3. 海外工事報告

- 中国潤揚大橋上部工架設エンジニアリング業務-

企画委員会 国際小委員会

1. はじめに

潤揚長江公路大橋は、中華人民共和国(以下、中国)江蘇省鎮江市と揚州市とを結ぶ揚子江に架けられ、この地域の高速道路ネットワークの重要な位置を占める(図-1)。



図-1 建設地点

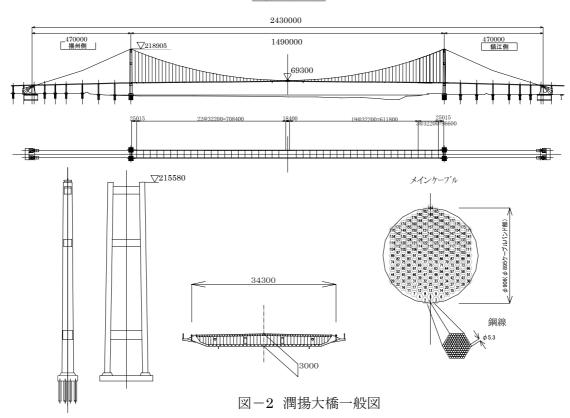
本橋は、揚子江の中州を間に挟み、南側の吊橋(中

央径間 1,490m)と北側の斜張橋で構成されており、全体工事費は約 53 億人民元(約 700 億円、2004 年現在)で、吊橋部分(以下、吊橋部分を潤揚大橋)が約 35 億人民元(約 450 億円)、斜張橋部分が約 6 億人民元(約 80 億円)とされている。潤揚大橋はこれまで中国一であった江陰大橋(中央径間 1,385m)を抜き、現在中国一、世界第三位の吊橋となっている。

本橋建設以前の中国においては、1,000m を超える 吊橋を建設した経験を有する中国企業はこれまで存在 しなかった。先述の江陰大橋においては英国政府開 発援助による建設であり、建設も英国の企業が中心と なって実施された。

そこで、潤揚大橋の施主である江蘇省長江公路大橋建設指揮部(以下、建設指揮部)は、純国産技術による建設を主眼にしながらも、品質、技術に重点を置き、例えば、吊橋構造上重要な要素であるケーブル材料は日本から購入した。また、上部工架設の入札におい

潤揚大橋概要



ては、技術評価の割合を高くし、結果として中国企業を サポートする十分な経験を有する外国企業によるエン ジニアリングを主体とした参画が必要となった。

ここでは、潤揚大橋上部工架設に対して実施したエンジニアリング業務について報告する。

2. 橋梁諸元および工事概要

本吊橋概要は以下の通りである。

図-2 に吊橋一般図、写真-1 に建設状況を示す。

①施主: 江蘇省長江公路大橋建設指揮部

②設計:中国交通部公路規劃設計院

③工事期間:2000年10月~2005年4月30日開通

④支間長:470m+1,490m+470m(単径間吊橋)

⑤幅員構成:29.5m(上下6車線の鋼箱桁)

⑥ケーブル重量:約 21,000 ton

(PWS- ϕ 5.3-127 \times 184 Strand / Cable)

⑦桁重量:約 23,000 ton

⑧主塔:RC 構造(216 m)

⑨アンカレイシ゛:RC 構造

⑩側径間:PC 箱桁



写真-1 建設状況写真

3. 工事体制

工事体制は施主である建設指揮部を頂点として、大きくは製作と架設に分かれる。製作、架設ともに元請業者は中国企業であるが、ケーブル材料だけは施主が日本から購入し、支給した。桁の製作業者は輸送、架設後の現場溶接までを請負範囲とする。ケーブルの製作については、中国において亜鉛めっき鋼線を製作し、ケーブル製作メーカーが製作、輸送までを請負った。なお、ケーブル製作については、架橋地域にある日中の合弁会社が半数以上を請負った。

一方架設においては、アンカレイジ、塔、側径間をコンクリート架設し、その架設企業のひとつである中国第二公路工程局(以下、二公局)がケーブル、桁の架設を請負った。

ここで、二公局は本橋以前においては、支間 500m 程度の吊橋架設の経験しか持たなかったため、経験ある日本企業によるエンジニアリングサポートをする条件で本橋架設を受注した。

これらの工事体制を示すと以下のようになる(表-1)。

江蘇省長江公路大橋建設指揮部

製作

桁製作

中国鉄道大橋局

ケーブル製作

線材 日本

亜鉛めっき中国

PWS 日本-中国合弁、他

工事

塔・アンカレイジ・側径間工事

中国第二公路工程局(二公局)、他

ケーブル・桁架設

中国第二公路工程局(二公局)

ケーブル・桁架設計画及びS.V.

