

해양固定構造物에 대한 電算設計 시스템의 開發

이용재 · 김성득 · 심명필

토 목 공 학 과

(1980, 11, 17 접수)

<요 약>

이 논문에서는 해양고정구조물의 설계를 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

이 설계 시스템은 구조물 특성 프로그램, 파력계산 프로그램, 구조해석 프로그램, 펀칭전단 프로그램, 기초해석 프로그램의 다섯부분으로 되어있다.

이 프로그램은 모든 해석을 연속적으로 할 수 있다는 점에서 SAPIV 및 STRESS등의 일반 프로그램과 다르다.

A Development of Computer Aided Design System of Fixed Offshore Structures

Y. J. Lee · S. D. Kim · M. P. Shim

Dept. of Civil Engineering

(Received November 17, 1980)

<Abstract>

This paper develops computer programs for the design of fixed offshore structures.

The design system consists of five small programs; structural file generation program(SFG), wave force analysis program(WFA), space frame analysis program(SFA), punching shear analysis program(PSA), foundation analysis program(FAP).

This system is different from SAPIV, STRESS, etc. in that all analysis can be alone continuously.

I. 서 론

석유를 비롯한 해양광물자원의 개발에 필요한 해양고정구조물(fixed off-shore structure)의 설계기술은 대륙붕개발을 눈앞에 두고 있는 우리에게는 절대 필요한 문제가 아닐 수 없다. 본 연구는 이러한 해양 고정구조물 중에서도 석유개발에 많이 쓰이는 강구조 플랫폼(steel platform)의 설계를 전산화하여 체계적인 전산 설계 시스템을 개발하는데 목적이 있다.

해양구조물의 설계에 이러한 전산설계 시스템을 사용함으로써 계산의 정도를 높이고 시간을 단축할 수 있으며 특히 위상에 따라 변하는 파력의 계산은 복잡한 구조물인 경우 computer program에 의하지 않고는 거의 불가능하다.

구조해석을 위해서는 SAPIV, STRESS 등 일반 구조해석 프로그램을 사용할 수도 있으나 파력계산 프로그램과 연결되지 않을 경우 실용적이지 아니다.

기초파일의 해석은 지반의 상태가 비선형일 경우 그 계산이 매우 복잡해지며 이것도 computer program에 의해서만 계산이 가능하게 된다.

본 program에서는 이러한 파력계산, 구조해석, pile 해석을 통합하여 연속적으로 계산이 가능하도록 되어 있으며 동역학적해석, 피로해석 및 부재설계는 다음 기회로 미룬다.

II. 시스템 개요

본해양고정구조물 설계시스템(OFDS; Offshore Fixed-Platform Design System)은 그림 1에서와

같이 구조물 특성 프로그램(SFG; Structural File Generation), 파력계산 프로그램(WFA; Wave Force Analysis) 구조해석 프로그램(SFA; Space Frame Analysis), 펀칭전단 프로그램(PSA; Punching Shear Analysis), 기초해석 프로그램(Foundation Analysis Program)의 5개로 되어 있다.

SFG는 카드만에 의해 입력되며 FILE 1(Nodal Point Data File), File 2(Material Property Data File), File 3(Section Property Data File), File 4(Member Define File)를 만든다.

WFA는 File 1,2,3,4와 카드로 input 되며 파력을 계산하여 File 7에 저장하고 또 print 한다.

SFA는 File 1,2,3,4,7과 카드로 input 되며 삼차원 타넨을 해석하여 File 5(Displacement Data File), File 6(Wave Load Data File)에 저장하고 또 print 한다.

PSA는 File 1,2,3,4,6에 의해 input 되며 펀칭전단을 해석한다. FAP는 SFA에 의해 print된 결과가 카드로 input 되어 기초해석을 한다.

