

11. 大型振動機V-300の開発

不動建設 小原元昭 川上高弘
 三菱重工 明石製作所 金子勝

1. まえがき

海上汚濁の問題から当然予想されたことであるが、海上での砂杭造成工法の需要は、従来の浚渫置換工法にかわつて、次第に増加しつつある。又その施工条件も長尺、大径の方向を指向している。このような傾向に対処するため施工機械の大型化も進み、砂杭施工に使用される振動機も近年の海上長尺施工においては、150馬力以上のものが普通になつている。しかし鋼管の径が800φを越えるものについては、施工能率の点から更に大型機種が開発が望まれている。一方振動機の国内市場にはこのような砂杭施工に適した大型機種が少く、施工者側の要求が十分に満たされていないのが現状である。また、技術的にも振動買入理論が確立されていないことから新機種の開発には常に困難が付きまどつてきた。われわれは、これ等のことを考慮して、ユーザーとメーカーの共同研究システムを取り入れ、長尺、大径の施工に適した大型振動機の開発を行つた。以下その概要を報告する。なお、本機は低周波振動機としては世界最大の機種となつている。

2. 仕様決定のための経過

2-1 基本方針

偏心モーメント(T)、起振力(F)、重量(W)、回転数(N)、電力(P)等の仕様と買入能力との関係を裏付ける決定的な理論式は現在みあたらない。このためこれら各種仕様のうち買入能力に支配的に影響を与える要素を決定する目的で行つた実験の結果を図-1、図-2、に示す。

この結果

(i) 振幅を重要視する。図-1

重量を軽く、偏心モーメントを大きくする。

(ii) 低周波を選定 図-2

偏心モーメントは回転数よりも有効に作用する。

2-2 買入能力による検討

ソ連のパイプロ設計法や鋼矢板ハンドブック系統の

$A > A_0$ (基準振幅) $F > F_0$ (総フリクション) 下端圧力
 $P > P_0$ (基準圧) を満たすように T, W を選ぶ方法を基に、

実測から得られた f 、先端抵抗、浮力等を考慮に入れる事によつて超長尺施工(水深30M、パイプ長40m、パイプ径1~2m)に際しては、 $T \approx 100000 \text{ kgcm}$ $F \approx 300 \text{ t}$ $W = 30 \text{ t}$ を目標とした。また、

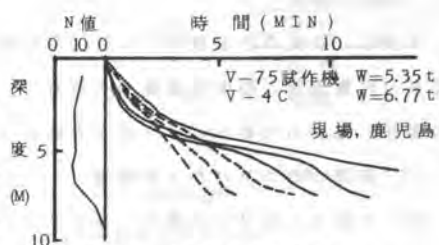


図-1 重量による買入深度

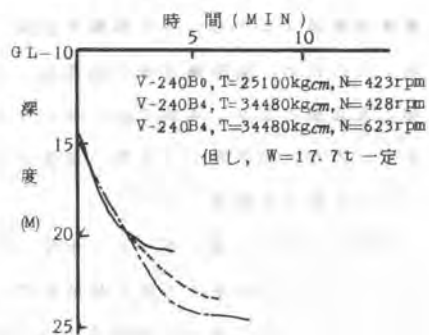


図-2 回転数、偏心モーメントと買入深度

従来得られた貫入データを杭の静的支持力と貫入時間の関係に注目して整理した結果から外挿による推定ではあるが、この程度の諸元で施工可能と判断した。

2-3 シリーズ化による検討

現在砂杭施工に使用される主要パイプロは単機として37.5~150KW、並列機として150~240KW等であるが、機種重複を避け空間を埋める、超長尺施工も可能、等の目的により単機、並列機の両用可能な構造とする。これらを考慮して電動機容量は250KW前後とする。

2-4 電動機容量と偏心モーメント

電動機軸トルクはTと同等と仮定した時の必要動力を P_1 とし、電動機全負荷容量を P_2 としたとき、 $\frac{P_2}{P_1} = K (K > 1)$ を余裕度とみなし、既存のパイプロと比較しKを出来るだけ小さくした。一方、熱的問題では若干の安全を考慮し、100%連続、150%30分定格を採用。

2-5 市販発電機の検討

使用発電機は現場での作業性を考慮して可搬式とし、市販の限界から250KVA発電機並列運転による500KVAで始動可能な電動機容量とする。

表 - 1

3. V-300仕様と他機種との比較

上記の検討の結果表-1のような仕様を得られた。

項目	機種	V-300	V-240	V-120	VP-5	VM2-25000	2V-500A
偏心モーメント kg _m		45,000	34,480	17,240	38,000	25,000	5,500
起振力 ton		158	122	61	106	107	74.4
重量 ton		16.6	17.7	6.64	11.3	7.4	5.4
回転数 rpm		560	560	560	500	620	1,100
電動機容量 kW		300	240	120	220	150	90

