

日射による大口径コンクリート充填鋼管の熱応力及び変形に関する検討

日立造船 正会員 ○松野 進 日立造船 正会員 木村政敏
日立造船 正会員 金子慎一 大阪工業大学 フェロー 園田恵一郎

1. はじめに

コンクリート充填鋼管（CFT とする）は、鉄塔構造物などに用いると耐荷力や靱性を向上させることができるとともに、日射による変形を少なくして施工精度及び完成後の変形を少なくする設計が可能となる。しかし、直径 1 m ～ 2 m の大口径 CFT 内部の日射による温度分布や変形量は、不明であり、設計上の課題になっていた。本研究では、直径 1 m の CFT モデルを用いて熱負荷試験を実施し、日射に対する挙動を明らかにした。

2. 試験体及び試験方法

試験体を図 1 及び図 2 に示す。鋼管の直径、長さ及び板厚は、それぞれ 1000 mm, 3000 mm, 及び 9.5 mm とした。表 1 に高流動コンクリートの配合を示すがセメントは普通ポルトランドセメント、添加剤は高性能 AE 減水剤を用いた。本配合によるスランプフロー、材齢 28 日圧縮強度及び材齢 28 日ヤング係数は、それぞれ 56 cm, 72 N/mm² 及び 36.8 kN/mm² であった。熱負荷試験は、CFT 断面を日照部分と日陰部分に分け、日照部分にアイランプで熱負荷を行った。熱負荷の最大温度は、過去の計測データから 12 月における、日照部と日陰部との温度差が最大 32℃になる状態に設定した。

3. 試験結果

図 3 には、鋼管表面の温度変化に伴う CFT 断面内の温度経時変化を示す。鋼管及びコンクリートの初期温度は、6℃で鋼管表面の最大温度が約 5 時間 30 分後に 32℃に達した。鋼管表面から約 100 mm 及び 200 mm の部分は、それぞれ約 1 時間及び 3 時間で表面温度に追随しながらピークに達していることがわかる。しかし、鋼管表面から 400 mm 以上の中心部分では、あまり変化していない。

図 4 には、鋼管表面が最大温度に達したときの試験体中央の鋼管表面及びコンクリート断面の温度分布を示す。その結果、コンクリート断面の温度分布は、コンクリート表面から 200 mm までは、ほぼ線形で変化し、200 から 400 mm まで滑らかに変化している。それより内部にかけては、変化量は非常に小さい。鋼管表面の温度分布は、日照部分の 90° の範囲

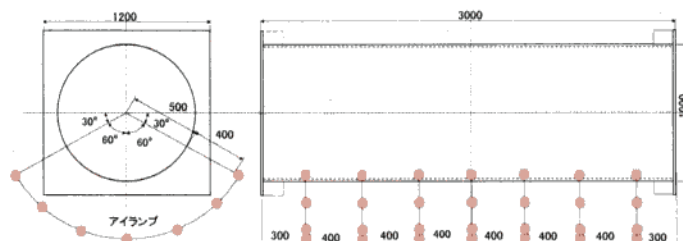


図 1 試験体及びアイランプ位置

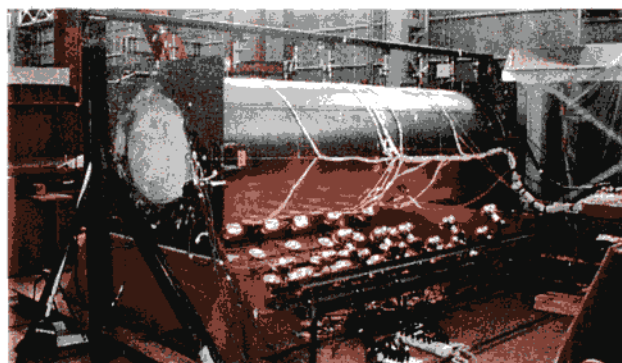


図 2 試験状況

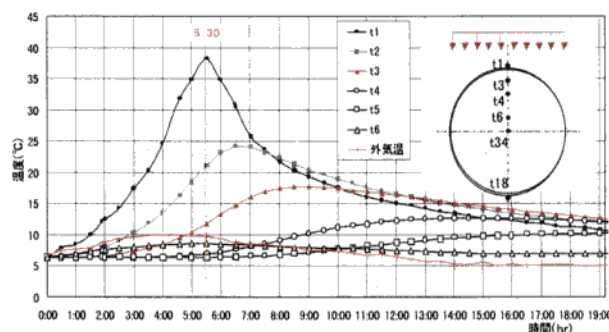


図 3 CFT 断面内の温度経時変化

表 1 コンクリートの物性値

最大骨材寸法 mm	目標スランプ cm	水セメント比 %	空気量 %	S/a %	設計基準強度 N/mm ²	単位量(kg/m ³)			
						水	セメント	細骨材	粗骨材
20	60	34	2.5	50	45	175	515	810	828

