

コンクリート施工のポイント③

コンクリートの品質を左右する『養生』のポイント

広島工業大学 教授
工学博士 十河茂幸

前号では生コンの荷卸し後の打込み、締固めの要点を概説した。今号は生コンの養生のポイントについて概説する。

1 はじめに

コンクリートは、セメントの水和反応で強度を発現し、骨材との繋ぎを形成することで、外部からの劣化因子の浸入を防ぐ。水和反応は、セメントと水の反応であるが、水分は不足すると十分な反応が行われなため、強度が期待するほど発現しないことになる。そのため、十分な水分を与える『養生』が重要であるとコンクリートを扱う技術者はほとんど全員が理解している。しかし、案外と『正しい養生』を知らない技術者も多い。

そこで、養生の効果、養生の影響などについて、事例をあげて紹介する。

2 養生とは

中国では、「養生」とは生命を養って長生をはかることをいう。一般的には、病み上がりの「養生」をするとか、引っ越しの時に家具などがぶつかって傷がつかないように「養生」する、などと保護をする意味で使われる。

コンクリートでは、セメントの水和反応を促すことが養生の目指すべき方向であり、そのために、十分な水分を与えることを養生の目標とする場合が多いが、コンクリートにおける養生とは、コンクリートを成長させるセメントの水和反応を十分に進めるための水分を与える行為か、水分が逸散するのを防ぐ行為、水和反応が適切に継続す

るように温度を制御する行為、そして外部からの圧力に抵抗できるまでの間、コンクリートを保護する行為を総称して「養生」と呼んでいる。

3 コンクリートの成長を促す水分

コンクリートを構成する材料としては、水、セメント、細骨材、粗骨材があり、さらに混和材料が加えられる場合がある。水とセメントで構成される「セメントペースト」、これに細骨材が加えられて「モルタル」、さらに粗骨材が加えられて「コンクリート」とされ、水はセメントを反応させるために加えられている。つまり、水分を供給しなくても水和反応は進むはずである。

ところが、局部的にみると、セメント粒子の周辺の水分は水和反応でセメントに吸収され、水分が不足する状況が生まれる。そのため、水中にコンクリートを置くと、水和でできた内部空隙に水分が浸入し、水和反応が十分に行われる。

コンクリート工事において、十分な湿潤養生をするように仕様書や示方書に示されているのは水和反応ができるだけ十分に進むように期待するためである。

図1は、コンクリートの打込み後に、湿潤養生を行う期間を変えて、強度の発現を材齢との関係で示したものである。湿潤養生期間が長いほど、長期材齢時の強度が高く、継続的に水分を与えると強度は長期間継続的に増進する。

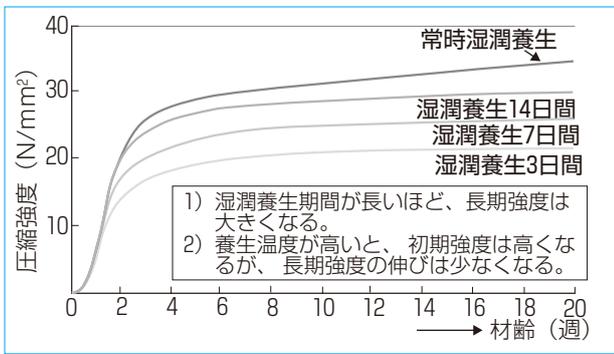


図1 湿潤養生期間とコンクリート強度発現

一方で、部材の厚さが大きい場合は、表面からの水分が部材内部まで浸入するには時間が掛かるため、表面に水分を与えても水和反応を供試体のように進めることができない。したがって、薄い断面厚さのスラブなどでは湿潤養生の効果が期待できるものの、土木構造物のように断面の厚さが大きい部材の内部では、湿潤養生の効果がさほど期待できない。逆に水分の逸散もしにくいと考えられ、表面からの水分の逸散を防ぐことが重要となる。外部への水分の逸散を防ぐ養生を「封緘養生」とよび、部材の内部がこれに相当する。

図2は、外部から水分が供給されると考えられる水中養生と、外部への水分の逸散を防ぐ「封緘養生」の比較を示している。左の棒グラフの比較は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート、右の棒グラフの比較が高炉セメントを用いたコンクリートである。いずれのコンクリートにおいても、封緘養生したコンクリートの3か月強度が水中養生の28日強度に匹敵し、通常「標準養生」とされる品質管理用の供試体の28日強度が、実構造物の3か月強度に近い値であることがわかる。