日本

西南交通大学

表-1 工事体制

このように、上部工建設のうち、ケーブル製作、ケーブル・桁架設に対して日本の技術が導入されることとなった。

4. 潤揚大橋エンジニアリング業務

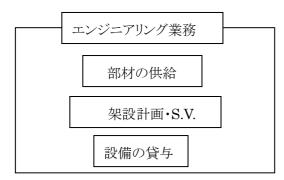
ここでは、潤揚大橋建設工事に関してのエンジニアリング業務について述べる。

4.1 業務内容

今回、エンジニアリング業務として関係するものとして 以下のものがあげられる。

- 1)ケーブル等の供給
- 2)架設計画の実施
- 3)ケーブル·桁架設 S.V.
- 4) 架設設備の供給(ここでは貸与)

ここで、エンジニアリング業務について定義しようとした場合、潤揚大橋においては、プライムコントラクターとして直接工事に携わるのではなく、サブコントラクターとして、ケーブルなどの主要部材の供給を現地合弁企業と一体となって携わる一方で、架設において、現地架設会社に対して、架設計画、現場指導、設備の貸与という立場で携わっていく、ということができる。



4.2 業務の進め方

ケーブルの製作においては、現地合弁企業に対して 設備の立上げから関与指導し、試作、展開確認試験を 実施して問題のないことまでを確認した。

一方、上部工架設計画を進めていく際には、まず、架設会社との綿密な打合せの後、日本側が計画立案し、それに対して架設会社が現地状況、コスト的な観点からの修正要求をしながら進めていった。また、出来上がった計画、特に高度な設計技術を必要とするものに対しては、架設会社指定大学(ここでは西南交通大学)の第三者チェックを実施し、さらにそれに対して、施主側の評価委員会が審査するといった三段階の流れで進められた。キャットウォークの設計、桁架設計画などがそれにあたる。

この架設計画に対して、現場の状況を反映し、必要に応じて変更することを二公局と検討協議し、問題なく 実行することができるようにすることを S.V.に求められた。

さらに、現地調達が不可能、あるいは品質上重要となる架設設備については貸与するとともに、現地 S.V.を 実施した。

ここで、現地企業と業務を進めていく上で重要なことは、現地に精通した営業マンと優秀な通訳をもつことで、これによって資金回収も含めたスムーズな業務の実行が可能となる。

4.3 安全・品質管理

製品供給は当然品質が最も重要な点であり、契約上も Spec.の厳守が実行責任上重要となる。この点については、日本調達となるものはそれほど問題とならないが、中国合弁工場で製作する場合は十分な品質管理となるよう注意し指導していく必要がある。

一方、現地架設計画・S.V.においては、契約上の安全・品質に対して責任を負わないこととした。これは、安全に対する中国社会的見解、また、現地ワーカーにおける安全認識、品質認識の違いが大きく、そこまで立ち入った現場管理を S.V.としてできないからである。

4. 4 契約関係

次に、本業務について主要な契約上の点を述べる。 主な契約フローについては表-2 の工事体制と同等で ある。すなわち、ケーブル材料については日本から施 主が調達、支給し、製作は現地合弁企業が直接施主 である、建設指揮部と結んだ。

一方、架設計画・現地 S.V.については入札条件から 現地架設会社に対して契約を結ぶこととなったが、設 備の貸与は直接施主と契約を結んだ。

このように、契約先が二つに分かれたことにより、資金回収先や立場的な違いによる複雑さを伴ったが、中国潤揚大橋建設に対する日本企業の参画という点に対しては、施主である建設指揮部への対応が非常に重要であり、十分配慮しながら実行した。

5. 上部工架設エンジニアリング業務実行詳細

ここでは、上部工架設を中心にエンジニアリング業務 に関する実行詳細について説明する。

5.1 ケーブル架設工事

通常吊橋の建設はアンカレイジ、タワーが完成すると、 次はそれらを結ぶケーブル工事へと移行する。本橋の 吊橋ケーブルは長さ約 2,600m で直径 ϕ 5.3mm の高 張力鋼線(強度:1670MPa)を23,368本東ねて円形と することで構成される。本橋においてはこのケーブルを 架設する際に現場で素線を一本一本架設していくエア スピニング(Air Spinning)工法に対して、素線 127本 を工場にて予め東ねてソケッティングしたものを現場に 搬入し、これを一本ずつ架設する PWS (Parallel Wire Strand)工法が採用された。

