新しい 3 層断熱型枠を用いたｺﾝｸﾘｰﾄの温度特性とﾘﾌﾄ割に関する一考察

A Study on Thermal Characteristics about Three-Layered Heat Insulated Formwork for the Effective Lift Allocation of Concreting

(株)砂子組土木部　○正　員　近藤里史 (Satoshi Kondo)
(株)砂子組土木部　非会員　平島博樹 (Hiroki Hirashima)
(株)砂子組土木部　非会員　広上伸二 (Shinzi Hirogami)
室蘭工業大学講師　正　員　小室雅人 (Masato Komuro)

要旨

北海道は気候特性から通年施工に困難を伴う。その例として、冬期にコンクリート打設を行った場合、防寒養生として型枠に寒気を入れないようにビニールシートで大がかりな囲いを行い、さらにジェットヒータで＋5℃以上を確保することから多大な費用を要している。一方で，建築等ではコストを縮減することから断熱型枠を用いる例も少なくないが限られた施工条件から土木構造物と比較すれば大きなコストを要しない。

このことから、厳冬期での土木構造物にも適応できる断熱型枠（コンパネ＋押出法ポリスチレンフォーム保温板 30mm＋コンパネの 3 層構造）を考案し、一般の型枠との打設したコンクリートの温度計測を行いその有用性に関する実験を行った。実験では、型枠の熱伝達率を求めたほかコンクリート強度の時間軸をもとにした発現強度を計測し型枠の転用ができればコストを縮減した中でリフト割りを適切に行えばマスコンクリートのひび割れ対策を必ずしも用いなくても良い結果を得た。

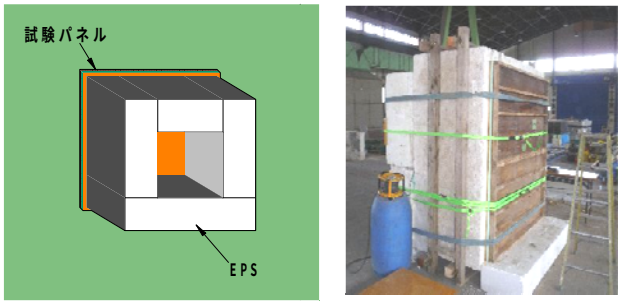
1．はじめに

北海道は、入札契約の時期や渇水期時期の問題からコンクリート構造物の施工時期が冬期になることがしばしば生じる。この場合、寒中コンクリートの打設を余儀なくされることから防寒養生を行う必要がありコストが掛かるほか適切な品質管理を行うにあたっては十分な対策を行うことが必要不可欠である。このことから、通年施工を可能にするプレキャスト部材を用いることが一般的であるが、これらは施工条件が限られている場合で、今日においても型枠支保をもとにした現場打ちコンクリートが一般である。

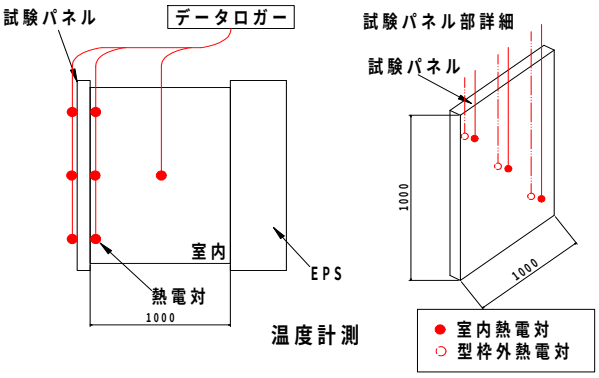
このことから、断熱型枠を用いた断熱養生も種々試みられているが方法を含むコスト面の問題から十分活用される状況には至っていない。本研究では、断熱窓のように如何にコストをかけないで断熱性を保持するかという観点から（コンパネ＋押出法ポリスチレンフォーム保温板＋コンパネの 3 層構造）の型枠を考案しその断熱性能に関わる熱伝達率を一般的な型枠と比較することを試みた。

