

鋼管・コンクリート合成構造橋脚における温度応力解析

Thermal stress analysis on steel pipe-concrete composite pier

中央コンサルタンツ(株) 正員 野田勝哉 (Katsuya Noda)
 中央コンサルタンツ(株) 正員 菅 勝司 (Katsuji Suga)
 北海道開発局 正員 赤代恵司 (Keiji Syakushiro)
 北海道開発土木研究所 正員 三田村浩 (Hiroshi Mitamura)
 北海道開発土木研究所 正員 國松博一 (Hirokazu Kunimatu)

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り、その採用実績も増えつつある。¹⁾

一方この構造は、その断面構造の特徴からコンクリートの発熱に起因した温度応力の影響を受けやすいことが指摘されており、実際の施工においても特定の部位を中心に温度ひび割れの発生が確認されている。²⁾

特に、北海道においては、冬期施工となることも多く、外気温の低下に伴う橋脚コンクリートの内外温度差が大きくなり、温度ひび割れ発生の可能性が大きくなるものと考えられる。また、冬期においては給熱養生を行うことが一般的であるが、給熱養生が温度応力与える影響について検討した事例は少ないと思われる。

以上のような観点から、鋼管・コンクリート合成構造橋脚を対象とした温度応力解析を行い、冬期施工時の温度応力に与える影響について検証することとした。

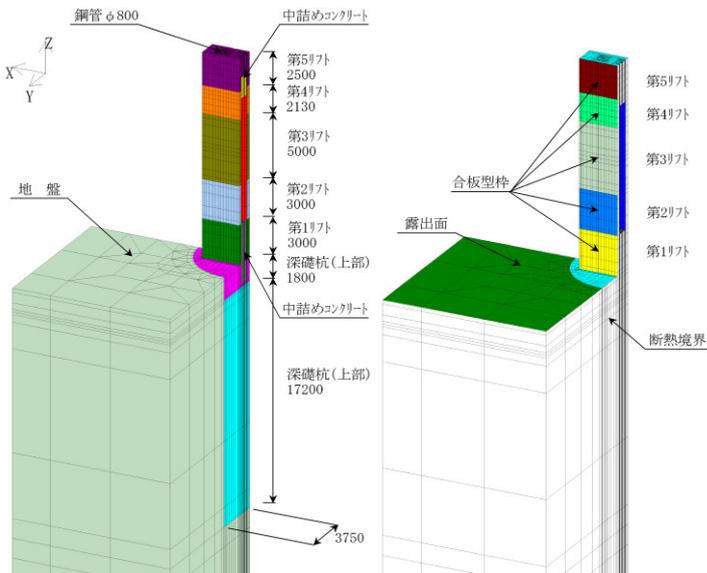


図-1 解析モデル

図-2 境界条件

2. 解析概要

2.1 解析モデル

解析対象は、橋脚高 15.6m、断面形状 5500×3000mm、800mm の鋼管 6本配置、深礎天端から 4600mm までと上部 1600mm の範囲で鋼管内に中詰めコンクリートが施工される橋脚である。リフト高は実施条件を考慮し、リフト高 3m 程度となっている。

解析モデルは図-1 に示すように後リフトの影響を考慮した 3次元モデルとした。また、対称性を考慮した 1/4モデルとした。なお、物性値データを表-1 に示す。

2.2 熱伝達境界条件

打設時は合板型枠を使用することから、熱伝達境界条件ではこの型枠による熱伝達率を考慮する。なお、熱伝達率は他のものも含めコンクリート標準示方書³⁾を参考とした。図-2 に境界条件を示す。

2.3 解析ケース

解析ケースは、施工時期の違いによる影響を検討する目的で夏期施工を想定した平均気温 20 の Case-1、秋期施工を想定した平均気温 5 の Case-2、冬期施工(給熱養生)を想定した平均気温-5 の Case-3 とした。表-2 に解析ケース一覧を、表-3 に打設間隔を示す。

3. 温度応力解析結果

温度ひび割れに対する照査は、コンクリートに発生する引張応力と引張強度の比である温度ひび割れ指数(Icr)を用いる方法が行われている。³⁾一般に温度ひび割れ指数は 1 以上を目標とすることが多く、本解析においてもこれを目安とした。

