

(昭和 56 年 11 月 日本造船学会秋季講演会において講演)

ジャッキアップタイプ・オイルリグの 実機振動実験

正員 服部 陽一* 正員 石浜 高明*
 正員 松本 互平** 正員 有馬 健次**
 正員 坂田 則彦*** 正員 安藤 彰****

Vibration Tests of Jack-Up Oil Rig

by Youichi Hattori, *Member* Takaaki Ishihama, *Member*
 Kouhei Matsumoto, *Member* Kenji Arima, *Member*
 Norihiko Sakata, *Member* Akira Andou, *Member*

Summary

Recently shipbuilders in Japan have designed and constructed many jack-up oil rigs, and accordingly quite a few investigation have been performed on the static and dynamic characteristics of jack-up oil rig.

The authors have been systematically studying not only the global vibration of oil rig, but also the local vibration of leg by theoretical and experimental approach.

In the previous paper, the authors mostly discussed the calculation technique and pointed out the spring effect of the sea bed is very important factor for calculation of natural vibration of oil rig.

This paper deals with the vibration tests of the actual jack-up oil rig constructed during two years. At these tests oil rigs were excited by "Wire cutting method" to measure the lower natural frequency and logarithmic decrement. At the same time, the vibration of leg to wind excitation was also measured to catch its natural frequency.

Main conclusions are as follows:

- (1) "Wire cutting method" is very useful for measuring natural frequency and logarithmic decrement of oil rig.
- (2) The measured lower natural frequencies are approximately proportional to $h^{-3/2}$ (h : platform height) and $W^{-1/2}$ (W : platform weight).
- (3) Logarithmic decrement shows from 0.2 to 0.3, which is larger than ship's.
- (4) The first and the second mode of the leg are governed by bending and torsional deformation, respectively. The former natural frequencies are approximately proportional to l^{-2} (l : leg length) and l^{-1} , respectively.

1 緒 言

ここ数年、石油掘削用の海洋構造物の受注が活況となり、特にジャッキアップタイプ・オイルリグの建造は急増している。これと共に、オイルリグについての設計技術に関する研究も盛んに行われるようになってきた。

ジャッキアップタイプ・オイルリグの振動に関する問

* 日立造船(株) 海洋営業本部

** 日立造船(株) 技術研究所

*** 日立造船(株) 有明工場

**** 日立造船(株) 大阪工場(堺)

題には、次のようなものが挙げられる。深海域で稼働できるジャッキアップタイプ・オイルリグの固有振動数の低下に伴う波浪による動的応答¹⁾、海洋地震に対する応答、氷海域での氷塊のレグ部への衝突および張りつめた氷海の氷の潮流による移動で発生する自励振動²⁾、リグの稼働域への曳航時あるいは浅海域で稼働する際のカルマン渦によるレグの限定振動³⁾⁴⁾、その他、大口径シンドリカル・レグの潮流によるカルマン渦振動⁵⁾やマッドポンプとプラットフォームとの共振などである。

これらの技術課題の解明には、いずれもオイルリグの構造物としての振動特性の把握が第一段階である。その

対象としては、オイルリグ全体構造物の振動と細長い柔構造物であるレグの局部振動に分けられる。

振動特性の解明には、その構造物の複雑さや地盤と流体による影響などのために、理論的研究に対応して、実機による確認実験が不可欠である。ことに、振動応答の解析には減衰定数が重要なパラメータになるが、これは実機実験による以外求めようがない。しかし、これまでの研究^{6)~9)}は理論解析法や模型実験などによるものが主であり、実機による実験に関する研究^{10),16)}はほとんど見当らないのが現状である。

著者らは前報¹¹⁾で、FEMによる固有振動解析法を確立し、リグの振動特性を明らかにすると共に海底地盤の重要性を再確認した。本論文では、実験的にリグの振動特性を明らかにするため、5機のオイルリグを対象にオイルリグの全体振動およびレグの局部振動について、固有振動数と減衰係数のデータ収集を行った。特に、その実験方法の一つであるワイヤー切断法による実機振動実験は大型海洋構造物としては初めての試みである。また、さらに本論ではこれらの実験結果と前報¹¹⁾の理論解析法による値との比較を行う。また、レグの振動に関して、その特徴を述べると共に、実験結果と理論計算値との比較を行う。

2 実験方法

2.1 実験状態

昭和54年から56年にかけて日立造船で建造されたジャッキアップタイプ・オイルリグのうち、代表的な4機について実機振動実験を実施した。その主要目を Table 1 に、また実験状態を Table 2 に示す。ジャッキアップタイプ・オイルリグの1例としてN号の概観を Fig.1 に示す。Table 2 の中の実験ケースN号のN2~N5とF号・L号の実験は、ジャッキアップ時の着底地盤が比較的固い島原沖の同地点で行っているのので、レグ突入量も1~1.5mと少ない。一方、同じN号でも実験ケースN1は工場岸壁で、O号の実験は工場岸壁より約20m離れた地点で行っており、軟弱地盤のため突入量も多くなっ