2．基準試験

基準実験は、図－1 に示したとおり 5 面を厚さ 500mm の EPS で囲み一面をコンパネ 3 枚（基準試験 1）、そして基準試験 2 としてコンパネ＋押出法ポリスチレンフォーム保温板＋コンパネの 3 層構造としている。実験は 5 面の EPS の熱当量を加味しなければならないが、今回は相対比較という意味でこれを無視している。実験は、囲まれた室内の温度をヒーターで＋50～70℃にして図－2 に示した点に熱電対を配置し EPS 内の温度低下と型枠の外側側面の温度、および外気温を計測した。本来、断熱型枠の実験であることから外気温をマイナスにして EPS 内の温度がどの様になるかを計る方法も考えられるが、以降の実験でコンクリートを打設した場合のことを考慮し上記に示した温度計測を行った。計測のインターバルは 30 秒である。



図－1



図－2

3．各 CASE の熱伝達率

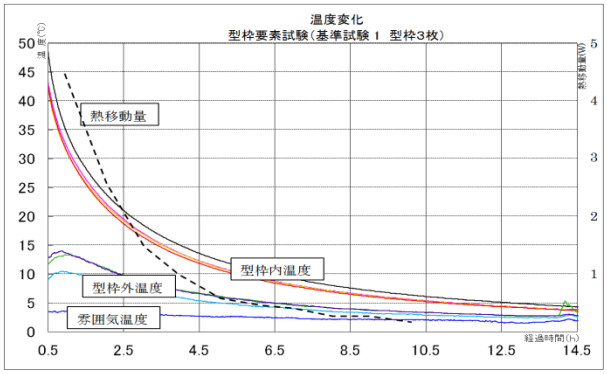
熱伝達率または熱伝達係数とは、伝熱において、壁と空気、壁と水といった 2 種類の物資間での熱エネルギーの伝え易さを表す値で、単位面積、単位時間、単位温度差あたりの伝熱量（すなわち単位温度差あたりの熱流束密度）であり熱伝達率 h は次で定義される

$$h = \frac{Q}{A(T_w - T_a)} = \frac{J}{T_w - T_a}$$

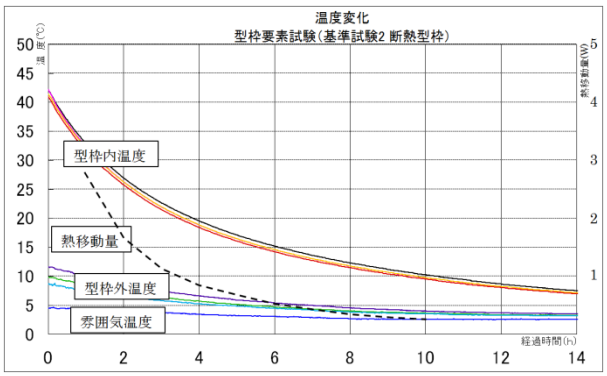
- Q ：熱移動量（W）
- J ：熱流束密度（W/m²）熱流束とは、単位時間当たりに単位面積（単位：cm2 ）を流れる熱エネルギー量を示すもので、「W/cm2」で表される。熱流束はその「過程」で、速度と加速度の関係に似て「温度計」は「速度計」、「熱流束計」は「加速度計」の役割を果たす。Kcal/m² *h or W/m² k
- A ：伝熱面積（m²）
- T_w ：物体表面の温度（K）
- T_a ：流体の温度（K）、ただし $T_w > T_a$ とする。

一方、コンクリートの強度と材令の関係に関してはσ1で目標強度の 30～50%、σ7 で 70～80%に達することからリフト割りに影響を及ぼすため T_w、T_a に関しては1時間単位で熱伝達率を求めることとした。

図－3－1，2 は EPS 室内の温度が 50℃に達し以降 14 時間経過までの基準試験 1、2 の温度変化のグラフであり、EPS 室内の各点の時間変化と時間を同軸にとった EPS 側の型枠温度、外気側の型枠温度および外気温を示したものである。



