

海岸部に位置する鋼管・コンクリート合成構造橋脚の温度応力解析

中央コンサルタンツ（株） 正会員 ○長太 正人
 中央コンサルタンツ（株） 正会員 野田 勝哉
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 今野 久志
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 三田村 浩

1. はじめに

鋼管・コンクリート合成構造橋脚は、中空断面の鉄筋コンクリート橋脚に対して鋼管を主鉄筋代替および内型枠として使用することにより、施工の省力化・工期短縮を図る事を目的として開発された構造である。対象となる橋梁は海岸部に位置しており、塩害対策として1)高炉セメント B 種の使用 ($W/C=40\%, c=399\text{kg/m}^3$)、2)橋脚基部から標高 20m までの範囲の埋設型枠（プレキャストコンクリート製、 $t=17\text{mm}$ ）の設置、以上2つが施されている。本橋のように単位セメント量が多くかつ、プレキャスト製埋設型枠が設置された場合の温度応力に与える影響について検討した事例は少ない。以上から、鋼管・コンクリート合成構造橋脚を対象とした、単位セメント量が多いことと埋設型枠を考慮することによる温度応力への影響について検証することとした。また、埋設型枠の応力状態についてもあわせて検証する。

2. 解析概要

解析対象は、橋脚高 31.6m、断面形状 7500×4500mm、 $\phi 1300\text{mm}$ の鋼管 6 本が配置される橋脚である。解析モデルは図-1 に示す対称性を考慮した 1/4 断面の 3 次元モデルとし、第 1 リフト～第 5 リフトまで設置される埋設型枠は図-2 に示すような躯体を取り巻く既設コンクリートとして考慮する。このほか、ひび割れ対策工の圧送空気による鋼管内クーリングをモデルに反映し、解析における外気温を実測温度とする。

解析に使用した主な物性値データを表-1 に示す。

3. コンクリート熱物性値の検証

3.1 計測温度との比較

熱物性値の妥当性の検証として、コンクリート実測温度と温度解析結果との比較を行った。

一般的な単位セメント量 ($c=280\text{kg/m}^3$ 程度) の場合、標準的な熱物性値を使用することで解析温度と実測温度は概ね近くなるのがわかっている。²⁾ しかしながら、本解析の結果はピークの実測温度が解析温度を 10℃程度上回り、また、ピークを迎えたあとの温度降下は実測温度の方が緩やかであった。これは、単位セメント量が多いため一般的な配合のコンクリートとは異なる傾向になったものと考えられるが、この温度差は温度応力への影響を無視することができないものであり、適切な熱物性値の設定が必要となる。

3.2 熱物性値の検証

はじめにコンクリート熱物性値の一つである断熱温度上昇特性に着目して、温度降下に対する影響の検証を行った。（ここではピーク温度がほぼ同じとなるよう終局温度を仮定）その結果、図-3 の躯体内部温度時刻歴図に示すように、温度降下は断熱温度上昇特性の変更前とほとんど変化はなく、実測温度の方が緩やかに下降し依然として差異が生じる結果となった。これは、断熱温度上昇特性は材令初期の温度上昇についての特性値であることから、温度降下に対しては評価できるものでな

