

人工軽量骨材を用いた PC 下路桁の設計・施工

— JR 西日本片町線内代架道橋 —

宮 本 征 夫*
 小 林 明 夫**
 渡 辺 忠 明***
 西 山 佳 伸†
 中 原 繁 則††
 高 田 三 郎†††

1. ま え が き

人工軽量骨材を用いたコンクリート(以下、軽量コンクリートという)は、昭和 30 年代後半に米国から技術導入されて以来、昭和 40 年代にはかなりの使用実績がある。鉄道構造物では、東北本線金山架道橋、総武線荒川西高架橋の PC 桁および RC 橋脚、山陽新幹線倉敷地区の軟弱地盤の箇所での PC 桁等に使用されている。しかし、昭和 40 年代の後半以降はコンクリートポンプの普及とともに、軽量コンクリートの打込みに際し、圧力吸水による圧送管の閉塞などのトラブルが発生したため、軽量コンクリートの使用実績は著しく低下した。

しかしながら、近年骨材の製造技術の改良によって高

吸水率の骨材が得られるようになったこと、高性能減水剤の開発、コンクリートポンプの性能が向上したこと、等により軽量コンクリートの施工が可能となったため建築等の分野において施工実績は増えつつある。鉄道構造物でも昭和 59 年東北新幹線新河岸川橋梁において非合成桁(支間 102.4 m)の床版コンクリートに使用した。

今回、軽量コンクリートを用いて施工した内代架道橋は、大阪市旭区を通る JR 西日本片町線にあり、本線と都市計画道路豊里・矢田線との立体交差に伴い従来の盛土構造に変えて新設する橋梁である。

本架道橋は、当面単線分の橋梁について施工され、上部工は、昭和 61 年 9 月から昭和 62 年 2 月にかけて工事が行われた。

以下、本橋梁の計画・設計・施工について報告する。

2. 計 画

本橋梁は、道路計画から支間 47.3 m、斜角 60° となった。橋梁形式は、住宅密集地である桁架設地点付近の騒音等を考慮し、かつ桁下空頭を確保するため PC 下路桁とした。

この付近の地盤は細砂層が主体となっており、橋台は地表約 -20 m の砂礫層で場所打ち杭によって支持され、それ以浅は N 値 5 程度の軟弱地盤である。構造物の計画にあたっては、構造物自重およびそれによる地震の影響を考慮する必要がある。軟弱地盤で地震の影響を考慮する場合には自重は軽い方が有利となる。自重を軽

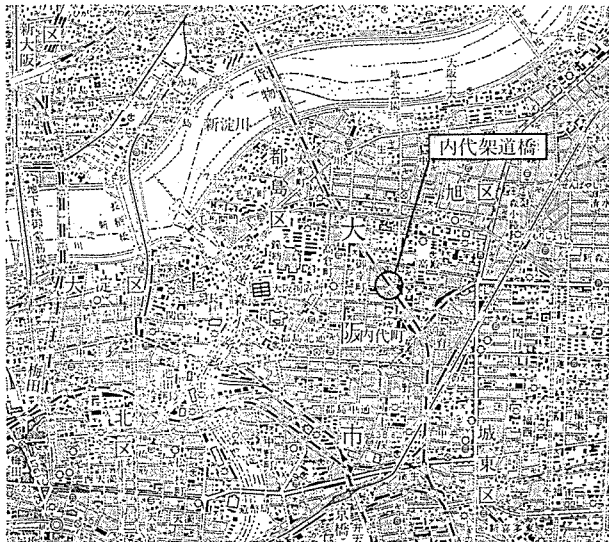


図-1 位置図

表-1 軽量コンクリートと普通コンクリートの比較

		軽量コンクリート	普通コンクリート
桁		359.3 m ³ (664.7 t)	359.3 m ³ (898.3 t)
橋脚	く 体	92.4 m ³ (170.9 t)	117.8 m ³ (294.5 t)
	フーチング	101.1 m ³ (252.8 t)*	101.1 m ³ (252.8 t)
杭 (φ1.0 m, l=19.5 m)		156.0 m (8本)*	175.5 m (9本)

