

大型移動支保工による複合斜張橋への取付け橋建設 Construction of Approach Bridge used Movable Scaffolding System

小林 高雄*

角田 隆弘*

Takao Kobayashi

Takahiro Tsunoda

要 約

本報では、タイ国バンコク市内を流れるチャオ・プラヤ（Chao Phraya）川を横断する南北2つの複合斜張橋への取付け橋（PC連続ラーメン2室箱桁橋）建設工事において採用した大型移動支保工（Movable Scaffolding System）の施工について報告するものである。この設備を用いた架設工法は部分的に型枠および支保工を解体するだけで、桁下空間を使用することなく次の径間へ移動し順次上部工を構築する工法であり、固定式支保工の施工サイクルより急速施工が可能である。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 大型移動支保工
- § 4. 施工サイクル
- § 5. 今後の採用にあたって
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

産業環状道路プロジェクト（Industrial Ring Road Project）は、貨物の輸送能力を高めるために新ルートを整備する事業である。この道路橋は、市内を屈曲して流れるチャオ・プラヤ川を横断するもので、サムットプラカン県の工業地帯、バンコク都の南部および南西地域とバンコク港（クロントイ地区）を結ぶものである。また河川港であるバンコク港へ向かう大型コンテナ船舶の往来を阻害しないように水面から桁下まで51mの高さで計画された道路橋である。

プロジェクトは、南部、北部、東部の3工区に分かれ当社は5径間連続複合斜張橋、取付け橋、インターチェンジを含む南部、北部工区を4社JVで受注した。

斜張橋への取付け道路橋は、PC 2室箱桁断面（幅員30.5m、桁高3.5m）であり支間長は67.5mである。このPC連続多径間ラーメン箱桁橋を、現場打ち分割施工するにあたり大型移動支保工（写真-1）を採用した。

§ 2. 工事概要

工 事 名：産業環状道路プロジェクト



写真-1 大型移動支保工

（その1工事）/（その2工事）

Industrial Ring Road Project (Contract No.1 & No.2)

発注者：運輸省地方道路局（DOR）

Department of Rural road, Transportation Ministry, THAILAND

工事場所：その1工事：サムットプラカン県

その2工事：バンコク都～

サムットプラカン県

施工者：大成・西松・JFE・Sino-Thai 共同企業体

工事内容：その1工事

斜張橋建設工事 メインスパン 398m

取付け道路橋建設工事 1090m

PC 8径間連続ラーメン2室箱桁橋

PC 14径間連続ラーメン2室箱桁橋

インターチェンジ建設工事 976m

PC 16径間連続ラーメン単純箱桁橋

PC 5径間連続ラーメン単純箱桁橋

*タイ国営業所 IRR（出）

- : その2工事
- 斜張橋建設工事 メインスパン 326 m
- 斜張橋間接続橋建設工事 313 m
- 取付け道路橋建設工事 875 m
- PC 7 径間連続ラーメン2室箱桁橋
- PC 12 径間連続ラーメン2室箱桁橋
- 高架橋建設工事 578 m
- PC 12 径間連続ラーメン2室箱桁橋



写真一2 サポートタイプの大型移動支保工 (橋脚ブラケット支持形式)

§3. 大型移動支保工

3-1 概要

この架設方式は、同一断面、多径間の橋梁施工に適する工法で、長スパン、高位置構築の施工条件では固定支保工に比べコスト、施工サイクルの面で有利になり、1970年代より世界のプロジェクトで多数採用されてきた。

大型移動支保工システムは、海外において Movable scaffolding system (MSS) または、Advancing shoring system (ASS) と呼ばれている。

