

杭の衝撃載荷試験における CASE 法の検討

正会員 ○小嶋 英治*

杭 衝撃載荷試験 CASE 法
マッチング解析 確認実験

1. 目的

2002年5月に、地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」¹⁾(以下、基準と省略する)が発行され、杭の衝撃載荷試験法もそのうちのひとつとして導入された。同載荷試験法は、杭頭を打撃し、杭の加速度およびひずみなどから杭に生じる軸方向力を求め、杭と地盤をモデル化し、解析から杭先端や周面の静的抵抗などを求めて、杭の荷重-変位(沈下)関係と支持力を推定する方法である。反力装置が不要のため、低コストで工期が短いことから、杭の支持力確認に広く使われるようになった。

基準では、「解析方法は、試験の目的に応じて、CASE法、波形マッチング解析などにより、杭の鉛直支持力に関する特性を求めるとある。CASE法の方が、波形マッチング解析より理論が判りやすく、解析も容易であることから採用されることも多い。ただし、CASE法を安易に用いる例も見受けられる。

本論文は、CASE法の前提となる境界条件を確認し、その境界条件を、実杭を用いて衝撃載荷試験を行ない、検討を行ったものである。

2. CASE 法

CASE法は、杭の周面抵抗および波動伝播の減衰が小さく、十分無視できると仮定すれば、容易に導くことができる。杭の衝撃載荷試験時の、計測点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、杭の諸元は、杭長を L 、断面積を A 、ヤング係数を E 、P波の伝播速度を c 、計測点の杭頭からの距離を x_0 、計測点から杭先端までの距離を L_m とし、杭の機械インピーダンスを $Z (= A \cdot E / c = A \cdot c \cdot \rho)$ とする。なお、添え字の m は計測点での計測値であることを意味する。

杭の軸方向力 $F_m(x_0, t)$ 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。

$$F_m(x_0, t) = F_u(x_0, t) + F_d(x_0, t) \tag{1}$$

$$v_m(x_0, t) = v_u(x_0, t) + v_d(x_0, t) \tag{2}$$

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するものとする。軸方向力の下降波および上昇波は次式で求められる¹⁾。

$$F_d(x_0, t) = \frac{1}{2} \{ F_m(x_0, t) + Z \cdot v_m(x_0, t) \} \tag{3}$$

$$F_u(x_0, t) = \frac{1}{2} \{ F_m(x_0, t) - Z \cdot v_m(x_0, t) \} \tag{4}$$

したがって、杭先端における軸方向力の下降波 $F_d(L, t)$ および上昇波 $F_u(L, t)$ は次式で与えられる。

$$F_d(L, t) = F_d(x_0, t - L_m/c) = \frac{1}{2} \{ F_m(x_0, t - L_m/c) + Z \cdot v_m(x_0, t - L_m/c) \} \tag{5}$$

$$F_u(L, t) = F_u(x_0, t + L_m/c) = \frac{1}{2} \{ F_m(x_0, t + L_m/c) + Z \cdot v_m(x_0, t + L_m/c) \} \tag{6}$$

上式が成り立つのは、杭の周面抵抗および波動伝播の減衰を小さいと仮定したからである。

杭先端の全抵抗 $R_{total}(L, t)$ は次式で表される。

$$R_{total}(L, t) = F_d(L, t) + F_u(L, t) \tag{7}$$

杭先端の全抵抗 $R_{total}(L, t)$ を、静的抵抗 $R_{Static}(L, t)$ と動的抵抗 $R_{dynamic}(L, t)$ の和とすれば静的抵抗は次式で与えられる。

$$R_{Static}(L, t) = R_{total}(L, t) - R_{dynamic}(L, t) \tag{8}$$

ここで、 $R_{dynamic}(L, t)$ は次式で与えられる。

$$R_{dynamic}(L, t) = Jc \cdot Z \cdot v(L, t) \tag{9}$$

ここに、 Jc はケースダンピング値である。静的抵抗 $R_{Static}(L, t)$ を求める式に、(8)式ではなく、次式を用いることもできる。

$$R_{Static}(x_0, t) = \alpha \cdot R_{total}(x_0, t) \tag{10}$$

ここに、 α は次式で与えられる。

$$\alpha = 1 - R_{dynamic}(x_0, t) / R_{total}(x_0, t) \quad (0 < \alpha < 1.0) \tag{11}$$

基準では、 Jc は CASE 値とマッチング解析とを比較して定めるとの記載があるが、これが CASE 法の適用範囲を広げている。したがって、 α も同様に、マッチング解析との比較から定める必要がある。

CASE 値は杭先端の抵抗値を表しているのに、負になることはないはずであるが、ひずみおよび加速度波が正しく計測されていない場合には、この限りではないので注意を要す。

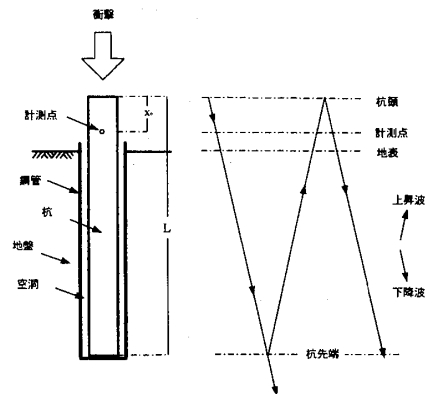


図1 杭先端・周面自由の杭モデル

3. CASE 法の確認実験

図 1 に示すように、杭の周面抵抗を 0 とするために、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を行った。試験の詳細は、文献 2 を参照して頂きたい。なお、杭体の P 波の伝播速度は、実測から 4,636m/s とした。

