



iTECS 法 規格

測定：02

弾性波の伝搬時間差の測定方法および
伝搬時間差による弾性波速度の測定方法

SIA - M - 02

平成 25 年 7 月制定

一般社団法人 iTECS 技術協会

iTECS 技術協会 規格作成委員会構成表

氏 名	所 属
(委員長) 岩野 聡史	リック株式会社
(委員) 石垣 享一	オリジナル設計株式会社*
内田 美生	株式会社中研コンサルタント
岡崎早出智	株式会社プラグレス
久保 元樹	日東建設株式会社
斉藤 昌稔	株式会社建材サービスセンター
鈴木 拓也	株式会社コサカ技研
炭谷 浩一	株式会社大進コンサルタント
高橋 功	計測技研株式会社
那須 政人	株式会社大進コンサルタント
原 学	株式会社サンテクノス
山下 一樹	株式会社丸福久保田組
山下健太郎	株式会社東洋計測リサーチ
* 前任者 鈴木 克利	前オリジナル設計株式会社

この規格群は、一般社団法人 iTECS 技術協会 規格整備委員会の審議を経て、一般社団法人 iTECS 技術協会が制定した規格群であり、著作権法で保護対象となっている著作物である。

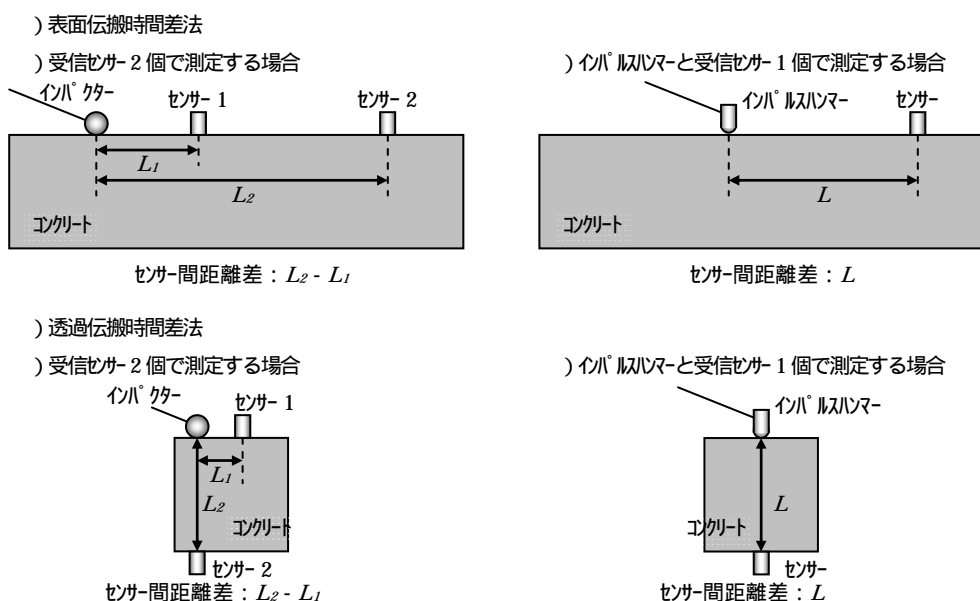
また、この規格群の一部が、特許権、出願交会後の特許出願、実用新案権または出願公開後の実用新案に抵触する可能性があることに注意を喚起する。一般社団法人 iTECS 技術協会は、このような特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権または出願公開後の実用新案登録出願に関わる確認について責任は持たない。

1. 適用範囲

iTECS 法により、2 つの受信センサー間を伝搬する弾性波の伝搬時間差を測定する方法、インパルスハンマーと受信センサー間を伝搬する弾性波の伝搬時間差を測定する方法、および、これらの伝搬時間差を利用して弾性波速度を測定する方法を規定する。

【解説】

a) 伝搬時間差の測定方法について



解説図1 伝搬時間差の測定方法

伝搬時間差の測定方法を解説図 1 に示す。測定方法には弾性波の入力点、受信点を同一表面とする方法（以下、表面伝搬時間差法という）と、弾性波の入力点、受信点を異なる側面として、コンクリート内部を透過した弾性波の伝搬時間差を測定する方法（以下、透過伝搬時間差法という）がある。本規格では、受信センサーで初期振動（第 1 波）が開始される時間を弾性波の到達時間と判断し、2 つのセンサー間を伝搬する弾性波の伝搬時間差を測定する。対象となる弾性波は縦弾性波となり、レイリー波など受信センサーで初期振動とならない振動は、本規格の対象外である。

b) 伝搬時間差を用いた試験方法

弾性波の伝搬時間は伝搬経路長や弾性波速度によって変化する。伝搬経路長はセンサー間に不連続面が存在すれば、センサー間の最短距離よりも長くなる。また、コンクリートの弾性波速度は弾性係数によって変化する性質があり、コンクリートの弾性係数と圧縮強度には正の相関関係があると言われている。これらから、伝搬時間差の測定結果は、コンクリートの圧縮強度試験、部材厚さの試験、内部の欠陥探査、ひび割れ深さの測定に利用できる。

