渡辺賞

地域と共に 21 世紀に生きる一 環境を重視した土佐山鉾山開発*

太平洋セメント(株)土佐山鉾山開発グループ
斎藤寛士¹ 菊池洋次²

On the Development of the Tosayama Quarry — Key Issues in the 21st Century for Limestone Quarrying being Conscious of the Environments and Coordination with the Local Community by Hiroshi SAITO¹ and Yoji KIKUCHI²

1. President and Representative Director, Daiichi Cement Co., Ltd.
2. Manager, Tosayama Mine, Taiheiyo Cement Corporation, Tosayama 851-4, Tosayama-mura, Tosa-gun, Kochi 781-3201

It has been known for a long time that a large quantity of high quality limestone occurs in Tosayama which lies at the central part of Kochi Prefecture along the boundary between the city of Kochi and the village of Tosayama. As for the actual development, a number of problems such as a hauling route of limestone and environmental measure existed. On the other hand, the limestone quarries in the outskirts of Kochi city which have supplied raw material to the lime industry, one of the major industries of Kochi Prefecture, have been gradually depleting their resources, and thus the development of a limestone quarry with a high quality has been an important issue for the industries of Kochi Prefecture.

The Tosayama quarry development group of Taiheiyo Cement Corporation divided the development works largely into two stages. In the first stage of small scale development works, the better understanding of local community on mining operation was gained as the clue for large scale development works of the second stage, and at the same time the various complicated problems such as securing of hauling route, development of hauling technology, and local environment were resolved step by step. During the large scale development works started from 1992, the transportation route through the mountainous area, urban area, and paddy field was constructed by level excavation with shield driving method at paddy field and adoption of long distance curved conveyor and various tough problems were settled and finally a full-scale operation were achieved in 1997.

After a time over half century since the acquisition of the quarry site, the high quality of Tosayama limestone came at last to be supplied to relevant industries.

KEY WORDS : Limestone Quarry, Environmental Safeguards Style of Mining, Longdistance Curved Velt Conveyor, Low Vibrational Blasting

1. はじめに

今回、栄誉ある渡辺賞を受賞したことは、地域環境に大きな影響を与える大型鉾山の開発を、特に環境保護、保全の考えが資源確保の観点よりも重要視される今世紀末にあつて、環境調和型、地域共生型鉾山の在り方を示すことによって可能とした意義を評価して頂いたものと思う。また同時に、土佐山鉾山開発グループの跡を引き継いだ土佐山鉾業所の、さらなる技術的向上に対する大きな励みと受け止めている。

土佐山鉾山開発グループは、1978年に結成され、1997年に形式的には解散した。およそ19年に及ぶ活動は、その大部分が、大

規模鉾山開発に対する周辺地域の不安感や抵抗感の払拭に費やされた。高知市中央部に近接しているものの、土佐山村は自然豊かな山村で、農業や林業、畜産を営む民家が多く、大規模鉾山の開発工事には馴染まない環境であつた。もっとも、ドロマイトや大理石の採掘が1960年代を中心に極めて小規模に行われていた実績があつた。そこで、土佐山鉾山開発グループは、まず小規模の鉾山運営によって鉾山操業の実体を示すことで地域住民が抱く違和感の解消に努めた。さらに、環境に調和する鉾山の運営方法を追求して地域に提示し、大規模鉾山開発に向けての理解と協力を求めた。その結果、平成9年7月に大規模開発が実現し、近年特に貴重になってきた、低リンの高品質な土佐山石灰石を供給

* 2000年5月18日受付 6月23日受理 平成12年(2000年)3月30日 本会第123次通常総会において第74回渡辺賞受賞

1. 正会員 第一セメント(株)代表取締役社長

2. 太平洋セメント(株)土佐工場土佐山鉾業所長

〔著者連絡先〕 FAX 088-895-2800 (太平洋セメント・土佐山)

キーワード: 環境保全式採掘, 長距離カーブドコンベヤ, 低振動発破

☆

(左より)

受賞代表
斎藤寛士氏
菊池洋次氏

することが可能となった。環境に調和し、地域と共にあるとする鉱山開発の一例として、来るべき 21 世紀の鉱山開発にわずかも貢献することになれば幸いである。

2. 土佐山鉱山の環境と地質

2・1 土佐山鉱山の環境

土佐山鉱山は、高知県のほぼ中央部、高知市と土佐郡土佐山村の境界線上にあり、JR 高知駅から県道高知一本山線を約 10 km 北上し、土佐山村に入って間もなく、県道の東側に位置する。

