

4) 材料研究グループ

4) - 1 CO₂ 排出量の削減に寄与するコンクリートに関する研究【持続可能】

Study on concrete which contributes to reducing CO₂ emission

(研究開発期間 令和4～6年度)

材料研究グループ

Department of Building Materials and Components

構造研究グループ

Department of Structural Engineering

中田 清史

NAKADA Kiyofumi

中村 聡宏

NAKAMURA Akihiro

松沢 晃一

MATSUZAWA Koichi

有木 克良

ARIKI Katsuyoshi

鹿毛 忠継

KAGE Tadatsugu

In October 2020, Japan declared that it aims to achieve carbon neutrality by 2050. CO₂ emission from cement and concrete field has a large share of the industry's total CO₂ emissions. In this study, estimates of mixing design, investigations of existing RC structures and outdoor exposure tests were performed focusing on concretes which contribute CO₂ emission reduction. Technical knowledge was obtained on how to realize both reducing CO₂ emission and ensuring durability.

【研究開発の目的及び経過】

令和2年10月26日、「2050年カーボンニュートラル」が宣言された。セメントコンクリート分野におけるCO₂削減への対応は喫緊の課題であり、CO₂排出源となるセメントの使用量を削減したコンクリートに関する研究開発がなされている。しかし、それらを建築物の構造部材に適用するための技術基準の整備には時間を要する。そのため、コンクリート分野においてカーボンニュートラルを早期に実現するためには、現行基準の解釈を変更するなどの方法が望ましい。

また、既存建築物、例えば築40年超のマンションは10年後に約2.2倍、20年後に約3.9倍となる見込みである。持続型社会の形成という観点から、これらのストックを長期に供用し続けるには、仕上材等によりコンクリートの鉄筋保護効果を高めて鉄筋腐食を防ぐ必要がある。

本研究では、JIS A 5308に適合するコンクリートを主な対象として、(1)セメント使用量を減じたコンクリートに関する検討、(2)混合セメントを用いたコンクリートに関する検討を行う。なお、セメント使用量を減じたコンクリートは鉄筋の保護効果が劣り、耐久性が低下しやすくなる可能性があるため、耐久性の観点から、(3)RC建築部材の耐久設計技術に関する検討、(4)セメント選定に関する検討を行う。

【研究開発の内容】

(1) セメント使用量を減じたコンクリートに関する検討

コンクリートの調合設計では、ばらつきなどを考慮して十分な安全率が設定されている。そのため、所要の性能を得るために過剰設計となり、その結果、セメント使用量も多くなっている可能性がある。一方、以前のセメントと比較して、現在、製造されているセメントは製品としての品質は安定している。ここでは、単位セメント量の異なるコンクリートの調合設計の結果から、セメント使用量を減じたコンクリートの実現可能性に関する検討を行った。

(2) 混合セメントの積極的活用に関する検討

混合セメントを用いたコンクリートは、促進試験において、一般に普通セメントを用いたコンクリートより中

性化の進行が速く、上部構造で使用されることが少ない。他方、実環境下における中性化特性や鉄筋腐食に関しては不明な点も多い。ここでは、混合セメントを用いた鉄筋コンクリート供試体の中性化特性に与える養生条件について促進試験により検討を行った。また、混合セメントを用いた鉄筋コンクリート供試体の屋外ばくろ試験を実施し、実環境下における中性化特性や鉄筋腐食に関する検討を行った。

(3) RC建築部材の耐久設計技術に関する検討

仕上材には、コンクリートの保護効果が認められており（タイル張、モルタル塗、外断熱工法、その他これらと同等以上の性能を有する処理）、建築物の外装仕上材として一般的に用いられている仕上塗材の中にも保護効果が認められるものもある。ここでは、混合セメントを用いたコンクリートが部材として使用されることを想定し、表面に仕上塗材を施した供試体について、耐久性試験（促進試験、屋外ばくろ試験）を実施し、混合セメントを用いたコンクリートの仕上材による中性化抑制効果について検討を行った。

(4) セメント選定に関する検討

屋外側に普通セメントを用いたコンクリート、屋内側に混合セメントを用いたコンクリートとすることで、耐久性確保を確保しつつ、CO₂排出量削減にも寄与するコンクリートの実現性に関する検討を行った。

