

# フライアッシュまたは高炉スラグ微粉末を混和材に用いた PC 部材用コンクリートの強度特性および塩分浸透性について

浦野 登志雄\* 松田 学\*\* 松本 優朋\*\*

## Experimental Studies on Mechanical Properties and the Salt Permeability Test of Concretes for PC Members Containing Fly Ash or Blast Furnace Slag Fine Powder as Admixture

Toshio Urano\*, Manabu Matsuda\*\*, Yuho Matsumoto\*\*

The development of concrete using industrial waste and industrial byproducts has been studied in various areas, in consideration of several factors such as protection of environmental resources or CO<sub>2</sub> reduction. In particular, fly ash and blast furnace slag fine powder have been used as admixtures for the purpose of improving the quality of concrete. The standard curing is used in most cases in existing research, but less researches have been conducted under conditions similar to those of actual structure. In this study, concrete specimens made with fly ash or blast furnace slag fine powder are used. Their mechanical properties and durability were evaluated by using the standard curing and steam curing as experimental factors. As a result, higher value was shown in strength development of concrete than the concrete of normal cement alone. In addition, drying shrinkage strain and inhibitory effect on salt penetration was observed. As the result of this experiment, it was confirmed that the use of fly ash and blast furnace slag fine powder as PC member concrete is useful.

キーワード：フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末, 圧縮強度, 塩分浸透性試験, プレキャストコンクリート

Keywords : Fly ash, Blast Furnace Slag Fine Powder, Compressive Strength, Salt Permeability Test, Precast Concrete

### 1. はじめに

産業廃棄物や産業副産物を用いたコンクリートの開発は、CO<sub>2</sub>削減などの地球環境問題への配慮から各方面で研究が進められている。その中で、フライアッシュや高炉スラグ微粉末は JIS 適合材料であり、比較的研究に取り組みやすい材料である。これらの混和材料を使用すると、乾燥収縮ひずみの低減、アルカリ骨材反応抑制、水密性の増加などコンクリートの耐久性が向上することが知られている。

高炉スラグ微粉末は、コンクリートの品質向上を目的にプレキャストコンクリート(PC)の分野にも混和材料として広く利用されているが、フライアッシュを使用した事例は少ない。また、既往の研究は、実際に使用されている PC コンクリート構造物と同様の養生条件で評価されたものは少なく、標準養生での評価がほとんどである。本研究では PC

コンクリートの強度および耐久性を調べることを目的に、普通セメント(N)、普通セメントに混和材として、フライアッシュ(FA)または高炉スラグ微粉末(BS)を混合した 2 種類のコンクリートについて調査設計を行った。設計基準強度は、30N/mm<sup>2</sup>と 45N/mm<sup>2</sup>の 2 水準とし、合計 6 種類の調査により供試体を作製した。各供試体は標準養生のほか、実際の養生方法に合わせた蒸気養生による供試体も併せて作製した。

### 2. フライアッシュと高炉スラグ微粉末の特性

フライアッシュと高炉スラグ微粉末は、混和材としてセメントに混合することで大きな効果を発揮する。

フライアッシュは、石炭火力発電所で石炭を燃焼させた際に発生する浮遊灰の粒子を捕集したものである。フライアッシュの主成分であるシリカ(SiO<sub>2</sub>)とアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は、セメントに混合すると、セメントの水和反応の際に生成される水酸化カルシウム[Ca(OH)<sub>2</sub>]と徐々に反応してカルシウムシリケート水和物等を生成する。この反応をポズラン反応と呼び、コンクリートの耐久性と水密性を高めることができる。また、フライアッシュは微細粒子であり、粒子が

\* 建築社会デザイン工学科  
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627  
Dept. of Architecture and Civil Engineering,  
2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

\*\* (株)ヤマックス  
〒862-0950 熊本県熊本市水前寺 3 丁目 9 番 5 号  
Department of Research and Development, Yamax Corporation.  
9-5, Suizenji 3-chome, Kumamoto-shi, Kumamoto, Japan  
862-0950

球形であるため、フレッシュコンクリートの流動性が増大する。さらに、水和熱やアルカリシリカ反応抑制等の効果が得られる<sup>(1)</sup>。

高炉スラグは、銑鉄を製造する高炉で鉄鉱石に含まれる鉄以外の成分と、副原料の石灰石やコークス中の灰分と一緒に溶解分離回収されたものであり、冷却方法により徐冷スラグと水砕スラグに分類される。水砕スラグは、微粉砕することによってセメント中の水酸化カルシウム[Ca(OH)<sub>2</sub>]などのアルカリ刺激によって硬化し、時間とともに強度が増加する潜在水硬性を有する。また、アルカリ骨材反応抑制効果、硫酸塩や海水に対する化学抵抗性の向上などの効果がある。このため、高炉セメントとして使用され、水和熱の発熱速度が小さく、化学的な耐久性が高いことから、港湾等の大型土木工事をはじめ幅広く使用されている<sup>(1)</sup>。

### 3. 実験方法

#### 3.1 コンクリートの調合

表1に使用材料を示す。表2に普通セメント(N)、普通セメントに混和材としてフライアッシュ(FA)または高炉スラグ微粉末(BS)を用い、JASS10に準拠<sup>(2)</sup>して調合設計した設計基準強度30N/mm<sup>2</sup>および45N/mm<sup>2</sup>の各種コンクリートの計画調合を示す。設計条件は、目標スランブを18±2.5cm、目標空気量を2.0±1.0%とし、所要のワーカビリティを満足するために混和剤を使用して適宜調整した。

