

Ⅲ-B 54 硬岩自由断面掘削機(MM130R)によるトンネル施工時の切羽安定性に関する考察

大成建設（株） 正会員 ○岩野 政浩
 大成建設（株） 正会員 真下 秀明
 大成建設（株） 正会員 田村 壽夫
 阪神高速道路公団 正会員 宮本 義広
 阪神高速道路公団 正会員 藤井 康男

1.はじめに

硬岩地山におけるトンネル工事においては発破工法が主であったが、近年、環境問題や既設構造物への近接施工、地山を痛めないなどの配慮から無発破工法の必要性が増加している。大成建設では、このようなニーズに対し、ロベンス社と共同で硬岩自由断面掘削機(MM130R：図-1参照)を開発した。本文では、MM130Rで掘削を行った場合の切羽前方地山の弾性波速度による計測結果と、軸対称モデルで施工ステップに合わせた逐次掘削弾塑性有限要素法による解析結果の比較を行い、MM130R掘削時における切羽の安定性について検討を行った。検討は、神戸市須磨区にて現在施工中の高取山トンネル北行工事にて実施した。

2.切羽前方速度検層

切羽前方地山のゆるみ領域を把握する事を目的として、弾性波(P波)の速度分布を求めるために速度検層を実施した。図-2に速度検層測定概念図を示す。調査は切羽前方に水平に掘削した3孔(各深度12m)を使用して1回目の測定を行い、切羽を3m前進させた後に2回目の測定を前出の3孔(各深度9m)で行った。測定に用いた孔中受振器には、上下1成分、水平2成分の直交する3成分の地震計が内蔵されている。弾性波の起振方法は、孔口付近をセットハンマーにより切羽面に対して垂直方向に強打する方法を用い、測定間隔は50cmを基本として行った。

3.解析条件

図-3に解析モデルを示す。回転軸をZ軸とし、解析領域はZ軸方向に最終切羽面から3D(D:最大掘削径、1D=8.0m)、Y軸方向にトンネル天端から3Dを設定した。地山はDIハテンの標準的地山特性を想定し、土被り厚は50mの均一地盤とした。解析は、MM130Rの掘削形状を考慮して切羽面を球面形とし、支保工は吹付コンクリートのみを考慮し、厚さ20cmのシェル要素としてモデル化した。

4.計測結果

図-4に計測結果の一例として1回目のNo.2孔の走時曲線を示す。ここで、走時曲線の速度変化点までのゆるみ領域とした計測結果一覧表を表-1に示す。この結果、地山の弾性波速度は3,000~3,800m/sの範囲で分布し、ほぼ均質な岩盤であったと考えられる。ゆるみ領域と考えられる切羽付近の弾性波速度の低下領域では、450~810m/sとややばらついた結果となっているが、母岩速度の1/4程度に低下している。今回の結果から明瞭な速度変化点までの距離は約1.5mであり、この値が掘削によるゆるみが生じている深度であると考えられる。

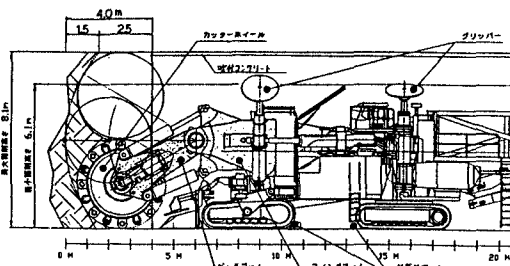


図-1 硬岩自由断面掘削機(MM130R)

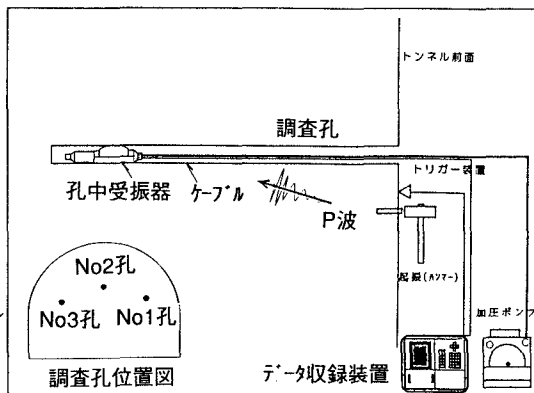


図-2 速度検層測定概念図

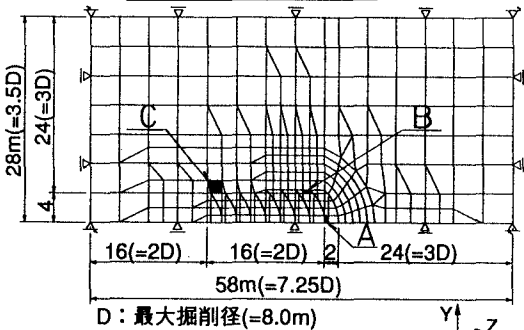


図-3 解析モデル図 (Z軸=回転軸)

