

現場計測による地山の定量的評価方法について

Evaluation of the tunnel face stability based on in-situ measurements

真下 英人*・小山 義夫**・山本 浩之***・猪狩 哲夫***・八島 明生****

Hidetoshi MASHIMO, Yoshio KOYAMA, Hiroyuki YAMAMOTO, Tetsuo IGARI and Akio YASHIMA

One of the important subjects tunnel excavation to keep the stability of tunnel face. When we counter the unstable geological condition, however, it is difficult that stable estimation of judgement to do additional support systems. We carried out three kinds of in-situ measurements, it means Schmidt hammer test, Needle penetration test, Simple seismic prospecting about all faces on the tunnel. Based on these data, we studied the relationship of assisting methods adoption. As a result, these adoption are influenced by condition of joints and a relaxation of a tunnel face. And we saw that assisting methods adoption correlated closely with a result of a needle penetration test.

keyword: tunnel face, Schmidt hammer test, Needle penetration test, Simple seismic prospecting, evaluation of the tunnel face

1. まえがき

山岳トンネル工法により掘削する場合、掘削中の切羽の安定を図ることは、安全性の確保において重要な問題である。通常掘削中の切羽が安定しない場合は、補助工法を採用する。補助工法を採用する場合には、掘削時に各切羽ごとに行っている切羽観察シート等に基づき検討を行い、現状の地山に適すると考えられる鏡ボルト工、先受け工（フィアリング工）、鏡吹付コンクリート工等の補助工法が実施される。しかし、補助工法の採用に大きく影響する切羽観察が定量的評価であることから、適切な補助工法が選定されているか不明な部分が多い。

今回、第三紀・砂岩層を掘削する実際の道路2車線断面のトンネル現場(全長約600m、2本)において、切羽の地山状況を定量的に評価することを目的に、切羽約5m間隔ごとに鏡面で比較的簡易に計測が行える、シュミットハンマー試験、針貫入試験、簡易弾性波探査の三種類の測定を実施した。

本報告は、切羽鏡面で実施した三種類の計測結果および切羽観察シートの点数評価と実際の補助工法との対比を行い、切羽安定のための適切な補助工法を選定するための定量的評価方法を検討した。

* 正会員 建設省土木研究所

*** ハザマ 土木本部技術設計部

** 建設省関東地方建設局 長野国道工事事務所 笹平出張所

**** ハザマ 北陸支店笹平作業所

2. 地質状況

トンネルの地質は、第三紀鮮新世・城下砂岩礫岩部層に属し、細粒砂岩および中粒砂岩から構成される。細粒砂岩および中粒砂岩の粒度組成は不均一で、シルト、細粒砂、中粒砂が混じった淘汰不良の堆積物となっており、新鮮部は暗灰色から灰色を呈する。岩盤自体は、割れ目が少なく塊状岩であり、細粒砂岩と中粒砂岩の地質境界はなく岩相は移り変わる。湧水はほとんどなく、一部で100～200ℓ/min程度見られた。

3. 計測方法

今回実施したシュミットハンマー試験、針貫入試験、簡易弾性波速度の各計測方法を以下に示す。

3・1 シュミットハンマー試験

シュミットハンマー試験は、打撃の反発度から岩石の硬さを判定する試験で、岩片自体の硬さだけでなく、打撃面周辺の割れ目や緩みの影響を受けた値を示す^{1) 2)}。測定方法は、図-1に示す各切羽の1～5地点（地質変化時は1～8地点）の打撃点において、1地点につき5回の測定を行い、最大値及び最小値を除いた3回の平均値を求め、さらに各地点の平均値を切羽の測定値とした。

3・2 針貫入試験

針貫入試験は土木学会指針に準拠した最大径0.84mmの針を貫入させ、貫入力と貫入量の関係から針貫入勾配（NP）を測定するものである¹⁾。測定方法は、図-2に示す各切羽の1～5地点（地質変化時は1～8地点）において、1箇所につき3回の測定を行い、平均値を求め、さらに各地点の平均値を切羽の測定値とした。

