

研究委員会 コンクリートの各種性能評価試験方法の合理化・省力化に関する研究委員会

上野 敦*1・内田美生*2・大塚秀三*3・谷口 円*4・十河茂幸*5・黒井登起雄*6

要旨: 本委員会では、コンクリートの各種の性能を評価する試験方法に着目し、従来から実施されていながら現状に即していない試験方法を合理化あるいは省力化することを目的として調査研究を行なった。調査の対象は、コンクリート用材料に関する試験、フレッシュコンクリートに関する試験および硬化コンクリートに関する試験とした。各対象の調査では、近年のコンクリートの多様化も念頭に、新しく評価すべき材料またはコンクリートの特性がある場合、その評価方法の調査も行って整理している。

キーワード: 使用材料, フレッシュコンクリート, 硬化コンクリート, 試験方法, 合理化, 省力化

1. はじめに

近年のコンクリートに用いられる材料は、従来から用いられてきたものから急速にその種類を増やしている。骨材を例にとると、河川産の骨材から碎石および砕砂に移行し、一方で、環境面の配慮や異なった特性を有するコンクリートを製造するために副産物系の各種の金属製錬スラグが用いられるようになり、再生骨材も用いられるよう変化してきている。このような新しい材料は、これまでの材料と異なる特性を有しているものも多く、品質試験方法そのものが適用困難となる場合もある。製造するコンクリートのコンシステンシーの範囲も、超硬練りから高流動までの広範囲に及び、フレッシュコンクリートの特性も高性能減水剤などの使用により変化している。施工方法も進歩しており、フレッシュコンクリートに求められる特性も施工方法に応じて変化している。

硬化後のコンクリートの特性に関しても、力学的性質に加え、構造物の耐久性の観点からの物質透過性の検討や、供用中の構造物における非破壊または微破壊の試験による変状の把握など多岐にわたるものとなっている。一方で、環境意識や人体への悪影響の防止の観点から、試験における危険作業、重量物の取扱い、危険薬品の使用に対する制限など、コンクリート関連の試験に関わる社会的な状況も変化している。

このような背景から、近年では、合理的な理由がある場合に、従来の試験方法を廃止したり、大規模な改正を行う場合も生じている。近年のJISを例にとると、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」の割裂引張強度試験用の供試体寸法の変更のように、近年の粗骨材の最大寸法の小径化、型枠の汎用性、試験に要する労力低減の観点から、データの裏付けを持って供試体

表-1 委員会および作業部会 (WG) 構成

委員長：上野 敦（首都大学東京）			副委員長：十河茂幸			顧問：黒井登起雄（足利大学）		
（近未来コンクリート研究会）								
材料WG								
主査：内田美生（施工技術総合研究所）								
堀口 浩司（中研コンサルタント）			檜垣 誠（フローリック, 2017年度）			岸良 竜（太平洋セメント）		
荒井 正直（日本建築総合試験所）			玉石 竜介（花王, 2018年度）			橋爪 翔（全生工組連(2018.6まで)）		
フレッシュコンクリートWG								
主査：大塚 秀三（ものづくり大学）								
齊藤 丈士（日本大学）			桜井 邦昭（大林組）			梁 俊（大成建設）		
浦野 真次（清水建設）			近田 孝夫（麻生）					
硬化コンクリートWG								
主査：谷口 円（北海道立総合研究機構）								
若林 信太郎（銭高組, 2017年度）			川又 篤（鉄建建設, 2018年度）			吉田 行（寒地土木研究所）		
中村 則清（建材試験センター）			野中 英（熊谷組）					

*1 首都大学東京 都市環境学部都市基盤環境学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*2 施工技術総合研究所 研究第二部 技術参事 博士(工学) (正会員)

*3 ものづくり大学 技能工芸学部建設学科 教授 博士(工学) (正会員)

*4 北海道立総合研究機構 建築研究本部北方建築総合研究所 研究主幹 博士(工学) (正会員)

*5 近未来コンクリート研究会 代表 工博 (正会員)

*6 足利大学 名誉教授 (総合研究センター研究員) 工博 (名誉会員)

寸法を小さくする改正が行われている。また、JISA1141「骨材に含まれる密度 1.95g/cm³ の液体に浮く粒子の試験方法」は、国内での石炭および亜炭の骨材運搬用の装置との混用がありえないこと、試験に使用する高濃度の塩化亜鉛溶液の環境および人体への危険性の観点から2015年に廃止されている。

