

未固結地山のトンネル切羽における土質評価手法

鹿 島 技術研究所*	正会員	○北本幸義
同 上	正会員	山本拓治
鹿 島 関西支店	正会員	福家佳則
同 上	正会員	横尾 敦

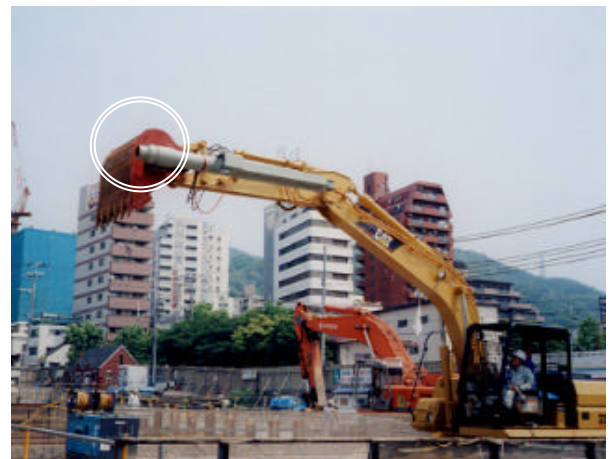
1 はじめに

近年、従来であればシールド工法で施工されるような未固結地山のトンネル掘削において、経済性や断面形状の自由度の面から、いわゆる山岳工法を採用する工事が増加している。特に、都市部で土かぶりが浅い場合には、切羽の安定性確保とともに地表面沈下の抑制を図ることが重要な課題であり、切羽の状態（強度・変形特性）に応じて適切な補助工法を用いることが不可欠である。

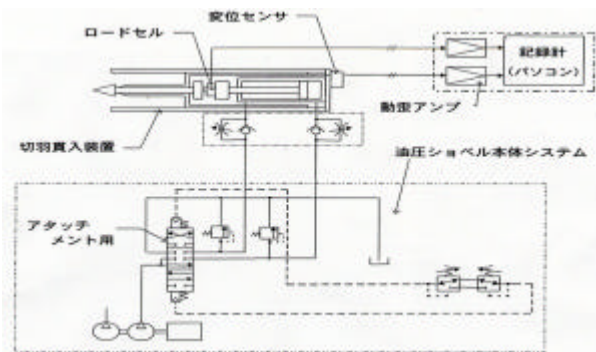
そのためには、観察者の主観によらない定量的な切羽の土質評価が求められるが、ハンマー打撃や各種調査機器により地質を直接評価することのできる硬岩地山の場合と異なり、未固結地山のトンネル掘削工事では安全上、掘削と同時に吹付けコンクリートが施工され人が切羽に近づくことも問題となるので、土質調査は一般に行われていないのが実情である。そこで、油圧源として利用できる汎用重機へ土砂地盤の物性評価に多用されるコーン貫入試験装置を搭載し、N値や一軸圧縮強さなどと相関性のあるコーンの貫入抵抗を迅速かつ安全に評価することのできるシステムを開発したので、その内容について報告する。

2 システムの概要

汎用重機に搭載されたコーン貫入装置（写真－1 参照）により、掘削作業の延長線上でオペレータ1人によって、任意方向に貫入試験を実施することができる。今回開発した装置は、ロッドの周面摩擦を除去するため二重管式（写真－2 参照）となっており、1cm/s の速さで最大1mの深さまで貫入可能である。コーン（底面径5cm）の貫入抵抗と貫入量は、ロードセルや変位センサで連続的に測定（図－1 参照）され、メモ리카ードに記録されるとともに出力装置にリアルタイムで表示されるので、切羽状態を迅速、安全に評価することができる。



写真－1 装置全景



図－1 システム構成図



写真－2 コーン先端部

キーワード：未固結地山 トンネル 切羽 土質調査 コーン貫入試験

*連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 0424-89-7081 FAX 0424-89-7083

3 N値との相関性

地山と同じ土質地盤（礫混じり砂）での土留め工事において、コーンの貫入抵抗とN値との相関性を検討した。これは、地表面から1mずつ4mの深さまで掘削を行うもので、あらかじめ標準貫入試験を実施した位置付近で、掘削段階ごとにコーン貫入を行った。なお、コーン貫入時には当初N値を測定した状態よりも土かぶり圧が減少するので、吉中の方法を適用した次式により、貫入抵抗と比較すべきN値を修正（低減）している。

$$N' / N = \{1.4(2.8 - 10p) + 1\} / 5 \quad \cdots(1)$$

ここに、N：掘削前の当初の実測N値、N'：掘削後の修正N値、p：掘削による除荷重（MPa）である。3m掘削後に確認のため標準貫入試験を行ったが、(1)式から $N' / N = 0.81$ と算出されるのに対し、実際の結果によれば 0.7 程度と比較的よく対応しているといえる。