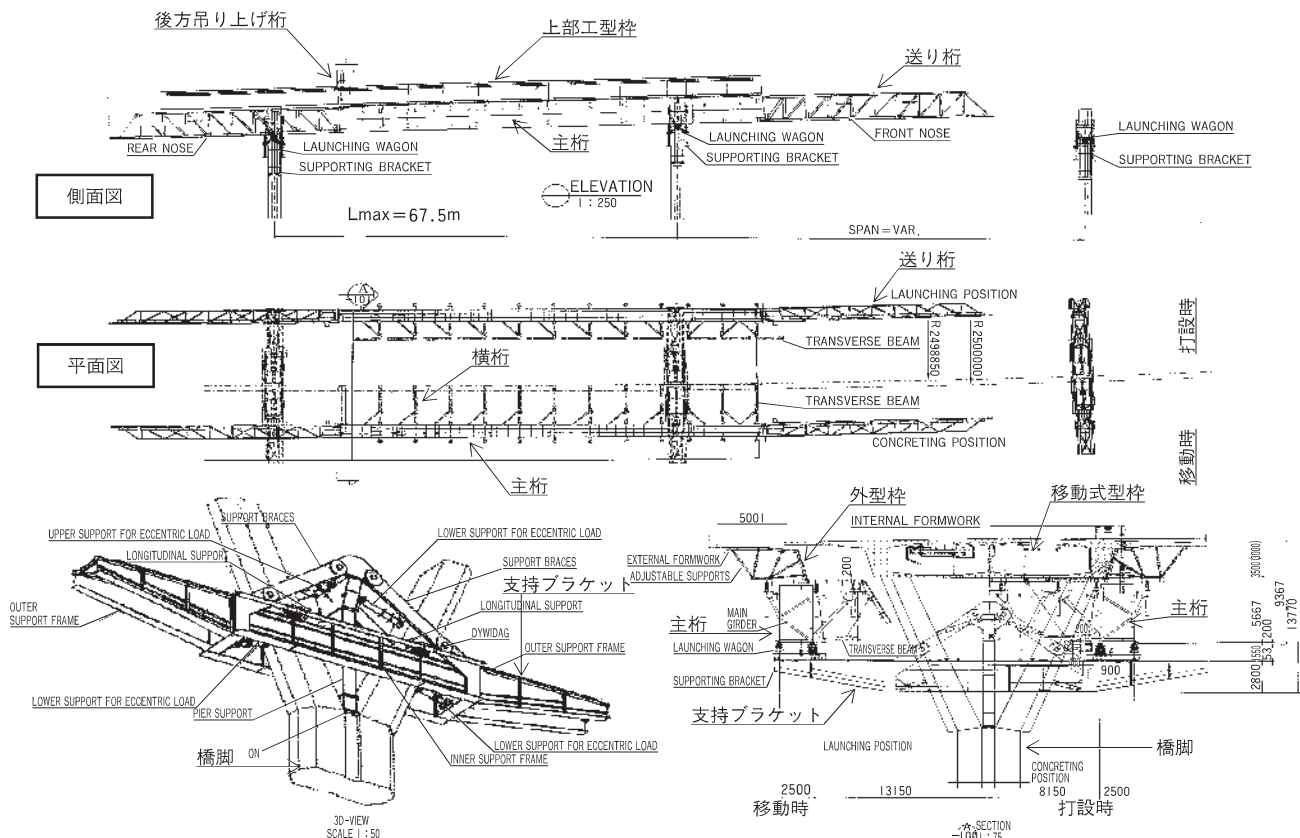
移動支保工のメイン部材となる主桁の位置により、2つのタイプに分けられる。

(1) サポートタイプ (Underslung type)

このタイプは、主桁の下方2点で主桁を支持する形式である。写真一2に示すように橋脚に設置したブラケットで支持する形式をここでは橋脚ブラケット支持形式という。以下このタイプをMSSという。支保工の重量は

