

III-503 打設時に引張応力が作用するコンクリート杭の施工管理 —波動理論を用いた計測管理—

清水建設(株) ○正会員 宮川 昌宏 正会員 樺原 昇
正会員 白石 猛 正会員 大橋 隆夫

1.はじめに

軟弱地盤中にコンクリート杭を打撃工法で施工する場合、発生した引張応力が原因で杭体に横び割れ（テンションクラック）が発生することは一般に良く知られている。これは、杭頭に与えた打撃エネルギーが杭先端に伝わり、先端での地盤抵抗が少ないために引張応力として戻ってくるためである。

現在、テンションクラックの発生が懸念される場合に、波動理論による解析プログラムを使用して、打設前に発生応力がある程度予測することは可能となっている。しかし地盤モデル化のためのデータベース不足や、偏打の発生、継ぎ杭の状況など複雑な条件下では計算結果と実測値に大きな差が生じることも少なくない。そこで、打撃に関する簡易な計測管理方法が望まれている。

今回、試験杭の杭頭にセンサーを取付けただけの簡易な方法で計測を行い、実際に発生する応力を波動理論から求め、地盤の状況、継ぎ杭の状況、ラム落下高さとの関係から打撃管理規準を作成し、本杭施工時の打撃管理に使用したのでその報告を行う。

2.計測概要

計測を行った試験杭および使用ハンマの仕様を表-1に、また計測状況を

表-1 杭・ハンマ仕様

杭仕様	杭 径	φ 400 (mm)
	杭 長	12.0m×3本 = 36.0m
	杭 種	上杭 PHC - C 種 (17.2Mpa) ()内は杭の引張強度+有効プレストレス値
		中杭 PHC - A 種 (11.8Mpa)
		下杭 PHC - A 種 (11.8Mpa)
ハンマ仕様	ヤング係数	4.0E+10 (N/m ²)
	応力波速度	4.00E+03 (m/s)
	形式	油圧ハンマ 鈴木技研PMJ-120
ハンマ仕様	ラム重量	7.2 (t)
	全重量	15.3 (t)
	ストローク	最大1.8 (m)

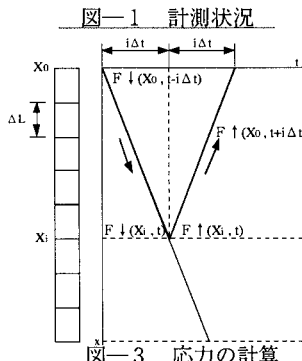
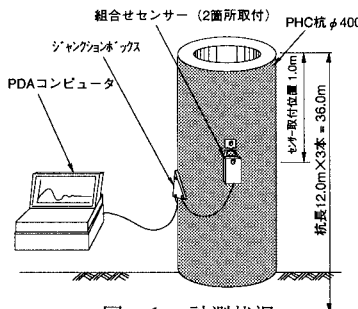


図-1に示す。計測はTNO製のPDA(Pile Driving Analysis)装置を使用し、杭頭から1.0m地点の加速度、ひずみを測定した。計測はハンマのラム落下高さを一定（0.5m）にして打止めまで打撃したものと、杭先端が軟弱地盤に貫入している状態でラム落下高さを変化させたものの2本の杭について行った。図-2に土質柱状図を示す。

