増粘剤含有高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートの水中への適用に関する検討

東洋建設株式会社　正会員　○森田 浩史
東洋建設株式会社　正会員　高淵 稔貴
東洋建設株式会社　正会員　竹中 寛

1．目的　近年，コンクリート施工の生産性向上を背景に，JIS A 5308:2019 の普通コンクリート（呼び強度 27～45 の範囲）にスランプフロー（SLF）45～60cm が追加された．これらのいわゆる通常強度領域の高流動コンクリート（高流動コンクリート）は，トンネルの覆工コンクリート等で使用されるようになりつつあるが，港湾構造物や水中で適用，検討された事例は少ない．そこで本研究では，水中コンクリートの仕様を満足する高流動コンクリートについて水中への適用の可否を検討するため，既往の実験 [1]を参考に実大規模の水中打設実験を実施し，流動性や品質について確認した．

2．実験概要　コンクリートの使用材料，仕様および配合を**表 1～3** に示す．表中の SL および air はスランプ，空気量を指す．コンクリートの配合は，増粘剤含有高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートと比較用の水中コンクリートの 2 水準とした．コンクリートの製造は生コンプラントで行った．コンクリートの製造量は 4.0m³ とし，型枠への打設数量は最大 2.7m³ とした．ただし，予定された打設数量を待たずにコンクリートの水中流動性が認められずコンクリートが型枠天端を超えた時点で実験を終了した．

型枠の諸元を**写真-1** に示す．型枠の寸法は L:5.0m×B:0.6m×H:2.0m で，形状は箱型とした．型枠内は満水とし，水中下での打設を模擬できる構造とした．なお，型枠の長さは，示方書に示されている水中不分離性コンクリートが流動可能な距離を参考として 5.0m とした．

コンクリートの圧送には，ポンプ車（標準圧仕様）を使用し，20m³/h の設定で圧送した．型枠への打設方法は，型枠の端部から片押しとした．筒先の位置は，できるだけコンクリートが水中落下しない高さで固定した．ピストンのストローク 5 回毎に打設高さを計測した．

流下方向に 1.0m 間隔の計 6 点において，それぞれ打設天端から U：0.8m，M：0.45m，L：0.1m の位置で，φ100×600mm のコアを水平方向に採取し，3 分割したものを供試体として，圧縮強度と単位容積質量を測定した．打設後のコンクリートの養生方法は材齢 14 日まで天端を灌水，側面を封緘とし，脱型後コアを採取した．

3．実験結果　コンクリートのフレッシュ性状を**表 4** に示す．表中の CT はコンクリート温度，経過時間は生コンプラントから出荷されてからの経過時間を指す．

コンクリートの水中における流動状況の経時変化を**図 1** に示す．なお，図中の数字はポンプ車のピストンのストローク回数を指す．No.1 は，流動距離が 5.0m に達するまでコンクリートが流動した後は，緩やかな勾配を保ちながらすでに打込まれたコンクリートに覆い被さるように全体的に徐々に打ち上ったものと考えられる．一方，No.2 は，コンクリートが流動距離 2.0～3.0m

表 1　コンクリートの使用材料

使用材料		種類・備考
セメント:C	普通ポルトランドセメント	密度3.15g/cm³
細骨材:S1	陸砂	茨城県神栖市産，表乾密度2.59g/cm³ 粗粒率2.30
細骨材:S2	砕砂	栃木県佐野市産，表乾密度2.63g/cm³ 粗粒率3.30
粗骨材:G	砕石2005	茨城県土浦市産，表乾密度2.68g/cm³ 実積率58.0%
混和剤:Ad1	増粘剤含有高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体
混和剤:Ad2	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物

表 2　コンクリートの仕様

No.	コンクリートの種類	呼び強度	SL or SLF (cm)	空気量 (%)
1	高流動コンクリート	36	50±7.5	4.5±1.5
2	水中コンクリート	24	18±2.5	4.5±1.5

表 3　コンクリートの配合

No.	SL/SLF (cm)	air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³) W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2
1	50	4.5	45.0	49.8	175	389	594	258	885	4.28	–
2	18	4.5	44.0	46.0	168	382	555	242	965	–	3.44

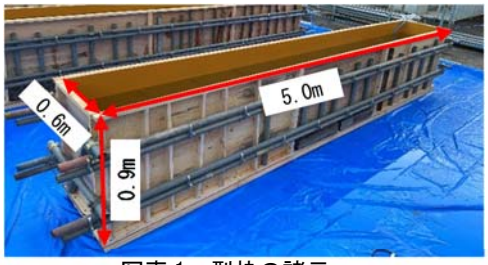

写真 1　型枠の諸元

表 4　コンクリートのフレッシュ性状

No.	圧送前 SL or SLF (cm)	air (%)	CT (℃)	経過時間 (min)	圧送後 SL or SLF (cm)	経過時間 (min)
1	54.0	3.8	23	57	48.3	78
2	20.5	5.2	23	34	20.5	51

キーワード　高流動コンクリート，水中コンクリート，ポンプ圧送，流動性，増粘剤含有高性能 AE 減水剤
連絡先　〒300-0424　茨城県稲敷郡美浦村受領 1033-1　東洋建設(株)美浦研究所　TEL:029-885-7511

© Japan Society of Civil Engineers

まで流動し，それ以降は内側から外側に押し出されるように流動距離 5.0m まで達した後は，筒先の位置でコンクリートが盛り上がるように打ち上がったものと考えられる．両者で，水中での流動性に違いが見られた．

硬化コンクリートの外観とコア採取位置を**図 2** に示す．いずれの配合も流動距離 5.0m まで流動しているのが分かる．両者ともに筒先の位置で若干の水道が確認されたが，未充填箇所等は認められず，綺麗な打上がりとなった．

