

今月は8月号に引きついで論文集第76号登載論文として、次の3論文を紹介いたします。なお前号で予告した「山辺春雄・吉木 正：巾広ぎの越流係数の理論的研究」は著者の都合により今回はとりやめることになりましたので御了承下さい。

### 引張りを受ける有孔薄板の極限解析

岡 林 稔

次に述べる仮定を前提として、円孔を有する薄板が引張りを受ける場合の塑性限界荷重の近似解を求めようとするものである。

仮定-1 材料は非圧縮性の完全塑性体であり、降伏は Mises の降伏条件にしたがう。

仮定-2 薄板は近似的に平面応力の状態にある。

平面応力状態であるから、降伏条件は次式のごとくなる。

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2 \leq 3k^2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし、引張り方向にx軸、板巾方向にy軸をとる。kは純せん断の降伏応力度であり、 $\sqrt{3}k$ は単純引張りの降伏応力度である。

#### 1. 円孔1個が帯状板の中心線上にある場合

この場合の限界荷重の下界を求めるためには、静的許容応力場を作らなければならないが、その1つとして図-1の状態を考える。区間lの部分に対しては、これを高さl、支間2hのはりと考え、これに対する荷重分布は、これに隣接する部分の応力度分布をあてた場合の普通のはりの曲げ理論による応力度を考える。

そしてlを十分大きくとれば、この場合の静的許容応力場が得られる。したがって限界荷重の下界  $N_L$  は

$$N_L = 2\sqrt{3}k(h-r) \dots \dots \dots (2)$$

となる。これに対して限界荷重の上界の1つ  $N_U$  は左右対称性と降伏条件とから

$$N_U = 4k(h-r) \dots \dots \dots (3)$$

を得る。しかし、(2)式には孔が円形であることが考慮されていないので、これを考慮すればもう少し  $N_L$  を大きくすることが可能である。そのために、図-1の帯状板に引張りを加えれば他の部分がまだ弾性的であるとき最初に降伏するのはAおよびA'部であるから、そこで円孔の外にこれよりわずかに大きい同心円を考え、これの内側の応力状態は固定し、この外側の部分に対しては、この同心円を円孔であると想像してさらに引張り外力を増加し、想像円孔の周上、応力集中最大の箇所

図-1

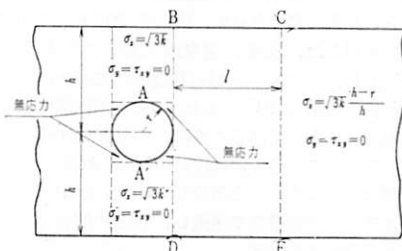
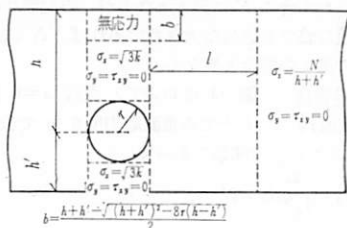


図-2



ちょうど降伏に達するまでにする。この操作をくり返すことによって(2)式より大きい限界荷重の下界が得られる。計算の結果、これは板巾が円孔の径の数倍程度であれば、(2)式の値より3%程度大きくなる。よって、以後においても孔が円形であることを考慮しないで限界荷重の下界Nを求め、実際の限界荷重はこれより数%は高いであろうと判断する。

#### 2. 偏心円孔が1個ある場合

(2)式を誘導したときと類似の応力状態を考えると、 $\sigma_x$ が負(圧縮)にならないという制限を設けるととき全体の釣合から図-2のごとき静的許容応力場が得られる。この結果Nの値は次のごとくなる。

$$N = \frac{\sqrt{3}}{2}k \{ h + h' - 4r + \sqrt{(h+h')^2 - 8r(h-h')} \} \dots \dots \dots (4)$$

$\sigma_x$ が負(圧縮)にならないという制限を取除いても、Nの値はほとんど変わらない。

#### 3. 円孔を有する断面が2列ある場合

この場合は2つの型にわけて考えられる。第1は図-3のごとく第1列の円孔の数と第2列の円孔の数とが等しい場合であり、第2は図-4のごとく第1列の円孔の数より第2列の円孔の数が少ない場合である。

