

特別講演

船體振動에 관한 問題點에 關하여

熊井 豊 二*

Some Current Problems on Ship Vibration

by

Toyoji Kumai*

1. 緒 言

船體振動이 原因이었던 船舶事故中에서 有名한 例는 Normandi號의 事故일 것이다. 그 振動의 主原因은 프로펠러起振力이었는데, 防振對策으로서는 프로펠러圓板面에서의 伴流를 調整하기 爲하여 舶싱을 改造하였으며, 또 프로펠러 날개數를 3翼으로부터 4翼으로 바꾸었다. 其後에도 비슷한 事故가 英國의 軍艦에서 發生하였는데, 이들 事故는 프로펠러의 推力變動으로 因한 推力블로크의 共振이 原因이었고 防振對策으로서 亦是 프로펠러 날개數를 3翼으로부터 5翼으로 바꾸었다(1948年). 그로부터 數年後에 1萬噸級 貨物船이 滿載狀態에서 4翼프로펠러에 依한 起振力과 船體의 비틀 및 水平振動과의 共振이 問題되어 5翼프로펠러로 바꾼 例가 發表되었는데, 이것이 貨物船에 5翼프로펠러를 採用한 最初의 例일것이다(1954年). 叙上한 例로부터 推進軸系의 振動이 船體振動의 起振力이 됨을 알 수 있다.

한편, 船體가 매우 巨大해짐에 따라 프로펠러起振力으로 因한 船體振動은 보의 振動이라기 보다는 端的으로 말한다면 板의 振動과 類似한 現象을 나타냄이 判明되었는데, 이와 같은 現象이 이러나는 것은 DW 10萬噸 以上の 船舶에서이다. 이 경우에는 船體振動이라기 보다는 오히려 船尾의 局部振動이 問題된다. DW 4~5萬噸 以上の 船舶에서 問題된것은 上部構造物의 振動이다(1965年). 이의 原因으로서는 高次의 船體振動에 依한 起振을 생각할 수 있다. 또 다른 原因으로서는 船體의 前後振動으로 因한것, 機關室에 있어서의 主機 및 軸系의 振動으로 因한것 등을 考慮할 수 있다. 最近에 特히 問題되고 있는 것은 大型船의 波浪에 依한 船體 2節振動이다.

上述한 바와 같이, 過去 10餘年間に 있어서 船型이 巨大化함에 따라 問題되는 船體振動도 그 內容이 變化하고 있다. 本論에서는 研究面을 主로하여 船體振動에 關한 最近의 主要 問題點에 關하여 論述하고자 한다.

2. 船體固有振動的의 推定에 關한 問題點

約 15年前, 日本에서 3~4萬噸級 油槽船을 多量으로 建造하기 始作했을 무렵 부터 船體의 高次振動이 問題되어왔다. 振動原因이 프로펠러圓板面에서의 伴流分布로 因한 프로펠러의 軸傳達起振力(bearing force) 및 프

* 日本 九州大學 應用力學研究所 教授, 日本 西部造船學會 會長
1971年 10月 18日 本學會 秋季學術講演會에서 行한 特別講演

로컬러翼端 附近의 水壓變動으로 因한 表面起振力(surface force)이라는것은 過去の 研究에 依하여 確認되어 있었으나, 振動應答를 定量的으로 求하는 일은 많은 實船實驗 結果로부터 判斷하여 매우 困難한 일인 것 같다. 當時 주로 4翼프로펠러가 使用되었는데, 問題된 振動數는 날개振動數(blade frequency: 軸 回轉數×프로펠러翼數)이다. 例示하면, 3萬噸級 油槽船에서는 120 rpm×4=480 cpm 인데, 이 振動數에 對한 上下固有振動은 豫想外로 高次이어서 7節振動에 該當한다. 滿載狀態에서는 메디(節)數가 더 增加하여 8~9節振動에 該當한다. 따라서 이와 같은 高次固有振動을 推定하는 일이 要請되게 되었다.

