

大阪モノレール緊急鋼軌道桁の製作

Production of Osaka-Monorail, Urgent Steel Beam Girder

齋藤剛	株式会社 IHI インフラシステム	技術本部橋梁設計部
田中裕紀	株式会社 IHI インフラシステム	技術本部橋梁設計部
庄野泉	株式会社 IHI インフラシステム	技術本部橋梁設計部 課長
藤田肇	株式会社 IHI インフラシステム	生産本部製造部
井手寛和	株式会社 IHI インフラシステム	技術本部プロジェクト部

大阪空港駅から門真市駅を結ぶ空港線および万博記念公園駅から彩都西駅を結ぶ彩都線から成る大阪モノレール（大阪高速鉄道株式会社）は、全長 28 km の公共交通機関である。現在の営業線におけるインフラ整備は、将来、延伸を予定している彩都線の一部を残し、2007 年にその全長の整備を完了している。大阪府では大阪モノレールの危機管理として、災害発生の際、営業線に存在する損傷した PC（プレストレストコンクリート）軌道桁の早期復旧を達成するため、緊急鋼軌道桁を保有することになっている。本工事ではこの緊急鋼軌道桁の製作に当たり、さまざまな線形条件に対応し得る構造が求められた。

Osaka-Monorail is a public transportation facility, covering 28 km in total from Osaka Airport to Kadoma-shi (Airport Line) and from Bampaku-kinen-koen to Saito-nishi (Saito Line). Construction of infrastructures for the present operating line was completed in 2007. Osaka Prefecture has an intention to hold provisions of the steel beam girders against a disaster. With such crisis management, the damaged PC beam girders of the operating line will be restored quickly. To build such urgent steel beam girders, a flexible structure that can correspond to various linear conditions.

1. 緒 言

大阪府が 2009 年 3 月に策定した大阪府都市整備部地震防災アクションプログラムによって、大阪モノレール（大阪高速鉄道株式会社）では、地震時における乗客の安全を確保し、また、桁下を通る大阪中央環状線（広域緊急交通路）の緊急車両の通行を確保するという観点で、耐震対策事業を図っている。

既存の PC（プレストレストコンクリート）軌道桁が何らかの要因によって損傷し、架け替えが必要となった場合に、本工事で製作し保管する緊急鋼軌道桁を用いて本復旧までの緊急仮復旧架設を行うことを目的としている。

緊急鋼軌道桁とは、PC 軌道桁の代替が必要となる以前から、予備桁として保有しておき、代替の PC 軌道桁を製作する期間に、早急な復旧とモノレールの運行再開ができるよう、暫定的に使用するものである（場合によってはこれを恒久的に使用することも念頭に置く）。

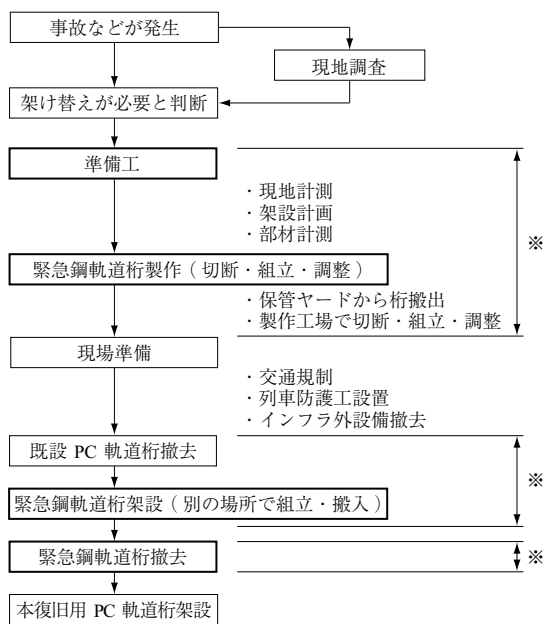
緊急かつ早急に復旧可能な構造形式として、PC 軌道桁のプレハブ化やセミブロック化などが考えられる。しかし、①桁重量が非常に重いこと ②ブロック化で増加する連結構造によって走行性が低下すること ③製作期間が長

期化すること、などから PC 軌道桁での緊急対応は難しい。一方、鋼構造物においては、早期製作が可能であり、また構造変化にフレキシブルに対応できることから、鋼軌道桁による緊急桁が採用された。

