

コンクリートの超音波非破壊測定器

エルソニック 取扱説明書

- ・音速測定
- ・ひび割れ深さ測定
- ・厚さ測定
- ・内部欠陥検出

株式会社 東横エルメス

東亜エルメス 株式会社

2009.01

保証

本装置は、弊社の欠陥に対して、納入後から1年間の保証が適用されます。

上記保証期間中に、欠陥の旨の通知が(株)東横エルメス、または東亜エルメス(株)に対して行なわれた場合、(株)東横エルメス、または東亜エルメス(株)は弊社の責任でその修理、交換をします。

ただし、操作、保守に関連する指示をユーザーが守らなかったために生じた損害、欠陥、誤動作、動作故障は対象となりません。さらに、ユーザーが製品を改造した場合や、ユーザーによる乱用、誤操作、不注意の場合、停電、電源サージ、事故、第三者の行為、その他予期せぬ事象も、本保証の対象とはなりません。

保証期間

1年

お問い合わせ先

(株)東横エルメス

本社・工場

〒243-0401 神奈川県海老名市東柏ヶ谷5丁目15番18号

TEL:046-233-7744 FAX:046-233-9311

URL:<http://www.elmes.co.jp/>

東京事務所

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町2-9 柴田第1ビル2階

TEL:03-3256-7788 FAX:03-3256-7798

東亜エルメス(株)

本社・工場

〒893-0045 鹿児島県鹿屋市田淵町1475-4

TEL:0994-48-2763 FAX:0994-48-2764

Mail:info@toaelmes.co.jp

福岡営業所

〒812-0892 福岡県福岡市博多区東那珂2丁目10番55号 202号

TEL:092-413-4081 FAX:092-413-4088

本製品は、改善・改良のため予告なく仕様を変更する場合があります。ご了承ください。

取 り 扱 い 上 の 注 意



注意・警告・危険



指示



禁止



電源は、付属の AC アダプター、外部電源、乾電池(単 3 形×8本)以外を使用しないでください。感電、火災、故障の原因となります。



連続して長時間ご使用になる場合の電源は、付属の AC アダプター、または外部電源をご使用ください。乾電池をご使用になるときは、予備の乾電池をご用意ください。



乾電池を交換する場合は、8本とも同じ種類の新しい電池に交換して下さい。異なる種類や新旧まぜての使用は、故障の原因となります。



ご使用にならないときは、液漏れ防止のため、エルソニックメーターから乾電池を取り外してください。



高温・低温での使用や保管は避け、許容動作温度の範囲内で使用してください。



湿度の高い場所での使用は避け、許容相対湿度の範囲内で使用してください。



保管や使用時、本体の上に重量物を載せないでください。



持ち運ぶときは、衝撃や強い振動を与えないように注意してください。



AC アダプターやセンサーのケーブルを無理に引っ張らないように注意してください。



高 電 圧 注 意

水などの液体が本体内部に入ったり、コネクターやケーブルについたりした状態で使用すると危険です。

目次

第1章 概要	1
<u>1-1 エルソニックの機能</u>	1
<u>1-2 エルソニックの特徴</u>	2
第2章 各部の名称と機能	3
<u>2-1 フロントパネル</u>	3
<u>2-2 リアパネル</u>	6
第3章 準備	8
<u>3-1 電源</u>	8
(1)ACアダプター	8
(2)乾電池	8
(3)外部電源	9
<u>3-2 送信電圧の調整</u>	10
<u>3-3 受信感度の設定</u>	11
<u>3-4 バックライトの ON/OFF</u>	11
<u>3-5 ブザー音量の調整</u>	11
第4章 測定上の注意点	12
<u>4-1 測定面の前処理</u>	12
<u>4-2 接触媒質の塗布</u>	12
<u>4-3 センサーの持ち方、当て方</u>	12
第5章 音速測定	13
<u>5-1 音速測定について</u>	13
(1)コンクリートの音速算出	13
(2)伝搬時間の測定原理	13
(3)その他	13
<u>5-2 透過音速測定</u>	13
(1)概要	13
(2)測定手順	14
<u>5-3 表面音速測定</u>	16
(1)概要	16
(2)測定手順	16
第6章 ひび割れ深さ測定	17
<u>6-1 ひび割れ深さ測定について</u>	17
<u>6-2 ランプ法(直角回折波法)</u>	18
(1)概要	18
(2)測定原理	19
(3)測定手順	21

(4) 鉄筋がある場合	22
(5) 構造物の形状の制約でセンサーを広げられない場合	24
(6) センサーを左右同じに広げられない場合	24
(7) 表面に対し斜めに入ったひび割れの場合	24
6-3 デジタル法	25
(1) 概要	25
(2) 測定原理	25
(3) 測定手順	25
6-4 近距離迂回波法	26
(1) 概要	26
(2) 測定原理	26
(3) 測定手順	26

第7章 厚さ測定

27

7-1 厚さ測定について	27
(1) 厚さ測定の方法と概要	27
(2) 測定原理	28
(3) 注意点	28
7-2 第一の手法	29
(1) 概要	29
(2) 測定手順	30
7-3 第二の手法	31
(1) 概要	31
(2) 測定手順	32
7-4 第三の手法(周波数スキャン)	33
(1) 概要	33
(2) 測定手順	34
7-5 第三の手法(繰り返し加振器)	36
(1) 概要	36
(2) 測定手順	36
7-6 各種状況での厚さ測定と結果の見方	37

第8章 内部欠陥の検出

40

8-1 透過音速測定を用いる	40
(1) 検出方法	40
(2) 注意点	40
8-2 厚さ測定を用いる	41
(1) 検出方法	41

第9章 周辺機器との接続

42

9-1 印字プリンター	42
(1) 用途	42
(2) 製品概要	42
(3) 接続	42
(4) 操作方法	43

(5)通信ケーブル結線図	43
<u>9-2 FFTアナライザー</u>	44
(1)用途	44
(2)製品概要	44
(3)接続	44
(4)主なキー操作	45
(5)測定画面の説明	46
(6)厚さ測定のための設定	47
<u>9-3 FFT用プリンター</u>	49
(1)用途	49
(2)製品概要	49
(3)接続	50
(4)操作方法	50
(5)接続ケーブル結線図(ストレート)	50
<u>9-4 オシロスコープ</u>	51
(1)用途	51
(2)製品概要	51
(3)接続	51
(4)設定	51
<u>9-5 フットスイッチ</u>	52
(1)用途	52
(2)製品概要	52
(3)接続	52
(4)操作方法	52
<u>9-6 パソコン(RS-232C)</u>	53
(1)用途	53
(2)接続	53
(3)RS-232C 通信パラメータ	53
(4)通信プロトコル	53
(5)ELSONIC-Excel 読込サンプルプログラム	53
(6)RS-232C ケーブル結線図(クロス)	54

第10章 仕様

55

<u>10-1 仕様</u>	55
<u>10-2 超音波センサーの種類と用途</u>	56
<u>10-3 機器構成</u>	57
<u>10-4 外形寸法図</u>	59

<u>付録－1</u> メンテナンス	63
(1) 点検時期	63
(2) 点検内容、方法	63
(3) 異常時の処置	64
<u>付録－2</u> ホールドオフ時間の変更	64
(1) 使用目的	64
(2) 変更方法	64
<u>付録－3</u> トラブルシューティング	65
<u>付録－4</u> 用語集	67
<u>付録－5</u> 引用文献	69

メモ欄

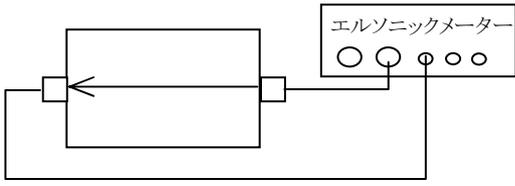
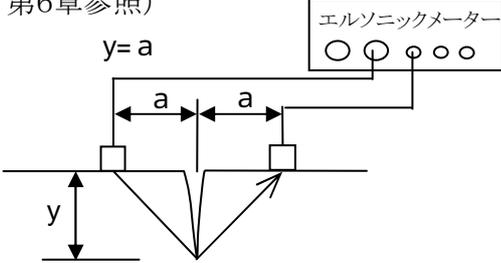
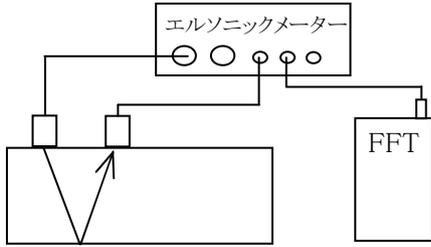
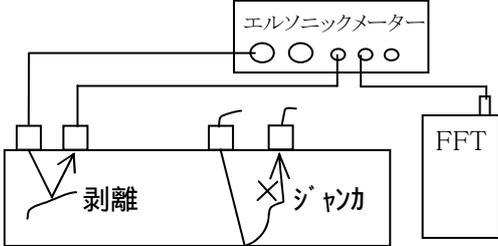
CAL キー	15
センサー位置と受信波の関係	20
鉄筋位置の推定	23
厚さ測定時の mm 表示	31
送信周波数調整(▲、▼)キー	32
無負荷時スペクトル	63

第 1 章 概要

1-1 エルソニックの機能

エルソニックは、コンクリートの超音波非破壊測定器です。

以下の測定が可能です。

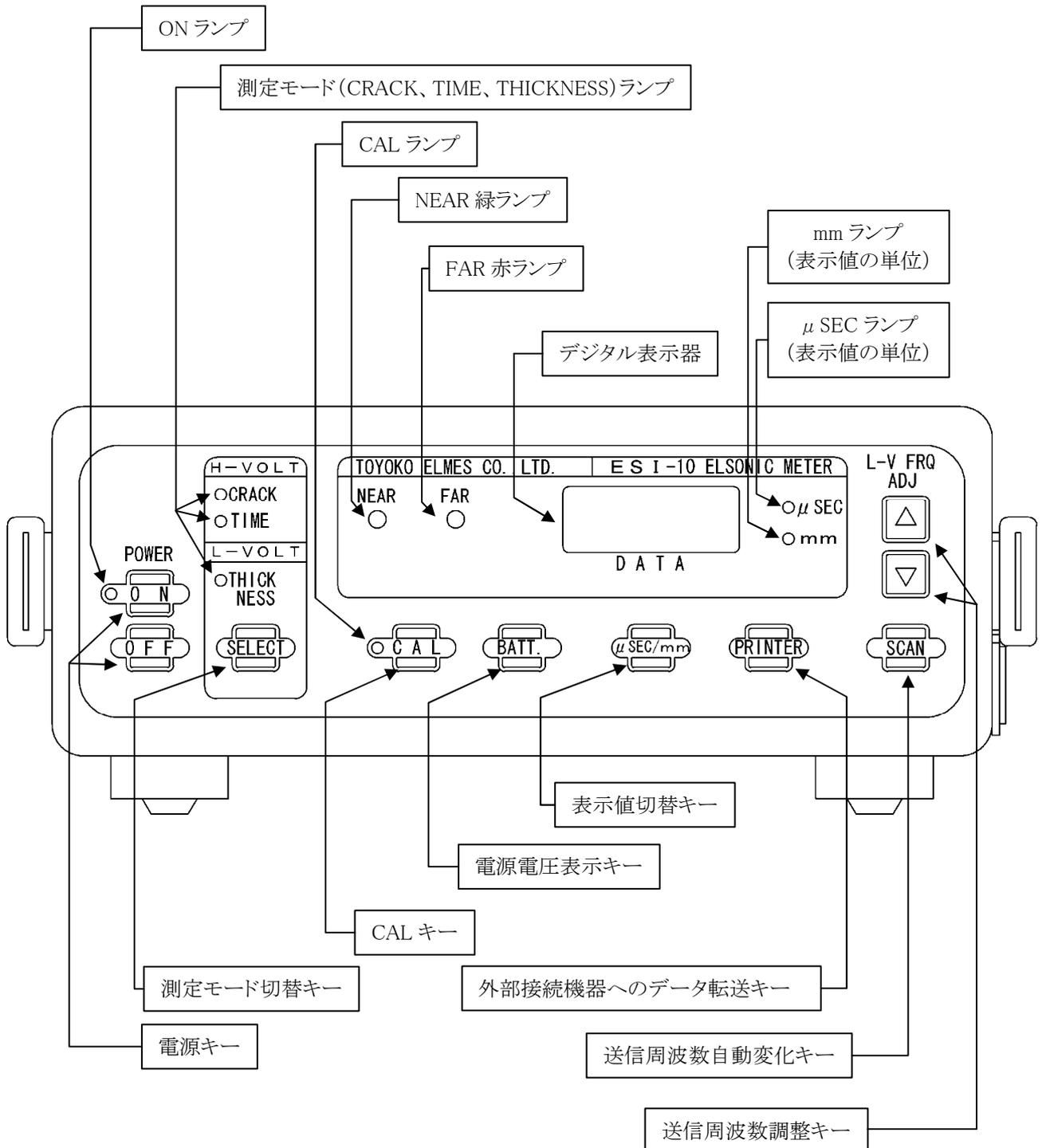
測定方法と接続	概要
<p>大きな超音波出力による音速の測定 (P.13 第5章参照)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 超音波伝搬時間から音速を測定できます。 構造物の健全性評価に使用します。 コンクリートの強度推定に利用します。 ひび割れ深さや厚さ測定値の音速補正に利用します。 コンクリート以外の耐火棟瓦やセラミックス、黒鉛などの品質評価にも利用できます。
<p>ひび割れ深さの測定 (P.17 第6章参照)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ深さが簡単に測定できます。 ひび割れの影の部分へ超音波の二次的な回折波が進む原理を利用して、ひび割れの深さを求めます。
<p>厚さの測定 (P.27 第7章参照)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> FFT アナライザーを使って、超音波の反射波の到達時間を求めることで、厚さ測定ができます。 例) トンネル覆工厚さ、鉄筋のかぶり厚さ、ビル壁面施工厚さ
<p>内部欠陥の検出 (P.40 第8章参照)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 透過音速測定や厚さ測定の手法により構造物の内部欠陥を検出できます。 例) 空洞、剥離、ジャンカなど

1-2 エルソニックの特徴

- (1)コンクリートの音速に関係なく、また鉄筋があってもひび割れ深さの測定可能ができます。
弊社独自のランプ法(直角回折波法)。
詳しくは P.17「第6章 ひび割れ深さ測定」を参照してください。
- (2)印字プリンターに出力します。
デジタル表示された測定値を印刷可能です。
詳しくは P.42「第9章 周辺機器との接続 9-1 印字プリンター」を参照してください。
- (3)オシロスコープで波形観測できます。
送信トリガー出力(TRIG)、受信信号のアンプ出力(OUT)コネクタがあり、オシロスコープで波形観測できます。
※送信トリガー出力は、音速測定、及びひび割れ深さ測定時のみ。
詳しくは P.51「第9章 周辺機器との接続 9-4 オシロスコープ」を参照してください。
- (4)外部パソコン(以下 PC)へデータ出力します。
RS-232C 通信で、PC へのデジタル表示値(測定値)の読み取りや PC からの測定モード切替ができます。
また付属のサンプルプログラム(Excel マクロ)を使用し、デジタル表示値を、Excelに出力できます。
詳しくは P.53「第9章 周辺機器との接続 9-6 パソコン(RS-232C)」を参照してください。
- (5)電池残量を確認できます。
電源電圧をデジタル値(V)でモニタできます。
詳しくは P.3「第2章 各部の名称と機能 2-1 フロントパネル」を参照してください。

第 1 章 各部の名称と機能

2-1 フロントパネル



キー

ON、**OFF** キー : 電源キーです。
電源を ON、OFF します。電源 ON のとき、**ON** ランプが点灯します。

SELECT キー : 測定モード切替キーです。
未選択状態から、押す度に [CRACK (ひび割れ深さ) → TIME (伝搬時間) → THICKNESS (厚さ) → 未選択] と切り替わります。
測定モードをランプ点灯で表示します。
CRACK、**TIME** ランプ点灯時は、H-VOLT コネクターから高圧パルスを送信します。
THICKNESS ランプ点灯時は、L-VOLT コネクターから低圧連続波を送信します。

CAL キー : CAL (キャル) キーです。
CRACK ランプ点灯時は、内部演算で CAL 値のゼロリセットを行なったのち、デジタル法モードに移行します。
TIME ランプ点灯時は、内部演算で CAL 値のゼロリセットを行ないません。
どちらの場合でも、再度押すと解除されます。
CAL 有効時には、**CAL** ランプが点灯します。
※詳細は P.15 メモ欄「CAL キー」を参照してください。

BATT. キー : 電源電圧表示キーです。
押している間、デジタル表示器に電源電圧が表示されます。
CRACK、**TIME** ランプ点灯時及び測定モード未選択時に操作可能です。

μ SEC/mm キー : 表示値切替キーです。
押す度に、デジタル表示器の表示値を時間、又は(時間や音速などから内部演算して求めた)距離のいずれかに切り替えます。
その時の状態を表示値の単位を意味する **μ SEC** ランプ(時間)、**mm** ランプ(距離)の点灯で表します。
CRACK、**TIME** 及び **THICKNESS** ランプ点灯時に操作可能です。

PRINTER キー : 外部接続機器へのデータ転送キーです。
デジタル表示器の表示値を印字プリンターや PC (RS-232C 通信) に出力します。

▲、**▼** キー : 送信周波数調整キーです。
厚さ測定時 (低圧連続波 : L-VOLT) の送信周波数を **□** で上げ、**□** で下げます。押し続けると、変化する桁が桁上がりします。※詳細は P.32 メモ欄「送信周波数調整 (**▲**、**▼**) キー」を参照してください。
THICKNESS ランプ点灯時に操作可能です。

SCAN キー : 送信周波数自動変化キーです。
厚さ測定時 (低圧連続波 : L-VOLT) の送信周波数を 1 (kHz) から 4 (kHz) まで、自動で変化 (デジタル表示上は 2000 → 500mm) させてスキャンします。
再度押すとスキャンを一時停止し、さらに押すと一時停止した値からスキャンを再開します。
最初からスキャンしたい場合は、測定モードを選択し直します。
THICKNESS ランプ点灯時に操作可能です。

ランプ

- ON ランプ : 電源が入っていることを表します。
- CRACK ランプ : ひび割れ深さ測定モードであることを表します。
- TIME ランプ : 音速測定のための伝搬時間測定モードであることを表します。
ひび割れ深さ測定でも、近距離迂回波法はこのモードです。
- THICKNESS ランプ: 厚さの測定モードであることを表します。
- CAL ランプ : CRACK ランプ点灯時は、内部演算で CAL 値のゼロリセット、且つデジタル法モードが有効状態であることを表しています。
TIME ランプ点灯時は、内部演算で CAL 値のゼロリセット有効状態であることを表しています。
※詳細は P.15 メモ欄「CAL キー」を参照してください。
- μ SEC ランプ : デジタル表示器の表示値が時間で、単位が“μs”であることを表します。
CRACK、TIME 及び THICKNESS ランプ点灯時に有効です。
- mm ランプ : デジタル表示器の表示値が距離で、単位が“mm”であることを表します。
CRACK、TIME 及び THICKNESS ランプ点灯時に有効です。
- NEAR 緑ランプ : 受信波第一波の極性が－(マイナス)であることを表します。
CRACK、及び TIME ランプ点灯時に有効です。
- FAR 赤ランプ : 受信波第一波の極性が＋(プラス)であることを表します。
CRACK、及び TIME ランプ点灯時に有効です。

表示器

- デジタル表示器 : 時間、距離、電源電圧の値をデジタル表示します。
時間や距離を表示する場合は、各測定モード、CAL、μ SEC、mm ランプの点灯状態によって、エルソニックメーターの内部演算式が異なり、表示値の意味が異なります。
各ランプ点灯状態別の表示値の意味を下表にまとめました。

CRACK ランプ点灯

CAL ランプ	μ SEC ランプ点灯(時間)	mm ランプ点灯(距離)
消灯	伝搬時間+CAL 値	—
点灯	—	FAR ランプ点灯時の伝搬時間×音速×1/2 ×1/√2

TIME ランプ点灯

CAL ランプ	μ SEC ランプ点灯(時間)	mm ランプ点灯(距離)
消灯	伝搬時間+CAL 値	(伝搬時間+CAL 値)×音速×1/2
点灯	伝搬時間	伝搬時間×音速×1/2