船體固有振動數는 船體를 물에 떠있는 兩端自由인 보로 取扱하여 計算하나, 이 경우에 船體는 單純한 彈性보가 아니라는 것은 自明하다. 即 船體로서 考慮하여야 할 重要項目은 다음과 같다.

- (1) 前後部の 變斷面 및 荷重分布의 影響
- (2) 附加水質量의 影響
- (3) 船體의 撓曲振動에 있어서는 剪斷처짐의 影響
- (4) 有効幅의 影響
- (5) 高次振動에 있어서는 船體構造上 局部振動이 發生하므로 兩者가 連成振動系를 이루게 되는데, 이것이 船體固有振動에 미치는 影響

2.1. 變斷面의 影響

船體는 船首尾部쪽으로 漸次 斷面이 작아짐으로, 均一斷面인 보와 比較하였을 때 前後端에 가까울수록 振動振幅이 커진다. 最近의 貨物船은 船尾機關船이고, 船員居住室도 船尾에 配置되어 있다. 따라서 船體의 振動波形의 見地에서는 中央에 居住室이 있는 境遇에 比하여 不利하다. 特히 滿載狀態下에서는 船尾機關室의 荷重이 작기때문에, 船首深水艙을 包含하여, 振幅이 船首尾部에서는 크고 中央部에서는 작은 特種 振動波形이 發生한다.

變斷面이 固有振動數에 미치는 影響을 理論的으로 振動計算에 導入하는 일은 困難하다. 實用的인 固有值 推定式에 導入할 境遇에는 實驗係數로 하여 船種別로 考慮하는 편이 좋다.

2.2. 附加水質量의 影響

附加水質量의 分布는 各 斷面에 對한 2次元의 計算에 依하여 船體 길이方向의 分布를 求할 수 있다. 이 分布도 그 크기가 兩端에서 漸減한다. 從來 附加水質量比 τ 를

$$\tau = \frac{J \int_0^L m_e dx}{d} \quad (1)$$

와 같이 定義해 왔었다. 但, J ; 3次元修正係數, m_e ; 船體의 單位길이當의 2次元의 附加水質量, x ; 船體 길이의 座標, L ; 船體 길이, d ; 船의 排水量이다. 그러나 이는 船體를 剛體로 生覺하는 運動인 境遇의 附加水質量比이다. 船體의 撓曲振動에 對한 附加水質量比는

$$\tau = \frac{J \int_0^L m_e y^2 dx}{\int_0^L m_1 y^2 dx} \quad (2)$$

로 定義되어야 함을 注意하여야 한다. 但, m_1 은 船의 單位길이當 重量이고 y 는 振動速度이다. τ 의 값이 흔히 使用되는 Todd의 公式에 依據한 값 보다 꼭 작다는것은 船型模型實驗으로 確認할 수 있다. 3次元修正係數 J 는 嚴密히는 배의 길이에 따른 分布值인데, 이를 求하는 한 方法은 水中에서 振動하는 船體에 對하여

壓力變動의 分布를 計測하는 일이다. 이 模型實驗에 依하면 振動波形을 棼 明瞭하게 觀察할 수 있다. 附加水 質量的 影響은 비틀振動의 計算에도 考慮되어야 하는되, 이에 關하여 筆者가 行한 計算은 Todd의 著書 (Ship Hull Vibration)에 詳細히 紹介되어 있다.

