

報告 品質保証を考慮した高流動コンクリートの施工について

坂井吾郎*1・万木正弘*2・坂田 昇*3・岩城 実*4

要旨：高流動コンクリートを広く普及していく上で必要となる構造物の品質保証方法について、シールド立坑鋼殻ケーソンの施工と沈埋函の最終継手部の施工をとおして検討を行った。その結果、コンクリート練混ぜ時のミキサの負荷電流値の変化を基に練混ぜ水量の調整を行うことによって高流動コンクリートの硬化後の品質を保証することが可能であること、型枠内部の状況を目視により確認できない構造物の品質保証に充填確認センサーの利用が有効であることが明らかとなった。

キーワード：高流動コンクリート，品質保証，ミキサの負荷電流値，充填確認センサー

1. はじめに

近年，施工の省力化及び信頼性の高い構造物の建設を目的に高流動コンクリートに関する研究開発が活発に行われ，実際の構造物への適用も積極的に行われつつある。しかし，これまでに行なわれた実施工は試験施工的なものが多く，各高流動コンクリートの開発担当者が現場施工における品質管理業務に従事していた。今後，高流動コンクリートを広く普及していくことを考えると，従来のコンクリート施工と同程度の管理によって構造物の品質保証を行えることが望ましい。

高流動コンクリートの流動性等フレッシュな状態での品質は，高性能減水剤を多量に使用するため，使用材料のわずかな品質変動によって大きくばらつく傾向を有している。これに関して筆者らは，特殊増粘剤の使用を提案し，実施工レベルで安定したフレッシュ性状を有する高流動コンクリートを比較的簡単に供給できることを示した [1]。さらに，高流動コンクリートの品質管理方法として練混ぜ時のミキサの消費電力を利用する方法が提案されている [2]。

また，高流動コンクリートは流動状況等を目視で観察できない場合，あるいは極めて困難である部位へ適用する場合も多くなるものと思われるが，その場合にはコンクリートの充填度の確認が構造物の品質保証を行う上で重要な項目となる。

本報文では，高流動コンクリートを適用した構造物の品質保証方法に関する検討の一環として，ミキサの負荷電流値による水量管理方法をシールド立坑鋼殻ケーソンの施工に，また，充填確認センサーによる打込み管理方法を沈埋函の最終継手部の施工にそれぞれ適用したので，その結果について報告する。

2. シールド立坑鋼殻ケーソンの施工

2.1 施工概要

本工事は，海上バースで受け入れたLNGを工場内の地下タンクへ導く配管設備用シールドト

*1 鹿島(株)鹿島技術研究所第二研究部 研究員 (正会員)

*2 鹿島(株)鹿島技術研究所第二研究部 主管研究員，工修 (正会員)

*3 鹿島(株)建設総事業本部北陸支店 工事課長代理，工修 (正会員)

*4 山宗化学(株)プロジェクト開発室 室長 (正会員)

ネルの建設にあたり、鋼殻ケーソンの内部にコンクリートを打ち込みながら沈設し、図-1示す到達立坑（外径18.0m、内径13.0m、高さ64.5m）を海上に構築するものである。鋼殻ケーソン内部は、シールド機到達用の鋼リング（外径9.60m）を始めとする鋼材や鉄筋が高密度に立てられており、作業スペース（壁厚の最大部2.50m、最小部1.70m）は非常に限られている。このため従来のコンクリートでは密実な充填が困難であることや、作業員が内部を移動することが容易でなく安全性の確保が難しいことから高流動コンクリートを適用した。コンクリートの工量は3980 m^3 であり、これを鋼殻ケーソンの沈下量を調節するため5リフトに分割して施工した。

2. 2 コンクリート配合

高流動コンクリートの配合は、鋼材の隙間まで密実に充填できる流動性を有し、かつ流動距離10m以下で材料分離を生じないものであること、また、水密性を確保をできるものであること必要である。これらの条件を踏まえて、セメントに普通ポルトランドセメントを、微粉末に石灰石粉を使用することとし、水セメント比を55%以下、目標スランプフロー 65 \pm 5cm、流動性の保持時間を練上り後60分間として机上検討、配合試験を行って配合を選定した。使用材料を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。

