

高流動化した重量コンクリートの開発および施工

高瀬 和男¹⁾ 藤村 敏之²⁾ 篠田 隆広³⁾ 成田 司喜夫⁴⁾

鉄筋や鉄骨の密集した部分に所定の品質を損なうことなくコンクリートを打設するために、また省力化作業のために、近年、高流動コンクリートの研究開発がなされている。今回、橋梁のカウンターウエイトとして、施工の必要性より流動化を図った重量コンクリートを用いた。本文はその際に検討した試し練り、施工実験および施工状況について報告するものである。

まえがき

重量コンクリートの主な用途としては、放射線遮蔽用構造物（容器）、船舶のバラスト、重機のウエイトや印刷用輪転機の床構造などが一般的である。

橋梁のカウンターウエイトとしては、本州四国連絡橋の岩黒島橋、櫃石島橋や羽田可動橋などに使われている実績がある。これらは、骨材に鉄鉱石を用い、粗骨材の最大寸法が40mm程度である。また、コンクリート打設は打設面をオープンにし、ホッパーを用いて施工しているため、スランプは8cmとし、締め固めは通常のバイブレーターを用いている。

上記の施工実績を踏まえ、橋梁のカウンターウエイトとして重量コンクリートを用いる計画を行

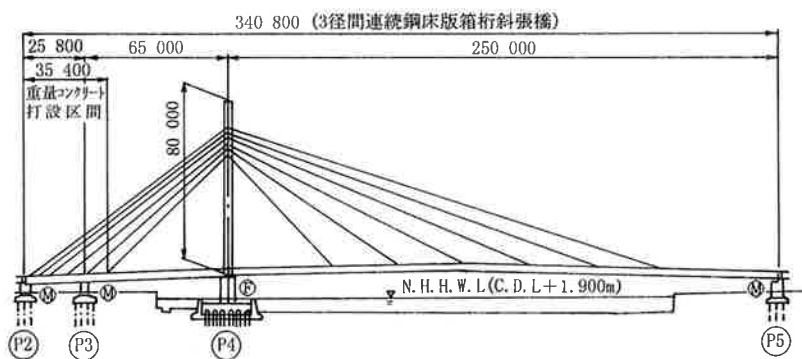
った。対象とした橋梁の一般図を図-1に示す。

橋梁のバランスよりコンクリートが打設される範囲が端支点付近に限られ、かつ確保する重量が3,000tと大量であるため、閉塞された箱断面全体に重量コンクリートを充填する必要がある。

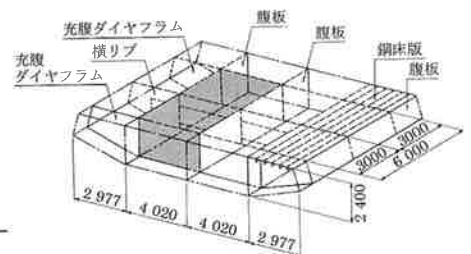
また、橋梁の構造特性からコンクリート打設上面をオープンスペースにすることができず、逆に極力上面の開口数（コンクリート打設口数）を少なくする必要があった。そのため、コンクリートの流動化を図り、締め固め機を用いることなく充填が行える重量コンクリートが必要とされた。

1. 検討概要

対象となる橋梁の箱断面は、図-1の断面投影図に示すように、重量管理のため、いくつかのセルに分割し、その一つは幅4m、長さ6m、深さ2.4m



(a) 側面図



着色部が1セルの大きさを示す

(b) 断面投影図

図-1 対象橋梁一般図

1) 橋梁設計部大阪設計二課課長 2) 橋梁工事部大阪計画課副課長 3) 橋梁設計部大阪設計二課 4) 橋梁工事部次長

である。箱断面は主要部材であり、補剛材が設置されている。かつ、打設されたフレッシュ時のコンクリートの重量を支えるために、補強リブも配置されている。また、コンクリートは桁断面の上面まで打設する必要があるため、締め固めやレイタンス処理を行うことは不可能である。そのためセル内の隅々までコンクリートが充填されることが重要となる。

