

論文 層状マスコンクリート構造物を対象とした温度ひび割れ指数の簡易評価式の提案

齋藤 尚^{*1}・鈴木 康範^{*2}・溝渕 利明^{*3}

要旨: 本研究は、層状に打ち継いだマスコンクリート構造物を対象とした3次元FEMの結果に基づき、温度ひび割れ指数の簡易評価式を提案するものである。3次元FEMでは、セメントの種類、打込み温度、単位セメント量および打継ぎ間隔を主な要因として変化させた。その結果、打継ぎ間隔を3日と10~30日に分け、さらにリフト別およびセメントの種類別にして、温度ひび割れ指数を最大温度降下量、打込み温度、割裂引張強度、コンクリートと岩(地)盤のヤング係数の比の対数などを説明変数とする重回帰式によって、比較的精度良く推定することができた。

キーワード: 層状マスコンクリート構造物, 温度ひび割れ指数, 簡易評価式, 3次元FEM

1. はじめに

温度ひび割れに対する事前検討では、温度ひび割れ発生の可能性が高い構造物をモデル化し、所要の温度ひび割れ抵抗性が得られるまで、材料や配合、施工条件などの入力条件を変化させ、温度応力解析を繰り返すのが一般的である。最近では、パーソナルコンピュータの性能が向上し、3次元FEMを用いた温度応力解析を行う場合が多くなっているものの、上記の作業に手間がかかることには変わりがない。そこで、温度応力解析を行うことなく、環境条件や熱物性値、力学物性値などを入力して、温度ひび割れに関する指標を簡易に推定できることは非常に有用といえる。これまでも壁状構造物や層状構造物などを対象に、温度応力に及ぼす各種影響要因を検討している研究が数多く行われており、貴重な成果^{1,2)}が蓄積されている。また、3次元FEMに基づく温度ひび割れの発生に関する指標に限っても、日本建築学会³⁾、日本コンクリート工学協会⁴⁾、藤森ら⁵⁾からも簡易評価式が提案されている。しかしながら、層状構造物において、セメントの種類、打込み温度および単位セメント量が異なる場合に、打継ぎ間隔の影響を詳細に検討し、上述の要因を反映した簡易評価式は少ないといえる。

そこで、本研究では3次元FEMを用いた層状マスコンクリート構造物の温度応力解析を行い、最小温度ひび割れ指数(以下、温度ひび割れ指数)に及ぼすセメントの種類、打込み温度、単位セメント量および打継ぎ間隔、岩(地)盤の剛性、打込み区間の大きさ(以下、ブロック長)とリフト高さ、型枠の表面熱伝達率および型枠の存置期間の影響を求め、簡易評価式を提案した。

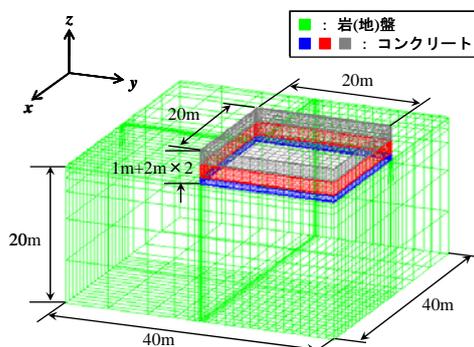


図-1 解析モデル例 (幅40m×長さ40m×高さ5m)

2. 解析概要

2.1 解析モデル

基本となる層状構造物は、幅40m×長さ40m×高さ5mであり、図-1に示すように対称性を考慮した1/4モデルとして、高さ方向に3分割して打ち継ぐと仮定した。拘束体となる地盤は、幅80m×長さ80m×深さ20mとした。なお、地盤の深さを20m一定、またその幅および長さを層状構造物のブロック長の2倍としたので、被拘束体である層状構造物と拘束体である地盤の体積比が結果的に0.0625一定となった。地盤底部で垂直方向(z方向)を、対称面でその直角方向(x方向またはy方向)を拘束した。

解析に用いたモデルの節点数は、層状構造物の高さおよび平面寸法によって異なるが6918~17066、要素数は5695~15125である。着目部材を構成する要素寸法の長辺と短辺との比は5.0であり、JCIマスコンクリートのひび割れ制御指針⁴⁾における推奨値の10.0を十分に満足している。

