寒冷地における覆工コンクリートの高耐久化に向けた取組み

国土交通省　東北地方整備局　南三陸国道事務所　　蒲雅志
㈱大林組　正会員　○佐々木大輝　永久和正　柏原宏輔

1. はじめに

当工事では，トンネル覆工の品質および寒冷地での耐久性向上を目的に，坑口部の有筋区間においてフライアッシュ（FA)を使用した中流動コンクリートを適用している．

本稿では，覆工側壁部を想定した模擬型枠に普通配合コンクリートと中流動コンクリートを打設し，各種品質試験から得られた結果について報告する．

2. コンクリート配合

コンクリート配合を**表-1** に示す．中流動コンクリートでは初期強度発現と，中性化に対する耐久性を確保するため普通ポルトランドセメントを用いた．また，長期的に水和組織を緻密化できるフライアッシュを用い，温度ひび割れの発生を抑制する観点から膨張材（EX）を混入した．さらに，高い流動性と材料分離抵抗性を確保するため，混和剤には増粘型高性能 AE 減水剤（VA）を用いた．

表-1　コンクリート配合

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法（cm）	目標スランプフロー（cm）	目標空気量（%）	セメント種類	W/B（%）	s/a（%）	単位量(kg/m3)										混和剤（B×%）
							W	B			S			G			
								C	FA	EX	S1	S2	S3	G1	G2	G3	
FA入り中流動	25	42.5±7.5	5.5±1.5	N	44.0	51.1	164	290	63	20	488	174	219	257	－	605	高性能AE減水剤
普通配合	40	15.0±2.5	4.5±1.5	BB	55.5	46.2	159	287	－	－	472	169	212	303	206	511	AE減水剤

C：普通ポルトランドセメント(中流動)，高炉セメントB種（普通配合），FA：フライアッシュJIS Ⅱ種適合品，EX：膨張材，S1：大船渡市中宿産砕砂，S2：遠野市早瀬川流域産砂，S3：六ヶ所村倉内産砂，G1,G2：遠野市早瀬川流域産砕利，G3：大船渡市中宿産砕石，VA：高性能AE減水剤，AE：AE減水剤

3. 模擬試験概要

模擬型枠を**図-1** に示す．型枠は，セントルのスパン中央付近から打込んで，端部まで流動させる状況を模擬した寸法としている．また，型枠内部には模擬鉄筋を設置した．コンクリートの運搬時間は 60 分である．

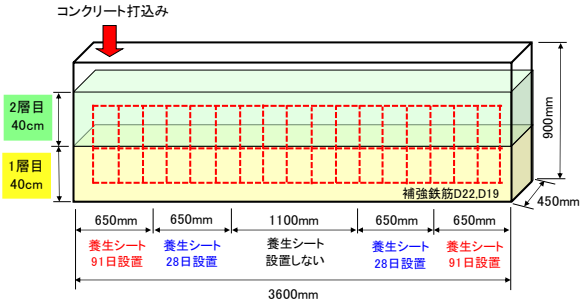

図-1　模擬型枠の概要

コンクリートの打込みは，模擬型枠の片側端部（以下打込箇所）から生コン車のシュートで行った．コンクリートの流動性の違いが型枠内での流動・充填状況に及ぼす影響を把握するために，ドラムの回転速度を低速に設定し，ゆっくりと打ち込んだ．コンクリートは 2 層に分けて打設し，各層の打設間隔は実施工を想定し 30 分程度とした．反対側側壁（以下流動先端部）まで到達した時点で打込箇所と流動先端部との流動勾配を測定した後に，バイブレータによる締固めを行った．

1 層目の打込箇所と流動先端部にてコンクリートを採取し，各種試験用供試体を作成した．また，打込みに合わせて，時間経過に伴うスランプまたはスランプフローの経時変化などを測定した．

供試体は翌日脱型し，保温保水養生シート（以下養生シート）を貼り付けた．養生シートは，材齢 28 日，91 日で取り外した．

材齢 91 日経過後に，**表-2** に示す各種試験を実施し，打込箇所と流動先端部，および湿潤養生期間の違いを検証した．

表-2　硬化後の表層品質試験項目

延長方向の位置			打込箇所			流動先端部		
養生シートの設置期間			養生なし	28日	91日	養生なし	28日	91日
試験項目	原位置非破壊試験	反発度	○	○	○	○	○	○
		透気係数	○	○	○	○	○	○
		吸水量	○	○	○	○	○	○
	躯体コア	圧縮強度	○	○	○	○	○	○
		空気量	○	○	○	○	○	○
		塩分	○	○	○	○	○	○
		中性化	○	○	○	○	○	○