土佐山は南北方向と西側の 3 方向を高知市の水源である鏡川の支流に区切られて、標高 536 m の独立峰の様相を示しているが、東側は標高 400 m 前後の丘陵のような地形となっていて、四国鉱発社白木谷鉱山へと続いている。一般に高知県下では、東西方向に山並みが連なるが、土佐山鉱山の周辺部も 600 m から 900 m 級の山並みが連なっていて、その中では土佐山は高い山ではなく、むしろ周辺の山から見下ろされる形となっていて、一層環境対策を難しくしている。土佐山を含む周囲の山々も、南側斜面には、中腹部にまで民家が存在し、鉱山操業の影響は無視できない。

現在の土佐山村の人口は約 1,350 人であり、ユズ、ミョウガ、シシトウなどの園芸農業が主な産業であるが、1998 年からは土佐山村を主体とする第 3 セクター方式による温泉「オーベルジュ土佐山」がオープンし、好評を博している。土佐山鉱山に隣接して、土佐山村 5 地区、高知市に 1 地区の 6 箇所の居住地区があり、このうちの 2 地区はその一部が鉱区内にある。1998 年にはこれらの地区の合計の世帯数は約 130 世帯、およそ 430 人が生活している。これらの地区では現在も林業、農業、畜産業が行われているが、若い世代では次第に当社従業員を含む給与生活者も増加している。また土佐山村の北部には工石山陣ヶ森県立自然公園がそびえたっており、土佐山鉱山を足元に見下ろすことができる。

かつては、土佐山村と高知市を結ぶ県道高知一本山線は非常に狭隘で曲がりくねった山道であったため、高知市中央部に近接していながらその往来は決して便利なものではなかった。このこと

図 1 土佐山鉱山位置図

も、後述するように、鉱山開発に当たっての阻害要因のひとつであった。現在は県道高知一本山線の改良により村役場から高知市中心部まで自動車でおおよそ 20 分程度と非常に便利になり、通行量も増加しているが、それでも非常に静かで豊かな自然環境であって、やはり鉱山操業の影響が目立ちやすい。

図 2 土佐山鉱山周辺図

図 3 地質断面図

また、鉱区の東南側は高知市に属するが、鉱区内に養鶏場が 1970 年頃から操業している。養鶏場と、周辺の数軒の民家が、現在では最も採掘切羽に近接する施設である。

2・2 土佐山鉱山の地質

土佐山鉱山の石灰石鉱床は、秩父系の中一古生層の上部、一般に白木谷層と呼称され、走行はほぼ東西方向で、北に傾斜した東西に細長い鉱床である。上盤は一部に蛇紋岩を挟む頁岩、砂岩、チャート帯、下盤側は砂岩、頁岩、輝緑凝灰岩、蛇紋岩などからなっている。

土佐山鉱山の鉱区面積はおおよそ 184 ha で、その内の 6 割以上が自社地になっている。石灰石鉱床は東西方向には約 2.5 km、南北方向には約 0.5 km の広がりを持ち、鉱区内での鉱量は、約 3.5 億 t と推定されている。石質は非晶質、緻密で堅牢、灰白色で熱変成を受けた痕跡はないが一部で応力変成を受けて節理が発達している。鉱床には異種岩類の貫入や挟みは見受けられないものの、節理や層理に沿って粘土類の侵入が一部に見られる。土佐山鉱山の一大帯では、石灰石鉱床は、表土が薄く、また貫入岩類も見当たらないので、石灰石本来の均一で緻密、高品位な性状を損なうことなく存在している。

3. 初期の土佐山鉱山開発計画 (1940 ~ 1960 年末頃)

1950 年代中頃、当時の開発チームは、鉱山の裾野に破砕プラントを設置し、山岳部に地下ベルト坑道を掘削することで高知市東北部の平野部分と結び、平野部においては、専用道路に地上ベルトを設置して高知港西岸に面する土佐工場の対岸部に石灰石を輸送するという計画を立案し、ただちに専用道路用地の買収を行った。これは、土佐山鉱山と、当時供給先として唯一考慮されていたセメント工場との直線上に狭隘な山岳道路と、高知市中心部が位置していたため、輸送経路の確保が最大の問題となっていたためである。この計画においては、土佐山鉱山から高知市東部の平野部までは延長およそ 5 km 弱のベルト坑道を掘削し平野部は専用道路上部に地上ベルトを布設することとしていたが、専用道路の南端部、竹林寺のある五台山を私企業がトンネル掘削することの問題が解決できないでいた。そういう問題があるものの、この計画は、当時の石灰石採掘においては傾斜面採掘法や、グローリホール採掘法、また軌道輸送や索道輸送がまだ主流であった状況を考えると非常に斬新で、時代を先取りするものであった。

