

今月は論文集第 132 号 (41 年 8 月発行) 登載論文としてつぎの 5 編を紹介いたします。今月紹介した論文に対する討議は 42 年 2 月 20 日まで受け付けます。次号では第 133 号 (41 年 9 月発行) 登載予定論文として下記の 4 編を紹介いたします。

石原研而：二層粘弾性地盤内の応力とその舗装体への適用法

山門憲雄・横田 章：高速の水噴流による岩石の破壊

木村 猛：せん断力を受ける舗装の応力について

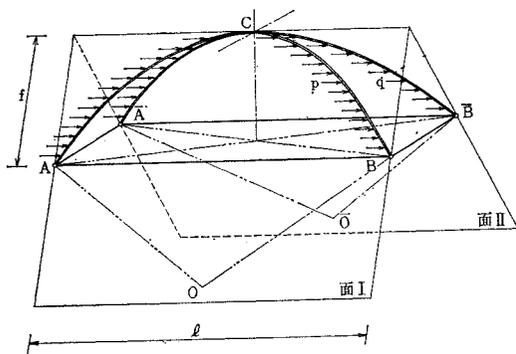
藤田嘉夫：単純曲げを受ける鉄筋コンクリート桁およびプレレストレストコンクリート桁の極限強さ設計法に関する研究

テーパーのついているアーチに関する応力・変形の解析

奥村敏恵・松浦 聖

アーチに関する種々なる研究は、すでに数多くみられ、参考文献も非常に多い。しかしここでは、研究の対象とするアーチとして、図-1 に示すようなテーパーのついている、いわゆる パスケット ハンドル形式のアーチを考え、このアーチに、材軸に沿ってアーチの面内中心方向等分布荷重 (Case I)、鉛直等分布荷重 (Case II)、および等分布水平横荷重が (p kg/cm, q kg/cm) 満載されたとき、このアーチに生ずる応力・変形を解析し、かかる新しい形式の構造物に対する基礎的な研究を行なった。

図-1 アーチおよび水平横荷重載荷状態



かかる形式の橋梁としては、すでに Rio Blanco 橋 (Mexico) があり、また 1962 年には読売モノレール橋がある。さらに最近ドイツ・デンマーク間に Fehmarsund 橋が架設されて、その模型実験や、架設施工のことも含めて、詳細な論文も発表されている。

さて本論文では、アーチの応力・変形のみ解析しているが、とくに構造物であるアーチを立体的に解析した。したがって、新しくアーチの断面力として考慮すべき面外方向の曲げやねじりモーメントもテーパーの変化と関

連させて、考察する必要が起り、さらに支間中央剛節部の補強・補剛のためにも必要な、ここに集中する断面力の検討も加え、一方荷重としては風荷重・水平地震力などの場合の水平横荷重、長径間アーチになれば、その死荷重にも関連して問題となる鉛直・アーチ面内中心方向荷重が作用する場合を考えて、かかる新しい形式のアーチに対する基礎的考察を試みた。

なお理論的考察として、最近注目されてきた、パイプ断面のアーチで、円弧アーチを対象とし、とくに、アーチのテーパーの角度 θ の変化による影響に注目して、アーチの応力や変形を、 θ の関数として求める基本式を示し、つづいて、テーパー θ 、パイプ直径 D 、スパン l 、ライズ f 、肉厚 t をパラメーターにとって数値計算を行ない、若干の考察を加え、応力・変位に対しては、各種パラメーターが影響するが、Case I、Case II のときはとくに θ と f/l が他のパラメーターより大きな影響を与え、Case III では、とくにパラメーター θ と f/l とが大きく影響し、しかも θ と f/l との間の相関関係でも、その影響を考える必要があることをも示した。

またアーチ始点の差違による問題、すなわち主として考察の対象としたアーチは、その始点におけるヒンジの回転軸は、図における面-I や面-II に垂直な軸をとっているが、この軸として、始点 A と \bar{A} および B と \bar{B} とを結ぶ軸、すなわち橋軸に直交し、水平な軸のまわりの回転のみ自由な構造に関する考察した。

