

中国における斜張橋の応用と発展

山 田 守*
陳 徳 栄**

1. はじめに

コンクリート橋梁の長大化はひとえに PC 技術の発展によるものである。PC 技術の進歩と電算機の発達により、複雑で高度な構造物の建設が近年増加してきている。60 年代以来、橋梁の分野で一番注目を集めているものに PC 斜張橋があり、この斜張橋が今、コンクリート橋の歴史を書き換えようとしている。斜張橋は、長大支間の橋梁に最適であるだけでなく、力学性上最も合理的構造であり、美観にも優れていること、また一方では、施工技術の進歩、耐久性のある諸材料の開発とあいまって、欧米先進国への普及も進んでいる。PC 斜張橋の幕あけは、1962 年、ベネズエラのスパン 235 m の Maracaibo 橋に始まり、以後 20 余年、世界各国において大規模な PC 斜張橋の建設があいついだ。道路橋での最大スパンは、1984 年完成のスペインの Barrios de luna 橋で、中央スパンは 440 m である。道路・鉄道併用橋での最大スパンは、1972 年完成の西ドイツの 148.2

m の Main II 橋である。世界の橋梁専門家および学者は斜張橋に関する設計理論、計算解析手法および施工技術の検討を進めており、これに伴い斜張橋の応用技術と建設実績はかなり高いレベルに達し、長大橋の主な設計提案の一つになっている。

中国では、70 年代の初めから斜張橋の技術導入と理論研究を進めているが、世界的な水準にある諸外国に比べ本格的な発展が十年遅れている。しかし、この 20 年足らずの期間に中国における斜張橋の理論解析や施工業績は著しい発展をとげている（図-1）。現在中国の斜張橋は完成したものおよび施工中のものを含め 32 橋ある（鋼斜張橋は 1 橋のみ）。用途別による分類は道路橋 28 橋（そのうち 1 橋は施工中に倒壊）、鉄道橋 1 橋、水路橋 2 橋、歩道橋 1 橋である。中国における斜張橋の実績および主要技術諸元、図面は表-1 に示すとおりである。

ここでは主として、中国での斜張橋の応用と発展および研究成果について述べる。

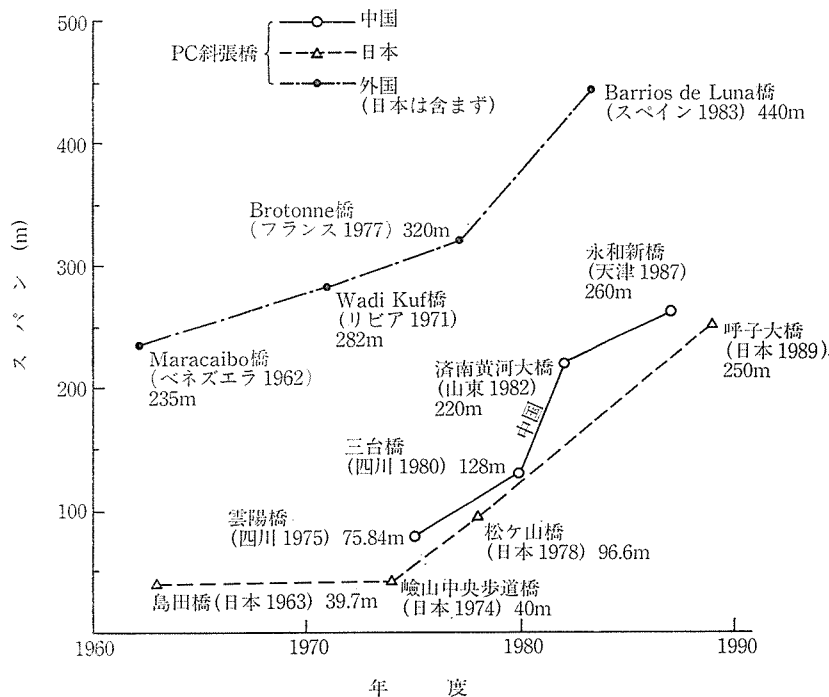


図-1 国内外の PC 斜張橋の最大スパンの推移

* Mamoru YAMADA : (株) 会津工建社 技術開発室長

** Chen de Rong : 赴日高級訪問学者 中国交通部公路科学研究所高級工程師

表-1 中国の斜張橋(1)

