

### 段階施工吊橋主塔の構造検討

海洋架橋調査会 フェロー会員 山中 鷹志  
 海峡横断道路調査会 正会員 杉田 卓男  
 神戸製鋼所（株） 穂山 正幸  
 日本技術開発（株） フェロー会員 吉田 修 正会員 森川 陽介

#### 1. 目的

従来の長大橋は将来の交通の伸びを見込んだ交通量を前提として計画され、殆どは完成断面で施工されている。いずれも金利を伴う資金で建設され、交通量の少ない段階での金利負担が事業の健全化を阻害している。当初交通量に見合った断面の長大橋を建設する段階施工は、今後の超長大橋の計画・建設には不可避となる。

ここでは、暫定施工を前提とした吊橋主塔の合理的補強構造を見いだすことを目的に、暫定時および完成時における主塔応力変化と分担率の定量的把握から得られた知見について報告する。なお、本検討は「大阪湾岸地域活性化研究会 技術部会」の研究の一環として行ったものである。

#### 2. 検討条件

本検討では、支間 2200m級吊橋の主塔を対象とした。

段階施工の工法として、図 - 1 の 3 ケースが考えられる。この中で、全体工費（初期工費 + 追加工費）が最も安くなるのが期待できる「下段継ぎ足し案」を対象として検討を進めた。

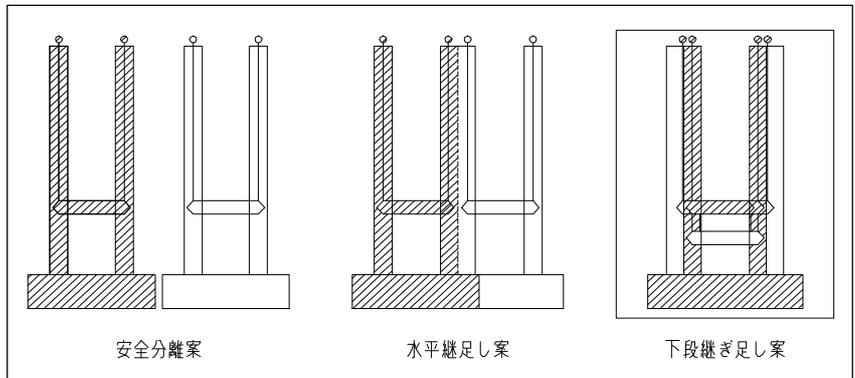
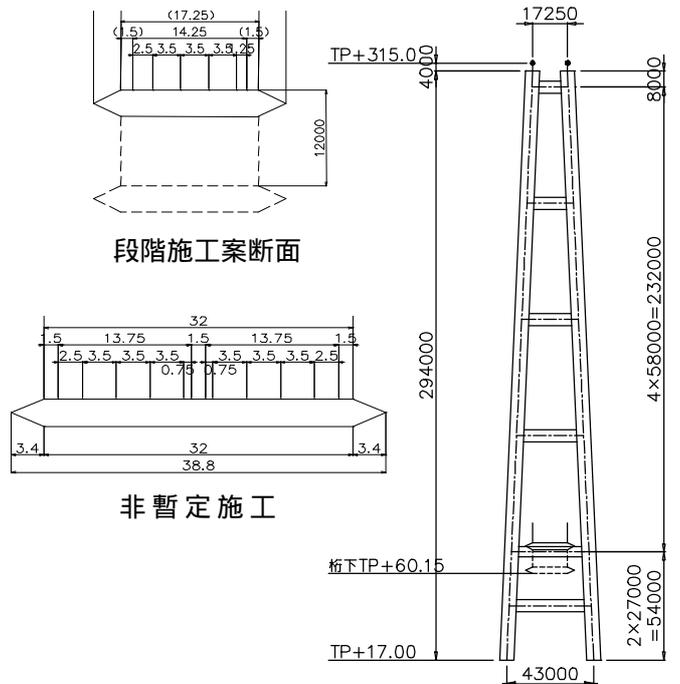


図 - 1 段階施工の工法ケース

対象吊橋の構造諸元を以下に示す。

表 - 1 構造諸元表

対象	段階施工		否暫定施工
	暫定	追加	
橋長	4000m (900+2200+900m)		
主塔	塔高	298m	286m
	頂部柱間隔	17.25m	32.0m
	基部柱間隔	43m(28m)	43.0m
ケーブル	サグ	220m	220m
	主ケーブル径	652 mm	617 mm
	ハンガー径	100 mm	150 mm
補剛桁	桁高	3.3m	3.3m
	重量	9.09tf/m	7.58tf/m
使用材量	鋼材 SM570 ( a = 255N/mm <sup>2</sup> )		
コンクリート	ck = 40N/mm <sup>2</sup> ( ca = 14N/mm <sup>2</sup> )	ck = 60N/mm <sup>2</sup> ( ca = 18N/mm <sup>2</sup> )	
荷重ケース	暴風時（橋軸直角方向）		
基本風速	46m/s		



