

今月は論文報告集第167号(44年7月20日発行)登載原稿として、つぎの4編を紹介いたします。今月紹介した論文報告に対する討議は45年1月20日まで受け付けます。次号では論文報告集第168号登載予定原稿として下記の5編を紹介する予定です。

前田幸雄・竹内修治：塑性設計法による横断歩道橋の最小重量設計とその自動化について

田中 宏・伊藤 学：充腹構造物の自励振動による空気力特性

栗谷陽一・楠田哲也：く形沈殿池における密度流と死水

村山朔郎・松岡 元：粘土の応力緩和によるトンネル土圧

飯田恭敬：パスフローを用いた等時間原則による交通量配分

部分調質鋼桁について

菊池洋一・鈴木悦男・桜井 孝

一般に鋼構造物において、鋼材の加工、製作を行なう場合、切断、孔明、削成、ひずみ取り、リベット締め、溶接などの工作を行なうが、熱処理、調質など、鋼材の材質そのものに手を加えることは行なわれず、すべての工作が与えられた鋼材の材質をなるべく変化させない立場に立っての製作加工が行なわれてきた。

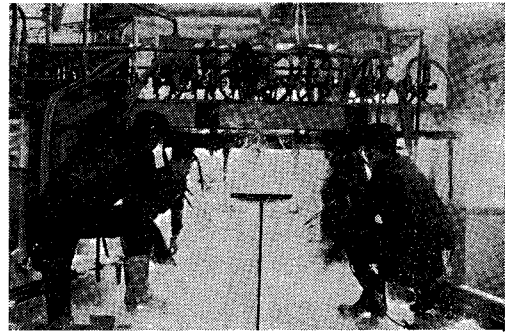
鋼部材を熱処理調質することにより、部分的に設計所要強度にまで材料強度を高めて、最も有利にその鋼部材を使用する考え方に対する検討を行なった。

まず第1に、50 kg/mm²級鋼材を焼入れ、焼戻しの熱処理を行ない、70~80 kg/mm²の引張強度を得るための熱処理条件を定めた。熱処理調質を行なった試験体について、硬度、引張強度、伸び、シャルピー衝撃値などの機械的性質を調べ、さらに金属顕微鏡により組織検査を行なった。この結果、調質鋼は構造用材料として十分使用可能であることを確認した。

第2に、一般構造用鋼材 SS50 と 50 kg/mm² 級耐食鋼材を使用して溶接 I 形断面ばり(支間 3 m)を製作した。このばりを熱処理調質を行なうため、写真-1 に示すような移動可能な酸素アセチレン焰加熱装置を使用した。はりのフランジを主として一様に加熱できる火口を製作し、火口より約 10 cm 離れた位置に冷却用 Water jet を取付け、加熱、急冷の焼入れを行ないながら、一定速度で移動する装置とした。

試験体は、上下の装置により、下フランジのみ熱処理調質したもの、上下フランジのみ調質したもの、重油炉に入れ、全体を調質したもの、調質を行なわないもの

写真-1



4種に対し、曲げ試験を行ない、その耐力により調質効果を調べた。

第3に、H形鋼を合成桁に利用する場合に、上下対称断面のため、上フランジは著しく断面に余裕を生じる。下フランジを熱処理調質することにより、上下フランジともに許容応力近くまで利用でき、経済設計が考えられる。支間 5 m の下フランジのみ調質した H形鋼を使用した合成桁を製作し、曲げ載荷試験を行なった。その結果、部分調質として、下フランジの降伏強度を 48% 高めることにより、合成桁の耐力を 42% 高めた結果を得た。

上記の試験結果により、H形鋼合成桁に部分調質を利用した場合、鋼材重量を 20~30% 節減することが可能であり、さらに経済的最大の支間を 5~10 m のばし得るものと考えられる。

(1969.1.31・受付)

菊池：正会員 工博 名古屋大学教授 工学部
鈴木：正会員 名古屋大学助手 同
桜井：正会員 工修 (株)東京鉄骨橋梁製作所

任意形状の平板曲げの数値解析法

久保慶三郎・吉田 裕

平板曲げの数値解析法として差分法や有限要素法が発展的に適用されて大きな成果を上げているが、それぞれに本質的な問題点を含んでいて、任意の形状の板の一般的な解析という面では、まだ種々の困難が存在する。この論文では、広い意味でこの両者の接点に位置すると考えられる新しい平板曲げの解析法を提案し、広範囲の問題のこの方法による計算結果を示し、その精度および適用能力を確認している。

