

長大斜張橋の地震応答解析におけるケーブルのモデル化の影響

○(財)海洋架橋・橋梁調査会 研究部 正会員 山口 和範
本州四国連絡高速道路(株) 長大橋技術センター 正会員 福永 勸

1. はじめに

1999年5月に世界最長の斜張橋である多々羅大橋(中央径間長;890m)が開通して以降も香港のストンカッターズ橋(中央支間長;1018m)、中国の蘇通長江公路大橋(中央支間長;1088m)など長大斜張橋の建設が進行中であり、その振動特性の把握は重要な課題である。長大斜張橋の振動特性を難しくしているのは、多数の長尺ケーブルにより構成されておりケーブル連成振動が起ること、ケーブルにダンパーが付いてない場合、ケーブルの構造減衰は非常に小さいこと¹⁾が知られており、その影響が振動特性にどのような影響を及ぼすのか明確に解明されていないことである。そこで、多々羅大橋の解析モデルに芸予地震(2001年3月24日)の観測地震波²⁾を入力として、ケーブルのモデル化を変えた時刻歴解析を行いその影響を分析した。その概要を報告する。

2. 解析条件

解析モデルは図-1に示す多々羅大橋の3次元立体骨組みモデルである。ケーブルのモデル化は1)ケーブルの質量を桁と塔に1/2ずつ割り振る(1ケーブル当たり20節点を設けているが質量はゼロとしている)、2)1ケーブル当たり20質点を設ける、3)1ケーブル当たり200質点を設ける、の3ケースである。

減衰については上部工(ケーブルを除く)を0.02、下部工を0.2に設定した。ケーブルの減衰定数は0.02(ケースa))と0.001(ケースb))の2ケースとした。これらの条件を考慮した解析ケースを表-2に示す。

解析はニューマークの β 法(時間間隔 Δt ;0.01sec、 $\alpha=1/2$ 、 $\beta=1/4$)により行った。

3. 主塔と主桁の最大応答

主塔と主桁の各解析モデルにおける代表部位の最大加速度の比較を表-2に示す。また、参考のため芸予地震時の動態観測で得られた同じ部位の最大加速度を示す。塔頂の最大加速度はケーブルに質点を設けるか設けないかで解析結果は変わるが、ケーブルの質点を設けたモデルでは大きな差はなかった。主桁の最大応答については各モデルによる解析結果の差異はなかった。

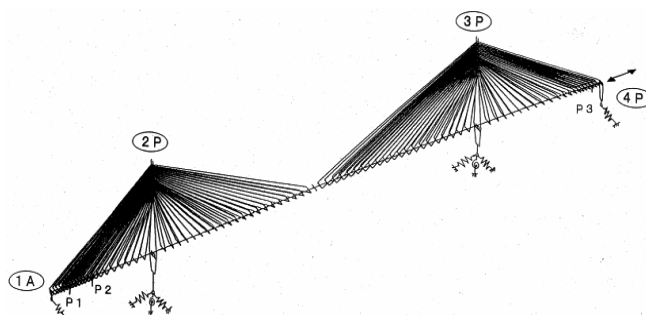


図-1 多々羅大橋解析モデル

表-1 解析ケース

ケース	ケーブルのモデル化	ケーブルの減衰定数
ケース 1)	質点を設けない	0.02
ケース 2)-a)	20 質点を設ける	0.02
ケース 2)-b)	"	0.001
ケース 3)	200 質点を設ける	0.001

表-2 最大加速度の比較

(単位:gal)

		計測値	ケース 1)	ケース 2)-a)	ケース 2)-b)	ケース 3)
2P 塔頂(北)	橋軸方向	1410	845	1183	1283	1259
	橋直方向	1620	1348	1969	1985	1859
主桁 1/4 点	橋軸方向	410	652	675	694	681
	橋直方向	516	783	719	746	740

表-3 最大曲げモーメントの比較

(単位:ton・m)

		ケース 1)	ケース 2)-a)	ケース 2)-b)	ケース 3)
2P 塔基部(北)	橋軸方向曲げ	14690	15066	15114	14885
	橋直方向曲げ	10247	11158	11127	11239
主桁 1/4 点	鉛直曲げ	2208	2276	2495	2438
	水平曲げ	16797	13874	14023	14017

キーワード:長大斜張橋、ケーブル、減衰定数、地震応答解析

連絡先:東京都文京区後楽 2-2-23 電話 03-3814-8439 FAX 03-3814-8437

また、主塔と主桁の各解析モデルにおける代表部位の最大加速度の比較を表—2に示す。最大曲げモーメントについては各モデルによる解析結果の差異はなかった。ケーブルのモデル化が地震応答解析における主塔および主桁の断面力に与える影響は小さいものと考えられる。