2.3. 剪斷처짐

船體의 高次固有振動數의 計算에 있어서 크게 影響을 미치는 因子中の 하나로서 船體의 剪斷처짐을 꼽을 수 있다. 이 影響은 理論的으로는 Timoshenko가 最初로 提案했으며 Timoshenko의 方程式으로 알려져 있다. 船體의 境遇에 對해서는 Lockwood Taylor等에 依하여 그 影響이 指摘되었다. 剪斷처짐의 影響을 考慮한 解는 渡邊(와다나베)教授에 依해 求해져서 船體에 應用되었다. 이 影響을 固有振動數 計算式에 導入하는 일은 可能하며, 그러기 爲해서는 船體斷面의 剪斷剛性을 計算할 必要가 있다. 이 影響은 上下振動의 경우 3~4節振動으로 부터 顯著하게 나타나는데, 固有振動數가 剪斷처짐을 考慮하지 않은 경우에 比하여 逐次的으로 低下한 다. 그리나 그 限度는 振動數 對 節數 關係가 大略 直線的으로 變化하는데 까지이다. 水平振動에 있어서의 이의 影響은 上下振動에서와 같이 顯著하지는 않다. 비틀振動의 計算에 있어서의 斷面의 비틀剛性이 必要하게 되는데 이 경우의 計算은 上下 및 水平의 撓曲振動의 경우 보다는 簡單하다. 剪斷처짐과 同時에 考慮하여야 할 因子는 斷面의 回轉慣性인데, 이의 영향은 船體 高次振動에서는 별로 크지 않다. 다만 回轉慣性의 영향은 上下振動에서 보다는 水平振動에서 더 크다.

2.4. 有 効 幅

船體縱構造에 있어서의 有效幅은 靜荷重을 다룰 때와 마찬가지로 考慮한 必要가 있다. 그 영향은 高次振動 일수록 顯著하다. 그러나 그 영향은 剪斷처짐의 영향만큼 크지는 않을 것이다.

2.5. 局部振動의 影響

船體上下固有振動數를 起振機를 使用하거나, 또는 航走中에 實船에서 計測해 보면 배의 種類에 따라 振動이 高次일수록 固有振動數가 豫想 以上으로 低下하는 경우가 많다. 그 原因의 하나는 局部振動과의 連成때문인 것으로 생각되며, 이에 關한 研究成果가 發表되어 있다. 예를 들면 原子力船 Savanna 號에서 原子爐의 振動이 한 局部振動으로 船體振動과 連成하여 船體固有振動數를 低下시킨다. 이것은 하나의 特別한 例이다. 一般貨物船에서도 한 船艙의 二重底振動이 이러한 局部振動으로 考慮될 수 있다. 最近에 建造되는 船舶中에서 이와 같은 二重底振動이 顯著한 것은 撒積貨物船이다. 二重底振動은 船體振動의 第二의 質量-스프링系로 看做하고 兩者의 振動系를 連成系로 생각하면 計算은 容易하다. 筆者는 이 計算을 可及的 實船系와 類似하게 取扱하고, 最終的으로는 至今까지 二重底振動을 考慮치 않고 行하였던 計算結果에 對하여 修正을 加하는 方法을 考案했다. 그 結果를 바탕으로 實船의 高次振動에 對한 計測值를 大略은 說明할 수 있을것 같다. 二重底振動을 考慮할 때의 重要한 因子는 艙內의 貨物의 振動과 同時에 外部의 附加水質量的 영향도 考慮하여야 하는 일이다. 最近에 建造되는 10萬噸級以上の 船舶에서는 高次の 船體振動의 경우, 보의 性質을 棼지 않고, 板 처짐 橫方向으로도 撓曲이 일어나는 複雜한 振動波形이 計測되어지고 있다. 卽 船側外板과 中心線縱 隔壁이 서로 다른 振動型을 가지는 固有振動이 計測되고 있다.

3. 起 振 力

船體振動의 主要 起振源을 大別하면 다음과 같다.

(1) 主機 및 軸系

- (2) 프로펠러
- (3) 波 浪

3.1. 主機 및 軸系

主機自體가 發生하는 不平衡力 및 不平衡모우멘트가 起振力이 된다. 10餘年前에 3~4萬噸級 油槽船에서 問題되었던 것은 2次不平衡모우멘트와 2~4節의 水平振動과의 共振이었다. 이 종류의 起振力은 主機設計 때 注意하면 防振할 수 있을 것이다. 디젤主機는 主機自體가 左右로 振動하여 이것이 船體에 對한 起振力이 되는 수가 있다. 主機의 한 실린더의 撓曲固有振動數가, 機種에 따라 다르기는 하나, 날개振動數 近傍에 있는 경우가 있으며, 이 종류의 起振力이 船體局部構造의 振動源이 되는 수가 있다. 特히 機艙室이 居住區라던가 船橋通路 近處에 位置하기 때문에 起振力이 클 경우에는 注意할 必要가 있다.

