

(CNS エレクトロニクス社資料)

パンジット 6

PUNDIT 6

操作マニュアル

富士物産株式会社

## 目 次

### 第 I 節 超音波パルス速度測定による試験の原理

|     |                |   |
|-----|----------------|---|
| 1.1 | 緒言             | 1 |
| 1.2 | 弾性固体中の縦波パルス速度  | 1 |
| 1.3 | 被試験体の大きさと形状の効果 | 1 |
| 1.4 | パルス振動の周波数      | 2 |
| 1.5 | 試験方法           | 2 |
| 1.6 | パルス速度試験の適用     | 3 |

4-26が欠番しておりますが、落丁ではございません。

### 第 II 節 パンジット 6 の仕様

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| 2.1 | パンジット (PUNDIT) の名称の由来 | 27 |
| 2.2 | パンジット現場キット            | 27 |
| 2.3 | 説明                    | 27 |
| 2.4 | 変換器とケーブル              | 28 |
| 2.5 | 仕様概要                  | 28 |

### 第 III 節 操作要領

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 3.1 | 前面パネル        | 32 |
| 3.2 | 後面パネル        | 34 |
| 3.3 | 商用交流電源による作動  | 34 |
| 3.4 | バッテリー作動      | 35 |
| 3.5 | バッテリー指示計の状態  | 35 |
| 3.6 | 内蔵バッテリーのフル充電 | 35 |
| 3.7 | 商用電源の電圧選択    | 35 |
| 3.8 | ヒューズの交換      | 36 |

### 第 IV 節 パルス速度の測定

|     |               |    |
|-----|---------------|----|
| 4.1 | 変換器           | 37 |
| 4.2 | 設定基準          | 37 |
| 4.3 | レンジ選択         | 37 |
| 4.4 | カップラント (接触媒質) | 37 |
| 4.5 | 変換器の配置        | 37 |
| 4.6 | パルス速度         | 38 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 4.7 PRF 選択                       | 38 |
| 第 V 節 システムの説明                    |    |
| 5.1 パルス発生器                       | 40 |
| 5.2 設定基準遅れ                       | 40 |
| 5.3 受信器用増幅器                      | 40 |
| 5.4 時間調整パルスオシレーター、ゲート及び<br>カウンター | 40 |
| 第 VI 節 コンクリートの試験                 |    |
| 6.1 用途                           | 41 |
| 6.2 精度                           | 41 |
| 6.3 コンクリート表面への変換器の接合             | 41 |
| 6.4 変換器配置の選択                     | 42 |
| 6.5 試験条件の影響                      | 43 |
| 6.6 コンクリートの均質性                   | 45 |
| 6.7 欠陥の検出                        | 45 |
| 6.8 空隙 (voids and cavities) の検出  | 45 |
| 6.9 表面ひび割れの深さ                    | 45 |
| 6.10 コンクリートの経時変化                 | 55 |
| 6.11 火気被害後の強度算定                  | 55 |
| 6.12 強度の推定                       | 55 |
| 6.13 弾性係数の推定                     | 61 |
| 6.14 動弾性係数と動ポアソン比の決定             | 61 |
| 第 VII 節 パンジットと一緒に用いる付帯設備         |    |
| 7.1 追加設備の要約                      | 65 |
| 7.2 パンジット・アナログアドオン装置             | 65 |
| 7.2.1 仕様                         | 65 |
| 7.2.2 操作要領                       | 69 |
| 7.2.3 システムの記述                    | 70 |
| 7.3 シグナルバッファー増幅器                 | 72 |
| 7.3.1 仕様                         | 72 |
| 7.3.2 操作                         | 72 |
| 7.4 パンジット C.R.O. 減衰アドオンユニット      | 76 |
| 7.4.1 仕様                         | 76 |
| 7.4.2 制御                         | 76 |
| 7.4.3 操作要領                       | 77 |
| 7.4.4 システムの説明                    | 80 |
| 7.5 エキスポネンシャル・プローブ受信変換器          |    |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| (EX RX)                                    | 84  |
| 7.5.1 仕様                                   | 84  |
| 7.5.2 増幅器バッテリーの交換                          | 84  |
| 7.5.3 操作要領                                 | 84  |
| 7.6 1MHz 変換器についての校正                        | 85  |
| 7.7 220kHz 及び 500kHz フィンガープローブ先端<br>チップの交換 | 85  |
| 7.8 ホイールプローブ                               | 85  |
| 予備増幅器 (preamplifier) BAX4                  | 86  |
| 予備増幅器 BAX7                                 | 88  |
| 7.9 P・S波の変換器                               | 90  |
| 7.9.1 P・S波超音波変換器                           | 90  |
| 7.9.2 P・S波変換器の操作                           | 93  |
| 7.10 P波及び直交 S 波 Hoek Cell 変換器              | 93  |
| 7.10.1 仕様                                  | 94  |
| 7.10.2 P波及び直交 S 波の変換器動作                    | 94  |
| 7.11 伝播遅れをもつパンジット S 波・P 波パルス発<br>生器        | 94  |
| 7.11.1 仕様                                  | 96  |
| 7.11.2 ゼロ点回帰変換器                            | 96  |
| 第 VIII 節                                   |     |
| 8.1 荷重支持変換器                                | 97  |
| 第 IX 節                                     |     |
| 9.0 RS232C インターフェース                        | 100 |
| 9.1 仕様                                     | 100 |
| 9.2 設置要領                                   | 101 |
| 9.3 操作要領                                   | 101 |
| 9.3.1 ハードウェア                               | 101 |
| 9.3.2 ソフトウェアコマンド                           | 102 |
| 9.3.3 操作                                   | 103 |
| 9.3.4 パンジットプリンター                           | 104 |
| 第 X 節                                      |     |
| 10.0 信号バッファ減衰器                             | 105 |

## 第Ⅰ節 超音波パルス速度計測による試験の原理

### 1.1 緒言

固体物質中を走る超音波パルスの速度はその物質の密度と弾性特性によって変化します。或る物質の品質は弾性剛さに相関を有するので、そのような物質中の超音波パルス速度の測定はそれらの弾性特性を決定するためのみならず、それらの品質を表すためにも、測定することができます。このようにして算定できる物質としては、特にコンクリートと木材がありますが、金属は対象外です。

超音波試験が金属に応用される場合、その目的は内部の欠陥を検出することにあります。内部に欠陥があると入射ビームの方向に反響が送り返えされ、受信変換器によってキャッチされます。パルスが表面から欠陥まで及びそれと同じ戻り経路を走るに要した時間を測定することによって、欠陥の位置が検出されます。

そのようなテクニックはコンクリートや木材のような不均質な物質には適用できません。その理由はそのような物質中の多くの異相面で反響が生じ、全ての方向にパルスのエネルギーが散乱するからです。

### 1.2 弾性固体中の縦波パルス速度

一つの弾性固体中を進む縦波超音波振動のパルス速度は下記のように与えられます。

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

ここで、

E は動弾性係数、

$\rho$  は密度、

$\nu$  はポアソン比。

### 1.3 被試験体の大きさと形状の効果

上記の式は、1 個の固体の最小幅寸法（即ち、パルスの経路に直角に測定された寸法）がパルス振動波長以上の場合、いかなる形状・大きさの 1 個の固体中を走る縦波パルスの伝播にも適用されることがある。

パルス速度はパルス周波数による影響は受けないので、パルス振動の波長はこの周波数に反比例します。このように、パルス速度は一般的に物質の特性によってのみ変わり、この速度を測定することによって物質の状態の推測ができます。

## 1.4 パルス振動の周波数

コンクリートや木材の試験に用いるパルス周波数は、金属の試験に用いられるものよりはるかに低いです。周波数が低ければ低いほど、パルスの伝播ビームが狭くなり、パルスの減衰が大きくなります。

金属試験には狭いエネルギー・ビームを供給するために高周波パルスが必要ですが、不均質物質にはそれは適さない。それはパルスがこれらの物質中を進むときかなり減衰するからです。

これらの物質に適した周波数は凡そ 20 kHz ～ 250 kHz で、コンクリートの現場試験用には 50 kHz が適しています。これらの周波数は凡そ 200 mm (低い方の周波数に対応) ～ 16 mm (高い方の周波数に対応) にわたる波長に対応します。

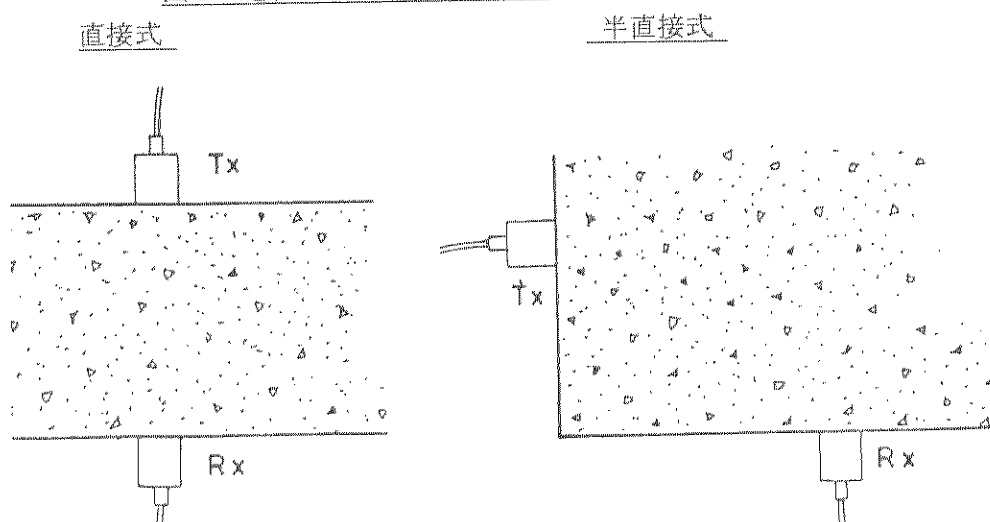
## 1.5 試験方法

超音波パルス速度の測定により物質の品質を算定するためには、この測定が高次元の精度を有する必要があります。これは適したパルスを発し、被試験体物質中を伝播する時間を精度良く測定する装置を用いて行われます。下記の式によって決定できるよう、パルスが物質中を走る距離（経路長さ）も又 測定しなければなりません。

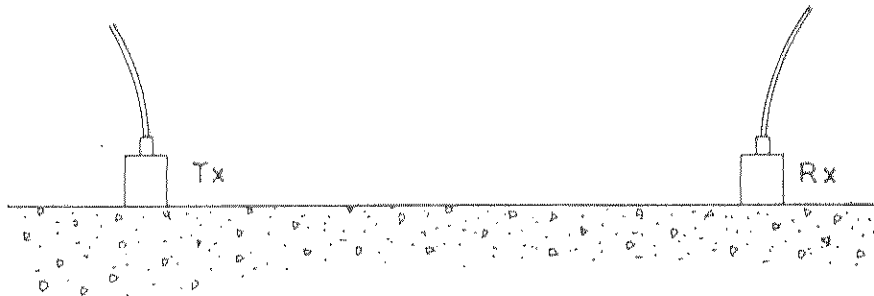
$$\text{パルス速度} = \frac{\text{経路長さ}}{\text{伝播時間}}$$

経路長さと伝播時間はそれぞれ凡そ $\pm 1\%$ で測定されるはずである。対象物質表面上の適切な箇所に変換器を配置して、パルスの一番早い部分が発信変換器を発進した時間から受信変換器に到達するまでの時間を計測器は表示します。図 1 は被試験体表面での変換器の配置方法、即ち、伝播形態が直接式か間接式かそれとも半直接式か、を示します。

図 1 超音波パルスの伝播方法



### 間接（もしくは表面）式



発信器を出た縦波パルスは主に変換器表面に垂直な方向に伝播するため、直接伝播配置が最も満足すべきものと言えます。超音波のエネルギービームは対象物質内部の不連続状態によって散乱させられますが、この場合に検出されるパルスの強さは直接伝播配置での同じ経路に対するその約1ないし2%に過ぎません。

パルスは物質中の大きな空隙を通り抜けて伝播することなく、もし、一個の空隙がパルス経路に存在するときは、計測器はその空隙を迂回した最短ルートでパルスが要した時間を表示します。そのような空隙が存在する一定の区域に対してこのようにパルス速度を格子状に測定することにより大きな空隙を検出できます。

#### 1.6 パルス速度試験の適用

この試験方法は元々コンクリートについて用いるために開発されました。そしてその適用の解説についての出版物は圧倒的にこの物質に関するものです。コンクリートに対する超音波試験の利用研究の結果を述べたかなりの量の文献が出版されています。この用途の完全な詳細については、この節の最後の抜粋リストを参照下さい。

英国ではこの方法は1945年から1949年の間に道路研究所（Road Research Laboratory）のジョーンズ（Jones）とガットフィールド（Gatfield）<sup>(2, 3)</sup>によって最初に開発され、又はほぼ同じ頃彼等とは関係なくカナダでもレスリー（Leslie）とチーズマン（Cheesman）<sup>(1)</sup>によって開発されました。当時開発された装置は伝播時間の測定に陰極線オシロスコープを利用しました。この装置の変形は広く多くの国で使用されてきました。この装置は特に実験室で役立ちましたが、現場の条件下では扱いにくいものでした。

このマニュアルで記述の装置は現場用として軽量で、携帯可能な、且つ使い易いよう、設計されたものです。これは現場で使用するときは商用電源なしで操作でき、又実験室用には直接AC商用電源で操作できます。コンクリートの非破壊試験に対する関心が幾つかの国で着実に高まっています。そして最近英国で開催されたシンポジウム<sup>(7, 9, 10)</sup>によって主題の現在の研究を検討、解説することが可能になりました。

BSI(British Standards Institution 英国標準規格協会)はコンクリート中の超音波パルス速度の測定の勧告(Recommendations)B.S. 1881 : パート 203<sup>(226)</sup> を発行済みです。超音波試験は今では英国で広く用いられており、従来の伝統的試験方法に対するこの方法の利点により更に用途が広がりつつあるのは明らかです。取り分け、コンクリートの状態を深く調べる能力についてはこれに並ぶものはありません。<sup>(12)</sup>

パルス速度法は木材の強度を推算するための信頼性ある手段を提供するものとして紹介されてきました。<sup>(89)</sup> これは又色々な種類の木材製品を試験するために用いられてきました。

<sup>(88. 86)</sup> 現在も電柱の腐食の検出に使われており、電柱の機能を止めることなしに検査できる経済的な方法です。同じ装置によって岩石層の試験や地質測量作業のための有用なデータを手にできます。又、この方法はグラファイトの試験に用いられてきていることから、その他の非金属物質試験にも有用であることが実証されつつあります。

## 第 II 節 パンジット 6 の仕様

### 2.1 パンジット (PUNDIT) の名称の由来

設備の名称の由来はフル名称 "Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester" (携帯型超音波非破壊デジタル表示試験機) のイニシャル文字を並べたものです。現場試験用、即ち完全に携帯型であること、操作が簡単であること、且つ精度と安定性が高いこと、を念頭に置いて設計されてきました。これは低周波超音波パルスを発し、パルスが一方の変換器から被試験体を通して他方の変換器に到達するのにかかった時間を測定します。

### 2.2 パンジット現場キット

完全なキットに含まれる品目は下記の通りです。

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| a) パンジット本体         | e) ゼロ点チェック用基準バー |
| b) 変換器 (54kHz) 2 個 | f) 結着剤 1 缶      |
| c) 変換器用ケーブル 2 本    | g) パンジット操作マニュアル |
| d) パンジット用皮ケース      | h) 商用電源用ケーブル    |

供給可能オプション品目

- ・ 他の周波数の変換器 2 個 1 組 : 24, 37, 82, 150, 200, 220, 500, 1,000
- ・ 1 MHz P&S 波変換器 (7.9 節参照)
- ・ 700kHz / 450kHz P&直交 S 波パルス Hoek Cell 変換器、ロック・メカニク用 (rock mechanics) (7.10 節参照)
- ・ P & 直交 S 波パルス発生器 (7.11 節参照)
- ・ エキスポーネンシャル・プローブ受信変換器 EXRX (7.5 参照)
- ・ ホイールプローブ (7.8 節参照)
- ・ 水密型変換器 / ボアホール変換器 / ディープシー (Deep sea) 変換器
- ・ シグナルバッファー増幅器 (7.3 節参照)
- ・ BAX7 バッファー増幅器 x 7 ゲイン
- ・ BAX4 バッファー増幅器 x 4 ゲイン、コンクリートの若令期の強度発達観察用水密型変換器と一緒に使用。
- ・ 変換機用特製長手ケーブル、30 m まで。
- ・ 増設アナログユニット (7.2 節参照)
- ・ CRO 減衰器増設ユニット (7.4 節参照)
- ・ RS232C インターフェース (9.0 節参照)
- ・ 全キットの携行用袋

### 2.3 説 明

パンジット 6 は超音波パルスが発信用変換機から受信用変換機まで伝播する時間の直接読み取りを行います。二つの時間レンジが設けられており、一つは  $0.1 \mu s \sim 999.9 \mu s$  で  $0.1$

$\mu s$  刻み、今一つは  $1 \mu s \sim 9999 \mu s$  で  $1 \mu s$  刻み、です。表示される小数点第三位はレンジの逸脱があるときに表示されます。

もし発信パルスが受信されないとき、もしくは変換機がテストピースから離れたときは、LCD 表示部は自動的に空白になり、もし  $0.1 \mu s$  のレンジに切り替えると、小数点しか表示されません。公称  $0.5$  から  $10 \mu s$  までの可変遅れ制御によって計測器を色々なタイプの変換機及びケーブルによって基準の読み値に設定できます。この制御は本体と共に供給される、伝播時間が  $26 \mu s$  の標準の基準バーと一緒に用いられます。

パルス発生器は裏面のスイッチにより切り替えて、EHT 電圧  $1,200V$  又は  $500V$  で操作します。一般的に、コンクリート試験及び長い経路の場合、パルス発生器は  $1,200 V$  で操作されます。しかし、細かいひび割れが調査されるときは、EHT を  $500V$  に下げるほうが有利です。パルス反復頻度  $10pps$  又は  $100pps$  の選択は後ろ側のスイッチで選択できます。 $100pps$  頻度は、計測器が P&S 変換器及び CRO 表示部によって用いられるときのみか、もしくは RS232 インターフェースがコンピューターと共に用いられるときの或る用途についてのみ用いられます。LCD による読み値表示は両 PRF に対し 1 秒間に 2 回更新されます。しかし、RS232 インターフェースは選択された PRF いかんにより 2 又は  $20pps$  でストローピング？ストライディング？(strobing ?、striding?) される。

受信増幅器は高入力インピーダンスを有しており、これにより計測器が周波数範囲  $5kHz$  から  $1MHz$  にわたり圧電式及び ferro-electric 式の変換器と共に用いることができます。

現場での使用の場合、ニッケル・カドミウム電池はフルに充電されているときは、約 12 時間連続使用できる電気を供給します。電池の電圧はマイクロパワーセンサーによって監視されます。これは、電圧が放電最終点に近づいたとき、LCD 表示部のコロンを毎秒 1 回輝かせます。

計測器を商用交流電源で使用するときは、内臓の定電流充電器が電池を継続的に少しずつ充電します。完全に放電した電池はできるだけ早く充電しなければなりません。これは、計測器を交流電源に接続し、前面パネルにある回しスイッチを充電 (CHARGE) の位置に切り替えて、16 時間放置して行います。

伝播時間に等しい周期で一つのパルスが後面パネルの BNC 差し込みから得られます。このパルス伝播時間に比例したアナログ電圧を生み出すため、このパルスはアナログ追加 (アドオン) ユニットに接続されることもあります。このユニットの出力は、ADC 入力を介して広い範囲のペン記録計、データロガーもしくはコンピューターを動かすために使うこともできます。アナログユニットと共に用いるときは、PRF は  $10pps$  に切り替えて用いる必要があります。

陰極線オシロスコープは後面パネルに装備された CRO 及び Time Base Trigger BNC 差込に

接続されることもあります。

両伝播時間、パルス波形及び減衰の観察及び測定は CRO 減衰アドオンユニット及び CRO と一緒にパンジットを使用することによって行うこともできます。

### 出力オプション

RS232C インターフェース PCB は内部増設スロットへ直接つなぎ込みでき、後面パネルにある 25 ウエイ D タイプコネクタ経由でユーザーのコンピューターもしくはプリンターに接続できます。

インターフェースはシリアルポートによって適合するプリンターに直接接続することもあります。こうすることによって、読み取り値を発生次第プリントアウトできます。この代わりに、ディスク保存とデータ処理の利点のためにコンピューターに接続されることもあります。

## 2.4 変換器とケーブル

変換器はステンレスケース中に装備されているジルコン酸チタン酸鉛 (lead zirconate titanate : PZT4) のセラミック圧電素子でできています。素子は高効率な音の伝達がなされるようにケース内面に密接して取り付けられています。変換器の組立は工業的に使用される条件下で普通、遭遇するような許容すべき程度の荒々しい条件には耐えられるよう、非常に頑丈にできています。

パルス発生器のショック励起は変換器をその固有振動数で機械的に振動させます。この周波数は変換器組立品全体の大きさと剛性によって変わります。圧電素子とケースの色々な大きさにより色々なパルス周波数が得られます。

各変換器にはケーブル差込口があり、色々な長さのケーブルが使えるように、ケーブルの脱着ができます。変換器とパンジットを接続するための短い同軸が計測器本体と一緒に供給されています。試験対象場所に近づけない場合、長いケーブルが使われます。ケーブルが長くなると、発信パルスも受信信号も小さくなりますが、これらは、たとえケーブルが 30m であっても、試験として十分な大きさです。

注記 : ケーブルを長いものに変えるときは、再度、ゼロ点補正をする必要があります。発信用及び受信用変換器両方に 30m ケーブルを使用するときは、約  $0.8 \mu s$  の遅れを導入します。長いケーブルを使用するときに減衰を最小限にするためには低い出力インピーダンスの信号バッファ増幅器を受信用変換器とケーブルの間に挿入できます。

## 2.5 仕様概要

伝播時間測定範囲 :  $0.1 \mu s$  から  $9999 \mu s$ 。

|                  |                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 単位               | : 単位 0.1 もしくは 1.0 $\mu$ s の 2 つの範囲が選択可能。<br>10MHz クリスタル・オシレーターによるタイミングパルス。        |
| 精度               | : $\pm 0.1 \mu$ s。                                                                |
| 範囲外れ             | : LCD での小数点第 3 位によって示される。                                                         |
| 信号消失             | : 表示が空白になる。                                                                       |
| 入力感度             | : 5kHz $\sim$ 1MHz で 250 $\mu$ V。                                                 |
| 信号               | : 周波数はこの範囲外でも低下感度で計測器が使用できることがある。                                                 |
| インピーダンス          | : 約 500 k $\Omega$                                                                |
| 電送器              |                                                                                   |
| 通電パルス            | : 公称 1.2kV 又は 500V をスイッチで選択。                                                      |
| 放電時間             | : 伝送器とケーブル長さによって変わる。                                                              |
| (Discharge time) | 変換器が 24, 37, 54 及び 82kHz で、ケーブルが 15 m のとき、放電時間は約 1.5 $\mu$ s。                     |
| PRF              | : 10 又は 100pps をスイッチで選択。10MHz クリスタルによる。                                           |
| 電源               |                                                                                   |
|                  | : 内蔵充電 N-Cd 電池、連続使用 約 12 時間、RS232 が適合使用されるときは、10 時間。                              |
| 電気残量低下           | : LCD 表示のコロンが毎秒明滅することによる表示。                                                       |
| 充電器              | : 内蔵定流量充電器。計測器を商用電源に接続すれば、電池が連続的に少しずつ充電される。<br>電池が完全に放電しているときは、フル充電をスイッチで選択する。    |
| 商用交流電源           | : 95/125V $\sim$ 190/250V, 50 $\sim$ 60Hz。                                        |
| 表示部              | : 4 桁、12mm 反射 LCD。                                                                |
| 読み取り速さ           | : 2/秒。                                                                            |
| 温度範囲             | : 0°C $\sim$ 40°C。                                                                |
| 出力               |                                                                                   |
| アナログパルス          | : 伝播時間に等しい長さの TTL パルスは後面パネルの BNC 差込口から得られ、アナログ・アドオンユニットを動かす。                      |
| CRO 出力           |                                                                                   |
| 受信信号             | : 後面パネルの BNC 差込口から得られる。0.4V までの出力についての受信信号の真のファクシミリ。<br>この値を超える出力については、受信用変換器を直接、 |

計測器からタイム・ベースを同期調整した CRO に直接、プラグを差し込んでもよい。

タイム・ベース同期調整パルス

: ライズタイム (rise time) が  $2\ \mu\text{s}$  の 3.5V 正値パルスも  
後面パネルの BNC 差込口から得られる。

出力オプション 1 : RS232C

ボーレート : 9600 ボーに固定。

(Baud rate)

パリティ : なし。

データ・ビット : 8

ストップビット : 1

最大入力電圧

マーク : -30V

スペース : +30V

出力電圧範囲

マーク : -10V

スペース : +10V

読み取り値間隔 :

選択するソフトウェア

: 1 秒から 256 時間まで。

スイッチ選択 : 1 又は 10 秒、分又は時間

読み取り開始 : 押しボタンの掛け金閉じ、もしくはコンピューターから再開開始コマンドを。

読み取り中止 : 押しボタンの掛け金外し、もしくはコンピューターからマスターリセットコマンドを。

休止タイミング設定読み取り (Pause timed rasings)

: コンピューターから 'CTRL-S' コマンドを。

'CTR-Q' を押して、再スタートする。

電源 : パンジット計測器本体から取る。

電流消費 : <30mA。

## 第 III 節 操作要領

### 3.1 前面パネル

#### 電源入れスイッチ

3 つの位置 : OFF(オフ)、ON (オン)、CHARGE(充電)

本体を交流商用電源に接続し、スイッチをオンにすると、本体に商用電源から電気が供給され、バッテリーは連続的に少しずつ充電されます。スイッチを CHARGE に切り替えると、バッテリーに全面充電が施され、計測器本体は不動作状態になります。商用電源から切り離され、スイッチをオンに合わせると、本体はバッテリーから動力を得ます。

#### 青色 LED(発光ダイオード)

スイッチがオンに入ると、通電状態になります。

#### 赤色 LED

全面充電のとき、通電状態になります。

#### レンジ・スイッチ

0.1  $\mu$  s 単位又は 1  $\mu$  s 単位を選びます。

#### 設定基準

伝播時間の測定読み取り値からシステム遅れ時間を除くための時間遅れ調整。

#### Rx 差込口

受信用変換器からの入力を受け取ります。

#### Tx 差込口

発信用変換器へパルスを発する。

#### 指示計 (meter indicator)

バッテリーの状態を表示します。

#### 液晶表示部

伝播時間は 4 桁で表示されます。

レンジ外れは小数点第三位によって表示します。

信号消失は空白表示をもって示されます。

バッテリー残量少はコロンが毎秒 1 回明滅することによって表されます。

### 3.2 後面パネル

#### 3 方プラグ及びヒューズホルダー

交流商用電源の入力

#### EHT スライドスイッチ

伝送器電圧レベルを 500V 又は 1.2 kV に選択します。

#### PRF スライドスイッチ

PRF 値 10 又は 100pps を選択します。普通は 10pps を選びます。

#### アナログ BNC 差込口

アナログ・アドオンユニットへの伝播時間パルス。

#### CRO BNC 差込口

受信信号の CRO 'Y' 増幅器への出力。

#### T.B. SYNC BNC 差込口

+3.5V 同期調整パルス

CRO タイムベース

外部 trig. 入力又は Y<sub>1</sub> 入力差込口

#### 25 ウエイ D タイプコネクタ

RS232 出力

#### 250mA ヒューズ

20mm 商用電源用ヒューズ

### RS232 インターフェースが適合するとき：

#### ミニ回しスイッチ

読み値の間隔 秒、分、時間。

#### 緑色押しボタンスイッチ

単位又はテンキーを選ぶ。

#### 赤色押しボタンスイッチ

開始及び停止スイッチ。コンピューター又はプリンターとの読み取り値の転送を開始したり、停止したりする。

### 使用準備

計測器を使用してみる前にこれらの要領書を全てにわたり、よく読む必要があります。前面及び後面パネルの調節器は図 3 に示す通りです。

注記：いつも大切なことですが、計測器を交流商用電源に接続する前にバッテリーは適合したものを接続しなければなりません。

### 3.3 商用交流電源による作動

電源ケーブルは次のように交流商用電源に接続する必要があります。

| ケーブル  | 電源側           |
|-------|---------------|
| 茶色    | 活線            |
| 青色    | 中立位 (neutral) |
| 緑色／黄色 | アース／グラウンド     |

計測器は電源ケーブルを後面パネルの3ウェイプラグに差し込み、且つ前面パネルのつまみスイッチをオンに合わせて、計測器本体が交流商用電源で使用するときはいつも、内部バッテリーは一定電流で少しずつ充電されます。これはバッテリーがいつも必ず使用できる状態に保っておくための措置です。

### 3.4 バッテリー作動

本体が商用電源から外され他ときは、前面パネルのつまみスイッチをオンに合わせて、バッテリーにより操作できるようにする必要があります。バッテリーはフルに充電されると、計測器を12時間作動させることができます。これは、もしRS232インターフェースが適合し、使用されるときは、減少して10時間になります。バッテリー完全放電の前にはLCD上でコロンが毎秒1回明滅することにより、バッテリー残量が僅かしかないことを表示します。過放電はバッテリーにとってよくないので、その場合は計測器のスイッチを切る必要があります。

### 3.5 バッテリー指示計の状態

現場で使用する場合、計器 (meter) は作動状態でのバッテリーのおよその電気残量を表示できます。計測器は指針がダイヤルの一番右手にあるときは、数時間作動します。指針が右手の赤い部分にかかってくると、バッテリーが放電終点に近づいていると考えられます。

