

マスコンクリート構造物の水和発熱に関する解析的研究

長崎大学 学生会員 ○上里 尚也
 長崎大学 正会員 松田 浩
 長崎大学 正会員 牧野 高平
 長崎大学 学生会員 牟田 省吾
 武藤建設 正会員 増山 雄大

1. 目的

打設直後のフレッシュコンクリートは、水和反応により発熱する。水和反応熱によってフレッシュコンクリートは膨張し、硬化した後、放熱して収縮する。水和反応熱による温度応力や収縮前後の体積差から、硬化コンクリート内部にはひずみが生じ、初期ひび割れの発生に繋がる。初期ひび割れの発生は、コンクリートの耐久性悪化を招き、維持管理においても様々な血幹の原因となる。この特徴はマスコンクリートにおいて特に顕著である。

本研究では、水和発熱に起因する初期ひび割れ評価を目的として、九州地区内の新設橋梁の橋台及び橋脚の二次元温度応力解析と温度計測を実施し、解析精度向上に向けた検討を行なった。

2. 温度応力解析概要

本研究では、汎用解析ソフト Astea-Macs を解析に用いた。モデルは二次元対称モデルとし、対象橋梁のコンクリート配合表を元に、各パラメータの値を設定した。表記がないパラメータに関しては、JSCE コンクリート標準示方書の参考値を用いた。

2. 1. 断熱温度上昇式

解析温度の評価には、以下の式を用いた。¹⁾

$$Q(t) = Q_{\infty} (1 - e^{-rt})$$

Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量

r : 温度上昇速度に関する定数

3. 解析事例 1

温度応力解析事例として、熊本県内の橋台フーチング及び壁部分の温度応力解析を行なった。解析モデル及びコンクリート配合、解析誤差及び解析概要をそれぞれ表 1,2,3 に、解析モデル及び計測点をそれぞれ図 1, 2 に示す。本解析事例では、最高到達温度に着目して計測値と解析値の比較を行なった。表に計測値と解析値の最高温度比、及び計測値を 100%とした解析誤差のパーセンテージを示す。外部入熱の影響が大きい箇所を除くと、誤差は約 4%以下となった。

表 1: コンクリート配合表 (事例 1)

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)					
		水	セメント	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
60.6	46.2	155	256	558	301	1025	3.01

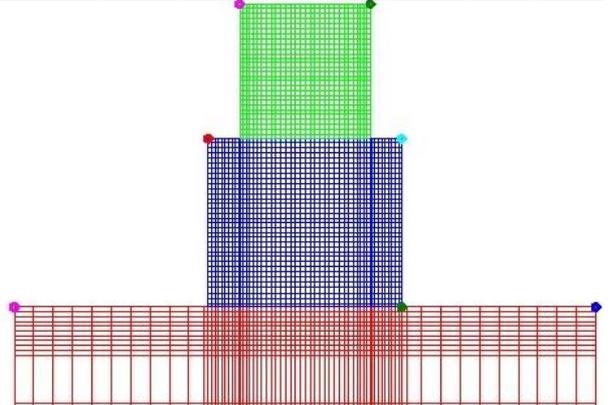


図 1 解析モデル(事例 1)

表 2: 計測誤差 (事例 1)

計測点No.	最高温度比 (計測値1)	最高温度誤差 (計測値100%)
1	1.11	10.65
2	1.10	10.00
3	1.03	3.30
4	1.02	1.66
5	1.01	0.65
6	1.00	0.16
7	1.07	6.53
8	1.16	15.81
9	0.92	-7.81
10	0.98	-1.65
11	1.00	0.19
12	1.00	0.49
13	0.99	-0.68
14	0.92	-7.63
15	-	-
16	-	-
17	1.02	1.95
18	1.01	1.48
19	1.00	-0.29
20	1.00	0.12
21	1.06	6.11
22	1.15	14.96
23	0.97	-3.37
24	-	-
25	-	-
26	0.96	-3.56
27	-	-
28	-	-

図 2: 計測位置 (事例 1)

表 3: 解析概要 (事例 1)

項目	物性値	
	地盤	コンクリート
設計基準強度	-	24(N/mm ²)
熱伝達率	1.0(W/m°C)	2.6(W/m°C)
密度	1800(kg/m ³)	2400(kg/m ³)
比熱	1.5(kJ/kg°C)	1.26(kJ/kg°C)
初期温度	28(°C)	28(°C)
ヤング率	50(N/mm ²)	E=4700*√Fc(t)
圧縮強度	22.6(N/mm ²)	F(t)=t/(6.2+0.93*t)*24*1.15
引張強度	1.96(N/mm ²)	Ft(t)=0.44*√Fc(t)
ポアソン比	0.35 (-)	0.2 (-)
線膨脹係数	10(μ/°C)	10(μ/°C)

キーワード : 和発熱, 温度応力, マスコンクリート

連絡先 : 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学構造工学科 松田 浩

4. 解析事例 2

温度応力解析事例として、長崎県内の橋脚フーチング部分の温度応力解析を行なった。解析対象を図に、コンクリート配合を表に示す。本解析事例では、発熱過程に着目して、計測値と解析値の比較を行なった。本橋脚は、フーチング高さ 3000mm でリフト高さを 1500mm に区切り 2 つに分けて打設されている。表 3,4 にそれぞれコンクリート配合と解析概要、図 3,4,5 に解析モデル及びリフト別の発熱過程比較グラフを示す。

