

# 打樁作業對週邊人員溝通之影響及噪音曝露量之探討

## Evaluation of Worker's Noise Exposure and Communication Quality for Pile-Driven Process

王柏村\* 余振順\*\* 羅守枝\*\*\*

### 摘要

本文旨在探討預力基樁打樁作業時所產生的噪音對週邊人員語言溝通之影響，並藉以了解工作人員之噪音曝露量，以提供週邊人員現場語言溝通及工作時間之參考。本研究採用噪音分析儀並配合手提式電腦於高屏溪攔河堰預力基樁工程，以油壓衝擊式打樁機打樁現場，實地量測打樁作業所產生之噪音，以距離樁心5、10、20公尺等距離，進行量測後分析得知，若工作人員於施工現場必須進行交談，應在距樁心20公尺處可得較佳之溝通效果；並建議工作人員應儘可能勿進入距離樁心10公尺內，方能確保在噪音容許曝露量內。

### 一、前言

預力基樁打設為土木工程施工普遍用於解決基地承载力不足之施工法，打樁機有柴油樁機、油壓樁機等，預力基樁打設時因重錘與樁頭撞擊產生極大的噪音，對工作現場及週邊工作人員之語言溝通產生干擾，對工作人員健康亦是一大威脅。

過去已有對於打樁作業產生之噪音作研究，劉玉文等<sup>(1)</sup>對打樁作業所用之柴油樁機、震動式樁機等機具做噪音位準及打樁噪音頻譜分析，並對勞工噪音曝露量作評估，但並不含油壓擊錘式打樁機。林耀

煌<sup>(2)</sup>探討營建施工機械之噪音、振動量測與防制，文中表示柴油樁機施打時之噪音位準隨貫入深度而增加。黃乾全<sup>(3)</sup>探討噪音劑量對聽力之影響研究調查，計算出Critical level為77.9dB SPL，並表示非要高噪音才會造成聽力損失。喻台生<sup>(4)</sup>對營建工程陳情之探討，顯示因營建噪音陳情之比例相當高，並表示基礎工程用機械噪音源主要是採打擊工法之打樁工程。國內少有探討油壓擊錘式打樁機作業時之噪音，及分析該噪音對語言溝通影響情形，並建議安全曝露量活動範圍者。本文僅就

\*國立屏東科技大學機研所 教授 \*\*經濟部水利處南區水資源局 副工程師 \*\*\*經濟部水利處南區水資源局 正工程師

高屏溪攔河堰工程樁基礎，所使用之油壓錘擊式打樁機(Hydraulic Hammers)施工現場打樁作業時所產生噪音進行探討，文中首先介紹相關噪音理論分析，其次介紹量測程序與步驟、並定義打樁作業操作狀態，最後探討實際量測結果，依噪音對語言交談之遮蔽效應<sup>(5)</sup>配合所測得結果，得知，若工作人員於施工現場必須進行交談，應在距樁心20公尺外才可得較佳之溝通效果，並建議工作人員應盡可能的勿進入距離樁心10公尺內方能確保在噪音容許曝露量內。

## 二、理論分析

本節就本文所引用之噪音評估指標做概略介紹與定義：

1. 全音域音壓位準(Over All Sound Pressure Level),  $L_{AP}$ (dBA)

$$L_{AP} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{pi}} \quad (1)$$

其中， $L_{pi}$ 為第*i*個八音階中心頻率之音壓位準(dBA); $N$ 為八音階頻率之*N*個中心頻率。

2. 均能音壓位準(Equivalent Energy Sound Pressure Level),  $L_{eq}$ (dBA)

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{pi}} \right) \quad (2)$$

其中， $L_{APi}$ 為第*i*秒之 $L_{AP}$ 值，總量測時間

為*N*秒。

3. 統計音壓位準(Statistical Sound Pressure Level),  $L_n$ (dBA)

$L_n$ 用以表示在某時段內有，有*n*% 之時間，超過此音壓位準。 $L_0$ 為該時段內之最大音壓位準，而 $L_{100}$ 為該時段內之最小音壓位準。其他常用之 $L_n$ 值有 $L_5$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$ 。

4. 優先語言干擾位準(Preferred Speech Interference Level), PSIL (dB)

