ジャッキアップリグの脚のパンチスルーおよび地切りについて*

水口 保彦**・多賀谷 宏三***

(昭和63年7月4日受付, 63年7月27日受理)

Punch-through and Suction of Jack-up Rig Footing

By

Yasuhiko MIZUGUCHI and Kozo TAGAYA

Abstract: The jack-up rig is set on the seabed and supported on the seabed ground. There are many problems arising from the seabed ground (such as penetration and punch-through of footing, liquefaction of supporting sand foundation due to earthquake and wave, scouring due to wave and current, suction force on bottom being freed, etc.), which are extremely important in connection with the basic planning and the operation of a jack-up rig and might have been the major cause of its accidents.

Of these problems, in this paper, an analysis method of punch-through of footing and a method for reducing suction force are discussed.

The analysis method of punch-through of footing is first described. It was used in analyzing an actual example in certain waters based on the local soil and load conditions and the results were compared with the actual values. The main conclusions reached are: (1) an analysis method of punch-through has been proposed, and (2) an actual example of punch-through was analyzed by this method based on the actual soil and load conditions, resulting in good agreement with the actual values.

Next, a natural inflow suction breaker was used as a means for reducing suction force. The footing is installed with connection pipes that are allowed to naturally run sea water existing over the footing top therethrough under the suction produced on the bottom being freed, thereby reducing such suction force. A reconsolidated sea-silt ground was prepared in a soil tank. An about 1/20-scaled footing model was placed thereon to penetrate into it for a bottom freeing test. In this test, the suction force, the amount of pullout of footing, the amount of water flow through the suction breaker and the suction on the footing bottom were measured as changing the location of the suction breaker nozzles, water depth and footing pullout speed. The main conclusions obtained in this test are: (1) it is desirable to arrange the suction breaker nozzles evenly around the area close to the footing edge, (2) the relation between the efficiency of the suction breaker and the inflow rate of water into the void under the footing is almost proportional, and (3) the efficiency of the suction breaker has an optimum pullout speed.

1. はじめに

ジャッキアップリグは海底に着底し、海底地盤により

* 昭和63年6月2日 第53回石油技術協会総会、作井部門シンポジウム「ジャッキアップリグの着底に関する諸問題」講演

** 日本海洋掘削(株)企画開発部

*** 三菱重工(株)広島研究所鉄構・土木研究室

支持されるため、海底地盤に起因する問題が多く発生する。その代表的な問題として次の項目が挙げられる。

(1) 脚貫入時の挙動

脚のめり込み

パンチスルー

(2) ジャッキアップ状態での安定性

波力・地震力・風に対する地盤の支持条件

地震・波浪による砂地盤の液状化

波・流れによる洗掘

(3) 地切時の挙動

地切時安定性

地切力

これらの問題の大部分は土質力学の分野に属し、一部分は水理学・流体力学の分野に属すると言える。

脚貫入時の挙動（脚のめり込み、パンチスルー）は基本的には地盤の支持力の問題であるが、一般の土木・建築の分野の支持力は、“極限状態に至るまでは地盤の大変形は無い”“安全率を考慮して求めることができる”のに対しジャッキアップリグの場合は“地盤は常に大変形を伴う”“唯一の極限支持力を求めなければならない”と言う工学的に過酷な条件で推定が精度良く行われなければならない。特に脚パンチスルー（海底地盤中にやや固い層があり、その部分での極限支持力が脚に作用する荷重にほぼ等しいとき一時的に支持されるが、ある時急激にめり込む現象）は大変形を伴う多層地盤の極限支持力を精度良く求める必要のある問題である。

