



Title	網羽強度論(I)
Author(s)	金, 俊三; Kon, Tosizo
Citation	北海道帝國大學農學部 演習林研究報告, 11(2), 19-104
Issue Date	1940-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20650
Type	departmental bulletin paper
File Information	11(2)_P19-104.pdf



網 羽 強 度 論 (I)

金 俊 三

On the Strength of the Holding Boom in Drifting (I).*

by

Tosizô Kon

網 羽 強 度 論 (I)

目 次

緒 言	20
第 一 部	
主, 副兩鋼索系統に作用する構造 應力の算定に関する理論	22
I 網羽の構造の概略	22
II 鋼索系統を不靜定構造物と看做し たる場合の理論	24
III 鋼索系統を靜定構造物と看做し たる場合の理論	79
IV 結 び	99

*) „Ueber die Festigkeit des Drahtseilrechens“.

緒 言

天然の水流を利用する流送の方法は、今日の情勢に於ては、木材の輸送方式中現在及び將來に亘つて猶ほ極めて重要な地位を占むべきものであることは言ふを俟たない。而して之が運用の中樞を扼すべき抑留網羽の技術に就いては、從來幾多の苦難に富める貴重な實地の経験をのみ唯一の認識の基礎として發達し來れるものである。而かも此の方面に於ける林業技術者の熱意ある絶えざる不斷の努力は、今日北海道及び樺太などに見らるるところの網羽の進歩したる形態を生み出したものであらう。

抑留網羽の強度たる、事極めて重大にして、假りに流送材を満載しつつ豫定條件の悪化により一度び網羽の潰滅を見たりとせむか、嘗にそれによつて惹起さるる資材流失による林業本來の經濟的損失のみならず、河川治水並びに一般交通施設或ひは農耕施設に及ぼす保安的、經濟的損失の増大は蓋し窺知すべからざるものがあらう。これ流送方式の積極的價値を否定せむとする一の強力なる因子たりしことは疑ふべくもない。然るに從來準據して以て之が強度認識上の基礎となるべき網羽の力學的諸性質に關する信頼すべき科學的研究あるを未だ聞かない¹⁾。これ著者をして拙稿に秃筆を呵せしめた所以に外ならぬ。

由來強度上の安全を主眼とする網羽構造の取扱は工學的なるを要する。従つて之が強度上の諸性質の探求は精確なる力學的解析の力法によつてのみ始めて可能である。これ林業方面に於て長期間に涉つて、具體的設計方法の提案を見るに至らなかつた一因である。今一度び網羽の力學的諸性質が闡明されたりとすれば、之が架渡前に、與えられたる形態に元づく強度計算の結果によりて鋼索系統並びに固定杭系統の斷面と寸法とを決定して、始めて安全なる工作物を河川中に架設するを得るものにして、この間の事情は單に恒久的工作物と流送期間中における一時的な工作物との相異こそあれ、例へば橋梁、架空索道其他の一般工作物を架設する場合周到なる強度計算に基く設計を事前に必要とするのと全く同斷である。設計なき工作物の架設、之が從來の抑留網羽技術の悩みであつたとすれば、この不安の一部は此の拙文の結果によつて軽減せしめ得られるであらう。

唯かかる恒久的な工作物の場合と異り、網羽の場合は架設現場たる條件の困難なる河川上に於て一部水中に沈漬しつつ浮游する工作物である關係上、網羽に與ふべき平面的形態並びに網羽に負擔

1) 親綱のみを有する網羽の對稱的な特殊な場合に就ては既に論じられてゐる。

蓮見道太郎：網羽の強性に關する理論的研究の一部要領、林學會雜誌 第廿六號（大正十三年）。

Hauska, L. : Wassertransportanlagen (Das forstliche Bauingenieurwesen Band II), 1936, S. 308.

さるべき荷重の關係が可成り不規則にして、現實の狀態其儘を以てしては網羽の力學的解析の簡單さは到底期待出來ないのである。従つて本研究に於ては、形態と荷重とに關する簡單なる假定に基きて解析の理論を展開した。これによつて到達さるる結果は簡潔にして而かもその精確さに於ても十分實用的なりと思考するに足るものである。

著者は更に理論的展開と平行に、設計上の重要因子たるべき網羽の荷重の判定に關する實驗を、昭和十三年より日高國平取村における王子製紙會社の實施する沙流川本流抑留網羽について毎年流送期間中實施しつつある。此の方法に依つて信頼すべき荷重の數字を獲得するに至るまでには相當の年月を必要とする。従つて之が決定と相俟て始めて著者の方法は本來の實用的價値を發揮すべきものであることは言ふまでもないところである。

又著者の方法は唯單に網羽の技術に關して從來困難視せられたる部分の理論的解決を與へたに過ぎざるものといふべく、之を實用的に使ひこなすべき手段は寧ろ實地應用の立場にある林業技術者の人々に期待したい。各種條件の變化に對して計算を簡略化すべき適切なる圖表の類を整備することはそれ丈にても十分實際的設計の主要部分であると言ひ得るからである。

勿よりこの貧しき仕事の一聯は、例へば林地に舞ひ落ちた種子の一連にも似てゐる。幾分の果華良材をこれより將來に期待せむとすることは、即ち優れた實際家の心ある不斷の撫育を俟つことに外ならないからである。

本論文を草するに當り、その實驗並びに實地研究上多大の便宜を與えられたる王子製紙株式會社北海道山林部及び樺太分社山林部の方々に深謝する。又研究上各種の助成を與えられたる本學演習林長中島廣吉先生に感謝の意を表する。

第一部 主、副兩鋼索系統に作用する構造 應力の算定に関する理論

I 網羽の構造の概略

網羽の構造上の主體は俗に親網と稱する主索系統と嫁網或は控網と稱する副索系統とより成る(附圖 沙流川印留編筏網羽附近平面圖參照)。兩系統とも北海道樺太の實地では鋼索を使用してゐる。親網は表親網と裏親網とに分たれ(圖-1), 表親網は水流に對して表側にあり動水壓及び散流材堰積より來る荷重の作用が直接的である。裏親網は表親網より約2米離れて設置され, 兩者とも1, 1~1, 4尺内外の角材各3本よりなる網羽子の上に固定せられて浮ぶ。而して兩親網より成る主索系統は架設

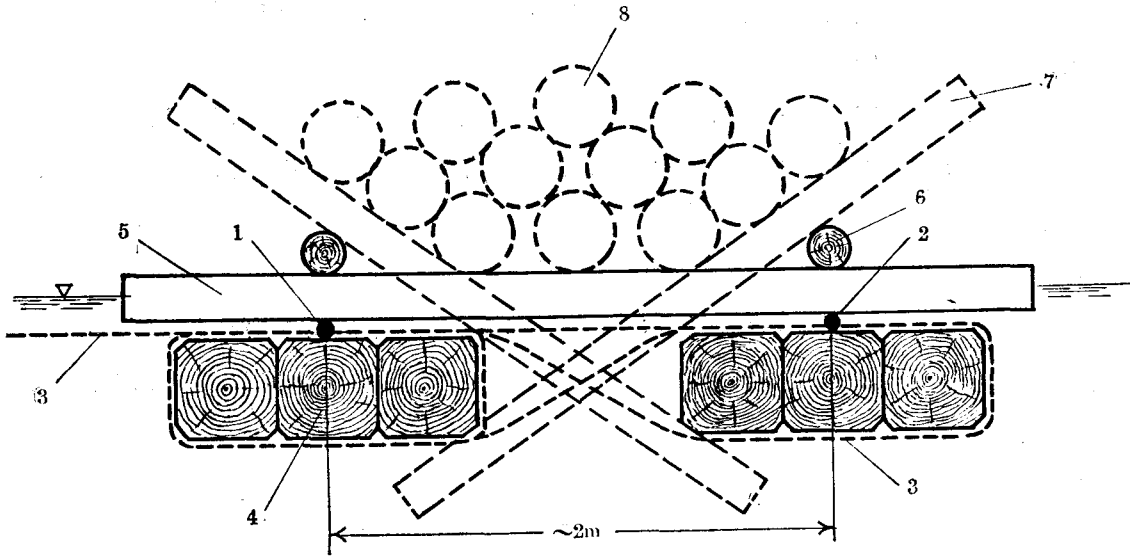


圖-1 網羽構造圖

- | | | | |
|-------|-------|------|-------|
| 1 表親網 | 2 裏親網 | 3 嫁網 | 4 網羽子 |
| 5 棧併 | 6 矢枕 | 7 矢 | 8 重シ材 |

地點上流の一方に打込まれたる數本の上親杭の一群に其の一端を固定せられ, それより一般に斜めに河川を横斷して下流對岸に打込まれたる下親杭群に他端を固定せられて終る。此の場合表裏兩親網とも各別に親杭を有するものと, 共通の親杭を有つものと二つの形式が行はれてゐる。而してかかる親網の長きものは蛇々として大河を斜斷し其の延長1000米以上に達するものを珍しとしない。

嫁網は下親杭と同一側河岸に適當の間隔を以て設置されたる嫁杭の一群に其の一端を固定せら

れ、水流を横切つて主索系統に至りて圖-1に示せる如くに表裏の綱羽子に巻附けられて他端を固定さる。之によつて主索系統の受くる負擔を軽減せしむると同時に主索系統に現場河川の状況に應じて最適なる平面的形態を與えむとするのである。

尙ほ表裏二組の綱羽子の間隔は棧併(さんべい)と稱する末口5~7寸の丸太材を之に固定することによつて確保される。

以上の部材によりて必要な綱羽の構成は完結したる理なるも、流送期間中散流材が綱羽子の下を潜つて下流に逸出する憂なからむため上に重し材をのせて綱羽を1米内外水中に沈漬せしむるを普通とする。此の目的のために棧並の上に縦に矢枕と稱する丸太を置き、次に之を足掛りとして中央の隙間を通して左右より2本の矢を差し懸け、それと棧並との間に重し材を積載するのである。

主、副兩索系統とも概ね24本線6ツ撚中心及各子繩共麻入の特別柔軟鋼索を使用し、太さは主索系統は2"乃至1½", 副索系統に對しては1¼"乃至1½"位にして局部的に2"を採用してゐるのが實地の現状である。

親杭及び嫁杭は北海道に於ては主として楢材、樺太に於てはグイマツ材を用ひる。

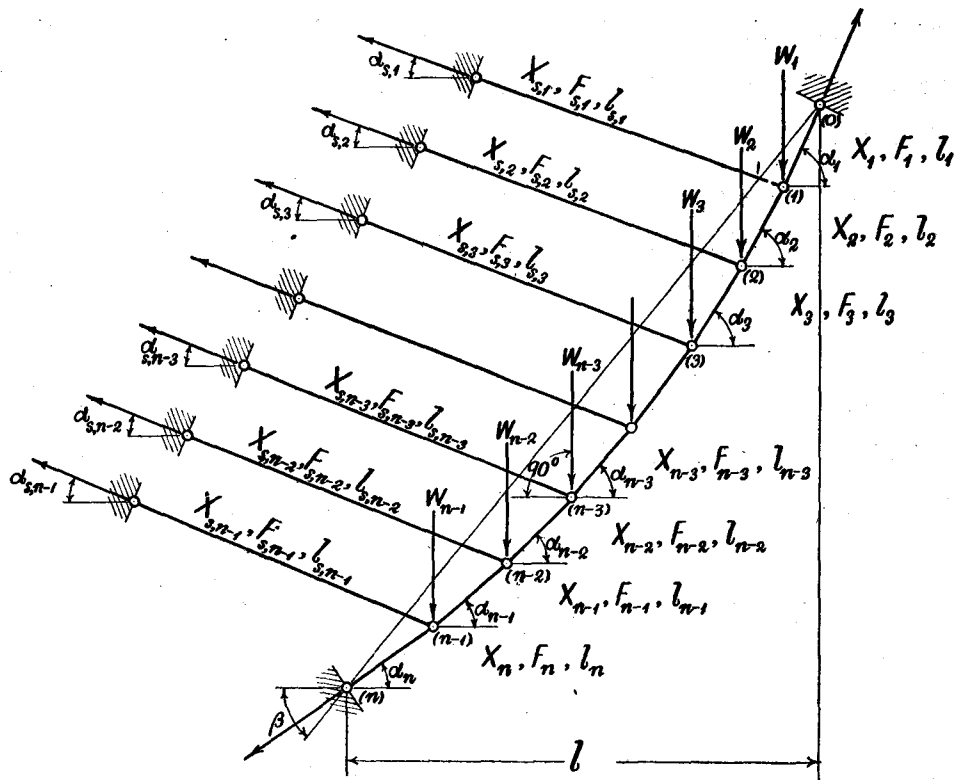


圖-2 綱羽の平面的形態

II 鋼索系統を不靜定構造物¹⁾と看做 したる場合の理論

研究を進める前に構造の取扱の便宜上次の如き假定を設ける。即ち

- (i) 網羽を構成する部材(member)は一般的に壓縮力(compression)に對しても張力(tension)に對しても同様に抵抗なし得るものとする。
- (ii) 親網は表裏二者共荷重の負擔が一樣なものと考へて唯一本の親網を以て置換する。
- (iii) 動水壓及び木材の堰積に因る網羽の荷重は凡て親網と嫁網との連結點たる各々の格點(panel point)にかかるものとする。

上記の假定を取入れることによつて網羽の取扱は著しく容易になる。(iii)の假定の如き實際は格點に集中荷重としてかかるのではなくして格點と格點との中間の網羽の部分に荷重は直接に等布的にかかり、程度の差こそあれこの部分は常に撓み(deflection)の現象を呈してゐる。従つて主索系統は軸方向の張力或ひは壓縮力の外に曲げ(bending)の作用を受けてゐるのであるが、これをこの儘の状態にて取扱ふ解析上の困難を避けるために假定(iii)を導入して軸方向のみの力の作用を受くる構造物として解析を行ひ、最後に主索系統に與ふべき断面の決定をなす際にこの曲げの影響を考慮する方法を採つた。

又荷重の状態と網羽の形態とに就いて更に第四、第五の假定を置く、即ち

- (iv) 網羽は或る瞬間に於てその全體が浮び上り、この瞬間が網羽の最も危険な時期であるとする。
- (v) 格點にかかる集中荷重は凡て平行なりとする。

以上の如く假定することによつて網羽の形態と荷重の状態は圖-2のやうになり、かかる構造物の解析によつて荷重と網羽の各部材に働く應力との關係を明らかにすることを得る、而してかかる應力を得ることによつて部材の断面を決定すれば荷重に對して安全なる鋼索系統の設計を得ることとなるのである。

偕て次の記號を用ひる(圖-2参照)、

$X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n$: 夫々主索系統部材(0, 1), (1, 2) ... (n-2, n-1), (n-1, n) に作用する軸張力

$X_{s,1}, X_{s,2}, \dots, X_{s,n-2}, X_{s,n-1}$: 夫々副索系統部材(1), (2) ... (n-2), (n-1) に作用する軸張力

1) Statically indeterminate structures.

- $F_1, F_2, \dots, F_{n-1}, F_n$: 夫々主索系統部材 (0, 1), (1, 2) ... (n-2, n-1), (n-1, n) の有つ斷面積
 $F_{s,1}, F_{s,2}, \dots, F_{s,n-2}, F_{s,n-1}$: 夫々副索系統部材 (1), (2) ... (n-2), (n-1) の有つ斷面積
 $l_1, l_2, \dots, l_{n-1}, l_n$: 夫々主索系統部材 (0, 1), (1, 2) ... (n-2, n-1), (n-1, n) の部材の方向における長さ
 $l_{s,1}, l_{s,2}, \dots, l_{s,n-2}, l_{s,n-1}$: 夫々副索系統部材 (1), (2) ... (n-2), (n-1) の部材の方向における長さ
 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}, \alpha_n$: 夫々主索系統部材 (0, 1), (1, 2) ... (n-2, n-1), (n-1, n) が荷重に直角なる方向に對してなす傾斜角
 $\alpha_{s,1}, \alpha_{s,2}, \dots, \alpha_{s,n-2}, \alpha_{s,n-1}$: 夫々副索系統部材 (1), (2) ... (n-2), (n-1) が荷重に直角なる方向に對してなす傾斜角
 $W_1, W_2, \dots, W_{n-2}, W_{n-1}$: 夫々格點 (1), (2), ... (n-2), (n-1) に外部よりかかる荷重
 l : 荷重に直角なる方向における上下兩親杭間の最短距離
 β : 上下兩親杭を見透す方向が荷重に直角なる方向に對してなす傾斜角

主副兩索系統の諸應力 $X_1, \dots, X_{s,1}, \dots$ 間の幾何學的關係が 圖-2 の如くに與えられてゐるから此等の諸量は或る任意の特定の量例へば X_1 を以て表はし得る。

この目的のために格點 (1) の附近の小部分を網羽から切離してこの部分に働く力の平衡を見ることとする (圖-3)。この大部分は切離されても矢張平衡を保たなければならぬのであるから、此の小部分に働く凡ての諸力の各方向に於ける分力の代數和は零であるべき筈である。

今荷重に直角の方向の分力の代數和を零とすれば

$$X_1 \cos \alpha_1 = X_{s,1} \cos \alpha_{s,1} + X_2 \cos \alpha_2$$

従て

$$X_2 \cos \alpha_2 = X_1 \cos \alpha_1 - X_{s,1} \cos \alpha_{s,1}$$

同様にして

$$\begin{aligned} X_3 \cos \alpha_3 &= X_2 \cos \alpha_2 - X_{s,2} \cos \alpha_{s,2} \\ &= X_1 \cos \alpha_1 - X_{s,1} \cos \alpha_{s,1} - X_{s,2} \cos \alpha_{s,2} \end{aligned}$$

$$X_4 \cos \alpha_4 = X_1 \cos \alpha_1 - X_{s,1} \cos \alpha_{s,1} - X_{s,2} \cos \alpha_{s,2} - X_{s,3} \cos \alpha_{s,3}$$

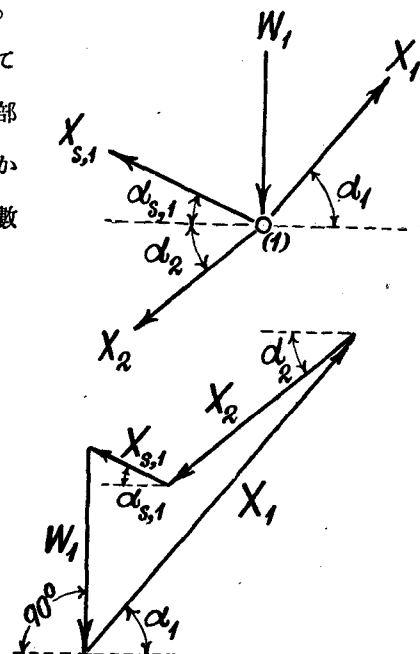


圖-3 格點(1)の力の平衡

(26)

一般に

$$X_i \cos \alpha_i = X_1 \cos \alpha_1 - \sum_{k=1}^{i-1} X_{s,k} \cos \alpha_{s,k} \quad (i=2, 3, \dots, n-1, n) \dots\dots\dots(1)$$

更に荷重に平行の方向における分力の代数和を零とすれば

$$X_2 \sin \alpha_2 = X_1 \sin \alpha_1 + X_{s,1} \sin \alpha_{s,1} - W_1$$

同様にして

$$X_3 \sin \alpha_3 = X_2 \sin \alpha_2 + X_{s,2} \sin \alpha_{s,2} - W_1$$

$$= X_1 \sin \alpha_1 + X_{s,1} \sin \alpha_{s,1} + X_{s,2} \sin \alpha_{s,2} - W_1 - W_2$$

$$X_i \sin \alpha_i = X_1 \sin \alpha_1 + X_{s,1} \sin \alpha_{s,1} + X_{s,2} \sin \alpha_{s,2} + X_{s,3} \sin \alpha_{s,3} - W_1 - W_2 - W_3$$

一般に

$$X_i \sin \alpha_i = X_1 \sin \alpha_1 + \sum_{k=1}^{i-1} X_{s,k} \sin \alpha_{s,k} - \sum_{k=1}^{i-1} W_k \quad (i=2, 3, \dots, n-1, n) \dots\dots\dots(2)$$

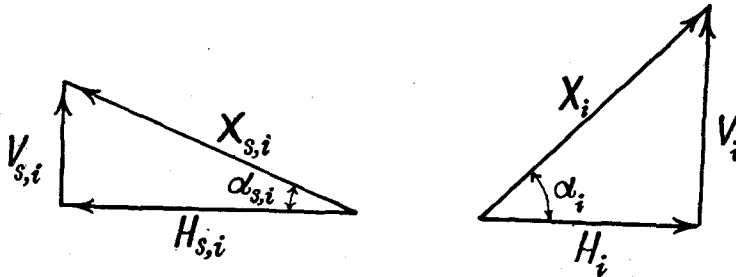


図-4 水平及び垂直分力

一方分力の間には次のやうな関係がある

$$H_1 = X_1 \cos \alpha_1, H_2 = X_2 \cos \alpha_2, \dots, H_n = X_n \cos \alpha_n,$$

$$H_{s,1} = X_{s,1} \cos \alpha_{s,1}, H_{s,2} = X_{s,2} \cos \alpha_{s,2}, \dots, H_{s,n-1} = X_{s,n-1} \cos \alpha_{s,n-1},$$

$$V_1 = X_1 \sin \alpha_1, V_2 = X_2 \sin \alpha_2, \dots, V_n = X_n \sin \alpha_n,$$

$$V_{s,1} = X_{s,1} \sin \alpha_{s,1}, V_{s,2} = X_{s,2} \sin \alpha_{s,2}, \dots, V_{s,n-1} = X_{s,n-1} \sin \alpha_{s,n-1},$$

それで (1), (2) は次のやうに表はせる

$$H_i = H_1 - \sum_{k=1}^{i-1} H_{s,k} \dots\dots\dots(3)$$

$$V_i = V_1 + \sum_{k=1}^{i-1} V_{s,k} - \sum_{k=1}^{i-1} W_k$$

或は

$$H_i \tan \alpha_i = H_1 \tan \alpha_1 + \sum_{k=1}^{i-1} H_{s,k} \tan \alpha_{s,k} - \sum_{k=1}^{i-1} W_k \dots\dots\dots(4)$$

(3), (4) によりて明かな如く $H_{s,k}$ を H_1 で表はし得れば凡ての應力 $X_1, \dots, X_{s,1}, \dots$ の水平分力は H_1 であらはされることとなるのである。

今 $i=2$ とすれば

$$(3) \quad H_2 = H_1 - H_{s,1}$$

$$(4) \quad H_2 \tan a_2 = H_1 \tan a_1 + H_{s,1} \tan a_{s,1} - W_1$$

この二式から

$$H_{s,1} = -H_1 \frac{\tan a_1 - \tan a_2}{\tan a_2 + \tan a_{s,1}} + \frac{W_1}{\tan a_2 + \tan a_{s,1}} \dots\dots\dots (a)$$

同様にして

$$-H_{s,2} = H_1 \left(\frac{\tan a_1 - \tan a_3}{\tan a_3 + \tan a_{s,2}} - \frac{\tan a_1 - \tan a_2}{\tan a_3 + \tan a_{s,2}} \cdot \frac{\tan a_3 + \tan a_{s,1}}{\tan a_2 + \tan a_{s,1}} \right) + W_1 \frac{\tan a_3 + \tan a_{s,1}}{(\tan a_2 + \tan a_{s,1})(\tan a_3 + \tan a_{s,2})} - \frac{W_1 + W_2}{\tan a_3 + \tan a_{s,2}}$$

而して副索系統の傾斜角は實際上格点によつて著しい変化のないのが普通である。従つて近似的に

$$a_{s,1} = a_{s,2} = \dots\dots\dots = a_{s,n-1} \equiv a_s \dots\dots\dots (5)$$

と置けば上式は簡単になる。即ち

$$H_{s,2} = -H_1 \left(\frac{\tan a_1 - \tan a_3}{\tan a_3 + \tan a_s} - \frac{\tan a_1 - \tan a_2}{\tan a_2 + \tan a_s} \right) - \frac{W_1}{\tan a_2 + \tan a_s} + \frac{W_1 + W_2}{\tan a_3 + \tan a_s} \dots\dots\dots (b)$$

$$H_{s,3} = -H_1 \left(\frac{\tan a_1 - \tan a_4}{\tan a_4 + \tan a_s} - \frac{\tan a_1 - \tan a_3}{\tan a_3 + \tan a_s} \right) - \frac{W_1 + W_2}{\tan a_3 + \tan a_s} + \frac{W_1 + W_2 + W_3}{\tan a_4 + \tan a_s} \dots\dots\dots (c)$$

$$H_{s,4} = -H_1 \left(\frac{\tan a_1 - \tan a_5}{\tan a_5 + \tan a_s} - \frac{\tan a_1 - \tan a_4}{\tan a_4 + \tan a_s} \right) - \frac{W_1 + W_2 + W_3}{\tan a_4 + \tan a_s} + \frac{W_1 + W_2 + W_4 + W_4}{\tan a_5 + \tan a_s} \dots\dots\dots (d)$$

一般に

$$H_{s,i} = H_1 t_i + r_i$$

茲に

$$t_i = - \left(\frac{\tan a_1 - \tan a_{i+1}}{\tan a_{i+1} + \tan a_s} - \frac{\tan a_1 - \tan a_i}{\tan a_i + \tan a_s} \right)$$

$$r_i = - \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_{i-1}}{\tan a_i + \tan a_s} + \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_i}{\tan a_{i+1} + \tan a_s}$$

$i=1$ のとき此の項は零となる

但し $i=1, 2, 3, \dots, n-2, n-1$

$$\left. \begin{array}{l} H_{s,i} = H_1 t_i + r_i \\ t_i = - \left(\frac{\tan a_1 - \tan a_{i+1}}{\tan a_{i+1} + \tan a_s} - \frac{\tan a_1 - \tan a_i}{\tan a_i + \tan a_s} \right) \\ r_i = - \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_{i-1}}{\tan a_i + \tan a_s} + \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_i}{\tan a_{i+1} + \tan a_s} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

従つて若し H_1 の大きさを解れば凡ての應力量が與えられることとなるのである。而して圖一2に示された構造物は静力學的には一次 (first order) の不靜定構造物に屬し、此の一個の不靜定量 (redundancy) を得るために Castigliano の最小仕事の原理 (principle of least work)¹⁾ を適用す

1) Müller-Breslau: Graphische Statik der Baukonstruktionen, Bd. II, Abt. 1.

(28)

れば次の如くなる。

A = 主副鋼索系統の部材應力に因る全内部仕事量

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{X_i^2 l_i}{2E_i F_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{X_{s,t}^2 l_{s,t}}{2E_{s,t} F_{s,t}}$$

但し

$E_i, E_{s,t}$ = 夫々主索系統部材 (i) 及び副索系統部材 (i) の有つ弾性係數
(modulus of elasticity)

問題の不靜定量を H_1 とすれば、この H を與ふべき最小仕事の原理は

$$\frac{dA}{dH_1} = 0$$

であるから條件式

$$\sum_{i=1}^n \frac{X_i l_i}{E_i F_i} \cdot \frac{dX_i}{dH_1} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{X_{s,t} l_{s,t}}{E_{s,t} F_{s,t}} \cdot \frac{dX_{s,t}}{dH_1} = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

を得る。

一方

$$X_i = \frac{H_i}{\cos \alpha_i}, \quad X_{s,t} = \frac{H_{s,t}}{\cos \alpha_{s,t}}$$

であり且つ

$$\cos \alpha_i \neq \varphi_1(H_1), \quad \cos \alpha_{s,t} \neq \varphi_2(H_1)$$

であるから (7) 式は次の如くなる。

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{\cos^2 \alpha_i} \cdot \frac{H_i l_i}{E_i F_i} \cdot \frac{dH_i}{dH_1} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\cos^2 \alpha_{s,t}} \cdot \frac{H_{s,t} l_{s,t}}{E_{s,t} F_{s,t}} \cdot \frac{dH_{s,t}}{dH_1} = 0 \quad \dots\dots\dots(7a)$$

(3), (6) 兩式から

$$H_i = H_1 - \sum_{k=1}^{i-1} H_{s,k} = H_1 \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right) - \sum_{k=1}^{i-1} r_k$$

故に

$$\frac{dH_i}{dH_1} = 1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k$$

又

$$\frac{dH_{s,t}}{dH_1} = t_i$$

従つて

式 (7a) 左邊の第一項

$$= H_1 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\cos^2 \alpha_i} \left(\frac{l_i}{E_i F_i} \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right)^2 - \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\cos^2 \alpha_i} \left(\frac{l_i}{E_i F_i} \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right) \sum_{k=1}^{i-1} r_k \right]$$

同 第二項

$$= H_1 \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\cos^2 a_s} \left(\frac{l_{s,i}}{E_{s,i} F_{s,i}} \right) i_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\cos^2 a_s} \left(\frac{l_{s,i}}{E_{s,i} F_{s,i}} \right) (t_i r_i)$$

従つて次の如き H_1 の一般式に到達する

$$H_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\cos^2 a_i} \left(\frac{l_i}{E_i F_i} \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right) \sum_{k=1}^{i-1} r_k \right] - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\cos^2 a_s} \left(\frac{l_{s,i}}{E_{s,i} F_{s,i}} \right) (t_i r_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\cos^2 a_i} \left(\frac{l_i}{E_i F_i} \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right)^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{\cos^2 a_s} \left(\frac{l_{s,i}}{E_{s,i} F_{s,i}} \right) i_i^2} \dots\dots(8)$$

弾性係数は鋼鉄の如きものでは極限強の大小や、使用年月の長短に無關係に殆んど一定の値を有するも、多數の鋼線を纏り合せたる鋼索のそれは使用回數が増すと共に弾性係數も増大して次第に鋼線の固有の弾性係數に接近する。今主副兩系統に新舊鋼索を混用したりとすれば、當初に於ては部材間の弾性係數に多少の開きあらむも、使用回數の増大と共に此の開きは一途漸減の傾向を辿るべき筈で、弾性係數のかかる状態を考ふれば實用的に十分精確に

$$E_i = E_{s,i} = \text{定數} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

と假定することを得る。而してかく假定することによつて(8)式の分子分母の弾性係數は相殺して H_1 の決定には全然影響を有たざることとなるのである。

尙ほ此の(8)式で明らかなやうに、不靜定量を決める場合には主副鋼索系統各部材の斷面積或は其の比を最初に豫定してかかる必要があり、かくして算定せられたる各部材の應力が決定すべき索條斷面は、豫定の斷面積より小なることを要する。之が大となつた場合は何回も豫定斷面を變更して、算定斷面が之より小となるまで試索的方法を繰り返すのであつて、不靜定構造物は其の性質上常にかかる設計上の困難を伴ふものなのである。

而して副索系統たる嫁網の數が少ない場合は(8)式は此の儘使用して支障なからむも、例へば沙流川抑留網羽の如く嫁網が多數存在する場合はかかる總和の式形の計算は至難なものとなる。著者はかかる場合をも慮つて(8)式を今少しく實用的な形に改良せむとしたのである。

