

文献調査委員会

サンフランシスコ湾岸鉄道海底トンネル管理設工事

Civil Engineering/高崎 一郎

ライン河に架かる鋼橋

Der Stahlbau/梅本 尚孝

波の推算と実測

Proc. of A.S.C.E., WW/小森 修蔵

今後の港湾計画

Dock & Harbour Authority/大隈 正登

サンフランシスコ湾岸鉄道の  
海底トンネル管理設工事

"The Bart Trans-Bay Tube"

Murphy, G.J., Tanner, D.N.

Civil Engineering Vol. 36, No. 12

pp. 51~55, December (1966)

サンフランシスコ湾岸鉄道工事最大の山場である湾横断海底トンネル管の埋設工事が着手された(写真-1)。完成の暁にはこの種の海底トンネルとしては世界最長最深のものとなりオークランド、バークレー、リッチモンドを初めとする多数の衛星都市とサンフランシスコの下町を結ぶ大動脈となる。この動脈の必要性は1952年にこの地区の輸送計画に対する基礎調査が行なわれたときにすでに打ち出されているが、650億円の予算のもとに設計が開始されたのは1962年であった。海底部分の長さ6km余りというも画期的な数字であるが、全長にわたって縦横断的に屈曲し、しかも海面下45mまで下がるというのは鋼管を埋設するこの種の工事としては類がないものである。

線形は、海底の地形、岩の深さ、湾内の Yerba Buena 島およびベイブリッジの存在、シールド工法による両岸地下鉄線の接続等によって決まり、縦断勾配は最大3%、最小0.3%である。排気装置、電源等を収容する

写真-1

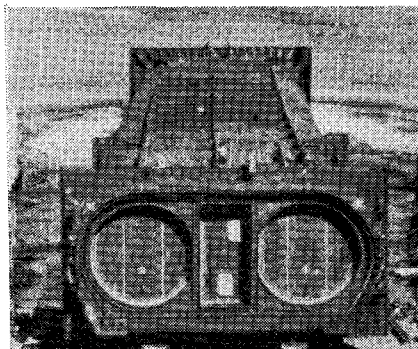
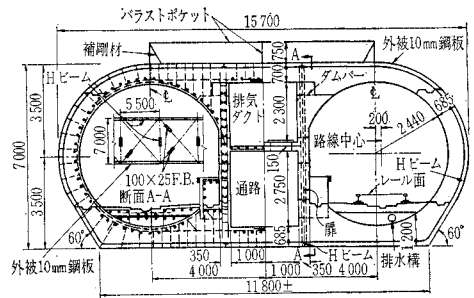


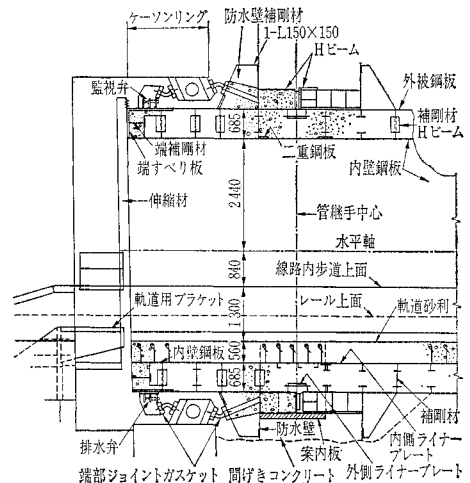
図-1 標準断面



両岸のビル間約6kmを57個のブロックに分けたが、内19個が縦断横断の曲線を有するブロックである。トンネルの断面は写真および図に見るとく眼鏡形をしていて、両車線の間には両岸の排気ポンプに続く排気管がとっており、車線との境には断面の座屈を防ぐ鉄骨のトラスが設けられている(図-1)。横幅15,700mm、高さ7,000mmの鉄筋コンクリート製で外側は10mm厚の鋼板で覆われており、1ブロックの最大長約120mである。工場製作されたブロックは、両端部を密封された後埋設地点の海上まで船で曳航される。海底までの沈下は、ブロック上部に設けられたポケットに約500tのバラストを積むことによって行なわれ、あらかじめ掘削された幅20mほどの溝の中に相隣るブロックとの間隔約60cmで設置される。両者の密着にはストローク約1mの50t水圧ジャッキ4台が用いられている。密着面には二重のゴムのガスケットが用いられ、両者の接触後ブロック端部を密封していたダイアフラムを撤去することにより水圧で両者はゴムを介して圧着される(図-2)。

さて、本トンネルの埋設されるサンフランシスコ湾岸地帯は、Hayward および San Andreas という二つの断層に挟まれた地震多発地帯である。とくに後者の地す

