

II-363 波による円柱まわりの局所洗掘に関する考察

東北大学 正員 西沢 勝

1. まえがき

近年、海岸構造物あるいは海中構造物の建造の機会が増加するにつれ、構造物周辺の局所洗掘の問題が重要視されてきた。本論文はそのなかでも、円柱周辺の局所洗掘について、筆者の既往の研究を基に、若干の考察を加えたものである。従来、波の作用を受ける円柱まわりの局所洗掘は、大口径円柱⁽¹⁾と小口径円柱⁽²⁾とで別々に区別して論ぜられてきた。これに対して、筆者はK.C.数で統一的に論ぜられないか^{(3),(4)}ということ提案しているのであるが、この点についても若干の考察と問題点を述べる。又実用面からすると、波だけでなく、流れも共存する場合が重要であるため、最近、波・流れ共存場における局所洗掘の研究もよく見られる^{(5),(6)}。しかしここでは波だけが作用している場合を取扱う。又ここでの議論は、砂の中央粒径 d_{50} が0.42mm、一種類についてのものである。

2. 考 察

(1) ツノ状洗掘が前後(岸沖)対称にならない理由

写真-1にツノ状洗掘を示す。これは表-1に示すように、K.C.数(UT/D)が小さいV-1の渦パターンの場合に生ずる。この洗掘が前後(岸沖)対称にならず、岸側にばかり生ずる最大の理由は、波の非線形性による流速の影響であろう。つまり波の山と谷の時では、最大流速がかなり異なる。筆者の実測結果によると写真-1の場合、円柱周辺の最大岸向き流速は20cm/sec⁽⁷⁾であるのに対して、最大沖向き流速は15cm/sec程度である。したがって、岸向きの時は明瞭な剝離が認められ、剝離点でツノ状洗掘が発生するのであるが、沖向きの時には剝離も認めにくく、ツノ状洗掘も生じない。次に、これは実験観察上感じた私見であるが、水平加速度による力が、かなり利いているのではないと思われる点である。普通、漂砂で砂の移動限界水深を求める際には、水平加速度による力[慣性力: $(\frac{u}{g})\rho C_m d^3 \frac{du}{dt}$]は、 d (砂の粒径)が波長に比して小さいので無視出来る程小さいとして考慮しないのであるが、このツノ状洗掘の場合には、筆者等の実験範囲は水深波長比と波高の関係から全んどストークス波に属している。したがって波の山でかなり鋭いピーク形状を示すのに対して、波の谷ではそれに比してかなり偏平な形状を示している。したがって加速度にはかなりのちがひがある。しかし、定量的にチェックしてみないと砂の移動限界に与える影響が大であるかどうかは、明確には言えない。

(2) ツノ状洗掘が大きく生じ、しかも斜め岸向きに生ずる理由

剝離の規模が小さいにもかかわらず、ツノ状洗掘が大きく出来る理由については、筆者は波の引きが強く影響しているものと考えている。すなわち剝離直後の波の引きによって、砂が沖向きに向きを変えて運ばれるためと考えられる。では斜め岸向きに出来る理由としては、水素気泡法による可視化ではどうしても確認出来ないで想像の域を出ないが、円柱岸側に生ずる後流域の縁に沿って出来るものと考えている。後流域の存在は、可視化法では確認出来ないが、プラペラ流速計による流速の水平分布によって確認出来ている。ともあれ、ツノ状洗掘には、この他にも円柱まわりの砂が円柱に吸い寄せられる現象等(これについてはLamoureとMeiが質量輸送から説明しているが)、興味ある問題が多数含まれており、実験によってその正体を明らかにする必要がある。

(3) 洗掘形状について

表-1に示すように、洗掘形状はK.C.数によって分類出来る。K.C.数が大きくなるにつれ、ツノ状洗掘⇄ツノ状洗掘と逆円錐形洗掘の混合形状⇄逆円錐形状と変化してゆくわけである。したがって、ツノ状洗掘と逆円錐形洗掘の混合形状の状態はツノ状洗掘と逆円錐形洗掘の遷移過程であって、対称渦がその働きの原動力となっているわけである。これは、一般に物理現象というものは、ある状態からある状態に移り変わる場合

