

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：17501

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13869

研究課題名（和文）各種混和材を用いたコンクリートの中酸化抵抗性の評価手法に関する研究

研究課題名（英文）Study on Evaluation Technique of Carbonation Resistance with Concrete Using Various Mixture Materials

研究代表者

秋吉 善忠 (Akiyoshi, Yoshitada)

大分大学・理工学部・助教

研究者番号：40713467

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：促進環境および実環境において、フライアッシュ（FA）および高炉スラグ微粉末（BFS）を用いたコンクリートの中酸化深さ、表面吸水性、透気性および比抵抗等について各種実験を行い、混和材の種類や置換率がコンクリートの中酸化抵抗性に及ぼす影響について検討した。中酸化深さが時間の平方根に比例すると仮定して算出した、混和材コンクリートの中酸化速度係数は、混和材の中酸化抵抗性に対する貢献度（ $kc$ ）を用いた等価な水セメント比  $[W/C', C' = C + kc \times FA \text{ (or BFS)}]$  を用いて推定可能であること、 $kc$ は混和材の種類や置換率、 $W/C'$  によって異なること等がわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄筋コンクリート構造物の中酸化に対する耐久性の照査を行うにあたっては、コンクリートの中酸化抵抗性や、鉄筋の腐食に影響する吸水性や透気性を適切に評価する必要がある。本研究では、混和材の種類や置換率を変化させ、さらに実環境の雨掛りによる影響を考慮し定期的に水を供給する促進環境条件で各種試験を行っており、実環境における混和材コンクリートの中酸化抵抗性を評価する上で貴重なデータ・知見が得られたといえる。また、本実験で得られたデータと既往の研究データを用い、混和材の種類や置換率によって変化する中酸化抵抗性に対する貢献度 $kc$ による影響を考慮することで、汎用性の高い中酸化深さ予測式の構築を試みている。

研究成果の概要（英文）：The carbonation resistance of concrete containing fly ash (FA) and blast furnace slag (BFS) is evaluated using accelerated and natural exposure data in this study. The concrete specimens in natural and accelerated exposure condition are investigated for their compressive strength, air permeability, water absorption, carbonation depth, and porosity. Big amount of data about concrete carbonation test in natural and accelerated conditions was collected. Results show that with supplied water, the mass transfer resistance of concrete containing FA equal to or higher than that of the reference concrete, and the carbonation depth is similar to that of the reference concrete. In addition, the carbonation rate coefficient of concretes with mineral admixture were estimated by formula containing equivalent water-cement ratio  $[W/C', C' = C + kc \times FA \text{ (or BFS)}]$ , and it was shown that the value of  $kc$  depends on the type and amount of admixture,  $W/C'$  of the concretes.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：中酸化 フライアッシュ 高炉スラグ微粉末 吸水性 透気性 細孔

1. 研究開始当初の背景

フライアッシュや高炉スラグ微粉末等の産業副産物をコンクリートに使用することで、環境の負荷低減、セメント使用量の削減に伴う CO<sub>2</sub> 排出量の削減が図れる。その一方で、一般の環境下にある鉄筋コンクリート構造物の耐久性を左右する中性化抵抗性は、混和材の種類やコンクリートの調合条件等によって低下する場合があることが報告されている。これらの研究の大半は、促進中性化試験による評価に基づいたものであり、実環境で発揮される混和材の効果を適切に評価しているとは言い難い。特に、鉄筋コンクリート造においては、鉄筋の腐食に深く関係する透水性や透気性による影響を考慮した上で中性化抵抗性を評価することが重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの中性化抵抗性を、コンクリート中の鉄筋腐食に影響を及ぼす透水性や透気性といった物質移動抵抗性ととも評価することである。本研究では、混和材を用いたコンクリート（混和材コンクリート）について、混和材の種類や置換率、水セメント比等の調合条件、養生条件等の環境条件が、コンクリートの中性化抵抗性、吸水性に及ぼす影響を調べるとともに、本実験で得られたデータおよび既往の研究データを用いて各要因を分析するとともに実環境における混和材コンクリートの中性化深さの予測式の構築を試みる。