この PWS を頭上に配置した引き出し設備(ホーリングシステム(Hauling System))を使ってキャットウォーク上に一本一本引き出し、積み重ねながら最終的に円形に閉め固めていく。こうした、ホーリングシステム、キャットウォークを架設すること自体が吊橋ケーブル架設においては最も労力を必要とし、また工期・工費、ケーブル品質を左右する重要な要素となる。

5.2 ホーリングシステムの概要

ホーリングシステムとは吊橋ケーブル架設およびその準備工程であるキャットウォーク架設のための重要な引き出し装置であり、一方のアンカレイジから他方のアンカレイジまで2つの塔頂を通ってウィンチロープが展開する一種のロープウェイのような構造である。

今回、このホーリングシステムはキャットウォーク架設時とケーブル架設時とで異なり、キャットウォークロープ架設時には、両アンカレイジ前面に片連1台づつ、計4台のウィンチを配置したホーリングシステムを形成した。これにより塔頂間に張り渡した固定サスペンダー上に

キャットウォークロープを曳き出す方式を採用している。 (単線往復式)

PWS 架設時(図-3)には、アンカレイジ背面に片連2 台づつのウィンチを配置し、反対側アンカレイジにター ンシーブを設置することでホーリングロープを折り返す 形式を採用している。これにより、1ケーブル当り2連の ホーリングラインを形成して、設備効率を高めている。 (複線往復式)

ここで、ホーリングロープとしては直径 ϕ 36mm のより線ロープを用いた

このように、大型設備となりがちな引き出しウィンチの 必用設備能力が最小となるようなホーリングシステムが 要求された。

5.3 キャットウォーク構造

キャットウォークは吊橋架設において不可欠な空中 作業足場であり、また、建設工費・工期、吊橋ケーブル 品質を大きく作用するものである。このため、主に日本 において改良、簡素化が進み、今回この潤揚大橋にお いても日本で実績のあるストームロープ(耐風安定対策 用ロープ)を省略したストームレスキャットウォーク構造 が要求された。

これまで日本において中央径間 1,000m を超える吊橋でストームレス構造が採用された例としては、明石海峡大橋、来島海峡大橋が挙げられる。キャットウォークをストームレスとするためには、キャットウォーク自身のねじれ剛性を十分に確保し、ケーブルストランド架設時における架設性を確保するとともに、暴風時(潤揚大橋設計風速 V_{10} =29.1m/s)におけるキャットウォークの大変形に対して十分問題のないものとする必要がある。

さらに、前述のケーブル架設時のホーリングシステムにより、本キャットウォークは一連当たり2本のPWSを引き出す必要があり、これらに対するスペースの確保と安定性のある構造が要求される。以上を通してキャット

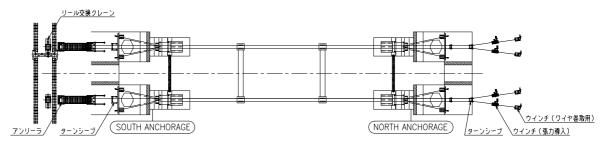
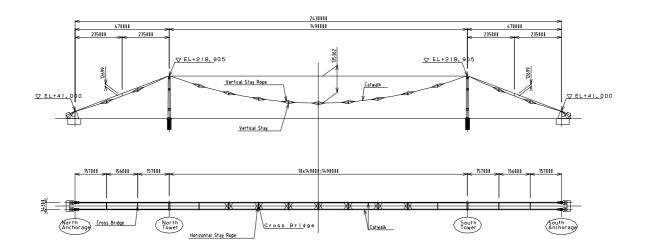
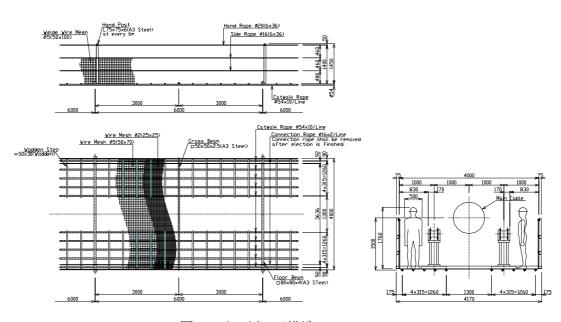