図－3－1



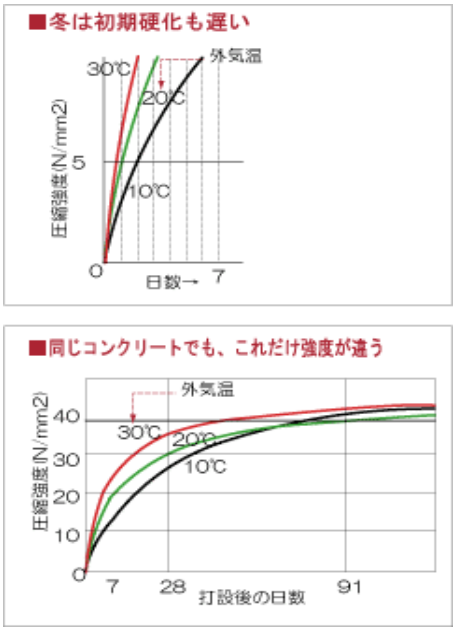
図－3－2

基準試験 1 を基準として考察すると基準試験 2 の温度勾配は 2 から 4 時間後までは急速に低下するがそれ以降は漸近線的になだらかになる傾向にある。また基準試験 2 の断熱型枠も温度勾配が基準試験 1 と比較してなだらか下降し外気温との差は＋5℃以上に保持されている。

論文には記載していないが温度変化率で比較すると、基準試験 1 では計測してから 30 分後に数分で 50℃程度の差だった変化が見られるのに対して断熱型枠の基準試験 2 の温度変化率は 1℃程度でほぼ一定になっている。

図－3－1 でも見て取れるとおり型枠の外側の温度が急激に上昇している。この現象はコンパネ 3 枚分の熱当量に影響されていると考えられる。逆にコンパネ 3 枚を+15℃程度に暖めていると発生しない現象であり、基準試験 2 ではサンドイッチ状態で保温していることから、この現象が見られないと推察される。このことは、今まで無視していた型枠の熱当量も極寒気の状況ではコンクリートの薄板部材を打つときには場合によっては考慮しなくてはならないことを示唆している。

以上のことから推察されることは、断熱効果が低い場合はコンクリートが強度を発現時に発熱する温度に関してコンクリート内部と外側の温度差が異なることから強度発現の時間が異なり内部にひび割れが生じる可能性があることは否定できないことである。これが一般に言われるマスコンクリートに関するひび割れ対策の必要性とされる所以である。一方で、断熱性能が高すぎても同じである。このことから断熱を施すとどの様なコンクリートを打設しても W／C で発熱が決まるといっても過言でないことから、養生時に打ち込んだ温度をどの箇所でも一定にする長所があるとともに、強度発現が図－4 のとおり外気温が高いほど硬化速度が速くなることから打ち込みのリフト割りが有利になると考えられる。



図－4

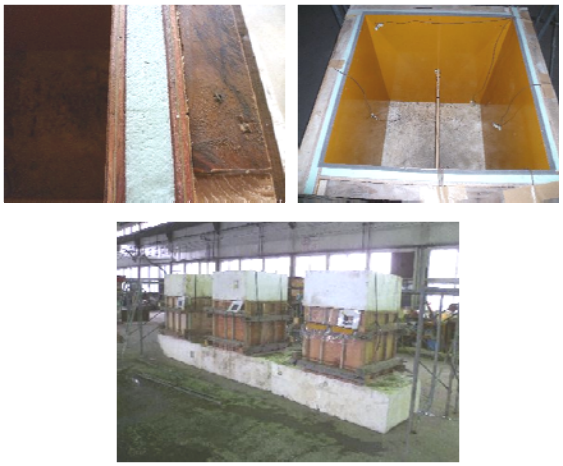
表－1 は熱伝達率ではなく、基準試験 1、2 の 1 時間毎の熱移動量(Q）をまとめたものである。
なお、試験日が異なるために 5 時間後から逆転した現象が見られる。

