

# 長尺打込み鋼管杭の波動伝播挙動

The Wave Propagated Behavior of Long Driven Steel Pile

(株)砂子組	○正員	近藤 里史 (Satoshi Kondo)
(株)砂子組	正員	名和 紀貴 (Noritaka Nawa)
(株)砂子組	正員	廣上 伸二 (Sinji Hirogami)
(独)寒地土木研究所	正員	西 弘明 (Hiroaki Nisi)
(国)室蘭工業大学	正員	小室 雅人 (Masato Komuro)
(株)砂子組	正員	田尻 太郎 (Taro Tajiri)

## 1. はじめに

打撃杭の打ち止め管理は通常、1) 一打撃当りの貫入量とリバウンド量から動的支持力を算定し、支持層への到達度などを総合的に判断して行われる<sup>1)2)</sup>。また近年では、2) 杭頭における衝撃載荷試験の動的データ処理に基づくシグナルマッチングや CASE 法による、リアルタイムな打ち止め管理を行う方法も提案されている<sup>3)4)5)</sup>。上記の方法はいずれも、一次元波動理論に基づく杭体上での衝撃力伝播解析を基礎としているが、1)では杭頭付近で測定した貫入量とリバウンド量を用い、2)でも杭頭付近の加速度と歪み計測データを用いるもので、杭体全長にわたって波動伝播を測定した例は、ほとんどないと思われる。

本論文では、φ600、全長 44.5 m の鋼管杭の打ち込み過程で行った、杭頭付近の加速度測定と杭体各点の歪み計測によって得たデータに基づき、波動伝播挙動の検証結果を報告するものである。

## 2. 計測概要

図-1 に歪みゲージ位置を示す。測定方向は軸方向である。歪みゲージは図-1 の L1~U で対向位置に 2 点配置し、定着を兼ねた防水処理材で覆った。延長ケーブル (ETFE4C シールド付) は、歪みゲージも含めてアルミテープで杭体に定着させ、打ち込み時の地盤抵抗から保護した。図示していないが杭頭には加速度計 (歪みゲージ式、1000G) も配置し、現場継手ごとに移設を繰り返した。設置位置は現場継手位置から下方 500 mm、記号は A-2 である。測定サンプリングは 10 kHz で、全データ量は 707 MB になる。

打ち込み深度の増加とともに歪みゲージは順次断線等により測定不能となっていったが、ここでは対向位置 2 点と加速度計の全データが揃った、ほぼヤットコ直前までの打ち込み延長が 0~35.5 m の結果を示す。

データ処理においては、対向位置 2 点の測定値を平均し、ランマー打撃時の波形 454 波を 130 msec の長さで抽出した。なお加速度計には圧電式も併用していたが、ランマー打撃力の増加とともにノイズが卓越したデータとなったため、加速度計は歪みゲージ式の 1 点のみの結果である。