図-2 端部ジョイント



べりに起因する 1906 年のサンフランシスコ地震は、マグニチュード 8.3 を記録している。そのため地震による海底地盤の変位を吸収すべく各ブロック間および端部のジョイントは三軸方向の変位に対してフレキシブルに設計されている。構造の詳細は、例えば図-2のごとくである。変位許容量は、水平 2 方向に 10 cm、垂直方向に 5 cm であり、各方向単独の変位に対してはさらに 5 cm ほどの余裕を持っている。これら継手の設計に当っては、現寸模型によって十分その強度を検討した。また、管におよぼす地震の影響を推定するためには、海底の各地層の機械的挙動を調査する必要があり、ボーリング孔に地震計等を埋設して 1959 年以來の無数の小地震の記録が取られた。湾内は最下部のサンフランシスコ層と呼ばれる岩盤の上に硬粘土層、砂層、砂利層が載り、表面はいわゆる Bay Mud と称されるシルト質の粘土層で覆われている。結局トンネルは、全長にわたってこの粘土層の上に敷設されることになった。この層のせん断強度は表面で  $1 \text{ t/m}^2$ 、17 m ほどの深さで  $4 \sim 5 \text{ t/m}^2$  となっている。敷設された鋼管の上部は、砂利層、砂層、碎石層で覆われる。

設計に当たっての問題点には、上記のような純構造的な面に加えて、トンネル管の外被鋼板の腐食防止がある。何ら特別な対策を講じなかった場合でも、長年の間にはカルシューム化合物を始めとする堆積物で保護されるようになると思われるので、それまでの腐食分として 3 mm ほどの板厚増加を考えておけばよいはずであるが、このように構造が大規模である場合には 3 mm というのは無視できない値である。そこで種々の調査の結果、その間電気防食法を採用することになった。鋼材の表面での電流密度  $17 \text{ mA/m}^2$  で対地電位  $-0.8 \text{ V}$  を保っている。陽極はトンネル管より 80 m 余り離れた海底に 16 ヲ所埋設され、1 ヲ所に対して 250 A の整流器 1 台を設置し、合計電流 4000 A を流す予定である。

サンフランシスコ湾岸鉄道は、電車の運転はもちろんのこと改札作業をふくめて全てが自動化されることになっており、37 ヲ所の駅施設とともに 1970 年初頭には完成、営業開始の予定であるが、この計画にしたがうためには、海底トンネル鋼管の埋設作業の速度は 2 週間に 1 ブロックのペースを保持しなければならない。

(委員 高崎 一郎)

## ライン河に架る鋼橋

“Entwicklungstendenzen des Stahlbrückenbaus am Beispiel der Rheinbrücken Wiesbaden-Schierstein”  
Weitz, F.R.

Der Stahlbau 35 Jahrgang  
pp. 289~301 10 月号, (1966 年),  
pp. 357~365 12 月号, (1966 年)

西ドイツのピースバーデンとシエルシュタインの間のライン河に、全長約 1200 m の橋が 1962 年に完成した。そのライン河の水流部には幅員 25.50 m で中央径間が 205 m (現在世界第 4 位) の 3 径間連続鋼床版プレートガーダー橋 (85 m+205 m+85 m) が採用された。

橋の形式の撰択には、架設現場の条件や美観上の意見が大きく影響するが、橋の断面の決定は多くの場合、構造的な立場から決定される。戦後棒の力学から面の力学へと発展し、多くの箱桁橋が架設された。箱桁は断面が閉じているためねじり剛度が非常に大きいという特徴を持つが、本橋のように長スパンであり偏心荷重のない場合はその特徴が十分発揮できず、不経済となる。そこで本橋ではプレートガーダーが主桁として採用された。

その上鋼材を大幅に軽減するため最初の 3 本主桁案をあらため、2 本の主桁を 17.6 m の間隔に配置した。

プレートガーダー橋では、下フランジは 2 本の主桁に集中するわけであるが、最も経済的となるようその幅を 80 cm に決定された。しかし中央径間ではフランジ幅を 80 cm に制限するとその厚さが 37.5 cm にもなって継手部など構造的に困難が生ずるので 1.5 m に拡幅された (図-1)。

この部厚い下フランジは、圧縮域ではリベット締めされているが、引張域では必要数の締付ボルトをのぞきフランジ端部を溶接して多層のフランジを連結し、有効断面の減少をさせている。

鋼床版のデッキプレートの厚さの決定にはまだ確立された規準がなく、舗装をいためない点から最小 12 mm に制限されているが、さらに舗装技術の発展が望まれる。

鋼床版の縦リブと横リブの間には密接な関係があり、縦リブに大きな断面が用いられれば横リブ間隔は大きくなるし、この反対のこともいえる。鋼床版を設計するには、重量、材料費、加工性、特許料などを考慮し、縦リ

