

海外炭フライアッシュのコンクリートへの適用(その2)

小林 仁*
 角谷 英一郎**
 齋藤 敏 樹***

概要 北海道電力(株)苫東厚真発電所4号機増設土木工事では、近隣の生コン工場を利用して炭種の異なる海外炭フライアッシュを混和材とした生コンクリートを製造し、約1年11ヶ月の主要土木工事コンクリート打設期間中に約54,000m³のフライアッシュコンクリートを利用(フライアッシュ利用量約3,100t, 炭種数10炭種)した。本報告は、工事に使用した海外炭フライアッシュを混和材としたフライアッシュコンクリートの品質管理結果について取りまとめた。

キーワード：海外炭, フライアッシュ, コンクリート, 石炭灰の有効利用

1. はじめに

北海道電力(株)苫東厚真発電所は、苫小牧東部地域内の臨海地区に位置する石炭火力発電所であり、平成14年6月17日に4号機(微粉炭燃焼, 出力70万kW)が営業運転を開始した。

この4号機増設土木工事では、建設工事のコストダウンや廃棄物の有効利用に積極的に取り組み、その成果の一つとして石炭灰約48,000tを有効利用した。

このうち、工事に使用したコンクリートについても、事前に実施した配合試験結果¹⁾から既設2号機の海外炭フライアッシュ(以下、FAという。)を混和材としたFAコンクリートの利用が可能との知見を得たことから、FAコンクリートを採用した。

本報告は、4号機増設土木工事における海外炭FAを利用したコンクリートの品質管理結果について取りまとめたものである。



小林 仁

角谷 英一郎

齋藤 敏樹

2. 室内配合試験¹⁾

今回利用した既設2号機産FAは、その大半がコンクリート用FA JIS II種相当品であるが、年間20種類以上の海外炭を燃焼していることから、化学成分や物理性状が一定品質にならないため、コンクリート用として本格的に使用された実績はなかった。

以上から、4号機増設土木工事への適用にあたり、①十分に利用が可能であることを確認する、②示方配合を定めることを目的にFA5種類を利用した室内配合試験を実施した。

(1) 室内配合試験の使用材料およびFAの品質

室内配合試験に供した使用材料を表-1に、FAの品質を表-2に示す。

表-1 使用材料

種類	諸元
普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm ³ , 比表面積3,370cm ² /g
細骨材	浜厚真産陸砂, 密度2.68g/cm ³ 吸水率2.4%, 粗粒率FM2.52
粗骨材	沙流川産川砂利 25-5mm, 密度2.75g/cm ³ , 吸水率1.0% 40-5mm, 密度2.76g/cm ³ , 吸水率0.9%
AE減水剤	変成リグニンスルホン酸系
AE助剤	アルキルエーテル系

(2) 室内配合試験ケースおよび条件

室内配合試験ケースおよび配合条件を表-3に示す。

*北海道電力(株) 土木部 主幹 石炭灰利用促進グループリーダー 会員 hitoshi-k@email.hepco.co.jp
 **北海道電力(株) 土木部 土木技術グループ 兼務 石炭灰利用促進グループ (前 苫東厚真火力発電所建設所 土木課) 会員 e-kaku@email.hepco.co.jp
 ***北電興業(株) 土木部 副長 会員 toshiki-sait@hokudenkogyo.co.jp

