

今月は論文報告集第168号(44年8月20日発行) 登載原稿として、つぎの5編を紹介しします。今月紹介した論文報告に対する討議は45年2月20日まで受け付けます。次号では論文報告集第169号登載予定原稿として下記の4編を紹介する予定です。

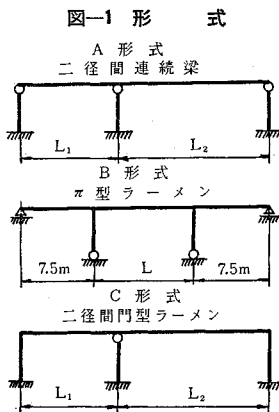
- 中川建治：塔状構造物の固有周期の自乗和を最小ならしめる断面変化に関する二、三の考察
- 堀井健一郎・川原睦人：有限変形を考慮した骨組構造物の弾塑性解析法
- 川村満紀・榎場重正・杉浦精治・中野 寿：ソイルセメントにおける粘土鉱物とセメントの相互作用の役割
- 戸田五郎・長谷川幸雄：石炭灰を使用したモルタルおよびコンクリートの強度

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

前田幸雄・竹内修治

本文は塑性設計法による最小重量設計の自動化を行ない、構造物設計の最適化の実例を示したものである。最適構造物には経済性と明確な安全性が要求され、経済性については最小重量が基準に、安全性については極限耐荷力が基準となる。不安定現象、疲労破壊、脆性破壊等の恐れがないとき、構造物の塑性強度をもって極限耐荷力と考えることができる。このことから筆者らは構造物の最適設計の見地より塑性設計法による最小重量設計の自動化を試みた。

対象とした構造物は図-1に示す3形式の鋼製の横断歩道橋で、スパン長、床版構造、主構断面構成の種々な組み合わせ44種類について計算を行なった。使用材料は



SS-41, はりは溶接組立I形断面およびH形鋼, 柱は溶接組立箱形断面とする。設計方法は単純塑性理論に基づき, せん断力, 軸力, 横座屈等の二次的条件, さらに変動荷重, 作用荷重時の応力度とたわみについても検討を行ない, これら一連の設計計算をすべて電子計算機により自動的に行なった。

最小重量設計法により部材間の全塑性モーメント比および断面変化位置を決定するにあたり, 重量勾配係数の影響を考慮した。

全塑性モーメント M_p と重量 W との間にはつぎの関係が成立する。

$$W = a + b \cdot M_p$$

ここに a は定数であり, b は重量勾配係数と称されるもので, 断面性状, すなわち, はり断面 (I 形断面), 柱断面 (箱形断面) によって, また溶接組立材とH形鋼によっても異なる。いわゆる重量関数 W_f を最小にする全塑性モーメント比は, 重量勾配係数の影響によって大きく変化し, この b を考慮しなかった場合に比して10%強の W_f の減少をみる事ができた。

変断面設計を行なうとき, 異なった全塑性モーメントを有するスパン中央の部材と節点 (支点) 上の部材とからなる基準変断面を用いることにより, 合理的にかつ容易に側スパンの活荷重の影響を考慮した設計が可能であり, 基準変断面を決定するにあたり, 重量関数 W_f が非線形となるが, 線形計画法を用いて決定することが可能である。

計算の結果つぎのごときことが明らかにされた。

(1) 変動荷重による漸増崩壊による全塑性モーメントの増加は等断面の場合と変断面の場合とではほとんど変わらず, 構造寸法によって大きく影響をうけ, A形式, C形式では対称形るとき10%程度で, 非対称形るとき7%程度で対称形るときに強く影響があらわれる。B形式では5%以内であった。また交番塑性による影響は設計上無視してさしつかえないものと思われる。

(2) 変形硬化時の塑性ヒンジ発生点と仮想変形法による塑性ヒンジ発生点との位置は数パーセント相違するが, 3形式ともその差異が変形硬化時の全塑性モーメントにおよぼす影響は1%以下で非常に小さい。

