

(Ⅵ-17) トンネルのスムーズブラスティングにおける最適化手法の実施工への適用

(株) 間組 正員○鈴木雅行 正員 肥後満朗 正員 吉見憲一
山口大学工学部 正員 古川浩平 正員 中川浩二

1. まえがき

本研究は、トンネルの発破に用いられるスムーズブラスティング（以下S Bと呼ぶ）孔の設計に最適化の考えを適用し、その設計の合理化・実用化への応用に関して実測データを基に論じたものである。S Bの最適化に関しては削孔機との関連が非常に大きいが、ここでは実際に多くの現場で用いられている手動式油圧ジャンボを用いて検討した。

2. S Bの最適化問題としての定式化

トンネルの上半掘削の一般図を図-1に示す。ここでは断面が半円状であるS Lより上部のみを考察の対象とする。ここでR₀は最小限必要な掘削半径で、必要空間に所定のコンクリート巻厚、吹付けコンクリート厚を加えたものである。これ以下の掘削が当りになり、これ以上掘削した場合余掘りとなる。

2. 1 最適設計定式化

S B孔設計の最適化を考える場合、制御できる設計変数が限られる。手動式削孔機を用いた場合はスプレーで描く円周の半径Rと必要掘削半径R₀との差ΔRを設計変数にし、当り取り費用と余分に必要となるコンクリート費用の和を目的関数とした次のような1変数最適化問題として定式化される。

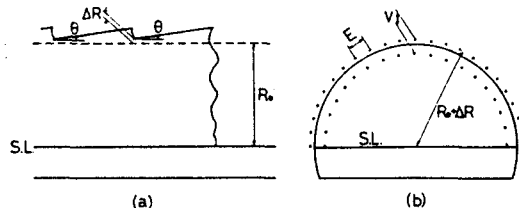


図-1 トンネル上半掘削一般図

設計変数 ΔR

$$\text{目的関数 } C_T = (C_A \cdot P_A \cdot A_A + C_B \cdot V) / L_c \rightarrow \min \quad (1)$$

ここに、C_Tは掘削長1m当りの総費用、C_Aは1m²の当りを除去するに必要な費用、P_Aは1サイクルの平均の当りになる確率、A_Aは1サイクルの壁面の延面積、C_Bはコンクリート1m³の費用、Vは1サイクルの余掘量、L_cは1サイクル進行長である。ここで、C_B、Vの算出法についてはすでに発表している¹⁾ので、ここではC_AとP_Aの求めかたについて説明する。

3. 当り確率P_Aの算出

R₀と実掘削半径との差をDとし、その平均を $\bar{D}$ 、標準偏差をσとすると、ある位置(x)における当りの確率P_AはD<0を当りと考えて次式で表現される。¹⁾

$$P_A = \frac{1}{\sigma(x)\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{y - \bar{D}(x)}{\sigma(x)} \right)^2 \right\} dy \quad (2)$$

表-1 実験結果一覧表

いま、1サイクルの進行長を2mとした場合、その中間点であるx=1mの断面を実際に断面測定器で測定した結果より求まる当りの確率を、式(2)で求めたP_Aとの比較を表-1に示す。表-1の実験1~4はΔRを4種類変化させて実測したものである。このように、実測結果の当りの確率と式(2)で求めた値とは良く一致しており、式(2)で当りの確率を求めても良いことが明らかになった。

項目	実験No	実験1	実験2	実験3	実験4
測定断面数	47	52	31	41	
N (断面測定箇所数)	1175	1300	775	1025	
ΔR (cm)	—	8.0	5.0	0.0	
$\bar{D}$ (cm)	24.1	19.7	19.1	11.8	
σ _D (cm)	12.9	13.8	16.3	13.2	
当りの個数	25	100	92	191	
7-寸からの当りの割合(%)	2.1	7.7	11.9	18.6	
式から求めたP _A (%)	3.1	7.6	12.1	18.6	