## 3. 計測結果

1 打撃ごとの波形はばらつきが大きいので、深度に応

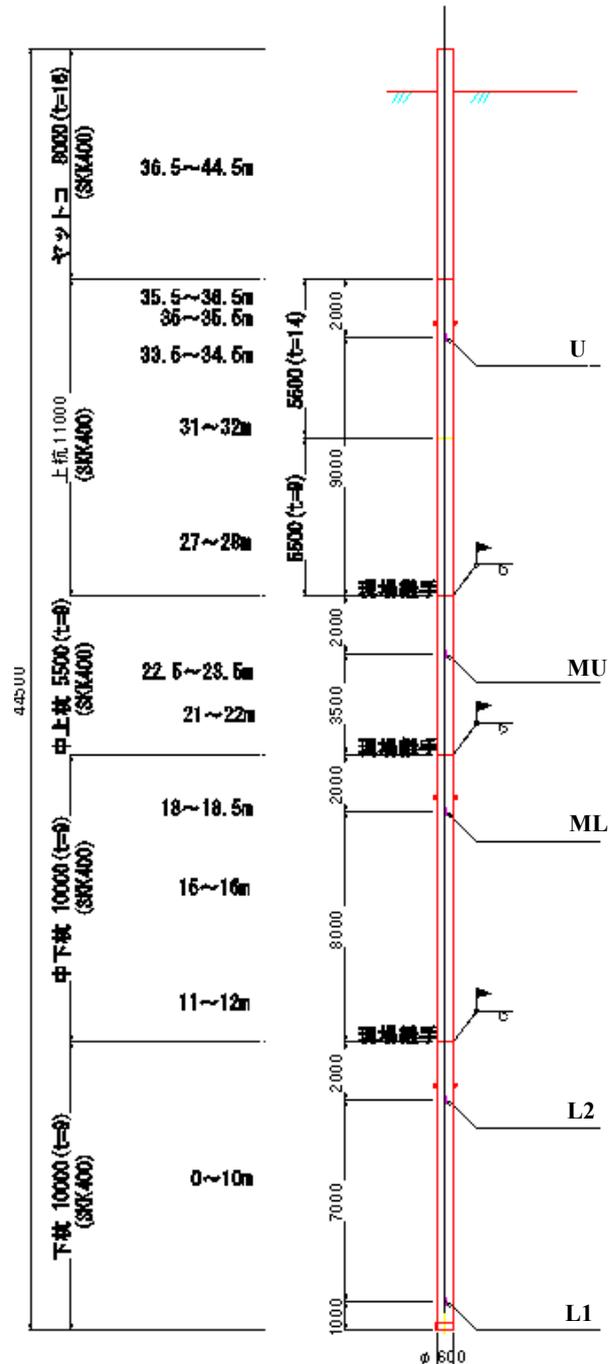


図-1 歪みゲージ設置位置

じた平均値として結果を示す。表-1 は平均波形の範囲、



図-2 加速度計，歪みゲージ

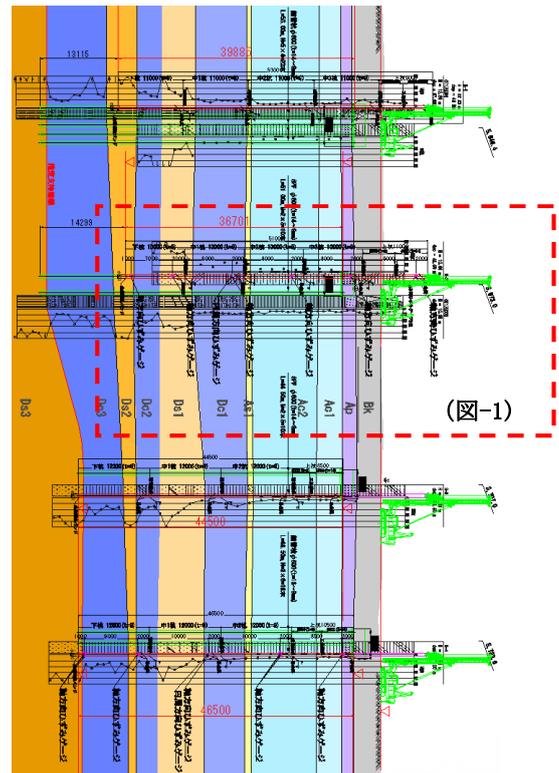


図-3 N値（ボーリング結果）

図-3 はボーリング調査による柱状図である。

鋼管の弾性波速度  $v$  は、弾性係数  $E=2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、単重  $\rho g=77 \text{ kN/m}^3$  として、

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 5045 \text{ m/s} \rightarrow 5 \text{ km/s}$$

であるので、加速度計のピーク時刻（20.1 msec）を基準として、表-1 の計測器の相対距離から各深度の歪みゲージへの波動到達時刻を計算すると、図-4～17 上の縦の点線となる。

図-3 の N 値分布では、打ち込み延長が概ね 0～20 m の間は地盤が比較的軟らかく、ランマー打撃による杭頭加速度は最大で 200 G 以内にあり、ピークの立ち上がりもそれ以降ほどは鋭くない。