ジャッキアップ状態での海底地盤に起因するリグの安定性は、外力（波力・地震力・風など）に対するリグの応答解析において必要な地盤の支持条件および外的要因による支持条件の変化により支配される。前者は地盤を非線型なバネにおきかえる方法として API RP 2A¹⁾などに紹介されている。後者は砂地盤の液状化による強度の低下、洗掘による支持面積の低下などにより地盤の支持力が不足する現象で、地震による砂地盤の液状化については簡易判定法（SEED-IDRISSの方法²⁾、岩崎・竜岡の方法³⁾など）、応答解析法（SCHNABEL-LYSME R-SEEDの方法⁴⁾、STREETER-WYLIE-RICHARTの方法⁵⁾など）などのかかなり高度な解析法が開発され実用化されており、現在も土質力学のメインテーマの一つとして研究が進められている。波による液状化については研究の歴史が浅く石原・山崎の研究⁶⁾が報告されている程度である。海洋構造物を対象とした洗掘の研究は、その理論的アプローチが難しいため水槽実験による実験的アプローチが試みられているが^{7, 8)}未だ一般的な洗掘の推定法は確立されていない。

地切力については、模型実験・実機計測の結果から得られた実験式が報告されているが⁷⁾適用に限界がある。また、地切時の安定性については操船者の勘に頼っているのが実情である。

以上のように、ジャッキアップリグと海底地盤の相互作用については未解明の問題が多く、さらにある程度の研究は成されていても体系づけられていないものもある。これらを体系づけマニュアルとしてまとめるとともに未

解明の問題を整理しておくことがジャッキアップリグの安全かつ経済的な操船のために必要であろう。

ここでは、これらの問題のうち、①脚パンチスルーの解析法を述べ、実際に起こったパンチスルーについて解析を行い考察を加え、②地切力を低減させるための自然流入式サクシジョンブレーカーについてその基礎的な実験の結果を報告する。

2. 某海域におけるジャッキアップリグの脚パンチスルーの解析

2.1 パンチスルーの解析法

ジャッキアップリグの脚パンチスルーの一般的な解析法については文献⁹⁾に詳細に述べられている。この文献⁹⁾に述べられているようにパンチスルーは土質力学的にはパンチシア破壊としぼり出し破壊によると言える。これらの破壊の解析法としては、HANNA-MEYERHOFの方法¹⁰⁾、VESIĆの方法¹¹⁾、MEYERHOF-CHAPLINの方法¹²⁾、ŠUKLJEの方法¹³⁾などがあげられるが、ここでは後述する事例についてVESIĆの多層地盤の支持力解析法¹¹⁾とŠUKLJEのしぼり出し破壊の解析法¹³⁾を適用する。それぞれの方法については出典を参照されたい。脚貫入によるフーチング上の空洞については荷重を差引いて取り扱うこととする（すなわち、純支持力で検討する）。

2.2 地盤条件

地盤条件を Table 1 に示した。この表には解析結果も示してある。

土質条件は現地におけるリグによるボーリング結果に基づいている。貫入試験としては一般の標準貫入試験は実施されていなかったが、ラム重量、ラム落下高、サンプラーサイズおよび打撃回数計測貫入深さからエネルギー換算を行い標準貫入試験の N 値に修正して示した。

砂質土のセン断抵抗角は、土質柱状図の説明文、 N 値などから判断し、粘土の粘着力は現地におけるベーンテストによっている。土の有効単位体積重量は、土質柱状図の説明文、 N 値などから推定した。

土層としては、上から細砂（A 層）、粘土質シルト（B-1～B-4 層）、シルト質粘土（C 層）、粘土質シルト（D 層）、シルト質粘土（E 層）、シルト質細砂となっており、この最下層は強度の十分な支持層と考えられる。この土層において、B-2 層（-3.7m～-5.0m）が中位の相対密度で、他の最下層を除く砂質土（A 層、B-1 層、B-3 層、B-4 層、D 層）は N 値が 5 以下の“緩い”または“大変緩い”相対密度となっている。このため、B-2 層においてパンチスルーが起こる可能性がある。C 層は非常に軟らかいシルト質粘土であるが、層厚が薄く直

Table 1 Soil condition and result of calculation

Table 1 Soil condition and result of calculation

Diameter of footing : 10 m
Area of footing : 74.51 m² (partially notched)

