

京都大学工学部 正員 畠 昭治郎

京都大学工学部 正員 檜垣 義雄

京都大学工学部 学生員 〇芦田 恵樹

(株) 神戸製鋼所

辻井 鋼

1. はじめに

本研究は、粉体噴射攪はん式地盤改良工法における混入粉体量の自動制御化を最終目標とし、その基礎段階として、砂に攪はん翼を貫入する際に得られる掘削抵抗と土質特性との関係について、水浸砂を用いた模型実験により検討を行ったものである。

2. 実験内容と結果

試料は小豆島砂を用い、その強度特性はコーン指数によってとらえた。なおコーン指数を用いた理由は、貫入により地中深くでのコーン指数が直接得られること、試験方法が比較的容易なこと、現場測定値としてその試験方法が確立されていること¹⁾、コーン指数が掘削抵抗に敏感に影響することが予備実験によりわかったことなどがあげられる。またコーン指数は、コーン径30mm、先端角30度の静的単純コーン貫入試験により求めた。一連の実験後の砂の強度回復は一週間程度の自重圧密により行なった。

今回の実験では、a) コーン指数と回転トルクとの関係、b) 攪はん条件(回転数、貫入速さ、1回転あたりの切りこみ深さ)と回転トルクとの関係、c) 羽根長と回転トルクとの関係について検討を行なった。羽根はa)、b) については長さ400mm、c) については長さ400、450、500mmのものを用い、その断面形状は図-1に示す。

a) コーン指数と回転トルクとの関係

まず、回転トルクが深さに応じて一次的に変化していることに着目する(図-2)。コーン指数は砂について内部摩擦角が一定ならかなりの範囲(コーン指数が 2.0×10^4 kPa程度まで)で土かぶり圧すなわち深さに比例して増大することが知られている^{2,3)}。これは回転トルクと深さの関係がそのままコーン指数との関係におきかえることができることを表す。すなわち回転トルクがコーン指数に比例することがわかる。なお図-3はこの関係を明らかにするために図-2の深さを対応するコーン指数におきかえて整理したものである。

b) 攪はん条件と回転トルクの関係

ここで扱う3種の攪はん条件はそれぞれ独立のものではなく、1種だけを変化させてその影響をみることができない。そこで逆に固定された1種に着目しその影響を検討した。その結果回転数が回転トルクに敏感に影響することがわかり、その関係は図-4で示されるように比例関係であることがわかった。

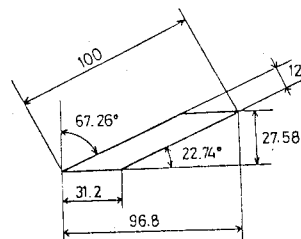


図-1 羽根の断面形状

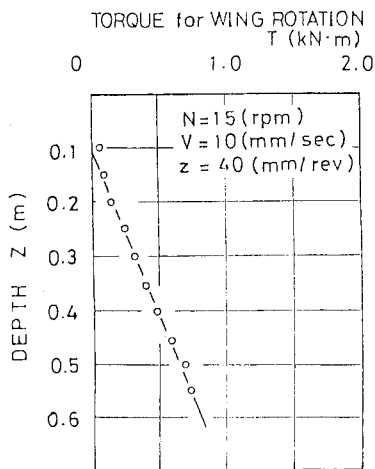


図-2 深さと回転トルクとの関係

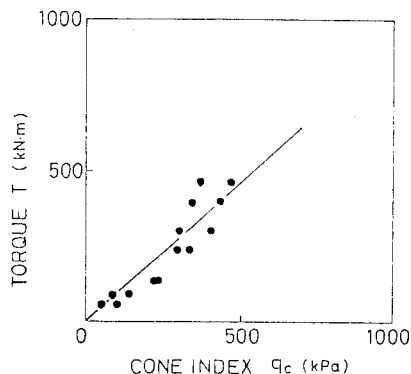


図-3

コーン指数と回転トルクとの関係

c) 羽根長と回転トルクとの関係

図-5に示すように、回転トルクは羽根長の3乗に比例することがわかった。

3. 実験結果の理論的考察

まずb)、c)の実験に

ついて、掘削抵抗と掘削速さの関係を適用して検討を行なう。水浸砂質土について畠により次のような関係が得られている⁴⁾。

$$H = A \cdot v / k + H_0 \quad \cdots (1)$$

ここにHは水平掘削抵抗、vは掘削速さ、kは透水係数、H₀は掘削速さ0のときの水平掘削抵抗、Aは定数である。なおこの式は平削について得られたものであるが、回転掘削にも同様の関係が適用できることが掘削によるすべり線の観察などにより確かめられている⁵⁾。

