

漂砂による鋼管の摩耗に関する実験的研究

北海道大学工学部 山下 俊彦
 北海道大学工学部 佐伯 浩
 北海道大学工学部 浅川 典敬
 新日本製鉄(株) 佐藤 光一
 新日本製鉄(株) 飯屋園義久

1. はじめに

近年、外洋域も積極的に開発される様になってきており、この様な海域での鋼管杭の利用が増加している。外洋域は、波浪条件が厳しいため、漂砂も激しく、鋼管には、錆等による腐食だけでなく、漂砂による摩耗が発生する。また、錆と摩耗が同時に起こり、相乗効果で肉厚が急激に減少することも考えられる。実際に、国内でも波浪の厳しい河口の導流堤や暗渠工に使用された鋼材では、錆による腐食から予想される量よりも大きな肉厚減少が発生している例もある。ある導流堤では、1年間当り約1.6mmの肉厚減少が起こっており、これは設計上錆による腐食量として許されている0.1mm/year(海中)よりもはるかに大きい値である。これらの河口の砂の粒径は、約3mm~10mmであり、少なくとも粒径の大きい波の荒い海岸では漂砂による鋼材摩耗が問題となる。また、海外でも1mm/yearのスピードで肉厚減少が発生したことが報告されている。砂による鋼材の摩耗についての研究は、生コンの圧送管内の摩耗等のスラリー輸送及びダムの排砂設備に関して行われている。しかし、漂砂によるものについてはまだ行われていないのが現状である。砂による摩耗現象の理論解析、及び相似則を考慮した実験は現時点では困難であり、現スケールで実験的に調べる必要がある。そこで本研究では、振動流装置を用いて実海域の漂砂現象を再現し、鋼管の摩耗特性を実験的に調べる。

2. 実験装置及び方法

砂による摩耗は高波浪時に激しく起こると考えられる。そこで実験には、実海域暴浪時の漂砂現象を再現するために、大きな流速振幅の出せるU字管振動流装置(図-1)を用いた。この装置では、U字管内で水が自由振動する際に起こるエネルギー減衰分を風胴から同じ周期の振動流を送ることにより補い、安定した往復流を発生させることができる。一種の共鳴現象を利用しているので、比較的小さい出力のモーター(11kw)で大きな流速振幅を出すことができる。この装置では、周期 $T=6$ 秒以上、最大流速振幅 $U_m=350\text{ cm/s}$ の振動流を発生させることができる。U字管の水平部の長さは8mで、断面は幅1m、高さ50cmである。砂を底に40cmの厚さで敷き、残りの10cmの所に振動流れを発生させた。

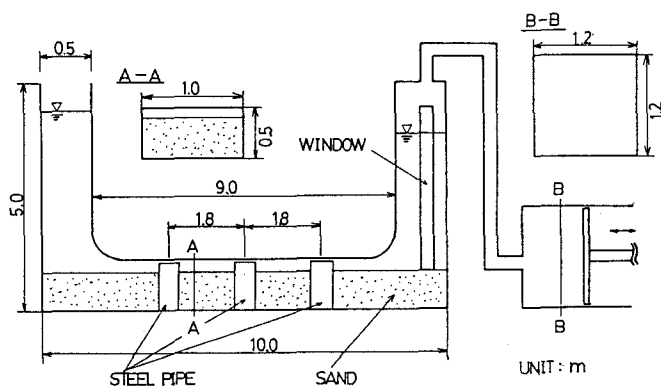


図-1 実験装置

使用した鋼管を図-2に示す。表面にサンドブラストをかけた裸鋼管で、大きさは、直径 $\Phi = 26.7$ cm、長さ 48 cm、厚さ 6 mm である。両端 5 cm は、摩耗量測定の際の基準とするため、錆が発生しない様に、まずステンレステーブをはり、上端では摩耗しない様にその上に厚さ 5 mm のゴムを巻きつけた。両端の厚さ 5 mm の部分はステンレス製の鋼管固定用金具である。実験はこの鋼管を図-1に示す様に U 字管中央部に 180 cm の間隔で 3 本固定して行った。振動流を作用させると、図-1 で砂が全体として左の方に移動したため（図-6 参照）、流速の大きい左端の鋼管のデータを取った。流れの条件は 1 ケースで、周期 $T = 8.8$ 秒、流速振幅 $U_m = 340$ cm/s である。この流れは、例えば水深 10 m の微小振幅波の底面流速と考えると、波高約 8 m の暴浪時の波に相当する。底質としては比重 $S = 2.65$ 、平均粒径 $d = 5.4$ mm の砂と $d = 0.75$ mm の珪砂を用いた。各々の粒度分布を（図-3）に示す。両方の砂とも、表面はなめらかで、比較的球に近い形状である。シールズ数は $d = 5.4$ mm で 0.68、 $d = 0.75$ mm で 2.88 である。

