

東海大学工学部

正会員 宇都一馬

正会員 冬木 勝

正会員 近藤 博

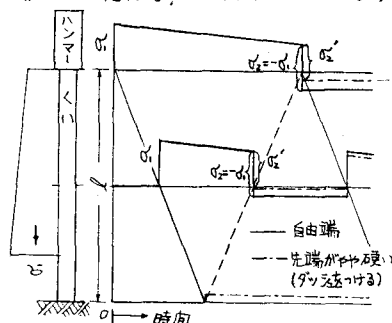
1. まえがき 「道路橋下部構造設計指針・くい基礎の施工篇」における打込み時にくいに発生する打撃応力の算定式について、原案作成にあつた筆者らの考え方を過去数編の報告で述べてきた。今回は、同指針における先端地盤の取扱いの考え方を述べ、くい先端からの反射波がくい体を伝播することによって生ずる種々の影響について主として定性的に考察し、施工上の留意点について述べる。

2. くい先端地盤の扱い方 筆者らは、くい打ち現象を波動現象としてとらえ、くい頭に発生する打撃応力⁽¹⁾⁽²⁾、くい体に発生する応力⁽³⁾、くい頭に局部的に発生する偏心打撃応力⁽⁴⁾などの算定式の考え方、問題点についてはすでに報告した。くい打ち時にくい体に作用する抵抗力は、一般に先端地盤による貫入抵抗と周面摩擦による摩擦抵抗に分けて考えるが、今回は先端地盤の影響のみについて取扱う。実際のくい打ちでは、周面摩擦を無視できないのは当然であるが、本質的には先端抵抗と同様の考え方をしてさしつかえないので、定性的な考察にはこれで十分である。先端地盤のみの問題の取扱いは、筆者らが標準貫入試験の問題を論じた、St. Venant 解の一般解を適用することができる⁽⁵⁾。図-1は、くいに発生する応力波形を三角波形で近似して先端地盤が比較的柔らかい地盤の場合^(a)、硬い地盤の場合^(b)について描いた応力波形の模式図である。この図より、先端地盤からの反射波がくい体の各部分に及ぼす経時変化がよくわかる。また、図-2はディーゼルハンマーによって打込まれる際に実測されるくい頭付近の応力波形の模式図である。破線で示したものは実線のものより硬い地盤で得られるもので、爆発行程の区間には周辺地盤からの反射波の重なりのようなすがみられる。

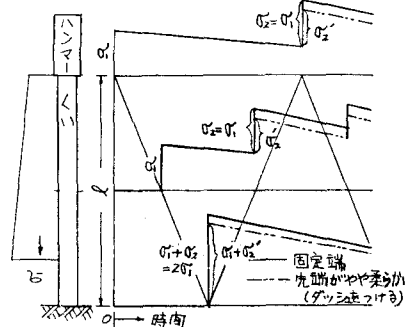
図-1に示した理論波形および図-2に示したような多くの現場測定の実験から、つぎのようなことが明らかとなる。以下の記述では、設計施工上問題となる応力波の極値について述べる。

3. 応力波形に現出する先端地盤の影響⁽⁶⁾ ①先端地盤からの反射応力 σ_2 は、考えている断面から下方の長さを l 、くい材の伝播速度を C とするとラムの衝突時 (σ_1) から $2l/C$ 時間後に現われる。②反射応力 σ_2 は柔らかい地盤では引張応力、硬い地盤では圧張応力となり、極端な条件、自由端では $\sigma_2 = -\sigma_1$ 、固定端では $\sigma_2 = \sigma_1$ となる。③図-1(b)のような状態では、くいはほとんど貫入することはない、この限界では $\sigma_2 = 0$ と考えてよい。

4. 先端地盤が柔らかい場合の問題点 のくい先端付近では、エネルギーの大部分が運動エネルギーに変換して存在するので、この部分に発生する応力の絶対値は小さく、したがって引張応力に対する配度は特に必要でない。②しかし、くいの打撃端付近ではかなり大きな



(a) 先端地盤が柔らかい場合



(b) 先端地盤が硬い場合

図-1 先端地盤からの反射波の影響

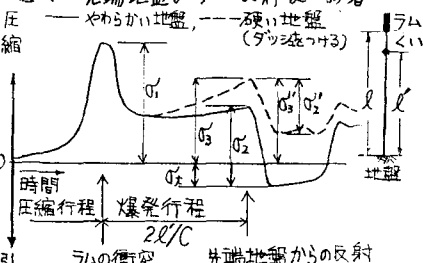
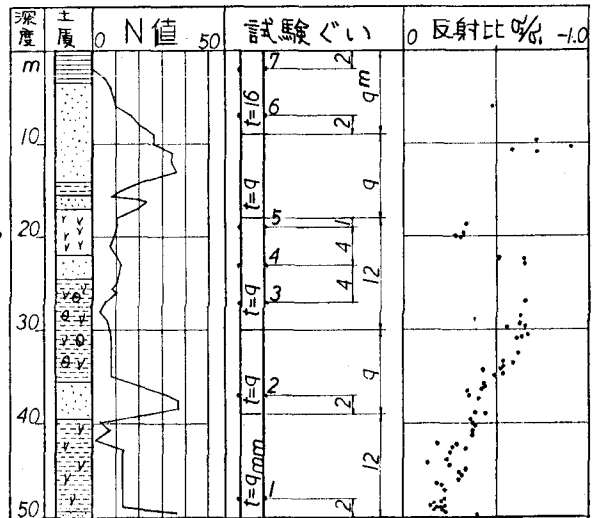


