

新猪名川大橋コーベル・主塔の施工

大阪第二建設部 池田工事事務所 鳥谷越 壮 二
大阪第二建設部 池田工事事務所 大 池 岳 人

要 約

大阪池田線延伸部に建設中の新猪名川大橋は、橋長400m、主塔高90mの2面吊マルチファン形式で斜材（片側）14段を有する2径間連続PC斜張橋であり、その規模は世界最大級である。

この大規模構造物を支える主塔の受梁であるコーベルの施工においては、急速施工の必要性から、一括架設工法が採用された。さらに一括架設工法を採用した結果、過密に配置された鉄筋・PC鋼材の中に、締固め作業なしに、かつレイタンス処理不要のコンクリート打設が必要となったことから、高い流動性と、不分離性を有する高流動コンクリートを使用した。

また、主塔においても、塔高が高い上に、震災を契機として耐震補強され、帯鉄筋を倍増した部分への圧送を必要としたため、高性能減水剤を使用しコンクリートを流動化させた。

これら、コーベル・主塔の施工について、特にコンクリートの配合計画、打設方法等を主とした施工方法について報告する。

キーワード：高流動コンクリート、流動化コンクリート、高ビーライトセメント、温度応力解析、急速施工法、一括架設工法、セルフクライミング

まえがき

新猪名川大橋工事においては、工期短縮のために、さまざまな新しい施工法が採用されている。この中で、コーベルの施工法には、「一括架設工法」が採用された。この工法はあらかじめ別の場所で地組みされた鉄骨ブロックを大型クローラクレーン2台の共吊りで架設し、その後コンクリートを順次打設する工法である。この工法では、鉄骨架設完了後、打設するコンクリートについては、締め固めが不可能であり、またレイタンス処理もできない。そのため、自己充填性があり、材料分離抵抗性の高い高流動コンクリートを使用することとした。さらに、温度応力解析の結果、普通セメントではひびわれ指数が大きいため、低発熱セメント（高ビーライト系）を使用した。

また、主塔の施工においては、アンカーの盛替えが不要である新型セルフクライミングを開発し、フープ筋・中間帯鉄筋の一括架設等を行い工期を短縮した。ここにおいても、高所であること、鉄筋が過密配置されていることなどから、高性能減水剤を用い流動化したコンクリートを用いた。主塔のコンクリートについても、温度応力解析の結果、低発熱セメント（高ビーライト系）を採用した。