以上より製造されるコンクリートの必要条件は、

- ①単位容積重量を $3.8\text{tf}/\text{m}^3$ 程度とする。
- ②製造過程でも単位容積重量の変動を極力少なくする。
- ③施工性に優れたコンクリートとする（作業中はスランプフロー値で 50cm 以上を確保する）。
- ④安価である。

とした。また、コンクリートの製造に当たり、留意する点としては、

- ①ブリーディング率を極力小さくする（ 1% 以下）。
- ②材料分離を起こさない。

などとした。

検討は以下の手順で行った。

- ①カウンターウエイトの使用材料の選定
- ②室内における試し練り
- ③施工時のプラントでの試し練り
- ④実物大の部分モデルによる施工確認試験

以下に、検討内容の紹介と施工状況について述べる。

2. カウンターウエイトの使用材料の選定

通常、重量コンクリートはスランプが 8cm 程度とするか、またはプレパックドコンクリートとして施工されている。そのため、今回のコンクリートに対して高流動化を図るか、プレパックドコンクリートとすべきか、また他の方法でウエイトを確保できるかについて、材料入手の難易度、重量の確保、施工性、経済性の面から検討を進めた。

検討案を以下に示す。

- ①案 流動化した重量コンクリート
- ②案 磁鉄鉱石を用いたプレパックドコンクリート
- ③案 鉄粒を用いたプレパックドコンクリート
- ④案 鉄塊を敷き、周りをコンクリートで充填磁鉄鉱石および鉄粒（ショットブラストに用い

るもので粒径が 4.5mm アンダー）を用いたプレパックドコンクリートの場合、閉塞された箱断面内での骨材の敷き均し、およびモルタルの配管が困難である。また、磁鉄鉱石の場合、骨材の周りにモルタルを浸透させるために、粒径を 40mm 程度にする必要があり、空隙が大きくなる。そのため、結果的に単位容積重量の確保が困難であった。鉄粒の場合は、それ自体の単位容積重量が $4.5\text{tf}/\text{m}^3$ であり、防錆のために鉄粒塊の周囲にコンクリートを巻くだけで十分であると考えられた。しかし、月間の入手量が 200t 程度と少なく、また、非常に高価であった。他の骨材として、参考とした文献にはパチンコ玉によるコンクリートの紹介もあったが、同様に価格面で検討対象から除外された。

④案については、箱断面上に設置される運搬機器の能力および作業性から、一つの鉄塊の大きさを 5t 程度と設定し、箱断面の上面をオープンスペースとして鉄塊を敷設する。ここに、鉄塊とは、鋼板製作過程におけるロール前のスラグやビレットである。その後、コンクリートを充填し全体重量を確保する必要があり、作業性が問題となった。また、鋼材の半完成品であり、安価で入手できるが、適当な大きさに切断するためのコストがかかり、結果的には高価なものとなった。

以上より、閉塞された部分において、単位容積重量が $3.8\text{tf}/\text{m}^3$ 程度までのカウンターウエイトの場合には、流動化したコンクリートを用いることが材料の入手度や作業性がよく、かつ最も経済的であった。

3. 室内における試し練り

流動化した重量コンクリートの配合については、過去における実績および文献が見あたらず、不確定要素が多いため、数回の試し練りにより決定することとした。

試し練りを始めるにあたって、スランプ 18cm を目標として配合を行い、高流動化の可能性について検討を行った。その際、

- ①単位容積重量を満足するために、比重の小さい水、セメントを極力減らすように努めた。
- ②骨材は、過去の実績および経済性より磁鉄鉱石を用いることとしたが、比重が 4.80 と非常に大きい。そのため、流動化を図ること、またカウンターウエイトは強度部材ではないこ

とから、粒径が8mmアンダーの細骨材に近い
粒度分布を持つ骨材のみとした。

- ③混和剤は減水剤，AE減水剤，高性能減水剤，
高性能AE減水剤の4種類について単位容積
重量の確保を重視した配合設計を行った結果，
遅延形の高性能AE減水剤と消泡剤を用いる
こととした。

表-1 重量コンクリートの目標基準

項目	目標基準値
スランプフロー値	50 cm以上
単位容積重量	3.74tf/m ³
空気量	2%以下
ブリーディング率	1%以内
材料分離度	少ない(目視確認)
経時変化	90分経時で上記基準を満たす

