

報 告

陣ノ谷川橋 長支間場所打ちPC床版の設計

岡田 幸児* 本郷 智**

陣ノ谷川橋は静岡県浜松市を通る第二東名高速道路の一部として建設された場所打ちPC床版を有する連続2主桁桁橋である。近年の流れである、合理化、省力化に対応する橋梁としてこの形式の橋梁はスタンダードになりつつある。本橋の下り線は橋長591.0m、床版支間10.0mであり、同種橋梁では国内最大規模である。また、上り線の支間長65.0mも第二東名における同種橋梁では最長となっている。本橋は場所打ちPC床版を採用しているが、5径間連続からなる上り線は固定型枠工法を、10径間連続の下り線は移動型枠工法を採用している。

本報告では、この長支間場所打ちPC床版の設計および施工について報告するものである。

キーワード：長支間場所打ちPC床版，移動型枠，少数主桁橋

まえがき

本橋は、老朽化、慢性的な渋滞など様々な問題を抱える東名高速道路の負担を減らし、さらなる国土の発展を目指して整備が進められている第二東名高速道路の一部として建設された橋梁である。

本橋のPC床版は床版支間が10mであることから床版厚が主桁上で550mmとなる。このようなボリュームのあるコンクリートは、マスコンクリートに近い性状を持ち、従来では考えられなかった水と熱による温度の影響が無視できないものとなっている。また、平面線形が単純であり施工延長が100m以上であることから下り線に採用された移動型枠工法は、経済的である反面、床版の自重や移動型枠の重量などによる架設時の床版応力の把握が重要となる。