番号	橋名 (所在地)	主橋部径間 (主橋部延長) (m)	種類	設計荷重	構造諸元				ケーブル配置			一般図			竣工年	説明	
					主桁 構造形式	幅員 B (m)	桁高 H (m)	主径間 (L)/H	塔高 (m)	形状	間隔 (m)	定着具	正面図	主塔 構造図			主桁 断面図
1	雲陽橋 (四川)	34.9+75.84+34.9 (145.66)	道路	Q-10	RC連続桁	3.44	1.0	75.8	10.73	放射型	10.83	(鑄鉄錨)				1975	ケーブル・クレーン 架設 中国最初のRC斜張橋
2	新五橋 (上海)	24+54+24 (102)	道路	Q-10	RCゲルバー桁 (6m吊桁付き)	3.6	0.95	56.8	14.5	ハープ型	8	BBRV (鉄頭錨)				1975	フローティング・ クレーン架設
3	大沽河橋 (山東)	46+104+46 (196)	道路	Q-15 G-80	RCゲルバー桁 (12m吊桁付き)	10.0	1.2	86.7	17.5	ファン型	15	VSL 環鎖錨)				1977	フローティング・ クレーン架設
4	光復橋 (台湾)	67+134+134+67 (402)	道路	AASHO HS-40	PC中央ヒンジ桁	20.4	1.6	83.8	27.5	放射型	33.5	フレシネー				1977	
5	安康橋 (陝西)	38+120+38 (196)	道路	Q-40 G-100	RCゲルバー桁	12.0	1.6	75	26	ファン型	12 16	VSL (環鎖錨)				1979	ケーブル・クレーン 架設
6	三台橋 (四川)	56+128+56 (240)	道路	Q-20 G-100	PCゲルバー桁 (16m吊桁付き)	11.5	2.0	64	30	ファン型	9	BBRV (鉄頭錨)				1980	ワーゲン場所打ち 中国最初のPC斜張橋
7	紅水河橋 (陝西)	48+96+48 (192)	鉄道	C1	PC連続桁	5.6	3.2	30	26.6	ハープ型	12.12 18	(槽鎖錨)				1980	ワーゲン場所打ち
8	長興島橋 (遼寧)	83.2+176+83.2 (342.4)	道路	Q-15 G-80	PC連続桁	8.4	1.75	100.6	40.62	ファン型	6	BBRV (鉄頭錨)				1981	ワーゲン場所打ち
9	金川橋 (四川)	71+39 (110)	道路	Q-15 G-80	RC連続桁	5.5	1.1	64.5	24.5	放射型	11 13	ディビゲーク (軋線錨)				1981	回転工法
10	柳港橋 (上海)	85+200+85 (370)	道路	Q-15 G-80	PCゲルバー桁 (40m吊桁付き)	11.21	2.2	90.6	42.5	ハープ型	6.5	HiAm (冷鑄鉄頭錨)				1982	張出しブロック架設
11	済南黄河橋 (山東)	40+94+220+94+40 (488)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	19.5	2.75	80	68.39	ファン型	8	HiAm (冷鑄鉄頭錨)				1982	ワーゲン場所打ち
12	章鎮橋 (浙江)	72+54 (126)	道路	Q-15 G-80	PC連続桁	12.3	2.1	34.3	38.5	ハープ型	9	BBRV (鉄頭錨)				1983	ワーゲン場所打ち

表-1 中国の斜張橋(2)

番号	橋名 (所在地)	主橋部径間 (主橋部延長) (m)	種類	設計荷重	構造諸元				ケーブル配置			一般図			竣工年	説明	
					主桁 構造形式	幅員 B (m)	桁高 H (m)	主径間 (L)/H	塔高 (m)	形状	間隔 (m)	定着具	正面図	主塔 構造図			主桁 断面図
13	金雁橋 (四川)	55+55 (110)			RC連続桁	3.5	0.7	78.6	39.9	放射型	11					1983	
14	瀘陽橋 (湖南)	10+25+25+10 (70)	道路	Q-10	連続桁	4.5	0.8	31.3	13	ハーフ型	5	ディビダーク (糸絡錨)				1986	
15	西樵山橋 (廣東)	124.58+110 (234.58)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	16.0	2.08	59.9	59.8	ハーフ型	8	HiAm (冷鈔鋸頭錨)				1987	ワーゲン場所打ち
16	恒豊北路橋 (上海)	76.64+72.8 (149.44)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	24.1	1.5	51.1	50	ハーフ型	4.5	HiAm (冷鈔鋸頭錨)				1987	
17	永和新橋 (天津)	25.15+99.85+260+ 99.85+25.15 (510)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	14.5	2.0	130	54.5	ファン型	11.6	HiAm (冷鈔鋸頭錨)				1987	張出しブロック架設 (アジア第一位)
18	交通学院橋 (重慶)	9.15+27.04+12.78 (48.97)	歩道		FRP連続桁	4.4	0.7	38.6	11.59	ハーフ型	3.3	フレシネー				1986	トラック・クレーン 架設
19	九江橋 (廣東)	160+160 (320)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	16	2.8	57.1	82.9	ハーフ型	8	HiAm (冷鈔鋸頭錨)				1988	主径間斜張橋 ワーゲン場所打ち
20	淮河蚌埠橋 (安徽)	38+76+224+76+38 (452)	道路	Q-30 G-120	PC連続桁	18.8	2.5	89.6	77	ファン型	8	HiAm (冷鈔鋸頭錨)				工事中	
21	東風橋 (雲南)	44.5+100+44.5 (189)	道路	Q-10	RC連続桁	8.0	1.4	71.4	23.5	ハーフ型	8.4	BBRV (鋸頭錨)				工事中	張出しブロック架設
22	舟河橋 (四川)	10+190+70 (270)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	12.0	3.3	57.6	40.4	放射型	3×3	HiAm (冷鈔鋸頭錨)					
23	重慶石門橋 (四川)	200+230 (430)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	24.5	4.0	57.5	114	ハーフ型	7.5	HiAm (冷鈔鋸頭錨)				1988	主径間斜張橋
24	鍵為橋 (四川)	52+66+240+66+52 (476)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	13.3	2.4	100	59.5	ファン型	8	HiAm (冷鈔鋸頭錨)				工事中	ワーゲン場所打ち

