

# パームジュメイラ・モノレール高架橋の建設 — デザインビルドによる海外大規模プロジェクト —

近江 英家\*1・大野 了\*2・堀越 直樹\*3

中東のアラブ首長国連邦ドバイでは、オイルマネーを原資に金融・流通業さらには観光業へと変貌するため様々な都市開発プロジェクトが推進されている。本プロジェクトは、ドバイにおける高級リゾート人工島の1つであるパームジュメイラ島の交通インフラ事業であり、路線長5.4 kmにわたるモノレール高架橋と駅舎（4駅および操車場）を構築するものである。

海外における設計・施工一括発注方式プロジェクトとしてモノレール高架橋を受注<sup>2)</sup>し、高級リゾート島に調和した景観やモノレール乗客の乗り心地、メンテナンスの省力化を意識した設計を取り入れた。

本報告では、そのモノレール高架橋の設計および施工について詳述する。

キーワード：設計施工一括発注方式プロジェクト、モノレールPC軌道桁、5径間連続PC橋

Key words : Design-Build Project, PC Guideway Beam for Monorail, 5 span continuous PC Viaducts

## 1. はじめに

モノレール高架橋<sup>3)~5)</sup>（アラブ首長国連邦ドバイ、図-1）は、図-2に示すモノレールルート（総延長5.4 km）にわ

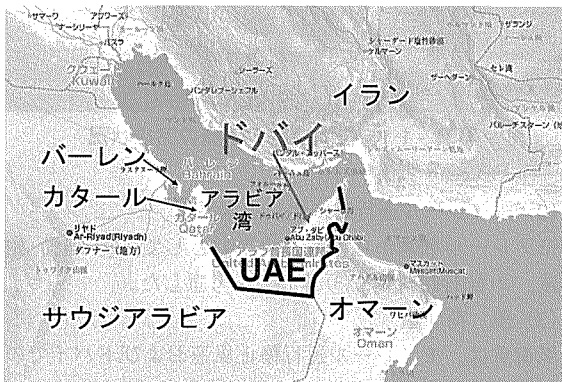


図-1 ドバイ位置図

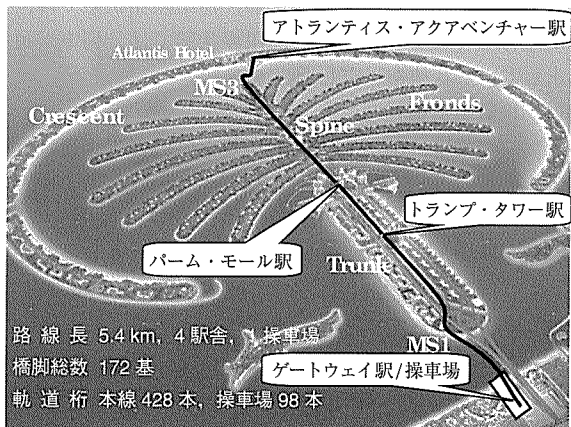


図-2 モノレールルート

たり、杭基礎340本（直径1.0～1.8 m、杭長13.9～41.3 m）、下部工172基、プレキャスト軌道桁428本+98本（操車場内）で構成されている。標準区間は、5径間連続PC橋とし、車道を跨ぐ区間や海上を横断する区間等では、ロングスパン橋6橋が採用されている。表-1に土木工事の主要数量を示す。

表-1 主要数量

	数量	コンクリート量 (m <sup>3</sup> )	鉄筋量 (t)	PC ストランド量 (t)
杭	340	12 110	1 920	—
パイロキャップ	150	6 720	920	—
柱部	172	4 760	1 160	—
PC 軌道桁	428	10 640	2 000	710
後打ちコンクリート部	—	1 460	140	—
ロングスパン橋	6	3 370	490	220
スラブ橋	1	1 220	120	20
合計	—	40 280	6 750	950

## 2. 設 計

### 2.1 5径間連続橋の設計

#### 2.1.1 設計方針

ここでは、標準区間に適用した5径間連続PC橋を例に、本プロジェクトで採用した設計方針について述べる。

標準区間は、5径間連続高架橋（5@29 m = 145 m）とし、モノレールPC軌道桁（以下、軌道桁と略記する。）である上部構造と下部構造の一体化構造とした。日本国内では、単径間（最長22 m）で両端部に特殊な沓とエキスパンションジョイントを有しているが、本プロジェクトでは、145 mを連続化することにより、ロングレール化を図り、乗り心地の向上およびメンテナンスの省力化を目指した。また、