4. 構造と特長

本機は、従来の小形機V75、V120の施工実績を基に、耐久性、運転操作、取扱いの簡易化および従来の付属設備との取合関係等に留意し、さらに大形機として具備すべき構造上の工夫、研究をかさね製作したものである。以下にその構造上の特長の概要を示す。

1) 軽量かつコンパクトな構造

杭の大径化、長尺化に伴い、貫入能力、施工能率等から当然、大形振動機が必要となるが、施工時の振巾、加速度を維持するため、逆に振動系重量の軽減が要求される。このため、振動機自体の軽量化、コンパクト化が是非とも必要となり、本機では、偏心ウエイトを特殊形状とし、内部に鉛を封入する等、軽量化に苦心した。

2) 2段4軸構造

大形化に伴い、偏心モーメント量、起振力が非常に大きくなるため、従来の1段2軸構造では軸受容量に限度があり、コンパクト化も困難なところから2段4軸構造を採用した。

3) 無段可変偏心機構

一般に、一定偏心モーメントの振動機では杭の種類、地盤条件により常に最適条件で施工すること

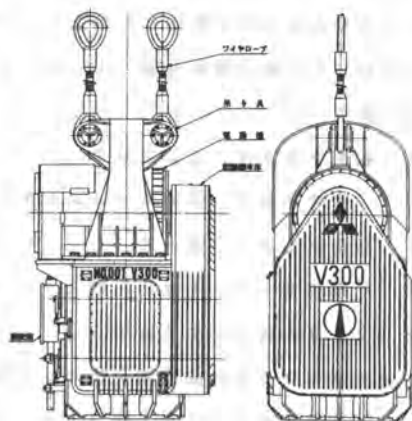


図3 起振機外形図

は難しく、本機では施工条件に応じて偏心モーメント量を変化できる可変偏心機構を採用した。この可変偏心機構は、2段4軸構造を採用したことにより、上段と下段の偏心ウエイトの相対角度を変えるだけでよく、構造が簡単で取り扱い易く、可変偏心ボルトの取付位置と歯車の噛み合い位置を替えるだけで、0 kg-cm～45000kg-cmまで無段階に調整可能である。

4) 潤滑，発熱対策

大形化に伴い、起振機内部の潤滑および発熱が問題となるが、本機では構造が簡単で信頼性の高いハネカケ方式を採用し、油量を必要最小限に押さえ、さらに起振機側面には冷却フィンを取り付ける等、発熱に対する万全対策を行い、潤滑油の劣化防止、さらには軸受寿命の向上等を計った。

5) 並列運転機構の採用

さらに大型工事に対処すべく、電動機反駆動側に同期ブーリを設け、2台並列運転可能とした。

図3に本機の外形図を、図4に可変偏心の原理を示す。

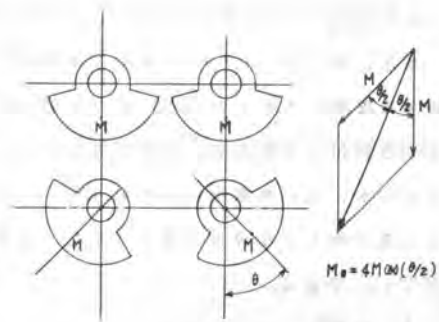


図4 可変偏心の原理

5. 性能試験

起振力，貫入能力の確認および軽量小型化，潤滑（ハネカケ式）方式による油温上昇，大容量電動機の起動問題等について工場と現場で試験を行った。

1) 起振力

起振力を確認するため図5に示す工場内の実験装置，測定項目から起振力を求めると，

起振力Fは，(1)式より求まる。

$$A = F / \sqrt{(K - M\omega^2)^2 + (C\omega)^2} \cdot \sin(\omega t - \varphi) \dots (1)$$

