

◎ 論 文

SWATH선의 최종 횡굽힘강도 해석

박 치 모*

(1992년 7월 1일 접수)

Ultimate Transverse Bending Strength Analysis of a SWATH Ship

Park, Chi-Mo

Key Words : SWATH Ship(SWATH선), Ultimate Transverse Bending Moment(최종 횡굽힘 모우먼트), Shear Lag Effect(전단지체효과), Wide-Flange Beam(광폭 플랜지 보), Beam-Column Approach(보-기둥 법)

Abstract

The Calculation method which takes into account the shear lag effects on the ultimate transverse bending moment of a SWATH(Small Waterplane Area Twin Hull) ship has been developed.

In case of the ultimate bending strength analysis of conventional monohull ships and general box girder structures, the hypothesis that plane section remains plane after bending can be employed but not in the case of the structures having wide flange.

For the ultimate bending strength analysis of such structures, a new method which can take into account the effect of shear lag on the ultimate bending strength has been developed by adopting more reasonable assumption that warping distortion of the section takes place in the same way as the actual stress distribution.

Finally, the proposed method has been applied to a SWATH cross deck structure.

1. 서 론

SWATH선이 종래의 Monohull선이나 Catamaran선에 비해 거친 해상에서의 항해성능이 탁월하다는 것은 이미 잘 알려진 바이나 이제까지의

SWATH선에 관한 연구는 주로 운동성능 및 하중추정을 위한 유체동역학적 분야에 집중되어온 것이 사실이다. 따라서 본 연구는 SWATH선의 구조해석을 보다 실제적으로 수행하여 구조설계 방법의 개선을 도모함을 그 목표로 하고 있다.

SWATH선은 그 기하학적 형상이 종래의 Mono-

* 울산대학교 조선 및 해양공학과

hull선과 근본적으로 다르기 때문에 여러가지 면에서 전혀 새로운 해석법이 요구되는데, 특히 구조강도상의 측면에서 볼때 종래의 Monohull선의 구조설계가 주로 보이론에 근거한 선체 종강도 해석에 의존했던 것에 반해 SWATH선은 측면과 (Beam Sea)상에서의 횡굽힘강도에 취약한 기하학적 특성을 갖고 있어서 이것이 구조설계의 중요한 변수가 되고 있다. 특히 SWATH선의 중요한 단점 중의 하나가 같은 배수량을 갖는 Monohull선에 비해 중량이 크다는 사실임을 감안할 때 최소중량 설계를 위해서도 좀 더 정확한 최종강도해석이 요구된다고 하겠다.

이러한 점들을 고려할 때 SWATH 구조부분중 가장 큰 굽힘모우먼트를 받는 연결갑판구조(Cross Deck Structure)의 최종굽힘강도 해석은, 이제까지 많이 이루어진 Monohull선의 선체 중앙단면에서의 최종중굽힘해석^{1,2,3,4)}이나 일반적인 Box Girder의 최종굽힘강도 해석^{5,6)}에 대응하는 중요성을 갖는다고 볼 수 있다. 한편, 최근의 유한요소법을 이용한 SWATH선의 3차원 선형 응력해석 결과⁷⁾는 단순보이론(Simple Beam Theory)에 의한 응력해석 결과와는 달리 SWATH선의 Haunch부(연결갑판 구조와 Strut의 연결부)와 횡 격벽부에 응력집중현상(Stress Concentration)이 두드러진 불규칙적인 응력분포현상이 나타난다는 것을 밝힌 바 있다(Fig. 2 참조).⁷⁾

여기서 연결갑판구조의 횡 방향으로의 불규칙적인 응력분포 현상은 기하학적 형상에 기인한 응력집중 현상이고, 종 방향으로의 불규칙적인 응력분포 현상은 Shear Lag에 기인한 것으로 볼 수 있다(Fig. 3 참조). 종래의 Monohull선이나 일반적인 Box Girder의 최종 중굽힘강도 해석의 경우에는 이와같은 Shear Lag의 영향이 최종굽힘강도에 미치는 영향이 그다지 크지 않다는 판단하에 주로 이것을 무시하고 단순보이론에 의한 해석을 수행하여 왔으며, Dowling 등⁵⁾은 Box Girder에 대한 실험을 통해 Shear Lag가 Web 근처에서의 응력집중현상을 유발시켜 구조물의 영구변형이 시작되는 굽힘모우먼트 값을 상당히 떨어뜨려 Box Girder설계에 중요한 변수가 되는 것은 사실이나 최종굽힘모우먼트 자체에는 그다지 영향을 미치지 않는 것