#### 3.2 実験項目

力学的特性は、蒸気養生ならびに標準養生を行った供試体について、材齢91日までの各種強度(圧縮強度、曲げ強度、割裂引張強度)およびヤング係数を測定した。また、耐久性を評価するために、同様な養生条件で作製した供試体を用いて、乾燥収縮ひずみの測定、塩分浸透性試験および屋外曝露試験を行った。

#### 3.3 供試体養生方法

供試体の養生方法については、標準養生(W)および蒸気養生(S)の2種類とした。

(W)：材齢1日まで現場気中養生を行い、脱型後に所定の材齢まで標準養生を行った。

(S)：PC部材と同一条件の蒸気養生(前置き2時間、昇温速度20℃/hr、最高温度50℃—保持1.0hr、徐冷)の後、恒温恒湿室(20℃、60%RH)にて所定の試験材齢まで気中養生を行った。

#### 3.4 力学的特性

圧縮強度試験(JIS A 1108)、割裂引張強度試験(JIS A 1113)およびヤング係数の測定(JIS A 1149)にはφ100×200mmの円柱供試体を、曲げ強度試験(JIS A 1106)には100×100×400mmの角柱供試体を用いた。各種コンクリート調合は、強制二軸型の実機プラント1.5m<sup>3</sup>にて練混ぜを行い、JIS規格に基づいて供試体を作製し、所定の材齢まで養生を行い、各種試験を実施した。

表1 使用材料

種類	品名	密度(g/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)	F.M.
セメント	普通セメント	3.16	—	—
混和材	フライアッシュⅡ種	2.28	—	—
	高炉スラグ微粉末 6000	2.91	—	—
細骨材	海砂	2.57	1.35	2.51
粗骨材	碎石	2.92	0.82	6.60
混和剤	高性能減水剤	1.15	—	—

表2 計画調合

Fc(N/mm <sup>2</sup> )	種別記号	W/B(%)	s/a(%)	単位容積質量(kg/m <sup>3</sup> )					
				W	C	BS	FA	S	G
30	30N	48	41.5	165	344	—	—	754	1206
	30BS	47	40.9		251	108	—	734	
	30FA	40	38.6		317	—	100	667	
45	45N	37	38.7	165	446	—	—	670	1206
	45BS	35	37.6		330	141	—	640	
	45FA	32	35.6		416	—	100	586	

Fc:設計基準強度, W/B:水結合材比, s/a:細骨材率, W:単位水量, C:単位セメント量, BS:高炉スラグ微粉末, FA:フライアッシュ, S:細骨材量, G:粗骨材量

#### 3.5 乾燥収縮ひずみの測定

JIS A 1129-3のダイヤルゲージ方法に基づき、100×100×400mmの角柱供試体にゲージプラグを埋込んで供試体を作製した。供試体の養生方法は、標準養生(W)と蒸気養生(S)の2種類とした。標準養生供試体については、JIS試験方法に準拠して材齢7日まで標準養生を行い、基長を測定後、恒温恒湿室(20℃、60%RH)で二次養生を行い、所定の材齢で乾燥収縮ひずみを測定した。蒸気養生供試体については、PC部材と同一条件の蒸気養生(前置き2時間、昇温速度20℃/hr、最高温度50℃—保持1.0hr、徐冷)の後、24時間後に脱型、以後恒温恒湿室内で二次養生を行い、材齢7日で基長を測定した。

#### 3.6 塩分浸透性試験

JIS A 1108に基づいてφ100×200mmの円柱供試体を作製し、材齢28日まで所定の養生を行った。なお、材齢28日までの期間内にJSCE-G572-2010に従い、以下の手順で供試体の加工を行った。図1～6に一連の作業を示す。

- ①供試体の上下端を25mmずつ切断
- ②12時間以上乾燥(20℃、60%RH)
- ③端面片側を除く全面をエポキシ樹脂で被覆
- ④4日間以上乾燥(20℃、60%RH)
- ⑤養生再開

材齢28日までの養生終了後、10%NaCl水溶液に所定の期間浸漬した。

測定材齢において、供試体の開放面側を精製水で軽く洗浄したのち、開放面から15mmおきに5層(15, 30, 45, 60, 75mm)に切断し、ニッパー等を用いて側面のエポキシ

樹脂を除去した。その後、これらの試験片を破碎処理して0.15mm以下の粉体を採取した。計測時には、粉碎後の試験片30gを50℃の精製水15gに溶解させ、電極電流測定法によって各層における塩分量を測定した。なお、JSCEでは、下式による塩化物イオン拡散係数の算出法が示されているが、本論では実験結果のみにより考察した。

$$C(x,t) - C_i = C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right\} \dots (1)$$

ここで、 $C(x,t)$ ：単位体積あたりの全塩化物イオン(%),  $x$ ：測定深さ(cm),  $t$ ：浸漬期間(年),  $C_{a0}$ ：コンクリート表面の全塩化物イオン(%),  $C_i$ ：単位質量あたりの初期全塩化物イオン(%),  $D_{ap}$ ：浸漬期間による見かけの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{年}$ )。