打ち込み延長 30 m 以上で、杭頭加速度は 200 G 以上あり、最大はほぼ 600 G に達する。特に N 値が急激に大きくなる 34～35.5 m では、ピークの立ち上がり時間は約 0.1 msec である。

比較的軟らかい地盤 N 値が小さく打撃力も小さい打ち込み延長 0～20 m の範囲では、弾性波速度から予想される波動到達時刻と歪みゲージのピークは、あまり良い一致ではなく、加速度の波形継続時間は図-13 以降よりも長いと判断できる。またこの範囲では、加速度記録よりも約 5 msec 前に、杭頭付近の歪みゲージが反応しているケースがある（図-6, 8）。

これの原因としては、加速度計は 1 点のみなので片当たりの影響が大きく現れた事、またランマーが杭頭に衝突する前に、落下するランマーに引きずられる形でランマー管体が杭を押し込んだ可能性も考えられる。

一方、打ち込み延長 30 m 以上の範囲では、地盤 N 値

表-1 平均範囲，計測器の相対距離

	打ち込み延長 (m)	A-2からの相対距離 (m)					
		A-2	L1	L2	ML	MU	U
図-4	0.0～4.0	0	8.5	1.5			
図-5	4.0～9.0	0	8.5	1.5			
図-6	9.0～10.0	0	8.5	1.5			
図-7	10.0～10.5	0	8.5	1.5			
図-8	10.5～11.0	0	8.5	1.5			
図-9	11.0～13.5	0	17.5	10.5	1.5		
図-10	13.5～16.0	0	17.5	10.5	1.5		
図-11	16.0～18.0	0	17.5	10.5	1.5		
図-12	18.0～21.0	0	23	16	7	1.5	
図-13	28.0～30.0	0	34	27	18	12.5	1.5
図-14	30.0～31.5	0	34	27	18	12.5	1.5
図-15	33.5～34.0	0	34	27	18	12.5	1.5
図-16	34.0～34.5	0	34	27	18	12.5	1.5
図-17	35.0～35.5	0	34	27	18	12.5	1.5

が大きい事に対応して打撃力も大きく、より衝撃的な波形が得られている。歪みゲージのピーク時刻は、弾性波速度から推測した時刻と概ね一致する。最深部にある L1 ゲージはピークではないが、周面摩擦力により打撃力が減少した可能性は考えられる。図-13 以降は全体として、明瞭な波動伝播の時刻遅れが認められる。

なお図-13～17 で最も杭頭に近い U ゲージの歪み値が、2 番目に杭頭に近い MU ゲージより小さいのは、U ゲージと MU ゲージの中間で鋼管肉厚が  $t=9 \text{ mm}$  から  $14 \text{ mm}$  に変化し断面積が 1.5 倍に増加したため、この値は U ゲージと MU ゲージのピーク値の比に、概ね正確に対応する。

#### 4. まとめ

ランマー打撃力が小さく、杭先端が支持層に達していないケースでは、打撃力およびリバウンドが小さいため、片当たりやランマー管体による押し込みの影響等が

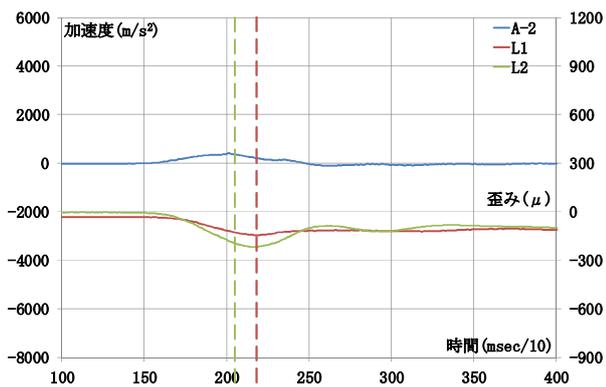


図-4 平均波形 (0.0~4.0 m)