表-2 使用材料一覧

分類	材料名	比重
セメント	高炉セメントB種	3.03
水	水道水	1.00
骨材	磁鉄鉱骨材(チリ産) F.M=3.47	4.80
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系	1.05
消泡剤	ポリアルキレングリコール誘導体	1.00

表-3 試験項目

試験項目	試験方法	測定結果
スランプフロー試験	JSCE-F503	直後*, 30,60,90分後
スランプ試験	JIS A1101	直後*, 30,60,90分後
空気量試験	JIS A1128	直後*, 30分後
単位容積重量試験	JIS A1116	直後*
ブリーディング試験	目視	90分後
圧縮強度試験	JISA1132,1108	材齢4W

注) ・*は練り混ぜ直後を示す。
・単位容積重量の測定は、φ12.5×25のモールド
を使用して、気中養生にて測定した。

試し練り時の目標基準値，使用材料，試験項目
を表-1, 2, 3に示す。また，試験配合とその結果を
表-4, 5に示す。

数回の試し練りの結果，単位容積重量は当初計
画の3.8tf/m³程度，スランプフロー値としては
60分経過時まで50cm以上を確保することができ，
空気量についても30分経過時まで2%以下とす
ることができた。

一般的な高流動コンクリートは，水セメント比
が35%，細骨材率が50%，高性能AE減水剤が
1.5%程度であるが，本配合は，単位セメント量
が非常に少ない。これは，使用した骨材に150μm
以下の微粉末成分が17%も含まれているため，こ
の部分がセメントと同様に流動性を促進したもの
と考えられる。図-2に骨材の粒度分布曲線を示す。

表-4 試験配合(室内)

配合 番号	w/c (%)	単位量(kgf/m ³)					空気量 (%)	理論単位 容積重量 (tf/m ³)
		水 W	セメント C	骨材 S	減水剤 AI	消泡剤 A2		
1	57.1	200	350	3.238	12.25 3.5%*	0.021 3.0T*	1.0	3.788

注) * :セメント重量に対する比率を示す。
Tは1T=C×2cc(100倍液)である。
** :減水剤は高性能AE減水剤である。

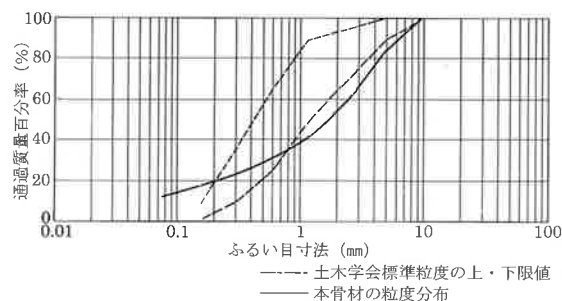


図-2 骨材粒度分布曲線

表-5 配合試験結果(室内)

試験項目	配合No.1			
	0分	30分	60分	90分
スランプフロー値(cm)	57.5 × 59.0	52.5 × 54.5	48.5 × 51.5	48.0 × 48.5
スランプフロー平均値(cm)	58.5	53.5	50.0	48.5
フロー50cm到達時間(秒)	6.5	10.4	17.1	—
フロー流動停止時間(秒)	41.3	33.7	38.0	37.5
スランプ(cm)	26.5	26.0	25.5	25.5
空気量(%)	1.0	1.6	—	—
単位容積重量(tf/m ³)	3.823			
塩化物量(g/m ³)	47			
ブリーディング率(%)	—	—	—	0.1
気温(°C)	23.0			
コンクリート温度(°C)	22.0			
圧縮強度試験(材齢4W) (N/mm ²)	50.0			
評価	フロー値の変動が少なく，単位容積重量も目標以上。 ブリーディングもほとんどみられなかった。			

また、強度を期待しないコンクリートとしては、セメント量がまだ多いのではないかと思われた。そのため、セメント量を減らした場合の配合も試みたが、スランプフロー値が45cmと小さくなった。続けて、水および高性能AE減水剤によりスランプフローをさらに増大させることは可能であるが材料分離の懸念があり、この程度が限度であると判断された。