PSIL可用於評估環境噪音對人員交談之影響，其定義如下：

$$PSIL = (L_{500} + L_{1000} + L_{2000}) / 3 \quad (3)$$

其中， $L_{500}$ ,  $L_{1000}$ 及 $L_{2000}$ 分別為八音階中心頻率500Hz, 1000Hz及2000Hz之音壓位準(dB)。

5. 噪音曝露量(Noise Dose),  $D$  (%)

對單一噪音源之噪音曝露量定義如下：

$$D = C/T \quad (4)$$

其中， $C$ 為曝露於噪音源之時間，以小時計； $T$ 為在該噪音源之容許曝露時間，以時計。若作業員曝露於多種噪音源，則噪音曝露量可定義如下：

$$D = C_1/T_1 + C_2/T_2 + \dots + C_m/T_m \quad (5)$$

其中， $C_i$ 為第*i*個特定噪音源之曝露時

間(小時)； $T_i$ 為第 $i$ 個特定噪音之容許曝露時間(小時)；而 $m$ 為噪音源之總數。

6.時間平均音壓位準(Time Weighted Average Sound Level,TWA)(dBA)

噪音曝露量，以5分貝規則，並以每天工作八小時計算，可得時間平均音壓位準如下：

$$TWA=16.61\log_{10}(D/100)+90 \quad (6)$$

TWA可視為一天工作八小時之平均音壓位準。

### 三、量測程序與步驟

本節首先針對量測地點場地狀況做說明，再介紹受測機器，包括吊車及打樁機，並分別定義擬量測之怠速及作業循環，最後說明量測步驟。

#### (一)量測現場概述：

量測地點為高屏溪攔河堰工區河床空曠地，進行打樁作業施工現場，其地質狀況簡述如下：

- 1.高屏溪攔河堰工程之固定堰，(平均標準貫入值為17.68\*)堰址地質為河川沖積層，主要由粗砂礫層、泥質粗細砂層、黃色風化砂塊及砂質黏土所構成。
- 2.攔河堰址位於高屏溪下游廣大沖積層上，

此沖積層厚達40m以上。基礎主要係由全新世之現代沖積層所構成，地表10m內(標高4m左右)主要為砂及礫石層，砂質有機土壤佈於地表約10cm厚，其下約2~3m為灰色粗砂層含礫石，夾有薄沉泥質的細料，此一砂層下部則出現呈交錯分佈之礫石層，其厚度約6~8m。由貫入值10~20可知此礫石層較為疏鬆。其下又出現貫入值15~30、厚度3~8m之泥質砂層<sup>(6)</sup>。

3.地面狀況：略不平、高差約十公分以內。

#### (二)受測機器之作業狀態定義：

在前述地點之打樁作業，主要作業機器有吊車及油壓錘擊式打樁機其型號規格詳如表一，其外型如圖一。先以吊車吊預力基樁至定位，再以打樁機進行打樁作業，根據實地作業情形，及主要引發噪音之情況，定義以下四種作業狀態：

- 1.吊車怠速：吊車啟動，但未作業且靜止未行走。
- 2.打樁機怠速：打樁機啟動，但未作業且靜止未行走。
- 3.吊車作業：吊車自基樁存放處，吊基樁行走至打樁機處。
- 4.打樁機作業：自基樁定位後，打樁機進行昇錘、打擊等反復動作至基樁沒入地面止。昇錘高度自60cm、75cm、90cm

\*標準貫入值之大小為初步判定地層軟硬或緊密程度之指標〔7〕，17.68以砂質而言相對密度屬中度之地質〔8〕。

漸增至105cm後維持105cm至打樁完成。

### (三)量測儀器

本文機器噪音量測使用之儀器為CEL-593.C1實時精密噪音計，本設備具有500K之記憶容量，可進行長時間之量測，所測得資料可由儀器螢幕上讀得，亦可藉由列表機列印，更可將所測得資料以RS232與電腦連線，將資料輸入電腦，作資料處理。

