

委員会報告 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

野口 貴文*1・渡辺 博志*2・鹿毛 忠継*3・中村 英佑*2

要旨：本研究委員会では、アジア地域において混和材を大量使用したコンクリートの実用化を図るために、世界各国における混和材・混合セメントおよびそれらを大量に用いたコンクリートに関する規格・基準類の調査、ならびに混和材を大量使用したコンクリートをアジア地域において利用するための技術的課題および混和材の大量使用を可能とするための具体的方策の検討を実施するとともに、ACF 加盟数ヶ国から取り寄せた混和材を用いた実験を行った。その結果、2年間の委員会活動成果として、混和材を大量に用いたコンクリートの施工事例の紹介、アジア地域における混和材の有効活用の姿の提案などを報告書として取り纏めた。

キーワード：混和材, 大量使用, アジア, 規格, 基準, 気候条件, 性能規定, プレキャスト, 施工事例

1. はじめに

アジア地域におけるコンクリート生産量は、現在でも全世界の生産量の 3/4 を占めているが、今後さらに増大するのは確実であり、セメントクリンカー製造に伴う CO₂ 排出の削減および石灰石消費量の削減が求められている。昨今、その一方策として、ポルトランドセメントの大半を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材で大量置換したコンクリートに関する研究がアジア各国で精力的に進められ、高炉スラグ微粉末のアジア地域への輸出量も増加傾向にあり、今後は、高炉スラグ微粉末に限らずフライアッシュの我が国からの輸出も見込まれている。しかしながら、これまで、海外における混和材の利用状況とそれを大量に用いたコンクリートについての情報収集はほとんどなされてきていない。一方、我が国では、強度発現速度が遅いこと、低温環境下においては脱型時期・養生日数に特段の配慮を要すること、中性化抵抗性が低いことなどの問題があり、その用途・利用方策を標準化するには至っていない。

平成 25 年度に設置された「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」では、我が国の土木分野・建築分野およびアジア各国で研究開発が進められてきている「ポルトランドセメントを混和材で大量置換したコンクリート」を実用化するために、世界各国における当該コンクリートの技術の現状を調査し、アジア地域の気象条件および副産場所を考慮したうえで、コンクリート構造物の種類・要求性能に応じた有効利用方策について検討し、当該コンクリートの利用ガイドラインの策定に資する資料を整備することを目的として、2年間の活動を行った。

上記の目的を達成するため、本研究委員会には海外調査 WG (WG1) および大量使用 WG (WG2) を設置し、海外調査 WG では、ACF (Asian Concrete Federation) 加盟各国における混和材使用に関する技術基準について文献・資料を収集して検討を行い、大量使用 WG では、混和材の大量使用に関する技術的課題および大量使用を可能とするための具体的方法について、文献・資料に基づく検討に加えて、ACF 加盟数ヶ国から取り寄せた混和材を用いた実験を行った。

委員会のメンバー構成を表-1 に示す。

表-1 委員会構成

委員長	野口 貴文	
幹事	渡辺博志 (海外調査 WG 主査) 鹿毛忠継 (大量使用 WG 主査)	
委員	海外調査 WG	大量使用 WG
	大脇英司 佐々木亘 (H26.7~) 鈴木雅博 檀 康弘 土屋直子 道正泰弘 斯波明宏 (~H26.6) 中村英佑 矢島典明 依田和久 依田侑也 小島正朗 (~H26.2)	伊代田岳史 清原千鶴 小泉信一 (H26.7~) 小林利充 小山智幸 佐伯竜彦 檀 康弘 辻大二郎 (H26.3~) 土屋直子 道正泰弘
通信委員	松井淳	

2. 海外における基準類

2.1 調査の概要

海外調査 WG では、アジア地域で混和材を大量使用し

*1 東京大学 大学院工学系研究科建築学専攻 博 (工) (正会員)

*2 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 工博 (正会員)

*3 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部 工博 (正会員)

*4 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 博 (工) (正会員)