図-3

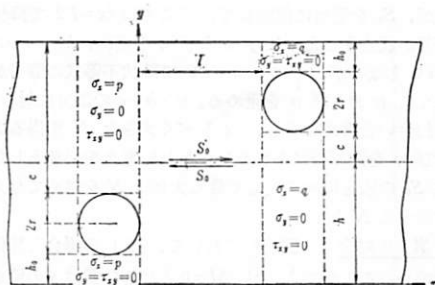
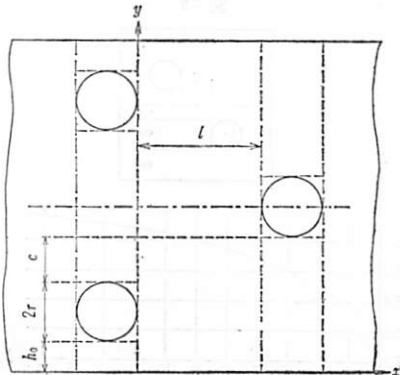


図-4



第1列と第2列との間隔を変えた場合  $N$  の値も変わり、間隔を無限大にした場合に  $N$  は最大となるが、前記第2の場合はこの間隔が有限な値でも適当な大ききであれば、 $N$  は最大値に一致し得る点で第1の場合と異なる。

a) 第1の場合 図-3 において、直線  $x=0$  上での垂直応力度を  $p$ 、直線  $x=l$  上での垂直応力度を  $q$  で表わせば、 $p$  および  $q$  はともに  $y$  の関数であって

$$\int_0^{2h} p dy = \int_0^{2h} q dy = N \dots\dots\dots (5)$$

$$\int_0^{2h} p y dy = \int_0^{2h} q y dy = Nh \dots\dots\dots (6)$$

を満足しなければならない。また

$$h_0 + 2r > y > h_0 \quad \text{では} \quad p=0$$

$$h+c+2r > y > h+c \quad \text{では} \quad q=0$$

であり、その他の部分では  $p, q$  とも  $\sqrt{3}k$  以下である。

$l > x > 0$  の部分については

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= p - \frac{p-q}{l} (3lx^2 - 2x^3) \\ \sigma_y &= \frac{6(2x-l)}{l^3} M \\ \tau_{xy} &= \frac{6x(l-x)}{l^3} S \\ M &= y \int_0^y (p-q) dy - \int_0^y y(p-q) dy \\ S &= \int_0^y (p-q) dy \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

で示される応力状態を考える。ここで  $p$  および  $q$  を適当に定めて、どこでも降伏不等式を満足するようにする。その中で与えられた  $l$  に対して最も大きい  $N$  を与えるものとして、その  $l$  に対する  $N$  とする。多くの試算の結果次の方針にしたがって  $p$  および  $q$  を定めればよいことがわかる。帯状板の中心線上の  $M$  および  $S$  をそれぞれ  $M_0$  および  $S_0$  と置けば (図の場合  $S_0$  は負であることが容易に推定される)、

$$M_0 = 0$$

であるが、 $S_0$  を適当に仮定して、ここでは  $x=l/2$  で降伏不等式の等号が成立するように  $p$  および  $q$  を定め、 $h+c > y > h$  では  $M \neq 0$  となるが、やはり  $x=l/2$  で降伏不等式の等号が成立するように  $p$  および  $q$  を定める。 $y > h+c$  の部分に対しては、全体の釣合いを考えながら、なるべく大きな  $N$  を得るように  $p$  および  $q$  を選ぶのはあまりむずかしい考えを必要としない。最後に  $S_0$  の値を種々に変えて最も大きい  $N$  を求めて与えられた  $l$  に対する  $N$  とする。

b) 第2の場合 図-4 において、第1の場合と類似の計算法で求めることができるが、 $M=0$  となる位置は  $y$  の値がちょうど  $h_0+2r$  と  $h_0+2r+c$  との間であるとは限らないので、

