

常滑高架橋の設計・施工

—リブ付き合成床版を採用した大断面 PC 箱桁橋—

鈴木 五月*1・徳川 和彦*2・川除 達也*3

1. はじめに

常滑高架橋は、中部国際空港へのアクセス道路となる知多横断道路のうち、空港対岸部の埋立地付近に位置する橋長 420 m の PC 9 径間連続箱桁橋である。本橋は、知多横断道路と交差する都市計画道路の浜田線、海岸線、市道および排水路の浜田第 1 雨水幹線を跨ぐ位置に架橋されている。架橋位置を図 - 1 に示す。また、P 6 橋脚付近から起点側を見た写真を写真 - 1 に示す。

本橋の東側は常滑市街地を通る掘割構造で、西側は空港対岸部埋立地を通る盛土構造である。

本橋は、橋梁終点側にりんくう IC の ON・OFF ランプの分合流車線を有するため、総幅員が 24.5 m ～ 39.015 m と大きく変化する。また、交差する都市計画道路や浜田第 1 雨水幹線を跨ぐことから橋脚設置位置に制約を受ける。

本文では、幅員変化、橋脚設置位置および工期短縮に配慮した常滑高架橋の上部構造の設計・施工について報告を行う(図 - 2, 3)。

2. 橋梁概要

2.1 設計条件

- ・道路規格：第 1 種第 2 級
- ・設計速度：80 km/h
- ・設計荷重：B 活荷重
- ・構造形式：PC 9 径間連続箱桁橋
- ・橋長：420 m
- ・支間長：
36.0+39.0+45.0+45.0+61.5+61.5+44.0+44.0+44.0 m
- ・有効幅員：23.5 m ～ 37.7 m
- ・縦断勾配：0.8 ～ 4.0 %
- ・横断勾配：2.0 ～ 4.0 %
- ・平面線形：R = 800 m およびクロソイド
- ・下部工形式：橋台 逆 T 式橋台
橋脚 RC 柱式橋脚 (多柱式)
- ・基礎形式：A 1 橋台 場所打ち杭 φ 1 500
P 1 ～ P 8 橋脚 場所打ち杭 φ 1 500
A 2 橋台 鋼管矢板基礎 φ 1 000
- ・適用基準：道路橋示方書・同解説 (平成 14 年 3 月)



写真 - 1 常滑高架橋



図 - 1 常滑高架橋の架橋位置

2.2 上部構造形式の選定

本橋は、ランプ部への幅員変化により、橋梁終点部では総幅員 39.015 m と支間長と同程度となる構造である。したがって、上部構造全体の剛性を高める必要があること、橋脚設置位置に制約を受けるため下部構造とのバランスを考慮する必要があることから、上下線一体構造の PC 多室箱桁 (2 室～4 室) とした。なお、工期短縮およびコスト削減を目的に PC 鋼材を配置したリブ付き合成床版を採用し、床版張出し部では張出し長 4.5 m とすることにより、側道の建築限界を確保した (図 - 3 P 1 橋脚正面図参照)。また、箱内上床版部に型枠兼用のプレキャスト PC 板を採用することにより上床版施工時の支保工、型枠作業を不要とした。