### (四)量測步驟

本文係於施工現場實地量測打樁作業所產生噪音，其步驟如下：

- 1.了解施工動線，標定儀器擺設位置。
- 2.麥克風架設高度以相當於人耳高度之1.5公尺高，分別距離受測物5公尺、10公尺、20公尺，詳圖二所示。
- 3.噪音計設定EVN、IMPULSE、 $L_5$ 、 $L_{10}$ 、 $L_{50}$ 、 $L_{90}$ 、 $L_{95}$ 及每1秒記錄一筆、可記錄 $L_{in}$ 、 $L_{eq}$ 、 $L_n$ 、量測開始時間、總量測時間及1/1八音階頻帶分佈情形。
- 4.分別量測受測機械未啟動時之背景噪音、吊車怠速時、打樁機怠速時及吊車作業時等之聲音壓力位準、量測次數以距受測設備5公尺、10公尺、20公尺處各量測一次30秒鐘。
- 5.量測打樁機作業時之聲音壓力位準、噪

音主要是由打樁時錘擊造成，而錘擊點隨基樁被擊入地下而隨之下降，為免高度變化造成量測誤差，原則採每一樁點自開始至結束全程量測，並於距樁心5公尺、10公尺、20公尺處各量測三次。

6.打樁作業流程示意如圖三，其中吊車作業為吊車將基樁吊送至打樁機處，打樁機作業為打樁機樁錘反復錘擊之動作，打樁機作業為主要量測狀態。

## 四、量測結果與討論

經現場實地量測打樁作業時產生之噪音，茲分別以聲音壓力位準、八音頻帶分佈、語言干擾評估及曝露量分析與評估等項討論如下：

### (一)聲音壓力位準

表二顯示背景噪音及4種操作狀態之均能音壓位準分別以dB及dBA表示，所測得之噪音值均比背景噪音大10 dBA以上，故不必修正。吊車及打樁機怠速作業均在70 dBA以下，吊車作業則在70~80 dBA之間，打樁機作業時在5m處則高達94.7 dBA。

表三則列出打樁作業之統計音壓位準，分別在5m、10m及20m，各有3次量測結果比較：

- 1.在距離樁心10m測得之音壓位準三組平均為98.9dB，較20m-2(92.8dB)、20m-3(92.9dB)大6dB左右，與點音源特性10m應比20m大6dB相符，但20m-1(94.7dB)並非如此，此乃因20m-1施工時前已施打十餘支，緩衝材已損壞須更換，顯示音壓位準大小與緩衝材有關。
- 2.在距離樁心5m測得之音壓位準三組平均為101.7dB，僅比10m之音壓位準3dB(101.7dB-98.9dB=2.8dB)左右，與點音源特性5m應比10m大6dB不符，經檢討乃因受測物高，且音源自高處漸降低至地面，故音源實際距離不到二倍，只相差約3dB應屬合理。
- 3.圖四所示，為打樁作業自第0秒至第200秒之音壓位準，實際打樁作業時間約550秒，200秒以後大致相同故未繪出，顯示開始打樁時噪音較低，約為90 dBA，後漸增至約100 dBA。此乃因昇錘高度自60cm、75cm、90cm漸增至105cm之故，可知昇錘高度愈高，其噪音量愈大。

## (二)八音階頻帶分佈

圖五~八分別為四種作業狀態之1/1八音頻帶分佈情形，得知吊車、打樁機怠速及吊車作業時主要噪音頻率為32Hz、64Hz此為重型機械之特點，但圖八顯示於打樁作業時1/1八音階頻帶分佈情形則為

125Hz、250Hz、500Hz之音壓位準最高，明顯係由樁錘與樁頭衝擊時，所產生之衝擊性噪音。

## (三)語言干擾評估

語言干擾之評估，可應用優先語言干擾位準(PSIL)評估，但若無八音頻帶分佈資料時，亦可直接以均能音壓位準LA評估，茲分別評估如下：

### 1.以均能音壓位準LA評估：

由表三得知，在距離樁心5m時 $L_{90}=99.7$  dBA，在距離樁心10m時 $L_{90}=98.3$  dBA，在距離樁心20m時 $L_{90}=92.3$  dBA均接近100dBA。以上數據由圖九噪音對語言交談之遮蔽效應圖，可查得 $L_A$ 值達95dBA須在一呎內以非常高之聲音才能交談，達100dBA既須以喊叫才能交談。