本委員会では、コンクリートに関する試験方法を対象に、近年の使用材料の特性、フレッシュコンクリートの特性および硬化コンクリートの特性に対する現行の試験方法の適合性および合理性（論理的な適合性と労働環境面での省力化）、課題がある場合の改善の方向性、現状に即して試験しておくべき材料またはコンクリートの特性の整理を行うことを目的として活動した。

具体的な委員会活動では、材料試験全般を対象とする「材料WG」、フレッシュコンクリートの試験を対象とする「フレッシュコンクリートWG」、硬化コンクリートの試験を対象とする「硬化コンクリートWG」の3つのWGで調査および整理を行った。委員会構成とWG構成は、表-1のとおりである。本報告では、各WGでの整理の概要を示す。

2. 材料WG

2.1 対象とした特性または試験方法

材料WGでは、水、骨材、セメント、混和剤および混和材に関する試験方法について検討を加えた。コンクリート用材料に関する試験の特徴としては、材料の性能を評価するというよりはコンクリート用材料としての適否を判断することを目的として実施されていること、および試験規格だけでなく、製品規格にも試験方法が定められていることが挙げられる。このため、材料WGでは試験規格だけでなく、一部の製品規格に定められている試験方法についても検討の対象とした。その結果、JIS規格を中心に現行の31規格を検討の対象とした。

一方で、川砂利、川砂がほとんど使用されなくなった今日、コンクリートは工業製品を利用して製造されると見ることも出来る。工業製品であるならば、その品質は、消費者の要求を満たし、品質の安定化および向上を図り、最も経済的で安全な製品を作ることと管理される。適合性評価を別に考えれば、工業製品としての性能および品質は、工業製品として確認され、かつ担保されること、すなわち品質が保証されることが必要かつ十分な条件となるものと判断される。図-1は工業製品としてのコンクリート用材料の性能確認と品質保証の考え方の一例を示したものである。当該の材料を用いた場合に、所定の性能を有するコンクリートを製造可能であることは、コンクリートの性能を確認する、いわば型式試験により、事前に確認され、材料として採用さ

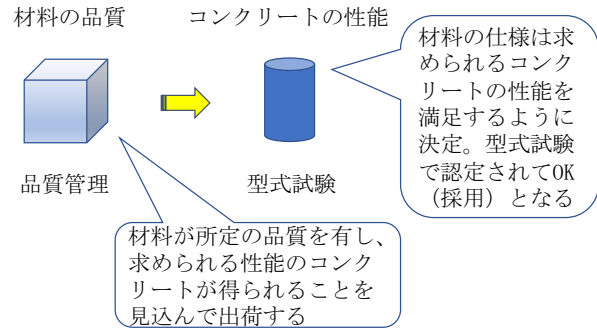


図-1 性能確認と品質保証の考え方の例

れる。一方、工業製品としての材料の品質は、必ずしもコンクリートの性能試験（型式試験）により確認する必要はなく、その製品に適した方法で、その品質を確認・保証することがむしろ合理的である場合も多いように思われる。コンクリートの種類は強度、流動性、使用材料などの組合せで飛躍的に増大している。このため、工業製品としての材料の品質とコンクリートの性能を単純に結びつけて判断することが、工業製品の品質保証として、真に正しい姿であるか否かという点について、種々の議論がなされた。この議論では将来的には、各製品ごとに適した手法で、製品の品質を担保することも含めて、適切な品質保証のあり方を考えてゆく必要があるとの指摘もなされている。

このほか、報告書ではセメント協会が長年にわたり実施している「OCセメント橋試験結果」を引用し、各種試験において不可避免的に生じる変動についても、言及している。

2.2 既存の試験方法の課題と改善の方向性

ここでは、材料WGでなされた議論の一例として、骨材の強さ、硬さに関する検討結果の一部を記す。

高強度コンクリートでは、骨材の強さや硬さが圧縮強度や弾性係数に影響するとされている。しかし、骨材の強さや硬さなどの性質が、コンクリートの強度や弾性係数にどのように関わっているのかは、詳しくは解っておらず、骨材の密実性に関わるとされる密度や吸水率によって間接的に判断されているにすぎない。そのうえ、骨材の力学的特性に関わる品質指標を直接確認できる試験方法も規定されておらず、高強度コンクリート用の骨材を選定する場合には、当該材料を用いた確認試験により、当該の骨材が高強度コンクリート用材料として適しているか否かを判定している。このため、コンクリートの力学的性質に関わる骨材品質と、骨材の品質を評価するための試験方法を確立することが望まれる。