図1 エポキシ樹脂塗布



図2 供試体切断



図3 破碎処理



図4 試料採取



図5 試験片の溶解



図6 塩分量の測定

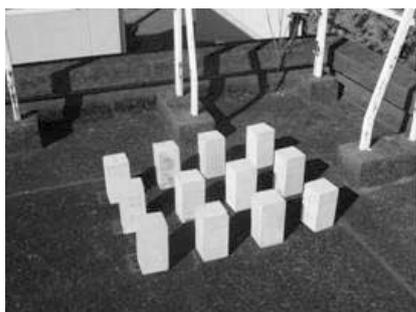


図7 屋外暴露試験状況

### 3.7 屋外暴露試験

曲げ強度試験（材齢28日）に使用した角柱供試体の破断片を100×100×150mmに切断加工した後、屋外暴露を行い、ひび割れの有無や変色状況などを観察した。図7に試験状況を示す。供試体設置場所は、校舎屋根スラブ上に配列し、暴露期間は約2年である。ここで、暴露試験による経過観察を行った理由は、高炉スラグ微粉末を使用したPC製品の一部に、数年後、微細な表面ひび割れの発生が問題となったためである。

## 4. 実験結果

### 4.1 フレッシュコンクリート

表3にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。スランプ・空気量ともに調合設計の目標値を満足した。塩化物イオン量の測定の結果は、すべて0.30kg/m<sup>3</sup>以下であり、制限値の範囲内で問題ないことが示された。なお、コンクリートの温度(CT.)は、8月下旬から9月上旬にかけて供試体作製を行ったため30℃前後となった。

表3 フレッシュコンクリートの試験結果

項目	調合種別					
	30N	30BS	30FA	45N	45BS	45FA
SL (cm)	18.5	16.0	15.5	17.5	20.0	18.0
Air (%)	1.7	1.8	1.6	1.2	1.0	1.3
C.T. (°C)	29	32	31	32	30	32
Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	0.085	0.048	0.045	0.039	0.042	0.031

SL：スランプ値，Air：目標空気量，C.T.：コンクリート温度，Cl<sup>-</sup>：塩化物量

### 4.2 力学的特性

表4および表5に各強度試験結果を、図8および図9に圧縮強度と材齢の関係を示す。ここで、表および図中に示す測定値は、供試体3体の平均値で表している。図より、材齢7日以降の蒸気養生による供試体の圧縮強度は、標準養生に比べて全て低い値を示しているが、同一の設計基準強度における普通セメント調合に対して、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を混和材として用いた蒸気養生供試体の圧縮強度は高くなっており、長期材齢での強度増加が確認された。一方、水分供給のある標準養生供試体は、材齢初期から強度発現が大きく、蒸気養生供試体よりも長期にわたって緩やかに増進することが明らかとなった。

図10および図11に調合および材齢について、標準養生と蒸気養生の供試体圧縮強度の関係を示す。標準養生と蒸気養生の圧縮強度の発現状況を比較した結果、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートと普通ポルトランドセメント単味のコンクリートに大きな差は認められなかった。また、30N/mm<sup>2</sup>調合の方が強度発現につれて、蒸気養生と標準養生の強度差が相対的に見てやや大きくなる傾向が示された。

表4 圧縮強度と材齢 (30N/mm<sup>2</sup> 調べ)

配合種別	養生方法	項目	強度試験結果 (N/mm <sup>2</sup> )					
			材齢 (日)					
			1	7	14	28	56	91
30N	標準 (W)	圧縮	—	34.2	40.0	44.2	49.4	52.2
		曲げ	—	—	5.42	6.43	6.93	7.40
		引張	—	—	3.50	3.47	3.53	4.61
		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	34.1	35.4	36.5	40.9	41.4
	蒸気 (S)	圧縮	17.6	31.7	34.3	36.0	38.8	40.2
		曲げ	—	—	3.52	4.73	5.43	5.53
		引張	—	—	2.68	2.89	3.09	3.35
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	31.2	30.9	32.7	33.2	33.6		
30BS	標準 (W)	圧縮	—	37.8	46.8	52.3	59.2	63.3
		曲げ	—	—	5.94	6.06	7.28	7.79
		引張	—	—	3.61	3.90	3.97	4.34
		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	32.5	36.0	38.2	42.3	44.3
	蒸気 (S)	圧縮	16.2	30.8	36.1	37.6	42.5	44.0
		曲げ	—	—	3.69	4.27	5.07	6.11
		引張	—	—	2.69	2.89	3.01	3.21
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	30.9	31.2	31.9	36.4	34.6		
30FA	標準 (W)	圧縮	—	39.6	44.0	49.6	56.7	64.3
		曲げ	—	—	5.67	5.67	6.75	7.55
		引張	—	—	2.91	3.22	3.81	5.02
		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	37.3	38.3	38.7	44.7	45.6
	蒸気 (S)	圧縮	20.4	33.7	37.8	40.1	41.8	44.3
		曲げ	—	—	4.14	4.27	5.13	5.43
		引張	—	—	2.80	2.84	3.25	3.55
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	31.2	33.0	34.1	33.7	35.5		

表5 圧縮強度と材齢 (45N/mm<sup>2</sup> 調べ)

