

26. リバース工法におけるサクショ ポンプの性能について

日立建機 石川 泰 昭 網 代 秀 一

1. まえがき

リバースサーキュレーションドリルは騒音・振動が少ない場所打杭施工機械として各種基礎工事に採用されている。最近では東京湾環状道路、本州四国連絡橋など公共土木工事での掘削口径 $2m$ を超える大口径場所打杭の施工、及びLNG・石油備蓄用地下タンクや超深度曝気設備等の建設計画での掘削深さ $100m$ 級の施工が増加する傾向にある。一般にリバースサーキュレーションドリルによる施工としてはサクショポンプによる掘削方法が採用されており、 $0\sim 50m$ 程度の深度では掘削能率が良いが $50\sim 60m$ 以上の大深度になるに従って掘削能率の低下が無視できなくなっている。土の硬さと掘削口径のみにより掘削速度を算出する方法が一般化されており、この方法によると $50m$ 以下の浅い杭の場合には問題ないが、 $50m$ 以上の大深度の杭になると実際の速度とくい違いが出る場合が多いようである。これは深度により能率が低下しないという前提によるものであるが、掘削速度はビットによる掘削能力のほかにサクショポンプによる掘削能力があり、これを加味して決めるのが妥当と考えられる。ここでビットによる掘削速度はビット荷重、ビット回転数に比例し、掘削口径、土の硬さに反比例する。一方サクショポンプによる掘削速度はポンプ揚水量に比例し、掘削面積に反比例する。即ち $50m$ 以上の大深度になると後者の速度が前者の速度より小となる。結局サクショポンプによる掘削能力が実際の速度となる。また同様な事が $50m$ 以内の深度であっても軟弱土質を掘削する場合はサクショポンプによる掘削能力が実際の速度になることが考えられる。以上のような現状に鑑み、現在最も多く使用されているS320と同一ポンプを使用した高トルク形のS450を現場測定を行った。本報告ではこの結果のうちの軟弱土質におけるサクショポンプ掘削能力を取り上げてこれによる掘削速度の変化を明らかにしたい。また今回 $100m$ 級の大深度の杭の能率化とS320のシース化を考えたS450リバースサーキュレーションドリル(以下リバースと云う)を開発し同じ現場においてサクショポンプ性能を測定したのでこの点も併せて報告する。本測定に使用したS450リバースを写真-1に示す。

2. サクショポンプ性能の理論解析

2-1. サクショポンプによる揚泥原理

サクショポンプによる施工は図-1に示すように、ビットによって掘削される土砂 R を掘削速度とすれば掘削土量 $V =$



写真-1 S450外観

$\pi D^2 R / 4$) によって比重の高まった泥水がサクションポンプによって吸い上げられ、沈殿槽に送り込まれ、泥水中の土砂を沈殿させ、比重の低下した泥水をまた掘削孔へ戻すという順序の繰り返しでなされる。今この掘削土砂量が沈殿池で沈殿される土砂量に等しいとすると、沈殿土砂量 V_s は

$$V_s = (\rho_1 - \rho_2) Q_{d1} / (\rho_2 - \rho_1)$$

Q_{d1} : 土砂分を含んだ理論揚水量 [m^3/min]

となる。これからサクションポンプによる

揚泥能力つまり理論掘削速度 R は

$$R = \frac{24(\rho_1 - \rho_2)}{\pi D^2(\rho_2 - \rho_1)} \times Q_{d1} \times 10^2$$

----- 2-2 式

R : 掘削速度 [m/hr]

D : 掘削口径 [m]

ρ_2 : 含まれる土砂の見掛け比重
(地山比重)

ρ_1 : 揚水比重

ρ_2 : 循環水比重

となる。このように R は Q_{d1} に比例するが、リバースのポンプの特性上 Q_{d1} は掘削深さによって漸減し、

$$Q_{d1} = C \times l_s^{-0.12} \quad (\text{図-2 及び 図-3 の理論値参照}) \quad \text{----- 2-3 式}$$

C : 定数

l_s : 掘削深さ [m]

で表される。従って理論掘削速度は、厳密にいうと掘削深さ l_s が増大するに伴い Q_{d1} に応じて漸減することになるが、大局的にみると問題にするような減少程度ではない。

