

海外での架設術による月平均 1 700 m セグメント架設 — ドバイ・メトロプロジェクト高架橋上部工工事 —

大場 誠道*1・片桐 冬樹*2・神田 晶平*3・加藤 秀一郎*4

2005年8月に着工したドバイメトロプロジェクトが、49ヵ月の歳月を経て2009年9月9日に第1期工事の部分開通を迎えた。本プロジェクトのうち延長約61kmの上部工架設工事は、施工箇所状況に応じて、スパンバイスパン架設、3径間連続張出し架設、固定支保工架設および場所打ち構造施工を採用し、その中で全径間の約74%をスパンバイスパン架設により建設した。

本論は、同時期に最大9基の架設術を用いたスパンバイスパン工法によるセグメント架設について報告するものである。第1, 2期合計実質27ヵ月間で日平均18個、日最大63個のセグメントを運搬し、月平均1700m、月最大3463mのセグメント架設を達成した。

キーワード：海外工事、スパンバイスパン工法

1. はじめに

2009年9月9日に部分開通したドバイメトロ（写真-1）は、ドバイ市のインフラ整備の中心となる建設プロジェクトである。このプロジェクトは「Red Line」と呼ばれる1期工事、「Green Line」と呼ばれる2期工事から構成され、おのおの地下部を含む総延長は52.0km、22.7km（計74.7km）であり、そのうち高架橋区間は、46.5km、14.6km（計61.1km）である。

架設延長45.1kmの架設術を用いたスパンバイスパン工法によるセグメント架設は、標準支間を28m、32mおよび36mと設定した単径間橋、既存もしくは新設予定道路との交差部などにてそれ以上の長さを必要とする場合に40mおよび44mと設定した2径間連続橋および駅連続橋を対象とした。

セグメント運搬は一般道を利用し、かぎられた重量物運搬許可時間のなか、ドバイ市郊外に設営した製作ヤードから比較的近い1期工事の施工の際は直接現場へ運搬し、比較的遠い2期工事の施工の際は仮置場を設営、活用した。

2007年1月、1期工事のスパンバイスパン架設を開始し、2008年8月、9基の架設術にて延長33.6kmの架設作業を実質19ヵ月間で完了、2期工事は、2008年9月に開始し、8基の架設術にて延長11.5kmを実質8ヵ月間、2009年4月にすべての架設作業を完了した。

スパンバイスパン架設は以下の作業より構成される。

- ① 架設術の移動
- ② セグメント運搬・吊込み
- ③ セグメント引寄せ・接着
- ④ PC鋼材の挿入
- ⑤ PC鋼材の緊張

⑥ 本支承の設置

⑦ グラウト注入

本論では、スパンバイスパン架設作業の施工実績を中心に報告する。



写真-1 ドバイメトロ運行状況

2. 工事概要

2.1 全体工事概要¹⁾

工事名：Dubai Metro Project（Phase-1・Phase-2）
ドバイ・メトロプロジェクト（1期工事・2期工事）

企業者：アラブ首長国連邦（UAE）
ドバイ市庁道路交通局（RTA）

コンサルタント：Systra / Parsons（仏/米）

施工者：Dubai Rapid Link Consortium（DURL）

*1 Narimichi OBA：(株)大林組 海外支店

*2 Fuyuki KATAGIRI：鹿島建設(株) 海外支店

*3 Shohei KANDA：鹿島建設(株) 海外支店

*4 Shuichiro KATO：鹿島建設(株) 海外支店

鉄道 JV : 三菱重工業 / 三菱商事
 土建 JV : 大林組 / 鹿島建設 / Yapi Merkezi (トルコ)
 契約形態 : 総価契約 / 設計・施工フルターンキー契約
 資金源 : 現地政府自己資金
 工事場所 : アラブ首長国連邦 (UAE) ドバイ市
 工期 : (1 期工事) 2005 年 8 月 ~ 2010 年 2 月 (54 カ月)
 (2 期工事) 2006 年 6 月 ~ 2010 年 6 月 (48 カ月)
 契約内容 : 高架橋, トンネルおよび駅舎などからなる延長 74.7 km の新交通システム (LRT) の詳細設計, 施設建設, 受配電設備, 信号通信設備, 駅務設備, 車両を含む鉄道システム一式, 保守 3 年間

