

技術資料

①メタルフォームの性能と強度

型枠の力学的性能は強度(どれだけの力に耐えるか)と剛性(一定の荷重に対してどれだけのたわみが出るか)の両面から検討する必要がある。規格メタルフォーム300mm幅の曲げ試験の結果から算出した見掛けの断面係数及び曲げ剛性は、

$$Z=5.55\text{cm}^2$$

$$EI=5.2 \times 10^8 \text{N} \cdot \text{cm}^2$$

許容引張応力度は $\sigma_a=21\text{kN/cm}^2$ 。最大曲げモーメントは

$$M_{\text{max}}=21 \times 5.55=116.55\text{kN} \cdot \text{cm}$$

200・150mm幅及び100mm幅のメタルフォームはすべて300mm幅のものより単位幅当り強く、また300mm幅でも208型、288型等は普通のF133型より強くなっている。

②コンクリートの側圧

一般にコンクリートの側圧の決め方には、いろいろな側圧推定式があるが、土木学会標準示方書でもACIの式を基にした算定式を採用する。

1.土木学会標準示方書

P：側圧 (N/mm²)

R：打上り速度 (m/h)

T：型枠内のコンクリート温度 (°C)

H：考えている点より上の、フレッシュコンクリートの高さ (m)

(a)柱の場合

$$P=7.8 \times 10^{-3} + \frac{0.78R}{T+20} \leq 0.15 \text{ (N/mm}^2\text{) or } 2.4 \times 10^{-2}H \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

(b)壁の場合で $R \leq 2\text{m/h}$ のとき

$$P=7.8 \times 10^{-3} + \frac{0.78R}{T+20} \leq 0.1 \text{ (N/mm}^2\text{) or } 2.4 \times 10^{-2}H \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

(c)壁の場合で $R > 2\text{m/h}$ のとき

$$P=7.8 \times 10^{-3} + \frac{1.18+0.245R}{T+20} \leq 0.1 \text{ (N/mm}^2\text{) or } 2.4 \times 10^{-2}H \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

③バタ材の計算例

1.単管48.6φ×2の場合

コンクリート側圧 $P=30\text{kN/m}^2=3\text{N/cm}^2$

バタの間隔 75cm

フォームタイのピッチ 60cmの場合

バタに加わる力は $\omega=3 \times 75=225\text{N/cm}$

フォームタイの平均負担荷重は $225 \times 60=13.5\text{kN}$

a)バタの曲げ応力度の検討

$$M_e = \frac{\omega l^2}{8} = \frac{225 \times 60^2}{8} = 101.25\text{kN} \cdot \text{cm}$$

$$2P - \phi 48.6 \times 2.4 \text{ を使用すれば } Z=7.66\text{cm}^3 \quad I=18.64\text{m}^4$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{101.25}{7.66} = 13.22\text{kN/cm}^2 < 24\text{kN/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

b)バタのたわみの検討

支点をピンとすれば $\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{\omega l^4}{EI}$ であるから

$$\delta = \frac{5 \times 0.225 \times 60^4}{384 \times 3.9 \times 10^5} \doteq 0.1\text{cm}$$

バタの乱継手部分で1本のみ有効としても“たわみ”1mm程度である。この場合フォームタイは少なくとも20kN以上の耐力のあるものを使用する。

2.60角パイプ×2の場合

コンクリート側圧 $P=40\text{kN/m}^2=4\text{N/cm}^2$
 バタの間隔 75cm
 フォームタイのピッチ 75cmの場合
 バタに加わる力は $\omega=4\times 75=300\text{N/cm}$
 フォームタイの平均負担荷重は $300\times 75=22.5\text{kN}$

a) バタの曲げ応力度の検討

$$M_e = \frac{\omega l^2}{8} = \frac{300 \times 75^2}{8} = 210.94\text{kN}\cdot\text{cm}$$

$$2\text{□}-60 \times 60 \times 2.3 \text{ を使用すれば } Z=15.32\text{cm}^3 \quad I=56.60\text{m}^4$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{210.94}{15.32} = 13.77\text{kN/cm}^2 < 16\text{kN/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

b) バタのたわみの検討

支点をピンとすれば $\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{\omega l^4}{EI}$ であるから

$$\delta = \frac{5 \times 0.30 \times 75^4}{384 \times 11.9 \times 10^5} \doteq 0.1\text{cm}$$

