

(76) 大芝大橋の計画と設計

広島県 農林事務所	岩崎 常雄
(株)長大 大阪支社	山崎 明
同上	正会員 山脇 正史
同上 福岡支店	○有角 明

1. はじめに

大芝大橋は、農林水産省補助事業・農免農道整備事業として広島県が計画し、現在施工中の本土と大芝島を結ぶ全長470mの海上橋である。橋長470mのうち410mが、航路条件ならびに経済性、施工性等より、海峡部をわたるPC3径間連続斜張橋として計画された。(図-1)

本橋は、本形式として我が国有数の規模となるうえ、主桁自重、斜材重量の軽減や、耐震性、施工性の向上を目的として主桁構造を高強度コンクリート $\sigma_{\alpha}=600\text{kgf/cm}^2$ を使用したエッジ桁形式とし、プレキャストブロック工法を採用することにより積極的なコンクリートの品質向上、施工の合理化を図るなど、数々の特色を有している。

このため、平成2年度より『大芝架橋技術検討委員会』〔委員長；九州工業大学渡辺明工学部長(当時)〕が設置され本橋のような特色を有するPC斜張橋を計画するうえでの諸問題について様々な角度から検討が行われた。本文は、当委員会において提案、検討された事項のうちから主に上部工計画設計の概要として、主桁形式、施工法、設計条件等の検討、等について報告するものである。

2. 計画概要

2-1 主桁形式の検討

従来、我が国におけるPC斜張橋の主桁形式は、剛性が高く断面構成上有利な箱桁形式の実績が多い。

一方、本橋のようにマルチケーブルで吊られる斜張橋では、主桁に高剛性を必要とせず、主桁高が施工性から決まる場合もある。したがって、橋梁規模にもよるが箱桁形式とした場合、必要剛性以上のものとなり自重の増大をまねくなど、不経済なものとなるおそれがあると考えられた。

そこで、本橋では、最も施工実績の多い箱桁形式図-2(a)とともに、自重、斜材重量の低減および施工性の改善等を図る目的から下床版を持たないエッジ桁形式図-2(b)を提案し、この2タイプについて断面力、応力度、耐風、耐震特性等の比較を実施し優れるものを採用するものとした。図-3(a)、(b)に各形式の断面力図を示す。

この結果からエッジ桁形式は、箱桁形式に比較し、

- ① 主桁死荷重モーメントを20%以上低減でき斜材張力を小さくすることが可能。
 - ② 主桁活荷重モーメントが、箱桁形式の60%以下と小さく主桁内PC鋼材の軽減を図ることができる。
- など、優れた断面力特性を有している。また、
- ③ 地震時主桁曲げモーメントが、静的解析値、動的解析値ともに箱桁形式の50%以下と小さい。
 - ④ 地震時脚基部曲げモーメントが、静的解析値、動的解析値ともに箱桁形式の80%程度と小さい。
- など、耐震設計上においても有利な形式であることが判明した。

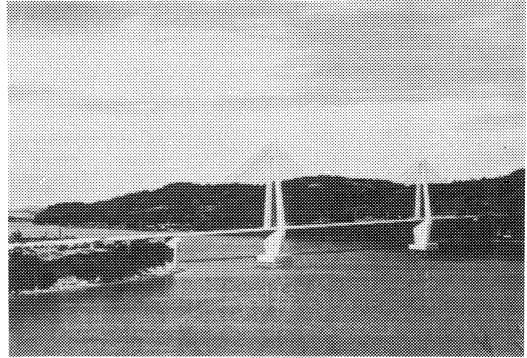


写真-1 大芝大橋完成予想図

一方、エッジ桁形式は、非常に可とう性に富み、表-1に示すように固有周期が5秒を越し地震時変位量も大きく、また、活荷重によるたわみが箱桁形式の2倍程度生じるなどの特色を有している。これらに関しては、塔部支承位置にダンパーを設置することにより地震時断面力、水平変位量を小さくでき固有周期もおさえることが可能である他、関連諸機関のご指導を仰ぎ、この程度の長周期化は特に橋梁計画上問題となる範囲のものでないと判断できた。

