

斜め格子桁橋の曲げモーメントの計算法

岡 尚 平*

要旨 主桁を並列した斜めプレートガーダー橋構造の支間中央に、主桁に直角に1本の荷重分配横桁を入れた格子構造について、斜角を考慮して荷重分配率の各桁の曲げモーメントおよびその影響線を求め、計算例として、4主桁、1横桁の斜桁橋について、斜角を変えて種々の設計荷重状態での桁の曲げモーメントを比較した。

1. 緒 言

道路の線形が重視され、橋梁は道路の一部とすると外的に斜橋構造を余儀なくされることがしばしばである。しかし、現在では斜桁橋の合理的な設計方法が確立されていないので、直桁橋の計算法で代用している。直桁橋の場合にも、成岡教授が指摘しているように、桁橋でありながら桁橋らしい設計計算法をとらず、桁の設計を行うのが通例である。桁橋の実験応力解析学的研究によると、荷重の分配がいちじるしいことが認められる。斜桁橋構造においても、N.M. Newmark¹⁾の広範な模型実験によつて、直橋の場合と異つた性質が認められ、慣例的に使用してきた設計計算法を再検討しなければならないと思う。

著者はさきに、斜プレートガーダー橋の床板を、主桁と直角方向の微小幅の横桁の連続したものと考え、床板による荷重分配作用によつて、斜桁橋の性質を検討した²⁾。この定性的な結果より推察すると、この性質を支配する要素は、支間と幅員の比、斜角、相関剛比および載荷状態などであると思われる。しかし、この方法を設計計算に適用するには、非常な労力を要する。また模型桁橋の実験によれば、種々の要素による定量的な数値は得られているが、これを異なつた要素を含む個々の実在橋にそのまま用いることはむづかしい。従つて、著者は、設計計算に用いられる程度の簡便さを目標に、支間中央に主桁と直角に1本の荷重分配横桁を入れた斜格子桁構造の解法を研究した。

斜桁橋構造において、荷重分配横桁の配置が問題となる。H. Beer³⁾等は橋台線に平行に置いている。わが国でも、従来しばしば橋台線に平行に置かれていたが、鋼道路橋設計示方書(昭30)に従い、荷重分配横桁を床桁と考え、第76条に「床ゲタはなるべく主ゲタに直角に配置する……」とあり、その解説には「床ゲタは主ゲタに直角に配置するのが原則である。床ゲタを斜に

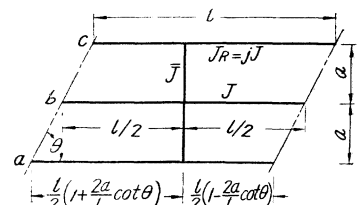
配置すると細部の構造に無理を生じ、製作も困難となるから、斜橋の場合でもなるべく主ゲタと直角に配置するのがよい……」と書かれている。従つて著者は、支間中央に主桁と直角に配置した斜格子桁の荷重分配横桁による各主桁の荷重分配率を求め、さらに曲げモーメントの影響線を書いて数値計算を行つたので、ここに報告したいと思う。

2. 横分布数

(1) 3主桁、1横桁、斜度 θ

主桁間隔の等しい並列主桁からなり、中桁の中央に荷

図-1 3主桁、1横桁、斜度 θ



つ図-1のような3主桁、1横桁、斜度 θ の構造を考える。各桁の断面2次モーメントを図-1のように定め

る。また F. Leonhardt⁴⁾の場合と同様に、各桁の振り剛性を無視する。

いま $p_b=1$ が桁 b の格点に働くとき各桁の格点に q_{ik} の反力が生ずると、格点の釣合条件から

$$q_{ab}=q_{cb}=\frac{jZ}{2jZ+\alpha Z+2j}, \quad q_{bb}=\frac{2j+\alpha Z}{2jZ+\alpha Z+2j} \quad \dots\dots\dots(1)$$

