

I-24 薄肉鋼管の船積輸送について

住友金属 正員 久光脩文
住友金属 正員 ○渡辺奉昭

I. 緒言

大径薄肉鋼管の船積方式については適切な基準がなく、簡単な計算式あるいは経験によって船積の行なわれているのが現状である。そのため輸送中に加わる応力により、鋼管に疲労破壊や残留変形の生じる恐れがあった。この船積方式を確立するため、先に報告した室内実験⁽¹⁾を含めて一連の実験ならびに検討が行なわれた。ここに報告するのは船で輸送中の鋼管に生じる変動応力を船の振動加速度との関連において測定した結果である。

II. 実験内容

アメリカ向輸出のラインパイプを対象として、運搬船に計測者2名が同乗し、船積輸送時の鋼管の変動応力測定を、和歌山〜タコマで13日間におたり、毎日2回(1回の測定時間15分)行なった。

II-1 供試管

材質: X60のストレートシーム鋼管, 外径: $48'' (1219.2mm)$, 肉厚: $0.462'' (11.7mm)$
単位重量: 350 kg/m

II-2 測定項目

- (a) 応力振幅の測定---鋼管の円周上, 軸線上における変化, 船積位置, 船倉位置による変化
- (b) 加速度振幅の測定---船積位置による変化

II-3 応力と加速度の測定位置

応力測定用鋼管位置と加速度測定位置を図-1に示す。応力測定は主として鋼管①で行ない、測定位置は22箇所である。なお内面の円周方向応力のみを測定した。

III. 実験結果

III-1 鋼管での応力振幅の分布

鋼管①の応力変動は各測定位置とも、波形も位相もよく対応しており、最大応力振幅の生じた時刻も一致している。各測定位置の最大応力振幅を表-1に示す。

この時のうねりの方向は船正直、うねりの高さ 3.5 m 、風速は 14 m/sec である。

鋼管の軸の真直度等によって、船積された鋼管の軸線上の荷重分布が

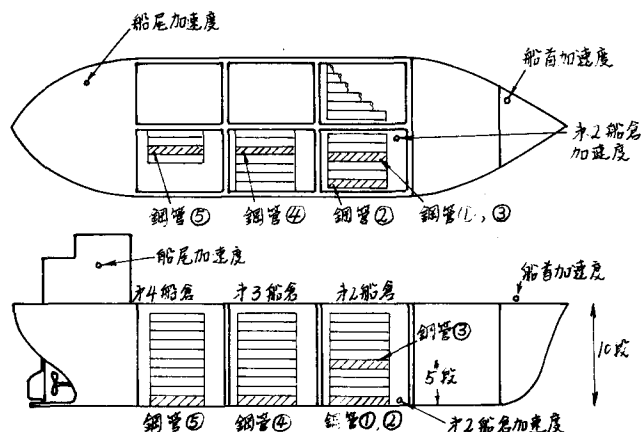


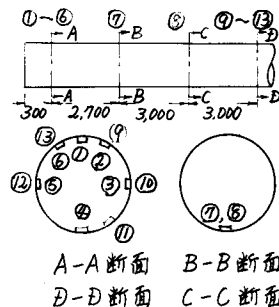
図-1 応力測定用鋼管位置と加速度測定位置

異なるため、鋼管①のA-A断面（測定位置①～⑥）とD-D断面（測定位置⑦～⑬）において対応する位置の応力振幅は必ずしも一致していない。同様に隣合う鋼管との接触位置にあたる測定位置における応力振幅の大きさは、同一断面上の測定位置（③と⑤、⑩と⑫）ではほぼ等しいが、断面

表-1 鋼管①の各測定位置の最大応力振幅

測定位置①	0.5 kg/mm ²	測定位置⑧	0.6 kg/mm ²
②	0.5	⑨	0.1
③	1.7	⑩	0.2
④	1.1	⑪	0.9
⑤	1.6	⑫	0.5
⑥	0.1	⑬	0.3
⑦	0.3		

上下方向加速度（才2船倉）：0.14g



が異なれば大きく変わっており、隣合う鋼管との接触状態の応力振幅におよぼす影響は大きいことがわかる。一方船底との接触位置にあたる測定位置⑭、⑮の応力振幅は、上舷の鋼管との接触位置にあたる測定位置②、⑥、⑨、⑬の応力振幅に比べてかなり大きく、室内実験で得られた傾向と一致している。なお最大応力振幅は測定位置③に生じ 1.7 kg/mm² である。

Ⅱ-2 船横位置による最大応力振幅の変化

船横位置による最大応力振幅の変化を表-1に示す。

船横時の鋼管の支持条件が、室内実験の場合と異なるため、室内実験では鋼管①の応力が鋼管②の応力の約2倍になっていたのに拘らず、今回の実験ではほぼ等しい値になっている。

表-2 船横位置による最大応力振幅の変化

鋼管① 測定位置④	1.0 kg/mm ²	鋼管④ 測定位置⑱	0.9 kg/mm ²
“ ② “ ⑭	0.9	“ “ “ ⑳	0.5
“ ③ “ ⑰	0.1	“ ⑤ “ ㉑	0.1
“ “ “ ⑱	0.1	“ “ “ ㉒	0.5

