

コンクリートに関する法令・基準 および コンクリートに要求される性能・品質

1. はじめに

コンクリートは、建築・土木工事で使用される代表的な構造材料です。

本誌では過去にも「コンクリートの基礎講座」を連載し、その後には冊子¹⁾にて纏めて発行し、当センターホームページにも掲載しました。当該ページは現在も多くのアクセスがあり、当センターのSNSでURL等を紹介した際にもたくさんの反響を頂きました。コンクリートに関心のある方が多くいらっしゃる事が改めてわかり、嬉しく思っています。

また、前回のコンクリートの基礎講座の連載から数年が経ち、その間もコンクリートに関する基準などの改定や制定が行われました。

このような背景で、本号よりコンクリートに関する基礎講座「コンクリートの試験の基礎知識」を連載す

ることにしました。第三者試験機関としての立場から、皆様のお役に立つ情報を発信したいと思います。

本講座第1回では、コンクリートに関する法令・基準およびコンクリートに要求される性能・品質について紹介します。

2. コンクリートとは

(1) コンクリート²⁾

コンクリートは複合的な構造材料で、JIS A 0203 (コンクリート用語)では「セメント、水、細骨材、粗骨材及び必要に応じて加える混和材料を構成材料とし、これらを練り混ぜその他の方法によって混合したもの、又は硬化させたもの」と定義されています。コンクリートの構成を図1に、コンクリートの固まる前後の外観を写真1および写真2に示します。

セメントは石灰石や粘土などから作られる粉体です。骨材は砂・砂

ペースト	水	15~18%
	混和材料	適宜
	セメント	8~15%
	空気	3~6%
骨材	細骨材	25~35%
	粗骨材	35~40%

図1 コンクリートの構成(容積比)

利・砕砂・碎石・スラグ骨材などの材料です。骨材の粒の径が5mm以上を粗骨材、5mm未満を細骨材と区分しています。混和材料はコンクリートに特別な性質を与えるための材料で、フライアッシュなどの粉体のものや化学混和剤などの液体のものがあります。

(2) 鉄筋コンクリート²⁾

コンクリートは、鉄筋との複合構造である「鉄筋コンクリート」として多く用いられています。これは圧縮力には強く引張力には弱いコンク



写真1 固まる前のコンクリート
(練り混ぜ直後のフレッシュコンクリート)



写真2 固まった後のコンクリート
(硬化後のコンクリート断面)



写真3 コンクリートを打ち込む前の
鉄筋骨組および型枠(試験体)

リート、鉄筋で補強して一体化し(写真3参照)、耐震性を高めたものです。また、大気中では錆びてしまう鉄筋を、コンクリートが保護して耐久性を高めています。鉄筋コンクリートの主な特徴を、表1に示します。鉄筋コンクリートは鉄筋とコンクリートの相性の良さで成り立つ優れた構造形式で、木造や鉄骨造など他の構造の基礎にも使われています。

(3) コンクリートの特徴

コンクリートが他の構造材料と大きく異なるのは、固まっていない軟らかい状態(フレッシュコンクリート、写真1参照)で建設現場に運搬(或いは現場で製造)されるため、硬化して時間が経過しないと性能が正しく発揮されるかわからないことです。

コンクリートの性能は、主に使用材料の種類・品質・構成割合によって決まりますが、適切にコンクリートが製造されても、その後の施工や養生などの取り扱いによっては、コンクリート構造物に要求される性能を得られないこともあります。コンクリート構造物の多くは現場で製作されるため、気象の変動や作業環境の不安定さにより施工精度や品質が左右されることが一因と考えられます。そのため、より良いコンクリート構造物をつくるためには、コンクリートの研究者や製造者だけでなく、それをを用いる技術者もコンクリートに関する基礎知識を身につけておくことが必要です。

3. コンクリートに関する法令・基準

(1) 建築基準法³⁾

国内で建築を行うためには、場所や建物が建築基準法をはじめとした関係法令・規定に適合していることが必要です。

建築関係規定は、構造に関する規定、防火に関する規定、設備・環境に関する規定の3つに大別され、各規定の要求性能に基づいて使用する

表1 鉄筋コンクリートの特徴²⁾

項目	概要
利点	①耐震性、②耐久性、③耐火性、④材料入手の容易性、⑤自由な形状作製、⑥部材相互の一体化、⑦経済性
欠点	①質量が大きい(利点となる場合もある)、②ひび割れが生じやすい、③強度の発現に時間がかかる、④固まるまでに材料分離を生じやすい、⑤固まるまでに配筋状態・コンクリートの品質などの検査が非常に困難である、⑥現場施工が多いので施工精度や品質の確保が困難(③④⑤に関連)、⑦改造や取り壊しが難しい、⑧主要原料の骨材品質が低下しつつある

表2 建築基準法と関係法令のコンクリートに関する構造規定の一覧³⁾

条項	項目	関係規定
法第37条	建築材料の品質	・令第144条の3(安全上、防火上又は衛生上重要である建築物の部分) ・平12建告第1446号(指定建築材料)
令第71条 ～ 令第79条	鉄筋コンクリート造(コンクリートの材料、鉄筋の継手及び定着、コンクリートの強度、コンクリートの養生、型わく及び支柱の除去、柱の構造、床版の構造、はりの構造、耐力壁、鉄筋のかぶり厚さ)	・昭56建告第1102号(コンクリート強度の基準) ・昭46建告第110号(型枠及び支柱の取り外しに関する基準) ・平13国交告第1372号(かぶり厚さの規定を適用しない鉄筋コンクリート造等の部材)
令第91条	コンクリートの許容応力度	・平12建告第1450号(コンクリートの付着、引張り及びせん断に対する許容応力度及び材料強度)
令第97条	コンクリートの材料強度	・平12建告第1450号(コンクリートの付着、引張り及びせん断に対する許容応力度及び材料強度)

(注) 法:建築基準法、令:建築基準法施行令、建告:建設省告示、国交告:国土交通省告示

建築材料の性能・品質が定められています。

構造材料であるコンクリートは、建築基準法第37条で「指定建築材料」として定められています。ここで、建築物の基礎・主要構造部(柱・梁・構造壁・スラブなど)・その他安全上や防火上又は衛生上重要である部分に使用するコンクリートは、品質が日本産業規格のJIS A 5308(レディーミクストコンクリート)に適合するもの、或いは、必要な品質に関する技術的基準に適合すると国土交通大臣の認定を受けたもの、とされています。建築基準法および関係規定のうち、コンクリートの品質・性能に関する構造規定の一覧を表2に示します³⁾。

なお、土木構造物は、橋・ダム・

トンネル・道路など構造物によって用途や設計が大きく異なるので、建築物対象の建築基準法のような統一した法令はありません。

(2) 日本産業規格(JIS)⁴⁾

日本産業規格(JIS = Japanese Industrial Standardsの略)は、日本の産業製品に関する規格や測定法などが定められた日本の国家規格のことです。一般的に「標準(=規格)」は任意のものですが、前述の建築基準法など法規に引用された場合は強制力を持ちます。標準化の意義は、自由に放置すれば、多様化・複雑化・無秩序化してしまうモノやコトについて、技術文書として国レベルの「規格」を制定し、これを全国的に「統一」または「単純化」することです。

表3 コンクリート構造体および部材に要求される性能^{3), 5)}

要求性能	概要
構造安全性	構造体が計画供用期間中に、自重・積載・風・雪および地震の各荷重・温度・疲労・衝撃およびその他の特殊な作用によってもたらされる外力に対して、構造体の崩壊または許容できない変形が生じないこと
耐久性	一般的な劣化作用および特殊な劣化作用に対して、計画供用期間中は構造体に鉄筋腐食やコンクリートの重大な劣化が生じないこと
耐火性	通常の火災による加熱が一時間加えられた場合に、所定の非損傷性、遮熱性、遮炎性を有すること
使用性	常時荷重下における変形・振動に対する制限
	通常の降雨および水の使用によって漏水などによる被害が生じないこと
部材の位置・断面寸法の精度および仕上がり状態	打ちあがった構造体が、設計図書に示された所定の位置にあり、所定の断面寸法を持ち、次工程へ悪影響を及ぼさないこと

表4 コンクリート構造物の要求性能⁶⁾

要求性能	概要
耐久性	構造物が設計耐用期間にわたり安全性、使用性、および復旧性を保持する性能
安全性	構造物が使用者や周辺の人の生命や財産を脅かさないための性能
使用性	通常の使用時に想定される作用の下で構造物が正常に使用できるための性能
復旧性	地震の影響等の偶発作用等によって低下した構造物の性能を回復させ、継続的な使用を可能にする性能
環境性	自然環境、社会環境への適合性に関する性能

表5 コンクリートの要求性能と品質^{3), 5)}

要求性能	コンクリートの品質
構造安全性に関わる性能	圧縮強度、ヤング係数、気乾単位容積質量
耐久性に関わる性能	耐久性上の強度、中性化および鉄筋腐食抵抗性、塩化物イオン浸透抵抗性、鉄筋防せい性、アルカリ骨材反応抑制性能、凍結融解作用抵抗性、乾燥収縮・水和熱ひび割れ抑制性、表面劣化抵抗性、すり減り抵抗性、耐熱性、耐火性
使用性に関わる性能	水密性、遮蔽性、遮音性、断熱性、クリーブ
施工性に関わる性能	施工上の要求される強度、凝結時間 ワーカビリティ（流動性、材料分離抵抗性、充填性、間隙通過性、経時変化）

JISでコンクリートや鉄筋コンクリート構造に関係する規格は、部門A「土木および建築」・部門G「鉄鋼」・部門R「窯業」・部門Q「管理システム」・部門Z「その他」に規定されており、材料に関する規格と試験・設備に関する規格に大別されます。

前述の「レディーミクストコンクリート」は、「整備されたコンクリート製造設備をもつ工場から、荷卸し地点における品質を指定して購入することができるフレッシュコンクリート」と定義され、JIS A 5308には生コン工場から現場に運ばれる生

コンクリートの規定が示されています。

(3) JIS以外の基準類

代表的な基準として、建築では日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説JASS5「鉄筋コンクリート工事」⁵⁾、土木では土木学会のコンクリート標準示方書⁶⁾があります。

コンクリートに要求される品質・性能は、構造物の用途・構造・施工・環境などの条件によって異なるため、建築分野・土木分野ともに、多種のコンクリートが定義され、さらに関連指針もあります。両基準には、JISには定められていない規格も多く規定されており、国家規格であるJISに対して団体規格と言われている。

(4) 用語³⁾

コンクリートに関する用語は各基準で定義されていますが、建築と土木では一部異なる用語が使われる場合があります。例を紹介させて頂くと、「調合」と「配合」という用語があります。どちらも「コンクリートをつくるときの各材料の使用割合又は使用量」を示しますが、建築では調合、土木やJISでは配合と表記されています。また、土木分野でのみ主に使われる「照査」という用語がありますが、「構造物が要求性能を満たしているか否かを、実物大の供試体による確認実験や、経験的かつ理論的確証のある解析による方法等により判定する行為」⁶⁾と定義されています。

4. コンクリートの要求性能・品質

4-1 コンクリート構造物の要求性能

コンクリートに求められる性能「要求性能」は、構造物に求められる性能から決定されます⁷⁾。

(1) JASS5⁵⁾

JASS5では、コンクリート構造体および部材に関連する要求性能として、表3に示す「構造安全性」「耐

久性」「耐火性」「使用性」「部材の位置・断面寸法の精度および仕上がり状態」をあげています。

ここで要求性能に共通する「計画供用期間」とは、建築主や設計者が望む構造体や部材の耐久性を構造体や部材の耐用年数に置き換えたものです。JASS5の2018年版では4つの級に分類され、計画供用期間としておよそ30年を「短期」、65年を「標準」、100年を「長期」、200年を「超長期」、と定められています。定めた計画供用期間内に、大規模な維持保全を必要としない仕様が必要です。

(2) コンクリート標準示方書⁶⁾

コンクリート標準示方書(設計編)では構造物の要求性能として、表4に示す「耐久性」「安全性」「使用性」「復旧性」が定義されています。

「使用性」は2012年版で「構造物の使用者が快適に構造物を使用する、周辺の人が構造物によって不快となることのないようにするための性能、および構造物に要求される諸機能を適切に確保するための性能」と定義されていましたが、その意味を含んだ上で2017年版ではより簡潔な表現である「通常の使用時に想定される作用の下で構造物が正常に使用に供するための性能」に改訂されました。「耐久性」は2012年版では「構造物の性能の経時変化に対する抵抗性」と定義されていましたが、使用性や安全性の定義と整合させるために2017年版で「構造物が設計耐用期間にわたり安全性、使用性、および復旧性を保持する性能」と改訂されました。

4-2 コンクリートの品質³⁾

品質とは、ISO 9000 (Quality management) /JIS Q 9000 (品質マネジメントシステム—基本及び用語)で、「本来備わっている特性の集まりが要求事項を満たす程度」と定義されています。品質の高低は、期待される性能の高低を意味します。

コンクリートの品質とは表5に示



写真4 コンクリートの圧縮強度試験

すように、コンクリートに要求される構造安全性や耐久性などの性能に対応するコンクリートの特性値の水準を指します。

JASS5では、コンクリートの品質を「工事に使用するコンクリート」と「構造体コンクリート」に分けて規定しています。「構造体コンクリート」の要求性能は構造物の要求性能との関係により決定されるのに対し、「工事に使用するコンクリート」は構造体コンクリートの性能の実現を目的として要求性能・品質が規定されるため、所定のワーカビリティ(総合的な作業性)が求められます。

なお、構造体コンクリートとは、柱や梁などの構造部材に加え、構造部材と一体的にコンクリートを打ち込む非構造部材までを指します。

コンクリートの品質を確保するためには、目標となる定量的な数値を定め、材料の選定や配(調)合・製造・施工などの条件を管理します。これらの数値や条件がある範囲に納まるようにコントロールすることが「品質管理」です。

例えば要求性能の一つ「構造安全性」を満たすには、構造体コンクリート強度が、構造設計時に考慮するコンクリート強度である設計基準強度を満足する必要があります。さらに、計画供用期間から決まる耐久設計基準強度を満足することは、「耐久性」を満たすための一つともなります。強度を確認する方法として、JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強

度試験方法)が規定されています(写真4参照)。

コンクリートの要求性能はコンクリートの配(調)合の各指標と結びつき、最終的な配(調)合が決定されます。配(調)合の各指標とは、コンクリート1m³中の材料の単位量である「単位水量」や「単位セメント量」、セメントと水の割合である「水セメント比」などがあり、これらの指標は耐久性や施工性などに結びついています。

5. おわりに

法令・基準や要求性能の話はイメージしづらい部分があり難解に思われる方も多いと思いますが、コンクリート構造物がどのような性能を要求され、要求を満たすためにはコンクリートの品質にどのようなことが求められ、その品質を確認するためにどのような試験が行われているか、という一連の結びつきを把握しておくことが大切です。

参考文献

- 1) 建材試験センター：コンクリートの基礎講座, 2014
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'20, 2020
- 3) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調査と施工, 2015
- 4) 日本規格協会グループ：JISとは、https://www.jsa.or.jp/whats_jis/whats_jis_index/, (参照日：2021.1.18)
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, 2018
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書(設計編), 2017
- 7) 日本コンクリート工学会：コンクリート技士・主任技士研修テキスト'20, 2020

author

若林和義

経営企画部 経営戦略課 主査

(従事する業務)
経営企画、広報、書籍編集など

コンクリートに使用される材料 ～セメントおよび水～

1. はじめに

本講座第1回では、コンクリートの概要、コンクリートに要求される品質・性能、関連する規格・基準について紹介しました。

本講座第2回～4回にかけて、コンクリートの構成材料について紹介していきます。材料の生産者だけでなく、コンクリートを使用する技術者も、把握しておいた方がよい内容です。

当センターではコンクリートに使用される各材料の試験を行っていますので、試験方法の詳細についても紹介したいところですが、分量が多いため本講座ではご容赦頂き、詳しくはJISなどを参照して下さい。また、当センター発行の「コンクリート用骨材・道路用砕石 試験のみどころ・おさえどころ」¹⁾や「建築材料・部材の試験評価技術」²⁾でも、実際に試験に携わっている技術者がわかりやすく解説しています。

本稿では、コンクリートに使用さ

れる材料の確認方法と、その中からセメント・水について紹介します。

2. コンクリートに使用される材料の確認方法³⁾

第1回でも記載しましたが、建築物の主要構造部（柱、梁、構造壁、床など）に使用するコンクリートは、建築基準法第37条に該当するものでなければなりません。

同様に、コンクリートの構成材料であるセメント・水・骨材・混和材料なども、建築基準法関係法令やJISで定められています。

コンクリート生産者は使用材料の事前の品質確認、生コン工場搬入時の現物確認、定期的な品質検査を行わなければなりません。施工者は工事開始前、コンクリート受入時と工事中随時に、自ら試験を行うか、生産者から提出された試験成績書等で品質確認をすることが必要です。工事監理者は、工事中および工事完了後に施工者から提出された報告を確認することが必要です。

なお、JIS認証製品以外の製品に使用する材料については、品質規格や管理方法を確認しておく必要があります。

3. セメント^{2) 3) 4)}

3.1 セメントとは

セメントは、水または溶液と反応して硬化する無機質材料と定義されます。セメントは乾燥によって固まると思われがちですが、水との化学反応「水和反応」で固まります。この水和反応で、「C-S-Hゲル」と呼ばれる水和生成物や水酸化カルシウムなどが生成され、結合されます。

3.2 原料と製造方法

セメントは、原料のすべてを国内で調達することが可能で、大量に生産できることから価格も安く、取り扱いや運搬なども容易な材料です。

セメントは、原料である石灰石、粘土・けい石・鉄原料などを乾燥・粉碎・混合し、温度1450℃前後の窯で焼成したのちに急冷し、団子状になったクリンカーにせっこうを加え

表1 セメントの主な化学組成⁴⁾

名称	略記号	特徴
けい酸三カルシウム	C ₃ S	エーライト。水和反応は比較的速く、水和熱は中程度。水和熱は中。28日以内の早期強度に寄与。
けい酸二カルシウム	C ₂ S	ビーライト。水和反応は遅く、水和熱は小さい。水和熱は小さい。28日以後の長期強度に寄与。
アルミン酸三カルシウム	C ₃ A	アルミネート相。水和反応は非常に速く、水和熱は大きい。水和熱は大きい。1日以内の早期強度に寄与。
鉄アルミン酸四カルシウム	C ₄ AF	フェライト相。水和反応はかなり速く、水和熱は小さい。水和熱は小さい。強度にほとんど寄与しない。

表2 セメントの種類と特徴⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

名称	品質規格	種類	記号	特徴	用途
ポルトランドセメント*1	JIS R 5210	普通	N	・最も一般的なセメント。	・一般的な土木建築工事およびコンクリート製品用として最も多く使用されている。
		早強	H	・早期に大きい強度が得られる。3日で普通セメントの7日相当の強度を発現。 ・C ₂ Sが少なく、C ₃ Sが多い。	・プレストレストコンクリート、寒中コンクリート、工期短縮を要する工事、工場製品などに使用されている。
		超早強	UH	・早強セメントよりC ₃ Sが多く、粉末度が細かい。 ・早強セメントの3日強度を1日で発現。	・緊急工事や寒中コンクリート、グラウト用などに使用される場合が多いが、現在はほとんど製造されていない。
		中庸熱	M	・C ₃ S、C ₃ Aが少なく、C ₂ Sが多いため、水和熱が小さい。 ・初期強度は小さいが、長期強度は大きい。	・ダムなどマスコンクリートや舗装用に使われることが多い。また高強度コンクリートや高流動コンクリートにも使用されている。
		低熱	L	・中庸熱セメントよりもさらにC ₂ Sが多い。 ・中庸熱セメントよりも水和熱が低く、初期強度は小さいが、長期強度は大きい。	・中庸熱セメントと同様に、マスコンクリート、高強度コンクリートおよび高流動コンクリートに使用されている。
		耐硫酸塩	SR	・C ₃ Aを少なくして、硫酸塩との反応性が小さい。	・硫酸塩を含む土壌地や海岸地帯での工事に使用されている。
混合セメント*2	JIS R 5211	高炉	B	・高炉スラグ*3を混合したセメント。 ・初期強度は小さいが、長期強度は大きい。 ・化学抵抗性、耐熱性、水密性、アルカリシリカ反応抑制効果がある	・ダム、河川、港湾工事や一般のコンクリート工事にも広く使用されている。
	JIS R 5212	シリカ	S	・純度の高いけい石などの粉末を混和したセメント。	・オートクレーブ養生を行うコンクリート二次製品に使用されている。
	JIS R 5213	フライアッシュ	F	・フライアッシュ*4を混合したセメント。 ・良質なフライアッシュは球形であるため、単位水量を減じ、長期強度の発現が期待できる。 ・乾燥収縮は小さく、水和熱も小さい。 ・アルカリシリカ反応抑制効果がある。	・ダムなどのマスコンクリートに使用されている。
エコセメント	JIS R 5214	普通・速硬	E	・都市ごみ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物を使用したクリンカー作られたセメント。 ・塩化物イオン量によって普通エコセメント(0.1%以下)と速硬エコセメント(0.5以上1.5%以下)の2種類がある。	・コンクリート二次製品や建築土木工事に使用されている。 ・速硬エコセメントは無筋コンクリートのみの使用とされている。
特殊セメント	—	・白色セメント、アルミナセメント、超速硬セメント、コロイドセメント、油井セメント・地熱井セメント、低発熱セメント、高強度用セメントなどがある。			

*1 ポルトランドセメントは、骨材のアルカリシリカ反応抑制対策のひとつとして規定された低アルカリ形が6種類それぞれに定められており、合計12種類ある。各記号にLがつく。
 *2 混合セメントは、高炉・シリカ・フライアッシュそれぞれについて、混合材の分量によってA種・B種・C種の3種類があり、合計9種類ある。
 *3 高炉スラグは銑鉄を製錬する際に副産するスラグを水や空気などで急冷し、微粉碎して調整した微粉末のこと。
 *4 フライアッシュは石炭火力発電所において、微粉炭を燃焼する際に発生する石炭灰を電気集塵機などで捕集した副産物のこと。

て微粉碎し製造します。

クリンカーを構成する化合物がセメントの性状を決定する重要なものとなります。主な組成化合物を表1に示します。

3.3 セメントの種類

セメントは「ポルトランドセメント」「混合セメント」「エコセメント」「特殊セメント」の4種類に大別でき、それぞれの種類と特徴を表2に示します。

(1) ポルトランドセメント

現在、国内で使用されるセメントの約70%は普通ポルトランドセメントであり、普通・早強・超早強・中庸熱・低熱・耐硫酸塩の6種類と、それぞれの低アルカリ型の合計12種類がJISに規定されています。

ポルトランドセメントの6種類は、表1に示したエーライト(C₃S)、ビーライト(C₂S)、アルミネート相(C₃A)、フェライト相(C₄AF)など組成化合

物の性質を活かし、各構成比率を変えて製造されています。

また、低アルカリ型(全アルカリ:0.6%以下)は、アルカリシリカ反応性が「無害でない」と判定された骨材をコンクリート用骨材として使用する場合の抑制対策として用います。

(2) 混合セメント

混合セメントは、副産物を用いた混合材を混合したセメントで、高炉セメント・シリカセメント・フライ

アッシュセメントの3種類がJISに規定されています。

(3) エコセメント

エコセメントは、都市ごみ焼却灰をベースに、必要に応じて下水汚泥などの廃棄物も加えてつくられます。普通エコセメントと速硬エコセメントの2種類に分類されます。

普通エコセメントの用途規定はJIS R 5214から削除されましたが、使用にあたっては法令・JIS・日本建築学会のJASS5・土木学会のコンクリート標準示方書などの規定に基づく必要があります。

(4) 特殊セメント

JISには規定されていない、特殊セメントもあります。いずれのセメントも生産量のごくわずかで、特殊な工事に限定して使用されます。

3.4 品質と試験方法

セメントの主な品質と試験方法を表3に、セメントの品質試験状況の一例を表4に示します。セメントの品質は、一般に密度・粉末度・凝結・安定性・強さ・水和熱によって示されています。その他に、酸化マグネシウム・三酸化硫黄・強熱減量・全アルカリ・塩化物イオンなどの化学成分の規定があります。

試験方法はJIS R 5201（セメント

の物理試験方法）、ポルトランドセメントの化学分析方法（JIS R 5202）、セメントの水和熱測定方法（JIS R 5203）およびセメントの蛍光X線分析方法（JIS R 5204）などに規定されています。

3.5 品質管理³⁾

レディーミクストコンクリート工場では、セメントの品質、検査方法、保管方法を社内規格で規定し、運用しています。以下に一例を示します。

- ①受入及び受入検査：納入書で、納入業者・種類・納入数量を確認する。
- ②定期検査：製造業者の試験成績書で毎月、表3の項目や塩化物イオン量、全アルカリなどを確認する。
- ③保管：密閉型防湿構造の貯蔵設備で保管する。
- ④原材料供給→配合指示→計量→練混ぜ→性状確認→出荷

4. 水（練混ぜ水）^{2) 3) 4)}

4.1 練混ぜ水とは

練混ぜ水は、前述の3.セメントと水和反応し、コンクリートの凝結、強度発現などの硬化性状、混和剤の効果、鉄筋コンクリート中の鉄筋の発錆などに影響を及ぼす重要な材料です。

4.2 練混ぜ水の種類

練混ぜ水は表5に示すように、上水道水・上水道水以外の水・回収水の3種類に分別されます。

(1) 上水道水

上水道水など飲用に適する水は、そのまま練混ぜ水に使用できます。

(2) 上水道水以外の水

上水道水以外の水として、地下水、河川水などがあります。地下水が特別な成分を含んでいたり、河川水が工業排（廃）水や家庭雑排水などから汚染されていたり、河口付近や海岸近くのそれらの水には海水が混入していることもあるため、十分な注意が必要です。

海水を練混ぜ水に使用する場合は、無筋コンクリートに限られています。

(3) 回収水

回収水は、スラッジ水と上澄水に分類されます。スラッジ水は、レディーミクストコンクリート工場が発生する排水のうち、運搬車やプラントのミキサ、ホッパーなどに付着したレディーミクストコンクリートおよび戻りコンクリートの洗浄排水を処理して得られる懸濁水です。上澄水はスラッジ水からスラッジ固形分（写真1参照）を取り除いた水です。

表3 セメントの主な品質と試験方法^{3) 4)}

品質項目	概要	試験方法
密度	体積あたりの質量。風化すると小さくなる。シリカ分や鉄分が多いと大きくなる。混合セメントでは混合材が多いと密度が小さくなる傾向がある。	ルシャテリエフラスコと完全に脱水した鉱油を用いて、一定質量の試料を入れ試料の体積を求める（表4①参照）。
粉末度	セメント1g当りの粒子全表面積を示し、比表面積として規定されている。比表面積が大きいほど粒子が細かいことを示す。	ブレン空気透過装置を用いて測定する（表4②参照）。他に網ふるい試験もある。
凝結	セメントは加水直後から水和反応が始まり、次第に可塑性を失い固化する現象を示す。凝結の始まりと終わりを示す指標として、始発および終結を定義している。	ピカー針装置を用い、標準軟度のセメントペーストへの標準針が所定の貫入量に達する時間を求める（表4③参照）。
安定性	未反応の石灰や酸化マグネシウムが過剰に含まれていることで、硬化過程での異常膨張の有無を確認する。国内産セメントで不合格になることは殆どない。	バット法とルシャテリ工法がある。
強さ	コンクリートの強さにも直結するセメントの強さ。圧縮強さで表す基本性能。	セメント・標準砂・水で作成したモルタル供試体で、圧縮強さ試験より求める（表4④参照）。
水和熱	セメントの水和反応に伴う発熱。コンクリートは、初期に高温履歴を受けると長期強度が低下し、温度ひび割れが懸念される。部材寸法が大きい場合、セメントの水和熱が低いことが要求される。	溶解法では未水和セメントと水和セメントを酸液に溶解し、その溶解熱の差から間接的に求める（表4⑤参照）。

表4 セメントの品質試験状況の一例²⁾



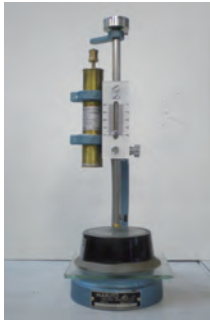


項目	① 密度	② 粉末度	③ 凝結	④ 強さ	⑤ 水和熱
器具	ルシャテリエフラスコ	ブレン空気透過装置	ビカー針装置	圧縮試験機	水和熱試験装置
外観					

表5 練混ぜ水の分類⁴⁾

分類		種類
新水	上水道水	—
	上水道水以外の水	地下水、井戸水、河川水、湖沼水、中水道水、工業用水
洗浄排水	回収水	スラッジ水：洗浄排水から粗骨材、細骨材を取り除いて回収した懸濁水 上澄水：スラッジ水からスラッジ固形分を沈降その他の方法で取り除いた水

JASS5では計画供用期間の等級が長期および超長期の場合、回収水を使用しないように定められています。

JIS A 5308：2019（レディーミクストコンクリート）では、環境に配慮した循環型社会の構築に向けてスラッジ水を有効活用するために、凝結遅延性をもつ安定剤を添加した安定化スラッジ水の使用方法が新たに規定されました。



