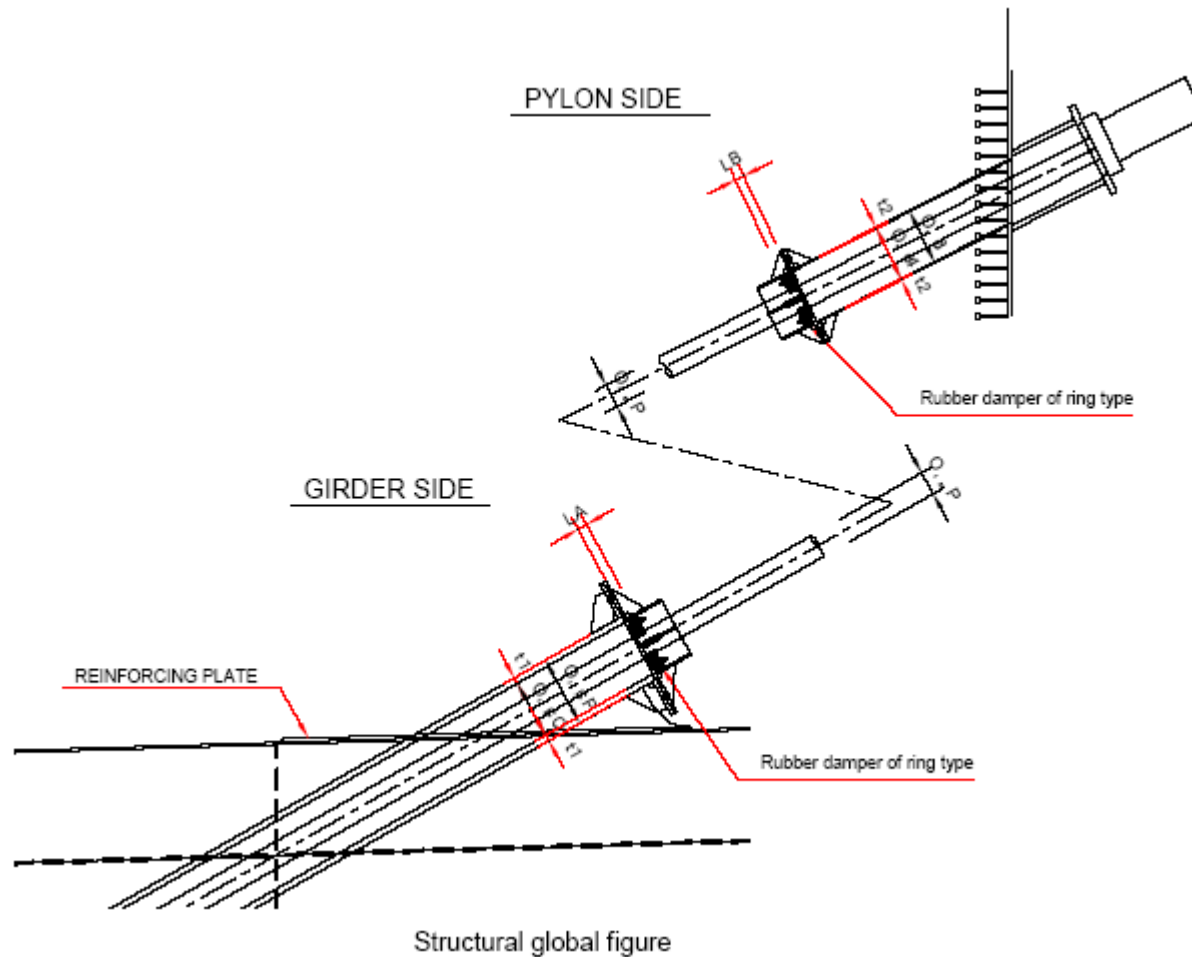
ケーブルの制振装置

- Ringダンパー(高減衰ゴムパット)
主塔から2本のケーブルは摩擦ダンパーは不要で、Ringダンパー(主塔と桁側両方)で対応する。



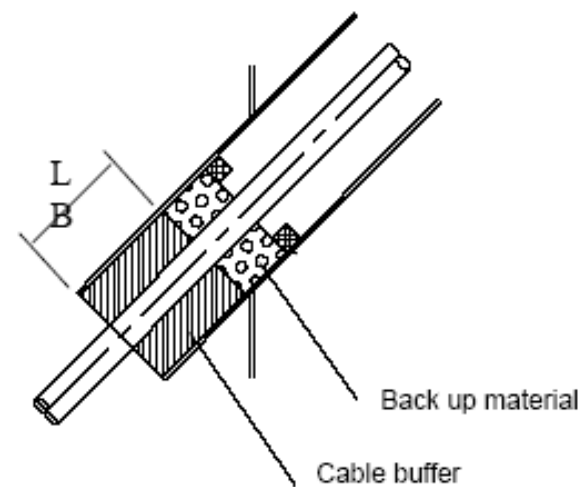
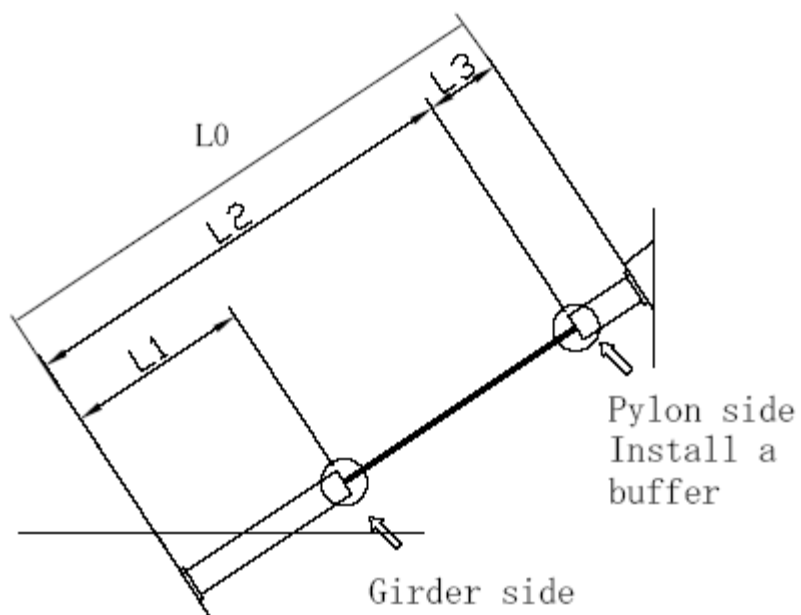
ケーブルの制振装置

■ 構造一般図



ケーブルの制振装置

■ 計算モデルと構造図



ケーブルの制振装置

■ 計算式

The analysis of eigenvalue of cable which has complex number spring

1) Equation motion

The equation of free vibration of cable including complex number spring is

$$[M] \{y\} + [K] \{y\} + [K'] \{y\} = 0 \quad (1)$$

where

$$[M] = \begin{pmatrix} m_1 y_{11} & m_2 y_{12} & \cdots & m_j y_{1j} \\ m_1 y_{21} & m_2 y_{22} & \cdots & m_j y_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_1 y_{i1} & m_2 y_{i2} & \cdots & m_j y_{ij} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$[K] = [I] \quad (3)$$

$$[K'] = \begin{pmatrix} k'_1 y_{11} & k'_2 y_{12} & \cdots & k'_j y_{1j} \\ k'_1 y_{21} & k'_2 y_{22} & \cdots & k'_j y_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k'_1 y_{i1} & k'_2 y_{i2} & \cdots & k'_j y_{ij} \end{pmatrix} \quad (4)$$

where

M_j : mass of each mass point
 k'_j : complex number spring constant of each mass point

$$k'_j = k_j (1 + i \gamma) \quad (5)$$

k_j : spring constant of elasticity
 y_{ij} : influence coefficient of each mass point
 γ : complex number spring constant (=0.25)

