

本州四国連絡架橋調査
材 料 構 造 調 査
調 査 資 料 No.41

土 木 研 究 所 資 料

第 35 号

風荷重による吊橋上部構造の
応力算出について

昭和 40 年 5 月

建 設 省 土 木 研 究 所

まえがき

これは、昭和40年度本州・四国連絡架橋調査の設計調査で行なう上部構造の予備設計に用いる設計示方書の補足の目的で、土木学会本州・四国連絡橋技術調査委員会の耐風設計指針ならびに解説の内容を骨子として、風荷重による吊橋上部構造の応力計算の方法をまとめたものである。

担当者： 構造橋梁部

橋梁調査室

建設専門官 大橋 昭 光

研究員 佐伯 彰 一

構造研究室

室 長 大久保 忠 良

研究員 成 田 信 之

目

次

1 設計風速の求め方	1
1.1 高度による風速の補正	1
1.2 水平長による風速の補正	1
1.3 鉛直長による風速の補正	2
1.4 設計風速の求め方	2
1.4.1 吊 構造部	2
1.4.2 ケーブル	3
1.4.3 ハンガー	3
1.4.4 塔	4
2 構造物にかかる風荷重	4
3 構造物にかかる風荷重の求め方	5
4 風荷重の載荷方法	6
4.1 橋軸直角方向	6
4.1.1 吊 構造部、ハンガーおよびケーブル	6
4.1.2 塔	7
4.2 橋軸方向	8
4.2.1 吊 構造部、ハンガーおよびケーブル	8
4.2.2 塔	8
5 各部の風荷重応力の算出方法	9
5.1 橋軸直角方向の風に対して	9
5.1.1 ケーブル	9
5.1.2 ハンガー	9
5.1.3 補剛トラスおよび横構	9
5.1.4 塔	9
5.2 橋軸方向の風に対して	10
5.2.1 補剛トラス、横構、ハンガー、ケーブル	10
5.2.2 塔	10
5.3 橋軸に斜めの風に対して	10
6 架設時の風荷重応力の算出方法	11

1. 設計風速の求め方

設計風速は基本風速（10分間平均最大風速で表現した100年期待値）に対し、構造物の高度による補正を行なった後、さらに水平長または鉛直長による補正を行なって求める。

1.1 高度による風速の補正

地表または水面上 Z mにおける10分間平均風速は次式で求める。

$$V_z = V_{10} \left(\frac{Z}{10} \right)^{\frac{1}{8}} \quad (240 \geq Z \geq 10) \quad (1.1)$$

$$V_z = V_{10} \quad (Z \leq 10) \quad (1.2)$$

ここに V_z : 地表または水面上 Z mにおける風速 (m/sec)

V_{10} : 基本風速 (m/sec)

Z : 吊構造部：補剛トラス中央点下面における高さ

ケーブルおよびハンガー：補剛トラス中央点下面と主塔頂点の中央の高さ

塔：塔高の65%の高さ、

1.2 水平長による風速の補正

吊橋の吊構造部、ケーブルのように水平方向に長い構造物に対しては、設計風速を求める場合、基本風速に対して高度による補正を行なったのち、さらに水平長によりつぎの係数を乗ずるものとする。

表-1.1 水平長による補正係数

地 域	Z (m)	水平長 (m)									
		150	300	450	600	750	900	1,050	1,200	1,350	1,500
開 け た 海 上 又 は 平 地	10	1.400	1.300	1.244	1.206	1.177	1.155	1.136	1.119	1.105	1.093
	30	1.240	1.186	1.155	1.133	1.117	1.104	1.093	1.083	1.075	1.068
	50	1.196	1.153	1.129	1.112	1.099	1.088	1.080	1.072	1.065	1.059
	70	1.168	1.132	1.112	1.097	1.086	1.078	1.070	1.064	1.058	1.053
	100	1.144	1.114	1.097	1.085	1.076	1.069	1.062	1.057	1.052	1.048

註 1 150m以下の水平長に対しては150mの値を採用する。

註 2 150m以上で表にない水平長及び Z に対しては内挿法で求める。

註 3 水平長のとり方

ハンガー、塔には水平長による補正を考えない。

ケーブル：中央径間長をとる。

吊構造部：中央径間長をとる。

1.3 鉛直長による風速の補正

吊橋の主塔、ハンガー、ケーブルベントに対しては、設計風速を求める場合、基本風速に対して高度による風速の補正を行なった後、さらに鉛直長によりつぎの係数を乗ずるものとする。