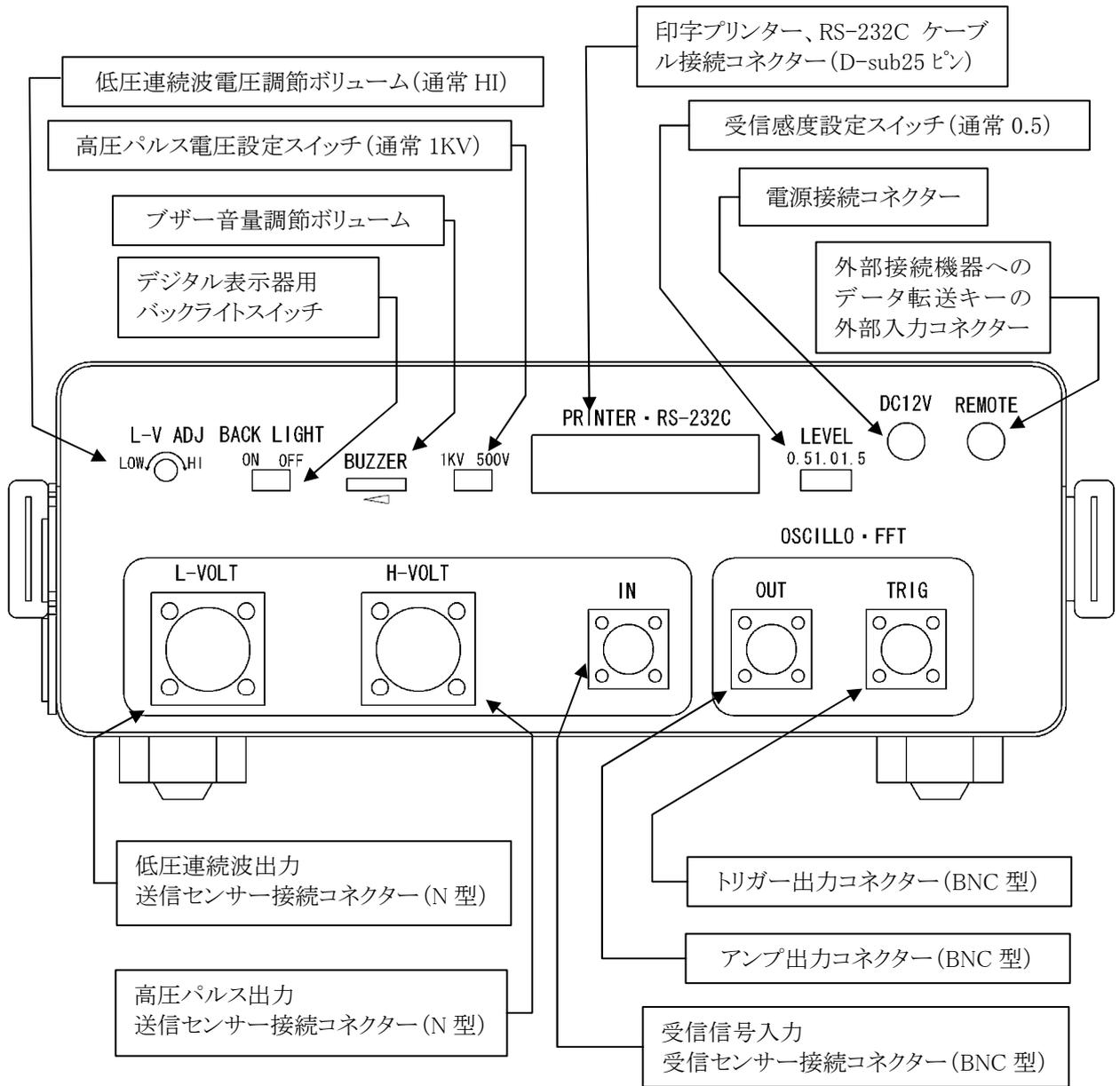
THICKNESS ランプ点灯

μ SEC ランプ点灯(時間)	mm ランプ点灯(距離)
送信波の周期 (=1/送信周波数)	1/送信周波数×音速×1/2

※エルソニックメーターの内部演算では、(コンクリート)音速は、4000m/sで計算されます。

※内部演算の結果が負の数となる場合や、デジタル法の NEAR 緑ランプ点灯時は、表示器には”9999”と表示されます。

2-2 リアパネル



コネクタ

- DC12V : 電源接続コネクタです。
AC アダプターや、外部電源のエルソニック用電源ケーブルを接続し、DC12Vを入力します。(PRC05 コネクタ)
- REMOTE : 外部接続機器へのデータ転送キーの外部入力コネクタです。
フットスイッチ(別売品)などの外部接続スイッチを接続します。
(PRC05 コネクタ)
- L-VOLT : 低圧連続波出力の送信センサー接続コネクタです。
厚さ測定時に、送信センサーを接続します。
(N型コネクタ)
- H-VOLT : 高圧パルス出力の送信センサー接続コネクタです。
音速(伝搬時間)測定やひび割れ深さ測定時に、送信センサーを接続します。
(N型コネクタ)
注)厚さ測定用センサーを接続しないでください。
- IN : 受信信号入力の受信センサー接続コネクタです。
全ての受信センサーを接続します。(BNC型コネクタ)
- OUT : アンプ出力コネクタです。
受信信号をアンプ回路で増幅し出力します。(BNC型コネクタ)
オシロスコープ、FFTアナライザーを接続します。
- TRIG : トリガー出力コネクタです。
H-VOLTコネクタからの出力を分圧し、出力します。
オシロスコープ観測時のトリガー用です。(BNC型コネクタ)
- PRINTER・RS-232C:印字プリンター、RS-232Cケーブル接続コネクタです。(D-sub25ピン)

切替スイッチ

- LEVEL : 受信感度設定スイッチです。
受信信号感度(感度が良い方から0.5/1.0/1.5の3段階)を切り替えます。
(通常 : 0.5)
- 1KV 500V : 高圧パルス電圧設定スイッチです。
H-VOLTコネクタから出力される高圧パルスの電圧を切り替えます。
500Vか1KVのいずれかを選択します。(通常 : 1KV)
- BACK LIGHT : デジタル表示器用バックライトスイッチです。
バックライトのON/OFFを行ないます。

ボリューム

- L-VOLT ADJ : 低圧連続波電圧調節ボリュームです。
L-VOLTコネクタから出力される低圧連続波の電圧を調節します。
(通常 : HI側最大)
- BUZZER : ブザー音量調節ボリュームです。
状況に合わせて調節してください。

第3章 準備

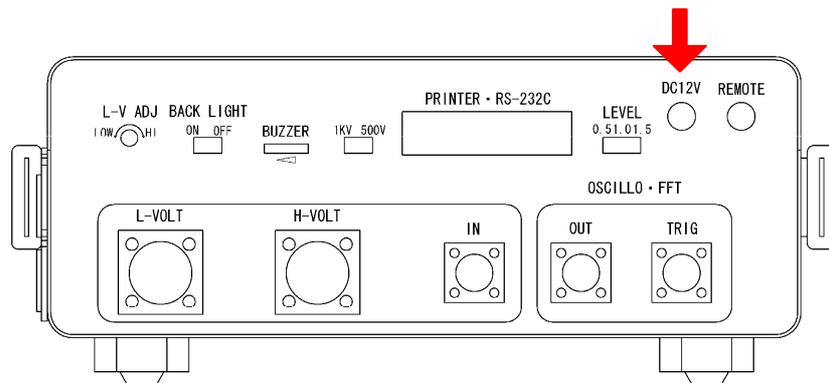
3-1 電源

電源環境によって使い分けてください。

- AC100V がある場合、AC アダプターを使用します。
- AC100V がない場合に音速測定、ひび割れ深さ測定のような消費電力が大きい測定をする際は、外部電源(別売品)の使用を推奨します。
- AC100V、外部電源がない場合は、乾電池で測定できます。この場合、予備の電池をご用意ください。

(1) AC アダプター

リアパネルの DC12V コネクターに、付属品の AC アダプターを接続します。



(2) 乾電池

①右側面にある電池ケース(上・下各 2 個)を右写真のように両脇のツメを押しながら取り外します。



②電池ケースに単 3 形アルカリ乾電池を各 4 本(計 8 本)、極性を間違えないように注意して入れます。

極性はケース底にマーキングしてあります。

電池を入れたら、電池ケースを元のように取付けます。



注) **BATT** キーで電圧値をモニタし、10.8V 以下になったら、8本とも同じ種類の新しい電池に交換して下さい。異なる種類や新旧まぜての使用は、故障の原因となります。またご使用にならないときは、液漏れ防止のため、電池を取り外してください。

(3)外部電源(推奨品)

メーカー : 大自工業株

型式 : SG-1000

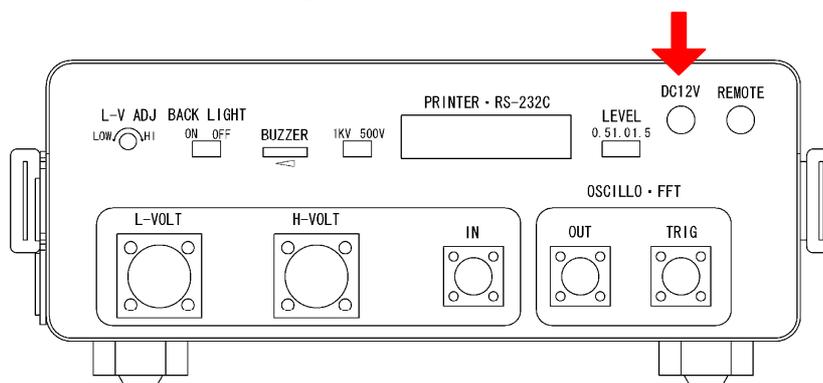
付属品 : エルソニック用電源ケーブル 1本、車内(12V)充電用コード 1本

家庭用(AC100V50/60Hz)充電アダプター 1個、携帯用ショルダーバッグ 1個

仕様 :

項目	内容
内蔵バッテリー	DC12、7.0Ah、高性能シール式鉛蓄電池
出力電圧	DC12V
ヒューズ	10A(本体)
本体寸法	幅 160×高 160×厚 70mm
質量	約 3.2kg
ソケット	シガライター型ソケット(84W 以内)2箇所

接続 : リアパネルの DC12V コネクターに、外部電源をエルソニック用電源ケーブル(外部電源に付属)で接続します。



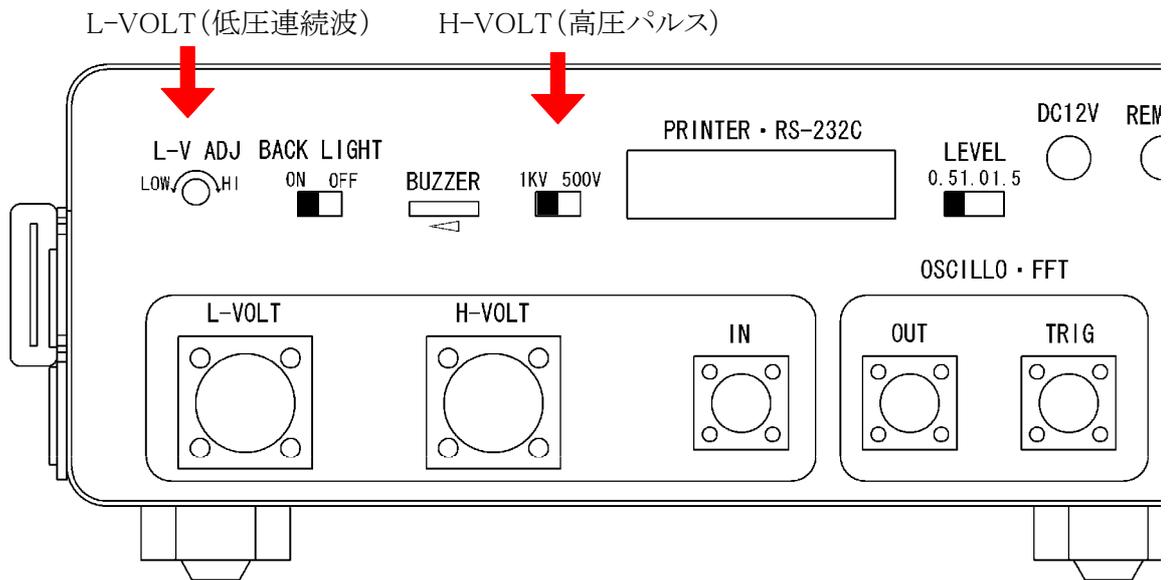
注) **BATT.**キーで電圧値をモニタし、10.8V 以下になったら、外部電源からエルソニック用電源ケーブルを取り外し、付属の車内充電用コード、または家庭用充電アダプターで充電してください。充電しながら DC 出力を取ると、故障の原因となります。

※その他の仕様、取り扱い方法の詳細は SG-1000 の取扱説明書を参照ください。

3-2 送信電圧の調整

送信電圧は出荷時に設定してありますが、必要に応じて調整してください。

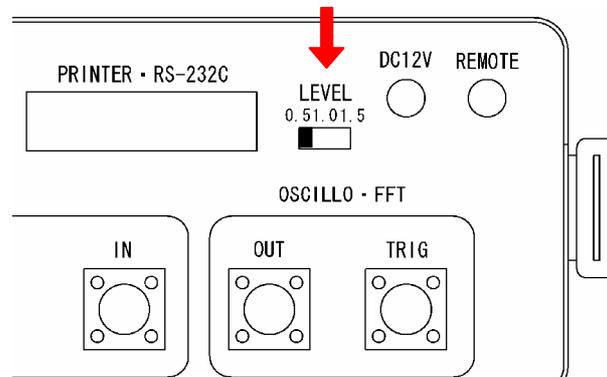
項目 \ 送信種類	H-VOLT 高圧パルス	L-VOLT 低圧連続波
対象の測定法	音速測定 ひび割れ深さ測定	厚さ測定
調整する場所	リアパネルの中央上の 1KV 500V スイッチ	リアパネルの左上の L-V ADJ ボリューム
種類	スライドスイッチ	トリマ(小さいマイナスインドライバーで調整)
調整範囲 (通常)	500V/1KV (1KV)	0~12V (12V:HI 側最大)
説明	・ひび割れ小型センサーを長時間連続使用する時は、500V に下げた方が望ましいです。	・送信センサーにひび割れ・音速センサーを使用する時に、直接波の受信電圧が高すぎて受信波形が歪み、FFT でフーリエ解析できなくなるため、トリマボリュームを中間位置にします。



3-3 受信感度の設定

対象の測定法	音速測定、ひび割れ深さ測定（厚さ測定は関係ない）
調整する場所	リアパネル右上の LEVEL スイッチ
種類	スライドスイッチ
調整範囲 (通常)	感度が良い方から 0.5/1.0/1.5 の 3 段階 (0.5)
説明	<ul style="list-style-type: none"> 重機等で、騒音、振動がある環境では、正確な測定ができないため、騒音、振動を止めるか、時間をずらして測定する必要がありますが、それができない場合は、感度を落としてください。 感度を落とすと、音速測定では音速が多少遅くなり、ひび割れ深さ測定では、測定可能な最大深さが減少します。

受信感度切替スイッチ

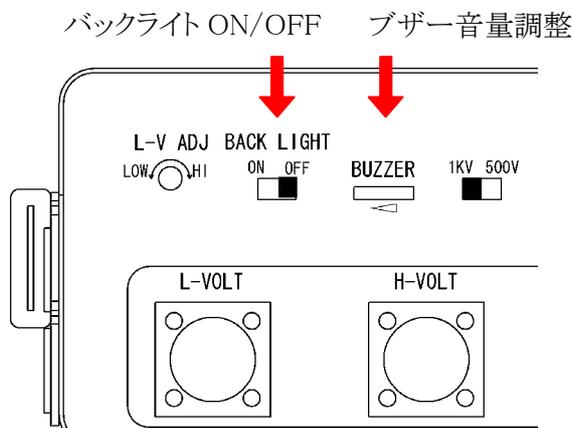


3-4 バックライトの ON/OFF

リアパネル左上の BACK LIGHT というスイッチを ON(左)側にスライドさせると点灯します。消灯させるには OFF(右)側にスライドさせます。

3-5 ブザー音量の調整

リアパネル左上の BUZZER というボリュームを右側に回していくと音量が上がります。音量を下げるには左側に回します。



第4章 測定上の注意点

正確に測定を行なうために、接触媒質を介して、センサーとコンクリートの測定面とをしっかりと密着させることが大切です。

そのために以下の点に注意して測定をおこなって下さい。

4-1 測定面の前処理

超音波の伝達をよくするため、測定するコンクリート面の凹凸を無くします。

- ・砥石で平坦度 0.5 mm以下に研磨します。
- ・ブラシで砂粒などを落とします。

4-2 接触媒質の塗布

超音波の伝達をよくするため、センサーを接触させる測定面に接触媒質を塗ります。

- ・接触媒質は、グリースなど粘性のあるものを使用してください。
- ・接触媒質は、コンクリート面に充分浸透するように塗ります。(気泡を無くす目的)
- ・センサーに接触媒質を塗る方法は推奨しません。
- ・接触媒質中の砂粒など介在物は除いてください。
- ・ひび割れ深さ測定時、ひび割れの中に接触媒質を入れないように注意してください。

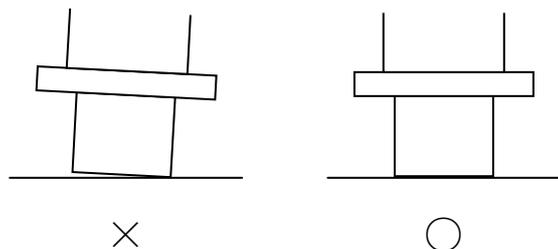
4-3 センサーの持ち方、当て方

超音波の伝達を安定させ、測定値を安定させるため、以下のようなセンサーの持ち方、測定面への当て方をします。

- ・右写真のようにセンサー下部のツバ部分に指を当てて持ち、測定面(又は周囲の構造物など)に手の側面や手首、肘などを置くなどして、センサーが測定面に対して動かないように、しっかりと固定します。



- ・センサー振動面は、測定面に対して平行に接触するように押し当てます。



- ・測定中は、一定(1~3kg程度)の力でセンサーを測定面に押し当てます。
- ・センサーを動かす際、押し当てたまま滑らせないでください。(センサー振動面が削れます)

第5章 音速測定

5-1 音速測定について

- (1)コンクリートの音速算出
下記の式から算出します。

$$\text{音速} = \text{伝搬距離} \div \text{伝搬時間}$$

(コンクリートの音速は 4000m/s ± 10%が多い)
(距離はスケール等で、伝搬時間をエルソニックで測定します)

- (2)伝搬時間の測定原理

- ①エルソニックメーターは、1KV または 500V (リアパネルで選択)の高電圧パルスが発生し、送信センサーへ送ります。
- ②送信センサー内の圧電素子の圧電効果により、超音波が発生します。
- ③超音波は、コンクリート中を伝搬して反対側の受信センサーへ伝わります。
- ④受信センサーは圧電効果により発生した電圧を、エルソニックメーターへ送ります。
- ⑤エルソニックメーターでは、送信してから受信信号が入力されるまでを、0.1 μs の分解能で計測し、デジタル表示器に表示します。

- (3)その他

現場へ行く前にオシロスコープの波形を見ながら練習をしておくといよいでしょう。
FAR 赤、NEAR 緑ランプの点滅やデジタル表示器の値の変動でも安定具合が分かります。

5-2 透過音速測定

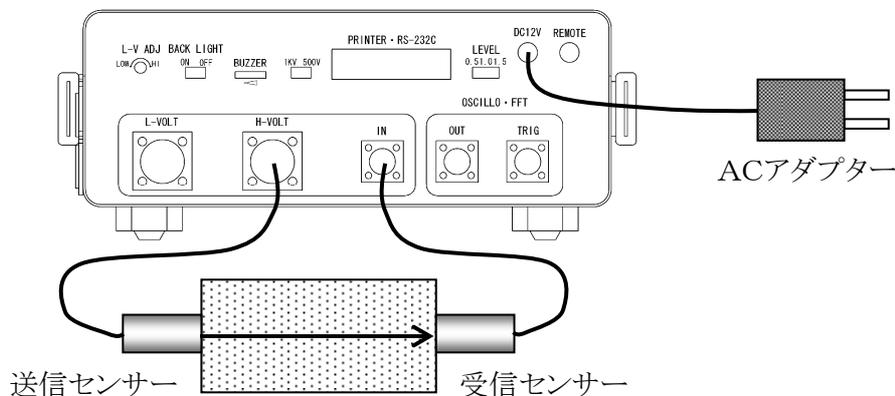
- (1)概要

測定データの音速補正(デジタル法、近距離迂回波法、厚さ測定)や、内部欠陥の有無や健全性の評価に利用します。

項目	内容		
使用センサー と測定範囲 (目安)	(送信)	(受信)	
	ひび割れ小型センサー	ひび割れ小型センサー	: 60(mm)以下
	ひび割れ・音速センサー	ひび割れ・音速センサー	: 1000(mm)以下
	ひび割れ強力センサー	ひび割れ・音速センサー	: 3000(mm)以下
精度	長さ 250 mm で ± 0.3 μs ※同一コンクリート面での繰り返し精度		
測定モード	TIME		
デジタル表示 値の意味		μ SEC ランプ点灯	mm ランプ点灯
	CAL ランプ消灯	伝搬時間 + CAL 値	表示値は、近距離迂回波法の為 のもので、音速測定には不要です
	CAL ランプ点灯	伝搬時間	
設定	LEVEL=0.5 H-V=1KV		

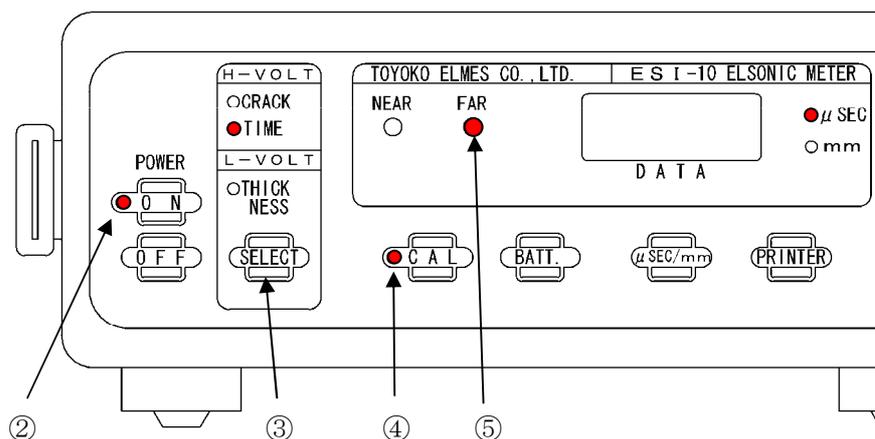
(2) 測定手順

① 下図のようにセンサー、ACアダプターをエルソニックメーターに接続します。



② **ON** キーを押し、電源をいれます。**ON** ランプが点灯します。

③ **SELECT** キーを2回押し、**TIME** ランプを点灯させます。



④ **CAL** を行ないます。(詳細は次頁のメモ欄「CAL キー」を参照)

- ・センサー同士を向かい合わせて軽く当て、**CAL** 値を確認し、**CAL** キーを押します。
- ・**CAL** ランプが点灯し、デジタル表示器の値がゼロにリセットされた事を確認します。

⑤ 伝搬時間の測定

- ・測定面を研磨し、接触媒質をつけます。P.12「第4章 測定上の注意点」参照
 - ・送・受信センサーの中心軸が同一になるように、センサー振動面をコンクリート面に当てます。
 - ・**FAR** 赤ランプが点灯し、デジタル表示値(μ SEC)が安定したときの値を読み取ります。
- ※より正確に音速を求めたいときには、測定点を少し移動させて反復測定し、平均値を求めます。

CAL キー

【概要】

- 測定モードが CRACK、又は TIME の時に、センサー同士を向かい合わせて、振動面を(接触媒質を挟んで)接触させます。

その時のエルソニックメーターのデジタル表示値は、センサー内部の圧電素子から圧電素子への伝搬時間、及び電気信号の遅れの合計時間です。



この表示値を CAL (キャル) 値と呼び、センサーの種類によって大きく値が異なります(例: 送・受信ともひび割れ・音速センサーのときの CAL 値 $\approx 13.0 \mu s$)。

また、製品ごとに多少の器差もあります。

実際の CAL 値は、各センサーに添付の検査成績表に記載してあります。

- CAL キーを押すと CAL 値をゼロリセットされ、この操作を通称 CAL (キャル) と呼びます。

【目的】

- デジタル表示値に含まれる不要な時間(CAL 値)を、ゼロリセットできます。
- CAL 値が、正常に表示されていれば、エルソニックメーターからパルス信号が正常に出力し、送・受信センサー、そしてエルソニックメーターの受信部まで正常に伝達され、表示されていることの簡易的な確認ができます。