2. 要求性能

災害発生時における軌道桁仮復旧フローを第 1 図に示す。災害が発生した場合には、まず既存の PC 軌道桁が架け替えを要するほどの損傷を受けているかを管理者が調査する。架け替えが必要と判断された場合には、緊急鋼軌道桁を仮復旧架設するため、緊急仮復旧架設協力会社（以下、緊急時対応メーカーと呼ぶ。鋼桁メーカーと PC 桁メーカーそれぞれが専門分野で協力する。今後募集を予定している。）によって準備工を開始する。準備工とは主に軌道桁を撤去・架設するための現地条件を調査し、併せて緊急鋼軌道桁の部材計測をして、架設計画を行うものである。

次に、緊急鋼軌道桁を保管ヤードから緊急時対応メーカーに搬出し、対象となる PC 軌道桁の橋長・曲率およびカント（片勾配）を再現するため、本桁に加工を施す。一方、復旧現地では管理者および緊急時対応メーカーとの連携によって、PC 軌道桁を架設するための交通規制が早急に



(注) ※中の□：緊急時対応メーカ（鋼桁）施工所掌

第 1 図 復旧フロー
Fig. 1 Restoration flow

進められる。同時に、大阪モノレールを運営する大阪高速鉄道株式会社とも連携し、インフラ外設備（モノレールの電気ケーブルや信号設備など）を撤去・復旧する。以上が復旧までのフローである。

PC 軌道桁の製作が完了すると、本復旧が行われる。応急対応した緊急鋼軌道桁を撤去し、再度保管ヤードへの搬送までが緊急時対応メーカの施工範囲となる。

復旧から本復旧を的確に行うための、緊急鋼軌道桁の要求性能を以下に述べる。

(1) 使用材料の汎用性

鋼材は入手のしやすさを考慮して、市場に存在する可能性の高い、汎用性のある材質・サイズのものを使用する。

(2) 軌道桁のユニット化

軌道桁の各ブロックを標準化し、原寸作業なしで製造できるユニット化工法とする。そして、橋長を調整するため、現地架設前に切断・高力ボルト孔明けなどを実施する。

(3) フレキシブルな線形

営業線に架かる全 PC 軌道桁に対応可能な構造とする必要があるが、ブロックはすべて直線桁であるため、現場継手部を利用して曲線に対応させる。

(4) 架設作業の迅速化

通常の軌道桁は走行面が現場溶接されている。現場溶接作業は多大の時間と労力を必要とするので、

現場溶接をボルト締め構造にすることによって、作業が省力化できる。第 2 図に示すように、走行面、案内面および安定面についても、通常は軌道桁に溶接される一体構造であるが、カントに対応させるため、工場でボルト締めが可能な構造としている。

(5) 緊急時の対応

以上の要求性能を満たすように製作された緊急鋼軌道桁を用いて、第三者でも迅速かつ正確に仮復旧ができるようにするため、災害発生時の対応をマニュアル化する。

3. 設計諸元

3.1 設計概要

本橋梁の形式は第 2 図に示すように、6 個の直線ブロックを橋長に合せて組み合わせ、現場継手部での平面角折れの有無によって直線桁と曲線桁に対応させる構造である。橋長の微調整には、調整ブロックを必要量切断することで対応させている。

腹板には水平継手を設けているが、これはクロソイド（緩和曲線）区間に架設する場合、カントが漸変するため、桁をねじることで発生する桁の橋軸方向のひずみを吸収させるのが目的である。

