

投稿論文一覧

【曝露壁実験】

- 1032 フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その1 実験概要および圧縮強度
小田 昌広, 松山 正幸, 青木 真一, 今浦 善行, 加藤 善久 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2019) 63-64, 2019-07
- 1033 フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その2 促進中性化深さ
堂下 航, 大江 康夫, 廣岡 勇一, 木村 隆之, 峯 秀和 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2019) 65-66, 2019-07
- 1068 フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その3 材齢4年までの各試験結果
堂下 航, 大江 康夫, 廣岡 勇一, 木村 隆之, 小田 昌広 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2023) 135-136, 2023-07
- 1235 フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その4 表層透気性と表面反発度
堂下 航, 大江 康夫, 廣岡 勇一, 木村 隆之, 小田 昌広 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2024) 469-470, 2024-07

【模擬体実験】

- 1215 フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの温度履歴確認実験 その1 実験概要および温度履歴結果
松山 正幸, 小田 昌広, 青木 真一, 今浦 善行, 加藤 善久 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2020) 429-430, 2020-09
- 1216 フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの温度履歴確認実験 その2 各種試験結果
堂下 航, 大江 康夫, 廣岡 勇一, 木村 隆之, 峯 秀和 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2020) 431-432, 2020-09

【物性実験】

- 1112 フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの表層透気性確認実験 その1 実験概要および表層透気性
堂下 航, 小田 昌広, 青木 真一, 今浦 善行, 加藤 善久 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2021) 223-224, 2021-07
- 1113 フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの表層透気性確認実験 その2 各種試験結果
松山 正幸, 大江 康夫, 廣岡 勇一, 木村 隆之, 峯 秀和 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2021) 225-226, 2021-07

【練り混ぜ水実験】

- 1317 練り混ぜ水にスラッジ水を用いた環境配慮型コンクリートに関する実験 その1 実験概要およびモルタルのフレッシュ性状と圧縮強度について
小田 昌広, 大江 康夫, 廣岡 勇一, 木村 隆之, 峯 秀和 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2022) 633-634, 2022-07
- 1318 練り混ぜ水にスラッジ水を用いた環境配慮型コンクリートに関する実験 その2 静弾性係数と長さ変化率について
堂下 航, 松山 正幸, 青木 真一, 加藤 善久 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2022) 635-636, 2022-07
- 1321 練り混ぜ水にスラッジ水を用いた環境配慮型コンクリートに関する実験 その3 コンクリートによる各種物性試験結果
小田 昌広, 大江 康夫, 廣岡 勇一, 木村 隆之, 峯 秀和, 堂下 航 日本建築学会 学術講演梗概集, 材料施工 (2023) 641-642, 2023-07

フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験

その1 実験概要および圧縮強度

正会員 ○小田 昌広^{*1} 同 松山 正幸^{*2} 同 青木 真^{*3}
同 今浦 善行^{*4} 同 加藤 善久^{*5}

フライアッシュ セメント置換 砂置換
曝露実験 耐久性 圧縮強度

1. はじめに

混和材としてフライアッシュ(以下、FA と称す)が認知されて以降、多くの研究例が見られ、その成果は様々な文献で確認することができる。

筆者らは、名古屋市周辺で FA を使用したコンクリートの普及を目指し、様々な実験を試みている。本試験は、その普及活動の一環として、自然環境(塩分飛来地域)下における長期曝露実験を計画し、FA を使用したコンクリートの特性について、確認を行うために実施するものである。

本報その1では、曝露実験の概要と供試体による各材齢の圧縮強度試験結果、コンクリートコアの中性化深さ測定結果について述べる。

2. 実験概要

実験場所：名古屋港に面する塩分飛来地域(工場敷地内)

打込日：2018年5月1日

打込配合：配合一覧を表1に示す。

配合①(nonFA) W/C50%-18-20N 無し

配合②(S置換) W/C50%-18-20N 砂置換 35kg/m³

配合③(C置換) W/B50%-18-20N セメント置換 18%

曝露実験模擬体：図1、写真1に示す壁部材

試験項目：コンクリートコア供試体の圧縮強度試験

コンクリートコア供試体の中性化深さ測定試験

コンクリートコアの塩化物イオン濃度試験

コンクリート供試体の圧縮強度試験

試験材齢：28日、1年、4年、9年、16年、25年、36年

比較対象として、次のコンクリート供試体による試験を実施することとし、曝露実験模擬体の打込と同時に作製した。

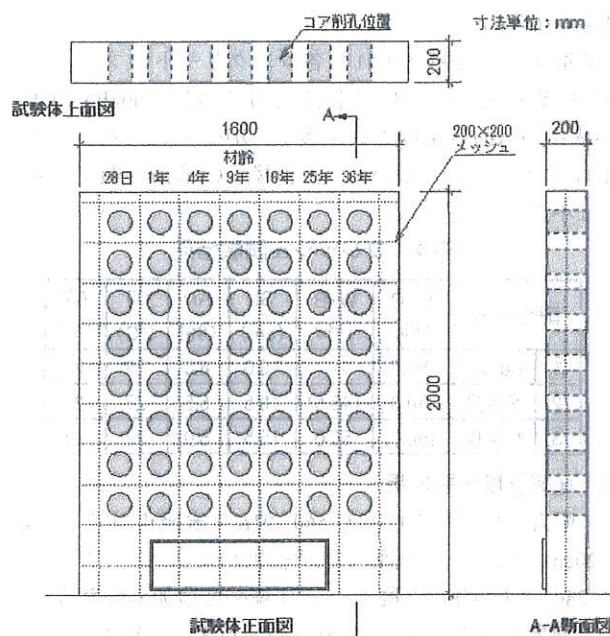


図1 曝露試験体(計画時)

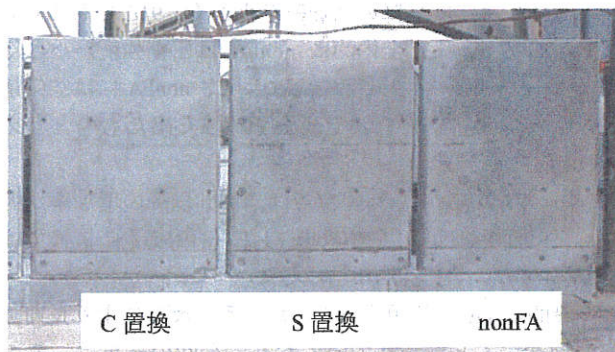


写真1 曝露実験状況

表1 配合一覧

配合番号	呼び方		W/C	W/B	S/a	AE	C	FA	W	S1	S2	S3	G1	G2
	混和剤	フライアッシュ	(%)	(%)	(%)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
①	nonFA	W/C 50%-18-20N	50.0	—	47.5	C×1.2	358	—	179	428	211	229	374	620
		AE減水剤 FA無												
②	S置換	W/C 50%-18-20N	50.0	(45.5)	47.5	C×1.2	358	35	179	407	201	218	374	620
		AE減水剤 砂置換35kg/m ³												
③	C置換	W/B 50%-18-20N	(60.9)	50.0	48.0	B×1.2	290	64	177	430	—	460	—	1016
		AE減水剤 セメント置換18%												

表中の定義は以下の通りである。

W/C：水セメント比、W/B：水結合材比、S/a：細骨材率、AE：添加混和剤(AE減水剤)、C：セメント、FA：フライアッシュ、W：水

S1：高炉スラグ砂、S2：藤原産石灰砕砂、S3：青島産砕砂(かんらん岩)、G1：津久見産石灰砕石、G2：青島産砕石(かんらん岩)

Long-term exposure experiment of fly ash concrete in a salinity area.

Part I Outline of experiment and compressive strength

ODA Masahiro, MATSUYAMA Masayuki, AOKI Shinichi

IMAURA Yoshiyuki and KATO Yoshihisa

圧縮強度試験(φ10cm×20cm)

試験材齢:7日, 28日, 56日, 91日、養生方法:標準養生
促進中性化試験(10cm×10cm×40cm)

本報その2に示す。

今回は試験材齢が1年に満たないため、本報その1では、今後の基準値となるコンクリート供試体による試験結果を示す。

模擬体として打込まれた各コンクリートのフレッシュ試験結果を表2に示す。同表に示すように、nonFAの空気量(表中のAir)が6.3%と最も多く、かつスランプ値(表中のSL)も最も大きい。続いて、S置換、C置換の順に各測定値は小さくなった。

表2 フレッシュ試験結果

配合番号		W/C (%)	W/B (%)	SL (cm)	Air (%)	CT (°C)	AT (°C)
①	nonFA	50.0	—	19.0	6.3	28	27
②	S置換	50.0	(45.5)	18.5	5.5	27	26
③	C置換	(60.9)	50.0	15.5	5.0	27	26

3. 圧縮強度試験結果

各配合の材齢毎(7d, 28d, 56d, 91dと表記)によるφ10cm×20cm 供試体の圧縮強度試験結果およびコンクリートコア28dの圧縮強度を図2に、圧縮強度増加率を表3に示す。増加率は各配合ともに28dを分母として算出した。

7d から28d まではどの配合も同程度の増加率であったが、nonFA は28d以降の増加率が小さく、91dでも1.1倍以下であった。また全体的に nonFA は圧縮強度が小さくなった。これは、表2に示したように、nonFAには空気量が最も多く入っており、その影響が強く出たものと考えられる。

一方、FAを使用した配合では、28d以降の増加率が大きく、S置換では1.12倍(56d)、1.21倍(91d)、C置換では1.19倍(56d)、1.31倍(91d)となった。

一般的にFAを使用すると、ポゾラン反応により長期強度が増進すると言われているおり、今回の結果は、その傾向が顕著に出たものと推察される。

コンクリートコア28dの圧縮強度試験結果は、φ10cm×20cm 供試体の28dとほぼ同じ結果であった。

4. まとめ

- 1) 塩分飛来地域における長期曝露実験を計画し、曝露実験模擬体を作製した。
- 2) コンクリート供試体による圧縮強度について、FAを配合したS置換、C置換では、nonFAと比較し、ポゾラン反応により長期強度が顕著に増進した。
- 3) その他の結果は、適宜報告を行う予定である。

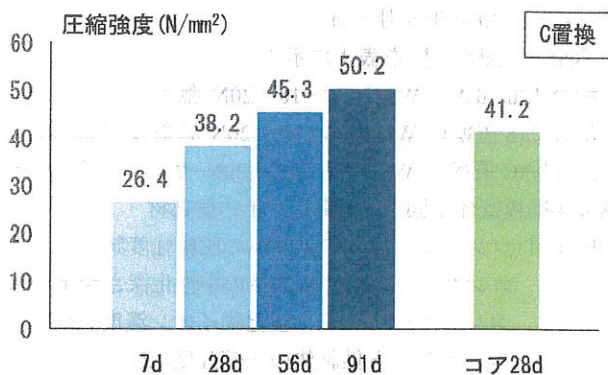
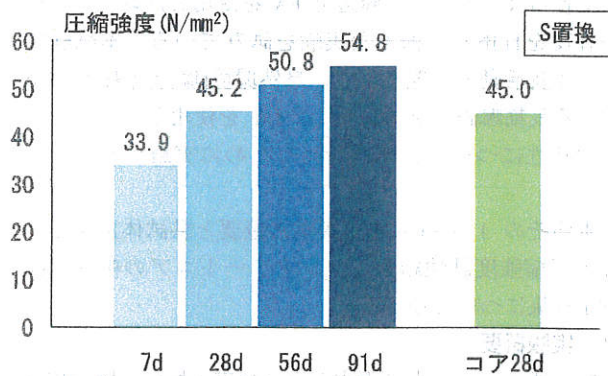
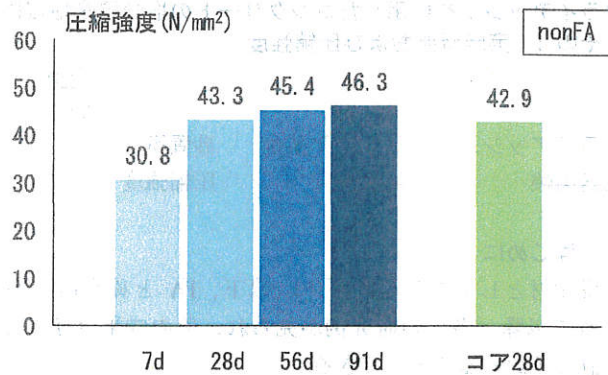


図2 各配合の圧縮強度試験結果

表3 各配合の圧縮強度増加率

配合番号		7d/28d	28d/28d	56d/28d	91d/28d
①	nonFA	0.71	1.00	1.05	1.07
②	S置換	0.75	1.00	1.12	1.21
③	C置換	0.69	1.00	1.19	1.31

謝辞

本実験は、筆者らが組織する研究会の下で実施したものである。筆者らとともに会員である株式会社テクノ中部、日鉄スラグ製品株式会社、住商セメント株式会社、名古屋建物産株式会社、およびご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

*1 トーヨーテクノ(株)

*4 扶和産業(株)

*1 Toyo Techno Corp.

*4 Fuwa Industry Corp.

*2 新知多コンクリート工業(株)

*5 (株)フローリック

*2 Shinchita concrete Industry Corp.

*5 Flowric Co.Ltd.

*3 三和石産(株)

*3 Sanwa Sekisan Corp.

フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その2 促進中性化深さ

正会員 ○堂下 航^{*1} 同 大江 康夫^{*2} 同 廣岡 勇^{*3}
同 木村 隆之^{*4} 同 峯 秀和^{*5}

フライアッシュ セメント置換 砂置換
促進中性化 耐久性

1. はじめに

本報では、その1で示した自然環境(飛来塩分地域)下での曝露実験模擬体と同時に作製した10cm×10cm×40cm供試体の促進中性化試験の試験結果について述べる。

その結果を元に、住宅性能表示制度¹⁾の劣化対策等級(構造躯体等)で求められる「劣化対策等級3:通常想定される自然条件及び維持管理の条件の下で3世代(おおむね75~90年)まで、大規模な改修工事を必要とするまでの期間を伸長するため必要な対策が講じられている」に該当するかを検討する。

2. 試験因子および試験方法

試験因子: その1で示した3配合

試験方法: JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠し、以下の通りとした。

- ①打設~材齢4週: 標準養生
環境条件: 水温 20℃±2℃
- ②材齢4週~材齢8週: 恒温恒湿室養生
環境条件: 室温 20℃±2℃、RH 60%±5%
- ③材齢8週以降: 促進養生
(材齢1週、4週、8週、13週、25週)
環境条件: 温度 20℃±2℃、RH 60%±5%、
CO₂ 濃度 5%±0.2%

3. 試験結果

促進中性化試験結果を表1および図1に示す。なお、同図には中性化速度式として、促進材齢 t (週)の関数とした最小二乗法(累乗近似)による近似曲線を併示した。

同表によれば、促進中性化の進展度合いは nonFA、S 置換、C 置換の順で大きくなった。これは、既往実験^(例えば2)でも述べられている通り、FA の内割(C 置換)と外割(S 置換)では内割の進展度合いが大きくなった。また、同一のセメント量であっても、FA を混入することで中性化の進展度合いが大きくなることも確認できた。

4. 経過年数に対する推定中性化深さの検討

各配合の経過年数に対する推定中性化深さについて、試験結果の図1で示した中性化速度式より検討した。

鉄筋コンクリートの耐久年数は、一般的に、屋外の場合は中性化が鉄筋位置のところまで進行したとき、屋内の場合は鉄筋位置よりも20mm内部へ進行したときに有害な錆が生じると考えられている(耐久性総プロによる仮

表-1 促進中性化試験結果

配合番号		促進養生材齢(週)					
		0	1	4	8	13	25
①	nonFA	0	3.5	6.8	7.8	8.5	12.3
②	S置換	0	3.6	7.1	8.1	9.8	12.1
③	C置換	0	5.8	10.8	14.2	15.9	21.9

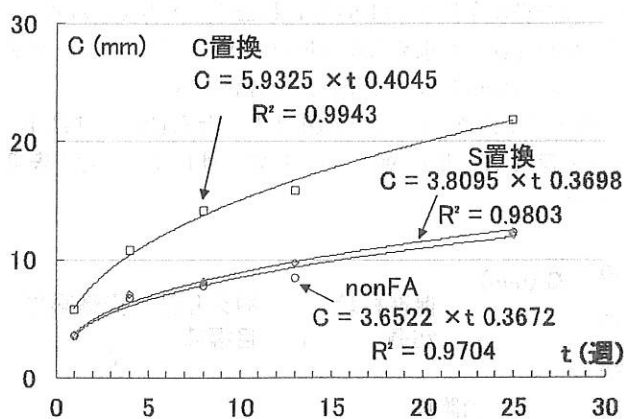


図-1 促進中性化試験結果および中性化速度式

表-2 劣化対策等級に対する最小かぶり厚さ

(イ)			(ロ)	
部位			最小かぶり厚さ	
			(イ)	(ロ)
直接土に接しない部分	耐力壁以外の壁又は床	屋内	2cm	3cm
		屋外	3cm	4cm
	耐力壁、柱又は梁	屋内	3cm	4cm
		屋外	4cm	5cm
直接土に接する部分	壁、柱、床、梁又は基礎の立上り部分		4cm	5cm
	基礎(立上り部分及び捨てコンクリートの部分を除く)		6cm	7cm

定)。ここで、表2に劣化対策等級に対する最小かぶり厚さを示す。nonFA、S置換は水セメント比50%であるため、同表中の(ロ)項(ロ)項に掲げる最小かぶり厚さとすることができる。

なお、促進中性化試験結果(材齢 t 週)から経過年数(材齢 t 年)への換算方法は、CO₂ 濃度比(屋内想定値/促進試験値)を係数とした。

① 屋内(仕上げ無し)

促進中性化 CO₂ 濃度は 5%、屋内 CO₂ 濃度は厚生労働省の空気環境基準³⁾によって 0.1%とすると、CO₂ 濃度比は 50 倍(5%÷0.1%)となり、促進中性化試験材齢 25 週(0.5 年)は、実際の屋内環境条件下では 25 年に相当すると考えられる。

推定中性化深さを求める経過年数は 90 年とし、最小かぶり厚さを 30mm とし、最小かぶり厚さ+20mm(=50mm)に達するか否かを確認する。

② 屋外(仕上げ無し)

促進中性化 CO₂ 濃度は 5%、屋外 CO₂ 濃度は気象庁の観測記録によって 0.04%とすると、CO₂ 濃度比は 125 倍(5%÷0.04%)となり、促進中性化試験材齢 25 週(0.5 年)は、実際の屋外環境条件下では 63 年に相当すると考えられる。推定中性化深さを求める経過年数は 90 年とし、最小かぶり厚さを 40mm に達するか否かを確認する。

屋内(仕上げ無し)の場合を図 2 に、屋外(仕上げ無し)の場合を図 3 に、年数 90 年時の推定中性化深さ一覧を表 3 に示す。

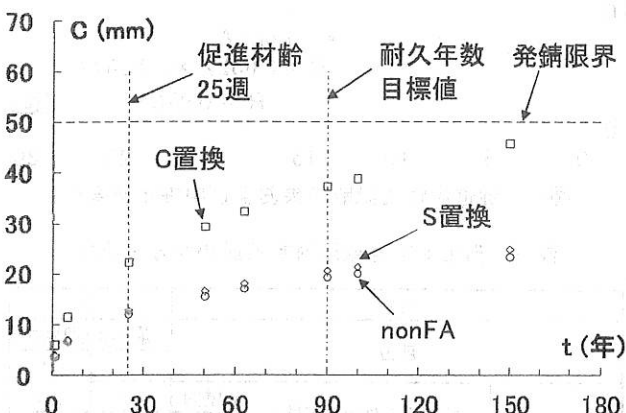


図 2 年数と中性化深さの関係 屋内(仕上げ無し)の場合

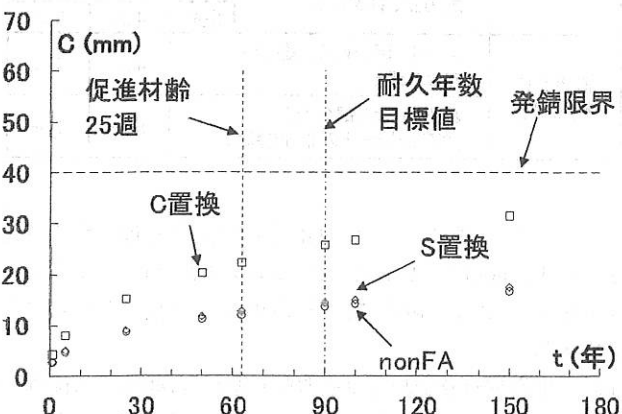


図 3 年数と中性化深さの関係 屋外(仕上げ無し)の場合

表 3 年数 90 年時の推定中性化深さ一覧

配合番号	劣化対策等級	耐久年数の目標値	区分	最小かぶり厚さ(mm)	発錆限界(mm)	年数90年時の推定中性化深さ(mm)
① nonFA	3	75~90年	屋内	30	50	19.3
② S置換						20.4
③ C置換						37.2
① nonFA	3	75~90年	屋外	40	40	13.8
② S置換						14.5
③ C置換						25.7

C 置換については、水結合材比は 50%であるが、水セメント比で 60%程度となっていることから、推定中性化深さは nonFA、S 置換よりも大きくなったと考えられるが、屋内環境下、屋外環境下ともに、年数 90 年時の推定中性化深さは、配合に係わらず発錆限界以下であった。

5. まとめ

本実験の結果より、以下の知見を得た。

- 1) FA の内割(C 置換)と外割(S 置換)では内割の方が進展度合いは大きくなる。また、同一のセメント量であっても、FA を混入することで中性化の進展度合いは大きくなる。
- 2) 今回実施した 3 配合について、配合に係わらず、屋内環境下、屋外環境下ともに、年数 90 年時の推定中性化深さは発錆限界以下になると推定できる
- 3) コンクリートの耐久性能評価法の一つである促進中性化試験は、過酷な環境条件下であるため、今後、36 年間(計画年数)の自然環境下に曝露する壁による中性化深さ試験結果と本報で示す促進中性化試験による中性化深さの比較検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) (一社)住宅性能評価・表示協会：長期優良住宅に係る認定基準(平成 28 年 6 月 8 日版), pp.15-16, 2016.6
- 2) フライアッシュを使用したコンクリートの耐久性に関する研究 その 1 促進中性化深さ試験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.233-234, 2014.9
- 3) 厚生労働省：建築物環境衛生管理基準
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>

*1 ㈱オーテック
*2 トーヨーテクノ㈱
*3 新加多コンクリート工業㈱

*4 ㈱木村建材店
*5 ㈱関電パワーテック

*1 Otec Corp.
*2 Toyo Techno Corp.
*3 Shinchita concrete Industry Corp.

*4 Kimura Kenzai-ten Corp.
*5 Kanden Power-tech Corp.

フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その3 材齢4年までの各試験結果

正会員 ○堂下 航^{*1} 同 大江 康大^{*2} 同 廣岡 勇一^{*3}
同 木村 隆之^{*4} 同 小田 昌広^{*2}

フライアッシュ 高炉スラグ細骨材 長期曝露
耐久性 圧縮強度

1. はじめに

2019年度の本報その1、その2において、フライアッシュ（以下、FAと称す）をセメント置換ならびに砂置換としたコンクリートの自然環境（塩分飛来地域）下における長期曝露実験について報告した^{1,2)}。

その3では、材齢4年となった曝露試験体からコア採取を行った後に実施した各試験結果について述べる。

2. 実験概要

実験場所：名古屋港に面する塩分飛来地域(工場敷地内)

打込日：2018年5月1日

打込配合：配合一覧を表1に示す。

配合①(nonFA) W/C50%-18-20N 無し

配合②(S置換) W/C50%-18-20N 砂置換 35kg/m³

配合③(C置換) W/B50%-18-20N セメント置換 18%

曝露試験体：図1に示す壁部材

試験項目：コンクリートコア供試体の圧縮強度試験

コンクリートコア供試体の中性化深さ測定試験

コンクリートコアの塩化物イオン濃度試験

コンクリート供試体の圧縮強度試験

試験予定材齢：28日、1年、4年、9年、16年、25年、36年

コアの圧縮強度および中性化深さについて、材齢28日、材齢1年および材齢4年について試験結果の比較を行い、その推移について考察を行う。

3. 実験結果

標準養生としたコンクリート供試体¹⁾と曝露試験体から採取したコア供試体の各材齢の圧縮強度の推移を図2に、促進中性化試験による推定中性化深さ推移²⁾と曝露試験体によるコア供試体の実測中性化深さの推移を図3に示す。

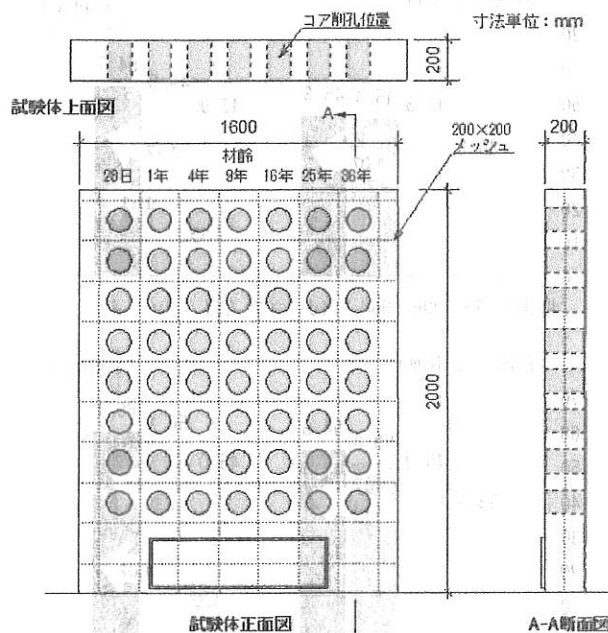


図1 曝露試験体¹⁾

3.1 圧縮強度

図2によると、コア供試体の圧縮強度は、材齢28日から材齢1年の伸び率は、nonFAで1.15倍、S置換・C置換で1.25・1.26倍、その後の材齢1年から材齢4年での伸び率は、nonFAで1.11倍、S置換・C置換で1.07・1.02倍であった。また、nonFA、S置換、C置換ともに、材齢28日時点から材齢4年時の伸び率は1.27~1.33倍と概ね同程度であった。これは、標準養生を行った供試体の材齢28日から材齢91日までの傾向と異なることが示された。

一般的にフライアッシュを混入したコンクリートの方

表1 配合一覧

配合 番号	呼び方	W/C (%)	W/B (%)	S/a (%)	AD (%)	C (kg/m ³)	FA (kg/m ³)	W (kg/m ³)	S1 (kg/m ³)	S2 (kg/m ³)	S3 (kg/m ³)	G1 (kg/m ³)	G2 (kg/m ³)
①	nonFA	W/C 50%-18-20N	—	47.5	C×1.2	358	—	179	428	211	229	374	620
		AE減水剤 FA無											
②	S置換	W/C 50%-18-20N	(45.5)	47.5	C×1.2	358	35	179	407	201	218	374	620
		AE減水剤 砂置換35kg/m ³											
③	C置換	W/B 50%-18-20N	(60.9)	50.0	B×1.2	290	64	177	430	—	460	—	1016
		AE減水剤 セメント置換18%											

表中の定義は以下の通りである。

W/C：水セメント比、W/B：水結合材比、S/a：細骨材率、AE：添加混和剤(AE減水剤)、C：セメント、FA：フライアッシュ、W：水
S1：高炉スラグ砂、S2：藤原産石灰砕砂、S3：菅島産砕砂(かんらん岩)、G1：津久見産石灰砕石、G2：菅島産砕石(かんらん岩)

