

泥水処理プラント振動ふるい機の超低周波音対策

Study on Infra sound of Vibrating Screen in slurry Disposal Plant

牧野 清*
Kiyoshi Makino

広田 雅博**
Masahiro Hirota

神谷 宏*
Hiroschi Kamiya

椋木 淳二***
Junji Mukugi

要 約

シールド工事の泥水処理プラントに使用される振動ふるい機は、エネルギーの大きい超低周波音を発生するため、近隣に戸や障子のガタツキや不快感を与えるなどの被害を及ぼすことが知られている。しかしその対策は重要視されているものの、なかなか難しく、有効な手段がない。

今回、(株)神戸製鋼所の協力を得て、新しく開発した吸音・遮音パネルで構成された防音建屋用壁材の採用と機械稼働時の位相制御方式を組み合わせ、当社機械工場において実際の工事と同規模のもので実証実験を行ったところ、ガタツキ発生音圧レベル以下になり、超低周波音に対する低減の有効性が確認された。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概要
- § 3. 測定結果
- § 4. 考察
- § 5. 作業基地敷地境界線上の音圧レベル予測
- § 6. あとがき

§ 1. はじめに

関西電力(株)御発注の谷町筋管路新設工事は、大阪市内の繁華街を通過するため、シールド工事の作業基地を商業ビルやマンションが建ち並んでいる中に設置せざるを得ない状況にある。この立地環境で、泥水処理用の振動ふるい機を4台も稼働させることは、近隣に相当の超低周波音被害を与える恐れがあり、基地建設に際しては、万全の対策が要求されている。

超低周波音は、人間の耳には聞こえない20Hz以下の空気振動を指すが、戸や障子のガタツキなど2次的な振動被害だけでなく、圧迫感や不快感など人体に対する健康上の被害を及ぼす恐れがある。

* 技術研究所環境研究課

** 関西(支)関電上二(出)

*** 関西(支)機械課

本工事のシールド掘進は、昼夜を問わず24時間フル運転で計画されており、振動ふるい機もそれに沿って稼働するため、超低周波音の問題を解決する必要がある。関西電力(株)、(株)神戸製鋼所、サンエー工業(株)、西松建設(株)は共同でその防止対策に取り組み、今回は新たに開発した吸音・遮音パネルを採用することに決め、その効果を確認するための実証実験を行った。以下にその概要を報告する。

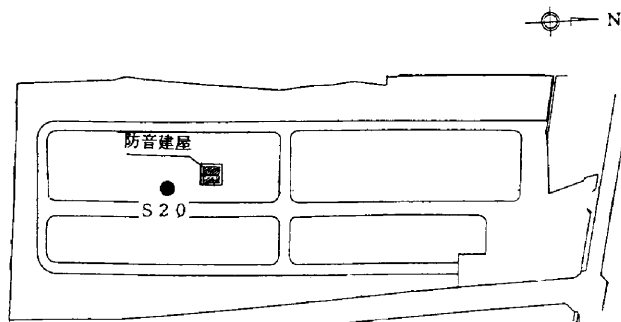
§ 2. 概要

泥水シールド工事において、シールド掘進に伴い発生する土砂混じりの泥水を処理するため、泥水処理機が設置されるが、泥水中の土砂、礫を分離脱水する一次処理機（サンドマスター）の中に振動ふるい機（サンドスクリーン）がある。この振動脱水ふるい機は、水平に取り付けられたスクリーンを上下、斜め方向に振動させ、泥水中の水分を脱水するもので、その際、スクリーンの上下運動により空気を震わせ、空気伝播音となって周囲に拡散、放射する。この振動ふるい機は、1秒間に15.8サイクルで稼働するための15.8Hzの超低周波音が発生する。

実際の工事においては、作業基地内にこの振動ふるい機が2台ずつ2か所設置される予定であり、超低周波音の発生エネルギーも相当大きくなると予想される。そこで、実際の現場で適用する予定の泥水処理装置と同じ規模のものを、当社の高槻工場敷地内にセットし、振動ふるい機のスクリーン上に泥水がある状態を想定して、下記に示す項目の実験を行った。