4. 施工時のプラントにおける試し練り

実際の施工に用いるプラント（以下「実機」と称す）での試し練りの目的は、室内試験結果の再現性の確認、計量器および製造設備の能力の確認と高性能 AE 減水剤の特性の把握などである。

(1) 設備能力

実機試験はコンクリートプラント船を使用して行った。試験の結果、実際の施工における製造設備関係では以下の点に留意することとなった。

- ①計量器については、骨材の重量が通常約2倍に近いため、自動計測装置ではゲートの口が閉じきらず、よって手で開閉を行うこととした。
- ②2.25 m³練りミキサーの製造能力についても、やはり重量骨材のために、練り混ぜ時間を2倍（90秒を180秒）、1バッチあたりの製造量を半分として作業することとした。

③プラント船から陸上までの運搬に用いるベルトコンベアの積載量も通常の60%に制限することとした。

さらに、6時間作業後のミキサーおよびアジテーター車内のコンクリートの付着状況を調査した結果、普通コンクリートよりも粘性が強いため、ブレードやアームの周囲に残コンの付着が多く、清掃作業に時間を要することがわかった。

(2) 実機試し練り

実機における試験配合とその結果を表-6, 7に示す。

室内試験での結果に比べ若干フロー値が大きいですが、再現性については満足できるものであった。

高性能AE減水剤の配合量については、2.5%での30分後の試験でフローが大きく変化し、45cm程度まで小さくなる。そのため、余裕を考慮して最終的に配合は3.5%とした。

表-6 試験配合（実機）

配合番号	w/c (%)	単位量 (kg/ m ³)					空気量 (%)	理論単位容積重量 (t/ m ³)
		水 W	セメント C	骨材 S	減水剤 A1	消泡剤 A2		
1 採用	57.1	200	350	3.238	12.25 3.5%*	0.021 3.0T*	1.0	3.788
2	57.1	200	350	3.238	10.50 3.0%*	0.021 3.0T*	1.0	3.788
3	57.1	200	350	8.238	8.75 2.5%*	0.021 3.0T*	1.0	3.788

注) * :セメント重量に対する比率を示す。
Tは 1T = C × 2 cc (100倍液) である。
** :減水剤は高性能 AE 減水剤である。

表-7 配合試験結果（実機）

試験項目	配合No. 1			配合No. 2	配合No. 3		
	0分	30分	60分	0分	0分	30分	60分
スランプフロー値 (cm)	58.0 × 60.5	59.5 × 58.0	55.0 × 56.0	59.0 × 60.0	57.5 × 56.0	45.5 × 43.5	40.5 × 40.5
スランプフロー平均値 (cm)	59.3	58.8	55.5	59.5	56.8	44.5	40.5
フロー50cm到達時間 (秒)	4.5	3.5	6.7	—	4.1	—	—
フロー流動停止時間 (秒)	24.0	39.5	35.1	—	18.5	11.5	9.8
スランプ (cm)	27.0	26.7	25.5	—	26.5	24.5	23.0
空気量 (%)	0.8	1.4	1.0	—	0.6	1.6	1.7
単位容積重量 (t/ m ³)	3.786			—	3.766		
塩化物量 (g/ m ³)	33			—	33		
気温 (°C)	21.5			—	22.0		
コンクリート温度 (°C)	21.0			—	23.0		
評価	フロー値良好。室内試験の結果とほぼ同等の評価。コンクリートの表面に若干混和剤の浮きがみられた。			フロー値良好。No. 1の結果とほぼ同等。	練り混ぜ直後のフロー値は、他の試験結果と変わりはない。コンクリートの表面に混和剤の浮きはなかった。時間の経過と共に急激にフロー値が小さくなる。実物大の施工試験に用いたが、流動性に乏しい。		

5. 実物大の部分モデルによる施工確認試験

通常の高流動コンクリートであれば、コンクリート上面のレベリングについては問題とならないが、重量コンクリートの場合、骨材が非常に重い為、打設口から離れた位置では同じリフト高まで打ち上がらない可能性がある。また、打設されるセルの上面には、鋼床版としての縦リブが設置されているため、打設口の開いていない縦リブ間へのコンクリートの流動状況および最終充填状態についての確認などの目的で、実物大の供試体により試験を行った。