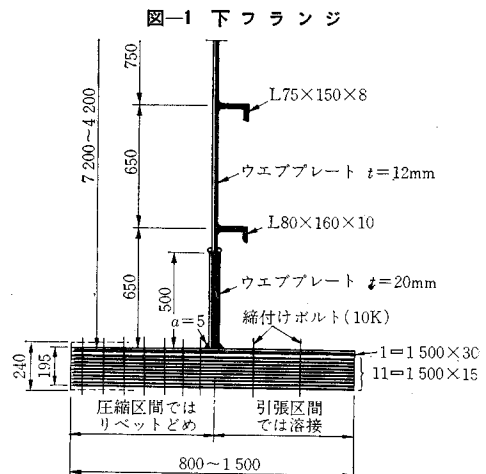


図-2 橋の構成

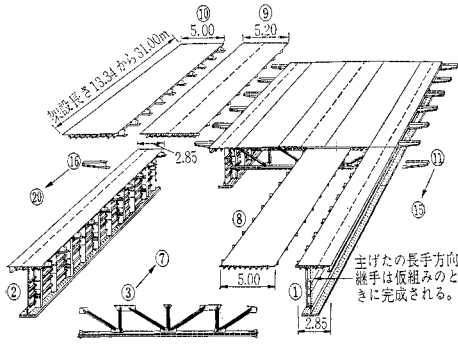
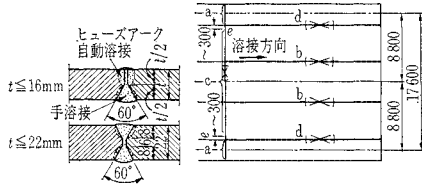


図-3 溶接 a から e までの施工



ブと横リブを最も経済的に配置しなければならない。実際には上記のほかにも力学的な考慮が必要である。ピースバーデン—シエルシュタイン橋ではこれらの事情を考え、縦リブには 6~9 mm の鋼板を V 型にプレスした高さ 312~362 mm の中空断面が採用され、純間隔 300 mm で配置された。V 断面リブは開断面リブに比べてねじれ剛性が大きいこと、デッキプレートとの隅肉溶接長が半分に減少することが特徴である。横リブは 3.0 m 間隔におかれ、17.6 m の主桁間にはトラス構造の縦桁が設置され鋼床版を支えている。

図-2 に示されているように、橋は輸送上、製作上、架設上からいくつかのブロックに分けられた。1つのブロックは長さが 31 m に、重さが 85 t に制限された。図中の数字は架設順序を示す。つぎに継手を説明する。主桁は長手方向ウェブが突合せ溶接され、デッキもなめらかな走行面を提供するために突合せ溶接が採用され、その縦リブは裏当て金を用いて溶接されている。その他、主桁のウェブと下フランジなどはすべてリベットあるいは高力ボルト接合が適用された。デッキプレートの溶接には図-3 に示すような開先が用いられた。溶接施工は最初デッキプレートの下から上向き手溶接で 2 層または 3 層の肉盛りが行なわれ、つぎにデッキ上面をヒューズアーク自動溶接法で 1 層またはそれ以上の肉盛りが行なわれた。この場合手溶接の際にまき込まれたスラグは自動溶接の施工時に浮上してくるので、ガウジングの必要がなく都合のよい方法である。図-3 の e 部約 300 mm の溶接は、溶接の収縮応力を減少させるため最後に溶接される部分である。

(委員 梅本 尚孝)

## 波の推算と実測

“Wave Hindcasts versus Recorded Waves”  
 Jacobs, S.J.  
 Proc. of A.S.C.E., WW Vol 92 No. 4,  
 pp. 17~33 November (1966)

### (1) はじめに

波高計等によって直接測定を行なわないで、ある場所での波の特性を知るには、通常スペクトル方法が適用されている。こういった方法の一つに Pierson Neumann James の方法 (P-N-J 法) があり、これまでくわしく研究されてきている。波の特性は一般には正確に知ることができない風速に影響をうけている。さらに吹送距離 (風が吹いている区間)、吹送時間 (風が吹き続けている時間) に左右される。

ここでは、合衆国ミシガン州の Muskegon にあるミシガン湖観測タワーで測定した観測値と風の条件より計算した推算値とを比較してみた。解析の対象とした波は、1964 年 8 月と 9 月のものである。