表-1.2 鉛直長による補正係数

地域 \ 鉛直長 (m)	30	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
開けた海上又は平地	1.500	1.432	1.316	1.256	1.221	1.192	1.171	1.157	1.144	1.132	1.121	1.114

註 1. 鉛直長30m以下は定数とし30mの値を用いる。

註 2. 30m以上で表にない鉛直長に対しては内挿法で求める。

註 3. 鉛直長のとり方

ケーブル、吊構造部：鉛直長による補正を考えない。

ハンガー：中央径間ハンガー長の平均値をとる。中央径間中央点でケーブルと補剛トラスとが連結されているとした場合には近似的にサグの $\frac{1}{3}$ の長さになる。

塔：塔の高さをとる。

1.4 設計風速の求め方の一例

1.4.1 吊構造部

基本風速 $V_{10} = 40 \text{ m/sec}$

補剛トラス中央径間中央点下面の長さ：60m

中央径間長：1500m

式(1.1)より高度による補正を行なうと

$$V_z = V_{10} \left(\frac{Z}{10} \right)^{\frac{1}{3}} = 40 \left(\frac{60}{10} \right)^{\frac{1}{3}} \\ = 40 \times 1.251 = 50.04 \text{ m/sec}$$

つぎに表-1.1を用いて水平長による補正を行なうと設計風速 V は

$$V = V_z \times \frac{1}{2} (1.059 + 1.053) \\ = 50.04 \times 1.056 = 52.84 \text{ m/sec}$$

したがって吊 構造部の設計風速 V は中央径間、側径間ともに 5.3 m/sec をとる。

1.4.2 ケーブル

基本風速 $V_{10} = 40 \text{ m/sec}$

補剛トラス中央径間中央点下面の高さ: 60 m

中央径間長: 1500 m

塔高: 200 m

ケーブルの平均高さは塔頂と補剛トラス中央径間中央点下面の間をとるため

$$Z = 60 + \frac{1}{2}(200 - 60) = 130 \text{ m}$$

式(1.1)より高度による補正を行なうと

$$\begin{aligned} V_z &= V_{10} \left(\frac{Z}{10} \right)^{\frac{1}{8}} = 40 \times \frac{130}{10}^{\frac{1}{8}} \\ &= 40 \times 1.393 = 55.72 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

つぎに表-1.1を用いて水平長による補正を行なうと設計風速 V は

$$V = 55.72 \times 1.043 = 58.12 \text{ m/sec}$$

したがってケーブルの設計風速 V は中央径間、側径間ともに 5.8 m/sec をとる。

1.4.3 ハンガー

基本風速 $V_{10} = 40 \text{ m/sec}$

サグ: 150 m

中央径間中央点のハンガー長: 3 m

ハンガーの平均高さは塔頂と補剛トラス中央径間中央点下面の間をとるため

$$Z = 60 + \frac{1}{2}(200 - 60) = 130 \text{ m}$$

式(1.1)より高度による補正を行なうと

$$\begin{aligned} V_z &= V_{10} \left(\frac{Z}{10} \right)^{\frac{1}{8}} = 40 \times \left(\frac{130}{10} \right)^{\frac{1}{8}} \\ &= 40 \times 1.393 = 55.72 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

つぎにハンガーの鉛直長を近似的に

$$3 + \frac{1}{3} \times 150 = 53 \text{ m} \text{ ととり}$$

表-1.2を用いて鉛直長による補正を行なうと

設計風速 V は

$$V = 55.72 \times 1.357 = 75.61 \text{ m/sec}$$

したがってハンガーの設計風速 V は中央径間、側径間ともに 7.6 m/sec をとる。

1.4.4 塔

基本風速 $V_{10} = 40 \text{ m/sec}$

塔高: 200 m

$$Z = 200 \times 0.65 = 130 \text{ m}$$

式(1.1)より高度による補正を行なうと

$$\begin{aligned} V_z &= V_{10} \left(\frac{Z}{10} \right)^{\frac{1}{8}} = 40 \times \left(\frac{130}{10} \right)^{\frac{1}{8}} \\ &= 40 \times 1.393 = 55.72 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

つぎに表-1.2を用いて鉛直長による補正を行なうと

設計風速 V は

$$V = 55.72 \times 1.132 = 63.07 \text{ m/sec}$$

したがって塔の設計風速 V は塔の全高にわたって 63 m/sec をとる。

2. 構造物にかかる風荷重

風荷重を求めるさいに下記の仮定を設ける。

- (1) 風荷重は空気力の抗力成分のみを考え、次式で表わす

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A$$

ここに

P = 風荷重 (Kg または Kg/m)

