

# 第5回 コンクリートの施工（その1）

講師：小野 秀平\*

## 1. はじめに

今回のテーマは、コンクリートの施工です。硬化したコンクリートが、計画や設計で定められた性能を発揮するためには、コンクリートの施工が適切に実施されなければなりません。また、施工方法や気温などの環境条件に配慮した配合（調合）や打込みの計画がなされないと、施工品質や維持管理にまで影響を及ぼします。そのため、構造物の特性や環境条件に合った施工方法についての理解を深めることが重要となります。

今回の講座（その1）では、コンクリート工事の標準的な施工手順を追って、運搬、打込み・締め固めおよび打継ぎ、仕上げおよび養生について説明します。次回の講座（その2）では、型枠および支保工の留意点についてと、注意を要するコンクリートの施工として、暑中コンクリート、寒中コンクリート、マスコンクリートについて解説します。

なお、コンクリートの施工に関する標準値や目安を各学会が定めていますが、表現などが少しずつ違いますので注意が必要です。

## 2. コンクリートの運搬

コンクリートの運搬は、現場までの運搬と、現場内における打込み場所までの短い運搬に分けられます。

### 2.1 現場までの運搬

コンクリートの現場までの運搬は、荷卸しが容易で、運搬中に材料分離が生じにくく、スランプ、空気量、セメントの凝結などの品質変化の小さい方法としなければいけません。とくにスランプは時間の経過とともに刻々と変化します。これは、運搬方法、運搬時間、運搬時の温度などの影響を受けます。

運搬距離が長い場合はアジテータなどの設備を備えていなければなりません。コンクリートプラントから現場までの運搬には、トラックアジテータ（写真 - 1）が一般的に用いられます。JIS A 5308-2009（レディーミクストコンクリート）では、運搬車の性能を規定するとともに、練混ぜを開始してから、荷卸しまでの時間の限度を、原則として1.5時間以内と規定しています。一方、コンクリート標準



写真 - 1 トラックアジテータ

示方書<sup>2)</sup>およびJASS 5<sup>3)</sup>では、練混ぜ開始から打込み終了までの時間を外気温に応じて規定しています（表 - 1）。そのため、レディーミクストコンクリートを使用する場合は、温度、湿度、運搬経路の交通状況、荷卸しから打込みまでの時間を十分に考慮して、コンクリートプラントを選定することが重要です。

表 - 1 輸送・運搬時間の限度<sup>1)</sup>

区分	JIS A 5308-2009	コンクリート 標準示方書	JASS 5	
規定	練混ぜから荷卸しまで	練混ぜから打込み終了まで	練混ぜから打込み終了まで	
限度	1.5 時間	外気温が 25℃ を超える	外気温が 25℃ 以上	90 分
		外気温が 25℃ 以下	外気温が 25℃ 未満	120 分

### 2.2 現場内での運搬

コンクリートの現場内での運搬方法には、コンクリートポンプ、バケット、シュート、ベルトコンベヤなどがあります。コンクリートの種類および品質または性能、構造物の種類と形状、打込み場所の条件、打込み時の気温、打込み量、打込み速度、作業の安全性などを考慮して運搬方法を選定します。

コンクリートポンプは、打込み場所までの配管が設置できれば、狭い場所や高い場所でもコンクリートの運搬ができるため、一般に広く用いられています。コンクリートポ

\* Shuhei ONO：清水建設(株) 土木技術本部 設計第一部

ンプを用いる場合には、コンクリートの種類および品質、粗骨材の最大寸法、圧送条件、圧送の容易さ、安全性などを考慮して、コンクリートポンプの機種および台数、輸送管の径および配管の経路を適切に計画することが重要となります。コンクリートポンプの形式には、ピストン式とスクイズ式がありますが、吐出量が大きく、長距離の運搬が可能な油圧駆動のピストン式が多く用いられています。

また、コンクリートポンプは、圧送負荷を算出し、適切な吐出圧力を有するものを選定しなければなりません。圧送負荷の算出方法は、コンクリート標準示方書と JASS 5 で異なります。コンクリート標準示方書では、表 - 2 の鉛直管、テーパー管、ベント管およびフレキシブルホースの水平換算係数からそれぞれの水平換算距離を求め、それらを合計した値にスランブと配管径に応じた圧力損失の標準値(図 - 1) を乗じて最大圧送負荷 ( $P_{max}$ ) を算出します。