\*1 Hideya OMI : (株)大林組 海外支店 ドバイモノレール工事事務所 所長

\*2 Satoru OHNO : (株)大林組 海外支店 ドバイモノレール工事事務所 工事長

\*3 Naoki HORIKOSHI : オリエンタル白石 (株) 施工・技術本部 第一工事事務所 海外工事チーム 課長

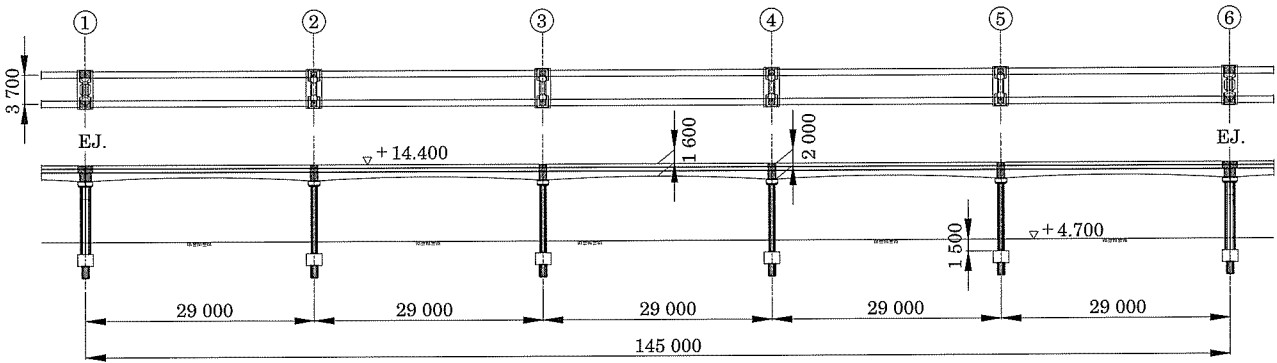


図-3 5径間連続PC橋一般図

上・下部一体化構造とすることにより、支承を省略し、工費の縮減を図った。これは、ドバイでは、地盤が比較的良好で不等沈下等の影響が少ないこと、地震荷重が小さいこと等による。なお、支承を省略した場合の軌道桁の温度変化やクリープ等による不静定力や変位は、5径間フレーム構造として吸収できるよう設計した。

また、端部の橋脚は2柱1基礎構造とし、複数の5径間連続橋を連続配置し、全線にわたり統一した印象を与えた。さらに、橋脚はパームツリー（椰子の木）をモチーフとし、中東のリゾート地の優雅な景観との調和を意識した。図-3に5径間連続PC橋一般構造図を、図-4に下部工一般構造図をそれぞれ示す。また、写真-1に連続した5径間連続橋の完成状況を一例として示す。

なお、設計基準は、BS基準を基本とし、BS基準に明記されていない事項は、各種の基準類<sup>6~8</sup>を適用した。

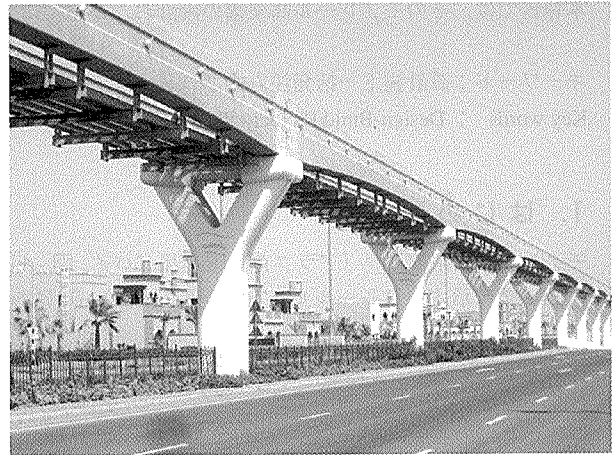


写真-1 5径間連続PC橋の完成状況

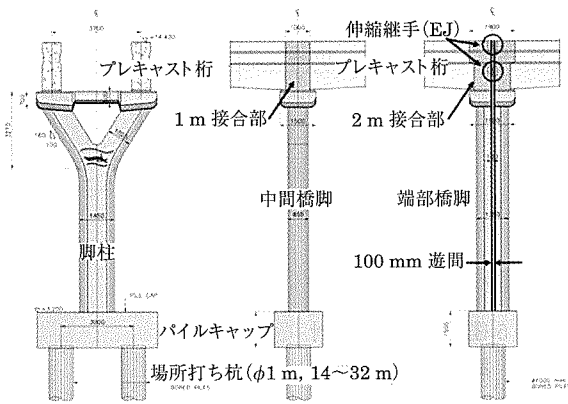


図-4 下部工一般構造図

### 2.1.2 設計荷重

設計荷重は、死荷重およびモノレール活荷重のほか、モノレール特有の荷重および風荷重等を考慮した。下記に、モノレール特有、あるいは本プロジェクト特有の荷重を示す。

#### (1) モノレール活荷重

モノレールは、1編成3車輦（全長約45m）で構成され、各車輦前後に2車軸が配置されている。各車軸には、満車重量として100kNの軸重を考慮した。

#### (2) モノレール運行時に生じる水平力

モノレール車輦から生じる水平力として、① 制動・始動荷重、② 蛇行時荷重、③ 遠心力を考慮した。

#### (3) 風荷重

風荷重は、モノレール運行停止風速およびドバイでの観測風速を参考に設計風速28m/sおよび45m/sを定め、それらの風速時における換算荷重を使用限界状態および終局限界状態でそれぞれ考慮した。なお、使用限界状態では、列車が運行している状態を、終局限界状態では、列車が運行停止している状態を想定した。

