

## マレーシア・シンガポール第2連絡橋の施工

三藤 重剛\*1・沖野 晃一\*2・渡辺 泰充\*3

### 1. まえがき

近年、経済成長を続ける東南アジア諸国の中でも、マレーシアとシンガポールの経済的発展はめざましいものがある。西マレーシアとシンガポールは、地理的には幅約2 kmのジョホール水道で隔てられているが、現在はこれをただ一つの陸橋が結ぶのみである。両国の協力関係はますます緊密化しており、労働力の移動ならびに物資の輸送量の増大に伴い、国境を挟む陸橋は朝夕激しい交通渋滞を引き起こしている。

本橋は、この渋滞解消と、マレーシア南西部の開発地

域とシンガポール北西部の工業地帯を結ぶことで、それぞれの地域が有機的に機能することを目的として計画された国家的なプロジェクトである(図-1、写真-1)。全長約2 kmの本橋は、両国がお互いの領土内部分を建設し国境付近で連結する方式を採用している。シンガポール側は政府発注工事であるが、マレーシア側は、このプロジェクトの建設・運営に関する開発権を得た民間会社によって発注された。

本稿は、このマレーシア側1.7 kmの施工区間で実施されるプレキャストセグメント工法について、その概要を報告するものである。

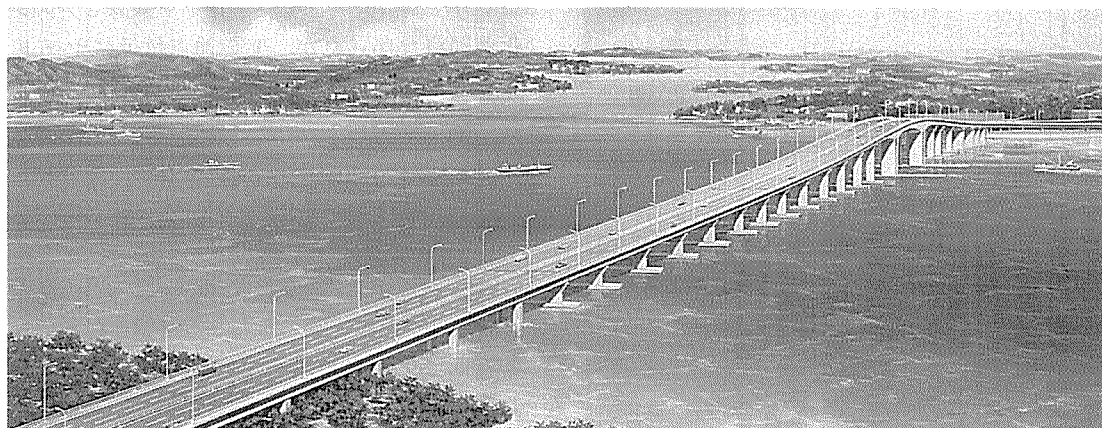
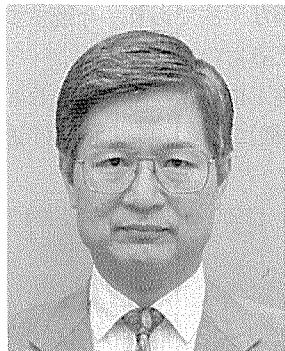


写真-1 完成予想



\*1 Shigetake MITOH  
清水建設(株)  
マレーシア・シンガポール  
第2連絡橋作業所  
副所長



\*2 Koichi OKINO  
清水建設(株)  
マレーシア・シンガポール  
第2連絡橋作業所



\*3 Yasumitsu WATANABE  
清水建設(株)  
土木本部  
技術第1部長

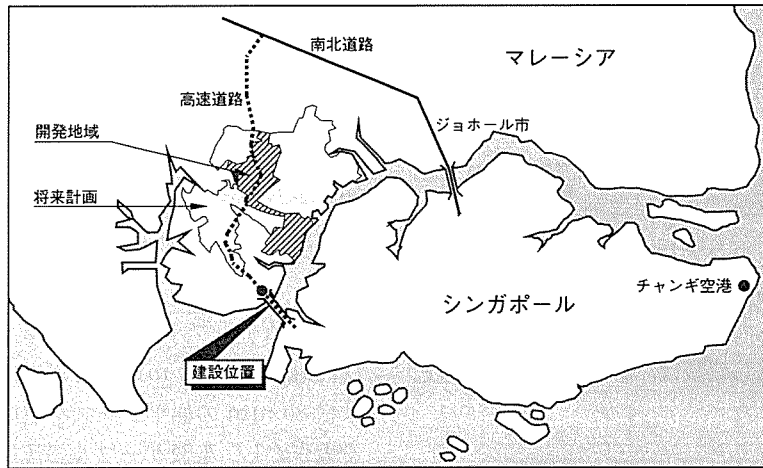


図-1 架橋位置図

2. 工事概要

工事名：マレーシア・シンガポール第2連絡橋  
 工事場所：マレーシア国 ジョホール州  
 発注者：LINTASAN KEDUA (M) BHD  
 工期：1994年10月~1997年9月  
 橋種：プレストレストコンクリート道路橋  
 構造形式：6径間連続箱桁橋3連，3径間連続ラーメン箱桁橋1連，5径間連続箱桁（うち，工事範囲は2.5径間）  
 橋長：1734.4 m  
 支間割：(62.0 m+4@70.0 m+62.0 m)×3 連，96.0 m+165.0 m+96.0 m，62.0 m+70.0