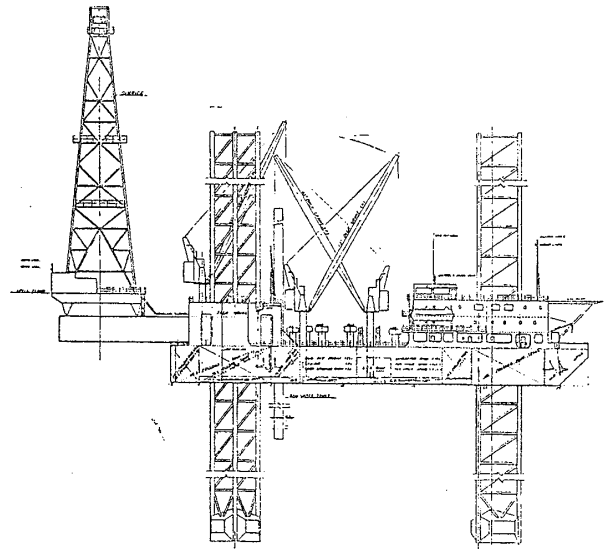


Fig.1 Profile of a jack-up oil rig

Table 1 Principal particulars

Item	Rig name	N	F	O	L
Platform	Weight	5,000 ^{tf}	4,600 ^{tf}	4,700 ^{tf}	6,900 ^{tf}
	Lx B x D	63.3x54.2x6.5 ^m	59.0x53.0x6.5 ^m	64.0x59.0x7.0 ^m	70.0x76.0x7.0 ^m
Leg length		127.4 ^m	78.2 ^m	124.8 ^m	104.8 ^m
Constructing Work		A	A	⊕	A

ている。

積載重量約5000tfの実験ケースN3を除いて、各実験状態の積載重量はプラットフォーム重量に対してほぼ1~2割の割合である。これに対して、プラットフォーム高さは各実験ケースでかなり変化している。実験ケースN4とN5は深海域状態、実験ケースN1とO1は特殊な浅海域状態、その他の実験ケースは通常操業状態に近い状態に相当している。

2.2 計測点

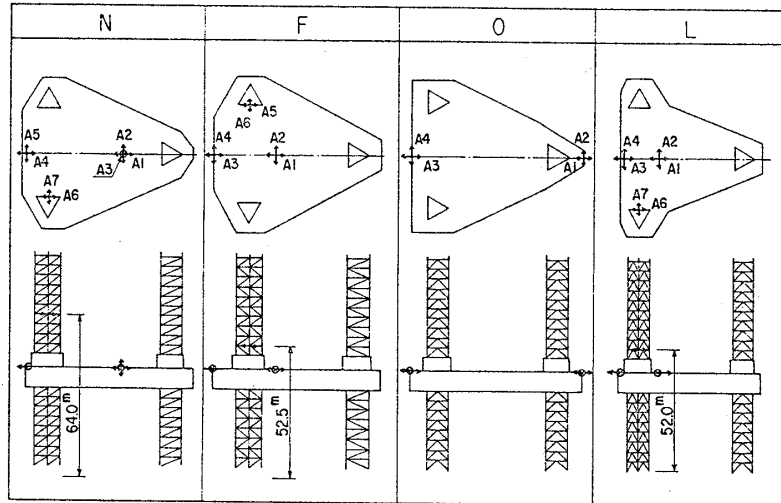
各リグの計測点を Table 3 に示す。同表中の矢印は加速度計の計測方向を表わしており、プラットフォーム上でオイルリグの全体振動を、またレグの Horizontal Brace 上でレグの局部振動を計測する。

N号の計測点は、Table 3 に示す通り、プラットフォ

Table 2 Test condition

Item	Rig	N					F	O	L	Remark
Test name		N1	N2	N3	N4	N5	F1	O1	L1	
Load (tf)		543	519	5600	916	560	360	984	802	
Air gap (m)		9.6	5.7	5.7	25.4	21.4	5.5	15.0	16.0	
Leg reserve (m)		44.0	22.3	22.3	2.3	5.3	17.6	76.9	30.8	
Sea depth (m)		13.8	42.8	42.8	45.2	47.5	40.0	15.0	40.0	
Leg penetration (m)		6.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.0	5.5	1.5	
Test place		A work Off Shimabara					O work Shimabara			
Exciting way		Wind	Exciter	Exciter	Exciter	Wire	Wire	Wire	Wire	
Date		S.54.8.26.	S.54.8.29.	S.54.8.31.	S.54.9.1.	S.54.9.1.	S.55.3.25.	S.55.9.26.	S.56.6.11.	

Table 3 Measuring points of oil rigs



ーム上5点(A1~A5),レグ上2点(A6, A7)である。A1~A3はプラットフォーム重心点の3方向の動き, A4とA5はプラットフォーム船尾部の水平2方向の動きを各々計測する。A6とA7はレグの振動応答の計測点である。実験ケースN1において台風に遭遇し,レグの振動が計測された。

F号とL号の計測点は,プラットフォーム重心点の上下動の計測を省略した以外, N号のそれと同じである。レグの計測点はリグ曳航中のレグの振動を計測するために配置された。

2.3 起振方法

(1) 風による起振

Leg reserve が十分長い時, Reserved leg は柔構造であるので, 通常の間風によっても常時微動している。レグの固有振動であるので, 数分間のデータをスペクトル解析することによりその固有振動数を得る。後述のN号では, 風速 12 m/s の強風によるレグの振動が計測された。F号とL号では, リグ曳航中の自然風によるレグの振動を計測した。これより, レグの固有振動数および減衰係数を Half-powerbandwidth method により求めることができる。