図-3 ホーリングシステム(ケーブル架設時)





図ー4 キャットウォーク構造

ウォークロープ (CWR) の安全率 3.0 を満足させること が要求された。

こうしたストームレスキャットウォークに対して潤揚大橋では、キャットウォークの剛性を確保し耐風安定性を高めるために、キャットウォークロープ間隔を最適配置するとともに、クロスブリッジ間に水平変位抑制索、鉛直変位抑制索を配置する対策を講じた。これら変位抑制策は、主に明石海峡大橋において実績のある対策である(図-4)。

これに対して、現地施工会社のコスト削減要求も大きく、なるべく製作コストのかからない構造とした。その一例としては、塔頂部分にキャットウォークロープの定着構造を設けないで連続構造とし、両アンカレイジにてロッドで定着してキャットウォークの形状調整等をできる構

造とした。また、ロープ、ロッド等以外はほとんど全て現場製作とすることとし、キャットウォークロープにおいては日本においてこれまで主に使用してきた構造用ストランドロープを用いず、より一般的なより線ロープを使用した(表-2)。

しかし、これを実現するためには中国調達されるロープの構造特性、品質、精度、鍛造品の加工最大寸法など十分な事前確認を実施し、構造に反映することが必要であった。たとえば、キャットウォークロープについては、精度、製作上の問題からロープを3分割し、塔頂付近で連結する構造とした。

一方、本橋特有の条件としては、側径間で桁を吊っていない単径間吊橋であるため、ケーブル架設時において塔頂における水平張力を等しくさせるためのセット

表-2 キャットウォーク構造比較

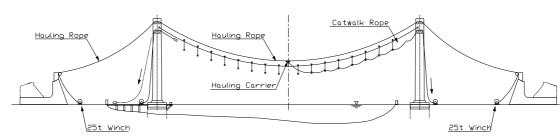
		潤揚大橋	明石海峡大橋	来島第三大橋	来島第一大橋	南備讃
中央径	間(m)	1490	1990	1030	600	1100
キ	ストームローフ。	無	無	無	無	有
ヤツ	Rope 種類	IWRC6×	Spiral 1×	IWSC7×	IWSC7×	IWSC7×
キャットウォ		SW36	127	19	19	37
	Rope 直径(mm)	54	52	46	30	56
ク	Rope 断面積(mm²)	1384.3	1652	1010	429	1490
	Rope 単位重量(kg/m)	12.23	13.6	8.37	3.56	12.4
	破断荷重(kN)	2030	2900	1402	597	2040
	弾性係数(MPa)	1.2×10^{5}	1.6×10^{5}	1.4×10^{5}	1.4×10^{5}	1.4×10^{5}
	床組幅員(m)	4	5.5	4	4	4.5
	設計死荷重 CWR 張力(kN)	5600	9500	3300	1300	6150
	CW 床組重量(kg/m)	254	320	220	180	330

バック量が約2mと非常に大きくなる。ここで、塔は RC 構造のため塔自身をセットバックすることは許容限界値を超え不可能なため、塔頂サドル自身を約2mセットバックさせ、桁架設時にその架設状態に応じてセットバックを解放していく構造をとった。そのため主ケーブルの線形がケーブル架設時と桁架設時とで特に塔頂付近において異なってくるため、キャットウォークの線形と常に平行を確保するため、キャットウォークを塔頂付近でプルダウンして主ケーブルとの間隔を一定とする構造を考案した。

5.4 キャットウォークの架設

キャットウォークの架設に際しては、まず前述のホーリングシステムを架設する。本橋においては最初の一本目のロープを架設する渡海(ここでは渡河)は、ホーリングロープリールを載せたバージ(barge)上をタグボートで対岸まで引っ張り、ロープを河底に敷設し、その後ウィンチで引き上げる河底敷設工法が採用された。その後、両アンカレイジ前面に配置したウィンチに繋ぎホーリングシステムとし、キャットウォークを架設するためのサスペンダーロープやサスペンダーを順次架設していく。

今回、キャットウォークロープは直径 o 54mm、単位



キャットウォークロープの架設

ケーブルストランド架設(PPWS架設)