Long-term exposure experiment of fly ash concrete in a salinity area
Part 3 Results of Tests on Concrete after 4 years

DOSHITA Wataru, OE Yasuo, HIROKA Yuichi
KIMURA Takayuki and ODA Masahiro

が長期強度は増進すると言われているが、今回までの結果では、フライアッシュを混入した配合の方が伸び率は鈍化していると言える。

今後、材齢9年、16年、25年、36年と経て、どのように推移するのか確認する予定である。

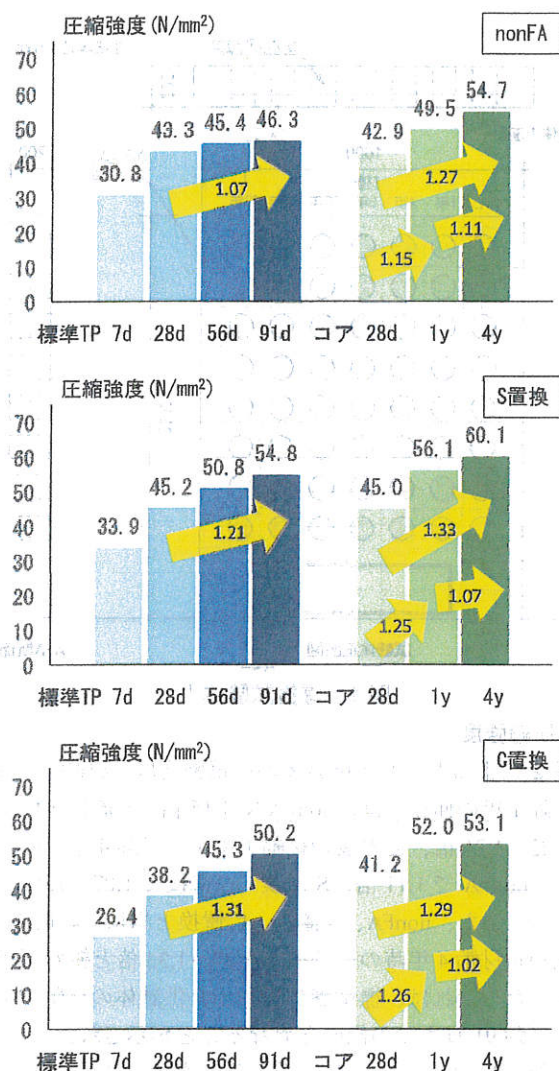


図2 標準養生コンクリート供試体¹⁾と曝露試験体によるコア供試体の各材齢の圧縮強度の推移

3.2 中性化深さ

図3によると、推定と実測で材齢に1年の差はあるが、促進中性化試験による推移²⁾と比較すると、実測された中性化深さは推定値の6割程度の結果となった。

中性化深さの推定方法は安全側に評価出来ているものの、過度に安全側となる場合は実態と乖離してしまう恐れもあるため、今後の推移を確認しながら、推定方法についても再検討をおこなっていきたい。

一般的にフライアッシュを混入したコンクリートの方が中性化は進展が早いと言われており、C 置換>S 置換>nonFA と推定もされているが、材齢4年までの結果であれば、そのその差は最大で1mm程度ではあるものの、その通りの結果となった。

屋外	促進(mm)		実測(mm)	
t (年)	1	5	1	4
nonFA	2.6	4.8	1.0	2.8
S置換	2.8	5.0	1.7	3.2
C置換	4.2	8.0	2.6	4.2

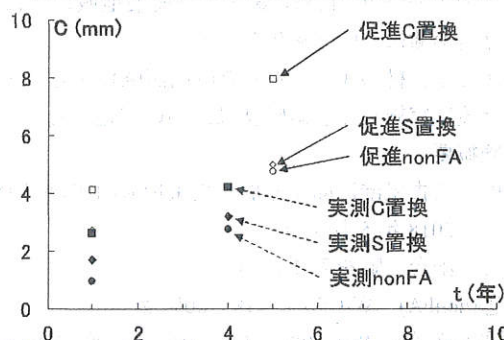


図3 促進中性化試験による推定中性化深さ推移と曝露試験体によるコア供試体の実測中性化深さの推移

4. まとめ

- 1) 圧縮強度については、nonFA、S 置換、C 置換ともに材齢4年まで強度が増進していることが示された。一般的にフライアッシュを混入したコンクリートの方が長期強度は増進すると言われているが、今回までの結果では、フライアッシュを混入した配合の方が伸び率は鈍化している
- 2) 中性化深さについては、nonFA、S 置換、C 置換ともに、本報その2で述べた促進中性化試験による推定値よりも小さくなることが示された。

参考文献

- 1) 小田 昌広 他：フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その1 実験概要および圧縮強度，日本建築学会大会学術講演概要集(北陸)，材料施工，pp.63-64，2019.9
- 2) 堂下 航 他：フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その2 促進中性化深さ，日本建築学会大会学術講演概要集(北陸)，材料施工，pp.65-66，2019.9

謝辞

本実験は、筆者らが組織する研究会の下で実施したものである。筆者らとともに会員である(株)テクノ中部、日鉄スラグ製品(株)、住商セメント(株)、名古屋日建物産(株)、三和石産(株)、扶和産業(株)、(株)関電パワーテック、(株)フローリックおよびご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

*1 (株)オーテック

*3 新知多コンクリート工業(株)

*1 Otec Corp.

*3 Shinchita concrete Industry Corp.

*2 トーヨーテクノ(株)

*4 (株)木村建材店

*2 Toyo Techno Corp.

*4 Kimura Kenzai-ten Corp.

フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験

その4 表層透気性と表面反発度

			正会員	〇堂下 航 ^{*1}	同	大江 康夫 ^{*2}	同	廣岡 勇一 ^{*3}
			同	木村 隆之 ^{*4}	同	小田 昌広 ^{*2}		
フライアッシュ	高炉スラグ細骨材	長期曝露						
耐久性	表層透気性	表面反発度						

1. はじめに

本報その1～その3において、フライアッシュ（以下、FAと称す）をセメント置換ならびに砂置換としたコンクリートの自然環境（塩分飛来地域）下における長期曝露条件下に関する各種実験結果について報告している^{1)~3)}。

その4では、材齢約6年となった曝露試験体で表層透気性ならびに表面反発度について試験を実施し、その結果について報告する。

2. 実験概要

実験場所：名古屋港に面する塩分飛来地域（工場敷地内）

打込日：2018年5月1日

打込配合：詳細な配合は本報その1参照

配合①(nonFA) W/C50%－18－20N 無し

配合②(S置換) W/C50%－18－20N 砂置換 35kg/m³

配合③(C置換) W/B50%－18－20N セメント置換 18%

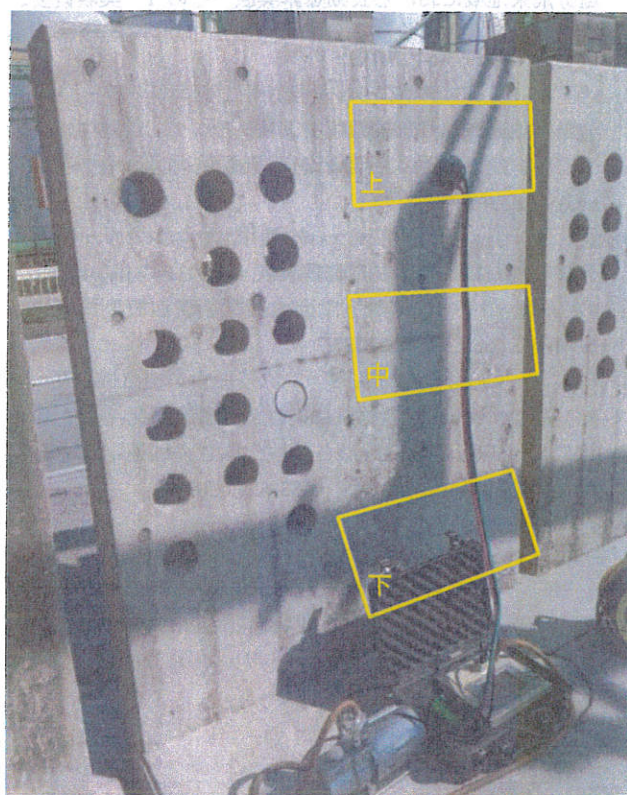


写真1 曝露試験体による表層透気性試験状況

試験項目：表層透気性 ダブルチャンバー法^{例えば4)}

表面反発度 リバウンドハンマー試験

3. 実験結果

3.1 表層透気性

表層透気性試験状況を写真1、測定結果一覧を表1、表層透気係数のグレーディングを表2に示す。

表層透気性は、透気試験器を用いて表層透気係数 kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$) を求め確認した。この表層透気係数 kT は、コンクリート表層が緻密であれば測定値が小さくなると言われている。一方、コンクリート表層の含水率が大きい場合、つまり水分を保持している場合についても、コンクリート内部に空気が通り難くなるため、表層透気係数 kT は小さくなると考えられる。

表1に示す測定結果は、両材齢ともに降雨していない日で測定を行ったものである。ただし、気象庁の測定デー

表1 測定結果一覧（表層透気係数 kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$))

試験日 2019年12月19日 材齢 597 日

測定箇所	nonFA	S置換	C置換
上	0.110	0.057 (0.52)	0.030 (0.27)
中	0.088	0.044 (0.50)	0.085 (0.97)
下	0.042	0.025 (0.60)	0.032 (0.76)
全体	0.080	0.042 (0.52)	0.049 (0.61)

試験日 2024年3月15日 材齢 2145 日

測定箇所	nonFA	S置換	C置換
上	0.145	0.155 (1.07)	0.505 (3.48)
中	0.140	0.045 (0.32)	0.072 (0.51)
下	0.051	0.033 (0.64)	0.031 (0.61)
全体	0.112	0.078 (0.69)	0.203 (1.81)

注) 括弧内の数値はそれぞれ nonFA に対する比を示す。

表2 表層透気係数のグレーディング

表層透気係数	優	良	一般	劣	極劣
kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)	0.001 ～0.01	0.01 ～0.1	0.1 ～1	1 ～10	10 ～100

タによれば、2019 年 12 月 17,18 日に当該実験場所に近い地域で降雨の記録があるため、測定結果にも影響している可能性があることを付記しておく。

写真 1 ならびに表 1 に示すように、透気試験は曝露壁の上・中・下で 2 回ずつ測定を行った。これは、同一の壁面であっても打込高さの差による密実さが影響すると考えられることや、同一高さであっても測定器の設置場所により測定結果にバラつきが生じると考えられることから、各部位で平均するためである。

材齢 597 日の測定結果によると、nonFA の上部を除き、表層透気係数のグレーディングは『優』であった。FA 入り配合である S 置換・C 置換ともに、上・中・下の各部位で nonFA の測定値よりも小さくなった。その比率は nonFA と同一の水セメント比である S 置換で 0.52、水セメント比換算すると 60.9%となる C 置換で 0.61 と FA 混入の効果は高いと考えられ、コンクリート表層が緻密になったものと推察される。

材齢 2145 日の測定結果によると、各曝露壁ともに、上部の表層透気係数のグレーディングは『一般～良』となり、S 置換・C 置換ともに、nonFA の測定結果よりも大きくなった。この理由については詳細に検討できていないが、今後も測定を継続し、推定したいと考えている。中・下部は材齢 597 日と同様、nonFA の測定値よりも小さくなり、その比率についても、上部を除いて算出すると、S 置換で 0.48、C 置換で 0.56 となり、材齢 597 日と同程度以上であった。

3.2 表面反発度

表面反発度の測定結果を表 3 に示す。

表面反発度については、リバウンドハンマーを用いて測定を行った。この表面反発度は、コンクリート強度の影響を受けるため、本来は表層の緻密さを評価する試験ではないものの、本報その 3³⁾で材齢 4 年でのコンクリートコア圧縮強度を示すように、S 置換では nonFA の強度を 5N/mm² 程度上回っていること、C 置換でも nonFA と同程度であることが示されていることから、緻密さの指標として利用出来ないかどうかを検討するものである。

反発度の測定方法についても、表層透気性と同様、曝露壁の上・中・下で測定するものとし、各部位で 4 打点ずつ計 12 点を平均した。

表 3 に示すように、材齢 1452 H、材齢 2145 Hともに、その表面反発度はほぼ同程度であった。前述した表層透気係数 kT と表面反発度には相関がないと考えられることから、表面反発度では緻密さの評価は出来ないと考えられる。

表 3 測定結果一覧 (表面反発度 R)

試験日	2022年4月22日	材齢	1452 日
nonFA	S置換	C置換	
47	45 (0.96)	46 (0.98)	

試験日	2024年3月15日	材齢	2145 日
nonFA	S置換	C置換	
48	48 (1.00)	50 (1.04)	

4. まとめ

- 1) 表層透気性について、nonFA と同一の水セメント比である S 置換、水セメント比換算すると 60.9%となる C 置換ともに、nonFA に対する表層透気係数 kT の比率はおおよそ 0.5 となり、FA を混入することでコンクリート表層が緻密になったものと推察される。
- 2) 表面反発度について、表層透気係数 kT との相関は見られず、表面反発度だけでは緻密さの評価は出来ないと考えられる。

参考文献

- 1) 小田 昌広 他：フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その 1 実験概要および圧縮強度，日本建築学会大会学術講演概要集(北陸)，材料施工 I，pp.63-64, 2019.9
- 2) 堂下 航 他：フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その 2 促進中性化深さ，日本建築学会大会学術講演概要集(北陸)，材料施工 T，pp.65-66, 2019.9
- 3) 堂下 航 他：フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その 3 材齢 4 年までの各試験結果，日本建築学会大会学術講演概要集(近畿)，材料施工，pp.135-136, 2023.7
- 4) 今本 啓一 他 4 名：かぶりコンクリートの透気性に基づく RC 構造物の耐久性能検証に向けた基礎的研究-各種試験方法における透気性の指標と中性化深さの関連-，日本建築学会構造系論文集，Vol.38, pp.538-599, 2009.4

謝辞

本実験は、筆者らが組織する研究会の下で実施したものである。筆者らとともに会員である㈱テクノ中部、日鉄スラグ製品㈱、住商セメント㈱、名古屋日建物産㈱、三和石産㈱、扶和産業㈱、㈱関電パワーテック、㈱フローリックおよびご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

*1 ㈱オーテック

*3 新知多コンクリート工業㈱

*1 Otec Corp.

