

ラック付鋼管で構成された三角形トラス構造物の風洞試験

日立造船(株)技術研究所 正会員 巻幡敏秋 正会員 松本互平
正会員 植田利夫 砂田博幸

1. まえがき 対象とした構造物は、図1に示すようなジャッキアップ型の海底石油掘削装置の脚柱である。その特徴は、図2に示すように、3本のラック付鋼管が正三角形の各頂点に配置されていることである。脚柱は、通常120~130mの長さであり、深海域で稼働中は脚柱の大部分はプラットフォーム下の海中に没しているが、浅海域で稼働中あるいは、曳航中はプラットフォーム上に大部分が突出することになる。

図3に実機脚柱の固有振動数を示す。本文は、このような状況下での脚柱の静的および動的空気特性を調査するために実施した風洞試験結果について述べている。試験は、当社所有のゲッチンゲン型風洞を使用して行なった。模型の縮尺は、

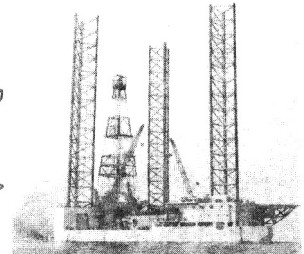


図1 ジャッキアップ型 海底石油掘削装置(曳航中)

脚柱の場合を $1/20$ 、ラック付鋼管の場合を $1/10$ とし、各模型長は1.8mとした。表1にバネ支持試験条件を示す。

2. 試験結果

2.1 脚柱の抗力

三角形トラス構造物の抗力係数の測定例は少ない^{(1),(2)}。しかも、対象とする脚柱は、その主柱にラックが付設された極めて特殊な構造なので、三分力天秤により、抗力の測定を行なった。図5に $\beta=0^\circ$ の抗力を基準として、風的作用方向による抗力(風軸方向)の変化を示す。抗力の変化量は $-10\sim+3\%$ 程度である。 $\beta=0^\circ, 30^\circ$ および 180° の抗力係数を図6に示す。測定したレイルズ数の範囲は、 $2 \times 10^4 \sim 1.2 \times 10^5$ であるが、実機のそれは 10^6 である。円柱の抗力係数は、レイルズ数 10^6 で低下する傾向であるので、脚柱もこれとほぼ類似の傾向とすると、今回、測定された抗力係数を用いれば、十分安全であると思われる。

2.2 脚柱の曲げおよびねじれ振動時の空気特性

$\beta=0^\circ, 30^\circ$ および 180° についてバネ支持試験を行なった。送風時の減衰 $\delta (= \delta_s + \delta_a, \delta_s$: 構造減衰, δ_a : 空力減衰)は、 $1/ND \div 5.5$ ($\beta=0^\circ, 30^\circ, 180^\circ$ のとき、受風幅 D をそれぞれ、 D_0, D_{30}, D_{60} とする。)で減少している。このときの曲げおよびねじれ振動の空力減衰 δ_a は、図7および図8に示すように、振幅によって変化している。(図中の実線は、離散的な風速で得られたデータの近似曲線を示している。以下、同様。) 曲げおよびねじれ振動の空力減衰は、いずれも $\beta=0^\circ, 30^\circ$ では負であるが、 $\beta=180^\circ$ では正である。

Toshiaki Makihata, Kohei Matsumoto, Toshio Ueda, Hiroyuki Sunada

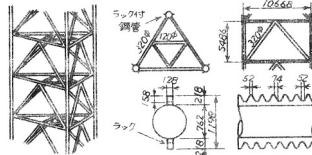


図2 脚柱の概略

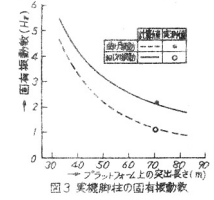


図3 実機脚柱の固有振動数

表1 バネ支持試験条件

諸量	実機	試験値
縮尺	1	ラック脚柱 1/10 1/20
重量	3,624kg	68,62kg 16,30kg
質量慣性モーメント	4,523 t·m ²	7.61 kg·cm ²
振動数比	2.0	1.99
構造曲げ減衰	不明	≈ 0.0035 ≈ 0.0035 ≈ 0.0040

