

打撃反射波を用いた鋼管の長さと損傷箇所の推定

Estimation of Length and Damage Location of Steel Pipes Using Striking Reflected Waves

○吉澤剛禎*, 正田大輔*, 井上敬資*, 楠本岳志*
 ○YOSHIZAWA Masayoshi*, SHODA Daisuke*, INOUE Keisuke*, KUSUMOTO Takeshi*

1. 研究背景

令和6年能登半島地震では、地すべり防止区域で地すべり活動が確認された。このような場合、埋設された杭工（地すべり抑止杭）が損傷を受けている可能性があるが、杭工の健全性評価手法は一般化されていない。そこで、鋼管杭工の健全性評価手法の開発を目的として、鋼管の長さと損傷箇所を推定する手法を検討した。

2. 実験方法

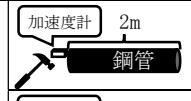
地すべり防止対策を行う際に使用される鋼管 SKK400 及び同等品¹⁾に準拠する為、JIS G 3444 STK400 溶接鋼管（外径 27.2mm, 厚 2.3mm）を 1mm 精度で 2, 4, 6m に切断した。140g のスチール製ハンマーで鋼管端部を打撃し、端部に設置した加速度計（リオン社製 PV-90B）とデータレコーダ（リオン社製 DA-21）で鋼管の振動を 0.0391×10^{-3} s 間隔で記録した。打撃波と反射波から鋼管の長さを推定できるか調べる為、Table 1 の条件 No.1～No.3 の計測を行った上で、損傷箇所を推定できるか調べるため条件 No.4 の計測をした。各条件 3 回計測しました。

3. 実験結果

計測した鋼管の振動を $r = a/a_{max} \dots (1)$ （加速度比 r , 加速度 $a(m^2/s)$, 最大加速度 $a_{max}(m^2/s)$ ）で正規化し、打撃前後 0.005s 間の結果を Fig.1 条件 No.1～No.3 のとしてまとめた。打撃波よりも反射波の値が大きくなる理由は、反射波による加速度と打撃点で折り返した反射波の加速度が重なったためと考える。打撃後、加速度比が大きい反射波が計測されるまで 2m の時 0.859×10^{-3} s, 4m の時 1.52×10^{-3} s, 6m の時 2.31×10^{-3} s かかる。ここで、 $x = v \times (t_2 - t_1)/2 \dots (2)$ （推定杭長 $x(m)$, 波動伝播速度 $v(m/s)$, 打撃波の計測時間 $t_1(s)$, 反射波の計測時間 $t_2(s)$ ）から杭長を求める。鋼管の波動伝播速度とされている $5,120m/s^2$ を、 v に代入すると 2.20m, 3.90m, 5.90m と推定された。

損傷箇所のある鋼管の振動は、Fig.1 条件 No.4 のようになつた。杭長は 6m であるので、杭先端からの反射波は打撃 2.34×10^{-3} s 後の振幅と推定される。打撃点から 4m 先で断面が 50% 欠損している為、打撃 1.48×10^{-3} s 後の反射波は損傷箇所のものと想定した。式(2)を使い反射位置を求めるとき打撃点から

Table 1 計測条件
Measuring conditions

No.	杭長	欠損位置	欠損量	杭の長さ・欠損と概略図
1	2m			
2	4m	無	無	
3	6m			
4		打撃点から 4m	1/2	 The diagram shows a 6m long steel pipe. An impact gauge is placed at the 0m mark. The pipe is divided into two 3m sections. The first 4m section is labeled '打撃点から 4m' (4m from impact point). The last 2m section is labeled '欠損1/2' (1/2 damage).

* 農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO 地すべり, 打撃反射波, 鋼管

ら 3.80m 地点の反射波であった為、損傷箇所から反射波と推定した。

4. 考察

打撃波、反射波から杭長を推定すると Table 2 のようになる。ここで、 $e = (x - l)/l \times 100$ …(3) (誤差率 e (%), 推定杭長 x (m), 杭長 l (m))。上記の式で 3 回の結果を平均し誤差率を求めるとき、杭長 2m の時 5.00%, 杭長 4m の時 1.75%, 杭長 6m の時 1.17% である。この結果から杭長が短い場合ほど、誤差が大きくなる傾向が示された。上記は、先行研究³⁾でも述べられており、計測間隔が一定の時、短い杭ほど計測精度が低下するためである。今回の計測条件では、計測間隔が 0.0391×10^{-3} s であるため、1 回計測がずれると想定される杭長が 0.100m 変わる。

