船舶配管系の流体解析による機械的摩耗損傷原因の推定*

伊 飼 通 明** 岸 本 圭 司*** 畑 中 哲 夫***

Investigation by Discrete Phase Modeling Concerning Damage of Marine Piping due to Slurry Erosion

By Michiaki Ikai, Keiji Kishimoto, Tetsuo Hatanaka

This paper reports on numerical analysis, by use of discrete phase model (DPM). This is helpful to specify the cause of wear occurring with a ship's piping system. It has occurred, during trials, that the flow in the pipe has eroded the coated inside wall of pipe bends. These damage occurred over a short time. The cause was thought to be slurry erosion, and not corrosion. The seawater often contains sand particles. Therefore, the DPM simulations and experiments were conducted on a mixed flow with sand particles, past the constrictions created by bends in the pipe. Comparing the experiments with the DPM simulations, the actual damage by the sand particles was found to be on the same area predicted by the DPM simulations. We consider the DPM simulation is able to clarify that the damage is caused by slurry erosion.

1. はじめに

海上公試運転時に冷却海水管系の内面塗装配管の塗装がはがれる損傷事故が発生した。管の損傷原因には、粉体などの衝突やキャビテーションによる機械的摩耗（エロージョン）と、配管の金属がイオンとなり表面から剥離していく電気化学的腐食によるものなどがあるが⁽¹⁾、海上公試運転時の短期間に損傷が発生していることから機械的摩耗によるものと考えられる。この損傷原因を実験から特定することは時間・試験設備等から困難であるが、損傷原因によって配管の損傷発生箇所は異なると考えられる。1 個の曲がり管については曲がり管内の渦の発生等詳細に研究がなされおり⁽²⁾、流体解析による微小粒子の流れも詳細に研究されているが⁽³⁾、複数の曲がり管についての実験と流体解析による研究はほとんどなされていない。そこで、事故が発生した場合に損傷箇所を特定することにより流体解析からその損傷原因を機械的摩耗による損傷であると推定することが可能か調べた。

曲がり管（エルボ）は配管の損傷原因の 1 つと考えられ、図 1 に示すように船舶では曲がり管が多用されていることから、実験・解析モデルの配管系を図 2 に示

す複数（3 個）の曲がり管の配管系とし、実験条件として曲がり管の組み合わせが多いことから図 2 に示す 2 次元的に接続した配管系とした。また、曲がり管の特性を顕著に求めるために曲がり管同士を直接接続した。

図 1 船舶配管系の例

図 2 実験・解析の配管系

図 3 実験装置

*原稿受付 平成 21 年 2 月 25 日。

**正会員 (独法) 海上技術安全研究所大阪支所 (〒576-0034 交野市市天野が原町 3-5-10)。

*** (株) 栗本鐵工所 (〒559-0023 大阪市住之江区 泉 2 丁目 1-64)

2. 実験と実験結果

まず、実験により配管系のどの箇所に粒子が衝突するかを調べた。図3に実験装置を示す。実験は、呼び径80の曲がり管を用い、平均流速3m/sと一定にして粒子(砂)を流して行った。図4に曲がり管の形状を示す。図5に実験・解析に用いた配管系と粒子衝突計測箇所を示す。実験に用いた曲がり管は曲率半径(図4のF)76mm(ショートエルボ)と114mm(ロングエルボ)である。損傷の評価は配管内面に貼ったテープ(ワープロ用リボンカセットテープTY-130-BKX SHARP製)上に粒子が衝突する衝突痕の個数で行った。図6は曲がり管内に貼付した粒子衝突痕計測用テープである。実験に用いた粒子は砂であり、表1に示すように粒子径3.5~8mmで、比重2.66である。粒子径を3.5~8mmの範囲としたのは、下記による。船舶の海水冷却水管系では、粗ゴミを取るシーチェスト(海水吸入口)があり、その後水こしが設けられているが、水こしに使用されるこし網の穴径が8mmか12mmであることより、実験・解析対象の粒子の最大径を8mmとした。また、小さい粒子が衝突しても損傷は少ないこと、その一方で多くの損傷があると計測が困難であることから下限の粒子径を3.5mmとした。実験結果を他の実験条件と比較することから、流す砂の量を2.5L(約10万3千個と推定)と一定にし、砂を流す時間を約10分間とした。衝突を計測した範囲はテープ上の摩耗痕の5mm×5mmの範囲である。図7に粒子が衝突したテープと粒子が衝突しなかったテープの状態を示す。

図8はショートエルボの実験結果で、棒グラフで示した衝突回数を流体解析による圧力分布(濃淡の濃いほど圧力が大きい)とともに示す。図中の0は衝突回数0を示す。矢印は流れの方向を示す。この図から、圧力の大きい箇所と衝突回数の多い箇所が一致しており、流れが衝突するのと同時に粒子も衝突していると考えられる。一方、流速の速い曲がり管内側では粒子が衝突していないことが解った。

図4 曲がり管の形状

図5 配管系の計測箇所(●が計測点)

図6 衝突痕計測用テープ例

表1 実験に用いた粒子径の体積分布

粒子径(mm)	総粒子数に 対する体積%	総流量に対する 粒子体積%
8	7.4	0.0020
6.5	6.6	0.0018
5.5	11.6	0.0032
4.5	16.7	0.0046
3.5	57.7	0.0158

