

I - B 388 明石海峡大橋 PWS ハンガーの風洞試験による制振対策検討

本四公団 正会員 竹口 昌弘 本四公団 正会員 岡野 哲
 本四公団 正会員 鳥海 隆一 住友重機械工業(株) 正会員 斉藤 善昭

1. はじめに

明石海峡大橋のハンガーロープは、長さが短い一部のハンガーを除き、主として防錆上の理由から一格点2本のピン定着形式のポリエチレン被覆（表面はふっ素樹脂被覆）された PWS ハンガーが用いられている（図-1）。この PWS ハンガーにおいて、工事中から風による2種類の振動が観測された。一つは渦励振で、並列ハンガーを高減衰ゴムダンパーで連結することにより制振対策を施した。もう一つの振動は風速 12 m/s 以上の高風速時に長さ $100\text{m} \sim 200\text{m}$ の並列ハンガーの風下側のみで発生する風軸方向の振動（インライン振動）が卓越した楕円振動である。この高風速時に発現する振動は、1次～7次程度の比較的に低次のモードで大振幅（大きいものでハンガー径の8倍程度）となる。この振動については、並列ハンガーの間隔が $9D$ (D :ハンガー径) であることから、既往の文献で報告されているウェイクギャロッピング ($6D$ 以下で生じる。) や、ウェイクフラッター ($10D$ 以上で生じる。) 等のケーブル間隔の条件に当てはまらず、制振対策を施すには、その振動特性を把握する必要があった。本文では、風洞試験で高風速時に発生する風下側ハンガーの大振幅振動（以下は便宜上、ウェイクフラッターと称す。）の振動特性およびその制振対策としてのヘリカルロープの最適な巻き方（外径、本数、巻きピッチ）について検討したものを報告する。

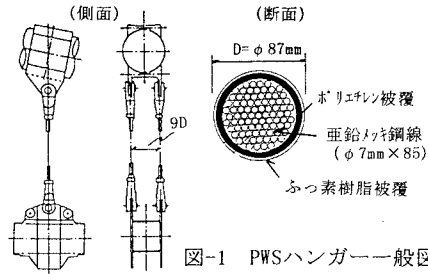


図-1 PWSハンガー一般図

2. 風洞試験結果

2. 1 試験条件

供試模型は、明石海峡大橋の PWS ハンガー断面が円形でありレイノルズ数の影響を受けることから模型断面は実物大（縮尺 $1/1$ ）の2次元剛体模型（模型長 1.6m ）とし、表面は実機同様にふっ素樹脂被膜加工を施したものをを用いた。模型の支持は、2体のハンガー模型を水平にセットし、上流側の模型は固定し、下流側の模型のみをバネで吊ることで鉛直、水平方向に振動可能な状態とした（図-2）。試験条件を表-1 に示す。なお、試験気流は一様流とした。

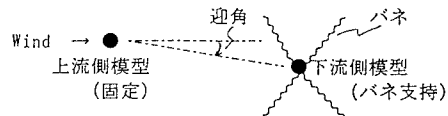


図-2 風洞試験概念図（側面図）

表-1 試験条件

	実 橋	実験値
縮 尺	—	$1/1$
ハンガー径 (m)	0.087	0.087
単位重量 (kgf/m)	25.6	25.6
振動数	鉛直	約 0.7
(Hz)	水平	約 0.7
無風時構造減衰率 (対数減衰率)	0.001 (仮定)	0.003

備考) 振動数 0.7Hz は、長さ 140m 程度のハンガーの1次モードに相当する。

2. 2 試験結果および考察

(1) 基本断面

ハンガー間隔の違い ($8D \sim 9.8D$) によらず、迎角 $\pm 5^\circ \sim \pm 15^\circ$ の風向で風速 11m 程度以上でウェイクフラッターが発生した。最も励振力が大きかったハンガー間隔 $9D$ 、迎角 15° における風速と振幅の関係および高風速時の振動軌跡を図-3 に示す。このケースでは振動時の模型の空力減衰率（対数減衰率）は -0.2 程度（風速約 30m/s ）と大きく、本振動をダンパー等で機械的に制振するのは非常に困難であると言える。また、振動の軌跡は風軸方向を長軸とした楕円振動となっており、実橋での観測結果と良く整合している。

キーワード：PWS ハンガー ウェイクフラッター ヘリカルロープ
 〒655-0047 神戸市垂水区東舞子町 4-115 TEL.078-782-5400 FAX.078-782-9970

