

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員・大西 正敏
 “ “ 正員 宮本 泰
 “ “ 正員 有田 良祐

1. まえがき 海底ケーブルは、外的要因による障害を防止するため、埋設機により海底地盤を掘削しケーブルを埋設することが行われている。この種の海底ケーブル埋設機の中で噴流水による掘削を用いたウォータジェット式埋設機は、水中でのウォータジェット使用のため掘削効率が悪く、そのためケーブル埋設速度が遅いという問題がある。今回は、ウォータジェットの排土容量の拡大ならびに吐出圧力の有効作用を向上させる目的から、ウォータジェット・空気併用のエア-バブルウォータジェットによる水中地盤掘削の有効性について基礎検討を行ったもので、その結果について報告する。

2. 実験装置・実験方法 実験装置は、図1に示すような2種類の水槽を用いた。水槽Aは寸法 $m \times m \times 1.5m$ のアクリル水槽であり、噴流内における流圧測定用の超小型圧力センサ（径 $3^{\phi}mm$ ）を水槽内に設置し噴流特性の測定を行った。また、水槽Bは寸法 $4m$ （長さ） $\times 0.3m$ （幅） $\times 1.5m$ （高さ）の片面がガラス面をもつ水槽で、掘削地盤としてガラスビーズを用い、水槽上部にはノズル移動用としてモータ駆動による移動台を設けノズルの移動速度を任意に設定できるものである。ガラスビーズは図2に示す粒径のものを用いて掘削を行った。図3に実験に用いたエア-バブルウォータジェットノズルを示す。エア-バブル発生部は微小空気流入孔（ $0.5^{\phi}mm \times 24$ 個）を設けたボビンによりノズル管内に空気をバブル化して混入されるようになっており、ノズル部は噴流特性実験用の3次元ノズルと移動掘削実験用の半割型2次元ノズルを用いた。供給空気および供給水はエア-コンプレッサとウォータポンプにより流量調整器を通して設定でき、両者の供給圧力はノズル本体に取り付けられた圧力変換器によりそれぞれ計測してレコーダにて記録した。なお、移動掘削形状は水槽の側面から写真撮影により明らかにした。

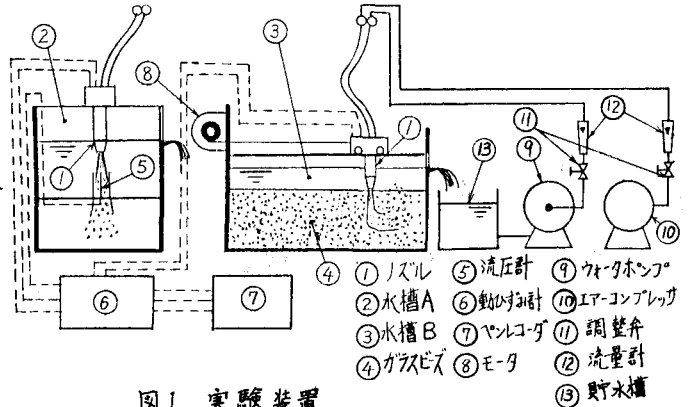


図1. 実験装置

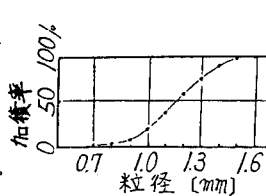


図2. 粒径加減曲線

3. 実験結果 ジェットのエネルギーを表すものとして、単位時間当りのジェット供給エネルギー E を考え、水の供給エネルギーと空気の供給エネルギーの和で表わし、

$$E = P_w \cdot Q_w + P_a \cdot Q_a \quad \dots (1)$$

$\left\{ \begin{array}{ll} P_w: \text{供給水圧力} (\text{kg/cm}^2) & P_a: \text{供給空気圧} (\text{kg/cm}^2) \\ Q_w: \text{供給水流量} (\text{m}^3/\text{s}) & Q_a: \text{供給空気流量} (\text{m}^3/\text{s}) \end{array} \right.$

とする。また、空気含有率 C を標準状態での供給空気と供給水の流量比で表わすこととする。

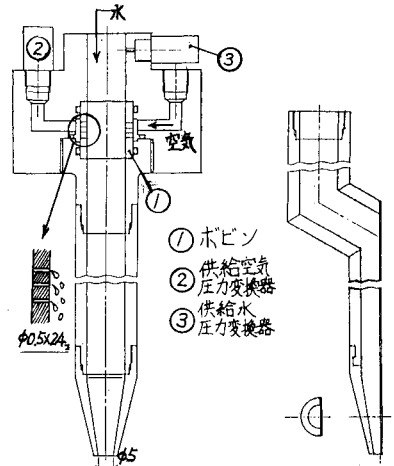


図3. エア-バブルウォータジェットノズル

(i) 噴流特性実験 図4にジェット供給エネルギーが等しく空気含有率が変化させた場合の平均流圧分布を示す。図5にはノズル近傍においてパルス的に発生する流圧のピーク値の変化を空気含有率に対して示す。平均流圧は空気含有率が高くなるとエアバブルによる減衰が見られるが、流圧ピーク値は空気含有率およびジェット供給エネルギーによって変化する。ジェット供給エネルギーに対応した一定の空気含有率において最大となることがわかった。