また、活荷重たわみについては、支間比1/946と鋼橋に比べ剛性が十分大きいと判断した。

一方、主桁断面構成では、箱桁形式が特に問題となる断面がなく全体的に余裕があるのに対し、エッジ桁形式は、空力特性を向上させるため桁高が1mと低く極めて低剛性であることから、主桁応力上、これを補うため高強度コンクリート $\sigma_{sk}=600\text{kgf/cm}^2$ を使用する必要があった。

工事費は、図-4のとおり明らかにエッジ桁形式の数量が少なく有利である。以上より、本橋の主桁形式は、エッジ桁に決定した。

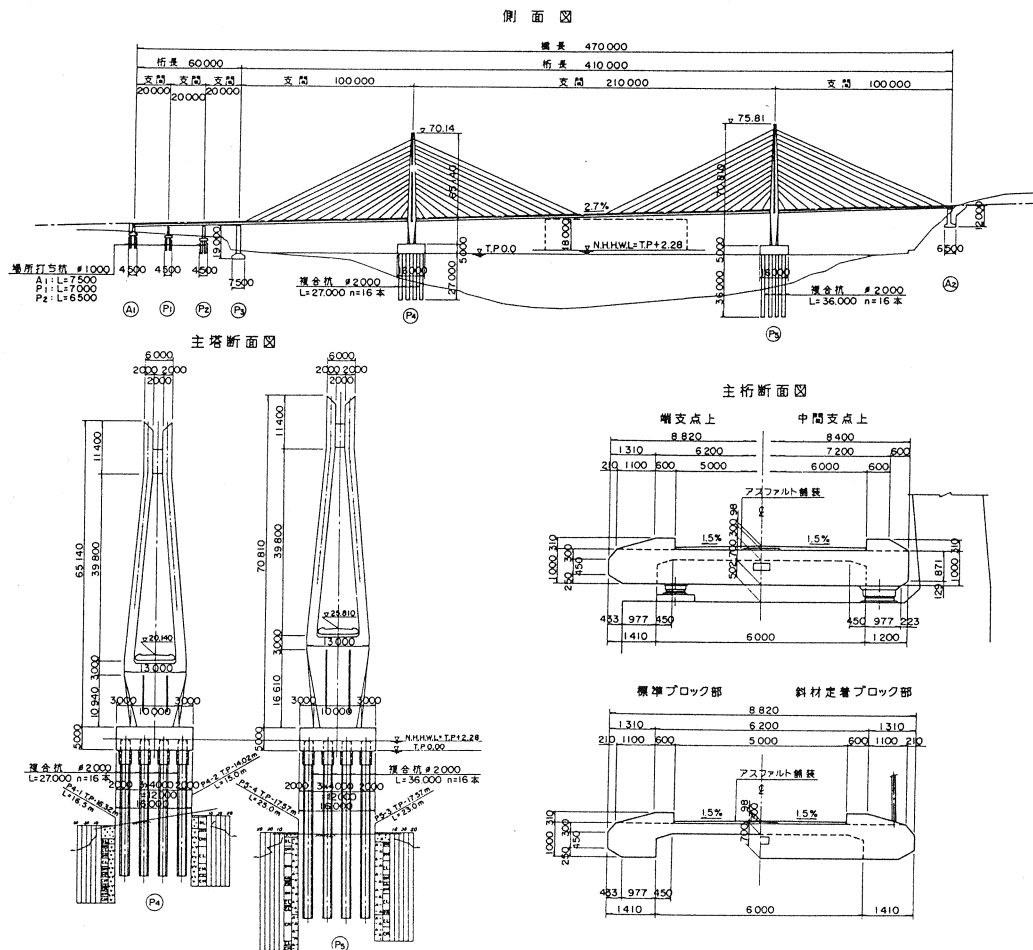


図-1 大芝大橋全体一般図

表-1 主桁形式による断面力特性の比較

	箱桁	エッジ桁	考 察	
死荷重モーメント (tfm)	3 914	890	エッジ桁形式が箱桁形式の22%と小さく、斜材張力も軽減でき有利である。	
活荷重特性	主桁最大モーメント (tfm)	798	450	エッジ桁形式が箱桁形式の56%と小さく、活荷重断面力に特性に優れる。
	主桁最大鉛直変位 (cm)	11.8	22.2	一方、曲げ剛性が低いため鉛直変位量は90%程度大きくなる。しかしながら、支間に対する比は、1/946と高橋に比べ剛性は大きく、周回なると割断できる。
	主桁最大モーメント (tfm)	1 660	713	地震動における主桁断面力は、静的、動的ともにエッジ桁形式が箱桁形式の50%以下と小さくなる。
地震応答特性	塔基部最大モーメント (tfm)	3 638	3 492	エッジ桁形式の曲げ剛性が箱桁の13%程度と極めて小さく固有周期が長周期となるほか、変位量も明らかに大きくなる。