杭が損傷している場合、杭長を示す反射波が計測される前に、損傷箇所からの反射波が計測された。反射波から推定した損傷箇所は、打撃点から 3.80m と実際の損傷位置である 4m よりも近い。誤差率にすると 5.00% であり、杭長 4m の時の 1.75% より大きい。上記より、断面積の 1/2 の切断箇所からの反射波は全断面からの反射波と比較して、位置の推定に誤差が生じることを示したと考える。

打撃反射波を使うことで鋼管の長さは誤差 0.00~5.00% の範囲で推定でき、誤差は推定長が長くなると小さくなる。

Table 2 杭長・損傷箇所の推定
Estimation of pile length and damage location

計測条件	伝達時間(s)	伝播時間(s)	杭長(m)	誤差率(%)
1	0.859×10^{-3}			
	0.781×10^{-3}	0.820×10^{-3}	2.10	5.00
	0.820×10^{-3}			
2	1.52×10^{-3}			
	1.52×10^{-3}	1.54×10^{-3}	3.93	1.75
	1.56×10^{-3}			
3	2.31×10^{-3}			
	2.34×10^{-3}	2.32×10^{-3}	5.93	1.17
	2.31×10^{-3}			
4(損傷)	1.48×10^{-3}			
	1.48×10^{-3}	1.48×10^{-3}	3.80	5.00
	1.48×10^{-3}			
4(杭長)	2.34×10^{-3}			
	2.34×10^{-3}	2.34×10^{-3}	6.00	0.00
	2.34×10^{-3}			

木研究所材料施工部施工研究室：インティグリティ試験による場所打ち杭の品質管理法に関する調査、土木研究所資料、3531, p.3(1998)。3)前掲、2)p.184。謝辞：本研究の一部は(公社)農業農村工学会 2024 年度学術基金による援助金の助成を受けて実施した。農研機構井沢憲行氏には実験の際にご協力頂いた。ここに記し謝意を表す。

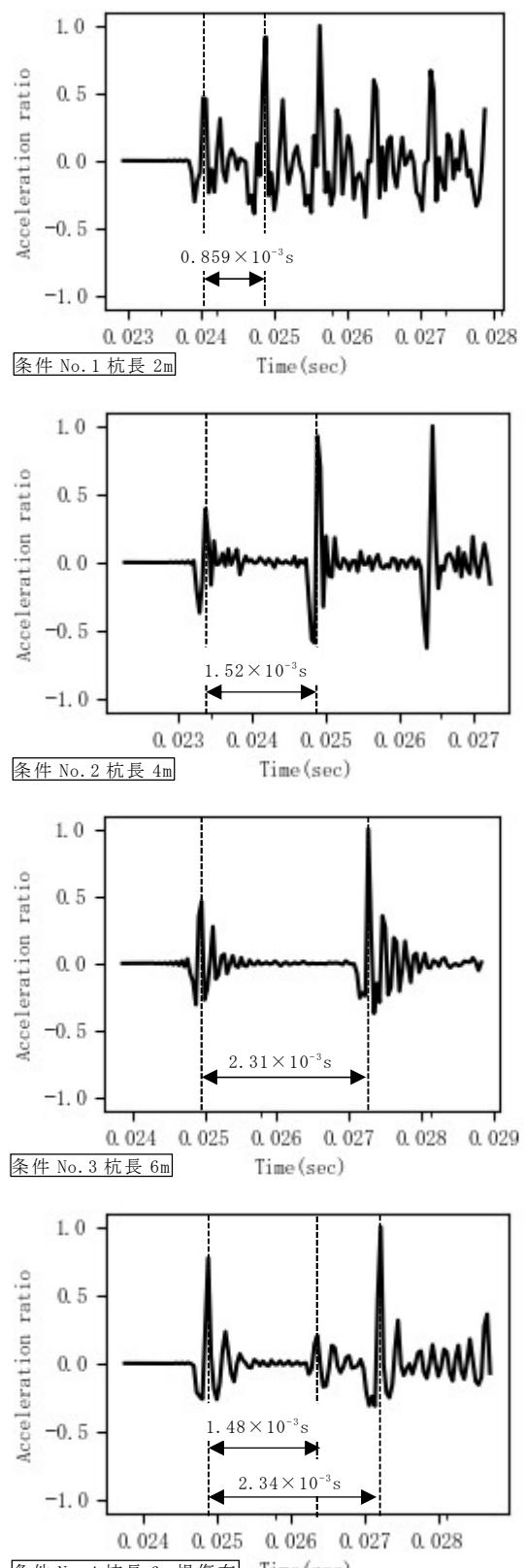


Fig. 1 打撃反射波の波形
Waveform of striking reflected waves

引用文献：1)農林水産省：土地改良事業計画設計基準 計画「農地地すべり防止対策」, p.351(2022)。2)建設省土