表-2 FAの品質

炭種		OP	DD	SU	MS/BA	BU	旧JIS規格(1996)
化学成分	強熱減量%	2.3	2.0	0.1	1.0	2.0	5以下
	二酸化けい素%	49.6	51.9	62.7	54.0	71.1	45以上
	酸化第二鉄%	3.69	12.56	3.70	6.26	3.23	—
	酸化アルミニウム%	29.87	17.32	15.21	23.64	17.17	—
	酸化カルシウム%	5.72	10.29	9.00	5.72	0.62	—
物理性	pH	11.3	13.0	13.1	13.1	8.3	—
	メチレンブルー(MB)吸着量mg/g	0.63	0.94	0.28	0.38	0.57	—
	湿分%	0.04	0.04	0.00	0.01	0.08	1以下
	密度g/cm ³	2.33	2.47	2.35	2.32	2.18	1.95以上
	密かさ比重g/cm ³	1.374	1.552	1.642	1.484	1.318	—
	充填率%	59.0	62.8	69.9	64.0	60.5	—
	粉末度	ブレン比表面積cm ² /g	2,980	3,360	2,310	2,560	3,430
45μmふるい残分%		10.0	12.0	26.0	23.0	15.0	40以下
状態	フロー値比%	105	109	108	101	105	92以上
	活性度指数(28日)%	86	90	86	92	86	80以上
	活性度指数(91日)%	100	96	97	96	104	90以上
	曲げ強度比(28日)%	94	93	91	93	90	—
	曲げ強度比(91日)%	98	102	96	99	104	—

表-3 室内配合試験ケースおよび配合条件

配合ケース	粗骨材最大寸法(mm)	設計基準強度(N/mm ²)	配合強度(N/mm ²)	スランブの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	水結合材比 W/(C+F)(%)	フライアッシュ置換率 F/(C+F)(%)
A	40	24	29	12±2.5	4.5±1.0	55以下	20
B		21	25				
C		18	22				
D	25	24	29	18±2.5	—	—	0
E	40			15±2.5			
P	40	—	—	12±2.5	—	—	—

※P配合は、B配合と細骨材率・単位結合材量を同一として単位水量を調整した配合

(3) 室内配合試験結果のまとめ

FAの品質変動がコンクリートに与える影響は以下のとおりであった。

- ①MB吸着量が大きくなるとAE助剤添加率は多くなる相関が示され、所定の空気量が得られるAE助剤添加率はMB吸着量から推定が可能と考えられた。
- ②MB吸着量が大きくなるにしたがい、練り上がり90分経過後の空気量は小さくなる傾向が示された。
- ③密かさ比重が大きくなるとスランブは大きくなる相関が示され、密かさ比重からスランブの変動を推定することで単位水量の補正が可能と考えられた。
- ④圧縮強度は、FAの品質と明瞭な関係は示されなかった。しかし、本試験で使用したOP灰はFAの中で最も

低い強度のものであり、他のFAを使用しても配合強度を下回る可能性は低いと考えられた。

- ⑤凍結融解抵抗性は、MB吸着量が0.94mg/gのDD灰を使用した場合であっても優れた耐凍害性を示し、練り上がり空気量が4.5%程度であればFAの品質変動による凍結融解抵抗性に与える影響は少ないと考えられた。

(4) 室内配合試験結果から得られた示方配合

室内配合試験結果から得られた示方配合を表-4に示す。本示方配合を基本に4号機増設土木工事への適用を図った。

3. 苫東厚真発電所4号機増設土木工事への適用

(1) 生コン工場別の現場配合

4号機増設土木工事では、近隣の生コン工場からFAコンクリートを出荷する計画としたが、出荷工場ごとに使用材料が異なることから、事前に当社実施の室内配合試験(示方配合)を基本とした試験練りを実施して、現場配合を定めることとした。なお、土木工事にFAコンクリートを出荷した生コン工場は2社であった。

A社における使用材料を表-5、B社における使用材料を表-6、A社における現場配合を表-7、B社における現場配合を表-8に示す。

表-4 室内配合試験から得られた示方配合

配合	設計基準強度	空気量	粗骨材最大寸法	スランブ	W/(C+F)	s/a	単位量(kg/m ³)					混和剤量(g/m ³)			
	N/mm ²						%	mm	cm	%	%	W	C	F	S
A	24	4.5±1.5	40	12±2.5	43.1	40	141	262	65	755	1,167	3,270	101.4		
B	21				48.4	40	137	226	57	775	1,198	2,830	82.1		
C	18				53.4	40	135	202	51	788	1,218	2,530	70.8		
D	24				25	18±2.5	47.3	46	156	264	66	848	1,021	3,300	82.5
E					40	15±2.5	45.1	40	144	255	64	755	1,166	3,190	41.5

