

油槽船의 Web Frame에서의 應力分布

任 尙 鍊*

On the Stress Distribution in a Web Frame of Tanker

by

S. J. Yim*

Abstract

Recently, the matrix method has become almost universal tool to solve various engineering problems in conjunction with the rapid development of high speed electronic computers. The method also has been introduced to shipstructure analysis in past few years.

This paper treats a method to obtain an approximate solution for stress distribution in a web frame of oil tankers. The method is designed to use relatively small computer. The procedure consists of two steps. In the first step, the web frame is idealized to a plane frame of slender members as shown in Fig. 2. Then, the plane frame is analyzed with a matrix method to determine forces and moments in each member. In the second step, the original shape of the web frame is restored and any portion of the frame, in which the stress distribution is desired, is isolated as shown in Fig. 3. Then, again, a finite element method is used to determine the stress distribution in the isolated portion.

In this work, IBM 1130 computer in the computation center, SNU has been used. A numerical example with scantlings of an actual ship is worked out to prove the validity of this method.

1. 緒 論

油槽船은 縱肋骨式構造의 利點을 가장 잘 活用할 수 있는 船種이다. 一般의 油槽船에서는 機關室을 船尾에 配置하고 그 앞쪽으로 船首隔壁에 이르는 貨物油艙部分을 船體中心面에 平行하는 2개의 縱隔壁으로 區劃하고 있으며, 이들 隔壁과 多數의 縱通材와 外殼板들이 그 배의 縱強度를 維持하고 있다. 한편, 이러한 縱通材들은 比較的 넓은 間隔으로 配置된 橫隔壁과 Web Frame에 依해 支持되고 있으며, 따라서 橫強度는 主로 Web Frame에서의 應力分布에 支配된다.

Yuille 과 Wilson 은 單殼船體의 橫強度를 電子計算機에 依해 計算하는 方法을 研究한 바 있고[1], 吉識, 川井 및 吉村은 船體構造解析에 매트릭스法을 使用하는 方法을 紹介한 바 있다[2]. 또한, Mori, Izuchi, Funaoka 및 Ohyama는 油槽船의 橫強度에 關해 研究한 바 있다[3].

本研究에서는 小型電子計算機를 使用하여 油槽船의 Web Frame에서의 應力分布를 有限要素法에 依해 近似的으로 迅速하게 計算할 수 있는 方法을 考案하였으며, 實船치수의 計算例를 通하여 그 實用性을 檢討하였다.

2.1. 解析의 基礎

油槽船의 Web Frame은 大略 Fig.1 과 같은 形狀을 가지며, 한 肋骨間隔사이의 船殼도막에 걸리는 外

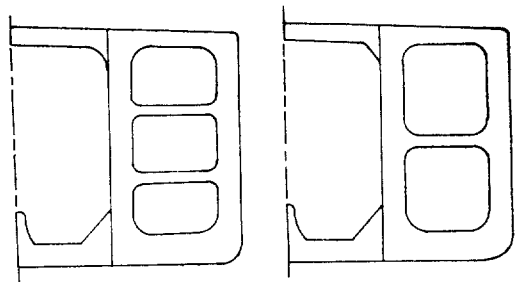


Fig 1. Typical Web Frames

接受日字 1972年 3月 7日

* 正會員, 서울大學校 工科大學

部水壓, 貨物油壓 및 甲板荷重 등의 모든 橫荷重들을 支持하도록 設計된다.

이와 같은 Web Frame 을 慣例의인 方法으로 解析하자면 莫大한 量의 計算이 要求될 것이므로, 여기서 는 그것을 다음과 같이 두 段階로 나누어 取扱하기로 한다.

1) Web Frame 을 Fig. 2에 보인 것과 같은 細長部材들로 이루어진 平面 뼈대로 理想化하고, 매트릭스法을 使用하여 各部材에 걸리는 힘들과 모우먼트들을 計算한다.

2) Web Frame 을 다시 原形으로 돌려놓고, 應力分布를 알고자 하는 部分을 Fig. 3에 보인 것과 같이 分離하고, 그것을 適切한 個數의 三角形要素들로 分割하여 有限要素法으로 解析한다.