測定位置④、⑭、⑰、⑱、㉑は表-1のA-A断面底部に対応する位置

測定位置⑮、㉒、㉓はD-D断面底部に対応する位置

上下方向加速度（才2船倉）：0.14g

船底より5段目にある鋼管③の測定位置⑰、⑱の最大応力振幅は0.1 kg/mm²程度であり、他の鋼管の最大応力振幅に比べて非常に小さい。これは鋼管③の荷重状態がであり、他の鋼管の荷重状態がであることの違いによるものである。船倉位置の違いによる応力振幅は、①鋼管①の測定位置④（才2船倉）----1.0 kg/mm²、②鋼管④の測定位置⑱（才3船倉）----0.9 kg/mm²、③鋼管⑤の測定位置㉑（才4船倉）----0.5 kg/mm² となり、船首に近い船倉にある鋼管の応力振幅の高くなる傾向が見られる。

Ⅲ-3 応力振幅と加速度の対応

最大応力振幅の生じた測定時における鋼管①の測定位置③の応力と才2船倉上下方向の加速度の記録を図-2に示す。測定された上下方向加速度と応力の波形状および位相はよく対応しており、最大加速度の生じた時に最大応力振幅を示し、周期は約6秒である。いす応力振幅と加速度の間に次の関係が成り立つと考える。

$$\sigma_w = k \cdot a \cdot \sigma_s$$

σ_w : 応力振幅, a : 加速度(g), σ_s : 船横した場合に生ずる静応力(kg/mm²)

通常の場合 $K=1$ であるが、船種の端名のローリング、船体振動などの要因のため、 $K=1$ にならないので、この K の値を決定することにした。最大応力振幅を示した鋼管①の測定位置③と才2船倉上下方向加速度について調べる。静応力として測定位置③の 17kg/mm^2 (室内での静的実験の結果ともよく一致している) を考えて、最小二乗法により K を求めれば、 $K=0.62\text{g}^{-1}$ が得られる。

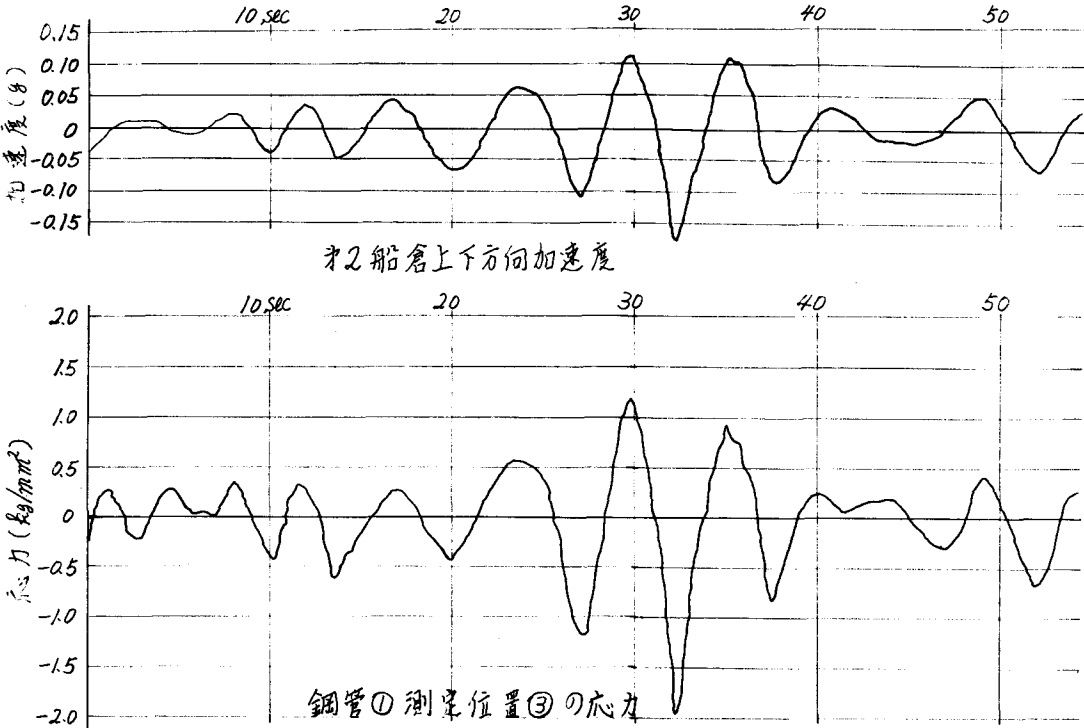


図-2 鋼管①測定位置③の応力と才2船倉上下方向加速度の測定記録

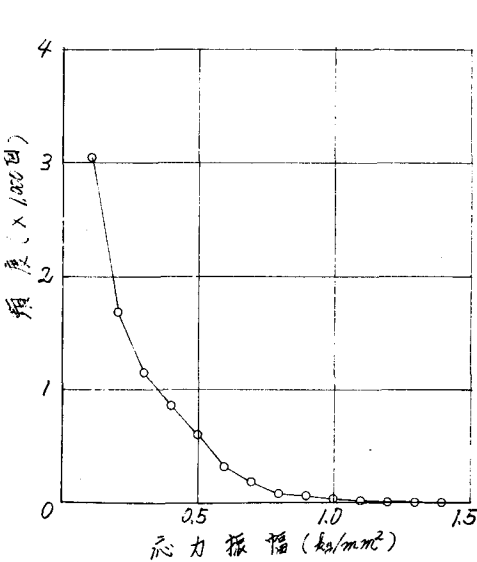


図-3 航海中の応力頻度分布(鋼管①測定位置③)