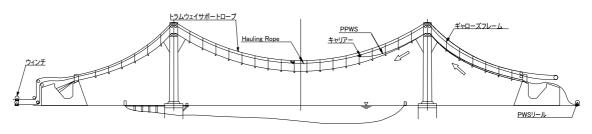


図-5 キャットウォーク,PWS の引き出



重量 12.2kg/m と非常に重いことから、これまで日本で多く採用してきたキャットウォークロープを空中に直接引き出すフリーハング工法を採用するとウィンチ必要能力が大きくなる。そこで、予め空中に設置したサスペンダー上を引き出すことによりロープ自重の影響を低減させる、サスペンダー方式を採用した。この方式は中国江陰大橋(中央径間1,385m)においても採用されており、中国では一般的な方法のようである。

引き出されたキャットウォークロープは順次塔頂固定部、アンカレイジ固定部に固定され、最終的に個々のロープの形状を調整し、整える(相対サグ調整)。その後、このキャットウォークロープ上に金網、定着梁などで構成された床組を塔頂より順次連続して引き出すが、中央径間では引き出し距離が大きく勾配が緩やかとなり床組とキャットウォークロープとの摩擦力が大きくなるため、床組を150m程度に分割して引き出す分割架設工法を採用した。

その後、キャットウォークのハンドロープやホーリングロープを支持するトラムウェイサポートロープ、ギャローズフレーム、PWS用引き出しローラーなどを設置し、最終的にキャットウォークの形状を調整して完成となる。(キャットウォークの絶対サグ調整)

なお、最初の渡河は2003年3月9日に実施された。

5.5 ケーブルストランドの架設

キャットウォーク完成後、ホーリングシステムを前述したケーブル架設用のシステムへと変更する。こうしてアンカレイジ背面に設置したアンリーラー上に PWS リール (ケーブルストランド)を設置し、ホーリングシステムを用いてキャットウォーク上に引き出していく。

ここで、前述したとおり、今回このケーブルストランドは



予め工場にて長さ約2,600mの素線127本を東ねてソケティングし、これをリールに巻き取ったもので、総重量は約60ton程度となる。これを一つずつトレーラーにて現場に搬入し、搬入された PWS はストックヤードに一時保管された。

最初のケーブルストランドが2連のキャットウォーク上を一本づつ引き出され各サドルに移設しアンカレイジに定着した後、これらに対して形状調整を実施する(ケーブルストランドの絶対サグ調整)。

この最初のストランドはケーブル断面の最下部に位置し、その後のケーブル架設の基準(基準ストランド)となることから非常に重要であり、温度変化の少なく風雨のない夜間に数回形状調整を行った。形状測量は光波測距儀を使用した。

2 本目以降のストランドはこの基準ストランドに対して 相対的な調整(相対サグ調整)を行って順次架設して いった

ケーブルストランド架設は 2003 年 5 月 26 日に No.1 ストランドが引き出され、同年 10 月 1 日に終了した。

ストランド架設終了後、ストランド配列を整え円形に整形するケーブルスクイズが実施され、その後ケーブル形状を再度測定してハンガーロープ長を決定した。ケーブルスクイズ後ケーブルバンドを架設した。

5.6 補剛桁の架設

補剛桁の架設は、日本の白鳥大橋や来島大橋と同様にリフティングガントリー(Lifting Gantry)による桁ブロックの直下吊工法が採用された。1 ブロックは長さ約 32m、計 47 ブロックあり、最大重量は約 500 トンである。

リフティングガントリーは、海外では多くの実績を持っ

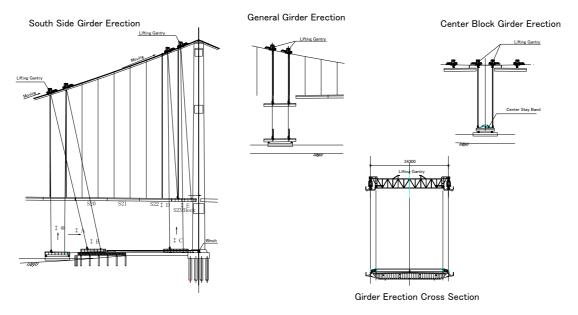


図-6 桁架設方案一般図

写真-3 建設状況写真





ているマルチストランドジャッキを装備したストランドジャッキ方式であり、イギリスより技術導入を行った。 ディーゼルエンジンを備えているために独立しており、また、リフティングガントリー自身の移動にも油圧ジャッキが用いられ、単独に運転が行なうことが出来た。なお、操作