2-2. サクションポンプによる最大掘削深さ

サクションポンプの性能は全揚程と揚水量から決まるが、そのうち全揚程 H は吸込揚程 H_s と吐出揚程 H_d との和で表される。リバース工法においては一般に吐出配管は掘削中変化せず、吸込側のみが変わる(掘削するに従って吸込負荷が大きくなる)ためこの吸込性能の検討が重要なポイントとなる。ここに吸込揚程 H_s [m] は、

$$H_s = f_1 \frac{v^2}{2g} + f_2(l + l_s) + f_3 \frac{v^2}{2g} + f_4 l_s + (\rho_1 - \rho_2) l_s \quad \text{----- 2-4 式}$$

f_1 : 吸込口抵抗損失係数

f_2 : バンド管抵抗損失係数

v : 流速

[m/sec]

h_s : 吸込実揚程

[m]

l : サクションライン長

[m]

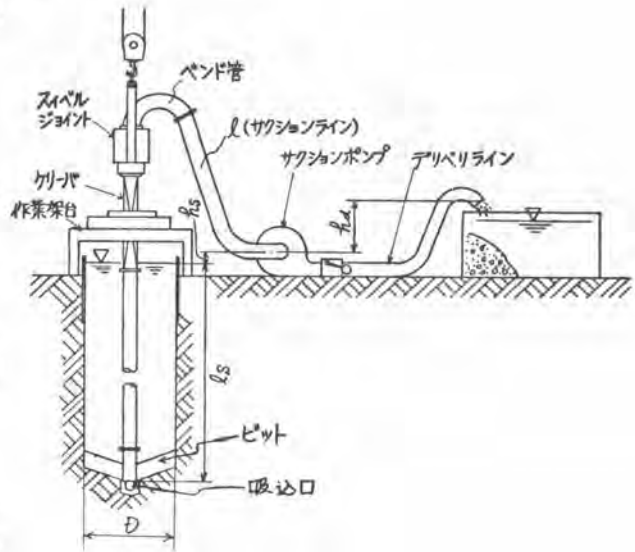


図-7 サクションポンプによる揚泥状態図

S; 直管7m当り管摩擦損失水頭 [m]

$$S = \lambda \times \frac{1}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----2-5式}$$

λ ; 摩擦損失係数

D ; ドリルパイプ内径 [m]

で表される。ここでサクションポンプの限界吸込揚程(ポンプの吸上能力)は約9mであることからこの2-4式により掘削深さ h_s の限界が理論的に求められる。

3. 現地測定結果

本測定に使用したS450とS400^仕バースの仕様比較を表-7に示す。サクションポンプとしては、S400^仕の口径200mm^φに対しS450は口径250mm^φのポンプで流量12m³/min[×]全揚程/3mの仕様である。本測定を行なった現場は高知県鏡川大橋下部工事である。杭径2.5m^φ、深さ50mをS450及びS400^仕バースを用い8本掘削した。現場の地層はG1より2/m深さまではN値≒5のシルト層、21~29.5m深さはN値≒5~10の粘土質シルト層、29.5~39m深さはN値は50~150(換算値)で200~400mm^φの玉石が介在するしまつた砂礫層、39~47.5m深さはN値≒10の粘土質シルト層、それ以降はしまつた砂礫層である。このように大部分の地層がシルト・粘土質のため掘削中の循環水比重は最大1.15にもなり、リバー工として厳しい条件である。尚、掘削中のトルクは砂礫層(ロービットを使用)を除き1.3~2.3t-mで回転数は4~7rpmであった。

表-7 仕様比較

		S450	S400H
穿孔能力	径	0~4.5m ^φ	0~4m ^φ
	深さ	100m	70m
サクショ ンポン プ	揚水量×全揚程	12m ³ /min [×] 13m	8m ³ /min [×] 13m
	口径	250mm ^φ	200mm ^φ
トルク		8t-m	6t-m

3-1 サクションポンプ揚水量

S450のサクションポンプ性能測定方法はサクションポンプ吐出口に設置した電磁流量計で直接揚水量を測り、サクションポンプの入口と出口それぞれ吸込圧と吐出圧を検出する圧力センサを設けて各々記録する方法とした。図-2に2-3、2-4式を利用し本現場の条件として $f_1 = 0.5$, $f_2 = 0.34$, $\alpha_1 = 1.13$, $\alpha_2 = 1.1$, $l = 16.5$, $D = 250$, $g = 9.8$, λ はDARCYの公式を用いて算出した理論揚泥曲線及び実測した揚水量、吸込圧と掘削深さの関係を示す。これから実測値は理論曲線とはほぼ平行であるがその絶対値は今回の施工では約70%となった。ここで $Q_p = Q$ (実測値)/ Q_{th} (理論値)とおくと Q_p は取扱う流体を泥水として理論解析した Q_{th} に対し、実際の Q が非ニュートン流体を流動させて掘削物を吸い上げるために減少する割合である。他の現場で測定したS320の場合は、掘削条件による影響もあるが、掘削深さに対する実際の揚水量の低下度合は

