

多径間連続斜張橋の主塔剛性改善をねらったケーブルシステムの提案

阪神高速道路

正会員 ○杉山裕樹 正会員 金治英貞

総合技術コンサルタント

正会員 渡邊裕規

正会員 宮花邦宏

1. はじめに

多径間連続斜張橋は、活荷重の偏載荷によって従来の3径間斜張橋と比べ、①活荷重たわみ増大、②径間中央部の主桁の曲げモーメントの増大、③上段ケーブル張力の増大、④中央主塔の曲げモーメントの増大などの課題がある(図-1)。これらは中央主塔の橋軸方向の曲げ剛性が低いため発生し、その対策として、主塔形状を橋軸方向にA型形状とするなどが考えられる。しかし、基礎形状が拡大し、海上等の架橋条件では、大幅な工事費の増大や工事工期延長などが懸念される。

そこで著者らは、海外の事例でも採用されているケーブルを用いた剛性改善対策に対し新たな提案を行い、その効果を既往の事例と比較検討したので報告する。

2. 検討対象ケーブルシステム

基本構造は、図-1に示す最大支間長650mの多径間連続斜張橋である。主塔は、鉄筋コンクリート製で主桁は扁平六角形断面の鋼床版1箱桁である。ケーブルシステムは図-2に示す4案を検討対象とする。(a)、(b)主塔連結ケーブルは、主塔の曲げ変形を抑制するため隣り合う主塔をケーブルで直接連結するものである。(a)は隣り合う主塔の塔頂を、(b)は中央主塔塔頂と側主塔の桁位置(塔中という)とを連結するもので、それぞれMunksjöbron橋¹⁾やTing Kau橋²⁾の採用例がある。(c)重複ケーブルとはForth道路橋の架替え橋³⁾にて採用されており、隣り合う主塔の上段側ケーブルを径間中央部で重複させる構造である。(d)タワーサポートケーブルは、新たに提案したもので主塔の曲げ剛性を向上させるため、主塔頂部、主桁部、主塔基部を連結するケーブルを配置する構造である。

2.1 主塔連結ケーブル(塔頂-塔頂、塔頂-塔中)

連結ケーブルは、現在あるPWS製品の最大径を片面1本配置する(表-1)。連結ケーブル長が650m(塔頂-塔頂)と長く、サグの影響が大きい。図-3にErnst式による見かけの弾性係数とケーブル張力との関係を示す。連結ケーブルは、斜張橋最上段および中段ケーブルに比べ、ケーブル長が長くケーブル許容張力(=破断張力/安全率2.5)の半分の張力を導入しても見かけの弾性係数は40%程度となる。ここでは、活荷重等による作用張力との合計が許容応力を超過しないよう許容張力の80%となる初期張力を設定した。

