

抄 録

第25巻第5號 昭和14年5月

応用力学

- (56) 拱起の位置による温度応力の変化…………… 523
- (57) 弾性理論に於ける假想変位の原理の適用…………… 526

水 理

- (58) 渦運動の理論…………… 532

測 量

- (59) 航空寫眞測量に依る地図の作製…………… 534
- (60) 航空寫眞測量に依る 1/5 000 地形図の作製…………… 537

材 料

- (61) 構築用木材及木材接手の耐荷力並に木材接手の疲限度…………… 542

コンクリート及鉄筋コンクリート

- (62) 丁桁の新施工法…………… 544

河 川

- (63) Mississippi 下流に於ける捷水路…………… 546

港 灣

- (64) Gdingen 港…………… 548

道 路

- (65) 自動車交通の運輸施設…………… 551
- (66) 西部諸州に於ける 1939 年道路計畫…………… 553

橋梁及構造物

- (67) Marne 河に架せられた新橋梁…………… 555

雑

- (68) 米國開鑿局の 1939 年度工事計畫概要…………… 558

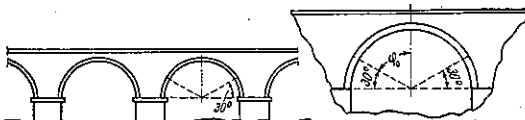
応 用 力 学

(56) 拱起の位置による温度応力の変化

(Bernhard Fritz, "Einfluss der Annahme der Lage der theoretischen Kämpferfuge auf die Wärmespannungen in Gewölben." Die Bautechnik. 18. Nov. 1938. S. 672-675.)
立花文勝抄

図-1 に示すが如き拱軸線が円形をなすアーチでは、通例中心角 120° の部分がアーチアクションをなし、それ以外の部分はアーチアクションに關與しないものと

図-1. 円形アーチの場合は中心角 120° の部分がアーチアクションをなす

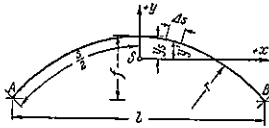


して計算を行つてゐる。然し之は習慣であつて元來妥當なものとは云へないのである。例へば温度応力の如きは、此の假定による時は實際に生じ得ない様な大きな値を取るものである。其の結果アーチの各断面の応力が必要以上に大となり、材料の抗压強度を充分利用することが出來ず、一方応張力が許容強度を超過するために断面厚を増し、死荷重を増加すると共に材料の不經濟ともなる。殊にこの円形アーチはプレーンコンクリートアーチやブーソアアーチによく用ひられるものであるから、拱起の位置を何處に置くかといふことは充分検討するを要する。即ち拱起點の位置を適當に決定すれば、アーチの断面に生ずる応張力を減少せしめ、従つて材料の抗压強度を充分利用することが出来る譯である。本文は此の目的を以て理論的拱起點の位置による温度応力の変化の状態を調べたものである。

- (1) 断面厚の等しい円形アーチ：(図-2) 断面厚 h

なる無絞アーチに於て、拱軸長を s 、支間を l 、拱矢を f 、断面積を F 、断面 2 次モーメントを J 、弾性係数を E 、温度係数を ω とすれば、温度変化 $\pm t^\circ$ に對する水平推力 H_t は次式にて表はされる。

図-2. 断面厚の等しい円形アーチの計算上の諸符號



$$H_t = \pm \frac{\omega l t^0}{\int_A^B y^2 \frac{ds}{EJ}} \dots\dots\dots (1)$$

半径 r なる円形アーチに於て軸長 s を $2n$ 箇に等分し、其の一分割を Δs とすれば、

$$H_t = \pm \frac{EJ\omega l t^0}{\Delta s \sum_0^{2n} y^2} \dots\dots\dots (2)$$

φ_0 をアーチの中心角の $1/2$ とし、單位幅 $b=1$ を取れば

$$J = \frac{h^3}{12} \dots\dots\dots (3)$$

$$l = 2r \sin \varphi_0 \dots\dots\dots (3)$$

$$f = \frac{l}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta s = \frac{\pi r}{n} \frac{\varphi_0}{180^\circ} \dots\dots\dots (5)$$

拱頂よりアーチの弾性重心に到る距離は

$$y_s = r \left(1 - \frac{180^\circ \sin \varphi_0}{\varphi_0 \pi} \right) \dots\dots\dots (6)$$

弾性重心より微小素片 Δs に到る縦距は、

$$y' = r \left(\cos \varphi' - \frac{180^\circ \sin \varphi_0}{\varphi_0 \pi} \right) \dots\dots\dots (7)$$

之等を (2) に代入すれば、

$$H_t = \pm \left. \begin{aligned} & \frac{E\omega h^3 t^0}{6r^2 \sum_0^{2n} \left(\cos \varphi' - \frac{180^\circ \sin \varphi_0}{\varphi_0 \pi} \right)^2} \\ & \times n \frac{180^\circ \sin \varphi_0}{\varphi_0 \pi} \\ & = \pm \beta \frac{h^3}{r^2} E\omega t^0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

温度変化により拱頂並に拱起に生ずるモーメントを夫々 M_t^s 及 M_t^k とすれば

$$M_t^s = \mp H_t y_s = \mp r \frac{h^3}{r} E\omega t^0 \dots\dots\dots (9)$$

$$M_t^k = \pm H_t y_k = \pm H_t (f - y_s)$$

$$= \pm \varepsilon \frac{h^3}{r} E\omega t^0 \dots\dots\dots (10)$$

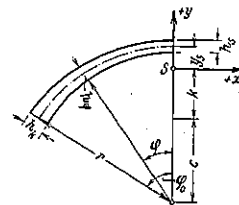
係数 β 、 r 及 ε は φ_0 の函數であつて、 $2n=24$ とし、て計算すれば表-1 の如くなる。

表-1. β 、 γ 及 ε の値 ($2n=24$)

$\varphi_0 =$	24°	32°	40°	48°	56°	64°	72°	80°	90°
β	122.361	38.559	15.462	7.527	4.028	2.336	1.438	0.928	0.663
γ	3.646	1.973	1.225	0.850	0.611	0.456	0.349	0.273	0.204
ε	7.032	3.886	2.392	1.940	1.164	0.855	0.644	0.493	0.358

(2) 断面厚の漸変する円形アーチ：(図-3) 断面厚の変化は E. Gaber の式を採用する。

図-3. 断面厚漸変する円形アーチの計算上の諸符號



$$h_\varphi = h_s \left(1 + 0.60 \sqrt{\frac{\varphi^0}{60^\circ}} \right) = \delta h_s \dots\dots\dots (11)$$

$$J = \frac{1 \times h^3}{12} = \frac{\delta^3 h_s^3}{12}$$

$$l = 2r \sin \varphi_0$$

$$\Delta s = \frac{\pi r}{n} \frac{\varphi_0}{180^\circ}$$

であるから前記の (2) に對應する式は、

$$H_t = \pm \frac{h_s^3 E\omega t^0}{6 \sum_0^{2n} \frac{y'^2}{\delta^3}} n \frac{180^\circ \sin \varphi_0}{\varphi_0 \pi} \dots\dots\dots (12)$$

拱頂中心と弾性重心との距離は

$$y_s = r - (c+k) = r \left\{ 1 - \frac{\sum_0^{2n} \frac{\cos \varphi'}{\delta^3}}{\sum_0^{2n} \frac{1}{\delta^3}} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

又

$$y' = r \left\{ \cos \varphi' - \frac{\sum_0^{2n} \frac{\cos \varphi'}{\delta^3}}{\sum_0^{2n} \frac{1}{\delta^3}} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

従つて

$$H_t = \pm \left. \begin{aligned} & \frac{h_s^3 E\omega t^0}{6r^2 \sum_0^{2n} \frac{\left\{ \cos \varphi' - \frac{\sum_0^{2n} \frac{\cos \varphi'}{\delta^3}}{\sum_0^{2n} \frac{1}{\delta^3}} \right\}^2}{\delta^3}} \times n \frac{180^\circ \sin \varphi_0}{\varphi_0 \pi} \\ & = \pm \bar{\beta} \frac{h_s^3}{r^2} E\omega t^0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

モーメントは

$$M_i^s = \mp H_i y_s = \mp \bar{\gamma} \frac{h_s^3}{r} E \omega t^0 \dots\dots\dots(16)$$

$$M_i^k = \pm H_i y_k = \pm H_i (f - y_s) \\ = \pm \bar{\varepsilon} \frac{h_s^3}{r} E \omega t^0 \dots\dots\dots(17)$$

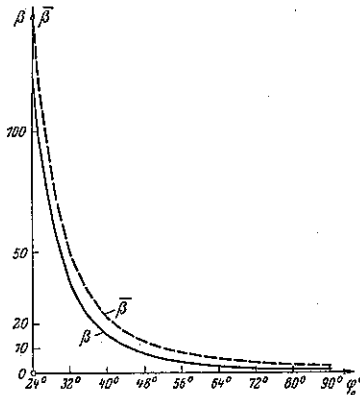
係数 $\bar{\beta}$, $\bar{\gamma}$ 及 $\bar{\varepsilon}$ を前と同様に $2n=24$ として計算すると表-2 の如くなる。

表-2. β, γ 及 ε の値 ($2n=24$)

φ_0	24°	32°	40°	48°	56°	64°	72°	80°	90°
$\bar{\beta}$	144.633	50.699	22.968	12.684	7.908	5.467	4.013	3.092	2.752
$\bar{\gamma}$	3.871	2.275	1.496	1.093	0.849	0.688	0.574	0.489	0.455
$\bar{\varepsilon}$	8.633	5.429	3.877	3.104	2.663	2.333	2.199	2.065	2.009

(3) 拱起の位置による影響: 表-1, 2 は半円形アーチに於ける拱起の位置による温度応力の変化を示すものであつて、今之等と比較するために

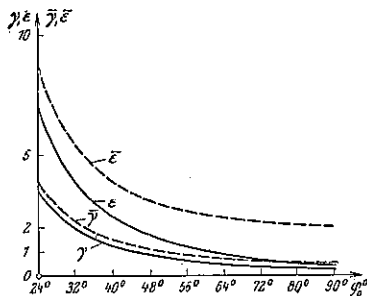
図-4. 半円形アーチに於ける拱起の位置による温度応力の変化。



$$\frac{r^2 H_i}{h_s^3 E \omega t^0} = \beta \quad \text{及} \quad \frac{r^2 H_i}{h_s^3 E \omega t^0} = \bar{\beta}$$

を図示すると図-4 の如くなる。之によると $\varphi_0 > 56^\circ$ では漸変断面厚を有するアーチの水平推力は、断面厚の等しいアーチの水平推力の2倍より大となることが分る。然し φ_0 の小となるに従ひ H_i が急激に増加すること

図-5. 温度変化による拱頂並に拱起點のモーメントの係数比較図



は兩者共其の軌を一にしてゐる。図-5 は温度変化による拱頂並に拱起に於けるモーメント M_i^s 及 M_i^k の係数を比較したものである。 M_i^s は元來只1つの値しか出て來ない筈であるのに、理論的拱起の位置を變へることにより夫々異なる數値を得るのは明らかに矛盾してゐる譯である。而も図-5 から知られる如く、 M_i^s は $\varphi_0 = 90^\circ$ に於て極限值に達してゐるから、實際アーチの拱頂に生じてゐるモーメントはこの $\varphi_0 = 90^\circ$ の時の極限值と考へられる。然らば φ_0 が小となるにつれて M_i^s が増加するのは如何なる理由に基づくか、當然問題とならう。之は即ち拱起點の移動並に廻轉性によるものなのである。といふのは φ_0 が小さい時はアーチが非常に扁平となる結果、無絞アーチとは言へ拱起の移動並に廻轉を避け難いのであるが、 φ_0 が大きい時はアーチの拱矢が増し、従つて拱起の非移動性並に非廻轉性なる假定が比較的満足される様になるためである。

従つて今迄慣用されてゐる $\varphi_0 = 60^\circ$ の代りに $\varphi_0 = 90^\circ$ を採用して計算すれば温度変化による拱頂モーメント M_i^s の値は少くとも半分は減少することになる。尚漸変断面厚 $h = \delta h_s$ なる假定の代りに等断面厚 $h = \text{一定}$ を採用すれば此の値は一層小となる。 M_i^k にあつても同様の事が言へる。

今迄述べたのは温度変化に及ぼす影響であるが、次に理論的拱起の位置假定が死荷重並に活荷重に及ぼす影響を調べて見やう。死荷重によるモーメントは大した事はないから問題にしない事にし、今等布活荷重強度を p とし断面厚は一定として拱頂モーメントを次の如く表はす。

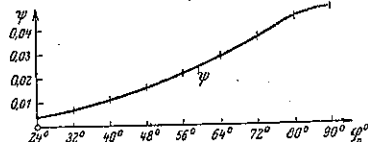
$$M_{2s} = +\psi p r^2$$

係数 ψ の値は表-3 の如くである。

表-3. ψ の値

φ_0	24°	32°	40°	48°	56°	64°	72°	80°	90°
ψ	0.00379	0.00666	0.01071	0.01560	0.02150	0.027940	0.03572	0.04490	0.04826

図-6. ψ 曲線



$$\text{今} \quad \frac{M_{2s}}{p r^2} = \psi$$

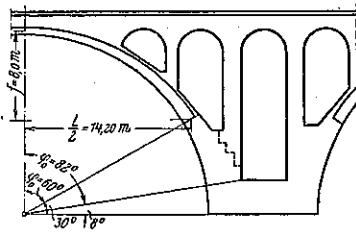
と置けば図-6 の ψ 曲線は即ち拱起の位置による拱頂モーメント影響線を示すことになる。図-6 より大理論的支間の自乗に比例して大となるが、 φ_0 が大となる

に従ひ増加の割合は減少することが分る。

(4) 結 論:

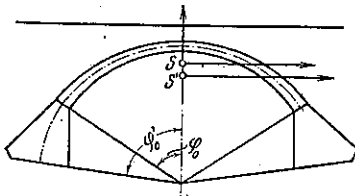
A: 拱軸線が凹形なるアーチにあつては、従来中心角 120° の部分のみがアーチ アクションをなすと考へられてゐるが、之は適切でない。上記の計算結果によると半円として計算するのが妥當である。例へば Jena にある Saale 橋梁は $\varphi_0 = 60^\circ$ として計算してあるが、之は $\varphi_0 = 82^\circ$ として計算するのが適切でもあり妥當でもある(図-7 参照)。

図-7. Saale 橋梁



B: 図-8 の如き扁平なアーチに於ても、従来は中心角 $2\varphi_0$ の部分が橋臺の上に載つてゐるものとして弾性重心や温度応力を計算してゐるが、之は適切でない。 φ_0 の代りに φ_0' を用ひた方が妥當でもあり経済的でもある。殊に弾性重心は従来の方で計算し、其の後に橋臺底面の応力を影響線を用ひて計算するが如きは誤れるも甚しい。

図-8. 扁平アーチ



C: 支間が小さいアーチでは、拱頂から拱起に向つて断面厚を増すことは餘り意味がなく、反つて不利な結果をもたらす。拱起の応張力は拱起の断面厚を減少すれば之を未然に防ぐことが出来る。又かくすれば弾性重心の位置が下るから温度並に硬化収縮による応力が減少し、各断面に於ても材料の抗压強度を充分發揮せしめることにもなるのである。

(57) 弾性理論に於ける假想変位の原理の適用

(A. Schlessner, "Das Prinzip der virtuellen Verrückungen und die Variationsprinzipien der Elastizitätstheorie." Der Stahlbau, 25. Nov. 1938. S. 185.~192. 立花文勝 抄)

緒言: 假想変位の原理は質点系力学に於てよく知られた 1 つの古典的な原理で、構造力学にも応用が廣

いことは周知の通りである。但しこの原理の適用に關しては不明瞭な點が多く、殊に弾性理論に適用することは今尙 Pöschl, Domke, Marguerre, Kammüller 及著者等によつて盛んに論議せられてゐる。最近 Kammüller との論争の結果、假想変位の原理を弾性理論に適用する際に自ら生ずる基本的問題を、もう一度検討確保する必要を痛切に感じた。本文を草した目的もこゝにある。公式を誘導する上に用ひた假定を述べると次の如くである。

- イ. 弾性体に働く力としては、その表面に働く面力と自重の如き質力 (Massenkraft) とがあるが、式を簡単にするために質力の方は考へない。
- ロ. 弾性体としては内力と外力とが平衡にある場合のみを取扱ふ。
- ハ. 荷重は極めて徐々に載荷せしむるものとする。即ちエネルギーの式に於て加速度に關する項は無視し得るものとする。
- ニ. 問題を簡易化するために温度変化は考へない。
- ホ. 材料は完全弾性とする。
- ヘ. 内力及外力の摩擦損失は考慮に入れない。
- ト. 外力は單一力にて置換し得るものとする (St. Venant の原理)。

公式の誘導: 外力 \mathfrak{P} の作用下にある質点系を考へその内力を \mathfrak{G}_m とすると質点系の平衡条件より、

$$\mathfrak{P} + \sum_m \mathfrak{G}_m = 0 \dots\dots\dots (1)$$

となる。この式は $\mathfrak{P}, \mathfrak{G}_1, \mathfrak{G}_2$ によるベクトル多角形が閉合することを意味する(図-9)。(1) と変位ベクトル $\delta \mathfrak{G}$ とのスカラー積を作れば、

$$\mathfrak{P} \delta \mathfrak{G} + \sum_m \mathfrak{G}_m \delta \mathfrak{G} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

こゝに $\delta \mathfrak{G}$ は完全に任意にとり得るものであるが、無限に小なるものでなくてはならない。即ち函数關係はなく全く任意である所から符號も微分記號 d でなく変

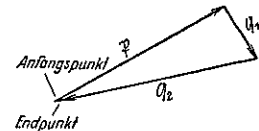
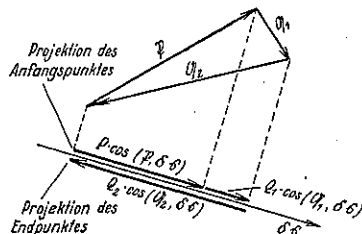


図-9. 閉多角形の任意の方向に於ける投影に於て始點と終點が一致する



分記號 δ を用ひてある。(2) は二様の意味に解釋することが出来る。それはスカラ積

$$Q_m \cdot \delta \mathcal{E} = Q_m \cdot \delta s \cdot \cos(\mathcal{Q}_m, \delta \mathcal{E})$$

に於て $[Q_m \cdot \cos(\mathcal{Q}_m, \delta \mathcal{E})] \cdot \delta s$

と考へると、図-10 に示した如く、只閉多角形の任意の方向に於ける投影に於て始點と終點が一致するといふ意味となるのみであるが、次に

$$Q_m \cdot [\delta s \cdot \cos(\mathcal{Q}_m, \delta \mathcal{E})]$$

と書くと変位ベクトル $\delta \mathcal{E}$ を力 \mathcal{Q}_m の方向に投影する事となり特別の意味を生じて来る。即ち今

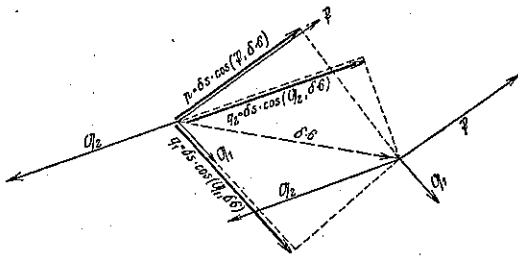
$$\delta s \cdot \cos(\mathcal{Q}_m, \delta \mathcal{E}) = \delta q_m$$

と置けば (2) 式は次の如く表はされる。

$$P \cdot \delta p + \sum_m Q_m \cdot \delta q_m = 0 \dots\dots\dots (3)$$

これはある質點が外力 P, Q_1, Q_2, \dots 等によつてベクトル $\delta \mathcal{E}$ にて表はされる変位をなした時は、力 \mathcal{Q}_m の作用點が力の方向に距離 δq_m だけ変位することを示すものである (図-11)。

図-11. Q_m の作用點が力の方向に δq_m だけ変位する



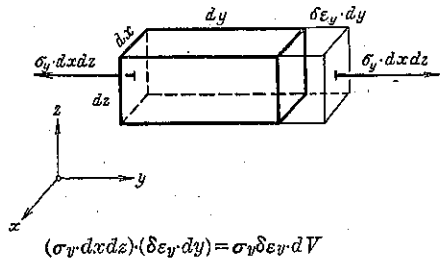
即ちこの変位によつて力 \mathcal{Q}_m は仕事 $Q_m \delta q_m$ をなし同様に力 P は仕事 $P \delta p$ をなすことになる。従つて方程式 (2) をこの意味に解釋すると、質點が任意のベクトル $\delta \mathcal{E}$ にて表はされる変位をなしたとした場合、該質點に作用してゐる力のなす仕事の總和が零となることを示すのである。而して質點は實際には変位をしてゐないのであり、又この変位は假想のもので任意に選ぶ事が出来るから假想変位 (virtuelle Verschiebung) と稱することは周知の通りである。同様に $P \delta p$ 及 $Q_m \delta q_m$ を假想仕事 (virtuelle Arbeit) と稱する。式 (3) は (1) なる平衡條件より必然的に導かれたものであるが、 $\delta \mathcal{E}$ のある特定の値に對して成立するばかりでなく、 $\delta \mathcal{E}$ の全く任意の値に對して成立するものであるから、式 (3) より式 (1) を必然的に導き出すことも可能である。従つて次の結論を得る。

