

4. 合成構造斜張橋

4. 1 まえがき

合成桁を連続桁に用いた連続合成桁では、中間支点上の負曲げモーメントによる床版に対する引張力の取り扱いが問題となる。この解決のため、プレストレスを直接導入する方法や支点の上下による方法等が採用される。

斜張橋の主桁に合成桁を用いた合成斜張橋では、ケーブル張力から生じる軸力による床版への圧縮力が負曲げモーメントによる引張力を抑えるため非常に有利な構造と言える。このような構造特性のため、合成斜張橋は600m程度の比較的大型の斜張橋までをカバーする最有力形式として世界的に採用数が増加してきている¹⁾。

そこで、まず4.2節では、これまで建設された合成斜張橋の内、代表的な橋について実績調査を実施し資料としてまとめた。支間長と単位橋面積当たり鋼重の関係、支間長と主桁形式、支間長と桁高、死活荷重合成と活荷重合成の割合、床版形式、主塔材料、ケーブル材料、ケーブル張り形式等を対象としている。

本WGでは、主塔高を通常の斜張橋の1/2程度にした形式を提案して検討を実施した。長大橋対象と言うよりも中規模橋梁の少しだけ大きい範囲をカバーする橋梁形式として考えている²⁾。

支間長70～150mの範囲では昨今PC連続ラーメン橋の競争力が著しい。PC連続ラーメン橋は上部工と下部工が一体となった形式で、上部工は移動式型枠支保工にて張り出し工法による場所打ち工法で施工され、経済性に優れ工期的にも鋼橋と遜色ない形式といえよう。

さらに、PC橋の分野ではアウトケーブルPC橋の発展型としてエクストラード形式の斜張橋が登場してきた³⁾。エクストラード形式は斜張橋と桁橋を結ぶ中間的な性格を有しているが、これは本WGの主塔高の低い合成斜張橋にも言える事である。

主塔高の低い合成斜張橋は、支間長70～200m程度までをカバーする経済性に優れた形式と考えられる。

そこで4.3節では、中央支間長100mを例として在来形式と本形式の力学特性と経済性を比較した結果を示す。

4.4節では、合成斜張橋の採用に際し重要な検討事項であるクリープ、乾燥収縮の影響について検討を行った。具体的な数値的検討は埼玉大学の奥井助教授にご協力を頂いた。

4.2 合成斜張橋の実績調査

近年、合成斜張橋が採用されるケースが増加してきている。そこで本節では、国内外で建設された合成斜張橋の代表例として14橋を取り上げ構造諸元等について実績調査を行うと同時に、合成斜張橋の現状分析及び構造特性等に関する検討を実施した。

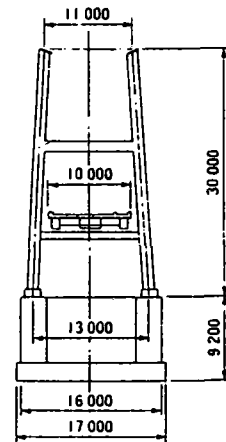
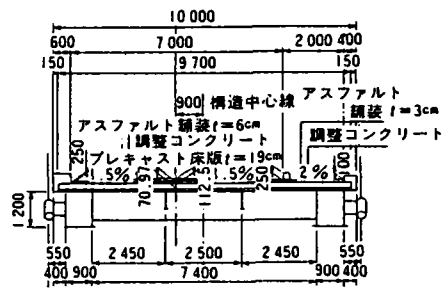
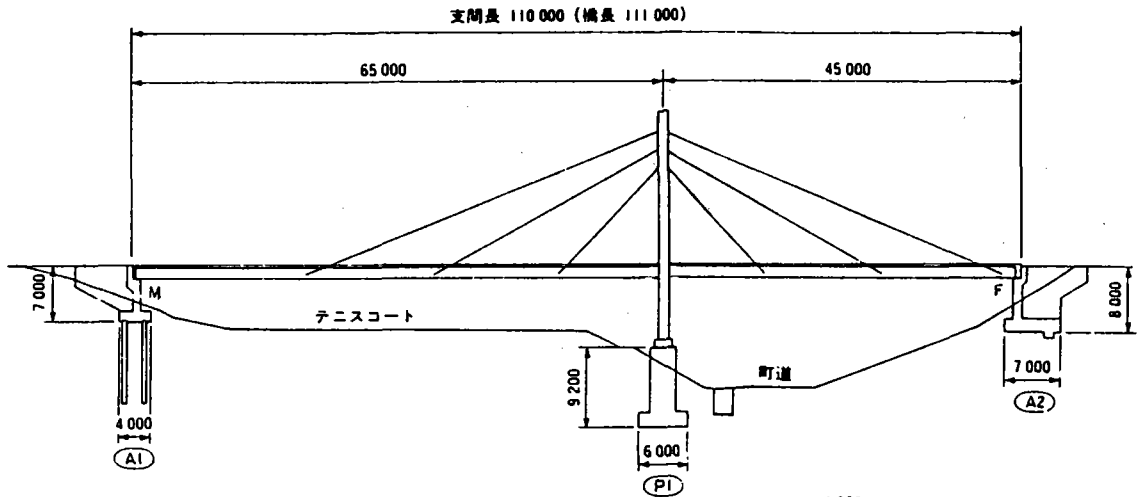
4.2.1 調査対象橋梁一覧

	No	橋名	文献名
日本	1	仲良い橋	・プレキャスト床版を用いた合成桁斜張橋の設計と施工
アジア	2	南浦大橋	・THE DESIGN OF NANPU BRIDGE ・複合構造橋梁
	3	揚浦大橋	・Yangpu Bridge, Shanghai, China ・The Yangpu Bridge
	4	Vidyasagar Setu 橋	・DESIGN AND CONSTRUCTION OF SUPERSTRUCTURE OF SECOND HOOGHLY BRIDGE IN CALCUTTA ・海外文献紹介(橋梁と基礎)
	5	Karnali River 橋	・西ネパールに建設された合成斜張橋におけるプレキャスト床版工事
	6	重陽大橋	・重陽大橋の設計と施工(上)(下)
北米	7	Alex Fraser 橋	・二主桁斜張橋の耐風安定性検討に基づく可能性調査 ・橋梁の景観・デザインと施工技術訪欧調査団調査報告書 ・欧米各国における斜張橋・吊橋の設計及び維持管理技術の調査研究報告書
	8	Bayview 橋	・Design of the Cable-stayed Mississippi River Bridge at Quincy, Illinois
	9	Weirton -Steubenville 橋	・Transportation Research Record 950
	10	Sunshine-Skyway 橋 (代案)	・米国フロリダ州のSunshine-Skyway橋合成斜張橋の設計 ・DESIGN OF A CABLE-STAYED STEEL COMPOSITE BRIDGE
	11	Baytown 橋	・ベイタウン橋 ・Double Diamonds: NEW BRAND FOR A TEXAS BRIDGE ・Twin decks hang from Houston's double diamonds
ヨーロッパ	12	Queen Elizabeth II 橋	・複合構造橋梁 ・橋梁の景観・デザインと施工技術訪欧調査団調査報告書 ・Queen Elizabeth II Bridge
	13	Seyssal 橋	・LES PONTS DE CHEVIRE ET SEYSSEL/CHEVIRE AND SEYSSEL BRIDGES
	14	Saint Maurice 橋	・10Bauen in Stahl Construire en Acier Costruire in Acciaio ・複合構造橋梁

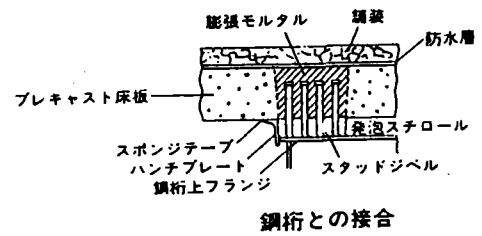
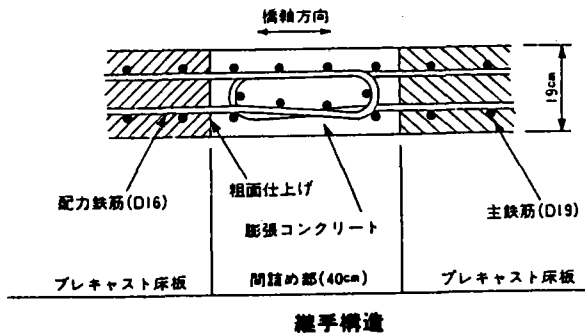
4. 2. 2 データシート

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

資料番号	1	橋名	仲良い橋
------	---	----	------



全体一般図



合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

資料番号	1		橋名	仲良い橋	
国名	日本		種別	道路橋(二等橋)	
施主	三共製作所(株)				
設計	川田工業(株)				
施工	川田工業(株)				
架橋地点	静岡県小笠郡菊川町		路線名	三共製作所(株)静岡工場構内道路	
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重(t)
竣工・総鋼重	1989年2月～7月		1989年7月末		344.4
主要諸元	スパン割	65.0m + 45.0m = 110.0m		幅員	(全幅) 10.0m (有効) 9.0m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量(t)
	床版	プレキャストRC床版	(厚) 19cm (幅) 1.5m (長) 9.7m → 55枚使用 (床版支間) 2500mm	$\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$ ル-ブ継手(ノンプレストレス)	205 m ³ (7 t/枚)
	主桁	箱桁 (2主桁)	(高) 1200mm (幅) 900mm (フランジ厚) 10～24mm	SM490Y 横桁間隔5m, 縦桁2本	242.0 t (242 kgf/m ²)
	塔	H型	(高) 30.0m		60.5 t
	ケーブル	Dinaアンカケーブル	(最大径) 95mm	(最大本数) $\phi 7 \times 109$ 本	14.4 t
	(防食法) 7mm亜鉛メッキ素線を束ねたものにポリエチレン被覆				
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成		・ずれ止めにはスタッドジベルを採用。	
	<ul style="list-style-type: none"> ・中間支点は鉛直反力を支持させないフローティングタイプ。(負曲げモーメントに対する改善方法) ・プレキャスト床版相互の間詰めに膨張コンクリートを使用。 				
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ・A1～P1間 → トラッククレーンバント工法(75t) ・P1～A2間 → クラウクレーンバント工法(150t) 				
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・応力調整をケーブル張力調整により行う。(張力を緩め合成断面に正曲げモーメントを導入) ・プレキャストRC床版を用い急速施工を図る。 ・工期短縮の必要性のため活荷重合成としたと思われる。 				
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・堀内, 笹川, 志村, 大橋, 館, 橋: プレキャスト床版を用いた合成桁斜張橋の設計と施工, 川田技報Vol. 9, 1990. 1, pp42～49 				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

資料番号	2	橋名	南浦大橋
------	---	----	------

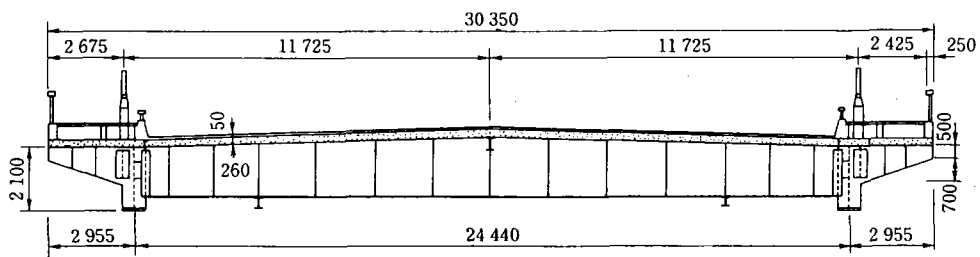
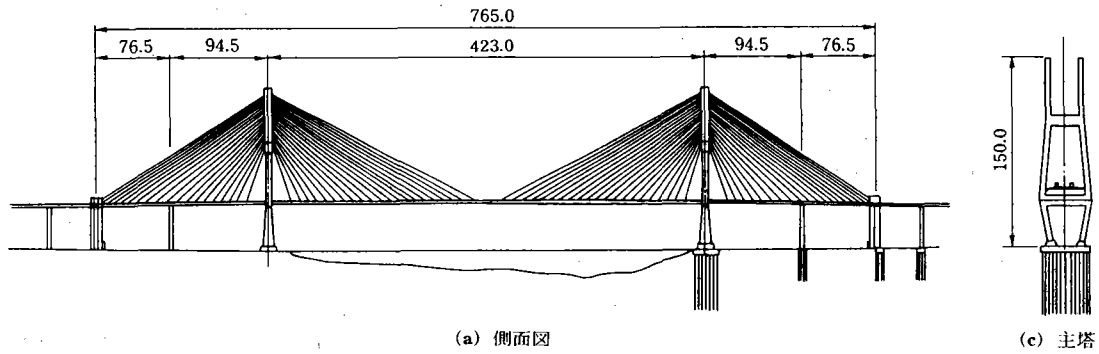


図-1 南浦大橋一般図

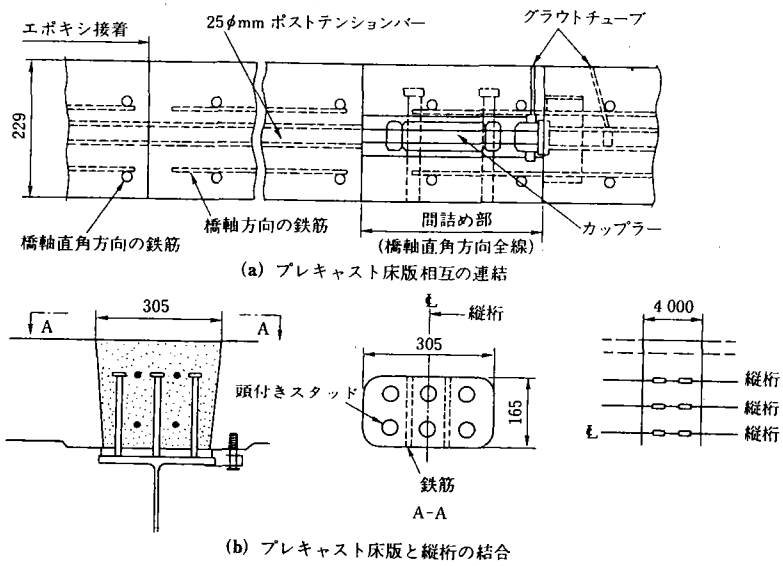


図-2 プレキャスト床版の連結

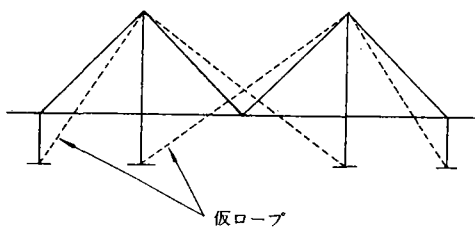


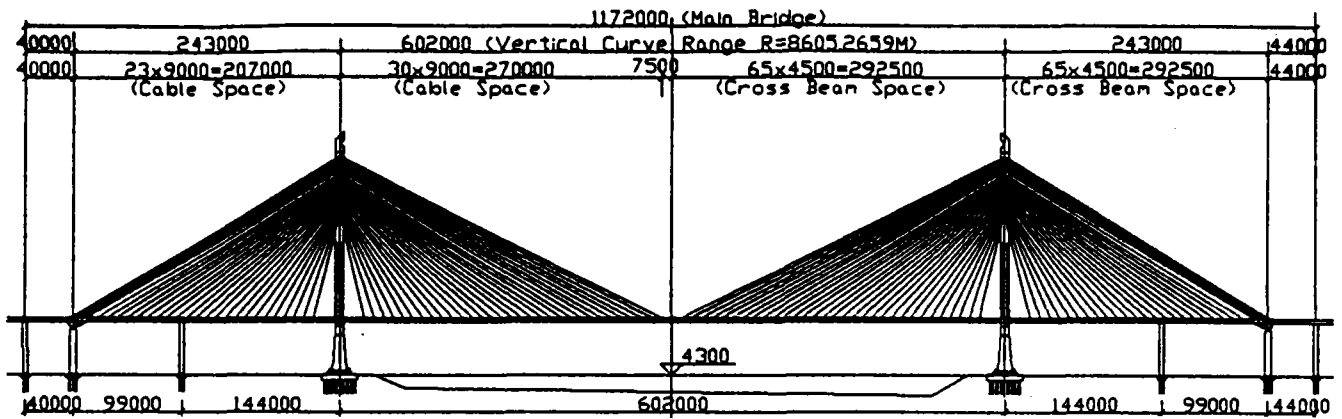
図-3 架設時の仮ロープ

合成斜張橋実績データ記入フォーマット（その2）

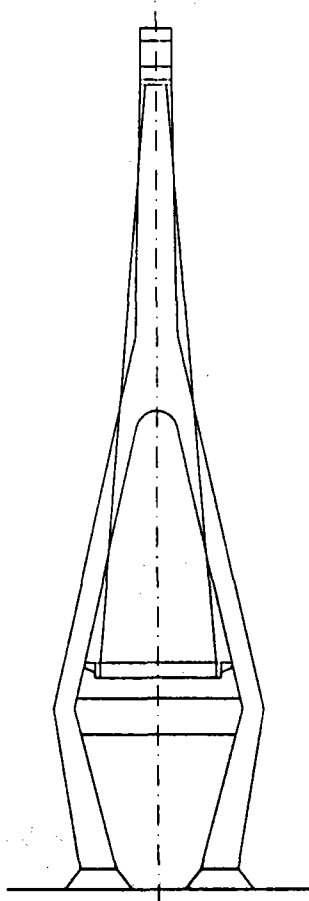
資料番号	2		橋名	南浦大橋	
国名	中国		種別	道路橋	
施主	中華人民共和国				
設計					
施工					
架橋地点	上海市、黄浦江		路線名		
工期(上部工)	工期	竣工		総鋼重 (t)	
竣工・総鋼重			1991年12月		
主要諸元	スパン割	76.5+94.5+423+94.5+76.5=765m		幅員	(全幅)30.35m (有効)28.85m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
	床版	プレキャスト床版	(厚) 260mm (床版支間) 4.5m		(kgf/m ²)
	主桁	合成桁 (2I桁)	(高) 2100mm	横桁(h=1.7m)間隔4.5m	(kgf/m ²)
	形式・材料	塔	H形 RC	(高) 150m	中空矩形断面(基部4x10m, 塔頂4x8m)
ケーブル	ケーブル	平行線ケーブル	(最大径)	(最大本数)	
		(防食法)	素線亜鉛メッキ(NPWS)+ポリ塩化ビニール被覆		
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成		RC床版連結部はポストテンション棒で連結し、膨張コンクリートを使用した。	
		<ul style="list-style-type: none"> 側径間に中間支点を設置し主桁曲げモーメント及び端支点に発生する負反力を低減した。 活荷重による引張力の発生を防ぐため中央径間中央部約100mの区間にプレストレスを導入 			
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ケーブルが架設されるまで、張出し部床版の現場継手部に引張が生じないように仮ロープで支持した。 				
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> 本橋計画時に、コンクリート斜張橋と合成斜張橋が比較検討され、ケーブル、主塔、基礎杭等の材料が少ないこと、工期が短いことなどから合成斜張橋が選定された。 フレックスレザ-橋でみられた床版のひび割れを防ぐため検討が行われた。 				
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> THE DESIGN OF NANPU BRIDGE 複合構造橋梁, 技報堂出版 				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

