

鉄道単線トンネルにおける長孔発破掘削

ー JR 吾妻線岩島・長野原草津口駅間線路付替川原湯 T 工事ー

Long Hole Blasting Excavation in Single-Truck Railway Tunnel

齋藤貴¹・田口芳範²・笹尾春夫³・宇田誠⁴

Takashi Saito, Yoshinori Taguchi, Haruo Sasao and Makoto Uda

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事務所 (〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2)

E-mail:tk-saito@jreast.co.jp

² 東日本旅客鉄道株式会社 上信越工事事務所 (〒370-8543 群馬県高崎市栄町6-26)

³フェロー会員 工博 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

⁴正会員 鉄建建設株式会社 北関東支店 (〒330-0844 埼玉県さいたま市大宮区下町1-51)

Kawarayu tunnel in the JR Agatsuma line is a single-track railway tunnel. The length of the tunnel is 1870m, and the excavation sectional area of the tunnel is 28.8m². To excavate the tunnel rapidly, the long hole blast by which one blast length was assumed to be about 3m in the section of solid andesite was planned. The excavated side after the blast becomes smooth as the andesite becomes more solid by progress of excavation with the long hole blast. Moreover, 2.7m in progress length of one blast were maintained, and the amount of the progress of excavation by one month was able to exceed the construction plan.

Key Words : tunnel, long hole blasting, andesite

1. はじめに

昭和22年に関東地方を襲ったキャスリン台風をきっかけに、利根川下流域の洪水被害の軽減と増加する首都圏エリアへの水道用水、工業用水の安定供給のため国土交通省は八ッ場ダム建設を行っている。この八ッ場ダム計画により群馬県長野原町の340世帯(約千人)、吾妻渓谷、国道145号等の他に、JR 吾妻線岩島～長野原草津口駅間のうち約6kmの区間(川原湯温泉駅を含む)が水没することになる。

現在、JR 東日本上信越工事事務所では八ッ場ダム建設に伴う機能補償として国土交通省の全額負担による約10.4kmにおよぶ吾妻線付替工事を進めている(図-1)。

本報告では、吾妻線付替プロジェクトにおける3トンネルの一つをなす川原湯トンネル新設工事において、鉄道単線トンネルにおける長孔発破の施工について報告する。

2. 川原湯トンネル概要

(1) 工事概要

川原湯トンネルの概要を表-1に示す。川原湯トンネルは図-1に示すように、付替線のほぼ中央部に新たに代替造成される川原湯地区の新川原湯温泉駅(仮称)から横壁地区の白岩沢へ至る延長1870mの単線 I 号形(約29m²)の馬蹄形トンネルである。工事は、終点方の白岩沢に坑外設備ヤードを構築し、起点方に向かい掘削を行った。

表-1 川原湯トンネル概要

トンネル延長	NATM:1,709m 開削:161m
縦断線形	起点→終点へ2‰の上り勾配
平面線形	R=∞, 800m
掘削断面積	28.8m ² (Ⅲ _{NP} 区間)
掘削工法	補助ベンチ付全断面(機械掘削)
掘削方式	全断面、補助ベンチ付全断面(発破掘削)
穿孔機械	27°-42°ディグリージョイント HD190×2
坑内運搬	等三線(RG914)レール方式
ずり処理	シャローダグ / ずり鋼車(6m ³)(側開転倒式)