本工事の概要を以下に述べる。

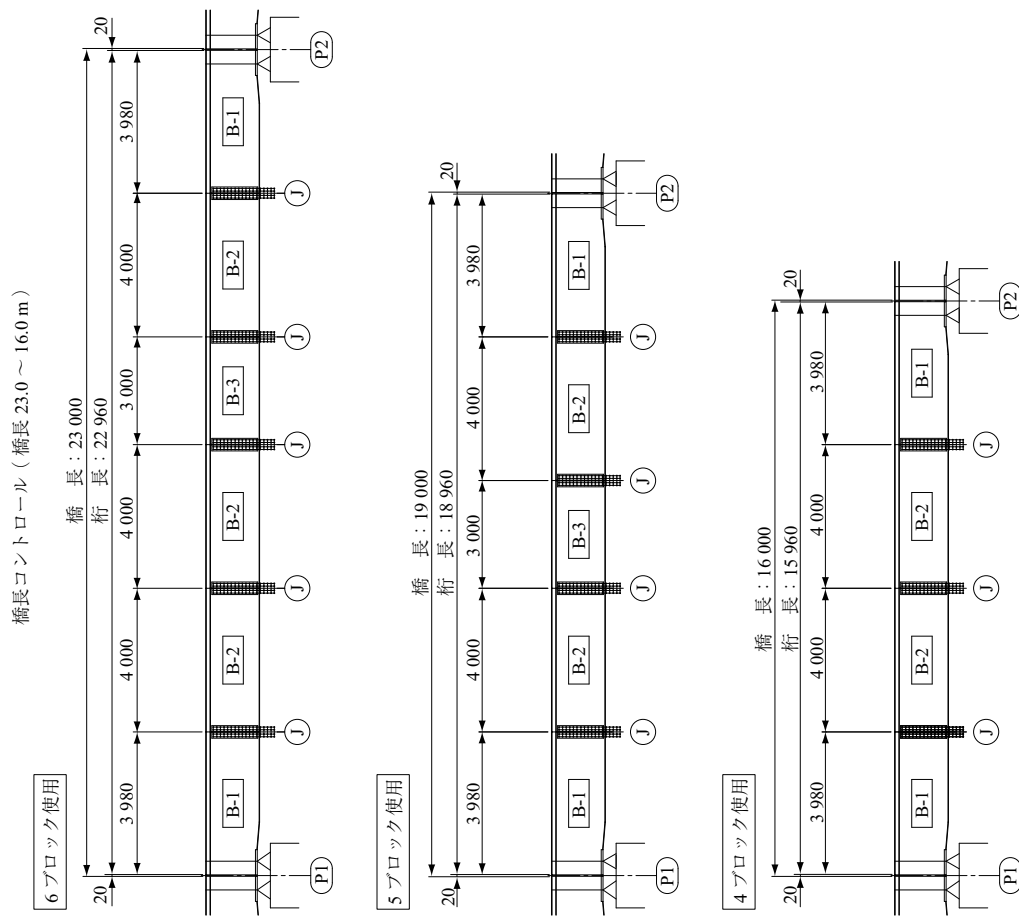
桁形式	単純鋼軌道桁
活荷重	モノレール荷重 107.8 kN（満載時）、88.2 kN（定員時）
桁寸法	23 m（長さ：最大）× 0.85 m（幅）× 1.50 m（高さ）
桁重量	最大約 34 t
桁線形	平面最小曲率 $R = 100$ m に対応可能 最大縦断勾配 6%，カント最大 7.5% に対応
支 承	鋼製固定 - 可動支承
塗装仕様	一般外面，摩擦接合部：アルミ・マグネシウム合金溶射 内面：変性エポキシ樹脂塗料
保管場所	大阪府所有地のコンテナに収納・保管

3.2 調整ブロックの設定

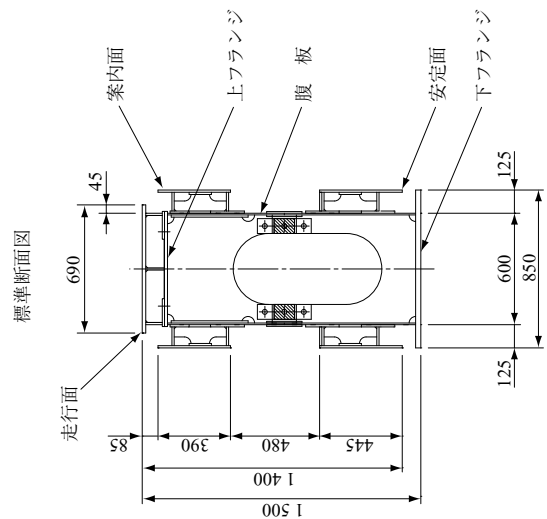
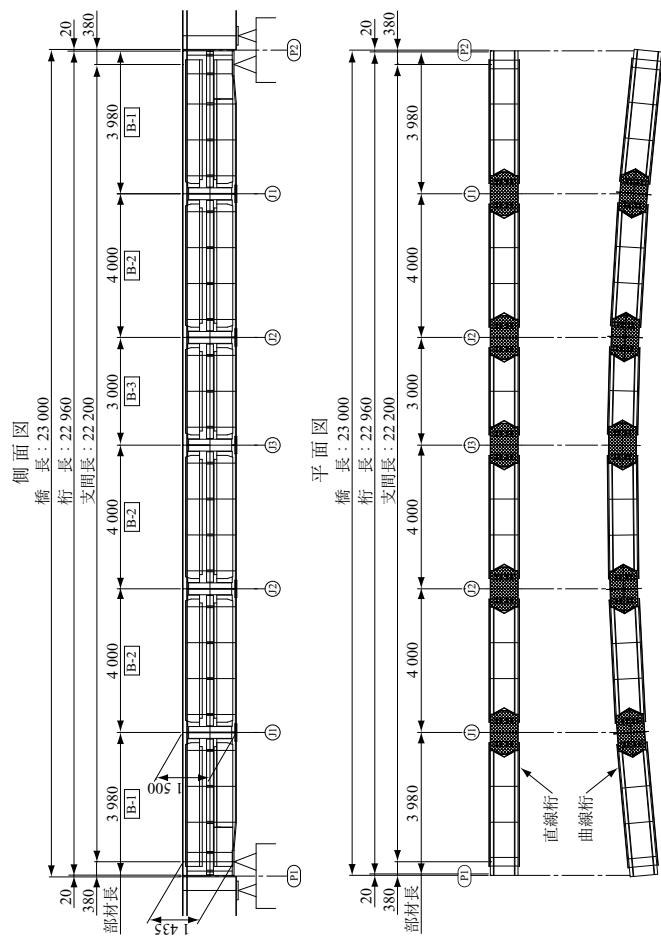
復旧対象 PC 軌道桁の橋長を再現するため、以下のケースによって調整ブロックを必要量切断する（第 3 図）。

