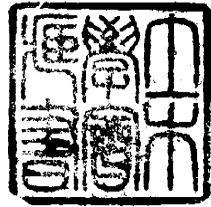


昭和32年度・講習会テキスト

星

最近の合成桁について



大 阪 大 学

安 宅 勝

最近の合成桁について

大阪大学 安宅 勝

1. 序 論

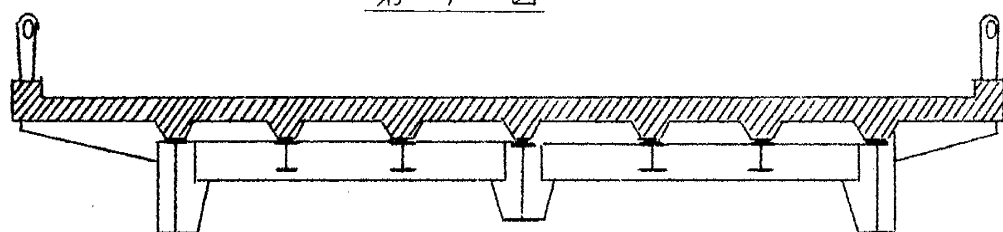
最近の橋梁構造の顕著な特質は構造の立体化ということであろう。従来の橋梁構造においては橋梁の各部分は、それぞれ独立の作用をする平面構造として取り扱われてきたのであるが、これらの部分を有機的に結合して主構の一部として利用し、経済的な設計をしようとする傾向が強くなつてきている。床版のコンクリートと鋼桁を結合したものが合成桁であることは衆知のことであるが、横桁或は対傾構を利用して主桁の荷重分配を行わしめれば、いわゆる格子桁となる。

合成桁の工法が我国にとり入れられてから近々数年を経過したのみであるが、道路橋に関してはこの工法の普及に幾分の努力をした我々にとつてはまことに喜ばしいことである。合成桁は当然 格子構造と結び付いて発達すべきであるにもかかわらず、格子構造の計算が余り普及しないのは一見奇異に感ぜられる。これは一つは現行の鋼道路橋設計示方書が、主桁の計算に対して等分布荷重及び線荷重を採用したために格子構造に対する荷重分配の利益が充分に利用できないためにもよるのであるが、車輪荷重に対しては非常に有利になり、又、*overlord* に対する安全率を高める上において考慮すべき形式である。

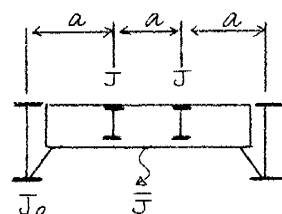
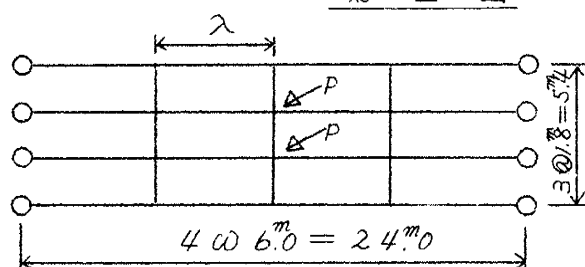
格子桁が経済的に有利になるのは橋梁の巾員が広く、主桁数の多

い場合である。この場合には格子作用によつて主桁に対する載荷巾 ω が増すから荷重の軽減が行われるからである。特に床組を格子構造にすると車輪荷重を分配するから有利である。この意味において巾員の広い場合は主桁の間隔をはなして床組を格子と考えた第1図の構造が有利のように考えられる。断面は勿論、合成桁である。

第 1 図

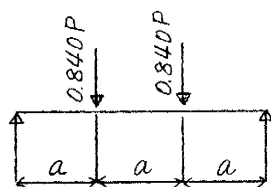


第 2 図



$$\frac{J_0}{J} = 50, \quad \frac{J}{J} = 0.65$$

$$k = \frac{J}{J} \left(\frac{a}{\lambda} \right)^3 = 0.0176$$



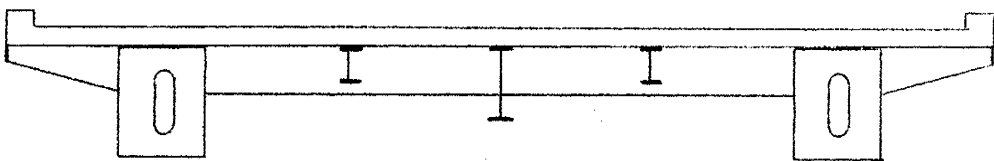
床組に対する格子作用のノ例を示すと第2図を得る。主桁と縦桁との断面二次モーメントの比 $\frac{J_0}{J} = 50$, 縦桁と横桁との比