- ①防音建屋のない状態（無対策）
- ②鋼板（厚さ9mm）だけの防音建屋の状態（鋼板囲い）
- ③防音建屋+内部に吸音材を取り付けた状態（鋼板囲い+吸音材）

尚、実験時における振動ふるい機の稼働状況は、I号



内部固定点：防音建屋壁面より内側へ1m
 外部固定点：防音建屋壁面より外側へ1m
 ●測定点（添付数字は防音建屋中心からの距離（m））

図-1 実験場平面図

機、II号機独立運転とI号機、II号機位相制御運転の2つのケースで実施した。

2-1 振動ふるい機仕様

型式：振動ふるい 1特S-RW型

投入汚水量：最大汚水量 5m³/min

能力：上網1, 3段目 砂分75t/h

中網 4段目 粘土40t/h

下網 5段目 礫分60t/h

動力：99.4kW 400V

重量：25t

振動ふるい機の概要を写真-1～5に示す。

振動ふるい機の逆位相連結を図-2, 3に示す。

逆位相連結方式とは、発生源での超低周波音を抑制するために、2台の振動ふるい機の回転軸を機械的に連結し、その回転角度を180度ずつずらして逆位相干渉を行う方式である。

表-1 振動ふるい機の型式及び仕様

スクリーン	KYDS 5 1/2×16
寸法	1,650 mm×4,800 mm
振動数	9500 cpm
振幅	8 mm
目開	1, 3段目 0.5mmウエッジワイヤー〔溶接網〕 2段目 盲板 4段目 23mm〔ラバースクリーン〕 5段目 3mm×40mm タイロッド〔溶接網〕
動力	37 kW×4 P×400 V
サイクロン	MD-9×6台〔油圧式濃度調節式〕 フィールドジム ボルテックス ファインダー アベックス バルブ
下部タンク	容量 16.5m ³ ×1槽 攪拌機 水中式 3.7kW×2台
ポンプ	耐磨耗スラリーポンプ×1台
仕様	150 mm×5 m ³ /min
動力	55 kW×400 V〔インバータ制御〕
防振架台	エアードンパー PSB-1-300P×14台

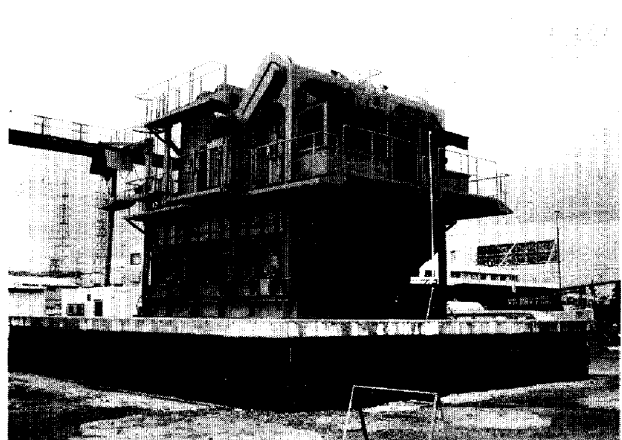


写真-1 振動ふるい機全景

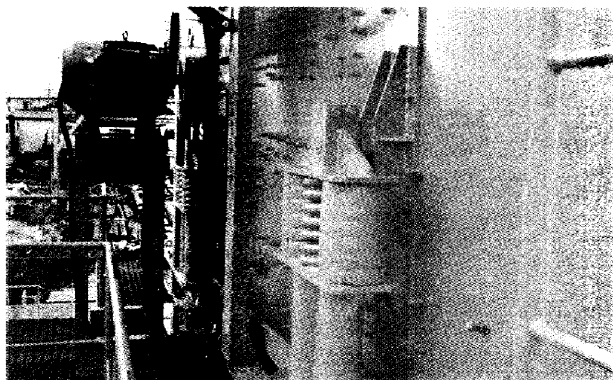


写真-2 スクリーン支持スプリング



写真-3 エアーダンパ (防振架台)