1. 工事概要

本工事の工事概要を下記に示す。また、本橋の位置図を図-1に、一般図を図-2に示す。

工事箇所：静岡県浜松市滝沢町字馬場～

同町字落坂

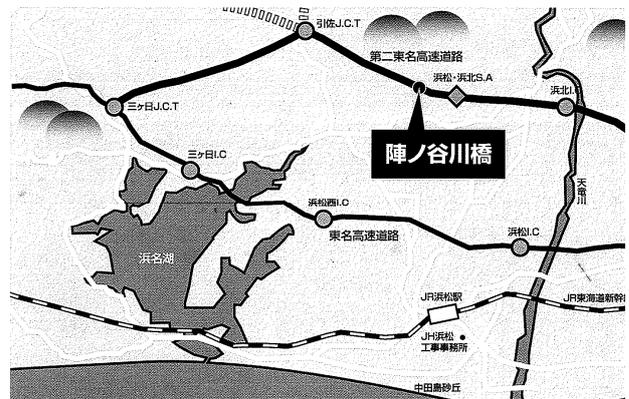


図-1 位置図

橋梁形式

上り線

橋梁形式：5径間連続非合成2主桁桁橋

橋長：296.0m

支間割り：60.2+65.0+60.0@2+48.2

有効幅員：16.5m

床版支間：10.0m

床版形式：場所打ちPC床版（固定型枠）

コンクリート：40N/mm²（普通）

* 東京設計課 ** 東京設計課課長

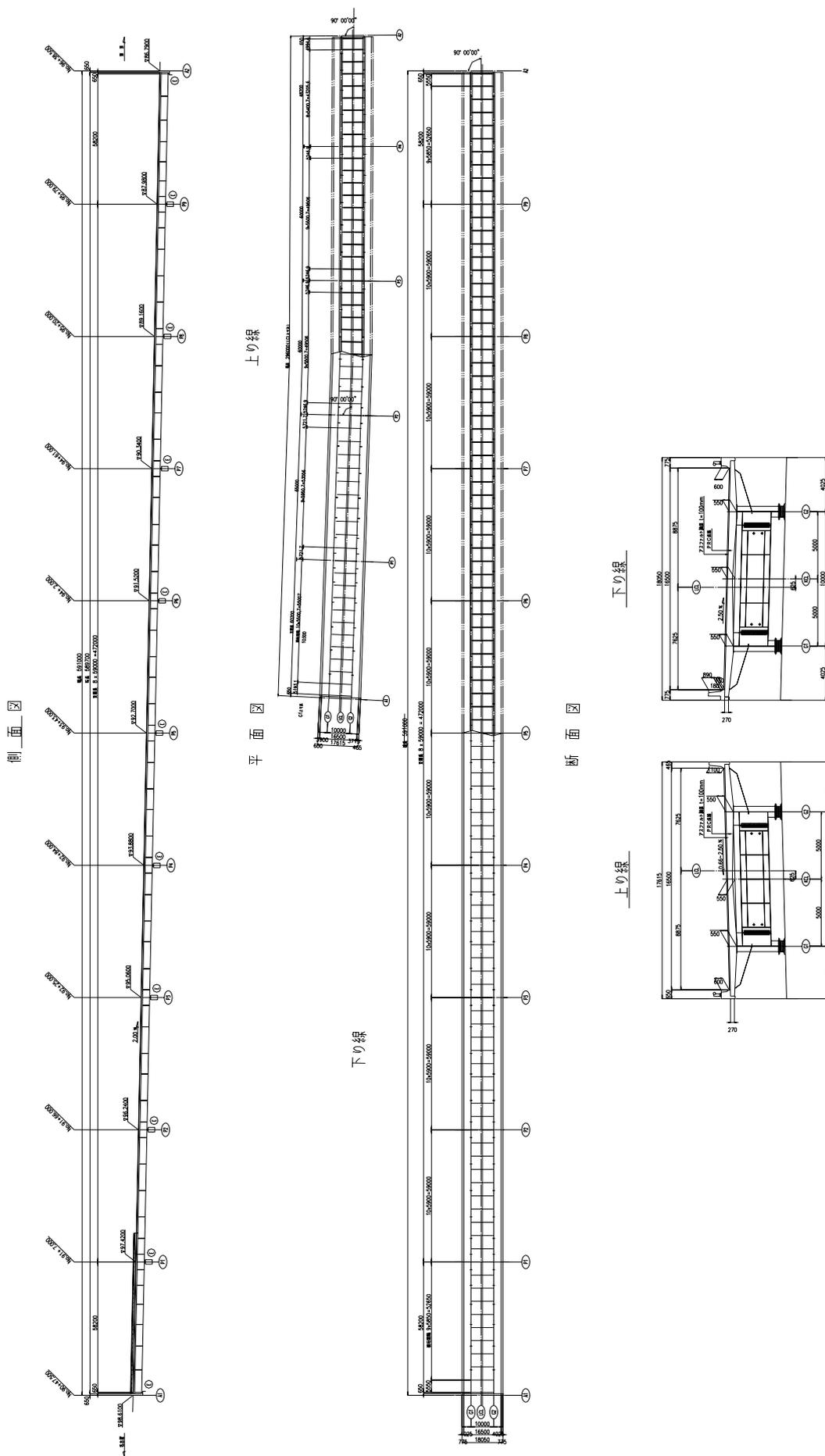


図-2 一般図

下り線

橋梁形式：10 径間連続非合成 2 主桁桁橋
 橋 長：591.0m
 支間割り：58.2+8@59.0+58.2
 有効幅員：16.5m
 床版支間：10.0m
 床版形式：場所打ち PC 床版（移動型枠）
 コンクリート：40N/mm²（早強）

2. 床版の設計の基本方針

床版の設計における基本方針を下記に示す。

(1) 適用図書

本橋における PC 床版は支間長が 10m であり、道路橋示方書の提供範囲越えるため、「長支間場所打ち PC 床版の設計・施工マニュアル(案)H13.3」(以下、施工マニュアルとする)を基本として設計を行った。