さらに任意断面を考えて、その断面に関する変位・応力の影響線も、ほとんど同じような考察により書くことができることを、一つの例を示して、概略的に述べた。

(1965.11.15・受付)

〔奥村：正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科〕
〔松浦：正会員 名古屋工業大学助教授 土木工学科〕

曲線格子桁の極限解析について

米 沢 博・三上市 蔵

1. ま え が き

曲線格子桁の耐荷力すなわち安全性を知り、かつ内外各主桁の間の経済的な断面比などを決定するためには、極限解析が簡便かつ適当な方法の一つと考えられる。ここでは、2本の曲線主桁と1本の横桁よりなる曲線格子桁を取りあげ、集中荷重が外桁のスパン中央 (Case 1) あるいは内桁のスパン中央 (Case 2) に作用した場合の崩壊形式および崩壊荷重を理論的に解析した。また、模型実験を行なって、理論的に得られた崩壊形式および崩壊荷重の値が妥当なものであることを確かめた。

2. 崩 壊 荷 重

各部材は完全塑性体であると仮定し、かつ線構造物として取り扱う。図-1に示すように、両主桁は同心円弧上にあり、その両端で曲げおよびねじりに対して固定されているとする。

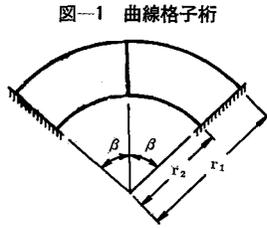
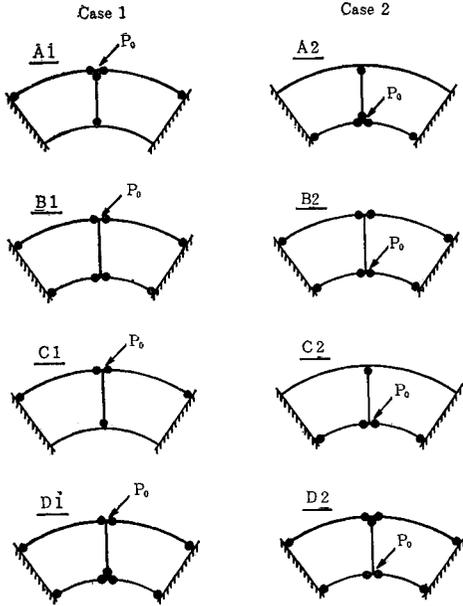


図-2 崩壊形式



崩壊形式として、Case 1 および Case 2 についてそれぞれ図-2に示した4種類の形式を仮定する。せん断力および軸力の影響を無視して、降伏およびつりあい条件式から、崩壊荷重 P_0 を求めるとつぎのようになる。ただし、 $\mu = P_0 r_1 / M_{10}$ 、 $\rho = r_1 / r_2$ 、 $i = M_{20} / M_{10} = T_{20} / T_{10}$ 、 $j = \bar{M}_0 / M_{10}$ 、 $\nu = T_{10} / M_{10} = T_{20} / M_{20}$ 、 $\nu' = \nu \tan(\beta/2)$ で、 M_{10} 、 M_{20} 、 \bar{M}_0 および T_{10} 、 T_{20} はそれぞれ外、内、横桁の全塑性曲げモーメントおよび外、内桁の全塑性ねじりモーメントである。

$$A1: \mu = j \left[\frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{4\nu^2}{j^2} - 1} \cot \frac{\beta}{2} + \frac{\rho+1}{\rho-1} \right]$$

$$A2: \mu = \rho j \left[\frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{4\nu^2 i^2}{j^2} - 1} \cot \frac{\beta}{2} + \frac{\rho+1}{\rho-1} \right]$$

$$B1: \mu = 2 \cot \frac{\beta}{2} \cdot \left[\frac{-\lambda_{11}'}{\sqrt{(\lambda_{11}')^2 + (\nu')^2}} + i \frac{-(\lambda_{11}' + \rho - 1)}{\sqrt{(\lambda_{11}' + \rho - 1)^2 + (\rho\nu')^2}} \right]$$