たコンクリートの実用化を図る際の課題や留意点、これらへの対応策を検討することを目的として、国内外の混合セメントおよび混和材、レディミクストコンクリートに関する基準類の実態調査を行った。調査対象とした基準類の一覧を表-2に示す。対象地域は、調査時にアジアコンクリート連盟に加盟していた10ヶ国に加えて、アジア地域では欧米の基準類が準用されることがあることから北米と欧州、昨今のセメント生産量が世界で最も多い中国とした。本章では、これらの基準類の調査結果の概要を整理するとともに、アジア地域で混和材を大量使用したコンクリートの実用化を図る際の課題と対応策についての検討結果を報告する。

2.2 混合セメント・混和材の基準類の調査結果

高炉スラグ微粉末については、アジア地域および欧米の大部分の国で「高炉セメント」の規格を制定しているが、「コンクリート用混和材としての高炉スラグ微粉末」の規格を制定している国が少ないことが特徴的であった。調査対象国の多くでは、高炉セメントの一部としてプレミックスされた形で高炉スラグ微粉末が流通していると推察される。また、セメント規格における高炉スラグ微粉末の置換率の上限値に着目すると、米国のASTM C 595の70%以上と欧州のEN 197の81~95%が比較的高い値であったのに対して、アジア地域ではインドや韓国、ベトナムなど我が国の高炉セメントC種と同様に70%程度とする国が多かった。アジア地域で高炉スラグ微粉末の置換率を70%以上とする場合には、混和材のひとつとして使用することや規格外の混合セメントとして使用することが想定される。なお、高炉スラグ微粉末の品質については、我が国の高炉スラグ微粉末のJISと同様に、粉末度に応じて数種類を規定する国が多かった。

一方、フライアッシュについては、アジア地域および欧米のいずれの国においても、数種類の等級に分けてフライアッシュの品質を規定していた。ただし、この等級分けで使用される化学成分や密度、粉末度などの指標の種類と基準値は、各国で異なるものが採用されていた。例えば、タイでは自国の石炭灰の試験結果をもとに品質規格を制定したようである。すなわち、各国がそれぞれのフライアッシュの製造事情を考慮して品質規格を制定したために、規格間の違いが生じたのではないかと推察される。なお、フライアッシュの規格については、混和材として使用する場合とセメント混合用として使用する場合で品質規定が異なる国があるので注意が必要である。

アジア地域および欧米における混合セメントと混和材の品質規格には複数の相違点があり、アジア地域で混和材を大量使用したコンクリートの実用化を図るためには、各国で普及している品質規格や材料の特性を適切に把握しておくことが重要と考えられる。

2.3 レディミクストコンクリートの基準類の調査結果

混和材を大量使用したコンクリートの実用化に向けた検討を行う際には、前述した混合セメントや混和材に関する基準類だけでなくレディミクストコンクリートの製造方法や品質規格についての理解も重要になると考えられる。このため、アジア地域および欧米を対象としてレディミクストコンクリートに関する基準類の調査を行った。

米国のASTM C 94では混和材や置換率の選定に関する規定は多くなかったが、コンクリート構造物の設計基準であるACI 318では厳しい凍害環境下で供用されるコンクリート構造物で混和材の置換率の上限値を示していた(例えば、ASTM C 989に適合する高炉スラグ微粉末で50%、ASTM C 618に適合するフライアッシュで25%)。カナダのCSAA 23.1では、高炉スラグ微粉末を35%以上あるいはフライアッシュを30%以上置換したコンクリートをHVSCMコンクリート(concrete made with a high volume of supplementary cementitious materials)として取り扱い、具体的な養生日数などを示していた。また、コンクリートの発注方法として性能規定型と仕様規定型の方法を示し、前者では構造物管理者の示す強度特性や耐久性などの要求性能を満たす範囲内で請負者が材料や配合の選定を行うため、要求性能を満足する範囲内であれば混和材を柔軟に使用できる余地があると推察された。