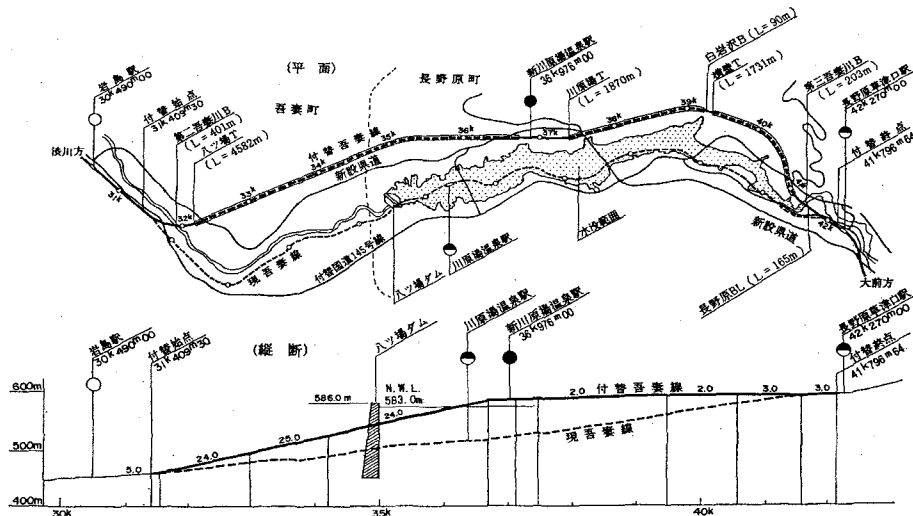


図-1 吾妻線付替計画概要

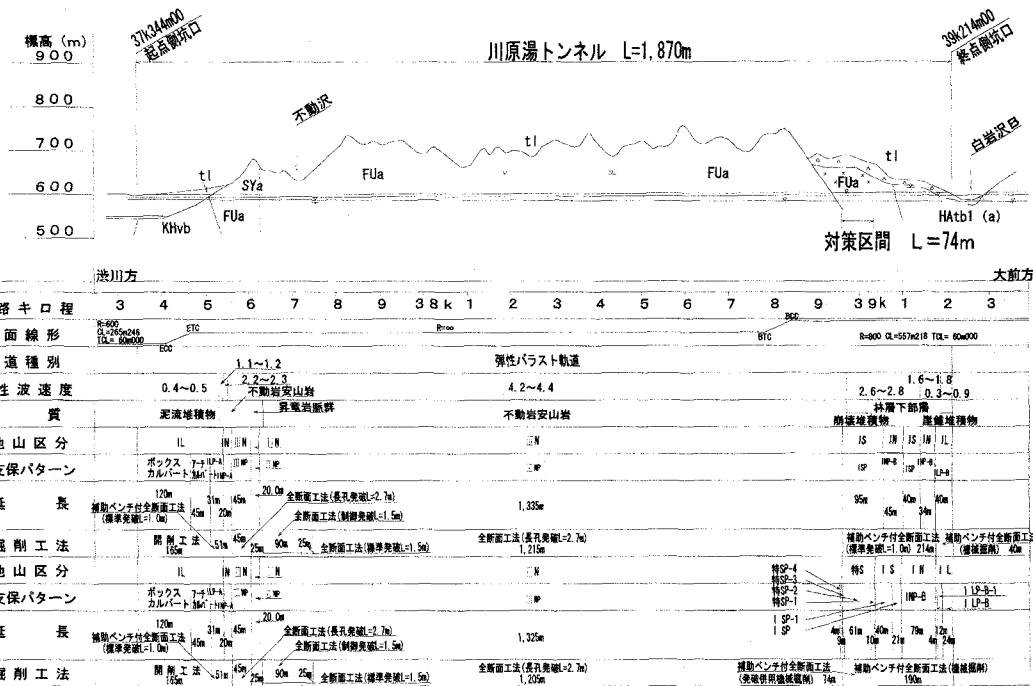


図-2 川原湯トンネル一般図

(2) 地質・地形概要

施工位置周辺には、現在も火山活動を続ける浅間山、草津白根山が存在し、川原湯トンネルは吾妻川右岸の急峻な不動沢～白岩沢の一角を掘削することになる。トンネル延長方向における地形・地質は既