ここに提案した解析法の着想の基本は、たわみ曲面と曲げモーメント和曲面の二つの曲面を、三角形の平らな要素の集合として考えるということである。要素が三角形であれば、その各頂点をちょうど考える曲面の上に乗せることができ、しかも各要素がねじれたりせずに平面を保つことができる。そして、このような三角形の要素

の集合として表わされる曲面は、三角形要素の大きさを小さくするにしたがって、実際の曲面に近づくということである。

曲面を構成する三角形要素が平らであると考えるのであるから、外力と曲げモーメント和曲面とか、曲げモーメント和曲面とたわみ曲面といった関係は、すべて要素と要素の接合線での交角といった量で表現する。このような考え方は、要素間の勾配の連続性を考慮するために努力している有限要素法の方向とは全く対照的なものである。いずれにしても、対象を多数の有限の三角形領域に分割して考えるという精神は、広義の有限要素法であり、解析のための基本式の誘導などに用いた考え方は差分法であって、このような解析法は有限要素法と差分法との接点に位置するものであるということができる。

(1969.3.6・受付)

久保：正会員 工博 東京大学教授 生産技術研究所
吉田：正会員 工博 東京大学講師 生産技術研究所

2 次計画法による交通量配分

米谷栄二・飯田恭敬・辻本有一

輸送計画的アプローチによる交通量配分はJ.G.Wardropによって最初に提案され、今日までさまざまな形で定式化されている。道路網における輸送計画では、対象とするネット内の全車の総走行時間を最小にするという考え方がもっとも一般的であるが、物資などの輸送問題と違って交通量配分問題としての輸送計画は通常そのネットに対してODパターンが固有のものとしてなされるため、配分の過程において各車はODを自由に選択できないという厳密な制約をうけている。このことが道路網における輸送計画の顕著な特徴である。また現実のフローパターンと輸送計画的交通量配分によるフローパターンとの一致を期待することは直観的に考えても無理であることから、輸送計画的な観点から交通量配分を行なうことは、現実のフローに対する適合性に眼目をおくのではなく、道路網の効率性に対する一つの尺度を提供するということによって、道路網計画の分野において意義があるものと考えられる。従来、道路網における輸送計画はほとんど線型計画法(LP)の問題として定式化されているが、本文では各区間道路における走行時間と、その交通量の間1次式の関係を保定することによって、2次計画法(QP)の問題として総走行時間が最小になるようなフローパターンを求めようとするものである。

対象とするネットに n 個のノード、 m 本のアークがあり、 q 個のODペアが与えられるものとする。ノード

ド i からノード j へむかうアークの、 k なるODの交通量を y_{ij}^k とすれば、すべての y_{ij}^k が備えるべき条件をあげればつぎのようである。

各アークの各ODの交通量は非負でなければならぬから

$$y_{ij}^k \geq 0 \quad \begin{cases} k=1, 2, \dots, q \\ ij=1, 2, \dots, m \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

という条件が必要である。また、 k なるODのOD交通量を S_k とすれば、ODの条件式は

$$\sum_j (y_{ij}^k - y_{ji}^k) = \begin{cases} S_k & (i \text{ が発生ノードのとき}) \\ -S_k & (i \text{ が吸引ノードのとき}) \\ 0 & (i \text{ が通過ノードのとき}) \end{cases} \quad \begin{cases} k=1, 2, \dots, q \\ i=1, 2, \dots, n-1 \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

となる。各アークに固有の交通容量 C_{ij} を与えれば、さらに

$$\sum_{k=1}^q y_{ij}^k \leq C_{ij} \quad [ij=1, 2, \dots, m] \dots\dots\dots(3)$$

でなければならない。変数の備えるべき条件は以上の三種類である。式(3)を等式とするため、 s_1, s_2, \dots, s_m なるスラックス変数を導入すれば、式(2)、(3)は

$$\begin{pmatrix} 1_1 & 1_2 & \dots & 1_{ij} & \dots & 1_m & I \\ B_1 & B_2 & \dots & B_{ij} & \dots & B_m & 0 \\ B_1 & B_2 & \dots & B_{ij} & \dots & B_m & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_1^1 & y_1^2 & \dots & y_{ij}^k & \dots & y_m^q & s_1 \\ y_1^1 & y_1^2 & \dots & y_{ij}^k & \dots & y_m^q & s_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_1^1 & y_1^2 & \dots & y_{ij}^k & \dots & y_m^q & s_m \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} C \\ d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C \\ d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_q \end{pmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