3. 研究の方法

本研究で行った実験は下記の3つのシリーズからなる。

(1) シリーズIでは、種類の異なるフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いて、その置換率、水セメント比がコンクリートの中性化抵抗性に与える影響について検討した。表1に使用材料を、表2に使用した混和材の物性を、表3にコンクリートの調合概要を示す。フライアッシュには加熱改質フライアッシュ (MFA) を用いた。混和材を用いていないプレーンコンクリートの W/C を 40%, 50%, 60%, 70% の4水準とした。混和材コンクリートでは、W/C が 40%, 50%, 60% のプレーンコンクリートと強度が同等となるように W/C を調整した。すなわち、強度寄与率 k [1], [2] を考慮した等価な W/C (以下、W/C') をプレーンコンクリートの W/C と同値に設定した。W/C' は次式で表せる。

$$\frac{W}{C'} = \frac{W}{C + k \cdot AD} \quad (1)$$

ここに、W は単位水量 (kg/m<sup>3</sup>)、C は単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>)、AD は混和材の単位量 (kg/m<sup>3</sup>) である。MFA の k 値は既往データ [3] を参考に 0.3 にした。BFS6000 では、予備実験の結果から 1.0 とし、BFS4000 については、BFS6000 と比較するため、同様に 1.0 とした。目標スランプは 18±2.5cm、目標空気量は 4.5±1.0% とし、所要の性状が得られるよう単位水量、混和剤添加率および AE 剤により調整した。

硬化コンクリートの試験項目を表4に示す。定期吸水の吸水時間とその頻度は、透気および吸水試験の実施、定期吸水に伴う促進試験装置の開放回数増加による影響、供試体移動の労力等を考慮し、また佐伯らの散水促進中性化試験 (1日に3時間散水) [4] を参考に、1週間に1回の頻度で24時間吸水させる条件とした。すなわち、恒温恒湿室 (20°C, 60%R.H.) で定期吸水を24時間行った後、供試体を促進試験装置 (20°C, 60%R.H., CO<sub>2</sub>濃度5%) 内に6日間暴露する条件を1サイクルとして29回繰り返した。吸水条件は、JSCE-G 582-2018 を参考にし、供試体下部が1cm水に浸る条件とした。透気試験はコンクリート表層の透気性を評価するトレント法 [5] により透気係数の測定を行った。透水試験は白川らのダブルチャンバー透水性試験法 [6] により透水性を評価した。チャンバーの吸水面の直径は 80mm とし、吸水速度係数は吸水試験時間 3

表1 使用材料

| 項目   | 記号 | 種類および物性  |
|------|----|--|
| セメント | C  | 普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm <sup>3</sup>                    |
| 細骨材  | S  | 山砂 表乾密度:2.63g/cm <sup>3</sup> , 実積率:60.6%, 粗粒率:2.43%     |
| 粗骨材  | G  | 硬質砂岩砕石 表乾密度:2.63g/cm <sup>3</sup> , 実積率:58.9%, 粗粒率:6.81% |
| 混和材  | AD | 表2を参照  |
| 水    | W  | 水道水  |
| 混和剤  | Ad | AE 減水剤(高機能タイプ)   |
| 助剤   | AE | 空気量調整剤   |

表2 混和材の物性(シリーズI)

| 種類      | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 強熱減量 (%) | 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g) | 活性度指数(%) |     |     | 備考  |
|---------|-------------------------|----------|---------------------------|----------|-----|-----|-----|
|         |                         |          |                           | 7d       | 28d | 91d |     |
| MFA1    | 2.32                    | 0.72     | 4068                      | -        | 88  | 96  | -   |
| MFA2    | 2.05                    | 0.36     | 2873                      | -        | 80  | 90  | -   |
| BFS4000 | 2.91                    | -        | 4040                      | 67       | 100 | -   | 石膏  |
| BFS6000 | 2.91                    | -        | 5860                      | 80       | 113 | -   | 無添加 |