(2) 床版の種類

床版は各方向に対し以下の設計を行った。

橋 軸 方 向：RC 床版
 橋軸直角方向：PRC 床版

(3) 桁との合成

本橋は、設計条件上は非合成桁であるが、スタッドジベルが配置される事を考慮し、実際の挙動にあわせ、合成桁として床版を設計した。

(4) 材料諸元

本橋における使用材料の諸元を下記に示す。

コンクリート：σ_{ck} = 40N/mm²
 膨張材 30kg/m³

P C 鋼材：SWPR19L プレグラウトタイプ 1S28.6
 鉄 筋：SD345

その他、制限値等は施工マニュアルに準じた。

(5) 床版厚

床版厚は施工マニュアルの標準床版厚を採用し、下記の数値とした。また、応力の伝達等を考慮し、主桁間の下面形状は 2 次放物線としてハンチは設けていない。

床版厚

支間中央：360mm 張出先端：270mm
 主 桁 上：550mm

(6) PC 鋼材配置

PC 鋼材の床版支間方向の配置は床版支間中央においては床版上面と平行とし、曲線区間は

左右一箇所として、なるべく直線に近い配置とした(図-3)。

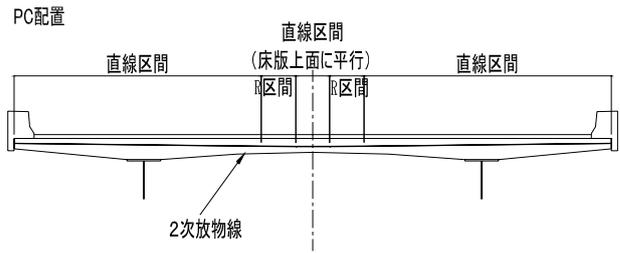


図-3 床版形状および PC 配置

3. 橋軸直角方向の設計

橋軸直角方向は PRC 床版として設計するため、荷重状態によってはひび割れを許容する設計となる。図-4 に橋軸直角方向の照査フローを示す。

(1) 照査および限界状態

各限界状態について表-1 に設定するものとして、プレストレス量を算出する。

表-1 各限界状態における照査

荷重状態	限界状態	備考
死荷重時	引張応力発生限界状態	
活荷重載荷時	曲げひび割れ発生限界状態	
風、衝突時	曲げひび割れ幅限界状態	ひび割れ幅照査

(2) 荷重および設計断面力

死荷重による設計断面力は、同支間の中ノ沢橋における FEM 解析結果を補正して使用した。また、活荷重は施工マニュアルにより算出した。

活荷重

支間中央 ML = 23 x L - 104
 主桁上 ML = - 82 x L + 54

4. 橋軸方向の設計

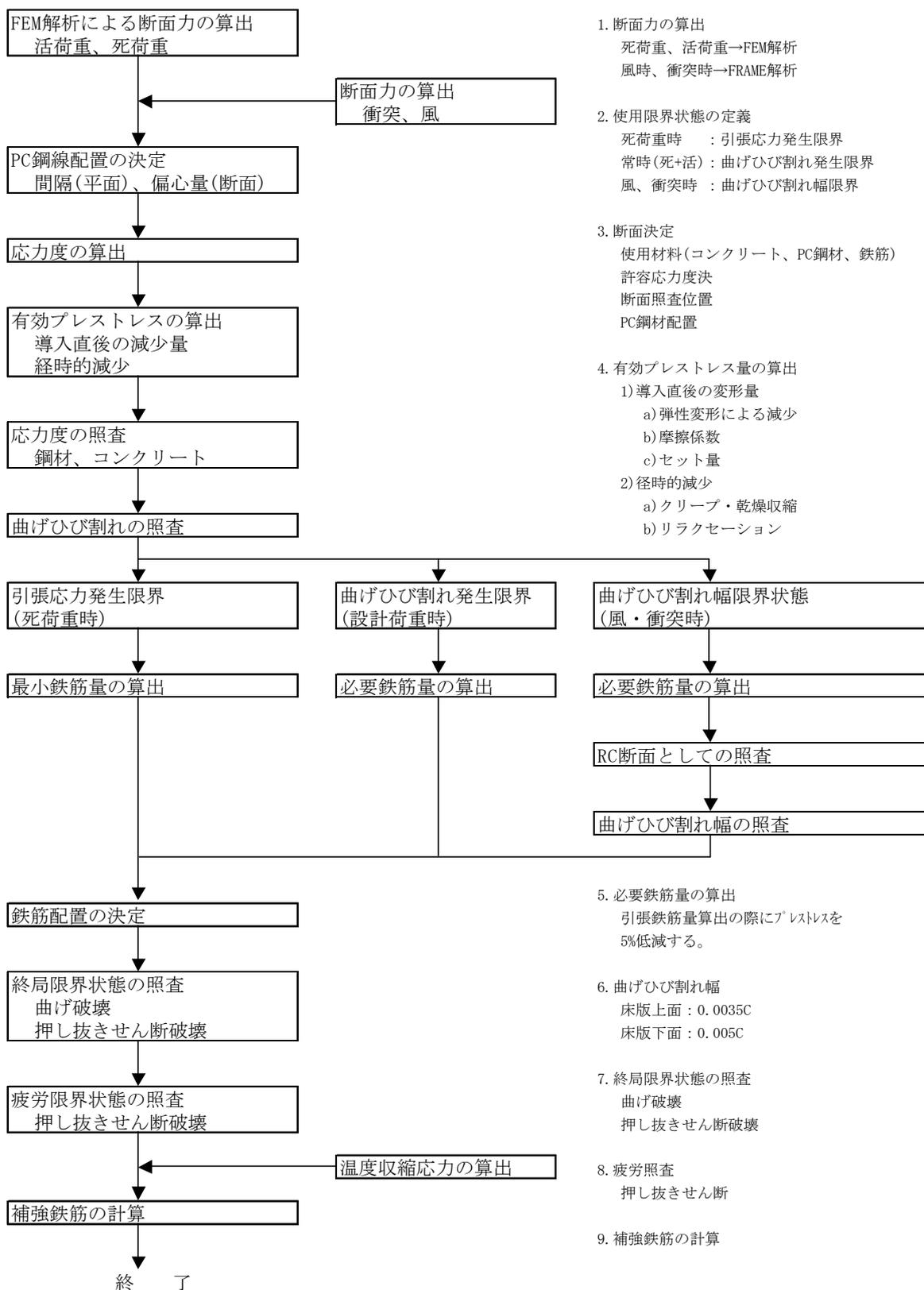
橋軸方向床版の設計は、主桁作用と床版作用および組み合わせについて照査を行った。図-5 に設計フローチャートを示す。

(1) 荷重および組み合わせ

設計に使用した荷重および組み合わせについて、表-2, 3 に示す。ここで、移動型枠については移動型枠重量の他にジャッキ操作なども含んでいる。また、クリープ、乾燥収縮は刻々と変化するため、施工時と完成系で使い分けを行っている。

