

無補剛吊り水管橋の振動特性

八代高専 正員 水田洋司

川崎製鉄 正員 湯治秀郎

1. まえがき

水管橋の設計は「水管橋設計基準」に基づいて行なわれ、我国ではパイプビーム水管橋と補剛水管橋が多く用いられている。吊り構造形式の場合には「小規模吊り橋指針」に従うが、補剛の面からトラス補剛を前提としている。本研究で対象としている無補剛吊り水管橋は、無補剛のため剛性の低いことが予想され、地震に対してどのような応答をするかが問題となる。本研究では無補剛吊り水管橋の基本的な数値モデルに対して、固有値解析、地震応答解析を線形計算で行い、支点の拘束、耐風ケーブル初期張力やメインケーブルサグ比・耐風ケーブルサグ比・タイケーブル開き角等の形状パラメーターと固有振動数・動的最大応答の関係を調べ、耐震設計に必要な動特性を検討した。

2. 解析モデル

無補剛吊り水管橋の解析モデルを図-1に、諸元を表-1に記している。タワー間隔：150m、メインケーブルサグ比：1/10、耐風ケーブルサグ比

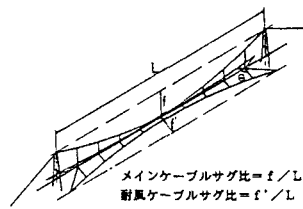


図-1 解析モデル

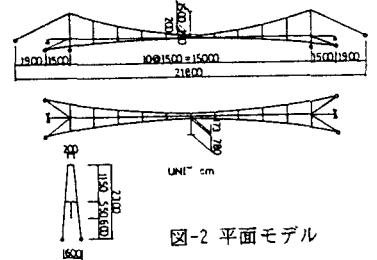


図-2 平面モデル

：1/20、タイケーブル開き角：120° 表-1 モデルの諸元

のモデルを基本モデルとした。また、振動特性を調べるのに先立って、平面解析と立体解析を行い、固有振動数・固有振動モードの比較から

	メイン ケーブル	耐風 ケーブル	タイ ケーブル	水管管	主 塔
径 (cm)	8.80	5.30	2.80	71.12	80.96
単位重量 (kgf/cm)	0.447	0.106	0.031	2.180	2.340
破断荷重 ($\times 10^4$ kgf)	641.0	179.0	53.0	—	—
断面積 (cm^2)	53.6	12.8	3.74	278.7	298.4
断面二次モーメント ($\times 10^4 \text{ cm}^4$)	—	—	—	17.0	13.2
ヤング率 ($\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$)	1.80	1.40	1.40	2.10	2.10

面内モデル、面外モデル(図-2)に分けて計算する平面解析で十分であることが判明した(表-2)。このことより、以下の計算は平面解析で行ない、固有値解析にはQR法を利用した。

表-2 固有振動数の比較

次 数	立体解析			面内解析		面外解析	
	①	②	③	①	②	①	③
1	0.146	0.0	0.0	-----	-----	0.145	0.000
2	0.161	0.0	9.124	-----	-----	0.159	9.262
3	0.332	0.0	3.912	-----	-----	0.331	3.932
4	0.358	0.0	0.0	0.353	0.0	-----	-----
5	0.487	3.307	0.0	0.482	3.342	-----	-----
6	0.582	0.0	0.0	-----	-----	0.579	0.0
7	0.753	8.458	0.0	0.726	8.567	-----	-----
8	0.907	0.0	1.697	-----	-----	0.903	1.706
9	0.952	0.0	0.0	0.941	0.0	-----	-----
10	1.391	0.0	0.0	-----	-----	1.294	0.0

備考：①=固有振動数(Hz) ②=側変係数(y) ③=側変係数(z)

3. 耐風ケーブル初期張力が固有値解に及ぼす影響

無補剛吊り水管橋は耐風ケーブル端部に初期張力を導入して架設するが、この初期張力によって水管橋の各部材に張力が発生する。この初期張力が固有振動数に及ぼす影響を図-3に示している。この図より、張力の増加とともに固有振動数は増加し、面外振動より面内振動への影響が大きいことが判る。

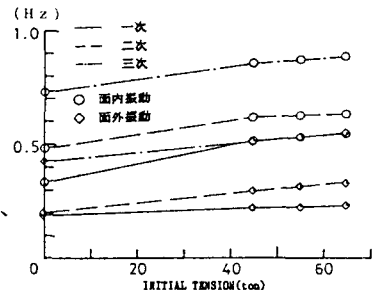


図-3 初期張力の影響

4. 形状パラメーターの影響

無補剛水管橋を構成する部材のうち、メインケーブルサグ比、耐風ケーブルサグ比、タイケーブル開き角は設計における重要な形状パラメーターと考えられる。形状パラメーターを表-3に示すように変化させ、解

析を行なった。

(a) 固有値解析

固有振動数の変化を図-4に記している。面内振動では、メインケーブルサグ比が大きいほど固有振動数は大となり、他のパラメーターの影響は小さい。面外振動では、一次振動のみが耐風ケーブルサグ比・タイケーブル開き角の増大と共に大きくなり、その影響は耐風ケーブルサグ比の方が大である。

