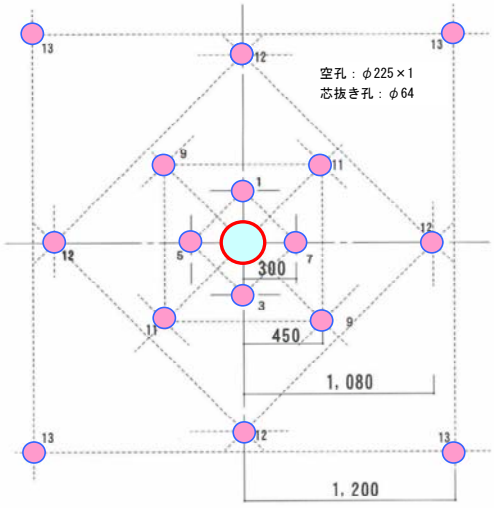
石灰石鉱山で試行した長孔発破とその振動測定結果

㈱奥村組技術研究所　正会員　○蛭子　清二，同　塚本　耕治
㈱奥村組東日本支社　岩本　容昭，同　田浦　義真

１．はじめに

石灰石鉱山の新規開発工事では，山体の頂部から鉱石を投入する立坑，立坑の底部で鉱石を破砕する破砕室および破砕室から坑外までベルトコンベアで鉱石を運搬するベルコントンネルを掘削する．これらの地下構造物には，断面積の大きな空洞やベルコントンネルのように距離の長いトンネルがあり，施工効率の向上には掘進速度を大きくする急速施工が有効である．

掘削範囲に B 級相当の硬い石灰岩が分布する場合には，1 発破の進行長を大きくする長孔発破の適用が可能となり，掘進速度の向上を期待できる．そこで，実際の開発工事の構造物掘削に合わせて長孔発破の試験施工を行った．ここでは，長孔発破の概要とそのときに得られた興味深い振動測定結果を報告する．



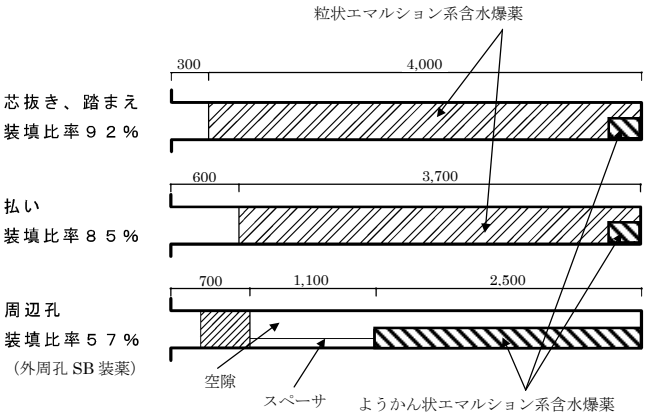
図－1　長孔発破の芯抜きパターン

２．長孔発破の方法と試験施工の結果

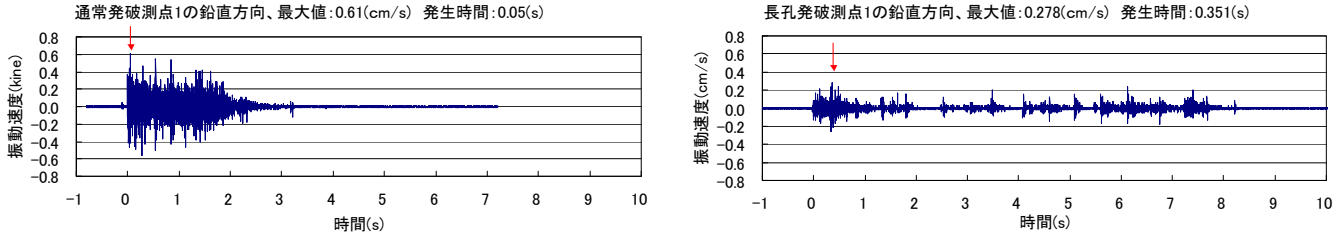
この工事の通常発破の計画進行長は 1.5 m である．これに対して，試験施工では計画進行長が 4.0 m の長孔発破を行った．この長さは，トンネルの掘削幅 7.7m の 52 %（掘削幅比率）に相当する．長孔発破は，図－1 に示すシリンダカットの装薬パターンで芯抜きを行った．空孔は径を大きくした 2 種類（φ225× 1 本，φ150×2 本），装薬孔径は芯抜きをφ64，その他の払い，外周，踏まえは径の小さなφ45 とし，削孔時間の短縮を図った．なお，通常発破の芯抜きはＶカットで行った．

図－2 に装薬状況を示す．ようかん状のエマルジョン系含水爆薬を親ダイにして孔底に置いた．増しダイは，粒状のエマルジョン系含水爆薬を密度が 0.75～0.85（g/cm^3）となるように圧縮空気で機械装填した．また，雷管には非電気式の導火管付雷管を使用した．

