

第二東名高速道路大井川橋下部工水平梁 (大型PRC構造物)の施工

國原 博司*1・小田 規夫*2・梅枝 寿臣*3・上田 高博*4

1. はじめに

第二東名高速道路大井川橋下部工は、上下線合わせて6車線の高規格道路を1基のT形橋脚で支えるもので、その水平梁は1基あたりのコンクリート数量が2,000m³を超える大型のPRC構造物となっている。

大規模PRC梁の施工に際して、埋戻し地盤上での支保工計画およびマスコンクリートひび割れ対策など、既往のPC構造物のスケールでは例がないため各種検討を行った。本報告は、それら各種検討の概要と実施結果について報告し、今後の参考とするものである。

2. 工事概要

工事名：第二東名高速道路大井川橋(下部工)工事
 工期：平成8年6月27日～平成10年7月16日
 工事場所：静岡県榛原郡金谷町牛尾～島田市相賀
 工事数量：ニューマチックケーソン基礎T形橋脚 3基
 コンクリート工 33,563m³
 鉄筋工 2,166t
 鋼管工(φ1,400～φ1,500) 1,053t
 PCストランド工(1S15.2)橋脚巻付け 80t
 PC緊張工(フレシナー工法 19S15.2) 42t

3. 本工事の特徴

大井川橋は、河川幅の広い下流域の中では特異な湾曲した狭窄部を渡河する計画となっている。流心方向が安定しないこと、および将来の流路変更計画に対応しうよう上下線一体の円柱橋脚形式を採用している。また、河積阻害率と基準径間長から河川内に設置可能な橋脚数が限定されたため、全体構造系より上部工支間長は基準径間長の80mを大きく上回る127mとなっている。

これらの諸条件より大型化した構造物を、非出水期という限られた期間内で構築するため、本工事は以下の特徴を有するものとなった。

[第一非出水期施工]

- ① 大深度ニューマチックケーソンの無人化施工
- ② 鋼管・コンクリート複合構造橋脚の施工
- ③ PCストランド巻き(帯鉄筋)橋脚の施工
- ④ ケーソン部のマスコンクリート対策

[第二非出水期施工]

- ① PRC水平梁の大型支柱式システム支保工施工
- ② PRC水平梁の富配合マスコンクリート対策(対策および温度計測、逆解析)

以降、第二非出水期で行ったPRC水平梁の施工を中心に述べる。

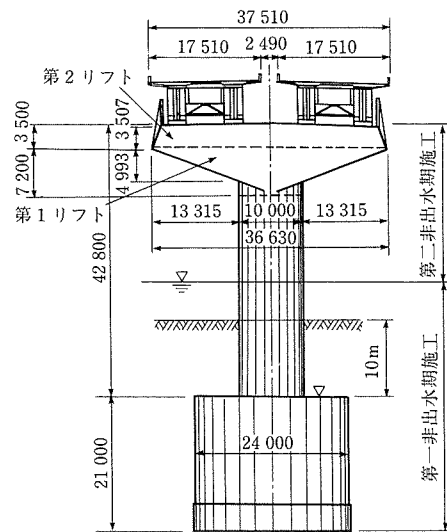


図-2 下部工一般図

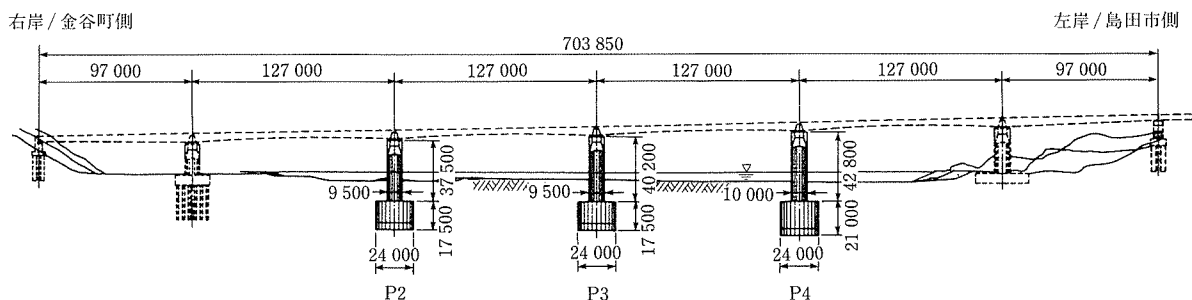


図-1 大井川橋全体一般図

*1 Hiroshi KUNIHARA：日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所 島田工事区 工事長

