

マルチバイブロ大型機の開発について

木村 薫 平間 邦興
菱河 恭一 河村 邦夫
(本社 機械部)
羽生田 吉也 松本 伸

Development of Large Type Multi-Vibrohammer

Kaoru Kimura Kunioki Hirama
Kyoichi Hishikawa Kunio Kawamura
Yoshinari Hanyuda Shin Matsumoto

Abstract

The M.V.C.P. (Multi-Vibrohammer Compaction Piling) is a method of providing a measure against liquefaction of loose sandy ground making use of torsional vibration. A machine was manufactured on a trial basis in October 1980, and it was found to possess many merits on application in tests and actual construction in the field. Many points were firstly improved as construction progressed.

As this machine's performance is of intermediate level and output is that of a 60-kW motor, the construction depth is limited to a comparatively shallow layer. However, considering demands for deep layer improvements such as to G.L. -20 m or more, and still greater speed in large-scale construction, a large type multi-vibrohammer was required, and after much study for development, it was finally completed.

The large type machine was developed based on accumulated technology and applications of it to the trial machine. In this report, the authors describe the points paid attention concerning design, the features of the large type machine, and give an outline of the results of experiments which were conducted and the purpose of confirming the performance after completion.

概 要

ネジリ振動を利用した締固めによって、緩い砂地盤の液状化対策を目的としたM.V.C.P.工法(マルチ・バイブロ・コンパクション・パイル工法)については、昭和55年10月に施工機械を試作し、その後、現場での試験工事・実際工事への適用を重ねて、数多くの長所を確認するとともに施工性の向上をはじめとする数々の改良を加えてきた経過がある。

その結果、上述の試作機の能力がモータ出力60kWの中間的能力を有するものであるため、比較的浅層改良に限定されていることを考慮し、今後の大型工事の施工需要に伴うG.L. -20m以深の深層改良にも対応し、しかも、施工速度の一層の向上を図るため大型機の開発検討を重ねてきたが、この度、完成に至った。

大型機の開発にあたっては、試作機について得た技術の蓄積やその応用を基に改良検討を加えてきたが、この報文では大型機の設計にあたって留意した内容および機構上の特徴、さらに完成後に実施した機能確認実験結果の概要について示す。

1. 大型機の開発経過

M.V.C.P.工法(マルチ・バイブロ・コンパクション・パイル工法)については、昭和55年10月にモータ出力60

kWの中間的能力を有する施工機械を試作し¹⁾、その後現場での試験工事および実際工事への適用を重ねて、数多くの長所を確認するとともに施工性の向上をはじめとする数々の改良を加えてきた経過がある²⁾。その結果、

起振機	種類	複合振動発振形 2軸1段	
	動力伝達方式	ギヤ・チェーン (起振機内部)	
	潤滑方式	オイルバスと強制給油方式併用 (動力伝達部, 偏心軸部軸受)	
	振動調節方式	油圧モータ駆動, ウォーム伝達式	
電動機	形式種類	横型全閉屋外用特殊カコ形3相誘導電動機	
	出力	120kw - 6 P	
	周波数 電圧 起動方式	50Hz ; 400V スターデルタ起動	
出力	偏心モーメント	17000 kg・cm	
	偏心マス回転数	560 cpm	
	鉛直	起振力	59.6 ton (max)
		理論振幅	21.5 mm
		理論加速度	7.6 G
ネジリ	回転トルク	24600 kg・m (max)	
	理論振幅	12.0 mm (φ406パイプ表面)	
	理論加速度	2.3 G (同上)	
その他	運転重量(パイプのみ)	≒9000 kg	
	外形寸法(W×D×H)	1510×1755×6000 mm	

表-1 大型機の主要性能仕様

現在の試作機が中間的能力を有するものであるため比較的浅層改良に限定されていることを考慮し、今後の大型工事の施工需要に伴う G. L.-20 m 以深の深層改良にも対応し、しかも施工速度の一層の向上を図るため、モータ出力 120 kW の高性能大型機の開発検討を重ねてきた。また、機構面についても極力単純な構造とすることが衝撃を伴う過酷な連続運転に対して耐久性の向上と高い信頼性の確保を可能とし、また、できる限りの軽量化による性能向上を大型機の機構決定上の基本設計思想とした。