*1 Satsuki SUZUKI：愛知県道路公社 知多横断空港連絡道路建設事務所 建設第二課

*2 Kazuhiko TOKUGAWA：パシフィックコンサルタンツ(株) 中部本社 部長

*3 Tatsuya KAWAYOKE：(株) ピーエス三菱 名古屋支店 土木技術部 PC 設計グループ

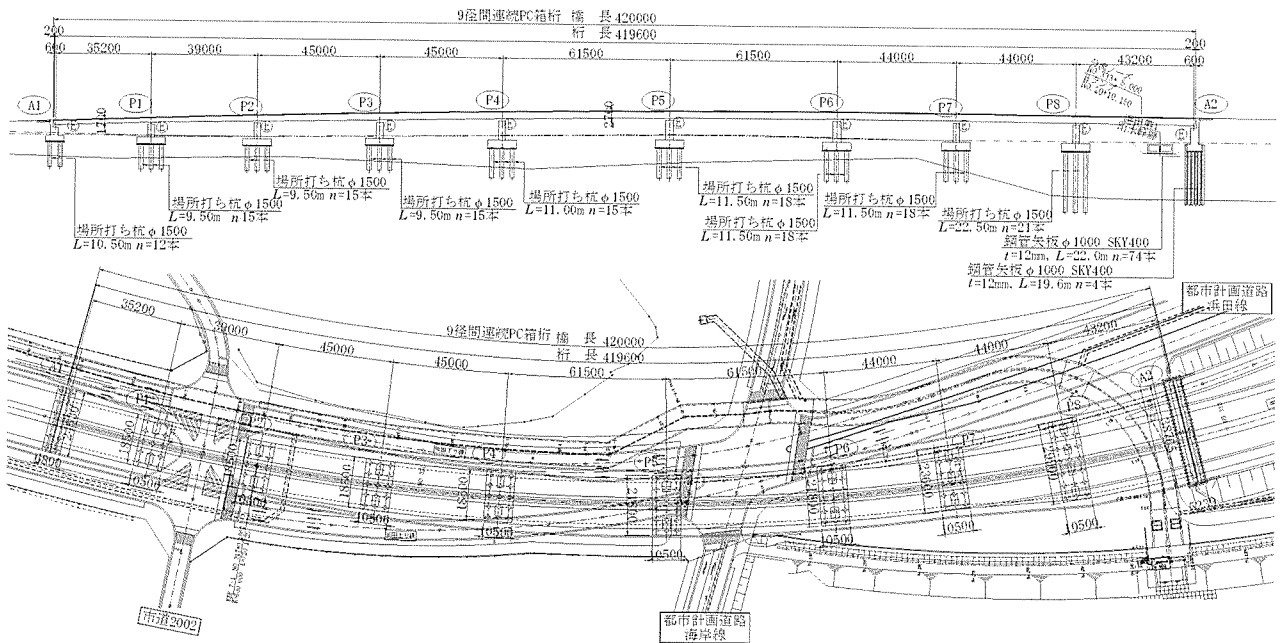


図 - 2 橋梁全体一般図

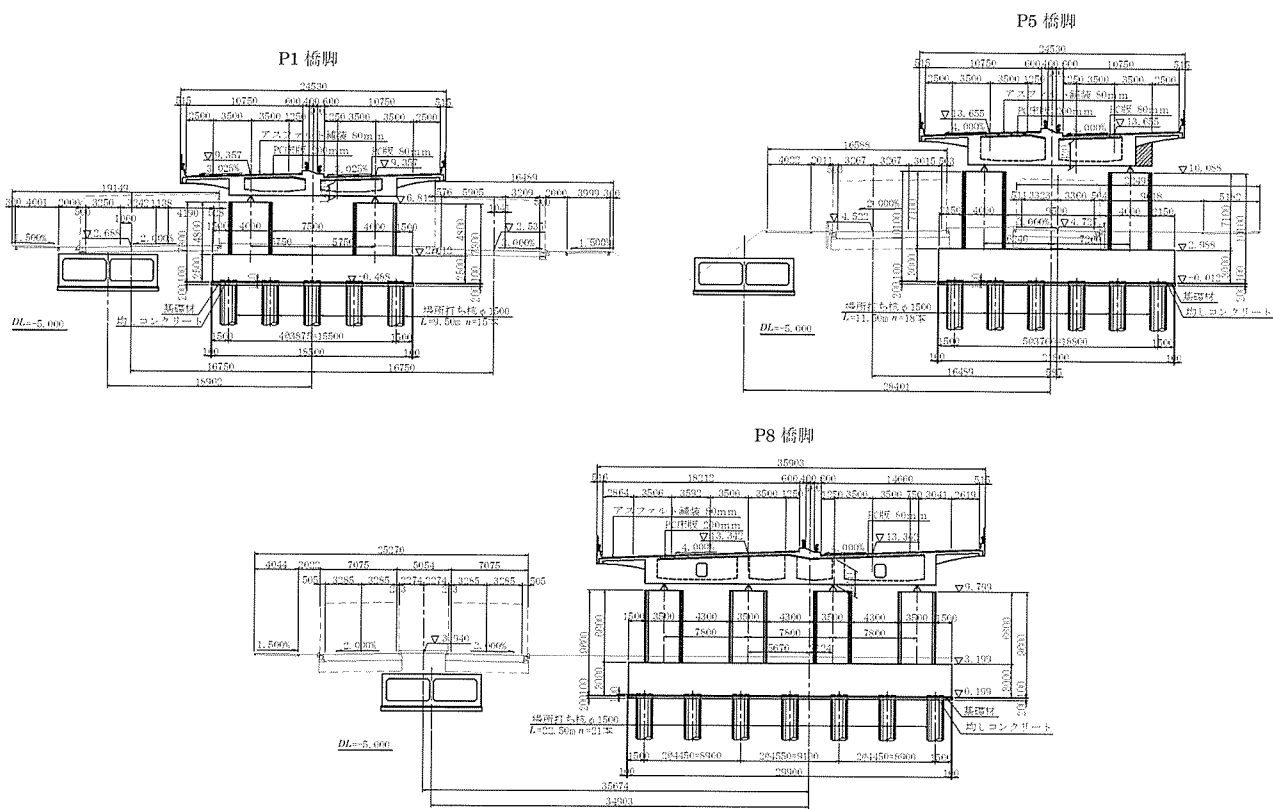


図 - 3 下部工正面図

以下のとおりであった。

3. 上部工の設計

3.1 断面形状

(1) 断面決定のための条件

本橋の主桁形状を決定するにあたり、考慮すべき条件は

- ・ 広幅員であり、なおかつランプすり付けのため、終点側は拡幅する。
標準部 24.530 m (総幅員)
最大拡幅部 39.015 m ()
- ・ 路面に 2 ~ 4 % の横断勾配を有する。

・起点側は掘削区間に接続し、桁下高に制限がある。

最大支間が61.5 mであることから、箱桁断面を採用したが、工期短縮・コスト削減を目的としてウェブ数を減らし、リブ付き床版を有する内外ケーブル併用箱桁橋とした。

また、上床版は橋面の横断勾配に平行としたが、桁下高の制限に配慮し、下床版の横断勾配は水平とした。したがって、橋軸直角方向に桁高の異なる断面となっている。

(2) 標準断面

標準幅員部における断面形状を図-4、5に示す。

主桁断面は2室の箱桁断面を基本とし、上床版には橋軸方向に2.5 m間隔でリブを配置した。上床版構造はリブ付き床版として床版支間を延長し、張出し床版は4.3 m、中間床版は7 mを超える支間とした。さらに中間床版は、リブ上にPC板（プレキャスト部材 $t=80$ mm）を配置して、場所打ち床版（ $t=200$ mm）と合成し、床版の型枠作業を省略している。また、外ケーブル併用方式を採用することで、内ケーブルを必要最小限にとどめ、ウェブ本数の少ない構造に対処している。