ρ = 空気密度 $0.125 \left(\frac{\text{Kg-sec}^2}{\text{m}^4} \right)$

V = 設計風速 (m/sec)

C_D = 抗力係数

A = 構造物の投影面積 (m^2 または m/m)

- (2) 風荷重は橋軸方向と橋軸直角方向の2方向について算出し、吊構造物、塔、ケーブルおよびハンガーの抗力係数はこの2方向についてそれぞれ同一の値を用いる。
- (3) 各部の抗力係数 C_D は調査資料第44の表-1.2.1に示す値を用いる。
- (4) 各部の投影面積 A は調査資料第44の表-1.2.2に示すようにとるものとする。
- (5) 活荷重にかかる風荷重は鋼道路橋設計示方書の規定による。

3. 構造物にかかる風荷重の求め方

いま、各部の設計風速 V が一律に 60 m/sec であると仮定し、かつ投影面積 A が未知として風圧 $p = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d$ を求めるとつぎようになる。風圧 p は Kg/m^2 の単位で表わされるので、投影面積 A (m^2 または m^2/m) を乗ずると風荷重 P は Kg または Kg/m の単位で求められる。

表-3.1 各部の風圧 (Kg/m^2)

風向	設計対象	風圧 $\frac{1}{2} \rho V^2 C_d$	備 考
橋軸 直 角 方 向	吊構造部	$0.5 \times 0.125 \times 3600 \times 2.4 = 540$	両側のトラスを含む
	塔 柱	$0.5 \times 0.125 \times 3600 \times 1.8 = 405$	
	ダブルケーブル	$0.5 \times 0.125 \times 3600 \times 1.0 = 225$	ダブルケーブル一組あたり
	シングルケーブル	$0.5 \times 0.125 \times 3600 \times 0.7 = 160$	ケーブル一本あたり
	ハンガー	$0.5 \times 0.125 \times 3600 \times 0.7 = 160$	ハンガー・ロープ一本あたり
橋軸 方 向	吊構造部	$0.5 \times 0.125 \times 3600 \times 2.4 = 540$	
	塔 柱	$0.5 \times 0.125 \times 3600 \times 1.8 = 405$	

なお、ハンガーの橋軸直角方向の風荷重は、ハンガー全体の長さを平均することにより、橋軸方向に等分布な風荷重に置き換え、これを2分して、それぞれ吊構造部とケーブルにかかる風荷重の中に繰り入れてよい。

4. 風荷重の載荷方法

4.1 橋軸直角方向

4.1.1 吊構造部、ハンガーおよびケーブル

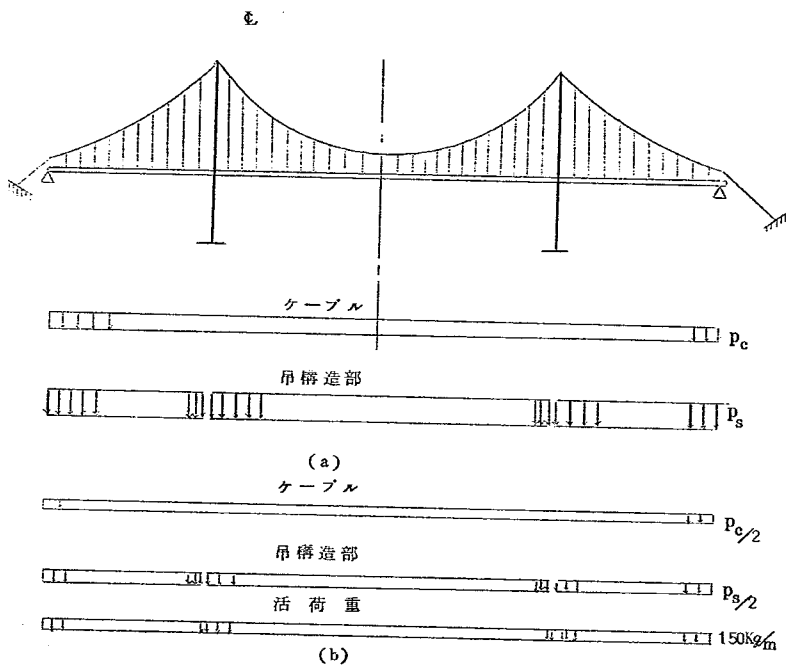


図 - 4.1

吊構造部およびケーブルには、それぞれの投影面積 A (m^2/m) から単位橋長あたりの等分布荷重として吊構造部およびケーブル自身にかかる風荷重を求め、さらにハンガーの風荷重の $1/2$ を加えて図 - 4.1 (a) に示すように吊構造部およびケーブルの風荷重 P_s , P_c を載荷する。