### (2) 波の推算方法

波の推算方法はつぎの仮定に基づいている。

- 1) 波形は場所的にも時間的にもくり返して現われることがなく、波形そのものは不確定である。
- 2) 任意の時刻に静水面から測った水面の高さは、平均値 0 を中心としてガウスの確率法則にしたがって分布する。
- 3) 観測時間内に外的条件が変わらない限り、波形は定常的である。

記録された不規則波形が乱雑な位相の正弦波の重合と考え、各成分波のエネルギー密度の分布を示すものをエネルギースペクトルといい、波の全エネルギーはスペクトルを周波数  $\omega$  について積分したものに比例する。

エネルギースペクトル  $A^2(\omega)$  は、相関関数  $C(t)$  とつぎの関係がある。

$$A^2(\omega) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\infty} C(t) \cos \omega t dt \dots\dots\dots (1)$$

$$C(t) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} A^2(\omega) \cos \omega t d\omega \dots\dots\dots (2)$$

また相関関数は

$$C(t) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} \zeta(t') \zeta(t'+t) dt' \dots\dots\dots (3)$$

ここに  $\zeta(t)$  は時刻  $t$  での海面高である。

全エネルギー  $E$  は、

$$E = \int_0^{\infty} A^2(\omega) d\omega = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{2}{\tau} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} \zeta^2(t) dt \dots\dots (4)$$

であり、またスペクトルのバンド幅がせまいと、統計的に求めた有義波高  $H_{1/3}$  とエネルギーは

$$H_{1/3} = 2.83 \sqrt{E} \dots\dots\dots (5)$$

の関係がある。

以上のことよりエネルギースペクトルが求めれば、波の統計的特性までわかることになる。ところがこれまでの議論にしたがえば、海の波形の実測がなければスペクトルは計算できない。そこで風の条件だけを知ってエネルギースペクトルを求めようとする考えが多くの人たちによって研究されてきた。その主なものとして、ここでは Neumann スペクトルと Pierson-Moskowitz のスペクトルをあげる。

Neumann によれば、十分発達したと考えられる海面では、エネルギースペクトル  $A^2(\omega)$  は

$$A^2(\omega) = (C/\omega^6) \exp[-2(g/\omega V)^2] \dots\dots\dots (6)$$

$V$ : 海上 7.5 m での風速,  $g$ : 重力加速度

$C$ :  $51.7 \text{ ft}^2 \text{ sec}^{-5}$

で表わされる。また Pierson-Moskowitz によれば

$$A^2(\omega) = 0.0162(g^2/\omega^5) \exp[-0.74(g/\omega U)^4] \dots\dots\dots (7)$$

$U$ : 海上 19.5 m での風速

となっている。式 (6), (7) とともに風速がわかればエネルギースペクトルが計算できることを示している。

ここで式 (4) について注意しておこう。エネルギースペクトルは十分発達した状態にある海面に適用できる考え方であって、風が止んでしまった状態では少しく様子が変わってくる。吹送距離を  $F$ , また風がやんでからの時間を  $t$  とすると、周期  $T$  の波の群速度は  $gT/4\pi$  であるから

$$F = \frac{gT}{4\pi} t \dots\dots\dots (8)$$

の関係があり、

$$T_u = \frac{4\pi F}{gt} \dots\dots\dots (9)$$

とすると、 $T_u$  より長い周期の波は  $t$  時間後には観測地点を通過してしまっていることになる。したがってこのような場合式 (4) の積分の下限は変わり

$$E = \int_{(2\pi/T_u)}^{\infty} A^2(\omega) d\omega \dots\dots\dots (10)$$

としなければならない。

### (3) ミシガン湖観測タワーでの波の推算

観測タワーは図-1 に示す位置にあり、この水深は 50 ft (15m) である。この深さでは周期が 13 sec 以下の波に対しては海底の影響はほとんど無視し得る。観測期間にはこれ以上の周期をもつ波はほとんど現われず、深海波として取り扱った。

風は 4 つの方法で測定が可能であった。

1) 観測タワーでの測定 (海面上 2, 4, 8, 16 m の高

さ)

2) 湖を航行する船の上での測定 (16~22 m の高さ)

3) 天気図を使って傾度風として算出

4) ミシガン湖岸の測候所での測定

波高は水圧式波高計で記録した。

観測は 1964 年 8 月と 9 月に行なったわけであるが、8

月の方がおだやかで波高が小さく、9 月に入って風が強くなり波も大きくなった。

### (4) 推算値と観測値との比較

結論を簡条書きにすればつぎのようである。

1) 推算値は Pierson-Moskowitz スペクトルの方が Neumann より大きくでてくる。観測値との一致は Neumann スペクトルの方がよい。