以上2つの構造物について、特にコンクリートの選定を中心に施工概要を報告する。

1. 工事概要

工事場所：大阪府池田市～兵庫県川西市

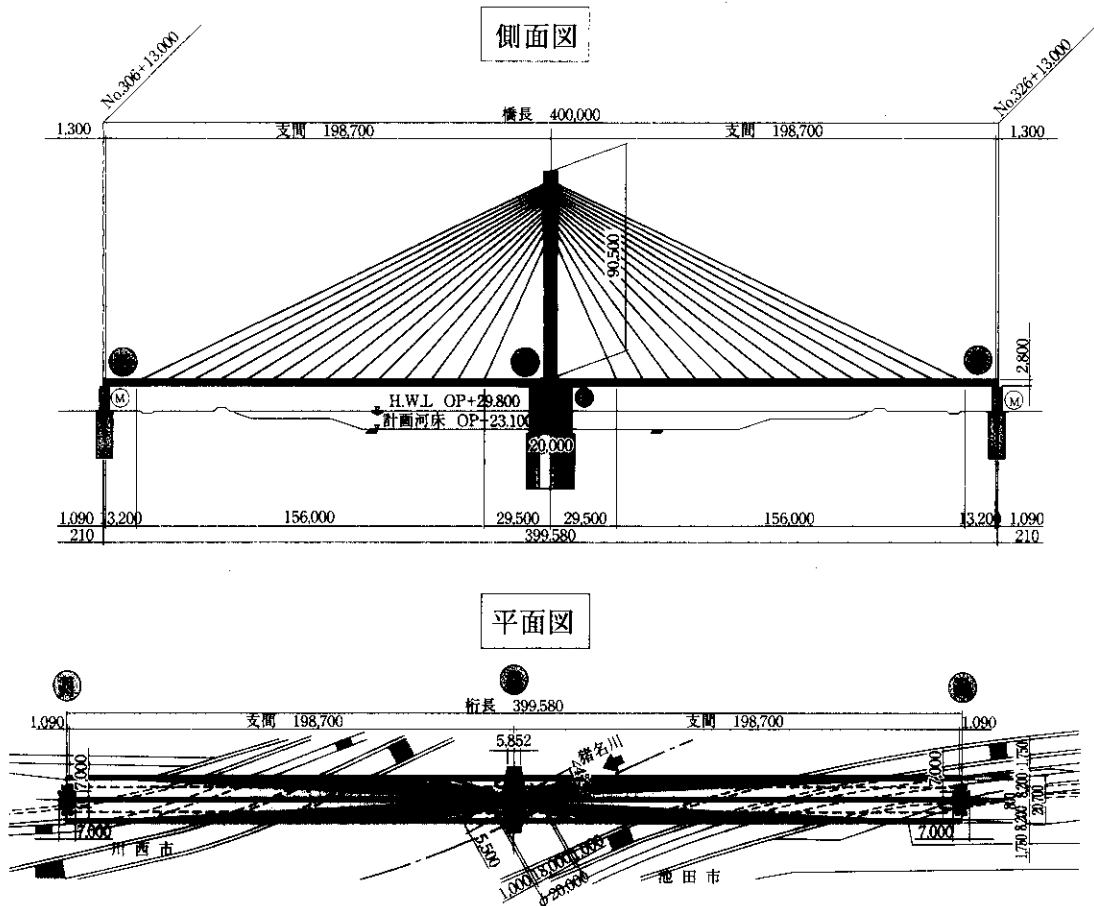


図-1 新猪名川大橋一般図

橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 設計荷重：B活荷重
 道路区分：第2種第2級
 構造形式：2径間連続PC斜張橋
 橋長：400m
 支間割り：198.7m + 198.7m
 総幅員：20.7m
 有効幅員：16.4m (2 × 8.2m)
 斜角：斜角90度 (橋脚ねじれ角24.5°)

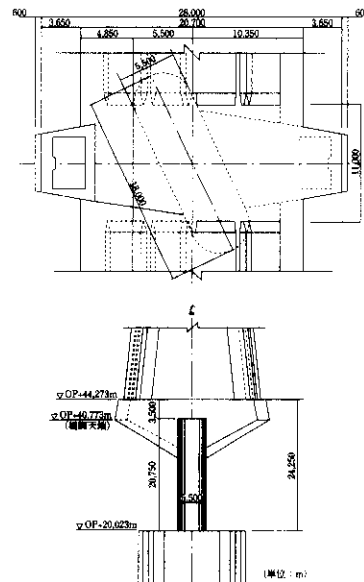


図-2 橋脚・コーベル一般図

2. コーベル施工概要¹⁾

コーベルは橋脚・主桁と一体構造で約24度の斜角を有するPC構造で、主桁で最大の応力を受ける柱頭部と交差するなど、鉄筋・PC鋼材が相互に複雑に交錯している。橋脚・コーベルの一般図を図-2に示す。

この施工にあたり、「一括架設工法」を採用した。この工法は、あらかじめ精度よく工場製作さ

れた鉄骨に、台船上等で正確に所要の鉄筋・PC鋼材を組み込み、その鉄骨ブロックを300tfクローラークレーン2台の共吊りで順次積み重ね(4段階に分ける)、継手部他、現地組立鋼材で補完し、構造の骨組みを造り、コンクリートを打設して完成