4. 当り除去費用の算出

最適化問題を解くにあたり、当り除去費用であるC_Aの算出が問題となる。算出方法についてはすでに詳しく発表している²⁾ので、ここでは発破とブレーカを用いた場合の当り取りに要する直接工費、工期に影響しない場合の費用および工期に影響する場合の費用についてそれぞれ実際の費用を算出し、その費用をコンクリート 1m³当りの単価に対する割合で示したものを表-2に示す。

筆者らが行なった実験^{1) 2)}より実施工現場が異なっても表-2に示した割合はほとんど変わらないことが確認されている²⁾。これらの費用を用いて最適化の検討を行なった。

表-2 1m³の当り取りに要する費用 (C0単価に対する割合)

費用 方法	直接工費	直接+間接 工期に影響しない	直接+間接 工期に影響する
発 破	0.56 (7780)	0.84 (11670)	1.12 (15560)
ブレーカ	0.40 (5630)	0.68 (9520)	0.96 (13410)

5. 最適化結果および考察

最適化に当たってはさし角 $\bar{\theta}=7^\circ$ を、また本実験での断面計測結果であるD(φ)の標準偏差 σ_D をもってばらつきを表現する。この σ_D として、実験1の結果である $\sigma_D=12.9\text{cm}$ を用いる。表-3に ΔR を設計変数と考へて1変数最適化を行なった結果得られた ΔR_{OPT} および最小コストを示す。表-3中の実施工費用は実験1の $\bar{D}$ 、 σ_D を用いて計算した結果である。ケース1は直接工費のみを考えた場合、ケース2は工期に影響しない場合の間接工費を考慮した場合およびケース3は工期に影響する場合の間接工費を考慮した場合である。最適化の結果、 $\sigma_D=12.9\text{cm}$ の場合実施工費用に比べケース1, 2, 3で発破の場合各々17, 7, 3%, ブレーカの場合各々27, 12, 5 %程度コストが低減できることがわかる。また、 σ_D を10cm, 8cmというように削孔精度を上げることによりさらに低減できることがわかった。これらの結果から、SBの最適化に当たっては削孔精度を上げることによりコストが大きく低減できることが明らかになった。

表-3 最 適 設 計 結 果

当り取り 方 法	ケース	当り取り 費 用 (円/m ³)	実施工* 費 用 (円/m ³)	$\sigma_D=12.9\text{ cm}$			$\sigma_D=10.0\text{ cm}$			$\sigma_D=8.0\text{ cm}$		
				ΔR_{OPT} (cm)	最小コスト (円)	比率 (%)	ΔR_{OPT} (cm)	最小コスト (円)	比率 (%)	ΔR_{OPT} (cm)	最小コスト (円)	比率 (%)
発 破	1	7,780	56,524	0.9	47,183	83	0.2	39,855	71	-0.9	33,955	60
	2	11,670	58,445	5.3	54,114	93	3.2	44,706	76	1.2	37,560	64
	3	15,560	60,366	7.9	58,480	97	4.9	47,827	79	2.5	39,909	66
ブ レ ー カ	1	5,630	55,463	-4.2	40,538	73	-2.7	35,424	64	-2.9	30,739	55
	2	9,520	57,383	3.3	50,771	88	1.8	42,347	74	0.2	35,799	62
	3	13,410	59,304	6.6	56,269	95	4.0	46,242	78	1.8	38,713	65

*実施工費用 $\bar{D}=24.1\text{cm}$, $\sigma_D=12.9\text{cm}$ として求めたもの

参考文献

- 1) 古川浩平, 吉見憲一, 瀬戸口博昭, 中川浩二: 硬岩トンネルのスムーズプラスティング孔設計の最適化に関する研究, 土木学会論文集, 第379号, pp. 107-115, 1987年
- 2) 吉見憲一, 鈴木雅行, 古川浩平, 中川浩二: 手動式削孔機を用いた硬岩トンネルのスムーズプラスティング孔設計の最適化と実施工への適用, 土木学会論文集, 第421号, pp. 203-212, 1990年