

技術マニュアル

ボルト・ナットの健全性検査装置 BOLT-Tester

2022年9月

日東建設株式会社

1.1 概要

BOLT-Tester（以下「BTS」）は、あと施工アンカーやナットの健全性をハンマ打撃によって検査する計測器である。衝撃加速度計を内蔵したハンマでボルトやナットを打撃し、その時に得られる反力の時間波形によって健全性の評価を行う。ボルトの固着不足やナットの緩みなどがある場合、打撃に対する反力の生成に遅れが生じ、測定波形からこの挙動を読み取り検査を行う技術である。



写真-1.1 BOLT-Tester (BTS)

1.2 測定原理

健全なボルトは、作用させた打撃力の範囲で弾性体としての挙動のみを示すのに対し、いわゆる不健全なボルトでは、塑性変形を伴う挙動を示す。図-1.1に健全なボルトを打撃した場合に測定される打撃力波形と、不健全なボルトを打撃した場合に測定される打撃力波形の例を示す。健全なボルトは最大値となる上に凸なピークに対してほぼ左右対称な波形となっている。一方、不健全なボルトでは、ピークが二つの波形が得られている。健全な状態に比較して、不健全な状態は様々なタイプがあり、図-1.1で示す波形はその一例に過ぎないが、ボルトが不健全な状態にある場合、弾性体としての挙動から外れるため、波形に歪みが生じることとなる。本装置は、打撃に対して、ボルトが弾性体として挙動するか、塑性変形を伴う挙動を示すかを波形形状から判別し、ボルトの健全性を評価する技術である。

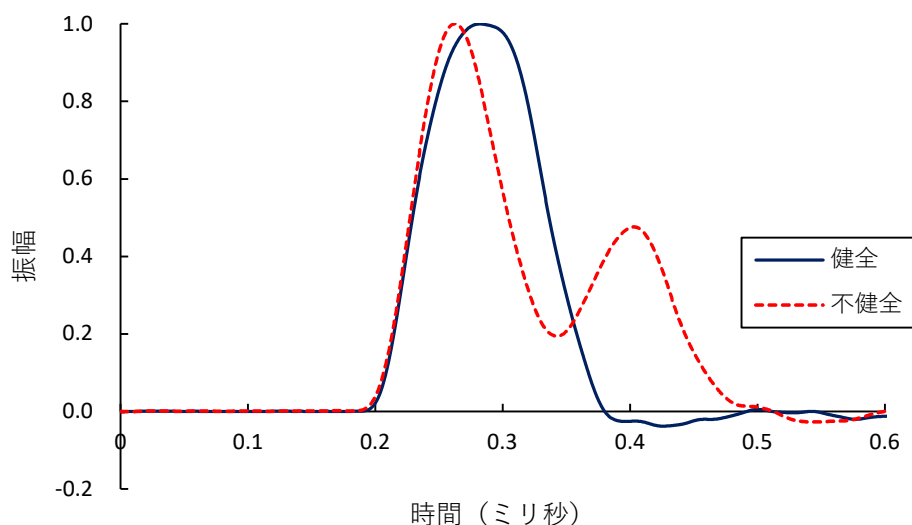


図-1.1 打撃力波形の例（健全なボルトと不健全なボルト）

1.2.1 塑性的挙動を示す場合

ボルトが打撃に対して塑性的挙動を示す範囲にある場合、複数のピークを持つ（通常は2つのピークを持つ）波形が測定される。一般的に、ボルト・ナットの結合度合いが緩いほど二つのピーク間の時間が長くなる。ピーク間の時間を時間遅れと定義し、弾性体として挙動する場合の波形からどの程度ずれているか数値化する。

図-1.2 は、塑性挙動を示した場合の指標値の概念図である。一つ目のピークから二つ目のピークまでの時間を時間遅れ、一つ目のピークと二つ目のピークのパワー比をピーク比として指標を算出する。なお、ピーク比は、ボルト・ナットの結合の仕方によって様々な意味を持つため、参考までに算出する。