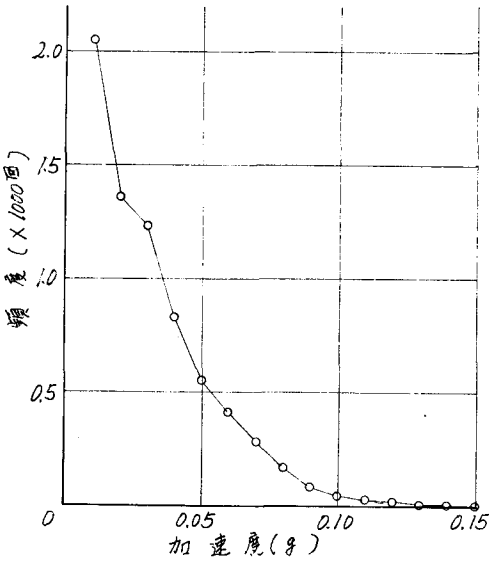


図-4 航海中の加速度頻度分布(才2船倉上下方向)

Ⅲ-4 全航海中における応力、加速度の頻度分布

各測定時の応力、加速度頻度分布を合計して、全航海中の応力、加速度頻度分布を求めた。一例として鋼管①の測定位置③の応力頻度分布と才2船倉上下方向の加速度頻度分布を図-3,4に示す。

応力頻度分布は指数分布を呈し、 0.5 kg/mm^2 以上の応力振幅を生ずる頻度は少ないことがわかる。

また加速度についても $0.1g$ 以上の振幅を生ずる頻度の少ないことがわかる。

Ⅲ-5 疲労に対する検討

疲労強度と平均応力の関係は、一般に式で表わされる。

$\sigma_a = -1/4 \sigma_m + \sigma_w$ σ_a : 疲労強度(応力振幅) σ_m : 平均応力が零の場合の疲労強度(両振)
両振曲げ疲労試験結果によれば 2×10^6 回時間強度 σ_w は母材: 24 kg/mm^2 , 溶接部: 21 kg/mm^2 である。

一方船積時の平均応力を最下段の鋼管の最大応力 17 kg/mm^2 とすれば、許容応力振幅は溶接部で $17 \text{ kg/mm}^2 (21 - 17/4)$ と考えられる。冬期になれば荒天になり、加速度も大きくなるが、今回と同様にして測定した結果によれば $0.6g$ 程度であり、また外国のデータ⁽²⁾によれば $0.45g$ 程度であるので α を $0.6g$ とし、 $\sigma_w = k \cdot \alpha \cdot \sigma_s$ を用いて σ_w を求めれば、最大応力振幅は 6.3 kg/mm^2 となる。

許容応力 17 kg/mm^2 より十分低い値であり、最大応力も 24 kg/mm^2 以下となるので、冬期においても疲労および残留変形の生ずる心配はないと思われる。

IV 結 言

船積輸送時鋼管の変動応力測定を行なった結果、以下のことが明らかになった。

(1) 航海中に測定した最大応力振幅は、才2船倉最下段中央部鋼管の隣合う鋼管との接触位置に生じ、 1.7 kg/mm^2 である。その時の上下方向加速度は才2船倉で $0.14g$ である。

応力と上下方向加速度は測定された波形、位相ともによく対応し、周期は約6秒であった。

(2) 船積輸送中の鋼管に生ずる応力振幅は、

$$\sigma_w (\text{応力振幅}) = 0.62 \cdot \alpha (\text{上下方向加速度}) \cdot \sigma_s (\text{船積した場合に生ずる静応力})$$

として表わされることがわかった。

(3) 今回測定した結果を用いて、冬期に生ずる最大応力振幅を推定すれば、 6.3 kg/mm^2 であり、

疲労試験結果(母材の 2×10^6 回時間強度: 24 kg/mm^2 , 溶接部の 2×10^6 回時間強度: 21 kg/mm^2 と合せて考えれば、正常な船積を行なっている限り、疲労破壊はしないと考えられる。

参考文献

- (1) 久光, 渡辺: 薄肉鋼管の段積輸送について; 土木学会関西支部年次学術講演会, S. 46.5
- (2) G. Aertsen: *Labouring of Ships in Rough Seas with Special Emphasis on the Fast Ships*; S.N.A.M.E. Diamond Jubilee International Meeting, 6, 1968