軸系振動에 關해서는 軸系の 軸中心調整이 잘 못 되었을 경우에 베어링에 上下振動의 起振力이 發生한다. 이 問題에 關해서는 佛蘭西의 船級協會 B.V.에서 解析하고 있는데 새로운 問題인것으로 생각된다. 軸系の 前後方向 起振力의 한 原因에 크랭크軸의 前後方向 伸縮이 있다. 이 伸縮振動은 프로펠러에 依한 前後振動과 함께 推力블록크를 거쳐 船體에 傳達된다. 따라서 이에 對한 防振對策은 兩 起振力의 位相을 調整함으로써 推力블록크에 作用하는 起振力의 크기를 充分히 減少시킬 수 있을 것이다.

軸系振動에 있어서 重要한 問題點의 하나는 推力블록크의 共振이다. 說明을 簡單히 하기 위하여 더어빈船의 경우를 例로 들면, 過去에 英國의 軍艦에서 振動으로 因한 推力블록크의 損傷이 發生하였는데, 그 原因은 프로펠러의 날개振動數와 推力블록크의 固有振動數가 매우 隣接하여 있었던 탓이다. 이에 對한 防振對策은 勿論 어느 한 쪽의 振動數를 바꾸는 일인데, 現今까지의 例는 프로펠러를 翼數가 다른것으로 바꾼 例가 많은 것 같다.

推力블록크가 振動하던 그것이 船體를 起振하게 된다. 船體를 하나의 殼構造(shell)로 看做한다면, 이 殼構造가 推力블록크 位置에서 起振되는 셈인데, 이 경우에 殼構造 全體의 縱振動을 생각할 수 있겠으나 薄膜실린더의 縱方向 剪斷振動이라는 振動系도 생각할 수 있다. 後者の 경우에는 船底와 同位置의 甲板이 逆位相의 振動을 發生한다. 이와 같은 振動系는 아직 實船에서 確認된 바는 없으나, 大型船에 이와 같은 振動系가 存在할 可能性이 있다.

3.2. 프로펠러起振力

大別하여 表面起振力(surface force)과 軸傳達起振力(bearing force)로 區分한다. 表面起振力은 프로펠러翼 近處의 船體外板에 變動水壓이 作用하여 이것이 船體振動을 誘發하는 起振力이 된다. 即 外板面에서의 水壓變動 그 自體가 起振力이다. 軸傳達起振力은 프로펠러가 不均一한 船體件流帶에서 回轉하는 탓으로 프로펠러自身에 不平衡力과 不平衡모우멘트가 發生하여 그 힘이 軸을 거쳐 베어링에 傳達되므로써 船體振動의 起振力이 된다. 1935~1936년에 F.M. Lewis 教授가 이들 起振力에 關한 基本的 研究結果를 發表한 以後 歐美地域에서 많은 研究가 發表되어 왔다. 理論的으로 問題되는 點은 非定常流 속에서 翼에 作用하는 流體力이다.

表面起振力은 프로펠러近傍의 船體形狀이 比較的 單純한 경우에 對해서는 理論과 實船計測結果가 잘 一致하는 研究成果가 얻어지고 있다. 單軸貨物船의 경우에는 伴流分布가 問題된다. 壓力推定을 할 수 있어도 이를 起振力으로 換算하는데는 적지 않은 困難이 있다. 그래서 筆者는 表面起振力을 直接計測하는 模型實驗을 行하여 여러가지 影響을 調査하였다. 가장 興味있는 結果는 프로펠러翼이 奇數일 때와 偶數일 때의 差異이다. 普通的 單軸船尾形狀에서는 翼數가 奇數일 때 水平方向의 起振力이 發生하고 偶數일 때는 船尾에 偶力이 發

生하여 船體비틀振動을 起振하는 結果가 된다. 또 프로펠러 上部는 翼 끝(tip)이 船體에 가장 가까움으로 壓力變動이 顯著하다는 것은 쉽게 짐작된다. 即 날개끝 間隙(tip clearance) 또는 날개 前方間隙을 可及的 크게하는 것이 한 防振對策일 것이다. 이 間隙에 關係서는 Lloyd, N.V. 등 船級協會에서도 勸獎其準을 마련하고 있다. 그러나 同 基準算式의 誘導에 關係서는 疑問이 있다.