2.2 解析要因および水準

表-1に本研究において考慮した解析要因および水準

*1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 修(工) (正会員)

*2 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 工博 (正会員)

*3 法政大学 デザイン工学部 都市環境デザイン工学科 教授 博(工) (正会員)

表-1 解析要因および水準

要因	水準					
層状構造物の高さ	5m					
層状構造物の幅および長さ	20m×20m			40m×40m		
層状構造物のリフト高さ	1m×1回 +2m×2回	2.5m×2回	5m×1回	1m×1回 +2m×2回	2.5m×2回	5m×1回
リフトの打継ぎ間隔	3, 10, 30日		0日	3, 10, 30日		0日
セメントの種類	低熱, 中庸熱, 普通, 高炉 B					
単位セメント量	260, 320, 380kg/m ³					
打込み温度	10.8℃(冬期), 23.2℃(秋期), 32.1℃(夏期)に施工					
型枠の存置期間	3, 7, 14日					
型枠の表面熱伝達率	2, 8, 14W/m ² ・℃					
岩(地)盤の剛性	84, 500, 5000N/mm ²					
施工場所	東京					

を示す。セメントは低熱ポルトランドセメント（以下、低熱）、中庸熱ポルトランドセメント（以下、中庸熱）、普通ポルトランドセメント（以下、普通）および高炉セメント B 種（以下、高炉 B）の 4 水準、打込み温度は冬期 10.8℃、秋期 23.2℃および夏期 32.1℃の 3 水準、単位セメント量は 260kg/m³、320kg/m³および 380kg/m³の 3 水準、打継ぎ間隔は 3 日、10 日および 30 日の 3 水準に変化させた 108 ケースを基本ケースとして検討を行った。

岩(地)盤の剛性が及ぼす影響については、岩(地)盤の剛性を 84N/mm²、5000N/mm²として、3次元 FEM を用いて温度応力解析を行った。この解析では、打込み温度を 23.2℃、単位セメント量を 320kg/m³一定とし、セメントの種類を 4 水準、打継ぎ間隔を 3 水準変化させた 24 ケースについて検討を行った。

ブロック長が及ぼす影響については、幅 40m×長さ 40m×高さ 5m を基本ケースとし、幅 20m×長さ 20m×高さ 5m に変化させ、3次元 FEM を用いて温度応力解析を行った。この解析では、全高さを 3 分割したブロック高さ 1m+2m+2m および 5m の一括打込みを対象に、打込み温度を 23.2℃一定とし、セメントの種類を 4 水準、単位セメント量を 3 水準変化させた。さらに、全高さを 3 分割したブロック高さの場合には、打継ぎ間隔も 3 水準変化させた。したがって、解析は計 48 ケースである。

リフト高さが及ぼす影響については、全高さを 3 分割した 1m+2m+2m を基本ケースとし、2.5m の 2 分割および 5m の一括打込みについて、3次元 FEM を用いて温度応力解析を行った。2.5m の 2 分割の場合には、打込み温度を 23.2℃、単位セメント量を 320kg/m³一定とし、セメントの種類を 4 水準、打継ぎ間隔を 3 水準変化させた。一方、5m の一括打込みの場合には、セメントの種類を 4 水準、打込み温度を 3 水準、単位セメント量を 3 水準変化させた。したがって、解析は計 48 ケースである。

型枠の表面熱伝達率および型枠の存置期間は、型枠の表面熱伝達率 8W/m²・℃、型枠の存置期間 7 日を基本ケースとし、セメントの種類を低熱、単位セメント量を

320kg/m³、打込み温度を 23.2℃一定にして、型枠の表面熱伝達率を 2W/m²・℃、8W/m²・℃、14W/m²・℃、型枠の存置期間を 3 日、7 日、14 日、打継ぎ間隔を 3 日、10 日、30 日に変化させた 12 ケースについて検討を行った。

なお、これらの材料設計値は、実際のマスコンクリート構造物について、3次元 FEM を用いた温度ひび割れ発生確率が得られているマスコンクリートのひび割れ制御指針⁴⁾に準じた。