$$y_{ij} = \frac{I_i (L - I_j)}{T L} \quad (I_i \geq I_j) \quad (6)$$

$$y_{ij} = \frac{I_j (L - I_i)}{T L} \quad (I_i \leq I_j) \quad (7)$$

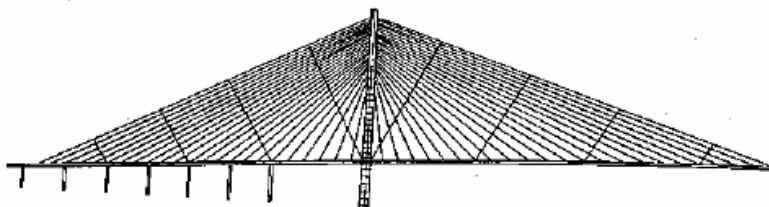
I_i : distance from cable end to mass point
 L : length of cable
 T : tension of cable

[I] : unit matrix

ケーブルの制振装置

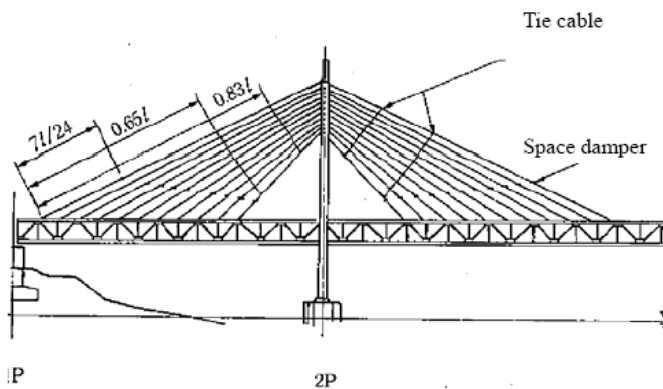
• Cross-tie Cable = 自前・方が一のたしなないにたてもた

■ ノルマンディ橋

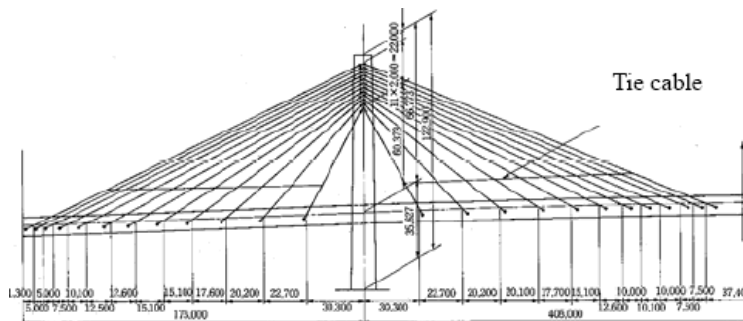


■ 岩黒島橋

櫃石島橋

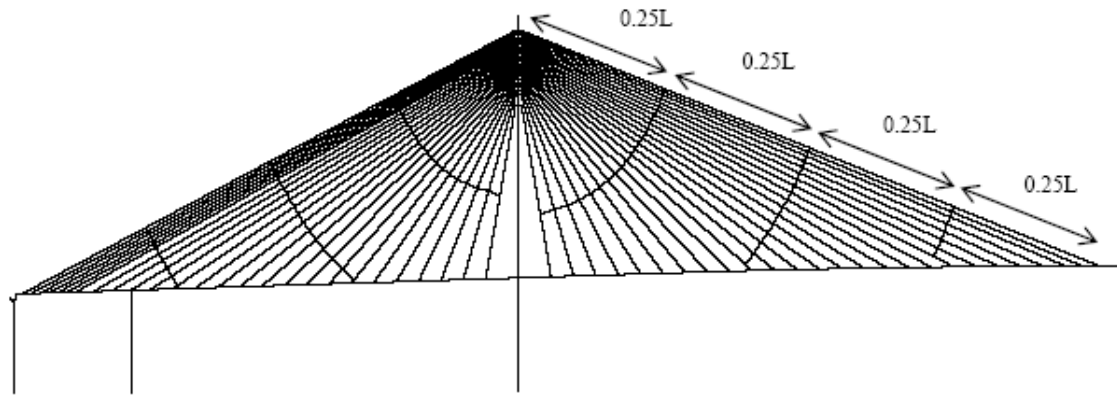


■ 名港西大橋



ケーブルの制振装置

■ 仁川大橋(万の一場合設置)

