

「亀裂の発生に伴う構造物の振動特性に関する研究」

研究期間 10年度～11年度（2年計画）
研究機関 海上保安大学校 機械工学講座
研究者 水口 文洋・東 明彦

I 研究の目的

船舶や航空機などの大型機械構造物における亀裂等の欠陥を早期に検出することは、安全性の確保の観点から非常に重要である。しかし、今日のように大型化・複雑化している構造物に発生した欠陥を検出することは非常に困難である。

そこで本研究では、これらの構造物において安全性の確保を行うためのシステムとして、ヘルスマモニタリングシステムの構築を目的とする。そのため、まず、これら構造物の亀裂の早期発見を行うために、構造物に発生した欠陥によって構造物の振動特性がどのように変化するかについて調べ、さらに、得られる振動情報から亀裂の早期発見を行う方法について検討することとした。

II 研究の内容

これまでの研究¹⁾により、実験室内においては、構造物に欠陥が生じると、振動特性として固有振動数が変化することについてはわかっている。また、船舶自身が有

する起振源だけでは、振動の減衰が大きく、構造物の部材に十分な振動が伝わらないため、この振動を用いた振動の応答から固有振動数を特定することが困難であることもわかっている。そこで、ここでは、常に、船舶の振動が伝わっている状態下において、振動特性の測定が可能かどうかについても検討するため、実際の船舶内において試験片を取り付けることにより、それに対して、付加励振力を用いて新たに加振することによって、欠陥による構造物の振動特性がどのように変化していくかについて検討を行うこととした。

1 実験装置および試験片形状

図1に実験装置の概略を示す。取付台を練習船こじま（PL21）の舵機室内の適当な場所に取り付け、この取付台に試験片を固定した。

また、試験片には、厚さ2.0mmのアルミニウム平板を用い、試験片形状は図2に示す形状とし、実験において一端を取付台で固定することにより、片持ち平板として実験を行った。

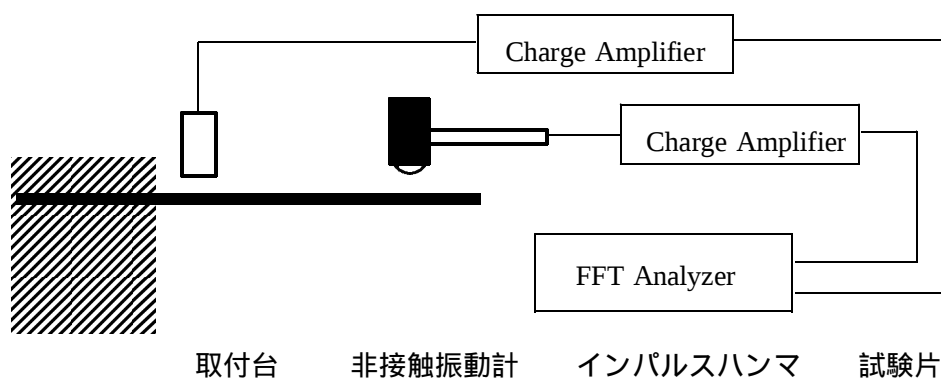


図1 実験装置の概略

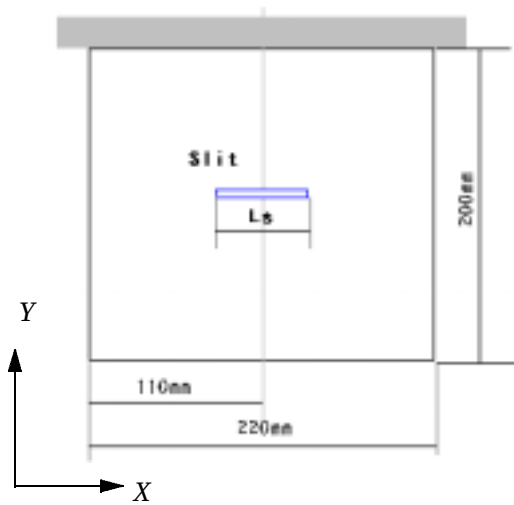


図2 試験片形状

2 実験方法

実験は図1に示す実験装置を用い、試験片をインパルスハンマで加振した。そのときの平板の振動を非接触振動計により測定し、周波数分析器により試験片の加速度のパワースペクトルと、周波数応答関数を求め、固有振動数を測定することとする。また、試験片に与える欠陥としては図2および表1に示すように、直線状のスリットとし、位置に関して3種類、大きさに関して5種類の合計15通りの試験片について実験を行うこととした。