2.2 対象上部工工事概要

(1) 1 期工事 (Red Line)

期間 : 19 カ月
 架設距離 : 33.6 km
 架設桁数 : 9 基

(2) 2 期工事 (Green Line)

期間 : 8 カ月
 架設距離 : 11.5 km
 架設桁数 : 8 基

2.3 架設桁概要

延長 : 105 m
 重量 : 4 200 kN
 最大吊荷荷重 (径間) : 7 350 kN
 最大吊荷荷重 (セグメント) : 735 kN
 最大縦断勾配 : ± 4.0 %

3. 施工実績

3.1 施工サイクル

(1) 架設サイクル

スパンバイスパン架設作業は, 架設チーム, 径間位置調整チーム, 本支承設置チーム, グラウトチームおよび仕上げチームから構成されている。このなかで架設チームが行った標準架設サイクルを単径間橋について以下に示す。

この作業は, 供用荷重より重量がある架設桁支持のための仮支承を橋脚柱頭部に設置後, ① 架設桁の移動, ② セグメントの運搬・吊込み, ③ セグメント引寄せ・接着, ④ PC 鋼材の挿入, ⑤ PC 鋼材の緊張を 1 サイクルとする。平

均架設サイクルは図 - 1 に示すとおり約 2.5 日 / 径間である。

注 : 作業時間 : 10 時間 / 日

サイクル タイム	1 日目									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
① 架設桁移動	3:20									
② セグメント運搬・吊込み	9:00									
③ セグメント引寄せ・接着	3:20									
④ PC 鋼材挿入	5:20									
⑤ PC 鋼材緊張	4:00									
サイクル タイム	2 日目									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
① 架設桁移動	3:20									
② セグメント運搬・吊込み	9:00									
③ セグメント引寄せ・接着	3:20									
④ PC 鋼材挿入	5:20									
⑤ PC 鋼材緊張	4:00									
サイクル タイム	3 日目									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
① 架設桁移動	3:20									
② セグメント運搬・吊込み	9:00									
③ セグメント引寄せ・接着	3:20									
④ PC 鋼材挿入	5:20									
⑤ PC 鋼材緊張	4:00									

図 - 1 架設サイクル (単径間橋)

(2) 架設桁解体・再組立てサイクル

本プロジェクトで使用した架設桁は, 9 個の鋼製箱桁エレメント (長さ : 約 10 m, 重量 : 約 118 kN) をそれぞれ PC 鋼棒により接合した 2 本の箱桁により構成されている。(写真 - 2) 架設延長 45 km のなかではドバイの建設ラッシュに伴う材料不足に起因したセグメント供給遅延などの問題があり, 1 期工事では 33 回, 2 期工事では 1 回, 工事全体で合計 34 回もの解体・再組立て作業を実施した。平均架設桁解体・再組立てサイクルは図 - 2 に示すとおり約 30 日である。

3.2 セグメント運搬・吊込み

(1) セグメント運搬

セグメントタイプは, スタンダード (直線橋), スタンダード (曲線橋), ピアセグメント, センターピアセグメント (2 径間連続橋用) の 4 つに大別される。セグメント諸元を表 - 1 に示す。

先にも述べたがセグメント運搬は一般道を利用した。吊込み場所は主にドバイ特有の砂地上, もしくは道路上であった。砂地からの吊込みでは, 通常は, 散水・整地作業を実施した後, 厚さ 25 mm の鉄板を敷き, 所どころ, 地盤補

	作業日																														
	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	30	
【解体作業】																															
1 Hanging system 撤去																															
2 Winch 撤去																															
3 Front Head/Rear Head 撤去																															
4 Main box 撤去																															
5 Main box 解体																															
6 全材料移設																															
【再組立て作業】																															
7 Main box 組立て																															
8 Main box 設置																															
9 Front Head/Rear Head 組立て・設置																															
10 Winch 組立て・設置																															
11 Hanging system 設置																															
12 架設桁機能試験																															