写真1 スラッジ固形分の一例

4.3 品質と試験方法

練混ぜ水は、鉄筋コンクリート中の鉄筋に悪影響を及ぼす有害物質（油、酸、塩類、有機物など）を含んではなりません。

上水道水以外の水は、JIS A 5308 および土木学会規準 JSCE-B 101-

2013（コンクリート用練り混ぜ水の品質規格）に品質項目および試験項目が規定されています。

練混ぜ水の試験は、物性試験（セメントの凝結時間の差、モルタルの圧縮強さの比）と化学分析（懸濁物質の量、溶解性蒸発残留分の量、塩化物イオン（Cl⁻）量）に分類されます。JIS A 5308の物性試験は、JIS R 5201の試験方法を引用しています。物性試験は比較用の試験水として、コンクリートの品質に影響を与えない蒸留水、イオン交換樹脂で精製した水又は上水道水などを用います。

4.4 品質管理³⁾

レディーミクストコンクリート工場では、水の品質、検査方法、保管方法を社内規格で規定し、運用しています。以下に一例を示します。

- ①採水：試験用水は採水後7日以内に試験を行う。
- ②定期検査：4.3の物性試験や化学分析などを定期的実施。
- ③保管：有蓋タンクに異物が混入しないように保管する。
- ④原材料供給→配合指示→計量→練混ぜ→性状確認→出荷

5.まとめ

コンクリートの構成材料である、セメントと水について紹介しました。両者からなるセメントペーストはコンクリート内の「骨」を結合する「糊」の役割を果たす大切な要素です。今回は、コンクリート内の「骨」にあたる骨材について紹介します。

参考文献

- 1) 建材試験センター：コンクリート用骨材・道路用砕石 試験のみどころ・おさえどころ，2021
- 2) 建材試験センター中央試験所：建築材料・部材の試験評価技術，2014
- 3) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調合と施工，2015
- 4) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'20，2020
- 5) 建材試験センター：コンクリートの基礎講座，2014

author

若林和義

経営企画部 経営戦略課 主査

〈従事する業務〉
経営企画、広報、書籍編集など

コンクリートに使用される材料 ～骨材～

1. はじめに

本講座第2回では、コンクリートの構成材料のセメントと水について紹介しました。第3回である本稿では、コンクリートの骨にあたる「骨材」の概要について紹介します。

骨材の品質や各試験方法の詳細についてはJISをご参照下さい。

また、当センターより発行した建材試験ガイド「コンクリート用骨材・道路用砕石 試験のみどころ・おさえどころ」¹⁾、「建築材料・部材の試験評価技術」²⁾、(一財)日本規格協会と共同製作した試験方法教育ビデオ「骨材試験シリーズ」(DVD)等も是非ご覧下さい。

2. 骨材

2.1 骨材とは³⁾⁴⁾⁵⁾

骨材とはコンクリートに用いる砂利や砂などのことで、コンクリートの体積の約7割を占めます。

骨材を多く使用する理由は、①コンクリート硬化時の水和反応に伴う発熱の軽減、②乾燥収縮などによる収縮の低減、③コンクリートの強度や耐久性に寄与、④コストの低減、などがあげられます。

かつてはコンクリート用骨材として良質な河川産骨材(天然骨材)の入手が容易でした。しかし、近年は環境保全のために天然骨材の採取規

制がなされ、コンクリート用骨材は砕石・砕砂などの人工骨材に移行されています。

2.2 骨材の種類と概要³⁾⁴⁾⁶⁾

骨材は粒の大きさによって粗骨材と細骨材に区分されています。JIS A 0203(コンクリート用語)では、5mm網ふるいに質量で85%以上とどまる骨材を粗骨材、10mm網ふるいを全部通り5mm網ふるいを質量で85%以上通る骨材を細骨材、と定義されています。

骨材の種類は天然骨材から人工骨材まで多くの種類があります。骨材の種類と概要について表1および以下に、骨材の外観の一例を写真1～写真3に示します。

(1) 砂利・砂

自然作用で岩石からできた粗骨材および細骨材です。工業製品ではありませんが、コンクリート用骨材としてJIS A 5308(レディーミクストコンクリート)に品質規定がされています。採取場所によって川・山・陸・海・浜などの種類があります。

海砂は、近年は環境問題から採取量が減少しています。

(2) 砕石・砕砂

岩石をクラッシャなどで粉砕して粒度調整した骨材です。砂利・砂と同様に扱えますが、コンクリートのフレッシュ性状に影響を及ぼす粒度・粒形・微粒分に留意が必要です。

JIS A 5005(コンクリート用砕石及び砕砂)では、粒の大きさで砕石2005(20mm～5mmの粒の製品)など15区分の製品が規定されています。ただし、原石の種類による分類は行われていません。

2020年にJIS A 5005の改正がされました。改正内容については本号の規格基準紹介をご覧下さい。

(3) 軽量骨材

密度が小さい骨材で、コンクリートの単位容積質量を小さくし、構造物の自重を軽減できます。JIS A 5002(構造用軽量コンクリート骨材)では3種類が規定されています。JIS A 5308に使用されるのは人工軽量骨材ですが、近年は使用量も減少し、2021年7月現在では製造企業は1社となっています。

(4) 重量骨材

磁鉄鉱・砂鉄・鉄・重晶石などの遮蔽用コンクリート等に用いる密度の大きな骨材です。

(5) スラグ骨材

金属製錬などの際に発生するスラグを原材料として製造される骨材の総称です。コンクリート用スラグ骨材として5種類、JIS A 5011-1～5に規定されています。石炭ガス化スラグ骨材は、2020年にJIS A 5011-5として制定されました。

(6) 溶融スラグ骨材

一般廃棄物および下水汚泥または

表1 骨材の種類と概要³⁾⁴⁾⁵⁾

種類	概要	品質規格
砂利・砂	自然作用によって岩石からできた骨材。採取場所によって①川砂利・川砂、②山砂利・山砂、③陸砂利・陸砂、④海砂利・海砂、⑤浜砂利・浜砂などがある。	JIS A 5308
碎石・砕砂	岩石をクラッシュなどで粉碎し、粒度調整した粗骨材および細骨材。	JIS A 5005
軽量骨材	①人工軽量骨材：膨張頁岩・膨張粘土・膨張スレート・フライアッシュを主原料とした軽量骨材。	JIS A 5002
	②天然軽量骨材：火山れきを破碎して粒度調整した軽量骨材。	
	③副産軽量骨材：膨張スラグなどの副産軽量骨材およびそれらの加工骨材。	
スラグ骨材	①高炉スラグ骨材：溶鉱炉で銑鉄と同時に生成する熔融スラグを冷却し、粒度調整した骨材。粗骨材は絶対密度・吸水率・単位容積質量の値によってLとNの区分が定められている。粗骨材は6種類の粒度、細骨材は4種類の粒度が定められている。	JIS A 5011-1
	②フェロニッケルスラグ骨材：炉でフェロニッケルと同時に生成する熔融スラグを徐冷し、又は水・空気などによって急冷し、粒度調整した骨材。粗骨材は3種類の粒度、細骨材は4種類の粒度が定められている。	JIS A 5011-2
	③銅スラグ骨材：炉で銅と同時に生成する熔融スラグを水によって急冷し、粒度調整した骨材。4種類の粒度が定められている。	JIS A 5011-3
	④電気炉酸化スラグ骨材：電気炉で溶鋼と同時に生成する熔融したスラグを徐冷し、又は水や空気などによって急冷し、鉄分を除去して粒度調整した骨材。徐冷スラグには粗骨材と細骨材、急冷スラグには細骨材がある。骨材は絶対密度・吸水率・単位容積質量の値によって、NとHの区分が定められている。	JIS A 5011-4
	⑤石炭ガス化スラグ骨材：石炭ガス化複合発電時にガス化炉で石炭中の灰分を熔融スラグとして排出し、水冷固化して粒度調整した骨材。	JIS A 5011-5
熔融スラグ骨材	一般廃棄物、下水汚泥あるいはそれらの焼却灰を熔融し、冷却固化した骨材。スラグ骨材の一種であるが熔融スラグ骨材として区別されている。細骨材は粒度によって4種類に区分されている。	JIS A 5031
再生骨材	①再生骨材H：原コンクリートに対し、破碎、磨砕等の高度な処理を行い、必要に応じて粒度調整をした骨材。	JIS A 5021
	②再生骨材M：原コンクリートに対し、破碎、磨砕等の処理を行い、必要に応じて粒度調整をした骨材。	JIS A 5022
	③再生骨材L：原コンクリートに対し、破碎等の処理を行って製造した骨材。	JIS A 5023



写真1 碎石の一例

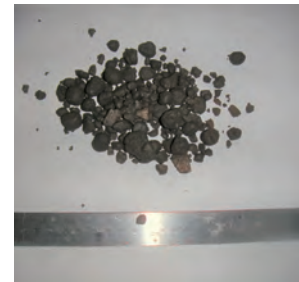


写真2 人工軽量骨材の一例



写真3 再生骨材の一例

その焼却灰を熔融固化した骨材で、JIS A 5031に規定されています。JIS A 5308では使用が認められていませんが、無筋コンクリート製品や設計基準強度35N/mm²以下の鉄筋コンクリート製品に使用されています。

(7) 再生骨材

再生骨材はコンクリート構造物の解体によって発生したコンクリート塊を原料とする骨材です。JISにおいて、品質の高い順にH・M・Lと分類されています。

Hは普通骨材と同等の品質を有し、JIS A 5308にも使用できますが、コストが高く、製造時のCO₂排出量や副産物も多いことが問題です。

Mを用いた再生骨材コンクリートM (JIS A 5022) や、Lを用いた再生

骨材コンクリートL (JIS A 5023) は、構造性能や耐久性能が求められる箇所への使用を想定されています。

2.3 骨材の品質²⁾³⁾⁴⁾

骨材の品質はコンクリートの性能に大きな影響を及ぼします。骨材の品質項目と試験方法およびコンクリートとの関係を表2に、品質規格の一例を表3および表4に、品質試験状況の一例を表5に示します。

(1) 配(調)合に関連する品質

粒度・密度・吸水率・単位容積質量・実積率などの骨材の基本的品質は、コンクリートの配(調)合計算にも使用する重要な数値です。

また、品質自体ではありませんが、骨材の含水状態(含水率)は、配合・計量などにおいて大切です(図

1参照)。配(調)合計算は表面乾燥飽水状態(表乾)がベースとなります。

(2) フレッシュ性状・硬化性状に関する品質

フレッシュコンクリートの1m³あたりの水量(単位水量)を抑え、所要のワーカビリティを確保するためには、形状は球形に近く、適切な粒度分布を持ち、吸水率の低い骨材が良いとされています。

また、骨材に付着した有害物質

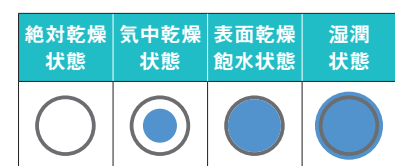


図1 骨材の含水状態

表2 骨材の品質項目と試験方法およびコンクリートとの関係²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

品質項目	概要	試験方法	コンクリートとの関係 ^{*1}		
			配(調)合計画	フレッシュ性状	硬化性状
密度	骨材の絶対乾燥状態の質量を骨材の絶対容積で除した値のことを絶対密度、表面乾燥飽水状態の骨材の質量を骨材の絶対容積で除した値を表乾密度という。	JIS A 1109 (細骨材の密度及び吸水率試験方法) JIS A 1110 (粗骨材の密度及び吸水率試験方法)	◎	○	○
吸水率	表乾状態の骨材に含まれている全水量の、絶対状態の骨材質量に対する百分率で表される。		◎	○	○
寸法・粒度	骨材の大小の粒の分布の状態。粒度が粗い細骨材を粗粒(粗目)、細かい細骨材を細粒(細目)と称することがある。	JIS A 1102 (骨材のふるい分け試験方法)	◎	◎	△
単位容積質量・実積率	所定の締固め条件で容器に満たした骨材の質量を、その容器の容積で除した値が単位容積質量。容器に満たした骨材の絶対容積のその容器の容積に対する百分率が実積率。	JIS A 1104 (骨材の単位容積質量及び実積率試験方法)	◎	◎	○
微粒分量	骨材に含まれる75μmふるいを通過する微粉末の量。天然骨材の場合は、粘土やシルトが、碎石・砕砂の場合は、石粉が対象となる。骨材の全質量に対する比率で表される。	JIS A 1103 (骨材の微粒分量試験方法)	△	◎	○
有機不純物	フミン酸やタンニン酸などコンクリートの凝結や硬化を妨げる有機不純物。	JIS A 1105 (細骨材の有機不純物試験方法)	△	◎	○
粘土塊量	骨材中に含まれる粘土塊の量。骨材の全質量に対する比率で表される。	JIS A 1137 (骨材中に含まれる粘土塊量の試験方法)	△	○	◎
塩化物量	細骨材中に含まれている塩化物の量。	JIS A 1144 (フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法)	△	○	○
すりへり減量	回転するドラム中で骨材に磨耗や衝撃を与えた場合の所定回転数における骨材のすりへり損失量。骨材の耐摩耗性の判定に利用され、骨材の全質量に対する比率で表される。	JIS A 1121 (ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験方法)	△	△	◎
安定性	骨材の主に凍結融解作用に対する抵抗性を示す指標。骨材が硫酸ナトリウムの結晶圧によって、どの程度破壊・崩壊するかを示した値。	JIS A 1122 (硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法)	△	△	◎
アルカリシリカ反応性	骨材に含有される鉱物がコンクリートまたはモルタル細孔溶液中の水酸化アルカリとの間に生じるアルカリシリカ反応を起こす可能性の反応性。	JIS A 1145・JIS A 1146 (骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(化学法)・(モルタルバー法))	○	△	◎

*1：◎；非常に関係がある、○；関係がある、△；直接的にはあまり関係ない

表3 骨材の品質規格の一例〔砂利および砂(JIS A 5308)〕⁶⁾

種類	絶対密度(g/cm ³)	吸水率(%)	粘土塊量(%)	微粒分量 ^{*1} (%)	有機不純物	塩化物量(%)	安定性(%)	すりへり減量(%)
砂利	2.5 ^{*1} 以上	3.0 ^{*1} 以下	0.25以下	1.0以下	—	—	12以下	35以下 ^{*5}
砂	2.5 ^{*1} 以上	3.5 ^{*1} 以下	1以下	3.0 ^{*2} 以下	標準色液と同じ又は淡い ^{*3}	0.04以下 ^{*4}	10以下	—

*1：購入者の承認を得て、絶対密度2.4以上とすることができる、吸水率4.0以下とすることができる。
 *2：コンクリートの表面すりへり作用を受けない場合は5.0以下とする。
 *3：試験溶液の色合いが標準色より濃い場合でも、JIS A 5308附属書A10.1)に規定する圧縮強度分率が90%以上であれば、購入者の承認を得て用いてよい。
 *4：0.04を越すものについては購入者の承認を必要とし、その限度は0.1とする。プレストレストコンクリートは別途指定がある。
 *5：舗装コンクリートに用いる場合に適用する。

(塩化物、有機不純物、微粒分量、粘土塊、軟石など)は鉄筋コンクリート中の鉄筋を腐食させたり、セメントの水和を妨げたり、強度や耐久性を低下させることもあります。

コンクリートの耐凍害性には、硫酸ナトリウムによる骨材の安定性が影響します。舗装用コンクリートに

求められるすり減り抵抗性には、粗骨材のすり減り抵抗性が影響します。

一般的に吸水率が高いほど密度が小さく、安定性試験の損失量やすり減り量が大きいといわれています。

(3) アルカリシリカ反応性に関する品質

「反応性骨材」と呼ばれる骨材に

含有される所定鉱物と、コンクリート細孔溶液中の水酸化アルカリとの間に生じる「アルカリシリカ反応」という反応があります。同反応はコンクリートを膨張させ、ポップアウトやひび割れを起こします。

この反応性についてはJISに試験方法が定められており、アルカリシ

表4 骨材の品質規格の一例(人工骨材)³⁾⁴⁾⁵⁾

品質項目	JIS A 5005		JIS A 5011-1			JIS A 5011-2		JIS A 5011-3	JIS A 5011-4				JIS A 5011-5
	粗骨材	細骨材	高炉スラグ		細骨材	フェロニッケルスラグ		銅スラグ	電気炉酸化スラグ				石炭ガス化スラグ
			L	N		粗骨材	細骨材		粗骨材	細骨材	N	H	
絶乾密度 (g/cm ³)	2.5以上	2.5以上	2.2以上	2.4以上	2.5以上	2.7以上	2.7以上	3.2以上	3.1以上 4.0未満	4.0以上 4.5未満	3.1以上 4.0未満	4.0以上 4.5未満	2.5以上
吸水率 (%)	3.0以下	3.0以下	6.0以下	4.0以下	3.5以下	3.0以下	3.0以下	2.0以下	2.0以下	2.0以下	2.0以下	2.0以下	1.5以下
単位容積質量 (kg/L)	—	—	1.25以上	1.35以上	1.45以上	1.5以上	1.5以上	1.8以上	1.6以上	2.0以上	1.8以上	2.2以上	1.5以上
安定性 (%)	12以下	10以下	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
すりへり減量 (%)	40以下	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
粒形判定実積率 (%)	56以上*2	54以上	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
微粒分量*1 (%)	3.0以下	9.0以下	5.0以下	5.0以下	7.0以下	5.0以下	7.0以下 10.0以下*3	7.0以下 10.0以下*3	7.0以下	7.0以下	7.0以下	7.0以下	9.0以下

*1：微粒分量は受渡当事者間の協議によって定める。採石の粒形判定実積率が58%以上の場合は5%以下とすることができる。
 *2：砕石8040、6040、4020には適用しない。
 *3：粒の大きさによって上限値が異なる。

表5 骨材の品質試験状況の一例

項目	① 粒度	② 密度・吸水率	③ 微粒分量	④ すり減り減量	⑤ 安定性
器具	ふるい、バット、はかりなど	はかり、金網かご、バット、水槽など	ふるい、バケツ、バットなど	ロサンゼルス試験機、鉄球、バットなど	安定性試験装置、ふるい、かごなど
写真					

リカ反応性によって「A：無害と判定されたもの」、「B：無害でない」と判定されたもの又はこの試験を行っていないもの、と区分されています。

2.4 品質管理³⁾

レディーミクストコンクリート工場では、骨材の品質、検査方法、保管方法を社内規格で規定し、運用しています。品質管理の一例を以下に示します。

- ①受入及び受入検査：製造業者、種類、産地、量目、外観（石質・粒径・異物）等を納入伝票、トラックスケール、目視（限度見本）で観察する。
- ②定期検査：密度・吸水率・粒度・粗粒率・塩化物量・粒形判定実積率・すりへり減量・安定性・ASR

反応性等について定期的に検査を実施。

- ③保管：貯蔵設備は生産者別、品別に仕切をもち、大小の粒が分離しないように貯蔵設備に保管する。排水の処理を講ずるとともに異物が混入しないようにする。
- ④工程検査：表面水率、粒度、粗粒率、実積率、動荷重について、定期的に検査を実施。
- ⑤原材料供給→配合指示→計量→練混ぜ→出荷

3. おわりに

コンクリートの容積の多くを占める骨材を紹介しました。次回はコンクリートの性能改善・品質向上に関わる混和材料を紹介します。

参考文献

- 1) 建材試験センター：建材試験ガイド コンクリート用骨材・道路用砕石 試験のみどころ・おさえどころ, 2021
- 2) 建材試験センター：建築材料・部材の試験評価技術, 2014
- 3) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調査と施工, 2015
- 4) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'20, 2020
- 5) 建材試験センター：コンクリートの基礎講座, 2014
- 6) 日本コンクリート工学会：コンクリート技士・主任技士研修テキスト'20, 2020

author

若林和義

経営企画部 経営戦略課 主査

コンクリートに使用される材料

～混和材料：混和剤～

1. はじめに

前回まで、コンクリートの主たる材料であるセメント・水・骨材について紹介しました。今回からはそれ以外の材料である“混和材料”について紹介します。

2. 混和材料¹⁾

JIS A 0203 (コンクリート用語) では、使用量が少なくそれ自体の容積がコンクリートなどの練上がり容積に算入されないものを“混和剤”、使用量が比較的多くそれ自体の容積がコンクリートなどの練上がり容積に算入されるものを“混和材”としています。一般的には使用量がセメント量の5%程度を境界とすることが多く、混和材は無機質なもの、混和剤は有機質なものが多くなっています。

3. 混和剤¹⁾²⁾³⁾

3.1 混和剤の種類と概要

混和剤は、コンクリート用化学混和剤とその他の混和剤に大別されます。前者は主にコンクリートの品質を総合的に改善するために用いるもので、後者はコンクリートの品質改善や多様化する施工方法に対応するために開発・実用化された特定の機能を有するものです。

3.2 コンクリート用化学混和剤

混和剤の形態は、水溶液または粉体で、通常は練混ぜ水に混和して使

用します。使用量は、セメントの質量に対する比率で表わすことが多く、標準的な使用量はセメント質量に対して数%程度と少量です。化学混和剤の一例を写真1に示します。

JIS A 6204 (コンクリート用化学混和剤) に規定される7種類の化学混和剤の概要を表1に、性能を表2に、性能試験の一例を表3に示します。

種類によっては標準形以外に、コンクリートの凝結時間を遅延させる“遅延形”や、コンクリートの凝結および初期強度の発現を促進させる“促進形”があり、夏季の高温時や冬季の低温時などに使われます。

JISでは明確に区分されていませんが、AE減水剤の中には、減水率やスランプ保持性に優れた高機能型のものもあり、高性能AE減水剤との中間的な存在となっています。また、高性能AE減水剤の中には、増粘剤と一液化した混合剤や、後述する収縮低減剤と一液化した混合剤などもあり、コンクリートの高性能化に寄与しています。

3.3 その他の混和剤

(1) 収縮低減剤

収縮低減剤は、日本建築学会のJASS5M-402附属書1に規定されていましたが、2020年にJIS A 6211 (コンクリート用収縮低減剤) としてJIS化されました。セメント硬化体の細孔中の水に作用することで、コンクリートの乾燥収縮及び自己収縮を低

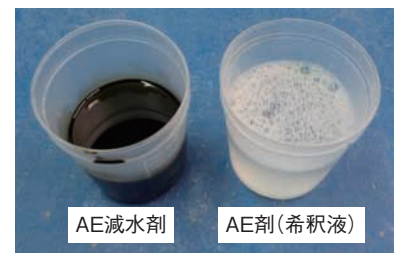


写真1 化学混和剤の一例

減する効果をもつ混和剤です。

(2) 防せい材

コンクリート中の鋼材がコンクリートに含まれる塩化物によって腐食するのを防ぐための混和剤で、JIS A 6205 (鉄筋コンクリート用防せい材) に規定されています。

(3) 水中不分離性混和剤

水中にコンクリートを落下させても洗い流されず、一体性を保つことができる材料分離抵抗性を与える混和剤で、土木学会規準JSCE D-104 (コンクリート用水中不分離性混和剤品質規格) に規定されています。

(4) その他

他にも、凝結遅延剤、促進剤、急結剤、分離低減剤、気泡剤、発泡剤、消泡材、防凍剤、耐寒促進剤、付着モルタル及びスラッジ水に用いる安定剤など、多様なものがあります。

4. おわりに

混和材料の中から混和剤について紹介しました。次回は、同じ読み方である“混和材”を紹介します。

表1 化学混和剤の種類 (JIS A 6204) 4)






種類	概要	主な効果
AE剤	コンクリートなどの中に、多数の微細な独立した空気泡を一様に分布させ、ワーカビリティおよび耐凍害性を向上させるために用いる化学混和剤。	ワーカビリティの改善、単位水量の低減、耐凍害性の改善
高性能減水剤	コンシステンシーに影響することなく単位水量を大幅に減少させるか、単位水量に影響することなくスランブを大幅に増加させる化学混和剤。	単位水量の低減、単位セメント量の低減、高強度コンクリート、コンクリート製品
硬化促進剤	セメントの水和を早め、初期材齢の強度を大きくするために用いる化学混和剤。	初期凍害の防止、低温時の強度増進
減水剤	所要のスランブを得るのに必要な単位水量を減少させるための化学混和剤。	ワーカビリティの改善、単位水量の低減
AE減水剤	空気連行性能を持ち、コンシステンシーに影響することなく単位水量を減少させる化学混和剤。	ワーカビリティの改善、耐凍害性の改善、単位水量の低減、単位セメント量の低減、凝結時間の調整
高性能AE減水剤	空気連行性能を持ち、AE減水剤よりも高い減水性能および良好なスランブ保持性能を持つ化学混和剤。	ワーカビリティの改善、耐凍害性の改善、単位水量の低減、単位セメント量の低減、スランブロスの低減、凝結時間の調整、高強度、高流動コンクリート
流動化剤	予め練り混ぜられたコンクリートに添加し、これを攪拌することによって、その流動性を増大させることを主たる目的とする化学混和剤。	同一単位水量でスランブ増大、施工性の改善

表2 化学混和剤の性能の規定値 (JIS A 6204) 1)2)

項目*1	AE剤	高性能減水剤	硬化促進剤	減水剤			AE減水剤			高性能AE減水剤		流動化剤	
				標準形	遅延形	促進形	標準形	遅延形	促進形	標準形	遅延形	標準形	遅延形
減水率*2 (%)	6以上	12以上	—	4以上	4以上	4以上	10以上	10以上	8以上	18以上	18以上	—	—
ブリーディング量の比 (%)	—	—	—	—	100以下	—	70以下	70以下	70以下	60以下	70以下	—	—
ブリーディング量の差 (cm ³ /cm ²)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.10以下	0.20以下
凝結時間の差分	始発	-60~+60	+90以下	—	-60~+90	-60~+210	+30以下	-60~+90	-60~+210	+30以下	-60~+90	-60~+210	-60~+210
	終結	-60~+60	+90以下	—	-60~+90	-0~+210	0以下	-60~+90	-0~+210	0以下	-60~+90	-0~+210	-60~+210
圧縮強度比 (%)	材齢1日	—	—	120以上	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	材齢2日 (5℃)	—	—	130以上	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	材齢7日	95以上	115以上	—	110以上	110以上	115以上	110以上	110以上	115以上	125以上	125以上	90以上
	材齢28日	90以上	110以上	90以上	110以上	110以上	110以上	110以上	110以上	115以上	115以上	90以上	90以上
長さ変化比 (%)	120以下	110以下	130以下	120以下	120以下	120以下	120以下	120以下	120以下	110以下	110以下	120以下	120以下
凍結融解の抵抗性 (相対動弾性係数 (%))	60以上	—	—	—	—	—	—	60以上	60以上	60以上	60以上	60以上	60以上
経時変化量	スランブ (cm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.0以下	6.0以下	4.0以下
	空気量 (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	±1.5以内	±1.5以内	±1.0以内
塩化物イオン量 (kg/m ³)	I種：0.02以下、II種：0.02を超え0.20以下、III種：0.20を超え0.60以下												
全アルカリ量 (kg/m ³)	0.30以下												

*1：表中の減水率～長さ変化率比までの行は、試験対象の化学混和剤を用いた“試験コンクリート”と化学混和剤を用いないブレンコンクリートである“基準コンクリート”との相対比較によって判定される値を示す。ただし、流動化剤の基準コンクリートはAE剤を使用したものである。
*2：減水率はセメントの分散性の指標で、試験コンクリートおよび基準コンクリートの単位水量から算出したものである。

表3 化学混和剤の性能試験の一例 4)

項目	①ブリーディング量	②凝結時間	③長さ変化率	④経時変化量	⑤塩化物イオン量
器具	メスシリンダ、スポイト、容器など	貫入抵抗試験装置、貫入針、容器など	コンパレータ、はかりなど	傾胴ミキサ、スランブ試験器具類など	イオンクロマトグラフ、計量容器など
写真					

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'20, 2020
- 2) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調合と施工, 2015
- 3) 建材試験センター：コンクリートの基礎講座, 2014
- 4) 建材試験センター：建築材料・部材の試験評価技術, 2014

author

若林和義

経営企画部 経営戦略課 主査

コンクリートに使用される材料 ～混和材料：混和材～

1. はじめに

今回は、コンクリートの性能を改善する粉体の混和材料である“混和材”について紹介します。

2. 混和材の概要¹⁾²⁾

コンクリート用混和材は、主にセメントに置き換えて使用される粉体です。セメント量の10～30%と多くの量を使用するため、混和材容積をコンクリート容積に算入して配(調)合計算が行われます。

産業廃棄物の有効利用として使用されたものが多く、セメントとは機構の異なる水硬性をもつため、長期的に強度を増進させ、コンクリートの組織を緻密にして水密性を向上させるなど、品質改善効果を持っています。表1に示すように、混和材の種類によって、コンクリートの性能

に及ぼす影響は異なります。以下に代表的な3種類について紹介します。

2.1 フライアッシュ (FA)

フライアッシュは、火力発電所で石炭(微粉炭)を燃焼する際に副産される石炭灰で、JIS A 6201(コンクリート用フライアッシュ)では強熱減量や粉末度などの品質によって4種類が規定されています(表2参照)。

良質なフライアッシュは表面が滑らかな球状で、コンクリートに混和した際に流動性が改善する“ボールベアリング効果”があり、単位水量を低減することができます。適切な湿潤養生を行えば、“ポゾラン反応”により、長期強度の増進、水密性の向上が期待できます。