*2 Norio ODA：(株)錢高組 名古屋支店 土木部 土木課

*3 Toshitomi UMEGAE：(株)錢高組 土木本部 技術部 技術課

*4 Takahiro UEDA：(株)錢高組 土木本部 技術部 技術課

4. 大型支柱式システム支保工施工

4.1 支保工構台の施工

本下部工は、橋脚の洗掘深確保のため現河床より10mをピアケーソン構造としている。水平梁直下の地盤は、ピアケーソン施工時の埋戻し部（一期施工）にあたるため、水平梁支保工に確実な支持力を与えることが困難と考えられた。ピアケーソン施工時埋戻し地盤は、シルトや粘土の多い掘削土砂を、水中でほぐした状態で埋め戻したもので、埋戻し時の N 値は0の状態である。この上に現地発生土（玉石混じり砂礫）で2m～3mの築島盛土を行い、支保工を組むものとし、以下の支保工構台形式案について比較検討を行った。

- ① ブラケット型構台
- ② 橋型構台
- ③ 地盤改良または置換え土
- ④ 基礎杭
- ⑤ 梁上ガーターによる吊り支保工

比較の結果、③の地盤改良は、河川内土砂の改良となるため水質汚濁が懸念され、④の杭基礎は、ケーソン頂版に損傷を与えるか、セメントミルク注入により残置杭となることが問題となった。また、⑤のガーター式吊り支保工は、必要ガーターが大規模なものとなり、梁下の作業空間確保および材料吊込み等の面から施工性に劣った。

そこで、残った①のブラケット型構台と②の橋型構台について詳細比較を行った結果、橋脚側ブラケットが小さく、柱鉄筋（D51-2段配筋）を痛めることのない橋型構台案（図-3）を採用することとした。

4.2 大型支柱式システム支保工

近年の構造物の大型化に伴い、支保工も大型化・システム化された工法が開発されてきている。本工事では組立て解体時間の低減に着目し比較した結果、比較的大型（1支柱50tf/本）の「RöRöパイプ支柱システム」を採用した。採用したシステムは、梁底傾斜部に対する支保性能の良さ、油圧ジャッキによる解体の施工性等にも優れていた。

4.3 第2リフト打設荷重に対する検討

自重が5000tを超える水平梁は分割施工としたが、工期より2リフト割りまでが限度であった。このため、第1リフト梁中央付近の打設高は、 $H=7.2\text{m}$ （約 18t/m^2 ）にも及ぶものとなった。

第2リフトの打設が第1リフトの強度発現の後となることから、支保工途中解体の可能性を求め、第1リフトのみでRC梁を形成させ、これに第2リフト荷重を受け持たせる案について検討を行った。支保工一体の構造解析をもとに、支保工の有無と第1リフト上面への鉄筋補強量について試算を行ったものであるが、後述するマスコンクリート対策とも併せ評価した結果、支保工の存置案を選択した。

支保工を存置した場合、第2リフト打設荷重を支保工と硬化した第1リフトとが共同して受け持つこととなるため、それぞれの耐力照査を行った。支保工支柱の最大荷重には、第2リフト施工による荷重増加分として、上述の解析結果をもとに中央寄りから張出し端部付近にかけ0tf～5tf/支