先づ主索の平面的な形を拋物線と假定する(圖-5)。然らば

$$y_1 = \frac{4f}{l^2} (lx - x^2)$$

$$y = \frac{h}{l} x - y_1 = \frac{h}{l} x - \frac{4f}{l^2} (lx - x^2)$$

その第一微分係數をとれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \tan \beta - 4m \left(1 - \frac{2x}{l} \right) \\ \text{但し } m &= \frac{f}{l} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

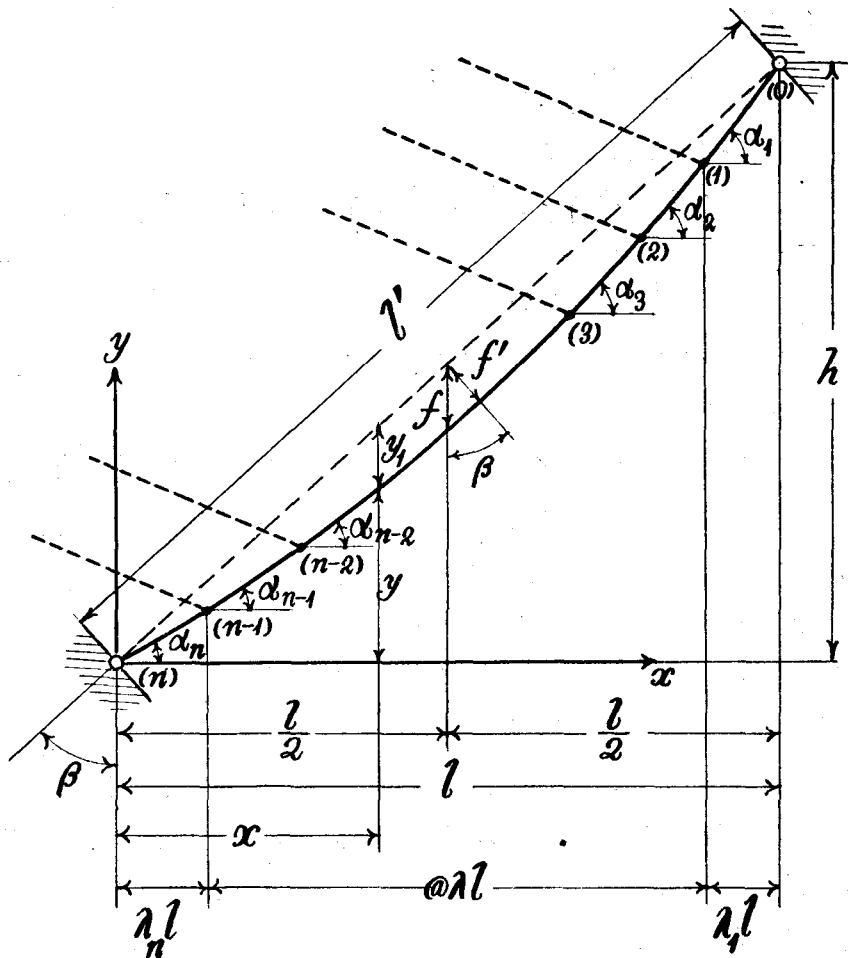


圖-5 主索系統の形

而してかく拋物線と假定したる場合の格點間の各々の格間 (panel) の傾斜角の正切をその兩端の格點の傾斜角の正切の算術平均とすれば (9) 式により

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x_0} = \tan \beta - 4m \left(1 - \frac{2x_0}{l}\right)$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x_1} = \tan \beta - 4m \left(1 - \frac{2x_1}{l}\right)$$

$$\therefore \left(\frac{dy}{dx}\right)_{mean} = \tan \beta - 4m \left(1 - 2 \frac{x_0 + x_1}{l}\right)$$

となり即ち格間の中央點の傾斜角の正切を以て表はし得る。従つて前にも假定したる如く今

$a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n$ = 夫々格間 (0, 1), (1, 2) \dots (n-1, n) の部材の傾斜角

とすれば次の如くなる。

$$\begin{aligned}
 \tan \alpha_n &= \tan \beta - 4m(1 - \lambda_n) \\
 \tan \alpha_{n-1} &= \tan \beta - 4m(1 - 2\lambda_n - \lambda_{n-1}) \\
 \tan \alpha_{n-2} &= \tan \beta - 4m(1 - 2\lambda_n - 2\lambda_{n-1} - \lambda_{n-2}) \\
 &\dots\dots\dots \\
 \tan \alpha_3 &= \tan \beta - 4m(1 - 2\lambda_n - 2\lambda_{n-1} - \dots - 2\lambda_4 - \lambda_3) \\
 \tan \alpha_2 &= \tan \beta - 4m(1 - 2\lambda_n - 2\lambda_{n-1} - \dots - 2\lambda_3 - \lambda_2) \\
 \tan \alpha_1 &= \tan \beta - 4m(1 - 2\lambda_n - 2\lambda_{n-1} - \dots - 2\lambda_2 - \lambda_1)
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \tan \alpha_n \\ \tan \alpha_{n-1} \\ \tan \alpha_{n-2} \\ \dots \\ \tan \alpha_3 \\ \tan \alpha_2 \\ \tan \alpha_1 \end{aligned}} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

但し

$$\lambda_1 = \frac{l_1 \cos \alpha_1}{l}, \lambda_2 = \frac{l_2 \cos \alpha_2}{l}, \dots, \lambda_n = \frac{l_n \cos \alpha_n}{l}$$

今特別な場合として

$$\lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_{n-1} = \text{定数} \equiv \lambda \quad \dots\dots\dots(11)$$

とすれば

$$\begin{aligned}
 \tan \alpha_n &= \tan \beta - 4m(\lambda' + \lambda_n) \\
 \tan \alpha_{n-1} &= \tan \beta - 4m(\lambda' - \lambda) \\
 \tan \alpha_{n-2} &= \tan \beta - 4m(\lambda' - 3\lambda) \\
 &\dots\dots\dots \\
 \tan \alpha_3 &= \tan \beta - 4m[\lambda' - (2n-7)\lambda] \\
 \tan \alpha_2 &= \tan \beta - 4m[\lambda' - (2n-5)\lambda] \\
 \tan \alpha_1 &= \tan \beta - 4m[\lambda' - 2(n-2)\lambda - \lambda_1]
 \end{aligned}$$

但し

$$\lambda' = 1 - 2\lambda_n$$

然るに

$$\begin{aligned}
 \lambda' &= 1 - 2\lambda_n = \frac{1}{l}(l - 2l_n \cos \alpha_n) = \frac{1}{l}(l \cos \alpha_1 + l_2 \cos \alpha_2 + \dots + l_n \cos \alpha_n - 2l_n \cos \alpha_n) \\
 &= \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{n-1} - \lambda_n = \lambda_1 + (n-2)\lambda - \lambda_n \\
 \tan \alpha_1 &= \tan \beta + 4m[(n-2)\lambda + \lambda_n] \\
 \tan \alpha_2 &= \tan \beta - 4m[\lambda_1 - (n-3)\lambda - \lambda_n] \\
 \tan \alpha_3 &= \tan \beta - 4m[\lambda_1 - (n-5)\lambda - \lambda_n] \\
 &\dots\dots\dots \\
 \tan \alpha_{n-2} &= \tan \beta - 4m[\lambda_1 + (n-5)\lambda - \lambda_n] \\
 \tan \alpha_{n-1} &= \tan \beta - 4m[\lambda_1 + (n-3)\lambda - \lambda_n] \\
 \tan \alpha_n &= \tan \beta - 4m[\lambda_1 + (n-2)\lambda]
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \tan \alpha_1 \\ \tan \alpha_2 \\ \tan \alpha_3 \\ \dots \\ \tan \alpha_{n-2} \\ \tan \alpha_{n-1} \\ \tan \alpha_n \end{aligned}} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

(32)

條件(11)は普通の網羽の實際では受け入れられて差支ない。然し網羽を不静定構造物として取扱ふ場合の不静定量の算定には條件(11)の外に更に第二の條件

$$\lambda_1 = \lambda_n \equiv \lambda \dots\dots\dots(13)$$

を取り入れても不静定量の精度をさして傷けない。従て著者は簡單の爲に以下の理論を條件(11), (13)を同時に假定して展開する。

然らば

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha_1 &= \tan \beta + 4m(n-1)\lambda \\ \tan \alpha_2 &= \tan \beta + 4m(n-3)\lambda \\ \tan \alpha_3 &= \tan \beta + 4m(n-5)\lambda \\ &\dots\dots\dots \\ \tan \alpha_{n-2} &= \tan \beta - 4m(n-5)\lambda \\ \tan \alpha_{n-1} &= \tan \beta - 4m(n-3)\lambda \\ \tan \alpha_n &= \tan \beta - 4m(n-1)\lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

この式から一般的に次の二式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha_i &= \tan \beta + 4m(n-2i+1)\lambda \\ \tan \alpha_{i+1} &= \tan \beta + 4m\{n-2(i+1)+1\}\lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

この式を用ひて(6)式の t_i を簡單にする。

$$\begin{aligned} \tan \alpha_i - \tan \alpha_{i+1} &= \tan \beta + 4m(n-1)\lambda - \tan \beta - 4m\{n-2(i+1)+1\}\lambda \\ &= 8m(i\lambda) \end{aligned}$$

$$\tan \alpha_1 - \tan \alpha_i = 8m(i-1)\lambda$$

$$\frac{1}{\lambda} = n$$

従つて

$$\left. \begin{aligned} t_i &= -2 \left[\frac{i\lambda}{c_i + \{n-2(i+1)+1\}\lambda} - \frac{(i-1)\lambda}{c_i + \{n-2i+1\}\lambda} \right] \\ &= -2 \left[\frac{i}{c' - 2i - 1} - \frac{(i-1)}{c' - 2i + 1} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

但し

$$c' = n(1 + c_i)$$

$$c_i = \frac{\tan \alpha_s + \tan \beta}{4m}$$

次に t_i の形を決めなければならぬが、單に動水壓だけならば一般に流心に近づくほど荷重の強さは漸増するが、散流材の集積は必ずしも中央附近に多量であるとも考えられない。これは一に網

羽の平面的形態，作業の方法，河川の状態等によつて異なる。従つて此處では最も簡単に荷重の分布が河川の全幅員に涉つて均等なりと假定する。

今かく假定した網羽の單位長さ當りの荷重の大きさを w とすれば次のやうになる。

$$W_1 = W_2 = \dots = W_i = \frac{wl}{2} \cdot \frac{l_1 \cos a_1 + l_2 \cos a_2}{l} = \frac{wl}{2} (\lambda_1 + \lambda_2) = wl\lambda$$

$$W_1 + W_2 + \dots + W_{i-1} = wl\lambda(i-1)$$

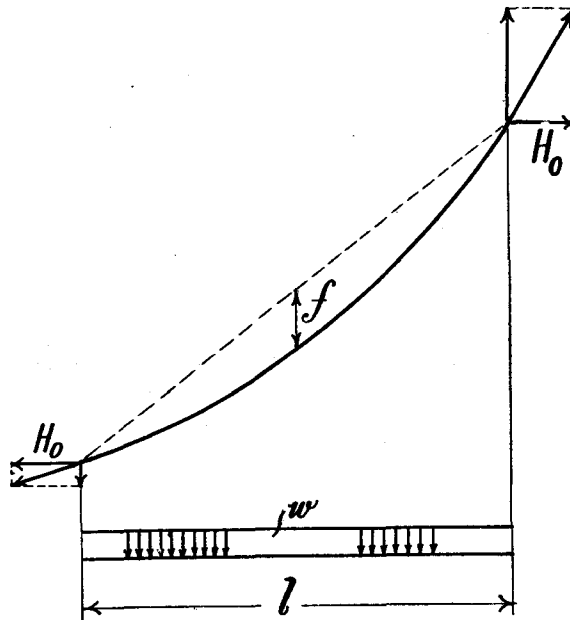
$$W_1 + W_2 + \dots + W_i = wl\lambda i$$

従つて

$$\begin{aligned} r_i &= \frac{1}{2} \cdot \frac{wl}{4m} \left[-\frac{2(i-1)\lambda}{c_t + (n-2i+1)\lambda} + \frac{2i\lambda}{c_t + \{n-2(i+1)+1\}\lambda} \right] \\ &= -\frac{wl}{8m} \left[\frac{2(i-1)}{c'-2i+1} - \frac{2i}{c'-2i-1} \right] \\ &= -H_0 \cdot t_i \end{aligned} \quad (17)$$

但し

$$H_0 = \frac{wl}{8m} = \frac{wl^2}{8f}$$



圖一六 副索の補強を受けざる單一主索

此の H_0 は熟知されたやうに， f なる撓みを有つ支間長 l の拋物線形單一主索が w なる強さの荷重を負擔したる場合の支點反力の水平分力である（圖一六）。これは又

$$l = l' \cos \beta \quad f = f' \cos \beta$$

(34)

であるから次のやうに書ける

$$H_0 = \frac{wl^2}{8f} \cos^3 \beta \dots\dots\dots(18)$$

従つて今弾性係数を前述のやうに全鋼索系統に涉つて一定なりとすれば(8)式は又次のやうになる

$$H_1 = \nu H_0 ,$$

$$\nu = \frac{\sum_{t=1}^n \left[\frac{1}{\cos^2 a_t} \left(\frac{F_c}{F_t} l_t \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{t-1} t_k \right) \sum_{k=1}^{t-1} t_k \right] + \left(\frac{F_c}{F_{c,s}} \right) \frac{1}{\cos^2 a_s} \sum_{t=1}^{n-1} \left(\frac{F_{c,s}}{F_{s,t}} l_{s,t} \right) t_t^2}{\sum_{t=1}^n \left[\frac{1}{\cos^2 a_t} \left(\frac{F_c}{F_t} l_t \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{t-1} t_k \right)^2 \right] + \left(\frac{F_c}{F_{c,s}} \right) \frac{1}{\cos^2 a_s} \sum_{t=1}^{n-1} \left(\frac{F_{c,s}}{F_{s,t}} l_{s,t} \right) t_t^2} \dots\dots\dots(19)$$

但し

F_c = 主索系統中の或る鋼索断面

$F_{c,s}$ = 副索系統中の或る鋼索断面

即ち副索系統によつて補強せられた主索系統に生起する應力の不静定量 H_1 は、全然補強を受けざる單一主索に生ずる反力の水平分力 H_0 を以て表はし得て、之に ν といふ係数をかけたものである。従つて ν は副索系統の有つ補強作用の影響を表はす係数である。 ν は其の性質上次のやうな條件をもつ

$$\nu < 1 \dots\dots\dots(20)$$

更に(19)式 ν の總和の式形を今少しく實用的にしたい。

(a) $\sum_{k=1}^{t-1} t_k :$

$$\sum_{k=1}^{t-1} t_k = -2 \left\{ \frac{1}{c'-3} - 0 \right\} - 2 \left\{ \frac{2}{c'-5} - \frac{1}{c'-3} \right\} - 2 \left\{ \frac{3}{c'-7} - \frac{2}{c'-5} \right\} - \dots\dots - 2 \left\{ \frac{i-2}{c'-2(i-1)+1} - \frac{i-3}{c'-2(i-2)+1} \right\} - 2 \left\{ \frac{i-1}{c'-2i+1} - \frac{i-2}{c'-2(i-1)+1} \right\} = -\frac{2(i-1)}{c'-2i+1} \dots\dots\dots(21)$$

(b) $1 - \sum_{k=1}^{t-1} t_k :$

$$1 - \sum_{k=1}^{t-1} t_k = \frac{c'-1}{c'-2i+1} \dots\dots\dots(22)$$

(c) $\frac{1}{\cos^2 a_t} :$

(15) 式により

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha_i} = 1 + \tan^2 \alpha_i = 1 + \left\{ \tan \beta + 4 \left(\frac{m}{n} \right) (n - 2i + 1) \right\}^2 \dots\dots\dots(23)$$

(d) $\left(\frac{F_c}{F_i} l_i \right) :$

$$\frac{F_c}{F_i} \cdot \frac{l_i \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i} = \frac{l}{n} \left(\frac{1}{\cos \alpha_i} \cdot \frac{F_c}{F_i} \right)$$

この右邊の括弧の中は可成り複雑な函数である。試みに日高國平取村沙流川抑留網羽につき此の項の性質を調べてみる。此處では水流の方向が直ちに荷重の方向であると假定してやつて見る。

$$f' = 58,89m, \quad l' = 949,90m, \quad \beta = 70^\circ, \quad n = 21$$

$$\tan \beta = \tan 70^\circ = 2,747 \ 477 \quad \cos \beta = 0,342 \ 020 \ 1$$

$$m = \frac{f'}{l'} = \frac{1}{\cos^2 \beta} \left(\frac{f'}{l'} \right) = 0,52998$$

$$\frac{4m}{n} = \frac{2,11992}{21} = 0,100 \ 949$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\cos \alpha_i} &= \sqrt{1 + \left\{ \tan \beta + 4 \left(\frac{m}{n} \right) (n - 2i + 1) \right\}^2} \\ &= \sqrt{1 + \left\{ 4,968 \ 355 - 0,201 \ 898 \ i \right\}^2} \end{aligned}$$

この數字でやると 表-1 列(7)の値が得られる。

表-1 $\frac{1}{\cos \alpha_i} \left(\frac{F_c}{F_i} \right)$ の計算

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		(6)	(7)	
<i>i</i>	0,201898 <i>i</i>	4,968355 - (1)	1 + (2) ²	$\sqrt{(3)}$	<i>F_i</i>		<i>F_i</i> : <i>F_c</i> ³⁾	(4) : (6)	
1	0,201898	4,766457	23,719112	4,870	表親綱	裏親綱		3,05	
2	0,403796	4,564559	21,835199	4,673	φ2''			2,92	
3	0,605694	4,362661	20,032811	4,476	B. S. 1)		B. S. 2)	2,80	
4	0,807592	4,160763	18,311949	4,279	112,50'	φ1½''	177,48'	1,5981	2,68
5	1,009490	3,958865	16,672612	4,083					2,55
6	1,211388	3,756967	15,114801	3,888					2,43
7	1,413286	3,555069	13,638516	3,693					2,31
8	1,615184	3,353171	12,243756	3,499	⊗				2,99
9	1,817082	3,151273	10,930522	3,306					2,83
10	2,018980	2,949375	9,698813	3,114	φ1½''	B. S.	B. S.		2,66
11	2,220878	2,747477	8,548630	2,924		64,98'	129,96'	1,1702	2,50

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
i	$0,201898 i$	$4,968855 - (1)$	$1+(2)^2$	$\sqrt{(3)}$	F_i	$F_i : F_c^{3)}$	(4):(6)
12	2,422776	2,545579	7,479972	2,735			2,34
13	2,624674	2,343631	6,492841	2,548			2,18
14	2,826572	2,141783	5,587234	2,364			2,02
15	3,028470	1,939885	4,763154	2,182	B. S.		1,86
16	3,230368	1,737987	4,020599	2,005	64,92'	⊗	2,01
17	3,432266	1,536089	3,359569	1,833		⊗ 1 1/4''	1,83
18	3,634164	1,334191	2,780066	1,667		B. S. 111,06'	1,67
19	3,836062	1,132293	2,282087	1,511		46,08'	1,51
20	4,037960	0,930395	1,865635	1,366			1,37
21	4,239858	0,728497	1,530708	1,237			1,24

此の値を曲線で表はすときは 圖一7 の階段状の曲線を得る。而して此の場合における著者の意圖は ν の表式にあらはるる總和の式形を完結 („geschlossene”) された形で表したいのであつて、此の階段状の變化を或る簡単な法則で表はす必要がある。

此の目的のために一番簡單なのは 圖一7 に點線で挿入されたやうな或る種の直線で此の階段状曲線の變化を置換えることである。而してかかる直線を如何にして決めるかといふに、それは最小二乗法原理に依つて係数を決めた直線以上に問題の階段的曲線の傾向を適切に表はす直線は在り得ないのであるから、此の原理による正常方程式 (normal equations) を使つて次のやうに直線形を決めるのである。

今

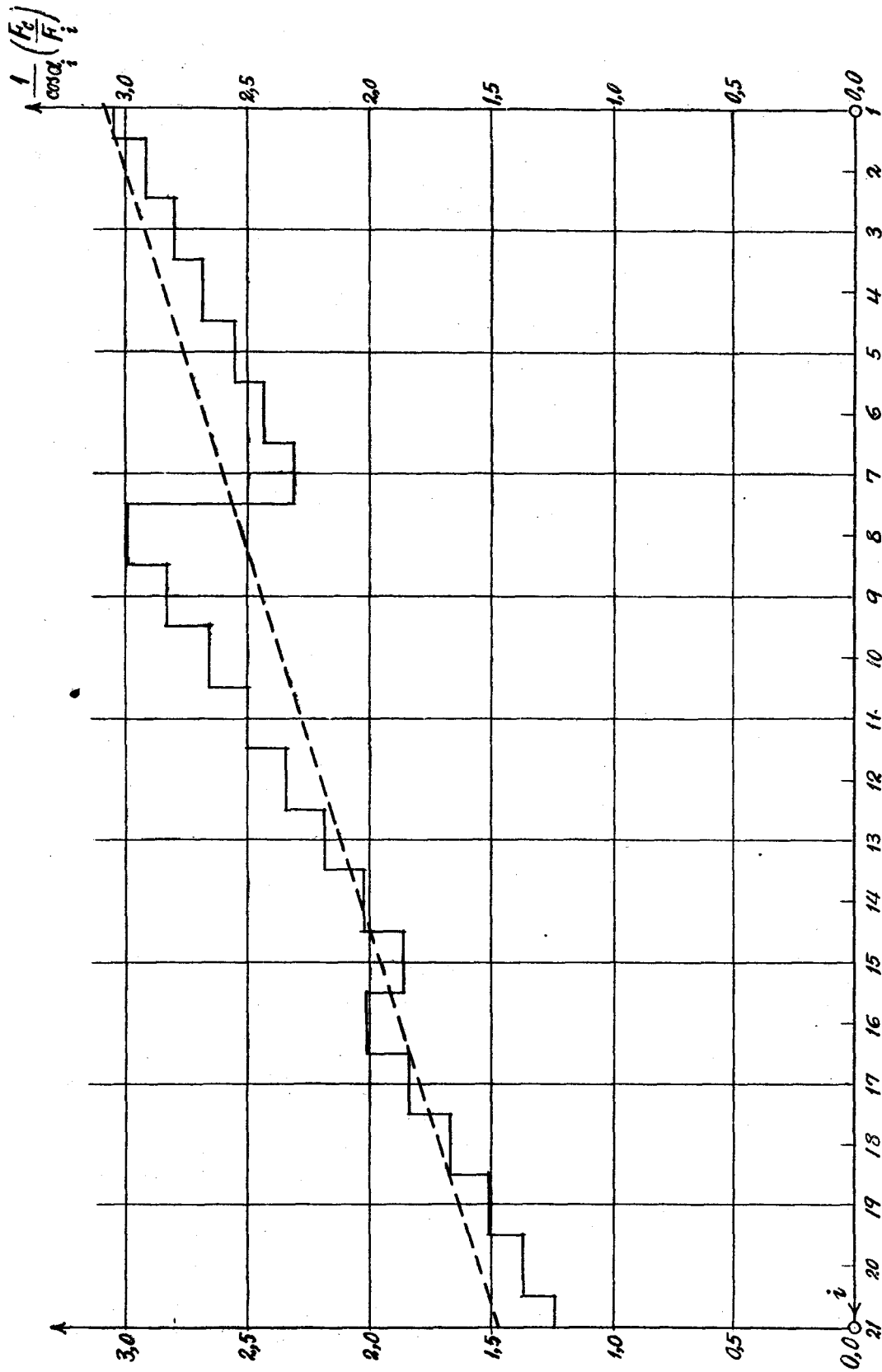
$$\frac{1}{\cos \alpha_i} \left(\frac{F_c}{F_i} \right) = y, \quad i = x$$

とすれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\cos \alpha_i} \left(\frac{F_c}{F_i} \right) &= a i + b \\ y &= a x + b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (24)$$

未定係数 a, b は次の聯立の正常方程式を解いて得られる。

- 1) 極限強 (Breaking strength).
- 2) 表裏兩親綱の極限強の合計である。
- 3) 断面の比を求むる代りに極限強の比を用ひた。



■—7 項 $\frac{1}{\cos^2 a_i} \left(\frac{F_0}{F_1}\right)^2$ の變化

$$[xx]a + [x]b = [xy]$$

$$[x]a + [1]b = [y]^1)$$

従つて

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{n[xy] - [x][y]}{n[xx] - [x]^2} \\ b &= \frac{[xx][y] - [x][xy]}{n[xx] - [x]^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

表-2 係数 a, b の計算

$x=i$	$y^2)$	xx	xy
1	3,05	1	3,05
2	2,92	4	5,84
3	2,80	9	8,40
4	2,68	16	10,72
5	2,55	25	12,75
6	2,43	36	14,58
7	2,31	49	16,17
8	2,99	64	23,92
9	2,83	81	25,47
10	2,66	100	26,60
11	2,50	121	27,50
12	2,34	144	28,08
13	2,18	169	28,34
14	2,02	196	28,28
15	1,86	225	27,90
16	2,01	256	32,16
17	1,83	289	31,11
18	1,67	324	30,06
19	1,51	361	28,69
20	1,37	400	27,40
21	1,24	441	26,04
$[x]$ =231	$[y]$ =47,75	$[xx]$ =3311	$[xy]$ =463,06

1) $[1]=n$

2) 表-1で得られたる値である。

(38)

此の式によつて 表-1 で扱つた平取の網羽について計算をすれば、表-2 の數値を得て此の場合には次の如くなる。

$$n = 21$$

$$a = \frac{21 \cdot 463.06 - 231 \cdot 47.75}{21 \cdot 3311 - 231^2} = \frac{-1305.99}{16170} = -0,080,766$$

$$b = \frac{3311 \cdot 47.75 - 231 \cdot 463.06}{16170} = \frac{+51133.39}{19170} = 3,162,238$$

故に

$$i = 1 \quad \frac{1}{\cos \alpha_1} \left(\frac{F_c}{F_1} \right) = +3,081,472$$

$$i = 21 \quad \frac{1}{\cos \alpha_{21}} \left(\frac{F_c}{F_{21}} \right) = +1,466,152$$

これによつて 圖-7 の點線の直線が得られるのである。

$$(e) \quad \frac{F_{c,s}}{F_{s,i}} l_{s,i} :$$

これは (19) 式分子分母の第二項にあらはるる量であるが、これも第一項の場合と同一の目的で直線形にして表はしたいのである。先づ平取の網羽の嫁網について此の項を計算して見ると 表-3 のやうになる。又これを圖にしたが、圖-8 の實線の曲線である。

今

$$l_{s,i} \left(\frac{F_{c,s}}{F_{s,i}} \right) = y, \quad i = x$$

とすれば

$$\left. \begin{aligned} l_{s,i} \left(\frac{F_{c,s}}{F_{s,i}} \right) &= a'i + b' \\ y &= a'x + b' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26)$$

或は

未定係數 a', b' は聯立の正常方程式

$$[xx] a' + [x] b' = [xy]$$

$$[x] a' + [1] b' = [y]$$

を解けば良いのであるから (25) 式と同様にして

$$\left. \begin{aligned} a' &= \frac{n[xy] - [x][y]}{n[xx] - [x]^2} \\ b' &= \frac{[xx][y] - [x][xy]}{n[xx] - [x]^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25a)$$

を得る。此の式で 表-3 で計算した數値を利用すれば 表-4 の如き値を得て、結局 a', b' は次の

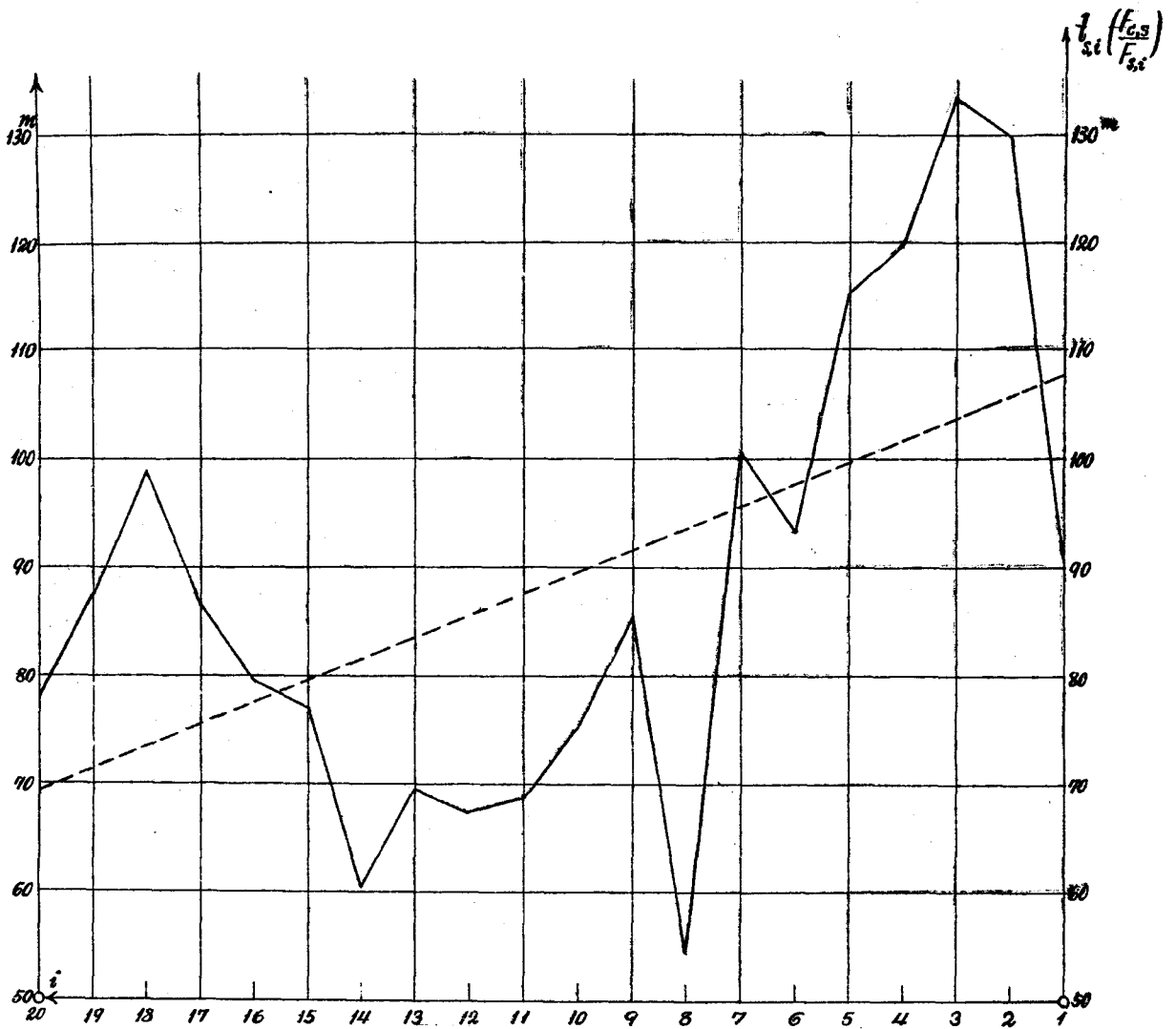


圖-8 項 $I_{s,i} \left(\frac{F_{C,s}}{F_{s,i}} \right)$ の變化

やうに算出される。

$$n = 20$$

$$a' = \frac{20 \cdot 17 \ 264,4 - 210 \cdot 1 \ 770,4}{20 \cdot 2 \ 870 - 210^2} = \frac{-26 \ 856}{13 \ 300} = -2,019 \ 248^m$$

$$b' = \frac{2 \ 870 \cdot 1 \ 770,4 - 210 \cdot 17 \ 246,4}{13 \ 300} = \frac{+1 \ 459 \ 304}{13 \ 300} = 109,7221^m$$