3・3 簡易弾性波探査

簡易弾性波探査は切羽の数箇所に受振器を固定し、起振点よりカケヤやハンマー等で起振し、弾性波伝搬速度を測定し、割れ目や緩みを含む岩盤全体の状況を測定するものである。測定方法は、図-3に示す▲地点においてハンマーにより切羽を打撃し、弾性波を発振させる。図-3の1～3地点に受振器を設置し、弾性波初動到達時間を測定する。この際、▲-1、1-2、2-3区間の距離と初動到達時間の差より、各区間の弾性波速度を求め、さらに各区間の弾性波速度の平均値を切羽の測定値とした。

4. 施工状況について

検討を行ったトンネルの支保パターンの当初設計と実績の比較を図-4に示す。当初第1トンネル NO.34～

シュミットハンマー試験

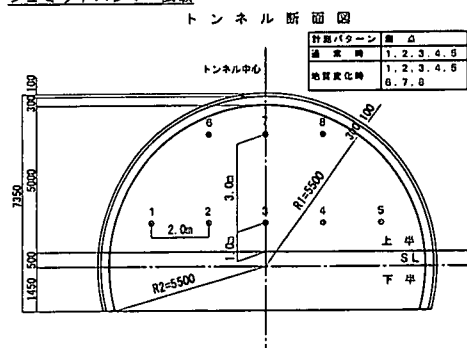


図-1 計測位置図(シュミットハンマー試験)

針貫入試験

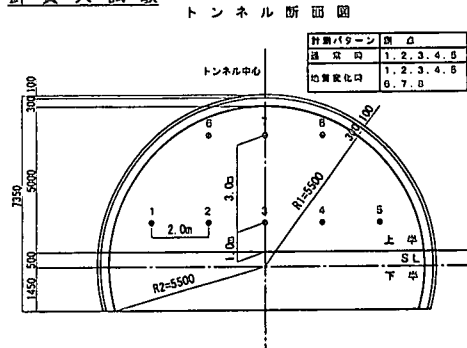


図-2 計測位置図(針貫入試験)

簡易弾性波探査

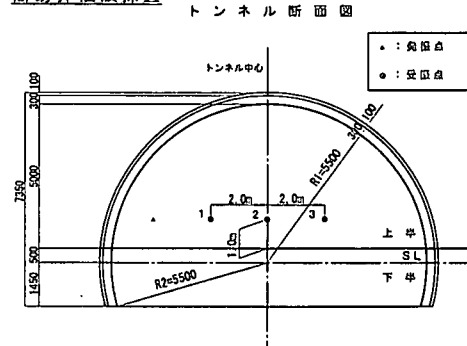


図-3 計測位置図(簡易弾性波探査)

第2トンネルN0.53+10～54+4測点区間のDⅠパターンと想定された箇所、および第2トンネルN0.69+17～70+2.9測点区間のCⅡパターンと想定された箇所は、 $\phi 760$ -リングを施工し、DⅠ'パターン、CⅡ'パターンに変更されている。第1トンネルN0.32+8.7～33+2.

全体としては設計時の想定よりも地山不良部が多く、半分以上の区間において設計支保パターンより1ランク重い支保工が採用された。実施した切羽安定のための補助工法は、表-1のとおりである。DⅢパターンにおいては、ウレタン注入+のり+7 ϕ °-リング施工部をDⅢ-1、ウレタン注入+のり+7 ϕ °-リング施工+鏡吹付け部をDⅢ-21、パイプルーフィング+のり+7 ϕ °-リング施工+鏡吹付け部をDⅢ-22として、採用した区間長の短い支保パターンは検討の対象外となり、今回採用した切羽安定の補助工法は、補助工法なしの必要となるDⅢ-1パターン、先受け工+鏡吹付け工が必須となるDⅢ-21パターン、先受け工+鏡吹付け工+パイプルーフィング工となるDⅢ-22パターンに分類される。そこで、この3種類の境界値の定量的評価