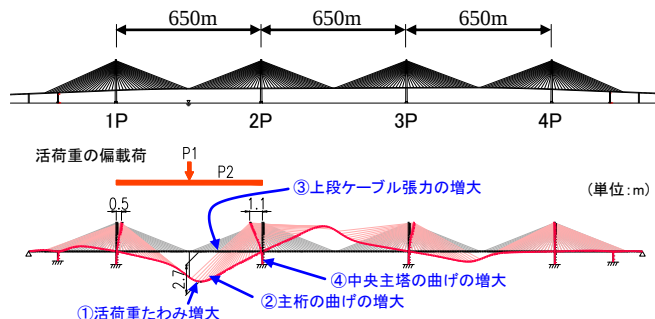


図-1 検討対象橋梁と課題

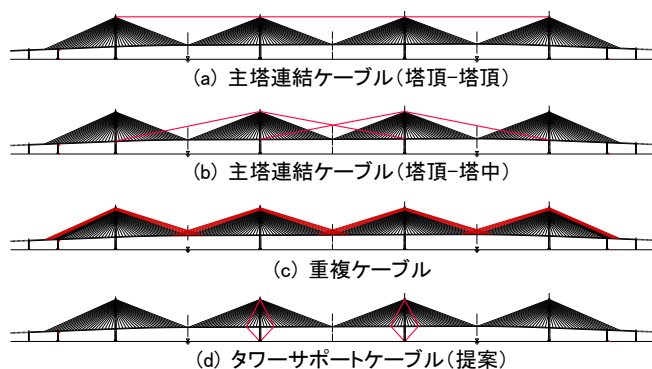


図-2 検討対象ケーブルシステム案

表-1 連結ケーブル量

ケーブル構成		φ7×499
ケーブル本数(片面あたり) 本/片面		1
(a) 主塔連結ケーブル(塔頂-塔頂)	ケーブル長(m)×本数(本)	650.0×6
	補強ケーブル数量(t/Br.)	640
(b) 主塔連結ケーブル(塔頂-塔中)	ケーブル長(m)×本数(本)	663.1×8
	補強ケーブル数量(t/Br.)	870

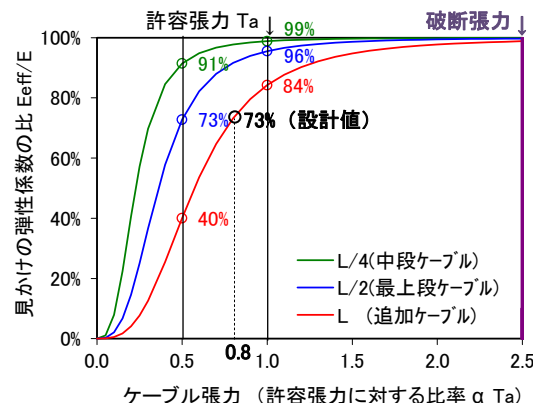


図-3 サグの影響によるケーブルの見かけの弾性係数

キーワード 多径間連続斜張橋, ケーブルシステム, 剛性改善

連絡先 〒550-0011 大阪市西区阿波座1-3-15 阪神高速道路(株) 建設事業本部 TEL 06-6535-9428

その際の見かけの弾性係数比は 0.73 である。なお、初期張力は約 10,000kN/片面必要となるが、これは死荷重によって主桁に作用する軸力の 20%に相当する。

2. 2 重複ケーブル

ケーブルの重複範囲や塔高などによって最適化の余地があるが、ここでは、比較検討のため、主塔高さは変更せず主塔のケーブル定着範囲を下側に広げて対応する。ケーブル交差範囲は、Forth 道路橋の架替え橋での事例を参考に主径間長の 25%程度である支間中央 150m 範囲にある 10 本のケーブルを重複させた (図-4)。

2. 3 タワーサポートケーブル

新たに提案するタワーサポートケーブルの補強ケーブル量を表-2 に示す 3 ケースにて検討する。ここで、T2 は現在ある PWS 製品の最大径を片面 1 本配置したケースである。

主桁側定着位置は、パラメータ検討した結果、図-5 に示すように主塔から斜張橋ケーブル 4 本目位置とした。

各ケーブル量による低減効果を表-3 に示す。これによると、ケーブル断面が大きくなるにつれ改善効果が見られることから、最も効果の高い T3 を検討対象とする。

3. 各ケーブルシステムの比較

上述で設定した各ケーブルシステムを追加することによるケーブル数量および 1. で示した 4 項目ごとの基本構造に対する比率を表-4 に示す。ケーブル数量については、主塔連結ケーブルや重複ケーブルは、支間全体に渡るためケーブル長が長く、ケーブル量が多くなる。一方、タワーサポートケーブルは主塔部にとどまるためケーブル量は少ない。対策効果は、重複ケーブルが塔基部曲げモーメント以外で最も効果が大きい。タワーサポートケーブルは、塔基部曲げモーメントに対して最も効果が大きく、その他の項目も重複ケーブルに次いで大きい。主塔連結ケーブルは、見かけの弾性係数の低下による影響もあり、他のケーブルシステムに比べ改善効果は小さい。なお、塔頂-塔中に比べ、塔頂-塔頂を繋いだ方が効果的である。