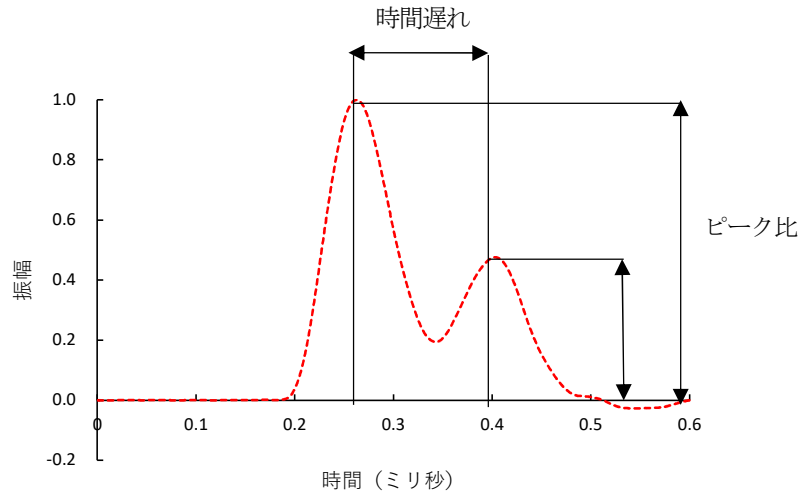


図-1.2 指標値の概念 時間遅れおよびピーク比

1.2.2 弾性的挙動を示す場合

ボルトが打撃に対して弾性体として挙動する範囲にある場合、上に凸の単一ピークを持つ波形が測定される。ボルト・ナットの結合度合いが強固なほど、構造体としての剛性が高い状態になっているものと考えられる。機械インピーダンスは、打撃対象の弾性的性質や剛性を反映した指標であり、波形から機械インピーダンスを計算することでボルト・ナットの構造体としての剛性を評価できる。

図-1.3 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時間波形の例である。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、時間波形から式(1)および式(2)によってハンマの貫入過程の機械インピーダンス Z_A と反発過程の機械インピーダンス Z_R を算出している。これは、コンクリートの表層に脆弱層が存在していることが理由である。本技術の測定対象は鋼材であり、脆弱層は存在しない。このため、貫入過程および反発過程を分離せず、式(3)によって波形全体から機械インピーダンスを算出する。

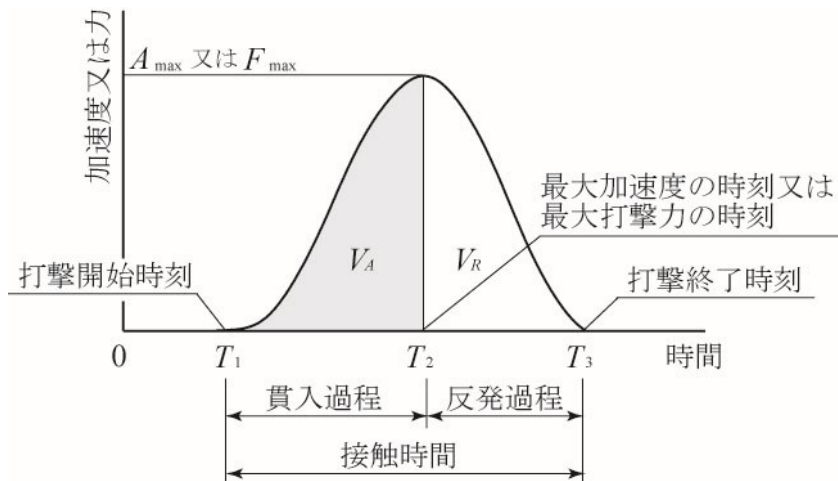


図-1.3 測定した時間波形と各時刻の定義

$$Z_A = \frac{F_{\max}}{V_A^{1.2}} \approx \frac{MA_{\max}}{\left(\int_{T_1}^{T_2} A(t) dt\right)^{1.2}} \quad (1)$$

$$Z_R = \frac{F_{\max}}{V_R^{1.2}} \approx \frac{MA_{\max}}{\left(\int_{T_2}^{T_3} A(t) dt\right)^{1.2}} \quad (2)$$

$$Z = \frac{F_{\max}}{(V_A + V_R)^{1.2}} \approx \frac{MA_{\max}}{\left(\int_{T_1}^{T_3} A(t) dt\right)^{1.2}} \quad (3)$$