注) * フーチングと杭は、普通コンクリートを用いている。

* (財) 鉄道総合技術研究所線路構造研究室

** (財) 鉄道総合技術研究所線路構造研究室

*** (財) 鉄道総合技術研究所線路構造研究室

† JR 西日本総合企画本部技術開発室

†† JR 東日本東京工事事務所

††† 大阪府都市整理局

くするために軽量コンクリートの採用を検討することとし、普通コンクリートと軽量コンクリートの比較を行った。検討結果を表-1に示す。表-1によると、上・下部工（フーチング・杭を除く）とも軽量コンクリートとすると、杭本数を減らすことが可能となる。軽量骨材は工場製品であるため、材料費が高くなることおよび工場から現場までの運搬費等、工事費を高くする要因がある。一方、自重が軽くなることによる杭本数の減少により、トータル工事費は、普通骨材を使用するより、軽量骨材を使用する方が安くなることが見込まれたので軽量コンクリートを使用することとした。

従来、軽量コンクリートを使用した鉄道橋では、細骨材は全量を軽量骨材としたが、粗骨材は普通骨材と軽量骨材を混合して施工してきた。しかし、本橋梁では施工箇所が温暖な地域であることから、骨材はすべて人工軽量骨材とした。

3. 設 計

内代架道橋の設計条件を表-2に、一般図を図-2に示す。

軽量PC桁の設計に際して、軽量コンクリートの力学的特性が普通コンクリートに比較して若干異なる点に注意する必要がある。すなわち、せん断強度、支圧強度は、普通コンクリートに比較して70~80%程度であり、このためPC定着具、ストッパー付近の補強に配慮が必要となる。