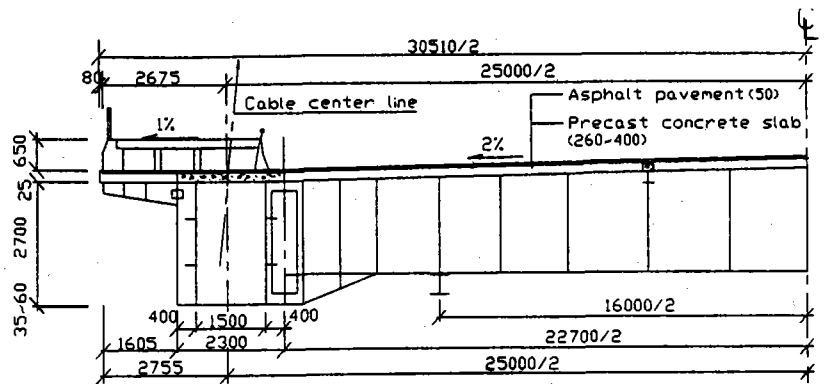
資料番号	3	橋名	楊浦大橋
------	---	----	------



側面図



主塔正面図



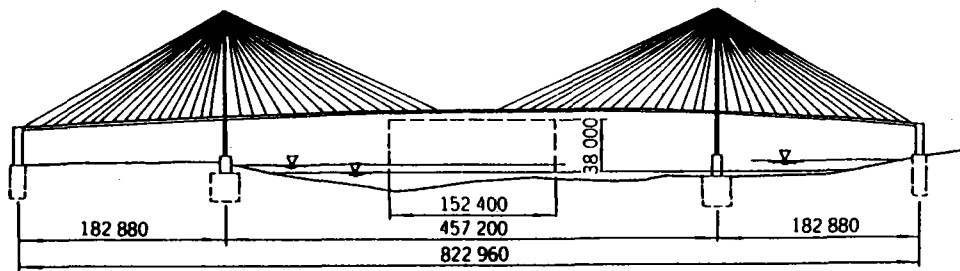
主桁断面図

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

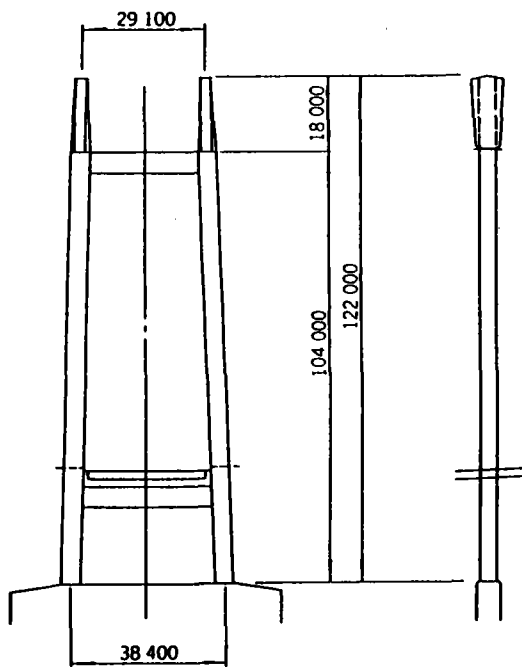
資料番号	3		橋名	楊浦大橋	
国名	中国		種別	道路橋	
施主	上海市建設委員会				
設計	上海市立工業設計研究所				
施工	上海黄浦江橋本部				
架橋地点	上海市、黄浦江		路線名		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重			1993年8月		
主要諸元	スパン割	40+99+144+602+144+99+44=1172m		幅員	(全幅)32.5m (有効)28.8m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
	床版	フレキストPC床版	(厚) 260~400mm (床版支間) 4.5m		(kgf/m ²)
	主桁	合成2箱桁	(高) 2800mm U. Flg 2300x25 L. Flg 2300x35~60		(kgf/m ²)
	形式・材料	塔	逆Y形 RC塔 (高) 208m		
	ケーブル	平行線ケーブル	(最大径)	(最大本数)	
	(防食法) PE管+2mm厚の外層管(オレンジ色)				
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成			
	<ul style="list-style-type: none"> ・箱桁内部にケーブル定着部を設けている。 ・主桁に耐風安定化対策としてフェアリングを設置している。 				
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ・風によるケーブル振動対策として、ストラット両端にダンパーを設置している。 ・床版のひび割れを防止するために、横桁に取付けたジャッキとケーブルから成る装置を用いて、橋軸直角方向にプレストレスを導入している。 				
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・合成桁斜張橋として世界最大。 ・工期は約2年半と短かった。 				
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・Lin Yuanpei: Yangpu Bridge, Shanghai, China, Structural Engineering International, 1995. 3. ・Lin Yuanpei: The Yangpu Bridge, Bridges into The 21st Century, 1995. 				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

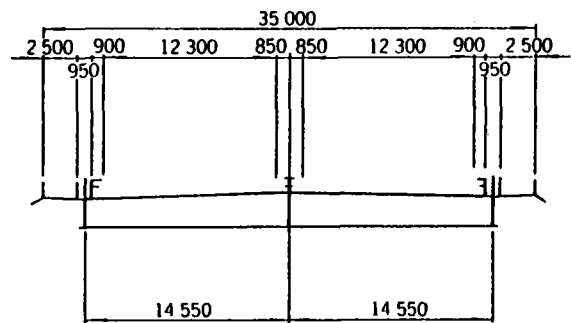
資料番号	4	橋名	Vidyasagar Setu 橋
------	---	----	-------------------



側面図



主塔正面図



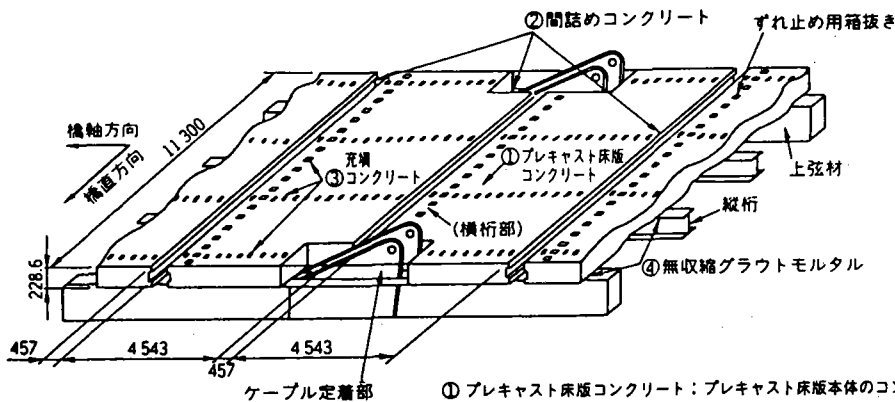
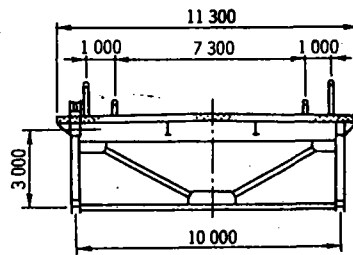
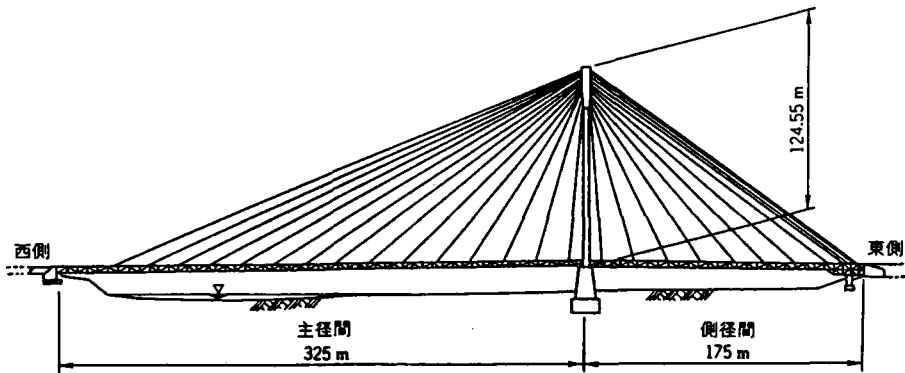
主桁断面図

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

資料番号	4		橋名	Vidyasagar Setu 橋		
国名	インド		種別	道路橋		
施主	Hooghly River Bridge Commissions, Calcutta					
設計	【設計施工監理】 Schlaich und Partner, Consulting Engineers, Stuttgart, Germany Leonhardt, Andrae and Partners, Consulting Engineers, Stuttgart, Germany 【設計照査】 Freeman, Fox Limited, London, U. K.					
施工	Bhagirathi Bridge Construction Company (以下の2社にて構成) 【上部工】 Braithwaite, Burn and Jessops 【下部工】 Gammon India Limited					
架橋地点	フクリ川 (カルカッタ市, ハウラ市間)		路線名			
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)	
竣工・総鋼重	1967年～1992年		1992年			
主要諸元	スパン割	182.88+457.20+182.88=822.96m		幅員	(全幅) 35.0m (有効) 2@12.3m	
	部材	形式	主要寸法		材質・その他	重量 (t)
	床版	RC床版	(厚) 230mm (床版支間) 4100mm			
	主桁	合成I桁 (2主桁)	(高) 2000mm		St52-3相当高張力鋼 横桁間隔 4.1m	
	形式・材料	塔	鋼柱ラーメン (高) 122.0m			
ケ-ブル	平行線		(最大径) 200mm (最大本数) φ7.0*277本			
	ケ-ブル		2面マルチファンケ-ブル(15段)			
		(防食法) ホリフレ管で被覆し、架設後グラウト注入				
設計	合成の種別	死活荷重合成・活荷重合成		・すれ止めにはブロッキア-コネクターを使用。		
	<ul style="list-style-type: none"> ・合成桁の死荷重増で減衰率をアップし、耐風安定性を向上している。 ・塔の設計風速は、67m/sec。 					
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ・主径間はカチバ-工法、側径間はトラックレ-バント工法。 					
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接工が現地にいらないため、溶接構造を出来るだけ避け、リベット構造としている。 ・プレストレス作業を単純化、迅速化するため、塔頂側にて調整。 ・主桁へのケ-ブル定着は、上フランジを貫通させ腹板に直接張力を伝達させている。 ・本橋は工事中の一時期、世界一の斜張橋と言われたが、種々の理由により工事が遅れ、世界一の座からすべり落ちた。 					
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・ R. Bergermann, P. C. Bhasin : DESIGN AND CONSTRUCTION OF SUPERSTRUCTURE OF SECOND HOOGHLY BRIDGE IN CALCUTTA, pp177~188 ・ 海外文献紹介, 橋梁と基礎 1990.2, pp50~51 ・ 川田忠樹 : 複合構造橋梁, 技報堂, 1994, pp178~181 					

合成斜張橋実績データ記入フォーマット（その1）

資料番号	5	橋名	Karnali River 橋
------	---	----	-----------------



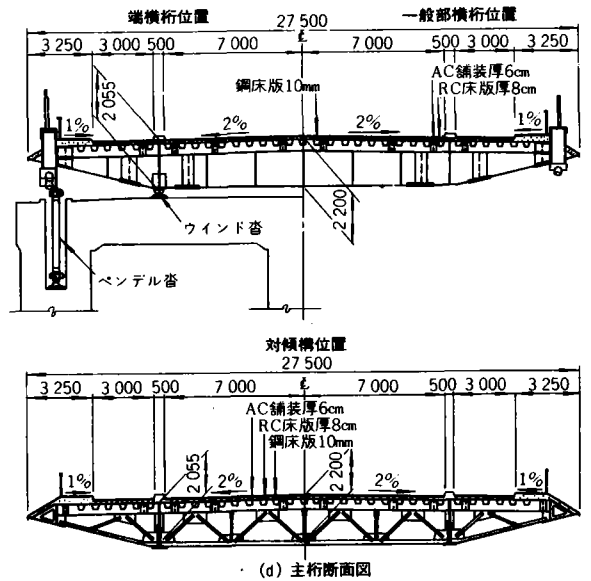
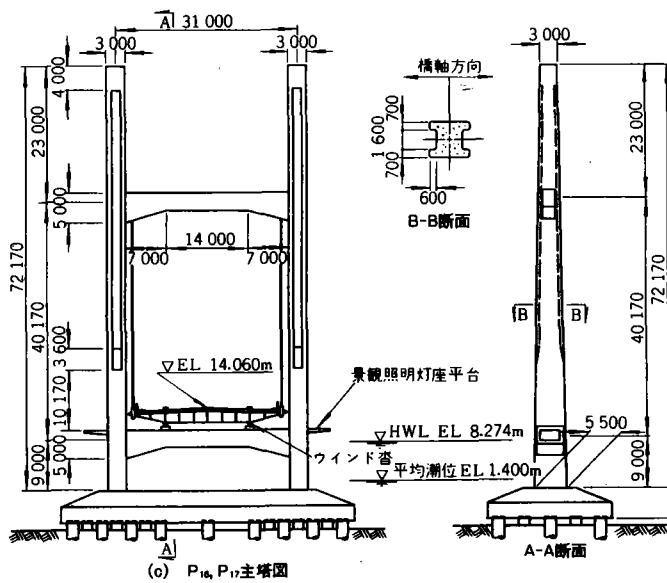
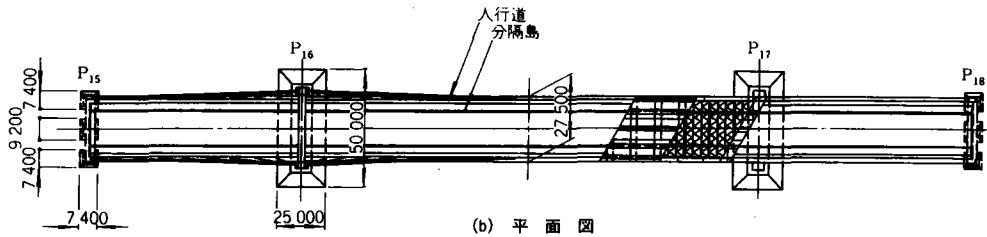
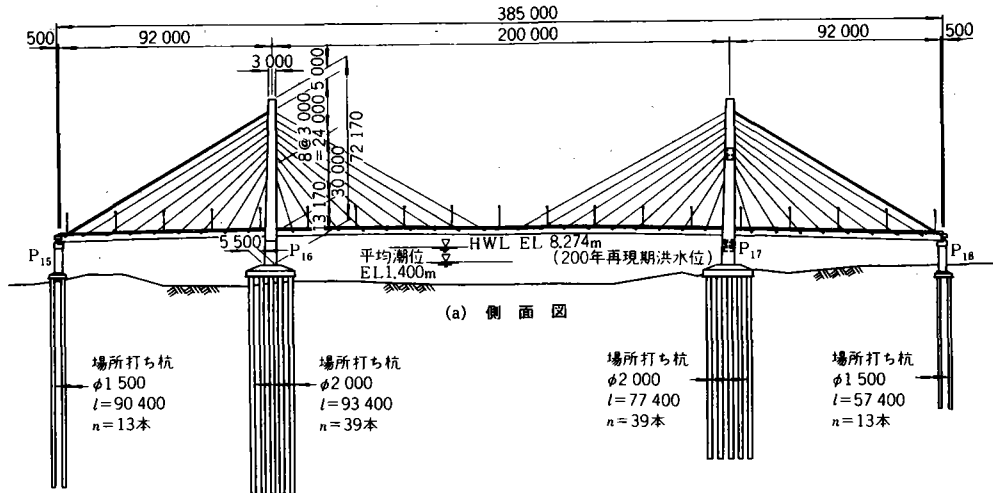
- ① プレキャスト床版コンクリート : プレキャスト床版本体のコンクリート
- ② 間詰めコンクリート : プレキャスト床版間のコンクリート
- ③ 充填コンクリート : 鋼トラスとプレキャスト床版を合成する
充填コンクリート
- ④ 無収縮グラウトモルタル : 上弦材・横桁・縦筋とプレキャスト床版
との空間に詰めるグラウトモルタル

合成斜張橋実績データ記入フォーマット（その2）

資料番号	5		橋名	Karnali River 橋	
国名	ネパール		種別	道路橋	
施主	ネパール政府				
設計	米国・スタイマン社				
施工	川崎重工業株式会社				
架橋地点	カトマंडウ西方600kmクワイ平原内		路線名		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重	1988年1月～1993年6月		1993年6月		
主要諸元	スパン割	325m + 175m = 500m		幅員	(全幅)11.3m (有効)9.3m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
形式・材料	床版	フレキストRC床版	(厚)229mm 床版支間 3300mm	$\sigma_{ck} = 350\text{kgf/cm}^2$	1265m ³
	主桁	鋼2主トラス	(高)3000mm		(kgf/m ²)
	塔	鋼2層ラーメン	(高)124.55m		
	ケーブル	ファン型2面吊	(最大径)	(最大本数) 60本	
設計	合成の種類	死活荷重合成 ・活荷重合成 ・2径間連続合成桁斜張橋			
		<ul style="list-style-type: none"> ・フレキストRC床版と鋼トラスの活荷重合成として設計されている。 ・適用基準 AASHTO 			
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ・側径間はクレーン吊上げ工法、主径間は片持ち式張出し架設工法。 ・主塔は、クレーンによるハッチ架設工法。 				
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・フレキスト床版に用いる鉄筋はSD390相当。 ・フレキスト床版のためクリープ係数は、$\phi = 0.6$で設計。実際にはひび割れ防止のため膨張材使用。乾燥収縮の影響を取り除くため約1年間の長期養生の上架設された。 				
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・春田、児玉、中本、"西ネパールに建設された合成斜張橋におけるフレキスト床版工事"、土木施工、1994.10、pp89～pp96 				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