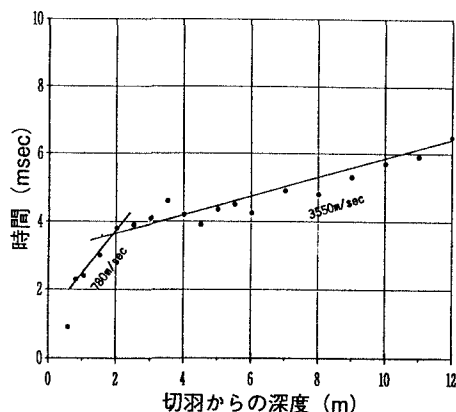


図-4 走時曲線 (No2孔1回目)

5. 解析結果

図-5に切羽近傍変位図を、図-6に切羽近傍安全率図を示す。ここで、地山の破壊安全率算定にはDruker-Pragerの破壊基準を用いる。図-5に示したように切羽面の押出し変位量は最大で18mm、天端沈下は16mmとなる。また、計測結果より速度低下域(ゆるみ領域)の深さを1.5mとすると安全率 $F_s=1.7$ 以下の領域が速度低下域と一致している。

解析結果より、切羽面の球面形状による地山の γ -効果によるものと考えられるが、地山に塑性化部分は認められず、また切羽近傍に引張領域も発生せず、切羽面の安定性は高いものと考えられる。

6. 地山安定性の考察

図-3に示したトンネル近傍の着目点における、掘削に伴う応力状態の変化を応力経路図として図-7に示す。切羽の進行に伴い、トンネル周辺地山では安全率の若干の低下が認められるものの、素掘り状態での応力変化に比べ吹付け後の応力変化は小さく、トンネル周辺地山に塑性領域は認められない。また、切羽前方における弾性波探査結果より求められた速度低下域は深度1.5mであり、これは通常のNATM工法における発破損傷域の約半分であると考えられる。

MM130Rによる機械掘削の結果、切羽が球面形となる形状効果により、切羽前方地山内の応力分布が $\sigma_{\theta} = \sigma_r$ になり、地山内の潜在亀裂の開口に伴う地山特性変化域は小さく、通常の掘削に比べ切羽の安定性は高いものと考えられる。

7.おわりに

今後は、硬岩自由断面掘削機(MM130R)による掘削時のトンネル周辺地山のゆるみ計測等各種の計測を実施し、地山状況に応じたトンネル支保構造について総合的検討を加え、効率的支保による安全な施工を実施していく予定である。

参考文献)

- 1)硬岩自由断面掘削機(MM130R)によるトンネル施工時の球面切羽効果に関する検討(1996.7),第31回地盤工学研究発表会
2)高取山切羽速度測定報告書(1996.2)

表-1 計測結果一覽表

		1回目	2回目
No1孔	ゆるみ領域速度(m/s)	810	810
	地山速度(m/s)	3,080	3,530
	ゆるみ領域深度(m)	1.5	1.5
No2孔	ゆるみ領域速度(m/s)	780	800
	地山速度(m/s)	3,550	3,530
	ゆるみ領域深度(m)	2.0	1.5
No3孔	ゆるみ領域速度(m/s)	450	600
	地山速度(m/s)	3,800	3,800
	ゆるみ領域深度(m)	1.5	1.5

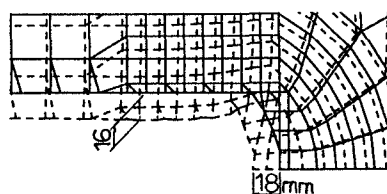


圖-5 切羽近傍變位圖

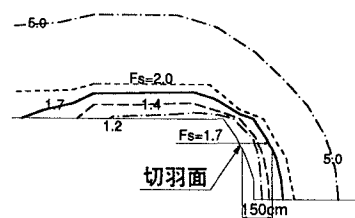


图-6 切羽近傍安全率分布

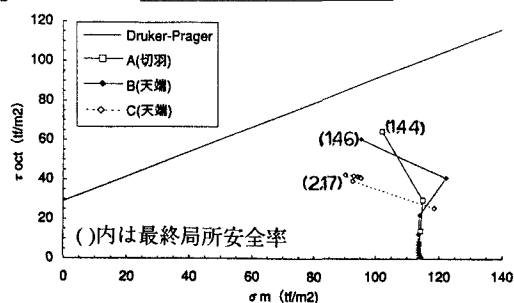


図-7 応力経路図