本橋梁では、定着部、ストッパー部分については、施工上の配慮から桁端から1.6mの横桁幅分だけ普通コンクリートを用いることとした。

4. 施 工

4.1 コンクリートの配合

軽量コンクリートをコンクリートポンプで施工するに

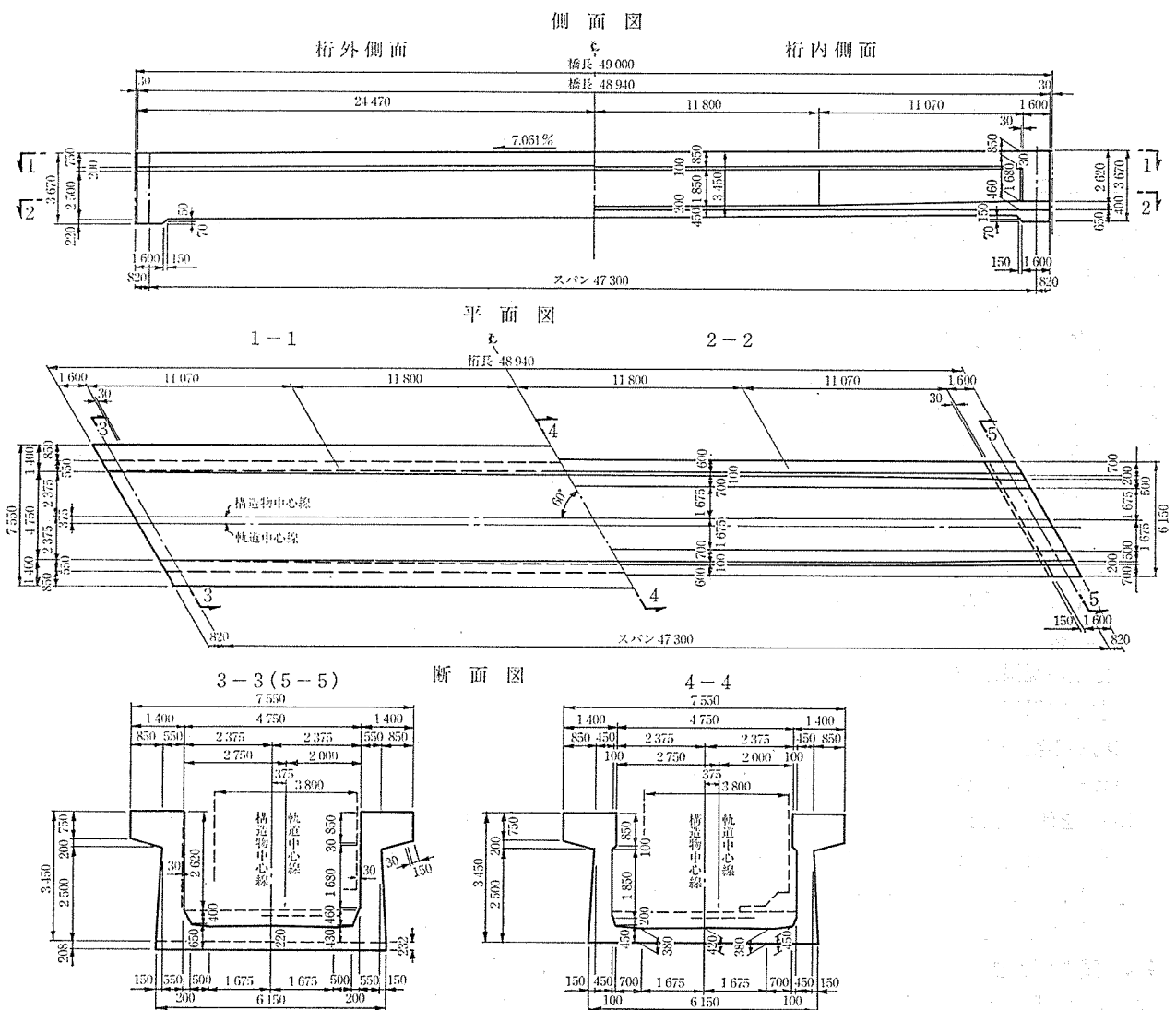


図-2 一般図

表-2 設計条件

橋桁 スパン 曲線 列車 衝突	長さ	49.000 m	
	長さ	48.940 m	
	半半径	47.300 m	
	車荷重	∞	
	係数	KS-16 0.305	
軽量骨材 コンクリート	強度	設計基準強度 プレストレス導入時	400 kg/cm ² 350 kg/cm ²
	許容 応力 度	プレストレス導入直後(圧縮)	180 kg/cm ²
		プレストレス導入直後(引張)	-10.5 kg/cm ²
		静荷重作用時(引張)	0 kg/cm ²
		設計荷重作用時(引張)	140 kg/cm ²
PC 鋼より線 12T15.2 (SWPR 7B)	材料	引張強度	190 kg/cm ²
		降伏点応力度	160 kg/cm ²
		レラクセーション	5%
定着位置における引張作業時許容応力度		144 kg/mm ²	
	設計断面における設計荷重作用時許容応力度	114 kg/mm ²	
PC 鋼棒 φ26 (SBPR 95/110)	材料	引張強度	110 kg/mm ²
		降伏点応力度	95 kg/mm ²
		レラクセーション	3%
		定着位置における引張作業時許容応力度	86 kg/mm ²
	設計断面における設計荷重作用時許容応力度	66 kg/mm ²	

は、骨材を工場出荷時と同等の高吸水率に維持することと、流動化剤の利用によって必要なワーカビリティを得ることが重要である。

配合を定めるため、大阪市内の骨材製造工場から骨材を生コン工場へ運搬し、さらに生コンとして現場に搬入する経過時間を想定して生コンの試験練りを行った。

配合の条件としては以下のものを考慮した。

- ① 骨材の高吸水率を維持するために、骨材の製造直後に生コン工場へ運搬し、プレウェッチングを行うとともに骨材のストックヤードにおける骨材含水量の変化をできるだけ小さくすること。
- ② 架設現場は住宅密集地のなかにあることから、流動化剤の現場添加時の強制攪拌による騒音の影響を考慮し工場添加を基本とする。そのために、生コン工場から現場まで約 60 分間(約 25 km)の運搬中のスランプロスが少なくとされる高性能減水剤(FP 100)を使用した。
- ③ 高強度を得るために水セメント比をできるだけ小さくし、コンクリートのワーカビリティは流動化剤を添加することで補うこととした。