*3 Shinchita concrete Industry Corp.

*2 トーヨーテクノ㈱

*4 ㈱木村建材店

*2 Toyo Techno Corp. *4 Kimura Kenzai-ten Corp.

練り混ぜ水にスラッジ水を用いた環境配慮型コンクリートに関する実験 その3 コンクリートによる各種物性試験結果

正会員 ○小田 昌広^{*1} 同 大江 康大^{*1} 同 廣岡 勇一^{*2}
同 木村 隆之^{*3} 同 峯 秀和^{*4} 同 堂下 航^{*5}
フライアッシュ 高炉スラグ細骨材 スラッジ水
環境配慮型 物性試験 長さ変化

1. はじめに

国連で 2015 年に採択された「持続可能な開発目標 (SDGs)」は現在様々な分野で浸透しており、筆者らも生コンクリート業界として未来の社会や地球に対しどのような貢献ができるのかを考え、名古屋地区において、火力発電所発生由来のフライアッシュ、製鉄所発生由来の高炉スラグ細骨材の積極活用を推進してきた。

前年度の報告¹⁾において、モルタルを対象としてスラッジ水の有無による各種物性について確認を行った結果、スラッジ水を 3%程度使用しても、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率の結果には大きな影響を及ぼさないと考えられる結果を得た。

本報では、コンクリートを対象として、既往のコンクリート配合に対してスラッジ水を練り混ぜ水とした場合のコンクリートの物性 (圧縮強度・静弾性係数・長さ変化率) について確認を行うこととした。

2. 実験概要

配合一覧を表 1 に示す。フレッシュ試験結果他の実験

結果を表 2 に示す。

環境配慮型コンクリートを製造する 3 工場のセメント、細骨材、粗骨材を用いて、各工場の呼び強度 30 の配合によって実験することとした。使用するフライアッシュ、高炉スラグ砂、スラッジ水は 3 工場ともに共通のロットを用いた。

既往の配合に対して練り混ぜ水を上水道水と模擬スラッジ水の 2 種類で検討を行った。

スランブ 18cm、空気量 4.5%、模擬スラッジ水はセメント固形分率が 3%となるように計画し、前年度のモルタルでの実験と同様、濃度を調整した。また、混和材は AE 減水剤とし、添加量を調整した。

試験項目：圧縮強度・静弾性係数・長さ変化

圧縮強度・静弾性係数試験用の供試体は寸法 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体、長さ変化試験用の供試体は寸法 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体を使用した。

表 1 配合一覧

コンクリート 配合名	表記 N:スラッジ 無 S:スラッジ 有	水セメント比 W/C %	細骨材率 S/a %	セメント C (NPC) kg/m ³	水 W		フライアッシュ FA kg/m ³	細骨材 S1 kg/m ³	細骨材 S2 kg/m ³	細骨材 S3 kg/m ³	粗骨材 G1 kg/m ³	粗骨材 G2 kg/m ³	混和剤 AD kg/m ³
					スラッジ 無 kg/m ³	スラッジ 有 kg/m ³							
普通30-18-20N	A-N, A-S	49.5	47.7	358	177	188	35	410	242	158	749	187	3.58
	B-N, B-S	48.5	45.6	369	179	190	40	469	318	—	942	—	3.69
普通30-18-25N	C-N, C-S	49.4	44.3	355	175	186	25	448	318	—	955	—	4.00
使用 材料	A工場	C:トクヤマ製, FA:フライアッシュ(碧南火力産), S1:高炉スラグ砂(日本製鉄産), S2:砕砂(藤原鉱山産), S3:砕砂(いなべ市産), G1:砕石(津久見産), G2:砕石(藤原鉱山産), AD:AE減水剤(フローリック製)											
	B工場	C:住友大阪製, FA:フライアッシュ(碧南火力産), S1:砕砂(米原市伊吹山産), S2:高炉スラグ砂(日本製鉄産), G1:砕石(米原市伊吹山産), AD:AE減水剤(フローリック製)											
	C工場	C:トクヤマ製, FA:フライアッシュ(碧南火力産), S1:山砂(豊田産), S2:高炉スラグ砂(日本製鉄産), G1:山砂利(豊田産), AD:AE減水剤(花王製)											

表 2 実験結果一覧【フレッシュ試験、圧縮強度試験、静弾性係数試験】

配合名	スランブ	空気量	混和剤 添加量	コンクリート 温度	圧縮 N/mm ²		静弾性 kN/mm ²		長さ変化率 × 10 ⁻⁶							
	cm	%	G × %	℃	7日	28日	7日	28日	0日	7日	14日	21日	28日	56日	91日	182日
A-N	20.5	5.0	0.50	25	30.5	40.7	30.9	34.6	0	-111	-175	-229	-261	-351	-406	-465
A-S	17.5	4.6	0.50	25	30.7	40.5	31.7	34.4	0	-113	-186	-235	-267	-366	-425	-485
B-N	19.5	4.7	0.70	27	33.8	46.7	34.4	37.0	0	-122	-183	-220	-254	-343	-392	-448
B-S	19.0	5.2	0.70	27	34.4	47.4	33.0	35.8	0	-141	-208	-255	-293	-390	-441	-508
C-N	20.5	5.3	0.40	25	28.0	37.9	25.4	29.0	0	-124	-207	-262	-307	-416	-478	-548
C-S	17.5	4.7	0.40	25	27.6	37.1	25.6	28.6	0	-132	-206	-262	-306	-408	-478	-542

3. 実験結果

7日材齢と28日材齢の関係の圧縮強度結果を図1に、7日材齢と28日材齢の関係の静弾性係数結果を図2に、長さ変化率結果を図3に示す。

3.1 フレッシュ性状

表2によると、混和剤の添加量をスラッジの有無に係らず同量としたためか、スラッジ水を使用するとスランプ値は僅かに小さくなったものの、概ね良好な結果であると言える。

3.2 圧縮強度

表2および図1によると、スラッジ水の有無による差は0.2~0.8 N/mm²程度であり、各工場ともにスラッジ水の有無が影響していないと判断できる。

3.3 静弾性係数

表2および図2によると、圧縮強度と同様の傾向であると言え、スラッジ水の有無による差は0.2~1.4 kN/mm²程度であった。

3.4 長さ変化率

表2および図3によると、長さ変化率にはスラッジ水を使用することによる影響はわずかに見られるものの、その差は60×10⁻⁶程度までに留まっている。

また、この3工場による試験結果は、JASS5 2022年版に示される低収縮コンクリート²⁾の等級1または2の範囲

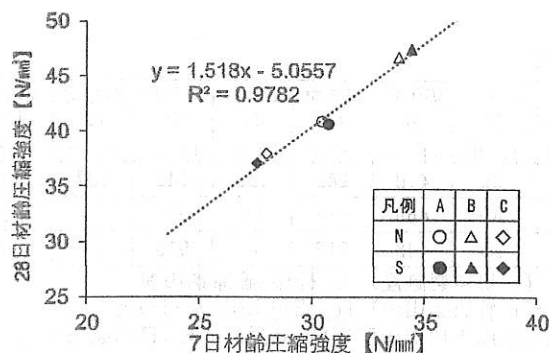


図1 圧縮強度結果 (7日材齢-28日材齢の比較)

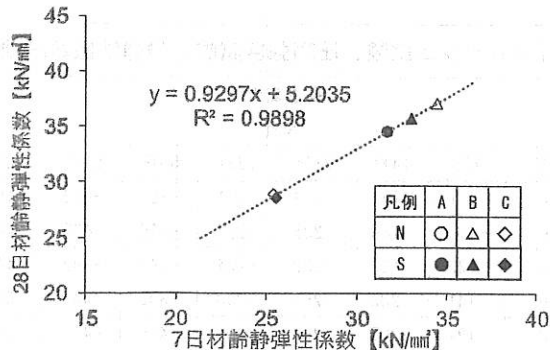


図2 静弾性係数結果 (7日材齢-28日材齢の比較)

であり、環境配慮型コンクリートであっても低収縮コンクリートが実現できることを示している。

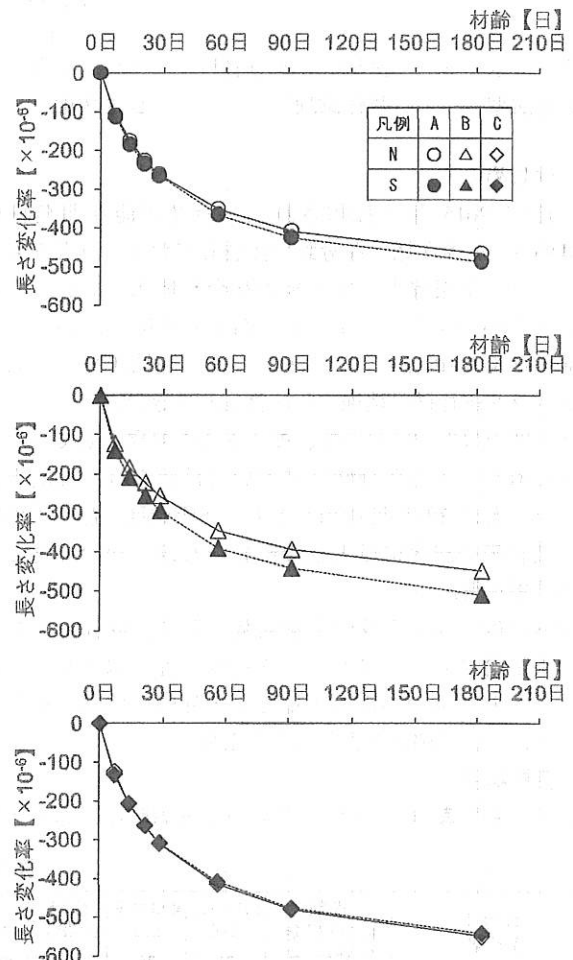


図3 長さ変化率結果

4. まとめ

- 1) スラッジ水を3%程度使用しても、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率の結果には大きな影響を及ぼさないと考えられる。
- 2) その他の物性については今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 小田 昌広 他：練り混ぜ水にスラッジ水を用いた環境配慮型コンクリートに関する実験 その1・その2, 日本建築学会大会学術講演概要集(北海道), 材料施工, pp.633-636, 2022.7
- 2) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2022, 27節低収縮コンクリート, pp.733-746

謝辞

本実験は、筆者らが組織する研究会の下で実施したものである。筆者らとともに会員である(株)テクノ中部, 日鉄スラグ製品(株), 住商セメント(株), 名古屋口建物産(株), 三和石産(株), 扶和産業(株), (株)フローリックおよびご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

*1 トーヨーテクノ(株)

*4 (株)関電パワーテック

*1 Toyo Techno Corp.

*4 Kanden Power-tech Corp.

*2 新知多コンクリート工業(株)

*5 (株)オーテック

*2 Shinchita concrete Industry Corp. *5 Otec Corp.

*3 (株)木村建材店

*3 Kimura Kenzai-ten Corp.

練り混ぜ水にスラッジ水を用いた環境配慮型コンクリートに関する実験

その1 実験概要およびモルタルのフレッシュ性状と圧縮強度について

		正会員	○小田 昌広 ^{*1}	同	大江 康夫 ^{*1}	同	廣岡 勇一 ^{*2}
		同	木村 隆之 ^{*3}	同	峯 秀和 ^{*4}		
フライアッシュ	高炉スラグ細骨材	スラッジ水					
モルタル	フレッシュ性状	圧縮強度					

1. はじめに

筆者らは、名古屋地区において、火力発電所発生由来のフライアッシュ、製鉄所発生由来の高炉スラグ細骨材の積極活用を提案している^{例えは 1}が、従来よりも環境配慮型となるコンクリートを製造するべく、回収骨材や回収水の積極的な活用を検討することとした。

まずは、回収水の分類である【スラッジ水】に焦点を当て、実験を行うこととした。

スラッジ水に関する研究・報告例は 1975 年の笠井らの報告^{例えは 2}など以降、毎年少しずつ増加していることが確認できる。ただ、スラッジ水の有効利用について、JIS A 5308 では『固形分率 3%以下のスラッジ水を練り混ぜ水として使用することができる』と固形分率の上限がネックとなり、その濃度確認・調整の手間が掛かることから、使用しても良いとされているものの実際にスラッジ水を使用している工場は少ないことが現状であろう。また、高流動コンクリート・高強度コンクリートなどの特殊コンクリートへの使用は認められていないことも利用されない理由となるであろう。

そこで、利用促進を進めるために、まず今回は既往のコンクリート配合に対してスラッジ水を練り混ぜ水とした場合のモルタルの物性（圧縮強度・静弾性係数・長さ変化率）について確認を行うこととした。

2. 実験概要

モルタル配合表を表 1 に示す。

混和材にフライアッシュ（砂置換）、細骨材に高炉スラグ砂を使用したコンクリートを製造する 3 工場（A、B、C）のセメント、細骨材を用いて、各工場のコンクリート配合量からモルタル配合量を計算した。