$\frac{\sigma}{\sigma_y} = 0.65$ の場合である。これは慣用計算によつて求めた断面を使用した場合であるが、これでも横桁に分配される荷重は慣用計算の場合に比して76%減となつてゐる。縦桁のモーメントも勿論軽減される。

ボックスガーダーは、これを鋼床版の形で用いると床構造としての板厚の要求が大となるために、スパンが相当に大きくならぬと、鋼重が増して経済にならぬが、合成ボックスガーダーの形で用いると有利である。又、捩れ剛性が大であるから、合成格子ボックスの形で用いるのがよい。

スパンが大で巾員の広い場合は第3図のような形式が面白く思われる。シングルウェブのガーダーに比して、その捩れ剛性のために荷重分配がさらに有利になるから、この性質を利用して床組の重量の軽減を計るのである。

第 3 図



本稿においては先づ格子桁の理論を略述し、次に合成桁に関する2, 3の問題について説明することにする。

2 格子桁の理論

格子桁においては、主桁及び横桁の捩れ剛性を無視し、横桁を弾性支承上の梁として解析するのが普通である。主桁にボックスガーダーを使用したような場合は主桁の捩れ剛性は無視できないから、これも考慮して、さらに有利な計算を行うことができる。本節においては主桁及び横桁の捩れ剛性を無視した場合、単純梁格子桁の理論を略述する。連続梁の場合も格子桁として取り扱い得るが省略する。教科書として最も普通なのは次のようなものである。

Leonhardt : Vereinfachte Trägerrost Berechnung

Homberg : Kreuzwerke

Homberg : Einflussflächen für Kreuzwerke

これらの書籍は数表を利用するようにできているが、数値的な値ばかりが掲げてあり、理論の原理は、与えてある表現が抽象的で理解し難いが、表を利用するつもりなら極めて便利である。主桁数が10本迄なら単純梁の場合には任意数の横桁の場合に厳密な値を求め得る。尤も *Leonhardt* の著書にも説明してあるが荷重分配には1径間に必要な横桁は3内至4本で、これ以上用いても鋼重を増すばかりで分配の効果は上らない。連続梁の場合は、以上の著書には特別な場合の値のみが掲げてある。