切羽観察シートは、切羽全体の状況(1. 切羽の狀態、2. 素堀面の狀態)、強度(3. 圧縮強度、4. 風化狀態)、割れ目の性状(5. 割れ目の程度、6. 割れ目の狀態、7. 割れ目の形態)、湧水状況(8. 湧水、9. 水による劣化)の9項目により地山評価を行っている。図-6は、地山観察シートの各項目(1~9)のランク値を加算したものを地山評価点として、地山評価点と支保パターンとの関係を箱髭グラフで示したものである。地山評価点は、点数が高いほど地山不良の要素が多くなるように設定されている。なお本報告に記載している箱髭グラフは、すべて図-7の凡例と同様とし、上から最大値、平均値+標準偏差、平均値、平均値-標準偏差、最小値を示している。

[illegible]

支保 ハタン	切羽安定のための補助工法			備考	
	補助 工法 ナン	ファイバ-リンク (l=3m. 0.6m間隔)			鏡吹付け (t=5cm)
		クレタ注入ナシ	クレタ注入アリ		
C II	○				
D I	○				
D III-1		○			
D III-2I			○	○	
D III-3I				○	

鏡吹付け部をDⅢ-31とした。なお表-1にお
除いたため、表には記載していない。表-1よ
、DⅠパターン、先受け工（ $\phi 77^{\circ}$ -リング工）が
なるDⅢ-21、DⅢ-31パターンの大きく3つに
の検討・考察を以下に行った。

土かぶり	m	総合調査	山地区分あるいはパターン区分の決定		
砂	a・b・c・d・e	砂石混	砂成地質時代		
砂質土層	粘土・砂土・炭化土・土より砂（ ） m	質硬油油等砂土	砂土の重なり・その他（ ）		
観察地での山状の状況と決定					
砂質土層	1. 砂	2. 礫面から砂状 が現れ露る	3. 礫面の押し出 を認める	4. 礫面は自立す て現れ露る、 互層あり	5. その他
礫面露る	1. 目（砂層）立 止	2. 礫面がたつと 礫の露る	3. 自立した礫面 が露る（灰層）	4. 礫面に砂質土 が露る（灰層）	5. その他
礫面露る	1. $100 \times 1000 \text{af}$ / 10^3	2. 1000×1000 / 10^3	3. 1000×1000 / 10^3	4. 1000×1000 / 10^3	5. その他
礫面露る	1. パターン・打露 を認める	2. 礫面（ 100×1000 / 10^3 ）	3. 礫面（ 100×1000 / 10^3 ）	4. 礫面（ 100×1000 / 10^3 ）	5. その他
礫面露る	1. なし、礫面	2. 礫面に砂を 含む、砂質や 炭化土	3. 礫面に炭化土 を含む、炭化土 層より露る	4. 土砂状、礫土 状、炭化土、 炭化土、炭化土 層より露る	5. その他
礫面露る	1. 砂層（ 100×1000 / 10^3 ）	2. 100×1000 / 10^3	3. 100×1000 / 10^3	4. 100×1000 / 10^3	5. その他
礫面露る	1. 礫面	2. 礫面に礫口	3. 礫口	4. 礫土をはる 礫面より露る	5. その他
礫面露る	1. ラングム の砂層	2. 礫状	3. 礫状、片状 礫状	4. 土砂状、礫片 状、礫面より 露る	5. その他
礫面露る	1. なし、礫面露 る	2. 礫面露る	3. 礫面露る	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 礫状	4. 礫面露る	5. その他
礫面露る	1. なし	2. ゆるみを生ず			