次に、各ケーブルシステムの効率性を表す指標として、ケーブル数量増加に対する 4 項目の低減率を表-5 に示す。4 項目の低減率から、タワーサポートケーブルは活荷重たわみ、および塔基部曲げモーメントの低減に効率的であることがわかる。一方、重複ケーブルは主桁曲げモーメント、および最上段ケーブル張力の低減に効率的である。検討対象橋梁では主桁応力に余裕があるためタワーサポートケーブルが最も適しているといえる。

4. 今後の検討課題

本検討では多径間連続斜張橋における活荷重の偏載荷に対するケーブルシステムによる改善効果を示した。これらの補強ケーブルは耐震特性に与える影響も考えられるため、確認が必要である。

参考文献 1) <http://structurae.net/structures/data/index.cfm?id=s0019393> 2) R.Bergermann, M.Schlaich, “The Ting Kau Bridge in Hong Kong”, IABSE Symposium Kobe 1998. 3) N.Hussain, M.Carte, S.Kite, B.Minto, “Forth Replacement Crossing - Concept Design”, IABSE Symposium London 2011.

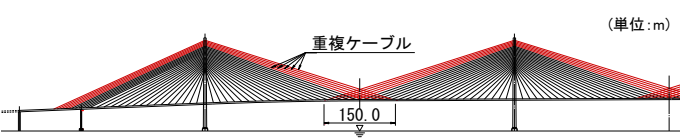


図-4 設定した重複ケーブル構造

表-2 タワーサポートケーブルのケーブル量検討ケース

検討ケース	T1	T2	T3
ケーブル構成	φ 7×253	φ 7×499	φ 7×499
ケーブル本数(片面あたり) 本/片面	1	1	2
ケーブル長(m) × 本数(本)	227.5×8	227.5×8	227.5×16
補強ケーブル数量 (t/Br.)	150	310	620

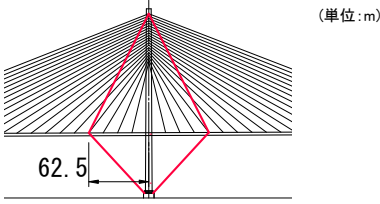


図-5 タワーサポートケーブル構造

表-3 タワーサポートケーブルによる基本構造に対する比

ケース	① 活荷重 たわみ	② 主桁 曲げモーメント	③ 最上段 ケーブル張力	④ 塔基部 曲げモーメント
T1	0.92	0.93	0.93	0.87
T2	0.86	0.88	0.88	0.80
T3	0.78	0.81	0.80	0.71

表-4 各ケーブルシステムの基本構造に対する比率

	ケーブル 数量	① 活荷重 たわみ	② 主桁 曲げモーメント	③ 最上段 ケーブル張力	④ 塔基部 曲げモーメント
(a) 主塔連結ケーブル (塔頂-塔頂)	1.13	0.79	0.84	0.83	0.83
(b) 主塔連結ケーブル (塔頂-塔中)	1.14	0.88	0.89	0.88	0.89
(c) 重複ケーブル	1.16	0.70	0.45	0.48	0.85
(d) タワーサポート ケーブル	1.09	0.78	0.81	0.80	0.71

表-5 ケーブル増加量あたりの低減率

	① 活荷重 たわみ	② 主桁 曲げモーメント	③ 最上段 ケーブル張力	④ 塔基部 曲げモーメント
(a) 主塔連結ケーブル (塔頂-塔頂)	Δ 1.59	Δ 1.26	Δ 1.31	Δ 1.31
(b) 主塔連結ケーブル (塔頂-塔中)	Δ 0.89	Δ 0.77	Δ 0.86	Δ 0.79
(c) 重複ケーブル	Δ 1.88	Δ 3.44	Δ 3.25	Δ 0.94
(d) タワーサポート ケーブル	Δ 2.49	Δ 2.07	Δ 2.22	Δ 3.22

ケーブル増加量あたりの低減率 = $\frac{1.0 - \text{〔表-4の①～④の値〕}}{\text{〔表-4のケーブル数量〕} - 1.0}$