また、セメントの一部と代替して使用した場合は、水和熱の発生が抑制されるので、マスコンクリートに適しています。さらに、アルカリシ

リカ反応の抑制効果も期待できます。なお、未燃カーボンが多いフライアッシュは、AE剤を多量に吸着し、空気連行量が低下する場合がありますためAE剤の種類や使用量に留意する必要があります。

2.2 高炉スラグ微粉末 (BFS)

高炉スラグ微粉末は、製鉄所の溶鉱炉から排出されたスラグを急冷し、微粉碎して調整した粉体で、JIS A 6206(コンクリート用高炉スラグ微粉末)では比表面積(cm^2/g)によって4種類が規定されています(表3参照)。

セメントの一部を高炉スラグと置き換えることにより、水和熱による温度上昇を抑制し、温度ひび割れを低減することができます。ただし、養生温度が高くなると活性が増し、普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも水和熱が大きくなる場合があります。

また、適切な湿潤養生を行えば、“潜在水硬性”によってセメントペーストが密実になるため、長期強度が増大し、乾燥収縮が低減します。更に、硫酸塩や海水に対する抵抗性が改善され、アルカリシリカ反応の抑制効果も期待できます。なお、高炉スラグ微粉末の粉末度が大きい場合には、自己収縮が大きくなる場合があります。

2.3 シリカフェーム (SF)

シリカフェームは、金属シリコンや

表1 混和材の主な特徴と性能¹⁾

混和材の種類	主成分	特徴	付与される性能	品質規格
フライアッシュ	ガラス(Al_2O_3 - SiO_2 系)、 α -石英、ムライト	ポゾラン反応	水密性、長期強度増進、水和熱低減、アルカリシリカ反応抑制	JIS A 6021
膨張材	カルシウムサルフォアルミネート系、生石灰系、複合系	エトリンガイトや水酸化カルシウムの生成	ひび割れ抵抗性、ケミカルプレストレス	JIS A 6202
高炉スラグ微粉末	ガラス(CaO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 系)	潜在水硬性	硫酸塩抵抗性、海水に対する抵抗性、アルカリシリカ反応抑制、高強度化、高流動化	JIS A 6206
シリカフェーム	ガラス(SiO_2 系)	ポゾラン反応 マイクロフィラー効果	高強度化、高耐久化	JIS A 6207
石灰石微粉末	カルサイト(CaCO_3)	非結合性の混和材(エーライトの水和促進・ C_3A との反応)	高流動化、水和熱低減	JIS A 5041

表2 フライアッシュの品質 (JIS A 6201) ¹⁾²⁾

品質項目		フライアッシュⅠ種	フライアッシュⅡ種	フライアッシュⅢ種	フライアッシュⅣ種
二酸化けい素含有量 (%)		45.0以上			
湿分 (%)		1.0以下			
強熱減量 (%)		3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下
密度 (g/cm ³)		1.95以上			
粉末度	45 μmふるい残分(網ふるい方法) (%)	10以下	40以下	40以下	70以下
	比表面積(ブレン方法) (cm ² /g)	5000以上	2500以上	2500以上	1500以上
フロー値比 (%)		105以上	95以上	85以上	75以上
活性度指数 (%)		材齢28日	90以上	80以上	60以上
		材齢91日	100以上	90以上	70以上



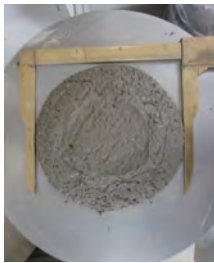
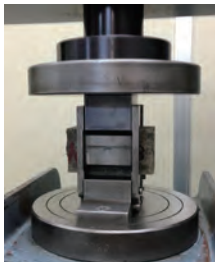
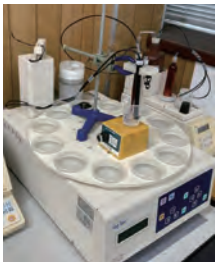
表3 高炉スラグ微粉末の品質 (JIS A 6206) ¹⁾²⁾

品質項目		高炉スラグ微粉末 3000	高炉スラグ微粉末 4000	高炉スラグ微粉末 6000	高炉スラグ微粉末 8000
密度 (g/cm ³)		2.80以上			
比表面積 (cm ² /g)		2750以上 3500未満	3500以上 5000未満	5000以上 7000未満	7000以上 10000未満
活性度指数 (%)	材齢7日	—	55以上	75以上	95以上
	材齢28日	60以上	75以上	95以上	105以上
	材齢91日	80以上	95以上	—	—
フロー値比 (%)		95以上	95以上	90以上	85以上
酸化マグネシウム (%)		10.0以下	10.0以下	10.0以下	10.0以下
三酸化硫黄 (%)		4.0以下	4.0以下	4.0以下	4.0以下
強熱減量 (%)		3.0以下	3.0以下	3.0以下	3.0以下
塩化物イオン (%)		0.02以下	0.02以下	0.02以下	0.02以下

表4 シリカフェームの品質 (JIS A 6207) ¹⁾²⁾

品質項目	品質規格	
二酸化けい素 (%)	85.0以上	
酸化マグネシウム (%)	5.0以下	
三酸化硫黄 (%)	3.0以下	
遊離酸化カルシウム (%)	1.0以下	
遊離けい素 (%)	0.4以下	
塩化物イオン (%)	0.10以下	
強熱減量 (%)	4.0以下	
湿分 (%)	3.0以下	
比表面積 (BET法) (m ² /g)	15以上	
活性度指数 (%)	材齢7日	95以上
	材齢28日	105以上

表5 混和材の品質試験の一例³⁾

項目	①比表面積	②強熱減量、湿分など	③フロー値比	④活性度指数	⑤塩化物イオン
器具	ブレン空気透過装置	電気炉、はかり、 るつぼなど	フローコーン、ノギス、 フローテーブルなど	型枠、圧縮試験機など	電位差滴定装置、 計量容器など
写真					

フェロシリコンを電気炉で製造する際に副産される超微粒子の粉体で、JIS A 6207 (コンクリート用シリカフェーム)に規定されています(表4参照)。

シリカフェームをセメントと置換したコンクリートは、高性能AE減水剤と併用することにより高い流動性が得られ、ブリーディングや材料分離が少なく、繊維補強コンクリートの場合には繊維の分散性が極めて向上します。また、“マイクロファイラー効果”によって強度発現性が増

大すると共に、“ポズラン反応”により水密性や化学抵抗性なども向上します。そして、アルカリシリカ反応の抑制効果が期待できるといわれています。

ただし、低水セメントの場合は凝結直後から大きな自己収縮を生じることがあり、留意が必要です。

3.おわりに

今回はフレッシュコンクリート試験について紹介します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'20, 2020
- 2) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調合と施工, 2015
- 3) 建材試験センター：建築材料・部材の試験評価技術, 2014

author

若林和義

経営企画部 経営戦略課 主査

フレッシュコンクリートの試験

1. はじめに

前回までコンクリート用材料の概要と関連試験について紹介しました。今回はそれらの材料を練り混ぜた“フレッシュコンクリート”の性質と関連試験について紹介します。

2. フレッシュコンクリートの性質

2.1 フレッシュコンクリートとは¹⁾²⁾

コンクリートは、その状態によって「フレッシュコンクリート」と「硬化コンクリート」に大別されます。コンクリートは、セメントと水が接触した直後（練り混ぜ直後）から水和反応が始まり、水和反応に伴って徐々に流動性を失い、やがて凝結・硬化します。

JIS A 0203（コンクリート用語）では、フレッシュコンクリートとは一連の過程において、練り混ぜ直後から凝結・硬化までの“まだ固まらない状態にあるコンクリート”のことを示す、と定義されています。世間一般では“生コン”とも呼ばれています。

2.2 フレッシュコンクリートへの要求性能¹⁾²⁾³⁾

フレッシュコンクリートには、①運搬、打ち込み、締め固め、表面仕上げなどの一連の作業が適切に行えること、②施工時および施工前後で、コンクリートの均質性や品質が変動しないこと、③作業が終了するまでは所要の流動性を有し、その後は適切な速度で凝結・硬化することなど、総合的な作業性を示す“ワーカビリティ”が要求されます。また、コンクリートの種類によって、④所定の温度、所定の単位容積質量を有することが求められる場合もあります。

コンクリートの施工を適切に行い、耐久性に優れたコンクリート構造物をつくるためには、図1に示すようにワーカビリティに関連する諸性状をバランスよく確保することが重要です。

用語の意味を以下に示します。

- 1) コンシステンシー：変形あるいは流動に対する抵抗性
- 2) プラスティシティー：材料分離す

ることなく、型枠に容易に打ち込むことができる流動性のこと。

- 3) ポンパビリティー：コンクリートの圧送を可能にするためのフレッシュコンクリートの品質や性能のこと。
- 4) フィニッシュビリティー：粗骨材の最大寸法、細骨材率、細骨材の粒度、コンシステンシーなどによる仕上げの容易さを示すフレッシュコンクリートの性状のこと。

2.3 ワーカビリティ¹⁾²⁾

(1) ワーカビリティとは

前述した“ワーカビリティ”とは、「材料分離を生ずることなく、運搬、打ち込み、締め固め、仕上げなどの作業が容易にできる程度を表すフレッシュコンクリートの性質」と定義されています。判定の基準は構造物の種類、施工箇所、施工方法によって異なるため、具体的な数値ではなく、「良い」、「悪い」、「作業に適する」など、定性的かつ相対的な評価となります。

(2) 影響を及ぼす要因

ワーカビリティに影響を及ぼす

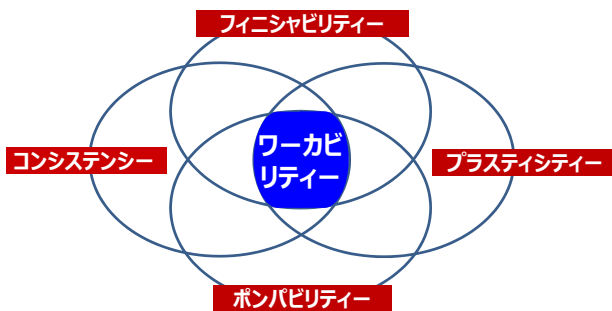


図1 ワーカビリティの概要³⁾

表1 ワーカビリティに影響を及ぼす要因²⁾

要因	
セメント	種類、比表面積、風化の程度
骨材	最大寸法、粒度、粒形
混和材料	種類、使用量
配(調)合	単位水量、単位セメント量、細骨材率
製造	練混ぜ時間
温度	練り上がり温度

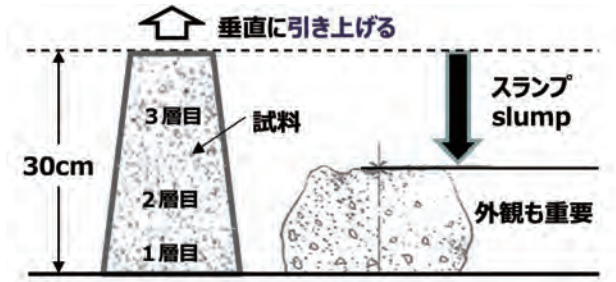


図2 スランプ試験の概要³⁾

要因として、表1に示すようなコンクリートの配(調)合条件、使用材料の種類および品質、練混ぜ時間などが挙げられます。

例えば、コンクリートの単位水量を増加させると、流動性が增大して施工は容易になりますが、粘性が低下して材料分離が生じやすくなります。また、細骨材率を小さくする、粗粒率の大きな細骨材を使用する等した場合は、コンクリートの流動性は増大するものの、材料分離を生じやすくなります。

2.4 コンシステンシー¹⁾²⁾³⁾

(1) コンシステンシーとは

“コンシステンシー”とは、変形あるいは流動に対する抵抗性を示します。

コンシステンシーに影響を及ぼすフレッシュコンクリートの要因には、単位水量、空気量、粗骨材の最大寸法、骨材の粒形、細骨材率、細骨材の粗粒率、化学混和剤の種類、混和剤の使用、温度などがあります。

測定方法には、①コンクリートに一定の外力(重力、衝撃など)を加えたときの変形量を測定する方法(スランプ試験、フロー試験など)、②コンクリートに所定の変形を生じさせるのに必要な仕事量を測定する方法(リモルディング試験、振動式コンシステンシー試験など)、③その他(レオロジー試験、締め固め係数試験など)があります。

(2) スランプ試験

コンクリートのコンシステンシーを測定する最も一般的な試験は“スランプ試験方法”で、JIS A 1101 (コンク

リートのスランプ試験方法)に規定されています。図2に示すように、平板に置いたスランプコーン内に試料を3層に分けて詰め、各層を突き固めたのち、スランプコーンを引き上げた際のコンクリート頂部の沈下量(スランプ)を測定し、コンシステンシーを評価する方法です。試験状況を写真1に、スランプに影響を及ぼす要因を表2に示します。

2020年10月にJISが改正されて、①試料を突く際に偏りが無いように一様に突くこと、②試料を3層目まで突き固めた際に、試料上面がスランプコーン上端より低くなった場合は、少量の同じ試料を足して上面を均してもよいこと、③平板にこぼれた試料は湿布などで取り除くこと、などが記載されました。

(3) スランプフロー試験

スランプ試験と同様な試験として、スランプフロー試験方法がJIS A 1150 (コンクリートのスランプフロー試験方法)に規定されています。

流動性の高い高流動コンクリートや高強度コンクリートなどを対象とした試験です。スランプ試験と同様に

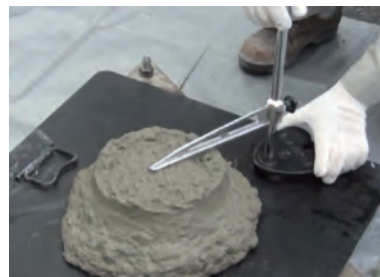


写真1 スランプ試験状況

表2 スランプに影響を及ぼす要因

要因	及ぼす影響
水量	水量が増加するとスランプは増大する。: 水量1.2%増減 → スランプは1cm程度変化
空気量	空気量が増加するとスランプは増大する。: 空気量1%増減 → スランプは2.5cm程度変化
粗骨材	粒形が良いとスランプは増加し、水量が等しい場合、粒形判定実積率とスランプは直線関係である。
細骨材	水、セメント量が等しい場合、細骨材の割合が多いほど、粒子が細かいほどスランプは低下する。
化学混和剤	化学混和剤を使用すると、セメント粒子の分散作用、連行した空気の影響でスランプは増大する。
混和材料	良質なフライアッシュを使用すると、ボールベアリング的な働きによってスランプは増大する。
温度	コンクリート温度が高いとスランプは低下する。: 10℃上昇 → 2~3cm程度低下

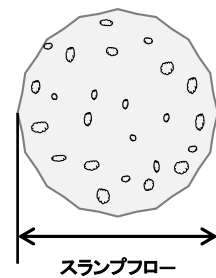


図3 スランプフロー試験の概要³⁾

試料をスランプコーンに詰めて、図3に示すようにスランプコーンを引き上げた際のコンクリートの広がり(スランプフロー)から、コンシステンシーを評価する方法です。試験状況を写真2に示します。

2020年10月にJISが改正され、前述のスランプ試験と同様の変更のほ

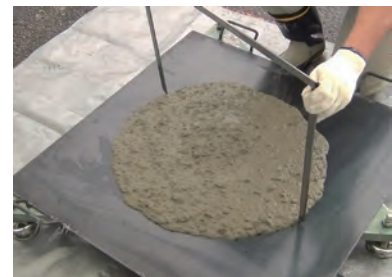


写真2 スランプフロー試験状況

か、平板の大きさが定性的な記載に変更され、500mmフロー到達時間が必ず報告する事項となりました。

(4) その他の試験

スランプ試験では硬練りコンクリートのコンシステンシーを評価することが難しく、また、スランプは重力による変形を示すもので、振動締め固めのような外力を受けた場合に示す性状を必ずしも反映するとはいえません。このような欠点を補うために考案されたのが振動台式コンシステンシー試験です。この種の試験としては、フロー試験(旧 ASTM C124-71)、リモデルング試験、VB試験などがあり、我が国では舗装コンクリートのコンシステンシー試験として、VB試験の改良型(土木学会規準 JSCE-

F501)が採用されています。

2.5 材料分離¹⁾²⁾

(1) 材料分離とは

コンクリートの材料分離とは、運搬中や打ち込み中、または打ち込み後において、構成材料の分布が不均一になる現象のことで、①骨材(粗骨材)が局部的に集中する現象、②時間の経過に伴いコンクリート上面に水が浮き上がる現象(ブリーディング)があります。材料分離が生じる主な要因は、コンクリートが数 μm ~数10mmまでの粒径を有する個体と液体の混合物であること、さらに、構成材料の密度が $1\sim 3\text{g}/\text{cm}^3$ 程度と大幅に相違していることが挙げられます。骨材粒子が大きいほど、またモルタルの粘性が低いほど分離しやすい傾向があります。

(2) ブリーディングとは

打ち込み後のコンクリートは、密度の大きいセメントや骨材は沈降し、水は比較的軽い微細な粒子を伴って上昇します。この水が上昇する現象(水の分離)を“ブリーディング”といいます。ブリーディングに伴ってコンクリート上面が若干低下することを“沈下”といいます。ブリーディングに影響を及ぼす要因を表3に示します。

コンクリートの表面仕上げを行うためには、ある程度のブリーディングが必要です。しかし、ブリーディングが過度になると、図4に示すように、水平鉄筋や粗骨材の下側に空隙を形成するため、水みちとなって水密性の低下、コンクリートと鉄筋との付着力低下などをもたらします。また、ブリーディング速度よりも表面

の乾燥速度が速いと、コンクリート表面のプラスチックひび割れ、ブリーディングによるコンクリートの沈下に伴う鉄筋に沿ったひび割れなどが発生することがあります。

なお、ブリーディングに伴って上昇した微粒物は、コンクリート表面に薄膜となって沈積するレイタンスとなり、打ち継ぎ部の弱点となるため必ず除去してコンクリートを打ち継ぐ必要があります。

(3) ブリーディング試験

ブリーディングの試験方法は、JIS A 1123(コンクリートのブリーディング試験方法)に規定されています。容器内に試料を3層に分けて入れ突き固め、コンクリート上面に浸み出てきた水をスポイトで吸い取ります。この操作をブリーディングが認められなくなるまで行い、累計量を測定します。試験状況を写真3に示します。同試験は、測定に時間がかかり、多くの試験回数を実施することは困難なため、コンクリートの性状確認や、配(調)合決定の試し練り時、特殊なコンクリートの品質確認などの目的で実施されます。

ブリーディングは、使用材料や配(調)合によって大きく異なります。化学混和剤を使用して空気を連行させ、単位水量を少なくすることで、ブリーディングを小さくすることが可能です。

2.6 空気量¹⁾²⁾

(1) 空気泡とは

コンクリート中の空気泡は、“エントラップトエア”と“エントレインドエア”に大別されます。

表3 ブリーディングに影響を及ぼす要因¹⁾³⁾

要因	及ぼす影響
セメント	粉末度が大きく(粒子が細かく)、凝結時間が早いセメントほど、ブリーディングは少ない。
細骨材	細骨材の粒度が細かいほど、ブリーディングは少ない。
水セメント比	水セメント比が大きいほど、また、スランプが大きいほど、ブリーディングは増加する。
混和材料	化学混和剤や良質なフライアッシュの使用は、ブリーディングの低減に有効である。
温度	コンクリートの温度が低いほど、ブリーディングは長く継続する。
締め固め仕上げ	過度の締め固めや仕上げは、ブリーディングを増加させる。
打ち込み速度	打ち込み速度が速いほど、1回の打ち込み高さが高いほど、ブリーディングは増加する。

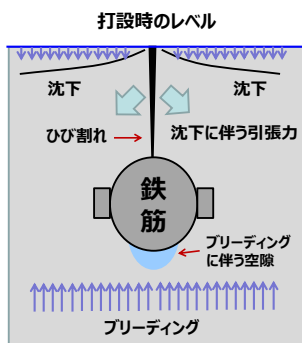


図4 ブリーディング及び沈下ひび割れの概念図³⁾



写真3 ブリーディング試験状況²⁾

表4 空気量に影響を及ぼす要因¹⁾³⁾

要因	及ぼす影響
化学混和剤	化学混和剤の使用量が増加すると空気量も増大する。
セメント	セメントの粉末度及びセメントの使用量が増加すると空気量は減少する。
混和材	ポゾランやその他の微粉末混和材の使用量や粉末度が増加すると空気量は減少する。
細骨材	細骨材中の0.3～0.6mmの粒子が多いと空気量は増加する。また、細骨材の割合が増加しても空気量は増加する。
温度	コンクリート温度が低いと空気量は増加する。
練り混ぜ	コンクリートの練り混ぜ当初、空気量は急速に増加し、3～5分程度で最大に達し、その後は、徐々に減少する。
運搬・振動締め	コンクリートの運搬、振動締めなどによって、空気量は減少する。

前者は、コンクリートの練り混ぜ時にモルタルに閉じ込められた比較的大きな気泡(100 μm程度以上)で、その量は2%以下です。コンクリートに含まれる気泡と気泡の距離を意味する“気泡間隔係数”は400～700 μm程度で、この空気泡はコンクリートの品質改善には役立たないといわれています。

一方、後者は、化学混和剤を用いて計画的にコンクリート中に導入さ

れた微細な独立気泡(数10～100 μm程度)です。気泡間隔係数は、150～200 μm程度で、この空気泡はコンクリートのワーカビリティを改善するだけでなく、耐凍害性を向上させるといわれています。具体的には、同程度のワーカビリティのコンクリートを製造する場合、エントレインドエアを1%増加させると、細骨材率を0.5～1.0%、単位水量を約3%少なくすることが可能です。

(2) 空気量とは

コンクリートの耐凍害性を考慮すると、コンクリート中の空気量は3～6%必要です。しかし、コンクリートの空気量が1%大きくなると、コンクリートの圧縮強度は3～6%程度小さくなるので、強度を満たす範囲での空気量とすることが必要です。空気量に影響を及ぼす代表的な要因を表4に示します。

(3) 空気量試験

空気量の試験方法は、JIS A 1116(質量方法)、JIS A 1118(容積方法)、JIS A1128(空気室圧力方法)に規定されています。最も代表的なのは空気室圧力方法で、図5に測定の概要を、試験状況を写真4に示します。

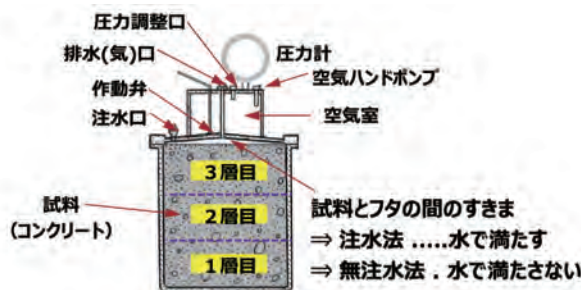


図5 空気量測定の概要³⁾



写真4 空気量試験状況²⁾

容器内に試料を3層に分けて入れ突き固めて蓋を取り付けます。次に、容器の約5%の容量をもつ空気室の圧力を所定の圧力に高め、作動弁を開いて容器のフレッシュコンクリートに圧力を加えた時の空気室の圧力低下を利用して、測定を行います。

2.7 凝結時間¹⁾²⁾

(1) 凝結とは

“凝結”とは、セメントに水を加えて練り混ぜてから一定時間を経たのち、水和反応によって流動性を失い次第に固くなる現象をいいます。“硬化”は凝結したのちに時間の経過に伴って硬さおよび強さが増進する現象をいいます。フレッシュコンクリートには、作業が終了するまでは所要の流動性を有し、その後は適切な速度で凝結および硬化することが要求されます。コンクリートの凝結が早すぎても、また遅すぎても打ち込み、締め固め、表面仕上げなどの作業に支障をきたす場合があります。

凝結に影響を及ぼす主要な要因を表5に示します。

(2) コールドジョイントとは

凝結が進んだコンクリートに新しいコンクリートを打ち重ねると、“コールドジョイント”と呼ばれる「一体とまらない継目」が発生する場合があります。コールドジョイントが発生すると、美観上の問題だけでなく、コンクリートの漏水や剥離・剥落の原因となるため、始発時間よりも相当早い

表5 凝結に影響を及ぼす要因¹⁾³⁾

要因	及ぼす影響
セメント	セメントの種類によって凝結速度は異なる。
スランプ・水セメント比	セメント量が等しい場合、スランプが小さいほど、水セメント比が低いほど凝結は早くなる。
化学混和剤	遅延形や促進形の化学混和剤を使用するによって凝結速度を調整することが可能である。
砂	海砂や練混ぜ水に含まれる塩分は凝結を早め、糖類や腐植土などの有機物は凝結を遅らせる。
気象条件	高温、低湿、日射、風などの気象条件が凝結を早める。

時期に打ち重ねることが必要です。

(3) 凝結時間試験

凝結時間の試験方法は、JIS A 1147 (コンクリートの凝結時間試験方法) に規定されています。

凝結の程度は定量的に表すことが難しいといわれています。同試験方法では、まずコンクリートを5mmの網ふるいでふるって粗骨材を除去し(ウエットスクリーニング)、モルタルを採取します。そのモルタルを容器に入れて仕上げ、貫入針を用いた貫入抵抗装置で貫入抵抗を測定し、凝結時間を求めます。試験状況を写真5に示します。

貫入抵抗値が3.5N/mm²になるときの時間がコンクリートの“始発時間”、貫入抵抗値が28.0N/mm²にな



写真5 凝結時間試験状況²⁾

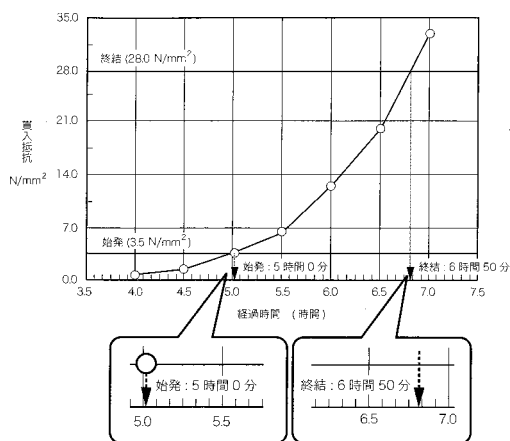


図6 凝結時間試験結果の一例²⁾⁴⁾ (JIS A 1147 図1)



写真6 ポンプ圧送状況

るときの時間が“終結時間”と定義されています。具体的には、図6に示すように、経過時間を直線補間などにより、5分単位で読み取ります。

同試験は、ブリーディング試験と同様に測定に時間がかかり、多くの試験回数を実施することは困難なため、コンクリートの性状確認や、配(調)合決定のための試し練り時、特殊なコンクリートの品質確認などの目的で実施されます。

2.8 圧送性¹⁾

(1) 圧送性とは

フレッシュコンクリートの圧送を可能にする品質や性能を圧送性(ポンパピリティ)といい、①管壁でコンクリートが滑動するための流動性、②管内のコンクリートが形状変化できる変形性、③圧力の時間的・位置的変動に耐える分離抵抗性、の3つの性能で構成されます。ポンプ圧送状況を写真6に示します(当センター新防耐火試験棟工事より)。

(2) 圧送性に関する試験

コンクリート中の水分の移動のしやすさを定量的に把握し、管壁でコンクリートが滑動するための流動性を評価する試験として、土木学会規準JSCE-F 502「加圧ブリーディング試験方法(案)」があります。また、管内のコンクリートが形状変化できる変形性に対しては、JSCE-F 509「フレッシュコンクリートの変形性評価試験方法(案)」があります。材料分離に起因する閉塞に関する検討としては、実際の施工条件に近い配管条件で試験圧送を行い、変形管部での管内閉塞の有無を確認する方法が行われているようです。(残念ながら当センターでは実施していません。)

3. おわりに

フレッシュコンクリートの性質と関連試験について紹介しました。フレッシュコンクリートの試験としては、このほか塩化物量や温度測定、単位水量試験などがあります。生コンの受入試験の代表的なスランプやスランプフロー、空気量に関しては、配(調)合の回でも改めて紹介予定です。

今回は硬化コンクリートの性質と関連試験について紹介します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'20, 2020
- 2) 建材試験センター：建築材料・部材の試験評価技術, 2014
- 3) 建材試験センター：コンクリート採取試験実務講習会テキスト, 2020
- 4) 日本規格協会：JIS A 1147：2019 (コンクリートの凝結時間試験方法)

author

若林和義

経営企画部 経営戦略課 主査

硬化コンクリートの性質 ～強度性状～

1. はじめに

前はフレッシュコンクリートの概要と関連試験について紹介しました。今回から硬化コンクリートの性質について紹介します。

強度は硬化性状の中でも、構造物の安全性を支える特に大事な指標です。例えば、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」では、コンクリートの品質を“工事に使用するコンクリート”と、“構造体コンクリート”に分けて規定しています。前者はフレッシュコンクリートに、後者は硬化コンクリートに求められるものです。構造体コンクリートへの要求性能の一つ“構造安全性”では、構造体コンクリート強度が設計基準強度および耐久設計基準強度を満足することが求められています。

本稿では圧縮強度を中心に、強度性状を取り上げます。

2. 硬化コンクリートの強度性状

2.1 圧縮強度¹⁾²⁾

(1) 圧縮強度の重要性

コンクリートの力学的性質は、圧縮強度、引張強度、曲げ強度などで表されます。一般的にはコンクリートの強度というと“圧縮強度”を示し、大事な指標となっています。その理由を以下に示します。