2. 測定装置

(1)インパクト

弾性波を入力するためのインパクトは、コンクリート表面との接触面が鋼製のものとする。インパクトにより入力される弾性波の波長は、2個の受信センサー間の距離よりも短いものとする。

(2)受信センサー

周波数 80Hz~25kHz を精度良く検知できるものとする。また、弾性波の到達によるコンクリート表面の振動を精度良く検知できるものとする。

(3)測定器

サンプリング間隔、計測時間長さ、測定チャンネル数を適切に設定できる装置とする。

【解説】

(1)について

小質量のインパクトによる表面伝搬時間差法による測定では、特に既設構造物ではコンクリート表面の乾燥等の影響により、弾性波の到達を正確に測定できない可能性がある。コンクリート表面を伝搬するのに十分なエネルギーを励起できるよう、鋼製のものとする。

伝搬時間差は2個の受信センサー間の距離よりも短い波長となる質量のインパクトにより測定す

解説表1 伝搬時間差法の測定で使用が推奨されるインパクトの条件

センサー間 距離差(mm)	使用が推奨されるインパクトの条件	
	質量(g)	直径(mm) 鋼球の場合
250 ~ 350	33g以下	20mm以下
350 ~ 450	110g以下	30mm以下
450 ~ 600	261g以下	40mm以下
600 ~ 1500	1022g以下	63mm以下
1500 ~ 2500	1795g以下	76mm以下



解説図2 測定器の一例

解説表2 測定器の仕様

入力	ICP入力2ch . 入力アンプのゲイン調整：×0.1，×1.0，×10 各ch独立 周波数範囲：80Hz～35kHz 35kHz Cut Off-18dB/Oct. S/N 65dB以上 A/D変換器：12Bit以上，5MHz 2ch同時測定，データ数1000以上
システム機能	A/D変換速度（サンプリング間隔）：0.5μs以上，2ch同時 計測時間長さ：2ms以上

る。使用が推奨されるインパクトを**解説表 1**に示す。**解説表 1**は過去の実績から示した一例であり、コンクリート表面の弾性率、弾性波速度によって変化することに留意する必要がある。

(2)について

受信センサーは、インパクトにより入力された弾性波を受信するために十分な感度を有し、その振幅特性は、使用する周波数の範囲内で平坦なものが必要である。また、本規格で対象となる弾性波は縦弾性波であるが、表面を伝搬する縦弾性波の振幅は小さく、受信センサーの質量が大きい場合などでは、縦弾性波の到達による振動を検知できない可能性があることに注意する。

(3)について

サンプリング間隔、計測時間長さはセンサー間距離差、必要とされる伝搬時間差の分解能から判断される。測定チャンネル数は2ch以上とする。例えば、弾性波速度が4000m/sのコンクリートで、センサー間距離差500mmに設定すると伝搬時間差は125 μ sである。このコンクリートで弾性波速度を2%の精度で測定する場合には、分解能は伝搬時間差の1%より短くする必要があり、サンプリング間隔は1.25 μ sより短いものとする。また、計測時間長さは伝搬時間差125 μ sを確実に測定できる長さとする。測定器および仕様の一例として、これまで使用されている装置の情報を**解説図 2**、**解説表 2**に示す。

3. 伝搬時間差の測定方法

測定表面の処理

測定表面に凹凸がある場合は、ヤスリ・砥石等により測定表面が平滑になるように処理する。

測定点の設置，測定波形の取得

コンクリート表面に受信センサー1，受信センサー2を設置し，インパクトで打撃する。

測定波形の記録

測定波形に再現性があることを確認し，受信センサー1，受信センサー2の測定波形を測定器に記録する。

弾性波の伝搬時間差の測定

受信センサー1と受信センサー2の波形到達の時間差から弾性波の伝搬時間差を測定する。

【解説】

インパクトに入力波形が記録できるインパルスハンマーを使用する場合には、コンクリート表面に設置する受信センサーは1つでもよい。インパルスハンマーを受信センサー1として、弾性波の伝搬時間差 T_p はインパルスハンマーによる入力開始時間と受信センサー2の測定波形で初期振動（第1波）が開始される時間との差を伝搬時間差とする。

なお、インパルスハンマーと受信センサー1個で測定する場合には、インパルスハンマーと受信センサーで使用するセンサーの仕様が異なることから測定誤差が生じる場合がある。必要により、測定