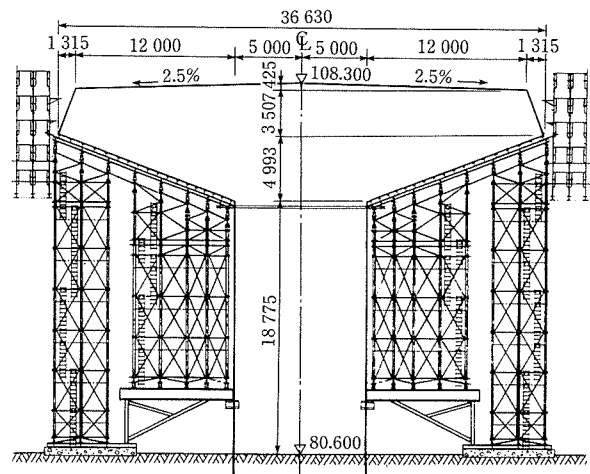


図-3 支保工図（橋型構台案）

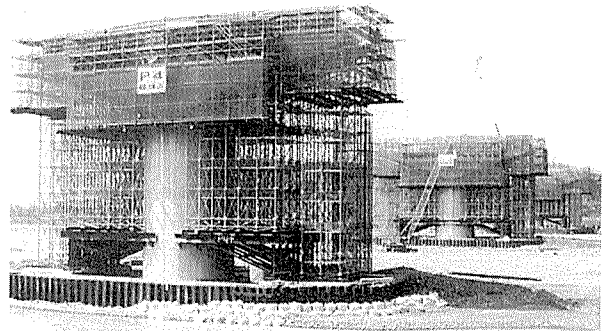


写真-1 支保工全景

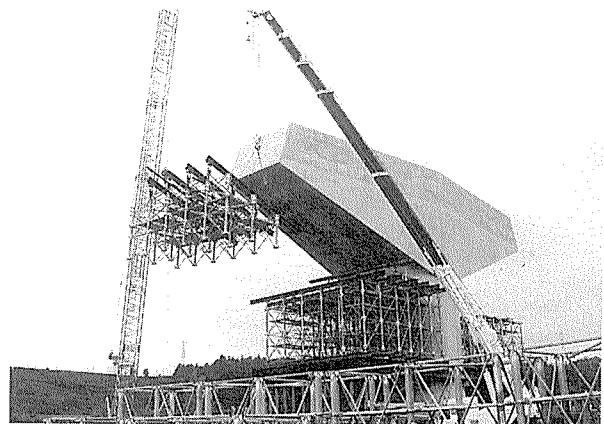


写真-2 支保工解体状況

柱を補正し再評価した。第1リフトに作用する断面力に対してはRC梁としての鉄筋補強を行った。

4.4 上越し管理

上越し管理は、支保工基礎の沈下量、および鋼材のたわみ量、RöRö支柱の弾性短縮量を想定し行った。

実測では、支保工基礎の沈下量が少なく、支柱材の弾性短縮が大きく現れる傾向が見られたが、合計値は計画高±3mmの範囲に収まるものであった。実験データによるRöRö支柱の圧縮変位量は $\Delta l = 0.0167 \times L$ (mm/ tf : L は

支柱長さ)であったが、実施工では部材の遊びも含めて $\Delta l = 0.029 \times L$ (mm/ft) となった。

5. 水平梁マスコンクリート対策

5.1 概要

大型PC構造物におけるマスコンクリート対策は、その構造特性より、以下のような特色を有している。

- ① プレストレス導入に必要な圧縮強度を必要とするため単位セメント量が多く、発熱量も大きい ($\sigma_{ck} = 36 \text{ N/mm}^2$, $C = 305 \text{ kg/m}^3$, $C/W = 43.3\%$)。
- ② 早期強度を必要とするため、低発熱型セメントの使用が限定される場合が多い(低発熱型セメントで早期強度を要求する場合、単位セメント量が多くなり、発熱量低減効果を相殺してしまう)。
- ③ 早期脱型が要求される場合、脱型時の内外温度差が

大きくなり、ひび割れ発生に大きく影響する。

- ④ 発熱量が多い反面で早期強度は大きくなるため、高いひび割れ抵抗性が期待できる。

これらの特色に配慮し、効果のある工法を種々組み合わせ、効果・施工性・コストを比較し、総合評価により対策を決定した。また、その効果を検証するため温度測定、および逆解析を行った。

水平梁の施工時期は、2月中旬から4月上旬であることから平均気温は $8^\circ\text{C} \sim 12^\circ\text{C}$ 、打設完了時のコンクリート温度は $11^\circ\text{C} \sim 14^\circ\text{C}$ として検討を行った。

5.2 許容ひび割れ幅の設定

「コンクリートのひびわれ調査・補修・補強指針」(日本コンクリート工学協会)より、補修を必要としないひび割れ幅を選択し、 0.2 mm 以下をひび割れ幅の制限値とした(その他の要因：中、環境：中間より)。