(2) 照査モデル

橋軸方向床版は床版としてだけでなく、主桁の一部としても機能する。また、打設期間が長期に



1. 断面力の算出
死荷重、活荷重→FEM解析
風時、衝突時→FRAME解析
2. 使用限界状態の定義
死荷重時 : 引張応力発生限界
常時(死+活) : 曲げひび割れ発生限界
風、衝突時 : 曲げひび割れ幅限界
3. 断面決定
使用材料(コンクリート、PC鋼材、鉄筋)
許容応力度決
断面照査位置
PC鋼材配置
4. 有効プレストレス量の算出
1) 導入直後の変形量
a) 弾性変形による減少
b) 摩擦係数
c) セット量
2) 径時的減少
a) クリープ・乾燥収縮
b) リラクセーション
5. 必要鉄筋量の算出
引張鉄筋量算出の際にプレストレスを5%低減する。
6. 曲げひび割れ幅
床版上面 : 0.0035C
床版下面 : 0.005C
7. 終局限界状態の照査
曲げ破壊
押し抜きせん断破壊
8. 疲労照査
押し抜きせん断
9. 補強鉄筋の計算

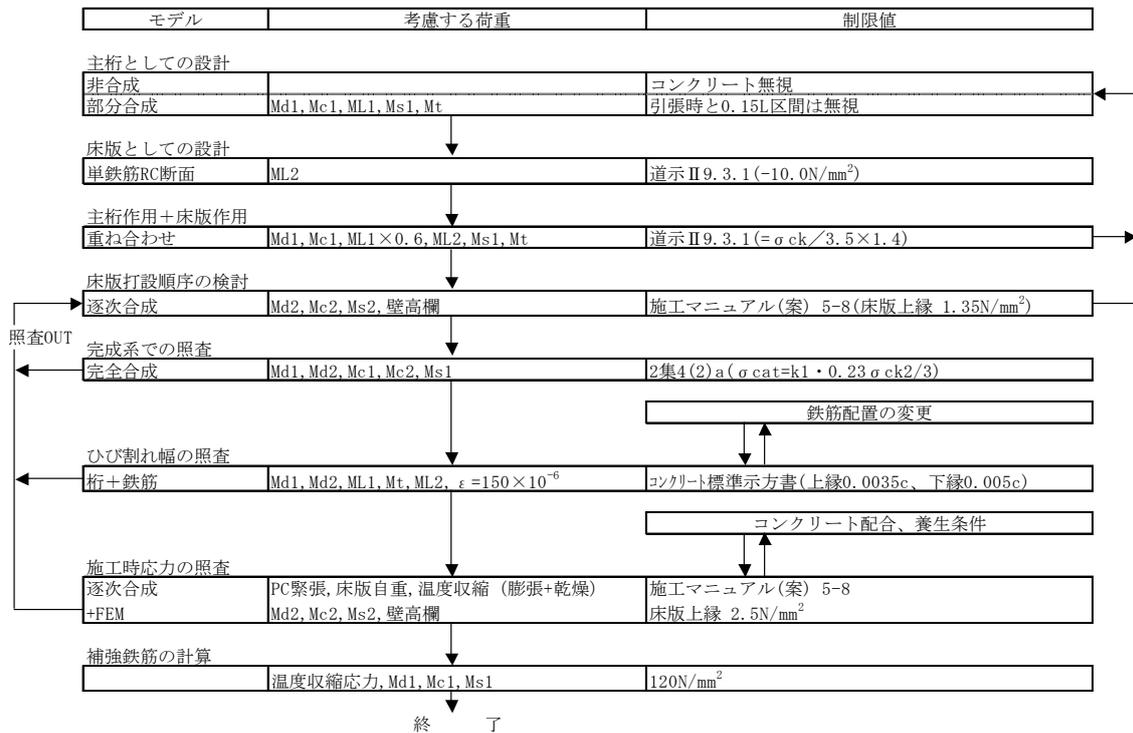
図-4 橋軸直角方向 設計フローチャート

渡るため、施工時の照査も重要となる。本橋の設計において考慮したケースを表-4に示す。

(3) 最少鉄筋量

合成桁の一部として床版を考えた場合、中間支点付近においては、負の曲げモーメントにより床版にひびわれが生じることとなる。このひび割れ

は設計上やむを得ないものであるが、各状態において問題にならないよう、コンクリート断面積の2%以上の鉄筋を確保するものとした。これは全体としてはもちろんのこと、主桁直上など床版の厚い部分に対しても満足することとした。また、支間中央などに対しても、床版のボリュームを考慮



- Md1 : 後死荷重
 - Md2 : 施工時残留分(逐次合成効果+ジャッキ操作)
 - ML1 : 活荷重(主桁作用)
 - ML2 : 活荷重(床版作用)
 - Mc1 : クリープ(後死荷重)
 - Mc2 : クリープ(施工時残留分)
 - Ms1 : 乾燥収縮(道示、収束時)
 - Ms2 : 乾燥収縮(時系列考慮)
 - Mt : 温度変化
- 注) [ひび割れ幅の照査]のεは、乾燥収縮、クリープ考慮のための定数

図-5 橋軸方向 設計フローチャート

し、コンクリート断面積の1.4%以上を確保することとした。

5. 補強鉄筋の計算

本橋は主桁上での床版厚が550mmとなっており、その性状はマスコンクリートに近い。このようなコンクリートでは水和熱の影響が無視できないものとなる。この水和熱は、コンクリートの硬化とともに減少するが、その際に体積収縮もともなうこととなる。この時、床版ブロックの打ち継ぎ目では、既設床版の拘束により新設床版に有害な引張力が発生する。この温度収縮による引張力を鉄筋で抵抗させると考え、補強鉄筋を追加する。