ただし、 λ_{11}' はつぎの式を満足しなければならない。

$$-\nu_{11}' = (\rho - 1) + \frac{(\rho\nu')^2 + (\nu')^2}{\rho - 1} \sqrt{\frac{(\lambda_{11}' + \rho - 1)^2 + (\rho\nu')^2}{(\lambda_{11}')^2 + (\nu')^2}}$$

$$B2: \mu = 2\rho \cot \frac{\beta}{2} \cdot \left[\frac{\lambda_{11}'}{\sqrt{(\lambda_{11}')^2 + (\nu')^2}} + i \frac{(\lambda_{11}' + \rho - 1)}{\sqrt{(\lambda_{11}' + \rho - 1)^2 + (\rho\nu')^2}} \right]$$

ただし $\lambda_{11}' = \frac{(\nu')^2}{\rho - 1} + \frac{i(\rho\nu')^2}{\rho - 1} \sqrt{\frac{(\lambda_{11}')^2 + (\nu')^2}{(\lambda_{11}' + \rho - 1)^2 + (\rho\nu')^2}}$

$$C1: \mu = \frac{1}{\rho - 1} \left[\rho j + 2 \sqrt{(\rho - 1)^2 \cot^2 \frac{\beta}{2} + \nu^2} \right]$$

$$C2: \mu = \frac{\rho}{\rho - 1} \left[j + 2i \sqrt{(\rho - 1)^2 \cot^2 \frac{\beta}{2} + (\rho\nu)^2} \right]$$

$$D1: \mu = \frac{j}{\nu'}$$

$$\cdot \left[\sqrt{\frac{4\nu^2 i^2}{j^2} - 1} + \sqrt{\frac{4\nu^2}{j^2} - \left(\frac{\rho - 1}{\nu'} \sqrt{\frac{4\nu^2 i^2}{j^2} - 1} - \rho \right)^2} \right]$$

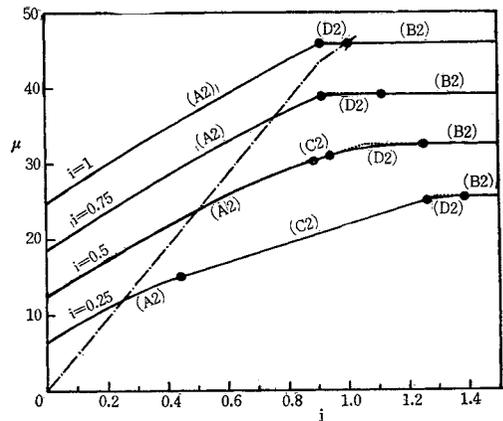
$$D2: \mu = \frac{\rho j}{\nu'}$$

$$\cdot \left[\sqrt{\frac{4\nu^2}{j^2} - 1} + \sqrt{\frac{4\nu^2 i^2}{j^2} - \left(\frac{\rho - 1}{\rho\nu'} \sqrt{\frac{4\nu^2}{j^2} - 1} - \frac{1}{\rho} \right)^2} \right]$$

3. 数値計算と崩壊形式および崩壊荷重に関する諸考察

2.で誘導した諸式を用いて、種々の場合について崩壊荷重を計算し、各主桁、横桁などの全塑性モーメントの比、断面形、幅員、スパンおよび中心角などが、崩壊形式および崩壊荷重に与える影響について考察した。例として、Case 2 で $\nu = 2/\sqrt{3}$ 、橋軸に沿ったスパンと幅員の比 $a = 4$ 、 $\beta = 10^\circ$ の場合に対して i, j の値と崩壊形式および荷重との関係を示すと図-3のようになり、Case 1 で $i = 0.75$ 、 $a = 4$ 、 $\beta = 10^\circ$ の場合に対して、断面形による定数 ν と崩壊形式および荷重との関係は、図-4のようになる。