2.3 解析条件

施工場所は東京と仮定し、外気温は月別平均気温を用いた。外気温の月別平均気温は、月半ばに生じる平均気温を補間する温度設定とした。解析期間は層状構造物の寸法を考慮して、最後にコンクリートを打込んだ日から 1 年間とした。また、これらの解析条件は 2.2 節と同様にマスコンクリートのひび割れ制御指針⁴⁾に準じた。なお、本研究で想定したコンクリートは、スランプ 8cm 程度の硬練りコンクリートである。そのため、単位水量を 165kg/m³一定として単位セメント量を変化させているので、水セメント比は 43.4%から 63.5%まで変化する。

2.4 3次元 FEM 解析結果の評価方法

(1) 最高温度および最大温度降下量

層状構造物を始めとしたマスコンクリートにおいて、温度ひび割れの観点から最高温度が抑制される場合もある。一方、海外においては、DEF 発生の観点から最高温度が抑制されている⁶⁾。そこで、全解析ケースを対象として 3次元 FEM の結果をもとに最高温度および最大温度降下量を推定する簡易評価式の検討を行った。なお、最大温度降下量も条件によっては温度ひび割れの発生抑制の目安となると考え、それを推定する簡易評価式も併せて検討した。

(2) 温度ひび割れ指数

全解析ケースのうち、セメントの種類、打込み温度、単位セメント量および打継ぎ間隔を変化させた 108 ケースについて、3次元 FEM を用いた温度ひび割れ指数を精度良く推定できる簡易評価式の検討を行った。なお、本

検討では貫通ひび割れを対象として温度ひび割れ指数を求めたため、着目部位は層状構造物の各リフト高さの中央部とした。

3. 解析結果

3.1 簡易評価式による最高温度および最大温度降下量の推定

本研究の目標は、3次元 FEM を用いた温度ひび割れ指数を精度良く推定するための簡易評価式を提案することであり、その過程で必要と考えられる層状構造物の最高温度および最大温度降下量を推定するための簡易評価式を検討した。特に、最大温度降下量は条件によっては発生する温度応力に直接影響を与えると考えられる。そのため、推定精度を高めることで温度ひび割れ指数の簡易評価式において温度変化による変形量に関する説明変数として加えることができると考えられる。

本研究では、マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説³⁾をもとにして、打込み温度および打継ぎ間隔の影響を考慮して修正した式(1)を用いて、セメントの種類ごとに各係数を求めた。なお、セメントの種類によらず、断熱温度上昇特性を示す係数から最高温度および最大温度降下量を求める式も提案⁴⁾されているが、本研究の範囲では、式(1)の推定精度が高かったため、セメントの種類ごとに式(1)の係数を求めることにした。

$$T_{\max} \text{ or } T_{fa} = a_1 + a_2 \cdot \log_e(D) + a_3 \cdot C + a_4 \cdot C \cdot \log_e(D) + a_5 \cdot T_c + a_6 \cdot T' + a_7 \cdot (V/S) \quad (1)$$

ここで、 T_{\max} : 部材内の最高温度 (°C), T_{fa} : 部材内の最大温度降下量 (°C), $a_1 \sim a_7$: 係数, D : リフト高さ (m), C : 単位セメント量 (kg/m^3), T_c : コンクリートの打込み温度 (°C), T' : 打継ぎ間隔 (日), V/S : 体積表面積比 (m)

図-2~図-3 に式(1)により推定した最高温度および最大温度降下量と 3 次元 FEM を用いた解析結果との比較例を示すとともに、表-2~表-3 に式(1)の各係数を示す。なお、表中の R は、自由度調整済み重相関係数を示す。セメントの種類、打込み温度、単位セメント量および打継ぎ間隔にかかわらず、式(1)による推定値は 3 次元 FEM を用いた解析結果を高い精度で推定することができた。

3.2 簡易評価式による温度ひび割れ指数の推定

図-4~図-6 に全高さを 3 分割して、リフト高さを 1m + 2m + 2m とした各リフトの温度応力の経時変化の一例を示す。打継ぎ間隔が 10 日および 30 日の場合には、第 1, 第 2 リフトとともに上部に打込まれた直後に、変形を拘束するときの温度応力が顕著に発生し、その温度応力