図4 脚柱の風洞試験模型

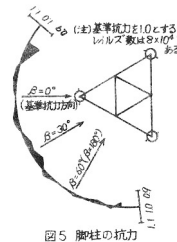


図5 脚柱の抗力

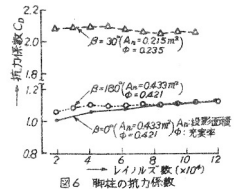


図6 脚柱の抗力係数

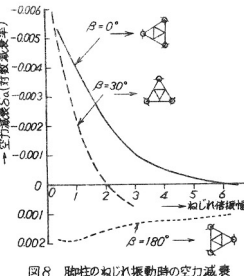


図8 脚柱のねじれ振動時の空力減衰

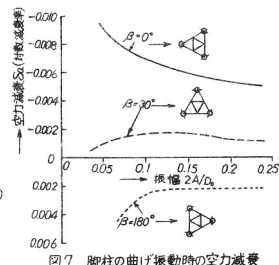


図7 脚柱の曲げ振動時の空力減衰

2.3. ラック付鋼管の静止時ストローハル数

$\alpha=0^\circ$ および $\alpha=30^\circ$ について、熱線風速計による後流測定から得られた渦の発生周波数を図9に示す。代表長として、各々の受風幅 D および D_{30} を用いて、ストローハル数 St を求めると、いずれも、 $St=0.184$ である。

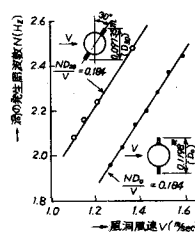


図9 ラック付鋼管のストローハル数

2.4. ラック付鋼管の曲げ振動時の空力特性

ラック付鋼管のみの曲げ振動時(振動方向: 風軸と直交方向)の空力特性をバネ支持試験により調査した。 $\alpha=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の各風向について得られた空力減衰と換算風速の一例($2A/D_0=0.0835$, A : 振幅)を図10に示す。共振換算風速域は、いずれも、 $1/St=1/0.184=5.4$ にほぼ一致している。これより、2.2項で示した脚柱の曲げ振動時の空力減衰は、ラック付鋼管に発生する渦励振力に起因していることがわかる。脚柱のねじれ振動についても同様と考えられる。ラック付鋼管の共振時の曲げ振動の空力減衰と振幅の関係を示すと、図11のようになる。図には、ラックを除去した円柱の結果を併記している。 $\alpha=0^\circ$ の空力減衰は、ラックを除去した円柱に比べて、相当大きく、ラックの存在が大きく影響していることがわかる。

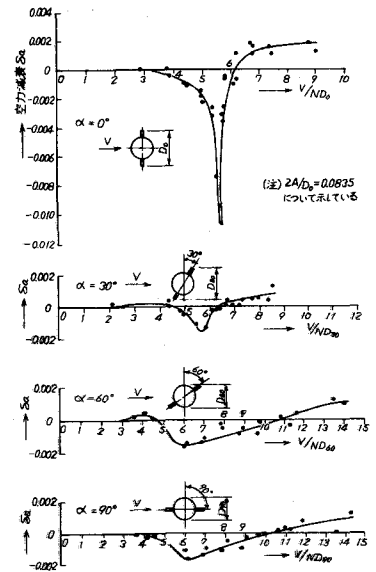


図10 ラック付鋼管の空力減衰と風速の関係

3. あとがき ラック付鋼管を主柱材とする三角形トラス構造の脚柱の風洞試験の結果、以下のようなことが明らかになった。

- (1) 脚柱の抗力は、風向角 β による変化は少なく、抗力係数は、 $\beta=0^\circ, 30^\circ$ および 180° で、それぞれ、1.10、2.05、および1.10である。
- (2) ラック付鋼管の静止時ストローハル数は0.184で、ラックの存在が渦励振力を大きくしている。とくに、 $\alpha=0^\circ$ で負の空力減衰が大きく、振幅の依存性がみられる。

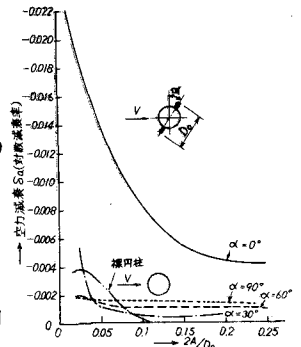


図11 ラック付鋼管の共振時の空力減衰

- (3) 脚柱は、ラック付鋼管に生じる渦励振力によって、換算風速5.5近傍で減衰が小さくなっており、風の作用方向 β によって、空力特性が大きく変化している。すなわち、 $\beta=0^\circ, 30^\circ$ では負の空力減衰であるが、 $\beta=180^\circ$ では正の空力減衰を示している。各ラック付鋼管の風に対する姿勢、相互の位置関係による位相差、および、各ラック付鋼管間のトラス構面が影響していると考えられる。
- (4) 脚柱の曲げおよびねじれ振動時の空力減衰 δ_a は、いずれも小さく、高々、 -0.01 程度であるが、振動の発現については、実機の構造減衰 δ_s との関係で論じる必要がある。また、風洞試験は、実機のレイノルズ数と異なる領域で実施されているため、その試験結果については、実機観測による検証が必要であろう。

【参考資料】

- (1) 森国夫、辻松雄：「鋼管トラス橋の風洞試験」、日本鋼管技報、No.57。
- (2) 亀井勇、卯月英夫：「鋼管を用いた鉄塔の風圧係数に関する実験的研究」、第6回風工学シンポジウム、1980。