

鋼6径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋 歩行者デッキの架設実績

鹿島建設(株) 正会員 ○高岡 周作 松井 修治
 松村 徹 平田 克英
 仲野 公朗 梅津 一星
 大日本コンサルタント(株) 正会員 松井 哲平 末松 慎介

1. はじめに

本工事は、JR 浜松町駅から途中首都高速道路都心環状線を跨ぎ竹芝地区へ至る橋長約 240m の歩行者デッキを築造する工事である (図-1, 2)。上部工は鋼 6 径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋であり、橋脚は 7 基の六角形鋼製テーパ橋脚である。発注者は (株) アルペログランデ (東急不動産 (株) と鹿島建設 (株) の特定目的会社) で、竣工後は港区に移管されている。

桁の架設にはクレーンベント工法を採用し、特に首都高速道路 (幅 24.6m, 高さ約 8m) 上空の桁架設では、必要な桁落下防止対策を行ったうえで、首都高速道路を全面通行止めして桁の架設を行った (写真-1)。

また、景観を重視したデッキの構造上、橋脚と桁が剛結されるため、桁の閉合 (溶接) 時期により完成後の温度変形に伴う応力が発生する。そのため、閉合時の温度条件を考慮した温度解析を実施し、標準温度 20°C 付近での桁閉合が最適と判断し閉合した (写真-2)。

本稿では、首都高速全面通行止めを含め、街路通行止めを伴う時間制約があり、また、桁の落下に伴う道路の損傷等の社会的影響が大きい首都高都心環状線上空の一括架設実績と、剛結されるラーメン橋に対して適切な品質を確保するための閉合温度を考慮した架設の実績ならびに閉合後の挙動について報告する。