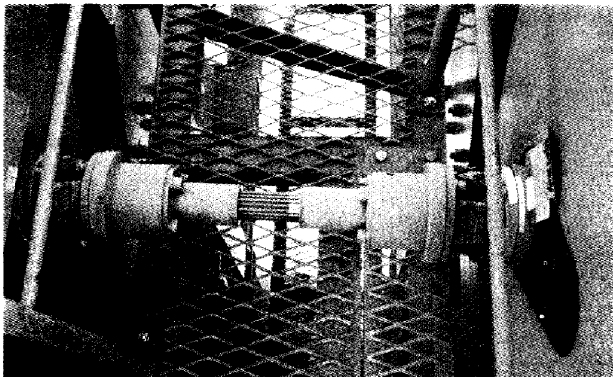


写真-4 I + II号機軸芯連結部

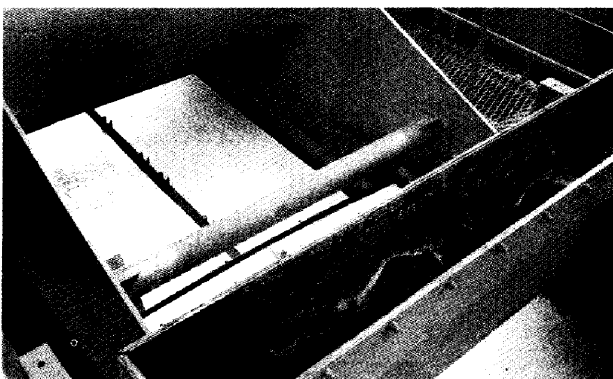


写真-5 スクリーン部シート張り状況

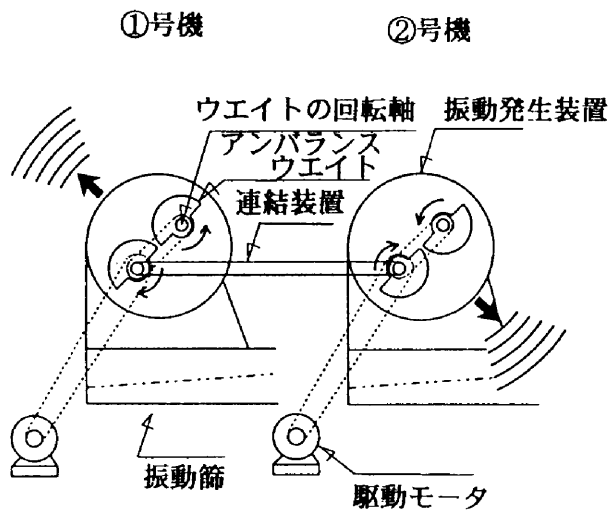


図-2 逆位相の連結方式

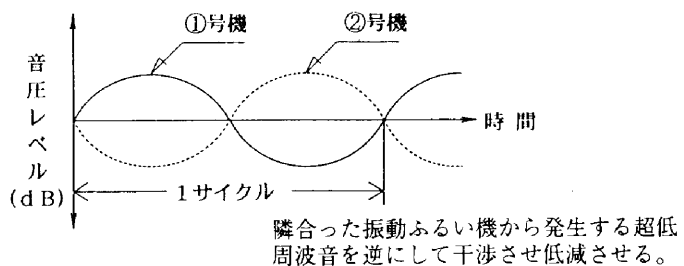


図-3 逆位相の概要

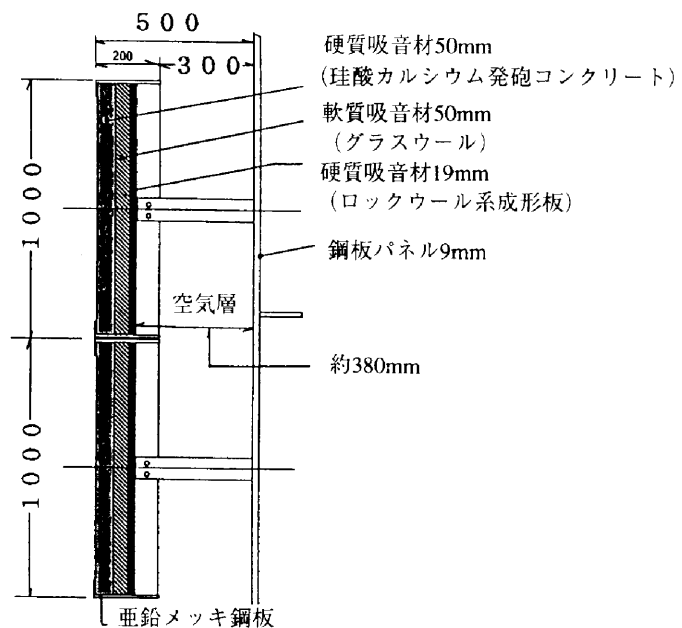


図-4 建屋壁材の断面詳細図

2-2 防音建屋仕様

新たに開発された防音建屋の壁材は、吸音体部分と遮音体部分の2つで構成されている（ダンウルフ：(株)神戸製鋼所 商標登録出願中）。建屋壁材の詳細を図-4に示す。

2-2-1 吸音体構造

- 第1層吸音材：珪酸カルシウム系発砲コンクリート
- 第2層吸音材：グラスウール 32k 厚み 50mm
- 第3層吸音材：ロックウール系成形板 厚み 19mm
- 空気層 : 約380mm
- フレーム : 亜鉛メッキ鋼板 1.6mm
- 構成寸法 : 1.0m×1.0m×D500mm
- 取付け : M6ボルト・ナット