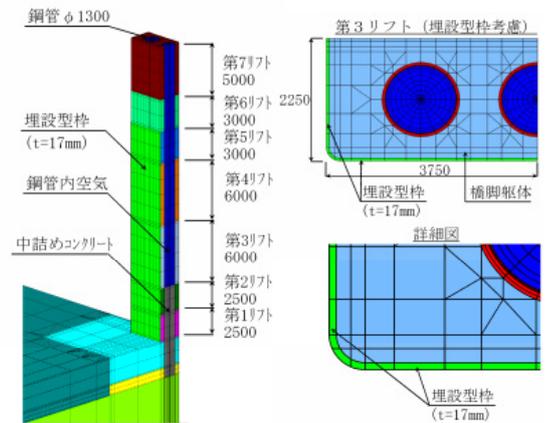


図-1 解析モデル

図-2 脚柱部断面図

表-1 温度応力解析に用いた物性値

区分	名称	物性値
		躯体コンクリート
躯体コンクリート 中詰めコンクリート	使用コンクリート	高炉セメント B 種
	単位セメント量 [kg/m ³]	399
	熱伝導率 [W/m°C]	2.7
	密度 [kg/m ³]	2300
	比熱 [kJ/kg°C]	1.16 ※1
	断熱温度上昇特性	$Q_{sc} \times (1 - e^{-Tt})$ ※2
埋設型枠	熱伝導率 [W/m°C]	2.24
	密度 [kg/m ³]	2400
	ヤング率 [N/mm ²]	3.5×10^4

※1 コンクリート標準示方書¹⁾ に示される標準値の平均

※2 コンクリート標準示方書による

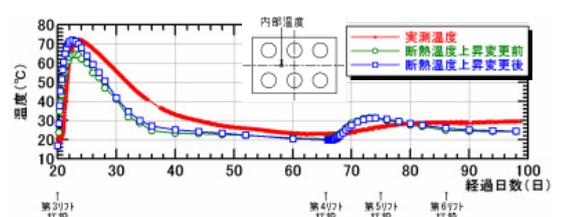


図-3 躯体内部の温度時刻歴図(第 3 リフト) ～断熱温度上昇特性の変更～

キーワード 鋼管・コンクリート合成構造橋脚, 温度応力解析, 埋設型枠

連絡先 〒451-0042 名古屋市西区那古野二丁目 1 1 番 2 3 号 TEL052-551-2541

かったためと考える。そこで次に、一般的な単位セメント量よりも多いことが水和熱の保持に影響しているものと考え、比熱（1g 当りの物質の温度を1℃上げるために必要な熱量）に着目して検証を行った。前述の温度比較は躯体コンクリートの比熱を1.16kJ/kg・℃（コンクリート標準示方書に示されている標準値の平均）とした結果であるが、このほか、1)2.5kJ/kg・℃、2)3.5kJ/kg・℃、3)4.5kJ/kg・℃の3 ケースについて解析を行い、実測温度との比較を行った。

図-4 の内部温度時刻歴図に示すように、材令初期のピーク温度に着目した場合、比熱値が上がるにつれ解析温度が実測温度に近づくものとなった。また、温度降下では比熱1.16 kJ/kg・℃では全般的に差が大きく、特に材令初期の温度差が顕著となる。一方、比熱2.5 kJ/kg・℃では温度降下も含めて概ね一致する結果となった。更に比熱を大きくした3.5 kJ/kg・℃、4.5 kJ/kg・℃では温度降下は更に緩くなり、材令後期においてもその差は大きい。以上から、コンクリートの温度上昇および下降については比熱を大きく設定することで、実測温度に近似することを確認した。

4. 温度応力解析結果

4.1 埋設型枠を考慮した場合のひび割れ指数への影響

埋設型枠が設置されることによる温度応力への影響確認として、型枠を考慮しない場合について解析を実施し比較を行った。図-5 に躯体表面部における最小ひび割れ指数経験値図の比較を示す。この結果から、ひび割れ指数は、型枠を考慮した場合は考慮しない場合に比べて高めとなり改善されていることがわかる。ひび割れ指数が改善されたのは、材令初期の躯体に比べ剛性の高い型枠が設置されていることで、躯体表面が型枠によって自由な熱変形（膨張）を拘束され、引張応力が軽減されたためと考える。

4.2 埋設型枠の温度応力検証

埋設型枠には躯体の温度応力の影響を受け応力が作用することから、埋設型枠を対象とした温度応力の検証を行った。図-6 に埋設型枠における最大引張応力分布図、図-7 に最大引張ひずみ分布図を示す。今回使用した型枠は、引張応力 $\sigma=15\text{N/mm}^2$ 、ひずみ $\epsilon=340\mu$ までは弾性体として挙動し、ひび割れは発生しないことが引張試験により確認されている。型枠に作用する引張応力は 12N/mm^2 以下であり全般的に $\sigma=15\text{N/mm}^2$ を下回る結果となった。本橋は単位セメント量が多く水和膨張量が大きいため作用する応力も大きめとなるが、このような状況下においても埋設型枠は躯体の温度応力の影響によってひび割れが発生する応力状態には至らないことがわかった。