2. 3 品質管理方法の検討

これまでの高流動コンクリートを用いた少量の施工では、極めて密にスランプフロー試験等の品質管理試験や細骨材表面水率の測定を行うことで使用材料の品質変動や骨材の表面水量の変動によるフレッシュ及び硬化コンクリートの品質のばらつきを制御していた。しかし、本施工においては、フレッシュ及び硬化コンクリートともに安定した品質を有する高流動コンクリートを連続して多量（1リフトの施工量 870 m^3 程度）に製造しなければならない。特殊増粘剤を使用することで使用材料の品質変動によるフレッシュコンクリートのばらつきを抑制することは可能であるが、さらに単位水量の変動を抑え、硬化コンクリートのばらつきの少ないコンクリートを製造するためにコンク



図-1 到達立坑断面図（完成時）

表-1 使用材料

リートミキサの負荷電流値の利用を考え、室内練混ぜ実験により検討した。

実験は、単位水量、

セメント	普通ポルトランドセメント (比重 3.16)
石粉	舗装用石灰石粉 (JIS A 5008規格品, 比重 2.70)
細骨材	山砂 (君津産, 比重 2.58, F.M. 2.59, 吸水率 2.70)
粗骨材	石灰碎石 (津久見産, G _{max} 20mm, 比重 2.67, F.M. 7.28, 吸水率 0.92%)
高性能減水剤 (SP剤)	B-ナフタリンスルホン酸塩
増粘剤	水溶性ポリサッカライド (ウエランガム)

表-2 コンクリート配合

粗骨材の最大径 (mm)	スランプフローの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						増粘剤 (g/m ³)
					水 W	セメント C	石灰石粉 SD	細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤 SP	
20	65 \pm 5	4.5 \pm 1.5	52.9	45.0	175	331	216	697	881	13.7	350

水セメント比，水微粉末体積比，単位粗骨材容積比，高性能減水剤添加量が異なり，スランプフローが40.5～75.0cmの範囲にある37ケースの配合について行い，これらを容量100ℓの二軸強制かく拌式ミキサを用いて50ℓを全材料投入後90秒間練混ぜ，この時のミキサの負荷電流値を測定し，その平均値を求めた。単位水量と負荷電流の平均値の関係を図-2に示す。

配合条件や流動性が異なるにもかかわらず，単位水量と負荷電流の平均値には高い相関が認められた。これは，負荷電流値による単位水量の管理の可能性を示すものであり，使用するコンクリートの配合やミキサの練混ぜ能力，1バッチの練混ぜ量等に応じて定まる負荷電流の適正値が保たれるよう練混ぜ水量を補正することで単位水量の変化をコントロールすることが可能であるものと考えられる。この結果を基に，施工時には全バッチの負荷電流値を測定し，コンクリートの品質の管理を行った。

2. 4 施工結果

コンクリートの製造は，コンクリートプラント船（総トン数2330t）のミキサ（二軸強制かく拌式，容量3m³）を用いて行い，1バッチ2.5m³を全材料投入後70秒間で練混ぜた。練混ぜ水量の補正は，ミキサのアンメータで読み取った負荷電流値の変化から細骨材の表面水率の変動量を推定して行った。ただし，負荷電流値の変化から推定した表面水率（以下，推定値と記す）と実際の細骨材表面水率が大きく異なることを確認するため，チャップマン法により60m³に1回表面水率の測定を行った。コンクリートの圧送は，プラント船のポンプ（NCP13S-B，圧送量130m³/h）で行い，コンクリートの打込みはプラント船の打込みブームの水平回転範囲とコンクリートの流動距離を考慮して図-3に示す3カ所から行った。打込み位置の切替えは25.0～37.5m³毎に行った。