#### (4) 地震時荷重

地震時荷重は、AASHTO<sup>9)</sup>に準拠し、設計水平震度0.15を考慮した。なお、設計水平震度が小さいことおよび高架橋死荷重およびモノレール活荷重が比較的小さいことから、風荷重を考慮した荷重の組合せが地震時荷重を考慮した荷重の組合せよりも支配的になる場合が多い。

#### (5) 船舶衝突荷重

モノレールルートには、海を越える区間が2箇所あり、海上部の橋梁には、船舶衝突荷重として海流と平行方向に7000kN、垂直方向に3500kNをそれぞれ考慮した。

### 2.1.3 部材の照査

設計は、上述した設計荷重の組合せ等に対し、3次元フレーム解析モデルにより上・下部一体化構造として断面力を算定し、使用限界状態および終局限界状態で、ひび割れ幅

による照査<sup>10)</sup> および終局耐力による照査をそれぞれ実施した。たわみおよび変位に対する制限は、車輛の乗り心地や安全運行等を考慮し制限値を設定した。なお、主な使用材料の一覧を試験結果とともに表-2に示す。

表-2 主な使用材料およびその試験結果一覧

コンクリート 圧縮強度	C 40 / 20 (杭)	52 N/mm <sup>2</sup>
	C 45 / 20 (柱)	53 N/mm <sup>2</sup>
	C 50 / 20 (軌道桁)	64 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋 Grade 460 降伏強度	D 12	487 N/mm <sup>2</sup>
	D 16	493 N/mm <sup>2</sup>
	D 32	519 N/mm <sup>2</sup>
PC ストランド Grade 270 降伏強度	径 15.7 mm	247 N/mm <sup>2</sup>

注) C 40 / 20 は設計基準強度 40 N/mm<sup>2</sup>, 骨材最大寸法 20 mm である。

2.1.4 PC 上部工の設計

軌道桁は、28.0m を標準長さ（曲線桁では 25.0m）とし、6 組の PC ストランド（上段：9S15.7, 中段および下段：12S15.7）を配置した。下段に配置した PC ストランドは、製作時に設計緊張力の 100% を緊張し、架設時の死荷重に耐えるよう設計した。上段および中段に配置した PC ストランドは、架設後、5 径間（145m）を緊張し、一体化するために使用される。

また、軌道桁は、中空断面とし、死荷重の低減を、底部

には緩やかな桁高の変化を施し、美観の向上を図っている。図-5 に軌道桁（桁長 28.0m）の一般構造図を示す。

なお、軌道桁のかぶり厚は、最小かぶり 35mm に耐久性を考慮した 10mm を加えたほか、車輪による摩耗分を走行面で 10mm, 側面で 5mm 見込んである。

2.2 ロングスパン橋の設計

海上部での船舶の航路確保や幅員の広い道路を跨ぐ必要がある場所では、スパンを 60m とする必要がある。

スパンを広げると軌道桁だけでは構造が成り立たなくなるため、それを支持するサポート桁を提案した。表-3 にロングスパン橋一覧を、図-6 に代表的なロングスパン橋の構造一般図をそれぞれ示す。また、写真-2 に完成したロングスパン橋の一例を示す。

軌道桁は、桁そのものが軌道となるため、プレキャスト化により製作精度を高める必要があり、現場打設のサポート桁上にプレキャストの軌道桁を重ねた合成桁構造とした。また、上・下部構造とも標準 5 径間連続橋とほぼ同じ形状

表-3 ロングスパン橋一覧

呼称	支間長および橋長
MS 1 ロングスパン橋	33.4 + 60.0 + 60.0 + 46.0 = 199.4 m
ハイウェイオーバーパス橋	46.0 + 60.0 + 60.0 + 43.0 = 209.0 m
VC ロングスパン橋	48.3 + 48.3 = 96.6 m
MS 3 ロングスパン橋 (起点側)	50.0 + 50.0 = 100.0 m
MS 3 ロングスパン橋 (中央)	45.0 + 60.0 + 60.0 + 45.0 = 210.0 m
MS 3 ロングスパン橋 (終点側)	40.0 + 50.0 + 39.8 = 129.8 m