【測定モード毎の働き】

CRACK : CAL 値のゼロリセット後、エルソニックメーター内部の演算処理をデジタル法モードに移行します。P.24「6-3 デジタル法」を参照してください。

TIME : CAL 値のゼロリセットをおこないます。

【CAL 手順】

- センサーの振動面に接触媒質を少量付け、床上または机上でセンサー同士を真っ直ぐに対向させ、振動面を合わせます。注) 手で持たない方が安定し易いです。
- CAL 値が通常と同じ値で、ふらつかずに安定して表示されることを確認します。
- この状態でセンサーを動かさずに **CAL** キーを押します。
- CAL** ランプの点灯(CAL 有効)を確認し、デジタル表示器には 000.0 に近い値が表示され、CAL 完了です(解除しない限り CAL は有効)。

【CAL 解除手順】

- 再度 **CAL** キーを押すか、電源を切ると CAL は解除されます。

【CAL をしなかった場合】

- 伝搬時間の測定値から CAL 値を差し引いてください。

【CAL 値が正常に表示されない場合】

- P.66「付録-3 トラブルシューティング」を参照してください。

5-3 表面音速測定

(1) 概要

透過音速測定が行えない(同一面にしかセンサーを当てられない)場合の音速補正や、コンクリートの強度推定に利用します。

エルソニックはあくまで伝搬時間測定であり、強度推定方法については、いくつかの方法がありますので、それぞれの文献に沿って音速測定してください。

例)「超音波試験(土研法)による新設の構造体コンクリート強度測定要領(案)」など

項目	内容		
使用センサー	(送信) ひび割れ・音速センサー ひび割れ強力センサー	(受信) ひび割れ・音速センサー ひび割れ・音速センサー	
測定モード	TIME		
デジタル表示 値の意味		μ SEC ランプ点灯	mm ランプ点灯
	CAL ランプ消灯	伝搬時間+CAL 値	表示値は、近距離迂回波法の為 のもので、音速測定には不要です
	CAL ランプ点灯	伝搬時間	
設定	LEVEL=0.5 H-V=1KV		

(2) 測定手順

P.14 の音速測定と同じ要領です。

第6章 ひび割れ深さ測定

6-1 ひび割れ深さ測定について

- ・エルソニックでは、主にランプ法(直角回折波法)でひび割れ深さ測定をします。
- ・補助機能として、デジタル法、近距離迂回波法での測定もできます。

内 容	主機能	補助機能	
	ランプ法(直角回折波法) (P.18 参照)	デジタル法 (P.25 参照)	近距離迂回波法 (P.26 参照)
概要	ひび割れから回折波の受信位置までの距離=ひび割れ深さ スケールで測定	ランプ法と同じだがスケールで測定せず、デジタル表示器の値を読み取る	送信から、ひび割れ先端で下に引っ張る戻り波の受信までの時間から算出
測定原理	直角回折波	直角回折波+受信波の伝搬時間	受信波の伝搬時間
センサー接続	送信センサー:リアパネルの H-VOLT コネクター(N 型) 受信センサー:リアパネルの IN コネクター(BNC 型)		
センサー位置	ひび割れを挟み、両センサーを徐々に広げる	同左	ひび割れ近傍
測定モード	CRACK	CRACK	TIME
音速補正	不要	要	要
計算	不要	音速補正で必要	音速補正で必要
CAL	不要	要	要
表示値の単位	表示値不要	mm(切替不可)	μ SEC、mm(切替可)
mm 表示時の内部演算式	—	伝搬時間×4000m/s× $1/2 \times 1/\sqrt{2}$	伝搬時間×4000m/s× $1/2$
設定	LEVEL=0.5 H-V=1KV	同左	同左
長所	ランプとブザーでひび割れ深さを知ることができます 軽度の砂目詰まりや接触しかけた狭いひび割れ深さの測定にも有効	プリンター、PC への出力可能	ランプ法の測定不可の状況でも測定可
短所	ひび割れを2本以上挟む場合測定不可 隅角部は測定不可	ひび割れとセンサーとの間隔が左右不均等の場合、誤差あり	鉄筋、目詰まりの影響を除外できない

6-2 ランプ法(直角回折波法)

(1)概要

通常のひび割れ深さ測定には、この方法を適用します。

音速補正が不要です。またひび割れ途中で鉄筋、目詰まり、接触部分があってもさらに深い位置のひび割れ先端を検出可能です。

項目	内 容
使用センサー と測定範囲 (目安)	(送信) (受信) ひび割れ小型センサー ひび割れ小型センサー : 5~30(mm) ひび割れ・音速センサー ひび割れ・音速センサー : 30~500(mm) ひび割れ強力センサー ひび割れ・音速センサー : 400~1500(mm)
精度	±5mm(平坦面で深さ5~30mm のとき) ±10mm(平坦面で深さ30~150mm のとき) ±10%(平坦面で深さ150mm 以上のとき)
測定モード	CRACK
デジタル表示 値の意味	表示値は、デジタル法の為のもので、ランプ法には不要です
設定	LEVEL=0.5 H-V=1KV

普通、超音波測定では、超音波の直進性または拡散の現象を利用し伝搬時間を測定していますが、直角回折波法は以下のような特徴があります。

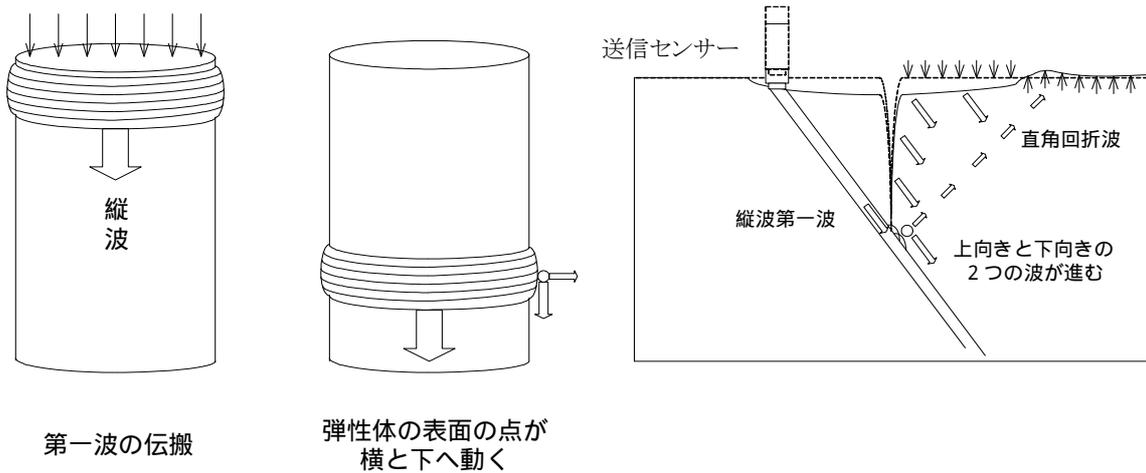
- ・回折(電波や光が影の部分へ回り込む)現象を利用。
ただしコンクリートは弾性体なので、回折波は音、電波、光とは様子が異なります。
- ・直進する大部分の直接波は利用しない。
- ・干渉を避けるため波長の長い超音波を使用。

下表はランプ法(直角回折波法)と主な伝搬時間法の適用比較です。

内 容	ランプ法(直角回折波法)	伝搬時間法(BS法、tc-to法、他)
測定事項	回折波の受信位置	受信波の時間
センサーの位置	ひび割れから徐々に広げる	測定方法による
計算処理	不要	測定方法毎の算出計算が必要
音速	不要	要
縦波	長波長が必要	波長は不問
波	第一波が必要	普通は第一波
コンクリート測定	最適	最適
異方性材料測定 (岩石、木材)	波が斜めに進む (正しく測定できない)	音速が方向で異なる (正しく測定できない)
鉄筋、砂粒等の介在 の影響	影響を受けるが、介在位置 より深い位置のひび割れ先 端を検出可能	鉄筋、目詰まりの深さまでしか測 定できない

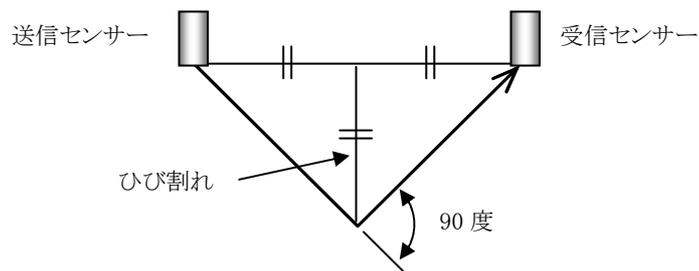
(2)測定原理

弾性体棒に縦波を送ると、棒の表面の点は横と軸方向に動きます。
 波が密のとき棒は横方向に膨らみますが、この現象を動ポアソン比効果といいます。
 ひび割れの近くに送信センサーを当て、送信した時にも、ひび割れ先端付近で二次的な波が発生しています。ひび割れの影の部分へ直接波と直角に進む小さな回折波(動ポアソン比効果による直角回折波)と、ひび割れの影の部分を下へ引っ張る剪断力による表面への戻り波です。



ひび割れ深さ測定の原理図

いま、ひび割れを挟む形で等間隔に送・受信センサーを離しながら受信波を測定していくと、第一波が下向き(戻り波)から上向き(直角回折波)になる位置があります。
 この時の位置関係は、両センサーを結ぶ線を底辺、ひび割れの先端部を頂点とする直角二等辺三角形になり、ひび割れとセンサーとの距離=ひび割れ深さとなります。



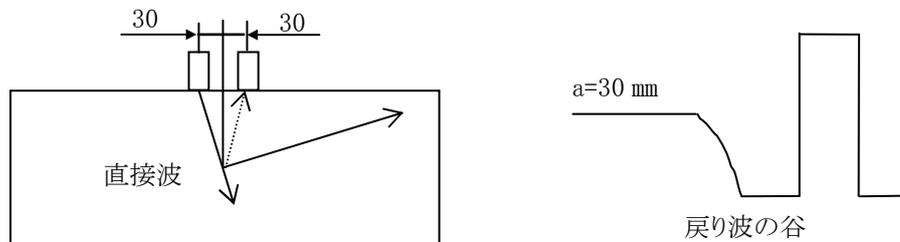
両センサーとひび割れの位置関係

センサー位置と受信波の関係

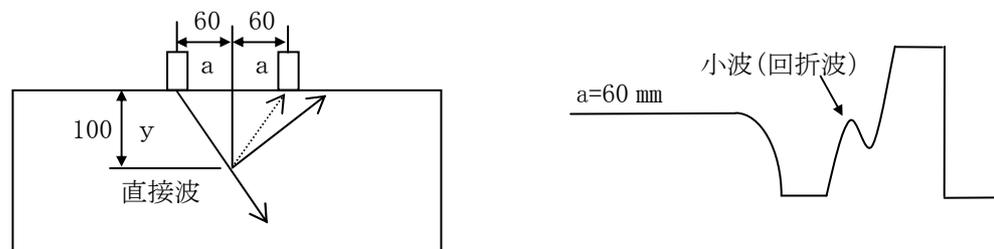
以下はランプ法で深さ100 mmのひび割れを測定する場合の、センサー位置と受信波形の関係を模式的に表した図です。

受信波形とは、受信信号のアンプ出力をオシロスコープで観測した波形です。

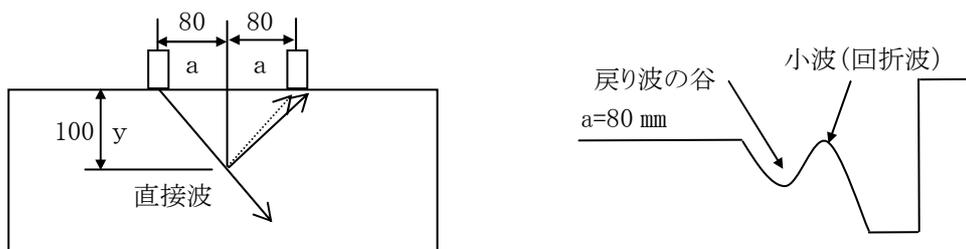
- ①ひび割れの近くに送・受信センサーを配置し超音波を送ると、ひび割れの先端で、送り波の剪断力により、影の部分を下へ引き下げている戻り波なので、受信波の第一波はマイナス方向に現れます。(コンクリート供試体の底からの反射波ではありません)



- ②センサーをひび割れより少し遠ざけても同様の波形です。しかし注意してみると、別の小さな波がプラス方向に重なって見えてきます。



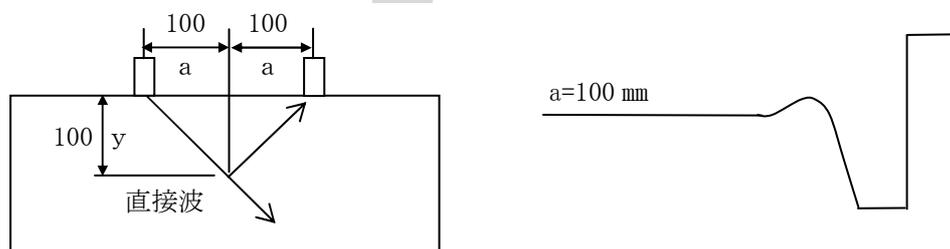
- ③さらに両センサーを広げると、戻り波の谷は小さくなり、上述のプラスの波は大きくなります。この波は、戻り波と逆の上向きの波で、ひび割れの先端で送り波(直接波)の進行方向と直角(ひび割れの影の方)に進む回折波です。



- ④ひび割れ深さと同じ距離まで離すと受信波の第一波が- (マイナス) から+ (プラス) に変わります。これは、上向きの波(直角回折波)をとらえたからです。

この時に位置関係は、両センサーを結ぶ線を底辺、ひび割れの先端部を頂点とする直角二等辺三角形になります。よって、その時のひび割れからセンサーまでの距離 a を測定する事で、ひび割れ深さ y が求められます ($y=a$)。

エルソニックは、この回折波を捉えて FAR 赤ランプとブザーで知らせます。



(3)測定手順

ひび割れを挟んで、送・受信センサー間隔を広げていき、ランプとブザーで位置を求め、ひび割れ深さを測定します。

- ①P.14の音速測定と同じ要領で、センサー、ACアダプターをエルソニックメーターに接続し、電源を入れます。
- ②SELECT キーを1回押し、CRACK ランプを点灯させます。
CAL(ゼロリセット操作)は不要です。
- ③ひび割れを挟み、両センサーを左右に等間隔に押し当て(図1)、NEAR 緑ランプ点灯を確認します。
- ④徐々にセンサー間隔を広げていきます。
ひび割れから両センサーまでの距離が同じになるように注意してください。
- ⑤NEAR 緑ランプから、FAR 赤ランプに変わり、ブザーが鳴ったところでマーキングします。
さらにセンサー間隔を広げても FAR 赤ランプが点灯、ブザーが鳴り続けていれば、マーキング位置がひび割れの深さに相当する位置です。
もし、FAR 赤ランプが消灯し、NEAR 緑ランプに戻った場合は、マーキング位置でひび割れが(鉄筋、目詰まりなどで)接触しています。
- ⑥この位置でセンサーからひび割れまでの距離 a をスケールで実測します。
- ⑦ a がひび割れ深さ y です。 $y=a$ (図2)

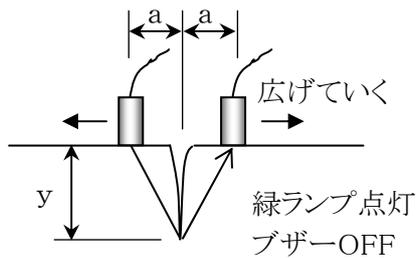


図1 $y > a$

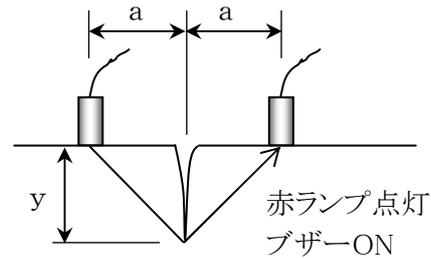


図2 $y \leq a$

(4) 鉄筋がある場合

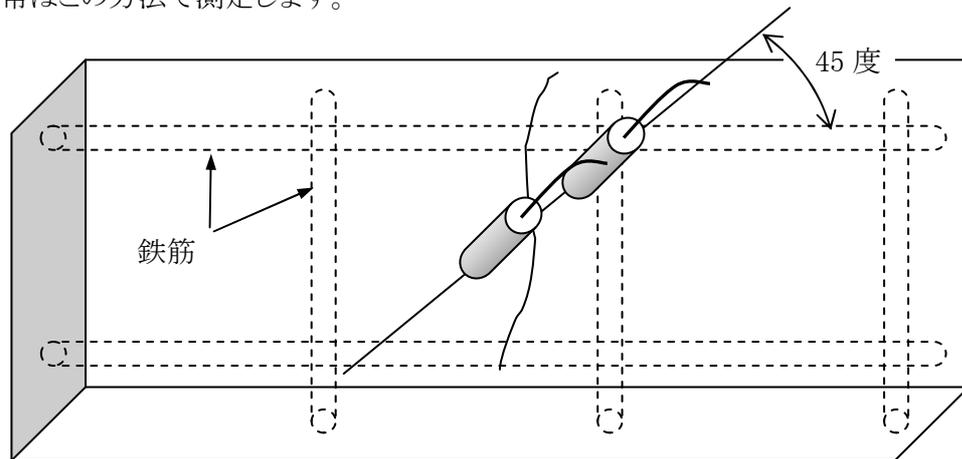
① ひび割れ深さが、鉄筋のかぶりより深い場合、または事前に推測出来ない場合

- ひび割れを挟んでセンサーを広げていく方向を、鉄筋の軸方向に対して、約 45 度傾けます。

鉄筋の真上で(鉄筋に沿うように)センサーを広げてしまうと、ひび割れ先端からの直角回折波の到達前に鉄筋を伝搬する波の影響を受けてしまいます。

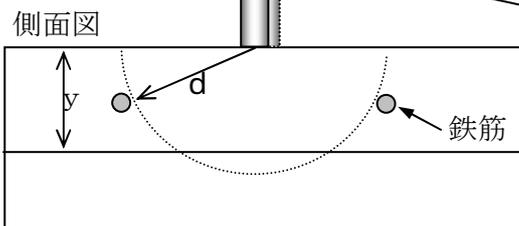
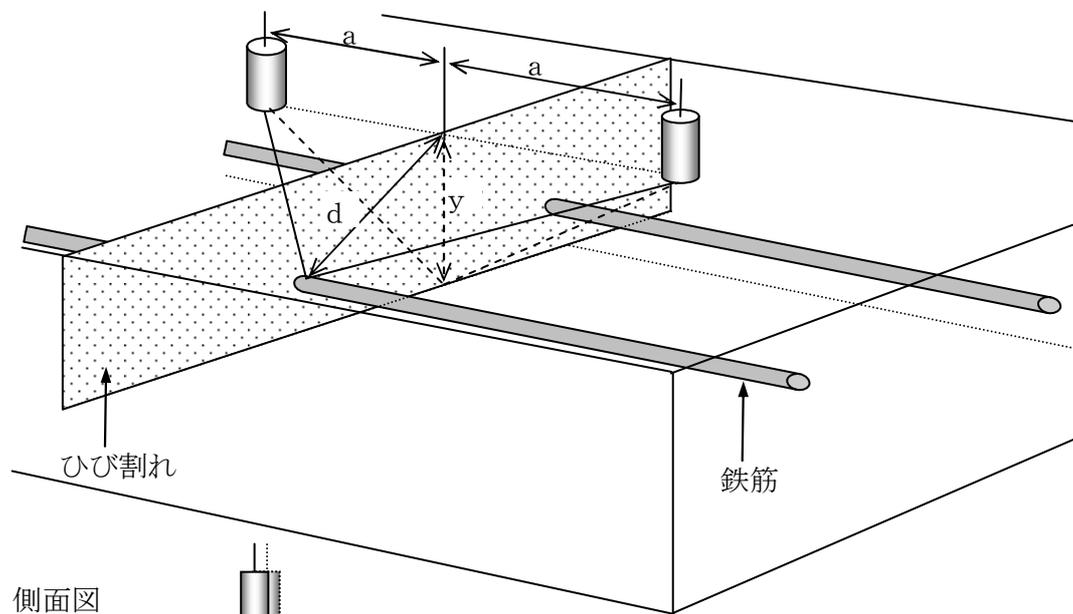
そこで縦・横筋の影響を最も軽減させるために、45 度傾けます。

※通常はこの方法で測定します。



② ひび割れ深さが鉄筋のかぶりより浅い場合、下図のようにセンサーから鉄筋までの距離 d が、ひび割れ深さまでの距離 y より遠い場合

- 鉄筋と平行にセンサーを当てても、ひび割れ深さ測定ができます。



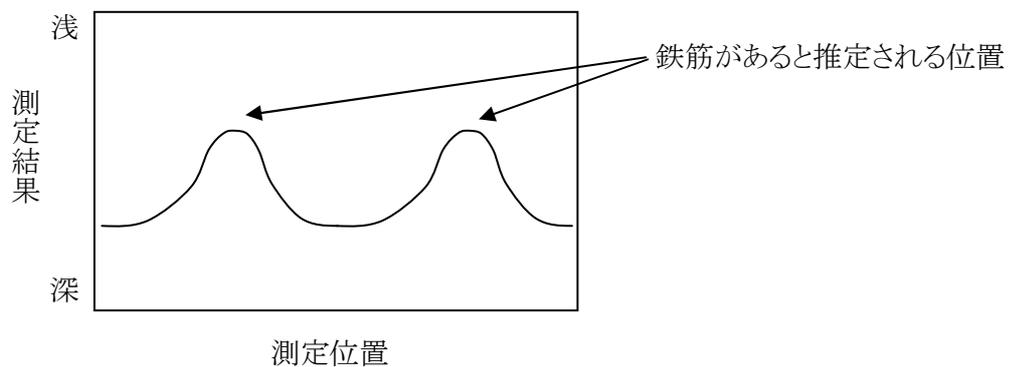
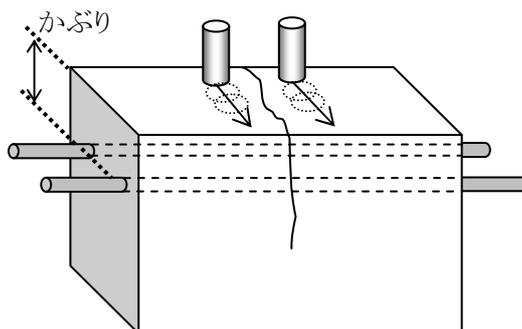
$d > y$ y : ひび割れ深さ
 d : センサーから鉄筋までの距離