質點が力を受けて平衡状態にある時、該質點の任意の假想変位に對する假想仕事の總和が零なることは、必要

且つ充分なる條件である。これが Lagrange の有名な假想變位の原理 (Prinzip der virtuellen Verrückungen) と稱せられてゐるものである。即ち假想變位の原理といふのは、元來何等の物理的意味を持つてゐない所の (1) といふ平衡條件の式に勝手に數學的操作を施して得た 1 つの解釋に外ならないのである。従つて決してこの解釋だけが式 (1) の唯一可能の解釋ではないことを注意せられたい。

次に外力を受けて彈性的に平衡の状態にある物体の微小素片 $dV = dx dy dz$ を取り出して考へる。変形の結果この微小素片には垂直応力 σ と剪断応力 τ とが働いてゐる。今この微小素片が充分小さくて、式 (1)~(3) に於ける質點と同意に解釋されるものとすれば、応力 σ_x, \dots, τ_x 等は式 (3) に於ける内力 \mathcal{Q}_m と考へることが出来る。假想變位として物体の変形によつて實際に生ずる伸び $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 及こり $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ に相當する附加的の伸び $\delta \epsilon_x, \delta \epsilon_y, \delta \epsilon_z$ 及附加的のこり $\delta \gamma_x, \delta \gamma_y, \delta \gamma_z$ を考へる。但しこの際 $\delta \epsilon_x, \dots, \delta \gamma_x$ は微小素片を變形せしむるものなるを要し、微小素片を破壊するものであつてはならない。即ちコンパティビリティの條件を満足するものと假定する。図-12 より垂直応力による y -方向の假想仕事は

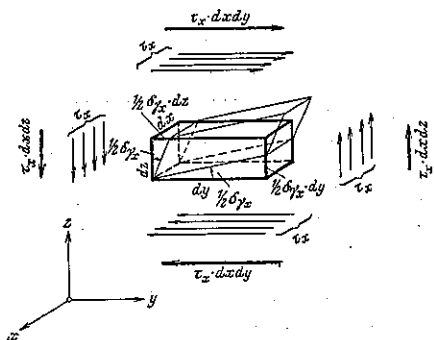
図-12. 垂直応力による y -方向の假想仕事



$$(\sigma_y dx dz) (\delta \epsilon_y dy) = \sigma_y \delta \epsilon_y dV$$

となる。剪断応力による x -軸のまはりの假想仕事は図-13 より

図-13. 剪断応力による x -軸のまはりの假想仕事



$$(\tau_x dx + \tau_y dy) \left(\frac{1}{2} \delta \gamma_x dy \right) = \frac{1}{2} \tau_x \delta \gamma_x dV$$

となる。他の応力成分も同様にして求め得られるが、これ等の変形による仕事は内力の抵抗に對してなされるものであるから負號を取る。

従つて (3) はこの場合次の如くなる。

$$P \delta p - dV (\sigma_x \delta \varepsilon_x + \sigma_y \delta \varepsilon_y + \sigma_z \delta \varepsilon_z + \tau_x \delta \gamma_x + \tau_y \delta \gamma_y + \tau_z \delta \gamma_z) = 0 \dots (4)$$

この關係は彈性体の各微小素片に就て成立するから、(イ) $\delta \varepsilon$, $\delta \gamma$ 等は無限に小なること、(ロ) 又コンパティビリティの條件を満足する場所の函數なること、(ハ) 更にその彈性体の支承條件に背馳しないことを假定すれば、全彈性体について積分して、

$$\int dV (\sigma_x \delta \varepsilon_x + \sigma_y \delta \varepsilon_y + \sigma_z \delta \varepsilon_z + \tau_x \delta \gamma_x + \tau_y \delta \gamma_y + \tau_z \delta \gamma_z) - \sum_n P_n \delta p_n = 0 \dots (5)$$

を得る。之が彈性体に對する假想変位の原理の一般形で材料が非完全彈性なる場合、任意の彈性法則を適用する場合、又彈性体が有限の変形 (endliche Verformung) をなす時にも成立する。

次に特別の場合として、材料が完全彈性とすると、實際に生ずる変形による内力の仕事は、

$$A_i = \int dV \int_0^{\varepsilon, \gamma} (\sigma_x d\varepsilon_x + \sigma_y d\varepsilon_y + \sigma_z d\varepsilon_z + \tau_x d\gamma_x + \tau_y d\gamma_y + \tau_z d\gamma_z) \dots (6)$$

この場合 (5) 式の第 1 項は変位量による変形仕事の變分 (die Variation der Formänderungsarbeit) $\delta_v A_i$ を示し、同様に第 2 項は変位量 p_n による $\sum_n P_n \delta p_n$ の變分即ち $\delta_v (\sum_n P_n p_n)$ を示してゐる。さて今この $\sum_n P_n p_n$ に新たに特別の意味を附加する事にする。といふのはこのものは實際の変形の際に外力 P_n によつてなされる仕事を表はしてゐるものではないのである。即ち P_n といふ力は変形する間に 0 から P_n といふ値に増加したものであつて、この意味に於て $\sum_n P_n p_n$ は、寧ろ変位 p_n を起す全期間に於て、外力が最初から P_n なる値を取つてゐたものと考へた時の外力のなす仕事を表はすのである。よつて之を名付けて外力の見掛けの仕事 (Endwertarbeit) と稱する事にする。即ち、

$$A_{ea} = \sum_n P_n p_n \dots (7)$$

之に對し外力の實際になした仕事は

$$A_a = \sum_n \int_0^{p_n} P_n dp_n \dots (8)$$

次に任意の假想変位 $\delta \varepsilon_x, \dots, \delta \gamma_z, \delta p_n$ に相當する外力の假想仕事は

$$A_{va} = \sum_n P_n \delta p_n = \delta_v A_{ea} \dots (9)$$

同様に内力の見掛けの仕事は

$$A_{cl} = \int dV (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \sigma_z \varepsilon_z + \tau_x \gamma_x + \tau_y \gamma_y + \tau_z \gamma_z) \dots (10)$$

変形の際に内力によつて實際になされる仕事は (6) 式の通りであるが、今完全彈性の場合をとり、且つ溫度作用一切を無視するとエネルギー恒存の原理から、

$$A_i = A_a \dots (11)$$

次に (5) 式より任意の假想変位 $\delta \varepsilon_x, \dots, \delta \gamma_z$ に相當する内力の假想仕事は

$$A_{vi} = \int dV (\sigma_x \delta \varepsilon_x + \sigma_y \delta \varepsilon_y + \sigma_z \delta \varepsilon_z + \tau_x \delta \gamma_x + \tau_y \delta \gamma_y + \tau_z \delta \gamma_z) = \delta_v A_i \dots (12)$$

これ等の中實際物理的になされた仕事としては (6) と (8) があるのみで、(7), (9), (11) 及 (12) は計算上且思考上の所産なることに注意せられ度い。

以上述べた事から完全彈性の場合の假想変位の原理を次の如く書くことが出来る。之を變分の第 1 原理 (erstes Variationsprinzip) と稱する。

$$\delta_v (A_i - A_{ea}) = 0 \dots (13)$$

サフィックスの v は括弧内の量が夫々の変位置、即ち A_i は ε 及 γ により、 A_{ea} は p_n によつて変化することを意味する。第 1 原理 (13) は平衡の状態に於て $\varepsilon_x, \dots, \gamma_z$ が有限の大きな値を取つた (endlich gross) 場合、又任意の彈性法則を適用する場合にも成立する。

ポテンシャルエネルギー最小の條件としての第 1 原理の意義：式 (13) の括弧内は彈性体全系のポテンシャルエネルギーを表はしてゐる。何となれば今 A_i^* を單位体積の変形仕事 (Formänderungsarbeit) とすれば

$$A_i^* = \int_0^{\varepsilon, \gamma} (\sigma_x d\varepsilon_x + \sigma_y d\varepsilon_y + \sigma_z d\varepsilon_z + \tau_x d\gamma_x + \tau_y d\gamma_y + \tau_z d\gamma_z) \dots (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{尚} \quad & + \frac{\partial A_i^*}{\partial \varepsilon_x} = \sigma_x, \quad + \frac{\partial A_i^*}{\partial \varepsilon_y} = \sigma_y, \quad + \frac{\partial A_i^*}{\partial \varepsilon_z} = \sigma_z \\ & + \frac{\partial A_i^*}{\partial \gamma_x} = \tau_x, \quad + \frac{\partial A_i^*}{\partial \gamma_y} = \tau_y, \quad + \frac{\partial A_i^*}{\partial \gamma_z} = \tau_z \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

又 A_i は内力のポテンシャルエネルギー Π_i に等しいから

$$A_i = \Pi_i \dots (16)$$

(7) より

$$- \frac{\partial (-A_{ea})}{\partial p_n} = P_n \dots (17)$$

(15) 式の正符號は A_i^* の増加が内力の仕事をなす能力を増加する事を意味し、この式の負符號は A_{ea} の増加が外力の仕事をなす能力を減少することを意味する。又 $(-A_{ea})$ は外力のポテンシャルエネルギーに等しいから

$$-A_{ea} = \Pi_a \dots (18)$$

(16) 及 (18) より弾性体全系の有するポテンシャル エネルギーは、

$$II = II_i + II_a = A - A_{ca} \dots\dots\dots(19)$$

従つて (18) 式は

$$\delta_0 II = 0 \dots\dots\dots(20)$$

となる。この式は II が極限值、この場合最小となることを示すものである。従つて完全弾性の場合の假想変位の原理 (第 I 原理) を次の如く述べる事が出来る。即ち平衡状態に入つた弾性体の変形状態は、その弾性体全系のポテンシャル エネルギーが最小となるが如き変形状態を取る。

之は勿論單なる数学的操作による意義に外ならないのであるが、今この結果を、ある制限を加へておし進めて見る。今弾性体の平衡状態を稍、離れた比較状態 (Vergleichszustände) といふものを考へる。平衡状態にあつては弾性体全系の有するポテンシャル エネルギーは、他の如何なる変位状態に於けるポテンシャル エネルギーよりも小さいのであるから、この比較状態のポテンシャル エネルギーは平衡状態に於けるポテンシャル エネルギーよりも大きい譯である。所が物理的に、例へば平衡の位置の周りに振動しつゝある振子又は振動系についてこの比較状態を考へて見ると、成程ポテンシャル エネルギーは大きいことは大きい、この中には加速度の項が入つてゐる。しかしこの加速度の項が入つてゐれば面倒なので最初の假定通り之を今無視する事にする。即ち加速度の考慮せられた比較状態は物理的に可能であるけれども、かく制限を加へて抽象化したものは最早物理的には不可能な状態である。しかし吾人が本節に於て論じてゐるのは弾性体全系の幾何学的條件に背馳しない一切の変位状態の下に、弾性法則の適用範圍に於て内力と外力の平衡にコレスpondする唯一の状態を調べることにあるのである。従つて荷重 P_n は、その載荷過程に於て加速度成分が無視され得る程度に徐々に載荷せられるものとする。しかしその場合 P_n なる大きさに達する迄の P_n の各値に對応して途中の状態も平衡になつてはならない。この意味に於て比較状態を (6) 式より、

$$\left. \begin{aligned} A_i' &= \int dV \int_0^{\varepsilon + \delta\varepsilon, \gamma + \delta\gamma} (\sigma_x d\varepsilon_x + \sigma_y d\varepsilon_y \\ &\quad + \sigma_z d\varepsilon_z + \tau_x d\gamma_x + \tau_y d\gamma_y + \tau_z d\gamma_z) \\ A_{ca}' &= \sum_n P_n (p_n + \delta p_n) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(21)$$

なる形にて一義的に定義する。この定義にあつては比較状態の σ_x, \dots, τ_x は最早平衡状態に於ける ε_x, \dots

γ_x にコレスpondする量ではなくて、弾性法則による変位 $\varepsilon_x + \delta\varepsilon_x, \dots, \gamma_x + \delta\gamma_x$ にコレスpondする量となつてゐる。

さて次に変位は全く任意に取つてよいわけであるから、外力の作用點が変位しなかつたものとすれば、一切の n に對して $\delta p_n = 0$ となり、(5) 式より (20) 式の代りに

$$\delta_0 A_i = 0$$

を得る。この場合はポテンシャル エネルギー最小ではなくて変形仕事 (Formänderungsarbeit) が最小となる。

変分の第 2 原理 (zweites Variationsprinzip) 第 I 節に於て述べた (5) 式即ち弾性体に對する假想変位の原理の一般形は、弾性体が極根の変形 (endliche Verformung) をなす場合にも適合するのであるが、今平衡状態に於て實際生起してゐる変位 ε, γ, p が無限に小さいといふ特殊の假定を加へると、(10), (20) 式を考慮して、

$$\left. \begin{aligned} \int dV (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \sigma_z \varepsilon_z + \tau_x \gamma_x \\ + \tau_y \gamma_y + \tau_z \gamma_z) - \sum_n P_n p_n = 0 \\ A_{ci} - A_{ca} = 0 \end{aligned} \right\} (22)$$

を得る。これは弾性体が平衡にある場合に限り成立する。一方 (5) 式はそれに近い他の任意の平衡状態についても成立すべきであるから、外力 $P_n + \delta P_n$ に相當する応力 $\sigma_x + \delta\sigma_x, \dots, \tau_x + \delta\tau_x$ に對しても、

$$\int dV [(\sigma_x + \delta\sigma_x) \delta\varepsilon_x + (\sigma_y + \delta\sigma_y) \delta\varepsilon_y \\ + (\sigma_z + \delta\sigma_z) \delta\varepsilon_z + (\tau_x + \delta\tau_x) \delta\gamma_x \\ + (\tau_y + \delta\tau_y) \delta\gamma_y + (\tau_z + \delta\tau_z) \delta\gamma_z] \\ - \sum_n (P_n + \delta P_n) \delta p_n = 0$$

が成立する。 $\delta\varepsilon, \delta\gamma, \delta p$ に對しては任意のコンパティブルな変位系を考へる事が出来るから、応力及外力 $\sigma_x, \dots, \tau_x, P_n$ に對し、 $\varepsilon_x, \dots, \gamma_x, p_n$ なる変位系を考ふれば、これらの量が無限に小さいものである限り

$$\int dV [(\sigma_x + \delta\sigma_x) \varepsilon_x + (\sigma_y + \delta\sigma_y) \varepsilon_y \\ + (\sigma_z + \delta\sigma_z) \varepsilon_z + (\tau_x + \delta\tau_x) \gamma_x \\ + (\tau_y + \delta\tau_y) \gamma_y + (\tau_z + \delta\tau_z) \gamma_z] \\ - \sum_n (P_n + \delta P_n) p_n = 0$$

此の式より (22) を減ずれば

$$\int dV (\varepsilon_x \delta\sigma_x + \varepsilon_y \delta\sigma_y + \varepsilon_z \delta\sigma_z + \gamma_x \delta\tau_x \\ + \gamma_y \delta\tau_y + \gamma_z \delta\tau_z) - \sum_n p_n \delta P_n = 0 \dots\dots(28)$$

となる。之が変分の第 2 原理であつて、(5) と對比すれば變化するものは変位ではなくて力 (応力) であるから假想変位の原理に對して、假想力の原理 (Prinzip der

virtuellen Kräfte) とすることが出来る。但しこゝに $\delta\sigma, \delta\tau, \delta P$ は無限に小さい連続函数で、場所の座標により変化し且つ相互の間にあつて平衡状態を維持するものとする。その外は全く任意である。(23)式は任意の弾性法則に對し、又材料が非完全弾性の時にでも成立するが、この式を誘導する時に $\epsilon_x, \dots, \gamma_{xy}, p_n$ の無限に小さい事を假定してゐるから、変形が有限の大いさを取る場合には成立しない。所が (5) は弾性体が有限の変形をなす場合にも成立するのであるから、(23) と (5) は形の上では非常に似てゐるが、根本的に差異のある事に御注意願ひ度い。

次に材料が完全弾性の場合を考へて見ると、(23) 式の括弧内は完全微分となるから、今こゝに B_i なる量を取

$$B_i = \int dV \int_0^{\sigma, \tau} (\epsilon_x d\sigma_x + \epsilon_y d\sigma_y + \epsilon_z d\sigma_z + \gamma_{xy} d\tau_{xy} + \gamma_{yz} d\tau_{yz}) \dots \dots \dots (24)$$

にて定義されるものとする。これは仕事のディメンションを有し Engesser の所謂「内力の附加仕事」(Ergänzungsarbeit der inneren Kräfte) と稱するものである。又之に相応して外力の附加仕事 (Ergänzungsarbeit der äusseren Kräfte) を次の如く定義する。

$$B_a = \sum_n \int_0^{P_n} p_n dF_n \dots \dots \dots (25)$$

部分積分により、(6), (10), (24) 並に (8), (7), (25) より全く一般に、且つ有限の変形に對しても、

$$A_i = A_{ei} - B_i \dots \dots \dots (26)$$

$$A_a = A_{ea} - B_a \dots \dots \dots (27)$$

(11), (22) よりこの場合は

$$B_i = B_a$$

となる。但しこの關係は (22) が成立する場合即ち一般に無限に小さい変形の場合にのみ適合するものである。

之等の記號を用ふれば (23) より

$$\delta_0(B_i - A_{ea}) = 0 \dots \dots \dots (28)$$

を得る。之が完全弾性の場合の変分の第2原理(zweites Variationsprinzip) である。サフィツクスの δ は力及応力が変化することを示す。(28) 式は (13) 式とその形式を同じくするが、その意義は全然異なる。即ち (13) 式は括弧内の量が最小なることを示すに反し (28) 式は逆に最大の条件を示す式となつてゐる。それは (23) 式は A_{ei} 及 A_{ea} なる量の完全変分として導かれたもので、この A_{ei} 及 A_{ea} なる量の完全変分は弾性体が平衡状態にある条件から考へられるものである。従つてこの場合 ($A_{ei} - A_{ea}$) は常に零であり、従つてこの変分も零となる。故に力(応力)が変化するとした時 ($-B_i + A_{ea}$)

は最小値を取り、その結果 ($B_i - A_{ea}$) は最大値を取る事となるのである。

尙第2の差異として ($B_i - A_{ea}$) は弾性体全系のポテンシャル エネルギーを表はすものではない。変分の第2原理は第1の如き經驗に即応した自然法則を意味してゐるのではないのである。即ち第2原理は第1原理を特殊な制限の下に數學的に変形したものであつて弾性体の変形が無限に小さい場合の外は成立しない。従つて實際には第1原理よりも遙かに屢々應用せられてゐる所の第2原理では、ポテンシャル エネルギーの最小といふことは意味がない。 $(B_i - A_{ea})$ は (イ) ポテンシャル エネルギーを表はさず、(ロ) 最小値を取らずして最大値を取ることに注意すべきである。

次に前節に於ける (21) と同様に (28) に對する比較状態を考へると、附加仕事と見掛けの仕事が

$$\left. \begin{aligned} B_i &= \int dV \int_0^{\sigma+\delta\sigma, \tau+\delta\tau} (\epsilon_x d\sigma_x + \epsilon_y d\sigma_y + \epsilon_z d\sigma_z + \gamma_{xy} d\tau_{xy} + \gamma_{yz} d\tau_{yz}) \\ A_{ea}' &= \sum_n (P_n + \delta F_n) p_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (29)$$

にて一義的に定義されるものとする。こゝに比較状態に於ても ϵ, γ は σ, τ の函数なりとする弾性法則が成立すると假定し、更に変分の第2原理を誘導した時と同様に、變化した応力並に外力は相互に平衡を保持するものと假定する。従つて平衡にさへあれば外力は如何様にも取られる事となり、最早比較状態にあつてはコンパティビリティーの條件並に弾性体全系の幾何学的條件を保持することが不可能となる。即ち物体の連結状態 (Körperzusammenhang) を分解しても平衡にさへ置いておけばよいのであるから支承條件を揚棄する必要がある。即ち変分の第2原理は第1原理とは逆に、力と応力が平衡である一切の系に於て、弾性法則の適用範囲の下に、コンパティブルな且物体の連結状態並に支承條件に適合する変位状態がコレスpondする唯一の系を論じてゐるのである。

而も上述の如く第2原理は第1原理よりも適合範囲が狭いにも不拘、實際に原理を應用する點に於ては遙かに優つてゐる。といふのは第2原理の力の平衡といふ條件は、複雑な物体系にあつては一般に、第1原理の所謂変位のコンパティビリティーなる条件よりも簡単に數式化出来るからである。第2原理の重要な應用としては不静定量の算出がある。即ち第2原理より Castigliano の定理が誘導出来る。今変形状態が外力に依存するものとし、支承力 (Stützkraft) をも外力の中に含ませると内力

の附加仕事 B_i は P_n の函数であるから

$$B_i = B_i(P_n)$$

この函数の力による第1次変分は

$$\delta_k B_i = \sum_n \frac{\partial B_i}{\partial P_n} \delta P_n \dots\dots\dots(30)$$