表1 試験片の種類

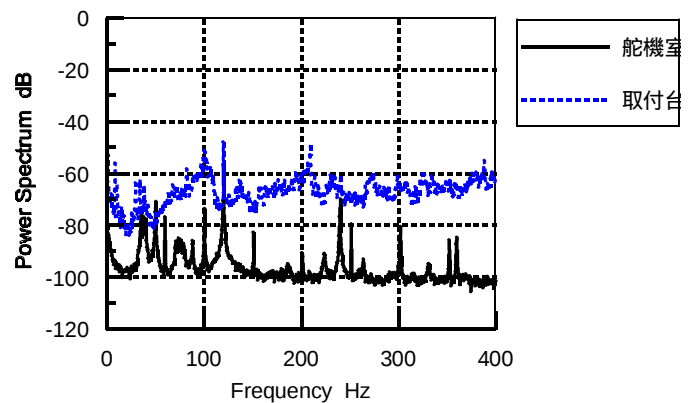
Ls (x, y)	(110,100)	(110,150)	(110,125)
0mm	A0	B0	C0
22mm	A1	B1	C1
44mm	A2	B2	C2
66mm	A3	B3	C3
88mm	A4	B4	C4
110mm	A5	B5	C5

3 実験結果

練習船こじまの舵機室内に試験装置を取り付け、測定された周波数応答関数について図3に示す。なお、これらの図において図3(a)、(b)、(c)、(d)は、それぞれ、試験片取付台の加速度のパワースペクトル、付加励振力のない場合の試験片の加速度のパワースペクトル、付加励振力を与えた場合の加速度のパワースペクトル、付加励振力を与えた場合の周波数応答関数(H1)を示している。また、図3(b)、(c)、(d)においては、試験片にスリット状の欠陥を大きさを変えながら入れた場合の結果についても示している。

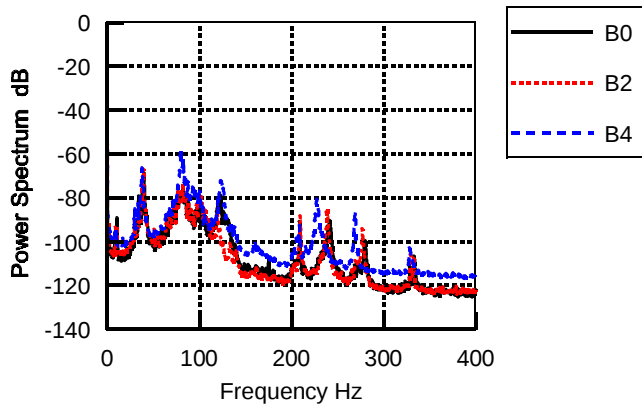
これらの結果を見ると、まず図3(a)、(b)より、船舶の有する起振源のみの振動では、減衰が大きく試験片に十分な振動が伝わらないためノイズが大きく、固有振動数の測定が困難であることがわかる。そこで、試験片に対して付加励振力として、インパルスハンマでインパルス加振した場合の結果である図3(c)、(d)を見ると、図3(b)と異なり、幾つかの固有振動数を特定することができる。さらに、スリットの長さを大きくしていくことによって固有振動数が徐々に低下してくることもわかる。以上の結果から、固有振動数を測定していくことで、欠陥の発生を知り得ることができるとわかる。