表-2に骨材の強さや硬さに関わる試験方法を示す。

骨材の強さ、硬さに関する現行の試験規格としては、JISA1121「ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり

表-2 骨材の強さ、硬さに関する試験方法

骨材の性質や状態	試験規格、試験名称	試験の特徴
すりへり強さ	JISA1121 ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験	鋼球との衝突によるすりへり量を測定する。構造用軽量骨材には適用しない。
強さ	JSCE-C505 高強度フライアッシュ人工骨材の圧かい荷重試験	骨材粒1個ごとに圧かいる。球形の骨材を対象とする。岩石から角柱供試体を切り出して、圧縮強さを測定する。
	JISA5003 石材	
	JISA5006 割ぐり石	
破砕値	JIS A 5023 附属書 C 再生粗骨材 L の吸水率の推定試験方法	鋼製容器に粗骨材を詰め、静的または衝撃荷重を作用させて、破砕した割合を測定する。
	BS812-110 骨材の破砕値試験	
	BS812-112 骨材の平均的な耐衝撃性試験	
硬度	ドリ一式硬度試験	回転盤に押し付けて摩耗量を測定する。
	モース硬度	硬さの異なる鉱物をひっかいて傷の有無で硬さを比較する。
推定強さ	複数の骨材を固めて測定する方法[7]	骨材の集合を固めての強さを測定し、強さを推定する。

試験方法」が代表的である。しかしながらこの試験方法は骨材のすりへり抵抗性を評価するものであって、骨材の強さを評価する試験ではない。また、この方法では、一部の粒度区分だけを抜き出した試料により、試験を実施しているため、骨材の特性を合理的に評価できているか否か、疑問が残る。なお、JIS A 1121 附属書 A では、全粒度の試料を用いて、すりへり減量を求める試験方法を規定している。コンクリートに用いられている材料と近い条件でのすりへり減量を求めているという面では、むしろ合理的な試験方法ではないかと考えられる。

JIS A 5023 「再生コンクリート L」の 附属書 C 「再生粗骨材の吸水率の推定値試験方法」は、鋼製容器に 2.5mm 以上の再生粗骨材 L を入れ、100kN の荷重を作用させて破砕し、2.5mm ふるいの通過質量の割合を破砕値とし、この破砕値から吸水率を推定するものである。この方法であれば、作用させる荷重、通過するふるい目の大きさ等、明らかにすべき要因が多いものの、種々の粗骨材の破砕値を合理的に測定できる試験方法となるのではないかと考えられる。また、これに類似した試験方法である BS 812-110 「Methods for determination of aggregate crushing value (ACV)」(骨材の破砕値試験)では、10～14mm の粗骨材を 図-3²⁾ のような鋼製容器に詰め、400kN の静荷重を作用させて破砕し、破砕した粒子の質量割合を破砕値として求める方法が規定されている。

2.3 新しく評価すべき性能または標準化すべき試験方法

骨材の強さや硬さを評価する場合、粗骨材では 1 粒ごとの評価、粒群での評価、いずれも可能であるが、細骨材では、粒群の(充填された)状態でなければ評価が困難であろう。粒群による硬さ、強さの評価では、粒度分布や粒子形状が結果に大きく影響するものと予想され、試験の条件と品質基準値との関係を詳しく検討する必要があると推察される。骨材の強さや硬さをコンクリートの配(調)合設計、材料選定時に考慮し、圧縮強度のみ



図-2 ロサンゼルス試験機の例¹⁾



図-3 BS812-110 試験器具の例²⁾

ならず、引張強度、曲げ強度、せん断強度、弾性係数等の諸特性を、合理的に設計できる可能性があるのか、今後、各種検討が進められることを期待したい。

3. フレッシュコンクリート WG

3.1 対象とした特性または試験方法

フレッシュコンクリート WG では、表-3 に示す試験方法について合理化・省力化の観点から検討した。ここでは、JIS またはこれに準じる試験方法と、影響要因が複

合するため個別の試験方法では評価が困難と考えられるフレッシュコンクリートの評価方法に大別した。前者では、フレッシュコンクリートの性質および配（調）合に分類して各試験方法の課題と改善方法について取りまとめた。後者では、例えばコンクリートの締固め性のように各種の要因が複合して影響するため、個別の試験方法では適切な評価が困難と考えられるフレッシュコンクリートの性質のうち、コンクリートを打ち込む際の圧送、打込み・締固めおよび仕上げなどの作業に関連付けて、JIS またはこれに準じる試験方法とはなっていないものの合理的に評価できる可能性のある評価方法を整理した。

