報告　北陸新幹線におけるフライアッシュコンクリートの適用と試験施工

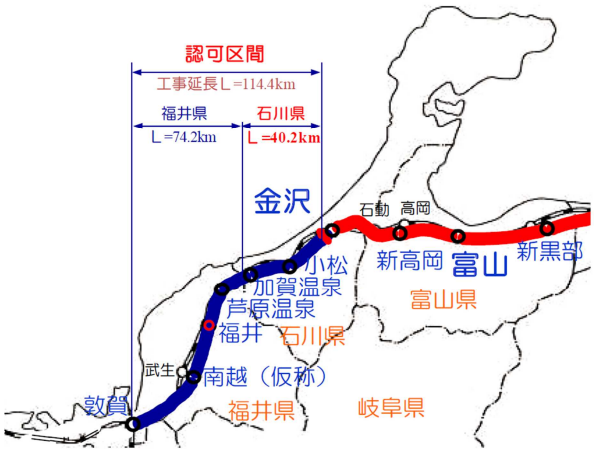
石川　太郎[*1]・井上　翔[*2]・加藤　寛之[*3]

要旨：北陸新幹線（金沢・敦賀間）では，コンクリートに用いる骨材の事情が必ずしも良好と言えず，アルカリ骨材反応（以下，ASR）の発生が懸念された。鉄道・運輸機構では，コンクリート構造物の長期耐久性の向上を図るべく，ASR 抑制対策の検討会を設立し，フライアッシュコンクリートの基本特性の把握を目的とした各種試験を経て配合条件を決定した。今回，この配合条件による配合のフライアッシュコンクリートを実構造物に適用して試験施工を行った。本稿は，既往の検討で決定した配合条件と，それに拠る配合の FA コンクリートを実構造物に適用した試験施工について報告するものである。

キーワード：アルカリ骨材反応(ASR)，フライアッシュコンクリート，北陸新幹線，試験施工

1. はじめに

現在，工事を進めている北陸新幹線（金沢・敦賀間）は，工事延長 114.4km（うち石川県 40.2km，福井県 74.2km）であり，平成 34 年度末の完成を目指し工事を進めている（**図－1**）。しかしながら，北陸地方はコンクリートに用いる骨材の事情が必ずしも良好とは言えず，アルカリ骨材反応（以下，ASR）の発生が懸念された。そのため，コンクリート構造物の長期耐久性の向上を図ることが北陸新幹線（金沢・敦賀間）建設の課題となった。



図－1 北陸新幹線（金沢・敦賀間）のルート

鉄道・運輸機構ではこれまで ASR 抑制対策[たとえば 1)]として，

(1)　コンクリートに含まれるアルカリ総量を 3.0kg/m^3 に抑えること

(2)　JIS A 5211「高炉セメント」に適合する高炉セメント B 種（スラグ混合比 40%以上）または C 種，もしくはフライアッシュセメント B 種（フライアッシュ混合比 15%以上）または C 種を使用すること

(3)　JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）」あるいは JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」により無害と判定された骨材を用いることとしていたが，これらの対策には課題点が残されていた。たとえば，(1)については，外部環境や骨材由来のアルカリ量が考慮されていないこと，(2)については，混和材の安定した供給が確保される環境が必要であること，(3)については無害と判定された骨材を用いた場合でも ASR が発生した事例が報告されている[2)]ことがあげられる。

そこで鉄道・運輸機構では，（公財）鉄道総合技術研究所，学識経験者，鉄道事業者，鉄道・運輸機構による検討会を設立し，北陸新幹線（金沢・敦賀間）における ASR抑制対策の検討を行い，JR東日本の事例[2)]を参考に骨材の判定区分と，抑制対策の強化を行った[3),4)]。また，その中で北陸地方では良質なフライアッシュの安定した供給が期待できる環境であり，FAコンクリートの使用が ASR抑制対策として確立されつつあった[5)]。そのため，新幹線構造物へのFAコンクリート適用の可否と適用条件を検討するため，各種試験を行った上で，通常新幹線構造物に用いる普通コンクリートと概ね同等の配合条件を決定した[3)]。