18,000 kNである。20スパン(延長1174 m)はこのタイプで施工した。このタイプの大型移動支保工(図一1)は型枠設計、施工コンセプト、油圧ジャッキ装置等をノルウェー王国にあるStrukturas社に発注し、材料の調達から加工組立は現地タイ(協力会社STP & I)にて行った。型枠コストは、諸経費等すべて含むと150 million BHATで、当プロジェクトでのコンクリート施工量は31,200 m³、すなわちm³あたりに換算すると4,800 BHATになる。

システムの設計条件は、最大径間70 m・最小曲線半径>260 m・最大勾配(橋軸方向)5%・最大横断勾配±5%である。現場施工条件は、最大径間67.5 m・最



図一1 大型移動支保工



写真-3 サポートタイプの大型移動支保工
(タワーサポート支持形式)



写真-4 ハンガータイプの大型移動支保工

小曲線半径 $>2,500$ m・最大勾配(橋軸方向) 3.5%・最大横断勾配 $\pm 2.5\%$ である。

また、写真-3に示すように地上からの支保工で支持する形式をタワーサポート支持形式という。

支保工の重量は $10,900$ kNであり6スパン(延長 280 m)をこのタイプで施工した。

(2) ハンガータイプ (Overhead type)

このタイプは、写真-4に示すように主桁からハンガーにより吊りおろす支持形式である。支保工重量は $9,940$ kNである。このタイプにより取付道路橋の13スパン(延長 468 m)およびインターチェンジの21スパン(延長 760 m)を施工した。

3-2 MSS 支保工の構成

構成要素は、主要9パーツからなる。

① 主桁 (Main Girder) :

幅 2.5 m、高さ 5.15 mの6ブロック接合構造で長さ 70.5 mであり、主桁2本で $4,710$ kN

② 送り桁 (Nose) :

長さ 76 m(前方送り桁 38 m+後方送り桁 38 m)あり、前方後方左右合わせて $1,200$ kN

③ 横梁 (Transverse Beam) :

横梁は、 5.85 mピッチで12列配置されており、 $1,050$



写真-5 移動式内型枠

kN

- ④ 移動台車 (Launching wagon)
- ⑤ 外型枠 (Ext. Formwork)
- ⑥ 作業足場 (Platforms)
- ⑦ 移動式内型枠 (Int. Formwork) (写真-5 参照)
- ⑧ 支持ブラケット (Supporting Brackets)
- ⑨ 後方吊り上げ桁構造 (Suspension Gallows)

3-3 MSS 施工手順および施工法

上部工施工の1サイクルは以下に示す①~⑦である。

① 支持ブラケットの移動

支持ブラケットは、1セットで $1,430$ kNあり、3セットを順次移動セットして使用する。設置、解体には、 45 tストランドジャッキを4台使用する。

② 主桁の横移動

ジャッキの伸縮により橋脚ブラケット上で主桁を滑らせる構造である。大型移動支保工の死荷重(片側あたり) $5,800$ kNを 45 tジャッキ4台で移動させる。この作業に要する時間は約1時間である。

③ 主桁の前方移動

主桁をジャッキダウンして、ローラー上に預けた主桁を 65 t油圧ジャッキ1台の伸縮で移動させる。移動実績は、1時間当たり $5\sim 6$ mである。

④ 型枠セット

外型枠は、主桁からスピンドルパイプで支持され、外型枠面積 $2,500$ m²で $3,160$ kNである。12台の 15 t油圧ジャッキにて型枠の折り畳み開閉を行う構造で、型枠のキャンバーセットのために72台の 5 t油圧ジャッキを使用するシステムになっている。移動式内型枠は、内型枠面積 $1,560$ m²で $1,640$ kNあり、レール走行式としており、走行台車を上下分離方式にして橋脚頭部の横桁部の通過を可能としている。