故に

$$i = 1 \quad l_{s,1} \left(\frac{F'_{c,s}}{F'_{s,1}} \right) = 107,70^m$$

$$i = 20 \quad l_{s,20} \left(\frac{F'_{c,s}}{F'_{s,20}} \right) = 69,34$$

之によつて 圖一8 の點線の直線が得られ、前記の不規則なる實線はこの點線の直線を以て置き換られるのである。

表一3 $\frac{F'_{c,s}}{F'_{s,t}} \cdot l_{s,t}$ の計算

i	(1)	(2)			(3)
	$l_{s,t}$	ϕ	B. S.	$F'_{s,t} : F'_{c,s}^{1)}$	(1) \div (2)
1	217,5 ^m	2''	112,5 ^t	2,4414	89,1 ^m
2	183,0	1½	64,98	1,4102	129,8
3	188,0	1½	64,98	1,4102	133,3
4	159,0	1½	64,98	1,4102	119,8
5	162,5	1½	64,98	1,4102	115,2
6	137,0	1½	64,98	1,4102	98,6
7	142,0	1½	64,98	1,4102	100,7
8	133,0	2	112,5	2,4414	54,5
9	120,5	1½	64,98	1,4102	85,4
10	106,0	1½	64,98	1,4102	75,2
11	97,0	1½	64,98	1,4102	68,8
12	95,0	1½	64,98	1,4102	67,4
13	98,0	1½	64,98	1,4102	69,5
14	85,5	1½	64,98	1,4102	60,6
15	77,0	1¼	46,08	1	77,0
16	79,5	1¼	46,08	1	79,5
17	86,5	1¼	46,08	1	36,5
18	99,0	1¼	46,08	1	99,0
19	87,5	1¼	46,08	1	87,5
20	78,0	1¼	46,08	1	78,0

1) 断面の比の代りに極限強 (B. S.) の比を採用した。

表-4 d, v の計算

$x = i$	$y^{1)}$	xx	xy
1	89,1 ^m	1	89,1 ^m
2	129,8	4	259,6
3	133,3	9	399,9
4	119,8	16	479,2
5	115,2	25	576,0
6	93,6	36	561,6
7	100,7	49	704,9
8	54,5	64	436,0
9	85,4	81	768,6
10	75,2	100	752,0
11	68,8	121	756,8
12	67,4	144	808,8
13	69,5	169	903,5
14	60,6	196	848,4
15	77,0	225	1155,0
16	79,5	256	1272,0
17	86,5	289	1470,5
18	99,0	324	1782,0
19	87,5	361	1662,5
20	78,0	400	1560,0
$[x]$ =210	$[y]$ =1770,4 ^m	$[xx]$ =2870	$[xy]$ =17246,4 ^m

以上によつて目的の v の完結された式形に到達することが出来るのである。以下 v の各項を逐つて形を決めて行かう。

(A) v の分子

(I) 第一項

(21), (22), (23), (24) 式により

$$-\frac{1}{\cos^2 a_i} \left(\frac{F_0}{F_i} l_i \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right) \sum_{k=1}^{i-1} t_k$$

1) 表-3の列(3)の数値

$$\begin{aligned}
&= -\left[1 + \left\{\tan\beta + 4\left(\frac{m}{n}\right)(n-2i+1)\right\}^2\right]^{\frac{l}{n}} (ai+b) \frac{c'-1}{c'-2i+1} \left\{-\frac{2(i-1)}{c'-2i+1}\right\} \\
&= +2(c'-1) \frac{l}{n} \left[\frac{(ai+b)(i-1)}{(c'-2i+1)^2} + (\tan\beta + 4m \frac{n-2i+1}{n})^2 \frac{(ai+b)(i-1)}{(c'-2i+1)^2} \right] \\
&= 2(c'-1) \frac{l}{n} \left[\frac{(ai+b)(i-1)}{(c'-2i+1)^2} + \left(\frac{4m}{n}\right)^2 (ai+b)(i-1) \left(1 - \frac{n \tan\alpha_s}{c'-2i+1}\right)^2 \right] \\
&= 2(c'-1) \frac{l}{n} \left[\left(\frac{4m}{n}\right)^2 (ai+b)(i-1) - 2\left(\frac{4m}{n}\right) \tan\alpha_s \frac{(ai+b)(i-1)}{c'-2i+1} + (1 + \tan^2\alpha_s) \frac{(ai+b)(i-1)}{(c'-2i+1)^2} \right] \\
&= 2(c'-1) \frac{l}{n} \left[\left(\frac{4m}{n}\right)^2 \{a(i_1+1) + b\} i_1 - 2\left(\frac{4m}{n}\right) \tan\alpha_s \frac{\{a(i_1+1) + b\} i_1}{c'-2i_1-1} \right. \\
&\quad \left. + (1 + \tan^2\alpha_s) \frac{\{a(i_1+1) + b\} i_1}{(c'-2i_1-1)^2} \right]
\end{aligned}$$

但し

$$i_1 = i - 1$$

従つて

$$\begin{aligned}
\text{第一項} &= 2(c'-1) \frac{l}{n} \left[\left(\frac{4m}{n}\right)^2 \sum_{i_1=0}^{n-1} \{a(i_1+1) + b\} i_1 \right. \\
&\quad \left. - 2\left(\frac{4m}{n}\right) \tan\alpha_s \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{\{a(i_1+1) + b\} i_1}{c'-2i_1-1} + (1 + \tan^2\alpha_s) \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{\{a(i_1+1) + b\} i_1}{(c'-2i_1-1)^2} \right]
\end{aligned}$$

此の括弧の中の總和の形の三個の項を更に順次決めるのであるが、今一般に或る函数 $f(x)$ があつて、これとその凡ての微分係数とが連続的である場合には、 $f(x)$ の或る領域内の總和は次の如き級數で與えられる。即ち

$$\begin{aligned}
\sum_{k=0}^m f(k) &= \int_0^m f(t) dt + \frac{1}{2} \{f(0) + f(m)\} \\
&\quad + \sum_{k=1}^n \frac{B_{2k}}{(2k)!} \{f^{(2k-1)}(m) - f^{(2k-1)}(0)\} \\
&\quad + \frac{m B_{2n+2}}{(2n+2)!} f^{(2n+2)}(\theta m), \\
&\quad m, n = 1, 2, \dots, \quad 0 < \theta < 1
\end{aligned} \quad \dots\dots\dots (27)$$

但し

B_{2k} : „Bernoullische Zahlen“;

$$B_0=1, \quad B_1=-\frac{1}{2}, \quad B_2=\frac{1}{6}, \quad B_3=0, \quad B_4=-\frac{1}{30},$$

$$B_5=0, \quad B_6=\frac{1}{42}, \quad B_7=0, \quad B_8=-\frac{1}{30} \dots\dots\dots$$

これは熟知の Euler の „Summenformel“ であるが、便利なことにはこの右邊は收斂 (converge)

(42)

する級数であるために實際の計算には始めの三項位とれば十分である。以下此の公式によつて近似的な完結形を求める。

$$(1) \quad \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \sum_{i_1=0}^{n-1} \{a(i_1+1)+b\} i_1 :$$

$$f(t) = at^2 + (a+b)t$$

$$\int_0^{n-1} f(t) dt = \frac{a}{3}(n-1)^3 + \frac{a+b}{2}(n-1)^2 \dots\dots\dots(a)$$

$$\frac{1}{2} \{f(0) + f(n-1)\} = \frac{1}{2} \{a(n-1)^2 + (a+b)(n-1)\} \dots\dots\dots(b)$$

$$k=1: f^{(1)}(t) = 2at + (a+b), \quad \frac{B_{2k}}{2k!} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{6}\right) = \frac{1}{12}$$

$$k=2: f^{(2)}(t) = 0$$

$$\frac{B_2}{2!} \{f^{(1)}(n-1) - f^{(1)}(0)\} = \frac{a(n-1)}{6} \dots\dots\dots(c)$$

故に

$$\begin{aligned} \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \sum_{i_1=0}^{n-1} \{a(i_1+1)+b\} i_1 &= \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \{ (a) + (b) + (c) \} \\ &= \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \left\{ (n-1)^2 \frac{a}{3} + (n-1)^2 \left(a + \frac{b}{2}\right) + (n-1) \left(\frac{2}{3}a + \frac{b}{2}\right) \right\} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

例. 平取網羽 $a = -0,0808$ $b = +3,1622$

$$(a) = +400,813$$

$$(b) = +14,6545$$

$$(c) = -0,2693$$

$$(a):(b):(c) = 1488,16:54,41:1$$

即ち収斂が極めて良好である。

$$(2) \quad -2 \left(\frac{4m}{n}\right) \tan a_s \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{\{a(i_1+1)+b\} i_1}{c'-2i_1-1} :$$

$$\frac{\{a(i_1+1)+b\} i_1}{c'-2i_1-1} = -\frac{a}{2} i_1 + \frac{i_1 \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\}}{-2i_1+c'-1} = f(i_1)$$

$$\therefore \int_0^{n-1} f(t) dt = -\frac{a}{2} \int_0^{n-1} t dt + \int_0^{n-1} \frac{t \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\}}{-2t+c'-1} dt$$

$$= -\frac{a}{4}(n-1)^2 - \frac{1}{2} \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \left\{ (n-1) + \frac{c'-1}{2} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} \right\} \dots\dots\dots(a)$$

$$\frac{1}{2} \{f(0) + f(n-1)\} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(na+b)(n-1)}{c'-2n+1} \dots\dots\dots(b)$$

$$f^{(1)}(t) = \frac{1}{\{(c'-1)-2t\}^2} \{-2at^2 + 2at(c'-1) + (a+b)(c'-1)\}$$

$$\frac{B_2}{2!} \{f^{(1)}(n-1) - f^{(1)}(0)\} = \frac{1}{12} \left\{ \frac{2a'(n-1)(c'-n) + (a+b)(c'-1)}{(c'-2n+1)^2} - \frac{a+b}{c'-1} \right\} \dots\dots\dots(c)$$

$f^{(3)}(t)$ 以下省略。

故に

$$-2 \binom{4m}{n} \tan \alpha_s \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{\{a(i_1+1)+b\}i_1}{c'-2i_1-1} = -2 \binom{4m}{n} \tan \alpha_s \{a\} + (b) + (c)\}$$

$$= -2 \binom{4m}{n} \tan \alpha_s \left[-\frac{a}{4}(n-1)^2 - \frac{1}{2} \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \left\{ (n-1) + \frac{c'-1}{2} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} \right\} \right.$$

$$\quad \left. + \frac{1}{2} \cdot \frac{(na+b)(n-1)}{c'-2n+1} \right.$$

$$\quad \left. + \frac{1}{12} \left\{ \frac{2a(n-1)(c'-n) + (a+b)(c'-1)}{(c'-2n+1)^2} - \frac{a+b}{c'-1} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

例、平取網羽

- $a_s = 26^\circ$
- $c_t = 1,526 \ 100$
- $c' = 53,0481$
- $(a) = + 25,0064 \ 1)$
- $(b) = + 1,2163$
- $(c) = + 0,02768$
- $(a) : (b) : (c) = 903,41 : 43,94 : 1$

(3) $(1 + \tan^2 \alpha_s) \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{\{a(i_1+1)+b\}i_1}{(c'-2i_1-1)^2} :$

$$\frac{\{a(i+1)+b\}i}{(c'-2i-1)^2} = \frac{a}{4} + \frac{\{(a+b)+a(c'-1)\}i - \frac{a}{4}(c'-1)^2}{(c'-2i-1)^2} = f(i)$$

$$\therefore \int_0^{n-1} f(t) dt = \frac{a}{4}(n-1) + \frac{(a+b)+a(c'-1)}{4} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1}$$

$$\quad + \frac{1}{2} \cdot \frac{(n-1)}{(c'-2n+1)} \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \dots\dots\dots(a)$$

$$\frac{1}{2} \{f(0) + f(n-1)\} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\{a(n-1) + (a+b)\}(n-1)}{(c'-2n+1)^2} \dots\dots\dots(b)$$

$$f^{(1)}(t) = \frac{(c'-1)(2at+a+b) + 2(a+b)t}{\{(c'-1)-2t\}^3}$$

$$\frac{B_2}{2!} \{f^{(1)}(n-1) - f^{(1)}(0)\}$$

1) 自然對數の計算には下記の表を使用した。
Hayashi, K. : Sieben- und mehrstellige Tafeln der Kreis- und Hyperbelfunktionen. 1926.

(44)

$$= \frac{1}{12} \left[\frac{2(n-1)\{a(c'-1) + (a+b)\} + (a+b)(c'-1)}{(c'-2n+1)^3} - \frac{a+b}{(c'-1)^2} \right] \dots\dots\dots (c)$$

$f^{(3)}(t)$ 以下省略。

故に

$$\begin{aligned} (1 + \tan^2 \alpha_s) \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{\{a(i_1+1) + b\} i_1}{(c' - 2i_1 - 1)^2} &= (1 + \tan^2 \alpha_s) \{ (a) + (b) + (c) \} \\ &= (1 + \tan^2 \alpha_s) \left[\frac{a}{4} (n-1) + \frac{(a+b) + a(c'-1)}{4} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} \right. \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \frac{(n-1)}{(c'-2n+1)} \left\{ (a+b) + \frac{a}{2} (c'-1) \right\} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\{a(n-1) + (a+b)\} (n-1)}{(c'-2n+1)^2} \\ &\left. + \frac{1}{12} \left[\frac{2(n-1)\{a(c'-1) + (a+b)\} + (a+b)(c'-1)}{(c'-2n+1)^3} - \frac{a+b}{(c'-1)^2} \right] \right] \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

例、平取網羽

(a) = + 0,8209

(b) = + 0,1010

(c) = + 0,0054

(a) : (b) : (c) = 152,01 : 18,7 : 1

従つて

分子第一項

$$= Z_1 = \frac{2(c'-1)}{n} \{ F_{(1)} + F_{(2)} + F_{(3)} \}$$

$$F_{(1)} = \left(\frac{4n}{n} \right)^2 (\varphi_{a,1} + \varphi_{b,1} + \varphi_{c,1})$$

$$F_{(2)} = -2 \left(\frac{4n}{n} \right) \tan \alpha_s (\varphi_{a,2} + \varphi_{b,2} + \varphi_{c,2})$$

$$F_{(3)} = (1 + \tan^2 \alpha_s) (\varphi_{a,3} + \varphi_{b,3} + \varphi_{c,3})$$

$\varphi_{a,1}$ = 上記 (1) の (a) 式

$\varphi_{b,1}$ = 同 (b) 式

$\varphi_{c,1}$ = 同 (c) 式

$\varphi_{a,2}$ = 上記 (2) の (a) 式

$\varphi_{b,2}$ = 同 (b) 式

$\varphi_{c,2}$ = 同 (c) 式

$\varphi_{a,3}$ = 上記 (3) の (a) 式

$\varphi_{b,3}$ = 同 (b) 式

$\varphi_{c,3}$ = 同 (c) 式

.....(28)

例、平取網羽

$F_{(1)}$:

$$\left(\frac{4m}{n}\right)^2 = 0,01018$$

$$\begin{aligned} F_{(1)} &= 0,01018 (400,813 + 14,6545 - 0,2693) \\ &= 4,2267 \end{aligned}$$

$F_{(2)}$:

$$-2\left(\frac{4m}{n}\right)\tan\alpha_s = -0,09842$$

$$\begin{aligned} F_{(2)} &= -0,09842 (25,0064 + 1,2163 + 0,0277) \\ &= -2,5836 \end{aligned}$$

$F_{(3)}$:

$$(1 + \tan^2\alpha_s) = 1,2379$$

$$\begin{aligned} F_{(3)} &= 1,2379 (0,8209 + 0,1010 + 0,0054) \\ &= 1,1479 \end{aligned}$$

括弧の中の数値は既出の計算値である、故に(28)式により第一項は次の如くに求められる。

$$2(c'-1) = 104,0962$$

$$l = r \cos\beta = 324,8848$$

$$\frac{l}{n} = 15,4707$$

$$\begin{aligned} \therefore Z_1 &= 104,0962 \cdot 15,4707 (4,2267 - 2,5836 + 1,1478) \\ &= 4\,494,5803 \end{aligned}$$

(II) 第二項

$$(26) \quad l_{s,i} \left(\frac{F_{c,s}}{F_{s,i}} \right) = a'i + b'$$

$$\begin{aligned} (16) \quad t_i &= -2 \left(\frac{i}{c'-2i-1} - \frac{i-1}{c'-2i+1} \right) \\ &= -2 \frac{c'-1}{c'^2-1-4c'i+4i^2} \\ &= -2 \frac{c'-1}{(c'-1)(c'-3)-4(c'-2)i+4i^2} \end{aligned}$$

但し

$$i_1 = i - 1$$

$$\begin{aligned} \therefore & \left(\frac{F_c}{F_{c,s}} \right) \frac{1}{\cos^2 a_s} \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{F_{c,s}}{F_{s,i}} l_{s,i} \right) t_i^2 \\ &= \left(\frac{F_c}{F_{c,s}} \right) \frac{4(c'-1)^2}{\cos^2 a_s} \sum_{i=0}^{n-2} \frac{a'i + (a'+b')}{\{(c'-1)(c'-3) - 4(c'-2)i + 4i^2\}^2} \\ & \quad \frac{a'i + (a'+b')}{\{(c'-1)(c'-3) - 4(c'-2)i + 4i^2\}^2} = f(i) \end{aligned}$$

$$\int_0^{n-2} f(t) dt = \frac{a'c' + 2b'}{8} \left\{ \frac{c'-2n+2}{A} - \frac{c'-2}{(c'-1)(c'-3)} + \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \frac{2(n-2)}{3-c'}}{1 + \frac{2(n-2)}{1-c'}} \right\} - \frac{a'}{8} \left(\frac{1}{A} - \frac{1}{(c'-1)(c'-3)} \right), \quad \dots (a)$$

但し

$$A = (c'-1)(c'-3) - 4(c'-2)(n-2) + 4(n-2)^2$$

$$\frac{1}{2} \{f(0) + f(n-2)\} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{a'+b'}{(c'-1)^2(c'-3)^2} + \frac{a'(n-2) + (a'+b')}{A^2} \right\} \dots (b)$$

$$f^{(1)}(t) = \frac{1}{(a+2bt+ct)^2} \left\{ \beta - 4 \frac{(a+\beta t)(b+ct)}{a+2bt+ct} \right\}$$

但し

$$a = (c'-1)(c'-3), \quad b = -2(c'-2), \quad c = 4$$

$$a = a' + b', \quad \beta = a'.$$

$$\begin{aligned} \therefore & \frac{B_2}{2!} \{f^{(1)}(n-2) - f^{(1)}(0)\} \\ &= \frac{1}{12} \left[\frac{a' + 8 \frac{\{(a'+b') + a'(n-2)\} \{(c'-2) - 2(n-2)\}}{A}}{A^2} - \frac{a' + 8 \frac{(a'+b')(c'-2)}{(c'-1)(c'-3)^2}}{(c'-1)^2(c'-3)^2} \right] \dots (c) \end{aligned}$$

$f^{(3)}$ 以下の項省略。

従つて

分子第二項

$$= Z_2 = \left(\frac{F_c}{F_{c,s}} \right) \frac{4(c'-1)^2}{\cos^2 a_s} \{F_{(a)} + F_{(b)} + F_{(c)}\} \quad \dots (29)$$

但し

$$\begin{aligned} F_{(a)} &= \text{上記 (a) 式} \\ F_{(b)} &= \text{同 (b) 式} \\ F_{(c)} &= \text{同 (c) 式} \end{aligned}$$

例、平取網羽

$$\left. \begin{aligned} a' &= -2,0192^m \\ b' &= +109,7221^m \end{aligned} \right\} a' + b' = +107,7029^m$$

$$A = +169,2529$$

$$F_{(a)} = 0,00547^m$$

$$F_{(b)} = 0,00122^m$$

$$F_{(c)} = 0,000118^m$$

$$\therefore F_{(a)} : F_{(b)} : F_{(c)} = 46,4 : 10,3 : 1$$

即ち此の収斂は餘り良くはないが、元來第一項に比較すると第二項自身の數値は小さいので、此の程度の精度は許容して差支ない。然らば

$$\frac{F_c}{F_{c,s}} = \frac{111,06}{46,08} = 2,41016 \quad (\text{表-1 及び-3 参照})$$

$$\cos^2 \alpha_s = 0,807803$$

$$4(c'-1)^2 = 10836,02$$

$$F_{(a)} + F_{(b)} + F_{(c)} = 0,00681^m$$

(29) 式 :

$$Z_2 = 2,98352 \cdot 10836,02 \cdot 0,00681^m$$

$$= 220,1638^m$$

従つて

ν の分子

$$= Z_1 + Z_2 = 4494,5803 + 220,1638 = 4714,7441^m$$

兩者の比

$$Z_1 : Z_2 = 100 : 4,9$$

即ち網羽を不靜定構造物と考えた場合の不靜定量に對する、第二項を以て表さるる處の副索系統の有つ諸性質の影響は第一項を以て代表せらるる主索系統のそれに比してかく β が大にして α_s が小なる場合に於ては極めて小なることを知るのである。

(B) ν の分母

(I) 第一項

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{\cos^2 \alpha_i} \left(\frac{F_c}{F_i} l_i \right) \left(1 - \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right)^2 \right\}$$

(48)

$$\begin{aligned}
&= \frac{l}{n} (c'-1)^2 \sum_{i=1}^n \left\{ 1 + (\tan \beta + 4m \frac{n-2i+1}{n})^2 \right\} \frac{ai+b}{(c'-2i+1)^2} \\
&= \frac{l}{n} (c'-1)^2 \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{ai+b}{(c'-2i+1)^2} + \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \left(1 - \frac{4m \tan \alpha_s}{c'-2i+1}\right)^2 (ai+b) \right\} \\
&= \frac{l}{n} (c'-1)^2 \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{4m}{n}\right)^2 (ai+b) - 2 \left(\frac{4m}{n}\right) \tan \alpha_s \frac{ai+b}{c'-2i+1} + \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan \alpha_s\right)^2 \right\} \frac{ai+b}{(c'-2i+1)^2} \right] \\
&= \frac{l}{n} (c'-1)^2 \sum_{i_1=0}^{n-1} \left[\left(\frac{4m}{n}\right)^2 \{ ai_1 + (a+b) \} - 2 \left(\frac{4m}{n}\right) \tan \alpha_s \frac{ai_1 + (a+b)}{c'-2i_1-1} \right. \\
&\quad \left. + \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan \alpha_s\right)^2 \right\} \frac{ai_1 + (a+b)}{(c'-2i_1-1)^2} \right]
\end{aligned}$$

但し

$$i_1 = i - 1.$$

$$(1) \quad \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \sum_{i_1=0}^{n-1} \{ ai_1 + (a+b) \} :$$

$$ai_1 + (a+b) = f(i_1)$$

$$\int_0^{n-1} f(t) dt = \frac{a}{2} (n-1)^2 + (a+b)(n-1) \dots\dots\dots (a)$$

$$\frac{1}{2} \{ f(0) + f(n-1) \} = \frac{a}{2} (n-1) + (a+b) \dots\dots\dots (b)$$

$$f^{(1)}(t) = a$$

$$\frac{B_2}{2!} \{ f^{(1)}(n-1) - f^{(1)}(0) \} = 0 \dots\dots\dots (c)$$

故に

$$\begin{aligned}
&\left(\frac{4m}{n}\right)^2 \sum_{i_1=1}^{n-1} \{ ai_1 + (a+b) \} \\
&= \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \left\{ \frac{a}{2} (n-1)^2 + (a+b)(n-1) + \frac{a}{2} (n-1) + (a+b) \right\} \\
&= \left(\frac{4m}{n}\right)^2 \left\{ \frac{a}{2} n(n-1) + (a+b)n \right\} \dots\dots\dots (1)
\end{aligned}$$

例、平取網羽

$$(a) = + 45,4680$$

$$(b) = + 2,2734$$

$$(a) : (b) = 20 : 1$$

$$(2) \quad -2 \left(\frac{4m}{n}\right) \tan \alpha_s \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{ai_1 + (a+b)}{c'-2i_1-1} :$$

$$-2\left(\frac{4m}{n}\right)\tan\alpha_s \frac{\sum_{i_1=0}^{n-1} ai_1 + (a+b)}{c'-2i_1-1}$$

$$= -2\left(\frac{4m}{n}\right)\tan\alpha_s \left[-\frac{an}{2} + \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{1}{c'-2i_1-1} \right]$$

$$\frac{1}{c'-2i_1-1} = f(i_1)$$

$$\int_0^{n-1} f(t) dt = -\frac{1}{2} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} \dots\dots\dots (a)$$

$$\frac{1}{2} \{f(0) + f(n-1)\} = \frac{c'-n}{(c'-1)(c'-2n+1)} \dots\dots\dots (b)$$

$$f^{(1)}(t) = +\frac{2}{(c'-2t-1)^2}$$

$$\frac{B_2}{2!} \{f^{(1)}(n-1) - f^{(1)}(0)\} = \frac{2}{3} \cdot \frac{(c'-n)(n-1)}{(c'-2n+1)^2(c'-1)^2} \dots\dots\dots (c)$$

$f^{(3)}$ 以下の項省略。

例、平取網羽

$$(a) = 0,7338$$

$$(b) = 0,05111$$

$$(c) = 0,001087$$

$$(a):(b):(c) = 675:47:1$$

故に

$$-2\left(\frac{4m}{n}\right)\tan\alpha_s \frac{\sum_{i_1=0}^{n-1} ai_1 + (a+b)}{c'-2i_1-1}$$

$$= -2\left(\frac{4m}{n}\right)\tan\alpha_s \left[-\frac{an}{2} + \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \left\{ -\frac{1}{2} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{c'-n}{(c'-1)(c'-2n+1)} + \frac{2}{3} \cdot \frac{(c'-n)(n-1)}{(c'-2n+1)^2(c'-1)^2} \right\} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$(3) \quad \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan\alpha_s \right)^2 \right\} \frac{\sum_{i_1=0}^{n-1} ai_1 + (a+b)}{(c'-2i_1-1)^2} :$$

$$\frac{ai_1 + (a+b)}{(c'-2i_1-1)^2} = f(i_1)$$

$$\int_0^{n-1} f(t) dt = \frac{a}{4} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} + \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \frac{n-1}{(c'-2n+1)(c'-1)} \dots\dots\dots (a)$$

$$\frac{1}{2} \{f(0) + f(n-1)\} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{a+b}{(c'-1)^2} + \frac{an+b}{(c'-2n+1)^2} \right\} \dots\dots\dots (b)$$

(50)

$$\frac{F_2}{2!} \{ f^{(1)}(n-1) - f^{(1)}(0) \} = \frac{1}{12} \left\{ \frac{a(c'-2n+1)+4(am+b)}{(c'-2n+1)^3} - \frac{a(c'-1)+4(a+b)}{(c'-1)^3} \right\} \dots\dots\dots (c)$$

$f^{(3)}$ 以下の項省略。

故に

$$\begin{aligned} & \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan \alpha_s \right)^2 \right\} \sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{ai_1 + (a+b)}{(c'-2i_1-1)^2} \\ & \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan \alpha_s \right)^2 \right\} \left[\frac{a}{4} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} + \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \frac{n-1}{(c'-2n+1)(c'-1)} \right. \\ & \quad \left. + \frac{1}{2} \left\{ \frac{a+b}{(c'-1)^2} + \frac{am+b}{(c'-2n+1)^2} \right\} \right. \\ & \quad \left. + \frac{1}{12} \left\{ \frac{a(c'-2n+1)+4(am+b)}{(c'-2n+1)^3} - \frac{a(c'-1)+4(a+b)}{(c'-1)^3} \right\} \right] \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

例、平取網羽

$(a) = 0,06086$

$(b) = 0,005\ 617$

$(c) = 0,000\ 228$

$\therefore (a):(b):(c) = 267:24,6:1$

従つて

分母第一項

$$\begin{aligned} & = N_1 = \frac{1}{n} (c'-1)^2 \{ F_{(1)} + F_{(2)} + F_{(3)} \} \\ & F_{(1)} = \left(\frac{4m}{n} \right)^2 \{ \varphi_{a,1} + \varphi_{b,1} \} \\ & F_{(2)} = -2 \left(\frac{4m}{n} \right) \tan \alpha_s \left[-\frac{am}{2} + \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \{ \varphi_{a,2} + \varphi_{b,2} + \varphi_{c,2} \} \right] \\ & F_{(3)} = \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan \alpha_s \right)^2 \right\} \{ \varphi_{a,3} + \varphi_{b,3} + \varphi_{c,3} \} \\ & \varphi_{a,1} = \text{上記(1)の(a)式} \\ & \varphi_{b,1} = \text{同 (b)式} \\ & \varphi_{a,2} = \text{上記(2)の(a)式} \\ & \varphi_{b,2} = \text{同 (b)式} \\ & \varphi_{c,2} = \text{同 (c)式} \\ & \varphi_{a,3} = \text{上記(3)の(a)式} \\ & \varphi_{b,3} = \text{同 (b)式} \\ & \varphi_{c,3} = \text{同 (c)式} \end{aligned} \dots\dots\dots (30)$$

例、平取網羽

$F_{(1)}$:

$$\left(\frac{4m}{n}\right)^2 = 0,010\ 19$$

$$F_{(1)} = 0,010\ 19 (45,468 + 2,2734) = 0,486\ 533$$

$F_{(2)}$:

$$-2\left(\frac{4m}{n}\right)\tan\alpha_s = 0,09847$$

$$-\frac{am}{2} = 0,8484$$

$$(a+b) + \frac{\alpha}{2}(c-1) = 0,9787$$

$$\sum_{i_1=0}^{n-1} \frac{1}{c^{i_1} - 2^{i_1} - 1} = 0,73380 + 0,05111 + 0,00109$$

$$= 0,78600$$

$$\therefore F_{(2)} = -0,09847 (0,8484 + 0,9787 \cdot 0,7860)$$

$$= -0,159\ 300$$

$F_{(3)}$:

$$\frac{n}{4m}\tan\alpha_s = 4,83147$$

$$1 + \left(\frac{n}{4m}\tan\alpha_s\right)^2 = 24,3431$$

$$F_{(3)} = 24,3431 (0,060\ 86 + 0,005\ 62 + 0,000\ 23)$$

$$= 1,623\ 928$$

従つて (30) 式より分母第一項は次の如くに求めらる。

$$\frac{l}{n}(c-1)^2 = 15,4707 \cdot 52,0481^2 = 41\ 910,1990$$

$$\therefore N_1 = 41\ 910,1990 (0,486\ 533 - 0,159\ 300 + 1,623\ 928)$$

$$= 81\ 773,5458$$

(II) 第二項

(19) 式によつて明らかなやうに此の項は分子第二項に等しい。

$$N_2 = Z_2$$

故に

(52)