4.2 試験練り

本橋梁は、PC 橋のために初期強度の発現を必要とするが、コンクリートの耐久性の向上のためにできるだけ

表-3 試験練りのコンクリートの配合

配合 No.	コンクリートの種類	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
				水	セメント	骨 材		混 和 材	
						細骨材	粗骨材	AE 減水剤	流動化剤
1	ベース	35.0	37.0	176	504	385 (440)	489 (634)	5.0	—
	流動化								4.0
2	ベース	40.0	42.0	169	423	460 (526)	473 (613)	4.2	—
	流動化								3.0
3	ベース	40.0	42.0	168	421	460 (526)	471 (611)	4.2	—
	流動化								4.7
4	ベース	45.0	44.0	163	362	500 (572)	474 (614)	3.6	—
	流動化								3.3
5	ベース	40.0	42.0	176	440	455 (520)	468 (606)	4.4	—
	流動化								4.2
6	ベース	40.0	42.0	159	398	474 (541)	487 (631)	4.3	—
	流動化								4.7
7	ベース	40.0	42.0	170	425	464 (530)	437 (567)	4.3	—
	流動化								3.0
8	ベース	37.0	45.0	167	451	494 (571)	452 (589)	4.5	—
	流動化								3.2
9	ベース	37.0	45.0	167	451	494 (571)	452 (589)	4.5	—
	流動化								2.7

W/C、スランプ値を小さくすることとした。そのため予備試験結果からベースコンクリートのスランプ値=5±1 cm、流動化直後のスランプ値=22±2.5 cm、1時間経過後のスランプ値=10 cm 程度を確保できる配合とした。

試験練りは、表-3 に示すように 9 種類について行った。このうち No. 9 は冬期施工を想定して計画したものである。なお、表中の上段は乾燥重量、下段はプレウェッチングした状態(表乾)での重量である。表乾状態における骨材の含水率および表乾比重は、配合 No. 1~No. 7 では、細骨材 14.0%、1.92、粗骨材 30.0%、1.62、No. 8~No. 9 では、細骨材 15.5%、1.94、粗骨材 30.5%、1.63 であった。

4.3 試験練りの結果

a. スランプ・空気量の経時変化、ブリージング

スランプおよび空気量の経時変化を図-3 および図-4 に示す。練り上がり温度は、配合 No. 1~8 は 20.5°C~24°C、No. 9 は 7.5°C であった。図-3、4 からスランプおよび空気量は時間とともに減少していくが、冬期施工を想定した練り上がり温度 7.5°C の場合は、練り上がり温度が高い(20.5~24°C)配合に比べてスランプロスの程度は小さい。練り上がり温度が 20°C 程度では、流動化後約 30 分間はスランプロスは 8~11 cm 程度と大きい。以後はスランプ低下の経時変化は小さくなっていく。空気量の減少もスランプと同様に最初の 30

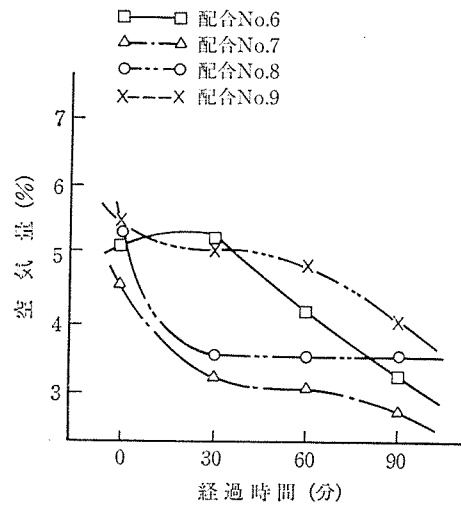
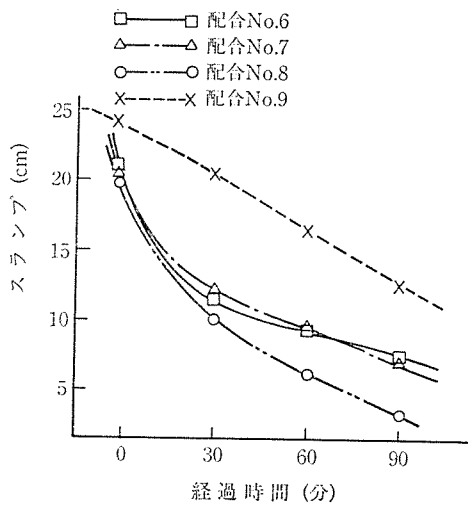
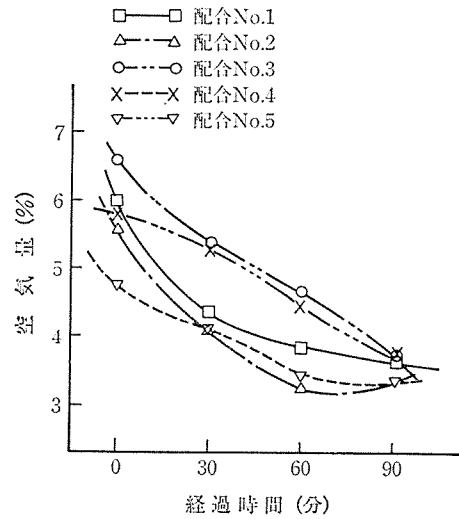
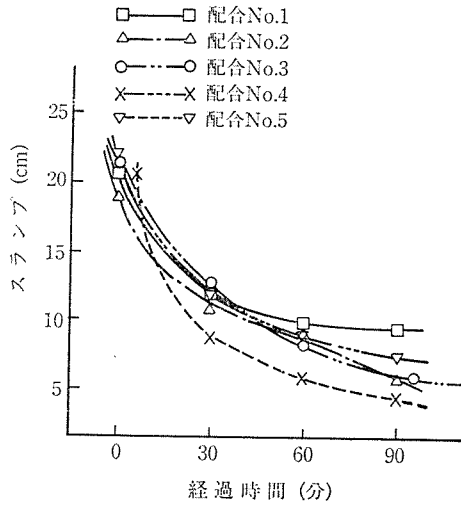


