

東京湾横断道路 大径鋼管杭の 波動理論による打ち込み性の検討

日本道路公団 横山 好幸 安達 靖夫
東京湾横断道路(株) 本間 政幸
鋼管杭協会 正員 片山 猛 正員○西海 健二

1. まえがき

東京湾横断道路の航路部橋梁あるいは木更津・浮島換気塔の基礎杭は構造上φ1.6m及びφ2.0mの大径の鋼管杭をN値70以上の砂層に根入れする必要がある、計画段階において杭打設の可否や最適ハンマーの選定が課題となった。そこで、打撃時の杭体各部の挙動を解析する手法として杭体を適切な長さの要素に分割し、一次元波動方程式によって解く波動理論プログラム(TTI¹⁾)を用い貫入性・打撃応力を推定し、実施工の結果と比較したので報告する。

2. 施工試験の概要

橋梁部および木更津換気塔立坑部建設予定地において、大径長尺鋼管杭の打ち込み性及び杭の支持力の確認を行うために、合計13本の杭の施工試験を行った。その中で、施工条件が異なる代表的な3本の杭に対し、打ち込み性に関する検討を行った。各試験杭の土質柱状図を図-1に、杭・ハンマーの諸元及び施工試験結果を表-1に示す。

3. 波動理論による施工性予測

施工試験に先立ち、波動理論を用いた解析手法により施工性予測を行った。この手法はハンマー及び杭体を質点と弾に、又杭打撃時の地盤抵抗を動的塑性抵抗と動的減衰抵抗の和にモデル化することにより杭の衝撃応答を差分法により解く手法であり、今まで中小径杭(φ1m以下)での検証によりその有用性が確認されている。予測解析における打撃時の地盤抵抗力を式-1により定義し、先端は開端杭とし、又周面摩擦が内外周面に作用すると設定した。打設時の地盤抵抗の低減のバリエーションを考慮して幅をもった解析を行った。

予測解析に用いたハンマー・杭・地盤の各定数設定値及び解析結果を表-2に示す。予測結果と試験結果を比較すると貫入性はほぼ一致したが、杭頭発生応力は予測値を下回る値となった。そこで、実施工に適用する施工性検討を行うため、ハンマー条件・打撃時の地盤抵抗の再設定を行った。

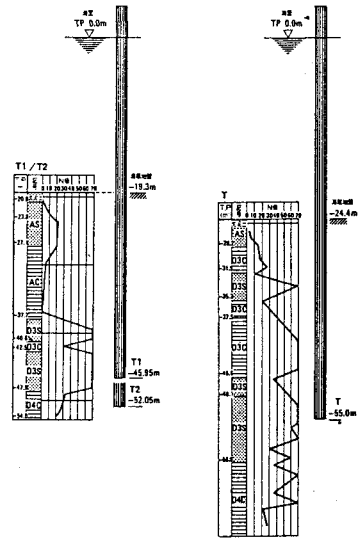


図-1 土質柱状図

表-1 施工試験の概要

	T1杭	T2杭	T3杭
杭 直径	1600	1600	2000
踏 板厚	24	24	34
元 長さ	50.95	63.15	62.00
ハンマー種別	チーザ	油圧	チーザ
ラム重量	8.0	12.0	50.0
マ ショウ材	固体	液体	固体
測 杭頭応力	909	525	1132
定 貫入量	2.0	0	9.9
値 別打量	7.0	15.0	15.0

表-2 施工性予測条件及び予測値

	T1杭	T2杭	T3杭
ハン	8.0	12.0	50.0
マ	3.0	3.0	30.0
マ	233,000	233,000	—
マ	2750,000	2750,000	1336,000
条	233	—	—
件	2.5	1.5	1.5
ハン	0.7	0.7	0.7
地	2.54		
盤	0.49		
条	0.16		
件	0.75		
件	0.75 ~ 1.0		
予	2242	2242	2300
測	2~3	0	3~5
値			

$$R_d = \alpha N_i A_s + \beta (f_s U_s + C U_c) \times 2 \quad (式-1)$$

R_d : 打撃時の地盤抵抗力
 N_i : 杭先端N値 f_s : 砂層の摩擦力度 C : 粘性土の粘着力
 A_s : 杭先端面積 U_s : 砂層の周長 U_c : 粘土層の周長

