

## コンクリートの養生日数と凍結融解抵抗性

耐寒材料チーム

### はじめに

コンクリートは、河川、道路、港湾、農業、営繕をはじめ、広範囲の構造物で使用されています。高度経済成長期に建設された多くの構造物が経年し、一部の構造物では劣化や老朽化もみられます。一方で、劣化の進行はコンクリートの品質に依存し、施工時の養生が重要であることも分かっています。

ここでは、寒中コンクリートを中心に、良質なコンクリートを施工する際に重要な、養生日数等について、現場での注意点、配慮すべき事項をQ&Aでまとめました。

### 【養生全般】

**Q 1：なぜコンクリートの養生は必要なのでしょう  
か？**

**A 1：**コンクリートは、水和反応が進むことで強度が増進し、耐久性が確保されます。水和反応を十分に進行させるには、コンクリートを打設した後、一定期間、十分な湿潤状態と適当な温度に保ち、かつ有害な作用の影響を受けないよう保護することが必要です。このための作業が養生です。



写真-1 養生中に急激に乾燥したコンクリート<sup>1)</sup>



写真-2 初期凍害を受けたコンクリート

養生が不適切な場合、例えば施工直後の日射や風的作用による急激な乾燥(写真-1)や初期凍害(打設後、硬化までの間に水分が凍結し、水和反応が阻害されて硬化不良となり、強度が増進しない現象)(写真-2)により、ひび割れ等の品質不良が生じると、強度不足や耐久性低下につながってしまいます。

**Q 2：十分な湿潤状態に保つには、何をどのくらいの期間する必要がありますか？**

**A 2：**コンクリートを湿潤状態に保つ方法は、①給水(湛水、散水、湿布、養生マット等)と、②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)の2種類があります<sup>2)</sup>。

使用するセメントの種類と養生期間中の日平均気温に応じた湿潤養生期間の標準が、2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】(以下2017年示方書)に表-1のように示されています<sup>2)</sup>。北海道内でもよく用いられる高炉セメントB種(混合セメントB種)は、普通ポルトランドセメントよりも長い湿潤養生期間が必要です(表-1)。また、中庸熱ポルトランドセメントや低熱ポルトランドセメント等の表に示されていないセメントを使用する場合は、信頼できる資料や試験によって湿潤養生期間を設定する必要があります<sup>4)</sup>。

表-1 湿潤養生期間の標準

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

表-2 型枠および支保工を取り外してよい時期の  
コンクリート圧縮強度の参考値

部材面の種類	例	コンクリートの 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
厚い部材の鉛直または鉛直に近い面 傾いた上面、小さいアーチの外側面	フーチングの側面	3.5
薄い部材の鉛直又は鉛直に近い面 45°より急な傾きの下面 小さいアーチの内面	柱、壁、 梁の側面	5.0
橋、建物等のスラブおよびはり 45°より緩い傾きの下面	スラブ、はりの底面 アーチの内面	14.0

表-2は、2017年示方書に掲載されている型枠や支保工を取り外してよい時期のコンクリート圧縮強度の参考値です。圧縮強度が基準に達し、型枠や支保工を取り外したとしても、表-1に示されている日数は遵守し、湿潤養生を継続する必要があることに留意が必要です。

なお、近年、養生終了後に耐久性確保のために表面含浸材を塗布することが多くなっています。足場や工期末の関係から速やかに施工したいところですが、コンクリートがまだ湿潤状態のまま表面含浸材を塗布しても十分な深さまで含浸しないことがわかっています。しっかり養生した後で、コンクリート表面から乾燥が進み、表層の含水率が下がったことを確認してから表面含浸材を塗布することが基本です。

### Q 3：適当な温度に保つには、どうすればよいですか？

A 3：コンクリートの硬化が十分進むまで、硬化に必要な温度条件を保ち、低温、高温、急激な温度変化等の影響を受けないよう、養生時の温度は適正な値に制御する必要があります<sup>2)</sup>。

外気温が著しく低い場合は、セメントの水和反応が阻害され、強度発現が遅れたり、初期凍害を受けたりするおそれがあるので、必要な温度条件を保つために給熱または保温による温度制御を所定の期間以上行います。日平均気温が4℃以下になる場合は「寒中コンクリート」として扱う必要があります<sup>2)</sup>。

一方、外気温が著しく高い場合は、打込み後のコンクリート温度も高くなり、表面が乾燥しやすく、ひび割れを生じる可能性も高くなるために散水または覆い等を行います。日平均気温が25℃を超える場合は「暑中コンクリート」として扱う必要があります<sup>2)</sup>。