図-3 経過時間とスランプの関係

図-4 経過時間と空気量の関係

配合No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
水セメント比 (W/C:%)	35.0	40.0	40.0	45.0	40.0	40.0	40.0	41.1	41.1
流動化剤 (FP-100) 添加率 (%)	0.8	0.7	0.9	0.9	0.8	1.1	0.7	0.7	0.6

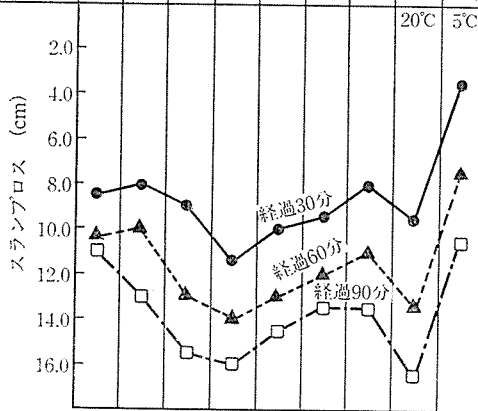


図-5 経過時間とスランプロスの関係

すと図-5 のようになり、 W/C が小さい配合ほど減少量は小さいことがわかる。高強度を得るために小さい W/C で試験練りを行ったが、試験練りでは W/C が 5% 小さくなるごとに、単位水量は $6\sim 7\text{ kg/m}^3$ 増える結果となり、この単位水量の増大がスランプの低下に関連したものと考えられる。なお、空気量の減少量については、 W/C の影響は明確には認められない。

ブリージングについては、コンクリートのベーススランプを 5 cm 程度 (配合 No. 5 のみ 8 cm) と硬練りとしたため配合 No. 3, No. 4 のベースコンクリートにわずかにブリージング水が認められたが、その他については、ベースコンクリートおよび流動化コンクリートともブリージングは生じなかった。このことは、施工時の表面仕上げ、養生に際して表面乾燥しないような注意が必要であることを示している。

b. 硬化コンクリート

9種類の配合については、PC 橋として必要なプレストレス導入時強度 (材令 3 日) 370 kg/cm^2 、設計基準強

分間で 0.2~1.5% と大きいですが、以後は小さい傾向にある。また流動化直後を基準としたスランプの減少量を示

材令	関係式	相関係数 (r)
3 日	$\sigma_3 = 1.8 + 180C/W$	0.999
7 日	$\sigma_7 = 89.1 + 165.6C/W$	0.992
28日 (ベース)	$\sigma_{28} = 301 + 98.3C/W$	0.878
28日 (流動化)	$\sigma_{28} = 297 + 106C/W$	0.998