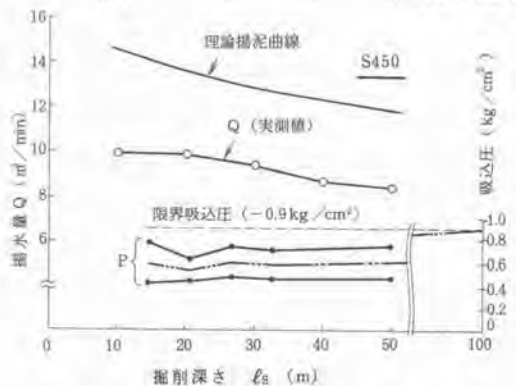


図-2 揚水量と吸込圧

S450より多少大きい。

3-2 掘削速度

図-3に2-2式に本現場の条件を代入し算出した理論掘削速度曲線及び実測したS450とS400の掘削速度と掘削深さの関係を示す。これから実測値と理論曲線を比較すると掘削深さに対する実際の掘削速度の低下度は深さが深くはるほど大となり、その絶対値は50~70%と化した。これと前述の η を比べると η の80~100%になっている。これを η_s と称す。理論上は $\eta_s = 100\%$ になるはずであるが現実には、更に効率 η が低下していることとなる。これは

正味揚泥量と掘削量との比ともいうべきものであり、掘削深さが深くはるほど掘削深さに対する正味揚泥量が低下することを示している。従って2-2式の理論掘削速度に前述の η と η_s を加味したものが実際の掘削速度となる。結局、今回の地層条件においては、図-3に示すようなS450及びS400とも掘削深さに応じて掘削速度がかなり減少している。また今回の測定ではS450はS400の約2倍の能力が出ている。ちなみにS400の場合は、深さ20mに対し深さ50mでは速度は約半に落ちており、S450の場合は約3割と化す。以上は50m以内の深度でかつ軟弱土質を掘削することで得られた結果であるが、同様のことか50m以上の大深度になると地質にかかわらず生じてくるのが当然考えられる。

3-3 掘削深さ

図-2において吸込圧 P は掘削深さ50m付近で $0.45 \sim 0.65 \text{ kg/cm}^2$ であり、これから吸込限界揚程 0.9 kg/cm^2 に到達する点を推定すれば本現場の条件におけるS450の場合は最大掘削深さとして約100mまで十分可能といえる。尚、他の現場で測定したS320の實用最大深さは約70m(循環水比重1.1)程度であった。

4. おとがき

サクシオンポンプの性能から理論掘削速度は掘削深さに関係なくほぼ一定といえるが、今回軟弱土質における実際の速度 η を測定し検討した結果、掘削深さ20mと50mでの掘削時間が1.5~2倍違うことがわかった。これより50m以上の大深度での杭は50m以内の杭に比べ同様に掘削時間が1.5~2倍違うことが推定される。従ってリバースの最近の傾向である深さ50m以上の大深度の杭や、50m以内でも軟弱シルト、粘土層を掘削する場合には、単に孔径、土質(N 値)のみでなく、掘削深さに応じたサクシオンポンプの掘削速度の変化を加味した能力算定を工事計画に導入することが必要となる。またS450の深さ50mまでの吸込圧の測定結果からその最大掘削深さは實用上100mも十分可能と推定され、今回のS450實用機の完成を機に、このような大深度リバース杭の実績が今後数多く積み重ねられることを期待している。本報告は最近の一現場におけるデータであり、今後さらにデータを蓄積し広範囲に解析を進めていきたい。

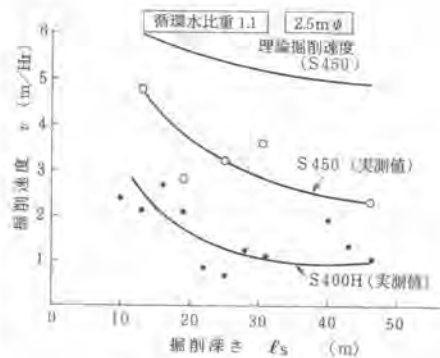


図-3 掘削速度