(3) 断面決定の要素は, メカニズムによる崩壊, 漸増崩壊, 作用荷重時の応力度やたわみの許容値に対する超過等であるが, これらのうちどれが最も支配的な要素かは, 構造寸法そして活荷重の死荷重に対する比によって決定される。一般に活荷重比が大きいときはたわみで, 小さいときは作用応力度によって決定される傾向がある。

(4) 塑性設計法と同じ作用荷重, 同じ構造寸法を用いた慣用の許容応力度設計法による鋼重と比較すると,

塑性設計法により平均 10% 程度の鋼重軽減となり、経済的にも有利である。

本計算では荷重の明確な横断歩道橋を対称としたが、一般道路橋の設計に対しても最適設計が可能である。ただし荷重、材料のばらつき等が明確にされねばならぬ点もあり、これらが解決されれば種々の限界設計条件を考慮した極限耐力を基準として、経済的にしてかつ安全な最適構造物の設計が可能となる。

(1969.3.10・受付)

〔前田：正会員 工博 大阪大学教授 工学部〕
〔竹内：正会員 大阪大学工学部研究生〕

充腹構造物の自励振動における空気力の特性

田中 宏・伊藤 学

吊橋の耐風性を究極的に支配する現象は、全橋模型に対する風洞実験の結果、横たわみ、横座屈、自励振動の3種に大別できることが知られている。これらのうち、安全性の検討にもっとも大きな問題を残しているのは、空気力の負減衰による自励振動現象であるが、それは、複雑多様な橋桁断面が振動する際に作用する空気力の特性、および振動の発生機構に不明の点が多いためと考えられる。

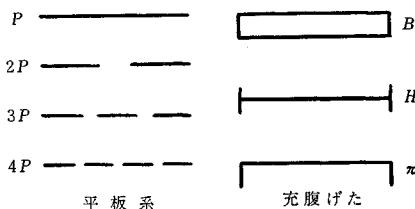
本研究は、橋桁として考えられる断面を理想化して平板およびこれに開床部を設けたものと、箱形、H形、 π 形などの充腹桁断面(図-1)を考え、風洞実験によって振動中の各断面に作用する非定常空気力(動的空気力)を測定し、断面特性と空気力との関連性、振動特性と空気力との関連性、測定空気力に基づく発振風速の計算値とフラッター実験による限界風速との比較検討などを行ない、自励振動現象における空気力特性の解明に寄与しようとするものである。

空気力の測定には強制振動法を用いた。すなわち、風洞内で図-2に示すような模型に円振動数 ω の強制振動を与え、模型を支持するビームの反力から空気力を求めるのである。空気力は

$$\downarrow L = \pi \rho b^3 \omega^2 \left[(L_{\eta R} + iL_{\eta I}) \frac{\eta}{b} + (L_{\varphi R} + iL_{\varphi I}) \varphi \right]$$

$$\curvearrowright M = \pi \rho b^4 \omega^2 \left[(M_{\eta R} + iM_{\eta I}) \frac{\eta}{b} \right]$$

図-1 実験模型断面



$$+ (M_{\varphi R} + iM_{\varphi I}) \varphi \Big]$$

を表示し、8個の無次元係数 $L_{\eta R}, L_{\eta I}, \dots, M_{\varphi I}$ を、換算振動数 $k = \omega b/V$ の関数として求めた。

本論文の主な結果は以下のとおりである。

(1) 空気力係数の解析

一般に、構造減衰を無視すれば、

$L_{\varphi I} > 0, M_{\eta I} > 0$ のとき 曲げねじれフラッター型不安定

$M_{\varphi I} > 0$ のとき 失速フラッター型不安定

$L_{\eta I} > 0$ のとき ギャロピング型不安定

となる。また

$L_{\varphi R} > 0, M_{\eta R} > 0$ のとき 曲げねじれダイバージェンス

$M_{\varphi R} > 0$ のとき ねじれダイバージェンス

$L_{\eta R} > 0$ のとき 曲げダイバージェンス

が発現する可能性が大きくなる。したがって、平板では曲げねじれフラッターまたはねじれダイバージェンスが発生する可能性があることになる。

(2) 空気力実験値の検討

1) 平板空気力は、Theodorsenの理論値とよく一致する。

2) 開床平板では一般に平板と同傾向を示すが、開床率 ϕ が30%をこえると $L_{\varphi I} < 0$ となる。また ϕ の増大とともに3P, 4P, 2Pの順で $M_{\varphi R}$ が減少する。

