

## アジア各国のセメント・混和材を用いたモルタルの基礎的研究

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○田箆 滉貴  
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

## 1. 研究背景および目的

近年、アジア地域においては新興国でのインフラ整備や都市開発が相次いでおり、建設需要の拡大が続いている。一方で、建設業界では環境負荷低減のためセメントクリンカー製造時に発生するCO<sub>2</sub>の排出量の削減及び天然資源である石灰石の消費量の削減が求められている。その対策として、反応性を有する産業廃棄物である高炉スラグ微粉末を、混和材としてセメントに置換したコンクリートについての研究が多くされているが、アジア各国に目を向けると、混和材を大量に使用している事例も散見され、その利用方法やその特性を把握することは、国内での大量使用に向けた参考になることが多いと考えられる。そこで本研究では、日本コンクリート工学会「混和材を大量使用したコンクリートのアジア地域における有効利用に関する研究委員会」にて、アジア各国からセメントおよび高炉スラグ微粉末を入手し、材料分析とそれらを使用したモルタルにおける強度発現の検討を整理した。

## 2. セメント及び混和材の分析

表-1, 2 に入手したアジア各国のポルトランドセメント(OPC), 高炉スラグ微粉末(BFS)の化学成分, 鉱物組成を XRD リートベルトにより測定した結果を

示す。セメントの特徴としては、日本は他国より Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多く、MgO が少ない。高炉スラグ微粉末の特徴としては、韓国は他の国より MgO が少ないが他国には存在しない SO<sub>3</sub>が存在することから、石こうを添加していることがわかる。また、韓国の塩基度は低い値を示しているため、比表面積が 5085cm<sup>2</sup>/g と他国に比べ高い値を示している。

OPCにおいて日本は他国に比べC<sub>3</sub>Sが少なくC<sub>3</sub>Aが多い。一方、日本は他国に比べC<sub>2</sub>Sが多い。石こうの形態として、韓国や台湾では、二水石膏(Gypsum)として存在している量が若干多い。また、日本には増量混合成分である Calcite が、韓国では微量だが Quartz が検出された。

## 3. 実験概要

## 3.1 モルタルの概要

モルタルは、JIS に準拠し質量比でセメントと標準砂が 1:3 となるように、恒温恒湿室(温度:20℃, RH:60%)でモルタルミキサーを用い練混ぜ後、モルタルバーの型枠に流し込み作製した。また、混和材として BFS を用いる場合は、セメントに対して高置換の利用を想定し 70%内割置換を行った。日本と他国 OPC と日本と他国の BFS また各国同士の計 8 種類を比較した。

表-1 各国のセメントと高炉スラグ微粉末の組成

| 種類  | 国名 | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 比表面積<br>(cm <sup>2</sup> /g) | 化学組成(%) |                  |                                |      |                                |       |      |                  |      |      |                 |                   |                  |                               |       |      | 鉱物組成(%) |  |
|-----|----|----------------------------|------------------------------|---------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------|------|------------------|------|------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|------|---------|--|
|     |    |                            |                              | Ig.loss | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | TiO <sub>2</sub> | MnO  | S    | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Cl    | 非晶質相 | ガラス化率   |  |
| OPC | 日本 | 3.15                       | 3260                         | 2.73    | 20.46            | 5.19                           | -    | 3.14                           | 64.27 | 0.84 | 0.29             | 0.09 | -    | 2               | 0.31              | 0.34             | 0.45                          | 0.02  | -    | -       |  |
|     | 韓国 | 3.15                       | 3320                         | 2.22    | 21.12            | 4.03                           | -    | 3.58                           | 62.35 | 2.53 | 0.2              | 0.07 | -    | 2.21            | 0.12              | 0.99             | 0.1                           | 0.043 | -    | -       |  |
|     | 台湾 | 3.12                       | 3260                         | 2.33    | 20.63            | 4.29                           | -    | 3.11                           | 63.32 | 2.87 | 0.29             | 0.04 | -    | 2.24            | 0.29              | 0.57             | 0.11                          | 0.009 | -    | -       |  |
| BFS | 日本 | 2.92                       | 3830                         | 0.1     | 33.83            | 14.22                          | 0.36 | -                              | 43.54 | 6.01 | 0.53             | 0.17 | 0.72 | -               | 0.25              | 0.25             | 0.01                          | -     | 98.9 | 99.1    |  |
|     | 韓国 | 2.91                       | 4195                         | 0.23    | 35.36            | 13.6                           | 0.36 | -                              | 42.44 | 3.66 | 0.59             | 0.36 | 0.41 | 2.1             | 0.2               | 0.46             | 0.02                          | -     | 96.0 | 99.7    |  |
|     | 台湾 | 2.9                        | 5085                         | 0.2     | 34.83            | 15.11                          | 0.28 | -                              | 41.01 | 7.17 | 0.58             | 0.25 | 0.53 | -               | 0.29              | 0.32             | 0.02                          | -     | 99.4 | 99.4    |  |

表-2 セメントの鉱物組成

|    | C3S  | C2S  | C3A | C4AF | Lime | Portlandite | Periclase | Arcanite | Gypsum | Bassanite | Calcite | Quartz |
|----|------|------|-----|------|------|-------------|-----------|----------|--------|-----------|---------|--------|
| 日本 | 56.1 | 19.5 | 9.5 | 8.1  | 0.1  | 0.9         | 0.3       | 0.5      | 0.2    | 1.5       | 3.2     | -      |
| 韓国 | 64.8 | 10.5 | 5.7 | 10.9 | 0.3  | 0.2         | 1.5       | 1.6      | 1.4    | 0.9       | 1.3     | 0.9    |
| 台湾 | 61.1 | 12.7 | 6.7 | 9.9  | 0.2  | 0.8         | 1.9       | 1.6      | 2.3    | 0.8       | 2.1     | -      |

