

III-369

大径鋼管杭の動的貫入抵抗の発生機構に関する考察

東京湾横断道路(株) 澤井 廣之 東京湾横断道路(株) 正会員 塩井 幸武
元東京湾横断道路(株) 吉田 修 (財)土木研究センター 正会員 境 友昭

まえがき

打撃式杭打ち工法での杭の貫入抵抗は、地盤の支持力によって発生すると考えられ¹⁾、また静的な地盤の支持力は、弾性的な変形範囲を持つものの本来は、剛塑性的な特性を持つとして取り扱われている。この時、杭の周面で発揮される摩擦力の極限値は、杭と地盤の接触面での静止摩擦の最大値若しくは、地盤のせん断強度に依存すると考えられている。

この考えによると、杭を打撃する力が地盤の極限抵抗を越えると杭に作用する地盤の抵抗力は一定となり、打撃力とは関係しないことになる。ところが、今回東京湾横断道路で行った大径杭の動的載荷試験では、杭の打撃力と貫入抵抗が比例する傾向を見せ、動的貫入抵抗の発生機構がこれまでの支持力発生機構とは異なるのではないかと考えられた。

本報告は、杭中の多数点にセンサーを取り付けて測定した杭周面での貫入抵抗と打撃力の関係から、杭の動的貫入抵抗の発生機構に関する新しい物理モデルを提示し、その定量化を行ったものである。また、打撃力に対する地盤の抵抗の比率が、時間の経過(杭の打設後の経過時間)とともに大きくなることを示し、地盤の支持力回復現象(セットアップ)についても論じる。

1. 試験の概要

試験杭は、口径 1600φ、長さ 52m の鋼管杭(地中部 30.6m)である。打撃時の杭の動的挙動を測定するため、ひずみ計と加速度計からなるセンサーを杭の 10 断面に取り付けた。センサーは、杭の地中部に 3m 間隔で 9 断面と杭頭から 5m の断面の計 10 断面に取り付けた。センサーの最深位置は、杭先端から 1.6m である。打撃に用いたハンマは、ラム質量 24000kg、最大落下高さ 1.6m の油圧ハンマである。

測定は、杭深度 1m 毎、および杭の打ち止め時に行った。また、杭の支持力の回復の程度を動的な試験によって把握するため、杭の打設終了後、6,15,30 分、1,2,27,76 時間後に再打撃を行った。

2. 測定結果の解析方法および結果

2.1 地盤の貫入抵抗の発生機構

杭の微小区間(長さ δx)の質量を m 、その両端でのひずみをそれぞれ $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 、とすると、杭の運動方程式は、

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - EA\{\varepsilon_1 - \varepsilon_2\} = F_{out} \quad (1)$$

となる。ここで、 E, A, u, F_{out} は、杭の縦弾性係数、断面積、杭の変位および微小区間に作用する外力である。式(1)において、 $\partial^2 u / \partial t^2$ は、杭の微小部分の加速度であり、これは杭のひずみとともに測定量であるから、結果的に、杭の微小区間に作用する外力が計算される。

解析結果の一部を図-1に示す。横軸は、進行波(Down ward wave)であり、これは、

$$F_1(t) = \frac{1}{2}\{F(t) + ZV(t)\} \quad (2)$$

として計算したものである。図に示すとおり、進行波(杭の微小部分に伝搬した打撃力)と地盤の抵抗は、ほぼ比例する関係にある。この傾向は、杭が貫入している状態(blow:814)でも同様であり、すなわち、地盤の貫入抵抗は、古典的なモデルとして用いられてきたパイリニアモデル(塑性抵抗としての極限値を持つ)ではなく、入力となる打撃力に比例する抵抗発生機構を持つことが示される。

2.2 貫入抵抗の経時変化

表-1に動的貫入抵抗の時間変化を示す。貫入抵抗は、式(1)によって求めた値である。ただし、先端抵抗は、式(1)では求められないので、杭先端から 1.6m の位置に取り付けたひずみセンサーによって測定した力を用いている。

杭先端近傍については、動的貫入抵抗係数を示す。この値は、進行波と地盤抵抗の比率である。係数の値が大きくなることは、同じ打撃力に対して、発生する地盤の抵抗の大きさが大きくなることを意味する。表に示すとおり、貫入抵抗の比例係数は、時間の経過とともに上昇する傾向を示し、76 時間後の再打撃では、最終打込み時の約 1.3 倍となっている。