主桁の数が任意の場合の階差方程式による解、或は任意数の横桁を持つ連続梁の場合については拙著（並刊）を参照されたい。

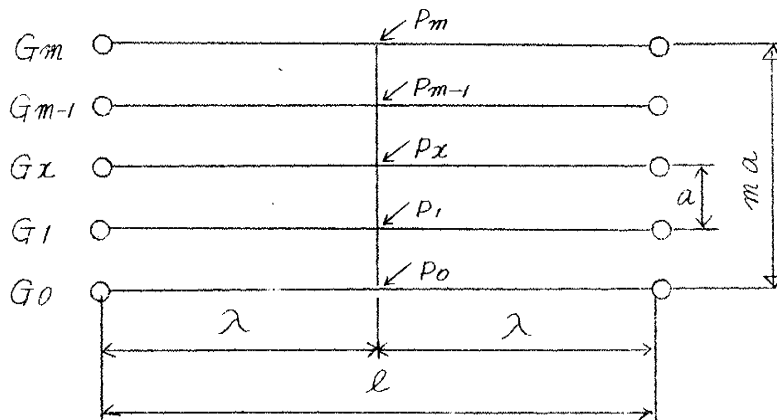
横桁 / 本を有する格子桁

第4図において主桁 G_x に分配される荷重を X_x とすれば横桁に分配される荷重は $P_x - X_x$ となる。又節点の撓みを W_x とすれば、

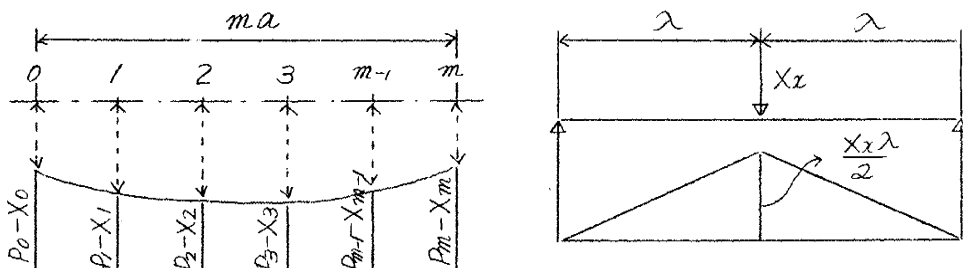
$$W_x = \frac{X_x \ell^3}{48 E J_x} = \frac{X_x \lambda^3}{6 E J_x}$$

となり、撓みは X_x に比例する。即ち、横桁は弾性支承上の梁として取り扱うことができる。 J_x は主桁 G_x の断面二次モーメントである。

第 4 図



第 5 図



横桁の平衡条件として第5図にて

$$\left. \begin{aligned} m(P_0 - X_0) + (m-1)(P_1 - X_1) + \dots + (P_{m-1} - X_{m-1}) &= 0 \\ (P_1 - X_1) + 2(P_2 - X_2) + \dots + m(P_m - X_m) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots 1)$$

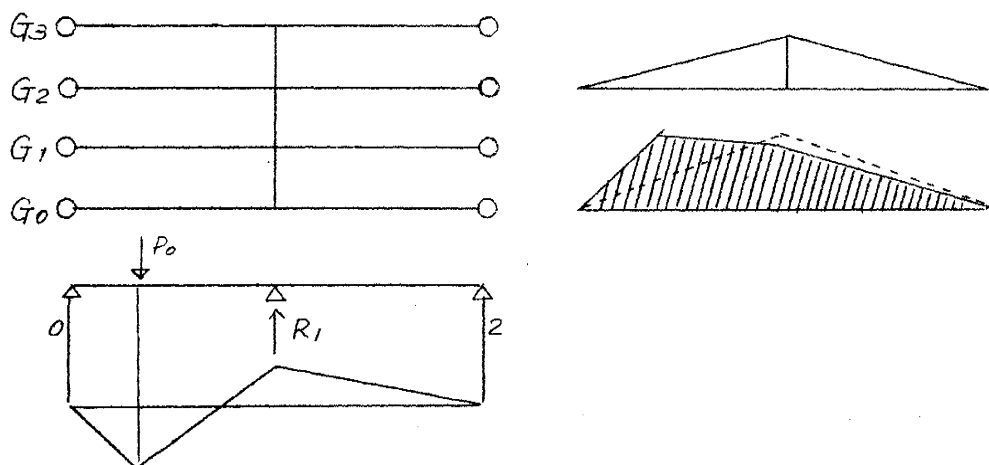
従つて耳桁の分配荷重 X_0 と X_m は中間主桁の分配荷重で現わし得るから X_x を不静定量として選んだ場合に不静定の次数は $(m-1)$ 次となる。

さらに X_x に関しては

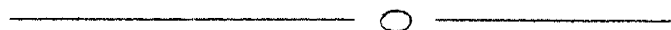
$$\sum_0^m X_x = \sum_0^m P_x \dots \dots \dots 2)$$

これは求めた結果の検算に利用する。

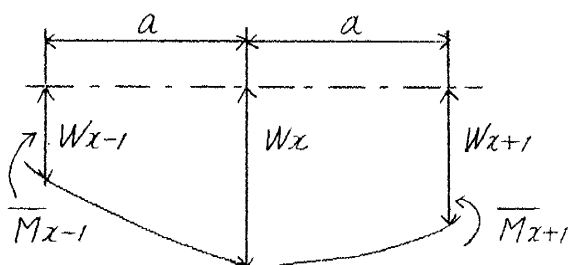
第 6 図



節点以外の点に荷重が作用した場合は、たとえば第6図において G_0 上に荷重がある場合は連続梁としての支点反力 R_i を荷重として主桁に分配すればよい。但し主桁 G_0 には連続梁としての曲げモーメントが附加される。