水セメント比 W/C は 55%、50%、45%の 3 水準とし、練り混ぜ水を上水道水と模擬スラッジ水の 2 種類で検討を行った。ここで、模擬スラッジ水とは KT-102（2012 年度制定版）に準拠し、セメント濃度 5.9%となるようセメントと上水道水を混ぜ合わせて調整した水^{例えは 3}を指し、練り混ぜ前日に作成した。練り混ぜの際には固形分率が 3%となるように計量した。今回は、模擬スラッジ水を使用する配合での単位セメント量の低減は行わなかった。

混和剤は各工場が使用する AE 減水剤とし、フロー値は 230~260mm 程度となるよう添加量を調整した。空気量の目標値は 2%とした。

なお、フライアッシュ、高炉スラグ砂は 3 工場ともに共通のロットのものをを用いた。

試験項目 フレッシュ試験（フロー値、空気量、温度）
圧縮強度試験（材齢 7 日、材齢 28 日）
静弾性係数試験（材齢 7 日、材齢 28 日）
長さ変化試験（本報告では材齢 28 日まで）

表 1 モルタル配合表

配合	W/C %	C kg/m ³	W kg/m ³		FA kg/m ³	S1 kg/m ³	S2 kg/m ³	S3 kg/m ³
			スラッジ 無	スラッジ 有				
A55 (S)	55	528	291	306	56	676	334	361
A50 (S)	50	578	289	306	56	657	324	352
A45 (S)	45	649	292	312	57	622	307	333
B55 (S)	55	525	289	305	64	796	539	—
B50 (S)	50	578	289	306	65	770	521	—
B45 (S)	45	649	292	311	65	728	493	—
C55 (S)	55	528	291	306	41	773	550	—
C50 (S)	50	585	293	310	42	743	526	—
C45 (S)	45	656	295	315	42	703	499	—
使用 材料	A工場	C: トクヤマ製, FA: フライアッシュ(碧南火力産), S1: 高炉スラグ砂(日本製鉄産), S2: 砕砂(藤原産), S3: 砕砂(菅島産)						
	B工場	C: 住友大阪製, FA: フライアッシュ(碧南火力産), S1: 砕砂(伊吹山産), S2: 高炉スラグ砂(日本製鉄産)						
	C工場	C: トクヤマ製, FA: フライアッシュ(碧南火力産), S1: 山砂(豊田産), S2: 高炉スラグ砂(日本製鉄産)						

表中の定義は

以下の通りである。

W/C: 水セメント比、

C: セメント(N)、

W: 水、

FA: フライアッシュ、

S: 細骨材、

配合名について

X55: スラッジ無

X55S: スラッジ有
を示す。

表2 実験結果【フレッシュ性状、空気量、圧縮強度】

配合	C/W	フロー値 mm		空気量 %	混和剤 添加量 G×%	モルタル 温度 ℃	圧縮強度 N/mm ²		配合	C/W	フロー値 mm		空気量 %	混和剤 添加量 G×%	モルタル 温度 ℃	圧縮強度 N/mm ²	
		最大	直交				7日	28日			最大	直交				7日	28日
A55	1.82	244	235	1.4	1.15	15	41.3	57.9	A55S	1.82	262	259	2.0	1.20	16	36.0	51.4
A50	2.00	246	245	1.4	1.35	15	48.8	63.3	A50S	2.00	244	235	2.0	1.45	16	44.2	59.9
A45	2.22	231	230	1.5	1.55	15	54.5	72.1	A45S	2.22	239	236	1.3	1.65	16	51.4	66.2
B55	1.82	249	244	2.0	1.10	13	40.1	57.2	B55S	1.82	246	239	2.2	1.20	15	39.0	56.4
B50	2.00	246	242	1.9	1.20	13	47.3	65.4	B50S	2.00	254	248	2.6	1.35	15	46.8	66.0
B45	2.22	266	251	1.8	1.30	14	56.0	74.0	B45S	2.22	246	238	1.0	1.55	16	55.7	77.6
C55	1.82	240	232	2.0	1.50	14	41.2	55.5	C55S	1.82	257	257	2.1	1.60	15	43.0	60.1
C50	2.00	252	248	2.3	1.60	15	44.5	64.0	C50S	2.00	251	248	2.3	1.70	15	48.5	63.2
C45	2.22	256	245	1.9	1.70	15	55.5	72.2	C45S	2.22	261	257	2.0	1.80	16	56.0	77.4

圧縮強度・静弾性係数試験用の供試体は兼用とし、寸法φ50×100mmの円柱供試体とした。長さ変化試験用の供試体は寸法40×40×160mmの角柱供試体を使用した。

3. 試験結果

実験結果を表2に、材齢7H—材齢28Hの関係による圧縮強度結果を図1に示す。同表には、フレッシュ試験と圧縮強度試験の結果を示した。

3.1 フレッシュ性状

フロー値を230～260mm程度となるよう混和剤の添加量を調整しているため、流動性の調整については問題ないと考えられる。ただ、スラッジ水を使用する、並びに水セメント比が小さくなるほど、混和剤の添加量は増加する傾向となった。空気量については、特に調整しなくとも目標の2%程度となった。

3.2 圧縮強度

表2から材齢28日の圧縮強度についてスラッジ無し配合に対するスラッジ有り配合の強度比を求めると、A工場では-5～-11%、B工場では+5～-2%、C工場では+8～-2%であったことから、圧縮強度については固形分率3%程度までのスラッジ水を用いたとしても、概ねばらつきの範囲となると考えられる。

図1によると、水セメント比が小さくなるほど強度は増加し、工場（使用骨材）の違いやスラッジの有無に係わらず、概ね比例する結果となった。また、材齢7日から材齢28日の伸び率は近似直線の±5%の範囲内となり、良い相関関係が認められた。

4. まとめ

- フレッシュ性状については、スラッジの有無に係わらず調整は可能であるが、混和剤の添加量に影響を及ぼすと考えられる。

凡例	A			B			C		
W/C	55	50	45	55	50	45	55	50	45
スラッジ無	○	○	○	△	△	△	◇	◇	◇
スラッジ有	●	●	●	▲	▲	▲	◆	◆	◆

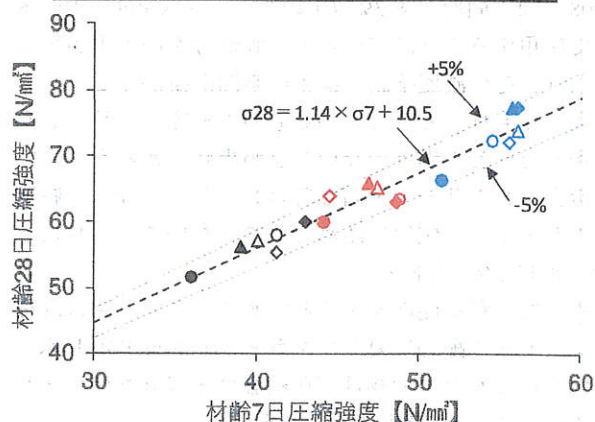


図1 圧縮強度結果（材齢7日—材齢28日の関係）

- 工場（使用骨材）の違いやスラッジの有無に係わらず、材齢7日から材齢28日の圧縮強度の伸び率には良い相関関係が認められる。

参考文献

- 小田 昌広,他：1032 フライアッシュを使用したコンクリートの塩分飛来地域における長期曝露実験 その1—実験概要および圧縮強度，日本建築学会大会学術講演概要集（北陸），材料施工，pp.63-64，2019.7
- （公社）コンクリート工学会：コンクリート工学「スラッジ混入コンクリート」，1975年，13巻，9号，pp.31-42
- 宮本勇馬,他：高炉スラグ微粉末を添加したコンクリートの練混ぜ水へのスラッジ水および上澄水の適応に関する検討，土木学会第72回年次学術講演概要集，V-522，pp.1043-1044，2017

*1 トーヨーテクノ(株)

*3 (株)木村建材店

*1 Toyo Techno Corp.

*3 Kimura Kenzai-ten Corp.

*2 新加多コンクリート工業(株)

*4 (株)関電パワーテック

*2 Shinchita concrete Industry Corp. *4 Kanden Power-tech Corp.

練り混ぜ水にスラッジ水を用いた環境配慮型コンクリートに関する実験
その2 静弾性係数と長さ変化率について

フライアッシュ 高炉スラグ細骨材 スラッジ水
静弾性係数 長さ変化率

正会員 ○堂下 航^{*1} 同 松山 正幸^{*2}
同 青木 真一^{*3} 同 加藤 善久^{*4}

1. はじめに

本報その2では、静弾性係数および長さ変化率の結果について述べる。

2. 実験結果

実験結果を表1、静弾性係数結果を図1、乾燥材齢28日目までの長さ変化率結果を水セメント別に図2(a)~(c)に示す。

C工場については、A、B工場の打込口から遅れての打込となったため、乾燥材齢21日までの結果で示す。

2.1 静弾性係数

表1および図1によると、スラッジ水を使用することによる影響は、概ね圧縮強度と同様の傾向であると言える。

A工場では、スラッジ有りの場合、静弾性係数は小さくなる傾向がみられた。

B工場では、スラッジの有無に係わらず、水セメント比別で差がある程度であった。

C工場では、スラッジ有りの場合の方が静弾性係数は大きくなった。

B、C工場では、概ねばらつきの範囲となると考えられるが、A工場では水セメント比が大きいと小さくなる傾向もあるため、コンクリートでも同様の傾向となるか検討が必要である。

図1によると、その1で示した圧縮強度と同様、工場(使用骨材)の違いやスラッジの有無に係わらず、概ね

比例する結果となった。また、材齢7日から材齢28日の伸び率は近似直線の±5%の範囲内となり、良い相関関係が認められた。

2.2 長さ変化率

図2によると、水セメント比に係わらず、長さ変化率にはスラッジ水有とした配合の方で、数十マイクロメートル程度は乾燥収縮率が大きくなっているように見られるが、この僅かな差がスラッジ水の影響かどうかは現状

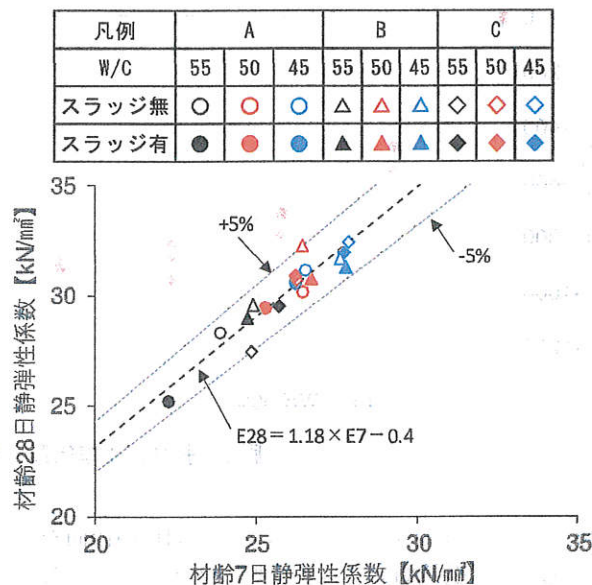


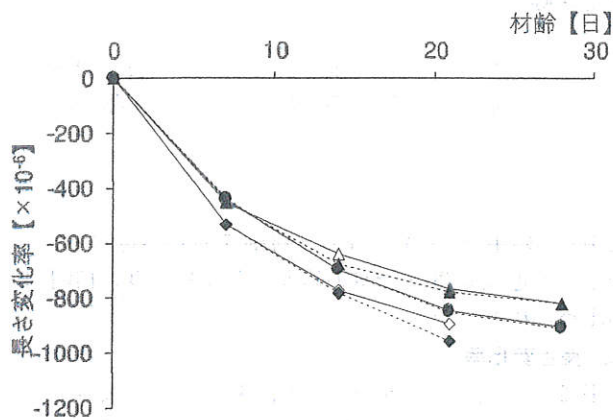
図1 静弾性係数結果(材齢7日-材齢28日の関係)

表1 実験結果一覧【静弾性係数、長さ変化率】

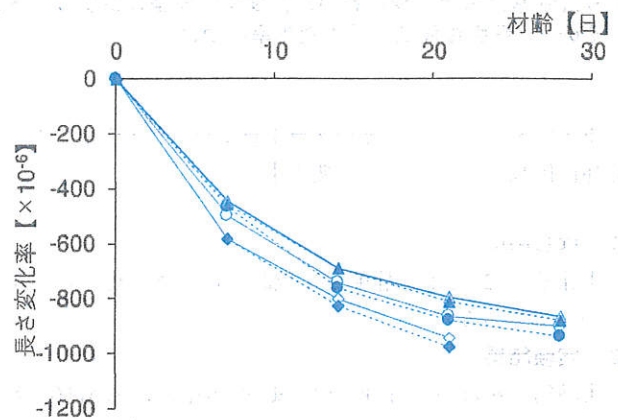
配合	C/W	静弾性係数 kN/mm ²		長さ変化率 × 10 ⁻⁶					配合	C/W	静弾性係数 kN/mm ²		長さ変化率 × 10 ⁻⁶				
		7日	28日	0日	7日	14日	21日	28日			7日	28日	0日	7日	14日	21日	28日
A55	1.82	23.9	28.3	0	-445	-700	-847	-904	A55S	1.82	22.3	25.2	0	-439	-696	-852	-909
A50	2.00	26.5	30.1	0	-456	-701	-825	-879	A50S	2.00	25.3	29.4	0	-474	-717	-877	-922
A45	2.22	26.6	31.1	0	-496	-739	-860	-898	A45S	2.22	26.3	30.5	0	-466	-759	-876	-937
B55	1.82	24.9	29.6	0	-451	-638	-767	-821	B55S	1.82	24.7	29.0	0	-448	-674	-774	-819
B50	2.00	26.4	32.3	0	-432	-632	-760	-827	B50S	2.00	26.7	30.8	0	-469	-707	-821	-890
B45	2.22	27.6	31.7	0	-441	-684	-795	-864	B45S	2.22	27.8	31.3	0	-453	-688	-807	-877
C55	1.82	24.8	27.5	0	-534	-770	-895	—	C55S	1.82	25.7	29.5	0	-535	-783	-955	—
C50	2.00	26.2	30.7	0	-572	-792	-963	—	C50S	2.00	26.2	30.9	0	-556	-794	-954	—
C45	2.22	27.8	32.4	0	-579	-796	-941	—	C45S	2.22	27.7	32.0	0	-579	-824	-973	—