写真-1 一括架設状況



写真-2 閉合時の状況

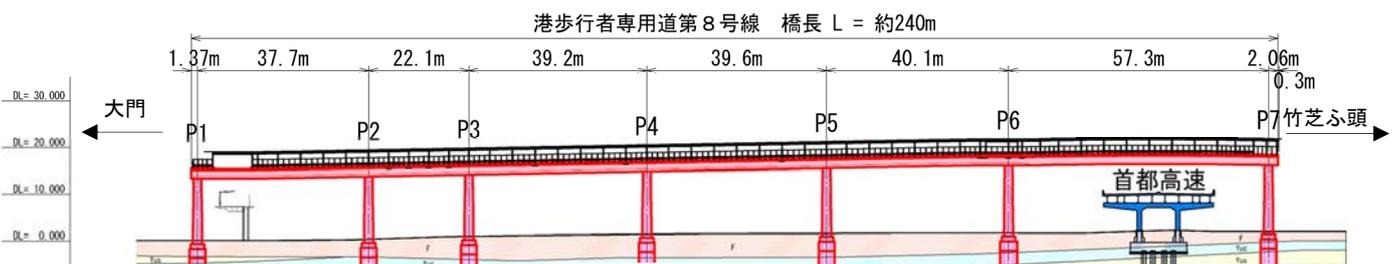


図-1 全体縦断面図

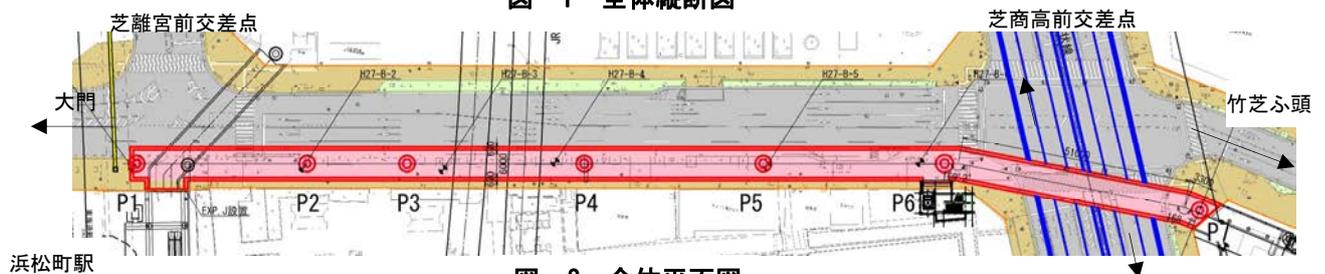


図-2 全体平面図

キーワード 鋼床版, 箱桁, 一括架設, 温度変形, 歩行者デッキ, 首都高速

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株) 東京土木支店 TEL03-3404-5511

2. 首都高上空部一括架設計画

架設ステップを示す(図-3)。まずステップ1としてP6柱頭部と首都高側1ブロックを架設後、P5P6間の箱桁部を先行して架設する。これは首都高協議において張出ブロックの安全性を向上させる対策の一つである。次にステップ2としてP7柱頭部と隣接する首都高側ブロックを首都高外回り1線規制しながら架設する。そしてステップ3は予めP5付近にて張出ブロック②を地組しておき、これを竹芝通り通行止めで確保した場所にて組み立てる550tオールテレーンクレーンを使用して首都高内回り2車線規制の上架設する。最後にステップ4として、竹芝通りの車道1車線と歩道を占有して一括架設するブロック③④を地組し、ステップ3と同様に550tクレーンにて竹芝通り海側と首都高全面通行止めして一括架設を行う。