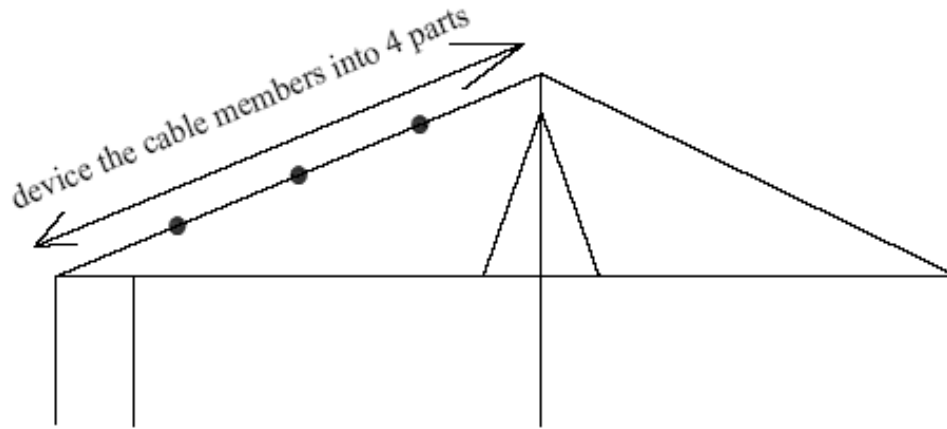


Model analysis for Incheon Bridge

Girder vibration's global mode (Hz)

Direction	Mode	Without cross-ties (E=0)	With cross-ties (Case 2)
Vertical bending	Sym. 1st	0.220	0.222
	Asym 1st	0.271	0.272
	Sym. 2st	0.377	0.380
	Asym 2st	0.435	0.438
Torsion	Sym. 1st	0.626	0.630
Horizontal bending	Asym 1st	0.909	0.946
	Sym. 2st	1.136	1.165
	Asym 2st	1.358	1.407
	Sym. 1st	0.138	0.139
	Asym 1st	0.391	0.400
	Sym. 2st	0.696	-