⑤ 鉄筋・PC鋼材の配置

⑥ コンクリートの打設

コンクリート打設時の、主桁前方支持はブラケット上に設置された $1,000$ tジャッキ左右2台の計4台で行う。



写真—6 一括吊り下げ解体

主桁後方支持は、後方吊り上げ桁構造で主桁を吊り上げる。その荷重を、既設のコンクリートに1,200tジャッキ2台で直接支持させる構造になっている。

⑦ PC 緊張

以上の構造からなるMSSシステムは、型枠自重が17,780kNであり、67.5mスパンのコンクリート打設時は死荷重60,000kNになる。前方支持（橋脚）ブラケットにて40,000kNを支持し、後方の後方吊り上げ桁構造にて20,000kNを支持する構造になっている。

3-4 超大型支保工の解体・組立

サポートタイプ形式の大型移動支保工には、写真—6に示すHeavy Liftingジャッキを利用した組立、解体が有効である。

地上での地組、解体は、高位置でのクレーンによる解体、組立作業を伴わないので安全である。

当プロジェクトの最初の組立には、低位置領域（クレーン性能領域）で、大型クレーンによる架設が採用されたが、その後の解体、再組立は、支持ブラケット、送り桁を除いた約10,000kNの型枠システムを、150t Heavy Liftingジャッキを8台使用して行った。ジャッキは1ストローク40cm、1サイクル8~9分で1時間あたり7~8サイクルを行い、1時間あたり2.5~3mという施工スピードで一括吊り上げ、吊り下げ作業を行った。

3-5 コンクリート打設

本プロジェクトで採用した配合を表—1に示す。

本工事では、上部工のコンクリートを2回打ちとした。1回目は下スラブおよびウェブコンクリートを打設した。コンクリート打設速度は、ポンプ車1台当たり時間20~25m³で、2室箱桁コンクリートはポンプ車を3台使用するので、時間平均打設量は60~75m³であった。67.5mスパン施工では、900m³を15時間前後かけて打設した。

2回目は上スラブコンクリートを打設した。

コンクリート打設速度は、ポンプ車1台当たり時間40

表—1 コンクリート配合
(Concrete Grade 50A Mix proportions)

単位量 (kg/m ³) Mix Proportion of 1 cu.m. (kg)					
セメント	フライアッシュ	水	細骨材	粗骨材	混和剤
Cement	PFA	Water	Sand	Rock	Admixture
				(3/4"-#4)	(ml)
※ 360	140	150	800	1000	※ 4700
水セメント比	水結合材比	細骨材率	フレッシュ性状		
W/C	W/(C+PFA)	S/A	スランプ	空気量	温度
			Slump	Air content	Concrete temp.
(%)	(%)	(%)	(cm)	(%)	(°C)
41.7	30.0	44.4	24.0	—	31.0

- ※ 普通セメント Cement Type I
- ※ 置換率 (PFA/(C+PFA)) 28.0%のフライアッシュコンクリートを使用
- ※ 混和剤 CPAC 10701 Mighty RD-HP

表—2 標準施工サイクル

(日数)

	A	B	C	D	E
ブラケット支持サポートタイプ (写真—2) 幅員30.5m 支間67.5m 桁高3.5m	6.5	10.0	6.0	6.0	28.5
タワーサポート支持サポートタイプ (写真—3) 幅員30.5m 支間48.0m 桁高3.0m	10.0	7.0	9.0	5.5	31.5
ハンガータイプ (写真—4) 幅員30.5m 支間36.0m 桁高2.5m	9.0	7.5	7.0	4.5	28.0

~50m³で、2室箱桁コンクリートはポンプ車を2台同時使用するので、時間平均打設量は80~90m³であった。67.5mスパン施工では、900m³を10時間前後かけて打設した。

§ 4. 施工サイクル

橋梁上部工サイクルの施工実績を表—2に示す。

$$\text{施工サイクル } E = A + B + C + D$$

- A: 型枠支保工移動セットまでの所要日数
ジャッキダウンより次スパン型枠セット完了
- B: 1st 施工の所要日数
鉄筋組立開始より1st コンクリート打設完了
- C: 2nd 施工の所要日数
鉄筋組立開始より2nd コンクリート打設完了
- D: 養生+緊張作業の所要日数
打設完了より緊張作業完了