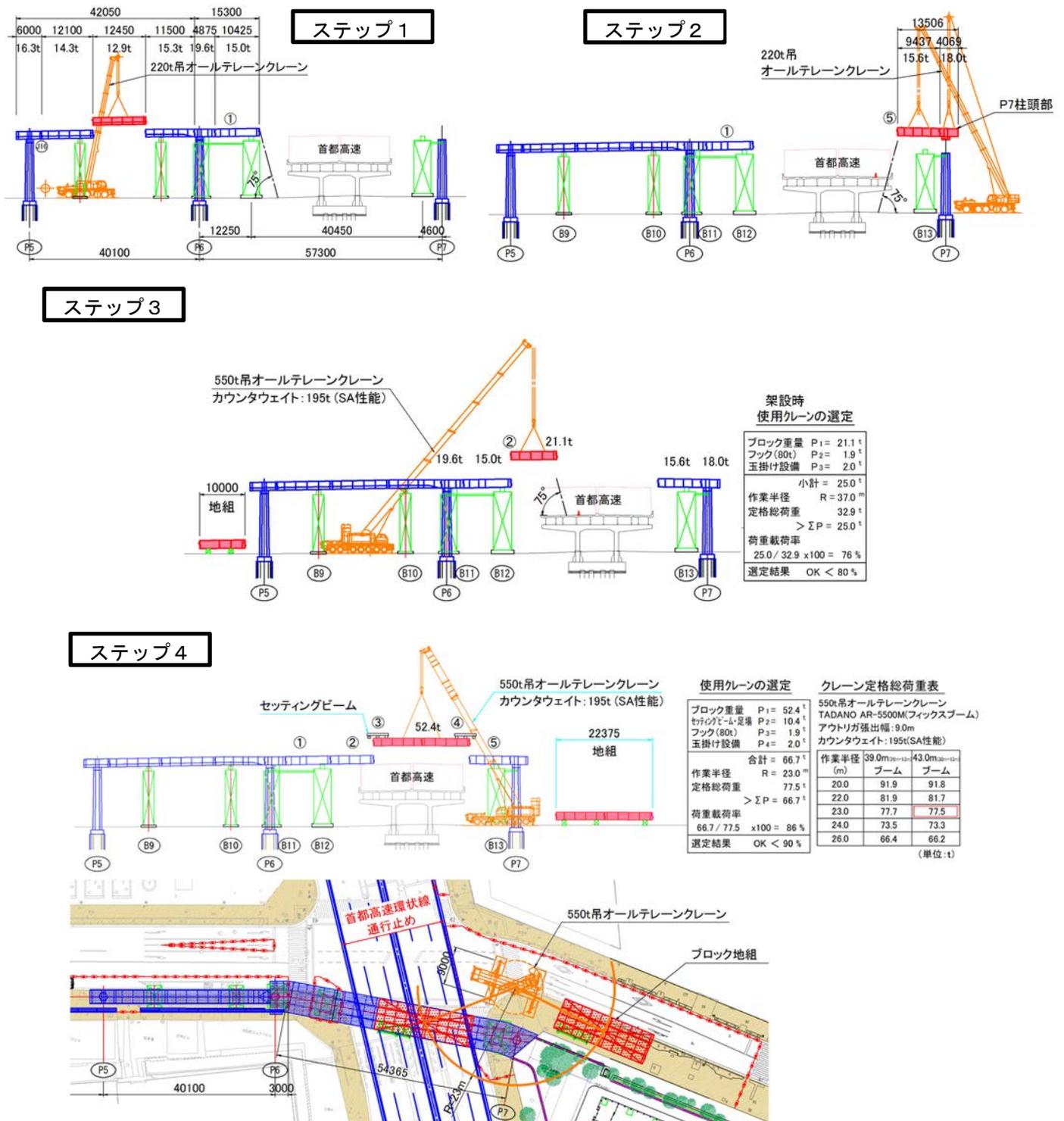


図-3 架設ステップ図

3. 近接施工協議

(1) 首都高速道路

a) 国交省通達対応

2016年4月22日に発生した新名神の有馬川橋桁落下事故をうけて、「供用中の道路上の橋梁架設工事に伴う安全確保について」が同年6月22日付で高速道路会社宛に発信された。その内容は落下防止対策が取られていない桁下の道路は通行規制が必要であるというもの。さらにここでの落下防止対策は仮設構造物への固定を対象としていない。したがって、今回の架設計画では、ステップ3においてベント上の桁が首都高上に張出す状態となるため、上記通達の対象となり、常時通行規制が必要となる恐れがあった。

そのため、以下の対策を行うことで通行規制なく張出桁を架設することを承諾された。

① ベント (B12) 耐震性の向上 (図-4)

桁側部ストッパーとベント基礎とのあと打ちアンカーボルトによる一体化を実施した。設計水平震度は0.15として検討した。

② ベント (B12) と本設橋脚 (P6) との緊結 (図-5)

ベントと本設橋脚をH400相当の鋼材にて緊結しベント安定性を向上させた。

③ ベント (B12) 倒壊時の桁落下防止 (図-6)

張出ブロックを支持しているベントが万一倒壊しても首都高上の張出ブロックが落下しないようP5P6間を先行して接合しP6から首都高側の桁が片持ち梁で成立する対策を行った。

