

1) - 4 CO₂削減に寄与する結合材を用いたコンクリートの強度発現と耐久性評価【持続可能】

Evaluation of concrete strength development and durability using binders that contribute to CO₂ reduction.

(研究開発期間 令和5～7年度)

材料研究グループ 鹿毛 忠継 中田 清史 松沢 晃一
Dept. of Building Materials and Components KAGE Tadatsugui NAKADA Kiyofumi MATAUZA Koiichi

In this study, it was investigated the effects of the content of Ordinary Portland Cement (OPC) used, the materials and mix design, and the specifications for ensuring durability on the mechanical properties (strength development, long-term strength) and durability (carbonation resistance) of concrete, through laboratory tests (including accelerated durability tests) and exposure tests.

【研究開発の目的】

本研究では、①コンクリートの力学特性（強度発現、長期強度）や耐久性（中性化）に及ぼす普通ポルトランドセメント（OPC）使用量と材料・調合の影響と耐久性を確保するための仕様について、室内試験（促進耐久性試験を含む）とばくろ試験により検証する。併せて、②OPC使用量の削減やOPCに代わる結合材をコンクリートに使用した場合のCO₂削減量やCO₂吸収量について試算するとともに、コンクリートの品質が現行のRC計算規準やJASS5などの設計規準や標準仕様ならびに建築基準法や品確法で要求される技術基準を満足できるのかを検討し、満足しない場合の代替案を提案する。図1に本研究の概要を示す。

【研究開発の内容】

本研究では、①OPC使用量を減じたコンクリートの実現技術として、現行ルール（設計規準や標準仕様）および関連する建築基準を整理し、OPC使用量を減じたコンクリートの実現可能性について試算した。②OPC代替の結合材の積極的利用技術として、OPC代替の結合材を使用したコンクリートの強度特性（強度発現性、長期強度）および耐久性（中性化抵抗性）について実験を行うとともに、実環境下でのばくろ試験を開始した。結合材として、OPC（O）、新JIS対応セメント（N）、再生セメント（R）の3種類、これらをベースとして高炉スラグ微粉末（4000、石こう有）（以下、GBFS）を混合した混合セメントの計6種類を用いて、圧縮強度試験（材齢1年まで）と促進中性化試験体（試験材齢26W）を行った。養生は、材齢1日で脱型後、気中養生および封かん養生は、温度20℃±2℃、相対湿度60%±5%の室内、標準水中養生は20℃±3℃の養生槽にて行った。なお、促進中性化試験の養生は、”水中4W+気中4W（標準：JIS試

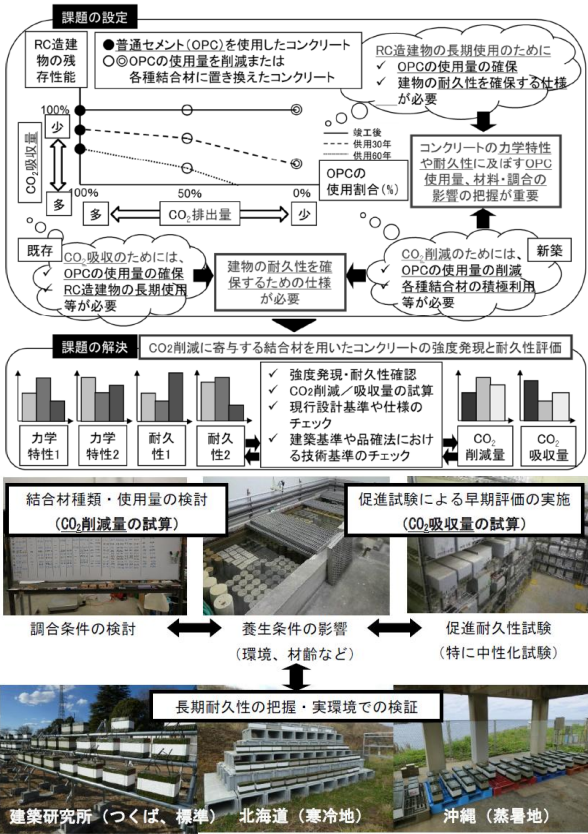


図1 本研究の概要

表1 混合セメントのセメント量、CO₂削減に関する試算

セメント	種類	混合材分量 (wt.%)	セメント*1 削減量 (kg)	CO ₂ 削減量 (kg)
高炉	A種	5< ≤30	17.5～105	13～80
	B種	30< ≤60	105～210	80～161
	C種	60< ≤70	210～245	161～187
フライアッシュ	A種	5< ≤10	17.5～35	13～27
	B種	10< ≤20	35～70	27～54
	C種	20< ≤30	70～105	54～80

*1: 単位セメント量 350kg/m³として試算

験方法)”、“水中1W+気中7W”は養生が十分でない場合、“水中7W+気中1W”は養生が十分な場合を想定して実施した。③CO₂削減・吸収とRC建築物に要求される構造的な性能や耐久性を満足させる設計方法や標準仕様の提案について検討した。