経過時間	0~1h	1~2h	2~3h	3~4h	4~5h
基準試験 1	4.48	2.61	1.47	1.00	0.61
基準試験 2	2.81	1.63	1.16	0.84	0.61
経過時間	5~6h	6~7h	7~8h	8~9h	9~10h
基準試験 1	0.46	0.35	0.24	0.24	0.15
基準試験 2	0.51	0.40	0.31	0.27	0.26

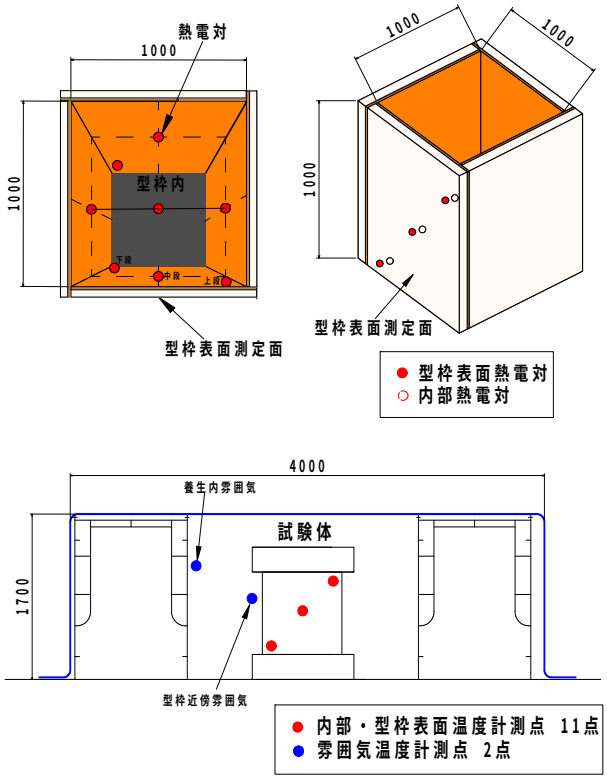
表－1

4．コンクリートを打設した場合の熱伝達

上記の３までは、材料で区切られた空間の時間軸における温度差を求めた（基準となる熱移動量）。ここでは、マスコンクリート 1m3 を打設した場合の外気温とコンクリートの発熱との関係を求めることから写真－1 に示したように CASE1～CASE3（以降、通常のコンパネ 1 枚は CASE3 とした）に対して型枠面とコンクリートとの発熱関係を測定した。コンクリートの配合は以下のように設定した。図－5 は計測の概要図である。



