

鋼製煙突に生じた亀裂の原因解明に関する検討

広島大学大学院 学生会員 ○木下 一孝 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治
 (財)電力中央研究所 正会員 石川 智巳 広島大学大学院 正会員 藤井 堅

1. 目的

近年、鋼製煙突に周方向亀裂を生じた事例があげられている。この原因としては、①風に起因した疲労②熱応力③煙に含まれる硫化物による化学的作用などが考えられている。しかし、直接的な原因は明らかになっていないのが現状である。そこで、本研究では、風に起因した疲労に着目し、実際に亀裂を生じた鋼製煙突を対象に、風による疲労亀裂の可能性について検討した。

2. 鋼製煙突の構造緒言

対象とした鋼製煙突は図-1に示すような自立型鋼製煙突であり、材料特性はSS400材レベル、高さ30m、供用年数21年である。固有周波数は1次モードにおいて2.5Hzであり、本研究で対象とする周波数領域においては1次モードのみが現れる。また、円形断面でありストローハル数0.2より渦励振発振風速は約22m/s、スクルートン数約13.0より、ロックインする風速領域は、18m/sから28m/sである。

3. 亀裂の状況

亀裂の発生箇所は、図-1に示す現場溶接部A、Bに生じている。特に、現場溶接部Bでは図-2に示すような長さ1500mmの亀裂が発見されている。本研究では、この現場溶接部Bを対象に疲労亀裂の可能性を検証している。また、現場溶接部Bでは目違いが確認されており、この目違いの影響についても考慮することとしている。

4. 風環境

風に起因した疲労問題を検討するため、外的作用となる風速環境を再現する。これには、鋼製煙突建設位置に最も近い気象官署より得られた16風向別の観測された10分間平均風速と風配図を用いて、粗度による補正、気流解析による地形の影響を反映させ、図-3に示すような鋼製煙突建設位置における10分間平均風速の16風向別風速頻度分布を作成した。

5. 風応答解析

風応答解析には、テーパ部も再現できるよう3次元はり要素によって鋼製煙突をモデル化し、周波数応答解析によって行った。本研究では、バフエッティングと渦励振に着目し応答を求めた。

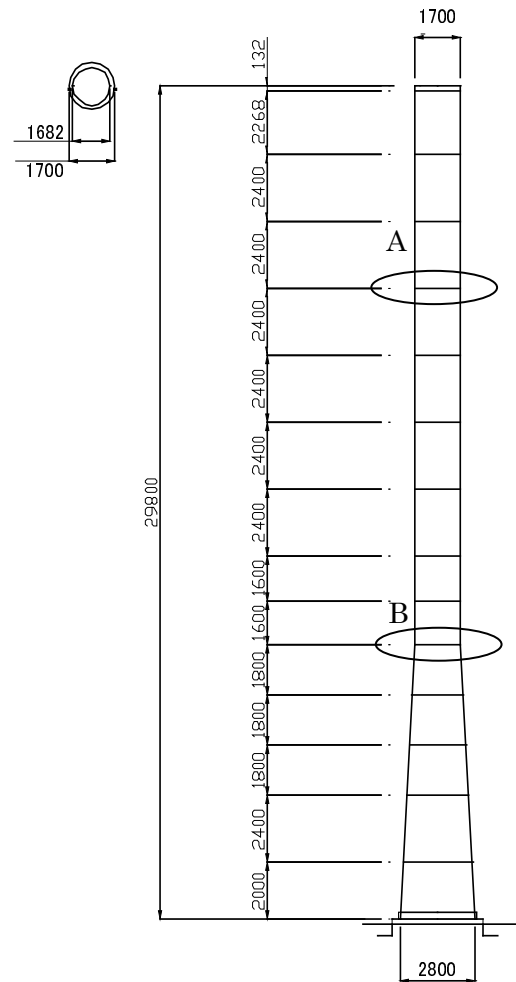


図-1 鋼製煙突一般図

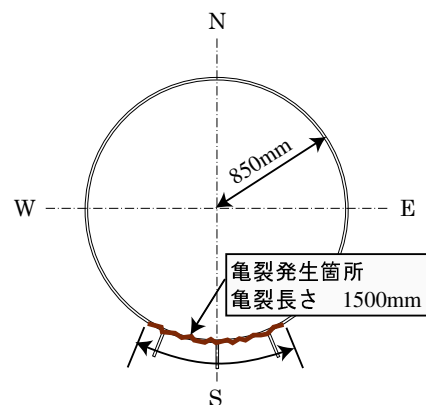


図-2 溶接部Bにおける亀裂状況

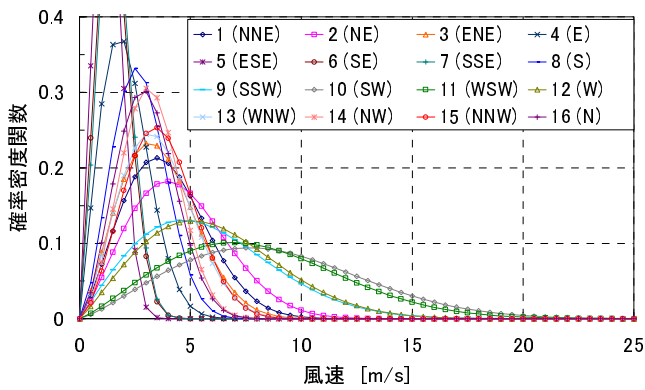


図-3 鋼製煙突建設位置における風速頻度分布

バフェッティングについては、カルマン型スペクトルを採用し、渦励振については正規分布型のスペクトルを採用している¹⁾。周波数応答解析より得られる応力変動のパワースペクトルより、変動の標準偏差を求めた。風応答による応力変動を狭帯域の正規定常確率過程と仮定すると、変動応力のピーク分布はRayleigh分布で表される。このピーク値は平均値周りの片振幅の確率密度関数である。応力範囲で考える場合、このピーク値はほぼ2倍に等しいため、次式により応力の確率密度関数を定義できる。