(23), (24) より

$$\delta_k B_i = \sum_n p_n \delta P_n \dots\dots\dots(31)$$

(31) を (30) に代入すれば

$$\frac{\partial B_i}{\partial P_n} = p_n \dots\dots\dots(32)$$

今與へられた外力が変化しない様に力の 変分を選び (従つて (30), (31) に於て $\delta P_n = 0$), 之に對して力の作用點 (或は面) に於て不靜定力が物体の連結状態を分解し, それ等の點に不靜定量 X_n が外力として働くものと考ふる時は (32) より

$$\frac{\partial B_i}{\partial X_n} = x_n \dots\dots\dots(33)$$

となる。こゝに x_n は不靜定力 X_n が力の方向になした変位置である。この場合 B_i が果して X_n の一義的函数なりや否やは一寸疑問の様に思はれるかも知れないが, X_n は與へられた外力 P_n と平衡を保つ様を選んでのであるから, 今度は外力として X_n と P_n とを含む物体系を考へれば, 之にコレスpondして応力 σ_n, \dots, τ_n の平衡系が從屬する結果, (24) より B_i は X_n の函数となるのである。尙 コンパティビリティ の條件 (不靜定力が仕事をしない様に選ばれた場合) からは (33) は次り如くなり x_n は消滅する。

$$\frac{\partial B_i}{\partial X_n} = 0 \dots\dots\dots(34)$$

即ち不靜定量は内力の 附加仕事を最小ならしむるが如き値をとることが分る。但しこゝに注意すべきは Castigliano の定理が斯くの如く第2原理から誘導される以上, 変形が無限に小さい場合といふ條件を忘れてはならない。

変分の第3原理 (仕事方程式): 今 (イ) 変位置 $\epsilon_x, \dots, \gamma_z, p_n$ は物体のディメンジョンに比し無視し得る程小なりとする。

(ロ) ϵ, γ は σ, τ に正比例する。(Hooke の弾性法則)

(ハ) 外力 P_n の変位 p_n は P_n の大きさに正比例する (この假定は (イ), (ロ) の必要條件ではないことに注意)。

なる3個の假定が同時に満足せられるものとする, (5) 式に於て $\delta \epsilon, \delta \gamma, \delta p$ を ϵ, γ, p で置き換へることを得るから

$$\int dV(\sigma_x \epsilon_x + \sigma_y \epsilon_y + \sigma_z \epsilon_z + \tau_x \gamma_x + \tau_y \gamma_y + \tau_z \gamma_z) - \sum_n P_n p_n = 0 \dots\dots\dots(35)$$

この式は形式上 (22) に等しいが, その取扱つてある量の意義は本質的に異なるものである。 σ, τ, P は兩式共に平衡状態にある応力並に力を表はすが, ϵ, γ, p は (22) 式にあつては弾性法則の適用範囲内に於て σ, τ, P にコレスpondする實際の変位置を表はすに反し, (35) 式にあつては全く任意のコンパティブルな変位置を示し, 實際の応力並に力 $\sigma_x, \dots, \tau_z, P_n$ とは何等の關聯もないのである。

(35) 式にて表はされる変分の第3原理は Müller Breslau の所謂仕事方程式 (Arbeitsgleichung) であつて, 獨立の原理ではなく第1及第2原理を一層適合範圍を縮小して変形したものである。即ち応力及力としては實際のものをとり, 之に変位を考へて結び付ける事も出來 (第1原理), 又変位としては實際のものをとり, 之に応力及力を考へて結び付ける事 (第2原理) も出來るのである。つまり (35) 式は一切のコンパティブルな変位置系に於て Hooke の法則の適用の下に實際平衡状態にある応力及力にコレスpondする唯一の系を論じ, 又一方力と応力の一切の平衡系に於て Hooke の法則の適用の下に實際平衡状態にある変位置系にコレスpondする唯一の系を論じてゐるのである。

假想仕事の原理に就て: 從來假想変位の原理 (第1原理) と假想力の原理 (第2原理) とを假想仕事の原理 (Prinzip der virtuellen Arbeiten) なる名稱の下に包括してゐる様であるが之は妥當でない。何となれば兩原理の適合範圍 (Geltungsbereich) は既述せる如く異なるのであつて, 第1原理は一般的適合性を有するに反し, 第2原理は変形が無限に小なる場合にのみ適合し, 従つてその適合範圍は第1原理の夫の一小部分に過ぎないからである。第1原理と第2原理とを包括せんとする理由は主として仕事方程式の形式から云はれるのであらうが, 仕事方程式の成立過程を考へると之は第2原理よりも尙適合範圍が狭小なのである。従つて第1原理と第2原理とを同一のオーダーで論ずることは出來ない。又 Lagrange 以來假想仕事と稱せられてゐるものは, 弾性系にあつて實際に平衡状態にある力及応力 $\sigma_x, \dots, \tau_z, P_n$ が, 平衡位置より僅少の変位を考へた時になす仕事, 即ち

$$\int dV(\sigma_x \delta \epsilon_x + \dots + \tau_x \delta \gamma_x) \text{ 及 } \sum_n P_n \delta p_n$$

を意味してゐる。所が吾人は既に斯かる形式で表はされた量, 即ち

$$\int dV(\sigma_x \varepsilon_x + \dots), \sum_n P_n p_n$$

$$\int dV(\varepsilon_x \delta \sigma_x + \dots), \sum_n p_n \delta P_n$$

$$\int dV(\varepsilon_x \delta \sigma_x + \dots)$$

を論じて来た。これ等の量も同様に仕事のディメンションを有し又考へられた (gedacht) ものである。これ等をも仮想仕事なる語でカバーすると譯が分らなくなつてしまふ。(5), (13), (35) 式は第1原理の意味(応力及力は実際にあり変位を考へる)に於ては成程仮想仕事に関する方程式であるが, (23), (28), (35) 式は第2原理の意味(変位が実際にあり応力及力を考へる)に於ては決して仮想仕事に関する方程式ではないのである。只第2原理の誘導に際しては, $\varepsilon_x, \dots, \gamma_x, p_n$ を無限に小なりとし, 特別の仮想変位系 (besonderes virtuelles Verschiebungssystem) を假定してゐるから, この意味に於て (23) 式の

$$\int dV(\varepsilon_x \delta \sigma_x + \dots), \sum_n p_n \delta P_n$$

を仮想仕事と稱する事が出来る。しかしこの量は決して実際に平衡状態にある力及応力の系 $\sigma_x, \dots, \tau_x, P_n$ の仮想仕事ではなくて, これとは全く別箇の力及応力の系 $\delta \sigma_x, \dots, \delta \tau_x, \delta P_n$ の仮想仕事なのである。第2原理より変形して得られた (35) なる仕事方程式に於ても同様の事が云へる。即ち斯かる意味に於て第2原理をも仮想仕事の原理と稱するのは, 実際に平衡にある力に對して適用せられるものではなく, 別箇の全く任意の力の平衡系に就て論ぜらるるのであるから, かゝる場合実際に與へられた力の変分といふものは最早姿を消してしまつてゐる。即ち此の時の仮想仕事は仮想傍系 (virtuelles Ersatzsystem) のもので, 数学的に導かれた理論上の新概念なのである。

所が (23) 式を斯く解釋すると, 困る事には矛盾を生ずることになる。といふのは (23) 式従つて (35) 式は極大極小を判定する條件式となつてゐて, 第2原理(変位は實際のものとし応力及力を考へる)の考へ方で行くとポテンシャルエネルギー最小といふことは意味がなく或る最大値をとり且つそれはポテンシャルエネルギーではないといふのであつたが, 今 (23) を仮想仕事に関する方程式なりとすると, 最小でもなければ最大でもなく又況やポテンシャルエネルギー或はそれに類するものを表はすのでもなくなる。何となれば (28) 式中の B_i 及 $A_{\alpha\alpha}$ は任意の力系 $\delta \sigma_x, \dots, \delta \tau_x, \delta P_n$ の附加仕事及見掛けの仕事ではなく, 実際に平衡状態にある力

系 $\sigma_x, \dots, \tau_x, P_n$ 及之に近接した力系 $\sigma_x + \delta \sigma_x, \dots, \sigma_x + \delta \sigma_x, P_n + \delta P_n$ の夫等であるからである。

この矛盾を解決するには次の3つの考へ方がある様である。第1に (23) 及 (35) を1つの意味としては實際の系と結び付け, 他方の意味としては實際の系と何等の關係もない假想の傍系と結び付けることが考へられるが, これはまだ研究してゐない。第2には極大極小の條件を廢棄する事であるが, これは上述の新しい假想仕事の概念を取入れることより尙一層の困難を惹起するものと考へられる。第3には假想仕事としての第2原理の意義を放棄し, 従つて又第1第2兩原理を假想仕事の原理なる名稱で包括するのを止めることが考へられる。

結論: あらゆる現象を解明し把握する最も一般的な根本原理としては假想変位の原理があるのみである。この原理は材料が完全弾性であればポテンシャルエネルギー最小の條件を表はす。尙一層假定の範圍を縮小すると假想力の原理を得る。この原理は同様材料が完全弾性的の場合に (Bil-See) の最大なる條件を表はすことになる。尙一層適合範圍を制限すると, この兩原理は形式的に仕事方程式にまとめることが出来る。仕事方程式は統一的な意義を有せず, 第1原理及第2原理夫々の意味に適用することが出来る。この仕事方程式は現在實際方面に於て最も重要な式となつてゐる。しかし変分の原理の理論的解明を志すものは, 斯かる不適當な方程式を基礎に議論を進めることを絶対に避けねばならない。須く根原に歸つて第1原理即ち假想変位の原理から出發するを要するのである。

譯者註: この種の問題で實際に應用の出來さうな文献としては次のものがある。

Correction à apporter aux théorèmes généraux utilisés en résistance des matériaux quand les déplacements ne sont pas négligeables.

(Le Génie Civil 15. Mai, 1937. p. 437-440)

(58) 渦運動の理論

(A. Kneschke in Dresden; "Zur Theorie der Wirbelbewegung" Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Dezember 1938, S. 343-346
永井莊七郎抄)

渦運動に關する Helmholtz-Kirchhoff の定理は無限平面内に於ける自由渦の運動に限られてゐたが, Routh 及 Lagally は單純連結の領域に於ける孤立渦の理論を

明らかにし、更に進んで Lagally は半平面内の特殊渦運動から出発して、等角寫像に因り單純連結の領域内へ変換する事に成功した。此の研究は渦卷の生じてゐる液体領域内に於ける運動のエネルギー変換法測を考究するにある。

(1) 運動の方程式：單純連結の液体の平面領域を G 、其の境 S は時間的に不変である。今其の領域内の $z_v = a_v + ib_v$ なる點に Γ_v (Zirkulation) なる自由な孤立渦が存在するとする。境 S は $\Psi = \text{const.}$ なる 1 つの流線と考へる。而る時は領域 G に対する流動函数は

$$\Psi = -\frac{\Gamma_k}{4\pi} \lg(x-ax)^2 + (y-by)^2 - \sum_i \frac{\Gamma_i}{4\pi} \lg(x-ai)^2 + (y-bi)^2 + \sum_i f(xy; aibi) + f(xy; akbk) \quad \dots(1)$$

此の式に於て $f(xy; aibi)$ は i 番目の渦は存在するが流動函数中の定常流動部分を示し、 S が 1 つの流線である事も含まれてゐる。 $f(xy; akbk)$ に因り k 番目の渦は Σ (Summe) の中から除かれてゐるが、此の事は解析的取扱に便なる爲である。結局 Ψ は微分式 $\Delta\Psi$ の G に對する Green の函数である。従つて $f(x, y; a, b)$ は對稱函数である、即ち

$$f(x, y; \xi, \eta) = f(\xi, \eta; x, y)$$

Helmholz-Kirchhoff の定理から k 番目の渦の分速度は

$$\begin{aligned} \frac{da_k}{dt} &= \frac{\partial}{\partial b_k} \left\{ -\sum_i \frac{\Gamma_i}{4\pi} \lg(ak-ai)^2 + (bk-bi)^2 + \sum_i f(akbk; aibi) \right\} \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} f(xy; akbk) \Big|_{\substack{x=a_k \\ y=b_k}} \\ -\frac{db_k}{dt} &= \frac{\partial}{\partial a_k} \left\{ -\sum_i \frac{\Gamma_i}{4\pi} \lg(ak-ai)^2 + (bk-bi)^2 + \sum_i f(akbk; aibi) \right\} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} f(xy; akbk) \Big|_{\substack{x=a_k \\ y=b_k}} \end{aligned}$$

f が對稱函数である事から

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x, y; a, b) \Big|_{\substack{x=a \\ y=b}} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial a} f(a, b; a, b)$$

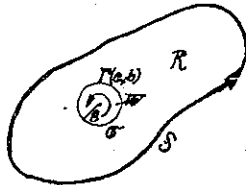


図-14. 渦卷の運動

$$\frac{\partial}{\partial y} f(x, y; a, b) \Big|_{\substack{x=a \\ y=b}} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial b} f(a, b; a, b)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x, y; \xi, \eta)}{\partial x} \Big|_{\substack{x=\xi \\ y=\eta}} &= \lim_{\Delta\xi \rightarrow 0} \frac{f(\xi + \Delta\xi, \eta; \xi, \eta) - f(\xi, \eta; \xi, \eta)}{\Delta\xi} \end{aligned}$$

$$\text{又 } \frac{\partial f(x, y; \xi, \eta)}{\partial \xi} = \lim_{\Delta\xi \rightarrow 0} \frac{f(\xi + \Delta\xi, \eta; \xi + \Delta\xi, \eta) - f(\xi, \eta; \xi, \eta)}{\Delta\xi}$$

註 此の分子を展開すれば

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\xi, \eta; \xi, \eta)}{\partial \xi} &= 2 \lim_{\Delta\xi \rightarrow 0} \frac{f(\xi + \Delta\xi, \eta; \xi, \eta) - f(\xi, \eta; \xi, \eta)}{\Delta\xi} \\ &= 2 \frac{\partial f(x, y; \xi, \eta)}{\partial x} \Big|_{\substack{x=\xi \\ y=\eta}} \end{aligned}$$

即ち上式が得られる。

Routh の函数を用ふれば

$$\frac{da_k}{dt} = \frac{\partial X_k}{\partial b_k}, \quad -\frac{db_k}{dt} = \frac{\partial X_k}{\partial a_k} \quad \dots(2)$$

茲に

$$\begin{aligned} X_k &= -\sum_i \frac{\Gamma_i}{4\pi} \lg(ak-ai)^2 + (bk-bi)^2 \\ &+ \sum_i f(akbk; aibi) + \frac{1}{2} f(akbk; akbk) \end{aligned} \quad \dots(3)$$

(2) 流動領域内の運動のエネルギー：特異點 $Z_k (k=1, 2, \dots, n)$ を半径 ϵ_k なる微小円 σ_k で取囲み、全領域 G を円形の渦の領域と残りの領域 R に分ける。

流水の領域 R に於ける液体の運動のエネルギーは

$$T_R = \frac{\rho}{2} \iint_R (\Psi_x^2 + \Psi_y^2) dx dy \quad \dots(4)$$

或は

$$\begin{aligned} T_R &= -\frac{\rho}{2} \iint_R \Psi \Delta\Psi dx dy - \frac{\rho}{2} \oint_S \Psi (\Psi_y dx - \Psi_x dy) \\ &+ \frac{\rho}{2} \sum_{k=1}^n \oint_{\sigma_k} \Psi (\Psi_y dx - \Psi_x dy) \end{aligned} \quad \dots(5)$$

茲に ρ = 液体の密度

渦動の領域内に於ける運動のエネルギーは、(5) 式中の第 3 項のみであつて

$$T_W = \frac{\rho}{2} \sum_{k=1}^n \oint_{\sigma_k} \Psi (\Psi_y dx - \Psi_x dy) \quad \dots(6)$$

今假りに流動函数 Ψ 中の定常部分を $r(x, y)$ で表はせば、(1) 式より

$$T_W = \frac{\rho}{2} \sum_{k=1}^n \oint_{\sigma_k} \left\{ r(x, y) - \frac{\Gamma_k}{4\pi} \lg[(x-ak)^2 + (y-bk)^2] \right\} (\Psi_y dx - \Psi_x dy)$$

$$\begin{aligned}
& + (y-b_k)^2 \left\} \left\{ \frac{\partial r}{\partial y} dx - \frac{\partial r}{\partial x} dy \right\} \right. \\
& + \frac{\rho}{2} \sum_{k=1}^n \frac{\Gamma_k}{2\pi} \oint_{\sigma_k} \left\{ r(x, y) - \frac{\Gamma_k}{4\pi} \lg[(x-a_k)^2 \right. \\
& \left. + (y-b_k)^2] \right\} \frac{(x-a_k)dy - (y-b_k)dx}{(x-a_k)^2 + (y-b_k)^2}
\end{aligned}$$

$$x = a_k + \epsilon_k \cos \varphi, \quad y = b_k + \epsilon_k \sin \varphi$$

と置いて円 σ_k に沿つて積分すれば

$$\left. \begin{aligned}
r \Big|_{\substack{x=a_k \\ y=b_k}} &= - \sum_{i=1}^n \frac{\Gamma_i}{4\pi} \lg[(a_k - a_i)^2 \\
& + (b_k - b_i)^2] + \sum_{i=1}^n f(akb_k; a_i b_i) \\
& + f(akb_k; akb_k) = \Psi_{(k)} \dots \dots \dots \\
T_{\mathbb{W}} &= 2\pi\rho \sum_{k=1}^n \frac{\Gamma_k}{4\pi} \left(\Psi_{(k)} - \frac{\Gamma_k}{2\pi} \lg \epsilon_k \right)
\end{aligned} \right\} (7)$$

となる。

茲に再び Routh の函数 X_μ を用ふれば

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T_{\mathbb{W}}}{\partial a_\mu} &= \rho \Gamma_\mu \frac{\partial X_\mu}{\partial a_\mu} = -\rho \Gamma_\mu \frac{db_\mu}{dt} \\
\frac{\partial T_{\mathbb{W}}}{\partial b_\mu} &= \rho \Gamma_\mu \frac{\partial X_\mu}{\partial b_\mu} = \rho \Gamma_\mu \frac{da_\mu}{dt}
\end{aligned}$$

従つて運動の方程式は

$$\rho \Gamma_\mu \frac{da_\mu}{dt} = \frac{\partial T_{\mathbb{W}}}{\partial b_\mu}, \quad -\rho \Gamma_\mu \frac{db_\mu}{dt} = \frac{\partial T_{\mathbb{W}}}{\partial a_\mu} \dots (8)$$

(7) 式は又次の如く書き得て

$$\begin{aligned}
T_{\mathbb{W}} &= 2\pi\rho \left\{ \Omega(a_1, \dots, a_n; b_1, \dots, b_n) \right. \\
& \left. - \sum_{k=1}^n \frac{\Gamma_k^2}{8\pi^2} \lg \epsilon_k \right\} \dots \dots \dots (9)
\end{aligned}$$

$\Omega = \frac{1}{4\pi} \sum_{k=1}^n \Gamma_k \Psi_k$ にして、之即ち Kirchhoff の "Bahnfunction" である。

領域 $G(z=x+iy)$ に於けるエネルギー $T_{\mathbb{W}}$ は他の領域 $G_0(\xi=\xi+iy)$ に寫像函数 $z=f(\xi)$ に因り等角寫像する事が出来る。此の時 G 内の特異點はやはり G_0 内の特異點に寫像される。 $z_k = a_k + ib_k$ 點の渦は $\xi_k = \alpha_k + i\beta_k$ に移る。

$$\lim_{\epsilon_k \rightarrow 0} \frac{\epsilon_k}{\epsilon_{k0}} \frac{|dz_k|}{|d\xi_k|} = |f'(\xi_k)|$$

であるから

$$\begin{aligned}
T_{\mathbb{W}0} &= 2\pi\rho \sum_{k=1}^n \frac{\Gamma_k}{4\pi} \left(\Psi_{(k)} - \frac{\Gamma_k}{2\pi} \lg |f'(\xi_k)| \right. \\
& \left. - \frac{\Gamma_k}{2\pi} \lg \epsilon_{k0} \right)
\end{aligned}$$

或は
$$T_{\mathbb{W}0} = T_{\mathbb{W}} - \rho \sum_{k=1}^n \Gamma_k \lg |f'(\xi_k)|$$

測 量

(59) 航空寫眞測量に依る地図の作成

(Franz Nowatzky, "Luftbildmessung für die Neuaufnahme und Berichtigung der Messtischblätter im Massstab 1:25 000." Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 4, Jahrgang 1936
入江一郎抄)

本文は從來全然平板測量のみに委ねられてゐた獨逸 1/25 000 地形図 (die Messtischblätter im Massstabe 1:25 000) に、航空寫眞測量を全面的に適用するに到つた問題を論じたものである。即ち 1/25 000 地図の作成及修正には順次航空寫眞測量を用ひる状態にあることを述べてゐる。1/25 000 地図の作成に就ては、先づ其の航空寫眞測量方法を略述し、次に今日かくも高度の發達を遂げてゐる平板測量を放棄して迄航空寫眞測量に移行すべき理由の充分あることを説明してゐる。又 1/25 000 地図を全然新に作成すると、獨逸 1/5 000 地図から之を作るのとは何れが是か比較し、之に關連して寫眞測量課の規模職制の擴大強化の要を説いてゐる。

1926 年始めて我獨逸陸地測量部 (das Reichsamt für Landesaufnahme) は、航空寫眞測量を用ひて地形図を作製することが出来た。當時の説では航空寫眞測量は大縮尺地図の作製に特に適當であると云ふことで、爲に殆ど獨逸 1/5 000 地図のみを航空寫眞測量で作製して來たのである。年々仕事の範囲を擴大し又精度試験と費用計算とを行ふことに依つて、同一精度に對しては平板測量法より航空寫眞測量法の方が費用より少なることを確め得た。當初は 2 臺の借りものゝ測量機械であつたが専用の stereoplanigraph 5 臺となり、最初の 5 人の寫眞測量師の代りに今日は 41 臺の構造優秀な航空寫眞測量用機械を有してゐる。