軸傳達起振力은 반드시 프로펠러와 伴流分布에 起因한것이 아니라 軸系의 軸中心調整에도 多分히 原因이 있는 것으로 생각된다. 推力變動이나 토오크變動의 實船計測은 아직 없는것 같다. 定常流에 對한 軸傳達起振力 計算은 比較的 容易하다. 筆者는 한 實驗法으로서 프로펠러翼에 스트레인·게이지를 取付하여 스트레인의 變動狀態를 記錄하여 가지고 그로 부터 逆으로 軸傳達起振力을 推定하는 方法을 考案했다. 한 模型試驗結果로부터 非定常流로 因한 軸傳達起振力의 變動量은 準定常計算에 比하여 棼 작고 또 位相지침(phase lag)이 커진다는 것을 알았다. 이 實驗은 좀 더 여러가지 船型에 對하여 行할 必要가 있다.

3.3. 波浪起振力--“Whipping”

波浪에 依한 船體의 2節上下振動을 whipping 또는 springing 라고 한다. 最近 大型船에서 이 現象이 종종 發生하고 있다. 이 振動은 周期가 1秒 內外인데, 船樓의 前後振動으로 번지 나타나므로 航行에 支障을 招來하는 수가 있다. 波浪에 依한 船體의 起振力에 關한 研究에는, Pabst가 以前에 水上飛行機의 浮舟의 着水時의 물의 抵抗을 計算했는데, 그와 같은 波力을 생각하면 될것이다. 船體의 上下基本振動인 2節振動의 周期는 大型船의 경우 1秒 內外이다. 한편, 波浪을 規則波라고 생각하면 배와 파도가 서로 만나는 周期는 船速 및 波長에 따라 다르기는 하나 大洋航行 大型船의 경우 10秒 內外이다. 그러므로 배는 周期 10秒인 周期의 波力을 받는 셈이나, 그 波力은 많은 스펙트럼으로 構成되어 있다. 船體의 固有振動周期가 1秒일것 같으면 船體는 波의 스펙트럼中 第10次 高調波와 共振하게 된다. 即 波浪에 依한 船體振動은 말하자면 選擇의 共振이라고 할 수 있다. 이 現象은 特種模型을 使用한 水槽實驗으로 證明할 수 있다.

波浪起振力은 物體가 水面 또는 波濤속으로 突入할 때의 附加質量의 모우멘텀變化라고 생각할 수 있다. 問題되는 것은 船首形狀인데, 現今까지의 研究에서는 우선 球狀船首에 對한 것이 取扱되었다. 그러나 球狀船首가 아닌 경우에도 whipping 發生이 報告되어 있다.

船體의 엔트란스(entrance)部分이 波濤속으로 突入할 때 船體에는 相當한 크기의 附加質量變化가 있을 것으로 豫想된다. 筆者는 船體 엔트란스部分에 對하여 附加質量의 모우멘텀變化를 計算하므로써 近似的으로 起振力을 推定했다. 이를 DW 7萬톤의 散積貨物船의 計測值의 比較한 結果는 船體와 波濤와의 相對變位가 클수록, 即 波高가 높을수록, 또 배의 喫칭周期가 배와 波濤의 遭遇周期에 가까울수록 whipping 應答이 크다는 것을 알았다.