図-5

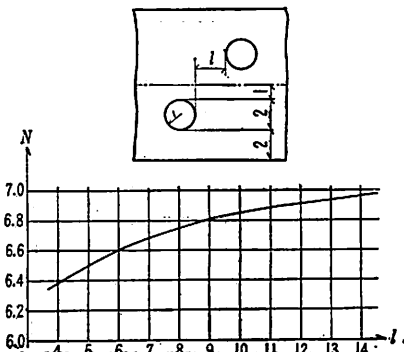
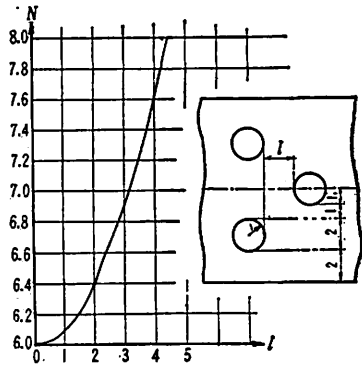


図-6



多少複雑である。

#### 4. 近似計算法

以上の説明にしたがって行なったいくつかの計算結果を基礎にして近似計算法を提案した。ここには、これによって求めた  $N-l$  曲線の2例を 図-5 および 図-6 に示す (円孔の半径を長さの単位に、 $\sqrt{3}k$  を応力度の単位にとり、ともに1とする。また板厚は1と考える)。

【筆者：正員 名古屋工業大学教授 土木工学科】

### 小丸川PC鉄道橋の架け替え工事ならび に関連して行なった実験的研究報告

和仁達美・川口輝夫・菅原 操  
野口 功・羽田野義真

小丸川橋梁は日豊本線にあり、全長 805 m、九州第一の鉄道橋である。従来、支間 22.3 m の上路鋼桁 35 連よりなっていたが、戦争中に米軍の機銃掃射をうけ、戦後、4 連は新しい桁と交換し、他の 4 連は一部修理を行なって使用していた。しかし、橋梁位置が海岸線から非常に近いため、潮風による腐食がはなはだしく進んだ。戦後架け替え、10 年あまりしか経過していない桁が、在来の約 40 年を経過した桁と同様、あるいはそれ以上にひどく腐食するという現象を生じた。これについては、鋼材の材質試験などを行なった結果、戦後 架け替えた桁に使用した鋼材の含銅量が在来の桁のそれとくらべて非常に少なく、このため、短かい年月の間にひどく腐食をうけたものと推定された。

腐食の進行がはげしいために、1958 年に本橋における桁を全面的に取り替える計画に着手した。このように潮風の影響が強いところなので、鋼橋を PC 桁で取り替えることが検討された結果、工費的には PC 桁で十分経済的に行けることが明らかになり、耐久性を重視して PC 桁を架けることになったのである。

本橋は現在年間 600 万 t の通過量があり、これだけの列車を通しながら、列車の間合を見て、鋼桁を PC 桁に取り替える方法について検討した。従来、営業線において列車間合に鋼桁を鋼桁に取り替える作業は一般に行なわれて来たが、鋼桁の重量の 4~5 倍の重量の PC 桁をわずかの列車の間合を見て架け替える工事は国鉄としてはじめてのことであるので、次の 3 つの架設方法について入念に比較検討が行なわれた。すなわち、

(1) 橋に沿って支保工を架設し、この上を PC 桁を縦方向に架け替えスパンの位置まで運搬し、列車の間合をみて、横取りによって架け替える方法。

(2) 列車間合を見て、まず架け替えるべきスパンにおいて、建築限界の外側にエレクション ガーダーを架設し、列車間合に PC 桁を本線上をトロで運搬し、エレクション ガーダーによって架け替える方法。

(3) 70t の架設車 2 台を製作し、トロの上のせた PC 桁をはさんで、架設車を連結し、列車間合に機関車で、工事用臨時列車として架け替え スパンまで推進し、この架設車によって架け替える方法。