この計画に基づいて 1960 年代中頃、当時の開発チームは、高知県東部に南北方向に約 2.4 km、幅約 20 m の専用用地の買収をほぼ終了していた。1968 ~ 1970 年頃には、探査ボーリングを合計 10 本、延長 2,673 m 実施した。これらの探査ボーリングの結果は、前述の地質的知見を再確認するものであったが、鉱区の東部地区については多少表土も厚く、不明瞭な部分を残している。

このように着々と用地買収を進めてきたが、1960 年代後半からのセメント不況の中で、セメント用原料の供給鉱山としての土佐山鉱山の開発計画は一旦中断せざるを得なくなった。

4. 土佐山鉱山開発計画の再始動 (1978 ~ 1982 年頃)

4・1 土佐山鉱山開発グループの再結成

一旦中断された土佐山鉱山開発計画であったが、土佐工場への原料用石灰石の長期的供給が困難になってきたことから、1978 年、土佐山鉱山開発チームを再び結成して、再度開発に取り組むこととなった。その背景には、当時の土佐工場の原料山であった吉良ヶ峰鉱山の山内興業社への返還時期 (1983 年) が迫ってきたことと、土佐山鉱山の豊富で良質な石灰石の、セメント原料以外の有効利用を検討すべきであるという鉱山関係者からの強い要望があった。

4・2 再開発に向けての取り組み

昭和初期から中期にかけての鉱山開発においては、採掘と輸送の効率化が技術的、かつ最大の懸案事項であった。採掘や輸送の技術的問題以上に産業育成優先から環境保護優先へと変わりつつある一般情勢の中、今回の開発グループが最初に直面したのは、鉱山周辺地域に依然根強い鉱山開発行為に対する抵抗感と、周囲の環境の変化であった。前述のように土佐山鉱山の周辺は、静謐な山間地であって、周辺住民も多くは農業従事者であり、鉱山開発のような大規模工事には馴染みにくい環境にあった。また、新たに養鶏場が鉱区内で操業をすでに開始していたため、開発に当たっては改めて配慮が必要であった。他に、専用道路用地として確保していた地域も、特にその南側は市街化が進み、北端部も民家が増え始めていて、専用道路上の地上ベルト輸送の計画をそのままでは実施しがたい状況となっていた。ここで、開発グループは、

- ① 鉱山操業に対する抵抗感の払拭
- ② 鉱山操業による周辺環境への影響調査の実施
- ③ 基本的には初期計画の財産である専用用地を活用しながらも新たな環境の変化に対応した開発計画の再検討

を基本方針とした活動を開始した。

この方針に基づき、地元関係者に対する稼行中鉱山の見学会を頻繁に実施し、鉱山操業に対する抵抗感の緩和に努めた。

また、1979 年には県道の交通量の調査と鉱山操業時の交通量の予測を行っている。1981 年には鉱山開発の実行母体として四国アサノ鉱業社を設立、同年中に騒音伝搬測定 (高知大学) を実施、1982 年「土佐山鉱山開発に伴う気象変化調査」を実施している (日本気象協会)。同年には環境影響評価を自主的に実施している。さらに、1978 ~ 1980 年には、土佐山鉱山の西部に総延長 3 km のトレンチングを実施した。

このような地道な活動を続ける中、高知市近辺の石灰石鉱山の残鉱量はいよいよ枯渇に向かい、高知県の主要産業の一つである石灰産業に対しても大きな影響を及ぼすものと危惧されるような状況になってきた。ここにおいて土佐山石灰石の価値は、その高品質さと地理的に主要消費地の高知市沿岸部に近いという好条件から、一層注目を集めることとなった。

5. 2 段階開発計画の提案 (1983 ~ 1990 年)