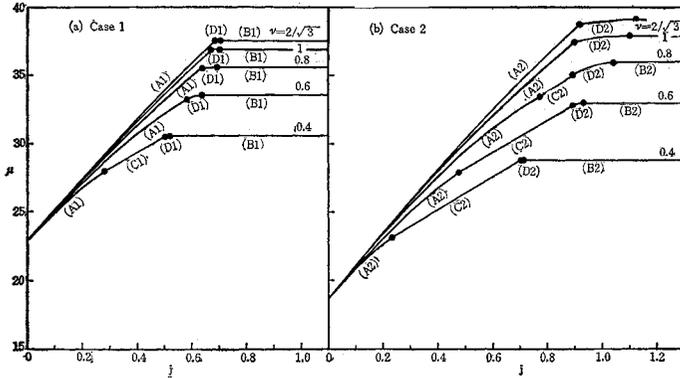
図-3 i, j の値と崩壊形式および荷重との関係



4. むすび

理論的考察および模型実験結果との比較についての主な結論はつぎのようである。

図-4 μ の値と崩壊形式および荷重との関係



1) 各桁の全塑性モーメントの比, ねじり抵抗に対する断面定数, 中心角, スパンと幅員の比などによって異なる崩壊形式が生ずる。これらの崩壊形式と崩壊荷重を理論的に求めた。

2) 理論式を用いて数値計算を行ない, 箱断面 2 本主桁の曲線橋の場合, 広範囲の a, β, i, j などの値に対する崩壊形式及び荷重がただちに求められる図を作製した。

3) 中心角, ねじり抵抗, 幅員などが変化すると崩壊形式と荷重が変化したが, それらの関係について考察した。また各主桁および横桁の曲げ抵抗の比と崩壊との関係を明らかにし, さらに経済的断面比の決め方に対しても若干の考察を行なった。

4) 10 個の小型模型に対して載荷実験を行なった結果, 崩壊形式および荷重に対する理論結果が妥当なものであることがわかった。 (1965.12.6・受付)

[米沢:正会員 工博 京都大学教授 工業教員養成所]
[三上:正会員 京都大学助手 工業教員養成所]

平行弦ワレン トラスの一計算法

熊野 哲 幹・成岡 昌 夫

1. 連続トラスの解法には, 種々の方法がある。弾性方程式を用いるのが一般的な方法である。変形法による解法は, 一般の連続トラスのような不静定次数の低いものには, 必ずしも有利ではないが, 計算が機械的に行なわれる点ではすぐれている。しかし, 変形法によって Stiffness matrix を求め, この逆 matrix を求めるという方法は, 計算機の有利な利用の点からは, 必ずしも賛成できない。

S. Falk 教授の提唱した還元法というのは, 初期(左端)の未知量, および途中の未知量をそのまま右端に移行させ, 最後に, 右端条件と途中

の条件を用いて解く, 方法である。Williot-Mohr の変位図によってトラスの変位図を求める場合, 両支点をとりあえず自由端と仮定し, 任意の一部材の方向を不変とし, かつ, そのうちの一つの節点を不動点として出発し, 変位図を作成する。しかるのち, 二つの支点条件を満足するように, さきの変位図を修正する。

この Williot-Mohr の変位図の書き方と還元法における未知量の決定法が相似していることから, 双方をくみあわせて, 還元法の本質によって変位を求め,

ついで, 部材力を求めようとした。

2. 図-1 において, 節点 2 における水平および鉛直方向のつりあい条件式 $\sum H=0, \sum V=0$ において, 部材力を両端の格点の変位 (u, v) の項で表わせば, $(u_2, v_2), (u_3, v_3)$ および u_4 の間の関係式が得られる。すなわち

$$\left. \begin{aligned} v_3 &= \alpha_{3,1} \cdot u_2 + \alpha_{3,2} \cdot u_3 + \alpha_{3,3} \cdot v_2 + \alpha_{3,4} \\ u_4 &= \beta_{4,1} \cdot u_2 + \beta_{4,2} \cdot u_3 + \beta_{4,3} \cdot v_2 + \beta_{4,4} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

の形式が得られる。

すべての節点において, つりあい条件式を変位の項で表わせば, 結局, 式 (1) を用いて,

$$\left. \begin{aligned} v_{i+1} &= \alpha_{i+1,1} \cdot u_2 + \alpha_{i+1,2} \cdot u_3 + \alpha_{i+1,3} \cdot v_2 + \alpha_{i+1,4} \\ u_{i+2} &= \beta_{i+2,1} \cdot u_2 + \beta_{i+2,2} \cdot u_3 + \beta_{i+2,3} \cdot v_2 + \beta_{i+2,4} \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