表-1 中国の斜張橋(3)

番号	橋名 (所在地)	主橋部径間 (主橋部延長) (m)	種類	設計荷重	構造諸元				ケーブル配置			一般図			竣工年	説明	
					主桁構造形式	幅員 B (m)	桁高 H (m)	主径間 (L)/H	塔高 (m)	形状	間隔 (m)	定着具	正面図	主塔構造図			主桁断面図
25	三元橋 (陝西)	39+88.8+39 (166.8)	道路	Q-10 G-50	連続桁	9.0	1.2	74	31.9	ファン型	6.5	BBVV (鋳頭錨)				工事中	
26	五北溝橋 (陝西)	20+80+20 (120)	水路		連続桁	2.8	1.3	61.5	21.84	ファン型	8	BBRV (鋳頭錨)				工事中	
27	梁家溝橋 (陝西)	18+24+78+10 (130)	水路		連続桁	2.8	1.3	60	43.5	ハープ型	6	BBRV (鋳頭錨)				工事中	ワーゲン場所打ち
28	珠江四橋 (廣東)	35+85.5+175+85.5+35 (416)	道路	Q-30 G-120	PC連続桁	35			60	ファン型	5	HiAm (冷鋳鋳頭錨)				工事中	
29	淮河鳳台橋 (安徽)	38+76+224+76+38 (452)	道路	Q-30 G-120	PC連続桁	18.8	2.5	89.6	77	ファン型	8	HiAm (冷鋳鋳頭錨)				工事中	
30	湘江橋 (湖南)	110+220+110 (440)	道路	Q-20 G-100	PC連続桁	30	3.5	62.9	60	ハープ型	6	HiAm (冷鋳鋳頭錨)				工事中	
31	撫順橋 (遼寧)	51.48+171+51.48 (273.96)	道路	Q-20 G-100	ゲルバー桁	15.7				ファン型	6	BBRV (鋳頭錨)				工事中	
32	東営黄河橋 (山東)	60.5+136.5+288+ 136.5+60.5 (682)	道路	Q-超20 G-100	鋼連続桁	19.5	2.4	120	56.4	ファン型	12	BBRV (鋳頭錨)				1987	張出しブロック架設

注:「定着具」欄()内は中司での呼び方。

2. 橋梁構造概要

2.1 スパン、幅員、塔高

国内外の学者による斜張橋の施工可能性と経済性の論証および従来の実績等によると、斜張橋の経済スパンは200 m～500 m の間にある。

斜張橋のスパン割りとしては全体の剛性を高めるうえで力学特性上のバランスを保つこと、支点の負反力や施工性などのことによって決まることがほとんどである。

中国の斜張橋のスパン割りは3径間タイプと2径間タイプがある。3径間の場合、側径間長 (b)/主径間長 (a) の値は0.4～0.5で、2径間では0.55～0.85の間にある。

中国での最初の斜張橋は1975年に完成したスパン75.84 mのRCテスト橋である。70年代に5橋の斜張橋を造り、その中で最大スパンのものは120 m、幅員の最大のもの12 m、最大塔高のもの26 mであった(台湾省光復橋を含まず)。これらは、実験と探索を目的としており、主要な研究目的は設計と施工に関する経験を重ねることであった。80年代以降、交通荷重の大型化、通行台数の増大、運輸業の急速な発展と斜張橋の設計計算理論の充実と架設技術の業績とが相俟い、中国での長大スパン斜張橋の建設に拍車がかげられ、1982年にはアジアで最大スパンとなったPC斜張橋——山東済南黄河大橋が完成した。当橋は主径間220 m、幅員19.5 m、塔高68.39 mである。続いて1987年には、主径間260 mのPC斜張橋——天津永和新橋、主径間288 mの鋼斜張橋——山東東營黄河大橋を完成した。現在施工中のものには、主径間220 m以上のPC斜張橋が橋ある。そのうち最大のもの塔高114 m(重慶石門橋……1988年12月竣功)、幅員35 mのものである(廣東珠江四橋)。また、現在計画中のものには重慶長江二橋があり、スパンが最も長い斜張橋の提案である。以上のように、中国における斜張橋の建設技術は新しい水準に達することを明確に示している。

2.2 主桁の断面形状および構造形式

主桁の断面形状は自重の軽量化、耐荷力、ねじり剛性耐風耐震安全性の向上を目的として、かつ斜材の面数と定着部の構造、斜材張力の主桁への力の伝達性能などの要素を考慮して選定する必要がある。

中国の斜張橋の場合、主桁の形状にはPC箱形断面の採用が多く、主に1室箱桁、2室箱桁、逆台形多室箱桁および左右にウインドノーズと斜めウェブを有した箱形断面形状などが採用されている。また近年に至っては、鋼箱桁およびFRP (fiberglass reinforced plastic) 箱桁も採用されている。

桁高については径間の長さ、ケーブルの吊り間隔、吊り角度などによって大きく変化するものである。従来の実績からみても桁高/最大スパン (H/L) = 1/50～1/130の間であり、中央支間が100 mを超える橋梁での桁高はほぼ1.5 m～3.5 mの間にある。図-2に示すのは世界の斜張橋の主スパン (L) に対する桁高 (H) の比の値の統計データである。