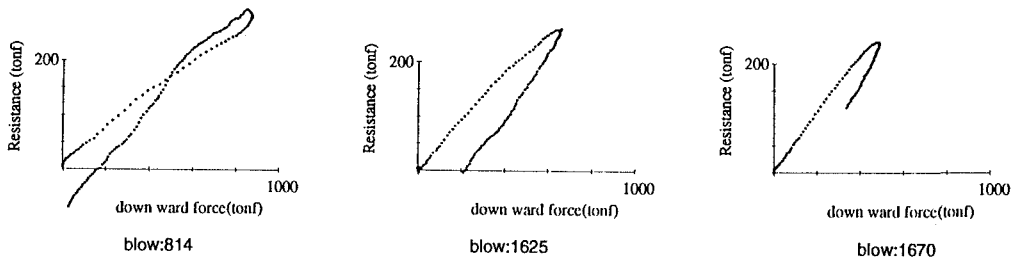


図-1 打撃力(進行波)と地盤の抵抗(杭先端から1.6m-4.6m)

セットアップ係数は、最終打撃での貫入抵抗の値と76時間後の再打撃での貫入抵抗の比率をもとに推定した値である。ただし、杭の先端から7.6m以深では、動的貫入抵抗係数の上昇率から推定している。推定支持力は、最終打撃時の動的貫入抵抗の測定値にセットアップ係数を乗じて求めた値である。この試験杭の静的な降伏支持力、極限支持力はそれぞれ2400tonf,2700tonfであり、動的貫入抵抗から推定した支持力値とよく一致する。

表では、時間の経過とともに杭の先端近傍での動的貫入抵抗の値が小さくなる傾向を示しているが、これは、杭の上部での地盤の支持力が回復することによって、打撃力が地盤の抵抗によって大きく減衰し、杭先端部まで地盤の抵抗をフルモビライズ程の大きさになくなるためと考えられる。

表-1 貫入抵抗の経時変化

測定位置	打撃時間								Seutp 係数	推定 支持力
	最終打撃	6分	15分	33分	1時間	2時間	27時間	76時間		
22.6-25.6	136	160	178	200	234	245	359	336	2.44	336
19.6-22.6	0	0	0	0	0	0	11	11	1.00	11
16.6-19.6	147	189	181	190	205	205	244	260	1.37	260
13.6-16.6	71	89	100	110	138	130	172	170	1.70	170
10.6-13.6	125	194	195	203	205	211	228	238	1.70	238
7.6-10.6	131	161	171	170	183	183	190	188	1.44	188
4.6-7.6	245 (0.31)	278 (0.34)	283 (0.35)	285 (0.35)	283 (0.39)	283 (0.36)	245 (0.39)	245 (0.41)	1.32	323
1.6-4.6	285 (0.44)	278 (0.46)	290 (0.46)	285 (0.47)	283 (0.50)	283 (0.51)	233 (0.55)	233 (0.57)	1.30	370
先端	427	427	400	360	332	314	248	267	1.30	555
合計	1567	1788	1797	1803	1863	1854	1930	1958		2451

() 書きの数値は、動的貫入抵抗係数を示す。

まとめ

大径鋼管杭の場合、杭の動的貫入抵抗は、打撃力に比例することを試験結果として示した。また、その比率は杭打設後の時間の経過とともに大きくなり、地盤の支持力回復現象が存在することを確認した。動的貫入抵抗係数の存在から推定される杭の動的貫入抵抗の発生機構は、杭が軸力によって半径方向に拡大し、地盤中に大きな受働抵抗が発生し、これによる杭と地盤の摩擦力の増大であろうと推定される。これは、静的載荷試験時の杭の周方向応力から杭の静的支持力を考察した報告²⁾に示す支持力発生機構と同様である。

参考文献

- 1) ASCE Report(1941); Pile driving formulas, Progress report of committee on the bearing value of the pile foundations, ASCE report, pp.853-864
- 2) 澤井他, 大径鋼管杭の周方向応力を考慮した先端支持力機構に関する1考察, 土木学会第48回年次学術講演会, 1993