この場合フォームタイは少なくとも22kN以上の耐力のあるものを使用する。

3.ワイドパネルビームの場合

コンクリート側圧 $P=40\text{kN/m}^2=4\text{N/cm}^2$
 バタの間隔 75cm
 フォームタイのピッチ 150cmの場合
 バタに加わる力は $\omega=4\times 75=300\text{N/cm}$
 フォームタイの平均負担荷重は $300\times 150=45.0\text{kN}$

a) バタの曲げ応力度の検討

$$M_e = \frac{\omega l^2}{8} = \frac{300 \times 150^2}{8} = 843.75\text{kN}\cdot\text{cm}$$

$$\text{ワイドパネルビームを使用すれば } Z=151.70\text{cm}^3 \quad I=1957.00\text{m}^4$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{843.75}{151.70} = 5.56\text{kN/cm}^2 < 16\text{kN/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

b) バタのたわみの検討

支点をピンとすれば $\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{\omega l^4}{EI}$ であるから

$$\delta = \frac{5 \times 0.30 \times 150^4}{384 \times 411.0 \times 10^5} \doteq 0.05\text{cm}$$

バタ材自体は余裕があるが、フォームタイにその負担がかかる。この場合、少なくとも45kN以上の耐力のあるものを使用する。

■低温環境におけるコンクリート型枠面の初期保護・養生

1. 初期保護・養生の三原則

初期保護・養生の基本条件は次の三つに要約できます。

- 1) 打設コンクリートの温度を凍結温度以上、また過度に高くない一様な温度に保持すること。
 - 2) コンクリートの表面を乾燥しないよう湿潤状態に保つこと。
 - 3) セメントペーストの凝結・硬化過程の初期、すなわちコンクリートの強度の小さい時期に、激しい衝撃や振動を与えないこと。
- 以上の三原則は初期保護・養生に不可欠な最小限度の条件です。

初期保護・養生の具体的対策の立案にあたっては、この基本原則を満足する方法を採用すべきです。

2. コンクリートの凍結温度

コンクリートの凍結温度については種々の説があり、一般に $- (0 \sim 4) ^\circ\text{C}$ であるといわれています。このようにコンクリートの凍結温度は案外不明確です。また凍結をどのような方法で確認するかによっても差を生ずることでしょう。

コンクリートを冷却すると図-1 ABCDのように温度が低下し、BC間はほぼ一定温度 -0.5°C です。B点で脱水現象すなわち凍結がはじまり、C点で完了すると考えられますから、コンクリートの凍結温度は -0.5°C と考えるべきでしょう。

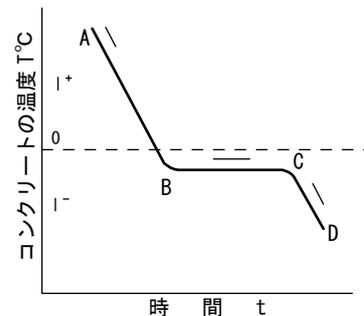


図-1 コンクリートの凍結

3. 打込み時のコンクリートの温度

練上りコンクリートの温度と打込み完了時コンクリートの温度との関係は、運搬・打込み中の温度低下を考慮すれば次のように表すことができます。

$$\left(\begin{array}{c} \text{打込み完了時の} \\ \text{コンクリートの温度 } T_1 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{練上りコンクリートの} \\ \text{温度 } T_0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{運搬中に起る} \\ \text{温度低下 } \Delta T_1 \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{打込中に起る} \\ \text{温度低下 } \Delta T_2 \end{array} \right)$$

すなわち練上りコンクリートの温度は

$$T_0 = T_1 + \Delta T_1 + \Delta T_2$$

としなければなりません。

打込み時のコンクリートの最低温度は、それぞれの工事仕様書に定められているはずですが、定められていない場合は土木学会コンクリート標準示方書、建築学会コンクリート標準仕様書を参考にします。例えば、土木学会コンクリート標準示方書では打込み時のコンクリートの温度を次のように定めています。

- a) 無筋コンクリート 10°C 以上
- b) 鉄筋コンクリート 10°C 以上
- c) 舗装コンクリート 10°C 以上
- d) ダムコンクリート 5°C 以上 (10°C が適当)