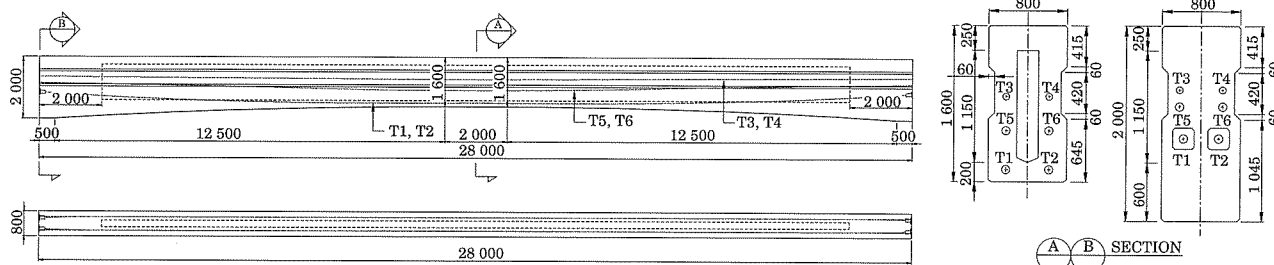


図-5 モノレール桁の一般構造図

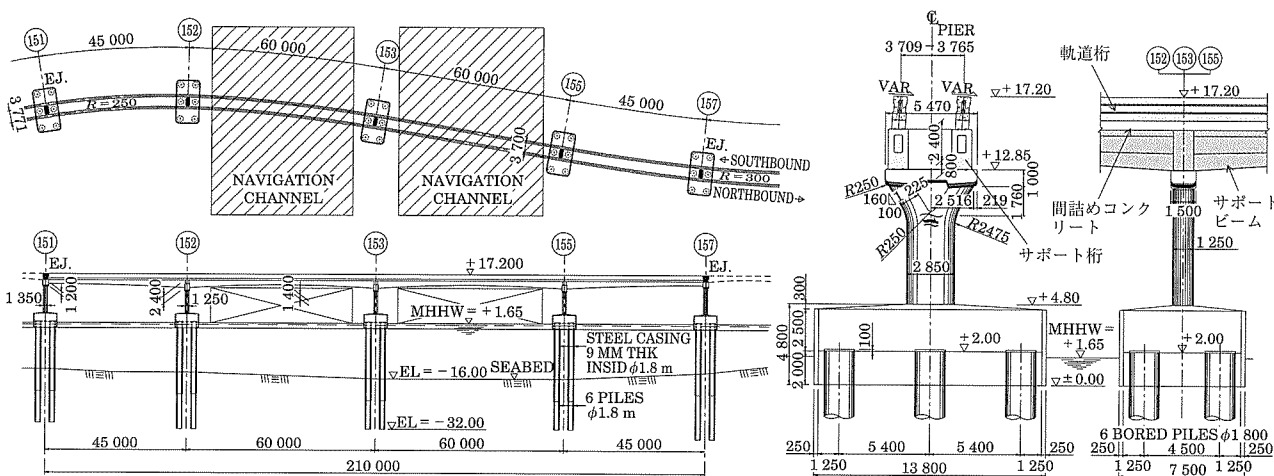


図-6 ロングスパン橋一般構造図



写真 - 2 MS3 ロングスパン橋の完成状況

とし、統一性をもたせた。

サポート桁は、支点部および支間中央部に横梁を設け、中空箱桁どうしを連結し、剛性を高めた。なお、サポート桁と軌道桁とは、間詰めコンクリートにより一体化構造となる。したがって、完成段階では一体化された断面で部材照査を実施している。ただし、施工段階における構造系の変化を考慮して次の各段階における部材照査も実施している。

- ① サポート桁の構築段階
- ② サポート桁へのプレストレス導入段階
- ③ 支保工の解体段階
- ④ 軌道桁設置段階
- ⑤ 完成段階

なお、サポート桁の下縁には、比較的大容量のPC ストランド 19S15.7 が橋脚を跨いで複数定着される。これらの定着具付近では補強鉄筋の過密配置により、コンクリートの充てん不足が懸念されたため、中空型枠の配置を最適化し、定着部付近の締固め作業に干渉しないよう配慮した。

### 3. 施 工

#### 3.1 軌道桁の製作

##### 3.1.1 桁製作精度

軌道桁は、上述したように桁そのものが軌道となるため、ミリ単位での施工精度が要求される。現場打ちコンクリートでは、その精度を確保できる作業および管理体制を整備することが難しいことから、プレキャストコンクリートとした。表 - 4 に精度管理基準値を示す。これらの管理値は、日本で適用されている管理基準値と同等の値で乗客の乗り心地等を考慮して設定した。

##### 3.1.2 プレキャストヤード

軌道桁は、別途内陸の砂漠地域に造成したプレキャストヤードにて製作した。3つの製作ラインそれぞれに、鉄筋組立てエリア（写真 - 3）、コンクリート打設エリア（写真 - 4）、養生エリア、ストランド緊張エリア（写真 - 5）およびストックエリア（写真 - 6）を設け、レール上の台車でそれぞれのエリアへ搬送するシステムを構築した。なお、コンクリート打設エリアでは、数十本のジャッキで側型枠を滑らかに湾曲させる仕組みを設置し、曲線桁も製作できるよう工夫している。

また、軌道桁の仮置きヤードは、28 m の標準桁を約 100

表 - 4 軌道桁の管理基準値

製作時		桁架設後	
桁幅	± 3 mm (桁端) ± 5 mm (桁中央)	水準	7 / 1 000 rad
桁長	± 15 mm	遊間	± 20 mm
走行面の直角度	± 5 / 1 000 rad	桁同士の段差	± 5 mm
桁端面の傾き	± 5 / 1 000 rad	桁とフィンガープレートとの段差	± 2 mm
全体水平通り	± 10 mm	フィンガープレート同士の段差	± 2 mm
全体高低通り	± 10 mm	軌道中心間の距離	0 ~ + 25 mm
局部的凹凸	2 mm		
部分水平通り	± 5 mm / 4 m		
部分高低通り	± 5 mm / 4 m		
桁端面のねじれ	7 / 1 000 rad		
桁端部の高さ	± 15 mm		