1) 圧縮強度が他の強度に比べて大きく、鉄筋コンクリート部材の構造設計にも利用されている。

2) 圧縮強度から、他の強度性状や変形状、耐久性などの概略推定が可能である。

3) 圧縮強度の試験方法が他の強度に比べて簡易である。

(2) 圧縮強度の供試体と試験方法

コンクリートの圧縮強度試験供試体の作製についてはJIS A 1132 (コンクリート強度試験用供試体の作り方)に、圧縮強度試験方法についてはJIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法)に規定されています。圧縮強度の供試体作製と試験状況を写真1に示します。

同規格では、供試体として直径に対する高さ比が2、かつ、粗骨材の最大寸法の3倍以上の直径を有する“円柱供試体”が規定されています。φ100×200mm、φ125×250mm、あるいはφ150×300mmの寸法のものが一般的ですが、建築では主にφ100×200mmの供試体を用いられています。この供試体を用いて試験し、求めた最大荷重を、次式に示すように断面積で除した値を“圧縮強度”として算出します。

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi (d/2)^2}$$

ここに、

σ_c : 圧縮強度 (N/mm²)

P : 最大荷重 (N)

d : 供試体の直径 (mm)

2.2 圧縮強度に影響を及ぼす要因¹⁾³⁾

圧縮強度に影響を及ぼす要因を各視点から紹介します。

(1) 材料の品質

1) セメント強度

セメント強度はコンクリートの強度に密接な関係を及ぼします。JIS R 5201 (セメントの物理試験方法)によるセメントの圧縮強さをKとした場合に下式となります。

$$F_c = K (A + BX)$$

ここに、

F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

X : セメント水比

A, B : 各種セメントで実験によって定まる定数

2) 骨材強度

普通強度の範囲では、コンクリートの圧縮強度は粗骨材とモルタルの

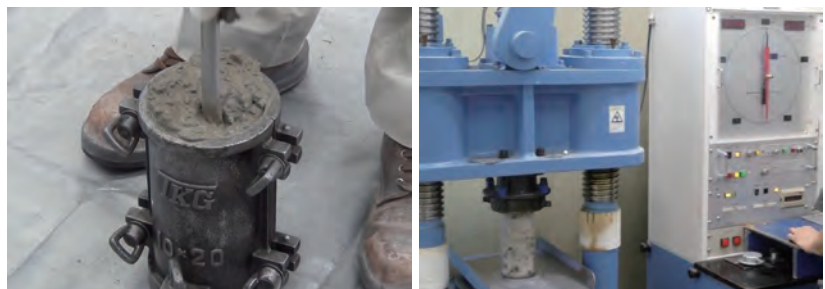


写真1 圧縮強度試験

界面のひび割れで決まることが多く、骨材自体の強度の影響は大きくありません。しかし、低強度の骨材を用いると、骨材自体が破壊するため、セメント水比を増加させてもコンクリート強度は大きくならず、頭打ちとなる傾向があります。

3) 粗骨材の表面性状

粗い表面性状の骨材は、セメントペーストとの付着が良いため、コンクリート強度が大きくなります。例えば、表面の粗い碎石をコンクリートに用いると、同じ水セメント比で表面が滑らかな川砂利を用いた場合より、強度が増す傾向があります。

(2) 配合

水セメント比が一定の時、空気量1%の増加によって圧縮強度は4～6%低下します。しかし、混和剤によって空気を連行したAEコンクリートにすれば、あるワーカビリティを得るのに必要な“単位水量”を減らすことができます。同じ単位セメント量でスランプを一定とした場合には、水セメント比を小さくでき、結果としてAE剤を用いないコンクリートとほぼ同等の強度が得られます。

(3) 施工方法

- 1) 練混ぜ時間が短すぎると、セメント粒子が分散せず十分な強度が得られないことがあります。硬練りのもの、骨材寸法の小さいもの、粉体量が多いものほど長くする必要があります。
- 2) 練り混ぜ後に放置したコンクリートを、水を加えずに練り返して打ち込み、十分に締め固めれば、強度は一般に大きくなります。
- 3) 振動機を使用して締め固めを行う場合、硬練りコンクリートでは強度が大きくなりますが、軟練りコンクリートではその効果が小さくなります。
- 4) コンクリートは、成型時に加圧して硬化させると、一般に強度は大きくなります(遠心力法、真

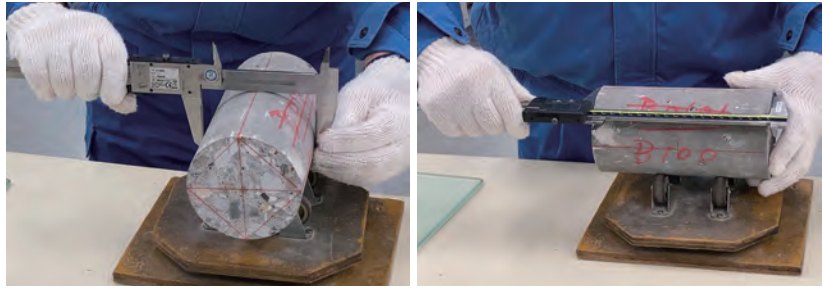


写真2 直径および高さの測定

空法、機械的加圧法、転圧法)。

(4) 供試体の作製

供試体作製時の不均質や充填不足などの良否は強度に影響します。供試体の作製方法については、詰め方、突き方、叩き方などがJIS A 1132に規定されています。

(5) 材齢

- 1) コンクリート強度の増進は、セメントの水和の進行によります。
- 2) コンクリートの強度増進は材齢7日～14日くらいまで大きく、材齢28日～90日ではほぼ安定します。材齢1年以上の長期における強度増進は一般に小さくなります。

(6) 養生

- 1) 乾燥させると一時的に見かけ上の強度は上昇しますが、その後の強度の増進は小さくなります。
- 2) 養生温度が高いと初期強度が大きくなるものの、長期強度は小さくなります。

(7) 供試体の形状および寸法など

- 1) 供試体の形状により、強度は異なる値を示します。イギリスなどで用いられている立方体供試体の強度は、我が国で用いられ

ている円柱供試体の強度より大きくなる傾向があります。

- 2) 円柱供試体の直径に対する高さの比が大きくなるほど、強度は小さな値を示します。JIS A 1108では、高さ h と直径 d の比 h/d は2.0とされています。
- 3) 供試体の形状が相似であれば、寸法が大きいほど強度は小さな値を示す傾向があります。
- 4) 寸法には型枠の精度が影響してきます。型枠も長く使用していると断面が楕円形状になる場合があります。所定の供試体精度を確認するための寸法測定方法(直径および高さ)はJIS A 1108に定められており、一般的にはノギスを使って測定します。測定状況を写真2に示します。

(8) 供試体の載荷面

1) 載荷面の凹凸

キャッピングや研磨などによる供試体載荷面の平面度や直角度などの良否は、強度に影響し、精度が定められています。載荷面が凸の場合に特に影響が大きく、見掛けの強度が30%程度低下する場合があります。



写真3 平面度および直角度測定⁴⁾

また、供試体端面をセメントペーストで均す“キャッピング”が厚すぎる場合も、強度低下が起きる場合があります。

平面度および直角度の測定方法は、建材試験センター規格JSTM C 2105（コンクリートの圧縮強度試験用供試体の平面度及び直角度測定方法）に定められており、平面度測定器や直角度測定器を使って行います。

測定状況を写真3に示します。

2) 載荷面の摩擦

載荷板と供試体端面の摩擦の作用によって、供試体の端面の水平方向の変形が拘束されます。加圧端面近傍で強度が不均等となるため、強度は端面摩擦のない均等な圧縮応力分布のもとで加圧した場合の強度よりも増大します。そのため、供試体端面と載荷板との間には減摩材（テフロンなど）を入れないように規定されています。

(9) 供試体の状態

強度試験時に供試体が乾いていると濡れている場合より強度が大きくなり、供試体の温度が高いほど強度は小さくなる傾向があります。よって20℃前後で湿潤に保って試験に供する必要があります。

(10) 載荷速度

試験時の載荷速度が速くなれば見掛けの強度は増大します。JIS A 1108では、載荷速度は 0.6 ± 0.4 N/mm²/secの範囲に規定されています。（φ100mmでは約4.7kN/sec）

2.3 変形性状¹⁾²⁾³⁾

圧縮強度試験に伴う変形性状について紹介します。

(1) 静弾性係数

コンクリートを圧縮すると、圧縮力が大きくなるほどコンクリートは縦に縮むことになります。同形状の供試体の同圧縮応力度時でもコンクリートによって変形量が異なり、縦方向のひずみと圧縮応力度の関係から、“静弾性係数”という指標で評価しています。同じ圧縮応力度時のひ

ずみが小さくなると静弾性係数は大きくなります。静弾性係数の大きなコンクリートで構築された構造物は、“変形しにくい建物”となります。

試験方法はJIS A 1149（コンクリートの静弾性係数試験方法）で規定されています。圧縮強度試験時に、供試体にコンプレッソメータ又はひずみゲージ（ワイヤーストレインゲージ）を取り付けて測定します。最大応力時の1/3の応力点と縦ひずみ 50×10^{-6} 時の応力点を結んだ割線から次式で“静弾性係数”を算出します。

$$E_c = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}} \times 10^3$$

ここに、

E_c : 静弾性係数 (kN/mm²)

σ_1 : 最大応力時の1/3の応力度

(N/mm²)

σ_2 : 50×10^{-6} 時の応力度 (N/mm²)

ε_1 : σ_1 時の供試体の縦ひずみ

静弾性係数試験状況を写真4に、圧縮応力度－縦ひずみ曲線の一例を

図1に示します。

静弾性係数は、圧縮強度および気乾単位容積質量と関係があり、NewRC式などの計算式も提案されています。また、コンクリートの弾性係数は鋼材の1/10程度で、その比を“ヤング係数比”といい、設計にも用いられています。

(2) ポアソン比

物体に軸方向の力を加えると、その方向の縦ひずみとともに、直角方向に横ひずみが生じます。これらのひずみの絶対値の比を“ポアソン比”、その逆数を“ポアソン数”といいます。コンクリートの圧縮時のポアソン比は一般的には1/7～1/5程度です。

ポアソン比は静弾性係数と共に測定し、ひずみゲージを用いて測定することが多いです。測定器としては“エクステンソメータ”という横ひずみを測定する機器もありますが、コンプレッソメータとの干渉などを注意する必要があり、今はあまり使



写真4 静弾性係数試験

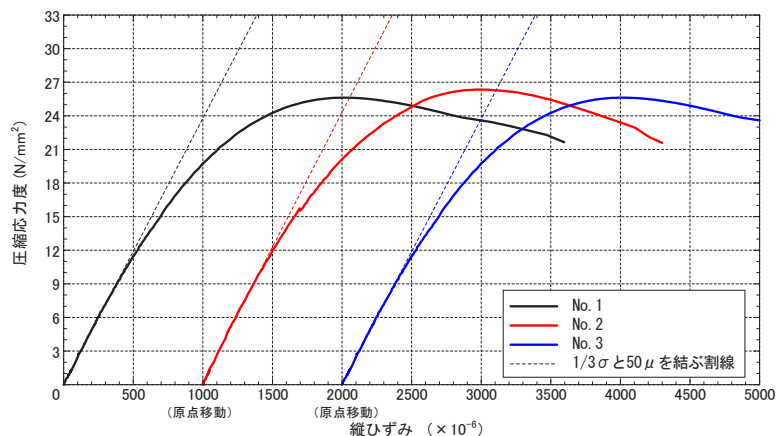


図1 圧縮応力度－縦ひずみ曲線

われていないようです。

2.4 その他の強度¹⁾²⁾

コンクリートの圧縮強度以外にも、力学的性質を表す以下の強度があります。一般的なコンクリートの引張強度や曲げ強度は、圧縮強度に比べて一桁低い値となります。

(1) 引張強度

引張強度は、圧縮強度に比べて小さいため、RC構造物の曲げ設計においては無視されますが、乾燥収縮や温度変化によるひび割れの発生を予測するうえで重要です。引張強度は、一般的に圧縮強度の1/13～1/10程度ですが、高強度コンクリートになるとその比は小さくなります。

試験方法は直接引張と割裂引張がありますが、直接引張試験は特殊な治具を必要とし、試験が煩雑です。

“割裂引張試験”は、JIS A 1113（コンクリートの割裂引張強度試験方法）に規定されており、直接引張強度と同等の結果が得られるため、よく用いられています。この試験では、圧縮強度試験と同様に円柱供試体を用い、供試体を寝かせて鉛直方向に圧縮荷重を加え、最大荷重を求めます。破断面の長さを測定し、次式で引張強度を算出します。供試体の中心軸を含む一様な引張力が鉛直面に生ずることを利用したものです。

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi dL}$$

ここに、

σ_t ：引張強度 (N/mm²)

P：最大荷重 (N)

d：供試体の直径 (mm)

L：供試体(破断面)の長さ (mm)

割裂引張強度試験状況を写真5に示します。

(2) 曲げ強度

曲げ強度は舗装コンクリートの品質管理、コンクリート管や杭の品質判定や、曲げひび割れ発生の予知などに用いられます。曲げ強度は、一般的に圧縮強度の1/8～1/5程度となっています。



写真5 割裂引張強度試験

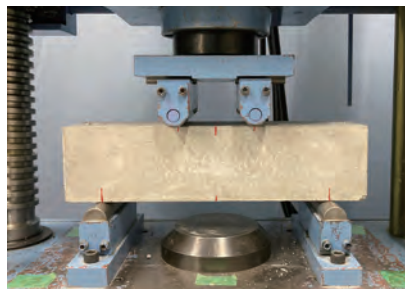


写真6 曲げ強度試験

試験方法は、JIS A 1106（コンクリートの曲げ強度試験方法）に規定されています。100mm×100mm×400mm又は150mm×150mm×530mmの角柱供試体を用いて、“3等分点載荷装置”で載荷します。破断面の寸法を測定し、次式で最大曲げモーメントを断面係数で除して曲げ強度を算出します。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{PL}{bh^2}$$

ここに、

σ_b ：曲げ強度 (N/mm²)

M：曲げモーメント (N・mm)

Z：断面係数 (mm³)

P：最大荷重 (N)

b：破断面の幅 (mm)

h：破断面の高さ (mm)

曲げ強度試験状況を写真6に示します。

繊維補強コンクリートでは、同時にたわみを測定して“曲げ靱性係数”（粘り）を算出する曲げ靱性試験（曲げタフネス試験）もあります。

(3) せん断強度

コンクリートはせん断強度のほうが引張強度より小さいため、直接せ

ん断強度で破壊が決まることはあまりないと言われています。しかし、打継部などではせん断力で破壊する場合があります。

せん断強度は直接求めるのは難しいと言われていますが、特定せん断面で強制的に破壊する直接せん断試験方法が行われています。例として、日本コンクリート工学会 (JCI) 規準 JCI-SF6（繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法）という方法があります。

同方法では、二面せん断治具に供試体を設置し、2か所にせん断力を与え、最大荷重を求めます。破断面の寸法を測定し、せん断強度を次式で算出します。

$$\sigma_s = \frac{P}{2bh}$$

ここに、

σ_s ：せん断強度 (N/mm²)

P：最大荷重 (N)

b：破断面の幅 (mm)

h：破断面の高さ (mm)

せん断強度試験状況を写真7に示します。この方法では2か所のせん断面が同時に破断するとは限らない

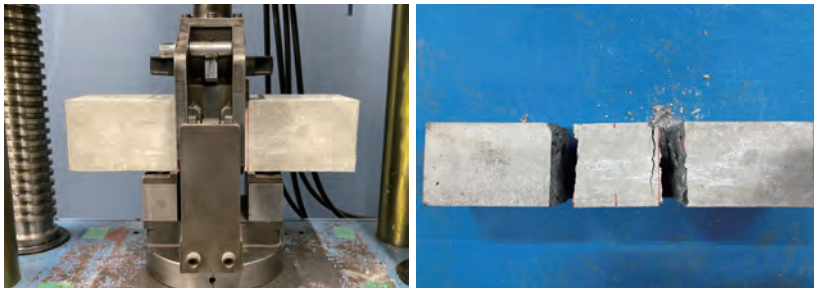


写真7 せん断強度試験

ため、やや安全側の評価になります。

(4) 付着強度

付着とは、二つの材料間の接着具合や、二つの材料間のずれ変形に関係する指標で、その強度を付着強度と呼んでいます。二つの材料間の付着強度としては、コンクリートとモルタルの付着強度や、新・旧コンクリートの付着強度があります。ずれ変形に関連する付着としては、コンクリートと鉄筋との付着強度などがあります。ここでは鉄筋とコンクリートとの付着強度について紹介します。

鉄筋とコンクリートの付着力を構成する要素は、①鉄筋とセメントペーストの純付着力、②鉄筋とコンクリートとの間の側圧力に基づく摩擦力、③鉄筋表面の凹凸による機械的抵抗力、などです。

鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法としては、引抜き試験、両引き試験、押抜き試験、梁試験などがあります。試験方法によって求められる付着強度の大きさは異なりますが、引抜き試験方法が比較的簡易で、鉄筋の表面状態を評価できるため、よく用いられています。例とし

て、建材試験センター規格JSTM C 2101 (引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法) という方法があります。

同方法では、立方体のコンクリートに横打ちで埋め込んだ鉄筋を、加圧板を介して引張荷重を加えます。荷重と同時に鉄筋の自由端のすべり量を測定し、所定すべり量時の初期付着強度、最大付着強度を次式で算出します。

$$\tau = \frac{30}{\sigma_c} \times \frac{P}{4\pi D^2}$$

ここに、

τ : 付着応力度 (N/mm²)

P : 最大荷重 (N)

D : 鉄筋の公称直径 (mm)

σ_c : 同時に作製した円柱供試体の付着強度試験時の圧縮強度 (N/mm²)

付着強度試験状況を写真8に、付着応力度-すべり量曲線の一例を図2に示します。

類似の試験として、JCIや諸外国の規格では、割裂防止のらせん筋を内部に入れる方法や、立て打ち(打設面が加圧面)による方法が定められ

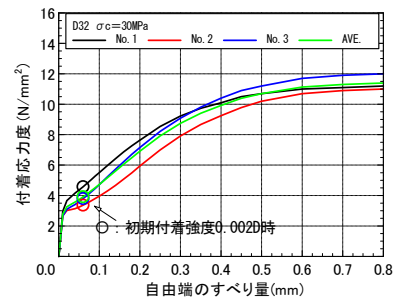


図2 付着応力度-すべり量曲線

ています。

(5) その他の強度

橋脚の支承やプレストレストコンクリートの定着部などを対象とした“支圧強度”、地震や交通機関振動あるいは動力機械振動などを対象とした“疲労強度”といった指標もあります。また、二軸あるいは三軸圧縮などの複合加力試験も提案されています。

上記以外にも、ねじれ、硬さ(表面硬度)や耐衝撃性、耐摩耗性などもコンクリートの強さを表す指標の一つと捉えることもできます。

3.おわりに

硬化コンクリートの各種強度と関連試験について紹介しました。圧縮強度試験の目的については、本稿では紹介しきれませんでしたので、別の回で改めて紹介します。

今回は硬化コンクリートのその他の物性について紹介します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'20, 2020
- 2) 谷川恭雄, 太田福男, 尾形素臣ほか：構造材料実験法(第3版)：2003
- 3) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調査と施工, 2015
- 4) 工事材料試験所 品質管理室：「コンクリート供試体研磨機」の検査について, 建材試験情報 vol.51, pp.16-17, 2015.7

author

若林和義

経営企画部 経営戦略課 主査



写真8 付着強度試験

硬化コンクリートの性質

～物性(変形状、体積変化、水密性など)～

1. はじめに

前回は硬化コンクリートの強度性状について紹介しました。今回は硬化コンクリートの物性である変形状、体積変化や水密性などについて紹介します。

2. 硬化コンクリートの物性

2.1 変形状

2.1.1 応力-ひずみ曲線¹⁾²⁾

コンクリートは完全な弾性体ではないため、応力とひずみの関係は応力の小さい段階から曲線(非線形)となります。これはコンクリートが複合材料で、内部のセメントペーストと骨材の界面に発生する微細ひび割れに起因するとされています。

普通コンクリートでは、最大応力に達するひずみは0.2%前後、破壊時のひずみは0.3～0.4%程度です。圧縮応力-ひずみ曲線の一例を図1に示します。

2.1.2 弾性係数¹⁾²⁾

(1) 弾性係数とは

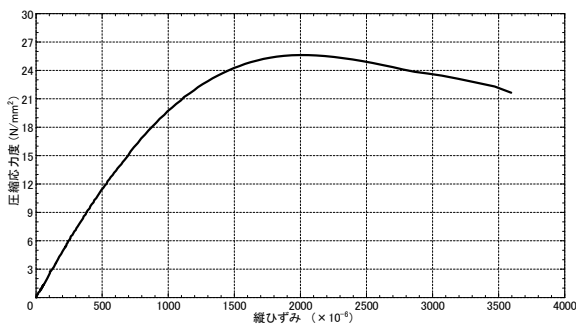


図1 圧縮応力-ひずみ曲線

図1に示した“静的荷重”による応力-ひずみ曲線から求めた弾性係数が“静弾性係数”であることを、前回紹介しました。それに対し、供試体に縦振動またはたわみ振動を与え測定した一次共鳴振動数による弾性係数を“動弾性係数”といい、静弾性係数より10～40%程度大きい値を示します。動弾性係数は非破壊検査として間接的に圧縮強度を推定するほか、凍結融解抵抗性を表す耐久性指数の計算、酸アルカリなどの化学抵抗性、アルカリ骨材反応や火災など劣化状況の判定にも使用されます。

(2) 動弾性係数試験方法

試験方法は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)で規定されており、共鳴振動数測定装置などを用いて行います。試験状況を写真1に示します。

動弾性係数は以下の式で算出され、圧縮強度との関係式もいくつか提案されています。

$$E_D = 4.00 \times 10^{-3} \times \frac{Lmf^2}{A}$$

ここに、

E_D : 動弾性係数(N/mm²)

L : 供試体の長さ(mm)

A : 供試体の断面積(mm²)

m : 供試体の質量(kg)

f : 縦振動の一次共鳴振動数(Hz)

2.1.3 クリープ³⁾

(1) クリープとは

コンクリートのクリープとは、持続して荷重が作用すると、時間の経過とともにひずみが増大する現象です。クリープによって増大したひずみを“クリープひずみ”といいます。コンクリートのクリープは鉄筋コンクリート部材のたわみの増大やプレストレストコンクリート部材のプレストレスの減少などと深く関連しており、後述する“クリープ係数”はコンクリート構造物を合理的に設計するための基礎的資料となります。

(2) 圧縮クリープ試験方法

供試体の作製については、圧縮強度試験と同様で、JIS A 1132(コンクリート強度試験用供試体の作り方)に規定されています。

試験方法は、1975～1976年度に当センターで実施した通商産業省工業技術院委託「構造材料の安全性に関する標準化のための調査研究」や建材試験センター規格JSTM C 7102を経てJIS化されたJIS A 1157(コンクリートの圧縮クリープ試験方法)に規定されています。同方法では、油圧ジャッキやゴム板等から



写真1 動弾性係数試験状況

成る試験装置内に、供試体を3段重ねにして設置したのち、圧縮強度の1/3の応力度を載荷します。供試体側面に接着剤で張り付けたゲージラグと、コンタクトゲージという測定器を用いて、ひずみを測定します。試験状況を写真2に示します。



写真2 圧縮クリープ試験状況

(3) 圧縮クリープ試験結果

初期載荷時に弾性ひずみの測定を、また、所定の期間毎に全ひずみ（載荷供試体のひずみ）および無載荷ひずみ（無載荷供試体のひずみ）の測定を行います。その測定値から、クリープひずみ ε_{ct} 、単位クリープひずみ $\mu_{\varepsilon ct}$ およびクリープ係数 ϕ_t を以下の式で算出します。

$$\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{at} - \varepsilon_e - \varepsilon_{st}$$

ε_{ct} : クリープひずみ

ε_{at} : 全ひずみ

ε_e : 載荷時弾性ひずみ

ε_{st} : 無載荷ひずみ

$$\mu_{\varepsilon ct} = \frac{\varepsilon_{ct}}{\sigma}$$

$\mu_{\varepsilon ct}$: 単位クリープひずみ (1/Nmm²)

σ : 載荷応力度 (N/mm²)

$$\phi_t = \frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_e}$$

ϕ_t : クリープ係数

ひずみと載荷後の経過材齢の関係の一例を図2に、クリープ係数と載荷後の経過材齢の関係の一例を図3に示します。

クリープひずみは次第に一定となり、“終局クリープひずみ”に収束し、終局クリープ係数を算出します。終局クリープ係数の一例として、日本建築学会の「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」では、ポストテンションの場合2.0、プレテンションの場合2.5と示されています。

(4) クリープに影響する因子

クリープひずみが大きくなる因子を以下に示します。

- a) 載荷期間中の大気湿度が低く、コンクリートが乾燥しやすい。
- b) 部材寸法が小さく、コンクリートが乾燥しやすい。
- c) セメントペースト量が多い。
- d) 水セメント比が大きい。
- e) 組織が密実でない骨材や、粒度が不適当な骨材の使用で空隙が大きい。
- f) 載荷応力が大きい。
- g) 載荷時材齢が若い。

(5) クリープ破壊とは

クリープは載荷応力にほぼ比例しますが、ある程度以上載荷応力が大きくなると破壊に至ります。これを“クリープ破壊”、また、クリープ破壊の起こる下限の応力を“クリープ限度”と呼びます。クリープ限度は、

コンクリート強度の80～90%程度であると言われています。

2.2 体積変化

コンクリートの体積変化に関する項目を以下に紹介します。体積変化では収縮側が問題になることが多く、収縮には“乾燥による収縮”、“セメントの水和反応による収縮（自己収縮）”、“炭酸化による収縮”などがあります。

2.2.1 乾燥収縮⁴⁾

(1) 乾燥収縮とは

コンクリートは硬化後、構造が安定しても乾燥することによって収縮します。硬化コンクリートが乾燥に伴って長さや体積が減少し、収縮する現象を“乾燥収縮”といいます。乾燥収縮は周囲の拘束によって妨げられると、コンクリートにひび割れが発生します。

コンクリートの長さ変化は乾燥収縮のみを示しているわけではありませんが、乾燥収縮が長さ変化率の値の多くを占めています。

(2) 長さ変化率試験方法

材齢7日まで標準水中養生を行ったのちに、温度20℃、相対湿度60%の恒温環境に供試体を保存して測定を行います。測定方法としては、JIS A 1129（コンクリート及びモルタルの長さ変化測定方法）に、供試体側面の長さ変化を測定するJIS A 1129-1（コンパレータ方法）とJIS A 1129-2（コンタクトゲージ方法）、供試体の平均的な長さ変化を測定するJIS A 1129-3（ダイヤル

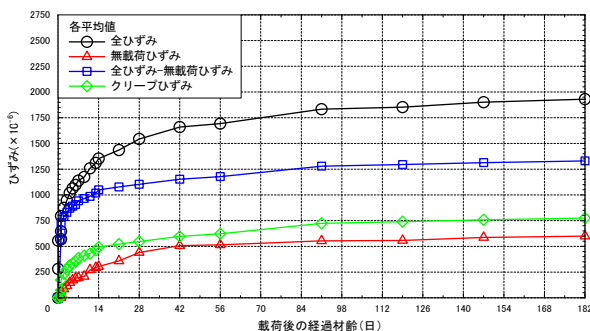


図2 ひずみと載荷後の経過材齢の関係

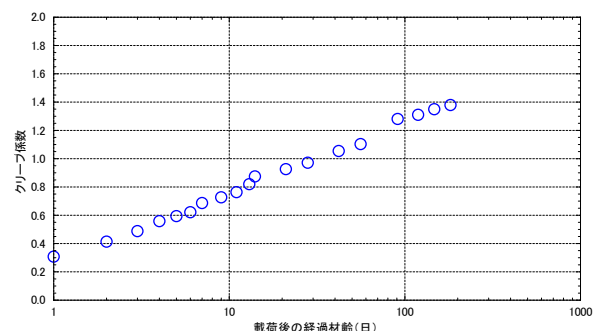


図3 クリープ係数と載荷後の経過材齢の関係

ゲージ方法)、の3つが規定されています。JIS A 1129-2はクリープ試験の写真2で示したのですが、他2方法の試験状況を写真3に示します。

(3) 長さ変化率試験結果

長さ変化率(乾燥収縮率)と質量変化率は密接な関係があるため、同時に測定することが多く、測定値から以下の式で算出します。

$$\text{長さ変化率}(10^{-6}) = \frac{\text{測定時長さ} - \text{基長}}{\text{基長}} \times 10^6$$

$$\text{質量変化率}(\%) = \frac{\text{測定時質量} - \text{基長時質量}}{\text{基長時質量}} \times 100$$

長さ変化率と保存期間の関係の一例を図4に、質量変化率と保存期間の関係の一例を図5に示します。

試験結果の判断基準の一例として、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説JASS5(鉄筋コンクリート工事)」では、計画供用期間が長期および超長期のコンクリートについて、乾燥収縮率を 800×10^{-6} 以下としています。この数値を満足していれば絶対に構造物のひび割れを防げるというものではありませんが、ひび割れ幅0.3mm未満の有害で



写真3 長さ変化率測定状況
(左: コンパレータ方法、
右: ダイヤルゲージ方法)