### 3.6 内蔵バッテリーのフル充電

放電バッテリーはフル速度で16時間充電する必要があります。本体をを商用電源に接続し、前面パネルのつまみスイッチを「CHARGE」(充電)に合わせます。赤色LED(発光ダイオード)によりバッテリーが完全に充電されていることを示します。

### 3.7 商用電源電圧の選択

パンジット6の操作電圧を選択する手順は下記の通りです。

- 1) メインスイッチをOFF位置に合わせます。
- 2) 本体を商用電源から外し、後面パネルの差込口から商用電源ケーブルを外します。。
- 3) 本体を回して、後面パネルを手前真上にくるようにします。
- 4) 小さいマイナス形ドライバーを商用電源の差込口モジュールの右手側の小さなスロット (長穴) に入れます。フラップ蓋をこじ開けます。
- 5) 表面に電圧値が書かれたドラム場所を捜し、注意して外します。ドラムを回して必要な電圧が一番上にくるようにします。
- 6) ドラムを押し戻して受け具に納め、蓋をパチンと閉めます。そして必要な電圧が

蓋の窓から表示されているか、チェックします。

商用電源ケーブルを接続します。これでユニットの使用準備ができあがりです。

注記 : 電圧セクターは日本市場向けに製造されたパンジットについては、接続されていません。それらのパンジットは、表面に数値が一個も印刷されていない空白ドラムが適合・装着されています。

### **3.8 ヒューズ交換**

ヒューズ交換は下記のように行います。

- 1) から 4) 迄は上記の通り行います。
- 5) ヒューズキャリアの位置を見つけて（これは表面に矢印が書かれている）、これをドライバーでこじて、取り外します。
- 6) 現在のヒューズを取り出して、タイプと定格が同じ（T250mA タイプ）ものと交換します。
- 7) 矢印が蓋に示されている方向になっていることを確認して、ヒューズキャリアを受け具に戻します。蓋をパチンと閉めます。

商用電源ケーブルに再度接続すると、本体の使用準備完了です。

## 第IV節 パルス速度の測定

### 4.1 変換器

ジルコン酸チタン酸鉛のセラミックは比較的漏失が少なく、かなりの時間高位電圧充電を保持できます。結晶が輸送の間、振動にさらされるため、セラミック中でも一定の時間にわたり電気の蓄積が起こり得ます。計測器への接続に先だって同軸プラグを取り扱うときは、充電された変換器により感電しないように注意する必要があります。

### 4.2 設定基準

パルス伝播時間を刻印した基準バーは計測器のゼロ点チェックのために供給されています。変換機の所定面にグリースを塗り、変換機をバー端部にしっかり押し付けます。LCD上に標準バーの伝播時間が表示されるまで、SET REF 調節器を調節します。パンジットは高度の安定性を有するので、頻繁に基準チェックを行う必要はありません。パルスを受信すると、変換器と基準バーは、計測器 PRF が 100pps に合わせてあるときは、パルス間隔 10ms を超えることができ、比較的長いリングダウンタイム (ring-down time) を有します。このため、PRF は基準バーを設定するとき、10pps にスイッチを合わせなければなりません。

### 4.3 レンジ選択

最大の精度を確保するため、約 400mm 迄の経路長さに対しては、 $0.1 \mu s$  のレンジを選ぶことが推奨できます。LCD での小数点第 3 位はレンジを超える測定が生じたとき、それを表示するものです。もし発信パルスが受信されないとき、もしくは変換器が試験片から外れているときは、LCD 表示は自動的に空白となります。

### 4.4 カップラント (接触媒質)

変換器面と被試験体面の間に何らかの接触媒質を用いることは、全ての超音波パルステストにおいて必ずやるべきことです。これをしないと、音響伝達が不十分なため信号損失を招きます。

シリコングリース、媒質の入ったグリース又は液体石鹸はコンクリートや平滑な面を有するその他の材料に用いると、良好な接触が得られます。粗い表面に対しては、水ポンプグリース (water pump grease) 又は濃厚石鹸ゼリーが推奨できます。

### 4.5 変換器の配置

変換器を 3 通りの配置方式から選択した方式でパルス測定を行うことができます。

- a. 変換器を材料の向き合った面に配置する直接伝播方式。
- b. 変換器を隣接面に配置する半直接伝播方式。
- c. 変換器を同じ平面に配置する間接ないし平面伝播方式。

a は、受信用変換器が発信パルスから最大のエネルギーを受けるので、最も大きな感度を持つ。b は、それに次いで好ましい方式で、c は被試験体の 2 つの表面に接近できないときにのみ、用いられます。受信パルスの振幅は同じ経路長さについて方式 a を用いたときの振幅の約 1%に過ぎません。

#### 4.6 パルス速度

変換器の配置方式を決定したら、経路 L を注意深く測定します。変換器の表面にカップラントを塗り、被試験体にしっかり押さえます。読み取りを行っている間は変換器を動かしてはなりません。さもないと、ノイズ信号と測定誤差が生じます。

パルス速度式  $v = L/T$       ここで、T は伝播時間。

留意しなくてはならないのは、非常に長いケーブルを使用して伝播時間の測定を行うときは、2 本のケーブルが互いに近接することのないようにすることです。さもないと、受信ケーブルが発信ケーブルから無用の信号を拾うことがあり、間違った伝播時間を画面に表示してしまうことになります。そのような間違った表示は、それらの不安定性により容易に検出されます。又、そのような欠陥は、ケーブルを分離することにより矯正できることがあります。

#### 4.7 PRF 選択

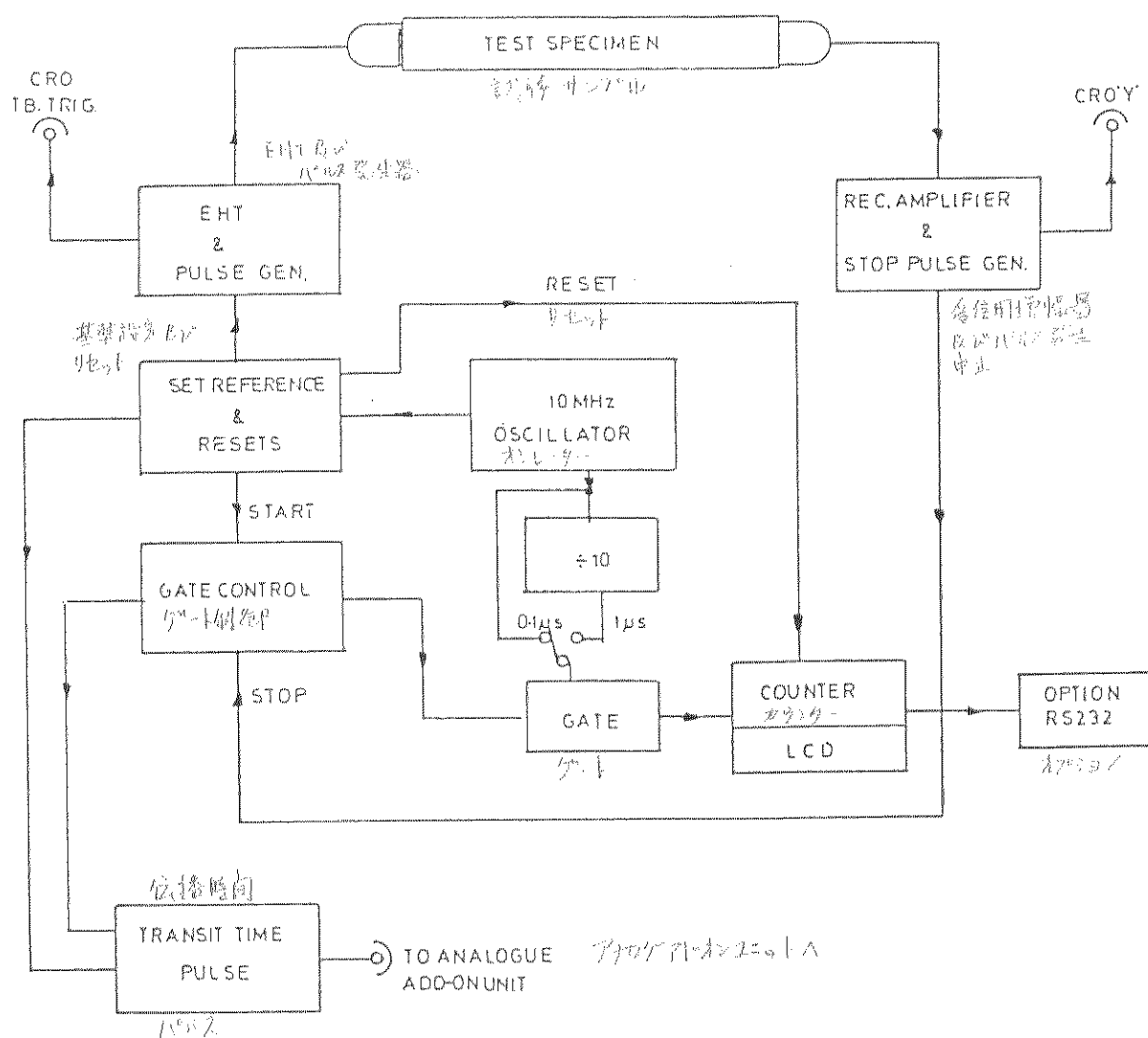
パンジット本体と一緒に供給される変換器は減衰しません。従って、伝送器パルス発生器によって通電されると、それらは長いリングダウンタイム (ring-down time) をもちます。PRF を 100pps にスイッチ選択すると、リングダウンタイムはパルス間隔 10ms を超えることがあります。このため、PRF は、軽度減衰 26  $\mu$ s 基準バーを用いて基準設定するとき、1 pps をスイッチ選択しなければならない。これを怠ると、読み値がゼロもしくはランダムな伝播時間値が表示されます。この効果は、軽度の内部減衰を有する短径路サンプルを試験するときにも起きることがあります。

## 第V節 システムの説明

パルジットは発信用変換器で超音波を発生させ、このパルスが発信器から受信変換器まで進むのにかかった伝播時間を測定します。

図4にシステムの略図が示してあります。

図 4 システムの略図



システムは便宜上4つの部分に分けられます。

1. パルス発生器
2. 基準遅れ設定
3. 受信用増幅器
4. 時間調整パルスオシレーター、ゲート及びカウンター

### 5.1 パルス発生器

パルス発生器は EHT パワーユニット、サイリスター及び UJT パルス発生器からなります。発信用変換器のコンデンサーは後面パネルでスイッチ選択して電位差 1.2kV 又は 500V で充電されます。この静電容量はこの後、PRF スイッチで選択した反復周波数 10 又は 100pps で UJT により引き金を引かれ、サイリスターを通じて急速に放電します。反復周波数は水晶時間調整 (crystal timing) パルスオシレーターに分割 (by division) でコンデンサーの放電発信器に由来します。

コンデンサーの放電は発信器にショックを与え、それ自身の固有周波数で一連の縦振動を生み出します。

### 5.2 設定基準遅れ

変換器が互いに向き合って配置されているとき、発信用変換器に放ったパルスと受信用変換器からの出力信号との間には僅かながら、一般的に  $2 \mu s$  の、時間遅れがあります。この遅れは超音波パルスが変換器の金属表面、カップラント及び変換器材料中を通るときに生じます。この遅れをなくするため、カウンターはリセットパルスの間、休止 (inhibit) させられます。

### 5.3 受信器用増幅器

超音波パルスは、被試験体材料中を通った後、受信用変換器の中で電気信号に変換されます。受信信号は増幅され、変形されて、受信信号波形の先端部の始まりに符合する峻険な立ち上り 'STOP' パルスを作ります。

### 5.4 時間調整パルスオシレーター、ゲート及びカウンター

10MHz 水晶オシレーターモジュールは  $0.1 \mu s$  単位のレンジ用のタイミングパルス (timing pulse) を発生します。10MHz パルスも  $1 \mu s$  レンジに対し 1MHz でタイミングパルス発生させるためデカードバイダー (decade divider) に応用されます。

ゲートを管理するため、双安定回路が用いられます。Set Ref 段階からの START パルスを受信するや否や、binary (2 進法?2 成分の?) が状態を変化させ、ゲートを開けて、タイミングパルスを、ゲートをくぐらせてカウンター迄走らせます。

ゲート管理の双安定回路のもう一方の側に受信器用増幅器からの STOP パルスが適用されるとき、ゲートが閉じます。STOP パルスに続いて、カウンターが留め金掛けになり、LCD が伝播時間を示します。読み値は 1 秒間に 2 回更新されます。

## 第 VI 節 コンクリートの試験

このマニュアルの第 I 節に述べられているように、材料の試験の手段として超音波パルス速度の測定は、元々コンクリートの品質と状態を査定するために、開発されました。従って、パンジットは明らかにこの目的のため、圧倒的に用いられることでしょう。この節ではユーザーはこの分野の使用上のガイダンスを得ることができます。

### 6.1 用途

パルス速度の試験方法はプレキャスト、現場打設、の別なく、普通コンクリート、鉄筋コンクリート及びプレストレスのコンクリートの試験に適用できます。パルス速度の測定により下記のを決定できます。

- a) コンクリートの均質性
- b) 空隙、ひび割れその他の欠陥
- c) コンクリートの経時変化（即ち、セメントの水化による）又は火、霜あるいは化学浸食
- d) 標準規格要件に関するコンクリートの品質、普通は強度を指す。

### 6.2 精 度

パルス速度の比較的小さな変化が普通、比較的大きなコンクリートの状態変化を反映するので、殆どの用途においてパルス速度を高い精度で測定する必要があります。このため伝播時間と経路長さの両方の測定を可能な限り最高の精度で行うことが重要です。これはパルス速度の測定がそれら両方によって決まるからです。

パルス速度の測定は精度 $\pm 2\%$ 以内で行うことが望ましいです。これは経路長さ、伝播時間の両方についてそれぞれほんの $\pm 1\%$ 強の許容差で測定することになります。もしそのような精度の経路長さ測定が困難か、もしくは不可能なときは、実測値の精度限界の推定を結果値に付記すべきであり、これによってパルス速度測定値の信頼性が査定できます。

### 6.3 コンクリート表面への変換器の接合

伝播時間測定の精度は、変換器面とコンクリート表面の良好な音響上の結合が行われて初めて確保できます。スチールもしくは滑らかな木材製型枠に対して打設されてできたコンクリート表面については、その表面に粉や粗い砂がなく、軽ないし中級のグリース（light or medium grease）又は他の適合するカップラントが塗布されているときは、容易に良好な接合が得られます（4.4 項を参照）。表面が濡れていても問題はありません。

もし表面が並の粗さのときは、もっと粘度の高いグリースを用いる必要があります、非常に粗い表面にはもっと丁寧な調製が必要になります。そのような場合には表面は変換器面に適合するよう、充分広い面にわたりグラインダー掛けして平らにするか、あるいはこの面に最小の厚さで適合する物質、例えば、焼き石膏、セメントモルタル又はエポキシ樹脂を加

えて、水平で滑らかな面にすることができます。加えた物質が硬化するために妥当な時間をかける必要があります。

変換器があてがわれ、更に再度あてがわれて、表示された電波時間値が $\pm 1\%$ 以内で一定していれば、それは満足な接合が得られたとの表示です。

#### 6.4 変換器配置の選択

図1はコンクリートを試験するときの変換器配置の3通りの方式を示します。可能な限り、直接伝播配置を用いるべきです。これは最大感度と良好に設定された経路を提供してくれます。しかし、時々、対角経路を用いてコンクリートを試験する必要があり、半直接配置方式がこれらに適していることを調べる必要があります。

間接配置方式は最も満足度が低いものです。それは比較上感度が悪いことを別にしても、それが通常、パルス速度の測定値が表面に近いコンクリート層に影響を受け、その層と言うのは深い層のコンクリートを代表していないことがあるからです。更に、経路の長さが余りよく設定されず、それを以て変換器の芯芯距離とすることに問題が残ります。この代わりに、有効経路長さの決定には図5に示す方法を採用すべきです。

この方法の場合、発信用変換器を表面の適合点に置き、受信用変換器は一本の線に沿った連続位置に配置され、芯芯距離が伝播時間に対してプロットされます。これらの位置を貫く1本の直線の勾配は表面の平均パルス速度を与えてくれます。一般的に、間接配置法によって決定されるパルス速度は、直接配置法による速度より低いです。もし両測定法が実施できれば、それらの間の関係を確立することができ、補正係数を導くことができます。直接配置が不可能なときは、下記のようにして凡その $V_D$ 値を得ることができます。

$$V_D = 1.05V_i$$

ここで、 $V_D$  : 直接法により得られたパルス速度。

$V_i$  : 間接法により得られたパルス速度。

もしプロット点が1本の直線上に来ないときは、それは表面近くのコンクリートの品質が変化するのか、試験点(6.9項参照)の線内のコンクリート中にひび割れが存在するのかのいずれかです。

プロット図の勾配の変化(図6に示されるような)は、表面近くのパルス速度はコンクリート内部のそれよりずっと小さいことを意味するとも言えます。この品質の落ちる層は火気、霜、硫酸腐食等による被害の結果生じることがあります。

変換器の離隔距離が $X_0$ 迄はパルスは影響を受けた表面層を通り、直線の勾配はこの層のパルス速度を与えてくれます。 $X_0$ を超えると、パルスは内部の健全なコンクリートの面に沿って走ってしまいます。 $X_0$ を超えた直線の勾配は健全なコンクリート中の高い速度を与えます。

影響を受ける表面層厚さは次のように推算できます。

$$t = \frac{X_0}{2} \sqrt{\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d}}$$

ここで、  $V_d$  : 被害コンクリート中のパルス速度 (km/s)  
 $V_s$  : 下の層の健全なコンクリート中のパルス速度 (km/s)  
 $t$  : 被害を受けたコンクリート層の厚さ (mm)  
 $X_o$  : 勾配の変化が生じた距離 (mm)

## 6.5 試験条件の影響

コンクリート中のパルス速度は下記によって影響を受けることがあります。

- a) 経路長さ
- b) 被試験体の横幅
- c) 鉄筋の存在
- d) コンクリートの含有水分

経路長さの影響は、骨材サイズが 20mm のときは 100mm 以上、骨材が 40mm のときは 150mm 以上であれば、無視できます。被試験体の最小横幅寸法（パルスの経路に直角に測った寸法）がパルス振動の波長以上であれば、パルス速度は被試験体の形状に影響されることはありません。周波数 50kHz のパルスの場合、これは約 80mm の最小横幅に相当します。もしそうでないときは、パルス速度を下げてよいし、パルス速度の測定結果値を注意して用いる必要があります（表 1 参照）。

コンクリートの温度は 5 ～ 30℃ の範囲ではパルス速度に実質上の影響はないように見られている。従って、異常に極端な温度を別にすれば、温度の影響は無視してもよいです。

表 1 パルス伝播に及ぼす被試験体寸法の影響

| 変換器周波数       | コンクリート中のパルス速度 |             |             |
|--------------|---------------|-------------|-------------|
|              | $v_c = 3.5$   | $v_c = 4.0$ | $v_c = 4.5$ |
| 被試験体最小許容横幅寸法 |               |             |             |
| kHz          | mm            | mm          | mm          |
| 24           | 146           | 167         | 188         |
| 54           | 65            | 74          | 83          |
| 82           | 43            | 49          | 55          |
| 150          | 23            | 27          | 30          |

表 2 パルス伝播に及ぼす温度の影響

| 温 度 | 測定パルス速度に対する補正 |           |
|-----|---------------|-----------|
|     | 空気乾燥コンクリート    | 水飽和コンクリート |
| °C  | %             | %         |
| 60  | +5            | +4        |
| 40  | +2            | +1.7      |
| 20  | 0             | 0         |
| 0   | -0.5          | -1        |
| -4  | -1.5          | -7.5      |

鉄筋中のパルス速度は一般的にコンクリート中におけるよりも大きい。このような理由から、鉄筋の近くで測定されたパルス速度は高くなり、コンクリートを代表していないことがある。又、パンジットは一番目のパルスが受信用変換器に達する時間を表示します。

もし鉄筋がパルス経路と直角方向に走っていて、数量が径路長さの割に少ないときは、鉄筋の影響は一般的に小さいです。

図 7 は、鉄骨の直径が直接パルス経路に沿って横たわっているときに、この影響をどのように考慮するかを示します。もし、 $L_s/L$  比が既知のときは、パルス速度の測定値をその比とコンクリートの品質に応じた補正係数を掛けて、補正することができます。しかし、先ずそのような経路を避け、鉄骨直径が直接経路線上に来ないように経路を選ぶようにすることが先決です。

鉄骨がパルス経路に平行に走っているときは、図 8 から分かるように、鉄筋の影響を避けるのはもっと難しいかもしれません。しかし、鉄筋の影響に対する信頼性ある補正を行うのは容易でなく、図 8 に与えられているような補正係数は概略値に過ぎないと見なすべきです。これらの値はスチールの影響の上限を表すことが一般的に分かっています。繰り返しますが、鉄筋の影響をできるだけ避けた経路を選ぶことが好ましいです。

コンクリートの水分含有量はパルス速度に及ぼす影響は小さいながら有意です。一般的に水分が増えるにつれて、速度は増大し、この影響は低品質なコンクリート程、明瞭です。飽和したコンクリートのパルス速度は同じ組成と品質を有する乾燥コンクリートのそれより最大で 2% 大きいことがあります。しかし、この数値は高強度コンクリートの場合、小さくなるようです。

パルス速度測定がコンクリートの品質チェックとして行われるときは、パルス速度の値を大きくするため、業者は積極的にコンクリートをできるだけ長い時間濡れた状態に保つことがあります。これは良好な養生のための一助になるので、一般的に利点となります。

#### **6.6 コンクリートの均質性**

コンクリート表面上で規則正しい格子を用いて各点のパルス速度を測定するやり方がコンクリートの均質性の信頼できる算定方法となります。選択する格子サイズは建設物の規模及び遭遇する変化の量により左右されます。

得られた結果値をパルス速度等高線図としてプロットアウトすると役に立ちます。これはこの図により変化の程度を明確な姿として捉えられるからです。よく理解すべきこととして、径路長さが記録された変化の程度に影響を及ぼすことがあります。これは、パルス速度の測定がパルス径路に沿ったコンクリートの平均品質に対応し、各測定毎の試験サンプルの大きさが径路長さに直接関係するからです。

#### **6.7 欠陥の検出**

コンクリート中を進む超音波パルスがコンクリートと空気の界面にくると、そこで無視できる程度ですが、エネルギー伝達が起きます。こうして両変換器の間に直接位置する、空気の入ったひび割れもしくは空隙は、空隙が変換器面の面積より大きな投影面積を有する場合、超音波の直接ビームの邪魔をします。受信用変換器に到達する一番目のパルスは、欠陥の周囲を回折させられ、伝播時間は欠陥のない、単純なコンクリートにおけるより長くなります。時々この効果を欠陥（flaws）等位置の探査に利用することができますが、小さな欠陥の場合、伝播時間への影響は殆どないに等しいことをよく理解しておく必要があります。

#### **6.8 空隙（voids and cavities）の検出**

空隙が変換器間の直接伝播径路内に位置するように、変換器を適切な位置に配置するとき、変換器間のパルス伝播時間を測定することにより大きな空隙を検出できることがあります。空隙の周囲に沿って変換器間を走る最短径路に沿ってパルスが進むと考えて、そのような空隙の大きさと位置を算定することができます。もし空隙が均一な密度のコンクリートで囲まれた、正しく定義された境界を有するとき、そのような算定はもっと信頼性が高くなります。

もし空隙の投影面積が変換器の面より小さいときは、空隙は検出できません。

#### **6.9 表面ひび割れの深さ**

表面に見えるひび割れの深さは、2通りの変換器配置でひび割れを跨いだ伝播時間を測定することにより得られます。

1つの配置は図9（a）に示されている通り、発信用及び受信用変換器がそれぞれひび割れの両方の側に、且つひび割れから等距離に配置されます。

2つのx値が与えられます。それらは、一方が他方の2倍です。これらに対応した伝播時

間が測定されます。

図 9 (a) に与えられた式は、ひび割れの面がコンクリート表面に垂直であること、及びひび割れの直近のコンクリート品質が申し分なく、均一であること、を仮定して導かれています。ひび割れが表面に直角な平面にあるか否かのチェックは図 9 (b) にある通り、両変換器をひび割れの近くに配置し、それらの一つを動かすことによりできます。

重要なことは、距離  $x$  を正確に測定することと変換器とコンクリート表面との接合が極めて良好でなくてはならないことです。ひび割れが水で満たされていない限り、この方法は有効です。

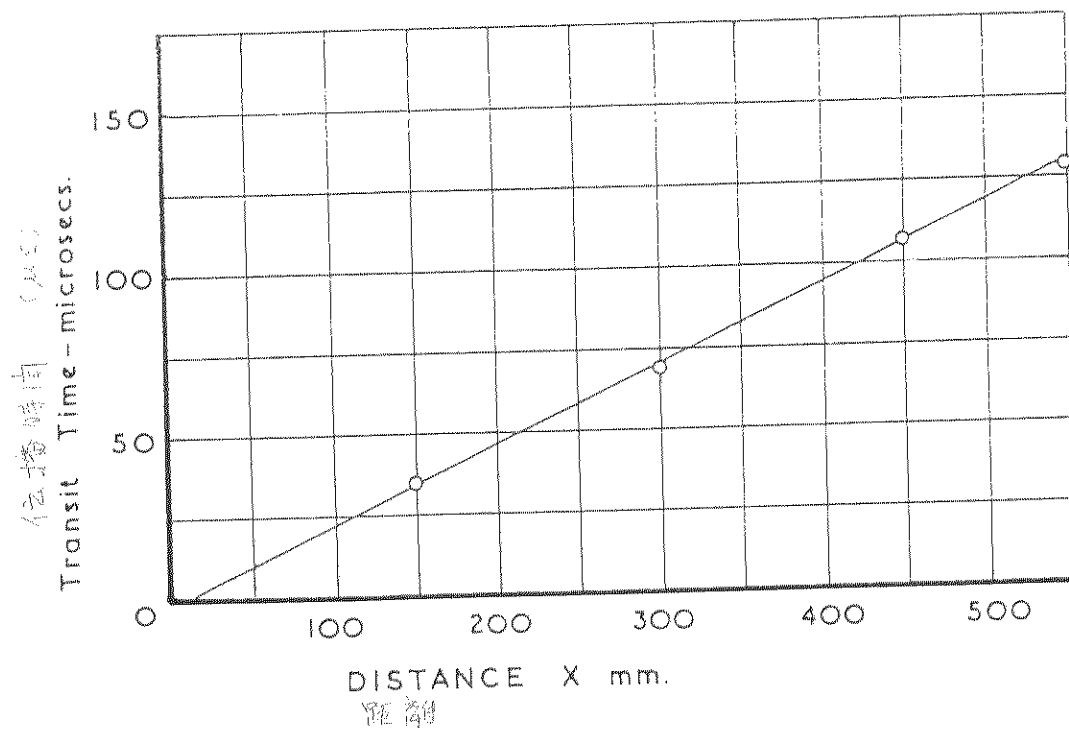
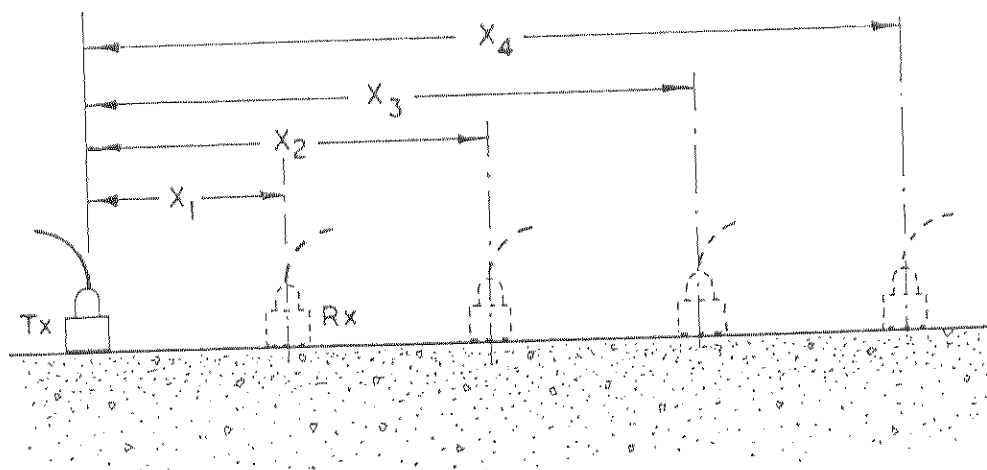