一方、欧州のEN206では、ENに適合する高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフェームなどの混和材をType II Additionとして取り扱い、k値の考え方(k-value concept)を導入してその一部を単位セメント量や水セメント比の計算に含めることとしていた。EN 206は供用期間を50年とした場合の最大水セメント比や最小セメント量を環境条件ごとに参考情報として示しているため、k値の考え方は耐久性に対する仕様規定的な設計方法であるが、混和材を使用したコンクリートの配(調)合設計を簡易化できるという利点を持つと考えられる。

また、アジア地域のレディミクストコンクリートに関する基準類の特徴のうち、混和材の大量使用の観点から重要と思われるものを挙げると次のようになる。

- インドネシアのSNI 03-4433は、購入者が強度などの要求性能を設定して製造者がこれを満足するように配(調)合設計を行う方法と購入者が配(調)合を示して製造者がこれに準拠してコンクリートを製造する方法の2種類の責任体制を示しており、前者では混和材を柔軟に使用できる可能性がある。
- インドのIS 456は、ASR抑制対策として高炉スラグ微粉末の置換率を50%以上あるいはフライアッシュの置換率を20%以上とすること、混合セメント使用時や気候条件に応じた湿潤養生期間の目安を示して

表-2 調査対象とした基準類の一覧

対象	セメント	高炉スラグ微粉末	フライアッシュ	プレキャスト製品	レディミクストコンクリート	関連基準類
日本	JIS R 5210 JIS R 5211 JIS R 5212 JIS R 5 13	JIS A 6206	JIS A 6201	JIS A 5371 JIS A 5372 JIS A 5373 JIS A 5364	JIS A 5308	土木学会 示方書 建築学会 JASS 5
オーストラリア	AS 1315 AS 1317 AS 3972	AS 3582.2	AS 3582.1		AS 1379	AS 3600
インドネシア					SNI 03-4433	
インド	IS 269 IS 455 IS 1489		IS 3812		IS 4926	IS 456
韓国	KS L 5201 KS L 5210 KS L 5211 KS L 5401	KS F 2563	KS L 5405		KS F 4009	
モンゴル	MNS 3091				MNS 1185	
シンガポール	SS EN 197 (SS 26) (SS 476) (SS 477)				SS EN 206 (SS 544)	
台湾	CNS 61 R 2001 CNS 15286 A 2290	CNS 12549 A 2233	CNS 3036 A 2040	CNS 3090 A 2042		
タイ	TIS 15 TIS 849				TIS 213-2552	ACF 2-02 001-14 ACF 2-02 002-14 EIT1014-46
ベトナム	TCVN 2682 TCVN 4316 TCVN 5439 TCVN 6260	TCVN 4315			TCVN 9340	
米国	ASTM C 150 ASTM C 595 ASTM C 1157	ASTM C 989	ASTM C 618	ASTM C 478 ASTM C 913 ASTM C 990	ASTM C 94	ACI 211.1 ACI 318
カナダ					CSA A23.1	
欧州	EN 197	EN 15167	EN 450	EN 13369	EN 206 EN 13670	EN 1990 EN1992-1
中国	GB 175 GB 200 GB 1344 GB 13590	GB/T 18046	GB/T 1596		GB/T 14902	

いる。

- 韓国の KS F 4009 は、混和材の取り扱いについても我が国の JIS に比較的近い記載内容が多く存在する。
- シンガポールでは、気候条件が欧州と異なることなどを勘案し、品質試験時の温度 (27±2℃) や各種混和材の k 値などに修正を行って EN 206 を採用している。
- タイは、アジアコンクリートモデルコードのレベル 2 ドキュメントとして 2 つの基準類を発行しており、耐久性の照査や湿潤養生日数の設定などにおいてフライアッシュを使用する際の規定を多く示している。
- 中国の GB/T 14902 は、性能規定型の発注方法を採用しており、強度だけでなく硫酸塩や塩分浸透に対する抵抗性などの要求性能に応じてレディミクストコンクリートを分類している。

これらの他にも、アジア地域の各国のレディミクストコンクリートに関する基準類では、圧縮強度の測定に使用する供試体の形状や寸法、各材料の計量誤差、暑中時のスランプロスへの対策などで相違点がみられた。

