

京都大学工学部 正 員 ○谷本 親伯
 京都大学工学部 正 員 荻谷 敬三
 中央復建コンサルタンツ 正 員 片瀬 貴文

1 まえがき 近年活発に採用されているトンネル工法‘NATM’は、現場計画を活用して設計・施工をより合理的に行うものであり、その主要な支保部材の一つである吹付コンクリートにおいては、その強度試験が重要なものとして挙げられる。特に切羽に接近した地点においては、地山は変形を続けており、吹付コンクリートの早期強度の管理は重要である。吹付コンクリートの強度測定方法には幾つかのものが提案されているが、現時点で最も信頼のおけるのは一度トンネル壁面に吹付けた後コアの採取を行い、室内において円柱供試体による一軸圧縮試験を行うものである。しかしこの方法は経費、手間といったことから材令に応じた強度や頻度を多くした試験は困難である。そこで簡易試験としてコンクリートの非破壊試験法の一つであるシュミットハンマーを用い、これを現地で試験することによって吹付コンクリートの早期強度の判定を試みた。

2 試験の概要 試験の対象となったトンネルは、国鉄福知山線第2名塩トンネルであり、地質は一部を除いて結晶質流紋岩が大部分を占める典型的な中硬岩トンネルであり、NATMが積極的に採用されている。吹付はSECコンクリートシステムが用いられており、平均厚さは10～15cmである。その示方配合を表-1に示す。試験は現地坑内でのシュミットハンマー試験と採取コアを用いた室内での一軸圧縮試験を行った。

表-1 吹付コンクリート示方配合(1m³当り)

設計基準強度	骨材最大寸法	W/C	S/A	セメント種類	セメント量	急結剤
180 kg/cm ²	15 mm	50 %	70 %	普通ポルトランド	350 kg	5 % (デンカチドミクス)

3 室内試験 現地で吹付コンクリートのコアを採取した後、直径5cm、高さ10cmの円柱供試体を作製し一軸圧縮試験を行った。しかし吹付厚が10～15cmであり、さらに均一でないため高さが10cm未満のものも含めている。また材令は1～10日を対象とした。それぞれの材令に対する一軸圧縮強度(q_u)と試料長の直径に対する比(L/D)との関係は、図-1に示すような結果が得られた。かなりのバラツキも見られるが、これは試料内の空隙の多少

に影響を受けている。 L/D と強度比との関係はすでに多くの研究が見られ、 $L/D \geq 1.5$ においてその差は10%以内と考えられる¹⁾。そこでこれより $L/D = 2.0$ のときの円柱供試体強度を図示するように定め、これと材令との関係は図-2のようになる。これより1日強度は80 kg/cm²程度であり、3日強度は120～130 kg/cm²、10日後には設計基準強度の180 kg/cm²に達している。

