84 ハンマリング試験の定量化に関する検討

材料加工部 島田道男、吉井徳治、成瀬 健

1.まえがき

船舶検査では、錆落としや部材健全性を確か める手助けとしてハンマリングが数多く行われ ている。ハンマリングは船体構造に対する適用 性に優れるため船舶検査の重要ツールとなって いるが、試験結果の評価は専ら経験的判断によ るところが大きく、船舶検査官でもその有効性 については判断が分かれている状況である。

一方、船体の経年劣化を一因とする海難事故 が近年少なからず発生し、その対策として船舶 検査技術の改善が求められている。

このような情勢の中で、当所では鋼板上に落 下させた鋼球の反発挙動やシュミットハンマに よる反発度と鋼板厚の関係について実験的に調 べ、反発を利用した鋼板厚測定が可能であるこ とを示した^{1),2)}。この経験から、ハンマリング 試験により鋼板の厚さを測定できる可能性も高 いと考えた。そこで、ハンマリング荷重が測定 できるインパルスハンマを用いた計測実験を実 施し、厚さとの相関性が高いパラメータについ て検討した。また、鋼板の反発挙動を有限要素 解析で解明し、反発挙動の定式化を行った。

2. 鋼板の反発挙動の解明

軸対称円板有限要素モデルを用いて、外周部 底面の Z(厚さ)方向変位を拘束した状態で、中 央に強制ステップ変位(10µs で 0.1mm)を与え た場合の応答とステップ荷重(10µs で 78.5kN) を与えた時の中心部の時刻歴応答を求め、図 1 と図 2 を得た ²⁾。実線は半径 450mm の、破線 は半径 150mm モデルの結果である。半径 150mm モデルは、周辺部から戻ってくる波の 影響による振動が見られた。

強制ステップ変位による反力 f(t)は指数関数 的に大きさが低減し、ステップ荷重による変位 y(t)は時刻に比例して大きさが増大した。



図3 スプリングーダッシュポットモデル

f(t)と y(t)は、図 3 の等価機械要素から求めた次 式で近似できた。



図1、図2のデータに式(1),(2)を適用し、最小

-387-

自乗法で係数を求め鋼板の厚さの関数として表 すと図4が得られる。抵抗係数 D は厚さの2乗 に比例し、ばね定数 K は厚さに無関係である。 したがって、反発挙動から厚さを求めることは、 鋼板の抵抗係数 D を求める事に帰着する。



3. 等価機械要素による反発挙動の定式化

図3の等価機械要素モデルに質量 m の鋼球 が落下した時の挙動は、次式で計算できる。

$f(t) = -\frac{aK \exp(-\alpha t)\sin(\alpha t)}{\omega}$	$t = 0 \sim \pi / \omega \dots (3)$
$\gamma = \exp\left(-\frac{\alpha\pi}{\omega}\right)$	(4)
$t_0 = \frac{\pi}{\omega}$	(5)
$\alpha = \frac{K}{2D} , \omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \sqrt{1 - \frac{\mathrm{mK}}{4D^2}} ,$	<i>a</i> = 鋼球の初速度

γは反発係数、toは接触時間である。

本等価機械要素の有効性を検証するために鋼板上に落下させた鋼球の反発を有限要素解析で 求めた値と比較した。一例を図5に示した。比 較にあたり、鋼球が有するバネ定数を考慮し、 鋼球径20,30,40,50mmについてそれぞれ170, 130,66,5MN/mだけ鋼板のバネ定数を小さくし



て計算した。両者の値がほぼ一致した。また、 接触時間の比較では、鋼球-鋼板の接触過程が図 3のスプリングダッシュポットモデルと異なる ための補正、反発係数と接触時間の実験値との 比較では、実験値における塑性変形の影響の補 正を行うことにより、両者を一致させることが できた³⁾。本等価機械要素により鋼板の反発挙 動が説明できることが分かった。

3. インパルスハンマ測定実験

試験体は裏面に補強材(22mmt)を付けた 1m 角 SS400 材で厚さが 10mm,16mm,22mm の3 種を用意した。使用したインパスルハンマのヘ ッド質量は 318g であり、鋼板と接触するチッ プには、写真1に示した3種を用いた。S11 は、 チップ剛性を低下させるため幅 11mm のスリ ット(紙面に平行方向にも有る)を入れたチップ であり、R50 は、先端曲率 50mm のチップ、 Hp はインパルスハンマ付属のハードプラスチ ックのチップである。S11 と R50 は鋼製である。 また、測定条件ごとに少しずつ測定位置を変え 5 回計測し、データのばらつきの様子をみた。