には、必ず遷移状態というものが存在するという観点からみると、至極妥当な結果が得られたと云える。

次にK.C.数で系統的に論ずる場合の最大の弱点は、筆者の実験ではK.C.数が0.9以下の実験を行っていないことであろう。したがって筆者はK.C.数が0.9以下の洗掘形状を観察したことがないのである。東江・勝井¹⁾の大口徑円柱における実験でも、筆者の試算では、K.C.数が0.5～1.0ぐらいの範囲内にある。しかしRance⁶⁾及び東江・勝井¹⁾の所見—これは大口徑円柱まわりの局所洗掘について述べたものである—によると、剝離点で洗掘が生ずるという結論が得られている。これは筆者等の研究—これは小口径円柱まわりの局所洗掘について述べたものである—のツノ状洗掘の場合の結論と一致しているわけで、筆者の主張の一つの有力な根拠となっている。

改めて言うまでもないことであるが、K.C.数 (UT/D) の水粒子速度 U は円柱がない場合の速度であるから、円柱径が大きくなって、大口徑に属する場合であっても、波力等を求める場合と異なって、回折理論うんぬんの必要がない点もみのがせない利点である。

(4)馬蹄渦について

波による円柱まわりの局所洗掘に支配的なものは集中渦であるが、なぜ一様流のように馬蹄渦が認められないかという問題は重要である。即ち馬蹄渦の発生条件とも云うべき問題である。翼理論によると飛行機は1本の束縛渦と自由渦面で代表できるが、さらに近似化して、この自由渦面を翼端付近から出る2本の渦糸にしぼって考え、これを馬蹄渦といっている。馬蹄渦は束縛渦の循環分布 $\Gamma(y)$ が一様なばあいに対応するものであるが、循環 $\Gamma(y)$ が存在すれば、馬蹄渦は存在することになる。それでは波の場合にも馬蹄渦は存在しているが、ただ可視化では確認出来ない程に弱いものであるということなのか？それでは確認出来る程に強い馬蹄渦、局所洗掘の立場からすると、洗掘に支配的となる馬蹄渦の発生条件は？ということに問題が移る。直感的には、ある一定以上の流速のもとに、周期 T が問題になると考えられる。つまり一方向への流れの持続時間が問題になると考えられる。いずれにせよ、この問題は目下、検討中である。



写真-1 ツノ状洗掘
上：沖側，下：岸側

Table 1 Relation between vortex pattern and scour type

Vortex Pattern	K.C.number	Scour Type
V-1 no vortex	$0.9 < K.C. < 3.2$	horn-shaped scour
V-2 a pair of symmetric vortices	$5.3 < K.C. < 7.4$	horn-shaped scour cone-shaped scour
V-3 a pair of asymmetric vortices	$7.7 < K.C. < 12.0$	cone-shaped scour

《参考文献》

- (1)東江・勝井「大口徑円柱周辺の洗掘現象」第32回海講
- (2)水口他「波動による小口径円柱まわりの局所洗掘に関する実験的研究」第32回海講
- (3)西沢・沢本「Local Scour around a Vertical Cylinder under the Wave Action」SIXTH CONGRESS of APD-IAHR
- (4)西沢・南・沢本「波動場における円柱の後流渦パターンと局所洗掘との関係」第43回年講
- (5)土屋・河田・錦織「波・流れの共存場における局所洗掘」第34回海講
- (6)柴山他「波・流れ共存場での小口径円柱周辺の局所洗掘機構」第34回海講
- (7)西沢・沢本「波による円柱まわりの局所洗掘」第5回自然災害科学会
- (8)P. J. Rance「The potential for scour around large Objects, Scour Prevention techniques around Offshore Structures」The Society for Underwater Technology, 1980.