中国では斜張橋の主桁の構造形式としては、連続桁の採用がほとんどで、次はゲルパー桁(中央に吊桁付き)、中央ヒンジ桁およびフローティングタイプである。

2.3 塔の形状および架設

主塔は斜張橋の“躯体”と言われており、もちろん重要な耐荷重の構造で、施工も難しい工事である。斜張ケーブルの配置形状と同時に塔の造形は橋の美観性に大きな影響を与える。径間割り、幅員、主桁および塔と橋脚の結合方式、ケーブルの配置方式などを考慮したうえで、塔形状を確定することが重要である。従来の実施例にみると、代表的な塔の正面形状には独立1本塔、独立2本塔、門形、H形、A形、逆Y形などがあり、側面形状については直立しているものがほとんどである。

塔高は斜材の吊り効率や景観を考慮して決定されるが、塔高 h_T と最大スパン L の比の値については h_T/L = 1/1.7～1/2.2(単塔)、1/3～1/4.5(双塔)の関係がある。これは外国の斜張橋のこの値に比べて大きい傾向がある(図-3)。

塔の架設について、70年代には一般的に、総足場型

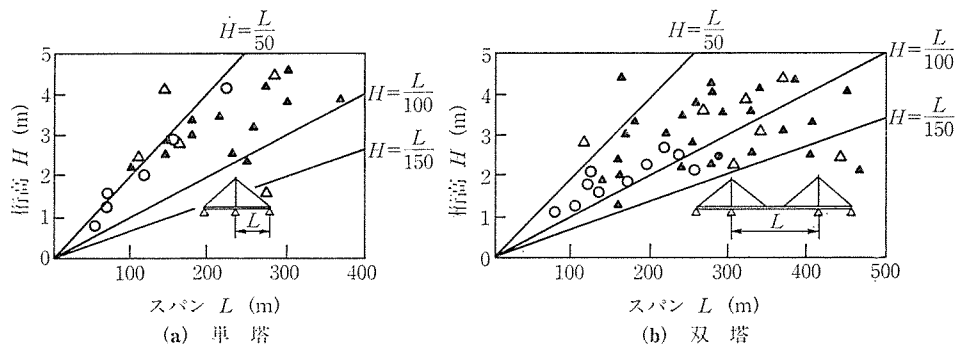


図-2 桁高・スパン比

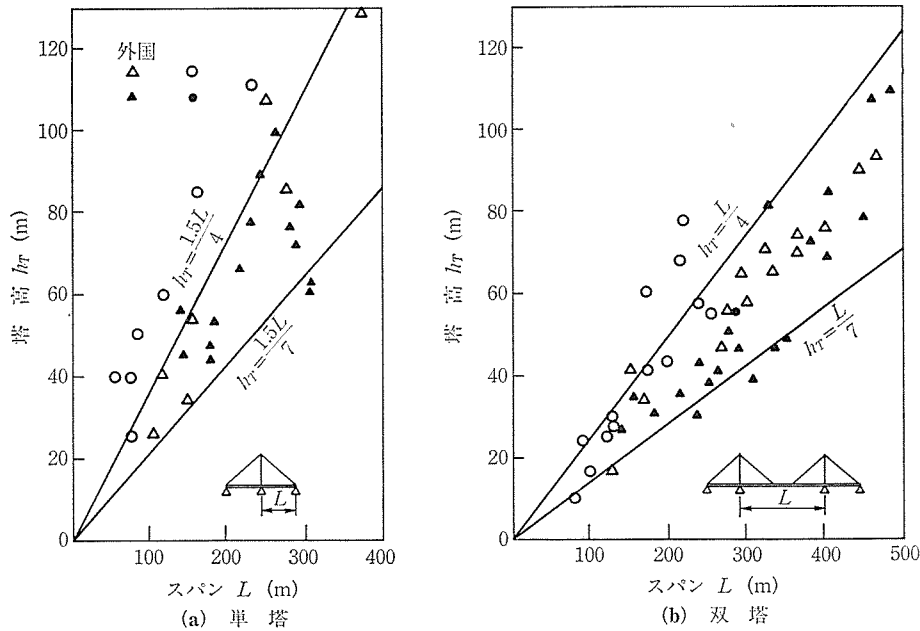


図-3 塔高・スパン比

枠工法の採用がほとんどであった。同工法は資材の消耗が多い、施工期間が長い等の短所があり、この場合塔の高度の径間の増大にも限度があった。80年代の初めには、移動式型枠工法が採用され、3橋の架設を完成した。現在も工事中のいくつかの大スパン斜張橋において当工法が採用されている。近年に至っては大規模の橋脚と塔の場合、クライミングフォーム工法（ジャンピングフォーム工法）の採用が進められている。

このほか、四川金川斜張橋では河岸の地形を利用し、簡単な支保工を設置し、その上に塔の場所打ちコンクリートを実施し、垂直回転工法によって塔を架設した。

中国の斜張橋は一般的に二つの塔（双塔）を用いる場合が多く、近年一つの塔（単塔）および1面吊りケーブルを用いる傾向がある。いままですでに単塔の斜張橋は9橋架設されている。塔高114mの重慶石門橋においては単塔と1面吊りの提案が採用された。この提案により、耐荷性能、経済性等多方面での大きな効果が期待されている。