表-5 A社における使用材料

種 類	諸 元
普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm ³ , 太平洋セメント製
細骨材	浜厚真産 密度2.70g/cm ³ , 吸水率1.6%
粗骨材	沙流川産川砂利 密度2.75g/cm ³ , 吸水率1.2%
AE減水剤	変成リグニンスルホン酸系
AE助剤	アルキルエーテル系

表-6 B社における使用材料

種 類	諸 元
普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm ³ , 日鉄セメント製
細骨材	勇弘産 密度2.69g/cm ³ , 吸水率1.6%
粗骨材	勇弘産砂利 密度2.70g/cm ³ , 吸水率0.5%
AE減水剤	変成リグニンスルホン酸系
AE助剤	アルキルエーテル系

表-7 A社における現場配合

配合	設計基準強度 N/mm ²	空気量 %	粗骨材最大寸法 mm	スランプ cm	W/(C+F) %	s/a %	単位量(kg/m ³)					混和剤量(g/m ³)	
							W	C	F	S	G	AE減水剤	AE助剤
A	24	4.5±1.5	40	12±2.5	43.1	40	149	277	69	745	1,140	3,460	121.0
B	21				48.4	40	149	246	62	759	1,162	3,080	89.0
C	18				53.5	40	146	218	55	772	1,183	2,730	68.0
D	24		25	18±2.5	47.3	42	152	257	64	788	1,108	3,210	144.0
E			40	15±2.5	47.2	46	154	261	65	859	1,026	3,260	7.0

表-8 B社における現場配合

配合	設計基準強度 N/mm ²	空気量 %	粗骨材最大寸法 mm	スランプ cm	W/(C+F) %	s/a %	単位量(kg/m ³)					混和剤量(g/m ³)	
							W	C	F	S	G	AE減水剤	AE助剤
A	24	4.5±1.5	40	12±2.5	43.0	40	136	253	63	767	1,153	3,160	133.0
B	21				48.4	40	134	222	55	783	1,177	2,770	116.0
C	18				53.2	40	132	198	50	796	1,196	2,480	104.0
D	24		25	18±2.5	47.2	41	142	241	60	785	1,131	3,010	75.0
E			40	15±2.5	48.3	42	145	240	60	799	1,110	3,300	140.0

(2) FAコンクリートの品質管理要領およびFAコンクリート打設量・FA利用量

土木工事におけるFAコンクリートの打設に先立ち、FAコンクリートの品質管理要領を定めた。FAコンクリートの品質管理要領を表-9に示す。

表-9 FAコンクリートの品質管理要領

試験項目	1回の打設量 500m ³ 未満	1回の打設量 500m ³ 以上
スランプ試験	1回/50m ³	1回/100m ³
空気量試験		
コンクリート温度測定		
圧縮強度試験	1回/100m ³	1回/200m ³