m+33.4 m  
 有効幅員：13.5 m×2  
 主要数量：表-1 参照

表-1 主要工事数量（橋梁部）

種類	仕様	数量
コンクリート		
基礎杭	場所打ち杭φ1500	17036 m <sup>3</sup>
橋脚	$f_{cu}' = 40 \text{ N/mm}^2$	29861 m <sup>3</sup>
上部工 アプローチ部	$f_{cu}' = 50 \text{ N/mm}^2$	31969 m <sup>3</sup>
メインスパン部	$f_{cu}' = 45 \text{ N/mm}^2$	10486 m <sup>3</sup>
鉄筋	$\sigma_u = 460 \text{ N/mm}^2$	19091 t
型枠		39229 m <sup>2</sup>
PC鋼材	表-2参照	2462 t

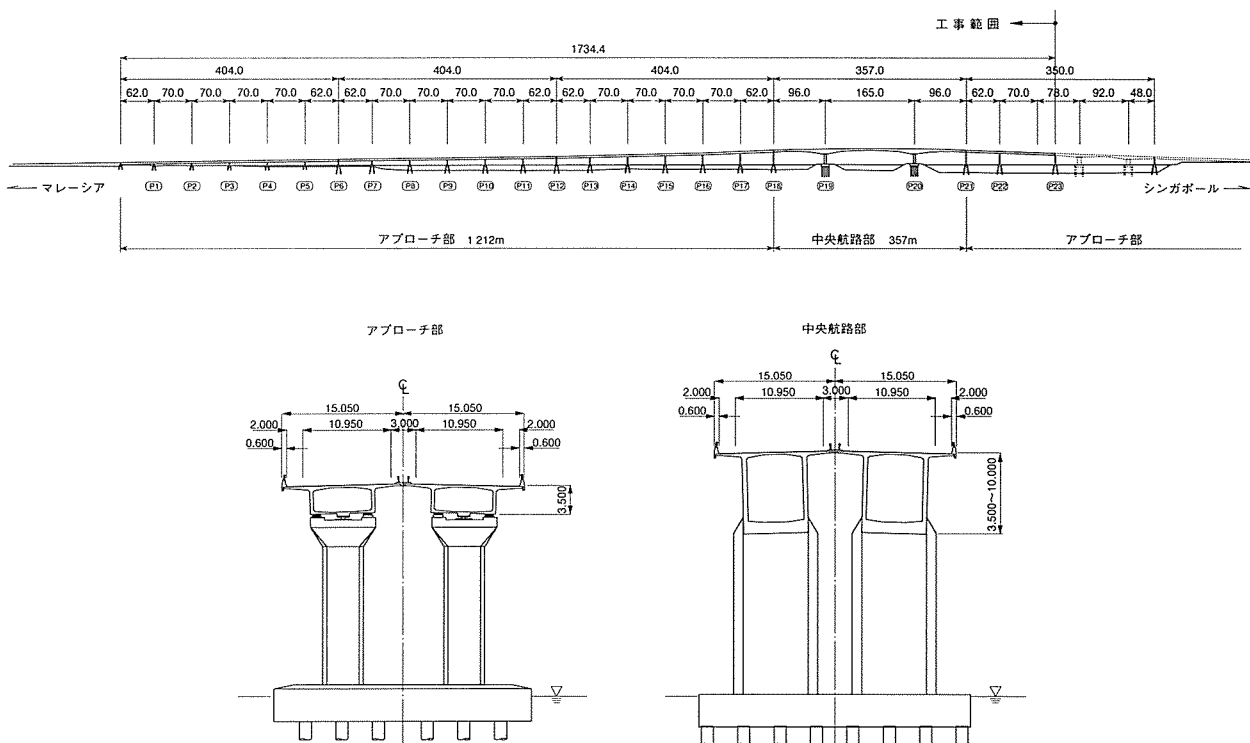


図-2 橋梁一般図

### 3. 構造概要

本橋は、図-2に示すように、支間 70 m 級の 6 径間連続桁からなるアプローチ部と、中央支間 165 m の 3 径間連続ラーメン橋である中央航路部で構成されている。本橋の施工は、アプローチ部が移動式架設桁によるプレキャストセグメントカンチレバー工法、中央航路部は移動式作業車による場所打ち張出し工法により行う。プレキャストセグメントの架設はマレーシア側から片押しで行い、場所打ち張出し架設は、移動式架設桁の通過に先立って行う。

### 4. プレキャストセグメント部の構造

#### 4.1 プレキャストセグメント

セグメントは、幅 14.5 m、長さ 3.35 m の箱形断面であり、重量は 78 t～134 t である。セグメントに用いるコンクリートの設計基準強度は、立方体試体強度（以下同）で 50 N/mm<sup>2</sup> であり、蒸気養生により 1 日強度で 20 N/mm<sup>2</sup> を目標としている。