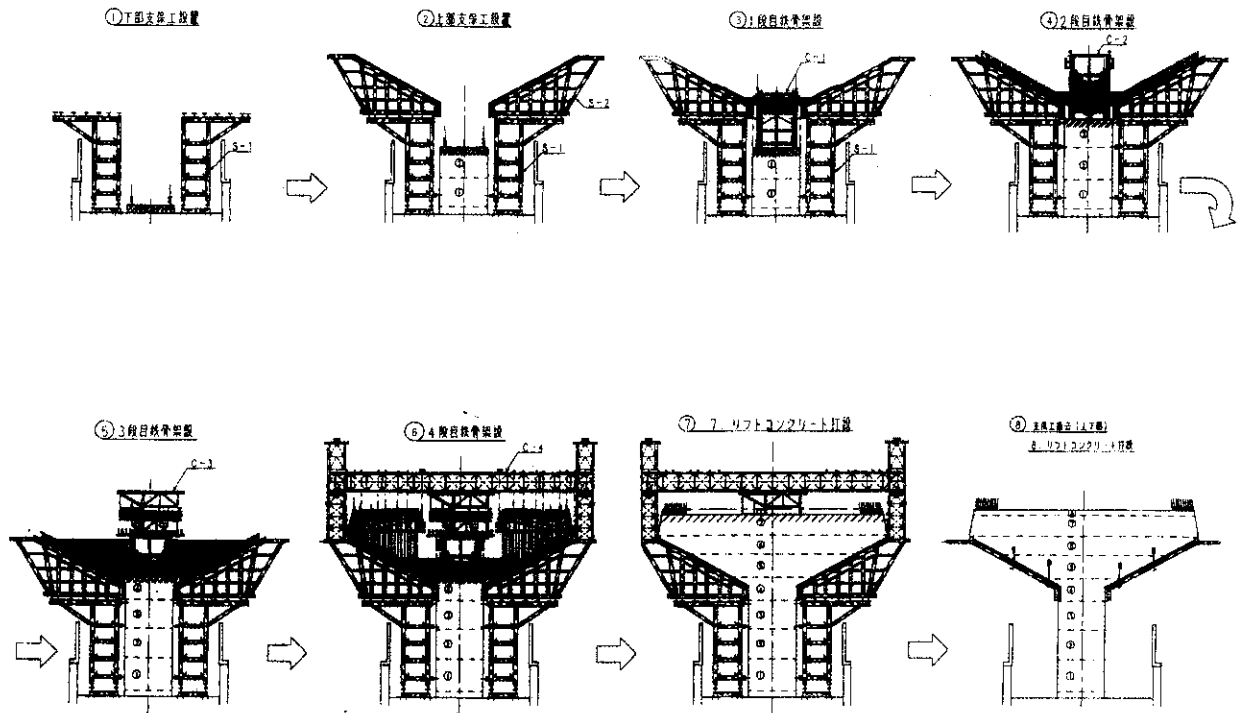


図-3 コーベル施工手順図

させる方法である。施工手順については図-3に示す。

コーベルの実施工程を表-1に示す。栈橋設置から仮締切撤去までを非出水期に行う必要があったため、コーベルの実施工日（3リフト～7リフト）は3ヶ月と通常施工の約半分で行うことができた。

表-1 実施工程表

年月	94年			95年						
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
機橋設置工	設置									
仮締切工	設置								撤去	
下部支保工		設置							撤去	
上部支保工			設置						撤去	
1リフト				設置						
2リフト					設置					
3リフト						設置				
4リフト							設置			
5リフト								設置		
6リフト									設置	
7リフト										設置
8リフト										
備考				非出水期			コーベル施工期間			

3. コーベルコンクリートの検討

コーベルコンクリートは、前述のような施工法を採用したことにより生じた以下の課題を解決する必要があった。

- ① 鋼材相互に隙間がなく、パイブレータ等の作業ができない。
- ② 打設後のレイタンス処理ができない。
- ③ 鉄骨・鉄筋・PC鋼材が過密に配置されており、普通コンクリートでは十分に充填できない。