を得ることができる。

3. ただし, 連続トラスにおいては, 上式は左支点より第 1 の中間支点までに適用すべきである。一般に, 中間支点の節点番号を左から $N(1), N(2), \dots, N(k), \dots, N(K)$ とすれば, 左から $(k+1)$ 径間では,

$$\left. \begin{aligned} v_{i+1} &= \alpha_{i+1,1} \cdot u_2 + \alpha_{i+1,2} \cdot u_3 + \alpha_{i+1,3} \cdot v_2 + \alpha_{i+1,4} \\ &\quad + p_{i+1,1} \cdot R_{N(1)} + \dots + p_{i+1,k} \cdot R_{N(k)} \\ u_{i+2} &= \beta_{i+2,1} \cdot u_2 + \beta_{i+2,2} \cdot u_3 + \beta_{i+2,3} \cdot v_2 + \beta_{i+2,4} \\ &\quad + q_{i+2,1} \cdot R_{N(1)} + \dots + q_{i+2,k} \cdot R_{N(k)} \end{aligned} \right\} (3)$$

となる。

以上により, すべての節点の変位は, 初期値 u_2, u_3, v_2 と, 中間支点の反力, および荷重によって表わされる(荷重の項は添字 4 のものに関係する)。

4. 最右端の格点および右支点におけるつりあい条件式, $\sum H_{n-1}=0, \sum V_{n-1}=0, \sum H_n=0$ を節点の変位の項で表わし, 式 (2), (3) を代入すれば, 初期値と中間

図-1

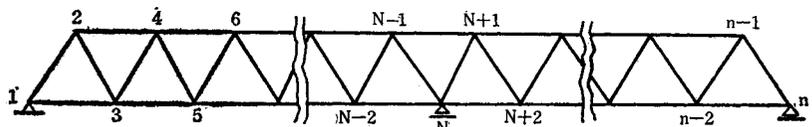
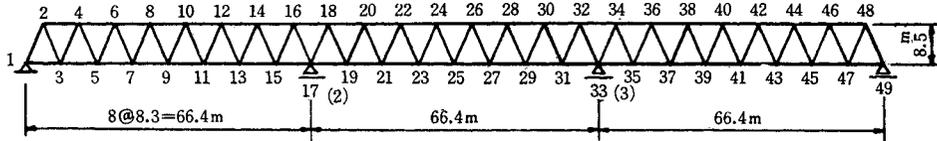


図-2



支点反力の項を含む連立多元一次方程式ができる。これを解いて、 u_2, u_3, v_2 、および R を求める。これらから、式 (2)、(3) によって、すべて u, v のが得られる。さらに、部材力を求めることができる。

5. 図-2 のような 3 スパン連続平行弦 ワレン トラスにおいては、未知数は、 u_2, u_3, v_2 および R_2, R_3 の 5 つである。単位荷重 $P=1$ を下弦節点を移動させて、21回計算を行えば、すべての部材力の影響線、すべての節点の変位の影響線を求めることができる。

(1965.12.27・受付)

〔熊野：正会員 三菱重工業KK広島造船所〕
〔成岡：正会員 工博 名古屋大学教授 工学部〕

自動車排気ガスによる大気汚染の研究 —高速自動車トンネル内外の炭化水素—

庄司 光・山本剛夫・西田耕之助

鉄道トンネルや自動車トンネル内の空気汚染については排気ガス中のばい煙による視程の減少、あるいは一酸化炭素による人体障害の点から問題とされ、その結果種々のトンネル換気方式が考案されてきた。しかし、排気ガス中に含まれている他の有害成分、たとえばスモッグの発生や植物に障害を与える炭化水素類や窒素の酸化物などについての研究はきわめてとぼしく、すでに長大な自動車トンネルの出口付近においてはトンネル排気による植物障害が訴えられている。そこで、この問題について基礎資料を得るために昭和 39 年 1 月 20 日から 5 月 9 日の間に 7 回にわたって名神高速道路の天王山トンネル東側においてガスクロマトグラフ法による測定を行なった。このトンネルは上り線の全長が 1454 m で半縦流式の換気設備が設けられているが、測定時にはいずれも運転を停止しており、トンネル内の換気は交通流による自然換気の状態であった。