2.4 基準類の調査結果にもとづく混和材の有効活用の姿

アジア地域および欧米における混合セメントと混和材、レディミクストコンクリートに関する基準類の調査結果を参考に、アジア地域で混和材を大量使用したコンクリートの実用化を図る際の課題とその対応策について検討し、「アジア地域における混和材の有効活用の姿」としてとりまとめた。この概要を次に示す。

(1) 性能規定型設計による混和材使用の柔軟化

高炉スラグ微粉末は JIS では粉末度に応じて 4 種類に分類されており、低発熱性が求められる場合には粉末度の小さいもの、早強性が求められる場合には粉末度の大きいものが使用されるなど要求性能に応じた使い分けが行われている。一方、フライアッシュは品質によっては AE 剤が未燃カーボンに吸着されて空気量の確保が困難となる場合があるが、東南アジアのような温暖な気候条件では凍結融解の作用を受けないため、空気量の管理に対して寛容に対応することも可能と考えられる。また、米国の ASTM C 1157 のように、一定の性能が確保できればセメントの種類や混和材の置換率を問わない性能規定

型のセメント規格も制定されている。これらのことを踏まえると、性能規定型設計の普及により構造物の要求性能に応じた配（調）合の選定や混和材の置換率の柔軟な設定が可能となれば、混和材の大量使用の機会が拡大するのではないかと考えられる。

(2) 混和材使用による ASR あるいは DEF の抑制

混和材の使用により ASR あるいは DEF の抑制効果が得られることは、国際的にも確認されている。このため、良質な骨材の入手が困難な地域では ASR 抑制対策のひとつとして混和材の使用による効果が期待できる。また、DEF については、我が国ではセメント中の総アルカリ量が少ないため他国と比較して DEF の報告事例が極めて少ないが、過去のアジア地域から収集したセメントの化学分析の結果で総アルカリ量や SO₃ 量が多いものが散見されたこと、特に東南アジアは我が国と比較して高温かつ多湿な環境であることなどを踏まえると、アジア地域では DEF の発生リスクが比較的高いと考えられる。従って、DEF 抑制対策としても混和材の使用による効果が期待できると考えられる。

(3) k 値による混和材使用時の配(調)合設計の簡易化

前述したように、k 値の考え方の利点は、混和材の種類や混合率が異なる度にコンクリートの耐久性の評価試験を行う必要がなく、混和材の使用量を反映させた水セメント比や単位セメント量を計算することにより、配(調)合の選定作業を簡易化することができる点にあると考えられる。ただし、アジア地域では入手可能な混和材の種類や気候条件が様々であるため、他国で採用されている k 値をそのまま導入することが困難となる可能性がある。アジア地域で混和材の大量使用したコンクリートの実用化に向けて k 値の考え方を導入する際には、その具体的な数値を適切に設定することが必要になると考えられる。

(4) 混和材使用時における気候条件の影響の考慮

アジア地域は、比較的寒冷な北アジアや比較的温暖な東南アジアと南アジアなど、気候条件が大幅に異なる地域によって構成される。混和材を大量使用したコンクリートの品質は気候条件の影響を受けやすいことが報告されている。例えば、寒冷な地域では強度発現の遅延や初期凍害が懸念されるが、温暖な地域では強度発現の面では有利となるものの暑中時のスランブロスやマスコンクリートの温度ひび割れなどが懸念される。様々な気候条件にあるアジア地域で混和材を大量使用したコンクリートを実用化するためには、当該地域の気候条件がコンクリートの施工や品質に与える影響を入念に検討しておくことが必要になると考えられる。また、我が国ではマスコンクリートの温度ひび割れ対策として中庸熟ポルトランドセメントや低熟ポルトランドセメントの使用も可能であるが、アジア地域では低発熱型のセメントの入手が