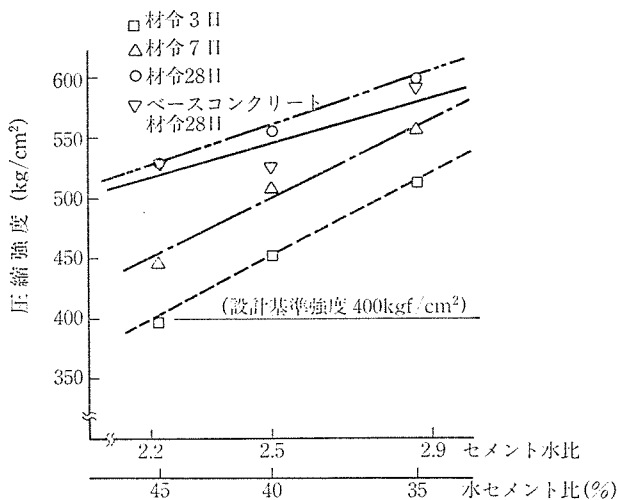


図-6 水セメント比と圧縮強度の関係

度 (材令 28 日) 400 kg/cm² をいずれも満足するものであった。しかし、水セメント比と圧縮強度との関係は図-6 に示すように W/C が 35% 程度と小さくなると、初期強度に比べて 28 日強度は伸びが小さい傾向にあった。

結局、圧縮強度については、強度の割増係数を 1.33 としてプレストレス導入時 492 kg/cm²、設計基準強度 532 kg/cm² とし、所要 W/C は 37% とした。

5. 打込み

コンクリートの打込みに先立ち決定した配合について、コンクリートポンプにて施工試験を行った。コンクリート温度は 19.5°C~22°C、吸水率は粗骨材 29.4%、細骨材 15.1% であり、練り上がりから現場到着まで約 40 分、ベーススランブは 7 cm に対し、流動化直後 20~21 cm、現場到着後のスランブをそれぞれ 18 cm、15 cm、12 cm 程度となるよう時間を調整しポンプ施工が可能となることを確認した。打込みは、2 日間に分けて行った。しかし、実際のコンクリート打込み結果では第 1 日目にポンプ閉塞に近い状態が生じた。これは、コンクリート温度は 16~19°C と試験施工時より低かったが、工場出荷時から現場到着時までの時間が長くスランブロスが最大 12.4 cm となったこと、また、この時の骨材の吸水率は、粗骨材 26.5%、細骨材 14.5% で試験施工の際の吸水率と比べて低いことも原因したものと思われる。

スランブロスと生コン工場出荷時から現場到着時までの経過時間の関係を図-7 に示す。これより、本配合で

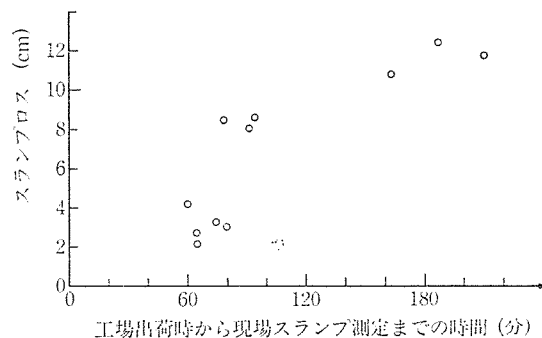


図-7 スランブロスと経過時間の関係

は、経過時間が 60 分の範囲では、スランブロスが 2~4 cm となり、コンクリートポンプ施工可能な範囲にあると考えられるが、経過時間が 60 分以上になるとスランブロスが 8 cm 以上となり、圧送困難となることがわかる。閉塞を生じたコンクリートは現場において流動化剤を添加し、スランブを上げて打ち込んだ。

第 2 日目には、吸水率を 30% 程度にした粗骨材を使用した結果、生コン工場から現場までのスランブロスは、平均 2 cm 程度 (コンクリート温度 15°C) で順調に施工することができた。

コンクリートの種別は、PC 定着部付近の桁端から 1.6 m までは普通コンクリート、ほかの部分は軽量コンクリートとした。打込みは、端部普通コンクリート、中間床版、中間部主桁の順で行った。コンクリートの体積は、359.3 m³ であり、コンクリートポンプの性能を考慮し、2 日間に分けて打ち込んだ。第 1 日目は、端部普通コンクリートおよび径間中央の 29.2 m 部分、第 2 日目は、残りの部分の打込みをそれぞれ行った。