5・1 2 段階開発方式への変更

前述のように土佐山鉱山開発グループは地元地区の鉱山操業に対する不安感の払拭を根本において取り組んできたが、大規模開発工事に対する不安感と抵抗感は依然解消できずにいた。加えて土佐山と高知市を結ぶ県道高知一本山線は依然狭隘で曲がりくねった山道であったので、路線沿線地区からは鉱山操業に対し、交通公害の発生を懸念する声が高まり、これらの問題を一括解決する道筋は見当たらないように思えた。ここに土佐山鉱山開発グ

図4 小規模操業のフロー図

グループは従来の方針を次のように変更せざるを得なくなった。

- ①一挙に大規模開発を行わず、小規模開発への同意取付を優先する。
- ②小規模鉦山の操業を通じて周辺地区との協力関係を樹立して、将来の大規模開発工事への布石とする。
- ③小規模開発中に、環境に対する影響軽減対策を追求、周辺地区の鉦山操業に対する不安感の払拭に努める。
- ④土佐山村民、沿線住民の願いでもあった、県道高知一本山線の改良工事を資源確保、地場産業育成の立場からも積極的に働きかけていく。
- ⑤環境保全を前提とした大規模開発工事計画を策定する。

この新たな方針に基づき、1984年、小規模開発計画を関係各所に提示した。

5・2 小規模開発工事の提示

1985年からは、小規模開発計画の説明を地元各地区、各関係機関に対し実施し、同年8月には小規模開発工事の施業案が認可された。同年12月には、採掘対象地区(土佐山山頂部近く)におい

て、重機類を持ち込んでの騒音調査を高知県と実施した。その後も主に騒音対策について、地元各地区と協議を重ね、鉦害対策に万全を期すことでようやく合意に達し、ここに小規模開発工事が着工の運びとなった。

小規模開発工事は1988年に着工し、1990年11月に完成した。主な工事内容は

- ①トレンチング道路を運搬道路として整備、拡張
- ②切羽周辺部に落石防止帯を造成
- ③山頂部に採掘切羽を造成
- ④選鉦プラントを山頂部近くの造成地に設置
- ⑤排水路、沈砂池を設置
- ⑥火薬庫、火薬類取扱所を設置
- ⑦従業員詰所建設

などからなり、1990年11月より出鉦を開始した。

この段階での採掘工法は、通常のベンチカットによる採掘切羽から20tダンプトラックで山頂近くの選鉦プラントまで運搬してホッパに投入、破碎選別するもので、プラント月産能力は5万tであった。山頂近くの選鉦プラントからは、ダンプトラックによりおよそ20km弱の距離のセメント工場に運搬された。

小規模開発の間、県道高知一本山線の改良工事の進捗状況に合わせて、沿線地区町内会、県担当者との協議会を開催し、ダンプ通行量の見直しを行った。

地区住民のさらなる理解と協力を求めて、切羽周辺部に残壁をできるだけ高く残して、切羽内作業による周辺地域環境への影響を極力少なくする採掘方式を追求し、また類似鉦山への見学会なども積極的に開催した。そのような地域に対する取り組みと並行して大規模開発計画案を策定、関係各方面への働きかけを行った。

6. 大規模開発工事(1991～1997年)

6・1 環境の変化と計画立案の条件

ようやく実現した小規模での採掘を行いながら、環境保全を前提とした大規模開発の計画を立案した。1960年代の当初計画の時代に比較して、次のような環境の変化が生じていた。

図5 土佐山鉦山周辺地質断面図

図6 大規模開発工事の概略図

表1 月当たり運搬量の推移

協定日	運送量 (t/月)
90.12.20	3,300
91. 7. 7	7,500
91.12.10	27,000
92. 8. 12	38,000
93. 8. 24	50,000

a. 当初計画ではセメント向け出荷が主体で、粒度別出荷に対してはほとんど考慮されていなかったが、今次計画においてはセメント向けよりもむしろ鉄鋼・化学向けへの出荷が主体となる。

b. 専用道路用地の南部はすでに市街化されており、また北端部も民家が増えて、地上式コンベヤを運転できる状況ではないこと。後にこの用地は県道、国道の路線用地に指定され、実質的には工事が不可能となった。