表 - 1

対 策 項 目		概 要
第1リフト	普通セメント	<ul style="list-style-type: none"> 発熱速度の低下により温度上昇を抑える。中心部コンクリート温度が約10°C低下(熱伝導解析より)。
	高性能AE減水剤	<ul style="list-style-type: none"> 単位セメント量の減少により総発熱量を低減する。単位セメント量：$C \approx 42 \text{ kg}$減少 断熱温度上昇量：$Q \approx 6^\circ\text{C}$低下
	断熱型枠	<ul style="list-style-type: none"> 外面の冷却によるコンクリートの内外温度差を抑える。 表面を乾燥から守り、第2リフトとの温度差低減(スチレンフォーム30mm使用により熱伝達率が$1/8$となり、内外温度差が約19°C減少。温度差発生時期も遅くなる)。
	パイプクーリング	<ul style="list-style-type: none"> クーリングパイプを配し排熱することで温度上昇を抑え、外気温との差を低減する(最高排熱量350 W/m^2のクーリングを2日(後若干ゆるめる)を実施することにより、中心部温度が約18°C下がる)。
第2リフト	普通セメント	第1リフトと同様
	高性能AE減水剤	第1リフトと同様
	断熱型枠	<ul style="list-style-type: none"> 外面の冷却によるコンクリートの内外温度差を抑える。 表面を乾燥から守る。 内外温度差発生時刻を遅らせる(スチレンフォーム30mm使用)。
	パイプクーリング	<ul style="list-style-type: none"> クーリングパイプを配し排熱することで温度上昇を抑え、外気温との差を低減する(第1リフト天端面をはわせるように配管し、第2リフト内外温度差および温度降下拘束応力を低減する)。
	上面養生マット	<ul style="list-style-type: none"> 外面の冷却によるコンクリートの内外温度差を抑える。 表面を乾燥から守る(14日間)。
検 討 結 果 の 概 要	第1リフト内外温度差 硬化温度上昇時あるいは脱型時の比較的短期間に発生する同一リフト内外面の温度差によるひび割れ	最大温度差発生時刻(日)
		内部温度($^\circ\text{C}$)
		外面温度($^\circ\text{C}$)
		温度水平応力(N/mm^2) (ひび割れ指数)
		引張水平合力(N/m) (鉄筋応力(N/mm^2))
		温度鉛直応力(N/mm^2) (ひび割れ指数)
		引張鉛直合力(N/m) (鉄筋応力(N/mm^2))
	第2リフト内外温度差 同上	最大温度差発生時刻(日)
		内部温度($^\circ\text{C}$)
		外面温度($^\circ\text{C}$)
		温度水平応力(N/mm^2) (ひび割れ指数)
		引張水平合力(N/m) (鉄筋応力(N/mm^2))
	第2リフト外部拘束 第2リフトの温度降下収縮が第1リフトに拘束されることにより発生する梁軸直角方向貫通ひび割れ	第2リフト最大温度発生時刻(日)
第1リフト内部温度($^\circ\text{C}$)		
第2リフト内部温度($^\circ\text{C}$)		
(第1-第2リフト間内部温度差($^\circ\text{C}$))		
温度水平応力(N/mm^2) ひび割れ指数		
対 策 コ ス ト の 比 較		
施 工 性 の 比 較		

5.3 対策比較

材料・配合では、普通セメント、低発熱型セメント、高性能AE減水剤、ファイバーコンクリートの使用を、施工ではプレクーリング、パイプクーリング、断熱型枠、脱型後外面保温養生、打設リフト割り変更、誘発目地設置を、構造補強として鉄筋補強、初期プレストレス導入を採り上げ概略検討を行った。

この中から、普通セメント使用による発熱速度の低減、高性能減水剤の使用による単位セメント量の低減、断熱型枠使用による内外温度勾配の低減、パイプクーリングによる排熱が有効と判断した。鉄筋補強は補助工法とし、事前のFEM解析検討で得られた温度応力の大きさに応じて採用することとした。

これらを各打設リフトの条件により適宜組み合わせ用いる案について、さらにFEM解析による詳細検討を加えた。

水平・鉛直・橋軸・橋軸直角の全方向についてひび割れ指数の算定と不足鉄筋量の照査を行った。

対策比較を表-1に示す。CASE-2, 3, 7いずれの方法によってもひび割れ幅を0.2 mmに制御できるという結果となったため、コスト、工程の優位性よりCASE-2を採用した。表-2にその配合を示す。また、コンクリート初期材齢での表面付近における急激な温度低下や乾燥を避けるため、型枠を工程の許す限り長く存置することとした。

