

5 心円断面道路トンネルの最適断面決定法に関する基礎的研究

第一復建(株)技術本部技術開発室 正員 千々岩浩巳
 九州共立大学工学部土木工学科 正員 三原 徹 治
 第一復建(株)技術本部 正員 兼松建男
 九州大学工学部建設都市工学科 正員 太田 俊 昭

1. まえがき

道路トンネル断面の設計は道路構造令¹⁾に従って行われているが、平成5年11月にその一部改正が行われ、道路橋・道路トンネルなどに係わる最小幅員の縮小規定が廃止されると同時に、歩行空間における自転車や歩行者への配慮から自歩道部の幅員が拡大され、考慮すべき道路幅員が従来に比較して倍近くに広がるケースもでてきた。従来、トンネル断面の設計は設計パラメータの少ない1心円および3心円が用いられてきたが、トンネルの内空幅が大きく拡大すると合理的断面とは評価し難い結果が得られる場合も出現している。その対策のひとつとして同じ幅員構成では、より内空断面積を小さくすることができる5心円断面を採用することが考えられるが、この断面形式は決定すべき設計パラメータの数が多く、また設計例も少ないため、合理的な断面設定がかなり困難な状況にある。

本研究は、このような現状から5心円断面の設計パラメータ値をGAを用いて決定する基本的な手法の提示を目的とするものである。すなわち、建築限界と内空縦横比と呼ばれる条件を制約条件とし、掘削断面積最小化を目的関数とする最適設計問題を設定した後、交配個体選択GA²⁾を用いた具体的な解法を提案するとともに、簡単な数値計算例により提案法の妥当性を検証するものである。

2. トンネル5心円断面の諸元決定法

本研究で対象とする5心円トンネル断面の概要および使用する記号を図-1に示す。設計において決定すべき設計パラメータは、変心量 e 、スプリングラインの高さ S_H 、上半半径 R_1 、下半半径 R_2 、上半内挿半径 R_5 および上半半径のなす角度 θ_1 であるが、図からも推察できるように各設計パラメータが相互に依存しているため、設計パラメータに優先順位をつけて断面諸元を設定するような断面設定アルゴリズムでは、必ずしも経済的なトンネル断面が得られるとは限らない。そこで、次のように最適化問題を定式化した。

$$\{ \text{minimize } A_K \mid DH_{ij} - DA_{ij} \leq 0.0 (i=1,2, j=1,2,3,4), 0.57 - H/W (= (H + R_1)/(2 \cdot R_1)) \leq 0.0 \} \text{----- (1)}$$

ただし、 A_K は掘削断面積(トンネル断面の設定を行う際には、一般に内空断面をもとに検討を行っているが、実際には覆工や吹き付けコンクリートの厚さを付加した断面を掘削する必要があるため、本研究の目的関数には掘削断面を用いた)、 DH_{ij} は各建築限界点と内空断面各半径線との離れ、 DA_{ij} は各建築限界点の許容離れを示す。なお、 H/W の許容値は道路トンネル設計基準(構造編)・同解説³⁾を参考に設定した。

式(1)の設計変数はすべて連続変数であるが、一般には、各設計パラメータはラウンドナンバーとして取り扱われているため、離散的最適化問題として取扱うことが実際的である。その解法としてGAの適用を考慮して、次のように各変数に離散値データを定義した。

- ①変心量 e は、符号(トンネル中心を基準に左(-)右(+))と量として取り扱う方法が容易に考えられるが、ここでは、符号はトンネル中心と道路中心との位置関係から符号を判断し、変心量(無符号)のみを離散値データとして定義した。離散値データは、0から0.01m間隔で計256個(8bit, 最大2.55m)とした。
- ②スプリングラインの高さ S_H は、0から0.05m間隔で計128個(7bit, 最大6.35m)とした。
- ③上半半径 R_1 は、3.0mから0.05m間隔で計128個(7bit, 最大9.35m)とした。
- ④下半半径 R_2 は、 R_1 より小さくなることは幾何学上あり得ないため、ここでは、 R_1 との長さの差を設計変数として定義する。変数との差は、0から0.05m間隔で計128個(7bit, 最大6.35m)とした。

⑤上半内挿半径 R_5 は、下半半径 R_2 と同様に 0 から 0.05m 間隔で計 128 個 (7bit, 最大 6.35m) とした。

⑥上半半径のなす角度 θ_1 は、スプリングラインとトンネル中心との間の角度であるため、 0° から 90° の間を 1° 間隔とし、計 91 個 (7bit) とした。