으로 결론짓고 있다. 그러나 횡격벽의 간격이 큰 SWATH선의 경우 종래에 흔히 사용되어 오던 Box Girder나 Monohull선에 비해 횡격벽에 가까운 Flange 상에서 Shear Lag에 의한 응력집중현상이 현저하여 최종굽힘모우먼트 계산시 이와같은 현상이 반영되어야 한다는 필요성에 대한 인식이 최근 SWATH 구조연구자들에 의해 확산되고는 있으나 이것을 고려할만한 적절한 방안이나 계산결과가 아직까지는 발표되지 않은 실정이며, 현재 단순한 보이론에서 흔히 이용되는 “Euler-Bernoulli의 가정”(굽힘변형전 보의 중립축에 수직이던 평면은 변형후에도 평면은 유지한다)을 그대로 도입한 채 유효폭(Effective Breadth)개념을 이용하여 Flange의 실제폭을 유효폭으로 감소된 것으로 가정하여 계산하는 방안 정도가 영국 해군연구소(Admiralty Research Establishment)의 구조연구팀에 의해 시도 중에 있으나⁸⁾ 그다지 합리적이고 범용성 있는 방법으로 생각되지 않는다.

따라서 본 연구에서는 이와같은 “Euler-Bernoulli의 가정”으로부터 벗어나 Shear Lag에 의한 단면의 뒤틀림(Warping)현상을 그대로 반영시키는 새로운 계산법을 개발한 후, Box Girder에 적용하여 Parametric Study를 통해 Shear Lag가 보의 최종굽힘강도에 미치는 영향의 개략적인 특성을 밝히고 또한 DTNSRDC에서 설계한 SWATH-TAGX(Table 1, Fig. 1 참조)의 최종 횡굽힘모우먼트 계산에 적용하여 SWATH선의 최종굽힘강도에 대한 Shear Lag의 영향을 조사하였다.

2. 해석방법 및 가정

Smith⁹⁾에 의해 제안된 이후 일반적인 Box Girder의 최종굽힘모우먼트를 계산하는데 많이 사용되어 오고 있는 Beam-Column Approach^{2,3,4,6)}는 다음과 같이 단계별로 나누어 설명할 수 있다.

1) 해석하려는 단면을 판, 보강판 등의 여러개의 요소로 분할하고(Fig. 4, 5 참조) 모든 요소는 Frame 간격(SWATH선의 경우에는 Longitudinal Girder Space)만큼의 Span을 갖는 것으로 가정한다(Fig. 4, 5 참조).

2) 각각의 요소에 대해 평균 응력-변형도 관계를 구한다.

3) 단면의 곡률을 단계별로 증가시키면서 각 요소의 위치에 따른 축변형도 증분을 구한다.

4) 각 요소에 대해 응력-변형도 곡선의 기울기(접선 강성)를 이용하여 응력 증분을 구한다.

5) 매 증분단계 마다 수정되는 새로운 중립축에 대한 이들 응력 증분들의 일차 모우먼트들을 단면 전체에 걸쳐 적분하여 굽힘모우먼트 증분을 구하고 다시 이들을 누적시켜 단면의 곡률-굽힘 모우먼트 관계를 얻는다.

2-1. 요소들의 평균 응력-변형도(Load-End Shortening) 관계

2-1-1. 인장하중을 받는 요소

인장하중을 받는 모든 요소는 완전 탄소성(Elasto-plastic) 거동을 하는 것으로 가정한다.

2-1-2. 압축하중을 받는 Hard Corner 요소

Hard Corner 요소는 압축을 받는 경우에도 완전 탄소성 거동을 하는 것으로 가정한다.