キーワード アジア, 混和材, 化学組成, 鉱物組成, 強度, 耐久性

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 TEL. 03-5859-8356 E-mail : me16069@shibaura-it.ac.jp

### 3.2 圧縮強度試験

「セメントの物理試験方法(JIS R 5201-1997)」に準拠して圧縮強度試験を実施した。測定材齢を7, 28, 91日とし、材齢日まで水中養生槽(水温:20℃)に静置し、水中養生を行った。

### 3.3 促進中性化試験

JIS A 1153に準拠して促進中性化試験を実施した。養生終了後、打込み側面の二面を開放し、促進中性化試験装置(CO<sub>2</sub>濃度:5%, 温度:20℃, 湿度:60%)に静置した。測定材齢(1, 2, 4, 8週)で割裂し、断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、6点の平均を中性化深さとした。中性化深さから $\sqrt{t}$ 則を用いて中性化速度係数を算出した。

## 4. 実験結果及び考察

### 4.1 圧縮強度試験

図-1に材齢7, 28, 91日での圧縮強度試験の結果を示す。各国の OPC 単味の結果では、28日強度は日本の OPC が最も高い値を示しているが、91日においては国毎で大きな差は生じなかった。次に、BFS を大量置換した配合では、日本の OPC に日本の BFS を使用した配合(J-J)と比較して日本の OPC に他国の BFS を混和した配合(J-K および J-Tw)では、韓国の BFS を用いると強度発現性が低下しており、長期強度でも J-J に及ばない。一方、台湾の BFS を添加した場合は、初期において強度発現の伸びが大きいですが、長期での強度発現が停滞し、91日材齢において J-J と大差ないように見られる。次に自国の OPC と BFS の組み合わせ(K-K および Tw-Tw)では、韓国は初期において強度発現が停滞しているが長期の伸びが大きいことが見られる。一方で台湾においては、初期および長期で日本の OPC を用いるよりも強度発現が改善されていることがわかる。組み合わせでの強度発現性状の違いを議論することは困難であるが、韓国および台湾の OPC は長期強度の伸びが日本の OPC と比較して大きいことが起因していると考えられる。

### 4.2 促進中性化試験

図-2に促進中性化試験の結果を示す。OPC では国毎で特に大きな差が認められなかった。次に、BFS を混和した配合では、日本の OPC と日本の BFS(J-J)と比較すると、韓国の BFS(J-K)は中性化速度係数が大きくなった。また、韓国の BFS を自国の OPC と組

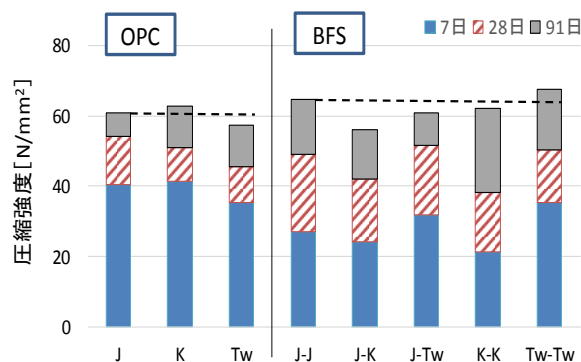


図-1 圧縮強度試験

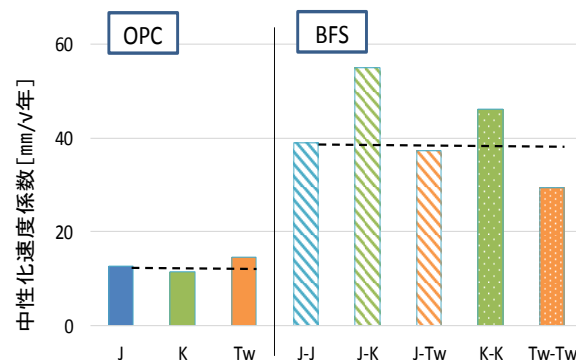


図-2 促進中性化試験

み合わせた(K-K)では、J-K と比べて中性化速度係数が小さくなった。韓国の BFS の中性化抵抗性が低いのは塩基度が影響していると考えられる。一方、台湾の BFS(J-Tw)では J-J と大差なかった。また台湾同士のみ組み合わせでも中性化は抑えられ、OPC と BFS の生産国を揃えた配合は、中性化速度係数が小さくなる傾向を確認した。

## 5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) OPC・BFS の化学組成、鉱物組成において日本とアジアの国々では異なる特徴が見られることがわかった。
- (2) OPC では国毎で圧縮強度に大きな差はなかった。日本の OPC に他国の BFS を組み合わせたものは、生産国同士のものに比べ圧縮強度が低下する傾向がみられた。
- (3) OPC では国毎で中性化速度係数に大きな差はなかった。J-K や K-K で中性化抵抗性が低い原因は、韓国の BFS の塩基度が低いことが影響していると推測される。

### 謝辞

本研究は、JCI「混和材を大量使用したコンクリートのアジア地域における有効利用に関する研究委員会」において材料提供のご協力に感謝いたします。