2.4 斜張ケーブルおよび防錆方法

中国では、従来の実績からみると、マルチケーブル形式を採用することがほとんどである。マルチケーブル形式は定着装置が容易で、応力集中度が少なく、振動時の減衰が少数ケーブル方式よりも大きい。マルチケーブル方式の採用に伴い、桁高はますます低くなり、耐風安全性も好ましくなる。計算、架設技術の進歩によってマルチケーブル方式でも精度よく架設できる。

ケーブルの張り方は、橋梁の側面から見た場合の形状として、ファン形式、ハープ形式の採用が多いが、放射形式を採用する場合もある。

PC斜張橋用ケーブルとしては一般的に素線という直径5mm、設計基準強度1600MPaのピアノ線を束ねてつくられている。また鋼より線および鋼棒がある。近年、耐久性、耐腐食性に優れたφ5mmの亜鉛メッキ鋼線が生産されている。

ケーブルの防錆技術は斜張橋の寿命を延ばす重要なポイントである。ケーブルの寿命に問題を生じた代表的な事例は西ドイツのKöhlbrand橋である。当橋は1974年に完成されたが、数年後ケーブルの腐食が著しく、1979年に腐食した88本ケーブルを新しいケーブルに取り替えた。その費用は元橋梁の工事費の50%を占めた。また中国の紅水河鉄道斜張橋においては、1981年竣工から5年後（1986年）の検査時にケーブル被覆層の破損が多く認められた。

中国での斜張橋の防錆方法を次の7種に大別することができる。

- 1) ケーブルをポリエチレン管の外管で覆い、管とケーブルとの空隙にはグリース材を注入する。
- 2) ケーブルをアルミ管の外管で覆い、管内部にグラウト材を充填する。
- 3) 金網セメントのケースでケーブルを被覆する。
- 4) FRPのケースでケーブルを被覆する。
- 5) 常温にてゴムアスファルトでケーブルの表面にコーティングを行う。
- 6) ポリエチレンまたは鋼管内部にグラウト材を注入する。
- 7) 加熱ポリエチレン材をケーブルの表面に直接押し出し密封する。

以上の防錆方法の中で、7)の方法は作業が簡便で、

表—2 ケーブルの防錆方法調査結果

橋名	防錆方法		橋名	防錆方法		
	(1)~(7)	その他		(1)~(7)	その他	
完	1 雲陽橋	(3)	13 東宮黄河橋	(7)	○	
	2 新五橋	(3)		14 永和新橋		(6)
	3 大沽河橋	(1)		15 九江橋		(7)
	4 光復橋	(6)		16 重慶石門橋		
	5 安康橋	(3)		17 恒豊北路橋		(6)
	6 三台橋	(2)				
成	7 紅水河橋	(4)	工 事 中	18 西樵山橋	(6)	
	8 長興島橋	(6)		29 淮河蚌埠橋	(7)	
	9 泖港橋	(4)		20 東風橋	(7)	
	10 濟南黄河橋	(2)		21 鍵為橋	(7)	
	11 章鎮橋	(5)		22 淮河鳳台橋	(7)	
	12 交通学院橋	(7)				

仮防錆の必要性がなく、優れた防錆性能があり、経済性も高いなどのメリットを持っており、今工事中の9橋に採用されている。

表—2 に示すのは、ケーブルの防錆方法調査結果である。

3. 理論解析と設計計算

斜張橋のような高次不静定構造は力学性状が複雑であるため、コンピュータによる精確な解析と計算が不可欠であり、これによって構造設計の安全性を確保する。中国の橋梁専門家および学者によってその設計理論と施工技術の検討が積極的に進められており、優れた成果と有益な結論をあげている。

以下、代表性の見解と業績について簡単に述べる。

- 中国において70年代の初め斜張橋の新しい技術を導入し始めたのは交通部の張叔輝博士らであり、同博士らは斜張橋の静的構造解析プログラムの開発を進め、しかも中国での最初の斜張橋——雲陽橋を建設した。
- 遼寧省の王伯惠高級エンジニアは、双塔の斜張橋の静的解析に加え、動的解析を種々研究したうえで、主桁、塔橋脚の結合方法について検討した。実際に主桁と塔および橋脚の結合方法は主桁の構造形式、断面形状、ケーブルの形状、塔の形状の組合せ等によりさまざまな方法が考えられる。ここで結合方式を4つのタイプに分類している。すなわち、①塔と橋脚を剛結する方式、②塔と橋脚を剛結し、さらに橋脚上に支点をおく方式、③主桁と塔を剛結し、さらに橋脚上に支点をおく方式、④主桁、塔、橋脚ともに剛結する方式、以上の4つの方式である。近年、彼は半剛性の鋼トラスを主桁の骨組みとしてカンチレバーによって架設する工法を開発している。
- 同済大学の李国豪教授と項海帆教授らは長大スパン斜張橋の耐震安全性と耐風安全性について検討

し、単に理論解析だけでなく、振動台の模型実験と3次元の部分模型風洞実験を実施し、数値計算による動的照査を行い、優れた研究成果を上げている。当校の周念先教授は単塔斜張橋の検討に専念することで、単塔タイプが力学性状と施工性および経済性などの方面に著しいメリットを持つと判断している。