図 - 2 平均架設桁解体・再組立てサイクル



写真 - 2 架設桁全景写真

表 - 1 セグメント諸元

構造形式	セグメントタイプ	セグメント長(m)	桁高(m)	重量(kN)
単径間橋 / 2 径間連続橋	スタンダード (直線橋)	4.000	2.040	490~588
	スタンダード (曲線橋)	4.000		490~589
	ピアセグメント	1.950	2.241	421~441
	センター ピアセグメント	3.200 2.650	2.341	490~589

強として路床材を用いた締固め作業を要した。一方、道路上からの吊込みには、事前に道路占有許可取得が義務付けられ、その取得に最大2ヵ月の時間と労力を費やした。

ドバイでの重量物運搬には、運搬物の幅と軸重での制限があるのみであり、本プロジェクトでもセグメント重量に合わせ、多種の多軸トレーラを使用した。6軸トレーラを使用したセグメント運搬状況を写真-3に示す。



写真 - 3 セグメント運搬状況

ドバイ交通法では午前6時半~8時半、午後1時半~3時および午後5時半~8時の間は、セグメントのような重量物の運搬を規制している。また、主に利用した Sheikh Zayed Road は片側最大8車線のドバイの大動脈であり、交通量過多のなかでのセグメント運搬を強いられた。しかしながら、先導車の使用、トレーラへの回転灯義務付けなど

により、大きな事故も無く1, 2期工事合計 12 782 個のセグメント運搬を 27 ヶ月にて達成した (図 - 3)。

同時期に9基の架設桁を使用、さらに各架設桁の日作業進捗が異なることなどによりセグメント運搬数は毎日異なる。したがって、トレーラ待ち・空き時間の解消および工期短縮策として、セグメントの先行運搬および中継地点でのセグメント仮置きを実施した。



図 - 3 セグメント運搬実績

(2) セグメント吊込み

本プロジェクトで使用した架設桁には、架設桁上を橋軸方向に移動可能な Winch Trolley と呼ばれるウインチ設備に Spreader beam と呼ばれる揚重設備を装備した。この Spreader beam (写真 - 4) はセグメント形状を利用し、伸縮可能構造としたことで吊荷用ブラケット不要とし、吊込み時間の短縮を図った。また、橋軸方向を軸に最大 105 度の旋回を可能とすることで狭隘な場所での吊込み作業の自由度を向上させた。さらに通常は、架設桁間直下から吊込みを行うが、障害物があるなどで直下からの吊込み作業が不可能な箇所では、架設桁構造上、次径間からの吊込みも可能であり、約 85 % の架設作業をこの架設桁のみで施工した。



写真 - 4 Spreader beam 使用状況

さらに、駅区間など、数径間連続で架設径間直下からの吊込みが不可能であった箇所では、既架設径間上を移動可能な Transporter と呼ばれる多軸ドーリー台車を利用した。これら機械・設備の有効活用により全径間の架設を可能とした (写真 - 5)。