試料空気の採取地点は、上り線（京都行）のトンネル内、トンネル出口、出口から 40、100、150 m 地点、中央分離帯上（トンネル出口から 40 m）ならびに下り線の南方 50 m の換気塔付近で、地上 1.5 m の高さで液

体窒素またはドライアイス—アセトンを冷却剤とした濃縮トラップ法によって行なった。また、同時に気象条件（気温、湿度、風向、風速）、交通状況、地上 40 m の高さまでの気温の垂直分布をも測定した。

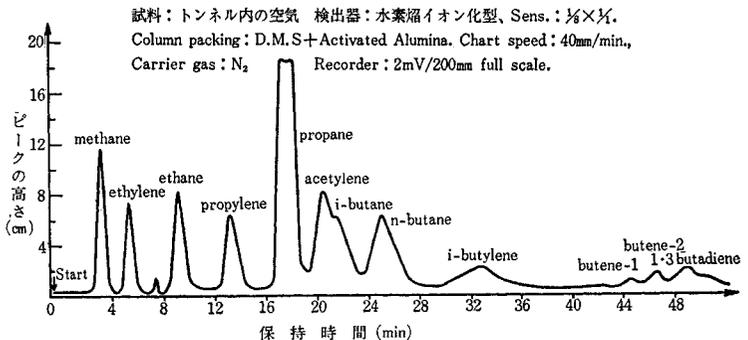
各地点で採取した試料を $C_1 \sim C_4$ 炭化水素成分については Dimethylsubolane 4 m + Activated Alumina 0.2 m (20°C) を、 $C_5 \sim C_{10}$ 炭化水素成分については Tri cresylphosphate 4 m (90°C) を分離カラムとして水素焰イオン化型検出器を備えたガスクロマトグラフによって分析した。

本測定の結果を要約すればつぎのとおりである。

(1) 1~2 月のトンネル内の気温は外気温にくらべて $-0.2 \sim 5.5^\circ\text{C}$ 高く、湿度は外気湿度より 2~3% 低い。5 月の場合にはトンネルの内外による気温、湿度に大差はない。

(2) 1~2 月にはトンネル出口付近（上り）線で地上 30 m の高さで気温の逆転が発生しており、その逆転層はトンネル出口から 100 m の地点にまで広がっている

図-1 $C_1 \sim C_4$ 炭化水素成分のガスクロマトグラフ



ことがみとめられた。5 月には気温の逆転はみられない。

(3) 測定時の交通量は上り線で 240~450 台/時で、下り線のそれよりやや多い。本測定の結果からみて名神高速道路の計画最大交通量（片側路線、20000 台/日）の約 1/4 に達するものとみられた。トンネルを通過する自動車の平均走行速度は 60~90 km/hr で、車種別通行頻度は乗用車（貨客車を含む）が全体の約 70% ともっとも多く、ついでトラックが約 22% と多い。

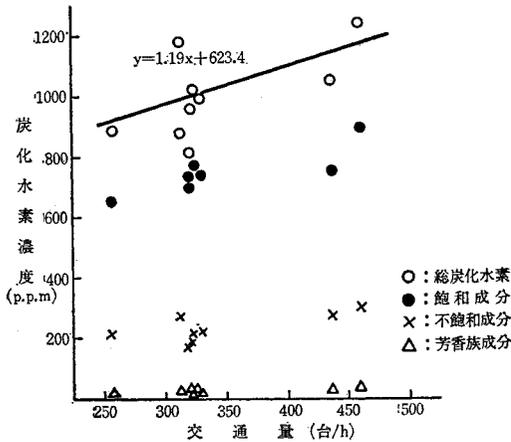
(4) 上り線のトンネル内で 30 種の炭化水素（合計 900~1200 ppm）が検出された。トンネル内空気の $C_1 \sim C_4$ 炭化水素成分についての分析例は 図-1 に示す。トンネル内で検出された炭化水素成分の構成は飽和成分