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 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]	280
	打込温度 [°C]	夏期・秋期~25°C, 冬期~20°C
	熱伝導率 [W/m°C]	2.7
	密度 [kg/m ³]	2300
	比熱 [kJ/kg°C]	1.16
	断熱温度上昇特性	$Q_{cs} \times (1 - e^{-t})$
	ヤング率 [N/mm ²]	$\phi(t) \times 4700 \times \sqrt{f'c(t)}$
鋼管	圧縮強度 [N/mm ²]	$\{t/(a+bt)\} \times d \times f'_{ck}$
	引張強度 [N/mm ²]	0.44 × √Fc
	熱伝導率 [W/m°C]	83.7
	密度 [kg/m ³]	7850
地盤	比熱 [kJ/kg°C]	0.46
	ヤング率 [N/mm ²]	2.0 × 10 ⁵
	熱伝導率 [W/m°C]	3.45
	密度 [kg/m ³]	2000
	比熱 [kJ/kg°C]	0.8

※コンクリート標準示方書[2002年制定・施工編]による

表-2 解析ケースおよび養生条件

ケース名	区分	養生条件
Case1 外気温20°C	充実部	脱型~打設後3日目
	中空部	
Case2 外気温5°C	充実部	脱型~打設後3日目
	中空部	
Case3 外気温-5°C, 給熱養生	充実部	給熱温度5°C 給熱期間1週間 脱型~打設後3日目
	中空部	

表-3 打設間隔

リフトNo.	打設間隔	リフトNo.	打設間隔
深礎杭(解析開始)	---	3	11日
深礎杭上部	10日	4	8日
中詰めコンクリート	2日	5, 中詰め	14日
1	5日	(解析終了)	31日
2	7日		

図-3.4 に最小ひび割れ指数経験値を示す。この結果から、どのケースにおいても鋼管内に中詰めコンクリートが施工される第1リフトおよび第5リフトの充実部において温度ひび割れ指数が1を下回る結果となった。これは、中詰めコンクリートがあることで中空部に比べコンクリートの水和熱が下がりにくくなり、コンクリート表面と内部の温度差が大きくなっているためと考えられる。

また、平均気温を変えて行った解析により、外気温の低い秋期・冬期の方が、温度ひび割れ指数が全般に低下し、より温度ひび割れが発生しやすい状況下であると言える。さらに、秋期・冬期施工の第1リフトにおいては、温度ひび割れ指数が1を下回る範囲が大きく、中でも冬期施工時の充実部においては、コンクリート表面から内部の鋼管に至る広い範囲で温度ひび割れ指数が1を下回る結果となった。

本構造は、正対する内部に鋼管がある部位に温度ひび割れが発生しやすい構造であり²⁾、さらに冬期においては、この温度ひび割れが内部の鋼管に達する可能性があることを示している。

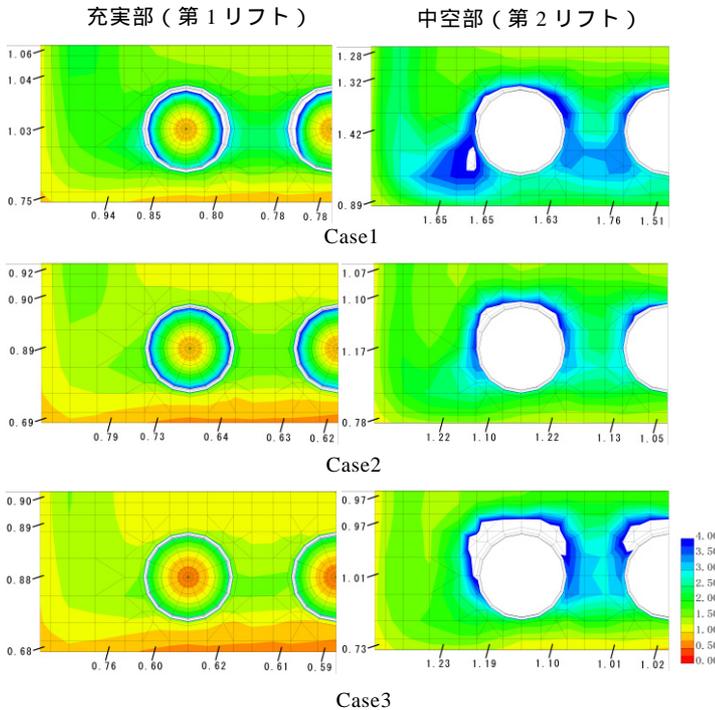


図-3 最小ひび割れ指数経験値図 (断面表示)