(3) 低桁高断面

桁下高に制限のある起点側の2径間は、桁高を標準部より1 m低く設定した。この区間では、低桁高に対応するため、中間床版のリブを隔壁構造とした（図-6）。

(4) 拡幅部の対応

本橋では終点側において、りんくうICのランプが接続することから、全幅員が24.53 mから最大39.015 mまで拡幅

表-1 主要数量

コンクリート	主桁	8 767 m ³	$\sigma_{ck}=40$ N/mm ²
	橋面工	566 m ³	$\sigma_{ck}=30$ N/mm ²
PC板（プレキャスト $t=80$ ）		1.1 t	$\sigma_{ck}=50$ N/mm ²
鉄筋	内ケーブル	121.0 t	SWPR7BL 12S12.7
	外ケーブル	0.3 t	SBPR930/1 180 ϕ 32
	横桁横締め	153.7 t	SWPR7BN 19S15.2
	床版横締め	16.3 t	SWPR7BL 12S12.7
	リブ横締め	89.6 t	SWPR19L 1S21.8
	隔壁横締め	13.9 t	SWPR19L 1S28.6
鉄筋	主桁・橋面	1 528 t	SD345A

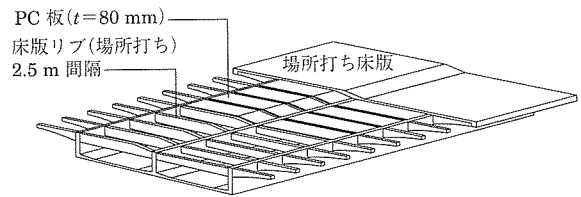


図-4 主桁断面の構成

する。

拡幅部についても標準部と同様リブ付き床版を有する箱桁断面としたが、拡幅の対応は箱桁の室数変化により対応した。ウェブ本数は3→4→5と幅員変化に応じて増加さ

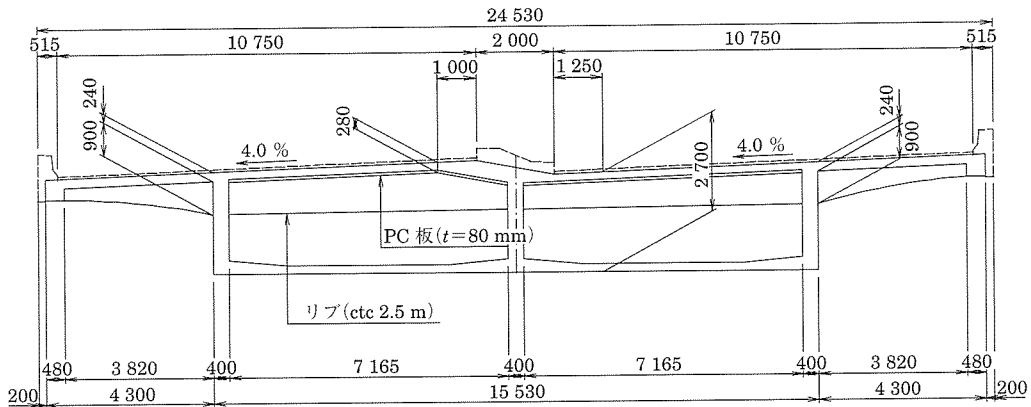


図-5 標準断面（リブ付き床版）

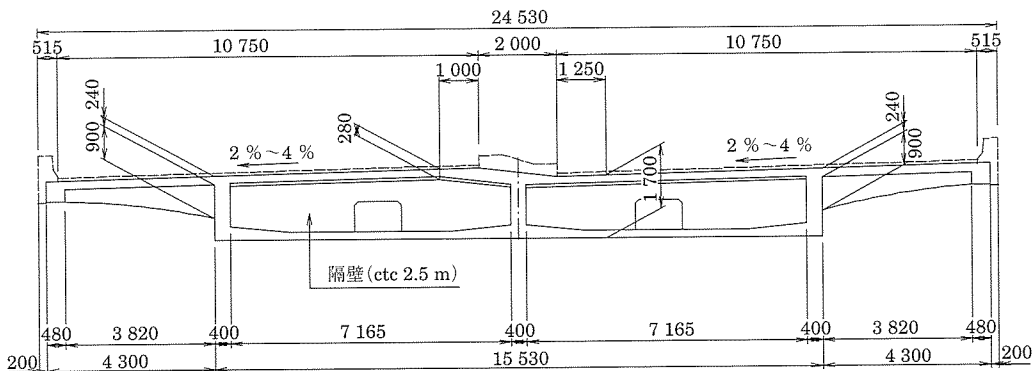


図-6 低桁高断面（隔壁付き床版）

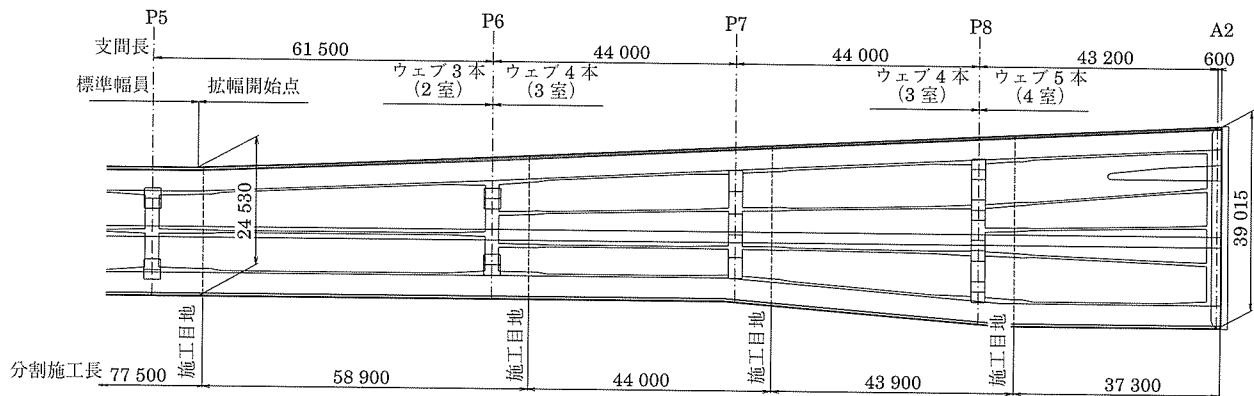


図-7 幅員変化とウェブ数変化

せ、ウェブ数の変化点は中間支点横桁に設けた(図-7)。

