

第13回 品質管理（その1）

講師：長谷川 剛*

1. はじめに

今回のテーマは品質管理です。品質管理にはPC鋼材や鉄筋、骨材や混和材などの材料単体で行われる品質管理のほか、現場搬入時に製品として行われる受入れ検査、レディーミクストコンクリートの受入れ検査などがあります。

今回の講座（その1）では、現場での受入れ検査としてレディーミクストコンクリートの検査とコンクリート製品の品質管理および製品検査について解説します。コンクリートの品質管理については、標準値や目安を各学会が定めています但内容が少しずつ違いますので注意が必要です。

2. コンクリートの品質管理と検査

コンクリートの品質管理とは、コンクリート工事のあらゆる段階で品質変動の原因を極力減ずるとともに、異常を速やかに発見し、ただちに適切な処置を講じてコンクリートの品質を所要の範囲内に収めることをいいます。一方、コンクリートの検査とは、品質が判定基準に適合しているか否かを判定することをいいます。コンクリート標準示方書では、品質管理は施工者の自主的な活動として、その効果が期待できる方法を用いて行わなければならないとされています。また、検査は施工の各段階および完成時に構造物の発注者の責任において実施しなければならないとしています。したがって、品質管理において、コンクリート材料、補強材、機械設備、コンクリート製造方法、施工方法など、工事全般を対象として適切に行わなければならないとされています。

ここでは、コンクリートの品質管理として受入れ検査の一般的な項目について説明します。

2.1 レディーミクストコンクリートの受入れ検査

工事中にコンクリートの受入れ検査として行う主な試験は、スランブ試験、空気量試験、塩化物含有量試験、圧縮強度試験（コンクリートの単位水量測定試験）です。レディーミクストコンクリートを使用する場合は、JIS A 5308-2014（レディーミクストコンクリート）に定められた方法で管理します。

レディーミクストコンクリートは、荷卸し地点で所定の品質を満足していなければならないとされています。受入れの際に、施工者は納品書で発注したレディーミクストコンクリートに

適合していることを確認し、受入れ検査を行って品質が合格していることを確認しなければいけません。使用されているセメントの種類（早強、普通、高炉など）が指定したものであるかどうかを確認することは、とくに重要な項目です。

(1) スランブ試験

スランブ試験は、コンシステンシーを測定する方法としてもっとも一般的に用いられる試験方法で、JIS A 1101-2005（コンクリートのスランブ試験方法）にその方法が規定されています。スランブの許容差は、表-1に示すとおりです。スランブが所定の許容差を満足しない場合には、水セメント比や混和剤の計量間違いなどが考えられます。また、外気温などによっては練混ぜ完了から荷卸しまでの時間が長時間になると硬化が始まり、所定のスランブが確保できなくなることがあります。一般的に、スランブの大きいコンクリートでは材料分離抵抗性が低下します。

測定頻度は、コンクリート標準示方書の場合、荷卸し時に1回/日または20～150m³ごとに1回、および荷卸し時に品質の変化が認められたときとされています。また、JASS5では、強度試験用供試体採取時および打ち込み中の品質変化が認められた場合とされています。

表-1 スランブの許容差

(JIS A 5308 : 2014)

スランブ	スランブの許容差 (cm)
2.5	± 1
5 及び 6.5	± 1.5
8 以上 18 以下	± 2.5
21	± 1.5 ¹⁾

1) 呼び強度 27 以上で、高性能 AE 減水剤を使用する場合は、± 2 とする。

(2) 空気量試験

空気量を測定する試験方法は、JIS A 1116-2005（フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法））、JIS A 1118-2011（フレッシュコンクリートの空気量の容積による試験方法（容積方法））、JIS A 1128-2005（フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法 - 空気室圧力方法）などがあります。現場の受入れ検査でよく利用される空気量試験の一例を写