(2) 起振機

N号において, 船体振動実験と同様な 5tf 起振機による起振を試みた。起振機はプラットフォーム重心点付近に設置して水平起振を行った。不平衡重量型起振機のため, プラットフォームの全体振動は最低次固有振動数が低いため, 容量不足で十分な共振曲線は求めることができなかった。1例として, N4 の実験ケースに対する起振機実験結果を Fig. 2 に示す。プラットフォーム全体振動の固有振動数は 0.288 Hz であることが判るが, その加速度の値が小さいため, これよりリグの振動モードの形状を確認するのは困難であった。この程度のオイルリ

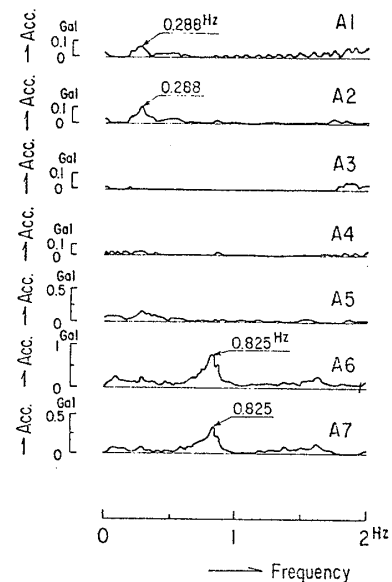


Fig. 2 Spectrum of measured acceleration (Test name N4)

グの実験には, 大型タンカーの船体振動実験に用いるかなり大容量の起振機が必要であることが判った。しかし, 柔構造である Reserved leg の振動には十分な起振力を与えることができた。

(3) ワイヤ切断法

ワイヤロープにより構造物を牽引し, 解放することによって自由減衰振動を発生させる, いわゆる「ワイヤ切断法」は煙突や塔などの陸上構造物に対してよく用いられる¹²⁾。この振動実験方法をジャッキアップ時のオイルリグに対して初めて採用することにした。

実験は Fig. 3 に示すように, プラットフォームに結合したワイヤを船長方向にタグボートで牽引し, ワイヤを切り離してリグを振動させる。最初, ワイヤロープの引張力を調べるため, ロードセルにより張力を検出し, 荷

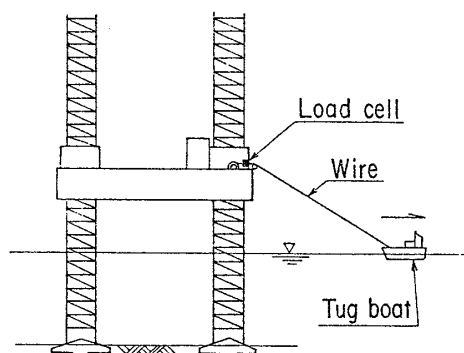


Fig. 3 Cutting wire method

重を漸増させ数回の実験を行った。その結果、この規模のオイルリグで約 20tf の初期張力を与えた後、切断すればオイルリグ全体に十分な自由減衰振動を発生させ得ることが判った。この方法を用いると、比較的簡単な作業と短時間で、リグ全体振動の低次固有振動数と減衰係数の値が計測できる。

(4) その他の起振

N号の実機計測においては、この他、Cantilever の Skidding test 時における衝撃による振動応答、プラットフォームを昇降させる Jack-up 時の昇降用ギア・ピニオンの噛み合いによる衝撃振動などを計測し、スペクトル解析することによっても固有振動数が求まることを確認した。

今回の実験では、悪天候による海象には遭遇しなかったが、荒い波による振動応答の解析より、オイルリグの振動特性を求められることが報告されている¹⁰⁾。

3 実験結果

3.1 オイルリグの実測固有振動数

リグの全体振動の固有振動数は、プラットフォーム高さ、プラットフォーム重量、海底地盤での着地支持条件、水深、レグの剛性および質量などのパラメータに支配される¹¹⁾。本実験の供試リグはほぼ同規模のもので、実験ケースは上述のパラメータのうちプラットフォーム高さの影響が最も大きいものと思われる。したがって、Table 2 中の全実験ケースについてリグの実測固有振動数を縦軸に、プラットフォーム高さ h (= Air gap + Sea depth + Leg penetration) を横軸に図示すると、Fig. 4 のようになる。

この図は、稼働水深 300ft 程度のほぼ同規模であるオイルリグの最低次固有振動数の目安を示すために作成したものである。リグの構造の差およびプラットフォーム積載重量の差などがあるにもかかわらず、N号リグを用いた実験ケース N1~N5 の実測振動数と共に、F1, O1, L1 の振動数が、プラットフォームが高くなるにつれて、下がる傾向を示している。