各リフトともケーソン内に打ち込んだコンクリートはバイブレータ等による締固めを行わずとも十分に充填し，流動による粗骨材の分離も認められなかった。また，プラント船のコンクリートの最大製造能力が60m³/hであったのに対し，打込み速度は50m³/h程度であり，極めてスムーズに施工を行うことができた。

第1リフト施工時の細骨材表面水率の測定結果と推定値の推移を図-4に示す。施工量の関係から製造の途中で細骨材を補充したため表面水率は大きく

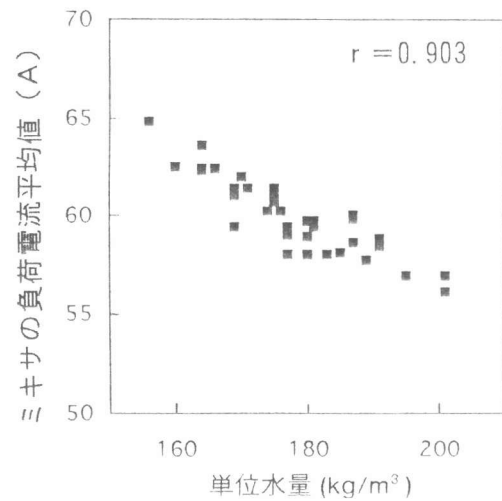


図-2 単位水量と負荷電流値の関係

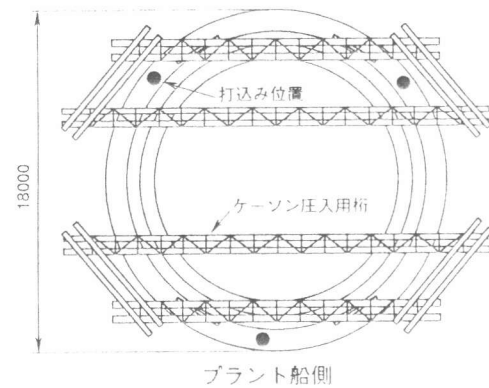


図-3 打込み位置（立坑平面図）

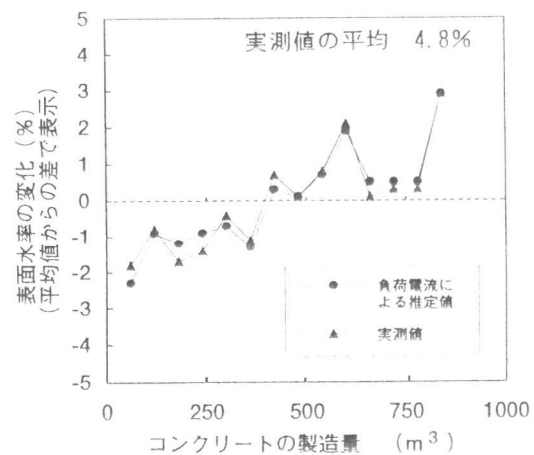


図-4 表面水率の変化

変動したが、推定値の推移は実際の測定値の変化と非常によく一致しており、負荷電流値による表面水率の推定が的確であったことを示す結果であった。また、各リフト施工時の品質管理試験（150m³毎に実施）結果を表-3に示す。製造したコンクリートは全施工を通じて安定した流動性を有していたことに加え、材齢28日の圧縮強度の変動係数が4.2~6.1%と硬化コンクリートの品質も極めて安定したものであった。これらのことから比較的簡便な高流動コンクリートの品質管理方法の一つとしてミキサの負荷電流値の利用が有効であるものと考えられる。

表-3 施工実績一覧

リフト No	施工量 (m ³)	施工時間 (h)	品質管理試験結果			
			試験回数 (回)	スランプフロー (cm)	V型ポット (sec)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
1	970	25.0	7	65.4	10.8	387
				1.2	10.1	6.1
2	863	19.3	7	64.9	8.6	375
				1.1	11.9	4.2
3	857	17.5	7	65.6	8.5	401
				1.7	10.6	4.9
4	1030	18.8	7	65.6	7.8	363
				2.9	10.8	4.4
5	260	12.0	2	64.0	8.6	392