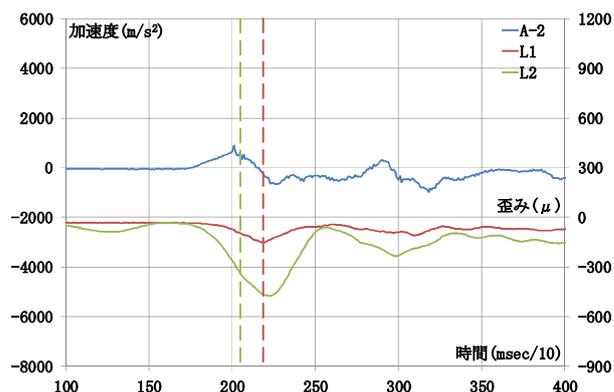


図-8 平均波形 (10.5~11.0 m)

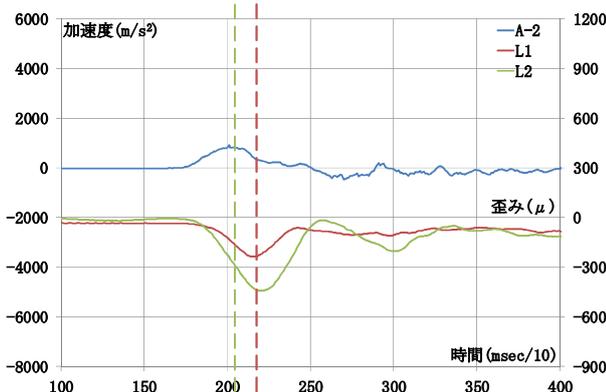


図-5 平均波形 (4.0~9.0 m)

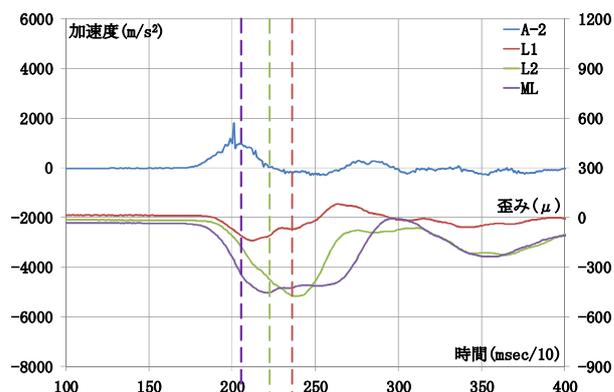


図-9 平均波形 (11.0~13.5 m)

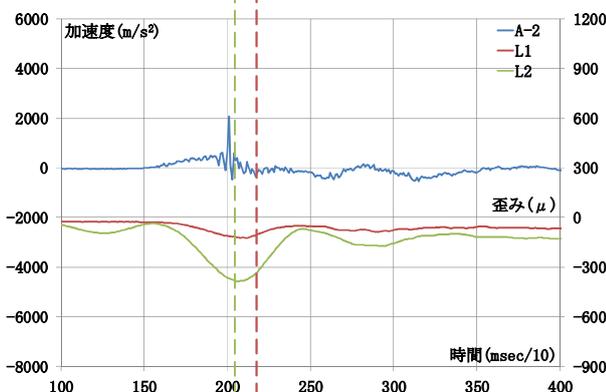


図-6 平均波形 (9.0~10.0 m)

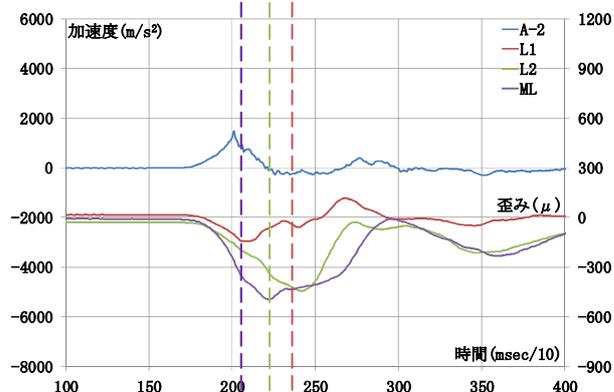


図-10 平均波形 (13.5~16.0 m)