表 - 2 水平換算係数 (コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>)

項目	単位	呼び寸法	水平換算係数
上向き鉛直管		100 A (4B)	3
		125 A (5B)	4
		150 A (6B)	5
テーパー管*	1 m あたり	175 A → 150 A 150 A → 125 A 125 A → 100 A	3
ベント管**		角度: 90 度 曲率半径: 1.0 m または 0.5 m	6
フレキシブルホース		-	20/L ***

\* ) テーパー管の水平換算係数は、小さい方の径に対する値である。  
 \*\* ) ベント管の水平換算係数は、角度が90°、曲率半径が0.5 mまたは1.0 mの場合にはベント管1本を長さ1 mとみなす。  
 \*\*\* ) Lは、フレキシブルホースの長さ (5 m ≤ L ≤ 8 m) である。

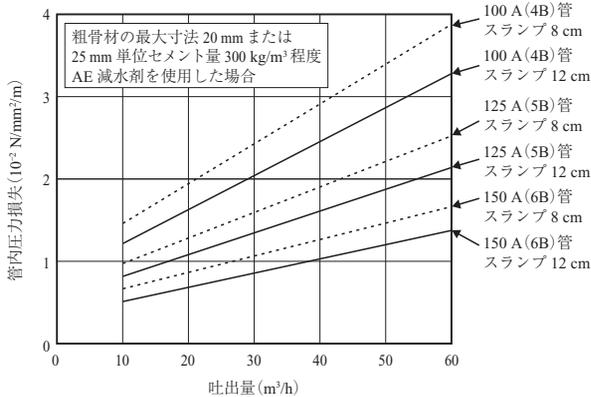


図 - 1 普通コンクリートの圧送における管内圧力損失 (コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>)

【コンクリート標準示方書】

$$P_{max} = (\text{水平管 1 m あたりの管内圧力損失}) \times (\text{水平換算距離})$$

JASS 5 では、次式 (管内圧力損失は図 - 2 に示す値) によって圧力損失を求めます。

【JASS 5】

$$P = K(L + 3B + 2T + 2F) + W_0 H \times 10^{-3}$$

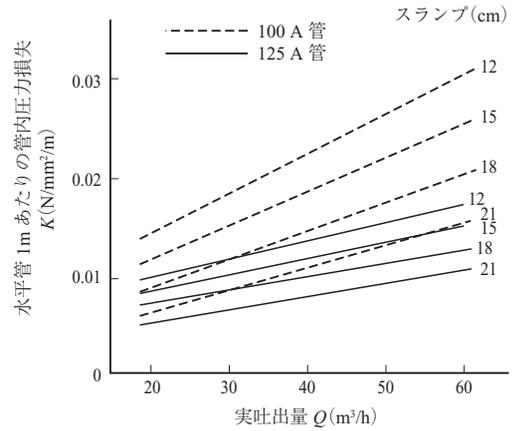


図 - 2 普通コンクリートの水平管の圧力損失 (JASS 5<sup>3)</sup>)

$P$ : コンクリートポンプに加わる圧送負荷 (N/mm<sup>2</sup>)

$K$ : 水平管の管内圧力損失 (N/mm<sup>2</sup>/m)

$L$ : 直管の長さ (m)

$B$ : ベント管の長さ (m)

$T$ : テーパー管の長さ (m)

$F$ : フレキシブルホースの長さ (m)

$W_0$ : フレッシュコンクリートの

単位容積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$H$ : 圧送高さ (m)

上記のどちらかの方法で圧送負荷を算定した場合も、圧送負荷の1.25倍を上回る最大理論吐出圧力を有するコンクリートポンプを選定します。

また、圧送を中断して配管内に長くコンクリートを静置すると、材料分離やコンシステンシー<sup>a)</sup>の低下によってポンパビリティが悪くなり、閉塞などの原因となりやすいため、圧送は連続的に行い、できるだけ中断しないように打込みます。やむを得ず中断する場合は、閉塞防止のためにインターバル運転を行うこととし、長時間の中断が予想される場合には、配管内のコンクリートを排出しておく必要があります。