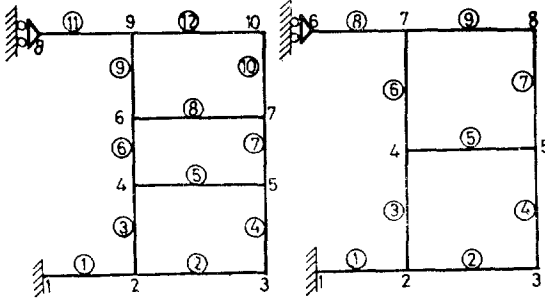


Fig 2. Idealized Plane Frames

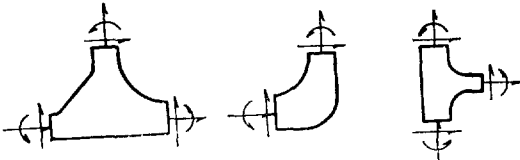


Fig 3. Isolated Free Bodies

2.2. 뼈대 解析

解析하려는 平面 뼈대 構造의 節點(n個)과 部材(m個)에 對하여 Fig. 2에 보인 것과 같이 番號를 붙이고 個個의 部材에 對한 剛性 매트릭스(6×6)들을 編성한 다. 이 構造에서의 水平部材의 剛性 매트릭스는[4]

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & & & & & \\ & 0 & \frac{12EI_z}{l^3} & & & \\ & & \frac{6EI_z}{l^2} & \frac{4EI_z}{l} & & \\ -\frac{EA}{l} & & & & 0 & \frac{EA}{l} \\ & 0 & -\frac{12EI_z}{l^3} & -\frac{6EI_z}{l^2} & 0 & \frac{12EI_z}{l^3} \\ & 0 & \frac{6EI_z}{l^2} & \frac{2EI_z}{l} & 0 & -\frac{6EI_z}{l^2} \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \quad \text{SYM.}$$

의 形式이고, 鉛直部材의 剛性 매트릭스는

$$\begin{bmatrix} \frac{12EI_z}{l^3} & & & & & \\ & 0 & \frac{EA}{l} & & & \\ -\frac{6EI_z}{l^2} & & 0 & \frac{4EI_z}{l} & & \\ -\frac{12EI_z}{l^3} & & 0 & \frac{6EI_z}{l^2} & \frac{12EI_z}{l^3} & \\ & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} \\ -\frac{6EI_z}{l^2} & & 0 & \frac{2EI_z}{l} & \frac{6EI_z}{l^2} & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \quad \text{SYM.}$$

의 形式이다. 이들을 重疊組立하면 이 뼈대 全體에 對한 剛性 매트릭스(3n×3n)를 얻을 수 있고, 그것을 利用하면 다음과 같은 剛性 方程式을 쓸 수가 있다.

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ M_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ M_2 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \\ M_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & \dots & K_{1,3n} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & K_{2,3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{3n1} & K_{3n2} & K_{3n3} & \dots & K_{3n,3n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \\ \theta_n \end{Bmatrix}$$

또는

$$\{ X \} = [K] \{ u \}$$

(3n×1) (3n×3n) (3n×1)

이 式의 {u}에 節點拘束條件들을 代入하고, 생각하는 荷重狀態에서의 分布荷重들을 그와 對等한 節點荷重들로 바꾸어 {X}에 代入한 뒤에, 매트릭스 解法의 慣例의인 方式에 따라 處理하면, 變位 {u}가 決定된다.

{u}가 알려지면, 部材別로 應力 매트릭스 方程式을 使用하여 各部材의 任意斷面에 걸리는 剪斷力 V와 굽힘 모우먼트 M을 決定할 수 있다. 즉

$$\begin{Bmatrix} V \\ M \end{Bmatrix} = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2} \\ \frac{12}{l^3} x - \frac{6}{l^2} & -\frac{6}{l^2} x + \frac{4}{l} \\ -\frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2} \\ -\frac{12}{l^3} x + \frac{6}{l^2} & -\frac{6}{l^2} x + \frac{2}{l} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_i \\ \theta_i \\ v_j \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

한편, 各部材에 걸리는 軸力 F는 {u}로부터 다음과 같이 求해진다.

$$F = \frac{AE}{l} u_i$$

2.3. 局部應力解析

應力分布를 求하고자 하는 部分을 Fig. 3에 보인 것과 같이 自由物體로서 分離해 내고, 切斷面을 통하여 傳達되던 힘과 모우먼트를 앞서 實施했던 變位 解析 結果로부터 求해둔다.