ここで，測定値から求まる抵抗C (kg-sec/m) をまず(2)式から求める。

$$C = 2(P_N - P_0) / (A\omega)^2 \dots (2)$$

(2)式を(1)式に代入すると，起振力156.3 ton が求まり，公称起振力158.5 ton が確認された。

一方通常施工のセット状態で現場使用した場合のアイドリング時データを表2に示す。

一割程変動しているのは，解析時の読取誤差と考えられる。

2) 貫入能力

現場で得られた貫入深度～時間関係を図6に示す。

同じ開端条件下で，V-240が $\frac{0.1}{1.5}m$ 付近の砂層で貫入不能とな

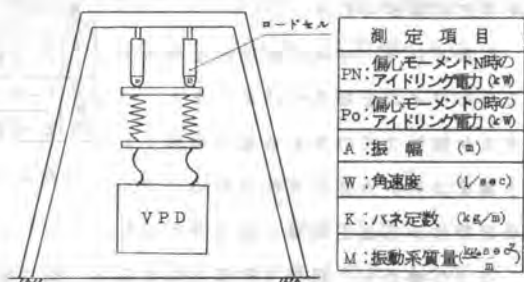


図5 実験装置と測定項目

項目	区分	測定値	理論値
全重量 (ton)		45.3	
偏心モーメント (kg-cm)			45000
起振力 (ton)			158.5
片振幅 (mm)	7.7~10.0		9.9
加速度 (g)	2.7~3.2		3.5
回転数 (rpm)	568		561

表2 現場測定データ

るのに比べ、V-300 では^{G.L.}-2.4m の岩盤まで貫入した。

また、同じV-300 を用いても閉端の時は、中間の砂層では貫入不能となるが、これは閉端された鋼管に水や土から作用する浮力と、先端抵抗によると考えられる。¹⁾ 因みに水、土の単重をそれぞれ1.0、1.5 t/m³として浮力と自重が等しくなり全く貫入不能となる深度は、ここでは^{G.L.}-2.5m である。

3) 起動

電動機が大容量でかつ起動時の力学的過渡状態が不明確であるが、現場経費の節減、過去の経験から発電機420KVAにてアイドリング試験を実施し、起動時状態を確認した。

試験時の起動電流等を表3に示す。

4) 温度上昇

工場内で温度試験を行つた結果、7hr 運転後でも上昇傾向を示し、夏期使用に問題が生じた。

対策として、本体の熱放散を増加するためフィンを取り付けた。また、ハネカケ給油方式のため油量の増減により温度上昇が大きく支配されるので、温度特性から適正油量の推定を行つた。

以上の事から、現場で実際使用すると、表面温度90℃で温度上昇は問題なかつた。

試験による温度上昇を図7に現場表面温度を表4に示す。

6. あとがき

振動機の負荷の設定は極めて困難であり、その変動範囲も非常に広く仕様の決定にはかなりの時間を必要とした。この間でできるかぎり事前に実験を行つて問題点を解明するように努めた結果、現場での試験結果は良好であり、今後の長尺、大径施工の適用には十分期待し得るものと考えられる。しかし一方、動的貫入の基本的なメカニズムには未だ不明な点が多く、そのことが振動機設計の標準化を困難なものにしている。この方面の理論の発展が、今後の振動機製作の技術をさらに高めることになるであろう。

参考文献 櫻, 峰岡: 「粘性土地盤に鋼管を振動貫入したときの周面抵抗と先端抵抗」 第11回土質工学研究発表会 講演概要集 P-693, 1976.6。

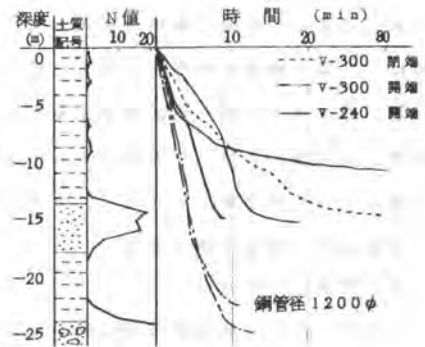


図6 貫入比較

項目	偏心モーメント kg-cm	
	80	90
起動直後	325	310
発電機側電圧 (V)	912	1359
起動容量 (KVA)	513	729
M.O.Sが入つてからの時間 (sec)	121	128
モータ付加電圧 (V)	302	285
モータ負荷電流 (A)	1373	1340
運転時	438	438
モータ付加電圧 (V)	156	156
モータ負荷電流 (A)		

表3 起動・運転特性

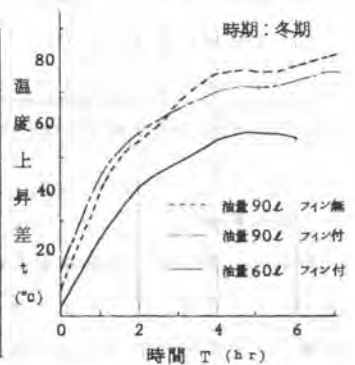


図7 油温、温度上昇差の関係

測定月日	表面温度 (°C)
7/29	75
7/30~7/31	90
8/1	80
8/3~8/5	70
8/8	85

表4 現場表面温度