

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所

同上

同上

同上

同上

大平 利彦

数田 哲郎

正員 宮本 泰

1. まえがき

海底ケーブルの埋設機には、ウォータージェットにより海底面を掘削しながらケーブル埋設を行うウォータージェット式がよく用いられている。この掘削用ウォータージェットは、海中で使用するため、海水との摩擦によりジェットの流速が急激に減衰し、ウォータージェットによる掘削効率も非常に悪いものとなっている。掘削効率を向上させる方法としては、大面で行っているように、エアバブルを混入させることにより、掘削効率を向上させる方法がある。本報告は、大面とは異った手法、すなわちウォータージェットの周囲を空気層によって覆う、いわゆるエアシースウォータージェットの噴流特性について検討を行ったものである。エアシースウォータージェットについては、エアシース空気層の流速の大きい場合（音速の $\frac{1}{2}$ 以上）は、八尋¹⁾が検討を加えているが、本報告では、埋設機用ウォータージェットを想定して、空気層の流速の小さい場合（音速の $\frac{1}{2}$ 以下）を主体に検討を加える。

2. 実験方法

実験に用いた実験装置の概要を図1に示す。また、エアシースウォータージェットを発生させるノズル断面の形状を図2に示す。図2に示すように、同軸形のノズルを用い、外層には空気、内層には水流を送ることによって、エアシースウォータージェットを実現している。本装置は連続した実験も行えるため、および、ウォータージェットノズル出口の水圧を一定にするために、噴射した水は壁の一部の低い部分をセリとしてあふれさせ、水面の高さを一定とするとともに、あふれた水を回収し、ウォーターポンプ循環させる構造とした。さらに、流量計は上下移動可能な構造とし、噴流各部の流圧を測定可能とした。壁面については、噴射形状の観察を容易にするために、アクリル板を用いた。

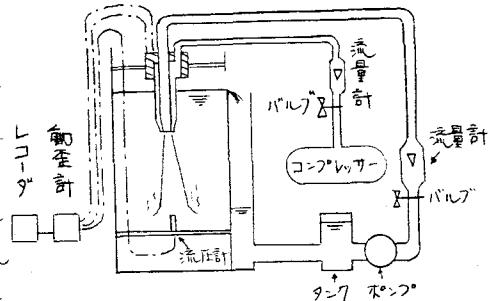


図1. 実験装置概要図

3. 実験結果

噴流形状の様子は図2のとおりである。この図に示すように、ノズルから噴射した直後の領域Aでは、エアシース外層の空気が水によって減衰されてスピードを失い、空気自身は膨張しながら浮上している。この領域では、内層のウォータージェットは、径が一定の噴流を形成しており、空中噴射の形状とはほぼ一致している。領域Bでは、エアシースの効果で、ウォータージェットはA領域と同様に径はほぼ一定に保たれている。また、この領域では、空気層のバク跳り、浮上はほとんど認められない。領域Bの下で、エアシースは若干膨張しながら領域Cに入る。この領域においては空気速度が減衰し、エアシースが破壊され、噴流特性は通常の水中噴射の場合とほぼ同様の噴流形状を示す。エアシースを形成しなくなる、すなわち、内層の水噴流と混合した空気泡となり、空気速度が零になった時点で浮上を始める。この結果からわかるように、領域

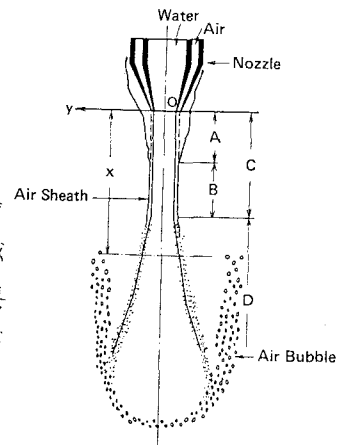


図2. 噴流形状断面図

A, B においては, エアシースは完全に形成されており, ウォータージェットの噴流特性は空気中に噴射した場合とはほぼ同様の特性を示す。

図3に噴射方向の流圧分布を示す。流圧は, ノズル出口の流圧を P_0 , 測定箇所Aの流圧を P とし, P/P_0 の形で求めた。この図に示すように, $X = 5 \text{ cm}$ (X の方向は図2に示す) の地点では, エアシースの効果は完全であり, 流圧分布はノズル出口の流圧分布からほぼ完全に保持されていることがわかる。しかし, 噴射方向にノズル口から離れるに従って流圧分布は広がり, エアシースの効果は薄れていくことがわかる。この図では, エアシースの空気流速 V_a を, 3段階に変えて流圧分布を示しているが, 空気流速が小さい場合は, 噴射方向に急激に流圧分布が広がっていき, エアシースの効果は期待できないこととなる。