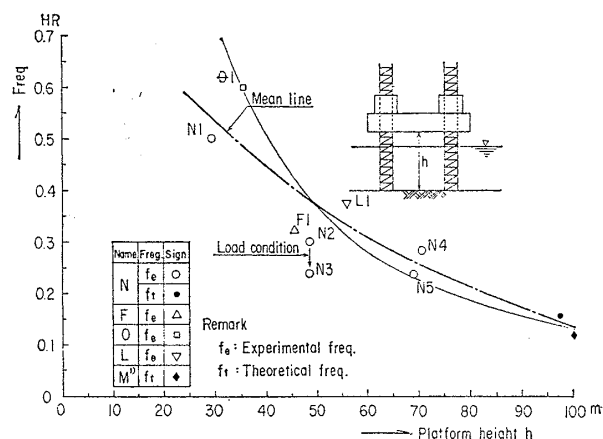


Fig. 4 Relation between natural freq. and platform height

Fig. 4 中の 1 点鎖線は実測振動数の平均値を示す曲線である。オイルリグの全体振動数の近似式によれば、 h の増加に対して振動数は $h^{-3/2}$ に比例する。この曲線が Fig. 4 中の実線で示したものである。深海域の稼働に対し、同図中の ● 印と ◆ 印は、水深約 100m の場合について求めた理論計算値を示している。この程度のジャッキアップタイプ・オイルリグにおいても、限界水深稼働時には、その固有振動数が 0.1Hz 近くまで下がり、波浪の卓越周期に接近して大きな動的応答になる可能性があることが判る。この近似曲線により、リグの規模があまり変わらない場合には、任意水深での固有振動数の推定が可能である。

次に、振動数に大きい影響を与えるのはプラットフォーム重量である。近似計算式では、固有振動数は一般に重量 W (= プラットフォーム重量 + 積載重量 + レグの有効振動重量 + 水深部レグ付加水重量) に関して、 $W^{-1/2}$ に比例する。N号リグにおいて、積載重量の異なる実験ケース N2 と N3 について、N2 の実測振動数 $f_e = 0.313$ Hz より N3 の振動数を求めると、 $f_t = 0.230$ Hz が得られ、実測振動数 $f_e = 0.238$ Hz と良く一致することが判る。ただし、これはプラットフォーム高さと同様に着地条件が同一の場合に相当している。

海底地盤の影響だけを検討するための実験ケースは行っていないが、他の実験結果および理論解析結果などから類推して、これも固有振動数に大きな影響を及ぼすパラメータであると考えられる¹¹⁾。

3.2 オイルリグの減衰係数

波浪による動的応答などの解析には、実際のオイルリグの減衰係数のデータが不可欠である。しかし、これまで実験による減衰係数についての文献は数少ない¹³⁾¹⁴⁾。そこで、前述したようにオイルリグに自由減衰振動を発生させ、減衰係数が比較的簡単に計測できるワ

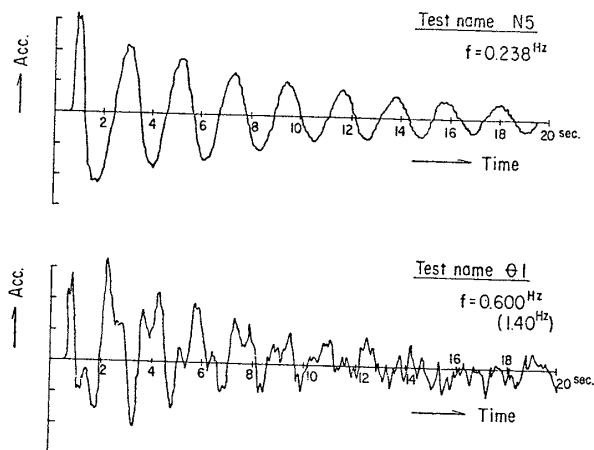


Fig. 5 Time history of measured acceleration at A1

イヤ切断法を実施することにした。

ワイヤ切断直後におけるワイヤ引張方向の前後加速度波形の計測例を Fig. 5 に示す。実験ケース N5 は振動数 0.238 Hz の単独成分からなる美しい自由減衰振動波形が得られたが、実験ケース O1 は振動数 0.6 Hz の振動成分に 1.40 Hz の振動成分が重畳した波形となっている。この原因は実験ケース O1 の Leg reserve が長いこと、海底での地盤が悪く Leg penetration が大きいこと、岸壁での実験のためタグボートのワイヤ引張方向が振動主軸に対し少し斜めになったため、2 個の固有振動が現われたと推定される。美しい波形を得るには、牽引方向についても十分考慮する必要があることが判った。

各実験ケースで得た加速度波形より求めた減衰係数の値をまとめて Table 4 に示す。対数減衰率の値は 0.2~0.3 となっている。これは船体振動の対数減衰率に比較すると、5~10 倍大きい値となっている。これはジャッキアップタイプ・オイルリグの場合、レグから海底地盤への逸散するエネルギーが大きいためと考えられる。この減衰率は地盤への同様な逸散エネルギーが考えられる煙突、塔、橋梁などに比べても大きい値となっている。この原因として、着地条件の軟弱さに加えて海中への逸散エネルギーが重畳されるためと考えられる。DET NORSKE VERITAS の Rule¹⁵⁾ によれば、海洋構造物のダンピング比ξについて、空中、ξ=0.005、水中ξ=0.02 を与えている。対数減衰率になおすと、δ=2πξ の関係より空中 δ=0.0314、水中 δ=0.126 となる。また、