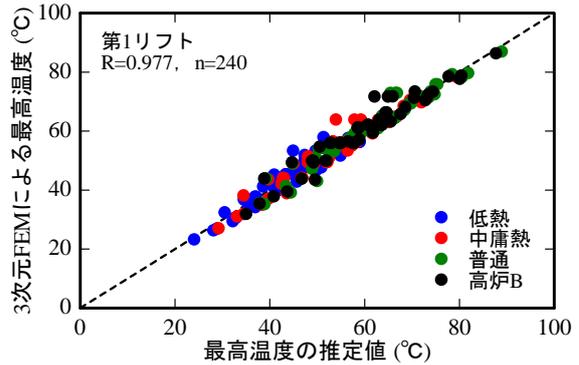


図-2 最高温度の解析値と推定値の比較例

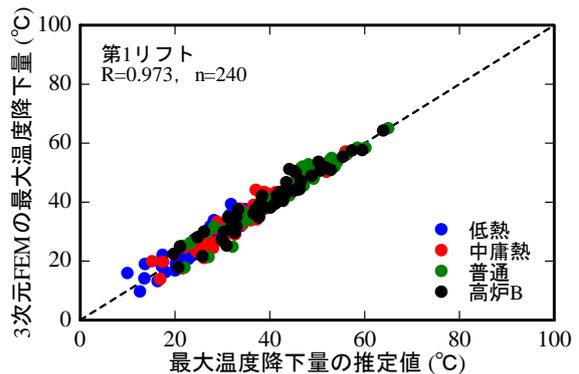


図-3 最大温度降下量の解析値と推定値の比較例

表-2 最高温度の重回帰分析結果

係数	低熱	中庸熱	普通	高炉 B
a_1	4.76	3.19	5.17	4.47
a_2	2.32	4.74	6.12	6.57
a_3	0.0677	0.0873	0.0922	0.0974
a_4	0.0155	0.0159	0.0160	0.0150
a_5	1.03	1.10	1.17	1.12
a_6	-0.238	-0.195	-0.0516	-0.141
a_7	-2.45	-2.83	-2.56	-2.83
R	0.960	0.962	0.972	0.964

表-3 最大温度降下量の重回帰分析結果

係数	低熱	中庸熱	普通	高炉 B
a_1	-6.96	-7.57	-6.78	-6.58
a_2	5.58	7.50	9.22	8.90
a_3	0.0620	0.0772	0.0845	0.0846
a_4	0.0139	0.0153	0.0150	0.0158
a_5	0.825	0.897	0.982	0.958
a_6	-0.133	-0.0860	0.0617	-0.0499
a_7	-4.43	-4.79	-4.72	-4.89
R	0.934	0.952	0.969	0.963

によって最小となる温度ひび割れ指数が生じることがある。なお、上記の温度応力は既設リフトに配置された計器の位置関係によっては測定されるので⁷⁾、この温度応力による最小温度ひび割れ指数も含めて検討した。一方、打継ぎ間隔 3 日の場合には、第 1, 第 2 リフトとともに上部に打込まれたリフトの変形を拘束するとき温度応力がほとんど生じてない。これは、打継ぎ間隔 3 日の場合には、リフト間の温度差が小さく、さらにヤング係数もそれほど大きくないため、上部に打込まれたリフ