つまり、コンクリートの品質管理に用いられる標準養生をした供試体強度は、温度が同等であれば、長期材齢の実構造物の強度に匹敵するとみなされる。

4 耐久性に影響する養生温度

水和反応を促すのは、水分だけではない。セメントの水和は化学反応であるから、当然温度が影響する。温度が高いほど反応が進むため、強度発現は早くなる。そのため、工事の都合上、早期に強度が必要な場合、たとえばプレストレスの導入を早めたい場合、型枠・支保工を早期に外したい場合などは、

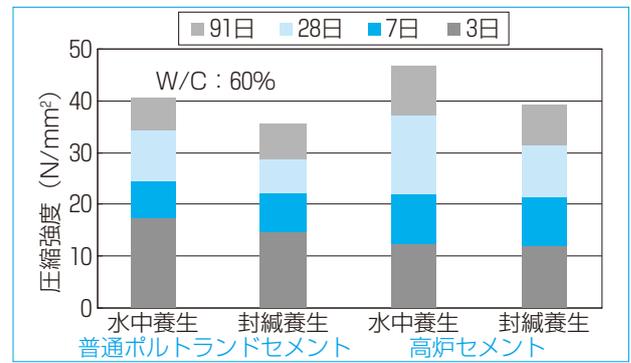


図2 水中養生と封緘養生の強度発現の比較

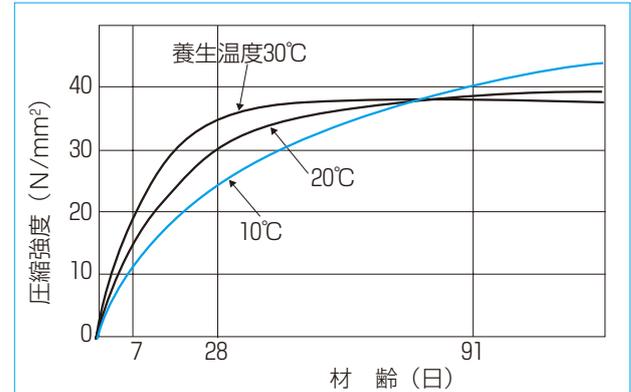


図3 養生温度とコンクリートの強度発現

養生温度を高めるとよいが、それにはリスクも伴う。

セメントの反応は自然に進める方が確実に進む。強制的に反応を早めると、長期強度が十分に発現しないことになる。図3は、コンクリートの強度発現を環境温度の違いで比較したものである。低温でじっくり強度発現を待つと、比較的高温で強度の促進を図った場合より、長期強度は高くなっている。その結果、組織が緻密になり、劣化因子の外部からの浸入も遅らせることができ、耐久性も向上すると考えることができる。

5 養生を終える時期の目安

養生の目的は、水分の供給（水分の逸散防止）と、適切な温度が重要であるが、外圧に耐えるまで保護することも養生の目的である。

ここで、コンクリート工事において考えられる外圧を想定することが必要となる。たとえば、工事の揚重作業で仮設材がぶつかる、工事用の重機などが衝突するなど、工事の狭い現場では特に様々な事態が想像される。それゆえ、一定の期間は養生マットを敷設し、型枠を一定期間存置する。また、寒中の工事では、夜間に凍結すること

でコンクリートが初期凍害を受ける場合もある。寒中工事では、温度が低いために強度発現が遅れるだけでなく、強度発現まで養生を継続することも必要となる。

そこで、仕様書や示方書では、表1～表4のように、湿潤養生期間の標準、厳しい気象作用を受けるコンクリートの養生の終了時の強度の標準、寒中コンクリートにおいて所要の強度を得る期間の目安、型枠を外してよいコンクリート強度の目安（型枠の存置期間の目安）などを示している。

これらの基準値は一つの目安に過ぎないが、セメントの種類、コンクリートの温度、外気温、構造物の置かれる環境などで異なる点が参考にできる。

6 型枠内は封緘養生

養生といえば、湿潤養生をイメージする技術者が多いが、多くの場合は外部からの水分が効率的になっていない場合も多い。また、養生温度についてはあまり意識がない場合も多い。