3.2 既存の試験方法の課題と改善の方向性

ここでは、フレッシュコンクリート WG において検討した試験方法のうち、一部の検討結果の例を示す。

(1) 加圧ブリーディング試験

1) 試験方法の課題

加圧ブリーディング試験は、水の分離による潤滑層の形成が圧送性を良好にするというコンクリートの管内流動状況に関する流動のメカニズムに基づき提案された試験方法であり、コンクリート試料を入れた容器に一定の圧力を作用させた際のコンクリート試料からの脱水量を一定時間にわたって測定するものである。JSCE-F 502 に「加圧ブリーディング試験方法（案）」として定められている。JSCE-F 502 では、圧送性の評価まで踏み込んだ記述はなされていないが、加圧後の経過時間と脱水量の関

係から圧送に適した範囲の目安が標準曲線 B、C として提案⁴⁾されているように、一般にはコンクリートの圧送性を判断する際の指標として用いられる。しかしながら、圧送圧力の大きくなりやすい長距離圧送、高所圧送などの特殊な圧送条件、高流動コンクリートや高強度コンクリートなどの特殊なコンクリートの圧送性を適切に評価することが困難となる場合が多い。

2) 改善方法

加圧ブリーディング試験を圧送性の評価に用いる場合には、特に特殊な圧送条件やコンクリートの性状に対応した新たな標準曲線の検討が望まれる。また、圧送圧力が大きい場合には、圧送圧力に応じて容器への加圧力を高圧化して脱水量を測定することもひとつの方法と考えられる。さらには、コンクリートの圧送実験などの実測データと JSCE-F 502 の試験結果との対応関係に関するデータの蓄積が望まれる。

(2) コンクリートの凝結時間試験方法

1) 試験方法の課題

コンクリートの凝結時間は、JIS A 1147「コンクリートの凝結時間試験方法」によって試験するのが一般的である。JIS A 1147 では、コンクリート試料をウェットスクリーニングして得られたモルタルを対象に、断面積が 12.5~100mm² の貫入針による貫入抵抗値によって始発時間 (3.5N/mm²) および終結時間 (28.0N/mm²) を定めている。一方で、同試験方法は、コンクリートを 2 層以上

表-3 フレッシュコンクリート WG において検討対象とした試験方法

試験方法の分類		試験規格等	
フレッシュコンクリートの性質に関する試験方法の課題と改善方法	外力を加えない変形性または流動性に関する試験方法	スランプ試験	JIS A 1101
		スランプフロー試験	JIS A 1150
	外力を加える変形性または流動性に関する試験方法	硬練りコンクリートを対象とした試験方法	JSCE-F 501 VB 試験 JSCE-F 507 JSCE-F 508
		軟練りコンクリートを対象とした試験方法	JCI-SQA1 JSCE-F 514 JSCE-F 511 JSCE-F 701
	圧送性に関する試験方法	加圧ブリーディング試験	JSCE-F 502
		フレッシュコンクリートの変形性評価試験	JSCE-F 509
	フレッシュコンクリートの初期物性に関する試験方法	コンクリート温度	JIS A 1156
		ブリーディング	JIS A 1123
		凝結時間	JIS A 1147
		断熱温度上昇量	セメント協会法
フレッシュコンクリートの配（調）合に関する試験方法の課題と改善方法	単位容積質量	JIS A 1156	
	単位水量	ZKT-210 ZKT-211 CTM-1~7 ³⁾	
	空気量	JIS A 1116 JIS A 1118 JIS A 1128 JSCE-F 513	
影響要因が複合する場合のフレッシュコンクリートの評価方法	圧送	-	
	打込み・締固め	材料分離	-
		締固め性	-
	仕上げ	-	

に分けて打ち込む場合、コールドジョイントを防止できるコンクリートの打ち重ね時間を設定する際に用いられることもあり、下層のコンクリートが発発時間に達する前を目安としていた。しかしながら、近年の多面的な検討⁵⁾により前述の始発時間より相当の短時間に打ち重ねる必要のあることが指摘されており、下層のコンクリートの貫入抵抗値が0.07~1.05N/mm²に達する前に打ち重ねることが有効としている。また、実際の打込み時の気象条件はJIS A 1147の試験条件とは乖離があり、試験結果が危険側に判定される懸念がある。