実際の断面設定時においては、各設計変数間にあらかじめ何らかの規則を設定し、このように細かく離散化した数値を用いない場合もあるが、ここでは、最適設計の観点から、トンネル設計に対する何らかの示唆を得ることも考えて、必要と考え得るより多くの離散値データを定義した。また、各種パラメータに対して設計条件に応じた離散値データを定義することにより、実際の設計への適応も容易である。

3. 設計計算例

提案法の妥当性を検討するため、3 種 3 級片側自歩道 (総幅員 11.25m) を対象としたトンネル断面の設定を試みる。解法には交配個体選択 GA²⁾を用い、数値計算に用いた GA 的パラメータは、人口数 $N_p=1000$ 、交配個体数 N_g は N_p の 1~2 割程度 (100~200)、突然変異発生確率=0.3、計算世代数=200 とした。表-1 に計算結果を示す。交配個体選択 GA を含めて、GA により最適化問題の全域的な最適

解が確実に求められることは保証されない。このため種々の GA 的パラメータのもとで数値計算を行い、それらに出現する最も良好な解をその問題の解として評価せざるを得ない。ここでは N_g 値を変化させるパラメータに選び、計算結果には各 N_g 値ごとに得られた最良解を示す (表中 A_N は内空断面積である)。

全く同じ条件下での 3 心円断面の最良解は $A_K=80.739 \text{ m}^2$ であったが、これに対して 5 心円断面では $77.143 \text{ m}^2 \sim 78.731 \text{ m}^2$ が得られ、2.5~4.5%程度減少していることがわかる。5 心円断面では吹き付けコンクリートの厚さや覆工厚が厚くなるにもかかわらず、掘削断面積が 3 心円断面より減少することから、単純に断面積の比較を行った場合には 5 心円断面の方がかなり有利であることがわかる。ただし、各設計パラメータ値をみると、様々な組合せが出現していることがわかる。これは、5 心円断面では最適解近傍に目的関数値がわずかに異なる設計パラメータの組合せが多数存在することを意味しており、試行錯誤的な方法では合理的な設計パラメータの設定が非常に困難であることの理由と考えられる。この点においても自動的に合理的な設計パラメータを提示できる本提案法の有効性が確認できる。

目的関数値と各設計パラメータの関係に着目すると、規則性が比較的認められるのは、スプリングラインの高さ S_H 、上半半径 R_1 、上半内挿半径 R_5 、変心量 e であり、下半半径 R_2 および上半半径のなす角度 θ_1 には規則性が認められなかった。

謝辞 本研究の数値計算には九州共立大学工学部土木工学科卒業生大戸善尚君の助力を得た。記して謝意を表する。

参考文献 1) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 1983.2. 2) 千々岩, 三原, 太田: 離散的最適構造設計への交配個体選択 GA の適用に関する一考察, 構造工学論文集, Vol. 42A, 1996.3. 3) 日本道路協会: 道路トンネル技術基準 (構造編)・同解説, 1985.12.

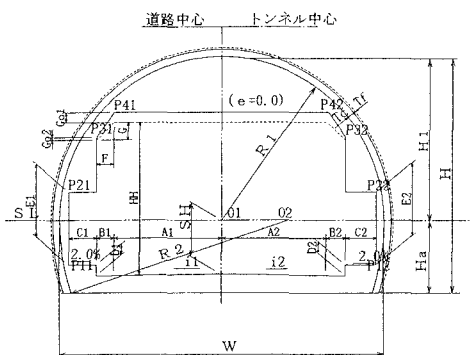


図-1 5心円トンネル断面の外形と記号

表-1 5心円断面の計算結果

N_s	S_H (m)	R_1 (m)	R_5 (m)	R_2 (m)	e (m)	θ_1 (度)	Q_{NH}	A_N (m^2)	A_K (m^2)
100	1.60	3.10	6.35	3.90	-1.32	28	0.5800	68.193	77.143
110	1.60	3.85	6.55	5.50	-1.35	41	0.5842	67.841	77.498
120	1.60	3.50	6.25	4.30	-1.37	29	0.5941	68.637	77.746
130	1.65	3.60	6.50	4.40	-1.36	37	0.5836	68.065	77.541
140	1.50	3.55	6.30	3.55	-1.34	29	0.5849	68.456	77.534
150	1.40	3.95	6.35	3.95	-1.34	33	0.5822	68.527	77.797
160	1.60	3.80	6.70	5.40	-1.34	43	0.5761	67.748	77.466
170	1.65	3.05	6.25	4.40	-1.35	26	0.5904	68.519	77.413
180	1.45	3.85	6.40	3.85	-1.34	34	0.5805	68.405	77.725
190	1.70	4.00	6.90	8.35	-1.38	51	0.5877	67.736	77.938
200	0.85	5.00	6.05	5.00	-1.41	14	0.5936	70.485	78.731