

I - B 252

白鳥大橋の起振実験に関する報告

北海道開発局 室蘭開発建設部 正 員 高田 敦
 東京大学 工学系研究科 フェロー 藤野 陽三
 北海道開発コンサルタント㈱ 正 員 菅原登志也

北海道開発局 正 員 渋谷 元
 新日本製鐵㈱ 正 員 坂本 良文
 北海道開発局 室蘭開発建設部 後藤 浩之

1. はじめに

白鳥大橋は、橋長 1,380m (330+720+330)で、補剛桁に鋼床版箱桁を有する長大吊橋である（図－1）。吊橋の耐風安定性は、補剛桁断面や主塔の空力特性と減衰性能に支配される。設計や風洞試験における実橋の振動特性は、構造諸元、材料諸元を考慮した数値解析モデルや相似則に従った弾性模型によって評価されるが、減衰特性は一般に耐風設計基準に定められた対数減衰率を用いている。構造物の減衰性能は、それに関わる要因が多く、また要因どうしが互いに関連し合うことから、未だ理論的な定量化がなされていないのが現状であり、「耐風設計基準」においても既往の実験結果から基準値が設定されている。本橋は、補剛桁に鋼床版箱桁を採用した国内初の3径間2ヒンジ吊橋であり、設計検証の目的から実橋の振動特性を把握するため起振機を用いた起振実験を実施した。

本報文では、構造物の耐風安全性を評価する上で重要な固有振動数と対数減衰率について実験結果と解析値との比較を行った結果を報告する。

2. 実験概要

起振機は、建設省土木研究所所有の大型起振機2台を使用し（写真－1）、図－2に示す流れで実施した。強制振動では、常時微動計測により推定したおおよその共振点付近をスイープ加振することにより各振動モードの共振点を求めた。加振ステップは、0.1Hz 付近で 0.001Hz 刻み、1 Hz 付近で 0.01Hz 刻み（0.01Hz×加振周波数）以上で行い、十分な共振状態となるように 100 波以上の加振を行った。固有振動数は、現地で共振応答曲線を作成すると共にモーダル円適合法により算出した。自由振動は、強制振動で求めた共振振動数で起振機を加振し、十分な共振状態となったところで起振機を急停止させ自由減衰振動の計測を行った。自由減衰振動の計測は、各モード3回実施し、振幅が小さくなり波形が乱れてくるまで継続収録を行った。

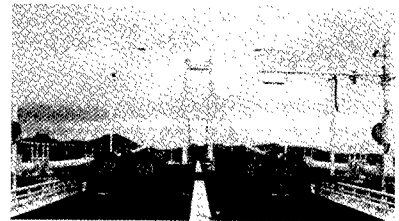
自由振動波形からの対数減衰率(δ)の算出は、波数20波を1つの解析グループとし、(1)式により1波毎の移動波数振幅で最小二乗法近似により算出した。

$$\delta = 1/m \cdot \log_e(A_n/A_{n+m}) \cdots (1) \text{式}$$

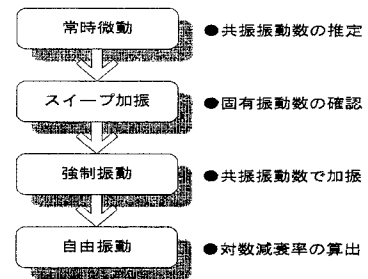
ここに、m：波数(20波)、 A_n ：n目目の振幅

キーワード：吊橋、箱桁形式補剛桁、振動実験、起振機

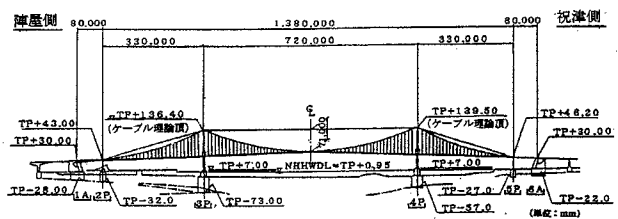
連絡先：北海道開発局 室蘭道路事務所 登別市大和町2丁目34-1（TEL 0143-85-3135/FAX 0143-85-9104）



写真－1 起振実験状況



図－2 実験フロー



図－1 一般概要図

センサー配置は図-3に示すとおり、主塔に5カ所、桁上に10カ所に密に設置した。

3. 固有振動数

表-1に、固有値解析、共振試験から求めた固有振動数の結果を示す。

固有振動数は、上下対称1次モードで解析値よりやや大きめの値であるが、その他のモードは、解析値と極めて良く一致した。

上下逆対称1次モードに示す2つの振動数は、側径間とその隣接する中央径間の位相に違いがある。起振実験では、位相から判断すると側径間と中央径間が逆位相となるモードが確認され、同位相となるモードは確認されなかった。上下逆対称1次のモードベクトルと実験値を図-4に示す。