図5 表面（間接）法によるパルス速度の決定

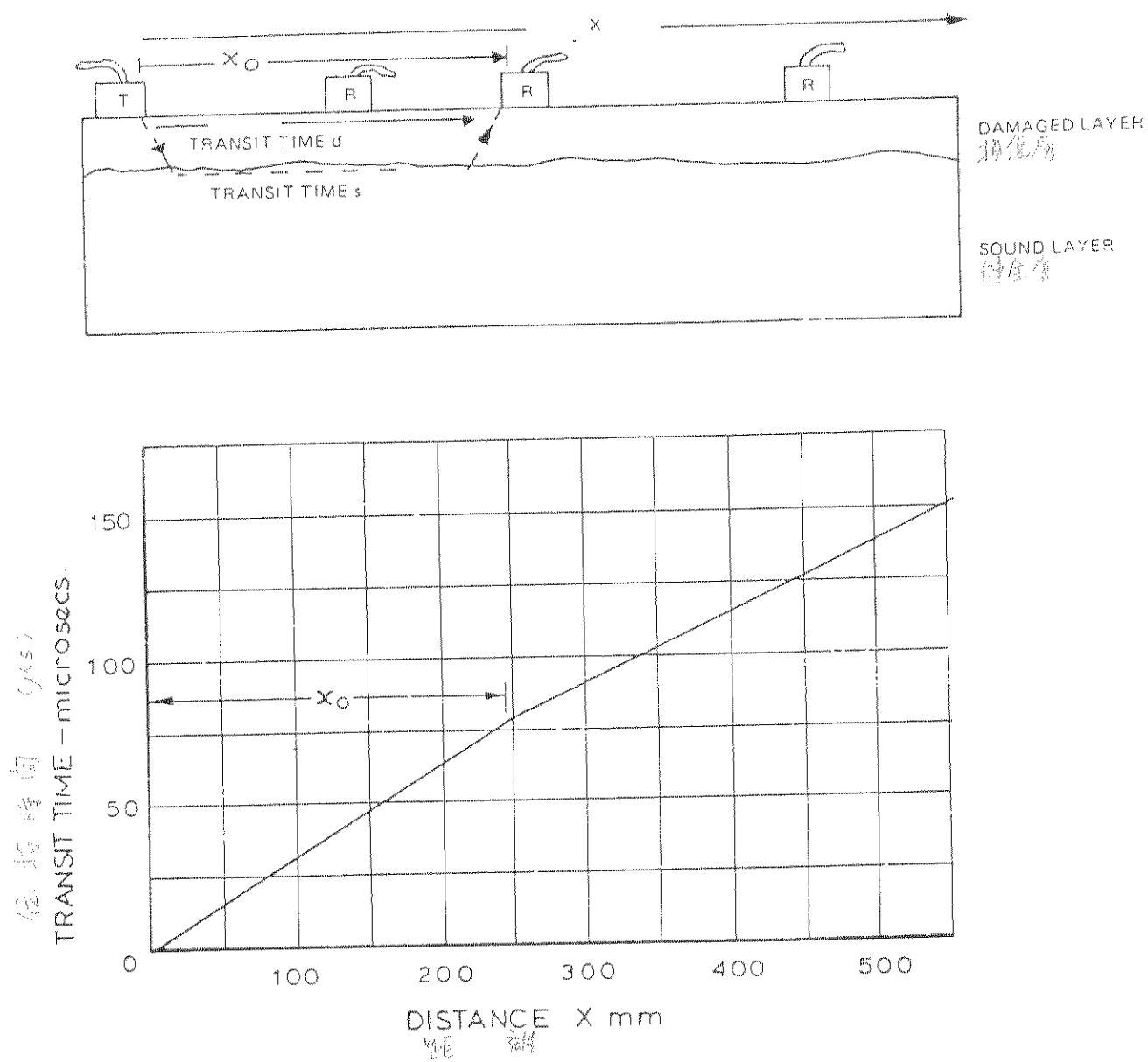
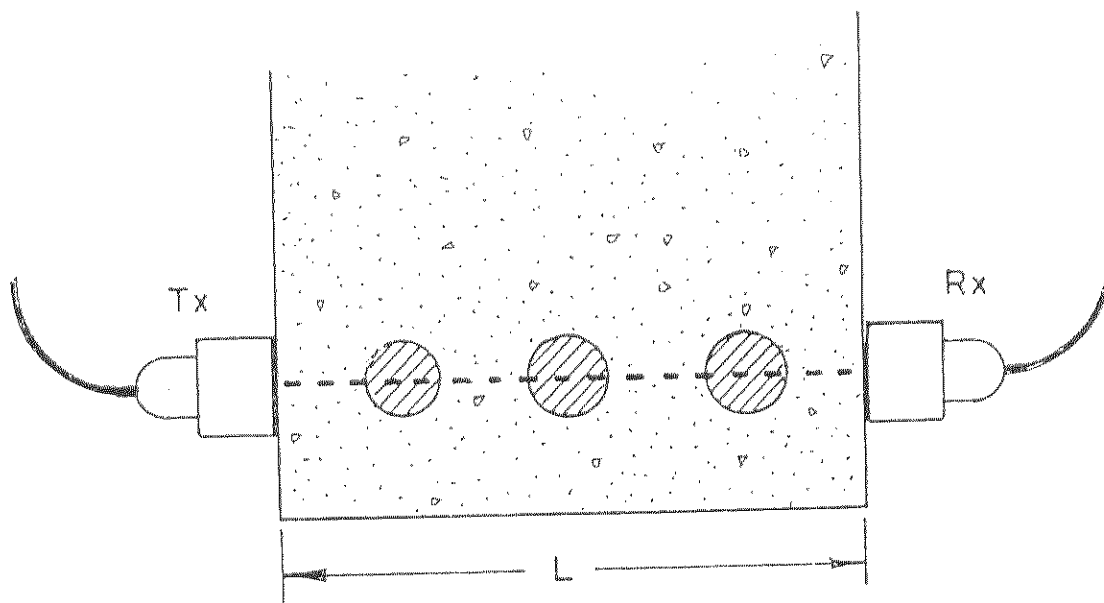


図6 間接法による損傷表層厚さの決定



$L_s$  = Total length of path through  
bar diameters.

鉄筋を経由する経路の長さ

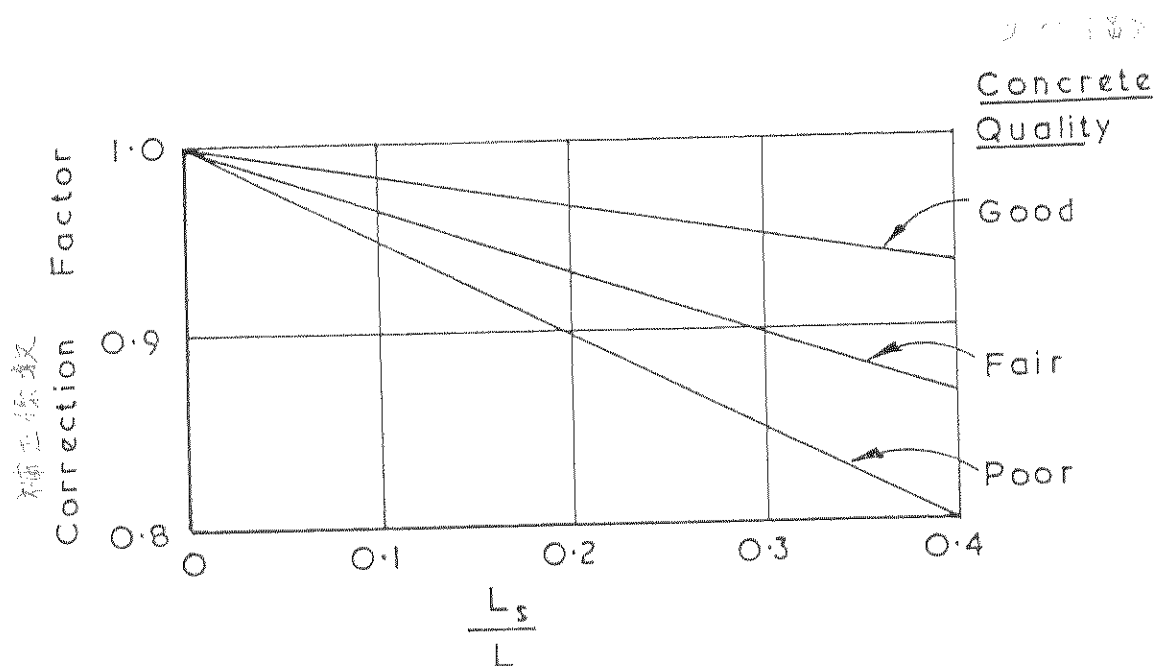


図7 パルス速度に与える鉄筋の影響 (伝播方向に直角な鉄筋の場合)

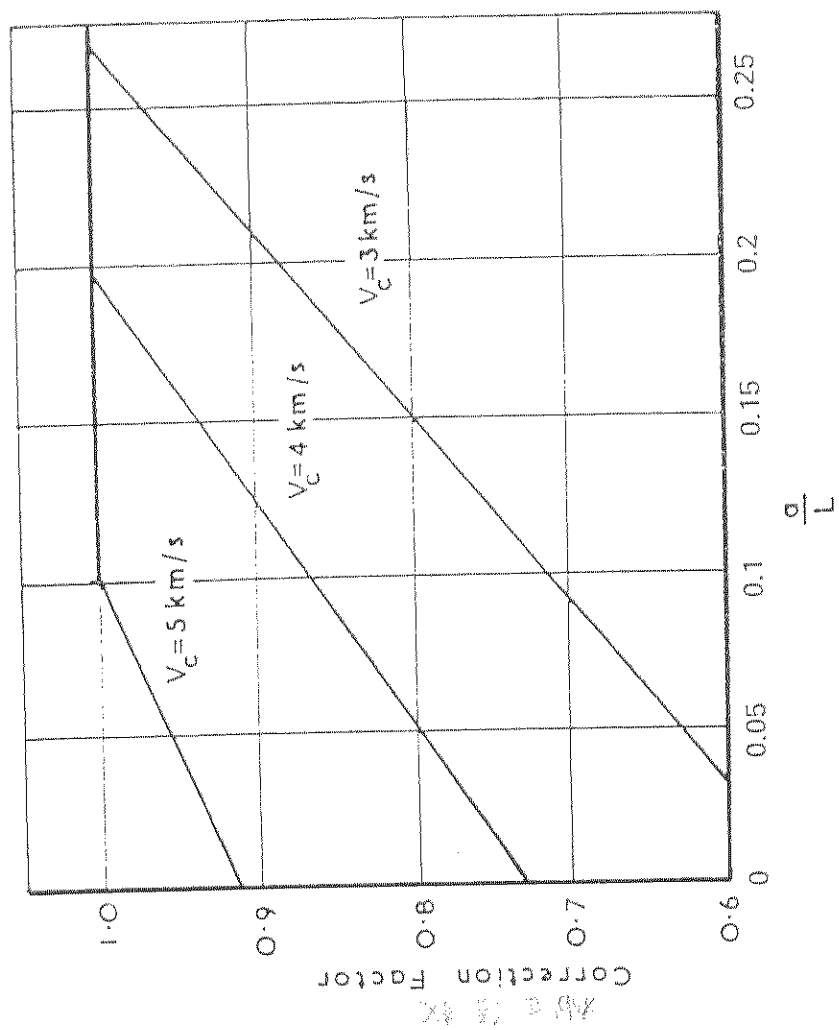
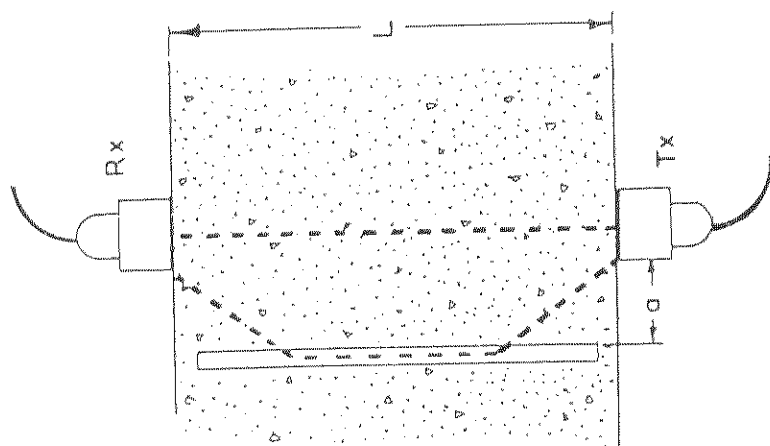


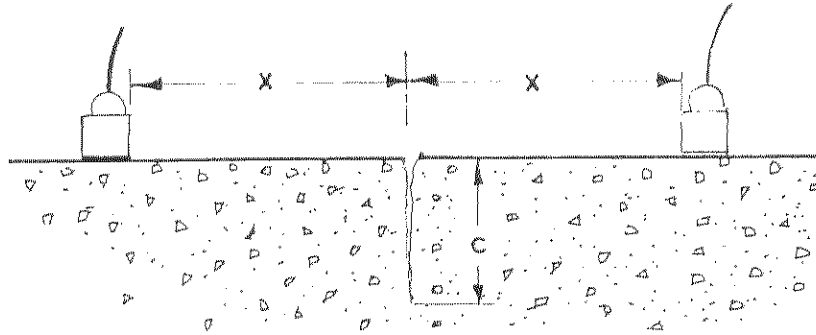
図8 パルス速度に与える鉄筋の影響 (伝播方向に平行な鉄筋の場合)

図 9 ひび割れ深さの決定

(a) ひび割れ深さの推算（コンクリート表面に垂直なひび割れの場合）

最初に選んだ X 値を  $X_1$ 、次に選んだ値を  $2X_1$  とし、更にこれらに対応した伝播時間をそれぞれ  $T_1$  及び  $T_2$  とすると、

$$\text{ひび割れ深さ、} c = X_1 \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}}$$



(b) ひび割れ傾きのチェック

両変換器をひび割れの近くにそれを跨いで配置します。それらの一つをひび割れから遠ざかるように動かします。もし伝播時間が減少するときは、ひび割れの傾斜は変換器の動いた方向であることになります。

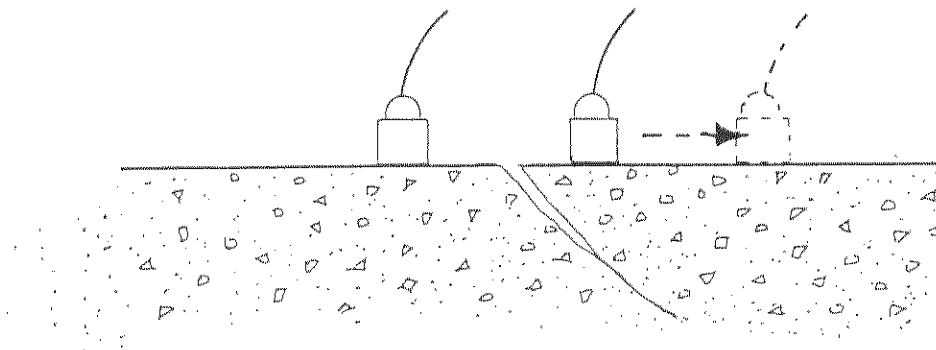


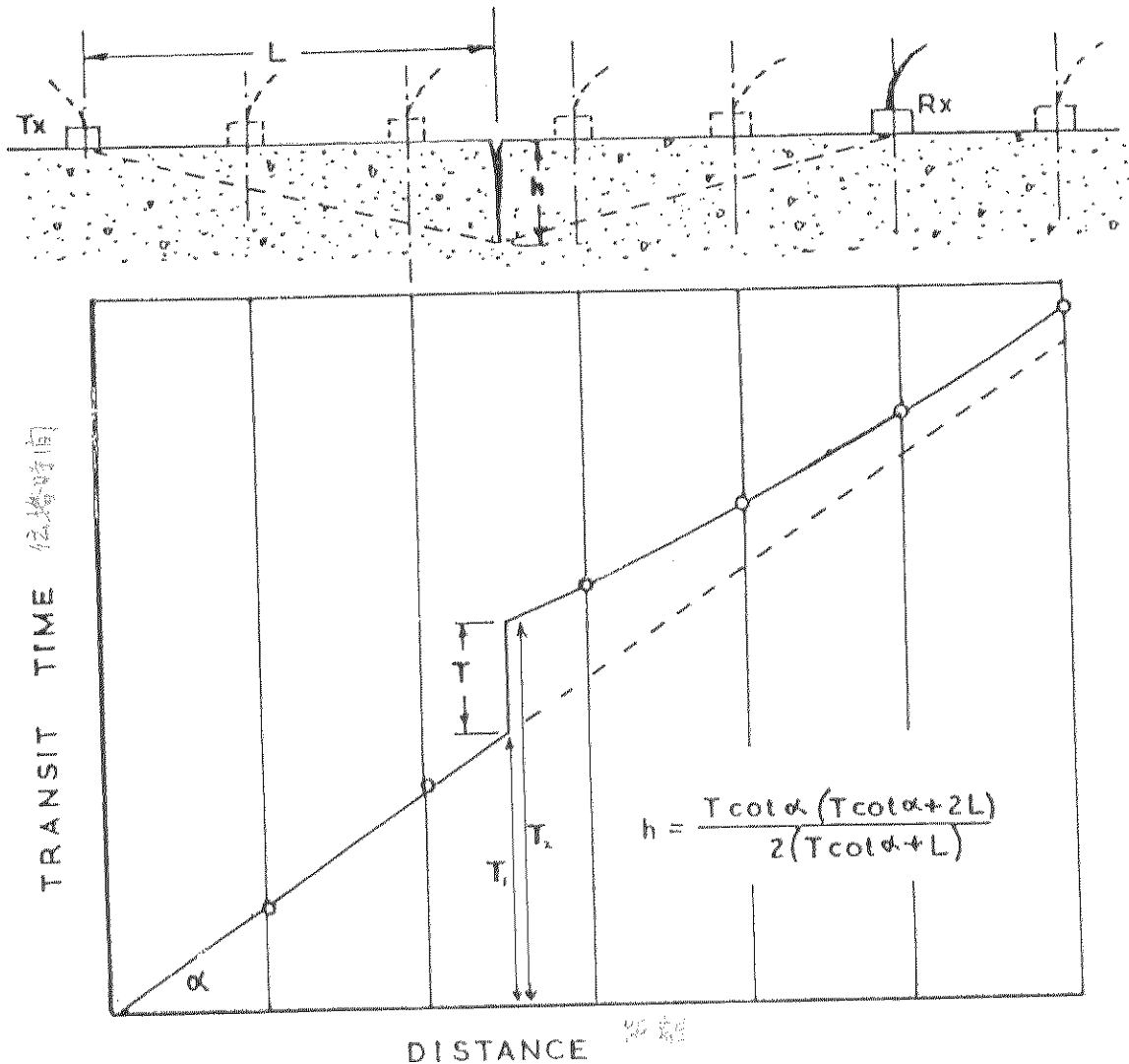
図 9(c),(d) ひび割れ深さの決定

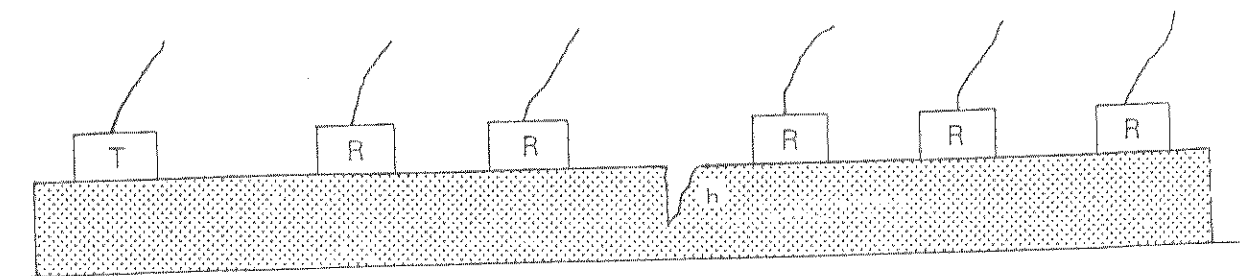
- (c) 別の方法は図示のように間接法を用いて行うもので、グラフに不連続が現れます。
- (d) 上記の方法による簡単な式は、

$$h = \frac{L}{2} \left( \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right)$$

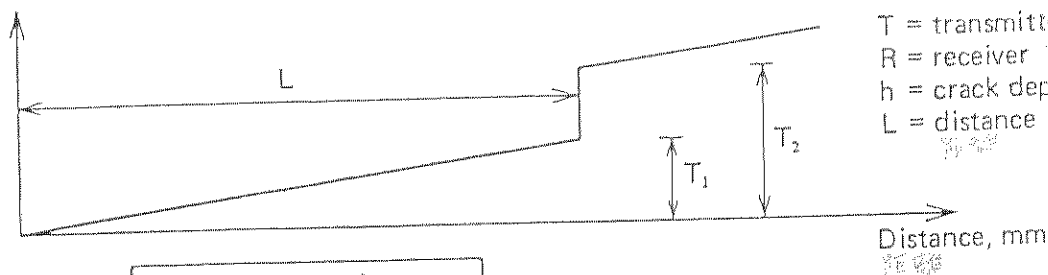
下記の先生に謝意を呈します。

We are indebted to Jens Kr. Jehrbo  
Jensen, Master of Science, of the  
*Institutet for Bygningsteknik,*  
*Aalborg Universitetscenter,*  
*Denmark 9100* for (d).





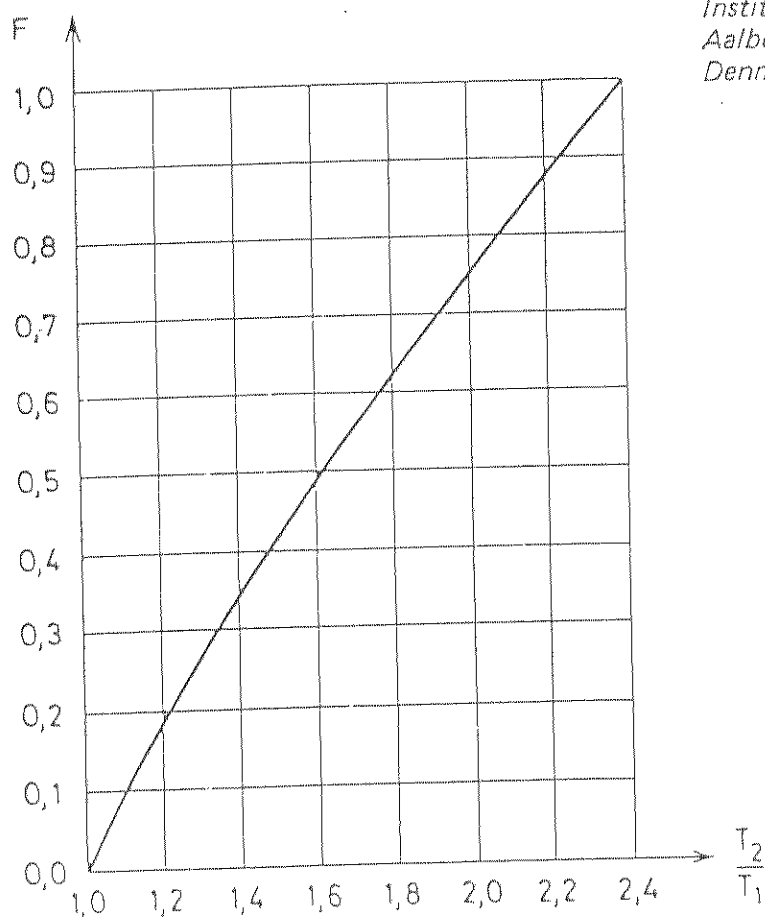
Transit time  $\mu s$   
伝搬時間



T = transmitter 発信機  
R = receiver 受信機  
h = crack depth ひび割れ深さ  
L = distance 距離

$$h = \frac{L}{2} \left( \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right) = F \cdot L$$

下記の先生 に謝意を呈します。  
We are indebted to Jens Kr. Jehrbo  
Jensen, Master of Science, of the  
*Institutet for Bygningsteknik,*  
*Aalborg Universitetscenter,*  
*Denmark 9100.*



| $\frac{T_2}{T_1}$ | F     |
|-------------------|-------|
| 1,0               | 0     |
| 1,1               | 0,095 |
| 1,2               | 0,183 |
| 1,3               | 0,265 |
| 1,4               | 0,343 |
| 1,5               | 0,417 |
| 1,6               | 0,488 |
| 1,7               | 0,556 |
| 1,8               | 0,622 |
| 1,9               | 0,687 |
| 2,0               | 0,750 |
| 2,2               | 0,873 |
| 2,4               | 0,992 |

図 9 (e) パンジットによるひび割れ深さの決定

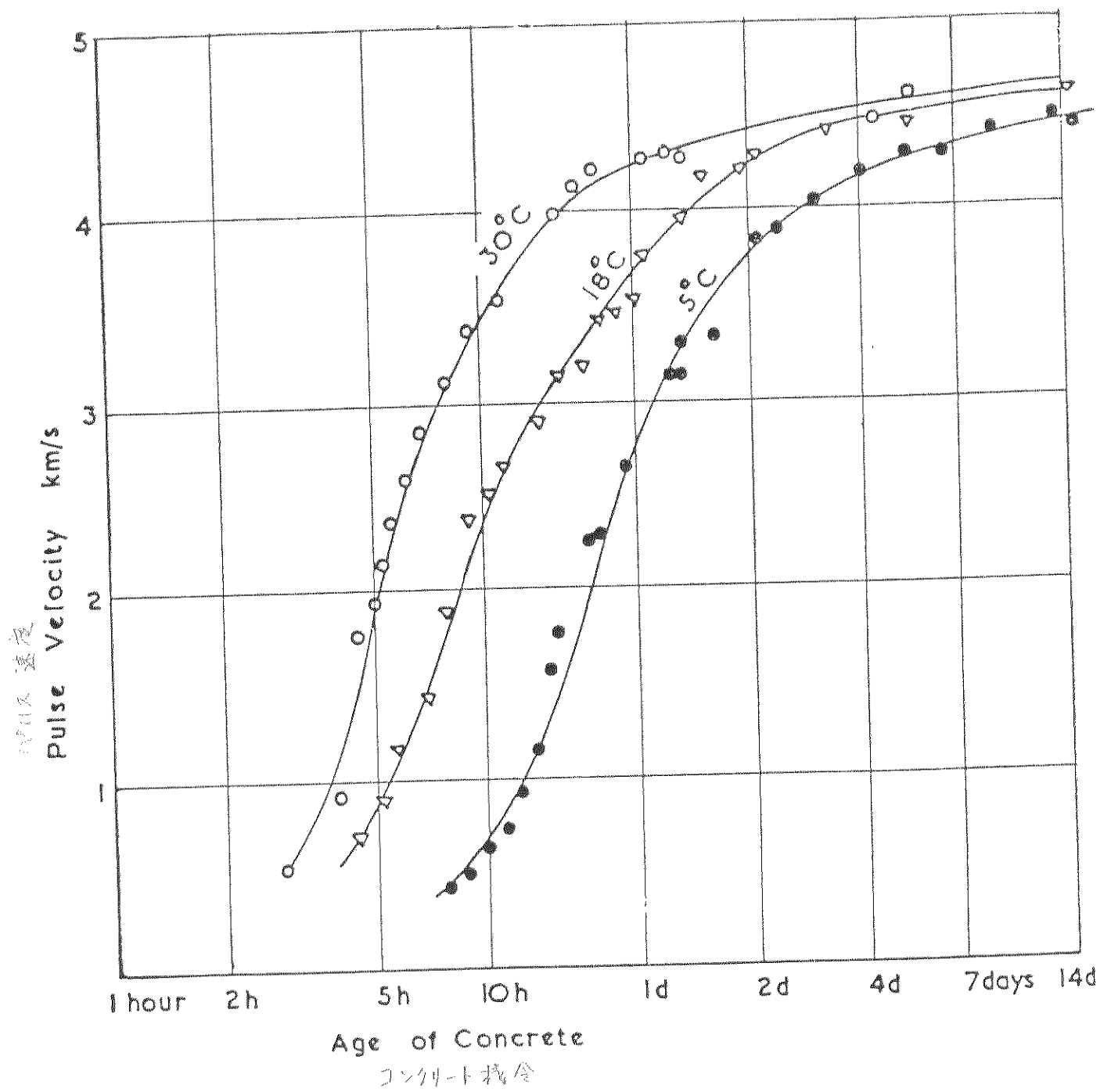


図 10 パルス速度の典型的な経時変化曲線

### 6.10 コンクリートの経時変化

水和反応（これは強度を増大させる）又は攻撃的環境、例えば霜、硫酸塩によるコンクリート構築物の経時変化は時々パルス速度を繰り返し測定することにより決定できることがあります。パルス速度の変化は強度の変化を示すので、同じテストピースもしくはコンクリート製品について作業進捗期間（progressive periods）にわたり、それらを測定できます。この設備は打設の最初の2日間の硬化プロセスを追跡するのに特に有用です。型枠を非常に速い時期に取り外す前に、型枠を通した測定がときにより可能です。図 10 は、早い時期での幾つかの代表的なパルス速度測定の実験結果を示します。これにはいつ型枠を外せるか、又はいつプレストレス作業を始めるか、を決めるための有用な用途があります。（第 VI 節、図 16 をも参照）

### 6.11 火気被害後の強度算定

火災によるコンクリートの被害の程度を算定するのに、パルス速度測定が用いられることがあります。図 11 及び 12 にワトキーズ (D.G. Watkeys) によって得られたような代表的な結果値を幾らか示してあります。ワトキーズ\*はコンクリートによる到達最高温度と加熱によるパルス速度の減少百分率との間に良い相関があるのを見出しました。彼は又加熱後のコンクリートの残留破壊強度をパルス速度試験から算定するための有用な相関が得られたことを示しました。

図 11 には 2 組のコンクリート試験片、一つは水スプレーによる冷却（焼き入れ）か、又は空気中での緩慢な冷却（焼き鈍し）のいずれかにより加熱されたり、冷却されたりした 2 組のコンクリート試験片についての 2 つの曲線が示されています。図 12 には与えられた残留強度については、見た限りではパルス速度は損傷を受けていないコンクリートのそれよりは小さかった。タイプの異なる骨材が及ぼす影響については情報がないが、これらの結果は砂利骨材を用いたコンクリートについてのもので、普通コンクリートに典型的に認められるものです。

### 6.12 強度の推定

コンクリートの品質は一般的に立方体（もしくは円筒）体の破壊強度を測定することにより算定されます。立方体強度とパルス速度との間に単純な相関がないことが分かっています。しかし、相関は下記のものに影響されます。