が導かれる。ここで

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \left(1 + \frac{2a}{l} \cot \theta\right)^2 \left(1 - \frac{2a}{l} \cot \theta\right)^2, \\ Z &= \frac{\bar{J}}{J} \left(\frac{l}{2a}\right)^3, \\ \pi - \tan^{-1} 2a/l &\geq \theta \geq \tan^{-1} 2a/l \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

同様に $p_a=1$ が桁 a 格点に働いたとき

$$\left. \begin{aligned} q_{aa} &= \frac{j+jZ}{\alpha Z+2j+2jZ} + \frac{1}{2} \\ q_{ba} &= \frac{\alpha Z}{\alpha Z+2j+2jZ} \\ q_{ca} &= \frac{j+jZ}{\alpha Z+2j+2jZ} - \frac{1}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

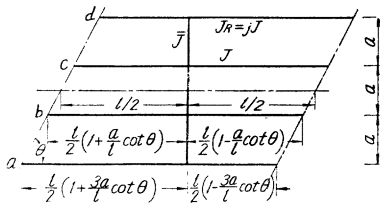
ただし q_{ik} は荷重 $p_k=1$ が桁 k 格点に働いたときの桁 i 格点の反力の影響数である。 $\theta=\pi/2$ のときには $\alpha=1$ となつて F. Leonhardt の与えた横分布数と一致する。

* 准員 大阪府技師 土木部道路課

(2) 4 主桁, 1 横桁, 斜度 θ

図-2 の構造でも同様の操作によつて, 格点位置において次式をうる。

図-2 4 主桁, 1 横桁, 斜度 θ



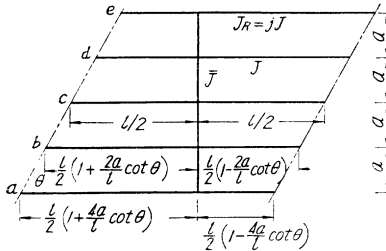
$$\left. \begin{aligned} q_{aa} &= 1 - \frac{\alpha}{N_1'} - \frac{\alpha}{N_2'}, & q_{ba} &= \frac{\alpha}{N_1'} + \frac{3\alpha}{N_2'} \\ q_{ca} &= \frac{\alpha}{N_1'} - \frac{3\alpha}{N_2'}, & q_{da} &= -\frac{\alpha}{N_1'} + \frac{\alpha}{N_2'} \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned} q_{ab} &= \frac{\beta j}{N_1'} + \frac{3\beta j}{N_2'}, & q_{bb} &= 1 - \frac{\beta j}{N_1'} - \frac{9\beta j}{N_2'} \\ q_{cb} &= -\frac{\beta j}{N_1'} + \frac{9\beta j}{N_2'}, & q_{db} &= \frac{\beta j}{N_1'} - \frac{3\beta j}{N_2'} \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\left. \begin{aligned} N_1' &= 10 j Z + 2 \beta j + 2 \alpha, \\ N_2' &= 6 j Z + 18 \beta j + 2 \alpha \\ \alpha &= \left(1 + \frac{3a}{l} \cot \theta\right)^2 \left(1 - \frac{3a}{l} \cot \theta\right)^2 \\ \beta &= \left(1 + \frac{a}{l} \cot \theta\right)^2 \left(1 - \frac{a}{l} \cot \theta\right)^2 \\ \pi &= \tan^{-1} 3a/l \geq \theta \geq \tan^{-1} 3a/l \end{aligned} \right\} (6)$$

(3) 5 主桁, 1 横桁, 斜度 θ (図-3)

図-3 5 主桁, 1 横桁, 斜度 θ



$$\left. \begin{aligned} q_{aa} &= 1 - \frac{\alpha(2+2Z+\beta Z)}{N_1'} - \frac{\alpha}{N_2'} \\ q_{ba} &= \frac{\alpha(5+2Z)}{N_1'} + \frac{2\alpha}{N_2'} \\ q_{ca} &= \frac{2\alpha(-3+\beta Z)}{N_1'} \\ q_{da} &= \frac{\alpha(5+2Z)}{N_1'} - \frac{2\alpha}{N_2'} \\ q_{ea} &= -\frac{\alpha(2+28+\beta Z)}{N_1'} + \frac{\alpha}{N_2'} \\ q_{ab} &= \frac{5\beta+2\beta Z}{N_1'} j + \frac{2j\beta}{N_2'} \\ q_{bb} &= 1 - \frac{16j\beta+(2\beta j+\alpha\beta)Z}{N_1'} - \frac{4j\beta}{N_2'} \end{aligned} \right\} (7)$$

