

第6回 コンクリートの施工（その2）

講師：小野 秀平*

1. はじめに

前回の講座（第5回）では、コンクリートの施工（その1）として、運搬、打込み・締固めおよび打継ぎ、仕上げおよび養生について取り上げました。今回の講座（第6回）では、コンクリートの施工（その2）として、型枠および支保工の留意点と、施工に注意を要するコンクリート（寒中コンクリート、暑中コンクリート、マスコンクリート）について解説します。

2. 型枠および支保工

2.1 一般

型枠および支保工は、コンクリート構造物を成形するための鑄型となるため、設計図書に示されている形状および寸法となるよう事前に計画書を作成し、これに従って設計、施工することが重要です。よって、型枠および支保工は、鉛直方向荷重、水平方向荷重、コンクリートの側圧などの荷重に対し、必要な強度、剛性、耐久性（転用性）、作業性などを有して、有害な変形、沈下が生じないものを選定します。また、型枠および支保工の設計や施工のミスは、コンクリート構造物の出来形だけでなく、崩壊事故などの安全性に直結していることに留意しなければなりません。

せん。

型枠は、容易に組立て、取外しができ、モルタルが漏れたりせず、また、プレストレスングの際、コンクリート部材に悪影響を与えない構造とします。材料の選定に際しては、剛性、耐久性（転用性）、仕上り精度、水密性、加工性、組立てと解体の容易さ、経済性を考慮します。型枠に用いられる材料は、合板や鋼製が一般的です（表-1）。

支保工は、型枠を所定の位置に保持するものであり、コンクリートが打ち込まれて所定の強度が得られるまで、倒壊、損傷、有害な変形をしてはなりません。そこで、プレストレスングにより支点反力が変化することを考慮に入れて設計し、組立てや取外しに便利な構造で、その継手や接続部は、荷重を確実に伝えるものとします。

型枠および支保工の施工にあたっては、「型枠支保工の組立て等作業主任者^{a)}」の資格を有する者の指揮のもと、労働災害防止に努めなければなりません。また、特殊型枠および特殊支保工を使用する場合には、責任技術者の承認を得なければなりません。

2.2 荷重およびコンクリートの側圧

(1) 鉛直方向荷重

鉛直方向荷重は、コンクリート、鉄筋、型枠および支保

表-1 型枠材料別の特質と標準転用回数

	利 点	欠 点	標準転用回数
木製型枠	加工が容易である 保湿性、吸湿性を有する	強度、剛性が小さい 耐久性が低い セメントペーストが漏出しやすい	3～4回
合板型枠	コンクリートの仕上がり面がきれいである メタルフォームより加工性がよい 経済的である	メタルフォームに比べると転用回数が少ない	4～8回
鋼製型枠 (メタルフォーム)	転用回数が多い 組立て解体が容易である 強度が高い	加工しづらい 保湿性が悪い さびがやすい 重い	30回程度
アルミニウム合金型枠	メタルフォームに比べて軽い 転用回数が多い 赤褐色のさびがない	高価である メタルフォームに比べて剛性が小さい コンクリートが付着しやすい	50回程度
プラスチック型枠	軽い 複雑な形状のものを量産できる 透明なものを作れる	衝撃に弱い 比較的高価である 熱、太陽光線に対して不安定	20回程度

* Shuhei ONO：清水建設(株) 土木技術本部 設計第一部

○ 講座 ○

工の自重、作業員、コンクリート運搬設備、機械の荷重および衝撃、プレストレスの影響など、型枠に鉛直方向の外力として加わるものです。このうち、鉄筋コンクリートの単位体積重量は、普通コンクリートの場合、安全側の値として 25.0 kN/m³ を使用しています。

(2) 水平方向荷重

水平方向荷重は、型枠の傾斜、作業時の振動、コンクリート打込み時の偏載荷重、衝撃または風圧など、型枠に水平方向の外力として加わるものです。その実情に応じて、各荷重を設定するのを原則としていますが、正確に予想するのが困難な場合、労働安全衛生規則^{b)}の定める水平方向荷重の値を用いても構いません(表 - 2)。支保工の倒壊事故は、この水平方向荷重に起因することが多いので、注意しなければなりません。とくに、橋梁などにみられる縦断勾配や横断勾配がついた型枠や支保工の場合、コンクリート重量の水平分力が作用するため、これを見込んだ安全性の検討が重要となります。

(3) コンクリートの側圧

型枠の設計にあたってもっとも重要なのは、コンクリートの側圧です。フレッシュコンクリートの側圧は、施工方法や気象条件などのさまざまな要因により値が異なることに注意が必要です。型枠に作用する側圧を液圧として求めれば安全側となりますが、実際に作用する側圧が液圧よりかなり小さい場合には、不経済となり実用的ではありません。施工者が求める、施工速度、経済性、安全性のバランスをとることが重要となります。