※ひび割れ深さ測定法で、鉄筋のおおよその位置が推定できます。次頁の「鉄筋位置の推定」欄を参照してください。

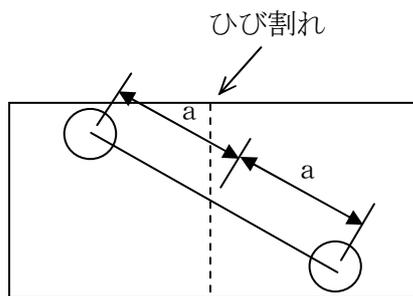
鉄筋位置の推定

鉄筋のかぶり厚さがひび割れ深さより浅い場合は、ひび割れ深さ測定法で、鉄筋のおおよその位置が推定できます。

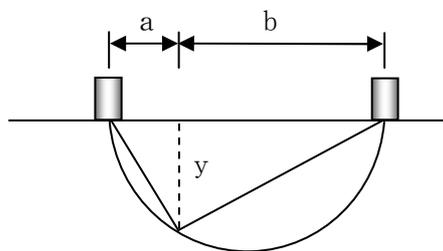
- 1本のひび割れに沿って、下図のように測定位置を移動させながら多数の測定点でひび割れ深さ測定(ランプ法、デジタル法、及び近距離迂回波法)を行ないます。
- すると鉄筋の真上で、最も浅い値が測定されるので、鉄筋位置が推定できます。



- (5) 構造物の形状の制約でセンサーを広げられない場合
ひび割れと直角でなく斜めにセンサーを開き、同様に a を求めます。

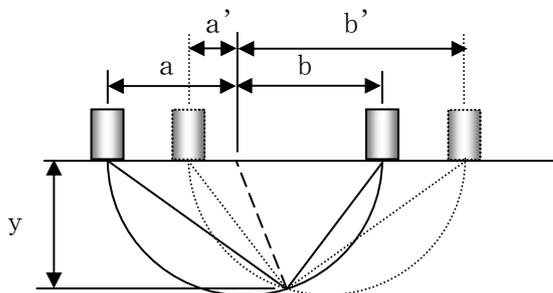


- (6) センサーを左右同じに広げられない場合
左右が同じでなく左右が a と b に異なるとき、ひび割れ深さは $y = \sqrt{a \times b}$ で求めます。
(但し、ひび割れが表面に対し直角に入っている場合です)



- (7) 表面に対し斜めに入ったひび割れの場合

- ① センサーを左右非対象にセンサーの距離を a 、 b と変えて測定し、次に同じ操作を別の距離で a' 、 b' と求めます。
- ② $a+b$ 及び $a'+b'$ を直径とする円を作図し、両円の交点がひび割れの先端位置(深さと角度)となります。
- ③ ひび割れの左右でひび割れの先端の近い方に送信センサーを当てると感度が良くなります。



6-3 デジタル法

(1) 概要

測定原理はランプ法と同じですが、直角回折波検出時の超音波伝搬時間から、ひび割れ深さを内部演算し、デジタル値で表示します。プリンターやPCへの出力が可能です。

項目	内容		
使用センサー と測定範囲 (目安)	(送信)	(受信)	
	ひび割れ小型センサー	ひび割れ小型センサー	: 5~30(mm)
	ひび割れ・音速センサー	ひび割れ・音速センサー	: 30~500(mm)
	ひび割れ強力センサー	ひび割れ・音速センサー	: 400~1500(mm)
測定モード	CRACK		
デジタル表示 値の意味		μ SEC ランプ点灯	mm ランプ点灯
	CAL ランプ消灯	伝搬時間+CAL 値	—
	CAL ランプ点灯	—	FAR 点灯時の伝搬時間×音速 【4000m/s で計算】×1/2×1/√2
設定	LEVEL=0.5 H-V=1KV		

(2) 測定原理

直角回折波を検出した時(右図)、伝搬距離 $2d$ は、伝搬時間とコンクリートの音速から式①となります。

$$\text{伝搬距離 } 2d = \text{伝搬時間} \times \text{音速} \cdots \text{式①}$$

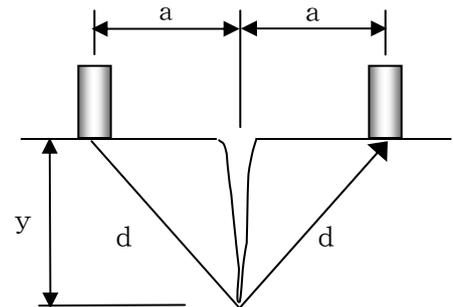
次にひび割れ深さ y は、伝搬距離 $2d$ との関係から式②で表せます。

$$\text{ひび割れ深さ } y = \text{伝搬距離 } 2d \times 1/2 \times 1/\sqrt{2} \cdots \text{式②}$$

よってひび割れ深さ y は、式③となります。

$$\text{ひび割れ深さ } y = \text{伝搬時間} \times \text{音速} \times 1/2 \times 1/\sqrt{2} \cdots \text{式③}$$

コンクリートの音速を 4000m/s とし、式③の演算結果をデジタル表示します。



(3) 測定手順

①P.14の音速測定と同じ要領で、センサー、ACアダプターをエルソニックメーターに接続し、電源を入れます。

②[SELECT]キーを1回押し、CRACKランプを点灯させます。

③CALを行ないます。

注) [CAL]キー操作で CAL ランプ、及び mm ランプが点灯します。

デジタル表示器には、FAR 赤ランプ点灯まで、測定値は表示されません。

④ひび割れを挟み、両センサーを左右に等間隔に押し当てます。

⑤ひび割れに近い位置から当て、NEAR 緑ランプを確認します。

⑥さらにセンサーの間隔を広げて、NEAR 緑ランプから FAR 赤ランプに変わり、ブザーが鳴ったところで止めます。

⑦FAR 赤ランプ点灯の位置で、ひび割れ深さ(mm)がデジタル表示されます。

ただし、コンクリート音速 4000m/s のときの値なので、以下の要領で補正します。

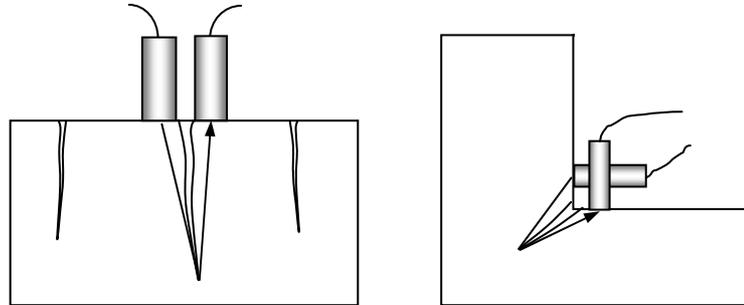
※デジタル法の音速補正方法

構造物で代表的なひび割れを測定し、スケールを用いたランプ法と、デジタル値の比を求め、ランプ法を真値としてデジタル値を補正します。

6-4 近距離迂回波法

(1) 概要

短時間に多数の測定をする必要がある場合や、下図のようにセンサー間隔を広げると2本以上ひび割れをまたいでしまう、または隅角部のひび割れのようにランプ法では測定不可能な場合に、この方法を適用します。



項目	内容		
使用センサーと測定範囲(目安)	(送信)	(受信)	
	ひび割れ小型センサー	ひび割れ小型センサー	: 5~30(mm)
	ひび割れ・音速センサー	ひび割れ・音速センサー	: 30~500(mm)
	ひび割れ強力センサー	ひび割れ・音速センサー	: 500~1500(mm)
測定モード	TIME		
デジタル表示値の意味		μ SEC ランプ点灯	mm ランプ点灯
	CAL ランプ消灯	伝搬時間+CAL 値	(伝搬時間+CAL 値)×音速【4000m/sで計算】×1/2 ※測定には不要です
	CAL ランプ点灯	伝搬時間	伝搬時間×音速【4000m/sで計算】×1/2
設定	LEVEL=0.5 H-V=1KV		

(2) 測定原理

表面とひび割れの先端を往復する縦波(ランプ法の中で述べた、ひび割れ先端からの戻り波)の伝搬時間と音速からひび割れ深さ y は次式で表されます。

$$\text{ひび割れ深さ}y = \text{伝搬時間} \times \text{音速} \times 1/2$$

コンクリートの音速を 4000m/s とし、演算結果をデジタル表示します。

(3) 測定手順

この測定方法は、センサーを当てて表示器の値を読み取るものです。

- ① P.14 の音速測定と同じ要領で、センサー、ACアダプターをエルソニックメーターに接続し、電源を入れます。
- ② **SELECT** キーを 2 回押し、**TIME** ランプを点灯させます。
- ③ CAL を行ないます。
- ④ **μ SEC/mm** キーを押し、**mm** ランプを点灯させます。
- ⑤ ひび割れを挟んで、(センサー同士が、接触しない程度で)出来るだけ近い位置に、送・受信センサーを、押し当てます。
- ⑥ デジタル表示値がひび割れ深さ(mm)です。

ただし、コンクリート音速 4000m/s のときの値なので、実際の音速を別に求め補正します。

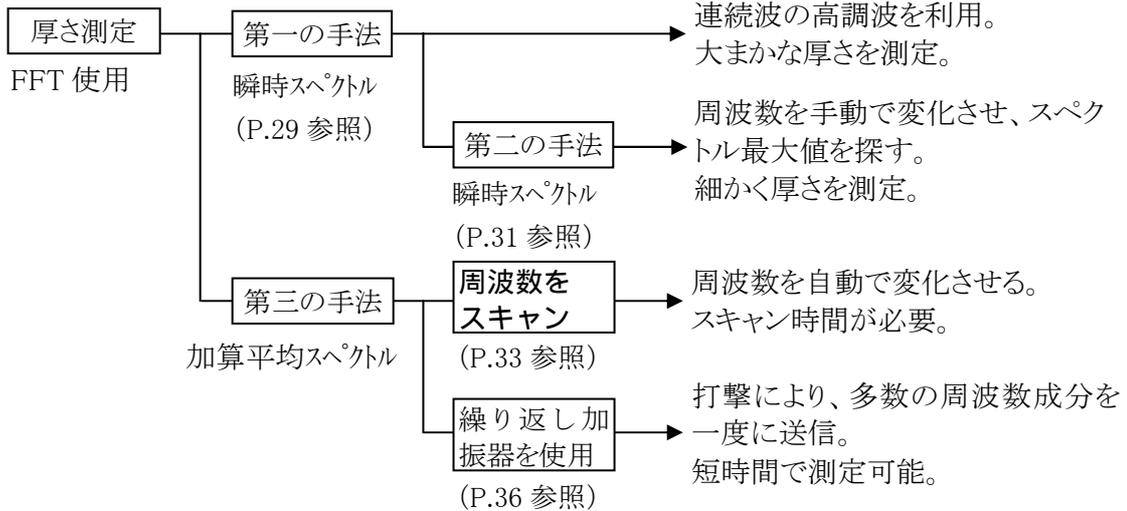
第7章 厚さ測定

7-1 厚さ測定について

(1) 厚さ測定の方法と概要

厚さセンサー、又は繰り返し加振器から出力された送信波が、音響インピーダンスの異なる境界（構造物背面、内部欠陥、鉄筋など）で反射します。

この境界からの反射波の周波数を、FFT を使用して（FFT の使い方は P.44「9-2 FFTアナライザー」を参照してください）調べることで、厚さ（境界までの距離）が求められます。



厚さ測定の方法	使用センサー
第一の手法	厚さセンサー、厚さ小型センサー、ひび割れ・音速センサー
第二の手法	同上
第三の手法(周波数スキャン)	同上
第三の手法(繰り返し加振器)	繰り返し加振器、厚さセンサー

(2)測定原理

送信波が対象物中を進行し、対面で反射し返って来るまでの時間 T (s)は、厚さを d (m)、音速を c (m/S)とすると、下記の式が成り立ちます。

$$T = \frac{2d}{c}$$

また、 $T = \frac{1}{f}$ から

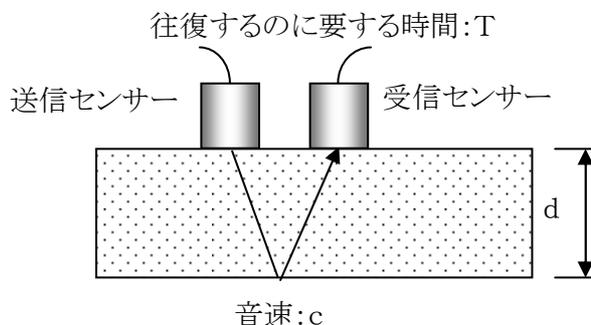
但し、 f (Hz) : 周波数

$$\frac{2d}{c} = \frac{1}{f}$$

よって厚さ d は

$$d = \frac{c}{2f}$$

と表現できます。



いま、送信センサーと受信センサーを並べて置いた時、受信信号には、送信波の残存振動と反射波が合成されています。

そこで、それらを分離し、反射波の戻り時間(周期)をその逆数である周波数 f (Hz)として抽出するために、FFT を用います(FFT の使い方は P.44「9-2 FFT アナライザー」を参照してください)。

受信波をフーリエ解析すると FFT の画面には多くのスペクトルが現れます。

このスペクトルの中で最も低い周波数(戻り時間が遅い)のスペクトルが厚さに相当します。

高い周波数のスペクトルは、残存振動波、高調波、受信波を増幅するときの電氣的歪み、近い位置の粗骨材や鉄筋からの反射波などであり、厚さ測定には不要です。

※音速 C の求め方

測定位置と音速が同じあると考えられ、且つ実際の厚さが分かる位置で、実際の音速を求めます。

①実際の厚さをスケールなどで実測できる場合

透過音速測定を行ない、実際の音速を求めます。

測定方法は、P.13「5-2 透過音速測定」を参照してください。

②実測はできないが、設計厚さ=実際の厚さであると想定できるような場合

厚さ測定を行ない、下式から実際の音速を求めます。

実際の音速 $c = 2 \times$ 設計厚さ $d \times$ 周波数 f

なお第二の手法では、エルソニック表示値が音速 4000m/s で換算された厚さであるため、この実際の音速で補正を行ないます。

補正式は P.32「7-3 第二の手法 (3)測定手順 ⑥」を参照してください。

(3)注意点

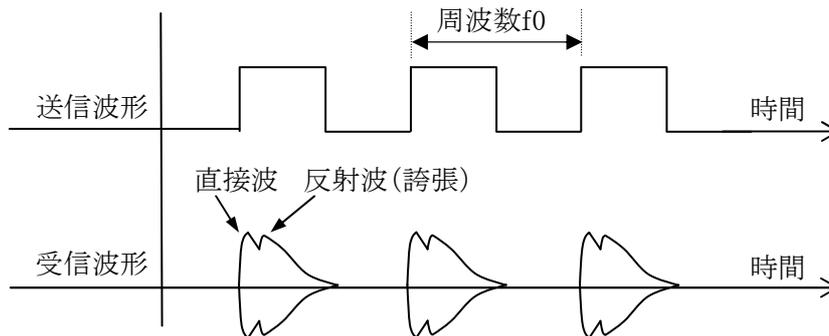
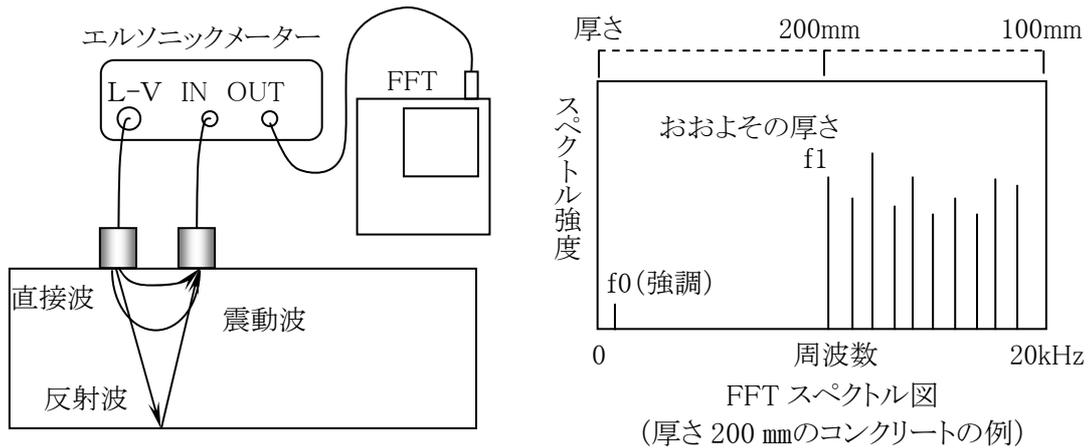
スペクトルのピークを探すため、測定面へのセンサーの加圧を安定させることが大切です。またスペクトル分布が満足に得られない場合は、センサーを面に押しつけると効果的です。

7-2 第一の手法

(1) 概要

第一の手法は、短い時間で測定できますが、送信センサーから周波数 $f_0 = 1\text{kHz}$ の連続波を送波し、これを基本周波数としたフーリエ級数の高次項で捕らえているため、厚さに相当する周波数 f_1 のスペクトルは 1kHz の整数倍の位置にしか現われず、 f_1 が低い(厚い)ほど分解能が低くなります。

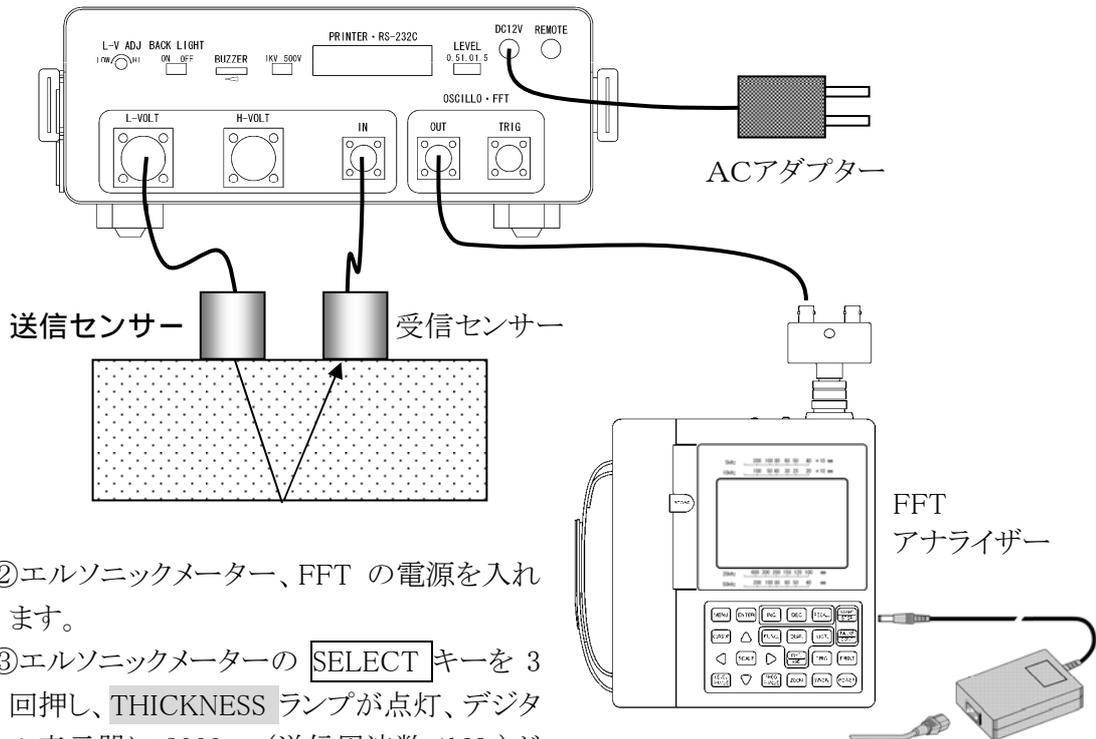
また高調波を誤って f_1 としないように注意が必要です。



項目	内容	
使用センサー と測定範囲 (目安)	(送信) 厚さ小型センサー 厚さセンサー ひび割れ・音速センサー	(受信) 厚さ小型センサー : 40~150 (mm) 厚さセンサー : 100~500 (mm) 厚さセンサー : 500~1000 (mm)
精度	目安	
測定モード	THICKNESS	
デジタル表示値 の意味	mm ランプ点灯	μSEC ランプ点灯
	$1/\text{送信周波数} \times \text{音速}【4000\text{m/s で計算}】 \times 1/2$ ※P.31 メモ欄「厚さ測定時の mm 表示」参照	送信波の周期 ($= 1/\text{送信周波数}$)
送信周波数	1kHz	
設定	通常測定:L-V ADJ = HI 側最大(12V) 送信にひび割れ・音速センサー使用時:L-V ADJ = 中間(6V)	

(2)測定手順

- ①厚さセンサー、ACアダプター、FFT をエルソニックメーターに接続します。



- ②エルソニックメーター、FFT の電源を入れます。

- ③エルソニックメーターの **SELECT** キーを 3 回押し、**THICKNESS** ランプが点灯、デジタル表示器に 2000 mm (送信周波数 1kHz) が表示された事を確認します。

- ④送信と受信の厚さセンサーを同一面上に、センサー同士が接触しない(センサー約 1 個分の)間隔に並べ、押し当てます。

- ⑤FFT の画面には、多数のスペクトル線が出ています。

- ⑥ f_0 (1kHz) 以外で最も左側の(低い)周波数 f_1 から、おおよその厚さ $d (=c/2f_1)$ を求めます。

※満足にスペクトル分布が得られない時

- ・接触媒質は不足していないか、砂の介在はないか、斜めにセンサーが当たっていないか、加圧不足ではないかなどを調べてください。
- ・▲、▼キーで送信周波数を少し変化させてみる場合もあります。

7-3 第二の手法

(1) 概要

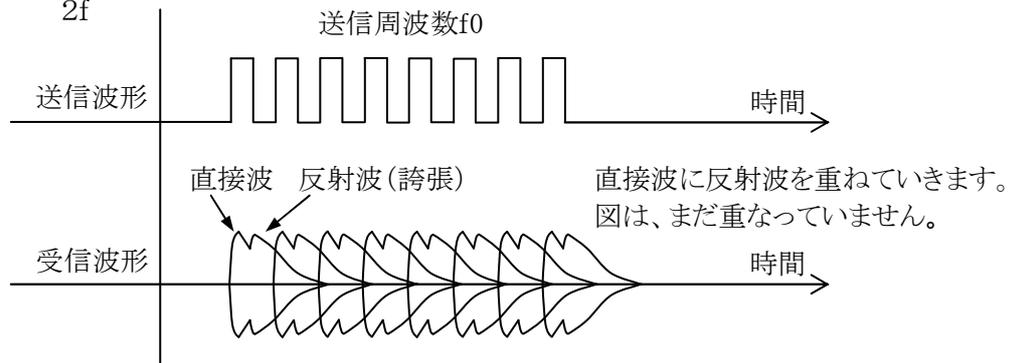
第一の手法後、第二の手法でより細かい分解能で、厚さ測定をします。

送信周波数 f_0 を▲、▼キーで変化させ、第一の手法で求めた周波数 $f_1 \pm 500\text{Hz}$ の範囲で、スペクトルが最大になる周波数を探します。