セグメントの継目には、図-3に示すように、上下フランジおよびウェブに台形型せん断キーを配置している。

#### 4.2 PC 鋼材

使用する PC 鋼材は、表-2に示すように、引寄せ用鋼棒を除きマルチストランドである。主ケーブルのうち、張出しケーブルは上床版内に配置し、上床版端部と桁内突起で定着する。連続ケーブルはすべて外ケーブル方式であり、下床版ハンチ部に配置したデビエータによって偏向される。保護管にはポリエチレン管を使用し、内部を無収縮モルタルでグラウトする。

表-2 使用 PC 鋼材

使用箇所	材質	種類 (mm)
張出しケーブル (支間 62 m)	SWPR 7 B	14φ15.2, 19φ15.2
” (支間 70 m)	”	12φ15.2, 15φ15.2
連続ケーブル	”	19φ15.2, 29φ15.2
床版横締めケーブル	”	4φ15.2
セグメント引寄せ鋼材	SBPR 785/1 030	φ40

横締めケーブルは 4×φ15.2 mm を 670 mm ピッチ（柱頭部では 433 mm）で用い、シースには縦 20 mm × 横 80 mm の偏平シースを使用し、床版内での偏心量を大きくし、架設ケーブルの配置スペースを広くする工夫がなされている。プレキャストセグメント区間では交互片引き緊張し、場所打ち張出し区間は、一方から片引き緊張する。

#### 4.3 支 承

ラーメン構造となる P 19, P 20 橋脚を除くすべての橋脚には、ウェブ直下に支承板支承を配置している。このほか、P 6 から P 23 までの橋脚には、スラスト支承と呼ばれる支承を配置する。この支承は、移動方向を制限するとともに、船舶衝突時の水平荷重に抵抗するためのもので、セグメントとは PC 鋼棒によって剛結されている。

### 5. プレキャストセグメントの製作

#### 5.1 製作ヤード

セグメントの製作ヤードは、架設地点から約 30 km 離れた丘陵地帯に建設した。製作ヤードは、図-4に示すように、439 m × 150 m の敷地に鉄筋加工ヤード、鉄筋組立ヤード、4 基の製作台、養生（蒸気）ヤード、お