3) 充腹桁では、桁高が高くなると $L_{\eta R}, L_{\varphi I}, M_{\eta R}, M_{\varphi I}$ の符号が平板と逆になる。

4) 断面幅に対する桁高の比 $\alpha = h/2b$ の変化によって、振動特性が以下のように変わる。

箱形断面で $\alpha_1 \approx 0.14, 0.30 < \alpha_2 < 0.50$

H形断面で $\alpha_1 \approx 0.07, \alpha_2 \approx 0.25$

π 形断面で $0.05 < \alpha_1 < 0.10, \alpha_2 \approx 0.30$

とするとき $0 < \alpha < \alpha_1$ では 曲げねじれフラッター型

$\alpha_2 < \alpha < \alpha_2$ では 失速フラッター型

$\alpha_2 < \alpha$ では ギャロピング型

5) このとき空気力係数の符号は一般に

曲げねじれフラッター領域で

$$L_{\varphi I}, M_{\eta R}, M_{\eta I}, M_{\varphi R} > 0$$

失速フラッター領域で

$$M_{\varphi I} > 0$$

ギャロピング領域で $L_{\eta R}, L_{\eta I}, L_{\varphi R}, M_{\eta R}, M_{\varphi I} > 0$

他の諸項は負である。

(3) 自由振動実験

以上の振動特性の推定および非定常空気力から計算さ

れる限界風速を自由振動実験によって検定したところ、比較的良い精度で一致することが確認された。

(4) 断面特性との関連

耐風性能上もっとも警戒すべき現象は、充腹系断面において発生しやすく、しかも限界風速の低い失速フラッター型振動である。

曲げねじれフラッター型断面では、橋床に開床部分を設けることによって限界風速を高くすることができる。開床率 30% 以上とし、開床位置を橋床のできるかぎり外側におけば、とくに有効である。

(1969.4.24・受付)

〔田中：正会員 工博 東京大学工学部
伊藤：正会員 工博 東京大学助教授 工学部〕

く形沈殿池における密度流と死水

粟谷陽一・楠田哲也

沈殿池における密度流を生じる原因には、流入水と池内水との温度差、および濁度による流入水と上澄水との密度差があげられる。横流沈殿池における、これらの原因による密度流の状況および死水域の生成状況を、理想流体の準2次元流の理論を用いて解析したものである。理論から導かれる結果を定性的に述べれば、つぎのとおりである。

まず温度差による定常な密度流は、熱拡散を無視すれば、かならず死水をともなうことになる。他の条件が一定の場合、流入水と池内水との密度差がある一定値以下だと、池内水は流出してしまい、密度流は定常的には存在しえない。密度差がこの限度以上の場合には、流入口よりただちに死水域を生じることになる。

流入水の濁度により、上澄水との間、密度差を生じる場合には、密度差の大きさによって順次につぎの4つの場合を生じる。

(1) 密度差がある一定値より小さいと、死水を生じることはないが、温度差による場合と異なり、下層の懸濁部流速は、上澄部より多少大きくなる。(2) 密度差がさらに大きくなると、上澄水表面の流速は池内を進むにつれて低下し、ついに0となり、なめらかに死水域を生じる。死水を生じるに必要な密度差は、温度による場合の約半分である。(3) 密度差がさらにある値をこえると、流入水は沈降を伴いながら、池内をある程度進んだところで急激に下降し、死水を生じるようになる。(4) 密度差が、温度差による場合に対し死水を生じるような範囲に入ると、流入水は流入後ただちに下降して、密度流および死水を生じる。

温度差および濁度による密度差の両方があるときには、池内の密度は懸濁部、上澄部および死水域でそれぞれ

異なることになる。この場合にも定性的には濁度のみによる場合とほぼ同様の結論が得られる。

実験室において模型実験を行なった結果は、概略の流れの状況およびとくに死水の状態については、この理論によりよく説明される。

(1969.2.3・受付)