これは送信周波数 f_0 が反射波の戻り時間の逆数と同じになり、直接波に反射波が重なって、スペクトルが最大になる事を利用しています。

厚さは P.28「7-1 (2)測定原理」の式から下記の通りになります。

$$d = \frac{c}{2f}$$



項目	内容	
使用センサーと測定範囲(目安)	(送信) 厚さ小型センサー 厚さセンサー ひび割れ・音速センサー	(受信) 厚さ小型センサー : 40~150(mm) 厚さセンサー : 100~500(mm) 厚さセンサー : 500~1000(mm)
精度	±5% ※実際の音速で補正した場合	
測定モード	THICKNESS	
デジタル表示値の意味	mm ランプ点灯	μ SEC ランプ点灯
	1/送信周波数×音速【4000m/s で計算】×1/2 ※下記メモ欄「厚さ測定時の mm 表示」参照	
送信周波数	送信周波数調整の▲、▼キーで可変 1kHz~50kHz	
設定	通常測定:L-V ADJ =HI 側最大(12V) 送信にひび割れ・音速センサー使用時:L-V ADJ =中間(6V)	

厚さ測定時のmm表示

第二の手法において、送信(連続波の)周波数を変化させていますが、デジタル表示値は通常 mm 表示となっています。

これは周波数では感覚的に解りにくく、また現場で周波数→厚さ換算の面倒を省くため、音速 4000m/sの時の厚さとしてデジタル表示させているからです。

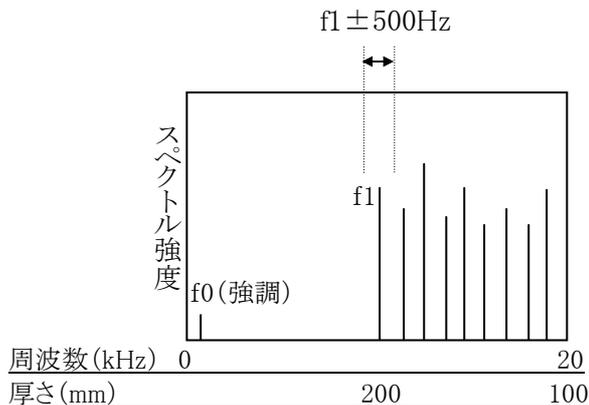
例) 2000 mmでは 1kHz、40 mmでは 50kHz を送信

換算式 : 厚さ=1/送信周波数×音速 4000m/s×1/2

(3)測定手順

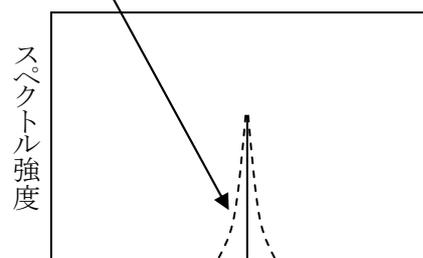
第一の手法の測定手順の続きとして説明します。

- ①FFTの周波数レンジを第一の手法で求めた f_1 を表示できる、最小のレンジに下げます。
これは、より細かい分解能で、スペクトルが最大になる送信周波数 f_0 を探するためです。
(例 $5\text{kHz} < f_1 < 9\text{kHz} \rightarrow 10\text{kHz}$ レンジ、 $9\text{kHz} < f_1 < 19\text{kHz} \rightarrow 20\text{kHz}$ レンジ)
- ②エルゾニックメーターの送信周波数調整の▼キーを押し、デジタル表示値(mm)を第一の手法で求めたおおよその厚さ(FFT補助目盛の読み値でも良い)まで下げます。
- ③FFTの画面ではスペクトルが1本となります。(2本の時には、周波数の低い方のスペクトル線を採用します)
- ④FFTの画面を見ながら▲、▼キーを押して、 $f_1 \pm 500\text{Hz}$ の範囲で送信周波数 f_0 を微調整し、スペクトルが最大になる周波数を探します。
- ⑤スペクトルが最大になる周波数が見つかったら、その時のデジタル表示値(mm)が、音速 4000m/s で換算した厚さとなります。
- ⑥実際の音速で補正する場合、下記の式から求めます。
真の厚さ $d(\text{mm}) = \text{測定値}(\text{mm}) \times [\text{実際の音速}(\text{m/s}) \div 4000(\text{m/s})]$



第一の手法の FFT スペクトル図

スペクトルの周波数変化による軌跡



第二の手法の FFT スペクトル図

※第二の手法で送信周波数を変化させても、スペクトルに変化がみられない、又はピークが左右に動くのみで、ピークの最大値が得られない時は、接触媒質は不足していないか、砂の介在はないか、斜めにセンサーが当たっていないか、加圧不足ではないかなどを調べてください。

送信周波数調整(▲、▼)キー

L-V コネクターから出力される低圧連続波の周波数を手動で調整するキーです。

▲、▼キーの操作方法

- (1) 押す度に 1mm ずつ変化します。
- (2) 押し続けると以下の動きをします。
 - ① 押し続けると、一の位が連続で変化します。
 - ② 一の位が 8 カウント変化しても押し続けていると、十の位が変化します。
 - ③ 十の位が 8 カウント変化しても押し続けていると、百の位が変化します。
 - ④ さらに押し続けた場合、百の位以上は 1 カウントずつ変化します。
 - ⑤ どの状態でも一度放すと、(1)へ戻ります。

SELECT キーで THICKNESS ランプを選択し直すと、表示は 2000mm に戻ります。

7-4 第三の手法(周波数スキャン)

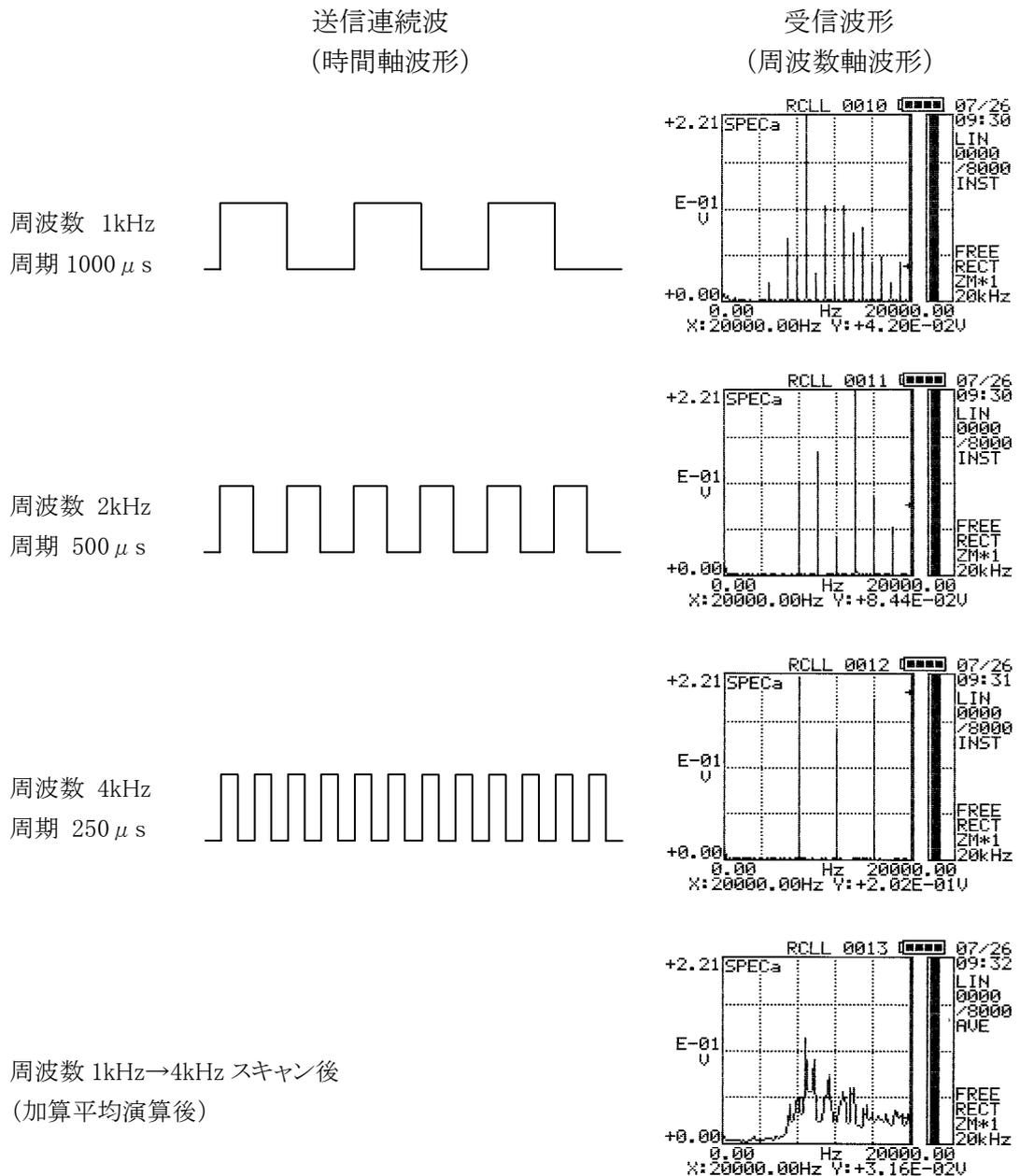
(1)概要

FFT で受信波を加算平均演算して、ピーク周波数から厚さを求めます。

厚さ 300 mm以下のコンクリートの厚さ測定や、厚さ以外の反射波を測定する場合(鉄筋かぶりや内在ひび割れ測定)に適用します。

送信周波数を 1kHz→4kHz まで、自動的に変化させながら、受信波を FFT で加算平均演算します。

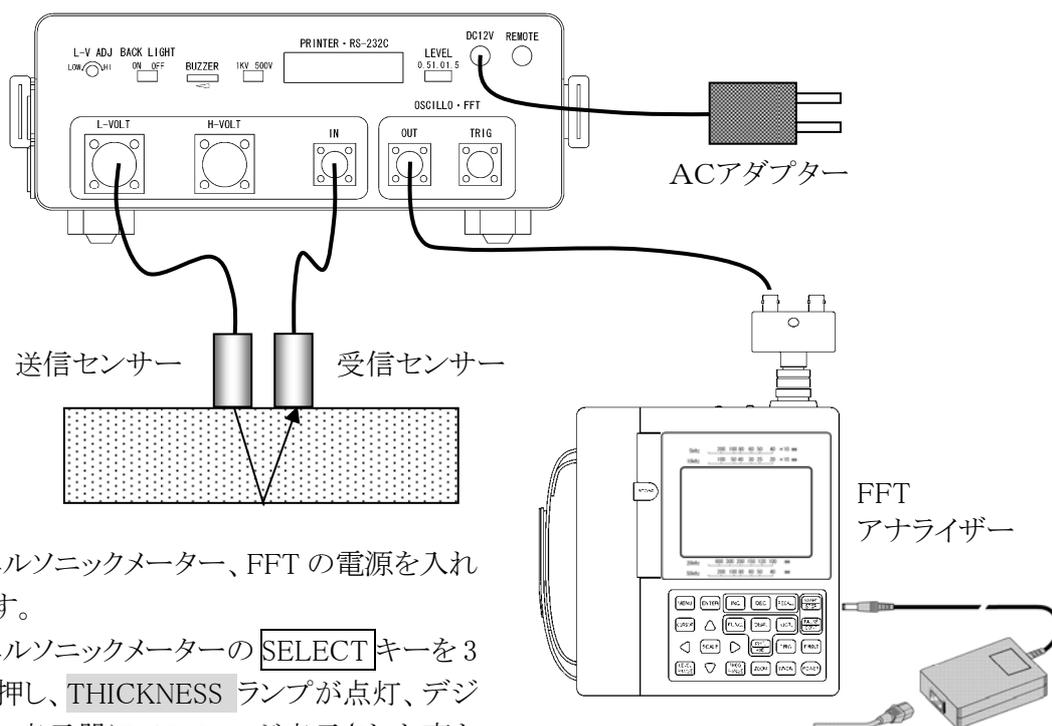
加算平均演算して得られた山形のスペクトル図のピークが、求める厚さです。



項目	内容	
使用センサーと測定範囲 (目安)	(送信) 厚さ小型センサー 厚さセンサー	(受信) 厚さ小型センサー : 40~150(mm) 厚さセンサー : 100~300(mm)
精度	±5% ※実際の音速を用いて厚さを算出した場合	
測定モード	THICKNESS	
デジタル表示値の意味	mm ランプ点灯	μ SEC ランプ点灯
	1/送信周波数×音速【4000m/s で計算】×1/2 ※P.31 メモ欄「厚さ測定時の mm 表示」参照	送信波の周期 (=1/送信周波数)
送信周波数	SCAN キーで自動変化 1kHz→4kHz	
設定	通常測定:L-V ADJ =HI 側最大(12V) 送信にひび割れ・音速センサー使用時:L-V ADJ =中間(6V)	

(2)測定手順

①厚さセンサー、AC アダプター、FFT をエルソニックメーターに接続します。



②エルソニックメーター、FFT の電源を入れます。

③エルソニックメーターの **SELECT** キーを 3 回押し、**THICKNESS** ランプが点灯、デジタル表示器に 2000 mm が表示された事を確認します。

④FFT で加算平均演算ができるよう設定します。

⑤送信と受信の厚さセンサーを同一面上に、センサー同士が接触しない間隔～センサー約 1 個分の間隔をおいて並べ、押し当てます。

⑥FFT の加算平均演算の START/STOP キーを押します。

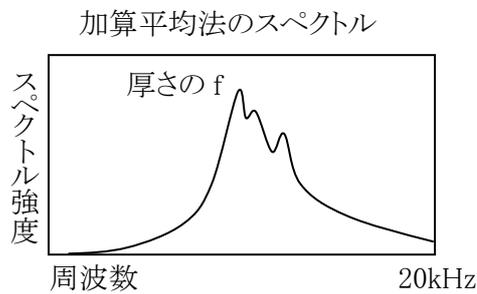
この操作で FFT の画面では、受信波を加算平均演算した結果が連続的に表示されます。

⑦同時に、エルソニックメーターの **SCAN** キーを押します。

この操作でデジタル表示値は連続的に減少(送信周波数は増加)していきます。

⑧表示値が 500 mm(送信周波数 4kHz)で静止(スキャン停止)したことを確認します。

- ⑨同時に、FFT の START/STOP キーを押して、加算平均演算を終了させます。
⑩その結果(加算平均のスペクトル)で解析を行ないます。
FFT 表示で低い周波数のピークfが求める厚さを示しています。



(例)
スペクトルのピーク値が 10.4kHz の時
音速 $c=4000$ (m/s)とすると、
 $d=c/2f$ より
測定値 $d=4000/2f=2000/10.4=192$ mm

その他のスペクトルについて

- fより低い周波数(左側)のスペクトル : 厚さより遠い部分からの反射波も小さく測定されることがあります。
fより高い周波数(右側)のスペクトル : 厚さより近い部分からの反射波を表しています。

7-5 第三の手法(繰り返し加振器)

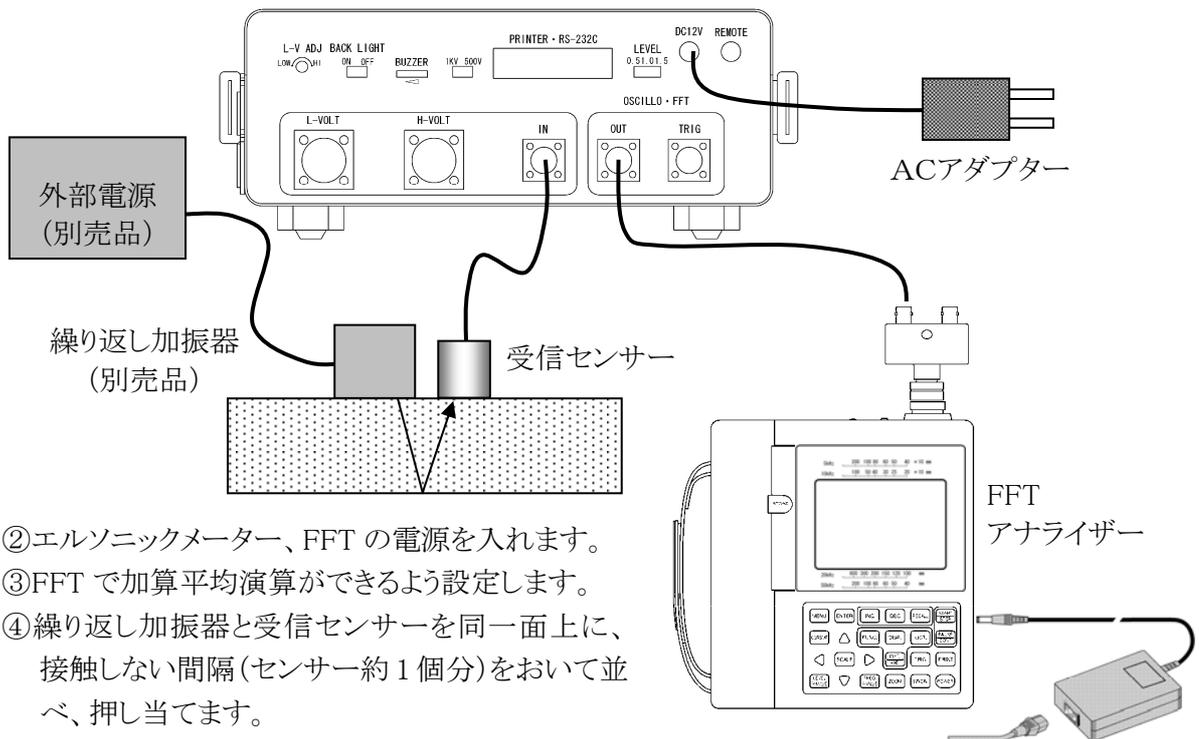
(1)概要

厚さ 300mm 以上の測定の場合、送信センサーの代わりに、繰り返し加振器を使用する事で、周波数のスキャンをせずに、第三の手法を行なうことができます。
打撃により、多数の周波数成分を一度に送信できるので、短時間で測定可能です。

項目	内容
使用センサーと測定範囲(目安)	(送信) (受信) 繰り返し加振器 厚さセンサー : 300~1000(mm) ~2000(mm)条件が良い時
精度	±5% ※実際の音速を用いて厚さを算出した場合
測定モード	選択しない(測定モードランプ全消灯)
送信周波数	—
設定	—

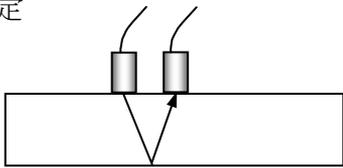
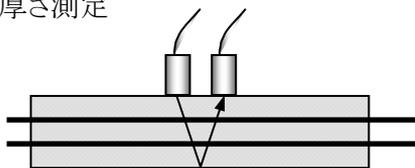
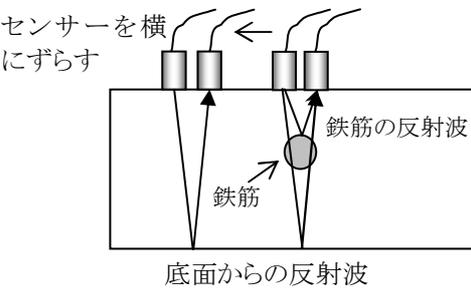
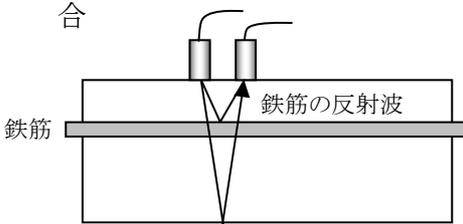
(2)測定手順

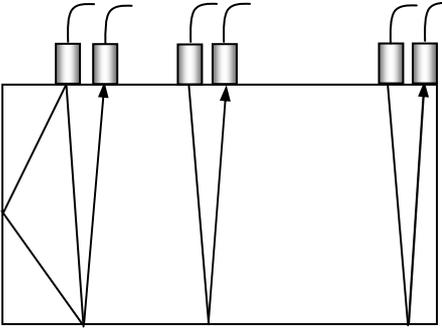
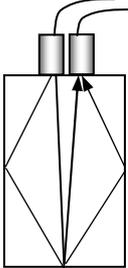
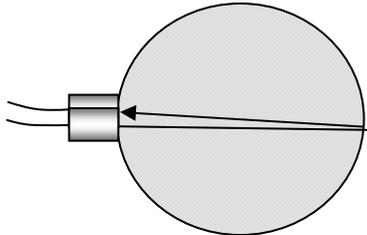
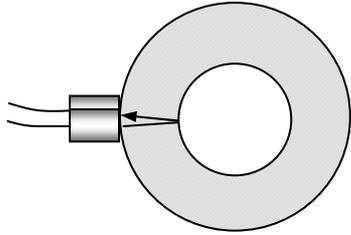
- ①厚さセンサー、ACアダプター、FFTをエルソニックメーターに接続します。
また、繰り返し加振器を外部電源に接続します。

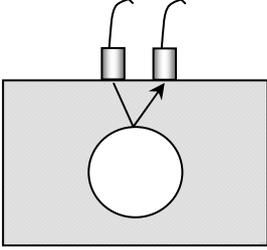
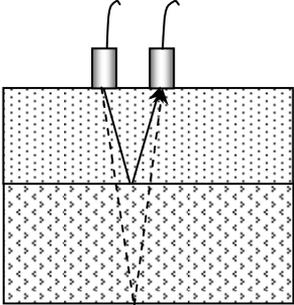
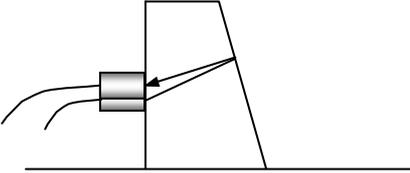
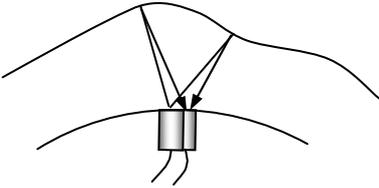
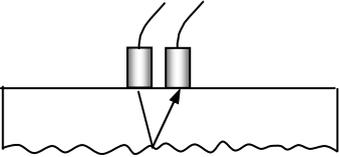


- ②エルソニックメーター、FFTの電源を入れます。
③FFTで加算平均演算ができるよう設定します。
④繰り返し加振器と受信センサーを同一面上に、接触しない間隔(センサー約1個分)をおいて並べ、押し当てます。
⑤繰り返し加振器の電源を入れます。
⑥同時に、FFTの加算平均演算のSTART/STOPキーを押します。この操作でFFTの画面では、フーリエスペクトルを加算平均した結果が連続的に表示されます。
⑦FFT画面のスペクトルに変化が見られなくなったら、START/STOPキーを押して、加算平均演算を終了させ、繰り返し加振器の電源を切ります。
⑧FFT表示で低い周波数のピークfが求める厚さを示しています。