4 シュミットハンマー試験

トンネル坑内において測定点を数10ヶ所任意に選定し、シュミット

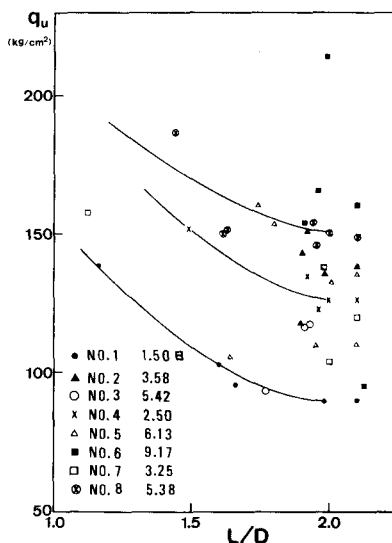


図-1 一軸圧縮強度と L/D の関係

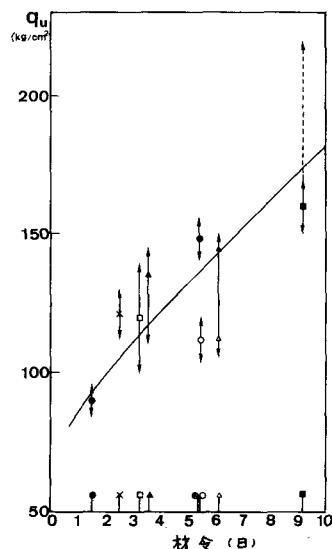


図-2 一軸圧縮強度と材令

ハンマー（N型）を用いて反発硬度 R 値の測定を行った。吹付面はかなり荒れた状態になっており、凹凸および空隙が目立っている。そこで測定位置には、半径40～50cmの範囲をマーキングした後、まずその荒い面（粗面）で試験を行った。その後ハンドグラインダー（電源100V、重量1kg）を用いてマーク内に数ヶ所の滑らかな面（滑面）を作り（図-3）、再びそれらの面において試験を行った。ハンドグラインダーの電源は坑内照明用電源コードから取り、シュミットハンマーが故障なく行える滑面を整形するために1～5分の時間を要した。またシュミットハンマーの打撃はすべて水平方向である。1ヶ所に対して試験は粗面、滑面それぞれ10回行い、それぞれの平均値でその箇所の反発硬度 R_0 とした。すべての測定点での吹付コンクリートの材令と反発硬度 R_0 値を図-4に示す。これより粗面での R_0 値は滑面での R_0 値より30～50%小さな値となり、特に材令が1日未満となると $R \leq 10$ と計測が不可能になった。これに対して滑面での R_0 値は特に若材令でよく強度に追従しているようである。また高材令のものでそれ程 R_0 値の大きくないものが目立つが、これはすでに吹付表面が十分硬化してしまっているためグラインダーをかけても十分な整形ができず、表面に空隙がかなり残っていたためと考えられる。そこで、このうち同一箇所（A、B点）において日を追って試験した結果のみを図-5に示す。この両地点は吹付半日後先に述べた整形を行い、その後12日間にわたって試験を行ったものである。吹付直後の整形は容易であり、良好であったため各測定値のバラツキも小さく、材令と R_0 値との相関性がよくあらわれている。

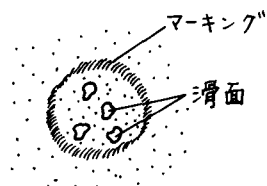


図-3 測定面のスケッチ

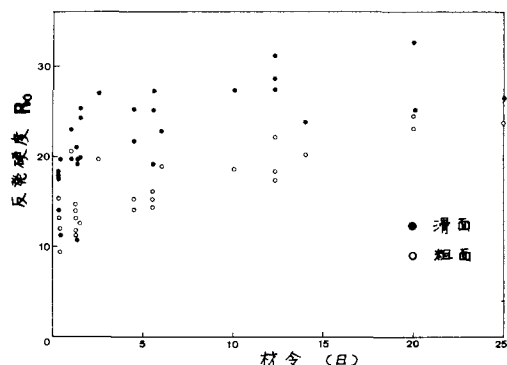


図-4 反発硬度 R_0 と材令の関係

5 強度判定法 室内試験から得られた結果（図-2）とシュミットハンマーより得られた結果（図-5）より、 R_0 値と円柱供試体強度 σ_c との関係は図-6に示すようになる。またシュミットハンマーに貼付されている換算曲線²⁾を細線で示した。粗面での試験結果は換算曲線から大きく離れているが、滑面での結果は非常によく一致している。この試験においては吹付コンクリートの早期強度を対象としており、円柱供試体強度としては $\sigma_c = 80 \sim 200 \text{ kg/cm}^2$ 前後の強度の判定を目的としている。従ってこの範囲では直線で近似することが可能であろう。これより得られる実験式は次式となった。

$$\sigma_c = -154 + 11.85R_0$$

シュミットハンマーの性質上その反発係数から強度を一義的に決定することは危険であるが、若材令において十分な吹付コンクリート表面の整形を行えば強度の判定がかなり有効に行えることが確認された。

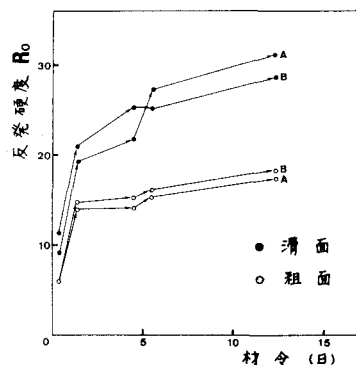


図-5 反発硬度 R_0 と材令の関係

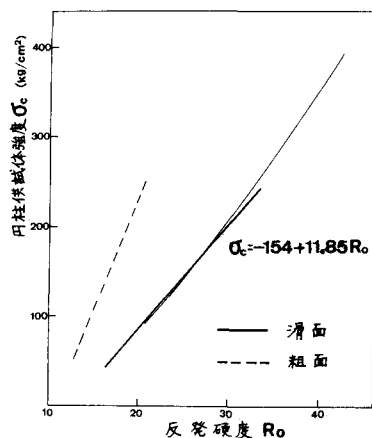


図-6 反発硬度 R_0 と σ_c の関係

参考文献 1) 岡田、明石他：土木材料学、国民科学社、1976、pp 228

2) 富士物産(株)：シュミットテストハンマー取扱説明書