資料番号	6	橋名	重陽大橋
------	---	----	------

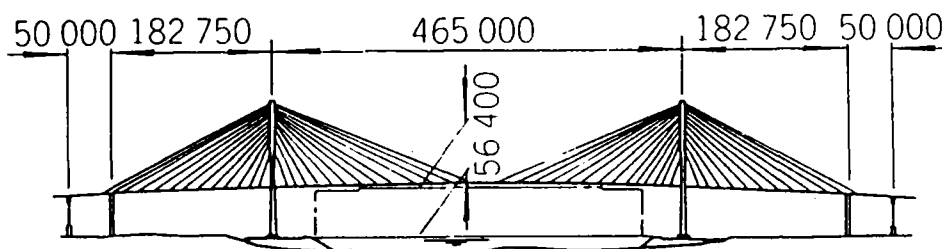


合成斜張橋実績データ記入フォーマット（その2）

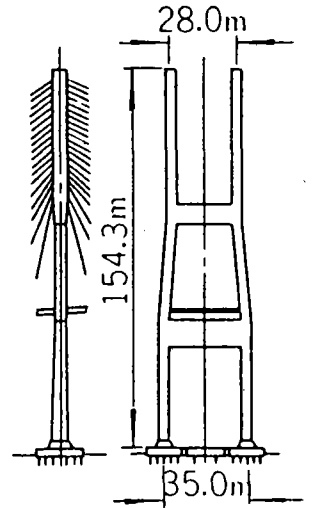
資料番号	6		橋名	重陽大橋	
国名	台湾		種別	道路橋	
施主	台湾省住宅及都市發展局				
設計	中華顧問工程司				
施工	唐栄公司（全工事の技術コンサルト業務とケーブル工事は春本鐵工所）				
架橋地点	台北市近郊の淡水河上		路線名		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重	1986年8月～1990年10月		1990年10月		4,581
主要諸元 形式・材料	スパン割	92.0m +200.0m +92.0m = 384.0m		幅員	(全幅) 27.5m (有効) 24.0m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量(t)
	床版	RC合成 π形鋼床版	(厚) 80mm		1083m ³
	主桁	鋼床版π形 (2主桁)	(高) 2200mm	A572GR50	3.985 (0.432kgf/m ²)
	塔	H型 RC塔	(高) 72.17m		14368m ³
	ケーブル	セミハーフ型	(最大径)φ139mm (最大本数) 37本 (マルチケーブル2面吊り9段)		290
		(防食法) ポリエチレン被覆+アルミカバー			
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成		・フェアリング桁で全軸力を受け持つ設計をした。	
	<ul style="list-style-type: none"> ・中央桁閉合前にジャッキダウンすることにより、ケーブルのプレストレスを導入した。 ・RC床版と鋼床版をスタッドボルトで連結し、合成断面として活荷重に対する主桁作用の応力も受け持つように設計した。 				
架設工法	・バランスドカンチレバー工法。				
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルはポリエチレン被覆PC鋼より線にアルミカバーを装着した2重の防食構造である。 ・鋼床版の厚みは10mmである。 				
参考文献	・大宮司尚、富本信、田辺充浩、奥原光：重陽大橋の設計と施工(上)(下)、橋梁と基礎 1990.12、1991.1				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

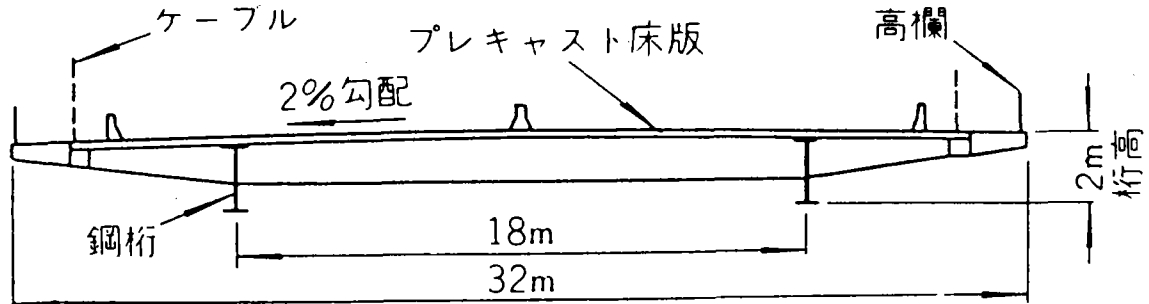
資料番号	7	橋名	Alex Fraser 橋 (Annacis 橋)
------	---	----	---------------------------



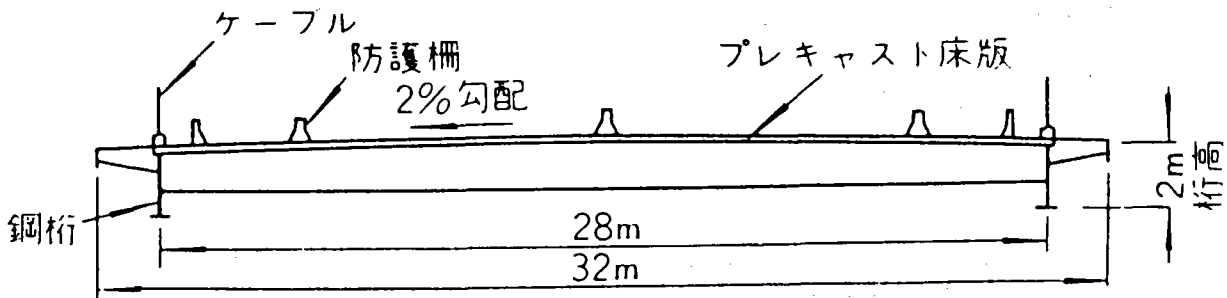
一般図



主塔断面図



(a) 当初案



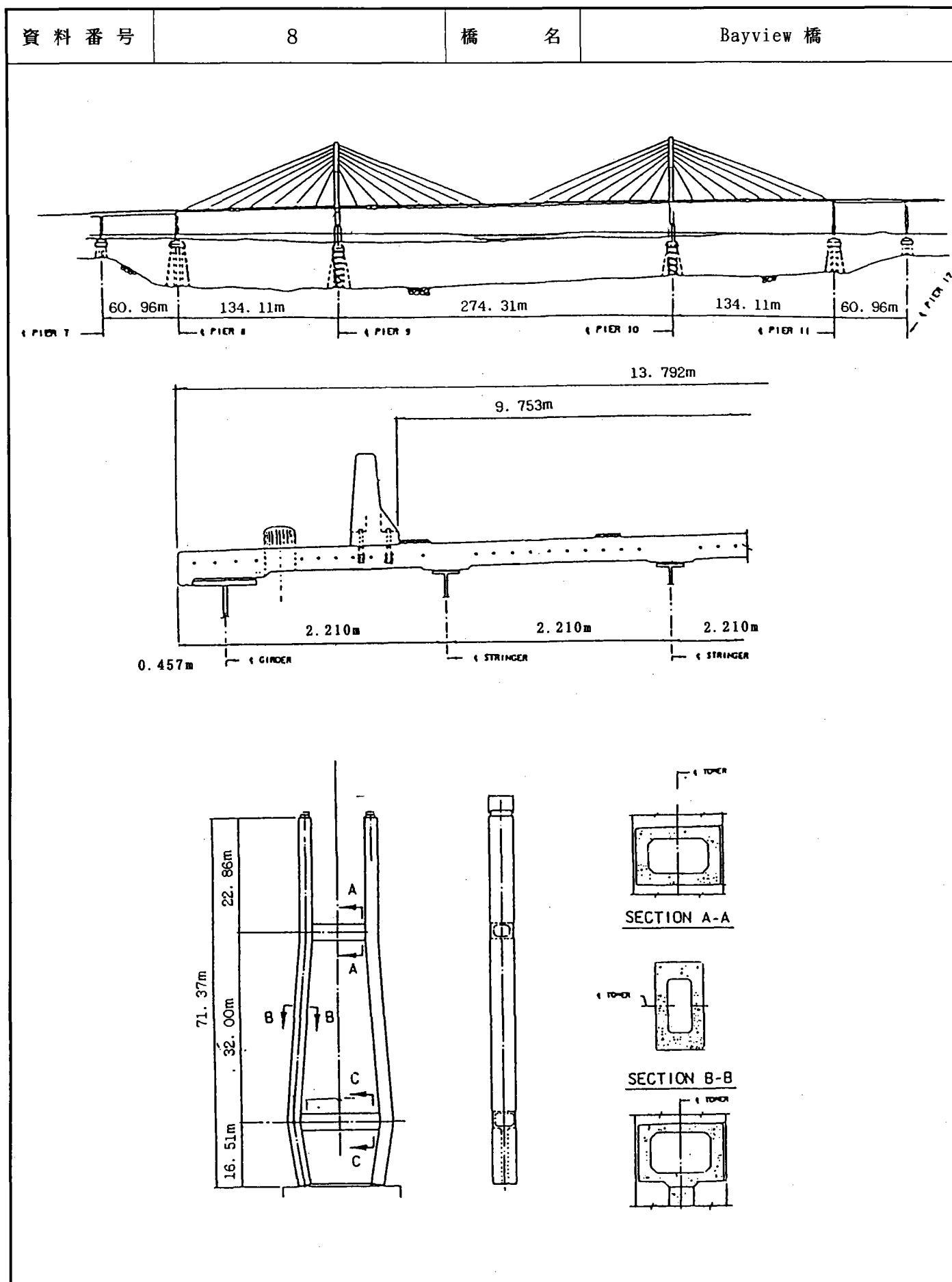
(b) 最終案

主桁断面図

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

資料番号	7		橋名	Alex Fraser 橋 (Annacis 橋)	
国名	カナダ		種別	道路橋 (ASCE基準、自動車+新交通)	
施主	Ministry of Transportation and Highways of British Columbia, Canada				
設計	CBA Engineering Ltd. and Buckland and Taylor Ltd., Bancouver, Canada				
施工	A Joint Venture of P. C. L. Paschen-Pike				
架橋地点	ブリティッシュコロンビア州バンクーバー市		路線名	州道91号線	
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重	1984年3月~1986年7月		1986年9月		主桁 5600, ケーブル 1698
主要諸元	スパン割	50+182.75+465+182.75+50=930.5m		幅員	(全幅) 32.0m (有効) 25.4m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
形式・材料	床版	プレキャスト RC床版	(厚) 215mm (幅) 4.0m (長) 13.5m → 414枚使用 (床版支間) 4500mm	56日強度 560kgf/cm ² ルーフ継手 プレストレス (橋直方向)	5600 m ³
		オーバレイ	(厚) 50mm		1300 m ³
形式・材料	主桁	合成I桁 (2主桁)	(高) 2100mm (幅) 800mm (フランジ厚) Max 80mm	降伏点 235MPa 横桁間隔 4.5m	5600 t (215 kgf/m ²)
	塔	H型RC構造 中空箱断面	(高) 154.3m	コンクリート 耐力 35MPa 鉄筋 耐力 400Mpa	8586 m ³ 2050 t
形式・材料	ケーブル	平行線 ケーブル	(最大径) 130mm 2面マルチファンケーブル (24段)	(最大本数) φ 7.1*283本	1698 t (ソケット含む)
		(防食法) 内面→セメントグラウト, 外面→ポリエチレン管, 素線→垂鉛メッキ			
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成	・ ずれ止めにはスタッドジベルを採用。 〔長周期化による地震荷重の低減〕 ・ 塔部支点は鉛直反力を支持させないフロチンクタイフー - 〔負曲げモーメントに対する改善方法〕 ・ 全橋模型試験により主桁配置を決定し、架設中の耐風安定性も検討。		
架設工法	・ 塔 → 移動式型枠 (1セメント高3.9m, 40サイクル) ・ 主桁 → 張出し工法 (44, 39tのデリッククレーン使用), 1サイクル11日間				
特記事項	・ 斜張橋の構造特性を活かし、合理性と単純性を追求し、短工期で経済的に建設された橋梁として有名 (工費 \$51 millionカナダドル) ・ 主桁ケーブル定着部は上フランジにガセットを溶接し、これにパイプと座金でソケットを固定する簡単な構造。 ・ 付近に住民がほとんどいないので耐候性鋼材の裸仕様を採用。 ・ プレキャスト床版の橋軸方向にはプレストレスが導入されていないので、軸圧縮力の小さな径間中央部や桁端部にクラックが生じた。				
参考文献	・ 橋梁の景観・デザインと施工技術訪欧調査団調査報告書 (アレクスフレザ - 橋), 1992. 11, pp110~115 ・ 欧米各国における斜張橋・吊橋の設計及び維持管理技術の調査研究報告書, S61. 3, pp24~29 ・ 海外文献紹介「世界最長スパンの複合斜張橋」, 橋梁と基礎, 1988. 10, pp47 ・ 横山, 日下部: 二主桁斜張橋の耐風性検討に基づく可能調査, 橋梁, 1992. 7, pp14~21				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

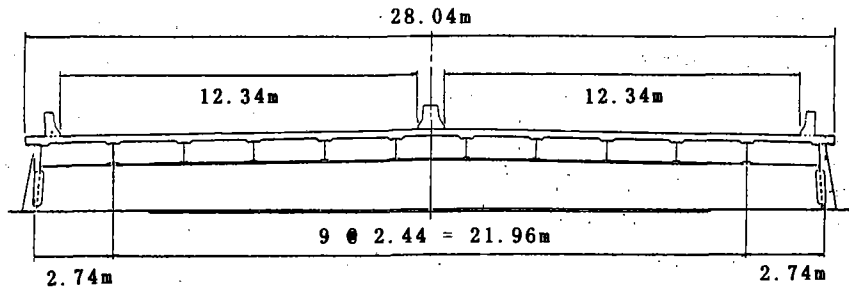
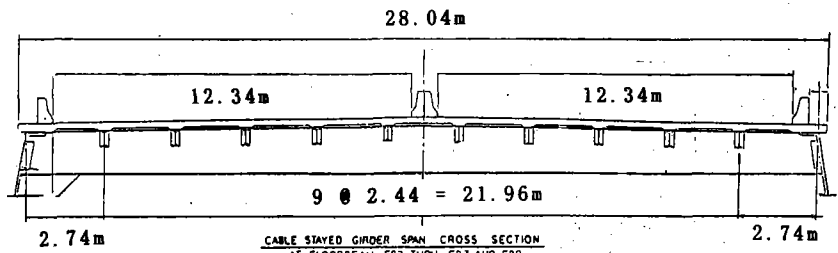
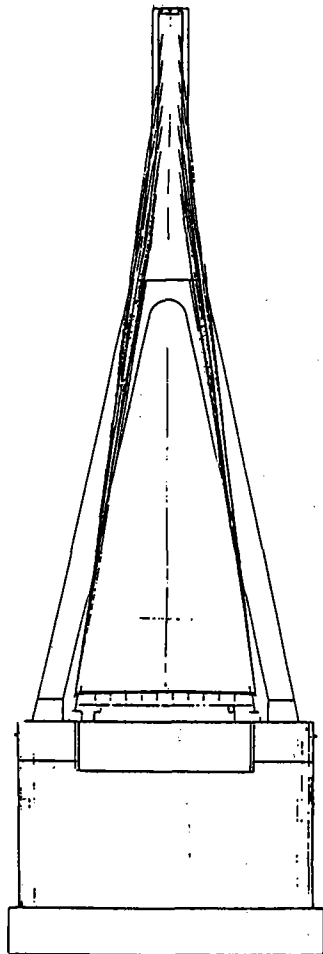
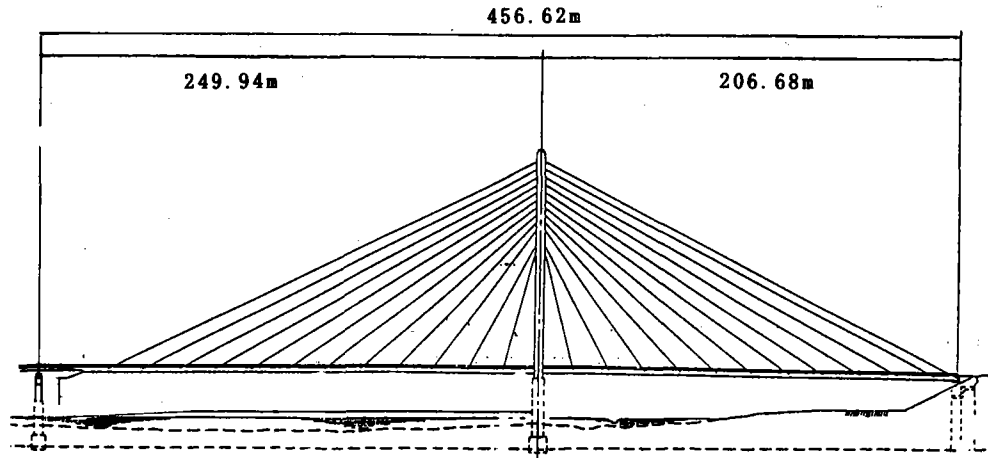


合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

資料番号	8		橋名	Bayview 橋	
国名	アメリカ合衆国		種別	道路橋	
施主	イリノイ州交通局				
設計	Booker Associates, Inc , Modjeski and Masters				
施工					
架橋地点	イリノイ州クインシー		路線名	US - 24	
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重			(1986)		
主要諸元	スパン割	134.11+274.31+134.11=542.53 m		幅員	(全幅)13.792 m(有効)9.753 m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
	床版	プレキャストPC床版	(厚) 229 mm (パネル 14.17m x 4.00m) 床版支間 = 2210mm	ポストテンション方式によるプレストレス導入 (橋軸方向)	
	主桁	鈹桁 (2主桁)	(高) 1829 mm		(kgf/m ²)
	塔	H型RC塔	(高) 71.37 m	ポストテンション方式によるプレストレス導入	
	ケーブル	平行線ケーブル	(最大径)	(最大本数)φ6.35*283本	
	(防食法) エポキシコーティング+ポリエチレン被覆				
設計	合成の種別	死活荷合成・活荷重合成		・風洞実験の結果、主桁の外側に幅762mmの板を設置した。 ・必要な強度を得る為、プレキャスト床版にプレストレスを導入した後、桁と合成させた。 ・剛性を高める為、それぞれの縦桁の下に補強板(板厚10mm)を設置。	
架設工法	主桁：片持ち式架設				
特記事項	・PC斜張橋と競合し、\$17,230,461にて落札。				
参考文献	Design of the Cable-Stayed Mississippi River Bridge at Quincy, Illinois				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