3. コンクリートの打込み・締固めおよび打継ぎ

3.1 打込み

型枠内へコンクリートを確実に打ち込むためには、フレッシュコンクリートの充填性、材料分離抵抗性、凝結特性などのワーカビリティ<sup>b)</sup>や、配筋状態を良く理解することが重要です。それには、人員配置、打込み区間、打込み順序、打込み速度、落下高さ、締固め方法、打継ぎ方法、養生方法、仕上げ方法および天候、気温などの気象条件を考慮して適切な計画をしなければなりません。コンクリートの打込みに関する留意点には、以下のものがあります。

- i) 打込み作業にあたっては、鉄筋やPC鋼材(シース)の配置や型枠を乱してはいけません。また、打込んだコンクリートは、型枠内で横移動させてはいけません。
- ii) 打込み中に著しい材料分離が認められた場合には、材料分離を防止する手段を講じなければなりません(図 - 3)。

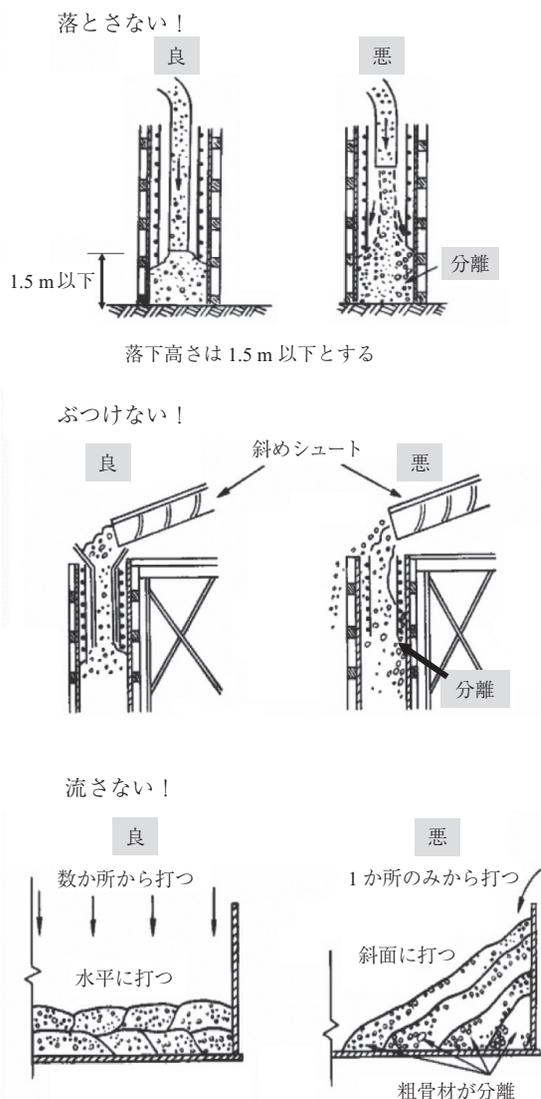


図 - 3 材料分離を防ぐ打込みの三原則

- iii) 一区画内のコンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込まなければなりません。
- iv) コンクリートは、できるだけ低い位置から鉛直に打ち込みます。コンクリートの自由落下高さ（シュート、ポンプ配管、ホッパーなどの吐出口と打込み面までの高さ）を、コンクリート標準示方書では1.5 m 以下、JASS 5ではコンクリートが分離しない範囲、としています。
- v) 型枠が高い場合には、材料の分離を防ぐためや、上部の鉄筋または型枠にコンクリートが付着して硬化するのを防ぐために、型枠に投入口を設けるか、縦シュートあるいはポンプ配管の吐出口を打込み面まで下げてコンクリートを打ち込まなければなりません。
- vi) コンクリートは、その表面が一区画内でほぼ水平となるように打込むことを原則としています。コンクリート打込みの一層の高さは、締固めの能力を考慮して定めなければいけません。使用する棒状バイブレータの性能などを考慮して、40～50 cm 以下とするのがよいとされています（図 - 3）。
- vii) コンクリートを2層以上に分けて打込む場合、上層の

コンクリート打込みは、原則として下層のコンクリートが固まり始める前に行い、上層と下層が一体となるように施工します。また、コールドジョイントが発生しないよう、一施工区画の面積、コンクリートの供給能力、許容打重ね時間間隔などを定めなければいけません。許容打重ね時間間隔は、表 - 3 を標準としています。