なお、コンクリートに利用するFAは、事前に以下の項目を満足することを原則とした。

- 2号機産FA(乾灰)でJIS II種相当品であること。
- pHは、アルカリ性であること。
- MB吸着量は、0.7mg/g以下であること。

FAコンクリートは、平成11年5月から平成13年3月までの間に約54,000m³を打設し、FA利用量は約3,100tに及んだ。

(3) FAの品質変動

FAコンクリートへ利用したFAは、10炭種に及んだ。利用炭種とその割合を図-1に、FAの品質変動を取りまとめた結果を表-10に示す。

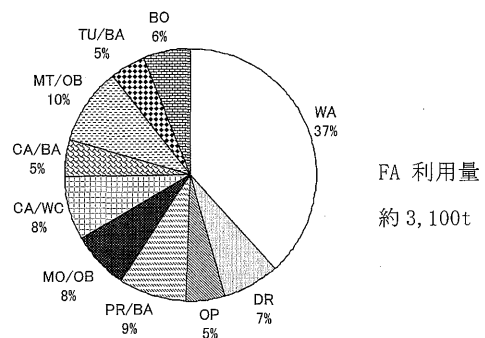


図-1 利用炭種とその割合

(4) FAコンクリートのフレッシュ性状

FAコンクリートのフレッシュ性状(スランプ・空気量)の代表として、B配合におけるA社の品質管理結果を図-2, 3に、B社の品質管理結果を図-4, 5に示す。

FAコンクリートのフレッシュ性状は、コンクリート打設期間中で安定しており、炭種変更等による品質変動等の悪影響は見受けられなかった。

表-10 フライアッシュの品質変動

品質項目	試料数	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数 (%)	規格値 (JIS II種)
二酸化けい素(%)	15*	59.7	68.6	50.3	1.46	2.4	45.0以上
湿分(%)		0.07	0.19	0.00	0.01	14.3	1.0以下
強熱減量(%)		1.8	3.00	0.76	0.16	8.9	5.0以下
密度(g/cm ³)		2.26	2.43	2.17	0.02	0.9	1.95以上
45μmふるい残分(%)		16	23	10	1.12	7.0	40以下
ブレン比表面積(cm ² /g)		3,240	3,630	2,870	48.8	1.5	2,500以上
フロー値比(%)		107	116	101	1.15	1.1	95以上
材齢28日活性度指数(%)		85	92	78	1.08	1.3	80以上
材齢91日活性度指数(%)		99	111	89	1.53	1.5	90以上
MB吸着量(mg/g)		0.63	0.78	0.28	0.03	4.8	—
pH		11.1	12.4	8.2	0.26	2.3	—
密かさ比重(g/cm ³)		1.431	1.602	1.299	0.02	1.4	—
充填率(%)		63.4	67.0	59.3	0.62	1.0	—

※FAの品質試験はFA採取時に行っている。採取時期が異なった場合(ただし、同一炭種が継続して燃焼している期間内は採取日が異なっても品質試験1回)は、同一の炭種でも品質試験を行っているため、表中の試料数は利用炭種数より多くなった。

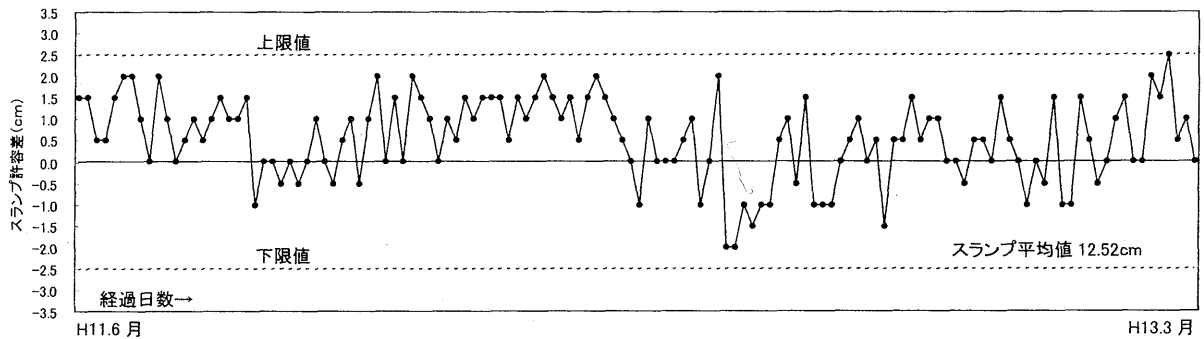


図-2 A社におけるスランブ管理図(B配合)