ν の分母

$$=N_1+N_2=81\,773,5458+220,1638=81\,993,7096$$

兩者の比

$$N_1:N_2=100:0,27.$$

従つて平取網羽の場合に於て、水流の方向を荷重の方向と考えたときの不静定量の係数 ν は(19)式によつて次の如き値となる。

$$\nu=\frac{Z_1+Z_2}{N_1+N_2}=\frac{4\,714,7441}{81\,993,7096}=0,05750$$

即ち ν は可成り小さい値である、これを吊橋のそれと比較しやう、今支間長 l なる補剛桁を有つ吊橋の主索の垂矢(sag)を f とすれば、主索に働く應張力の水平分力 H は(圖-9)

$$H=\frac{wl^2}{8f}\nu$$

但し

w = 単位長當の荷重の大きさ

ν = 主索及び補剛桁の形や断面の影響を表はす或る係數

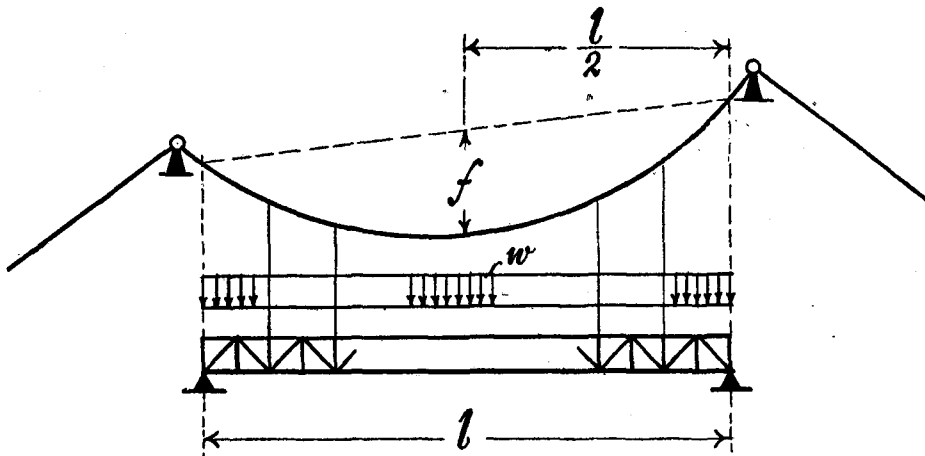


圖-9 補剛桁を有つ吊橋の主索

を以て表はされ、前記(17)、(19)の H_1 の表式と同一の形となるのである。而して、吊橋の場合は主索や、補剛桁の性質にも依るが、普通

$$\nu=0,96$$

内外の極めて1に近接した値をとるのであつて、前の網羽の場合の $\nu=0,05750$ に比較して著しく大きい。この理由は、吊橋では撓度可能な弾性的構造物たる、補剛桁を以て、主索が補強せられたる

に對して、網羽に於ては、中間の多數の彈性的ならざる剛支點に嫁網を以て直接各格點が連結せられたるために此の場合には主索への副索系統による補強作用が極めて強大となるの事情に因るものである。以上によつても網羽に於ては、副索系統の存在は、主索の強度上極めて重要な意義を有つものなることを認識し得るのである。

前記の値 $\nu=0,05750$ は (19) 式の總和の各項を一定の假定のもとに Euler の „Summenformel” によつて展開して、其の第三項までを採用したる一種の近似式によつて計算したるもので、嫁網を 20 本も有する平取網羽の如き場合にはかかる近似的方法によらずに、直ちに (19) 式の總和の式形の演算を行はむことの容易ならざること既述の如くである。されど一方此の近似式自身を見れば、決して未だ簡単な實用的なものとは言はれない程度にこの式は多數の項を包含してゐる、従つて著者は以下に於て今少しく上記の近似式を簡易化することを試るのである。

今 Euler の公式 (27) によつて、一の總和の函數を收斂値數に展開したる場合、その級數の項數をより多く取るほど、函數の總和の完結値の精度は向上する譯であるが、今その級數の第一項のみをとれる場合の値を第一近似値、第二項までをとれる場合を第二近似値等の如く呼べば、前掲の ν の値はその第三近似値となるわけである。而して又此の場合の第一及び第二近似値を計算すれば次の如くなる。

(1) 分子第一項

(28) により $\varphi_{c,1}$, $\varphi_{c,2}$, $\varphi_{c,3}$ は第一、第二近似値の計算には不必要であるから、従つて

$$F_{(1)} = \left(\frac{4m}{n}\right)^2 (\varphi_{a,1} + \varphi_{b,1})$$

$$= 0,010\ 18 (400,813 + 14,6545) = \begin{cases} \text{II} & 4,229\ 46^{1)} \\ \text{I} & 4,080\ 28 \end{cases}$$

$$F_{(2)} = -2 \left(\frac{4m}{n}\right) \tan \alpha_s (\varphi_{a,2} + \varphi_{b,2})$$

$$= -0,09842 (25,0064 + 1,2163) = \begin{cases} \text{II} & -2,580\ 84 \\ \text{I} & -2,461\ 13 \end{cases}$$

$$F_{(3)} = (1 + \tan^2 \alpha_s) (\varphi_{a,3} + \varphi_{b,3})$$

$$= 1,2379 (0,8209 + 0,1010) = \begin{cases} \text{II} & 1,141\ 22 \\ \text{I} & 1,016\ 19 \end{cases}$$

故に

$$\left. \begin{matrix} Z_1^{\text{II}} \\ Z_1^{\text{I}} \end{matrix} \right\} = \frac{2(c'-1)Y}{n} \{ F_{(1)} + F_{(2)} + F_{(3)} \}$$

- 1) I, II: 夫々第一及び第二近似値を示す、以下同様。
- 2) Z_1^{I} , Z_1^{II} : 夫々分子第一項の第一近似値、第二近似値を示す、以下同様。

(51)

$$= 1 \begin{matrix} m \\ 610,4411 \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} 4,229 & 46 & -2,580 & 84 & +1,141 & 22 \\ 4,080 & 28 & -2,461 & 13 & +1,016 & 19 \end{matrix} \right\}$$
$$= \begin{cases} \text{II} & 4 & 492,8730 \\ \text{I} & 4 & 244,0598 \end{cases}$$

(2) 分子第二項 或は 分母第二項

(29) 式により

$$\left. \begin{matrix} Z_2^{\text{II}}, N_2^{\text{II}} \\ Z_2^{\text{I}}, N_2^{\text{I}} \end{matrix} \right\} = \left(\frac{F_c}{F_{c,s}} \right) \frac{4(c'-1)^2}{\cos^2 a_s} \{ F_{(a)} + F_{(b)} \}$$
$$= 32 \begin{matrix} m \\ 329,482 \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} m \\ 0,005 & 47 & +0,001 & 22 \end{matrix} \right\}$$
$$= \begin{cases} \text{II} & 216,2842 \\ \text{I} & 176,8423 \end{cases}$$

(3) 分母第一項

此の場合 (30) 式の

$$\varphi_{a,1} + \varphi_{b,1}$$

は該當項(1)の示す如く極めて簡単な形であるから、第一、第二兩近似値に對して上の和を共用する。

$$F_{(1)} = \left(\frac{4m}{n} \right)^2 \{ \varphi_{a,1} + \varphi_{b,1} \}$$
$$= 0,010 \begin{matrix} 19 \\ 45,4680 + 2,2734 \end{matrix} = 0,486 \begin{matrix} 533 \end{matrix}$$
$$F_{(2)} = -2 \left(\frac{4m}{n} \right) \tan a_s \left[-\frac{am}{2} + \left\{ (a+b) + \frac{a}{2}(c'-1) \right\} \{ \varphi_{a,2} + \varphi_{b,2} \} \right]$$
$$= -0,098 \begin{matrix} 473 \\ +0,8484 + 0,9787(0,733 \ 80 + 0,05111) \end{matrix}$$
$$= \begin{cases} \text{II} & -0,159 \ 19 \\ \text{I} & -0,154 \ 27 \end{cases}$$
$$F_{(3)} = \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan a_s \right)^2 \right\} \{ \varphi_{a,3} + \varphi_{b,3} \}$$
$$= 24,3431 \left\{ \begin{matrix} 0,060 \ 86 + 0,005 \ 62 \end{matrix} \right\}$$
$$= \begin{cases} \text{II} & 1,618 \ 33 \\ \text{I} & 1,481 \ 52 \end{cases}$$

故に

$$\left. \begin{matrix} N_1^{\text{II}} \\ N_1^{\text{I}} \end{matrix} \right\} = \frac{l}{n} (c'-1)^2 \{ F_{(1)} + F_{(2)} + F_{(3)} \}$$

$$=41 \begin{matrix} m \\ 910,1990 \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} 0,486 \ 53-0,159 \ 19+1,618 \ 33 \\ 0,486 \ 53-0,154 \ 27+1,481 \ 52 \end{matrix} \right\}$$

$$= \begin{cases} \text{II} & 81 \ 543,4169 \\ \text{I} & 76 \ 015,8807 \end{cases}^m$$

以上に依つて ν の二個の値は次の如くなる。

$$\nu_{\text{II}} = \frac{4 \ 492,8730 + 216,2842}{81 \ 543,4169 + 216,2842} = \frac{4 \ 709,1572}{81 \ 759,7011}$$

$$= 0,05760$$

$$\nu_1 = \frac{4 \ 244,0598 + 176,8423}{76 \ 015,8807 + 176,8423} = \frac{4 \ 420,9021}{76 \ 192,7230}$$

$$= 0,05802$$

以前の計算によれば、第三近似値は

$$\nu_{\text{III}} = 0,05750$$

であるから、この値に對する ν_{II} 、 ν_1 の誤差は夫々 $\times 0,17\%$ 及び $0,90\%$ であつて、孰れも極めて小さい。しかもこの誤差は H_1 に關して安全の側にある。

従つて實用的には第一近似値の程度の精度にて十分満足すべきものとすれば、 ν の表式の完結形は以前のものに比較して著しく簡易化せしめ得るのである。而してこの場合の ν -式は次の如くなる。

$$\nu = \frac{Z'_1 + Z'_2}{N'_1 + N'_2} \dots \dots \dots (31)$$

$$Z'_1 = \frac{2(c'-1)^2}{n} \left[\left(\frac{4m}{n} \right)^2 \left\{ \frac{a}{3} (n-1)^3 + \frac{a+b}{2} (n-1)^2 \right\} - 2 \left(\frac{4m}{n} \right) \tan \alpha_s \left\{ -\frac{a}{4} (n-1)^2 \right. \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2} \left(a+b + \frac{a}{2} (c'-1) \right) (n-1) + \frac{c'-1}{2} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} \right\} + (1 + \tan^2 \alpha_s) \left\{ \frac{a}{4} (n-1) \right.$$

$$\left. + \frac{a+b+a(c'-1)}{4} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{n-1}{c'-2n+1} \left(a+b + \frac{a}{2} (c'-1) \right) \right\}]$$

$$Z'_2, N'_2$$

$$= \left(\frac{F_c}{F_{c,s}} \right)^4 \frac{(c'-1)^2}{\cos^2 \alpha_s} \left[\frac{a'c' + 2b'}{8} \left\{ \frac{c'-2n+2}{A} - \frac{c'-2}{(c'-1)(c'-3)} + \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \frac{2(n-2)}{3-c'}}{1 + \frac{2(n-2)}{1-c'}} \right\} \right.$$

$$\left. - \frac{a'}{8} \left\{ \frac{1}{A} - \frac{1}{(c'-1)(c'-3)} \right\} \right],$$

$$A = (c'-1)(c'-3) - 4(c'-2)(n-2) + 4(n-2)^2,$$

$$N'_1 = \frac{(c'-1)^2}{n} \left[\left(\frac{4m}{n} \right)^2 \left\{ \frac{a}{2} n(n-1) + (a+b)n \right\} \right.$$

$$\left. + \left(\frac{4m}{n} \right) \tan \alpha_s \left\{ an + (a+b) + \frac{a}{2} (c'-1) \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} \right\} \right.$$

$$\left. + \left\{ 1 + \left(\frac{n}{4m} \tan \alpha_s \right)^2 \left\{ \frac{a}{4} \ln \frac{c'-2n+1}{c'-1} + \left(a+b + \frac{a}{2} (c'-1) \right) \frac{n-1}{(c'-2n+1)(c'-1)} \right\} \right\} \right]$$

.....(32)

(56)

上式によつて ν が決まれば

$$(17) \quad r_i = -t_i H_0$$

であるから (6) 式により

$$\left. \begin{aligned} H_{s,i} &= H_1 \cdot t_i + r_i = \mu_{s,i} H_1 \\ \text{但し} \quad \mu_{s,i} &= \left(1 - \frac{1}{\nu}\right) t_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (33)$$

この t_i は (16) 式によつて計算する, 即ち

$$t_i = -2 \left(\frac{i}{c' - 2i - 1} - \frac{i-1}{c' - 2i + 1} \right)$$

$$c' = n(1 + c_i)$$

$$c_i = \frac{\tan \alpha_s + \tan \beta}{4m}$$

更に (3) 式により

$$H_i = H_1 - \sum_{k=1}^{i-1} H_{s,k} = \nu H_0 \left\{ 1 - \frac{\nu-1}{\nu} \sum_{k=1}^{i-1} t_k \right\}$$

然るに (21) 式により

$$\sum_{k=1}^{i-1} t_k = -2 \frac{i-1}{c' - 2i + 1}$$

であるから, 結局

$$\left. \begin{aligned} H_i &= \mu_i H_1 \\ \text{但し} \quad \mu_i &= 1 - 2 \left(\frac{1}{\nu} - 1 \right) \frac{i-1}{c' - 2i + 1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

(33), (34) 兩式によつて $H_{s,i}$, H_i が夫々解れば, 問題の主副兩索系統の應力は次式で與えられる。

$$\left. \begin{aligned} X_{s,i} &= \frac{H_{s,i}}{\cos \alpha_s} \\ X_i &= \frac{H_i}{\cos \alpha_i} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (35)$$

$\cos \alpha_i$ は (23) 式によつて計算する, 即ち

$$\frac{1}{\cos \alpha_i} = \sqrt{1 + \left\{ \tan \beta + 4 \left(\frac{m}{n} \right) (n - 2i + 1) \right\}^2}$$

以上の諸式によつて平取網羽の場合につき $X_{s,i}$, X_i を求むれば 表-5 及 -6 を得る。

表一五 平取網羽, 係數 $\mu_{s,t}$, $\frac{\mu_{s,t}}{\cos a_s}$ の計算

$\nu = 0,05750 \quad 1 - \frac{1}{\nu} = -16,3913 \quad c' = 53,0481 \quad \cos a_s = \cos 26^\circ = 0,89879$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	$-2i-1$	$-2i+1$	$c'-2i-1$	$c'-2i+1$	$\frac{i}{(4)}$	$\frac{i-1}{(5)}$	$-2 \left\{ \begin{array}{l} (6) \\ (7) \end{array} \right\}$	$= \left(1 - \frac{1}{\nu}\right) (8)$	$\frac{X_{s,t}}{H_1} = \frac{\mu_{s,t}}{\cos a_s}$
1	-3	-1	50,0481	52,0481	0,01993	0,00000	-0,03996	0,6550	0,729
2	-5	-3	48,0481	50,0481	0,04162	0,01993	-0,04328	0,7094	0,789
3	-7	-5	46,0481	48,0481	0,06515	0,04162	-0,04706	0,7714	0,858
4	-9	-7	44,0481	46,0481	0,09081	0,06515	-0,05132	0,8412	0,936
5	-11	-9	42,0481	44,0481	0,11891	0,09081	-0,05620	0,9212	1,025
6	-13	-11	40,0481	42,0481	0,14932	0,11891	-0,06182	1,0133	1,127
7	-15	-13	38,0481	40,0481	0,18398	0,14932	-0,06832	1,1199	1,246
8	-17	-15	36,0481	38,0481	0,22193	0,18398	-0,07590	1,2441	1,384
9	-19	-17	34,0481	36,0481	0,26433	0,22193	-0,08480	1,3900	1,547
10	-21	-19	32,0481	34,0481	0,31203	0,26433	-0,09540	1,5637	1,740
11	-23	-21	30,0481	32,0481	0,36608	0,31203	-0,10810	1,7719	1,971
12	-25	-23	28,0481	30,0481	0,42784	0,36608	-0,12352	2,0247	2,253
13	-27	-25	26,0481	28,0481	0,49908	0,42784	-0,14248	2,3354	2,598
14	-29	-27	24,0481	26,0481	0,58217	0,49908	-0,16618	2,7239	3,031
15	-31	-29	22,0481	24,0481	0,68033	0,58217	-0,19632	3,2179	3,590
16	-33	-31	20,0481	22,0481	0,79808	0,68033	-0,23550	3,8602	4,295
17	-35	-33	18,0481	20,0481	0,94193	0,79808	-0,28770	4,7158	5,247
18	-37	-35	16,0481	18,0481	1,12163	0,94193	-0,35940	5,8910	6,554
19	-39	-37	14,0481	16,0481	1,35250	1,12163	-0,46174	7,5685	8,421
20	-41	-39	12,0481	14,0481	1,66001	1,35250	-0,61502	10,0810	11,216

表-6 平取網羽, 係数 μ_i , $\frac{\mu_i}{\cos \alpha_i}$ の計算

$-2\left(\frac{1}{\nu}-1\right) = -32,7826$					
1	2	3	4	5	6
i	$\frac{i-1}{c'-2i+1}$	$-2\left(\frac{1}{\nu}-1\right)(2)$	$\mu_i = 1+(3)$	$\frac{1}{\cos \alpha_i}$ 1)	$\frac{X_i}{H_1} = (4)(5) = \frac{\mu_i}{\cos \alpha_i}$
1	0,00000	- 0,0000	+ 1,0000	4,870	+ 4,870
2	0,01993	- 0,6550	+ 0,3450	4,673	+ 1,612
3	0,04162	- 1,3644	- 0,3644	4,476	- 1,631
4	0,06515	- 2,1358	- 1,1358	4,279	- 4,860
5	0,09081	- 2,9770	- 1,9770	4,083	- 8,072
6	0,11891	- 3,8982	- 2,3932	3,838	-11,268
7	0,14932	- 4,9115	- 3,9115	3,693	-14,445
8	0,18393	- 6,0313	- 5,0313	3,499	-17,605
9	0,22193	- 7,2754	- 6,2754	3,306	-20,746
10	0,26433	- 8,6554	- 7,6654	3,114	-23,870
11	0,31203	-10,2292	- 9,2292	2,924	-26,986
12	0,36608	-12,0011	-11,0011	2,735	-30,088
13	0,42784	-14,0257	-13,0257	2,548	-33,189
14	0,49908	-16,3611	-15,3611	2,364	-36,314
15	0,58217	-19,0850	-18,0850	2,182	-39,461
16	0,63033	-22,3030	-21,3030	2,005	-42,713
17	0,79803	-26,1631	-25,1631	1,833	-46,124
18	0,94193	-30,8789	-29,8789	1,667	-49,808
19	1,12163	-36,7372	-35,7372	1,511	-53,999
20	1,35250	-44,3057	-43,3057	1,366	-59,156
21	1,66001	-54,3867	-53,3867	1,237	-66,039

平取網羽の場合に關する是迄の計算は、水流の方向を直ちに網羽に對する荷重の方向と看做して α_s, β を決定して計算を進めたものである。然るに網羽は河川を水流に對して直角に横斷することは先づ無く、一定の角度を以て斜め (skew) に架設するのが今日網羽技術の常道となつてゐる。従つて水流による荷重の原因たる動水壓は、それを主索系統に直角な分力 (component) と之に平行なる分力とに分解すれば、液體のこれに平行なる平滑な面に及ぼす摩擦力は垂直な力に比較すれば

1) 表-1 既出。

省略し得る程度に微小であるから、圖-2 で表はされたやうに、網羽の格点間の部分が直線的な形をなすものと假定すれば、網羽にかかる荷重は、主索系統の格間部分に垂直の方向を有つと考へて差支ないことになる。

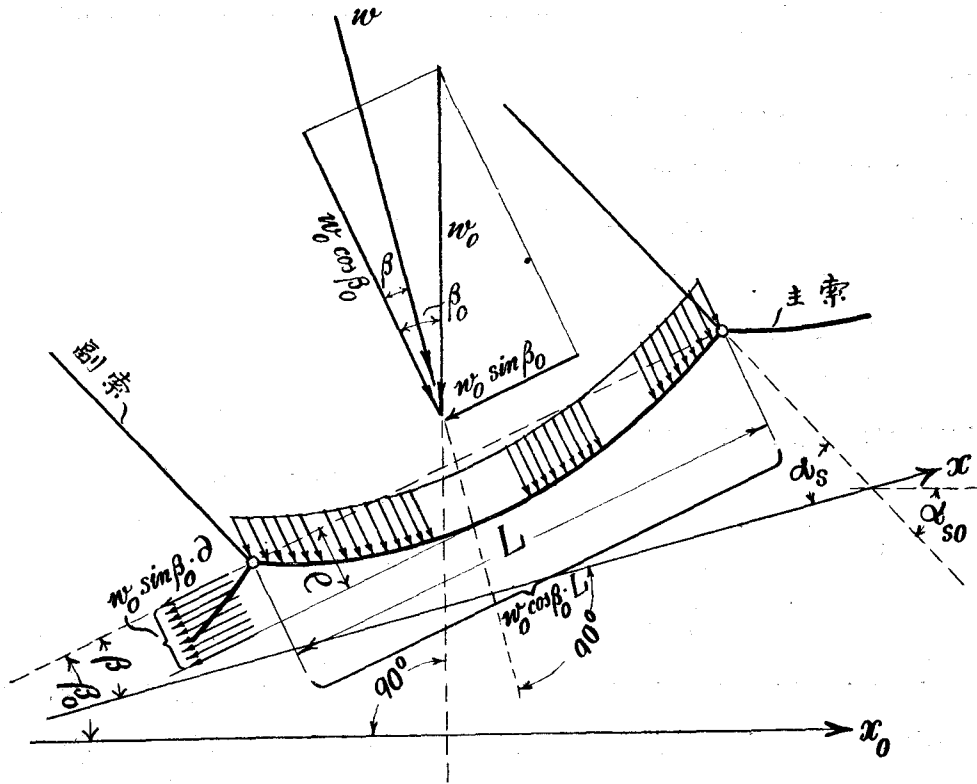


圖-10 網羽の荷重の状態

x_0 : 水流に直角の方向
 x : 荷重に直角の方向

併し實際は主索の格間部分は自由に可撓性であるために、例へばこの部分が δ だけ下流に脹むだとすれば、平行な分力 $w_0 \sin \beta_0$ ¹⁾ は此の δ の部分に對して動水壓を働かしむることになる。(圖-10, 11)。此の部分に對して働く動水壓は

$$w_0 \sin \beta_0 \cdot \delta$$

となるのであるが、圖-11 に見る如く、動水壓を受くる部分は主索の格間の半分であるから、全格間に涉つて平均的に考へた場合には

$$\frac{1}{2} w_0 \sin \beta_0 \cdot \delta \dots\dots\dots (a)$$

1) 嚴密には β_0 ではなくして格間の傾斜角であるが簡單のため近似的に β_0 を採用した。

(60)

の大きさで、等布的に一個の格間に平行方向の荷重となつて働いてゐると考えることが出来る。

一方垂直方向の分力 $w_0 \cos \beta_0$ は全格間 L に等布するのであるから(圖-10)、格間にかかる垂直方向の荷重は

$$w_0 \cos \beta_0 L. \dots\dots\dots(b)$$

である。

この(a)と(b)の力をその二個の分力とするところの合力(resultant)の方向が本來の荷重の方向であつて圖-10.12に於て此の方向が w を以て表はされてゐる、而して w は此の方向における荷重の強さである、然らば此の w の方向は次の如くにして定められる。

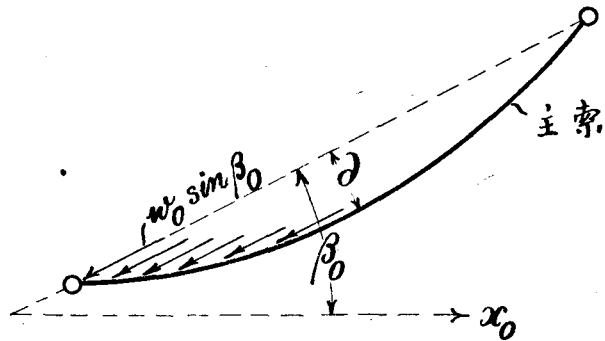


圖-11 水平分力の荷重状態

(圖-10)

$$\begin{aligned} \tan \beta &= \frac{\text{平行方向の荷重即ち (a) 式}}{\text{垂直方向の荷重即ち (b) 式}} \\ &= \left(\frac{1}{2} \tan \beta_0\right) \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots(36) \end{aligned}$$

β_0 は主索の上親杭と下親杭とを見透す方向と水流に對して直角なる方向とのなす角度であるから既知の量である、問題は此の場合 $\left(\frac{\delta}{L}\right)$ を如何程に想定するかにあるのであるが、著者は此處で

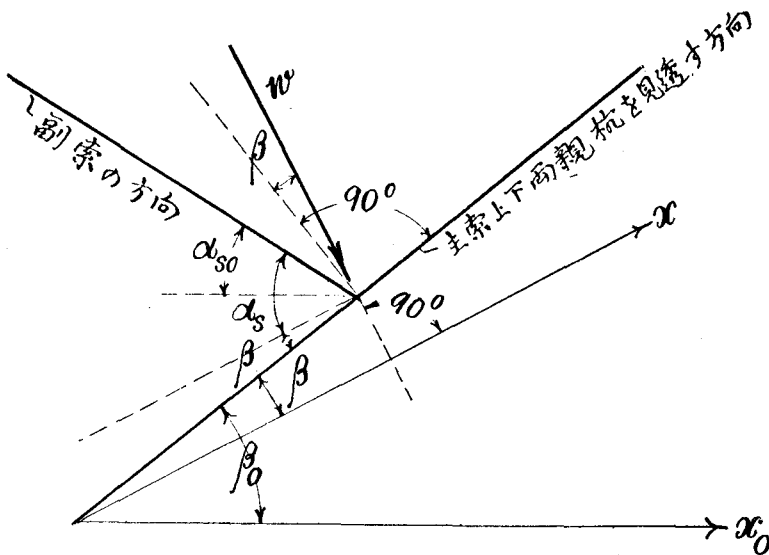


圖-12 方向の關係

主索に含まれたる總ての格間に對して同時に而も一樣なる垂矢比

$$\frac{\delta}{L} = \frac{1}{10}$$

をその近似的な値として假定して見る。網羽の實際の状態を見るときは

局部的には

$$\frac{\delta}{L} = \frac{1}{5}$$

に近き格間も荷重の條件によつては起り得るやうであるが、今著者が目的としてゐる處の β の値を決める爲の手段としての $\left(\frac{\delta}{L}\right)$ であれば、單に動水壓のみを考ふる場合には

$$\frac{\delta}{L} = \frac{1}{10}$$

を總ての格間に對して假定することは大き過ぎるやうにも思はれるのであるが、他方動水壓の外に網羽に於ては更に

- i) 散流材の堰積に因る荷重
- ii) 網羽の衝水面における矢(圖-1), 粗面の網羽子や重し材の存在のための抵抗に因る荷重
- iii) 副索系統に横からかかる動水壓や木材の衝撃に起因して主索に生ずる荷重

等の荷重が働くので、これらの諸因子を取り入れて

$$\frac{\delta}{L} = \frac{1}{10}$$

を假定してみる。

斯様に假定することによつて β は (36) 式で決め得られる、次には x 軸に對して嫁網の方向が有する角度 a_s であるが、これは 圖-12 で既に明瞭であるやうに a_s, β 及 a_{s0}, β_0 の間には次の關係式が成立つのである。

$$a_s + \beta = a_{s0} + \beta_0 \dots\dots\dots(37)$$

a_{s0} は水流に直角の方向を示す x_0 軸に對する副索系統の傾斜角度であつて、 β_0 と共に既知であり(圖-10)、 β は (36) 式により既知となるから、(37) 式によつて、新しい x 軸に對する傾斜角 a_s が與えられるのである。

而して此のたびはかくの如くにして決定せられたる a_s, β に對しても是迄誘導せられたる應力算定の不靜定構造理論は其儘修正なしに適用せられることになるのである。

尙ほ極めて特殊な場合として

$$a_s = 90^\circ$$

(62)

なるときに式(31), (32)は如何なる形をとるであらうか, これは 圖-12に見られるやうに, 副索の方向と w の方向とが一致した場合に相當するのである(圖-13)。

$$c_t = \frac{\tan \alpha_s + \tan \beta}{4m}, \quad c' = n(1 + c_t)$$

であるから

$$\tan \alpha_s = \left(\frac{4m}{n}\right)(c' - n) - \tan \beta \quad \dots\dots\dots (a)$$

又

$$\ln x = 2 \left\{ \frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{3} \left(\frac{x-1}{x+1} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{x-1}{x+1} \right)^5 + \dots\dots \right\}$$

であるから

$$\ln \frac{c' - 2n + 1}{c' - 1} = 2 \left\{ \frac{1-n}{c' - n} + \frac{1}{3} \left(\frac{1-n}{c' - n} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{1-n}{c' - n} \right)^5 + \dots\dots \right\}$$

従つて

$$\lim_{c' \rightarrow \infty} \ln \frac{c' - 2n + 1}{c' - 1} = 2 \left(\frac{1-n}{c' - n} \right) \dots\dots\dots (b)$$

同様にして

$$\ln \frac{1 + \frac{2(n-2)}{3-c'}}{1 + \frac{2(n-2)}{1-c'}} = 2 \left\{ \left[-\frac{2(n-2)}{c'^2 - 2n(c'-2) - 5} \right] + \frac{1}{3} \left[-\frac{2(n-2)}{c'^2 - 2n(c'-2) - 5} \right]^3 + \dots\dots \right\}$$

であるから

$$\lim_{c' \rightarrow \infty} \ln \frac{1 + \frac{2(n-2)}{3-c'}}{1 + \frac{2(n-2)}{1-c'}} = 2 \left\{ -\frac{2(n-2)}{c'^2 - 2n(c'-2) - 5} \right\} \dots\dots\dots (c)$$

(a), (b), (c) によつて

$$\left. \begin{aligned} \lim_{c' \rightarrow \infty} Z_1' &= 0 \\ \lim_{c' \rightarrow \infty} \left\{ \frac{Z_2'}{N_2'} \right\} &= 0 \\ \lim_{c' \rightarrow \infty} N_1' &= c' \left(\frac{nl}{n} \right) \left(\frac{4m}{n} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (38)$$