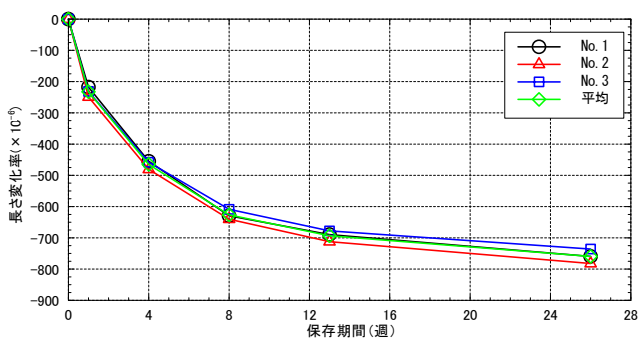


図4 長さ変化率と保存期間の関係

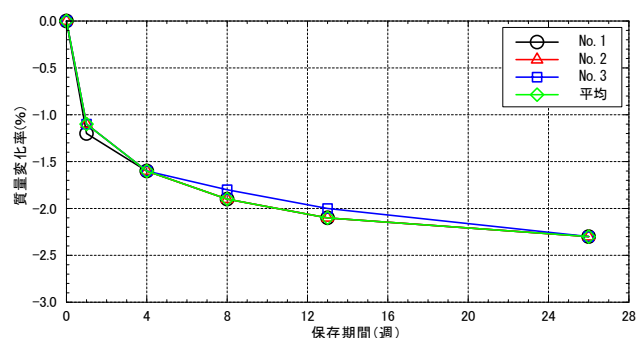


図5 質量変化率と保存期間の関係

ないひび割れには抑えられる目安、という考え方から示されています。

また、乾燥収縮の測定は、6か月以上の長期にわたる測定期間がかかるため、4週、8週、13週の測定値から26週の測定値を予測する推定式もJASS5で提案されています。安全側に評価するために、厳しめの設定になっています。

(4) 乾燥収縮に影響する因子

乾燥収縮に影響を及ぼす因子を以下に示します。

- 吸水によって膨張し、乾燥すれば収縮する。
- 単位セメント量および単位水量が多いほど乾燥収縮が大きくなる傾向があるが、単位水量の影響が著しい。
- 骨材の弾性係数が大きく硬質の場合、乾燥収縮は小さくなる。
- 部材寸法が大きいほど、乾燥収縮は小さい。
- 十分に養生を行ったコンクリートでは、乾燥収縮は乾燥開始時材齢の影響をそれ程受けない。

(5) その他の長さ変化試験方法

自由収縮ひずみを測定する試験方法である(4)に対して、以下のような拘束ひずみを測定する試験もあります。

1) 拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験

JIS A 1151(拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法)では、ダンベル型の型枠にコンクリートを打ち込んで作製した供試

体の両端を拘束してひび割れの発生有無を確認します。同時にコンタクトゲージで長さ変化を測定することもあります。

2) 膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験

膨張材を添加した膨張コンクリートを対象として、JIS A 6202(コンクリート用膨張材)の附属書B)参考)に“膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法”が規定されています。こちらは、拘束棒と拘束端板から成る“拘束器具”にコンクリートを打設し、膨張材による材齢初期の膨張からその後の乾燥収縮までを測定するものです。

2.2.2 自己収縮¹⁾²⁾

(1) 自己収縮とは

セメントの水和により凝結始発以降に生じる体積減少を“自己収縮”といいます。自己収縮には、物質の侵入や逸散、温度変化、外力や外部拘束に起因する体積変化は含まれません。

試験方法は、日本コンクリート工学会標準のJCI-SAS2[コンクリートの自己収縮応力試験方法(案)]などがあり、端部にゲージプラグを埋め込み変位を測定する方法と、モールド型ひずみゲージを埋め込む方法があります。

(2) 自己収縮に影響する因子

自己収縮に影響を及ぼす因子を以下に示します。

- 自己収縮は単位セメント量(単位結合材量)が多いほど大きくなる

ため、高流動コンクリートや高強度コンクリート、マスコンクリートなどでは考慮が必要である。

b) コンクリートの自己収縮に及ぼす配(調)合に関する因子としては、単位セメント(結合材)量、水セメント(結合材)比、鉱物質混和材の種類とその置換率、および化学混和剤の種類と添加率が重要である。

2.2.3 温度変化

(1) 熱膨張率とは

温度の上昇によってコンクリートの長さが膨張する割合を“熱膨張率”といいます。コンクリートの熱膨張率(熱膨張係数)は、常温範囲で1℃につき7~13×10⁻⁶程度と言われていています。鉄筋とコンクリートの熱膨張係数は殆ど同じで、鉄筋コンクリート構造が成り立つための前提の一つとなっています。

熱膨張率試験方法は、JIS A 1325(建築材料の線膨張率測定方法)に定められており、恒温槽内のホルダーにセットした供試体を徐々に加熱して変位を測定し、長さ変化率を算出します。試験状況を写真4に示します。

(2) 熱膨張に影響する因子

熱膨張に影響を及ぼす因子を以下に示します。

- a) 水セメント比、材齢による影響は小さい。
- b) 熱膨張係数は骨材の岩質による相違が大きく、石英岩が大きく、砂岩、花崗岩、玄武岩、石灰岩



写真4 熱膨張率試験状況

の順に小さくなる。

2.3 透水性(水密性)¹⁾²⁾

(1) 透水性とは

透水性とは、内部組織を水が通過しうる性質で、逆に言うと水密性となります。JASS5では、水密性を必要とするコンクリートに対して、注意事項が記載されています。“透水性”を比較するための指標としては、拡散係数や透水係数が用いられます。

(2) 試験方法

透水試験方法の代表的試験として、加圧透水性試験があり、これには次の2つの方法があります。

1) インプット法

インプット法は、供試体に水を圧入し、その浸透面積や浸透深さなどから水の拡散係数を算定して透水性を求める方法(浸透深さ方法)と、浸透水量から透水性を求める試験方法(浸透方法)に分けられます。

試験方法の一例として、土木学会規準JSCCE-K 572 [けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)]に6.12加圧透水性試験があります。供試体を図6に示すように圧力容器に設置して水を入れたのち、窒素ガスを用いて

水圧0.5MPaを48時間加えます。加圧終了後に供試体を割裂し、図7に示す測定位置でノギス等を用いて“水の浸透深さ”を測定します。試験状況を写真5に示します。

浸透深さ方法による拡散係数は、以下の式で算出します。

$$\beta_i^2 = \frac{\alpha D_m^2}{4t \xi^2}$$

ここに、

β_i^2 : 拡散係数 (cm²/s)

D_m : 水の浸透深さ (cm)

t : 水圧を加えた時間 (s)

α : 水圧を加えた時間に対する係数

ξ : 水圧に対する係数

2) アウトプット法

アウトプット法は、供試体に加えた圧力水による毛細管水隙からの浸透流出量をダルシーの法則から導き透水係数を求める方法です。インプット法と試験方法は似ていますが、供試体に水を透水させるため、試験時間を要します。円柱供試体の場合の透水係数は、以下の式で算出します。

$$K = \frac{\rho h Q}{P A}$$

ここに、

K : 透水係数 (cm/s)

ρ : 水の単位体積質量 (kN/m³)

P : 水圧 (kN/m²)

Q : 流量 (cm³/s)

A : 供試体断面積 (cm²)

h : 供試体高さ (cm)

(3) 水密性に影響する因子

水密性(透水性)には以下の因子が関係すると言われています。

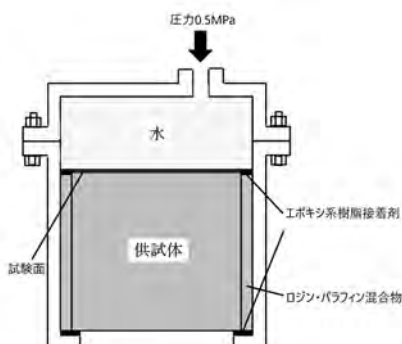


図6 透水性試験供試体の設置状況

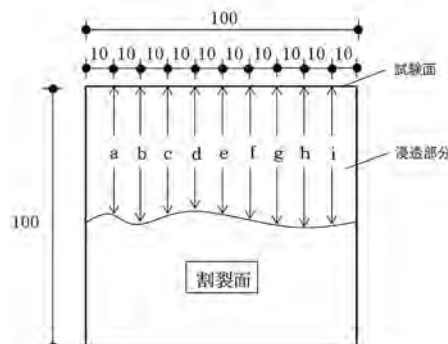


図7 浸透深さ測定位置の一例



写真5 加圧透水性試験状況

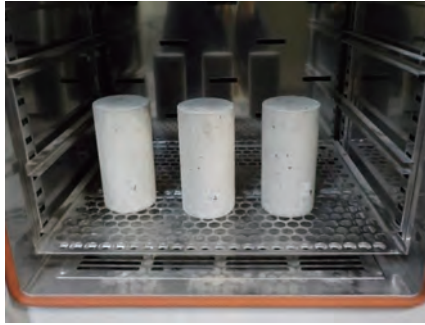


写真6 乾燥単位容積質量試験状況

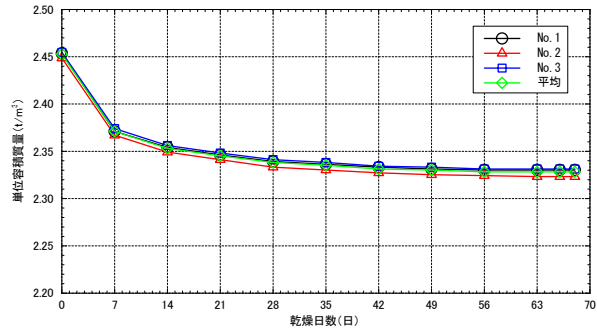


図8 単位容積質量と乾燥期間の関係 (65°C)

- a) 水密性を悪くする最大因子は、材料分離、ひび割れなどの施工欠陥である。
- b) 施工欠陥がない普通コンクリートでは、透水係数を支配する最大の因子は水セメント比 (W/C) である。
- c) W/Cが同一の時は、配 (調) 合が貧より富になるにつれて透水係数が小さくなるが、富になりすぎると逆に大きくなる。
- d) 粗骨材の最大寸法が大きい程にブリーディングによる骨材下面の水膜が大きくなり、透水係数が増大する。
- e) ワークブルなコンクリートを十分に締め固めるほど、透水係数は小さくなる。
- f) 湿潤養生が十分なほど、また、材齢が進むほど、透水係数は小さくなる。
- g) 乾燥は、透水係数を増大させる。
- h) フライアッシュ等の良質な混和材を適切に用いることは、コンクリートの細孔構造を緻密化し、透水係数を低減させる。

2.4 単位容積質量^{1) 5)}

(1) 単位容積質量とは

単位容積質量とは密度のことで、普通コンクリートの単位容積質量は、気乾状態で2.3t/m³程度です。コンクリートの単位容積質量が問題になることは多くはありませんが、以下のように、重要な指標となるコンクリートもあります。

- a) 重量コンクリート：X線やγ線

を遮蔽するための構造部材には、鉄鉱石などを用いた高密度なコンクリートが求められる。

- b) 軽量骨材コンクリート：自重や耐震性を軽減するために、人工軽量骨材あるいは天然軽量骨材を用いた軽量コンクリートが用いられる。

(2) 試験方法

コンクリートの密度を求める試験方法として、“見掛けの密度試験”が有名です。JIS A 1106 (コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法) に規定されており、供試体寸法と質量 (気乾または表乾) から“見掛けの密度”を求めます。ここでは単位容積質量とは呼ばれていませんが、前述のように密度と同義語です。

ほかに、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 2013」では、高温にさらされる可能性があるコンクリートを対象に“乾燥単位容積質量試験”が規定されています。同仕様書内には、水中質量を測定したのちに温度65°Cで乾燥させるJASS 5N T-601 (コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法)、或いは温度100°Cで早期に乾燥させるJASS 5N T-602 (コンクリートの乾燥単位容積質量促進試験方法) が規定されています。どちらも供試体の水分を蒸発させ、単位容積質量が収束するまで質量を測定する試験です。

単位容積質量は以下の式で算出し

ます。

$$\rho_d = \frac{M_1}{(M_2 - M_3) / \rho}$$

ρ_d : 乾燥単位容積質量 (t/m³)

M_1 : 供試体の乾燥状態の質量 (g)

M_2 : 供試体の乾燥前の質量 (g)

M_3 : 供試体の水中の見掛けの質量

ρ : 水の密度 (g/cm³)

試験状況を写真6に、単位容積質量と乾燥期間の関係を図8に示します。

3.おわりに

ここでは紹介できませんでしたが、引張軟化特性、放射線遮蔽性、断熱性、遮音性、耐熱性、耐火性など、この他にも様々な物性があります。

今回は硬化コンクリートの耐久性について紹介します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'21, 2021
- 2) 谷川恭雄, 太田福男, 尾形素臣ほか：構造材料実験法 (第3版), 2003
- 3) 若林和義：コンクリートの圧縮クリープ試験について, 建材試験情報 vol.51, pp.26-27, 2015.8
- 4) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調査と施工, 2015
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 2013」, 2013

author

若林和義

工事材料試験ユニット
工事材料試験所 浦和試験室 主査

硬化コンクリートの耐久性

1. はじめに

前回 は硬化コンクリートの諸物性について紹介しました。今回は硬化コンクリートの耐久性について紹介します。耐久性に関する内容は、種類が多く内容が深いため、本稿では主に中性化・凍結融解・アルカリシリカ反応について取り上げます。

2. 硬化コンクリートの耐久性

2.1 耐久性の概要¹⁾²⁾

(1) コンクリート構造物の耐久性

コンクリート構造物の耐久性とは、“構造物の性能の経時的低下に対する抵抗性”のことです。具体的には、気象作用、化学的浸食作用、物理的磨耗作用、その他の劣化作用に対して抵抗し、長期間にわたってコンクリート構造物や部材に要求される性能を発揮する能力のことです。

なお、本講座第1回でも紹介しましたが、土木学会の2017年制定コンクリート標準示方書で、耐久性は「構造物が設計耐用期間にわたり安全性、使用性および復旧性を保持する性能」と定義され、主としてコンクリート構造物に対して指す用語となりました。従来用いられてきたコンクリートの耐久性は、「劣化に対する抵抗性」「物質の透過に対する抵抗性」と記述されています。

(2) コンクリートの劣化

コンクリートの劣化現象には、“中性化”、“塩害”、“アルカリシリカ反応”、“化学的侵食”などの化学

的なものと、“凍害”、“すりへり作用”などの物理的なものがあります。これら劣化現象は単独でも進行しますが、複合して進行することが多くあります。

コンクリート中ではセメントの水和反応などの化学反応が長期間進行し、反応過程と反応生成物は、コンクリート中に含まれる化学物質の種類・量、外部から侵入する化学物質の種類・量および環境条件などの影響を受けます。

また、コンクリートは連続した微細な空隙を有する“多孔質物質”であり、空隙を通り気体、イオン、水分などの浸透や移動が生じます。具体的には、酸素・二酸化炭素、塩化物イオン・アルカリ金属イオン・硫酸イオンなどがあります。

(3) コンクリート構造物の寿命

コンクリート構造物の寿命(共用期間)は、土木構造物と建築物では異なります。

土木構造物の多くはインフラ関連の構造物で、その共用期間は、通常50~100年程度です。一方、建築物の場合は、意匠や設備等の関係もあり、土木構造物に比較して短く設計されます。具体的には建築基準法は一世代(25~30年程度)を標準としています。また、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(品確法)では劣化対策等級が規定されており、3級は3世代以上(90年程度)、2級は2世代以上(60年程度)、1級は1世代以上(25~30年程度)と級分け

されています。

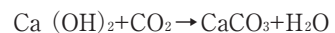
何れにしてもコンクリート構造物の寿命を持たせるには、“コンクリートの耐久性”の把握が重要です。

2.2 中性化¹⁾²⁾³⁾

2.2.1 中性化とは

コンクリートはセメントの水和によって生成する水酸化カルシウムによって、pHが12~13の“強いアルカリ性”を示しています。鉄筋コンクリート中の鉄筋は、このコンクリートの強いアルカリ性によって表面に“不動態皮膜”が形成され、腐食から保護された状態にあります。従って、一般の大気中では容易に腐食することはありません。

しかし、コンクリートのアルカリ性は、大気中の二酸化炭素CO₂や酸性溶液などの作用により時間の経過とともに表面から徐々に失われていきます。この現象を“中性化”といい、次式で表されます。



中性化の深さが内部鉄筋の表面まで達すると防蝕機能が失われていき、水と酸素が同時に供給されると腐食が進行し易くなります。鉄筋の腐食が進むと酸化によって発生する錆の膨張圧によってかぶりコンクリートにひび割れやはく離が発生し、腐食が更に促進されます。

中性化だけに限りませんが、鉄筋の腐食が進むと構造耐力の低下を引き起こす恐れがあるので、中性化は鉄筋コンクリート構造物の耐久性を評価する上で大事な項目の一つです。

2.2.2 中性化に影響を及ぼす因子

中性化抵抗性は、コンクリートの配(調)合条件、使用材料、環境条件などによって異なります。中性化(中性化速度)に影響する因子を、以下に示します。

- 1) 密実なコンクリートほど中性化の進行が遅くなる。従って、水セメント比(W/C)が小さい、密実な材料が使用された、施工上欠陥がないコンクリートほど中性化の進行は遅い。
- 2) 同一水セメント比で比較すると、普通ポルトランドセメントに比較して混合セメントを使用したコンクリートの方が中性化速度は速くなる。
- 3) 環境条件として、CO₂濃度が高い、温度が高い、湿度がある程度低いほど中性化速度は速い。従って、屋外側に比較して室内側のコンクリートの方が中性化速度は速くなる。相対湿度40~60%程度の条件で中性化進行速度は最大となる。
- 4) コンクリートの含水率が高い(湿った状態)と中性化は進みにくい。従って、水中構造物や地中構造物では、中性化はほとんど進行しない。なお、著しく乾燥している場合も中性化は進みにくい。
- 5) タイルや石張りなど仕上げ材、吹付け材は、中性化進行を遅らすことができる。
- 6) 中性化の進行に伴い、コンクリート中に固定された塩化物イオンが遊離し、コンクリート内部へ移動して濃縮される。従って、中性化の進行は塩害を助長する可能性がある。

2.2.3 中性化試験方法

(1) 促進中性化試験方法

中性化抵抗性を検討するには、実際にコンクリートを使用する条件下に長期間保存(屋外暴露)するのが、最も実状に近い方法です。しかし、この場合時間が掛かりすぎてしまい

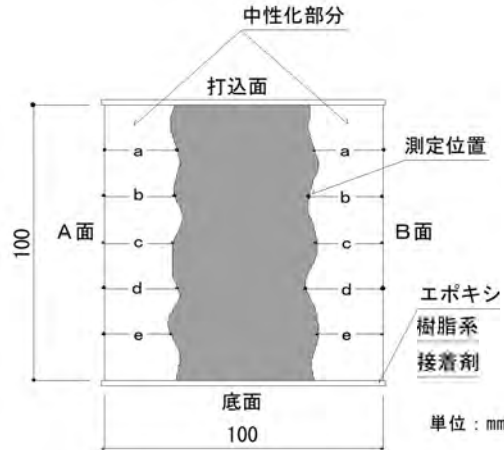


図1 中性化深さの測定位置²⁾



写真1 促進中性化試験状況²⁾
(上: 促進試験装置外観、下: 呈色反応)

実用的ではありません。

コンクリートの配合条件や使用材料の種類が中性化の及ぼす影響を比較検討する場合には、促進中性化試験が行われています。JIS A 1153(コンクリートの促進中性化試験方法)では、大気中より二酸化炭素濃度の高い中性化を促進する条件下にて保存して、中性化深さ及び中性化速度を測定し、その結果に基づいて長期使用後の中性化深さを推定する試験が規定されています。

供試体は、100mm×100mm×400mmの角柱供試体とし、JIS A 1132(コンクリートの強度試験用供試体の作り方)およびJIS A 1138(試験室におけるコンクリートの作り方)に従って作製し、標準養生4週⇒温度20℃・相対湿度60%で気

中養生4週、と前処理を行ったのちに促進試験を行います。

標準的な促進条件は、温度20±2℃、相対湿度(60±5)%、CO₂濃度(5±0.2)%です。仮に大気中のCO₂濃度が380ppmとすれば、試験槽内のCO₂濃度は130倍の高濃度となります。促進期間は目的によって定められ、1、4、8、13、26週になったときに次項の“中性化深さ測定”を行うとよいとされています。

(2) 中性化深さ測定方法

中性化深さの測定は、JIS A 1152(コンクリートの中性化深さの測定方法)に従い、測定面に1%濃度のフェノールフタレイン溶液を噴霧した時の呈色反応により判別します。アルカリ性であれば赤紫になり、中性化部分は呈色しません。コン

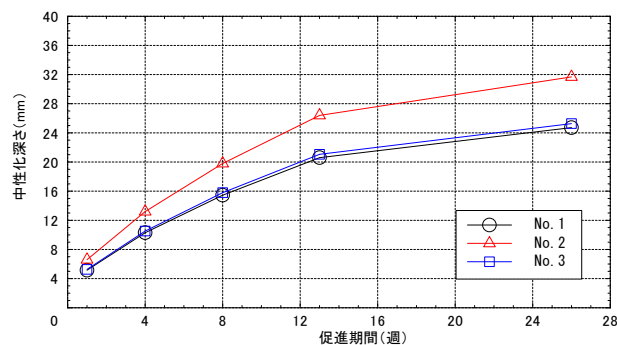


図2 中性化深さと促進期間の関係²⁾

リートは粗骨材分布が一様でないため、測定位置によって異なる値を示すので、**図1**に示すように側面を等間隔に各5点測定します。試験状況の一例を**写真1**に示します。

(3) 中性化試験結果

中性化深さと促進期間の関係の一例を**図2**に示します。中性化の速さを表す方法として、中性化深さを促進開始時からの期間(週)の平方根で除して求めた中性化速度係数(mm/√週)が用いられることがあり、「√t則」と呼ばれています。

$$x = b\sqrt{t}$$

ここに、

x：中性化深さ(mm)

t：時間(週)

b：中性化速度係数

JIS A 1153は試験方法を規定した規格で、試験結果の評価に対する規定は含んでいません。JIS内で実構造物の耐用年数を予測する評価方法は定められていませんが、コンクリートの各種要因を考慮した中性化速度として、以下の予測式など多くの式が提案されています。

1) 水セメント比が60%以上のとき

$$t = \frac{0.3(1.15+3\omega)}{R^2(\omega-0.25)^2} x^2$$

2) 水セメント比が60%以下のとき

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6\omega-1.76)^2} x^2$$

ここに、

t：期間(年)

x：中性化深さ(cm)

ω：水セメント比

R：中性化比率(骨材、混和剤、セメントの種類によって決まる定数)

2.3 凍結融解(凍害)¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

2.3.1 凍害とは

コンクリートの“凍害”とは、細孔中に含まれる水分が凍結し、水の凍結膨張に伴う膨張圧、水分の移動圧などによってコンクリートの表面劣化、強度低下、ひび割れ、ポップアウトなどコンクリートが劣化する

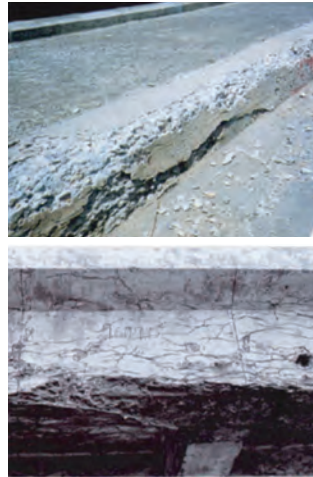


写真2 凍害による劣化⁵⁾
(上：スケーリング、下：ポップアウト)

現象のことです。寒冷地では典型的な劣化現象として知られています。

凍害による劣化は、初期にはひび割れが観察され、より進行した段階で組織的な“崩壊”となります。ひび割れは亀甲状の形態を示し、エフロレッセンスを伴う場合もあります。コンクリート表面のひび割れが著しくなった段階、つまり、内部コンクリートの膨張が限界を超えた段階で、その部分のコンクリートは崩壊します。なお、凍害による破壊現象は、セメントペースト中、骨材中及び両者の界面に生じるほか、コンクリート表面のスケーリング、ポップアウトなどの劣化を引き起こす場合があります。凍害による劣化状況の一例を**写真2**に示します。

2.3.2 凍害に影響を及ぼす因子

コンクリートの配(調)合条件、使用材料の種類や品質、気象条件、設計施工方法などが、凍害の発生に複雑に影響を及ぼします。耐凍害性に影響を及ぼす因子を、以下に示します。

1) 耐凍害性が低い骨材を用いると、骨材が割れることにより、コンクリートの劣化を生じる。吸水率が高い軟石を用いたコンクリートは、凍結時に骨材自身が膨張し、表面のモルタルをはじき出

すことがある。

- 2) 耐凍害性と空気量は密接に関係し、同一空気量の場合は微小な独立気泡が連行されている(“気泡間隔係数”が小さい)ほど、耐凍害性は向上する。
- 3) 凍結融解作用を受ける部材は、凍結融解の繰り返しによって劣化するため、日の当たらない部分より、日の当たる部分の方が凍結融解の繰り返し作用が多く、劣化程度が大きくなる。
- 4) 海水の作用と凍結融解作用が複合すると、劣化作用は大きくなる。

2.3.3 凍結融解試験方法

(1) 凍結融解試験方法

コンクリートの凍結融解に対する抵抗性(耐凍害性)を評価する試験方法としては、JIS A 1148(コンクリートの凍結融解試験方法)に“A法”(水中凍結融解試験方法)と“B法”(気中凍結水中融解試験方法)が規定されています。

供試体の作製についてはJIS A 1132に規定されており、促進中性化試験同様の100mm×100mm×400mmの角柱供試体で、標準養生を4週行ったのちに試験に供します。

凍結融解試験A法では、ゴム容器内に供試体と水を入れて試験槽に設置します。供試体中心温度が凍



写真3 凍結融解試験状況
(上：促進試験装置外観、下：凍結状況)

結：+5℃～-18℃、融解：-18℃～+5℃となるよう凍結融解サイクルを設定し、凍結融解負荷を繰り返し与え、標準的には300サイクルまで行います。凍結融解試験状況の一例を写真3に示します。

なお、B法の場合は、ゴム容器には入れず、供試体をそのまま試験槽に入れて全面が空気または水に覆われるようにします。いわば冷凍庫に入れて凍結させ、融解時に水で溶かすイメージです。

(2) 相対動弾性係数試験方法⁶⁾

凍結融解試験開始時に、供試体の質量およびたわみ振動による一次共鳴振動数を測定します。一次共鳴振動数はJIS A 1127 (共鳴振動数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) によって測定します。

凍結融解試験を開始すると、30回毎に測定と供試体の状況確認を行います。相対動弾性係数、耐久性指数および質量減少率を次式により算出します。

たわみ振動による一次共鳴振動数測定状況を写真4に示します。

$$\text{相対動弾性係数 (\%)} = \frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100$$

ここに、

f_n : nサイクル終了時の一次共鳴振動数 (Hz)

f_0 : 試験開始時の一次共鳴振動数 (Hz)

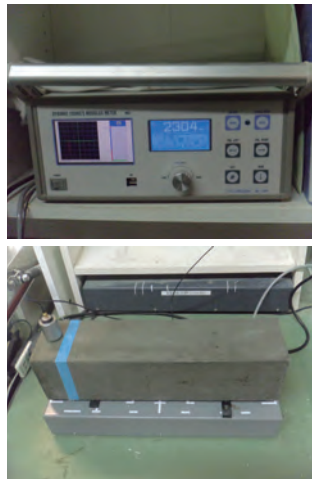


写真4 一次共鳴振動数測定状況⁶⁾
(上: 共鳴振動数測定装置モニター、
下: ピックアップ設置状況)

$$\text{耐久性指数} = \frac{P \cdot N}{M}$$

ここに、

N : 相対動弾性係数が60%になるサイクル数、又は300サイクルのいずれか小さいもの

P : Nサイクルにおける相対動弾性係数 (%)

M : 300サイクル

$$\text{質量減少率 (\%)} = \frac{W_0 - W_n}{W_0}$$

ここに、

W_n : nサイクル終了時の質量 (kg)

W_0 : 試験開始時の質量 (kg)

(3) 凍結融解試験結果

凍結融解試験結果の一例を図3および図4に示します。相対動弾性係数が60%を下回ってくると、劣化

が激しくなり、共鳴振動数の測定が安定しくなくなります。繰り返し回数300サイクル又は相対動弾性係数60%以上を目安に試験終了とします。なお、ここでは質量変化率を示していますが、“質量減少率”とすると質量が減っていくほどグラフが正側になっていきます。

凍結融解試験前後の供試体の外観の一例を写真5に示します。凍結融解処理後の供試体の表層がスケリングしていますが、外観が劣化していても相対動弾性係数が低下していない場合もあります。逆に外観は劣化していなくても、相対動弾性係数が低下している場合もあります。

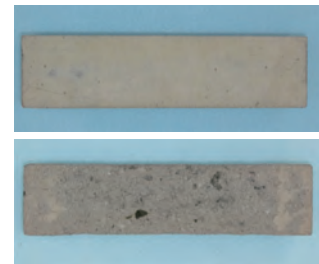


写真5 凍結融解試験前後の供試体⁵⁾
(上: 凍結融解処理前、下: 凍結融解処理後)

(4) 判定基準の一例

試験終了の一条件を相対動弾性係数60%に設定した根拠は、既往の文献によると、測定の困難さではなく、劣化の許容限界のひとつの目安として決められたものであるとされています。凍結融解試験は、コンクリートの耐凍害性を相対評価するた