このため流動性を改善したコンクリートを採用する必要が生じた。これらの対策としては、

- ① 普通コンクリートに流動化剤を添加して流動化する。
- ② 普通コンクリートに高性能減水剤を使用して流動化する。
- ③ 高流動コンクリートを使用する。

の3つが考えられた。

各コンクリートの比較表を表-2に示す。

以上の検討により、高流動コンクリートを使用することとした。

表-2 流動性を改善したコンクリートに関する比較検討表

コンクリートの種類	概 要	配 合 上 の 特 徴	フレッシュコンクリートの性質	硬化コンクリートの性質				使用が期待される構造物
				中性化	乾燥収縮	スラブ	耐凍性	
流動化コンクリート	流動化剤の添加により流動性を高めたコンクリート	あらかじめミキサで練り混ぜたコンクリート（ベースコンクリート）に流動化剤を添加し、これを攪拌することによって流動性を増大させたコンクリートで、スランブを一般のコンクリートと同じにすれば、単位水量や単位セメント量を低減させることが可能である。	① 硬化後の品質を変化させることなく、打込み、締固めなどの施工性が改善できる。 ② ワーカビリティ、スランブの経時低下に留意する必要がある。 ③ スランブ増大量が一定以上になると、材料分離を起こしやすくなる。 ④ 一般のコンクリートに比べ塑性粘度がやや大きく一般のコンクリートに比べスランブを、4~7cm程度大きくしても材料分離の程度は一般のコンクリートの場合より小さい。 ⑤ プリーディングは、単位水量が同じ一般のコンクリートとほぼ同様である。	◎	◎	◎	◎	① 打込みや締固めなどの施工性を改善したい場合。 ② 断面形状が複雑であったり、開口部が存在する等により、所定の箇所にコンクリートが打込みにくい場合。
高性能（AE）減水剤を用いたコンクリート	高性能（AE）減水剤を用いて流動性を高めたコンクリート	コンクリート練り混ぜ時に他の材料とともにミキサに投入し、単位水量の少ないコンクリートの製造が可能になるだけでなく、流動化コンクリートと同等の品質を有するコンクリートを工場で製造することが可能になる。	① 振動締固め作業がいらぬ。 ② 長時間の流動性が確保できる。 ③ 流動性は一般のコンクリートとは全く異なるためスランブフローで定め50~70cmが標準である。材料分離、充填性および硬化後の品質に悪影響がないことを示す資料等があればこの値を越えてもよい。 ④ プリーディングがほとんどない。 ⑤ 型枠に作用する側圧は、一般のコンクリートに比べかなり大きい。側圧は、全高にわたり液圧として作用する。	△	○	○	△	
高流動コンクリート（NVコンクリートは高流動コンクリートの一種である）	適当な量の微粉末を含んだコンクリートに高性能（AE）減水剤と必要に応じて増粘剤を添加することにより、流動性を高め、材料分離抵抗性を付与したコンクリート	自己充填型（締固め不要）コンクリートは、優れた流動性を有するとともに、流動していく間に材料分離が生じない必要がある。このため配合上さまざまな材料が用いられ、工夫がなされている。すなわち、配合上の特徴として、下記が挙げられる。 ① 高性能（AE）減水剤の多量使用 ② 微粉末の増加（セメント分も含め 550kg/m ³ 前後） ③ 必要に応じて増粘剤の付加	① 振動締固め作業がいらぬ。 ② 長時間の流動性が確保できる。 ③ 流動性は一般のコンクリートとは全く異なるためスランブフローで定め50~70cmが標準である。材料分離、充填性および硬化後の品質に悪影響がないことを示す資料等があればこの値を越えてもよい。 ④ プリーディングがほとんどない。 ⑤ 型枠に作用する側圧は、一般のコンクリートに比べかなり大きい。側圧は、全高にわたり液圧として作用する。	◎	○	○	◎	①- (1) 高密度配筋やSRC構造のためバイブレータによる締固めが困難な場合。 ①- (2) 施工の合理化、省力化、生産性の向上等を図りたい場合。 ①- (3) 作業員の技術レベルに左右される施工欠陥が生じにくい。 ② 断面形状が複雑であったり、開口部が存在する等により、所定の箇所にコンクリートを打込むことができない場合。 ③ 耐久性が要求される場合。

凡例： 一般のコンクリートとは、通常のAE減水剤を用いたコンクリートを示す。
硬化コンクリートの性質について、上段は、一般のコンクリートと、下段は、本書に示した種類のコンクリート相互と比較した。◎は、同等以上 ○は、同等 △は、同等以下を示す。

表-3 配合条件

項 目	第3~第6リフト	第7リフト
強 度	材齢28日 400kgf/cm ²	材齢5日 270kgf/cm ² 材齢28日 400kgf/cm ²
スランブフロー	65 ± 5 cm	
50cmフロー時間	5 sec 以上	
Vロート沈降時間	15 - 7 sec	
空 気 量	4.5 ± 1.5 %	

配合条件を表-3に示す。第7リフトについては、PC鋼材の緊張の関係上材齢5日での強度規定がある。

配合決定にあたっては試験練りを行い、強度のみならず性状も確認した。

使用セメントについては、コーベルが高強度のマスコンクリートで、せん断応力が卓越する構造物であり、温度応力による有害なひびわれを防止するため、低発熱セメント（高ビーライト系）を使用している。