〔粟谷：正会員 工博 九州大学助教授 工学部
楠田：学生員 九州大学大学院〕

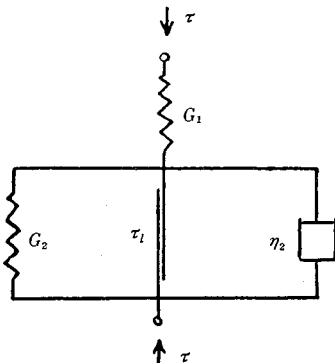
粘性土の応力緩和によるトンネル土圧

村山朔郎・松岡 元

粘性土中に掘られたトンネルにかかる土圧が時とともに増加することはしばしば経験され、この増加は長期にわたりしかも非常に大きい場合がある。したがって、この現象はトンネルの支保工、覆工の設計上に重要なばかりでなく、覆工施工の適正時期を決定する上にも重要な問題といえよう。このようなトンネル土圧の経時増加の主要な直接原因としては、粘性土の吸水膨張、トンネル周囲にできる塑性領域の拡大ならびに粘性土の応力緩和をあげることができるが、ここでは粘性土の応力緩和によるトンネル土圧の時間的変化を取り扱った。

一般に粘性土の力学挙動には時間効果があり、粘性土に一定のせん断応力を常時与えればせん断ひずみが時間とともに進行するいわゆるクリープ挙動がみられ、また反対に一定のせん断ひずみを常時保持しようとするれば、一定ひずみを保持するに要するせん断応力は時とともに減少し、いわゆる応力緩和挙動がみられる。このような力学挙動はさらに粘性土に生ずるせん断応力 τ の大きさとその粘性度に固有な降伏値との関係によって種々に区別されるが、 τ が上限降伏値 τ_u 以下の場合における力学挙動は、図-1に示す4要素力学モデルでシミュレートできる。このモデルは、1個のばね要素(弾性係数:

図-1



G_1 , 定数)と下限降伏値に相当するスライダ (τ_f)をもつ Voigt 要素 (弾性係数: G_2 , 定数, 粘性係数: η_2)とを直列に組み合わせたものである。なお下限降伏値 τ_f は非常に小さい値であるからこれを無視しても力学特性への影響は大差がないので, ここではスライダを省略した3要素モデルを用いることにする。このような力学モデルにおいて, 初期せん断応力が τ_u 以下であれば初期せん断ひずみ r_0 を与えたときのせん断応力 τ の応力緩和特性は次式のように解かれている。

$$\left. \begin{aligned} \tau &\geq \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2} \left\{ 1 + \frac{2 G_1}{B_2 G_2} \right\} r_0 \text{ の範囲では,} \\ \tau &= \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2} \left\{ 1 - \frac{G_1}{B_2 G_2} \log(R \cdot t) \right\} r_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

τ が上記範囲以下になり, かつ時間 $t \rightarrow \infty$ では,

$$\tau_{(t \rightarrow \infty)} = \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2} r_0 \dots\dots\dots (2)$$

ここに B_2 , R は用いた粘性土のレオロジー定数である。

さて, これらの粘性土の応力緩和理論を用い, 粘性土地盤中にトンネルを開削しただちに剛性覆工を施工したと仮想したとき覆工に作用するトンネル土圧を理論的に考察するとともに, これを粘性土を対象地盤とした円形トンネルの模型実験により実証しようとした。応力緩和によるトンネル土圧の経時増加のみを対象とする場合には, もし塑性領域が存在していると塑性領域の拡大のためや, 塑性領域の吸水膨張のための土圧の経時変化の影響も付加されることになるので, ここでは塑性領域が発生しない条件の下で実験を行なった。トンネル土圧 p は, トンネル開削にトンネル孔外縁位置のうけていた自重による初期応力 σ_0 からトンネル開削により地山の変形に基づいて地山中で発揮されるせん断応力 τ による項を差し引いたものとなる。前記の3要素モデルより, せん断応力 τ は開削直後の $\tau_{(t=0)} = G_1 \cdot r_0$ から式(1)にしたがって $\log t$ に比例して緩和し, 最終時には式(2)の値まで低下するので, p は逆に経過時間の対数 $\log t$ に比例して増加し, 長期経過後 $t \rightarrow \infty$ では,

$$P_{(t \rightarrow \infty)} = \frac{G_1}{G_1 + G_2} \sigma_0 \dots\dots\dots (3)$$