値の補正を行う。

4. 弾性波速度の測定方法

「3. 伝搬時間差の測定方法」で測定した弾性波の伝搬時間差と受信センサー1 と受信センサー2 との距離の差から弾性波速度を決定する。

a) インパクトに入力波形が記録できるインパルスハンマーを使用する場合

インパルスハンマーを受信センサー1 として、受信センサー1 と受信センサー2 との距離の差は打撃点から受信センサー2 までの距離とする。

b) 新設コンクリート構造物での弾性波速度の算出方法について

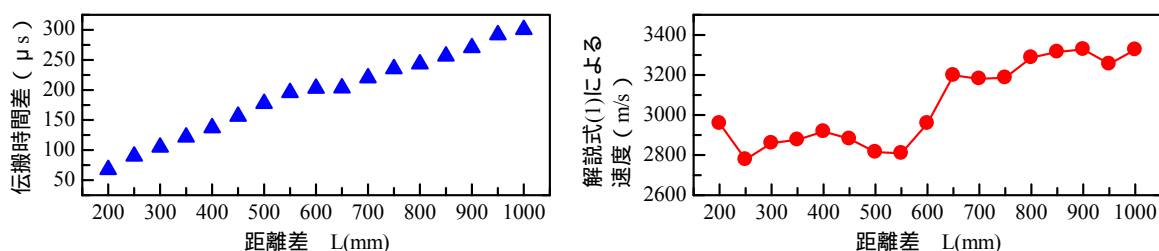
「3. 伝搬時間差の測定方法」において、打撃点から受信センサー1 までの距離と打撃点から受信センサー2 までの距離の差 L は 300mm から 100mm 間隔で 1000mm までの 8 点で測定とすることを基本とする。ただし、測定面の寸法が狭く、この距離差を設定できない場合や、部材厚さがこの距離差に対して非常に薄く、正確な弾性波速度が測定できない場合などでは、これらの状況を考慮して、距離差を設定してよい。また、打撃点、受信センサー1、受信センサー2 は鉄筋の配筋方向と平行にならないように設定する。

各距離差 L で測定した伝搬時間差 T_p から解説式(1)により弾性波速度 V_p を算出する。算出された複数の弾性波速度を平均処理して、コンクリートの弾性波速度を決定する。

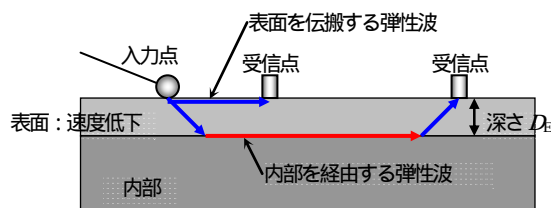
$$V_p = \Delta L / \Delta T_p \quad \text{解説式(1)}$$

c) 既設構造物での弾性波速度の算出方法について

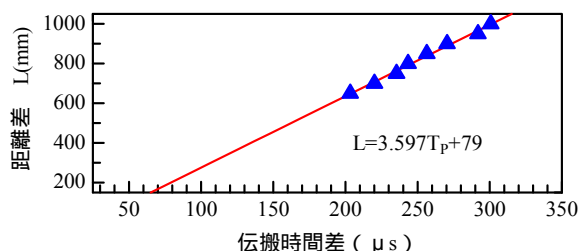
「3. 伝搬時間差の測定方法」において、打撃点から受信センサー1 までの距離と打撃点から受信センサー2 までの距離の差 L は 300mm から 50mm 間隔で 1000mm までの 15 点で測定とすることを基本とする。ただし、測定面の寸法が狭く、この距離差を設定できない場合や、部材厚さがこの距離差に対して非常に薄く、正確な弾性波速度が測定できない場合などでは、これらの状況を考慮して、距離差を設定してよい。また、打撃点、受信センサー1、受信センサー2 は鉄筋の配筋方向と平行にならないように設定する。



解説図3 既設構造物での伝搬時間差，解説式(1)による弾性波速度の測定例



解説図4 表面の弾性波速度が低下した構造物での弾性波の伝搬状況の模式図



$$a = 3.597 \text{ (mm/}\mu\text{s)} = 3597 \text{ (m/s)}$$

解説図5 表面の弾性波速度が低下した構造物での弾性波速度の測定例

既設構造物では、コンクリート表面の乾燥等の影響により、解説式(1)で弾性波速度を算出すると、距離差 L によって、弾性波速度が変化する場合がある。この例として建設後 40 年が経過したコンクリート構造物での測定例を解説図 3 に示す。解説図 3 では、解説式(1)による弾性波速度は入力受信点間距離 L によって変化し、距離 L が長くなると速くなることが確認される。