3.2 主方向の設計

(1) 設計手法

本橋は、固定支保工による分割施工であり、施工段階ごとに構造系が変化する。そこで、図-8に示す各施工段階を考慮し、平面骨組解析により断面力を算出した。クリープによる不静定力は、全部材の平均クリープ係数を算出し、構造系完成後からクリープが発生するものと仮定して算出した。

また、本橋の主桁断面は、橋軸直角方向にも桁高が異なることから、同一断面で応力度に差が生じることが考えられる。そこで、平均桁高による照査のほか、最大桁高位置についても平均桁高のひずみ直線を延長し、上縁断面ひずみの照査を行った。

(2) 内ケーブルの配置

主方向のPC鋼材は、前述のとおり、内ケーブルおよび

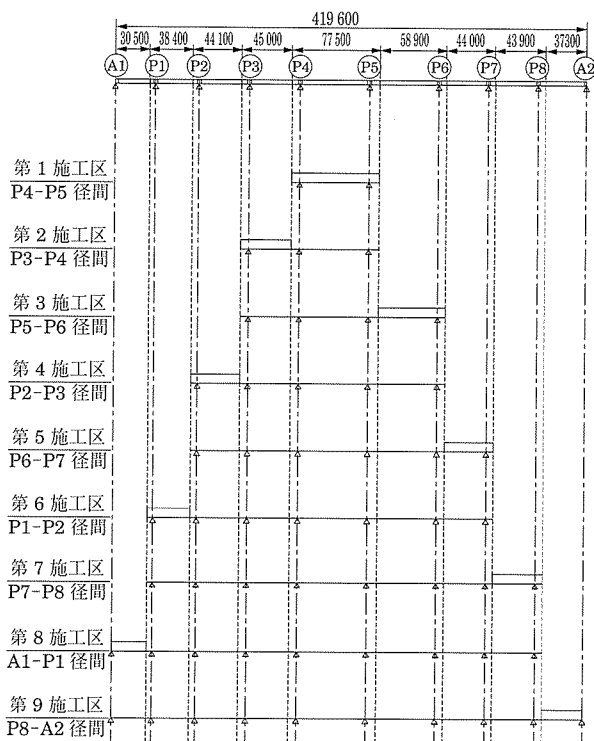


図-8 施工ステップ図

外ケーブルを併用した。

内ケーブルはSWPR7BL 12S12.7をウェブのみに配置し、ウェブ1箇所あたり最大10本を配置した。内ケーブルは施工段階ごとに緊張し、その後PC鋼材の接続を行うこととした。

また、本橋では拡幅にともないウェブ本数が増えるが、中間支点上に設けたウェブ数変化点と、段階施工目地が一致しないため、施工中に緊張力が導入されない区間が生じる。そこで、該当箇所のウェブにはPC鋼棒(φ32)によりプレストレスを導入し、施工時の安全性を確保した。

(3) 外ケーブルの配置

外ケーブルはSWPR7BN 19S15.2を採用した。支間長および幅員に応じ、1径間あたり8本~26本の外ケーブル配置としたほか、1径間あたり2本分の予備孔(定着具および偏向管)を配置している。

段階施工を行うため1径間ごとの配置とし、中間支点横桁を定着位置とした。各中間支点横桁では、隣り合う径間の外ケーブルが「たすきがけ状」に定着されるが、緊張力の偏りを避けるため、1次緊張と2次緊張に分け、横桁に過大な断面力が作用しないよう配慮した(図-9)。