### 2.以優先語言干擾位準評估：

由量測數據表四得知，距離樁心5m之PSIL平均值有90%的時間達93.2dB，距離樁心10m之PSIL平均值有90%的時間達93.2dB，距離樁心20m者亦有約10%的時間達93.9dB。由圖九噪音對語言交談之遮蔽效應圖，可查得PSIL值達88dB須以非常高之聲音才能交談，達92.5dB既須以喊叫才能交談。

綜合以上，分別以 $L_A$ 及PSIL評估語言交談之干擾情形，分別標註5m、10m、

20m之 $L_A$ 及PSIL值於圖九，可發現以PSIL之評估較 $L_A$ 之評估，噪音稍為惡劣，並可一致建議工作人員間之語言交談，最好在距打樁樁心20公尺外，才能有較佳之溝通環境。

#### (四)曝露量分析與評估

實際施工之打樁數以85年2月2日打設37支為單日最多，一般時間打樁數為10~20支，茲以單日施工量最多分析，設每日工作8小時，打設預力基樁37支，每支平均10分鐘計，打樁作業約六小時，吊車作業一小時、吊車怠速、打樁機怠速及背景噪音分別假設各20分鐘，詳列如表五，並假設打樁時作業員於5m、10m、20m各工作2小時，吊車作業時分別在5m、10m、20m各待20分鐘，怠速（吊車及樁機）時均在5m處。表五詳列各種作業狀態之距離及其對應之均能音壓位準，所假設曝露時間則為保守估計，可分別由(4)及(5)式計算曝露劑量得103.2%，以(6)式可得對應之時間平均音量  $TWA=90.2\text{dBA}$ 顯示已超出容許範圍，可能危及健康，在此應強調的，此分析僅為保守估計，實際之曝露量應更高，故工作人員須帶耳塞等隔音措施。

#### 五、結論

本文以高屏溪攔河堰工程，當油壓衝擊式打樁機打設預力基樁時所產生之噪音，對語言干擾及工作人員之曝露量作探討，經實地量測打樁作業所產生之噪音及分析，得到下列結論：

- 1.由噪音對語言交談之遮蔽效應圖，可查得PSIL值達88dBA須以非常高之聲音才能交談，達92.5dBA既須以喊叫才能交談，若須要交談應在距離樁心20m以上可得較佳之溝通效果，此點與實際狀況相當吻合。
- 2.以單日工作量最多之打樁數分析，曝露噪音劑量高達103.2%時間平均音量 $TWA=90.2\text{dBA}$ 顯示正好超出容許範圍，危及健康，建議應佩戴耳塞。一般時間之曝露量應不至超過，但若長時間在距離樁心10公尺內工作，仍有超出容許範圍之可能故建議工作人員應儘可能勿進入距離樁心10公尺內工作，若不可避免則建議應佩戴耳塞，方能確保在噪音容許曝露量內。

#### 六、誌謝

本文之撰寫於現地實測時感謝榮工處大樹施工所及經濟部水利處南區水資源局高屏溪攔河堰工務所相關人員協助，特此

誌謝。

## 七、參考文獻

1. 劉玉文、胡世明，「樁作業勞工噪音曝露之調查研究」，中華民國音響學會第六屆學術研討會論文集，第79-87頁（1993）。
2. 林耀煌，「營建施工機械之噪音、振動量測與防制」，中華民國音響學會第五屆學術研討會論文集，第18-28頁（1992）。
3. 黃乾全，「噪音劑量與暫時性聽力閾值變化之關係探討」，中華民國音響學會第六屆學術研討會論文集，第88-99頁（1993）。
4. 喻台生，「營建工程陳情之探討」，中華民國音響學會第四屆學術研討會論文集，第19-44頁（1991）。
5. 行政院衛生署環境保護局，「噪音管制手冊」，第2-13頁，行政院衛生署環境保護局編印（1987）。
6. 台灣省水利局規劃總隊，「高屏溪下游攔河堰工程細部規劃--八十三年度地質補充探查及地下水調查規劃工作報告」，台灣省水利局（1984）。
7. 房性中編著，「標準貫入試驗N值應用的比較與探討」，第2-16頁，文笙書局股份有限公司（1994）。
8. 徐裕昌、郭俊良譯述，「土壤力學」上冊，第115-118頁，科技圖書股份有限公司（1979）。