資料番号	9	橋名	Weirton-Steubenville 橋
------	---	----	------------------------

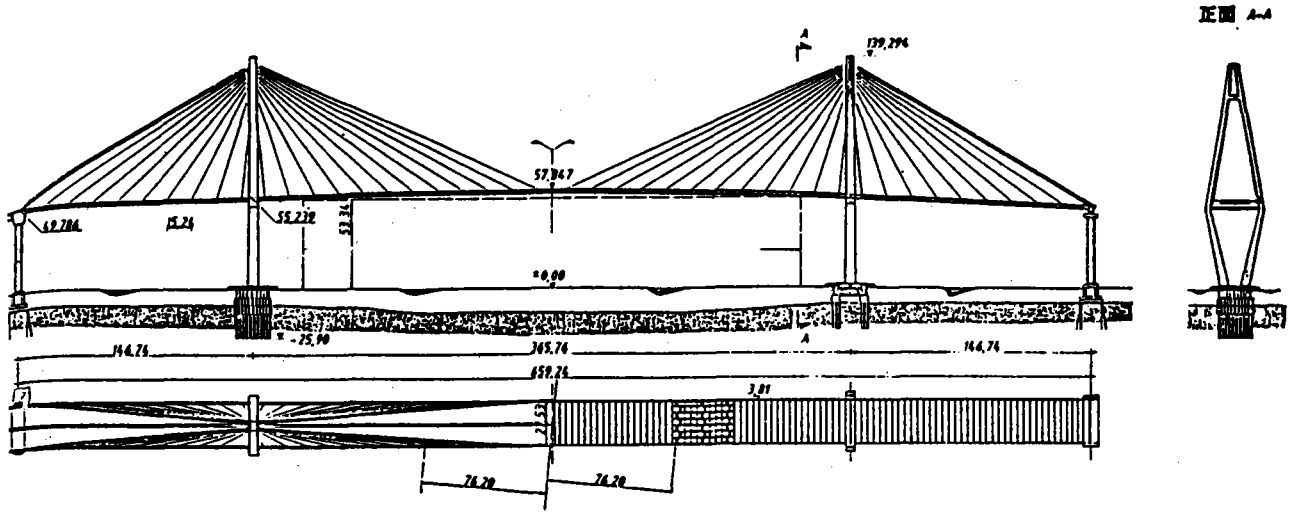


合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

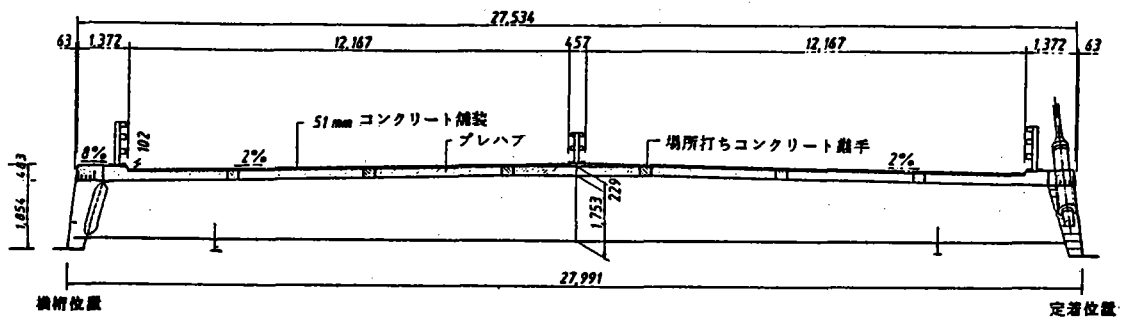
資料番号	9		橋名	Weirton-Steubenville 橋	
国名	アメリカ合衆国		種別	道路橋	
施主	The West Virginia Department of Highway				
設計	Michael Baker, Jr., Inc				
施工	S. J. Grove and Sons Company				
架橋地点	Weirton市-Steubenville市		路線名		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重					
主要諸元	スパン割	249.94m + 209.68m		幅員	(全幅)28.04m (有効)2012.34m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
	床版	プレキャスト RC床版	(厚) 216mm 床版支間 = 2438mm		
	主桁	鋼桁 (2主桁)	(高)		(kgf/m ²)
	塔	逆Y型 RC塔	(高) 111.3m	プレストレス導入 (ポストテンション方式)	
	ケーブル	平行線ケーブル	(最大径)	(最大本数) φ 6.35*235本	
	(防食法) PE管+セメント・グラウト				
設計	合成の種別	死活荷合成・活荷重合成			
	死荷重及び活荷重の断面力に対して、最適なるケーブルプレストレスを設定した。				
架設工法	balancing cantilever construction				
特記事項	鋼桁+鋼塔(\$32000000), 鋼桁+コンクリート塔(\$20000000), 及びコンクリート桁+コンクリート塔(\$24000000)の3案にて競争入札され、鋼桁+コンクリート塔に決定した。				
参考文献	•Transportation Research Record 950				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

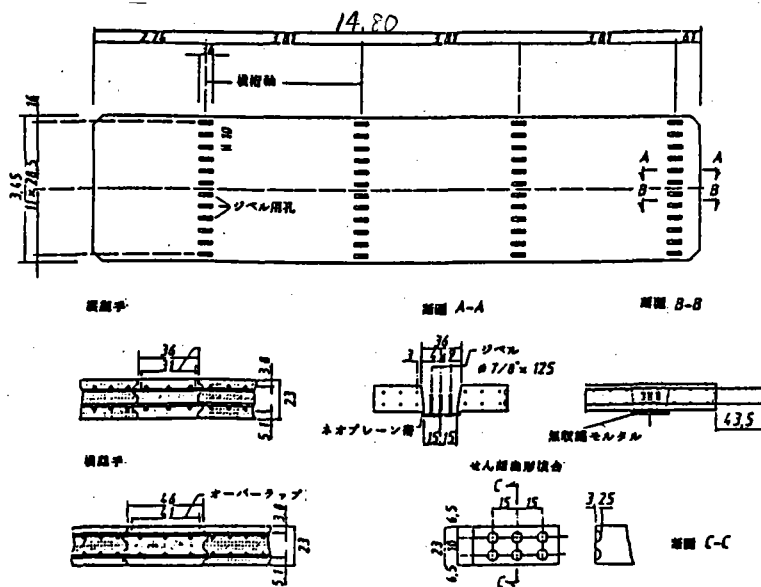
資料番号	10	橋名	Sunshine-Skyway橋 (代案)
------	----	----	-----------------------



一般図



主桁断面図



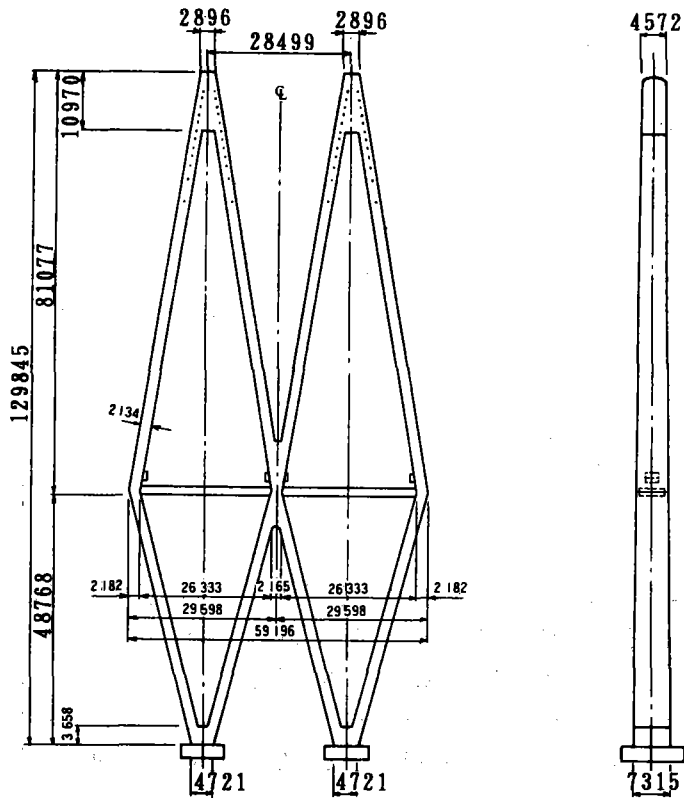
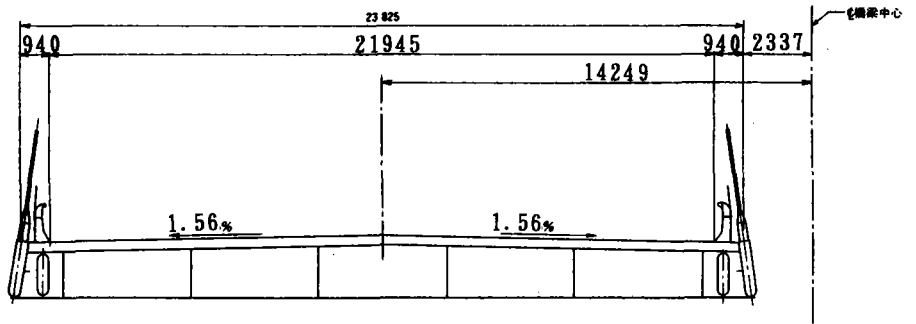
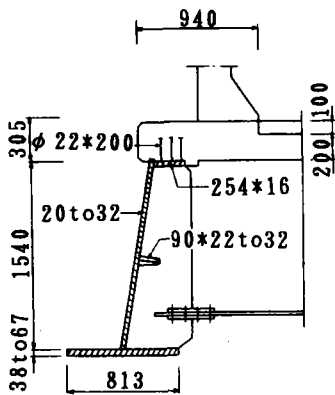
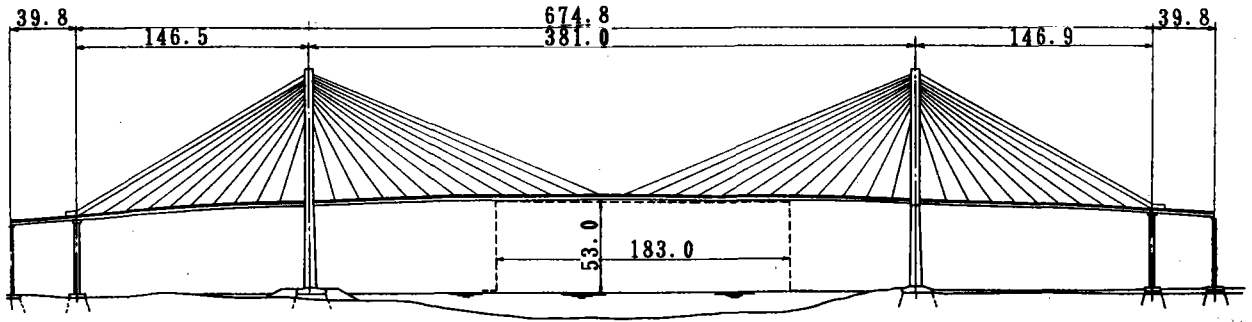
プレキャスト床版

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

資料番号	10		橋名	Sunshine-Skyway 橋 (代案)	
国名	アメリカ合衆国		種別	道路橋	
施主	フロリダ交通局				
設計	Greiner, Inc. (米国), Leonhart, Andra and Partners (ドイツ)				
施工	—				
架橋地点	フロリダ州、Tampa湾		路線名		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重					3567
主要諸元	スパン割	146.74+365.76+146.74=659.24m		幅員	(全幅)27.991m (有効)24.334m
	部材形式	主要寸法		材質・その他	重量 (t)
形式・材料	床版	プレキャストRC床版	(1)ハネ 14.8m x 3.45m (厚) 229mm (床版支間) 3.81m	B35 ($\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$ 相当) ノンプレストレスト	4640 m ³ (30t/枚)
	主桁	鋼桁 (2主桁)	(高)1854mm $t_w=19\sim 32$ U. Flg 763x25~35 L. Flg 813x38~51	A572 (SM490Y相当)	2879 t (159 kgf/m ²)
	塔	A形 RC塔	(高) 136.86m	B35 ($\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$ 相当)	6902 m ³
	ケーブル	HiAm7アンカケーブル (防食法) PE管+グラウト(セメントモルタル)	(最大径) 200 mm	(最大本数) $\phi 6.35 \times 313$ 本	688 t
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成		・ずれ止めには $\phi 22$ のスタッドシヤベルを採用。	
	・横桁は腹板厚を14.3mmと比較的厚くし、補剛材を用いない。 ・荷重分配用の縦桁を設けない。				
架設工法	主桁：張り出し架設工法 主塔：クライミングフォーム工法				
特記事項	・本案は比較検討案であり、実際はPC斜張橋が採用された。 ・入札価格：PC斜張橋；71.1(百万ドル) 合成斜張橋；73.8(百万ドル)				
参考文献	・DESIGN OF A CABLE-STAYED STEEL COMPOSITE BRIDGE (ASCE 1986)				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

資料番号	11	橋名	Bay Town 橋
------	----	----	------------

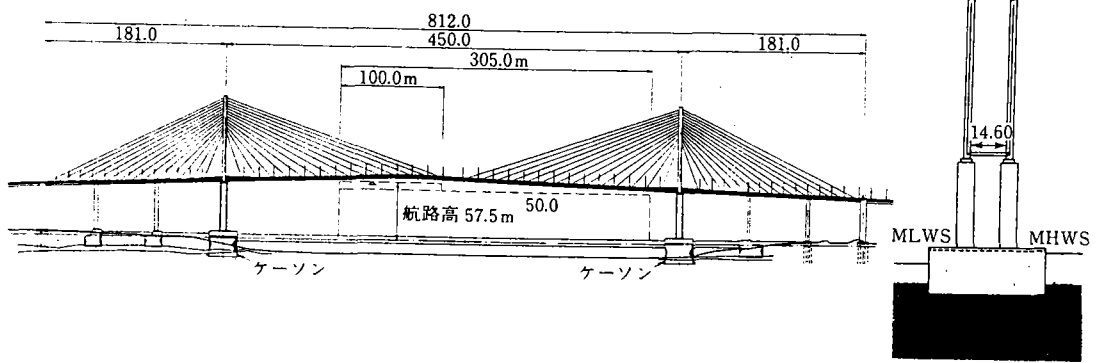


合成斜張橋実績データ記入フォーマット（その2）

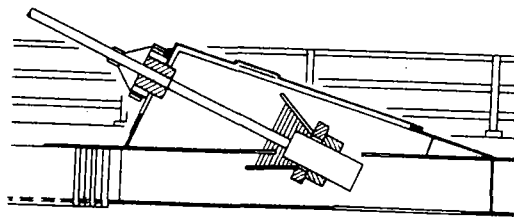
資料番号	11		橋名	Bay Town 橋		
国名	アメリカ合衆国		種別	道路橋		
施主	テキサス州道路公共交通局 (SDHP)					
設計	Greiner, Inc. (米国) , Leonhardt Andra and Partners (ドイツ)					
施工	Williams Brothers Construction Co., Inc. , Traylor Bros. Inc. (共同企業体)					
架橋地点	テキサス州ヒューストン近郊のベイタウン		路線名	146号線		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)	
竣工・総鋼重	1987年春～1993年春		1993年春		4,385	
主要諸元	スパン割	146.9m+381.0m+146.9m = 674.8m		幅員	(全幅)23.83m (有効)21.95m	
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)	
	床版	フレキシブルRC床版	(厚) 20cm(+保護層10cm) 床版支間 4200mm	フレキシブルRC床版	床版 6850 m ³ ホコ層 2980 m ³	
	主桁	プレートガーダー(2主桁)	(高)1540mm UFlg 256*16 LFlg 813*38～67	tw=20～32 不明	4385 t (148 kgf/m ²)	
	形式・材料	塔	ダブルガーダー型RC塔	(高) 129.84 m(フチング上幅 29.6m * 2 = 59.2m	RC、横梁のみフレキシブル導入	5760 m ³
		ケーブル	vs1ケーブル	(最大径) 40.6cm (最大本数) 15.2φ*61本		249 t
		(防食法) 現場製作によるPC鋼より線を2重PE管グラウト保護				
設計	合成の種類	死荷重重合成・活荷重合成		・床版は場所打ちRC床版で計画されたが、フレキシブル床版に変更された。 ・活荷重合成となったため鋼重は当初より17%増加した。 ・橋面積 674.8m * 21.95m * 2 = 29624 m ²		
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルは黄色のテトラテプ巻き ・主塔は移動支保工によるスリップフォーム工法 ・ 					
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・上下線分離構造で総幅員52.34mは、斜張橋として世界最大 ・ダブルガーダー型タワー 					
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・長大橋の橋梁計画と..., "橋と景観 北アメリカ編", 海洋架橋調査会, 1990. 12 					

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

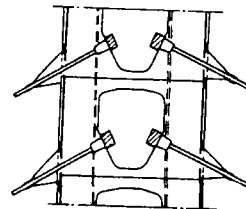
資料番号	12	橋名	Queen Elizabeth II 橋
------	----	----	----------------------



一般図



(a) 主桁側



(b) 塔側

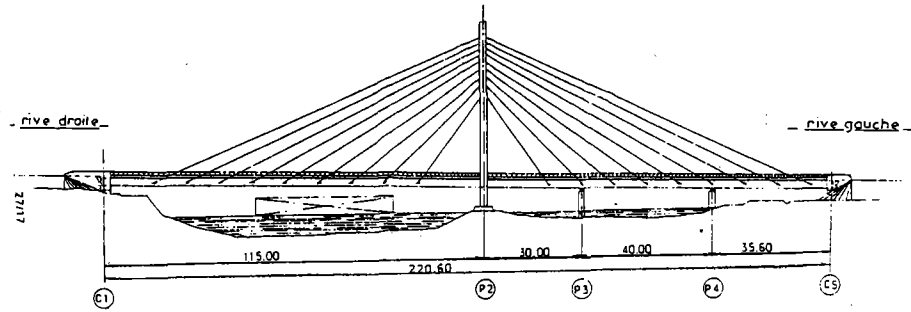
ケーブル定着部

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その2)

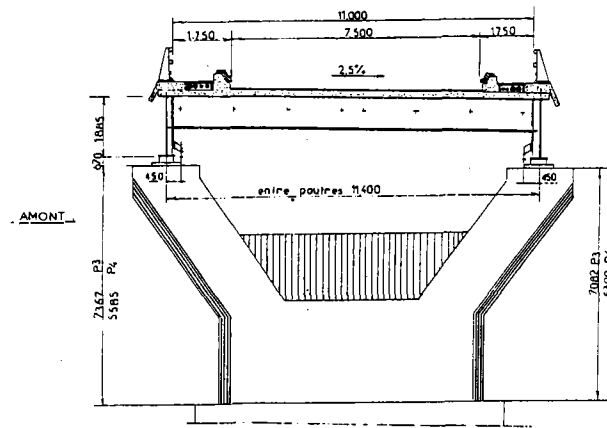
資料番号	12		橋名	Queen Elizabeth II 橋		
国名	イギリス		種別	道路橋		
施主	Dartford River Crossing Limited					
設計	Cleveland Structural Engineering Limited and Dr.ing. Homderg					
施工	Cementation Cleveland Dartford Consortium					
架橋地点	ロンドン市 テームズ川河口		路線名	ロンドン環状道路M25		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)	
竣工・総鋼重	1988年7月～1991年9月		1991年9月		19,054 (高架橋部含む)	
主要諸元	スパン割	181.0m +450.0m +181.0m = 812.0m		幅員 (全幅)	14.6m (有効)	
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)	
	床版	RC合成鋼床版	(厚) 120mm		} 9,000 (0.759kgf/m ²)	
	主桁	鋼床版箱桁	(高) 2000mm			
	形式・材料	塔	鋼製独立2本柱	(高) 84.0m		
		ケーブル	準ハープ型	(最大径)φ164mm (最大本数) 112本 (2面マルチケーブル(14段))		1,500
		(防食法) 鋼線をメッキし、かつ外層を塗装している。				
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成		・ケーソン基礎の寸法は一般的な基礎の約2倍になっている。 ・風洞実験を行い。耐風対策として主径間部にウインドシールドカバー (H=1.2～1.3m) を取り付けた。		
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ・主桁：張り出し架設。(サイクル架設の日数は10日、最小8日である) ・RC床版打設は、主桁閉合時である。 					
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・水面から137mの高さの塔は、主塔から上の鋼製の部分と下のコンクリート製のピア部分とも独立した2本のシャフトで、この2本の間に横梁がない。 ・総工費8600万ポンド ・RC床版と鋼床版とはスタッドで合成している。 					
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・川田忠樹：複合構造橋梁，技報堂，pp.196-198，1994 ・橋梁の景観・デザインと施工技術訪欧調査団調査報告書，pp.33-35，1992.11 ・P. M. DEASON、M. J. MILLER：Queen Elizabeth II Bridge, Dartford, England, Structural Engineering International, MAY 1992, IABSE, pp.134-136 					

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

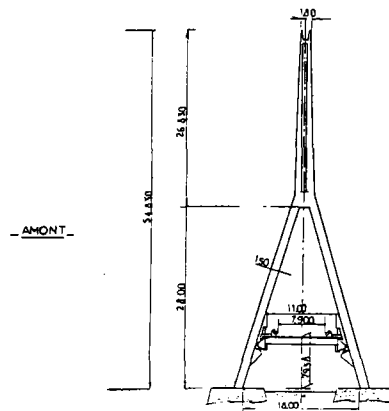
資料番号	13	橋名	Seyssel 橋
------	----	----	-----------