以上の条件を満たす機械が必要であるとの考えに基づいて基本設計を策定し、フレーム構成、使用材質にも綿密な検討を加えて詳細構造を決定した。また、製作・組立などの各段階では適切な品質管理基準と検査基準を設定し、逐次工程管理を経て完成に至った。

製作完了後、後で述べるように機能確認実験を実施し、当初の設定性能を満足する結果を得ている。

2. 大型機の主要仕様および構造概要

2.1. 主要仕様

開発に成功した大型機の主要な仕様を一括して示したのが表-1 である。

2.2. 主要装置

砂杭打設装置全体図、マルチパイプロ大型機および起振機の内部構成図を示したのが、それぞれ図-1、図-2、図-3 である。

(1) 発振装置

図-3 の内部構成図に示すように、構造上は、2 個の偏心マスを持つケースを左右に配置し、この中央に位相

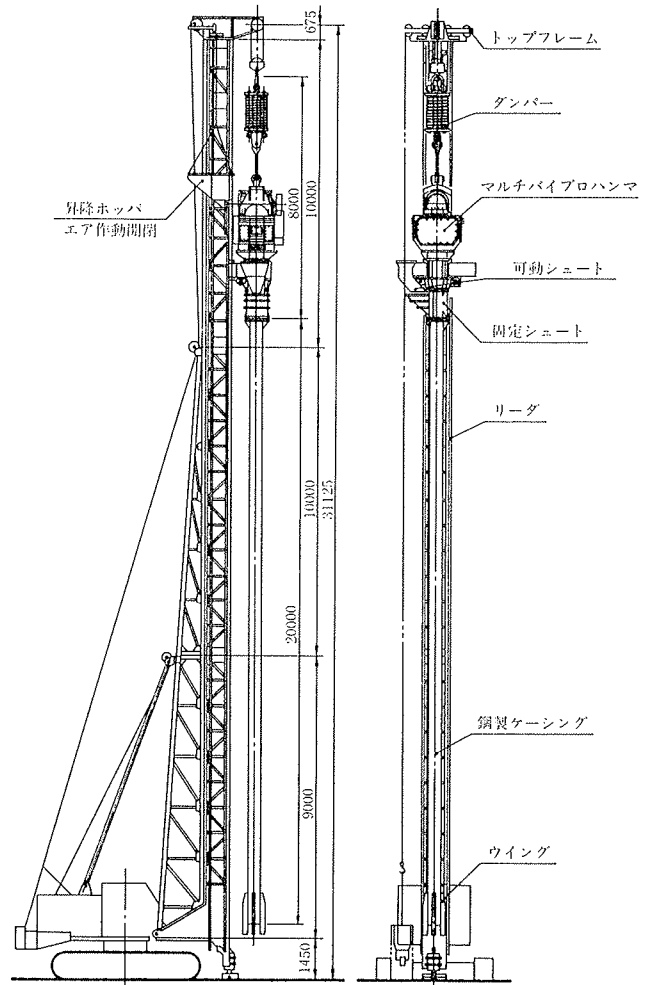


図-1 砂杭打設装置全体図

変換部と動力伝達を兼ねる遊星歯車装置を設けた3分割構成である。四つの偏心マスの回転軸芯は、同一水平面内に配列されており、在来の発振機に近い簡潔な構造である。また、電動モータから各偏心マスへの主動力の伝達は、特殊高強度チェーンおよび平歯車を主とする方式を採用している。

(2) 位相変換機構と振動発生原理

位相の切換えによる振動モードの変換は運転中においても任意に、かつ、瞬時に行なえる。

図-3 で起振機軸芯に対して対角上に位置した1対の偏心マス (①, ①') を主偏心マス、他の1対 (②, ②') を従偏心マスと称し、互いに反対方向に回転する。また、ブレーキ付油圧モータは、主・従両偏心マス間の相対的な位相角の切替えを行なうためのモータである。

運転席の操作盤で加振モードを指定すると、その入力信号によりブレーキ付油圧モータが作動する。それで、定常時に 560 r.p.m. で回転する主・従両偏心マスのうち、後者のみが増速あるいは減速させられ、その結果主・従両偏心マスの位相角は相対的に切替えられる。この主要