- 学者らは斜張橋における材料非線形挙動およびケーブルのサグ変化による幾何学的非線形挙動を考慮した、静的および動的解析に関する電算プログラムを開発している。
- 学者らは模擬土柱の概念で下部構造と地盤の組合せ作用を解析し、土木構造物と地盤の相互の影響を解決するためによい適用の解析方法を提出する。
- 中国では、斜張橋の設計計算に多くの専用と汎用電算プログラムを作成している。静的解析に、一般に2次元有限要素法を用いているものが多く、特別な場合に3次元有限要素法によって解析が行われている。
- 斜張橋の耐震設計法としては、静的解析法と動的解析法が用いられている。動的解析法については一般的に応答スペクトル法による検討を行う。8度震度階以上の地域にある大スパン斜張橋に対しては、加速度応答スペクトル曲線を用いてスペクトル解析法により算定する。それに地震波を入力する時刻歴応答解析法により行われる。入力としては過去の地震波の記録を使用し、例えば中国の唐山波、天津波およびアメリカのElcentro波等がある。

4. 実験と計測

斜張橋における実際力学性状の探求、設計計算の検証および施工管理を行うために、また今後の斜張橋を建設していくうえでの基礎資料を得るため各種の実験と計測はかなり必要とする。中国では、長大スパン斜張橋の設計と施工を実施するとき、実験と計測のことを重視し、できるだけいろいろな計測手段を採用し、主に測定項目は下記のとおりである。

- 一般的な橋梁のように、実験室および現地で材料性能の実験を行う。レベルと光波計測装置などにより主桁のたわみと塔のたおれ測定等を行う。
- 構造物に予め埋込み感知器を埋め込む方法により、応力、ひずみなどの計測を実施する。
- 振動法によりケーブルの張力測定と調整を行う。
- 完成系実橋で走行振動試験または脈動試験を行うことによって、固有振動数、振動モード減衰定数および振幅等の振動諸特性の計測を行う。

◇工事報告◇

- 5) 部分模型風洞実験を実施し、耐風安定性の検討を行う。振動台実験を実施し、耐震装置性能の検討を行う。
- 6) 重要な橋梁を選んで、完成系の各項目の長期計測を行う（計画中）。

5. PC 斜張橋実例

・天津永和新橋（図-4、写真-1）

(1) 設計条件

橋 長：主橋部 459.7 m
 全 長 512.4 m
 構造形式：主橋部 5 径間連続 PC 斜張橋
 幅 員：14.5 m（車道 9 m，歩道 2×1.0 m）
 設計荷重：活 荷 重 H-20，W-100
 群集荷重 250 kg/m²
 耐震設計：震度階 8 度

(2) 斜張橋の概要

主 桁：構造形式 フローチング・タイプ
 スパン割り 25.15 m + 99.85 m + 260 m
 + 99.85 m + 25.15 m
 断面形式 逆台形 2 室箱形半閉断面
 下 部：構造形式 φ18.4 m のオープン・ケー
 ソン・ウェル（主橋脚）
 φ55 cm の杭基礎（他）

塔 : 形状 門型 RC 構造，中空断面
 ケーブル：形状 ファン・タイプ，2 面吊り 11 段
 材料 ピアノ線
 防錆 ポリエチレン管にグラウト材を注入する

定着具：HiAm

(3) 主要工事数量

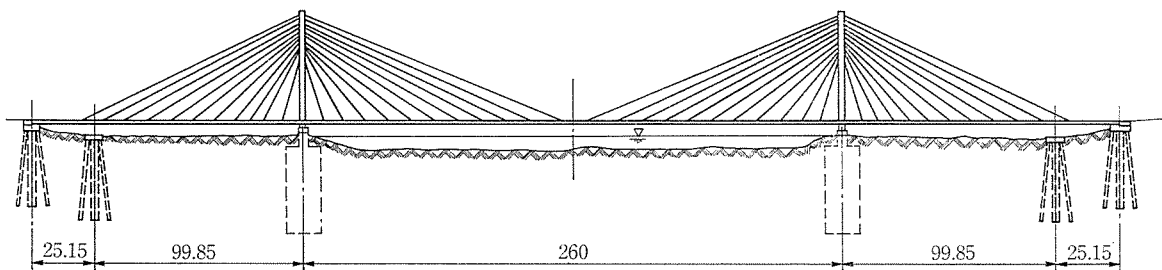
主要工事数量を表-3 に示す。

(4) 特 徴

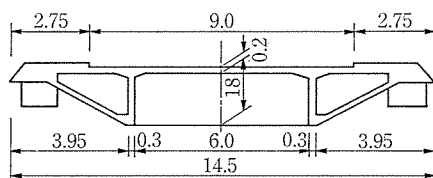
本橋は現在アジア最大スパン(260 m)の中央径間を有する PC 斜張橋である。当地区では流水，強風，地震，



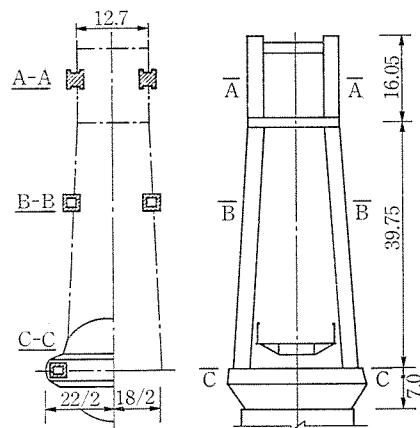
写真-1



(a) 側面図



(b) 主桁断面図



(c) 塔の形状図

図-4 天津永和新橋一般図

表-3

名 称		数 量	
下部構造 (コンクリート)	φ18.4 m ウェル	14 500 m ³	
	φ55 cm 杭	4 000 m 延長	
	橋脚(台) 躯体	2 900 m ³	
上部構造	コンクリート	塔	1 675 m ³
		主 桁	4 572 m ³
	PC 鋼材	主桁(φ32 鋼棒)	116 t
		ケーブル棒(φ5)	305 t
高密度ポリエチレン		25 t	