表 - 3 許容打重ね時間間隔の標準<sup>1)</sup>

区分	コンクリート標準示方書		JASS 5	
	目安	外気温が25℃を超える	2.0時間	外気温が25℃以上
	外気温が25℃以下	2.5時間	外気温が25℃未満	150分

- viii) コンクリートの打込み中、表面にブリーディング水がある場合は、適当な方法でこれを取り除いてからコンクリートを打ち込まなければなりません。
- ix) 壁または柱のような高さの大きいコンクリートを連続して打込む場合には、打込みおよび締固めの際、ブリーディング<sup>e)</sup>の悪影響をできるだけ少なくするとともに、型枠に作用する圧力が大きくなりすぎないように、コンクリートの打込み高さや打上り速度を調整しなくてはなりません。打上り速度は一般の場合、30分につき1～1.5 m 程度とするのがよいとされています。
- x) スラブまたは梁のコンクリートが、壁または柱のコンクリートと連続している場合には、沈下<sup>d)</sup>ひび割れ<sup>d)</sup>を防止するために、壁または柱のコンクリートの沈下がほぼ終了してからスラブまたは梁のコンクリートを打ち込むことを標準としています。

### 3.2 締固め

コンクリートの締固めは、内部の空隙を少なくし、鉄筋やシースなどとコンクリートをよく密着させ、コンクリートを均一で密実なものとするための作業です。これは、バイブレータの選定や棒状バイブレータの挿入深さ、挿入間隔、挿入時間などに起因しますが、とくに直接目視で充填状況を確認できる締固め作業高さを適切に定めることが重要です。コンクリートの締固めに関する留意点には以下のものがあります。

- i) コンクリートの締固めには、棒状バイブレータを用いるのがもっとも有効ですが、薄い壁など内部振動機の使用が困難な場所には型枠バイブレータなどの外部振動機を併用して、確実に締固めなければなりません（写真 - 2）。棒状バイブレータを用いた締固めでは、鉄筋、シース、セパレータ、スパーサーなどになるべく接触させないことが重要です。また、バイブレータがシースに接触し、シースにつぶれなど変形が生じると、PC鋼材の挿入が困難になったり、緊張時の摩擦係数が大きくなるなどの原因となるため注意が必要です。
- ii) コンクリートは、打込み後速やかに十分に締固めし、コンクリートが鉄筋の周囲および型枠の隅々に、ゆきわたるようにしなければなりません。棒状バイブレータによる横流しはしてはいけません。PC 構造物の定着部



棒状バイブレータ (内部振動)      型枠バイブレータ (外部振動)

写真 - 2 締固め用バイブレータ

付近は、一般的に過密な配筋となりやすく、大きな力が作用する部位であるため、確実に締め固めることがとくに重要となります。

- iii) 棒状バイブレータによる締固めでは、上下層が一体となるように、棒状バイブレータを鉛直に下層のコンクリート中に 10 cm 程度挿入しなくてはなりません。また、棒状バイブレータはコンクリートから徐々に引き抜き、あとに穴が残らないようにしなければなりません (図 - 4)。
- iv) 棒状バイブレータの挿入間隔は、コンクリート標準示方書では 50 cm 以下、JASS 5 では 60 cm 以下とされています。ただし、これは棒状バイブレータの振動体の呼び径 45 mm の有効範囲から定めたものなので、これより小さい径の棒状バイブレータの場合は、もっと間隔を小さくする必要があります。
- v) バイブレータを 1 箇所長くかけすぎると、コンクリートが分離するため、一般的には、1 箇所あたりの振動時間は 5 ~ 15 秒を目安とします。
- vi) 再振動を行う場合には、コンクリートに悪影響が生じないように、適切な時期にこれを行わなければなりません。

### 3.3 打 継 ぎ<sup>e)</sup>

コンクリートの打継部は、構造的には完全に一体化しにくいいため、水密性や耐久性において弱点となりやすく、構造耐力のうえからも弱点となりやすい箇所です。そのため、打継位置やその形状および方法を適切に計画しなければなりません。