whipping 을 避하기 爲하여서는 遭遇周期를 바꾸기 爲하여 배의 波濤에 대한 方向을 바꾼다던가, 應答을 작게 하기 위하여 船首말라스트를 增加시키는 方法등을 들수 있다. whipping 起振力은 결국 附加質量의 크기 에 比例하는데, 附加質量은 배의 幅의 自乘에 比例한다. 따라서 海象狀態가 同一하다는 條件下에서 幅과 깊이의 比 B/D 단이 다른 雙隻의 배에 對하여 計算하면 B/D 값이 큰 쪽이 whipping 에 依한 振動振幅이 클것은 當然하다. 從來 whipping 事故가 報告된 배들의 B/D 값은 一般的으로 크다.

whipping 은 船樓의 振動으로 나타나므로 航行中 不快할 뿐만아니라, whipping 應力이 배의 中央部에서 最大값이 되기 때문에 船體의 疲勞強度上으로도 問題된다. 따라서 whipping 으로 因한 振動振幅이 클 경우에는 特히 操心해야 한다. 英國의 NPL에서는 whipping 에 依한 振動을 積極的으로 防止하기 위하여 물을 質

量으로 하고 空氣를 스프링으로 하는 新型 防振器를 考案해 있고, 또 이를 위한 特殊핀(fin)을 考案하고 있는 것으로 안다.

4. 減衰率의 推定

船體振動의 應答를 計算하기 위해서는 減衰率을 推定할 必要가 있다. Lockwood Taylor는 投錨試驗 때 얻은 船體自由振動의 振幅減衰曲線으로 부터 對數減衰率을 推定해 낸 일이 있다. 于先 問題되는 것은 船體의 高次振動에 對한 減衰率이다.

一般的으로 振動減衰率은 外部減衰率과 內部減衰率로 區分하여 생각할 必要가 있다. 過去의 研究에 依하면 船體高次振動에서는 外部減衰率은 內部減衰率에 比하여 작으므로 無視해도 좋은 것으로 안다. 內部減衰率로서는 于先 鋼材에 對한 것을 생각할 수 있으나, 船體는 鋼材를 使用한 한 構造物이기 때문에 材料自體의 減衰率과는 判異하다는 것은 쉽게 짐작할 수 있다. 船體라는 한 構造物에 對한 減衰係數는 只今으로서는 實船 計測에 依存하는 수 밖에 없다.

減衰係數가 推定되면 그의 振動式에 그를 代入하므로써 高次振動에 對한 對數減衰率을 求할 수 있을 것이다. 이 경우 從來에 考慮되었던 것은 所謂 法線摩擦成分(normal viscosity)으로서 引張, 壓縮 또는 純粹굽힘 振動에 對한 減衰인데, 高次振動에서는 前述한 바와같이 剪斷치짐의 영향이 크기 때문에 減衰로서도 剪斷力에 依한것을 考慮하지 않으면 안된다. 筆者는 Timoshenko方程式에 剪斷減衰를 考慮한 方程式을 導出하여 이를 바탕으로 해서 剪斷減衰의 影響을 調査한바 있다. 同 結果로 부터 船體高次振動에 있어서는 剪斷減衰를 考慮하지 않은 경우에 比하여 對數減衰率이 작아짐을 알았다. 其後 다시 이 問題에 關하여 調査한 結果에서는 剪斷減衰에 依한 對數減衰率은 剪斷치짐에도 關係가 있음을 알았다.

5. 振 動 應 答

船體의 振動應答 計算은 먼저 起振力과 그 位置, 振動波形 또는 應答를 받는 位置의 振幅, 對數減衰率 및 附加水質量을 包含한 배의 排水量등을 計算한다. 이 計算自體는 簡單하나, 한 例로서 對數減衰率의 正確與否에 대하여서는 疑問이 생긴다. 日本에서 많은 貨物船에 대하여 應答計算을 行하였지만 計測值과의 一致는 좀처럼 얻지 못하고 있다. 減衰와 起振力에 對해서는 더욱 더 研究를 계속할 必要가 있다.

振動應答를 알던 주어진 起振力에 대한 振幅 또는 加速度를 推定할 수 있다. 또 나중에 叙述할 船體振動의 許容限界를 假定한다면 應答式으로 부터 逆으로 起振力の 限界가 定해진다.