① ケース 1：切断量が 100 mm 未満の場合

調整ブロックを一つとし、片側端部の現場継手から

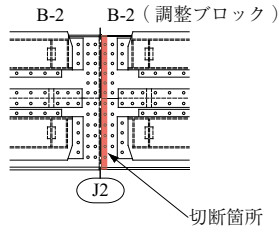


（注） 橋長の微調整は調整ブロックを必要量切断して対応する。

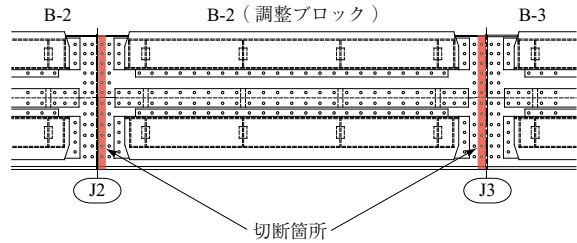


第 2 図 構造一般図（単位：mm）
Fig. 2 General layout (unit：mm)

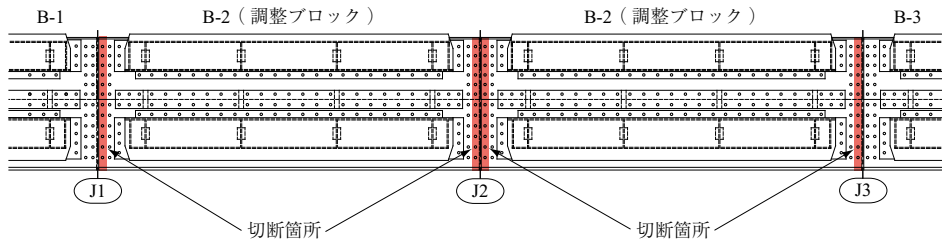
(a) ケース 1：切断量が 100 mm 未満の場合



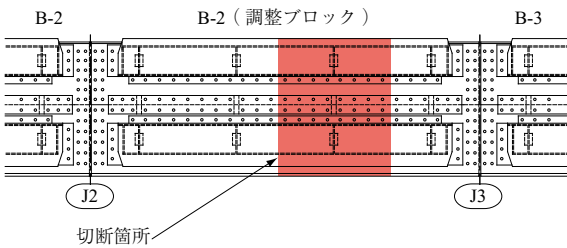
(b) ケース 2：切断量が 100 ~ 200 mm 未満の場合



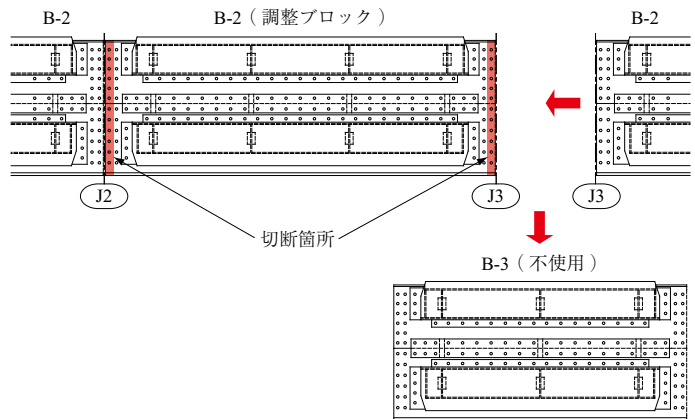
(c) ケース 3：切断量が 200 ~ 1 000 mm 未満の場合



(d) ケース 4：切断量が 1 000 ~ 3 000 mm 未満の場合



(e) ケース 5：切断量が 3 000 mm 以上の場合



(注) 切断するブロック数は切断量によって決定。

第 3 図 調整ブロック切断要領
Fig. 3 Outline of adjustment block cutting

必要量を切断する。切断によって新たに必要となるボルト孔を明ける。

- ② ケース 2：切断量が 100 ~ 200 mm 未満の場合
添接板がダイヤフラム（隔板）に干渉するため、調整ブロックの両端部の現場継手から必要量を切断する。切断によって新たに必要となるボルト孔を明ける。
- ③ ケース 3：切断量が 200 ~ 1 000 mm 未満の場合
調整ブロックを二つ以上とし、必要量に応じて各ブロックの端部から切断する。