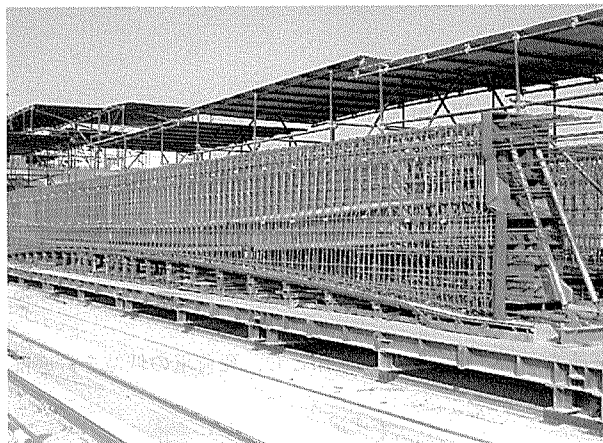


写真 - 3 シース配置および配筋状況（鉄筋組立てエリア）

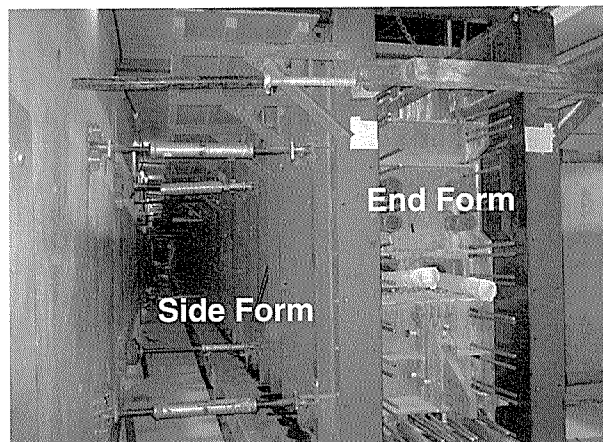


写真 - 4 側枠設置状況（コンクリート打設エリア）

本収容可能であり、軌道桁の吊込みおよび台車の回送作業は、支間 40 m の 500 kN 門型クレーン 2 基を用いた。

##### 3.1.3 軌道桁製作管理

軌道桁は、大別すると以下のように分類することができる。

- ・直線桁（縦断勾配あり、なし）
- ・曲線桁 - 曲率一定（縦断勾配あり、なし）
- ・曲線桁 - 曲率変化（縦断勾配あり、なし）

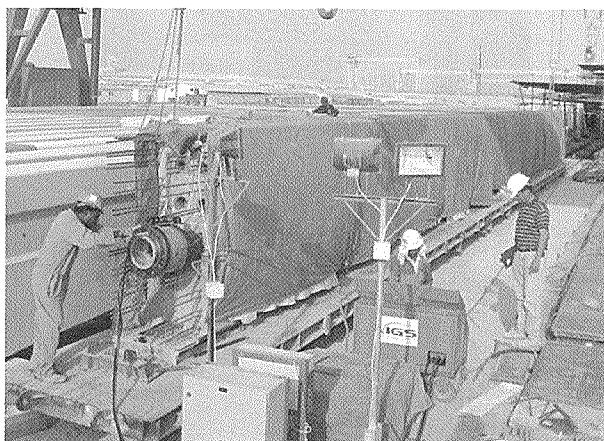


写真-5 一次緊張（ストランド緊張エリア）



写真-6 軌道桁仮置き状況（ストックエリア）

縦断勾配がある場合には、桁上面の高さが変化する。また、曲線桁の場合には曲率と車両走行速度に応じて横断勾配（カント）がつく。さらに、曲率が変化する場合には横断勾配もそれにに応じて変化する。

このように複雑な条件の軌道桁の精度管理では、いかに精度よく底枠と側枠をセットするかがポイントとなった。底枠は、2 m ごとにセンターからのシフト量を墨出して組み立てる。側枠の調整は、上下2段に2 m ごとに設置したジャッキの押し引きにより行う（写真-4）。これらの作業に必要なデータは製作図面ではなく、桁製作指示書によって示され、セット後のチェックにも使用される。

桁製作指示書は、台車の設置、鉄筋の組立て、側型枠の設置等の各作業の内容がそれぞれのページごとに平易な図と数量とで表示され、作業員に分かりやすくなっている。とくに、複雑な形状を有する曲線桁の側型枠の設置もジャッキの押し引き量で製作・管理することができ、現場での作業および精度管理を単純化することができた。

軌道桁1本に対する標準の製作サイクルと各工種に要した作業員数を表-5に示す。当初は、1本あたり延べ120時間要していたが、1.5ヵ月程度の期間で要領を得、サイクルタイムが縮まり、標準で延べ88時間の施工サイクル（コンクリート打設までに約1日）を達成することができ、総数428本の軌道桁を当初予定どおり1年で製作することができた。