Experiments on Environmentally Friendly Concrete Using Sludge Water
Part 2 About the Static Modulus of Elasticity and the Measurement of
Change in Length

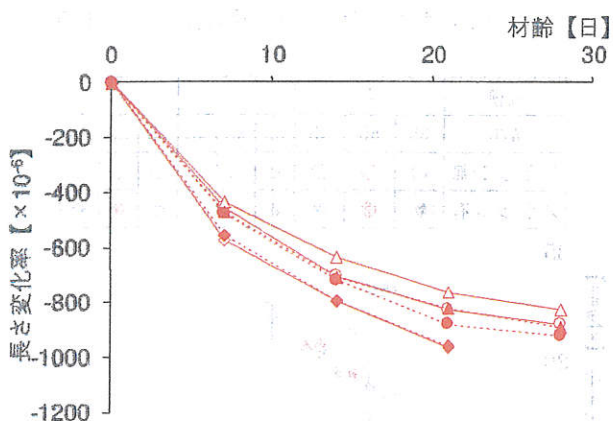
DOSHITA Wataru, MATSUYAMA Masayuki,
AOKI Shinichi and KATO Yoshihisa



(a) W/C55%



(c) W/C45%



(b) W/C50%

凡例	A			B			C		
W/C	55	50	45	55	50	45	55	50	45
スラッジ無	○	○	○	△	△	△	◇	◇	◇
スラッジ有	●	●	●	▲	▲	▲	◆	◆	◆

図2 長さ変化率結果 (A,B工場：乾燥材齢28日まで、C工場：乾燥材齢21日まで)

判別することはできない。どの配合も同様の傾向を示しているため、長期材齢になった時に差が大きくなることも考えられるため、今後注意が必要である。

4. まとめ

その1に引き続き、以下の知見を得た。

- 1) スラッジ水を3%程度使用しても、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率の結果には大きな影響を及ぼさないと考えられる。
- 2) その他の物性については今後の検討課題である。
- 3) 今回はモルタルによる実験であったため、コンクリートになった時に傾向が異なる可能性も否定できないため、引き続き実験を実施し、検討する必要がある。

謝辞

本実験は、筆者らが組織する研究会の下で実施したものである。筆者らとともに会員である株式会社テクノ中部、日鉄スラグ製品株式会社、仕商セメント株式会社、名古屋日建物産株式会社、扶和産業株式会社およびご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

*1 ㈱オーテック

*3 三和石産㈱

*1 Otec Corp.

*3 Sanwa Sekisan Corp.

*2 新知多コンクリート工業㈱

*4 ㈱フローリック

*2 Shinchita concrete Industry Corp.

*4 Flowric Co.Ltd.

フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの表層透気性確認実験

その1 実験概要および表層透気性

フライアッシュ	セメント置換	正会員	○堂下 航 ^{*1}	同	小田 昌広 ^{*2}	同	青木 真一 ^{*3}
中庸熟ポルトランドセメント	高炉スラグ細骨材	同	今浦 善行 ^{*4}	同	加藤 善久 ^{*5}		
		砂置換					
		表層透気性					

1. はじめに

2019 年度の実験において、フライアッシュ（以下、FA と表記）ならびに高炉スラグ細骨材（以下、BS と表記）を使用することにより、中庸熟セメントの代替品となり得る結果が示された。しかし、すべての配合について FA ならびに BS を使用していたために断言しづらい。

そこで本年度は、FA ならびに BS の混入の有無による圧縮強度、劣化抵抗性への影響を確認するため、比較実験として角柱供試体を作製し、検討を行うこととした。

本報その 1 では、本実験の概要と表層透気性について述べる。

打 込 日：2020 年 12 月 11 日(金)

試験項目：

フレッシュ試験

コンクリート供試体(標準養生)の圧縮強度試験

角柱供試体コンクリート表面の表層透気試験

角柱供試体コンクリート表面の反発度測定試験

角柱供試体コンクリート表面の引っかかり試験

圧縮強度試験材齢 : 1 週, 4 週, 8 週, 13 週

表層透気係数 : 4 週, 8 週, 13 週

反発度 : 4 週, 8 週, 13 週

引っかかり試験の測定 : 2 週, 4 週, 8 週, 13 週

※角柱供試体は 150×150×530mm の鋼製型枠を用いた。

2. 実験概要

打込配合：配合一覧を表 1 に示す。配合①、②は FA ならびに BS を使用しない配合計画とした。

配合①N W/C 50%-18-20N

配合②M W/C 50%-18-20M

配合③N-S W/C 50%-18-20N : FA 砂置換 35kg/m³

配合④BB-S W/C 50%-18-20BB : FA 砂置換 35kg/m³

配合⑤N-C W/B 50%-18-20N : FA セメント置換 18%

配合⑥BB-C W/B 50%-18-20BB : FA セメント置換 15%

3. 試験結果

3.1 フレッシュ試験

フレッシュ試験結果一覧を表 2 に示す。

FA ならびに BS を混入したコンクリート（配合③～⑥）のスランブは設計値 18cm に対して+1.5cm 以内もしくは-1.0cm 以内であった。空気量についても設計値 4.5% に対して-0.2%～+0.3%であった。目視によるフレッシュ性状は各配合ともに良好であると判断できる。

表 1 配合一覧

配合番号	配合	呼び方		W/C (%)	W/B (%)	S/a (%)	C (kg/m ³)	FA (kg/m ³)	W (kg/m ³)	S1 (kg/m ³)	S2 (kg/m ³)	G (kg/m ³)	AE (%)
		混和剤	フライアッシュ										
①	N	W/C 50%-18-20N		50.0	—	48.6	362	—	181	918	—	1007	C×1.30
		AE減水剤	—										
②	M	W/C 50%-18-20M		50.0	—	48.6	364	—	182	921	—	1007	C×1.30
		AE減水剤	—										
③	N-S	W/C 50%-18-20N		50.0	(45.6)	47.3	362	35	181	436	413	1007	C×1.15
		AE減水剤	砂置換35kg/m ³										
④	BB-S	W/C 50%-18-20BB		50.0	(45.5)	47.2	358	35	179	436	411	1007	C×1.15
		AE減水剤	砂置換35kg/m ³										
⑤	N-C	W/B 50%-18-20N		(60.9)	50.0	47.9	297	65	181	448	424	1007	B×1.15
		AE減水剤	セメント置換18%										
⑥	BB-C	W/B 50%-18-20BB		(58.9)	50.0	48.0	304	54	179	451	424	1007	B×1.15
		AE減水剤	セメント置換15%										

表中の定義は以下の通りである。表中の定義は以下の通りである。

W/C：水セメント比、W/B：水結合材比、S/a：細骨材率、C：セメント(N, BB, M)、FA：フライアッシュ、W：水、AE：AE減水剤、

S1：菅島産砕砂(橄欖岩)、S2：高炉スラグ砂、G：菅島産砕石(かんらん岩)

Experiments of surface air permeability verification of concrete
using fly ash and blast furnace slag fine aggregate
Part 1 Outline of experiment and surface air permeability

DOSHITA Wataru, ODA Masahiro, AOKI Shinichi
IMAURA Yoshiyuki and KATO Yoshihisa

表2 フレッシュ試験結果

配合番号	配合	W/C (%)	W/B (%)	SL (cm)	Air (%)	CT (°C)
①	N	50.0	—	8.0	3.2	18
②	M	50.0	—	8.5	3.4	18
③	N-S	50.0	(45.6)	17.0	4.7	18
④	BB-S	50.0	(45.5)	19.5	4.5	18
⑤	N-C	(60.9)	50.0	19.5	4.3	18
⑥	BB-C	(58.9)	50.0	19.0	4.8	18

一方、FA ならびに BS が無混入のコンクリート（配合①、②）では、混和剤の使用量を増加させたものの、スランプは設計値を 10cm 程度下回り、空気量についても設計値の許容範囲の下限値（3.0%）近くとなった。また、目視によるフレッシュ性状はガサガサの状態であった。以上より、FA ならびに BS を使用することにより容易にフレッシュ性状を改善できると推察される。

3.2 表層透気係数結果

表層透気試験は、今本らのグループによって研究事例のあるダブルチャンバー法^{例えぱり}によって実施した。

試験状況を写真 1 に示す。角柱供試体の型枠面の 3 箇所について測定を実施した。

表 3 に表層透気性のグレーディング、表 4 に試験結果を示す。表 4 中の括弧内の数値は、角柱供試体表面の含水率を示す。表層の含水率が大きい、つまり水分を保持しているため、表層透気性が小さくなる傾向があると言われている。含水率が小さく、かつ、表層透気係数 kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$) の値が小さいほど、コンクリートの表層が緻密であることを意味している。

表 4 によれば、含水率が小さくなるほど、表層透気係数が大きくなっていることから、角柱供試体の養生環境（恒温恒湿環境下）では、材齢 4 週程度では含水率が下がらないことを意味しており、このときに測定される表層透気係数によるグレーディングにも意味がないと考えられる。ただし、配合別に比較する場合については、同材齢で含水率も同程度であるため、含水率の影響を無視しても良いと考えられる。

また各材齢において、配合②M が最も表層透気係数が大きい。FA ならびにスラグ砂を混入した配合③～⑥では、配合②M と比べ、1/2 程度の係数となっている。配合①N



写真 1 表層透気試験 試験状況

表 3 表層透気係数のグレーディング

表層透気係数	kT ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)
優	0.001~0.01
良	0.01~0.1
一般	0.1~1
劣	1~10
極劣	10~100

表 4 材齢別 表層透気係数結果

配合番号	配合	表層透気性		
		4W	8W	13W
①	N	0.04 (6.5%)	0.09 (2.2%)	0.15 (5.3%)
②	M	0.09 (6.9%)	0.15 (6.0%)	0.26 (5.4%)
③	N-S	0.04 (6.2%)	0.08 (5.3%)	0.13 (5.1%)
④	BB-S	0.01 (5.9%)	0.04 (5.2%)	0.07 (5.0%)
⑤	N-C	0.03 (5.6%)	0.06 (5.0%)	0.11 (4.8%)
⑥	BB-C	0.02 (5.4%)	0.06 (4.9%)	0.11 (4.9%)

についても同様であるが、フレッシュ性状（特にスランプ値）を合わせると改善される可能性も否定できないが、本結果から、FA ならびに BS を混入すれば、コンクリートの表層は緻密になると言える。

4. まとめ

前年に引き続き、FA ならびにスラグ砂を使用することにより中庸熱セメントの代替品となり得るかについて新たな検討を行った結果、以下の知見を得た。

表層透気性を確認することにより、中庸熱セメント単味の供試体と比べ、FA ならびに BS を混入した供試体では、長期に渡ってコンクリート表層の緻密化が進むことがわかった。

参考文献

- 1) 今本 啓一 他 4 名：かぶりコンクリートの透気性に基づく RC 構造物の耐久性性能検証に向けた基礎的研究-各種試験方法における透気性の指標と中性化深さの関連-、日本建築学会構造系論文集, Vol.38, pp.538-599, 2009.4

*1 (株)オーテック

*4 扶和産業(株)

*2 トーヨーテクノ(株)

*5 (株)フローリック

*3 三和石産(株)

*1 Otec Corp.

*4 Fuwa Industry Corp.

*2 Toyo Techno Corp.

*5 Flowric Co.Ltd.

*3 Sanwa Sekisan Corp.

フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの表層透気性確認実験

その2 各種試験結果

フライアッシュ 中庸熱ポルトランドセメント	セメント置換 圧縮強度	正会員	○松山 正幸 ^{*1}	同	大江 康夫 ^{*2}	同	廣岡 勇一 ^{*1}
		同	木村 隆之 ^{*3}	同	峯 秀和 ^{*4}		

1. はじめに

本報その2では、その他の各種試験結果として、圧縮強度および角柱供試体表面の反発度ならびに引っかかり傷幅について述べる。

2. 実験概要

試験項目:

コンクリート供試体(標準養生)の圧縮強度試験
角柱供試体コンクリート表面の反発度測定試験
角柱供試体コンクリート表面の引っかかり試験
圧縮強度試験材齢 : 1週, 4週, 8週, 13週
反発度 : 4週, 8週, 13週
引っかかり傷幅 : 2週, 4週, 8週, 13週

3. 試験結果

3.1 圧縮強度

圧縮強度試験結果一覧を表1に示す。表中の各試験値の下段(括弧内)には、各配合ともに、中庸熱セメントの配合である配合②Mとの圧縮強度比を併記した。また、その1で示したフレッシュ試験結果によると、配合により空気量(Air)にばらつきがあったため、Air補正強度を併記した。

表1(Air補正)に示したように、FAならびにスラグ砂を混入した各配合と配合②Mとを比較すると、砂置換、セメント置換による強度差はいくらか見られるがほぼ同程度であると言える。セメント置換の配合⑤、⑥は砂置換の配合③、④と比べ、セメント総量が18%または15%減少しているため当然の結果であると言える。

3.2 反発度

角柱供試体の型枠面にて反発度の測定を行った。また、得られた反発度から圧縮強度の推定を行った。

試験結果を表2、リバウンドハンマー推定強度と標準養生供試体圧縮強度の関係を図1に示す。表中の括弧内の数値は、標準養生供試体との強度比を示す。

各配合ともに材齢が進むと反発度はわずかではあるが大きくなり、強度が増進していることがわかる。角柱供試体の養生は恒温恒湿環境下(20℃、60%)であるため、標準養生供試体と異なり、大幅な強度増進は見込めない。これは図1を見ても明らかなように、標準養生供試体の圧縮強度は材齢とともに増大している一方、角柱供試体の推定強度はほぼ横ばいであると言える。