表3 調合概要(シリーズI)

| No. | 混和材種類   | AD/B (%) | W/C (%) | W/B (%) | W/C' (%) | s/a (%) | W (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----|---------|----------|---------|---------|----------|---------|------------------------|
| 1   | -       | 0        | 40.0    | 40.0    | 40.0     | 44.6    | 180                    |
| 2   | BFS6000 | 50       | 80.0    | 40.0    | 40.0     | 44.7    | 176                    |
| 3   | -       | 0        | 50.0    | 50.0    | 50.0     | 47.0    | 180                    |
| 4   | BFS6000 | 25       | 66.7    | 50.0    | 50.0     | 47.2    | 177                    |
| 5   | BFS4000 | 50       | 100.0   | 50.0    | 50.0     | 47.4    | 174                    |
| 6   | BFS6000 | 50       | 100.0   | 50.0    | 50.0     | 47.4    | 174                    |
| 7   | -       | 0        | 60.0    | 60.0    | 60.0     | 48.5    | 180                    |
| 8   | BFS6000 | 50       | 120.0   | 60.0    | 60.0     | 49.1    | 172                    |
| 9   | -       | 0        | 70.0    | 70.0    | 70.0     | 49.5    | 180                    |
| 10  | -       | 0        | 50.0    | 50.0    | 50.0     | 47.0    | 180                    |
| 11  | FA1     | 20       | 43.0    | 34.4    | 40.0     | 41.4    | 180                    |
| 12  | FA1     | 10       | 51.6    | 46.4    | 50.0     | 46.6    | 175                    |
| 13  | FA1     | 20       | 53.8    | 43.0    | 50.0     | 46.0    | 171                    |
| 14  | FA2     | 20       | 53.7    | 43.0    | 50.0     | 44.2    | 180                    |
| 15  | FA1     | 30       | 56.4    | 39.5    | 50.0     | 44.2    | 173                    |
| 16  | FA1     | 20       | 64.6    | 51.7    | 60.0     | 48.2    | 168                    |

B:結合材(C+MFA+BFS), C'=C+k×AD

表 4 硬化コンクリートの試験項目および条件

| 試験項目   | 試験方法                | 供試体寸法 (mm)  | 供試体数 <sup>*1</sup> | 養生方法   | 促進試験環境              | 定期吸水 <sup>*2</sup> | 試験期間 <sup>*3</sup> |
|--------|---------------------|-------------|--------------------|--|---------------------|--------------------|--------------------|
| 圧縮強度   | JIS A 1108          | φ100×200    | 各 3                | 20°C水中   | —                   | —                  | 材齢 7,28,91 日       |
| 促進中性化  | JIS A 1153          | 100×100×300 | 各 2                | 材齢 4 週まで 20°C水中<br>その後材齢 8 週まで<br>20°C・60%R.H. | 20°C                | 無                  | 1,4,12,26 週        |
| 透気試験   | トレント法 <sup>5)</sup> | 200×200×60  | 各 2                |  | ・60%R.H.            | 有                  | 4,12,26 週          |
| 表面吸水試験 | 白川ら <sup>6)</sup>   |             |                    |  | ・CO <sub>2</sub> 5% | 有                  | 0,4,12,26 週        |

\*1 透気および表面吸水試験はそれぞれ同じ供試体を使用して測定 \*2 1 週間に 1 回 24 時間水に浸せき \*3 圧縮強度については試験材齢。その他の試験では促進期間を示す。

分～10 分間のデータを用い、吸水量と吸水時間の関係に対して式 (2) で近似し、比例定数である吸水速度係数 S を求めた。

$$V = S\sqrt{t} + V_0 \quad (2)$$

ここに、V は吸水量(mm<sup>3</sup>/mm<sup>2</sup>)、S は吸水速度係数(mm/sec<sup>0.5</sup>)、t は吸水時間(sec)、V<sub>0</sub> は初期吸水量(mm<sup>3</sup>/mm<sup>2</sup>) である。

(2) シリーズIIでは、丸鋼を埋設したコンクリート試験体を作製し、上記と同様の環境条件において、上記の各種試験に加え鋼材腐食に関する実験を行った。使用した FA の物性を表 5 に、調合概要を表 6 に試験項目を表 7 に、試験体の概要を図 1 示す。その他の使用材料はシリーズIと同様である。鋼材腐食用供試体は材齢 28 日まで水中養生を行った後、4 週間気中養生を行い、その後、打設面、底面および両端面をエポキシ樹脂塗料でシールした。コンクリートのかぶり厚さは 10 および 20mm の 2 水準とし、φ13mm の丸鋼 (黒皮付き) を埋設した。定期吸水はシリーズIと同様の条件で 62 サイクルとし浸漬面は供試体の側面、鉄筋を配置した側の面とした。