$$q_{cb} = \frac{22j\beta+2\alpha\beta Z}{N_1'} \quad \dots (8)$$

$$q_{db} = -\frac{16j\beta+(2\beta j+\alpha\beta)Z}{N_1'} - \frac{4j\beta}{N_2'}$$

$$q_{eb} = \frac{5\beta+2\beta Z}{N_1'} j - \frac{2j\beta}{N_2'}$$

$$q_{ac} = \frac{2j(\beta Z-3)}{N_1'}, \quad q_{bc} = \frac{22j+2\alpha Z}{N_1'} \quad \dots (9)$$

$$q_{cc} = 1 - \frac{32j+(4j\beta+4\alpha)Z}{N_1'}$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{4a}{l} \cot \theta\right)^2 \left(1 - \frac{4a}{l} \cot \theta\right)^2$$

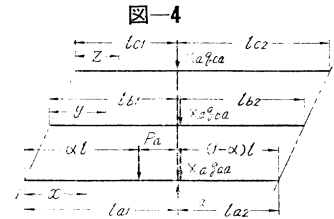
$$\beta = \left(1 + \frac{2a}{l} \cot \theta\right)^2 \left(1 - \frac{2a}{l} \cot \theta\right)^2 \quad \dots (10)$$

$$N_1' = \frac{14j}{Z} + (32\beta j + 32j + 4\alpha) + [4\beta j + (4+2\beta)\alpha]Z$$

$$N_2' = \frac{8j}{Z} + 8\beta j + 2\alpha$$

3. 主桁の曲げモーメント

図-4 の構造で桁 a の点 $\{a, l, (1-\alpha)l\}$ に集中荷重 p_a が作用した場合を考える。いま, 横桁位置が剛な支点とすると, その格点反力は



$$\left. \begin{aligned} X_a &= \left\{ \frac{\alpha l}{l_{a1}} + \frac{\alpha}{Z} \left(1 + \frac{l_{a1}}{l_{a2}}\right) \left[1 - \left(\frac{\alpha l}{l_{a1}}\right)^2\right] \right\} p_a \\ X_b &= X_c = 0 \end{aligned} \right\} (11)$$

が生ずる。よつて桁 a を横桁位置で支点が沈下しないように支持された不等スパンの連続バリエを考えると, 断面 x の曲げモーメント M_{ax}' は, 支間 l の単純バリエの曲げモーメント M_{a0} と格点反力 X_a より次のようになる。

$$M_{ax}' = M_{a0} - X_a \frac{l_{a2}}{l} x \quad \dots (12)$$

格点の沈下を許すと X_a が逆向きに作用し, 桁 a, b および c には, $X_a q_{aa}$, $X_a q_{ba}$ および $X_a q_{ca}$ がそれぞれ分配され, 桁 a では

$$\begin{aligned} M_{ax} &= M_{ax}' + X_a q_{aa} \frac{l_{a2}}{l} x = M_{a0} \cdot q_{aa} \\ &+ (1 - q_{aa}) M_{ax}' \quad \dots (13) \end{aligned}$$

となり, 単純バリエおよび連続バリエの曲げモーメントと分配率からただちに求められる。不載荷桁 b, c の断面 y, z については, 格点位置にそれぞれ $X_a q_{ba}$, $X_a q_{ca}$ が伝わるので,

$$M_{by} = X_a q_{ba} \frac{l_{b2}}{l} y, \quad M_{cz} = X_a q_{ca} \frac{l_{c2}}{l} z \quad \dots (14)$$