그 自由物體 안에 適當한 個數의 節點들(n個)을 取하여 그 物體를 多數의 三角形要素들(m個)로 分割하고, 그 物體의 變形條件 또는 對稱條件을 考慮하여 剛體運動의 拘束에 必要한 節點拘束條件을 마련해둔다.

切斷 境界面을 통하여 傳達되던 힘과 모우먼트를 그 面 위에 놓인 節點들을 통하여 傳達되는 等價荷重들로 置換한다.

個個의 三角形要素에 對한 剛性매트릭스를 求한다. 이때, Fig. 4에 보인 것과 같은 要素에 對한 剛性매트릭스 [K]는 다음과 같이 주어진다[5].

$$[K] = Ah[B^*]^T[D][B^*]$$

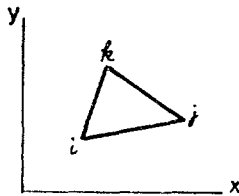


Fig. 4. Triangular Element

여기서

$$A = \text{三角形要素의 面積} = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}$$

h = 三角形要素의 두께

$$[B^*] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_j - y_k & 0 & y_k - y_i \\ 0 & x_k - x_j & 0 \\ x_k - x_j & y_j - y_k & x_i - x_k \\ 0 & y_i - y_j & 0 \\ x_i - x_k & 0 & x_j - x_i \\ y_k - y_i & x_j - x_i & y_i - y_j \end{bmatrix}$$

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

$x_i, y_i; x_j, y_j; x_k, y_k$ = 頂點 i, j, k의 座標

ν = Poisson 比

E = 彈性係數

이들 個別的인 매트릭스(6×6)들을 重疊하면서 組

立해 나가면 物體全體에 對한 剛性매트릭스(2n×2n)를 만들 수 있고, 그것을 利用하면 다음과 같은 剛性方程式을 쓸 수가 있다.

$$\{X\} = [K] \{u\}$$

(2n×1) (2n×2n) (2n×1)

이 식의 {u}에 節點拘束條件들을 代入하고, {X}에 等價節點荷重들을 代入하고, 매트릭스 解法의 慣例의인 方式으로 處理하면, 變位 {u}가 決定된다.

{u}가 알려지면, 各 三角形要素 안에서 應力成分들이 다음 식으로부터 求해진다[5].

$$\{\sigma\} = [D][B^*][\delta]$$

여기서

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}, \quad \{\delta\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{Bmatrix}$$

이들 應力成分이 決定되면, 다음과 같이 主應力들과 最大剪斷應力 및 그 方向들을 計算할 수가 있다.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\phi_1 = -\frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{\tau_{xy}}{\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}}\right), \quad \phi_2 = \phi_1 + \frac{\pi}{2}$$

$$\tau_{\max} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\phi_3 = \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{\tau_{xy}}\right), \quad \phi_4 = \phi_3 + \frac{\pi}{2}$$

3. 計算例

供試船은 商工部 告示 標準型船 T₈-油槽船이며, 그 主要要目은 아래와 같다.

G/T	3,500
D/W	5,200 ton
LBP	96. m000
B(mld)	14.800
D(mld)	7.800
DLWL	6.600
Web Frame Space	3.750

이 배의 Web Frame 은 Fig. 5에 보인 바와 같고, 이것을 平面뻘대로 理想化하면 Fig. 6에 보인 모양으로 된다.

이때, Web Frame 에 붙어있는 外板과 隔壁板의 一部는 上記 뻘대 部材의 flange 로 看做되어야 하며 여기서는 Web 의 두께의 60倍를 有效 flange 로 取扱