	主桁最大水平変位 (cm)	12.3	19.6	ダンパーで支点を拘束すると固有周期は、5.227secから2.189secと短くなり、変位量も1/6以下となる。
	主桁最大鉛直変位 (cm)	19.4	26.9	
	塔頂水平変位 (cm)	13.3	18.2	
固有周期 (水平1次) (sec)	3.181	5.227		

(基礎バネ条件考慮)

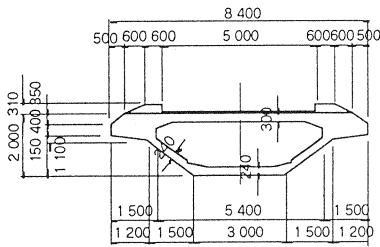


図-2 (a) 箱桁形式断面図

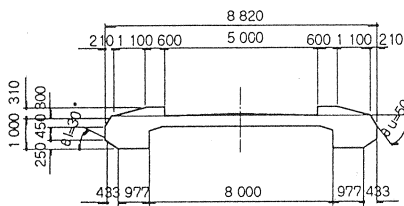


図-2 (b) エッジ桁形式断面図

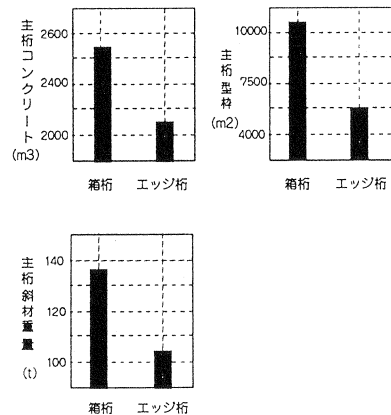


図-4 主桁形式による概略数量比較

2-2 プレキャストブロック化の検討

1) 現場打ち工法との比較

気象条件の比較的厳しい海上で高強度コンクリート $\sigma_{ck}=600\text{kgf/cm}^2$ を使用したエッジ桁形式を採用するためには、プレキャストブロック化が不可欠となる。

そこで、現場施工条件の適合性や施工条件を踏まえた経済性等の比較を現場打ち工法、プレキャストブロック工法について実施した。表-2、3に現場打ち工法とプレキャストブロック工法とした場合における特色概要を示す。

現場打ち工法の場合、台風シーズンを避けるため7mブロックを一括施工できる大型ワーゲン4台を同時に使用する必要がある他、海上施工となるため打設養生費が高みコンクリート単価が高くなること等々に