第 7 図



今、横桁の曲げモーメント $\bar{M}_x$ 断面二次モーメント、 $\bar{J}$ 主桁の二次モーメント $\bar{J}_x$ とすれば横桁が主桁と交わ

る任意の点 x について次の3連モーメント式が成立する。

$$\frac{\bar{M}_{x-1}}{a} + 4 \frac{\bar{M}_x}{a} + \frac{\bar{M}_{x+1}}{a} = -\frac{6E\bar{J}}{a^3} (W_{x-1} - 2W_x + W_{x+1}) \quad \dots\dots\dots 3)$$

$$\text{然るに } W_x = \frac{X_x \ell^3}{48E\bar{J}_x} = \frac{X_x \lambda^3}{6E\bar{J}_x}$$

今、主桁の基準の $\bar{J}$ を元にして $\bar{J}_x = j_x \bar{J}$ と表示すれば、

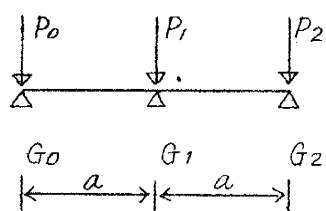
$$\begin{aligned} & k \left(\frac{\bar{M}_{x-1}}{a} + 4 \frac{\bar{M}_x}{a} + \frac{\bar{M}_{x+1}}{a} \right) \\ &= - \left(\frac{X_{x-1}}{j_{x-1}} - 2 \frac{X_x}{j_x} + \frac{X_{x+1}}{j_{x+1}} \right) \quad \dots\dots\dots 4) \end{aligned}$$

$$\text{但し } k = \frac{\bar{J}}{\bar{J}_x} \left(\frac{a}{\lambda} \right)^3$$

4) の左辺の M_x, M_{x-1}, M_{x+1} 等は横桁を単純梁と考え荷

重を $P_x - X_x$ としたときの曲げモーメントであるから容易に求まる。
かくして中間主桁の数に等しいだけの4) の関係式を P_x と X_x と
で表示することができる。

3 本主桁の場合



第 8 図

4) 式を P_x について作れば

$\bar{M}_0 = \bar{M}_2 = 0$ であるから

$$4k \frac{\bar{M}_1}{a} = - \left(\frac{X_0}{f_0} - 2X_1 + \frac{X_2}{f_0} \right) \dots \dots \dots 5)$$

但し, $f_1 = 1$, $f_0 = f_2$ とす。

又, $\bar{M}_1$ は $l = 2a$, 荷重 $P_1 - X_1$ として

$$\frac{\bar{M}_1}{a} = \frac{1}{2} (P_1 - X_1) \text{ 故 5) は}$$

$$\frac{X_0}{f_0} - 2X_1 + \frac{X_2}{f_0} = -2k (P_1 - X_1) \dots \dots \dots 6)$$

又, 横桁の平衡条件より

$$2(P_0 - X_0) + (P_1 - X_1) = 0 \dots \dots \dots 7)$$

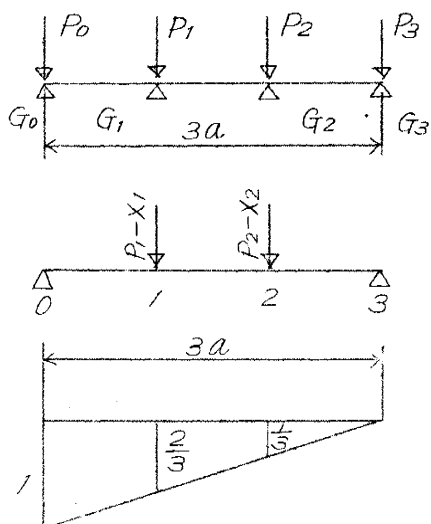
$$(P_1 - X_1) + 2(P_2 - X_2) = 0 \dots \dots \dots 8)$$

従つて,

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= \frac{P_0 \{1 + 4(1+k)f_0\} + 2f_0 P_1 - P_2}{2 + 4(1+k)f_0} \\ X_1 &= \frac{P_0 + (1 + 2f_0k)P_1 + P_2}{2(1+k)f_0 + 1} \\ X_2 &= \frac{-P_0 + 2f_0 P_1 + \{1 + 4(1+k)f_0\} P_2}{2 + 4(1+k)f_0} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 9)$$