側面図



断面図



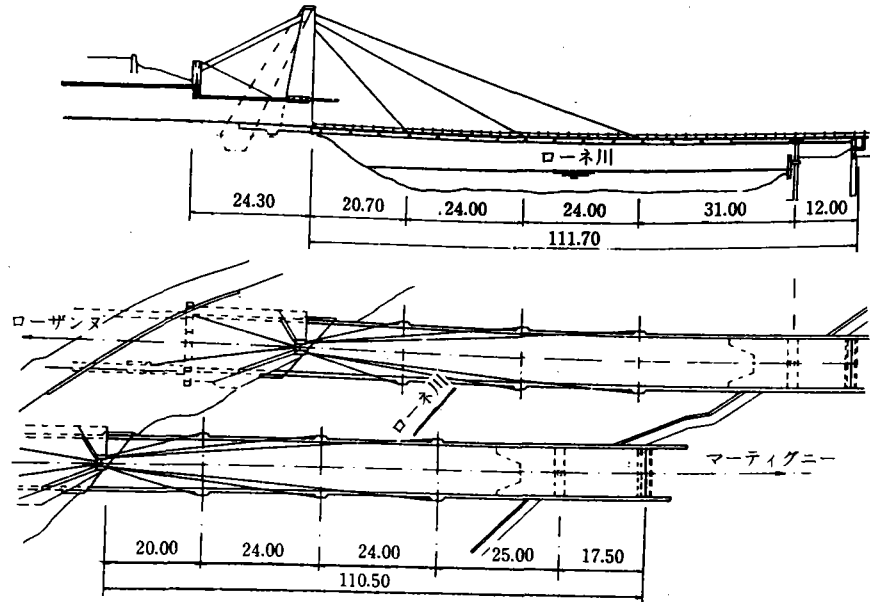
主塔断面

合成斜張橋実績データ記入フォーマット（その2）

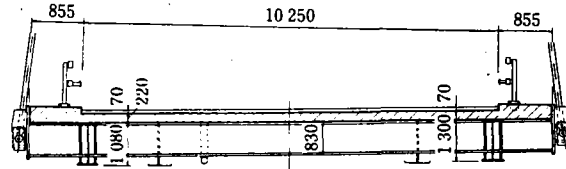
資料番号	13		橋名	Seyssel 橋	
国名	フランス		種別	道路橋	
施主	Departements de l'Ain et de la Haute Savoie Direction Departementale de l'Equipement de l'Ain assistee du SETRA				
設計					
施工	LEON GROSSE(コンクリート)、BAUDIN-CHATEAUNEUF(鋼桁)、TECNOR(ケーブル)				
架橋地点	Rhône river		路線名		
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重			1990年		
主要諸元	スパン割	115m + 105.6m = 220.6m		幅員	(全幅)12,000m (有効)11,000m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
	床版	PC	(厚) 200mm		
	主桁	鋼桁 (2主桁)	(高) 1900mm 主桁間隔 11400mm		(kgf/m ²)
	塔	逆Y型 RC	(高) 56.0m		
	ケーブル		(最大径) φ88mm	(最大本数)	
設計	合成の種類	死活荷重合成・活荷重合成		・2径間の中で、短いスパンの方は中間支点を有する。	
架設工法	<ul style="list-style-type: none"> ・C5側(中間支点を有する支間)は送り出し架設。 ・C1側:架設済の桁上に架設用の柱を設け、仮ケーブルにより、塔からアハットC1方向へ、途中まで(約65m)架設し、第5段目のケーブルを架設した。残りの桁はペントを建て、アハット側から送り出し架設を行った。両者を結合した後、ケーブルの架設をした。 				
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・景観を重視し、ケーブル間隔およびアンカー定着部の配置を、塔を中心に左右対象にした。 ・ケーブルに関しては疲労試験も行った。 				
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・J. MAZOU : CHEVIRE AND SEYSSSEL BRIDGES, International Symposium on Steel Bridges in April 1992, Paris , pp.27/1-27/19 				

合成斜張橋実績データ記入フォーマット (その1)

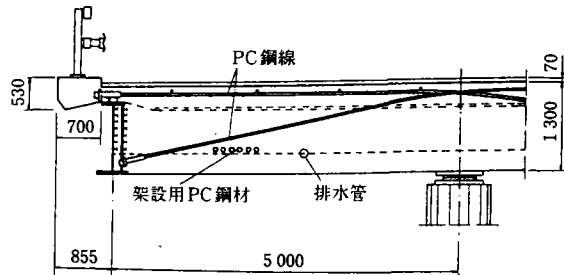
資料番号	14	橋名	Saint Maurice 橋
------	----	----	-----------------



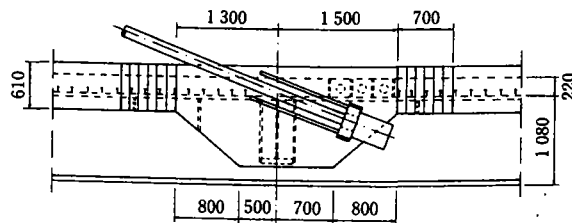
(a) 一般図



(b) ケーブル定着位置における桁断面



(c) 橋脚上のPC横桁



(d) 桁側ケーブル定着部

合成斜張橋実績データ記入フォーマット（その2）

資料番号	14		橋名	Saint Maurice 橋	
国名	スイス		種別	道路橋	
施主	Bureau de construction des autoroutes				
設計					
施工	Département des Travaux Publics du Canton de Vaud				
架橋地点	Rhône river		路線名	route nationale RN9	
工期(上部工)	工期		竣工		総鋼重 (t)
竣工・総鋼重	1985年2月～1987年6月		1987年6月		275
主要諸元	スパン割	A 100.0m , B 93.0m		幅員	(全幅) 11.710m (有効) 10.250m
	部材	形式	主要寸法	材質・その他	重量 (t)
	床版	鉄筋 コンクリート	(厚) 220mm		
	主桁	鈹桁 (2主1桁)	(高) 1080mm 主桁間隔 10000mm	Fe510C, D	275 (100 kgf/m ²)
	塔	鉄筋 コンクリート	(高) 26.0m		
	ケーブル		(最大径)	(最大本数) 298本	
設計	合成の種別	死活荷重合成・活荷重合成		・床版は斜張ケーブルの水平分力により、また、斜張ケーブルの外側では緊張材によってそれぞれ橋軸方向にプレストレスしている。	
架設工法	・ベントを用いた押出し工法				
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・メインケーブルとバックステイクケーブルを交換できる手段で施工し、メインケーブルは高欄の外側に設けた鋼製枠に取り付けた。 ・景観、経済性を考慮して、2橋並列の斜張橋と決定した。 				
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・Zwahlen & mayr: 10 Bauen in Stahl Construire en Acier Costruire in Acciaio, pp. 135-140, 1987 ・Nather, F: Verbundbrücken-Stand der Technik-Perspektiven für die Zukunft, stahlbau 59, H. 10, pp. 289-299, 1990 ・川田忠樹: 複合構造橋梁, 技報堂, pp. 26-27, 1994 				

4. 2. 3 分析とまとめ

本節では、合成斜張橋の現状と構造特性を把握するために、14橋の実績調査を元に分析を行った。

まず、明確な傾向を得るため表-4.2.1に示す項目に着目し、その内容を図-4.2.1～図-4.2.6に示すようにグラフ化した。

表 - 4. 2. 1

分 析 項 目	参照グラフ
主桁形式の比率	図-4.2.1
主桁形式と最大支間長	図-4.2.2
桁高と最大支間長	図-4.2.3
活荷重合成と死活荷重合成の比率	図-4.2.4
床版形式の比率	図-4.2.5
R C主塔と鋼主塔の比率	図-4.2.6

次に、上記分析より下記に示す合成斜張橋の現状と構造特性を得る事ができた。

- ・主桁形式としては、I桁（2主桁）が主流である。
- ・最大支間長が500mまではI桁で、それ以上の長支間では箱桁が使用されている（資料番号1の仲良い橋は工場敷地内に架設された橋梁なので、本分析では対象外とする）。これは支間長が600mと長くなると、I桁では応力が大きくなるため小型の箱桁に変更したものと考えられる。
- ・支間長に関係なく、桁高は一定（2.0m前後）である（資料番号1の仲良い橋、資料番号5の Karnali River橋及び資料番号14の Saint Maurice Bridgeは架設条件・主桁形式が特殊なので対象外とする）。
- ・活荷重合成の比率は全体の約60%で、死活荷重合成より多く使用されている。
- ・床版形式は、全体の約2/3がプレキャスト床版である（そのうち全体の1/2がRC床版、1/6がPC床版）。これは、クリープ及び乾燥収縮による力を低減するためである。
- ・主塔については、全体の約70%がRCである。