FAセメントB種またはC種を用いた上記配合条件を満たすFAコンクリートとすることで，骨材事情の悪い地域において，骨材の反応性如何に係らず新幹線構造物に適用することが可能になったことから，今後FAコンクリートを使用する機会が増えることが予想される。しかしながら，この配合条件のFAコンクリートは施工事例がない。そこで，今回は一定数量のFAコンクリートを連続的に工場で練り混ぜ・打込みを行う場合の作業性と，構造物の仕上がり状態を把握することに主眼を置き，北陸新幹線（金沢・敦賀間）の実構造物で試験施工を行った。

*1　（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構　設計部　(正会員)
*2　（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構　大阪支社　(正会員)
*3　（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構　大阪支社

2. 配合条件の検討

2.1 ASR 対策の強化

JIS規格では，骨材のASR判定区分は「無害」または「無害でない」の2区分となっている．検討会では，JR東日本の仕様書に倣い，**表 - 1**に示す骨材判定区分を行い，「準有害」判定の骨材を使用する場合は，下記(1)または(2)の対策を行う，「有害」判定の骨材を使用する場合は，(2)の対策を行うこととした[3)]。

(1) アルカリ総量を2.2kg/m^{3}以下に抑制

(2) 高炉セメント(JIS R 5211 B種(スラグ混合比40%以上)またはC種)あるいはフライアッシュセメント（JIS R 5213 B種（フライアッシュ混合比15%以上）またはC種），もしくは混和剤をポルトランドセメントに混入した結合材でアルカリ骨材反応抑制効果の確認されたものを使用

表－1　骨材判定区分

化学法

区分※	判定基準
TU 無害	溶融シリカ量 Sc≧10mmol/ℓかつアルカリ濃度減少量 Rc<700mmol/ℓのとき，Rc≦Sc である骨材
TU 準有害	Sc≧10mmol/ℓかつ Rc<700mmol/ℓのとき，Sc＜Rc≦Sc+50 である骨材
TU 有害	Sc≧10mmol/ℓかつ Rc<70mmol/ℓのとき，Sc+50<Rc である骨材，Sc<10mmol/ℓかつ Rc<700mmol/ℓである骨材

モルタルバー法

区分※	判定基準
TU 無害	膨張率が 26 週で 0.1%以上，もしくは膨張率が 26 週で 0.05%以上~0.10%未満であっても 13 週から 26 週までの膨張率の増加割合が 8 週から 13 週までの増加割合に対して大きい骨材
TU 準有害	膨張率が 26 週で 0.05%以上~0.10%未満かつ 13 週から 26 週までの膨張の増加割合が，8 週から 13 週までの増加割合に対して小さい骨材
TU 有害	膨張率が 26 週で 0.05%未満の骨材

※TU は鉄道・運輸機構の頭文字であり，JIS と区分するために表記する。

すなわち，(2)を満たす結合材を用いれば，骨材はその判定区分によらず使用できることになる。

2.2 各種試験に用いたコンクリート配合条件

鉄道・運輸機構では，鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物（以下 RC 標準）による性能照査に対応したコンクリートの配合条件を規定しており，FA コンクリートについても同様に性能照査に対応した配合条件を設定する必要が有る。従来から RC ラーメン高架橋に用いられていた配合条件は，設計基準強度 27N/mm^2，スランプ 12cm，空気量 5.5%，*W/C*53%以下，単位水量 175kg/m^3 以下であり，各プラントでこの配合条件を満足する FA コンクリートの配合を決定した。なお，中性化対策として *W/B* を下げる場合を想定して 36N/mm^2 についても設定した。なお，水セメント比 *W/C* は水結合材比 *W/*(*C*+*FA*)に置換える（以下 *W/B* に読み替える）ものとし，セメントの一部をフライアッシュで置換えた。対象地域は石川県，福井県とし，各県代表となるプラントを選定し，フライアッシュの置換率については，各プラントの実績により決定するものとした。なお，PC 構造物用の配合についても試験を実施しているが，本稿では RC 構造物用の配合の試験に限定して示す。配合は**表－2** に示す通りで，混和剤は AE 減水剤，AE 助剤を用いた。なお、FA コンクリートであるため，骨材の反応性試験等は考慮していない。

表－2　コンクリートの配合（RC構造物）

対象地域	配合	呼び	FA 置換率(%)	結果
石川(七尾産 FA)	N	27-12-25N	0	53
	N+F		17	49.3
	N	36-12-25N	0	44.1
	N+F		17	40.6
福井(敦賀産 FA)	N	27-12-25N	0	49.5
	N+F		15	47
	N	36-12-25N	0	40
	N+F		15	40