2-1-3. 압축하중을 받는 판(Plate) 요소

각 판요소에 대한 평균 응력-변형도 관계를 유한요소법이나 유한차분법과 같은 수치해석법에 의해 계산하려면 많은 시간이 소모되므로 몇 개의 표준 정사각형 판에 대한 응력-변형도 관계를 미리 계산해 놓고 삼각법에 의해 해당 판요소의 응력-변형도 관계를 구하는 방법을 도입하였다.⁶⁾

2-1-4. 압축하중을 받는 보강판(Stiffened Plate) 요소

보강판의 평균 응력-변형도 관계를 얻기위해 일반적으로는 비선형 구조해석에 의존해 오고 있으나,^{2,3,6)} 본 연구에서는 계산 시간을 줄이기 위해 최종강도 이후의 영역에서의 응력-변형도 관계에 소성 힌지기구(Plastic Hinge Mechanism) 개념을 이용하는 단순화된 방법¹⁰⁾을 적용하였다. 전체적인 평균 응력-변형도 관계는 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 세 부분으로 이루어지는 것으로 가정된다.

1) 축변형도가 최종압축응력(Ultimate Compre-

ssive Stress) σ_u 에 대응되는 변형도 ϵ_u 이하일 때는 선형적으로 거동한다.

2) 축변형도가 ϵ_u 와 탄성좌굴응력 σ_{cr} 에 대응되는 변형도 ϵ_{cr} 사이에서는 응력값이 σ_u 로서 일정한 값을 갖는다.

3) 축변형도가 ϵ_{cr} 이후에서는 응력-변형도 관계로서 Plastic Hinge Mechanism[Fig. 7]에 의해 얻어지는 곡선 중 BC' 부분을 BC로 수평이동시켜 사용한다.

이상과 같이 가정하므로써 평균 응력-변형도 곡선 OABC가 구해지고 여기서 보강판의 최종강도(σ_u)는 Faulkner¹¹⁾에 의해 제안된 방법에 의해 계산하였다.

2-2. 단면내의 굽힘변형도 분포

단순한 보 이론에서는 “Euler-Bernoulli 가정” 하에 굽힘변형도(Bending Strain)는 중립축으로부터의 거리에 비례하여 Flange와 Web로 이루어지는 형태의 보의 경우 Flange상에서의 변형도 분포가 일정한 것으로 취급되고 있다.

즉, 곡률 증분($\Delta\phi$)에 의한 변형도 증분($\Delta\epsilon_{nom}$)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta\epsilon_{nom} = z \cdot \Delta\phi \dots\dots\dots (1)$$

여기서 z는 중립축으로부터의 거리이다.

그러나 순수굽힘 하에 놓여있는 보의 경우를 제외하고는 ‘Shear Lag’의 영향으로 Flange 상에 길이방향의 뒤틀림(Warping)이 발생하게 되고 Flange상의 굽힘변형도 분포는 Web와 만나는 점에서 최대값에 달하고 Web로부터 멀어짐에 따라 감소하는 불균일한 상태에 놓이게 된다.

이와 같은 Shear Lag 현상을 고려하면 변형도 증분은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta\epsilon = \Delta\epsilon_{nom} \cdot S = z \cdot \Delta\phi \cdot S \dots\dots\dots (2)$$

그러나 Wide-Flange 단면에서의 변형도분포는 보의 형상과 하중상태 등 여러가지 요인에 따라 복잡하게 변화하여 해석적인 방법으로 정확하게 추정하기는 거의 불가능한 상태이며,¹²⁾ 유한요소법 등의 수치해석법에 의해 결정할 수 있다.⁷⁾

2-3. 단면의 굽힘모우먼트-곡률 관계식

Hooke의 법칙에 따라 응력증분($\Delta\sigma$)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta\sigma = E^* \cdot \Delta\varepsilon = z \cdot E^* \cdot \Delta\phi \cdot S \dots\dots\dots (3)$$

여기서 E^* 는 단면을 이루는 각 요소의 응력-변형도 곡선의 기울기로부터 얻어지는 유효 접선 강성계수(Effective Tangential Modulus)이다.

한편, 굽힘모우먼트 증분 ΔM 은 단면의 중립축에 관한 응력증분들의 1차 모우먼트들의 합의 형태로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta M &= \int_A z \cdot \Delta\sigma \, dA \\ &= \int_A z^2 E^* \cdot S \, dA \cdot \Delta\phi \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

끝으로, 이들 증분값 ΔM , $\Delta\phi$ 을 누적시켜 나가면 굽힘 모우먼트-곡률 관계식이 얻어진다.