図-2 ディーゼルハンマーによる応力波形模式図

引張応力 σ_t が発生する可能性がある。これは先端からの引張の反射波の絶対値が爆発行程における圧縮応力 σ_c より大きい場合に生ずるものである。この傾向は、地盤が柔らかいほど、くいが長いほど、ラム重量が小さいほど大きくなる。③したがって、RCぐいやPCぐいの引張クラック、継手部の引張強度、ヤットコ打ちなど引張応力が問題となる場合には、その施工に当っては十分注意する必要がある。④特に、プレボーリングして地盤をゆるめた状態でのコンクリートぐいの打込みでは、くい頭付近の引張クラックに注意を要する。この対策としては、②で述べた事項のほか、クッションを厚くすることや材質を適正に選ぶことも有効である。



5. 先端地盤が硬い場合の問題点

①のくい先端部ではエネルギーの大部分がひずみエネルギーとなっているので、反射波が重なって過大な応力が発生する。②先端が極めて硬い場合には、くい先端では $2\sigma_c$ の応力が発生し得るので先端部の破壊は特に注意を要する。③また、このような状態ではラムストロークが増大し、くい頭の打撃応力も増大してくるので、くい頭の破壊にも注意する必要がある。

6. 長尺ぐいの施工性判定の一例

3.で述べた考え方を実際のくい打ち作業にあたって、その施工の可否の判定に応用した例を紹介する。本実験は、新潟県白根市信濃川下流白井橋架換工事にともなうくい打作業で長尺ぐいの打込可能深度を知ることが目的としたものである。図-3に同地点の土質柱状図、試験ぐいとストレーンゲージの貼附位置等も示してある。同図の右側に示した図は、直上り応力 σ_c と反射応力 σ_r の比を反射比 σ_r/σ_c と定義し、この値を上部ゲージでの実測応力波形から読みとり、くいの貫入深さに対してプロットしたものである。その他のデータと合せ検討して、つぎのことが明らかとなった。①反射比 σ_r/σ_c はくいの先端と周囲の抵抗が大きいとその絶対値は小さくなる。②反射比 σ_r/σ_c は理論的に -1 (抵抗がない) $\leq \sigma_r/\sigma_c \leq 1$ (抵抗が無限大) の関係がある。③深さ25mまでの反射比はバラツキが大きく、さらに観測データも少ないので、抵抗の大小の判定は難しい。④深さ30m以深の反射比は深さが大きくなるにしたがって減少し、周囲の摩擦抵抗の作用が大きくなる。⑤この図から、反射比が0となるであろうと思われる点は55~60mになるものと思われる。⑥これは、この打込み試験に使用した施工機械設備で同じような地盤に、同じ形状のくいを施工する場合の限界値(約60m)を示すものと思われる。⑦この判定により、実際に設計された60mの長尺ぐいの打込みが無事なされ、反射比による判定法の妥当性が実証された。⑧さらに60m以上のくいの施工にあたっては、適正な施工機械を選定する必要がある。それには、3,4,5.で述べた事項を考慮してその推定を行なうことが可能である。

7. まとめ

①先端地盤からの反射波の影響によって、くい体の局部に設計施工上問題となる応力が発生することがわかった。②極めて柔らかい地盤では、くい頭付近にかなり大きな引張応力が発生し得るので、RC・PCぐいの打込みには注意を要す。③極めて硬い地盤では、くい先端にくい頭応力の2倍までの圧縮応力が発生し得るので、先端破壊に注意を要す。④反射比 σ_r/σ_c の大小によって、くい打ちの施工性の判定が可能となった。

今回は、定性的な記述に終始したが、今後、周辺地盤の影響をも含めて定量的な取扱いをしていく予定である。

参考文献 1)宇都・榎・吉村、実験と施工実績を背景とする施工指針の検討(1)、道路(1989.10) 2)宇都・冬木・近藤、波動理論による打込み時くい頭応力の算定式について、第30回土木学会年次学術講演集(1975) 3)同上、打込み時にくい体には発生する打撃応力の算定式について、第31回土木学会年次学術講演集(1976) 4)同上、くいの偏心打撃に関する一実験、第4回土木学会関東支部研究発表会(1977) 5)宇都・冬木、N値を考慮する、土基礎16.122.16.2 6)宇都他、標準貫入試験におけるロッドの貫入機構に関する理論研究と基礎実験、東大総理、(1972)