ディビエータは支間部の下床版に設け、偏向力の鉛直分力に対応するため、隔壁を有する構造とした。ディビエータの設置箇所数は、外ケーブル本数に応じ、1径間あたり2

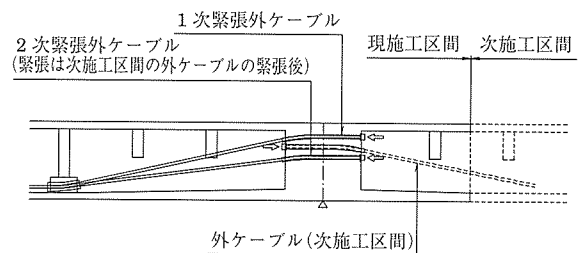


図-9 1次緊張と2次緊張

箇所ないし4箇所とした。

3.3 床版の設計

(1) 概要

本橋の床版はリブ付き構造であり、さらに中間床版はPC板(プレキャスト部材)を併用した合成床版構造とした。架橋位置が塩害対策区分Iであることから床版はPC構造

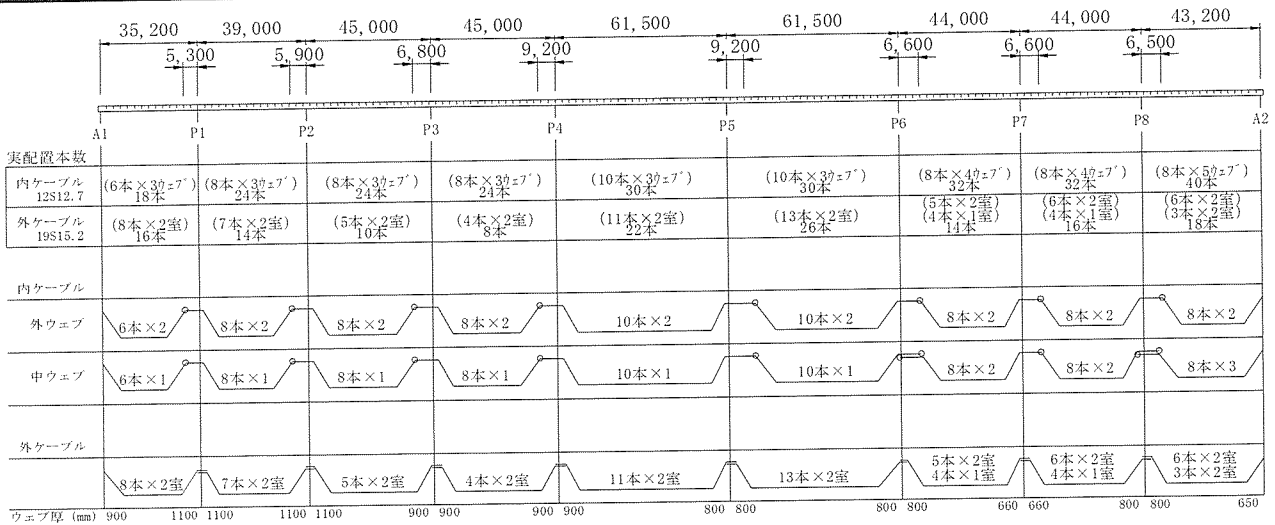


図 - 10 主ケーブルの配置

とし、設計荷重時において床版部はフルプレストレス、リブは -1.5 N/mm^2 の橋軸直角方向引張応力度制限値を設けた。

検討部位は大きく分けて、中間床版部および張出し床版部の二箇所であるが、さらに中間床版は、リブ付き床版部と低桁高断面の隔壁により支持された床版部に分けられる。したがって、検討は以下の3箇所に対して行った。

- 1) 中間床版部 (リブ+ PC 板合成床版)
- 2) 中間床版部 (隔壁+ PC 板合成床版)
- 3) 張出し床版部 (リブ付き床版)

(2) 解析方法

リブにより支持された床版を評価するため、解析は立体FEM (ソリッドモデル) を用いて行った (図 - 11)。

解析モデルは、リブ付き床版部および隔壁部の2種類を用意し、リブ付き床版部は床版支間のもっとも長いP6支間断面をモデル化した。解析モデルの橋軸方向長さはリブ4支間分の10mとし、支持条件は各ウェブ直下を線支持とした。

中間床版はPC板 ($t=80 \text{ mm}$) と場所打ち床版 ($t=200 \text{ mm}$) の合成構造であるが、PC板は橋軸直角方向に目地を有する。そこで、PC板のモデル化には、橋軸方向のみに剛性を持ち、橋軸直角方向には剛性のない要素を用いた。

荷重は、自重・橋面荷重・活荷重および横締めプレストレス (床版・リブ) を載荷した。活荷重は、T荷重を各着目点に対し不利になる組み合わせで載荷し、得られた値に

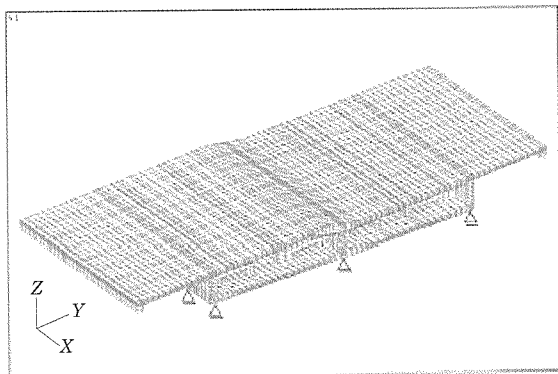


図 - 11 FEM 解析モデル

衝撃係数 i を考慮し、さらに解析に対する安全率を見込み、20% 割り増した値を設計に用いた。

(3) 中間床版の検討

中間床版は、リブもしくは隔壁およびウェブにより4辺固定された合成床版構造である (図 - 12)。床版の検討は、

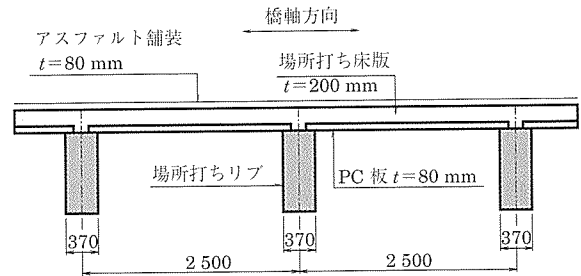
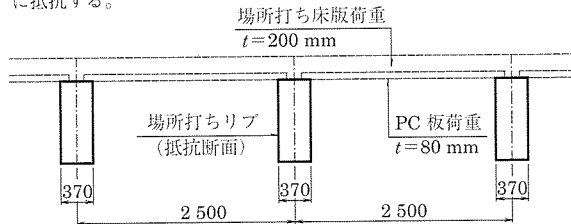