存の地質調査より図-2に示すとおりとなるが、大別すると表-2に示すように3区間に集約される。

a) i 区間（長孔発破施工区間）

37k550m～38k950mの1,400m間は、大半が良質で硬く締まった灰色～暗緑灰色を呈する不動岩安山岩が

表-2 川原湯トンネル地質・地形概要

	i 区間 1,400m	ii 区間 140m	iii 区間 124m
キ ロ 程	37k550m ～38k950m	38k950m ～39k090m	39k090m ～39k214m
地形区分	急峻	大規模 地滑り	地滑り 表層滑り
土被り (m)	20～150 (100)	40～90 (80)	15～40 (30)
地 質	不動岩安山 岩新鮮部	不動岩安山 岩風化部	林層 凝灰角礫岩
地山区分	Ⅲ _N	I _N I _S	I _N I _S I _L
V _p (km/s)	4.2～4.4	2.2～2.4	0.8～1.8
q _u (N/mm ²)	85～110 (96)	56～66 (61)	3～11 (6)
R Q D	75～100 (90)	0～50 (15)	10～50 (20)

※キロ程は付替渡川起点 ※ () は平均値

ら構成される。37k600m付近では昇竜安山岩岩脈の貫入が推定されるが弾性波探査による顕著な速度変化が観測されなかったため、貫入部に沿った破碎帯はないものと推定される。

b) ii 区間

38k950m～39k090mの140m間については、i区間の不動岩安山岩が貫入してきた際に剥がれた岩塊が白岩沢の旧河床と思われる林層凝灰角礫岩の上に堆積したものと推定される。またこの貫入により基盤の林層凝灰角礫岩が部分的に脆弱化していると思われる。

c) iii 区間

39k090m～39k214mの124m間では、白岩沢に沿った地滑り地形・表層崩落が確認された。地質は林層火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩の互層により形成され、断面的に15～25°の低角度流れ盤構造の熱水変質を受けた脆弱層が分布している。

3. 長孔発破区間の施工

(1) 長孔発破の概要

川原湯トンネルの施工においては、硬く締まった不動岩安山岩区間（Ⅲ_N区間）では施工サイクルの短縮、早期貫通させるために、単線断面という制約がある中で長孔発破を当初から計画していた。これは地山が良好になるにつれて掘進長、つまり1発破進行長を増加させて効率的にトンネル掘削を行っている実績があることによるものである。当初計画における検討では、長孔発破を用いることで通常発破

に比べて2.5ヶ月程度工期を短縮できると想定された。通常、1発破進行2m以上を長孔発破と分類されるが、川原湯トンネルにおける長孔発破の1発破掘進長について既存の実験式により次のようにして算出した。

$$\text{穿孔長 (m)} = \sqrt{A} \times (0.6 \sim 0.7)$$

A : 断面積 (=28.8m²)

係数：0.6＝硬岩地山，0.7＝軟岩地山

上式より穿孔長は3.21mとなるが、単線断面内での穿孔機械（ガイドセル）の稼動可能範囲等を勘案し3.0mとした。また、発破により切り崩される範囲は軟岩の場合、孔尻は残らないが、硬岩の場合では穿孔長の1割程度の孔尻が残ると言われている。つまり、穿孔長＝掘進長＋孔尻（穿孔長の1割）の関係が成り立つ。これらより、川原湯トンネルでは穿孔長3.0m、掘進長（1発破進行長）2.7mと設定し施工に入った。

(2) 芯抜き試験発破

図-2に示した通り、川原湯トンネル掘削延長のうち約7割が長孔発破に適した地山区分Ⅲ_Nの区間となっている。本格的な長孔発破を実施する前に芯抜きの試験発破を2度実施した。芯抜きの目的は一番初めに切羽奥行き方向に自由面を作ることであり、この自由面に向かって残りの岩石を起爆して払っていくための発破掘削における最も重要なものである。穿孔には高い精度の平行性が得られなければ計画1発破進行を達成することができない。芯抜きのパターン、諸元、マーキング状況、試験結果を図-3、表-3、写真-1、表-4に示す。