ここで必要鉄筋量Asは下記の式を満足することを目安に配置する。

$$(\sigma_{ct} + \sigma_{cp}) \cdot h \cdot b / A_s \leq \sigma_{st}$$

ここで、

- As : 総鉄筋量 (mm²)
- σ_{ct} : コンクリートの温度収縮応力 (N/mm²)
- σ_{cp} : 施工時応力 (N/mm²)

表-2 主桁作用

考慮する荷重	計算方法	備考		
死荷重	移動型枠 逐次合成 クリープ 乾燥収縮 PC緊張 床版自重	FRAME計算	打設順序で検討する。	
			時系列を考慮する。	
		立体FEM解析		
		非線形温度解析		
		格子計算		
	後死荷重	舗装	3kN/m	
		壁高欄		
		落下防止柵+耐風板		
	その他	クリープ	FRAME計算	完成系で考慮
		乾燥収縮		
温度差			床版高温時	
活荷重	B活荷重	格子計算		

表-3 床版作用

考慮する荷重	計算方法	備考
活荷重	B活荷重	立体FEM解析
		同支間の橋梁に準拠。

- h : 床版厚 (mm)
- b : 単位床版幅 (=1000mm)
- σ_{st} : 鉄筋応力制限値 (=120N/mm²)

なお、温度収縮応力の断面内分布を考慮し、主桁付近には中段鉄筋を配置する。その範囲は応力分布を参考に張り出し幅程度とする。図-6~7に補強鉄筋範囲を示し、図-8に断面内配置を示す。

表-4 照査モデル

モデル	照査箇所	照査部材
主桁としての設計		
部分合成	支間部 (圧縮域)	コンクリート
	中間支点部及び床版引張域	上縁鉄筋 下縁鉄筋
床版打設順序の検討		
逐次合成	全区間	コンクリート
完成系での照査		
完全合成	全区間	コンクリート
床版としての設計		
RC断面	全区間	コンクリート 下縁鉄筋
主桁作用+床版作用		
重ね合わせ		コンクリート 上縁鉄筋 下縁鉄筋
施工時応力に対する照査		
逐次合成	全区間	コンクリート

6. 床版打設順序の検討

床版のブロック施工では、既打設の床版ブロックに対し、移動型枠の自重による断面力や、後施工ブロックの重量による断面力が作用する。そして、これらの断面力に対しクリープが発生することになるが、発生断面力や載荷時期によりその量は変化する。また、打設期間が長くなれば、乾燥収縮による応力も施工中において無視出来ない値となりうる。

これらの断面力やクリープ、乾燥収縮は打設順序によって段階的に変化し、打設終了時に問題が無くとも、ある施工段階において床版に有害な引張力が作用している可能性がありうる。実際に床版に有害な引張力が発生する場合には、ジャッキ操作やカウンターウェイトなどを用いて有害な引張力を打ち消す必要がある。

また、ブロック施工により段階的に発生した応力は完成時にも残留する値となるため、完成形の照査時においても考慮する必要がある。

(1) 基本方針

床版打設順序の検討にあたり、下記の項目について留意し、検討を進めた。

- 1) 合成桁の中間支点上は、床版に引張応力が発生しやすい。そこで中間支点上の床版は打設時に大きな引張が働かないよう支点上にバランス良く配置する。
- 2) ブロックの打ち継ぎ目位置は、拘束の大きい横桁直上を避け、1m 程度の間隔を設ける。