④ ベント (B12, B13) のリアルタイム計測

ベントにプリズムを設置し、トータルステーションにより常時その変形を確認した。

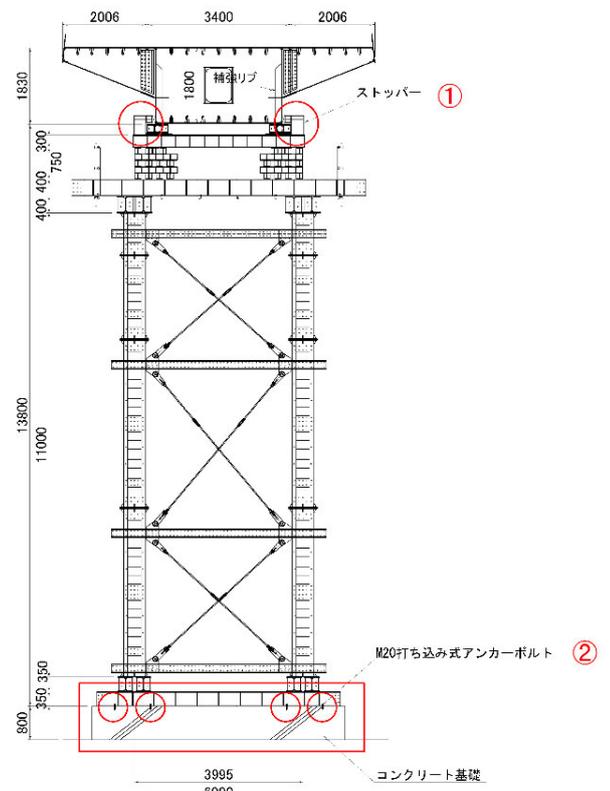


図-4 ベント (B12) 耐震性の向上

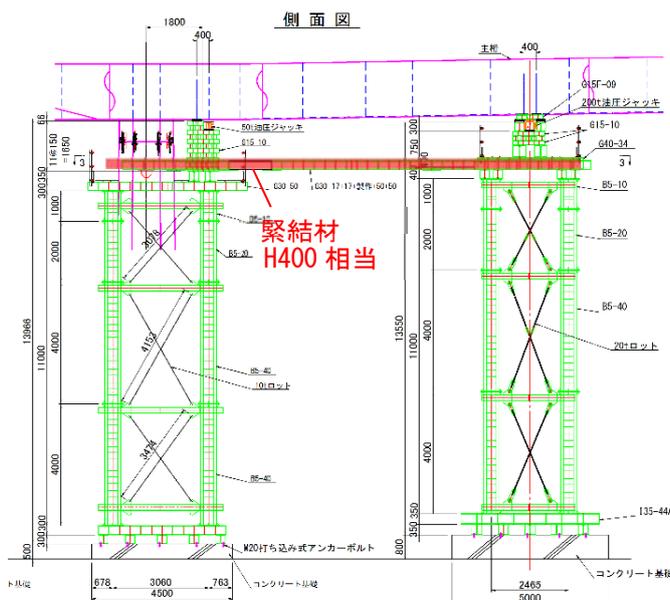


図-5 ベント (B12) と本設橋脚 (P6) との緊結

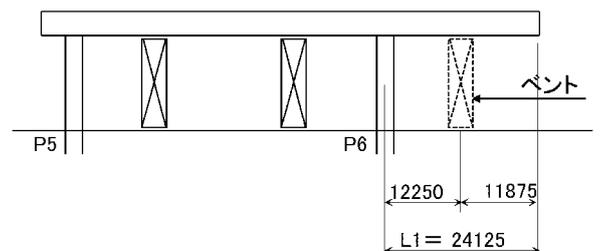


図-6 ベント (B12) 倒壊時の桁落下防止

b) 通行止め対応

全体工程から一括架設は2018年7月頃と想定し、通行止め範囲は渋滞予測解析と警視庁協議を踏まえ、架設場所だけではなく出入り口や迂回路等も考慮して江戸橋ジャンクション (JCT) から浜崎橋JCTまでの約4kmの広範囲となった (図-7)。また通行止め時間は22時から翌5時となった。

c) 首都高作業帯

本工事では、通行止めまでに外回り1車線3回と内回り2車線規制を1回実施する必要があり、通行止めとは別途、協議を実施した。



図-7 通行止範囲図

(2) 警視庁協議ほか

道路使用に関する警視庁協議は警視庁交通部交通規制課道路1係及び高速道路交通警察隊と行い、首都高通行止めと街路通行止めについての許可を得た。また通行止めや一括架設桁の地組ヤード確保のための右折レーンの解除に伴う信号調整は交通管制課と相談し対応した。

一方、通行止めに伴う都バスなどの定期バスについては一時的な迂回が可能であったため、迂回対応をお願いした。

一方、通行止めに伴う都バスなどの定期バスについては一時的な迂回が可能であったため、迂回対応をお願いした。

(3) ベント早期解体による下げ越し架設

交通への影響から、首都高近接部のベント (B12, B13) を早期解体する必要があった。ベント解体に伴い、先行架設したP5~P6間に応力が発生するため、桁組立時にはJ16部を下げ越し架設する計画とした。

添接部は解放後の上げ越し量を考慮して、段差 ($\delta=37\text{mm}$) を付けた仮添接板 (図-8) を使用し、ベント解体時に本添接板に取り替えることとした。

その順序を示す (図-9, 図-10)。

図-8 J16 仮添接板 (ウェブ)

図-9 P5~P7間桁組立形状

図-10 P6~P7間ベント解放後

-151-

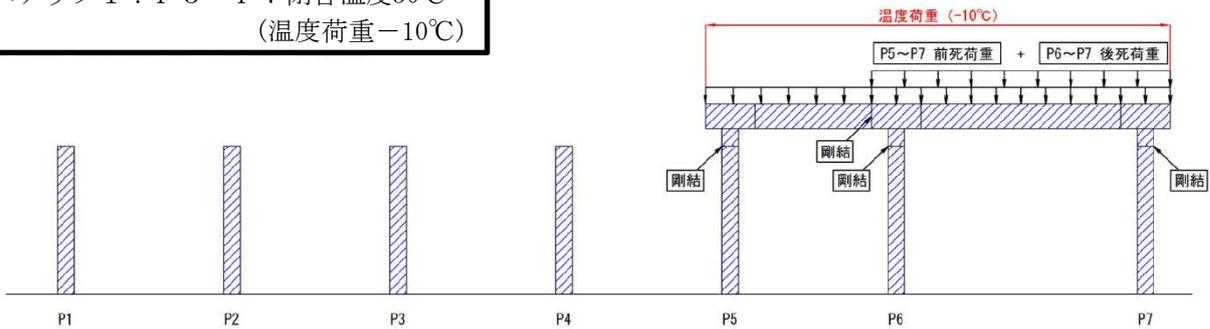
4. 温度応力に対する検討

P5～P7 までは、架設時温度 25℃以上での夏場の閉合、P1～P5 までは、架設時温度 20℃程度の時期での閉合となるため、架設時温度を考慮した各断面での照査を行うこととした。