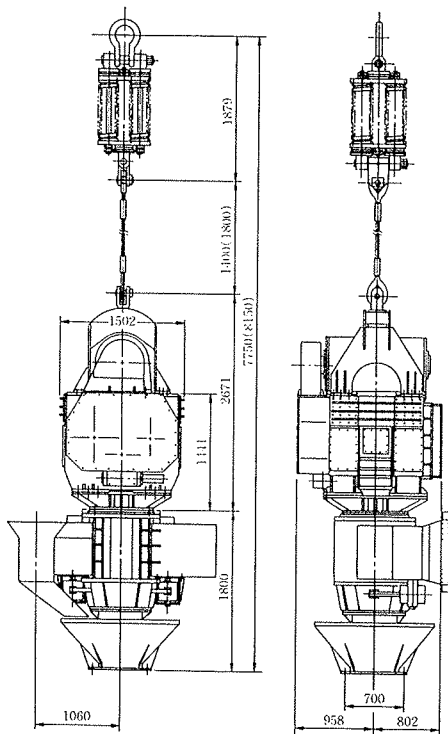


図-2 マルチパイプロ大型機およびガイドギブ外形図

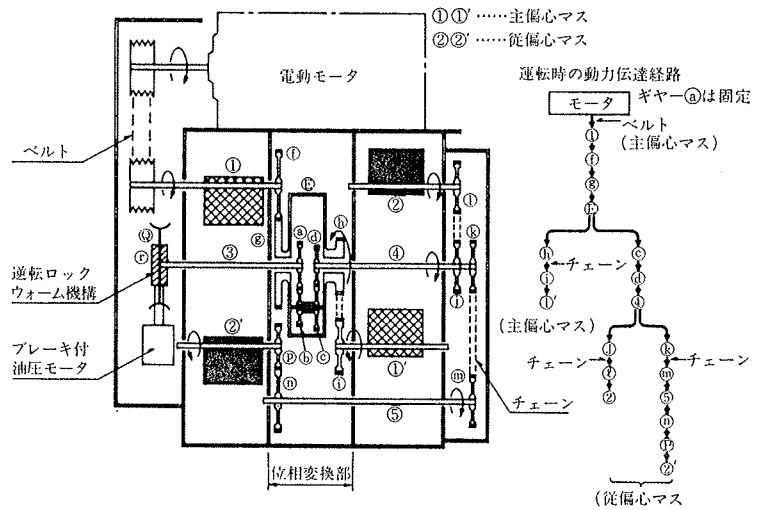


図-3 起振機の内部構成図

時の上下方向あるいはネジリ方向の起振力は位相角が 0° あるいは 180° に比べてその振幅は小さくなるが、上下方向の起振力が最大となるときに、ネジリ方向の起振力も最大となるように変動する(同一周期)。この起振力の変動のようすを示したのが図-5である。

このように鉛直とネジリが複合した振動エネルギーの相乗的な出力がケーシング先端から地盤に伝播されて

機能を果たすのが遊星歯車から成る位相変換部であり、定常運転時に停止している入力軸③が位相変換時には油圧モータにより回転して、遊星歯車の機構学的な差動作用により出力軸④の回転に印加し、従偏心マスは主偏心マスに対して増速あるいは減速する。なお、ブレーキ付油圧モータは指定した位相角がウォーム機構に設けられた非接触型近接センサーで検知されると自動的に停止し所定の振動モードが得られるように自動制御されている。

各振動モード時の偏心マスの位相角と振動発生状況を模式的に表わしたのが図-4である。

位相角が 0° のときは鉛直振動のみ、 180° のときにはネジリ振動だけが発振される。複合振動は、これらの間の位相角で生じ、位相角 θ が $0^\circ < \theta < 90^\circ$ のときは上下方向の起振力が主となり、 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ のときにはネジリ振動が主となる。また、この