- 171 -

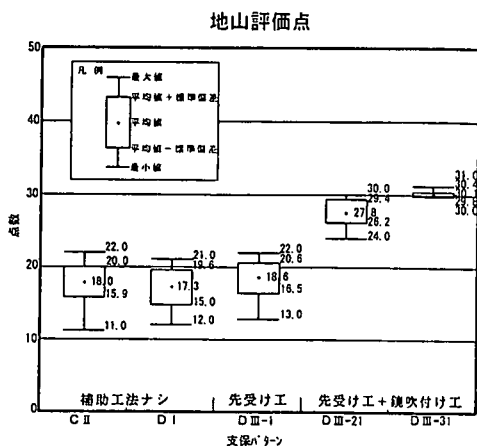


図-6 地山評価点と補助工法との関係

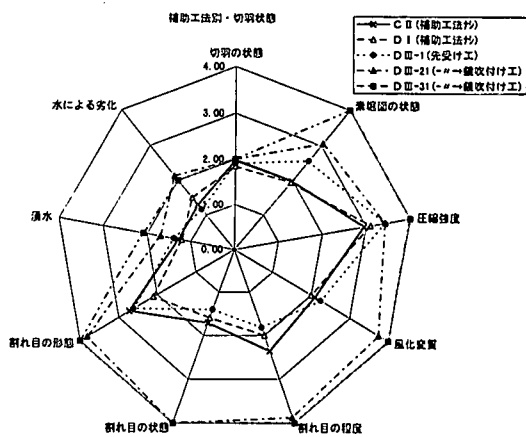


図-7 補助工法別・切羽状態

図-6より地山評価点においては、全体的には補助工法が軽減されるほど地山評価点も低くなる傾向が見られるが、C II、D Iパターン（補助工法なし）～D III-1パターン（先受け工採用）においては平均値が18点付近を示し、明瞭な差がない。このため地山評価点より、表-1に示すウレタン注入法の7.7ボ-リング工採用の地質的要因を推定することは出来ない。しかしD III-1パターン（先受け工採用）の平均値が18.6点に対し、D III-21パターン（先受け工+鏡吹付け工採用）の平均値が27.8点と10点以上の明瞭な差が見られることから、表-1に示す鏡吹付け工採用において、地質的要因に差があると考えられた。そこで切羽観察シートの各項目ごとに支保パターン別の平均値をプロットし、評価を行った（図-7）。その結果、「風化変質」「割れ目の程度」「割れ目の状態」「割れ目の形態」の項目において、C II～D III-1パターンとD III-21～D III-31パターンとの間に明瞭な差があることが判った。岩盤の緩みに影響すると考えられる、これら割れ目の性状が、鏡吹付け工の採否に関係があると推定される。

6. 各計測結果および考察

各計測結果を箱髭グラフにまとめたものを図-9～11に示す。箱髭グラフについては、平均値±標準偏差の範囲に注目し、全体的な各データの傾向を捉え、切羽安定のための各補助工法の境界値を見いだすことを試みた。ここでは図-8に示すように、Aパターンの「平均値-標準偏差(1σ)」からBパターンの「平均値+標準偏差(1σ)」区間を境界値（境界範囲）として、各計測結果より、先受け工(7.7ボ-リング工)の境界値、さらに鏡吹付け工の境界値と推定した。

以下に各計測結果および考察について示す。

6.1 シュミットハンマー試験（図-9）

全体的には、反発度が高いほど補助工法が軽減されていく傾向が見られる。反発度は地山の強度に特に影響があると考えられることから、地山強度が高いほど補助工法は軽減される傾向にあることが判る。

ここで切羽安定のための補助工法について注目すると、先受け工が必要となる反発度は15.1～20.3（平均値:17.7）以下、鏡吹付け工が必要となる反発度は15.

7～17.5（平均値:16.6）以下となる。また反発度10以下については、測定不能であるためデータが得られていない。反発度10の換算一軸圧縮強度を求めると5 MPa（約50 kgf/cm²）となり、補助工法を多用するよう

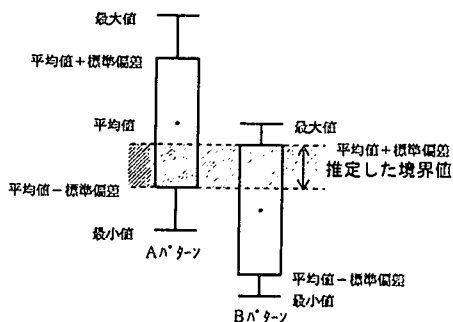


図-8 補助工法の境界値の推定

な 5 MPa 以下が主体の地山においては、計測方法として精度が低くなると考えられる。

6・2 針貫入試験 (図-10)

全体的には、針貫入勾配が高いほど補助工法が軽減されていく傾向が比較的明瞭に見られる。針貫入勾配は地山の強度に影響があると考えられることから、地山強度が高いほど補助工法は軽減される傾向にあり、シュミットハンマー試験と同様の結果となっている。C II パターンにおいては、バラツキが大きい、これは地山がある程度以上硬質であると貫入力を上げて貫入しないため、実際以上に大きな値が出ている可能性がある。経験的に 15MPa (約150kgf/cm²) が適応限界とされており、換算の一軸圧縮強度と針貫入勾配の関係式より、約40N/mm以上のデータの信頼性は低いと考えられる³⁾。