ケーブルの制振装置



Model of cable members

■ 検証したのは以下の四つのケースである。

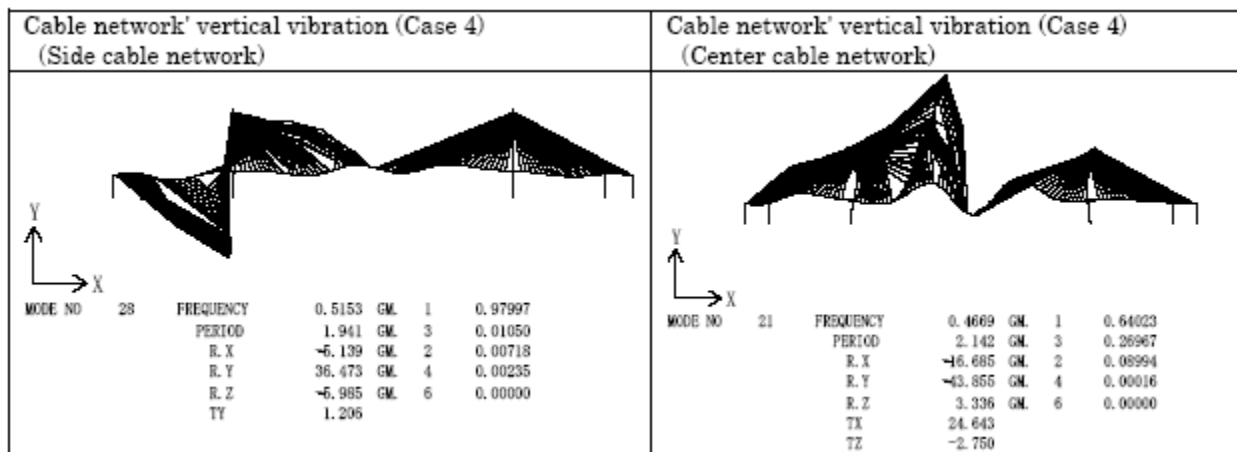
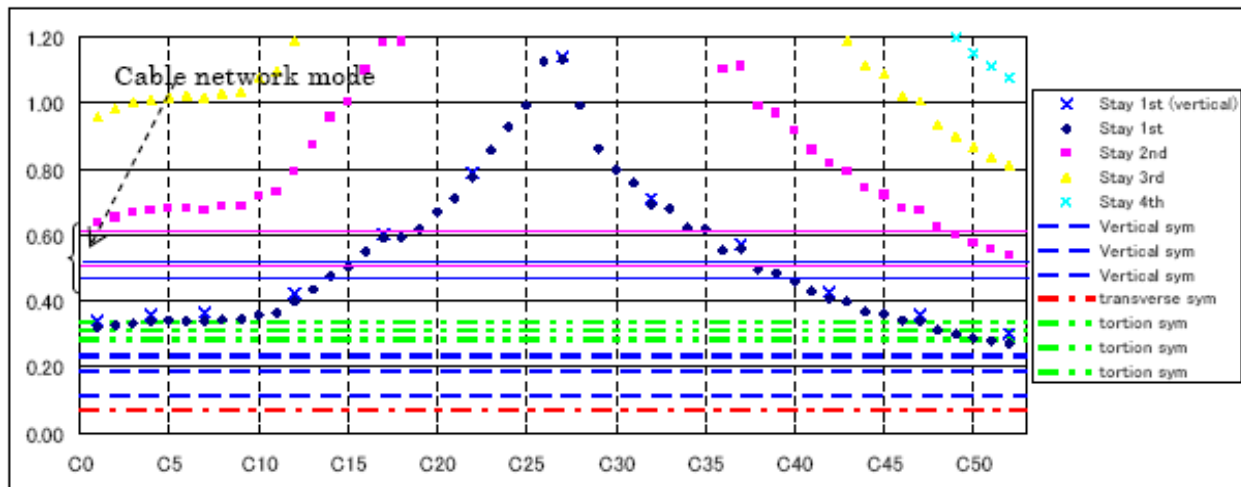
ケース1：Cross-tiesなしの場合

ケース2：Cross-tiesあり(名港西大橋と同様に、 $S_0=150\text{mm}^2$) プレストレス $T_0=10\text{kN}$

ケース3：Cross-tiesあり(ノルマンデイとほぼ同様に、 $S_1=750\text{mm}^2$)プレストレス $T_0=10\text{kN}$

ケース4：Cross-tiesあり(名港西大橋と同様に、 $S_0=150\text{mm}^2$)プレストレス $T_1=150\text{kN}$

ケーブルの制振装置



ケーブルの制振装置

- Cross-ties Cableの効果

- ケーブルの鉛直振動と水平振動に効果がある。
- ケーブルのグループ振動(Cable Network Vibration)が
起こり、ケーブルが単独に振動するWind-rain
VibrationとBuffetingを制御できる。

その他の振動

・仁川大橋で発生する可能性のあるケーブル振動

- ① ケーブルBuffeting
- ② ケーブル交通振動
- ③ ケーブルパラメトリック振動

①のBuffetingについてはガスト応答解析の結果 $h=0.5\%$ において許容値 $L/100$ (L : ケーブルの長さ)より動的+静的変位が小さいことがわかった。

②の交通振動は斜張橋では起こっていない。

③については現在、発注者側と捜査方法について協議中であり、今回は言及しない。

The image features a background of flowing, wavy blue lines that create a sense of movement and depth. The colors range from light, airy blues to deeper, more saturated blues. Centered in the middle of the image is the text "Thank You!" in a bold, blue, sans-serif font. Each letter of the text has a white outline, which makes it stand out against the blue background. The exclamation point is also in the same style, adding a final touch of emphasis to the message.

Thank You !