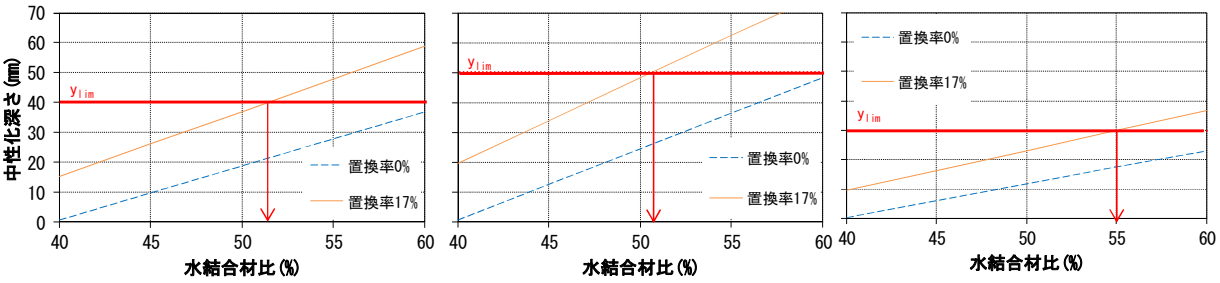
検討内容はフレッシュ性状 [3)]（空気量ロスとスランプロスの計測），強度発現特性 [3),4)]（圧縮強度試験），中性化特性 [3),4)]（促進中性化試験）等である。またフレッシュ性状の把握と併せてブリーディングの比較も行った。中性化特性の把握について次節以降に示す。なお，本稿ではフレッシュ性状の把握と強度発現特性の把握については詳しくは触れないが，結論は以下のとおりであった。フレッシュ性状：空気量ロス，ブリーディング特性は FA コンクリートと普通コンクリートで同等程度である。スランプロスについては適切な混和材種類と使用量を検討することで抑制することが可能である [3)]。

強度発現特性：FA コンクリートは普通コンクリートに比べ，圧縮強度は 0.8～0.9 倍程度になるが，いずれも設計基準強度は満足する [3),4)]。

2.3 中性化を考慮した配合条件の検討

中性化特性の把握を目的に促進中性化試験を実施した。促進開始材齢を 200 日，促進期間を 3 ヶ月間とし，測定材齢は促進開始後 7，28，56，91 日とした。試験結果から評価した中性化速度係数について，RC 標準の予測式により算定した値や既往の研究結果と比較した。その結果，概ね試験結果が予測式の値をやや上回っているが，既往の研究で報告されているデータのばらつきの範囲内であるため，RC 標準の予測式（フライアッシュ：*k*=0.0）により中性化速度を評価することが妥当と判断した。

上記のことから，中性化深さの推定値についても RC 標準による方法で評価可能であると考え，中性化深さの制限値から最大水結合材比（*W/B*）を算定した。RC ラーメン高架橋を例に，各部材毎の水結合材比と中性化深さの関係を**図－2** に示す。なお，供用期間を 100 年とし，



(a)スラブ・上層梁　　(b)柱　　(c)地中梁・フーチング

図－2　中性化速度係数と有効水結合材比

表－3　中性化深さから求まる最大水結合材比一覧

構造物種別	部材名称	y_{lim}以下となる W/B	
		15%	17%
ラーメン高架橋	スラブ	52.2	51.4
	上層梁・中層梁		
	柱	51.5	50.7
	地中梁・フーチング	55.8	55.0

フライアッシュの置換率は W/B を従来の W/C と同程度の値で設計基準強度を満足するよう，15～17%を想定した。図中の y_{lim} は，部材毎の設計かぶりから施工誤差 10mm，中性化残り 10mm を差し引いて算定した純粋に中性化を許容する限界の深さであり，これを満たす最大水結合材比を求めた（**表－3**）。この結果を基に RC 構造物の内，気中構造物の W/B を 50%以下，地中構造物の W/B を 55%以下とした。また，PC 構造物についても同様の検討を行った上で，W/B を 47%以下とした。

2.4 配合条件の設定

以上の検討結果より，FA コンクリートの利用条件として，下記を設けた上で配合条件を**表－4** の通り決定した。

1) 使用するフライアッシュの品質は JIS I 種または II 種とし，II 種の場合は，比表面積を 4000cm^2/g 以上とする。
2) フライアッシュセメントの置換率は 15~17%とする。
3) 地中構造物の最大水結合材比は 55%以下とする。
4) 気中構造物の最大水結合材比は 50%以下とする。
5) PC 構造物の最大水結合材比は 47%以下とする。
6) FA コンクリートの養生条件・養生期間は，高炉セメントコンクリートに準じるものとする。