供試体は、打設される鋼床版面の横断勾配および打設口とセル断面の端までの距離などを考慮し、3タイプの試験を行った。そのうちの2タイプについては上面をオープンにし、流動性が把握できるようにしたが、残りの1タイプは上面の鋼床版をモデル化し、蓋形式とした。

打設は実際の施工と同様に、アジテーター車よりホッパーを介して打設した。

図-3に供試体の概要図、写真-1, 2, 3に試験状況を示す。

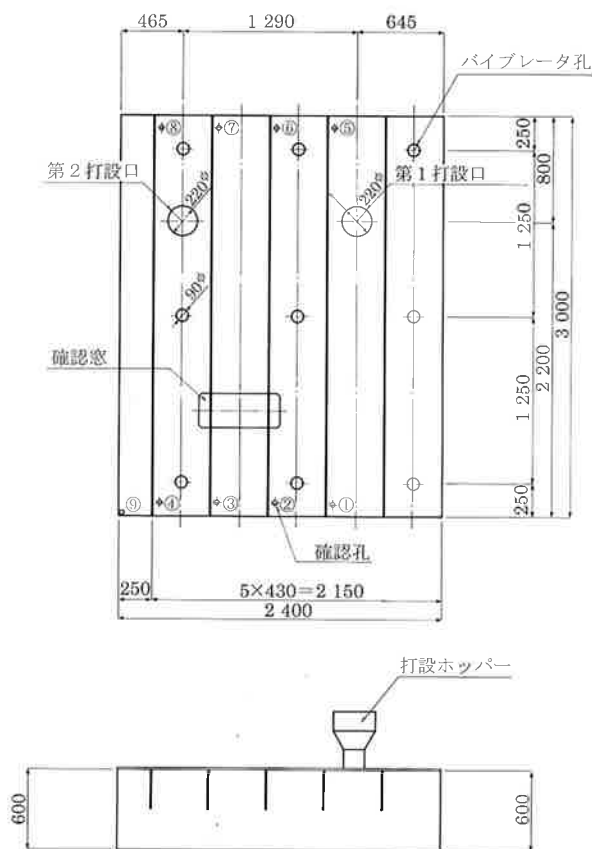


図-3 供試体の概要

試験の結果、コンクリートの流動性は非常に良好であった。また、コンクリートのレベリングについても打設地点と各測定点はほぼ同等な高さで上昇してきた。さらに、打設口でない縦リブ間については、当初縦リブの下でコンクリートが止まり、重量コンクリートでの充填は困難ではないかと予想していたが、実際はコンクリートが下から沸き上がるように縦リブ間に充填された。これは、骨材の重量が重い為、打設コンクリートは先に打設されたコンクリートの上面を流れるのではなく、一度コンクリート内に流れ込み、先に打設されたコンクリートを押し上げるように流動しているためであった。



写真-1 打設中のコンクリートのレベリング状況

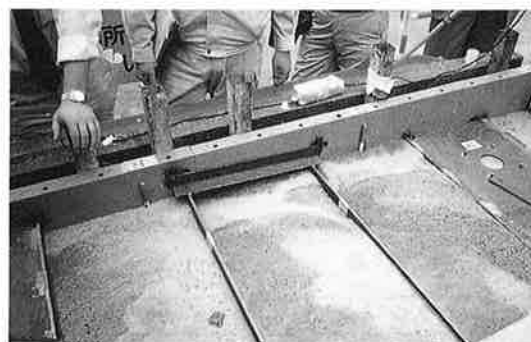


写真-2 オープンタイプの打ち上がり後



写真-3 蓋タイプの打ち上がり後

コンクリート打設中はホッパー内にコンクリートが滞留することなく、円滑に打設作業は進んだ。しかし、試し練りの時にはなかったブリーディングが実機試験では多少みられた。

以上より、重量コンクリートにより鋼床版下面の縦リブ間まで充填することが可能である。よって、打設口は各セルに1ヶ所とし、縦リブ間には勾配の高い部分に空気抜き孔兼充填確認孔を設けた。

