

ウォータージェットによる粘性土掘削時の濁りの抑制と掘削効率の改善

九州工業大学工学部 学生会員 ○山尾 匡人
九州工業大学大学院 学生会員 和田 智之

九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山 壽一郎
九州工業大学大学院 学生会員 有働 貴行

1. はじめに

海底ケーブルの埋設法には大きく分けて、鋤式あるいはウォータージェット式(以下、「ジェット」という)があり、いずれも掘削時の水質汚濁が問題とされている。本研究は、ジェットを対象とし、ジェットにガードを付設したときに得られる濁りの抑制効果とその掘削効率について実験的に検討を加えたものである。

2. 実験の概要

実験装置は、水深 $h=0.20\text{m}$ の一定に保たれた両面ガラス張りの水槽(長さ 10m , 幅 0.60m , 高さ 1.2m)内にカオリン(平均粒径 $6.0\times 10^{-6}\text{m}$, 含水比 74% , 密度 2.6g/cm^3)を一定区間(長さ 6.0m , 幅 0.23m , 高さ 0.40m)に敷き詰めたものである(図-1)。実験装置の水槽下流端付近にはウォールを、水槽の両側には側溝を設け、壁面からの濁水流のはね返りを抑制するとともに、水槽内に蓄積される濁りを排除する工夫がなされている。

実験は、ガード付設による濁りの抑制効果と掘削効率を調べる目的で、ガードを付設した場合(CASE-A, CASE-B)とジェット単体の場合(CASE-C)の3ケースについて実施した。ノズルは台車に搭載されたヘッドタンクと一体化されており、ノズルは下向き 45° の噴出角度で2本平行(0.05m 間隔)に設定されている。ガードの諸元とノズル間距離はジェット式埋設機の実機を $1/12$ にスケールダウンしたものである。

CASE-A における最大掘削深(0.16m)は、ガード等と同様に実機の $1/12$ とし、ノズル内径 $D=0.006\text{m}$, ジェット流量 $Q_w=1.94\times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ および台車の移動速度 $V=1.27\times 10^{-3}\text{m/s}$ を予備実験より決定した。また、台車の後方に連結された濁度計と電磁流速計(L型, I型)により、流速と濁度をラグランジュ的に計測できるようになっている。なお、CASE-A と CASE-B の違いは、ガードの形状とガード幅である(図-1)。

測定・観測項目は、(1)濁度計と電磁流速計による縦断・横断断面の濁度分布と流速ベクトルの3次元計測、(2)デジタルビデオカメラによる水路側面と上面から濁りの拡散状況と掘削幅の観測、(3)着色した発泡スチロール球(直径 0.005m)による最大掘削深の計測である。濁度と流速の計測は1回の走行につき5箇所で行い、各ケースにつき横断方向に5回、縦断方向に9回、計45回繰り返した。なお、各測定点での計測時間は 180s である。最大掘削深は、着色した発泡スチロール球を底質の深さ方向に 0.01m , 縦断方向に 0.3m 間隔で埋設し、掘削時に底質から浮き出てきた発泡スチロール球の色から推定した。

測定範囲は、CASE-AおよびCASE-Bではガードの先端から、CASE-Cではノズルの先端から、 y 軸方向に $y^*=-0.24$ 離れた点および底質上面から鉛直上向きに $z^*=0.06$ 離れた点を原点とする $x^*\times y^*\times z^*=0.97\times 0.48\times 0.48$ であり、 $x^*(=x/l_x)=y^*(=y/l_y)=z^*(=z/l_z)=0.12$ である。

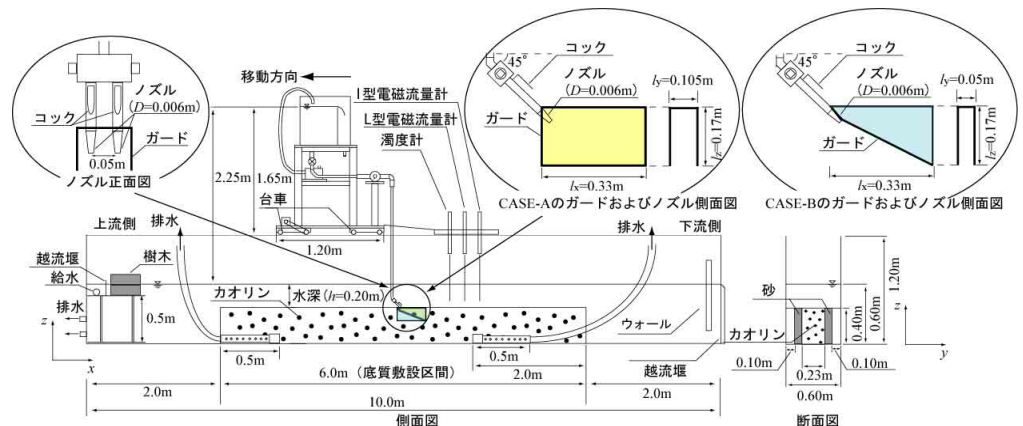


図-1 実験装置の概要



図-2 濁りの拡散状況 (上から $t=0.0, 1.0, 2.0\text{s}$)