どのような養生をするべきかは、現場の状況で選択する必要がある。表5は、様々な養生方法を示している。前述したように、水分の供給は重要ではあるが、内部まで浸透することは期待できないため、水分の逸散を防止する方が実質有効といえる。また、養生温度も考慮し、外部の温度変化を受けないようにすることも必要である。このような条件を満たす養生方法を適切に現場で選択することが技術者に求められている。

7 養生で失敗しないために

養生に失敗をしてひび割れを生じさせた例がある。図4は、型枠内のコンクリートの温度分布を示している。セメントの水和熱により部材が厚いと内部温度が上昇し、それにより強度発現も促進される。そこで、強度が得られたからと型枠を外すと、コンクリート表面は外気温に近づき、部材内部の温度分布は大きくなる。温度分布はそのままコンクリートの伸縮につながるため、外気に冷やされる表面部分は引張応力が増加し、ひび割れの危険

表1 湿潤養生期間の標準

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2 厳しい気象作用を受けるコンクリートの養生の終了時の強度の標準

構造物の露出状態	薄い断面	普通の場合	厚い場合
(1)連続して、あるいはしばしば水で飽和される場合	15	12	10
(2)普通の露出状態にあり、(1)に属さない場合	5	5	5

表3 所要の強度を得る養生期間の目安

構造物の露出状態	養生温度	普通セメント	早強セメント	混合セメントB種
(1)連続して、あるいはしばしば水で飽和される場合	5℃	9日	5日	12日
	10℃	7日	4日	9日
(2)普通の露出状態にあり、(1)に属さない場合	5℃	4日	3日	5日
	10℃	3日	2日	4日

水セメント比55%の場合を想定

表4 型枠を外してよい時期の強度の参考値

部材面の種類	例	コンクリートの圧縮強度(N/mm ²)
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
薄い部材の鉛直または鉛直に近い面、45°より急な傾きの下面、小さいアーチの内面	柱・壁・はりの側面	5.0
橋、建物などのスラブおよびはり、45°よりゆるい傾きの下面	スラブ、はりの底面、アーチの内面	14.0

参考文献：土木学会編『2007年制定 コンクリート標準示方書【施工編】』土木学会、2007年。

にさらされる。そのとき、型枠を外しても湿潤養生を継続する方が望ましいからと散水をしてひび割れを生じさせた事例がある。散水は湿潤養生効果はあるものの、温度を下げる逆効果がある。水分だけに着目して温度の影響を考慮しなかった事例である。

図5は壁状構造物に生じる温度応力の概念を示したものである。打込み時の温度から次第にコン

表5 各種の養生方法と特徴

分類		養生方法と特徴		
湿润養生	噴霧	直接散水するとコンクリート表面を傷つける場合には、人力によりスプレー等で水を噴霧して表面の乾燥を防ぐ。気象条件によって乾燥が激しく、散水の効果がムラになりやすい。形式的な散水にならないよう注意する。人力による散水より、スプリンクラー等による自動的な常時散水がよい。		
	散水	コンクリートに十分散水し、その上から表面に密着するようシートをかぶせる。水の供給は状況に応じて1日1回以上する。		
	シートによるおおい	マット、麻布、むしろ等でコンクリート表面をおおい、その上から散水する。湿分を維持する確実な方法。散水が不足すると、かえっておおいがコンクリートの水分を吸水するので注意する。		
	ぬれマット、湿布、ぬれむしろなどによるおおい	スラブ等の周囲の型枠をあらかじめ高くして、コンクリートの表面に水を張る方法で、非常に効果がある。水深は最小2~3cmで、凍結のおそれがあるときは水深を大きくする。		
	澁水	木製型枠を使用し、気温が高く乾燥が早い場合に型枠に散水する。硬質ビニル管に孔をあけ、水を噴出させる方法が容易で効果的である。		
	型枠への散水	コンクリートからの水分の蒸発を防ぐ方法で、養生水が得られない場合や養生作業の能率を向上させたい場合に用いる。シートの継ぎ目は十分に重ね合わせたり。風に飛ばされないようにする。気温が高いときは効果が劣る。		
被膜養生	不透水性シートによるおおい	コンクリートの表面仕上げ終了後、できるだけ早い時期に膜養生剤を散布し、水分の蒸発を防ぐ。ごく初期の乾燥防止には有効である。気温が高い場合には効果が減退する。		
	膜養生剤の散布(塗布)	コンクリート露出面、開口部、型枠の外側をシート類でおおう。外気温が0℃以下になるおそれのある場合に用いる。気温が著しく低い場合には、適温に保つことは不可能となる。		
保温養生	シートによる保温	コンクリート表面に断熱マットを敷いたり、発泡ウレタン、スチロール等の断熱材を張り付けた型枠を用いる。外気温があまり低くなく(0℃程度)、ある程度部材の寸法が大きい場合には有効である。		
	断熱材による保温	燃焼ガスを室内に放出するため熱効率が良いが、労働環境が汚染される。小型の割に放熱量の大きいのは特徴だが温度分布は悪くなる。取扱い、移動が容易。		
給熱養生	ジェットヒータ等による燃焼ガス噴射空間加熱	1) コンクリートの露出面開口部、型枠の外側をシート類でおおい、構造物の内部を加熱する。	ジェットヒータ、マスターヒータ、ジムバーナ、サラマダ、など	
	石油ストーブなどによる直接空間加熱	2) 構造物の周囲を全部シート類で囲み、加熱する。	石油ストーブ(煙突付)	
	熱風炉などによる間接空間加熱	3) 構造物の周囲を全部シート類で囲み、加熱を行って、構造物まわりの気温をも所定の温度に保ち、その中で施工する。	熱風炉	
	アイランプなどによるふく射熱加熱		取扱いが簡便、暖房の応答速度大、屋外でも使用できる。障害物があると陰の暖房ができない。ふく射効率のよいものを選ぶとよい。	アイランプ、遠赤外線ヒータ、など
	蒸気		湿潤状態が理想的である。ダクトで任意の場所に供給可。装置が大きく移動困難。2次製品などの生産向上のために使用。	
	温床線などによるコンクリート線加熱	必ず断熱マットを併用し、コンクリートの高熱伝導率を利用して適当な間隔に配置する。温度調節容易。	温床線、水道用チープヒータなど	

