

打撃法による鋼部材損傷検出の可能性について

トーヨーカネツ株式会社 (当時 学生会員) ○高尾 亮次
高知工科大学 フェロー会員 藤澤 伸光

1. はじめに 近年、既設構造物に対し適切な補修・維持管理が急務の課題となっている。そのためには損傷の位置や程度の正確な把握が望ましい。損傷の評価方法の中には振動特性を用いたものも多く見られる¹⁾。しかし、劣化に伴う構造物の振動特性の変動は微小であるという報告も多い。一方、超音波の境界面や傷で反射する性質を利用した探傷法 (UT) は高い検知精度を有する。しかし、適切な手法の選択が必要となるなど個人の技量によるところも大きい。本研究では、現場で比較的簡易に実施可能だと思われる打撃による振動に注目し、基礎研究として鋼部材端部からの反射を捉えることを試みた。

2. 実験方法 JIS 規格の角鋼管 (B-75×75×3.2) の 1 端をアンカープレートにハイテンションボルトで固定し、他端を自由とした条件で実験を行なった (図 2-1)。鋼管の長さは 1500mm である。測定には圧電式加速度変換器を 2 個使い、スキャンレートは 50 万/秒とした。以後、アンカープレートがついている方を左端、ついていない方を右端、また左端側の加速度計を ch1、右端側を ch2 と表記する。衝撃にはハンドハンマーを用いており、アルミ素材で作製した治具で角鋼管を挟み、鋼管軸方向への縦振動を発生させている。波動の伝播速度は以下の式で求めた。

$$C = \sqrt{E/\rho} = 5.048 \times 10^6 \text{ mm/sec}$$

ここに ρ は鋼の質量密度、 E はヤング率である。また、加速度計は、市販されている L 字型の鉄アングルに直径 2mm の孔を開けたものにネジで固定し、それを万力で試験体に固定している。

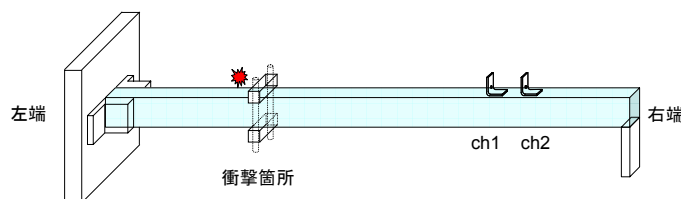


図 2-1 試験体概略図

3. 衝撃箇所と加速度計間の距離が計測に与える影響 実験を進めていく過程で、衝撃箇所と計測位置との距離が計測に影響することがわかった。衝撃後、アルミ部に微振動が発生している可能性があり、衝撃箇所と計測位置が近いと波形が乱れ、逆に一定の距離があいている場合は微振動が減衰してノイズの少ない波形となったのではないかと考えられる。本実験では、衝撃箇所と加速度計との間に 400mm 以上の距離をあげた場合にノイズがなくなることが分かったので、以後の実験ではこの距離を保って計測した。

4. 振動の反射 図 4-1、4-2 は、図 2-1 において ch2-右端間の距離が 300mm と 100mm の 2 パターンの実験の結果である。図中の白星は右端で反射した波動が各々の加速度計の位置に到達すると予測される時刻を、黒星は左端での反射波の到達予測時刻を示す。ch1, 2 の波形から、反射波の到達予測時刻以降で、波形の変化が発生していることが分かる。例えば case300 の場合、ch1 と 2 の初期の時間差は約 1.98×10^{-5} 秒であり、その後の最初の山と谷においても時間差はほぼ同じであると認められる。しかし、到達予測時刻以降は、その時間差が増加する傾向がある。Case100 においても同様である。

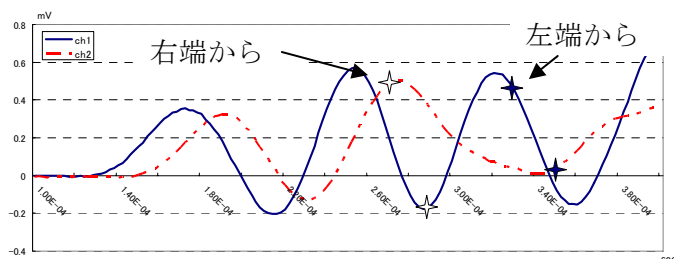


図 4-1 case300 の結果

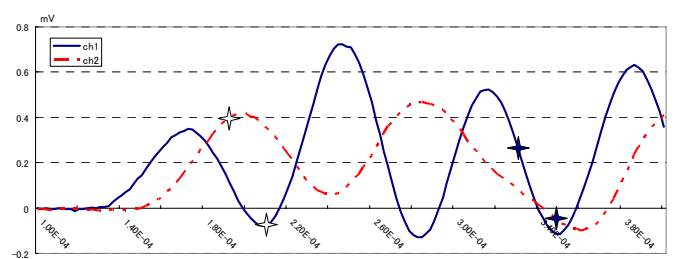


図 4-2 case100 の結果

5. 反射波のシミュレーション 前節では、波形の変化が反射波の影響である可能性を述べた。ここでは、振動を応力波として捉え反射波のシミュレーションを行なった結果を述べる。伝播応力の式 $\sigma=(E/C)V$ において、弾性係数 E と伝播速度 C は定数であるから、応力 σ と速度 V は比例関係にある²⁾。よって、計測した加速度を積分して得られる速度を応力に比例するものとして捉え、応力波の自由端での反射条件から反射波のシミュレーションを行なう。