2) 改善方法

JIS A 1147 をコールドジョイントの発生を防止するための指標として用いる場合には、0.07~1.05N/mm²の貫入抵抗値を測定するためにASTM C-403に示されているように貫入針の断面積を200mm²とするなどの項目の追加が必要と考えられる。また、実際の施工条件を反映させて安全側の判定を可能とする試験方法に関する記述の追加などが望まれる。

3.3 新しく評価すべき性能または標準化すべき試験方法

ここでは、表-3に示した「影響要因が複合する場合のフレッシュコンクリートの評価方法」のうち、仕上げについての検討結果の概要を示す。

コンクリートの上面仕上げに関する各学協会の仕様書における規定を俯瞰すると、いずれも定性的な表現に留まっており、定量的な評価指標が定まっていない現状にある。これに対して、コテの仕上げ性や仕上げのタイミングを定量的に評価しようとする試みがある。例えば、コテの仕上げ性についてはコテを取り付けた走査型の試

験装置を用いてコンクリート上面の平滑度合いとの関係により評価した例⁶⁾がある。また、コテ仕上げのタイミングについてはASTM C403⁷⁾に示される貫入針による貫入抵抗値に準じて国内の工事における適用性を検討した例⁸⁾などがある。しかしながら、大がかりな装置が必要であることや、データの蓄積が少ない点から一般化されるに至っていない。これらの評価には、コンクリートの種類、施工条件および気象条件などが複雑に関係するため統一的な手法では難しい側面もあるが、今後、仕上げ性や良好な仕上げとするタイミングに関する定量評価を可能とする新たな試験方法の確立が望まれる。

4. 硬化コンクリート WG

4.1 対象とした特性または試験方法

硬化コンクリート WG では、硬化コンクリートの各種試験法について、省力化の観点（特に試験体の軽量化等の着眼点）から、試験法の課題を整理し、改善方法を提示した。取り扱う試験法は、JIS またはそれに準じる規格等とし、製品規格を包含する形の試験法は除外し、硬化後の物性を得るための試験法を扱うこととした。また、いくつかの硬化後の物性は、JCI 研究委員会において検討されているものもあり、これらの成果も踏まえとりまとめることとした。

対象とした試験方法は、基本性状と耐久性状に分類して整理した。基本性状は、圧縮強度、曲げ強度、引張強度、静弾性係数、動弾性係数、長さ変化、気泡組織、細孔構造、透気性および透水性とした。耐久性状は、塩化物イオン濃度および拡散係数、促進中性化試験および中

表-4 主な凍結融解試験と内容の比較

各種項目	JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験方法 A法（水中凍結融解試験方法） B法（気中凍結水中融解試験方法）	ASTM C672 Standard Test Method for scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals	RILEM CDF Recommendation of the Capillary Suction, Deicing agent and Freeze- thaw test
目的	内部劣化の相対評価	スケーリングの評価	スケーリングの評価
供試体	寸法、試験面面積 100mm×100mm×400mm 角柱供試体 必要供試体数 供試体3体以上 試験対象面 供試体全面	0.045m ² 以上（1試験面の面積） 75mm以上 供試体2体以上	0.08m ² 以上（全試験面の総計） 70~150mm 供試体5体以上
養生	脱型材齢 材齢1日目 水中養生 27日間（材齢28日目まで） 気中養生 -	材齢1日目 13日間（材齢14日目まで） 14日間（材齢28日目まで）	材齢1日目 6日間（材齢7日目まで） 21日間（材齢28日目まで）
凍結融解温度	基準点 供試体中心温度 最低凍結温度 -18±2℃ 最高融解温度 +5±2℃	試験槽内温度（室温） -18±3℃ +23±3℃、45~55%R.H.	試験槽内温度（ブライン液） -20℃±0.5K +20℃±0.5K
凍結融解時間	凍結保持時間 凍結工程：1cyc.所要時間-融解工程 融解保持時間 融解工程：1cyc.所要時間の25%以上（A法） 融解工程：1cyc.所要時間の20%以上（B法） 温度移行時間（勾配） 各工程に要する時間の1/2以上	16~18時間 6~8時間	3時間 1時間
凍結融解サイクル数	1サイクル所要時間 3~4時間 測定サイクル数 最低36サイクル毎に測定 （一般的に30cycles毎の測定）	22~26時間 5,10,15,25,サイクルおよびその後、25サイクル毎に測定	12時間 最低14サイクル毎に測定 （4,6cycles毎測定が推奨）
試験溶液	試験溶液 水道水 濃度 - 試験前吸水 水中養生後試験開始のため無し 試験溶液の供給方法 全面	塩化カルシウム水溶液（任意） 4g/100ml（任意）	塩化ナトリウム水溶液（任意） 3%（任意） 毛管浸透により7日間実施 下面（毛管吸水）
評価方法	評価項目 相対動弾性係数と質量減少率による評価 評価サイクル数の標準 300サイクル	上面（湛水） 目視レイテンジングによる評価 50サイクル	スケーリング量による評価 28サイクル
試験実施の他の制約要因	・質量減少率によるスケーリング評価は困難	・1日1サイクルで試験時間を要する	・温度管理が最も厳しい ・JIS法の試験装置の利用例あり