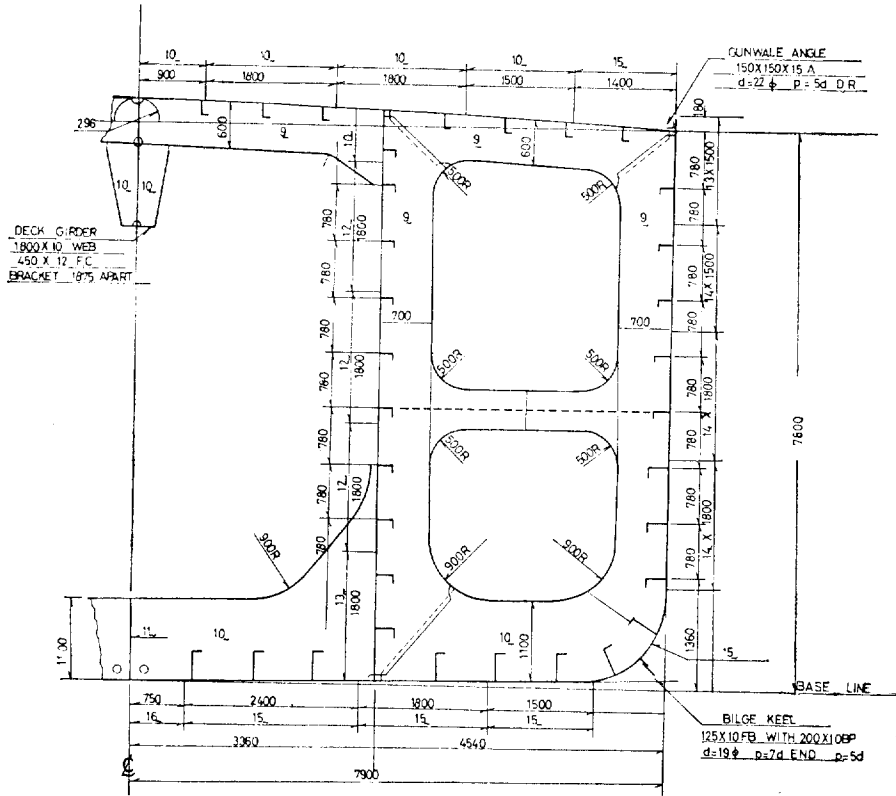


Fig. 5. Web Frame of T₆-Tanker

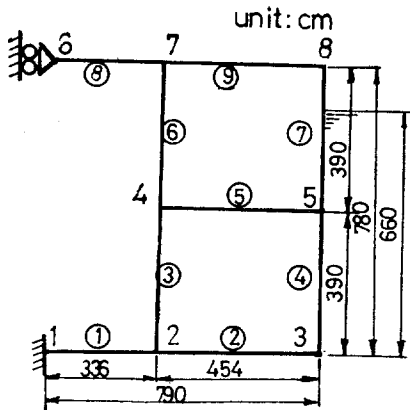


Fig. 6. Configuration of Idealized Frame of T₆-Tanker

Member No.	AX ¹⁾ (cm ²)	AY ²⁾ (cm ²)	IZ ³⁾ (cm ⁴)
1	239.2	110.0	469,110
2	228.0	110.0	416,870
3	155.8	63.0	128,760
4	166.6	63.0	135,970
5	96.5	40.5	35,180
6	155.8	63.0	128,760
7	166.6	63.0	135,970
8	128.0	54.0	74,670
9	136.3	54.0	86,590

Note: 1) Cross-sectional area

2) Shearing area

3) Moment of inertia of cross-section

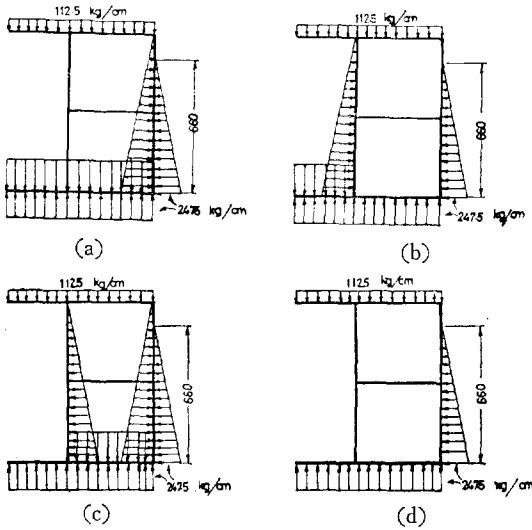


Fig. 7. Loading Conditions

하였다.

한편, 물의 比重을 1.0, 貨物油의 比重을 0.95 로 假定하고, 甲板荷重을 112.5 kg/cm(3m水頭)로 잡고, Fig. 7에 보인 것과 같은 4가지 荷重狀態를 考察하였다.

- 1) 中央과 兩舷 탱크에 貨物油가 채워진 狀態(Fig. 7(a)).
- 2) 中央 탱크에만 貨物油가 채워진 狀態(Fig. 7(b)).
- 3) 兩舷 탱크에만 貨物油가 채워진 狀態(Fig. 7(c)).
- 4) 中央과 兩舷 탱크가 모두 비어 있는 狀態(Fig. 7(d)).