4 本主桁の場合

第 9 図



$$J_0 = J_3 = J_0 J,$$

$$J_1 = J_2 = J$$

4) 式は P_{X1} にたいし

$$k \left(4 \frac{\bar{M}_1}{a} + \frac{\bar{M}_0}{a} \right)$$

$$= - \left(\frac{X_0}{J_0} - 2X_1 + X_2 \right) \dots \dots \dots (10)$$

P_{X2} にたいし

$$k \left(\frac{\bar{M}_1}{a} + 4 \frac{\bar{M}_2}{a} \right)$$

$$= - \left(X_1 - 2X_2 + \frac{X_3}{J_0} \right) \dots \dots \dots (11)$$

又 $\bar{M}_1, \bar{M}_2$ は

$$\left. \begin{aligned} \frac{\bar{M}_1}{a} &= \frac{2}{3} (P_1 - X_1) + \frac{1}{3} (P_2 - X_2) \\ \frac{\bar{M}_2}{a} &= \frac{1}{3} (P_1 - X_1) + \frac{2}{3} (P_2 - X_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (12)$$

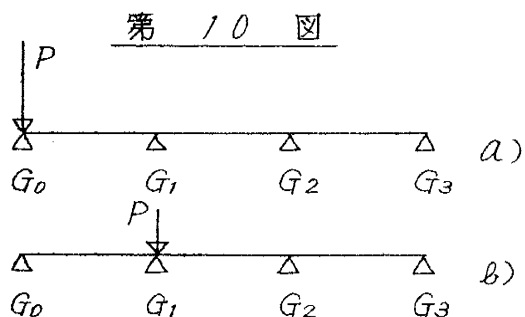
又、平衡条件として

$$\left. \begin{aligned} 3(P_0 - X_0) + 2(P_1 - X_1) + (P_2 - X_2) &= 0 \\ (P_1 - X_1) + 2(P_2 - X_2) + 3(P_3 - X_3) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

或は

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= P_0 + \frac{2}{3} (P_1 - X_1) + \frac{1}{3} (P_2 - X_2) \\ X_3 &= P_3 + \frac{1}{3} (P_1 - X_1) + \frac{2}{3} (P_2 - X_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13a)$$

12)と13a)を10), 11)に入れて X_1 と X_2 を求める。結果は、
第10図a)の場合



$$X_0 = \frac{P}{2} \left\{ \frac{j\omega(5k+1)}{1+j\omega(5k+1)} \pm \frac{3j\omega(k+3)}{1+3j\omega(k+3)} \right\} \dots 14)$$

$$X_1 = \frac{P}{2} \left\{ \frac{1}{1+j\omega(5k+1)} \pm \frac{3}{1+3j\omega(k+3)} \right\} \dots 15)$$

第10図b)の場合

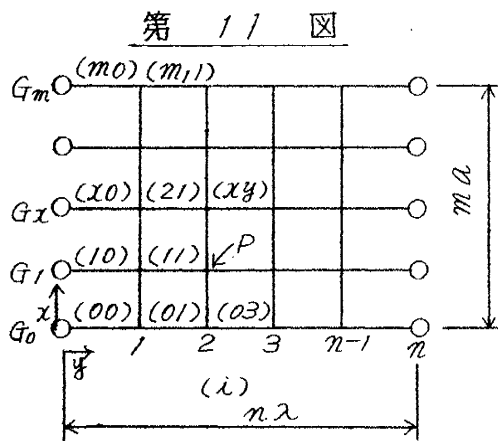
$$X_0 = \frac{P}{2} \left\{ \frac{j\omega}{1+j\omega(5k+1)} \pm \frac{3j\omega}{1+3j\omega(k+3)} \right\} \dots 16)$$

$$X_1 = \frac{P}{2} \left\{ \frac{1+5kj\omega}{1+j\omega(5k+1)} \pm \frac{1+3kj\omega}{1+3j\omega(k+3)} \right\} \dots 17)$$