かくて獨逸 1/5 000 地図作成は大成功であつたので、獨逸陸地測量部では、Messtischblätter 1/25 000 の作成にも亦航空寫眞測量を試みるこゝなつた。勿論 1/5 000 に比して充分の熟慮及作業方法の変更が必要で、就中獨逸陸地測量部に於ける作業上の特殊事情を特に考慮せねばならない。

その中最も重要なものは、

(A) 獨逸陸地測量部は 60 餘年來平板及測角機を用ひて 1/25 000 地図を作製し來り、完全の域に達してゐる。今夫を放棄して航空寫眞測量に移ることは適當なりや否や

(B) 一般に、1/25 000 地図を新に作製すると、或は

又獨逸 1/5 000 地図を改造して 1/25 000 地図を仕上げるのとは何れが良いであらうか

之を詳論する前に、1/25 000 地図の寫眞測量の方法を略述しよう。

寫眞は地上 3 800 m より ($f=20$ cm) の撮影機で寫し、故に寫眞縮尺は 1/19 000 である。図根點としては 1/25 000 地図 1 葉に 22 點ある現在三角點附近の地上にて適當なる耕地隅又は道路角等の 1 點を測定し、他の凡ての図根點は此の點を基準として後に Stereoplanigraph を用ひ図上三角測量 (die Bildtriangulation) に依つて決定した。1/25 000 地図 1 葉即ち約 125 km² に對する図上三角測量には、測定に 24 時間、計算に約 22 時間即ち作業日數約 6 日を要し、所要人員は夫々 2 名宛である。平均の位置誤差は約 1.8 m 即ち図上では 0.07 mm で之は製図限度以下におさまつてゐる。

寫眞測量の小手調べとして、地形地物のみを寫眞から測定することを行つた。それは 1933 年 4 葉、1934 年 11 葉、1935 年 13 $\frac{1}{2}$ 葉の 1/25 000 地図について實施したのである。1936 年には平坦地に於ける 6 葉を上の方法で完成することになつてゐる。猶此の他に山地に於ける 4 葉は地形地物及等高線の兩方乍ら寫眞から測定する筈である。

後者即ち地形地物及等高線の兩方乍ら寫眞から測定する場合は作業方法を多少変へねばならない。寫眞は縮尺 1/11 000 で撮影する。又図根點を測量するが、據點なき場合には Bildpaar (對雙寫眞) の重疊部分の各隅に 4 點をとり、その中の對角線上相對する 2 點は位置と高度を、他の 2 點は高度のみを求むることは獨逸 1/5 000 地形図に於けると同様である。平坦且つ重要な土地では再び図上三角測量を行ふ。但し地上各點の高度は水準測量又は視距水準測量で求める。寫眞測量の費用は 1/25 000 地図 1 葉につき、地形地物のみを測定する場合は約 1 700 RM., 又地形地物並に等高線を測定する場合は約 6 000 RM. である。之には撮影飛行より図根點決定、計算、鉛筆製図に至る全作業、並に寫眞測定師の費用を含む。但し事務所借料及測定機械の消耗費は含まず。地形地物並に等高線の全てを寫眞から測定する場合に費用が嵩むと云ふ原因の大部分は、低空飛行をせねばならぬ爲である。然らば縮尺 1/25 000 の地図に對して寫眞縮尺はどうしても 1/11 000 でなければならぬかどうかを研究しやう。但し此の際精確且つ完全に等高線の測定描畫が出来ねばならぬことは絶對要件である。

航空寫眞に依る水準測量の精度は、唯單に基線長 (die Standlinienlänge) の飛行高度に對する關係のみから

定まるものではない。即ち飛行高度を増すにつれて、地物は次第に小さくなり、精密な明暗差は段々消え、終には廣い土地全体が唯一様の色調となる。かゝる状態で撮つた寫眞では、最早等高線描畫に際して Stereoplanigraph の測標 (die Messmarke) を確實に動かすことは出来ない。故に 1/25 000 地図の等高線を精確に測る爲からは、寫眞縮尺は一般に 1/15 000 より小ではいけないことが分り、その際飛行高度は地上 3 000 m である。唯山地では特殊の場合に 4 000 m 迄もの大なる高度が許される。

飛行高度が僅か 100 m 位高からうが低からうが大したことはないが、飛行は必ず正しく行はねばならぬ。即ち寫眞列 (die Beldstreifen) は可及的直線且つ所定位置を取らねばならない。飛行路 (die Flugstreifen) が彎曲して、爲に相互に重疊し過ぎたり甚だしきは交叉したりするに至れば、撮影飛行高度が低過ぎるよりも遙に図根點測定及寫眞測定の費用を増大させることとなる。撮影飛行に對する困難、就中強風の際に於ける困難についてはよく承知してゐる。然し他の凡ての寫眞測定作業の部門に於ては非常に良い結果に迄到達してゐるのであるから、飛行家に於ても上述の障礙を除去するやう大いに努めねばならない。

以上が 1/25 000 地図の寫眞測量方法の概略である。

次に (A) なる問題に遡らう、即ち斯くも完璧の發達を遂げたる從來の平板測量法を、全然航空寫眞測量法に移換することが合目的であると云ふ理由は如何?

一般に測量の技術的改革は屢々故もなく舊法の人々に排斥されるものであるが、寫眞測量の長所に至つては、平板測量と雖も之を認めざるを得ない底のものである。航空寫眞測量はだから抑圧されてはなくて、獎勵助成されて發達して來た。航空寫眞測量の開拓せる新分野は近き將來に於ては的確に之を究明することは出来ない。航空寫眞測量が我が獨逸に適してゐることは試験済であるが、外國に對しても同様適當なるを疑はない。猶又植民地には良いと考へられる。

寫眞測量はその經濟的な點のみが喧傳せられた。その結果終には費用と精度との相互關係は、殆ど甚だしきは全然考慮されてゐない。航空寫眞測量にあつては、豫め所定の精度と費用とが先決問題である。作製時間、技術者の智識技術に關しては場所及事情に依り種々である。而して航空寫眞測量による吾人の Messtischblätter 1/25 000 又は地積圖 (die Katasterpläne) の精度は最高の域に達してゐるのである。

又航空寫眞測量に依れば、地図の完成結果の良好度は

極く一様で、之が重大な長所である。Raumbildpaar (對双寫眞) を重疊した際に、4つの図根點の中特に1つだけを寫眞測定師が誤差多く測定することは先づ起らない。4つの図根點で囲まれた此の枠の裡では、製図限度内で凡ての測定は精確である。平板測量や視距測量のやうに、基點からの距離に依り精度に差異を生ずること等は全然ない。精度を研究しても一般性がないから限られた價值しかないと思はれてゐる。それは精度は土地、天候、技術者の技術の如何に依るが、之を一般化して述べることは出来ないからである。然しそのことは凡て平板測量と視距測量とは該當するが、航空寫眞測量には適切でない。即ち1つのRaumbildpaarが飛行機中で撮影された瞬間既に最早測量の精度は決定してゐる。撮影位置は異なつても同一條件の下で撮影せるRaumbildpaarからは同一の精度が期待出来る。極めて豫定通り確實に此の精度を得ることが出来、又全然地勢の難易、天候、技術者の測量能力には無關係である。而して各航空寫眞及各Messbildpaar(對双寫眞)自身が既に、最精密な内容と最高の精度とを有する所謂地圖である。次はこの箇々の地圖を1つの大きな地圖中の適當位置に置きさへすればよい。

次に航空寫眞測量では作用が機械的で、技術者自身と仕事とが分離してゐるとの非難がある。航空寫眞測量と雖も從來の技術者が地圖作製の作業各部即ち図根點決定、寫眞測定、地形図示、製図を引続き行ひ次第に各専門の作業に熟達して行くのである。當初は熟練してゐないから、熟達した技術者が常に得らるゝとは限らない事に注意せねばならない。又地圖技術者がその知識能力を充分地圖に表出し得るやう、特に大縮尺地圖の場合に於て、完全な自由を許すと云ふことは疑問である。全然人的要素が入り込む餘地のない測量法を研究せねばならない。而して地圖作製當初に嚴正な測量を行ふべきで、その際地形の理解や解釋に對する個人差は一般に大したことはない。航空寫眞より行ふ仕上の測定で寫眞測定師の味ふ満足感は丁度、從來の地形測量者が箇々の點から等高線を描くのと同一のものである。その際從來の地形測量者が等高線を曲げて種々の地形を鮮に表現すると云ふ自由は無い代りに寫眞測定師は正確な等高線測定を仕上げたと云ふ満足によつて償がつく。寫眞測量の縮れた等高線は土地の特性を非常に的確に図示してゐる。特殊の場合は、より分りやすくする爲とか、比較的小縮尺地圖の仕上に都合よくすると共に、その等高線の角を取り滑かにすると云ふ問題は又別である。

以上かくて航空寫眞測量は1/25 000地圖にとつても

亦平板測量に匹敵する大なる長所のあることが判明した。

次に(B)なる問題にて、1/5 000地圖から作る方がより合目的に非ずや。1/25 000地圖1葉は1/5 000地圖約31葉を含む。又Pommer(北獨逸)の最困難地に於て平板と測角機で1/25 000地圖を新に作製するには、年々技術者3人及費用20 000 R.M.を要す。一方同地方で1/5 000地圖31葉を作るには技術者9~10人及60 000 R.M.を要す。1/5 000地圖から1/25 000地圖約10葉を作るには、年々600 000 R.M.の他に熟練せる寫眞測定師約100人が要る。假に費用はよいとしても100人の熟練寫眞測定師は早速と云つては間に合はない。故に獨逸陸地測量部長官も豫め考へた如く、徐々に仕上げる外はない。かくて1/25 000地圖の全然無い所で年々新に作つて行く周邊部分に於ては1937年から之を1/5 000地圖に作ることになつてゐる。

かくて1/5 000地圖の作製が非常に必要となつたが、將來1/25 000地圖の作成、修正をなすには多くの1/5 000地圖を作らねばならない。その爲には現在の測量長官程度の高級測量官を寫眞測量課(die Photogrammetrische Abteilung)に是非おかねばならない。寫眞測量課には測量技師2人、測量技術者8人、寫眞師1人、及種々の機械、Stereoplanigraph 1臺、変歪修正機1臺は必須である。當課の主要な仕事は、その管轄の全寫眞測量作業、特に1/5 000地圖作製と、地圖訂正用航空寫眞の変歪修正をすることである。

以上で(B)を終る。

又數年或は10年毎に1/25 000地圖の1部又は全部を訂正せねばならない。その修正に當つても上述の如くして次第に航空寫眞測量を助成する心算である。一見すると航空寫眞測量を用ひて1/25 000地圖を修正すると非常に費用がかかるやうに思はれる。而し1/25 000地圖修正に際して、獨逸陸地測量部は數十年の熟考の結果最も費用の少い方法を確立した。

從來の修正方法は

- (1) 報告の整備、(2) 準備作業、(3) 修正

獨逸陸地測量部は常に地圖、地形の問題に關しては熟知してをらねばならぬのであつて、大きな変化は規定の通りに全關係方面へ之を告知する。その爲に建設官廳及其その他には建設用地圖なるもの、之は1/25 000地圖であるが、それに變化を書集めて獨逸陸地測量部へ送る。此の報告を變化の大小、決定の確不確、1/25 000地圖の修正時期等一見して分明するやう整理しておく。即ち報告變化の唯1部しか捕捉してゐなかつたり、又送付地

図の重要度は種々で時には誤りの事もある。まゝ建設の計畫に過ぎなかつたり、報告とは違つて作られたり、全然作られぬ事すらある。絶壁の縁、垣、道路の良否、地味等は図示出来ないから、従來の地図に起つた変化はその確實な位置のみを 1/25 000 地図に記入するのである。その際変化を記入した建設用地図を縮小して用ふれば都合がよい。

此の方法は空中より撮影した垂直寫眞 (die Senkrechtbilder) を除けば、疑もなく最良適切な方法である。即ち 1/25 000 地図を修正するには、豫め航空寫眞を撮る。変化の起つた箇所は地図と比較して直ちに発見され、変化は室内で位置正しく地図に訂正記入される。之は平地で特殊の機械を要せぬ場合のことである。多數の訂正記入を行ふ際には寫眞の変歪を修正し、それを透寫紙上に寫眞に撮つて転寫し、その透寫紙を地図上にのせれば変化は凡て抑へられる。かくも正確且つ遺漏なき方法は他に無い。

茲に唯航空寫眞では作業が二重手間であると云ふ非難が起るだらう。即ち変化の報告地図があれば航空寫眞を撮る要はない様に思はれる。而し之では常に古い不正確な不完全な根據に基づいて修正することとなる。かゝる根據に依る際の費用は想像に絶する程の多額である。新しい航空寫眞は種々の方面に之を使用出来るし、又不確な報告地図より遙に適當である點を全然度外視するも、猶且つ其の費用は航空寫眞の費用より大である。

航空寫眞は地図訂正に極く廣く用ひられてをり獨逸陸地測量部でも例へば 1936 年は 1/25 000 地図 15 葉に對して航空寫眞を作る筈だ。又獨逸航空省もその航空寫眞及集成寫眞の凡てを利用に供して呉れる。

結論として、航空寫眞測量は、1/25 000 地図作成に當つては 1/5 000 地図に於けると同様良好にして、又 1/25 000 地図修正に用ひても優秀である。航空寫眞の特徴中、特に擴大し得ることゝ調整し得ることゝは好都合である。航空寫眞測量は精確で至極迅速且つ費用僅少である。故に時間がかゝつたり手のつけられぬ様な浩瀚な仕業も着手出来る。又新測量作業を多々用ふる新時代の測量方法でもある。

(60) 航空寫眞測量に依る 1/5 000 地形図の作製

Von Regierungsrat Nowatzky. "Die Herstellung der Topographischen Grundkarte des Deutschen Reiches im Masstabe 1:5 000 durch Luftbildmessung." Mitteilungen des Reichsamts für Landesaufnahme, Jahrgang 12. Nr. 5 1936, S. 197~206
入江一郎 抄

序言：獨逸では在來廣範圍の計畫に對しては、Messtischblätter 1/25 000 (獨逸 1/25 000 地形図) 及之から作つた 1/100 000 地図があつた。然し詳細な計畫の技術的遂行に當つては、大縮尺地形図 (それも位置、高度の他に所有權區劃をも記入せるもの) が絕對必要である。且つ又従來は地籍圖の 1/25 000 地図との間には何等の關聯なく常に不便を感じられてゐた。

以上の要求及不便に応ずる爲、新に作製されたのが獨逸 1/5 000 地形図である。之は航空寫眞測量に依つて作成された故、個々の航空寫眞、對双寫眞、集成航空寫眞をも利用する事が出来る。

猶此の他に 1/5 000 地圖の重大な使命は、従來の總べての地籍圖、地形圖等の測量結果を渾然一体に統一融合せる新地圖を作ると云ふ事である。故にどの測量をも紛失重複してはならぬので、之等は總べて 1/5 000 地圖作製に役立つのである。

又 1/5 000 地圖を基にして、次にはより小なる縮尺の地圖、特に Messtischblätter 1/25 000 を新に測量等せずして作る事が出来るのである。

測量の基準點：1/5 000 地圖々面は正方形經緯線網で區劃されてゐる。地圖 1 葉は 2 km の經緯線を周邊とし、故に 1 葉の面積は 4 km² を含むのである。

測量及製圖の全作業の基準點になるのは、平面同形座標を用ひた地上三角測量の測點である。地籍測量等で三角法や多角法を用ひて求めた點は、適當なる場合に限り基準點に用ひる。但し此の際は豫め Kataster Koordinaten (Soldnersche) を平面座標に変へて置かねばならない。

若し獨逸陸地測量部の三角點しか無い場合には、普通は新に測點を選點して三角網を密にせねばならない。それは獨逸陸地測量部の三角點は平均 5 km² に唯 1 點在るに過ぎず、而も航空寫眞測量の図根點を速に定める爲には之では不足であるからだ。又此の他に地圖各葉に對して、豫め明瞭確實な基準點を作つて置く事は大いに役立つ。故に一般には平均 1 km に 1 點と云ふ様な澤山の點が新に選定されるのである。(図-15)。

1/5 000 地図では原則として誤差 0.1mm を超えなければ良く、即ち地上では 0.5m となる。精度を徒に大にするも製図出来ぬし、又それは単に図根點測量が困難となるだけである。

(b) 図上三角測量 図根點は又図上三角測量に依つて寫眞だけからも定め得る。それには先に其の図根點を地上測量した Bildpaar を基準にして、之から始めて多角測量と同様の方法で Bildpaar を順次列べる。かくて最後の Bildpaar に於て再び図根點の地上測量を行ふ。寫眞列の許容長は所要精度如何に依る。位置誤差を 0.5m に止めるには寫眞列の長さは約 3~4km を超えてはならない。然し此の方法では水準の所要精度 ±0.3m は得られない。故に図上三角測量に依り図根點決定の際には次の如くするが良い。

1 つの寫眞列の Bildpaar は 6 枚で、其の各 Bildpaar の 4 つの図根點は地上測量がしてある（其の中 2 點は高度のみ測量す）。殘餘の Bildpaar 図根點の水準は迅速水準法即ち邊長及傾角に依る 視距法で高度のみを求める。此の水準點の位置は 図上三角測量で求める。

かくて 1 つの三角列が連絡する被覆面積は約 $(4 \times 0.8 \text{ km} = 3.2 \text{ km}^2)$ である。而も地上には何等定點を必要としない。故に人跡未踏の荒野、沼澤地や海邊や、又は森林、大都市の如く地上測量の困難な際に特に都合が良い。然し地上に定點が密集してある際、例へば新地籍測量の如きには之を直接に図根點とすれば良い。

(c) 製図用紙 1/5 000 地図各葉は特別の全紙大製図用紙に製図する。

測定の際には製図用紙を端の布片で測定板 (die Messstischplatte)

上に止める。

Zeiss の Koordinatograph (図-17) を用ふれば、製図用紙上に直交座標の格子網目が現はれて總べての図根點及其他の基準點が測定出来る。

寫眞測定:

Bildpaar を測定する爲に、獨逸陸地測量部は

図-17. Zeiss の Koordinatograph



Stereoplanigraph c/4 を 3 臺, Stereoplanigraph c/2 を 1 臺, Autokartograph を 1 臺持つて居る。Stereoplanigraph c/4 は寫眞測定機械中の最優秀品である。それは垂直收歛撮影寫眞を測定するもので、あらゆる縮尺關係にも都合良く、又地上及空中撮影寫眞の測定のみならず 図上三角測量にも適する様に作られて居る。

(a) Stereoplanigraph c/4 の略述 (図-18, 19)。

図-18. Stereoplanigraph c/4

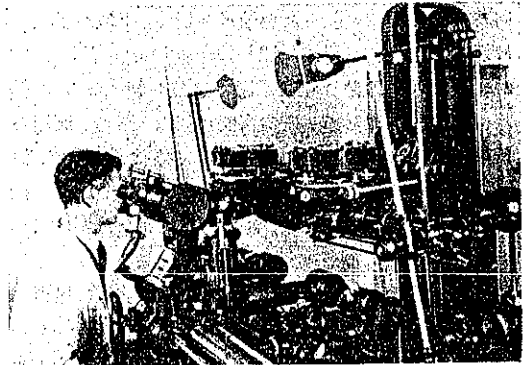


図-19. Stereoplanigraph c/4



Bildpaar をなして居る 2 枚の原板フィルムは、1 枚宛 2 箇の寫眞測定カメラに入れられる。此の對物レンズは攝影機のレンズと全く同一で焦點距離も等しい寫眞測定カメラから夫々鏡面へ寫眞を投影する。かくて對物鏡の前の鏡面に直接投影するから、鏡面には寫眞の鮮明な像が生ずる。其の鏡面中央には測標がある。

2 枚の鏡に寫映された 2 枚の寫眞を、双檢微鏡を用ひて、1 眼づつて精しく吟味する。すると 2 枚の寫眞は融合して唯 1 つとなり、一体の立体像が見える。其の寫眞の空間中に、鏡上の 2 つの測點も亦合して唯一の Raummessmarke となつて浮上つて見える。其の測標は寫眞空間中で自由に 3 本の直交軸の方向に動かす事が出来る。即ち第 1 は鏡を共通の滑臺上で左右に動か

す事に依り、測標は x 方向に動かされる。第 2 には寫眞測定カメラ即ち寫眞面を、鏡に對して前後に動かす事に依り y 方向に動かされる。第 3 には寫眞測定カメラと鏡との距離を変へる事に依り測標は高低即ち z 方向に動く。此の 3 方向の測標移動は測定板から讀みとる事が出来、水平 z 方向の座標は鉛筆で描畫する事も出来る。又寫眞立体中で測標を任意の點の上に持つて行く事が出来、又道路や境界線に沿つて進める事も出来る。同時に鉛筆は此の線を所要縮尺で描く。土地が平坦でなければ山を越える道路の様な Messlinie に沿ひ進んで、 z 軸の縮尺で各點の高度を讀む。然し初めから z 軸縮尺に依つて測標をある一定高度に据ゑて置き、測標が寫眞空間内で地表に接觸する様に之を移動させれば、測標は等高線を描く。然し寫眞測定カメラ中で、寫眞に撮影時と同一位置を與へねば、寫眞測定は完全だとは云へない。