表-4より、2回とも計画通り2.7mの1発破進行長が得られたため、この芯抜きパターン（フォーセクションカット）にて長孔発破での掘削を行うこととした。なお芯抜きには、主にアングルカット（くさび芯抜き）とパラレルカット（平行芯抜き）がある。川原湯トンネルでは、ドリフトガイドセルの稼動可能範囲の制約によりパラレルカットにて芯抜きを行った。写真-2に芯抜き試験発破後の切羽状況を示す。

(3) スムースブラスティング

長孔発破では1回の使用薬量が多くなるため、余掘が多くなる傾向がある。覆工コンクリートの巻立量を計画通りに抑えるためには余掘を減らすことが肝要である。また、トンネル周壁の凹凸度合いが大

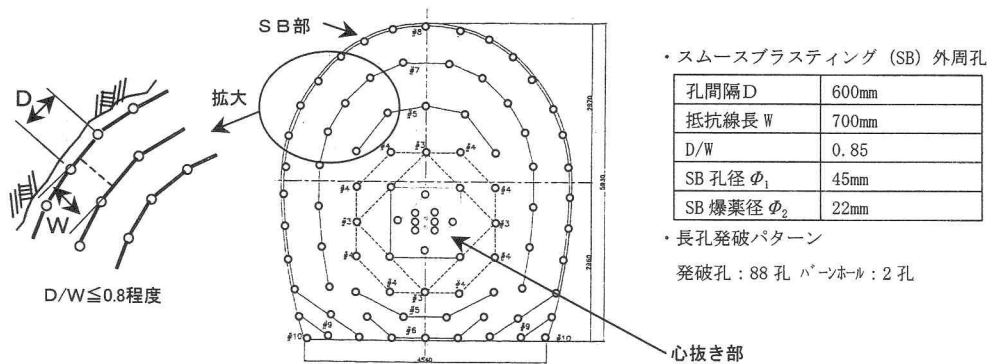


図-4 スムーズブラस्टィング (SB) と長孔発破パターンの概要

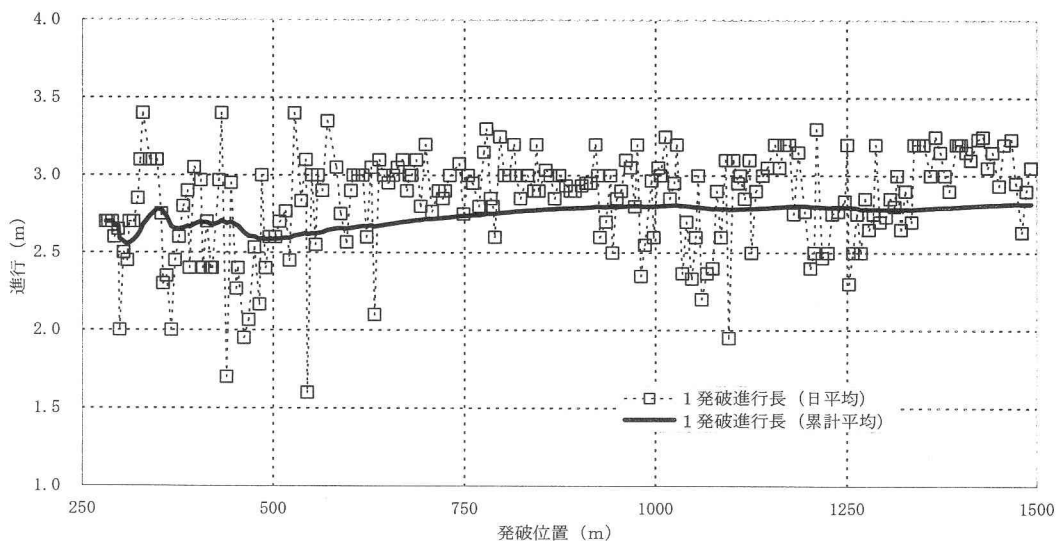


図-5 1 発破進行長

点)より延長1215mの区間で実施した。この区間で図-3に示した芯抜きパターンで全断面長孔発破を実施した。発破パターンは図-4に示したとおりである。スムーズブラस्टィングの効果については、地山状況により異なるが、長孔発破開始直後では岩塊ごと抜けてしまったり、こそくのかけ具合等により局所的に余掘が大きくなった箇所が発生した。しかし、徐々に山の芯に向かうにつれて、安山岩の目が締まった均質な区間になってからは、のみ跡が全周に明確に残るほど、平滑な周壁面が得られるようになってきた。