架設作業はセグメントの旋回位置を限定することなく行うことが可能である。全セグメントの吊込み完了後、接着作業に必要な空間を確保するため、端部の隣のセグメント

のみ他のセグメントより一段上に位置するように吊り込みを行った（写真-6）。

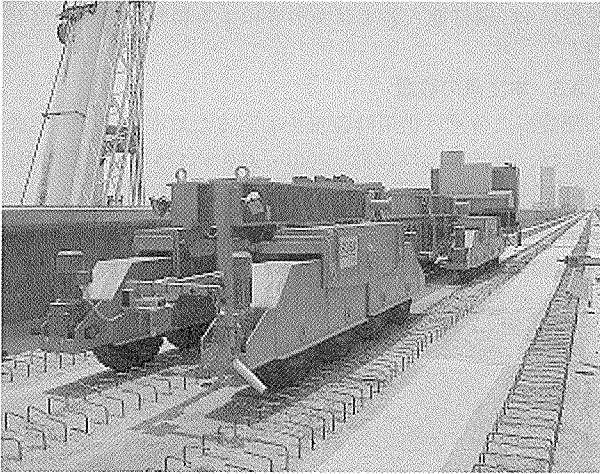


写真-5 Transporter

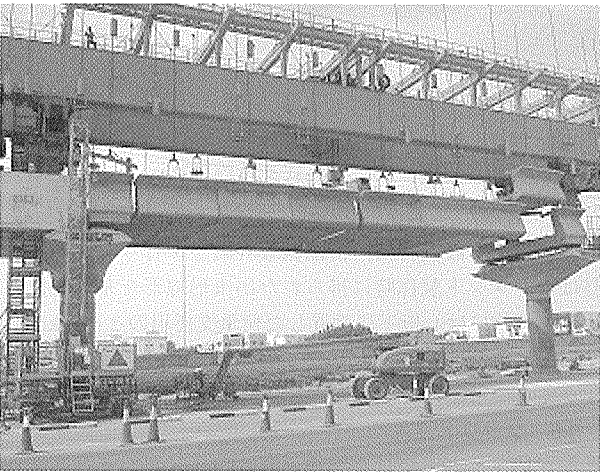


写真-6 セグメント吊込み

3.3 セグメント引寄せ・接着²⁾

架設進行方向後端から先端に向かって、引寄せ・接着作業を進めた。引寄せ・接着作業手順は以下のとおりである。

(1) 接着剤の塗布

ゴム手袋を装着した作業員が、専用の攪拌機を使用して練り混ぜたエポキシ系2液混合型の接着剤を片面に2mm以上塗布した（写真-7）。



写真-7 接着剤塗布作業状況

(2) セグメントの調整

架設作業中は高さのみ調整を行い、1径間全体の位置調整は架設桁通過後実施した。高さの調整には、桁下および架設桁に装備した油圧ジャッキを使用した。

(3) セグメントの引寄せ・接着

セグメントの引寄せには、セグメント打設時に床版上に仮穴を設け、専用の鋼製ブラケットを設置、標準支間ではφ40mmのPC鋼棒を使用して床版上3箇所では仮緊張することで1面ずつ引き寄せ・接着作業を完了させた。

(4) 接着面の仕上げ

桁下に配置した高所作業車を利用し、仮緊張作業により接着面から排出された余剰接着剤除去および仮仕上げを行った。

3.4 PC鋼材挿入・緊張

(1) PC鋼材挿入

本プロジェクトの単径間橋、2径間連続橋および駅連続橋で使用したストランドの諸元を以下に示す。

PC鋼材挿入は以下の手順により構成される。

- ① 約20kN単位でコイルを現場に搬入
- ② 地面上のディスペンサー内へセット
- ③ プッシングマシンにてストランドを1本ずつ定着体に装着した Threading Gun と呼ばれる PC 鋼線挿入補助台を通して挿入
- ④ 長さを揃えて切断