5.4 ひび割れおよびコンクリート温度の計測

(1) ひび割れ計測

P3水平梁のひび割れ調査結果を図-5に示す。他橋脚水平梁も同様0.15 mm程度のもの数本の発生に留まり、おおむね目標内に制御することができた。発生したひび割れは、進行性が認められなかったこと、および構造の軸線方向移動に拘束がなく、自由な収縮が妨げられない構造の本水平

マスコンクリート対策案比較一覧表

CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7
●	●	●	●	●	●	●
-	●	-	●	●	-	●
-	-	●	●	●	-	●
-	-	-	-	-	●	-
●	●	●	●	●	●	●
-	●	-	●	●	-	●
-	-	-	●	-	-	-
-	-	-	-	●	●	-
●	●	●	●	●	●	●
14	14	25	29	29	14	29
58	52	56	50	50	39	50
12	12	28	25	25	11	25
-10.2 (0.25)	-9.3 (0.29)	-5.3 (0.52)	-4.7 (0.59)	-4.7 (0.59)	-6.3 (0.40)	-4.7 (0.59)
-4 822 (977)	-4 302 (872)	-1 764 (357)	-1 411 (286)	-1 411 (286)	-2 558 (518)	-1 411 (286)
-11.9 (0.21)	-10.8 (0.24)	-8.2 (0.34)	-7.1 (0.38)	-7.1 (0.38)	-7.7 (0.33)	-7.1 (0.38)
-5 890 (227)	-5 272 (203)	-3 753 (145)	-3 048 (117)	-3 048 (117)	-3 283 (127)	-3 048 (117)
17	17	17	17	17	17	17
51	48	51	48	44	47	48
17	17	17	19	16	15	17
-6.9 (0.37)	-6.3 (0.42)	-6.9 (0.38)	-6.6 (0.40)	-5.9 (0.45)	-5.9 (0.45)	-6.3 (0.42)
-3 450 (699)	-3 018 (612)	-3 195 (647)	-2 283 (463)	-3 097 (627)	-2 421 (490)	-2 773 (562)
-6.0 (0.42)	-5.5 (0.49)	-6.2 (0.44)	-7.1 (0.39)	-5.3 (0.50)	-5.1 (0.52)	-5.7 (0.47)
-2 577 (99)	-2 440 (94)	-2 705 (104)	-2 969 (114)	-2 372 (91)	-2 332 (90)	-2 029 (78)
6	6	6	6	6	6	6
50	47	51	47	47	34	47
57	53	57	53	53	58	53
(7)	(6)	(6)	(6)	(6)	(24)	(6)
-34	-29	-31	-24	-21	-25	-30
0.84	1.00	0.94	1.19	1.35	1.14	0.96
◎	○	△	×	△	△	△
×	◎	○	△	△	×	○