Depth (m)	Name of soil	N - value					Description	Angle of shear resistance ϕ (°)	Cohesion C (kPa)	Bearing capacity factor N _q	Effective unit weight of soil γ (kN/m ³)	Ultimate bearing capacity (kN)				Notes	
		0	10	20	30	40						10000	20000	30000	40000		
5.0	Fine sand	A					very loose	25	—	8	6.86	No.1 Footing (26292kN)				Punch-through	
		B-1					loose	28	—	12	6.86	No.3 Footing (37913kN)					
		B-2					medium	35	—	20	7.85	No.2 Footing (38550kN)					
	Clayey silt	B-3					loose	28	—	12	6.86						
10.0		B-4					loose	28	—	12	7.35					Squeeze failure or circular arc failure.	
	Silty clay	C					—	—	21.6	—	7.35						
	Clayey silt	D					loose	28	—	12	7.35						
15.0																Squeeze failure or circular arc failure.	
	Silty clay	E					—	—	25.5	—	7.35						
20.0																	
	Silty fine sand																

No.1 Footing (26292kN)

No.3 Footing (37913kN)

No.2 Footing (38550kN)

Calculated

Measured

径10m程度のフーチングからの大きな圧力により短時間のうちにしぼり出されるためジャッキアップリグのパンチスルーのような大変形の支持力を議論する場合にはこの層は無視しても良いと考えられる。E層は粘着力が小さくかつ層厚が厚い(7.1m)ためこの層のしぼり出し破壊またはパンチシアー破壊がパンチスルーを決定する要因となる。

2.3 パンチスルーの検討

Table 1に示された地盤に直径10m程度のフーチングが着底しB-2層に達すると、B-2層～D層がパンチシアー破壊を起こしE層がしぼり出し破壊または通常のセン断破壊を起す破壊の型式が考えられ、他の破壊の型式としてはB-2層～D層の破壊が起こらずこの間で荷重が分散しE層がしぼり出し破壊または通常のセン断破壊を起す型式が考えられる。しかし、E層の破壊については、下に強度の十分な支持層があるため、土の破壊線の幾何学的な形状から通常のセン断破壊を起す可能性は無い。さらに、実際の計算によるとB-2層～D層の間は荷重が分散する型式よりもパンチシアー破壊の

方が小さい極限支持力を与え実情に合うようである。以上より、この地盤に直径10m程度のフーチングを着底させる場合にはB-2層～D層のパンチシアー破壊の検討(VESICの方法¹¹⁾)およびE層のしぼり出し破壊の検討(ŠUKLJEの方法¹³⁾)を行うものとする。

2.4 ジャッキアップリグの形状および荷重条件

三脚型のジャッキアップリグが上記の海底地盤に着底させられた。そのフーチングはそろばん玉の形状をした円盤状のもので一部切欠きがあり、直径は10m、底面の投影面積は74.51m²である。プレロード時に、No. 1, No. 2, No. 3の各フーチングにそれぞれ26,292kN, 38,550kN, 37,913kNの最大荷重が作用させられた。

2.5 解析結果および考察

Table 1に解析結果(実線)および実測値(破線)を示した。解析のピークの値は39,786kNであるが各フーチングの安全率を求めてみるとNo. 1が1.51, No. 2が1.03, No. 3が1.05となる。すなわちNo. 1フーチングは十分に安全にB-2層で支持されるが、No. 2およびNo. 3のフーチングは安全率が1.0をやや上回る

だけで、特に No. 2 フーチングはほとんど余裕がない。以上の解析結果および実測値より次のことが言える。

- (1) B-2 層において支持力のピークが現れ、この層でパンチスルーが起こる可能性がある。パンチスルーが起こる荷重は約 40,000kN で、No. 2 フーチングで起きている。
- (2) C 層および E 層の破壊はしぼり出し破壊と考えられるが、これらの層を通る円弧すべり破壊については別途検討する必要がある。
- (3) パンチスルー後は E 層（シルト質粘土）のしぼり出し破壊が支配的であると考えられるので、E 層の粘性流体的性質および B 層～E 層の圧縮性にもよるが、ズルズルと貫入が進み B-2 層から E 層の間で止まると考えられる。特にこの場合は、B-2 層～E 層が軟弱であるので、強度の大きい最下層の影響が強くあらわれる E 層の下部で止まっている。