この桁の施工上の特徴は、普通コンクリートを軽量コンクリートに、端横桁の位置で打ち足した構造となっていることである。両者の打継部の処理は写真-1 に示すように金網を鉄筋あるいは面木で固定する方法で行ったが、金網の固定が不完全で、先に打ち込んだコンクリ

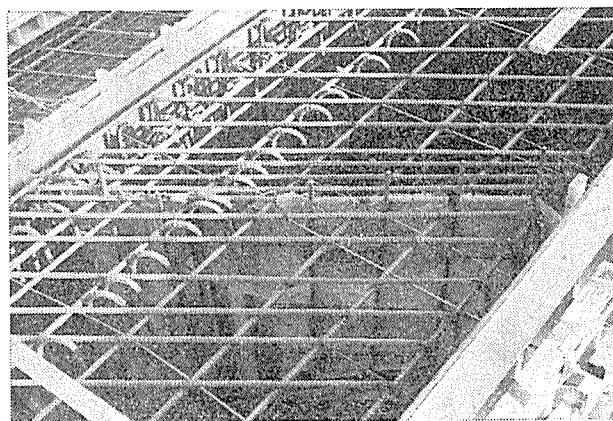


写真-1

トが金網を变形させ、あるいは型枠に近い部分からもれるなど若干の問題を生じた。この種の施工については改善策が必要と思われた。

あとがき

細粗骨材とも人工軽量骨材を使用したコンクリートの施工は、国鉄では最初のものであった。軽量コンクリートは、設計上有利な点もあるが、施工に際してはコンクリートポンプによるコンクリート打込み時に、コンクリートポンプの閉塞など、圧送困難な状態を生ずる恐れが

あるので、粗骨材の吸水率管理に十分注意を払わなくてはならない。特に、生コン工場での吸水管理を十分に行うこと、および、流動化剤を工場添加する場合コンクリートの練り上がりから現場までの交通事情、必要な運搬時間等を事前によく調査し、余裕を見込んだ配合設計をすることが大切である。

最後に、本橋梁を施工するにあたり、試験練り等でご協力いただいた日本セメント中央研究所の関係者に、感謝の意を表します。

【昭和 62 年 7 月 16 日受付】

◀刊行物案内▶

最近のプレストレストコンクリート構造物の設計、施工と 30 年の歩み

(第 14 回 P C 技術講習会テキスト)

体 裁 : A 4 判 192 頁

定 価 : 3 500 円

送 料 : 450 円

内 容 : (A) PPC の勧め——設計計算法, PPC 適用例 (箱断面橋, 屋根梁, 沈埋トンネル)。 (B) アンボンド PC フラットスラブについて——荷重釣合法による PC 鋼材の配置, 設計荷重, 架構応力の計算, 柱列帯と柱間帯へのスラブ梁モーメントの配分, 必要 PC 鋼材量と引張補強筋の配置, 長期荷重に対するたわみ量の検討と最小スラブ厚さ, 柱周パンチングシアに対する検討, 耐火性と PC 鋼材かぶり厚さ, アンボンド PC フラットスラブの曲げ破壊時の性質, 結言。 (C) PC 円形構造物の現況——I) 序論, II) 水槽 (PC タンクの分類, 設計, 施工), III) 消化槽 (概要, 設計, 施工), IV) LNG・LPG 貯槽 (低温液化ガス用 PC 構造の実績, LNG 地上式貯槽の PC 防波堤, LPG 地上式貯槽の PC 外槽, LPG 半地下式貯槽の PC 外槽), V) 原子炉格納容器 (概説, PCCV の構造と特徴, PCCV の構造形式の選定, PCCV の設計・品質保証)。 (D) 本四連絡橋児島一坂出ルートにおける PC 橋について——児島一坂出ルートの概要, PC 橋の構造形式および施工法。 (E) PC げた橋の新しい連続化工法——連結部の接続方法, 連結部の設計, 阪神高速道路堺線における試験工事の施工報告。 (F) プレストレストコンクリートの 30 年——PC の沿革 (橋梁, 建築, 容器類, 海洋構造物, その他), PC 工場製品の沿革, PC 橋の塩害対策。