a) 1 発破進行長

長孔発破の1発破進行長を図-5に示す。横軸の発破位置は坑口からの距離である。切羽ごとの割れ目

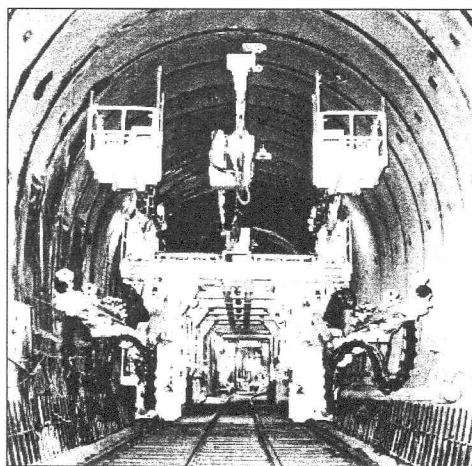


写真-3 2 ブーム2 デッキガントリージャンボ

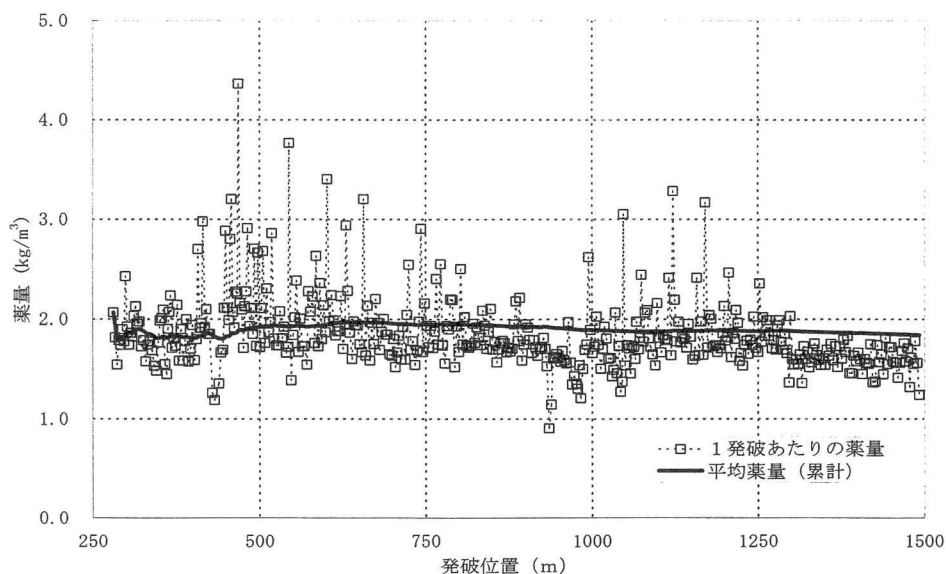


図-6 使用薬量

や締め具合、湧水状況は異なり、発破ごとの進行長のばらつきが大きい、この図より長孔発破は概ね計画通りの1発破進行長2.7m以上を記録していることがわかる。また、長孔発破開始後、1発破進行長は徐々に増加する傾向にあり、長孔発破区間の後半以降では確実に平均2.7mを維持している。

b) 使用薬量

図-6に実進行による掘削量で全装薬量を除した単位火薬量を示す。この図より、実掘削量あたりの薬量が長孔発破掘削の開始後一時2.0kg/m³近くであったものが、その後徐々に減少し、最終的には平均値で1.84kg/m³となっている。