図7 粒子の衝突痕と衝突無しのテープ

図8 実験での粒子衝突回数と流体解析圧力結果

表 2 混相流モデルによる解析条件の一覧

解析ソフト		Fluent(ANSYS Inc.社製)
解析手法		定常流・混相流解析
乱流モデル		標準k-εモデル
境界条件	入口境界	質量流量境界として7.54kg/s(管内平均流速3.0m/s相当)
	出口境界	出口圧力境界として0.0Pa(自然解放)
	その他	対称境界条件を入力
混相流モデル		DPM(discrete Phase Model)
粒子条件	粒子対象	砂
	粒子数	172個/s
	粒子径	粒径分布を考慮
	密度	2600kg/m3
流体条件	流体物	水(20℃)
	粘性	1.00310-3Pa*s
	密度	998.2lg/m3
備考		乱流拡散、重力の影響を考慮

3. 解析モデルおよび解析結果

解析モデルは実験に用いた配管形状と同じ形状とし、同じ呼び径 80 である。使用ソフトは ANSYS Fluent である。解析モデルには分散相モデル (DPM) を用いて定常解析を行った。解析では流す粒子数を 172 個/s と設定している。解析条件を表 2 に示す。

3.1 ショートエルボ

曲率半径が 76mm のショートエルボの 3 個連続配管系について解析を行い、実験と比較した値を図 9 に示す(便宜上衝突回数 0 を対数 0.1 で表示している)。解析結果は、図 10 に示す実験と同じ曲がり管中央での 5mm×5mm の範囲で粒子衝突回数を求めた。図 9 の横軸は図 5 に示す流入側から流出側へ破線側の計測箇所を示している。配管の損傷は、粒子衝突回数の最大箇所ですぐに発生すると考えられることから、解析値と実験値を最大値の発生する箇所と比較した。その結果、最大の衝突回数の発生する箇所は一致しているが、解析値は実験値に比較して大きな衝突回数となった。この衝突回数の誤差の原因は実験と解析の衝突回数のカウントの仕方にあると考えられる。実験では、粒子の壁面への衝突回数を壁面上のテープの衝突痕から粒子の衝突回数を測定した。この方法ではテープに衝突痕が残るだけの衝突を起こさなければならず、壁面を転がるような粒子では衝突痕が残らない。一方、解析では数値処理によるため壁面に触れた粒子は全て衝突したものと見なされ、このことが衝突回数の差に大きく

影響を及ぼしていると考えられる。

図 1 1 は、図 5 の一点鎖線側の値を示しており、破線側と同様に粒子の最大衝突回数の発生箇所が一致する結果となった。

図 9 ショートエルボ(図 5 の破線側)の比較

図 10 解析での衝突回数計算領域

3.2 ロングエルボ

図12(図5の破線側)に曲率半径114mmのロングエルボの結果を示す。ロングエルボについても解析値の方が大きな衝突回数であるが、粒子衝突箇所の最大箇所が一致する結果となっている。図13(図5の一点鎖線側)では、粒子衝突回数が解析値と実験値に近い値になり、粒子衝突回数の最大発生箇所も一致する結果となった。

3.3 ショートエルボ間に短管を挿入した場合

多くの配管系の設置状態では、曲がり管間に短管を入れた配管系であることから、短管(150mm)を入れた配管系について解析を行った。図14(図5の破線側)は、追加された短管について短管部分で計測した3箇所の計測点も記入して表示してある。粒子衝突回数について解析値の方が大きい値であるのは図10と同様であり、短管を入れても粒子衝突の最大値発生箇所が一致する結果となった。

一方、短管を挿入した粒子衝突回数への影響について調べてみる。図9と図14の粒子衝突回数の実験値を比較してみると、ショートエルボを直接接続した配管系に比較して短管を挿入した配管系では、粒子衝突回数が1/4程度に減少している。しかし、解析値を比較してみるとほとんど差がない。これは数値処理では粒子衝突の強弱は考慮されず全て衝突したものと思なされたためと考えられる。実験結果から、粒子による配管系の損傷事故を減少させるには、曲がり管を直接接続するよりは短管を挿入して距離を置いて曲がり管を設置した方がよいと考える。

4. まとめ

今回、配管系に損傷事故が発生した場合に損傷箇所を特定することにより、流体解析からその損傷原因を機械的摩耗による損傷事故であると推定することが可能かについて調べた。モデルは配管形状による特徴を出すために曲がり管を3個連続配管とし、JIS規格品の曲率半径の異なる2種類の曲がり管について実験・解析を行った。損傷の最も大きいと考えられる粒子衝突回数の最大値発生箇所が実験値と解析値で近似していることから、配管系の損傷箇所を特定することにより流体解析からその損傷原因を機械的摩耗によるものであると推定することは可能であると考ええる。

参考文献

[1] 椎原, マリンエンジニアリング月例講演会, 42-1, 2007.10. 21-31

図11 ショートエルボ(図5の一点鎖線側)の比較

図12 ロングエルボ(図5の破線側)の比較

図13 ロングエルボ(図5の一点鎖線側)の比較

図14 ショートエルボ(図5の破線側)の比較

[2] I.E. Idelchik, Handbook of Hydraulic Resistance. 3rd edition, 1996

[3] 鈴木, 第18回数値流体力学シンポジウム, E7-1, 2004.