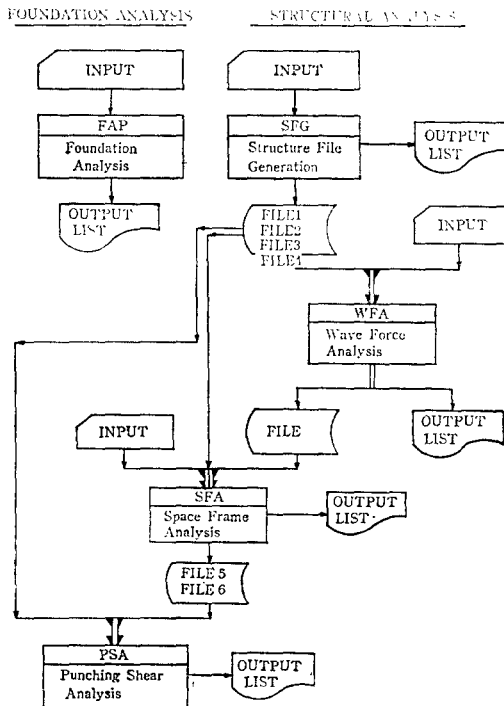


그림 1. 海洋固定構造物 設計 시스템(Offshore Fixed-platform Design System: OFDS)

III. 프로그램의 해설

1. 구조물특성 프로그램(SFG)

본 프로그램은 파력계산, 구조해석, 펀칭전단, 피로해석 등의 프로그램에서 공동으로 사용되는 File을 만들고, 또 만들어진 File을 읽어서 print 하는 기능을 가지고 있다.

그림 2에서 나타난 바와 같이 nodal point, material property, section property, member define 카드를 읽어들이 File 1,2,3,4를 만들고 필요에 따라 이것을 다시 읽어서 카드로 input 된 내용을 그대로 print 한다.

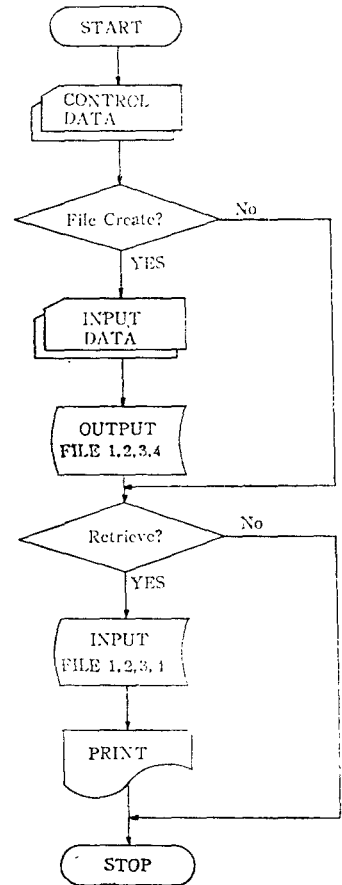


그림 2. SFG 프로그램 Flow Chart

2. 파력계산 프로그램(WFA)

1) 프로그램의 구성

File 1,2,3,4와 카드로부터 입력을 받아 Airy

wave, Solitary Wave, Stoke's 5th order wave 중 지정된 파 이론에 따라 속도 및 가속도를 계산하고 각각의 위상에 대한 파력을 Morison 공식에 의해 계산하여 그중 최대파력이 작용하는 위상을 선택하고 선택된 위상에 대한 각부재의 파력을 print함과 동시에 File 7에 저장하여 후에 구조 계산에 사용할 수 있도록 하여 WFA의 Flow Chart는 그림 3에 나타냈다. 다음에 Morison 공식에 의해 파력을 계산하는 방법을 더 자세히 설명한다.

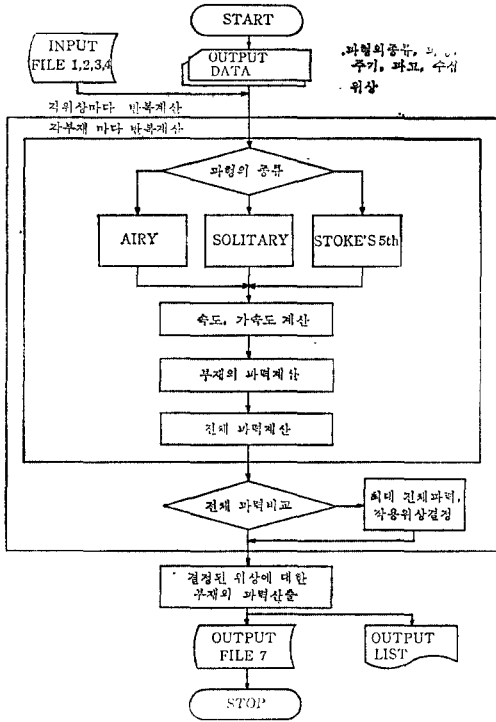


그림 3. WFA 프로그램 Flow Chart

2) 가정 및 계산방법

- ① 파력계산에는 Morison 공식을 적용한다.
- ② 입자속도 및 가속도는 각파의 이론에 의한다.
- ③ 부재에 작용하는 파력은 부재양단에서의 파력을 직선으로 연결한 사다리꼴 분포로 가정하여 계산한다.
- ④ 경사진 부재의 경우 수직방향의 항력 및 질량력은 무시한다.
- ⑤ 조류(current)의 영향은 따로 생각하기로 하고 여기서는 생략한다.