4. 実測に基づく施工性予測へのフィードバック

施工性予測値と試験結果の相違の要因としては、大型で且つ従来の適用例と異なるスティームハンマー・油圧ハンマーの使用にあたりその能力の評価および、大型ハンマーによる大径鋼管杭の施工にともなう周辺地盤抵抗の評価が挙げられる。そこで、施工試験により得られたデータをもとに、各種ハンマー及び打撃時の地盤抵抗力の評価を行うことを目的に、図-2に示すフローにより解析に必要な入力条件の設定を行った。まず第1ステップとして杭頭応力を再現するハンマー条件の設定を行い、第2ステップとして貫入量・リバウンド量を一致させる打撃時の地盤抵抗力の設定を行った。

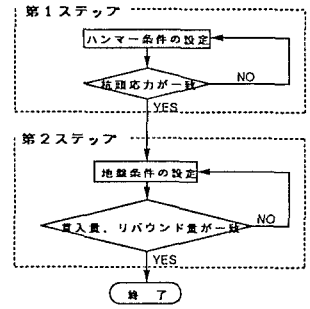


図-2 解析条件の設定

(1) 第1ステップ(ハンマー条件の再設定)

各杭の杭頭で測定された応力波形を図-3に示す。各種ハンマーにより杭頭の応力波形が異なることがわかる。これはハンマーから杭体へのエネルギー伝達機構の違いが要因である。特にT2杭は液体クッションを用いており置換した際と固有周期を一致させる必要がある。そこで、杭頭応力波形に最も影響するハンマー効率とクッションのパネ定数を変数とし、実測の応力波形を再現する定数の選定を行った。

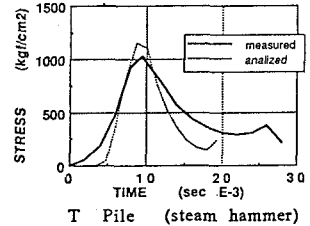
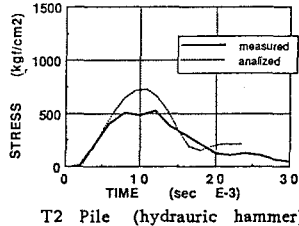
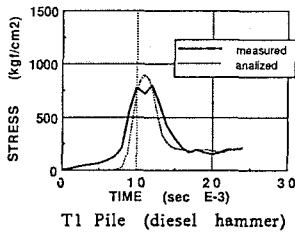
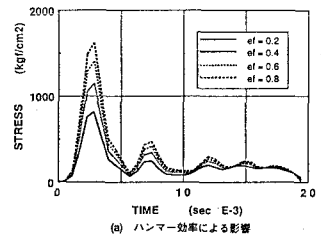
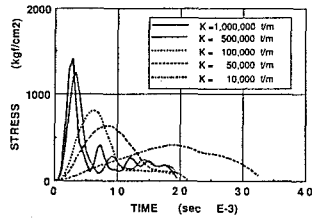


図-3 杭頭応力波形

図-4に示す様に、ハンマー効率は波形の周期を一定として振幅のみに影響を及ぼし、クッションのパネ定数はエネルギー量を一定としたまま波形周期のみに影響を及ぼす定数である。そこで実測応力波形を再現するこれらの定数の設定を行った。設定した定数を表-3に、また再現した応力波形を図-3中に破線以示す。



(a) ハンマー効率による影響



(b) クッションのパネ定数による影響

図-4 解析条件の影響

表-3 解析条件設定値

	T1杭	T2杭	T杭
ハンマー効率	0.4	0.95	0.5
クッションのパネ定数 t1/cm	2750,000	40,000	500,000
地盤	弾性限界変位 mm 2.54		
端	周面の減衰定数 sec/cm 0.16		
条	先端の減衰定数 sec/cm 0.49		
件	地盤抵抗の低減率 0.83 0.88 0.57		

(2) 第2ステップ(地盤条件の再設定)

地盤条件の設定には、打撃時に杭周面及び先端に作用する動的塑性抵抗力及び動的減衰抵抗力を決定する弾性限界変位・減衰定数の設定が必要である。動的塑性抵抗力は鉛直載荷試験より得られた静的な摩擦抵抗力に打撃による低減率を乗じた値と設定し、実測された貫入量とリバウンド量を再現する低減率を求めた。その結果得られた低減率を表-3に示す。また動的減衰抵抗力を決定する定数(弾性限界変位・減衰定数)はスミスにより提案されている値を用いた。

5. まとめ

波動理論を用いた手法により、パラメータを適切に設定すれば杭の施工性予測が可能であることがわかった。しかし、実際の施工性予測に対しては、データの蓄積により諸定数をより適切に決定するとともに施工時のセッティング等を考慮して施工計画を立案する必要がある。

参考文献 1)Smith, E. A. L. :Pile Driving Analysis by the Wave Equation, ASCE, SM4, pp. 35~61, 1960.