図 - 12 リブ付き床版の構造

(a) 架設時断面

場所打ちリブのみを抵抗断面とし、リブ・PC板・場所打ち床版荷重に抵抗する。



(b) 完成系断面

場所打ちリブ・PC板・場所打ち床版の合成断面により、橋面・活荷重に抵抗する。

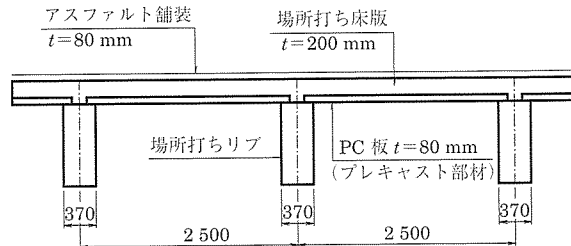


図 - 13 抵抗断面の考え方

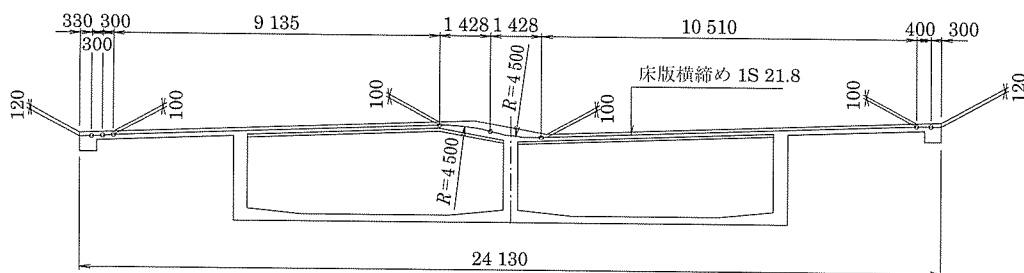


図 - 14 床版横締め PC 鋼材配置図

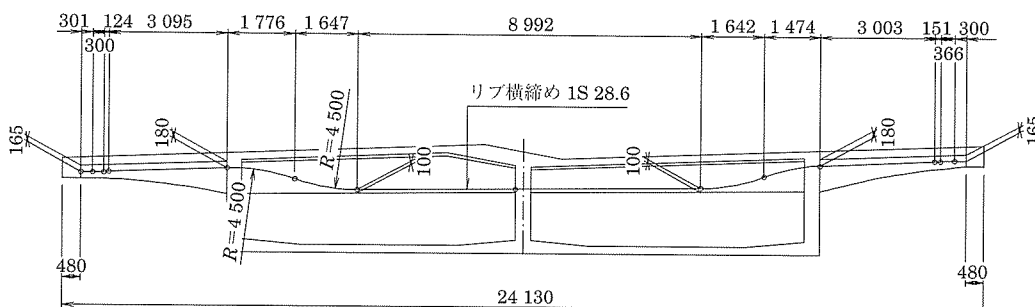


図 - 15 リブ横締め PC 鋼材配置図

施工段階を考慮し、荷重に対する抵抗断面として2つの断面を設定して行った(図-13)。

これらの検討結果から算定した横締めPC鋼材の配置は以下のとおりである(図-14, 15)。

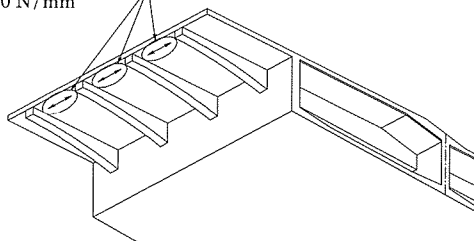
- ・床版横締め鋼材 1S 21.8 ctc 300 (リブ中間部)
1S 21.8 ctc 450 (リブ直上部)
- ・リブ横締め鋼材 1S 28.6 × 1本 (リブ1箇所あたり)
- ・隔壁横締め鋼材 1S 21.8 × 1本 (隔壁1箇所あたり)

(4) 張出し床版の検討

張出し床版は、中間床版と同様にリブにより支持された床版であるが、張出先端部が支持されないため、3辺固定版の挙動を示す。

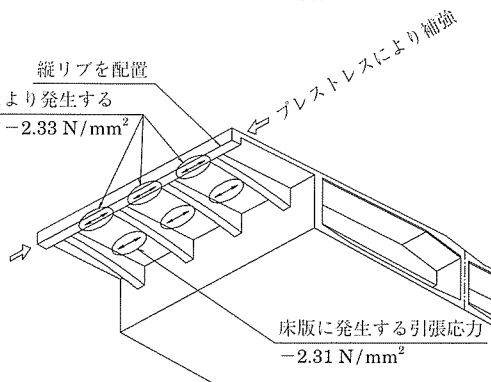
解析の結果、活荷重により張出し床版先端部下縁側に3.50 N/mm²の橋軸方向引張応力が発生することがわかった(図-16 (a))。この引張応力は鉄筋での補強が不可能であるため、図-16 (b) に示す縦リブを配置することとした。縦リブを追加した結果、縦リブがない場合に比べ引張応力レベルが2/3まで減少し、縦リブにプレストレスを与えることで許容値を満足した。