吸音体の吸音率を図-5に示す。

2-2-2 遮音体構造

- パネル本体 : 鋼板SS400 板厚9mm
- パネル補強リブ：FB150×6, FB75×6
- 支柱 : H200×8/12, □200×6
- ベース : H200×8/12
- パネル接合 : 5mm厚ネオプレーンゴム板パッキン及びM16ボルト、ナット

質量則から求めた遮音体の透過損失を図-6に示す。

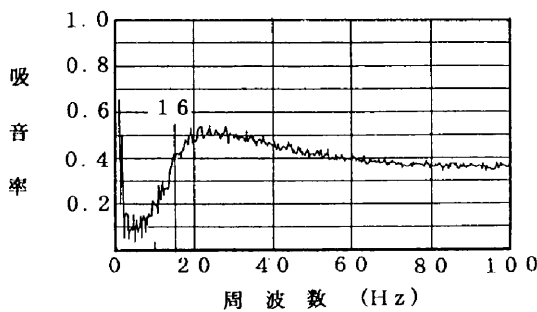


図-5 吸音体の吸音率

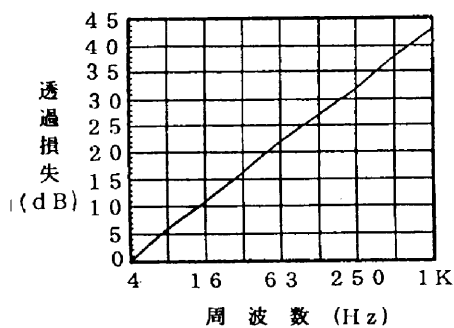


図-6 遮音体の透過損失

§ 3. 測定結果

3-1 測定要領

超低周波音の測定は、周波数範囲1~20Hzで平坦な周波数レスポンスを得られる圧電型マイクロホンを用い、振動レベル計で増幅して音圧レベルをデータレコーダに収録した。

測定周波数は1~90Hz、音圧レベル測定範囲は40~130dB、指示計器の動特性は時定数約0.6秒で行った。

超低周波音及び可聴域音の周波数分析は、前述の測定方法により得られた磁気記録を再生し、1/3オクターブバンド実時間分析器を用いて、10~20秒間、1/100秒間隔でサンプリングし、そのパワー平均を求め、結果とした。