となる。式 (11) より格点反力 X_a がただちに求まり、各桁の曲げモーメントも簡単に計算される。

4. 主桁の曲げモーメントの影響線

図-4 で桁 a の断面 x の曲げモーメントの影響線を求める。桁 a については、単純バリの影響線と格点で剛に支えられたときの格点反力の影響線 X_a 、および格点反力の桁 a の受持分 $X_a q_{aa}$ の断面 x に関する影響値を考慮して、

$$\frac{x(l-x)}{l} - X_a(1-q_{aa}) \frac{l_{a2}}{l} x, \quad 0 \leq x \leq l_{a1} \quad (15)$$

となる。桁 b および c については、横桁を通じて力が桁 a 格点に伝達されるので、次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} b \text{ 桁 } X_b q_{ab} \frac{l_{a2}}{l} x &= X_b q_{ba} \frac{j l_{b1}^2 l_{b2}^2}{l_{a1}^2 l_{a2}^2} \frac{l_{a2}}{l} x \\ c \text{ 桁 } X_c q_{ac} \frac{l_{a2}}{l} x, \quad 0 \leq x \leq l_{a2} \end{aligned} \right\} (16)$$

ここで、 $X_a X_b$ および X_c はそれぞれ主桁における格点の反力の影響線である。従つて式 (15), (16) を用いて、桁 a の断面 x に関する a, b, c 桁の曲げモーメントの影響線が画かれる。3 主桁以外の場合にも同様に求めることができるが、直格子桁の場合のように、 $q_{ik} j_k = q_{ki} j_i$ が横桁取付位置によつて、必ずしも成立しないのは注意すべきである。

5. 横桁の曲げモーメントおよびその影響線

1 本の横桁を持ち、同じ性質の主桁を持つ格子桁の場合、横分配影響値は同時に格点の反力の影響値である。従つて、横分布数を用いて、横桁の曲げモーメントが求められる。いま図-5 のように、4 主桁構造の横桁で、桁 a の格点に $p_a=1$ が働いたとき、横桁の断面 y の曲げモーメントは

$$M_{ya} = (q_{aa} - 1)a + q_{ba} \cdot b \quad (17)$$

となる。同様に桁 b の格点に $p_b=1$ が働いたときは、

$$M_{yb} = q_{ab} \cdot a + (q_{bb} - 1)b \quad (18)$$

となり、 M_{ya}, M_{yb} は桁 a, b の格点の影響縦距を表わす。従つて、主桁方向には格点における反力の影響線を組み合わせると、曲げモーメントの影響線が書ける。

横桁上の断面 y に $p_y=1$ が働いたとき、主桁格点の

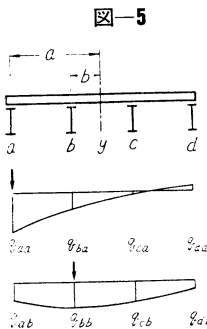


図-5

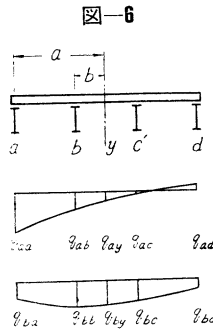


図-6

反力の影響値 q_{ay}, q_{by} は、図-6 のように桁 a について a, b, \dots から反力の影響値を書き、桁 b についても同様の操作を行つて、 q_{ay}, q_{by} を読み取ると、

$$M_{yy} = q_{ay} \cdot a + q_{by} \cdot b \quad (19)$$

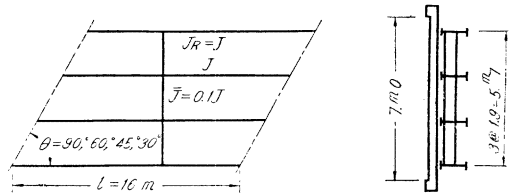
となる。また 4 主桁、1 横桁の斜度 θ の場合、横桁を主桁位置で弾性支持されたハリとして横桁の中央に $p_y=1$ が載つたとき、横桁について三連モーメント式より、 q_{ay}, q_{by} は次のようになる。

$$q_{ay} = \frac{j(4\beta Z - 3)}{8[4j + (\alpha + \beta)Z]}, \quad q_{by} = 0.5 - q_{ay} \quad (20)$$