3. 수치계산 및 고찰

3-1. Box Girder ; Reckling's Model 23¹³⁾

먼저 Shear Lag에 의한 Flange 상에서의 응력 분포의 집중현상의 정도가 Box Girder의 최종 굽힘모우먼트에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Reckling's Model 23(Table 3, Fig. 4 참고)을 택하였으며, Flange 상에서의 응력분포를 Fig. 9와 같이 직선적으로 가정하여 Shear Lag Factor S를 다음과 같이 표현하였다.

$$S = p + qy \dots\dots\dots (5)$$

(5)식의 p, q와 늑골 간격을 여러가지로 변화시키며 최종 굽힘모우먼트 및 그에 대응되는 곡률값을 계산하여 Table 4와 Fig. 10에 수록하였다.

Table 4와 Fig. 10에 나타난 계산결과로부터 크게 다음과 같은 사실을 발견할 수 있다.

- 1) 일반적으로 늑골간격이 증가함에 따라 최종 굽힘모우먼트값은 감소하는데 그 감소정도는 Shear Lag가 클수록 심한 것으로 나타나고 있다.
- 2) 늑골간격이 작은 경우에는 Shear Lag에 의한 최종 굽힘모우먼트값의 변화가 거의 없으나 늑골

간격이 커질수록 Shear Lag에 의한 최종 굽힘모우먼트값의 감소현상이 두드러진다.

3) 전반적으로 Shear Lag 효과가 커질수록 최종 굽힘모우먼트에 대응되는 곡률값이 증가하는데 이 현상은 최종 굽힘모우먼트 값 자체의 감소현상과는 대조적으로 늑골간격이 증가함에 따라 약화되는 것으로 나타나고 있다.

3-2. SWATH-TAGX 연결갑판 구조 모델

Sikora 등⁷⁾은 유한요소법을 이용하여 횡굽힘하중 하에 있는 SWATH선의 응력해석을 수행한 결과, Fig. 2에 보인 바와 같이 갑판과 Strut에서의 응력 분포상태를 얻어내어 다음과 같은 식으로 요약하였다.⁷⁾

$$\sigma = \sigma_{nom} A(mx^c + B) \dots\dots\dots (6)$$

여기서 σ_{nom} 은 단순 보이론에 의한 공칭응력이고 x는 무차원화된 가로방향 좌표, A, B, m, c는 Table 2에 나타난 바와 같다.

(6)식 내의 $A(mx^c + B)$ 에서 x를 고정시킨 것을 Shear Lag Factor S로 볼 수 있다.

본 연구에서는 SWATH-TAGX 연결갑판 구조의 횡굽힘강도해석을 수행하기 위해 응력집중현상과 Shear Lag 효과가 상대적으로 크게 나타나는, 종격벽에 인접한 부분의 종단면($x=1$)을 선택하여 Fig. 5와 같이 모델링하였으며 모델의 기하학적, 재료적 특성은 Table 5에 보인 바와 같다. 먼저 Box Girder의 경우와 마찬가지로 Flange(Main Deck와 Wet Deck) 상에서의 응력분포를 직선적으로 가정한 후 그 기울기를 변화시키며 계산하여 보았고, 그후 Sikora 등⁷⁾이 제안한 (6)식의 응력분포식을 이용하여 최종 횡굽힘모우먼트를 계산하여 이들 결과를 모두 Table 6에 수록하였다. Table 6의 계산결과를 살펴보면 Shear Lag 효과를 무시한 경우에도 M_u/M_p 값이 0.5 정도의 작은 값을 갖는 것으로 보아 압축을 받는 Main Deck 쪽의 부재치수가 너무 작거나 Longitudinal Girder의 간격이 너무 커서 좌굴강도에 취약한 것으로 평가된다.

Shear Lag로 인한 최종 굽힘모우먼트의 변화를 살펴보면 직선응력분포의 가정시 가장 응력집중이

심한 경우 21%의 감소를 보이고, Sikora 등[(6)식]의 응력분포 적용시에는 7%의 감소를 나타내고 있다. 한편, Table 4의 Box Girder에 대한 계산 결과와 비교해 보면 이 경우 Box Girder에서 늑골간격이 상당히 큰 경우에 해당하여 Shear Lag의 변화에 따르는 ϕ_u/ϕ_v 값의 변화가 미소함을 알 수 있다.