表－4　配合条件

(a)RC 橋脚

部材	設計基準強度 (N/mm^2)	粗骨材最大寸法 (cm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水結合材比(%)		単位水量の上限値 (kg/m^3)	単位結合材量
					FA	N(参考)		
杭	30	25	18±2.5	4.5±1.5	55	55	-	350kg/m^3 以上
フーチング	27	40	8±2.5	4.5±1.5	55	55	165	
躯体	27	25	8±2.5	5.5±1.5	50	53	175	

(b)RC ラーメン高架橋

部材	設計基準強度 (N/mm^2)	粗骨材最大寸法 (cm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水結合材比(%)		単位水量の上限値 (kg/m^3)	単位結合材量
					FA	N(参考)		
杭	30	25	18±2.5	4.5±1.5	55	55	-	350kg/m^3 以上
地中梁	27	25	12±2.5	4.5±1.5	55	55	175	
スラブ・上中層梁・柱	27	25	12±2.5	5.5±1.5	50	53	175	

表－5　配合表

(a)RC 橋脚

記号	部材	配合表						W/B	細骨材率	置換率
		セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤			
A(F)	杭	305	175	522	226	958	3.670	47.7	44.1	16.9%，FA 62kg/m^3
	杭(冬期)	301	173	527	229	958	3.630	47.7	44.4	17.1%，FA 62kg/m^3
F(F)	フーチング	249	146	519	224	715, 386	2.970	49.1	40.6	16.2%，FA48kg/m^3
D(F)	躯体	256	152	542	234	1015	3.080	49.3	43.6	16.9%，FA52kg/m^3

(b)RC ラーメン高架橋

記号	部材	配合表						W/B	細骨材率	置換率
		セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤			
A(F)	杭	305	175	522	226	958	3.670	47.7	44.1	16.9%，FA 62kg/m^3
	杭(冬期)	301	173	527	229	958	3.630	47.7	44.4	17.1%，FA 62kg/m^3
C(F)	地中梁	261	160	550	239	1002	3.140	51.0	44.3	16.9%，FA 53kg/m^3
B(F)	スラブ・柱	266	158	535	231	1000	3.200	49.3	43.7	16.9%，FA 54kg/m^3

表－6　試験練りの結果

記号	スランプ(cm)		空気量(%)		圧縮強度(N/mm^2)		
	配合条件	結果	配合条件	結果	f_{ck}	σ_7	σ_{28}
A(F)	18±2.5	19.0	4.5±1.5	5.0	30	28.8	43.1
B(F)	12±2.5	11.5	5.5±1.5	5.5	27	26.8	37.8
C(F)	12±2.5	12.5	4.5±1.5	4.9	27	26.2	39.6
D(F)	8±2.5	9.0	5.5±1.5	5.6	27	25.3	37.6
F(F)	8±2.5	10.0	5.5±1.5	5.2	27	24.8	36.6

表－7　対象構造物諸元

(a)RC 壁式橋脚(第 1 五間堂 BL P1)

躯体	高さ	5.0m(地中梁天端~桁受梁下端)
	線路方向	2.4m
	直角方向	4.0m
基礎	形式	鉄筋コンクリート杭 ϕ=15.0m，L=44.0m

(b)RC ラーメン高架橋（第 1 五間堂 BL R2）

延長		30m(10m×3)
柱	高さ	8.1m(地中梁天端~上層梁下端)
	断面	1.2m ×1.2m
基礎	形式	鉄筋コンクリート杭 ϕ=15.0m，L=45.0m
	根入れ	スラブ下端から 55.7m

参考として，普通コンクリートの場合の水セメント比を併記する。

3. 試験練り

実構造物で試験施工を行う前段として，RC 構造物の各部材の配合で試験練りを行った。各部材の配合は**表-5**に示す通りで，混和材はフライアッシュ用のものを用いた。スランプ，空気量の値はいずれも規定値内に収まっている（**表－6**）。また，すべての配合で設計基準強度を満足している（**表－6**）。