コンクリート標準示方書では、柱および壁を対象として、普通ポルトランドセメントを使用し、スランブが 10 cm 程度以下のコンクリートを内部振動機により締固めた場合の、型枠内のコンクリート温度を要因とした打上り速度と側圧の関係を示しています(図 - 1)。コンクリート温度が高いほど側圧は小さくなり、また、コンクリートの凝結時間が早いもの、スランブが小さいものほど側圧は小さくなります。また、流動化コンクリートや高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートのように流動性の高いコン

表 - 2 水平方向荷重の推奨値
(労働安全衛生規則第 240 条)

	水平方向荷重	例
型枠がほぼ水平で現場設置で支保工を組み立てる場合	鉛直方向荷重の 5%	パイプサポート 単管支柱、組立て支柱 支保梁
型枠がほぼ水平で工場製作精度で支保工を組み立てる場合	鉛直方向荷重の 2.5%	枠組支柱

表 - 3 型枠設計用コンクリート側圧 (JASS 5²⁾)

打込み速さ (m/h)	10 以下の場合		10 を超え 20 以下の場合		20 を超える場合
	H(m)	1.5 以下	1.5 を超え 4.0 以下	2.0 以下	2.0 を超え 4.0 以下
柱	W _o ·H	1.5 W _o + 0.6 W _o × (H-1.5)		2.0 W _o + 0.8 W _o × (H-2.0)	
壁		1.5 W _o + 0.2 W _o × (H-1.5)		2.0 W _o + 0.4 W _o × (H-2.0)	

H: フレッシュコンクリートのヘッド (m) (側圧を求める位置から上のコンクリート打込み高さ)
W_o: フレッシュコンクリートの単位容量質量 (t/m³) に重力加速度を乗じたもの (kN/m³)

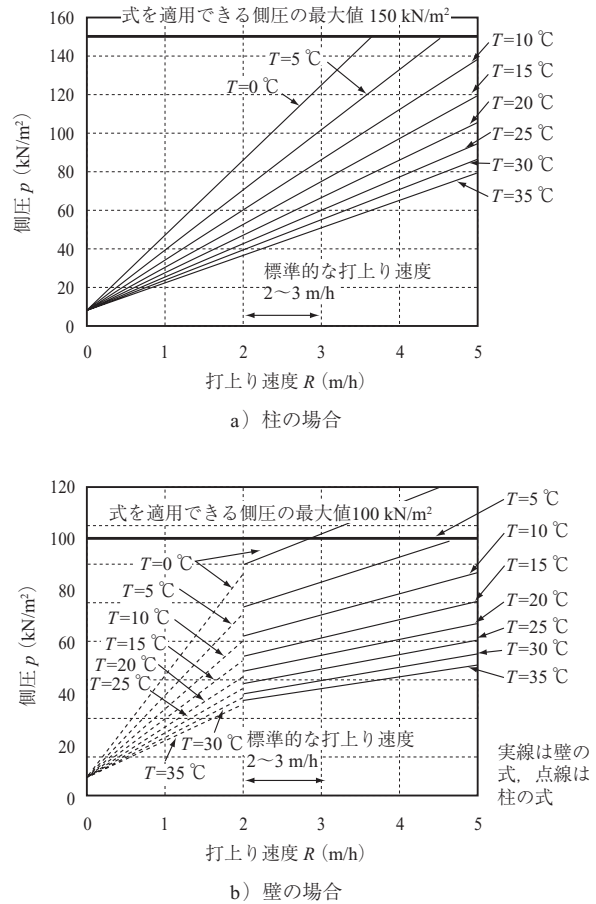


図 - 1 スランブが 10 cm 程度以下のコンクリートの側圧 (コンクリート標準示方書¹⁾)

クリートの側圧は、液圧に近い側圧分布を示すので注意が必要です。

一方、JASS 5 では、コンクリートポンプを使用した場合の側圧の計算値が示されています(表 - 3)。

2.3 型枠・支保工の取外し

型枠および支保工は、コンクリートが自重および施工中の荷重を受けるのに必要な強度に達するまで、これを取り外してはいけません。これらの時期を誤ると重大な事故につながるため、十分な検討が必要です。また、PC 構造物では、プレストレス後に自重およびその他の荷重を受ける部分の型枠支保工は、所要のプレストレス前に取り外してはいけません。

