

## 双設トンネルの施工における相互影響評価のための解析的検討

長崎大学工学部 学生会員 ○高杉 結稀 長崎大学大学院 フェロー会員 蔭 宇静  
 長崎大学大学院 学生会員 林 瑛煒 (株)熊谷組 正会員 手塚 仁 青木 宏一

### 1. はじめに

トンネルを2本以上併設する場合、あるいは他の構造物と近接する場合、一般的に地山状況に応じて中心離隔を掘削幅の3倍以上確保すればほとんど相互に影響がないとされている。その場合、既設と新設トンネルの相互影響を正しく評価した上で、設計施工を行う必要がある。本研究では、対象とする双設トンネルについて、地山不良箇所における2期線トンネル施工により1期線トンネルへの影響が発生する可能性が高いために、数値解析により相互影響の評価を行うことにした。

近接トンネルの相互影響に関しては、1期線トンネルが2期線トンネル側へ引き付けられるような挙動ではなく、1期線トンネルの内空側へ荷重を受けるような挙動を示すことが多いと推察される。ここでは、双設トンネルの掘削過程における既設と新設トンネルの受けた影響を解明するために、1期線トンネルの施工における内空変位等の計測結果に基づく地山物性値の逆解析を行い、2期線トンネルの近接施工による影響を定量的に評価する。

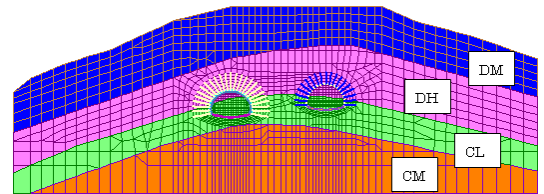


図-1 対象の双設トンネルの断面

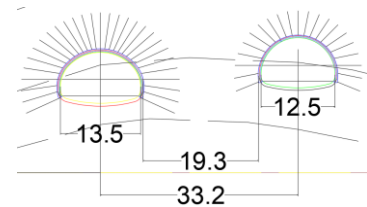


図-2 中心離隔と掘削幅 (単位 : m)

表-1 1期線トンネルの変位量

	天端(mm)	上半水平(mm)
計測値	-46.0	-42.1

### 2. 検討対象と解析手法

双設トンネルの相互影響評価のための数値解析手法として、有限差分法を用いたプログラムであるFLAC3Dの弾塑性解析を用いる。検討対象はOTトンネルの応急対策工未施工区間であり、1期線施工時に最も地山の状況が悪かったと記録されている1期線覆工SP38区間である。

図-1に示すトンネル周辺地山は花崗閃緑岩であり、地表からDM級、DH級、CL級、CM級で地層分けしている。

一般的にトンネル中心間の離隔がトンネルの掘削幅の3倍以上になるように計画されるが、図-2に示すように、OTトンネルの中心間の離隔はトンネル掘削幅の3倍以下となっている。実際の現場では地山の状態が悪く、2期線トンネル施工前に1期線トンネルの覆工にひび割れが多く発生している状況であり、2期線施工による1期線への影響があったことが計測によって確認されている。

そこで、本研究では2期線トンネルの施工による影響を詳細に考察するために、1期線施工における計測結果を活用することにする。表-1に示す計測値と解析値の差が5%以内に収まるようにトンネル周辺地山の物性値の逆解析を行う。表-2に支保部材物性値を、表-3に逆解析前の地山物性値を示す。

表-2 支保部材の物性値

	変形係数	断面厚さ	断面種	備考
単位	Mpa	m	m	
吹付けコンクリート	4000	0.2	0.2	1期線
吹付けコンクリート	4000	0.15	0.15	2期線
インバートコンクリート	20000	0.5	0.5	1期線
インバートコンクリート	20000	0.45	0.45	2期線
二次覆工コンクリート	20000	0.4	0.4	1期線
ロックボルト	210000		$5.065 \times 10^{-4}$	1期線、2期線
鋼製支保工H125	210000		$3.000 \times 10^{-3}$	1期線
鋼製支保工H150	210000		$3.965 \times 10^{-3}$	2期線

表-3 地山の物性値

名称	DM級	DH級	CL級	CM級
地層	花崗閃緑岩			
側圧係数	0.98			
変形係数 $E$ (MPa)	9.8	34.3	58.8	98
ポアソン比 $\nu$	0.35	0.35	0.3	0.3
単位体積重量 $\gamma$	23.5	23.5	23.5	23.5
粘着力 $c$ (MPa)	0.4	0.2	1	1
内部摩擦角 $\phi$ (deg)	35	30	40	40

### 3. 解析結果と考察

#### 3.1 1期線トンネルの逆解析結果

図-3 は逆解析のフローチャートを示す. まず, 解析ステップごとに表-4 に示すように応力解放率の設定を行った.