Table 4 Measured logarithmic decrement of actual oil rig

Item	Rig name	N	F	O	L
Test Name		N5	F1	O1	L1
Logarithmic decre.		0.214	0.333	0.242	0.288
Natural frequency		0.238	0.325	0.600	0.375

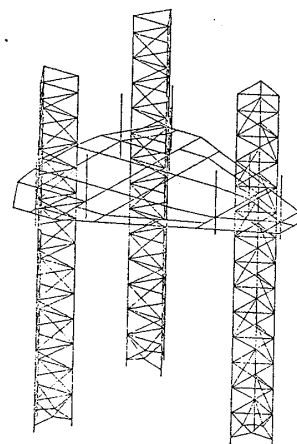


Fig. 6 Idealized model of oil rig

ジャケットの実機実験結果より ξ=0.01~0.03 を与えたデータもある¹⁴⁾。本実験より求められた対数減衰率は、この値と比べてやや大きい値を示しているが、減衰係数のばらつきを考慮すると十分妥当なものと思われる。また、レグの減衰係数は δ=0.054 と求められており、通常の陸上構造物について得られている値および前述の NV の推奨値とほぼ同じである。

3.3 オイルリグの固有振動数の理論値と実験値の比較

前報¹¹⁾において、プラットフォームを板要素、レグを梁要素に置換したモデルを用いて、FEM による理論解析法を検討した。本論では、これとは別に、設計時の静的強度計算に採用している 3 次元骨組モデルによる計算法を追加した。このモデルは、Fig. 6 に示したように、プラットフォームを等価梁からなる平面骨組構造、レグを梁要素からなる 3 次元骨組構造にモデル化するものである。

全体振動の固有振動数の実験値と計算値の比較を Table 5 に示す。実験ケース F1 と O1 における理論振動数と実測振動数との対応は実験ケース N2 と N5 ほどには認められない。

実験ケース F1 の場合、レグ下端部が弾性支持と単純支持で求めた理論振動数の間に実測振動数が位置している。Fig. 7 に F1 の理論振動モードを示すが、1 次振動は左右振動、2 次振動は前後振動、3 次振動は重心点回

Table 5 Results of natural vibration analysis with FEM

Item Test name	Calculated natural freq.			Calculation Supporting cond.	model Platform (Rigid)	Mode shape	Measured natural freq.
	1st	2nd	3rd				
N2	0.316	0.319	0.339	Elastically supported	Plate element (Rigid)	Fig. 8 in ref (1)	0.313
N5	0.227	0.231	0.249				0.238
F1	0.249	0.262	0.315	Simply supported	Beam element	Fig. 7	0.325
	0.434	0.474	0.530	Elastically supported			0.600 (1.400)
O1	0.545	0.864	0.909	Simply supported	(Equivalent rigidity)	Fig. 8	0.375
L1							0.375