各採取位置におけるコア供試体の圧縮強度を**図 3** に示す．図中の赤線は管理用供試体の材齢 28 日の圧縮強度である．図中にはコア供試体の平均圧縮強度($\bar{x}$)，標準偏差(σ)を併記した．管理用供試体の圧縮強度と比べ，No.1，2 の平均圧縮強度は，81.8%，88.8%と小さくなった．また，No.2 よりも No.1 の方が流動距離の増加に伴う強度低下の割合が大きかった．これは，No.1 はすでに打込まれたコンクリートに覆い被さるように水中を流動したため打設高さによらず流動距離に伴い徐々に強度低下したのに対し，No.2 は流動距離 2.0～3.0m までは No.1 と同様だが，流動距離 3.0m 以降は内側から外側に押し出されるように流動したため，強度低下が抑制されたものと推察される．なお，両者ともに圧縮強度のばらつきは同等であった．No.1 を従来の水中コンクリート（No.2）の代替として使用する場合には，上記のような傾向を考慮して配合設計を行う必要がある．

各採取位置におけるコア供試体の単位容積質量を**図 4** に示す．図中の赤線は管理用供試体の材齢 28 日の結果である．図中にはコア供試体の平均単位容積質量($\bar{x}$)，標準偏差(σ)を併記した．両者とも平均単位容積質量は，管理用供試体の単位容積質量と同等であった．ただし，No.2 では，流動距離 0～2.0m の範囲で一部単位体積質量が小さくなる傾向を示した．これは，打設開始時の水中落下や圧送に伴う筒先の振動に起因したコンクリートの材料分離等が一因であることを**写真 2**（破線部）に示すようなコア表面の骨材分布より確認している．一方，No.1 では単位容積質量のばらつきが小さかった．増粘剤の作用によりコンクリートの材料分離が抑制され，No.2 よりも均質性が向上したものと考えられる．

4．まとめ　本研究の実大規模の水中打設実験において得られた知見を示す．①高流動コンクリートと従来の水中コンクリートでは流動性に違いが見られ，高流動コンクリートの方が流動性・充填性に優れる．②高流動コンクリートは，従来の水中コンクリートに比べて強度低下がやや大きくなるが，単位容積質量のばらつきが小さく，均質性に優れる．

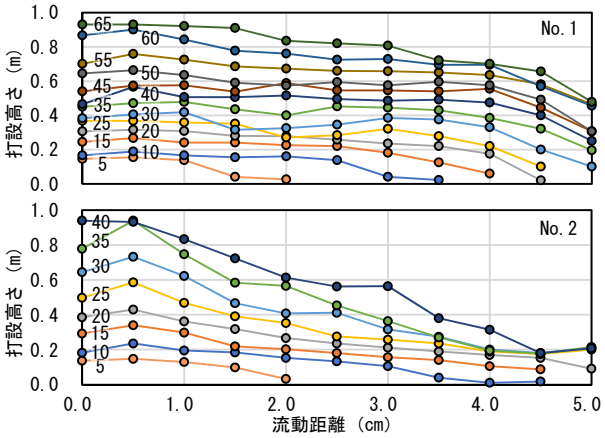

図 1　水中における流動状況の経時変化

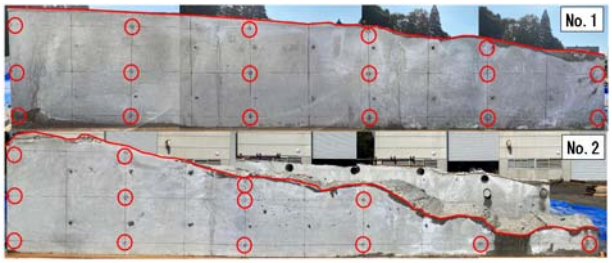

図 2　硬化コンクリートの外観とコア採取位置

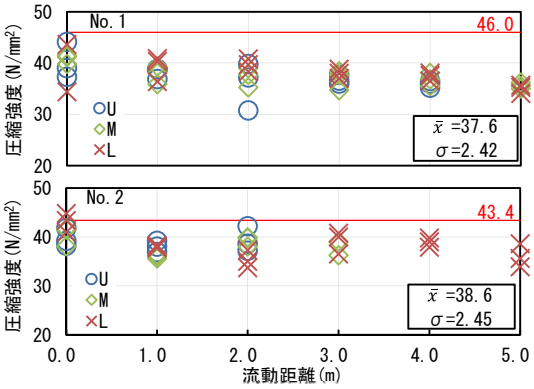

図 3　コア供試体の圧縮強度

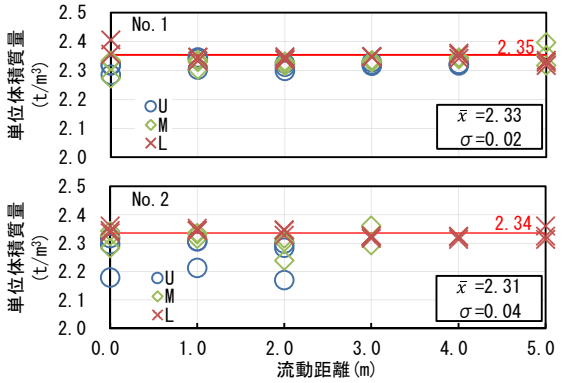

図 4　コア供試体の単位容積質量

写真 2　コア表面の骨材分布の一例

参考文献　1)例えば，森田浩史ら：銅スラグおよび電気炉酸化スラグを骨材とした水中不分離性コンクリートに関する基礎的研究，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol71，No.2，I_1179-I_1184，2015.

© Japan Society of Civil Engineers