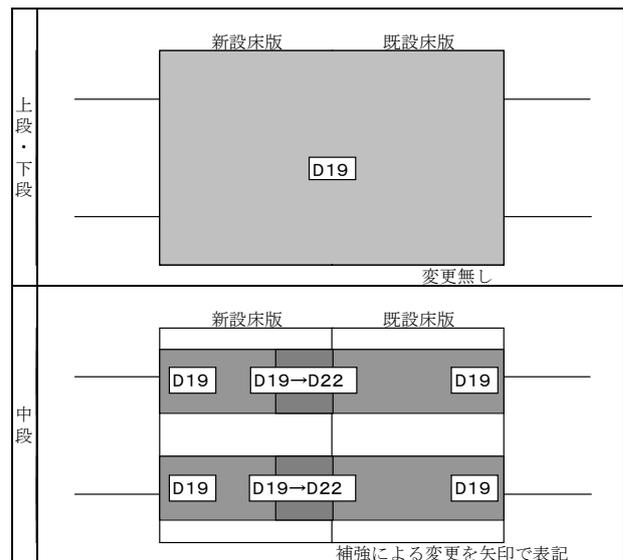


図-6 橋軸方向 補強鉄筋配置図

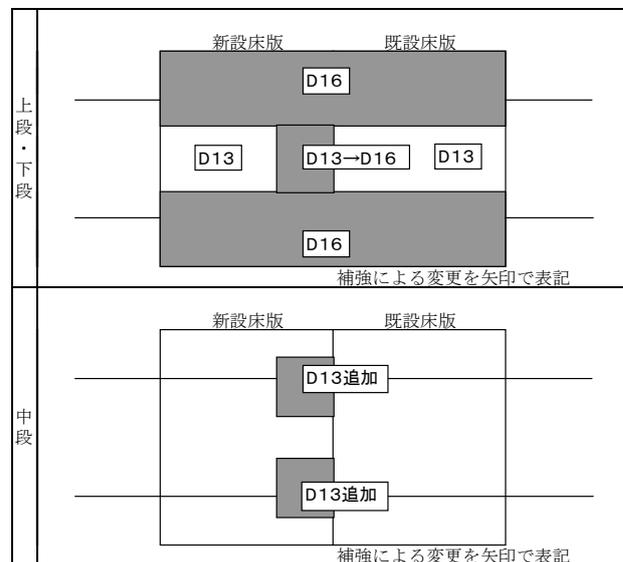


図-7 橋軸直角方向 補強鉄筋配置図

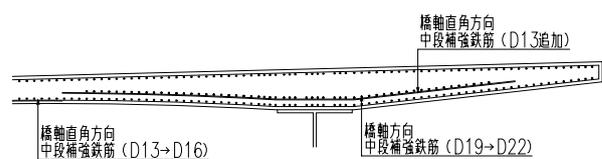


図-8 補強鉄筋配置断面 (新設側)

- 3) 下り線は2基の移動型枠を併用して施工を行うことを前提とし、型枠重量、後床版重量などにより、施工中に床版に有害な引張力が働かないような順序を検討する。また、移動型枠はカウンターウェイトとしても活用を行う。
- 4) 床版に有害な引張力を生じさせない対策として、ジャッキ操作などによりプレストレスを導入する事も考慮し、打設順序を決定する。

(2) 制限値

コンクリート床版に発生する引張応力度の制限

STEP	作業内容	施工要領図	備考
STEP 1	84 84B		
STEP 2	84 84B		
STEP 3	84-83 84B-84B		
STEP 4	83 84B		
STEP 5	83-82 84B-85B		
STEP 6	82 85B		
STEP 7	82-81 85B-85B		
STEP 8	81 85B		
STEP 9	81-80 85B-85B		
STEP 10	ジョッキヤクソ P1-92mm P9-82mm		
STEP 11	89 84B		
STEP 12	89-88 84B-84B		
STEP 13	88 84B		
STEP 14	88-814 84B-83B		
STEP 15	ジョッキヤクソ P1-146mm P2-142mm P9-170mm P8-171mm		ジョッキヤクソの位置を明示して示す。 P1 - P2 P9 - P8
STEP 16	814 83B		
STEP 17	814-813 83B-83B		
STEP 18	813 83B		
STEP 19	813-819 83B-83B		
STEP 20	ジョッキヤクソ P2-112mm P3-130mm P8-112mm P7-130mm		ジョッキヤクソの位置を明示して示す。 P2 - P3 P8 - P7

図-9 下り線 打設順序

値は、コンクリートの材齢を考慮するとともに、床版打ち継ぎ目に発生する温度収縮による引張応力を考慮して下記の値とする。

$$\sigma_{ta} = (\sigma_{tk} - \sigma_{t'}) \times k$$

$$= (2.5 - 1.0) \times 0.9 = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ta} = \sigma_{ci} / 25$$

上記いずれかの小さい方を用いる。

ここで、

σ_{tk} : 引張応力の制限値 (N/mm²)

$\sigma_{t'}$: 温度収縮等による引張応力 (N/mm²)

k : 安全係数

σ_{ci} : 材齢を考慮した圧縮強度 (N/mm²)

図-9 に下り線の打設順序の一部を示す。

7. 桁端部の FEM 解析

桁端部の床版は端巻きの拘束が要因で発生するひび割れを防ぐため、巻き立てコンクリート手前で打ち止めている。このため、巻き立てコンクリート端部からブラケットまでの区間は、プレストレスが不足する可能性がある。また、伸縮装置セット後にプレストレスを導入した場合、伸縮装置のフィンガーが開くことが懸念された。本橋では、FEM解析により、プレストレスの導入方法および伸縮装置への影響を確認し、施工順