角柱供試体については、今後コアを採取し、コア強度と推定強度を比較する予定である。

表1 圧縮強度試験結果一覧(平均値)

配合 番号	配合	W/C (%)	W/B (%)	Air (%)	標準養生				標準養生(Air補正)			
					1W	4W	8W	13W	1W	4W	8W	13W
①	N	50.0	—	3.2	21.7	38.3	45.0	45.3	20.3	35.8	42.1	42.4
					(1.13)	(1.13)	(1.03)	(0.90)	(1.12)	(1.12)	(1.02)	(0.89)
②	M	50.0	—	3.4	19.2	33.9	43.6	50.1	18.2	32.1	41.1	47.4
					(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)
③	N-S	50.0	(45.6)	4.7	26.2	39.2	46.8	47.2	26.5	39.6	47.3	47.7
					(1.36)	(1.15)	(1.07)	(0.94)	(1.46)	(1.23)	(1.15)	(1.01)
④	BB-S	50.0	(45.5)	4.5	23.6	38.2	49.1	53.0	23.6	38.2	49.1	53.0
					(1.23)	(1.13)	(1.13)	(1.06)	(1.30)	(1.19)	(1.19)	(1.12)
⑤	N-C	(60.9)	50.0	4.3	20.7	32.3	43.0	46.7	20.5	32.0	42.6	46.2
					(1.08)	(0.95)	(0.99)	(0.93)	(1.13)	(1.00)	(1.04)	(0.98)
⑥	BB-C	(58.9)	50.0	4.8	25.8	34.2	38.2	39.4	26.2	34.7	38.8	40.0
					(1.34)	(1.01)	(0.88)	(0.79)	(1.44)	(1.08)	(0.94)	(0.84)

(上段)単位: N/mm² (下段)配合②Mとの圧縮強度比

Experiments of surface air permeability verification of concrete
using fly ash and blast furnace slag fine aggregate
Part 2 Results of various test

MATSUYAMA Masayuki, OE Yasuo, HIROKA Yuichi
KIMURA Takayuki and MINE Hidekazu

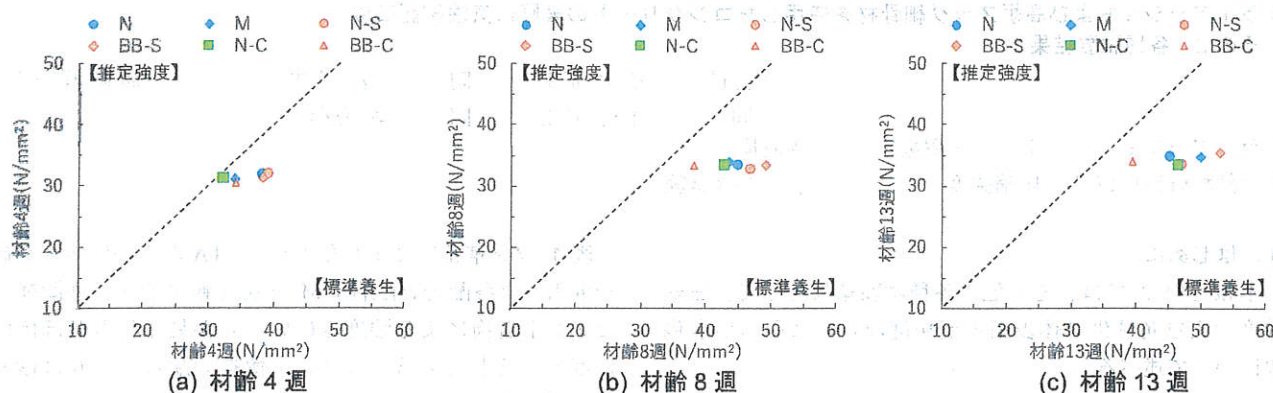


図1 リバウンドハンマー推定強度と標準養生供試体圧縮強度の関係

表2 リバウンドハンマー 反発度および推定強度

配合番号	配合	試験内容	リバウンドハンマー試験結果		
			4W	8W	13W
①	N	反発度	31	33	35
		圧縮強度推定	32.0 (0.83)	33.4 (0.74)	34.8 (0.77)
②	M	反発度	30	34	35
		圧縮強度推定	31.3 (0.92)	34.1 (0.78)	34.8 (0.70)
③	N-S	反発度	31	32	33
		圧縮強度推定	32.0 (0.82)	32.7 (0.70)	33.4 (0.71)
④	BB-S	反発度	30	33	36
		圧縮強度推定	31.3 (0.82)	33.4 (0.68)	35.6 (0.67)
⑤	N-C	反発度	30	33	33
		圧縮強度推定	31.3 (0.97)	33.4 (0.78)	33.4 (0.72)
⑥	BB-C	反発度	29	33	34
		圧縮強度推定	30.5 (0.89)	33.4 (0.88)	34.1 (0.87)

表3 引っかかり傷幅測定結果

配合番号	配合	針荷重	引っかかり傷幅 (mm)			
			2W	4W	8W	13W
①	N	1.0kg	0.40	0.35	0.30	0.25
		0.5kg	0.30	0.30	0.25	0.25
②	M	1.0kg	0.50	0.40	0.35	0.35
		0.5kg	0.40	0.35	0.30	0.30
③	N-S	1.0kg	0.40	0.35	0.30	0.25
		0.5kg	0.30	0.30	0.30	0.20
④	BB-S	1.0kg	0.40	0.35	0.35	0.25
		0.5kg	0.35	0.30	0.30	0.20
⑤	N-C	1.0kg	0.50	0.45	0.40	0.30
		0.5kg	0.35	0.35	0.30	0.20
⑥	BB-C	1.0kg	0.40	0.40	0.40	0.30
		0.5kg	0.30	0.30	0.30	0.25

3.3 引っかかり試験

引っかかり試験は、日本建築仕上学会が認定するコンクリート床の性能評価法の一つであり、コンクリートの表面硬さを測る試験方法である。

コンクリートの表面硬さがコンクリート・モルタルの水分量と密接に関係し、仕上材に影響すると認識されていることから、仕上材を取り扱う職種では必要な試験となっている。

一般的に引っかかり傷幅が小さくなるほど圧縮強度は高くなると言われており、その結果、表面硬さも硬くなる（表層コンクリートの緻密化）と考えられる。

表3に角柱供試体の引っかかり傷幅一覧を示す。

同表に示すように、各配合ともに、材齢が進むにつれ引っかかり傷幅は小さくなる傾向を示した。材齢13週においては、配合②Mが最も引っかかり傷幅が大きくなっており、表層透気係数と似通った傾向を示している。

4. まとめ

その1に引き続き、以下の知見を得た。

フライアッシュを砂置換とした配合の圧縮強度は、中沸熱セメントの配合と同程度であった。一方、セメント置換とした配合の圧縮強度は2割程度小さくなるが、呼び強度30相当の配合であることから、今回の圧縮強度結果は妥当であると言える。

また、その1で示した表層透気性だけでなく、引っかかり傷幅についても、FAおよびBSを使用することで、長期に渡ってコンクリート表層の緻密化が期待できる。

謝辞

本実験は、筆者らが組織する研究会の下で実施したものである。筆者らとともに会員である株式会社テクノ中部、日鉄スラグ製品株式会社、住商セメント株式会社、名古屋日建産株式会社およびご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

*1 新加多コンクリート工業(株)

*2 トーヨーテクノ(株)

*3 関木村建材店

*4 関電パワーテック

*1 Shinchita concrete Industry Corp. *3 Kimura Kenzai-ten Corp.

*2 Toyo Techno Corp.

*4 Kanden Power-tech Corp.

フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの温度履歴確認実験

その1 実験概要および温度履歴結果

フライアッシュ 中庸熱ポルトランドセメント	セメント置換 高炉スラグ細骨材	砂置換 温度履歴	正会員	○松山 正幸 ^{*1}	同	小田 昌広 ^{*2}	同	青木 真一 ^{*3}
			同	今浦 善行 ^{*4}	同	加藤 善久 ^{*5}		

1. はじめに

現在、全国的に市中向けの中庸熱ポルトランドセメント(以下、中庸熱セメントと略記する)の供給量が制限される可能性が高まっている(例えば)。

中庸熱セメントは普通セメントと比べ水と熱が小さく、使用するメリットも多いことから、使用量は引き続き増加すると考えられるが、前述したように需要に対して供給が不足する懸念がある。

そこでフライアッシュならびに高炉スラグ細骨材を使用することにより、中庸熱セメントの代替品となり得るかについて検討を行うこととした。検討に際しては模擬体を作製し、その模擬体の温度履歴および模擬体コア強度を確認することとした。

本報その1では、本実験の概要と模擬体の温度履歴結果について述べる。

2. 実験概要

実験場所：名古屋港に面する生コン工場敷地内

打込配合：配合一覧を表1に示す。

- 配合① N-S W/C 50%-18-20N: FA 砂置換 35kg/m³
 配合② BB-S W/C 50%-18-20BB: FA 砂置換 35kg/m³
 配合③ N-C W/B 50%-18-20N: FA セメント置換 18%
 配合④ BB-C W/B 50%-18-20BB: FA セメント置換 15%
 配合⑤ M-S W/C 50%-18-20M: FA 砂置換 35kg/m³

打込日：2019年10月25日

模擬体：1m³ブロック(写真1)

試験項目：

模擬体中心および表面近傍の温度測定

簡易断熱養生の温度測定

模擬体コンクリートコア供試体の圧縮強度試験

コンクリート供試体(標準, 簡易断熱)の圧縮強度試験

模擬体コンクリート表面の反発度測定試験

模擬体コンクリート表面の透気試験

模擬体の比較対象として、コンクリート供試体による試験を実施することとし、模擬体の打込と同時に供試体を作製した。



写真1 模擬体外観

表1 配合一覧

配合番号	配合	呼び方		W/C (%)	W/B (%)	S/a (%)	C (kg/m ³)	FA (kg/m ³)	W (kg/m ³)	S1 (kg/m ³)	S3 (kg/m ³)	G1 (kg/m ³)	G2 (kg/m ³)	AE (%)
		混和剤	フライアッシュ											
①	N-S	W/C 50%-18-20N		50.0	(45.5)	47.5	358	35	179	407	435	374	620	C×1.2
		AE減水剤	砂置換35kg/m ³											
②	BB-S	W/C 50%-18-20BB		50.0	(45.5)	47.3	356	35	178	403	431	374	620	C×1.2
		AE減水剤	砂置換35kg/m ³											
③	N-C	W/B 50%-18-20N		(61.0)	50.0	48.0	290	64	177	430	460	—	1016	B×1.2
		AE減水剤	セメント置換18%											
④	BB-C	W/B 50%-18-20BB		(58.8)	50.0	48.0	301	53	177	426	455	—	1016	B×1.2
		AE減水剤	セメント置換15%											
⑤	M-S	W/B 50%-18-20M		50.0	(45.5)	47.9	358	35	179	409	437	374	620	C×1.2
		AE減水剤	砂置換35kg/m ³											

表中の定義は以下の通りである。

W/C：水セメント比、W/B：水結合材比、S/a：細骨材率、C：セメント(N, BB, M)、FA：フライアッシュ、W：水、AE：添加混和剤(AE減水剤)、S1：高炉スラグ砂、S2：藤原産石灰砕砂、S3：菅島産砕砂(かんらん岩)、G1：津久見産石灰砕石、G2：菅島産砕石(かんらん岩)

Experiments of temperature history of concrete using fly ash and blast furnace slag fine aggregate

MATSUYAMA Masayuki, ODA Masahiro, AOKI Shinichi
IMAURA Yoshiyuki and KATO Yoshihisa

Part 1 Outline of experiment and results of temperature history

模擬体として打込まれた各配合のフレッシュ試験結果を表 2 に示す。空気量にバラつきはあるが、概ね同程度のフレッシュ性状のコンクリートを打込むことができた。

表 2 フレッシュ試験結果

配合番号	配合	W/C (%)	W/B (%)	S/a (%)	SL (cm)	Air (%)	CT (°C)	AT (°C)
①	N-S	50.0	(45.5)	47.5	17.0	4.9	23	19
②	BB-S	50.0	(45.5)	47.3	17.5	4.7	22	19
③	N-C	(61.0)	50.0	48.0	19.0	5.4	23	19
④	BB-C	(58.8)	50.0	48.0	18.5	4.0	22	18
⑤	M-S	50.0	(45.5)	47.9	19.5	4.2	23	18

3. 温度履歴結果

例として配合①N-S による模擬体および簡易断熱養生の温度履歴を図 1、各配合の模擬体の内側、外側ならびに簡易断熱養生それぞれの温度履歴の比較を図 2 に示す。

図 1 によると、模擬体外側の温度履歴と簡易断熱養生の温度履歴はよく似た推移となった。この結果から、模擬体を作製しなくても、簡易断熱養生を行うことで、模擬体(外側)の温度履歴を推定することができることが示唆された。

図 2 の模擬体内側の温度比較によると、砂置換とした配合 N-S、BB-S、M-S の 3 体は打設後 1.0 日でコンクリート温度はピークに達した。一方、セメント置換とした配合 N-C、BB-C は 0.5 日程度遅れてピークとなったことから、温度上昇が緩やかとなったことがわかる。この推移の差はセメント総量が影響しているものと考えられる。また、温度測定位置に係わらず、中庸熱セメントの配合 M-S と同程度の温度履歴を示したのは、フライアッシュをセメント置換とした配合 N-C、BB-C であった。