* Tsuyoshi HASEGAWA : ドーピー建設工業(株) 技術部

真 - 1 に示します。写真 - 1 の試験方法は、JIS A 1128-2005 に準じた方法で、ワシントン型エアメータと呼ばれる試験機器で空気量を測定します。この方法はコンクリート中の包内含空気量を圧力の減少によって測定する方法です。この測定装置は、圧力計を直接読むため測定値の計測がわかりやすく、操作が簡単で測定値に安定性があり、軽量で持ち運びが便利です。空気量の許容差は、表 - 2 に示すとおりです。一般的に、空気量が多くなるとコンクリートの強度は低下するといわれています。測定頻度は、スランプの測定頻度と同様です。



写真 - 1 ワシントン型エアメータ

表 - 2 空気量及びその許容差
(JIS A 5308 : 2014)

コンクリートの種類	空気量 (%)	空気量の許容差 (%)
普通コンクリート	4.5	± 1.5
軽量コンクリート	5.0	
舗装コンクリート	4.5	
高強度コンクリート	4.5	

(3) 塩化物含有量試験

コンクリート中の塩化物含有量の試験方法は、JIS A 1144-2010 (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) に規定されています。塩化物含有量は、フレッシュコンクリートの液相中に含まれる塩化物イオン濃度を測定し、これに単位水量を乗じて求めます。現場で測定するための簡易測定方法として、試験紙法、イオン電極法、電極電流測定法などが認められています。JIS A 5308-2014 では、塩化物イオン濃度試験は、精度が確認された塩化物含有量測定器によることを規定しています。測定した値は、塩化物イオン量として 0.30 kg/m^3 以下でなければなりません。ただし、購入者の承認を受けた場合には 0.60 kg/m^3 以下とすることができます。

測定頻度は、コンクリート標準示方書の場合、荷卸し時および海砂を使用する場合には 2 回 / 日、その他の場合は 1 回 / 週とされています。また、JASS 5 では海砂など塩化物を含むおそれがある骨材を用いる場合、打込み当初および 150 m^3 に 1 回以上、その他の骨材を用いる場合は 1 回 /

日以上とされています。塩化物含有量試験の一例を写真 - 2 に示します。

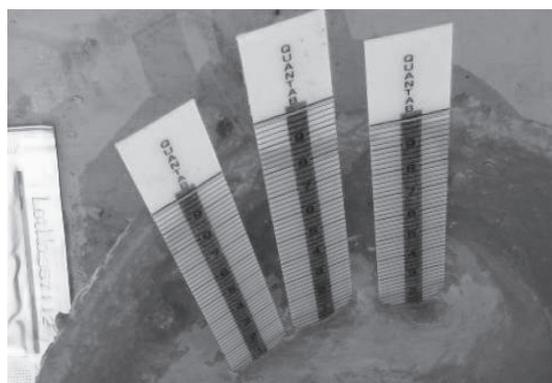


写真 - 2 試験紙法による塩化物含有量試験の一例

(4) コンクリートの単位水量測定試験

単位水量は、水セメント比に関わるため、コンクリートの品質にとって重要なものです。単位水量が大きくなると、材料分離抵抗性が低下するとともに乾燥収縮が増加するなど、コンクリートの品質低下につながります。したがって、作業に適するワーカビリティが得られる範囲で単位水量をできるだけ少なくすることが重要です。所定のスランプを得るための単位水量は粗骨材の最大寸法や骨材の粒度、粒形、混和材の種類や空気量などにより異なるため、試し練りによってこれを定めます。コンクリート標準示方書では単位水量の上限値を 175 kg/m^3 とし、粗骨材の最大寸法によって単位水量の推奨範囲を定めています。また、JASS 5 では単位水量の上限値を 185 kg/m^3 とし、コンクリートの種類と計画供用期間から単位水量の最大値を定めています。一般的な受入れ検査時には必須項目ではありませんが、国土交通省では単位水量測定が義務付けられています。単位水量測定の試験方法として、エアメータ法、水中質量法、高周波加熱乾燥 (電子レンジ) 法、乾燥炉法、静電容量法 (写真 - 3)、連続式 RI 法、水濃度測定法、塩分濃度差法などがあります。そのなかで、単位容積質量と空気量の関係から単位水量を求める、エアメータ法が比較的簡易で精度も高く、一般的に用いられることが多いです。検査方法および判定基準については、受入れ側と製造者の両者があらかじめ協議して実施することが標準となっています。