이들 4가지 狀態는 左右對稱의이고, 貨物의 變動은 한 橫區劃에 局限되는 것으로 假定하며, 따라서 이들 狀態에서의 水線은 모두 滿載吃水線과 一致하고 傾斜는 없다고 생각하였다.

이 計算의 前半部인 樞대 解析에서는 IBM 1130

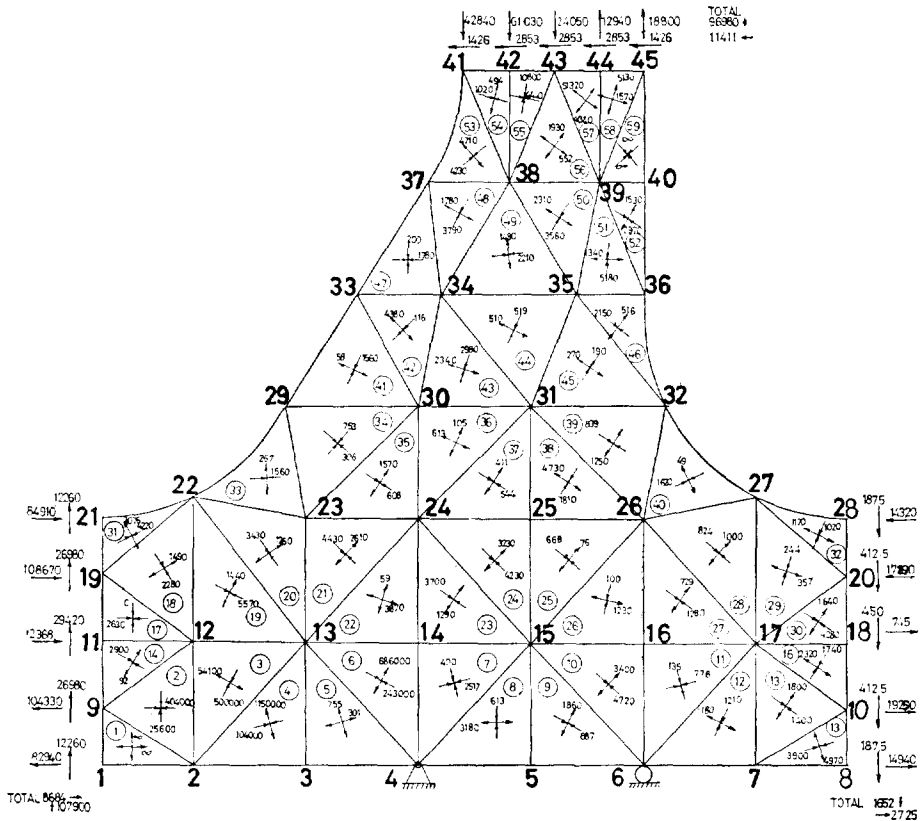


Fig. 8. Free body showing division and Principal stresses

Table 1. Member Forces under 4 Loading Conditions (unit: Forces in kg, Moments in kg-cm)