困難となることが多いため、混和材の大量使用は水和発熱量の低減に寄与すると考えられる。

(5) プレキャスト製品への混和材使用の可能性

プレキャスト製品は製造時に気候条件や施工作業の良否の影響を受けにくいいため、混和材を大量使用したコンクリートの適用対象として期待できる。プレキャスト製品の JIS では JIS に適合する混和材を使用することを認めているが、プレキャスト製品への混和材の使用実績は必ずしも多くない。この理由としては、混和材を使用した場合の養生方法などの製造方法が確立されていないこと、強度発現が遅い場合に従来の製造サイクルに遅れが生じる場合があること、特にプレストレストコンクリートで重要となる収縮・クリープ特性が明確ではないことなどが挙げられる。これらの課題はアジア地域でプレキャスト製品に混和材を使用する際にも同様であり、混和材の大量使用を図る際には明らかにしておくことが必要と考えられる。

3. 混和材の大量使用を前提としたコンクリートの性能

大量使用 WG では、混和材を大量使用したコンクリートについて、その性能に着目した検討を行った。特に、①混和材の大量使用、②アジア地域での有効利用をキーワードとし、文献調査およびアジア地域で供給されているセメント・混和材を用いた実験から、混和材を大量使用する方法や考え方・条件について検討を行った。

3.1 混和材の大量使用を前提としたコンクリートの性能

(1) 混和材を大量使用したモルタル・コンクリートの性能（フレッシュ性状、強度特性、耐久性等）

国内の文献および ACF 文献調査により、混和材を大量使用したコンクリートの性能について調査を行った。調査対象とした文献は、JCI（年次、論文集、雑誌）、日本建築学会（論文集、技術報告集、梗概）、セメント協会（技術大会、論文集）、土木学会（論文集、梗概、論文集）ならびに ACF（論文集）である。また、調査した文献の出典年は、これまでに実施された類似の JCI 研究委員会における調査範囲等を勘案し、2009-2014 年とした。

結果として、調査対象とした文献における混和材の置換率としては、高炉スラグ微粉末では 60%まで、フライアッシュでは 20%までが多かった。特に、フライアッシュについては、土木分野での検討事例が多い。一方、高炉スラグ微粉末やフライアッシュの大量使用を主眼とした研究としては、その研究目的にもよるが、それぞれ置換率 60%や 20%を超えるものは少なく、混和材の大量使用に関する研究は多くはないといえる。しかし、本研究委員会の目的は、混和材を大量使用したコンクリートを調査対象としているため、調査した文献について、①高炉スラグ微粉末置換率 60%を超えるもの、②フライアッシュ置換率（外割り・内割り含む）20%を超えるもの、

③その他（3成分系、クリンカレス等も含む）の3つの条件を「大量使用」の定義として、混和材の大量使用の調査事例を再抽出した。文献抽出結果をもとに、「大量使用を検討した理由」、「検討課題」、「検討結果（対策を含む）」について、文献中の「はじめに」、「まとめ」から情報抽出を行うこととした。

大量使用を検討した理由としては、環境配慮を除けば、暑中対策や水と熱の低減が目的であることが多く、特にフライアッシュについてはその傾向がある。また、耐久性の観点からは、特にASR対策や塩分浸透抵抗性の確保等の目的で混和材の使用が検討されている。検討課題としては、混和材の大量使用による影響（フラッシュ性状（スランプと空気連行性、ならびに保持性）、強度低下、収縮増加・ひび割れ抵抗性減少、中性化抵抗性の減少等）の確認が主たる目的であることが多いが、これらと併せて養生条件の影響について検討されることが多い。特に、養生条件については、気候の異なるアジア地域における有効利用の観点からは参考になる。検討結果（対策を含む）として、せつこうの添加による改善や混和材の大量使用に対応する化学混和剤の開発・適用がある。なお、建築分野においては、混和材を大量使用した場合の構造体強度補正值（S値）の確認や中性化抵抗性の評価がなされていることが多く、高強度・高流動コンクリートへの適用等についても検討がなされている。