2.6 パンチスルー解析法に関する結論

ここではパンチスルーの解析法を述べ、ジャッキアップリグのパンチスルーの実例について解析を試みた。解析法の精度、土質定数の決定法など難しい問題はあが、以上の議論より次の結論が得られた。

- (1) パンチスルーの解析法として VESIĆ の方法¹¹⁾が、粘性土のしぼり出し破壊の解析法として ŠUKLJE の方法¹³⁾が適用可能である。
- (2) ここでとりあげた海底地盤では、直径 10m のフーチングで約 40,000kN の荷重が作用すると海底面下 3～4m でパンチスルーを起こす可能性が大きい。パンチスルー後は下部粘性土の存在のためフーチングの貫入はズルズルと続き、強度の大きい最下層の砂層の近くまで貫入すると考えられる。

さらに、今後の課題として次の事項があげられる。

- (1) 円弧すべり破壊も含んだ汎用的なパンチスルーの検討法（種々の型式の多層地盤の支持力検討法）の整備およびその適用性の検討
- (2) 上記(1)に対応した土質調査法・土質定数決定法の整備

3. 自然流入式サクシヨンプレーカに関する研究

3.1 研究の目的

粘性土中に貫入したジャッキアップリグのフーチングの地切力を低減させるために、フーチング底面とフーチング上の海水部分に海水用のパイピング（連通管）を施しておき、地切時にフーチング底面に発生する負圧（サクシヨンプレーカ）を利用し、フーチング上の海水を自然流入させる方法が考えられる。この自然流入式サクシヨンプレー

カは後述する深い貫入の場合に有効と考えられ、この場合の地切力の低減効果を実験的に確認し、合わせて地切りのメカニズムを考察する。

3.2 地切力の推定式

サクシヨンプレーカを作動させない場合の地切力の推定法は、NINOMIYA-TAGAYA-MURASE により、深い貫入の場合（地切力は底面負圧により支配される、独立フーチングの場合は大体このケースになる、 $D_f/B \geq 0.3$ 、 B : フーチングの直径または幅、 D_f : 貫入量）と浅い貫入の場合（地切力は底面付着により支配される、マット型式の場合は大体このケースになる、 $D_f/B < 0.3$ ）についてそれぞれ実験式が示されている。以下に示す実験の解析にあたっては、深い貫入の場合の実験式が引用される。

Table 2 Physical properties of test soil

Specific gravity G_s	2.649
Water content w	44.74 %
Liquid limit w_L	50.30 %
Plastic limit w_P	32.83 %

Fig. 1 Grain size distribution curve

Fig. 2 Model

3.3 供試土

供試土としては広島湾から採取した海成シルトを再圧密して使用した。Table 2 に供試土の物理的性質を Fig. 1 に粒径加積曲線を示した。

3.4 供試模型

供試模型は、Fig. 2 に示すような縮尺 $S=1/20$ のそろばん玉の形をした円盤状フーチングで、中央、内側、外側の3系統のサクシヨンブレイカーノズルを有し、3系統の水の流入量はほぼ等しくなるようにし、それぞれ独立して水が流れるようめくらぶたを用意した。模型底面には圧力計をとりつけ地切時の底面負圧（サクシヨン）を計測するようにした。模型は鋼製で白色ペイントが塗布してある。

3.5 実験方法および計測システム

Fig. 3 に実験状況と計測システムを示す。模型は、

Fig. 3 Test condition and measuring system

作成された粘性土（シルト）地盤中にガイドローラーで鉛直に保持されながら、荷重（油圧ジャッキ）により約 0.3m 押し込まれる。この状態で、サクシヨンブレイカ用配管に、流量計測用の比重がほぼ 1.0 のプラスチック製の箱をフレキシブルホースで連結する。このプラスチック箱は浮かべておくのであるが、これは水面（水頭）をほぼ一定に保つためである。次に、荷重計・変位計・圧力計・プラスチック箱中の水面計（流量計）をセットしメータをスタートさせる。最後に再びジャッキで引抜き（地切り）を行い、荷重（地切力）、変位（引抜量）、圧力（底面負圧－サクシヨン－）、流量（サクシヨンブレイカ水量）を連続的に計測する。引抜き完了後には掘跡中央部の深さ（フーチング模型貫入前の表面からの深さ）も計測した。