とまとめられる。ここに $1_l [l=1, 2, \dots, m]$ は第 l 行の要素がすべて1で他はすべて0の m 行 q 列の行列、 B_1, B_2, \dots, B_m は式(2)によって定まる、このネットのインシデンスマトリックスを構成する $(n-1)$ 次列ベクトル、 C は式(3)の右辺より定まる m 次列ベクトル、 d_1, d_2, \dots, d_q は式(2)の右辺より定まる $(n-1)$ 次列ベクトルである。式(4)を

$$Qy = d \dots\dots\dots(5)$$

とあらわせば、式(1)は

$$y \geq 0 \dots\dots\dots(6)$$

と等価である。

いまアーク $i \rightarrow j$ の走行時間 t_{ij} と、そのアークの交通量の間

$$t_{ij} = a_{ij} \sum_{k=1}^q y_{ij}^k + b_{ij} \quad (a_{ij} > 0, b_{ij} > 0: \text{定数}) \quad \dots\dots\dots(7)$$

なる関係式がなりたつと仮定すれば、ネット内の総走行時間 T は

$$F = -T = (-b_1, \dots, -b_1, -b_2, \dots, -b_2, \dots, -b_{ij}, \dots, -b_m, 0, 0, \dots, 0)$$

$$\begin{pmatrix} y_1^1 \\ y_1^2 \\ \vdots \\ y_1^q \\ y_2^1 \\ \vdots \\ y_{ij}^k \\ \vdots \\ y_m^q \\ s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_m \end{pmatrix} - \frac{1}{2} (y_1^1, y_1^2, \dots, y_1^q, y_2^1, \dots, y_{ij}^k, \dots, y_m^q, s_1, s_2, \dots, s_m) \begin{pmatrix} 2a_1 \cdots 2a_1 \\ \dots\dots\dots \\ 2a_1 \cdots 2a_1 \\ \dots\dots\dots \\ 2a_2 \cdots 2a_2 \\ \dots\dots\dots \\ 2a_2 \cdots 2a_2 \\ \dots\dots\dots \\ 2a_{ij} \cdots 2a_{ij} \\ \dots\dots\dots \\ 2a_{ij} \cdots 2a_{ij} \\ \dots\dots\dots \\ 2a_m \cdots 2a_m \\ \dots\dots\dots \\ 2a_m \cdots 2a_m \\ \dots\dots\dots \\ 0 \cdots 0 \\ \dots\dots\dots \\ 0 \cdots 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1^2 \\ y_1^2 \\ \vdots \\ y_1^m \\ y_2^1 \\ \vdots \\ y_{ij}^k \\ \vdots \\ y_m^q \\ s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_m \end{pmatrix} = by - \frac{1}{2} y' Ay \quad \dots\dots\dots(9)$$

とあらわすことができる。

問題は、式 (5), (6) の下で式 (9) を最大にするような y を求めることである。式 (9) の目的関数は凹関数であるから、この問題は、従来開発されている 2 次計画法の解法のいずれかを採用することによって、一意的に最適解を求めることが可能である。本文では Kuhn-Tucker の定理を応用した Wolfe の解法によって、この QP の問題を解くことにする。 (1968.10.21・受付)

米谷：正会員 工学部 京都大学教授 工学部
 飯田：正会員 工学部 京都大学助手 工学部
 辻本：学生員 京都大学大学院学生

鉄筋コンクリート スラブの 曲げクリーブ解法

山崎 徳也・彦坂 照

1. 緒 言

コンクリート構造物のクリーブ応力解析に関する既往の研究は、ほとんどすべてが鉄筋コンクリート桁、PC 桁および合成桁などの単軸構造物を対象としたもので、スラブのごとく二次元応力状態のもとにある構造物のクリーブを理論的に取り扱った研究は、わずかに坂・六車両氏 (日本建築学会論文報告集第 68 号, 昭和 36 年 6 月) のものがあるに過ぎない。