測定及び分析、解析に使用した機器系統ブロックダイヤグラムを図-7に示す。

実験における音圧レベルの測定位置を、図-8に示す。

3-2 測定結果

I+II号機独立運転時及びI+II号機位相制御運転時の測定結果を表-2, 3に、その時の波形記録及び周波数分析結果を図-9~11に示す。

§ 4. 考察

測定結果から次のことが考察できる。

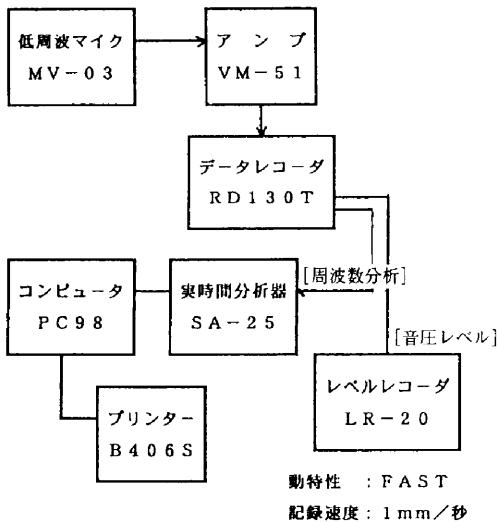
- 振動ふるい機2台を1セットとして防音建屋で囲った場合、位相制御運転における建屋内部の音圧レベルは、無対策のときに比べ遮音材だけのときは12dB上昇する

表-2 I+II号機独立運転時の音圧レベル

項目	超低周波域 (0.8~20Hz) dB					
	A P			16 Hz		
	無対策	鋼板囲い	鋼板囲い+吸音材	無対策	鋼板囲い	鋼板囲い+吸音材
測定点	固定点内側	120	120	120	120	115
	固定点外側	97	97	97	97	93
	S 20	95	95	95	95	83

表-3 I+II号機位相制御運転時の音圧レベル

項目	超低周波域 (0.8~20Hz) dB					
	A P			16 Hz		
	無対策	鋼板囲い	鋼板囲い+吸音材	無対策	鋼板囲い	鋼板囲い+吸音材
測定点	固定点内側	93	105	99	92	104
	固定点外側	89	84	86	69	83
	S 20	83	78	81	79	77



周波数補正回路：F特性
 動特性：FAST
 周波数範囲：1/3オクターブバンド0.8~630Hz
 周波数毎のLx値及びLmax値の算出

図-7 ブロックダイアグラム

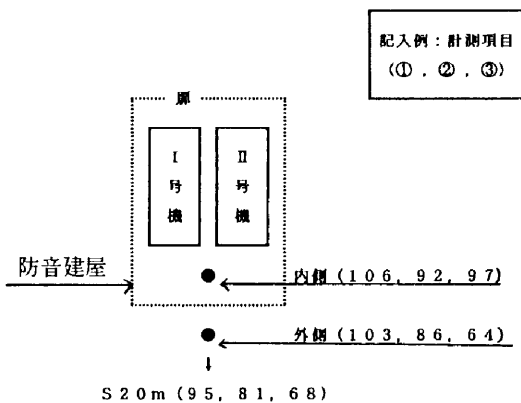


図-8 測定位置

が、新開発の吸音材を取り付けるとその上昇は6dBだけで低周波音に対する吸音材の有効性が見られた。
 ○上記と同様な状況における防音建屋内外の各1m地点での音圧レベル差は、無対策のときの距離減衰が4dB減であったものが、鋼板囲いのみでは21dB減となる。さらに鋼板囲い+新吸音材のケースではそれが30dB減にもなり、ここでも新吸音材の効果がはっきり見られた。
 ○音源の周波数成分は、振動ふるい機の回転数と同じ16Hzが極端に卓越しており、16Hzの音圧レベルと全帯域(オールパス)の音圧レベルは、音源近傍ではほとんど差が生じていない。しかし、音源より20m以上の地点になると暗騒音の影響を受け差が広がる。
 ・振動ふるい機の稼働を位相制御することによって独

