

温度ひび割れ危険度評価法の適用性について

岐阜大学大学院 呉 昊

岐阜大学工学部 森本 博昭 小柳 治

1. はじめに

コンクリート構造物の大型化、高機能化にともない、これらの施工段階にしばしば生じる温度ひび割れが問題となっている。温度ひび割れの評価については、土木学会コンクリート標準示方書に温度ひび割れ指数を用いる方法が推奨されている。温度ひび割れ指数は強度と温度応力の比で定義されるので、指数を算定するためには、解析により温度応力を求めなければならない。温度応力は FEM 法あるいは CP 法などで算定することはできるが、場合によっては多大な計算コストと時間を費やさなければならない。このような事情から、温度ひび割れ指数およびひび割れ発生確率の簡易評価式がいくつか提案されている。しかし、全ての簡易算定式ともその適用範囲、理論的根拠および精度の検証が十分とは言えず、従って信頼のある算定式となり得ていないのが現状である。本報告では数多くのマスコンクリート構造物に対する温度ならびに温度応力解析を実施して、いくつかの既往算定式の適用性を総合的に検討したものである。

2. 検討対象

検証の対象とした簡易評価式、土木学会温度ひび割れ指数簡易式、塚山式、山崎式、および石崎・青柳式とした。これらの簡易評価式に加えて、FEM および CP 法から求めた温度ひび割れ指数による評価も実施した。解析対象とした構造物は土木学会および JCI から発行されている技術資料、指針、講演概要集および論文集から収集した 30 例とした。

3. 簡易評価式の概要

3. 1 土木学会簡易式

軟質地盤上に打ち込まれたスラブ等のように内部拘束応力が卓越する場合

$$\text{温度ひび割れ指数} = 15 / \Delta T_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

岩盤やマッシュなコンクリートの上に打ち込まれたスラブ等のように外部拘束応力が卓越する場合

$$\text{温度ひび割れ指数} = 10 / (R \cdot \Delta T_o) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 ΔT_i は内部の最高温度時での内部と表面との温度差 (°C)、 ΔT_o は部材平均最高温度と外気温平衡時温度との差、 R は拘束度であり、一般には 0.6 としてよい。

3. 2 塚山算定式

壁体構造物を対象とした場合に温度分布が断面軸に対称な放物線である時、かつ温度ひび割れが打設後数日間で発生することなどを前提として提案されたものであり、次の式を用いる。

$$T_{cr} = \frac{12}{0.1 + 0.25\sqrt{W} + 0.8k} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 T_{cr} は温度ひび割れ発生限界となる断面中心部の最高温度上昇 (°C)、 W は部材断面厚さ (m)、 k は外部拘束度である。

3. 3 山崎算定式および石崎・青柳算定式

$$\text{山崎式:} \quad K_R \cdot \Delta T_{md} = 10 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{石崎・青柳式:} \quad K_R \cdot \Delta T_{md} = 7.67 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 ΔT_{md} は部材断面の平均温度降下量 (°C)、 K_R は拘束度、一般の場合 0.4~0.8 程度である。

4. 評価結果

各事例についての評価結果を表-1に示す。表中事例1~18は壁体、事例19~24はスラブ、事例25以降はその他の構造物である。

表-1 温度ひび割れ評価結果

対象事例	CP法	二次元FEM法	土木学会式(内部)	土木学会式(外部)	塚山の評価式	山崎の評価式	石崎・青柳の評価式	ひび割れの有無
1	0.70	0.85	0.88	1.01	○	×	○	○
2	0.75	0.61	0.77	0.75	○	○	○	○
3	0.89	0.81	0.77	0.75	○	○	○	○
4	0.60	0.66	1.02	0.72	○	○	○	○
5	1.08	1.21	1.97	0.94	○	○	○	×
6	1.41	1.35	2.31	1.07	○	×	○	×
7	0.86	0.85	0.52	0.40	○	○	○	○
8	0.68	0.76	0.77	0.54	○	○	○	○
9	0.76	0.95	1.02	0.64	○	○	○	○
10	1.00	1.00	0.82	0.69	○	○	○	○
11	0.80	0.68	1.16	0.81	○	○	○	○
12	1.06	1.59	1.28	1.28	×	×	○	×
13	2.90	3.15	1.09	1.31	×	×	×	×
14	0.59	0.86	0.49	0.72	○	○	○	○
15	0.64	1.00	0.74	0.61	○	○	○	○
16	2.36	1.09	1.74	1.02	○	×	○	×
17	0.84	0.58	0.58	0.88	○	○	○	○
18	1.27	1.34	0.80	0.84	○	○	○	×
19	0.83	1.21	1.92	△	△	△	△	×
20	△	0.74	1.08	△	△	△	△	○
21	1.21	0.99	△	0.65	△	○	○	○
22	0.90	0.82	△	0.67	△	○	○	○
23	1.73	1.53	△	1.21	△	×	○	○
24	△	0.60	0.70	△	△	△	△	○
25	0.38	0.93	0.48	0.52	○	○	○	○
26	0.86	1.10	1.27	1.20	○	×	○	×
27	1.25	1.03	1.13	0.64	△	×	×	×
28	1.28	0.92	1.09	2.65	△	×	×	×
29	0.63	1.60	1.29	△	△	△	△	×
30	0.44	0.55	0.31	△	△	△	△	○

表中の数値は各算定方法による温度ひび割れ指数、○はひび割れあり、×はひび割れ無し、△は評価方法の適用範囲外である場合を示す。

5. 結果検討

温度ひび割れ指数の場合、温度ひび割れ発生確率が 50%を超えればひび割れが発生すると判定した場合の各評価方法的な中率は次のようになる。

土木学会簡易法（内部拘束卓越場合）：	81%	CP法：	82%
土木学会簡易法（外部拘束卓越場合）：	80%	FEM法：	93%
山崎算定式：	88%	塚山算定式：	75%
		石崎・柳青算定式：	76%

6. まとめ

本研究の範囲内ではいずれの各評価方法でも的中率は 75%以上となった。温度ひび割れ指数を用いた確定的な評価において、FEM法はもっとも高い的中率となった。土木学会簡易法、CP法などはほぼ同様な結果を与えた。指数の値そのものは算定式により大きく異なる場合も認められた。