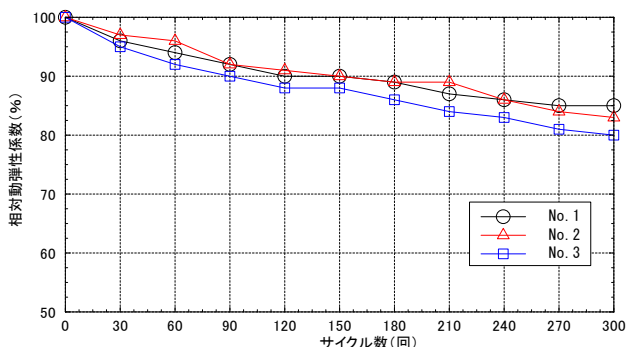


図3 相対動弾性係数とサイクル数の関係²⁾

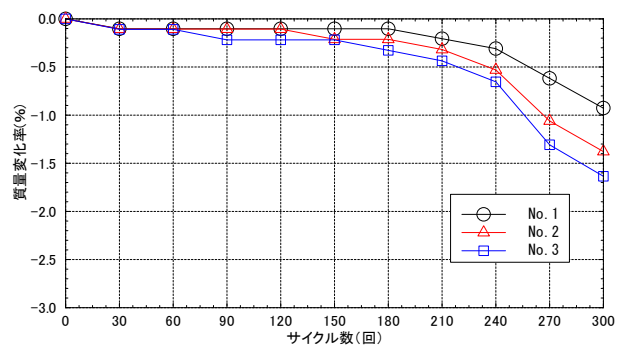


図4 質量変化率とサイクル数の関係²⁾

めに用いられますが、絶対評価による判定基準を採用している団体規格や仕様書もあります。

日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説JASS5（鉄筋コンクリート工事）では、凍結融解作用を受ける箇所に使用するコンクリート（計画供用期間が標準級）に対しては、同試験による300サイクルの相対動弾性係数が85%以上であることを定めています。また、本講座第4回でも紹介しましたが、JIS A 6204（コンクリート用化学混和剤）にも同試験は引用されています。AE剤、AE減水剤、高性能AE減水剤および流動化剤の試験項目となっており、相対動弾性係数60%以上が求められています。

(5) 留意点

凍結融解試験結果だけで、すべての構造物（部位）の凍害発生の可能性を正確に判断することは困難といわれています。

これは、凍害のメカニズムが必ずしも解明されていないこと、凍結融解試験と屋外暴露との関連性が不明確であることなどがあげられます。しかし、凍結融解試験を行い、凍結融解作用に対して優れた抵抗性を有すると判断されたコンクリートを実構造物に使用すれば、凍害発生の可能性を大きく低下させることが期待できます。日本は凍害の危険性が高い地域も多く、コンクリートの凍結融解試験を実施することは重要です。

2.4 アルカリシリカ反応¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

2.4.1 アルカリシリカ反応とは

(1) アルカリシリカ反応の概要

骨材の中には、コンクリート中の水酸化アルカリ（KOHやNaOH）を主成分とした細孔溶液と反応して、異常膨張やひび割れを引き起こす鉱物をもつものがあります。このような反応を“アルカリ骨材反応”といい、アルカリシリカ反応性鉱物を含む骨材を“反応性骨材”といいます。

高いアルカリ性を示す水溶液と反応して、反応性骨材粒子にアルカリシリカゲルが生成され、骨材周囲のセメントペーストより水を吸収し、反応性骨材粒子の膨張圧によって反応性骨材周囲のセメントペーストが破壊する、という現象です。

アルカリ骨材反応は、①アルカリシリカ反応（ASR）、②アルカリ炭酸塩岩反応、③アルカリシリケート反応、の3種類に分類されていましたが、最近ではいずれもが骨材中のシリカ分が反応する“ASR”であると考えられています。

(2) ASRによるひび割れ

ASRが進行すると、反応性骨材の周囲に発生した微視的なひび割れが進行し、やがてコンクリート構造物の表面にひび割れ、ゲルの滲出、目地のずれなどが生じます。コンクリート構造物に生じるASRによるひび割れは一様ではなく、構造物の置かれた環境条件、鋼材量や外部拘束の有無による拘束条件の影響を大きく受けたものになります。

拘束の小さな無筋コンクリート構造物などでは、網の目状または“亀甲状のひび割れ”がコンクリートの内部にまで発達します。鉄筋コンクリートおよびプレストレスコンクリート構造物では主筋方向に、部材

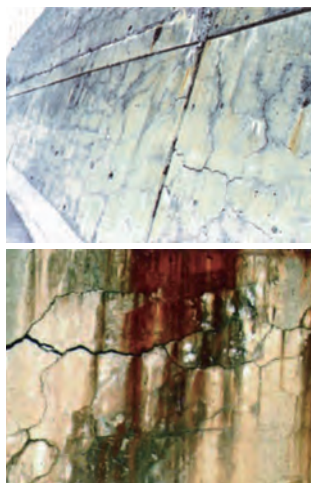


写真6 ASRによる劣化⁵⁾
(壁全面の亀甲状のひび割れ)

両端が強く拘束されている構造物では拘束されている面に直角にひび割れが生じます。ASRによる劣化状況の一例を写真6に示します。

2.4.2 ASRに影響を及ぼす因子

(1) ASRは以下の3条件が同時に成立すると生じると言われています。

- ①反応性鉱物を含む骨材が一定量以上存在する。
- ②細孔溶液中に十分な水酸化アルカリが存在する。
- ③コンクリートが多湿または湿潤状態に置かれている。

(2) 反応性鉱物（火山ガラス、クリストバライト、トリディマイト、オパール、カルセドニー、隠微晶質石英など）を含む骨材をコンクリートに使用しても、細孔溶液中の水酸化アルカリを低減する、またはコンクリートへの水分の供給を遮断すればASRによる有害な膨張を抑制することが可能です。

(3) ASRによる膨張は、コンクリート中に含まれる反応性骨材の量が多いほど大きくなるわけではありません。ASRによる膨張が最も大きくなる時の反応性骨材の割合を“ベシマム量”（またはベシマム混合率）といいます。ベシマム量は、セメント中のアルカリ量、骨材の種類・粒度などによって変化します。

(4) アルカリの供給源としては、セメントや混和剤のほか、海砂に付着した塩化物や外部から侵入する塩化物、凍結防止剤などがあります。

2.4.3 アルカリシリカ反応試験方法

(1) 骨材の反応性試験方法

骨材のアルカリシリカ反応性試験は、コンクリートに使用される前の骨材について、反応性を有しているか否かを調べる試験で、JISに2種類の方法が規定されています。試験方法の概要を以下に、試験状況の一例を写真7に示します。

1) JIS A 1145 [骨材のアルカリシリカ



写真7 骨材のアルカリシリカ反応性試験⁵⁾
(上：化学法、下：モルタルバー法)

反応性試験方法 (化学法)

所定粒度に粉砕した骨材を80℃のアルカリ溶液中で反応させ、その溶液のアルカリ濃度減少量Rcと溶解シリカ量Scから骨材のアルカリシリカ反応性を判定する。Sc \geq 10mmol/LかつRc<700mmol/LのときRc \leq Scを「無害でない」とし、それ以外を「無害」とする(図5参照)。

2) JIS A 1146 [骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルバー法)]

粒度調整を行った試料を用いて、水酸化ナトリウム水溶液の添加によりセメントのアルカリ量を1.2%としたモルタル供試体を作製する。そして、温度40℃・相

対湿度95%以上の条件下で6か月間の供試体の膨張量が0.1%以上の骨材を「無害でない」、0.1%未満の骨材を「無害」と判定する(図6参照)。

一般に、化学法のほうが短期間で反応性の有無を判定できるものの、モルタルバーに比べて、判定基準が厳しいとされています。このほかに、モルタルバー法の類似試験として、短期間で試験結果を判定するJIS A 1804 [コンクリート生産工程管理用試験方法-骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(迅速法)]も定められています。

(2) コンクリートの反応性試験方法 (コンクリートバー法)

ASRは複雑な反応であり、コンクリートに有害な反応を生じるか否かは、骨材の性質のみならず、他の材料の性質や配(調)合、温度・水分等の環境条件にも影響されます。骨材単独の評価となる(1)の試験に対し、実際に使用される材料・配(調)合を用いたコンクリートでASRを判定する方法もあります。コンクリートの反応性試験あるいは“コンクリートバー法”と呼ばれており、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」の付3.JASS5N T-603「コンクリートの反応性試験方法」⁷⁾や、日

本コンクリート工学会のJCI規準 JCI-S-010 (コンクリートのアルカリシリカ反応性試験方法)に規定されています。

JASS5N T-603では、練り上がったフレッシュコンクリートを3つに取り分け、酸化ナトリウム(Na₂O)当量で、各々1.2kg/m³、1.8kg/m³及び2.4kg/m³となるよう“粒状水酸化ナトリウム”を添加します。添加量の下限値1.2kg/m³はセメント等のアルカリ変動量に安全率を考慮した数値となっており、アルカリ量を3段階とし、膨張を起こす最低アルカリ量の推定を考慮しています。

供試体作製状況の一例を写真8に示します。

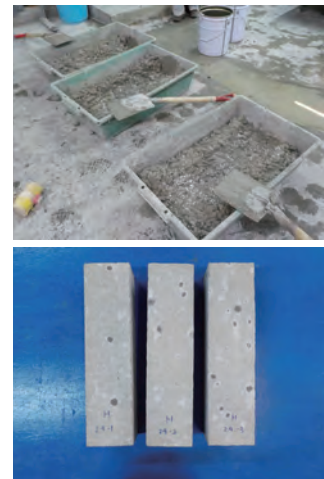


写真8 反応性試験の供試体作製状況⁸⁾
(上：フレッシュ試料にアルカリ添加、下：脱型直後の供試体)

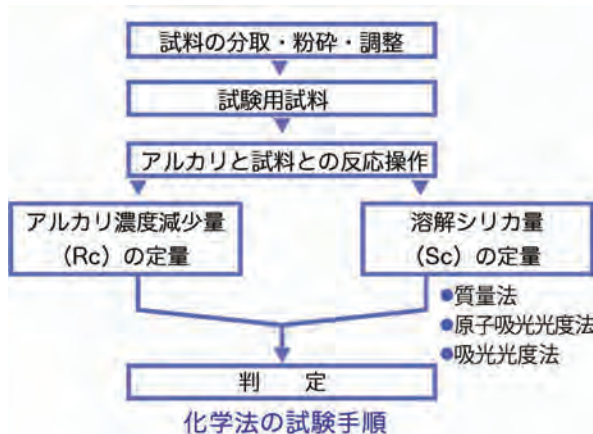


図5 JIS A 1145 (化学法) の手順⁵⁾

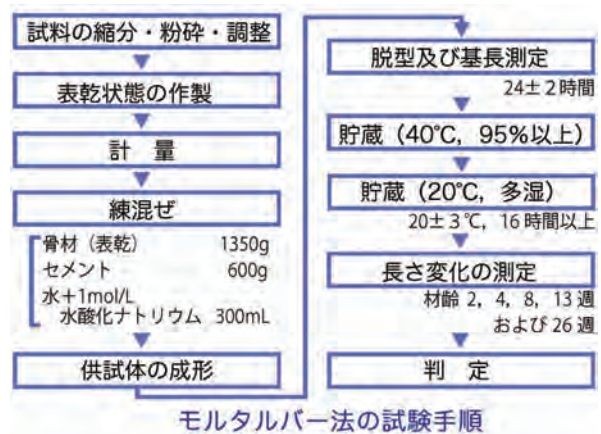


図6 JIS A 1146 (モルタルバー法) の手順⁵⁾

試験は、供試体表面を吸水紙で覆い、ビニール袋等で密封して温度40℃の恒温室内に鉛直に貯蔵し、促進養生による長さ変化率（膨張率）を材齢6か月まで毎月測定するものです。反応性の有無は、次の2つの条件が同時に満たされる場合に“反応性なし”と判定し、そうでない場合は“反応性あり”と判定します。

- 1) 材齢6か月における膨張率が、いずれのアルカリ添加量においても0.1%未満であること。
- 2) 材齢6か月において、膨張率が0.1%になるときのアルカリ添加量推定値（臨界アルカリ量）が -1.2kg/m^3 以下、または $+3.0\text{kg/m}^3$ 以上であること。



写真9 コンクリートの反応性試験状況⁸⁾
 (上：40℃恒温室内での被覆養生、
 下：長さ変化率の測定)

試験状況の一例を写真9に、試験結果の一例を図7および図8に示します。

2.4.4 ASR規制の経緯

アルカリシリカ反応性試験方法の制定は1986年、ポルトランドセメントの全アルカリ総量規制の制定は1992年であり、それ以前の構造物に使用された骨材については、アルカリシリカ反応性の有無についての検査は実施されていません。そのため、アルカリシリカ反応の疑いがある既存の構造物も多くあるとみられています。コンクリートコアを用いた実構造物の調査方法については、また違う回で紹介したいと思います。

現在は、コンクリート中のアルカリ量低減対策として、ポルトランドセメントのアルカリ量が酸化ナトリウム等量で 3.0kg/m^3 と規制されています。そのほか、低アルカリ型セメントの使用、フライアッシュセメントや高炉セメントの使用、フライアッシュや高炉スラグ微粉末の混和材としての使用などは、ASR抑制効果があることがわかっています。

3. おわりに

硬化コンクリートの耐久性について紹介しました。ここでは紹介できませんでしたが、耐塩害性、耐化学的浸食性、耐電流性など他にも様々な耐久性項目があります。

本号（7・8月号）の耐久性特集でも耐久性の概要を紹介しているほか、本誌2022年11・12月号では無機材料の耐久性試験について特集予定です。

本講座は次回から執筆者が交代しますが、引き続きお付き合い頂ければ幸いです。次回はコンクリートの配（調）合計画について紹介します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'21, 2021
- 2) 建材試験センター：建築材料・部材の試験評価技術, 2014
- 3) 谷川恭雄, 太田福男, 尾形素臣ほか：構造物材料実験法〈第3版〉: 2003
- 4) 日本建築学会関東支部：コンクリートの調査と施工, 2015
- 5) 建材試験センター西日本試験所：試験設備機器紹介リーフレット, 2014
- 6) 牛田真一郎：共振法動弾性係数測定器, 建材試験情報 vol.53, pp.16-17, 2017.7・8
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」, 2013
- 8) 若林和義：コンクリートのアルカリシリカ反応性試験方法における供試体形状及び貯蔵方法の検討, 建材試験情報 vol.55, pp.14-19, 2019.7・8

author

若林和義

工事材料試験ユニット
 工事材料試験所 浦和試験室 主査

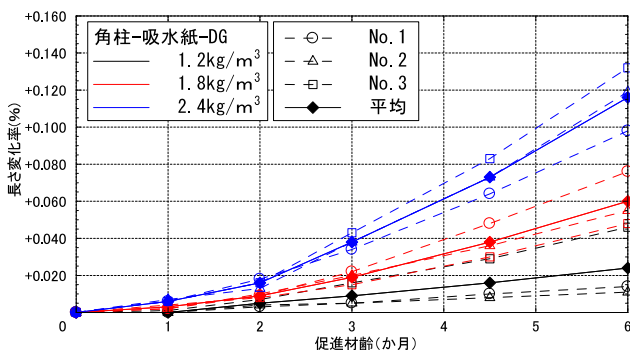


図7 膨張率と促進材齢の関係⁸⁾

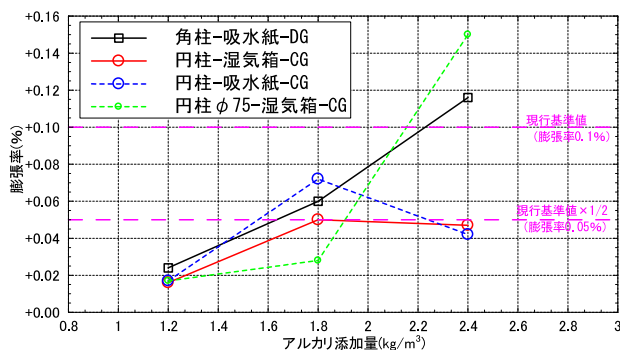


図8 膨張率とアルカリ添加量の関係⁸⁾

コンクリートの調(配)合設計

1. はじめに

私たちがコンクリートの練混ぜを行う際、ミキサーに材料を投入し、練混ぜ後、排出口から流れ出るコンクリートの状態を見ている時が一番緊張する時間です。目標とするスランプと比べると固すぎるぞ、間違えなく計算・計量を行ったか？ 空気が

水 (15~18%程度)	
セメント (8~15%程度)	
粗骨材 (35~40%程度)	細骨材 (25~35%程度)
	空気 (3~6%程度)

図1 コンクリート中の各材料の容積割合

入っていないか？ 水量補正は？ 色々な事が頭をめぐります。

今回はコンクリートの品質において要となる調(配)合設計についての基本的な考え方や計算過程について紹介させていただきます。

先に用語の説明をしておきますと土木分野では“配合”、建築分野では“調合”という用語を使用しています。ここでは、便宜上両者を示す用語として“調(配)合”という用語を使用します。なお、レディーミックスコンクリートは、土木・建築の両分野で使用されますが、JIS A 5308では“配合”という用語を使用しています。

2. コンクリートの構成材料

コンクリートはセメント・水・骨材(粗骨材と細骨材)・混和剤を主な使用材料として作られます。粗骨材とは「5mm網ふるいに質量で85%以上とどまる骨材」、細骨材とは「10mmふるいを全部通り、5mmふるいを質量で85%以上通る骨材」とされています。モルタルはセメント・水・細骨材が主な材料です。

コンクリートの調(配)合とはコンクリートを作る時の構成材料すなわちセメント、水、骨材、混和剤の使用量やそれらの割合のことを示します。

表1 調(配)合に関する主な規定

示方書または仕様書	項目	調(配)合条件に関する主な規定
コンクリート 標準示方書 ¹⁾ [2017年制定]	水セメント比	65%以下を基本とする。 水密性を考慮する場合は55%以下を標準とする。
	単位水量	できるだけ少なくする。[上限 175kg/m ³ を標準とし、175kg/m ³ を超える場合は高性能AE減水剤を使用することが望ましい。]
	粗骨材の最大寸法 (鉄筋コンクリート)	一般の場合は20mmまたは25mm、断面が大きい場合は40mmを標準とする。また、部材最小寸法の1/5、鉄筋の最小あきの3/4およびかぶりの3/4を超えてはならない。
	スランプ (鉄筋コンクリート)	部材の種類や施工条件によって決める。また、コンクリートの製造から打込みまでのスランプの低下を考慮して、どの段階のスランプであるかを定義し、スランプを設定する。
	細骨材率	単位水量が最小になるように定める。
	空気量	無筋および鉄筋コンクリートの場合は4~7%を標準とする。
鉄筋コンクリート 工事 標準仕様書(JASS5) ²⁾ [普通コンクリート]	水セメント比	セメントの種類および計画供用期間の級による。 ポルトランドセメント(低熱ポルトランドセメントを除く)および混合セメントA種を使用する場合は65%以下とする。 低熱ポルトランドセメントおよび混合セメントB種を使用する場合は60%以下とする。なお、計画供用期間の級が超長期でポルトランドセメントを使用する場合は55%以下とする。
	単位水量	185kg/m ³ 以下とする。
	単位セメント量	270kg/m ³ 以上とする。
	粗骨材の最大寸法	使用箇所、骨材の種類に応じて20~40mmとする。
	スランプ	調合管理強度33Nmm ² 未満:18cm以下とする。 調合管理強度が33N/mm ² 以上:21cm以下とする。
	空気量	普通コンクリートの場合は4.5%を標準とする。
	塩化物量	塩化物イオン量として0.30kg/m ³ 以下とする。

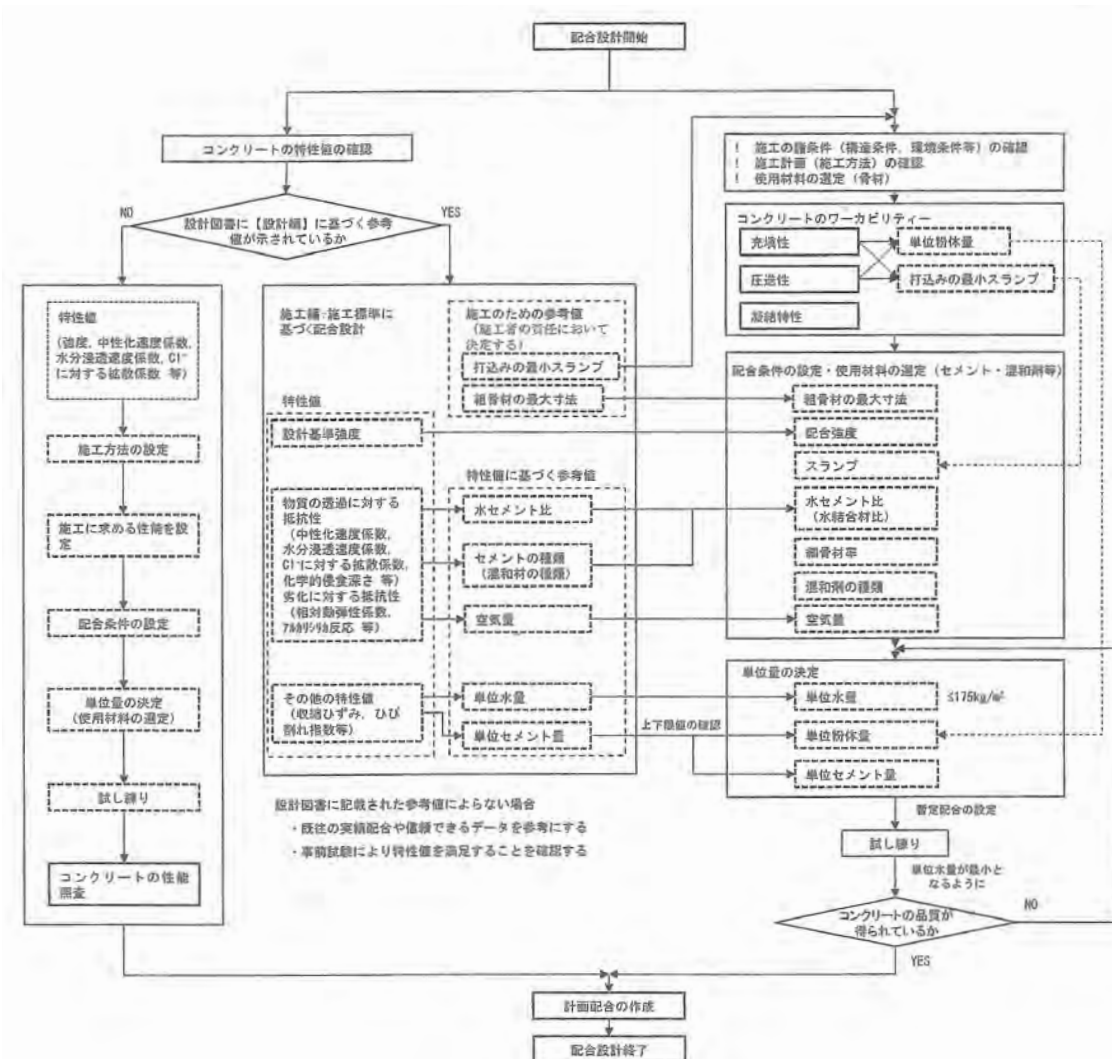


図2 配合設計のフロー

以前のレポートにもありましたが、セメントや骨材にも種類があり、用途によって特徴が異なります。コンクリートの調（配）合は、コンクリートを使用する構造物の種類、環境条件、施工方法などを考慮し計画されます。そして所用の強度および耐久性を満たし、施工時の作業性（ワーカビリティ）を有し、かつ経済的な調（配）合計画がなされなければなりません。

3. コンクリートの調（配）合設計の基本

調（配）合設計の基本は、図1に示すように、1立方メートル（1m³）当たりのコンクリートについて、各

種材料の割合をどのように設定するかということです。1m³あたりのセメントの質量を「単位セメント量」、1m³あたりの水の質量を「単位水量」と言います。

調（配）合設計を行う際には、使用する材料の品質（密度や吸水率等の物性値）を確認しておく必要があります。これら物性値はJISによって規定された試験方法によって試験を行い求めます。

4. 調（配）合設計の手順

調（配）合の手法は建築学会の建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事（JASS5）や土木学会のコンクリート標準示方書に示さ

れています。表1に調（配）合に関する主な規定を、図2に配合設計のフローを示します。

5. 調（配）合設計の具体的な手順

(1) 調（配）合強度の設定

コンクリートの強度には、ある程度のばらつきが必ず生じます。一般に強度は正規分布し、ばらつきの範囲は3σ（標準偏差の3倍の値）とあると言われていています（図3）。コンクリートの強度は、ばらつきが生じても構造設計時に定めた性能（設計基準強度）を満足する必要があります。調（配）合強度とは、強度のばらつきを考慮した上で目標とする圧縮強

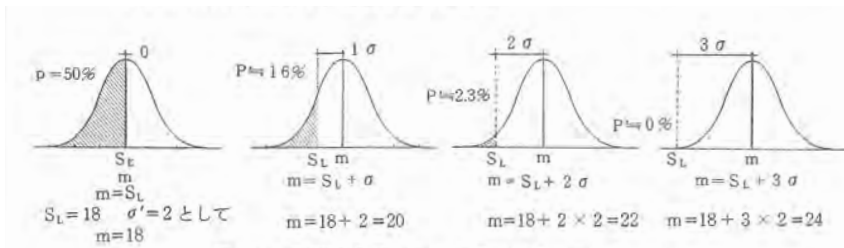


図3 配合強度 (m) と不良率 (P) の関係

度のごとで、次に示す方法によって決定します。

土木用コンクリートの場合は、設計基準強度に割増し係数を乗じた値が配合強度となります。通常は、予想される強度の変動係数に応じた割増し係数(不良率5%)を使用します。例えば、変動係数を10%と仮定すると、割増し係数は1.2となり、配合強度は、設計基準強度に1.2を乗じた値となります。

一方、建築用コンクリートの場合は、JASS5の調査設計強度の設定(図4)に示すように、まず始めに、式1によって構造体強度補正值を考慮した調査管理強度を求めます。次に強度のばらつき(正規偏差と標準偏差の積)を加えた値が式2および式3を満足することを確認して調査強度とします。なお、調査強度は、標準養生した供試体の材齢m日(原則として28日)における圧縮強度で表します。

(2) 強度と水セメント比の設定

コンクリートに求められる性能の重要項目として硬化後の強度と耐久性があります。強度と耐久性は、コンクリートに使用される水とセメントの質量比「水セメント比(W/C)」が大きく影響します。

土木用コンクリートの場合は、圧縮強度に基づく水セメント比、耐久性から定まる水セメント比、水密性から定まる水セメント比のうち、最も小さい値を採用することを標準としています。なお、耐久性や水密性から定まる水セメント比の上限値は、構造物の種類、露出状態、断面、気象条件などによって異なるため注意する必要があります。

一方、建築用コンクリートの場合は、調査強度を得るための水セメント比、セメントの種類によって定められた上限値、コンクリートの種類および計画供用期間の級を考慮して定めることが基本です。

(3) 単位水量と単位セメント量の設定

コンクリートに求められる性能の

二番目に求められる項目は施工性です。施工性の指標は、スランプやスランブフローで示されます。スランプやスランブフローはコンクリート中の単位水量で支配されます。

土木用コンクリート、建築用コンクリートともに、単位水量はできるだけ少なくすることが原則ですが、土木用コンクリートでは175kg/m³以下、建築用コンクリートでは185kg/m³以下を標準としています。設定された単位水量が規定値を超える場合には混和剤を使用して単位水量の低減を図るのが基本的な考え方です。水セメント比と単位水量が決まれば単位セメント量は計算で求められます。

(4) 空気量の設定

コンクリート中の空気量は混和剤によって調整します。適度な空気量の増加により凍結融解抵抗性やワーカビリティの改善に効果があります。建築に使用されるコンクリートの標準的な空気量4.5%程度ですが、空気量が増加すると圧縮強度の低下をさせるため、必要以上に空気量を多くすることは好ましくありません。

(5) 骨材量の設定

コンクリート中の骨材量[1m³中の細骨材および粗骨材の容積(絶対容積)および単位量(質量)]の定め方は、細骨材率から算出する方法と粗骨材かさ容積から算出する方法の2通りの計算方法があります。図5にそれらの計算過程を示します。ここでは、得られている調査条件から選定する事が必要です。

細骨材率はワーカビリティに影響を及ぼします。細骨材を少なくすると材料分離を起こしやすくなります。細骨材率が多くなると乾燥収縮が大きくなり、ひび割れの発生が懸念されるようになります。

(6) 計画調(配)合の決定

(1)～(5)の手順で算出した各材料の絶対容積および単位量を取り纏めた一覧表を土木分野では計画配合、

調査管理強度は式1によって算出される値とする。

$$F_m = F_q + mSn \quad \text{式1}$$

ここに、 F_m :コンクリートの調査管理強度(N/mm²)

F_q :コンクリートの品質基準強度(N/mm²)