鉄筋腐食に関する試験には G 社製の非破壊型鉄筋腐食測定器 (CEPRA 法 [7]) を用いた。自然電位は ASTM C 8762 [8] の判定基準により、腐食電流密度は表 8 に示す基準により評価した。

(3) シリーズIIIでは、約 10 年間屋外に曝露された鉄筋コンクリート試験体 (壁試験体およびボックスカルバート) について、物質移動抵抗性に関する各種試験を行うとともに、コンクリートコアを採取し、圧縮強度、中性化深さおよび細孔径分布 (水銀圧入法) を測定した。コンクリートの調合を表 9 に示す。コンクリートの呼び強度は 24N/mm<sup>2</sup> とし、セメントの種類は普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種の 2 種類である。FA 置換率は 0 および 20%とした。壁試験体は壁厚 150mm、かぶり厚さ 30mm、縦筋横筋ともに D10 の鉄筋を 150mm 間隔でダブル配筋し、開口部を有している。ボックスカルバートは壁厚 300mm、かぶり厚さ 100mm である。非破壊試験では、各種試験の測定面について、壁供試体では各西側壁面の南側、中央、北側の 3 箇所を測定し、ボックスカルバートでは同様に西側壁面の外側 3 箇所と、内側 2 箇所を測定し、雨掛りの有無の影響を調べた。測定箇所の高さは 100~150cm 程度の範囲とした。コンクリートコア試験について、壁試験体では φ50mm で長さ 100~120mm のコアを、ボックスカルバートでは φ100mm、長さ約 300mm のコアを、PL コンクリートおよび MFA コンクリートから各 3 体ずつ採取した。中性化深さは、コンクリートコアの側面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して呈色部までの深さをノギスを用い各 5 箇所測定した。細孔径分布試験は、測定範囲が 6.5nm から 950μm までの水銀圧入ポ

表 5 FA の物性 (シリーズII)

| 種類   | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g) | 平均粒径 (μm) | フロー値比 (%) | 活性度指数 28d (%) |
|------|-------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------|
| MFA3 | 2.40                    | 6480                      | 4.23      | 114       | 98            |
| MFA4 | 2.27                    | 4300                      | 14.5      | 105       | 92            |
| MFA5 | 2.20                    | 2780                      | 19.4      | 99        | 83            |

表 6 調合概要 (シリーズII)

| No. | AD 種類 | AD/B (%) | W/C (%) | W/B (%) | W/C <sup>*1</sup> (%) | s/a (%) | W (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----|-------|----------|---------|---------|-----------------------|---------|------------------------|
| 1   | -     | 0        | 45.0    | 45.0    | 45.0                  | 47.0    | 180                    |
| 2   | MFA4  | 15       | 47.4    | 40.3    | 45.0                  | 45.0    | 180                    |
| 3   | -     | 0        | 55.0    | 55.0    | 55.0                  | 48.8    | 180                    |
| 4   | MFA3  | 15       | 57.9    | 49.2    | 55.0                  | 48.7    | 170                    |
| 5   | MFA4  | 15       | 57.9    | 49.2    | 55.0                  | 48.1    | 174                    |
| 6   | MFA5  | 15       | 57.9    | 49.2    | 55.0                  | 47.3    | 180                    |
| 7   | MFA4  | 30       | 62.1    | 43.5    | 55.0                  | 46.3    | 174                    |
| 8   | -     | 0        | 65.0    | 65.0    | 65.0                  | 50.0    | 180                    |
| 9   | MFA4  | 15       | 68.4    | 58.2    | 65.0                  | 49.5    | 174                    |

表 7 試験概要 (シリーズ II)

| 試験項目               | 供試体 (mm)    | 方法                       | 試験 (開始) 材齢        | 試験 期間 (週) |
|--------------------|-------------|--------------------------|-------------------|-----------|
| 圧縮強度               | φ100×200    | JIS A 1108               | 4, 52 週           | —         |
| 促進中性化              | 100×100×200 | JIS A 1153               | 8 週 <sup>*3</sup> | 0, 11, 28 |
| 透気係数               | 100×150     | トレント法                    |                   | 62        |
| 吸水速度 <sup>*4</sup> |             | 白川ら <sup>1)</sup>        |                   |           |
| 自然電位               |             | ASTM C 876 <sup>2)</sup> |                   |           |
| 鉄筋腐食速度             |             | CEPRA <sup>3)</sup>      |                   |           |