5. まとめ

今回の温度応力解析結果をまとめると、以下のことが言える。

- 1) 単位セメント量が多い場合、材令初期のピーク温度や温度降下など温度に与える影響が大きく、温度応力解析に使用する熱物性値は現地条件に沿った設定とする必要がある。本検討では、コンクリート標準示方書に示される比熱の標準値（1.05～1.26 kJ/kg・℃）よりも大きい場合があることがわかった。
- 2) 躯体表面部に埋設型枠を設置した場合、躯体表面部の引張応力は設置される型枠の拘束によって軽減される。
- 3) 埋設型枠には躯体の温度応力の影響を受け応力が作用する。その大きさは今回のように単位セメント量が多い場合についても、型枠にひび割れが発生するまでには至らない。

参考文献 1) 土木学会：2002 年制定 コンクリート標準示方書施工編 2) 長太・野田・赤代・三田村：冬期施工時における鋼管・コンクリート合成構造橋脚の温度ひび割れ対策, 平成 17 年度 第 60 回年次学術講演会講演論文集

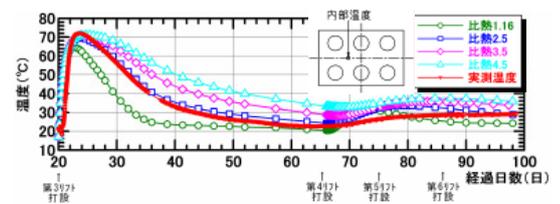


図-4 躯体内部の温度時刻歴図(第3リフト)～比熱の変更～

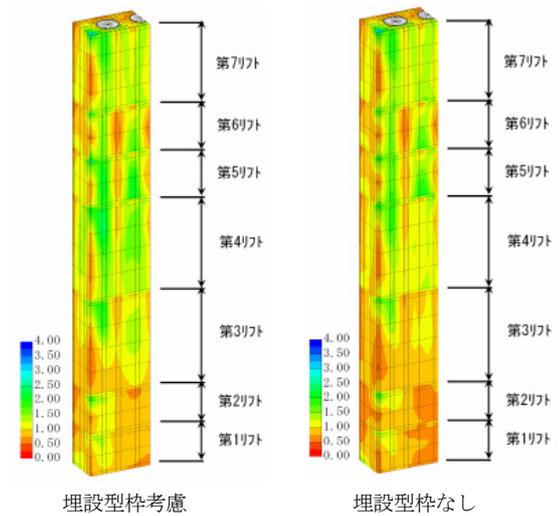
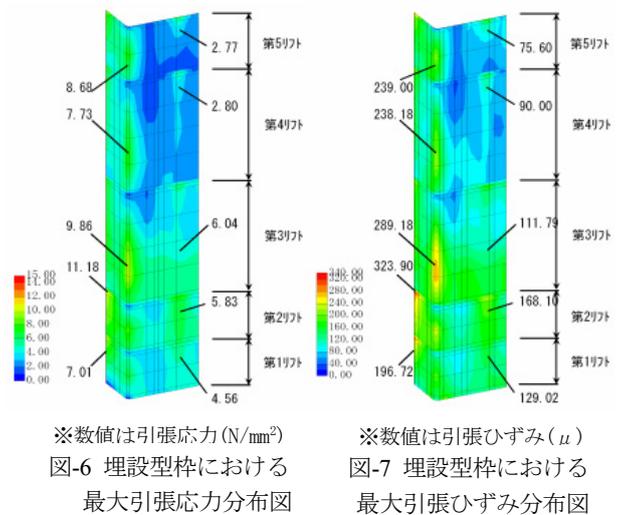


図-5 最小ひび割れ指数経験値図(脚柱部表面)



※数値は引張応力(N/mm²)

図-6 埋設型枠における最大引張応力分布図

※数値は引張ひずみ(μ)

図-7 埋設型枠における最大引張ひずみ分布図