6. 数値計算

図-7 のような 4 主桁が並列し、橋梁の中心線の支間中央に主桁に直角に 1 本の荷重分配横桁で結ばれた斜格子桁構造を考える。 $l=16\text{m}, b=7\text{m}, J_R=J, \bar{J}=0.1J$ とし、斜角を $90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ と 4 種類にかえて、横桁位置における荷重分配率を求め、さらに耳桁、中桁の支間中央断面、横桁中央断面の曲げモーメントの影響線を書いて考察したいと思う。

図-7 数値計算桁橋



(1) 荷重分配数

耳桁、中桁の横桁位置での荷重分配数を表-1 に示す。耳桁載荷の場合、斜角が鋭くなるに従つて荷重の集中性が表われる。中桁載荷の場合は、斜角が鋭くなるに従つて荷重分配横桁の取付位置が耳桁ほど桁端に近くなるので、それだけ耳桁が補強されて荷重が分散する傾向が表われる。

表-1 横分布数

斜角	90°	60°	45°	30°
q_{aa}	0.764 7	0.777 5	0.802 8	0.881 3
q_{ba}	0.331 5	0.312 1	0.274 0	0.161 2
q_{ca}	0.042 9	0.043 3	0.043 2	0.033 6
q_{da}	-0.139 1	-0.132 9	-0.120 1	-0.076 1
q_{ab}	0.331 5	0.337 7	0.349 1	0.384 8
q_{bb}	0.379 9	0.371 6	0.357 0	0.310 8
q_{cb}	0.245 7	0.243 8	0.238 8	0.224 2
q_{db}	0.042 9	0.046 9	0.055 1	0.080 2

(2) 曲げモーメント

単純バリ、連続バリの曲げモーメントおよび反力の影響と、荷重分配数を組みあわせて求めた各桁の影響線を、そのまま影響面と考え、鋼道路橋設計示方書 (昭 30) に従つて、耳、中桁については、a) 一等橋の T-荷重およびその前後左右に 350kg/m^2 の等分布荷重をのせた場

合, b) 主桁に直角に L-荷重と等分布荷重をのせた場合, c) 第 9 条解説に従い, 斜角方向に L-荷重と等分布荷重をのせた場合について, 影響面より衝撃を含まない活荷重による曲げモーメントを計算した。この結果を図-8,9 に示す。さらに, 荷重分配横桁については, これを床桁と考えると, T-荷重をのせた場合の曲げモーメントを計算し, これを図-10 に示す。

7. 考 察

以上, 主桁並列形式の斜桁構造を対象として, 横桁による荷重分配率および曲げモーメントの求め方を述べた。この結果について考察を加えたい。

まず斜角が鋭くなるに従って, 耳桁の荷重分配率は減少し, 中桁では増加する。斜桁橋を直交異方性平行四辺形板と考えた場合³⁾, また床板のみが荷重分配作用をすることを考えた場合⁴⁾, 耳桁, 中桁ともに他の桁の協力作用が低下する。このことはイリノイ大学で行われた模型実験¹⁾とも一致しているが, 実験に使用された模型桁の横桁(ダイヤフラム)は, 比較的剛性が小さいので, いちじるしい効果が認められていない。結局, 横方向の剛性が小さい場合は荷重の集中性が表われるが, 格子構造として積極的に剛性の大きい荷重分配横桁を用いた場合は異なるのではないと思われる。

曲げモーメントについては, 集中荷重と群集荷重に分けて考える。

集中荷重については, 各桁の支間中央に集中荷重が働いていたとき, その位置における曲げモーメントを表-2 に示した。ここでは斜角の鋭さに従って各桁とも曲げモーメントは増加するのは, 式(15)において横桁位置の反力の影響値によるとと思われる。横桁についても, 直格子桁橋の場合でも慣用計算法の 1.9 倍であり, 斜角に従ってさらに増加の傾向がある。

表-2 集中荷重による曲げモーメント (m)