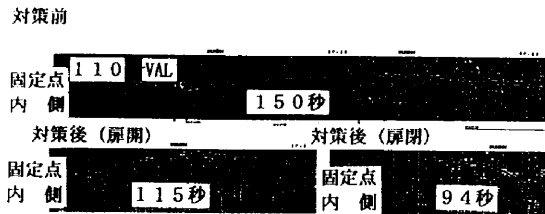


図-9 I+II号機独立運転時の波形記録



図-10 I+II号機位相制御運転時の波形記録

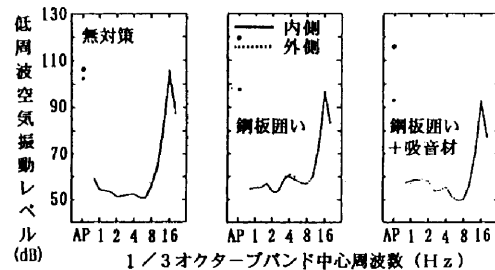


図-11(a) I+II号機独立運転時の周波数分析結果

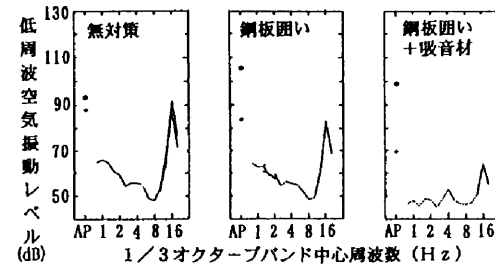


図-11(b) I+II号機位相制御運転時の周波数分析結果

立運転時より大幅に音圧レベルの低下が得られた。その値は音源付近で13~16dB減であった。また、波形記録を見ると独立運転時に発生する「うなり現象」が完全に削減していた。

§ 5. 作業基地敷地境界線上の音圧レベル予測

超低周波音は、周辺の建物や地形による反射及び風等の影響により、ある方向では遠くの場合でも大きな音圧レベルであったり、逆に殆ど影響が現れなかったりするものであるため、伝播状況を的確に予測することは非常に困難である。ここでは一般に知られている音の距離減衰式を用いて作業基地の敷地境界線上での超低周波音の

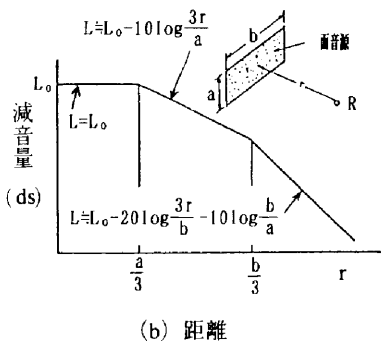
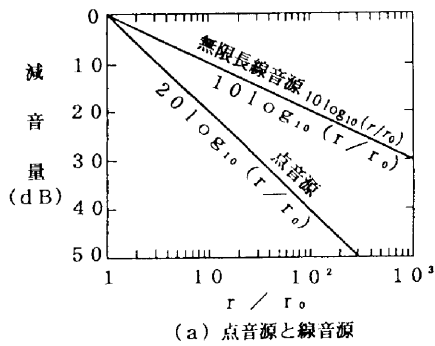


図-12 点音源，線音源，面音源の減衰傾向^{2), 4)}

敷地境界	20m 地点			敷地境界線		
	独立運転	位相制御	防音建屋	独立運転	位相制御	防音建屋
北			86			77
南	97	92	86	88	83	77
東	100	83	72	102	85	74
西	95	81	68	93	79	66