従つて

$$\left. \begin{aligned} \alpha_s &= 90^\circ \\ \nu = \frac{Z_1' + Z_2'}{N_1' + N_2'} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (39)$$

即ちこの場合には β の如何に係らず常に $\nu=0$ となる, 従つて $H_{s,t}$, H_t の二式は此の場合には次の如くなる。

(33) 式により

$$\left. \begin{aligned} H_{s,t} &= \mu'_{s,t} H_0 \\ \text{但し} & \\ \mu'_{s,t} &= \nu \mu_{s,t} = -t_t = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (40)$$

(34) 式により

$$\left. \begin{aligned} H_t &= \mu'_t H_0 \\ \text{但し} & \\ \mu'_t &= -2 \frac{i-1}{c'-2i+1} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (41)$$

換言すれば

$$X_{s,t} = W \quad \dots\dots\dots (40a)$$

$$X_t = 0 \quad \dots\dots\dots (41a)$$

なる結果が得られるのである。

尙前記算例平取網羽につき (36), (37) 式によつて β , a_s を決めると

$$\tan \beta = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{L} \right) \tan \beta_0 = \frac{1}{20} \tan 70^\circ = 0,137 \ 374$$

従つて

$$\beta = 8^\circ \quad (\tan 8^\circ = 0,140 \ 54)$$

を採用する, 故に

$$a_s = a_{s0} + \beta_0 - \beta = 26^\circ + 70^\circ - 8^\circ = 88^\circ$$

1) これを解析的に誘導してみる:

$$\lim_{c' \rightarrow \infty} t_t = -\frac{2}{c'} \lim_{c' \rightarrow \infty} \left[\frac{i}{1 - \frac{2i+1}{c'}} - \frac{i-1}{1 - \frac{2i-1}{c'}} \right] = -\frac{2}{c'} [i - (i-1)] = -\frac{2}{c'}$$

他方

$$X_{s,t} = \frac{H_{s,t}}{\cos a_s} = -t_t \frac{H_0}{\cos a_s} = + \frac{2}{c'} \cdot \frac{H_0}{\cos a_s} = \frac{2}{c' \cos a_s} \cdot \frac{\omega l^2}{8f} = \frac{nW}{4mc' \cos a_s}$$

然るに

$$\begin{aligned} \left(\frac{4mc' \cos a_s}{a_s = 90^\circ} \right)_{a_s = 90^\circ} &= n \left(\frac{4m \cos a_s + \sin a_s + \tan \beta \cos a_s}{a_s = 90^\circ} \right)_{a_s = 90^\circ} \\ &= n, \end{aligned}$$

$$\therefore X_{s,t} = W.$$

(64)

となる, 従つて

$$l = l' \cos \beta = 949,9 \cdot \cos 8^\circ = 940,66$$

$$\frac{f''}{l'} = 0,061 \ 996 \text{ (變化なし)}$$

$$m = \frac{1}{\cos^2 \beta} \left(\frac{f''}{l'} \right) = 0,063 \ 220$$

$$\tan \beta = 0,140 \ 541$$

$$\cos \beta = 0,990 \ 268$$

$$\tan \alpha_s = 28,636 \ 253$$

$$\cos \alpha_s = 0,034 \ 899 \ 5$$

$$n = 21$$

$$4m = 0,252 \ 880$$

$$\frac{4m}{n} = 0,012 \ 042$$

$$c_t = \frac{\tan \alpha_s + \tan \beta}{\frac{4m}{n}} = 113,7962$$

$$c' = n(1 + c_t) = 2 \ 410,7202$$

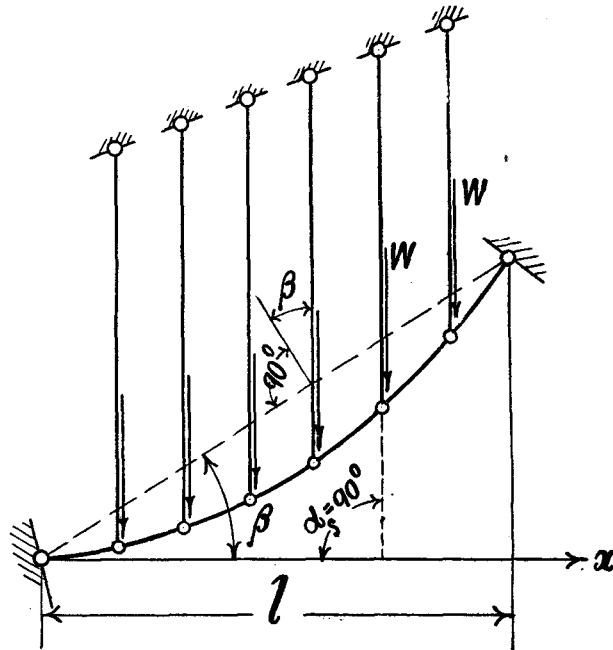
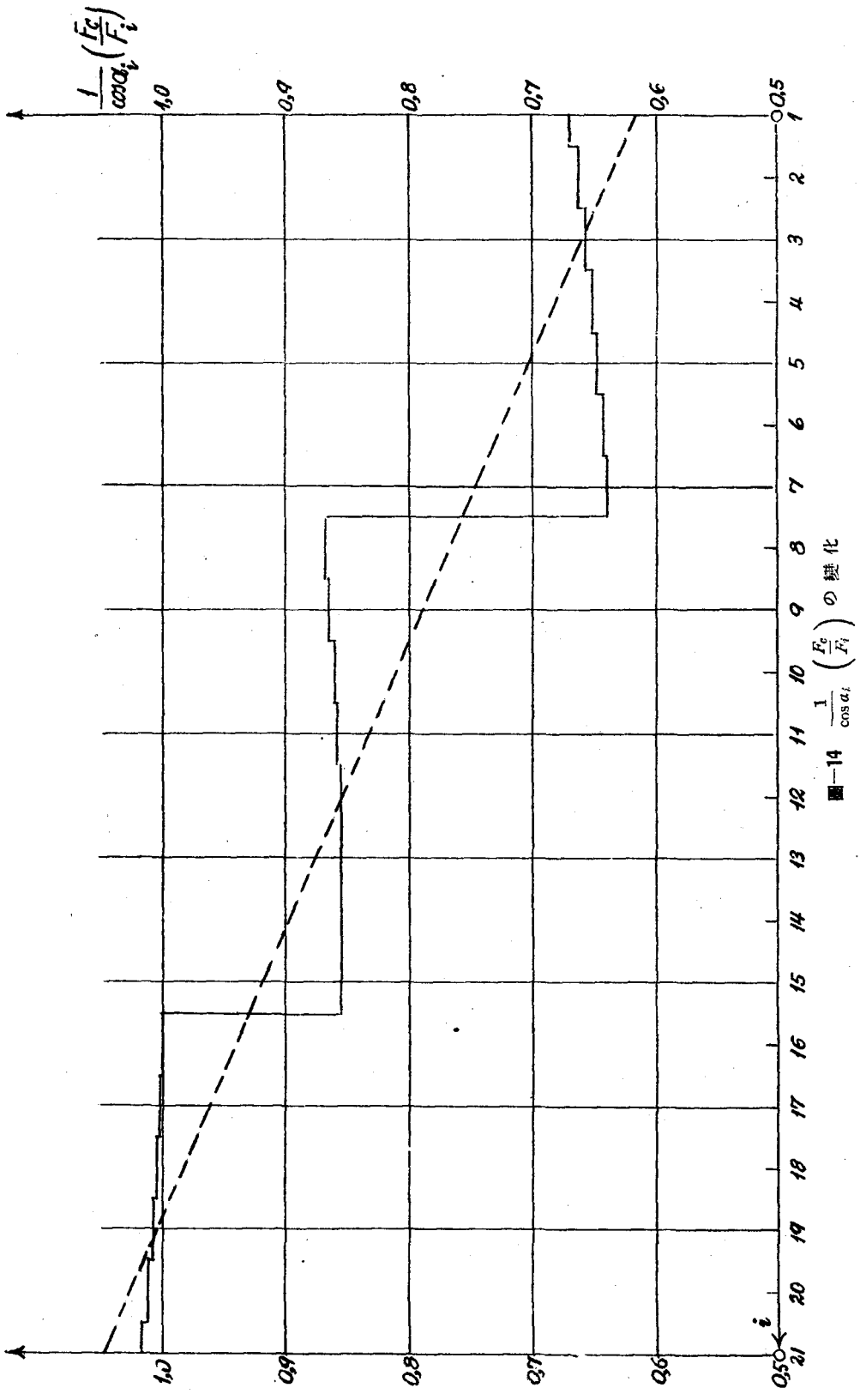


圖-13 $\alpha_s = 90^\circ$ の場合

(26) 式の d', b' は變らない, 即ち

$$d' = 2,019 \ 248$$

$$b' = 109,7221$$



■—14 $\frac{1}{\cos \alpha_i} \left(\frac{F_c}{F_i} \right)$ の變化

(24) 式の a, b は $\cos \sigma_i$ に含まれる β, m が變るから新に計算の要がある。

$$\begin{aligned} \frac{1}{\cos \sigma_i} &= \sqrt{1 + \left\{ \tan \beta + \left(\frac{4m}{n} \right) (n-2i+1) \right\}^2} \\ &= \sqrt{1 + \{0,405\ 465 - 0,028\ 084i\}^2} \end{aligned}$$

従つて表-7を得る、此の表の列(7)は項 $\frac{1}{\cos \sigma_i} \left(\frac{F_c}{F_i} \right)$ を表はすのである、此の値を圖示したのが圖-14の階段状の實線である、これを前の圖-7のそれと比較すれば β の變化が如何に此の量に大きな影響を及ぼすかが窺はれる。

この階段状の變化を最小二乗法によつて簡単な直線で表すために(25)式によつて係數 a, b を計算すれば(表-8)

表-7 $\frac{1}{\cos \sigma_i} \left(\frac{F_c}{F_i} \right)$ の計算¹⁾

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		(6)		(7)
i	0,028084 <i>i</i>	0,405465 -(1)	1+(2) ²	$\sqrt{(3)}$	F_i		$F_i : F_c$		(4) : (6)
1	0,028084	+0,377381	1,142416	1,069	表親綱	裏親綱			0,669
2	0,056168	+0,349297	1,122008	1,059	$\phi\ 2''$				0,663
3	0,084252	+0,321213	1,103178	1,050	B.S.		B.S.		0,657
4	0,112336	+0,293129	1,085925	1,042	112,50'	$\phi\ 1\frac{1}{2}''$	177,48'	1,5931	0,652
5	0,140420	+0,265045	1,070249	1,035					0,648
6	0,168504	+0,236961	1,055151	1,027					0,643
7	0,196588	+0,208877	1,043630	1,022					0,640
8	0,224672	+0,180793	1,032686	1,016	\otimes				0,638
9	0,252756	+0,152709	1,023320	1,012					0,635
10	0,280840	+0,124625	1,015531	1,008	$\phi\ 1\frac{1}{2}''$	B.S.	B.S.		0,861
11	0,308924	+0,096541	1,009320	1,005		64,98'	129,96'	1,1702	0,859
12	0,337008	+0,068457	1,004686	1,002					0,856
13	0,365092	+0,040373	1,001630	1,001					0,855
14	0,393176	+0,012289	1,000151	1,000					0,855
15	0,421260	-0,015795	1,000249	1,000	B.S.				0,855
16	0,449344	-0,043879	1,001925	1,001	64,98'	\otimes			1,001
17	0,477428	-0,071963	1,005179	1,003		$\phi\ 1\frac{1}{4}''$	B.S.		1,003
18	0,505512	-0,100047	1,010009	1,005		B.S.	111,06'	1	1,005
19	0,533596	-0,128131	1,016418	1,008		46,08'			1,008
20	0,561680	-0,156215	1,024403	1,012					1,012
21	0,589764	-0,184299	1,033966	1,017					1,017

1) 表-1の脚註はすべてこの表にも適用される。

表一八 係數 a, b の計算

$x=i$	y 1)	xx	xy
1	0,669	1	0,669
2	0,663	4	1,326
3	0,657	9	1,971
4	0,652	16	2,608
5	0,648	25	3,240
6	0,643	36	3,858
7	0,640	49	4,480
8	0,638	64	6,944
9	0,635	81	7,785
10	0,631	100	8,610
11	0,629	121	9,449
12	0,626	144	10,272
13	0,625	169	11,115
14	0,625	196	11,970
15	0,625	225	12,825
16	1,001	256	16,016
17	1,003	289	17,051
18	1,005	324	18,090
19	1,008	361	19,152
20	1,012	400	20,240
21	1,017	441	21,357
$[x]$ =231	$[y]$ = 17,492	$[xx]$ =3311	$[xy]$ =209,028

$$a = \frac{n[xy] - [x][y]}{n[xx] - [x]^2} = \frac{21 \cdot 209,028 - 231 \cdot 17,492}{21 \cdot 3311 - 231^2} = 0,021 \ 579 \ 22$$

$$b = \frac{[xx][y] - [x][xy]}{n[xx] - [x]^2} = \frac{3311 \cdot 17,492 - 231 \cdot 209,028}{16 \ 170} = 0,595 \ 580 \ 95$$

故に

$$i=1 \quad \frac{1}{\cos \alpha_1} \left(\frac{F_c}{F_1} \right) = 0,61716$$

1) 表一七の列 7) の數値。

$$i=21 \quad \frac{1}{\cos a_{21}} \left(\frac{F_c}{l_{21}} \right) = 1,048 \ 76$$

此の直線を圖示すれば 圖—14 の點線のそれを得る。

以上の諸數値によつて (32) 式から Z'_1 , Z_2 或は N'_2 , N_1 を計算することが出来る。

Z_1 :

$$\frac{2(c'-1)^2}{n} = 215 \ 878,80$$

$$Z_1 = 215 \ 878,80 \left(0,026 \ 243 \ 38 - 0,053 \ 803 \ 65 + 0,024 \ 819 \ 89 \right) \\ = -591,589 \ 95$$

Z_2 或は N'_2 :

$$A = 5 \ 620 \ 313,2667$$

$$\frac{F_c}{l'_{c,s}} = 2,410 \ 16$$

$$\frac{4(c'-1)^2}{\cos^2 a_s} = 19 \ 070 \ 181 \ 128$$

$$\ln \frac{1 + \frac{2(n-2)}{3-c'}}{1 + \frac{2(n-2)}{1-c'}} = \ln \ 0,999 \ 986 \ 70 = -0,000 \ 013 \ 4$$

$$\therefore Z_2 = 2,410 \ 16 \cdot 19 \ 070 \ 181 \ 128 \left(0,000 \ 026 \ 420 \ 330 + 0,000 \ 000 \ 001 \ 406 \right) \\ = 1 \ 214 \ 400,7877$$

N_1 :

$$\frac{(c'-1)^2 l}{n} = 260 \ 103 \ 750^m$$

$$N_1 = 260 \ 103 \ 750^m \left(0,002 \ 415 \ 728 + 0,002 \ 628 \ 764 + 16,517 \ 869 \right) \\ = 4 \ 297 \ 671 \ 892^m$$

従つて

$$\nu = \frac{Z'_1 + Z'_2}{N'_1 + N'_2} = \frac{-591,58995 + 1 \ 214 \ 400,7877}{4 \ 297 \ 671 \ 892^m + 1 \ 214 \ 400,7877} = \frac{1}{3 \ 541,6491} = 0,000 \ 282 \ 354 \ 339$$

- 1) 此の場合の如く β の小にして c' の大なる場合はこの項は出来るだけ精密に算出する必要がある。
- 2) かの β の小にして c' の大なる場合の第一項の各因子は精密に出す必要がある。
- 3) かの如く β が小にして a_s が 90° に近接せる場合は、分子各項の數字の示す如くに、副索系統の有つ諸性質の影響は主索系統のそれに比して著しく大なることを知るのである。これ前記算例 $\beta=70^\circ$, $a_s=26^\circ$ の場合と全く逆となるものにして、此のことは公式 (40a), (41a) によりても首肯せらるゝところである。

(68)

故に (33), (34), (35) の諸式によつて $X_{s,i}$, X_i を求むれば 表-9 及び -10 を得る。

表-9 平取網羽, 係数 $\mu_{s,i}$, $\frac{\mu_{s,i}}{\cos a_s}$ の計算

$\nu = 0.000\ 282\ 354\ 339$ $1 - \frac{1}{\nu} = -3\ 540,6491$ $c' = 2410,7202$ $\cos a_s = 0,034\ 899\ 5$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	$-2i-1$	$-2i+1$	$c'-2i-1$	$c'-2i+1$	$\frac{i}{(4)}$	$\frac{i-1}{(5)}$	$-2\{(6)-(7)\}$	$\frac{\mu_{s,i}}{(1-\frac{1}{\nu})}$ (8)	$\frac{X_{s,i}}{H_1} = \frac{\mu_{s,i}}{\cos a_s}$
1	-3	-1	2407,7202	2409,7202	,0 ³ 415331	0	-0,0 ³ 830662	2,94108	84,2729
2	-5	-3	2405,7202	2407,7202	831352	,0 ³ 415331	832042	2,94597	84,4130
3	-7	-5	2403,7202	2405,7202	,0 ² 1248065	831352	833426	2,95087	84,5534
4	-9	-7	2401,7202	2403,7202	1665473	,0 ² 1248065	834816	2,95579	84,6943
5	-11	-9	2399,7202	2401,7202	2083576	1665473	836206	2,96071	84,8353
6	-13	-11	2397,7202	2399,7202	2502377	2083576	837602	2,96565	84,9769
7	-15	-13	2395,7202	2397,7202	2921877	2502377	839000	2,97060	85,1187
8	-17	-15	2393,7202	2395,7202	3342078	2921877	840402	2,97557	85,2611
9	-19	-17	2391,7202	2393,7202	3762982	3342078	841808	2,98055	85,4038
10	-21	-19	2389,7202	2391,7202	4184590	3762982	843216	2,98553	85,5465
11	-23	-21	2387,7202	2389,7202	4606305	4184590	844630	2,99054	85,6901
12	-25	-23	2385,7202	2387,7202	5029928	4606305	846046	2,99555	85,8336
13	-27	-25	2383,7202	2385,7202	5453660	5029928	847464	3,00057	85,9775
14	-29	-27	2381,7202	2383,7202	5878104	5453660	848888	3,00561	86,1219
15	-31	-29	2379,7202	2381,7292	6303262	5878104	850316	3,01067	86,2669
16	-33	-31	2377,7202	2379,7202	6729135	6303262	851746	3,01573	86,4119
17	-35	-33	2375,7202	2377,7202	7155725	6729135	853180	3,02081	86,5574
18	-37	-35	2373,7202	2375,7202	7583034	7155725	854618	3,02590	86,7033
19	-39	-37	2371,7202	2373,7202	8011063	7583034	856058	3,03100	86,8494
20	-41	-39	2369,7202	2371,7202	8439814	8011063	857502	3,03611	86,9958

表-10 平取網羽, 係数 μ_i , $\frac{\mu_i}{\cos \alpha_i}$ の計算

$-2\left(\frac{1}{\nu} - 1\right) = -7081.2982$					
1	2	3	4	5	6
i	$\frac{i-1}{c'-2i+1}$	$-2\left(\frac{1}{\nu} - 1\right)(2)$	$\mu_i = 1 + (3)$	$\frac{1}{\cos \alpha_i}$ ¹⁾	$\frac{X_i}{H_1} = (4) \cdot (5) = \frac{\mu_i}{\cos \alpha_i}$
1	0	0	+ 1.00000	1,669	+ 1,6690
2	0,0 ⁴ 15331	- 2,94108	- 1,94108	1,059	- 2,0556
3	832352	- 5.89413	- 4,89413	1,050	- 5,1388
4	0,0 ² 1248065	- 8,83792	- 7,83792	1,042	- 8,1671
5	1665473	-11,79371	-10,79371	1,035	-11,1715
6	2083576	-14,75442	-13,75442	1,027	-14,1258
7	2502377	-17,72008	-16,72008	1,022	-17,6879
8	2921877	-20,69068	-19,69068	1,016	-20,0057
9	3342078	-23,66625	-22,66625	1,012	-22,9382
10	3762982	-26,64680	-25,64680	1,008	-25,8520
11	4184590	-29,63233	-28,63233	1,005	-28,7755
12	4606905	-32,62287	-31,62287	1,002	-31,6861
13	5029928	-35,61842	-34,61842	1,001	-34,6530
14	5453660	-38,61899	-37,61899	1,000	-37,6190
15	5878104	-41,62461	-40,62461	1,000	-40,6246
16	6303262	-44,63528	-43,63528	1,001	-43,6789
17	6729135	-47,65101	-46,65101	1,003	-46,7910
18	7155725	-50,67111	-49,67111	1,005	-49,9195
19	7583034	-53,69773	-52,69773	1,008	-53,1193
20	8011063	-56,72873	-55,72873	1,012	-56,3975
21	8439814	-59,76484	-58,76484	1,017	-59,7638

以上により著者は平取網羽につき $\beta=70^\circ$ ($\alpha_s=26^\circ$) 及び $\beta=8^\circ$ ($\alpha_s=88^\circ$) の二つの場合につき計算を行つたのであるが、此處では更に係數量 ν や應力比 $\frac{X_{s,i}}{H_1}$, $\frac{X_i}{H_1}$ の β に因る變化の状態を明らかにする目的で同じ平取網羽の場合について前二者の中間即ち $\beta=20^\circ$ ($\alpha_s=76^\circ$) と假定して計算をやつて見る。此の β の値は平取網羽の場合については (36) 式によつて計算すれば

$$\frac{\delta}{L} = \frac{1}{3,78}$$

1) 表-7 既出。

(70)

の場合に相当するのである。

$$\beta = 20^\circ \quad \alpha_s = 96^\circ - \beta = 76^\circ$$
$$l = l' \cos \beta = 949,9^m \cos 20^\circ = 892,61^m$$

$$\frac{f'}{l'} = 0,061 \ 996 \text{ (變化なし)}$$

$$m = \frac{1}{\cos^2 \beta} \left(\frac{f'}{l'} \right) = 0,070 \ 209$$

$$\tan \beta = 0,363 \ 970 \ 2$$

$$\cos \beta = 0,939 \ 692 \ 6$$

$$\tan \alpha_s = 4,010 \ 780 \ 9$$

$$\cos \alpha_s = 0,241 \ 921 \ 9$$

$$n = 21$$

$$4m = 0,280 \ 836$$

$$\frac{4m}{n} = 0,013 \ 373 \ 1$$

$$c_i = \frac{\tan \alpha_s + \tan \beta}{4m} = 15,577 \ 60$$

$$c' = n(1 + c_i) = 348,12960$$

$$\left. \begin{aligned} a' &= -2,019 \ 248 \\ b' &= 109,7221 \end{aligned} \right\} \text{(變化なし)}$$

β, m が變つたから a, b は變る。

$$\frac{1}{\cos \alpha_i} = \sqrt{1 + \left\{ \tan \beta + \left(\frac{4m}{n} \right) (n - 2i + 1) \right\}^2}$$
$$= \sqrt{1 + \left\{ 0,658 \ 178 - 0,026 \ 746 \ i \right\}^2}$$

これで $\frac{1}{\cos \alpha_i}$ を計算すれば 表-11 の列(4)の値を得て、此の値によつて更に同表の列(7)の如き $\frac{1}{\cos \alpha_i} \left(\frac{f'_i}{l'_i} \right)$ の數値が得られる、これは 圖-15 の階段狀の曲線で表はされる、而してこの數値を利用して公式(24), (25)による a, b を計算すれば 表-12 によつて

表-11 $\frac{1}{\cos a_t} \left(\frac{F_c}{F_t} \right)$ の計算¹⁾

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		(6)		(7)
i	$0,026746 i$	$0,658178 - (1)$	$1+(2)^2$	$\sqrt{(3)}$	F_t		$F_t : F_c$		$(4) \div (6)$
1	0,026746	+0,631432	1,398706	1,183	表親綱	裏親綱			0,7403
2	0,053492	0,604636	1,365645	1,169	$\phi 2''$				0,7315
3	0,080238	0,577940	1,334015	1,155	B. S.		B. S.		0,7227
4	0,106984	0,551194	1,303815	1,142	112,50'	$\phi 1\frac{1}{2}''$	177,48'	1,5981	0,7146
5	0,133730	0,524448	1,275046	1,129					0,7065
6	0,160476	0,497702	1,247707	1,117					0,6990
7	0,187222	0,470956	1,221800	1,105					0,6914
8	0,213968	0,444210	1,197323	1,094	\otimes				0,9349
9	0,240714	0,417464	1,174276	1,084		B. S.			0,9263
10	0,267460	0,390718	1,152661	1,073	$\phi 1\frac{1}{2}''$	64,98'			0,9169
11	0,294206	0,363972	1,132476	1,064			B. S.	1,1702	0,9092
12	0,320952	0,337226	1,113721	1,055			129,96'		0,9016
13	0,347698	0,310480	1,096398	1,047					0,8947
14	0,374444	0,283734	1,080505	1,039	B. S.				0,8879
15	0,401190	0,256988	1,066043	1,032	64,98'				0,8819
16	0,427936	0,230242	1,053011	1,026		\otimes			1,0260
17	0,454682	0,203496	1,041411	1,020		$\phi 1\frac{1}{4}''$	B. S.		1,0200
18	0,481428	0,176750	1,031241	1,016		B. S.	111,06'	1	1,0160
19	0,508174	0,150004	1,022501	1,011		46,08'			1,0110
20	0,534920	0,123258	1,015193	1,008					1,0080
21	0,561666	0,096512	1,009315	1,005					1,0050

1) 表-1の脚註はすべてこの表にも適用される。

表-12 係数 a, b の計算

$x=i$	y ¹⁾	$x x$	$x y$
1	0,740	1	0,740
2	0,732	4	1,464
3	0,723	9	2,169
4	0,715	16	2,860
5	0,707	25	3,535
6	0,699	36	4,194
7	0,691	49	4,837
8	0,683	64	5,480
9	0,676	81	6,134
10	0,668	100	6,810
11	0,661	121	7,499
12	0,653	144	8,224
13	0,646	169	8,935
14	0,638	196	9,632
15	0,631	225	10,330
16	0,623	256	11,016
17	0,616	289	11,740
18	0,608	324	12,488
19	0,601	361	13,209
20	0,594	400	13,960
21	0,586	441	14,710
$[x]$ =231	$[y]$ =18,347	$[xx]$ =3311	$[xy]$ =215,421

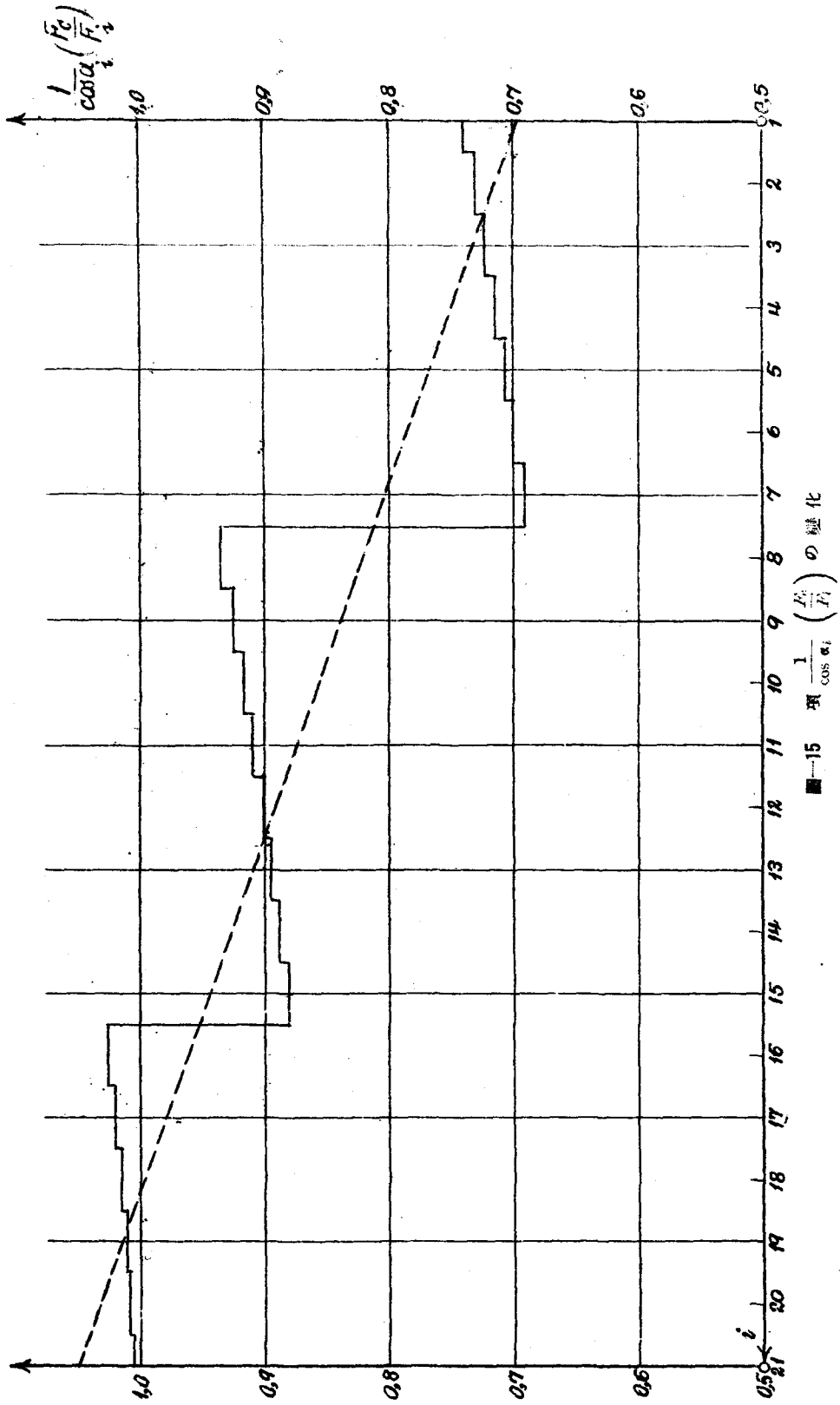
$$a = \frac{21 \cdot 215,421 - 231 \cdot 18,347}{21 \cdot 3311 - (231)^2} = 0,017 \ 667 \ 53$$

$$b = \frac{3311 \cdot 18,347 - 231 \cdot 215,421}{21 \cdot 3311 - (231)^2} = 0,679 \ 323 \ 8$$

