

杭の衝撃載荷試験システムに用いる加速度計の校正法 その1

ジャパンパイル(株) 正会員 ○小嶋 英治
 ジャパンパイル(株) 正会員 桑山 晋一

1. はじめに

当社は、杭の衝撃載荷試験のハード（専用計測器 HITTOP8）および解析ソフトを自社開発¹⁾している。杭の衝撃載荷試験では、加速度計に衝撃振動の 1,000g クラスの加速度を計測する必要がある、開発当時は日本製がなく、米国製を採用した。納入時は加速度計メーカーの校正値を使えるが、その後に再校正をする場合には、ハードを米国に送り返さなくてはならず、工期と費用の負担が大き過ぎる。自前で 1,000g クラスの衝撃加速度を校正することは困難である。そこで、次の対策を考えた。

開発した HITTOP8 は、加速度計およびひずみ計が、おのおの 4 チャンネルずつ計測できるシステムで、加速度計には $\pm 5,000g$ の加速度計を使用している。そこで、加速度システムの 2 チャンネル分を、外部入力と切り替え可能とすることで、内蔵された AD 変換器を用い、校正された別系統の加速度計システムと容易に比較できるシステム¹⁾とした。しかし、この方法では、校正済みの別系統の加速度計システムが必要である。

一方、ひずみ計システムは、ひずみ校正器を用いて容易に校正が可能である。このことに注目し、筆者らは、衝撃振動の大加速度の校正法を開発^{1,2)}している。

2. 軸方向力と粒子速度の関係³⁾

杭の軸方向力および粒子速度を、おのおの $F_m(x_0, t)$, $v_m(x_0, t)$ とする。ここで、 $F_m(x_0, t)$, $v_m(x_0, t)$ は、次式で与えられる³⁾。なお、添え字の m は、計測から求めたことを意味する添え字とし、 x_0 は杭頭から計測点までの距離を意味する。

$$F_m(x_0, t) = A \cdot E \cdot \varepsilon_m(x_0, t) \quad (1)$$

$$v_m(x_0, t) = \int \alpha_m(x_0, t) dt \quad (2)$$

ここで、 A , E は杭の断面積およびヤング係数で、 $\varepsilon_m(x_0, t)$ および $\alpha_m(x_0, t)$ は、計測点のひずみおよび加速度の時系列である。

軸方向力 $F_m(x_0, t)$ および粒子速度 $v_m(x_0, t)$ は、下降波と上昇波に分離できる³⁾。

$$F_m(x_0, t) = F_u(x_0, t) + F_d(x_0, t) \quad (3)$$

$$v_m(x_0, t) = v_u(x_0, t) + v_d(x_0, t) \quad (4)$$

ここで、 d および u の添え字は、下降波および上昇波を意味している。軸方向力の下降波および上昇波は次式で求められる³⁾。

$$F_d(x_0, t) = \frac{1}{2} \{F_m(x_0, t) + Z \cdot v_m(x_0, t)\} \quad (5)$$

$$F_u(x_0, t) = \frac{1}{2} \{F_m(x_0, t) - Z \cdot v_m(x_0, t)\} \quad (6)$$

ここに、 Z は杭体の機械インピーダンスで、次式で与えられる。

$$Z = A \cdot E / c = A \cdot c \cdot \rho \quad (7)$$

ここに、 c は杭の P 波の伝播速度で、 ρ は杭体の質量密度である。

また、軸方向力と粒子速度には、次の関係がある。

$$F_d(x_0, t) = Z \cdot v_d(x_0, t) \quad (8)$$

$$F_u(x_0, t) = -Z \cdot v_u(x_0, t) \quad (9)$$

(8)式と(9)式を比べると、機械インピーダンス Z が異符号になっている。これは、下降波の伝播速度を c とすれば、上昇波の伝播速度は $-c$ であることより理解できる。