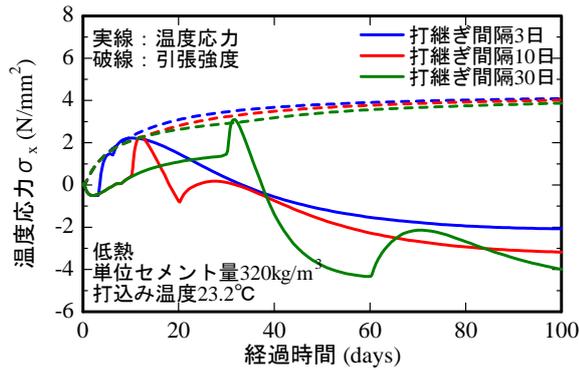


図-4 第1リフトの温度応力の経時変化に及ぼす打継ぎ間隔の影響（経過時間100日まで）

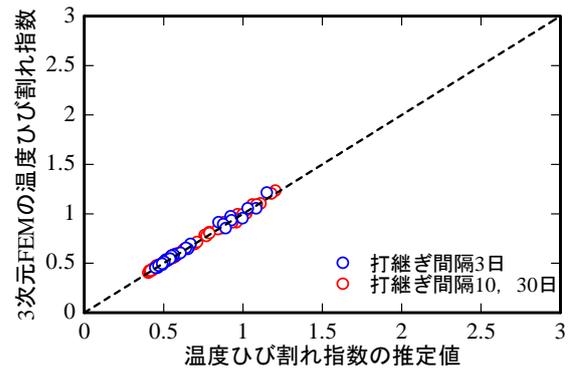


図-7 第1リフトの温度ひび割れ指数の解析値と推定値の比較

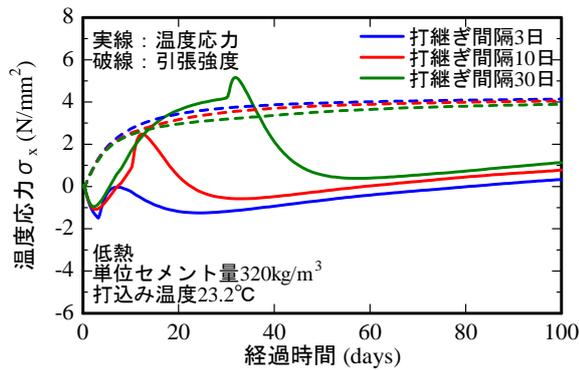


図-5 第2リフトの温度応力の経時変化に及ぼす打継ぎ間隔の影響（経過時間100日まで）

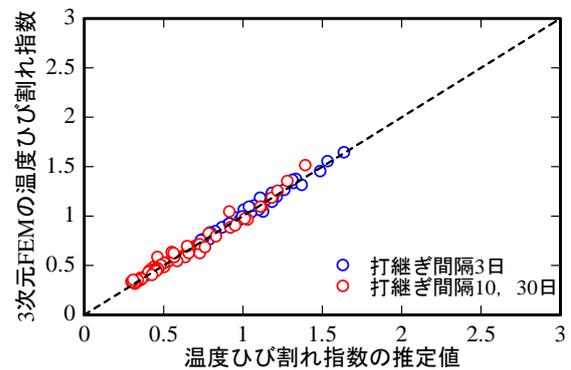


図-8 第2リフトの温度ひび割れ指数の解析値と推定値の比較

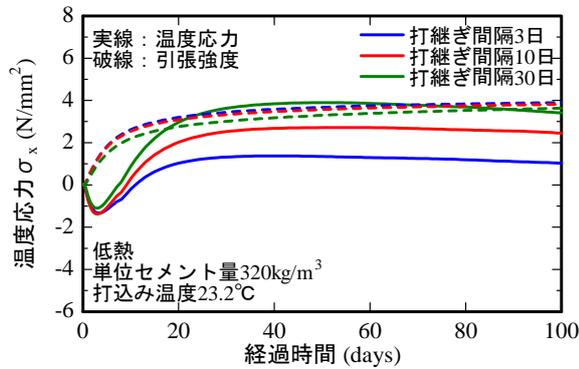


図-6 第3リフトの温度応力の経時変化に及ぼす打継ぎ間隔の影響（経過時間100日まで）

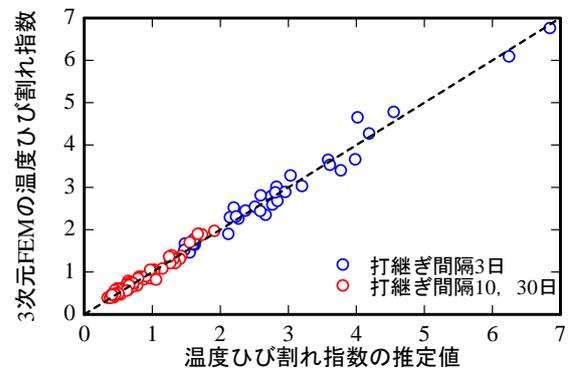


図-9 第3リフトの温度ひび割れ指数の解析値と推定値の比較

トの変形を拘束するときの温度応力が小さくなると考えられる。また、第3リフトでは、打継ぎ間隔に関わらず、下部のリフトおよび岩(地)盤によって拘束され、外部拘束による応力が作用している。このように打継ぎ間隔3日と打継ぎ間隔10日および30日では、第1、第2リフトの温度ひび割れ指数の原因となる温度応力が異なる可能性が考えられる。