船體振動의 振動波形은 船體의 剛性分布와 荷重分布와의 組合에 依하여 決定되나, 極端한 例로서 滿載狀態에서는 船體前後部の 振幅이 中央部の 振幅에 比하여 顯著히 크다는 것을 미리 認識해 둘 일이 緊要하다.

6. 振動의 許容限界

船體振動의 振幅 또는 加速度가 어떤 限度를 넘으면 우선 船員과 旅客이 不快感을 느끼게 되고 또 航海計器 등에 支障을 준다. 따라서 振動許容限界를 考慮하게 된다. 이 許容限界는 各國에서 獨自의으로 考慮하고 있으나, 最近 ISO(International Organization for Standardization)組織下에 國際의으로 統一하기 위한 會議가 開催되어 限度決定을 試圖하고 있다. 限度決定을 위한 資料는 船員들로 부터 앙케이트를 받아 그들을 系統的으로

整理하여 定하게 된다.

振動感覺問題는 日本에서는 地震研究所의 石本(이시모도)博士가 最初로 研究하였다. 그때 利用되었던 加速度振動計가 基礎가되어 現在의 地震震度階가 마련되었다. 震度階는 振動加速度를 縱軸에 對數눈금(log-scale)으로 잡아 이를 等分한 것이다. 概略적으로 말한다면 船舶의 居室의 上下振動限度는 30 gal 程度이다. 이 限度는 振動數에 따라 다른데, 1~10 Hz 사이에서는 一定하다고 보여지나, 그 보다 작거나 큰 振動數의 範圍에서는 限度가 逐次的으로 上昇한다. 예를 들면, 極端한 例이긴하나, 昇降機의 加速度, 減速度는 無周期인데 이것도 人體에 對하여 限度가 定해진다. 反對로 振動數가 매우 높으면 振動이라기 보다는 音이 된다. 따라서 大略 20 Hz 以上에서는 音에 對한 感覺도 問題된다. 限度問題는 exposure에 關係된다. 따라서 振動許容 限界를 定하는데는 醫學이나 心理學의 知識도 必要로 한다. 日本도 ISO의 會員國으로서 이 問題에 對한 研究를 進行시키고 있다.

7. 局 部 振 動

船體의 局部振動으로서 重要하다고 생각되는項目은 다음과 같다.

- (1) 上部構造의 振動
- (2) 船艙二重底의 振動 및 機關室二重底의 振動
- (3) 機關室에 가까운 貨物艙, 深水艙等の 局部振動
- (4) 舵 및 프로펠러翼의 振動

7.1. 上部構造

船樓 또는 甲板室等은 船體에 스프링으로 取付된 彈性體로 생각할 수 있다. 따라서 이 彈性體는 薄板으로 構成된 하나의 構造物로서 그 自身이 振動의 固有值를 갖는다. 이 構造物이 船體에 彈性的으로 取付된 系라고 생각할 수 있다. 上部構造의 振動의 起振力으로서는 船體의 高次上下振動, 前後振動, 그리고 主機 및 軸系로부터 直接上部에 傳達되는 起振力등을 생각할 수 있다. 船體振動에 對한 主要 起振力の 振動數는 날개振動數(blade frequency)이고, 主機에 依한 起振力은 主機種類에 따라 다르나 날개振動數와는 別途로 그 近傍의 回轉數의 整數倍의 것이 豫想된다. 예를 들면 5次, 6次의 振動數이다. 따라서 上部構造物은 其의 固有振動數와 起振力이 共振되지 않도록 設計하여야 한다. 上部構造設計는 船種에 따라 다르므로 어떤 한 公式에 依하여 固有振動數를 推定할 수는 없겠으나, 近似的으로 數種類의 型式으로 區分하여 各 型式마다 計算하는 일은 可能할 것이다. 實船計測結果로부터 얻은 資料를 바탕으로한 여러가지 計算法이 考慮되고 있다. 萬一 上部構造가 共振狀態에 있게 되면 適宜 補完工作을 施工함으로써 共振을 피하는 일은 實際로 行해지고 있다.