摩耗量測定器の概略を（図-4）に示す。摩耗量は、前述の様に両端 5 cm を基準として、鋼管の母線方向にダイヤルゲージを移動して測定した。測定器は、固定用金具付鋼管をダイヤルゲージ移動方向に平行に置くための台（左の固定用金具の位置を上下、前後に調節）と、ダイヤルゲージを前後、左右に移動できる装置である。データは、ダイヤルゲージと母線方向の位置の値の電圧出力値を AD 変換し、両者を 0.1 秒間隔で 2000 個サンプリングし、ディスクに記録した。摩耗量測定器の精度は 0.01 mm である。また、母線は主流方向を 0 度とし 90 度まで 30 度おきに 4 つの角度で測定した。摩耗量は微小であるため、測定の際には鋼管の母線方向に正確にダイヤルゲージを移動させねばならない。

3. 実験結果

粒径 0.75 mm の砂の場合には、鋼管の底質表面近く及び母線の角度の小さい領域ではかなり底質表面から上方まで、他の部分で発生している赤錆がとれ黒くなっていた。しかし、流れを一週間作用させても摩耗量は 0.01 mm 以下で非常に少なく測定できなかった。

以下に、粒径 5.4 mm の砂の摩耗特性について述べる。

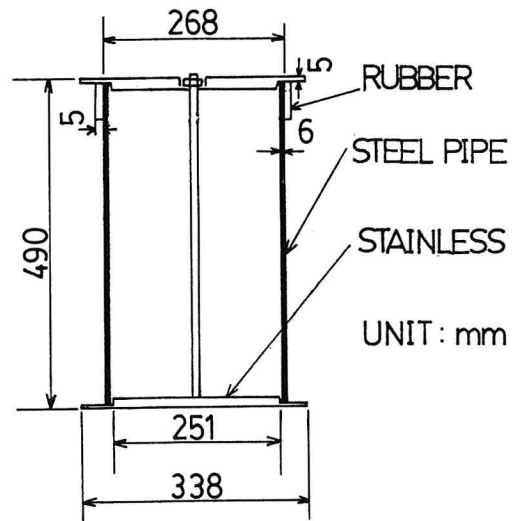


図-2 鋼管

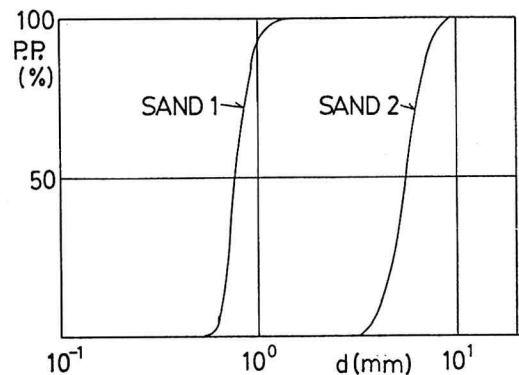


図-3 砂の粒度分布

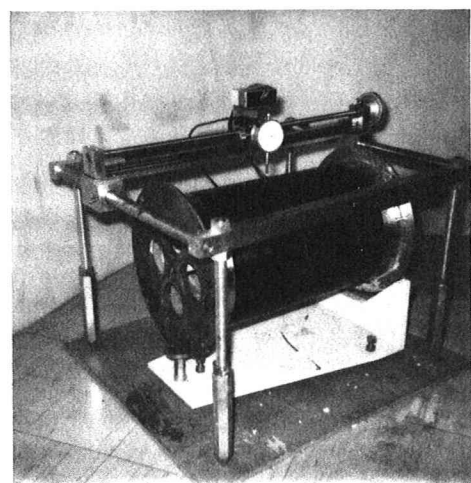


図-4 摩耗量測定器

図-5に、摩耗量の測定結果の1例を示す。Xは鋼管上部の基準線(図-6参照)からの母線下向き方向距離、Yは母線に垂直方向の位置である。細い実線が流れ作用前、太い実線が作用後である。鋼管の両端は、摩耗量測定の際の基準とするためゴムで摩耗が発生しないようにカバーしている(図-6参照)。図はゴムでカバーした両端部(X=0~2cm, 39~41cm)を一致させて書いたものである。X=2~24cmの部分で摩耗が発生していることがわかる。摩耗した面のあらさは、初期と同じ(X=2~11cm)が少し大きく(X=11~24cm)になっている。その面は目で見るとびかびかの銀色になっている。摩耗していない面(X=24~39cm)は、錆が発生しているのであらくなっている。

図-6は、実験終了後の底面地形の概略を示したものである。前述のように砂は全体として図-1の左方へ移動したため、円柱からはなれた場所では砂層厚は44cmとなっている。円柱周辺は円柱の影響により洗掘され、最大で10cm(円柱表面)洗掘されている。

図-7は、鋼管の摩耗量 δ の分布特性を示したものである。摩耗量を求める際には、図-5で示した表面の細かいざらざらをスムージングした。X=2cm以下の $\delta=0$ の領域はゴムでカバーしたところである。流れの作用日数 t は2.7日である。円周方向では、0度と30度の断面の摩耗量が同程度で一番大きく、90度の断面が一番小さいことがわかる。高さ方向にみると、X=15cm以上の領域では全断面であまりかわらないが、X=10cm以下のところでは、0度と30度の断面で非常に大きく、90度の方向にいくにしたがって小さくなっている。図-6を参照すると、実験終了後鋼管表面で砂はX=11.5cm以上の所にある。このことを考え合わせると、X=10cm以下の部分の摩耗は主に砂粒子の衝突に