ばりません。コンクリートの打継ぎに関する留意点には以下のものがあります。

- i) 打継目は、できるだけせん断力の小さい位置に設け、打継面を部材の圧縮力の作用する方向と直角とします。やむを得ず、せん断力の大きい位置に打継目を設ける場合には、打継目にほぞまたは溝などの凹凸を設けて、せん断力を伝達できるようにするか、適切な鋼材を配置して補強します。
- ii) 打継目の施工においては、設計で定められた打継目の位置および構造は、これを守らなければなりません。設計で定められていない継目の施工においては、構造物の強度、耐久性、水密性および外観を害さないように、施工計画書で定められた位置、方向および施工方法を守らなければなりません。
- iii) 水平打継目の施工にあたっては、すでに打ち込まれたコンクリートの表面のレイタンス<sup>リ</sup>、品質の悪いコンクリート、ゆるんだ骨材などを完全に除去し、十分に吸水させなければなりません。
- iv) 鉛直打継目の施工にあたっては、打継面の型枠を強固に支持し、すでに打ち込まれた硬化したコンクリートの打継面は、ワイヤブラシで表面を削るか、チッピングなどよりこれを粗にして十分吸水させ、セメントペースト、モルタルあるいは湿潤用エポキシ樹脂などを塗った後、新コンクリートを打ち継がなければなりません (写真 - 3)。

## 4. コンクリートの仕上げおよび養生

### 4.1 仕 上 げ

コンクリート表面の仕上げは、外観を美しくすることのほか、構造物の耐久性、水密性を増すためにも重要です。そのため、仕上げによってコンクリート表面に浮き出てくるブリーディング水を取り除き、レイタンスや微細なひび割れの発生を防がなければなりません。締固め後、木ごてなどでほぼ所定の高さおよび形にコンクリートを均したあと、必要に応じて金ごてを用いて平滑に仕上げます。金ごてによる仕上げは、ブリーディング水がなくなったあと、作業が可能な範囲でできるだけ遅い時期に行います。ただし、プレストレストコンクリートでは、ブリーディングが

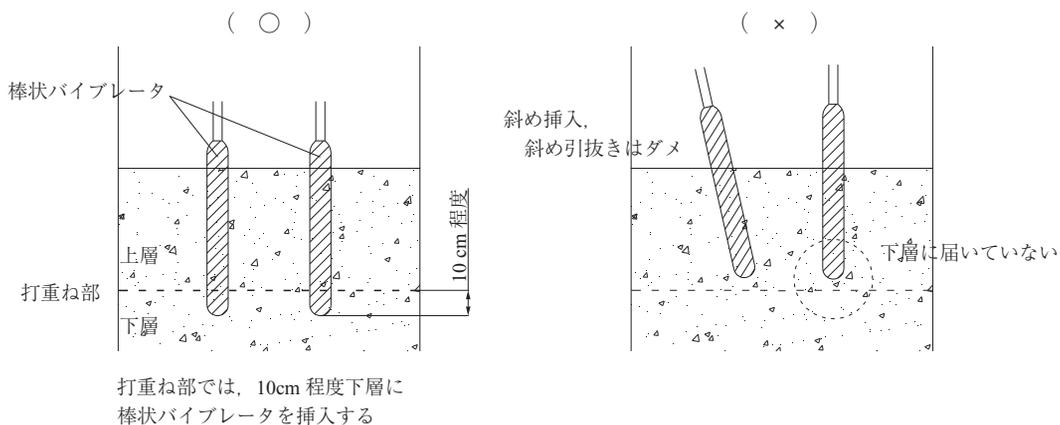


図 - 4 打重ね部の締固めのポイント

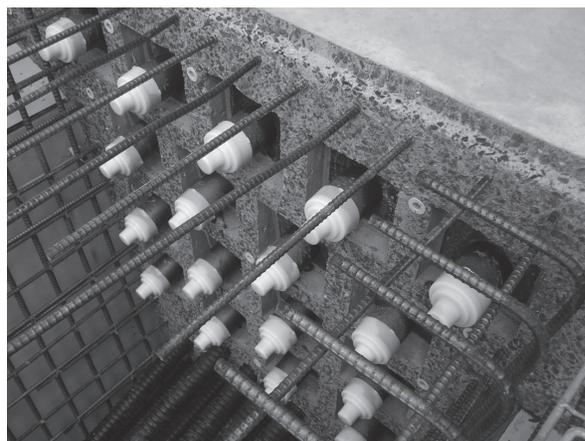


写真 - 3 粗骨材粒が露出した打継ぎ処理面

少ないコンクリートも多いことから、乾燥によってコンクリート表面にこわばりが生じることもあるため注意が必要です。また、コンクリートが固まり始めるまでに発生する沈下ひび割れなどは、タンピング<sup>2)</sup>または再仕上げによって取り除かなければいけません。