表-5 標準製作サイクル

工種	時間数（時間）	作業員数（人）
台車セット	2	27
底版型枠セット	5	
鉄筋組立て	8	
シーす挿入	5	
端部型枠セット	1	
側面型枠セット	6	
コンクリート打設	3	24
養生	48	4
1次緊張	2	6
仮置き場搬送	2	6
2次緊張	2	6
グラウト工	4	8
合計	88	94

### 3.1.4 PC緊張作業

湿潤養生後、コンクリートは、材齢2日で35 N/mm<sup>2</sup>程度の強度を発現するが、この時点で設計緊張力の60%までのプレストレスを導入し、台車から吊り降ろす。

さらに、材齢28日の強度が50 N/mm<sup>2</sup>を超えたことを確認し、最終プレストレスを導入した。

導入されるプレストレス力は約2300 kN/テンドンであり、緊張作業の省力化を目的に、ジャッキ2台を同時に作動させ片引き方式にて行った。鋼材間の摩擦やセット量等のプレストレス力の減少を軌道桁の種類ごとに算出し、ストランドの伸び量およびポンプ圧力値を確認することで緊張管理とした。なお、あらかじめ緊張力を試験的に測定し、設計で設定した摩擦係数等が適切であることを確認するとともに、PCストランドも、あらかじめ引張試験を行いその品質を確認している。表-6に使用したストランドの物性を示す。

表-6 使用したストランドの物性

径（mm）	断面積（mm <sup>2</sup> ）	単位重量（kg/m）	0.1%伸び荷重（kN）	降伏荷重（kN）	破断荷重（kN）
15.6 (15.7)	148 (150)	1.16 (1.18)	241 (225)	247 (233)	286 (265)

上段：試験結果，下段：規格値

PCグラウトは、試験練りによって収縮およびブリーディング性能に優れた混和剤を選定、配合を確定した。また、猛暑の中での注入作業は、セメントをコンテナ内に保管し冷房装置で冷やしたほか、練混ぜ水を氷を用いて冷却した結果、フローコンによる流動性試験は規定範囲（11から30秒）に収まり、十分な注入品質を保持できた。

### 3.2 軌道桁の架設

軌道桁の架設は、舗装地盤では2000 kNトラッククレーン2台（写真-7）、未舗装地盤では1500 kNクローラクレーン2台（写真-8）による相吊架設とした。架設時に軌道桁を従来工法のように「面」で受けると、架設後の微調整（位置、高さ、傾き）に手間がかかることを想定し、「点」で受ける固定方法を採用した（写真-9）。具体的には、40 mm厚の鋼板を軌道桁および橋脚柱頭部に事前に埋め込み、



写真 - 7 トラッククレーンによる軌道桁架設



写真 - 8 クローラークレーンによる軌道桁架設

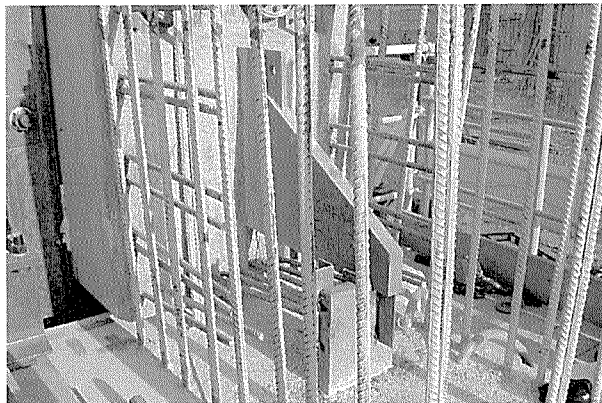


写真 - 9 軌道桁設置状況

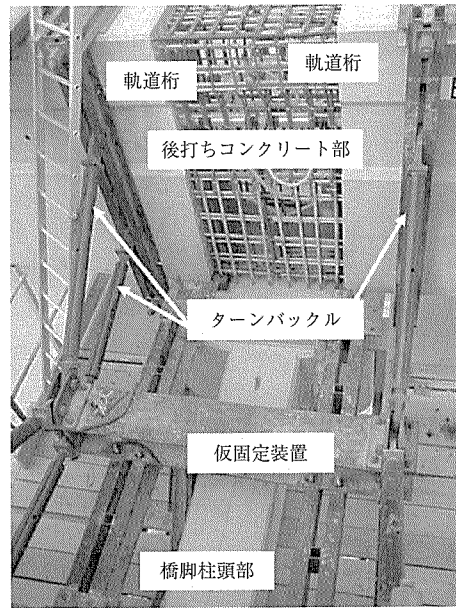


写真 - 10 仮固定装置

両者の接点だけで軌道桁を支えられるように設計した。これにより、橋脚柱頭部に設置したターンバックル付仮固定装置を使用することで容易に軌道桁の微調整を行うことができた（写真 - 10）。このように橋脚上での軌道桁の固定方法に工夫を凝らし据付けの調整を容易にする工法を採用することで据付精度を高めるとともに省力化を実現した。