表一、吊車及打樁機型號規格表

作業機器	廠 牌	型 號	動 力 源	馬 力	外形尺寸〔長*寬*高〕
履帶式吊車	未 明	未 明	柴油引擎	相當於 起吊能 力40噸	6.6m*4m*24m
打樁機	BSP(A BRITISH STANDARD QUALITY ASSURED PRODUCT)	BSP-814-6	油壓單元	217kw	7.7m*4.3m*30m

表二、背景噪音及各作業狀態音壓位準彙整表

	背景噪音		吊車怠速		打樁機怠速		吊車作業		打樁機作業	
	dB	dBA	dB	dBA	dB	dBA	dB	dBA	dB	dBA
5m	74	46	79.2	66.8	83.3	68.8	87.9	77.0	101.7	94.7
10m	74	46	77.9	68.1	80	65.5	87.8	78.0	98.9	92.1
20m	74	46	75.2	64.2	77.9	63.2	83.7	72.1	93.5	87.0



表三、打樁作業時dB、dBA及Ln值

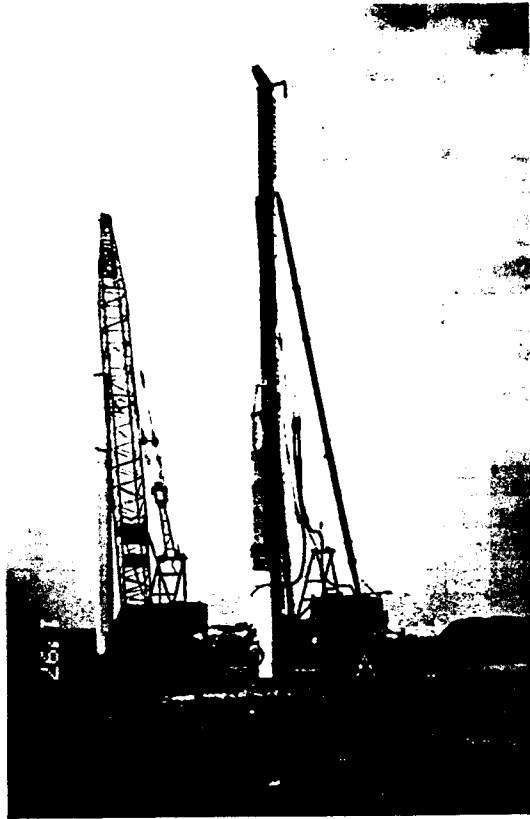
	dB	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA
	Leq	Leq	L5	L10	L50	L90	L95
5m-1	102.6	96.2	110.0	109.0	106.0	101.0	98.0
5m-2	101.3	94.0	107.0	106.0	104.0	99.0	97.0
5m-3	101.3	94.0	107.0	106.0	104.0	99.0	97.0
平均值	101.7	94.7	108.0	107.0	104.7	99.7	97.3
10m-1	98.6	91.9	105.0	104.0	101.0	97.0	95.0
10m-2	98.6	91.8	105.0	104.0	102.0	99.0	97.0
10m-3	99.4	92.7	106.0	105.0	102.0	99.0	98.0
平均值	98.9	92.1	105.3	104.3	101.7	98.3	96.7
20m-1	94.7	88.9	103.0	102.0	98.0	93.0	91.0
20m-2	92.8	86.2	98.0	97.0	95.0	92.0	91.0
20m-3	92.9	85.9	98.0	97.0	95.0	92.0	91.0
平均值	93.5	87.0	99.7	98.7	96.0	92.3	91.0

表四、打樁作業時PSIL(dB)值

	PSIL(dB)	LN5.0% PSIL(dB)	LN10.0% PSIL(dB)	LN50.0% PSIL(dB)	LN90.0% PSIL(dB)	LN95.0% PSIL(dB)
5m-1	91.0	106.3	105	101	94.3	92
5m-2	88.9	102.7	102	98.7	93.3	90.7
5m-3	91.1	106.3	105.7	101	92	87.7
平均值	90.3	105.1	104.2	101.2	93.2	90.1
10m-1	86.7	100	99.7	96	94.3	90
10m-2	86.7	100.3	100	96.3	92.7	91.3
10m-3	87.3	101	100	96.7	92.7	91.7
平均值	86.9	100.4	99.9	96.3	93.2	91
20m-1	83.7	98	97	93	87.7	85.3
20m-2	81	93	92.3	90	86.7	86
20m-3	80.6	93.3	92.3	89.7	86.7	86
平均值	81.8	94.8	93.9	90.9	87	86.8