任意の主桁数の場合の解は

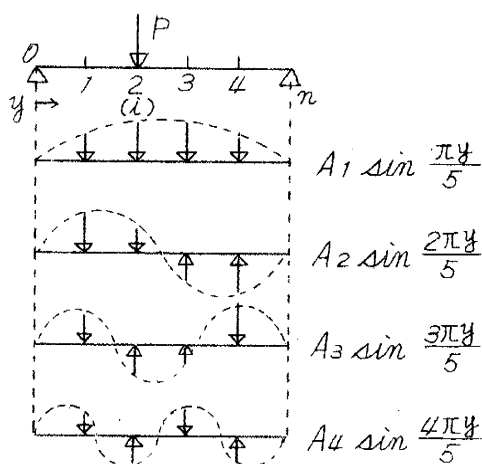
安宅 勝 ----- 階差方程式による格子桁の解法

昭和32年土木学会北海道学術講演会予稿



横桁が数個あるときも、たとえば横桁が等間隔にあり、主桁に沿って断面の変化がないときには、 n 本横桁の解の組合せによつて解を求めることができる。今第11図において主桁 G_x 上の点に作用する荷重を

(10)



$$P_y = \sum_{r=1}^{n-1} A_r \sin \frac{r\pi y}{n} \quad \text{と置き}$$

荷重の作用点を $y=i$ とする

$$P_i = \sum_{r=1}^{n-1} A_r \sin \frac{r\pi i}{n} = P$$

$$P_y = \sum A_r \sin \frac{r\pi y}{n} = 0, \quad y \neq i$$

となるように A_x を決めると、

$$A_r = \frac{2P}{n} \sin \frac{r\pi i}{n} \quad \text{----- (18)}$$

これは、たとえば第1ノ図において

$$P_1 = A_1 \sin \frac{\pi}{5} + A_2 \sin \frac{2\pi}{5} + A_3 \sin \frac{3\pi}{5} + A_4 \sin \frac{4\pi}{5} = 0$$

$$P_2 = A_1 \sin \frac{2\pi}{5} + A_2 \sin \frac{4\pi}{5} + A_3 \sin \frac{6\pi}{5} + A_4 \sin \frac{8\pi}{5} = P$$

$$P_3 = A_1 \sin \frac{3\pi}{5} + A_2 \sin \frac{6\pi}{5} + A_3 \sin \frac{9\pi}{5} + A_4 \sin \frac{12\pi}{5} = 0$$

$$P_4 = A_1 \sin \frac{4\pi}{5} + A_2 \sin \frac{8\pi}{5} + A_3 \sin \frac{12\pi}{5} + A_4 \sin \frac{16\pi}{5} = 0$$

と置いて、 A_1, A_2 ----- を求めることと同じ意味である。

Sine 荷重にたいしては分配荷重 X , 撓み W が相似になる。

即ち、

$$X = a \sin \frac{r\pi y}{n}$$

$$W = b \sin \frac{r\pi y}{n}$$

従つてノ本横桁の解の組合せで解を求め得ることがわかる。

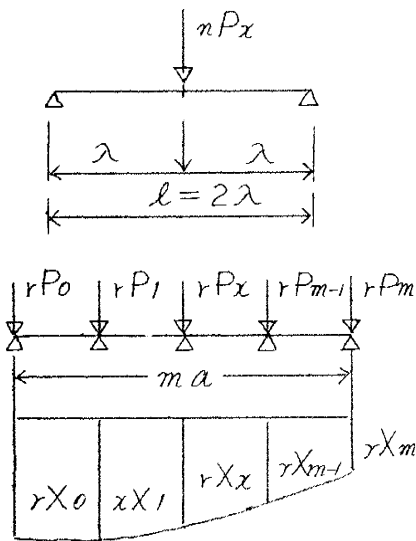
今、横桁 C_i 上に荷重 P_x , $x=0, 1, 2, \dots, m$ が作用するとき、

$$\left. \begin{aligned} P_{xy} &= \sum_{r=1}^{n-1} r P_x \sin \frac{r\pi y}{n} \\ r P_x &= P_x \times \frac{2}{n} \sin \frac{r\pi y}{n} \end{aligned} \right\} \dots 19)$$

