

技術マニュアル

ハンマ打撃によるコンクリートの非破壊検査装置 CTS

2022年9月

日東建設株式会社

## 1.1 概要

CTS（コンクリートテスター）は、加速度計を内蔵したハンマでコンクリートを打撃したときの打撃応答波形を測定・解析することにより、非破壊でコンクリートの圧縮強度や、表面近傍（表面から 50mm 程度まで）のうき・はく離および表面の劣化度合い（塑性化等）を推定するコンクリート用の計測器である。

本装置により、推定強度（STR 値）、表面劣化度合い（INDX 値）および表面剥離指標値（STAT 値）が得られる。うき・はく離の検査を行う場合、このうちの STR 値を用いた各測定点での相对比较によりその評価を行う。



写真-1.1 （左：専用機型 右：汎用機型）

## 1.2 原理

被打撃体を完全弾性体として仮定し、図-1.1 に示すように、質量  $M$  のハンマが任意の速度  $V_0$  でバネ係数  $K$  のコンクリートに衝突する現象を考える。

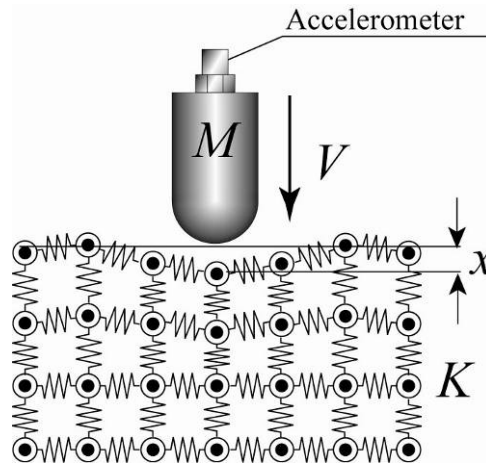


図-1.1 ハンマの衝突モデル

ハンマの持つ運動エネルギー  $E_H$  は、

$$E_H = \frac{1}{2} M V_0^2 \quad (1.1)$$

である。一方、ハンマの衝突によるコンクリートのひずみエネルギー  $E_C$  は、最大変位量を  $D_{\max}$  とすると、

$$E_C = \frac{1}{2} K D_{\max}^2 \quad (1.2)$$

である。エネルギーの釣り合いから、両者のエネルギーは等しく、

$$\frac{1}{2}MV_0^2 = \frac{1}{2}KD_{\max}^2 \quad (1.3)$$

が成立する。ここで最大打撃力  $F_{\max}$  は、フックの法則より、

$$F_{\max} = KD_{\max} \quad (1.4)$$

であり、式(4)を  $D_{\max}$  について解き、式(3)に代入して整理すると、

$$\frac{F_{\max}}{V} = \sqrt{MK} \quad (1.5)$$

が得られる。式(1.5)に示す  $\sqrt{MK}$  は、ばね質量系の機械インピーダンス  $Z$  である。機械インピーダンス  $Z$  と被打撃体のバネ係数  $K$  には比例関係があり、機械インピーダンスは被打撃体の弾性的特性を示す指標となる。コンクリートの弾性係数と圧縮強度には相関関係があることが知られており、この関係を利用して、機械インピーダンス値から圧縮強度を推定しようとするものである。

図-1.2 は、加速度計を内蔵したハンマでコンクリートを打撃した際の打撃力波形の例である。NDIS3434-3 コンクリートの非破壊試験-打撃試験方法-第3部機械インピーダンス試験方法では、式(1.6)および式(1.6')に示すように、ハンマの貫入過程における機械インピーダンス  $Z_A$  と反発過程における機械インピーダンス  $Z_R$  の算出方法が記載されている。コンクリートは、完全弾性体とは言い難く、表面に脆弱層が存在している場合が多い。ハンマの貫入過程は脆弱層の影響を強く受けるため、コンクリートの圧縮強度を推定する立場では、式(1.6')を用いて、反発過程の波形を対象として機械インピーダンス値を算出する。