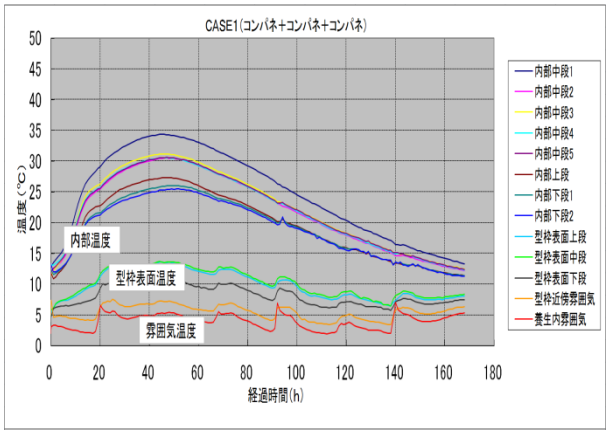
写真－1



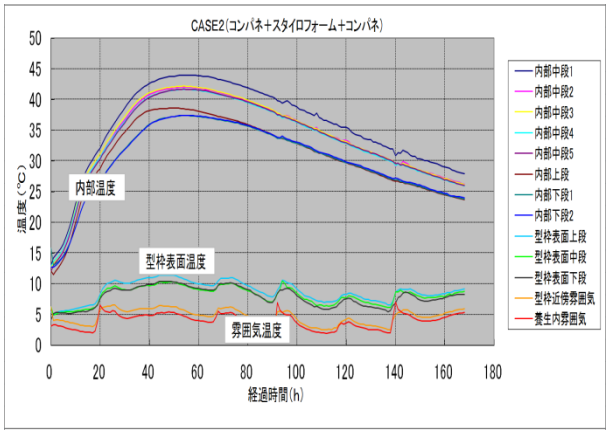
図－5

【コンクリート配合条件】

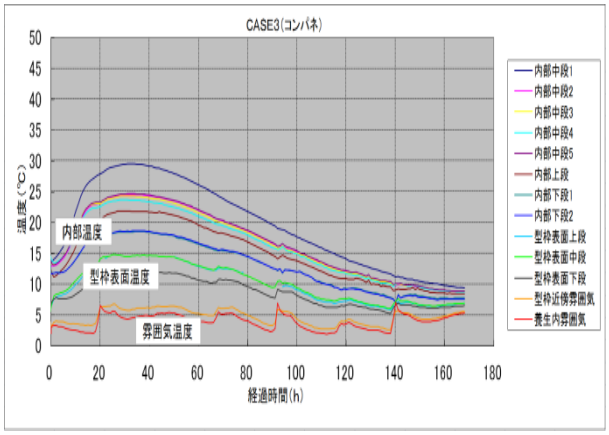
・記号：RC-2-1(N)
・設計基準強度：24N/mm2
・呼び強度：27N/mm2
・スランプ：8.0cm
・空気量：4.5%
・最大水セメント比：51.5%（55%以下）
・粗骨材最大寸法：40mm
・最小単位セメント量：282kg/m3（280kg/m3 以上）
北海道開発局道路設計要領第 3 編 3-コ 2-5 参考



図－6－1



図－6－2



図－6－3

図－6 で見て取れることは CASE1～3 において強度の立ち上がりかたに顕著な差はないが CASE2→1→3（断熱型枠、コンパネ 3 枚、コンパネ 1 枚）の順序でコンクリート内部と型枠側での温度差は小さくなっている。すなわち一般の型枠を用いた場合は水和熱が型枠側に移動しやすく単純に述べると外気温に内部の熱が奪われていることがわかる。一方で、CASE2,3 は材令 3 日までコンクリート内部の温度と型枠表面温度の差が小さいこ

とから断熱効果が高いことを示している。

強度の発現については断熱型枠でない方（一般の型枠）がコンクリート内部の温度が２０℃で湿潤状態に近いがそれ以降は外気温を高くしないといわゆる強度低下が著しいコンクリートになる可能性が高いと推察される。材令７日までの結果であるが前述したとおり一般の型枠の場合はコンクリート内部と型枠側の温度差が大きくなり温度勾配が生じることから収縮差によるひび割れが発生する可能性があり、かつ、十分な温度管理を行わないと外気に温度が奪われることから強度発現はおそくなり水密性がない等品質上は問題ないがライフサイクルコストに影響が生じる可能性もあることがわかる。

一方で、CASE2 の断熱型枠は保温された状況でσ7でも型枠側の温度は+3℃を保ち健全なコンクリートができるとともに強度発現も図－4 より早いことがわかる。特に、優位な差があるかどうかは今後の研究にもよるが断熱材を用いたものでは厳寒期でも打設した後の温度管理に関しては比較的簡便に良質なコンクリートができるものと考えられる。また、高強度コンクリート以外はマスコンクリートのひび割れ指針によるひび割れ防止対策は必要性がないと考えても差し支えないと考えら得るほか寒中養生のためのヒーターの燃料を大幅に節減できる。以上をまとめると以下のような結果となる。