(2) ヘリカルロープ対策断面

ヘリカルロープ対策断面における各迎角でのウェイクフラッター発振風速と渦励振の試験結果を表-2 に示す。主要な試験結果は以下のとおりである。

- ・基本断面で励振力が一番大きかった迎角 15° の場合、 $\phi 3\text{mm}$ 、2本巻きでは、巻きピッチによらず制振効果は小さく、発振風速を 30m/s 以上とするには、 $\phi 5\text{mm}$ 以上で2本巻きが必要と思われる。
- ・ $\phi 5\text{mm}$ 、2本巻き、巻きピッチ 300mm (ケース No.5) では迎角 10° を除き、風速 30m/s 以下で発現せず、また、迎角 10° でも 16m/s で発現しているが振動時の空力減衰率 (対数減衰率) は -0.08 程度 (風速約 30m/s) と、基本断面のそれ (迎角 15° で -0.2 程度) に比べかなり小さくなった。
- ・ $\phi 9\text{mm}$ 、2本巻き、巻きピッチ 1000mm (ケース No.12) では、迎角 10° で発振風速 13m/s となるが、 $\phi 5\text{mm}$ 、2本巻き、巻きピッチ 300mm (ケース No.5) と比較して振幅の発達が比較的緩やかで、無次元振幅 (A/D) が2以上の大振幅となるのは風速 20m/s 以上と同程度であり、高風速域で振幅が減少している (図-4)。また、渦励振に対する制振効果も期待できることから、本ケース (ケース No.12) が最適なヘリカルロープの巻き方であると考えられる。

3. まとめ

明石海峡大橋のハンガーについて、実橋で観測されたウェイクフラッターが風洞試験においても確認された。また、ヘリカルロープをハンガーに巻き付けることにより、迎角 10° でウェイクフラッターが残るものの迎角範囲が狭まり、その発生頻度はかなり減少すると考える。なお、今後は、三分力試験データを用いた数値解析およびハンガー廻りの風速分布等を計測するなどしてウェイクフラッターの発生メカニズムを検討する予定である。

表-2 制振対策試験結果 (ハンガー間隔: 9 D)

ケース No.	ヘリカル ロープ径	巻き 本数	巻きピッチ (1本当たり)	発振風速 (無次元振幅A/D=1となる風速)					渦励振に対す る制振効果
				0°	5°	10°	15°	20°	
1	φ 3mm	2本	100mm				23m/s		
2			150mm				14m/s		
3			200mm				11m/s		
4	φ 5mm	2本	200mm						
5			300mm		↑	16m/s		↑	
6			400mm			18m/s		↑	×
7		3本	450mm			18m/s			×
8			800mm						×
9	φ 7mm	2本	1000mm						×
10			300mm			17m/s			×
11			800mm						×
12	φ 9mm	2本	800mm			限定振動	13m/s		○
13			1000mm			↑	13m/s	20m/s	
14			1200mm			↑	13m/s		
15		3本	600mm			15m/s			
16			800mm			限定振動	13m/s		○
17	φ 11mm	2本	1000mm			限定振動			○
18			800mm			16m/s	13m/s	↑	

備考)・発振風速で空橋は、試験を実施せず。

・発振風速で ↑ は、風速 30m/s 以下では発現しないことを表す。

・限定振動とは、風速限定 ($15\sim 25\text{m/s}$ 程度)、振幅限定 ($A/D_{\text{max}}=1.5$ 程度) の振動。

・ヘリカルロープの巻きピッチとは下図のとおりである。

※巻きピッチ図 (2本巻きの例)

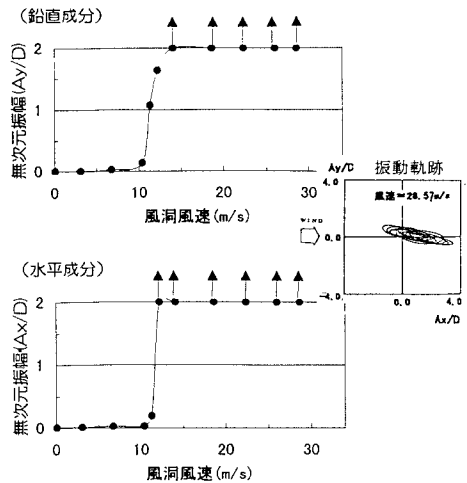
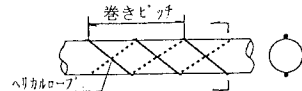


図-3 バネ支持試験結果 (基本断面)
＜ハンガー間隔9D、迎角 15° ＞

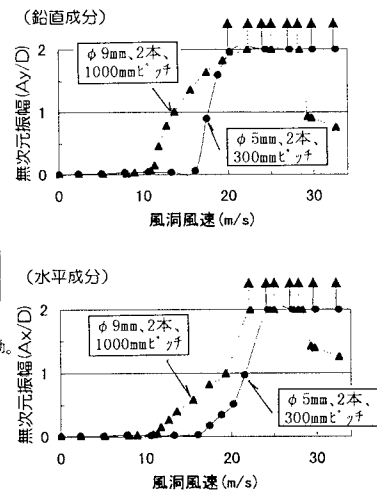


図-4 バネ支持試験結果 (対策断面)
＜ハンガー間隔9D、迎角 10° ＞