解析においては、P5～P7 間の閉合温度を 30℃と想定し、P5～P7 間上部工架設時の状態で -10℃の温度荷重（他スパン架設時温度に対する相対温度差）を載荷、その後完成形で ±30℃の温度荷重を載荷することで、照査を行った（図-11）。

温度解析の結果、高温時の最大応力は P6 付近の下フランジで 119 N/mm²（許容値の 90%）（図-12）、低温時は P6 付近の下フランジで 130 N/mm²（許容値の 93%）と許容値以下となることを確認した（図-13）。P5～P7 間を標準温度より高温で閉合するため低温時がより大きな応力となった。

ステップ 1 : P 5 ～ P 7 閉合温度 30℃
(温度荷重 -10℃)



ステップ 2 : P 1 ～ P 5 閉合温度 20℃
(温度荷重 ±30℃)

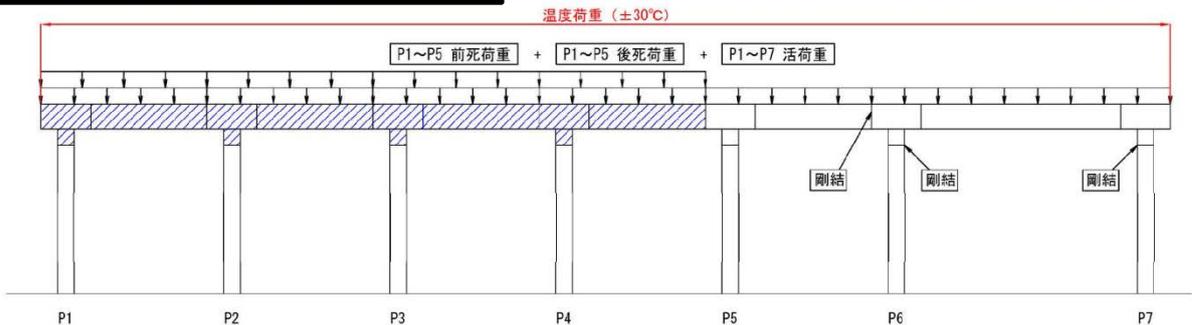


図-11 温度解析ステップ

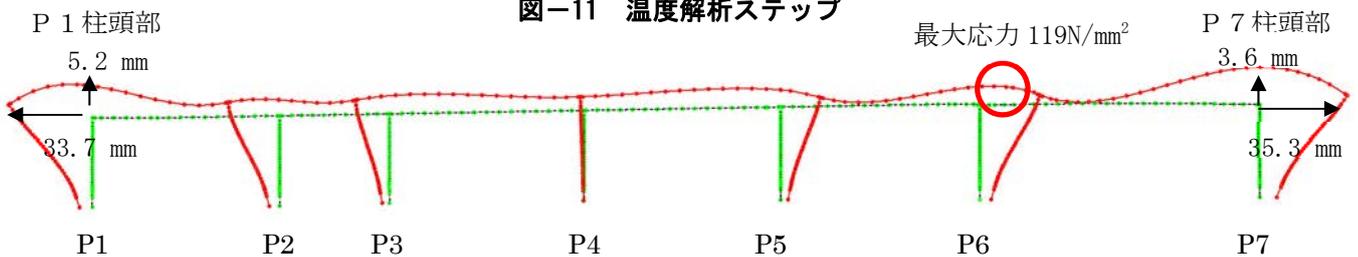


図-12 温度による橋脚・箱桁変形図(高温時 50℃(P 5～P 7 : +20℃、他支間 : +30℃))