4. 実構造物における試験施工

4.1 現地状況

今回試験施工の対象とした構造物は，石川県能美市五間堂町に位置する北陸新幹線第 1 五間堂高架橋の構造物（北陸新幹線，能美西任田高架橋工区，若築・本間・石田共同企業体施工）である。当該箇所は軟弱な沖積層が薄く砂質土と粘性土の互層をなし，その下に比較的剛性の低い洪積層が堆積している。洪積層の N 値が低いため，耐震設計上の基盤面および支持層は約 GL-45m の位置に設定した。表層地盤の固有周期は約 0.65 秒であり，鉄道の耐震設計では普通～軟弱地盤に分類される。

4.2 対象構造物

今回試験施工の対象として壁式橋脚 1 基（P1）とラーメン高架橋 1 連（R2）を選定した。寸法諸元を**表－7** に示す。

4.3 打込み

FA コンクリートを適用するに際し，練混ぜてから打ち終るまでの時間を原則として 1 時間以内に抑えることと

表－8　FA コンクリート打込みの実績値

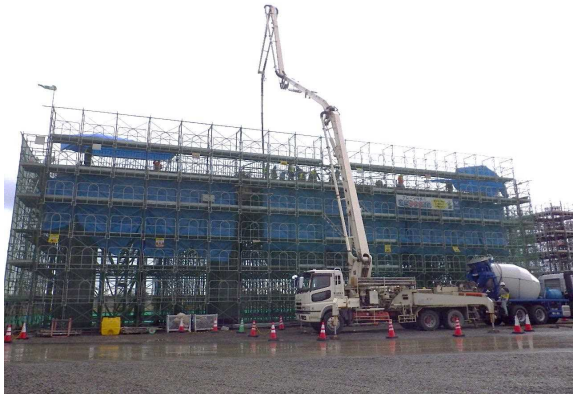
(a)RC 壁式橋脚

記号	部材	打込月	スランプ(cm)(参考)	練上り~打込み完了(分)※		打込み速度(m^3/h)
				平均	最大	
A(F)	杭 1	3	18±2.5	33	75	20
	杭 2	3				21
	杭 3	3				23
	杭 4	3				19
	杭 5	3				19
F(F)	フーチング	6	8±2.5	32	73	24
D(F)	躯体	6	8±2.5	23	53	8.3

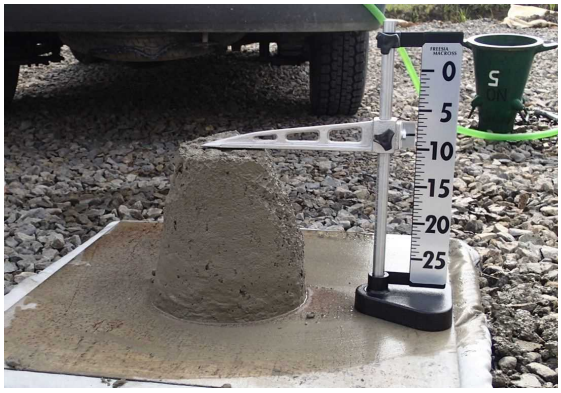
(b)RC ラーメン高架橋

記号	部材	打込月	スランプ(cm)(参考)	練上り~打込み完了(分)※		打込み速度(m^3/h)
				平均	最大	
A(F)	杭 1	3	18±2.5	28	45	24
	杭 2	2				20
	杭 3	3				23
	杭 4	3				20
	杭 5	3				23
	杭 6	3				24
	杭 7	3				23
	杭 8	3				22
C(F)	地中梁	9	12±2.5	34	51	29
B(F)	柱 1 ロット	9	12±2.5	26	38	14
	柱 2 ロット	9		30	37	17
B(F)	スラブ	12	12±2.5	33	52	22

※アジテータ車毎に算定.