\*3 材齢 28 日まで 20°C水中養生、その後材齢 56 日まで 20°C60%R.H. \*4 使用したチャンバーの径は 35mm(吸水面)である。

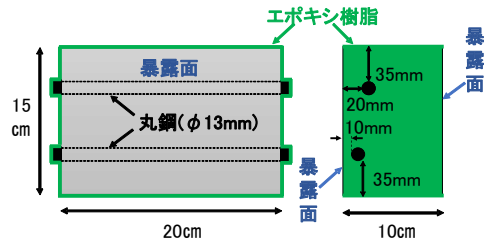


図 1 鋼材腐食試験用試験体の概要

表 8 自然電位および腐食電流密度評価

| 自然電位試験 <sup>8)</sup> |         | 腐食速度試験                       |           |
|----------------------|---------|------------------------------|-----------|
| 電位値 (mV)             | 鉄筋腐食 確率 | 腐食電流密度 (μA/cm <sup>2</sup> ) | 評価        |
| >-200                | 10%以下   | <1.0                         | Low       |
| -200 ~ -350          | 不確定     | 1.0 ~ 3.0                    | Moderate  |
| <-350                | 90%以上   | 3.0 ~ 10                     | High      |
|                      |         | >10                          | Very High |

表 9 調合概要 (シリーズIII)

| 記号       | W/C (%) | W/B (%) | FA 種類 | FA/B (%) | s/a (%) | W (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------|---------|---------|-------|----------|---------|------------------------|
| BB       | 54.1    | 54.1    | —     | 0        | 45.8    | 166                    |
| BB-MFA20 | 62.9    | 50.3    | MFA6  | 20       | 44.1    | 161                    |
| N        | 54.4    | -       | —     | 0        | 49.2    | 182                    |
| N-MFA20  | 62.6    | 50.2    | MFA6  | 20       | 48.1    | 176                    |

ロシメータを用いた。サンプルはコンクリートの各表層から深さ 1cm および 3cm 程度から採取した 2.5~5mm の試験片を、アセトンに浸漬し水和を停止させた後、D-dry 法により 3 日間乾燥させたものを用いた。

(4) 上記で得られた実験データおよび既往の研究データを用いて混和材コンクリートの中性化深さの予測式の構築を試みた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 促進環境 (シリーズI)

①MFA を用いたコンクリートの中性化速度係数は定期吸水させた場合にプレーンコンクリートと同等となる。BFS を用いたコンクリートの中性化速度係数は、比較的低い強度の場合にはプレーンコンクリートより大きい。材齢 28 日強度が 40~45N/mm<sup>2</sup> 程度以上では同等となることを明らかにした (図 2)。

②混和材コンクリートの吸水速度係数は、促進期間 26 週では PL と同等であることがわかった (図 3 右)。

③混和材コンクリートの透気係数は、促進期間 4 週では、MFA を用いた場合に PL と同等以下、BFS を用いた場合に同等以上の値を示すことがわかった (図 3 左)。

④コンクリートの中性化速度係数は MFA および BFS の有無に関わらず表面吸水試験から得られる吸水速度係数により評価できる可能性があることを確認した (図 4)。

定期吸水では、JIS 法の場合と比べて全体的に中性化速度係数が小さい。また、MFA を用いた場合には MFA 種類や置換率によらず PL とほぼ同等である。促進条件は異なるが、既往の研究 [4] と同様に定期的に吸水させることで FA コンクリートの中性化抵抗性が向上する傾向を示し、材齢 28 日強度が同等であれば実環境において中性化抵抗性は PL と遜色ないとする報告 [9] と同様の結果を示すことがわかった。養生条件や吸水条件等については実環境における条件を考慮して、さらに検討する必要があると思われるが、実環境の FA コンクリートの中性化抵抗性を評価する方法として、定期吸水は有効な手段の一つであると考えられる。