また、部材あるいは構造物の寸法が大きく、セメントの水和熱による温度応力が問題となる場合は、「マスコンクリート」として扱い、表面保温やパイプクーリング等によってコンクリート温度の過剰な上昇や温度差の発生を抑え、温度応力を制御する必要があります<sup>2)</sup>。

### Q 4：有害な作用に対する保護とはどのようなものですか？

A 4：有害な作用とは、養生期間中に予想される振動、衝撃、荷重等であり、これらを受けるとひび割れのほか、圧縮強度、コンクリートと鉄筋の付着強度、打継面の新旧コンクリートの一体性等の低下につながります<sup>2)</sup>。

コンクリートが若材齢時にこれらの外力を受けて損傷することが無いよう、型枠や支保工の存置が対策の基本になります。また、構造物の立地環境によっては、強い降雨、給熱養生用ヒーターの過熱、海水等も有害な作用であり、防護シートやせき板存置等の対策が取られています。

## 【寒中コンクリート】

### Q 5：寒中コンクリートとは何ですか？

A 5：寒中コンクリートとは、初期凍害を受けるおそれのある期間に施工されるコンクリートのことを言います。日平均気温が4℃以下になる気象条件のもとでは、打設後、硬化するまでの間にコンクリートが凍らないよう、寒い時期に対応した仕様に基づいて施工する必要があります。初期凍害を受けると、その後適切な養生を行っても十分な強度が得られず、劣化に対する抵抗性、水密性は著しく低下します。また、コンクリートが凍結しないまでも5℃程度の低温にさらされると、凝結及び硬化反応が遅延するため、早期に施工荷重を受ける構造物では、ひび割れや残留変形等の問題が生じやすくなります<sup>2)</sup>。このため、施工時には、特に養生の温度管理が重要です。

### Q 6：寒中コンクリートの養生の留意点は？

A 6：寒中コンクリートの養生は、コンクリートの配合、強度、構造物の種類、部材の形状寸法、外気温等を考慮して、養生方法、温度制御養生の期間、養生温度等に留意する必要があります<sup>2)</sup>。

養生方法としては、保温養生と給熱養生があります。保温養生は、発泡スチロールのような断熱性の高い材料でコンクリートの周囲を覆い、セメントの水和熱を利用して所定の強度が得られるまで保温する養生です。給熱養生は、気温が低い場合、断面が薄い場合、保温のみでは凍結温度以上に保つことが困難な場合に、ジェットヒーター等の方法によって外部から熱を供給する養生です<sup>2)</sup>。給熱効果を高めるため、仮囲いを設ける場合もあります。

施工条件によっては、工程の遅れ等により養生方法や期間が当初の施工計画から変更する必要があることもあります。実施工に入る前に①寒中コンクリートに変わっていないか、②寒中コンクリートの場合、次の春までに想定される凍結融解の頻度は変わっていない

か、③セメントの種類は変えていないか、④施工時の平均気温（寒中コンクリートの場合は給熱養生で管理を行う際の予定温度）は変わっていないか、という点の確認が重要です。湿潤養生の必要日数が変わる場合、養生不足によるコンクリートの品質低下に注意が必要です。また、冬期や寒暖差の激しい時期は、湿潤養生終了後、風や外気温等によってコンクリート温度が急に下がらないように配慮します。特に含水比が高い状態で凍結すると凍害の原因になるので隙間風にも注意が必要です。

Q7：寒中コンクリートの養生温度は、どこの温度のことをいいますか？

A7：寒中コンクリートの養生においては、外気温の影響を最も受けやすいコンクリート表面温度の確保が重要になります。コンクリート表面温度と養生囲内温度を同等と考え、保温養生、給熱養生のいずれを行った場合においても、コンクリート表面付近の気温は所定の5℃、10℃を満たす必要があります。構造物のコンクリート表面において必要な養生温度を確保しておく、コンクリート内部に水和熱があるため、構造物全体が養生温度を満たすこととなります。

Q8：寒中コンクリートの温度制御養生期間はどのくらい設ければよいのですか？

A8：寒中コンクリートの温度制御養生を終えるには「養生温度を5℃以上に保つのを終了するときに必要な圧縮強度」が必要です。これについては2017年示方書

表-3 養生温度を5℃以上に保つのを終了するときに必要な圧縮強度の標準（2017年版）

(N/mm<sup>2</sup>)