主桁形式の比率

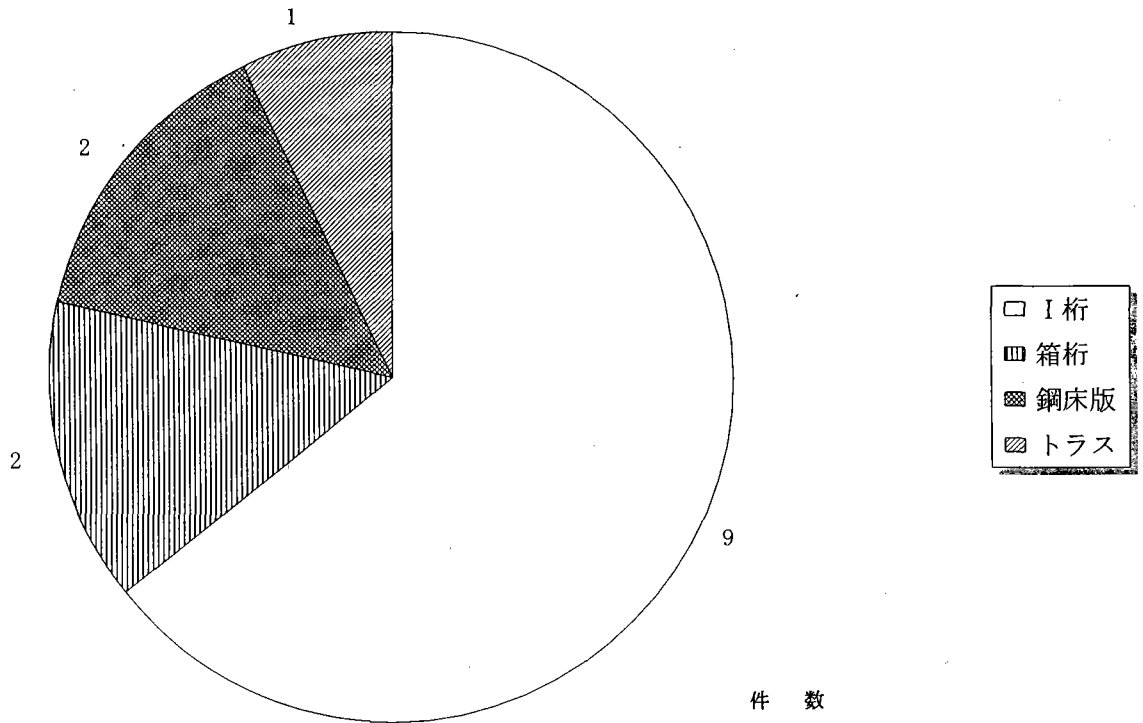


図 - 4. 2. 1

主桁形式と最大支間長

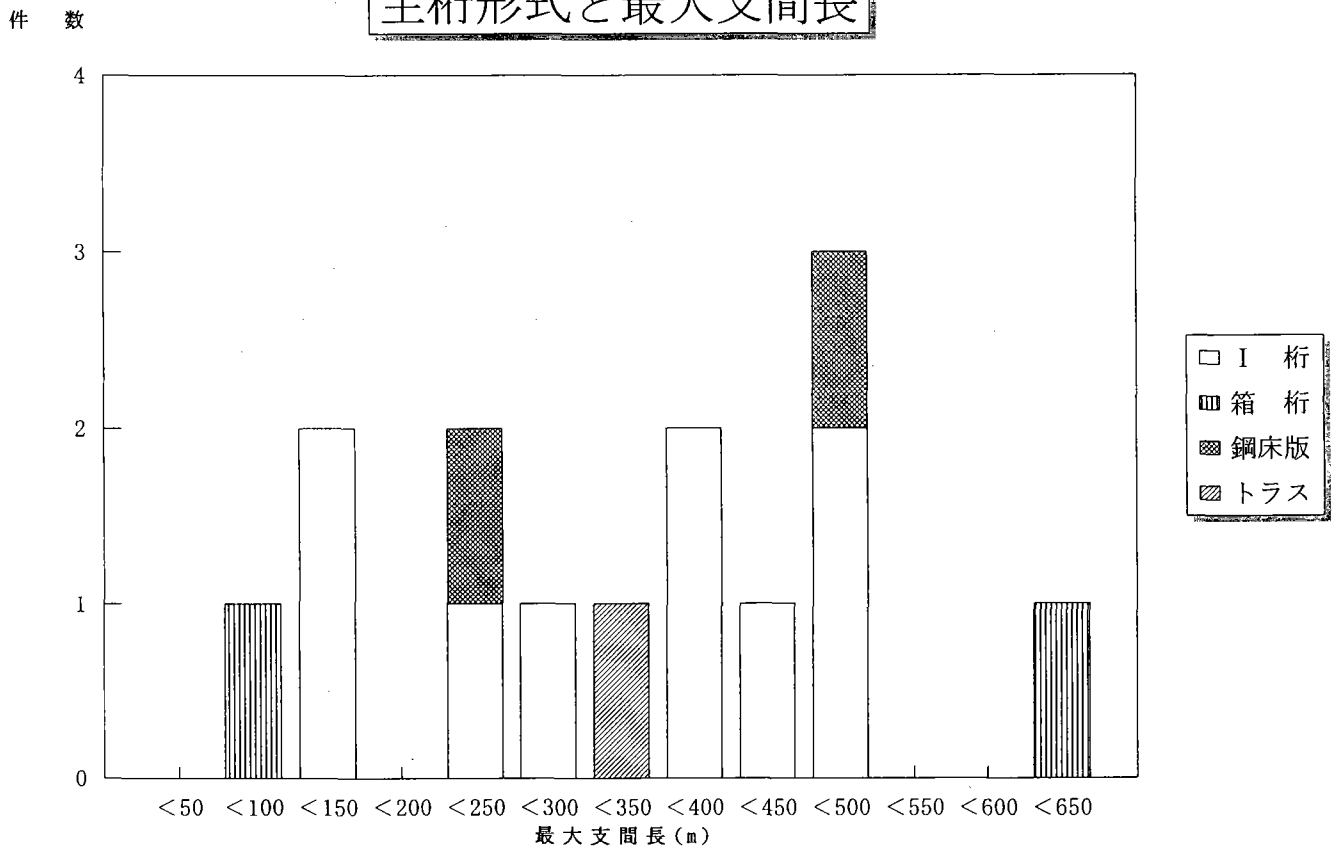


図 - 4. 2. 2

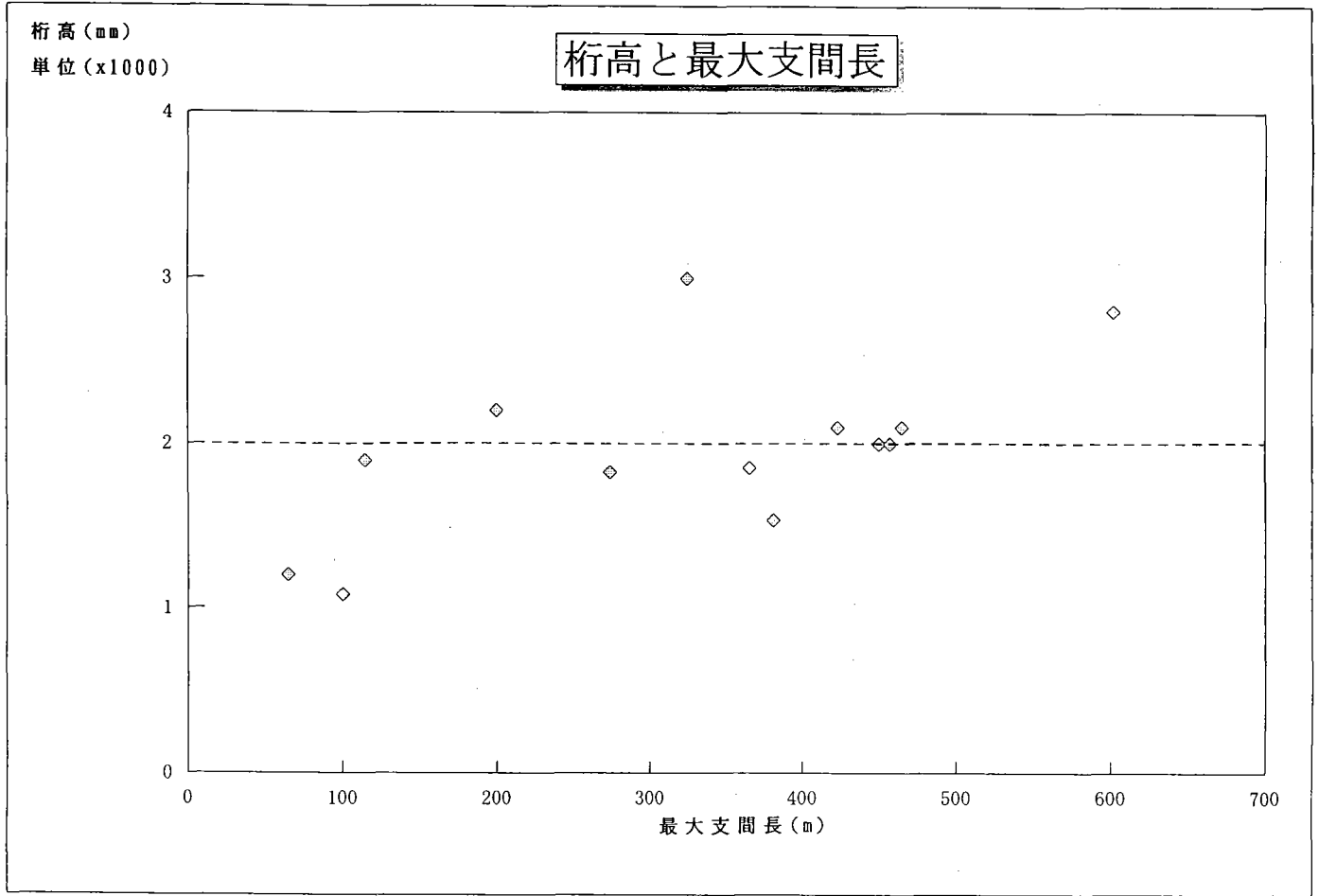


図 - 4. 2. 3

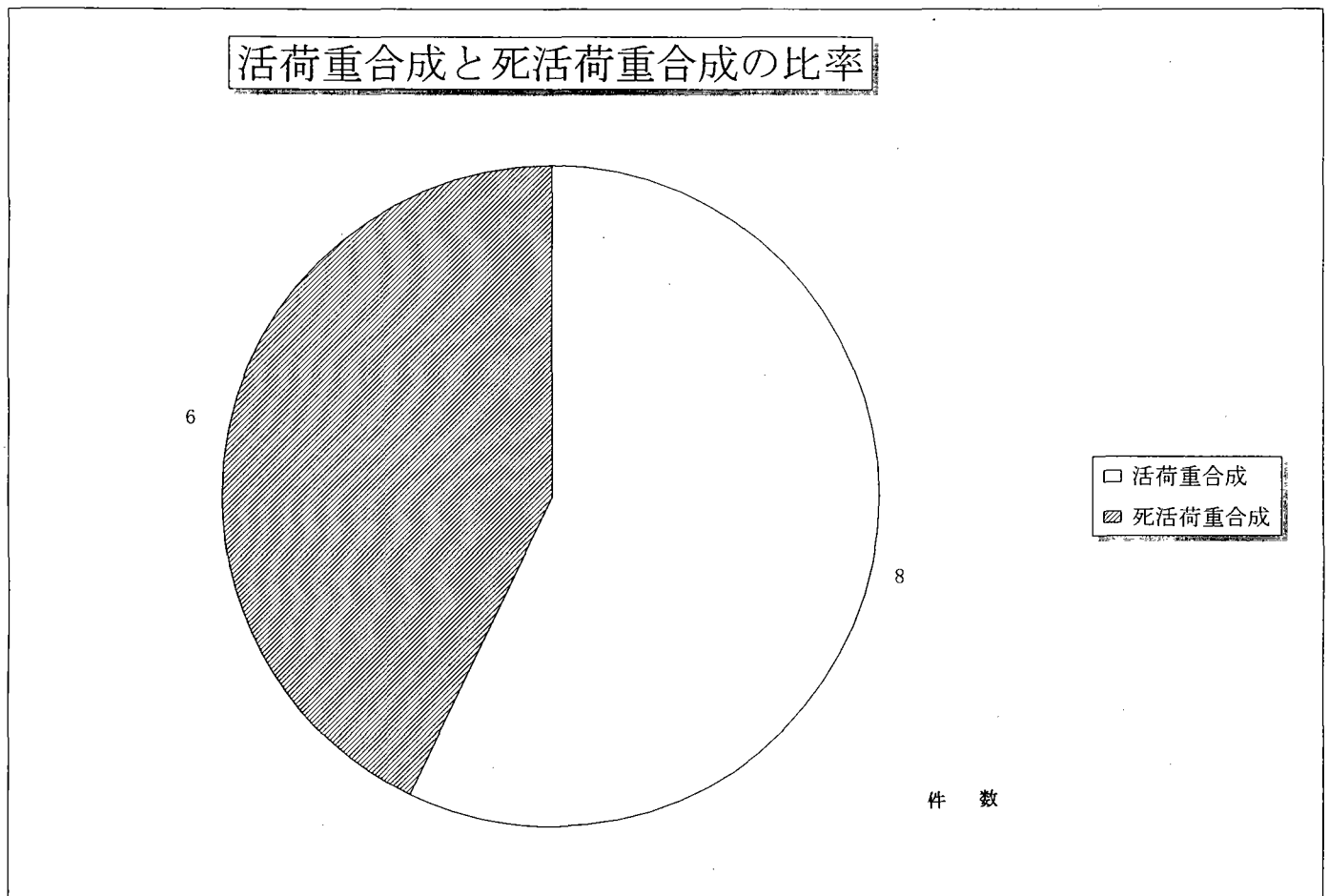


図 - 4. 2. 4

床版形式の比率

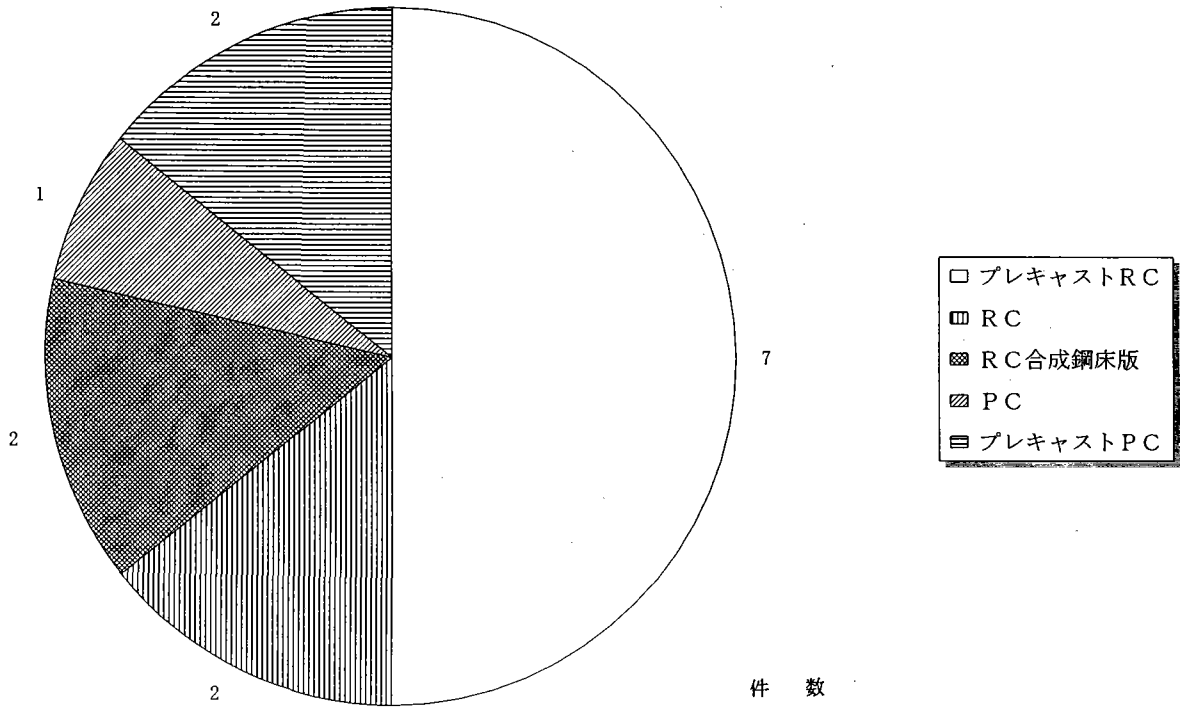


図-4.2.5

RC主塔と鋼主塔の比率

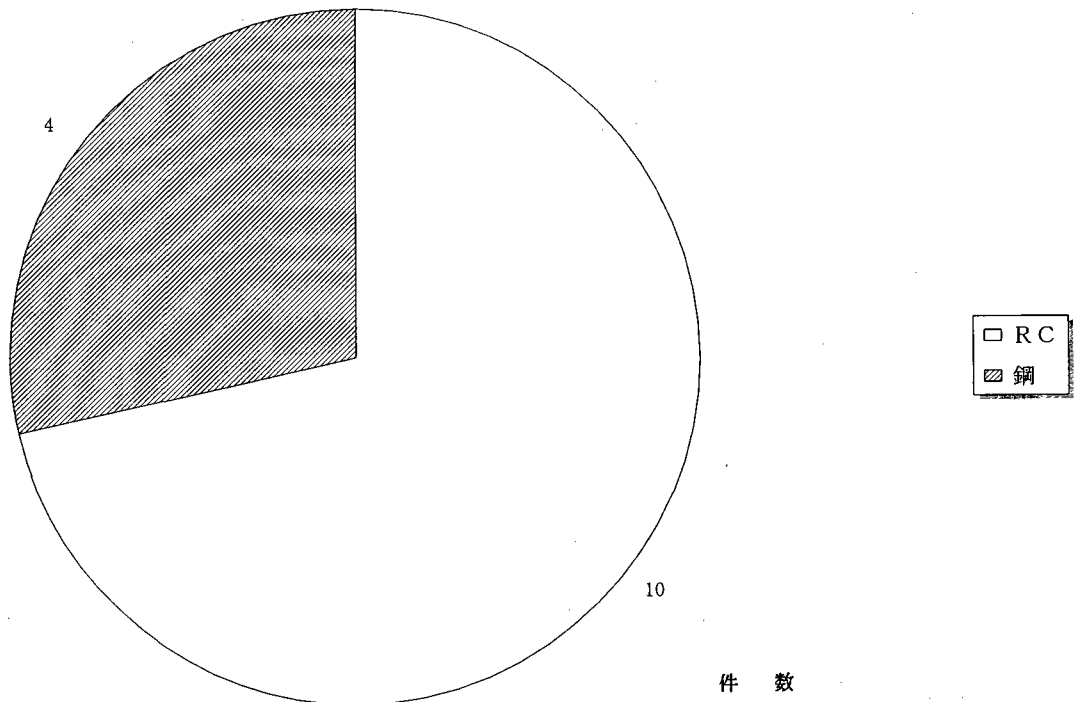


図-4.2.6

実績調査データベース

資料番号	橋名	種別	総鋼重 (t)	最大支間長 (m)	全幅員 (m)	有効幅員 (m)	床版形式	床版厚 (mm)	床版プレストレス 導入方向	床版支間 (mm)	主桁形式	桁高 (mm)	塔形式	合成の種類
1	仲良い橋	道路橋	344.4	65.00	10.00	9.00	プレキャストRC	190	無	2500	2箱桁	1200	鋼H型	活荷重合成
2	南浦大橋	道路橋	---	423.00	30.35	28.85	プレキャストRC	260	無	---	2I桁	2100	H型RC	死活荷重合成
3	楊浦大橋	道路橋	---	602.00	32.50	28.80	プレキャストPC	260~400	---	---	2箱桁	2800	逆Y型RC	活荷重合成
4	Vidyasagar Setu 橋	道路橋	---	457.20	35.00	---	RC	230	---	4100	2I桁	2000	鋼柱ラーメン	活荷重合成
5	Karnali River 橋	道路橋	---	325.00	11.30	9.30	プレキャストRC	229	---	3300	2トラス桁	3000	鋼2層ラーメン	活荷重合成
6	重陽大橋	道路橋	4581.0	200.00	27.50	24.00	RC合成 π 形鋼床版	80	---	---	鋼床版 π 形	2200	H型RC	活荷重合成
7	Alex Fraser 橋 (Annacis 橋)	道路橋	7298.0	465.00	32.00	25.40	プレキャストRC	215	有(橋直方向)	4500	2I桁	2100	H型RC	死活荷重合成
8	Bayview 橋	道路橋	---	274.31	13.79	9.75	プレキャストPC	229	有	2210	2I桁	1829	H型RC	死活荷重合成
9	Weirton-Steubenville 橋	道路橋	---	249.94	28.04	---	プレキャストRC	216	---	2438	2I桁	---	逆Y型RC	死活荷重合成
10	Sunshine-Skyway 橋(代案)	道路橋	3567.0	365.76	27.99	24.33	プレキャストRC	229	無	---	2I桁	1854	A型RC	死活荷重合成
11	Baytown 橋	道路橋	4385.0	381.00	23.83	21.95	プレキャストRC	200	---	4200	2I桁	1540	ダブルダイヤモンド型RC	活荷重合成
12	Queen Elizabeth II 橋	道路橋	9000.0	450.00	14.60	---	RC合成鋼床版	120	---	---	鋼床版箱桁	2000	鋼製独立2本柱	活荷重合成
13	Seyssel 橋	道路橋	---	115.00	12.00	11.00	PC	200	---	---	2I桁	1900	逆Y型RC	活荷重合成
14	Saint Maurice 橋	道路橋	275.0	100.00	11.71	10.25	RC	220	---	---	2I桁	1080	RC	死活荷重合成

4. 3 塔高の低い合成斜張橋の検討

本節では、比較的大支間において連続合成桁の実用化を図るために、床版に効果的にプレストレスを導入することを目的として、主塔高を低くしケーブル角度を小さくした合成斜張橋について試設計を行い、その構造特性および概略鋼重について他の構造形式(プレストレスしない連続合成I桁橋と連続非合成箱桁橋)と比較検討を行った。

4. 3. 1 合成2主I桁斜張橋の試設計

(1) 設計条件

本検討で対象とした、従来の斜張橋の塔高を低く計画した(短塔型)合成2主I桁斜張橋の側面図と断面図を図-4.3.1に、設計条件を表-4.3.1に示す。支間割りには、4.3.2項で示す他の構造形式と比較検討するために、中央径間長100m、側径間長60mの3径間連続とする。なお、この形式はケーブルが桁端部まで伸びておらず、支間長比がこれまでの斜張橋に比べて比較的自由に選定できるという利点がある。塔高は通常の鋼斜張橋の塔高支間長比の半分程度の10mとする。また、床版はプレキャストPC床版とし、床版厚を300mm(ただし、ハッチ部は400mm)とする。なお、死活荷重合成桁とし、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響については4.4節で検討を行うものとして、ここでは考慮していない。

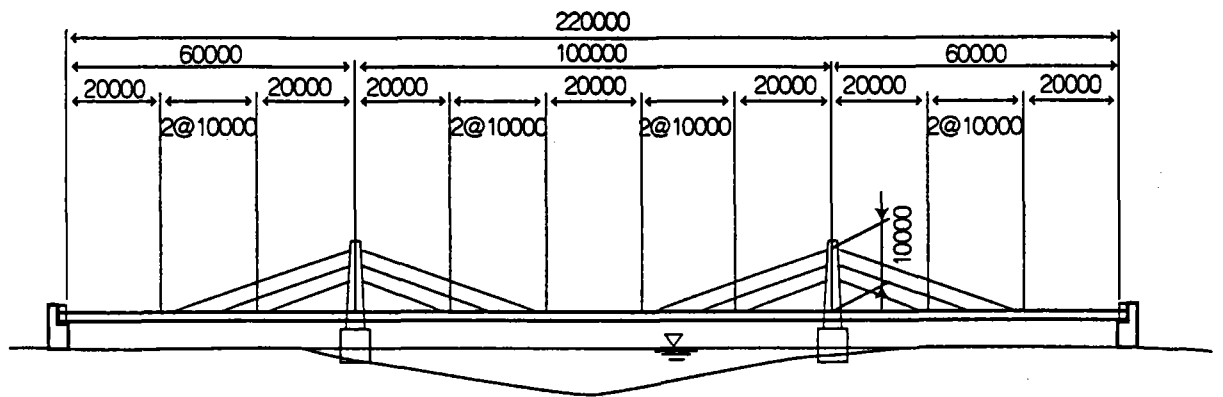
(2) 試設計結果

死・活荷重時に桁に発生する断面力については、4.3.3項でプレストレスしない連続合成桁橋の断面力と比較検討を行う。

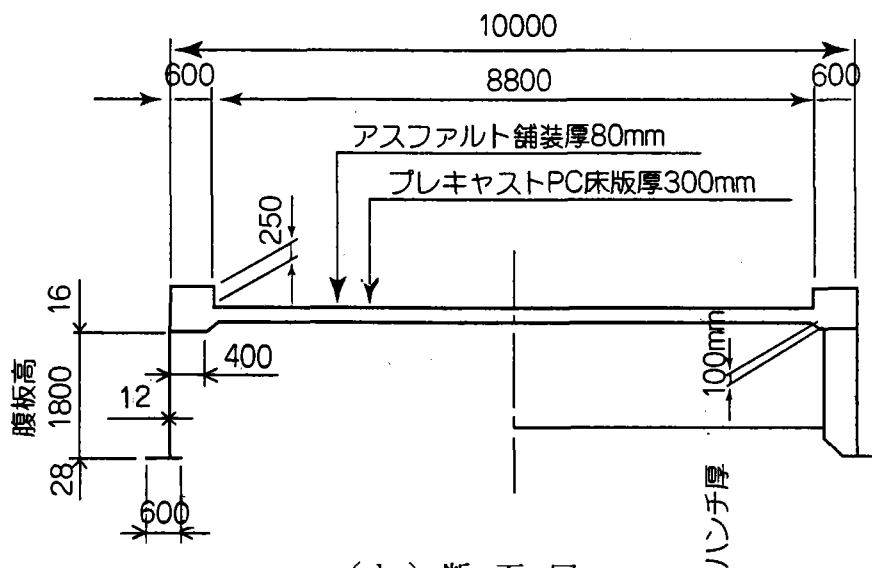
鋼桁に生ずる死・活荷重時の応力度は、圧縮側最大が中間支点上断面の下フランジで約1900kgf/cm²、引張側最大が中央径間中央断面の下フランジで約1600kgf/cm²となった。

次に、コンクリート床版に生ずる応力度であるが、死・活荷重時の応力度のうち引張側最大に着目した応力度の分布図を図-4.3.2に示す。図中の①～④の箇所で、軸力と曲げモーメントによる応力度が引張となっており、床版上縁で最大18.2kgf/cm²、下縁で最大11.5kgf/cm²の引張応力が発生している。そのため、この部分のコンクリート床版には引張力に抵抗するために、通常の配力筋に加えて補強鉄筋を密に配置するか、あるいは部分的に橋軸方向のプレストレスを導入する必要がある。

また、表-4.3.2にケーブルの応力照査結果を示す。活荷重によるケーブルの変動応力は7.5～18.8kgf/mm²であり、疲労の照査式を満足しており、通常の鋼斜張橋に比べて10～20%程度低い値であった。しかし、エクストラードPC箱桁橋に比べると応力変動は大きく、たとえば文献3)によれば小田原ブルーウェイブリッジの場合は変動応力が1.5～3.8kgf/mm²であった。この主な原因として、本橋の場合はエクストラードPC箱桁橋の場合に比べて、主桁の曲げ剛性が小さく活荷重の占める割合が大きいことが考えられる。



(a) 側面図



(b) 断面図

図 - 4.3.1 短塔型合成 I 桁斜張橋

表 - 4.3.1 設計条件

形式	(短塔型) 合成 2 主 I 桁斜張橋
支間長	60.0+100.0+60.0m=220.0m
幅員	全幅：10.0m 有効：8.8m
活荷重	B活荷重
床版	プレキャスト P C 床版 床版厚：300mm
舗装	アスファルト舗装 舗装厚：80mm