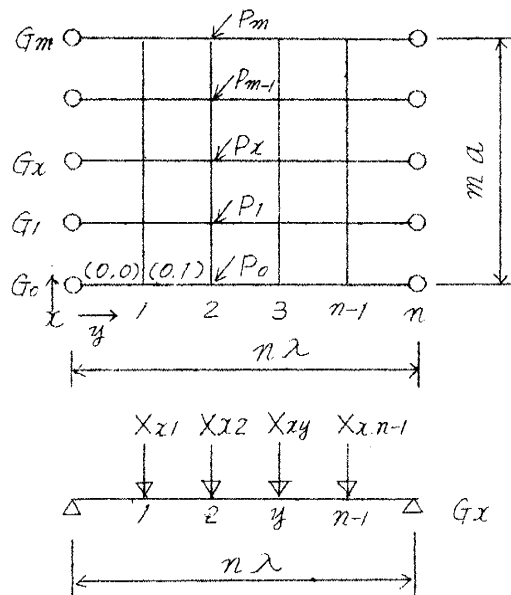
と置けば

$$X_{xy} = \sum_{r=1}^{n-1} r X_x \sin \frac{r\pi y}{n} \dots 20)$$

第 13 図



第 12 図



但し rX_x は $l = 2\lambda$ の単純梁に rP_x が作用したときの分配荷重で次の k_r に対応する

$$\left. \begin{aligned} k_r &= k \times \frac{4(1 - \cos \frac{r\pi}{n})^2}{4 + 2 \cos \frac{r\pi}{n}} \\ k &= \frac{J}{J} \left(\frac{a}{\lambda} \right)^3 \end{aligned} \right\} \dots 21)$$

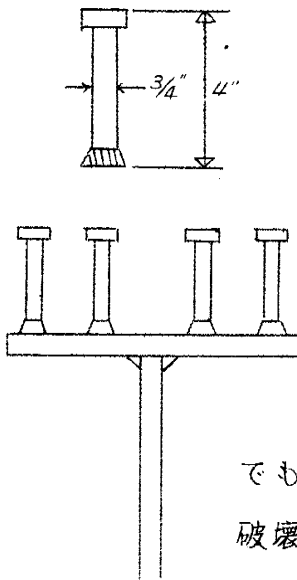
又、節点の撓みは

$$w_{xy} = \frac{\lambda^3}{6EJx} \sum_{r=1}^{n-1} \frac{4 + 2 \cos \frac{r\pi}{n}}{4(1 - \cos \frac{r\pi}{n})^2} r X_x \sin \frac{r\pi y}{n} \dots 22)$$

3. ズレ止めについて

Shear connector として最近発表されたものに *Stud shear connector* がある。(*Welded shear connector for South Dakota Bridge Civil Engineering, June, 1956*)

第 14 図



shear connector の欠点としてはフランジの変形に及ぼす影響が大きく、これの修正に工賃を要する点と、応力と直角方向に肉盛りをする点であるが、この方法によると、これらの欠陥が少くて済む。溶接方法は簡単で可搬式の *gun* があり。これによつて脚部を圧して拡大接着させるのである。ズレ止めの原則から云えば構造的には疑問の点がないでもないが、試験の結果は相当の結果を示している。破壊試験には $3/4$ の *stud* を用い、*critical load* と *ultimate load* を測定している。

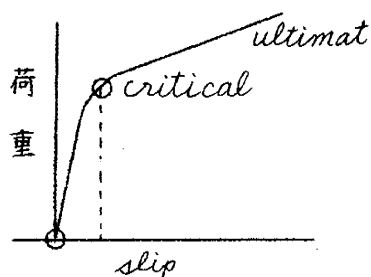
critical load は残留スベリが急増する点(第 15 図)を意味する。*ultimate load* はこの実験では *stud* の剪断によつて生じている。使用コンクリートの強度は 4 吋 $\times$ 8 吋の円筒で、28 日強度 270 kg/cm^2 及び 290 kg/cm^2 のものである。