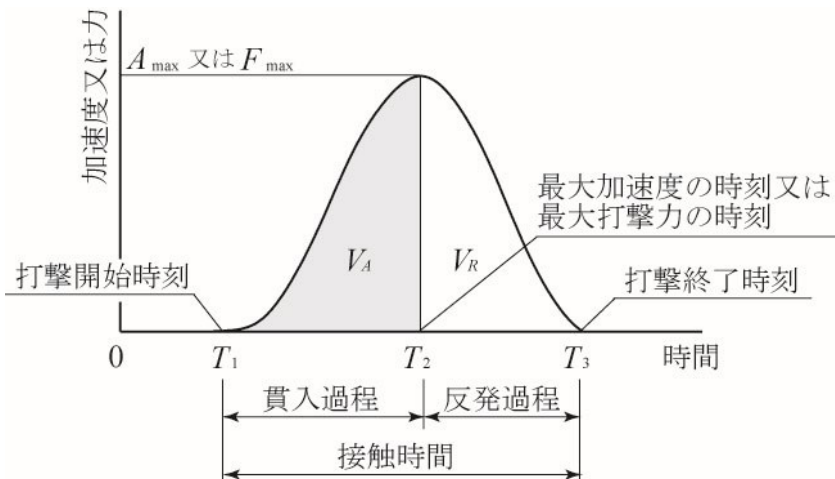


図-1.2 測定した時間波形と各時刻の定義

$$Z_A = \frac{F_{\max}}{V_A^{1.2}} \approx \frac{MA_{\max}}{\left(\int_{T_1}^{T_2} A(t)dt\right)^{1.2}} \quad (1.6)$$

$$Z_R = \frac{F_{\max}}{V_R^{1.2}} \approx \frac{MA_{\max}}{\left(\int_{T_2}^{T_3} A(t)dt\right)^{1.2}} \quad (1.6')$$

ここに、 $Z_A$ ：貫入過程の機械インピーダンス  $Z_R$ ：反発過程の機械インピーダンス  
 $F_{\max}$ ：最大打撃力  $V_A$ ：打撃体の衝突速度  $V_R$ ：打撃体の反発速度  
 $M$ ：打撃体の質量  $A_{\max}$ ：最大加速度  $A(t)$ ：加速度の時間波形  
 $T_1$ ：打撃開始時刻  $T_2$ ：最大加速度の時刻  $T_3$ ：打撃終了時刻

### 1.3 適用条件

#### (1) 採否の検討のための条件

本装置による計測では、測定対象をハンマで直接打撃する必要があるため、対象部位に近接できる必要がある。また、表面被覆等の処理が施されている場合、被覆厚や材料によっては測定ができない。

#### (2) 精度と信頼性に関する留意点

##### 1) 機器精度に関する留意点

CTS は、加速度計を内蔵したハンマでコンクリート表面を人間が軽打する測定方法を採用している。このため、打撃毎に打撃力や測定面とハンマの衝突時の角度が異なる。

##### ➤ 打撃力に関して

装置内で測定できる打撃力に制限がかけられていること、打撃速度による補正が自動でかかることから精度に影響しない。

##### ➤ 測定面とハンマの衝突時の角度に関して

測定面とハンマの衝突時の角度は、自動制御が不可能である。測定面に対してハンマの衝突角度が垂直±10度程度に収まるよう、注意しながら打撃を行う必要性がある。

##### ➤ 測定の方角に関して

上向き、下向きおよび横向きなど、測定対象によって打撃そのものの方向が異なるが、CTSはこの影響を受けない。

##### 2) 精度と信頼性に関する留意点

- コンクリート表面に大きな凹凸があると正しく計測できない可能性がある。必要に応じてコンクリート表面を研磨する必要性がある。
- コンクリートはバラつきの多い材料であり、複数点の平均値を求め評価を行うことが望ましい。測定点数は調査の目的、求める信頼度によって変動するが、コンクリート圧縮強度を推定する立場においては、少なくとも20点以上のデータの平均値を用いることを推奨している。
- 本装置は、メーカーより配布されている圧縮強度推定指定（式(2.1)、式(2.2)）によって推定強度を算出するが、圧縮強度推定式は、コンクリートの配合によって異なることが判明している。実際のテストピースを用いてキャリブレーションを実施する事により推定精度を高めることが可能である。