活荷重により引張り応力が発生-3.50 N/mm²



(a) 縦リブがない場合

縦リブを配置
活荷重により発生する引張応力-2.33 N/mm²



(b) 縦リブがある場合

床版に発生する引張応力
-2.31 N/mm²

図 - 16 張出し床版先端部の引張応力

4. 上部工の施工

4.1 概要

本橋は全支保工架設により施工した。支保工高さが低いため、支保工形式はくさび結合支保工を基本とし、交差物件箇所については梁支柱式支保工とした。リブは場所打ち施工で施工したが、PC板はプレキャスト部材として工場にて製作し、現場にてクレーンにより架設した。

また、本橋は1径間ごとの分割施工としているが、工期短縮のため施工継目部にスリットを設け、複数径間を並行して施工した。

4.2 コンクリート

本橋は分割施工であるが、断面形状、リブの施工方法および打設数量を考慮し、各施工段階のコンクリートは3回に分けて打設することとした。1回の打設数量は500 m³を超える場合もあるため、コンクリートプラントを3プラント選定し使用した。スランプは高性能 AE 減水剤を添加して12 cmとした。これは、1回あたりの打設が広範囲でありコンクリートポンプの配管距離が長くなること、また主桁形状が複雑であり定着具や鉄筋が密に配置されていることなどを考慮したものである。コンクリートはプラントごとに試験練りおよび品質管理試験を実施し、性能を確認し

ている。

また、本橋は分割施工で設計されており、次施工区間のコンクリート打設を行うためには、前施工区間のすべてのコンクリートを打設し、主方向 PC 鋼材緊張を完了している必要がある。しかし、1 回の打設数量が大きく、打設回数も 3 回に及ぶため、1 施工区間の施工を完了するには長い日数を要する。そこで、図 - 17 に示すようなスリット

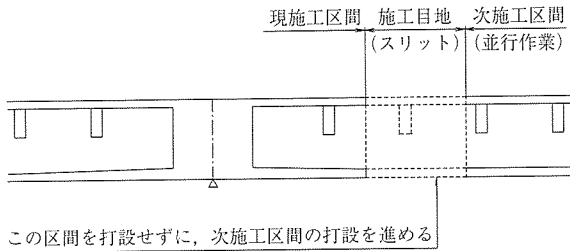


図 - 17 スリット（打設目地）

（打設目地）を設け、設計上の仮定を変更することなく、複数の施工区間を並行して施工し、工期を短縮した。

4.3 床版の施工

本橋の床版は 2.5 m 間隔で橋軸直角方向に配置されたリブ（PC 場所打ち構造）、PC 板（プレキャスト部材）および場所打ち床版（PC 構造）からなる。

これらの特徴をもつ構造物に対し、施工は以下の手順で行った。

- 1) 下床版およびウェブのうちリブ下端までを、1 回目のコンクリートとして打設する。
- 2) リブを受けるため下床版上に支保工を設置し、リブおよび残りのウェブを対象として、2 回目のコンクリートを打設する。
- 3) リブ横締め PC 鋼材の緊張を行い、リブ上に PC 板を移動式クレーンにて架設する。
- 4) 3 回目のコンクリートとして、PC 板上に場所打ち床版を打設する。
- 5) 床版の横締め緊張を行う。

PC 板を床版の型枠代わりとすることで、床版の型枠支保工を不要とし、工期の短縮を図った。

4.4 PC 鋼材

(1) 主方向 PC 鋼材

内ケーブルは SWPR7BL 12S12.7（グラウト鋼材）を使用

したが、あらかじめ設計長に切断したプレハブケーブルを現場に搬入し、コンクリート打設前にウィンチによりシース内に挿入した。定着具はくさび定着方式を使用し、施工継目での接続にはコンプレッショングリップ型カップラーを使用した。

外ケーブルは SWPR7BN 19S15.2 鋼材を使用した。エポキシ塗装を施した鋼材を使用することで、ケーブルの防食を行っており、定着具付近を除きグラウトは行っていない。また、定着具は将来交換可能なタイプを使用した。

外ケーブル挿入の状況を図 - 19 に示す。あらかじめ設計長に切断したプレハブケーブルを現場へ搬入し、アンコイラーおよびノーズを使用してコンクリート打設後に橋面上より挿入した。挿入中のケーブル支持点はすべて塩ビ管で覆い、外ケーブルのエポキシ塗装を保護した。

(2) 横締め PC 鋼材

横締め鋼材のうち、横桁横締め鋼材は内ケーブルと同じケーブルシステムを使用した。床版・リブ・隔壁横締め鋼材は SWPR19L 1S21.8 または 1S28.6 のプレグラウト鋼材を使用した。

