

## I-516

## 耐風性をも考慮した鋼斜張橋の最適設計に関する基礎的考察

愛媛大学工学部 正会員 ○谷脇 一弘

愛媛大学工学部 正会員 大久保禎二

## 1. まえがき

著者らは、これまでに、道路橋示方書に規定する主桁・塔およびケーブルの応力度の制約条件のもとで、死荷重および活荷重を受ける鋼斜張橋の最適なケーブル配置、塔の高さ、各構造要素の断面寸法およびケーブルプレストレスを数理計画法の手法を用いて自動的に、かつ厳密に決定できる最適設計システムを開発しその成果を発表している。ところで、道路橋の動的耐風設計に関して、風洞試験などの特別な調査や解析を行わずとも十分安全な設計が行えるように、その基本的考え方が昨年7月に道路橋耐風設計便覧としてとりまとめられた。<sup>1)</sup>そこで本研究では、これまで開発してきた鋼斜張橋の最適設計システムを拡張し、上記の耐風設計便覧に規定されている橋げたの鉛直たわみ渦励振およびねじれ渦励振に関する制約条件をも考慮できるようにするとともに、耐風性の制約条件が、鋼斜張橋の最適設計にどのような影響を与えるかについて基礎的な考察を行った結果について述べるものである。

## 2. 耐風性をも考慮した鋼斜張橋の最適設計システム

(1) 従来の最適設計システム これまで開発してきた鋼斜張橋の最適設計システムでは、構造要素の断面寸法に関する設計変数( $Z$ )として、各主桁および塔要素の上・下フランジの板厚、ケーブルの断面積を考慮することができる。また、ケーブル配置に関する設計変数として塔軸線より各ケーブルの主桁への定着点までの距離  $X_c$ 、主桁軸線より塔の最下段ケーブルまでの高さ  $Y_c$  を考慮することができる。

制約条件としては、架設閉合時の片持り系(死荷重載荷状態)および使用時の連続り系(死荷重の一部および活荷重の載荷状態)の2つの異なる構造-荷重系における応力度を用いて、道路橋示方書に規定されている主桁、塔およびケーブルの応力度の制約条件を考慮している。

目的関数としては鋼斜張橋の総製作費を考え、原設計変数および逆変数を混用した凸近似法を用いて総製作費を最小とする設計変数  $Z, X_c, Y_c$  の値を決定している。ケーブルに導入すべき最適なケーブルプレストレスを決定したい場合には、第一段階の最適化として、 $Z, X_c, Y_c$  を設計変数として考慮し最適解を決定した後、第二段階の最適化として、任意のケーブル軸線方向に作用させる仮想荷重を設計変数として考慮し、感度係数およびLPの手法を用いて各ケーブルの最適なプレストレス量を決定することができる。

(2) 耐風性に関する制約条件 耐風性に関する制約条件として風によるフラッター、ギャロッピング、鉛直たわみ渦励振、ねじれ渦励振を考慮する必要があるが、本研究では、耐風性をも考慮した鋼斜張橋の最適設計システムを確立するための基礎的研究として、まず最大活荷重たわみを用いた簡易式で表現することができる鉛直たわみ渦励振およびねじれ渦励振の制約条件を考慮することとした。これらの制約条件は、上記の耐風設計便覧により次のように定式化することができる。

$$\cdot \text{鉛直たわみ渦励振: } g_{wvh}(Z, X_c, Y_c) = E_1 \cdot U_{10} - 1.12 \cdot B \cdot (W_L/W_D)^{1/2} \cdot \gamma_L(Z, X_c, Y_c)^{-1/2} \leq 0$$

$$\cdot \text{ねじれ渦励振: } g_{wv}(Z, X_c, Y_c) = E_1 \cdot U_{10} - 2.2344 \cdot B \cdot (W_L/W_D)^{1/2} \cdot \gamma_L(Z, X_c, Y_c)^{-1/2} \leq 0$$

ここに、 $B$ : 橋げたの総幅(m),  $W_L$ : 換算等分布活荷重(tf/m),  $W_D$ : 主径間の死荷重強度(tf/m),  $\gamma_L(Z, X_c, Y_c)$ : 最大活荷重たわみ(m),  $U_{10}$ : 基本風速,  $E_1$ : 高度および地表粗度に関する補正係数  
なお、応力度および活荷重たわみの計算は影響線を用いて厳密に計算している。

## 3. 設計例および考察

設計例として図-1および図-2に示す死・活荷重を受ける2面吊りの2段ケーブルおよび6段ケーブルを有する左右対称の3径間連続鋼斜張橋について、耐風性に関する制約条件を考慮した場合としない場合の最適解の比較検討を行った。耐風性に関する制約条件に用いた基本的な設計条件を表-1に示す。なお、本

研究においては、断面寸法、ケーブル配置および塔高のみを設計変数として考慮している。

(1) 2段ケーブルを有する鋼斜張橋の設計例

2段ケーブルを有する鋼斜張橋において、耐風性に関する制約条件を考慮した場合および考慮しない場合における最適なケーブル配置の比較を図-1に、また最適解の比較を表-2に示す。この設計問題では、応力度および鉛直たわみ渦励振の制約条件がアクティブとなった。