コンクリート標準示方書では、部材面の種類によって型枠を取外してよい時期のコンクリート圧縮強度の参考値を示しています(表 - 4)。

JASS 5 では、計画供用期間の級によって、基礎、梁側、柱および壁のせき板を存置しておくコンクリート圧縮強度の下限値を定めています。ただし、計画供用期間の級が短期および標準の場合で 5 N/mm^2 以上、長期および超長期の場合で 10 N/mm^2 以上に達するまで湿潤養生をしない場合は、これに達するまでせき板を存置するものとしています（表 - 5）。また、型枠および支保工は、全体を同時に取り外さないで、比較的荷重を受けない部分をまず取り外し、その後、残りの重要な部分を取り外すのが望ましいです。たとえば、柱、壁などの鉛直部材の型枠は、スラブ、はりの水平部材の型枠よりも早く取り外すのが原則であり、はりの両側面の型枠は底版よりも早く撤去しても構いません。

3. 寒中コンクリート

コンクリート標準示方書では、日平均気温が 4°C 以下になると予想される場合には、寒中コンクリートとしての施工を行わなければならないと定めています。JASS 5 では、さらにコンクリートの打込み後 91 日までの積算温度^① $M91$ が $840^\circ\text{C}\cdot\text{D}$ を下回る期間を寒中コンクリートとしての施工を行わなければならないと定めています。

寒中コンクリートの問題点は、初期凍害^② を受けると、その後適当な温度で養生しても、強度、耐久性、水密性などの品質が著しく低下することです。そのため、コンクリート標準示方書では、打込み時のコンクリート温度を $5\sim 20^\circ\text{C}$ とし、打込み後の初期に凍結しないように十分に保護するとともに、とくに風を防がなければなりません。気象条件が厳しい場合は、所要の強度が得られるまでコンクリート温度を 5°C 以上に保ち、さらに 2 日間は 0°C 以上を保つことを標準としています。JASS 5 では、荷卸し時のコンクリート温度を $10\sim 20^\circ\text{C}$ とし、打込み後の初期養生期間は、コンクリート圧縮強度 5 N/mm^2 以上が得られる

までは凍害を受けてはならないとしています。

寒中コンクリートの養生方法には、給熱養生、保温養生などがありますが、加熱養生の場合、散水などにより乾燥を防ぐなどの配慮が必要です。また、AE コンクリートを用いると、空気連行による初期凍害防止に効果があります。

4. 暑中コンクリート

日平均気温（JASS 5 では日平均気温の平年値）が 25°C を超えることが予想される場合は、暑中コンクリートとしての施工を行わなければなりません。

暑中コンクリートの問題点は、凝結が早くなりスランブの低下が大きく、同一のスランブを得るための単位水量の増加やコールドジョイント^③ が発生しやすいことです。また、初期強度の発現は速やかですが、その一方、長期強度の伸びは小さくなります。

暑中コンクリートの打込みはできるだけ早く行い、練混ぜから打ち終わるまでの時間は、1.5 時間以内とします。コンクリート標準示方書では、打込みコンクリートの温度は、 35°C 以下でなければならないとしており、JASS 5 では、荷卸し時のコンクリート温度を 35°C 以下としています。暑中コンクリートの養生は、打込み直後から表面を保護し、水分の急激な逸散を防ぎ、湿潤状態を保つようにします。とくに厳しい気象条件では、仮設上屋などを設けて直射日光を防ぐなどの対策が必要になります。

5. マスコンクリート

部材断面が大きく、セメントの水和熱による温度上昇を考慮しなければならないコンクリートをマスコンクリートといいます。マスコンクリートは、セメントの水和熱により内部温度が上昇し、温度ひび割れが生じやすいという特徴があります。マスコンクリートとして取り扱うべき構造

表 - 4 型枠を取りはずしてよい時期のコンクリート圧縮強度の参考値（コンクリート標準示方書¹⁾）

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、小さなアーチの外側面	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 - 5 せき板の存置期間を定めるためのコンクリート圧縮強度および材齢（JASS 5²⁾）

セメントの種類		基礎・はり側・柱および壁		
		早強ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント 高炉セメント A 種 シリカセメント A 種 フライアッシュセメント A 種	高炉セメント B 種 シリカセメント B 種 フライアッシュセメント B 種
コンクリートの圧縮強度		短期および標準 5 N/mm^2 以上 長期および超長期 10 N/mm^2 以上		
コンクリートの材齢 (日)	平均気温 20°C 以上	2	4	5
	平均気温 10°C 以上 20°C 未満	3	6	8

注：1) 床スラブ下、屋根スラブ下およびはり下のせき板は原則として支保工を取り外した後に取り外す
2) 支保工の存置期間は、スラブ下、はり下ともに設計基準強度の 100% 以上のコンクリート強度の確認が原則

○ 講座 ○

物の部材寸法は、おおよその目安として、スラブでは厚さ 80 ~ 100 cm 以上、下端が拘束された壁では 50 cm 以上とされています。ただし、厚さが薄い部材でも、温度変化が大きい場合や PC 部材のように単位セメント量が多い場合は、拘束条件によって温度ひび割れが生じることがあるので、マスコンクリートとしての検討が必要になります。