温度ひび割れ指数の簡易評価式を求めるに際して、まず打継ぎ間隔3日と打継ぎ間隔10~30日に分け、さらにリフト別およびセメントの種類に分類した。次に、温度ひび割れ指数を目的変数として、最高温度、最大温度降下量、打込み温度、割裂引張強度、コンクリートのヤング係数と拘束体となる岩(地)盤のヤング係数の比など

の中から適宜説明変数を選択し、重回帰分析を試行し、なるべく高い重回帰係数が得られるような説明変数を選択し、その係数を求めた。これらの説明変数は、層別した場合において、単回帰分析によって比較的高い相関性が得られたものである。なお、高さ方向を分割せず、一括打込みするスラブ状構造物では、下層と上層は内部拘束による温度応力が卓越してくるので、温度ひび割れ指数を生じさせる応力発生機構が層状マスコンクリートとは異なってくる。そこで、温度ひび割れ指数の簡易評価式は、高さ方向を分割せず、一括打込みするスラブ状構造物を除いて検討した。

重回帰分析を種々試行した結果、マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説³⁾を参考

表-4 ひび割れ指数の重回帰分析結果（打継間隔 3 日）

	係数	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	R
第 1 リフト	低熱	-146.2	11.3	-41.5	58.6	-9.22	-74.5	173.6	0.931
	中庸熱	77.4	-3.89	-14.9	16.2	3.52	33.0	-78.1	0.985
	普通	12.9	-0.615	-4.29	38.5	0.616	5.78	-10.8	0.985
	高炉 B	-31.0	1.55	-14.0	13.1	-1.44	-15.7	28.5	0.991
第 2 リフト	低熱	-6.63	0.431	26.0	-22.8	-0.562	-4.96	10.9	0.949
	中庸熱	-625.0	21.5	16.4	-11.0	-22.3	-240.1	551.4	0.998
	普通	-374.0	10.9	-9.77	6.28	-10.9	-156.2	278.7	0.906
	高炉 B	300.9	-8.73	12.6	-7.87	8.74	102.4	-193.1	0.971
第 3 リフト	低熱	-421.4	18.7	-21.3	19.3	-21.0	-188.2	455.5	-
	中庸熱	718.9	-26.9	226.0	-127.0	29.9	316.0	-651.1	0.768
	普通	1627.3	-41.2	724.0	-384.0	37.2	457.3	-879.3	0.981
	高炉 B	-1310.3	33.8	131.0	-71.4	-37.0	-510.8	901.8	0.970

表-5 ひび割れ指数の重回帰分析結果（打継間隔 10・30 日）

	係数	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	R
第 1 リフト	低熱	49.1	-3.39	-1.62	2.72	2.79	22.5	-53.6	-0.453	0.980
	中庸熱	15.7	-0.576	4.77	-2.71	0.489	4.74	-13.1	-0.0474	0.995
	普通	-16.2	0.822	7.39	-5.52	-0.842	-7.81	14.8	-0.054	0.995
	高炉 B	-27.5	1.29	8.63	-7.43	-1.27	-13.9	25.6	-0.064	0.984
第 2 リフト	低熱	-41.9	2.12	3.08	-2.50	-2.22	-20.2	46.6	0.414	0.959
	中庸熱	-244.8	8.36	10.5	-5.41	-8.73	-93.8	215.1	0.752	0.939
	普通	-31.7	0.850	8.87	-4.91	-0.912	-10.8	21.5	-0.0148	0.992
	高炉 B	-60.1	1.73	10.5	-6.05	-1.80	-25.7	45.8	0.0837	0.953
第 3 リフト	低熱	111.3	-5.94	24.3	-15.9	6.53	57.5	-126.4	-0.359	0.958
	中庸熱	-495.1	14.8	65.5	-39.8	-17.7	-191.6	441.6	1.41	0.931
	普通	-189.3	4.22	57.9	-31.6	-4.63	-57.3	113.1	0.265	0.958
	高炉 B	7.00	-0.216	34.0	-18.5	0.0113	0.305	-1.49	-0.0126	0.930