### 3.3 5 径間連続化

軌道桁 5 径間分を架設・調整後、中間橋脚柱頭部にコンクリートを打設し、PC ストランドにより全径間（145 m）を一括緊張した。グラウト終了後、エキスパンションジョイントを有する端部橋脚柱頭部にコンクリートを打設し、走行面および側面にフィンガープレートを設置し、軌道を確保した。前述したように、施工手順により構造系が逐次変化するため、それぞれの構造系ごとに部材の照査を実施した。図 - 7 に上部工の施工方法を示す。

### 3.4 海上部のロングスパン橋の施工

#### 3.4.1 下部工

杭基礎は、海面上にパイルキャップを構築することから、突出杭として設計されている。施工は、すべて作業台船からの海上施工とし、① ケーシングを海面上から建て込み、

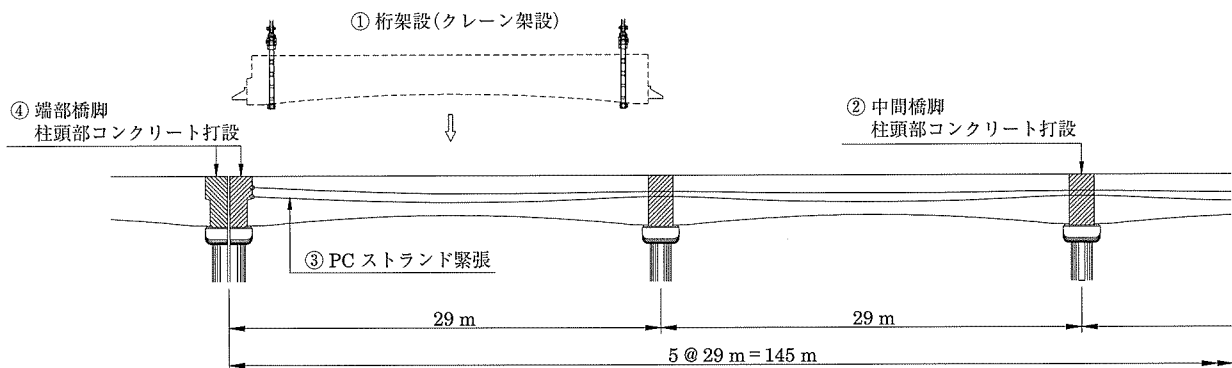


図 - 7 上部工標準施工方法概念図

② 台船に搭載した杭打ち機により掘削し、③ コンクリートミキサー車およびポンプ車を当該箇所まで海上運搬してコンクリート杭を構築した (写真 - 11)。

パイルキャップの構築には、プレキャストコンクリートパネルで製作した底型枠を杭基礎のケーシングを利用して設置し、その型枠内で鉄筋組立およびコンクリート打設を実施した。パイルキャップのコンクリート自重が大きいため、底型枠が安全に使用できる範囲で、1 回目のコンクリートを打設し、硬化・打継ぎ処理後、2 回目のコンクリートを打設した。

また、側面には、プレキャストコンクリートパネル (写真 - 12) を建て込み、側枠代わりとするとともに、完成時の化粧版とし、海水面の変動による杭頭部の露出部分を外から見えないようにした。



写真 - 11 杭構築状況

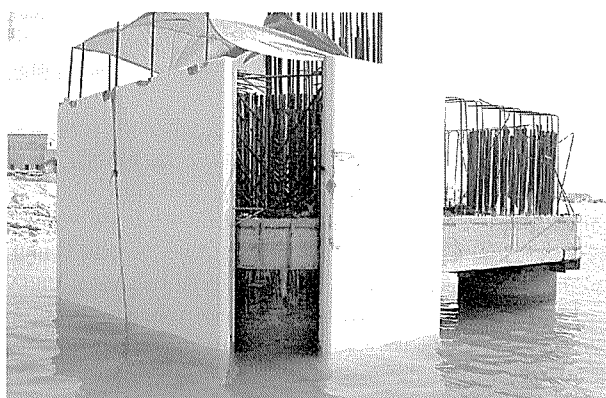


写真 - 12 RC パネル設置状況

### 3.4.2 上部工

#### (1) オールステージング工法

サポート桁は、海上に打設した支持杭上に支保工を設置 (写真 - 13) し、そのうえで、型枠・鉄筋・コンクリート・PC 工の作業を実施した。支持杭は、1 本あたり 350 kN 程度の荷重を負担するが、海面下における座屈防止のための横梁や斜材を省略するため、コンクリートで巻立て補強した H 300 鋼材を使用し、海底面から 10 m 程度まで根入れし、支持力を確保した。

サポート桁のコンクリート打設は、台船に乗せたポンプ車を連携させることで対応した。コンクリート数量や潮流



写真 - 13 オールステージング工法

下での台船の操作等から、長時間の打設作業が予想されたため、スランプの経時変化に優れた配合 (スランプ 200 mm が 3 時間持続) を採用した。

#### (2) 軌道桁の架設

軌道桁は、台船に搭載した 1 500 kN クローラークレーン (2 台) による相吊架設により所定の位置に設置した (写真 - 14)。サポート桁上での微調整、固定作業は、標準スパン部の架設方法を応用し、サポート桁と軌道桁に埋め込んだ鋼板どうしで支持し、反力架台とレバブロックを併用した治具を用いた。