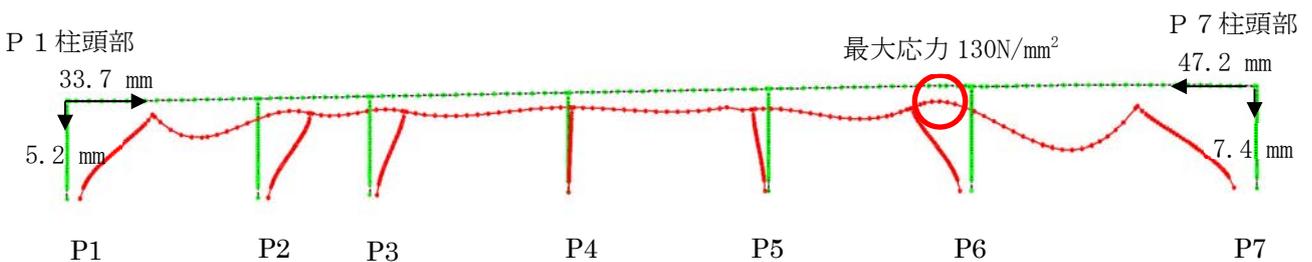


図-13 温度による橋脚・箱桁変形図(低温時 -10℃(P 5～P 7 : -40℃、他支間 : -30℃))

5. 閉合計画

(1) 架設順序

1ブロック（以下BL）の桁長を約10mから12mとし25個のBLに分割して架設した。J1からJ25は接合位置を示し、J1からJ19はフランジを溶接、ウェブがボルト接合である（図-14）。J20からJ25はいずれもボルト接合である。架設順序図に丸数字で架設順序を示す（図-15）。B1からB13はベント位置を示す。

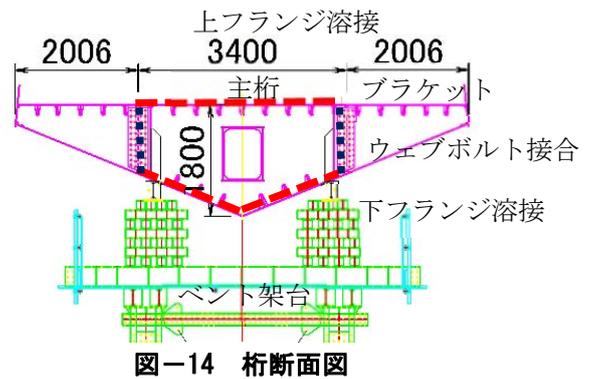


図-14 桁断面図

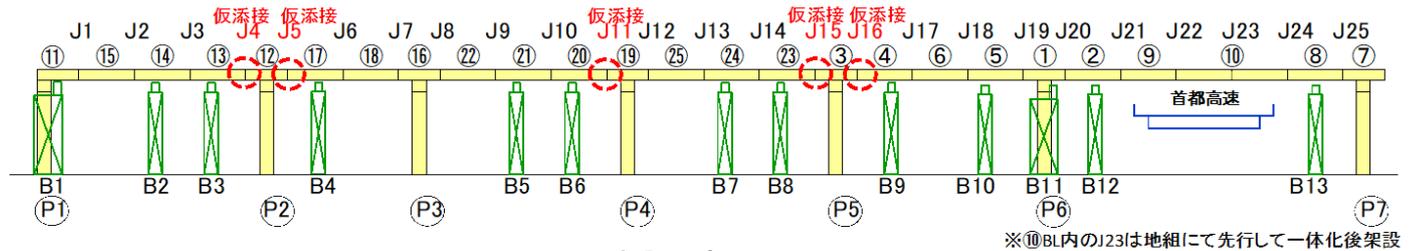


図-15 架設順序図

(2) 閉合時期

閉合時の桁温度と架設順序の関係をシミュレーションした結果、桁温度10°Cで一部閉合を行うと部材応力が許容値を超えることが判明した。そのため、各スパンの閉合温度を上記温度解析の条件に合わせて標準温度20°C付近とすることとした。

東京の日平均気温15°C以上かつ日最高気温25°C以下を標準温度期間と定め、4月下旬から5月下旬、または9月下旬から10月下旬を閉合時期とした（表-1）。

表-1 東京都平均気温（気象庁）

		平均気温 (°C)	日最高気温 (°C)	日最低気温 (°C)
4月	上旬	12.2	17.2	7.7
	中旬	13.9	18.9	9.5
	下旬	15.7	20.8	11.2
5月	上旬	17.4	22.2	13
	中旬	17.9	22.4	13.7
	下旬	19.3	24	15.1
6月	上旬	20.7	25.1	11.2
	中旬	21.4	25.5	13
	下旬	22.1	25.9	13.7
9月	上旬	25	29.2	21.8
	中旬	22.9	27	19.8
	下旬	24.5	24.5	17.5
10月	上旬	23	23	16.2
	中旬	21.8	21.8	14.5
	下旬	20	20	12.2
11月	上旬	18.2	18.2	10.2
	中旬	16.2	16.2	8.3
	下旬	14.5	14.5	6.3