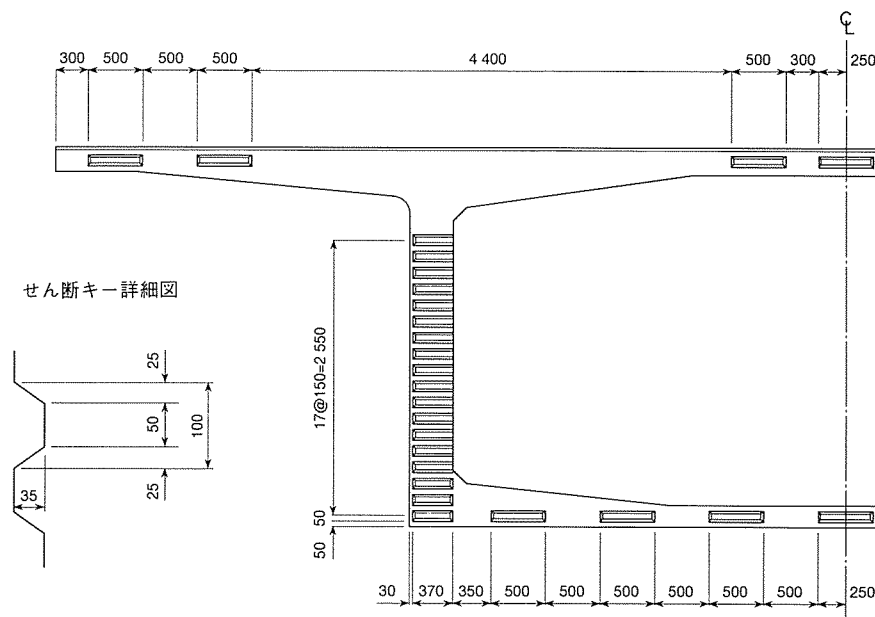


図-3 せん断キー配置詳細図

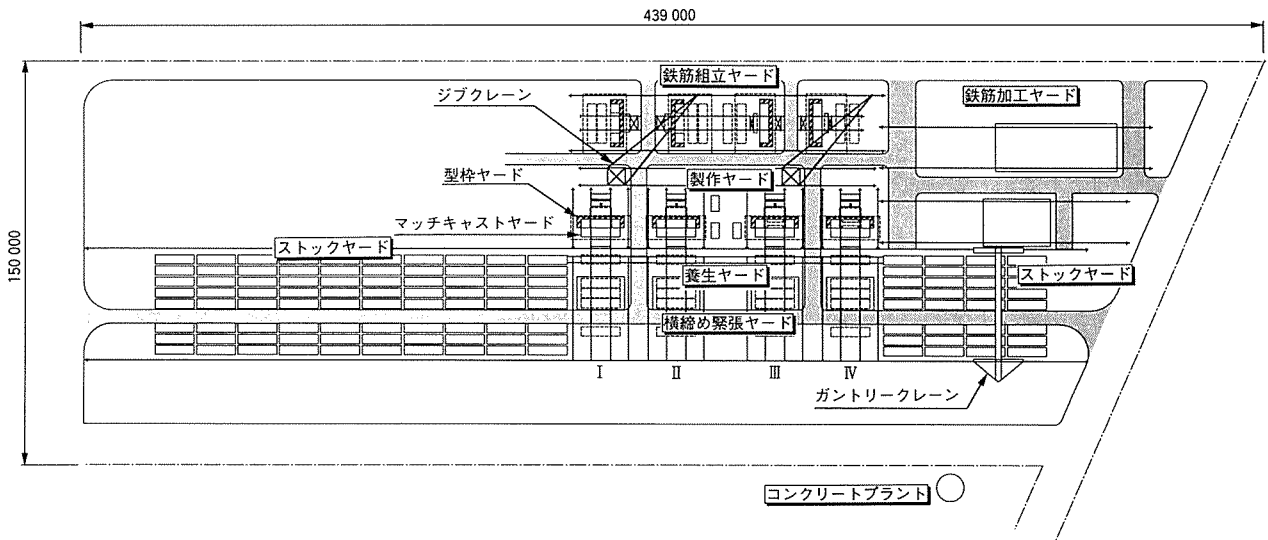


図-4 セグメント製作ヤード

およびストックヤードが配置されている。コンクリートは、ヤードに隣接して設置したバッチャープラントから供給される。

セグメントは、合計 840 個をショートライン・マッチ

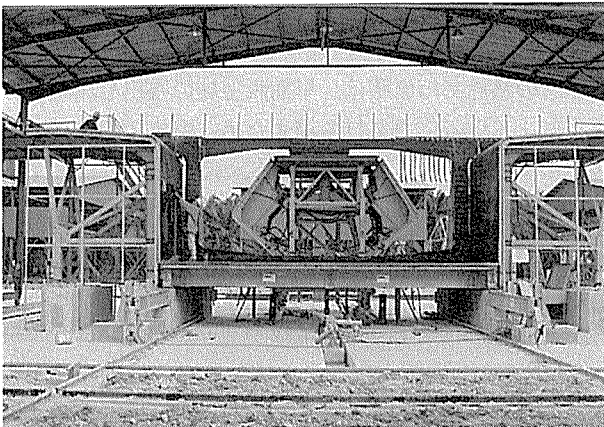


写真-2 セグメント製作台

キャスト方式で製作する。写真-2 にセグメント製作台を示す。出来形計測には新たに開発したトータルステーションによる測量システムを導入し、出来形管理作業の省力化を図っている。製作ヤードには鉄筋ユニットの吊込み・運搬用として 200 t・m ジブクレーン 1 基と、セグメント吊上げ用の 150 t 門型クレーン (支間 38 m) を配置している。

### 5.2 製作、仮置きおよび運搬

#### (1) 製作

合計 4 ラインのショートラインマッチキャスト方式による製作ラインのうち、I、II ラインでは標準セグメントを、また、III、IV ラインではデビエータや横桁を含む特殊セグメントを製作する。これらのほか、ウェブや下床版の変化に対応するため、20 種類の内型枠が用意されている。セグメント製作台の概要は、図-5 に示すように、固定された妻型枠と、開閉式の外型枠および移動

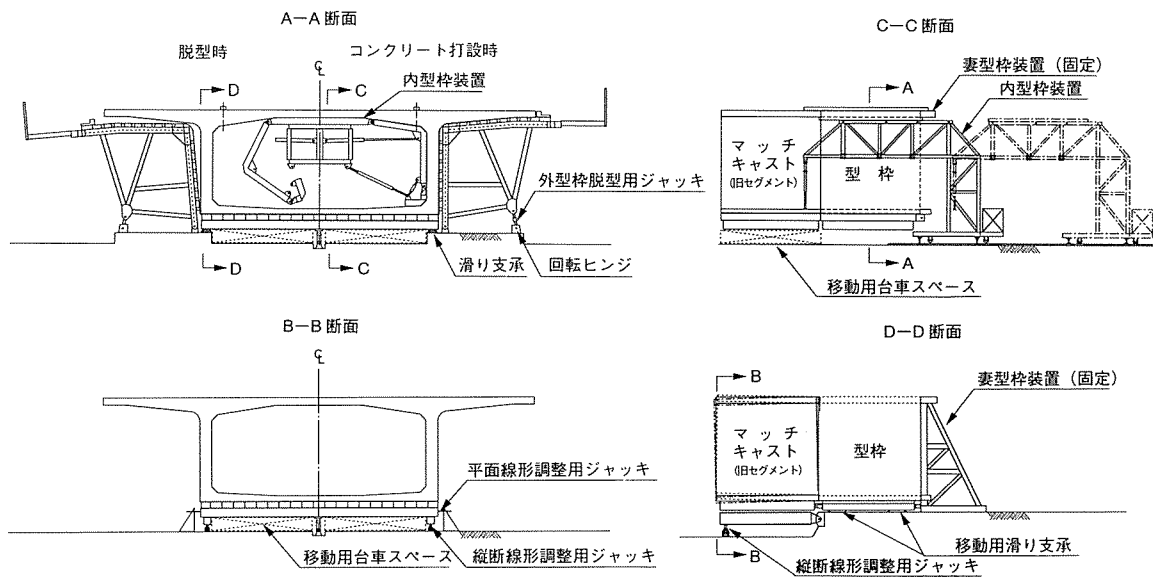


図-5 プレキャストセグメント製作装置

		日	1日目																							2日目																								
		時	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19											
I・IIライン	準備工		///																																															
	マッチキャストセグメント据付け			///																							///																							
	鉄筋・型枠セット				///	///																							///	///																				
	コンクリート							///	///	///																										///	///													
	蒸気養生																	///	///																										///	///				
III・IVライン	準備工		///	///																																														
	マッチキャストセグメント据付け				///																																													
	鉄筋・型枠セット					///	///	///	///																																									
	コンクリート																													///	///																			
	蒸気養生																																																	