表-4 コンクリート配合

(1) 3~6リフト

W/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)						特殊増粘剤 (g/m ³)
	W	C	SD	S	G	SP剤	
39.3	165	420	117	740	875	9.79	165

(2) 7リフト

W/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)						特殊増粘剤 (g/m ³)
	W	C	SD	S	G	SP剤	
35.6	165	463	81	740	875	9.79	165

4. コーベルコンクリートのマスコン対策

コーベルコンクリートの温度応力解析結果を表-5に、各リフトの最小ひびわれ指数が最小となる発生位置を図-4に示す。この解析において

表-5 温度応力解析結果一覧表

リフト番号	最高温度(°C)	最大引張応力(kgf/cm ²)	最小ひびわれ指数が最小となる			
			ひびわれ指数	材令(日)	発生位置	節点番号
1	58.6	26.1	1.05	8.0	リフト上部	35
2	59.6	32.8	0.97	26.0	リフト上部	81
3	41.1	10.1	1.52	19.125	リフト上表面	147
4	41.5	14.1	2.26	33.0	リフト上部	182
5	49.3	11.9	1.17	3.0	リフト上表面	80
6	58.7	16.4	1.10	6.0	リフト上部	139
7	60.3	16.3	1.41	6.0	リフト上部	206
8	51.2	22.5	1.15	7.0	リフト下部	226

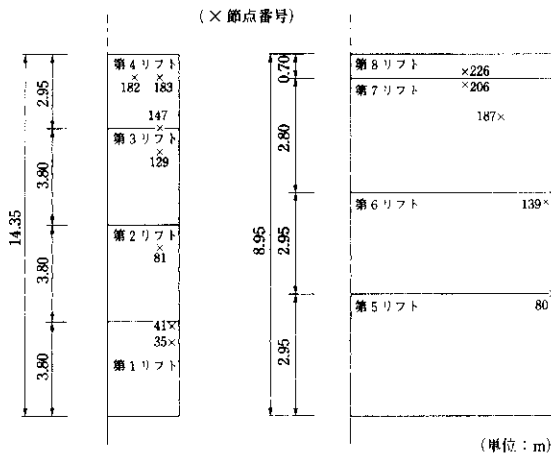


図-4 最小ひびわれ指数発生位置図

は、普通セメントでは最小ひびわれ指数が最小となる値が0.63となったため、低発熱セメント（高ビーライト系）を使用した配合で検討した。

この結果から、最小ひびわれ指数が最小となるひびわれ指数の目標値である1.0をほぼ確保することができた。

しかし、温度解析上ひびわれ指数がかなり厳しかったため、橋脚・コーベルに熱電対を設置し、実際のコンクリート温度の上昇を自動計測することとした。計測は2時間毎の定時に行い、データロガーに自動記録する方式とした。熱電対の設置位置を図-5に示す。

温度解析と実測値の比較を表-6に、解析値と実測値の温度履歴を図-6に示す。この表からもわかるように、解析と実測値が非常に良い整合を示しており、実測値の方が温度上昇が少ない傾向にあることがわかる。これは、プラントにおけるプレクーリングの効果が大きかったと考えられる。

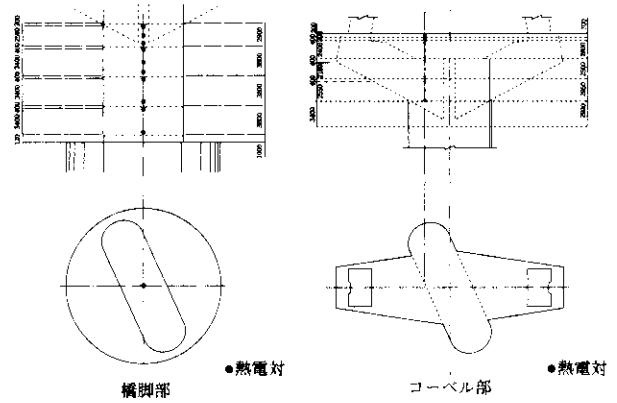


図-5 熱電対設置位置図

表-6 計測結果と解析値との比較表

リフトNo.	温度解析結果			実測値	
	材令(日)	最高温度(°C)	ひびわれ指数	材令(日)	最高温度(°C)
1	8	58.6	1.05	16	55.2
2	26	59.6	0.97	35	40.0
3	19	41.1	1.52	33	43.5
4	33	41.5	2.26	38	42.5
5	3	49.3	1.17	6	49.5
6	6	58.7	1.10	8	50.6
7	6	60.3	1.41	6	56.5
8	7	51.2	1.15	2	58.0