写真 - 3 単位水量試験機の一部

測定頻度は、コンクリート標準示方書の場合、スランブ測定と同様です。また、JASS5では納入時、運搬車ごとに納品書またはコンクリートの製造管理記録によって確認することとされています。

(5) 圧縮強度試験

圧縮強度は、コンクリート標準示方書の場合、設計基準強度を下回る確率が5%以下であることを適当な生産者危険率^{a)}で推定できれば所定の品質を有しているものと考えてよいとされています。また、JASS5では、材齢28日の圧縮強度が調合管理強度以上、またはコア供試体の材齢91日の圧縮強度が品質管理強度以上であることにより可否を判定するとされています。試験方法は、JIS A 1108-2006（コンクリートの圧縮強度試験方法）およびJIS A 1132-2014（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）で規定された方法により行い、次の条件を満足しなければなりません。

- ① 1回の試験結果は、購入者が指定した呼び強度の強度値の85%以上でなければならない。
- ② 3回の試験結果の平均値は、購入者が指定した呼び強度の強度値以上でなければならない。

また、前出の試験方法のなかには、型枠を取り外した後、強度試験を行うまで湿潤状態で養生し、その温度は20 ± 3℃と規定されています。圧縮強度試験を行う場合は、試験体表面が乾燥するほど強度が高くなる傾向があります。さらに、試験時の荷重速度が速くなれば見かけの強度が高くなるため、荷重速度は毎秒0.6 ± 0.4 N/mm²と規定されています。

測定時期および頻度は、通常、工事の初期に頻度を増やし、コンクリート作業が進むにつれて減らしていくのが良いとされています。コンクリート標準示方書では、荷卸し時および1日に打ち込むコンクリートの種類ごとに1回、または構造物の重要度と工事の規模に応じて、連続して打ち込むコンクリート20 ~ 150 m³ごとに1回とされています。また、JASS5では、打込み工区ごと、打込み日ごと、かつ150 m³またはその端数ごととされています。

(6) その他の検査

今までに説明した試験項目のほか、次のような項目もそ

他の検査項目として確認する必要があります。

- ① 施工者は荷卸し時に良好なワーカビリティを有していることを目視確認する必要があります。ワーカビリティが適切でない場合には、コンクリートを打ち込んではいけません。
- ② 配合の検査は、それぞれの材料が所定の配合で製造されていることを計量印字記録により確認することを標準としています。
- ③ ASR対策の検査は、コンクリートの配（調）合表により確認することを標準としています。

2.2 コンクリートの管理に用いる管理図

(1) 管理図の種類

品質管理をする際、対象とするデータとなる数値が「重さ、硬さ、長さ」のように精度を求められるものと、不良個数や表面の傷などのように個数という整数値をとるものがあり、前者を計量管理、後者を計数管理と呼んでいます。コンクリートの管理には計量管理が採用されており、それを管理する管理図には、

- ① \bar{X} 管理図 (\bar{X} : サンプルの特性値) : 個々の測定値をそのまま時間順に並べてプロットする管理図 (生データの管理図)
- ② \bar{X} 管理図 (\bar{X} : 平均値) : サンプル特性値 X の平均値を算出し、サンプルが時間とともにどのような変化をしているかを管理するための管理図
- ③ R 管理図 (R : 範囲) : X を群 (サンプル数を10以下) として集め、その上下限の差をサンプルの範囲 R の値とする。この値からサンプルのばらつきが時間とともにどのような変化をしているかを管理するための管理図
- ④ R_s 管理図 (R_s : 移動範囲) : 相隣り合う平均値 \bar{X} の差を移動範囲 R_s の値とし、サンプルのばらつきが時間とともにどのような変化をしているかを管理するための管理図