品質基準強度は、設計基準強度または耐久設計基準強度のうち、大きい方の値。

mSn :標準養生した供試体の材齢m日における圧縮強度と構造体コンクリートの材齢n日における圧縮強度の差による構造体強度補正值(N/mm²)。

ただし mSn は0以上の値とする。

調査強度は、標準養生した供試体の材令mにおける圧縮強度で表すものとし、式2及び式3を満足するように定める。調査強度を定める材令m日は、原則として28日とする。

$$F \geq F_m + 1.73 \sigma \quad \text{式2}$$

$$F \geq 0.85F_m + 3 \sigma \quad \text{式3}$$

ここに、 F :コンクリートの調査強度(N/mm²)

σ :使用するコンクリートの圧縮強度の標準偏差(N/mm²)

図4 JASS5の調査設計強度の設定

(1) 細骨材率を基に算出する方法

例) 空気量 A=4.5%、細骨材率 (s/a) =38.5%、セメント密度=3.15g/cm³、
水密度=1.00g/cm³、細骨材表乾密度=2.58g/cm³、粗骨材表乾密度=2.62g/cm³とする
・1m³あたり骨材の全容積

$$V=1000L - (\text{水の容積} + \text{セメントの容積} + \text{空気量の容積})$$

$$=1000L - (151\text{kg/m}^3/1.00 + 270\text{kg/m}^3/3.15 + 45(1000 \times 4.5\%))$$

$$=1000 - (151 + 86 + 45)$$

$$=718L$$
 ・細骨材容積 = 全骨材容積 × (細骨材率/100)

$$=718L \times 38.5\% = 276L$$
 ・細骨材量 = 276L × 細骨材表乾密度 2.58g/cm³

$$=712\text{kg/m}^3$$
 ・粗骨材容積 = 718L - 276L = 442L
 ・細骨材量 = 442L × 粗骨材表乾密度 2.62g/cm³

$$=1158\text{kg/m}^3$$

(2) 粗骨材のかさ容積を基に算出する方法

例) 空気量 A=4.5%、粗骨材かさ容積 0.677m³/m³、セメント密度=3.15g/cm³、
水密度=1.00g/cm³、細骨材表乾密度=2.58g/cm³、粗骨材表乾密度=2.62g/cm³、
粗骨材単位容積質量 1.70kg/L とする
 ・細骨材量 = 1.70kg/L × 1000 × 0.677m³/m³

$$=1151\text{kg/m}^3$$
 ・細骨材容積 = 1000 - (水の容積 + セメントの容積 + 空気量の容積 + 粗骨材の容積)

$$=1000L - (151\text{kg/m}^3/1.00 + 270\text{kg/m}^3/3.15 + 45(1000 \times 4.5\%)$$

$$+ 1151\text{kg/m}^3/2.62\text{g/cm}^3)$$

$$=1000 - (151 + 86 + 45 + 439)$$

$$=279L$$
 ・細骨材量 = 279L × 細骨材表乾密度 2.58g/cm³

$$=720\text{kg/m}^3$$
 ・細骨材率 (s/a) = 279L / (279 + 439)

$$=38.9\%$$

図5 骨材量の計算過程

建築分野では計画調合と呼びます。一般に、計画配合には、粗骨材の最大寸法、スランブ、空気量、水セメント比 (W/C)、細骨材率 (s/a) と共に、使用材料の単位量を明記します。一方、計画調合には、コンクリートの諸条件、使用材料の単位量のほかに絶対容積を明記するのが特徴で

す。計画配合の表記法の一例を表4に、また、計画調合の表記法の一例を表5に示します。

(7) 現場調 (配) 合

計画配合または計画調合からコンクリート 1 パッチ当たりの練混ぜ量 (1 回に練り混ぜる量) を算出し、現場配 (調) 合を作成します。なお、

その際、土木用コンクリートの場合は、細・粗骨材の粒度 (過大粒、過小粒) および含水率の補正を行います。建築用コンクリートの場合は、通常、骨材の粒度の補正は行いませんが、骨材量の含水状態を確認し水量の補正を行います。

6. おわりに

我々が試験室で実施するコンクリートの練混ぜの場合は、調 (配) 合条件として、水セメント比や細骨材率、混和剤使用量等が指定されている場合が多いですが、それらの条件が揃っていても、ある程度期間を開けて練混ぜを行うと、思ったような性状のコンクリートは得られず混和剤での調整を行います。まさにコンクリートは生き物だと実感します。コンクリート生産におけるスランブや空気量の変動の把握、使用骨材の保管方法や含水管理等、品質管理のデータの蓄積と活用が重要な分野です。

参考文献

- 1) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2018
- 2) 2017 年制定コンクリート標準示方書
- 3) コンクリート技士・主任技士研修テキスト

author

中村則清

総合試験ユニット 中央試験所 材料グループ 主幹

<従事する業務>
コンクリートの各種物性試験、骨材試験

表4 コンクリートの計画配合の一例

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	混和材 F	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
40	8	4.5	57.7	42.8	158	274	—	822	1212	2.74

表5 コンクリートの計画調合の一例

品質基準強度 (N/mm ²)	調合管理強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (l/m ³)				単位量 (kg/m ³)				化学混和剤の使用量 (× C%)
							セメント	細骨材	粗骨材	混和材	セメント	細骨材	粗骨材	混和材	
24	27	18	4.5	52.1	46.0	185	113	302	355	—	355	794	941	—	1.0

コンクリートの品質管理・検査

1. はじめに

今回は、コンクリートの品質管理と検査として、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）に基づき、生コン工場が行うコンクリートの品質管理と検査について紹介します。

生コン工場での品質管理は多岐に渡ります。一般に、コンクリートの原材料（セメント、骨材、練混ぜ水、化学混和剤、混和材料）や、荷卸し時のレディーミクストコンクリートの製品検査（強度、スランプ又はスランプフロー、空気量、塩化物含有量）は比較的知られていると思います。今回は、生コン工場が行う品質管理として、工程検査も含めて紹介します。

2. 生コン工場の品質管理

生コン工場では、原材料を購入・受入し、所有する設備（バッチャプラント）にてコンクリートを製造したうえで、トラックアジテータ（アジテータ車）に積込み、荷卸し地点まで運搬します。コンクリートの製造に関する品質管理としては、原材料の受入検査、製造に使用する原材料の工程検査、製造したコンクリートの工程検査、荷卸し地点まで運搬したコンクリートの製品検査となります。この他にも、品質管理の組織的な運営（品質管理計画、教育訓練の推進など）や、各種設備の管理、外注管理などがありますが、ここでは省略します。

JIS A 5308に適合しJISマーク表示製品として認証を受けるためには、JIS A 5308に適合するほか、JIS認証の審査基準であるJIS Q 1011（適合性評価－日本工業規格への適合性への認証－分野別認証指針（レディーミクストコンクリート））に定める事項に適合することが必要になります。ここでは「分野別認証指針」として説明します。

分野別認証指針では、認証審査における工場審査と製品試験の実施の条件などのほかに、工場審査にて確認する品質管理体制（製品の管理、原材料の管理、製造工程の管理、設備の管理、組織的運営など）の要求事項が規定されています。

JIS A 5308及び分野別認証指針では、様々な製品（普通コンクリート、軽量コンクリート、舗装コンクリート及び高強度コンクリート）や、原材料（回収骨材、スラッジ水など）も対象とした規格となっています。本稿では、一般的なコンクリートとして、表1のコンクリートを対象としてご紹介します。なお、この記載事項以外であっても、JIS A 5308及び分野別認証指針に適合する場合は

ありますので、ご注意ください。

3. 原材料の検査

3.1 原材料の受入検査

コンクリートに使用する原材料は、①セメント、②骨材、③水、④化学混和剤、混和材に大別できます。

それぞれの原材料については、分野別認証指針に基づき、次の受入検査を行います。

①セメント

セメント製造業者が月1回発行する、セメントのJISに規定する試験成績表をもとに、JISに適合することを確認します。なお、セメントの密度は、配合（調合）計算に必要となりますが、JISでは規定がありません。また、6か月に1回以上、圧縮強度を確認します。

②骨材

JIS A 5308の附属書A（レディーミクストコンクリート用骨材）に適合することを、生産者が発行した試験成績表、第三者試験機関の試験成績表ないしは自社で実施した試験結果で確認します。確認する試験項目および試験方法は、分野別認証指針の表A.2.1に規定されています。

表1 対象とするコンクリート

コンクリートの種類	レディーミクストコンクリート（普通コンクリート）
原材料	ポルトランドセメント、砂、砕砂、砂利、砕石、上水道水以外の水（スラッジ水を除く）、化学混和剤、混和材
製造	バッチャプラント
運搬	トラックアジテータ（アジテータ車）

③水

上水道水以外の水を使用する場合は、JIS A 5308の附属書C(レディミクストコンクリートの練り混ぜに用いる水)に適合することを、第三者試験機関の試験成績表ないしは自社で実施した試験結果で確認します。

④化学混和剤・混和材

フライアッシュ等の混和材は、月に1回以上、生産者が発行した試験成績表、第三者試験機関の試験成績表で品質を確認します。化学混和剤は、6か月に1回以上、防せい材は3か月に1回以上、生産者が発行した試験成績表、第三者試験機関の試験成績表で品質を確認します。

3.2 原材料の工程検査

コンクリートの使用材料のうち、セメント、水、化学混和剤及び混和材については比較的品質変動が少ないため、検査間隔は比較的長めになります。一方で骨材については、表面に付着する水分量により製造するコンクリートの性状に影響を受けることから、表2に示す表面水率の管理が重要となります。つまり、表面に付着する水分量は思いのほか多く、無視できない量だ、ということになります。特に粗骨材よりも細骨材のほうが、表面水の変動によるコンクリートの性状への影響が大きくなります。

表2 骨材の工程検査の測定頻度

種類	管理項目	頻度
細骨材	粗粒率	1回以上/週
	表面水率	1回以上/午前 1回以上/午後
粗骨材	粗粒率又は実積率	1回以上/週
	表面水率	必要の都度

注：人工軽量骨材、回収骨材、再生骨材H、スラッジ水、高強度コンクリートは別途管理が必要です。

細骨材の表面水率は、おおそ3～6%程度の値となることが多いようです。粗骨材の表面水率は、細骨

表3 表面水率の測定方法

日本産業規格	概要
JIS A 1111 細骨材の表面水率試験方法	質量法と容積法が規定されている。多くの生コン工場ではこの方法で測定を行っている。 質量法：ピクノメーター(写真1)やメスフラスコなどを用いる。 容積法：チャップマンフラスコ(写真2)を用いる。
JIS A 1125 骨材の含水率試験方法及び含水率に基づく表面水率の試験方法	試料の含水率を測定するとともに、試料の吸水率を利用して、表面水率を求める。含水率の測定には、試料を乾燥させる工程が必要となる。
JIS A 1802 コンクリート生産工程管理用試験方法—遠心力による細骨材の表面水率試験方法	試料を4個同時に遠心分離機にかけて表面水を脱水することにより表面水率を求める。遠心分離機の保有が必要となる。

材よりも製品に与える影響が少ないことから過去の経験に基づく値(0.5%など)を使用する場合があります。

また、骨材の粒度の変動によりスランプ等のコンクリートへの性状にも影響を及ぼしますので、粗粒率や実積率で粒度を管理します。

3.2.1 骨材の表面水率の試験

細骨材の表面水率は、表3に示す方法により測定します(分野別認証指針表A.3注(1)3.1参照)。

生コン工場では、JIS A 1111による表面水率の測定が多く行われているようです。細骨材の表面水率の測定は、2回測定し、2回の結果の平均値を採用します。また、それぞれの測定値は、平均値との差が0.3%以下となる必要があります。

搬入された骨材は、水分を含んでおり表面水率は変動するため、ストックヤードやサイロに1日程度置き、余剰水を切ってから使用することが考えられます。

試験用のガラス器具は、試験作業の効率化のため、所有している細骨材の種類ごとに同時に測定できる数の試験器具を保有するのが一般的です。またガラス製の器具は破損しやすいので、予備の器具を保有していることが望ましいと言えます。

3.2.2 チャップマンフラスコを用いた表面水率の測定



写真1 ピクノメーター



写真2 チャップマンフラスコ

細骨材の表面水率の測定のうち、チャップマンフラスコを用いた表面水率の測定は次の手順で行います。

- ①2回分の試料(400g以上)を採取する。
 - ②試料の質量を測定する。
 - ③チャップマンフラスコの下側の目盛りに規定量の水(V_1)を入れる。
 - ④チャップマンフラスコに量り取った試料を入れ、空気を十分に追い出す。
 - ⑤試料を含む水の容積の目盛り(V_2)を読む。
- 試料で置き換わられた水の質量を式(1)で求める。

$$m = V \times \rho = V_2 - V_1 \quad (1)$$

ここに、

m : 試料で置き換わられた水の質量(g)

V : 試料で置き換わられた水の容積(ml)

ρ : 水の密度(1.0g/cm³)

V_2 : 試料を含む水の容積(ml)

V_1 : 規定量の水(ml)

式(2)により、表面水率を求める。

$$H = \frac{m - m_s}{m_1 - m} \times 100 \quad (2)$$

ただし、 $m_s = \frac{m_1}{d_s}$

ここに、

H : 表面水率(%)

m : 試料で置き換わられた水の質量(g)

m_1 : 試料の質量(g)

d_s : 細骨材の表乾密度(g/m³)

通常、月1回測定する。

日々の測定においては、試料の質量 m_1 、規定量の水 V_1 は毎回同一にしておくことにより、読み取った V_2 の値から、表面水率を換算することができます。

3.2.3 細骨材の粗粒率の試験

細骨材の粗粒率の試験は、JIS A 1102(骨材のふるい分け試験方法)か、これに代わる合理的な方法で行うこととなっています。一般的にはJIS A 1102により行うことが多いようです。ふるい分け試験を行うためには、骨材を乾燥させる必要があるため、乾燥させる場所(試験室の床など)、乾燥機、ふるい及び振動機、はかりなどが必要になります。

粗粒率は、工場内で管理水準を決めておき、管理水準を超えた場合は、配合の修正を行い所定の品質を有するコンクリートを製造するようにします。

3.2.4 粗骨材の粗粒率・実積率の試験

粗骨材の粗粒率は細骨材と同様の方法で実施します。

実積率は、JIS A 1104(骨材の単位容積質量及び実積率試験方法)により実施します。単位容積質量測定用ますに表乾状態(又は絶乾状態)の試料を入れ、単位容積質量を求めたのち、単位容積質量を試料の表乾密度(又は絶乾密度)で除して実積率を求めます。

粗骨材は、粗粒率および実積率で管理します。工場内で管理水準を決めておき、管理水準を超えた場合は、配合の修正を行い所定の品質を有するコンクリートを製造するようにします。

4. 製品の製造工程の検査

コンクリートの製造は、コンクリートの種類に応じて決めた配合に

基づき、必要な原材料を計量したのち、ミキサにて練混ぜて製造します。

製品の製造工程の検査は、分野別認証指針により、コンクリートの練混ぜ工程の管理として、表4に示す品質特性について検査を行います。つまり、生コン工場では午前と午後それぞれ1回以上、試料を採取し試験を実施することになります。

この工程検査は、コンクリートの練混ぜが適切に行われているか管理するために、毎日1回、検査を行うこととなります。つまり、使用する原材料に異状はないか、計量に問題はないか、練混ぜは適切か等を確認するために実施します。

練混ぜの管理項目は、練混ぜ方法、練混ぜ時間、練混ぜ量、容積となっています。これを管理するために、練混ぜ量、強度、スランプ又はスランプフロー、空気量、塩化物含有量について、表4に示す工程検査を行うこととなります。

練混ぜ時には、計画する練混ぜ量通りとなったか、練混ぜ後にミキサからホッパーにコンクリートを移動

表4 製品の工程検査

品質特性/管理項目	管理方法	頻度
練混ぜ量	目視にておおよその量を確認する	全バッチ
強度	代表的な配合について行う強度試験は、標準養生とするか、温水養生による促進判定としてもよい。代表的な呼び強度がない場合は任意の配合とする。呼び強度が異なるものを用いる場合は呼び強度比としてもよい	1回以上/日
スランプ	目視	全バッチ
	スランプ試験	1回以上/午前、1回以上/午後
スランプフロー	スランプフロー試験及び目視(材料分離の有無)	1回以上/午前、1回以上/午後
空気量	空気量測定試験	1回以上/午前、1回以上/午後
塩化物含有量	海砂、塩化物量が多い砂、海砂利、再生骨材H、普通エコセメントを使用	1回以上/日
	上記以外で化学混和剤Ⅲ種を使用	1回以上/週
	上記以外	1回以上/月

させ、おおよその量を目視で確認してから、トラックアジテータに積載します。また、製造時にはミキサの稼働出力（電流計）の変動及び目視にて、スランプの値を確認します。

工程検査は、製造時に通常0.1m³程度の割増しを行い、コンクリートを採取して試験を行います。試験は、スランプ・スランプフロー、空気量の測定を午前と午後それぞれ1回実施します。塩化物含有量は、使用する原材料の種類に応じて、塩分量が多い原材料の場合は1日1回、塩分量が少ない原材料は月1回検査します。

5. 製品の運搬

製品は、主としてトラックアジテータに積載して運搬します。運搬の時間は原則として練り混ぜ開始から1.5時間以内となります。運搬時に品質変化が生じないようにするため、トラックアジテータは3年に1回以上、性能検査を行います。

JISマーク品の運搬ですが、1運搬車は1カ所の納品先に運搬し、納品します。納品の際には、JISマーク入りの納入書を提出し、受取者はサインを記入します。

6. 荷卸した製品の検査

レディーミクストコンクリートの

検査項目と検査の方法は表5のとおりです。製品試験は、工事現場などの荷卸し地点で採取したコンクリートを使って行い、納入先に受け渡すための検査（受渡検査）として実施することもあります

強度の確認は、150m³につき1回実施し、3回の試験結果でロットの判定を行います。強度の管理は、呼び強度ごとに出荷量を積算して1回の試験が150m³を超えないように実施します。スランプ又はスランプフロー、空気量の確認は、JIS A 5308では「必要に応じ」としてありますが、強度試験用供試体の採取時にあわせて試験を実施する場合があります。

納入の際、アジテータ内に水を加える「加水」は、コンクリート強度等の品質低下に直結するため、いかなる場合であっても絶対に行ってはなりません。

コンクリートを荷卸した際、荷卸しせず余ったコンクリートは「残コン」と呼ばれます。残コンは、所定の処分場に運搬して処分するか、生コン工場に持ち帰り、処分します。戻りコンクリートからセメント成分を洗い流して回収した骨材は、JISに従った標準化を行えば、回収骨材として再びコンクリート材料に使用することができます。

7. おわりに

コンクリートの品質管理、検査として、JIS A 5308に基づき生コン工場が行うコンクリートの品質管理と検査について紹介しました。

JIS A 5308は様々な種類の材料や製造方法なども規定されております。今回は紹介していませんが、スラッジ水、回収骨材などを使用する場合は、別途要求事項があります。また、使用する製造設備や検査設備にも多岐にわたる管理基準があります。

コンクリートの検査は、原材料と製品の品質が注目されがちですが、生コン工場では適切な生産・出荷を行うために、今回紹介した様々な検査や管理を実施して品質の安定に努めています。本稿にて、読者の理解の一助になれば幸いです。

参考文献

全国生コンクリート工業組合連合会：生コン工場品質管理ガイドブック，2019

author

佐伯智寛

認証ユニット 製品認証本部 JIS認証課 課長

<従事する業務>
JIS認証業務の運営、JIS認証審査、審査員研修、セミナー講師

表5 製品の検査

検査項目	検査方法
強度	150m ³ につき1回試験を実施し、3回の試験(450m ³)で品質保証の範囲となるロットを構成する。1回の試験は、任意の運搬車1台から採取した試料で作った3個の供試体の試験値の平均値とする。試験は3回行い、1回の試験結果は呼び強度の85%以上、3回の平均値は呼び強度以上とする。なお、3回の試験は、水セメント比と強度の関係が同一で、かつ同じ呼び強度のものであれば、スランプ又はスランプフローが異なっても良い。
スランプ又はスランプフロー	試験を行い、測定値が許容範囲内であればよい。1回の試験で許容範囲を外れた場合は、同じ運搬車から新しく試料を採取して再度試験を行い、許容範囲内に入れば合格とできる。
空気量	スランプ又はスランプフローと同じ
塩化物含有量	1回の試験で測定値が許容範囲内であればよい。測定は工場出荷時に行うこともできる。測定は、JIS A 1144(フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法)によるか、精度が確認された塩化物含有量測定器具((財)国土技術研究センターの評価を受けた器具)によることできる。

構造物の調査と試験の方法 (コア)

1. はじめに

コンクリート構造物は、竣工後も供用期間にわたって構造物に要求される性能を確保するよう、維持管理していくことが重要です。構造物の維持管理は、点検→調査・試験→劣化予測・評価→対策の必要性の判定→対策の実施のフローで行われることが一般的です。その中でも本号では、構造物の調査と試験の方法について紹介します。

2. 構造物の調査

コンクリート構造物は、使用材料や立地などの環境条件により、段階的に劣化が進行していきます。劣化したコンクリート構造物に対策が必要かどうか、必要であれば対策を行うための情報を収集・確認する作業を「調査」と言います。その調査結果を基に劣化度を判定し、劣化により低下した性能・機能の改善や耐久性の回復と向上（補修）、あるいは力学的な性能低下の回復や向上（補強）などの対策の方針を決めることを「診断」と言います。ここで、調査・診断と補修のフロー¹⁾を図1に示します。フローによると、構造物の調査は建物概要調査、外観目視調査、詳細調査の3項目に分類されます。それぞれの調査の種類と調査項目²⁾を表1に示します。

2.1 建物概要調査

建物概要調査は、人間を例にとると病院へ受診した際に記入する問診

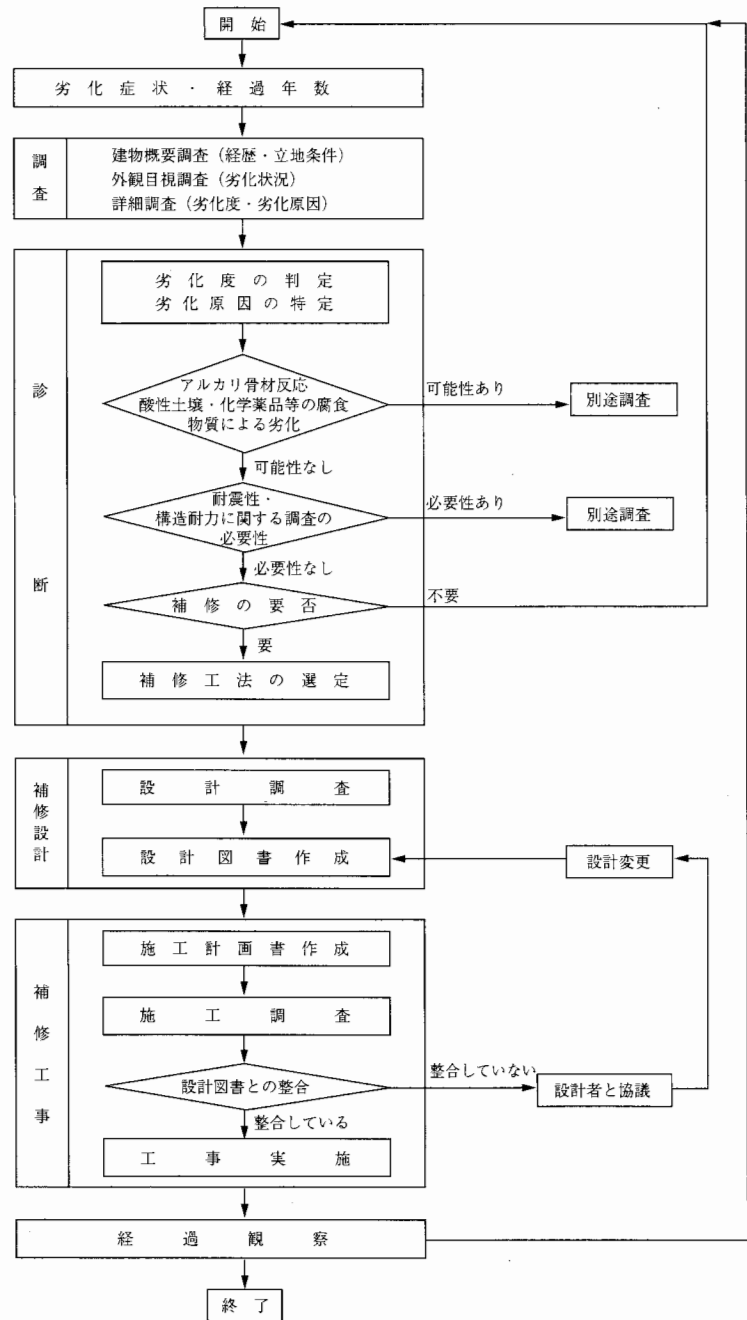


図1 調査・診断と補修のフロー

表1 調査の種類と調査項目

調査の種類	調査項目
建物概要調査	<ul style="list-style-type: none"> ・建築物の名称および所在地 ・建築物の設計者および施工者 ・施工年月 ・立地条件 ・補修・補修歴 ・用途、規模、構造形式 ・使用材料 ・使用上のクレーム ・仕上げ材の有無と種類
外観目視調査	<ul style="list-style-type: none"> [劣化症状] ・ひび割れ ・鉄筋露出 ・漏水後 ・仕上げ材の浮き ・錆汚れ ・変形 ・コンクリートの剥離 [機能障害の有無および発生箇所] ・異常体感（振動、大たわみ）
詳細調査	<ul style="list-style-type: none"> ・仕上げ材の施工状況 ・鉄筋の種類と径および配筋状況 ・鉄筋の腐食状況 ・塩化物のイオン量 ・コンクリートの材料・調合 ・コンクリートの中酸化深さ ・コンクリートの含水率 ・仕上げ材の劣化状況 ・かぶり（厚さ） ・コンクリートの圧縮強度 ・コンクリートのポロシティー、気泡分布 ・ヤング係数

票と似ています。問診票では個人情報や症状、薬の処方歴などの詳細を記入するように、建物概要調査では、書類調査やヒヤリングによって得られた名称や所在地、竣工年月、立地条件、使用材料、補修・補強歴などの情報を記録しています。

2.2 外観目視調査

外観目視調査は、人間を例にとると病院での医師による診察と似ています。国家資格を持つ医師が対面あるいはリモートによって患者の症状を確認するように、外観目視調査では、一級建築士やコンクリート主任技士などの有資格者またはこれらと同等の知識や経験を有する者が、目視で見られる外観の劣化症状や機能障害の有無・発生箇所などについて調査し、記録しています。調査にはクラックスケールやハンマー、双眼鏡などの簡易な道具を使用し、特徴的な劣化症状についてはカメラによる写真撮影や、近年ではドローンを用いて撮影する新しい技術³⁾も開発されています。

2.3 詳細調査

詳細調査は、人間を例にとると病院で行う検査と似ています。検査では、一例としてCTやMRIなど装置

を使用して患者の異状の有無などを調べるように、詳細調査では、上記同様有資格者（または準ずる者）が、主に現地調査と採取試料の分析調査を行います。現地調査では、はつりまたはコア採取による調査、非破壊試験による調査などを行います。採取試料の分析調査では、採取したはつり片やコンクリートコアを用いて微破壊試験や破壊試験（化学分析および物理試験）を行います。コア採取の様子を写真1に示します。

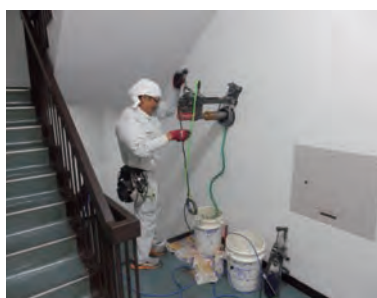


写真1 コア採取の様子

詳細調査で行われる試験項目および方法・装置について表2に示します。ここからは、表2で示した非破壊試験と微破壊試験の一部について、簡単に概要をご紹介します。

(1) サーモグラフィ法

サーモグラフィ法は、物体表面か

ら放射される赤外線を二次元的に検出し、映像として表示する方法です。コンクリート中に内部欠陥が存在すると、健全部と比較して熱的性質が異なるため、サーモグラフィ法により物体の表面温度分布を測定することで、その表面温度差から内部欠陥の存在を推定することが可能です。

(2) 弾性波

弾性波法は、コンクリート表面に設置した発振子や衝撃入力装置によって内部に弾性波を発生させ、受振子で測定する方法です。利用する周波数や弾性波の発生・受信方法の違いにより、超音波法、衝撃弾性波法、打音法の3種類に分類されます。

(3) AE法(アコースティック・エミッション)

AEとは、材料に変形やき裂が生じる際、内部に蓄えていた弾性エネルギーが、音響信号である弾性波として放出される現象です。AE法はその特徴を利用し、AEセンサーやAE測定器を用いて、主に過剰な交通荷重や地震時の荷重、鋼材腐食などが原因で発生したコンクリートのひび割れの検出に利用されています。