4. 결 론

Wide-Flange 보의 최종 굽힘모우먼트 계산시 Shear Lag 효과를 고려하는 방법을 개발하는데 새로운 개념을 도입하였다. 그것은 이제까지 많은 구조역학분야 연구자들이 굽힘변형전 평면은 변형 후에도 평면이라는 가정을 그대로 유지하면서 유효폭 개념을 도입했던 것과는 달리 실제의 응력분포상태를 그대로 적용시키는 한층 진보된 개념으로 생각된다. 이와 같이 개발된 방법으로 Box Girder 및 SWATH 연결갑판 구조에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 늑골간격이 클수록 Shear Lag 현상에 의한 최종 굽힘강도값의 감소가 큰 것으로 나타나 Shear Lag가 좀 더 신중히 고려되어야 할 것으로 판단된다.
- 2) Box Girder의 굽힘에 있어서 늑골간격이 작은 경우 Shear Lag 현상에 의해 최종 굽힘강도값 자체는 감소하지 않으나 소성에 의한 영구변형의 시작점이 낮아지고 같은 최종 강도값에 대응되는 폭률이 증가한다는 사실로 미루어 늑골간격이 작은 경우에도 Shear Lag Effect의 중요성은 경시될 수 없을 것으로 사료된다.
- 3) 보강판 요소의 평균 응력-변형도 관계를 구하는 단순화된 방법에 대해 좀 더 연구가 필요하다고 본다.
- 4) Shear Lag가 Box Girder 구조의 굽힘강도에 미치는 영향에 대한 일반적인 결론을 유도하기 위해 좀 더 많은 Parametric Study가 필요하다고 생각된다.

후 기

본 논문은 1990년도 교육부의 특성학과교수 해

외연수 지원에 따라 이루어진 연구결과임을 밝히며 교육부 당국에 깊은 사의를 표하는 바이다.

References

- 1) J.B. Caldwell, "Ultimate Longitudinal Strength", Tans. RINA, 1965
- 2) C.S. Smith, W.C. Kirwood, J.L. Mckeeman, "Evaluation of Ultimate Longitudinal Strength of a Ship's Hull", ARE Report No. AMTE(S)/R671, November, 1977
- 3) C.S. Smith and R.S. Dow, "Ultimate Strength of a Ship's Hull under Bi-axial Bending", ARE Report No. TR 86204, 1986
- 4) S.E. Rutherford and J.B. Caldwell, "Ultimate Longitudinal Strength of Ships: A Case Study", Proceedings SNAME Annual Meeting, San Francisco, California, October 31 - November 3, 1990
- 5) P.J. Dowling, F.M. Moolani and P.A. Frieze, "The Effect of Shear Lag on the Ultimate Strength of Box Girders", in Steel Plated Structures, ed. by Dowling, *et al.*, Crosby Lockwood Staples, London, 108-141., 1977
- 6) J.S. Lee, "Pre- and Post- Ultimate Behaviour Analysis and Derivation of Strength Model of Rectangular Box Girder", Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Univ. of Glasgow, NAOE-87-27, May 1987
- 7) J.P. Sikora and A.L. Dinsbacher, "SWATH Structure: Navy Research and Development Applications", Marine Technology, Vol. 27, No. 4, July 1990
- 8) A.G. Stirling, G.L. Jones and J.D. Clarke, "Development of a SWATH Structural Design Procedure for Royal Navy Vessels", Int. Conf. on SWATH Ships and Advanced Multi-hull Vessels, paper 19, London, November 1988
- 9) C.S. Smith, "Influence of Local Compressive Failure on Ultimate Longitudinal Strength of a Ship's Hull", Proc. PRADS, A-10, Tokyo,

Japan(1977), pp. 73-79

- 10) 양 박달치, 이주성, “이중선각구조 선박의 최종 굽힘강도와 피로강도에 대한 안전성 평가”, 대한조선학회 논문집, 제29권 제1호, 1992
- 11) D. Faulkner, “A Riview of Effective Plating for Use in the Analysis of Stiffened Plating in Bending and Compression”, J. of Ship Research, Vol. 19, No. 1, 1975, pp. 1-17
- 12) O.F. Hughes, Ship Structural Design-A Rationally-Based, Computer-Aided, Optimization Approach, John Wiley & Sons, 1983
- 13) “Nonlinear Structural Response”, ISSC Report of Committee II.2, Paris, 1979

