

鹿島建設技術研究所 正会員 ○塩釜幸弘

鹿島建設技術研究所

永井博史

1 はじめに

NATMは今日では我が国固有の技術力による改良が行われトンネル工法の主流として定着した感があり、その施工例も150例を超え、各種のデータの蓄積が急速に進められつつある。とくに施工管理のための管理基準値の設定あるいは設計へのフィードバックの手法について種々の試み¹⁾²⁾が行われており、見るべき成果があがりつつある。筆者らは我が国において施工されたNATMトンネル(61か所、総延長55,000m)の実績を地山挙動等について分析を行い、現場技術者のための簡便な施工管理の管理基準値等の取扱について考察を行った。

2 内空変位率

筆者らはトンネル周辺地山の挙動が迅速に把握でき、かつ計測が容易な内空変位測定に着目し、内空変位率(内空変位/トンネル掘削幅)をパラメータとして各トンネルの実績を分析した。

調査対象61トンネルの計測断面197断面のうち59断面(30%)において内空変位率が2%を超えており、内空変位率が2%を超えているトンネル切羽の大半が繰返しあるいは増し打ちボルト更に吹き付けコンクリートの増し吹き等の支保設計が行なわれており、トンネルが不安定な状態にあったと考えられる。またこれら不安定状態の切羽の多くは地山強度比が2を割るようなトンネルに発生している。筆者らはこの理由から内空変位率の限界値を2%と設定し、以下に掲げる各項目との相関性をチェックしながらトンネル挙動の管理を行ってきた。

(1) 内空変位率と地山区分

現在NATMの支保設計はトンネル周辺地山の地山区分を行い、標準設計パターンを適用する方法が多く採用されている。例えばNATMのための国鉄の地山区分に、道路トンネルを含めた各トンネルの地山区分を適合させ、内空変位率との関係をもとに図-1のようになる。大部分のトンネルの内空変位率は2%以下であり、地山区分にあ

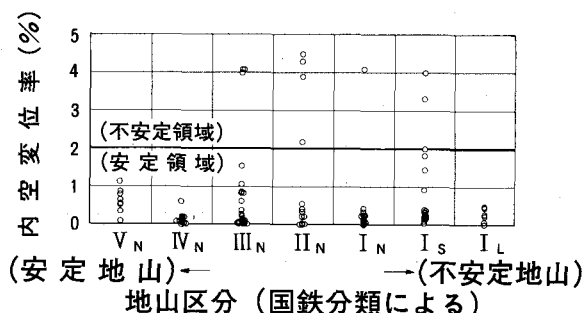


図-1 地山区分別内空変位率

った適切な支保設計が行なわれたことがうかがわれる。特に安定地山である地山区分 V_N , IV_N のトンネルでは、標準支保パターンによってトンネル周辺地山は十分に安定が保たれたと考えられるが、その他の地山区分のトンネルの一部では内空変位率が2%を超えており、特殊な支保の補強が行なわれている。

(2) 内空変位率と支保耐力

トンネルの内空変位率は地山条件や施工条件によって左右されるが、トンネルの安定に大きく作用する鋼支保工、ロックボルトおよび吹き付けコンクリートからなる支保耐力³⁾との関係は図-2に示す通りである。支保耐力は大断面トンネル(鉄道複線断面相当)でも小断面トンネル(鉄道単線断面相当)でも $3\sim 13\text{kg/cm}^2$ の広い範囲にまたがり、これは地山区分に応じて設定されたことを示す。

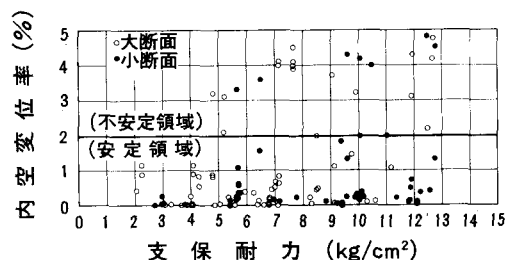


図-2 内空変位率と支保耐力との関係

支保耐力のうちとくにロックボルトの真の耐力評価が現状では明確ではないが図-3に示すように、内空

変位率を 2%以下に抑えるためには、トンネル進行方向 1m 当りのロックボルト延長が 100m 以上必要であることを示唆している。

(3) 地中ひずみと内空変位率

トンネル周辺のゆるみ域の法線方向の地中ひずみと内空変位率の関係は図-4に示すとおりであり、内空変位率が 2%を超えたトンネルでは地中ひずみが 1%以上となっている。このことは岩盤の破壊ひずみが岩石強度の低い岩盤では 1%に近いと言う事実とも合致しており、地中変位計により測定される法線方向の地中ひずみによるトンネルの挙動の管理が可能であることを示している。