7.2. 船底振動

船種에 따라서는 船底振動이 船體固有振動數에 크게 영향을 미친다는 것은 前述했다. 機關室二重底의 振動은 主機의 振動과의 連成系로서 取扱되는데, 軸系の 振動과도 關聯되어 매우 重要한 問題點이 되고 있다. 이 問題는 他振動系와 많이 關聯되어있는 탓으로 容易하게 解決되기는 어려울 것으로 생각된다.

7.3. 構造要素의 局部振動

大型船에서 機關室에 가까운 船艙, 後部深水艙隔壁, 特設肋骨을 構成하는 板 등의 共振이 종종 일어나고 있다. 이들 문제에 對한 基礎的 固有振動數 推定法은 比較的 簡單하다. 重要한 點은 深水艙등에 있어서의 板의 水中振動의 推定이다. 이 경우, 板에 靜적으로 그 中立面內의 壓縮 또는 引張力이 作用하면 撓曲固有振動

數가 變化한다는 點을 考慮하여야 한다. 構造要素에 振動이 生 發生하고 있으면 材料가 疲勞에 依해 破損되는 事故가 일어날 수도 있다는 點도 考慮하여야 한다.

7.4. 舵 및 프로펠러

舵의 振動이 發生하여 例를 들면 핀等に 局部的 損傷을 招來하는 일이 있다. 舵의 固有振動數를 推定할 때 2次元的 附加水質量을 計算하기는 쉬운데, 3次元修正値는 矩形板으로 생각할 경우 約 70%임을 留意할 必要가 있다.

프로펠러翼의 振動을 研究하는 일은 날개의 疲勞強度와 關連하여 重要한 問題이다. 프로펠러날개의 振動應力은 定常應力과는 全然 다른 荷重에 起因한 것이다. 날개의 振動應力을 구하기 위해서 于先 重要한 項目은 날개의 振動에 대한 附加水質量이다. 이 경우에도 2次元的 附加水質量의 推定은 容易하지만, 3次元修正係數의 理論的計算은 容易하지 않다. 筆者는 實驗的으로 물의 振動壓力 分布를 計測하여 가지고 3次元修正値를 推定함으로써 날개의 固有振動數를 推定하는 일을 試圖했다. 同時에 空中에서의 固有振動數 推定式을 提案하고 現在 商船에 使用되는 프로펠러翼의 固有振動에 關하여 研究하였다. 그 結果로부터 翼의 振動應力 分布도 구하여 定常荷重에 依한 應力分布와 比較하였는데, 重要한 點은 振動應力 分布에 있어서 最大應力이 發生하는 位置는 同一翼에서 定常荷重에 依한 最大應力의 發生位置 보다는 날개·스팬의 中央附近쪽에 位置할 可能性이 크다는 點이다.

8. 結 論

船體振動研究의 大部分은 船體 或은 局部構造의 固有振動數를 計算하는 일일 것이다. 最近에는 그 計算方法에 有力한 電子計算機를 利用하게 되었고, 그로해서 解決된 問題도 많은 것으로 생각된다. 그러나 船體振動의 計算에서 生 必要한 일은 물의 附加質量의 推定이다. 電子計算機에 대한 入力資料로서 附加水質量의 推定이 正確한가의 與否를 確認하는 일은 매우 必要한 일이다.

船體振動이 미치는 영향중에서 人體의 振動感覺의 限界는 勿論 重要하다. 그러나 同時에 振動應力에 依한 構造材料의 疲勞를 考慮하여야 한다. 特히 波浪에 의해서 誘起되는 振動으로 因한 船殼의 疲勞問題는 波浪自體로 因한 動荷重과 마찬가지로 船體의 壽命에 關係되는 重要한 問題인 것으로 생각한다.

叙上한 바와 같이, 船體振動에 關한 研究에 限한 일은 아니나, 研究가 進行됨에 따라 未解決問題가 數없이 나타나게 마련이다. 個個의 問題에 關한 今後의 研究가 期待된다.