2) 波が小さいときはスペクトル方法はあまり適当でない。波が大きいときは比較的よい推算値を示す。波が小さい 8 月の 13 ケースの例では、Neumann スペクトルを使って出した推算値と観測値の比は 0.74 であり、波が大きい 9 月の 45 ケースではこの比が 0.94 となり、かなり一致度がよい。

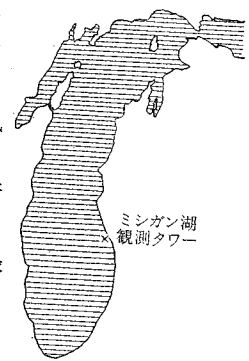
3) 波が小さいときはスペクトル方法で推算した値が観測値とかなり違うが、これはスペクトル方法が小さい波には不適當であるか、または水圧式波高計の記録のデータ処理上での誤差が原因であると考えられる。

表-1, 2 に Neumann スペクトル, Pierson-Moskowitz スペクトルを使って計算した推算値と観測値を示す。これをわかりやすくするため、図-2, 3 にプロットしたものを示す。推算値としてここでは一致度のよい

表-1 推算値と観測値の比較 (8 月)

日 時	推算値 (Neumann スペクトル)		推算値 (Pierson-Moskowitz スペクトル)		観測値	
	$H_{1/3}$ , in feet	$T_m$ , in seconds	$H_{1/3}$ , in feet	$T_m$ , in seconds	$H_{1/3}$ , in feet	$T_m$ , in seconds
2: 1926	3.2	5.7	4.7	6.0	1.6	4.2
3: 1136	1.8	4.4	3.1	4.1	1.7	4.2
3: 1636	2.6	5.2	4.1	5.6	1.7	3.6
5: 1406	1.4	3.0			2.0	3.6
7: 0726	3.2	5.7	4.1	5.6	2.2	4.6
7: 1736	3.8	6.1	4.7	6.0	1.7	4.6
8: 0740	5.4	7.1			2.9	4.6
8: 1930	2.4	4.0	2.4	4.0	1.6	5.0
9: 1130	1.1	3.8			1.4	6.2
9: 1630	0.6	2.9	1.4	3.3	1.4	5.6
10: 1330	3.2	5.7	4.1	5.6	1.9	3.8
10: 1530	3.2	5.7	4.1	5.6	2.0	4.2
10: 1950	3.0	5.7	4.0	5.6	1.7	5.0

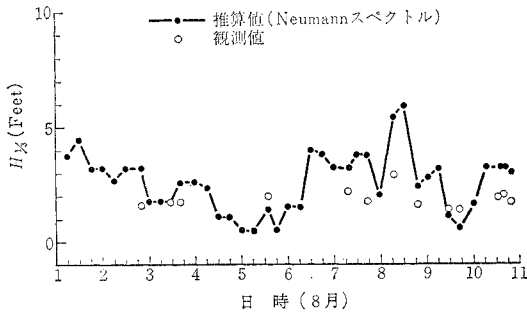
図-1 観測タワーの位置



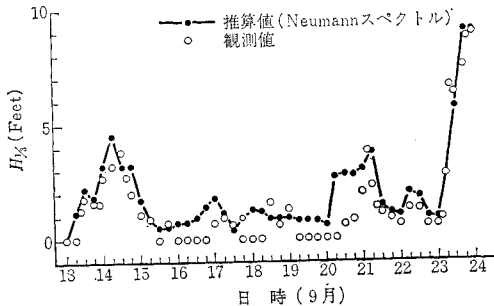
表一 推算値と観測値の比較 (9月)

日時	$H_{1/3}$ , in feet			日時	$H_{1/2}$ , in feet		
	Neumann スペクトル	Pierson- Moskowitz スペクトル	観測値		Neumann スペクトル	Pierson- Moskowitz スペクトル	観測値
13:0000	0	0	0	19:0600	0.8		0
13:0600	1.2	1.6	0	19:1200	0.8	1.5	0
13:0900			1.3	19:1800	0.8		0
13:1200	2.2	3.1	1.8	20:0000	0.6		0
13:1800	1.8	3.1	1.6	20:0600	2.7	3.6	0
13:2100			1.6	20:1200	2.8		0.6
14:0000	3.2	4.1	2.7	20:1800	2.8		0.8
14:0600	4.5	5.3	3.2	21:0000	3.0		2.0
14:1200	3.2	4.1	3.8	21:0300			3.8
14:1500			2.7	21:0600	3.8	4.7	2.3
14:1800	3.2	4.1	2.0	21:0900			1.4
15:0000	1.7	2.0	1.1	21:1200	1.4	2.2	1.1
15:0600	0.9	0.9	0.9	21:1800	1.1	1.6	0.9
15:1200	0.5		0	22:0000	1.0	1.5	0.6
15:1800	0.5		0.7	22:0600	2.0		1.3
16:0000	0.7		0	22:1200	1.8		1.3
16:0600	0.7		0	22:1800	0.9		0.6
16:1200	0.9		0	23:0000	0.9		0.6
16:1800	1.4	2.0	0	23:0300			0.9
17:0000	1.8	2.2	0.7	23:0600	2.8		2.8
17:0600	1.1	1.6	0.9	23:0900			6.6
17:1200	0.4	0.9	0.6	23:1200	5.7		6.3
17:1800	0.9		0	23:1800	9.0		7.5
18:0000	1.3		0	23:2100			8.7
18:0600	1.2		0	23:2330			8.9
18:1200	0.9		1.6	24:0000	9.0		
18:1800	0.9		0.6				
19:0000	0.9		1.3				