(3) 仮添接板

閉合期間と定めた1ヵ月で15個のBLを架設することはできないため、閉合時期より前に架設しておく目的で仮添接板を採用した。仮添接板は、片側のボルト穴を長孔にすることで、架設後から閉合時期までの期間に生じる温度変形や隣接接合部の溶接による収縮などを吸収することができる（図-16）。図-12に示すように各スパンに1ヵ所ずつ合計5ヵ所に設置し、標準温度時期を待って仮添接板を一旦開放し、本添接板に交換するとともにルートギャップを調整後、閉合溶接を実施する計画した。

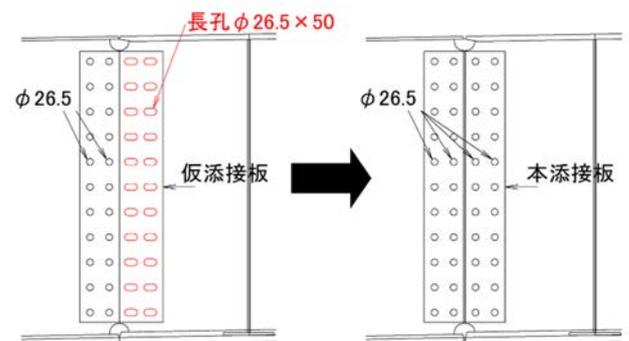


図-16 仮添接板（ウェブ）

6. 施工実績

(1) 張出ブロック架設（一括架設計画ステップ3）

P5 橋脚付近で地組した桁を 550t クレーンにて架設した（写真-3, 4）。550t クレーンを竹芝通り車道上に配置するため、当日 15 時から芝離宮交差点から芝商高前交差点まで通行止めした。クレーンのウェイトは 196t

分あるため、その設置に2時間15分を要した。首都高は内回り路肩側2車線を23時から6時まで7時間予定だったが、3:20までに解除することができた。架設は予め首都高手前までつり込み、首都高規制完了後、23:55から旋回を開始した。0:30までには必要ボルトを挿入しクレーンを開放した。本締め完了は1:00である。



写真-3 桁吊り込み全景

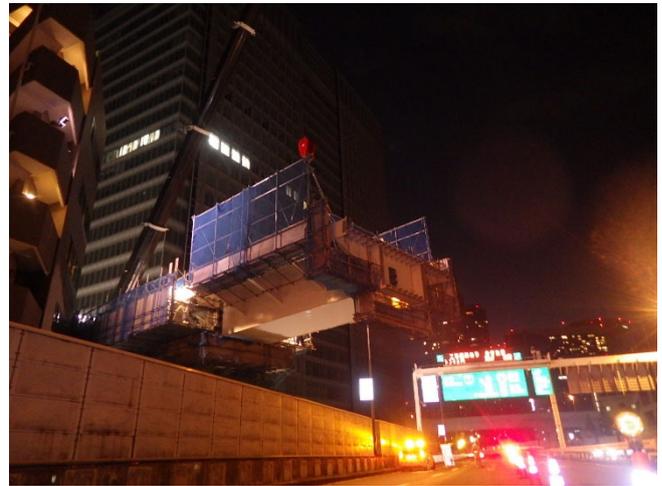


写真-4 架設状況（首都高から）

(2)一括架設（一括架設計画ステップ4）

夜間にて首都高を全面通行止めにしての一括架設を実施した。時間工程を示す(表-2)。

表-2 一括架設(ステップ4) 時間工程

作業内容	時刻	時刻												
		21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00			
道路規制	所要時分	30'												
首都高全面通行止め	7時間	22:00 ← 7時間(420分) → 5:00												
首都高1車線規制	1時間	21:00 ← 1時間 → 22:00												
準備作業	桁架設準備	30'												
	試験吊	60'												
首都高規制作業	首都高規制設置・解除	設置 60+60分	1車規制 60' 通行止め 60' 解除 60'											
		解除 60分	35'											
	J24端部足場解体	60分	30'											
	桁吊り上げ・旋回・下げ	10分	70'											
	P6側添接足場組立	20分	40'											
	P6側添接板・仮ボルト締付	80分	20'											
	P6側添接高力ボルト本締め	30分	20'											
	P6側添接足場組立(塗装用)	100分	80'											
	P7側添接足場組立	20分	20'											
	P7側添接板・仮ボルト締付	80分	20'											
	P7側添接足場組立(本締め、塗装用)	100分	100'											
	玉掛け解体・クレーン旋回	20分												