5℃以上の温度制御養生を行った後の次の春までに想定される凍結融解の頻度	断面の大きさ		
	薄い場合	普通の場合	厚い場合
(1) しばしば凍結融解を受ける場合	15	12	10
(2) まれに凍結融解を受ける場合	5	5	5

表-4 所要の圧縮強度を得る温度制御養生期間の目安（断面の大きさが普通の場合）（2017年版）

5℃以上の温度制御養生を行った後の次の春までに想定される凍結融解の頻度	養生温度	セメントの種類		
		早強 ポルトランド セメント	普通 ポルトランド セメント	混合 セメント B種
(1) しばしば凍結融解を受ける場合	5℃	5日	9日	12日
	10℃	4日	7日	9日
(2) まれに凍結融解を受ける場合	5℃	3日	4日	5日
	10℃	2日	3日	4日

に、表-3の値が標準として示されています。この表の「(1) しばしば凍結融解を受ける場合」は、その後さらに2日間は養生温度を0℃以上に保つ必要があります<sup>2)</sup>。また、寒中コンクリートの強度が表-3に示す値以上になっても、湿潤養生期間（表-1）を満たすまで湿潤養生を続ける必要があります。

表-3で使用されている「しばしば」と「まれに」は、打設する時期で分かれています。「しばしば」とは、打設後、次の春まで何度も（数十回<sup>2)</sup>凍結融解の繰り返しが生じ想定される時期にコンクリートを打設した場合を指します。例えば10月後半から2月～3月頃にコンクリートを打設するような場合です<sup>3)</sup>。「まれに」とは、打設後しばらくすると暖かくなって、凍結融解の繰り返しが生じ（数回程度と<sup>2)</sup>）少なくなる時期にコンクリートを打設するような場合を指します。例えば3月～4月頃にコンクリートを打設するような場合です<sup>3)</sup>。

ただし、地域によって気温が異なりますので、施工地域の温度事情を鑑みて判断する必要があります。

2017年示方書には、断面の大きさが普通で、養生温度が5℃、10℃で、水セメント比55%の場合、表-4のような目安が示されています<sup>2)</sup>。この表は、標準的な養生期間を示しており、断面の厚さや、養生温度、水セメント比がこれと異なる場合は、適宜、増減する必要があります。なお、断面の厚さについては、表-5に取り纏められています<sup>4)</sup>。

表-5 断面の厚さの概ねの目安

断面の厚さ	断面の厚さの概ねの目安
薄い場合	20cm～30cm程度以下
厚い場合	90cm～100cm程度以上
普通の場合	上記の中間程度

表-6 養生温度を5度以上に保つのを終了するときに必要な圧縮強度の標準（2012年版）

(N/mm<sup>2</sup>)

型枠の取り外し直後に構造物がさらされる環境	断面の大きさ		
	薄い場合	普通の場合	厚い場合
(1) コンクリート表面が水で飽和される頻度が高い場合	15	12	10
(2) コンクリート表面が水で飽和される頻度が低い場合	5	5	5

表-7 所要の圧縮強度を得る温度制御養生期間の目安（断面の大きさが普通の場合）（2012年版）

型枠の取り外し直後に構造物がさらされる環境	養生温度	セメントの種類		
		早強 ポルトランド セメント	普通 ポルトランド セメント	混合 セメント B種
(1) コンクリート表面が水で飽和される頻度が高い場合	5℃	5日	9日	12日
	10℃	4日	7日	9日
(2) コンクリート表面が水で飽和される頻度が低い場合	5℃	3日	4日	5日
	10℃	2日	3日	4日

**Q9：寒中コンクリートの温度制御養生期間を定めるにあたって注意する点がありますか？**

**A9：**表-3に示す「養生温度を5℃以上に保つのを終了するときに必要な圧縮強度」の条件について、2012年示方書では表-6、表-7のように「(1) コンクリート表面が水で飽和される頻度が高い場合」<sup>5)</sup>となっていました。2017年制定以後は表-3、表-4のように「(1) しばしば凍結融解を受ける場合」<sup>2)</sup>に改訂されました。2012年示方書(表-6、表-7)を適用した時は、河川構造物、海岸構造物など水かかりの多い構造物が「(1) コンクリート表面が水で飽和される頻度が高い場合」で、それ以外は「(2) コンクリート表面が水で飽和される頻度が低い場合」<sup>5)</sup>と読み取れるような記述となっていました。しかし、2017年示方書(表-3、表-4)からは「(1) しばしば凍結融解を受ける場合」<sup>2)</sup>に記述が変わっていますので、2012年示方書以前の考え方で判断すると、誤った温度制御養生期間を選択してしまう場合がありますので注意が必要です。