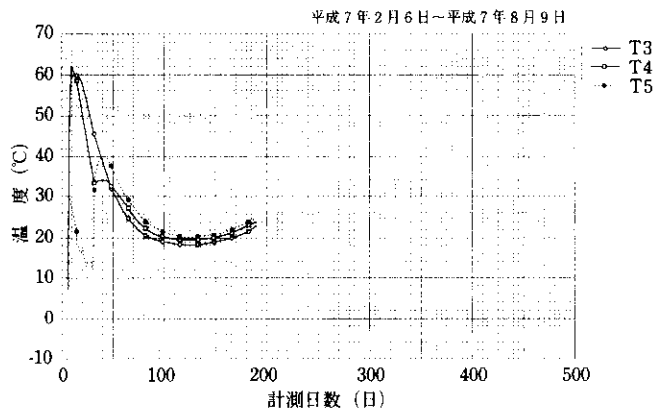


図-6 解析値と実測値の温度履歴

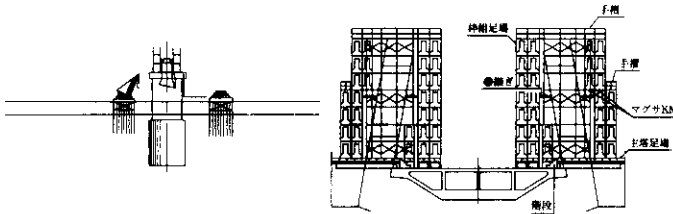
5. 主塔施工概要²⁾

当橋梁の主塔は逆Y型で、総足場工法では橋面を閉塞する、斜材定着部が主塔頂部に集中するマルチファン形式である。このため、工期短縮を行うには、主塔の急速施工が必要であった。主塔脚部において通常の総足場工法でなく、高性能セル

フクライミング足場を利用した工法とした。

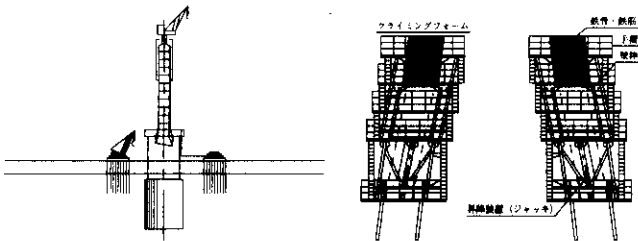
セルフクライミングでは施工のできない基部部分（3リフトまで）を総足場で施工し、その後セルフクライミングを組立て、それを用いて閉合部まで施工し、閉合部より上については、閉合部に設置したブラケット上に総足場を組立て、総足場で施工した。主塔施工手順を図-7に示す。

①主塔1～3リフト構築



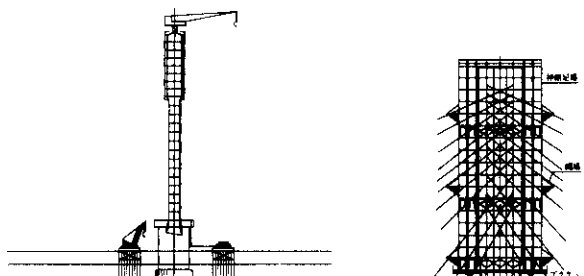
主塔の施工は24リフト、1リフト4mを標準とする。
主塔足場構築後、総足場工法で施工する。

②主塔4～15リフト構築



セルフクライミング工法で施工する。
6リフト施工後タワークレーンおよび工事用エレベータを設置する。

③主塔16～24リフト構築



16リフト以降は総足場を利用して施工する。

図-7 主塔施工手順図

6. 主塔鉄筋施工概要

主塔の鉄筋については、兵庫県南部地震以後、復旧仕様に準じた主塔の水平保有耐力の照査を実施し、見直しを行った。当初の配筋図を図-8に、変更後の配筋図を図-9に示す。