【研究開発の結果】

(1) セメント使用量を減じたコンクリートに関する検討

表1に示すとおり、日本建築学会の調合指針に基づいて調合管理強度21～42N/mm²の調合に関する単位セメント量等の試算を行った。その結果、混和剤をAE減水剤から高性能AE減水剤に変更することで単位セメント量が30～50kg/m³程度削減できる可能性が示された。

また、生コンJIS、建築学会（JASS5など）・土木学会（示方書）などにおける調合設計の考え方・方法（特に、強度の割り増し、安全率等）について整理を行った。また、建基法、品確法およびRC規準等における強度規定について、セメント量を低減（すなわち、水セメント比の増加）するための課題について抽出した。

(2) 混合セメントの積極的活用に関する検討

図1に鉄筋コンクリート供試体の中性化深さの測定結果を示す。供試体は、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート（B種、C種）である。従来から指摘されているとおり、高炉スラグ微粉末の置換率が大きいほど、型枠脱型時期が早いほど、中性化の進行が速い結果であった。本試験では、鉄筋をかぶり厚さ30mm部に埋設した供試体も作製したが、3年時点では中性化が鉄筋まで到達したものは見られなかった。

図2に鉄筋を埋設した供試体の鉄筋腐食状況を示す。なお、本供試体は促進中性化室においてあらかじめ鉄筋位置（かぶり厚さ30mm）まで中性化させてから屋外にばくろしたものである。図から雨掛かりのある環境にばくろした場合、いずれの供試体も鉄筋腐食を生じていることが分かる。また、雨掛かりのない環境においてもわずかに腐食が生じる結果であった。

上記のほか、供試体内部に小型の温湿度データロガーを設置し内部温湿度の年間変動を測定した。鉄筋腐食と比較することで腐食環境評価に関わる基礎的知見が得られると考えられる。

(3) RC建築部材の耐久設計技術に関する検討

図3に築後30年を経過したRC造構造物および当該構造物で測定した塩化物イオン量について示す。当該構造物は、沖縄県で飛来塩分の影響を30年間受けた仕上材、補修材が施された鉄筋コンクリート造構造物であり、本研究では、柱および鉄筋コンクリート供試体の調査を実施した。その結果、中性化はいずれも進行していなかったが、塩化物量は一部で高い値を示すものがあった。RC造建築物の長期的な活用には適切な仕上の選定が不可欠であると考えられる。

図4に表面に仕上塗材（薄塗材E、防水形複層塗材E）を施した供試体の促進中性化試験の結果を示す。この結果から、高炉B種、C種のコンクリートであっても保護効果高い仕上塗材を使用することにより中性化を抑制できることが確認された。また、同仕様の供試体に紫外線ランプを照射することにより仕上塗材を促進劣化させた（図4右）。この供試体については仕上塗材が十分に劣化した時点で中性化試験を実施する予定である。

(4) セメント選定に関する検討

屋外側をプレキャストコンクリート（普通セメント使用）、屋内側を現場打ちコンクリート（混合セメント使用）としたコンクリート部材による検討を念頭に、プレキャスト複合コンクリートに関する文献調査を行った。また、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートについて、高炉セメントを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説（建築学会）に基づいて調合管理強度21～42N/mm²の調合に関する単位セメント量等の試算を行った（表2）。

【まとめ】

本研究では、JIS A 5308に適合するコンクリートを主な対象として各種検討を行った。調合設計の試算、実構造物調査、屋外ばくろ試験を中心に実施し、当該コンクリートのCO₂排出削減と耐久性確保の両立に関する技術的知見を整理した。今後も当該コンクリートの建築物への利用促進に資する技術資料を整備するため、要な検討を継続する予定である。