以上の 3 案のうち、(1) は工事としての安全度は高いが、工費の点で非常に不利になること、また (2) は 1 スパンの架け替えに 2 度の列車間合を利用する必要があり、作業上、列車運転上の危険度が高くなるという不利な点をさけることができない。(3) については、新たに架設車を製作しなければならないのであるが、国鉄において、今後 5 年間に架け替えを予定されている桁は 700 連に達しており、これらの中の一部は PC 桁で架け替えられることが予想されるので、PC 桁のスパン 22.3m まで、および上蓋板桁の架け替えに使用できる大型架設車の製作を行なうことにした。この方法によれば、工事の安全度は高く、また工費の点についても架設車の償却を本橋において一部だけ行なうという考え方によって十分経済的になることが明らかとなるので、(3) による実施にふみ切ったのである。

PC 桁の設計にあたっては、上記の架設条件をできるだけ案に満たすことができるという意味から、また、橋脚橋台は在来のもをそのまま、あるいは一部補強して使用する関係上、橋脚および橋台の安定性の面から、できるだけ軽量に設計することが要求された。このため、肉厚をできるだけ薄くした箱型断面となった。このほか、強度計算上荷重を分担しない死荷重をできるだけ少なくするため、防水工なども排除することになった。

鉄道橋の死荷重として重要な部分を占めるものに、道床があり、この道床を排して直結構造とする案も提出されたが、コンクリート桁に軌道を直結する方法は、構造上また施工上多くの困難が残されているので、直結方式による案は捨てられたのである。

軽量に設計された PC 桁を架設し、設計上において考慮しなかった原因において PC 桁にひびわれが生じたときに容易に補強ができるかどうかは、このような長大橋にはじめて PC 桁を採用する場合における心配の種の一つとなるものである。このため、1/2 の模型桁において補強の可能性をおもに検討するための試験が行なわれた。この試験によると、万一 PC 桁にひびわれが発生しても、箱型断面の中空内に付着のない PC ケーブルを配置し、追加のプレストレスを与えることによって、ひびわれを閉じ在来ケーブルと補強用のケーブルの活荷重による応力変動を十分に小さくし、おさえることができる点を確認した。

PC 桁の製作は小丸川右岸の高鍋駅構内に隣接した土地において行なわれた。PC 桁製作のためのベンチは 2 基用意し、PC 桁の製作は 6 日に 1 本の割合で行なわれた。

コンクリートは圧縮試験による管理と平行して、 $4 \times 4 \times 16$ cm 供試体による簡易曲げ試験による管理が行なわれた。この結果、曲げ試験によるコンクリートの管理図が、圧縮試験によるそれと類似の傾向を示し、曲げ試験によるコンクリートの管理の可能性を示す一つの資料が得られた。

コンクリート打ちにあたって、すでに打ち込まれたコンクリートが、長時間型わくからの振動を受ける。セメントが凝結中に継続した振動を受けた場合、硬化した後のコンクリートの性質に悪影響を与えることが心配されたので、実際の桁のコンクリートが受けると同程度の振動を継続して与えた供試体について強度試験を行なった結果、悪影響のないことを確認した。

型わく側面の外部振動機によって、PC 桁の底版コンクリ

トが十分締固め得るかどうかについて、コンクリートの打ち込み試験を行なった結果、鋼製型わくを使用し、スランブ 3~5 cm のコンクリートの場合、型わく側面の外部振動機によって底版コンクリートを十分締固めることが明らかとなり、箱型断面のコンクリート打ち作業を全断面 1 度に行ない、桁製作の効率をあげることができた。

小丸川橋に使用された PC ケーブルは全部で 840 本に達しており、緊張結果をもとにして、プレストレスのばらつきについての検討が加えられた。この結果によると、プレストレスングの際に設計断面における PC 鋼線の引張応力を、ケーブル端部における伸びと荷重計の読みによって推定した場合、実測にあたっては、荷重計のキャリブレーションが行なわれ、摩擦損失の見積りが正しく、計算上の仮定に誤りがない場合でも、種々な誤差の原因の集積によって、この両者の測定値の間に標準偏差にして 5% 程度のばらつきを生ずること、しかし、これらのばらつきは数本あるいは十数本のケーブルについて平均すると非常に小さくなる偶然誤差であること。