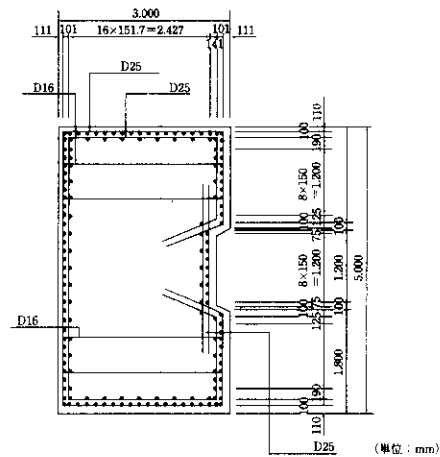


図-8 当初配筋図

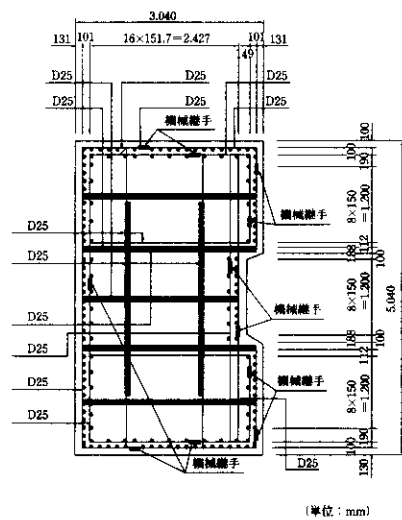


図-9 変更配筋図

この図からわかるように、当初D16であった中間帯鉄筋が、変更後D25になり、1段当たりの配置数が増え、全体として当初の約2倍の鉄筋量となった。またフック形状も90度から135度に変更した。さらに、フープ筋について、当初は重ね継手で考えていたが、機械継手に変更したため、加工精度を要求される形状となった。このため、鉄

筋加工時にあらかじめカップラーで継いだ鉄筋を加工し、加工完了後必要箇所の切断を行い、再度カップラーで継いで納入する形式とした。

これらのことから、鉄筋組立にあたり、通常の施工法ではスペースが狭く作業能率があがらないことや、高所作業を減らす目的で、あらかじめ主塔下で地組みした鉄骨にフープ筋および中間帯鉄筋を取付け、タワークレーンで現地に一括架設する工法とした。一括架設完了後、鉄骨にあらかじめ取り付けられた軸方向筋ガイドを使用し、長さ4mの軸鉄筋を上から差し込み、ねじ継手で接合した。写真-1に架設状況を示す。



写真-1 主塔鉄骨架設状況

また、主塔基部の施工には新型高性能セルフクライミングを使用した。このセルフクライミングの特徴を以下に示す。

- ①型枠も同時に昇降する。
- ②昇降時の盛り替え作業が無い。
- ③昇降時の左右の速度の違いによるねじれを吸収できる



写真-2 セルフクライミング全景

④2重の安全設備がある。

このクライミング足場を使用することにより、高所作業を激減でき無事に施工することができた。クライミング全景を写真-2に示す。

7. 主塔コンクリートの選定

主塔コンクリートはマスコンクリートであるので、温度応力解析を行い検討した。その結果、普通セメントではひびわれ発生の確率が高かったため、コーベル同様低発熱セメント（高ビーライト系）を採用し、さらに、セメント量低減のため高性能AE減水剤を用いた。高性能AE減水剤として高ビーライトセメントとの相性を考慮し、ポリカルボン酸系のものを使用した。

高性能AE減水剤による単位セメント量当たりの減水効果は、セメントの種類の影響を受けるが、一般的にポリカルボン酸系の高性能AE減水剤の場合、セメント量が多くなるに従ってやや減少する傾向を示す。しかし、高強度のコンクリートになり、単位セメント量が400kg/m³程度以上になると、セメントの種類の影響および他要因の影響を多く受ける傾向が現れると同時に、スランプ保持性能にも変化が生じる。スランプの経時変化については、練り上がり時のスランプを大きくした配合の方が、スランプの小さな配合よりも小さくなる傾向が顕著になる。