図一 Neumann スペクトルによる推算値と観測値の比較 (8月)



図二 Neumann スペクトルによる推算値と観測値の比較 (9月)



Neumann スペクトルのみでプロットした。黒丸を実線で結んだのが Neumann スペクトルよりの推算値であり白丸が観測値である。(委員 小森 修蔵)

## 今後の港湾計画

“Predictions for Port Planning”  
Bertlin, D.P.

Dock & Harbour Authority Vol. XLVII, No. 554  
pp. 257~260, December, (1966)

ロンドン港を通過する貨物は今一世紀の間に約 10 倍に増加し、世界の取引貨物は 1964 年に 10%、今年に 7% と増加し続けている。船舶においても、一世紀前は外航船舶といってもせいぜい 350 t に過ぎなかったのであるが、いまや 30 万 t 以上の巨大タンカーが建設されつつあり、それ以上の巨大船舶も話題にのぼっている現状である。また、荷役の新しい方式も急速に進歩している。このように、新しい港、および旧港の拡張等の計画は従来と規模の大幅に違うことは当然といえよう。

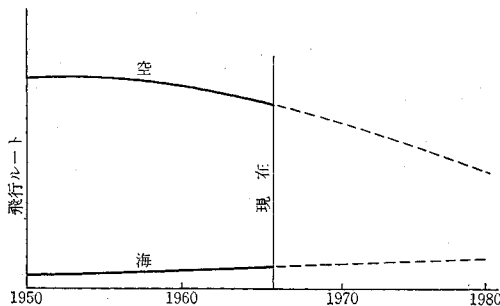
新しい港の拡張、開発が続々と進められる現状において、前述のような問題に対するさらに革新的なアプローチを進める時期にきているといえよう。このことは自然の良港の少ない、また資源の乏しい、現在開発されつつある国においてとくに重要である。本論文はこのような問題の持ついくつかの側面について述べる。

1) 近代的な港湾 現在進められている近代的な港湾の開発は非常に急速で、世界の繋船施設の大部分は過去一世紀の間に建設されたもので、質、量において着実に伸びている港湾貨物を十分取扱える設備を備えていると考えられる。埠頭は一般に建設費が小さく、また貨物が集まる水路、河口、自然港に発達しており、経済的な要請はしばしば一つの港を管理する強固な組織、因襲的な管理、商港として発展してきた港に対する軍事利用等の考慮により無視される近隣諸国との競争等の政治的な考慮は経済的な活動を阻害することになる。

2) 費用と利益 貨物の輸送にかかわる費用を最小にするために費用分析が必要である。もしある特定の港を経て目的地へ船送する費用と陸上輸送の費用の和が、他の港を通過した場合に比べて小さい場合、その目的地はその港の背後地内にあるといえる。背後地は貨物によって変わり、鉄道輸送が自動車輸送かまたは単に経済的な理由からのみ決まるものではない。普通、多くの専門的な配慮は特定の港、とくに深い水域に接している港における集中的なバラ荷荷役施設の得失に対しては行われる。また一般の雑貨を扱うような場合、最小の適当な港の規模があるといえるかも知れない。港にかかる費用は港の運営および労務費に加えて、港湾の償却、維持の費用ばかりでなく、船舶の沖待ちにとまらう費用をもふく