- ・ 骨材種類
- ・ 骨材・セメント比
- ・ コンクリート材令
- ・ 骨材の大きさ及び等級
- ・ 養生条件

---

\* ワトキーズ (Watkeys) , D.G. "火災被害を受けたコンクリートの非破壊試験" M. Sc (Eng) 論文、ロンドン大学、1955

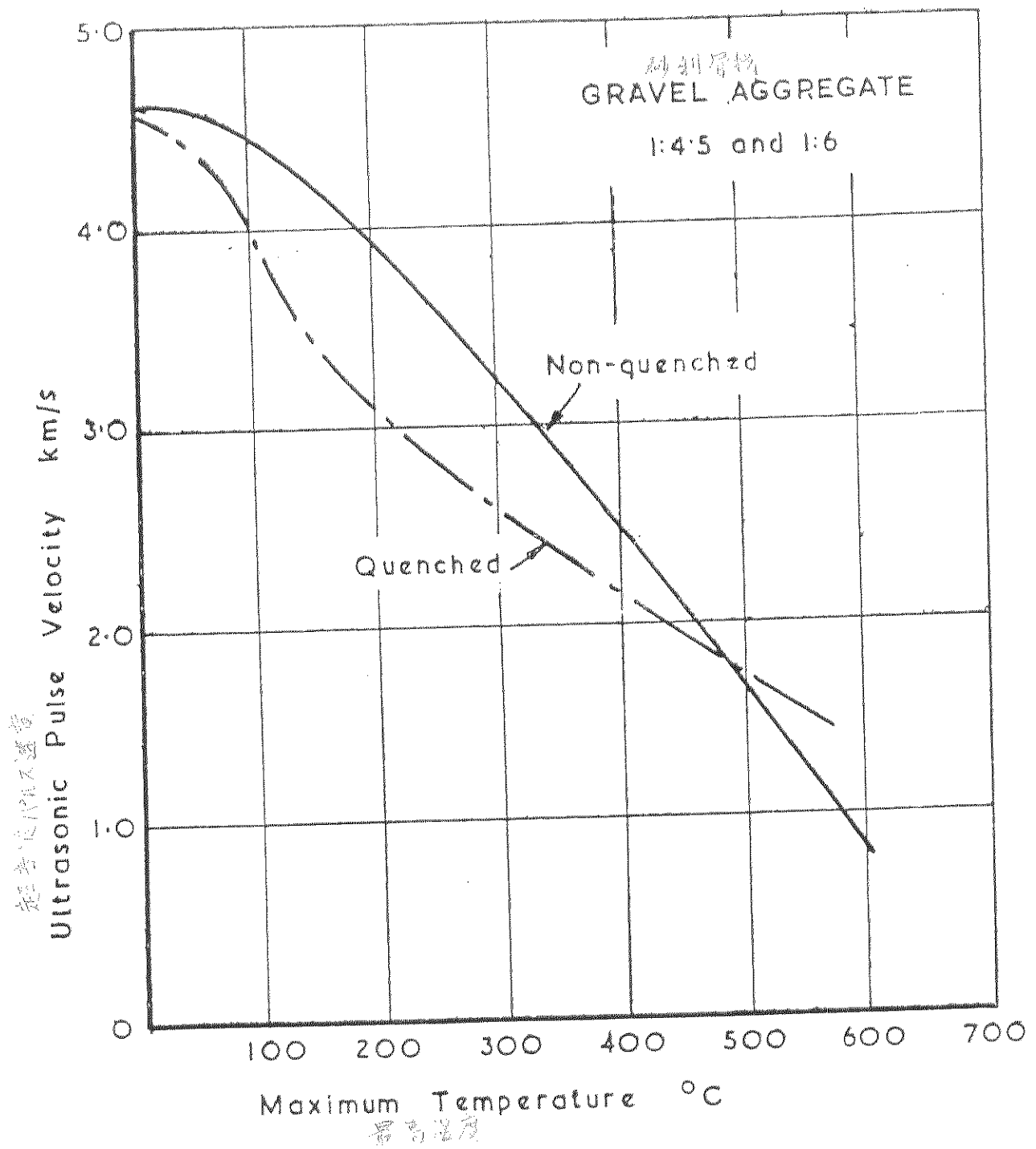
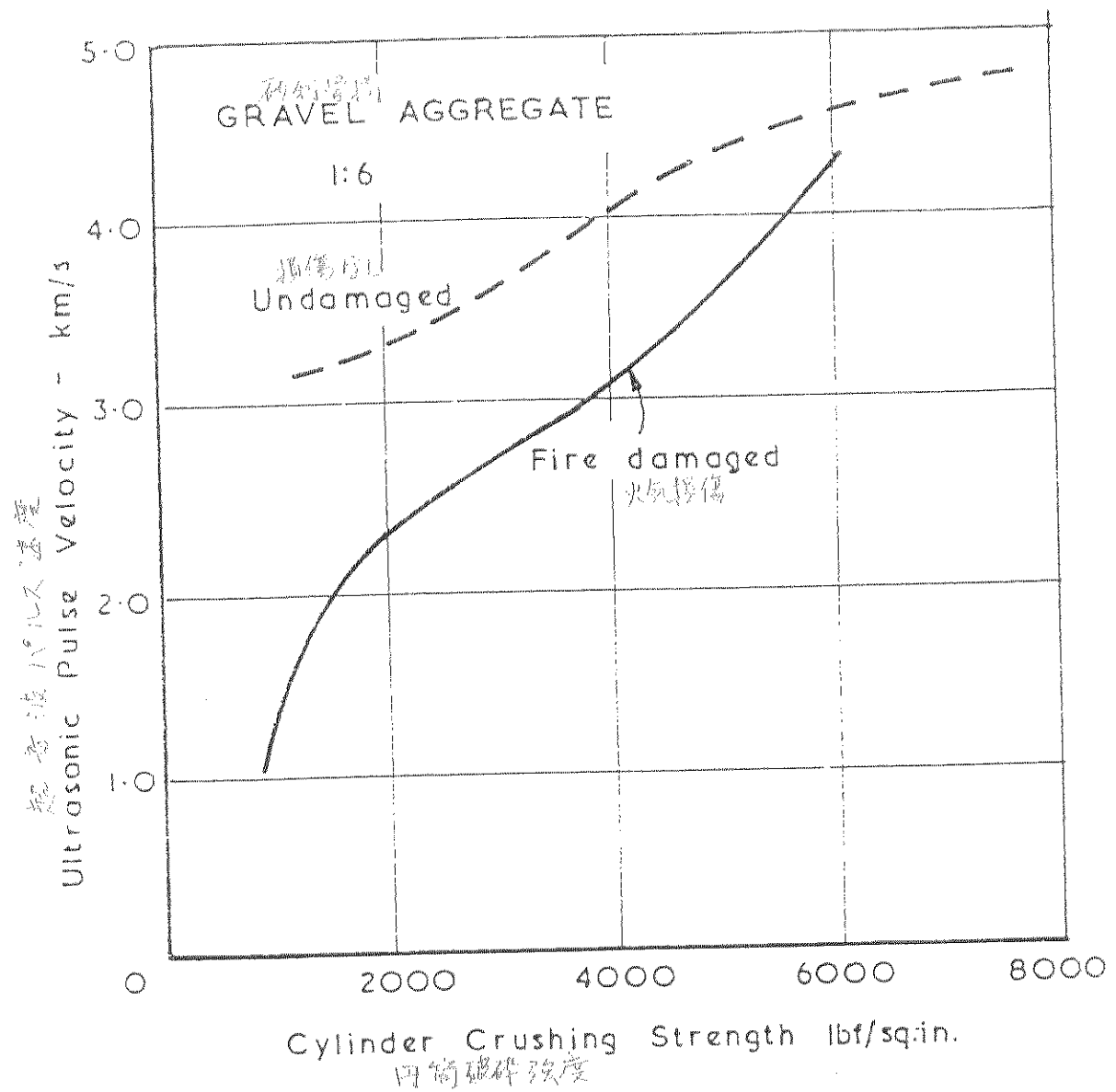


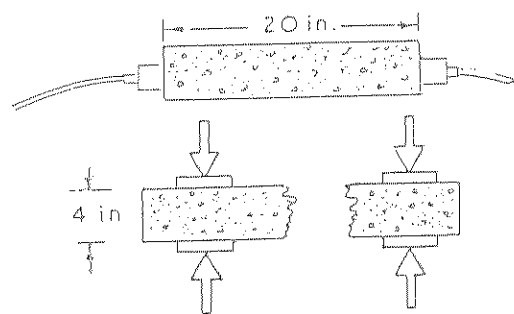
図11 コンクリート中の超音波パルス速度に与える最高直火温度の影響



(After Watkeys)

図12 直火損傷コンクリートについての残留強度とパルス速度の相関曲線

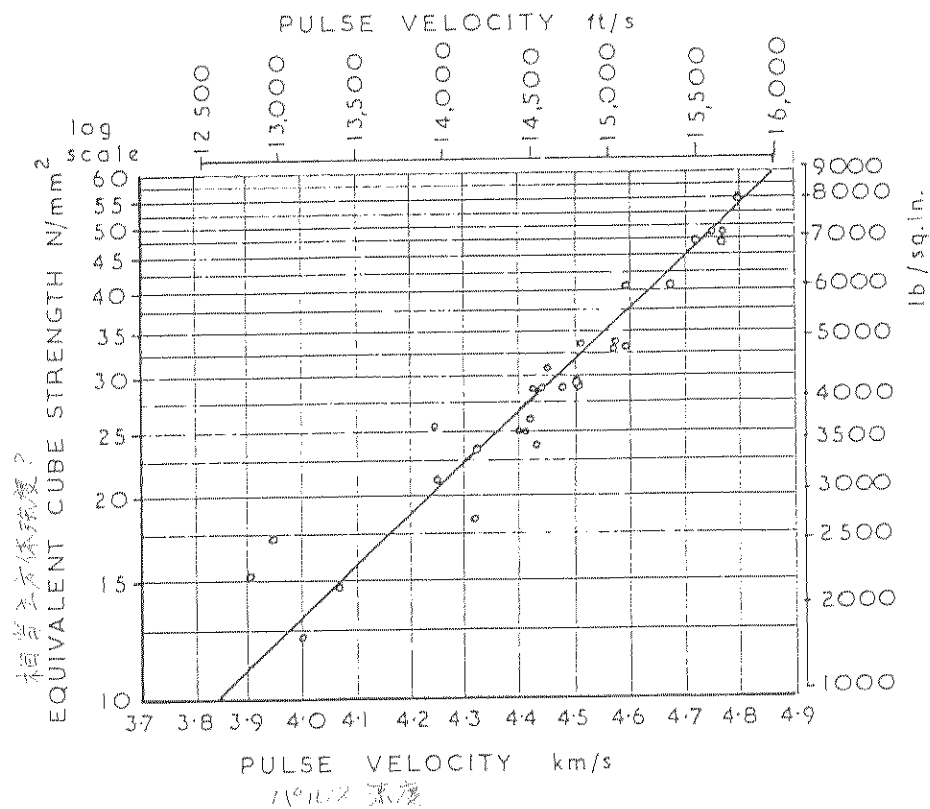
図13 コンクリートの強度対パルス速度の典型的相関



パルス速度は梁材軸に沿って測定。

半分に折損した材料の相当立方体強度 (BS1881) を測定。

下の相関図は、上記のように梁材のパルス速度及び相当立方体強度<sup>?</sup> (equivalent cubic strength) を測定して得たものです。



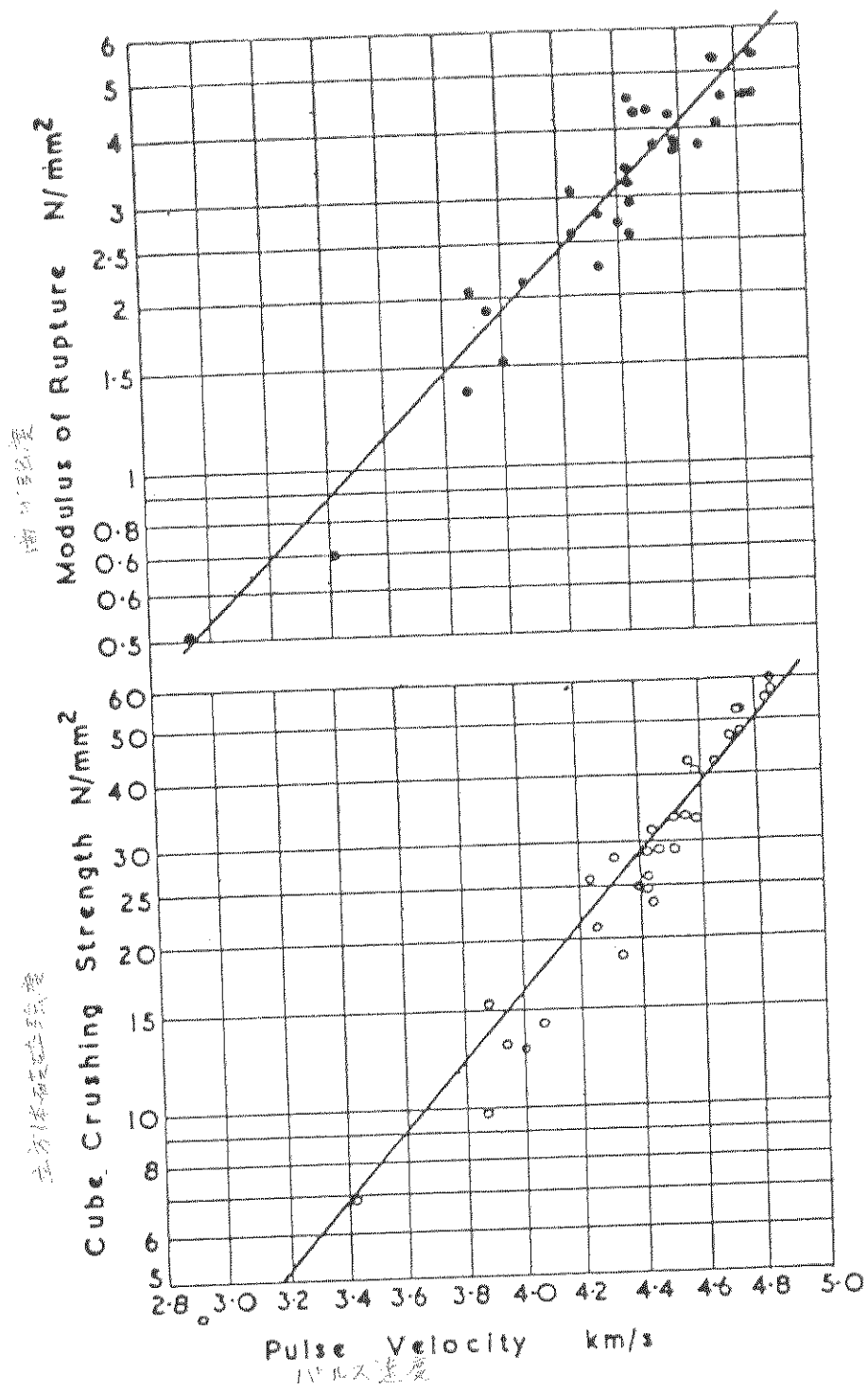


図14 1:6砂利骨材使用・水養生コンクリートについて得られた典型的  
相関曲線

これらの影響の詳細は第 1 節に記載の参考文献 1、2、3 及び 9 に記述されていると思われます。

實際上、もしパルス速度結果値が立方体強度相当値(equivalent cube strengths)として表示されるとき、用いられた特定のコンクリートを校正するほうが好ましいです。この場合、一定の強度レンジをもつ以外は指定されたコンクリートと同じ材料及び混合比率をもつ一連の試験サンプルを作っておきます。

各サンプルについてパルス速度が測定された後、サンプルは破壊検査されます。

強度範囲は、試験時点のコンクリート材令を変化させるか、一連の水・セメント比を導入することによって得られることがあります。パルス速度と立方体強度の相関曲線はこの 2 つの強度変化の方法について同じではなさそうです。しかし、選択した特別の方法は要求されるテスト目的に適したものでなくてはなりません。

もし強度の経時変化を監視するときは、校正曲線は材令を変化させることによって最も良好に得られます。しかし、特定の材令における品質チェックのためには水・セメント比を変化させてその相関を得ることが必要だと思われます。

そのような相関が立方体試験から得られますが、コンクリートの曲げ強度(modulus of rupture)の試験のために用いるような、BS1881(コンクリートの試験方法)に記述のビームを用いる方が好ましいです。これらのビームは 500mm 長さで、パルス速度として長い軸を用いることによりパルス速度のより正確な値を得ることができます。超音波試験の後、ビームは曲げ試験され、曲げ強度を決定され、圧縮破壊の試験で破壊された半分の物は圧縮試験され、相当立方体強度を測定されます。これらの試験のすべてのは詳細は BS 1881 に記述されています。

図 13 は川砂利を用いたコンクリートについて得られた典型的な曲線を示します。校正はビームを用いて行われました。

構築物のままでコンクリート試験を行うときは、パルス速度の測定から推定した立方体強度の値が、現場で作ったコントロール立方体サンプルの規定強度と同じ、と予期することは妥当ではありません。その理由はコンクリート構造物の設計においては立方体サンプルの強度は構造物のコンクリート強度よりも大抵大きいと言う事実を考慮しているからです。従って、適切な許容差にはこれを考慮する必要があります。この件については、第 1 節の参考文献 10 及び 12 にもっと多くの討議が記載されています。

図 14 は更に一層典型的な相関曲線を示し、一つは曲げ強度についてのものです。これらは砂利骨材を用いた混合比 1:6 のコンクリートについての曲線です。強度を立方体強度で表示する代わりに、可能な限り構造物部材としての強度とパルス速度との間の直接的相

関を得ることが好ましい。<sup>(10)</sup> そのような相関はしばしばプレキャスト品に容易に応用され、パルス速度と正しい機械的試験（例えば、曲げ試験）を関係づける曲線が得られます。

### 6.13 弾性係数の推定

弾性係数の推定は強度の推定ほど複雑ではありません。これまでに分かっていることは、軽量骨材を用いたコンクリートを含め、広い範囲の色々な骨材についてのパルス速度と弾性係数の相関を一つのパルス曲線だけを用いて表すことができることです。（表3を参照）

図15はパルス速度の測定から静的及び動的の両弾性係数を決定するのに用いられる曲線を示します。

表3 静的及び動的弾性係数とパルス速度との経験的相関

| Table 3. Empirical relationship between static and dynamic moduli of elasticity and pulse velocity |                            |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Pulse velocity<br>パルス速度                                                                            | Modulus of elasticity 弾性係数 |                   |
|                                                                                                    | Dynamic 動的                 | Static 静的         |
| km/s                                                                                               | MN/m <sup>2</sup>          | MN/m <sup>2</sup> |
| 3.6                                                                                                | 24 000                     | 13 000            |
| 3.8                                                                                                | 26 000                     | 15 000            |
| 4.0                                                                                                | 29 000                     | 18 000            |
| 4.2                                                                                                | 32 000                     | 22 000            |
| 4.4                                                                                                | 36 000                     | 27 000            |
| 4.6                                                                                                | 42 000                     | 34 000            |
| 4.8                                                                                                | 49 000                     | 43 000            |
| 5.0                                                                                                | 58 000                     | 52 000            |

### 6.14 動弾性係数と動ポアソン比の決定

無限の寸法を有する等方性の媒体中の弾性係数と超音波圧縮波パルスの速度との関係は下記によって与えられます。:

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1 + \delta) (1 - 2\delta)}{(1 - \delta)} \quad (1)$$

ここで、  $E_d$  = 動弾性係数 (MN/m<sup>2</sup>)

$\delta$  = 動ポアソン比

$\rho$  = 密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = 圧縮パルス速度 (Km/s)

縦方向共鳴周波数試験 (BS1881 : パート 203) から見つかった動弾性係数も下記により与えられます。

$$E_d = 4fL^2 \rho \quad (2)$$

ここで、  $f_L$  = 基本縦方向共鳴周波数 (Hz)

$L$  = 長さ (m)

$\rho$  = 嵩比重 ( $\text{k/m}^3$ )

(1)式と(2)式 を組み合わせて、次の式が得られます。

$$\frac{(1 + \delta)(1 - 2\delta)}{(1 - \delta)} = \left( \frac{2 f_L L}{v} \right)^2 \quad (3)$$

動ポアソン比  $\delta_d$  の値が表 4 により決定されるか、又は図 16 から得られます。

実験室プリズムの縦方向共鳴周波数  $f_L$  の値はエルダイト・エレクトロダイナミック共鳴周波数試験設備を用いて得られます。この設備は BS1881 : パート 209 及び ASTM C215 標準規格に完全に基づいています。

表 4 動ポアソン比の値

| $f_L L/V$ | $\delta_d$ |
|-----------|------------|
| 0.257     | 0.45       |
| 0.342     | 0.40       |
| 0.395     | 0.35       |
| 0.431     | 0.30       |
| 0.456     | 0.25       |
| 0.474     | 0.20       |
| 0.487     | 0.15       |
| 0.494     | 0.10       |
| 0.499     | 0.05       |

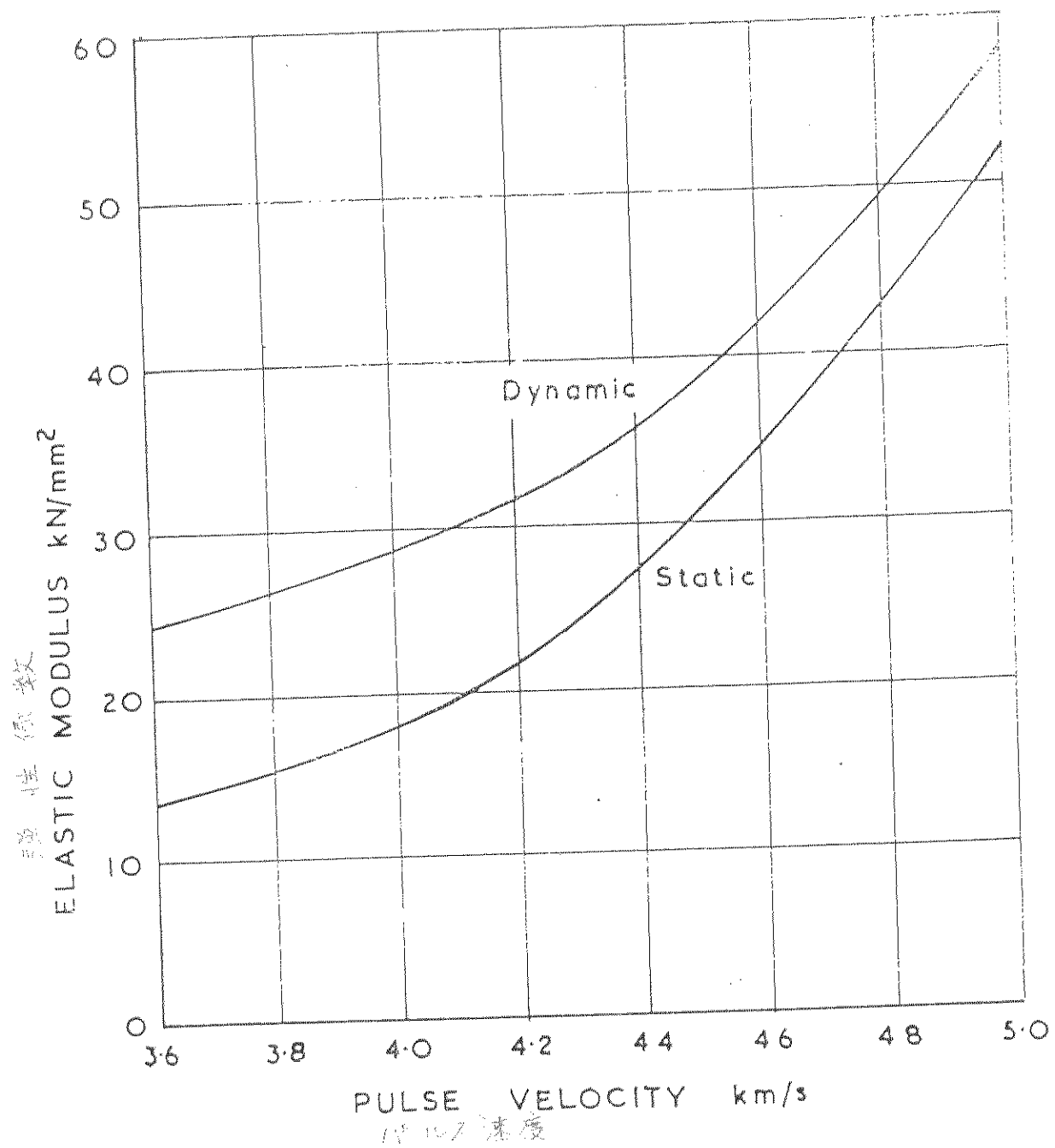


図15 パルス速度と静的・動的弾性係数との相関曲線

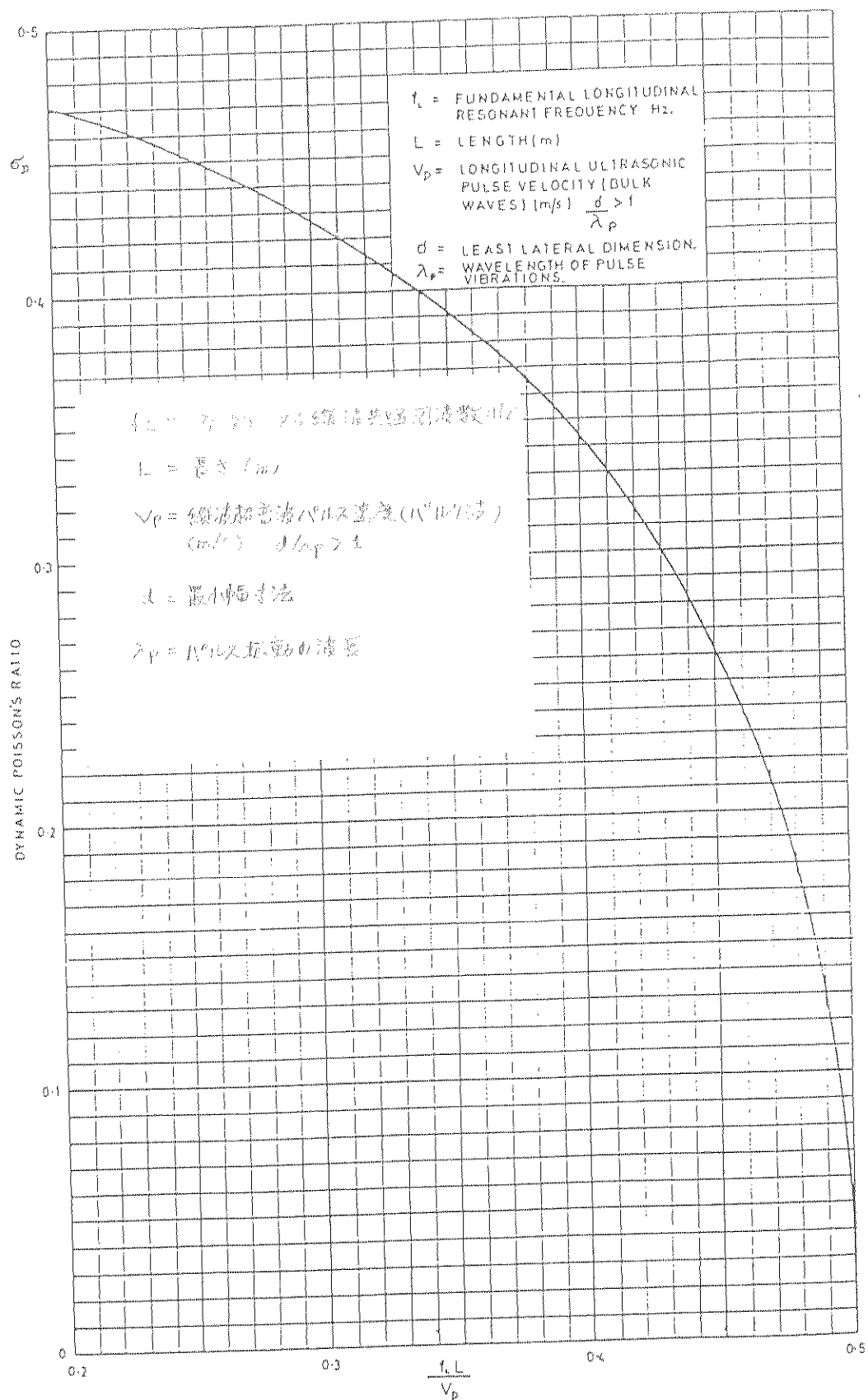


図 16 縦方向共振周波数及び縦方向パルス速度から得られる動ポアソン比

## 第 VII 節 パンジットと一緒に用いる付帯設備

### 7.1 追加設備の要約

この章に記述の設備はパンジットの応用範囲を拡大するために使用されます。アナログ・アドオン装置により適合する記録設備を用いて測定値を連続的に保存することができます。受信信号の出力波形を C.R.O. 上に表示するために、C.R.O. 減衰アドオン装置が使用され、減衰信号の測定を確かなものにし、信号の強さの検討をも確実に行えるようにしてくれます。シグナルバッファ増幅器により信号強さの大きな損失を生ずることなく、受信用変換器とパンジットをつなぐのに長いケーブル（約 70 m まで）を使うことができます。エキスポネンシャル・プローブ受信変換器によって、接触媒質剤の助けを借りることなく不規則な面、あるいは曲面での測定ができます。

### 7.2 パンジット・アナログアドオン装置

アドオン装置はパンジット計測器と一緒に用いられ、電波時間に比例するアナログ電圧出力を提供してくれます。出力は広い範囲の多ペン記録計又は電圧データロガーの作動入力を与えてくれることがあります。一般的にアナログ出力は電波時間ないし電波時間変化の視覚による連続した記録が必要な場合にのみ、用いられることがあります。

図 17 はアドオン装置の写真で、図 18 はパンジット及び C.R.O. 減衰アドオン装置と一緒に使用中のアドオン装置を示しています。図 19 は、材令の若いコンクリートの成熟過程が連続的に監視できる様子を示す、電波時間ペン記録計による典型的な追跡の例を示します。このユニット装置は次のような用途にも応用できます。

- i) 若齢コンクリートにおける強度発達の連続的観察
- ii) コンクリートの特性に影響を及ぼす凍結・融解サイクルの影響の算定
- iii) 水浴技術を用いた部品の連続走査試験
- iv) 温度についてのプラスチックの弾性特性変化の観察