表1 調合試算例（普通ポルトランドセメント使用）

セメント	Fm (N/mm ²)	F (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	選別期
N	21	25.4	82.0	47.8	176	284	869	950	AE 減水剤
	24	28.3	57.9	47.1	177	306	847	950	
	27	31.7	53.8	46.2	180	334	817	950	
	30	35.2	50.2	45.2	183	364	784	950	
	33	38.7	47.0	44.2	185	395	752	950	
	36	42.2	44.2	43.1	188	425	719	950	
	39	45.7	41.7	41.9	190	457	687	950	
	42	49.3	38.6	40.6	192	487	649	950	
	21	25.4	86.2	48.5	165	290	910	966	
	24	28.3	61.4	48.0	165	269	893	966	
	27	31.7	56.8	47.3	167	295	867	966	
	30	35.2	52.6	46.4	170	323	836	966	
B	33	38.7	49.0	45.4	173	353	804	966	高炉系 AE 減水剤
	36	42.2	45.8	44.4	175	382	773	966	
	39	45.7	43.1	43.4	178	413	741	966	
	42	49.3	40.6	42.3	180	443	710	966	
	21	25.4	82.0	47.8	176	284	869	950	
	24	28.3	57.9	47.1	177	306	847	950	

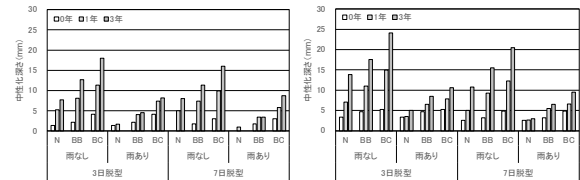


図1 中性化試験の結果（屋外ばくろ試験）

	普通（ばくろ期間2.1年）	高炉B種（ばくろ期間3.2年）
雨なし		
雨あり		

図2 鉄筋腐食の結果（屋外ばくろ試験，W/B 60%）

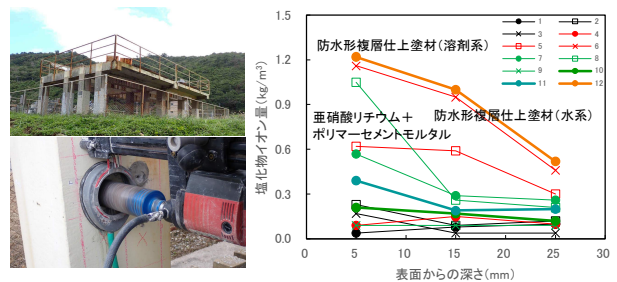


図3 築後30年経過した構造物における塩化物イオン量

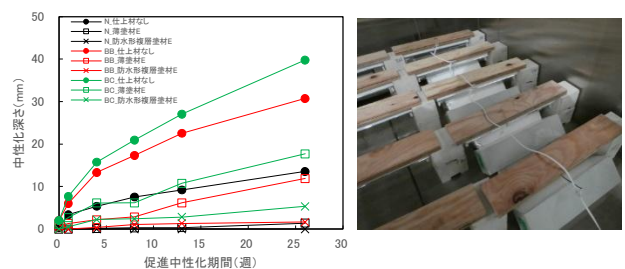


図4 仕上塗材を施した供試体の中性化状況と紫外線ランプによる促進劣化状況

表2 調合試算例（高炉スラグセメントB種使用）

セメント	Fm (N/mm ²)	F (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	選別期
N	21	25.4	58.9	47.8	170	289	869	950	AE 減水剤
	24	28.3	56.1	47.1	172	312	845	950	
	27	31.7	51.4	46.5	172	335	825	950	
	30	35.2	48.0	45.5	174	364	793	950	
	33	38.7	45.0	44.3	178	396	756	950	
	36	42.2	42.3	43.2	181	427	722	950	
	39	45.7	40.0	42.0	183	458	689	950	
	42	49.3	37.9	41.2	183	483	667	950	
	21	25.4	58.9	48.1	160	272	855	966	
	24	28.3	36.1	47.5	162	293	813	966	
	27	31.7	51.4	46.9	162	315	854	966	
	30	35.2	48.0	46.0	164	342	824	966	
B	33	38.7	45.0	44.9	167	372	789	966	高炉系 AE 減水剤
	36	42.2	42.3	43.9	170	401	757	966	
	39	45.7	40.0	42.9	172	430	726	966	
	42	49.3	37.9	42.2	172	454	705	966	
	21	25.4	58.9	48.1	160	272	855	966	
	24	28.3	36.1	47.5	162	293	813	966	