次に, 天端沈下の解析値と計測値の差が 5%以内になるまでに地山の变形係数の逆解析を続けた.

最後に, 上半掘削完了時の内空変位(水平)の解析値と計測値の差を 5%以内にするために, 解析モデル両サイドの境界面に作用する水平荷重を加えることにした. なお, 水平荷重は次式によって計算される.

$$\sigma_h = K_0 \sigma_v = K_0 \gamma h \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ただし,  $\sigma_h$ : 水平荷重;  $K_0$ : 側圧係数;  $\sigma_v$ : 垂直荷重;  $\gamma$ : 単位体積重量;  $h$ : トンネル天端までの土被り深さである.

表-6 は, 表-5 に示す逆解析によって推定された地山物性値と水平荷重に基づいた解析結果を示す. 天端沈下と内空変位の誤差は何れも 5%以内に収まっていることが分かる.

#### 3.2 2期線トンネルの解析結果

解析ステップごとに表-7 に示すように応力解放率の設定を行った. 図-4 と図-5 は 2期線掘削終了後の 1期線トンネルの天端変位(垂直)は 1.6mm, 内空水平変位は 0.48mmで, いずれも微小であった. この結果から, 2期線施工による影響は 1期線施工による変位(46mm)の約 3.5%であったことが分かる. なお, 図中の横軸は, 2期線の施工過程を忠実に反映した解析ステップ数を表す.

### 4. おわりに

本研究では, 1期線トンネル施工における内空変位等の計測結果の逆解析を実施して地山物性値とモデルの境界応力を推定した上で, 2期線トンネル施工による相互影響を定量的に考察した. その結果から, 対象としたOTトンネル(1期線)の覆工にひび割れがなかった場合は, 2期線掘削による影響は殆どなかったことが確認できた. このことから, 中心離隔が掘削幅の2倍以上で3倍以下であっても地山状況に応じて1期線トンネルの覆工コンクリートにひび割れを生じさせるほどの相互影響がないことを検証することができた.

#### 参考文献

- 1) 熊谷組技術研究報告: 近接トンネルの情報化施工, 2006. 12
- 2) 蔣 宇静, 江崎哲郎, 末松史朗, 阿部浩二, 大久保達也: 近接トンネルの相互影響の評価について, トンネル工学研究論文・報告書, 第6巻, 1996. 11

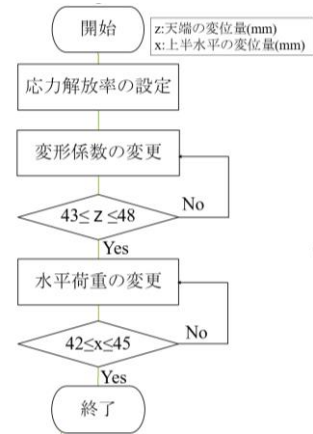


図-3 解析フロー

表-4 1期線解析ステップ図

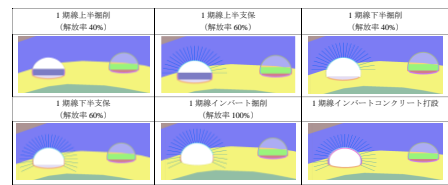


表-5 逆解析によって推定された变形係数

名称	DM級	DH級	CL級	CM級
变形係数 E (MPa)	29.4	102.9	176.4	294

表-6 計測値と解析値の比較

	天端(mm)	上半水平(mm)
計測値	-46.0	-42.1
解析値	-46.7	-43.8
差	0.7(1.5%)	1.7(4.0%)

表-7 2期線解析ステップ図

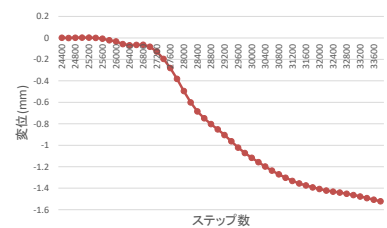
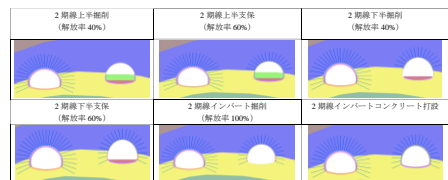


図-4 2期線掘削時の1期線覆工の天端変位

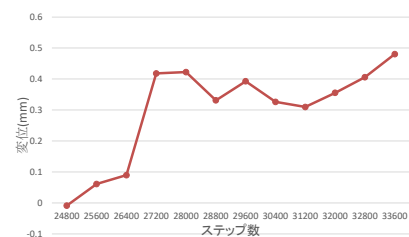


図-5 2期線掘削時の1期線覆工の内空変位