Member	Joint	Loading 1			Loading 2		
		Axial Force	Shear Force	Bending Moment	Axial Force	Shear Force	Bending Moment
1	1	8,680	113,000	29,330,000	-34,610	-13,240	-7,100,000
	2	-8,680	-102,700	6,904,000	34,610	23,490	928,700
2	2	-2,729	6,531	-2,068,000	29,740	-75,800	-8,192,000
	3	2,729	7,316	1,890,000	-29,740	-36,570	-713,300
3	2	96,190	-11,410	-4,836,000	52,310	64,350	7,263,000
	4	-96,190	11,410	384,900	-52,310	16,970	214,000
4	3	-7,314	2,729	-1,890,000	36,570	-29,740	713,000
	5	7,314	10,580	450,500	-36,570	-38,270	2,803,000
5	4	-2,854	10,290	2,381,000	44,050	-7,930	-1,705,000
	5	2,854	-10,290	2,291,000	-44,050	7,930	-1,895,000
6	4	85,900	-14,270	-2,766,000	60,240	27,090	1,491,000
	7	-85,900	14,270	-2,799,000	-60,240	20	2,025,000
7	5	2,975	-7,725	-2,741,000	28,640	-5,785	-908,000
	8	-2,975	21,160	-3,219,000	-28,640	-7,883	2,752,000
8	6	-35,430	0	-2,124,000	7,863	0	-2,981,000
	7	35,430	37,800	-4,227,000	-7,863	37,800	-3,370,000
9	7	-21,160	48,100	7,025,000	7,883	22,440	1,345,000
	8	21,160	2,974	3,219,000	-7,883	28,640	-2,752,000
Member	Joint	Loading 3			Loading 4		
		Axial Force	Shear Force	Bending Moment	Axial Force	Shear Force	Bending Moment
1	1	79,590	19,560	14,330,000	36,300	-106,600	-21,100,000
	2	-79,590	-102,700	6,212,000	-36,300	23,490	237,200
2	2	9,694	20,920	2,573,000	42,160	-61,400	-3,551,000
	3	-9,694	-7,078	3,783,000	-42,160	-50,960	1,180,000
3	2	81,800	-69,900	-8,785,000	37,900	5,864	3,314,000
	4	-81,800	-11,420	-856,400	-37,900	-5,864	-1,027,000
4	3	7,078	-9,695	-3,783,000	50,960	-42,160	-1,180,000
	5	-7,078	23,000	-2,501,000	-50,960	-25,840	-148,400
5	4	-30,830	7,314	1,637,000	16,070	-10,910	-2,449,000
	5	30,830	-7,314	1,684,000	-16,070	10,910	-2,502,000
6	4	74,480	-19,420	-780,300	48,820	21,940	3,477,000
	7	-74,480	-7,688	254,900	-48,820	-21,940	5,079,000
7	5	14,390	7,830	817,100	40,050	9,770	2,650,000
	8	-14,390	5,606	-710,100	-40,050	-23,440	5,261,000
8	6	2,082	0	-1,745,000	45,380	0	-2,602,000
	7	-2,082	37,800	-4,605,000	-45,380	37,800	-3,748,000
9	7	-5,606	36,680	4,350,000	23,440	11,020	-1,330,000
	8	5,606	14,390	710,100	-23,440	40,050	-5,261,000

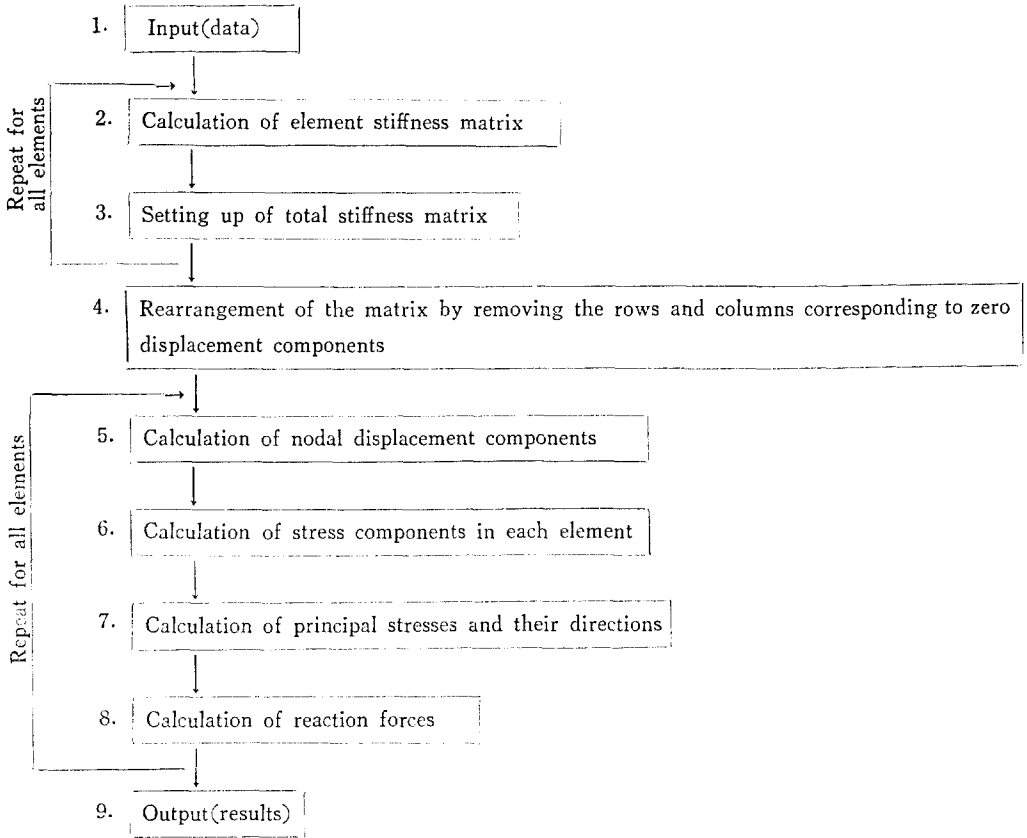


Fig. 9. Order of Computaton

STRESS를 利用하였고[6], 그것으로부터 얻어진 結果는 Table 1과 같다.