本実験では透水係数一定、掘削速さ0のときの水平掘削抵抗は0とみなせ、さらに周速を $v = r \omega$ (rは回転中心からの距離、 ω は角速度)とすれば $H = A' \cdot r \omega$ ($A' = A/k$)となり、水平掘削抵抗は一定の角速度(回転数)のもとでは回転中心からの距離に比例することがわかる。これに基づいて羽根長lと回転トルクTとの関係を求めると次のようになる。

$$T = 2 \int_0^l H r dr = 2 \int_0^l A' \omega r^2 dr = A' \omega l^3 / 12 \quad \cdots (2)$$

これは回転トルクが羽根長lの3乗に比例する実験結果と一致する。また羽根長が一定ならば角速度すなわち回転数に比例する実験結果をも表わしている。

次にa)について検討を行なう。コーン指数qcは単位貫入量を考えた場合、土の単位体積量に対してコーンがなした仕事量ととらえることができる。そこで羽根が土になす単位体積あたりの仕事量をEuとすると $qc = Ae \cdot Eu$ という関係が仮定できる。ここにAeは定数である。ここで簡単のため1回転については回転トルクが深さによらず一定としてEuを計算すると以下のようになり、回転トルクとコーン指数との比例関係がうまく説明できる。

$$Eu = 8/1^2 \{ 1/z + \tan(\delta + \alpha) / \pi d \} T \quad \cdots (3)$$

ここに δ は羽根と砂との摩擦角、 α はすくい角、zは1回転あたりの切りこみ量である。

4. 結論

以上の考察により回転トルクはa)コーン指数に比例する、b)回転数に比例する、

c)羽根長の3乗に比例することがわかった。よって次式により攪はん翼貫入の際に得られる回転トルクから砂の強度特性値としてのコーン指数が推定できる。

$$qc = CT / N l^3 \quad \cdots (4)$$

ここにNは回転数、Cは攪はん翼の形状など攪はんにかかわる要因、コーンの先端形状、貫入速さなどコーン指数にかかわる要因、土の種類などの土質条件などによって決まる定数である。

5. おわりに

将来、粉体噴射攪はん式地盤改良工法における粉体混入量の自動制御化に結びつけるため、本研究の適用範囲の検討、特に羽根形状の変化による影響、深層まで貫入された場合の土のかぶり圧などの影響、土の種類による影響などの検討、また推定された土質特性と地盤強度の、さらには最適粉体混入量との関係の検討など様々な課題が残されている。今後これらの課題を解明する方向で研究をすすめていくつもりである。

参考文献 1) 小黒、室町 (1972) 静的コーン貫入試験、土質工学会土質調査法 2) 岩井 (1979) オランダ式コーン貫入試験、土質工学会土質調査試験結果の解釈と適用例 3) C. C. Ladd, R. Fott, K. Schlosser, H. G. Poulos (1977) Stress-Deformation and Strength Characteristics, State of Art Report, Proc. 9th ICSMFE 4) 畠 (1979) 海底砂地盤の掘削とその応用、土木学会論文報告集第288号 5) 伊藤 (1968) 回転掘削に関する基礎的研究、京都大学修士論文

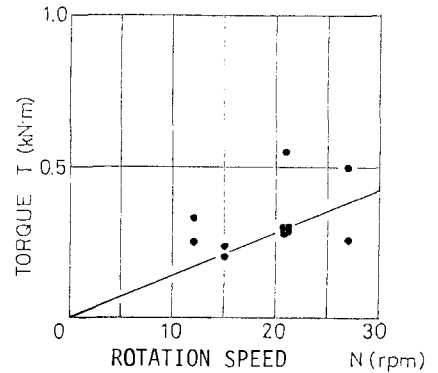


図-4 回転数と回転トルクの関係

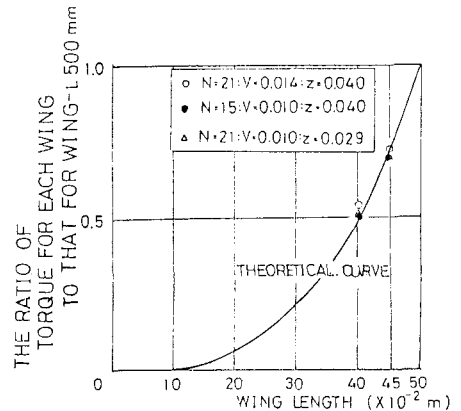


図-5 羽根長と回転トルクとの関係