Table 1. Principal Dimensions for the SWATH-TAGX

Displacement Δ	4000.0 tons
Overall Length	282.0 ft
LBP	282.0 ft
Maximum Breadth	82.0 ft
Box Length	238.0 ft
Box Overall Breadth	48.0 ft
Box Height	11.0 ft
Box Clearance	12.0 ft
Depth to Weather Deck	44.5 ft
Draft at DWL	21.5 ft

Table 2. Design Algorithms for Stress Distribution. $\sigma_{nom}A(mx^c + B)$

Location \ Coeff.	A	B	C	m
Main Deck	0.83+2.80(b/s)	0.58-0.194y	2	0.41-0.625 \sqrt{y}
Wet Deck	1.83+6.114(b/s)	0.276-0.187y	2	0.716-0.754 $\sqrt[3]{y}$

b : Trans. BHD Space
 s : Breadth of SWATH Ship
 x : Normalized Trans. Variable which is 0 at center line and 1 at Long. BHD
 y : Normalized Long. Variable which is 0 at Trans. BHD and 1 at Midbay

Table 3. Details of Reckling's Model 23[13]

Breadth(B) : 600mm		Height(H) : 400.0mm		Transverse Space(L) : 500.0mm			
Properties	Plate			Stiffener			
	t mm	E N/mm ²	σ_y N/mm	Scantling mm	E N/mm ²	σ_y N/mm ²	Spacing mm
Compression Flange	2.5	210000	246.0	30.0×2.5× 20×2.5L	210000	246.0	85.7
Tension Flange	2.5	210000	246.0	30.0×2.5× 20×2.5L	210000	246.0	85.7
Web	2.5	210000	246.0	30.0×2.5 FLAT	210000	256.0	100

Table 4. Ultimate Bending Moment Values of Box Girder for Various Frame Spaces and Degrees of Shear Lag (M_u/M_p)

- Figures in Parentheses : ϕ_u/ϕ • ϕ_r : Curvature Corresponding to the First Yield
- Stress Distribution on Flange : $\sigma = \sigma_{nom} \cdot S$

Shear Lag(S) F/S(mm)	No Shear Lag	0.8+0.4y	0.6+0.8y	0.4+1.2y	0.2+1.6y	2y
	1.0					
100	0.896 (0.92)	0.906 (0.92)	0.915 (0.92)	0.923 (0.98)	0.898 (1.20)	0.889 (1.80)
300	0.878 (0.54)	0.853 (0.62)	0.847 (0.74)	0.845 (0.92)	0.816 (1.16)	0.796 (1.78)
500*	0.845 (0.52)	0.837 (0.54)	0.794 (0.72)	0.783 (0.88)	0.769 (0.98)	0.705 (1.72)
700	0.827 (0.52)	0.792 (0.54)	0.768 (0.72)	0.737 (0.82)	0.734 (0.94)	0.670 (1.66)
900	0.809 (0.52)	0.766 (0.48)	0.726 (0.54)	0.696 (0.56)	0.649 (0.58)	0.627 (0.60)
1100	0.734 (0.48)	0.729 (0.46)	0.668 (0.50)	0.619 (0.50)	0.601 (0.52)	0.576 (0.52)

* Frame Space of Reckling's Model 23 : 500mm

Table 5. Details of SWATH-TAGX Cross Deck Structure Model

Breadth(Trans. BHD Space)		26 ft					
Height of Cross Deck Structure		12 ft					
Frame Spacing(Long. Girder Space)		8 ft					
Properties Components	Plate			Stiffener(T-Section)			
	t in	E psi	σ_y psi	Scantling in	E psi	σ_y in	Spacing in
Compression Flange (Main Deck)	0.2813	29.6×10^6	34000	$3.95 \times 0.17 \times$ 3.94×0.204	29.6×10^6	34000	24
Tension Flange (Wet Deck)	0.3438	29.6×10^6	34000	$7.92 \times 0.272 \times$ 5.605×0.440	29.6×10^6	34000	24
Web (Trans. BHD)	0.2500	29.6×10^6	34000	$3.95 \times 0.17 \times$ 3.94×0.204	29.6×10^6	34000	24

Table 6. Ultimate Transverse Bending Moment Values of the SWATH-TAGX Model (Sagging Codition)