c) 進行

進行を早めるためには1発破進行を出すことのほかに、いかにずり出しサイクルを短縮できるかにかかってくる。掘削の進捗に伴い、坑口からの距離が長くなり従い、進行が低下する傾向にあった。このため、ずり積み機（シャフロードKL-20、写真-4）のベルコン幅を620mmから820mmへと変更し、さらにモーター等の能力を45kw級から55kw級へと改良変更を行うことによりサイクル向上を図った。その結果、図-7に示すように、月（30日）平均で日進約6mの進行を維持することが出来た。なお、最大月進については162m、平均月進は120mであった。

d) 覆工の余巻き

覆工コンクリートの実打設量（設計数量に対する比率）を図-8に示す。前述のように長孔発破開始

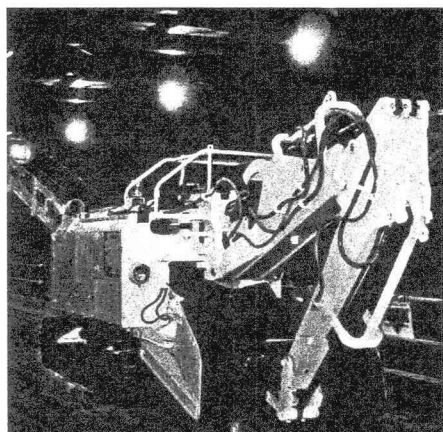


写真-4 改良型シャフロードKL-20

直後は岩塊の抜け落ち等による余掘量の増加のため設計数量に対して250%程度になった区間もあるが、その後減少する傾向にあり、最終的には平均値で約210%であった。

(5) 周辺環境への影響

長孔発破が周辺環境に及ぼす影響について、JISに定められた騒音レベル、振動レベル、低周波音レベルの測定により評価を行った。測定結果を表-10に示す。測定は坑外ヤードより見通し距離で350m地点と、山影になっているが同じく坑外ヤードから

