

I - 553 暴風時質量付加型吊橋の耐風性能について

川田工業（株） 正員○中崎 俊三
川田工業（株） 正員 江崎 正浩
川田工業（株） 正員 野村 國勝

1. まえがき

スパン2000mを超える超長大吊橋においては、スパンの増大と共に風の影響が顕著になるので、いかに経済的に吊橋の剛性を高めて耐風性能を向上させるかが最も重要な検討課題となる。吊橋の剛性を高めるためには、補剛桁自身のねじり剛性を高めることが考えられるが、トラス桁の横構断面、箱桁の板厚の増大によって極慣性モーメントも同時に増加し、大幅な鋼重増加を招くことになる。これに対して、補剛桁に安価な質量を付加してその自重を増加させることで吊橋の剛性を高めることもできる¹⁾。しかし、付加質量を完成系に残すと主ケーブルの鋼重を増大させるなど不利になることは避けなければならないため、質量は暴風時にのみ一時的に付加するものとし、主ケーブルの許容応力度を暴風時に一時的に割増して質量を付加することを考える。本報告は、付加する質量を水などの液体を想定し、暴風時にのみ一時的に付加した暴風時質量付加型吊橋の耐風性能について述べるものである。

2. 予備検討

水などの液体を吊橋に付加する場合、管や隔壁を配置する必要があるが、極慣性モーメントの増加をおさえるためにはそれらになるべく補剛桁の中央に配置することが望ましい。補剛桁をトラス形式とした場合、その構造の煩雑さ及び静的風荷重に対する受風面積の上昇が懸念されることから、箱形式の補剛桁を対象として検討することとした。質量付加による耐風性能への影響を調べるため、中央径間長2000m, 2500m, 3000mの3径間吊橋を対象に、最小板厚からなる箱桁を有する吊橋に、付加する質量を徐々に増加させた場合について吊橋の固有振動解析を行い、Selberg式よりフラッター限界風速を算出した。その結果を図-2に示す。横軸の主ケーブル応力度は、主ケーブルがその応力に達するまで質量を付加することを示す。主ケーブルの応力度が上昇するにつれフラッター限界風速も上昇し、暴風時1.3の割増しを考慮して主ケーブルの応力度が $\sigma_a = 107\text{kg/mm}^2$ となるまで質量を付加した場合、質量を付加しない場合に比べて1.24~1.28倍の限界風速の上昇がみられる。これは、ねじり振動数が増加していること及び、質量効果が限界風速を上昇させる方向に働いたことに起因しているものと思われる。また、対象としたスパンによって限界風速の上昇率が異なり、3000m吊橋より2000m吊橋の方が効果が大きいことも認められた。これは、スパンが小さい方が、主ケーブルに発生する死荷重応力が小さくなり、所定の主ケーブル応力度に対して付加できる質量が増加するためであると思われる。

3. スパン3000m吊橋に適用した場合の効果

表-1 計算条件

項目	スパン2000m吊橋	スパン2500m吊橋	スパン3000m吊橋
スパン割	650m+2000m+650m	850m+2500m+850m	1000m+3000m+1000m
サグ比	$f = L/10$	"	"
幅員構成	第一種第3級4車線	"	"
ケーブル間隔	30m	"	"
桁高	7.0m	8.5m	10.0m

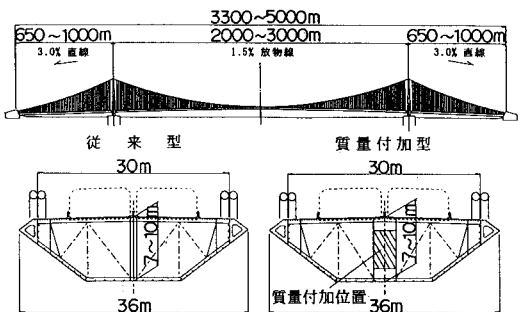


図-1 吊橋の断面図と質量付加位置

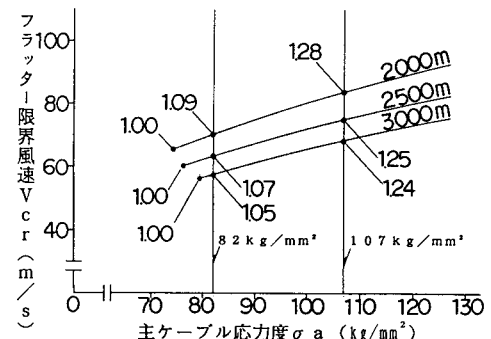


図-2 $\sigma_a - V_{cr}$ 図

予備検討を行った結果、暴風時に質量を付加することで吊橋の耐風性能に大きく関与することがわかった。ここでは、スパン3000mの超長大吊橋で補剛桁が箱形式の場合の質量付加の効果を定量的に把握することを目的に、質量を付加した場合としない場合について85m/sの7リッター-限界風速を満足する補剛桁断面を決定し、静的風荷重に対する照査を行った。補剛桁の断面は桁高H=10mとH=7mの2ケースを対象とし、基本風速 V_{10} は40m/sに設定した。主ケーブルの断面は常時荷重で決定し、暴風時は1.3の割増しを考慮し