表中の方位並びに数値は、実証実験場所とは異なる。

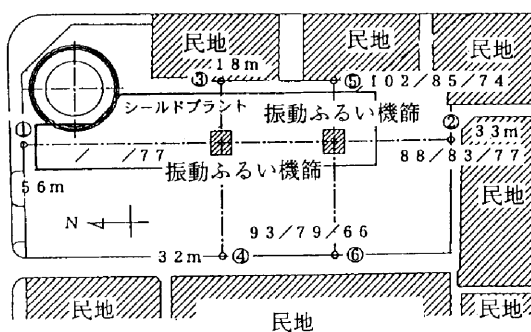


図-13 敷地境界線上の予測値

音圧レベルを予測する。

音の距離減衰を求める場合、音源の種類によって算出する式が異なる。

①点音源の場合

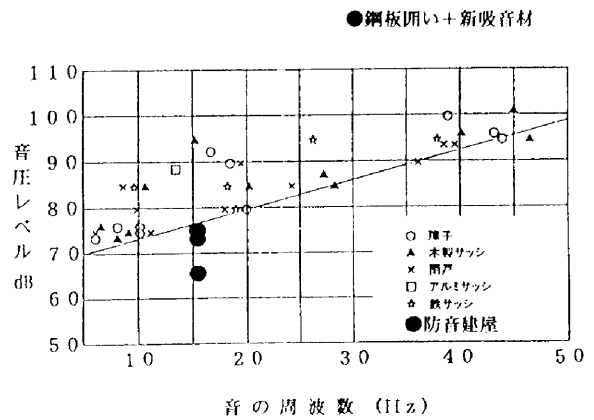


図-14 ガタツキ発生音圧レベル

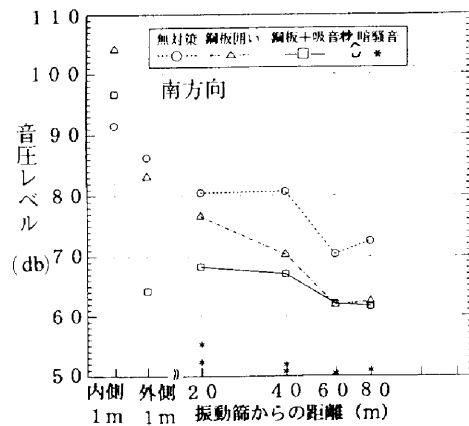


図-15 I+II号機位相制御運転距離減衰図

$$SPL_r = SPL_0 - 20 \log (r/r_0)$$

但し SPL_r : 敷地境界線上の音圧レベル

SPL_0 : ある地点での音圧レベル

L_r : 音源から敷地境界線まで距離 (m)

L_0 : 音源からある地点までの距離 (m)

②線音源の場合

$$SPL_r = SPL_0 - 10 \log (r/r_0)$$

③面音源の場合

面の大きさと距離との関係により、図-12に示す通りに、減衰無し (A) → 線音源的減衰 (B) → 点音源的減衰 (C) となる。

$r < a/3$ のとき

$$SPL_r = SPL_0$$

$a/3 < r < b/3$ のとき

$$SPL_r = SPL_0 - 10 \log (3r/a)$$

$b/3 < r$ のとき

$$SPL_r = SPL_0 - 20 \log (3r/b) - 10 \log \cdot b/a$$

本工事の場合、振動ふるい機本体を防音建屋で遮蔽するため、超低周波音は面音源として拡散すると考える。

20m地点での測定結果を用いて当作業基地の敷地境界線上での超低周波音の音圧レベルを試算すると図-13のようになる。

したがって、振動ふるい稼働時に無対策の状態では、敷地境界線上で88～102dBの超低周波音が伝播するが、位相制御方式並びに新開発の壁材による建屋を採用することで66～77dBに抑制することができる。これは、戸、障子のガタツキ発生レベル以下であり、人間の感じない閾値である。

図-14に戸、障子のガタツキ発生レベルと周波数との関係を掲げる。

§ 6. あとがき

今回の実験結果から、防音建屋に新たに開発した遮音吸音パネルを採用することで、超低周波音に対する低減の有効性を確認することができた。

市街地での建設工事においては振動、騒音のクレームが発生しやすく、特に超低周波音については、人間の耳では感知することができないため、通常の騒音のように

うるさいという問題は起こらないが、人体に及ぼす影響として、心理的不快感や動悸、めまい、吐き気などの自覚症状を発生させる恐れがあると報告されており、社会的理念として工事施工者は、事前に超低周波音を低減させる万全の手続を講じ、人体や近隣住民への影響を無くす最大の努力をすることが重要である。

最後に、本実験に際し、関西電力㈱並びに、関係各位に、多大な御協力、御指導を頂きましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 中野有朋 他：入門 超低周波音工学，技術書院，1984.6
- 2) 福田基一 他：環境工学概論，培風館，1987.3
- 3) 庄司 光 他：衛生工学ハンドブッカー騒音・振動，朝倉書店，1982.9
- 4) 日本建設機械化協会：建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック，技報堂，1977
- 5) 環境庁低周波空気振動の家屋等に及ぼす影響の研究 1977低周波空気振動等実態調査