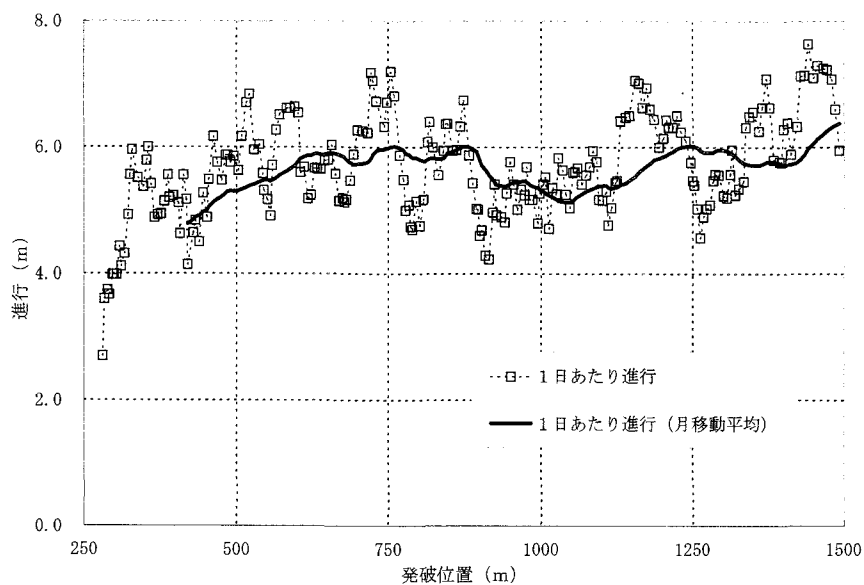


図-7 1日あたりの進行

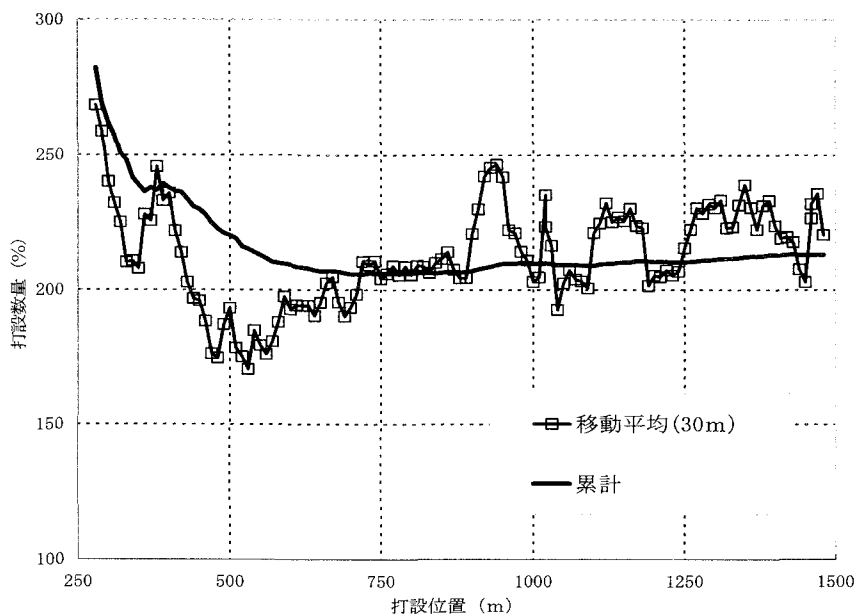


図-8 覆工コンクリート打設量

表-10 環境測定結果

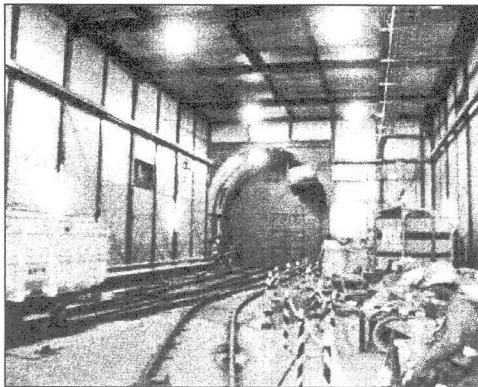
	測定場所	発破形態	使用薬量 (kg)	振動レベル(dB)	騒音レベル(dB)	低周波音 レベル(dB)
①	見通し距離 350m 地点	芯抜き試験	26.4	30 以下	53 以下	60 以下
	最寄の民家(350m)			30 以下	45 以下	61 以下
②	見通し距離 350m 地点	全断面長孔発破	150.4	30 以下	55 以下	60 以下
	最寄の民家(350m)			32 以下	44 以下	65 以下

350m地点にある最寄りの民家にて芯抜き発破と全断面長孔発破の際に1回ずつ行った。

振動レベルは最大でも32dB以下で一般的な民家に対する許容振動値60～70dBを大きく下回った。これは震度に換算すると震度0（無感：揺れを感じない）に該当する。騒音レベルは最大でも55dB以下で暗騒音により聞き取ることができない程度と言える。また低周波音レベルでは65dB以下で、苦情が発生すると言われる目安の100dBを大きく下回った。

このように発破振動、騒音ともに目安値を大きく下回った理由として、坑口に防音扉、また坑外ヤードの一部を防音建屋化したことにより大きな低減効果が得られたものと考えられる（写真－5）。振動、騒音、低周波による被害は一概に定量的なものでなく、人間や動物の五感に左右されるものであるため、全てに対して万全な緩和対策というものは存在しない。今後も周辺環境への影響を最小限に抑えるよう環境へ配慮した施工を行っていくよう努めていく。

4. おわりに



写真－5 防音建屋内状況と防音扉

今回川原湯トンネルで実施した鉄道単線断面における長孔発破において、計画1発破進行長2.7mを維持するとともに、月進行量も計画を上回ることが出来た。本工事の実績より、掘削断面積30m²程度の小断面トンネルにおいても長孔発破が可能であることを示すことが出来たものと考えられる。