切羽安定のための補助工法について注目すると、先受け工が必要となる針貫入勾配は 17.74~26.65 N/mm (平均値:22.20N/mm) 以下、鏡吹付け工が必要となる針貫入勾配は16.17~18.13 N/mm (平均値:17.15N/mm) 以下となる。

6・3 簡易弾性波探査 (図-11)

全体的には、弾性波速度が速いと補助工法が軽減される傾向にある。弾性波速度は地山の割れ目の状態や緩みの程度を示すことから、地山の割れ目が密着もしくは少なく、地山の緩みが小さいほど補助工法は軽減される傾向を示していると考えられる。

切羽安定のための補助工法について注目すると、先受け工が必要となる弾性波速度は1.85~2.52km/s (平均値:2.19 km/s) 以下、鏡吹付け工が必要となる弾性波速度は1.36~ 2.22km/s (平均値:1.79km/s) 以下となる。鏡吹付け工の採否に影響が大きい地質要因として、図-7の地山評価点の傾向より割れ目の性状が挙げられることから、簡易弾性波査は、補助工法の選定において有効な指標の1つになると考えられる。

7. 切羽安定のための補助工法の定量評価について

6章の箱髭グラフより、今回切羽鏡面で行った三種類の試験の中では、針貫入試験が補助工法との関係において比較的明瞭な傾向を示している。しかし針貫入試験は切羽上の地山強度の指標であり、地山評価点傾向から、割れ目の性状が補助工法選定の有効な指標となると推定されることより、地山強度と地山の緩みの両方に着目した定量的評価が必要であると考えられる。そこで、補助工法別に針貫入試験による換算一軸圧縮強度と弾性波速度の関係の検討を行った (図-12)⁴⁾。図-12に示す直線は、D I パターンおよびD III-

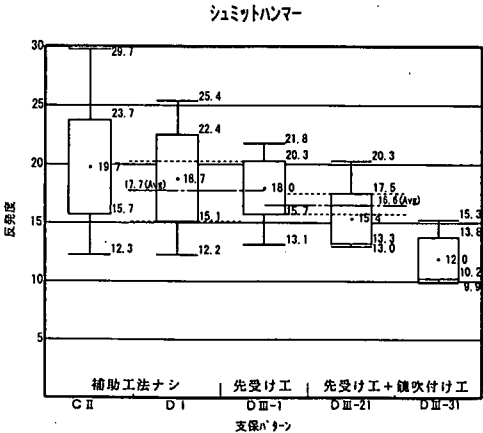


図-9 シュミットハンマー反発値と補助工法との関係

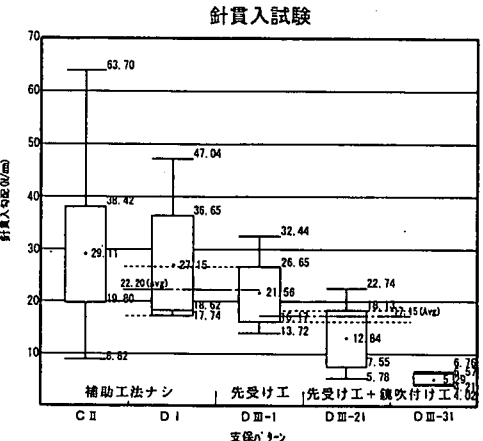


図-10 針貫入強度 (NP) と補助工法との関係

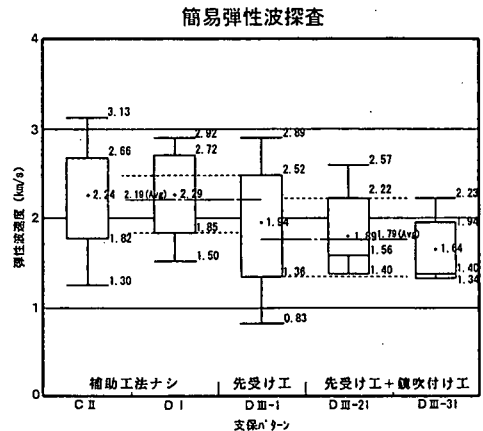


図-11 簡易弾性波速度と補助工法との関係

21の線形近似を表し、概ね補助工法の境界値を示している。

図-12より、弾性波速度0.5～1.0km/s付近のデータが少ないため精度上の問題はがあるが、線形近似線が傾きを持っていることより、切羽安定のための補助工法の選定にあたり、定量的評価の指標としては、地山強度と割れ目の性状の双方から判断する必要があると考えられる。