(b) Bildpaare の相互位置の修正： 假に撮影の瞬間に於ける 2 つの撮影機を空中に固定して考へん。すると 2 つの寫眞上の同一點を通過する光線は 2 つ宛夫々所定の地上點で一致する。之等全ての交點を綜合すると地表が生ずる。今 2 つの寫眞から得られる光束を 2 つの對物レンズの中心を結ぶ線上で、但し光線方向は交へぬ様に相互に移動させれば、光線の交點から生ずる土地は 1 つの縮小模型となる。而して其の縮尺關係は明らかに縮小された基線と其の實長から計算出来る。

Stereoplanigraph の寫眞測定カメラに於て、2 つの光束の此の相對的位置を所要縮尺關係で再現せねばならない。其の爲に寫眞測定カメラは直交 2 軸 x と y に關して廻転及傾斜し得、又其の光軸の周りで廻転する事が出来る。更に運動方向 x, y, z の 3 方向に於ける基線の投影長を変ずる事も出来る。

大略任意の位置に於て撮影した 2 枚の寫眞を觀察する。そして寫眞上の同一の點からの光線が一點に合致して見えるに到る迄、一定法則に従つて寫眞の位置と x, y, z の關係とを変へる。次に寫眞立体中任意の 1 點に測標の度を合はす時は、地上の同一點は何處でも喰違つて 2 點に見える事はなくて寫眞の 2 點と測標とは相重なるはずである。1 つの Bildpaare の相互位置を修正するには約 15 分を要す。

(c) 土地模型を製図面上に正置する修正： かくて茲に測定用の正しい立体寫眞を得たのである。然し猶此の立体寫眞が製図面に對して如何なる位置にあるか、又正しく所要縮尺を有してゐるか否かは未だ分らない。例へば今寫眞上の 2 つの図根點に測點を合はすなれば、寫

眞から測定される直線は豫め記入した製図紙上の正しい直線と一致しない。

其の差異から測定機械で加減すべき基線長の修正量を知るのである。

立体寫眞の隅に定めてある図根點の高度は、上の様にしたのでは寫眞から正確には測れない。何となれば土地模型は或る定軸に關して傾斜せねばならない。其の傾斜の大きさは図根點の高度差を測り計算せねばならない。

今や鉛筆は製図紙上にて、座標の定つた図根點に正しく重なり、且つ又立体寫眞中で測標を任意の點に合はすならば其の正しい高さが分るのである。立体寫眞は今や 4 つの図根點にかこまれた枠に合致する。之に約 25~30 分を要す。

(d) Bildpaare の測定： 以上で Bildpaare を製図紙上に合致させたので、航空寫眞測量の最重要部分は完了した事となる。次は測標を地図作成上必須な線に沿つて動かしさへすれば良い。之は大した誤差は起らない。又此の測定は簡単に隨時後から確める事が出来る。

茲に於て航空寫眞測量が從來の方法に比して優れてゐる特徴が明らかとなる。即ち平板測量や視距測量では骨格となる只 1 點のみを測量する。其の骨格は豫め地図に直線や屈曲線を測量記入して初めて完成されるのである。故に良心的に仕事をせねばならず、又非常な熟練が要る。而も完成地図には常に測量者の個人的特徴が入つてくる。故に測量結果が正しく一致する爲には、熟練した地形測量者を選抜使用しなければならない。又平板測量の再検査には常に地上測量を行はねばならない。

Zeiss-Stereoplanigraph で航空寫眞測量を行ふ時生ずる誤差は、製図限度以下である。それは多くの定點で確定してある立体地形模型に於て、其の明瞭な線上で測標が動く事だけが誤差の原因であるからだ。

故に寫眞測量の結果を確かめる爲に、検査用の點を選んだり、特別の方法を用ふる要はない。多年の経験及検査測量の結果より、1/5 000 地図に對しては、寫眞縮尺約 1/7 500 ならば高度誤差は必ず許容以内に収まり、又寫眞縮尺 1/5 000 ならば高度誤差は遙か許容限度以下となる。撮影條件同一ならば精度検査の要はない。

測量方法自体が上述の精度の最上の保證なのである。
地物表記： 次には上の鉛筆製図と寫眞とを比較對照する。そして地物註記を補充附加する。仕上げを急ぐ時は最初の鉛筆製図を寫眞で複寫して仕事をする。

寫眞と對照する際に地籍図に限り所有權區劃を記入する。Preussen では全面積の約 15% に對して新しい地籍図が備つてゐた。此の地籍圖の區劃割を 1/5 000 地

図の経緯區割線に豫め換算して置けば、容易に 1/5 000 地図に移し得る。他の土地では地籍図に區割網が無かつたり、基準點を缺いて居たり、又古過ぎたり不完全であつたりした。かゝる地籍図は個々別々に 1/5 000 地図に移入し得る。それは航空寫眞から測定済の境界線、小流、道路線等の明白な連絡物があるからで、地上測量は不要だ。1/5 000 地図作成に當つては、現存の地籍図を縮尺 1/5 000 で之に結合した。かくて地籍図は正しい相互位置を取る事となる。但し古い不統一不完全な地籍図を、相互位置の確定した地図に結合する事は單に間に合せの手段に過ぎ無い。

製 図：鉛筆製図を完成した製図用紙上に、平面図及註記を墨で書き、等高線は鉛筆のまゝで置く。次に Blauisenverfahren により第 2 の製図用紙を作るがそれに唯等高線のみを墨で製図する。平面図板の鉛筆線は消し去り、等高線図版では青線を拭き去る。かくて 2 色印刷用の 2 つの原版が完成する。

費 用：恐らく如何なる技術的分野に於ても、測量ほど費用と精度とが密接なる關係を有するものはあるまい。獨逸陸地測量部では作業及費用を最小にして所要精度を得てゐる。

申込者が所要製作費を負担するならば、申込に応じて獨逸陸地測量部は 1/5 000 地図作製をする。獨逸陸地測量部は其の財政から監督官の俸給のみを支出する。申込者の拂ふ可き費用は、撮影面積 1 km² に付き最困難の土地で約 500 RM である。それには次の諸費用を含む。

- (1) 航空寫眞の作製、撮影寫眞見本 2 枚宛の給與。
- (2) 三角測點の稠密化。
- (3) 地上人夫の給料。
- (4) 2 色印刷版の製作。

(5) 2 色の各 20 度刷印刷。
地図は申込者に次の値で供給される。

50 部迄	各 0.40 RM
51~100 部	" 0.30 "
101 以上	" 0.20 "

やゝ困難又は容易なる土地に於ける費用は、場合に依つて申込者と協定される。

最困難地の費用割當を總括せば表-4 の如し。

獨逸航空相は 29.9. 1933-BW 3 789/33 の航空寫眞法令に従つて、航空寫眞測量施行に補助を與へてゐる。

航空寫眞作業自体即ち撮影、整正、測定、又それに必要なる測量や図根點設定即ち補整基準の作製に對しては補助金がある。但し撮影と關係ある他の作業、例へば地形補足製図や地図印刷又は撮影計畫に對しては補助金はない。補助金に對する規定は航空寫眞法追加第 4 項に定められて居り、之は *Nachrichter für Luftfahren* 41 卷, 14, Oktober 1933 にあり。

立体寫眞 (die Raumbilder) 及集成寫眞 (die Bildpläne): 1 對の航空寫眞は實體鏡を用ひて、立体寫眞として利用出来るのであつて、此の寫眞に構造物を描いて置けば實際施工前に豫め完成後の空間關係が判断出来る。又同一原理の垂直寫眞も利用出来る。

又重要な事だが垂直撮影寫眞から斜撮影寫眞を作る事が出来、斜撮影寫眞は觀察上からは垂直撮影寫眞以上に效果的である。

1/5 000 地図の重要な補助たる集成寫眞は、整正をした個々の寫眞を 1/5 000 地図中の定つた位置に据ゑて作る。

整正の際原寫眞を 1/5 000 縮尺に直し、又飛行機の偏倚に依る僅かの寫眞歪曲を修正する。

表-4. 作業日數と費用 (1 km² に付)

作業種類	1 km ² に對する作業日數	技術者の俸給 (7)		旅費 (日當及乗物代)	測量人夫費	機 具 費		撮影飛行	印刷	總計 (RM)
		測量技師 (1)	測量師 (2)			測標設置	寫眞作業			
1. 準備作業	1.5	—	11	—	—	—	—	—	—	11
2. 撮影飛行	—	—	—	—	—	—	—	38	—	38
3. 三角網稠密化	0.5	6	—	9	8 ⁽⁵⁾	5	—	—	—	28
4. 図根點測量	1	11	—	17	15 ⁽⁵⁾	—	—	—	—	43
5. 計算	1.5	6	7	—	—	—	—	—	—	13
6. 寫眞測定	6	—	84	—	—	—	—	—	—	84
7. 地物表	8	—	56	64	40 ⁽⁵⁾	—	—	—	—	160
8. 製図	9.7	—	68	—	—	—	12	—	—	80
9. 印刷	—	—	—	—	—	—	—	—	40 ⁽⁸⁾	40
計	28.2	23	226	90	68	5	12	38	40	497

註 (1) 測量技師の俸給 330 RM (4) 賃銀 1 日 5 RM (7) 測量技師 1 人は測量師 10 人に相當す
 (2) 測量師の俸給 210 RM (5) 約 3 人 (8) 2 色印刷の 20 度刷りを含む
 (3) 1 km² に付圖根點は平均 3 點 (6) 1 人
 但し上には主任技師の俸給、測量器具の消耗費、作業室の建設維持費を含みます

整正済みの寫眞は良く連絡する。集成寫眞の精度は航空寫眞から作った地図には劣る。即ち山地では高低差の爲歪曲が起り、其の歪曲は焼直すだけでは除けない。然し多くの計畫特に平地に於けるものに対しては良い参考となる。

特別な場合即ち海岸埋立工事等には地図より優れてさへゐる。1/5 000 集成寫眞作製には 1 km² 當り 65 R M を要し、それには航空寫眞作製、見本刷 2 枚宛の給與を含む。

材 料

(61) 構築用木材及木材接手の耐荷力
並に木材接手の疲限度

(Wilhelm Stoy, "Über die Tragfähigkeit der Bauhölzer und Holzverbindungen und über die Dauerfestigkeit der letzteren." Die Bau-
tech. Heft 51 S. 689~692.
坂田 中 抄

1. 構築用木材並に木材接手の耐荷力： 木造構造物に対する現在の許容応力は D. I. N. 1052 に定められてゐる。鉄材の許容応力は最近、或る條件の下で高め得るのであるから之は木材に於ても可能でなければならぬ。1938 年 9 月末日の規格委員會の現状に依ると構築用木材は 3 つの等級に分たれる。その特徴は節の状態と繊維の走り方に依り分けたものであり、D.I.N. E 4074 として採用されて居り、之を示すと表-5 の如し。

表-5.

品質等級	1 等品 特に強度の高い 木材	2 等品 通常強度の木材	3 等品 強度小なる木材
節 (a) 個々の節の 直径が断面幅 に対する比	幅の 1/5 以内に して 5cm を越 えざるもの	幅の 1/3 以内に して 7cm を越 えざるもの	幅の 1/2 以内
(b) 15 cm の長 さに測つた 各断面上の節 の直径の總和	幅の 2/5 以内	幅の 2/3 以内	幅の 3/4 以内
繊維の走り方、 (a) 龜裂に依つ て測りしもの	縦方向の角に對する繊維の最大傾き 1:10	1:5	1:3
(b) 龜裂の無い 時、年輪に依 つて測りしもの	1:15	1:8	1:5

木材の大多數の質験値は幹軸と平行方向に荷重をか
けた時の圧縮強さを示すもので、小さな節の無い試験体
で行つたものである。木材の重量並に含濕量に對する圧
縮強さの關係を Egner が求めた結果図-20 の如し。I
等品木材に對し graf の決めたところに依ると樅材は乾

燥状態で少くとも 0.38 kg/dm³、松材は 0.42 kg/dm³ で
ある。

図-20. 重量の含濕量により示せる樅材、松材の強さ
樅材 松材

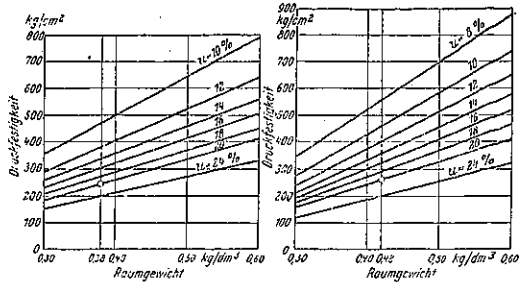


図-21 は樅材の繊維の走り方による圧縮強さの变化
を示し図-22 は樅材、松材の圧縮強さを節の大きさにより
示せるものなり。兩者とも大きな試験片につき行つたも
のである。

質験値の散布してゐるのは單位重量に差異のあるこ
と、木材の部分的龜裂の存在、曲り易いため等の原因に
よる。

図-21. 繊維の走り方による木材の圧縮強さ

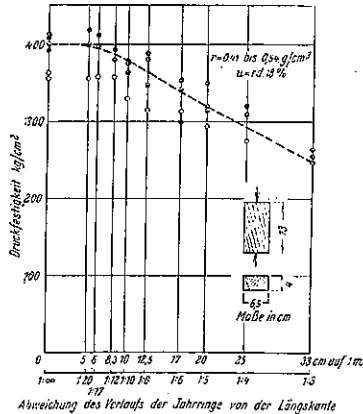


図-22. 節の大きさによる樅材並に松材の圧縮強さ

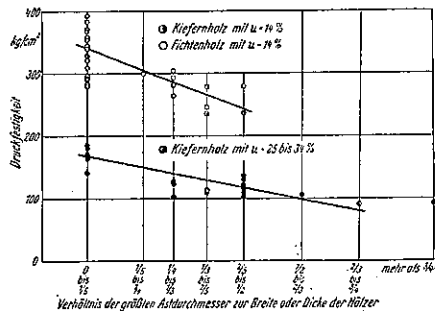


図-23 は構築木材でも色々異なる強度を有し且つ節の影響を特に大きく受けることを注意したるものなり。

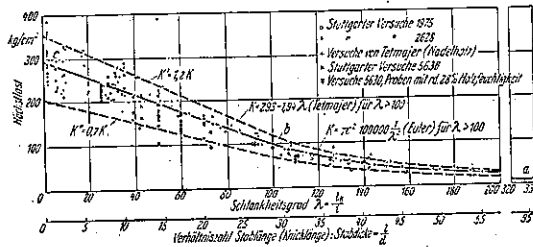
図-23. 濕氣を含んだ木材, 圧縮試験



Stab, 24 は 1 等品を示し, 他の 2 つの 2 等品は不合格品なり

図-24 は矩形断面の針葉樹の柱の細長比による挫屈強さを示す。細長比 $\lambda=100$ まではテトマイヤー直線を示し, 之に $E=100000 \text{ kg/cm}^2$ を有するオイラー-拋物線で接続する。

図-24. 完全支柱の細長比による圧縮強さ



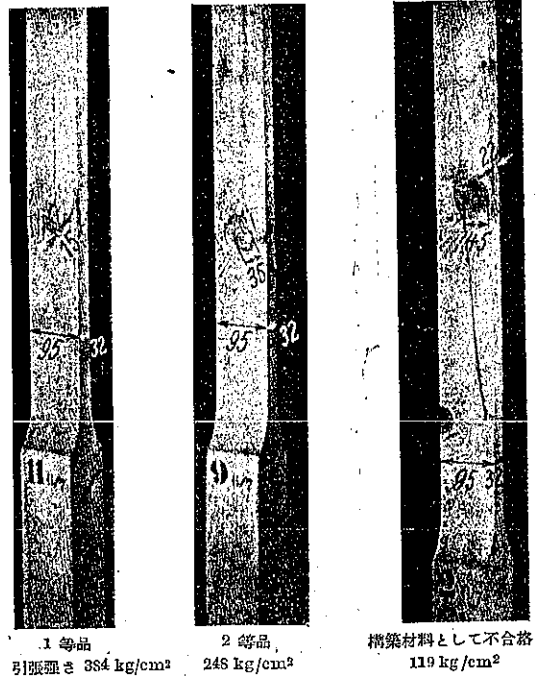
實驗値は長破線の値の 0.7 倍と 1.2 倍の間にありこの長破線の値は 1 等品による値より下にある。下の方の點線は 2 等品の値なり。2 等品に對しては之までの許容圧縮強さは現在のまゝで成立する。1 等品の乾燥木材に對しては現在の調査によると $80\sim110 \text{ kg/cm}^2$ に高め得るであらう。

引張試験は相當の試験片作製に時間と經費を要する故に圧縮試験より少ないが之は次のことを示す。

木材引張強さは實驗体の形に非常に支配され, 且つ乾燥の際が高い。然し含濕量が 10% 以下になると値は再び元に戻る。

図-25 は節が引張強さに大きな影響を及ぼすことを示す。

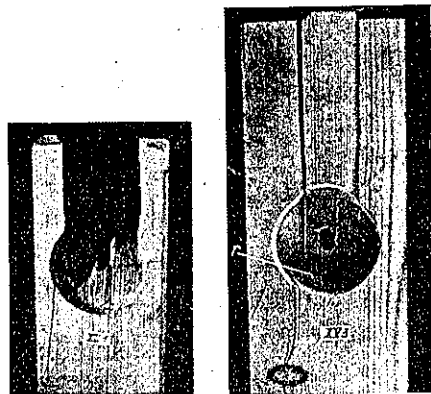
図-25. 大きな木材の引張試験 (11 並に 2 は樅材, 9 は松材)



1 等品 引張強さ 384 kg/cm^2
2 等品 引張強さ 248 kg/cm^2
構築材料として不合格 引張強さ 119 kg/cm^2

引張材の最大弱點は格點にあり, 栓断面其の他に存在する。栓接手の破壊は剪断強さの超過により起り, 次いで部分的張力破壊が起る (図-26. b の r の箇所)。

図-26. 接手の破壊箇所



曲げ強さは大きな木材が桁として使用し得るから試験が便利である。図-27 は繊維の傾斜の増加による曲げ強さの著しく減少すること, 並に節の位置の影響の大なることを示す。

その他、静止荷重が長く継続するときは他の方法により求めし曲げ強きの約 1/2 である (図-28)。

図-27. 繊維方向による横材の曲げ強き

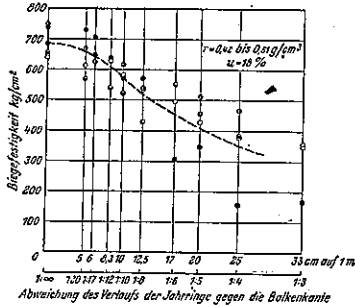
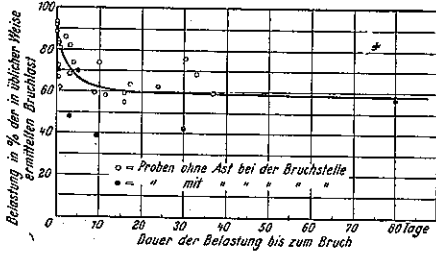


図-28. 荷重継続回数による木材の曲げ強き

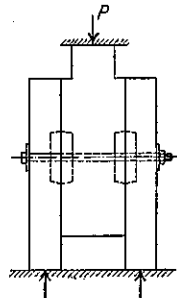


現在の許容曲げ応力 100 kg/cm^2 は 2 等品に適用される。1 等品に對してはドイツ規格委員会は 130 kg/cm^2 を申し出た。

桎接手に關する廣範圍の實驗は木材剪断強き、特に木材接手の之の強きを研究するの必要のあることを示した。この際合温量試験体の形、破壊切断面の年輪に對する位置が注意されねばならぬ。

2. 木材接手の強度: 木材接手の強度は図-29 の如き簡單な方法で求め得る。

図-29. 木材接手を有する圧力管線用、試験体

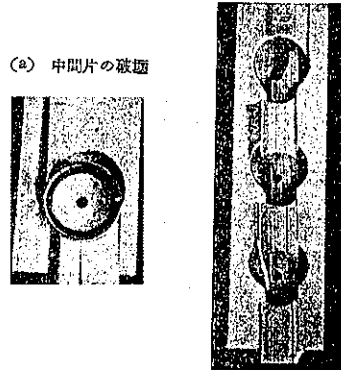


桎接手の変形は之が種類により著しく異なる。試験体の破壊は引裂き試験、繰返し試験に於ても木材の剪断により生じたが注意すべきは次のこととなり。即ち円形の桎の際には b_s の幅で生じた剪断は柱の直径 D より小さい、($b_s = 1/2 D$ 又は $3/4 D$)、図-30 a, b に示す。

之に反して爪を有する円板の桎の際には周圍に齒があり更に有効に荷重が分布される。許容剪断強きが破壊剪断強きの略々半分であることが現在望まれてゐる。故に graf に依ると静止荷重の際の E_{zul} を 10 kg/cm^2

図-30.