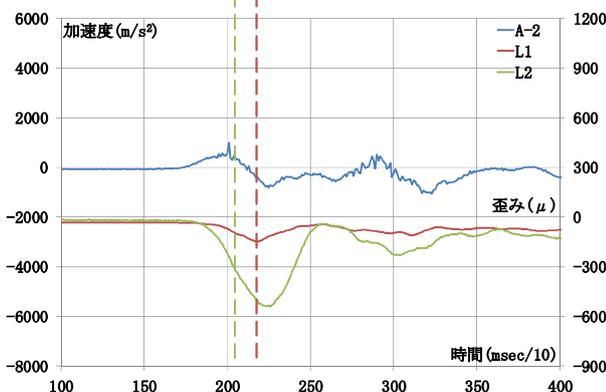


図-7 平均波形 (10.0~10.5 m)

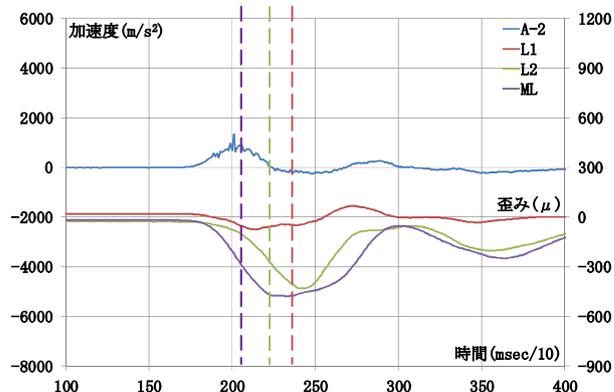


図-11 平均波形 (16.0~18.0 m)

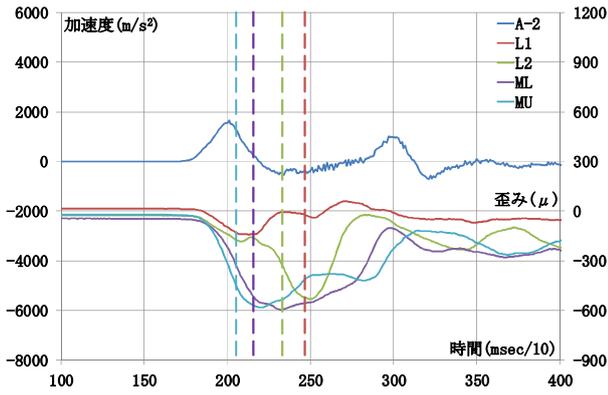


図-12 平均波形 (18.0~21.0 m)

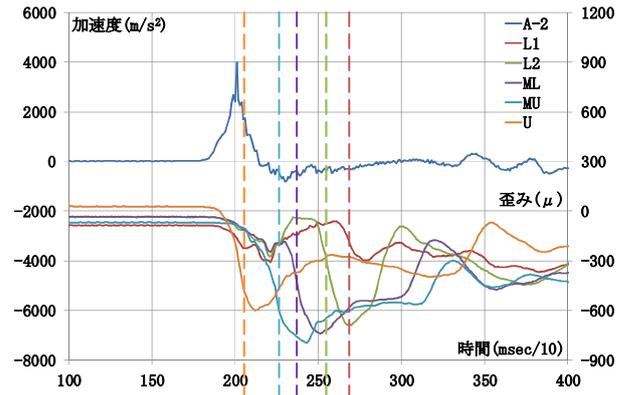


図-16 平均波形 (34.0~34.5 m)

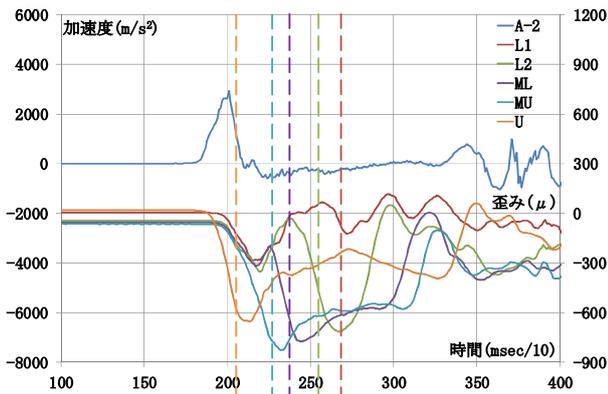


図-13 平均波形 (28.0~30.0 m)