んでいる。しかし、港湾管理者は船舶の沖待ちにともなう費用を見込む必要がないために船舶の沖待ち問題が港の運営上重大な問題になるまで放置してきた。世界の港における重要な事実の一つは、港の過剰利用ということであり、船舶は時間を浪費することになる。特定の港における経済的なパース数は非常に重要な問題であり、全ての港、とくに過剰利用の港においては将来計画の合理的な基礎を与えるために最新の解析法を用いて港および貨物量を推計するための研究を進めている。貨物の形態を予想するのは非常に困難で、多くの問題が出てきており、新しい資料の必要、経済変動、不況、政治、戦争などに関係している。しかし予測の方法は合理的な開発計画の立案以前に成果を上げなければならない。予測においては荷役技術の細部にわたる知識は必要でなく、例えばバラ荷扱いできるような貨物の場合専用施設を持つ特別な施設においてさらに能率的に荷役できるように考える必要がある。もし、取扱い貨物が十分あれば大型パース、大型雑貨輸送船の経済的効果は大きくなる。岸壁の建設は大資金を必要とし、長期間にわたり償却しなければならず、将来を見とおすことが必要になる。多くの港において40~50年にわたる長期的な開発計画と、ここ15年のさらに詳細な計画をつくるのは便利であろう。増大する貨物輸送に対応して港は連続的な視点を発展の段階としてとらえるべきである。将来の貨物輸送を予測する場合、航空機輸送との競合について考える必要がある。現在まで、この貨物輸送は限界的な効果を持ち、高価な貨物に依存し、速度が重要である。しかしながら航空機輸送は、ここ20年になって人の輸送に対して初めて成功を収めたことは注目してよい。航空機輸送の費用は安くなり、ここ20年のうちには現在船舶で運ばれているような多くの貨物も航空機によって運ばれるようになるのは確かである。図-1は船舶輸送の場合は箱詰めが必要であり、また航空機輸送の場合は軽便な梱包でよいような典型的な低密度の貨物に対する航空機輸送と船舶輸送の費用の傾向を示したもので、航空機輸送の超過した費用は本質的なものである。しかし航空機輸送は時間浪費をなくし倉庫の大費用を小さくし、また破損

図-1



などの危険を小さくする利点がある。航空機輸送と船舶輸送の費用の差は将来段々と小さくなって行くと考えられ、航空機により経済的に輸送できる貨物量は増加しよう。I.C.A.O.による北太平洋貨物輸送に関する最近の研究は図-1に示した程度の輸送費の縮少が続き、また1970年までに年間30%、1975年までに年間25%の貨物量の増加を予測している。IA: TAは空輸貨物がここ10年の間に6倍になると予測し、またBAAは空輸貨物が20年の間に15倍になると予測している。

タンカー輸送においてパイプラインとの競合は世界の数港においてすでに始まっており、タンカーを駆逐するかも知れない。

3) 岸壁の経済性 新岸壁の開発においてしばしば無視される主な要因は、船舶の沖待ちの費用である。最初この問題は解析困難な要因と考えられていたが、待ち合わせ理論のような数学的方法により可能になった。貨物の量と、岸壁における繋留時間は船舶によって変わっている。しかし、もし全ての船舶の岸壁における繋留時間が記録されるならば、それが数学的型式にしたがうことが分るのである。またこれは数式によっても表示できる。港における船舶の到着は通常数式に対して無秩序であるが、過去の経験により、パース数の変化を考慮して船舶のパース待ち時間は計画できるし、またこれにともなう損失費用も決まってくる。大港湾における一般雑貨の研究による典型的なグラフを図-2に示す。これは岸壁数が増すにつれて沖待ち費用が低下することを示し、他の線は岸壁数が増した場合に年間費用が増えることを示している。これらの2つの和は、年間総費用が与えられた貨物量に対して最適岸壁数である最小費用の点を示す。また貨物量が増加する一般の場合、岸壁利用率の問題を考えることが重要になる。あらゆる場合、与えられた

図-2

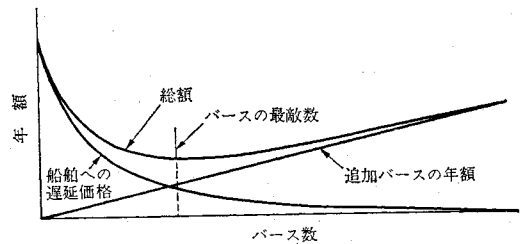


図-3

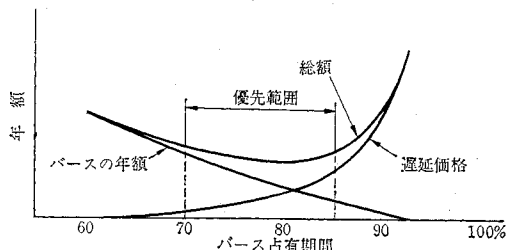
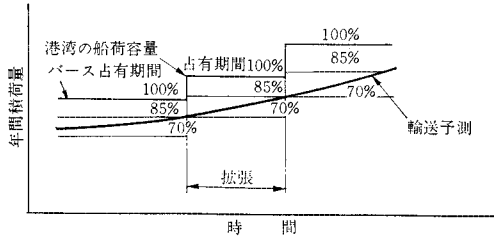