もすべてリフティングガントリー上に設置されたオペレータ室内から運転ができる仕組みとなっている。

リフティングガントリーは 1 基当たり 370ton の吊り上げ能力があり、桁の架設には 2 基を併用した。また、引き上げ速度は実際平均 32m/hour 程度であり、移動速度は 12m/hour 程度であった。

架設は中央径間中央から両側の塔に向かって、2 基 リフティングガントリーを用いて行われ、桁間の接合は 基本的にはヒンジ架設工法である。南塔近辺において は陸上部となり台船が接岸できないことから桁仮置き用 桟橋を架設し、一度桁をそれに載せた後、塔近傍に順 次移動し、同じく上部に移動したガントリーにより直下 吊り架設を行った。また、桁の閉合においては塔際の 桁をセットバックして、閉合桁との間隔を確保し、架設 後にそれらを戻した。なお、閉合の際には、日本で多く

	2001 2002 2003 2004 2005																																												
			2001 2002													2003												2004)5					
		8	9	10	11	1 12	2 1	2	3	4	5	6	7	1 8	3 9	1	0 1	1 1	2	1 :	2 ;	3 4	5	6	7	8	9	10	11 1	2	1 2	2 3	4	1 5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
	サドル設置・仮設備の設置											Τ.	_	_	_	_	_	+	_	_																									
	キャットウォークの架設																				-	+	-																						
맶																																													
E績 T	メインケーブルの架設																																												
業																																													
架設	スクイズ・バンド架設												4	_		_		4	_	4								=	#	#	=			_									_		
1.1																																													
船口	桁架設準備												4	_				4	_	4								=	#	#				4									_		
卅													4	_	4			_	_	4																							_		
揚大橋	桁架設												_	_		_		4		4										_	_	+	+	+	_								_		_
畞													4	_	4			_	_	4																							_		
票	桁溶接	<u> </u>				4	_		\perp	_		_	\perp	_	\perp	_		4	4	4								_		4		_	\perp	F	1	_									_
														_		_		4		4										_				_											_
	ケーブルラッピング・塗装	L		_		1	1	1	\perp	_		┸	\perp	\perp	\perp	\perp	\perp	┸	4	4		\perp	1	<u> </u>		Ш		_		4	1	\perp	ᆂ	#	t	士	=	ᆮ	E	ᆮ	_	=	=	=	▼

採用されている隣接桁間調整用のセッティングビーム などは用いず、ガントリーの調整と桁間に設置したチェ ーンブロックのみによりボルト取りを行った(図-6、写真 -3)。

桁の搬入は工場から直接揚子江上を運搬し、架設の際には揚子江の流れに対して安定した位置決めが出来るよう、運搬用の台船に加えて、係留用の台船を使用している。

桁の全架設終了後桁間の溶接作業に入った。

最初の桁架設は 2004 年 1 月 20 日に実施され、同年 4 月 17 日に閉合、4 月 24 日に桁の溶接を開始し、5 月 31 日に桁の溶接作業を終了している(表-3)。

6. まとめ

潤揚大橋の上部工の建設は2003年3月に渡海(渡河)が始まり、約3ヶ月でキャットウォークの架設が終了しストランドの引き出しが開始し、約4ヶ月で終了した。2004年4月には桁が閉合、翌5月に桁の溶接終了という、非常に短い工期の中で完成されていった。

これが可能となった理由としては、国家的プロジェクトであり、施主を頂点として、元請、下請けと比較的一体となった関係のもとに実行されたこと、また、日本と比較しても、各種規制面で比較的対処が容易であること、また、上部工架設を一括で管理したことなどが挙げられる。

今回上部工のエンジニアリング業務においては、事前の計画が大変重要であり、いかに現地企業と情報を交換し、友好的に打合せ検討していくかが結果を左右したと思われる。よって、こうした業務を推進する場合、単に一方的な価値観(計画)を押し付けるのではなく、相手の状況、要求を的確に捉え、それを技術的に可能とすることを提案することにおいて我々の価値が見出さ

れる。

2003 年 4 月から中国全土では SARS が蔓延し、また 60 年ぶりと言われた 8 月の記録的な猛暑といい、非常に厳しい環境のなかで、中国の作業者は非常に逞しく、粘り強く働き、我々の技術サポートに対して十分理解し改善工夫し完成させていった。もちろん文化的な違いによる議論のずれがなかったと言えば嘘であるが、日本の物差しで考えること自身がナンセンスであり、そうしたことを理解するとかえって彼らの方が理屈があっていると感じることも多々あった。