潮汐、軟弱地盤等の厳しい条件が存在している。橋長と構造形式の選定および側径間/主径間の値は耐震安全性、全体の剛度、死荷重と活荷重によるケーブルの応力変化、支点の負反力等を考慮して決定した。本橋では耐風安全性の検討は部分模型による風洞試験および施工中の耐風安全性の解析を行った。耐震安全性の検討はスペクトルモード解析ならびに時刻歴応答解析を実施した。主桁の施工はエレクションガーダーによってプレキャストブロックを張出し架設した。

・済南黄河大橋 (写真-2)

(1) 設計条件

橋 長：主橋部 488 m
全 長 2 023 m

構造形式：主橋部 5 径間連続 PC 斜張橋

幅 員：19.5 m (車道 15 m, 歩道 2×2 m)

設計荷重：活 荷 重 H-20, W-100 および 160

群集荷重 350 kg/m²

(2) 斜張橋の概要

主 桁：構造形式 フローチング・タイプ
スパン割り 40 m+94 m+220 m+94 m
+40 m

断面形式 ウィンドノーズを有した 2 室
箱形断面

下部構造：φ150 cm の現場打ち杭基礎

深さ 85 m~95 m (主橋脚)

φ120 cm の現場打ち杭基礎

深さ 63 m~67 m (他)

架設工法：カンチレバー工法

塔 : 形状 A 形, RC 構造

ケーブル：形状 ファン・タイプ, 2 面吊り 1 段

材料 79~121 本 φ5 亜鉛メッキピアノ線

防錆 アルミ管にグラウト材を注入する

定着具：HiAm

(3) 特 徴

本橋の基礎形式は中国で広く用いられている杭基礎を採用した。全橋には 281 本の杭があり、延長 16 000 余 m となる、大規模の深基礎工事である。塔と橋脚は剛

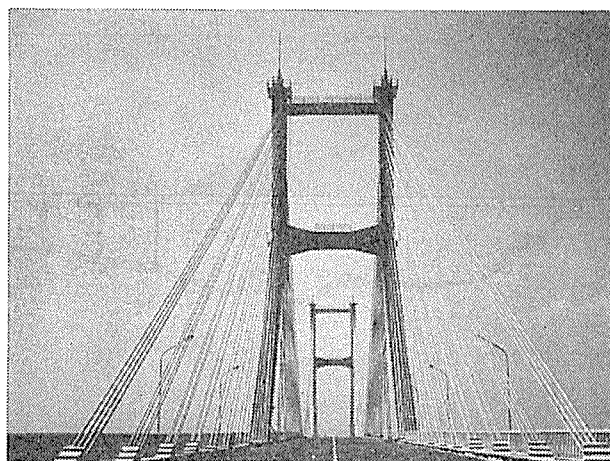


写真-2

結タイプを用いた。主桁が橋脚部で宙吊りになっている方式である。主桁の施工は 1 ブロックあたり 4 m でワーゲンにより現場打ちカンチレバー架設された。

・重慶石門橋 (図-5, 写真-3)

(1) 設計条件

橋 長：主 橋 部 430 m

取付け橋部 286 m

全 長 806 m

構造形式：主 橋 部 2 径間連続 PC 斜張橋

取付け橋部 6 径間連続 PC 連続桁橋

幅 員：25.5 m (歩道 3 m+車道 7.5 m+中央分離部 4.5 m+車道 7.5 m+歩道 3 m)

設計荷重：活 荷 重 H-20, W-100 および 300

群集荷重 350 kg/m²

耐震設計：震度階 7 度

(2) 構造概要

スパン割り：主 橋 部 200 m+230 m

取付け橋部 5×50 m+36 m

下部構造：φ320 cm~φ260 cm の変断面現場打ち杭基礎 (主橋脚)

直接基礎および φ200 cm の杭基礎 (他)