表一3 大型移動支保工システム 幅員 30.5 m 支間 67.5 m 施工サイクル

	所要 日数	単位	数量	備考	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29																												
					凡例： ■ 標準施行サイクル 28.5日サイクル ■ 最短施行サイクル 24.0日サイクル																												
大型移動支保工 移動工	6.5 5.5	m	67.5		[Gantt chart showing standard and shortest cycles for moving work]																												
下床版+ウェブ+横梁鉄筋 PC 鋼材組立	9.0 6.0	t	114.8 59.4 3.9	鉄筋 SD 40, 50 PC Longitudinal PC Crossbeam	[Gantt chart for deck slab and reinforcement]																												
内型枠移動セット	(5.0) (4.0)	m ² 空 m ³	1,560 2,500	定着突起エリアを 木製型枠に変更	[Gantt chart for formwork]																												
1st コンクリート打設	1.0	m ³	981.0		[Gantt chart for 1st concrete pour]																												
PC 緊張 (設計×50%)	(1.0)	nos	6.0	PC Longitudinal	[Gantt chart for PC tensioning]																												
上床版鉄筋 床版横締め PC 鋼材組立	4.0	t	109.4 19.4	鉄筋 SD 40, 50 PC Transverse	[Gantt chart for top deck slab reinforcement]																												
2nd コンクリート打設	1.0	m ³	912.0		[Gantt chart for 2nd concrete pour]																												
養生	3.0				[Gantt chart for curing]																												
PC 緊張 (本緊張)	3.0	nos	20 7 136	PC Longitudinal : (31-f15.7) PC Crossbeam : 3nos(31-f15.7), 4nos(22-f15.7) PC Transverse : (4-f15.7)	[Gantt chart for final PC tensioning]																												

支間 67.5 m 標準施工サイクル (表一3) は 28.5 日で 1~2 日のロスを考えると計画工程としては、30 日サイクルである。最短施工サイクルは、24 日 (A=5.5, B=7.0, C=5.5, D=6.0) を記録している。

また、表一2 に示すとおりシステムの違いにより移動サイクル (型枠支保工移動セット時間) に 3~5 日の差がある。移動性能の向上が、施工サイクルの短縮を可能とする。

一方、固定式支保工 (幅員 30.5 m, 支間 36.0 m, 桁高 2.5 m) の施工サイクルは約 60 日であった。支保工を 2 スパン分使用することにより、30 日前後で 1 スパンの施工が可能である。

したがって、この規模の PC 2 室箱桁ラーメン橋の計画施工サイクルは 30~35 日で設定でき、施工スパン数と導入システム数およびシステムの組立 (約 2 か月)、解体日数 (約 1 か月) により、工事全体の工期算定が可能である。

§ 5. 今後の採用にあたって

5-1 断面変化部の配慮

当該工事に採用した大型移動型枠は、構造物の形状が変化する断面では施工時間を要する。すなわち、桁高変化、構造断面の起終点スパン、断面変化区間 (構造すり付け区間) では形状変化に対応した補助型枠のセット、組み替えに要する時間が必要となる。このため地上 30~40 m で使用する時は、型枠の組み替え、撤去作業にクレーン架設作業の手間が掛かる。今後の類似工事における施工計画では、断面変化部の施工時間、施工費、機械費を標準施工サイクルに見込むことが重要である。

5-2 今後の課題

(1) システムの採用

本システムの型枠コストは高価であるため、本システムの採用にあたっては、施工条件 (上部工の施工高さ、およびスパン)、施工数量、工期等を勘案し決定しなければならない。