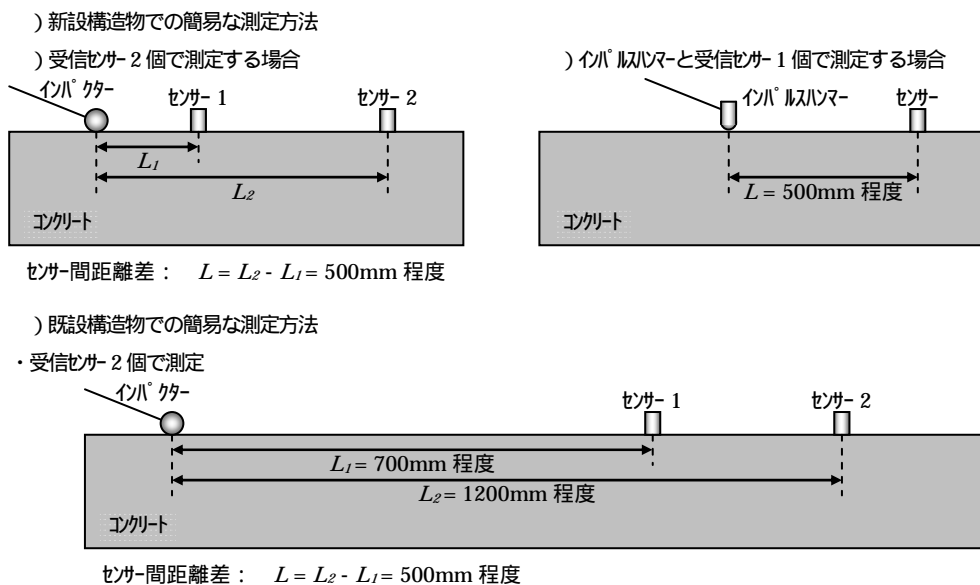
距離差 L により解説式(1)による弾性波速度が変化するのは、コンクリート表面付近を伝搬する弾性波の速度がコンクリート内部を伝搬する弾性波の速度よりも、何らかの原因により遅くなるためであると考えられる。この状況での弾性波の伝搬状況はスネルの法則に基づき、解説図 4 の模式図で示される。入力点と受信点の距離差 L が近距離の場合では、受信点に最初に到達する振動は表面を伝搬した弾性波（以下、表面弾性波という）となる。これに対して、入力点と受信点の距離差 L が長くなると、伝搬速度の速い内部を経由した弾性波（以下、内部弾性波という）が、伝搬速度の遅い表面弾性波を追い抜いて、受信点に最初に到達する振動となる。本法では、測定波形で初期振動（第 1 波）が開始される時間から伝搬時間差を測定することから、表面弾性波の速度が遅くなるコンクリートでは、入力点と受信点の距離差 L によって、最初に受信点に到達する振動の種類、速度が変化して、解説式(1)による弾性波速度も変化することとなる。

このようなコンクリート構造物では、弾性波速度は内部弾性波の伝搬時間差 T_p が測定される L の範囲（解説図 3 では $L = 650\text{mm} \sim 1000\text{mm}$ ）で、各 L と T_p の解説式(2)に示す関係式を最小二乗法により求め a から決定する。この測定例を解説図 5 に示す。

$$\Delta L = a \times T_p + b \quad \text{解説式(2)}$$

d) 簡易な弾性波速度の測定方法，算出方法について

コンクリート部材厚さの測定のために弾性波速度を測定する場合など、精度の高い測定値を要求さ



解説図6 簡易な弾性波速度の測定方法の例

れない場合（概ね $\pm 5\%$ の精度）には、以下の簡易な方法により弾性波速度を算出できる。測定点の設定例を**解説図 6**に示す。新設構造物では「3．伝搬時間差の測定方法」において、打撃点から受信センサー1までの距離と打撃点から受信センサー2までの距離の差 L は 500mm 程度に設定し、伝搬時間差 T_p を 3 回測定する。

また、既存構造物では、打撃点と受信センサー1の距離を 700mm 程度、打撃点と受信センサー2の距離を 1200mm 程度に設定し、伝搬時間差 T_p を 3 回測定する。距離差 L と測定した伝搬時間差 T_p から解説式(1)により弾性波速度 V_p を算出する。算出された 3 回の弾性波速度を平均処理して、コンクリートの弾性波速度を決定する。なお、既存構造物ではインパルスハンマーと受信センサー1個で測定する方法は適用できない。これは、**解説図 4**に示すとおり、既存構造物では表面の弾性波速度が低下し、弾性波の伝搬経路が入力点と受信点の距離とは一致しない可能性があることによる。既存構造物では、前述のとおり、受信センサーを 2 個による方法で測定する。

SIA-M-02

Standard of the iTECS Association

Measuring method for obtaining the time delay of the
P-wave and wave speed

SIA - M - 02

Established 2013-7-30

Published by
iTECS association

1-6-6 Tokodai
Tsukuba-city Ibaraki 300-2635, Japan

Printed in Japan