以上のような修正を加えたN値と貫入抵抗を比較した結果が図-2である。トンネル切羽では水平方向に貫入させることから、図中には水平抵抗も併記しているが、鉛直方向との顕著な差異は認められない。全体的にばらつきが大きく、N値の増加に伴って貫入抵抗の増加傾向はやや小さくなるものの、砂質土を対象とした Meyerhof の式

$$q_c = 0.4N \quad \cdots(2)$$

と同様な関係がみられる（ q_c ：貫入抵抗(MPa)）。

4 トンネル切羽での適用結果

未固結地山のトンネルにおいて、掘削に伴う切羽状態の変化を定量的に評価した結果を図-3に示す。切羽の進行とともに全体的に貫入抵抗が低下（ただし、装置の反力的な制約により、ある値以上の貫入抵抗は測定不能となるので、図中のデータ群は下界値といえる）し、地山状況が徐々に悪くなっていく傾向を把握することができた。

また、この結果に基づき、地山状態が不良と判断された切羽位置（77.5m）において、鏡ボルト＋ウレタン注入による地山の改良を実施した。図-4に示すとおり、改良前後では貫入抵抗に明確な差異が認められ、ウレタン注入の改良効果も確認された。

5 おわりに

未固結地山のトンネル掘削を対象として、重機作業の延長線上で土質を評価するシステムの開発を行ったが、現在、基礎掘削管理や盛土の締固め管理、地盤改良の効果判定など明かり工事への展開も実施している。

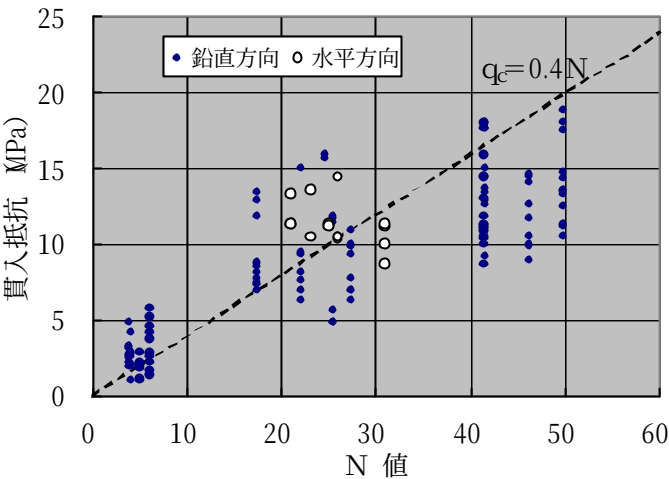


図-2 N値～貫入抵抗関係

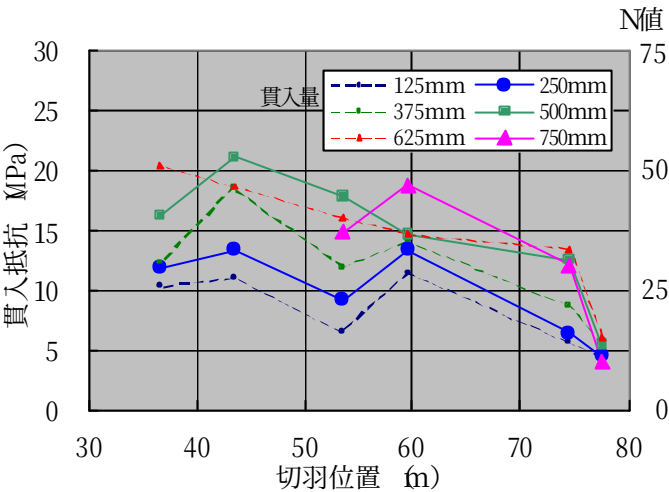


図-3 切羽進行に伴う貫入抵抗の変化

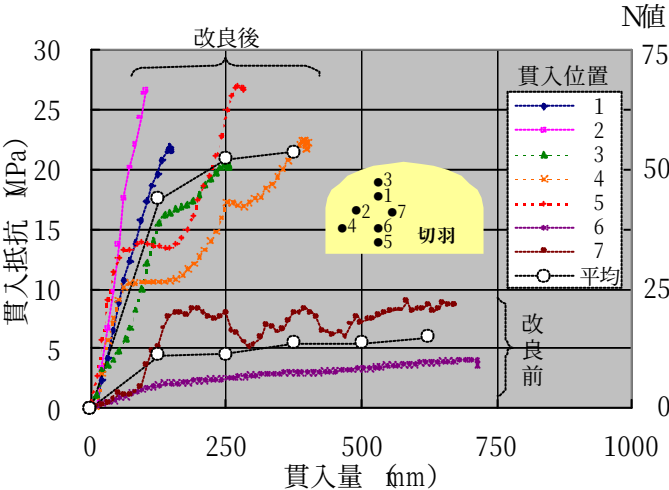


図-4 改良前後の貫入抵抗