

1. 埋設機の目的と設計条件

日中通信ケーブル建設にあたり、その大部分(長崎-上海間 850 km 中 770 km)は東支那海の浅い大陸棚上になるが、同海域は有数の漁場であり敷設ケーブルがトロールダマージをうけることは必ずで海底に埋設しなければならぬ。従来この種のものとしては、鋤状の刃を油圧で操作して海底に溝を掘り水中TVカメラで制御しながら埋設してゆく高性能のものがATTおよびNTTで開発使用されているが、これらは重く(15~20トン)牽引抵抗も30トン近くありKDD丸の能力をこえるため、新しく小形軽量で取扱いやすくかつ抵抗の小さい埋設機を開発する必要が生じたもので、設計条件は埋設深さ0.7m、埋設速度3ノット、重さ10トン以下で抵抗も20トン程度というものである。なお海底土質としては細砂が多いがごく表層は泥状である。

2. 砂質土の掘削抵抗の特性とその低減方法

単一刃の幅を B 、すくい角を α 、横すくい角を β 、掘削深さを z とすれば水平方向掘削抵抗 H は次式で求められることは20数年前に報告したとおりである¹⁾。 e_s は土の掘削強度指数であり、 α はラジアンで表わす。

$$H = 1.82 e_s B z^2 \cdot 10^{-0.45\alpha} \quad \text{----- (1)}$$

掘削方向への投影刃幅 B が一定のときは横すくい角 β の変化によって H に有意差はみられず、また掘削速度 v の影響もほとんどない。しかし水中ではこれと異なり v の影響が大きくなり次式のようになった。²⁾ k : 透水係数。

$$H = 1.82 e_s B z^2 \cdot 10^{-0.45\alpha} (1 + cv/k) \quad \text{----- (2)}$$

(1)式で H が z^2 に比例するのから、 z を1段に掘るのに何段かに分けて掘る、いわゆる多段刃の考え方がでくる。前の刃が掘ったあと、そのみどがあまりくすめないうちに次の刃が掘るというようにすれば、 e_s が1段さに無関係に一定のとき

$$H = 1.82 e_s (z/n)^2 \cdot 10^{-0.45\alpha} \sum_{i=1}^n B_i \quad \text{----- (3)}$$

となる。ここで n は刃の枚数、 B_i は i 番目の刃幅である。実験の結果6段刃で約1/1.5程度に減る。またこの多段刃を用いて水中掘削を行ったところ、(2)式のようにはならず、3ノット(約1m/sec)程度では抵抗の増大は極低速の場合の約3割増程度でありそれほど重大視する必要がないという結果をえた。これはせん断破壊領域への木の補給能力において、多段刃の方が掘段に勝っているため、速度の大きいときに生ずる負圧の程度が小さいことによるものであろう。

つぎにすくい角 α は大きい方が抵抗が減少するが適度な逃げ角と強度的に十分な刃物角をもたせるためには限度があり、せいぜい60°までと思われる。また横すくい角 β としては、掘削した土砂を速やかに側方に排除するとともに、刃の実質幅をあまり大きくしないために45°ぐらいが適当であり、刃と刃の間隔は目づまりを起さず、 B_i もあまり大きくなくということ、一応図1のようなものが考えられる。

3. 掘削テストと相似性

以上の推論の実証とプロトタイプ³⁾の性能を求めるため図3中に表示した9種類の多段刃($\beta=45^\circ$ -定; $\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ で $n=3, 4, 5$)と、寸法の異なる相似形の3種($\alpha=55^\circ, \beta=45^\circ, n=5$; 初

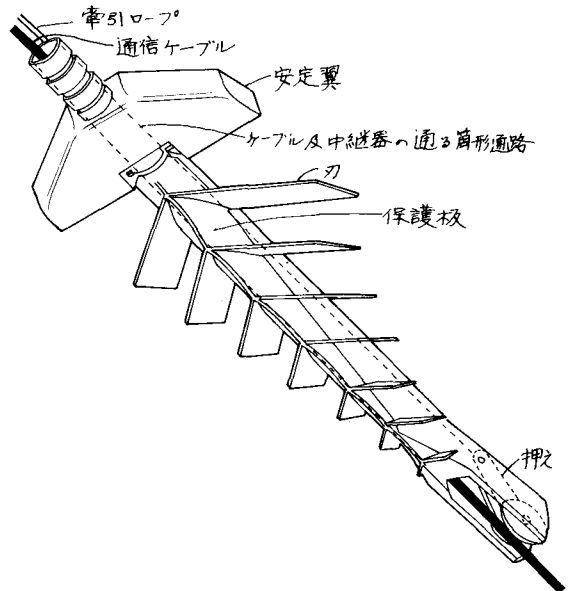


図-1 多段刃式海底ケーブル埋設機 (下側から見る)

