

III-480

杭頭変位の測定に基づく動的支持力の解析技術について

住友建設(株) 正会員 則武 邦具
 " " 上原 精治
 " " 森 信介
 " " ○ 山口 隆史
 土木研究所 境 友昭

1. まえがき 波動理論による杭の動的支持力管理方法が着目され、また測定方法も標準化されつつある。これらの方法は、力および速度という二つの測定量で計測され、実際の計測に際しては、測定ケーブル等が必要とされる。本研究では、杭の変位もしくは、加速度のみに着目し、非接触式の測定技術の開発を目指したものである。既に、本技術の理論的根拠と、①杭頭の変位波形から粒子速度波形を算出し、動的貫入抵抗を測定する方法(粒子速度法)の検証結果を発表している¹⁾。本報告では、さらに変位波形の測定精度に応じて、②変位波形は測定されているが粒子波形の算出が出来ない場合(変位波形法)、③杭頭変位量は分かるが時間波形が得られていない場合(変位量法)について、それぞれの動的貫入抵抗測定方法を検討したのについて述べている。

2. 解析技術の概要 基本的には、下式の粒子速度波形(V)を生成するためにハンマの衝突速度(V₀)とクッションのバネ比(S_r)の2つのパラメータを決定しなければならない。(1)式は、波動理論から得られる動的支持力式を近似展開することにより得られる。これについては①の粒子速度法として既報文¹⁾に概説している。

$$V = 2V_0 \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{S_r} - 1\right)^{1/2}} \exp\left[-S_r \frac{2Z}{M} t\right] \cdot \sin\left[\frac{2Z}{M} (S_r - S_r^2)^{1/2} t\right] \quad (1)$$

ここでは、杭頭変位波形の測定精度に応じて、変位の最大値の時間が判別される場合の②変位波形法と、杭頭の貫入量とリバウンド量のみが判別される場合の③変位量法について述べる。

②変位波形法 (杭頭変位の時間波形から、変位が最大となる時間等が測定できる場合)；杭頭変位が最大値に達するまでの時間は、打撃波形の基本周期の1/2に相当する事から、クッションのバネ比を推定する。

$$f = \frac{1}{2T_s} \quad (2)$$

T_s；変位が最大値を示す時間とそれ以前の最大値の5%となる時間差

$$S_r = \frac{1}{2} \left[\left\{ 1 + 4 \left(\frac{\pi f M}{Z} \right)^2 \right\}^{1/2} - 1 \right] \quad (3)$$

一方、変位の最大値(D)はバネ比とハンマの衝突速度の関数であるから、実際の衝突速度(V₀)が(4)式のように計算され、杭頭での粒子速度波形が生成できる。バネ比が1以上の場合においては、杭頭の最大変位はバネ比によらず一定でありハンマの実際の衝突速度及び粒子速度波形が(5)式より生成できる。

③変位量法 (杭頭変位量のみ測定、つまり速度波形が生成できない場合)；杭頭の変位量(貫入量とリバウンド量)しか測定されない場合には、1)クッションのバネ比；S_r=1.0、2)杭の周面には地盤の抵抗は作用しない、3)打撃条件は杭打ち中一定である、の仮定を設ける。1)の仮定により、粒子速度波

表-1 杭の貫入量と支持力の計算結果(tonf)

データNo.	1 (r3b.dat)				2 (TTB1640.dat)			
	貫入量 (mm)	計算波形			測定波形	計算波形		
		計算波形	変位波形	変位量		計算波形	変位波形	変位量
1	3799	3877	2077	3440	2060	2060	2251	3097
2	3547	3671	2870	3220	1953	1948	2131	2903
3	3333	3498	2695	3042	1860	1856	2026	2743
5	2986	3201	2400	2737	1703	1698	1853	2475
10	2310	2623	1824	2127	1395	1387	1507	1953
15	1782	2145	1368	1651	1141	1123	1219	1525
20	1353	1749	992	1249	913	895	979	1177

表-2 バネ比；S_rの推定計算結果

No.	名称	マッチング	推定計算		
			粒子速度	変位波形	変位量
1	r3b.dat	1.0	0.74	1.0	1.0
2	TTB1640.dat	0.22	0.26	0.33	1.0

$$V_0 = \frac{DZ}{M} \cdot \frac{1}{1 + \exp\left[-\frac{\pi}{\left(\frac{1}{S_r} - 1\right)^{1/2}}\right]} \quad (4)$$

形の生成のためにはハンマの実際の衝突速度(V_0)のみの

パラメタでよく、(4)式、(5)式により求められる。また、(2)の $V_0 = \frac{DZ}{M}$; $V = V_0 \cdot \frac{4Z}{M} t \cdot \exp(-\frac{2Z}{M} t)$ (5)