配合種別	養生方法	項目	強度試験結果 (N/mm <sup>2</sup> )					
			材齢 (日)					
			1	7	14	28	56	91
45N	標準 (W)	圧縮	—	47.9	53.0	57.6	65.6	68.9
		曲げ	—	—	6.04	6.81	7.25	7.51
		引張	—	—	3.65	4.00	4.91	4.92
		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	38.6	40.6	42.3	44.3	44.5
	蒸気 (S)	圧縮	24.9	43.4	46.3	49.3	50.2	51.4
		曲げ	—	—	4.45	4.74	5.13	6.00
		引張	—	—	3.15	3.27	3.36	3.39
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	32.4	35.8	39.9	36.5	36.8		
45BS	標準 (W)	圧縮	—	55.0	65.8	69.5	74.2	75.5
		曲げ	—	—	7.27	7.86	9.51	9.64
		引張	—	—	4.36	4.78	4.98	5.33
		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	39.3	42.7	44.6	46.1	46.0
	蒸気 (S)	圧縮	27.0	45.9	52.7	57.5	60.7	60.0
		曲げ	—	—	4.56	5.34	5.71	6.17
		引張	—	—	3.61	3.72	3.75	4.55
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	36.9	36.7	39.2	39.4	38.7		
45FA	標準 (W)	圧縮	—	49.2	56.2	64.4	70.8	74.3
		曲げ	—	—	5.14	7.15	8.15	8.40
		引張	—	—	3.63	3.97	5.01	5.18
		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	38.2	37.7	41.3	45.9	47.4
	蒸気 (S)	圧縮	25.7	43.3	47.5	51.5	53.7	55.4
		曲げ	—	—	4.36	4.98	6.11	6.20
		引張	—	—	3.17	3.72	4.20	4.35
ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	—	34.6	35.9	36.9	36.3	38.5		

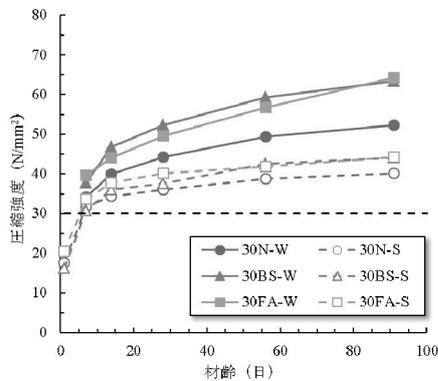


図8 圧縮強度と材齢の関係(30N/mm<sup>2</sup> 調べ)

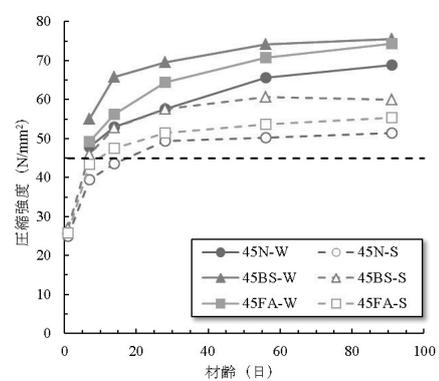


図9 圧縮強度と材齢の関係(45N/mm<sup>2</sup> 調べ)

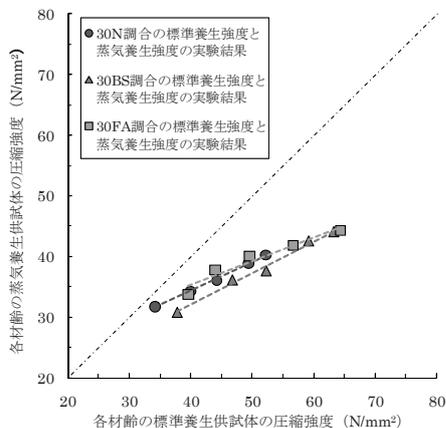


図10 圧縮強度と養生条件の関係(30N/mm<sup>2</sup> 調べ)

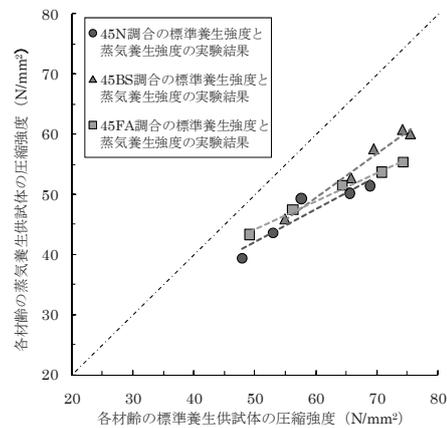


図11 圧縮強度と養生条件の関係(45N/mm<sup>2</sup> 調べ)

図12および図13にヤング係数と圧縮強度の関係を示す。図中にはNew-RC式( $\gamma=2.45$ )を併記している<sup>(3)</sup>。図より、測定値が計算値を上回る傾向が示されているが、調合や養生条件の違いに対して明確な差異は認められなかった。

図14および図15に曲げ強度と材齢の関係を示す。蒸気養生供試体は、各調合の曲げ強度にあまり違いが認められないが、標準養生供試体では、45BS-Wがやや高い曲げ強度を示している。今般の調合設計では、高炉スラグ微粉末の置換率を結合材の30%と設定(30N/mm<sup>2</sup>-108kg/m<sup>3</sup>, 45N/mm<sup>2</sup>-141kg/m<sup>3</sup>)しているのに対して、フライアッシュは脱型強度を確保する目的から一律に100kg/m<sup>3</sup>と設定しており、水分供給のある標準養生供試体において、単位混和材量の違いが密実性に影響を与えた可能性も考えられる。

図16および図17に割裂引張強度と材齢の関係を示す。普通セメント単味の供試体は、強度にほとんど差がなく、その他の調合についても、圧縮強度の増加に比べると割裂引張強度の増加は小さいことが示された。

図18および図19に割裂引張強度と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度60N/mm<sup>2</sup>以下の範囲で推定式<sup>(4)</sup>とよい一致が見られるが、圧縮強度の増加に対して頭打ちの傾向が認められた。

図20および図21に割裂引張強度と曲げ強度の関係を示す。図より、相対的に割裂引張強度がやや高くなっているが、ほぼ直線的に分布しており、養生条件の違いによる影響は認められなかった。