Unit Hz

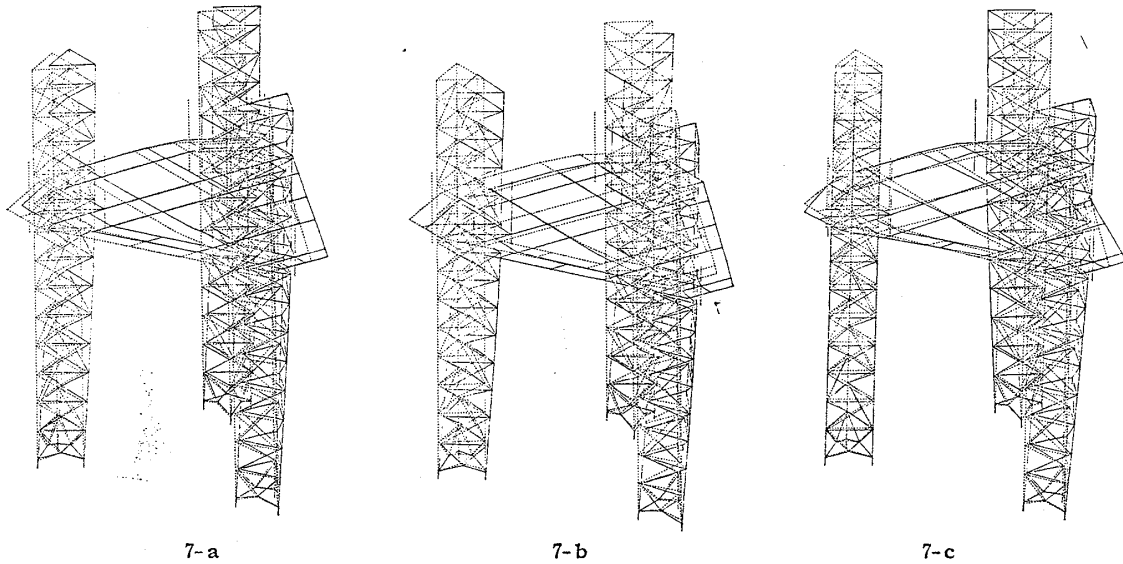


Fig.7 Mode shape of oil rig

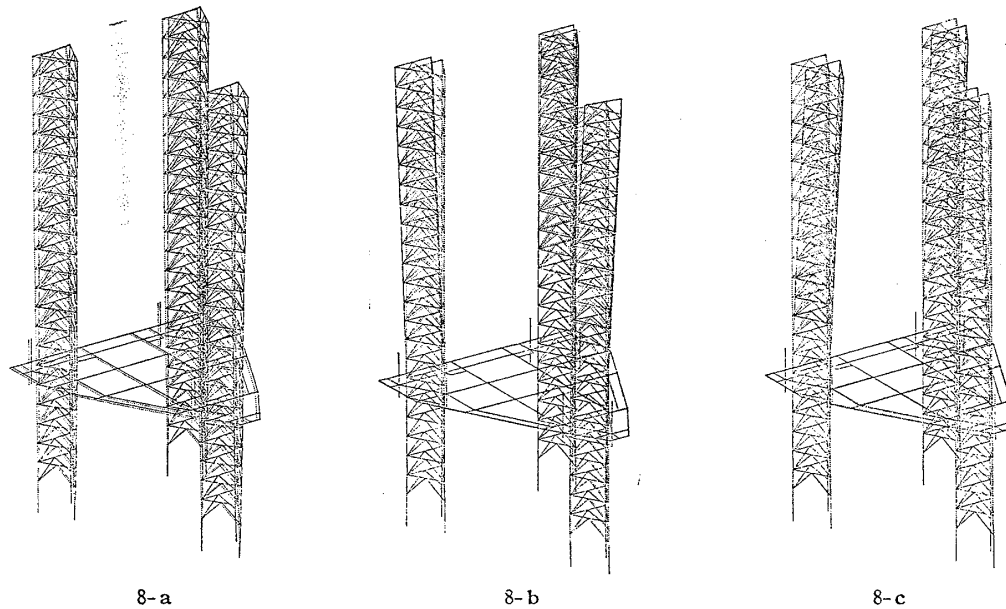


Fig.8 Mode shape of oil rig

りの平面内回転振動であり、前報で求めた振動モードの発現順序と同じである。実験ケース F1の各計測点の加速度間の位相と大きさから判断すれば、この振動モードはワイヤによる起振方向が船長方向の動きのある3次振動の回転振動に近いように考えられる。

実験ケース O1の理論解析はレグ下端部単純支持として行い、その理論振動モードを Fig.8 に示す。この実験ケースは岸壁に係留中に行われたもので、Leg reserve が長く、レグの振幅が大きいのに比べプラットフォームの振幅は小さい。また、振動モードの発現順序は最初にプラットフォームの左右振動が現われ、次の2個はレグの振動が大きく、プラットフォームは小さな上下振動をするモードが現われる。このような傾向は、前報では認められなかったものであるが、このケースは Leg reserve が極端に長い特殊な状態に相当している。後述するよう

に、レグの局部振動としての曲げ振動数は 80 m 程で 1 Hz 以下になり、解析より求められた2次、3次の固有振動数はレグ主体の振動に起因するものと考えられる。最低次の 0.6 Hz は全体振動としての左右振動とするのが妥当と思われる。

4 レグの固有振動数

オイルリグ完成後、現地への曳航中あるいは Leg reserve が長くなる浅海域などの操業中に、レグの固有振動数が低くなるので、自然風によりラックから発生するカルマン渦振動数と共振し大きな振り振動が発生することがある³⁾。これらのことから、本節ではレグ自身の振動特性の検討を行う。

4.1 レグの構造

レグの構造様式は Fig.9 に示す Double diagonal 型

(A) Chord Member (B) Horizontal Brace (C) Diagonal Brace (D) Internal Brace

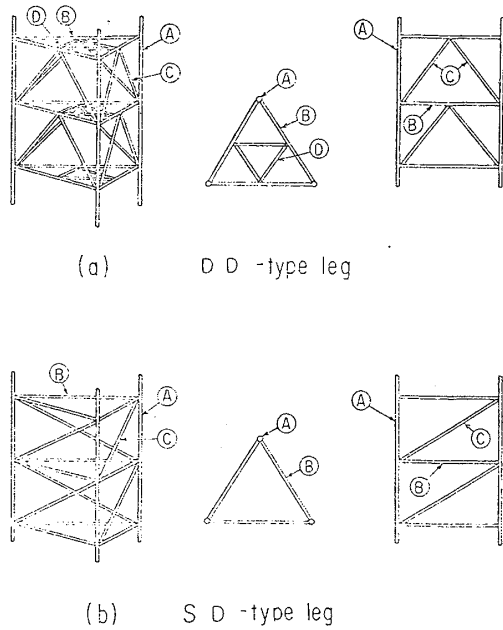


Fig. 9 Leg construction of leg

(DD型と呼ぶ)と Single diagonal型 (SD型と呼ぶ)の2種類が主であり、特徴をあげると次の通りになる。

(1) Double diagonal型

この構造型式は3本の Chord member と呼ばれる柱が正三角形の頂点に配置され、高さ方向に Horizontal brace で等間隔に連結されている。また、Diagonal brace によりこの Horizontal brace とトラス状に組上げられている。さらに、Horizontal brace はその中点を結ぶ Internal brace が設置されている。

(2) Single diagonal型

この構造型式は Chord member と Horizontal brace の配置が DD型と全く同じであるが、Diagonal brace が非対称に各1本ずつ斜めに設けられているだけで、Internal brace は設置されていない。

