

## 第4話 熱応力の恐ろしさ

2007年9月20日 作成

萩原芳彦

物体を加熱あるいは冷却すると膨張あるいは収縮する。物体を加熱あるいは冷却したとき、物体が自由に膨張・収縮しようとすることを抑えようとするためには、物体に力を作させる必要がある。すなわち**外力**を作させることになり、その結果として物体内には**内力**が生ずることになる。このように、熱による膨張・収縮を抑制しようとして作用する力に応じて生ずる応力を**熱応力**と呼ぶ。

世の中には加熱されたり冷却されたりするものは多くあるが、上記の結果生ずる熱応力は、状況によっては大きな値となり、意外と思うような場面で部材を破壊に至らしめることがある。簡単な例を用いて説明しよう。

図1aは断面積が $100\text{mm}^2$ 、長さ $50\text{mm}$ の鋼製の丸棒を壁の間に挟んだものである。2つの壁は固定され、その間隔 $50\text{mm}$ は変化しないものとする。いま、棒を $100^\circ\text{C}$ 加熱すると、壁の間隔は変わらないため、棒は自由膨張を制限され、圧縮の熱応力 $\sigma$ が生ずる。その値 $\sigma$ は以下の計算で求まる（「よくわかる材料力学」、37ページ参照）。

$$\sigma = E\alpha t = 206000[\text{MPa}] \times 1.15 \times 10^{-5} [1/^\circ\text{C}] \times 100 [^\circ\text{C}] = 240\text{MPa}$$

ただし、鋼の縦弾性係数 $E = 206000\text{MPa}$ 、線膨張係数 $\alpha = 1.15 \times 10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$ とする。線膨張係数とは物体の温度が $1^\circ\text{C}$ 変化したときに物体の単位長さが伸縮する量のことである。

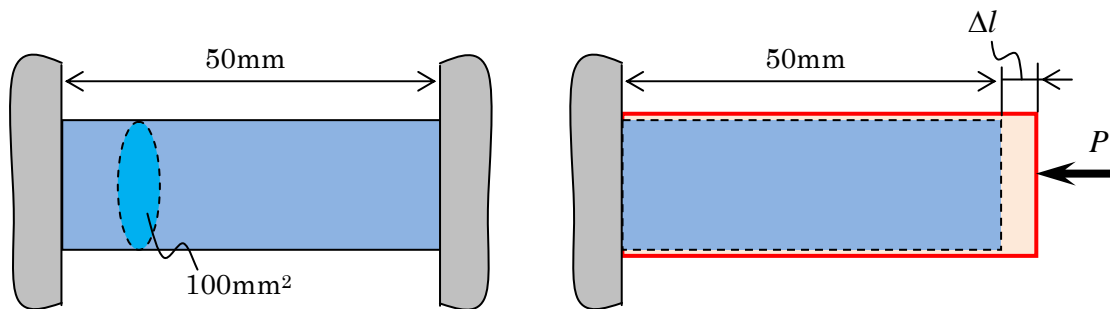


図 1a

図 1b

実際にはこの例のように、全く壁が変形しないこと、動かないこと、あるいは壁は加熱されず棒だけ加熱されることなどの条件が完全に満たされることはないが、塑性変形するときの応力である**軟鋼の降伏応力は約 250MPa**であるので、この程度の温度差があると軟鋼は塑性変形してしまうこともあることを上記の数値は示している。

図1bのように片方の壁がなければ、加熱により赤線のように物体は自由に膨張し、この材料では

$$\Delta l = l\alpha t = 50[\text{mm}] \times 1.15 \times 10^{-5} [1/^\circ\text{C}] \times 100 [^\circ\text{C}] = 0.058 \text{mm}$$

だけ伸びることになり、この場合には熱応力は生じない。これを元の長さ 50mm に保とうとすると、0.058mm だけ縮めなければならない。すなわち、図のような力  $P$  が必要になり、その値は、

$$P = \frac{EA\Delta l}{l} = \frac{206000 \times 100 \times 0.058}{50} = 24 \text{kN}$$

となる。これは約  $2.4\text{m}^2$  の水の重量と同じであり、かなり大きな力であることがわかるであろう。

自動車や航空機などのエンジンではこれより高温の状態が生ずるため、熱応力の影響は当然生ずる。また、鉄道のレールは冬と夏では受ける温度に違いがある。例えば、長さ 100m のロングレールは夏冬の気温差が  $40^\circ\text{C}$  であるとすれば、

$$\Delta l = l\alpha t = 100000 \times 1.15 \times 10^{-5} \times 40 = 46 \text{mm}$$

の長さの違いが生ずることになり、放置すればレールの継ぎ目にはかなり大きな隙間ができることになり危険であるので、工夫がなされている。

両端を壁にしっかり固定しなければならないような配管内を高温の水や蒸気が流れる場合には、熱応力の増加を避けるため、図2の①の配管を図2の②のように曲げ、管が膨張時に点線のように自由に伸びやすくなる構造とし、熱応力を生じ難くする方法などがとられる（実際は曲げの影響もあり変形図の概観は若干異なる）。もちろん、①において壁と管の間に隙間を作り、互いを滑らせることでも熱応力の発生を抑えることはできる。