仮定については実際の現象と異なるが、仮定3)と組み合わせ

により杭の打ち始め時の比較的地盤抵抗が小さい時を選んで、ハンマの衝突速度を杭頭変位から推定する為のものである。

3. 実際の波形を用いた解析 使用した波形データは、東京湾横断道路の動的載荷試験(その2²⁾、その3³⁾)において測定された杭頭での速度波形である¹⁾。表-1にバネ比の推定計算結果を、図-1に計算した進行波形を示す。マッチング法は、粒子速度法で波形を見ながら適当と考えられる S_r を入力し波形の一致を図ったものである。これに対し、推定計算中の粒子速度及び変位波形法はそれぞれの手法による結果を示すものである。No.1波形では、粒子速度法の S_r が小さく、No.2では粒子速度、変位波形法とも逆にやや大きくなっている。表-2に貫入抵抗の計算結果を示す。表中の測定波形は実際に測定した波形(力および粒子速度)から杭頭での進行波を求め、これによって杭の貫入量と地盤の貫入抵抗の関係を求めたものである。表-1に示したように、計算による推定バネ比はマッチングによる値と多少異なるが、貫入抵抗を推定する場合には、大きな影響を与えない事がわかる。ただし、貫入量が大きくなると誤差が大きくなる傾向にある。また、変位量法では仮定として $S_r=1.0$ としており、本来 S_r の設定値が小さいNo.2波形では貫入抵抗の推定誤差が大きくなっている。

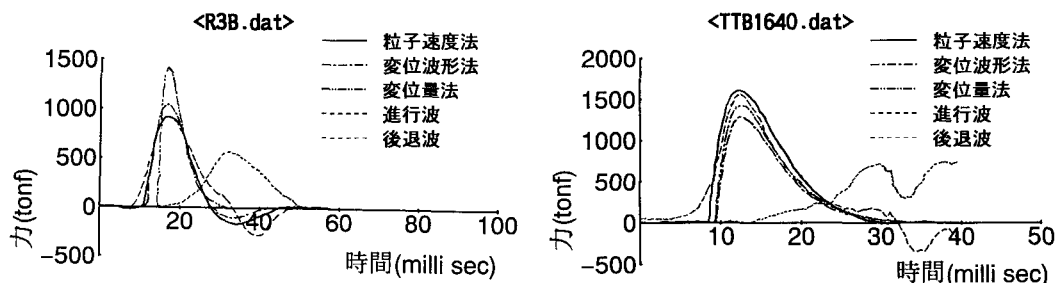


図-1 進行波形

4. まとめ 杭頭での速度波形を測定し、これによって貫入抵抗を推定する方法の理論的解析方法と、実際に測定された波形を用いた検証結果を示した。解析では、変位波形の測定精度に応じて3つの動的貫入抵抗を測定する方法を示した。③の変位量法は、従来からのペン書き法に適用できるものであり、ハンマとクッションの関係があらかじめ情報として与えられる場合には十分な精度を有する。今回の解析で用いたNo.2波形はハンマがハイドロクッションを持つ特殊なものであり、バネ比が著しく小さいため、計算精度が低下したものである。しかし、一般的なハンマではバネ比をほぼ1程度に設定する事が多く、この方法によっても大きな誤差になるとは考えられない。No.1波形ではこの簡易な方法が変位波形を用いた解析方法より高い精度を示しており、実際のバネ比がほぼ1.0であった事による。②の変位波形法は、バネ比をやや大きめに推定するものの、実用的な範囲での精度を持つ。③と比較して取り扱う情報が多い分だけ、精度の安定が良いと推定される。①の粒子速度法は、安定して高い精度を持つ。杭頭での粒子速度が得られれば、推定精度の安定性と精度が大きく向上する事が分かる。今後は、事例研究によってこの解析方法の適用性、適用上の問題点などを明らかにするとともに、この解析方法を適用するための測定装置の開発を進め、杭の支持力管理法の確立を目指す予定である。

<参考文献>

- 1) 上原精治他(1994), 杭頭変位の測定に基づく動的支持力の解析技術について, 第29回土質工学研究発表会
- 2) Y. Shioi, O. Yoshida & H. Honma(1992), Estimation of bearing capacity of steel pipe pile by static loading test & stress-wave theory, Proc. of 4th Int. Conf. on the application of stress wave theory to piles, pp.325-330
- 3) 澤井廣之他(1993), 東京湾横断道路大口径鋼管杭載荷試験(その3), 第28回土質工学研究発表会, p.1691