温度ひび割れの発生要因には、内部拘束と外部拘束があります。内部拘束は、コンクリート表面と内部の温度差から生じる拘束作用であり、それによって発生する応力により、初期にコンクリート表面にひび割れが生じます。外部拘束は、コンクリート温度が低下するときの収縮変形が、底板などの外部からの拘束作用を受けるものであり、材齢がある程度進んだ段階で発生する貫通ひび割れはその典型的な例です。

温度ひび割れの発生の抑制は、水和熱の小さいセメントの採用や打込み温度の抑制など、マスコンクリートの温度上昇量を抑えることが効果的です。また、型枠の存置期間を長くして、長期にわたりコンクリート表面を保温するなど、内外の温度差を小さくする対策も効果があります(図-2)。

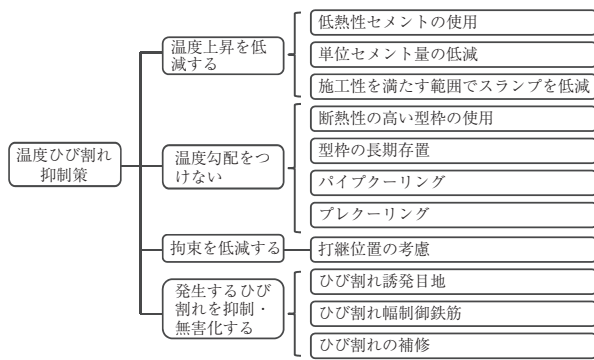


図 - 2 温度ひび割れの抑制対策

6. 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 支保工は、プレストレッシングにより反力が変化することを考慮に入れて設計する。
- ② 型枠および支保工は、コンクリートが自重および施工中の荷重を受けるのに必要な強度に達するまで、これを取り外してはならない。
- ③ せき板に合板を使用する場合は、せき板に接する面のコンクリートが硬化不良を起こさないように、直射日光により長時間十分に乾燥させてから使用するのがよい。
- ④ 型枠はモルタルが漏れたりせず、また、プレストレッシングの際にも耐え得る強固なものとするため、容易に組立て、取外しができない構造としなければならない。
- ⑤ プレストレッシング後に自重およびその他の荷重を受

ける部分の型枠および支保工は、所要のプレストレッシング直前にこれを取り外さなければならない。

- ⑥ 型枠および支保工は、一般に全体を同時に外さないで、比較的荷重を受けない部分をまず取り外し、その後、残りの重要な部分を取り外すようにしなければならない。
- ⑦ 型枠は、必要に応じて、適当な上げ越しをつけなければならないが、一般に下げ越しはつけない。
- ⑧ 打込み時に型枠に作用するコンクリートの側圧は、打上り速度が同じであれば、型枠内のコンクリート温度が高いほど小さい。

【演習問題の解答】

- ① ○ ② ○ ③ × ④ × ⑤ × ⑥ ○ ⑦ × ⑧ ○

7. おわりに

前回と今回の2回にわたり、コンクリートの施工に関する解説を行いました。コンクリートが所定の性能を発揮するためには、適切な施工が不可欠です。また、きめ細かい施工管理を実施することで、より丈夫で長持ちするコンクリート構造物を造ることができます。コンクリートの施工に関する正しい知識を身につけ、質の高いコンクリート構造物をつくっていきましょう。

さて、次回は「プレストレッシング・緊張管理」について解説します。

注

- a) 作業主任者：労働安全衛生法で労働災害を防止するために管理が必要と定められた作業で、その作業に従事する労働者の指揮などを行わせるために事業者が選任しなければならない者。作業主任者には、免許または一定の技能講習を修了するなどの資格が必要である。
- b) 労働安全衛生規則：労働安全衛生法に基づき定められた、労働の安全衛生についての基準を定めた厚生労働省令。
- c) 積算温度：養生温度 (-10℃が基準) と養生時間の積の総和。養生温度は、セメントの水和の進行が可能な温度限界の -10℃ と実際の養生温度との差で表す。たとえば、実際の養生温度が 20℃ で一定の場合、材齢 28 日までの積算温度は、 $M = (20 + 10) \times 28 = 840 (^{\circ}D \cdot D)$ となる。
- d) 初期凍害：コンクリートの凝結・硬化過程で1~数回の凍結融解作用を受けて強度低下や破損を起こす現象。十分硬化したコンクリートが凍結融解の繰り返しを受けて劣化する「凍害」とは区別される。
- e) コールドジョイント：特別継目を設けない計画のコンクリートにおいて、新しいコンクリートを打込むまでに時間がたちすぎて先のコンクリートが硬化をはじめ、そのためこれらの間を締固めても十分一体化できないために生じる継目。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】、2012 制定
- 2) 日本建築学 PS 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6月5日受付】