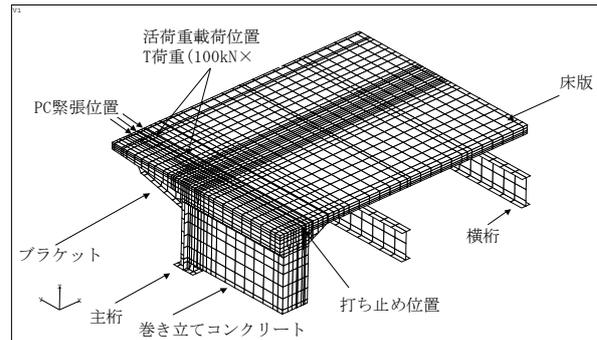


図-10 FEMモデル図

序を決定した。図-10 に全体モデル図を示す。また検討ケースは下記の2種類とした。

検討ケース

①PC 緊張 2 本残し

既設床版端部の PC 鋼材を 2 本緊張せず、後打ち床版打設後に緊張することでプレストレスを導入する。

②PC 緊張 2 本残し+1 本追加

既設床版端部の PC 鋼材を 2 本緊張せず、後打ち床版打設後に緊する。後打ち床版には PC 鋼材を 1 本配置し、合計 3 本を緊張しプレストレスを導入する。

FEM 解析を行った結果、ケース②を採用すれば、プレストレス、伸縮装置ともに問題が無いことが確認できた。橋軸直角方向応力のコンター図および最大引張応力を図-11, 12 に図-13 に施工ステップを示す。

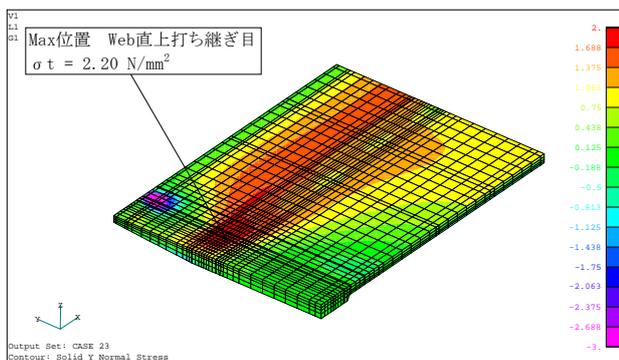


図-11 橋軸直角方向応力 (ケース①)

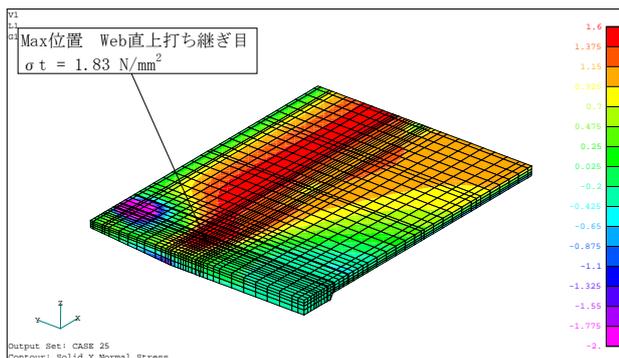


図-12 橋軸直角方向応力 (ケース②)

8. 温度応力解析

本橋のように床版厚がある場合は、水和熱による温度収縮を無視できないのは既に述べた。本橋では、事前に温度応力解析をおこない、発生する応力がどの程度かを把握したが、外気温の変化は考慮していなかった。そこで、床版内部の温度変化を計測するとともに外気温の変化も合わせて計測を行い、床版内部の温度計測結果が解析による予測値と比較して問題がないかを確認した。また、計測結果が著しく解析結果と違った場合には原因を予測し、以後の養生方法に反映することとした。

図-14 に検討フローを示す。

(1) 判定基準

温度収縮による応力は、水和熱による体積変化と拘束度が大いなる要因となる。温度変化が大きければ発生する応力が大きくなり、変化が急激であれば、コンクリートの応力発現が追いつかずひびわれが発生することとなる。そこで、下記の3項目について着目し判定を行った。