にして、最大温度降下量の 2 乗項、3 乗項を説明変数に加えた式(2)を用いると精度が良くなることが判明した。図-7～図-9 に各リフトについて式(2)より推定した温度ひび割れ指数と 3 次元 FEM 解析を用いた温度ひび割れ指数の関係を示すとともに、表-4～表-5 に式(2)の各係数を示す。なお、表中の R は、自由度調整済み重相関係数を示す。ここで、打継ぎ間隔 3 日における第 3 リフトの低熱の重相関係数は、FEM の値と推定値ほぼ 1 対 1 の関係に分布していたにもかかわらず、相関性が得られなかった。これは、いずれのひび割れ指数も 2.5～3 の狭い範囲に分布していたことによると考えられる。式(2)より推定した温度ひび割れ指数は、セメントの種類、単位セメント量、打込み温度に関わらず、3 次元 FEM を用いて得られた温度ひび割れ指数と高い相関性が得られている。したがって、式(2)に示す温度ひび割れ指数の簡易評価式は、本研究で行った範囲内において精度良い推定値を与えるといえる。

$$I_{cr} = a_1 + a_2 \cdot T_{fa} + a_3 \cdot (T_{fa} / 100)^2 + a_4 \cdot (T_{fa} / 100)^3 + a_5 \cdot T_c + a_6 \cdot f_t + a_7 \cdot \log_{10}(E_c / E_r) + a_8 \cdot T' \quad (2)$$

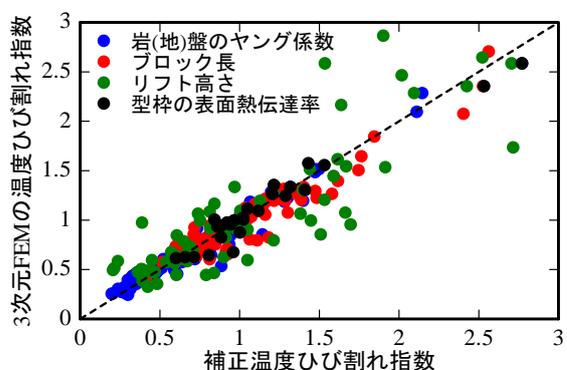


図-10 各種要因を考慮して補正した温度ひび割れ指数

ここで、 I_{cr} ：温度ひび割れ指数、 $a_1 \sim a_8$ ：係数、 T_{fa} ：式(1)による最大温度降下量（℃）、 T_c ：コンクリートの打込み温度（℃）、 f_t ：割裂引張強度(N/mm²)、 E_c ：コンクリートのヤング係数(N/mm²)、 E_r ：岩(地)盤のヤング係数(N/mm²)、 T' ：打継ぎ間隔（日）

岩(地)盤の剛性、ブロック長、リフト高さ、型枠の表面熱伝達率、および型枠の存置期間が温度ひび割れ指数に及ぼす影響を考慮するために、本研究で基本とした温度ひび割れ指数に対する比から、補正係数を求めた。表-6 にこれらの補正係数を一括して示す。変化させた上記の要因だけで補正係数を求めると良好な精度が得られ

表-6 岩(地)盤の剛性, ブロック長, リフト高さおよび型枠の表面熱伝達率による温度ひび割れの補正係数

項目	リフト No.	打継ぎ間隔 (日)	温度ひび割れの補正係数
岩(地)盤の剛性 (E_r)	1	3	$\kappa_1=2.54-3.25 \log_{10}(E_r/E_{r=500})+1.71 \log_{10}(E_r/E_{r=500})^2$
		10, 30	$\kappa_1=2.07-1.043 \log_{10}(E_r/E_{r=500})-0.0527 (T'/T'_{=10})$
	2	3, 10, 30	$\kappa_1=1.59-0.638 (E_r/E_{r=500})-0.035 (T'/T'_{=10})$
	3	3, 10, 30	$\kappa_1=2.60-1.60 (E_r/E_{r=500})+0.0418 (T'/T'_{=10})$
ブロック長 (L)	1	3, 10, 30	$\kappa_2=1.64-0.649 (L/L_{=40})+0.00753 (T'/T'_{=10})$
	2	3	$\kappa_2=0.665+0.335 (L/L_{=40})$
		10, 30	$\kappa_2=1.58-0.627 (L/L_{=40})+0.0245 (T'/T'_{=10})$
	3	3, 10, 30	$\kappa_2=2.56-1.44 (L/L_{=40})-0.0622 (T'/T'_{=10})$
リフト高さ (D)	1	3, 10, 30	$\kappa_3=-1.41+1.68 (D/D_{=1})+0.510 (T'/T'_{=10})$
	2	3, 10, 30	$\kappa_3=-1.21+1.88 (D/D_{=2})+0.233 (T'/T'_{=10})$
	3	3, 10, 30	$\kappa_3=0.354+0.616 (D/D_{=2})+0.0210 (T'/T'_{=10})$
型枠の表面熱伝達率 (β)	1~3	3, 10, 30	$\kappa_4=1.11-0.115 (\beta/\beta_{=8})$