4.2 レグの実測固有振動数

各種レグの実測固有振動数のまとめを Table 6 に示す。N号、L号共に2種類の Leg reserve の振動数が得られており、レグ長さによる振動数の変化が実験的に求められた。これらの組立て型レグについては、レグの曲げ振動が一番低く1次振動に相当し、レグの振り振動が2次振動である。したがって、1次振動は Leg reserve の長さの2乗に、2次振動は長さの1乗にはほぼ逆比例する。Table 6 には、曲げ振動および振り振動を記号 B、Tで各々区別した。実機のレグでは3本のコードに生じるカルマン渦の励起力との関係から、曲げ振動よりむしろ振動数の高い振り振動の方が発生しやすい⁴⁾。

4.3 理論振動解析

Table 6 の R号と N号のレグについて、梁要素の3次

Table 6 Natural frequency of a leg

Rig name	Leg type	Exciting way	Condition	Natural frequency (Hz)	
				Experimental	Theoretical
R		Wind		1.1 (B)	1.15
				2.2 (T)	2.10
N		Wind (Typhoon)		1.94(B)	2.14
		Exciter (5tf)		2.61(T)	2.40
L		Wind (Towing)		1.16(B)	1.00
		Exciter (5tf)		1.51(T)	1.50
L		Wind (Towing)		1.35(B)	1.98(T)
		Wind (Towing)		0.37(B)	0.55(T)

Remark (B) : 1st Mode (bending deflection)

(T) : 2nd Mode (Twisting deflection)

元モデルに置換し FEM による詳細解析を実施した。本解析で用いたレグ下端部の境界条件は各 Chord member 下端点を単純支持の条件とした。

理論固有振動数は Table 6 中に、理論振動モードを Fig. 10 と Fig. 11 に示す。理論振動数と実測振動数とは良好な一致を示し、理論振動モードの形状から1次振動は曲げ変形、2次振動は振り変形であることが判る。曲げ変形主体の振動モードが同じ振動数で直角な2方向に現われる理由は、レグ断面形状が正三角形であるのでその慣性主軸は6本存在し、これらの軸に対する等価断面2次モーメントがほぼ等しいためである。

これらのレグについて、レグ長さが固有振動数におよぼす影響を計算したのが Fig. 12 である。レグ長さが長くなるに伴い、1次振動の振動数はレグ長さの2乗に、2次振動のそれはレグ長さに各々ほぼ反比例して低くな