	慣 計 算 法	90°	60°	45°	30°
耳桁支間中央	4.000P	3.059P	3.363P	3.652P	3.860P
中桁	4.000P	1.520P	1.738P	1.863P	2.027P
横桁中央	0.425P	0.811P	0.821P	0.840P	0.897P

群集荷重として設計荷重を考えると, 斜角が鋭くなるに従って主桁では曲げモーメントが減少し, 横桁では増加する。耳桁については図-8 に示すように, 慣用計算法と格子計算法による曲げモーメントは非常に異なっている。もちろん床版の持送り部の張出長さが影響するので, 他の構造形式にそのまま適用することはむづかしいと思われるが, 斜角が鋭くなるに従っていちじるしく減少しても, 慣用計算法によるとなお危険側である。中桁については, 斜角が鋭くなると慣用計算法では安全側になってくる。また横桁については, 剛度無限大の主桁に

図-8 耳桁支間中央の曲げモーメント

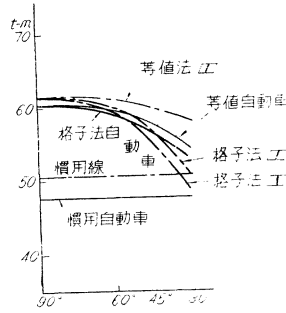
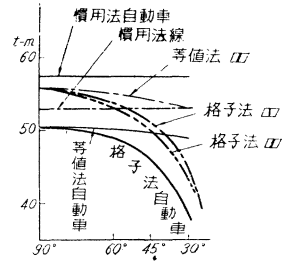
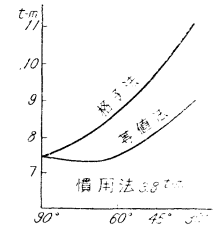


図-9 中桁支間中央の曲げモーメント



支持された単純バリと考えた慣用法にたいし, 桁全体を弾性バリと考えた格子桁法がより合理的で, その値が直橋の場合でも約 2 倍であることは注目すべきである。さらに斜角が鋭くなるに従って, 各主桁の剛度が変わるためにタワミの不均一性が顕著に表われ, ますます危険側になる。

図-10 横桁中央の曲げモーメント



W. Tischer⁶⁾ は日本流の斜角の取り方に従って, 60°までの格子桁橋では, 橋台線に平行におかれた荷重分配横桁について,

$$I_{Q'} = I_Q (l_{Q'} / l_Q)^3$$

$I_Q, I_{Q'}$: 直および斜橋横桁の断面 2 次モーメント

$l_Q, l_{Q'}$: " の支間 "

として, 等値の直格子桁橋にみなしている。また, F. Leonhardt⁴⁾ は各主桁において, 荷重 $P=1$ をうける格点のタワミが, 対応直橋の格点のタワミと等しくなるように, 斜桁橋の主桁の断面 2 次モーメントが補強されたと考えて, 等値の直橋としての取扱いを示している。この計算法による結果を, 前記計算法と同様に図-8,9,10 に書いたが, 斜角が鋭くなるに従って, 著者の計算法との差が大きくなり, 斜角が鋭くなるとこの方法を代用するのは無理であると思われる。

8. 結 言

以上, 斜格子桁橋において荷重分布数を求め, それを用いて主桁および横桁の曲げモーメントおよび曲げモーメントの影響線の求め方を述べた。さらに 4 主桁, 1 横桁, 支間幅員比が約 3, 格子剛度が 7.46 の桁橋について, 斜角を変えて衝撃を含まない活荷重曲げモーメントを計算し斜角による変化をみた。しかしこの計算は, 桁の振り抵抗が比較的小さいガーダー橋を対象としており, 鉄筋コンクリート T 型桁橋などのように振り抵抗が大きい場合は, 定量的に異なるであろうが, 斜桁橋の