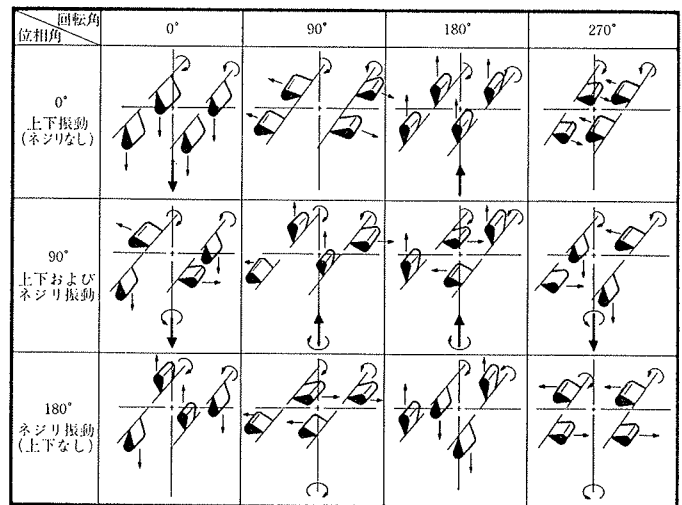


図-4 振動発生原理図

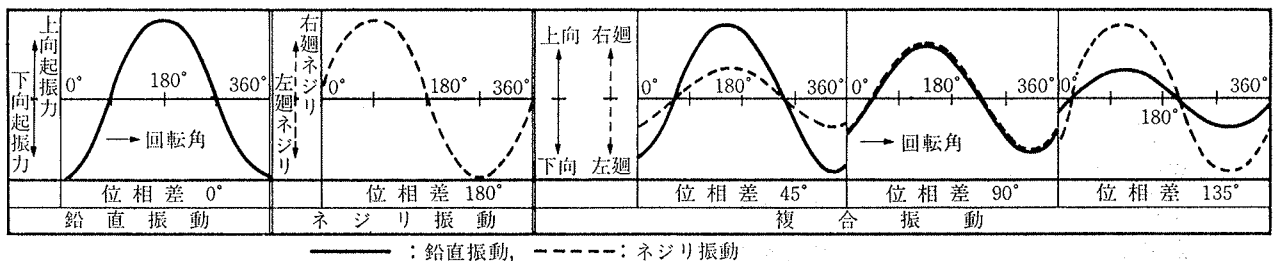


図-5 振動出力の変動

M.V.C.P. 工法による締固めを独特で有効なものとして
いる。

(3) 潤滑系統

高負荷で連続運転される起振機の潤滑は、運転の安定性および耐久性を確保するために重要な問題である。伝動部分の潤滑は、偏心マスのはねかけ給油およびポンプによる強制給油方式を併用している。すなわち、動力伝達部の入・出力ギヤ(図-3の㉔~㉖, ㉗~㉙), 特殊高強度チェーンおよび偏心マス軸受へはトロコイドポンプからパイプにより潤滑油を吹きつけ、油膜の保持, 発熱の放散および摩擦を減少させるなど一層の潤滑向上を図っている。

各部の給油量は以下の通りである。

- (イ) トロコイドポンプ吐出量 29 l/min
- (ロ) 特殊チェーン給油量 12 l/min (4 l/min×3列)
- (ハ) 偏心マス軸受給油量 7.6 l/min(1.9 l/min×4箇)
- (ニ) 中央部ギヤ給油量 7.8 l/min(3.9 l/min×2 set)
- (ホ) 潤滑油容量 130 l

3. 機能確認実験工事

大型機は製作完了後、その性能について設計仕様との照合と装置の安定性の検証を主眼に合計30時間の運転実験を行なった。その結果、打ち込み性能および作業性を含めた施工性についても総合的にこの大型機の実用性を確認することができた。実験期間中、起振機本体には全く異常が認められず、信頼性と耐久性をうらづける結果を得ている。