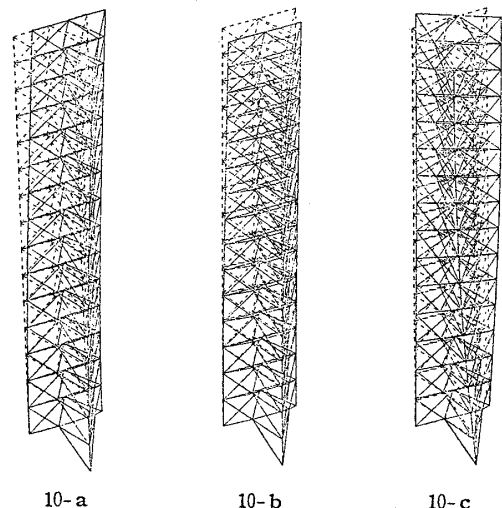


Fig. 10 Mode shape of DD type leg

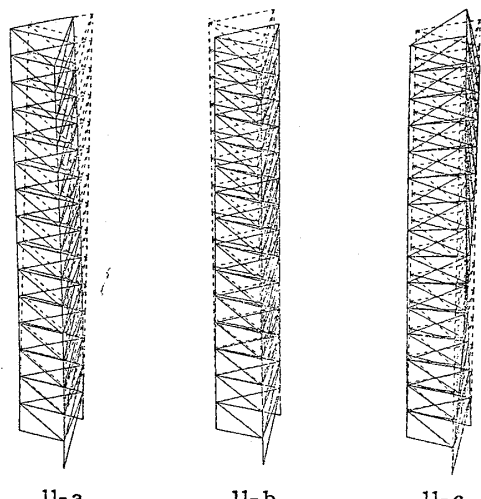


Fig. 11 Mode shape of SD type leg

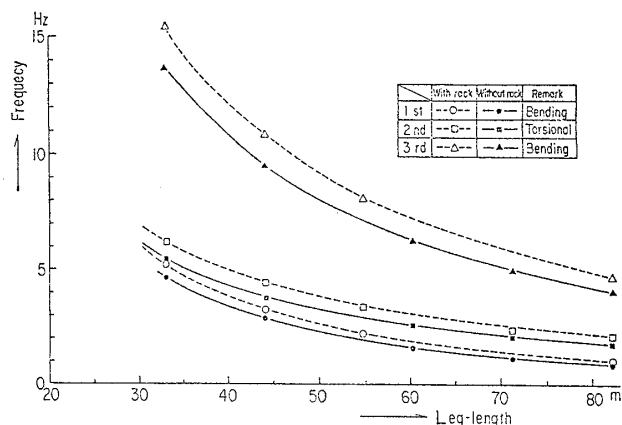


Fig. 12-a Theoretical natural frequency of DD type leg

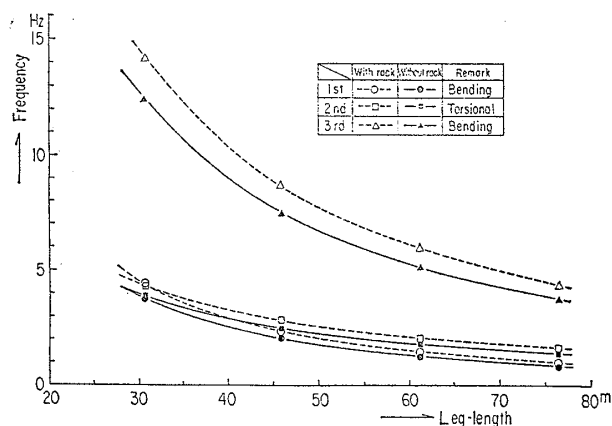


Fig. 12-b Theoretical natural frequency of SD type leg

ることが判る。SD型の構造はDD型のものに比べ単純であるために、この傾向は顕著である。

5 結 論

最近、建造されたジャッキアップタイプ・オイルリグ4機について、系統的な実機振動実験を実施し、オイルリグの全体振動およびレグの局部振動の振動特性を実験

的に求めた。海洋構造物の実機実験は前例が少なく、実験方法について検討すると共に、理論値との比較を行った。

主な結論をまとめると次のとおりである。

(1) ジャッキアップしたオイルリグの振動実験方法を検討した。陸上構造物に用いられていたことのあるワイヤ切断法は、タグポートなどの牽引により、海洋構造物にも適用できることが判った。これにより、比較的簡単にオイルリグの低次固有振動数および減衰係数が計測できることが判った。

(2) 実機オイルリグの低次固有振動数が実測された。これらの振動数はプラットフォーム高さのほぼ3/2乗に、またプラットフォーム重量の1/2乗に各々反比例することが判った。

(3) 波浪による動的応答の解析に必要なオイルリグの対数減衰率は船舶や陸上構造物のものに比べて大きく、ほぼ0.2~0.3程度の値となる。

(4) レグの局部構造としての固有振動数が実測された。1次固有振動は曲げ変形主体、2次固有振動は振り変形主体であり、それぞれレグ長さの2乗および1乗に反比例する。FEMによる計算値と実測値は良好な一致を示すことが判った。

最後に、本研究の実機実験を実施するに当たり、御協力戴いた日立造船(株)有明工場、大阪工場および技術研究所の関係者各位に深く感謝する次第です。

参 考 文 献

- 1) 南 真和, 今井兼久, 遠山泰美, 安部真一: 海洋構造物の動的応答解析法, 三井造船技報, 第101号(昭和53年1月).
- 2) 項 忠权, 李家桎, 張 国衝: 浅水桩基平台的自振特性分析, 石油学报, Vol. 1, No. 2 (April 1980).
- 3) 松本互平: 鉆井平台桩脚防振措施, 日中海洋技術交流資料(1979, 6).
- 4) 卷幡敏秋, 松本互平, 植田利夫, 砂田博幸: 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, 昭和56年度土木学会関西支部年次学術発表会(昭和56年).
- 5) Khanna, J., Wood, J.S.: Tripod Structures in Fast Currents, The Dock & Harbour Authority (March 1979).
- 6) 原田 敬, 金広和彦, 遠山泰美: 海洋構造物の規則波に対する動的応答, 西部造船会会報, 第53号(昭和51年11月).
- 7) 清水茂俊, 佐藤正視, 河野俊一: 底置型海洋構造物の動的応力解析, 日本造船学会論文集, 第141号(昭和52年5月).
- 8) 清水茂俊, 佐藤正視: 部分接水振動をする長脚柱の減衰を考慮した応答解析, 西部造船会会報, 第

- 59号(昭和55年3月).
- 9) 松井政博, 杉浦正憲, 黒井昌明: ジャッキアップリグの波浪中着底時の海底地盤の影響, 第5回海洋工学シンポジウムテキスト(昭和56年1月).
 - 10) 南 真和, 今井兼久, 安部真一: ジャッキアップリグの動的応答解析法に関する研究, 第3回海洋工学シンポジウムテキスト(昭和54年1月).
 - 11) 服部陽一, 石浜高明, 松本互平, 有馬健次, 坂田則彦: ジャッキアップタイプ・オイルリグの振動特性, 日本造船学会論文集, 第149号(昭和56年5月).
 - 12) 加藤雅史, 島田静雄: 橋梁の現地振動実験法, 土木学会誌, Vol.66, No.2(1981年2月).
 - 13) Cambell, R. B., Vandiver, J. K.: The Estimation of Natural Frequencies and Damping Ratios of Offshore Structures, Offshore Technology Conference, OTC 3861, pp.53~62, Houston (May 1980).
 - 14) William, G. E., Terry, D. S.: Damping Measurements on an Offshore Platform, Offshore Technology Conference, OTC 3863, pp.77~90, Houston (May 1980).
 - 15) DET NORSKE VERITAS: Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structures, 1977, Appendix B, LOADS.
 - 16) Rule, A., Berdahl, R. H.: Forced Vibration Tests of a Deep Water Platform, Offshore Technology Conference, OTC 3514, Houston (May 1979).