表2 詳細調査の試験項目および方法・装置

劣化原因	試験項目	方法・装置		
		非破壊試験	微破壊試験	破壊試験（化学分析および物理試験）
全般	C：ひび割れ	弾性波、AE法	—	—
	C：はく離	弾性波	—	—
	C：空洞	サーモグラフィ法、弾性波、電磁波レーダ法	—	—
	S：鉄筋探査	電磁波レーダ法、電磁誘導法、X線透過撮影法	—	—
	埋設物	電磁波レーダ法、X線透過撮影法	—	—
	S：腐食状況	自然電位法、分極抵抗法、電気抵抗法	—	はつり調査、▲鋼材の腐食評価方法（JCI-SC1）
強度	C：圧縮強度	▲反発度法（JIS A 1155）	●小径コア、 ●ボス供試体（NDIS3424）	●圧縮強度（JIS A 1107）、 ●割裂引張強度（JIS A 1114）
	C：静弾性係数	—	—	●ひずみゲージ・ ●コンプレッソメータ（JIS A 1149）
	C：配合推定	—	—	●セメント協会法（F18）、ICPを用いる方法、 ●グルコン酸ナトリウムを用いる方法（NDIS3422）
	S：引張試験	—	—	●降伏点・●引張強度（JIS Z 2241）
中性化	C：中性化深さ	—	●小径コア、 ●ドリル削孔粉	●フェノールフタレイン（JIS A 1152）、TG-DTA、 XRD、EPMA
塩害	C：塩化物イオン	—	●小径コア、 ●ドリル削孔粉	●塩化物イオン（JIS A 1154）、EPMA
凍害	C：気泡間隔係数	—	—	リニアトラバース法
	C：細孔径分布	—	—	水銀圧入式ポロシメータ
アルカリシリカ反応	C：膨張率	—	—	●JCI-DD2（40℃、95%以上）、 ●カナダ法（80℃、1NのNaOH溶液）、 ●デンマーク法（50℃、飽和NaCl溶液）
	C：析出物	—	—	化学成分分析（●SEM-EDS、XRD、TG-DTA）
	C：アルカリ量	—	—	●水溶性アルカリ：建設省総プロ法 ●全アルカリ：原子吸光度計（JIS R 5202）
化学的腐食	C：骨材	—	—	●化学法（JIS A 1145）、偏光顕微鏡観察、岩石学的試験（JCI-DD3、DD4）
	C：腐食深さ	—	—	EPMA
	C：析出物	—	—	化学成分分析（●SEM-EDS、XRD、TG-DTA）

備考：表中における試験項目の記号は、それぞれCはコンクリート、Sは鉄筋を表しています。
方法・装置の前に付いた記号は、●：建材試験センターで実施している試験項目、▲：条件付きで建材試験センターで試験実施している項目、記号無し：建材試験センターで実施していない試験項目を表しています。

(4) 電磁波レーダ法

電磁波は、比誘電率や導電率などの電氣的性質が異なる物体との境界面で反射する性質があります。電磁波レーダ法はその特徴を利用し、主にコンクリート構造物内の異物調査（鉄筋や埋設物、空洞など）に利用されています。

(5) 電磁誘導法

電磁誘導法は、試験コイルに交流電流を流すことによってできる磁界内に試験対象物を設置することに

よって探査を行います。探査対象物は、磁束に影響を与える金属や強磁性材料であり、主に鉄筋径および鉄筋位置の推定に利用されています。

(6) X線透過撮影法

X線透過撮影法は、内部の様子をほぼ実態に近い状態で確認できる唯一の非破壊試験方法です。コンクリート構造物にX線を照射すると、構造物内の物質の密度に比例してX線が減弱します。その透過したX線の強さに応じて、白黒の投影像が

フィルムに写し出される特徴から、建築構造物では壁や床の鉄筋位置や版厚の測定、土木構造物では橋梁のPC桁のシーす内のグラウトの充填確認、床版の空洞の検出などに適用されます。

(7) 反発度法

反発度法は、リバウンドハンマーによってコンクリートの表面を打撃し、その反発度とコンクリートの硬さ・強度に相関があることを利用して、コンクリートの圧縮強度を推定

する方法です。なお、JIS A 1155 (コンクリートの反発度の測定方法)では、反発度の測定方法のみ規定されているため、反発度から圧縮強度を推定する方法は、JIS以外の日本建築学会や土木学会などの団体規格をご参照ください。ちなみに、リバウンドハンマーで広く使用されているものに、シュミットハンマーがあります。

(8) ボス供試体

ボス供試体は、ボス型枠を用いてコンクリート構造物と一体で成型された突起状の供試体のことであり、コンクリート構造物と同様な方法で養生したのち供試体を割り取り、JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法)に従って圧縮強度試験を行います。コンクリート構造物の損傷が小さいことから、微破壊試験に位置付けられています。

(9) 小径コア

小径コアは直径25mm程度の供試体のことであり、小径コアを用いて圧縮強度や中性化深さ、塩化物イオン量の試験を行います。小径コアを用いる方法には、柱や梁などの主要構造部材からの採取や過密配筋下での採取が可能、採取跡の補修が容易などの利点が挙げられます。

3. 試験の方法

建材試験センターで実施されるコンクリートコアを用いた試験の方法について、いくつか紹介します。詳細についてはJISや関連規格をご参照ください。

(1) 圧縮強度試験・見掛けの密度試験

構造物に使用したコンクリートの圧縮強度は、製品検査結果や施工管理記録などで確認できますが、構造体コンクリートの圧縮強度は、施工条件によって変動します。また、凍害やアルカリシリカ反応など環境条件による劣化、中性化や塩害による鋼材腐食などの原因により、圧縮強

度が低下することもあるため、実構造物のコンクリートの圧縮強度を調査することがあります。

圧縮強度試験は、JIS A 1107 (コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法)に従って行います。同JISには、コンクリートの見掛けの密度を算出する方法も規定されており、平均直径と平均高さを使用して体積を求めたのち質量を測定し、見掛けの密度を算出します。中性化深さ試験と供試体を共有して圧縮強度試験を行う際は、中性化深さ測定面の処理(キャッピングまたは欠損量に分かる対策をした上で研磨)と供試体の破損を避けること(最大荷重に到達した後は速やかに除荷)に注意して試験を行います。また、補正後のコンクリートの圧縮強度が100N/mm²以下であり、コア供試体の高さとの比が1.00以上1.90未満の場合、圧縮強度が高くなる傾向があるため補正を行い、直径の2倍の高さをもつコア供試体の圧縮強度に換算しています。

(2) 中性化深さ試験

中性化は、大気中の二酸化炭素と水分の反応により生成した炭酸イオンが、コンクリート中の水酸化カルシウム(pH12~13)と反応・消費されることにより細孔溶液のpHが低下する現象です。pHの低下に伴って中性化領域が鉄筋位置に到達すると、鋼材表面の不動態被膜が消失し、水分と酸素の供給により鉄筋が腐食する場合があります。鉄筋が腐食すると、鋼材の断面が減少し、腐食生成物の体積膨張が原因でコンクリートにひび割れやはく離を引き起こすため、中性化の状況や今後の進行状況の確認を目的として、中性化深さ試験が行われます。

中性化深さ試験は、JIS A 1152 (コンクリートの中性化深さの測定方法)に従って行います。コア供試体の場合は、割裂面または側面に1% (w/v) フェノールフタレイン溶

液 [溶媒:90% (v/v) エタノール] を噴霧し、測定面から赤紫色に呈色した距離までを測定します。測定箇所には骨材がある場合は、両端の赤紫色を結んだ直線状で測定し、薄赤紫色に呈色した場合は、濃い赤紫色までの距離を測定します。一例として、中性化状況を写真2に示します。

なお、近年では、火害調査における中性化深さ試験で使用するフェノールフタレイン溶液の溶媒に無水エタノールを用い、噴霧後数十分以内に測定する方法の研究⁴⁾も行われています。

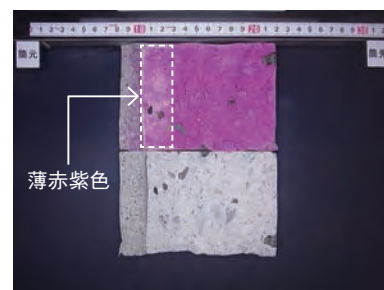


写真2 中性化状況

(3) 塩化物イオン試験

塩化物イオンは、コンクリート中の鋼材を腐食させることにより、コンクリート構造物の性能を低下させる物質です。塩化物イオンは、①製造時に材料から供給される場合[JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート)で、荷卸し地点における塩化物含有量の上限值が規定されていなかった1986年以前の構造物など]と②海水や凍結防止剤など外部環境から供給される2つのケースがあります。②のケースでは、構造物表面と内部で塩化物イオン濃度に差があり、さらに濃度勾配による拡散で内部へ移動するため、深さ方向に切断した試料片を用いて試験を行い、塩化物イオン濃度分布を調査することがあります。

塩化物イオン試験は、JIS A 1154 (硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法)に従って行います。粉末にした試料に硝酸

(1+6)を加えて加熱煮沸し、pH調整、再加熱、吸引ろ過して定容したものを試験溶液とします。試験溶液中の塩化物イオンの定量方法は4種類あり、その中でも電位差滴定法が広く利用されています。一例として、滴定状況を写真3に示します。なお、試験溶液中に塩化物イオンが存在すると、滴定溶液の硝酸銀溶液と反応し、白色の塩化銀が生成されます。

また、塩化物イオンは中性化深さとも関係があります。中性化の進行によりコンクリート中の固定化された塩化物イオンが遊離し、内部へ移動するため、鋼材腐食に影響を及ぼします。

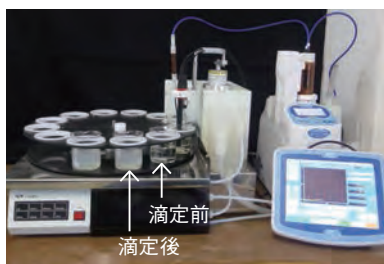


写真3 滴定状況

(4) 配合推定試験

配合推定は、化学分析結果に基づいてコンクリートを構成する材料（水、セメント、骨材の3種類）の割合を推定する試験です。打設されたコンクリートが配（調）合通りであるかの確認や、健全部と劣化部のコンクリートの構成材料割合の比較を目的として試験が行われています。

配合推定試験は、一般社団法人セメント協会で報告されているコンクリート専門委員会報告F-18（硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告）に従って行うことが一般的です。コンクリート粉末を希塩酸に溶解し、ろ過した溶液のカルシウム量からセメント量を、希塩酸に溶解しない不溶残分から骨材量を、附着水量と600℃の強熱減量から水量を求めます。骨材に石灰石や貝殻が混入した海砂を使用している場合は

適用できないため、グルコン酸ナトリウムを溶媒に使用する方法（NDIS 3422）や、骨材の酸可溶性シリカに着目したICPを用いて測定する方法などが適用されることもあります。

(5) アルカリシリカ反応性試験

アルカリシリカ反応性による区分が無害でないと判定された骨材を使用した場合、環境条件によってアルカリシリカ反応による劣化が生じる場合があります。アルカリシリカ反応による劣化を調査する試験項目として、一般社団法人日本コンクリート工学会のJCI-DD2 [アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法（案）] で提案されており、コンクリートコア採取直後の膨張率（解放膨張率）や、促進養生条件下における膨張率（残存膨張率）を測定する方法があります。また、その他の促進膨張試験としては、温度80℃、1NのNaOH溶液中に供試体を浸せきする方法（カナダ法）、温度50℃、飽和NaCl溶液中に供試体を浸せきする方法（デンマーク法）などがあります。

また、化学分析の試験としては、アルカリ量の定量や析出物の分析などがあります。コンクリートコア中のアルカリ量を分析する場合、粉末試料にしたのち強酸溶解法や熱水抽出法により水溶液にし、原子吸光度計を用いて測定します。析出物の分析としては、走査型電子顕微鏡にエネルギー分散型X線分析装置を付けたSEM-EDSを用いて、析出物（ゲル）の表面状態の観察と元素の簡易定量分析結果を報告し、アルカリシリカゲルかどうか判断しています。一例として、SEMによる観察画像を写真4に示します。

4. おわりに

今回は、構造物の調査と試験の方法（コア）をテーマに、調査の手順や内容、コアを用いた試験方法につ

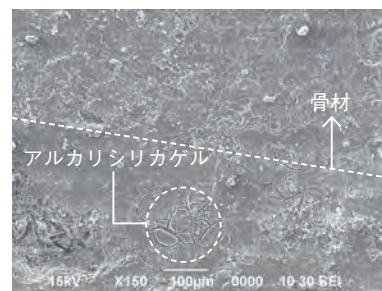


写真4 SEMによる観察画像

いて紹介しました。細かい内容については情報を取捨選択し、分かりやすさに重点を置いて執筆しましたが、いかがでしょうか。読者の皆様が少しでもコンクリート構造物の調査や試験の方法について理解を深めていただければ幸いです。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'18 [基礎編]，2018，pp.76
- 2) 一般社団法人日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'18 [基礎編]，2018，pp.80
- 3) 株式会社ジャスト西日本：ドローン，2021，<http://www.just-nishinihon.jp/business/drone/>（参照：2022.11.7）
- 4) 一般財団法人日本総合試験所：GBRC183_883，2021.1，https://www.gbrc.or.jp/assets/documents/gbrc/GBRC183_883.pdf（参照：2022.11.14）

author

岡田裕佑

工事材料試験ユニット工事材料試験所 横浜試験室 主任

<従事する業務>
建設工事に関わるコンクリート系の圧縮強度試験、鉄筋の引張強度試験、コンクリートコアの各種試験等

コンクリートに関する試験の重要性と将来について

1. はじめに

本誌では10年近く前に、「コンクリート基礎講座」が連載され、その後にもまとめたものが冊子として発刊され、優良なテキストとして読者に好評を得ています。今回の基礎講座では、第三者試験機関である建材試験センターとして、読者にさらなる有益な情報を発信したいとの思いから、コンクリートに関わる試験について情報発信することとなりました。

本講座全体の概要は表1のとおりで、全体で50ページほどにまとめられており、コンクリートの性能確

保に必要なさまざまな試験方法を紹介しています。今回は、その締めくくりとして、全体を振り返るとともに、近年その重要性が増している生産性向上や環境配慮について紹介します。

2. コンクリートに関する試験

2.1 試験を行う目的

良いコンクリートを作るための条件は以下のとおりで、これらが適切でなければなりません。

- ・材料
- ・調(配)合
- ・製造方法

さらに、良質なコンクリート構造物を造るためには、打込み、締固め、養生など、施工において適切な方法をとることも重要です。コンクリート技術者にとっては当たり前のことですが、これらのことが適切にできるか、なされているかを確認するために試験が必要です。

表2は、種々の場面における評価の例です。評価はできるだけ定量化されることが重要で、企業における利益、学校における試験は主に達成度の判定に用いられますが、建材（ここではコンクリート）であれば、品質・性能を確認するために試験が行われます。

評価は評価者・被評価者はもちろん、多くの人が納得できる内容について、納得できる方法で行われるのが望ましく、建材では主にJISなどで試験方法が決められています。また、信用される評価がなされるには、評価者に評価についての技術が伴っており、評価基準の知識を熟知している必要があります。このことから、本講座に限らず、コンクリート技術者は各種の試験について常に情報を入手する必要があります。

2.2 コンクリートに関する試験

一般にコンクリートは鋼材と共に使用され、鉄筋コンクリート構造として建設に用いられます。しかし、コンクリートと鋼材の性能や品質は、かなり異なっています。鋼材の性能や品質は、製造時のばらつきや安全率を含めて製造者が提示・保証

表1 コンクリートの試験の基礎講座の概要

	タイトル
vol.1	コンクリートに関する法令・基準およびコンクリートに要求される性能・品質
vol.2	コンクリートに使用される材料～セメントおよび水～
vol.3	コンクリートに使用される材料～骨材～
vol.4	コンクリートに使用される材料～混和材料：混和剤～
vol.5	コンクリートに使用される材料～混和材料：混和材～
vol.6	フレッシュコンクリートの試験
vol.7	硬化コンクリートの性質～強度性状～
vol.8	硬化コンクリートの性質～物性（変形状、体積変化、水密性など）～
vol.9	硬化コンクリートの耐久性
vol.10	コンクリートの調(配)合設計
vol.11	コンクリートの品質管理・検査
vol.12	構造物の調査と試験の方法(コア)
vol.13	総括：コンクリートに関する試験の重要性と将来について

表2 種々の場面における評価

対象	方法・指標	目的	
企業	業績	売上げ、利益	達成度確認・効率改善
学校	学生	試験	達成度の判定
製品	骨董品	鑑定	価値
	建材	試験	品質・性能の確認

します。構造物の設計者や施工者は、鋼材の性能や品質の検査・確認を、製造者、問屋、加工業者等の押印等のある納入書、および鋼材検査証明書（ミルシート）等と照合して行います。

一方で、コンクリートは安価で、入手が容易で、任意の形状・寸法に成型できるといった特長があるものの、その性能や品質はセメントや骨材など材料の選択、調（配）合設計、練混ぜ、運搬、打込み、締固め、養生によって変化します。これらの一部でも不適切なことがあると、所要の性能や品質を確保することは難しくなります。したがって、所要の性能や品質を得るため、材料の選択から養生に至るすべての段階で、性能や品質を適切に検査・確認することが必要不可欠になります。

性能や品質の確認のためには、種々の試験が必要となり、これまでの講座で述べられてきたとおり、表3や表4に示す使用材料に関する試験やフレッシュコンクリートに関す

表3 使用材料に関する試験項目²⁾

試験目的	試験項目	試験内容
コンクリートに使用する材料の品質を確認するための試験	セメント	適切な構成成分および物理的・化学的性質を有するか
	練り混ぜ水	有害な物質を含んでいないか
	骨材	所要の品質を有しているか
	混和材	所要の品質を有しているか
	化学混和剤	所要の品質を有するか

表4 フレッシュコンクリートに関する試験項目²⁾

試験目的	試験項目	試験内容
フレッシュコンクリートの性質	コンシステンシー	所定の値を満足している
	ワーカビリティ	所定の値を満足している
	空気量	所定の値を満足している
	コンクリート温度	所定の値を満足している
	単位容積質量	所定の値を満足している
	ブリーディング	所定の値を満足している
	凝結時間	所定の値を満足している
フレッシュコンクリートの調合	単位水量	調査表に適合する
	単位セメント量	調査表に適合する

る試験が行われます。また、コンクリートは、vol.10の調（配）合設計において述べられているように、各種材料の構成比率を変えることで種々の性能や品質を確保することができます。そのため、設計者や施工者が

指定する所要の品質を確保するため、表5に示す調（配）合設計および構造設計に関する試験が行われます。

さらに、構造物の竣工後は環境条件や経年によって不具合が発生することもあり、竣工以降の定期的な調

表5 調（配）合設計および構造設計に関する試験項目（参考文献²⁾を元に作成）

試験目的	試験項目	試験内容	
目標となる硬化コンクリートの性能を確認するための試験	強度特性に係わる性能の確認	圧縮強度	JIS A 1108（コンクリートの圧縮強度試験方法）、JIS A 1805（コンクリート生産工程管理用試験方法）
		引張強度	JIS A 1113（コンクリートの割裂引張強度試験方法）
		曲げ強度	JIS A 1106（コンクリートの曲げ強度試験方法）
		付着強度	JSTM C 2101（引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法） ASTM C 234（Standard Test Method for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel）
		弾性係数	JIS A 1149（コンクリートの静弾性係数試験方法） 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）
		クリープ	JIS A 1157（コンクリートの圧縮クリープ試験方法）
		耐久性に係わる性能の確認	長さ変化
	収縮拘束応力およびひび割れ抵抗性		JIS A 1151（拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法） JCI-SAS3-2（コンクリートの自己収縮応力試験方法）
	中性化抵抗性		JIS A 1152（コンクリートの中性化深さの測定方法）、JIS A 1153（コンクリートの促進中性化試験方法）
	凍結融解抵抗性		JIS A 1148（コンクリートの凍結融解試験方法）
	熱的性質（断熱温度上昇量、線膨張率、熱伝導率）		JCI-SQA3（コンクリートの断熱温度上昇試験（案）） JIS A 1325（建築材料の線膨張率測定方法） JIS A 1412-1（熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法－第1部：保護熱板法（GHP法）） JIS A 1412-2（熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法－第2部：熱流計法（HFM法））
	アルカリシリカ反応		JASS5N T-603（コンクリートの反応性試験方法） ZKT-206（コンクリートのアルカリシリカ反応性迅速試験方法）

査・診断が維持管理上は不可欠で、そのためvol.12で述べたような試験もあります。つまり、コンクリート構造物を建設し、その後何十年も維持するためには、コンクリートに関する多くの試験が行われるため、コンクリート技術者には、各種の試験

について、試験の目的、内容、評価方法などの正しい知識を付けることが必要です。

3. コンクリート生産の将来

3.1 生産性向上

建設分野においては、就労者の高

齢化や減少から生産性向上が喫緊の課題とされています。そのような中、建築の設計・施工・維持管理まで、一貫して関連情報の活用を行うBIM (Building Information Modeling) やICT活用を建設現場に導入するi-Constructionの取り組みが行われ、建築生産技術の変革が必要とされています。図1に示すように建設プロセスのあらゆる場面で、AI、ICT、IoT等のデジタル技術を取り入れて複合的に活用するDX (デジタルトランスフォーメーション) が注目を集めています。

また、図2にコンクリート試験におけるDXの取り組み例を示します。これまで荷下ろし時に行われた試験を、センシングやモニタリング技術によって代替しようというものです。アジテータ車のドラム部分に取り付けられたプローブセンサーが、生コンの圧力、回転方向、温度などを測定し、圧力計測値からスランプ値や積載量を求められます⁴⁾。

あるいは、荷下ろしする現場にビデオカメラを取り付けておき、動画を確認することで、AIが自動認識して、コンクリートの性状や施工性をリアルタイムに判定するなどの取り組みも行われています⁵⁾。

情報化技術の進展は目覚ましく、近い将来は、これまで実施していた手間のかかる試験が、省略されることもあるかも知れません。

3.2 環境配慮

生産性向上とともに、今後重要性が増すといわれているのが環境配慮です。図3にコンクリート構造物のライフサイクルを示します。コンクリートの原料である石灰石や骨材は天然の山を削って得ており、その量は膨大です。また、セメント製造時には脱炭酸によるCO₂排出が、材料輸送、構造物の施工・維持管理時などの工程においてエネルギー消費やCO₂排出などが生じ、建設業の及ぼす環境影響は非常に大きいといわれ

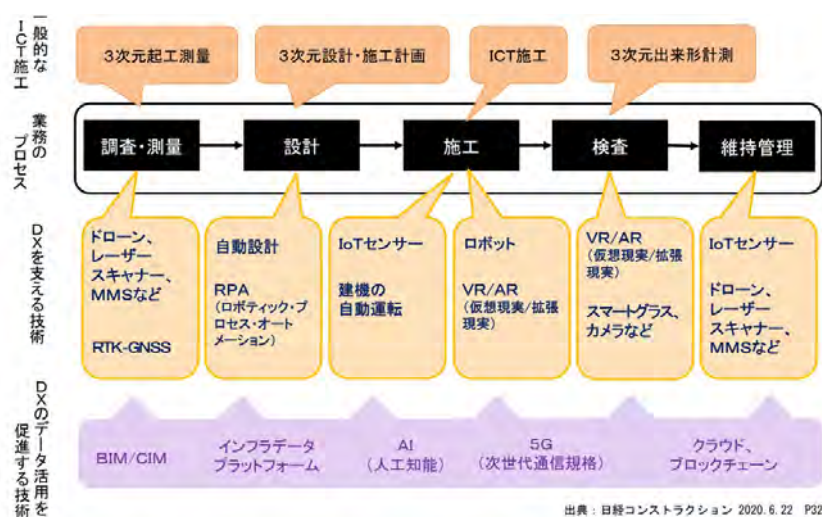


図1 建設のプロセスにおけるDXの取り組み例³⁾

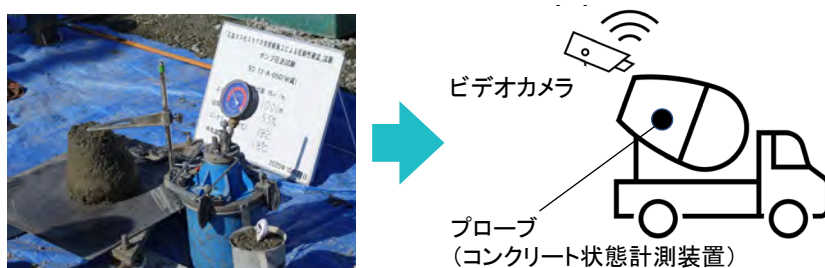


図2 コンクリート試験におけるDXの取り組み例

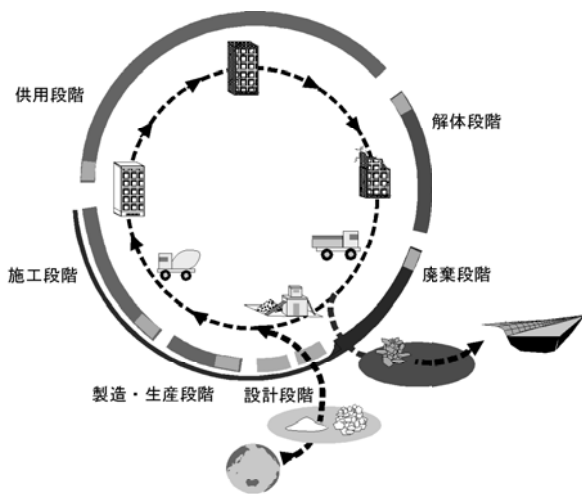


図3 コンクリート構造物のライフサイクル⁶⁾

表6 コンクリート構造体および部材に要求される性能⁷⁾

要求性能	概要
構造安全性	計画供用期間中に、自重・積載・風・雪および地震の各荷重・温度・疲労・衝撃およびその他の特殊な作用によってもたらされる外力に対して、構造体の崩壊または許容できない変形が生じないこと
耐久性	一般的な劣化作用および特殊な劣化作用に対して、計画供用期間中は構造体に鉄筋腐食やコンクリートの重大な劣化が生じないこと
耐火性	火災に対して一定時間、崩壊または許容できない変形が生じず、延焼を生じる熱が裏面に伝わらず、かつ炎が噴出する損傷を生じないこと
使用性	構造体および部材は、常時荷重下において有害な変形および振動を生じないこと。また、通常の降雨および水の使用によって漏水等による被害が生じないこと
環境性	鉄筋コンクリート造建築物のライフサイクルにわたる環境負荷の低減を図るため、資源循環性(再生材料を用いる)、低炭素性(CO ₂ 削減率の大きい結合材を用いる)および環境安全性(供用期間において、有害化学物質が有害量溶出し)を有すること
部材の位置・断面寸法の精度および仕上がり状態	打ちあがった構造体が、設計図書に示された所定の位置にあり、所定の断面寸法を持ち、次工程へ悪影響を及ぼさないこと

表7 資源循環性の等級⁷⁾

等級	概要
0	再生材料を使用しない
1	構成材料の1つに資源循環に貢献する再生材料を使用するもの
2	構成材料の複数に資源循環に貢献する再生材料を使用するもの、または構成材料の1つに資源循環に大きく貢献する再生材料を使用するもの
3	構成材料の複数に資源循環に大きく貢献する再生材料を使用するもの

表8 低炭素性の等級⁷⁾

等級	概要
0	0% ≤ CO ₂ 削減率 ≤ 5%
1	5% < CO ₂ 削減率 ≤ 20%
2	20% < CO ₂ 削減率 < 40%
3	40% ≤ CO ₂ 削減率

ています。

そこで、限りある資源の有効活用やカーボンニュートラル社会の実現に向けた変革(GX: グリーントランスフォーメーション)が必要とされています。また、JASS 5では表6に示すように、2022年の改定版において、コンクリート構造体および部材に要求される性能の一部に、環境性が追加されました。鉄筋コンクリート造建築物において環境影響が大きい資源循環性と低炭素性、そして環境安全品質の確保が求められます。資源循環性は再生材料の種類と使用量が構成材料ごとに評価され、それを組み合わせて表7のように総合的に評価されます。低炭素性はコンクリートのCO₂削減率によって評価されます(表8)。結合材に混和材を利用することでCO₂を削減することが評価されますが、最近ではCO₂を生コンやその原料に吸収させる技術なども開発されており⁸⁾、今後はカーボンニュートラルの実現に向けて低炭素性の評価は益々重要視され、CO₂固定量の測定・評価方法の開発あるいはJIS化などの動きもあ

ります⁸⁾。

4. おわりに

今回は、本講座の全体を総括する形で、コンクリートに関する試験の重要性と概要について述べました。また、後半では今後のコンクリート生産や要求性能について触れました。生産システムや技術が進化したら、求められる性能が変わったりすれば、それに伴って評価方法や試験方法も新しく追加されます。コンクリート技術者は、コンクリートに関

する知識はもとより、実構造物の品質確保のために、各種の試験や評価に精通している必要があります。本講座が皆さまの役に立てば幸いです。

author



小山明男

明治大学 理工学部
教授

参考文献

- 1) 建材試験センター：コンクリートの基礎講座，2014
- 2) 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，2007
- 3) 国土交通省：国土交通省におけるDXの推進について，https://www.jacic.or.jp/kenkyu/22/data/r02_6_hirose.pdf (出典：日経コンストラクション，2020.6.22，p.32)
- 4) 曾我部直樹ほか：アジテータ車に設置したプローブによるコンクリートの連続管理技術の適用性
- 5) kenkey：鹿島が生コンを全量チェック！荷下ろし中の動画からスランプ値を読む，<https://kenkey.jp/news/article/1030>
- 6) 日本建築学会：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，2008
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，2022
- 8) 野口貴文：2050年カーボンニュートラルに対するコンクリートの挑戦，JICE REPORT, 42号, pp.38-53, 2023.1