- ④ ケース 4：切断量が 1 000 ~ 3 000 mm 未満の場合
調整ブロックを一つとし、添接板とダイヤフラムが干渉しない位置で必要量を切断する。
- ⑤ ケース 5：切断量が 3 000 mm 以上の場合

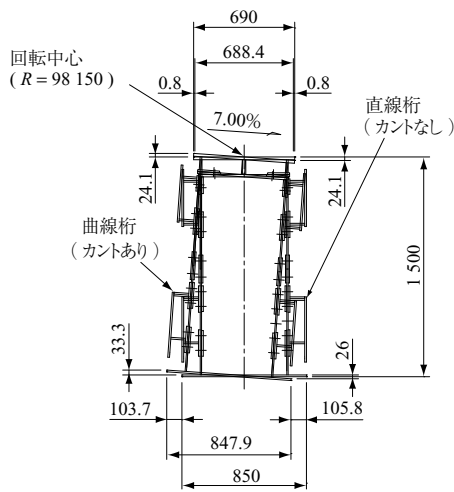
架設ブロック数の調整および調整ブロックの切断量の調整によって決定する。

3.3 桁の回転中心の設定

走行面にカントを設けるため、桁を傾斜させる必要がある。桁の回転中心位置は、走行面幅中心や箱桁中心および台車の回転中心とすることが考えられる。それぞれの現場継手形状を比較検討した結果、現場継手部の桁同士のすき間や走行面の段差が最も小さくなるよう、走行面天端の走行面幅中央位置とした（第 4 図）。

3.4 現場継手形式の選定

現場継手とは、軌道桁を構成するフランジと腹板から成る主桁の添接板と、走行面、安定面および案内面の添接板をいう。本橋のブロックは直線であるため、曲線への対応



第4図 曲線桁の回転中心 (単位: mm)
Fig. 4 Center of gyration of curve girder (unit: mm)

は現場継手位置での角折れ調整となる(第5図)。添接板は直線桁用と曲線桁用を2種類製作した。現場継手適応一覧表を第1表に示す。

曲線用現場継手形状は、以下の手順で決定した。

①ステップ1

各軌道桁ブロックを、想定する曲率とカントに合わせて配置する。

②ステップ2

直線桁用の添接板をそれぞれのケースに重ねる。

③ステップ3

高力ボルトの設置可否、部材同士の干渉の有無を検証する。

④ステップ4

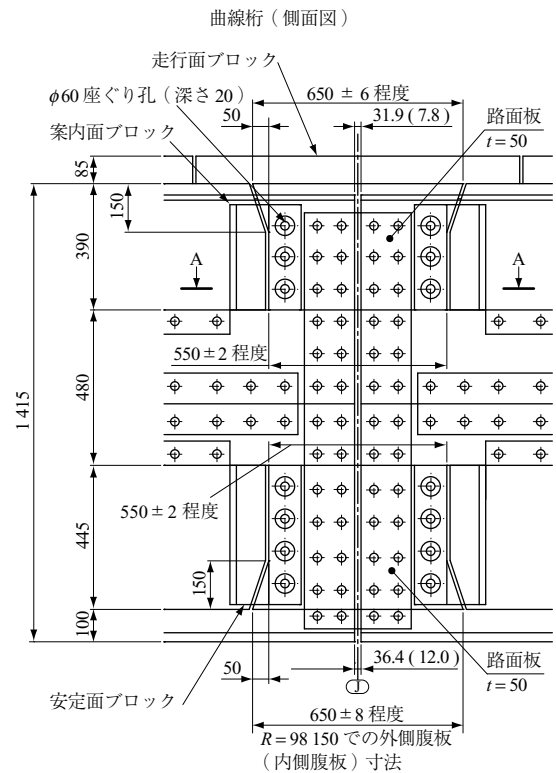
曲率およびカントの影響によって直線桁用の添接板が設置できないと判断されたケースについては、軌道桁のすき間形状から、曲線桁用の添接板形状に決定する。