$$\text{普通コンクリート} \quad f_{CE} = 11.78 \times Z_R^3 \quad (2.1)$$

$$\text{高強度コンクリート} \quad f_{CE} = 9.5 \times Z_R^4 \quad (2.2)$$

## 1.4 調査要領

### (1) 調査に必要な機器・仮設備

特になし。ただし、手の届く範囲での作業となるため、高所で計測を行う場合は高所作業車等を使用する。

### (2) 事前準備から調査全体の流れ（調査フロー）

CTS の調査フローを図-1.3 に示す。

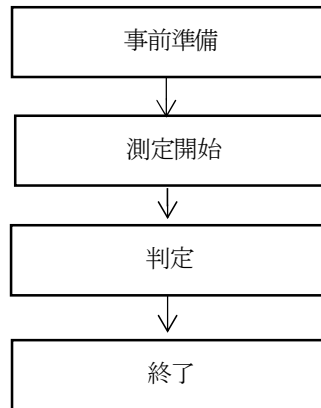


図-1.3 調査フロー

### (3) 調査要領

CTS による調査の手順を以下に示す。（前記調査フロー参照）

#### 1) 事前準備

対象となる範囲（面積）、作業時間、求められる異常範囲の検出精度等を考慮し測定点数および測定間隔を設定する（例、縦横 50mm ピッチのメッシュを罫書く等）。

#### 2) 測定開始

設定した測定点を打撃し測定を行う。測定が行われるとビーブ音とともに測定結果が装置に表示される。

#### 3) 判定

測定されたデータを PC に転送し、表計算ソフトによりデータの整理を行う。本製品の性能確認シートに記載された実験では、コンクリートのうき・はく離の検出を目的としている。うき・はく離が存在すると、STR 値が低下するため、測定点全体の平均値と標準偏差を基に相対的に値が低い測定点を抽出している。

## 1.5 結果の活用に関する技術情報

CTS による測定結果は、設定されたパラメータにより算出される STR 値、INDX 値および STAT 値が測定点毎に CSV ファイルとして記録される。測定データは X-Y 座標により管理される（例：測定点 A = X:001, Y:001）。

## 1.6 調査結果の解釈の留意点

本製品の性能確認シートに記載された実験では、測定点全体の平均値と標準偏差を基にうき・はく離を判定しているが、この方法による判定では、測定点全てが健全な状態であっても一定数がうき・はく離と判定されることになる。重要なのは、相対的に値が低い箇所がどのように分布しているかである。相対的に値の低い箇所が測定面の中で均等に分布している場合、どれだけ低い数値があっても、通常データのバラつきとして扱う事が妥当で、コンクリートに問題があるとは言えない。一方、相対的に値の低い箇所が測定面のある一定範囲に集中して出現する状態は、単なるバラつきとして説明することが困難になる。このような場合に、コンクリートに問題があると解釈することができる。非破壊検査はCTSに関わらず、必ず相対評価が基本となる。このため、統計的な思考が必要となる。

## 1.7 記録

特になし。

## 1.8 参考となる技術図書等

- 1) (一社)日本非破壊検査協会、コンクリートの非破壊試験—打撃試験方法— 第3部：機械インピーダンス試験方法 NDIS3434-3、(2017)
- 2) 若山 裕泰・波岡 雅昭・加川 順一、空港のコンクリート舗装版の新たな補修方法—内圧充填接合補強工法—、舗装、第56巻第4号、(2021)
- 3) (国研)土木研究所・(一社)日本非破壊検査協会、非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の検査・点検マニュアル、大成出版社、(2010)