4. 対数減衰率

対数減衰率は、自由減衰実験、モーダル円適合法によって値にバラツキがあるものの、殆どのモードについて0.02~0.05の範囲にあり対数減衰率の設計値（0.02）を満足していることを確認した（表-2）。また、今回の試験では、いずれのモードも基準振幅には及ばないが、振幅が大きくなることで構造減衰の大幅な低下は考えられず、十分な減衰率を有するものと考えられる。自由減衰波形と対数減衰率の代表例を図-5に示す。

6. まとめ

箱桁形式の補剛桁は、トラス形式に比べねじれ剛性に大きな差異はないが鉛直曲げ剛性が小さいという特徴を有する。本橋の振動特性として曲げねじれフラッターが高風速領域で確認されており、特に曲げ対称1次とねじり対称1次振動数を実橋において確認する必要があった。今回の実験結果からこれらの固有振動数は解析値と良く一致しており、対数減衰率も基準値を満足していることが確認でき設計の妥当性が検証できた。また、起振実験から得られた共振振動数を橋体の固有振動数と見なし、解析結果との差が橋体剛性評価にあると考えると、曲げ・ねじりとも実橋振動数が僅かに上回っており設計剛性が十分確保されていることが確認できた。

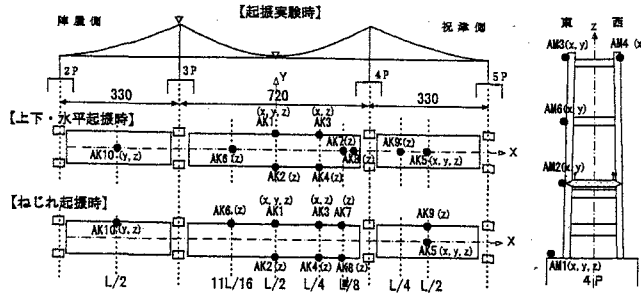


図-3 センサー配置

表-1 固有振動数

振動モード	解析	起振実験
曲げ	対称	1次 0.115 0.129
		2次 0.215 0.218
		3次 0.435 0.435
	逆対称	1次 0.128 -
		2次 0.150 0.149
		2次 0.318 0.317
ねじり	対称	1次 0.469 0.487
		2次 1.128 1.164
		3次 1.855 1.866
	逆対称	1次 0.760 0.772
		2次 1.429 1.502
		2次 0.082 0.099
水平	対称	2次 0.517 0.560
		逆対称 1次 0.250 -

表-2 対数減衰率

振動モード	共振曲線自由減衰振動 (モーダル円)	平均
曲げ	対称	1次 0.057 0.034
		2次 0.035 0.027
		3次 0.036 0.026
	逆対称	1次 0.036 0.016
		2次 0.018 0.020
		2次 0.024 0.036
ねじり	対称	2次 0.060 0.052
		3次 0.034 0.032
	逆対称	1次 0.053 0.033
		2次 0.026 0.028
		2次 0.290
水平	対称	2次 0.045 0.039

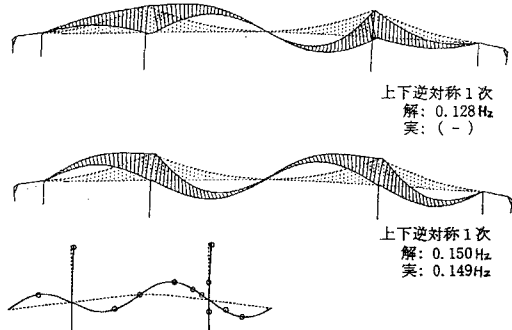


図-4 上下逆対称1次モード図

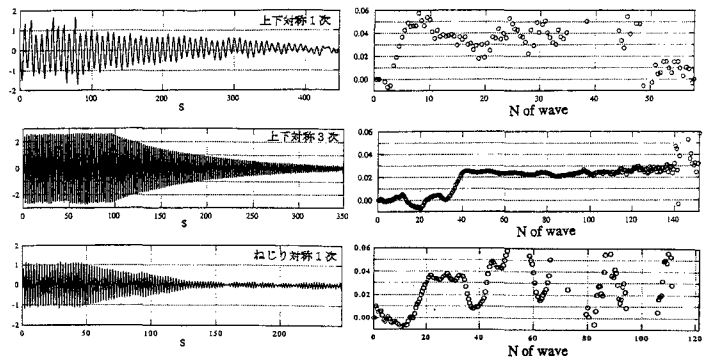


図-5 自由振動波形と対数減衰率