本研究は、従来の単軸曲げクリーブ理論を二次元クリーブ問題に拡張し、弾性板理論と同じく正弦級数を用いて、鉄筋コンクリート スラブの曲げクリーブ解析を

$$T = \sum_{ij=1}^m \{ (a_{ij} \sum_{k=1}^q y_{ij}^k + b_{ij}) \sum_{k=1}^q y_{ij}^k \} \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。 T を最小にするかわりに、 $F = -T$ を最大にすることを考えるならば、最大にすべき目的関数は

初めて可能ならしめるとともに、算例によりスラブの曲げクリーブにおける特性を明らかにしたものである。

2. クリーブを考慮したスラブのたわみ曲面の基本方程式

矩形スラブの中立面内で相隣る 2 辺に沿って直交軸 x および y を、またこれらに垂直下向きに z 軸をとり、鉄筋は x, y 軸に平行に配置されるものとする。

クリーブを考慮したコンクリートの二次元応力-ひずみ関係式を誘導したのち、これを用いて任意断面における z 方向の力のつりあい条件式を立てれば、スラブのたわみ曲面 $w(t)$ に関するつぎの基本方程式がえられる。

$$\begin{aligned} & D_{sx} \frac{\partial^4 w(t)}{\partial x^4} + D_{sy} \frac{\partial^4 w(t)}{\partial y^4} + \frac{D_{sx} + D_{sy}}{1 + \nu_s} \frac{\partial^4 w(t)}{\partial x^2 \partial y^2} \\ & + D_c(\tau) \left\{ \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial x^2 \partial y^2} \right\} \\ & \times \int_{\tau_1}^t e^{-\eta(\tau)} d\tau + D_c(\tau) \left\{ \frac{\partial^4 w(\tau_1)}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 w(\tau_1)}{\partial y^4} \right. \\ & \left. + 2 \frac{\partial^4 w(\tau_1)}{\partial x^2 \partial y^2} \right\} \left[1 - r\varphi(\tau) E_c(\tau) \int_{\tau_1}^t e^{-\eta(\tau)} d\tau \right] \\ & + \int_{\tau_1}^t e^{-\eta(\tau)} \int_{\tau_1}^{\tau} D_c(\tau) \left\{ \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial x^2 \partial y^2} \right. \\ & \left. + r \left(\frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 \dot{w}(\tau)}{\partial x^2 \partial y^2} \right) \right\} e^{\eta(\tau)} d\tau \\ & = q(x, y) \quad \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

ここに、

- D_{sx}, D_{sy} : x, y 方向の鉄筋の曲げ剛性
- $D_c(\tau)$: コンクリート断面の曲げ剛性
- ν_s : 鉄筋のポアソン比
- $E_c(\tau)$: 材令 τ のコンクリートの弾性係数

r : 実験により定まる定数
 $\varphi(\tau)$: 材令 τ の関数
 $q(x, y)$: 荷重強度
 τ_1 : 載荷開始時のコンクリートの材令
 $\eta(\tau) = \int_{\tau_1}^{\tau} \{r[1 + \varphi(\tau)E_c(\tau) - \dot{E}_c(\tau)/E_c(\tau)] d\tau$

3. 正弦複級数による解法

相隣る二辺の長さが a, b で、四辺単純支持の鉄筋コンクリート矩形スラブについては、式 (1) の解が次式のごとく求められる。

$$w(t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn}(\tau_1) \left[1 + R_{mn} \int_{\tau_1}^t e^{-Q_{mn}(\tau)} d\tau \right] \times \sin \frac{m\pi}{a} x \sin \frac{n\pi}{b} y \dots \dots \dots (2)$$