図-10は、これらを踏まえて、単位セメント量400kg/m³の場合について確認するために実施した

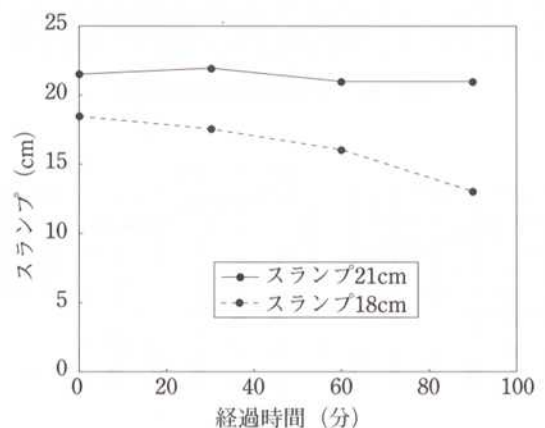
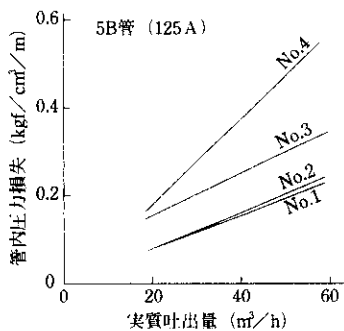


図-10 高性能コンクリートの経時変化

試験結果である。

- ①練り上がり時のスランブを21cmとした場合、経時変化が少ない。
 - ②練り上がり時のスランブを18cmとした場合、経時変化が大きく、90分後には12cm以下になる。
- よって、以下の事項を勘案してスランブを21cmとした。

- ①スランブ18cm以下の場合、スランブの経時変化がコンクリート標準示方書許容範囲に収まらず、施工に起因する品質で問題が生じることが考えられる。
- ②主塔のコンクリートは、ポンプ圧送による打ち込みになるが、水セメント比が40%以下になると管内圧力が急激に増大する（図-11）傾向にあり、また、圧送後のスランブダウンも大きく（図-12）、練り上がり時のスランブを18cm以下に設定すると、打ち込み不可能になる。



コンクリート配合

No.	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m³)					備考
				W	C	S	G	混和剤	
1	57	46.2	4	163	286	842	1030	AE減水剤 0.715	
2	45	42.2	4	165	367	739	1064	高性能AE減水剤 3.67	土木用
3	37	40.2	2	180	486	670	1047	高性能AE減水剤 4.86	プレストレスト用
4	30	38.0	2	175	583	608	1042	高性能AE減水剤 5.83	高強度用

図-11 吐出量管内圧力損失

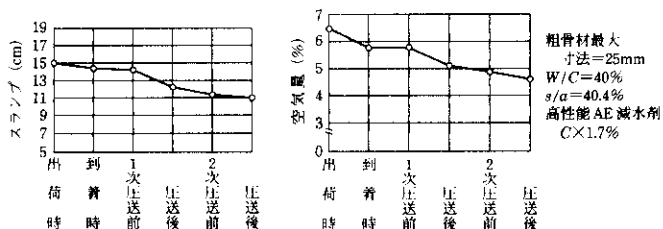


図-12 ポンプ圧送前後のスランブ変化

表-7 主塔コンクリート配合

(1) 1, 2リフト

W/C (%)	単位量 (kg/m³)				
	W	C	S	G	SP剤
37.0	160	433	780	938	8.011

(2) 3リフト以降

W/C (%)	単位量 (kg/m³)				
	W	C	S	G	SP剤
41.0	170	415	796	909	8.715

なお、主塔基部の1, 2リフトについては $\sigma = 50\text{N/mm}^2$ の強度とし、それ以降のリフトについては $\sigma = 40\text{N/mm}^2$ とした。また、どちらの配合もセメント量が400kgを超えるため、スランブを21cmに設定した。

それぞれの配合を表-7に示す。

平成8年11月末現在、主塔20リフトまで施工完了したが、打設中のコンクリート閉塞はなく、ポンプ車の最大能力で打設している。

あとがき

今後、普通コンクリートに変わりこの種のコンクリートが普及することと思われる。しかし、施工例も少なく専門的な知識および実績が必要な事から、十分なる検討の後、使用を進めていく必要があると思われる。

参考文献

- 1) 酒井 功：新猪名川大橋高流動コンクリートの施工，(財)阪神高速道路管理技術センター第8回業務研究発表会，1996. 11.
- 2) 岡本 保，桐間 幸啓：新猪名川大橋PCコーベルの施工，阪神高速道路公団第28回技術研究発表会，1996.