等断面中空橋脚

架設工法：主 橋 部 カンチレバー工法

取付け橋部 押出し工法

構造形式：主 橋 部 剛結ラーメン

断面形式：主 橋 部 逆台形 3 室箱形断面

塔 : 形状 独立 1 本塔, RC 構造

高さ 114 m

ケーブル：形状 ハープ・タイプ, 1 面吊り 25 段

材料 302 本 φ5 亜鉛メッキ PWS

265 本 φ5 亜鉛メッキピアノ線

防錆 ポリエチレン樹脂 (CSM) 被覆

定着具：HiAm

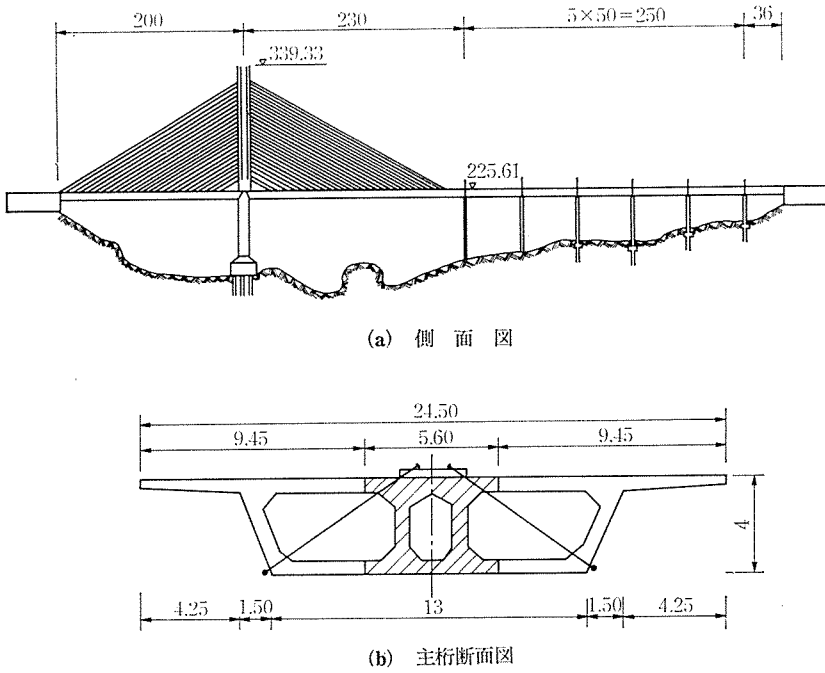


図-5 重慶石門橋一般図

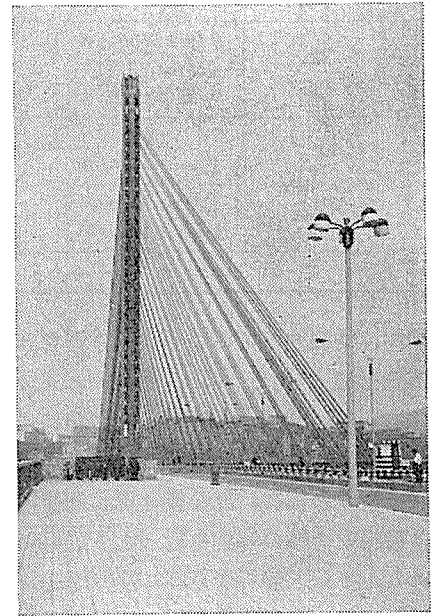


写真-3

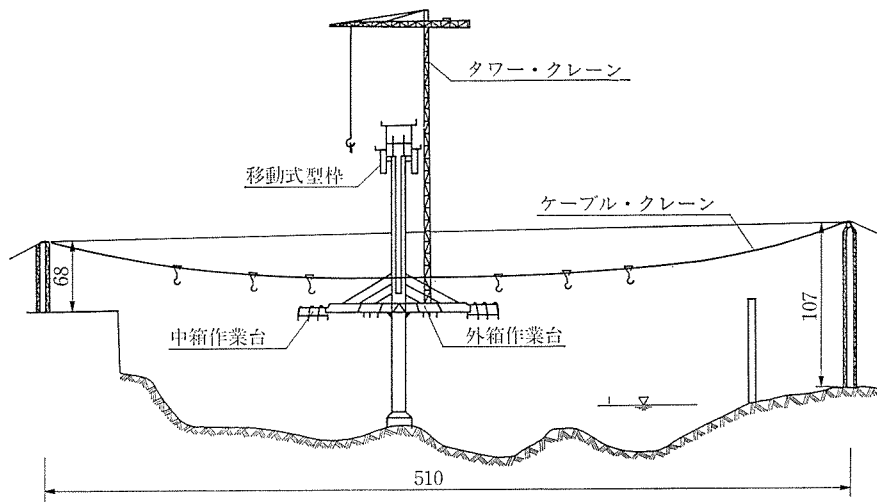


図-6 主桁および塔の架設

(3) 特徴

本橋のスパンと塔の高さは世界的規模のPC斜張橋である。主塔は高さ114mの独立1本塔であり、塔と橋脚の施工に移動式型枠工法を採用した。主桁の架設工法は型鋼で中箱の骨組を造り張出し架設したものである。当工法はまず型鋼でトラスのブロックを造り、毎度二つのケーブル吊り間隔の長さ(2×7.5m)の骨組を張出し架設し、骨組に主桁型枠を掛け、場所打ちコンクリートを行った。これは骨組を工事中の主桁型枠の支保工として、完成系の主鉄筋とすることに役立つ。それによって、常にワーゲンで張出し架設工法により生じる付加曲げモーメントおよび施工設備が大きく減じる。二つの外箱の施工は、既成の中箱を利用し、作業台と型枠を取り

付け、コンクリートを対称的に打設した。以下、中箱と外箱の架設を順次、交替で行った(図-6)。

6. おわりに

以上、中国における斜張橋の応用発展および建設実績について述べた。何らかの参考となれば非常に幸いである。

参考文献

- 1) 王伯惠：中国的預応力混凝土斜張橋
- 2) 严国敏：試談斜張橋的几个問題
- 3) 于邦彦：天津永和大橋設計
- 4) 張萬全，陳国棟：重慶嘉陵江石門大橋施工技術

【1989年6月27日受付】