図-6 セグメント製作サイクル工程表

式の内型枠から成っている。セグメントの上げ越し量の調整や製作誤差の修正は、マッチキャストセグメント(旧セグメント)の据付け位置を、水平・鉛直方向に微調整することにより行う。調整可能量は、それぞれの方向に±20mmおよび±25mmである。

標準的なセグメントの鉄筋は、1セグメント分を8つに分割し、プレファブ化している。仮組ヤードには、型枠1基あたり1基の仮組枠を用意し、プレファブ化した鉄筋を組み立てる。

標準サイクル工程は図-6に示すようであり、標準セグメントは1個/1日、特殊セグメントは1個/2日のペースで製作される。

製作したセグメントは、I～IVの製作ラインを横断する自走式台車(写真-3)によって、次セグメントのマッ

チキャスト側へ移動させる。

床版の横締め緊張は、早期脱型時の張出し床版部の自重による引張応力を打ち消すため、型枠脱型前に全緊張力の25%のみ導入する。最終緊張力は、養生終了後に横締め緊張ヤード(図-4参照)で導入する。

(2) 仮置き、運搬

型枠脱型後、マッチキャスト位置への移動、養生エリアへの移動、および横締め緊張エリアへの移動は、写真-4に示すように底版型枠をつけたまま、自走式台車により行う。横締め緊張後、ストックヤードへの移動は150t吊り門型クレーンにより行う。

製作したセグメントは、製作ラインの両側にあるストックヤードに保管する。ヤードでは、セグメントを2段に積み上げ、最大170個のセグメントが保管できる。

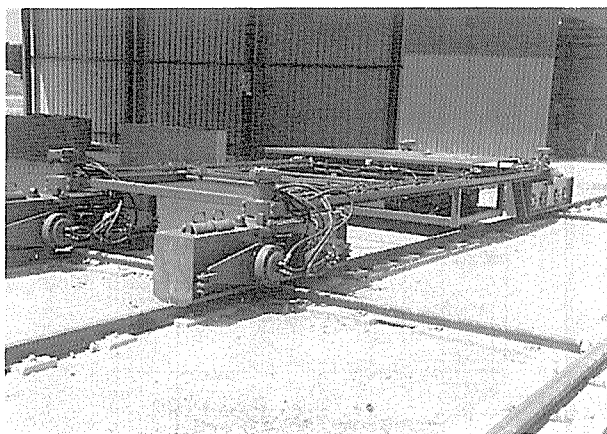


写真-3 自走式台車

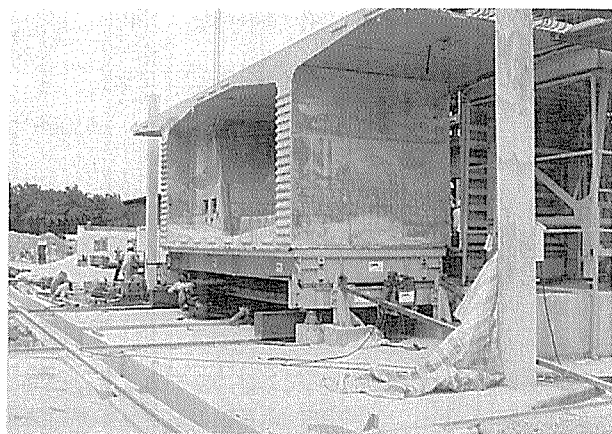


写真-4 セグメントの移動



写真-5 大型トレーラー

製作ヤードから架設現場への運搬は、写真-5に示すような最大積載重量 190 t の大型トレーラー（軸数 10 軸，最大軸重 20 t，タイヤ 1 輪あたり 2.5 t）を使用して行う。運搬時間は約 6 時間である。

## 6. プレキャストセグメントの架設

### 6.1 移動式架設桁

セグメントの架設は、図-7に示す全長 144 m，総重量約 350 t の移動式架設桁により行う。この装置は、1 本のトラス桁を前方架台，中央架台，および後方門型架

台で支持し，2 基の吊込み装置でセグメントを移動・据え付ける構造である。また，中央の橋脚上に敷設した横レール上を中央架台が滑動し，後方門型架台上をトラス桁が横移動することで，上下線のセグメントを交互に架設することができる。

次の径間への移動手順は，図-8に示すように，トラスの移動装置を兼ねた 2 基の吊込み装置でトラスを支持しつつ，油圧モーターで前方に送り出す。送り出し速度は 2 m/分であり，次の径間への移動には 1 日を要する。

送り桁は，ジョホール橋台背面の盛土区間で組み立て，先端を P 1 橋脚上まで前進させた後，セグメントの架設を開始する。

### 6.2 架 設

#### (1) 中央径間（支間 70 m）の架設（図-9 参照）

- ① X 橋脚上の No. 2 セグメントおよび (X+1) 橋脚上の No. 0, No. 1 セグメントを架設する。
- ② X 橋脚上の No. 3, No. 4 セグメントを架設する。
- ③ トラスを横移動して，反対車線側で①②の作業を行う。
- ④ 再び，トラスを横移動して，No. 5～No. 8 セグメントを架設する。