c. 当初案では坑外破碎設備案であったが、環境への影響を考慮すれば土佐山での大規模な坑外設備は設置が困難である。

このような情勢の変化に対応すべく、次のように計画の基本性格を変更した。

- ①破碎設備のほか、製品出荷のため、選鉱設備を設け、粒度別の出荷を可能とする。
- ②破碎設備は坑内に設置し、騒音、振動などによる影響を排除する。
- ③専用地上での地上ベルトコンベヤ輸送は不可能となったため、地下トンネルでの輸送とする。
- ④五台山までの延長は、工事そのものが困難であることに加え、投資効果も期待できないので、中間点の適当な位置までのベルト輸送とし、それからはダンプ輸送とする。
- ⑤選鉱部はベルト終端部に設置するが粉塵や騒音の影響に配慮したものとする。県道の用地指定は避けられないため、専用道路を県に提供するかわり県道の地下を輸送路として確保する。

6・2 計画の概要

前述の諸条件に合せ、ベルト輸送の最終基地を平野部ほぼ中央の、1988年に開設された布師田機械工業団地内とし、土佐山から布師田までを全区間地下ベルト坑道とすることとした。つまり、土佐山の鉱床および下盤内部に立坑、破碎室、中間貯鉱槽を中心とする破碎部を、布師田機械工業団地内に設置する輸送ベルト終端部の出荷設備に選鉱室を中心とする選鉱・出荷部を設け、両者を結ぶ長距離ベルト坑道からなる基本構造が立案された。ただし、長距離ベルトは、平野部に出たからは、県道に沿って延長するため、直線で中間貯鉱槽と布師田出荷センターを結ぶことが不可能となり、カーブドコンベヤを採用することとなった。また、機械工業団地内の布師田出荷設備においても、周囲への粉塵・騒音・振動の影響の低減と、美観の維持を目指して完全に密閉式のコンクリート建造物内に機械設備を設置することとした。

6・3 計画の提示と認可

この新たな計画は1991年、ほぼ完成し、各地区で説明会を実施し、理解と協力を求めていった。すでに小規模での鉱山操業が開始されており、鉱山操業の実態に触れていたことと、切羽周辺部に残壁を残す採掘方式が認められて、1992年、各地区との鉱山操業に関する協定書が締結された。その後工事期間中の工事車両に関する交通安全協定書など、関係諸団体との協定も進み、1993年3月、大規模開発工事に着工した。

6・4 大規模開発工事の実施

図7 長距離カーブドコンベヤの概念図

この工事では、立坑や長距離ベルト坑道の掘削、布師田における出荷設備建設などの土工事と、長距離カーブドコンベヤを中心にした機械工事から成るが、土工事は全体を5箇所に分割し、同時に着工した。

6・4・1 1工区 山元での立坑、坑内破碎室と連絡坑の掘削から構成される。この区間では、連絡坑道入口部分以外は大半が石灰石の掘削となるので、この工区のみは工事中から鉱山法が適用されることとなった。立坑を除く坑道や破碎室はほとんどがNATM工法を採用した。立坑はレイズボーラ工法によって掘削した。この工区の着工は1993年3月15日、竣工は1996年2月15日で工期は1,068日であった。延長200 mの立坑の掘削は、250 mm径のパイロット導坑と1,450 mm径のリーミング導坑の工事に45日間、直径5 mまでの拡幅工事に82日間を費やした。この工区は連絡坑道の中間付近で石灰石鉱床と下盤との境界部の含水帯に遭遇し、止水工事が必要となった。この工事の開口部の周辺には集落があり、掘削土の搬出時間の制約などを行った。含水帯に遭遇した時点で、この集落の水源の一つの沢が枯れ、含水帯からの地下水を供給している。

6・4・2 2工区 2工区は山元の中間貯鉱槽およびエレベータ室の垂直掘削部分と、その下部の積込室、長距離ベルトのテール部分ならびに布師田に向かっての長距離ベルト坑道の掘削、約2.2 kmからなっている。この工区以後、石灰石の下盤中の掘削となる。1993年3月15日に着工、1997年3月末に竣工した。開口部は1工区とほぼ同じ箇所にあるため、対境的には同様の苦心を必要とした。この工区と向かい合う3工区との貫通までの距離は本工事で最長の約5 kmとなったが、貫通箇所での坑道掘削中心のずれはほとんどなかった。中間貯鉱槽とエレベータ室は同一断面で掘削し、後に隔壁を設けて分離している。全面がコンクリート巻き立てで支保されているが、一部コンクリート吹き付けの箇所がある。