3.6 実験ケースおよび実験条件

実験ケースおよび実験条件を Table 3 に一覧した。この表には実験結果も示してある。

実験条件としては、サクシヨンブレイカーの有無・位置・数、水深、引抜き速度を変化させた。模型地盤の粘着力はペーセン断試験器で計測し、3.14~3.73kPa でほぼ一定である。これらの実験条件での実験結果として表中に示されたようなサクシヨンブレイカ水の流量が得られた。

3.7 実験結果および考察

Table 3 に全ケースの実験結果が載せられている。表中、サクシヨンブレイカ水流入量とフーチング下の空洞増加量の比（空洞充填率）は実験結果を議論する上で重要な数字である。サクシヨンブレイカが無い場合の計算値は前述の文献⁷⁾の提案式により求められたものである。サクシヨンブレイカ効率は、サクシヨンブレイカが

Table 3 Test Cases and Results

Test Number	Number of suction breaker	Water depth m	Cohesion of soil kPa	Pullout velocity m/sec. (m/h)	Rate of inflow m ³ /h	Rate of inflow Rate of void change	Suction kPa	Suction force N		Effect of suction breaker %	Penetration m	Depth of print center m
								Measured value	Calculated value (without suction breaker)			
1	None	0.50	3.14	0.00077 (0.277)	0	—	7.845	2383	2422	—	0.30	0.16
2	None	0.50	3.43	0.00135 (0.486)	0	—	9.307	2560	2560	—	0.32	—
3	Inner, 4	0.50	3.63	0.00106 (0.382)	0.0565	0.60	3.727	1412	2501	43	0.32	0.20
4	Outer, 4	0.50	3.14	0.00015 (0.540)	0.137	1.03	0.588	843	2628	68	0.31	0.23
5	Outer, 4	0.50	3.53	0.00012 (0.432)	0.115	1.06	0.147	775	2579	70	0.33	0.26
6	Outer, 4	0.50	3.63	0.00012 (0.432)	0.106	1.01	0.343	716	2560	72	0.30	0.30
7	Outer, 4 (Quick pullout)	0.50	3.53	0.00166 (5.976)	0.704	0.48	6.923	2118	3491	39	0.33	0.15
8	Outer, 4 (Slow pullout)	0.50	3.24	0.00002 (0.072)	0.0035	0.20	0.373	1716	1942	12	0.31	0.16
9	Center, 1	0.50	3.53	0.00021 (0.756)	0.199	1.09	1.236	1285	2716	53	0.33	0.28
10	Outer, 4 (Deep water)	0.95	3.73	0.00020 (0.720)	0.187	1.08	0.0373	892	2716	67	0.33	0.27
11	Outer, 4 (Shallow water)	0.20	3.24	0.00016 (0.576)	0.141	1.02	0.245	824	2618	69	0.31	0.23

無い場合の地切力（文献⁷⁾による計算値）のうちサクシジョンブレーカにより低減したと考えられる地切力の割合、すなわち次式であらわされる。

サクシジョンブレーカ効率

$$E_s = \frac{P_{sc} - P_{sm}}{P_{sc}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに

P_{sc} : 地切力の計算値

P_{sm} : 地切力の実測値

(1) サクシジョンブレーカが無い場合の地切力

サクシジョンブレーカが無い場合（すなわち、サクシジョンブレーカノズルをふさいだ場合、Test 1, Test 2）の実測値と計算値は良く一致している。したがって以下の解析に文献⁷⁾の式を適用しても良いと考えられる。