この装置は 0 ～ 100 の目盛りを付けた電波時間指示計及び出力切りスイッチを組み込んでいます。

#### 7.2.1 仕 様

|        |                                                                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| レンジ    | : 0 ～ 1,000 $\mu$ s, スイッチ切り替えによる 5 段階レンジ。<br>0 ～ 50 $\mu$ s, 0 ～ 100 $\mu$ s, 0 ～ 200 $\mu$ s<br>0 ～ 500 $\mu$ s, 0 ～ 1,000 $\mu$ s |
| 精度と直線性 | : 出力水準は、0.5% より良好。<br>指示計 : 1.5% F.S.D.                                                                                             |
| 出力水準   | : 出力コントロールを全てのレンジで最大値 10V にセットして、最大電流値 10mA。無限大の伝播時間が変換器間に存在す                                                                       |

|                         |                                                                                                           |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | るとき、記録計や指示計を保護するために、出力は短絡保護されて 12V でクランプされます。                                                             |
| 出力コントロール                | : 遮断スイッチで出力ソケットをポテンシオメーターに接続すると、出力を記録計の要件に合うよう調整できます。出力は又、D.V.M.上に表示したり、電圧データロガー又は電圧コンパレーターに供給できることがあります。 |
| パネルメーター                 | : スケール 0 ～ 100。変換器の設定を完全に行うと、このメーターは指示計として使用されます。変換器の設定を行ったら、出力は記録計に切り替わることができます。                         |
| 設定基準<br>(Set reference) | : 変換器が互いに向き合って配置されるか、又は基準バーに合わせて設定するとき、出力をゼロにセットするための制御が備わっています。                                          |
| 温度レンジ                   | : 0°C ～ 40°C。                                                                                             |
| 重量                      | : 1.7 kg。                                                                                                 |
| 電源                      | : 110 ～ 125V / 220 ～ 250V , 50 ～ 60Hz。                                                                    |

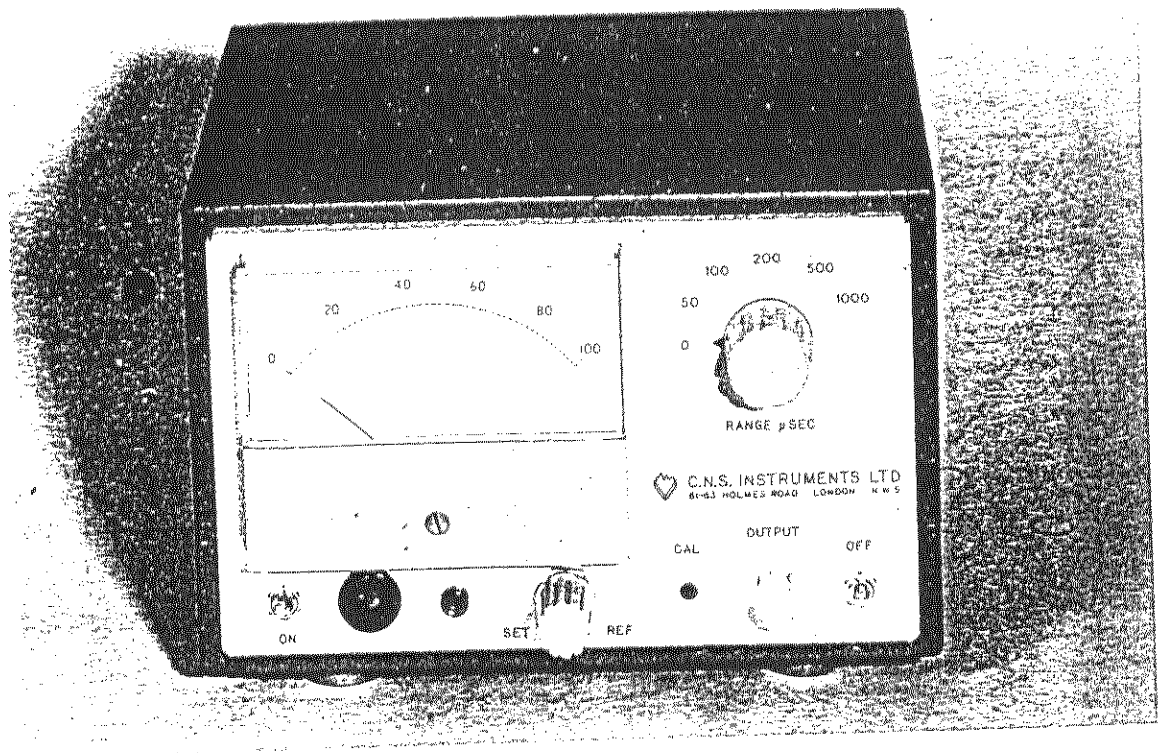


図 17 アドオンユニット

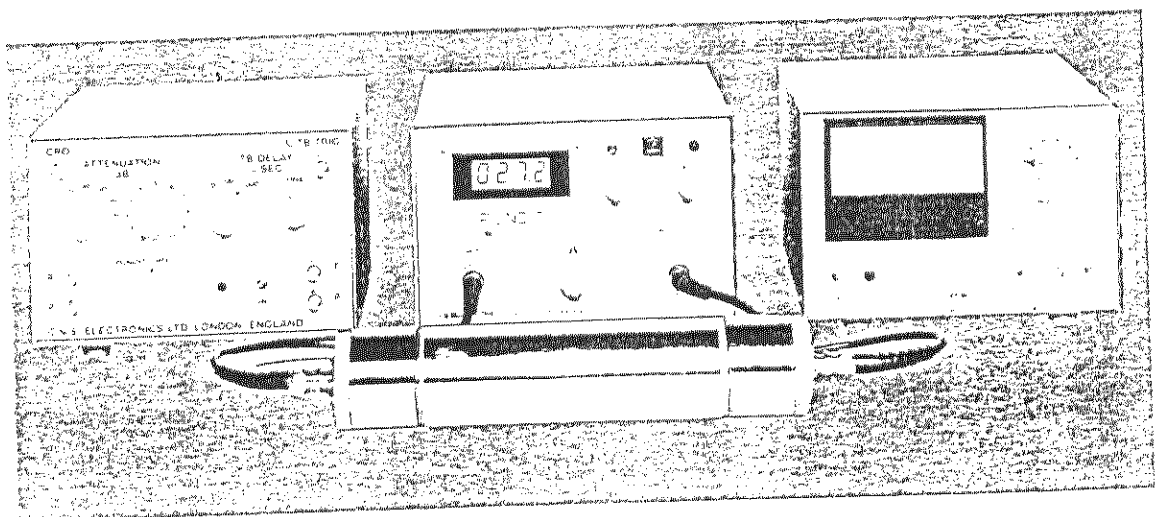


図 18 アドオンユニットをパンジットと CRO 減衰アドオンユニットと  
接続して使用しているところ

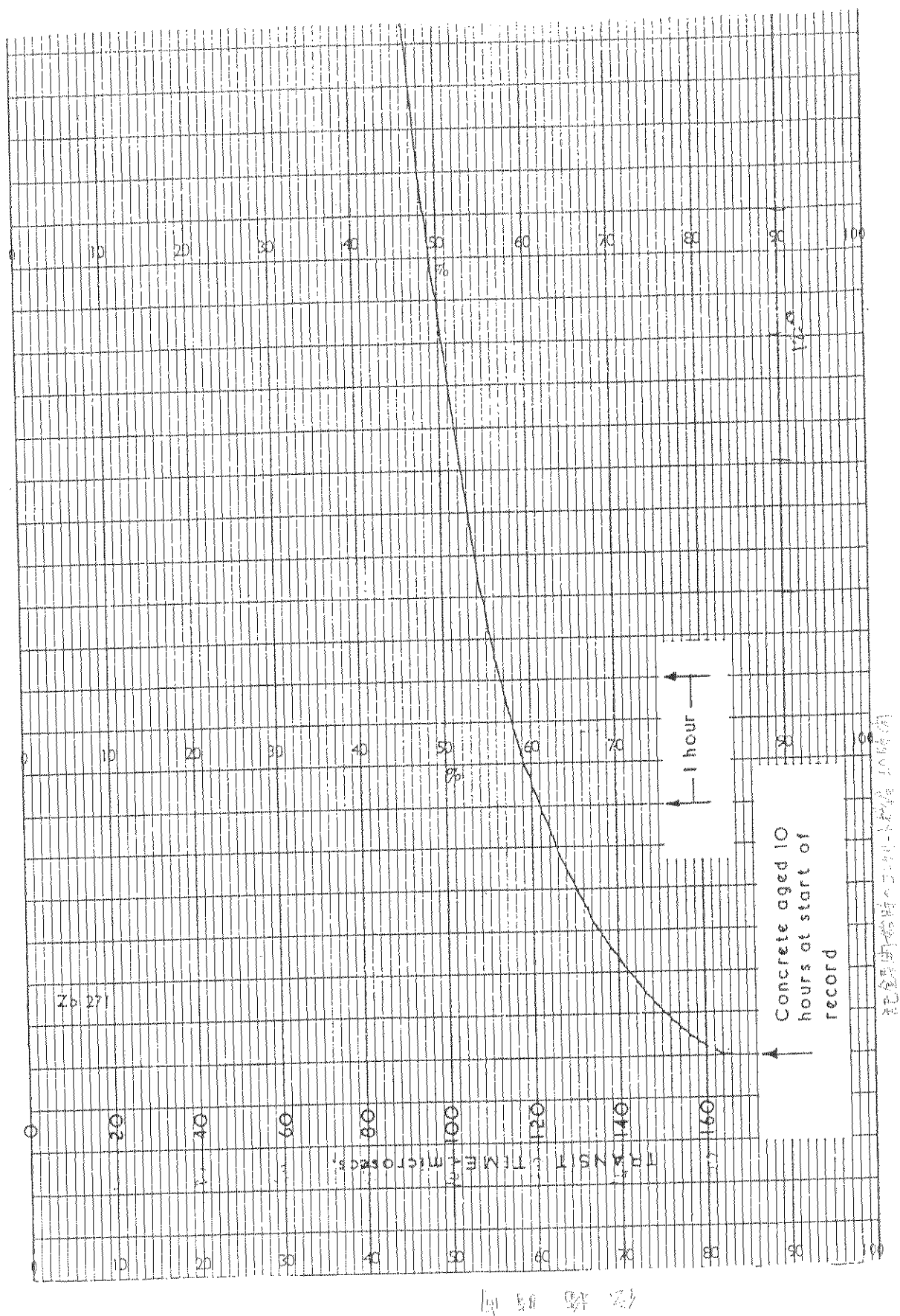


図 19 パンジットと一緒にアナログアドオンユニットを用いた若  
材令コンクリートについての伝播時間経時変化のペン式記録

### 7.2.2 操作要領

#### 制御器 (controls)

前面パネル：

商用電源スイッチ

商用電源ヒューズ : 100mA, 20mm ヒューズ

設定基準 : 出力をゼロにセットするために変換器を向き合った配置にするときに使います。

CAL. : 出力水準を記録計の要求条件に合わせて設定するために用いるスクリュードライバーにより調整するポテンショメーター。

B.N.C.出力 : 出力信号 10V、全てのレンジで F.S.D。

差込口 : ケーブル長さに制限なし。

出力スイッチ : 記録計からの出力信号を隔絶 (isolate) するために使用します。

レンジスイッチ : 計測器が運搬中のとき、計器の動きを抑えるため、6 番目の shortmeter 位置により 5 つのレンジで伝播時間を選択します。

後面パネル：

B.N.C.差込口 : 200mm 同軸ケーブルを介してパンジットの出力差込口から伝播時間パルスを受信します。

三方差込口 : A.C. 商用電源入力差込口 110 ~ 125V 又は 220 ~ 250V、50 ~ 60 Hz。

電源接続：

電源ケーブルを電源側に接続します。

| ケーブル  | 電源側 |
|-------|-----|
| 茶色    | 活線  |
| 青色    | 中立  |
| 緑色／黄色 | アース |

操 作：

- a) 供給されている 200mm の同軸ケーブルでアドオン装置とパンジットを接続しま

図3 前面パネルと後面パネル

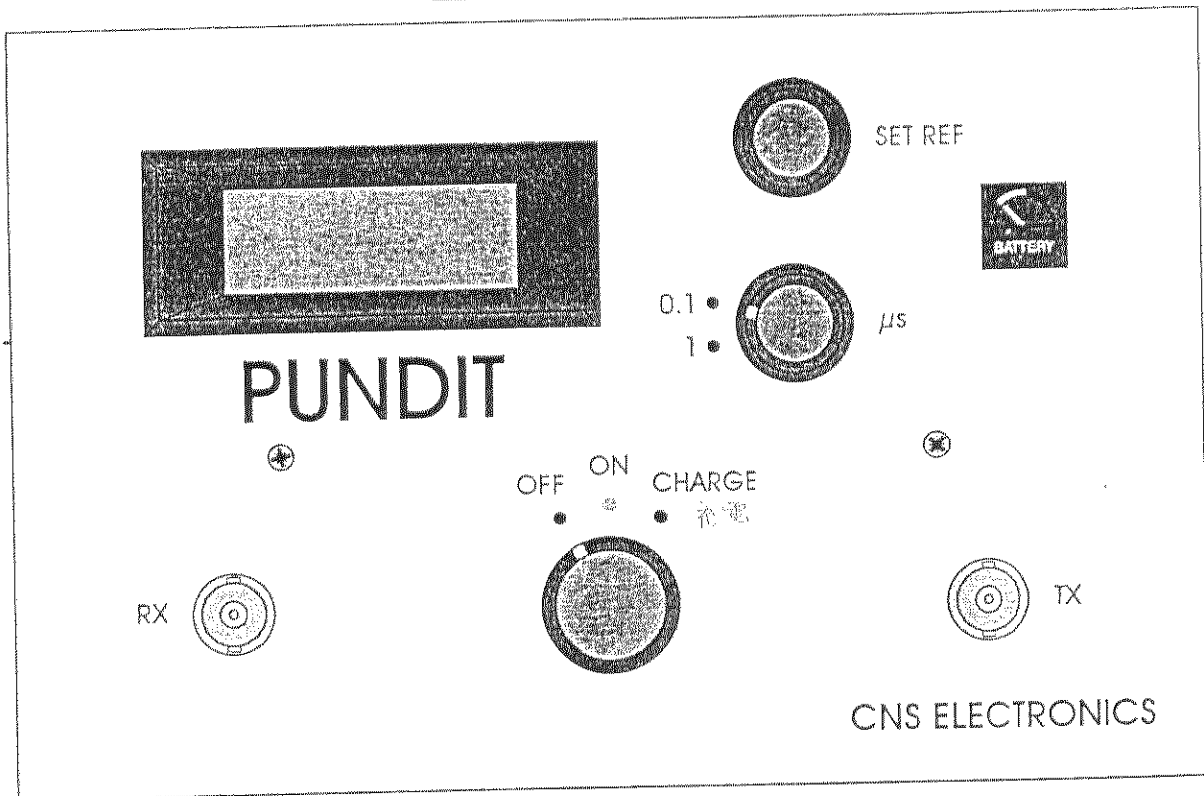
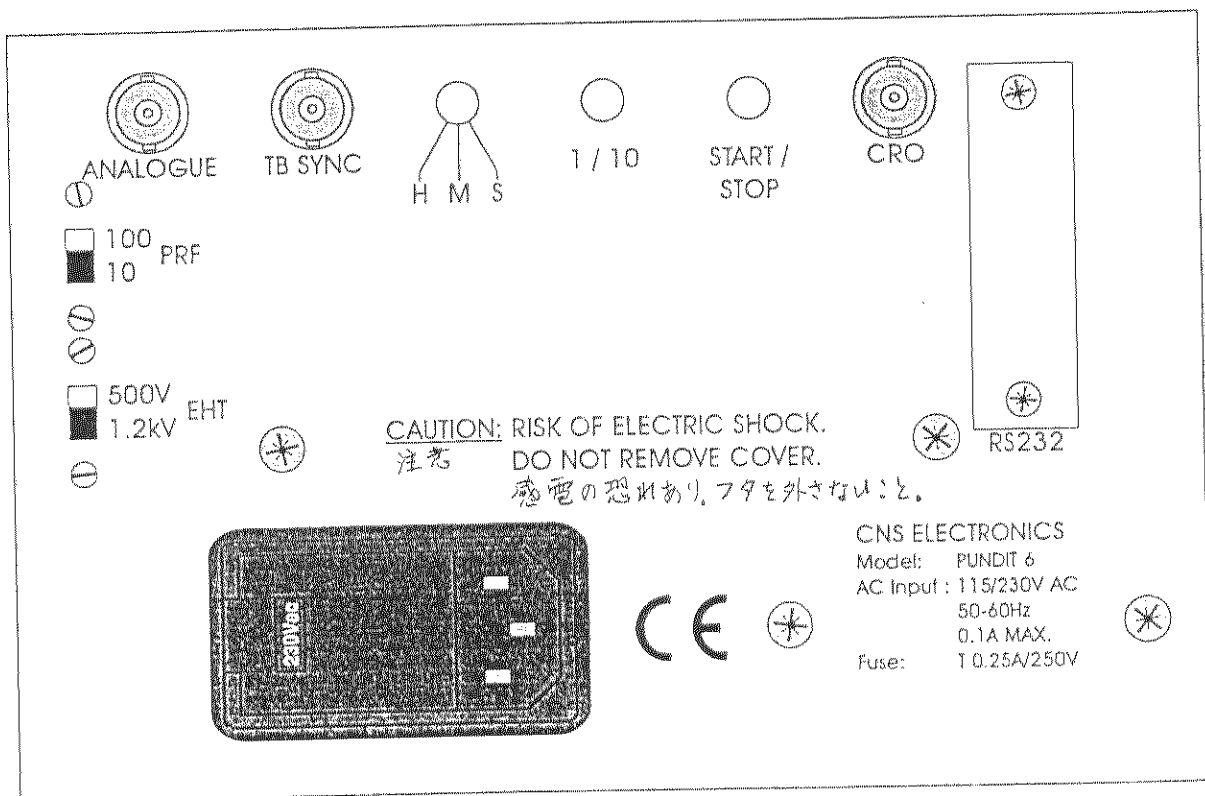


Fig. 3



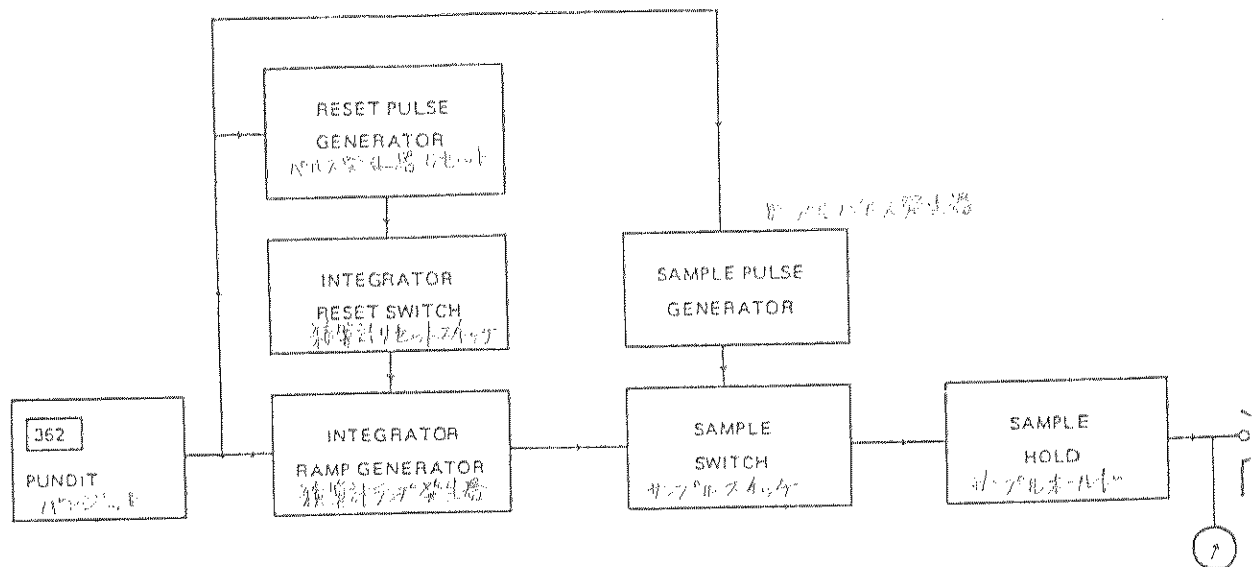
す。

- b) 記録計もしくはデーターロガーを電源差込口に接続し、電源スイッチをオフ (OFF) にします。
- c) 変換器をパンジット本体に接続し、両方のスイッチをオン (ON) にします。
- d) 変換器の面にグリースを塗り、変換器の面と面を接触させます。
- e) パンジットの調整を行います。計測器が  $0.1 \mu s$  を示す迄、Ref. control をセットします。
- f) アドオン装置上で適した伝播時間レンジを選択し、調製します。メーター上で出力読み値がゼロになるように、Ref. コントロールを設定します。  
アドオン装置はレンジ切り替え式の計測器なので、各々のレンジで基準制御 (reference control) の調製が必要です。これは低い方の2つのレンジの場合に特に重要です。
- g) アドオンユニットの出力スイッチを入れます。もし記録計が付帯しているときは、記録計のゼロ設定制御を調整して偏向をゼロにします。同スイッチを切ります。
- h) 変換器を被試験体上に配置します。変換器と被試験体との接触が良好であることを確かめて、変換器をクランプします。
- i) アドオンユニット出力スイッチを入れます。すると、記録計が伝播時間のアナログ出力に応答します。
- j) F.S.D.について、もし記録計の入力感度が  $10V$  を上回れば、次のような手順を実行しなければなりません。
- k) (a)～(g)を繰り返します。
- l) CAL ポテンシオメーターをフル c.c.w. で回転させます。
- m) 変換器をベンチの上部から絶縁するため、一枚のゴムシート又は発泡プラスチックを一方の変換器の下に敷き、ベンチ頂部に変換器を互いに向き合うように配置します。出力メーターにフルスケールの読み取り値が得られる迄、変換器間の分離を変化させます。
- n) アドオン出力スイッチを入れ、記録計が F.S.D.を指示するまで、CAL ポテンシオメーター c.w. を調整します。出力スイッチを切ります。
- o) h) 及び i)を繰り返します。

### 7.2.3 システムの記述

アドオンユニットはパンジット本体からの伝播時間パルス出力をアナログ出力に変換します。伝播時間のアナログ出力はパネルメーターに表示され、出力差込口にフィードされます。

システムの簡略化したブロックダイアグラムを下に示してあります。



システムは2つの主要な部分に分けることができます。

- i) 積分ランプジェネレーター (integrating ramp generator) 及びリセットスイッチ、及び
- ii) サンプルスイッチ及びサンプル及び保持回路

### インテグレーターランプジェネレーター及びリセットスイッチ

(Integrator ramp generator and reset switch)

パンジット本体からの negative going な伝播時間パルスは一定の振幅迄増幅され、クランプされ、ランプジェネレーターとして働く積分動作増幅器の入力回路に応用されます。伝播時間パルスの最先端部が単安定マルチバイブレーターの引き金を引き、積分計スイッチのために一個の残留\*パルス (a reset pulse) を発生させます。ジェネレーターからの1個のロジカルパルス"1"は約 10ms、リセットスイッチをオフに保ち、ランプジェネレーターが伝播時間パルスの間、経時的に直線的に増加する出力を生み出します。10ms の最後に、積分コンデンサーの放電をするためリセットスイッチを閉じて、単安定な出力がロジカル"0"に戻ります。

### サンプルと保持

伝播時間パルスのトレーリングエッジは 2 番目の単安定(?パルス)の引き金を引き、サンプルスイッチをオンに入れるため、1 個の 1ms の長さのサンプルパルスを発生させます。サンプルスイッチがオンの状態のときは、CR フィードバック部品をもつ操作用増幅器が

らなるサンプルと回路保持がサンプルパルスの長さ分ランプジェネレーターの出力に接続されます。

サンプリング時間の最後にはサンプルスイッチが切れ、増幅器がサンプリングした最初の電圧を保持します。ランプ電圧が発生し、パンジット本体の 10pps というパルス反復周波数において最後の電圧がサンプリングされます。アドオンユニットのゼロからフルスケール迄の出力の応答時間は約 0.5 秒です。

### 7.3 シグナルバッファ増幅器

変換器とパンジットとの接続に長いケーブルを用いるとき、信号強さの損失が起きます。伝送器ケーブルによって生じる信号強さの損失は重大なものではないが、受信器ケーブルによるそれはかなりのものになることがあります。シグナルバッファ増幅器 (S.B.A.) は受信用変換器及びパンジットへの長手ケーブルに接続されます。これはインピーダンスコンバーターとして働く一つの低ゲイン増幅器です。S.B.A.は図 20 に示してあります。

#### 7.3.1 仕 様

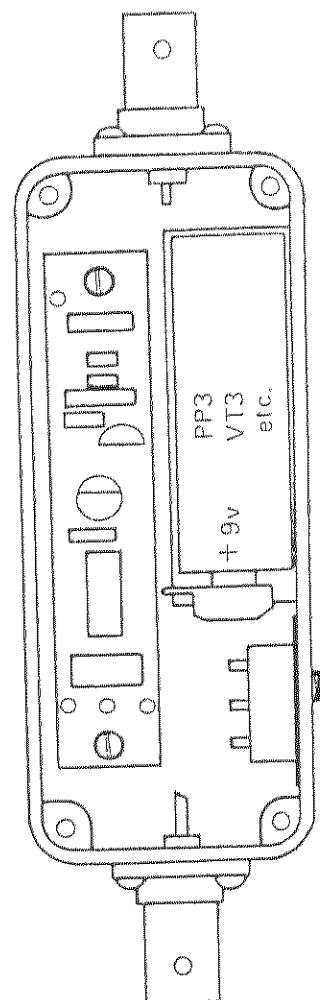
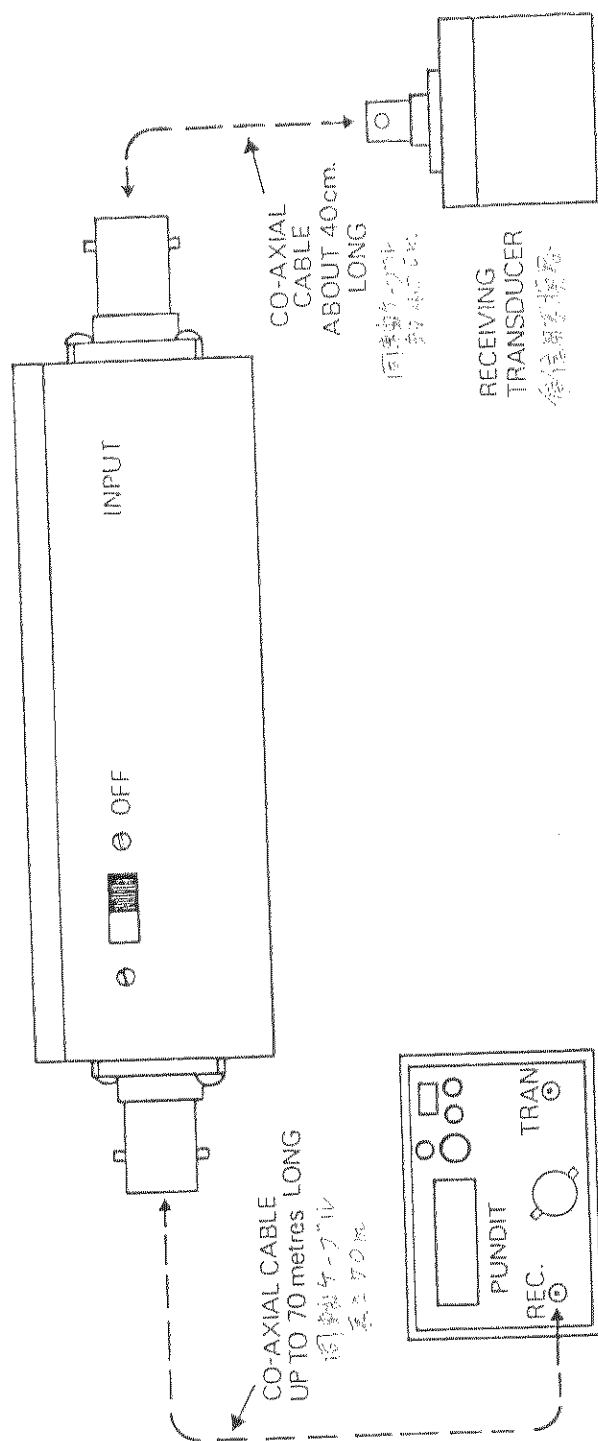
|           |                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------|
| 電圧ゲイン     | : Unity (1 単位) + 0 - 0.05                                  |
| 入力インピーダンス | : 50kHz, 300 k $\Omega$                                    |
| 周波数応答     | : 小信号 : 10Hz to > 1MHz; 60kHz と 300kHz<br>出力への接続用ケーブル 60m。 |
| 電源        | : PP3, VT3 等、1.2 mA9 V バッテリー。<br>バッテリー寿命約 340 時間           |
| 操作温度      | : 0 - 40°C                                                 |
| 重量        | : 145 g (5 オンス.)                                           |
| ケース       | : アルミ合金、自然仕上げ (natural finish)                             |

#### 7.3.2 操 作

受信用変換器は短い同軸ケーブル、推奨長さとしては 400mm のもの (3m までのものが使用可) で、S.B.A.の入力へ接続する必要があります。出力は、パンジットの入力に接続される長手ケーブルにつながれます。約 70m (250ft) 迄のケーブルが使用できます。

##### 内部バッテリーの交換

S.B.A.のスイッチを切り、ケースカバーの固定ネジを取り外します。バッテリーの収納部は図 20 に示してあります。



S.B.A. WITH COVER REMOVED  
フジエックス S.B.A.