(3) PC 鋼材の緊張

緊張作業は、主桁や床版に不利な応力が生じないように、以下の順序で行った。

- 1) ウェブ・下床版・リブコンクリート打設
- 2) リブ・隔壁横締め鋼材緊張
- 3) PC 板架設・場所打ち床版打設
- 4) 床版・横桁横締め緊張

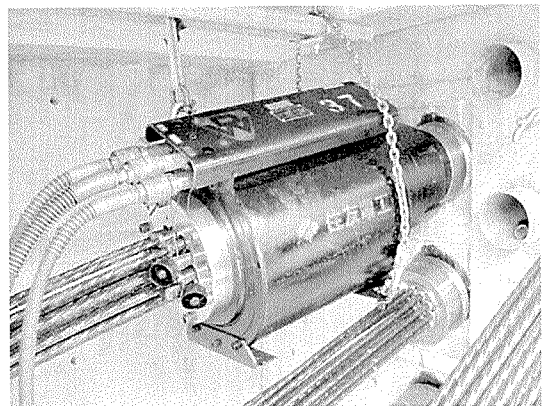


写真 - 2 外ケーブルの緊張

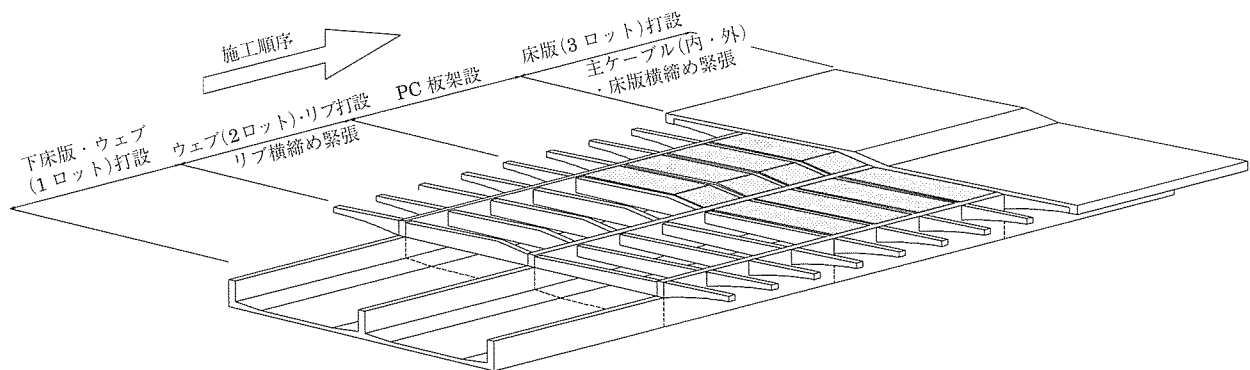


図 - 18 上部工施工順序

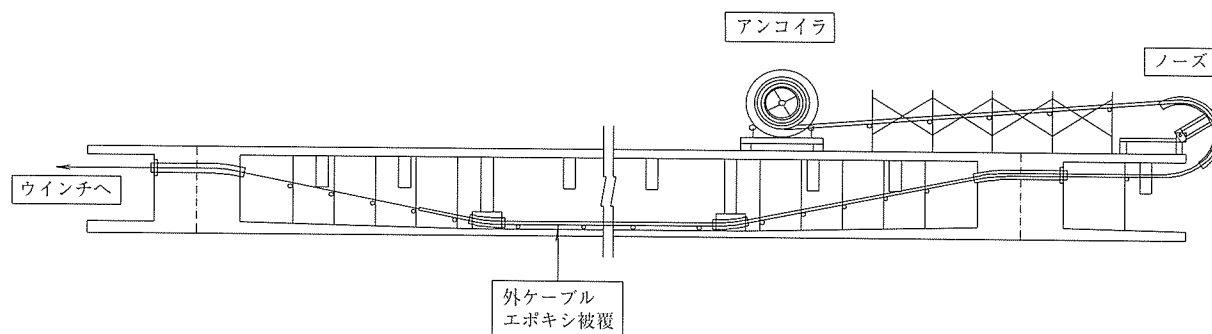


図 - 19 外ケーブルの挿入

- 5) 内ケーブル (主方向) 緊張
- 6) 外ケーブル (主方向) 緊張

横締め鋼材は片引き緊張を基本としたが、拡幅部では鋼材長が長くなるため両引き緊張を行った。また、リブ横締め鋼材は角変化が大きいため、すべて両引きで緊張した。

内ケーブル (主方向) は最初の施工区間のみ両引き、その他は片引きで緊張した。外ケーブル (主方向) はすべて片引きであるが、一部の外ケーブルは2次緊張鋼材として緊張時期をずらし、横桁に不利な応力が生じないように配慮した。

5. おわりに

常滑高架橋は、ランプによる幅員変化や交差道路等による橋脚設置位置に制約を受け、また、工期的にも非常に厳しい状況であった。これらの制約条件の中で、構造的な施工性を考慮した計画・設計を行い、工事においても工期短縮へ配慮した施工を行い、下部工着工後1年4箇月の短期間で完成させることができ、中部国際空港開港にあわせ供用開始することができた。

ここに、関係各位のご尽力とご協力に深く感謝し、誌面を借りてお礼を申し上げます。

【2005年3月1日受付】

表 - 2 全体工程表

	平成 15 年												平成 16 年										
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
下部工																							
橋 体 工	A1~P1 径間																						
	P1~P2 径間																						
	P2~P3 径間																						
	P3~P4 径間																						
	P4~P5 径間																						
	P5~P6 径間																						
	P6~P7 径間																						
	P7~P8 径間																						
P8~A2 径間																							
橋面工																							
伸縮装置工																							
支承後歪み調整工																							