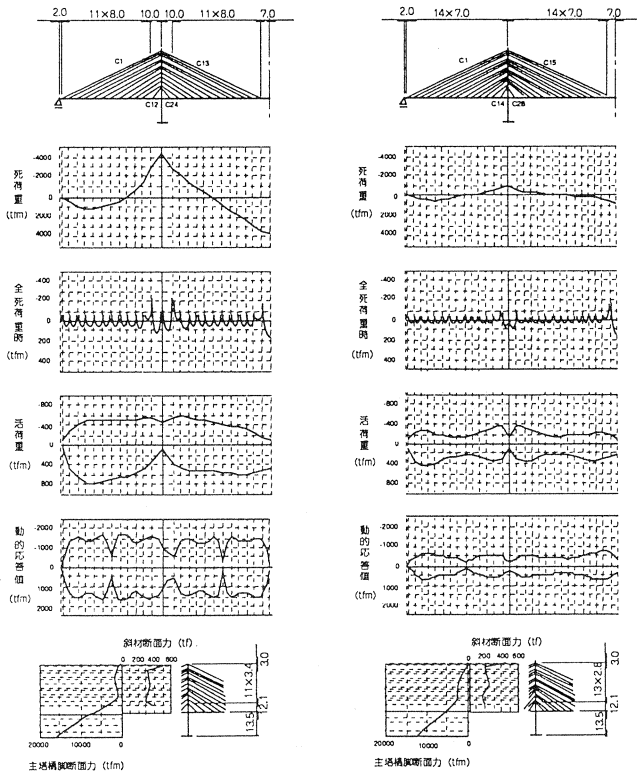


図-3 (a) 箱桁形式断面力図 図-3 (b) エッジ桁形式断面力図

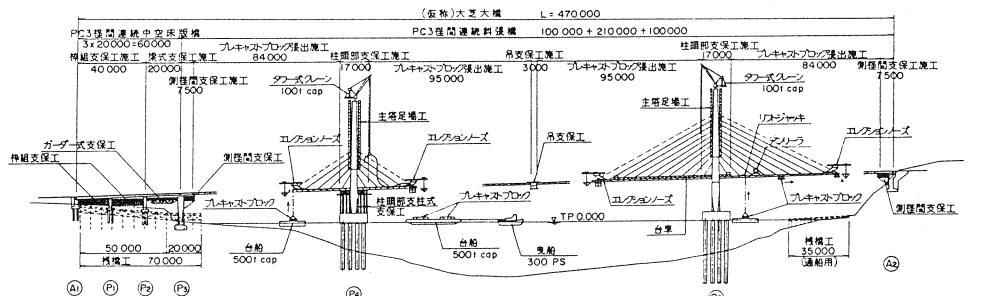
表-2 架設工法概略比較表 (その1)

現 場 打 工 法	張り出し架設時の概要		概略工事比率 (上開工)
	特 色	概 要 説	
打 工 法	<ul style="list-style-type: none"> 資材ヤードは架設位置直下の下布地、もしくはA1橋台付近とする。 資材運搬は、台船を使用し、クレーン台船、クレーンを使用し行われる。 コンクリートの運搬は、安価な浮きよりチャーターしたフェリーを使用し、台船上からポンプ打設する。 運搬時は、大型クレーン(7mプロック)による遠送施工とするが、柱脚部、斜柱間壁部、中央梁部等は架設施工となる。 上開工工程は、全体工期5ヶ月より済み、2ヶ月余りとして計画する。 	<ul style="list-style-type: none"> 張出架設は、工期短縮のため、鋼材間隔7mを1プロックとした大プロック工法とし、クレーン前進前に鋼材を定着できる大 型特種クレーンを用いる。補助工法として橋路上に外ケーブルを設置する。 大プロック工法を採用することにより、特種クレーンを用いる場合に比較し、張出し施工工程を35%程度短縮することが可能となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 直接工事費 0.64 間接工事費 0.24 経費 0.18 計 1.06
プレキャストブロック工法	<ul style="list-style-type: none"> 架設は、台船上のプレキャストブロックを直接エレクションノーズで吊り上げて行なう。 水深が浅く、台船の入れない部分については、台船曳り入れの可能な所で、先に架設して主桁からプレキャストブロックを吊り上げ、所吊り移動装置を用いて桁先部迄まで移動させて、エレクションノーズに取り替え架設する。 エレクションノーズは、通常のクレーンを改良したものを用いるものとし、架設時に補助工法として外ケーブルを設置するものとする。(Nmax=14本) 	<ul style="list-style-type: none"> 架設は、台船上のプレキャストブロックを直接エレクションノーズで吊り上げて行なう。 水深が浅く、台船の入れない部分については、台船曳り入れの可能な所で、先に架設して主桁からプレキャストブロックを吊り上げ、所吊り移動装置を用いて桁先部迄まで移動させて、エレクションノーズに取り替え架設する。 エレクションノーズは、通常のクレーンを改良したものを用いるものとし、架設時に補助工法として外ケーブルを設置するものとする。(Nmax=14本) 	<ul style="list-style-type: none"> 直接工事費 0.55 間接工事費 0.28 経費 0.17 計 1.00