(2) サクシジョンブレーカノズル位置

後述するように、この形式のサクシジョンブレーカの効率を支配するのは空洞充填率である。Test 7 は、外側4個のサクシジョンブレーカノズルでの急速引抜の例であるが、空洞充填率は0.48である。これに対しTest 3は内側4個のサクシジョンブレーカノズルでの空洞充填率0.60の実験結果である。Test 3の方が空洞充填率が大いにもかかわらずサクシジョンブレーカ効率はほとんど同じである。また、Test 9は空洞充填率が1.09であるが、他の空洞充填率が1.0のものに比べるとサクシジョンブレーカ効率が低い。以上より、深い貫入の場合には、サクシジョンブレーカノズルの位置は外側の方が良さそうである。これは、フーチングの引抜きによりフーチング下の土がフーチングの中央へ吸い寄せられようとするが、外側で流れ出たサクシジョンブレーカ水（土より粘性が小さい）が土の代わりに中央へ吸い寄せられエネルギーが小さくてすむためと考えられる。

(3) 水深の影響

基準水深を0.5mとし、0.95m (Test 10)、0.20m (Test 11)の水深についても実験を行ったがこの程度の水深の差ではサクシジョンブレーカ効率に差が現れていない。水深がさらに大きいのか、あるいは空洞充填率が小さい場合には差が現れるかも知れない。

(4) 底面負圧と地切力の増加量

Fig. 4はサクシジョンブレーカが無い場合の底面負圧と地切力の関係を示したもので、当然のことながらほぼ直線の関係にある。すなわち、円盤状フーチングの場合には底面負圧が発生すればそれに比例した地切力が発生する。

(5) サクシジョンブレーカ効率とフーチング下の空洞充填率

Fig. 4 Relationship between increase of suction force and suction without suction breaker

Fig. 5 Effect of suction breaker

サクシジョンブレーカ効率とフーチング下の空洞充填率の関係を示したものがFig. 5である。この関係はほぼ直線関係にあり、サクシジョンブレーカ効率はフーチング下の空洞に入る水の量により支配され、空洞充填率1.0をねらうのが効果的である。Fig. 5の中で空洞充填率が1.0のときサクシジョンブレーカ効率が53%のものがあるが、これはサクシジョンブレーカノズルが中央の場合のデータでやや効率の悪いケースである。

(6) サクシジョンブレーカ効率と引抜速度

サクシジョンブレーカ効率と引抜速度の関係を示したものがFig. 6である。引抜速度が中間のデータが無いので断言はできないが、海底土質・フーチング寸法・サクシジョンブレーカの配管に対応した最適な引抜速度があると考えられる。引抜速度が遅いものは底面負圧が発生しないため、引抜速度が速いものは底面負圧が発生しても水の流入が追いつかないためにこのような現象が起こる

Fig. 6 Relationship between effect of suction breaker and pullout velocity

Fig. 7 Relationship among suction, suction force, pullout displacement and time (Test No. 1)

ものと推定される。

(7) 地切り曲線のパターン

Fig. 7～Fig. 9は地切り曲線のパターンを示したもので、Fig. 7はサクシヨンブレーカが無い場合、Fig. 8は空洞充填率が0.60のもの、Fig. 9は空洞充填率が1.03のものである。サクシヨンブレーカが無い場合 (Fig. 7) には文献⁷⁾で示したような形の地切り曲線となり、底面負圧が大きく発生し、それに比例して大きな地切力が発生している。空洞充填率が1.03の場合 (Fig. 9) には地切りの初期段階では地切力は大きくなるが地切力はある時点から急激に小さくなりだんだんと減少する。空洞充填率が0.60の場合 (Fig. 8) は、サクシヨンブレーカが無い場合と空洞充填率が1.03の場合の中間的なパターンとなっている。

Fig. 8 Relationship among suction, suction force, pullout displacement, amount of inflow and time (Test No. 3)

Fig. 9 Relationship among suction, suction force, pullout displacement, amount of inflow and time (Test No. 4)

(8) 引抜跡の深さ

Table 3に示すように初期の貫入量は全ケースとも0.30～0.33mである。これに対し、フーチング引抜後の引抜跡の中央の深さ (Table 3の最右コラム) は、サクシヨンブレーカ効率が大きいものほど深くなっている。このことは、引抜跡の深さの深いケースはサクシヨンブレーカ水がフーチング下の空洞を十分に充填し土を引き