ここに

$$a_{mn}(\tau_1) = \frac{q_{mn}}{\pi^4 \left\{ \frac{m^4}{a^4} \beta_1(\tau_1) + \frac{n^4}{b^4} \beta_2(\tau_1) + 2 \frac{m^2 n^2}{a^2 b^2} \beta_3(\tau_1) \right\}}$$

$$r D_c(\tau) \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) + \dot{\eta}(\tau) \left\{ \frac{m^4}{a^4} D_{sx} + \frac{n^4}{b^4} D_{sy} + \frac{m^2 n^2 D_{sx} + D_{sy}}{a^2 b^2} \frac{1 + \nu_s}{1 + \nu_s} \right\}$$

$$Q_{mn}(\tau) = \frac{m^4 \beta_1(\tau) + \frac{n^4}{b^4} \beta_2(\tau) + 2 \frac{m^2 n^2}{a^2 b^2} \beta_3(\tau)}{\frac{m^4}{a^4} \beta_1(\tau) + \frac{n^4}{b^4} \beta_2(\tau) + 2 \frac{m^2 n^2}{a^2 b^2} \beta_3(\tau)}$$

$$R_{mn} = \frac{r \varphi(\tau_1) E_c(\tau_1) D_c(\tau_1) \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2}{\frac{m^4}{a^4} \beta_1(\tau_1) + \frac{n^4}{b^4} \beta_2(\tau_1) + 2 \frac{m^2 n^2}{a^2 b^2} \beta_3(\tau_1)}$$

ただし、

q_{mn} : $q(x, y)$ の二重正弦フーリエ級数への展開係数

$$\beta_1(\tau) = D_c(\tau) + D_{sx}, \quad \beta_2(\tau) = D_c(\tau) + D_{sy},$$

$$2 \beta_3(\tau) = 2 D_c(\tau) + \frac{D_{sx} + D_{sy}}{1 + \nu_s}$$

4. 正弦単級数による解法

一対辺 $x=0, a$ が単純支持され、他対辺が任意の境

界条件をもつ鉄筋コンクリート矩形スラブについては、式 (1) の解が次式でえられる。

$$w(t) = \sum_{m=1}^{\infty} \left[1 + (1 - \lambda_m) r \varphi(\tau_1) E_c(\tau_1) \right] \int_{\tau_1}^t \exp \times \left\{ - \int_{\tau_1}^{\tau} P_m(\tau) d\tau \right\} d\tau \left\} f_m(y) \sin \frac{m\pi}{a} x \dots (3)$$

ここに

$f_m(y)$: y のみの関数

$$\lambda_m = \frac{D_{sy} \frac{d^4 f_m}{dy^4} - \frac{D_{sx} + D_{sy}}{1 + \nu_s} \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \frac{d^2 f_m}{dy^2} + D_{sx} \frac{m^4 \pi^4}{a^4} f_m}{\beta_2(\tau_1) \frac{d^4 f_m}{dy^4} - 2 \beta_3(\tau_1) \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \frac{d^2 f_m}{dy^2} + \beta_1(\tau_1) \frac{m^4 \pi^4}{a^4} f_m}$$

$$P_m(\tau) = \frac{\lambda_m E_c(\tau_1) \{ r \varphi(\tau) E_c(\tau) - \dot{E}_c(\tau) / E_c(\tau) \}}{(1 - \lambda_m) E_c(\tau) + \lambda_m E_c(\tau_1)}$$

5. 算例および結語

式 (2), (3) を用いれば、スラブの任意点に対するコンクリートおよび鉄筋の応力を任意時刻 t について算定することができる。本理論による数値計算の結果、クリープを考慮した鉄筋コンクリートスラブの応力は、弾性計算のそれと著しく異なり、たとえば辺長比 1.5 のスラブにコンクリートの材令 28 日で載荷した場合、鉄筋の応力は 2 倍以上に増加し、コンクリートの応力は約 60% まで減少することが明白となった。したがって、クリープを考慮して初めて、鉄筋コンクリートスラブの解析が完全となり、ひいては合理的な設計・施工が可能になるといえる。 (1968.12.28・受付)

[山崎: 正会員 工博 京都大学教授 工学部]
 [彦坂: 正会員 京都大学助手 工学部]

【研究ノート】

鉄道車両の走行におけるつり橋の諸問題

八十島 義之助
 伊藤 学
 西岡 隆

論文報告集への討議について

論文集編集委員会では、論文報告集に掲載した全論文に対しての討議を受付けておりますので、討議をされる会は下記事項をご参照のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。

記

1. 討議は論文報告集掲載全論文を対象とします。
2. 討議の受付は論文報告集掲載後 6 ヶ月以内とします。
3. 討議原稿を提出するときは学会原稿用紙に必要事項を記入のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。
4. 討議原稿の取扱いは論文編集委員会にご一任下さい。
5. 討議に関する問い合わせは論文編集委員会へご連絡下さい。