以上から、現場継手を、大阪モノレール営業線全線に対応させるためには、直線用および曲線用の2種類が必要となることが分かった。

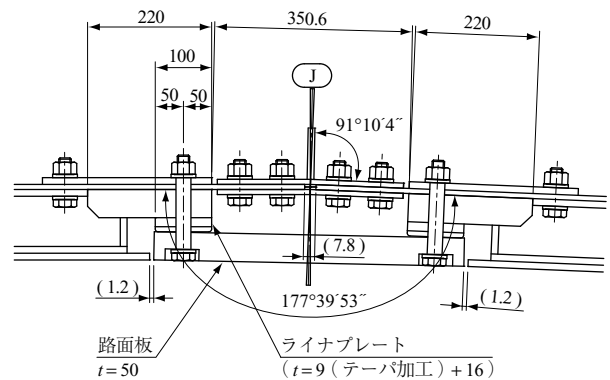
4. 工場製作

4.1 製作そり

一般の鋼軌道桁は、桁架設後に生じる桁の自重(死荷重)と、モノレール本体の1/2荷重(活荷重)によるたわみ量をあらかじめ見越して製作する。これを製作そりというが、これによって架設完了後に直線的な完成形状を再現し、走行性が確保できる。



A-A(平面図)



(注) () 内寸法: 内側腹板

第5図 腹板および案内面・安定面の継手部詳細(曲線桁)
(単位: mm)

Fig. 5 Web plate and guide and stable joint details (curve) (unit: mm)

しかし、緊急鋼軌道桁は橋長および曲率が不確定なため、製作そり量を設定することができない。このため、製作そりは設けず、架設時にブロックの設置高さを調整することとした。

なお、本工事の仮組立時においては、後述する仮組立条件に応じた製作そり量を設定し、仮組ヤードにおいてブロックの設置高さを調整して、そりを再現した。

4.2 仮組立による検証

構造解析および原寸処理では、製作誤差のない構造物として、直線桁および曲線桁に対応可能な構造を採用した。しかし、製作誤差を含む出来形においても、緊急鋼軌道桁

第 1 表 現場継手適応一覧表

Table 1 List of applicable joints

曲線半径 (m)	カント (%)	現場継手部材					
		上フランジ継手	下フランジ継手	腹板継手	走行面継手	案内面継手	安定面継手
97.85	7.5	曲	曲	曲	曲	曲	曲
100	6.0	曲	曲	曲	曲	曲	曲
200	4.0	直	曲	直	直	直	直
250	4.0	直	曲	直	直	直	直
300	3.0	直	直	直	直	直	直
400	3.0	直	直	直	直	直	直
500	3.0	直	直	直	直	直	直
700	2.0	直	直	直	直	直	直
800	2.0	直	直	直	直	直	直
1 000	2.0	直	直	直	直	直	直
∞	0.0	直	直	直	直	直	直

(注) 曲線半径とカントの関係からそれぞれの継手部材を曲線桁用・直線桁用に区分けする。
 曲：曲線桁用の現場継手を使用
 直：直線桁用の現場継手を使用

としての要求性能を満たしていることを検証するため、直線および曲線 2 ケースについて仮組立を行う必要があった。このため、曲線桁の線形条件は ① カントが漸変している ② 曲率が最小である ③ 橋長を 23 m とする、を満たす営業線実橋での線形を再現した(第 6 図)。

主な線形条件を以下に述べる。

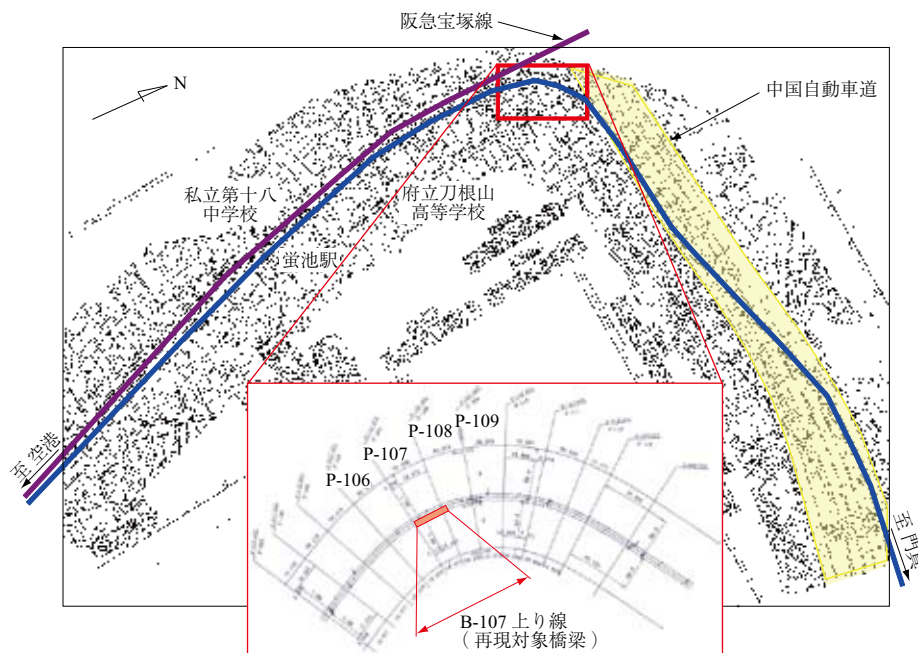
橋 梁 名 空港線 B-107 上り線
 橋 長 23.000 m
 支 間 長 22.200 m
 平面線形 $A = 90.911 \text{ m} \sim R = 98.150 \text{ m}$
 縦断勾配 3.3%