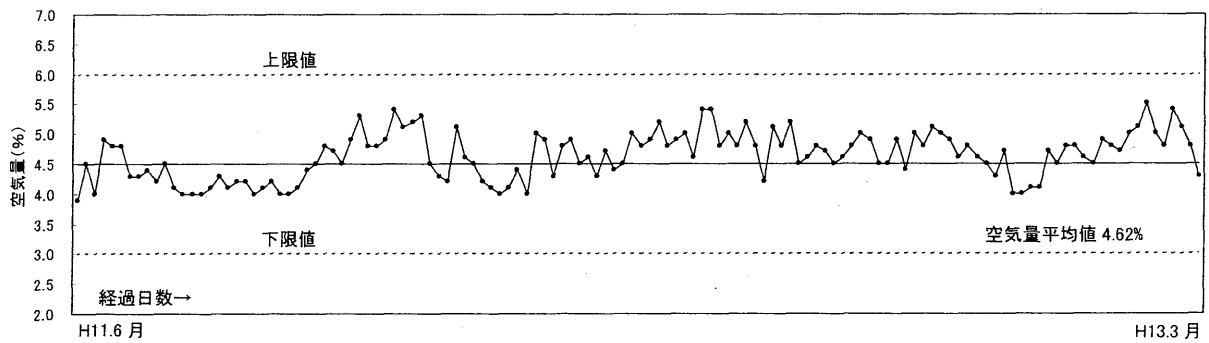


図-3 A社における空気量管理図(B配合)

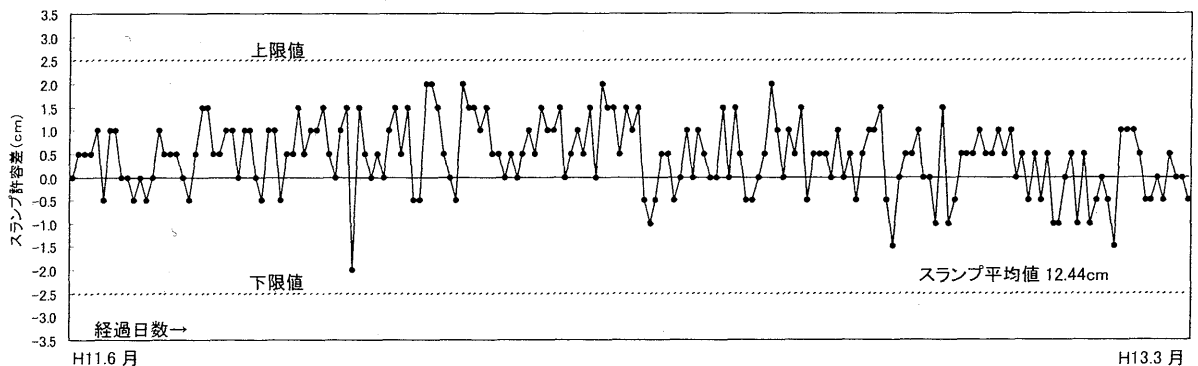


図-4 B社におけるスランブ管理図(B配合)

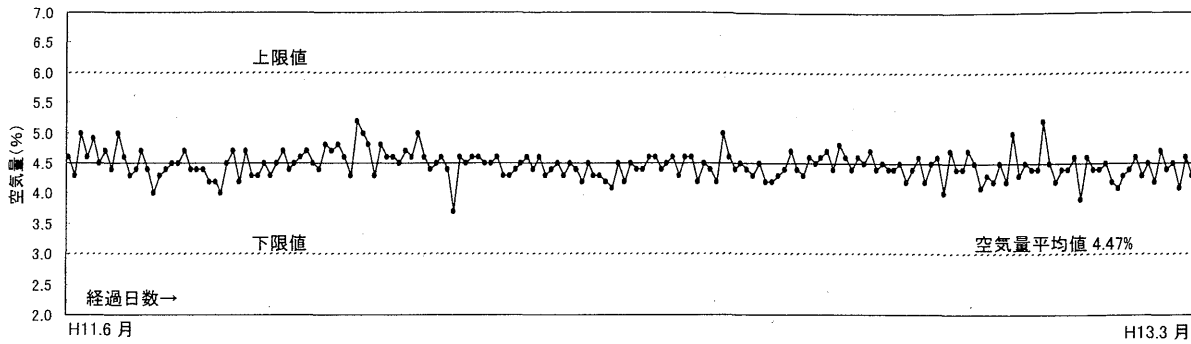


図-5 B社における空気量管理図(B配合)