此の場合の

$$\frac{1}{\cos a_t} \left(\frac{F_c}{F_i} \right) = ai + b$$

1) 表-11の列(7)の数値(第4位四捨五入)。



なる直線は 圖-15 に點線を以て表はされてゐる。

以上の諸數値によつて ν の各項を計算すれば次の如くなる。

Z_1 :

$$\frac{2(c'-1)l}{n} = 29\ 509,65^m$$

$$Z_1 = 29\ 509,65^m (0,033\ 357 - 0,062\ 665 + 14,902\ 670)$$

$$= 438\ 907,71^m$$

N_2 或 Z_2 :

$$A = 94\ 942,8504$$

$$\frac{F_c}{F_{c,s}} = 2,410\ 16$$

$$\frac{4(c'-1)^2}{\cos^2 \alpha_s} = 8\ 235\ 555,84$$

$$\ln \frac{1 + \frac{2(n-2)}{3-c'}}{1 + \frac{2(n-2)}{1-c'}} = \ln 0,999\ 287\ 65 = -0,000\ 712\ 7$$

$$\therefore Z_2 = 2,410\ 16 \cdot 8\ 235\ 555,84 (0,000\ 002\ 634\ 557 + 0,000\ 000\ 551\ 692)$$

$$= 63,243\ 879^m$$

N_1 :

$$\frac{(c'-1)^2 l}{n} = 5\ 121\ 837,2^m$$

$$N_1 = 5\ 121\ 837,2^m (0,003\ 125 - 0,004\ 816 + 14,870\ 715)$$

$$= +76\ 156\ 720^m$$

従つて

$$\nu = \frac{Z_1 + Z_2}{N_1 + N_2} = \frac{438\ 907,71 + 63,243\ 879}{76\ 156\ 720 + 63,243\ 879}$$

$$= \frac{1}{173,489\ 35} = 0,005\ 764\ 042\ 58$$

故に (33), (34), (35) の諸式によつて $X_{s,i}$, X_i を求むれば 表-13 及び -14 を得る。

表-13 平取網羽, 係數 $\mu_{s,t}$, $\frac{\mu_{s,t}}{\cos a_s}$ の計算

$\nu = 0,005\ 764\ 042$ $1 - \frac{1}{\nu} = -172,48935$ $c' = 348,1296$ $\cos a_s = 0,241\ 9219$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	$-2i-1$	$-2i+1$	$c'-2i-1$	$c'-2i+1$	$\frac{i}{(4)}$	$\frac{i-1}{(5)}$	$-2\{(6)-(7)\}$	$= \left(1 - \frac{1}{\nu}\right)(8)$	$\frac{X_{s,t}}{H_1} = \frac{\mu_{s,t}}{\cos a_s}$
1	-3	-1	345,1296	347,1296	0,0028975	0	-0,0057950	0,999576	4,1318
2	-5	-3	343,1296	345,1296	0,058287	0,0028975	0,058624	1,011202	4,1799
3	-7	-5	341,1296	343,1296	0,087913	0,058287	0,059312	1,023069	4,2289
4	-9	-7	339,1296	341,1296	0,117949	0,087943	0,060012	1,035143	4,2788
5	-11	-9	337,1296	339,1296	0,148311	0,117949	0,060724	1,047424	4,3296
6	-13	-11	335,1296	337,1296	0,179035	0,148311	0,061448	1,059913	4,3812
7	-15	-13	333,1296	335,1296	0,210128	0,179035	0,062186	1,072642	4,4338
8	-17	-15	331,1296	333,1296	0,241597	0,210128	0,062938	1,085613	4,4875
9	-19	-17	329,1296	331,1296	0,273448	0,241597	0,063702	1,098792	4,5419
10	-21	-19	327,1296	329,1296	0,305689	0,273448	0,064482	1,112246	4,5975
11	-23	-21	325,1296	327,1296	0,338327	0,305689	0,065276	1,125941	4,6542
12	-25	-23	323,1296	325,1296	0,371368	0,338327	0,066082	1,139844	4,7116
13	-27	-25	321,1296	323,1296	0,404821	0,371368	0,066906	1,154057	4,7704
14	-29	-27	319,1296	321,1296	0,438693	0,404821	0,067744	1,168512	4,8301
15	-31	-29	317,1296	319,1296	0,472993	0,438693	0,068600	1,183277	4,8912
16	-33	-31	315,1296	317,1296	0,507728	0,472993	0,069470	1,198284	4,9532
17	-35	-33	313,1296	315,1296	0,542906	0,507728	0,070356	1,213566	5,0164
18	-37	-35	311,1296	313,1296	0,578537	0,542906	0,071262	1,229194	5,0810
19	-39	-37	309,1296	311,1296	0,614629	0,578537	0,072184	1,245097	5,1467
20	-41	-39	307,1296	309,1296	0,651191	0,614629	0,073124	1,261311	5,2137

表-14 平取網羽, 係數 μ_i , $\frac{\mu_i}{\cos \alpha_i}$ の計算

$-2\left(\frac{1}{\nu} - 1\right) = -344,97870$					
1	2	3	4	5	6
i	$\frac{i-1}{c'-2i+1}$	$-2\left(\frac{1}{\nu}-1\right) \cdot 2)$	$\mu_i = 1 + (3)$	$\frac{1}{\cos \alpha_i} \text{ ①)}$	$\frac{X_i}{H_1} = (4) \cdot (5) = \frac{\mu_i}{\cos \alpha_i}$
1	0	0	+ 1,00000	1,183	+ 1,1830
2	0,0028975	- 0,99958	- 0,00042	1,169	- 0,0005
3	0058287	- 2,01078	- 1,01078	1,155	- 1,1675
4	0087943	- 3,03395	- 2,03385	1,142	- 2,3227
5	0117949	- 4,06893	- 3,06899	1,129	- 3,4649
6	0148311	- 5,11641	- 4,11641	1,117	- 4,5930
7	0179035	- 6,17633	- 5,17633	1,105	- 5,7198
8	0210128	- 7,24897	- 6,24897	1,094	- 6,8364
9	0241597	- 8,33458	- 7,33458	1,084	- 7,9507
10	0273448	- 9,43337	- 8,43337	1,073	- 9,0490
11	0305689	- 10,54562	- 9,54562	1,064	- 10,1565
12	0338327	- 11,67156	- 10,67156	1,055	- 11,2585
13	0371363	- 12,81140	- 11,81140	1,047	- 12,3665
14	0404821	- 13,96546	- 12,96546	1,039	- 13,4711
15	0438693	- 15,13397	- 14,13397	1,032	- 14,5863
16	0472993	- 16,31725	- 15,31725	1,026	- 15,7155
17	0507728	- 17,51553	- 16,51553	1,020	- 16,8458
18	0542906	- 18,72910	- 17,72910	1,016	- 18,0128
19	0578537	- 19,95829	- 18,95829	1,011	- 19,1668
20	0614629	- 21,20339	- 20,20339	1,008	- 20,3650
21	0651191	- 21,46470	- 21,46470	1,005	- 21,5720

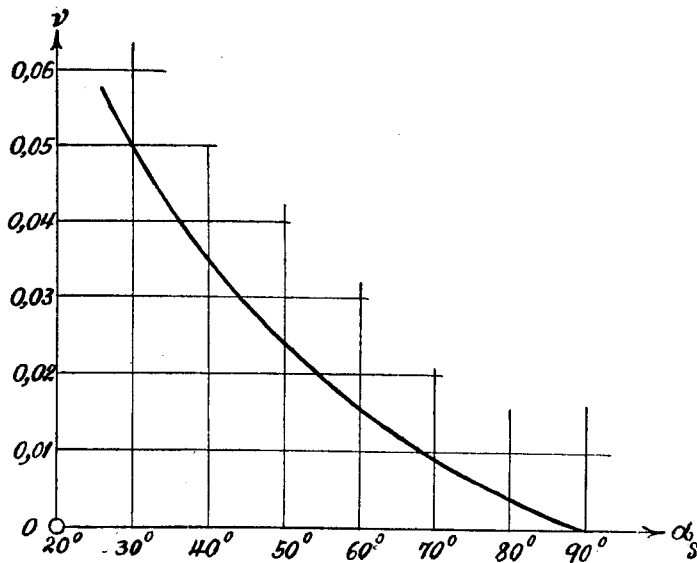


圖-16 α_s に因る ν の變化

著者は以上に於て β の三種の値に對して、平取網羽の實例について、主副兩索系統に關する應力比 $\frac{X_{s,t}}{H_t}$ 、 $\frac{X_t}{H_t}$ の計算を行つたのである。而して此の場合網羽の主索系統にかかる荷重の大きさ w が與えられるときは(圖-10)、公式(18)、(19)によつて H_t が與えられるから、直ちに $X_{s,t}$ 、 X_t なる應力量が解かるのである。此の場合採用さるべき w の安全なる大きさの如何ほどのものなるかの判定は、一に著者が日高の王子會社の現場に於て實施しつつある實驗の結果に俟つのであるから此處では不靜定構造理論による是以上の計算は必要を認めない。

併し假りに此の荷重の大きさ w が與えられたりとして應力量 $X_{s,t}$ 、 X_t が正確に算出せられたものとすれば、これに適切に選擇されたる安全率を乗じて此の値に近接したる極限強を有する鋼索を夫々主索並に副索系統に採用するのであるが、此の場合採用せられたる鋼索断面は(19)式による係數 ν の計算に當つて、かねて豫定せる鋼索断面より小なることを要するのである。之が不幸にして大となれるときは最初の豫定断面を變更して計算を遣り直し、算出断面が豫定断面より小となる迄何回も上述理論に依る計算を繰り返すの煩を取てせねばならぬ、これ前言したる如く不靜定構造物に必定なる設計上の難關であつて、本來網羽の構造は靜力學的には不靜定構造物に屬するのであるから、本節理論によつて網羽の安全にして經濟的なる設計に到達する爲めには、此の難關突破は不可避のものである。唯本節に於ける著者の近似式誘導によつて、算例平取網羽におけるが如く、格間數が如何程多く存在する場合にも設計者は平易な間違ひの少ない途を進むを得て、難關突破の勞苦は著しく輕減されるのである。

翻つて再び平取網羽に關する三種の算例たる 表—5, —6, —9, —10, —13, —14 を見れば直ちに二つの大きな事柄, 即ち

- i) 三種の場合に涉つて副索系統には凡て抗張應力が作用する。
- ii) 三種の場合に涉つて主索系統には大部分壓縮應力が支配する。

を認識し得る。而して此の第二の事實は網羽の構造を不靜定構造物と假定して展開せる本節の理論の價値に對して決定的の指示を與えるものである。即ち著者は本節の理論展開の冒頭に於て、網羽を構成する凡ての部材は、張力にも壓縮力にも、同様に抵抗可能なりとの假定のもとに不靜定構造理論を展開したのであるから、かかる假定のもとに部材應力が張力と算出されやうが、壓縮力と算出されやうが、本節の理論自體の完全性を傷けるものではないが、實際上實施せられ居る網羽の主副兩索系統は共に張力には抵抗出來得るも壓縮力には絶對的に抵抗出來ざる構造上の特質を具えて居る爲めに、主索部材の殆んど凡てに涉つて壓縮應力が支配するといふ上記第二の本節の理論より來る結論は、今日の網羽技術の實地と全く背馳することになるのである。

更に又、著者が本節で行つた平取網羽の三種の算例を仔細に點檢すれば、次の二個の事柄を認識し得る、即ち

- i) 副索系統の各部材は下親杭に近きものほどより大きな抗張應力を受ける。
- ii) 主索系統の各部材は下親杭に近づくほどより大きな壓縮應力を受ける。

之に對して今日の網羽技術は

- i) 副索系統には上親杭に近きものほどより大きな極限強の鋼索を使用する。
- ii) 主索系統には上親杭に近き部材ほどより大きな極限強の鋼索を使用する。

ものにして、此の點に關しても本節理論の指示する傾向と全く反對の應力の傾向の豫想を現地の技術は使用してゐるのである¹⁾。

かくして、本節の理論の算例よりする結論と、今日實施せられ居る網羽技術の實際とは

- i) 主索系統に就ては其の應力の正負の符號に關して
- ii) 主副兩索系統に就ては其の應力の増減の傾向に關して

兩者は殆んど全面的に相背反することを知つた。これに對處すべき方法としては

- i) 網羽を本來の不靜定構造物として受け入れて、應力の符號並びに其の増減の傾向に關して本節の理論に合致するやうに今日の網羽の技術に改革を加へるか

1) 本節の理論による平取網羽の算例に於ては平取網羽の實地が然る如く、副索も主索も上親杭に近きものほど大なる鋼索断面を豫定して計算したるものなるも、算出された應力の傾向は三種の場合とも之と逆となつたのである。

(78)

ii) 網羽を構成する各部材を張力にも圧縮力にも抵抗し得るものとしての条件のもとに網羽を不静定構造物と看做して展開せしめた本節の理論を上述の理由によつて網羽技術の實際に不適當なりとして之を廢棄し、他に適切なる設計の理論を求むるかの二つの方法が吾々の手に残されることになるのである。

而して前者の方法に關して考察すれば副索系統に就ては理論の結果は應張力を要求してゐるのであるから、實地技術の使用する鋼索は材料として適切なものであるが、主索系統の大部分に理論の結果の要求する處の壓縮應力に對して、主索系統の部材として壓縮材を採用すべきことの適否は如何。抑構造部材に同一の安全率を保持するとき、鋼材の如き主要材料に於ては、壓縮材にありては其の細長比 (slenderness ratio) にも依るが、抗張材に比較して最小 2 割以上の許容應力強度 (allowable stress intensity) の遞減をなすのが構造技術の常道であつて、材料的に壓縮材は著しい損失を包含してゐる。それが全體構造の一員としての單純なる本來の壓縮力の作用の外に、局部的には更に横方向からの動水壓や木材の堰潰等に起因する横壓力を受ける爲めに挫屈現象 (buckling) の中でも最も困難な問題を設計に取り入ることとなり、假令かくして設計し得たりとするも網羽構造の保有すべき安全率の低下は當然免れ得ない。更に重要な一點は、網羽の抗張材として使用さるゝ鋼索は極めて高強度の鋼線より構成されたるを以て、鋼索斷面の割りに高き極限強を發揮するも、壓縮材として使用さるべき普通構造用鋼材は、それを抗張材として使用する場合に於てさえ、その極限強が鋼線材料に比して大約 6 割方落ちるのであつて、従つて主索が壓縮材として設計されたるとき甚はたしく龐大な斷面と複雑な構造とを有する部材となりて、網羽の架設撤去に際しての取扱や部材の維持修繕に當つて生ずる困難、又副索系統の主索との連結、かかる重量的部材を浮游せしむべ工き夫等に關して鋼索の場合に比して致命的の困難に行き當るであらう。

即ち著者は、上述の如き理由によつて本節の不静定構造理論を翳して、現時普遍せる網羽の技術に大きな改革を加えむとする方法を一時留保する。而して今は残されたる問題はより適切なる設計理論の探求にあるのみとなつた。著者は此の解決の鍵を求めて、更に他の未知の世界に探索の歩を進め度い。

尙ほ本節に於て行える、平取網羽の算例の結果を比較すれば 圖—16. —17, —18 の諸曲線を得る。

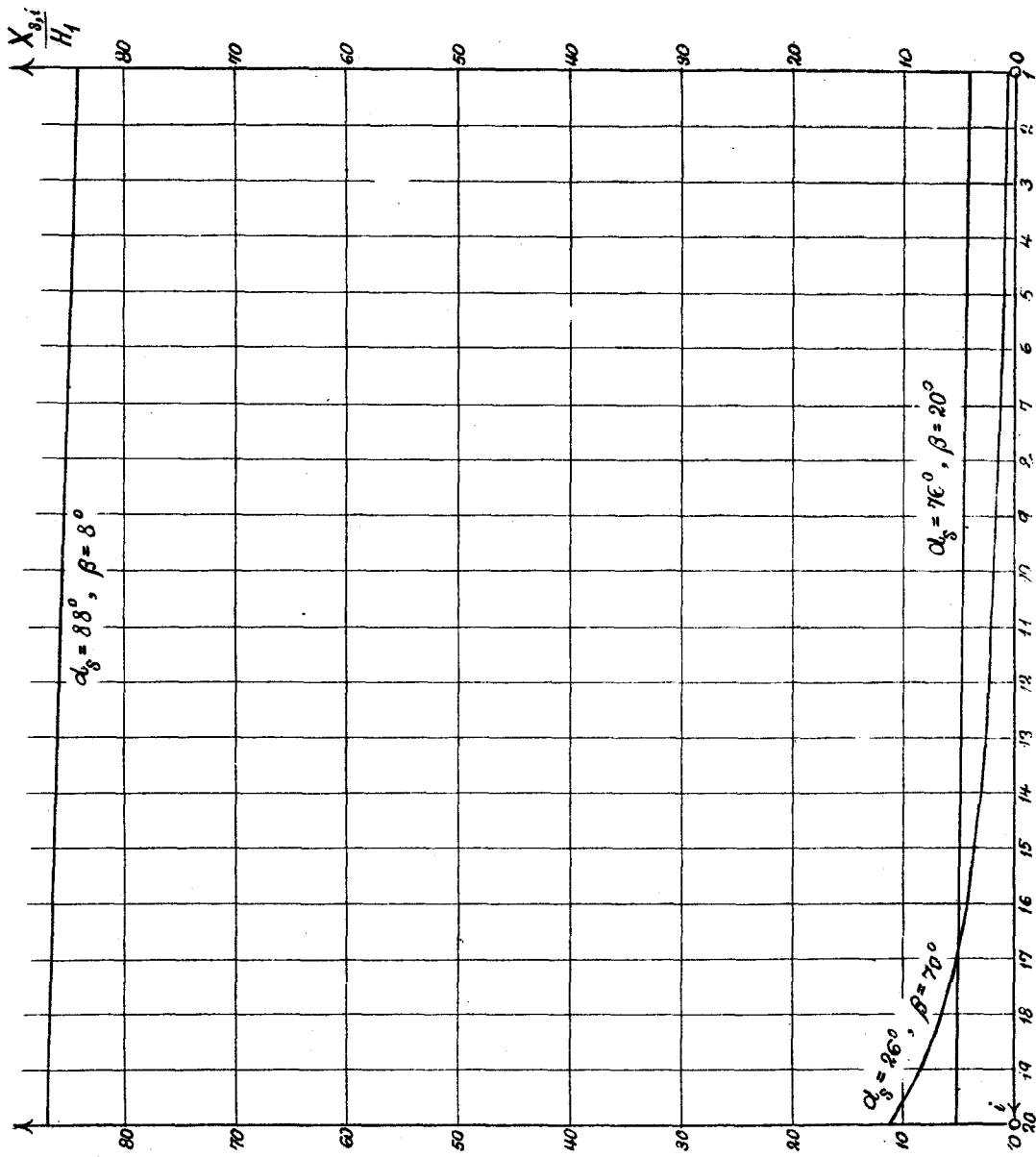


圖-17 α_8, β_8 に関する $\frac{X_{8,i}}{H_1}$ の變化

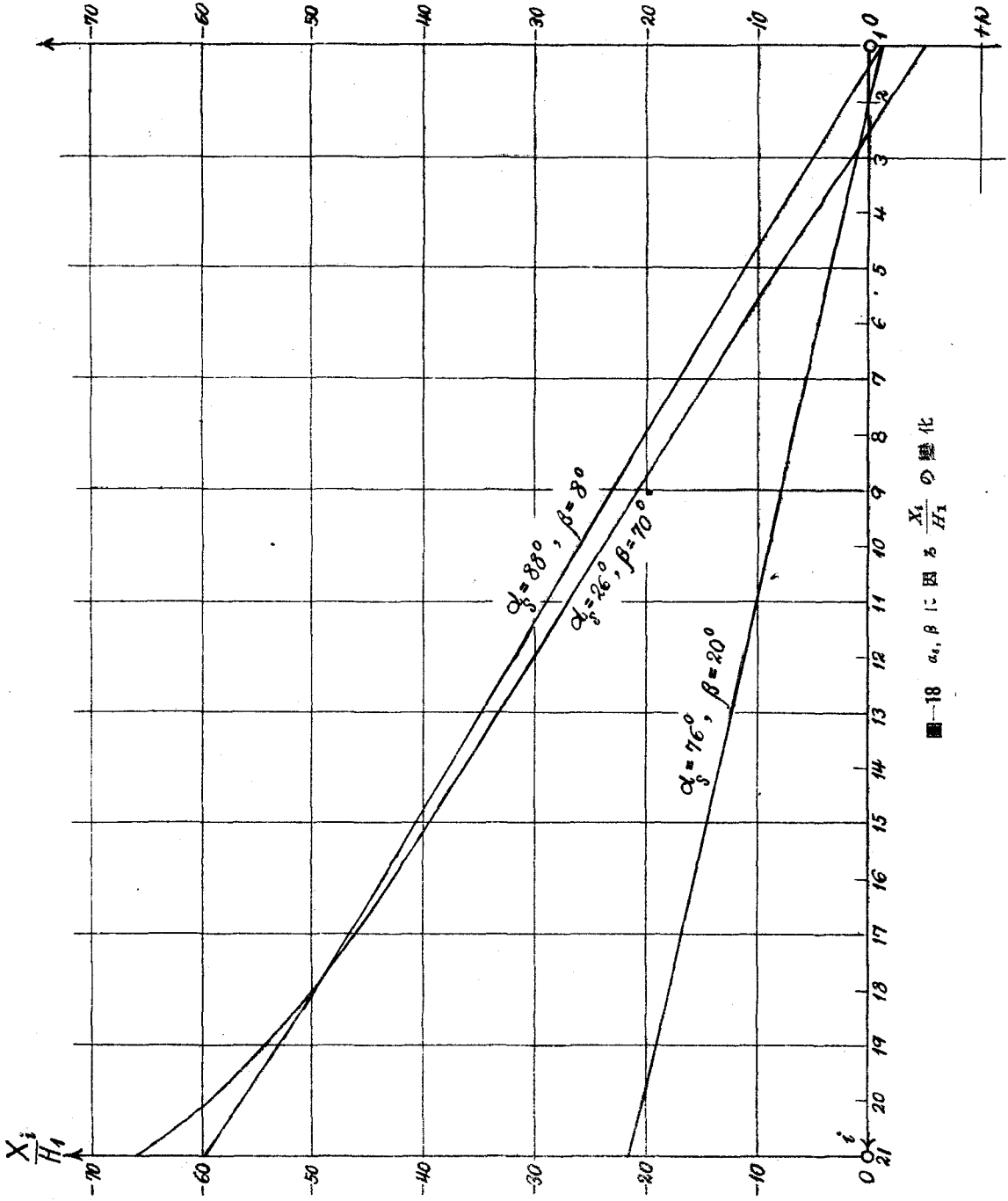


圖-18 α_s, β に因る $\frac{X_i}{H_1}$ の變化

III 鋼索系統を静定構造物¹⁾と 看做したる場合の理論

著者は前節に於て網羽の構造を不静定構造物なりと假定して展開せる理論の結果、主索系統部材に壓縮應力 (compressive stress) が支配することを知つて不静定構造の理論を一時留保した。

元來網羽の主索系統の構造は、第一節に於て述べたるが如く親綱鋼索を其の主體として、之を網羽子を以て浮遊せしめたるものであるから、主索部材は壓縮應力に對して抵抗することは不可能である。若しこれが壓縮應力に對しては抵抗可能のものであれば、格點荷重 W_1, W_2, \dots の軸方向の分力によつて各格點は下親杭の方向に移動せむとする傾向を生じ (圖-19)、終端の部材 ($n-1, n$) は

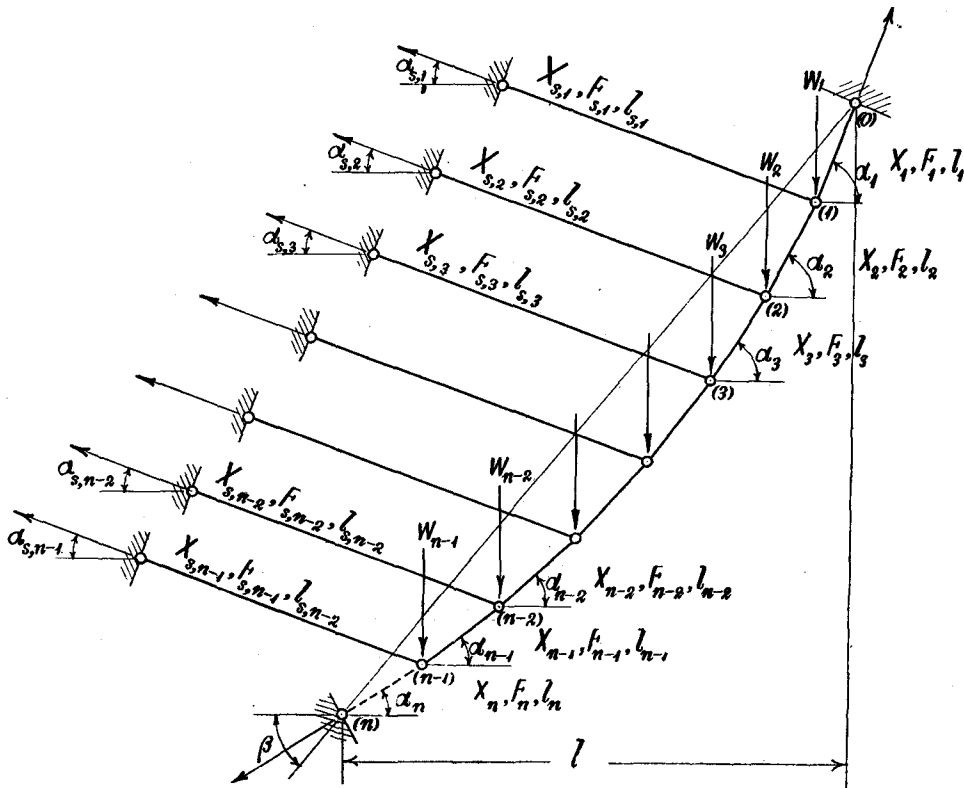


圖-19 静定構造物と考えた場合の綱羽の平面的形態

矢張り壓縮應力に對して抵抗出来るのであるから、此の部材に至るまで集積したる格點の移動傾向は此の最後の部材を介して剛支點 (rigid support) たる下親杭に頑強に其の移動傾向を抑止せられて、茲に下親杭に近づくほど増大するところの大きな壓縮應力を主索系統部材に發生するに至るのであ

1) Statically determinate structures.

らう。實際は併し部材は壓縮應力に抵抗出来ないのであるから、終端部材 $(n-1, n)$ に至るまで累積して生じた格點 $(n-1)$ の移動は無抵抗に遂行せられて、此の終端部材は完全に遊ぶことになるのである。網羽の實際を見ても此の終端部材は網羽の全體構造の一員としての分擔應力 (systemic stress) を受けずに、局所的な荷重に因る局部應力だけを受けてゐるに過ぎない。

従つて網羽の全體構造としての荷重負擔に協力し得ざる此の終端部材は省略することを得ることになるのである。而して前節に於て取扱へる本來の網羽の構造は、不靜定量一個を有する一次の不靜定構造物であるから、終端部材 $(n-1, n)$ を構造部材より抹殺することによつて、不靜定量は皆無となり、かくして網羽の構造は靜力學的には靜定構造物となるのである。著者は本節に於ては残された第二の手段として網羽の構造をかゝる靜定構造物と看做して應力算定の理論を展開せむことを企圖した (圖-19)。

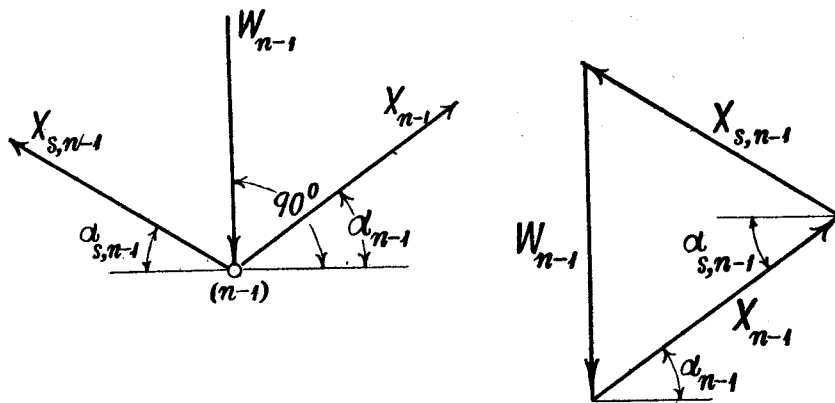


圖-20 格點 $(n-1)$ の力の平衡

今網羽の構造を格點 $(n-1)$ の周圍で切離して此の部分に働く力の平衡を考える (圖-20)、此の部分切離されても平衡状態を保つためには、此の部分に働く諸力の垂直分力と水平分力との總和が夫々零に等しい必要がある。従つて¹⁾

$$X_{n-1} \sin \alpha_{n-1} + X_{s,n-1} \sin \alpha_{s,n-1} = W_{n-1}$$

$$X_{n-1} \cos \alpha_{n-1} - X_{s,n-1} \cos \alpha_{s,n-1} = 0$$

この聯立方程式から

$$\left. \begin{aligned} X_{n-1} &= \frac{W_{n-1}}{\cos \alpha_{n-1} (\tan \alpha_{n-1} + \tan \alpha_{s,n-1})} \\ X_{s,n-1} &= \frac{W_{n-1}}{\cos \alpha_{s,n-1} (\tan \alpha_{n-1} + \tan \alpha_{s,n-1})} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (a)$$

1) 記號は前節のものと全く同じ。

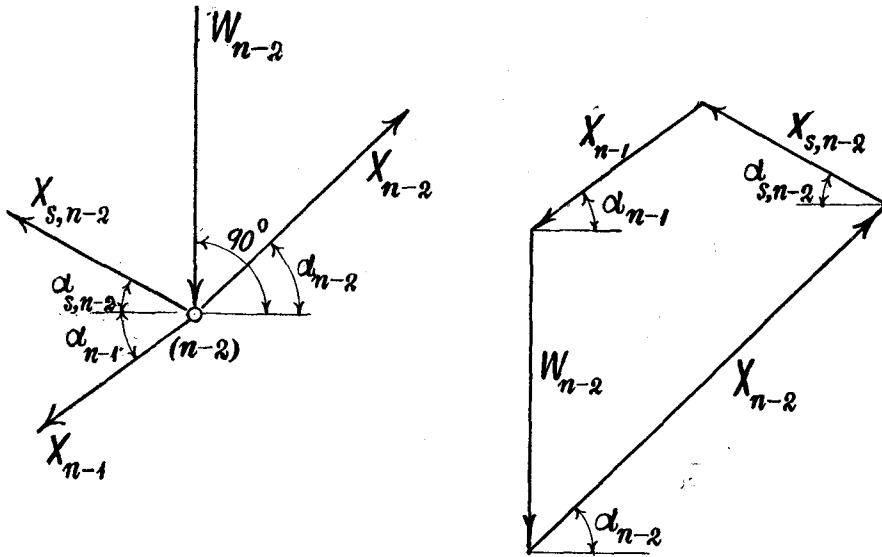


圖-21 格點 (n-2) の力の平衡

次に格點 (n-2) のまはりを切斷して、此の部分の平衡の條件を求めると (圖-21),

$$X_{n-2} \sin \alpha_{n-2} + X_{s,n-2} \sin \alpha_{s,n-2} - X_{n-1} \sin \alpha_{n-1} - W_{n-2} = 0$$

$$X_{n-2} \cos \alpha_{n-2} - X_{s,n-2} \cos \alpha_{s,n-2} - X_{n-1} \cos \alpha_{n-1} = 0$$

