

施工計画

覆工コンクリートの施工延長の協議について

大分県土木施工管理技士会
株式会社 佐伯建設
阿南謙一

1. はじめに

当工事は大分県大分市大字関にて全長1,006mのトンネル工事を2工区に分けて発注したもので、当社は1工区の全長430.0mを施工しました。(図-1)当初は機械掘削により掘削作業を進めていましたが、約78m掘削時に堅固な岩盤が出たため、発破掘削へと掘削方法を変更し、残りの約350mを掘削しました。掘削工法の変更、地山不良、偏土圧、破

砕帯等の影響を多少ありましたが約8ヶ月の期間を経て平成17年2月10日に工区境へと到達しました。

工事概要

工事名：平成15年度道改国第12-3号

道路改良工事

発注者：大分県知事 広瀬 勝貞

施工者：佐伯・姫野建設工事共同企業体

工事場所：大分市大字関



写真-1 機械掘削状況



写真-2 発破掘削状況



図-1

工 期：平成16年 3月31日～
平成17年10月10日

2. 現場における課題・問題点

掘削完了後、インバート工、坑門工を経て覆工をセットコンにて施工し、平成17年 7月20日の覆工打設完了を目指して施工を行っていましたが、2工区側が掘削当初より地山不良、偏土圧により掘削作業が大幅に遅れたため掘削完了が8月末になるということで当工事との工程に大幅なズレが生じました。このことは当社が覆工コンクリートを工区境まで完了した後、2工区側が発破掘削により貫通するということであり、発破による覆工コンクリートの品質低下（クラックの発生、漏水）が懸念されました。

そこで、覆工コンクリートの施工延長を2工区側の発破掘削による影響の無い位置に変更することを前提として、その距離について下記の検討を行いました。

1. 資料・施工実績による影響距離の検討

1工区側を安定を保っている既設トンネル、2工区側を新設トンネルと仮定し、近接トンネルとして取り扱う。特殊な事情が無い場合には、併設トンネルの標準的な中心間隔は30m以上とする。トンネル近接度の区分の考え方（表-1）からするとトンネルの隔離距離としては2.5D（Dは掘削幅）m以上とすれば無条件範囲として考えられる。これにより、当トンネルは外径D=13.2mであるから2.5D=33.0mとなる。

表-1 トンネルの併設

両トンネルの位置関係	トンネルの離隔	近接度の区分
新設トンネルが既設トンネルより上に位置する	1D'未満	制限範囲(要対策区間)
	1~2.5D'	要注意範囲
	2.5D'以上	無条件範囲
新設トンネルが既設トンネルより下に位置する	1.5D'未満	制限範囲(要対策区間)
	1.5~2.5D'	要注意範囲
	2.5D'以上	無条件範囲

参考文献

「既設トンネル近接施工対策マニュアル」 鉄道総合研究所

「地中構造物の建設に伴う近接施工 NATM 計測指

針」 日本トンネル技術協会

2. 発破振動による影響距離の検討

(A) 発破振動速度値の推定

発破振動速度値の推定には一般的に(1)式が採用される。

$$V = K \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2} \dots\dots\dots(1)式$$

ここで、V：振動速度（cm/sec）

K：定数

W：段当たり装薬量（kg）

D：発破地点から対象物までの距離(m)

本工事において11月24日～1月20日の10回の心抜き振動レベル値・払い振動レベル値が測定された。これらのデータの距離・薬量・振動レベル値より算出すると平均の定数K値は心抜きで約260、払いで約58となる。（一般的には心抜き500～1000、払い300～500）今回の実測値と一般値との違いは計測点までの距離・岩質の変化等が理由であると考えられる。本検討では、一般的K値の平均を取り(2)、(3)式を採用する。

$$\text{心抜き発破} : V = 750 \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2} \dots\dots\dots(2)式$$

$$\text{払い発破} : V = 400 \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2} \dots\dots\dots(3)式$$