Shear Lag (S)	No Shear Lag	Linear Stress Distribution $S = p - qy$					Sikora's Distribution $A(m+B)$
		1.2-0.4y	1.4-0.8y	1.6-1.2y	1.8-1.6y	2.0-2.0y	
M_u/M_F	0.517	0.502	0.498	0.469	0.439	0.408	0.481
ϕ_u/ϕ_Y	0.90	0.82	0.82	0.80	0.86	1.06	0.99
$(M_u)_{SL}$	1.0	0.97	0.96	0.91	0.85	0.79	0.93
$(M_u)_{N.S.L.}$							

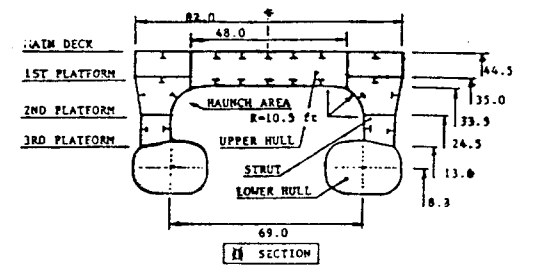
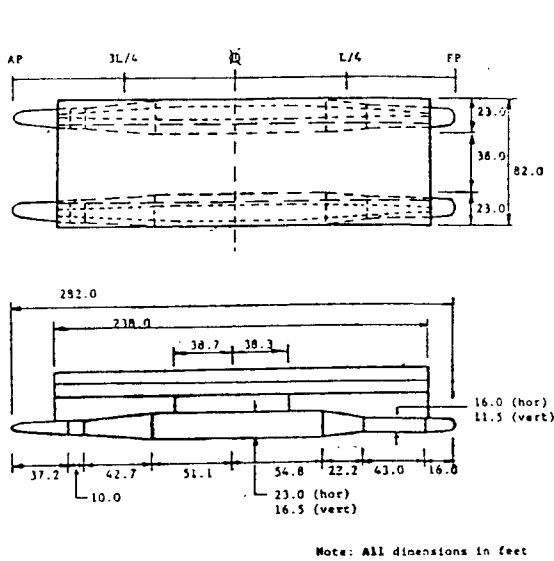


Fig. 1 Geometry and Principal Dimensions for the SWATH-TAGX

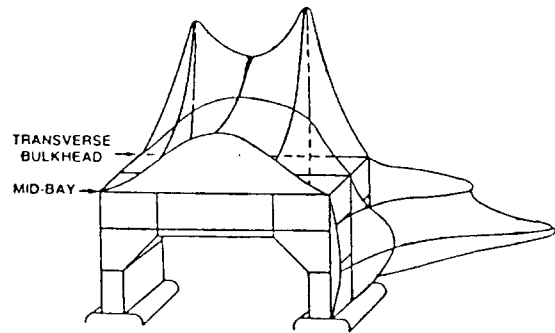


Fig. 2 Transverse Stress Distribution

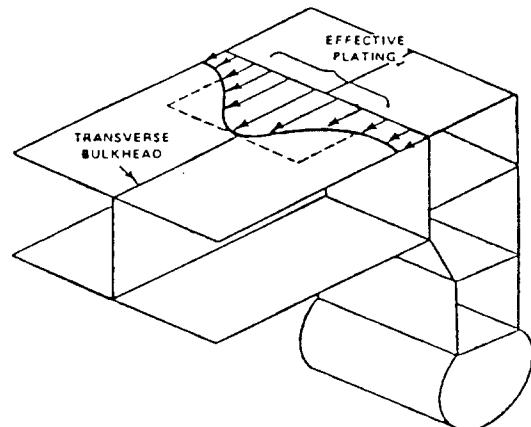


Fig. 3 Transverse Stress Profile due to Shear Lag on Main Deck at the Intersection of Main Deck and Long. BHD