(2) アジア地域の混和材等を使用したモルタル・コンクリートの特性

アジア地域での混和材の使用状況や品質基準については、公表されている文献等によってある程度調査は可能であるが、詳細かつ基本的な使用材料に関する情報等の入手が困難である。実際の品質やコンクリートとしての性状等に関する必要な情報が不足している。日本国内のセメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュの組み合わせで強度や活性度を測定すると、国内のポルトランドセメントの強度発現が大きいこと等から、セメントの反応が卓越し、混和材の大量使用につながらない可能性もあると考えられる。そこで、ここでは混和材を積極的に利用しているACF加盟国のうち、日本を含め6カ国の材料を入手して、それぞれの組み合わせによる強度試験、耐久性試験（試験体の作成）を実施し、その特徴を整理することで、大量使用に資する実験的データを取得することを目的としている。表-3に選定したセメントおよび混和材の種類を示す。

実験における材料の組み合わせは、セメントおよび混和材のすべての組み合わせを予定し、各混和材の置換率は、大量使用（高置換）とするために高炉スラグ微粉末：70%、フライアッシュ：20および30%を基本とすることとした。実験項目としては、①各材料の物性試験、②強

度発現性（フレッシュ性状も含む）、③耐久性（試験体作成）の3種類である。

物性試験の結果として、表-4に密度および比表面積、図-1にXRD/リートベルト解析による各国の普通ポルトランドセメント（OPC）の鉱物組成を示す。密度および比表面積は、タイやインドネシア等を除けば差異はないと考えられるが、鉱物組成では、国外のOPCは、C₃Sが多く、C₂Sが少ない。また、C₃AやC₄AFについても国内のセメントと逆の傾向にあることがわかり、各国のOPCの特徴を表している。強度発現性については、配（調）合をW/C50%としたJISモルタルにて実施し、養生条件として、東南アジアの気候を考慮し、20℃水中養生ならびに40℃封緘養生にて7,28,91日の強度発現性を確認することとした。また、同時に空気量とモルタルフローも

表-3 選定したセメントおよび混和材

国名	OPC	BFS	FA
日本	○	○	○
韓国	○	○	○
台湾	○	○	○
タイ	○	—	○
ベトナム	○	—	—
インドネシア	—	—	○

表-4 密度および比表面積

種類	国名等	密度 (g/cm ³)	ブレーン比表面積 (cm ² /g)
OPC	太平洋	3.15	3260
	住友	3.12	3310
	三菱	3.14	3280
	韓国	3.15	3320
	台湾	3.12	3260
	ベトナム	3.14	3560
	タイ	3.11	2720
BFS	日本	2.92	3830
	韓国①	2.91	4200
	韓国②	2.91	4190
	台湾①	2.90	5080
	台湾②	2.90	5090
FA	日本	2.31	4110
	タイ	2.37	2600
	韓国	2.28	3990
	台湾	2.20	2990
	インドネシア	2.76	4040

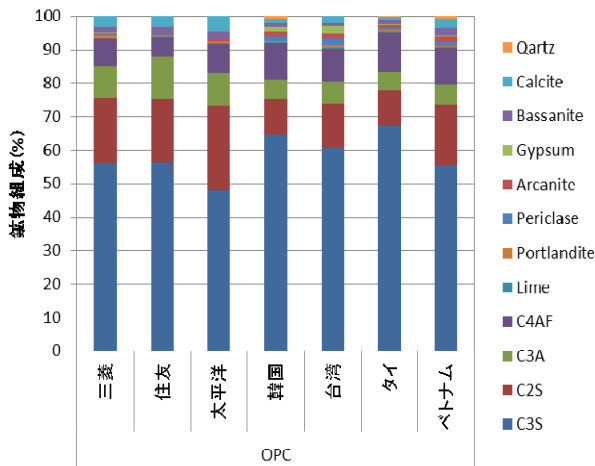


図-1 各国のOPCの鉱物組成

測定し、フロー値比やOPCに対する強度発現性などを評価することとした。その他の条件としては、細骨材は標準砂を使用し、日本の海外の混和材と組み合わせる場合の国内セメントは3社混合を基本としている。耐久性については、乾燥収縮、中性化抵抗性ならびに塩分浸漬抵抗性を対象とし、いくつかの選定配合について試験体の作成を行った。なお、強度発現性や耐久性の試験については、材料手配等に時間を要したために、現在も実施中である。結果については、成果報告書および成果報告会等において、別途報告する予定である。