載荷時には無載荷時における風荷重の $1/2$ をとり、同時に吊構造部全体にわたつて活荷重にかかる風荷重 150 Kg/m を図-4.1(b)のように載荷する。したがつてケーブルの風荷重は $P_c/2$ 、吊構造部の風荷重は活荷重の影響を加えて $P_s/2 + 150$ となる。

4.1.2 塔

塔には塔柱の投影面積 $A \text{ (m}^2/\text{m)}$ から塔柱の単位高さあたりの分布荷重として風荷重 P_t を求め、同時に塔頂サドルにおけるケーブル反力 R_c および対風支承における吊構造部からの反力 R_s と塔頂にかかる鉛直反力 V を図-4.2のように作用させる。

鉛直反力 V は無載荷時には死荷重、温度変化のみを考え、載荷時には死荷重、温度変化以外に図-4.1(b)に相当する活荷重の影響を考えたものとする。

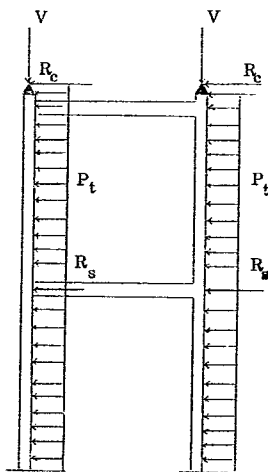


図-4.2

したがつて載荷時には塔頂鉛直反力 V を除き、図-4.2における R_c, R_t, R_s はすべて $R_c/2, R_t/2, R_s/2$ となる。

4.2 橋軸方向

4.2.1 吊橋造部、ハンガーおよびケーブル

吊橋造部には、吊橋造部の投影面積 A (m^2) から風荷重 P'_s を求め、これが塔の対風支承に伝達されるものとする。

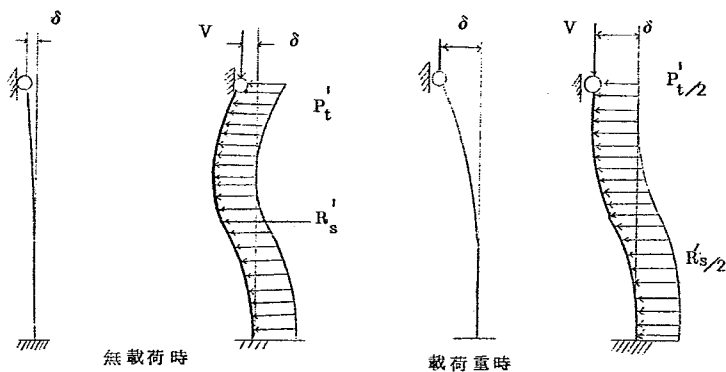
ハンガー、ケーブルにかかる風荷重は考えない。なお、載荷時には活荷重にかかる風荷重を無視する。

4.2.2 塔

塔柱には塔柱、ストラット、ブレースなどの投影面積 A (m^2/m) から塔柱の単位高さあたりの分布荷重として風荷重 P'_t を求め、同時に対風支承における吊橋造部からの反力 R'_s と鉛直反力 V を図-4.3 のように作用させる。

鉛直反力 V は無載荷時には死荷重、温度変化のみを考え、載荷時には死荷重、温度変化以外に図-4.1 (b) に相当する活荷重の影響を考えたものとする。

したがって載荷時には塔頂鉛直反力 V を除き、図-4.3 における P'_t 、 R'_s はすべて $P'_t/2$ 、 $R'_s/2$ となる。



δ = 塔頂と塔基部との相対変位

図-4.3

5. 各部の風荷重応力の算出方法

5.1 橋軸直角方向の風に対して

ケーブルと補剛トラスとの間の風荷重の分配を考える場合に塔頂の橋軸直角方向の水平変位を無視する。

5.1.1 ケーブル

調査資料Ⅱ 25 にのべた電子計算機プログラム (SSH-1) を用いて、弾性分配法にもとづいたケーブルの塔頂サドルに及ぼす無載荷時、載荷時の反力 R_c を求めるだけで風荷重によるケーブルの応力は活荷重応力に比べて極めて小さいので無視する。

5.1.2 ハンガー

ハンガーの風荷重応力は活荷重に比べて極めて小さいので無視する。

5.1.3 補剛トラスおよび横構

(1) 無載荷時 ($T+W$)