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、保護キャップなどの保護材が施されている場合は一度除去する必要がある。

(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

BTS 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、BTSはこの影響を受けない。

2) 精度と信頼性に関する留意点

- ボルト・ナットが極端に腐食しているような状態で正しい測定が難しいため、事前に処理を行う必要がある。
- ボルトと母材の結合状態を把握したい場合は、ボルト頭部を軸方向に打撃する。ナットの締め付け度合いを把握したい場合は、ナットの側面を横方向に打撃する。
- 機械インピーダンス値とナットの締め付けトルクには比例関係がある。しかしながら、ボルト・ナットのサイズやワッシャーの有無などにより、その関係式は異なる。機械インピーダンス値によってトルク値を推定する立場では、現場と同一条件のボルト・ナットを対象にキャリブレーションの実施が必須である。
- BTSは、加速度計を内蔵したハンマでボルト頭部やナットの側面を打撃する。ボルト頭部やナットの側面は面積が小さく、打撃ミスを誘発しやすい。複数回測定を実施して再現性のある波形を記録する必要がある。

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）

BTSの調査フローを図-1.4に示す。

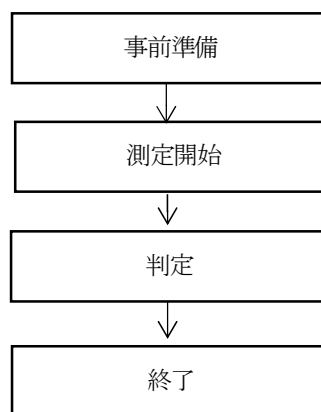


図-1.4 調査フロー

(3) 調査要領

BTS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

対象となるボルト・ナットの状態を確認し、管理番号を付与するとともに、測定障害（保護キ

ャップなど) となるものがあれば事前に取り除く。

2) 測定開始

測定対象のボルト・ナットを打撃し測定を行う。測定が行われるとビープ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、ボルト・ナットが塑性的な挙動を示すほど結合力が弱い状態ではなかった。このため、指標値は機械インピーダンス値のみを用いている。

1.5 結果の活用に関する技術情報

測定されたデータは CSV ファイルとして記録される。記録される内容は、設定パラメータや測定日時、測定結果（打撃力、振幅比、遅延時間比、打撃力波形のデータ）である。この測定結果は測定時にも確認できるが、報告書等としてとりまとめる際には表計算ソフトを用いてデータの整理を行う。また、機械インピーダンス値については打撃力波形のデータをもとに別途算出する必要がある。

1.6 調査結果の解釈の留意点

BTS の測定で塑性的な挙動と弾性的な挙動が観測される境界は、ボルト・ナットのサイズや母材の状態、使用するハンマの重さなどによって決定される。このため、塑性的な挙動を示した場合、「ゆるんでいる」ことを指摘することは容易であるが、どの程度であるか定量的な評価は難しい。測定対象となるボルト・ナットを対象にキャリブレーションを実施することで定量的な評価が可能となる。

1.7 記録

特になし。

1.8 参考となる技術図書等

- 1) 中西慎吾、渡邊一悟、村上健志、ハンマ打撃によるナット緩み検出手法について—附属物点検への適用可能性の検討—、国土交通省北海道開発局、第 63 回北海道開発技術研究発表会、2020.02
- 2) 齊藤透、小林学、久保元樹、加速度計内蔵ハンマ打撃によるスリーブ打込み式アンカーの健全性評価に関する検討、土木学会、第 73 回年次学術講演大会、pp. 858-856、2018.08
- 3) 齊藤透、小林学、久保元樹、加速度計内蔵ハンマ打撃による接着系アンカーの健全性評価に関する検討、日本建築学会、2018 年度学術講演概要集、pp. 105-106、2018.09
- 4) 岡本真、久保元樹、久保元、境友昭、打撃によるケミカルアンカーボルトの非破壊健全性試験方法、日本非破壊検査協会、コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 (Vol. 5)、pp. 245-248、2015.08