以上示したように, エアシース効果は顕著であり, この効果はエアシースの空気流速に密接に関連することがわかる。図4に, エアシースの空気流速とエアシース長の関係を示す。この図に示すように, エアシースの空気流速が速くなるにつれて, エアシース長が長くなっていくことがわかる。

4. 考察

まずはじめに, 空気流速とエアシース長の関係について検討を加え, 式(1)に示す実験式を得ている。

$$L_0 \approx 0.048 U_a \quad (1)$$

ただし, L_0 はエアシース長 (cm), U_a は空気流速 (m/s) である。式(1)の計算値を破線で示すが, 実験値と比較して計算値は大きく下回す。これは, 式(1)の実験式は, 空気流速が音速の約1/2以上の領域の実験式であり, 本実験に示す低速の空気流速にはあてはまらないと考えられる。本実験値の実験式を実線で示すが, 式(2)で与えられる。

$$L_0 \approx 0.092 U_a \quad (2)$$

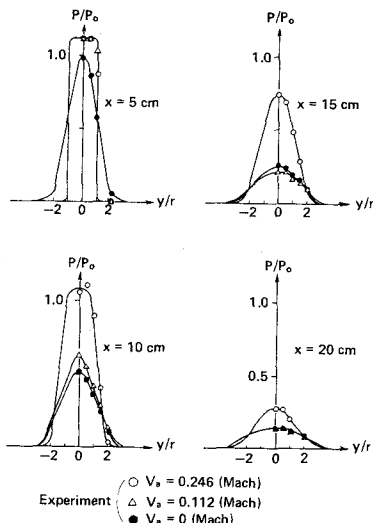
この結果からわかるように, エアシース空気流速の低速領域では, 空気流速の影響は, 高速の場合と比較してより大きいことがわかる。本実験結果および式(1)の実験式から推定すると, エアシース長は, 空気流速が音速の場合には, 空気流速が大きくなるに従って伸びていくが, 空気流速が音速の約1/2程度になると, その効果は4.2倍になり, 顕著していくことが推定される。

5. おまけ

ウォータージェットの掘削特性を向上させるために, エアシースウォータージェットの噴流特性について検討を加えた。この結果, エアシースウォータージェット保護効果は顕著で, エアシースを設けることにより, 掘削効率を向上させることが期待できる結果が得られた。また, エアシース長は, 空気流速の影響を受け, 低速領域 (音速の1/2以下) では, 高速領域 (音速の1/2以上) よりも, その効果が約2.2倍程度大きいことを明らかにした。

(参考文献)

(1) 大西, 宮本, 有田; "エアバブルウォータージェットによる水中掘削の検討", 土木学会第21回年次講演会, 西-229 (1981) (2) 八尋, 吉田, 西; "高速噴流水を利用した地下工法の研究", 広島建設技術研究所年報, 才23号 pp. 132~138 (1974)



注) r : ノズル半径, x : 噴射方向距離, y : 半径方向距離(図2参照)

図3 軸方向の流圧分布

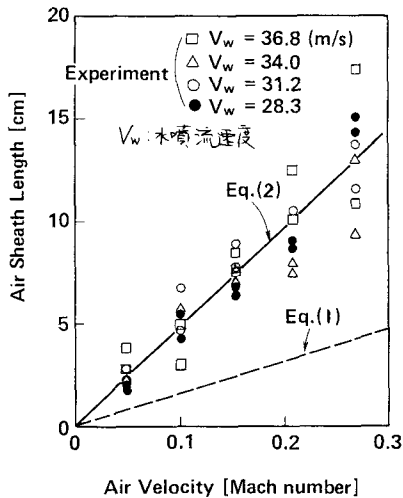


図4 空気流速とシース長の関係