試験施工の結果から，発破の最大進行長を掘削幅比率で見ると，通常発破が 21～22 %，長孔発破が 48～64 %となり，目標にした長孔発破の性能を確認できた．



図－2　爆薬の装填状況



図－3　振動速度の時刻歴（切羽距離：50m）

キーワード　長孔発破，発破振動，粒状含水爆薬，機械装填

３．発破振動

切羽後方の 50 m，100 m，200 m の 3 箇所に振動速度計を配置し，鉛直および水平 2 方向の合計 3 方向の振動速度を測定した．図－3 に振動波形を示す．段数の多い長孔発破では，振動の継続時間は長くなったが，速度振幅は小さかった．通常発破と長孔発破の最大振動速度および次式から算出した K 値を図－4 に示す．

$$PPV=K\cdot W^{3/4}/L^2$$

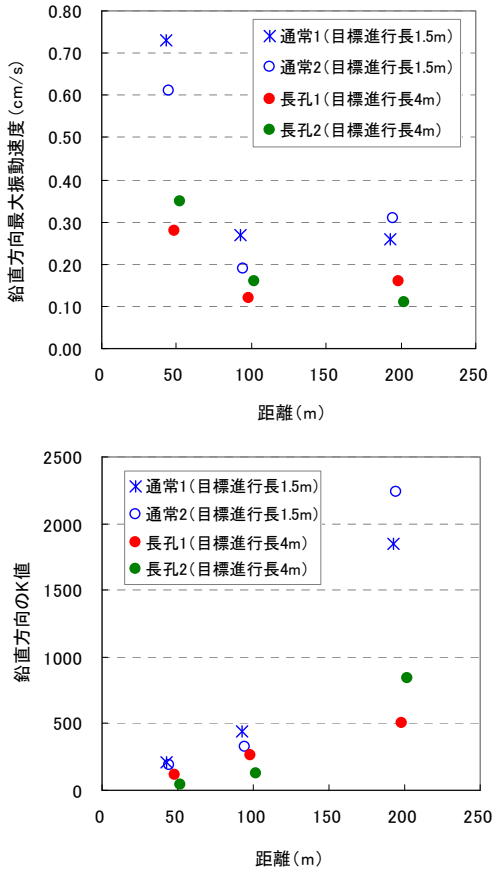
PPV：振動速度 (cm/s)，W：段当たりの最大薬量 (kg)，

L：距離 (m)

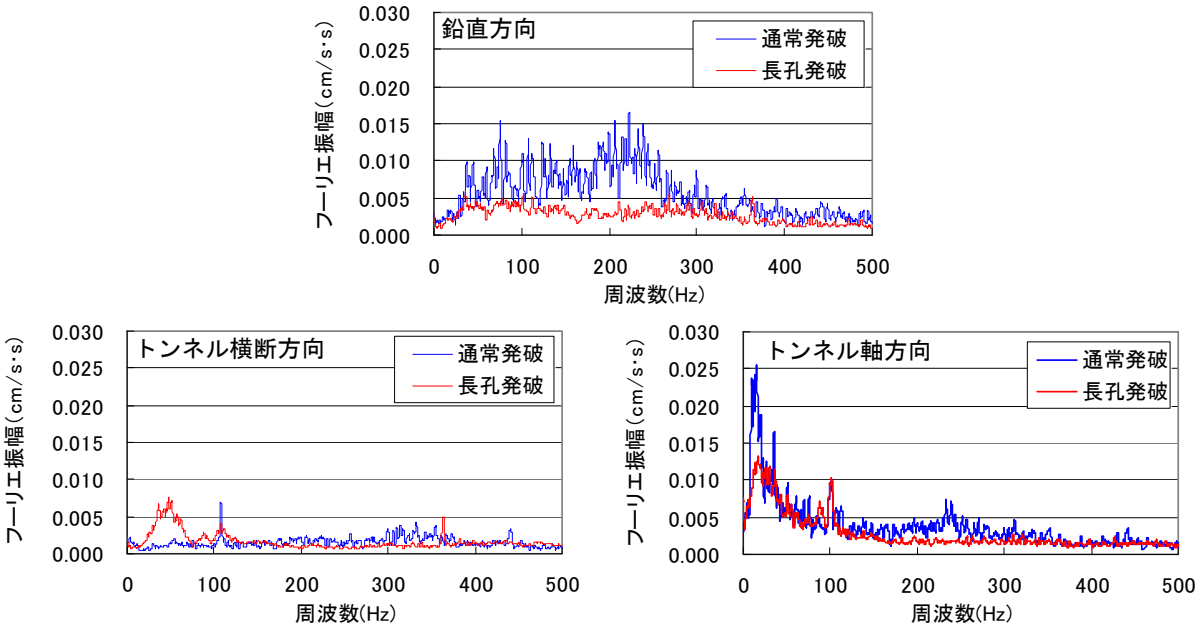
長孔発破では，通常発破に比べて段当たりの薬量が約 5 倍も多いにも拘らずに，最大振動速度，K 値ともに小さくなった点が大きな特徴である．振動波形から，Parzen ウインドウで 2Hz の平滑化処理を行ったフーリエスペクトルを長孔発破と通常発破で比較して図－5 に示す．長孔発破の方が全体にフーリエ振幅が小さくなったが，この傾向は鉛直方向の 50～300 Hz で顕著であった．ただし，トンネル横断方向については，長孔発破の 50 Hz 付近が通常発破よりも卓越した．

４．おわりに

粒状のエマルジョン系含水爆薬を用いた長孔発破を試行し，過去に報告された掘削幅比率と同等以上の掘進性能を確認した．そのとき測定した振動は，通常発破よりも薬量の多かった長孔発破の方が振動速度が小さく，岩盤にも環境にも好ましい結果が得られた．爆薬と雷管の種類，その充填密度および装薬パターンの組合せが効果を発揮したと考えられ，掘削効率と掘削品質の両方を向上させ得る方策が示唆された．



図－4　最大振動速度と K 値



図－5　Parzen ウインドウで 2Hz の平滑化処理を行った
フーリエスペクトル（切羽距離：50m）