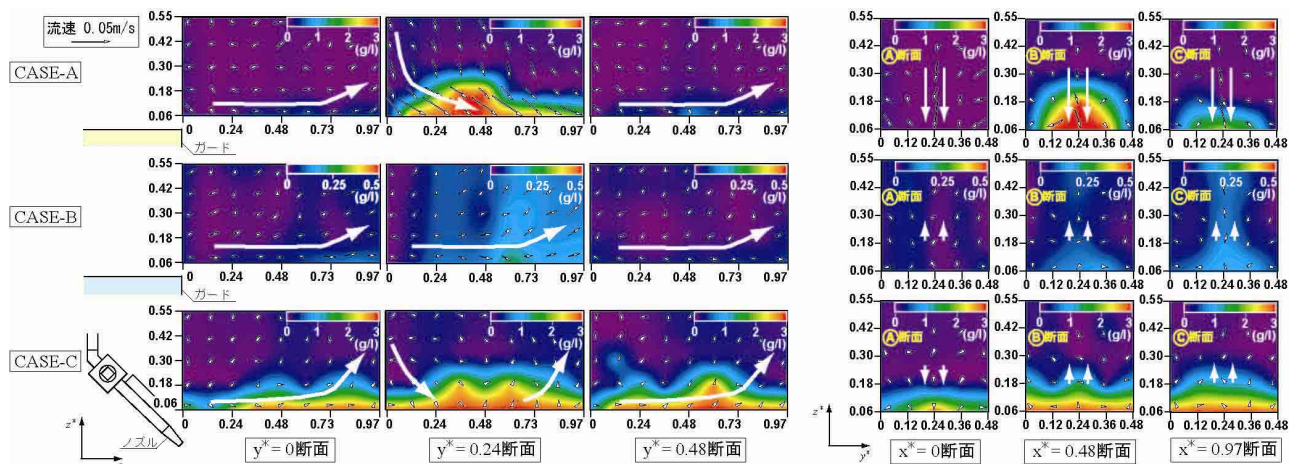


図-3 濁度分布と流速ベクトル(左：縦断面図，右：横断面図)

3. 濁りの拡散状況とデータサンプリングの方法

図-2 は，掘削時の濁りの拡散状況を 1.0 秒毎に示したものである．ここで，図中の④，⑤および⑥断面は濁度分布および流速ベクトルの測定断面を示している．また，画像の詳細な観察結果より，CASE-C では，次のことが観察された．(1)掘削孔下端部では，ジェット流により強い濁りが巻き込まれ，弱い濁りを伴った反時計回りの渦が間欠的に発生する．(2)掘削孔下端部では，斜め上方にジェット流の一部が小さな流速で流出し，弱い濁りを伴った渦がこの流れに乗って流送されるとともに，渦が破壊され濁りが水域へ拡散していく．

以上のことから，CASE-C の掘削孔下端部での強い濁りの周期を平均値 $\pm 2\sigma$ で定義し，データのサンプリング間隔を渦の発生時刻から 2.8s とした．なお，CASE-A と CASE-B のサンプリング間隔は，各ケースで発生した強い濁りが最大高さに達した時刻から 2.8s とした．

4. 結果と考察

図-3 は，全ケースの縦断方向($y^*=0, 0.24, 0.48$)と横断方向($x^*=0, 0.48, 0.97$)の濁度分布と流速ベクトルを示したものである．縦断面図より次のことがわかる．CASE-A では，(1)中央($y^*=0.24$)では，ガード下端から強い濁りが発生している．(2) $y^*=0$ および 0.48 断面まで濁りが達しておらず，横断方向への拡散が抑制されている．(3)中央では，ガード下端から発生する強い濁りに向かう強い下降流が見られる．CASE-B では，(1)中央では，他のケースのような局所的な強い濁りは発生していない．(2) $y^*=0$ および 0.48 断面まで濁りが達しておらず，横断方向への拡散が抑制されている．(3)中央では，弱い上昇流により，水域へ弱い濁りが拡散している．CASE-C では，(1) $y^*=0\sim 0.48$ 断面まで強い濁りが達しており横断方向へ濁りが拡散している．(2)水域の流れが変化しており，水域では掘削孔上端部に向かう弱い下降流と掘削孔下端部では弱い上昇流が見られる．また，横断面図より次のことがわかる．CASE-A では，(1)ガード下流側で強い濁りが発生しているが，横断方向への拡散が抑制されている．(2)いずれの断面においても掘削孔中央では強い下降流が発生しており，この強い下降流によって強い濁りの上方への拡散が抑制されている．CASE-B では，(1)全断面において，強い濁りは発生していない．(2)弱い上昇流により，弱い濁りが下流側ほど水域へ拡散している．CASE-C では，(1)濁りが下流側ほど横断方向へ拡散している．(2)掘削孔上流側では弱い下降流が，掘削孔中央部から下端では弱い上昇流が見られる．

以上から，(1)測定範囲内の $z^*=0.42$ 以上の高さでの CASE-A と CASE-B の拡散濁質の量は，それぞれ CASE-C の約 20%と約 40%であること，(2)掘削幅と最大掘削深は，CASE-A ではそれぞれ CASE-C の 1.7 倍程度と 1.6 倍程度，CASE-B ではそれぞれ 2.2 倍程度と 1.1 倍程度であること，などのことが確認された．

5. おわりに

ウォータージェットによる粘性土掘削の濁りの拡散と掘削効率について実験的に検討を加え，ジェット周りへのガード付設により濁りの拡散の抑制効果と掘削効率の向上が図れることがわかった．

参考文献：1)石川ら：斜めめくり噴流による洗掘特性について，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.218-219，1989．
2)中野ら：噴流による細砂混合底泥の洗掘限界，水工学論文集，第 44 巻，pp.671-676，2000．