しかし、もし荷重計に狂いがあったり、摩擦損失の見積りに大きな誤差があり、あるいは計算の仮定に誤りがあるような場合には、数本あるいは十数本のケーブルについて平均にしても、0 に近づかないものであることが明らかとなった。この結果、プレストレスングの管理においては、介入して来る誤差を偶然誤差だけにすることが大切であり、このため、プレストレスングにおいては個々のケーブルにおける、伸びと荷重計の読みの差に注目するばかりでなく、数本あるいは十数本のケーブルについての伸びと荷重計の読みの差の平均値が重要な要素となり、管理図によって管理することが必要であるという結論に導いたのである。

PC 桁の架け替えは、夜間、23 時半から 5 時半までの 6 時間の列車の間合を利用して行なわれた。PC 桁は桁置場から横取りによって橋梁トロ上にとらえ、高鍋駅構内の側線において、架設車との間であらかじめ工事用臨時列車を編成し、小丸川の右岸側から 1 連ごとに架け替えられて行った。架設工事は 5 日に 1 連の割合で、ほぼ正確な周期を保ちながら、ほぼ 6 カ月で完了することができた。

架設工事における問題点は、在来橋梁における軌道レベルを動かすことなく、PC 桁を架け替えるため、在来橋脚頂面を約 10 cm 以上上げる必要があることと、箱型断面の桁をねじれが生じない状態で橋脚上に設置することであった。このため、列車間合の工事中にコンクリートを打ち込み、まだ固まらないコンクリートに PC 桁をすえつけ、初列車が通過する時刻には少なくとも  $100 \text{ kg/cm}^2$  のコンクリートの強度を得ることが必要であった。このためアルミナセメントの使用にふみ切ったのである。作業は正確な時間表に従って行なわれるものであるから、アルミナセメントの強度の増進も正確に管理する必要があった。このため使用に先立って、実験室においてあらかじめ、各温度におけるアルミナセメントを使用したコンクリートの凝結時間および強度増進の曲線を求めておき、施工にあたってはその時の温度を測定し、初列車通過時刻から逆にコンクリートの練り混ぜ時刻を逆算して、その時刻にコンクリートを練り混ぜるという方法をとった。このほか、入荷するセメントの品質のパラツキをしらべるため、随時セメントの凝結試験を行なって、この結果をも合わせて参考としたのである。

かくして初列車通過時におけるコンクリートの強度は  $100 \sim 200 \text{ kg/m}^2$  の範囲で得ることができた。

本工事は営業線において、鋼桁を PC 桁に交換するためにはじめて計画されたものであるが、工事にあたっては細心の注意と入念な検討を行なったため、小さな事故もなく、全 35 連を架

け替えることができ、鉄道における PC 桁の使用の領域の拡張に役立ったものであり、今後この種の工事に対する参考資料を提供することができたものと考え。しかし、この種の工事においては慣れによって安易な施工が行なわれることは厭いづまわばならない。

【筆者：和仁・正員 国鉄施局土木課長、川口・正員 国鉄構造物設計事務所、菅原・正員 国鉄東京工事局土木課長、野口・正員 国鉄構造物設計事務所、羽田野・国鉄大分鉄道管理局】