※上段：平均値 下段：変動係数 (%)

製造したコンクリートは全施工を通じて安定した流動性を有していたことに加え、材齢28日の圧縮強度の変動係数が4.2~6.1%と硬化コンクリートの品質も極めて安定したものであった。これらのことから比較的簡便な高流動コンクリートの品質管理方法の一つとしてミキサの負荷電流値の利用が有効であるものと考えられる。

3. 沈埋函の最終継手部の施工

3.1 施工概要

本工事は、図-5に示す沈埋函と陸上部立坑の接合部となる最終継手部（幅40.08m、高さ10.18m、奥行き3.06m）にコンクリートを打ち込むものである。この部分の上床版は、型枠に密閉された空間となりバイブレータ等による締固め作業が行えないことから、高流動コンクリートによる逆打ち充填工法を採用した。

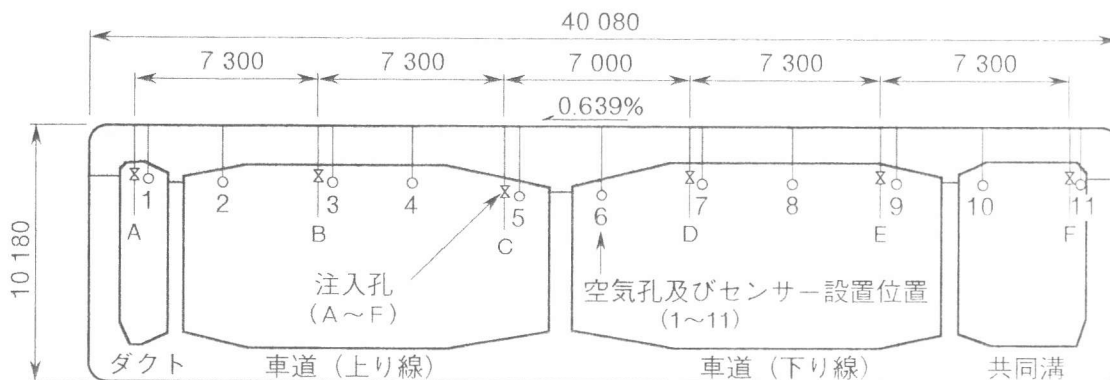


図-5 沈埋函最終継手部断面図

注入孔は、既往の研究・施工例 [3] を参考に 7.3m 間隔で配置し、バルブの開閉のみで任意の注入孔を選択できるように図-6のように配管を行い、2台のポンプ車 (IHI製 IPF-110B) に接続した。また、空気孔は 3.5m 間隔で配置した。コンクリート量は 173m³であり、これを注入孔の切替えを行いながら打ち込んだ。

3.2 コンクリート配合

高流動コンクリートの配合は、流動性及び充填性と設計基準強度（材齢28日で 300kgf/cm²）

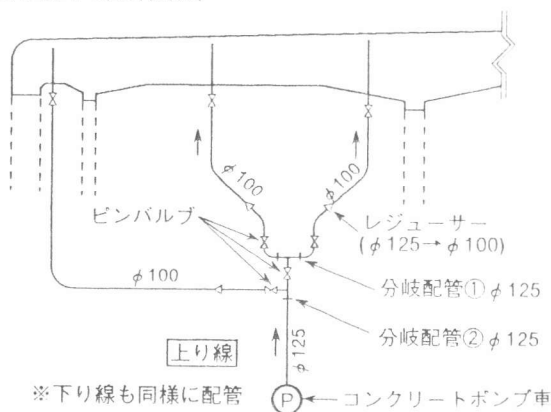


図-6 配管図

を考慮して普通ポルトランドセメントと石灰石粉の配合比を調整し、目標スランブフロー 65±5 cm、流動性の保持時間を練り後90分間として机上検討、配合試験を行って選定した。なお、本構造物は凍害を受ける