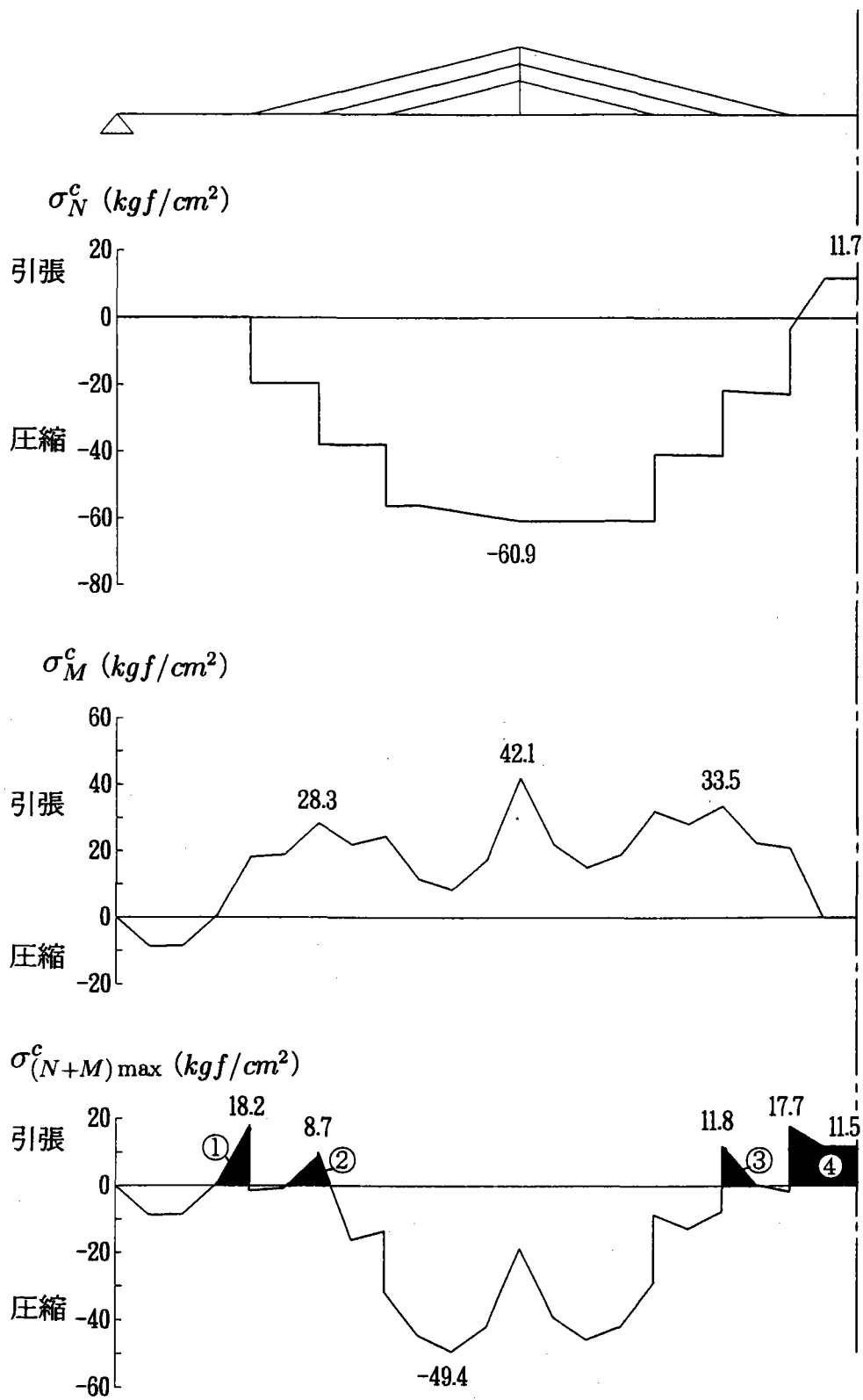


図 - 4.3.2 コンクリート床版の引張側最大応力度図

表-4.3.2 ケーブルの応力照査結果一覧

着目ケーブル		側 径 間						中 央 径 間						備 考
		最上段		第2段		最下段		最上段		第2段		最下段		
部 材 NO.		51	61	52	62	53	63	54	64	55	65	56	66	
断 面 積 A(m ²)		0.00720 (素線数187)						0.00720 (素線数187)						
張 力 (tf)	TD	335.0		335.0		335.0		335.0		335.0		335.0		
	TLmax	49.0		60.5		74.3		81.0		89.6		97.1		
	TLmin	-4.8		-1.5		-25.8		-18.4		-21.3		-38.1		
応 力 度 (kgf/cm ²)	σD	4,653		4,653		4,653		4,653		4,653		4,653		
	σLmax	681		840		1,032		1,125		1,244		1,349		
	σLmin	-67		-21		-358		-256		-296		-529		
最 大 応 力 度 σmax (kgf/cm ²)		5,333		5,493		5,685		5,778		5,897		6,001		≤6400
応 力 変 動 比 K		0.925		0.915		0.866		0.868		0.854		0.824		>0.681
判 定		○		○		○		○		○		○		

注) 応力変動比 K

$$K = \frac{\sigma D + 0.5 \sigma Lmin}{\sigma D + 0.5 \sigma Lmax}$$

ここに、σD : 死荷重による応力度(kgf/cm²)

σLmin : 活荷重による最小応力度(kgf/cm²)

σLmax : " 最大 "

4. 3. 2 連続合成2主I桁橋と連続非合成箱桁橋の試設計

(1) 設計条件

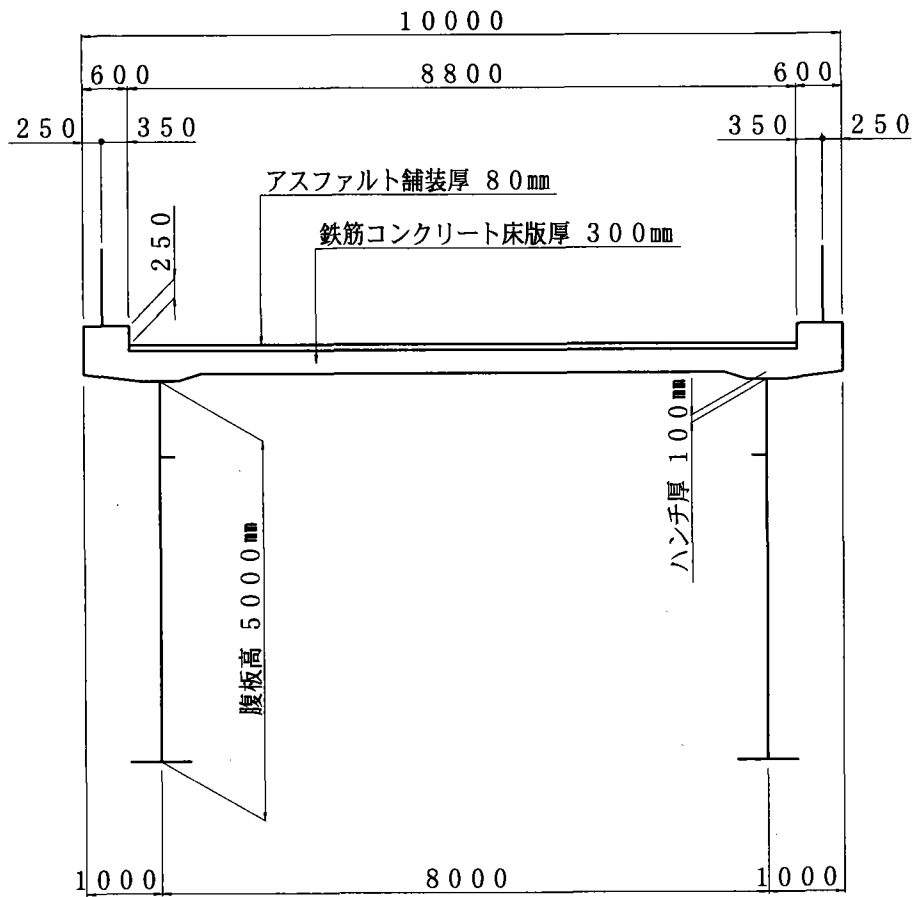
短塔型斜張橋との経済性比較のため、2形式の橋梁について概略設計を行い鋼重を算出した。比較の対象としたのは、連続合成2主I桁橋と連続非合成箱桁橋であり、断面図を図-4.3.3に、設計条件を表-4.3.3に示す。支間割りは短塔型斜張橋と同じく、中央径間長100m、側径間長60mの3径間連続とした。また床版は、連続合成2主I桁橋ではプレキャストPC床版(床版厚300mm、ハチ部400mm)とし、連続非合成箱桁橋ではRC床版(床版厚240mm、ハチ高100mm)とする。なお、断面力は変形法による格子解析により求め、材質はSM490Yまでとして断面を決定する。

表-4.3.3 設計条件

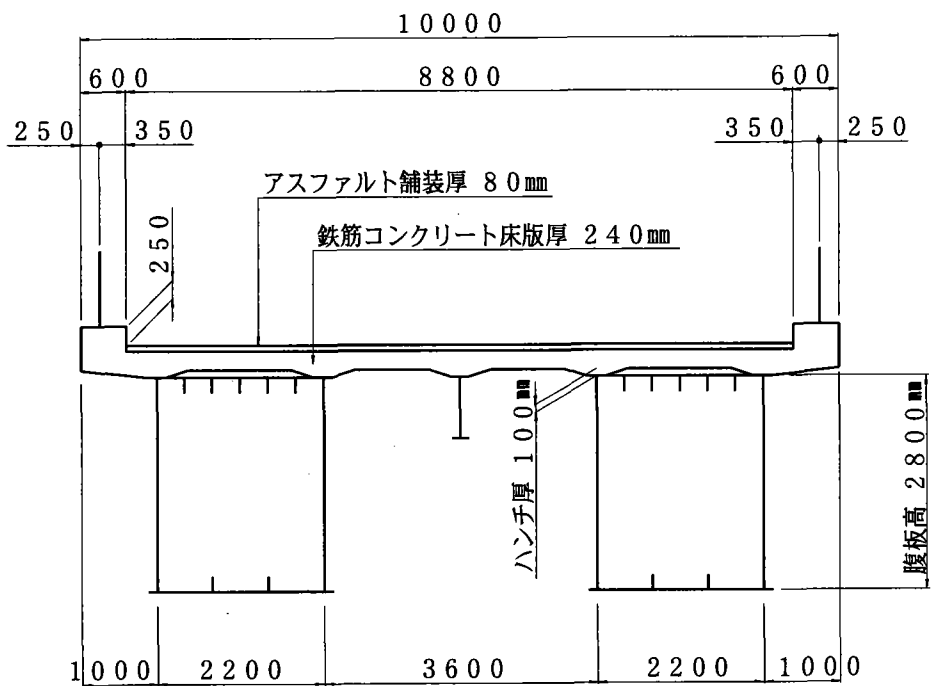
形式	連続合成2主I桁橋	連続非合成箱桁橋
支間長	60.0 + 100.0 + 60.0 m = 220.0 m	
幅員	全幅：10.0 m 有効：8.8 m	
活荷重	B活荷重	
床版	プレキャストPC床版 床版厚：300 mm	RC床版 床版厚：240 mm
舗装	アスファルト舗装 舗装厚：80 mm	

(2) 試設計結果

主要点(側径間中央、中間支点、中央径間中央)での曲げモーメントおよび断面を表-4.3.4に示す。全体鋼重は、連続合成2主I桁橋で870tf、連続非合成箱桁橋で1000tfとなった。



(a) 連続合成2主I桁橋



(b) 連続非合成箱桁橋

図 - 4. 3. 3 断面図

表 - 4. 3. 4 曲げモーメントおよび主桁断面

		側 径 間 中 央	中 間 支 点	中 央 径 間 中 央	
連 続 合 成 2 主 I 桁 橋	曲げモーメント (tf・m)	1 8 0 8 . 0	- 6 6 4 3 . 7	4 3 7 5 . 7	
	断 面 形 状	材 質	SS400	SM490Y	SM490Y
		上フランジ幅 (mm)	3 0 0	8 0 0	4 2 0
		上フランジ厚 (mm)	1 4	4 2	2 2
		腹 板 高 (mm)	5 0 0 0	5 0 0 0	5 0 0 0
		腹 板 厚 (mm)	2 4	2 4	2 4
		下フランジ幅 (mm)	3 0 0	1 0 0 0	7 2 0
		下フランジ厚 (mm)	1 4	4 8	3 2
連 続 非 合 成 箱 桁 橋	曲げモーメント (tf・m)	2 0 4 2 . 2	- 6 4 6 5 . 7	5 0 2 3 . 1	
	断 面 形 状	材 質	SM490Y	SM490Y	SM490Y
		上フランジ幅 (mm)	2 4 0 0	2 4 0 0	2 4 0 0
		上フランジ厚 (mm)	1 2	4 2	2 5
		腹 板 高 (mm)	2 8 0 0	2 8 0 0	2 8 0 0
		腹 板 厚 (mm)	1 1	1 1	1 1
		下フランジ幅 (mm)	2 4 0 0	2 4 0 0	2 4 0 0
		下フランジ厚 (mm)	1 0	4 3	3 1
縦リブ (幅×板厚)	1 9 0×1 9	2 5 0×2 5	2 2 0×2 2		

4. 3. 3 比較検討結果

4.3.1項で設計した合成2主I桁斜張橋および4.3.2項で設計したプレストレスしない連続合成I桁橋の構造特性および概略鋼重を比較検討した結果について、以下に述べる。

(1) 構造特性の比較

死・活荷重時に桁に発生する断面力を比較する。短塔型合成I桁斜張橋の曲げモーメントMと軸力Nの分布を図-4.3.4(a)に、プレストレスしない連続合成I桁橋の曲げモーメントMの分布を図-4.3.4(b)に示す。両図を比較すると、短塔型合成I桁斜張橋の曲げモーメントはプレストレスしない連続合成I桁橋に比べて、中間支点部では約1/10に、中央径間中央部では約1/6に低減されており、ケーブルを用いてプレストレスを導入することによって曲げモーメントが大幅に改善されていることがわかる。

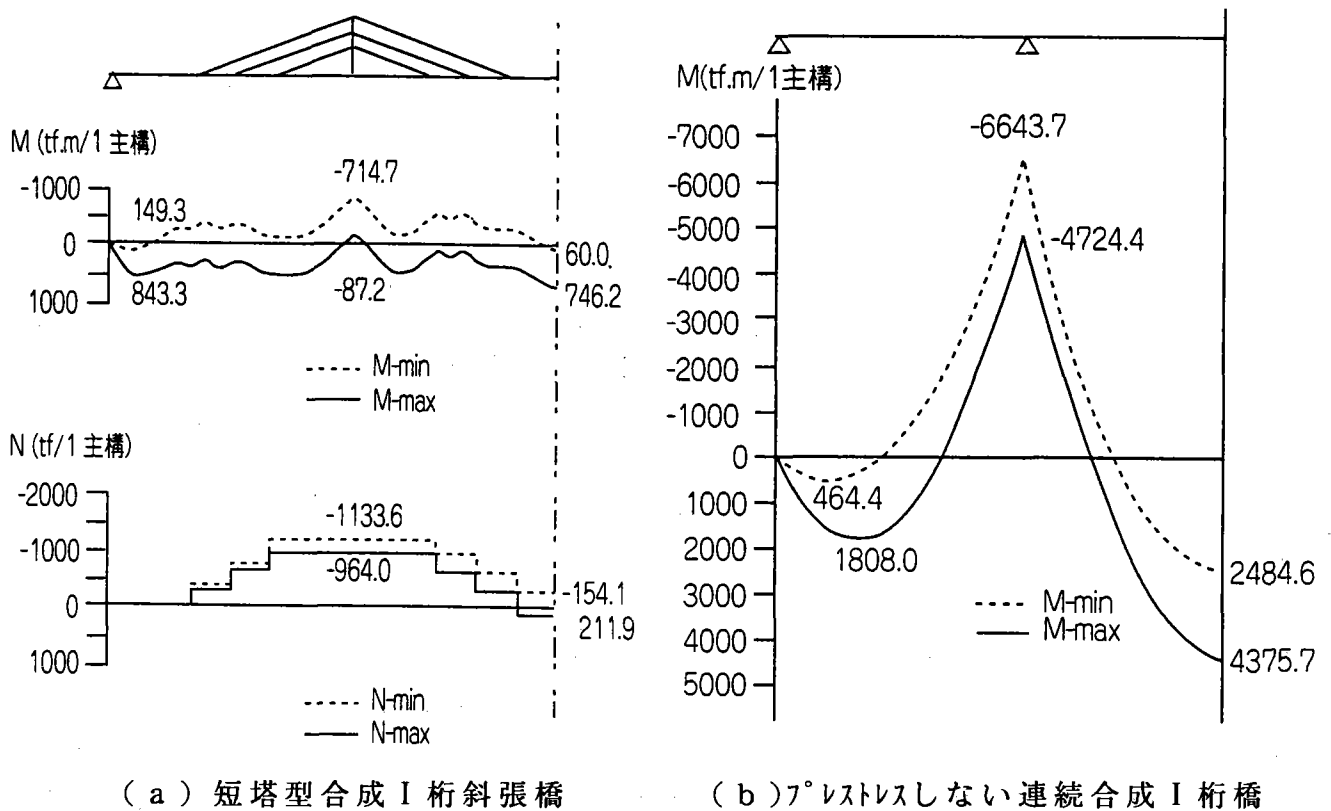


図-4.3.4 桁に発生する断面力の分布図

(2) 概略鋼重の比較

概略鋼重および工費を算出した結果を表-4.3.5に示す。なお、表中の()内の数値は、連続非合成箱桁橋の工費に対する比率を表す。

表-4.3.5 概略鋼重・工費の比較一覧表

	連続非合成箱桁橋	連続合成I桁橋	短塔型合成I桁斜張橋
主構造	1,000 tf (0.92)	870 tf (0.71)	350 tf (0.36)
床版	2,200 m ² (0.07)	2,200 m ² (0.16)	2,200 m ² (0.16)
舗装	1,936 m ² (0.01)	1,936 m ² (0.01)	1,936 m ² (0.01)
工費(比率)	1.00	0.88	0.53

鋼桁の概略鋼重は、プレストレスしない連続合成I桁橋の場合約870tfで、連続非合成箱桁橋の場合約1,000tfであるのに対し、短塔型合成I桁斜張橋では約350tfであった。

概算工費の比は、連続非合成箱桁橋を1.0とすると、プレストレスしない連続合成I桁橋で0.88、短塔型合成I桁斜張橋では0.53であった。また、PC連続ラーメン箱桁橋に比べて、短塔型合成I桁斜張橋は0.85程度であった。

これより、本検討で対象とした支間領域において、短塔型合成I桁斜張橋は他の形式に比べて経済的な構造形式であると言える。

(3) まとめ

本節では、短塔型合成I桁斜張橋の試設計を行い、構造特性および概略鋼重についてプレストレスしない連続合成I桁橋および連続非合成箱桁橋と比較検討を行った。本構造形式を実用化するためには、今後、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮の影響(4.4節参照)、コンクリート床版に生ずる引張力に抵抗するための設計方法、死活荷重合成とするための架設方法等について更なる検討が必要である。

ここでは、他の構造形式と比較するために中央径間長100mの3径間連続桁についてのみ検討を行ったが、短塔型合成I桁斜張橋は競争力を有する有力な構造形式であると言える。

4. 4 クリープ解析

今回提案した塔高の低い合成斜張橋は、4.3 節の比較結果より将来採用が期待される橋梁形式であるが、合成斜張橋の問題点の1つとしては、4.3 節で無視したクリープによる応力の移行があげられる。

ここではクリープ・乾燥収縮の解析を行い、主桁の鋼部材とコンクリート部材とが合成された構造の合成部材内部でのコンクリートと鋼の間での応力の移行状況を把握した。

クリープ・乾燥収縮の検討を行う際の係数としては次の2ケースを考える。

(1) ケース 1 (現場打ち床版を想定)

クリープ係数 $\phi = 2.0$

乾燥収縮 $\varepsilon_s = 20 \times 10^{-5}$ 、 $\phi = 4.0$

(2) ケース 2 (1年程度養生したプレキャスト床版を想定)

クリープ係数 $\phi = 1.0$

乾燥収縮 $\varepsilon_s = 0$

ケース 1 は、クリープ・乾燥収縮の影響を道路橋示方書にしたがった係数である。ケース 2 はプレキャスト床版の使用も考慮に入れて、乾燥収縮は終了し、クリープの影響もかなり小さく評価した係数である。