カント 6.84 ~ 7.5%

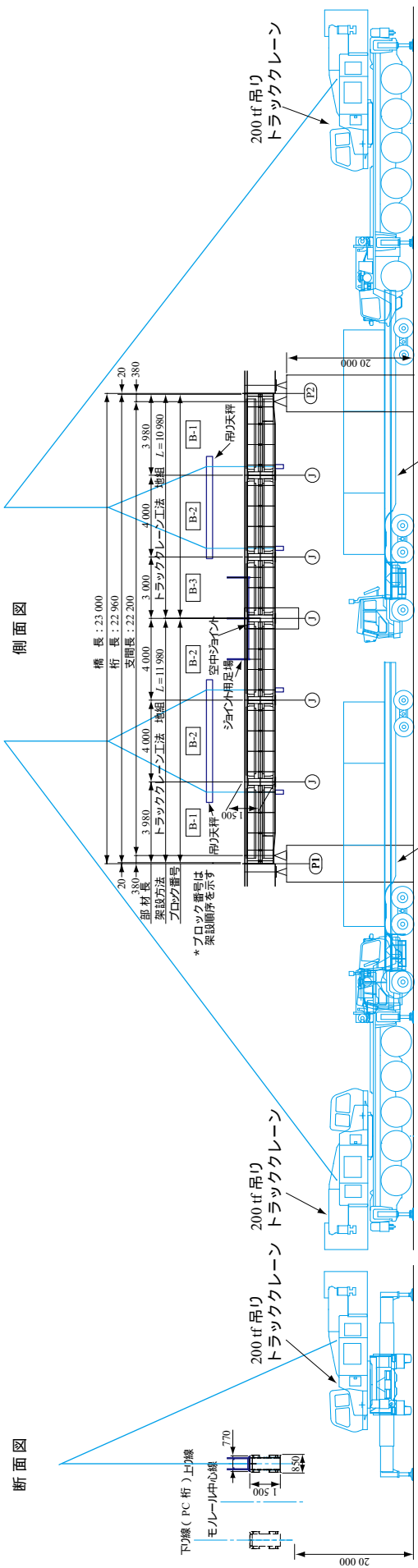
2 ケースの仮組立順序は、最初に曲線仮組立を行い、次に直線仮組立とした。これによって、一度、曲線に対応させて使用した桁が、再度直線部に転用できることを確認した(第 7 図、第 8 図)。

4.3 組立記号図の作成

本橋は部材単位で保管し、災害発生時には任意の緊急時対応メーカーによって現地で架設し、PC 軌道桁の復旧時に撤去され、再度保管を繰り返す。そこで、組立記号図を作成し、全部材に記号を刻印することで、第三者でも容易に組立ができるようにした。



第 6 図 曲線桁再現のモデル橋梁
 Fig. 6 To reproduce the curve girder model bridges



(注) 緊急鋼軌道桁架設(別の場所で組立・搬入)