4. 初期保護・養生の温度

新しく打設したコンクリートが凍結しないように数日の間、コンクリートの温度を最低許容温度以上に保持しなければなりません。初期養生期間の温度と期間を土木学会、ACIでは次のように定めています。

表-1 土木学会

構造物	最低温度	期間	この後の温度許容値
無筋コンクリート (a)塩カル1%用いた AEコンクリート	10℃	72時間	3日間 0℃以上
(b)早強ポルトランド セメント	10℃	48時間	
鉄筋コンクリート	10℃	72時間	3日間 0℃以上
舗装コンクリート	—	—	$\sigma_c=50\text{kg/cm}^2$ 以上、 $\sigma_b=10\text{kg/cm}^2$ 以上になるまで凍結しないよう保護する。
ダムコンクリート	5℃	7日間	3日間 0℃以上

表-2 ACI Committee 604 Recommendation(1956)

種類	薄い断面		マスコンクリート		期間
	19mm	37.5mm	75mm	150mm	
粗骨材の最大寸法	19mm	37.5mm	75mm	150mm	
養生温度(最低)	12.8℃	10℃	7.2℃	4.4℃	3日間
上記期間終了後、最初の24時間に許容する温度降下	28℃	18℃	17℃	11℃	—
上記養生後の保護温度	0℃以上		0℃以上		2日間

5. 断熱保護と給熱保護

低温環境における初期保護・養生期間にコンクリートが凍結するおそれがある場合は、断熱保護または給熱保護が必要です。気温が $-1\sim-2$ ℃までは断熱保護のみでコンクリートの温度を凍結温度以上に保つことが可能ですが、気温が -5 ℃以下になる場合は断熱保護と同時に給熱保護が必要です。

断熱特性の点では鋼製型枠は木製型枠に劣りますが、給熱保護における熱効率の点では鋼製型枠が優れています。したがって、鋼製型枠の場合は消極的な断熱保護よりも積極的な給熱保護の方が適しているといえます。

6. 断熱保護の方法

断熱の基本条件は、型わくおよびコンクリートに接する空気の流動を防止することです。どんな方法・材料によって断熱保護するとしても、この条件は不可欠です。

断熱保護は各現場の気象条件、構造物の種類および環境条件に適した独特の方法を採用すべきであって、画一的方法はありません。工事の規模や予算の多少に応じて、保護材料を新たに作るか、あるいは現場手持の材料を用いるよう工夫すべきです。

次に2、3の方法を参考のために述べておきます。

1) シートによる被覆

シートで型枠を包むように被覆し、空気の流入、流出を遮断するよう密閉します。

シートの下部を図-2のように押えることが肝要です。隅角部は他の部分よりも冷却され易いので、この部分はシートの枚数を増して保護します。シートはプラスチック加工を施した水密性のものを使用します。

2) 断熱材料を用いる方法

最近では優れた断熱特性をもつ軽い発泡プラスチックなどで型枠面を保護する方法が考えられています。断熱材を型枠面に密着できる場合はかなりの効果を期待できるでしょう。

発泡プラスチック(熱硬化性樹脂)は可撓性に欠け、脆いために破損し易い。また火に弱いものがあるから注意すべきです。このため繰返し使用するには取扱いが難しいので、発泡プラスチックをベニヤ板などに貼付け、破損片がとばないようにします。

3) 板囲い

風を遮断すれば効果があるはずですが、実際はさらにシートまたはムシロ被覆をしなければ確実な効果は期待できません。

4) ムシロ被覆

風のない場合、余り温度が低くない場合はかなり効果があります。散水すべきかどうかは風の有無、気温の程度によって判断します。

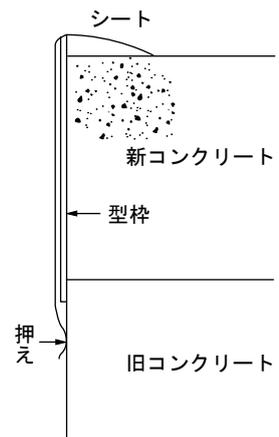


図-2

7. 給熱保護の方法

気温が -5°C 以下になる場合は、断熱保護のみでは不十分ですから給熱保護が必要です。給熱方法には次のものがあります。

給熱方法	a) 電気的方法	電気養生の方法
		電熱養生の方法
	b) スチーム	Live steam
Dead steam		
c) ストープ、炭火		

電気養生方式は鋼製型枠や鉄筋がある場合に危険なことがあり、ストーブや炭火などによると火災、一酸化炭素中毒などの危険があります。

型枠面から給熱する方法としては電熱またはスチームが適当です。表面給熱の要点は

- a) 局部的高温を避ける。
- b) 温度調節が容易であること、できれば自動的であること。
- c) 熱効率が低いこと。
- d) 器具の取付け、修理が容易で長時間の使用に耐え得ること。
- e) 器具が廉価であること。