6・4・3 3工区 3工区は平野部の北端から2工区に向かって掘進する工区で、全工区最長の2.7 kmの工事となった。この工区の開口部は人家密集地で、小学校も付近にあり、着工に至るまでの地元の協力を得るのに多くの労力を費やした。また、この坑道掘削開始部は、ベルト坑道最深部の海拔マイナス20 mとなる。本工事区間はいくつかの破碎帯を通過するが、そのひとつで1995年秋、出水事故に遭遇し、土佐山鉱山開発に係わる唯一の人身事故を引き起こした。また、事故箇所の止水工事に多大の労力と時間が必要となり、全体の工期にも大きな影響を与えた。またこの事故の影響は地表面にも及び、現在も地下水の給水を続けている。

6・4・4 4工区 布師田と3工区を結ぶ約1.2 kmの掘削工事であるが、泥質部分の掘削工事であり、かつ河川や鉄道の直下を通過するため、シールド工法を大部分で採用している。また、かつて専用用地であった県道に沿って掘削するため、屈曲部が多い。県道の建設工事と本工事が一部重複して行われたため、地下水位や地盤密度が変動し、坑道に歪みが一時的発生したが、地表面には影響はなかった。

6・4・5 5工区 布師田の出荷設備の建設工事を主とする工事である。機械工業団地内にこの設備を建設するに当たっては、粉塵・騒音・振動対策として、すべてコンクリート製建造物で遮蔽することが条件であったため、検量用トラックスケールを除き、すべて屋内設備となっている。高さ36 mの建造物の上部が選鉱室であり、下部は製品サイロとなっていてダンプトラックはサイロの下部を南から北へ通過

図8 カープドコンベヤの断面図

しながら積み込むようになっている。

6・5 機械工事

6・5・1 長距離カーブドコンベヤ 機械工事のなかで、最も特徴的であるのは、山元と布師田を結ぶ延長約6.2 kmの長距離カーブドコンベヤである。このコンベヤは、標高156 mの中間貯鉱槽下の位置から始まり、途中水平に5回向きを変え、また傾斜も変えて布師田出荷センターに至る。屈曲部の屈曲半径は2,000 mであり、キャリアローラの長さを直線部の350 mmから500 mmにし、スタンド間隔も直線部の2 mから1 mに狭めている。トラフ角度も35度を45度としているほか、スタンド自体も内側に3度傾斜させている。屈曲部の総延長は782.5 mで、全長の12 %以上を占めている。ベルト本体は最大速度250 m / min、ベルト幅900 mmの可変速度式コンベヤで、設備能力は200 m / hに1,150 t / hとなっている。

6・5・2 その他の機械設備 破砕部は1次破砕機、振動ふるい、2次破砕機を中心とした設備で、設備能力は1,450 t / hとなっている。布師田の選鉱設備は1次から3次までの確率ふるいと、のちに増設した4次ふるいから構成されている。選鉱設備能力1,150 t / hとしている。選鉱設備においては、低周波振動の発生をおそれて振動ふるいを採用せず、確率ふるいとしている。これらの機械設備すべてが破砕室や坑道、出荷設備の建物の内部に設置されており、直接外部に露出する部分はない。

これらの工事すべてが完成したのは1997年7月であった。

7. 環境保全式採掘工法

大規模開発の工事中も、小規模操業は続けられており、各地区に対しては大規模開発工事の進捗状況説明と合わせて、切羽作業の影響調査や、環境保全対策の説明会を実施した。特に騒音と振動に対しては地区の関心も高く、定期的な測定を実施した。大規模開発工事終了後の本格稼働後も、引き続き環境保全式の採掘工法を追求し、1999年にはISO14001の認証を取得している。

7・1 騒音対策

騒音については、開発工事の開始以前から周辺地域の関心事であったので、採掘切羽の周辺部に残壁部をできるだけ高く残すようにして、騒音の伝播を抑制するようにした。特に大規模開発に伴う重機の大型化に伴い、残壁部の高さもより高くしてきた。また、1997～1998年に導入した80 t級ダンプトラック4台にはベッセルに100 mm厚のゴムライニングを施した。これにより積み込み時に発生する騒音をおよそ20 dB低減できた。そのほか、穿孔時の打撃音を避けるため、ドリルにはダウンザホールドリルを採用し、コンプレッサの側面には遮音板を設けた。小規模操業の時点で運転されていた山頂部のプラントも、周辺に土盛りを行った。