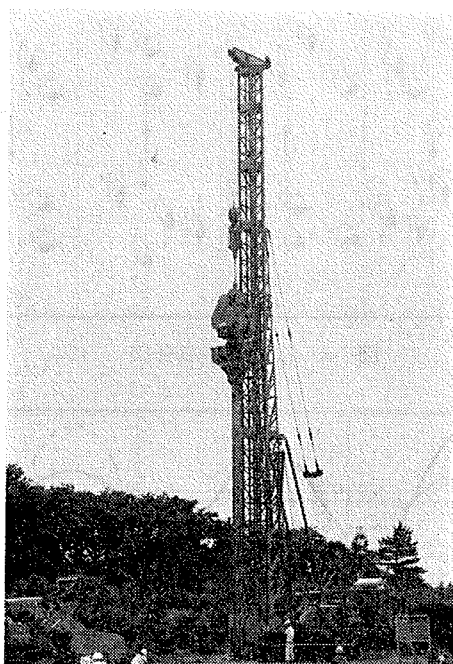


写真-1 実験状況

M.V.C.P.大型機・性能確認実験工事実施フロー		
実験方法	実験項目	着目点・留意点
日鋼を地中に埋設した試験台上に大型機を防振ゴムで架装して無負荷運転を行なう。	起振機単体 台上試験	○回転異音の発生の有無 (起振機の温度・給油状態) ○伝動要素の状態確認
起振機と16.5mのケーシングを杭打やぐらに装備して、各振動モードの空中起振運転を行なう。	無負荷実験	○振動出力の設計諸元値との照合 ○操作機能の確認
ケーシングを15mまで打込み、砂圧入、締固めをし、各振動モードで定格出力近傍の負荷運転をする。	負荷実験	○打設出力・振動出力の把握 ○制御性能の確認 ○振動系各部応力の把握
打込み、砂圧入、締固めを繰り返し、M.V.C.P.砂杭を造成する一連の施工パターンを行なう。	施工管理計器 実験	○砂面計(S.L計)の高深度での機能検証 ○G.L計、砂面計などの自記記録性能確認
同上	施工性実験 (貫入・締固め)	○打込み、砂投入、締固めなど、M.V.C.P.工法への大型機の適合性 ○施工能率の検証
ケーシングを硬地盤まで打込み、充分締固めてから、定格出力近傍で各振動モードごとの長時間連続運転を行なう。	耐久性実験	○トラブル発生に対する機械信頼性の検証 ○運転の安定性(各部発熱)
砂排出装置を取り付けた8mのケーシングを打込み、砂排出の有・無の場合にネジリ振動で締固めを行なう。	側面砂排出実験	○砂排出の作動確認 ○側面抵抗計測により締固め度の発現の検証
先端を山型に加工した600φの開放鋼管杭を振動モードを0°, 45°, 90°に切換えて、11mまで打込む。	鋼管杭打設実験	○鉛直振動と複合振動との貫入能率の比較

表-2 実験工事のフロー

3.1. 実験装置

クローラタイプのベースマシンにリーダを装着し、これにマルチパイロ大型機と406.4φ×16.5mのケーシングを取り付け、後部に発電機および制御盤を塔載した。また、周辺設備も実際施工と同一条件に配置し、地中に15mまで打ち込みM.V.C.P.工法の標準施工パターンで締固め砂杭を造成して、設備の適合性および作業性などを総合的に検証した。写真-1に施工状況を示す。

3.2. 試験場所の土質

試験地盤は、表層からG.L.-6mまではN値5程度の軟らかいローム層、G.L.-6m~G.L.-11.5mは細砂層でN値15以上の比較的硬い層、G.L.-11.5m~G.L.-15mはN値25~40の硬い層であった。

3.3. 実験内容と方法

本実験の実施フローと実験方法、留意点、および確認事項などを表-2に示す。

3.4. 実験計測結果

実験中、機械の性能を確実に把握するために自動計測体制を組み、加速度、電力、各部温度および応力などの多点計測を実施した。

(1) 振動加速度と振幅

起振機ケース表面で実測した振動加速度を振動モードをパラメータとして理論加速度とともに示したのが図-6である。また、ケーシング表面で実測した、各振動モードでの振幅を示したのが図-7である。

この図によれば、135°および180°の振動モードで実測値の方が理論値に比べて、鉛直成分が大きく、水平成分が若干小さい結果が認められる。これは、位相角近接センサーと近接体の検出精度および取付調整の偏りによるものと考えられる。また、負荷試験時には、地盤の脆性反発などの相乗によって、加速度は大きくなっているのわかる。