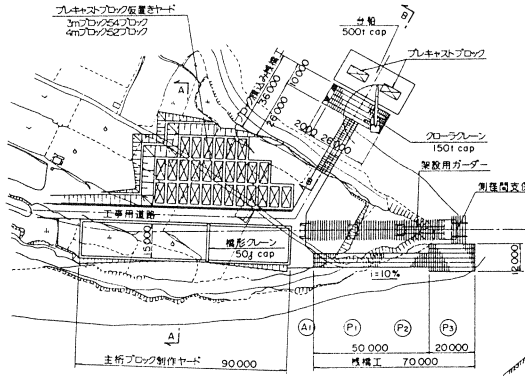
表-3 架設工法概略比較表 (その2)

経 済 性	現場 打 工 法		プレキャストブロック工法	
	<ul style="list-style-type: none"> 台船期を避けるための大型クレーン4台使用の必要があること、地上施工となるため、打設作業費が概ねコンクリート単価が高くなること等々により、直接工事費が高騰となり不経済なものとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 架設高度が早く、特種エレクションノーズ2台を転用して使用することが可能であるため、現場打工法に比較し、直接工事費は削減となる。一方、プレキャストブロック工法の特性として、運搬設備費等の仮設費(運搬工事費)が高騰となるもの、全体工事費は経済的なものとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 架設高度が早く、特種エレクションノーズ2台を転用して使用することが可能であるため、現場打工法に比較し、直接工事費は削減となる。一方、プレキャストブロック工法の特性として、運搬設備費等の仮設費(運搬工事費)が高騰となるもの、全体工事費は経済的なものとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 架設高度が早く、特種エレクションノーズ2台を転用して使用することが可能であるため、現場打工法に比較し、直接工事費は削減となる。一方、プレキャストブロック工法の特性として、運搬設備費等の仮設費(運搬工事費)が高騰となるもの、全体工事費は経済的なものとなる。
<ul style="list-style-type: none"> 張り出しプロックごとに架設の修正が可能であり、施工精度を高めることができる。 補正距離が長く、地上打設となるコンクリート(σck=500kg/cm²)の品質管理が難しい。 海上で組み立てる鉄筋、シース等の場分による架設に対する配管が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> プレキャストブロックの運搬は、台船500capを使用し、フェリーで運搬する。 コンクリートの架設は、エレクションノーズを使用し、水上部、水深の深い部分については、桁から下り下げる方法で所定の位置まで移動させる。 上開工工程は、全体工期5ヶ月より済み、2ヶ月余りとして計画する。 	<ul style="list-style-type: none"> エレクションノーズは、通常のクレーンを改良したものを用いるものとし、架設時に補助工法として外ケーブルを設置するものとする。(Nmax=14本) 	<ul style="list-style-type: none"> エレクションノーズは、通常のクレーンを改良したものを用いるものとし、架設時に補助工法として外ケーブルを設置するものとする。(Nmax=14本) 	
<ul style="list-style-type: none"> 架設工法の場合、設計上はプレキャストブロックとしてコンクリートに引張応力の発生を許してもよいが、本橋の場合海上構であるため、コンクリート内部への塩分浸透による鋼材腐食、耐久性の低下が懸念され、基本的にはフルプレストレスとすべきであると想われる。したがって、プレストレスに関する条件は、現場打工法、プレキャストブロック工法ともに同等であると考えられ、クレーンによる断面力の小さいだけプレキャストブロック工法が有利となると考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> プレキャストブロックの架設は、エレクションノーズを使用し、水上部、水深の深い部分については、桁から下り下げる方法で所定の位置まで移動させる。 上開工工程は、全体工期5ヶ月より済み、2ヶ月余りとして計画する。 	<ul style="list-style-type: none"> 架設は、台船上のプレキャストブロックを直接エレクションノーズで吊り上げて行なう。 水深が浅く、台船の入れない部分については、台船曳り入れの可能な所で、先に架設して主桁からプレキャストブロックを吊り上げ、所吊り移動装置を用いて桁先部迄まで移動させて、エレクションノーズに取り替え架設する。 エレクションノーズは、通常のクレーンを改良したものを用いるものとし、架設時に補助工法として外ケーブルを設置するものとする。(Nmax=14本) 	<ul style="list-style-type: none"> 架設は、台船上のプレキャストブロックを直接エレクションノーズで吊り上げて行なう。 水深が浅く、台船の入れない部分については、台船曳り入れの可能な所で、先に架設して主桁からプレキャストブロックを吊り上げ、所吊り移動装置を用いて桁先部迄まで移動させて、エレクションノーズに取り替え架設する。 エレクションノーズは、通常のクレーンを改良したものを用いるものとし、架設時に補助工法として外ケーブルを設置するものとする。(Nmax=14本) 	
<ul style="list-style-type: none"> 我が国初の「架設セメント使用σck=600kg/cm² 現場打設」に対する品質管理。 鉄筋、シース等の架設に対する配管。 	<ul style="list-style-type: none"> 我が国初の「σck=600kg/cm² 使用プレキャストブロック工法PC連続橋」の設計、施工。 ブロック継目部における地震時および過渡荷重発生時の引張応力の考え方。 張り出し架設時の鋼材張力調整、キャンパー管理。 	<ul style="list-style-type: none"> 我が国初の「σck=600kg/cm² 使用プレキャストブロック工法PC連続橋」の設計、施工。 ブロック継目部における地震時および過渡荷重発生時の引張応力の考え方。 張り出し架設時の鋼材張力調整、キャンパー管理。 	<ul style="list-style-type: none"> 我が国初の「σck=600kg/cm² 使用プレキャストブロック工法PC連続橋」の設計、施工。 ブロック継目部における地震時および過渡荷重発生時の引張応力の考え方。 張り出し架設時の鋼材張力調整、キャンパー管理。 	
<p>架 設 評 価</p>	<p>採 用 架 設 工 法</p>	<p>採 用 架 設 工 法</p>	<p>採 用 架 設 工 法</p>	