7-6 各種状況での厚さ測定と結果の見方

状況と反射波	説明
<p>①広い床盤やトンネルの広い面の厚さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 表裏とも凹凸が無く、広い平面での厚さ測定は問題なく測定可能です。 反射波は裏の対向面(厚さ相当)からのものです。
<p>②鉄筋のある広い構造物や大きな柱の厚さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 厚さセンサーでは、鉄筋のスペクトルは多数のスペクトル中にあり、判別できず、床盤の厚さが最も低い周波数として測定されます。 鉄筋までの距離を測定する時には小型厚さセンサーを使用します。その場合は、厚い床盤の厚さ測定はできません。
<p>③鉄筋のかぶり厚さと位置の測定</p> <p>(a) 鉄筋に直角にセンサーを並べた場合</p> <p>センサーを横 にずらす</p>  <p>(b) 鉄筋に平行にセンサーを並べた場合</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 直径 22 mm の鉄筋では、深さ 70 mm ~ 90 mm まで測定できます。 鉄筋測定の場合、厚さ小型センサーを用いてください。 鉄筋に対してセンサーを並べる位置が直角でも平行でも測定できます 少しずつセンサー位置をずらして測定をおこなうことで鉄筋位置がわかります。 <p>注) 厚さセンサーでは、コンクリートの厚さは測定できますが、鉄筋は測定できません。</p>

状況と反射波	説明
<p>④床盤の端部の厚さ測定</p>  <p>端面反射波 厚さの反射波</p>	<ul style="list-style-type: none"> 床盤の端部の厚さ測定では、底面で反射した波以外に、端面に再反射した波も測定されます。 これらは厚さに相当するスペクトルより低い周波数で、小さなスペクトルとして観測されます。基本的には端部の測定は避けた方が無難です。 完全な端部であれば、この再反射波の問題はありませんが、表面付近の材料の不均一さが影響します。
<p>⑤厚さより幅の狭い構造物、丸棒型のテストピースの長さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 長さの短い柱やコンクリートのテストピースの長さ測定では、側面の反射波と底面の反射波が干渉して分離できず、長さは少し(状況により10%~30%)長く測定されます。 コンクリートの厚さ測定用試験体を製作するときは、幅>厚さ×3を目安としてください。
<p>⑥丸い反射面の直径測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 測定点に対し直角な面までの最短距離(直径)が測定されます。
<p>⑦電柱やパイルの厚さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 反射波は内側の対向面からのものです。

状況と反射波	説明
<p>⑧コンクリート中のパイプのかぶり厚さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 空洞の表面までの距離が測定できます。 • 深い位置にある小さな空洞の測定は困難です。
<p>⑨ビニールシートで縁切りされた二層のコンクリートの厚さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • ビニールシートで縁切りされた上側までの厚さが測定できます。 • ビニールシート部分の密着が良い時には、下側までの合計厚さが測定できる場合もあります。
<p>⑩傾斜壁などの斜めな対向面の厚さ測定(裏面と表面とが平行でないとき)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 測定面と平行でない反射面までの厚さ測定では、測定点に対し直角な面までの最短距離が測定されます。
<p>⑪背面に大きな凹凸がある構造物(一部のトンネルなど)の厚さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • ⑩と同じ理由により、FFT スペクトルは複数本表示される場合があります。
<p>⑫底面にくり石などの小さな凹凸のある床盤などの厚さ測定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 測定は可能ですが、乱反射のためスペクトルは小さくなります。

第8章 内部欠陥の検出

透過音速や厚さ測定の手法を用いて、コンクリート構造物内部の品質を調べることができます。

8-1 透過音速測定を用いる

(1) 検出方法

調査部と健全部の測定結果を比較することによって健全性を判断します。

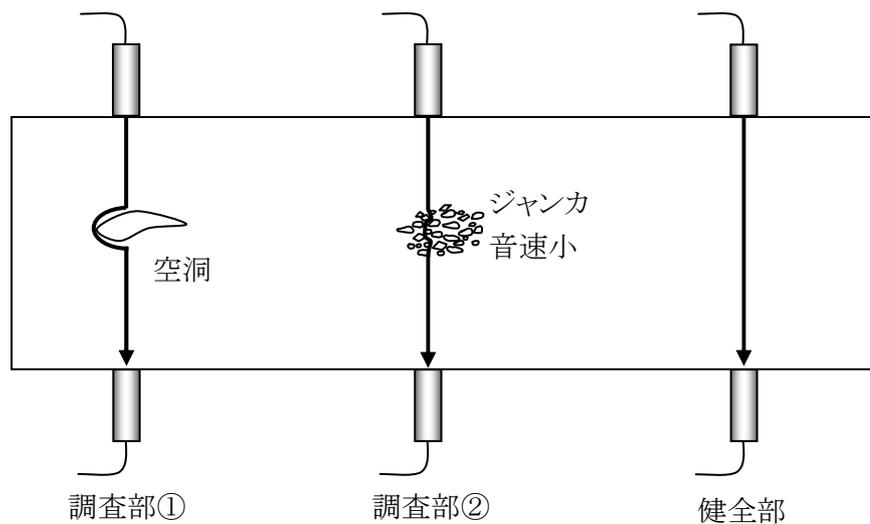
調査部: 欠陥が疑われ調査対象となる部分

健全部: 調査部と配筋、形状、打設時期などが同一条件である箇所のうち、健全と想定される部分

これら両方の超音波伝搬時間を測定(調査部と伝搬距離が異なる場合は、音速に換算)し、比較します。

下図は、受信センサーに最初に到達した波の伝搬経路を模式的に表した図です。

空洞、ジャンカなどがあった場合は、下図調査部①のように超音波が迂回したり、調査部②のように音速が遅い箇所を通過するため、健全部に比べて伝搬時間が長く(音速が遅く)なります。



超音波伝搬経路の模式図

(2) 注意点

透過音速測定を用いる場合は、内部欠陥位置までの距離推定はできません。

内部欠陥位置までの距離を測定する場合は、次頁を参照して下さい。

8-2 厚さ測定を用いる

(1) 検出方法

透過音速測定を用いる場合同様に、健全部のスペクトルとの比較を行ないます。

下図は、各状況での厚さに相当する反射波伝搬経路を模式的に表した図です。

空隙(空洞、剥離、ジャンカ)が、軽微な場合(下図調査部①)

超音波が空隙を迂回してコンクリート背面で反射されるため、反射時間が健全部と比較して長くなります。内部欠陥の有無は分かりますが、欠陥までの深さを求めることが出来ません。

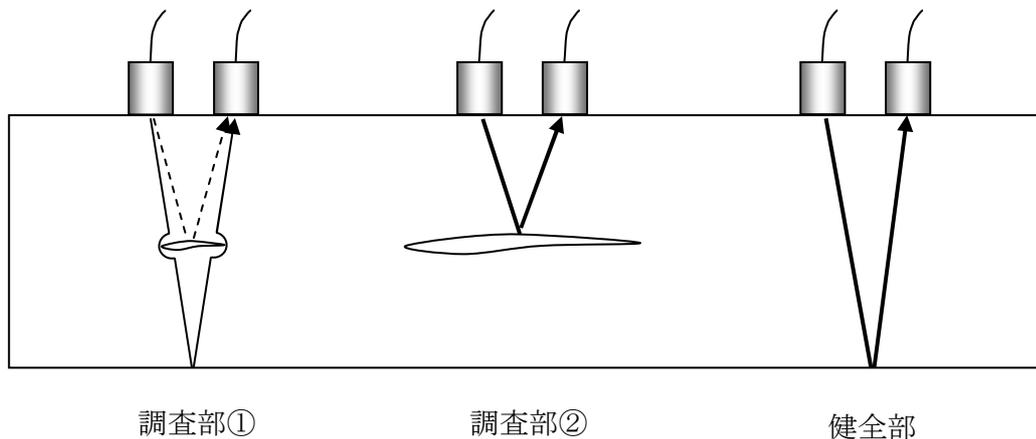
・・・健全部に比べて周波数 f_1 が低く、測定厚さ d が大

※空隙表面からも反射波があるときは、 f_1 より高い周波数のスペクトルを判別でき、空隙表面までの深さを求められる場合があります。

空隙(空洞、剥離、ジャンカ)が、顕著な場合(下図調査部②)

超音波が空隙表面で反射されるため、空隙表面までの深さ(厚さ)が求められます。

・・・健全部に比べて周波数 f_1 が高く、測定厚さ d が小



反射波伝搬経路の模式図

第9章 周辺機器との接続

9-1 印字プリンター

(1) 用途

ひび割れ深さ測定(デジタル法、近距離迂回波法)、及び音速測定時のデジタル表示値印刷

(2) 製品概要(推奨品)

メーカー : 株ミツトヨ

型式 : DP-1VR

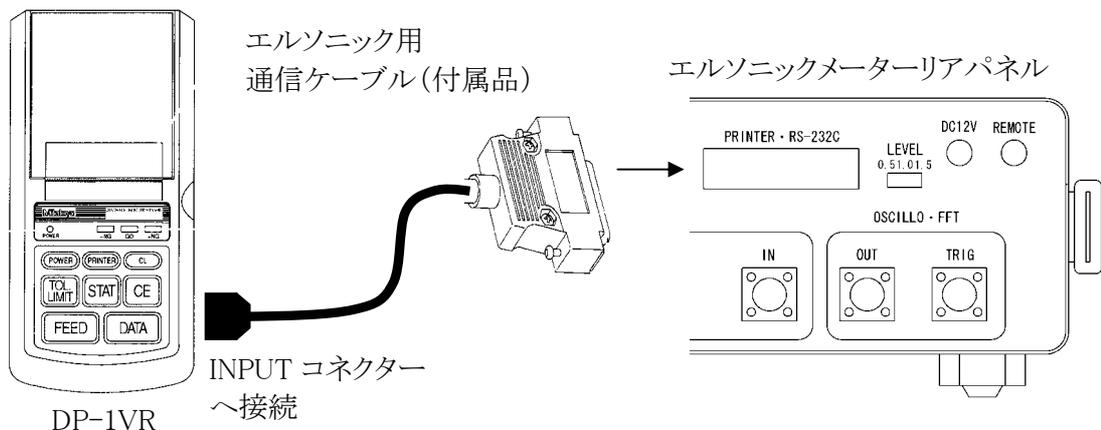
付属品 : エルソニック用通信ケーブル 1本、ACアダプター 1個、記録紙 1巻、
取扱説明書 1部、クイックリファレンス 1部、ストラップ 1本

仕様 : 詳細はDP-1VRの取扱説明書を参照してください。

項目	内容	備考
印字方式	ラインサーマル 384dot	
印字速度	0.5 秒/行	ACアダプター使用時
印字行数	12000 行/1巻	
電源	ACアダプター(6V、500mA) 単三アルカリ乾電池 4本	AC100V±5%以内 Ni-MHでも可
使用温度	0~45℃/10~45℃	ACアダプター/乾電池
サイズ	縦 201.1×横 94×厚 75.2mm	
質量	390g	本体のみ

(3) 接続

- エルソニックメーターのリアパネルの PRINTER・RS-232C コネクターと DP-1VR をエルソニック用通信ケーブル(DP-1VR に付属)で接続します。
- DP-1VR は、電池、ACアダプターどちらでも使用できます。



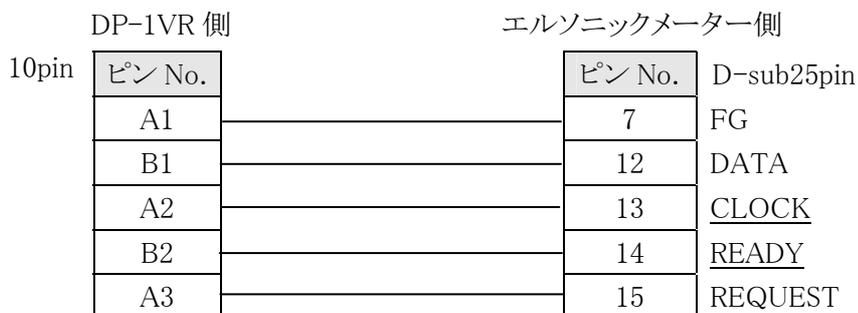
(4) 操作方法

- 印字プリンターの **POWER** キーを押して電源を入れ、**POWER** ランプの点灯を確認します。
- エルソニックメーターの **PRINT** キー又はフットスイッチ (別売品) を押すと、デジタル表示器の値が印字されます。
- この時、エルソニックメーターの表示が mm の場合、数字のあとに“mm”が印字されますが、 μ SEC の場合、数字のあとに何も印字されません。
- DP-1VR の電源を OFF するには、**POWER** キーを 2 秒間押し続けてください。
※詳細は DP-1VR の取扱説明書を参照ください。

注) 測定中にエルソニックメーターの **μ SEC/mm** キーを押すと、“* NO GAGE *”と印字され、エラーとなります。

この場合は、DP-1VR の **CL** キーを押し、エラー解除してください。

(5) 通信ケーブル結線図



9-2 FFT アナライザー

(1)用途

厚さ測定、及び内部欠陥検出時の受信波周波数分析

(2)製品概要(推奨品)

メーカー : リオン(株)

型式 : SA-78

付属品 : BNCケーブル 1本、ACアダプター 1個、単2形アルカリ乾電池 4本、2ch
入力変換アダプター 1個、コンパクトフラッシュ 1枚、収納ケース 1個、簡
易取扱説明書 1部、CD-ROM 版取扱説明書(データモニタソフト付) 1枚

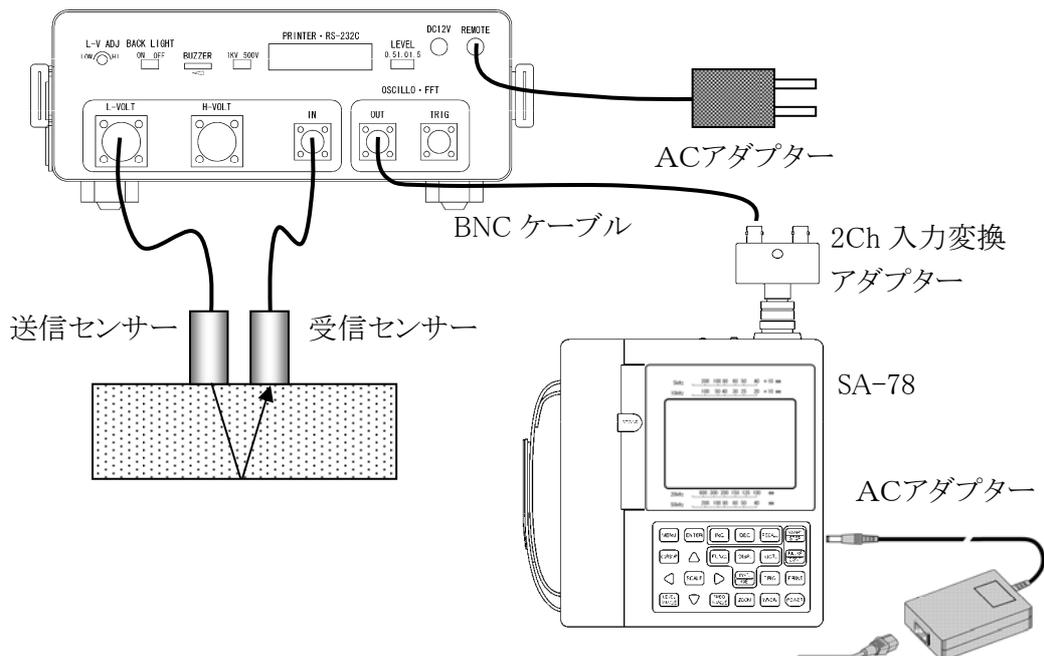
設定 : P.47「(6) 厚さ測定のための設定」を参照してください。

仕様 : 詳細は SA-78 の取扱説明書を参照してください。

項目	内容	備考
使用温度	0～+40℃	
使用湿度	20～90%RH	結露のないこと
電源	ACアダプターまたは単2形乾電池4本	
寸法	幅156×高174×厚45.7mm	突起物除く
質量	約900g	乾電池含む

(3)接続

- 下図のようにエルソニックメーターの受信信号(裏面の OUT コネクター)と SA-78 の 2ch
入力変換アダプター(Ach)を BNC ケーブル(SA-78 に付属)で接続します。
- SA-78 は、電池、AC アダプターどちらでも使用できます。

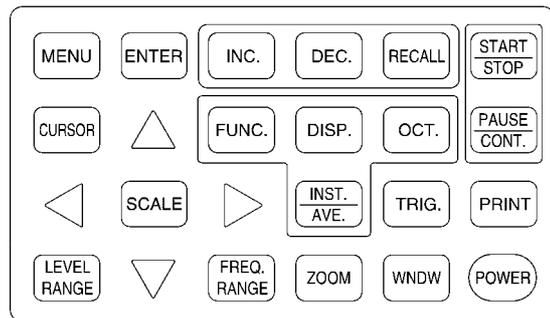


(4) 主なキー操作

以下に厚さ測定で使用する主なキー操作について説明します。

詳細な機能、操作方法については SA-78 の取扱説明書を参照してください。

SA-78 の操作パネルキー



①電源

POWER : 2 秒以上押し続けると、電源が ON,OFF します。

②表示画面および測定条件設定

FUNC. : 関数設定ウインドウを開きます。

▲,▼キーで SPECa / SPECb を選択してください。

再度 FUNC. キーを押して設定ウインドウを閉じます。

DISP. : 押す毎に、関数設定ウインドウで選択された2つの関数の表示切替を行ないます。SPECa の 1 グラフ表示にしてください。

MENU : メインメニュー画面に入ります。

さらに▲,▼キーで項目を選択、ENTER キーを押すと各メニュー画面に移行し、測定条件などの設定を行ないます。

③測定開始、停止

INST./AVE. : グラフに表示するデータを切り替えます。

INST. は瞬時値データで第一、第二の手法に使用します。

AVE. は加算平均演算データで第三の手法に使用します。

START/STOP : AVE. モードのとき加算平均演算の開始/停止を行ないます。

PAUSE/CONT. : 測定画面表示中に押すと、グラフ中のデータが一時停止します。

加算平均演算中に押すと、演算が一時停止します。

再度押すと、再開されます。

④データの保存、読み出し、印字

STORE : メモリーカード(コンパクトフラッシュカード)に、測定データ、設定条件や日時などを保存します。

メモリーカードに保存されたデータはFFTで表示することができるほか、ファイルの形式がCSV形式であるため、汎用の表計算ソフトウェアを使用してパソコン上で処理を行うことが可能です。

RECALL: メモリーカードにストアされたデータを読み出す時に押します。再度押すと測定画面に戻ります。

INC. : 測定時には、ストア先のアドレス番号を変更(+1)します。

読み出し時には、ストアされているアドレス番号を変更(+1)します。

DEC. : 測定時には、ストア先のアドレス番号を変更(-1)します。

読み出し時には、ストアされているアドレス番号を変更(-1)します。

PRINT : 画面に表示された測定グラフやメニュー画面などを外部に接続したプリンター DPU-414(別売品)に印字します。

⑤ X 軸の表示範囲切替

FREQ.RANGE : 設定ウインドウを開きます。

◀, ▶ キーで周波数レンジの設定値 (5kHz、10kHz、20kHz、50kHz) を選択します。

再度 FREQ.RANGE キーを押して設定ウインドウを閉じます。

下表はコンクリート音速 4000m/s で換算した場合の各周波数レンジと適用厚さの目安です。

周波数レンジ	適用厚さの目安
50kHz	40～150mm
20kHz	100～300mm
10kHz	200～500mm
5kHz	400～2000mm

⑥ Y 軸の表示範囲切替

SCALE : 押すとスケール変更可能状態となります。

▲, ▼ キーで Y 軸表示領域を拡大、縮小します。

LEVEL RANGE : 設定ウインドウを開きます。

◀, ▶ キーでレベルレンジの設定値 (+20dB、+10dB、0dB、-10dB) を選択して、スペクトル強度を調整します。

再度 LEVEL RANGE キーを押して設定ウインドウを閉じます。

⑦ その他

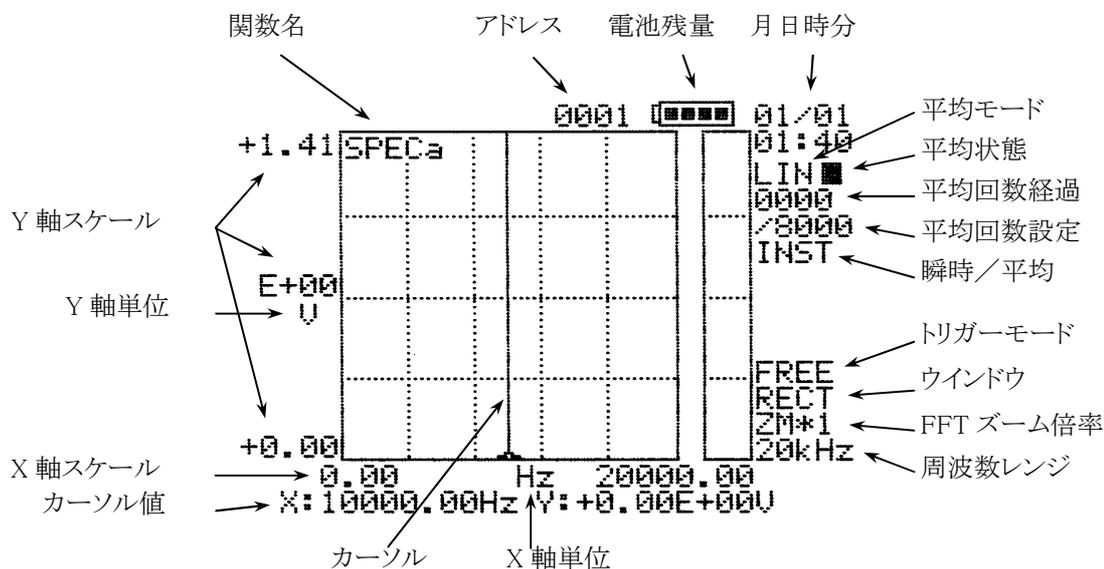
CURSOR

: 1 回押す毎に、カーソル 1 本、カーソル 2 本 (個別移動)、カーソル 2 本 (連動移動)、カーソル 2 本 (個別移動、1 本はオーバーオール値) の順に切り替わります。

個別移動時は ▲, ▼ キーで移動対象カーソルの選択 (切り替え) をおこないます。

◀, ▶ キーでグラフ内に表示された実線のカーソルが移動し、カーソル位置の X 値と Y 値が表示されます。

(5) 測定画面の説明



(6) 厚さ測定のための設定 (東亜エルメス出荷時設定)