各ケースでの荷重載荷開始日(荷重載荷日数が0日)と荷重載荷後400日についての応力比較を行う。応力比較を行う点は、図-4.4.1 に示す床版上縁応力と主桁下縁応力とする。比較グラフを、図-4.4.2と図-4.4.3 に示す。なお、図中の応力は死荷重と死荷重+クリープを示し、活荷重による応力は含まないものとする。

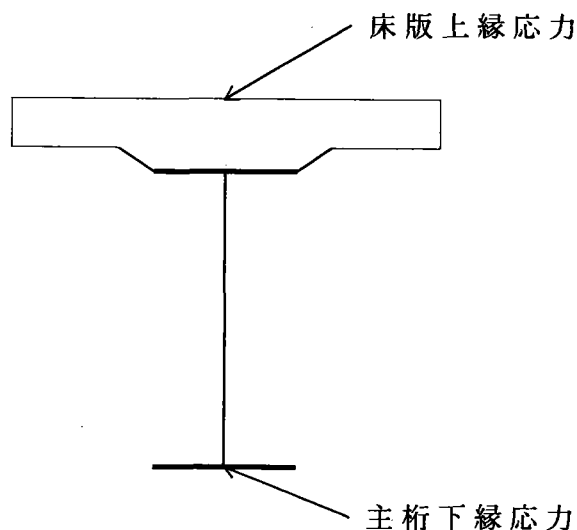


図-4.4.1 応力計算点

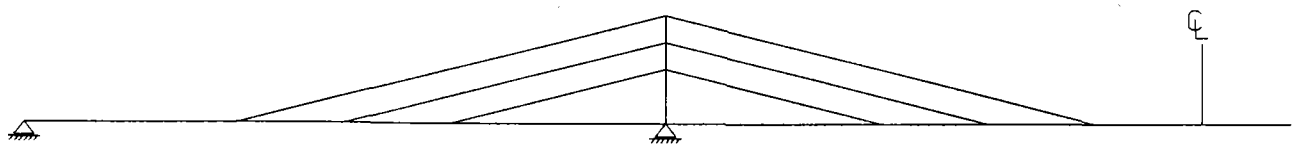
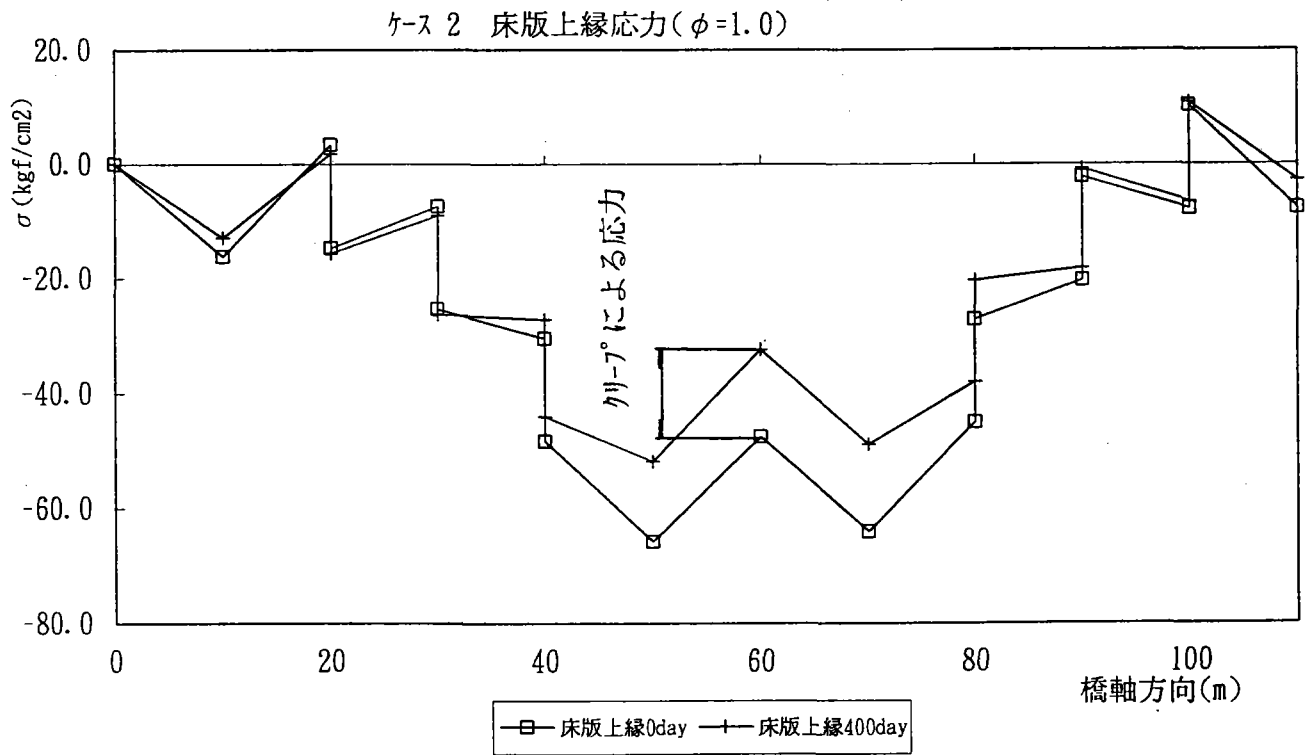
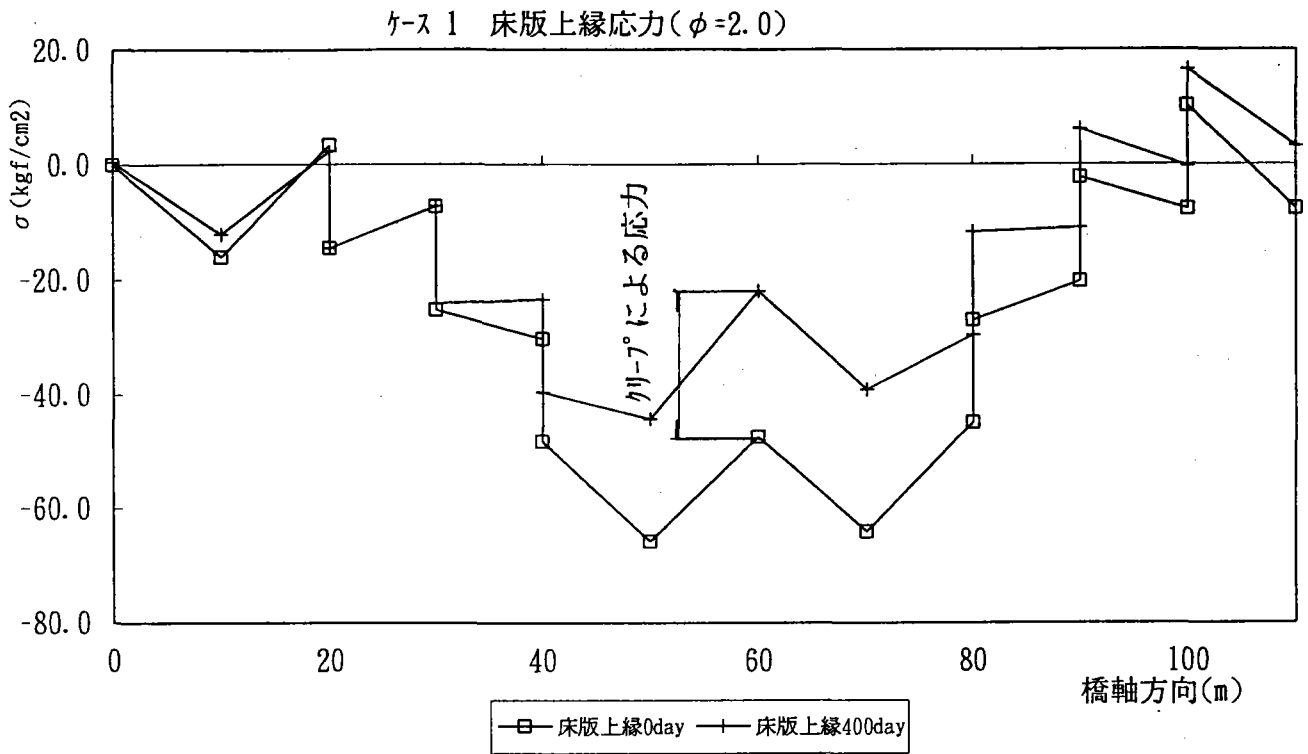
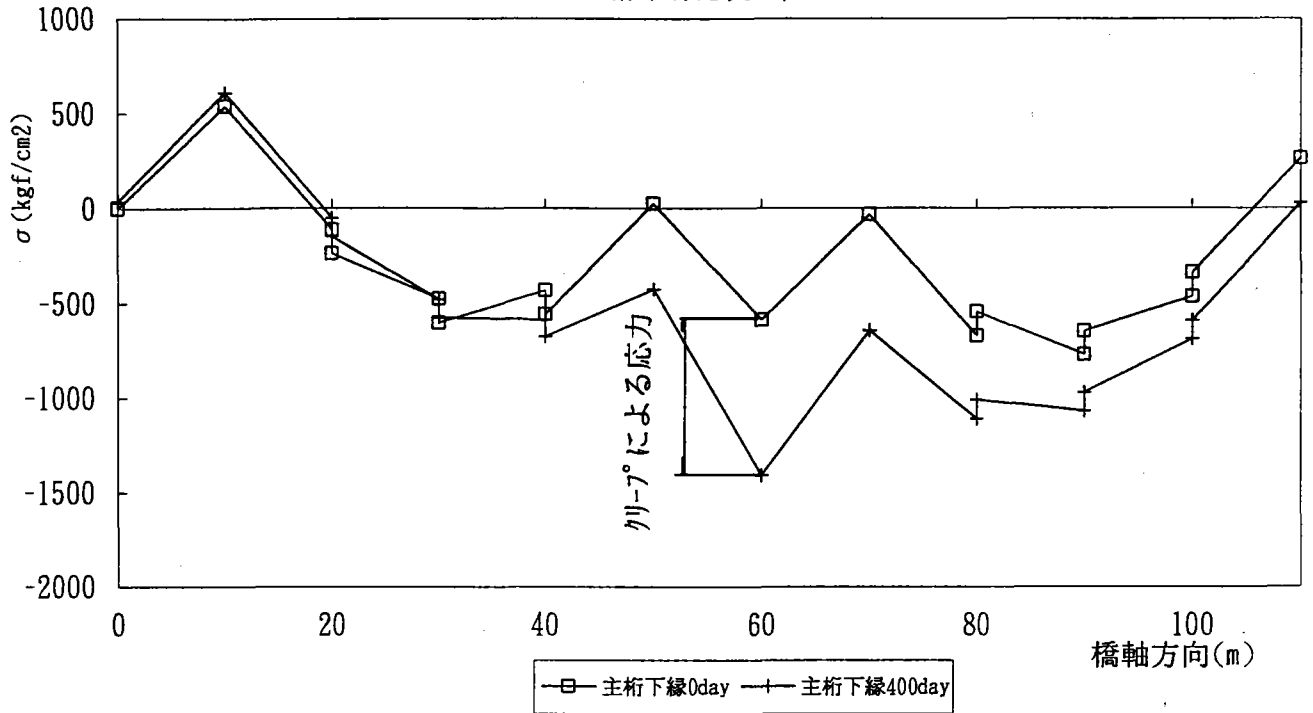


図-4.4.2 床版上縁応力図

ケース 1 主桁下縁応力($\phi=2.0$)



ケース 2 主桁下縁応力($\phi=1.0$)

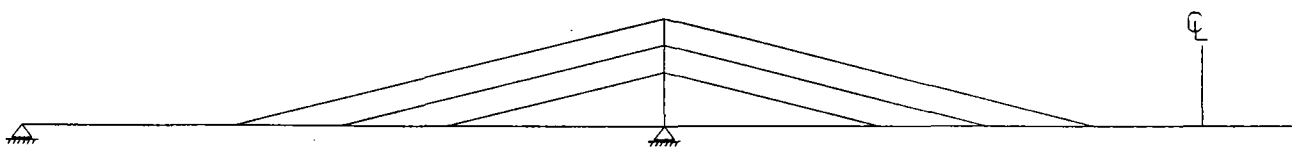
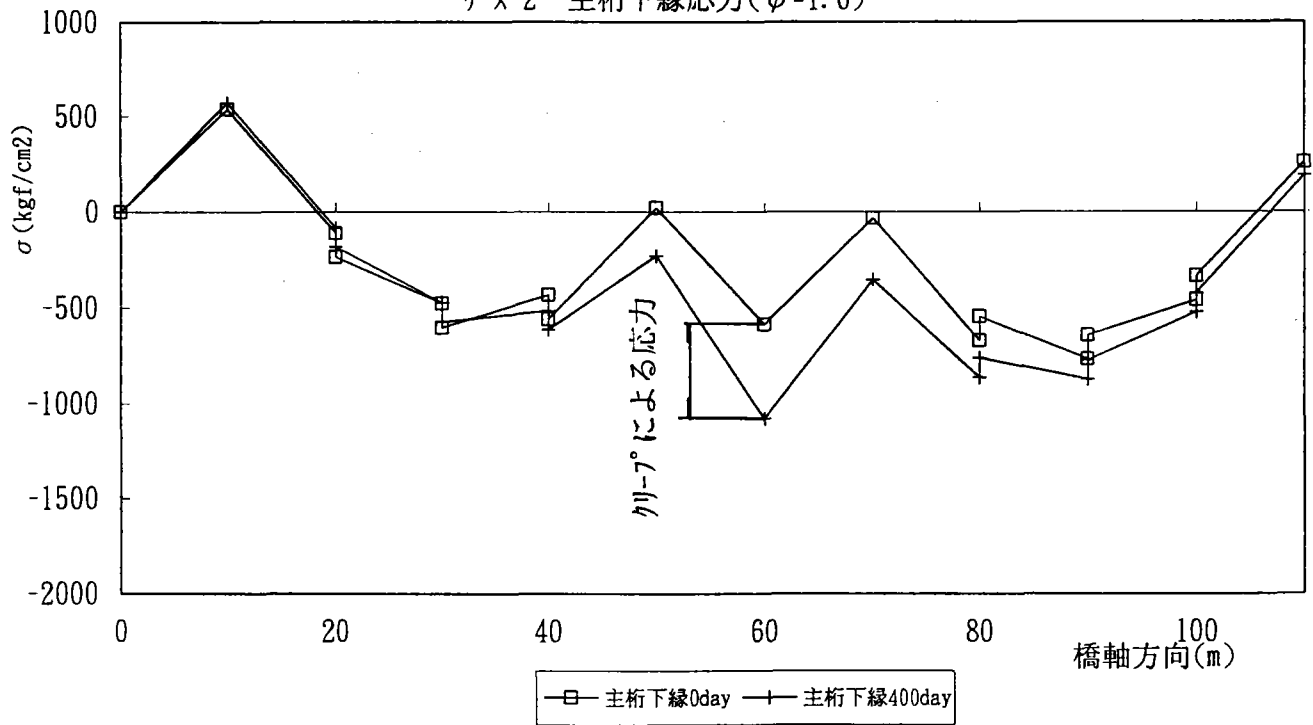


図-4.4.3 主桁下縁応力図

ケース 1 とケース 2 での主塔位置と支間中央部での応力移行値を下表に示す。

表-4.4.1 応力移行値

(kgf/cm²)

	床版上縁応力		鋼材下縁応力	
	主塔位置	支間中央	主塔位置	支間中央
ケース 1	+25.4	+15.5	-823	-232
ケース 2	+15.2	+4.8	-494	-68

符号：+ は引張側への移行
 - は圧縮側への移行

上表より、ケース 1 のクリープ係数を用いると、かなり大きな応力移行が生じるが、ケース 2 のクリープ係数では、ケース 1 に比べてもかなり小さいことがわかる。しかしその場合でも、床版上縁で引張側へ 4.8kgf/cm²、鋼材下縁で圧縮側へ 494kgf/cm²、応力の移行が見られた。

結果として、一般的にはクリープ・乾燥収縮による床版及び主桁への影響はかなり大きいことがわかった。したがって、フレキシブル床版を用いる場合でも養生期間をかなり長くとり、クリープ・乾燥収縮の影響を減らすことが重要である。

また、ケース 2 のクリープ係数をフレキシブル床版に適用する場合は、示した値で妥当であることの確認も含めて、クリープ係数の適正な評価を行う必要があると考えられる。

なお今回のクリープ・乾燥収縮の解析は、埼玉大学奥井助教授にお願いして行ったものである。

4. 5 まとめと今後の課題

本WGの検討内容について4.1～4.4項にて述べてきた。その中で得られた事項や今後検討すべき課題についてここでは述べる。

(1)10数橋の合成斜張橋の実績から着目項目別に分析を加えた。

- ・支間長と主桁形式
- ・主桁高と支間長
- ・死活荷重合成と活荷重合成の割合
- ・主塔形式
- ・床版形式と床版支間方向

これらの分析から、合成斜張橋の標準的な構成として下記の点が言えよう。

(ア)主塔にはRC塔を用いる。

(イ)ケーブルは2面吊りとする。

(ウ)主桁には桁高2m前後のI桁を採用する。

(エ)床版には、プレキャストRC床版を用いる。

(オ)活荷重合成または死活荷重合成のどちらにするかは、判定できなかった。

(2)短塔型斜張橋の競争力

- ・短塔型斜張橋は桁橋と斜張橋の間の支間をカバーする構造形式として今後有力になると考えられる。
- ・箱桁橋、連続合成I桁橋と比較を実施したが、支間長100mで一般的な箱桁橋の工費よりかなり低減する可能性がある。

(3)クリープの影響

- ・場所打ちRC床版を用いた場合と、十分養生したプレキャストRC床版では、クリープの影響による鋼桁への応力移行が約2倍ほど違うことが判明した。検討例では、場所打ち床版で約800kgf/cm²以上、プレキャスト床版では500kgf/cm²程度鋼桁応力の負担が増加している。

(4)検討課題

短塔型斜張橋の実現までの検討課題は以下の通り構造的な問題からコスト的な問題まで種々の課題が残されている。主なものを下記に記す。

(ア)短塔型斜張橋の適用支間長は何mから何mまで他形式より有利か。

(イ)死活荷重合成とするための具体的工法。

(ウ)死活荷重合成と活荷重合成の優位性の確認。

(エ)クリ-フ係数の評価。

(オ)局所的引張力に対する処理(図4.3.2の①～④)

(カ)耐風安定性の確認

(キ)プレキャスト床版を標準とするか、場所打ちとするか。

(ク)ケーブルにPC鋼より線を採用して、現場製作にてケーブルを製作するか。
等いろいろ残されている。

なお、クリープ解析に当たり具体的な数値的検討は埼玉大学の奥井助教授にご協力を頂いた。ここに、感謝の意を表します。

4. 6 参 考 文 献

- 1) 星埜正明：合成斜張橋の現状と構造特性について，鋼橋技術研究会第10回研究成果発表会資料，1995.11.24
- 2) 井澤、平山、富本、佐狐、北川、熊野、長井：塔高の低い合成桁斜張橋の構造特性に関する一検討，土木学会第50回年次講演，1995.9，pp524～525
- 3) 小野寺勇・小泉安雄・春日昭夫・岡本裕昭：エクストラード・スト・PC橋の計画と設計（西湘ハイパス小田原港橋），プレストレストコンクリート，Vol.35, No.3, pp49～58, 1993.5