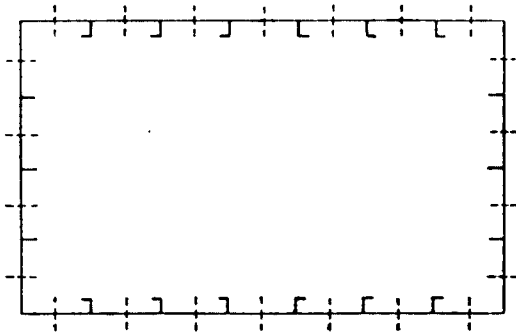


Fig. 4 Discretization of Model 23 Tested by Rec- kling

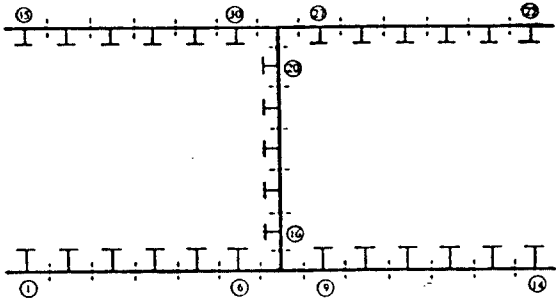


Fig. 5 Discretization of SWATH-TAGX Trans- verse Bending Strength Model

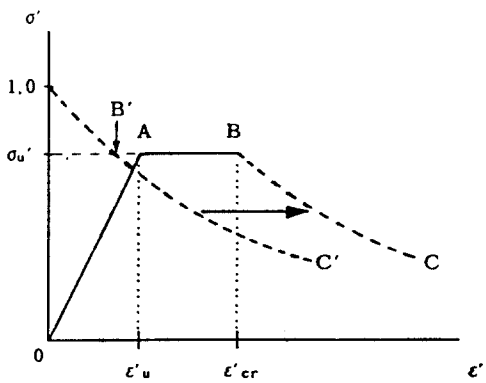


Fig. 6 Postulated Load-end Shortening Curve

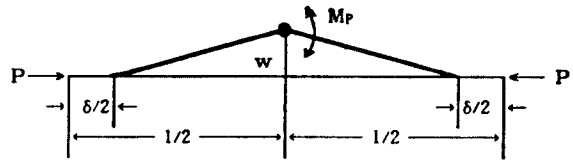


Fig. 7 Concept of Plastic Hinge Mechanism.

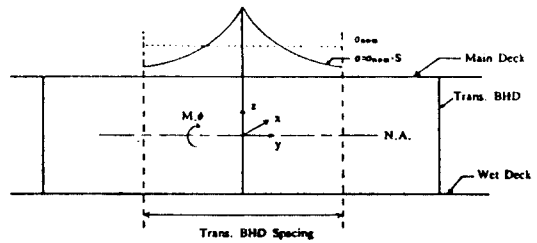


Fig. 8 Modelling for the Ultimate Transverse Be- nding Analysis and Coordinate System

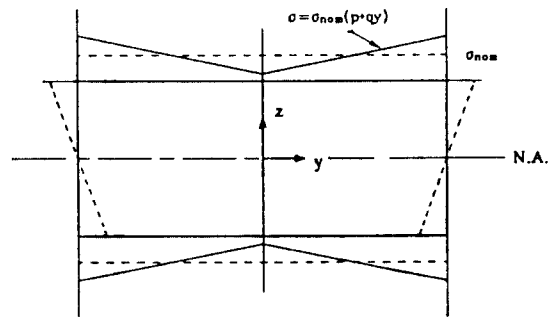


Fig. 9 Assumption for the Stress Distribution in the Box Girder Section

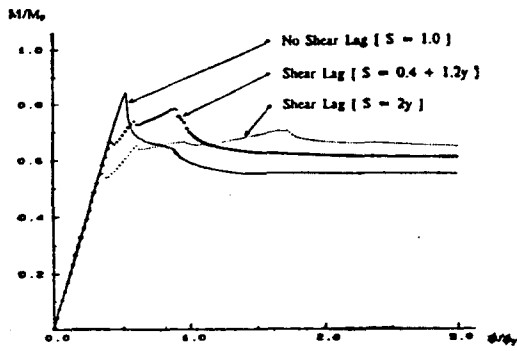


Fig. 10 Curvature-Bending Moment Curve for the Reckling's Box Girder Model 23

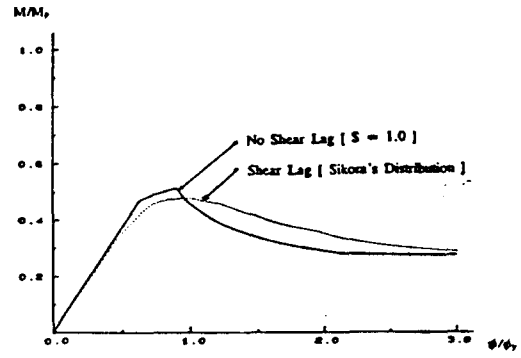


Fig. 11 Curvature-Bending Moment Curve for the SWATH-TAGX Model