$\sigma_a = 107 \text{ kg/mm}^2$ と考へ、付加する質量を決定した。その結果、表-2に示す様に①補剛桁の桁高にかかわらず質量を付加した場合、付加しない場合に比べて母材の板厚が大幅に減少し、全死荷重も約20%減少する。②質量を付加するかしないかにかかわらず桁高10mの場合と7mの場合の全死荷重を比較すると7mの方が約18%大きくなることわかる。図-3にMoisseiffの弾性分配法を用いて風荷重による面外変位と曲げモーメントを計算した結果を示す。補剛桁の桁高にかかわらず質量を付加することで変位、曲げモーメントとも大幅に減少する。なお桁高H=7mの場合、受風面積が大幅に減少することから桁高H=10mと比べて面外風時の変位、曲げモーメントとも大幅に小さくなっている。また、活荷重による変位と曲げモーメントを算出するため、Peeryの影響線解析を行ったが算出された最大曲げモーメントに対して生じる補剛桁の応力は 250 kg/cm^2 程度となり、全く問題にはならなかった。図-4は面内解析と面外解析により計算された塔頂反力と主塔の自重により生じる塔柱の軸力を簡易的に計

表-2 スパン3000m吊橋の諸元

		従来型 桁高10m	質量付加型 桁高10m	従来型 桁高7m		質量付加型 桁高7m	
				中央径間	側径間	中央径間	側径間
死荷重係数	ケーブル	29.0	24.5	35.0		28.0	
	吊橋造	33.5	27.0	41.0	26.5	31.5	23.0
	合計	62.5	51.5	76.0	61.5	59.5	51.0
全死荷重の比率		1.00	0.82	1.00		0.80	
付加質量	付加しない	20.5		付加しない		23.1	
	ケーブル A/c	3.2	2.7	3.9		3.1	
断面性能	補剛桁 Ix	42	28	32	16	22	13
	" Iy	230	154	331	168	225	129
	" J	103	64	90	42	59	30
	母材板厚(mm)	29	18	48	22	31	16
	限界風速 m/s	86.0	86.6	85.8		86.6	
照査風速 m/s		85.0	85.0	85.0		85.0	

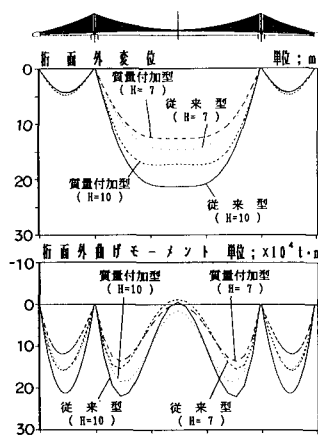
(単位: t/m/Br, m²/Br, m⁴/Br)

図-3 面外風荷重解析結果

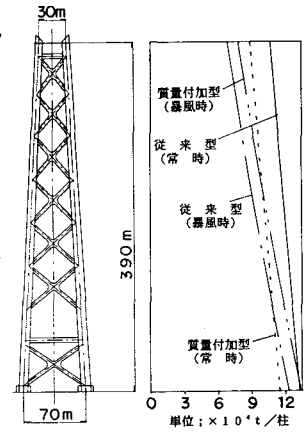


図-4 塔柱軸力図

算し比較したものである。質量付加型吊橋の暴風時の軸力は、割増しを考慮することで従来型吊橋の常時荷重の軸力を超えることはない。しかしながら塔面外の曲げモーメント等を見逃した上での比較であるため、経済的比較を行う上で今後より詳細な検討が必要と思われる。

4. まとめ

吊橋に暴風時にのみ一時的に質量付加する効果についてまとめると

- 1) 中央径間長の短い方がより効果的である。
- 2) 中央径間長3000m吊橋においても質量付加することにより、しない場合より（ケーブルの許容応力割増し1.3を考慮）約20%全死荷重を軽くすることができる。
- 3) 質量付加型吊橋の暴風時の軸力が従来型吊橋の常時の軸力をこえることがない。

今後は、暴風時のケーブル許容応力の割増し率のとり方、桁内への具体的な導水法について詳細に検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 野村國勝・中崎俊三・前田研一・成田信之：流線形箱桁形式吊橋の補剛特性に及ぼす自重の影響に関する研究、鋼構造年次論文報告集，Vol.1、1993年7月。