(b) 引裂き試験にて $\max P = 2500 \text{ kg}$ を受けて破斷せる接目板



に定め、又繰返し荷重の際は 6 kg/cm^2 なることが望まれてゐる。

膠接手の際には剪断強きは著しく剪断面積の大きさに支配される。破壊裂口は屢々接目板の端部より始まる。大きな膠接手の剪断強きは引裂き試験にて $E = 15.2 \text{ kg/cm}^2$ の値をとつた。之は現在使用の許容応力 E_{zul} よりほんの僅か大きい。繰返し試験では 8.5 kg/cm^2 が起つたが之は現在の許容値より著しく小さい。

接目板使用の接手にては荷重増加につれ接目板が曲る。接目板の厚さは中間木材の厚さより著しく大きくせねばならぬ。即ち接目板の許容応張力は中間材のそれより小さく選ぶべきである。總ゆる接手にて繰返し荷重の時の P_0 (5000 回の繰返しで破壊を起す荷重) は引裂き試験の時の P_{max} の最少 0.5 倍、最大 0.7 倍なり。又この時許容応力は強度近くまで選び得る。graf は大体 4/5 を推舉した。著者は實際例として支間 34 m 自由支持の桁の破壊を行つた。下弦接目板には $\gamma = 0.35$ の硬い木を利用し、残りの木材は平均 $\gamma = 0.43$ なり。繊維の走り方は著しく傾き、又最も危険な所に節が存在してゐた。雪荷重を 1 週間載せた。破壊は風荷重による扭力モーメントにより起つた。

コンクリート及鉄筋コンクリート

(62) T-桁の新施工法

(K. Kutsch, "Neuartige Ausführung einer Rippendecke" Beton u. Eisen. Heft 2, 20. Jan. 1939, S. 39~37. 坂田中抄)

今日 T-桁は殆ど下版と一緒に作られるが、之は此の版が温度並に音響を防ぐからである。此の目的の爲コン

河 川

(63) Mississippi 下流に於ける捷水路

(George R. Clemens, "Cutoffs lower Flood Crests." E.N.R. Nov. 17, 1938, p. 608~614.)
横田周平 抄

過去 5 ケ年に亘つて Mississippi 河は流路短縮と謂ふ大手術を受けた。1938 年 2 月迄に 12 ケ處の捷水路を開鑿し、1929 年高水期に自然に出來た Yucatan 捷水路を合せて 13 ケ處で約 120 哩を短縮した (表-5 参照)。

捷水路の一覽図は圖-37 の如くであつて、1937 年の高水及低水期に於ける捷水路及 舊川の流量の百分率を大

圖-37. 捷水路の一覽圖

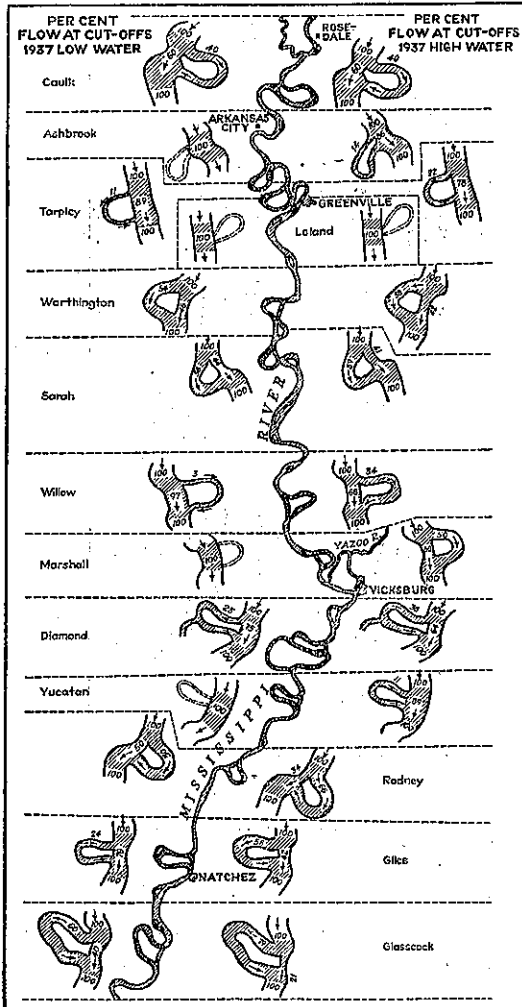


圖-38. 捷水路の空中寫眞 (其の 1)

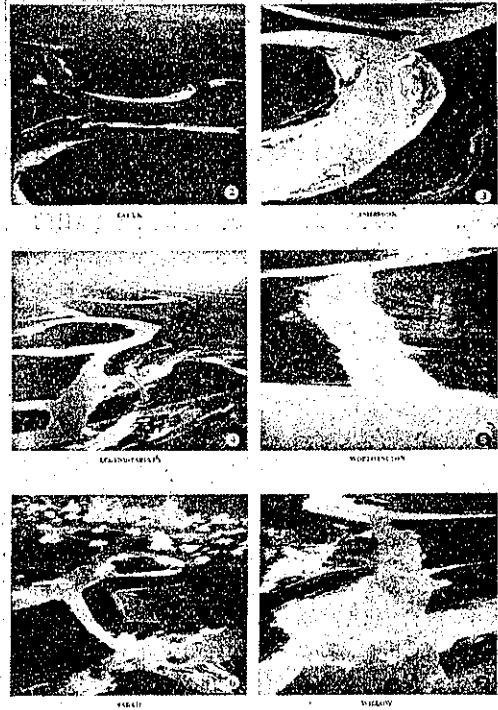


圖-39. 捷水路の空中寫眞 (其の 2)

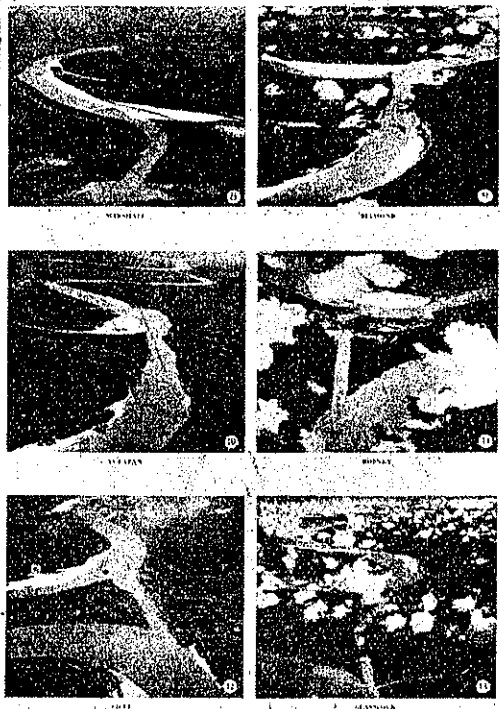


表-5. Mississippi 河の捷水路 (Arkansas 河と Red 河の間)

捷水路名稱	竣工	Cairo よりの 哩程 (e)	新築水路の長さ(哩)			浚渫區間の 長さ (呎)	捷水路に於ける落差 (呎)		1937年2 月の最大 流量 (萬箇)
			Across neck	Around bend	Net Shortning		1929 年 洪水時 (c)	平均低水 時 (b)	
Caulk	1937-5-13	406.1-421.8	2.0	17.2	15.2	4 400	6(c)	5.8(d)	—
Ashbrook	1935-11-19	443.9-456.4	1.9	13.3	11.4	4 530	5.4	2.3	181.0
Tarpley	1935-4-21	461.2-472.2	3.6	12.2	8.6	13 000	1.8	3.4	134.0
Leland	1933-7-8'	472.2-483.5	1.4	11.2	9.8	3 900	4.3	3.4	216.0
Worthington	1933-12-25	505.7-513.3	3.8	8.1	4.3	17 600	3.7	1.6	78.7
Sarah	1936-3-23	518.3-526.4	3.2	8.5	5.3	12 600	2.2	3.0	55.0
Willow	1934-4-8	564.0-578.0	4.7	12.4	7.7	22 000	4.0	3.7	110.0
Marshall	1934-3-12	587.0-593.0	3.1	7.3	4.2	13 600	2.4	2.2	94.0
Diamond	1933-1-8	618.6-626.0	2.6	14.6	12.0	9 175	2.2	4.3	98.4
Yucatan	1929-高水期	636.3-648.0	2.6	12.2	9.6	11 000	3.7	2.8	129.0
Rodney	1936-2-29	663.7-672.2	4.1	9.9	5.8	13 000	2.9	2.0	26.4
Giles	1933-5-25	689.5-704.1	2.9	14.0	11.1	10 000	4.6	2.8	70.2
Glasscock	1933-3-26	722.5-736.7	4.8	15.6	10.8	20 800	3.2	3.4	37.6
		合 計	40.7	156.5	115.8(e)	155 605	43.1	41.1	

(e) 1913-1916 の測量に依る, (b) 捷水路開設當初の記録, (c) 1937 年洪水に依る落差-4.7 呎
 (d) 1936 年 8 月 23 日 (低水) に於ける實際の落差-10.6 呎, (e) 330.6 哩の區間に於て 115.8 哩を短縮した

大きく畫いた略図に示してゐる。低水が左側で高水が右側である。

捷水路が洪水位の低下に如何程貢獻してゐるかを比較するには同じ形の洪水でなければならない。今日迄多くの洪水波頂の比較が行はれて誤まれる結論に到達した。1937 年の大洪水は 1929 年洪水とは比較ならぬ程大きかつたが図-40 は 1929 年の洪水の最高水位に近づきつゝある時と 1937 年洪水に於て同一流量であつた時とを比較したものである。之に依れば Arkansas 市より Vicksburg の下流迄本質的に水位の低下を來し Natchez では低下の割合が減少して來てゐる。水位低下の實況を觀察する他の方法は各要所に於ける水位と流量の關係を調査することである。其の代表的なるものが図-41 であつて之は Arkansas 市に於ける流量曲線である。

図-40. 捷水路に依る洪水位の低下

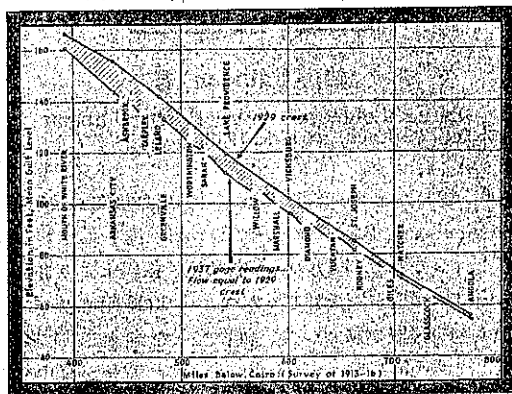
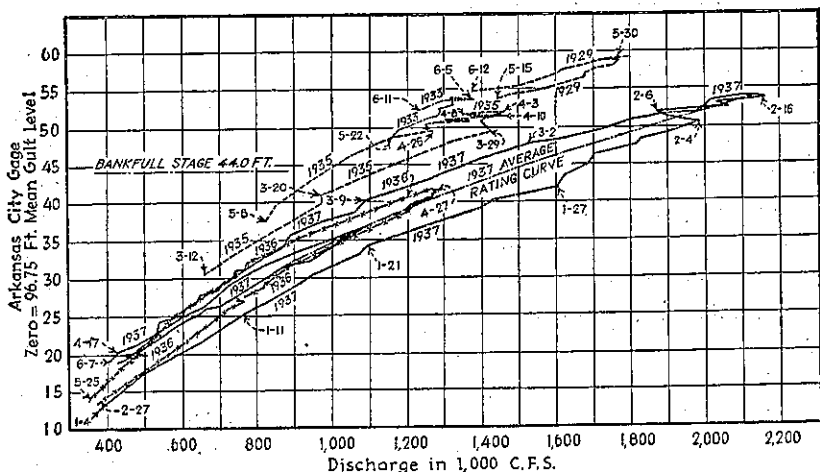


図-41. Arkansas 市に於ける流量曲線

之と図-40 とを比較して 1929 年最高水位附近の流量では 1929 年の方が 1937 年より約 12 呎水位が高い。1937 年の水位上昇時と下降時の平均の流量曲線を探つて考へても 10 呎の違いがある。

以上の他諸種の資料から研究した結果最大流量 1 800 000 個程度の洪水に對しては 1937 年に於て Arkansas 市で 9~12 呎, Vicksburg で 4~6



呎, Natchez で 1-2 呎水位の低下を來したと見て差支へ無い様である。

今日迄の諸資料は全て水位の低下した事を示してゐる。正確な量は幾分変化するが傾向は明瞭である。水位の低下は洪水調節計畫に直接利益がある。1937 年洪水は Arkansas 河合流點から Mexico 灣迄本堤を溢流する事なく流下した。測定の結果に依ればその最大流量は 1927 年洪水の割合で行けば所謂崩壊堤 (so-called fuse plug levee) を越流して Boeuf 放水路に氾濫すべき流量を可成り超過してゐたのであつた。疏通能力の増大した結果放水路を使用する必要がなかつた。此の事だけでも今日迄に投じた工費を償ふものであつて、其の他の小洪水に於ても水位の下がつた結果背水地域、氾濫地域の價値を増大せしめ捷水路及流路改良工事の裨益する處頗る大である。

港 灣

(64) Gdingen 港

(Dr-Ing. Lohmeyer, "Der Hafen Gdingen." Die Bautech. 28 okt. 1938, S. 621-627) 小倉 宏 三 抄

I. 港の發達: 元來 Poland 國には港がなく獨逸の Königsberg, Stettins 又は Danzig 港を通過して貿易を行つてゐた。國力の充實、輸出の振興上より自國領の商港の必要が國策として確立され 1926 年より Gdingen 港の建設が初まつた。港の完成を急ぐと共に次の様な交通政策を取つて Gdingen 港に貨物が集中をする様にした。

先づ鐵道幹線の新設改良を行つた、Gdingen より Bromberg を通つて上部 Schlesien に向ふ石炭鐵道, Warschau, Lemberg を通つて Rumania に達する鐵道を改良して黒海に連絡した。此の上石炭には特別な低運賃を制定し又各種貨物に協定運賃や連帶賃金を定めたので、此の港を通つて、Czecho, Hungary, Rumania, Yugo-Slavia, Bulgaria の各國に多量の貨物が輸出される様になつた、Norway, Sweden では英國炭及ルール炭より優位になつた。その他近東行貨物は地中海廻りより運賃を低率にして港の發展を図つた。

次に港税は特殊貨物について低率又は無税となし、商業及工業を起すために地租、家屋税、工業税其の他の税を軽減し 1933 年よりは自由港を一部に制定した。

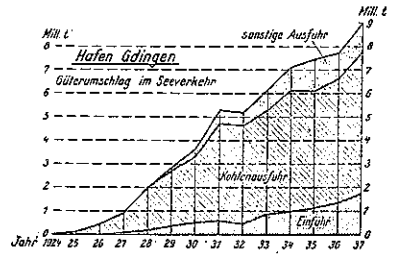
建設も主任技師 Legowski の指揮の下に着々と進み 1931 年には Bremen 港, Stettin 港及 Emden 港を、

1933 年には Danzig 港をも凌駕してゐる。

Poland 人は「今日 Poland 人の重要課題は海洋への通路の開通である。この通路は自由と自立を建立する最大の武器なり」の旗印の下に上下一致して Gdingen 港の發展に努力してゐる。

この結果港勢は図-42 に示す様に最近 10 數年間にすばらしく増大してゐる。主要貨物は上部 Schlesien の

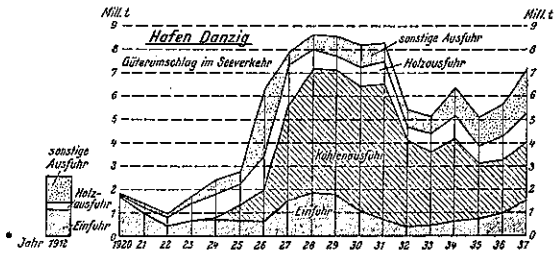
図-42. Gdingen 港の港勢



石炭で輸出の 4/5 に達し、他の貨物も徐々に増加してゐて主なるものは材木類、農産物の輸出である、輸入は 10-20% であつて果實類、羊毛類である。

図-43 は Danzig 港の港勢である。29 年 Gdingen

図-43. Danzig 港の港勢



港の出現によつて勢を殺がれ 33 年には終に追い越されたので協定を結んで 34 年に上向になつた。石炭に就ては初めは Danzig を通過してゐたのが Gdingen 港の完成によつて明らかに後者に移動した事が示されてゐる。

図-44 は Gdingen 港の近くの諸港の港勢である。Gdingen と Danzig が輸出港では輸入港である。定期航路網は計 54 線 (1934 年) に達し主なるものは、北歐 17 線、獨逸線 3 線、中歐 3 線、南歐 7 線、米國 5 線で其の他南米、亞弗利加、東洋で、北歐に主力を向けてゐる。

2. 港の設備: 港は Danzig 入江の西岸に位し、Hela 半島によつて保護され、良好なる錨掛砂質地盤の泊渠を有し、防波堤によつて西北及東南風を防ぎ、港口は水深 10m にして東風の影響を多少受ける。10m の

図-44. Gdingen 港近くの諸港の港勢

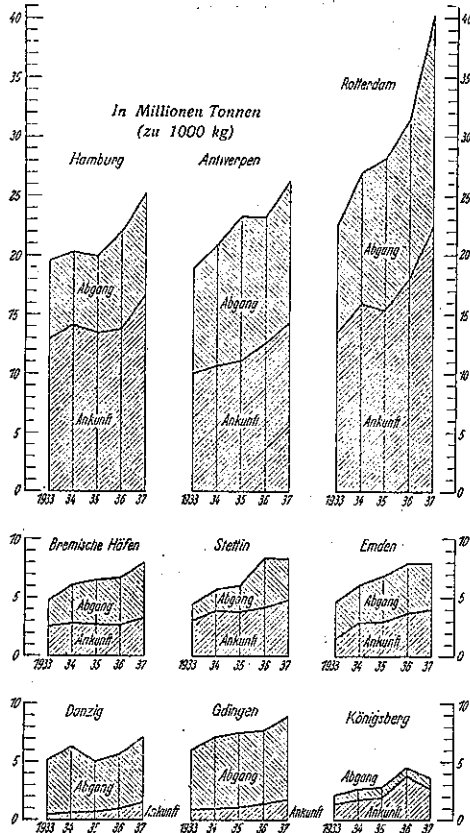
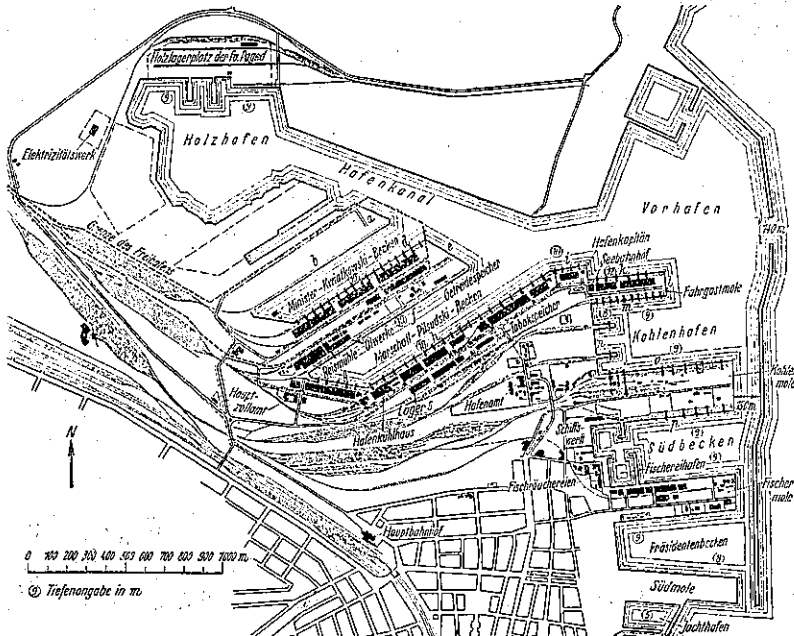
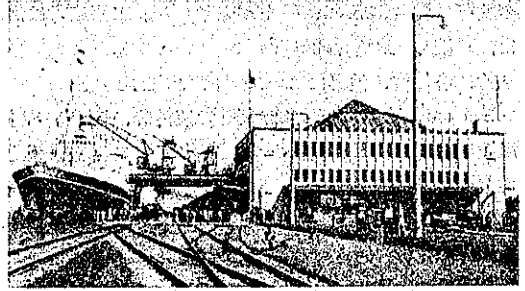


図-45. Gdingen 港平面図



- a. Yugo-Slavia 岸壁
- b. Rumania „
- c. Czecho-Slovakia „
- d. 合衆國 „
- e. Norway „
- f. India „
- g. Rotterdam „
- h. Poland „
- i. 水先案内 „
- k. France „
- l. Belgium „
- m. Oran „
- n. Denmark „
- o. Sweden „
- p. シレジア „

図-46. 臨 港 埠



等深線は海岸より 1000 m の所にあり、冬期は砕氷船を働かせる。

図-45 は港の平面図である。岸壁及防波堤は鉄筋コンクリートケーソンであつて特別の構造もないが港の施設には各種の方法を用ひてゐる。

港は防波堤によつて外海と境せられた外港と、港内運河より分岐せる内港に分れ、乗客と石炭、鐵石は外港で處理し、その他の貨物は内港で荷役する。外港内には沿岸航路及漁船用の埠頭がある。

港の面積は約 1000 ha で、その 1/3 は水面積である。水深は図-45 にて (10), (8) にて示されてゐる。防波堤延長 4km, 岸壁延長 12 km, 道路延長 15 km, 鐵道延長 170 km あり上屋 35 棟, 冷凍庫, 穀倉を除き倉庫の延面積約 230 000 m² で、起重機は 1.5~7 t の能力を有し、約 70 基常設されてゐる。