図 20 信号バツプア-増幅器

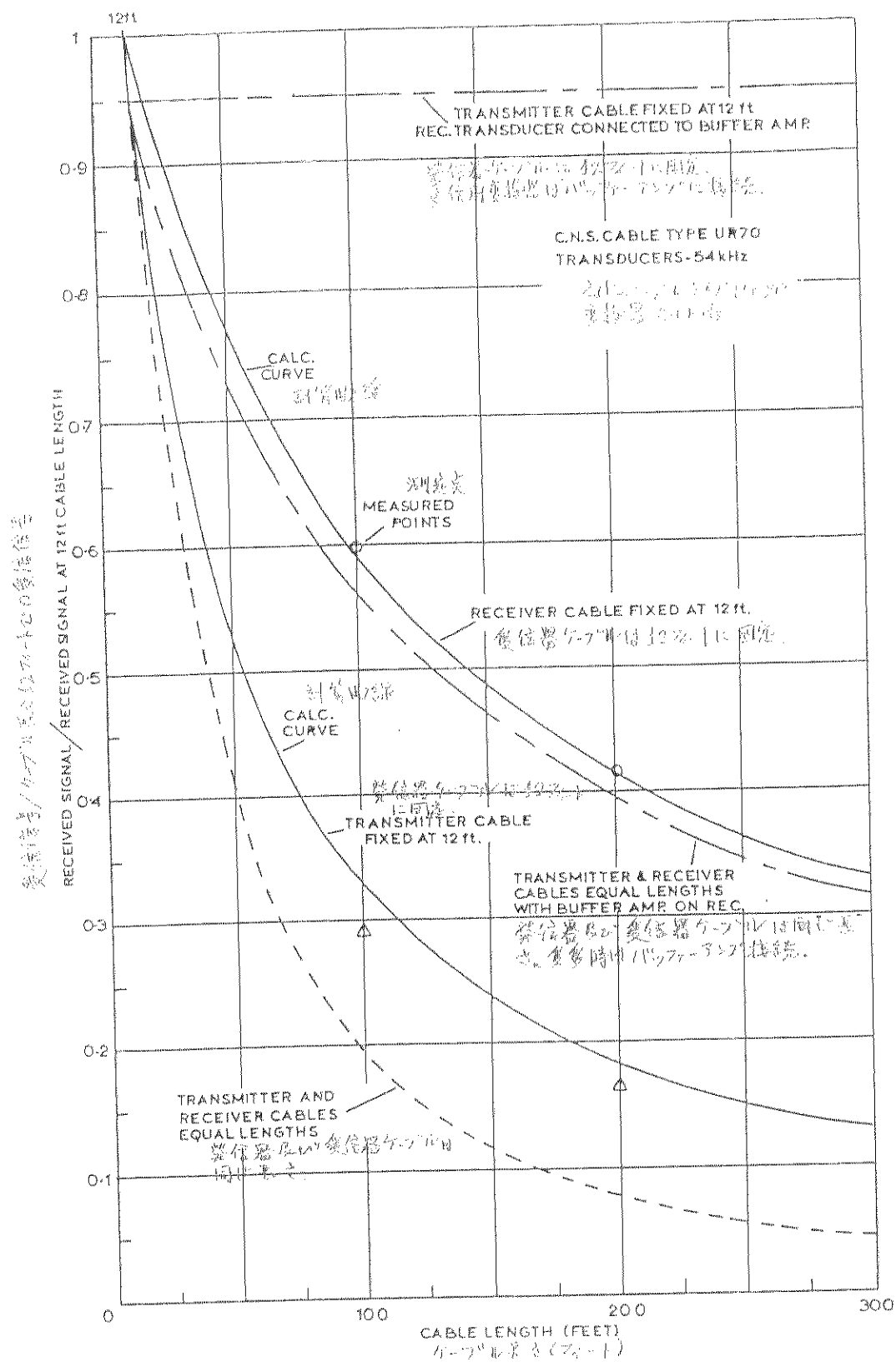
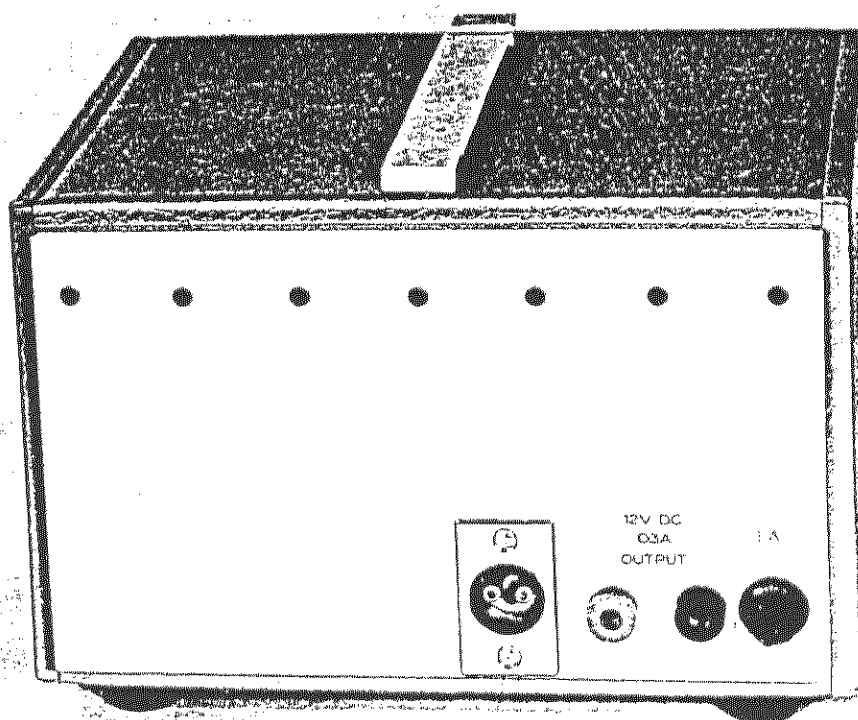
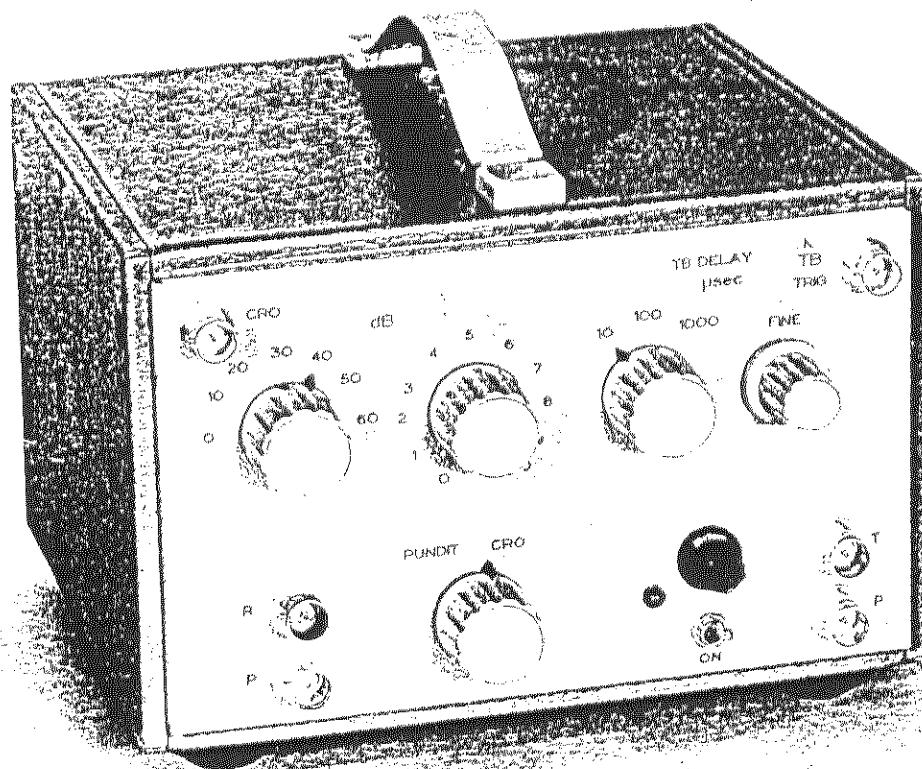


図 21 受信信号の増幅に与えるケーブル長さの影響



写真：パンジットCRO減衰アドオンユニット

#### 7.4 パンジット C.R.O. 減衰アドオンユニット (変更あり得る)

材料の非破壊検査のための超音波パルス速度の測定の他に、受信信号の波形を観察し、先端エッジもしくはエンベロープ (envelope) の減衰を測定することも時々利点となります。

C.R.O. アドオンユニットは減衰の測定及び信号の検討を可能にしてくれるよう、C.R.O. 上に受信信号の出力波形を表示するのに使用されます。

ユニットはパルス発生器、入力減衰器及びバッファ増幅器を完全に内蔵しています。パルス発生器 p.r.f. 値約 50p.p.s. に同期調整された 1 つのパルスが C.R.O. の時間ベースの引き金を引くために与えられます。引き金パルス、と言うことは、C.R.O. の時間ベースが発信されたパルスについて遅れることがあるので、受信信号はいかなる時間ベース走査スピードについても画面に保持できます。パンジット計測器は C.R.O. に差し込むことができるので、伝播時間及び減衰の両方の測定ができます。アドオンユニットの前面パネルのスイッチで伝播時間又は減衰モード操作の選択をします。調節された 12V 出力はユニットの後面パネルから得ることができます。(図 18)

##### 7.4.1 仕 様

|                                  |                                                                                                          |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周波数応答                            | : 200Hz ~ 1MHz                                                                                           |
| 入力インピーダンス                        | : 1 M $\Omega$ / 30pf                                                                                    |
| 出力インピーダンス                        | : 50 $\Omega$ 公称                                                                                         |
| 最大安全連続入力                         | : 40V r.m.s.                                                                                             |
| 最大安全パルス入力                        | : 200V                                                                                                   |
| 最大非歪曲入力 (Max. undistorted input) |                                                                                                          |
| 0 db 減衰                          | : 1 V r.m.s.                                                                                             |
| 減衰器                              | : 0 - 70 dB、1dB 刻み、周波数補償。                                                                                |
| 通電パルス                            | : 800V pk、2 $\mu$ s 公称                                                                                   |
| P.R.F.                           | : 50p.p.s. 公称                                                                                            |
| 時間ベース引き金パルス                      | : 2.5V positive、立ち上がり時間 100ns。                                                                           |
| 時間ベース遅れ                          | : 0.8 $\mu$ s ~ 1、000 $\mu$ s を 3 段切り替え、端部重なりレンジ、<br>0.8 - 10 $\mu$ s、8 - 100 $\mu$ s、80 - 1,000 $\mu$ s |
| 微細制御                             | : 10 回転らせんポテンシオメーター                                                                                      |
| 低電圧出力                            | : 0.3A で 12V 制御。                                                                                         |
| 電源                               | : 110 - 125 V / 220 - 250 V、50 - 60 Hz                                                                   |
| 温度範囲                             | : 0 - 40°C                                                                                               |
| 重量                               | : 2.7kg                                                                                                  |

##### 7.4.2 制 御

## 前面パネル

### 商用電源オンオフスイッチ

商用電源ヒューズ : 500mA、20mm ヒューズ

減衰器 (a) : 0 ~ 60 dB、10dB 刻み

減衰器 (b) : 0 ~ 10 dB、1 dB 刻み

T.B. 遅れスイッチ : 遅れレンジを選択。

微細調節 : 選択レンジ内でのタイムベース遅れの可変調節。

### パンジット・C.R.O.スイッチ

: モードスイッチ。伝播時間もしくは減衰操作モードを選択します。

## BNC 差込口

頂部左隅部 : C.R.O.、C.R.O. "Y"入力差込口へ接続。

頂部右隅部 : T.B. TRIG. C.R.O.外部 T.B.引き金差込口又は Y 2 入力差込口に接続。

底部左隅部 : R. 受信用変換器に接続。

P. パンジット受信器差込口に接続。

底部右隅部 : T. 発信用変換器に接続。

P. パンジット発信用差込口に接続。

## 後面パネル

三方差込口 : 交流商用電源入力差込口、110-125V 又は 220 ~ 250V、50 ~ 60Hz

シングルソケット : 12V d.c.、0.3A 調節電源出力

低電圧ヒューズ : 1A、20mm ヒューズ

### 7.4.3 操作要領

1. 支給ケーブルでアドオンユニットとパンジット本体及び C.R.O.に 7.4.2 及び図 22 に概説してある通りに接続します。

2. C.R.O.タイムベース走査速さとして 10 又は 20  $\mu$  s/cm を選択します。

#### C.R.O.

C.R.O.アドオンユニットと一緒に用いる C.R.O.は良好なタイムベース引き金 (triggering) 装置 "Y"増幅器の感度 5mV/cm より良好な値をもつもの、を有する必要があります。高走査スピード、低反復速さでは良好なライン照度が必要となります。

3. C.R.O. タイムベース引き金セレクターをスイッチで EXT.+に合わせて選択し、水準及び安定制御を調節し、アドオンユニット T.B.トリガーから引き金を引きます。

4. アドオンモードスイッチをを C.R.O.に合わせます。

注記 パンジット受信信号増幅器は、振幅が与えられた値を超えると入力信号をクリップするように設計されています。この値を超える可能性のある場合としては、短い経路長さの伝播時間測定を行うときがあります。この理由から、減衰測定が行われているときは、パンジット本体から受信用変換器を切り離すためのモードスイッチを

アドオンユニットに設けてあります。

5. アドオンユニットのタイムベース遅れレンジとして、実験室規模の小型のサンプルについては殆どが  $80 \sim 100 \mu s$  を用いるのが、又大きめの建造物部材については  $80 \sim 1,000 \mu s$  を用いるのが、便利なのが分かるでしょう。
6. パンジットと一緒に供給されている SET REF.バーを減衰基準として用いることができます。

試験片テストのために用いることになるものと同じ接触媒質（カプラント）を変換器面に塗り、変換器を基準バーの長手を跨いで配置します。カプラントが所定の面にくまなく均等に広がるまで、変換器のこの準備作業を行います。しっかりした一定の力で変換器に塗布しないと、変換器とサンプルとの界面で大きな減衰が起きてしまいます。かける力が 0 から 15kg 迄変化すると 10dB の減衰を引き起こします。アドオンユニットタイムベース遅れを  $100 \mu s$  にスイッチで選択し、微調節（fine control）を行い、受信信号の先端エッジが画面上に良好に配置されるようにします。

受信信号の先端エッジの表示に、画面の大きさにもよりますが、3 ないし 4cm の振幅が現れる迄 C.R.O."Y"増幅器の感度を  $5mV/cm$  にスイッチで切り替え、C.R.O.アドオンユニットの粗略衰器を調整します。

減衰器の設定及びスクリーン振幅に留意し、他の材料について測定するときは、一つの基準としてこれらの値を使用します。基準を確立したら、変換器を、関心経路を渡るように配置し、基準読み値がオシロスコープ上で得られる迄減衰器をスイッチで切り替えます。材料中での減衰は、 $Mat. dB = Ref. dB - Spec. dB$  となります。拡張プログラムの間に基準読み取りの周期的チェックを行うことをお勧めします。記述の減衰測定方法は受信信号エンベロープの振幅測定に均等に有効です。しかし、エンベロープは先端エッジの数倍の大きさのこともあるので、"Y"増幅器の感度は  $10mV$  又は  $20mV/cm$  に設定する必要があります。図 24 は材令につれて進行するコンクリート中での超音波パルスの減衰の様子を示す典型的な曲線です。

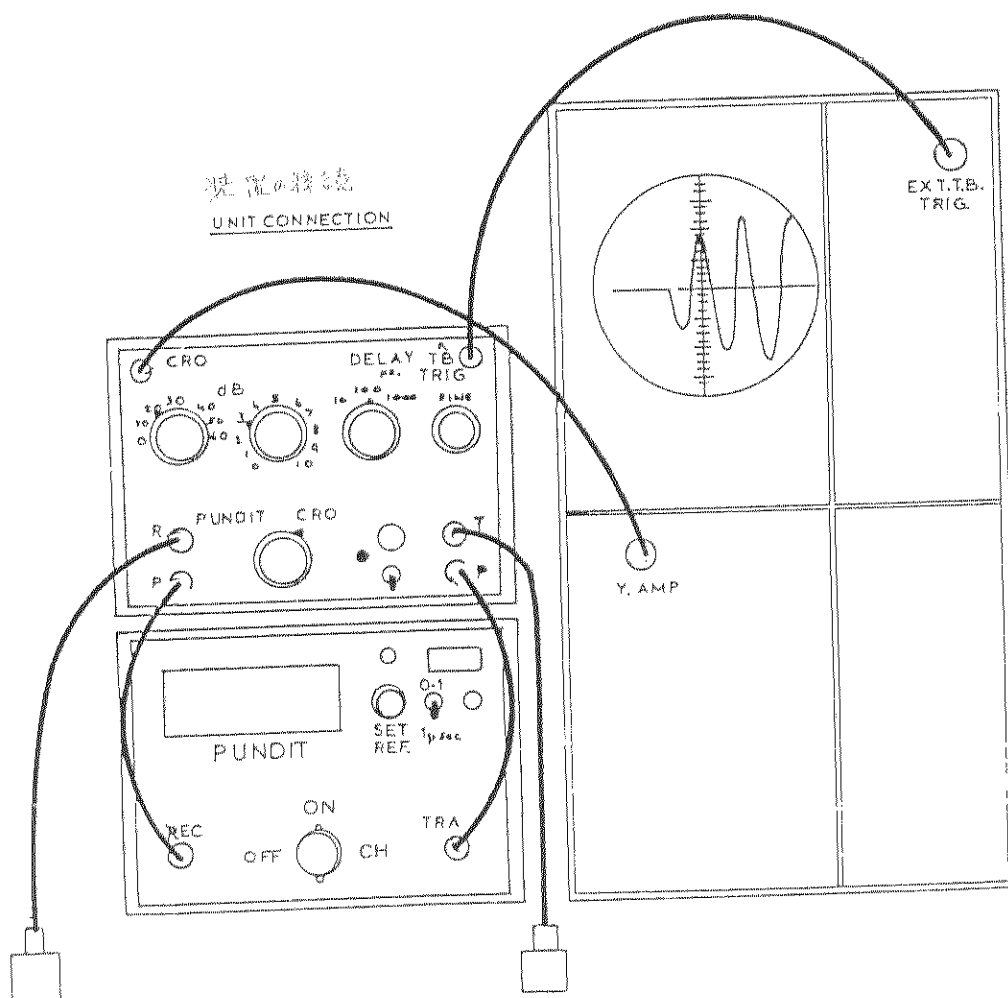
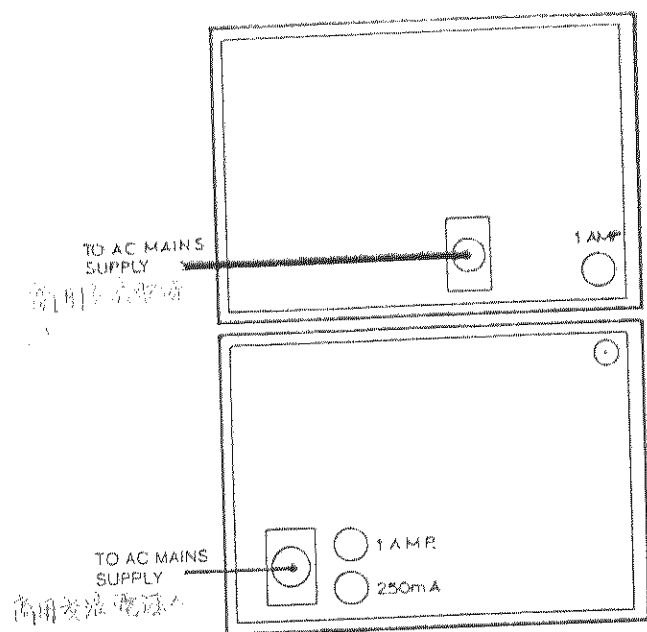
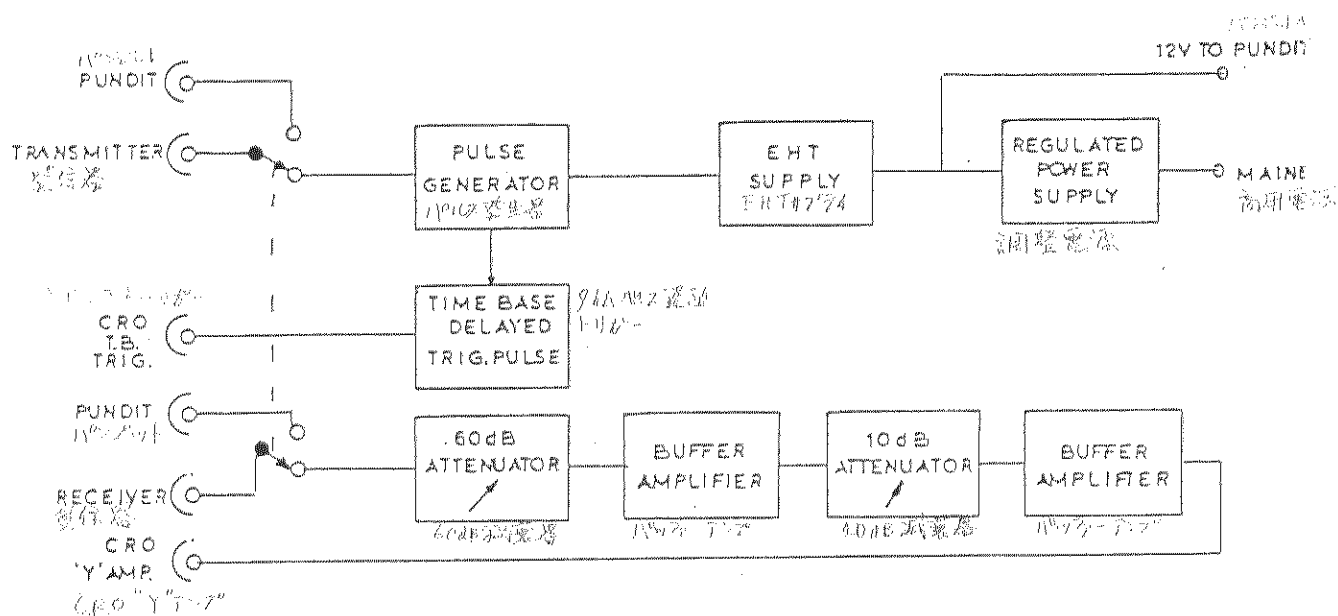


図 22 パンジット CRO 減衰アドオンユニット

#### 7.4.4 システムの説明

C.R.O.減衰アドオンユニットは、E.H.T.供給、発信用変換器を作動させる (energise) パルス発生器、タイムベース遅れトリガーパルス発生器 (Time base delayed trigger pulse generator)、バッファー増幅器付き 60dB 減衰器、バッファー増幅器付き 10dB 減衰器及び調節 12V d.c.電源からなります。システムの概略ブロックダイアグラムが図 23 に示してあります。

図 23



#### 1. パルス再発周波数発生器

(Pulse Recurrence Frequency Generator: P.R.F.G.)

P.R.F.G.は E.H.T.動力ユニットと U.J.T.リラクゼーション発信器パルス発生器からなります。発信用変換器の静電容量は 800V のポテンシャル (電位差) に対して充電さ

れます。この静電容量はその後約 50p.p.s.の反復周波数で U.J.T.パルス発生器により引き金を引かれたサイリスターを通じて速やかに放電されます。

静電気を放電したことにより伝送器 (transmitter) をショック励起させ、これによりそれ自体の固有振動数で1連の縦方向振動を生み出します。

## 2. タイムベース遅れトリガーパルス発生器

トリガーパルス発生器は発信用変換器のショック励起と呼応して UTT からのパルスによって引き金を引かれます。トリガーパルス発生器からの出力の遅れは粗密 T.B.遅れ制御器の設定により決まります。この設備によりオシロスコープタイムベースを発信パルスについて遅らせることができ、これにより 1,000  $\mu$ s 迄のいかなる伝播時間の間も、いかなる操作スピードでも、受信信号を画面に留めておくことができます。

## 3. 減衰器とバッファ増幅器

超音波パルスは、試験下の材料中を通った後、受信用変換器で電気信号に変換されます。材料の性質及び関係のある経路長さのいかにによって信号の振幅は数 mV から数 10V 迄変化することがあります。

超音波変換器の出力インピーダンスは多くの要因、変換素子の材料タイプ、材料の面積及び厚さ及び操作頻度によって変化します。

低周波変換器は一般的に比較的高いインピーダンスを有します。このインピーダンスは一連の変換器に対して低インピーダンスケーブル及び増幅器入力ステージに適用しにくいです。このため、減衰器の入力インピーダンスはオシロスコープの 30pF の並列で 1M  $\Omega$ 、に似てきています。入力信号は、周波数補償された、高インピーダン

ス 60dB 減衰器に供給 (feed) されます。この減衰器は F.E.T.増幅器によりバッファが施されています。バッファ増幅器の出力は、第二の F.E.T. 増幅器によりそれ自体でバッファがかかる 10dB 減衰器に適用されます。

## 4. 12V 調節電源

内部の 12V 電源は後面パネルの出力差込口で得られます。

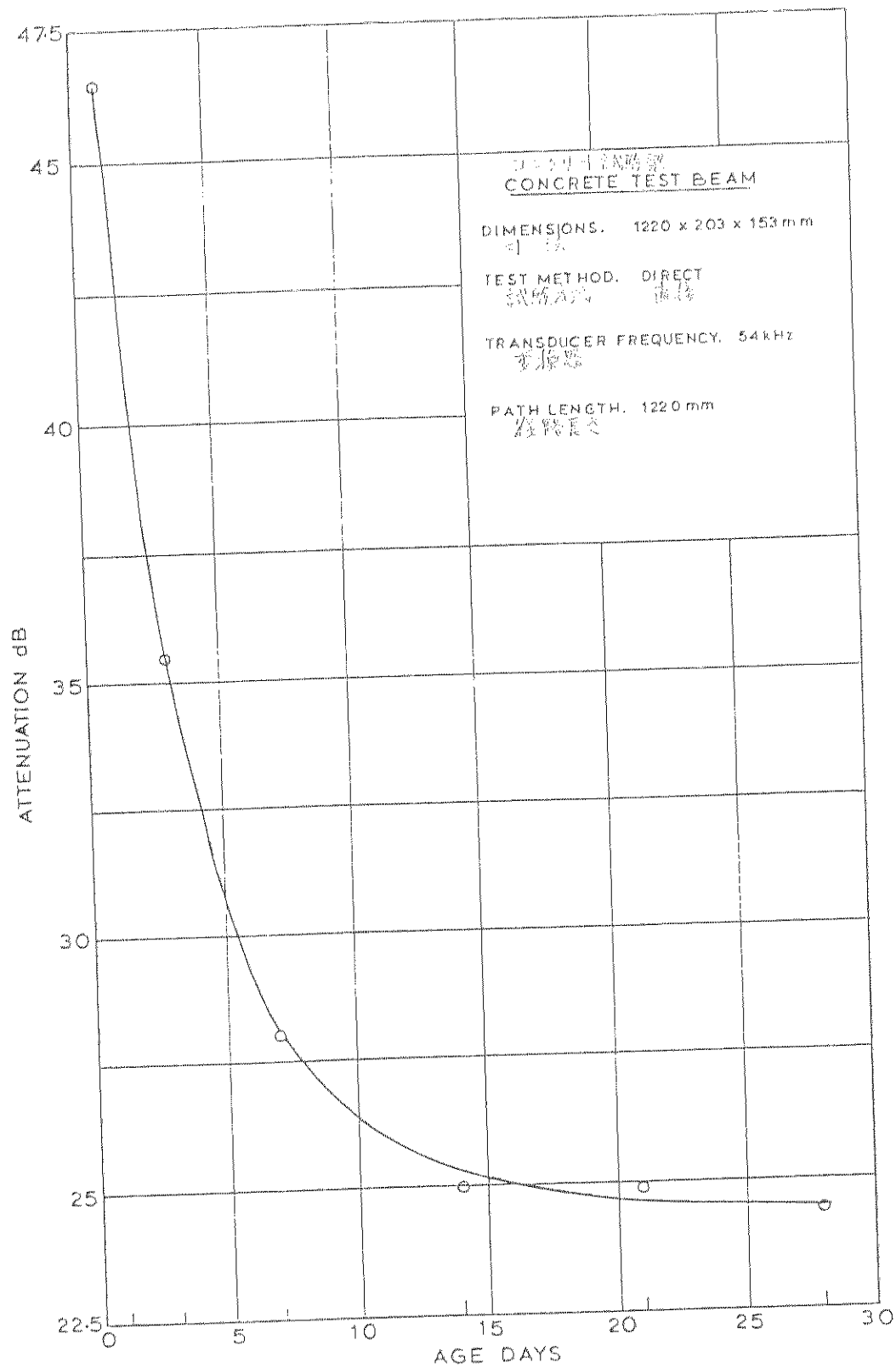


図 24 材令につれて見られるコンクリート中の超音波パルス減衰の  
典型的な発達

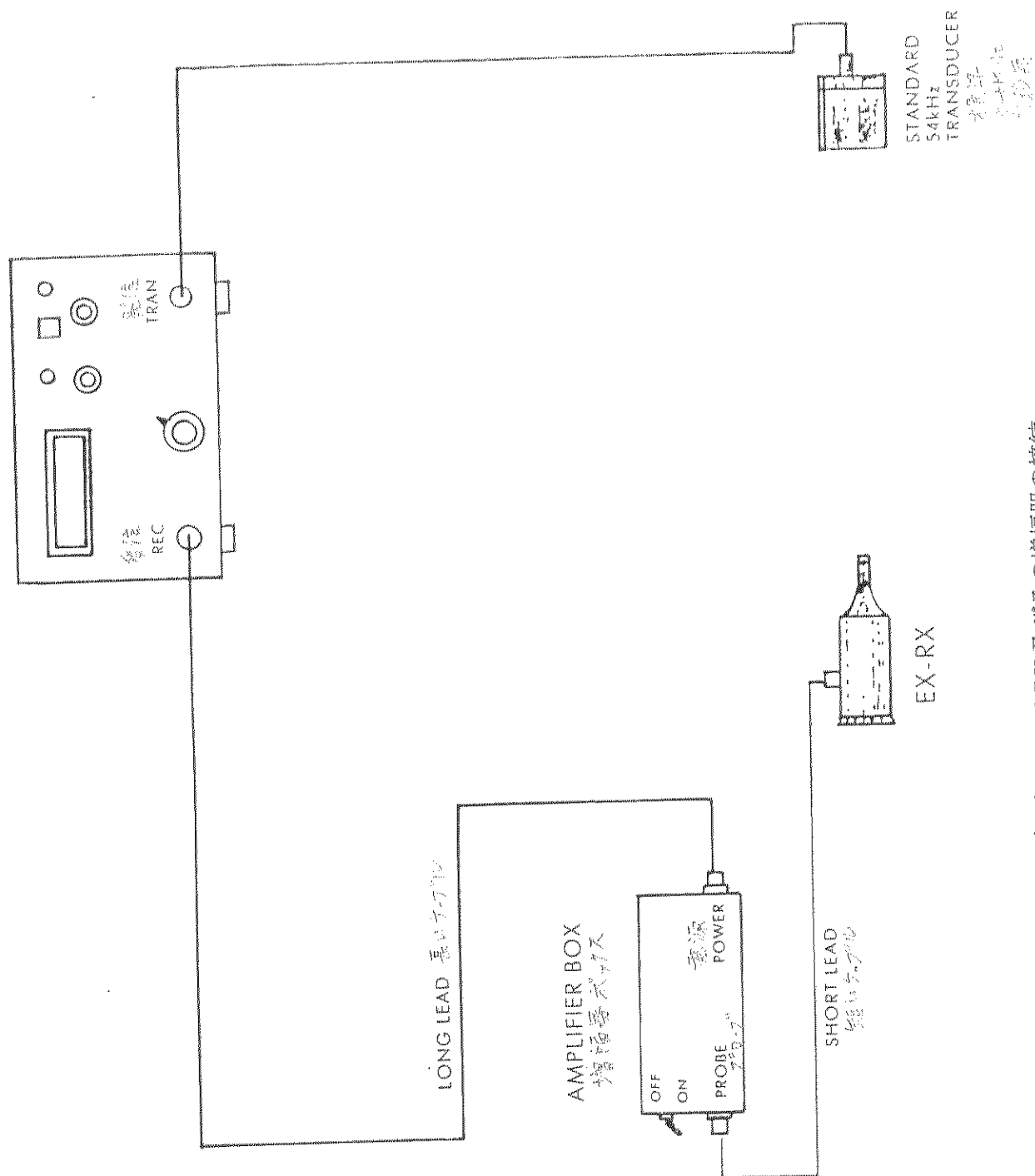


図 2 4 a パンジットへの EX-RX 及びその増幅器の接続

## 7.5 エキスポーネンシャル・プローブ受信変換器 (EX RX)

表面が非常に粗かったり、局面であったりする材料について、UPV 測定が平坦面プローブを用いて行うときは、変換器と材料との界面での減衰が増大するため、受信信号の振幅の著しい減少がおきます。エキスポーネンシャル・プローブは表面のグラインダーがけや接触媒質の厚めの使用を行うことがないように、そのような表面の制約を有する材料について測定が行えるよう、設計されています。ケーブルは、100m までのものが信号強さを失うことなく、プローブと増幅器を伴って用いることができます。