(b) 地震応答解析

図-5のエルセントロ地震が作用したときの動的応答を応答スペクトル法により解析した結果を表-4に示している。計算に使用したモード次数は、自重によるスパン中央点の水管たわみ、刺激係数、有効質量より決定し、面内振

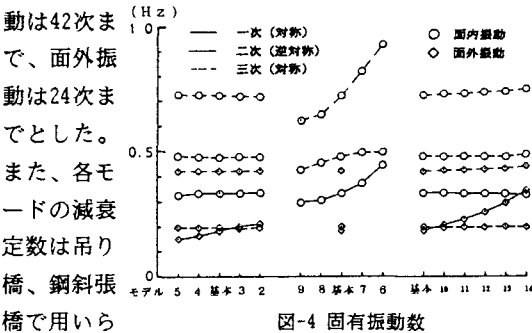


図-4 固有振動数

動は42次まで、面外振動は24次までとした。また、各モードの減衰定数は吊り橋、鋼斜張橋で用いられる0.01を使用した。作用地震波は最大加速度を 100 gal に置換し、各支点へ同時作用とした。作用方向は面内振動では水平方向 (X方向)、鉛直方向 (Y方向)、面外振動では水平方向 (X方向)、面外方向 (Z方向) の4種類とした。

5. 結論

水管支点の水平変位の拘束が水管橋全体の強さに影響する度合は形状パラメーターの変化より大きい。水平変位には、X方向(面内)、Z方向(面外)があり、なんらかの形で水管のX方向、Z方向への移動に対して抵抗できる構造が望まれる。水平移動に対する抵抗を増す意味で、X方向移動に対してはセンタースティ、Z方向移動に対しては斜めタイケーブルの設置は効果がある。パラメーター解析の結果、150mクラスではメインケーブルサグ比・耐風ケーブルサグ比は1/20～1/10、タイケーブル開き角は120°～160°の形状が、変形・応力の小さいことが判明した。また、エルセントロ地震波が作用した時の各ケースの解析より、地震波の最大値がZ gal の場合、次のような軸力・応力の割増しを考慮すれば十分であることが明らかになった。

ハンガー(主塔部) : 0.1Z 斜めタイケーブル : 0.1Z センタースティ : 0.1Z

耐風ケーブル : 0.1Z メインケーブル : 0.2Z (単位: tf)

水管の曲げ応力 : 6.0Z kg/cm²

表-3 形状パラメーター

	メイン ケーブル サグ比	耐風 ケーブル サグ比	タイ ケーブル サグ比
基本モデル	1/10	1/20	120°
モデル: 2	1/10	1/20	160°
モデル: 3	1/10	1/20	140°
モデル: 4	1/10	1/20	100°
モデル: 5	1/10	1/20	90°
モデル: 6	1/8	1/20	120°
モデル: 7	1/8	1/20	120°
モデル: 8	1/12	1/20	120°
モデル: 9	1/14	1/20	120°
モデル: 10	1/10	1/18	120°
モデル: 11	1/10	1/16	120°
モデル: 12	1/10	1/14	120°
モデル: 13	1/10	1/12	120°
モデル: 14	1/10	1/10	120°

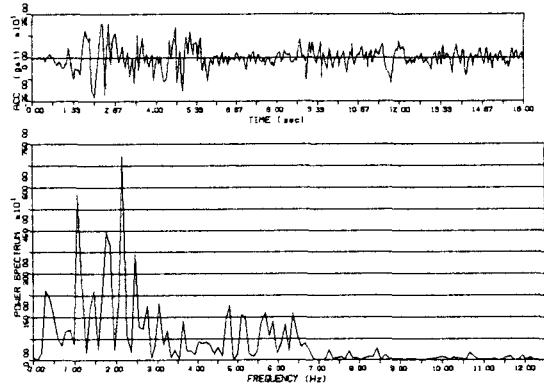


図-5 エルセントロ地震 (NS方向、1940.5.18, 最大319.4gal)

表-4 部材の支配的な振動方向と形状パラメーター

部材	影響する振動方向		影響する振動方向とパラメーター			最大値 (kgf/cm ² , tf)	支持 条件の 影響
	面内	面外	メインケーブルサグ比	耐風ケーブルサグ比	タイケーブル開き角		
水管 メインケーブル 耐風ケーブル センタースティ 斜めタイ 主塔	*	---	1/20	1/20	120°	530	大: 拘束 小: なし
	*	*	1/6	1/10		16.5	大: 拘束 小: なし
	*	---			100°	10.0	大: 拘束 小: なし
	*	---		1/14	100°	7.7	大: 拘束 小: なし
	*	*		1/14		0.1	大: 拘束 小: なし
	*	---	1/6	1/14	100°	8.2	大: 拘束 小: なし
変位	*	*	1/6	1/10		24 cm	大: 拘束 大: 自由

* 最大値を生じる振動方向、水管・主塔のみ kgf/cm²、他は tf

<参考文献>

水田 他: 主桁支持方式の異なる斜張橋の地震応答解析 構造工学論文集 Vol.33A 1987年 3月