図－3 コンクリート打込み状況(RC ラーメン高架橋)



図－4　スランプ試験状況(RC 壁式橋脚躯体)

表－9　品質管理項目の測定値

(a)RC 壁式橋脚

記号	部材	打込み体積 (m^3)	気温 (℃)	コンクリート温度(℃)	スランプ(cm) 配合条件	スランプ(cm) 測定値	空気量(%) 配合条件	空気量(%) 測定値	圧縮強度(N/mm^2) f'_{ck}	圧縮強度(N/mm^2) σ_7	圧縮強度(N/mm^2) σ_{28}
A(F)	杭 1	83.0	8	8	18±2.5	18.0	4.5±1.5	4.7	30.0	28.8	41.0
	杭 2	83.0	7	11		19.0		4.2		28.4	40.8
	杭 3	83.0	13	13		18.5		5.5		26.6	38.8
	杭 4	83.0	7	10		19.5		4.1		24.8	36.9
	杭 5	84.0	2	9		19.0		4.8		24.7	37.8
F(F)	フーチング	164.7	19	21	8±2.5	10.0	4.5±1.5	4.2	27.0	23.8	31.4
			21	22		7.5		3.5		25.8	35.9
D(F)	躯体	41.0	19	26	8±2.5	9.0	5.5±1.5	6.0	27.0	25.9	34.9

(b)RC ラーメン高架橋

記号	部材	打込み体積 (m^3)	気温 (℃)	コンクリート温度(℃)	スランプ(cm) 配合条件	スランプ(cm) 測定値	空気量(%) 配合条件	空気量(%) 測定値	圧縮強度(N/mm^2) f'_{ck}	圧縮強度(N/mm^2) σ_7	圧縮強度(N/mm^2) σ_{28}
A(F)	杭 1	84.0	7	12	18±2.5	19.5	4.5±1.5	5.2	30.0	25.5	37.7
	杭 2	84.0	7	10		18.5		6.0		24.8	40.8
	杭 3	84.0	12	13		20.0		5.1		26.2	40.2
	杭 4	84.0	7	12		19.5		5.2		25.8	38.7
	杭 5	84.0	10	14		18.5		4.8		27.7	41.3
	杭 6	83.5	9	14		17.0		3.5		29.1	43.4
	杭 7	83.5	12	13		18.0		4.7		29.0	44.3
	杭 8	83.0	7	13		19.5		4.6		26.7	39.9
C(F)	地中梁	164.0	23	25	12±2.5	12.0	4.5±1.5	5.7	27.0	20.1	30.3
			28	27		12.5		5.3		20.2	31.0
B(F)	柱 1 ロット	42.8	20	25	12±2.5	12.0	5.5±1.5	5.4	27.0	24.1	36.0
	柱 2 ロット	52.0	25	25		11.0		4.5	27.0	24.0	35.4
B(F)	スラブ	214.0	3	8	12±2.5	12.0	5.5±1.5	5.0	27.0	23.8	36.4
			7	10		12.0		5.9		20.7	32.3

(a) RC 壁式橋脚（第 1 五間堂 BL P1）（フーチング）　(b)RC ラーメン高架橋（第 1 五間堂 BL R2）（地中梁・柱）

図－5　FA コンクリートを用いた部材

し，これを超える場合は，適切な混和剤を使用して出荷時のスランプおよび空気量を上げるなどの措置を講じることとしている。また，打込み時の温度は文献 [6]を基に原則として 10℃以上とし，5～10℃になる場合は，養生方法および養生時間について検討を行うこととしている。

(1) 打込み

当該箇所では，練上がりから打込み完了までの時間を 1 時間以内に抑えることが可能であったことから，出荷時のスランプ・空気量を上げる調整はしていない。**表－8** に各部材の打込みの実績値を示す。各部材で練上りからポンプ圧送（**図－3**）にて打込みを完了するまでの時間は平均 25～35 分程度であった。最大で 1 時間以上要したケースも少数見受けられたが，同一打込み日または，部材の打込み開始時に発生していることから，交通状況・段取りの都合等によるものと考えられ，平均的な運搬・打込みのサイクルとしては余裕のある施工が出来たといえる。また，ラーメン高架橋の地中梁（C(F)），スラブ・柱（B(F)）では，配筋が密な条件下で充填性を確保するため，施工者の判断で分離抵抗剤を添加した。

日報を基に打込み速度を試算した（**表－8**）が，各部材で通常のコンクリートを用いる場合と同等であり，FA コンクリートを用いたことによる作業性の低下は認められない。また，各杭を比較すると値が安定している。ラーメン高架橋の柱は 2 回に分割して打込み，レイタンス等を除去の上打ち継いだ。

品質管理としてコンクリートの種別毎に 150m^3 毎或い

は 1 日 1 回以上の頻度で，スランプ試験（**図－4**），空気量試験，圧縮強度試験を実施した。いずれも結果は許容値内に収まっており，特に各杭間での値のばらつきが安定している（**表－9**）。