表五、曝露噪音劑量計算表

	距 離	音 壓 位 準 dBA	曝 露 時 間	容許曝露 時間 ( $T=8/2^{(L-90)/5}$ )	噪 音 劑 量 (%)
打樁 作業	5m	94.7	2小時	4小時	50
	10m	92.1	2小時	5.8小時	34.5
	20m	87.0	2小時	12.1小時	16.5
吊車 作業	5m	77	20分鐘	48.5小時	0.7
	10m	78	20分鐘	42.2小時	0.8
	20m	72.1	20分鐘	95.7小時	0.3
吊車 怠速	5m	66.8	20分鐘	199小時	0.17
樁機 怠速	5m	66.8	20分鐘	151小時	0.22
背景 噪音	5m	46	20分鐘	3566小時	0.01
合計	-----	-----	8小時	-----	103.2

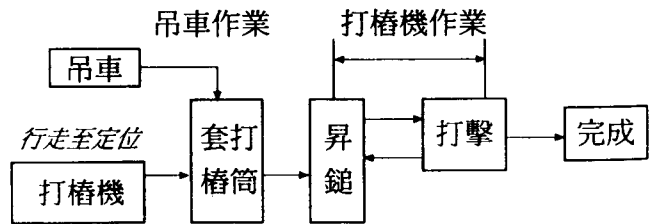


圖一、吊車及樁機外型

吊基樁



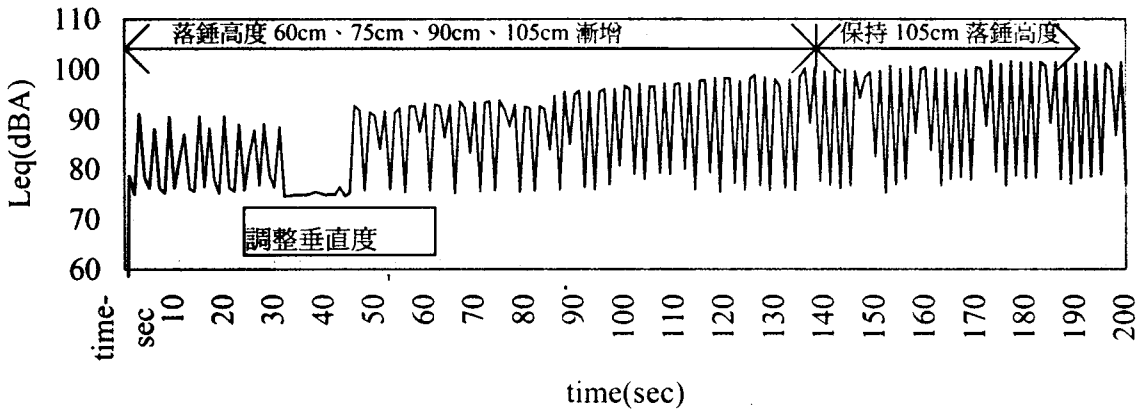
5M 10M 20M



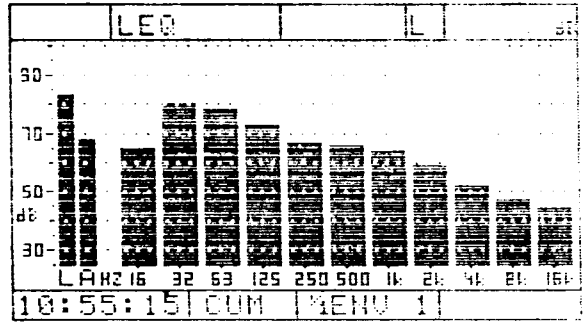
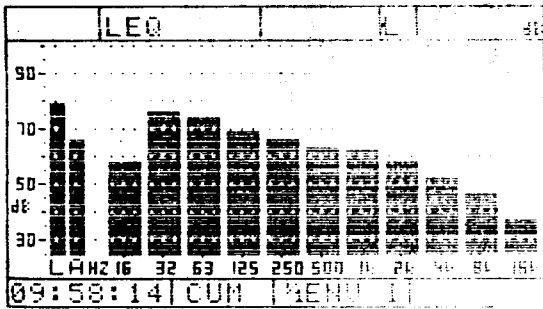
圖二、麥克風架量測點位置圖