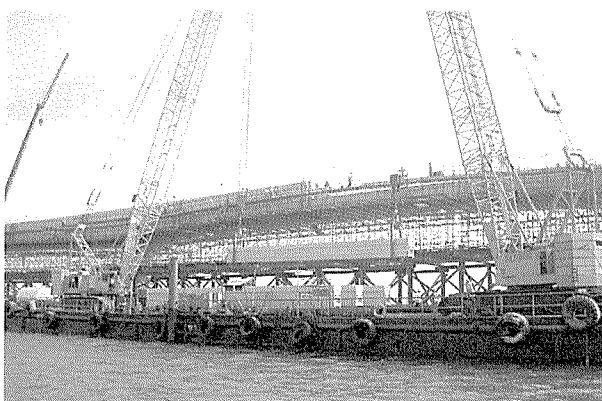


写真 - 14 モノレール桁架設状況

#### (3) 間詰めコンクリート

軌道桁とサポート桁との一体化のために、両者の隙間部には、鉄筋を配置し、無収縮コンクリートを充てんした (写真 - 12)。本構造では、軌道桁との打継面に空隙が残ることが懸念されたが、無収縮系コンクリートの使用および実物大模型を用いた打設方法の検討を行い、残留気泡の排除に努めた。

## 4. たわみ試験

高架橋完成後、モノレール実車輦 (満載荷重) を用いて、軌道桁のたわみ試験を実施した。たわみ試験結果一覧を表 - 7 に示すが、静止状態および営業速度運行状態 (動的荷重時) ともたわみ計測値は、設計値に対し小さく、安全側に設計

されていることが確認できた。

表-7 軌道桁たわみ試験結果一覧

		たわみ量 (mm)			設計値
		静的荷重時	動的荷重時		
29 m スパン 標準 5 径間連続橋	北行き	9.8	70 km/h	9.5	22.0
	南行き	10.0	70 km/h	9.8	22.0
60 m スパン ロングスパン橋	北行き	8.2	50 km/h	8.0	24.0
	南行き	8.2	35 km/h	8.2	24.0

## 5. おわりに

設計・施工プロジェクトとして 2005 年 12 月に契約を締結し、2009 年 3 月現在、主要土木工事は終了し、駅舎および操車場工事も終盤を迎えるとともにモノレール車輛の試験走行を始め（写真 - 15, 16）、各社一丸となり 2009 年 4



写真 - 15 陸上部を走るモノレール



写真 - 16 海上部を走るモノレール

月に開業を迎えようとしている。土木工事そのものは、2006 年 5 月に最初の杭を打設してから約 2 年で完成した。本報告では、設計・施工一括発注方式の海外プロジェクトとして導入したモノレール高架橋の設計およびその施工について述べた。とくに設計時に考慮した景観へのこだわり、乗り心地の向上やメンテナンスの省力化のための連続橋の提案、施工時に考慮した軌道桁精度管理や据付け方法などは、自ら提案し実現していくことのできるデザインビルドの醍醐味だと考える。

モノレール高架橋は PC 橋としては特殊な部類に分別されるが、本報告が今後の PC 橋梁の発展の一助となれば幸いである。

最後に、ドバイで初めての鉄道交通システムとなるパームジュメイラモノレールがリゾートライフを謳歌する人々の快適な移動手段として愛されることを願う。

## 謝 辞

本報告を執筆するにあたり写真等の提供を快諾していただいたナキール社中田ディレクター、元請け商社丸紅(株)鈴木所長ほか関係各位に対しまして、ここに謝意を表します。

また、軌道桁の設計・施工では、ご指導・ご協力いただきました(株)トーニチコンサルタントおよび(株)トステムズの皆様に対しまして深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 特集アラビアンナイトは今夜も熱かった！, 土木学会誌, 第 91 巻, 8 月号, 2006 年
- 2) 近江英家：ドバイモノレールプロジェクト 具体的取組み—入札・契約から実施まで—, (社)海外建設協会, 10 & 11 月号, 2007 年
- 3) PHOTO REPORT パームジュメイラモノレール 土木工事竣工間近, 土木学会誌, 第 92 巻, 12 月号, 2007 年
- 4) 近江英家, 大野了, 神村英明 他：パームジュメイラモノレールプロジェクト 設計・施工による高架橋および駅舎の建設, 橋梁と基礎, 第 42 巻, 第 10 号, 2008 年 10 月
- 5) 近江英家, 大野了, 堀越直樹：パームジュメイラリゾートモノレール高架橋の設計・施工, セメント・コンクリート, 2008 年 10 月
- 6) The CIRIA Guide to concrete construction in the Gulf region, CIRIA (Construction Industry Research and Information Association)
- 7) Guide to the construction of reinforced concrete in the Arabian Peninsula, CIRIA
- 8) Building Regulations & Design Guidelines, Jebel Ali Free Zone Authority, Civil Engineering Department
- 9) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials 2004
- 10) BS5400, Steel, Concrete and composite bridges, Part4 Code of practice for design of concrete bridges, 1990

【2009 年 3 月 2 日受付】