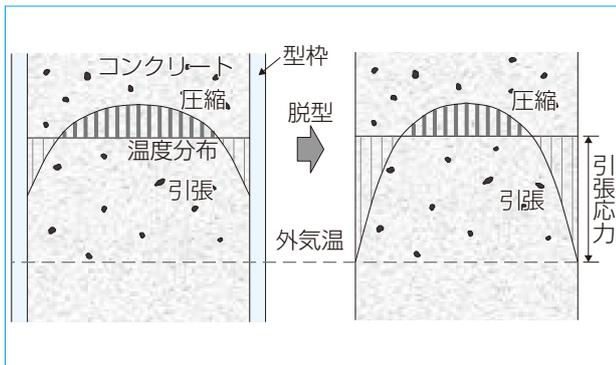


図4 型枠内の温度分布と脱枠後の温度分布

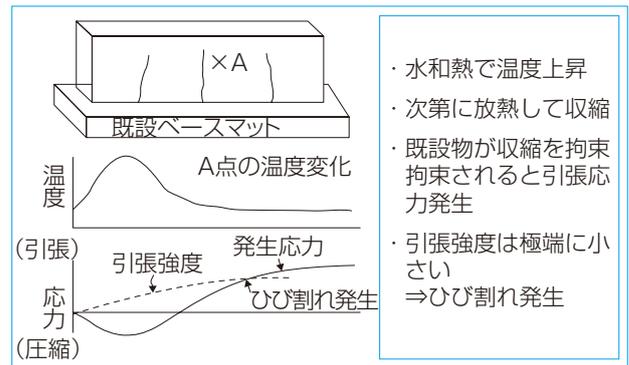


図5 壁状構造物に生じる温度応力の概念

クリート内部温度が上昇し、その後の温度降下で壁部分は先に打ち込まれた床版の拘束を受け、ひび割れの危険にさらされる。打込み温度が小さいと温度応力は小さく、打込み後の外気温が低いと温度降下が大きくひび割れの危険性が増す。打込み温度や外気温の変動は外力となって作用する。型枠を外すことでコンクリートの温度が低下することは、ひび割れのリスクが大きくなると考えなければならない。

養生の意味を正しく理解しておくことが必要である。

【参考文献】

- 1) 土木学会編『2007年制定コンクリート標準示方書【施工編】』土木学会、2007
- 2) 十河茂幸、信田佳延、宇治公隆、栗田守朗 共著『現場で役立つ コンクリート名人養成講座 改訂版』日経 BP 社、2008年
- 3) (社)全国土木施工管理技士会編『良いコンクリートを打つための要点 改訂第7版』全国土木施工管理技士会連合会、2006