(2)養生

橋脚・ラーメン高架橋ともに杭は 2～3 月の施工となりコンリート温度が 10℃を下回るケースもあった（**表－8**）が 8℃程度であり，水和熱による温度上昇も期待できることから問題は無いと考えた。その他の部材については，湿潤養生期間は混合セメントと同等とし，温度ひび割れ抑制のため, コンクリート用断熱養生シートで覆い, 保温養生を行った。一方, ラーメン高架橋のスラブでは, 打込み時のコンクリート温度は 8～10℃程度であったことから，ブルーシートで覆うとともにジェットヒータによる給熱養生を併用した。また，コンクリート打込みから型枠脱型までの日数を**表－10** に示す。

表－10　打込みから脱型までの日数

(a)RC 壁式橋脚

記号	部材	打込み日	脱型日	脱型までの日数
F(F)	フーチング	2017/6/14	2017/6/17	7 日
D(F)	躯体	2017/6/22	2017/6/29	7 日

(b)RC ラーメン高架橋

記号	部材	打込み日	脱型日	脱型までの日数
C(F)	地中梁	2017/9/5	2017/9/12	7 日
B(F)	柱 1 ロット	2017/9/15	2017/9/19	4 日
	柱 2 ロット	2017/9/27	2017/10/2	5 日
B(F)	スラブ	2017/12/13	2018/2/13(予定)	62 日(予定)

5. 結果

平成 29 年 12 月末日現在，橋脚は躯体まで，ラーメンは床版まで FA コンクリートの打込みが完了している。現時点では，FA コンクリートを適用した部材において，作業性，施工速度は通常の普通ポルトランドセメントのコンクリートと遜色なく，品質管理においても各項目安定して許容値を満足する結果が得られた。また，構造物表面の仕上がりも通常の構造物と同様に良好であり，一般に FA コンクリートで懸念される色むらも発生していない（**図―5**）。打込み時のコンクリート温度が 10℃を下回る条件となり，給熱養生を実施した高架橋のスラブでも，初期ひび割れは発生していない。これは，FA コンクリートで打込み時に 5～10℃となる条件でも一般的な給熱養生の併用により品質確保が可能となることを示唆するものである。一方，通常のコンクリートと比較して粘性が高く，流動性は期待した程高くなかったという感想も聞かれたことから，より鉄筋量の多い部材に適用する場合は打込み時に注意を要する可能性がある。

6. まとめ

北陸新幹線，金沢・敦賀間ではコンクリート構造物の ASR 抑制対策の一環として FA コンクリートの使用を可能としている。試験練りを経て所定の配合条件を満足することを確認の上，RC 橋脚，RC ラーメン高架橋各 1 基選定して試験施工を行った。その結果，現時点で打込みを終えた部材については，作業性・出来映えともに普通セメントのコンクリートと同等であった。今後は，橋脚の桁受け梁の打込みが予定されており，他の部材と同様の結果になるか注視したい。

謝辞

北陸新幹線（金沢・敦賀間）における構造物へのフライアッシュコンクリートの適用性の検討につきましては,「コンクリート構造物の長期耐久性向上検討会」に参画されました金沢大学鳥居教授ならびに委員の皆様に多大なるご指導・ご助言を頂き，東日本旅客鉄道株式会社構造技術センターから資料のご提供, ご助言を頂きました。ここに記して心より謝意を表します。

参考文献

1)（公社）土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書（施工編），2013.3.

2) 松田芳範，隈部佳，木野淳一，岩田道敏：アルカリ骨材反応のJR東日本版抑制策の制定について，コンクリート工学，Vol.58，No.8，pp. 669-675，2012.8.

3) 米澤豊司，鈴木恒男，石井秀和，笠倉亮太：フライアッシュコンクリートの北陸新幹線への適用, プレストレストコンクリート，vol.59，No.6，pp.28-33，2017.11

4) 笠倉亮太，渡辺健，岡本大，石井秀和：北陸産フライアッシュコンクリートの構造物への適用に関する実験的検討，第26回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2017.10

5) 久保哲司，参納千夏男，蟹谷真生，鳥居和之：フライアッシュコンクリートの社会実装を目的とした技術開発－北陸地方での経緯と実績－，コンクリート工学，vol.54, No.9，pp.914-919，2016.9

6) 北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会：北陸地方におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造および施工マニュアル（案），2013.6