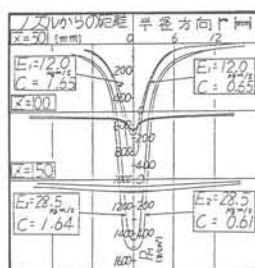


図4. 平均流圧 P_m の分布

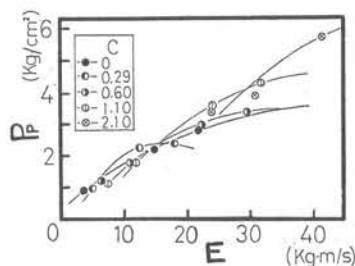


図5. 流圧ピーク値 P_p の変化

(ii) 移動掘削実験 ノズルは掘削面と予め接した状態で垂直設定し移動掘削を行った。図6、図7にノズル移動速度 大小2種類について、移動掘削深度の変化を示す。図6よりノズル移動速度が遅い 13 cm/s の場合、空気の入混がない場合に比べ掘削深度が大きくなり一定のジェット供給エネルギーに対して最適な空気含有率が存在する傾向が見られる。一方、図7のノズル移動速度が速い 29 cm/s の場合には空気の入混による掘削深度の増大は望めない。このことは、ノズル移動速度が空気の浮上効果による排土作用と排土流れに密接な関係があると考えられ、ノズル移動速度が一定値以上では空気による排土能力が追従できなくなるものと考えられる。また、ノズル移動速度に関係なく一定の空気含有率とジェット供給エネルギーにて掘削深度が最大値をもつことは、エアバブルウォータージェットのパルス的に発生する流圧によるくさび効果により掘削地盤の間げき水圧を上昇させるのに最適な空気含有率が存在すると推察される。写真1に移動掘削形状の一例を示す。写真(b)、(c)、(e)、(f)のように空気入混時には、空気の入混のない(a)、(d)に比べ、移動掘削後部の間げきが空気により大きくなり、流動ともななって軟弱化した地盤が形成されることがわかり、空気の浮上効果によって掘削部の排土が顕著に行われることがわかった。また、ノズル移動速度が高まると掘削後に取り残されていく空気の残留時間が長くなることがわかった。

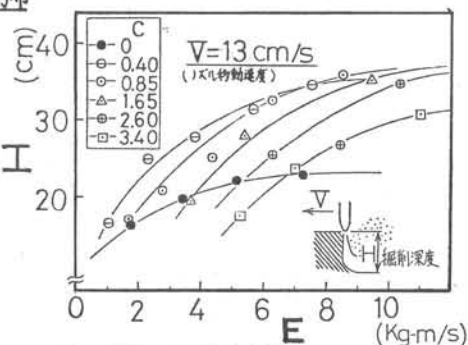


図6. 移動掘削深度の変化

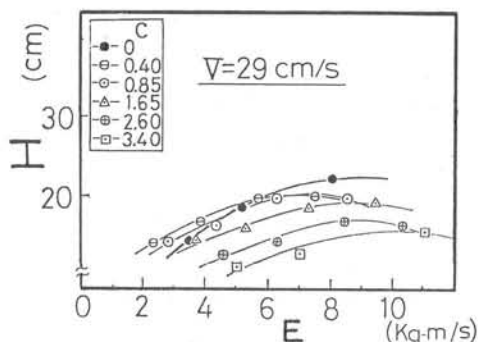


図7. 移動掘削深度の変化

4. まとめ エアバブルウォータージェットによる水中掘削は、ノズル移動速度ならびに空気含有率によって掘削深度が変化し最適値が存在することがわかった。今後は、ノズル口径、掘削対象地盤、エアバブル挙動について、さらに検討をすすめ最適水中掘削条件を明らかにしていく予定である。

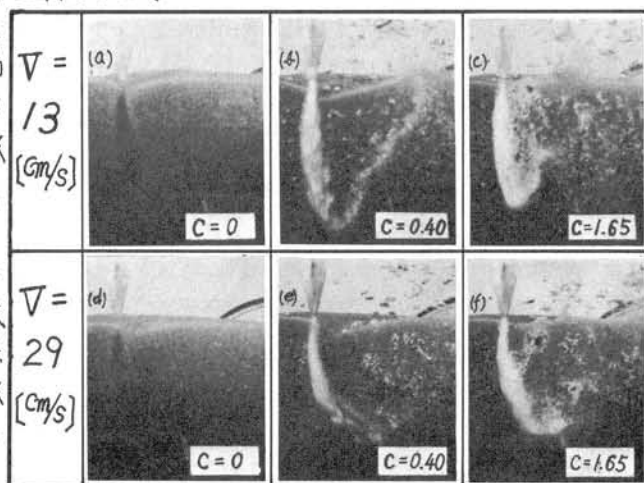


写真1. 移動掘削形状 ($E = 7.3 \text{ kg-m/s}$)