表-3 スランプと空気量の経時変化，および圧縮強度

コンクリート種類	経過時間（分）	加振前			空気量（%）	圧縮強度 σ28（N/mm²）		
		スランプ（cm）	スランプフロー（cm）			現場到着	打込箇所	流動先端部
普通配合コンクリート	0	17.5	－	－ × －	5.2	－	－	－
	60	14.0	－	－ ×	4.4	28.7	29.1	29.5
	90	12.5	－	－ × －	3.8	－	－	－
	120	10.5	－	－ × －	4.0	－	－	－
FA入り中流動コンクリート	0	－	56.0	56.0 × 56.0	5.9	－	－	－
	60	－	44.0	44.5 × 44.0	6.6	34.5	34.3	32.6
	90	－	42.0	43.5 × 41.5	6.0	－	－	－
	120	－	36.0	36.0 × 36.0	5.7	－	－	－

4. 結果と考察

4-1. スランプフロー（スランプ）と空気量

表-3 にスランプフロー（スランプ）と空気量，圧縮強度の試験結果を示す．普通配合コンクリートは時間経過に伴い流動性が低下しやすい結果となった．一方，中流動コンクリートは時間経過に伴い緩やかに流動性が低下する傾向を示すが，120 分後においても目標範囲（35cm 以上）を保持した．空気量については，普通配合コンクリートは出荷から荷卸しにかけての低下がやや大きいが，中流動コンクリートは時間経過に伴う変化はほとんど認められなかった．

キーワード　覆工コンクリート，耐久性向上，中流動コンクリート，フライアッシュ，表面吸水試験，透気試験
連絡先　〒026-0054　岩手県釜石市野田町 1-9-22　㈱大林組　釜石道路工事事務所　TEL0193-27-8127

4-2. 流動勾配と締固め時間

普通配合コンクリートは，打込箇所でコンクリートの堆積が顕著で，流動勾配は 1/2.5 であった（**図-2**）．また，充填に要した締固め時間は 282 秒であった．一方，中流動コンクリートは，型枠内を容易に流動し流動先端部に到達した．流動先端部のコンクリートは，モルタルと粗骨材とが一体の状態であり，ブリーディング水の先走りなどは認められなかった．流動勾配は 1/10 と小さく，充填に要する締固め時間も 68 秒と大幅に短縮できる結果が得られた．

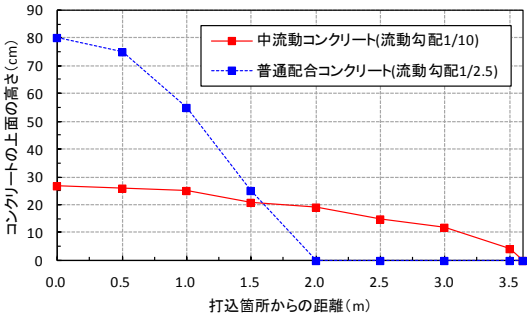

図-2 各種コンクリートの流動勾配

4-3. 凍結融解試験

凍結融解試験の結果，300 サイクル後の相対動弾性係数は，普通配合コンクリートで 70%，中流動コンクリートで 81%となり，両配合とも目標の 70%を上回る結果が得られたが，中流動コンクリートの耐久性の方が高い結果となった．

表-4 表層品質試験結果

コンクリート種類		普通配合コンクリート						FA入り中流動コンクリート					
測定位置		打込箇所			流動先端部			打込箇所			流動先端部		
養生シートの設置期間		養生なし	28日	91日	養生なし	28日	91日	養生なし	28日	91日	養生なし	28日	91日
テストハンマーによる反発硬度推定圧縮強度		29.6	30.9	31.8	31.8	31.9	34.4	32.6	34.7	36.2	32.0	35.9	38.7
透気試験	透気係数	0.039	0.030	0.032	0.043	0.011	0.025	0.011	0.024	0.001	0.011	0.017	0.002
	判定	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	最良	良好	良好	最良
表面吸水試験	表面吸水速度	0.407	0.227	0.125	0.494	0.192	0.092	0.193	0.067	0.039	0.198	0.057	0.045
	判定	標準	良	良	標準	良	良	良	良	良	良	良	良