に取れんすることが誘導できる。模型実験は 60 cm × 60 cm × 10 cm の箱に乱さない粘土をつめて地山とし, それに水平に径 10.2 cm のトンネルを穿ったのち剛性の真ちゅう製厚肉リングを覆工模型としてそう入して, 覆工土圧の経時変化を水圧変換型の土圧計により測定した。このようにして求めたトンネル土圧の測定値はこの考察に示すように経過時間の対数に比例して増加し, 長期経過後の取れん値も式(3)とほぼ一致し, 本理論の適用性を検証することができた。

(1969.2.20・受付)

〔村山: 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所〕
〔松岡: 正会員 京都大学防災研究所〕

パスフローを用いた等時間原則による交通量配分

飯田 恭敬

交通量配分問題におけるフローの取扱い方にはリンクフロー, パスフローの2通りが考えられる。リンクフローによる方法とは各 OD 交通ごとに經由する道路区間を変数とするものであって, ネットワーク理論におけるマルチコモディティの問題も一般的にはこの方法で行なわれている。これに対し, パスフローによる交通量配分は各 OD 交通ごとにその間に存在する経路(パス)の交通量を変数として行なうものである。

本論文ではこのパスフローを用い, リンク走行所要時間がその交通量と線型関係を有するものと仮定し, 交通量配分方法の一つである等時間原則による交通量配分法について論じるものである。そして, 理論的複雑さをさけるため配分対象道路網としては三角型道路を考えることにした。

等時間原則による交通量配分ではその配分結果が「各 OD 交通ごとにその間に存在する経路のうち, 利用する経路については所要時間が同じで, 利用しない経路についてはそれ以上の時間を要する」となっていなければならない。

本論文における等時間原則による交通量配分計算は, 各 OD 交通に対し経路を1本と限定した第1次配分を足がかりに, 各 OD 交通ごとの等時間経路を探索することから始められる。ただし, このとき第1次配分をどのように行なえば等時間原則に基づく解が得られるのか, いまのところ明確な規準はない。この点については今後における大きな研究課題として残されている。

とにかく, 等時間経路が探索されたとすると, 配分計算の定式化はつぎようになる。まず, パスフローの具備すべき条件式として, 各 OD 交通のパスフローの総計がその OD 交通量に一致していることである。この条件式は OD 条件式とよんでいる。

$$S^k = \sum_p x_p^k \quad (k=1, 2, \dots, r) \dots\dots\dots (1)$$

ここに S^k は k という OD 交通量, x_p^k は OD が k で経路が p の交通量(パスフロー)である。それから各 OD 交通ごとの経路の間に等時間条件式が成立している。つまり, OD 交通 k の経路数が n_k 本あって, そのうちの経路 p の所要時間を T_p^k とするとつぎのように示される。

$$T_1^k = T_2^k = \dots = T_p^k = \dots = T_{n_k}^k \quad (k=1, 2, \dots, r) \dots\dots\dots (2)$$

これをパスフローで表記すると以下ようになる。

$$\begin{aligned} & \sum_{ij \in h, 1} l_{ij} (a_{ij} \sum_{k, p \in ij} x_p^k + b_{ij}) \\ &= \sum_{ij \in h, 2} l_{ij} (a_{ij} \sum_{k, p \in ij} x_p^k + b_{ij}) = \dots \\ &= \sum_{ij \in h, p} l_{ij} (a_{ij} \sum_{k, p \in ij} x_p^k + b_{ij}) = \dots \\ &= \sum_{ij \in h, n_k} l_{ij} (a_{ij} \sum_{k, p \in ij} x_p^k + b_{ij}) \\ & \quad (k=1, 2, \dots, r) \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