(8)式の両辺を Z で除せば、次式が求まる³⁾。

$$c \cdot \varepsilon_d(x_0, t) = v_d(x_0, t) \quad (10)$$

(10)式の関係を用いれば、校正されたひずみ計システムとの比較により、加速度計システムが容易に校正可能である。ただし、(10)式では、計測点の軸方向力および粒子速度を下降波と上昇波に分離しなければならない。下降波と上昇波の分離には、(5)式を用いれば可能であるが、誤差が生じる。そこで、計測波を下降波と上昇波に分離しないで校正する方法を提案^{1,2)}する。

3. 加速度の校正法の提案

杭の衝撃載荷試験で、周面抵抗 0 を模擬するために、地盤に閉塞した鋼管を立て込み、その鋼管の中で杭の衝撃載荷試験¹⁾を行った。図 1 に、この試験のイメージを示す。試験に用いた杭は PHC 杭で、杭径 400mm、杭長 8,000mm である。

図 2 に、図 1 で行った杭の衝撃載荷試験の計測波形などを示す。この時の加速度の最大値は、200g 程度であった。図 2 の、上から第 1 波、第 2 波が計測点の軸方向力 $F_m(x_0, t)$ および $Z \cdot v_m(x_0, t)$ である。第 3 波と第 4 波が、(5)式および(6)式で求めた、軸方向の下降波 $F_d(x_0, t)$ と上昇波 $F_u(x_0, t)$ である。一番下の波が、杭頭

キーワード：杭、衝撃載荷試験、加速度計、校正法

連絡先：ジャパンパイル(株) 技術本部 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-1-1 Tel 03-5843-4196

の打撃力（杭頭の軸方向力）である。杭頭の打撃力の詳細な求め方などは、文献 4 を参照して頂きたい。

図 2 の波動伝播のイメージ、すなわち、図 1 における打撃力（図 2 の一番下の波）が杭体をどのように波動伝搬するのかをイメージしたのが図 3 である。ただし、波動伝播による減衰は無視できると仮定した。杭頭の打撃力が杭体を波動伝播して下降波になり、杭先端で全反射し上昇波となり、杭頭に戻り、再び下降波となることが判る。図 3 は杭体を 10 分割しており、上から 2 番目が計測点に相当する。したがって、図 3 の上から 2 番目の下降波と上昇波が、図 2 の上から 3, 4 番目の下降波と上昇波に対応する。図 3 とは異なり、図 2 の下降波と上昇波が時間とともに零調がずれてくるのは、加速度計が長周期を計測できないためである。ただし、実際の衝撃载荷試験では、波動の逸散および減衰が大きいために、問題は生じない。

最初の軸方向力の下降波と、この下降波が杭先端で全反射した上昇波とが、計測点で重ならない程度に、杭が長ければ、計測点における最初の波形の軸方向力は下降波となることが確認できる。杭の周面抵抗を 0 とし、杭長をある程度の長さにするれば、計測点のひずみと粒子速度の第 1 波に次式が成り立つ。

$$\varepsilon_m(x_0, t) = \varepsilon_d(x_0, t) \quad (11)$$

$$v_m(x_0, t) = v_d(x_0, t) \quad (12)$$

(10)~(12)式より、計測値のひずみより粒子速度の精度が求まる。すなわち、加速度計の校正が容易である。

(10)式を用いるのに必要な諸元は、杭の P 波の伝播速度 c と、計測点におけるひずみおよび粒子速度の最大値のみである。P 波の伝播速度 c は、計測したひずみまたは加速度波形の、2 波目以降の振幅のピーク値の時間間隔から求めることができる。なお、計測点の軸方向力 $F_m(x_0, t)$ の第 1 波目は下降波のみであることに注意を要す。

当社の加速度計システムを校正した結果、誤差は $\pm 1.0\%$ 以内であることを確認した。

4. まとめ

杭の衝撃载荷試験の加速度計は、衝撃振動の 1,000g クラスを計測するセンサーであり、校正が困難である。そこで、新たな校正法を提案したが、試験法が容易であるにもかかわらず、十分な精度があり、実用的であることを確認している。