なお、合成断面（コンクリート充填案）の応力度計算には鋼材とコンクリートが一体に挙動するとして、以下の仮定を用いている。

平面保持則を適用

コンクリートの引張応力は無視

コンクリートのヤング係数は定数（n = 15）

キーワード 段階施工 吊橋 主塔 合成構造

連絡先 〒531-0072 大阪市北区豊崎5丁目6番10号 TEL 06-6359-5341 FAX 06-6359-5298

3. 検討結果

表 - 2 応力度算定結果一覧表（段階施工案）

断面力	鋼断面補強案					コンクリート充填案										
	暫定時	N=	死荷重	風荷重	温度	暴風時	暫定時	N=	死荷重	風荷重	温度	暴風時				
完成時	M=	247,715	245,027	11	492,753	M=	247,715	245,027	11	492,753	コンクリート充填時 断面力変動分	M=	548,748	321,360	21	870,129
	死荷重断面追加分	M=	-4,134	753,627	5,283	754,776	M=	-4,134	753,627	5,283		754,776	M=	-16,459	1,288,041	11,175

断面図及び応力度	鋼断面補強案		コンクリート充填案	
	暫定時	完成時	暫定時	完成時
A=2.7m <sup>2</sup> (暫定時断面) 0.7m <sup>2</sup> (追加断面)	死荷重時	60 36 96	死荷重時	60 140(5.3)
	暴風時	254 248	暴風時	254 231(11.4)
追加断面部応力度		追加断面部応力度		( ) 内はコンクリート応力度

表 - 2 に段階施工案の塔柱断面力および応力度算定結果を示す。この結果から得た知見を以下に示す。

- ・このクラスの吊橋の塔柱断面は、暴風時応力で決定され、常時応力に対して十分な余裕を有する。暫定時の断面応力を見ると死荷重応力の占める割合は、24%であり、風荷重応力が断面決定の支配的要因となる。
- ・暫定時の死荷重応力の占める割合が低いため、追加断面を含む断面全体が有効に働く。このことは、鋼断面補強案の完成時暴風時応力度最大位置が追加断面部となっていることや、コンクリート充填補強案のコンクリート応力度が許容応力度 ( $\sigma_{ck} = 40\text{N/mm}^2$  ;  $\sigma_a = 14\text{N/mm}^2$ ) に近い値を示していることから判断できる。
- ・上記の結果より、追加施工時に暫定主塔の死荷重応力を低減するための対策（例えば、追加主塔に全死荷重を作用させた後に追加主塔と暫定主塔を接合する等）が必要ないことが判断できる。
- ・鋼断面補強案の追加量は暫定時断面の 0.7m<sup>3</sup>/m(26%)程度となり、コンクリート充填補強案の追加コンクリート量は 56m<sup>3</sup>/m となる。コンクリート単価は鋼材単価に比べて極めて安価であることから、コンクリート充填補強案が経済的に有利であった。また、鋼断面補強案は追加断面の接合方法やアンカー構造などの施工的な課題も残される。

4. 否暫定施工案との工費比較

表 - 3 概略工費比較一覧

表 - 3 は、吊橋主塔構造として一般的な否暫定施工の鋼製構造を基本として、段階施工案および合成構造案と概略工費を比較したものである。また、段階施工案には、基礎幅を小さくできるメリットのある塔柱間隔を補剛桁との干渉を避ける最小幅としたケースを追加比較している。比較結果を以下にまとめる。

塔柱間隔	否暫定施工		段階施工	
	43m	43m	28m	28m
鋼製構造	暫定時	-	0.91	1.00
	完成時	1.00	1.13	1.35
合成構造	暫定時	-	0.91	1.00
	完成時	0.60	1.11	1.19

- ・塔柱は圧縮部材であるため、コンクリートを用いた合成構造が、段階施工案ではコンクリートが後荷重のみにしか働かないためメリットが出ないが、否暫定施工では大幅なコストダウンが期待できる。
- ・底部の塔柱間隔を上げた方が、風荷重による曲げモーメントが小さくなるため、塔柱は経済的となる。
- ・主塔については、段階施工による大幅な工費低減は期待できないことが判った。しかし、段階施工は、ケーブルおよび補剛桁の初期工費低減を図る有効な手法である。

表 - 4 応力度算定結果一覧表（否暫定施工案）

断面力	否暫定施工案					
	完成時	N=	死荷重	風荷重	温度	暴風時
断面図及び応力度	M=	736,617	233,367	6	969,990	A=3.4m <sup>2</sup> (鋼断面) 48m <sup>2</sup> (コンクリート)
	M=	-6,167	1,004,774	5,908	1,004,515	

断面図及び応力度	死荷重時	暴風時
A=3.4m <sup>2</sup> (鋼断面) 48m <sup>2</sup> (コンクリート)	160(10.7)	27(1.8)
	254(16.9)	

参考文献

- ・超長大橋吊橋の工費・工期の縮減を目指して 平成14年4月 大阪湾岸地域活性化研究会 技術部会