## 4.2 養生

### (1) 一般

打ち終わったコンクリートが、その水和反応により十分に強度を発現し、所要の耐久性、水密性、鋼材を保護する性能などの品質を確保し、有害なひび割れが生じないようにするためには十分な養生が必要です（表 - 4）。打込み後の一定期間は、日光の直射、風などによる水分の逸散を防ぎ、硬化に必要な温度および湿潤状態に保ちます。さらに、有害な作用の影響を受けないようにしなければなりません。とくに、初期材齢における急激な乾燥は、強度発現が遅れるだけでなく、表面ひび割れの発生原因ともなります。

### (2) 湿潤養生

湿潤養生には、散水養生、湛水養生、養生マットや水密シートによる被膜、膜養生などがあります。コンクリートの表面を荒らさない程度に硬化した後に、湿潤養生を行わなければなりません。せき板が乾燥する恐れのあるときには、これに散水し湿潤状態に保っておきます。また、養生方法の選定にあたっては、その効果を確かめ、適切に養生期間を定めなければいけません。

コンクリート標準示方書では、セメントの種類と日平均

気温に応じて湿潤養生期間の標準日数を規定しており（表 - 5）、JASS 5 ではセメントの種類と計画供用期間に応じて湿潤養生期間の日数を規定しています（表 - 6）。ただし、コンクリートの厚さが 18 cm 以上の部材において、早強および中庸熱ポルトランドセメントを用いる場合は、表 - 6 に示す湿潤養生期間の終了以前であっても、コンクリートの圧縮強度が供用期間の級が短期および標準の場合は 10 N/mm<sup>2</sup> 以上、長期および超長期の場合は 15 N/mm<sup>2</sup> 以上に達したことを確認すれば、以降の湿潤養生を打ち切ることができる、としています。

表 - 5 湿潤養生期間の標準（コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>）

日平均気温	普通ポルトランドセメント	混合セメント B 種	早強ポルトランドセメント
15℃以上	5 日	7 日	3 日
10℃以上	7 日	9 日	4 日
5℃以上	9 日	12 日	5 日

表 - 6 湿潤養生期間の標準（JASS 5<sup>3)</sup>）

セメントの種類	計画供用期間の級	
	短期および標準	長期および超長期
早強ポルトランドセメント	3 日以上	5 日以上
普通ポルトランドセメント	5 日以上	7 日以上
中庸熱および低熱ポルトランドセメント、高炉セメント B 種、フライアッシュセメント B 種	7 日以上	10 日以上

### (3) 温度制御養生（促進養生）

低温、高温、急激な温度変化などによる有害な影響を受けるような場合には、コンクリートの硬化が十分に進むまで、養生時の温度を制御しなければなりません。温度制御養生を行う場合には、温度制御方法、養生期間および管理方法について、コンクリートの種類、構造物の形状寸法、施工方法および管理条件を総合的に考慮して、適切に定めなければいけません。早期強度を必要とするプレキャスト製品などの製造では、蒸気養生やオートクレーブ養生<sup>4)</sup>などが行われますが、コンクリートに悪影響を及ぼさないように養生を開始する時期、温度の上昇速度、冷却速度、養生温度および養生時間などを定めなければいけません。

### (4) 有害な作用に対する保護

コンクリートは、養生期間中に予想される振動、衝撃、荷重、海水などの有害な作用からこれを保護しなければなら

表 - 4 養生の基本（コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>）

目的	対象	対策	具体的な手段
湿潤状態に保つ	コンクリート全般	給水	湛水、散水、湿布、養生マット等
		水分逸散抑制	せき板存置、シート・フィルム被覆、膜養生剤等
温度を制御する	暑中コンクリート	昇温抑制	散水、日覆い等
	寒中コンクリート	給熱	電熱マット、ジェットヒータ等
		保温	断熱性の高いせき板、断熱材等
	マスコンクリート	冷却	パイプクーリング等
保温		断熱性の高いせき板、断熱材等	
有害な作用に対して保護する	工場製品	給熱	蒸気、オートクレーブ等
	コンクリート全般	防護	防護シート、せき板存置等
		海洋コンクリート	遮断