$$f(\Delta\sigma_i) = \frac{1}{2} \frac{(\Delta\sigma_i/2)}{\sigma_s^2} \exp\left(-\frac{(\Delta\sigma_i/2)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (1)$$

ここに、 $\Delta\sigma_i$ ：応力範囲、 σ_s ：応力変動の標準偏差である。また、次式により10分間における鋼製煙突の繰り返し回数を求めている。

$$N = \left\{ \frac{\int_0^\infty f^4 S(f) df}{\int_0^\infty f^2 S(f) df} \right\}^{1/2} \quad (2)$$

6. 疲労照査

Rayleigh分布で仮定した、応力範囲の頻度と風速の発生回数から、応力範囲の繰り返し回数を求め、次式により累積疲労損傷度D値を求める²⁾。

$$D = \frac{n_T \sigma_e^m}{2 \times 10^6 \cdot \sigma_f^m} \quad (3)$$

ここに、 n_T ：照査期間内における総繰り返し回数、 σ_e ：等価応力範囲、 σ_f ：平均応力によって補正された 2×10^6 回基本応力範囲、 m ：疲労曲線の傾きを表す指数である。また、目違いや溶接部始端の応力集中を求めるため、ホットスポット応力を用いて公称応力を補正している。目違い量に関しては詳細な資料がないため、目違い量をパラメータとして、周方向に一定の目違いがあるとし解析している。この目違い量は、0mm、1.5mm、4mmとしている。図-4に断面における16風向別の累積疲労損傷度を示す。

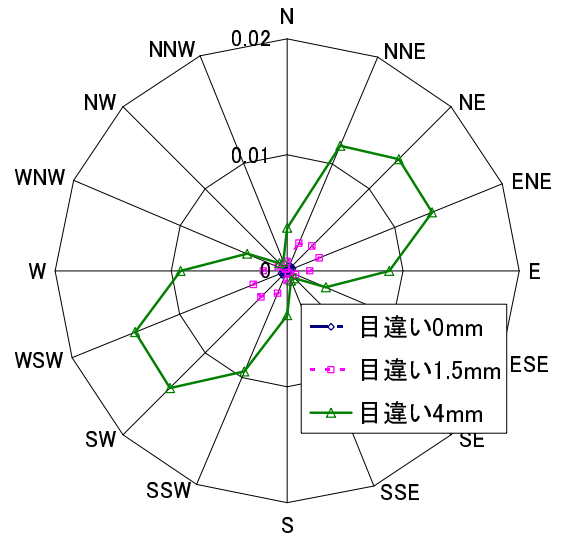


図-4-a バフェッティングによる累積疲労損傷度

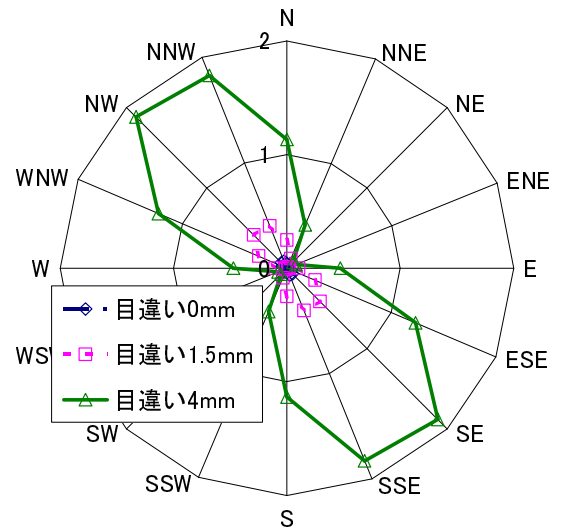


図-4-b 渦励振による累積疲労損傷度

7. まとめ

本研究では、風に起因した疲労問題について検討した。本研究で得られた知見を述べる。

- ① 対象とした鋼製煙突の建設位置において、SWからWにかけて風速が高いことがわかった。この風向からの風によって渦励振が生じる可能性がある。
- ② バフェッティングによる疲労破壊の可能性は低く、渦励振による疲労破壊の可能性はある。
- ③ SW, WSWからの風により渦励振が生じ、SSE, SEに高い疲労損傷が確認できる。実際の亀裂状況と比較して、目違いの考慮も必要であるが、風に起因した疲労破壊の可能性は十分にあると考えられる。

参考文献

- 1) JSSC：構造物の耐風工学，東京電機大学出版局
- 2) JSSC：鋼構造物の疲労設計指針同解説，技報堂