이 計算의 後半部는 應力分布를 알고자 하는 區域을 分離하여 解析하는 것이며, Fig. 8은 Fig. 6에 보인 節點 2 近處에서의 應力分布를 計算한 例를 보여 준다. 여기서는 그 區域 안에 45個의 節點을 設定함으로써 그것을 59個의 三角形要素들로 分割하였고, 3個의 境界面을 通하여 傳達되던 힘과 모우먼트들을 上記 べき대解析結果를 利用하여 決定한 뒤에 各各의 境界面上의 5個의 節點들에 걸리는 集中荷重들로 置換하였다. 또한, 그 自由物體의 剛體運動을 拘束하기 위하여 節點 4와 6에 假想的인 支點을 마련하였다. 이 計算을 遂行하기 위한 프로그램은 大略 Fig. 9에 보인 것과 같은 順序에 따라 編成하였다. 이 프로그램은 各 三角形要素 안에서 主應力과 그 方向을 決定해준다. Fig. 8에 보인 三角形要素 속에 그려진 화살표와 數字들은 이 計算結果로부터 얻어진 것이다.

4. 結論 및 考察

Fig. 8에 주어진 結果를 살펴보면 假想集中荷重을 傳達하는 節點을 가진 要素들에서는 非現實인 큰 應力值가 나타나고 있으나 그 밖의 區域에서는 大體로 合理的인 應力分布를 보여주고 있다. 이와 같은 結果는 小型電子計算機(IBM 1130)를 使用할 것을 前提로 하여 編成된 프로그램에 依해 計算된 것이며, 그런 目的下에 前半部에서 Web Frame을 べき대構造로 理想化하였고 後半部에서는 比較的 少數의 要素를 使用한 것이므로 어느 程度 거칠은 近似解가 얻어졌을 것으로 期待된다. 이와 같은 近似解의 實用價値에 對해서는 實驗인 뒷받침이 있어야 하겠으나, 이 Web Frame이 船級協會의 構造規則에 맞추어 設計된 것이더 이 計算에서 얻어진 應力值들이 大體로 合理的인 範圍안에 있는 것으로 미루어 本文에서의 解析方式은 初期設計 또는 構造檢討의 目的에는 使用할 수 있을 것으로 期待된다. 한편, 여기서 分割要

素의 數를 增加시키면 그 解가 좀더 精密해질 것으로 期待되지만, 그 數를 너무 늘이는 것은 이 方式의 前半部에서의 理想化 때문에 無意味하고 또한 計算機의 容量 때문에 制約을 받을 것이다.

後 記

本研究는 71年度 文敎部 學術研究助成費의 도움으로 이루어졌고, 數值計算은 서울大學校 工科大學 電子計算所의 IBM 1130에 依해 遂行되었다. 이 일을 도와주신 關係當局과 計算所 要員들에게 깊은 感謝를 드리는 바이다.

參 考 文 獻

- (1) I. M. Yuille and L. B. Wilson; "Transverse Strength of Single Hulled Ships," Trans. R.I. N.A. Vol.102, 1960.
- (2) 吉識雅夫, 川井忠彦, 吉村信敏, "マトリックス法による船體構造解析に關する研究(I), (II)," 日本造船協會論文集 第120號, 第121號, 1966, 1967.
- (3) M. Mori, S. Izuchi, K. Funaoka, T. Ohyama; "On the Transverse Strength of Oil Tankers," 日本造船協會論文集 第121號, 1967.
- (4) O.C. Zienkiewicz and Y.K. Cheung; "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics," McGraw-Hill Book Co., 1970.
- (5) 三本木茂夫, 吉村信敏; "有限要素法による構造解析プログラム", コンピュータによる構造工學講座 I-1-B, 日本構造協會, 培風館, 1971.
- (6) IBM Application Program; "Structural Engineering System Solver(STRESS) for the IBM 1130(1130-EC-03X) Version 2, User's Manual", 1968.