また、荷重波形にはカットオフ 20KH z 、ス トップバンド 40KH z 、減衰量 40dB の低域透 過フィルタを適用しノイズを低減させた。



3.1 鋼板厚との関係

補強材から 300mm 以上離れた位置で、イン パルスハンマで叩いた時の荷重波形の例を図6 に示した。T は厚さを示す。厚さが小さい時に は、荷重波形のピークがやや左よりであること が分かる。これらの波形を(3)式でカーブフィッ トし減衰定数 a を求めれば、抵抗係数 D が分か り厚さに換算できるが、(3)式によるカーブフィ ットは容易でないので、荷重波形の変化率の最 大最小比 Ratio(一最小値÷最大値)を計算し、板 厚との関係を調べた。同時にピーク荷重の 1/2 以上の波形長さ及びピーク荷重を調べた。これ らを図7,8,9に示した。最大最小比には板 厚との相関が認められるが、ハードプラスチッ クでは板厚が異なっても最大最小比の変化が少 なかった。また、S11とR50では、ほぼ同等の 変化がみられたが、S11の方がやや変化が大き かった。

図8は波形長さを板厚の関数として示したが、 波形長さは板厚に依存しない事が分かった。





図9 ピーク荷重と厚さとの関係

3 種のチップにおける波形長さの違いは、チッ プ剛性の違いによるものと思われる。また、ピ ーク荷重と板厚の関係を示す図9では、両者に 相関が認められるが、波形長さの小さいハード プラスチックチップでは、相関が極めて小さく、 波形長さの小さい R50 チップでは相関の程度 は大きい。

チップの材料や剛性によって板厚との関係が 大きく影響されるので、板厚測定に有利なチッ プの条件を解明していく必要がある。

以下は板厚測定に有利と思われるS11チップ を用いて、落下高さと測定位置の影響を調べた。

3.2 落下高さの影響

図 10,11 にピーク荷重及び最大最小比と落下 高さの関係を示した。落下高さは約 20mm から 400mm まで変えた。ピーク荷重を示す図 10 で は、板厚 10mm の結果が小さめで 16mm と 22mm の差は僅かであった。これに対し、図 11 の最大最小比は各板厚に相当する差が見られる が、落下高さの影響は小さかった。ただし、落 下高さが小さい領域で最大最小比がやや小さく、



落下高さが大きい領域で最大最小比がやや大き くなる傾向が認められる。本計測では剛性を小 さくした S11 チップを使用しているが、すべて の試験体に塑性変形痕が残っており、塑性変形 の影響も含まれていると思われる。

波形長さに関しては、落下高さを変えてもほ とんど変化が無かったので、図を省略した。

3.3 測定位置の影響

インパスルハンマで厚さ測定を行うには、補 強材の影響を解明しておく必要がある。図 12,13 に最大最小比及びピーク荷重と測定位置 の関係を示した。測定位置は、裏面補強材から の距離を表す。図 12 から、最大最小比は、補 強材位置で大きく、補強材から離れると小さく なる傾向があった。また、大きな板厚では、補 強材上と離れた位置での測定値の違いが小さい。 補強材から約 130mm 以上離れると補強材の影 響がなくなると考えられる。

ピーク荷重と測定位置の関係を示す図 13 で は、板厚 10mm で補強材の影響が見られ、補強 材から離れると、ピーク荷重がやや低下した。 板厚 16mm 及び 22mm では補強材の影響はほ



とんど見られなかった。

4.まとめ

鋼板のインパルス応答がスプリング-ダッシ ュポットモデルで記述できる事が有限要素解析 から分かった。これによってインパルスハンマ の荷重波形から鋼板の厚さ情報を抽出する事が 可能である。

最大最小比は、補強材から 130mm 以上離れ ると板厚とインパルスハンマ特性で決まるので、 厚さ測定利用できるパラメータであることが分 かった。

船体への適用を考え、精度の向上と測定面凹 凸などの影響を解明していく必要がある。

5.参考文献

- 1)島田,吉井,成瀬:第73回船研発表会講演集、 p31-34,1999.6
- 2)島田,吉井,成瀬:非破壞検査,50巻,7号, 2001.7
- 3)島田,吉井,成瀬:第8回超音波による非破壊評 価シンポジウム,p153-158,2001.1