【研究開発の結果】

(①について) コンクリートの水セメント比(W/C)を大きくした調合と混合セメントを用いた場合のOPC使用量とCO₂削減効果(表1参照)について試算した。

(②について) OPC代替の結合材を使用したコンクリートの強度特性(強度発現性、長期強度)および耐久性(中性化抵抗性)について実験的検証を行い、実環境下でのばくろ試験を開始した。ばくろ試験は現在継続中。

1) 強度発現性に及ぼす結合材、養生方法の影響

材齢1年までの試験結果を図2に示す。Nの強度発現性は、従来のOPCとのほぼ同等であった。R(混合率20%)についても、ベースとなるセメント種類の影響は確認されず、強度発現性もOおよびNと遜色はない。GBFSを用いた混合セメント(BO、BN、CO、CN)については、材齢4週以降の強度発現について養生方法の影響が大きい。これは、一般のコンクリートと同様であり、コンクリートの強度発現は単に調合(W/B)だけでなく、適切な養生が必要であることを示している。

2) 中性化抵抗性に及ぼす結合材、養生方法の影響

促進中性化試験(試験材齢26週)の結果から算出した中性化速度係数A(mm/√week)を図3に示す。GBFSを用いた混合セメントについては、品確法における混和材の結合材量への寄与率(k=0.7)により算出したW/Bでの試験も行い、B種相当では安全側の評価、C種相当では危険側の評価を与える結果となった。図4は、中性化速度係数Aと圧縮強度の関係を示している。養生方法の影響の評価については不十分だが、一定の相関は認められ、W/B以外の評価指標の導入も可能と考える。

(③について) 図5には、建築基準法におけるコンクリートの強度発現性(令74条・S56年建告第1102号)の規定について、混合セメントなどCO₂削減に寄与する結合材を用いた場合に必要の対応を本研究で提案した。

【参考文献】

- 1) 鹿毛忠継ほか: CO₂排出量の削減に寄与するコンクリートに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1195-1196、2023.9、pp.1441-1442、2024.9
- 2) 鹿毛忠継ほか: CO₂削減に寄与する結合材を用いたコンクリートの強度および中性化に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.645-646、2025.9

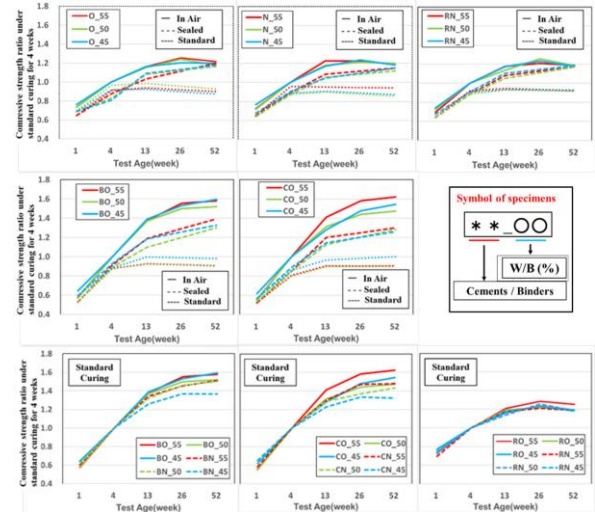


図2 強度発現性に及ぼす結合材、養生方法の影響

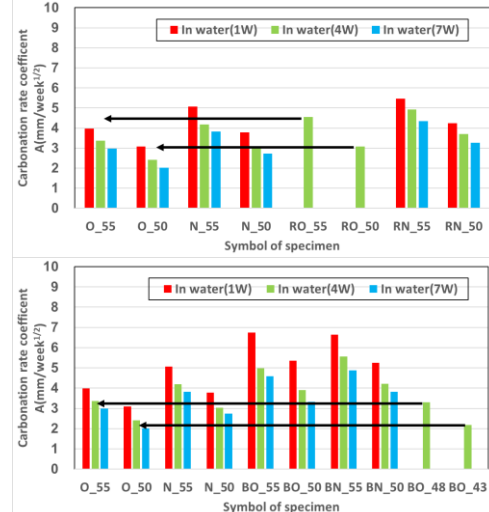


図3 中性化に及ぼす結合材、養生方法の影響

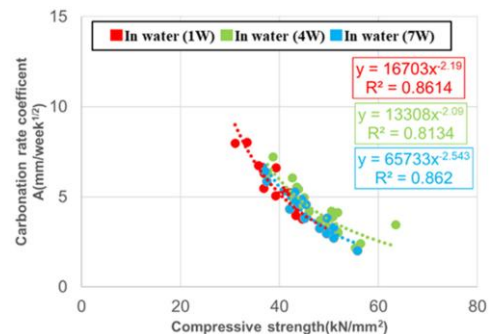


図4 コンクリート強度と中性化速度係数の関係

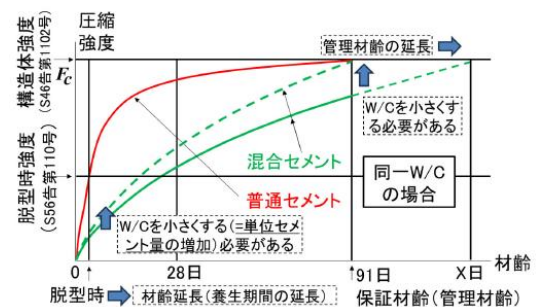


図5 コンクリートの強度発現性(規定)に関する修正案