心抜き発破及び払い発破の装薬量を発破諸元より以下のとおりとする。

$$\text{心抜き発破} = 0.8\text{kg}/\text{孔} \times 6\text{孔} = 4.8\text{kg}$$

$$\text{払い発破} = 0.5 \times 17 + 0.7 \times 6 = 12.7\text{kg}$$

* 最外周孔を想定

(2)、(3)式により発破振動速度推定値は、表-2のようになる。

表-2 発破振動速度推定結果

距離(m)	心抜き発破(cm/sec)	払い発破(cm/sec)
10.0	21.3414	21.7735
15.0	9.4850	9.6771
20.0	5.3353	5.4434
25.0	3.4146	3.4838
30.0	2.3713	2.4193
35.0	1.7422	1.7774
40.0	1.3338	1.3608

(B) 覆工コンクリートに及ぼす影響コンクリート構造物に対しては、コンクリートの強度を基に理論的に許容値を算出することができる。一般にある

材料内に発生する変位速度と応力の間には、(4)式が成立する。

ここで、 σ ：発生応力 (g/cm²) ……………(4)式

ρ ：材料の密度 (g/cm³)

C：材料の弾性波速度 (cm/sec)

G：重力加速度 (cm/sec²)

(4)式は、棒を伝わる一次元波に成立する式で、三次元の材料中を伝わる波動現象には(5)式が適用される。

$$\sigma = (\rho \cdot C \cdot V / G) \times \{(1 - 2\nu)(1 + \nu) / (1 - \nu)\} \dots\dots(5)式$$

仮に、コンクリートの材料特性を以下のように設定した場合の変位速度は、(5)式より、コンクリートに引張破壊が発生し始める変位速度を求めることができる。

$$\sigma = 18,000 \text{ (g/cm}^2\text{)}, \rho = 2.4 \text{ (g/cm}^3\text{)},$$

$$C : 250,000 \text{ (cm/sec)}, \nu = 0.25$$

$$V = (18,000 \times 980) / (2.4 \times 250,000) \times \{(1 - 0.25) / (1 - 2 \times 0.25) \times (1 + 0.25)\} = 35.2835.28 \text{ (cm/sec)}$$

覆工コンクリートにクラックが発生し始める限界値を実験によって求めた例を表-3に示す。

表-3 クラック発生限界値 (実験値)

工事名称	限界値(cm/sec)
小木津トンネル (常磐自動車道)	30~40以上
己斐トンネル (山陽新幹線)	30以上

(c) 発破振動推定値とクラック発生限界値との比較 (安全率)

コンクリートの材料強度から求められたクラック発生限界値と表-2に示される発破振動推定値との比較結果 (安全率) を図-2に示す。

図-2より、発破地点から30m以上の距離が確保されると、概ね15倍以上の安全率が確保される。

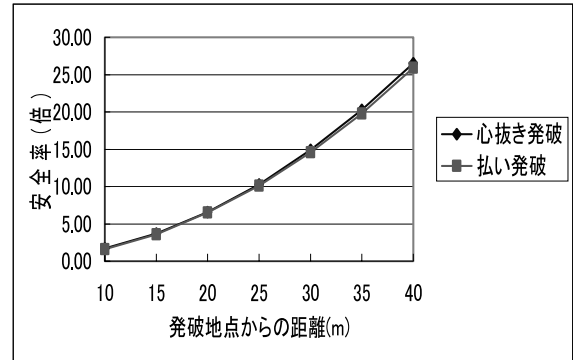


図-2 発破振動推定値と比較結果 (安全率)

参考文献

「発破工学ハンドブック」 社団法人 火薬学会 発破専門部会編

以上の通り、施工実績例による検討及び発破振動による検討の結果、工区境より約30m手前にて覆工コンクリートの施工を中止 (残り約30mは2工区にて施工) することで発注者と協議を行い、承認を得ました。この結果、2工区掘削完了時の発破振動による覆工コンクリートへの影響 (クラックの発生、沈下、漏水等) もなく工事を完了することができました。

4. おわりに

当工事では厳しい入札状況の中でも、特に品質管理、工程管理、安全管理に重点を置き施工を行ってきました。今回のような問題はトンネル工事において決して稀なケースではないと思いますが、早い段階での工程の予測と品質確保に対する執念が工事全体の品質確保に繋がったと思います。これからも現場における問題点に注視し、早期の対策検討と協議・実施を行なってまいりたいと思います。

最後になりますが、今回の協議・施工に関して理解・協力を頂いた発注者及び協力業者、2工区施工業者の皆様に感謝を申し上げます。