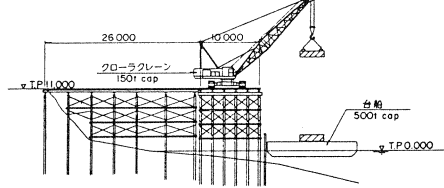
側 面 図



平 面 図



ブロック積込機概要図(B-B)



ヤード概要図(A-A)

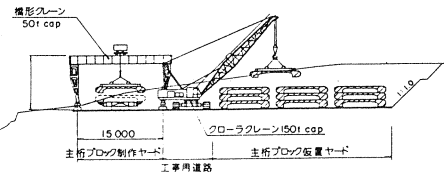


図-5 架設概要図

り直接工事費が割高となる。一方、プレキャストブロック工法は、架設速度が早いいためエレクションノーズ2台を転用して使用することが可能で直接工事費が割安となるが、運搬設備費等の仮設備費(間接工事費)が割高となる。全体工事費は、プレキャストブロック工法がわずかながら経済的なものとなった。

プレキャストブロック工法を採用した場合における施工性において最も問題となったのは、水深の極端に浅くなる側径間部のブロック架設工法であった。水深が十分にありブロックを積載した台船が進入できる中央径間、および側径間21ブロックまでは、張出し部先端で架設作業車により直接台船上からブロックをつり上げ架設できるが、水深の極端に浅くなる22ブロックからは台船が入れない。そこで架設時主桁応力度等、種々検討の結果、水深のある7ブロックに据え付けた特殊ジャッキによってつり上げて後方足場につり変え、架設作業車位置まで縦取りして架設する方法を採用するものとした。図-5に架設概要図を示す。