6. 施工

(1) 施工方法

コンクリートプラント船はコンクリート打設現場付近に係留し、ベルトコンベアにより中間台船上に設けた運搬用バケットに材料を搬出した。橋面上には可搬式の間中ホッパーを設置し、運搬用バケットは油圧クレーンで台船上から中間ホッパーに運んだ。コンクリート打設地点は、海面から12mの橋面上であり、かつ中間ホッパーが8mの高さを有しているため、コンベアの能力では直接、中間ホッパーの上部まで重量コンクリートを持ち上げることができない。そのため、上記のように運搬用バケットを利用した。

中間ホッパーからコンクリート打設地点まではアジテーター車で橋面上を運搬した。コンクリート打設は、アジテーター車から打設ホッパーを介して直接打設口から投入した。

重量の管理は、アジテーター車の運搬途中でコ

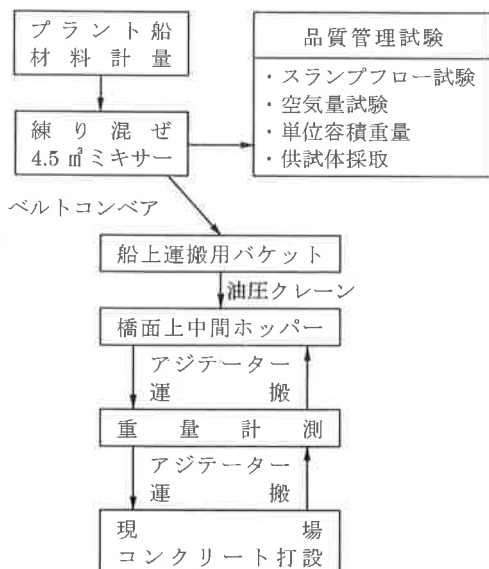


図-4 コンクリート施工フロー図

ンクリート打設前後の車両重量を計測することで各セル単位に投入されたコンクリート重量を算出した。図-4にコンクリート施工フロー図、写真-4, 5, 6に施工状況、写真-7, 8に重量計測状況を示す。



写真-4 プラント船と台船



写真-5 橋面上中間ホッパー



写真-6 コンクリート打設状況



写真-7 車両重量計



写真-8 重量計測状況

(2) 管理

コンクリートの品質目標基準については、表-8に示す。

管理の頻度については、プラント船では作業各日ごとに練り上がりから5バッチまでと150㎡毎にスランプフロー、空気量および単位容積重量の試験を行った。また、打設現場においても、練り上がりからアジテーター車5台において、スランプフローと空気量の確認を行った。結果は目標値を満足するものであった。

また、重量管理の結果については、全重量に対して、1.9%の誤差に収まった。

表-8 施工時管理目標基準

項目	基準値
スランプフロー値	57.5 ± 5 cm
単位容積重量	3.74 t/㎡以上
空気量	2%以下
全体コンクリート重量誤差	± 6%以下

あとがき

今回、閉塞された橋梁箱断面内にカウンターウエイトとして、単位容積重量の大きなコンクリートを締め固め機を用いることなく充填するという特殊な施工条件であったため、重量コンクリートの高流動化を図った。計画当初、単位容積重量も過去に例のないほど重く、かつ流動性の優れたコンクリートという相反する条件であったが、結果的にはその骨材の重みにより、非常に流動性の良いコンクリートを製造し施工することができた。

最後に本開発および施工にあたり、ご指導、ご助言をいただいた大阪市建設局橋梁課および土木建設事務所、株式会社小野田、施工を行っていた

いただいた奥村組土木興業、また常吉連絡橋JVの関係者各位にはこの紙面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：平成8年制定コンクリート標準示方書規準編，設計編，施工編，1996.3.
- 2) 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案），1991.7.
- 3) 土木学会：高流動コンクリート施工指針，1998.10.
- 4) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説，1997.
- 5) 藤原忠司・長谷川寿夫・宮川豊章ほか：コンクリートのはなしⅠ・Ⅱ，技報堂出版，1993.
- 6) 宮下尊久：マスコンクリート用高流動コンクリート設計・施工指針同解説（案），本四技報，Vol.19，No.73，pp.2-7，1995.1.
- 7) 奥村忠彦：重量コンクリートの計量，練り混ぜ，運搬および打ち込み，コンクリート工学，Vol.13，No.7，1976.7.