この聯立方程式を解けば

$$\left. \begin{aligned} X_{n-2} &= X_{n-1} \left(\frac{\cos \alpha_{n-1}}{\cos \alpha_{n-2}} \right) \left(\frac{\tan \alpha_{n-1} + \tan \alpha_{s,n-2}}{\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_{s,n-2}} \right) \\ &\quad + W_{n-2} \frac{1}{\cos \alpha_{n-2} (\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_{s,n-2})}, \\ X_{s,n-2} &= -X_{n-1} \left(\frac{\cos \alpha_{n-1}}{\cos \alpha_{s,n-2}} \right) \left(\frac{\tan \alpha_{n-2} - \tan \alpha_{n-1}}{\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_{s,n-2}} \right) \\ &\quad + W_{n-2} \frac{1}{\cos \alpha_{s,n-2} (\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_{s,n-2})} \quad 1) \\ &= -X_{s,n-1} \left(\frac{\cos \alpha_{s,n-1}}{\cos \alpha_{s,n-2}} \right) \left(\frac{\tan \alpha_{n-2} - \tan \alpha_{n-1}}{\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_{s,n-2}} \right) \\ &\quad + W_{n-2} \frac{1}{\cos \alpha_{s,n-2} (\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_{s,n-2})} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (b)$$

1) 前記格點 (n-1) のまはりの水平分力の平衡の條件より得らるる關係式より

$$X_{n-1} \left(\frac{\cos \alpha_{n-1}}{\cos \alpha_{s,n-2}} \right) = X_{n-1} \frac{\cos \alpha_{n-1}}{\cos \alpha_{s,n-1}} \left(\frac{\cos \alpha_{s,n-1}}{\cos \alpha_{s,n-2}} \right) = X_{s,n-1} \left(\frac{\cos \alpha_{s,n-1}}{\cos \alpha_{s,n-2}} \right);$$

これを第一項に挿入する。

従つて一般的に次の二つの循環式を得る

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_{i+1} \left(\frac{\cos a_{i+1}}{\cos a_i} \right) \left(\frac{\tan a_{i+1} + \tan a_{s,i}}{\tan a_i + \tan a_{s,i}} \right) \\ &\quad + W_i \frac{1}{\cos a_i (\tan a_i + \tan a_{s,i})}, \\ X_{s,i} &= -X_{s,i+1} \left(\frac{\cos a_{s,i+1}}{\cos a_{s,i}} \right) \left(\frac{\tan a_i - \tan a_{i+1}}{\tan a_i + \tan a_{s,i}} \right) \\ &\quad + W_i \frac{1}{\cos a_{s,i} (\tan a_i + \tan a_{s,i})} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (42)$$

(a) の関係を (b) に入れると

$$\begin{aligned} X_{n-2} &= \frac{1}{\cos a_{n-2} (\tan a_{n-2} + \tan a_{s,n-2})} \left\{ W_{n-1} \frac{\tan a_{n-1} + \tan a_{s,n-2}}{\tan a_{n-1} + \tan a_{s,n-1}} + W_{n-2} \right\} \\ X_{s,n-2} &= \frac{1}{\cos a_{s,n-2} (\tan a_{n-2} + \tan a_{s,n-2})} \left\{ -W_{n-1} \frac{\tan a_{n-2} - \tan a_{n-1}}{\tan a_{n-1} + \tan a_{s,n-1}} + W_{n-2} \right\} \end{aligned}$$

(42) 式によつて X_{n-3} , $X_{s,n-3}$ を作つて此の中の X_{n-2} , $X_{s,n-2}$ に上式を代入すれば荷重の項で表はされた次の式が得られる。但し前節の条件 (5)

$$a_{s,1} = a_{s,2} = \dots\dots\dots = a_{s,n-1} \equiv a_s$$

を此處に於ても再び假定したのである。

$$\left. \begin{aligned} X_{n-3} &= \frac{W_{n-1} + W_{n-2} + W_{n-3}}{\cos a_{n-3} (\tan a_{n-3} + \tan a_s)}, \\ X_{s,n-3} &= \frac{1}{\cos a_s (\tan a_{n-3} + \tan a_s)} \left\{ W_{n-1} \left(\frac{\tan a_{n-3} - \tan a_{n-2}}{\tan a_{n-2} + \tan a_s} \right) \left(\frac{\tan a_{n-2} - \tan a_{n-1}}{\tan a_{n-1} + \tan a_s} \right) \right. \\ &\quad \left. - W_{n-2} \frac{\tan a_{n-3} - \tan a_{n-2}}{\tan a_{n-2} + \tan a_s} + W_{n-3} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (c)$$

同様にして

$$\left. \begin{aligned} X_{n-4} &= \frac{W_{n-1} + W_{n-2} + W_{n-3} + W_{n-4}}{\cos a_{n-4} (\tan a_{n-4} + \tan a_s)}, \\ X_{s,n-4} &= \frac{1}{\cos a_s (\tan a_{n-4} + \tan a_s)} \left\{ (-1)^3 W_{n-1} \left(\frac{\tan a_{n-4} - \tan a_{n-3}}{\tan a_{n-3} + \tan a_s} \right) \right. \\ &\quad \times \left(\frac{\tan a_{n-3} - \tan a_{n-2}}{\tan a_{n-2} + \tan a_s} \right) \left(\frac{\tan a_{n-2} - \tan a_{n-1}}{\tan a_{n-1} + \tan a_s} \right) \\ &\quad + (-1)^2 W_{n-2} \left(\frac{\tan a_{n-4} - \tan a_{n-3}}{\tan a_{n-3} + \tan a_s} \right) \left(\frac{\tan a_{n-3} - \tan a_{n-2}}{\tan a_{n-2} + \tan a_s} \right) \\ &\quad \left. + (-1) W_{n-3} \left(\frac{\tan a_{n-4} - \tan a_{n-3}}{\tan a_{n-3} + \tan a_s} \right) + W_{n-4} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (d)$$

従つて次の如き一般式を得る

$$\begin{aligned}
X_i &= \frac{W_{n-1} + W_{n-2} + \dots + W_{i+1} + W_i}{\cos \alpha_i (\tan \alpha_i + \tan \alpha_s)}, \\
X_{s,i} &= \frac{1}{\cos \alpha_s (\tan \alpha_i + \tan \alpha_s)} \left\{ (-1)^{n-i-1} \cdot W_{n-1} \left(\frac{\tan \alpha_i - \tan \alpha_{i+1}}{\tan \alpha_{i+1} + \tan \alpha_s} \right) \right. \\
&\quad \times \left(\frac{\tan \alpha_{i+1} - \tan \alpha_{i+2}}{\tan \alpha_{i+2} + \tan \alpha_s} \right) \left(\frac{\tan \alpha_{i+2} - \tan \alpha_{i+3}}{\tan \alpha_{i+3} + \tan \alpha_s} \right) \dots \dots \\
&\quad \times \left(\frac{\tan \alpha_{n-3} - \tan \alpha_{n-2}}{\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_s} \right) \left(\frac{\tan \alpha_{n-2} - \tan \alpha_{n-1}}{\tan \alpha_{n-1} + \tan \alpha_s} \right) \\
&\quad + (-1)^{n-i-2} \cdot W_{n-2} \left(\frac{\tan \alpha_i - \tan \alpha_{i+1}}{\tan \alpha_{i+1} + \tan \alpha_s} \right) \left(\frac{\tan \alpha_{i+1} - \tan \alpha_{i+2}}{\tan \alpha_{i+2} + \tan \alpha_s} \right) \dots \dots \\
&\quad \times \left(\frac{\tan \alpha_{n-4} - \tan \alpha_{n-3}}{\tan \alpha_{n-3} + \tan \alpha_s} \right) \left(\frac{\tan \alpha_{n-3} - \tan \alpha_{n-2}}{\tan \alpha_{n-2} + \tan \alpha_s} \right) + \dots \dots \\
&\quad \left. + (-1)^i \cdot W_{i+1} \left(\frac{\tan \alpha_i - \tan \alpha_{i+1}}{\tan \alpha_{i+1} + \tan \alpha_s} \right) + W_i \right\} \dots \dots \dots (43)
\end{aligned}$$

これは条件 $\alpha_{s,i} = \text{定数} = \alpha_s$ を除外しては無条件な一般的な式であるが、此處で更に第二節に於ける如く次の条件を假定することとする、即ち

- i) 主索系統の平面的な形を拋物線であるとする、
- ii) 主索の各格間の水平投影の長さを等しいとする、即ち前節の (11), (13) 兩式の條件である、
- iii) 荷重の強さ w を水流の全幅員に涉つて一様なりとする、

條件 ii), iii) から

$$W_i (i=1, 2, 3, \dots, n-1) \equiv W = \frac{wl}{n} \dots \dots \dots (44)$$

と置くことが出来る。

(i) の假定を採用すれば公式 (15) によつて

$$\begin{aligned}
\tan \alpha_i - \tan \alpha_{i+1} &= 2 \left(\frac{4m}{n} \right) \\
\tan \alpha_i + \tan \alpha_s &= \left(\frac{4m}{n} \right) (c' - 2i + 1)
\end{aligned}$$

従つて $X_{s,i}$ の右邊の各項を構成する因子は一般に

$$\frac{\tan \alpha_i - \tan \alpha_{i-1}}{\tan \alpha_{i+1} + \tan \alpha_s} = \frac{1}{\frac{c' - 1 - i}{2}}$$

又 X_i の右邊の分子は (44) により

$$W_{n-1} + W_{n-2} + \dots + W_{i+1} + W_i = \frac{n-i}{n} wl$$

となるから $X_i, X_{s,i}$ は次の如くなる。

(84)

$$\left. \begin{aligned} X_i &= \frac{wl}{4m} \cdot \frac{n-i}{c'-2i+1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}, \\ X_{s,i} &= \frac{wl}{4m} \cdot \frac{\gamma_{s,i}}{c'-2i+1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_s} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(45)$$

茲で (23) 式により

$$\frac{1}{\cos \alpha_i} = \sqrt{1 + \left\{ \tan \beta + 4 \left(\frac{m}{n} \right) (n-2i+1) \right\}^2}.$$

又

$$\begin{aligned} \gamma_{s,i} &= 1 + \sum_{\nu=i}^{n-2} \left\{ (-1)^{\nu-i+1} \prod_{k=i}^{\nu} \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-k} \right) \right\} \quad (\nu=i, i+1, \dots, n-3, n-2) \\ &= (-1)^{n-i-1} \prod_{k=i}^{n-2} \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-k} \right) + (-1)^{n-i-2} \prod_{k=i}^{n-3} \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-k} \right) + \dots \\ &\quad \dots + (-1)^{i+1} \prod_{k=i}^{i+1} \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-k} \right) + (-1) \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-i} \right) + 1 \\ &= (-1)^{n-i-1} \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-i} \right) \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-(i+1)} \right) \dots \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-(n-3)} \right) \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-(n-2)} \right) \\ &\quad + (-1)^{n-i-2} \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-i} \right) \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-(i+1)} \right) \dots \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-(n-4)} \right) \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-(n-3)} \right) + \dots \\ &\quad \dots + (-1)^i \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-i} \right) \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-(i+1)} \right) + (-1) \left(\frac{1}{\frac{c'-1}{2}-i} \right) + 1, \\ \gamma_{s,n-1} &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(46)$$

兩式 (45), (46) によつて, 主副兩索系統の作用應力を簡易な形で表はすことを得たのである。兩式の表現するやうに, かかる靜定構造物は平衡に關する靜力學の條件によつて解かれるので, 不靜定構造物の解法における最小仕事の原理の如き彈性理論を必要としない。従つて此の場合の表式には部材の斷面や長さ又それらを構成する材料の彈性係數などの量は介入して來ないのである。爲めに設計は至極簡單であつて, 單に網羽に與ふべき平面的形態と荷重 w の大きさを與えられれば上の二式によつて主副兩索系統の安全なる斷面は唯一回の計算によつて決定することを得るものにして, 前節の不靜定構造物のときの如く多數の構成部材に涉つて, 豫定斷面と算出斷面との大小を比較して之が安全の度に達するまで幾度も煩瑣な計算を繰返すの大きな困難は此の場合存在しないのである。

尙ほ (46) 式は主索格間數の多きときは一見計算の困難な式の如く見ゆるも, 此の Gamma 函

數系統の級數は、普通の網羽の實際に於けるが如く c' の大なる場合には急速に收斂する級數なるを以て、實用的目的のためには i の若い數値に對して $r_{s,i}$ の最後の 3, 4 項を以て算出して十分であるから、之が數値計算には實際上何等の困難を感じない。

又 $r_{s,i}$ は急激に收斂する級數であるから、(43) 式で明らかであるやうに、副索系統のある特定の部材の應力 $X_{s,i}$ を決める重要因子は、格點荷重 W_i 以下の三、四の最寄りの荷重であつて、その格間より下流に遠ざかれる格點荷重ほど $X_{s,i}$ の大きさに及ぼす影響は愈々稀薄となるものなることを知るのである。

今試みに平取網羽の實際について $r_{s,i}$ を計算してその收斂性を吟味する、前節の三種の場合は

a_s	β	c'	$\frac{c'-1}{2}$
88°	8°	2 410,7202	~1 205
76°	20°	348,1296	~ 174
26°	70°	53,0481	~ 26

$r_{s,i}$ 級數の收斂は c' の値の小なる程悪いのであるから

$$\frac{c'-1}{2} = 26$$

として、この場合についてやつてみる。

$$i = 20:$$

$$\text{冪指數} \quad n-i-1=21-20-1=0$$

$$\therefore r_{s,i}=1$$

$$i = 19:$$

$$n-i-1=1$$

$$\text{第一項} = 1$$

$$\text{第二項} = (-1)^1 \frac{1}{26-19} = -0,142 \ 857$$

$$\therefore r_{s,i} = 0,857 \ 143$$

$$i = 18:$$

$$n-i-1=2$$

$$\text{第一項} = +1$$

$$\text{第二項} = (-1)^2 \frac{1}{26-18} = -0,125 \ 000$$

1) (46) 展開式の最後の項より始めて逆に第一項第二項の意味なり。

(86)

$$\text{第三項} = (-1)^2 \frac{1}{8.7} = +0,017\ 857$$

$$\therefore r_{s,i} = +0,892\ 857$$

$i = 17$:

$$n-i-1=3$$

$$\text{第一項} = +1$$

$$\text{第二項} = (-1)^1 \frac{1}{26-17} = -0,111\ 111$$

$$\text{第三項} = (-1)^2 \frac{1}{9.8} = +0,013\ 889$$

$$\text{第四項} = (-1)^3 \frac{1}{9.8.7} = -0,001\ 984$$

$$\therefore r_{s,i} = +0,900\ 794$$

$i = 16$:

$$n-i-1=4$$

$$\text{第一項} = +1$$

$$\text{第二項} = (-1)^1 \frac{1}{26-16} = -0,100\ 000$$

$$\text{第三項} = (-1)^2 \frac{1}{10.9} = -0,011\ 111$$

$$\text{第四項} = (-1)^3 \frac{1}{10.9.8} = -0,001\ 389$$

$$\text{第五項} = (-1)^4 \frac{1}{10.9.8.7} = +0,000\ 198$$

$$\therefore r_{s,i} = +0,909\ 920$$

$i = 15$:

$$n-i-1=5$$

$$\text{第一項} = +1$$

$$\text{第二項} = (-1)^1 \frac{1}{26-15} = -0,090\ 909$$

$$\text{第三項} = (-1)^2 \frac{1}{11.10} = +0,009\ 091$$

$$\text{第四項} = (-1)^3 \frac{1}{11.10.9} = -0,001\ 010$$

$$\text{第五項} = (-1)^4 \frac{1}{11.10.9.8} = +0,000\ 126$$

$$\text{第六項} = (-1)^5 \frac{1}{11.10.9.8.7} = -0,000\ 018$$

$$\therefore r_{s,i} = +0,917\ 280$$

第四項までをとつた場合の近似値

$$r_{s,i}(1\sim 4) = +0,917\ 172$$

$$\therefore \text{誤差} = 0,012\%$$

$i = 14$:

$$n-i-1=6$$

$$\text{第一項} = +1$$

$$\text{第二項} = (-1)^1 \frac{1}{26-14} = -0,083\ 333$$

$$\text{第三項} = (-1)^2 \frac{1}{12.11} = +0,007\ 576$$

$$\text{第四項} = (-1)^3 \frac{1}{12.11.10} = -0,000\ 758$$

$$\text{第五項} = (-1)^4 \frac{1}{12.11.10.9} = +0,000\ 084\ 2$$

$$\text{第六項} = (-1)^5 \frac{1}{12.11.10.9.8} = -0,000\ 010\ 5$$

$$\text{第七項} = (-1)^6 \frac{1}{12.11.10.9.8.7} = +0,000\ 001\ 5$$

$$\therefore r_{s,i} = +0,923\ 500$$

$$r_{s,i}(1\sim 4) = +0,923\ 475$$

$$\text{誤差} = 0,0027\%$$

$i = 13$:

$$n-i-1=7$$

$$\text{第一項} = +1$$

$$\text{第二項} = (-1)^1 \frac{1}{26-13} = -0,076\ 923$$

$$\text{第三項} = (-1)^2 \frac{1}{13.12} = +0,006\ 410$$

$$\text{第四項} = (-1)^3 \frac{1}{13.12.11} = -0,000\ 583$$

$$\text{第五項} = (-1)^4 \frac{1}{13.12.11.10} = +0,000\ 058\ 3$$

$$\text{第六項} = (-1)^5 \frac{1}{13 \cdot 12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9} = -0,000\ 006\ 5$$

$$\text{第七項} = (-1)^6 \frac{1}{13 \cdot 12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9} = +0,000\ 000\ 81$$

$$\text{第八項} = (-1)^7 \frac{1}{13 \cdot 12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 8} = -0,000\ 000\ 16$$

$$\therefore r_{s,i} = +0,928\ 956$$

$$r'_{s,i}(1 \sim 4) = +0,928\ 904$$

$$\text{誤差} = 0,0056\%$$

$i = 1:$

$$n - i - 1 = 19$$

即ち全部で第20項までといふことになる。

$$\text{第一項} = +1$$

$$\text{第二項} = (-1)^1 \frac{1}{26-1} = -0,040\ 000$$

$$\text{第三項} = (-1)^2 \frac{1}{25 \cdot 24} = +0,001\ 667$$

$$\text{第四項} = (-1)^3 \frac{1}{25 \cdot 24 \cdot 23} = -0,000\ 072$$

以下省略

$$\therefore r'_{s,i}(1 \sim 4) = +0,961\ 595$$

即ち上の算例で $r_{s,i}$, $r'_{s,i}$ の誤差は極めて小なることを知る。更に又 i の数値の若いほど (かかる場合ほど項数が多くなる) 級数 $r_{s,i}$ の収斂が良好なることもわかる。従つて上述の如く $r_{s,i}$ の

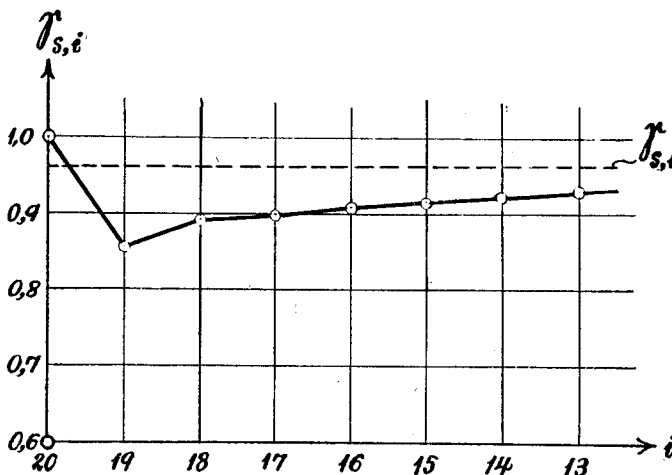


圖-22 $r_{s,i}$ の變化 ($\frac{c'-1}{2} = 26$)

計算には何等の困難をも感じないのである。

尚ほ上の算出値を曲線に表はせば 圖-22 を得る、この曲線は直線 $r_{s,1}$ に漸近する。

又 $X_{s,i}$ の一般式は階差方程式 („Differenzgleichung“) の方法によれば (42) 式から求め得られる、網羽の形状と荷重の状態に關する上記三個の

條件を置けば(42)式より一次階差方程式

$$X_{s,t+1} + \left(\frac{c'+1}{2} - i\right)X_{s,t} = \frac{wl}{8m} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_s} \dots\dots\dots(47)$$

を得て、これより階差方程式の理論によつて $X_{s,t}$ の一般解が直ちに與えられるべき筈であるが、著者はかかる靜定構造物に於ては上記の如き數學的な方法によらずに寧ろ簡単な力學的方法によつて迅速に $X_{s,t}$ の一般式に到達したのである。かくして得られた式は計算も至極簡單であることは上述の如くである。

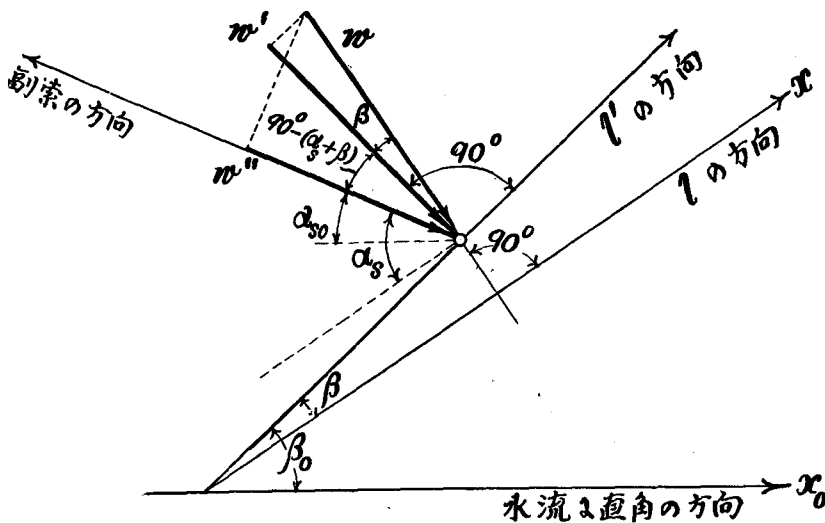
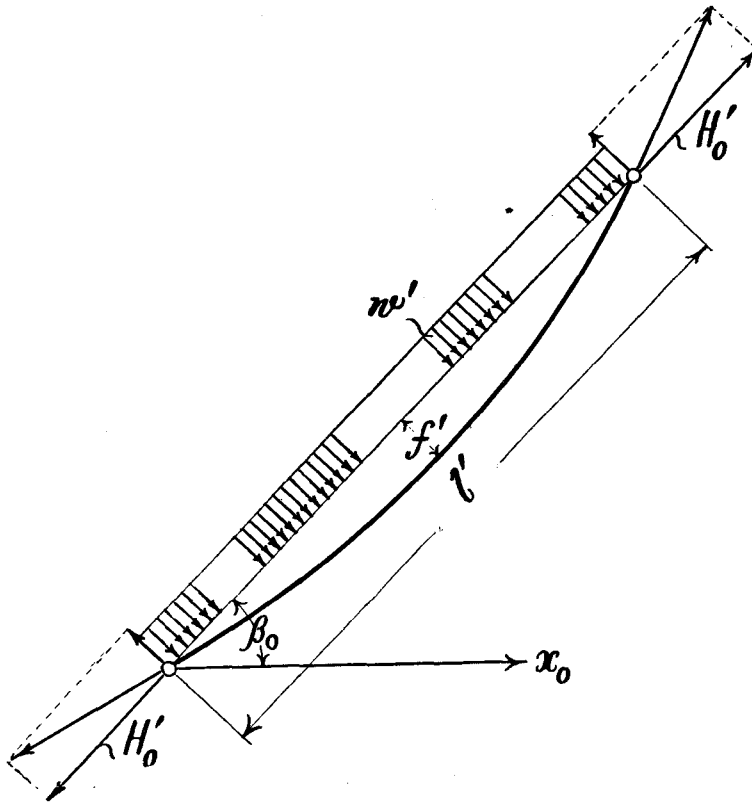


圖-23 w, w', w'' の關係

著者は(45)式を今少しく變形したい。圖-23 に於て w は前節に於て取扱へる荷重の強さであるが、これを本節では表式の便宜上 l の方向に垂直なる荷重 w' で表はし度い。而して w'' は副索の方向に於ける荷重で、これの實用的な數値は著者が現場につきて行ひつつある實驗によつて決められるのである。而してこれらの三者の間には次の關係が成立つ。



圖—24 副索なき單一主索の垂直荷重 w' による水平支反力 H'_0 .

$$w' = w \cos \{ 90^\circ - (\alpha_s + \beta) + \beta \} = w \sin \alpha_s$$

$$w = \frac{w'}{\sin \alpha_s} \dots \dots \dots (48)$$

又

$$w = \frac{w'}{\cos \beta} \dots \dots \dots (49)$$

従つて

$$w' = w'' \frac{\cos \beta}{\sin \alpha_s} \dots \dots \dots (50)$$

而して

$$l = l' \cos \beta \quad , \quad m = \frac{1}{\cos^2 \beta} \left(\frac{l'}{l} \right)$$

であるから

$$\frac{\tau w l}{4m} = \frac{\tau w l^2}{4f'} \cos^3 \beta = \frac{\tau w' l^2}{8f'} \cdot 2 \cos^2 \beta$$

従つて副索の補強を受けざる単一主索の垂直荷重 w' による水平支反力を H_0 とすれば

$$H_0 = \frac{\tau w' l^2}{8f'} \dots \dots \dots (51)$$

故に

$$\frac{\tau w l}{4m} = (1 + \cos 2\beta) H_0 \dots \dots \dots (52)$$

従つて (45) 式は次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} X_i &= \frac{1 + \cos 2\beta}{\cos a_i} \cdot \frac{n-i}{c'-2i+1} \cdot H_0 \\ X_{s,t} &= \frac{1 + \cos 2\beta}{\cos a_s} \cdot \frac{r_{s,t}}{c'-2i+1} \cdot H_0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (53)$$

而して此の場合この應力量 $X_i, X_{s,t}$ の有する H_0 の係数を諸因子 $\beta, a_s, \frac{f'}{l}, n$ の各種の値に對して計算して圖表を整備して置けば實用上極めて便利である。

著者は再び前節にて取扱へる平取網羽の實例につきて、上に新に誘導せられたる公式 (53) による計算を行ひて、 $X_i, X_{s,t}$ が如何なる變化をなすかを檢證することとする。

平取網羽： $a_{s0} = 26^\circ$, $\beta_0 = 70^\circ$.

$$(36) \quad \tan \beta = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta}{L} \right) \tan \beta_0 \quad , \quad \frac{\delta}{L} = \frac{1}{10}$$

$$(37) \quad a_s + \beta = a_{s0} + \beta_0$$

$$\tan \beta_0 = 2,747 \ 477$$

$$\therefore \tan \beta = 0,137 \ 373 \ 85$$

$$\frac{1}{\cos \beta} = 1,009 \ 391 \ 7$$

$$\frac{1}{\cos^2 \beta} = 1 + \tan^2 \beta = 1,018 \ 871 \ 6$$

$$\beta = 7^\circ \ 49', 3192$$

$$\therefore a_s = a_{s0} + \beta_0 - \beta = 88^\circ \ 10', 6808$$

$$\tan a_s = 31,436 \ 841$$

$$\cos a_s = 0,031 \ 7943$$

$$1 + \cos 2\beta = 2 \cos^2 \beta = 1,962 \ 955 \ 9$$

(92)

$$\frac{f'}{l'} = 0,061\ 996$$

$$m = \frac{1}{\cos^2 \beta} \left(\frac{f'}{l'} \right) = 0,063\ 165\ 964$$

$$4m = 0,252\ 663\ 86$$

$$c_t = \frac{\tan \alpha_s + \tan \beta}{4m} = 124,965\ 30$$

$$n = 21$$

$$c' = n(1 + c_t) = 2\ 645,2713$$

$$\frac{4m}{n} = 0,012\ 031\ 612$$

$$l = l' \cos \beta = 941,062$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\cos \alpha_t} &= \sqrt{1 + \left\{ \tan \beta + \left(\frac{4m}{n} \right) (n - 2i + 1) \right\}^2} \\ &= \sqrt{1 + (0,402\ 069\ 31 - 0,024\ 063\ 224i)^2} \end{aligned}$$

以上の数値によつて $\frac{1}{\cos \alpha_t}$, $\frac{X_t}{H'_0}$, $\frac{X_{s,t}}{H'_0}$ を計算すれば夫々 表-15, -16, -17 を得る。此の場合 $r_{s,t}$ は殆んど定数なることを知る (圖-25), 即, かかる c' の大なる場合近似的に

$$r_{s,t} = 1$$

としても實用上さしたる支障はないやうに思はれる。

表-15 $\frac{1}{\cos \alpha_t}$ の計算

$\frac{1}{\cos \alpha_t} = \sqrt{1 + (0,402\ 069\ 31 - 0,024\ 063\ 224 i)^2}$				
	(1)	(2)	(3)	(4)
i	$0,024063224 i$	$0,40206931$ $- 0,024063224 i$	$1 + (2)^2$	$\frac{1}{\cos \alpha_t} = \sqrt{(3)}$
1	0,024063224	+ 0,37800609	1,14288860	1,0691
2	048126448	+ 35394286	1,12527555	1,0608
3	072189672	+ 32987964	1,10882058	1,0530
4	096252896	+ 30581641	1,09352368	1,0457
5	12031612	+ 28175319	1,07939486	1,0389
6	14437934	+ 25768997	1,06640412	1,0327
7	16844257	+ 23362674	1,05458145	1,0269
8	19250579	+ 20956352	1,04391687	1,0217
9	21656902	+ 18550029	1,03441036	1,0171
10	24063224	+ 16143707	1,02606193	1,0129
11	26469546	+ 13737385	1,01887157	1,0094
12	28875869	+ 11331062	1,01283930	1,0064
13	31282191	+ 08924740	1,00796510	1,0040
14	33688514	+ 06518417	1,00424898	1,0021
15	36094836	+ 04112095	1,00169093	1,0008
16	38501158	+ 01705773	1,00029097	1,0001
17	40907481	- 00700550	1,00004908	1,0000
18	43313803	- 03106872	1,00096527	1,0005
19	45720126	- 05513195	1,00303953	1,0015
20	48126448	- 07919517	1,00627187	1,0031
21	50532770	- 10325839	1,01066230	1,0053

表-16 λ_i の係数 $\frac{1+\cos 2\beta}{\cos a_i} \cdot \frac{n-i}{c'-2i+1}$ の計算

$c'+1=2\ 646,2713$ $1+\cos 2\beta = 1,962\ 956$					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
i	$n-i$	$c'-2s+1$	$\frac{(2)}{(3)}$	$(4) \cdot \frac{1}{\cos a_i}$	$(5) \cdot (1+\cos 2\beta)$
1	20	2644,2713	0,007563520	0,008086159	0,015873
2	19	2642,2713	007190783	007627983	014973
3	18	2640,2713	006817481	007178907	014092
4	17	2638,2713	006443613	006738096	013227
5	16	2636,2713	006069178	006305269	012377
6	15	2634,2713	005694174	005880373	011543
7	14	2632,2713	005318601	005461671	010721
8	13	2630,2713	004942456	005049707	009912
9	12	2628,2713	004565739	004643813	009116
10	11	2626,2713	004188448	004242479	008328
11	10	2624,2713	003810582	003846401	007550
12	9	2622,2713	003432139	003454105	006780
13	8	2620,2713	003053119	003065331	006017
14	7	2618,2713	002673520	002679134	005259
15	6	2616,2713	002293340	002295175	004505
16	5	2614,2713	001912579	001912770	003755
17	4	2612,2713	001531235	001531235	003006
18	3	2610,2713	001149306	001149881	002257
19	2	2608,2713	007667914	007679416	001507
20	1	2606,2713	003836900	003848794	000756
21	0	2604,2713	0	0	0

表-17 $X_{s,t}$ の係数 $\frac{1+\cos 2\beta}{\cos a_s} \cdot \frac{r_{s,t}}{c'-2i+1}$ の計算

$\frac{1+\cos 2\beta}{\cos a_s} = 61,739\ 239$				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
i	$c'-2i+1$	$r_{s,t}$	$\frac{(3)}{(2)}$	$\frac{1+\cos 2\beta}{\cos a_s} \cdot (4)$
1	2644,2713	0,999244	0,0377890	0,023331
2	2642,2713	0,999243	378174	023348
3	2640,2713	0,999243	378462	023366
4	2638,2713	0,999242	378749	023384
5	2636,2713	0,999242	379036	023401
6	2634,2713	0,999241	379323	023419
7	2632,2713	0,999241	379612	023437
8	2630,2713	0,999240	379900	023455
9	2628,2713	0,999239	380189	023473
10	2626,2713	0,999239	380478	023490
11	2624,2713	0,999238	380768	023508
12	2622,2713	0,999237	381053	023526
13	2620,2713	0,999237	381349	023544
14	2618,2713	0,999236	331640	023562
15	2616,2713	0,999236	331931	023580
16	2614,2713	0,999235	382223	023598
17	2612,2713	0,999235	332516	023616
18	2610,2713	0,999234	332808	023634
19	2608,2713	0,999233	333102	023652
20	2606,2713	1,000000	333390	023669

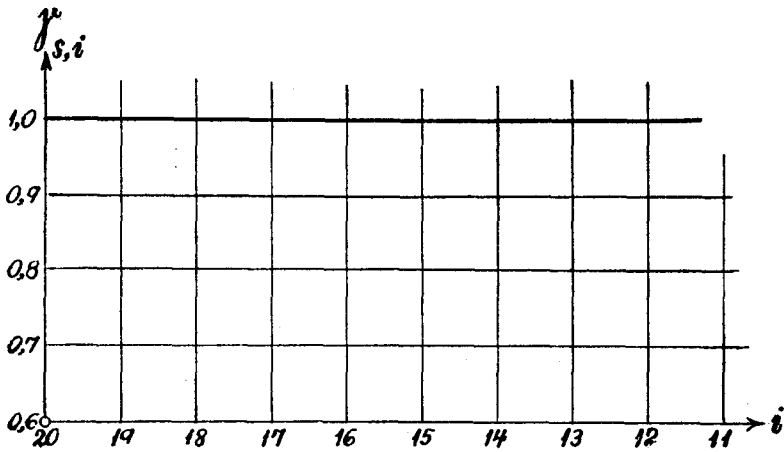


圖-25 $\gamma_{s,i}$ の變化 ($\frac{c'-1}{2} = 1322,1357$).