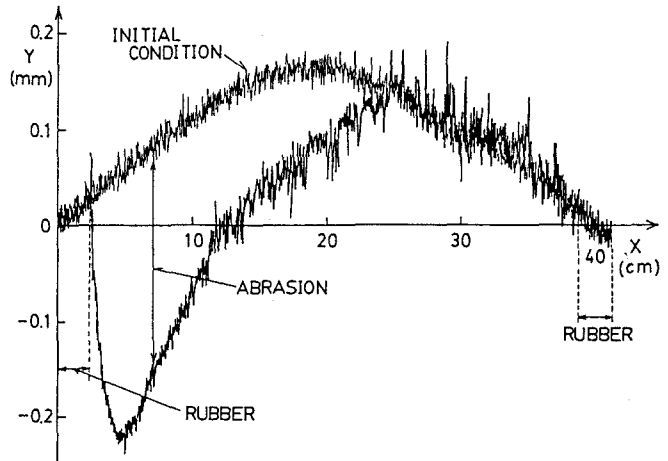


図-5 摩耗量測定の実例

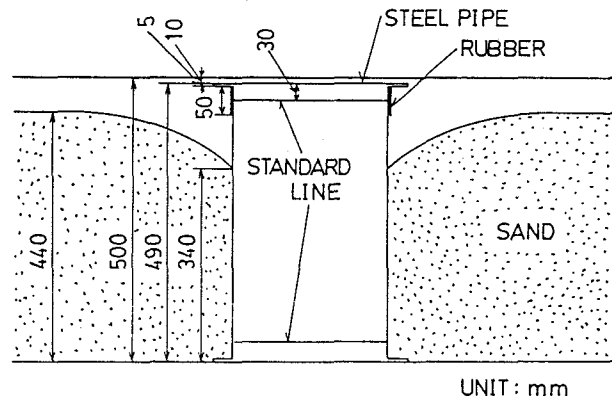


図-6 底面地形

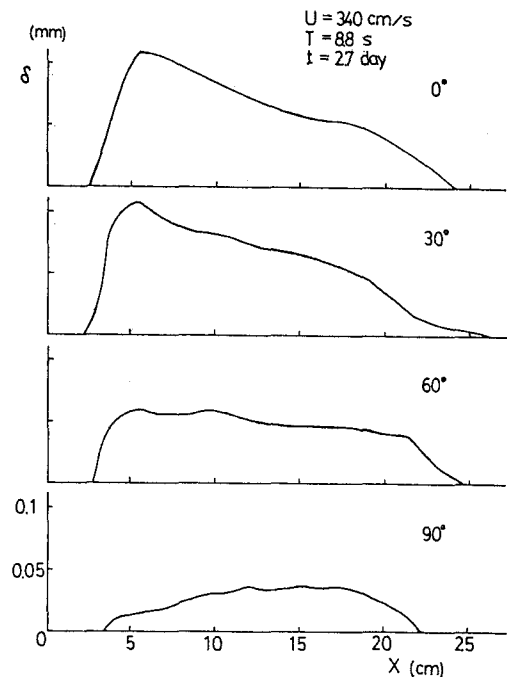


図-7 摩耗量分布

よるものと考えられる。一方、 $X = 15 \text{ cm}$ 以上の部分の摩耗は、液状化状態のようになった砂で鋼管側面がすられることが主な要因と考えられる。最大の摩耗量は、 0° と 30° の $X = 5 \text{ cm}$ 付近（水路上端より 9.5 cm あるいは鋼管から離れた底質表面より 3.5 cm 低い位置）で発生し、 2.7 日で 0.11 mm に達することがわかる。これは、 1 カ月に直すと 1.2 mm となり、前述の現地での年間約 1 mm の肉厚減少が漂砂摩耗により十分起こりうることを示している。

4. おわりに

本研究では、漂砂による鋼管の摩耗特性をU字管型振動流装置を用いた現地スケールの実験により調べた。主要な結果は以下の様である。①底質砂の粒径 5.4 mm 、流速振幅 340 cm/s 、周期 8.8 秒という実海域暴浪時相当の条件では、鋼管がかなり摩耗されることが確認された。②最大摩耗量は、流れの方向に対して 0° 、 30° の方向で発生し、 2.7 日で 0.11 mm に達することがわかった。③鋼管の摩耗には底質の粒径が大きく影響することがわかった。

参考文献

- 1) 山下 貞二：管路の摩耗、流体固体輸送工学ハンドブック
- 2) 石橋 毅：ダム排砂設備の流下砂礫による摩耗・損傷に関する水理学的研究
土木学会論文報告集、No. 334, pp 103-112, 1983