は約 75%, 不飽和成分が約 23%, 芳香族成分が約 2% で自動車エンジン排気のそれとほぼ同様である。トンネル出口より排出された炭化水素成分は、急速に希釈されて、出口より 40 m 地点では、60~93 ppm, 出口から 100 m 地点では 1~11 ppm, 出口から 150 m 地点では 1~5 ppm と大きく減少しており、とくに不飽和成分の減少傾向が他に比べて著しく大である。

トンネル出口では植物に有害とされている ethylene, propylene が 100~170 ppm, acetylene が約 90 ppm, *i*-butylene および benzene が約 10 ppm と比較的多く検出された。

(5) トンネル内(上り線)の炭化水素濃度は交通量とともに増大する傾向がみられ、その関係は図-2に示す。同時に測定したトンネル内の炭酸ガス濃度は 0.5~1.5%, 一酸化炭素濃度は 20~80 ppm でいずれも交通量とともに増す。

図-2 交通量とトンネル内の炭化水素濃度



本測定の結果から、名神高速道路の計画最大交通量時(約 1750 台/時)における天王山トンネル内の濃度を推定すると炭化水素合計 2700 ppm, 炭酸ガス 2.5%, 一酸化炭素約 200 ppm となる。ただし、トンネル換気装置の運転が停止していると仮定した場合の推測である。

(1966.1.31・受付)

庄司：正会員 医博 京都大学教授 工学部
 山本：正会員 医博 京都大学助教授 工学部
 西田：正会員 京都大学助手 工学部

大量輸送機関の運転計画について

河上省吾

大都市の交通混雑の激化とともに、大量輸送機関の重要性がますます高まりつつあるとき、その機能を高め

ることは緊急課題である。そこで本研究においては、大量輸送機関のうちでバスと路面電車をとりあげ、その運転システムの合理化と、各運転システムへの配車台数の合理的な決定法について検討する。

ここでは、混雑の程度を表わすのに、乗客 1 人が車中で占有するスペース(余裕度とよぶ)を用い、この大きさが各駅間で一樣になる方式と、乗客が駅に到着して乗車するまでの待ち時間の総和を最小にするような方式を合理的な運転方式と考えた。

余裕度、待ち時間のいずれを用いる場合にも、単位時間輸送需要にもとづき、まず図-1のような 1 本の路線における最適運転方式を決め、つぎにそれを用いて路線網における最適運転計画を求めた。

図-1

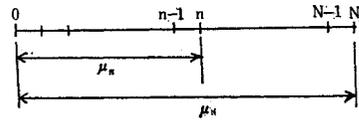


図-1に示した単一路線において、末端駅をそれぞれ 0, N とし、中間駅を 1, 2, ..., n, ..., N-1 によって表わす。ここでは *n* 駅を途中折返し駅とする(0 *n* または *n* N 間を往復する)小循環系統と 0 N 間を往復する大循環系統の 2 系統で運行するものとして、最適な途中折返し駅と、大小循環系統への配車比率を決定した。そして、これらを用いて路線網における各路線への最適配車台数を決定する方法を示した。なお、単一路線内の大小循環系統および路線網の各路線への最適配車比率は、それぞれ路線への配車台数および路線網での使用可能車両数に無関係に決められるので、輸送需要が変化しない限り、一度得た最適運転計画は使用車両数に無関係に用いることができる。

これらの方法を京都市営バスの一部路線に適用した結果、つぎのようなことがわかった。

余裕度を用いる方法と待ち時間を用いる方法とは巨視的には同様な運転方式を与えるものであるが、後者は、乗客の大小循環系統の選択を考慮している点において、より現実在即している。また、余裕度を用いる方法では、通過人員の極度に小さい駅間があるとその影響により運転システムへの配車台数が少なくなりすぎるという欠点がある。

これらの点を考慮すると待ち時間の総和を最小にする運転方式の方が優れていることがわかる。

(1965.12.13・受付)

[筆者：正会員 京都大学助手 工学部]