※ $E_r=500\text{N/mm}^2$, $L=40\text{m}$, $D=1\text{m}$ (第1リフト), $D=2\text{m}$ (第2,3リフト), $\beta=8\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ が基準値

なかったため、打継ぎ間隔の比(打継ぎ間隔 10 日に対する比)も加えて補正係数を求めることにした。なお、型枠の存置期間は温度ひび割れ指数に及ぼす影響が軽微であったので、取り上げなかった。図-10 に式(2)に示す温度ひび割れ指数の簡易評価式に、表-6 に示す補正係数を用いて推定した温度ひび割れ指数と 3 次元 FEM を用いた温度ひび割れ指数の関係を示す。上記の方法で推定した温度ひび割れ指数と 3 次元 FEM を用いた温度ひび割れ指数の間にやや乖離も見られる。特に、リフト高さの補正係数を用いた場合は、他の補正係数よりも乖離する傾向がみられる。ただし、岩(地)盤の剛性、ブロック長、リフト高さおよび型枠の表面熱伝達率の影響はある程度の精度で推定できたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、層状マスコンクリート構造物を対象に 3 次元 FEM を用いた温度応力解析を 240 ケース行い、入力条件と最高温度、最大温度降下量および温度ひび割れ指数の関係について検討し、それらを推定する簡易評価式について提案した。本研究の範囲内では、以下のことがいえる。

- (1) 層状マスコンクリート構造物の最高温度および最大温度降下量は式(1)を用いて、精度良く推定できる。式(1)の説明変数は、セメントの種類毎にリフト高さ、単位セメント量、打込み温度、打継ぎ間隔および体積表面積比からなる。
- (2) 層状マスコンクリート構造物の温度ひび割れ指数は、式(2)で比較的精度良く推定できる。式(2)の説明変数は、セメントの種類毎に式(1)から推定された最大温度降下量、その 2 乗、3 乗項、打込み温度、割裂引張強度、コンクリートのヤング係数と拘束体となる岩(地)盤のヤング係数の比の対数からなる。
- (3) 岩(地)盤の剛性、ブロック長、リフト高さおよび型枠の表面熱伝達率の影響は、式(2)に対する補正係

数として乗じることにより、それらが温度ひび割れ指数に及ぼす影響をある程度の精度で推定できた。

ここで提案した簡易評価式は、3 次元 FEM を用いた温度応力解析の範囲内に適用が限られる。今後、さらに多くの入力条件を用いて、3 次元 FEM を用いた温度応力解析を行い、その適用性の範囲を拡大するとともに、実構造物でのひび割れ発生状況の対比を行い精度の向上に努める必要がある。なお、層状マスコンクリート構造物とは応力発生機構がやや異なる、高さ方向を分割せず一括打設するスラブ状構造物については適用外としたが、今後これを含めて適用性の拡大を図りたい。

参考文献

- 1) 小野定：マスコンクリートの温度ひび割れ特性の数量化に関する検討，コンクリート構造物の体積変化によるひび割れ制御に関するコロキウム論文集，pp.45-54, 1990.8
- 2) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートの温度応力研究委員会 報告書 温度応力ひび割れ幅算定方法についての提案，1992.9
- 3) 日本建築学会：マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説，2008
- 4) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008
- 5) 藤森勇希，小俣貴洋，大野美緒，溝渕利明：温度応力に及ぼす影響要因に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.2, pp.139-144, 2008
- 6) British Cement Association: Specifying concrete to BS EN-206/BS 8500:Guidance on additional requirements for designed concrete, p.7, 2002
- 7) 清宮理，野口孝俊，横田弘：大型 PC 反力床，壁の温度ひび割れの検討，プレストレストコンクリート，Vol.32, No.3, pp.62-70, 1990