また、2012年示方書の「(2) コンクリート表面が水で飽和される頻度が低い場合」の構造物を建設する場合、養生期間を決める圧縮強度は表-6の5N/mm<sup>2</sup>となっていました<sup>5)</sup>。フーチング、柱、壁、梁の側面など構造物の鉛直部等における脱型時の圧縮強度は表-2の3.5N/mm<sup>2</sup>または5N/mm<sup>2</sup>であるため<sup>5)</sup>、構造物の側面等では脱型時の強度に達した時点で養生期間終了と認識されている可能性があります。2017年示方書の改訂以降は、表-4に示すとおり、温度制御養生期間の条件の記述が変更されていますので<sup>2)</sup>、施工する構造物毎に、脱型及び支保工の取外し日数と、養生日数に相違がないかを確認し、養生日数を間違えることのないよう注意が必要です。

**Q10：寒中コンクリート養生が不適切な場合に想定される凍害はどのようなものがありますか？**

**A10：**初期凍害(写真-2)、凍結融解の繰り返しによる内部劣化(ひび割れ)、スケーリング(写真-4)、ポップアウト(写真-5)などがあります<sup>6)</sup>。初期凍害は、まだ固まらないコンクリート中の水が凍結することをいいます。初期凍害を受けると、その後養生を続けても強度の増加がなくなります<sup>2)</sup>。

ひび割れは、凍結によってコンクリート内の水分の体積が微細空隙以上の大きさに膨張すると生じます<sup>7)</sup>。

進行すると、水や塩水が浸入しやすくなり、鉄筋腐食が促進されることもあります。

スケーリングは、コンクリート表面のモルタル部分がフレーク状に剥げ落ちる症状です。進行すると粗骨材を含めて表層コンクリートの剥離・崩壊に至ることもあります<sup>7)</sup>。スケーリング抵抗性は、普通ポルトランドセメントよりも高炉セメントB種を用いた方が高いと云われていますが、最近の現場調査結果では高炉セメントB種の方が進行している傾向にあり、湿潤養生日数の違い等の影響が考えられます。

ポップアウトとは、コンクリート表面の骨材粒子の凍結膨張による破壊でできたクレーター状のくぼみのことを言います<sup>7)</sup>。

スケーリングやポップアウトが進行すると、コンクリートのかぶりが薄くなるため、鋼材の露出や腐食の促進につながることもあります。

**おわりに**

耐寒材料チームでは、冬期の養生など施工環境がスケーリング等の損傷に影響するのではないかと考え、スケーリングが発生した現場での調査や、養生日数を実験水準としたスケーリング試験を行っています。補修設計時には、損傷構造物の当初の施工状況を検証できるような記録が必要です。記録から確認された損傷要因を意識した施工を行うことにより、品質向上が可能となります。

しかし、現在は改善点を検討できる記録がなかなか残っていない状況です。このため、施工時にコンクリ



写真-4 スケーリングをおこしたコンクリート

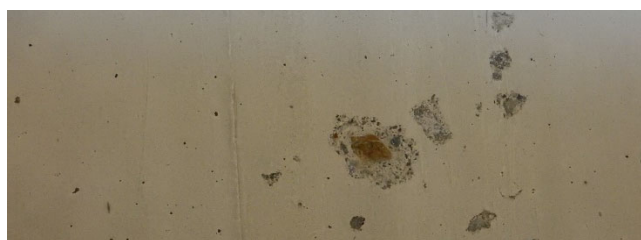


写真-5 ポップアウトをおこしたコンクリート

ートの品質に影響を及ぼす要因を記録に残す項目として提案することで、コンクリート構造物の品質向上につなげていきたいと考えています。

(文責：佐藤 義臣)

#### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-、p.51
- 2) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】、pp.124-127、p.161、pp.165-167
- 3) 2017年2018年制定コンクリート標準示方書Q & A 施工編No.12
- 4) 2007年制定コンクリート標準示方書発刊に伴う講習会質問事項No.5
- 5) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書【施工編】、p.152、p.162
- 6) 土木学会：2018年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】、p.153
- 7) 寒地土木研究所：平成29年5月凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）、p.8、p.10、p.13