性質を表わしている。

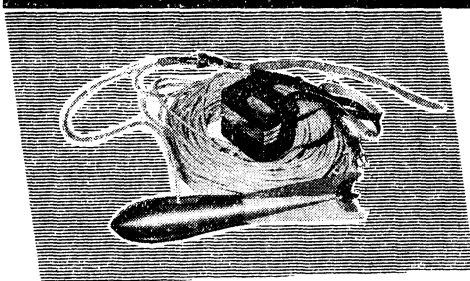
斜桁橋は、支間幅員比、斜角、格子剛度および載荷状態などによつて複雑多岐であり、これらの要素の影響の究明は実験にまつところが大きい。しかし著者の方法は実用設計計算法として比較的簡単であるので、斜桁橋の設計計算の資料の一端となれば幸いである。

最後に種々御教示願つた京大教授成岡博士に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) N.M. Newmark, C.P. Siess, W.M. Peckham : University of Illinois Bulletin No. 375
- 2) 岡 尚平：第7回日本工学会大会（昭31.5）で講演
- 3) H. Beer u. F. Resinger: *Genaue Berechnung schiefer Trägerrostbrücke mit Einflusslinien*, Bauing 30 (1955)
- 4) F. Leonhardt: *Die vereinfachte Trägerrostberechnung*
- 5) 米沢 博：直交異方性板理論の斜桁橋構造への適用に関する研究、土木学会誌 40 卷 10 号
- 6) W. Tischer: *Regelformen für einfache Strassenbrücken kleiner Stützweiten*, Bauing 27 (1952)

河川・水路の流速測定並に流況状態の調査用



(写真説明) 左上A型・右下B型

◎ A型 (高速用)

流速測定範囲 0.1~10 m/sec

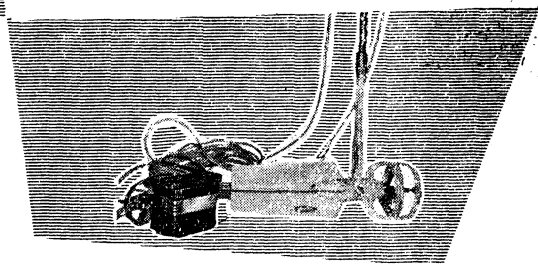
◎ B型 (低速用)

流速測定範囲 0.05~3 m/sec

其他製品 電気水質計・電気水温計

CM-1型電氣流速計

- (1) 直 読 式
- (2) 操 作 簡 単・軽 量
- (3) 電 源 不 用
- (4) 瞬 間 流 速 測 定 可 能
- (5) 遠 隔 測 定・自 動 記 録 可 能



東邦電探株式会社

本 社 東京都中央区日本橋通り 2-3 (協同軽金属ビル) TEL.(27)3231~5

工 場 東京都品川区東大崎 1-781

TEL.(49)4265



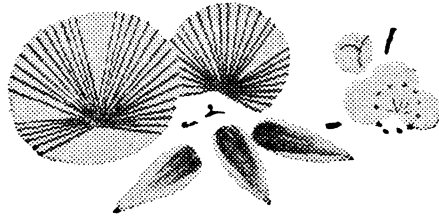
御一報次第
説明書データー贈呈

空気連行材 (A.E.A)

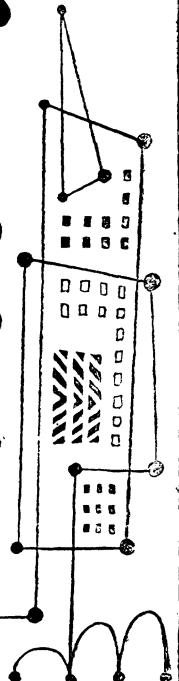
プロテックス 日本海外商事株式会社

本 社 東京都中央区八重洲3の7 東京建物ビル4階
電話千代田 (27) 6601(代)直通6600・6929・6930
支 店 大阪市東区北浜4の38 電話本町 (26) 4878・8879
出張所 名古屋市中区南大津通1の9 電話中 (24) 4936

賀 1957 正



麻生セメント



麻生ポゾランセメント



麻生メソソリセメント



麻生早強ポルトランドセメント

創業 明治十七年
資本金 7 億円

麻生産業株式会社

社長 麻生 太賀吉

本社 福岡県飯塚市 工場 福岡県田川市
支社・支店 東京・名古屋・大阪・広島・門司・若松・福岡