図-4



貨物量に対して岸壁利用率—岸壁が利用されている時間の全体に対する比率—は岸壁が準備されるにしたがって小さくなる。図-2 は岸壁利用率の点から図-3のように書き改められ、これから全費用は岸壁利用率が約80%のときに最小になることを示している。これは一般雑貨の場合であるが、もし他の貨物を考えた場合、最適な状態は船の型と費用、新規岸壁の建設費用によって変わってくる。石油岸壁の場合繫船施設がタンカーに比べて低廉であり、最適岸壁利用率は一般に40~60%のようである。また一般雑貨の船は比較的高価な岸壁が必要であり、新岸壁が非常に安く建設される場合以外は最適岸壁利用率は70~85%である。この考えをさらに拡張すると図-4のようになり、港をとる貨物量が増加するにつれて70~85%の最経済的な利用率を保つように計画されたペースで岸壁を建設することが必要になる。このことは建設の段階および他の途中の段階において岸壁の利用率为70~85%にすることを意味している。このことを完全に実現することは困難であるけれども、この考え方は港の計画において有効な方法である。

**4) 新しい港湾荷役技術** 石油、石炭、原鉱石などのバラ荷貨物は独特の取扱いを必要とし、しばしば占用港を必要としてきた。この傾向はとくに石油、原鉱石の荷役において急速に発達しつつある。例えばメキシコ湾石油会社はアイルランド、バントリー湾において30~50万t重量のタンカーを対象とする岸壁建設を始めており、この岸壁は25m水深になる。8万重量t以上の原石輸送船を対象とする施設は多くの国において建設されている。最近の興味ある進歩はスペインカ、セルローズによってなされたもので、3000tの船は35000tの船に取って代られることになり、労務費を最小にして貨物を扱うように機械化されている。これは荷積量を10倍に増加することにより労務費を小さくすることにある。一般雑貨扱いの効率を高めることはさらに困難な問題を提起しており、これまでの進歩は遅々たるものであった。パレット化された貨物、フォークリフトトラックの方式は革命的であり、ロールオン・ロールオフ方式は最近急速に発達したもので、短いルートに適し長いルートには経済的でないようである。コンテナ用に設計された港は非常に増加している。これらの港は比較的少

ない岸壁しか必要としないけれども、広い土地を必要とし、他に多くの興味ある問題を含んでいる。

**5) 港の設計** 港、港湾技術、港湾計画において大きな進歩が最近あった。港湾の設計は対象船舶に対して適当なしゃへいされた水域を有する十分な面積の土地を準備することであり、セイシュ、波、地質学、潮汐などについての研究を含んでいる。最近物理的な方法、アイソトープ、電気的方法等の技術、装置に関して大きな進歩があった。解析に電子計算機を用いることは各方面で行なわれている。

**6) 防波堤** 過去において防波堤が古い方法により設計されたために巨額の費用が海に投じられている。一般に防波堤は鉛直面を持つものと、斜面を持つものとに分けることができるが、前者は波を反射し、後者は波を消散させるものである。直立型、混成堤型ともにそれぞれ特徴があり、さらに調査研究が必要である。また最近、自然石の不足からコンクリートブロックが多く用いられてきている。

**7) 航路—しゅんせつと航行** 港および水路における航路の準備にはしゅんせつおよび維持の費用を見込んでおり、船舶が大型化するにつれて費用は大きくなってきた。このために安全を確保する最小の水深と幅を決めるのが非常に重要になる。まず深さから考えると、特定の港、岸壁に対する経済的な最大の船舶きっ水は、深いきっ水の船舶を用いることによる得られた経済性およびそのための建設費用などの多くの要因を考慮した後に決めなければならない。水路の水深を決めるには潮汐、風の影響、波、最大の船舶きっ水、船の動揺などを考慮されなければならない。また予定どおりにしゅんせつされた水路に予定きっ水の船舶が航行できるのは潮汐の何%かということを確認に予測すべきである。

**8) 航路幅** 直線水路の幅を決めるにはつぎの考慮が必要である。

- 1) 船の大きさ
- 2) 水路航行時の船舶の速度
- 3) 潮、風
- 4) 一方交通か否か
- 5) 緊急時において、回転、定着が必要か
- 6) 海底土質の安定性
- 7) 船位置決定法の精度

もし、水路が比較的防護されていない状態において、船舶の航行について、正確な管理ができれば、水路幅は縮めることができよう。

**9) 岸壁** 新しい岸壁を建設する場合、水深については注意深い検討がなされなければならない。岸壁が建設された後に前面水深を増加させることはなかなか困難である。

(委員 大隈 正登)