2) 設計条件

一方、プレキャストブロック工法を採用した場合には、我が国初の高強度コンクリート使用プレキャストブロック工法PC斜張橋となり、道路橋示方書あるいはコンクリート標準示方書等に $\sigma_{ck}=600\text{kgf/cm}^2$ の規定がないため、ブロック継ぎ目部における地震時、および活荷重過載荷重時における許容引張応力度の考え方を整理しておく必要があった。

本橋では「高強度コンクリート設計施工指針(案)」(昭和55年4月土木学会)に示される値を基本値(使用限界値)とし、道路橋示方書に準じこの値を低減して用いるものとした。(表-4)(表-解4)

当指針(案)においても規定のないせん断関係の許容値に関しては、ブロック継ぎ目付近耐力の低下に配慮し、道路橋示方書に示される $\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$ の値を用いた。また、従荷重および従荷重に相当する特殊荷重を考慮した場合の主桁コンクリート許容引張応力度は、表-5の値とした。

表-4 斜張橋部使用コンクリート諸元

許容曲げ圧縮応力度	プレストレス直後	長方形断面	230 kgf/cm ²
		T桁断面	220 kgf/cm ²
	その他	長方形断面	190 kgf/cm ²
		T桁断面	180 kgf/cm ²
許容曲げ引張応力度	プレストレス直後	一般部	21 kgf/cm ²
		ブロック継ぎ目部	0 kgf/cm ²
	活荷重および衝撃以外の主荷重	一般部	0 kgf/cm ²
		ブロック継ぎ目部	0 kgf/cm ²
	活荷重および主荷重に相当する特殊荷重	一般部	21 kgf/cm ²
		ブロック継ぎ目部	0 kgf/cm ²
コンクリートが負担できる平均せん断応力度			6.5 kgf/cm ²
許容斜引張応力度	せん断力のみ、ねじりモーメントのみを考慮する場合		12 kgf/cm ²
	せん断力のみとねじりモーメントをともに考慮する場合		15 kgf/cm ²
せん断応力度の最大値	せん断力のみ、ねじりモーメントのみを考慮する場合		60 kgf/cm ²
	ねじりモーメントによるせん断応力度とせん断力による平均せん断応力度の和		68 kgf/cm ²

ブロック継ぎ目部過載荷重時の照査における許容曲げ引張応力度 σ_{ta} は、 $\sigma_{ta}=35\text{kgf/cm}^2$ とする。

3) 主桁応力度

断面力の算定は、縦断線形の影響を考慮した平面骨組み解析用モデル、および立体骨組み解析用モデルを用い、変位法によって算定した。PC鋼材配置は、図-6のとおりである。

上述の条件によって算定した完成系における主桁合成応力度の算定結果のうち、設計荷重時、地震時、活荷重過載荷重時における応力状態を図-7、8、9に示す。完成直後、全死荷重作用時、温度変化時における

表-解4 コンクリート許容引張応力度 (kg/cm²)

設計基準強度 σ_{ck} (kgf/cm ²)	400	500	600	800
引張強度 $0.5\sigma_{ck}^{0.9}$	27.1	31.5	(35.6)	(43.1)
プレスト直後 D+PS+SP	15	18	(21)	28
永久荷重時 D+PS+SP+(CR+SH)	0	0	(0)	0
使用状態 D+PS+SP+(CR+SH)+L+I	15	18	(21)	35
ブロック継ぎ目部	0	0	(0)	(0)
使用限界状態(過載荷重時) D+PS+SP+(CR+SH)+1.7(L+I)	25	(30)	(35)	(59)
ブロック継ぎ目部				

左側：道路橋示方書 () は、提案値
右側：コンクリート標準示方書または高強度指針(案)

表-5 従荷重および従荷重に相当する特殊荷重時における許容引張応力度 (kgf/cm²)

荷重ケース	一般部	ブロック継ぎ目部
温度変化時	26 ※1	0 ※2
風荷重時	31 ※1	0 ※2
風+温度時	31 ※1	0 ※2
地震時	- ※3	- ※3