3) Morison 공식

이 공식은 파장에 비해 부재의 단면치수가 비교

적 작은 부재의 파력을 계산하는 공식으로 강구조 Jacket의 경우 일반적으로 이식이 적용된다.

파력은 물체 표면의 마찰저항과 물체전후의 압력 차에 기인하는 항력과 물입자의 곡부적 가속도에 의해 생기는 질量力의 합으로 표시되며 다음과 같다.

$$F = F_D + F_I = C_D \frac{w}{2g} U |U| A + C_M \frac{w}{g} \frac{du}{dt} B$$

F: 부재의 단위길이에 작용하는 파력

F_D: " " " 항력

F_I: " " " 질量力

C_D: 항력계수(drag coefficient)

C_M: 질량력계수(mass coefficient)

w: 해수의 단위 무게

(1,025×10³kg/m³ 또는 63.991lb/ft³)

g: 중력가속도(9.806m/sec² 또는 32.17ft/sec²)

A: 부재의 흐름방향의 투영면적(pile 직경×1)

U: 해수입자의 수평방향의 운동속도

du/dt " " 운동가속도

B: 부재의 단위길이 제곱 ($\frac{\pi D^2}{4} \times 1$)

4) 波이론(wave Theory)

파력계산에 쓰이는 파이론은 일반적으로 미소진폭파(airy wave), 고립파(solitary wave), stoke의 제5순사파(stoke's 5th order wave)의 세가지가 쓰인다.

본 논문에서는 파형의 종류에 따라 조건에 맞는 이론을 선정한다.

5) 파의 진행방향(Direction of wave travel)

구조물의 좌표축을 y축을 기준으로 회전시켜 줌으로서 구조물의 x-z 평면상의 어느 방향이든지 波의 진행방향을 고려할 수 있다.

x: 파의 진행방향

y: 중력의 방향

z: x-y축에 직각방향

6) Tide와 Current의 진행방향(Direction of tides and Currents)

Tide와 Current는 고려되어 있지 않으므로 진행 방향은 추후로 생각해 보기로 한다.

7) 位相(wave phase)

構造物에 작용하는 파력은 위상에 따라 다르게 된다. 따라서 최대파력을 주는 위상을 결정하는 것이 중요하다. 즉 전체의 위상(360°)를 m 등분하고 n번째의 위상에 대해 파력을 계산하여 이 파력에

의한 합력을 다른 위상에 대한 합력과 비교하여 최대가 될 때 이위상을 기준으로 하고 이때의 파력을 설계파력으로 한다.

8) Drag & Mass Coefficient

drag coefficient C_D 와 mass coefficient C_M 은 입력으로서 처리한다.

3. 구조해석 프로그램(SFA)