3.2 混和材料を大量に用いたコンクリートの施工事例

主に国内各社における混和材の大量使用コンクリートの施工事例をとりまとめた。施工にあたって、大量使用時のデメリット、対策として材料・調合、施工方法、品質管理の観点からの工夫、具体的方法等について、情報として公表可能な範囲で整理を行った。

国内の施工事例からは、高炉スラグ微粉末やフライアッシュを利用した2成分あるいは3成分系のコンクリートや高炉スラグ高含有セメント（高炉セメントC種相当の置換率）を用いたコンクリート（ECMコンクリート）の事例等を紹介した。これらは、特に環境配慮（温室効果ガスCO₂の削減や産業副産物の有効利用）の観点からの建築物への適用事例である。なお、適用にあたっては、①材料調達（運搬によるコスト）、②製造（設備、材料品質管理、混和材の選定）、③施工（打設および養生での留意点）、④品質（構造体補正強度や中性化抵抗性）、等に関する課題も挙げられているが、今後の適用拡大と関連するデータの蓄積が待たれるところである。

その他、混和材の大量使用の国内事例としては、発熱や強度発現性を評価指標とした、セメントと高炉スラグ微粉末の2成分系やこれにフライアッシュを加えた3成分系の事例（明石海峡大橋等）、ならびに地方におけるこれらのコンクリートを使用する施工指針（福井や長崎）

の作成を紹介した。また、数は多くはないが、高炉スラグ微粉末の大量使用や高炉セメントC種を使用した事例（ダム、高流動コンクリート、昭和30~40年代におけるセメント代替としての使用）等についても紹介した。

海外の施工事例からは、例えば英国においては、生コンクリートの85%に高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュが使用され、セメントよりも混和材の流通量が多く、単純計算ではその置換率は50%を超えることがわかった。高炉スラグ微粉末を採用した構造物は、ダムや海岸構造物等の土木用途が多いが、建築物にも採用されている。その理由としては、環境配慮とともに、マスコンにおける初期温度上昇量（ひび割れ）の抑制や耐海水性の確保等が多いが、白色性や明るさという理由もある。その他、ロシアやUAE等における施工事例についても紹介した。

3.3 混和材の大量使用を可能とするための条件

近年の環境負荷低減や副産物の積極的な利用等の目的を除けば、混和材を大量使用（混合セメントC種以上）したコンクリートの検討については、適用事例も含め、その数は決して多くはなく、特に建築分野では適用部位が限定されることが多い等、その傾向がつよい。一方、少ない適用事例の目的を総括すれば、ASR対策を除けば、マスコン対策や厳しい環境条件下におけるこれらの利用等の限定された条件での検討事例が多いのも事実である。これまでに、混和材を使用したコンクリートの設計・施工指針等については、土木・建築の関連学協会においてすでに作成されており、日本建築学会からは環境配慮の観点からの積極利用目的として「鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針（案）・同解説」も刊行されているが、コンクリートの主要かつ基本的な要求性能（強度発現、耐久性確保、施工性の確保等）を満足ながら、かつ積極的な「混和材の大量使用」という観点からの標準的な方法・考え方の検討やこれらを実現するための施策上の検討や発注者の理解が必要である。ただ、具体化にあたっては、実際の材料供給やコスト等の課題もある。

4. おわりに

アジア地域におけるコンクリートの生産量は、今後も増加し続けることは確実であり、全世界の半分以上のセメントがアジア地域で生産・利用される状況は、今後数十年間は続くであろう。東南アジアおよび南アジアは、気候条件が混和材の大量使用に適した地域であり、本研究委員会の成果を踏まえて、今後、ACF内に同様の委員会を設置する予定であり、コンクリートセクターにおける地球温暖化抑制を図るべく、アジア地域における混和材を大量使用したコンクリートの普及促進のための活動を継続していく予定である。