現在も引き続き騒音測定のデータを収集しながら、切羽操業形態の改善に努めている。現在、周辺地区との定期的な会合において、次のようなことを基本方針としている。

図9 現在の土佐山鉾山フロー図

表2 ゴムライニングによる騒音低減効果

20tダンプ積みこみ時	80tダンプ積みこみ時
115～118dB	93～96dB

いずれもダンプ後方10m位置にて測定
20t車は通常ベッセル、80t車はゴムライニング加工

- ①残壁部の高さは安全な限り極力高くする。(現在5～8 m)
- ②ブレーカによる小割は残壁すぐ内側などで行う。
- ③運搬道路は極力残壁のすぐ内側に設ける。
- ④切羽段差をはやく解消する。

7・2 振動対策

発破振動については、土佐山鉾山の山麓部には2つの集落があり、切羽とほとんど同一岩盤上と考えられるところから、低振動な発破工法が求められてきた。それで振動を抑制する最適な発破秒差を得るため、定点測定を続けながら模索を続けてきたが、現在は電気雷管から導火管付き雷管(ノネル雷管)に切り替えることで、発破振動の抑制にある程度成果を収めることができた。

これは、

- ①火薬の装薬量を減らせば、電気雷管では発破孔内の脚線部分が長くなり、断線の怖れが大きくなること。
- ②装薬量を減らした場合、発破効果が悪くなるが、ノネル雷管では導火管なので断線の怖れがなく、対静電性に優れているので、孔底起爆が可能であり、装薬量が少なくても根切りが良いこと。

などの理由で、火薬装薬量の低減に踏み切れたことが大きい。1997年度の火薬原単位は75.3 g / tであったが、1998年度は65.5 g / tに、1999年度は64.1 g / tであり、全国石灰石鉾山の平均値の約6割となっている。また、定点での実験結果から、現在は秒差42 msで発破を実施している。

7・3 粉塵対策

当初の小規模開発時では坑外プラントを稼働していたが、現設備では破砕設備、選鉱設備のすべてを密閉式、または坑内設備とすることで粉塵の外部への影響は極力抑制されている。採掘切羽においては、周辺残壁部を高くすることと、氷結しない限り、晴天時は散水車をほぼ常時運行して粉塵発生を抑制している。また、表土や粘土分の多い部分は、品質の均一化のためと安全対策の両面から、稼行切羽前端部に土堤状に積み、発破原石と混入しているが、そのため切羽全面が薄く表土と粘土で覆われることとなり、散水の保水性を高めることとなって結果的に粉塵の抑制に役立っている。

図 10 電気雷管とノネル雷管の比較

図 11 火薬原単位の推移と振動値
振動値は定点観測の 1 か月平均を示す

8. 生産量の推移

第 1 期の小規模開発時においては、県道の改良工事の進捗に合わせてダンプトラック通行量を増加させてきた。1997 年の大規模

図 12 生産数量推移

開発工事完成後は、土佐山鉾山開発の主な目的である、枯渇しつつある高知市周辺部の石灰石鉾山に代わって地場産業の石灰工業界への石灰石の供給を開始した。1990 年の操業開始から 1996 年度までの他社向け（セメント用途以外の工業用）石灰石の出荷比率が 20 % であったものが、1998 年度では 60 %、1999 年度は 63 % 程度となっている。まだまだ関係各社の要請に充分応じられてはいないものの、次第にその位置を固めつつある。

9. 結 言

大きな形状変化を伴う大型露天採掘と、近年さらに高まってきた環境保全の動きは、相容れない部分が大きい。しかし、資源に乏しい日本では、資源確保の必要性もまた大きい。この、環境保全と資源確保という相容れない二つのものを、いかに調和させて実現していくかは、21 世紀の資源産業に携わる者の大きな課題であろう。土佐山鉾山開発グループは、その 19 年間の活動のなかで、時に失敗や後退を繰り返しつつも、手探りで大型鉾山開発の実現を果たした。もっとも環境保全と資源確保の、その双方にまだまだ不十分な面も多いが、開発グループの後を引き継いだ土佐山鉾業所では、環境保全対策を継続して追求し、貴重な石灰石資源の安定供給に努めたい。

この開発工事実現に携わってきた、高知県、高知市、土佐山村、各地区の皆様、工事施工業者の方々に深く感謝申し上げて結びとしたい。