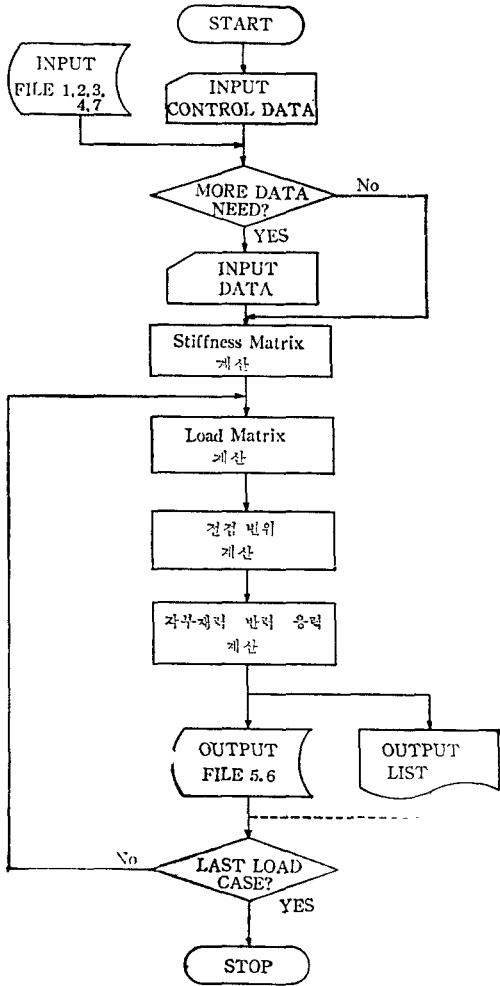


그림 4. SFA 프로그램 Flow Chart

SAPIV 등의 일반 program과 마찬가지로의 3차원 판조해석 program을 변위법을 이용하여 개발하였다. 여기에서는 전단변형의 영향이 고려되어 있고 지점의 처짐과 탄성지점의 경우도 계산이 가능하도록 되어 있다. SFG에서 만들어진 File 1,2,3,4와

WFA에서 만들어진 File 7의 하중, 기타 필요한 데이터를 입력으로 하여 구조해석을 수행하여 변위 및 단면력을 계산하고 AISC의 규정에 따라 interaction ratio를 계산하여 구조물의 안전여부를 조사하고 그 결과는 File 5,6에 저장한다. SFA의 Flow Chart는 그림 4에 도시했다.

4. 펀칭전단 프로그램(PSA)

부재의 연결부에 대한 펀칭전단응력을 계산하여 안전도를 검사하는 것은 대형파이프를 사용하는 해양 Jacket에서는 중요한 일이다.

본 프로그램에서는 미국뿐만 아니라 세계적으로 일반적으로 사용되는 API RP-2A의 규정에 따라 펀칭전단응력 V_p 와 허용전단응력 V_{ps} 를 계산하여 그 비에 의해 IR(interaction ratio)를 계산하여 안전도를 검사한다. 그림 5는 PSA의 Flow Chart이

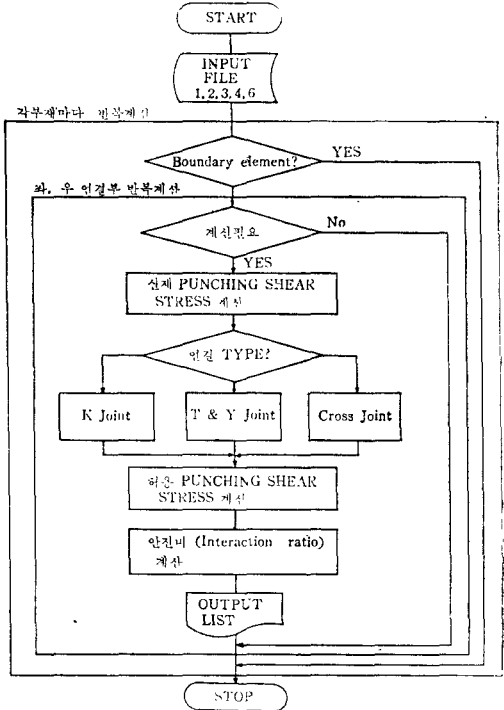


그림 5. PSA 프로그램 Flow Chart

고, 입력 데이터는 File 1,2,3,4,6만에 의하며 다른 입력 카드는 필요없다. 연결부의 모양에 따라 K, T&Y, Cross 결점에 사용할 수 있다.

5. 기초해석 프로그램(FAP)

유한요소법을 사용하여 Bowles⁽¹¹⁾가 개발한 program을 수정 보완하여 해양구조물 해석에 적합하

도록 program을 개발하였다.

이 program은 다음과 같은 경우에 적용할 수 있다.

- 1) 수직력, 수평력, 모멘트의 정하중을 받는 2차원 pile
- 2) 전질이 땅에 묻혔거나 일부만 묻힌 pile
- 3) 수평하중 및 모멘트 방향에 기울어진 pile
- 4) 번단면 pile
- 5) 강, 콘크리트, 나무 등의 재료로 된 pile
- 6) 마찰 pile 및 끝지지 pile

이외에 MKS, FPS 단위중 임의로 단위를 선택할 수 있으며 비선형의 성질을 가지는 흙에 대해서는 흙의 저항력 p 와 pile의 처짐 y 의 관계를 나타내는 $p-y$ 곡선으로부터 적합한 지반반력계수(modulus of