耐風性に関する制約条件を考慮した場合と考慮しない場合のケーブル配置において、主桁のケーブル定着位置は最大0.917m異なるのみであるが、塔の高さは、耐風性を考慮した場合が1.846m高くなっている。ケーブル断面積 $A_c$ では、耐風性を考慮した場合には、 $C_3$ のケーブルを除くすべてのケーブルの断面積が耐風性を考慮しない場合より増加しており、特に活荷重たわみに大きな影響を及ぼす最上段ケーブルは1.15~1.12倍大きくなっている。総製作費では、耐風性を考慮した場合が1.4%増加している。

(2) 6段ケーブルを有する鋼斜張橋の設計例

6段ケーブルを有する鋼斜張橋の場合における最適なケーブル配置の比較を図-3に、また最適なケーブル断面積および総製作費の比較を表-2に示す。この設計問題においても最適解は応力度および鉛直たわみ渦励振の制約条件により決定されている。

耐風性に関する制約条件を考慮した場合と考慮しない場合の側径間側の主桁のケーブル定着位置は全く同一であるのに対し、中央径間側では、最大13.7m異なっており、塔の高さは、耐風性を考慮した場合が11.5m高くなっている。また、耐風性を考慮した場合の最上段ケーブルの断面積は、考慮しない場合の1.71~1.43倍大きくなっており、総製作費では、7.6%耐風性を考慮した場合が増加している。

以上の考察の結果、支間長が長くなり、耐風性に関する制約条件が支配的となる場合の最適解においては、活荷重によるたわみを小さくするために、耐風性を考慮しない場合と比較して塔の高さが高くなりかつ最上段ケーブルの断面積も1.71~1.12倍の大きな断面積となることが明らかとなった。

なお今後、固有値解析を行うことによりフラッター、ギャロッピングなどの制約条件をも考慮し、より厳密に検討を進めていく予定である。

(参考文献) 1) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧、

1991年7月

表-1 耐風性に関する制約条件に用いた設計条件

設計条件	2段ケーブル	6段ケーブル
高度および地表粗度に関する補正係数： $E_1$	1.33	1.33
基本風速： $U_{10}$ (m/s)	30.0	30.0
橋げたの上フランジの総幅： $B$ (m)	20.0	30.0
腹板の高さ： $H$ (m)	1.5	3.0
主径間の死荷重強度： $W_{11}$ (tf/m)	12.0	20.0
換算等分布活荷重： $W_1$ (tf/m)	4.23	5.37

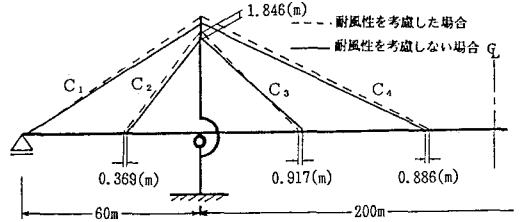


図-1 2段ケーブルを有する鋼斜張橋の耐風性を考慮した場合と考慮しない場合のケーブル配置の比較

表-2 2段ケーブルを有する鋼斜張橋の耐風性を考慮した場合と考慮しない場合の最適解の比較

ケーブル番号 ( $X_c$ ), ( $Y_c$ )	考慮しない場合		考慮した場合	
	( $X_c$ ), ( $Y_c$ )(m)	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )	( $X_c$ ), ( $Y_c$ )(m)	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )
$C_1$ ( $X_{c1}$ )	59.0	356	59.0	410
$C_2$ ( $X_{c2}$ )	25.6	118	26.0	139
$C_3$ ( $X_{c3}$ )	35.7	160	34.8	154
$C_4$ ( $X_{c4}$ )	77.6	290	78.5	325
( $Y_c$ )	32.8	—	34.6	—
総製作費(円)	199906.2		202608.7	
総製作費の比	1.000		1.014	

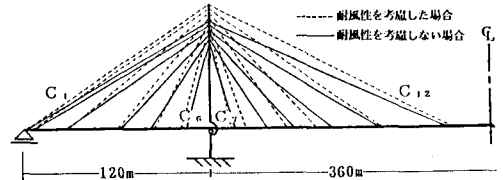


図-2 6段ケーブルを有する鋼斜張橋の耐風性を考慮した場合と考慮しない場合のケーブル配置の比較

表-3 6段ケーブルを有する鋼斜張橋の耐風性を考慮した場合と考慮しない場合の最適解の比較

ケーブル番号 ( $X_c$ ), ( $Y_c$ )	考慮しない場合		考慮した場合	
	( $X_c$ ), ( $Y_c$ )(m)	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )	( $X_c$ ), ( $Y_c$ )(m)	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )
$C_1$ ( $X_{c1}$ )	119.0	391	119.0	670
$C_2$ ( $X_{c2}$ )	114.1	157	114.8	201
$C_3$ ( $X_{c3}$ )	93.3	102	91.9	46
$C_4$ ( $X_{c4}$ )	58.2	116	60.1	163
$C_5$ ( $X_{c5}$ )	38.9	133	36.2	77
$C_6$ ( $X_{c6}$ )	15.6	0	19.1	0
$C_7$ ( $X_{c7}$ )	16.2	0	13.6	0
$C_8$ ( $X_{c8}$ )	36.6	89	22.9	17
$C_9$ ( $X_{c9}$ )	54.1	127	49.5	86
$C_{10}$ ( $X_{c10}$ )	78.8	121	68.8	132
$C_{11}$ ( $X_{c11}$ )	109.3	214	111.0	184
$C_{12}$ ( $X_{c12}$ )	152.4	326	156.2	468
( $Y_c$ )	57.5	—	69.0	—
総製作費(円)	483890.7		520492.0	
総製作費の比	1.000		1.076	