などがあり、一般的に $\bar{X}-R$ 管理図、 $X-R$ 管理図のように複数の管理図を組合せて用いられます。

\bar{X} 管理図は、品質平均値の変化を示し、 R 管理図は品質の幅の変化を示すので、 $\bar{X}-R$ 管理図は工程の解析、工程能力の検討などに有効です (図 - 1)。

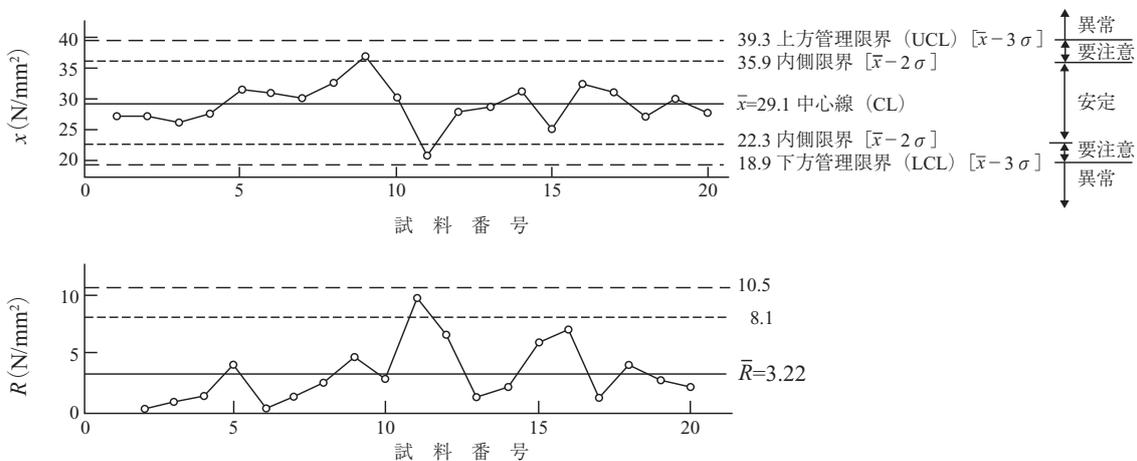


図 - 1 圧縮強度の $\bar{X}-R$ 管理図の例¹⁾

X管理図は、管理限界の幅が大きくなり、母平均の偶然でない変化を検出しにくいですが、打点が早くでき、工程の状態を早く判定できる利点があります。連続する2個の特性値の差をとったRs管理図と併用するのが良いとされています。現場練りコンクリートでは、上記のほかに連続する3～5個の試験値より平均値を順次求めた移動範囲（上下限の差）を示したRm管理図を加えたX-Rs-Rm管理図を用いる例が多いです。これらの管理図は、コンクリートを製造する工程において、材料およびコンクリートの中間段階の状態を管理するのに適当であるといわれています。

(2) 管理状態の判定

X管理図もしくは \bar{X} 管理図において特性値が中心線を中心に 2σ (σ :分散) 線内にランダムに勾配している場合には管理状態にあるといえます。また、特性値は連続3点中2点が 2σ 線外に出た場合は異常値とみなし、所定の品質を有するかどうかの検査をします。その可否を判定するには、既往の工事の経験、工程管理の試料（材料の管理、計量器、運搬設備の管理実績など）および工事現場で採取した供試体の圧縮強度などを用い、特性値のすべての点が管理限界線の中に入っていて、クセがないことを確認します。この状態を安定状態であると判定します。