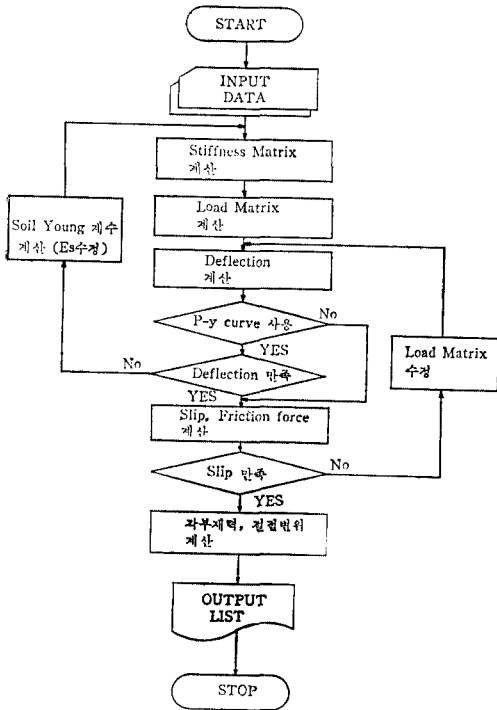


그림 6. FAP 프로그램 Flow Chart

subgrade reaction)를 구하여 흙의 비선형거동을 고려할 수 있게 하였다.

즉 general control data, soil control data, member data, load data를 카드로 입력하여 각절점의 변위, 각부재의 단면력과 응력을 계산한다. 그림 6은 FAP의 Flow Chart이다.

Ⅳ. 예 제

앞에서 편성한 program에 따라 예제를 풀어서 결과를 그림으로 그려보면 다음과 같다.

1) 구조물 치수

그림 7에서 도시한 바와 같이 구조물의 높이는 1층이 570cm, 2층까지가 1120cm, 3층까지의 구조물 전체 높이는 1520cm이다.

구조물의 전체폭은 제일 밑부분으로부터 각층에 따라 1000cm×1000cm, 900cm×900cm, 800cm×

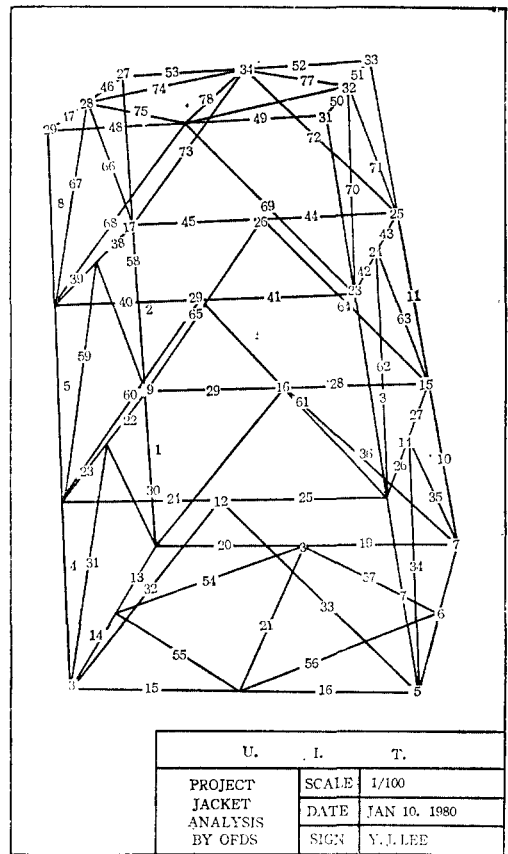


그림 7. Configuration

800cm, 720cm×720cm이다.

재질은 다리부분은 SM 50A($F_y=3300\text{kg/cm}^2$, $E=2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2$ $G=810\text{kg/cm}^2$)이고 그외 부분은 STK 41($F_y=2400\text{kg/cm}^2$, $E=2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2$, $G=8.1 \times 10^5\text{kg/cm}^2$)을 사용한다. pipe의 길이는 5m~7m이다. pipe의 단면은 5가지로 다음과 같다.

외경	70cm	40cm	31.8cm	21.6cm	16.5cm
두께	0.9cm	0.7cm	0.8cm	0.7cm	0.7cm
부재번호	다리 1~12	13~20	21~29	30~53	54~78

2) 파력계산

stoke의 5차근사파를 사용하여 파고 3m, 주기 5초 수심 14m인 파랑이 상기구조물(그림참조)에 미치는 파력을 각 부재에 대해 계산하였다.