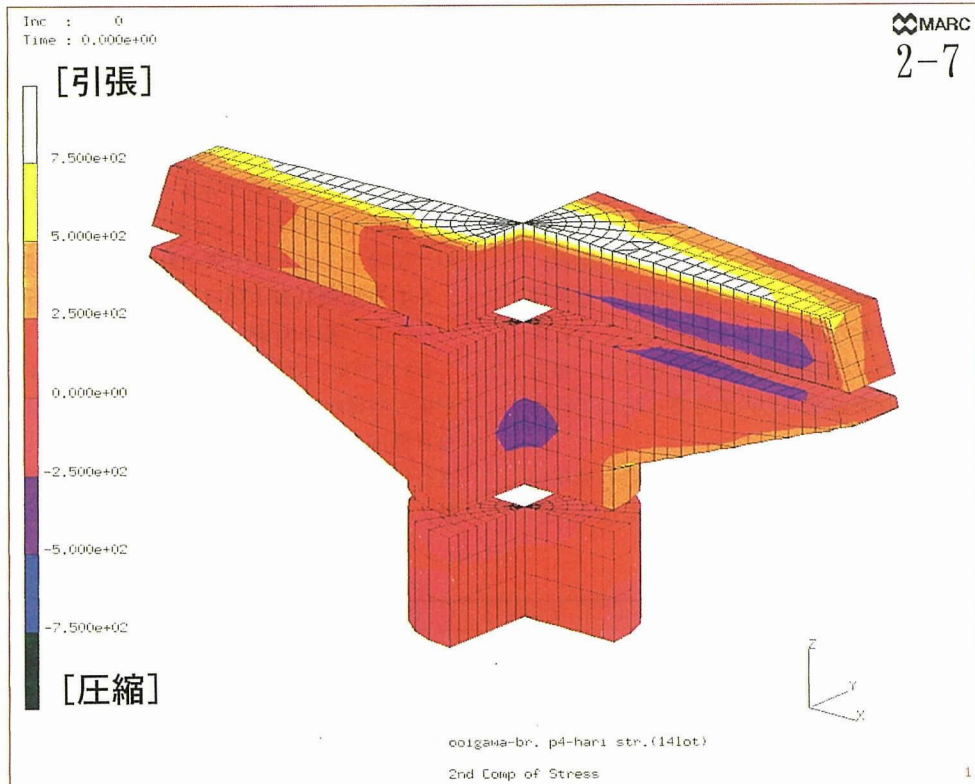


図-4 温度応力FEM解析

表-2 配合表 (普通+高性能AE減水剤)

示方配合	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (mm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤*
	25	5.5~10.5	3~6	43.3	40.0	132	305	760	1 155	1 678

* 高性能AE減水剤

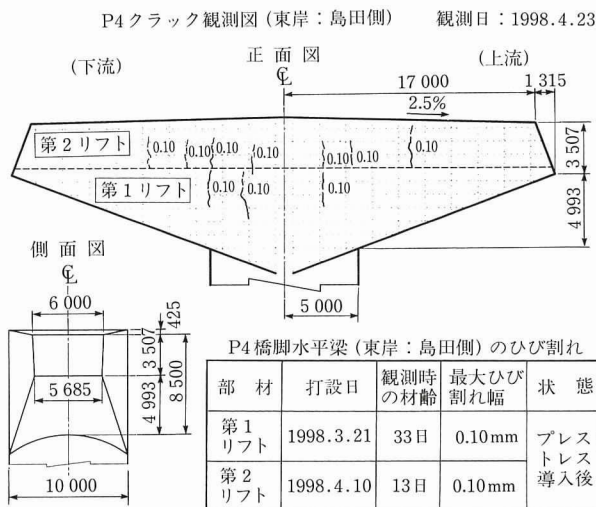


図-5 ひび割れ調査結果

梁では導入されたプレストレスやコンクリートのクリープが収縮方向への追従性や内部的に発生した鉄筋応力の低減に対し優位に作用することなどから、供用時の耐荷力および耐久性に影響を及ぼすものではないと判断した。

(2) 温度計測

対策検証のため、図-6に示す位置に熱電対を埋め込み

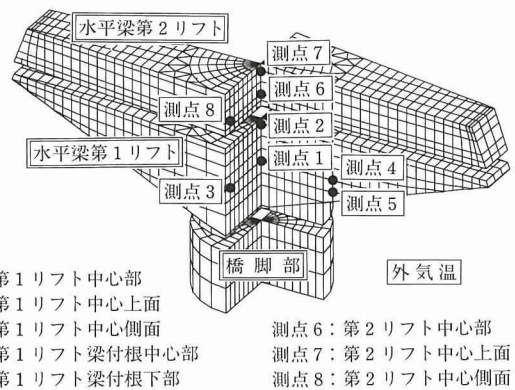


図-6 コンクリート温度計測位置

温度計測を実施した。記録は連続式ひずみ測定器により行った。その結果および逆解析値 (予備検討解析条件のうち打設完了温度を実測値に修正した解析値) を図-7に示す。実測値と逆解析値を比べると、温度上昇量および温度下降域の勾配などよく一致しており、解析の実用性が確かめられた。ただし、温度上昇勾配については、土木学会「標準示方書」の特性式よりやや早く立ち上がる傾向が見られたため、今後、より多くの事例検証が必要と考える。