温度測定結果

1）断熱型枠を用いた場合寒中コンクリートの養生条件を満足している

2）CASE1 の普通型枠 3 枚の熱移動量(Q)は 4.48W/hr

3）CASE2 の断熱型枠の場合の熱移動量(Q)は 2.81W/hr

条件①：養生期間中のコンクリート温度は、5℃以上を保つ

→【実験結果】普通型枠で約 7 日、断熱型枠は 7 日時点で 25℃を保っている。

条件②：養生日数はコンクリート温度（普通ポルトランドセメント使用）5℃で４日　10℃　3 日　その後 2 日間は 0℃以上

→【実験結果】両方で寒中コンクリート養生期間は満足している

条件③：型枠脱型時期は、一般的に外気温とコンクリート表面温度の差が 20℃以内

上記をもとに断熱型枠とコンパネ 1 枚を比較する例として躯体 1000m3（W20＊H20＊D2.5m）を打設する際に気温が－3℃で、熱収支にロスがないと仮定しかつ 1m3 を 27 分割して熱量計算を行った場合の燃料と環境負荷（北海道開発局環境家計簿）を試算は以下の様になる

・高さ 1m の 1 時間毎のコンクリート温度差×時間＝質量×温度差×時間＝時間当たりの熱量

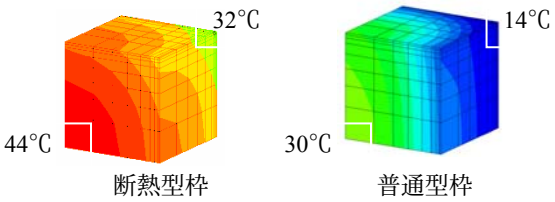
・上記の 7 日間の積分が断熱材とコンパネ 1 枚を同等とする熱量　819000kcal

・通常のジェットヒータの 1 時間当たりの供給熱量×ロス率（0.8）　24080kcal/h

・28 日分の必要石油料と排出 CO2　灯油 550L 1380kg-CO2 に加えて発電機の軽油料も必要となる。

５．断熱型枠を用いた場合のリスト割りに関する考察

温度解析による最高温度の分布からも断熱型枠 CASE3 の保温性の高さがわかる。



断熱型枠　　普通型枠

６．結論

今回の実験では効率的な寒中コンクリートの養生を目的に 3 層（コンパネ＋押出法ポリスチレンフォーム保温板＋コンパネ）の新しい型枠での養生実験を行った。今回の実験では以下のことが確認された。

1）基準試験で 1m3 の 5 面を EPS で囲い 1 面を 3 層のコンパネと断熱型枠の熱量放出実験を行った結果、断熱型枠を用いると 3 層のコンパネに比較して 1 時間後は 2.4 倍の断熱効果、12 時間後で 1.3 倍の断熱効果が発揮することがわかった。

2）基準試験において断熱型枠を用いた場合、温度の低下はどの場所においても温度低下率は同じであった。一方で、今後の試験にもよるが 1 枚コンパネ、3 枚コンパネとも比較的早い時期に温度降下が見受けられた。

3）各型枠（CASE1～3）でのコンクリートを打設した場合の傾向として断熱型枠の CASE2 では特に CASE3 の 1 枚と比較するとコンクリート内部と型枠側の温度差は小さく外気温の影響を受けないという結果を得た。

4）断熱型枠を用いると適切なリフト割りを行うことによってマスコンクリートのひび割れ対策は行わなくても良いことがわかった。

5）断熱型枠を用いた場合、寒中養生でも殆どジェットヒーター等で養生温度を保つ必要がないことからコスト縮減は勿論のこと環境に配慮した施工を目指すことが可能となった。

以上、断熱効果に関して確固たる試験方法は見あたらないがコンクリート構造物を製作に当たり一般的な現場をイメージした中での断熱実験を行い新しい断熱パネルの効果を確認したが、今後は実際のコンクリート橋脚等でも適応できるかの現場実験も行って効果の確認を行っている。

７．終わりに

この実験に関し、室蘭工業大学講師　小室博士、寒地土木研究所の佐藤上席研究員、構造チームの佐藤、角間研究員、さらには解析においては構研エンジニアリングの小林、保木氏に多大な協力を頂いた。ここに謹んで感謝の意を表します。

参考文献

1）百科事典『ウィキペディア』熱伝達率　定義 http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B1%E4%BC%9D%E9%81%94%E7%8E%87　他