(5) FAコンクリートの強度性状

A社におけるFAコンクリートの圧縮強度を表-11に、B社の圧縮強度を表-12に示す。

表-11 A社におけるFAコンクリートの圧縮強度

配合仕様	試料数 (個)	平均値 (N/mm ²)	最大値 (N/mm ²)	最小値 (N/mm ²)	標準 偏差 (N/mm ²)	変動 係数 (%)
A配合 24-12-40	74	32.9	37.5	27.6	2.2	6.7
B配合 21-12-40	71	29.2	33.7	24.6	2.3	7.9
C配合 18-12-40	4	26.6	28.6	23.9	2.3	8.6
D配合 24-18-25	23	35.7	39.3	31.5	2.2	6.2
D'配合 24-12-25	39	33.3	35.6	30.2	1.2	3.6

※D'配合は、D配合(24-18-25)を基に単位水量を調整し、スランプを12cmとした配合。

E配合の打設実績はなかった。

表-12 B社におけるFAコンクリートの圧縮強度

配合仕様	試料数 (個)	平均値 (N/mm ²)	最大値 (N/mm ²)	最小値 (N/mm ²)	標準 偏差 (N/mm ²)	変動 係数 (%)
A配合 24-12-40	26	31.4	34.7	25.7	1.9	6.1
B配合 21-12-40	146	27.9	33.6	22.2	1.6	5.7
C配合 18-12-40	4	23.4	23.9	22.9	0.5	2.1
D配合 24-18-25	16	31.6	33.4	29.5	1.1	3.5
D'配合 24-12-25	7	32.1	33.3	30.8	0.8	2.5

※D'配合は、D配合(24-18-25)を基に単位水量を調整し、スランプを12cmとした配合。

E配合の打設実績はなかった。

FAコンクリートの圧縮強度は、すべてのデータで設計基準強度を大きく上回った。これは、FAコンクリートの示方配合を最も強度が小さいFA(OP灰)を基準にして決定したことが大きな要因であると考えられる。

また、FAコンクリートの仕様別圧縮強度の変動係数は、A社が3.6~8.6%、B社が2.1~6.1%であった。

一般に生コン工場で普通ポルトランドセメントを使用し

た生コンクリートの品質を管理する際の目標としている圧縮強度の変動係数は10%以下である。このことから、炭種の異なる海外炭FAを利用したコンクリートにおいても、通常の生コン工場における品質管理の延長で十分に管理することが可能であり、炭種の異なる海外炭FAを利用したコンクリートでも十分に利用が可能であることを示唆する結果であると考ええる。

5. おわりに

苫東厚真発電所4号機増設土木工事において、海外炭FAを利用したFAコンクリートを大量使用した。

当初、懸念された海外炭FAを利用することによる品質変動に起因したトラブルは、約1年11ヶ月のコンクリート打設期間中全くなく、かつ、生コン工場においても海外炭FAを利用したことによる配合変更等の煩雑性も確認されなかった。

以上の結果から、FAコンクリートを製造した生コン工場では、民間向けのコンクリートとしてFAコンクリートを利用する実績も出てきており、大きな成果を挙げることができたと考える。

苫東厚真発電所4号機の運開に伴い、石炭灰の有効利用拡大に向けたブレンディングサイロ(容量2,500t×2基)が活用されることになった。今後は、FAもより品質が安定した状態で、市場に供給できる体制が整うことになり、海外炭FAを用いたFAコンクリートがより多くの市場に出回るものと考えられる。本報告が今後の海外炭FAコンクリート市場拡大の参考になれば幸いである。

最後に土木工事へのFAコンクリート利用に際し、ご指導ご協力を得た関係各位に感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 小林 仁; 齋藤敏樹. 海外炭フライアッシュのコンクリートへの適用(その1). 電力土木. no.282, 1999, p.52-56.