### 4.3 乾燥収縮ひずみの測定結果

図22, 図23, 図24, 図25に乾燥収縮ひずみの測定結果を示す。また、図26および図27に標準養生と蒸気養生の乾燥収縮ひずみの関係を示す。図より、養生方法による乾燥収縮ひずみは、蒸気養生を行った場合には11~24%小さい値となった。これは、蒸気養生は養生中に水分供給がほとんど期待できず、養生終了後も水分の供給がなく、水分の散逸量が少ないために、標準養生供試体に比較して乾燥収縮ひずみが小さくなったと考えられる。また、普

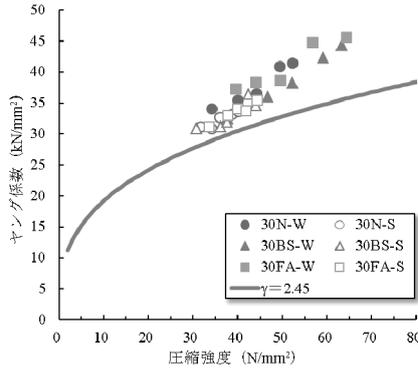


図12 ヤング係数と圧縮強度(30N/mm<sup>2</sup>調合)

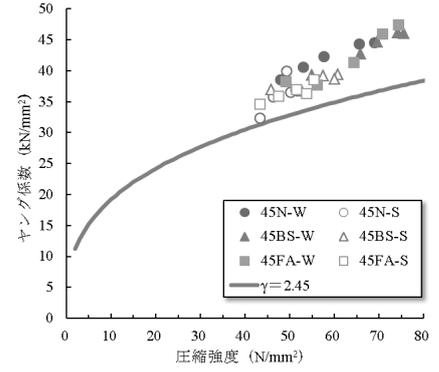


図13 ヤング係数と圧縮強度(45N/mm<sup>2</sup>調合)

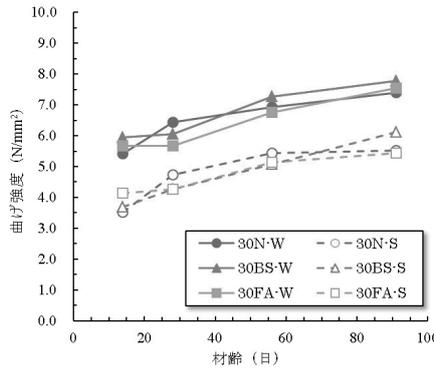


図14 曲げ強度と材齢(30N/mm<sup>2</sup>調合)

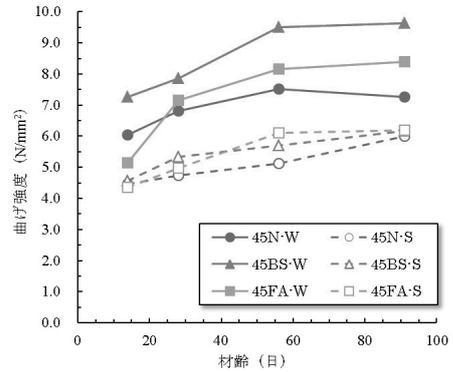


図15 曲げ強度と材齢(45N/mm<sup>2</sup>調合)

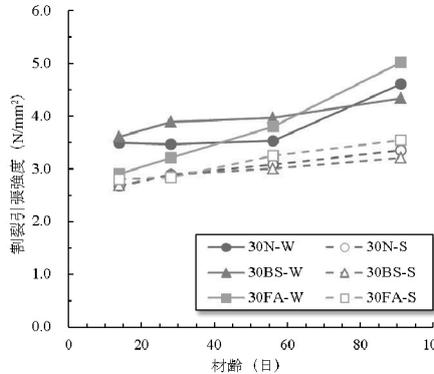


図16 割裂引張強度と材齢(30N/mm<sup>2</sup>調合)

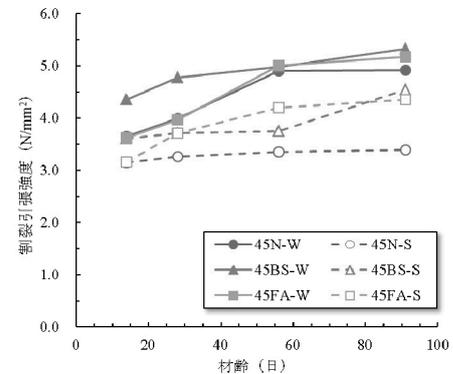


図17 割裂引張強度と材齢(45N/mm<sup>2</sup>調合)

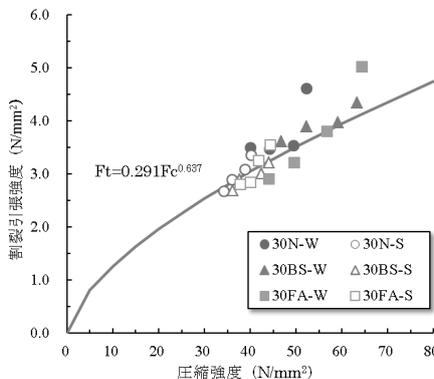


図18 割裂引張強度と圧縮強度の関係(30N/mm<sup>2</sup>調合)

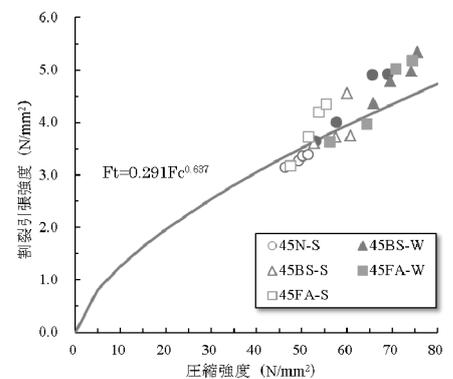


図19 割裂引張強度と圧縮強度の関係(45N/mm<sup>2</sup>調合)