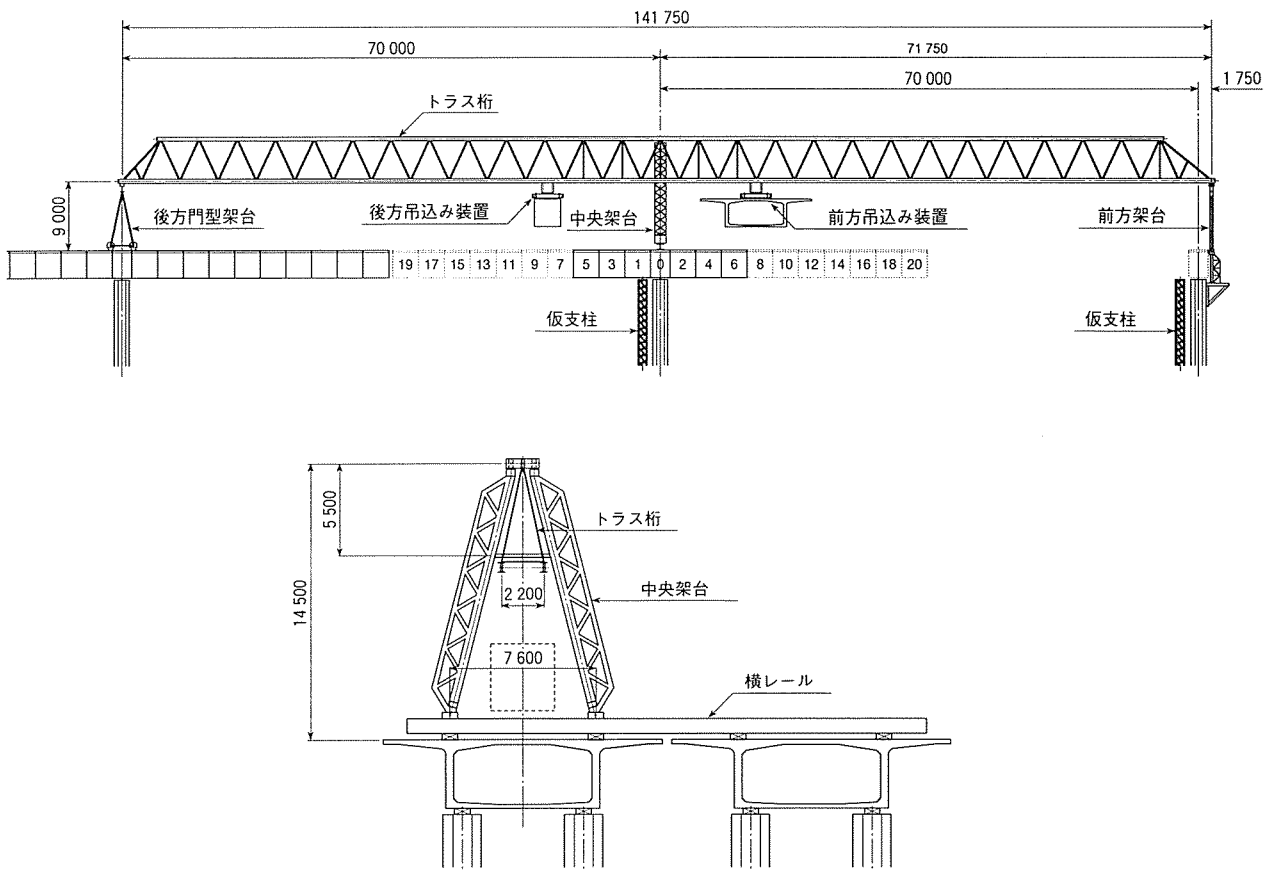
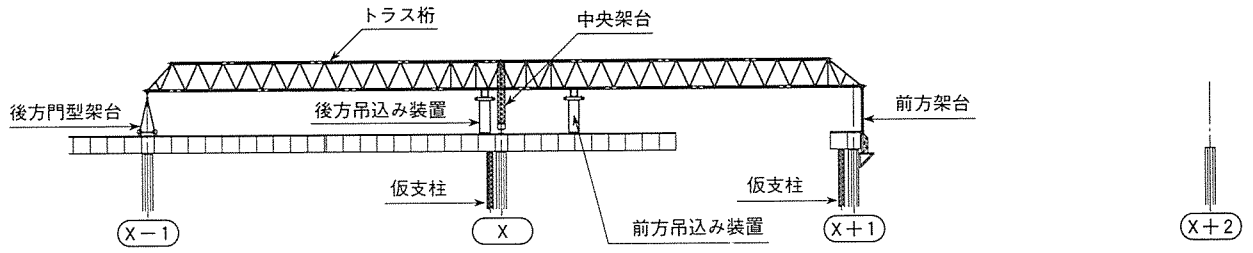
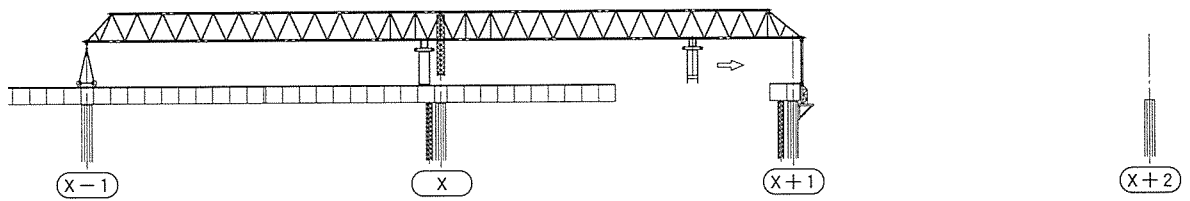