## 大都市における自動車交通 需要よりみた都市構成論

一特に東京都における都市高速道路ならびに  
街路計画への適用について一

山田正男

### 概 要

都市計画は都市の境域内の土地を終局的にも、過渡的にも、都市の規模ならびに性格に応じて最も合目的に高度の利用価値を發揮しようとする能率的な計画でなくてはならない。

近時、日本はもちろん、世界の大都市においては皆々として都市の改造にのみおわれており、都市を構成する諸要素の相関性理論の樹立が必要である。

都市を構成する要素としては土地の用途、建築物の容積と都市施設である街路、公園、鉄道、上下水道などの公共施設である。

これらの諸要素を組立てるさい、従来は形態的構成のみにとらわれていたが、土地の用途、容積と街路、公園その他の公共施設の相関的な量的構成が重要視されるべきである。この意味において筆者はさきに都市計画における市街地容積構成論を提唱したが（土木学会誌第 42 巻第 11 号・昭和 32 年 11 月参照）、本文においてはこの理論を東京に適用し、適用にあたっては交通需要を中心とする考察を行なった。

本文は次の章よりなる。

1. 東京都における自動車交通需要の将来と街路の交通処理能力
2. 都市構成論
3. 大都市への容積的構成理論の適用
4. 東京都市計画における街路計画と容積計画への適用

### 1. 東京都における自動車交通需要の将来と街路の交通処理能力

本章では主として東京の自動車交通需要の予測を行なった。その予測方法としてははじめに、自動車登録台数が所得水準に大きな影響をうけることを明らかにし、所得水準との関係において将来の自動車台数を予測した。次に自動車登録台数の伸びが交通量にどのように現われるかを登録台数と交通量との関係

を通過率として分析し、土地利用上よりの地域分類にあわせて地域別の交差点交通量の将来交通量を算定した。

さらに街路の交通処理能力より東京の将来の自動車交通の行詰りを明らかにした。

### 2. 都市構成論

都市を構成する諸施設の相関性——特に建築物の容積と道路、公園、その他の公共ならびに民有の空地との均衡をどのようにすべきであるかという点で容積構成基準を設定している。容積構成基準としては市街地容積 ( $E$ ) に対する市街地空地 ( $J$ ) (道路、公園など公共空地と宅地内空地) の相関性を建築容積に対する市街地空地率 ( $L$ ) とし、これらの数値が  $L=J/E$  なる関係において  $L$  値が一定であるべきである。

この関係を現行の地域制にあわせ、建築形式別に、宅地利用と土地利用の基準案を提唱した。

### 3. 大都市への容積的構成理論の適用

上述の容積的構成理論の適用にあたっては現行の地域制との矛盾を明らかにし、今後の地域制のあり方について新しく容積的考慮を十分にとり入れるべきであることを指摘し、次に容積構成基準を交通需要よりみた場合妥当性があるかについて検討を行なった。検討にあたっては、市街地容積と交通需要の相関性、交通需要と市街地道路率との相関性を明らかにして、両者の関係より市街地容積と市街地道路率との関係を導きだした。これにより前述の容積的構成基準を検討し、さらに東京へ適用するさいの基準値を決定した。

### 4. 東京都市計画における街路計画と容積計画への適用

1. でのべた将来交通需要を地域的、道路機能的にどのような配分を行なうべきかにつき、都市高速道路をふくめた都市計画街路網につき、さらに地区別には将来の交通需要を中心に、計画街路、建築容積の計画について検討が行なわれた。終りに淀橋浄水場跡地を中心とする副都心建設計画において容積構成基準を具体的に適用した。

以上のように、本論文においては都市施設の諸計画、なかでも街路計画では都市の容積的構成を確立しなければ合理的でないとして、都市を構成する諸要素の相関性理論を展開し、今日特に問題となっている将来の交通需要を中心として現実の東京への適用を行なったのである。

また本論文で述べた都市高速道路計画および幹線街路計画はすでに計画決定をみ、事業化の段階に突入している。

大都市東京においてかくのごとき計画根拠をもつ将来の都市構成というものは少なくとも今日諸外国においても悩む根本的問題を解決し、都市発展の素因となると信じ、今後の都市改造、都市建設の上に新しい方向を与えることになれば幸いとすところである。 【筆者：正員 東京都首都整備局長】

### 訂 正 表

46 巻 8 号・31 ページに次の誤りがあったので訂正します。

行	誤	正
左・上 1	1. 上水道の現況	1. 下水道の現況