そこで、これらの実験結果をもとに、特定可能な固有振動数について求めた結果を表2～4に示す。

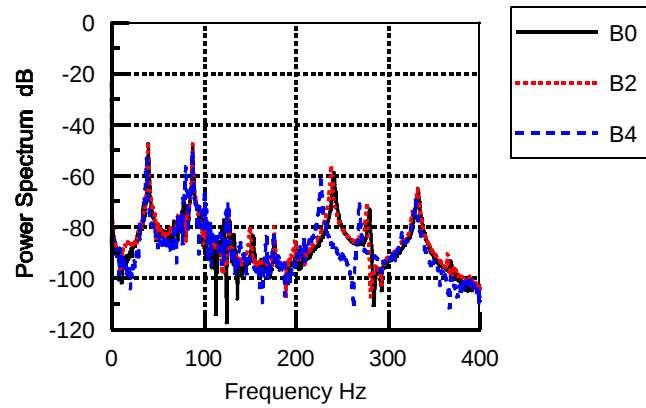


(a)取付台（舵機室）の振動特性

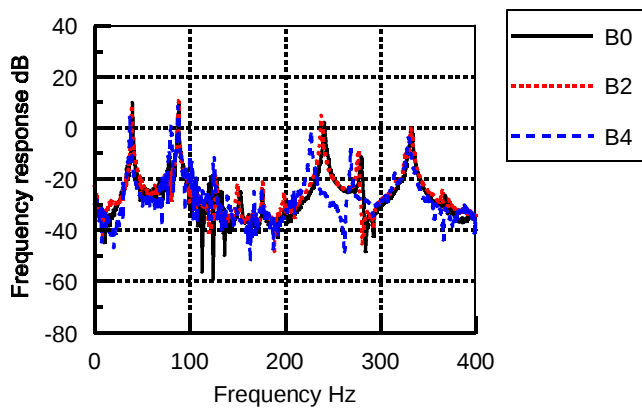
図3 振動測定結果



(b) 付加励振力がないときの試験片の振動測定結果
(加速度のパワースペクトル)



(c) 付加励振力を与えたときの試験片の振動測定結果
(加速度のパワースペクトル)



(d) 付加励振力を与えたときの試験片の振動測定結果
(周波数応答関数：H1関数)

図3 振動測定結果

表2 固有振動数の測定結果 (TYPE-A)

Ls \	Mode A	Mode B	Mode C
0	38.0	281.0	326.0
22	38.0	281.0	326.0
44	37.5	277.0	326.0
66	37.5	273.0	325.0
88	37.0	270.0	323.5
110	36.5	266.0	320.5

表3 固有振動数の測定結果 (TYPE-B)

Ls \	Mode A	Mode B	Mode C	Mode D	Mode E	Mode F
0	40.5	242.5	285.0	325.5	333.0	340.0
22	40.0	243.0	284.5	325.0	333.0	340.0
44	39.5	243.0	283.5	323.0	333.5	340.0
66	38.0	242.0	281.5	319.5	332.0	340.0
88	36.5	240.5	275.5	321.0	330.5	340.0
110	34.5	236.0	268.5	314.5	326.0	338.5

表4 固有振動数の測定結果 (TYPE-C)

Ls	Mode A	Mode B	Mode C	Mode D	Mode E
0	40.0	88.0	241.0	279.5	332.5
22	39.5	88.0	240.0	278.5	332.0
44	39.0	88.0	238.0	276.5	332.0
66	38.5	88.0	234.0	273.5	331.5
88	37.5	87.5	227.0	268.5	329.5
110	36.0	87.5	219.0	264.0	327.5

これらの結果を見ると、各モードによって変化の度合いに違いはあるが、スリットの大きさを大きくするに従い固有振動数が低下することがわかる。そこで、これらの結果を用いて、スリットの大きさと固有振動数の低下の関係について図4～6に示す。ここで、これらの図において、横軸はスリットの大きさを示し、縦軸は次式で表される固有振動数の変化率を示している。

$$\Delta \Omega = (1 - \omega' / \omega) \times 100 \quad (\%)$$

ここで、 ω' 、 ω は、それぞれスリットがあるときの固有振動数とスリットのないときの固有振動数を表す。

これらの結果を見ると、先ほどのときと同様に、スリットが大きくなるに従い固有振動数の変化率も大きくなっているのがわかる。また、固有振動数の変化率を用いることによって、先ほどのときよりもさらに、スリットによる影響が表しやすくなることもわかる。よって、このように固有振動数の変化率を測定していくことによって、構造物の欠陥の発生を振動情報からよりの確に知り得ることができることがわかる。