3.引張応力の計算

杭体の発生応力は、以下に示す方法で算出した。

杭をΔLごとに分割し波動伝播時間Δを次のように求める。

$$\Delta t = \Delta L / c$$

ここにcは波動伝播速度

最初のレベルをX₀とし、計測点での力Fと速度Vから後退波：F↑(X₀, t)と前進波F↓(X₀, t)を求める。

$$F \uparrow (X_0, t) = \{F(X_0, t) - Z \cdot V(X_0, t)\} / 2$$

$$F \downarrow (X_0, t) = \{F(X_0, t) + Z \cdot V(X_0, t)\} / 2$$

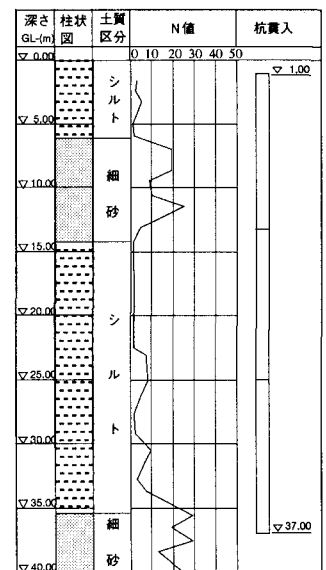
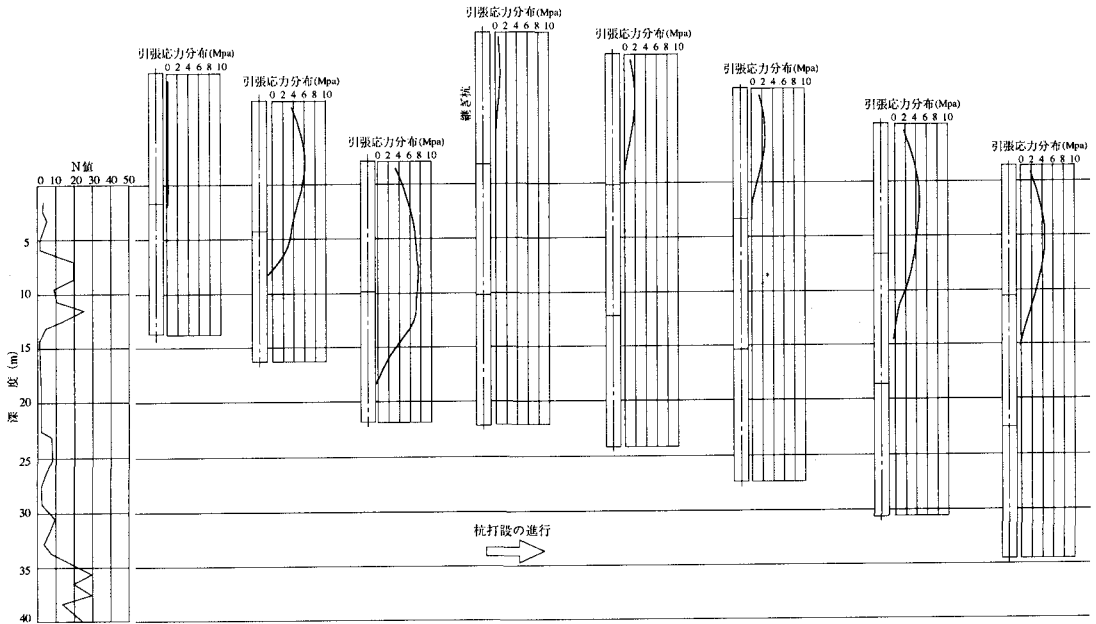


図-2 土質柱状図



図一4 杭の打撃状態と引張応力分布

レベル*i*での応力は以下となる。

$$\sigma(X_i, t) = F(X_i, t) / A_i$$

A_i ：杭断面積

となり、

$$F(X_i, t) = F \downarrow(X_i, t) + F \uparrow(X_i, t)$$

$$F \downarrow(X_i, t) = F \downarrow(X_0, t - i \Delta t)$$

$$F \uparrow(X_i, t) = F \uparrow(X_0, t + i \Delta t)$$

と仮定すると、レベル*i*での応力は次のようになる。

$$\sigma(X_i, t) = \{F \downarrow(X_0, t - i \Delta t) + F \uparrow(X_0, t + i \Delta t)\} / A_i$$

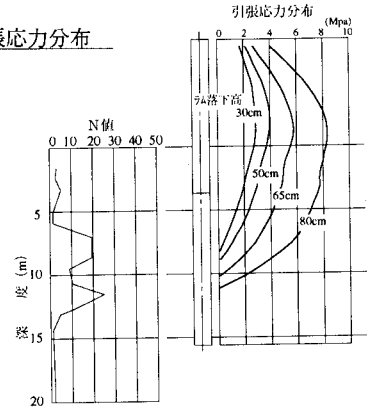
4. 結果および考察

杭の打撃状態と引張応力分布を図一4に示す。ラム落下高さと引張応力分布を図一5に示す。

図一4から、引張応力は先端が軟弱地盤に貫入し始めた地点から増加し、軟弱地盤中にある杭が長いほど引張応力は大きくなる傾向にある。また、同じような打設深度でも継ぎ杭をした直後の状態、つまり突出が大きい状態では引張応力は著しく小さくなることがわかる。さらに杭先端が支持層に近づきN値が増加してくると、引張応力の値、分布幅は共に減少する。

最大引張応力の発生位置はその時点での上側の杭となっているが、分布幅が異なるため下側の杭まで大きな引張応力が作用している場合もある。

図一5から、ラム落下高さが大きくなるとともに最大引張応力、分布幅ともに増加することがわかる。



図一5 ラム落下高さと引張応力分布

以上の結果から、本杭施工時の打撃管理基準を設けた。具体的には、計算結果と実測した打撃偏心率（最大25%）を考慮して、打撃時の許容引張応力を決め（（コンクリート引張強度＋有効プレストレス）×0.75：A種杭の場合11.8Mpa×0.75＝8.85Mpa）、それに見合うラム落下高さを試算することによって打撃時の管理を行った。

このように、試験杭施工時に計測を行い波動理論を使用して計算することによって、効率的な打撃管理が簡便に行えることが実証された。

参考文献 Patrick J. Hannigan：「Dynamic Monitoring and Analysis of Pile Foundation」：Deep Foundation Institute：1990