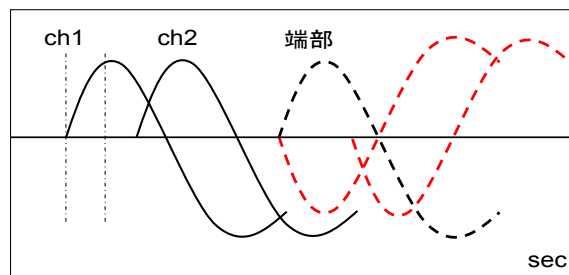


図 5-1 シミュレーションイメージ

図 5-1 のように ch1、ch2 の加速度計位置における応力（速度）が得られているとする。仮に端部より先にも鋼管が続いているとすれば、端部では破線で示したように、ある時間差をもって同じ応力波が観測されるはずである。実際には端部は自由であり、応力は常に 0 であるから、仮想的な応力波と逆符号の応力波が反対方向に進行していると考えられる。

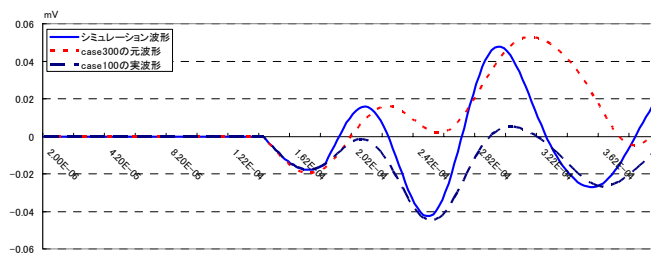


図 5-2 シミュレーション結果

シミュレーションは case100 について行なった。上述のように、反射波のシミュレーションには、仮想的に鋼管が続いているとした時の端部における応力波が必要である。ここでは、反射波の影響が現れる時刻の遅い case300 の実測値を代用することとした。この測定波を 100mm 進むのに必要な時間 1.98×10^{-5} 秒ずらし、その波形の符号を逆にする。さらに 1.98×10^{-5} 秒ずらした位置で元の case300 の波形と足し合わせれば、端部から 100mm で計測した case100 の実測値を再現することになると考えた。

図 5-2 にシミュレーションの結果を示す。図から、case100 を再現したシミュレーション結果は、実測値の波形と定性的には同じ傾向にあると言えよう。特に case300 と case100 の差が現れる時刻はよく予測されていると言える。よって、波形に生じた変化は右端からの反射によるものと結論される。

6. 切欠きからの反射 図 6-1 に示す 2 パターンの擬似的な損傷部からの反射の影響を捉える実験を行なった。4 節と同様に反射波の影響が現れると予測される時刻を星印で示す。黒星は損傷部から、白星は右端からの反射の影響が現れる予測時刻である。ケース 1 の結果では波形の変化はみられるが、予測点付近において大きな変化はほぼみられない。しかし、ケース 2 では波形の変化が大きく、また右端から ch2 までの距離が 100mm のケースの波形と近い傾向がある。よって、損傷が大きければ反射が捉えられると言える。

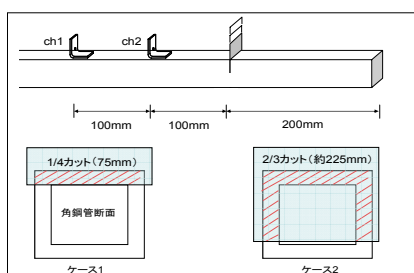


図 6-1 切欠きのケース

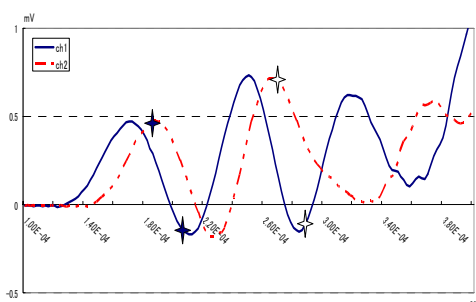


図 6-2 ケース 1 の結果

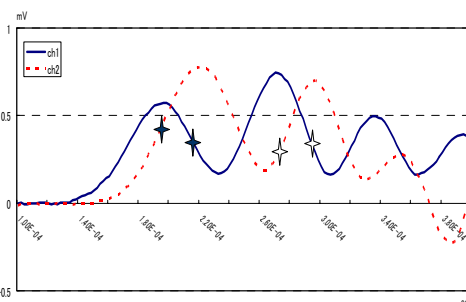


図 6-3 ケース 2 の結果

7. 結論

1. 振動を応力波として捉えた結果より、波形の変化は反射の影響によるものであるといえる。
2. 使用した試験体において、右端から 300mm 以内ならば右端の反射の影響を捉えることができる。
3. 計測条件として衝撃箇所と計測位置との間に 400mm 以上の距離が必要である。

[参考文献]1) 江本久雄他「鋼製片持ち梁の打撃実験による損傷評価の検討」土木学会第 62 回年次学術講演会公演概要集、1-384, pp.763-764, 2007 2) 中原一郎「応用弾性学」 pp.190～195