ここで、ある OD 交通 k だけについて眺めると、式 (3) より独立な式の数は $(n_k - 1)$ 個であるのと、この他に式 (1) の OD 条件式が 1 個加わるので結局、変数の数、すなわち、その OD 交通の経路数 n_k と一致して、式 (1) と式 (3) から成る連立方程式によって解が求められることになる。しかし、こうしたことを全 OD 交通について重ねた場合、長距離 OD の等時間条件式は短距離 OD のそれによって表わすことができるので、上の連立方程式の階数が落ち解に一意性がなくなる。

さて、等時間原則を満足する各区間交通量は、あるとすればそれはただ一つであることがわかっているが、この区間交通量を各 OD 交通ごとの経路交通量に落とすたくても、上のことからわかるように一意的には定まらない。つまり、区間交通量がある一定値でありさえすれば、そこを通過する OD 構成の内訳はいつでもよいと

いうことである。そこで本論文では、配分計算にあたりつぎのような情報不均等、情報均等の 2 つの立場を考慮することにした。情報不均等な立場とは短距離 OD と長距離 OD を比較した場合、長距離になればなるほど途中経路に関する情報量（たとえば交通量、道路構造等）が少なくなると考えたときである。これに対し、情報均等な立場では、OD 距離の長短にかかわらずその間の経路に関する情報量が等しいときである。したがって、情報均等な場合は、「ある 2 地点間で交通流が分流するとき、その 2 地点の各経路への交通量の配分比はそこを通過するどの OD 交通についても同一となる」という配分比条件を満足している状態と考えてもよかる。このとき、いずれの立場でも求められる区間交通量は当然一致している。

このことは各 OD 交通の等時間経路がわかっておりさえすれば簡単に証明できる。ところが情報均等な場合は配分比条件式があるため連立方程式は高次となり求解が困難なので、情報不均等な立場から計算を始め収束計算によって各経路交通量が求められる。

(1969. 3. 28・受付)

[筆者：正会員 京都大学助手 工学部]

新しい基礎工法のえらび方と実績

日本鉄道建設公団理事 田中倫治 編
B 5 判 373 頁 定価 3200 円 送料 200 円

【主要目次】

- 第 1 章 各種基礎工法の概要
木クイ / 鋼クイ / 鉄筋コンクリートクイ / 場所打ちコンクリートクイ / PCクイ / 井筒工法
- 第 2 章 各種基礎工法のえらび方
概説 / 各種基礎工法の分類 / チェック・リスト / チェック・リストの使用法
- 第 3 章 各種基礎工法のえらび方の実際
RCクイ / PCクイ / 鋼管クイ / 鋼管クイの斜クイ / 大口径クイ圧入工法 / 場所打ちコンクリートクイ (バント・カルウェルド・リパースサーキュレーション) / ケーソン基礎・井筒工法 / 直接基礎

鉄筋コンクリートの新しい計算図表

上前行孝 / 玉野治光 / 岡田哲夫 / 小林 勲 共著
B 5 判・上製 165 頁 / 定価 2500 円 千 180 円

【主要目次】

- 第 2 章 計算方法と計算図表
- A 長方形断面 単鉄筋並びに複鉄筋の計算 (1) 計算方法 (2) 積算式 (3) 計算例 (4) 計算図表
- B 円形断面の計算 ((1)~(4)の内容はAと同じ)
- C 円環断面の計算 (")
- D 長方形断面 周囲鉄筋の計算 (")

〈新しい基礎工法〉シリーズ全巻

〈増補版〉

新しい基礎工法

中島 武著 / B 5 判・260 頁
定価 1500 円 / 千 150 円

〈改訂版〉

新しい基礎工法の設計

中島武・八島忠 編 / B 5 判・上製 421 頁
定価 2600 円 / 千 180 円

〈増補版〉

新しい基礎工法の歩掛と実績

中島武・滝山養 編 / B 5 判・上製 350 頁
定価 2000 円 / 千 150 円

新しい土留工法

藤森謙一・内田襄 編 / B 5 判・上製 440 頁
定価 3400 円 / 千 200 円

新しい軟弱地盤処理工法

藤森謙一・内田襄 編 / B 5 判・上製 460 頁
定価 3400 円 / 千 200 円

近代図書株式会社

102 東京都千代田区九段北 1-6-7
TEL (263) 3871~2 振替東京 23801