予備増幅器 (pre-amplifier)は容易に手に入る、長寿命アルカリ・マンガンバッテリーを電源とします。

### 7.5.1 仕様

|           |                                                                                                                       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 周波数       | : 公称 50kHz                                                                                                            |
| 感度        | : ・ 平坦面での測定方法の半直接法及び間接法については、<br>54kHz 以上 (>54kHz)の平坦変換器<br>・ 錐体、円柱体、管材等の曲面上の平坦面変換器については、54kHz の3倍以上 (3 times>54kHz)。 |
| 接触媒質      | : 不要                                                                                                                  |
| 増幅器       | : 低出力インピーダンスにつき信号損失なしで、長いケーブルが使えます。                                                                                   |
| 保護        | : 受信器を誤ってパルス発生器の出力口へ接続した場合の増幅器の全面的保護。                                                                                 |
| 電源        | : 液漏れ防止型アルカリ・マンガンバッテリー 1 個、デュラセル (Duracell) タイプ、MN1604 型、保存寿命 2 年以上、作動寿命最低 6,000 時間、一日 6 時間使用の場合約 4 年間持続。             |
| 変換器長さ     | : 120 mm                                                                                                              |
| 変換器直径     | : 38 mm                                                                                                               |
| プローブチップ直径 | : 6 mm                                                                                                                |
| 重量        | : 0.49 kg                                                                                                             |
| ケース材料     | : ステンレス鋼                                                                                                              |
| 操作温度      | : 0°C ~ 70°C                                                                                                          |

### 7.5.2 増幅器バッテリーの交換

コネクターを所定位置にしっかり押さえて、蓋をドライバーで外し、バッテリーを取り出します。バッテリーコネクターを取り外します。新しいバッテリーを挿入し、蓋をします。

### 7.5.3 操作要領

#### 1. 基準の設定 (Set Reference)

EX RX は公称遅れの  $9.8 \mu s$  をもっています。これは SET REF 制御のレンジ外の値です。

基準チェックを行うためには、一対の平坦面プローブをパンジット本体に接続し、グリース・カプラントを薄く塗布して、プローブを基準バーを横断した形に配置します。基準バーの伝播時間に等しい伝播時間が画面に表示されるまで、SET REF 制御を調整します。受信変換器から差込接続を外し、EX RXをつなぎます。EX RX 増幅器トグルスイッチをオンにします。SET REF 制御に触れることなく、EX RX 及び発信変換器を基準バーを横切って配置し、伝播時間の新しい読み値に留意します。その後続く伝播時間の読み値は結果値から「新読み値 - 基準バー読み値」(NEW READING - REFERENCE BAR READING) を差し引いて補正しなければなりません。

2. EX RX を用いた UPV 測定を行うときは、プローブチップを材料表面で最小時間が得られるまで rock させる必要があります。グリース・カプラントが変換器フェースで尚必要です。

#### 7.6 1MHz 変換器についての校正

1MHz 変換器は非常に薄い表面ダイヤフラム及びナノ秒オーダーの低い変換器遅れ時間を有します。この遅れは非常に小さく、公称  $0.6 \mu s$  の基準設定管理レンジ (Set Reference Control range) の最低設定値よりも小さいです。部品許容差により、特に Set Reference ポテンシオメーターのエンドストップ抵抗値のため、或る計測器においては、 $1 \mu s$  と言う最低基準設定値を持つこともあり得ます。1MHz 変換器を使用するためには、先ず最小計測器遅れを与えるエンドストップに対して hard left な、Set Reference 制御の調整を行います。次いで、変換器を基準バーに対し横切る形で配置し、読み値に注意します。読み値は基準バーに記された値より小さいと思われます。読み値と基準バー値との差を得て、この差をその後の全ての読み値に加算します。

#### 7.7 220kHz 及び 500kHz フィンガープローブ先端チップの交換

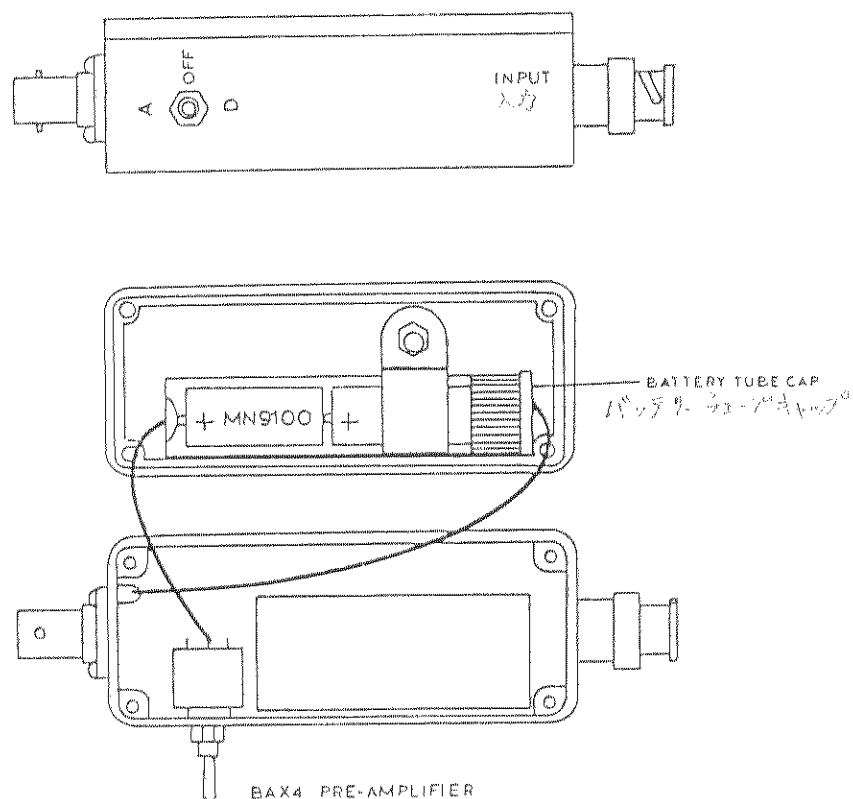
1. プローブのローレット端部のネジを外します。これによってプローブ先端チップのバネが引っ張り状態から本来の長さになろうとします。
2. プローブ先端チップのネジを回してゆるめ、先端チップを押し出します。柔らかなチップの場合、補強ディスク (backing disk) が用いられることに留意します。
3. バネ及びプローブのローレット加工端部を最後まで残して、組立手順を逆にたどりま
4. もし不注意に結晶が外れて落ち、+表面が先端チップに隣合わせになったときは (結晶表面の+字マークで認識できます。)、結晶表面にシリコングリースを少し塗ることを忘れないで下さい。

#### 7.8 ホイールプローブ

動く材料を連続的に検査する必要があるときは、ホイールプローブを用いる方法が便利です。図 25 に一つの方法が示してあります。それらには交換可能なプラスチックタイヤがあり、直径は 80mm です。周波数は標準として 78 及び 374kHz が使用できますが、特別注文として他の周波数のものも提供可能です。Perspex housing (風防ガラスハウジング?)

及びタイヤウオール（タイヤの厚さ）により約  $25 \mu s$  の追加遅れが発生します。これは被試験体とホイールが良好な接触状態にあることを確実にするために、ホイールに加える圧力によって変わります。これらのプローブは或る形態のパネを用いた治具に装備すると、一般的に便利です。これらは用途により一般的に注文装備です。例えば、研磨ホイール、多層ファイバークラス断熱材、プラスチックシート、梁材、パネル等があります。パネを用いた直径 25mm のホイールプローブ及び 1MHz 周波数も使えます。

#### 予備増幅器 (Pre-amplifier) BAX4



#### 仕様

|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| 電圧ゲイン               | : x 4            |
| 200 ft ケーブルによる周波数応答 | : 100Hz - 240kHz |

|                |                                                                 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| 出力 (on output) | : 100 Hz - 60 kHz                                               |
| 増幅器遅れ          | : 典型的には、0.2 $\mu$ s                                             |
| 増幅器ノイズ         | : < 20 $\mu$ V                                                  |
| 保護             | : 入力、出力共、全面保護、バッテリー挿入不備に対する保護。                                  |
| 電源             | : 1.5V アルカリ・マンガンバッテリー 2 個、MN9100 タイプ                            |
| 寿命             | : 2V で約 700 時間。                                                 |
| スイッチ           | : 3 点の位置<br>A : 増幅器<br>OFF : 増幅器とバッテリーオフ<br>D : 変換器が出力差込口に直接接続。 |

#### バッテリー交換容量

1. 蓋を外します。
2. ナイロクリップの下からバッテリーチューブをパチンと言う感じで取り出します。
3. 幾分ねじり気味に引張って、バッテリーチューブのキャップを取り外します。(ネジは設けてありません。)
4. 使い切ったバッテリーを取り外し、新しいものを図に示すように極性を間違えないように挿入します。
5. 蓋を元通りにセットします。

#### 操 作

1. BAXA はごく若齢のコンクリートについての U.P.V. 測定を行うときに使用するよう  
に、考えられています。
2. 増幅器への入力、防水変換器の延長アーム上の差込口に増幅器を直接差し込むこと  
ができるようにした BNC プラグを介して行われます。しかしプレアンプは直接、BNC  
アダプターを介して変換器と増幅器の間を短いケーブルで接続することにより従来の  
変換器と一緒に使用できます。

増幅器には一般的に 0.2  $\mu$  s 程度の短い遅れがありますが、BAX4 が伝播時間が数百  $\mu$  s になることがあるテスト開始時のみに使用するようには考えられているので、その遅れは無視できると考えられます。

信号強さがかなり増大したら、コンクリート打設から約 3 時間後、BAX4 は「D」位にスイッチ切り替えできます。

増幅器が記録終了しないうちに「D」位に切り替えられることになるので、パンジット及び記録計がテスト開始時にゼロ点調整する必要があります。  
システムの感度が向上するため、読み取り時には変換器とケーブルは完全に静止している

|                |                                                                 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| 出力 (on output) | : 100 Hz - 60 kHz                                               |
| 増幅器遅れ          | : 典型的には、0.2 $\mu$ s                                             |
| 増幅器ノイズ         | : < 20 $\mu$ V                                                  |
| 保護             | : 入力、出力共、全面保護、バッテリー挿入不備に対する保護。                                  |
| 電源             | : 1.5V アルカリ・マンガンバッテリー 2 個、MN9100 タイプ                            |
| 寿命             | : 2V で約 700 時間。                                                 |
| スイッチ           | : 3 点の位置<br>A : 増幅器<br>OFF : 増幅器とバッテリーオフ<br>D : 変換器が出力差込口に直接接続。 |

#### バッテリー交換容量

1. 蓋を外します。
2. ナイロンクリップの下からバッテリーチューブをパチンと言う感じで取り出します。
3. 幾分ねじり気味に引張って、バッテリーチューブのキャップを取り外します。(ネジは設けてありません。)
4. 使い切ったバッテリーを取り外し、新しいものを図に示すように極性を間違えないように挿入します。
5. 蓋を元通りにセットします。

#### 操 作

1. BAXA はごく若齢のコンクリートについての U.P.V. 測定を行うときに使用するよう  
に、考えられています。
2. 増幅器への入力、防水変換器の延長アーム上の差込口に増幅器を直接差し込むこと  
ができるようにした BNC プラグを介して行われます。しかしプレアンプは直接、BNC  
アダプターを介して変換器と増幅器の間を短いケーブルで接続することにより従来の  
変換器と一緒に使用できます。

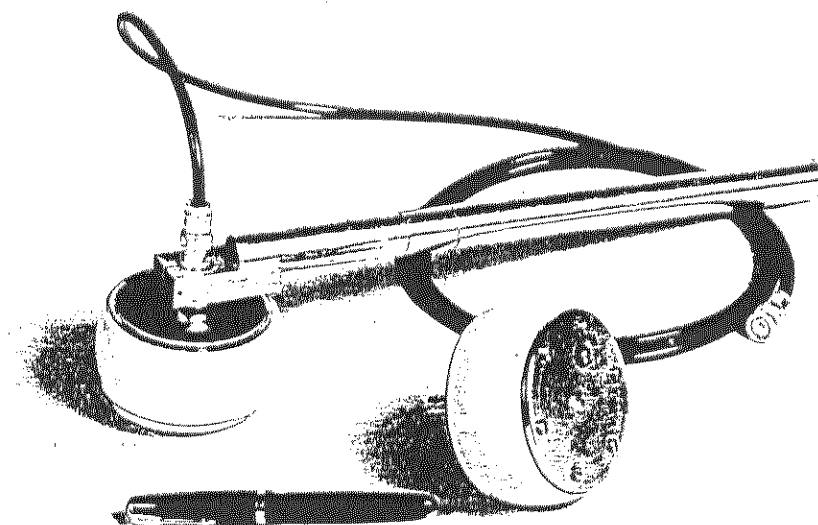
増幅器には一般的に 0.2  $\mu$  s 程度の短い遅れがありますが、BAX4 が伝播時間が数百  $\mu$  s になることがあるテスト開始時のみに使用するようになっていますので、その遅れは無視できると考えられます。

信号強さがかなり増大したら、コンクリート打設から約 3 時間後、BAX4 は「D」位にスイッチ切り替えできます。

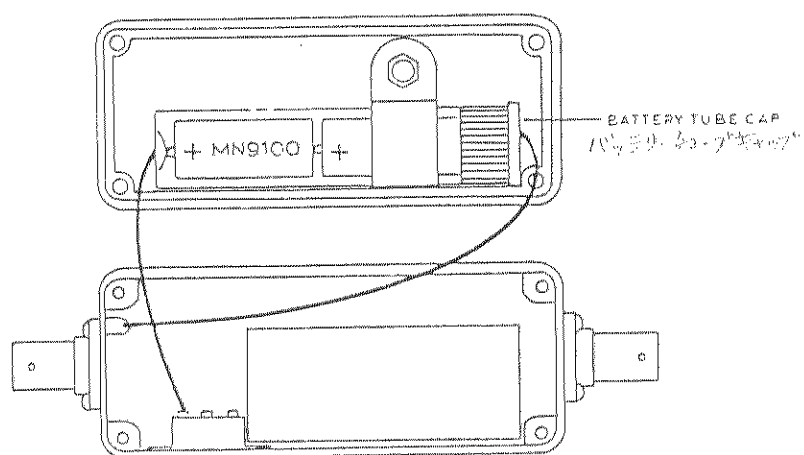
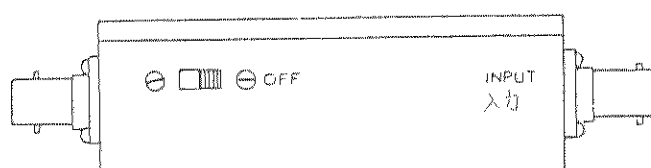
増幅器が記録終了しないうちに「D」位に切り替えられることになるので、パンジット及び記録計がテスト開始時にゼロ点調整する必要があります。  
システムの感度が向上するため、読み取り時には変換器とケーブルは完全に静止している

ことが不可欠であります。

図 25 ホイールプローブ



予備増幅器 BAX7



# 仕 様

電圧ゲイン

: x 7

周波数応答、出力側 200 $\Omega$

: 100 Hz ~ 200 kHz

ケーブル使用

100 Hz ~ 55kHz

増幅器遅れ

: 一般的に、0.2  $\mu$  s

増幅器ノイズ

: < 20  $\mu$  V

|    |                                        |
|----|----------------------------------------|
| 保護 | : 対入力及び出力完全保護                          |
| 電源 | : 1.5V アルカリ・マンガンバッテリー 2 個、<br>MN9100 型 |
| 寿命 | : 約 700 時間、バッテリー電圧=2V                  |

## 操 作

1. 増幅器はできるだけ短い、好ましくは 1ft の、ケーブルで変換器に接続します。
2. パンジット本体は回路中に増幅器があり、スイッチがオンの状態でゼロ点調整を行う必要があります。
3. システムの感度の増大のため変換器とケーブルが完全に静止していることが不可欠です。変換器の動きはノイズを誘発し、読み取りも不安定になります。

## 7.9 P・S 波の変換器

王立科学技術大学(Imperial College of Science and Technology)の鉱物資源工学部に在職の M.S.キング教授にこれらの変換器の設計概念に対し我々は恩恵を頂いていることになります。キング教授は石油工学 (Petroleum Engineering) のチーフの座におられます。それらは特に地質学的分野及びコンプレッション・リグ (compression rigs) における使用のため特別に設計されています。ハウジングはステンレス製で、最大 220 kN (22 トン) の荷重に耐えることができます。

### 7.9.1 P・S 波超音波変換器

パンジットへ絶対に直接接続しないで下さい。

岩石サンプル中での圧縮 (P) 波及びせん断 (S) 波のパルス速度の測定用超音波変換器

#### 変換器 (transducers) :

|       |                                                          |
|-------|----------------------------------------------------------|
| 公称周波数 | : 1 MHz                                                  |
| 負荷容量  | : 220kN 最大等分布軸加重 (max. uniformly distributed axial load) |
| 高さ    | : 50mm                                                   |
| 直径    | : 50mm                                                   |
| 重量    | : 700g                                                   |
| 材料    | : ステンレス鋼                                                 |
| コネクター | : BNC                                                    |

#### スイッチユニット :

パンジット本体もしくは CRO アドオンユニットに接続されるとき、発信用変換器を通电するため、60V pk-pk を発信 (output) します。

|    |         |
|----|---------|
| 長さ | : 140mm |
| 幅  | : 60mm  |

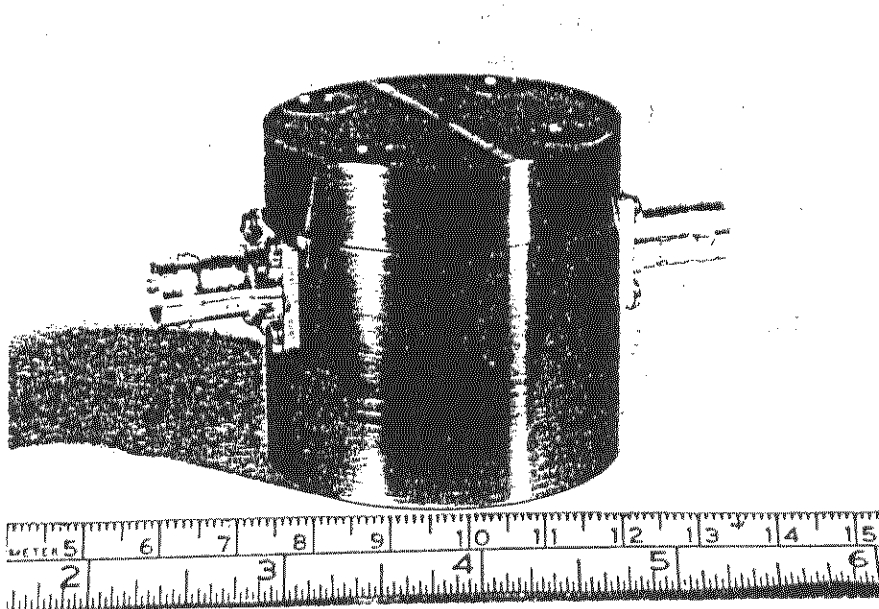
高さ : 90mm  
重量 : 380g

サンプル :

直径 : 50mm  
長さ : < 100mm  
最大穴 (pore)、粒界 (grain) 又は結晶の大きさ : 0.5mm

変換器は水性岩、火成岩のいずれの試験にも適しています。しかし、動的脆性破壊を起こすことがある火成玄武岩や花崗岩を試験するときは、動的脆性破壊加重の約 60%に制限する必要があります。

図 26 P 波・S 波変換器



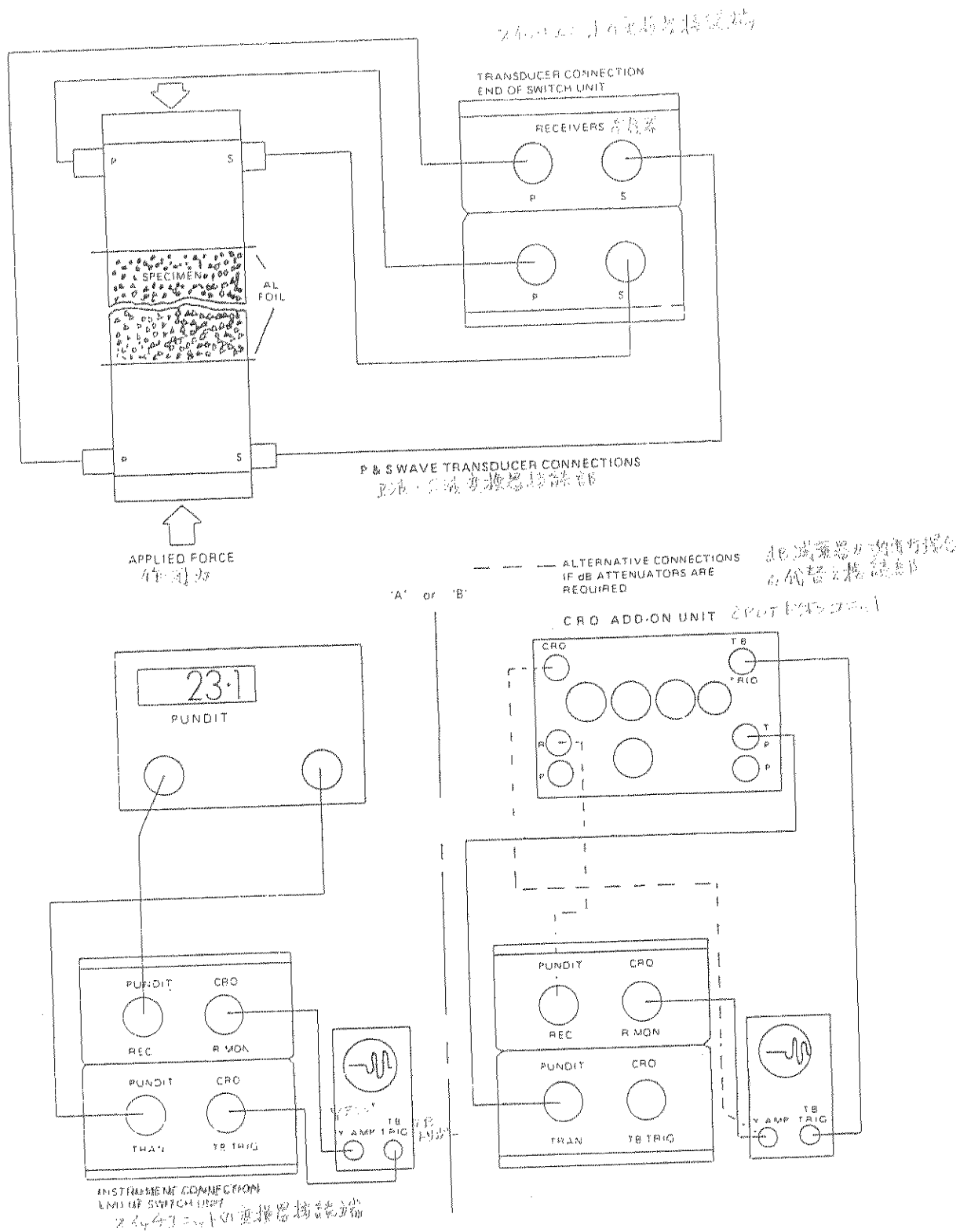


図 27 P・S波変換器をパンジット、CRO アドオンユニット  
及びオシロスコープへ接続する方法

脆い岩石が破壊を起こすときは、サンプル又は試験機によって放出される歪みエネルギーは非常に大きく、これが圧縮及びせん断波圧電素子に損傷を与えることがあります。CNS Electronics はそのように引き起こされた損害にはいかなる責任も負いません。

### 7.9.2 P・S 波変換器の操作

#### サンプル

- a) サンプルの端部は  $10^3$  ラジアン以内迄グラインダーがけして平坦に且つ平行にします。
- b) 長さ = 100 mm
- c) 直径 = 50 mm
- d) 細孔もしくは粒塊の最大大きさ = 0.5 mm

#### 試験手順

- a) 変換器はパンジット本体もしくは C.R.O. ユニットのいずれからでも通電できます。図 27 の 'A' 又は 'B' に示されているように、変換器と計測器をスイッチユニットに接続します。
- b) 変換器ホルダーは良好な音波の接触を確実に得るために直径 50mm、厚さ 0.05mm の柔らかい鉛箔ディスクを両変換器の間に置き、面が向き合う状態に配置します。最低 3MPa、即ち  $50 \text{ lb/in}^2$  の軸方向応力を作用させます。圧縮(P)波及びせん断(S)の両方について変換器の伝播時間遅れを測定します。これらの値は岩のサンプルを試験するときに得られる伝播時間の読み取り値から差し引く必要があります。
- c) 鉛箔ディスク付きの岩サンプルと変換器を荷重装置（リグ）に置き、最低 4MPa（メガパスカル）、即ち  $600 \text{ lb/in}^2$  の軸方向応力を先ず鉛箔ディスクのヘッドに作用させます。次いで応力を 0.3MPa に迄下げることができます。

#### 伝播時間の読み取り

もし S 波が比較的明瞭なときは、計装は、図中 'A' にあるように接続されるかも知れません。伝播時間の読み取りが S 波、P 波の両方についてパンジットから得られます。もし S 波がノイズを多く伴うとき、即ち P 波の成分により先を越されているときは、オシロスコープを用いて、S 波の伝播時間を測定する必要があります。

このオシロスコープは好ましくは高強度 (high intensity) トレース及び少なくとも  $1 \text{ mV/cm}$  の 'Y' 増幅器感度を有している必要があります。時間ベースは 2V の振幅の負のパルスを出力する P、S 波切り替えユニットから、もしくは類似の振幅の正のパルスを出力する C.R.O. ユニットから引き金を引くことができます。

### 7.10 P 波及び直交 S 波 Hock Cell 変換器

絶対にパンジットへ直に接続してはなりません。

#### 7.10.1 仕 様

これは岩の弾性的特性及び流体的特性についての異方性を測定するのに使用されます。P波のパルス速度のみならず直角方向のS波の速度も定量できることがあります。

##### 変換器

|               |         |                          |
|---------------|---------|--------------------------|
| 公称周波数         | P 波     | : 700 kHz                |
|               | S 波     | : 450 kHz                |
| 軸方向荷重         |         | : 200 kN                 |
| サンプルの大きさ : 高さ | NX1:1 比 | : 90 mm                  |
|               | NX2:1 比 | : 62.6 mm                |
| 両サイズの高さの増分    |         | : 5mm、ボールシートの引き込みが必要なとき。 |
| 直径            |         | : 54.74 mm               |
| 細孔圧力コネクタ      |         | : 1/16 PNPT'Swagelock'   |
|               |         | 10,000 p.s.i.、1450 kPa   |
| 重量            |         | : 1.75 kg                |
| 材料            |         | : ステンレス鋼                 |
| コネクタ          |         | : BNC                    |