表-16, -17 を見てわかることは

- i) 副索系統の應力が主索系統のそれよりも大きい。
- ii) 副索系統の應力は殆んど一定である。

なる二つの事柄で、これは此の場合は α_s の値が殆んど 90° に近く、従つて前節 圖-13 によつて明らかな如くに、かかる場合には荷重の方向と副索系統の方向とが極めて近接してゐることに起因するのである。則ちかかる場合には本節の靜定構造理論に従へば、荷重は殆んど全部が副索系統を介して嫁杭に直接傳達せられ、主索系統の分擔は極めて僅少となるのである。このことは前節の場合と全く同様である。

従つて最初の假定 $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{10}$ を固守するときは此の算例の場合に於ては、主索系統の鋼索に副索系統のそれよりも大なる断面を興える必要はないこととなるのである。著者は然し本節の理論を實用に適用するに當つて β , α_s の値を決定する因子たるべき $\frac{\delta}{L}$ の假定に關して今少しく吟味するの必要あることを感ずるのである。此の點に關しては更に後日に於て章を改めて精しく論じたい。

今併し假りに衝水面に平行な方向の動水壓分力と衝水面との間の摩擦係數を 1 とすれば、水流の方向は直ちに荷重 w の方向を興えるのであつて、此の場合には β の値は或る極限の最大値に達して、即ち

$$\beta = \beta_0$$

となり、實際の β の値は

$$\beta_0 > \beta > 0$$

なる範圍の間で決められる筈である。而して上の平取網羽の場合について、此の極限の値 ($\beta = \beta_0$)

を假定することによつて、上述の算例の結果に於ける應力の關係が如何様に變化するかを見る爲めに
 新たな計算を行へば 表-18, -19 を得る。而して 表-16, -17 及び 表-18, -19 の結果を圖
 示すれば 圖-26, -27 の諸曲線を得るのである。

表-18 X_i の係數 $\frac{1+\cos 2\beta}{\cos \alpha_i} \cdot \frac{n-i}{c'-2i+1}$ の計算

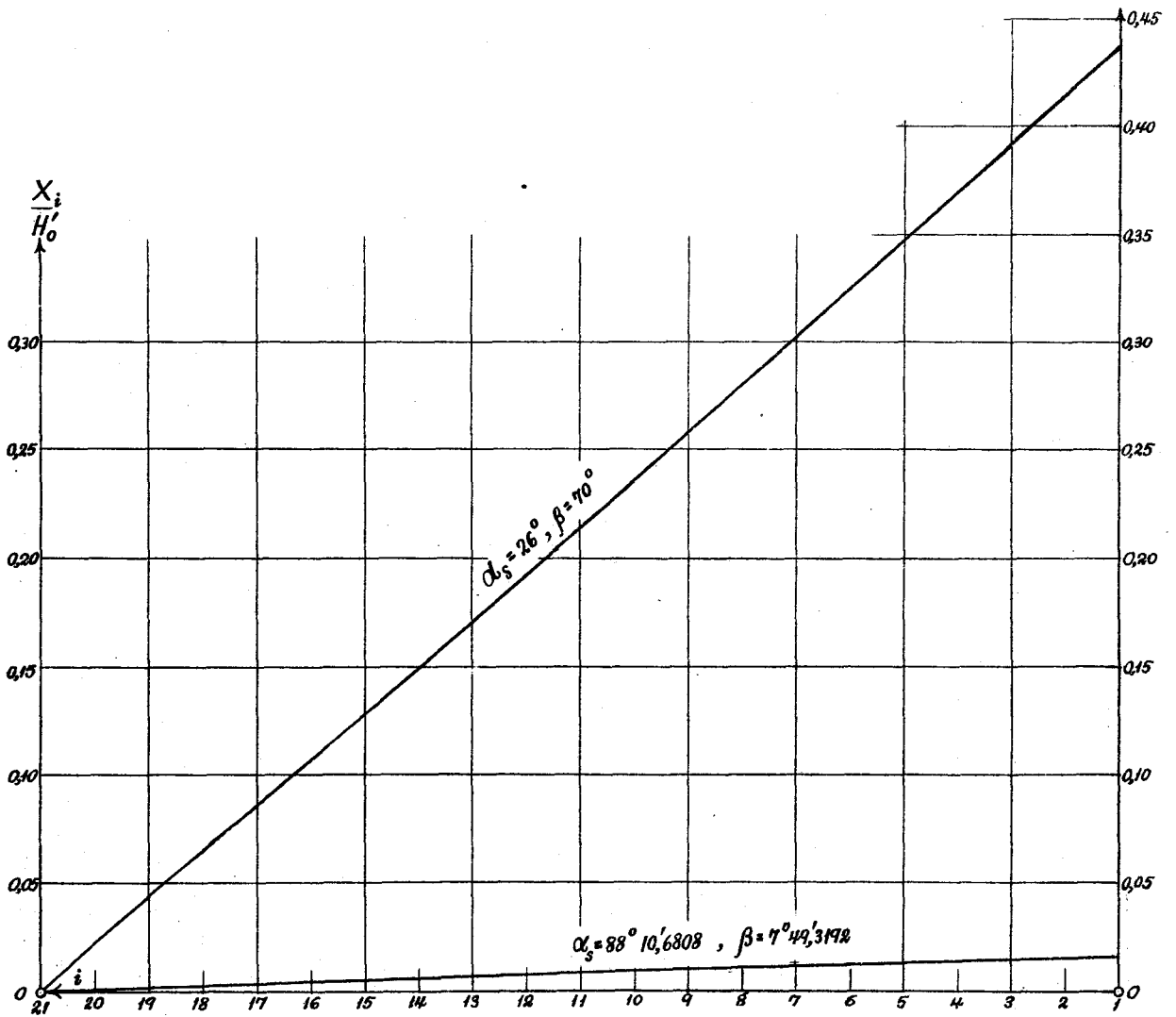
$c'+1=54,0481$, $1+c s 2\beta=0,2339554$						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
i	$n-i$	$c'-2i+1$	$\frac{(2)}{(3)}$	$\frac{1}{\cos \alpha_i}^{1)}$	(4)・(5)	(6)・(1+cos2 β)
1	20	52,0481	0,384260	4,370	1,37135	0,4378
2	19	50,0481	379635	4,673	1,77403	4150
3	18	48,0481	374625	4,476	1,57682	3923
4	17	46,0481	369179	4,279	1,57972	3696
5	16	44,0481	363239	4,083	1,48310	3470
6	15	42,0481	356734	3,888	1,38598	3245
7	14	40,0481	349580	3,693	1,29100	3020
8	13	38,0481	341673	3,499	1,19551	2797
9	12	36,0481	332899	3,306	1,10053	2575
10	11	34,0481	323072	3,114	1,00605	2354
11	10	32,0481	312031	2,924	0,91238	2135
12	9	30,0481	299520	2,735	0,81919	1917
13	8	28,0481	285224	2,548	0,72675	1700
14	7	26,0481	268734	2,364	0,63529	1486
15	6	24,0481	249500	2,182	0,54441	1274
16	5	22,0481	226777	2,005	0,45469	1064
17	4	20,0481	199520	1,833	0,36572	0856
18	3	18,0481	166222	1,667	0,27709	0648
19	2	16,0481	124625	1,511	0,18831	0441
20	1	14,0481	071184	1,366	0,09724	0227
21	0	12,0481	0	1,237	0	0

1) 表-1, 列(4)記載の数値。

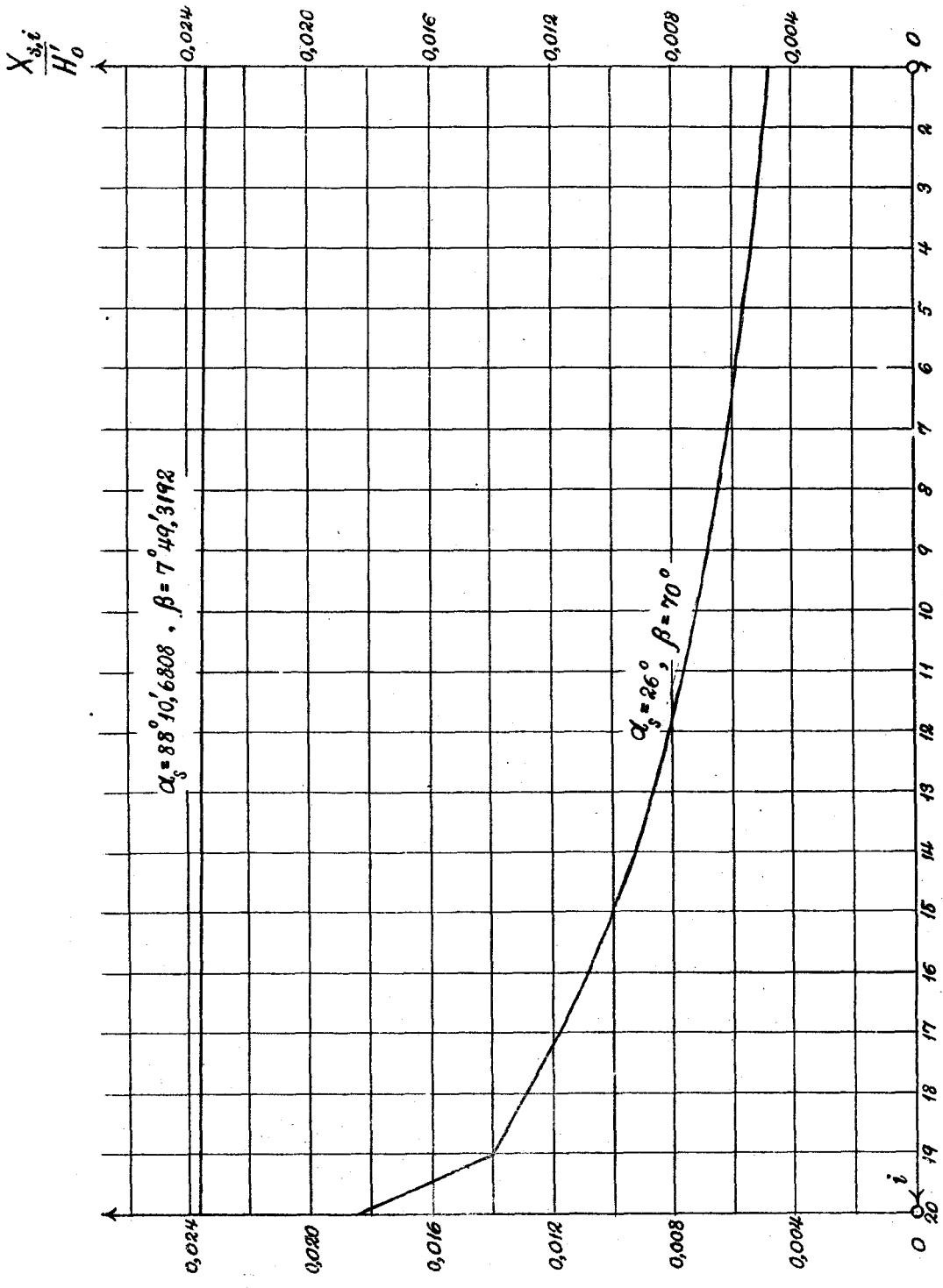
表-19 $X_{s,t}$ の係数 $\frac{1+\cos 2\beta}{\cos \alpha_s} \cdot \frac{\tau_{s,t}}{c'-2i+1}$ の計算

$\frac{1+\cos 2\beta}{\cos \alpha_s} = 0,2602992$				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
i	$c'-2i+1$	$\tau_{s,t}$	$\frac{(3)}{(2)}$	$\frac{1+\cos 2\beta}{\cos \alpha_s} \cdot (4)$
1	52,0481	0,961630 ¹⁾	0,0 ¹ 18176	0,004909
2	50,0481	960101	19184	4994
3	48,0481	958445	19948	5192
4	46,0481	956647	20775	5408
5	44,0481	954636	21674	5642
6	42,0481	952539	22654	5897
7	40,0481	950180	23726	6176
8	38,0481	947575	24905	6483
9	36,0481	944632	26206	6821
10	34,0481	941452	27651	7198
11	32,0481	937822	29263	7617
12	30,0481	933714	31074	8089
13	28,0481	929026	33123	8622
14	26,0481	923325	35453	9230
15	24,0481	917336	38146	9929
16	22,0481	910113	41279	0,010745
17	20,0481	901030	44943	11699
18	18,0481	893117	49485	12881
19	16,0481	857633	53441	13911
20	14,0481	1,000000	71184	18529

 1) $\tau_{s,1}$ 乃至 $\tau_{s,15}$ は最初の四項をとれる近似値である。



■-26 α_s, β に因る $\frac{X_i}{H'_0}$ の變化



■-27 α_s, β に因る $X_{3,i}/H_0$ の變化

IV. 結 び

著者は前節に於て網羽を静定構造物と看做して構成部材の構造應力算定の理論を展開し、平取網羽につきて此の理論に據る二種の算例を行つて静定構造理論の網羽の實際に對する適性を檢證せむとし、此の目的の爲めに數種の圖表を作成した。

而して此等の圖表を吟味すれば次の事柄がわかる。即ち

- i) α_s が 90° に近づくに従つて主副兩索系統とも其の應力の變化が微弱となる。この傾向は副索系統に於ては β の如何に全く無關係である。主索系統にありては β の如何にさして關係はない。
- ii) α_s が 90° に近づくほど副索系統應力は増大し主索系統應力は減少する。 β が一定の場合 α_s が 90° より 0° に近づくに従つて上と全く反對の現象を呈する。
- iii) 主索系統應力は α_s, β の如何に係らず、上親杭に近き格間より下親杭に近づく程漸次其の値を減じ、其の應力の格間毎の變化は全く直線的なりと見做し得る。
- iv) 副索系統應力は α_s, β の如何に係らず、上親杭に近き部材より下親杭に近づく程漸次其の値を増大する。而して其の變化は α_s が 90° に近き間は殆んど直線的であるが、 α_s が 0° に近づくに従つて曲線的となり、下親杭に近き部材ほど應力は急激に増大する。
- v) 主副兩索系統とも、其のすべての部材に涉つて α_s, β の如何に係らず、其の作用應力は引張應力 (tensile stress) である。
- vi) 主索系統の最終端格間の部材應力 X_n は凡ての場合に零となる。

以上に對應して網羽の實際を見るときは、次の如き方法が行はれてゐる。即ち

- i) 主索系統鋼索には上親杭に近きものほど大なる斷面をあたえる。此のことは前記理論結果 (iii) と合致する。
- ii) 副索系統鋼索には上親杭に近きものほど大なる斷面をあたえる、此の事情は前記理論結果 (iv) と全く背反する。
- iii) 主副兩索系統とも其の主體には鋼索を使用してゐる。第二節の最後に於て論述したる事情にもとづく此の實際的の要求は前記理論結果 (v) と合致する。
- iv) 主索系統の最終端部材 l_n (圖-19) は全體構造の一員としての分擔應力を受けないで遊ぶ。此のことは前記理論結果 (vi) と合致する。

即ち第三節の静定構造理論は上記 (ii) を除く凡ての點に於て現在の網羽技術の實際と吻合し、

(100)

この (ii) の點と雖も此の理論の要求に即應して副索系統の鋼索斷面の配列の傾向を變更する上に於て實際上何等の困難を生じないのである。従つて第三節の靜定構造理論は網羽の鋼索系統の設計理論として適切なものと言ふことが出来る。

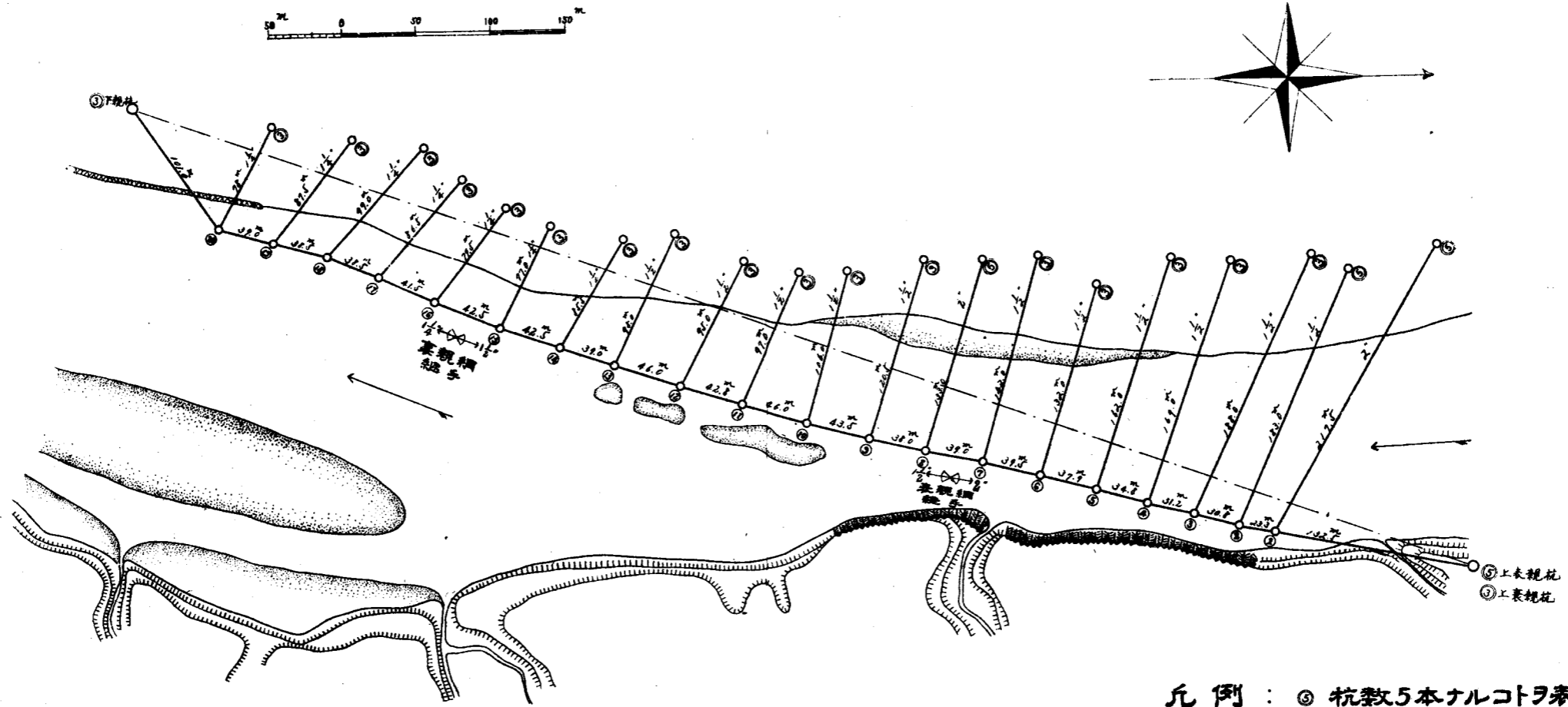
更にこれを第二節の不靜定構造理論と比較すれば

- i) 副索系統應力に關しては第二節、第三節兩理論とも引張應力を要求するも主索系統應力に關しては前者は壓縮應力を、後者は引張應力を要求する。従つて前者は場合は第二節既述の如く主索系統部材の設計に際し非常なる困難と經濟的損失とに逢著する。
- ii) 設計理論が後者の方は極めて簡單であり、従つて更に實用的目的に適する。不靜定構造理論に従へばその計算は著者によりて著しく簡略化せられたりと雖も猶ほ極めて冗長にして誤差を生ずるの危険多く、又一方に於ては計算の當初に於て全部材の斷面を適切に豫定して算出斷面が豫定斷面を超過せざるに至るまで何回も豫定斷面を變更して計算を遣り直すの困難を控え、これらの事柄は孰れも靜定構造理論の簡潔さに比較すれば第二節理論を實用的なりと思考することを躊躇せしむるに足るものである。
- iii) 材料の上から見れば第二節理論は主索系統に關する限り構造用鋼材 (structural steel) をその主體となすべき理論であり、第三節理論は鋼索をその主體となすべき理論であつて、問題の流送用抑留網羽の如き一時的の假設物に對しては取扱上の各種の點に於て簡便輕快なる鋼索を其の主體材料として採用する方が技術的に遙かに有利である。

以上の如き觀點より著者は網羽の主副兩索系統の構造應力を算定すべき設計理論として第二節に於て展開せられたる不靜定構造理論を永久的に留保し度い。而して之に代るべき設計方法として第三節に於て展開せられたる靜定構造理論を著者が探索し得たるこれが解決の適切なる一の鍵鑰として推薦し得ることを結論するものである。

沙流川抑留編筏網羽平面圖

網羽架渡實測 昭和十三年三月中旬 上親杭及下親杭距離 949.90 米



On the Strength of the Holding Boom ¹⁾
in Drifting (I).

By

Tosizô Kon.

Section I. Theory about the calculation of the structural stresses in
the main and auxiliary wire rope systems ²⁾.

In this section about the present subject the author attempts to reach an analytical solution of the working stresses in the main and the auxiliary wire rope systems of the holding boom.

At first, the entire wire rope structure is treated, theoretically, as a statically indeterminate structure of the first order, regarding all members as resistible both for the tensile and the compressive stresses (Paragraph II). According to Castigliano's principle of the least work, the redundant quantity H_1 can be derived as the formula (8) generally; this quantity H_1 is the horizontal component of the axial stress X_1 working in the end panel (0, 1), Fig. 2 (圖-2). Knowing the quantity H_1 now, one may attain to all values of stresses in the main and the auxiliary wire ropes by means of formulae (4) and (6). Formula (8) can be also expressed in the form of (19), thus adopting the coefficient of influence ν , where the moduli of elasticity of all wire rope members are assumed to be the same. In formula (8) or (19) we express by

$E_i, E_{s,i}$ the moduli of elasticity of the member (i) both in the main and the auxiliary wire rope systems respectively,

$l_i, l_{s,i}$ the lengths of the member (i) both in the main and the auxiliary wire rope systems respectively,

$F_i, F_{s,i}$ the cross-sectional areas of the member (i) both in the main and the auxiliary wire rope systems respectively,

$F_c, F_{s,c}$ some constant sections in the main and the auxiliary wire rope systems respectively,

t_i, r_i functional factors of (6) originally, concerning the member (i) of the auxiliary

1) Holding boom: “縋羽 (Aba)” properly in Japanese.

2) Main and auxiliary wire rope systems: “親綱 (Oyazuna)” and “嫁綱 (Yomezuna)” respectively, in Japanese.

wire rope system,

α_i the inclination angle of the member (i) in the main wire rope system against the direction perpendicular to that of the external loading,

α_s the inclination angle of the member (i) in the auxiliary wire rope system against the direction perpendicular to that of the external loading, assuming for all members of this system the same value of the inclination angle, *i. e.* :

$$\alpha_{s,i} = \alpha_s.$$

In order to avoid the difficulties in calculation for the case where the auxiliary wire rope system contains a large number of its members, the summation formula (19) is transformed into the closed ("geschlossene") form by Euler's method of summation (27). For this purpose, the quantity $\frac{1}{\cos \alpha_i} \left(\frac{F_c}{F_i} \right)$ is expressed by the straight line relation (24), the unknown coefficients a and b of which are to be determined by the principle of the least squares (25); quite similarly, for the quantity $l_{s,i} \left(\frac{F_{c,s}}{F_{s,i}} \right)$ the formulae (26), (25a) are prepared. Besides, it is assumed that

- (i) the form of the main system is parabolic, (9),
- (ii) horizontal projections of its panels are all equal, (11) and (13),
- (iii) the load intensity w is quite uniform along the river width;

and hence the factors t_i and r_i may be obtained as (16) and (17).

In the expansion of each summation term into the convergent series under the above assumptions, the first, the second and the third approximation values for the coefficient ν —namely ν_I , ν_{II} and ν_{III} —are calculated numerically taking the first single term, the first two terms and the first three terms of the expanded series correspondingly, adopting into our calculation example the actual case of the holding boom at Biratori in Hidaka province of Hokkaido, a structure of the Oji Seisi Kaisha. It is found that even the first approximation ν_I has the small error of 0.9% to the third one ν_{III} and for the practical purpose the first approximation may be sufficient in its precision. The practical formula is defined as (31) and (32) the form of which is thus, exceedingly simplified against that of ν_{III} .

By means of formulae (31), (32), (33), (34), (35), the author computes three cases about the holding boom at Biratori, namely $\alpha_s = 88^\circ$ ($\beta = 8^\circ$), $\alpha_s = 76^\circ$ ($\beta = 20^\circ$), $\alpha_s = 26^\circ$ ($\beta = 70^\circ$). These quantities α_s , β change their numerical values over an extensive range, according to the amounts of the frictional resistance assumed of the principal system against the parallel component of its external load-

ing. The results of these calculations which are to be seen to contain the actual limits of practice nearly, show two facts concerning the sign of the stresses $X_{s,t}$, and X_t (cf. Fig. 17, 18. 圖—17, —18):

- (i) In all members of the auxiliary system the tensile stresses work simultaneously, and
- (ii) in almost entire panels of the main system the compressive stresses prevail.

This latter fact introduces a fatal impediment in taking into practice the above designing formulae of the holding boom derived from the theory of statically indeterminate structures, on account of the vast amount of technical difficulties and economical disadvantages to be caused by the adoption of compression members for the essential part of the frame structure of the holding boom. Hence the author is obliged to reserve this method to be recommended as the key for solving of the problem.

As, actually, the material of the main system of the holding boom is twisted steel wire rope, it naturally can not resist the compressive stress. So the end panel member $(n-1, n)$ of the main system may be regarded as a false one, which is to be free from any systemic stress due to the deformation of the whole structure, Fig. 19 (圖—19). Thus the holding boom becomes like a statically determinate structure, which is the other way of consideration the author proposes to try (Paragraph III). In this case the structure can be solved rapidly by the statical conditions of the equilibrium, without applying the cumbersome theory of the elastic deformation of the structure. And finally, after some mechanical analysis, expressions (45) or (53) are attained for the stresses X_t and $X_{s,t}$ where the factor $\gamma_{s,t}$ represents the function (46). Similarly as in Paragraph II, in the reduction of these formulae also the following assumptions are made:

- (i) the form of the main system is parabolic, relation (9),
- (ii) the inclination angle $\alpha_{s,t}$ of all auxiliary members is the same, relation (5),
- (iii) the horizontal projections of all panels of the principal system are equal, relations (11) and (13),
- (vi) the load intensity w is uniform along the river width.

The author makes two cases of calculations about the example at Biratori, again, applying these new formulae, namely,

- (i) $\alpha_s = 88^\circ 10', 6808, \beta = 7^\circ 49', 3192$ ($\frac{\delta}{L} = \frac{1}{10}$; cf. Fig. 10, 圖--10)
- (ii) $\alpha_s = 26^\circ, \beta = 70'$ ($\frac{\delta}{L} = 2$)¹⁾;

1) The coefficient of frictional resistance equals unity.

(104)

and the results are traced in curves on Figs. 26 and 27 (圖—26, —27). The tendencies of these curves show the following facts:

- (i) through all members of both main and auxiliary systems of the holding boom tensile stresses work,
- (ii) the magnitude of the panel working stress X_i in the main system decreases gradually when its panel number i increases,
- (iii) the magnitude of the working stress $X_{s,i}$ in the auxiliary system increases gradually when the suffix number i increases.

As the necessary conclusion to these, the author recommends the final formulae of Paragraph III as the basis of calculation for the structural stresses of the holding boom. According to the present theory, the handy steel wire rope can be employed in every essential part of the system, which may bring about, as the author believes, a result of advantages both in technical and economical standpoints.