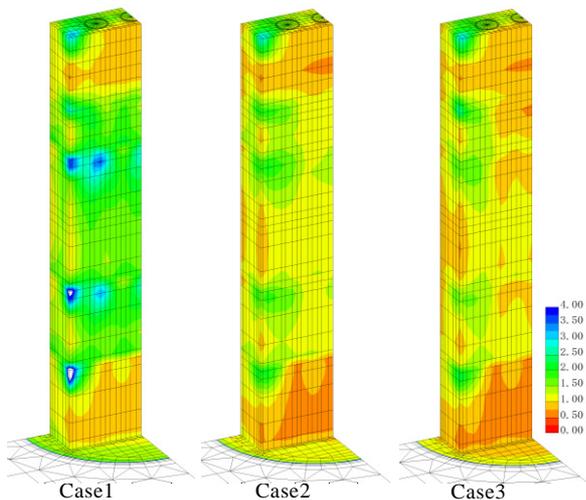


図-4 最小指数経験値図 (表面)

図-5 に第1リフトおよび第2リフトの温度ひび割れ指数時刻歴図を示す。この結果より、温度ひび割れ指数が最小となるのは、コンクリート打設後2日を経過した頃であり、また脱型直後となっていることがわかる。

ここで、冬期施工の Case-3 においては、脱型直後に温度ひび割れ指数が最小となり、その後改善するものの、給熱の停止に伴って再度、温度ひび割れ指数がほぼ最小値を示している。これは、内部のコンクリート温度が高い時期に給熱を停止することで、コンクリート表面と内部の温度差が大きくなったためと考えられる。これより、冬期施工時には、脱型直後のみならず、給熱停止時についても温度ひび割れの発生する可能性が高いことを示している。

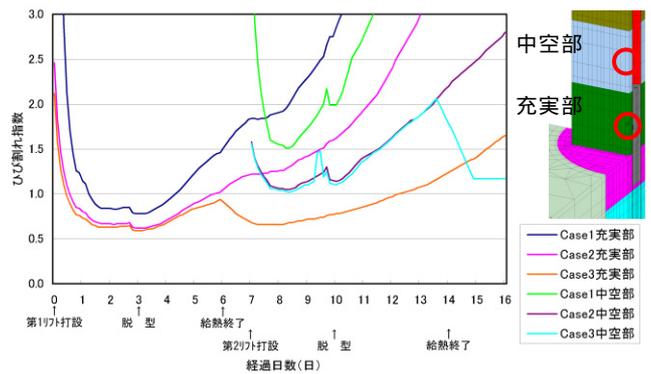


図-5 ひび割れ指数時刻歴図

4. まとめ

鋼管・コンクリート合成構造橋脚の冬期施工時の温度応力に与える影響について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 温度ひび割れ指数は、中詰めコンクリートが施工される第1および第5リフトで全般的に低く、温度ひび割れ発生の可能性が高い。また、夏期に比べ秋期・冬期の方が、温度ひび割れ発生の可能性がより高い。
- 2) 秋期・冬期施工時は、ひび割れ指数が低下する範囲が大きく、またより深い範囲まで及んでいる。特に、冬期施工時の充実部においては、コンクリート表面から内部の鋼管に達する温度ひび割れが発生する可能性が高い。
- 3) 冬期施工時には、初期の脱型時と給熱停止時の2度に渡りひび割れ指数が最小値を示す。従って、冬期施工時には、給熱養生期間を延長するなどの対策が有効と考えられるが、これらについては今後の課題としたい。

今後、冬期施工に着目して、実施工時の温度計測を行い、解析結果の検証を行うとともに、温度ひび割れ対策についても検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 福本英一郎・川端淳・久正・田村多佳志・篠崎裕生：鋼管・コンクリート合成構造橋脚 (ML 工法) の設計・施工、橋梁と基礎,1999.3.
- 2) 忽那幸浩・山田菊雄・小川健・森本博昭：鋼管・コンクリート複合構造橋脚における温度応力ひび割れ抑制対策について、コンクリート工学 2004.6, VOL.42, NO.6
- 3) 土木学会：2002年制定 コンクリート標準示方書施工編