この実験においては

$3/4$ inch *stud* 1 本当り *critical load* 5.3

3/4" stud 1本当り ultimate load 10.40 となっている。将来考慮する価値のある connector であろう。

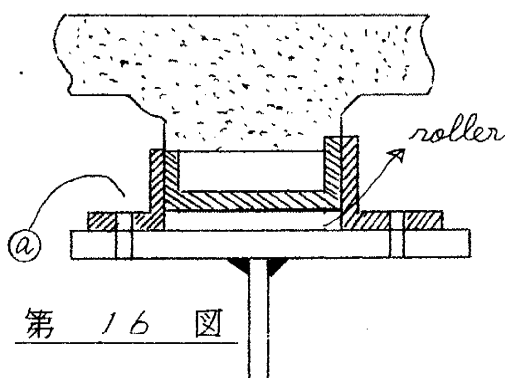
第 15 図



stud weld の装置は 3/4 迄なら
国産で大阪変圧器で製作している。

第 16 図はドイツ Montabur の橋梁
に用いられたズレ止めであるが、コン
クリートの収縮の影響を除くために特
殊の考案が施されてある。即ちズレ止

めはコンクリートの硬化後に
a 点でフランジに鉤結するの
である。



第 16 図

4. 連続合成桁の実例について

連続合成桁においては *prestress* を併用する。この目的はスラ
ブに *tension* の生ずるのを防ぐばかりでなく、積極的に鋼桁、断
面の経済化を計ることを目標としている。スラブは橋脚上では縦方
向に *prestress* し、又縦桁上の亀裂を防ぐために横方向にも
prestress する。又、*girder* を上げ越して置きこれを沈めて、

prestress を与える方法をも併用し。又、ケーブルを *girder* の間に渡して鋼桁に *prestress* を附与する。コンクリートのクリープによって失われる *prestress* は大約 15% ぐらいのようである。鋼桁の *prestress* は死荷重曲げモーメントに *balance* する程度とする。

附図 1, 2 は *Montabur* 橋梁である。ズレ止めは前述したようにコンクリートの収縮による影響を取り除くようになっている。コンクリートの *prestress* はスラブの両端にジャッキを置いて行う。又、鋼桁 *prestress* 用のケーブルは検査に都合のよいように *guide box* 内に配置してある。

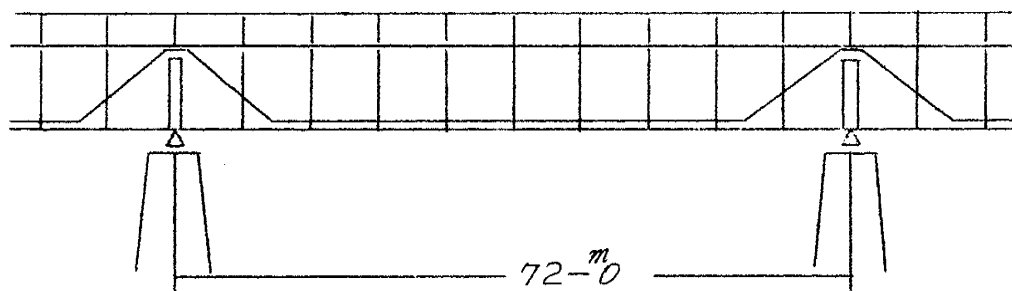
附図 3, 4 は *Lippenbrücke* の設計を示す。

これは死活合成、2 径間連続格子桁である。

(*Neue Lippenbrücke bei Wesel, Bau Ing. Dez. 1952*)

附図 4 は *slab* の *prestress* の *detail* である。これは鋼線 $St 90 \phi 26$ を *Widman* 方式によつて *prestress* している。鋼桁の上げ越し沈下をも併用する。

第 16 図



Nord Brücke Düsseldorf (Stalbau H 7,
Juli, 1957)

第16図及び附図5, 6は Nord brücke Düsseldorf
である。これは Rhein河を越えて Düsseldorf に架した橋梁
の高水敷の部分である。低水敷は支間 $108 + 260 + 108$ m の
Schrageil brücke である。

6径間連続各 72.0^m 巾員は 25.0^m

鋼材は 主要部分は St 52 $\rightarrow$ 1033 t

他の部分は St 37 $\rightarrow$ 298 t

1331 t

床版は支点上は縦方向に Leoba 方式による post tension
を与える。鋼線は locked coil を用いる。6径間を締め付ける
のに4本の鋼線に各150 t引張力を附与する。鋼線の伸びは
 930 mm に達する。鋼線の端部は prestress を与えた後にコン
クリートに埋め込む。