表-4 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比重 3.16)
石粉	舗装用石灰石粉 (JIS A 5008規格品, 比重 2.70)
細骨材	山砂 (君津産, 比重 2.61, F.M. 2.63, 吸水率 2.14)
粗骨材	石灰砕石 (鳥形山産, G _{max} 20mm, 比重 2.71, F.M. 6.62, 吸水率 0.56%)
高性能減水剤 (S P 剤)	β-ナフタリンスルホン酸塩
増粘剤	水溶性ポリサッカライド (ウエランガム)

可能性がないため、目標空気量は2.0±1.0%とした。使用材料を表-4に、コンクリートの配合を表-5に示す。

表-5 コンクリート配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブフローの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)						増粘剤 (g/m ³)
					水 W	セメント C	砥石 SD	細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤 SP	
20	65 ± 5	2.0 ± 1.0	50.3	47.6	170	338	198	783	894	13.4	350

3. 3 充填性確認方法の検討

今回のように密閉された空間に高流動コンクリートを打込む場合、型枠内部の状況を目視により確認することが不可能であるため、各注入管からのコンクリートの打込み量を判断する上で内部の充填状況を何らかの方法により把握する必要がある。また、施工終了後コンクリート床版内部の空隙の有無を確認することは困難であるため、構造物の品質保証を行う上でも充填性の確認が極めて重要である。そこで、今回の施工では光学式センサーと静電容量式センサーの2種類の埋込み式センサーを組み合わせることによって充填性の確認を行った。

光学式センサーは、図-7に示すように発光ダイオード（発光部）と検出フォトダイオード（検出部）の2つの端子が15mmの間隔を介して構成されており、この端子の間にコンクリートが充填されると検出部で光が検出されなくなり充填完了の信号を発するものである。ユニットが非常に小さいため、ピンポイントの充填状況を確認することが可能である。また、静電容量式センサーは、検出部が一定間隔を隔てた2つの導体（電線）により構成されており、この導体間の静電容量がコンクリートに埋め込まれた部分の高さに比例して増加することを利用し、コンクリートの打上り高さを連続的に測定するものである。この2つのセンサーを図-5に示す位置に設置し、コンクリートの打込み作業と平行して充填状況の測定を行った。

3. 4 施工結果

コンクリートの製造は、市中のコンクリートプラントのミキサ（二軸強制かく拌式、容量 3 m³）を用いて行い、1バッチ2.25 m³を全材料投入後60秒間で練り混ぜた。運搬は、2バッチ

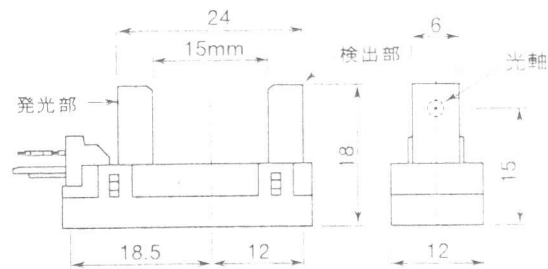


図-7 光学式センサー概略図

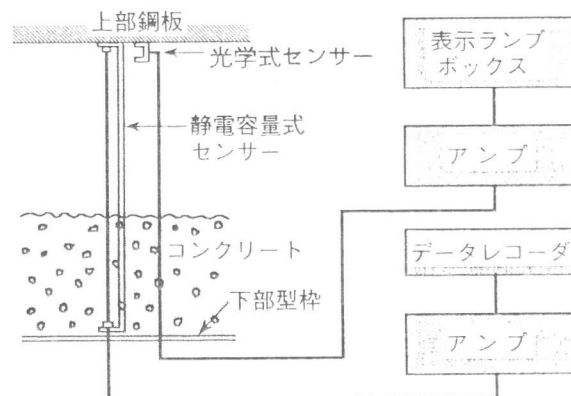


図-8 センサー設置状況

4.5m³をアジテータ車に積載し約20分で行った。現場到着時の品質管理試験をアジテータ車5台に1回の頻度で行った結果、打ち込んだコンクリートのスランプフローは平均67.3cm、変動係数1.3%であった。