性化深さ、ASR 促進試験、凍結融解抵抗性とした。ここでは、耐久性状で整理した凍結融解抵抗性について示す。

4.2 既存の試験方法の課題と改善の方向性

(1) 凍結融解抵抗性

凍結融解作用によるコンクリートの劣化は、内部劣化と表面劣化（スケーリング）に大別されるため、それぞれの現象に対応した試験により評価する必要がある。表-4 に主な凍結融解試験規格の比較を示す。

コンクリートの凍結融解試験方法については、日本コンクリート工学協会研究委員会 TC-065A「コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会」において調査が行われている。以下、内部劣化に関する試験法について、抜粋して要点を示す。

1) 既存試験法の課題

コンクリートの内部劣化に対する凍結融解抵抗性は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法（A 法）」（以下、JIS A 法と記述）によって判定するのが標準とされている。本試験方法に関する課題としては、一般的に用いられている供試体は 100×100×400mm の角柱供試体であり、円柱供試体に比べると重量が大きいこと、また、供試体作製から結果が出るまでに約3ヶ月を要する試験であり、サイクルごとの計測手間、作業量も多いことが挙げられると考えられる。試験の合理化・省力化が望まれる。

2) 改善方法

JIS A 法による凍結融解試験方法の合理化・省力化に向けては、供試体寸法については、JIS A 法では網ふるい 26.5mm を全通する粗骨材（粗骨材最大寸法が 25mm 以下）を用いる場合には、供試体断面の一辺の長さを 75mm としてもよいとされているため、供試体を小さくすること、また、測定作業の自動化については、JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」に準じた縦振動とたわみ振動による動弾性係数の測定を自動化する方法⁹⁾の適用が考えられる。そして、試験期間の短縮については、一面凍結融解試験法である RILEM CIF 試験¹⁰⁾（以下、CIF 法と記述）の利用も検討されている。ただし、JIS A 法と CIF 法による試験結果の関係性についてはデータが不足しており、今後データの蓄積が必要である。

5. まとめ

本委員会では、コンクリートに関する試験方法の合理化および省力化、また、近年のコンクリートの使用材料

の多様化、断面や配筋の変化および施工方法の変化によるフレッシュコンクリートの充填性の広範化、および、硬化コンクリートに要求される特性の多様化によって既存の試験方法に生じている課題点とその解決策、また、評価すべき使用材料やコンクリートの特性についての整理を行った。

本稿では、検討した内容の一部を紹介したが、詳細は報告書に取りまとめているので参照されたい。また、本委員会を対象に含めきれていない既存の試験方法に対する提言や、新規の試験方法などに関する検討や提案について広く議論するため、2019年9月にシンポジウムを開催する予定である。

参考文献

- 1) 関西機器製作所：<http://kansaikiki-s.co.jp/product/aggregate/>，2019.4 参照
- 2) オガワ精機：<http://www.ogawaseiki.jp/n.org/骨材粉砕値装置-直径-15075-mm%E3%80%80bs812> 規格/，2019.4 参照
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法，pp.290-360，2007.3
- 4) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針 [2012 年版]，pp.205-209，2012.6
- 5) 土木学会：コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策，コンクリートライブラリー103，p.144，2012.6
- 6) 三上貴正，比留間邦洋，坂井映二：床コンクリートのフィニッシュビリティの評価方法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.655-660，1997
- 7) ASTM：C403/C403M-99 Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance
- 8) 安藤雄基，平野竜行：床コンクリートの品質・生産性向上に関する打込みから仕上げまでの一連の取り組み：日本コンクリート工学会・コンクリート工学，Vol.55，No.9，pp.788-791，2017.9
- 9) 近松竜一，十河茂幸：凍結融解試験における測定方法の相違が試験結果に及ぼす影響，コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関するシンポジウム論文集，pp.101-106，2006.12
- 10) RILEM Recommendation：CIF-Test - Capillary Suction, Internal Damage and Freeze-Thaw test, 2001