挿入設備一般図を図-4に示す。

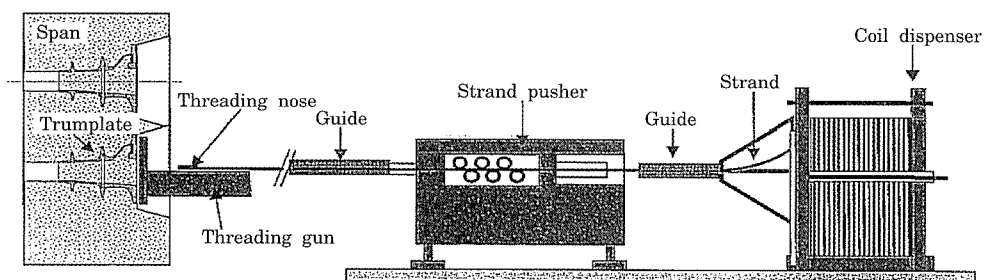


図-4 挿入設備一般図

表 - 2 ストランド諸元

名称	直径(mm)	リラクセーション値 (%)	面積(mm ²)	引張強度 (MPa)
T15	15.24	2.5	140	1 860

本プロジェクトでは、径間長のパターンが70以上あるため、ストランドを現場で切断加工した。PC鋼材挿入状況を写真-8に示す。



写真 - 8 PC鋼材挿入状況

(2) PC鋼材緊張

PC鋼材挿入完了後直ちに緊張作業を行う。緊張システムはFreyssinet, VSLの2種類を採用した。緊張作業は偏心応力を考慮し、左右対称に2台の緊張ジャッキを使用した。緊張方向は、標準スパンではすべて架設進行方向先端側からの片引きである(写真-9)。

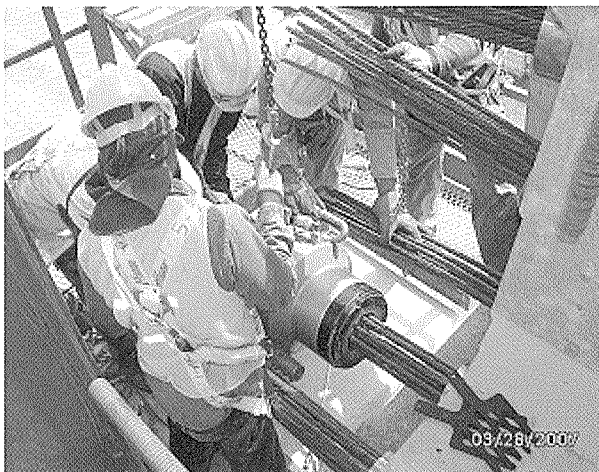


写真 - 9 PC鋼材緊張状況

架設桁によって支持されているセグメント荷重を仮支承へ伝達する際は、導入緊張力および径間長により2~3回に分割して荷重伝達を行い、その際、架設桁に設置した荷重計を使用、伝達荷重を確認した。

2径間連続橋の場合、2径間連続ケーブルを使用するが、このケーブルは標準架設作業時には挿入および緊張作業を行わず、架設桁通過後に行う2径間連続化コンクリート打設後にPC鋼材挿入および両引きによる緊張作業を実施した。

3.5 本支承の設置

架設桁の荷重は供用時荷重を上回るためセグメント架設時には、仮支承(ゴム沓 700×450×175 mm)を利用、次径間へ架設桁を移動以降、本支承へ取り替える。

単径間橋にはゴム沓を、連続橋である2径間連続橋および駅連続橋にはPot bearing(機械式支承)を採用した。

機械式支承設置状況を写真-10に示す。

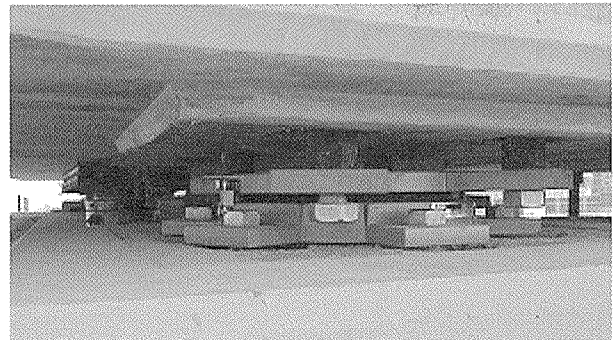


写真 - 10 機械式支承設置状況

各本支承を設置時に、桁位置最終調整を行う。この桁調整はセグメント製作時に得られた出来形線形を基に決定される。調整には、桁下に設置した荷重支持用の2470 kNジャッキおよび桁位置調整用の196 kNジャッキの2種類のジャッキを使用した。

3.6 グラウト注入

本プロジェクトでは高架橋延長61.1 kmという長距離作業のためグラウトポンプ、ミキサーや使用材料一式を運搬するグラウトプラント台車を3台製作し、全径間に対応した(写真-11)。