センサーによるコンクリートの打上り状況の測定結果を図-9に示す。打込み開始から3時間までは各測点における打上り高さが等しくなるように、また、共同溝からダクト方向へ約0.6%の勾配があることから4時間以降はダクト側から充填が完了するように、センサーの測定結果と空気孔からのコンクリートの流出を確認しながらバルブの切替え及び各注入孔からの打込み量の調整を行った。その結果、打込みはスムーズに進行し、打込み開始から9時間後までに打上り面の最上部に取付けた光学式センサーのうちのNo.11を除く全てが充填完了を示した。No.11のセンサーを設置した部位は、センサーの測定結果からわずかに未充填部が残っているものと考えられたが、過大な圧送負荷をかけると型枠及び支保工の安全性を確保できないことから後日無収縮モルタルを注入することとし、打込み開始から約10時間で施工を終了した。後日注入した無収縮モルタルの量は0.33m³と極めて少量であった。このことはセンサーの検知精度が高かったことを示すと同時に、構造物の品質を保証する上でセンサーによる充填性の確認が非常に有効であることを示すものと考えられる。

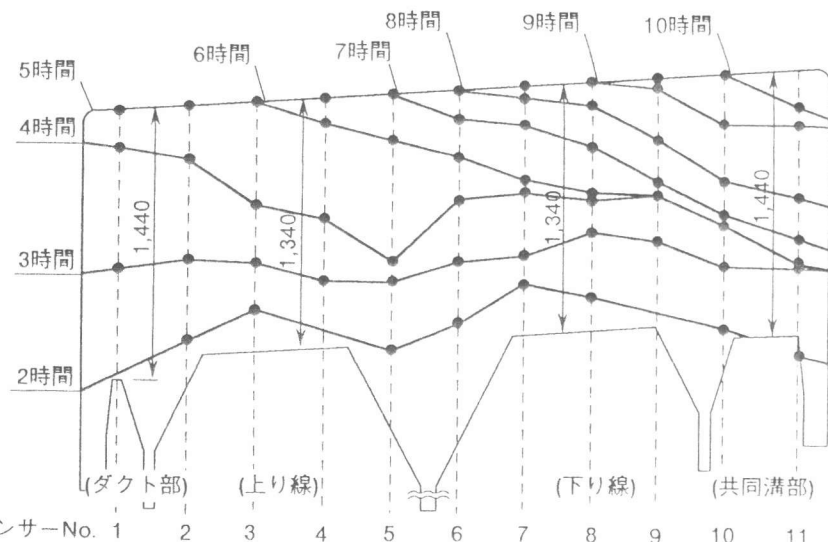


図-9 センサーによる打上り高さの測定結果

5. まとめ

今回、2つの実施工を通じて得られた高流動コ

ンクリートの品質保証方法に関する知見をまとめると以下のとおりである。

- (1) ミキサの負荷電流値の変化を基にした練混ぜ水量の調整を行うことで、安定した硬化コンクリートの品質を有する高流動コンクリートを製造することができる。
- (2) 型枠内部の状況を目視により確認することができない構造物では、構造物の品質を保証する上でセンサーによる充填性の確認が非常に有効である。

今後は、さらに高流動コンクリートの特性把握に努め、その特性を活用できる構造物に対しては積極的に適用を図っていく予定である。最後に、本施工にあたり貴重な御意見と御協力を頂きました工事関係者各位に深くお礼申し上げます。

(参考文献)

- [1] 三浦雅彦ほか：高流動コンクリートの実施工への適用，土木学会第47回年次学術講演会概要集，第5部 pp398-399，1993.9
- [2] 若松 岳ほか：練混ぜ時のミキサ消費電力を利用した締固め不要コンクリートの品質管理方法，超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集，pp31-38，1993.5
- [3] 丸山宣男ほか：鑄床スラブ補修工事への高流動コンクリートの適用，超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集，pp31-38，1993.5