- ・ 温度上昇時の勾配
- ・ 温度下降時の勾配
- ・ 温度下降幅

おのおのについて実測値が解析よりも大きい場合問題となる。図-15 に解析のモデルを示し、図-16 に判定指標を示す。

桁端部床版・巻き立てコンクリートの施工順序

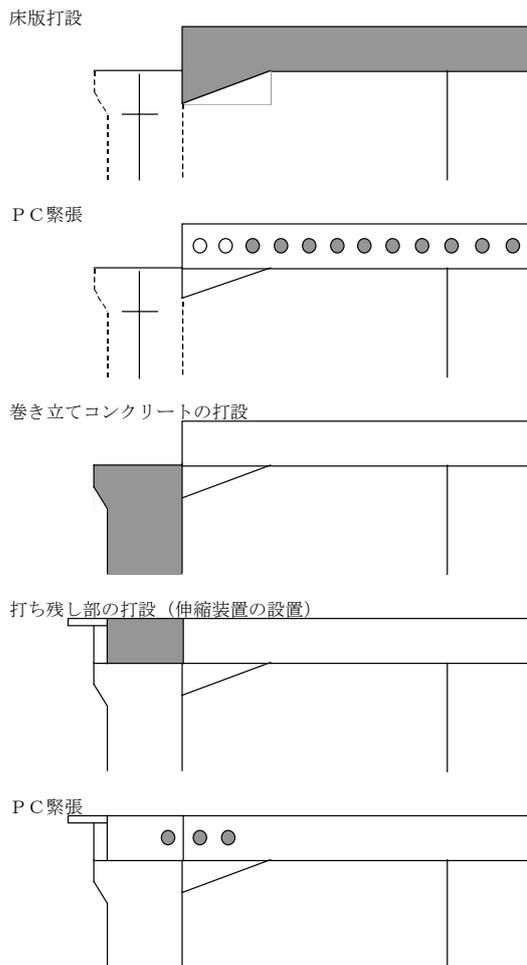


図-13 端部施工ステップ

・ 温度計測のフローチャート

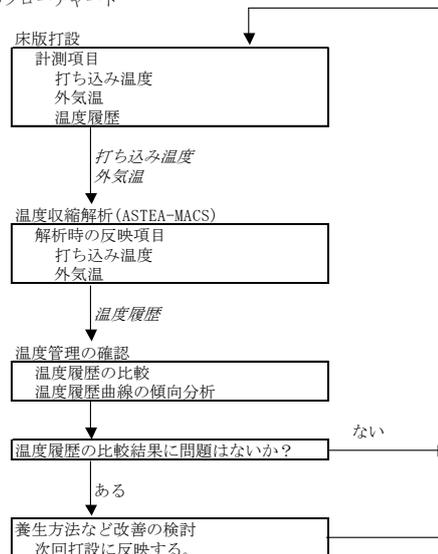


図-14 検討フローチャート

(2) 測定結果

図-17 に下り線の測定結果を示す。温度の実測値と計測値を比較すると、解析値の方が最高温度も高く、勾配もきつくなっている。このことから、実際に発生している応力も解析で想定した値以下であると推測される。

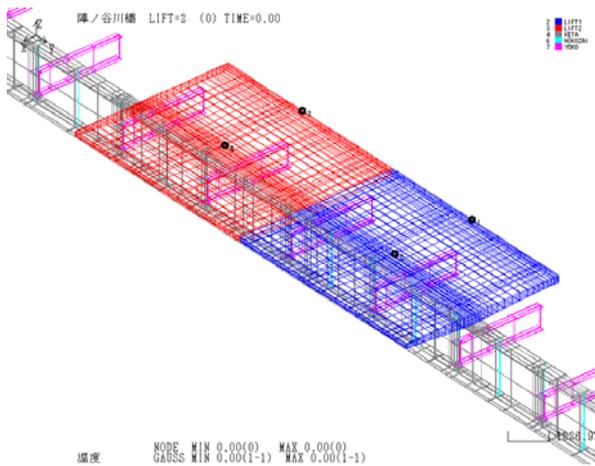


図-15 温度解析モデル

温度履歴(主桁近傍)

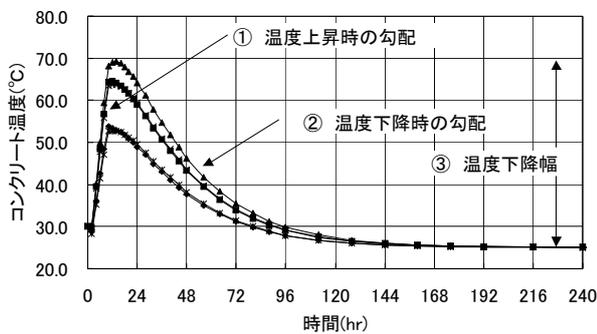


図-16 判定指標

床版温度(比較) 下り線BL43

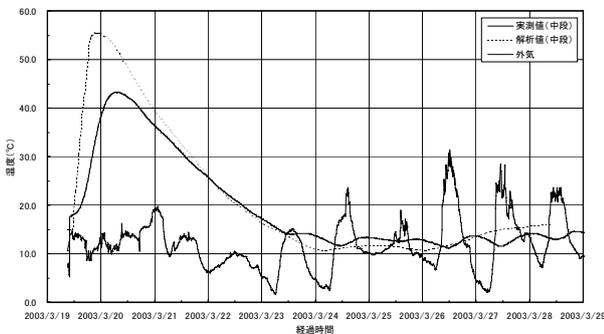


図-17 床版温度(下り線 BL43)

本橋では、隔月で温度測定を行い解析結果と比較を行ったが、上下線とも概ね問題はなく特別な養生を行う必要はなかった。

あとがき

第二東名でも有数の 2 主桁桁橋の床版として、数々の検討を行ったが、関係者の多大な尽力により、ひび割れも発生させず竣工を迎えることが出来た。少数主桁橋もスタンダードなりつつあるいま、本報告が設計に際し参考になれば幸いである。

最後に、本工事の設計に際してご指導、ご協力をいただいた JH 静岡建設局の方々をはじめ、関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編），2002.3.
- 2) 日本道路公団：設計要領第 2 集，1998.7.
- 3) 財団法人 高速道路技術センター：長支間場所打ち PC 床版の設計・施工マニュアル(案)，2001.3
- 4) 緒方紀夫，木曾茂，岩立次郎：鋼連続合成桁の中間支点部床版に生じるひび割れ幅に関する実験，第 3 回 合成床版構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，1995.11，(5)，P25～29
- 5) 財団法人 高速道路技術センター：長支間場所打ち PC 床版の設計施工に関する技術検討補強鉄筋の考え方，2001.11