通セメント単味のコンクリートよりも、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみが小さくなる結果が得られた。この結果は、強度発現との相関も認められ、同一材齢の圧縮強度が大きくなると乾燥収縮ひずみが減少傾向にある。これは、圧縮強度が大きいものほど緻密な組織が形成され、結果として水分の散逸量が少なくなり、乾燥収縮ひずみが小さくなったものと思われる。

#### 4.4 塩分浸透性試験結果

図28, 図29, 図30, 図31に塩分浸透性試験結果を示す。養生別にみると、蒸気養生に比べて標準養生の方が塩化物イオン含有量の測定値がやや小さい結果となっているが、予想されるほどの差はなく、ごく表層部のみ差に限られているようである。各調合でみた場合、普通セメント単味のコンクリートに比べて、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を混和材として用いた場合、明らかに塩化物イオンの浸透に対する抑制効果が認められ、浸漬期間が長くなるほど深さ方向への明らかな差が認められた。なお、自明ではあるが、水結合材比の小さい設計基準強度45N/mm<sup>2</sup>のコンクリートの方が、塩化物イオン量が小さくなっている。

本研究で行った塩分浸透性試験方法は、電位差滴定法(硝酸銀滴定法)に比べて簡便である電極電流測定法を採用した。ここで、それぞれの試験方法の試験結果に与える差異を調べるために、設計基準強度30N/mm<sup>2</sup>、塩分浸漬期間2年の供試体について、電位差滴定法による塩化物イオン含有量の測定を行い、電極電流測定法と比較を行った。その結果、電位差滴定法による測定値が大きくなっており、特に30N-W, 30N-Sの測定結果が大きくなっている。この理由として、未溶解の塩化物が存在するため電極電流測定法では測定値が小さくなるものと推察される。高炉スラグ微粉末、特にフライアッシュを混合した試料でその差が小さくなっているが、この原因については不明であり今後の検討課題である。ただし、両方の測定値ともに40mm以

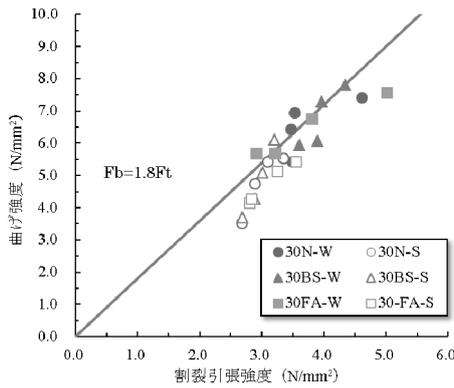


図20 割裂引張強度と曲げ強度の関係 (30N/mm<sup>2</sup> 調合)

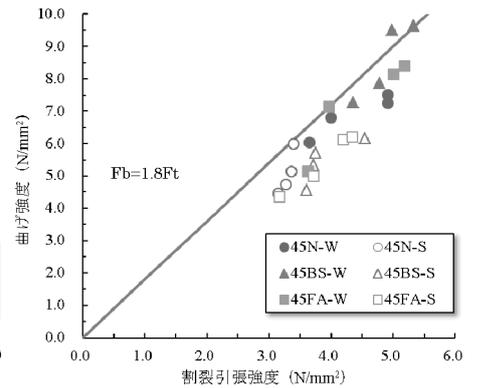


図21 割裂引張強度と曲げ強度の関係 (45N/mm<sup>2</sup> 調合)

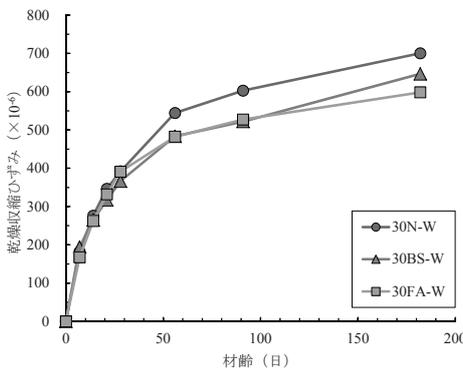


図22 乾燥収縮ひずみの測定結果 (30N/mm<sup>2</sup> 調合, 標準養生)

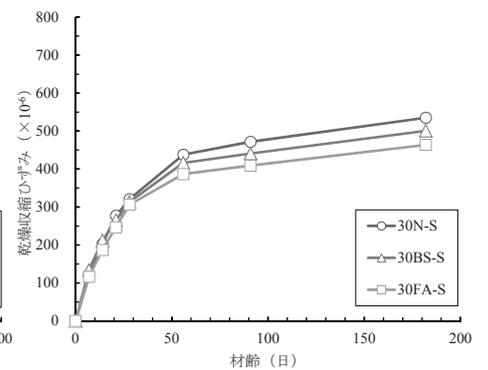


図23 乾燥収縮ひずみの測定結果 (30N/mm<sup>2</sup> 調合, 蒸気養生)

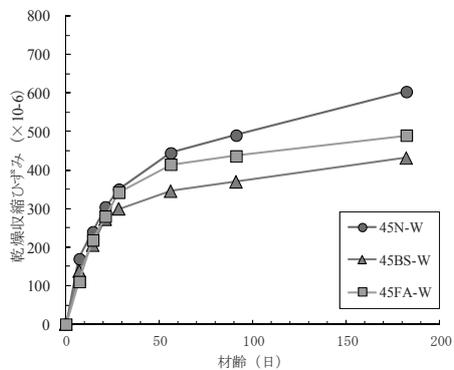


図24 乾燥収縮ひずみの測定結果 (45N/mm<sup>2</sup> 調合, 標準養生)