##### (2) 鋼材腐食抵抗性 (シリーズII)

図 5 にかぶり 10mm における自然電位および腐食電流密度の変化を示す。自然電位はばらつきが大きい。サイクル数の増加とともに単側に変化する傾向を示し、その傾向は W/C' が大きいものほど顕著である。腐食電流密度はすべて「Low」の範囲内で推移しているが、促進期間 30 週以降でやや増加する傾向にある。図 6 に MFA/B および MFA 比表面積と腐食電流密度の関係を示す。促進期間 62 週までの傾向について、腐食電流密度の値そのものは小さいが、MFA/B が大きいほど腐食電流密度は小さくなる傾向にある。また、MFA 比表面積による影響は小さい。

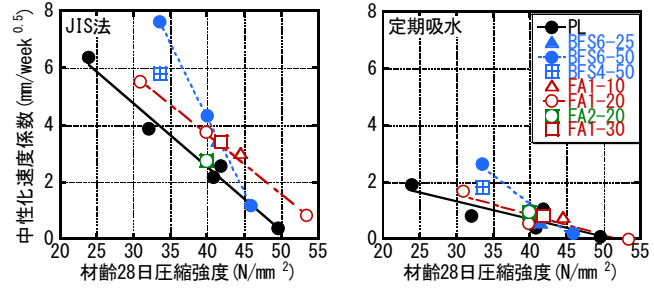


図 2 28 日強度と中性化速度係数の関係の関係

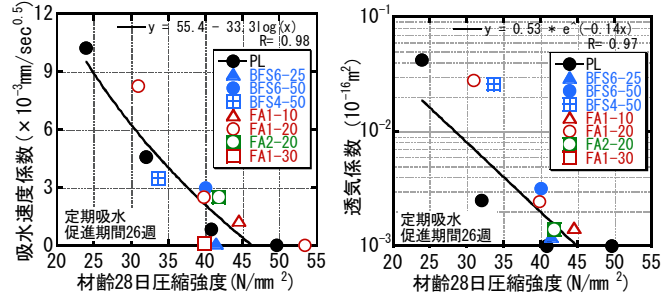


図 3 28 日強度と吸水速度係数および透気係数の関係

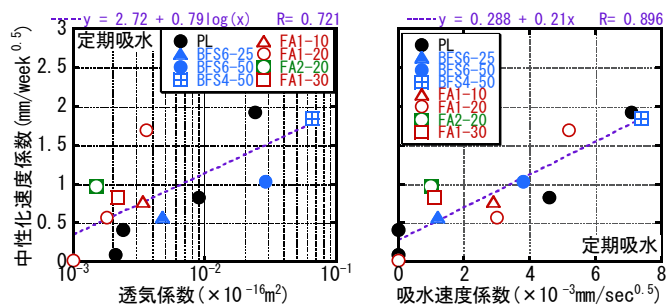


図 4 吸水速度係数および透気係数と中性化速度係数の関係

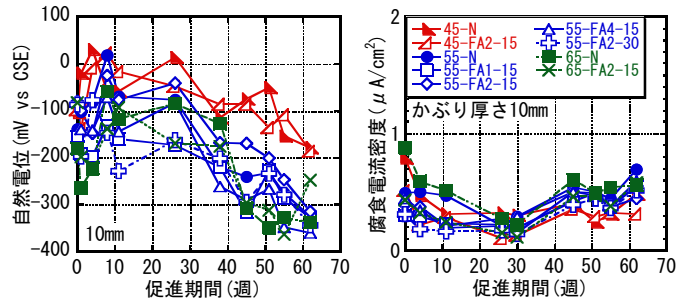


図 5 自然電位および腐食電流密度の変化

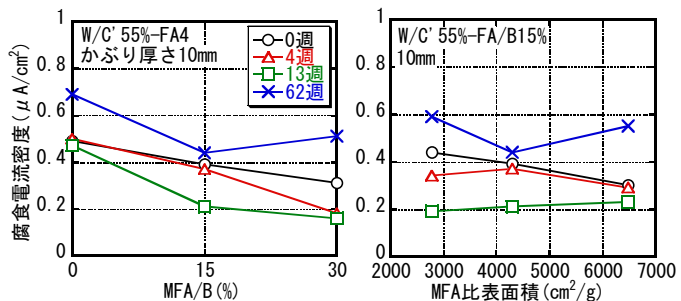


図 6 MFA/B および MFA 比表面積と腐食電流密度の関係

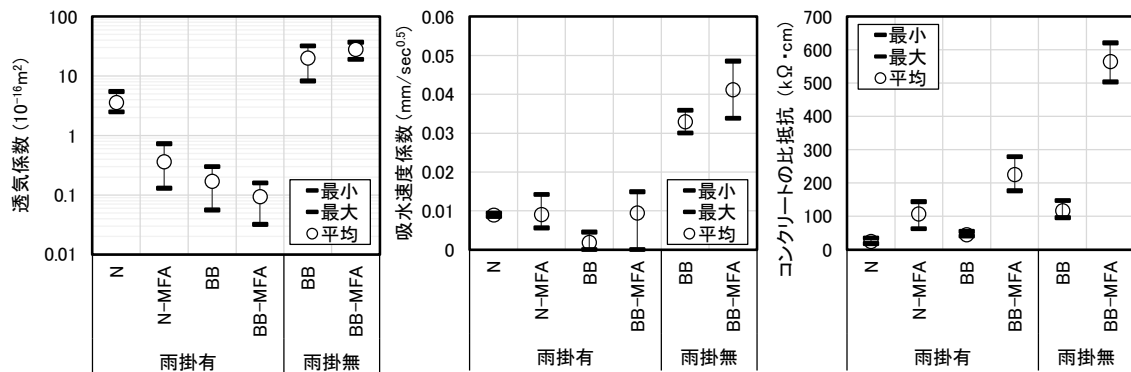


図7 透気係数, 吸水速度係数および比抵抗(シリーズIII)

促進期間63週において腐食電流密度は本実験の評価指標である「Low」の範囲にあるため、現在も実験は継続中である。

(3) 実環境 (シリーズIII)