調査資料Ⅱ 25 にのべた電子計算機プログラム (SSH-1) を用いて、弾性分配法にもとづいた吊構造部の曲げモーメントおよびせん断力を求める。補剛トラスの弦材応力は風荷重とケーブルによる温度変化による曲げモーメントより、横構応力はせん断力より求める。対風支承における反力 R_B は図-4.2 のように塔に作用させる。

(2) 載荷時 ($T+L/2+W/2$)

無載荷時と全く同様に図-4.1 (b) の載荷を考慮して補剛トラス弦材の応力および対風支承における反力 R_B を求める。

つぎに、調査資料Ⅱ 44 (本州・四国連絡橋上部構造設計示方書) の式 (1.2.1) で示される活荷重強度の $1/2$ の活荷重およびケーブルの温度変化による補剛トラス弦材の最大応力を求め、風荷重による弦材応力との合成応力を照査する。

載荷時には補剛トラスの垂直材、斜材および横構の応力は照査する必要はない。

5.1.4 塔

それぞれ無載荷時と載荷時についてケーブルおよび吊構造部からの反力 R_c 、 R_B および鉛直反力 V を図-4.2 のように作用させ、2本の塔柱とストラット、ブレースなどを一体の構造物として塔各部の応力を求める。

計算は調査資料版25にのべた電子計算機プログラム(TOW-1)を用いる。

5.2 橋軸方向の風に対して

5.2.1 補剛トラス、横構、ハンガー、ケーブル

吊構造部から塔の対風支承に伝達する無載荷時、載荷時の反力 R_d を求めるだけで、補剛トラス、横構、ハンガー、ケーブルの風荷重応力は無視する。

5.2.2 塔

(1) 無載荷時(D+T+W)

塔の風荷重 P_t 、塔頂の鉛直反力 V 、吊構造部からの反力 R_d を作用させ、塔頂と塔基部との相対変位 δ を与えた状態で塔頂が固定ヒンジと考え風荷重による塔頂の橋軸方向水平変位を無視して塔各部の応力を求める。

計算は調査資料版38にのべた電子計算機プログラム(TOW-2)を用いる。

無載荷時に与える塔頂の変位 δ はケーブルの温度変化による塔頂の変位 δ_s 、架設誤差 δ_e ($\pm 0.05m$)およびset Backを行なう場合にはset Back量 δ_0 を加えたものを用いる。

$$\delta = \delta_T + \delta_s \pm \delta_e$$

なお、 δ_T 、 V を求めるときには塔の剛性を無視して計算する。

(2) 載荷時(D+T+L/2+W/2)

無載荷時と全く同様にして塔各部の応力が計算できる。

載荷時に与える塔頂の変位 δ はケーブルの温度変化と活荷重による塔頂の変位 $\delta_{T+L/2}$ 、架設誤差 δ_e ($\pm 0.05m$)およびset Backを行なうときはその量 δ_0 を加えたものを用いる。

$$\delta = \delta_{T+L/2} + \delta_s \pm \delta_e$$

塔柱の応力を求めるさい、塔の継手部、ストラット、ブレーシングなどの協同作用が考えられるが、これらの塔柱の剛度に及ぼす影響が極めて小さいので、塔柱だけの剛度を考えるものとする。

5.3 橋軸に斜めの風に対して

橋軸に斜めの風に対して風荷重を求め、解折を行なうことは今の段階ではかなり困難なため、一種のcheck loadといった考え方をとり風向は決めずに橋軸直角方向および橋軸方向の風荷重による応力のそれぞれ70%の代数和として求める。

6. 架設時の風荷重応力の算出方法

架設の各段階ごとに、架設時の風圧から架設中の構造物に作用する風荷重および架設用機械、架設用設備に作用する風荷重を求め、これらが最も不利な組合わせの状態で構造物の風荷重応力を求める。

関連のある材料構造調査・調査資料

調査資料 44 : 本州・四国連絡橋上部構造設計示方書、昭和40年5月

調査資料 45 : 吊橋基本構造に関する電子計算機プログラム、昭和39年6月

調査資料 48 : 吊橋基本構造に関する電子計算機プログラム、昭和40年3月

調査資料 42 : 地震荷重による吊橋上部構造の応力算出について、昭和40年5月

調査資料 45 : 吊橋主塔の設計計算について、昭和40年5月

調査資料 46 : 補剛トラスとケーブル間の風荷重分配に関する比較計算結果の考察、
昭和37年3月