街路はステップ3と同様に15時から芝商高前交差点から海側を通行止めとし車道上でクレーンを組み立てた。一括架設ではフィックスブームを使用するため、16時から組立を開始し21時に完了した。

首都高の通行止め在先立ち、外回り路肩側1車線の規制を21時から行った。規制完了後、首都高上での作業に備えて、予め汐留ランプで待機していた高所作業車と16tラフタークレーンを入場させた。

次に22:10から試験吊りで高さ10mまで吊り上げ待機していた桁を、首都高通行止め完了後、22:55からクレーン旋回を開始し約15分後の23:10頃までに桁を所定の位置まで吊下げた(写真-5)。続けてP6、P7側の順でボルト接合を行い、1:30頃までにはボルト接合が完了した。その後、所定の足場を設置し2:50までに首都高上での作業を終了した。なお、一括架設の40日前から竹芝通りの歩道と車道1車線を規制して架設桁の地組を行った(写真-6)。首都高規制回数を減らすため将来シェルターを施工するための足場を架設前に設置しておいた。



写真-5 一括架設桁吊り上げ状況

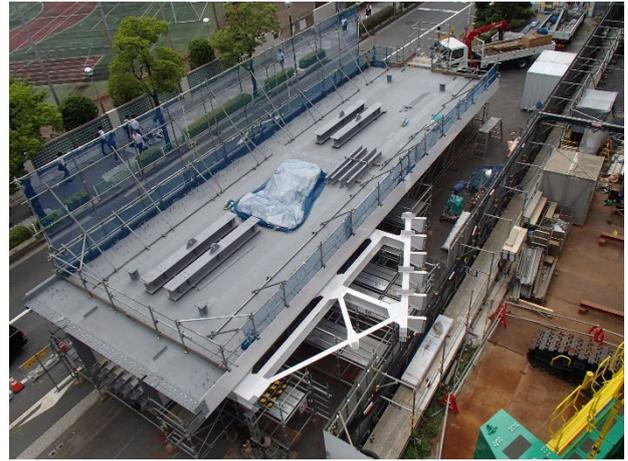


写真-6 一括架設桁地組状況

(3) 仮添接部閉合温度

首都高上空架設後、順次、P1-P5のブロックを架設し、夏季の閉合を計画していた J16 以外の閉合は標準温度の $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ として閉合した。仮添接部の閉合時の温度を示す(表-3)。

表-3 閉合時温度

継手箇所	施工日	閉合温度
J4	2019年4月19日	19.2°C
J5	2019年4月20日	20°C
J11	2019年4月18日	21.5°C
J15	2019年4月18日	22.4°C
J16	2018年8月27日	31°C

(4) 閉合後の挙動

現在、施工は完了している(写真-7)。閉合後の温度挙動については、冬季(気温 4°C 、桁温 1°C)に桁長を実測したところ設計値に対して 50mm 短いことを確認した。一方、上記解析結果から桁温 -10°C (温度差 30°C)での全長における収縮量は 81mm であり、温度差 19°C の収縮量を弾性域内での挙動として推定すると $81 \times 19 / 30 = 51\text{mm}$ となり、温度解析結果は妥当であることを確認した。



写真-7 施工完了後 デッキ全景

7. まとめ

1日約10万台と交通量の多い首都高速道路都心環状線の全面通行止めを行っての一括架設であったが、事前協議を入念に行い文字情報板や看板等による広報活動ならびに架設計画を綿密に行うことで無事架設を完了した。また、橋面高さが約15mと比較的高く温度応力は緩和される傾向にあるものの、橋脚と桁が剛結の多径間ラーメン橋であるため、温度変化による挙動と閉合時期の対応が課題であった。今回、桁と橋脚全体をモデル化し、架設順序、閉合時温度を考慮した温度解析を実施した結果、仮添接板を採用し各スパンの閉合時期を標準温度 20°C に合わせることで所定の出来形を確保することができた。閉合後の挙動についてもほぼ設計値となることを確認した。最後に、本報告が同種工事の参考になれば幸いである。