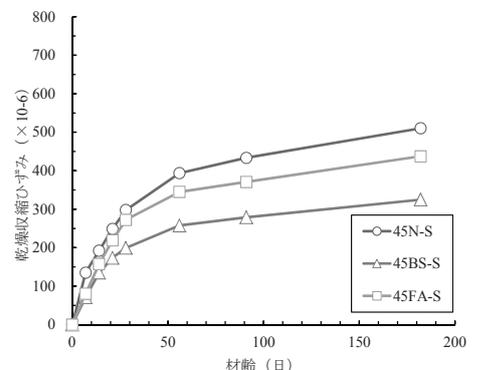


図25 乾燥収縮ひずみの測定結果 (45N/mm<sup>2</sup> 調合, 蒸気養生)

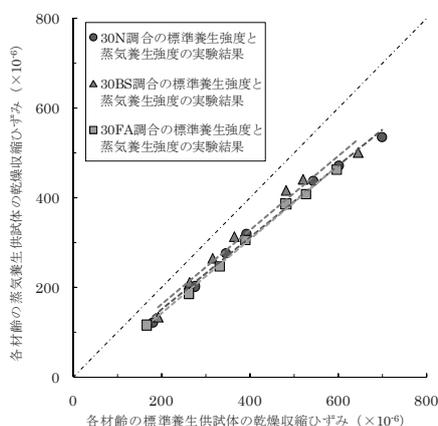


図26 養生条件による比較 (30N/mm<sup>2</sup> 調合)

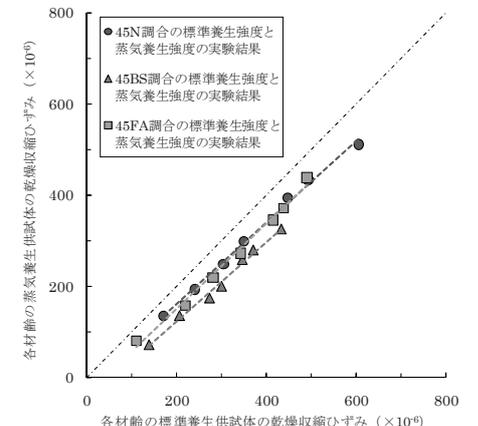


図27 養生条件による比較 (45N/mm<sup>2</sup> 調合)

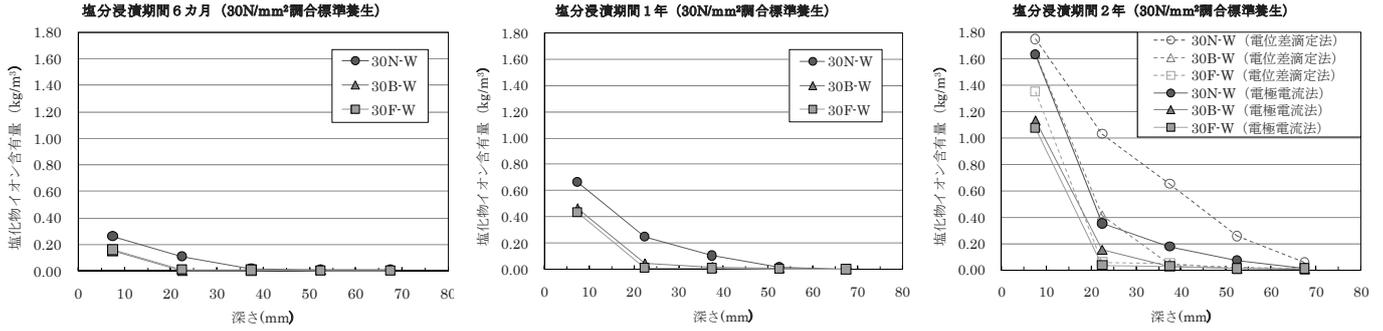


図 28 塩分浸透性試験結果(30N/mm<sup>2</sup> 調合, 標準養生)

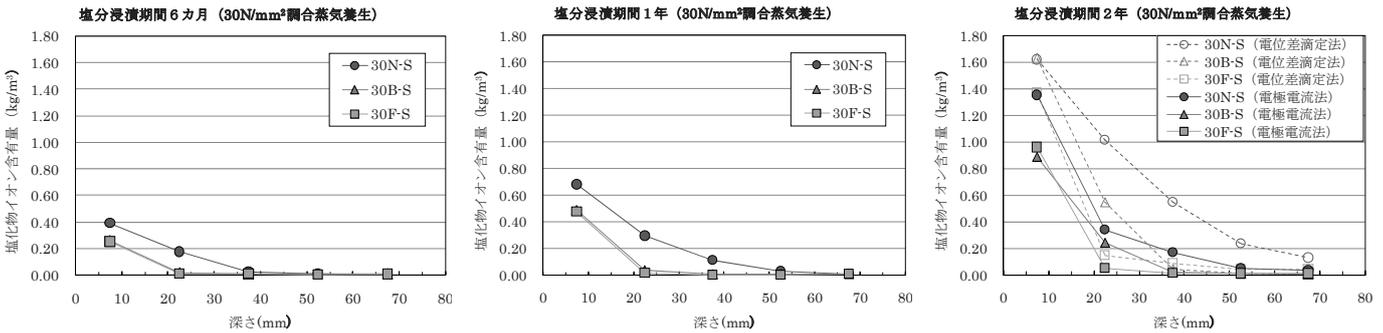


図 29 塩分浸透性試験結果(30N/mm<sup>2</sup> 調合, 蒸気養生)