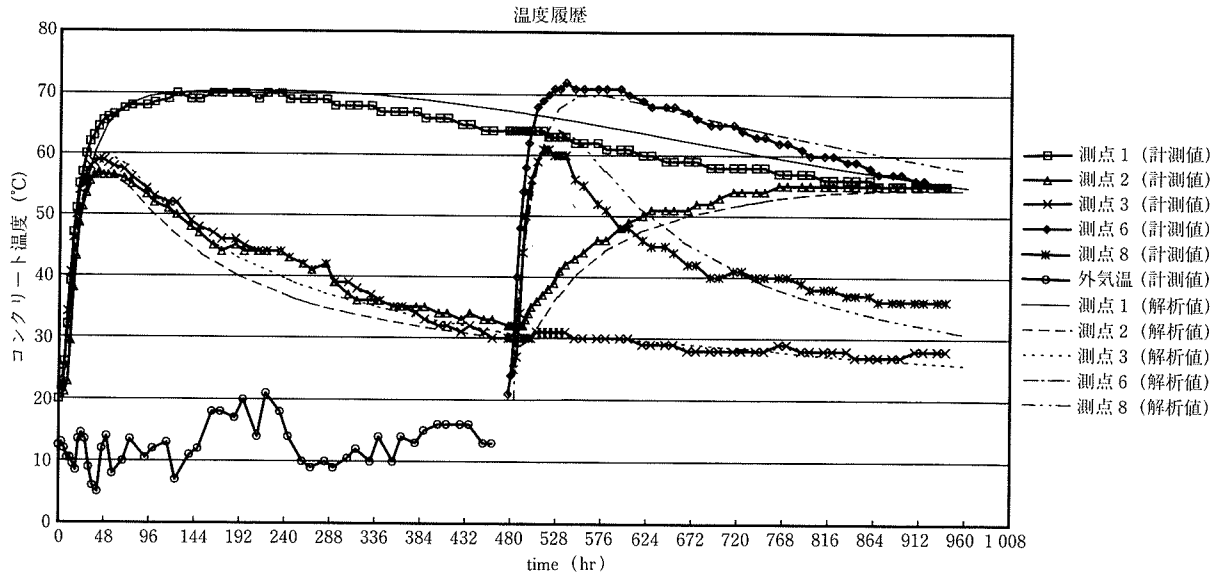


図-7 コンクリート温度履歴

表-3 水平梁の設計応力度

荷重ケース		コンクリート応力 (N/mm ²)		鉄筋応力 (N/mm ²)	ひび割れ幅 (mm)	
		上縁	下縁		計算値	許容値
死荷重	梁自重	-0.81	0.81	/	/	/
	上部工反力	-2.09	2.09			
プレストレス	直後	2.48	-1.11			
	有効時	2.18	-0.98			
活荷重	上部工反力	-1.22	1.22			
死荷重時	直後	1.67	-0.31			
	有効時	-0.71	1.92	-	-	0.45
設計荷重作用時		-1.94	3.14	141	0.28	

P4橋脚付け根断面より

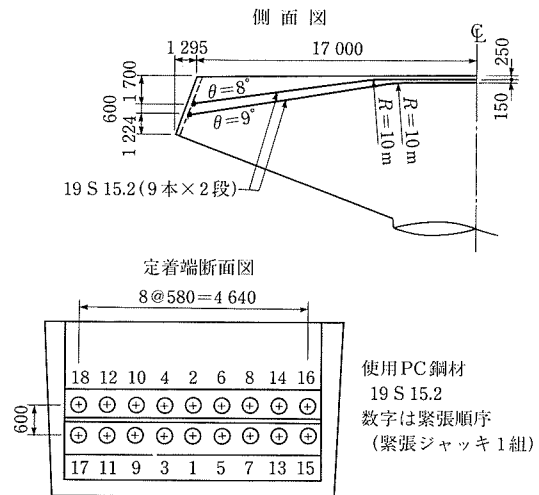


図-8 PC鋼材配置

6. プレストレス

6.1 PC鋼材配置

本水平梁には、上部工完成後活荷重作用時において、上縁引張鉄筋応力度が許容値引張応力度を満たし、かつひび割れ幅が許容内となるようプレストレスを導入している。表-3に各荷重段階におけるコンクリート応力度およびひび割れ幅(設計値)を示す。