※製造メーカー(リオン)の初期設定(工場出荷時設定)とは二重下線部分が異なります。

キー設定

INC.DEC	: アドレス0001
FUNC.	: <u>SPECa / SPECb</u>
DISP.	: <u>1 グラフ (SPECa)</u>
OCT.	: オクターブ合成をしない
INST./AVE.	: INST.
LEVEL RANGE	: <u>20dB</u>
FREQ. RANGE	: 20 kHz
ZOOM	: ×1
WNDW	: RECT
TRIG.	: FREE (OFF 設定)

MENU 設定

INPUT メニュー (Ach & Bch)

COUPLING	: AC
CCLD	: OFF
LPF	: OFF
HPF	: <u>100Hz</u>

ANALYSIS メニュー

CROSS-SPEC	: ON
REF CH	: Ach
AVERAGE DOMAIN	: FREQ
AVERAGE MODE	: LIN
AVERAGE TIMES	: <u>8000</u>

DISPLAY(1)メニュー

SPEC OPE	: OFF (Ach & Bch)
FREQ WEIGHT	: OFF (Ach & Bch)
PARTIAL OVER ALL	: OFF

DISPLAY(2)メニュー

Y-AXIS	: <u>LIN</u>
Y-VALUE	: <u>0-PEAK</u>
PEAK LIST	: OFF

CALIBRATION メニュー

CALIBRATION MODE : OFF
TRANSFER VALUE : CALIBRATION MODE がLIN の場合
1 EU=1 V(Ach & Bch)
CALIBRATION MODE がdB の場合
0 dB EU=0 dBV(Ach & Bch)
REFERENCE VALUE : 0 dB EU=1 EU(Ach & Bch)

TRIGGER メニュー

TRIGGER MODE : SNGL
TRIGGER SOURCE : INT
TRIGGER POSITION : +0
TRIGGER CH : Ach
TRIGGER SLOPE : +
TRIGGER LEVEL : +8 / 16

STORE メニュー

CARD INITIALIZE : OFF
STORE FOLDER : STRBLK1
DISPLAY FILES : OFF
SELECT FILE : メモリーカードに存在するFILE による
DELETE FILE : OFF

SETUP MEMORYメニュー

SETUP MEMORY No. : 1
SAVE : OFF
LOAD : OFF
DELETE : OFF

DATE / TIME メニュー

DATE : 未設定
TIME : 未設定

9-3 FFT 用プリンター

(1)用途

FFT 画面の印刷

(2)製品概要(推奨品)

メーカー : セイコーインスツル(株)

型式 : DPU-414

付属品 : RS-232C ストレートケーブル 1本、AC アダプター 1個、
バッテリーパック 1個、記録紙 1巻、取扱説明書 1部

仕様 : 詳細は DPU-414 の取扱説明書を参照してください。

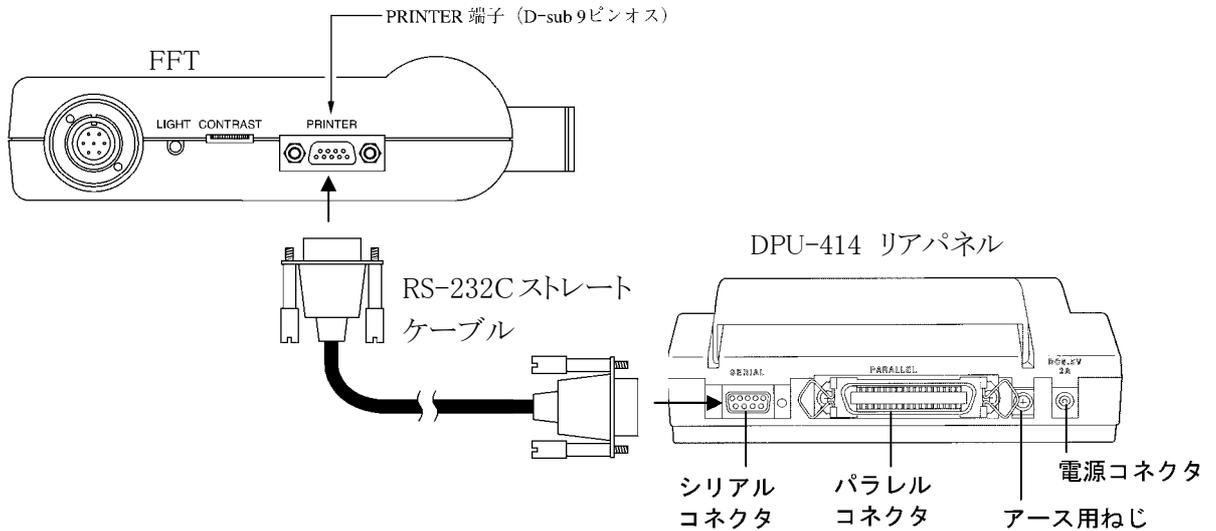
項目	内容	備考
印字方式	感熱シリアルドット方式	
印字速度	最高 52.5cps	普通文字
電源	AC アダプター(6.5V、2A) バッテリーパック(Ni-MH)	
使用温度	0~40℃	
使用湿度	30~80 %RH	結露なきこと
サイズ	幅 170×奥行 160×厚 66.5mm	
質量	580g	バッテリーパック含まず

設定 : 出荷時設定

	ソフトウェア DipSW		
	SW-1	SW-2	SW-3
1	OFF	ON	ON
2	ON	ON	ON
3	ON	ON	OFF
4	OFF	ON	ON
5	ON	ON	OFF
6	OFF	ON	ON
7	ON	ON	ON
8	ON	ON	ON

(3) 接続

- FFT (SA-78) と DPU-414 を RS-232C ストレートケーブル (DPU-414 に付属) で接続します。
- DPU-414 はバッテリー、AC アダプターどちらでも使用できます。



※FFT (SA-78) の取扱説明書 P.24 に「付属の変換アダプターを使用」とありますが、エルソニック用の DPU-414 には、変換アダプターは付属されていません。
 両端が 9 ピンの RS-232C ストレートケーブルを付属しているため、変換アダプターは不要です。

(4) 操作方法

- FFT (SA-78)、DPU-414 の電源を ON します。
 - DPU-414 のオンラインランプの点灯を確認します。
 - FFT (SA-78) の **PRINT** キーを押すと、表示画面のハードコピーを印刷できます。
- ※詳細は DPU-414 の取扱説明書を参照してください。

(5) 接続ケーブル結線図 (ストレート)

D-sub9pin	ピン No.		ピン No.	D-sub9pin
	1	—————	1	
	2	—————	2	
	3	—————	3	
	4	—————	4	
	5	—————	5	
	6	—————	6	
	7	—————	7	
	8	—————	8	
	9	—————	9	
	フレーム	—————	フレーム	

9-4 オシロスコープ

(1) 用途

送信トリガー出力、及び受信信号のアンプ出力波形の観測

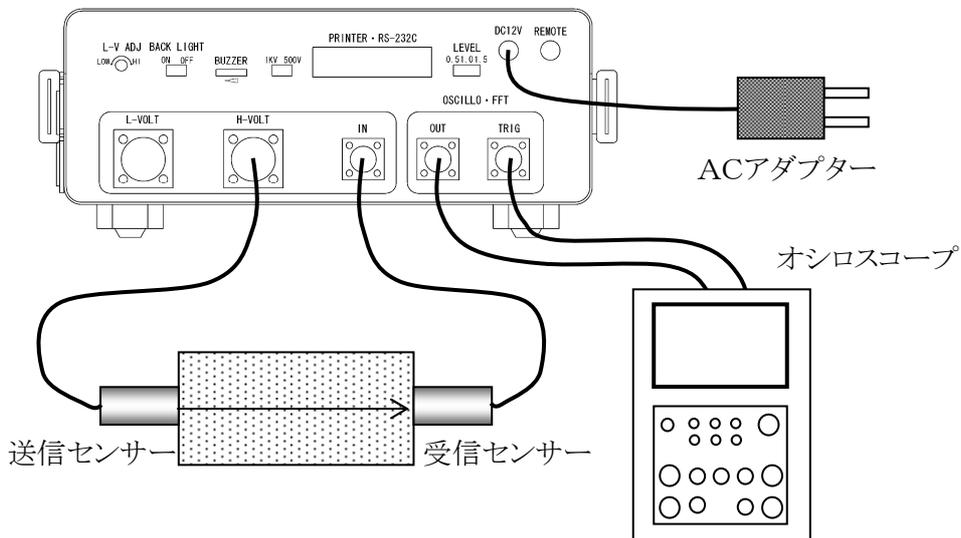
(2) 製品概要

メーカー、型式 : 以下の仕様を満足していれば、特に指定はありません
仕様 : 2ch、20M サンプル/s 以上を推奨

(3) 接続

下図のように、エルソニックメーターのトリガー出力 (TRIG)、アンプ出力 (OUT) コネクターとオシロスコープを BNC ケーブル (弊社から購入時にはオシロスコープに付属) で接続します。

(接続例: 音速測定時)



(4) 設定

①トリガーの設定

トリガーソース : TRIG 信号を入力したch

SWEEP : NORMAL

SLOPE : +

COUPLING : DC

トリガーレベル: 300mV 前後

②電圧、時間軸の設定 (目安)

電圧軸 : 2V/DIV

時間軸 : 10 μ s/DIV ~

※操作方法は、オシロスコープの取扱説明書を参照してください。

9-5 フットスイッチ

(1)用途

印字プリンター、又は PC 接続時にデジタル表示器の表示値を RS-232C 通信で出力
※エルソニックメーターの **PRINTER** キーと同じ機能です。

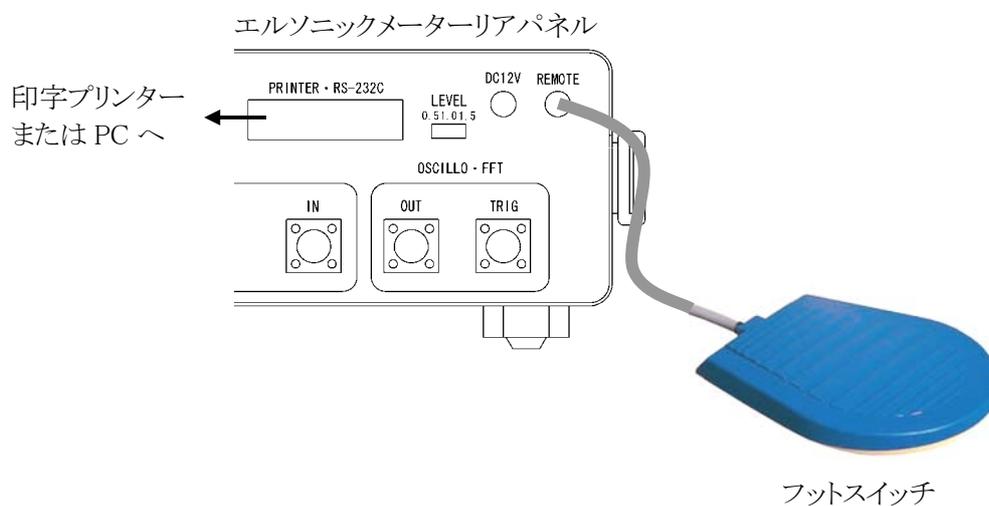
(2)製品概要(推奨品)

メーカー : 東亜エルメス(株)
付属品 : なし
仕様 :

項目	内容
接点構成	1a
動作	モーメンタリー
動作力	9.8(N)
使用温度	-5~40℃
使用湿度	85 %RH 以下
耐電圧	AC500V/min
寸法	縦 121×横 96.5×厚 13.5mm
質量	190g

(3)接続

リアパネルの REMOTE コネクターにフットスイッチを接続します。



(4)操作方法

- ・測定値が安定したら、フットスイッチを押します。
- ・エルソニックメーター(リアパネルの PRINTER・RS-232C コネクター)から印字プリンター、又は PC へデータが送信されます。

9-6 パソコン(RS-232C)

(1)用途

外部パソコン(以下:PC)へのデジタル表示値の読み込み、及びPCからの測定モード切替

(2)接続

エルソニックメーターの PRINTER・RS-232C (D-sub25ピン)コネクタとPCのRS-232CポートをRS-232Cクロスケーブル(エルソニックメーターに付属)で接続します。

(3)RS-232C 通信パラメータ

パラメータ	設定値
転送方式	調歩同期方式
ボーレート	2400
データ長	8bit
ストップビット長	1bit
パリティチェック	なし

(4)通信プロトコル

・PCからのデータ要求(ハンドシェイク:有り)

PCからの送信	エルソニックの返信
“S”+CRLF	***.us
“M”+CRLF	***mm

・PCからの測定モード切替(ハンドシェイク:無し)

PCからの送信	エルソニックの測定モード
“C”+CRLF	CRACK
“T”+CRLF	TIME
“H”+CRLF	THICKNESS

・エルソニックからのデータ転送(ハンドシェイク:無し)

エルソニックでの操作	PCへの送信
PRINTERキーを押す	LCD表示器の表示(***.usまたは***mm)

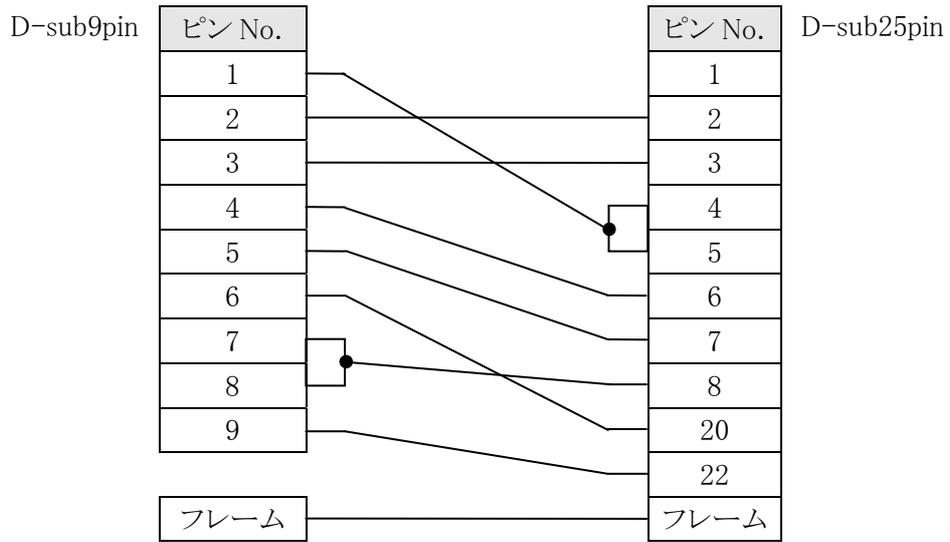
(5)ELSONIC-Excel 読み込みサンプルプログラム

エルソニックメーターに付属しています。

RS-232Cクロスケーブルを接続し、PRINTERキーを押すだけで、デジタル表示値をExcel上に表示できます。

詳細はサンプルプログラムに付属の操作手順を参照してください。

(6)RS-232C ケーブル結線図(クロス)



第10章 仕様

10-1 仕様

測定内容	ひび割れ深さ測定	音速測定	厚さ測定
測定範囲 (目安)	5~30mm (ひび割れ小型センサー) 30~500mm (ひび割れ・音速センサー) 400~1500mm (ひび割れ強力センサー)	0.1~999.9 μ s (デジタル表示)	40~1000mm ~2000mm ※条件が良い時
測定精度	± 5 mm (深さ 5~30 mmの平坦面) ±10 mm (深さ 30~150mm の平坦面) ±10 % (深さ 150~1500mm の平坦面) ※ランプ法で測定した場合	長さ 250 mmで±0.3 μ s ※同一コンクリート面での繰り返し精度	±5% ※実際の音速を用いて厚さを算出、または補正した場合
許容使用条件	温度:0~+40℃ 湿度:80%RH 以下(但し、結露なきこと)		
電源	AC アダプター(AC100V 50/60Hz、付属品)、または単3形乾電池 8本(付属品)、または外部電源(別売品) 電源電圧範囲:DC10.8~15.0V 消費電流:約 0.5A(ひび割れ・音速センサー接続時の CAL 操作、H-VOLT 高圧パルス 1KV、バックライト ON、ブザー音量最大、RS232C 通信、定格電圧 12V 時)		
寸法	エルソニックメーター:幅 240×高 105×奥行 245mm センサー他の寸法は P.59「10-4 外形寸法図」を参照してください		
質量	エルソニックメーター:3.2 kg、ひび割れ・音速センサー:0.4kg、ひび割れ小型センサー:0.2kg ひび割れ強力センサー:0.8kg、厚さセンサー:0.7kg、厚さ小型センサー:0.3kg、繰り返し加振器:0.5kg、FFT アナライザー:840g		

※FFT アナライザー、及び別売品の仕様は「第9章 周辺機器との接続」の各製品記載部分(外部電源は P.9)、または各取扱説明書を参照してください。

10-2 超音波センサーの種類と用途

ひび割れ深さの測定と厚さの測定とではセンサーが異なります。

センサー名・寸法・外観	用途	公称周波数	特徴・備考
ひび割れ・音速センサー φ20(振動面)×L125 mm 	ひび割れ深さ測定 ひび割れ深さ:おおよそ30~500 mmに使用 音速測定 厚さ測定 厚さ:おおよそ500~1000mmの送信センサーに使用	28 kHz	<ul style="list-style-type: none"> 出力が大 透過性大 CAL値 約13.0 μs
ひび割れ小型センサー φ12(振動面)×L60 mm 	ひび割れ深さ測定 ひび割れ深さ:おおよそ5~30 mmに使用	200 kHz	<ul style="list-style-type: none"> 出力小 透過性小 CAL値 約0.4 μs
ひび割れ強力センサー φ35(振動面)×L95.5 mm 	ひび割れ深さ測定 ひび割れ深さ:おおよそ400~1500 mmの送信センサーに使用 音速測定 伝搬距離の長い構造物に使用	5 kHz	<ul style="list-style-type: none"> 出力が極めて大 送信用 受信センサーには、ひび割れ・音速センサーを用いる CAL値 約10.3 μs
厚さセンサー φ28.5(振動面)×L73 mm 	厚さ測定 厚さ:おおよそ100~500 mmに使用	1~500 kHz 広帯域	<ul style="list-style-type: none"> 出力小
厚さ小型センサー φ24(振動面)×L67 mm 	厚さ測定 厚さ:おおよそ40~150 mmに適用	1~500 kHz 広帯域	<ul style="list-style-type: none"> 出力小

10-3 機器構成

セット名【型式】 測定項目	構 成					
	製 品 名	型 式	付 属 品 等	数 量		
エルソニック 【ESI/P-10】 ひび割れ深さ測定 音速測定	標準 構成 成品	エルソニックメーター	ESI-10	取扱説明書	1 台	
		ひび割れ・音速センサー	ESP-10	送・受信	1 組	
		AC アダプター			1 個	
		ケース、測定備品		ケース、RS-232C クロスケーブ ル、サンプルプログラム CD、L 形中継コネクタ (BNC、N) 各 1 ヶ、単 3 形アルカリ乾電池 8 本、接触媒質 (グリース)、ブラ シ、スクレーパー、折尺	1 セット	
	別 売 品	ひび割れ小型センサー	ESP-11	送・受信	1 組	
		ひび割れ強力センサー	ESP-12	送信のみ	1 本	
		印字プリンター	DP-1VR	エルソニック用通信ケーブル、 AC アダプター、記録紙、取扱 説明書、クイックリファレンス、ス トラップ	1 セット	
		オシロスコープ		BNC ケーブル 2 本	1 セット	
		試験棒 (音速対比用)		アクリル製	1 本	
		テストピース (模擬ひび割れ)		コンクリート製	1 個	
		外部電源	SG-1000	エルソニック用電源ケーブル、 車内 (12V) 充電用コード、家庭 用充電アダプター、携帯用ショ ルダーバッグ	1 セット	
		センサー用延長ケーブル		BNC 又は N 型コネクタ付	1 本	
		フットスイッチ			1 個	
		エルソニックSP 【ESI/P-10S】 ひび割れ深さ測定 音速測定 + 厚さ測定	標準 構成 成品	エルソニック (セット名)	ESI/P-10	
	厚さセンサー			ESP-15	送・受信	1 組
	厚さ小型センサー			ESP-16	送・受信	1 組
	FFT アナライザー			SA-78	BNC ケーブル、AC アダプタ ー、単 2 形アルカリ乾電池、 2ch 入力変換アダプター、コン パクトフラッシュ、収納ケース、 簡易取扱説明書、CD-ROM 版取扱説明書 (データモニタソ フト付)	1 セット
	別 売 品		プリンター (FFT 用)	DPU-414	RS-232C ストレートケーブル、 AC アダプター、バッテリーパッ ク、記録紙、取扱説明書	1 セット
繰り返し加振器			ESP-20	送信のみ	1 台	

※上表において、付属品名のあとに数量記載がないものは、すべて数量 1 です。

ひび割れ深さ、音速測定の設定 (エルソニック: ESI/P-10)

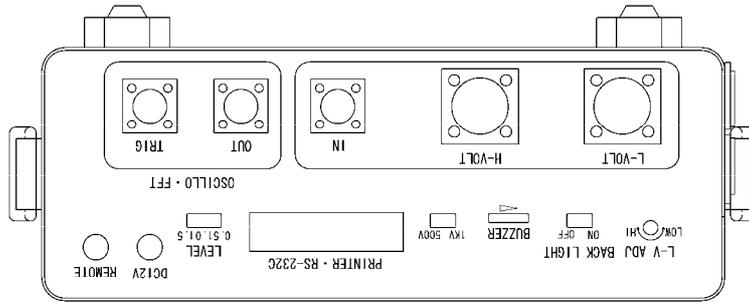


ひび割れ深さ、音速、厚さ測定の設定 (エルソニック SP: ESI/P-10S)