図-7 移動式架設桁一般図

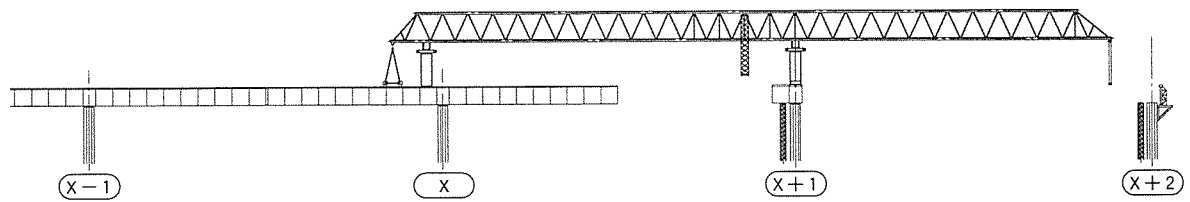
- ① 後方吊込み装置を中央架台の後方にセットする。



- ② 中央架台をトラス桁にあずけた後、前方吊込み装置を (X+1) 橋脚上へ移動させる。



- ③ 後方門型架台を用いてトラス桁を前進させる。クレーンにより (X+2) 橋脚上にブラケットを設置する。



- ④ トラス桁を所定の位置まで前進させ、前方および中央架台をセットする。

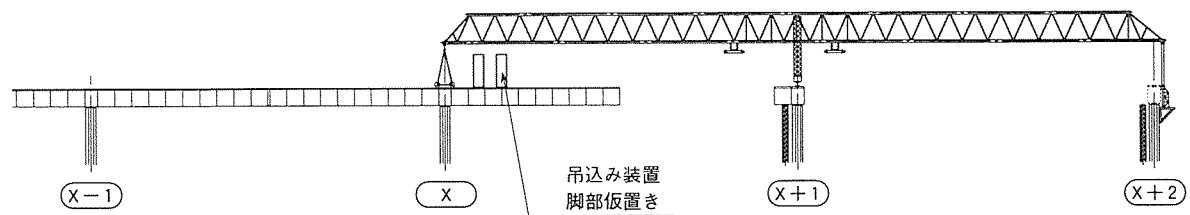
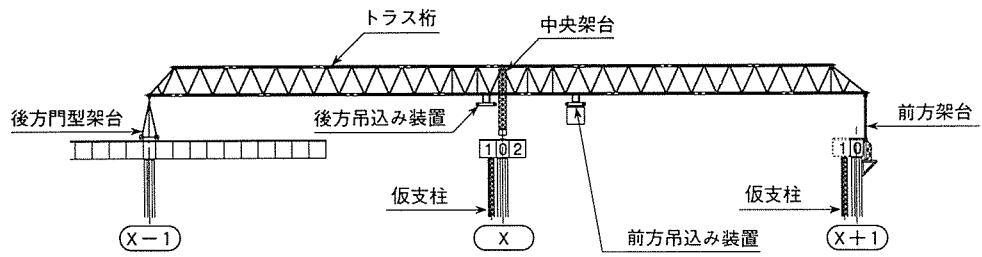
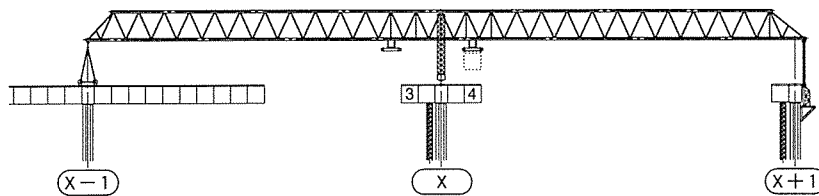


図-8 径間移動要領図

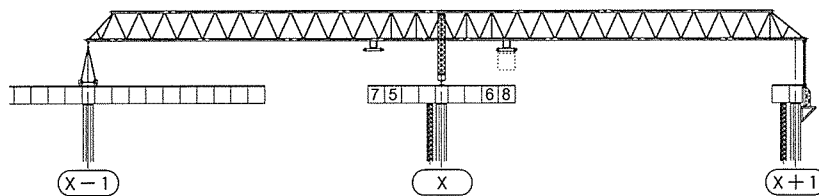
- ① X橋脚上のNo.2セグメントおよび(X+1)橋脚上のNo.0, 1セグメントの設置。