キーワード：コンクリート充填鋼管，大口径 CFT，熱応力，高流動コンクリート，日射

連絡先：〒559-8559 大阪市住之江区南港北 1 丁目 7 番 89 号 TEL06-6569-0114 matsuno@.hitachizosen.co.jp

で同一温度になり日陰部分に向かって温度が低くなる分布を示している。また、鋼管表面とコンクリート表面の温度差は、4.5℃である。図5には、中央面における鋼管表面及びコンクリートの軸方向応力分布を示す。「隙間有」は、コンクリート打設後40日間で約200μ自己収縮し、鋼管とコンクリート間に隙間が発生している試験体で、「隙間無」はその隙間を埋めた完全合成に近い試験体である。その結果、「隙間無」は、鋼管のS1で最大24.6N/mm²の圧縮応力度が発生した。内部コンクリートのK1には、最大2.0N/mm²の引張応力度が発生した。これは、鋼管表面とコンクリート表面の4.5℃の温度差及び線膨張係数の若干の違いにより鋼管の変形量がコンクリートよりも大きくなりコンクリートに引張応力が発生したと考えられる。CFTを柱部材として設計する際には、圧縮軸力が作用するために引張応力は問題とならないが、桁部材として設計する際に配慮する必要がある。「隙間有」の試験体のS1での圧縮応力度は、「隙間無」の試験体に比べ約1/1.7である。これは、鋼板とコンクリート間の隙間によって、鋼管が単独で変形したためと考えられる。又、図5、7及び表2には、合成桁橋の熱応力式¹⁾²⁾を参考にし断面及び周方向にも温度勾配を考慮できる簡易的な熱応力式を導出したが、本温度条件では実験結果とよく一致していることが分かる。図6に鋼管のたわみ分布を示すが隙間無の試験体の最大たわみは、0.27mmでたわみが一定の曲率半径と仮定すると長さ20mで12mmのたわみが発生する。また、図中には、鋼管のみのたわみ量を示すが、CFTはたわみ量が29%小さくなること分かる。

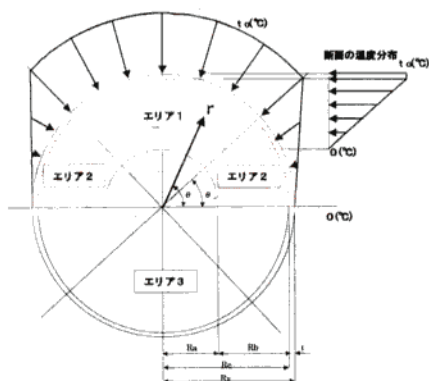


図7 熱応力の簡易式モデル

4. まとめ 本研究の結果、以下の日照によるCFTの応力及びたわみ量が解析的に明らかにできることが分かった。(1) 鋼管のS1には、24.6N/mm²の圧縮応力度が発生し、内部のコンクリートのK1には2.0N/mm²の引張応力度が発生した。これは、CFTを桁部材として設計する際に配慮が必要である。(2) CFTは、鋼管のみに比べたわみ量が29%小さくなる。