3. コンクリート製品の品質管理

JIS A 5373-2010（プレキャストプレストレストコンクリート製品）のうち、橋りょう類の品質管理について説明します。

3.1 コンクリートの品質

プレキャストプレストレストコンクリート製品に使用するコンクリートは、JIS A 5364-2010（プレキャストコンクリート製品-材料及び製造方法の通則）の規格に適合するものとされています。設計基準強度は 50 N/mm^2 （軽荷重スラブ橋げたは 70 N/mm^2 ）となっており、プレストレスを与えるときの圧縮強度は 35 N/mm^2 （軽荷重スラブ橋げたは 42 N/mm^2 ）以上であることを確認してからプレストレスを導入します。また、水セメント比は45%以下、塩化物イオン量は 0.30 kg/m^3 以下と規定されています。

3.2 養生

プレキャスト製品の養生は、一般的に常圧蒸気養生やオートクレーブ養生などの促進養生が行われています。品質を保つためには養生の管理が必要です。常圧蒸気養生を行う場合は、原則としてコンクリート練混ぜ後、3時間以上経過してから養生を始め、温度の上げ方は1時間に 15°C 以下とし、最高温度は 65°C 以下が望ましいとされています。蒸気養生の標準サイクルの例を図-2に示します。

3.3 製品検査

製品検査は供給者が品質保証のために実施するものです。外観、形状・寸法、性能の3項目について品質判定基準に基づいて行います。外観検査および形状・寸法検査は全数について行い、外観に気泡や有害な傷、ひび割れ、ねじれなどの欠陥がないことを検査します。また、寸法が表-3に示す許容差に適合することを検査します。性能検査

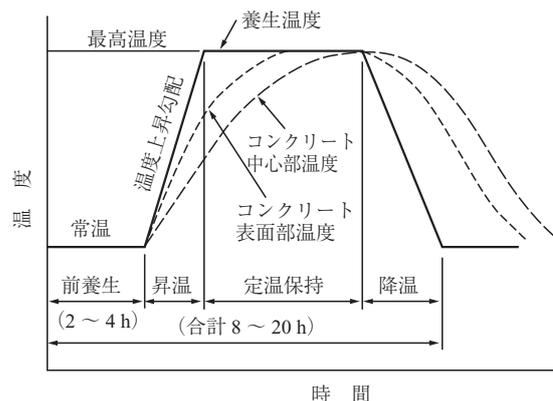


図-2 蒸気養生の標準サイクル例¹⁾

は、図-3に示す荷重方法によって曲げ強度試験を行います。試験は製品と同一養生をした供試体の圧縮強度が、 50 N/mm^2 （軽荷重スラブ橋げたは 70 N/mm^2 ）以上に達したことを確認してから行います。曲げ強度試験の荷重荷重はJIS A 5373-2010により、ひび割れ試験曲げモーメントに相当する荷重または設計計算書から算出して求めた荷重を荷重します。ここで、ひび割れ試験曲げモーメントとは、橋げた下縁に 3.0 N/mm^2 に相当する引張応力度が生じる時の曲げモーメントのことをいい、JIS A 5373-2010にその値が種類ごとに記載されています。また、設計図書からひび割れ試験曲げモーメントを求める場合は、橋げた下縁の引張応力度が有効プレストレス+ 3.0 N/mm^2 となる値として曲げモーメントを算出します。このひび割れ試験曲げモーメントを加えた時に、肉眼で見えるひび割れが発生してはならないことを規定しています。荷重試験の頻度は、1ロットの橋げたから2本を抜き取って試験を行い、2本と

表-3 寸法の許容差¹⁾

区分	種別	許容差 (単位: mm)	
		道路用橋げた	
けた長 L		$L \leq 10 \text{ m}$ の場合	± 10
		$L > 10 \text{ m}$ の場合	$\pm L/1000^1)$
断面の外形寸法		± 5	
けたのそり ²⁾		$\pm 8^3)$	
横方向の曲がり		10	