工事は 1921 年より準備工作を始め、26 年より構造物の施行に當り、35 年に一先づ完了した。工事施行は佛、白、丁各國の請負會社が行つた。

次に各岸壁、泊渠について設備大要を記す。

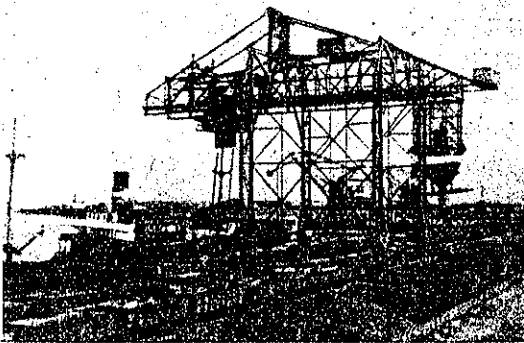
France 岸壁 (k): 客船埠頭で臨港驛、上屋あり、保温上屋にて果實の荷役をなす。能力 3t の起重機 6 基あり (圖-46)。

Oran 岸壁 (m): 能力 5~7t の起重機 10 基あり、丸太、鑛石其他バラ荷役をなす。

Denmark 岸壁 (n): 長さ 100m の石炭荷役棧橋がある。その基部に石炭車 kipper があり、棧橋は Belt-conveyor で送られ能率 650 t/hr である。一方はシレジアの石炭組合の私設で他は公設である。

Sweden 岸壁 (o): 長さ 780m あり石炭及鑛石用のトランスポートークレンあり、能率は 5 及 7t で全部で 3 基あり。この後方に 200t 容量の石炭重量計がある。この岸壁のエプロンに能力 7t の起重機 4 基と石炭車ダンパーあり、能率 400 t/hr である (圖-47)。

圖-47. カーダンパー



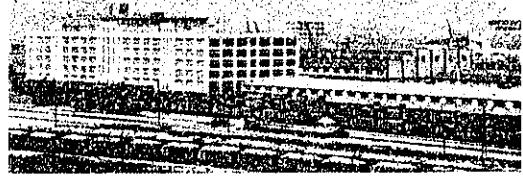
シレジア岸壁 (p): 長さ 760m で石炭會社の専用野積場であつて、能力 7t の起重機 4 基あり、その他石油及ガソリン用タンク、船舶修繕用 3500t 浮船渠、50t 浮起重機船及船用石炭荷役の爲に 200~300 t/hr の能率ある浮昇降機船 3 隻あり。

南泊渠: この内に小漁港と遠洋漁船用漁港があり、これらに附帯して冷凍庫、倉庫、市場、製氷場、煙製加工場其他がある。Präsident 泊渠には沿岸航路客船用埠頭とヨット港あり。

内港は港内運河より分岐した Marschall-Pilsudski 泊渠と Minister-Kwiatowski 泊渠及木材泊渠とより成り、一部目下擴張中である。

Poland 岸壁 (h): 主として輸入雜貨の荷役をなす、

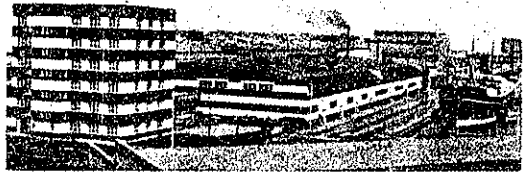
圖-48. Poland 岸壁の倉庫 5 號と右上上屋



上屋と倉庫の間に鉄道と道路が敷設されてゐる (圖-48)。能力 1.5~3t の起重機が 16 基ある。その他特別の設備として冷蔵庫があり、卵、バター類の荷役貯藏に用ひられる 6 階建の上屋がある。倉庫の中 Lager 5 の 5 階建と專賣局の 4 階の煙草倉庫がある。

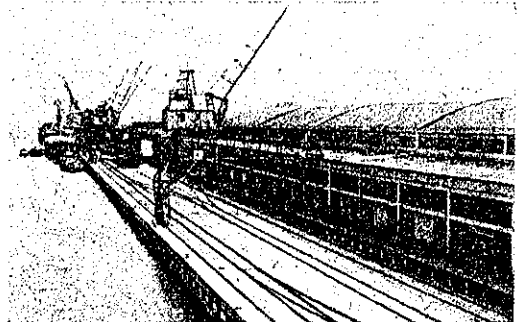
India 岸壁 (f): 製粉工場と製油工場がある。前者は年能率 160000t で 100×70m の建坪の上屋を有する。後者は A. G. 同盟の設備で 6500t の容量あるサイロと、大豆、コブラ、鑛石より年 100000t の食料油及機械油を製造す。又 15000t の容量ある糖蜜タンク 10000t の穀倉がある (圖-49)。

圖-49. India 岸壁製粉所と上屋



自由港区: 1934 年に開港す。泊渠は 800m の長さで 160m の幅があり最初に合衆國岸壁 (d) を完成す。

圖-50. 合衆國岸壁



その他は擴張又は施工中である。合衆國岸壁の特別のものとしては羊毛上屋であつて、Poland の他北歐諸國の需要に応じ得る。3t 起重機 15 基があり、上屋と倉庫間に鉄道 2 條と道路が置配されてゐる (図-50)。

3. 港の擴張：港の擴張は、自由港區の設備の完成に力を入れてゐるが、將來は運河によつて Bromberg 及其の後方地域と連絡して工業港の完成をなす計畫である。

道 路

(65) 自動車交通の運輸施設

(Dr.-Ing. Bruno Wehner, "Betriebsanlagen des Kraftverkehrs." Strassenbau. I. u. 15. Dez. 1938, S. 337~406
大串満馬抄)

最近開設の運びとなつた Reichsautobahn の 2 つの大駐車設備を見ると、自動車旅行を快適なものとする爲には如何なる規程が必要であるかを明確に示して居る。Chiemsee のものは専ら保養旅行に對する設備を有するに反して Magdeburger Börde の設備は職業交通、それも特に貨物自動車交通の爲のものである。

元來道路に於ける運輸施設たるや自動車による運送業の必要から簡單なものがあつたに過ぎない。然るに今や Reichsautobahn に於ける全く新しい自動車交通形式に基づいて近き將來運輸施設に根本的な変化が生ずる事になる。勿論その変化は決して Reichsautobahn のみに止まらず自動車交通の市内終端設備及地方道路の運輸施設に對しても重大なる反動を與へるに相違ない。

此處に於て明確なる目的を持った運輸施設を創造する爲には、其の各々の運輸施設を正確に概念づける事が先決問題である。即ち其の名稱から其の各々の設備が乗員及自動車の爲に何を提供するかを知り得なければならぬ。

昔から "Gasthof" と云ふ言葉があつて車や馬等を收容する場所を事實上包含した旅客設備を云つたものである。處がこうした設備を有せず、従つて短時間の休息にしか役立たない設備は之を "Gastwirtschaft", "Krug", "Schänke" 等と呼ぶのが正しい。現代に於てこの "Gasthof" と云ふ言葉を再び必要とする様になつてもそのま

ゝではこの概念は "Hotel" と云ふ概念と設備の上で著しく對立的なものである事は勿論である。従つて新しい道路施設の爲には幾分違つた言葉を選ぶ必要がある。昔の "Gasthof" に相當する設備を Reichsautobahn では "Rasthof" と呼ぶ事になつた。Magdeburger Börde の設備が丁度それである。この "Rasthof" と云ふ言葉の中には短時間の休息に對してのみならず夜間の宿泊にも又提供さるべき設備である事が意味されて居る。かくして "Rasthof" は Reichsautobahn に於ける長距離交通の重要な據點となる。而も此處で注意すべき事は "Rasthof" は先づ第 1 に職業交通に對して提供さるべき設備でなければならぬと云ふ事である。

即ち "Rasthof" は其の特殊の目的から旅客用の宿泊所、休息所の外にむしろ自動車修繕工作所、駐車場、特に良い設備をもつた給油所等を有する重要な運輸據點としての施設を有しなければならぬ。それに対して Chiemsee に於ける様に短時間の通過交通とか保養旅行等に對して提供される様な旅客設備は之を "Rasthaus" と云ふ言葉で呼ぶ。此の場合には宿泊設備と關聯して保養旅行に對する食堂經營が問題となる。

それに対して通過交通に對する小さな旅客休息設備でたゞ暖かい飲物又は冷たい飲物それに簡単な食事の求めに應ずる等普通の給油所以上の設備を持つたものを "Raststätte" と呼ぶ。

更に此の中には小浴場、展望所等の設備も必要である。

圖-51. Magdeburger Börde に於ける Rasthof

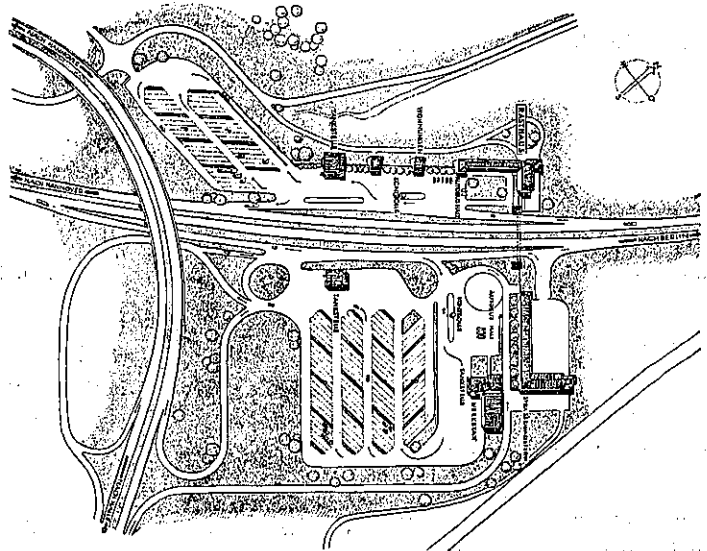


図-52. Debmsee に於ける Rasthaus

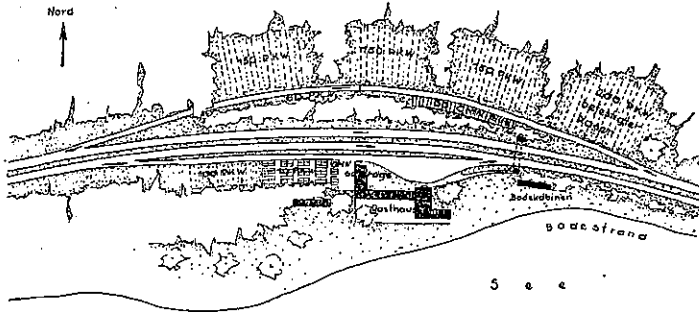
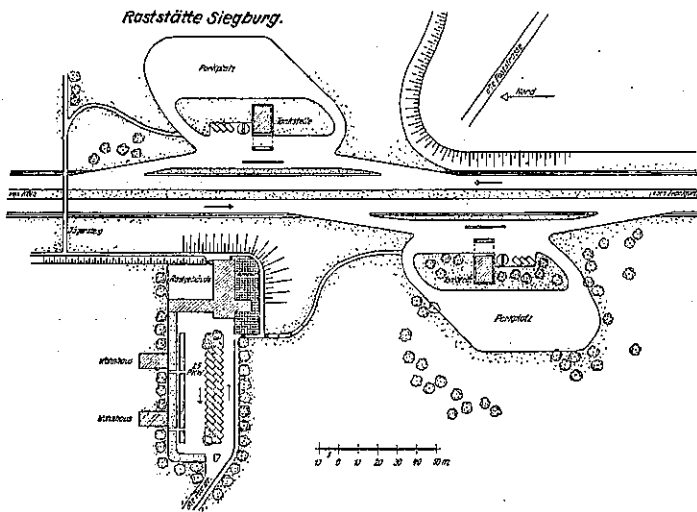


図-53. Siegburg の Raststätte



處が Reichsautobahn の設備とちがつて都會内の運輸施設に對する概念の不明瞭さは現在も非常に甚だし状態である。それ故、都會内の運輸施設を明確に概念づけると云ふ事は絶対に必要である。“Autobahnhof”と云ふ言葉があるが之は Reichsautobahn に於ける設備の概念表示としては不適當でもあり、又都會内設備に對しても何等理論的根拠を有せぬものである。之は“Autohof”と呼んでこそ初めて正しい。“Rasthof”が原則として公共の運輸施設を示すと同様“Authof”も亦都會内に於て“Rasthof”と同じ制限を受けるのである。單に或る個人企業の上で車輛に必要な設備はたとへ大規模な設備と雖も“Autohof”とは呼ばぬ。“Autohof”の此の概念の制限は現在すでに完全に實行されつゝある。

“Autohof”とは先づ旅客宿泊設備、車輛管理設備、貨物中継設備等をそなへた營利上の貨物交通に對する大

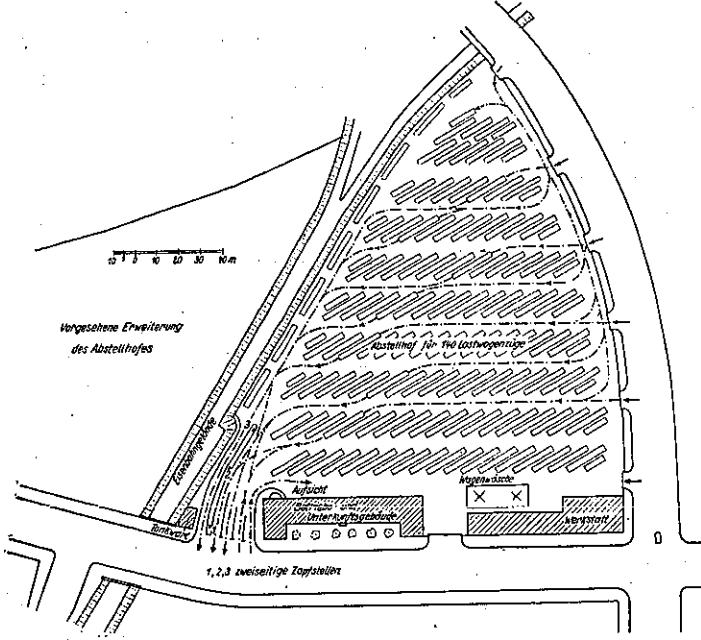
きな駐車設備と考へて良い。

こうした“Autohof”は交通上重要な大都會には何處にも出來てゐる。然し小都會では“Authof”の問題を以上の様に限定する事の不可能な事が屢々ある、そして結局小都會のこの種の駐車設備は貨物の遠距離輸送に對するのみならず、他の都會からの乗用車、乗合自動車に對して及小部分ではあつてもその町の内部の交通に對しても提供されなければならぬと云ふ事になる。斯くして又或一定の交通様式に對してのみ提供される様な“Autohof”を各々其の特殊目的から“Lastkraftwagenhof”、“Omnibushof”等と呼ぶ事も考慮されて居る。“Omnibushof”と云ふ言葉は其の駐車設備、車輛修繕工作設備等のために今日屢々乗合自動車企業に必要とせられる様になつて居る。特に“Omnibushof”は“Strassenbahnhof”と云ふ言葉にならつて市内の乗合自動車企業に利用される。鉄道、逓信兩省では此の設備を“Betriebswerk”と呼んで居る。然し其の中には駐車庫の外に車輛修繕工場を含む大きな運輸施設である意味がふくまれて居る。それ故小さな駐車設備は今尙“Kraftwagenstation”、“Kraftwagenstützpunkt”、“Kraftwagenhalle”等と色々異なつた呼び方をする。駐車設備の無い大きな車輛修繕設備は之を“Kraftwagenausbesserungswerk”、又は“Kraftpostwerk”等と呼ぶ。

次に又自動車交通の貨物積換設備に對して明確な定義が必要である様に思はれる。此の設備には“Ladehof”と云ふ言葉が適當である。然し貨物積換設備に對する“Ladehof”なる概念は公共の貨物運輸つまり鉄道省、逓信省關係の設備に限定するのが良い。そして或る單獨の經營の要求による積換設備は之を“Werkladehof”と呼ぶ。特に貨物倉庫の設備のない簡單なものは鉄道の呼び方にならつて“Ladestelle”と呼ぶのが良い。

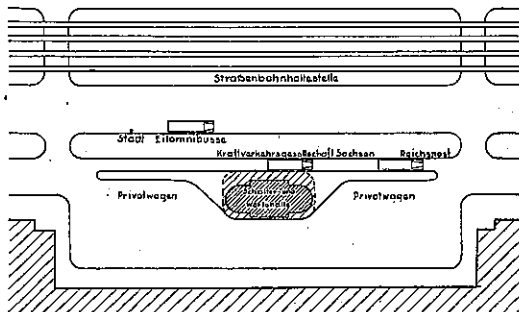
同様にして乗合自動車交通の停留所に對して明確な言葉を選ぶ事も必要である。鉄道に於ける“Haltepunkt”にならつて“Haltestelle”と呼ぶのはその

図-54. Berlin に於ける計画中の Autohof



性質上正しい。然し現在長距離の定期、臨時交通に對して鉄道の“Bahnhof”と何等変らぬ設備をもつた停留所も出現してゐる。此の種の設備を英國では“Coach-Station”又は“Terminal”と呼び佛國では“Gare d'Autobus”又は“Terminus”と云ふ言葉を選択した。“Bahnhof”なる言葉は“Station”とか“Gare”とかとは反對に軌道交通に對してのみ當て嵌まるものであり、そして又“Endhaltestelle”と云ふ言葉は“Terminal”とか“Terminus”に比しずつと狭い概念しか與へないから獨逸語でもつと適當な言葉を見出す必要がある。此の意味からこうした停留所の數多い大都會で大設備である事をはつきり浮び上らせる爲には“Gros-

図-55. Leipzig 中央停車場前の長距離乗合自動車用 Haupthaltestelle



shaltestelle” 又其の中心機關としては“Haupthaltestelle”と云ふ言葉が適當である。

斯くしてReichsautobahnによつて築かれた自動車長距離交通の大きな發展は近き將來この都會内運輸施設に極めて大きな重要性を與へる事になるであらう、従つて現在 Reichsautobahn に於てそうである様に、総合的な自動車交通体制の重要な基礎となるべき運輸施設が明確な目標を持つて出現する事になるであらう事は明らかである。

(66) 西部諸州に於ける
1939年道路計畫

“State Highway Programs for 1939” West. Const. News, January, 1939, p. 8-11
中谷茂壽抄

Arizona 州——1939年中に道路に使用出来る總額は6 719 000 弗にして、工事費4 119 000 弗、維持費1 500 000 弗、雜費として1 000 000 弗が計上されてゐる。

収入豫算中の最大は瓦斯税の3 250 000 弗にして、聯邦政府補助金は1 967 000 弗、自動車登録税は1 250 000 弗である。此の豫算を以て198 哩の道路工事を施行する。其の中60 哩は盛土、130 哩は鋪裝、8 哩はコンクリート鋪裝を行ふのである。600 000 弗は橋梁及立体交叉構造物に使用する。

California 州——本州今年度豫算は州長官に提出中にして未だ公表されてゐないが、昨年度よりは聯邦政府の補助金が4 000 000 弗減少した爲總額に於て減少してゐる筈である。

米國道路建設者協會による見積りに依ればCalifornia 州は1938年中に道路工事に20 250 000 弗を使用した。其の中で12 000 000 弗は州豫算、聯邦政府經常費補助金より4 750 000 弗、他の聯邦政府補助金より3 500 000 弗を得たのであつた。此の總額の中で8 000 000 弗は州道維持費に、7 750 000 弗は街路及道路に使用する爲各郡、市等に分配された。本年度の聯邦政府補助金は州道路一般に對し3 768 000 弗、細道路に565 000 弗、立体交叉工事に730 000 弗が割當てられた。

Colorado 州——本州では本年度道路工事並に雜事費

合計は 6 000 000 弗である。此の収入予算は瓦斯税 6 625 000 弗の 70%，聯邦政府補助金合計 6 343 804 弗である。然し前年度から繰越してゐる工事が約 7 000 000 弗残つてゐる。

Idaho 州——本州では未決定であるが見積つて見ると 5 122 569 弗である。此の中 2 622 000 弗は州豫算より支拂はれ、聯邦政府經常費補助金は 1 538 000 弗、他の聯邦政府補助金は 962 391 弗である。維持費は 1 585 000 弗である。

Montana 州——9 350 000 弗が道路の工事並に維持に使用される。工事費は 5 650 000 弗、維持費は 2 100 000 弗、雑費は 1 600 000 弗である。聯邦政府補助金は 3 650 000 弗、州瓦斯税は 4 500 000 弗、他収入は 1 200 000 弗である。本年度工事延長は 720 哩にして其の内訳は、盛土 275 哩 2 640 000 弗、砂利鋪装 325 哩 1 700 000 弗、塗油施工 120 哩 360 000 弗である。橋梁は 55 橋あり總工費 950 000 弗が見積られてゐる。

Nevada 州——本州では工事費總額 3 090 500 弗である。維持費及改良費として別に 850 000 弗の豫算が割當てられてゐる。路線変更、切換げ及鋪装を行ふ延長は 80 哩にして 1 932 000 弗、新設道路は 29 哩の鋪装道路 311 000 弗と砂利鋪装の 48 哩 340 000 弗等である。残額は道床安定費及構造物費に當てられる。