4. ケーブルの最大応答

地震応答解析上は比較的大きな変位応答を示したケーブル(S13, S20, S22, S32; 図—2を参照)の各解析モデルに対する比較を表—4に示す。ケーブルの質点数(ケース2)-b)、ケース3)の比較)による解析結果の差異は小さかった。ケーブルの減衰の影響は、ケース2)-b)で設定したケーブルの減衰定数は0.001でケース2)-a)に比べて1/20になっているが、応答は1.5倍程度にしかなっておらず、減衰が小さくなると変位応答は大きくなるものの、減衰の変化に対する感度は鈍いものと考えられる。

変位応答を図示(経過時間; 33.5、変位の倍率; 70倍)したものが図—2であるが、ケーブルは面内・面外に複数のモードで振動していることが窺える。S13ケーブルの最大応答箇所(200質点のうち塔側から59番目の質点)、S32ケーブルの最大応答箇所(150/200)の変位応答のスペクトル解析をしたものを図—3に示す。S13(面外)は1~6次モードで顕著なピークがあるのに対し、S32(面内)は2次モードのみが顕著なピークとなっており、ケーブルにより異なる挙動を示しており、比較的高次で振動しているケーブルがあることが分かる。

5. まとめ

今回行った解析で、長大斜張橋の地震応答解析におけるケーブルモデル化の影響について分析し、1) ケーブルのモデル化による主塔・主桁の応答に有意な差がないこと、2) ケーブルの減衰が低くなると変位応答は大きくなるが、減衰の変化に対する感度は鈍いことが分かった。

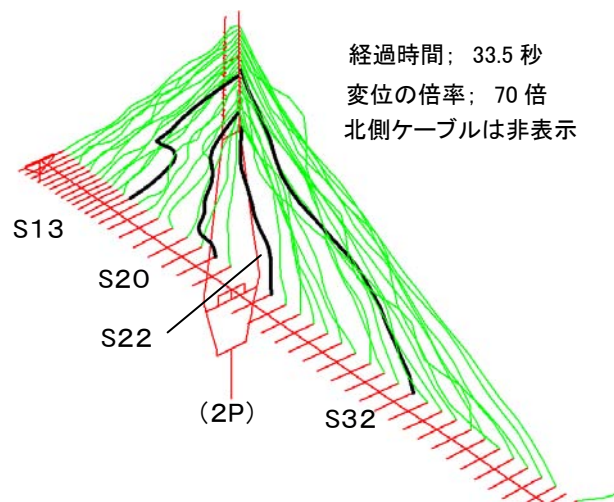
以上のことから、1) 長大斜張橋の主塔や主桁の耐震設計をする際にはケーブルのモデル化を細かくする必要はないこと、2) ケーブルにダンパーが設置されておらず減衰が小さい場合でも、地震時のケーブル振幅は極端に大きくならないものと考えられる。

今回の解析では、ケーブル張力が変化しないものとして時刻歴解析を行ったが、今後はケーブル張力の変動の影響について分析する予定である。

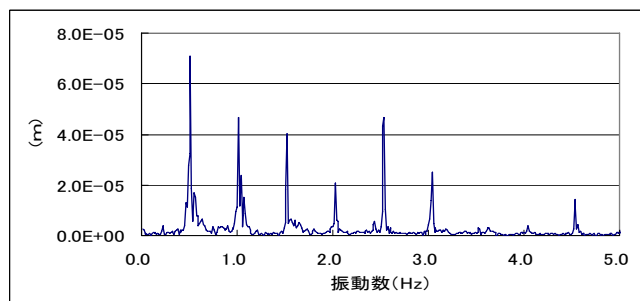
表—4 ケーブル最大振幅(片振幅)の比較 (単位:m)

	ケース 2)-a)	ケース 2)-b)	ケース 3)
S13 (面外)	0.304	0.398	0.401
S20 (面外)	0.181	0.318	0.271
S22 (面内)	0.190	0.237	0.256
S32 (面内)	0.182	0.293	0.291

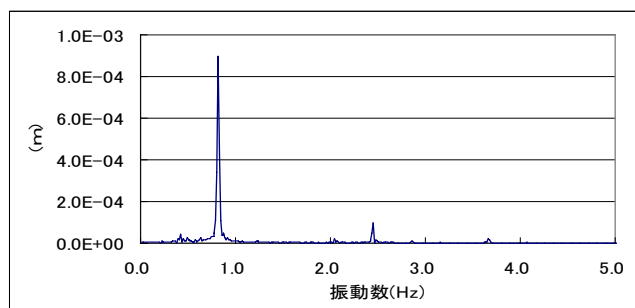
面外; 橋直方 面内; 橋軸方向



図—2 ケーブル変位図



a) S13 面外振動最大変位点(塔側から 59/200 の質点)



b) S32 面外振動最大変位点(塔側から 150/200 の質点)

図—3 スペクトル解析結果

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋耐風設計基準(2001)・同解説、2001年8月
- 2) 多々羅大橋の地震時挙動解析による設計検証、河藤千尋、河口浩二、古村学、土木学会第60回年次講演会、平成17年9月