4-4. 硬化コンクリートの表層品質試験

表層品質試験結果を**表-4** に示す．反発硬度は，91 日養生で両配合とも増加し，最大 20%程度改善する結果が得られた．

透気試験（トレント），表面吸水試験（SWAT）の結果とも養生シートの設置期間を 91 日まで延長することで向上し，中流動コンクリートの方が改善効果が顕著であった．[1)~3)]

表-5 コア供試体の品質試験結果

コンクリート種類		普通配合コンクリート						FA入り中流動コンクリート					
測定位置		打込箇所			流動先端部			打込箇所			流動先端部		
養生シートの設置期間		養生なし	28日	91日	養生なし	28日	91日	養生なし	28日	91日	養生なし	28日	91日
91日圧縮強度 (N/mm2)		41.4	42.1	40.4	43.3	44.7	42.9	53.5	55.3	52.8	55.4	52.0	51.9
空気量 (%)		4.2	4.2	4.2	4.6	3.8	3.7	6.3	6.1	6.0	5.7	6.3	5.9
気泡間隔係数 (μm)		157	166	171	147	173	176	166	186	191	163	189	230
中性化促進試験	中性化深さ (mm)	18.8	15.3	14.3	18.9	18.3	17.4	10.7	9.6	7.7	11.2	10.4	7.9
	中性化速度係数 (mm/√週)	5.2	4.2	4.0	5.2	5.1	4.8	3.0	2.7	2.1	3.1	2.9	2.2
実環境における中性化速度係数の推定値(mm/√年)		2.9	2.3	2.2	2.9	2.8	2.7	1.7	1.5	1.2	1.7	1.6	1.2
使用したコンクリートの中性化速度係数の設計値 (mm/√年)		3.4						1.9					
塩分浸漬試験	塩分浸透深さ (mm)	20.7	19.7	15.1	18.5	18.2	16.9	13.4	12.9	12.8	14.5	11.8	10.9

4-5. 採取したコアの品質試験

コア供試体の試験結果を**表-5** に示す．圧縮強度は，養生シートの設置期間による明確な差は見られなかった．また，28 日強度（**表-3**）と比較した場合，91 日後の強度の増進は普通配合コンクリートでは約 1.5 倍であるのに対して，中流動コンクリートでは約 1.7 倍となりフライアッシュを混入させた中流動コンクリートの方が長期強度の増進が期待できることが分かる．

空気量と気泡間隔係数は，両配合とも養生日数による大きな差は見受けられない．また，両配合とも気泡間隔係数は 250μm 以下であるため，凍結融解試験結果と同様，高い耐凍害性を有していることが分かる．

中性化速度係数，塩分浸透深さに関しても，両配合とも養生日数が長いほど改善する結果が得られた．

5. まとめ

時間経過に伴う品質変化を検証するとともに，覆工側壁部を模擬した試験体への打込み実験を行い，流動状況並びに充填後のコンクリートの品質について検証した．得られた知見を以下に示す．

① 中流動コンクリートは，時間経過に伴うスランプフローおよび空気量の変化は小さく，練上がり 120 分後においても所要の品質を確保できる．また，中流動コンクリートの流動勾配は小さく，閉鎖された狭隘な空間でもより確実に充填・締固めが可能である．

② 養生シートを設置することにより表面吸水試験，透気試験，テストハンマーなどの表層品質が向上した．

③ 打込箇所・流動先端部を比較したところ，両配合とも品質結果に顕著な差はなく，均一に施工できた．

④ 圧縮強度試験結果から，フライアッシュを混入させた中流動コンクリートの方が長期強度の増進が期待できる．

⑤ 供試体から採取したコアを用いて品質試験を行った結果，中性化速度係数，塩分浸透深さとも養生日数が長いほど良好な結果が得られた．また，中性化速度係数の設計値に対しても，耐久性が大きく向上することが期待できる．

今後は実施工での施工性・長期的な品質について検証していく予定である．

参考文献
1) 例えば日本コンクリート工学会：施工の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書,pp.90-93, 2009.7.
2) 林和彦・細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究,土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造物),Vol.69,No.1,pp82-97, 2013
3) 林和彦・細田暁：コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発,コンクリート工学会年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011.