5. 比較

5. 1. 解析事例 1

最高温度の比較に関しては、熱伝達境界付近における誤差が 10%近い値をしめしている。誤差の大小関係に注目すると、コンクリート表面に近づくにつれて誤差が大きくなっていることがわかる。特に、直接外気と接触する躯体上面では、約 15%と大きな誤差を示している。

5. 2. 解析事例 2

発熱過程の比較に関しては、どちらのリフトでも計測値の発熱速度が解析に比べて大きい傾向が見られた。一方、熱伝達境界付近では解析が大きい。最高温度到達後の放熱過程では、計測値の温度低下率が解析に比べて大きいことがわかる。

6. まとめ

解析事例 1, 2 の結果から、最高温度に関する誤差は、熱伝達境界付近を除いて比較的小さいと考えられる。一方、発熱速度に関しては、全体的に大きな誤差を示している。このことから断熱温度上昇式については、既存の発熱速度を大きく見直す必要があると考えられる。また、放熱過程についても、放熱速度に関しても計測値との誤差が大きい。したがって、既存の熱伝達率及び熱伝導率の値も大きく見直す必要があると考えられる。

参考文献

- 1) JSCE コンクリート標準示方書
- 2) 大規模底板コンクリートの温度解析方法に関する考察, 土木学会第 65 回年次学術講演会 2010 戸田晶ほか,
- 3) 図解コンクリート辞典 小林 一輔ほか 3 名

表 3: コンクリート配合 (事例 2)

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	配合表				
			単位量 (kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
53.9	45.5	4.5	299	161	819	1039	2.09

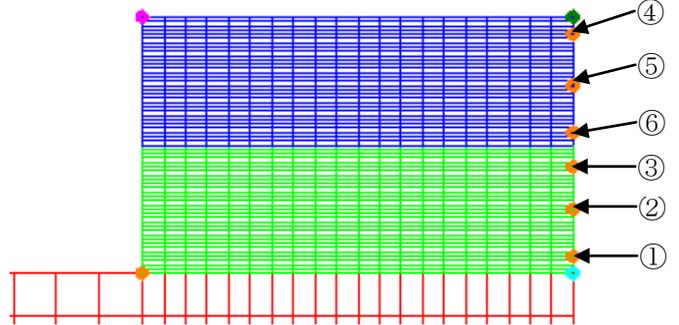


図 3: 解析モデル (事例 2)

表 4: 解析概要 (事例 2)

項目	物性値	
	地盤	コンクリート
設計基準強度	-	24 (N/mm ²)
熱伝達率	1.0(W/m ² °C)	2.6(W/m ² °C)
密度	1800(kg/m ³)	2350(kg/m ³)
比熱	1.5(kJ/kg°C)	1.26(kJ/kg°C)
初期温度	14(°C)	14(°C)
ヤング率	50(N/mm ²)	E=4700*√Fc(t)
圧縮強度	22.6(N/mm ²)	F(t)=t/(6.2+0.93*t)*24*1.15
引張強度	1.96(N/mm ²)	Ft(t)=0.44*√Fc(t)
ポアソン比	0.35 (-)	0.2 (-)
線膨脹係数	10(u/°C)	10(u/°C)

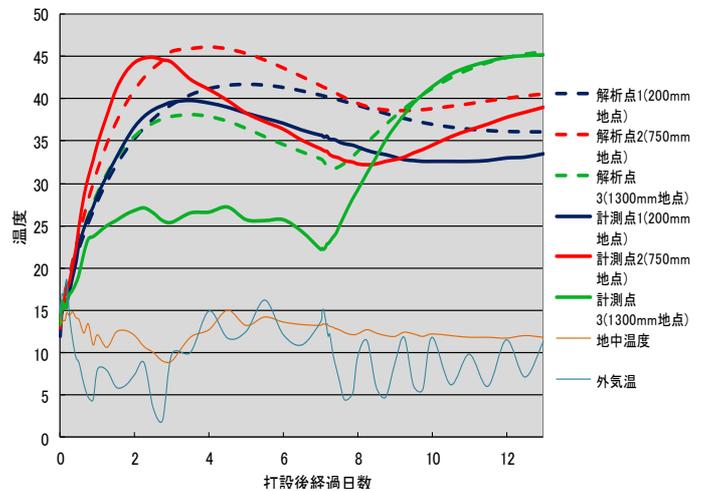


図 4: 温度比較 (リフト 1)

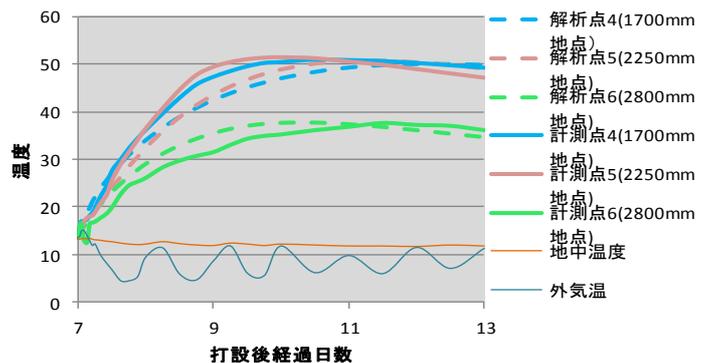


図 5: 温度比較 (リフト 2)