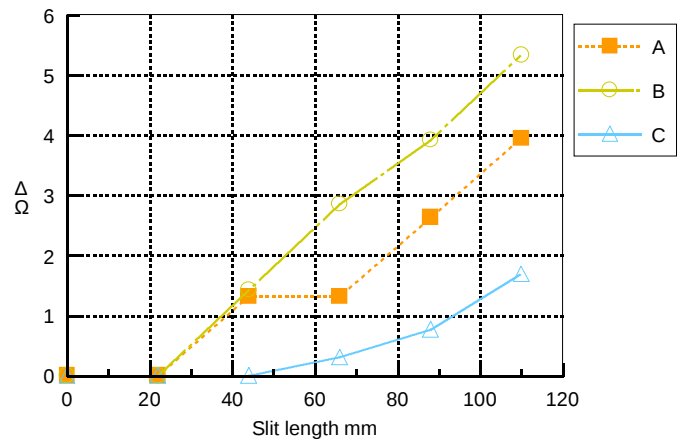


図4 スリットの大きさによる固有振動数の変化 (TYPE-A)

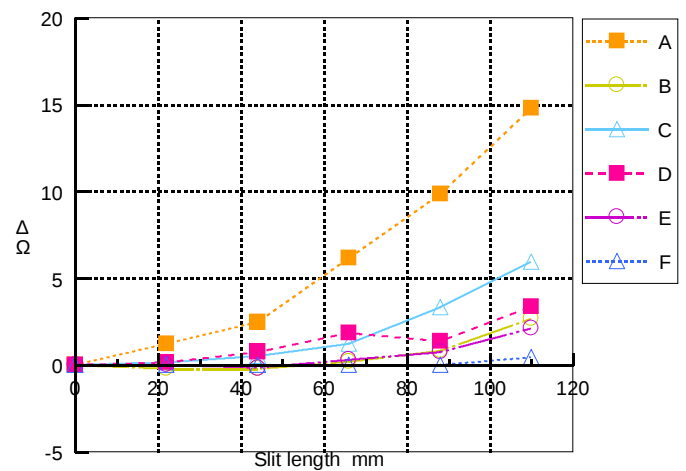


図5 スリットの大きさによる固有振動数の変化 (TYPE-B)

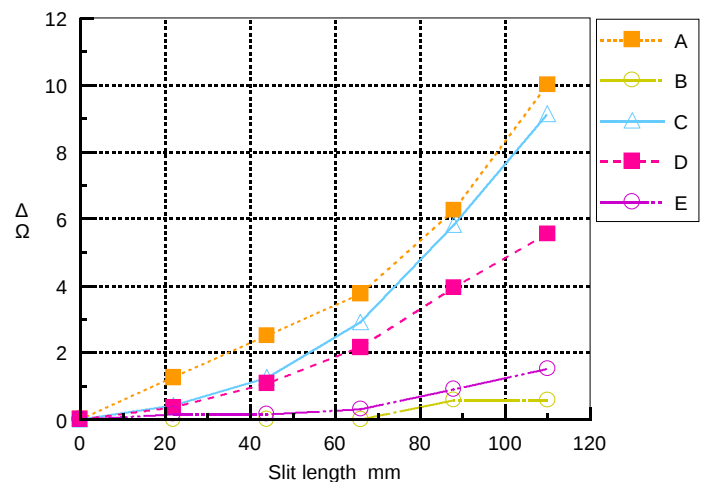


図6 スリットの大きさによる固有振動数の変化 (TYPE-C)

以上の結果から，構造物の固有振動数を測定することにより，その変化率を求め，これをモニタリングすることによって構造物のヘルスマニタリングが可能であると思われる．

III むすび

今回行った研究によって，既存の起振源が存在するような場合においても，付加励振力を与えることによって固有振動数の特定が可能であることがわかった．さらに，この固有振動数に着目し，固有振動数の変化率をモニタリングすることで，構造物の欠陥の検出ができることがわかった．このことは，複雑な構造物においても，振動情報をモニタリングしていくことによって構造物のヘルスマニタリングが可能であることを示している．

そこで，さらに，この固有振動数を用いた構造物の欠陥の同定の可能性についても検討を行った．その結果，構造物のモデル化が可能であれば，複数の固有振動数の変化率を用いることによって欠陥の大きさや位置に関する同定が可能であることを確認することができた²⁾．

しかし，構造物を正確にモデル化することは非常に困難であると共に，構造物ごとにモデルを構築する必要もあることから，今後，固有振動数だけに限らず，他の振動情報として振動の波動伝搬などを用いることによって精度の良い，構造物のヘルスマニタリングシステムの構築について検討する必要があると思われる．

参考文献

- 1)平成10年度海上保安庁研究成果報告書，pp.15-21.
- 2)海上保安大学校研究報告（理工系），第45巻1号，pp.49-62.