りません。これについて、コンクリート標準示方書では、普通ポルトランドセメントを用いた場合、材齢5日になるまでは海水に洗われないように保護しなければならないとしています。また、JASS 5では、コンクリート打込み後、少なくとも1日間はその上を歩行したり、作業をしてはならないとしています。

## 5. 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 JIS A 5308 では、運搬車の性能を規定するとともに、練混ぜを開始してから荷卸しまでの時間の限度を、原則として1.5時間以内としている。
- ② コンクリートの練混ぜから打終わりまでの時間は、外気温が25℃を超えるときで2.0時間以内を標準としている。
- ③ 打ち込んだコンクリートは、その表面が水平になるように型枠内で棒状パイプレタなどにより横移動させるのがよい。
- ④ 上層の打込み時には、下層のコンクリートを乱さないように棒状パイプレタは下層に挿入してはならない。
- ⑤ コンクリートを2層以上に分けて打込む場合は、許容打重ね時間間隔は外気温が25℃以下では2.0時間、25℃を超える場合は2.5時間を標準としている。
- ⑥ 打継目は、できるだけせん断力の小さい位置に設け、打継面を部材の圧縮力が作用する方向と平行にする。
- ⑦ コンクリートを打継ぐ場合は、既存のコンクリート表面のレイタンスなどを完全に除去し、十分に吸水させなければならない。
- ⑧ コンクリートの打込み一層の高さは使用する棒状パイプレタなどの性能を考慮して、40～50cm以下とするのがよい。
- ⑨ コンクリートの標準的な湿潤養生期間は、日平均気温が同じであれば、普通ポルトランドセメントの方が混合セメントB種よりも長い。
- ⑩ コンクリートの標準的な湿潤養生期間は、日平均気温が5℃以上10℃未満の場合、普通ポルトランドセメントでは7日、早強ポルトランドセメントでは4日である。

【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、コンクリートの施工を解説しました。

コンクリートの施工では、実際の施工条件が計画時に想定した条件と異なる場合も少なくありません。これらに対応するためには、設計から施工（製造）までの幅広い知識と応用力が必要となります。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。

今回の講座で解説した、運搬、打込み・締固めおよび養生などでは、気温やセメントの種類ごとにさまざまな時間が規定されています。PC技士などの資格試験では、これらの正誤を問うものが頻出されますので、体系的に覚えるようにして下さい。

さて、今回の講座（その2）では、型枠および支保工の留意点についてと、注意を要するコンクリートの施工として、暑中コンクリート、寒中コンクリート、マスコンクリートについて解説します。

### 注

- a) コンシステンシー：主として水量の多少によって左右される、フレッシュコンクリートの変形または流動に対する抵抗性。
- b) ワークビリティ：材料分離を生じることなく、運搬、打込み、締固め、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。
- c) プリーディング：コンクリートを打込んだあと、材料の比重の違いによって練混ぜ水の一部が表面に浮いてくる現象。適度のプリーディングは、こて仕上げを容易にさせるが、過度になると沈下ひび割れが発生しやすく、コンクリート内部の水の通りみちが空洞となって硬化後の透水性が損なわれる。
- d) 沈下ひび割れ：まだ固まらないコンクリートの沈下が、水平鉄筋などによって局部的に妨げられることによって、鉄筋に沿って上部のコンクリートに発生するひび割れ。
- e) 打継ぎ：硬化した状態にあるコンクリートに接して、新たなコンクリートを打ち込む行為。
- f) レイタンス：プリーディング水が蒸発してなくなったあとにコンクリート表面に残る不純物からなる固形物質。強度がほとんど期待できないので、コンクリートを打継ぐときはこれの除去が必要。
- g) タンピング：床版コンクリートなどに対し、打ち込んでから固まるまでの間に、その表面を叩いて均一にし、密実にする。
- h) オートクレーブ養生：高温高压の釜の中にコンクリートを入れて促進養生すること。主としてコンクリート杭などコンクリート製品の場合に用いられる。温度は150～200℃、圧力は0.5～1.5N/mm<sup>2</sup>が必要となる。高温高压養生ともいう。

### 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技術協会、2011.7
- 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 JASS 5 鉄筋コンクリート工事、2009.2

【2013年4月12日受付】