上げなかったことを示しており、そのために地切力が小さくなったと推定される。

3.8 自然流入式サクシヨンブレーカに関する結論

ここでは、深く貫入した ($D_f/B \geq 0.3$) フーチングについて、自然流入式サクシヨンブレーカに関する基礎的な実験結果を報告した。主な結論は次のとおりである。

- (1) サクシヨンブレーカが無い場合には底面負圧と地切力の増加量はほぼ比例関係にある。
- (2) サクシヨンブレーカノズルは底面の周縁に近い所にまんべんなく配置するのが良さそうである。
- (3) サクシヨンブレーカ効率とフーチング下の空洞充填率の関係はほぼ比例関係になる。
- (4) サクシヨンブレーカの効率には最適引抜速度がある。
- (5) 底面負圧・地切力・引抜量・サクシヨンブレーカ流量・時間の関係のパターンが、サクシヨンブレーカの有無・空洞充填率の大小について、それぞれ明らかになった。

しかし、さらに次の検討項目が残されている。

- (1) 実機の現象を定量的に推定するために、相似則(水の流入、粘性土の変形・移動)の確認が必要であり、このためには中型または大型の模型実験を行うべきであろう。
- (2) 実機の配管設計法
- (3) 実機の運転要領

今後さらにこれらの検討を行い、実機の合理的な設計を行うとともに、より安全な実機の運転の参考に資する必要がある。

参 考 文 献

- 1) American Petroleum Institute, 1984: API Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms. 43-54.
- 2) SEED H.B. and IDRISS, I.M., 1971: Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Proc. ASCE*, Vol. **97**, SM 9, 1249-1273.
- 3) IWASAKI, T., TATSUOKA, F., TOKIDA, K. and YASUDA, S., 1978: A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan. *Proc. 2nd International Conference on Microzonation for Safer Construction-Research and Application*, Vol. II, 897-910.
- 4) SCHNABEL, P. B., LYSMER, J., and SEED, H. B., 1972: SHAKE-A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites. *Report EERC 72-12*, University of California, Berkeley.
- 5) STREETER, V. L., WYLIE, E. B. and RICHART, F.E., 1974: Soil Motion Computations by Characteristic Method. *Journal of GTED, ASCE*, Vol. **100**, GT. 3, 247-263.
- 6) ISHIHARA, K. and YAMAZAKI, A., 1984: Analysis of Wave-Induced Liquefaction in Seabed Deposits of Sand. *Soils and Foundations*, Vol. **24**, No. 3, 85-100.
- 7) NINOMIYA, K., TAGAYA, K. and MURASE, Y., 1972: A Study on Suction and Scouring of Sit-on-Bottom Type Offshore Structure. *Proc. of Offshore Technology Conference*, Vol. **1**, 869-886.
- 8) 藤田秀夫・多賀谷宏三・野口直樹, 1976: 着底式海洋構造物の洗掘に関する基礎的研究. 三菱重工技報, Vol. **13**, No. 4, 52-57.
- 9) 鈴木敏正・恵木一昭・松島 哲・多賀谷宏三・熊本直樹, 1987: 甲板昇降型作業台船の脚パンチスルー. 西部造船学会会報. 第75号, 246-257.
- 10) HANNA A. M. and MEYERHOF, G. G., 1979: Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Three-layer soil, with special reference to layered sand, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. **16**, 412-414.
- 11) VESIC, A. S., 1970: Research on Bearing Capacity of Soils, In Winterkorn, H. F. and Fang, H., ed.: *Foundation Engineering Handbook*, 142, Van Nostrand Reinhold Company.
- 12) MEYERHOF, G. G. and CHAPLIN, T. K., 1953: The compression and bearing capacity of cohesive layers. *British Journal of Applied Physics*, Vol. **4**, 20-26.
- 13) ŠUKLJE, L., 1954: Capacite portante des couches cohesives peu permeables et d'epaisseur limitée, *Proceedings of Yugoslav Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, No. 3, 16-26.