本結果によれば、フライアッシュをセメント置換とすれば、中庸熱セメントを用いた配合と同等の温度履歴となることが示された。

4. まとめ

- 1) 中庸熱セメントの配合 M-S による温度履歴と同程度となる配合は、フライアッシュをセメント置換とした配合 N-C、BB-C であった。
- 2) 模擬体内側の温度がピークとなるのは、フライアッシュを砂置換とした配合ならびに中庸熱セメントの配合では約 1.0 日、フライアッシュをセメント置換とした配合では約 1.5 日とズレが生じ、セメント置換の配合の方が温度上昇は緩やかとなった。

参考文献

- 1) ㈱コンクリート新聞社：コンクリート新聞記事「中庸熱需給が逼迫～関東一区の生コン、2018.11.22 日号」

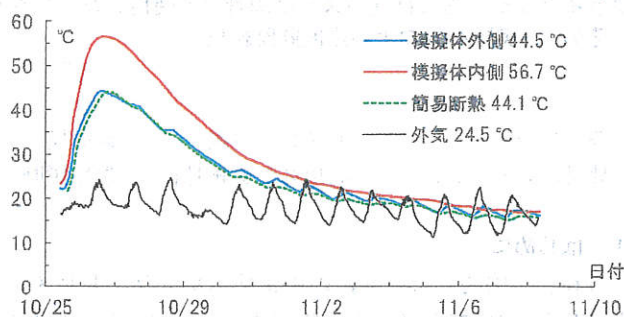


図 1 配合①N-S の温度履歴結果

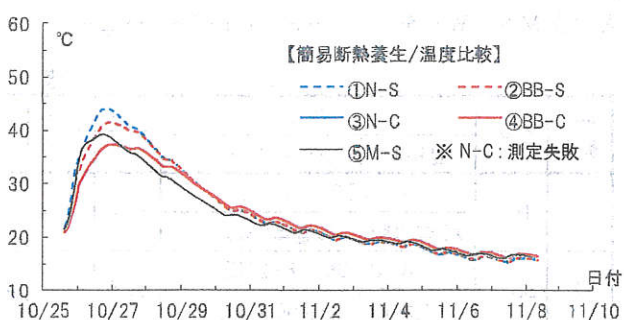
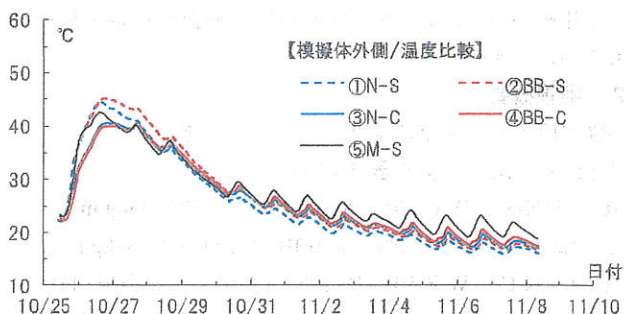
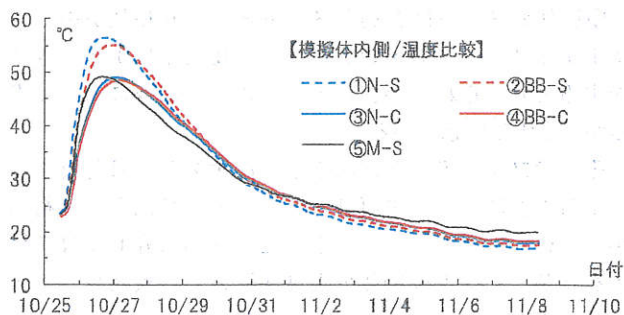


図 2 各配合の温度履歴結果の比較

謝辞

本実験は、筆者らが組織する研究会の下で実施したものである。筆者らとともに会員である株式会社テクノ中部、日鉄スラグ製品株式会社、住商セメント株式会社、名古屋日建物産株式会社およびご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

*1 新加多コンクリート工業㈱

*4 扶和産業㈱

*1 Shinchita concrete Industry Corp.

*4 Fuwa Industry Corp.

*2 トーヨーテクノ㈱

*5 ㈱フローリック

*2 Toyo Techno Corp.

*5 Flowric Co.Ltd.

*3 三和石産㈱

*3 Sanwa Sekisan Corp.

フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの温度履歴確認実験 その2 各種試験結果

正会員 ○堂下 航^{*1} 同 大江 康夫^{*2} 同 廣岡 勇一^{*3}
同 木村 隆之^{*4} 同 峯 秀和^{*5}

フライアッシュ セメント置換 砂置換
圧縮強度 反発度 表層透気係数

1. はじめに

本報その2では、圧縮強度および模擬体表面の反発度ならびに表層透気係数について述べる。

2. 実験概要

試験項目:

模擬体コンクリートコア供試体の圧縮強度試験
コンクリート供試体(標準, 簡易断熱)の圧縮強度試験
模擬体コンクリート表面の反発度測定試験
模擬体コンクリート表面の透気試験

圧縮強度試験材齢: 1週, 4週, 8週, 13週

反発度、表層透気係数の測定: 4週, 8週, 13週, 19週

※ただし、表層透気係数の測定の際、雨天であったため、試験の特性上、測定を中止した。

3. 試験結果

3.1 圧縮強度

各養生の圧縮強度試験結果一覧を表1、模擬体コア外側と簡易断熱養生の強度比較を図1に示す。表中の各試験値の下段(括弧内)には、各配合、各養生ともに、中庸熱セメントの配合 M-S の圧縮強度比を併示した。また、S値として $28S_{91}$ および $56S_{91}$ を示した。

同表によると、フライアッシュを砂置換とした配合である N-S、BB-S および M-S は、同程度の圧縮強度となった。

一方、セメント置換とした配合である N-C、BB-C は、標準養生と簡易断熱養生では M-S の 0.8 倍弱、模擬体コアでは 0.8 倍強であった。

その1(表1)に示したように、セメント置換の配合は砂置換の配合と比べ、セメント総量が 15%または 18%減少しているため当然の結果であると言える。一方で、今回実験に使用した配合は呼び強度 30 相当としたため、圧縮強度結果としての問題は無い。

図1によると、温度履歴が似通っていた模擬体コア外側と簡易断熱養生の強度を比較すると、配合や材齢によりいくらかバラつきはあるものの、砂置換の配合では 1.00~1.06 倍、セメント置換の配合では 1.11~1.16 倍とコア強度の方が高い結果となった。

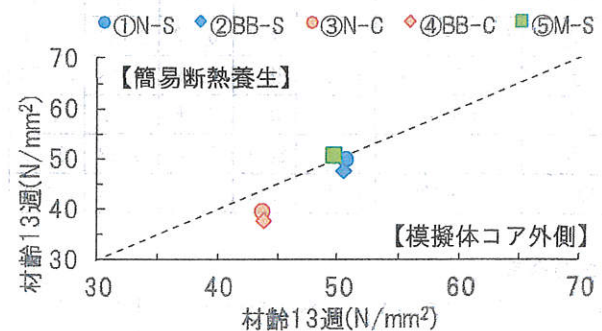


図1 模擬体コア外側と簡易断熱養生の強度比較

表1 圧縮強度試験結果一覧(平均値)

(上段)単位: N/mm^2 、(下段)配合⑤M-Sとの圧縮強度比

配合 番号	配合	標準養生				簡易断熱			模擬体コア								S値	
		1W	4W	8W	13W	4W	8W	13W	4W内	4W外	8W内	8W外	13W内	13W外	$28S_{91}$	$56S_{91}$		
①	N-S	33.7	48.0	56.4	60.0	44.4	47.9	49.5	43.3	39.3	45.6	52.5	50.1	50.7	0	6		
		(1.53)	(1.08)	(0.98)	(0.95)	(1.15)	(1.07)	(0.98)	(1.17)	(1.03)	(0.86)	(1.09)	(0.91)	(1.02)				
②	BB-S	30.8	48.9	55.9	58.9	41.9	45.5	47.6	51.2	39.8	52.6	50.0	52.9	50.3	0	4		
		(1.40)	(1.10)	(0.97)	(0.93)	(1.08)	(1.02)	(0.95)	(1.39)	(1.04)	(0.99)	(1.03)	(0.96)	(1.01)				
③	N-C	22.7	36.5	46.3	49.6	33.9	37.1	39.4	32.6	32.2	43.1	41.3	46.1	43.8	0	1		
		(1.03)	(0.82)	(0.80)	(0.78)	(0.88)	(0.83)	(0.78)	(0.88)	(0.84)	(0.81)	(0.85)	(0.84)	(0.88)				
④	BB-C	20.1	38.4	48.3	50.0	35.1	36.4	37.6	35.6	38.6	48.6	43.6	45.4	43.8	0	3		
		(0.91)	(0.86)	(0.83)	(0.79)	(0.91)	(0.81)	(0.75)	(0.96)	(1.01)	(0.91)	(0.90)	(0.83)	(0.88)				
⑤	M-S	22.0	44.5	57.9	63.3	38.7	44.8	50.3	36.9	38.3	53.3	48.4	55.0	49.8	0	6		
		(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)				

Experiments of temperature history of concrete using fly ash and
blast furnace slag fine aggregate
Part 2 Results of various test

DOSHITA Wataru, OE Yasuo, HIROKA Yuichi
KIMURA Takayuki and MINE Hidekazu

表2 反発度結果および強度推定結果

配合番号	配合	試験内容	リバウンドハンマー			
			4W ^{*1}	8W ^{*1}	13W ^{*1}	19W ^{*2}
①	N-S	反発度	39	40	44	44
		強度推定	37.7 (0.96)	38.4 (0.73)	41.3 (0.81)	41.3 (0.81)
②	BB-S	反発度	40	41	43	46
		強度推定	38.4 (0.96)	39.1 (0.78)	40.6 (0.81)	42.7 (0.85)
③	N-C	反発度	36	40	41	42
		強度推定	35.6 (1.10)	38.4 (0.93)	39.1 (0.89)	39.8 (0.91)
④	BB-C	反発度	37	39	41	42
		強度推定	36.3 (0.94)	37.7 (0.87)	39.1 (0.89)	39.8 (0.91)
⑤	M-S	反発度	40	41	43	48
		強度推定	38.4 (1.00)	39.1 (0.81)	40.6 (0.81)	44.1 (0.89)

注)※1：同一材齢による強度推定と模擬体コア外側圧縮強度の比

※2：強度推定(材齢19週)と模擬体コア外側圧縮強度(材齢13週)の比

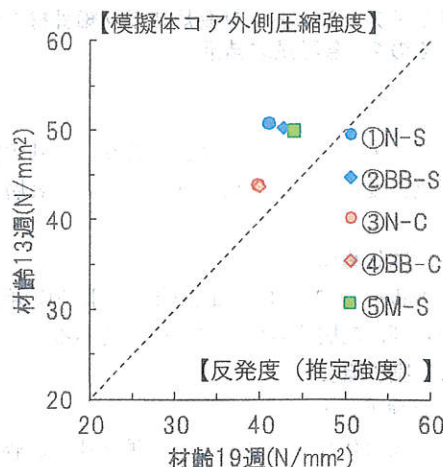


図2 模擬体外側コア強度と反発度推定強度の関係

表3 表層透気係数の
グレーディング

表層透気係数	kT ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)
優	0.001~0.01
良	0.01~0.1
一般	0.1~1
劣	1~10
極劣	10~100

表4 材齢別表層透気係数結果

配合番号	配合	表層透気係数		
		4W	8W	19W
①	N-S	0.12	0.025	0.030
②	BB-S	0.28	0.13	0.074
③	N-C	0.16	0.12	0.25
④	BB-C	0.24	0.23	0.16
⑤	M-S	0.16	0.14	0.026

3.2 反発度

模擬体の表面にて反発度の測定を行った。また、得られた反発度から圧縮強度の推定を行った。試験結果を表2、リバウンドハンマー推定強度と模擬体コア外側圧縮強度の比較を図2に示す。

各配合ともに材齢が進むと反発度は大きくなり、強度が増進していることがわかる。材齢4週では模擬体コア外側とリバウンドハンマーによる推定値は同程度であったが、材齢8週、13週、19週では模擬体コア外側の圧縮強度が高くなり、リバウンドハンマー試験による反発度は過小評価となっている。

3.3 表層透気係数

表層透気試験は、今本らのグループによって研究事例のあるダブルチャンバー法^{例えは1)}によって実施した。表3に示すように、表層透気係数 kT ($\times 10^{-16} \text{m}^2$) が小さいほど表層が緻密であることを意味している。

試験結果を表4に示す。今回の測定は時間の都合上、各配合ともに1箇所のみ測定としている。

表によると、各配合ともに材齢が4週から8週になると表層透気係数が小さくなる傾向が見られた。

各配合ともにフライアッシュおよび高炉スラグ細骨材が混入されセメント単体での試験結果が無い場合、考察は難しいが、フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用することで、コンクリート表層の緻密化が期待できると推察される。

材齢19週ではN-SおよびN-Cの透気係数が大きくなっているが、これは測定位置のバラつきが影響したものと考えられる。

4. まとめ

・圧縮強度について

フライアッシュを砂置換とした配合の圧縮強度は、中庸熱セメントの配合と同程度であった。

一方、セメント置換とした配合の圧縮強度は2割程度小さくなるが、呼び強度30相当の配合であることから、今回の圧縮強度結果は妥当であると言える。

・劣化抵抗性について

フライアッシュおよび高炉スラグ細骨材を使用することで、長期に渡ってコンクリート表層の緻密化が期待できる。

参考文献

- 1) 今本 啓一 他4名：かぶりコンクリートの透気性に基づくRC構造物の耐久性能検証に向けた基礎的研究-各種試験方法における透気性の指標と中性化深さの関連、日本建築学会構造系論文集, Vol.38, pp.538-599, 2009.4

*1 関オーテック
*2 トーヨーテクノ(株)
*3 新加多コンクリート工業(株)

*4 関木村建材店
*5 関電パワーテック

*1 Otec Corp.
*2 Toyo Techno Corp.
*3 Shinchita concrete Industry Corp.

*4 Kimura Kenzai-ten Corp.
*5 Kanden Power-tech Corp.