これらの結果から、開発された大型起振機は貫入性能および締固め性能について、加速度、振幅とも十分な施工機能を有していることが確認された。

(2) 振動出力

負荷実験において、ケーシングをG.L.-11mの硬地盤の打ち止まりまで打ち込み先端部に砂を圧入し充分締固めた後、バイプロ・ケーシングの吊り上げを完全に緩めて定格出力近傍の出力を負荷した。このままの状態振動モードを切替えた時の振動出力を示したのが図-8である。

その結果、複合振動およびネジリ振動時にモータ出力の余裕が認められる。したがって、今後のネジリ方向の地盤締固めの適切な強化手段によりM.V.C.P.工法の一層の特性向上が可能であり、今後の課題である。

(3) 起振機ケースの表面応力

マルチバイプロハンマは位相変換装置の付加重量により鉛直加振力が減勢される。したがって、主として打込み能力の面で在来機と比較した場合の相対的な低下を抑え遜色ない施工能力とするため極力軽量化を図る設計上の検討と配慮をした。そのため、起振機のケースは薄肉構造とし、部材構成に工夫を加え全体としてのバランスと剛性を確保することに留意した。したがって、施工時に起振機ケースに作用する応力を測定し実用上問題がないかどうかを調査する必要があった。

そこで、三軸ロゼットゲージを最も大きな応力の作用が予想される場所であるモータからの動力入力軸と偏心マス軸を兼ねる第1シャフト直下のフレームおよび遊星歯車装置部の中間ケースの表面にそれぞれ貼り付け、貫入時および締固め時にケースに発生する応力を測定した。

その結果、第1シャフト直下のケースに発生する主応力 σ_1 を示したのが図-9である。最大主応力 $\sigma_{1max} = 707 \text{ kgf/cm}^2$ および最大せん断応力 $\tau_{max} = 200 \text{ kgf/cm}^2$ が測定された。ここで、主応力に着目すると、これは平

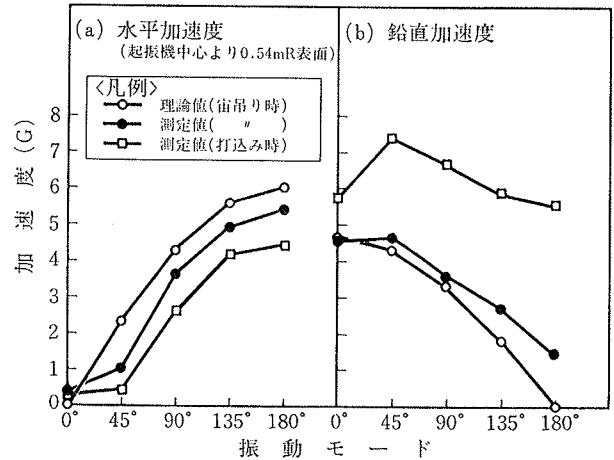


図-6 振動加速度測定結果 (R=0.54 m)

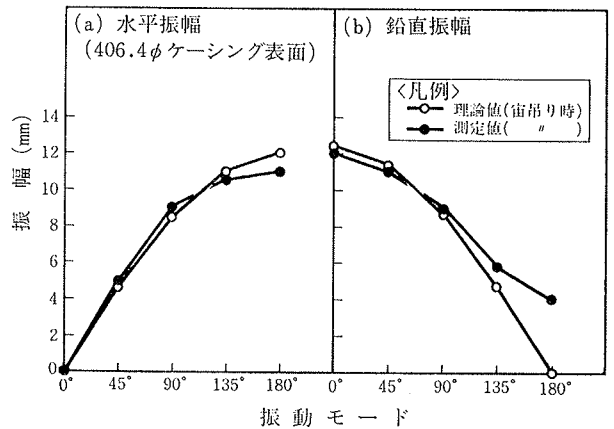


図-7 振幅測定結果 (R=0.20 m)

均応力と振幅をもった変動応力の和と考えられるため変動応力の繰返しによる疲労に関する安全性についても検討した。この結果を疲れ限度線図に示したのが図-10である。図より、疲労に関することが確認された。また、中間ケース部