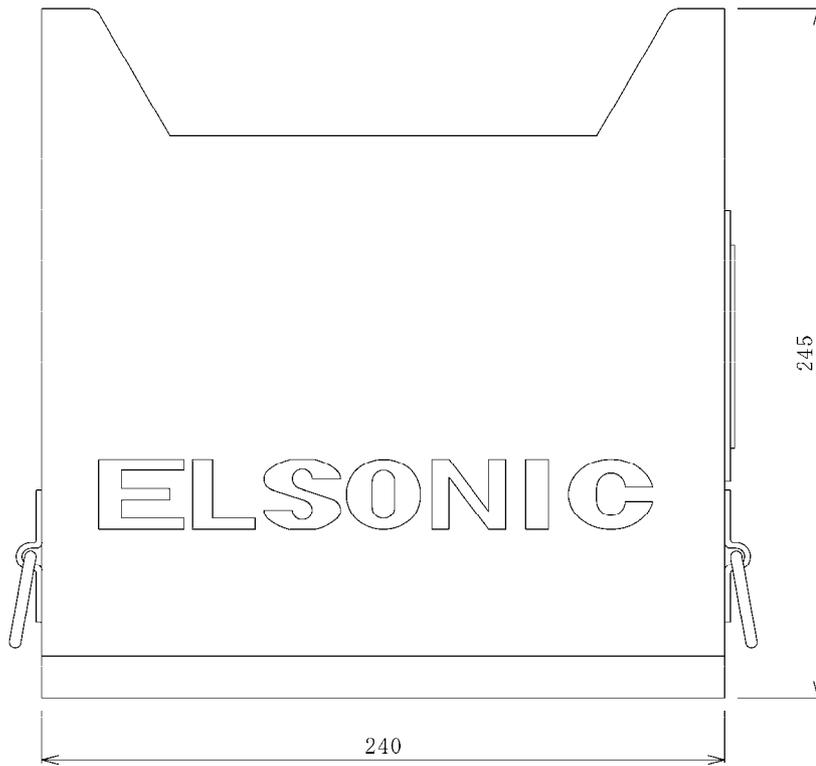


10-4 外形寸法図

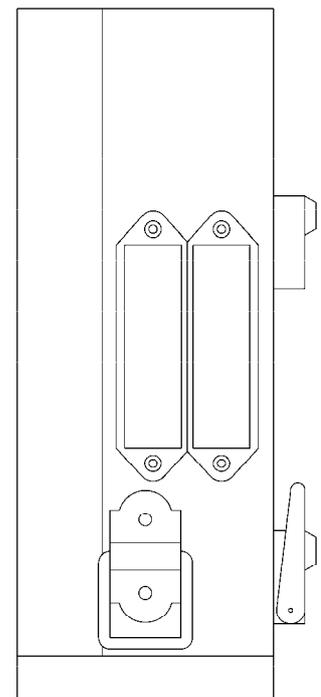
エルソニックメーター



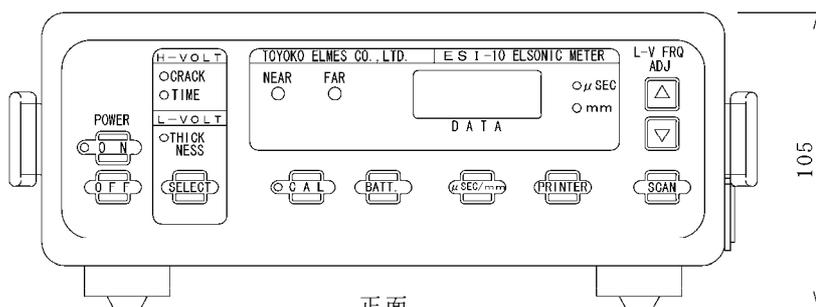
背面



上面



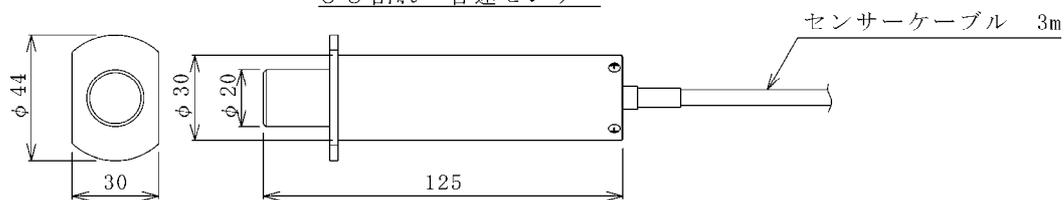
側面 (右)



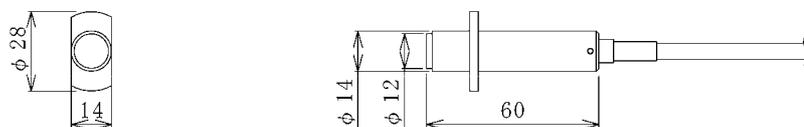
正面

単位 (mm)

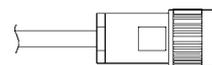
ひび割れ・音速センサー



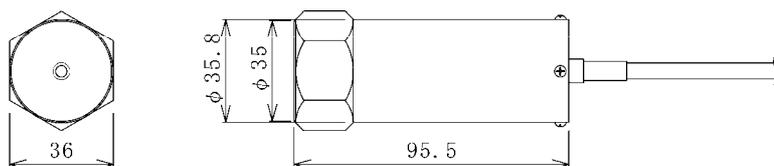
ひび割れ小型センサー



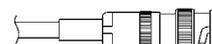
送信側コネクタ (N型)



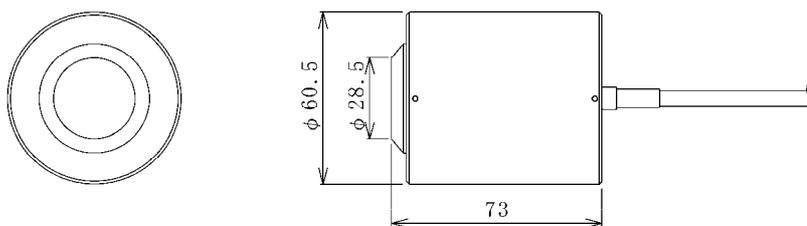
ひび割れ強力センサー



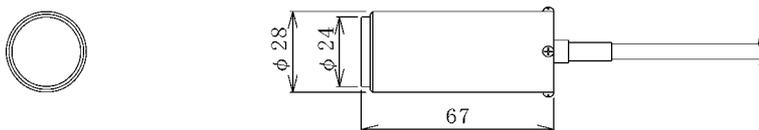
受信側コネクタ (BNC型)



厚さセンサー

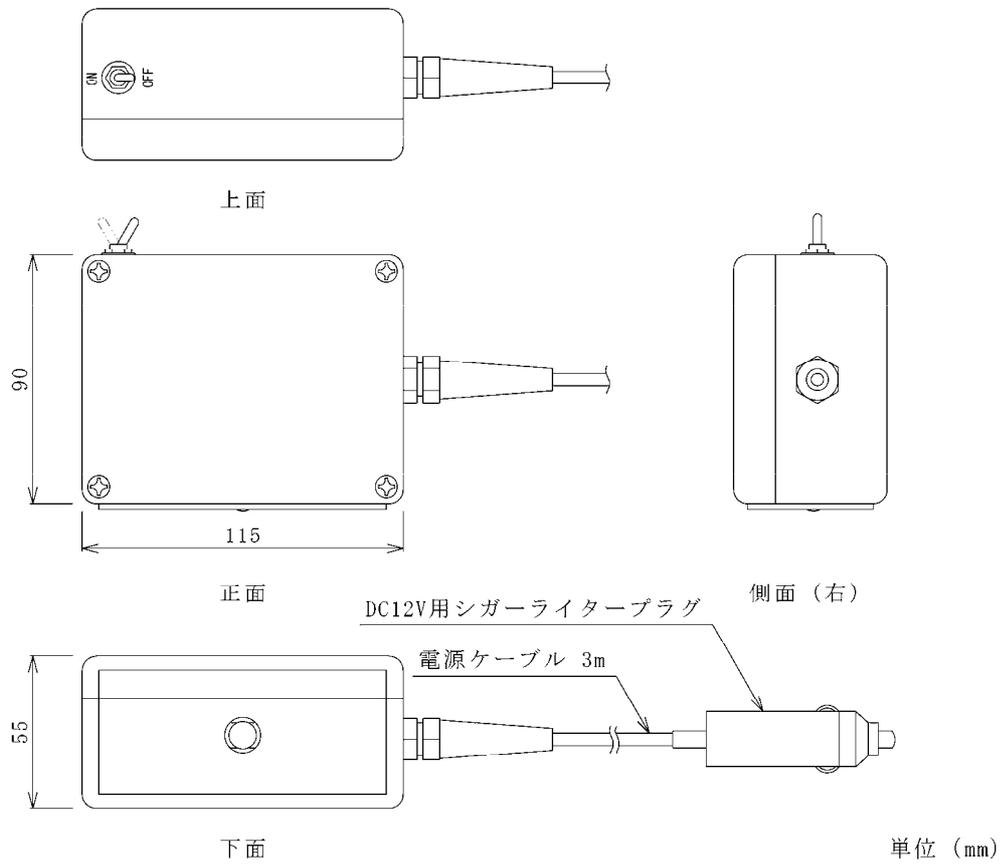


厚さ小型センサー

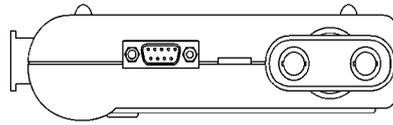


単位 (mm)

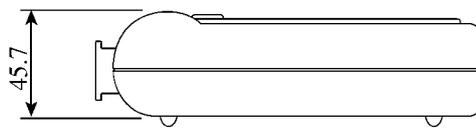
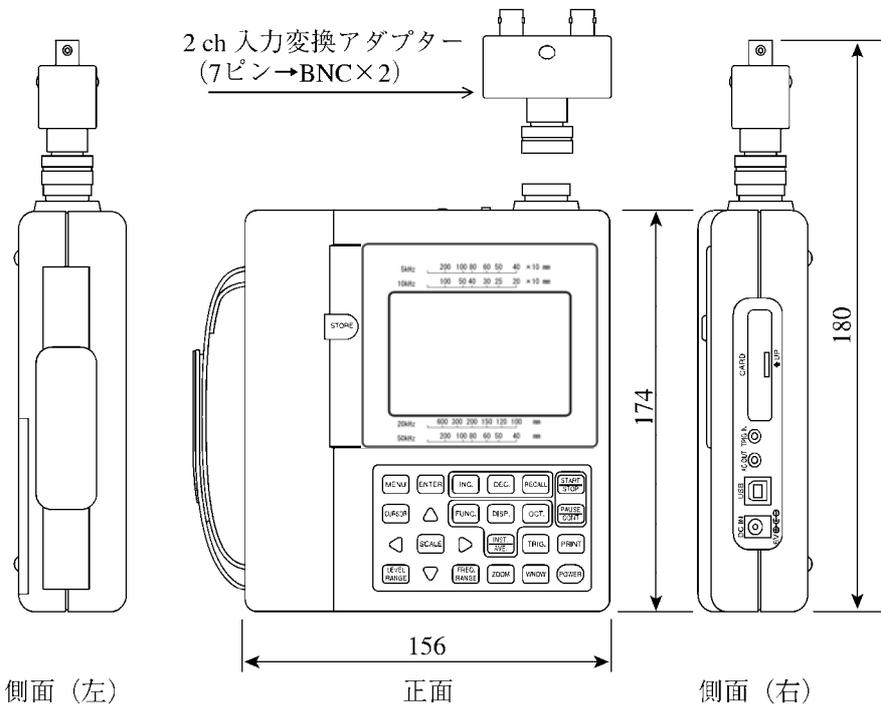
繰り返し加振器



FFTアナライザー



上面



下面

単位 (mm)

付録ー1 メンテナンス

(1) 点検時期

エルソニックの性能を保持し、常に安定した状態でご使用頂くために、以下の点検を実施することを推奨します。

①通常点検

始業時点検:作業開始 5 分前に行う。

作業中点検:測定場所の移動時など必要に応じて行う。

終業後点検:作業終了後、速やかに行う。

②特別点検

定期点検 :1 年に 1 回行う。

臨時点検 :機器の修理および部品交換を行ったとき、その他必要な場合に行う。

(2) 点検内容、方法

①通常点検

- ・電源電圧チェックを行い、規定電圧以上であることを確認する。
- ・ひび割れ深さ、音速測定の場合・・・送・受信センサーを接続し、CAL 値を確認する。
- ・厚さ測定の場合・・・送・受信センサーを接続し、無負荷時スペクトル(下メモ欄参照)を確認する。

無負荷時スペクトル

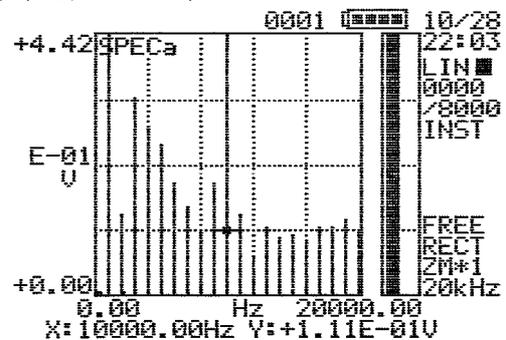
【概要】

THICKNESS モードで、センサー同士を向かい合わせて接触させたときのスペクトルを無負荷時スペクトルと呼びます。

このスペクトルを確認することで、エルソニックメーターからのパルス信号が送信センサー、受信センサー、エルソニックメーターの受信部、そして FFT まで正常に伝達され、周波数分析結果が正しく表示されていることの確認ができます。

【手順】

- ・厚さ測定をおこなう手順に従って、機器を接続、電源を入れ、THICKNESS モードにします。
- ・厚さセンサー(又は厚さ小型センサー)を CAL と同じように、センサーの先端の中心に接触媒質を少量付け、床上または机上でセンサー同士を真っ直ぐに対向させ軽く当てます。
- ・FFT 画面に右のような 1kHz ピッチのスペクトルが現れていることを確認してください。
※この操作は、FFTのLEVEL RANGEを+20dBに設定して行なってください。



②特別点検

- ・国家標準器とトレーサビリティのとれた測定器を使用して、機器の校正をおこなう。
- ・測定項目ごとに製作されたコンクリート試験体を測定する。
以上により規定の性能が得られるか確認し、検査成績表、校正証明書及びトレーサビリティ体系図を発行します。
費用、納期については購入先または当社へお問い合わせください。

(3)異常時の処置

点検で異常が認められた機器は使用しないでください。
また作業中および終業時に異常が認められた場合、その点検直前の測定データは使用しないでください。
付録－3のトラブルシューティングを参照、お調べ頂き、改善されない場合は購入先または当社へお問い合わせください。

付録－2 ホールドオフ時間の変更

(1)使用目的

水中での反射時間測定などでは、残存波などのために、デジタル測定が難しくなることがあります。
エルソニックでは、この問題に対して、ホールドオフ時間(入力信号を無視する時間)を変えることで対応できます。

(2)変更方法

エルソニックメーター内部で調節しますので、当社へご連絡ください。

付録ー3 トラブルシューティング

下記をお調べ頂き、処置を行なっても具合の悪い場合や下記に当てはまらない症状の場合は、購入先または当社へお問い合わせください。

内 容	原 因	処 置
電源が入らない	ACアダプター本体への差し込み不良	差し込み直してください。
	乾電池の消耗	電源電圧を確認し、10.8V以下であれば、電池を交換してください。ひび割れ深さや音速測定はACアダプター又は外部電源を使用してください。
測定できない (全般)	センサーの誤用	測定に適合したセンサーを使用しているか確認してください。
	コネクタ接続先の誤り	正しいコネクタ接続先に接続してください。
	測定モードの誤り	正しい測定モードを選択してください。
	センサーケーブルの断線	音速測定、ひび割れ深さ測定の場合 送・受信センサーを接続し、CAL値を確認してください。 厚さ測定の場合 送・受信センサーを接続し、無負荷時スペクトルを確認してください。
	接触媒質不足	十分使用してください。
	測定面の凹凸	砥石で研磨してください。
	接触媒質中に砂粒の混入	接触媒質をふき取り、やり直してください。
	センサーの当て方	一定圧力で測定面にセンサーを押しつけてください。
	センサー振動面の傾き	測定面に平行な状態で密着させてください。
	乾電池の消耗	電源電圧を確認し、10.8V以下であれば、電池を交換してください。ひび割れ深さや音速測定はACアダプター又は外部電源を使用してください。
周囲の騒音、振動などの外部ノイズ	騒音、振動を止めるか、時間をずらしてください。それが不可能な場合は、受信感度を落としてください。(0.5→1.0,1.5)	
ひび割れ深さ測定ができない	ひび割れ面内の接触(鉄筋、表面の目詰まりなど)	ランプ法で測定してください。
厚さ測定ができない	周囲の騒音、振動などの外部ノイズ	騒音、振動を止めるか、時間をずらしてください。またはFFTの加算平均演算を行なってください。
	ひび割れが多数入っている床盤である	広い面で測定してください。継ぎ目やひび割れの近くで測定しないでください。
	床盤の端部に近い	厚さの3倍以上、端部から離れた位置で測定するか、または途中でなく端部で測定してください。

内 容	原 因	処 置
CAL 値が通常 と異なる ±0.3 μs 以内	異常ありません	CAL 操作を(手で持たずに)床や机上においた状態で行ない、通常とおなじ値に合わせたとき、ふらつかずに安定表示していれば、異常はありません。 値が異なる理由は、まずデジタル変換の際の量子化誤差が±0.1 μs、そしてセンサー間に挟む接触媒質(グリース)の厚さの違いによって±0.1 μs 程度変化する可能性があるからです。
CAL 値が通常 と異なる 1 μs 以上小さい ※ひび割れ小型センサー以外	送・受信センサー間の電氣的ノイズ	送・受信センサーの振動面は、接触媒質(絶縁体)を挟んだ状態で、軽く合わせてください。 あまり強く押しつけると、振動面同士が直接接触し、送信(電気)信号が受信センサーへのノイズとなってしまう、正常な CAL 値よりも短い時間が表示されてしまいます。 また、長くご使用頂くうちに、コンクリート面との接触で振動面にキズが付き、当初よりも接触媒質による絶縁が難しくなる場合があります。その場合は、薄いセロハンテープ等を振動面に挟んでも良いです。
CAL 値が大きく 変化、ふらついて安定表示しない。	センサーケーブルの断線	購入先または当社へお問い合わせください

付録一 4 用語集

本文中で使用している用語について説明します。主に JIS Z 2300、JIS Z 8106 を引用しています。

	用語	説明
あ	音響インピーダンス	与えられた媒質の断面積と音速の積に対する音圧との比。 通常、音速と密度の積として表される。
	音速	均一媒質中の伝搬方向に対する音の群速度又は位相速度。 本文では、主にコンクリートを伝わる超音波の速さの事を表します。
か	回折波	音、光、電波、水の波などいずれの波でも、波は直進する以外に波長と同程度の寸法の障害物では、影へ回り込む性質があります。この回り込みの波を回折波といい、気体や液体や電波と異なり、固体の弾性波のとき、波は特徴ある回折現象を起こします。
	かぶり	鉄筋表面とその外側のコンクリート表面との最短距離。かぶり厚さとも言います。
	CAL 操作	CAL 値 (P.15 参照) をゼロリセットする操作です。CALibration の略。通称 CAL (キャル)。
	減衰	音波が媒体中を伝搬するとき、吸収や散乱で生じる音圧の減少。
	公称周波数	センサーに表示されている周波数。公称周波数と同じ周波数がコンクリートを伝搬しているとは限りません。
	広帯域センサー (探触子)	1波又は、2波程度のごく短い超音波パルスを発生するセンサー (探触子)。
さ	指向性	空間的に超音波が一つの方向に偏って伝搬する性質。 コンクリート中では超音波の振動数が低く、又減衰ですぐ波長が長くなるので、指向性は悪い。
	周波数	振動の周期の逆数。1秒間当たりに繰り返される回数。 単位は「ヘルツ」(Hz) が使われる。
	振動子	電気エネルギーを音響エネルギーに変換する、又はその逆をする能動素子。圧電セラミックスなどが用いられます。
	ジャンカ	硬化したコンクリートの一部に粗骨材だけが集まってできた空隙の多い不均質な部分。
	受信感度設定スイッチ	しきい値や Threshold 値と言い、受信電圧をデジタル値に変換する際に、いくら以上で“1”と認識させるかを切り替えるスイッチ。
	スペクトル	時間軸で見た複雑な波を周波数成分別に分解し、周波数の低い順に並べて、周波数毎の成分量の大小を示した全体の有様。スペクトル分布図。
	接触媒質	水やグリセリンのような、その間を超音波エネルギーが透過できるようにするための探触子と試験体との間に挿入する媒質。音響結合媒質。
	センサー (探触子)	超音波の送受信を行なうために、1個又はそれ以上の振動子を組み込んでいる電気-音響変換器。 エルソニックでは英語のプローブを含め探触子は現場用語として馴染みがないので、センサーを使用しています。 AE センサーは正式語であり、超音波センサーは慣用語です。

	用語	解説
た	対比試験片	超音波測定器の音速測定などを目的として製作される試験片。
	縦波	媒質粒子の振動方向と振動の伝搬方向が同じ波のモード。 固体中で、音速が最も速い。
	弾性波	弾性体中を伝わる弾性振動。音波・地震波など。
	超音波	人間の耳には聞こえない高い振動数の音波。狭義には周波数が 16kHz 以上の音波を言い、広義には 16kHz 以下でも人間の耳が直接聞くことを目的としない音波のことを言う。
	伝搬時間	送信された超音波が受信点に到達するまでの時間。 超音波がセンサーから試験体中を伝搬し、センサーに到達する時間。
は	パルス	きわめて短い時間だけ継続する信号。
	FFT アナライザー	高速フーリエ変換分析器。
	フーリエ解析	時間軸で見ると複雑な波を単純な三角関数波の合成として解析する方法。周波数成分ごとの大きさを周波数の低い順に並べてスペクトルとして示します。
	BNC ケーブル	BNC 型コネクタ付の同軸ケーブル
	ホールドオフタイム	ある時点から一定の時間は信号があっても受信を無視する機構がホールドオフ。その時間を言います。

付録一 5 引用文献

- [1] 広野 進、山口哲夫:「新しいコンクリートのひび割れ深さ測定法と装置の開発」、非破壊検査、Vol.38, No.4, pp.302~308, 1989
- [2] 山口哲夫:「新しいコンクリートの厚さ測定法と測定装置」、非破壊検査、Vol.39. No.3, pp.217~222, 1990
- [3] 山口哲夫、丸茂文夫:「コンクリートのひび割れ深さと厚さの測定」コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12-1, pp.353~358, 1990
- [4] 山口哲夫:「コンクリートの厚さを測る」、超音波 TECHNO,11 月号、pp.38~41, 1991
- [5] 山口哲夫、丸茂文夫:「波形解析の超音波法によるコンクリートの厚さ測定」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No.1, pp.703~706, 1992
- [6] T.Yamaguchi, S.Hirono, T.Mizobuchi:Measurement of CRACK Depth in RC Structures by DiffreACted Wave Method, Procced. of International Conference NDT in Liverpool, pp.519~529, 1993
- [7] 山口哲夫、丸茂文夫:「コンクリート構造物における超音波試験法の改善」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15, No.1, pp.613~618, 1993
- [8] 山口哲夫、丸茂文夫:「超音波法による接近した鉄筋のかぶりの測定」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16, No.1, pp.753~758, 1994
- [9] 山口哲夫:「超音波反射法によるコンクリートの厚さ測定」、日本非破壊検査協会、平成6年度秋季大会講演概要集、pp.407~414
- [10] 山口哲夫、丸茂文夫、市村瓦、山口達夫、岡村憲一、日本非破壊検査協会、平成7年度春季大会講演概要集、pp.239~246