①雨掛有りの環境において、MFAを混和したコンクリートの吸水速度係数はPLコンクリートとほぼ同等であり、透気係数は減少、コンクリート比抵抗は増加する傾向にあることから、物質移動抵抗性はPLコンクリートと比べて同等かそれ以上であると考えられる(図7)。

②材齢28日強度が同等であれば、普通ポルトランドセメントを用いた場合に、MFAを混和したコンクリートの中性化深さは、雨掛有りの環境においてプレーンコンクリートとほぼ同等となることを示した(図8)。

③細孔構造について、MFAを混和した場合に、雨掛の有無に関わらず、コンクリート表面では組織が粗くなる傾向にあるが、コンクリート内部では組織が緻密になる傾向にある(図9)。

(4) 中性化深さの予測式

混和材コンクリートの中性化速度係数は、混和材の中性化抵抗性に対する貢献 $kc$ を用いた $W/C'$ の関数式で推定可能であり、 $kc$ は混和材の種類や、 $W/C'$ 、置換率等の調査条件によって異なることを確認した。二酸化炭素濃度や雨掛の有無等の環境条件による影響も組み込んだ、更に汎用性の高い予測式の構築を目指して現在も検討を進めているところである。

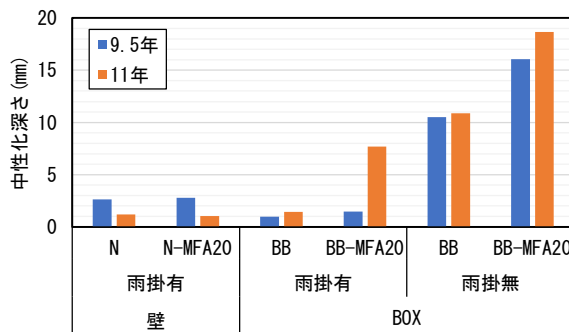


図8 実環境における中性化深さ

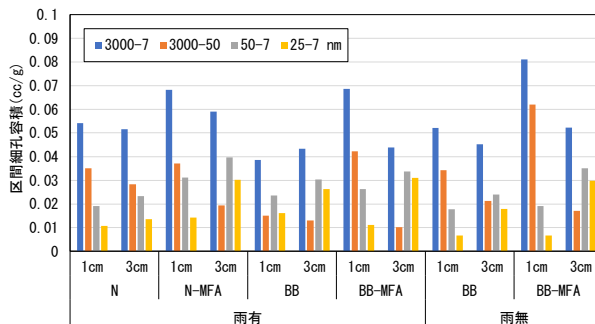


図9 区間細孔容積

[1] 日本建築学会：フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, p.48-49, 2007

[2] [2] I.A.Smith: The design of Fly Ash Concretes, Proc. Institute of Civil Engineers, Vol.36, pp.769-790, 1967