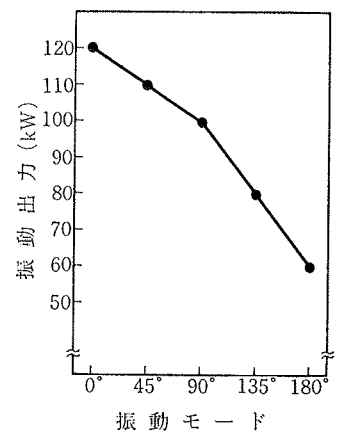


図-8 振動出力

については、 $\sigma_{1max} = 332 \text{ kgf/cm}^2$, $\tau_{max} = 17.4 \text{ kgf/cm}^2$ であり許容応力に比して十分に小さい。なお、この時の振動加速度は 5.5 G で仕様値と同レベルであり、出力も 151kW であった。

以上のことから設計・製作された起振機ケースは実用上も充分耐久性のあるものとする。

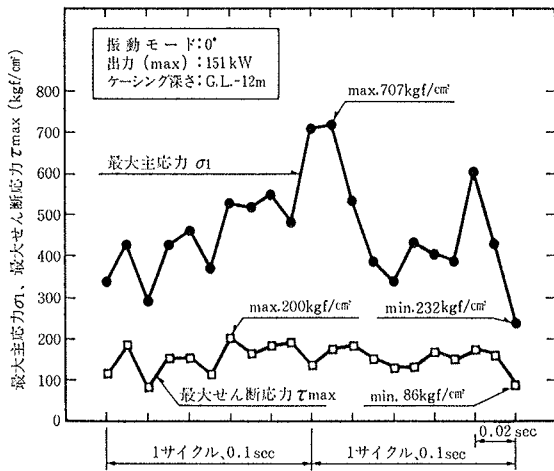


図-9 起振機ケースの応力 (第1偏心軸直下)

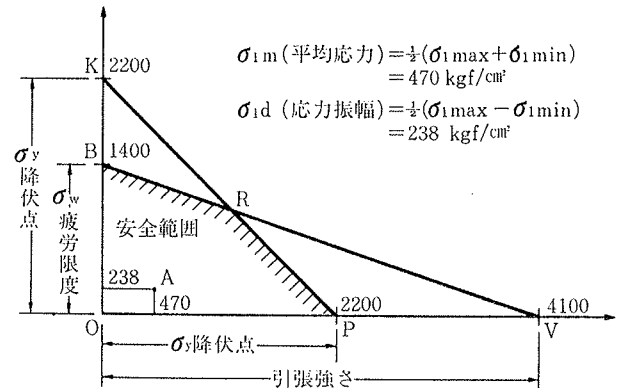


図-10 起振機ケースの疲れ限度線図 (主応力)

(4) モータ温度と潤滑油温度

負荷を定格出力近傍として、5時間の連続運転を行なった時のモータフレーム温度および潤滑油温度を測定した。その結果、最大値はそれぞれ80℃ (<140℃)、69℃ (<80℃) で充分安全範囲にあることを確かめた。なお、この時の気温は28℃であった。

4. おわりに

M.V.C.P. 工法の地盤改良効果の有意性は、試作機での実際工事の適用において確認されている。今回の大型機の完成でさらに強力な改良効果と合理化を希求する施工ニーズに適合できると期待される。

今後、種々の地盤条件における実際施工で実績を積み重ねて、本工法に適した設計・施工法を確立するとともに、自動施工管理システムの確立を図り省力化、施工品

質の確保および施工能率の向上を推進していく所存である。

おわりに、本大型機の開発から完成に至るまで多大なる尽力を受けた当社 技術開発委員会 第二専門委員会の内、液状化対策工法小委員会を中心とする関係各位および本起振機的设计から製作を担当された日平産業(株)に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 木村, 平間, 菱河, 羽生田: M.V.C.P. 工法のためのマルチバイプロハンマの開発について, 大林組技術研究所報, No. 27, (1983), pp. 59~64
- 2) 木村, 平間, 菱河, 八戸, 羽生田, 松本: M.V.C.P. 工法と施工例, 大林組技術研究所報, No. 28, (1984), pp. 72~77