圖三、打樁作業流程示意圖

5M-3(0-200秒)time-dBA

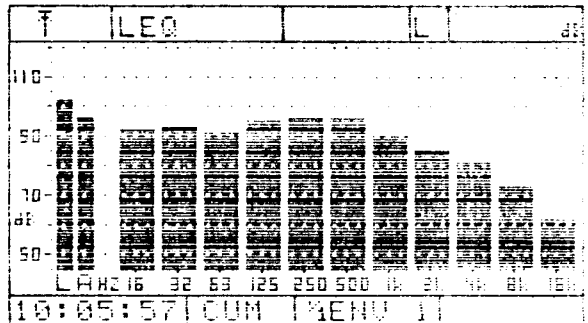
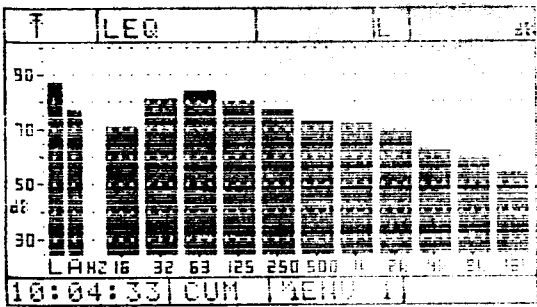


圖四、打樁作業0-200秒均能音壓位準變化情形(5m-3)



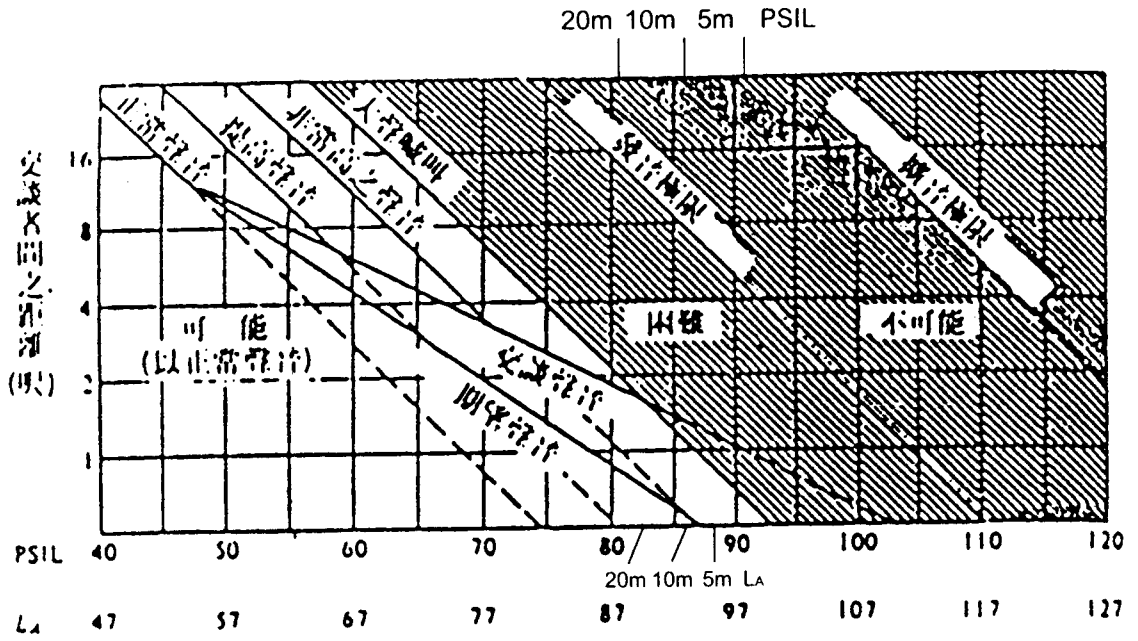
圖五、吊車怠速1/1八音階頻帶分佈情形(5m)

圖六、打樁機怠速1/1八音階頻帶分佈情形(5m)



圖七、吊車作業1/1八音階頻帶分佈情形(5m)

圖八、打樁機作業1/1八音階頻帶分佈情形(5m-3)



圖九、噪音對語言交談之遮蔽效應圖 (五)