また、本システム採用時の重要な点はサイクルタイムをいかに短縮できるかであり、この可能性追求のため施工性向上の十分な事前検討が必要である。

(2) 支保工の照査

大型移動支保工は、仮設構造ではあるが本体構造並みの構造チェックを必要とする。型枠設計者が安全余裕度のない設計していた場合、施工時の小さなミスが重大事故につながる危険性がある。部材許容応力度の何パーセントで設計されているのか、荷重の取り方 (特に衝撃荷重) や継ぎ手部等のあそび構造により発生する構造ひずみの許容についての検討 (偏心荷重等) まで検討がなされているのか、十分な構造計算の確認が必要である。

(3) コンクリート打設回数

本工事においては、支間 67.5 m の施工を行うにあたり、当初の 1 回打設の計画を 2 回打設に変更した。1 回目の打設養生後に緊張導入 (設計緊張力の 50%) することにより、大型移動支保工システムの主桁の負担を低減することで、事故に対するリスクの低減を図った。施工上、上床版鉄筋、シースを組立てると、ウェブコンクリートにバイブレーターをかけ難くなるので、コールドジョイントを防ぐ意味でも、2 回打設の方がベターな選択である。

(4) サイクル時間の短縮に向けて

以下の項目を検討することによりサイクル時間短縮の

可能性を探ることができる。

- ① 鉄筋、PC組立作業のプレハブ化による短縮
- ② 固定式ブームポンプを本システムに設置することによるコンクリート打設時間の短縮
- ③ コンクリート配合設計による養生期間、緊張所定強度の到達時間の短縮
- ④ 型枠移動セットに掛かる日数の短縮
- ⑤ ジャッキ調整機能を採用することによる型枠の上げ越し微調整時間の短縮
- ⑥ クレーン等の施工機械選定による材料、資材移動時間の短縮
- (5) その他の留意点
 - ① サポートタイプでは、ブラケットの組立、解体の連続作業になるので、施工性の良い構造の採用が必要である。
 - ② ハンガータイプでは、吊り鋼棒の配置および継手位置、コンクリートの打設方法を事前検討する。
 - ③ 内型枠移動システムでは、定着部コンクリート障害位置の構造、クリアランスの調整機能の有無を事前検討する必要がある。
 - ④ 緊張作業では、最低でもジャッキ長の2倍のスペースを確保した足場の計画が必要である。
 - ⑤ コンクリートの打設に支障が無いシースの配置になっているか事前検討する。特に定着突起部、緊張端部については、コンクリートがまわりにくい。
 - ⑥ 施工サイクルが1か月程度と長くなる場合、錆の発生があるので鋼製型枠よりも木製型枠の方がコンクリートの仕上がり面が良い。コンクリートの仕上げ作業まで見込んだトータルコストで比較検討すべきである。

きである。

- ⑦ 大型移動支保工システムは、1つの現場だけではコスト回収が難しい。2、3現場でのコスト回収を考えるか、中古品を市場から探し出し、改造して利用する等のコスト検討を十分行うべきである。
- ⑧ 第1スパンの施工には、施工法について十分検討する。この工法は、張り出しから張り出しを1径間として現場打ちするため、事前に（橋脚柱頭部+張り出し部）の構築が必要となる。
- ⑨ 架設荷重（移動荷重+コンクリート打設荷重）に対して橋脚の安全性を照査する。事前の照査結果により、橋脚にはキャンバーを設けて施工している。

§ 6. おわりに

大型移動支保工による架設工法は、多径間を有する連続高架橋を急速施工できる点で非常に有効であった。

多様な大型移動支保工を導入した当プロジェクトが、大規模橋梁プロジェクト工事実績として、当社の“新たな明日へのかけ橋”になれば幸いである。

近い将来に、これらのシステムを改良、改善、応用した大型移動支保工システムが、新たなプロジェクトで採用される日が来ることを切望する。

謝辞：本工事の設計照査、施工にあたり多大なご指導とご協力をいただいた土木設計部および関係各位、施工にあたった協力会社 STECON に対して、深く感謝の意を表します。