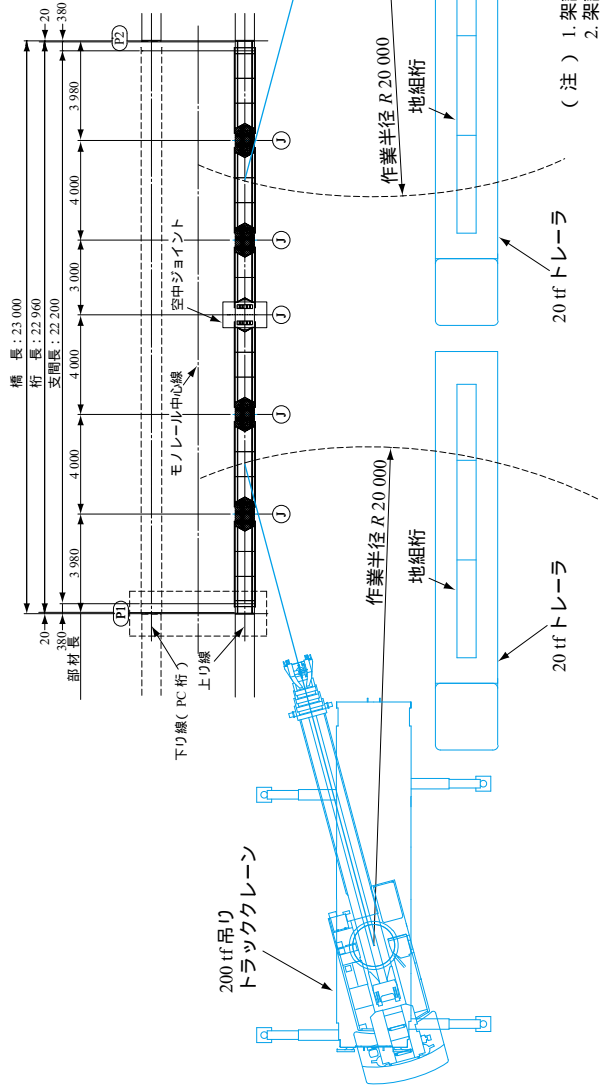
20 tfトレーラ

20 tfトレーラ

作業半径	20.0 m
ブーム長	40.9 m
プロック重量	22.0 tf
吊り能力	29.5 tf

*プロック重量には、フック・吊り具重量(1.0 tf)を加算する。

平面図



(注) 1. 架設条件: 橋脚高さ20.0 m, 作業半径20.0 mとする.
2. 架設方法: 2台の200 tf吊りトラッククレーンによって地組桁を空中ジョイントで架設する。

200 tf吊りトラッククレーン定格総荷重表 (単位: tf)

作業半径	ブーム長	
	31.8 m	40.9 m
7.0 m	103.2	70.0
8.0 m	91.9	70.0
9.0 m	82.5	70.0
10.0 m	74.7	70.0
11.0 m	68.1	62.0
12.0 m	61.5	57.5
14.0 m	50.2	49.5
16.0 m	41.8	43.0
18.0 m	35.2	37.5
20.0 m	27.7	32.0
22.0 m		28.0
24.0 m		24.3
26.0 m		21.0
28.0 m		18.4
30.0 m		17.5

第12図 架設計画図 (単位: mm)
Fig. 12 Construction plan (unit: mm)

最大ブロック重量 8 t 程度の桁を、クレーンによってコンテナ上方から持ち出すため、オープントップタイプのコンテナを選定した。なお、コンテナの積荷重量が輸送可能な最大重量を大きく超過するため、コンテナごとの輸送はできない。

コンテナの主な仕様を以下に示す。

型式	40 フィートオープントップ型
数量	2 基
屋根保護	防災屋根シート
ペイント	マリンペイント 1 層増し塗り
設置支点	基部 6 点受け
保管表示	配置図、橋歴板、塗装記録表を扉部に貼付け

6. 架設計画

仮復旧の対象となる PC 軌道桁の立地条件は無数に考えられるため、緊急鋼軌道桁の架設計画を特定することは困難である。ただし、モノレール営業線の大半が大阪中央環状線直上に位置することから、軌道桁直下が広域道路であることを想定し、参考として架設計画を行った。

一般的な架設方法は、支間中央部付近に支保工を設け、

そこで桁を一時的に支持しながら架設する。そして、全ブロックの架設を完了した後、橋長などを調整し支保工を撤去する。

ただし、支保工の設置・撤去には時間を要するため、今回は支保工を用いない大ブロックによる一括架設を計画した(第 12 図)。

7. 結 言

仮組立検査を実施することによって、直線および曲線に対応できることが確認され、無事コンテナ内に格納することができた。地震やその他の災害によって、本橋を用いることがないことを願うが、万一の災害発生時においては、本橋の使用によって、いち早く利用者の安全を確保する一助となることを期待する。

— 謝 辞 —

大阪府茨木土木事務所および大阪高速鉄道株式会社をはじめ、設計協議などご協力いただいた株式会社トーニチコンサルタント、関係会社および関係各位に対し、ここに深く感謝の意を表します。