応力状態は、全橋を通じ許容応力度に対し十分余裕のあるものとなっている。

主桁に引張応力度の発生する組み合わせケースは、活荷重過載荷重時を除き地震時のみである。最大引張応力度は、一般部-7kgf/cm²、ブロック継ぎ目部、-10kgf/cm²で中央径間中央部に発生する。これらに対し引張応力深さを算定すると最大引張領域深さは、52mmであり、いずれも鋼材かぶり70mm以下であった。また、このときのひび割れ幅を便宜上コンクリート標準示方書に規定される算定式を用いて算出したところ、ひび割れ幅は、最大W=0.0010cmであり、”特に厳しい腐食性環境”とした場合の許容ひび割れ幅Wa = 0.0245cmに比較し十分小さな値であった。

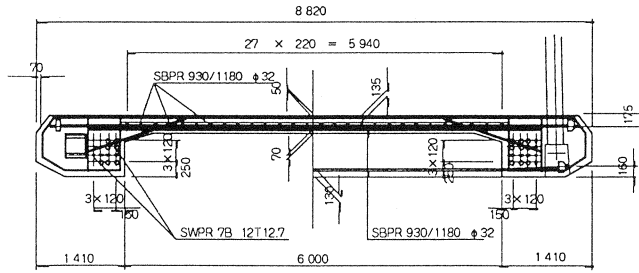


図-6 PC鋼材配置図

このときのひび割れ幅を便宜上コンクリート標準示方書に規定される算定式を用いて算出したところ、ひび割れ幅は、最大W=0.0010cmであり、”特に厳しい腐食性環境”とした場合の許容ひび割れ幅Wa = 0.0245cmに比較し十分小さな値であった。

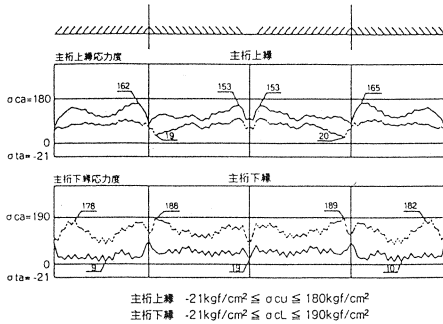


図-7 主桁設計荷重時曲げ応力度図

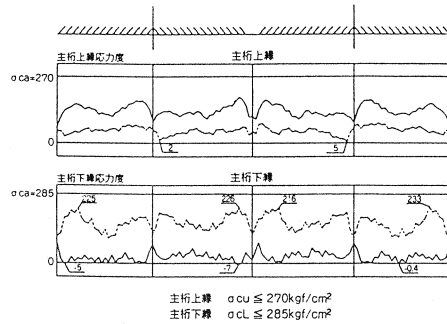


図-8 主桁地震時曲げ応力度図

3. おわりに

平成5年10月工事着手後、工事は、順調に進んでおり、平成10年瀬戸内海に超スレンダーなPC斜張橋が誕生する予定である。本文では、架橋技術検討委員会で審議された事項のうち上部工計画の一部について報告した。建設にあたりご指導、ご援助をいただいた関係機関ならびに委員の方々に深く感謝の意を表します。

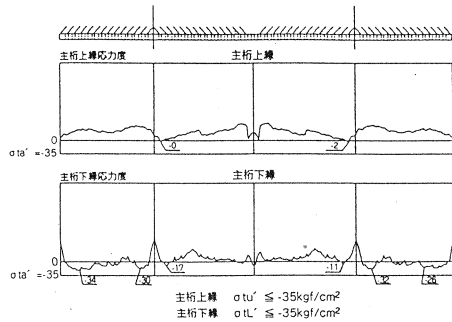


図-9 主桁活荷重過載荷重時曲げ応力度図

[参考文献]

- 1) 久保喜延ほか：PC斜張橋の閉断面桁および開断面桁の剥離流相互干渉法による耐風性能改善策に関する研究、構造工学論文集, Vol.38A, pp919-924, 1992.3
- 2) 岩崎, 山崎, 山脇：大芝大橋上部工の計画と設計、橋梁と基礎, Vol.38, pp17-25, 1995.5