##### 切り替えユニット

パンジット本体もしくは CRO アドオンユニットに接続されると、発信器用変換器を通电させるため、60Vpk-pk を発信します。

#### 7.10.2 P 波及び直交 S 波の変換器動作

パンジット又は C.R.O.アドオンユニットと一緒に用いたときの P、S 波変換器についての手順と同じです。(7.9.2 項参照) ケーブル接続に付いては、図 28 参照。

#### 7.11 伝播時間遅れをもつパンジット P 波・S 波パルス発生器 (Fig. 31)

これはパンジットの特殊版で実験室専用です。計測器本体は、CNS 標準 P 波・S 波もしくは P 波・直交 S 変換器と一緒に使用されます。

設備に含まれるものは、3 つの選択パルス反復周波数でのパルス幅と振幅の可変制御付きパルス発生器です。P、S 1 及び S 2 波モードをスイッチで選択します。すると、各モード共「Set zero」制御が働き、変換器とケーブル遅れがゼロ点補正されるようになっています。

これは CRO と一緒に使用され、2 つの出力が得られます。一つは可変伝播時間マーカーパルス及びタイムベーストリガーについての Y1 で、今一つは受信信号表示についての Y2 です。伝播時間は 3 桁のデジタル液晶表示装置に表示されます。

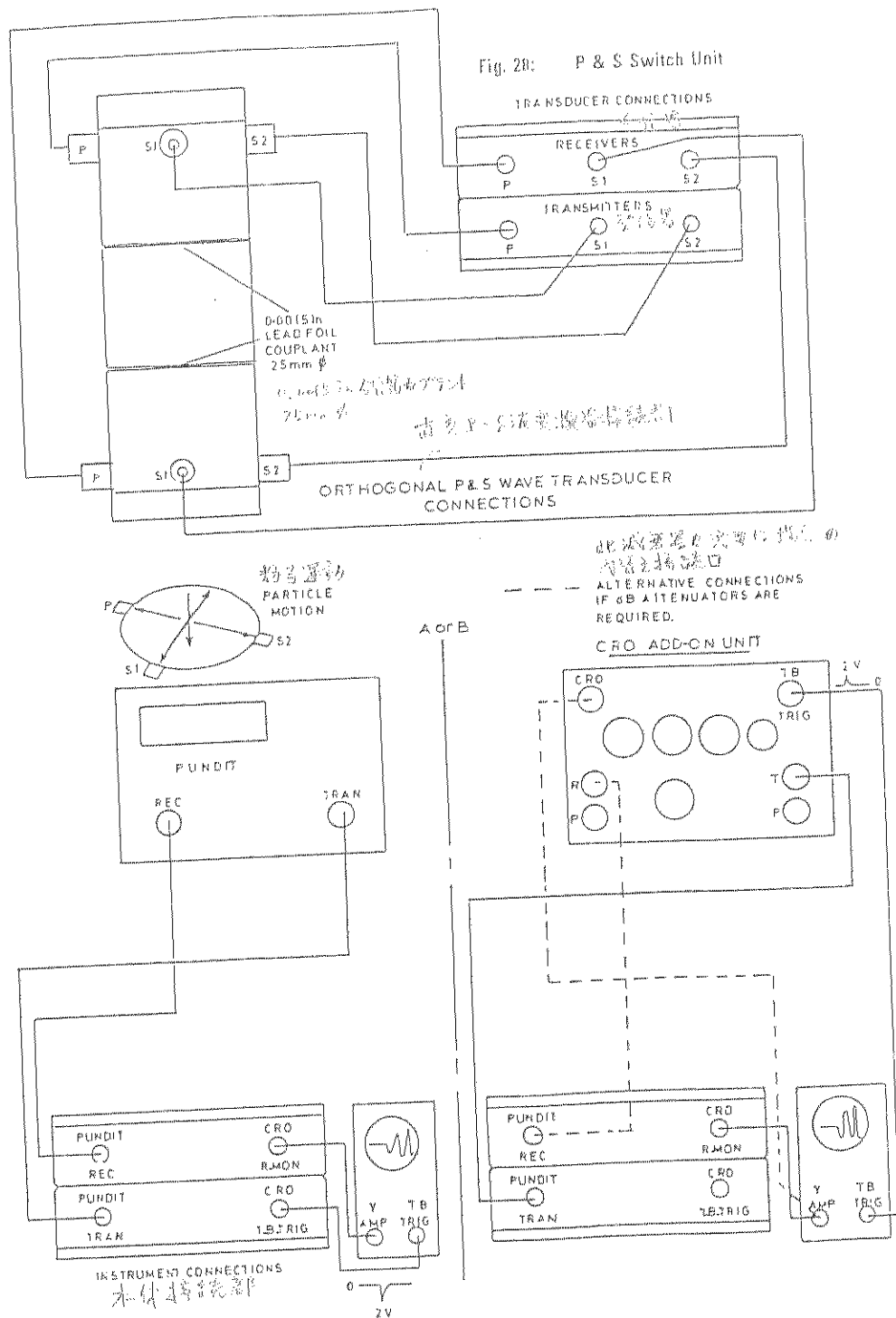


図 28 P 波・S 波切り替えユニット

CRO タイムベースの引き金は、Y1 パルスの正の立ち上がりエッジから（方法 1）、又は下降エッジから（方法 2）、引かれてもよいです。もし立ち上がりエッジが用いられるときは、受信信号のほかに伝播時間全体が表示されます。下降エッジが受信信号の始まりと一致するまで、伝播時間パルス長さが調整されます。伝播時間はデジタルディスプレイから読めます。この方法は時間ベース走査速さが 1 分割（division）当たり、 $1\ \mu\text{s}$  で伝播時間が約  $10\ \mu\text{s}$  までの場合、充分有効です。

もっと長い伝播時間及びもっと速い操作速さについては、時間ベースは Y 1 パルスの下降エッジから引き金を引く必要があります。伝播時間調節は受信信号の始まりがトレースの始まりと一致するまで行われ、伝播時間は再度、デジタル表示から読めます。

これら両方法により、時間ベースの非線形性と走査速さの精度不良のための誤差が排除されます。

#### 7.11.1 仕 様

|          |                                                           |
|----------|-----------------------------------------------------------|
| パルス反復周波数 | : 40、100 又は 200pps のスイッチによる選択。                            |
| パルス幅     | : $0.5 - 5\ \mu\text{s}$ 。                                |
| パルス振幅    | : 30 - 100 V、出力インピーダンス $50\ \Omega$ 。                     |
| 伝播時間表示   | : 3 桁 LCD, $0 - 99.9\ \mu\text{s} \pm 0.1\ \mu\text{s}$ 。 |
| 伝播時間調節   | : 10 巻きヘリカルポテンシオメーター (10-turn helical potentiometer)      |
| ゼロ設定制御   | : 20 巻きトリマー (20-turn trimmers)                            |
| 発信・受信モード | : P 波、S1 波及び直交 S2 波のスイッチによる選択。                            |
| 電源       | : 120/240 V、50/60 Hz。                                     |

#### 7.11.2 ゼロ点回帰変換器 (図 29)

1. 変換器フェースを拭きます。フェースの間に 0.0015 インチの鉛箔カップリング円板を置き、BNC 差込口の整列を確かめて、約 200kg の荷重と一緒に変換器をクランプします。
2. 変換器をパルサーユニットの発信及び受信 BNC 差込口に接続します。モードスイッチを P に切り替えます。
3. CROY 増幅器をパルサーユニットの Y1 及び Y2 BNC 差込口に接続します。切り替えスイッチで時間ベースを Y 1 トリガー、正勾配及びノーマル走査速度を 1 分割 (division) 当たり  $1\ \mu\text{s}$  に設定します。

4. CRO 及びパルス発生器のスイッチをいれます。
5. 時間ベーストリガー（引き金）が Y1 伝播時間パルスの開始を受けて働くように、CRO 時間ベース水準調節を行います。
6. 受信信号波形が最適になるように、パルス発生器のパルス幅を調節します。
7. Y2 増幅器ゲインを増大させ、受信信号の始まりが精度良く検出できるようにします。
8. パルス下降エッジが受信信号の始まりと一致するまで、パルス発生器の伝播時間の調整を行います。
9. 供給されている道具を用いて、「P」のゼロ設定調節器を調整し、ゼロと  $0.1 \mu s$  の間で交互に変わるデジタル表示部上に読み出し表示が得られます。これで S1 と S2 モードが選択でき、P 波についてと同じ方法を用いて、それぞれのゼロ点制御器でゼロ点補正しても構いません。

与えられた一対の変換器及びケーブルについては、ゼロ点補正調節はほんの時たま行うだけでよいです。

#### 減衰測定

P 波・S 波変換器は電波時間測定のために、発信器又は受信器として使用されても構いませんが、パルス減衰を測定しつつあるときは、一方の変換器には発信器のラベルを付け、他方のものには受信器のラベルを付けることをお勧めします。これは振幅感度が互いに異なるからです。

### 第 VIII 節

#### 8.1 荷重支持変換器

コンクリート又は他の材料の圧縮試験を 1MN (100 トン) までの最大荷重で行いたい場合、54kHz 荷重ベアリング変換器を使用しても構いません。これらは、直径 100mm (4") で、各々は 80 mm (3.3") の高さです。



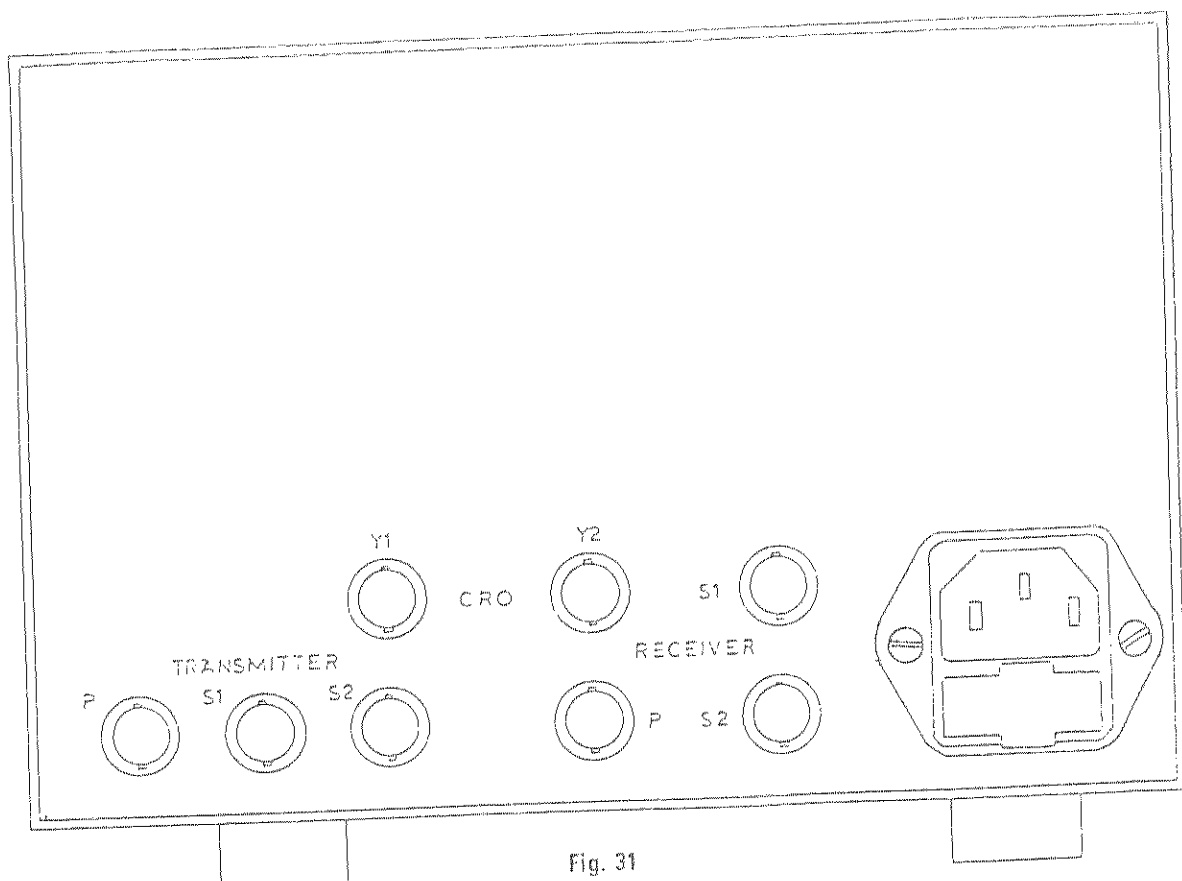


Fig. 31

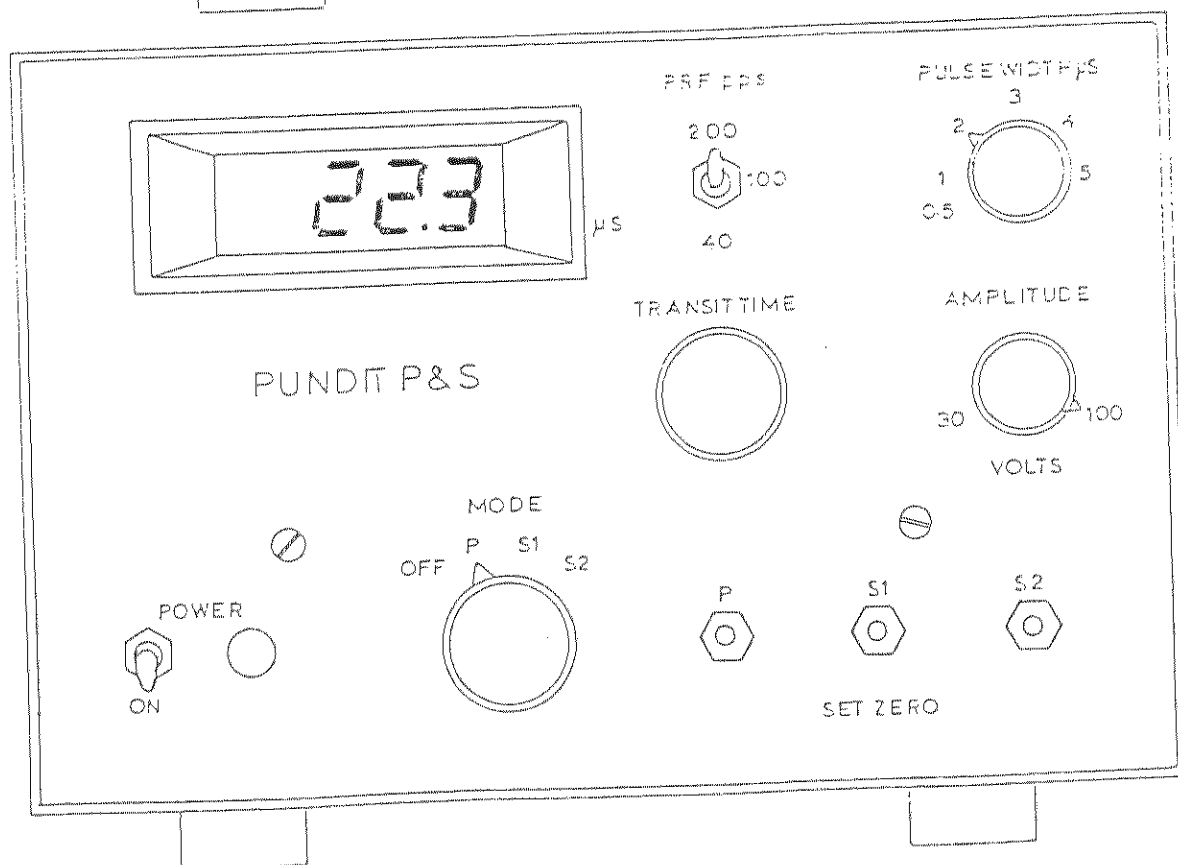


図 31 パンジットパルス発生器

## 第 IX 節

### 9.0 RS232C インターフェース

RS232C 標準は電子工業会 (Electronic Industries Association) によって考案されました。これによりコンピューターと外部諸装置、例えばモデム、プリンター及びプロッターとの間での情報交換ができるようになりました。

パンジット RS232C インターフェースは、パンジット本体の内部拡張スロットに直接結合できる差込盤のことで、25 ウェイの D 型コネクターによってユーザーのコンピューター又はプリンターに接続されます。

インターフェースはシリアルポートに接続可能なプリンターに直接接続してもよいです。これにより読み値がその都度印刷されます。もしくはそれをディスク保存やデータ処理ができる利点を有するコンピューターに接続してもよいです。

本体裏面のスイッチを使って読み取りの間隔を決めてもよいです。もしコンピューターがインターフェースに接続されると、ソフトウェアの制御により 1 秒から 256 時間までの時間間隔が設定できます。

#### 9.1 仕 様

|                        |                                          |
|------------------------|------------------------------------------|
| ボーレート                  | : 96000 ボーにて固定。                          |
| パリティ                   | : なし                                     |
| データビット                 | : 8 ビット                                  |
| ストップビット                | : 1                                      |
| 最大電圧レンジ                |                                          |
| マーク                    | : -30V                                   |
| スペース                   | : +30V                                   |
| 出力電圧レンジ                |                                          |
| マーク                    | : -10V                                   |
| スペース                   | : +10V                                   |
| 読み取り時間の間隔              |                                          |
| 選択ソフトウェア               | : 1 秒から 256 時間迄。                         |
| 選択スイッチ                 | : 1 又は 10 秒、分又は時間                        |
| 読み取り開始                 | : 押しボタンの留め金掛け、もしくはコンピューターからの再スタートコマンドにて。 |
| 読み取りの停止                | : 押しボタンの留め金外し、もしくはコンピューターからのリセットコマンドにて。  |
| ポーズ時間                  | : コンピューターからの「CTRL-S」コマンド。                |
| (Paused time readings) | 「CTR-Q」を押して再スタートする。                      |

|       |                   |
|-------|-------------------|
| 温度レンジ | : 0°C から 40°C 迄。  |
| 電 源   | : パンジット本体からの電源供給。 |
| 使用電流  | : < 30mA          |
| 消費電力  | : < 150 mW        |

## 9.2 設置要領

パンジット本体頂部の 4 個のネジを取り外し、蓋を外します。

もし本体に BCD 出力が備わっているときは、設置の前に取り外す必要があります。これを行うためには、BCD 出力スロットから D タイプコネクタを取り外します。自動・手動切り替えスイッチをゆるめて、取り外し、その 24 ウェイエッジコネクタから BCD 変換ポートを抜きます。

もしその装置に BCD 出力が備わっていないときは、後面パネルの BCD 出力スロットを覆っているブランクプレートを取り外します。

バッテリーパックを所定の場所に固定している 2 個のボルト及びワッシャーを外します。

キーガイドをエンドスロットに差込み、次にエクステンダーボードを 24 ウェイエッジコネクタに差し込み (図 1)、そうしてメイン RS232C PCB をエクステンダーボードに取り付けて、ガイドとスロットが一直線上に並ぶようにします。

バッテリーを所定の場所に固定する 2 個のボルトとワッシャーを元の場所に戻し、メイン PCB を固定するため、締め付けます。

RS232 インターフェースからの 25 ウェイ D タイプコネクタを後面パネルの BCD 出力スロットに接続します。

後面パネルの 3 つの空き穴の最初の穴 (BCD スロットから一番遠いもの) に回転スイッチを挿入し、供給されているブッシュ・ナットで固定します。中心穴に緑色の、次いで最後の穴に赤色の、押しボタンを装着します。

## 9.3 操作要領

### 9.3.1 ハードウェア

RS232 インターフェースの制御のため後面パネルの頂部にある 3 つのスイッチを操作します。

#### 秒、分、時間の選択スイッチ

3 個のスイッチの最初のものは、4 点選択用回転スイッチです。これは読み取り頻度

を秒、分又は期間で行うための選択に用います。反時計回りスイッチなので、秒は分、時間の後に選択されることになります。

#### 開始ボタン

開始・停止ボタンは直ぐ分かるように、赤色です。この機能はコンピューターないしプリンターとの間での読み取り値の転送を開始又は停止することです。

### 9.3.2 ソフトウェアコマンド

上記のハードウェア制御のほかに、インターフェースの操作を変更するために用いることがある幾つかのソフトウェアコマンドがあります。

操作要領をプリンターからパンジットへ送ることができないので、パンジットがプリンターに結合されているときは、次のコマンドは使われないかもしれません。

#### C : Toggle CR/CR-LF

もしコンピューターがパンジットからのデータを別々のラインで (on separate lines) 表示しないときは、ラインフィード (a linefeed) を加えなければなりません。C を押せばこれはいつでもできます。デフォルト (指定しないときの自動選択) はキャリッジリターン及びラインフィード (CR-LF) です。

#### H : ヘルプコマンド

使用可能なコマンドの要約及びその時点現在の設定を表示するときは、H を押します。

#### I : 要望間隔 (Request interval)

I を押せば、いつでもそのとき現在の読み取り間隔が表示されます。そのフォーマットは：

I の次に時間、分及び秒がきます。

例：10010203

この場合、1 時間 2 分 3 秒毎に読み取りが行われます。

#### M : マスターリセット

M を押せば、いつでもタイマー設定された出力 (timed output) を中止し、タイマーのリセットを行います。出力を再開するときは、R を押すか、もしくは START ボタンを 2 度押します。

#### R : 再開

M 又は START ボタンを押した後、R を押すと、読み取りが再開します。

#### T : 記号化メッセージモード

T を押すと、エラーメッセージを一個の記号に簡略化します。エラーメッセージは：

| <u>簡略化記号</u> | <u>普通のメッセージ</u>                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| >            | : Data out of range (データがレンジを外れている。)    |
|              | : Invalid interval data (有効でない時間間隔データ。) |
|              | : No such comand (該当するコマンドがありません。)      |

#### V : 普通メッセージモード

普通の長いエラーメッセージを表示するときは、V を押します。(エラーメッセージの簡略モードを参照。)

#### CTRL-S : 出力中止

パンジットからの読み取り値の出力を中止するときは、CTRL キーと S キーを同時に押します。読み取り値の表示が止みますが、タイマーは依然として機能します。

#### CTRL-Q : 出力の再開

データの出力を再開するときは、CTRL キー及び Q キーを同時に押します。出力はその時現在の時間間隔で復旧します。

#### !IT : タイマー間隔の設定

タイマー間隔を設定するには、一連の特性を次のフォーマットに従ってパンジットに送る必要があります。

例：読み取りを 1 時間 10 分 15 秒間隔で読み取りを行うよう、タイマーを設定するには。次のものを送信します。

!IT0011015 の後にリターンキーを押します。

### 9.3.3 操 作

インターフェースケーブルの端部をパンジットの後面にある 25 ウェイ D 型ソケットに差し込みます。もう一方の端部をコンピューターもしくはプリンターに差し込みます。

もしパンジットがプリンターに連結されているときは、後面パネルの複数のスイッチを使って必要な読み取り時間間隔を設定します。

もしパンジットがコンピューターに連結されているときも、同様に後面パネルのそれらのスイッチを使ってもよいです。しかし当該ソフトウェアコマンド「!I」(9.3.2 項を参照)を用いて読み取り間隔のもっと正確な制御が得られる可能性があります。

コンピューターのスイッチを入れ、通信ソフトウェアをセットアップしスタートさせます。マニュアルの初めの方に説明されていた通りに、パンジット本体のスイッチを入れます。

「CNS Electronics のパンジット 6 V1.0」がコンピューター画面に現れます。(ないしはプ

リンターでプリントアウトされます。) もし START スイッチがスタート位置にあるときは、タイマー間隔が読み取りの前に表示されます。

ユーザーは以上の項で概略説明されたコマンドのいずれかを用いてもよいです。

### 9.3.4 パンジットプリンター

新パンジットプリンターはパンジット RS232C 出力と一緒に使用するために CNS エレクトロニクスが特別に設備構成したものです。パンジットとプリンターが結合されると、パルス伝播時間のハードコピープリントアウトが得られ、これによりパンジットが有用なデータ記録能力を 256 時間迄与えられます。

## 仕 様

### 印 刷

|        |                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 印刷システム | : インパクトドット・マトリックス、9 ピンプリントヘッド付き。                                                    |
| 印刷速さ   | : ドラフト文字数 (draft characters) : 120 文字/秒<br>Near letter quality characters : 24 文字/秒 |

### 紙

|      |                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 紙の種別 | : 単票紙 : 8 ~ 10 インチ幅<br>スプロケットフィード : 3 ~ 10 インチ幅 (CNS 部品 NO. Z120DP)<br>ロールペーパー : 8.5 インチ幅 |
| 厚さ   | : Max.3-part forms : 0.06 ~ 0.3mm                                                         |

### プリンター

|            |                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------|
| 寸法         | : 高さ 90mm (トラクターフィードなしの場合)<br>幅 370mm (プラテンノブなしの場合)<br>深さ 238mm |
| 重量         | : 3.7kg                                                         |
| 電源         | : 電圧 180 ~ 264VAC<br>周波数 49.5 ~ 60.5Hz<br>負荷動力 100VA max.       |
| インクリボン     | : CNS 部品 NO. Z120DPR<br>寿命 : $2 \times 10^6$ 字                  |
| 環境         | : 温度 40 ~ 90°F (5 ~ 40°C)<br>湿度 5 ~ 85%、非凝縮。                    |
| プリンター MTBF | : $5 \times 10^6$ 行 (プリントヘッドを除く。)                               |
| プリントヘッド    | : $100 \times 10^6$ 字                                           |

## シリアルインターフェース

インターフェース型式 : RS232C

同期式・非同期式 : 非同期式

ボーレート : 110、300、600、1200、2400、4800、9600 ビット/秒 (選択)

ワード長さ : 7 もしくは 8 データビット (選択)

1 スタートビット

2 ストップビット

パリティ奇数、偶数又は何もなし (選択)

プロトコル (通信規約) : DATA busy (1 バイト)

DTR busy

X-ON/X-OFF

## 第 X 節

### 10.0 信号バッファ減衰器 (Signal Buffer Attenuator)

この装置はセラミック分野でパンジットと一緒に使用するために設計されたものです。パンジットの欠点 (あえてこのように言えば、) の一つはその大きな感度と変換器の格段の高効率です。これはセラミックで検出する必要がある微細なひび割れに対してはその感度は時々充分ではありません。この欠点を克服するために、British Ceramics Research Association (BCRA : 英国セラミック研究協会?) の助言により信号バッファ減衰器 (Signal Buffer Attenuator) を設計しました。パンジット 6 は 500V/1.2kV スイッチを有しています。この目的はセラミック分野に特別の配慮を払って、変換器への通電電力を減らすことです。

### SBAT (Signal Buffer Attenuator 信号バッファ減衰器?)

#### 仕 様

減衰レンジ (挿入損失の 2dB : 0、3、6、10 及び 20dB  
は除く。)

入力インピーダンス : 470k

周波数応答 : 200Hz ~ 1MHz

最大不変形入力 (Maximum undistorted input) : 1Vpk. 保護付き。

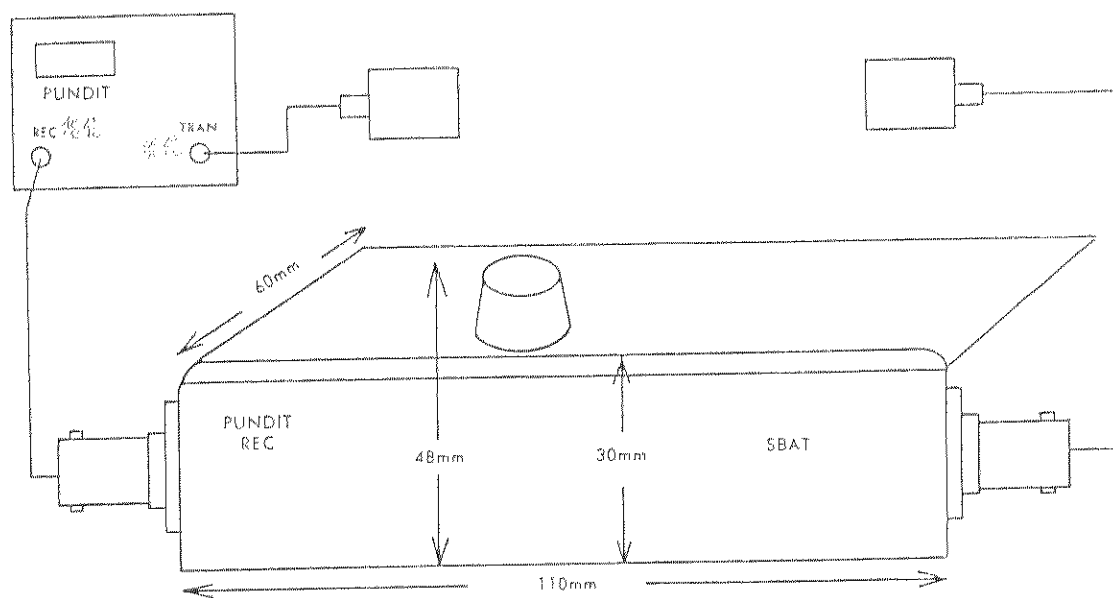
バッテリー状態表示計 : 赤色 LED (発光ダイオード) バッテリー  
電圧が 5V 迄下がると、消える。プッシュボタンによる選択。

必要電力 : 9V、2.4mA

電源 : MIN1604 9V アルカリ電池  
誤った挿入に対する防護付き。

バッテリー寿命

: 500 時間



76