などです。

表面給熱による熱効率は前記表面断熱保護を併用することにより高めることができます。したがって、給熱保護を実施する場合は、断熱保護を併用するのが普通です。

1) 電熱線による給熱

ビニール温床線のような電熱線によって給熱する場合は、取付け、取外しが簡単にできるような工夫が望ましい。

柱状体：電熱線を巻きつけるか、木枠に配線してこの木枠を取付けます。

壁状体：木枠に配線して、木枠を型枠に取付けます。

いずれの場合も配線した上をシートなどで被覆します。

温床線は発熱が徐々に行なわれ、給熱用としては望ましいものです。熱効率はシートの種類、被覆方法、気温、型枠材料などによって異なりますが、通常の場合10%以下です。

2) 電熱線封入シート

内部に電熱線を封入した二重シートを使用すれば、給熱と同時に空気の流動を遮断することができます。シート間に予め所定温度に調節したサーモスタットを封入することにより、シート間空気層の温度を自動的に調節できます。したがって温度管理が容易です。

またミシン縫目を防水処理し、水を注入してマットを作る「温水マット」も考えられますが、これは垂直面では重くなるので、むしろ水平コンクリート面の給熱に適しています。

3) 型枠ヒーター

型枠材料の熱伝導特性が良い場合は型枠ヒーターを利用できます。これは部分的給熱ですが、型枠材料の伝導、コンクリート中の熱対流によって広範囲に分布させることができます。型枠にサーモスタットを密着することにより、温度を自動的に調節できます。

図-3は型枠ヒーターによる給熱を模型的に示したものです。

- | | | |
|--------|---|--|
| 型枠ヒーター | { | <ul style="list-style-type: none"> a) 面板内の熱伝導→面板からコンクリートへの熱伝達 b) 面板に沿うコンクリートの熱対流→温度分布一様化 c) 面板の熱伝導→温度分布一様化 d) 空気層に給熱→面板の温度上昇→温度分布一様化 |
|--------|---|--|

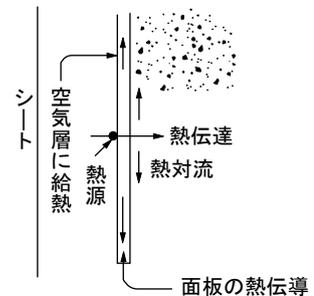


図-3 型枠ヒーターによる給熱

4) 蒸気による給熱

ボイラーその他の設備が必要であり、経費も割高になりがちですが、給熱の方法としては優れた点が多い。蒸気を直接吹きつける(Live steam)方法とパイプに蒸気を流して給熱する(Dead steam)による方法があります。いずれの場合もシートで空気層を作らなければあまり効果はありません。

8. おすび

以上、低温環境における硬化前のコンクリートの保護・養生の基本概念について述べましたが、その具体的方法は構造物、施工場所、気温および風の有無などによって異なるので、これではなければならないという方法はありません。しかし保護・養生のためにこれらの基本条件に適應するように、現場手持ちの材料を利用するか、あるいは工事計画にしたがって必要な資材を購入して適切な処置を講ずる必要があります。

ただここで注意しなければならないことは、例えばムシロ被覆によって保護・養生を行う場合でも「散水すべきか」という一つの問題に対して、簡単に「散水すべきである」とも「散水しない方がよい」ともいえないのです。気温があまり低くなく風のない場合には散水しない方がよいが、気温が非常に低く風が強い場合には散水した方がよいのです。この場合はムシロの表面に氷層を作ることによって風を防ぎ、断熱層を形成するからです。

すなわち低温環境におけるコンクリートの保護・養生にあたっては、それらの環境条件、気象条件などに適應するような合理的な対策をたてるべきです。