図 1 の杭の衝撃載荷試験で、杭頭から 2D (D: 杭径) 下の、計測点の加速度およびひずみから、杭の打撃力を求めたものを、図 2 に示す。詳細は、文献 2~5 に譲るが、打撃力が正しく求めることのできたことが、下降波と上昇波を分離する(3)、(4)式の正しいことを証明している。

図 3 は、杭の境界条件を、①杭周面抵抗 0、②杭先端自由端で、③波動伝播による減衰は小さくて無視できとし、④打撃力を図 2 の波と想定した場合の、杭体 10 分割の、杭体の軸方向力の波動伝播をイメージしたものである。

上から 2 番目の波が、計測点の下降波 (青の実線) および上昇波 (赤の破線) に、この和が実測された軸方向力に対応する。この場合の全抵抗 $R_{total}(L,t)$ は、図 2 の一番下の波、すなわち杭先端の、下降波 (青の実線) と上昇波 (赤の破線) の和で表されるため 0 となり、CASE 値も 0 となる。詳細は省略するが、当然のことながら波形マッチング解析の杭周面および杭先端の地盤抵抗は 0 となる。

図 4 は、図 3 と①、③、④が同じで、②が杭先端固定端とした場合の、杭体の軸方向力の波動伝播をイメージしたものである。杭先端が固定であるため、上昇波は下降波と同位相であることから、全抵抗 $R_{total}(L,t)$ は、次式で与えられる。

$$R_{total}(L,t) = F_d(L,t) + F_u(L,t) = 2.0 F_d(L,t) = 2.0 F_d(0,t-t_0) \quad (12)$$

したがって、全抵抗は打撃力の 2 倍、すなわち、CASE 値は打撃力の 2 倍の値となる。ここで、 $t_0 = L/c$ である。

4. まとめ

杭の周面抵抗および波動伝播の減衰が小さく、無視できると仮定して CASE 法を導いた。次に、同様な境界条件で杭先端を自由端とした状態を、実杭を用いて作成し、この時の CASE 値が 0 となることを考察した。また、杭先端が固定端の場合は、CASE 値が打撃力の 2 倍になることを確認した。なお、この過程で、軸方向力の下降波と上昇波との分離式が正しく求められることを確認した。

参考文献

- 1) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，pp.227-271，2002.5.
- 2) 小嶋英治・桑山晋一：杭の鉛直載荷試験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.
- 3) 小嶋英治：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，日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)，構造，pp.561-562，2003.09.
- 4) 小嶋英治・松本樹典：杭の衝撃載荷試験の波動解析に用いる入力波の検討，日本建築学会大会(九州)，構造 I，pp.563-564，2007.08.
- 5) 小嶋英治・松本樹典：杭の衝撃載荷試験の波動解析に用いる入力波の検討(その 2)，地盤工学研究発表会，pp.1257-1258，2008.07.

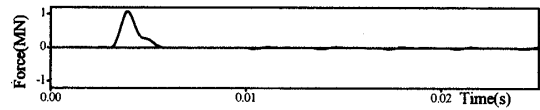


図 2 打撃力

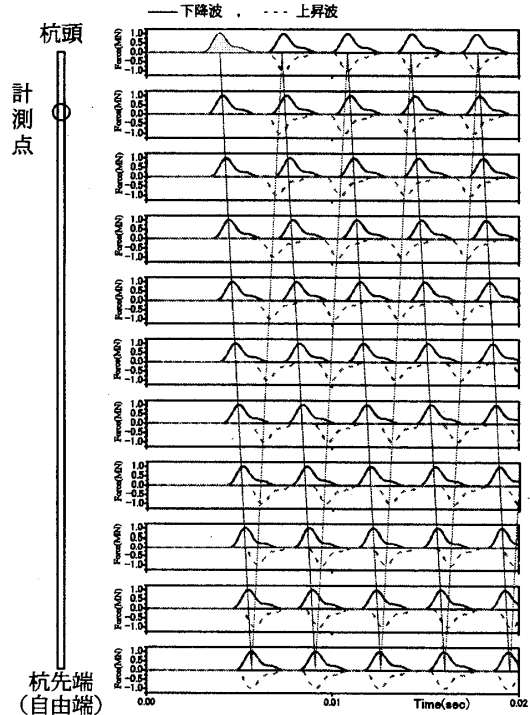


図 3 杭の周面抵抗 0・杭先端自由の波動伝播

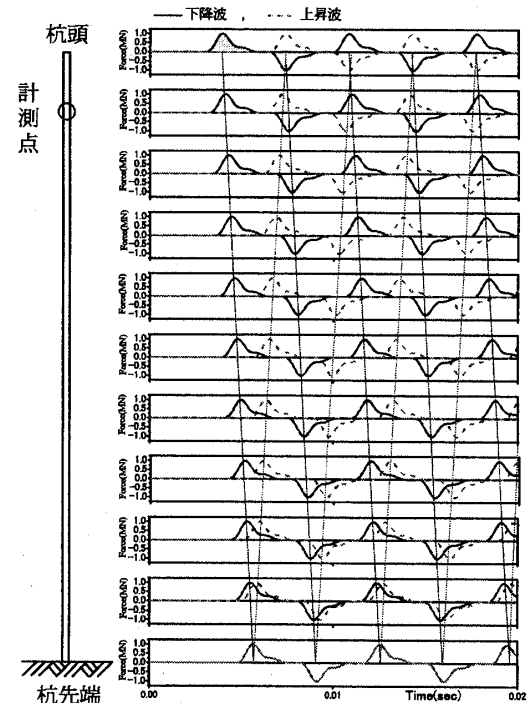


図 4 杭の周面抵抗 0・杭先端固定の波動伝播