(4) 内空変位率とロックボルト軸力

内空変位率とロックボルト軸力の間にも強い相関があり(図-5)、内空変位率が 2%以上のトンネルではロックボルトの降伏点強度を超える軸力が発生している。とくに内空変位率が 1%以下のトンネルでは 11t 以下の軸力で収まっている箇所が大部分である。このことは内空変位率によってロックボルトの安全性を推定することが出来ることを示唆している。2%を超えるトンネルでは急速にロックボルト軸力が増大するため、ロックボルトの挙動については充分注意する必要がある。4%を超えるトンネルでは、ロックボルトの破断強度を超えている例があり、増し打ちボルト等の対策をタイミングよく行う必要がある。

3 トンネルの内空変位による施工管理

約 50 点の内空変位の計測結果、ある地点のトンネルの全変形のうち、切羽から離れが 1D (トンネル掘削幅と同等距離) 地点で 40~50% が出現し、2D (トンネル掘削幅の 2 倍の距離) 離れた位置で 60~70% が出現することが明らかとなった。このことから、トンネルの施工管理を行う場合、第 1 次の管理時期としては 1D で行い、第 2 次の管理を 2D の時期に行いタイミング良く設計・施工の見直しを行うことが可能と考えられる。図-5 は約 50 箇所の計測断面における内空変位率をそれぞれの 1D 及び 2D での 1 日当たりの変位速度 (1 日当りの内空変位率) の相関を示したもので、ここに示されるように、1D 及び 2D 位置での変位速度から、全体の inner 変位率を推定することが可能と考えられ、日常の現場管理方法として簡便で有効な方法と考える。

参考文献

- 1) 桜井春輔; トンネル工事における変位計測結果の評価法、土木学会論文報告集、第 317 集 (昭 57.1)
- 2) 古川、朝倉、日古、遠藤; NATM 計測実績結果の統計分析、第 15 回岩盤力学シンポジウム (昭 58.2)
- 3) 岡林、大野、塩釜; トンネル簡便設計手法に関する考察、鹿島建設技術研究所年報、第 31 号 (昭 58.6)

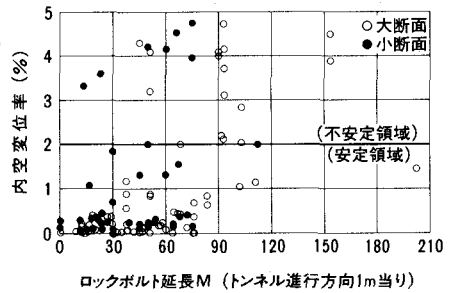


図-3 内空変位率とロックボルト延長の関係

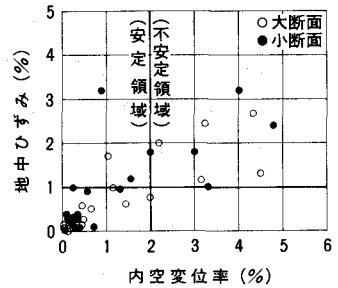


図-4 地中ひずみと内空変位率の関係

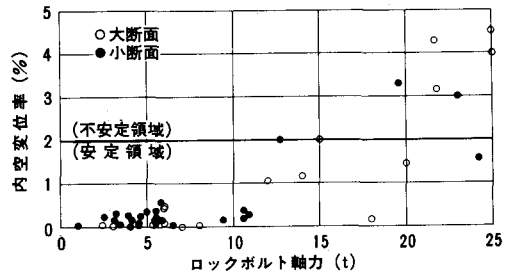


図-5 内空変位率とロックボルト軸力の関係

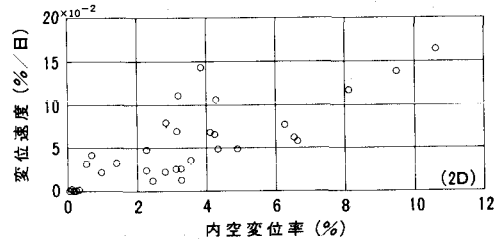
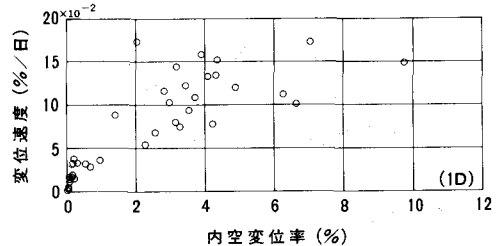


図-6 変位速度と内空変位率の関係