- ② X橋脚上のNo.3, 4セグメント設置。  
③ トラスを横移動して①, ②を繰り返す。



- ④ 順次、2セグメントずつ架設する。



- ⑤ No.20セグメント架設後、中央閉合部を場所打ち施工する。

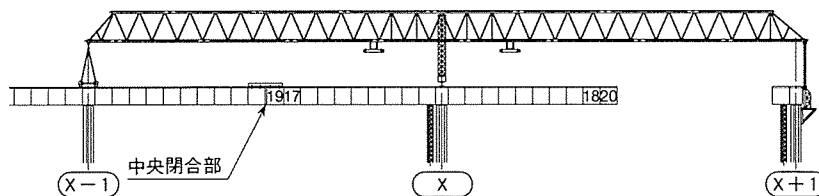


図-9 セグメント架設要領図



⑤ 同様に No. 20 セグメントまで架設した後、閉合部を施工し、連続ケーブルを75%だけ緊張する。

1日に架設するセグメント数は、標準で4個、最大で6個を予定している。セグメントは、エポキシ樹脂系接着剤で接着し、上床版に仮剛結した引寄せ用ブロックと、下床版中央の定着突起を用いて、 $\phi 40$  mm PC 鋼棒で引き寄せる。

連続ケーブルは、閉合後に全緊張力の75%を導入し、その後、構造系が完成してから、最終緊張力を導入する。

### (2) 側径間(支間62 m)の架設

伸縮継手のある P 6, P 12, P 18, P 21 橋脚の張出し架設は、橋脚上の2つのセグメントを仮剛結した後、中央径間と同様な施工順序で張出し架設する。上床版内に配置した架設ケーブルは、次の径間と閉合し、連続ケーブルを緊張後に切断し、仮剛結を解放する。架設ケーブルのダクトは、ケーブル切断後、ケーブルを残したまま無収縮モルタルでグラウトする。

### (3) 側径間支保工部の施工

ジョホール橋台側側径間の8セグメントは、地上支保工上で架設する。施工順序は、以下に示すとおりである。

- ① 端部セグメントを4台のジャッキで支持しながら所定の位置に据え付ける。
- ② このセグメントを $\phi 40$  mm PC 鋼棒と H 鋼を用いて橋台に固定する。
- ③ 次セグメントを送り桁から吊り下げ、エポキシ接着材塗布後、4台のジャッキに仮置きする。
- ④ 引寄せ鋼棒を20 tf/本で緊張する。
- ⑤ ③→④を順次繰り返す。
- ⑥ すべての引寄せ鋼棒を40 tf/本で緊張する。
- ⑦ 支承箱抜きに無収縮モルタルを注入し、本支承とセグメントを固定する。

### (4) 閉合部の施工

プレキャストセグメント施工区間の支間中央の閉合、およびシンガポール側との閉合は、場所打ちコンクリートで施工する。閉合部の長さは0.5 m~2.65 m であり、場所打ちコンクリートの設計基準強度は、 $45 \text{ N/mm}^2$  である。

閉合部は、鋼製吊り支保工を用いて施工するが、閉合部両側セグメントの水平および鉛直方向の誤差は、両側の桁に反力梁を渡し、それぞれチェーンブロックおよび

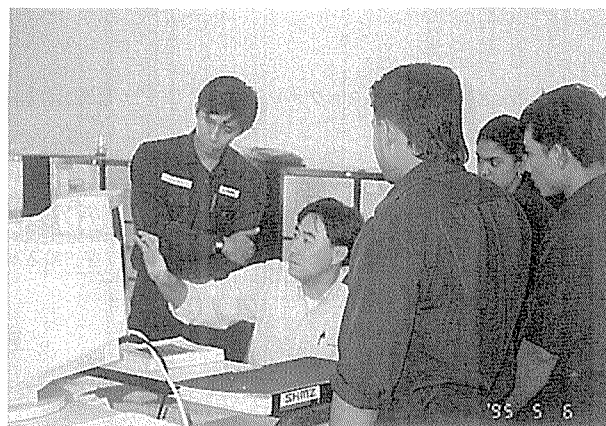


写真-6 研修風景

ジャッキで微調整する。

## 7. 新しい形の技術移転

### ——あとがきに代えて——

本プロジェクトの契約には、一風変わった条項が含まれている。マレーシアの若手技術者100人を、請負者の定めたプログラムに沿ってOJT (On the Job Training, 業務を通じた研修) および集合教育で教育すること、というものである。入札の際には、この教育プログラムの優劣も考慮された。マハティール首相の Look East 政策ではないが、「工期に遅れない」、「信用を第一と考える」日本流の工程管理、品質管理、安全管理、原価管理を肌で感じて学んで欲しい、という発注者の考えが見えてくる。現在、100人を2班に分け、50人が1年半現場宿舍に寝起きして、日本式マネジメントを研修中である(写真-6)。選ばれた彼らおよび彼女たちは、研修終了後は、公的機関による修了証明を交付される予定である。この工事に寄せる期待の大きさが感じられる。

本工事は、施工延長1700 m 余り、上下線、上下部工一括施工という、国内では例を見ない大型工事である。これを3年という短工期で完成させる。まさに、プレキャストセグメント工法の長所を生かすに足る規模である。が、マレーシアの我が国橋梁技術に寄せる期待は、単にこの長大橋を完成させることに留まらない。工事を通じて、技術と日本式マネジメントの理念と手法を学ぶという、新しい形の技術移転である。これを政府援助ではなく、民間の力で進むところに、現代マレーシアの力を感じさせる。

【1995年12月1日受付】