段刃幅 $B_1 = 15, 30, 45 \text{ cm}$ の模型と控制
 ラストを行った結果を図-3に示す。縦軸 t/B_1 、
 横軸 $p/c_s B_1$ (p 接地圧) で整理すると図の
 ようにそれぞれ一つの曲線上にあるようにみえる。
 すなわち $t/B_1 = f(p/c_s B_1) \dots\dots\dots (4)$

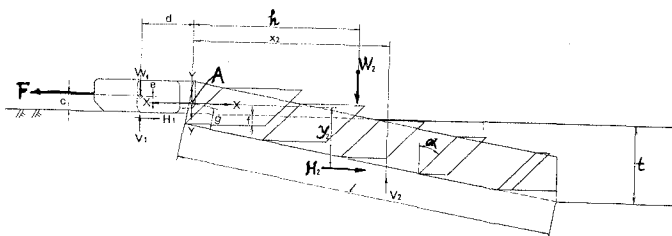


図-2 一定深さで、掘削中の多段刃にかかる力

この函数形を簡単な解析で求めてみる。
 図-2 において次の仮定を行う。

- i) 掘削深さは一定故 $v_2 = 0$
- ii) 掘削抵抗 H_2 の着力点は A 点下 $t/2$ とする。図で $y_2 = t/2$

iii) H_2 は (3) 式の形と仮定し、運土抵抗を全
 めて (3) 式中の σ を 2 倍と考える

iv) 多段刃部分の重量 W_2 の作用点と A 点
 との水平距離 x_2 は一定故 不変

以上の仮定を用いて、安定翼と多段刃と
 の結合ピン A のまわりのモーメントのつり合
 から

$$1.82 c_s \left(\frac{2t}{n} \right)^2 10^{-0.455n} \sum_{i=1}^n B_i = \frac{2}{t} W_2 l$$

また p は W_2/B_1^2 に比例し、 l もまた B_1 に
 比例するから、

上式から結局次式が導かれる。

$$t/B_1 = K \left(\frac{p}{c_s B_1} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 K は α, n が一定ならばある

常数となる。これで (4) 式の函数形は (5) 式であることがわかったわけで、これから $B_1 = 120 \text{ cm}$ (720タイプ)
 のものの掘削深さを推定することが出来る。図-3 中の破線は $\alpha = 55^\circ, n = 5$ のものについての計算結
 果である。つぎに、安定翼の抵抗なども含めた全抵抗を F とすると

$$F = \mu(W_1 + W_2) + 1.82 c_s \left(\frac{2t}{n} \right)^2 10^{-0.455n} \sum B_i \dots\dots\dots (6)$$

であらうと仮定出来る。ここで μ は海底砂との間の摩擦抵抗係数で実測によれば約 2/3 であった。

(5), (6) 式の結果と実測の結果を表-1 に示す。プロトタイプでは設計条件を満足しているという結
 果がでていた。表をみると深さは
 よく合っているが、抵抗がやや小さく
 算出される。これは安定翼の排土抵抗
 を計算に入れていないためであろうと思
 われる。

表 - 1

B_1	15 cm		30 cm		45 cm		プロトタイプ
	計算	実測	計算	実測	計算	実測	
$t(\text{cm})$	8.0	7.8	16.0	16.0	24.0	22.5	63.7
$F(\text{kg})$	1.4	2.3	11.0	16.2	33.8	42.3	9.25 トン

4. 埋設実施結果

この研究をもとにしてさらにいくつかの改良が加えられ KDD において 51 年 5 月実施用機が完成し、
 それを用いて 同年 6 月から 7 月にかけて海底ケーブル埋設が行われたが、順調に工率は進み、同年 10
 月 25 日 同ケーブルによる最初の通信が行われた。その施工結果の概要を KDD の友好会により当日発
 表する予定である。

- 1) 村山・富「土の切削抵抗について」土木学会誌 40 巻 3 号 (昭和 30 年 3 月) pp. 10~16.
- 2) 富・伊勢村「水中掘削の機構について」土木学会関西支部年次学術講演会 (昭和 44 年 5 月) 頁・40