参考文献 1) (社)日本橋梁建設協会：合成桁の設計例と解説、平成7年

2) 江上 他、鋼・コンクリート合成鋼管柱の日照による熱応力に関する検討、土木学会第53回年次学術講演会

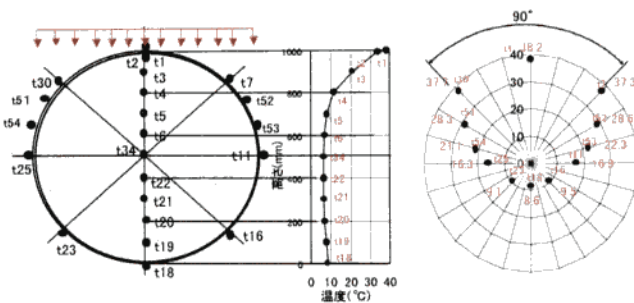


図4 鋼管表面及びコンクリートの温度分布

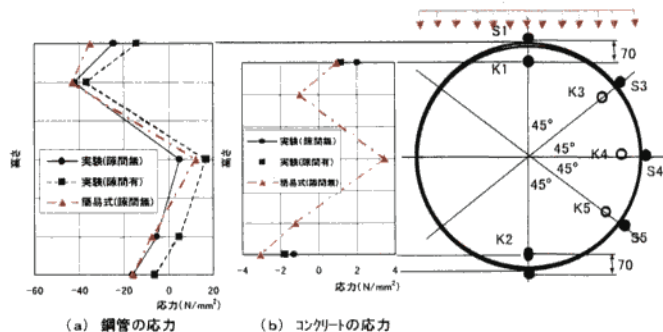


図5 鋼管表面及びコンクリートの応力分布

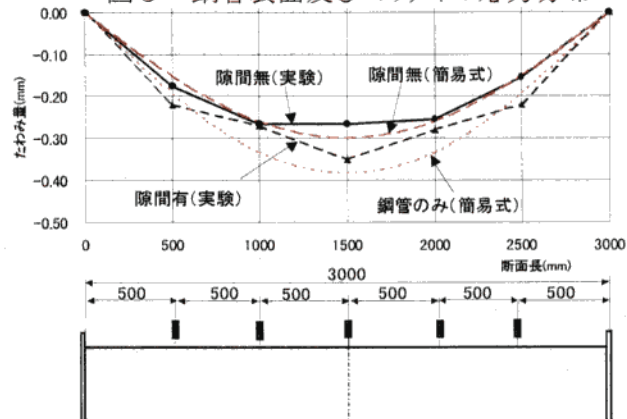


図6 鋼管表面のたわみ分布

	各断面に発生する応力	
	鋼管	コンクリート
エリア1	$\sigma_s = -t_0 \alpha_s E_s + \frac{\alpha_c}{\alpha_s} \left(\frac{P}{A_s} + \frac{M}{I_s} r \sin \theta \right)$	$\sigma_c = -\left(\frac{r-R_s}{R_b} \right) t_0 \alpha_c E_c + \frac{\alpha_s}{\alpha_c} \frac{1}{n} \left(\frac{P}{A_s} + \frac{M}{I_s} r \sin \theta \right)$
エリア2	$\sigma_s = -\left(\frac{\theta}{\theta_s} \right) t_0 \alpha_s E_s + \frac{\alpha_c}{\alpha_s} \left(\frac{P}{A_s} + \frac{M}{I_s} r \sin \theta \right)$	$\sigma_c = -\left(\frac{\theta}{\theta_s} \right) \left(\frac{r-R_s}{R_b} \right) t_0 \alpha_c E_c + \frac{\alpha_s}{\alpha_c} \frac{1}{n} \left(\frac{P}{A_s} + \frac{M}{I_s} r \sin \theta \right)$
エリア3	$\sigma_s = \frac{\alpha_c}{\alpha_s} \left(\frac{P}{A_s} + \frac{M}{I_s} r \sin \theta \right)$	$\sigma_c = \frac{\alpha_s}{\alpha_c} \frac{1}{n} \left(\frac{P}{A_s} + \frac{M}{I_s} r \sin \theta \right)$
軸力	$P = 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} t_0 \alpha_s E_s r d\theta + 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right) t_0 \alpha_s E_s r d\theta + 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} \left(\frac{r-R_s}{R_b} \right) t_0 \alpha_c E_c r d\theta + 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right) \left(\frac{r-R_s}{R_b} \right) t_0 \alpha_c E_c r d\theta$	
曲げモーメント	$M = 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} t_0 \alpha_s E_s r \sin \theta r d\theta + 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right) t_0 \alpha_s E_s r \sin \theta r d\theta + 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} \left(\frac{r-R_s}{R_b} \right) t_0 \alpha_c E_c r \sin \theta r d\theta + 2 \int_{-R_s}^{R_s} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right) \left(\frac{r-R_s}{R_b} \right) t_0 \alpha_c E_c r \sin \theta r d\theta$	
記号	E _c : コンクリートのヤング係数 α _c : コンクリートの線膨張係数 E _s : 鋼のヤング係数 α _s : 鋼の線膨張係数	