グラウトの品質はJIS基準と同等の、温度試験、流下試験、ブリージング試験、膨張試験および圧縮強度試験にて



写真 - 11 グラウトプラント台車

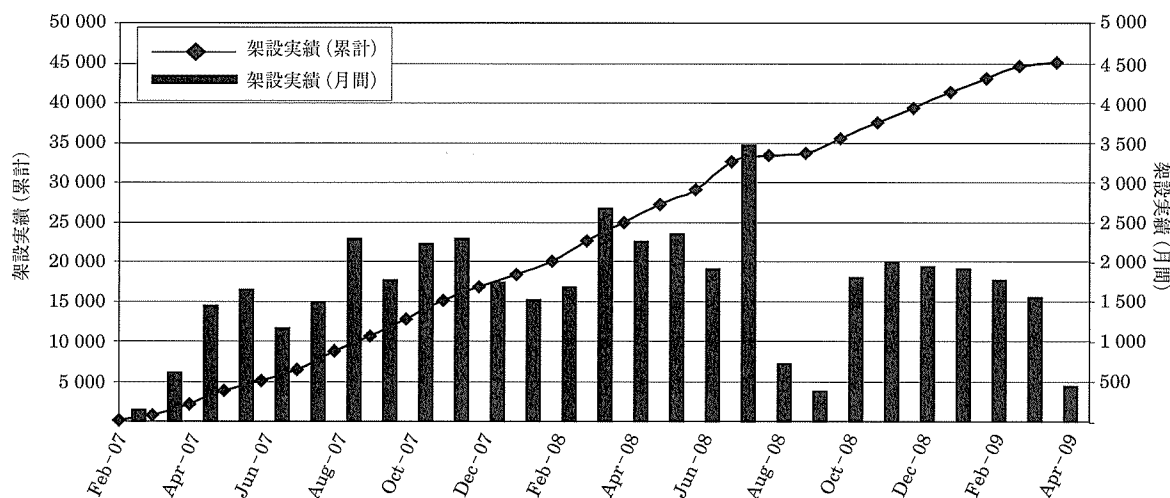


図 - 5 スパンバイスパン架設実績

管理した。

3.7 セグメント架設実績

このプロジェクトの特徴は実質 28 ヶ月間で総延長 61.1 km の架設を完了した急速施工にある。

架設工事中には、メトロ路線を横断する新規道路工事建設および地下埋設物・道路切換え工事承認遅延等を要因とする下部工の遅延、先にも述べたドバイの建設ラッシュに伴うコンクリート主要材料の供給不足および駅位置・駅数量増による路線変更等を要因とするセグメント製造遅延が生じた。その結果として予定外の架設桁解体・再組立てを数多く強いられた。

しかしながら、架設桁吊込み方法の改良、セグメントの先行運搬等多様な工期短縮方法により予定工期内の工事完了を達成した。

1 期工事および 2 期工事のスパンバイスパン架設実績を図 - 5 に示す。

4. おわりに

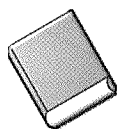
2009 年 9 月 9 日、困難をきわめて完成したドバイメトロが無事開通した。この開通に際し、すべてのドバイメトロ工事関係者に感謝の意を表する次第である。

今後のドバイの永続的な発展を祈願するとともに本文が全世界での同種工事の参考となり、土木技術者のモチベーション向上の一役を担えば幸いである。

参考文献

- 1) 大場誠道, 山崎啓治, 岩城孝之, 櫻田爽: 海外での日平均 26 個の主桁セグメントの製作, プレストレストコンクリート, Vol.51, No.3, pp.37~44, 2009 年 5 月
- 2) 齋藤公生, 本間淳史, 宮越信, 岡本裕昭: 内牧高架橋におけるコアセグメントのスパンバイスパン架設, 第 13 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp.397~400, 2004 年

【2009 年 10 月 14 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

PC 斜張橋・エクストラローズド橋設計施工規準

定 価 4,725 円 / 送料 500 円

会員特価 4,000 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編

技報堂出版