이때 위상을 5가지 경우로 하여 0초, 1초, 2초, 3초, 4초인 경우에 계산하였으며 파의 진행방향에

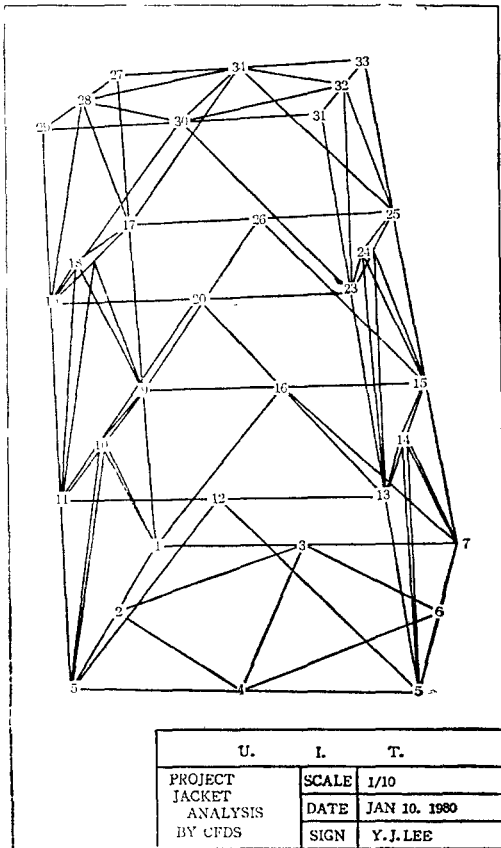


그림 8. Displacement

대해 구조물을 0°, 30°, 60°가 되도록 회전하여 각 경우에 대해 파력을 계산하였다. 그 결과 위상 4초 회전각 0°인 경우에 파력의 합력이 최대가 되었으며 이 경우의 파력을 File에 저장하여 구조해석에 사용하도록 하였다.

3) 구조해석

위의 파력을 계산하여 구조계산을 하여 변위와 응력에 대한 interaction ratio를 각각 그림 8.9에 나타냈다.

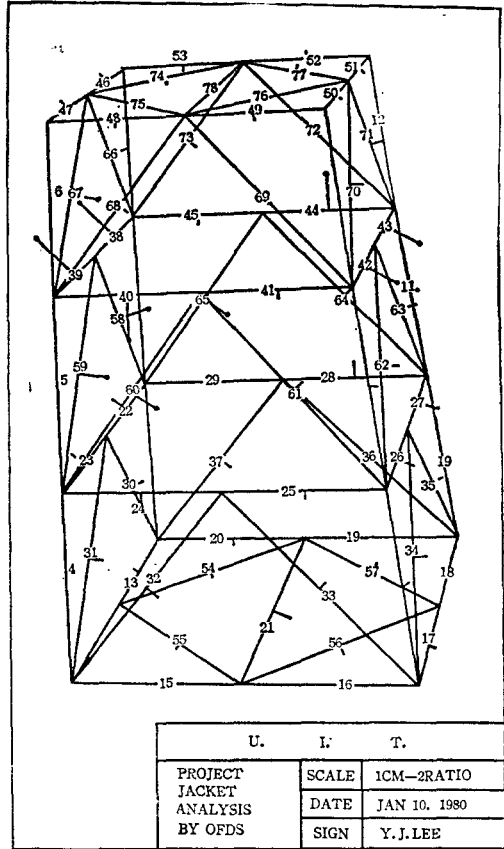


그림 9. Stress

참고문헌

1. 通商産業省, 運輸省; 洋洋開發技術ハンドブック 朝倉書店, 1975.
2. DET NORSKE VERITAS; RULES FOR THE DESIGN, CONSTRUCTION AND INSPECTION OF FIXED OFFSHORE STRUCTURES, 1974.
3. American Petroleum Institute; Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, Ninth Edition, 1977.

4. American Institute of Steel Construction; Manual of Steel Construction, 1970.
5. N.M. Newmark; Oceanographical Engineering, prentice-Hall, 1964.
6. Lars Skjelbreia; Fifth Order Gravity Wave Theory, proc., Seventh conf. on Coastal Eng., vol.1, Chap.10, 1961.
7. 長崎作治; 海洋構造物의 設計, 理工圖書, 1972.
8. 土木學會; 海上作業足場의 設計要領, 1976.
9. O.C. Zienkiewicz, R.W. Lewis; Numerical Methods in Offshore Engineering, Wiley, 1978.
10. Bowles, J.E.; Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, 1976.
11. Bowles, J.E.; Analytical and Computer Methods in Foundation Engineering, McGraw-Hill, 1974.