緊張材には、支承アンカーボルトとの取合いを容易にする目的から大容量の19S15.2を使用し、1橋脚あたり18本を配置した(図-8)。

6.2 プレストレスニング

PC鋼材緊張状況を写真-3に示す。定着工法はフレッシュナー・モノグループシステムであり、油圧ジャッキには500tセンターホールジャッキ1対を使用した。緊張は、第2リフト打設後10日の養生期間をおき、コンクリート強度29N/mm²以上を確認し行った。

7. その他のPC施工

本下部工橋脚は、鉄筋の過密配置を避け、施工の省力化を図るため、①鋼管柱(12本-φ1500×22(SKK490))を用いた鋼・コンクリート複合構造、②帯鉄筋としてPCスト

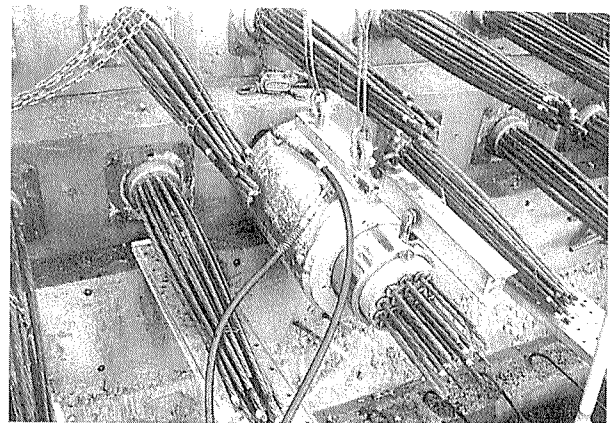


写真-3 PC鋼材緊張状況

ランド(1S15.2 ctc 150×2重)巻付けを採用した構造物でもある。本工事で開発・改良した新型PCストランド巻付け機を写真-4に示す。ドラムから巻き出したストランドのよじれを防止するため、水平回転台の上に縦回転のドラムを据

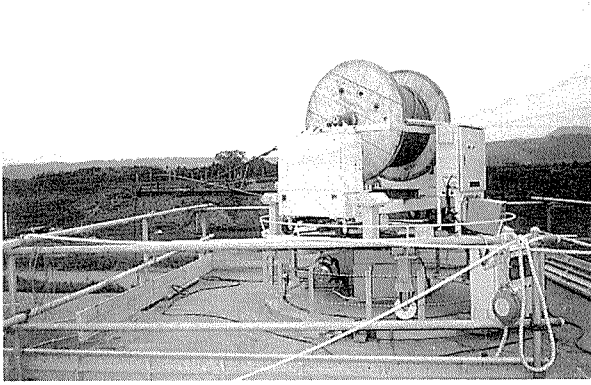


写真-4 PCストランド巻付け機(橋脚)

え付けたものである。巻き出されたストランドは橋脚外周まで手延べガイドにより誘導され、吊り下げようとして橋脚軸方向鉄筋に結束される。

8. おわりに

本水平梁は、これまでのPC構造物とは一線を画すマッシブな重量構造物であった。そこで必要となった問題点に対し、数々の検討をもとに対策を講じ成果を得、実測データとして蓄積したことは有意義であったと考える。

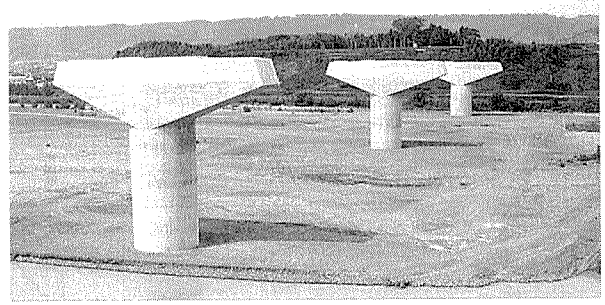


写真-5 大井川下部工全景

本下部工工事は、施工時想定最大流量を超える出水に数回見舞われながらも無事に乗り越え、非出水期という限られた期間の中で、大規模構造物を無事構築したものである。本工事の経験が、今後ますます大型化が予想されるPC構造物の施工に際し参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針，1991
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査・補修・補強指針，1987
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書(施工編)，1996
- 4) 木村，國原，上田：無人化ニューマチックケーソンー第二東名大井川橋一，基礎工，Vol.26，No.12，pp.96～101，1998.12

【1999年2月18日受付】