Oregon 州——本年度道路収入見積額は 17 175 000 弗にして、9 850 000 弗は瓦斯税より、2 900 000 弗は自動車登録税より、3 545 000 弗は聯邦政府補助金である。此の中 2 070 000 弗は各郡に返還され、350 000 弗は州警察課へ移譲され、残額 14 775 000 弗が道路に使用される。

工事延長は 735 哩にして前年度と略々同様である。此の中盛土は 140 哩にして 2 800 000 弗、鋪装は 170 哩 1 200 000 弗、塗油施工は 200 哩 800 000 弗、コンクリート鋪装は 25 哩 430 000

弗である。橋梁は 15 橋にして 650 000 弗を見積つてゐる。

New Mexico 州——州豫算は未定であるが聯邦政府の補助金は 1 等道路に 1 588 000 弗、2 等道路に 238 000 弗、立体交叉構造物に 168 000 弗が與へられてゐる。

Utah 州——本州も未だ州議會が終了せず未定であるが、2 000 000 弗の工事費と見積られる。工事延長は 90 哩にして 15 の構造物が包含されてゐる。聯邦政府の 1 等道路補助金は 1 124 000 弗、2 等道路は 169 000 弗、立体交叉構造物には 128 000 弗が與へられてゐる。

Wyoming 州——本年度道路計畫豫算は 4 000 000 弗にして、此の中 2 500 000 弗は州税より、1 500 000 弗は聯邦政府補助金より得る。維持費、監督費、道路課費に 1 100 000 弗が使用され、2 900 000 弗が工事費に使用される。立体交叉構造物には聯邦政府から 133 000 弗を、2 等道路には 300 000 弗が與へられる。塗油施工延長は 150 哩にして盛土道路も大略同様延長である。他の構造物は無い様である。

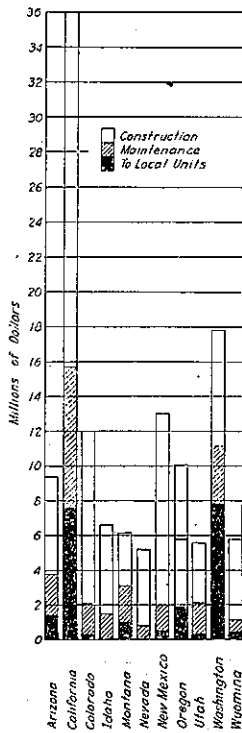
Washington 州——本州では未定であるが、新設及維持費として 10 056 000 弗が本年度豫算として見積られる。

工事費は 6 456 000 弗にして次の収入より得られる。州税 4 365 000 弗、1 等道路聯邦政府補助金 1 558 000 弗、2 等道路聯邦政府補助金 233 000 弗、立体交叉補助金 300 000 弗、維持費としては 3 600 000 弗が見積られてゐる。建設道路延長は 1 248 哩に達し、盛土 488 哩 5 141 500 弗、コンクリート鋪装 28 哩 1 221 800 弗、塗油施工 732 哩 1 375 600 弗、雑費 434 800 弗である。計畫橋梁は 32 にして 1 512 400 弗、立体交叉は 7 ヶ所 464 100 弗である。

32 橋梁中には 2 大橋梁が包含されてゐる。1 は Puget Sound を横断するものにして中央径間 2 800 呎、側径間各 1 100 呎あり總延長は 6 303 呎さる。橋脚の低水位上の高さは 455 呎、水深 120 呎にして橋脚基礎は低水下 175 呎に達する。幅員は車道 26 呎歩道各々 4 $\frac{3}{4}$ 呎であり、サスペンション橋である。最大桁下高は水上 210 呎に達する。

他の 1 橋は Washington 湖を横断する浮橋にして總延長は 6 560 呎あり 4 車道と 2 歩道を具備する。本橋と Seattle 市との連絡は 1 424 呎延長の 4 車道隧道により行はれる。本橋の總工費は 7 200 000 弗と見積られてゐる。

図-56. 西部諸州に於ける 1938 年度道路費使途—各郡市分配金、維持費、工事費等の分布表示



橋梁及構造物

(67) Marne 河に架せられた新橋梁

(M. Peyronnet, "Le Nouveau pont de Bry, sur la Marne." Le Génie Civil, 26. Novembre 1938, p. 441~445.
立花文勝抄)

本橋梁は佛國 Seine 縣, Marne 河に沿ふ Bry-sur-Marne と Le Perreux 兩地點間に架設せられたもので、渡河径間 67m の鉄筋コンクリートカンチレバー橋である。

在來橋は 3 径間 (支間 24.80m, 径間 24.00m) のラチストラスで橋梁幅員僅かに 7.50m, その中車道は 5m しか無く、乗合バスの頻繁な運行のため著しく狹隘を感じ、加ふるに橋臺の基礎が脆弱であつたので近年崩壞の度が進み危険さへも惹起するに到つた。橋脚及上部構造は別に異状は無かつたのであるが、何分河中に橋脚があるために著しく舟航の便を阻害し、且つ洪水の際充分水をはくことが困難であるので、縣會の決議により在來橋を改築することになつたのである。

設計のデータ：先づ洪水流過の問題であるが、Marne 河の通常堰上水位 33.33m に相応する所要流過幅員は 68m である。之に對し設計橋梁に於ける流過幅員は 67m に取つてある。尙桁下空間は 490m² 欲しいのであるが、實際は 518m² ある。従つて増水に對する危険は殆ど無い。

次に舟航の問題に就ては、左岸寄り及流心の 2 水路の外に、馬匹による曳船があるので、増水時にあつても曳船を続行し得る様、強制的に曳馬の通行路を左岸に設け、而もその高さを舟航し得べき最高水位 35.30m にする必要がある。此の事は橋梁型式選定上の重要因子となつてゐる。

接近道路の昂上區間が限られて居り、且つアプローチの最急勾配は 4% であるので、橋梁中央の車道面は 42.65m 以下でなくてはならない。實施設計にあつては 42.63m に止めてゐる。

橋梁全幅員は 18m, 内 10m が車道、兩側 4m 宛を歩道とする。尙この橋梁には直径 0.80m の配水管をも通す必要がある。又兩河岸にあつては幅員 6m, 桁下空間最小 3.50m の遊路を考慮しなければならない。

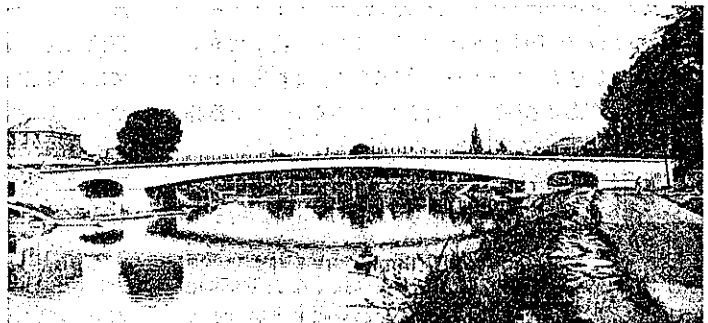
最後に審美的見地からの要求として

架橋地點が Paris 近郊にある關係上、交通の重要度に合致しない様な裝飾的構造は不必要だが、ある程度の審美的要素を保有せしめる事が論議に上り、この結果橋梁の形狀には簡単な曲線を用ひるとしても、周囲の景觀を損傷しないために、上部構造は上階式にする必要があつた。

橋梁型式の選定：上述の設計データより先づ渡河径間を 1 径間にするか、2 径間にするか問題となつたのであるが、2 径間のものは工事中を通じて假設工作物を必要とし、相當高價につく上に面倒なので、渡河径間は單径間を採用する事になつた。渡河径間の橋梁型式としては初めに拱橋が擧げられた。支間 67m の拱橋は決して難事ではなく、Paris には支間 74m の前例もあるのであるが、橋梁天端が 42.65m で抑へられてゐると、曳馬通路が 35.50m 上 2.50m の桁下空間を要するために、拱形をどうしても高さ 4.65m の矩形に内接せしめねばならず、従つて拱矢比は 1/22 となる。拱橋の拱矢比として 1/10 を超過することは出来ない。前記支間 74m の拱橋も拱矢比は 1/9.6 である。従つて拱橋案は却下されて、新しい大膽な試みが企てられた。即ち 1934 年の 7 月から 10 月にかけて懸賞設計募集を行ひ、19 の応募設計を得た。その中 4 は鉄筋コンクリートカンチレバー橋で優秀の折紙をつけられたが、更にこの中で Schwartz-Haumont 工務所設計のものが最も經濟的なりと断定され、従つて之を實施設計に採用することになつたのである。

實施設計：實施設計は図-57 に示す如く渡河径間 67m, 渡河支間 70.75m を有し、桁下面は低拋物線形を呈する。縦断面図は図-58 に見る如くであつて、渡河径間は兩側の 22.50m のカンチレバー部、中央 22m の吊径間に分たれる。渡河径間の兩側にある径間 8.60m の迫持部は、カンチレバー部に對する控径間であつて之と均衡を保つ。基礎はコンクリート杭である。

図-59 は横断面図を示す。22.50m なるカンチレバー
 圖-57. 左岸下流より見た Bry 橋梁



は鉄製の欄干を設備する。吊径間はカンチレバー部分に準じて幅 0.38m の縦桁を有する。カンチレバー部分と異なり、下側が応張側であるから、抗圧版は不必要である。可動端には径 0.26m のローラーを設ける。

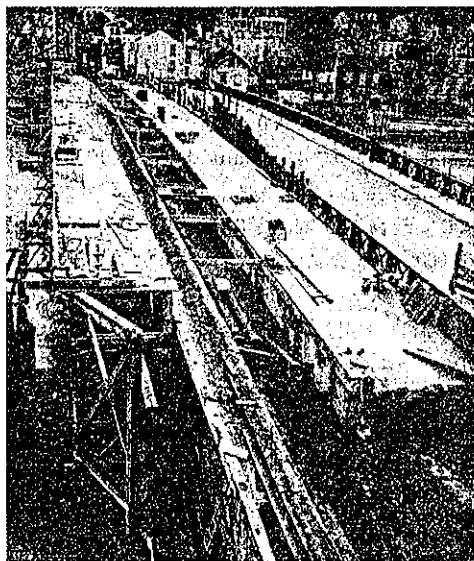
橋臺と橋礎との結合はヒンヂ構造とする(図-58)。橋礎は厚さ 1.35m、幅 7.50m の鉄筋コンクリート版である。杭はコンクリート場所詰杭で Société Pieux Franki の手で施工した。長さは橋臺によつて異なり、Bry 側は 17m、Le Perreux 側は 13m である。杭打の施工には鉄矢板締切工 (rideaux en palplanches métalliques) を用いた。

施工：新橋梁の中心線は在來橋の中心線とは一致せず、在來橋の上流側にオーバーラップして作られる事になるので、工事中交通に支障はない。施工は 2 段に分れる。

(1) 左來橋を交通に供した儘、新橋梁の上流側 3 縦桁を施工、車道 5m と上流側に 1.50m の板張歩道を設ける(図-60)。

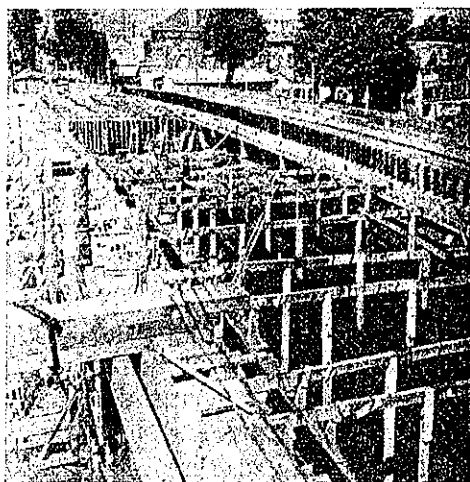
(2) 交通を取り換えて在來橋を破壊し、新橋梁の下流側を施工する(図-61)。

図-60. 上流側のコンクリート施工



この施工法では、各縦桁が横方向に獨立に働き、剛性に乏しくなる感と興へるけれども、決してそんな事はなく、接合部には何等の龜裂も認めない。然のみならず抗圧版にあつては縦方向のジョイントが作られた結果になる。

図-61. 下流側の配筋状態

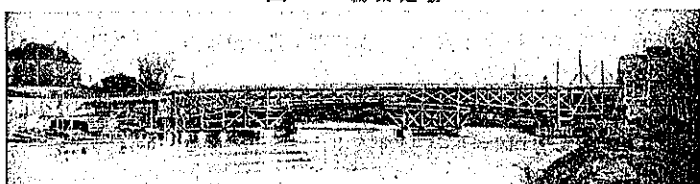


次に足場であるが、工事中も舟航に差支へない様に、図-62 に示す様に河中に杭を打ち、その上に三角足場を組み、更にその上部に高さ 600 及 700mm の標準型钢 (fers profilés normaux) を渡してその下を通航せしめる。尚足場は縦桁の數に応じて作る事になつてゐる。

施工第 1 段に使用した足場は反覆使用する。即ち第 1 段の施工が終ると在來橋を取毀すために新に足場 2 本を作り、取毀しが終了すれば第 1 段に用いた足場を取付け、合計 5 本の足場により第 2 段の施工に移るのである。

橋梁取付部に土砂を填充して橋梁全体のカウンターウエイトとして作用せしめる事は既述の通りであるが、今最も不利な載荷状態即ち渡河径間部分のみ載荷し、他の部分に荷重のない場合につき安定モーメントを計算してみると顛倒モーメントの 1.67 倍となる。尤も水面は通常水位の場合をとり土砂の比重は 1.6 として計算してある。水位が増加すれば勿論アルキメデスの原理によりカウンターウエイト部は重量を軽減する。この場合重量の減少を 1 t/m^3 とし既往最高水位 (la plus haute crue connue) 38.25m に對して安定モーメント對顛倒モーメントの比即ち安全率を算出してみると 1.09 となる。これは一寸危険の感があるが、縦桁 1 本につき 2

図-62. 橋梁足場



本宛の杭が打つてあるから、之が顛倒による引抜に對し抵抗するものと考へられる。又前記の計算は摩擦一切を無視してあるから安全率 1.09 は決して心配するには及ばない。

主要工事材料は次の如くである。

コンクリート

(ポルトランドセメントの量
400 kg/m³) 2 200 m³

型 枠 12 080 m²

鉄 筋 648 t

工事は 4500 000 フランに昇る。起工は 1935 年 5 月、途中事故があつて竣工が遅延し、完成したのは 1938 年 5 月である。1938 年 6 月 19 日、Seine 縣知事來臨の下に盛大な落成式が舉行された。

結論：新橋梁は吾人の知る限りに於て、カンチレバ-型式の鉄筋コンクリート橋梁中最大のものである。フランスにある類似の橋梁としては Marne 河に架せられた Château-Thierry 橋と、Aisne 河に架せられた Saint-Waast 橋とがあるが、何れも径間 61 m に過ぎない。外國殊に Czecho-Slovakia と獨逸に多數この型式の橋梁があるが皆径間長に於ては Bry 橋に遠く及ばない。

審美的見地からも本橋は独自の景觀を呈し、Marne 河を一跨ぎにぐつと伸び出た姿は洗練された力強い橋梁美を與へてゐる。

雜

(68) 米國開墾局の 1939 年度工事計畫概要

“Bureau of Reclamation Construction Program increased for 1939.”, West. Const. News, January 1939, p. 13~18.
中谷茂壽 抄

米國開墾局の工事計畫は昨年度に於て請負契約の成立した California の Shasta Dam, Colorado 州の Green Mountain dam と Vallecito dam, Utah 州の Deer Creek dam, Washington 州の Grand Coulee dam 等により益々擴大された。1939 年の初頭に於て Friant dam, Central Valley Project, Gramby dam, Colorado-Big Thompson Project 等が入札される筈である。同局では 1939 年度の工事並に研究費の豫算合計は 109 300 000 弗に達する。

All-American Canal Project—本工事は殆ど完了し雜工事を少量残すばかりで、本年度中に完成する筈である。

Boise Project—本工事も本年初期に完成する。

Boulder Canyon Project—1938 年度中に 82 500 kVA の 2 個の發電機が設置され Metropolitan Water District に電力を供給してゐる。Nevada 州の Searchlight, Nelson, Eldorado 諸市及 California 州 Needles 市間に 66 000 V の送電線が完成送電を行つてゐる。又 Arizona 州の都市へも 66 000 V の送電線が完成し送電してゐる。Los Angeles 市に Boulder 堰堤から送電する爲 287 000 V の送電線が 1939 年度に起工される。

1936 年 9 月 11 日に Boulder 堰堤の發電が開始されて以來既に 2 800 000 kW·hr. の電力を供給した。現在では 1 ヶ月に 130 000 000 kW·hr. を發電してゐる。

Buffalo Rapids Project—本工事は總べて直轄を以て行はれて居り、1939 年度中には主導水運河が完成する見込である。

Caballo Dam, Rio Grande Project—此の工事は (1) 洪水防止と河川制水の爲、(2) Rio grande Project に餘分の容量を與へる爲、(3) Elephant Butte dam に一定の發電力を與へる爲に施工された。堰堤は 1938 年中に完成した。

Central Valley Project—本計畫中の最大工事たる Shasta dam 工事は 1938 年度中に起工され、現在工事中である。本堰堤の高さは最高 560 呎、長さ 4 000 呎に達し容量は 4 390 000 ac-ft である。

本計畫中の他の堰堤 Friant dam は 1939 年 3 月 1 日後に入札される筈である。堰堤はコンクリート重力式にして最高 285 呎、長 3 450 呎、コンクリート量 1 766 000 yd³、容量 350 000 ac-ft にして洪水調節量 84 000 ac-ft である。Colorado-Big Thompson Project—本計畫の目的は Colorado 州東北部の 615 000 英町の土地に灌溉用水を供給する事であり、其の爲には數ヶ所に堰堤を築造し、69 023 呎の隧道を開墾する事が必要である。第 1 工事は Green Mountain 堰堤の築造と發電所の建設であり 1938 年 11 月に落札した。此の堰堤は土堰堤にして高さ 270 呎、長さ 1 300 呎、土量 4 450 000 yd³ ある。

本年春には隧道と Granby 堰堤が入札される筈である。此の堰堤は土堰堤式とコンクリート式の 2 型式で入札される。

Colorado River Project—Colorado 州の Marshall Ford 堰堤は現在 70% 竣功した。高さは 190 呎、長さ 2 325 呎コンクリート量 987 000 yd³ にしてコンクリート重力式である。此の堰堤は 265 呎まで嵩置出

来る様に設計されてゐる。

Columbia Basin Project—Grand Coulee 堰堤工事の最後の請負契約が 1938 年 3 月に成立した。此の堰堤は高さ 550 呎、長さ 4200 呎コンクリート量 10 600 000 yd^3 である。

Deschutes Project—本計畫には 2 堰堤、Wickiup と Crane Prairie が包含され、50 000 英町に給水する運河の建設が含まれる。Wickiup 堰堤は高さ 84 呎、長さ 12 000 呎、堰堤量 1 170 000 yd^3 にして、Crane Prairie 堰堤は 25 呎の高さにして延長 250 呎、堰堤量 35 000 yd^3 である。

Fruit Growers 堰堤—土堰堤にして 53 呎の高さ、延長 1500 呎、容量 4 100 英町呎ある。之は 1898 年に建設され 1937 年 7 月 13 日に洪水で破壊された舊堰堤の代りとして築造するものである。

Gila Project—本計畫は殆ど完成し運河の小工事を残すばかりである。

Kendrick Project—Kendrick 堰堤の補助堰堤なる Seminole 堰堤は 1938 年の終りに殆ど完成した。本堰堤は高さ 297 呎コンクリート量 171 000 yd^3 である。土堰堤なる Alcovia 堰堤は 1938 年春季に完成した。本工事は政府の直轄で行はれた。

Fresno 堰堤、Milk River Project—本工事は約 60% 完成した。堰堤は土堰堤にして高さ 90 呎、長さ 2 000 呎、土量 1 870 000 yd^3 である。

Parker 堰堤 Project—本工事は 1938 年 8 月に完成した。

Pine River Project—1938 年 3 月に Vallecito 堰堤工事の請負契約が成立した。土堰堤にして高さ 125 呎、長さ 4 000 呎、土量 3 700 000 yd^3 である。約 25% の出来高である。

Provo River Project—Deer Creek 堰堤は土堰堤にして高さ 230 呎、長さ 1 400 呎、土量 2 750 000 dy^3 である。本計畫には高架道及鉄道線路の移転工事が含まれてゐる。

Rio Grande Project—本計畫は完成した。

Riverton Project—運河並に送電線の建設中である。

Salt River Project—Bartlett 堰堤はコンクリート多拱式にして約 90% 完成した。高さ 287 呎、長さ 800 呎、容量 201 500 英町呎である。

Shoshone Project—現在運河及サイフォンの工事中である。

Truckee Storage Project—Boca 堰堤は高さ 110 呎、長さ 1 650 呎にして 41 000 英町呎の容量を有し、約 90% 完成にしてゐる。

Sun River Project—現在分水用運河の建設中。

Upper Snake River Storage Project—Island Park 堰堤は土堰堤、高さ 85 呎、長さ 1 600 呎、容積 500 000 yd^3 にして 1938 年秋に完成した。Grassy Lake 堰堤は容積 600 000 yd^3 にして 1939 年夏に完成する見込である。

Yakima Project—Roza Diversion 堰堤及運河は 1939 年初頭に完成する。