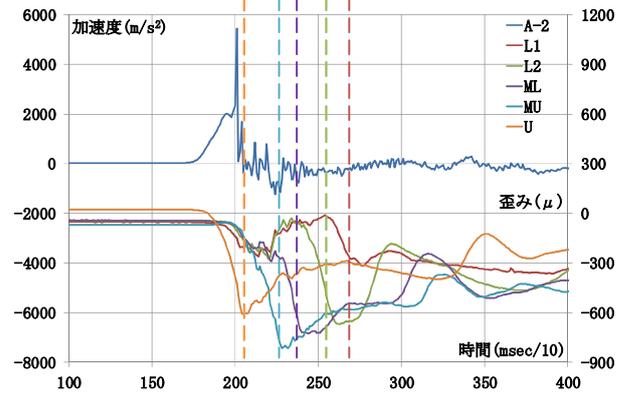


図-17 平均波形 (35.0~35.5 m)

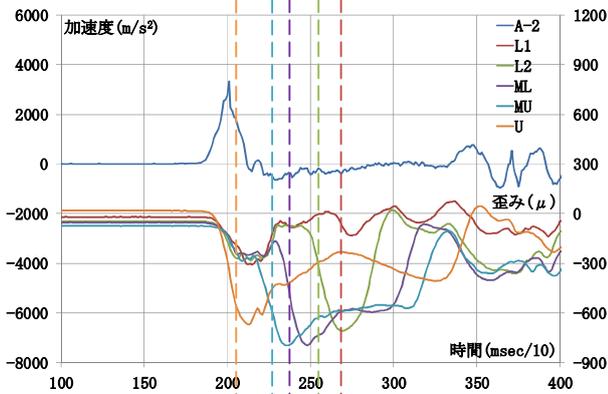


図-14 平均波形 (30.0~31.5 m)

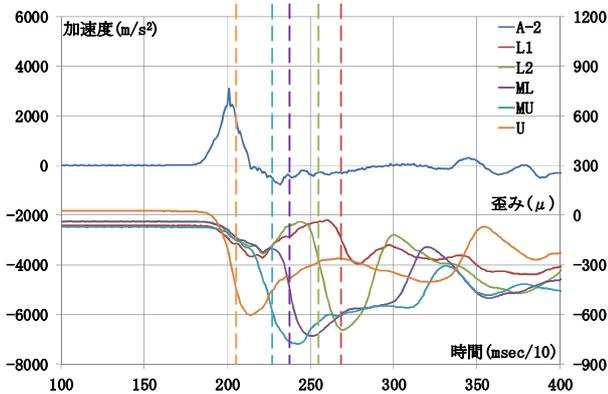


図-15 平均波形 (33.5~34.0 m)

大きく現れ、一次元波動理論から予想される杭挙動と必ずしも一致しなかった。

しかしながら、ほぼ杭先端が支持層に達したあとは、打撃力、リバウンドともに大きいために安定した結果となり、波動伝播速度の観点からは、杭は概ね波動理論の予想する動的挙動を示したと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説IV. 下部工編, pp. 554~557, 日本道路協会, 平成 24 年.
- 2) 杭基礎施工便覧, pp. 126~132, 日本道路協会, 平成 27 年.
- 3) 杭基礎設計便覧, pp. 128~136, 日本道路協会, 平成 27 年.
- 4) 杭の衝撃載荷試験における CASE 法の検討, 小嶋英治, 日本建築学会大会学術講演集 (東北), 2009 年.
- 5) 衝撃載荷試験の波形マッチングに差分法を用いる場合の入力波の検討, 小嶋英治, 日本建築学会大会学術講演集 (東海), 2003 年.