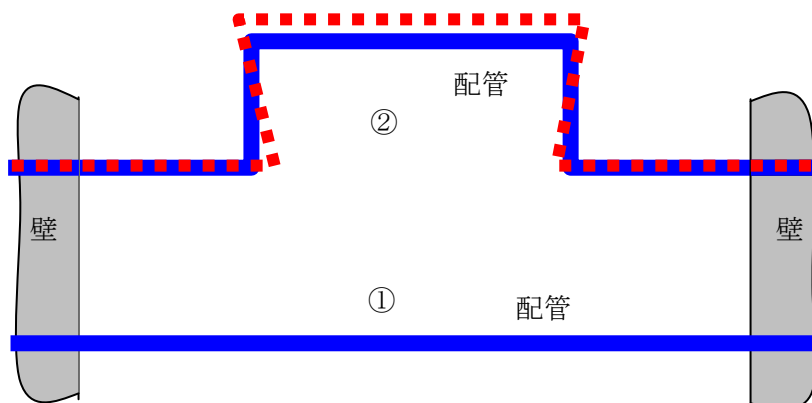
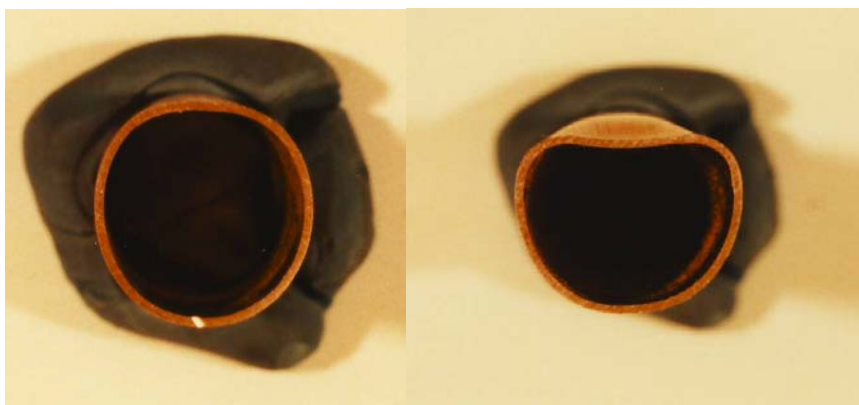


図2

実際の機械部品の形状は複雑であり、そのための**応力集中**も重なり、熱応力は一層高まることになる。

図3はビルの**給湯管**の配管施工時に、被覆部、すなわち外側、には損傷は見られなかったが、内部の銅管が凹んだ事例である。このような配管に温水と冷水が交互に流れると、膨張・収縮を繰り返し、へこみ部の応力集中も影響し、短期間に熱による疲労き裂が生じ、漏水を起こすことになった。凹みがなければ実際の使用年数ではき裂は生じないものと推測された。



凹みのない断面

凹みのある断面

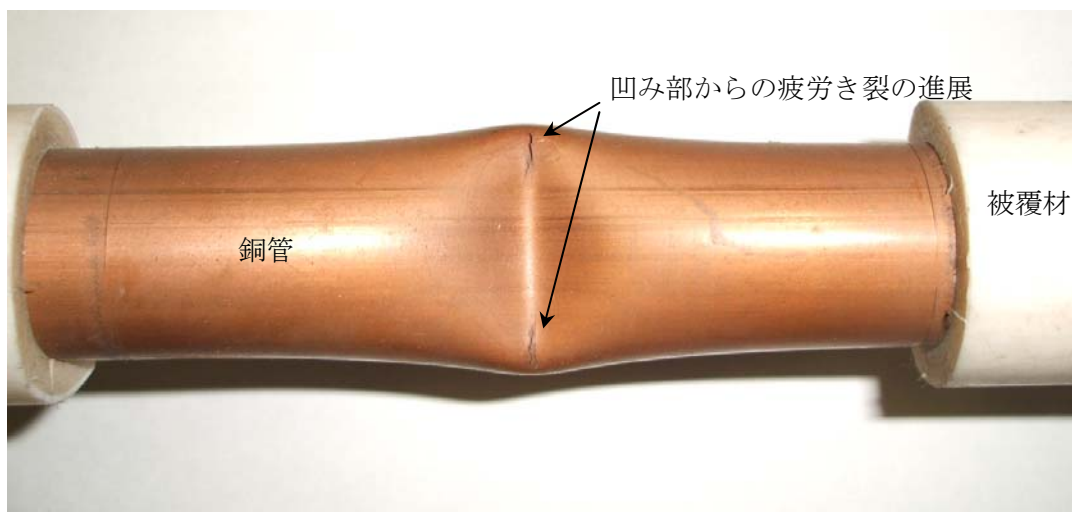


図3 給湯管に生じた熱疲労によるき裂