なおトンネル坑内で実施した岩石試験結果と、シュミットハンマーおよび針貫入試験の換算一軸圧縮強度の比較を表-2に示す。

8. まとめ

今回検討対象とした第三紀の比較的均質な砂岩層において、切羽安定のための補助工法の境界値としての三種類の試験結果は、表-3のとおりであった。特に補助工法採用において、比較的明瞭な傾向が見られた試験は、針貫入試験となっており、定量的評価の有効な指標の一つになると考えられる。しかし、補助工法が必要となる地山においては、割れ目の性状も大きく影響することから、弾性波速度等の割れ目の性状や地山の緩みを評価できる試験と併用して、評価することが必要であると考えられる。また今回対象とした地山は、比較的湧水が少なかったため、湧水と補助工法の関係については見いだすことが出来なかった。

最後に本研究を行うに際して、ご協力を頂いた建設省関東地方建設局長野国道工事事務所並びに笹平出張所、笹平トンネル作業所田中 秀雄氏、後藤 敏彦氏をはじめ関係者の方に深く感謝の意を表します。

9. 参考文献

- 1)中村康夫・佐々木康人：軟岩ダム基礎の岩盤分類のための簡易試験法(その1)－軟岩の特性と簡易試験法の概要－、ダム技術、N0. 52、1991
- 2)中村康夫・佐々木康人：軟岩ダム基礎の岩盤分類のための簡易試験法(その2)－軟岩の特性と簡易試験法の適用性－、ダム技術、N0. 53、1991
- 3)高橋亜夫・三浦良信・清水国夫・奥原茂弘：針貫入試験による軟岩基礎の強度評価、ダム工学、N0. 4、1991. 12
- 4)池口正晃・真下英人・宮川順一：トンネル切羽における簡易弾性波の現場計測試験、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ－B、1996. 9

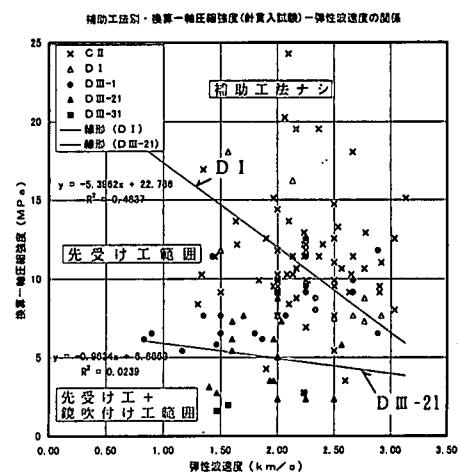


図-12 補助工法別・一軸圧縮強度(針貫入試験)と弾性波速度の関係

表-2 一軸圧縮強度の比較

測点 (N0. 42 ±1.0)	岩石試験 (MPa)	シュミットハンマー 換算値 (MPa)	針貫入試験 換算値 (MPa)
強度	8.3～11.6 Avg= 9.8 (100.4 kgf/cm²)	10.0 (102.2 kgf/cm²)	8.4 (85.9 kgf/cm²)
		反発度 19.8	針貫入勾配 21.6(N/mm)

表-3 補助工法の境界値

試験値 (): 平均値	切羽安定のための補助工法	
	ナシ	先受け工 (7.7～9.7'工)
針貫入勾配 (N/mm)	17.7～26.7 (22.2)	16.2～18.1 (17.2)
弾性波速度 (km/s)	1.9～2.5 (2.2)	1.5～2.2 (1.9)
反発度	15.1～20.3 (17.7)	15.7～17.5 (16.6)