- 1) けた長 L は、mm で表す。
- 2) スパン中央の値とする。
- 3) 一径間に使用するけたの本数を一組とし、そのそりの平均値からの許容差とする。

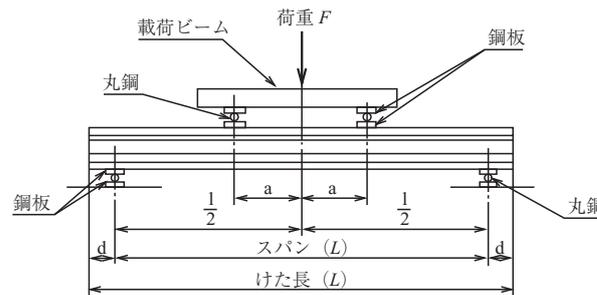


図-3 スラブ橋げたの荷重方法¹⁾

も規定に適合すれば、そのロット全部を合格とし、2本とも適合しなければ、そのロット全部を不合格とすると規定されています。なお、1ロットの本数は、原則として同一種類（種類の呼び名）を400本または端数と規定していません。試験はロットの初期の桁について行い、以後の製品の合格の確認となるようにします。これらの製品検査に合格し、品質の保たれた製品が出荷可能となります。

4. 演習問題

今回の講座のまとめとして、○×形式の演習問題を用意しましたので、チャレンジしてみてください（PC技士試験における過去問題を一部アレンジしています）。

- ① コンクリートの受入れ検査において、スランブ試験の実施は工事開始時、および材料あるいは配合が変化したときのみ実施すればよい。
- ② 荷卸し時の目視確認でワーカビリティが適切でなかったため、スランブ試験結果は許容誤差範囲内であったが打込みを中止した。
- ③ 荷卸し時のスランブの許容差は、スランブ8cmの場合でも12cmの場合でも±2.5cmである。
- ④ コンクリートの空気量試験において、空気量の許容差はコンクリートの種類にかかわらず±1.5%である。
- ⑤ 塩化物含有量試験において、荷卸し時点での塩化物イオン量は原則として0.6kg/m³以下である。
- ⑥ 単位水量は水セメント比と関係はなく、フレッシュコンクリートの水セメント比を分析しても圧縮強度は推定できない。
- ⑦ 圧縮強度試験を行った結果、1回の試験強度が呼び強度値の85%を下回ったものがあったが、3回の平均値が呼び強度値以上であったため合格とした。
- ⑧ コンクリートの管理図について、X管理図は連続する2個の試験値の差をとった移動範囲管理図と併用するのがよい。

- ⑨ 蒸気養生を行う場合は、コンクリート打設完了後すぐに開始し、1時間に15℃以下の速度で温度を上昇させ、最高温度を65℃以下とするのが望ましい。
- ⑩ JIS A 5373（プレキャストプレストレストコンクリート製品）では、プレテンション方式橋げたの曲げ強度試験は400本を1ロットとし、2本の橋げたを抜き出して実施すると規定している。

【演習問題の解答】

① × ② ○ ③ ○ ④ ○ ⑤ × ⑥ × ⑦ × ⑧ ○ ⑨ × ⑩ ○

6. おわりに

今回の講座では、レディーミクストコンクリートおよびコンクリート製品の品質管理について解説しました。コンクリートの施工や製品製作は、しっかりとした品質管理を行うことで耐久性が向上します。本講座をきっかけとして、コンクリートの専門技術者としての知識を深めてください。

次回の講座、品質管理（その2）では、完成した構造物の品質管理手法のひとつとなる非破壊検査による品質管理について解説します。

注

- a) 生産者危険率：生産ロットで抜き打ち検査を行う際、真の不良率は低いロットだが、誤って不合格と判断しまう確率のこと。
 $(1 - \text{生産者危険率}) = (\text{信頼率})$ の関係が成立する。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術、プレストレストコンクリート学会、2013.7
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】、2012 制定
- 3) 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、2009.2

【2014年9月2日受付】



刊行物案内

高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計指針

平成 23 年 6 月

定 価 4,800 円／送料 300 円

会員特価 4,000 円／送料 300 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会