【参考文献】

- 1)小嶋英治・桑山晋一：杭の衝撃荷試験システムの開発と実験による検証，第 48 回地盤工学シンポジウム，pp.99-106，2003.11.
- 2)特願 2003-363698 号：較正方法及び較正装置(2003 年 10 月 23 日).
- 3)地盤工学会：杭の鉛直载荷試験方法・同解説，pp.227-271，2002.5.
- 4)小嶋英治：衝撃载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，日本建築学会大会(東海)，構造 B-I，pp.561-562，2003.09.

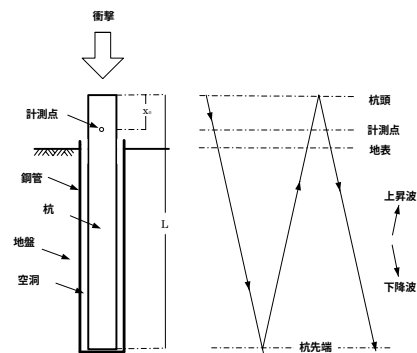


図 1 衝撃载荷試験のイメージ

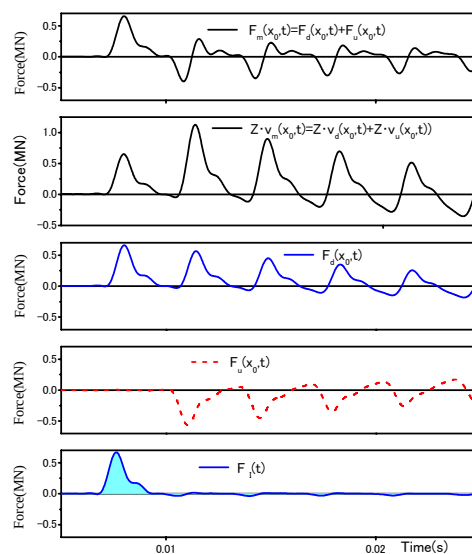


図 2 鋼管に立て込んだ杭の計測波形など

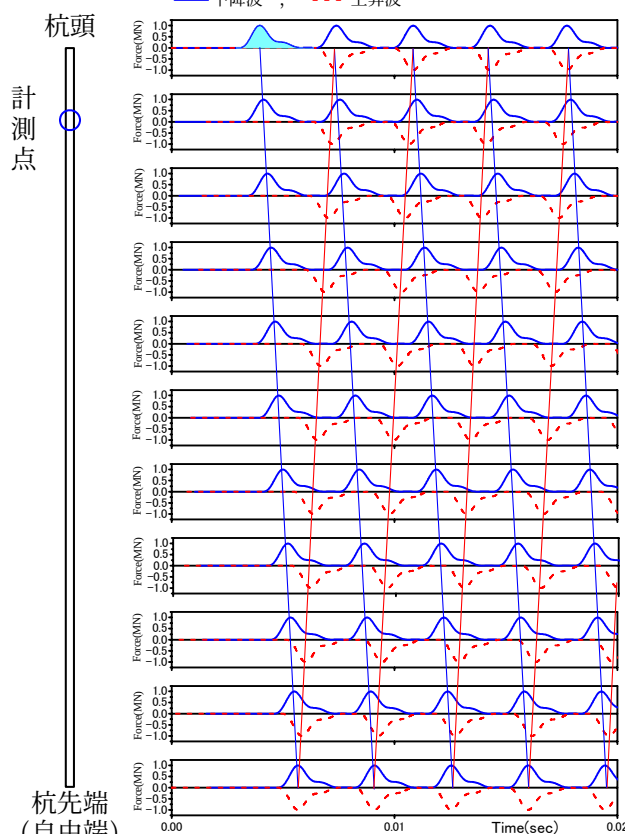


図 3 杭体の軸方向力波動伝播
(入力波を 1MN に基準化)