

I-17 土の掘削性能について

京都大学工学部 正員 畠 昭治郎

刃を用いて土を切削する場合、その切削機構を定常切削と非定常切削とに分けて考えることができる。定常切削とは、刃の地中への押込み深さが切削過程中つねに一定である場合で、たとえば キャリオール・スクレーパ の掘削がこれに相当する。非定常切削とは、この押込み深さが刻々変化するもので、クラムシェル、ドラグライン、ドラグ・スクレーパ などロープのみによって自由掘削するものはすべてこの機構に属する。しかしながら、従来おこなわれてきた土の切削に関する研究の多くは、定常切削に関するものであり、これのみによつては、実際に起る非定常切削を解析することはきわめて困難である。この欠陥を補うために筆者は新たに考案した装置を用いて各種の実験をおこない、くいこみ係数なるものを導入して主として砂質土における非定常切削機構を解明しようとしたものである。

(1) 刃にかかる諸抵抗の解析

いま、刃物の幅を w 、刃先の鋭度と示す刃先曲率半径を r 、刃面のすくい角を γ 、底面のにけ角を α 、刃面および刃先と土との間の摩擦角を δ とすると、刃先位置 x 、 t (地表面にそつて x 軸、深さ方向に t 軸をとる) のとき刃にかかる力は次のようになる。

推圧力 N : 刃と地中に押込む力で、刃の自重を含む。

切削抵抗 R : 刃面に作用する切削抵抗で、水平分力を H 、垂直分力を V とすれば、砂質土に対しては実験的に次のごとくあらわされる。

$$H = 1.82 e_s w t^2 10^{-0.45\gamma}, \quad V = H \tan(\delta - \gamma)$$

ここで e_s は土の切削強度指数である。

くいこみ抵抗 B : 切削深さが変化するとき生じる抵抗で、刃先の軌跡の傾斜および切削深さに比例するものと仮定する。すなわち

$$B = b w t \frac{dt}{dx}$$

ここで b は比例係数であり、刃先の形状、土質によつて変化する。この b をくいこみ係数と稱し、これが大きくなるほど、刃は地中へ入り難い。

底面摩擦 F : にけ面に作用する摩擦抵抗で、その水平方向分力は $B \tan \delta$ となる。

これらの諸力について垂直方向のつりあいを考えると次式を得る。

$$n - at^2 = bt \frac{dt}{dx} \quad \text{-----} [1]$$

ただし、 $n = N/w$ 、 $a = 1.82 e_s 10^{-0.45\gamma} \tan(\delta - \gamma)$ である。

i) $a > 0$ ($\delta > \gamma$) の場合: [1]式において $n = at^2$ とおけば $(dt/dx) = 0$ となる。すなわち刃先の軌跡は $t = \sqrt{(n/a)}$ よりも大きくなることを示している。

ii) $a = 0$ ($\delta = \gamma$) の場合: [1]式は $n = bt(dt/dx)$ となり、放物線状の軌跡を与える。

iii) $a < 0$ ($\delta < \gamma$) の場合: n の増大とともに切削深さは益々大きくなる。

以上の結果は実験結果とよく一致するので [1] 式の仮定は妥当であると考えられる。

(2) くいこみ係数の性質

多くの実験を行った結果、砂質土に対してくいこみ係数は次のような性質をもっていることがわかった。

- i) 刃幅はくいこみ係数の値にほとんど影響をおよぼさない。
- ii) すくい角は 20° 前後においてくいこみ係数の値が最小となる。すなわちこのときに刃は最もくいこみ易い。
- iii) にけ角については大きいほどよいが、 20° 以上になるとくいこみ係数の減少割合は急減する。
- iv) 刃先先端の曲率半径は極めて大きな影響をおよぼし、鋭くなるほどくいこみ係数は急増する。
- v) くいこみ係数は土の切削強度指数にほぼ正比例する。

以上の結果を用いると、推圧力と土の切削強度指数以外の諸条件を同一にとると

$$n - k_1 e_s t^2 = k_2 e_s t \frac{dt}{dx} \quad \text{-----} [2]$$

となる。上式において $n = k_1 e_s$ とおくと [2] 式は e_s の値に無関係となるから、土の切削強度指数に対応して推圧力を加減すれば、全く同じ掘削性能が得られることがわかる。

上述の関係はもちろん、にけ面が掘削されたあとの地面に密着しない場合に対して成り立つものである。にけ面が密着する場合にはくいこみ係数の値は著しく増大する。

(3) 応用例

各種掘削機械の寸法・形状・作動機構が与えられれば、その土質に対するくいこみ係数 b の値を知ることによって、[1] または [2] 式から刃先の軌跡を求めることができ、さらにこれより、掘削土量、掘削所要出力などを簡単な計算で見出すことができる。この応用の一例として クラムシエル・バケットの掘削機構について 解明を行う。