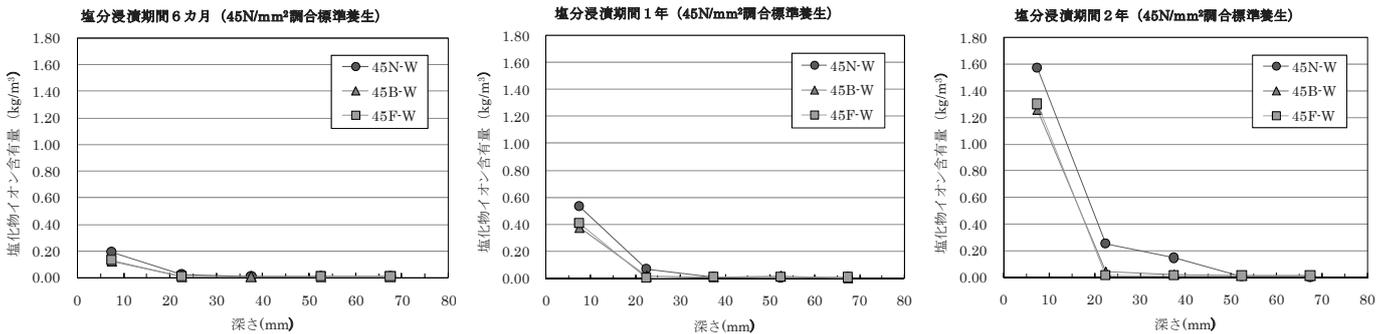


図 30 塩分浸透性試験結果(45N/mm<sup>2</sup> 調合, 標準養生)

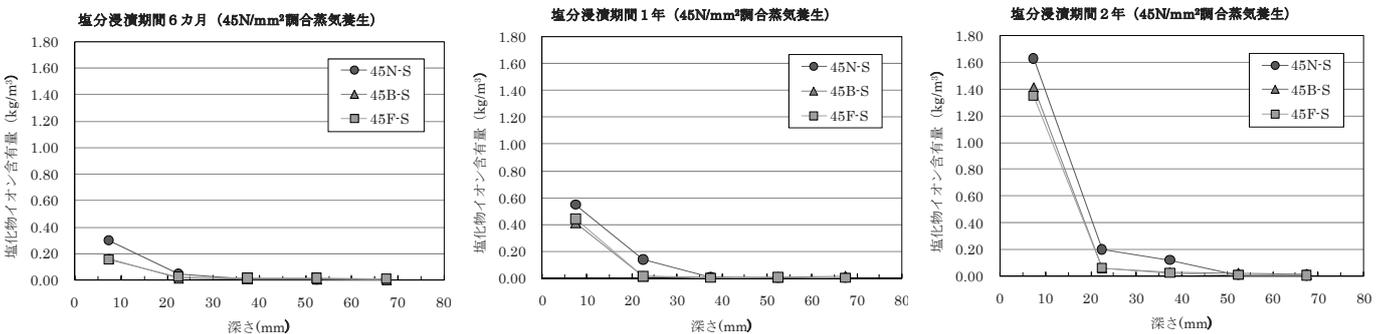


図 31 塩分浸透性試験結果(45N/mm<sup>2</sup> 調合, 蒸気養生)

上の深さで塩化物イオン含有量が 0.30kg/m<sup>3</sup> 以下となること  
が示されており, このことから PC 部材にフライアッシュ  
や高炉スラグ微粉末を使用することにより, コンクリート  
の組織が緻密化し, 鉄筋の腐食を促進する塩化物イオンの  
浸透が抑制されることが明らかとなった。

#### 4.5 屋外暴露試験結果

暴露 2 年経過時点でひび割れなど全く確認されなかった。  
今後の実験計画として, 暴露試験と併せて乾燥繰り返し試  
験 (60±2°C 気中 42hr, 20±2°C 水中 6hr) を行い, 動弾性係  
数の測定により劣化の有無について調べる予定である。

## 5. まとめ

フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末をそれぞれ混和材料として用い、JASS10に準拠して調合設計を行い、設計基準強度 $30\text{N/mm}^2$ と $45\text{N/mm}^2$ のPC部材用コンクリートについて、製品と同一の蒸気養生による供試体の力学的特性を評価した。その結果、通常使用している普通セメント単味のコンクリートと同等以上の強度発現が示されたが、蒸気養生は標準養生に比べて長期強度の増進が小さくなることが示された。また、乾燥収縮特性および塩分浸透性に関する実験の結果、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、乾燥収縮ひずみが減少する傾向が示され、塩分浸透に対する抑制効果が認められた。以上のことから、PC部材用コンクリートとして、高炉スラグあるいはフライアッシュの使用が有効であることが明らかとなった。

### 【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、九電産業（株）よりフライアッシュの提供をいただきました。また、実験に際しまして、(株)ヤマックス技術本部スタッフならびに建築社会デザイン工学科の卒研生諸氏に協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

(平成26年9月25日受付)

(平成26年12月3日受理)

## 参考文献

- (1) セメント協会編：セメントの常識，pp.19-27 (1992)
- (2) 日本建築学会編：プレキャストコンクリート工事標準仕様書・同解説(JASS 10)，6節 部材に用いるコンクリートの調合，pp.101-122 (2003)
- (3) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート工事標準仕様書・同解説(JASS 5)，3節 コンクリートの種類および品質，pp.185-190 (2009)
- (4) 日本コンクリート工学会編：コンクリート便覧 [第2版]，(1996)