[3] 伊藤七恵, 佐藤嘉昭, 上田賢司, 大谷俊浩: 高品質フライアッシュを用いたコンクリートの調合設計に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.167-172, 2011.7

[4] 佐伯竜彦, 長瀧重義: 散水促進中性化試験による中性化深さの予測, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.801-806, 1993

[5] [5] R.Torrent: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the concrete, International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering, pp.985-992, 1995

[6] 白川敏夫: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の非破壊検査に関する研究, 第44回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.7-12, 2017

[7] Fahim Andrew et al., CEPR-A new test method for rebar corrosion rate measurement, ASTM Selected Technical Paper, pp.59-80, 2019.2

[8] ASTM C 876-91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, 1999

[9] 土木学会四国支部: 四国版 フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針, 2016.3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>秋吉善忠, 大谷俊浩, 佐藤嘉昭, 野田佳彦                         | 4. 巻<br>42            |
| 2. 論文標題<br>加熱改質フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの中性化抵抗性に関する研究 | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>コンクリート工学年次論文集                                  | 6. 最初と最後の頁<br>149-154 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                           | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                   | 国際共著<br>-             |

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshitada Akiyoshi, Akihiro Kodama, Toshihiro Otani, Takayuki Furuzono and Yoshitaki Sato |
| 2. 発表標題<br>Carbonation Resistance of Concrete Containing Modified Fly Ash in Actual Environment      |
| 3. 学会等名<br>76th RILEM Annual Week 2022 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋吉善忠, 古園隆倅, 児玉明裕, 大谷俊浩, 佐藤嘉昭                                    |
| 2. 発表標題<br>加熱改質フライアッシュを用いたコンクリートの中性化および鉄筋腐食抵抗性に関する研究 (その1 中性化深さおよび非破壊試験結果) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>児玉明裕, 秋吉善忠, 大谷俊浩, 佐藤嘉昭   |
| 2. 発表標題<br>加熱改質フライアッシュを用いたコンクリートの実環境における中性化抵抗性に関する研究 (その1 RC試験体の調査概要および非破壊試験結果) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋吉善忠, 児玉明裕, 大谷俊浩, 佐藤嘉昭  |
| 2. 発表標題<br>加熱改質フライアッシュを用いたコンクリートの実環境における中性化抵抗性に関する研究 (その2 中性化深さおよび細孔径分布) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)  |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>児玉明裕, 秋吉善忠, 大谷俊浩, 野田佳彦, 佐藤嘉昭                                   |
| 2. 発表標題<br>実環境における加熱改質フライアッシュコンクリートの中性化抵抗性に関する研究 その1 RC試験体の調査概要および非破壊試験結果 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会九州支部研究報告2021年3月  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野田佳彦, 佐藤嘉昭, 大谷俊浩, 秋吉善忠, 白川敏夫                |
| 2. 発表標題<br>混和材を用いたコンクリートの吸水性および中性化抵抗性に及ぼす養生期間の影響に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会九州支部支部研究報告2021年3月                     |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>野田佳彦, 秋吉善忠, 大谷俊浩, 佐藤嘉昭, 白川敏夫   |
| 2. 発表標題<br>高炉スラグ微粉末および加熱改質フライアッシュを用いたコンクリートの吸水性および中性化抵抗性に関する研究 (その1. 実験概要および基礎物性) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>秋吉善忠, 野田佳彦, 大谷俊浩, 佐藤嘉昭   |
| 2. 発表標題<br>高炉スラグ微粉末および加熱改質フライアッシュを用いたコンクリートの吸水性および中性化抵抗性に関する研究(その2. 中性化抵抗性) |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>野田佳彦, 秋吉善忠, 大谷俊浩, 佐藤嘉昭, 白川敏夫     |
| 2. 発表標題<br>混和材を用いたコンクリートの吸水性および中性化抵抗性に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>日本建築学会研究報告九州支部研究報告2020年3月        |
| 4. 発表年<br>2020年                             |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|                           |                       |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |