



アラカルト

チリのワチパト高炉震災復旧支援

Recuperation Support to CSH Huachipato Steel Works Restoration and Re-Start suffering from Massive Earthquake in Chile
— Hardship Tests Friendship, AS STRONG AS STEEL —

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
技術総括部 次長

松井良行
Yoshiyuki Matsui

(株) 神鋼エンジニアリング&メンテナンス
加古川事業所 機械技術部 部長

竹内正明
Masaaki Takeuchi

(株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
建設技術部 課長

北 芳男
Yoshio Kita

1 はじめに

昨年、2010年2月27日に発生したチリ大地震によってチリで唯一の高炉一貫鉄鋼メーカーであるCSH社ワチパト製鉄所(2008年鋼材生産約120万トン)が、大ダメージを受けたことを、神戸製鋼は、報道にて知りました。そこで、3月4日、CSH社の親会社のCAP社宛に御見舞いととも、神戸製鋼も阪神淡路大震災の際には被災企業として数々の支援に元気づけられたことから、御要望があれば是非、御協力申し上げたい旨をお伝えしました。これに対し、3月9日CAP社から、「1995年の阪神淡路大震災で被災された神戸製鋼殿において復旧にあたった方々に是非現地に来て頂き、直接話しを伺いたい。」との要請をCAP社へ資本出資している三菱商事経由で受けました。

神戸製鋼とCAP社とは、CAPグループの鉱山会社CMP社からの鉄鉱石購入や、ペレットプラントの納入・操業指導など幅広い面で深い関係にあります。鉱山部門を担うCMP社とは、1966年から50年近くに及ぶ鉄鉱石の取引関係を有しており、現在は、ペレット用の粉鉱石とペレットを合わせて年間約75万トン程度を購入しています。また、神戸製鋼が納入した設計能力350万トンのペレットプラント1基が、1978年より稼働を開始¹⁾していますが、本プラントは、チリで初めてのペレットプラント導入であったことから、操業技術の習得のためにチリの技術者が、加古川製鉄所のペレットプラントで実習されています。そして、当時の経験者は、現在もCAP社幹部として活躍されているのです。

2 ワチパト製鉄所の被害状況

CAP社の概要は、対象業種が、鉱山業、製鉄業であり、社

名Compania de Acero del Pacifico S.A.(本社:Santiago, Chile) 1946年設立、従業員約5,400名です。また、チリで唯一高炉を有するCSH社はCAP社の100%子会社であり、ワチパト製鉄所(所在地:Av. Gran Bretana 2910,Casilla,Talcahuano,Chile)は、主要設備:コークス炉(58門、年産50万トン)、高炉(2基:内容積:755m³、881m³、年産130万トン)、転炉(2基:110トン、年産140万トン)、連铸(ピレット150×150mm:年産100万トン、スラブ156×1000mm:年産60万トン)、棒線(年産35万トン)、棒鋼(年産50万トン)、熱延(年産60万トン)、冷延(年産35万トン)で構成されています。

2.1 チリ・コンセプションからワチパト製鉄所の状況

神戸製鋼は、CAP社からの派遣要請に対して、阪神淡路大震災を経験した高炉技術者、設備技術者、建築技術者の3名を派遣することにし、3名は、3月23日、サンティアゴを経由して夕刻、コンセプションに到着しました。コンセプション(Principado de Concepción)は、チリ中南部にある商工業都市で、ビオビオ州の州都であり、首都のサンティアゴから南西へ約341km、ビオビオ川沿いに位置します。今回のチリ大地震の震源は、コンセプションから北北東へ約115km離れた太平洋沖合で震源の深さは約35kmと報じられています。ワチパト製鉄所はコンセプションから10kmほど北西のタルカワノ地区にあります。

今回の地震の被害を伝える報道は、ここコンセプションから発信されたものが多く、15階建てのマンションが倒壊した写真はその象徴的なものでした。また津波による被害が大きく、多くの命が奪われました。ただ、亡くなられた方のほとんどがこの地への旅行者であったとの話を耳にしました。これはこの土地の歴史に理由があります。コンセプションは、過去チリ王国軍の重要な拠点²⁾でありましたが、1554年

に侵略、破壊され、また、1751年と1835年には地震によって全域が破壊されています。1835年の地震の様子は、英海軍の測量船ビーグル号に同乗したC.ダーウィンによって最高潮位8mの津波の様子などが、詳しく記録されています³⁾。また1960年には有史以来観測された中で最大とよばれるチリ地震が起きています。これら過去の大地震の経験がこの地の人々に受け継がれていたため、地震の規模に対して人的被害が少なかったといわれています⁴⁾。

サンチアゴ空港が仮設のテントで営業していたことでまず感じたチリ地震の爪あとは、コンセプション空港周辺の一部の倒壊した建物でも感じることができました。ただ、15年前の記憶とともに私たちが日本から持ち込んできた不安は、何事もなかったように道を行き来する車や、営業再開しているショッピングセンターの人々の元気な様子、それほど大きな被害を受けていない街並みを見て、すーっと小さくなっていました。

翌3月24日、いよいよCSH社ワチパト製鉄所に入りました。事前に得ていた被害状況は、パイプライン（配管の切断、断水）、原料岸壁（アンローダー損傷、栈橋の杭が損傷）、コークス炉（装填設備の損傷）、高炉原料系（地盤沈下による原料槽の倒壊）、高炉（フル負荷状態での停止）、炉頂設備（ベルの軸外れ、上昇管・放散弁損傷）、熱風炉（アンカーボルト損傷、煙突損傷）、転炉（副原料コンベアの倒壊、軌道沈下、柱沈下）でした。

実際、被害エリアは高炉～原料地区に集中していました。すでに稼働を再開したというほとんど損傷の見られない圧延工場地区とは対照的に、傾いた高炉の架構（図1）や落下した転炉のベルトコンベア（図2）が目に見え込んできました。現地調査はほぼ復旧しつつあるパイプラインや復旧方法が確定している原料岸壁を除いた高炉設備を中心に実施しました。原料槽の倒壊（図3）は地盤の液状化による沈下（図4）が原因と推察され、高炉架構や熱風炉は大きな揺れ（変形）による損傷でした。変形しやすい部位に変形を吸収する部分が少ない（蛇腹や接合の工夫）点が損傷を大きくさせているように感じられました。

この製鉄所の土地は埋立地ではなく、その一部は大昔に河口の堆積ででき上がったらしい、といったことが同じ製鉄所内での被害の大小につながったと想定されます。タルカワノは半島状の地形ですが、幸いにしてこの製鉄所は震源から見て半島に隠れた海岸に位置しているため、津波による被害はなかったとのことでした。

地震による設備や建物の倒壊・損傷に対峙するということは普通に考えたらとても特殊なことでしょう。しかし、実は、復旧の手法はわりとあたり前の考え方にもとづいて（安全確保と、多少の思い切りは必要ですが）進められるものです（後述する高炉の再稼働は別として）。今回の被災状況を見る限り、復旧レベルのクライテリア設定はありますが、とてつも



図1 炉頂ブリーダー・デッキが倒壊した第2高炉



図2 装入コンベアが大きく破断した製鋼工場



図3 地盤沈下により大きく破損した高炉原料槽(上面)

なく困難な状況にはないように感じられました。ワチパトの技術者自身が持つ知識やプライドで復旧を開始しようとしていました。ですから、もしかしたら彼らにとって私たちは招かれざる客ではないかという不安もありました。でも、彼らにも不安はあるはずで、何せ初めての経験なのですから。嫌な顔ひとつせず被災場所を案内し説明する姿を見ながら、私たちの被災経験で痛みを共有し、不安を取り去ることができればといったことを漠然と考えていました。

2.2 ワチパト製鉄所の設備被害と復旧に向けて

被災設備の復旧検討に先立ち、1995年の阪神淡路大震災当時の被災状況や復旧方法に関して、広範囲・詳細に亘って情報をお渡しし（図5）、説明しました（図6）。設備被害状況に関しては、調査結果をもとに原料槽、熱風炉等の補修・復旧方法、熱風管のエキスパンションジョイント等損傷した配管の処置、高炉炉頂装入装置（損傷診断）等について設備担当者と分科会で討議しました。



図4 地盤沈下により大きく破損した高炉原料槽(側面)



図5 CAP Charles 社長に図面などを手渡す神戸製鋼松井次長とチリ三菱竹原部長

被害状況については、炉頂部や原料槽など神戸の状況と似通った部分も多かったですが必ずしも、神戸と同じ復旧方法が使えるとは限りません。私たちは、現地チリ及びワチパト製鉄所の持つ設備復旧のための基盤インフラや設備工事能力についての知識はほとんどありませんでしたが、復旧にあたっての基本方針、取組み姿勢を明確にし、全ての復旧にかかわる人と共有することが復旧作業の成否を左右すること、それが上手くいけば彼らの目標である3ヶ月間での復興も十分可能であると伝えました。

神戸における復旧工事の経験から得られた基本方針は、(1) 完璧を目指すのではなく、必要最小限の補修に留める (Second Best)、(2) 操業、安全に必要なものを優先し、後でもよいものは後回しにする、(3) 無理に元に戻そうせず、そのままの状態を補強し、固定する、(4) 各部門、工事単位毎の情報を一元化し、コントロールすること等でした。

分科会では、各損傷設備の具体的な復旧方法についての討議を行いました。一見、大被害のように見える高炉最上部の炉頂ブリーダ部倒壊については、高所（地上70m以上）であるため、大型揚重機を手配し、単純に破損部位の再製作と取替えしかないという意見が一致しました。むしろ、その時点で心配だったのは、炉頂櫓（架構）が傾き上部から吊下げられているベル昇降装置が動かないことでした。損傷の程度によっては部品の製作に長期間掛かるため、損傷部位・程度を早くつかむことを提案しました。

私たちの対面は若手エンジニアでしたが、熱心に質問もされ、こちらの話もよく聞いてもらえました。やはりエンジニア同士、具体的な話になるとお互いに理解が早く、気持ちが通じ真剣な議論が出来たことは期待以上でした。



図6 実務担当者との打合せの様子

2.3 ワチパト高炉の再稼働に向けて

とくに、問題が大きい高炉に関しては、高炉再稼働に向けた炉内内容物の掻き出し及び再稼働時の留意点について討議されました。

高炉法の使命は「いかに効率よく鉄鉱石に含まれる酸素を除去（還元）するか」にあります。シャフト炉型の高炉は、炉頂部より装入された鉄鉱石とコークスが下方に降下する一方で、炉下部の送風羽口より入る熱風によるコークス、吹き込み燃料（微粉炭等）の燃焼で生じる高温の還元ガスが上昇し、両者が向流で連続的に接触する反応容器です。その中で鉄鉱石（ Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 等の酸化鉄）は還元ガス（CO成分主体）からの熱を受けて「間接還元」され、金属鉄へと変化します。炉下部では更に炭素との「直接還元反応」も受けて、炭素5%弱を含有する「溶銑」となります。

ちょっと専門的ですが、「直接還元反応」について御話しますと、炉上部から降りそそいでいるスラグ中には、約30%のFeOを含んでいます。これが、炉下部では、「直接還元」、あるいは、炉底では、「溶融還元」を起こし、炉床部で仕上げ還元されて、「溶銑」になります。炭素による直接、あるいは、溶融還元は、ガスのモル数が増加する炭素のガス化反応： $\text{FeO (s, or, l)} + \text{C} = \text{Fe (s, or, l)} + \text{CO (g)}$ であるため激しい吸熱をとまいません。突然、送風が停止した場合は、還元ガス（CO成分主体）が、なくなるため、一気に、炭素による直接、あるいは、溶融還元が起こり、溶銑とスラグの温度は下がってしまいます。通常高炉では、1ヶ月に1回とか2ヶ月に1回、修理のために10～20時間止めることはあります。その場合は、鉄鉱石の量をできるだけ減らし、コークスの量を多くしていったから止めます。高炉をできるかぎり冷やさないようにしながら、溶銑が出てくるのを止める、そして、点検、整備をして10～20時間後に、再び、鉄鉱石の投入を再開するのです。1995年の阪神淡路大震災と同じように、2010年のチリ大地震では、すべてが緊急停止し、溶けた鉄鉱石の中身がどんどん冷えてしまい、にっちもさっちもいなくなったのです。

3月24日、CSH社ワチパト製鉄所での打合せは、当初、炉内容物の掻き出し方法に焦点があたりました。神戸製鋼は、阪神淡路大震災の復旧では、冷えた内容物は重機を入れて掻き出し、新しい原料を装入し直して再稼働させました。ワチパト高炉は、炉容積が、小さく、神戸のように炉内に重機を搬入しても自由に動かせません。また、鉄皮を開口すると、その復旧のための資材調達に時間がかかってしまいます。したがって、ワチパト高炉でも内容物を掻き出すことが必要

ですが、その掻き出し方法は、重機ではなく、羽口からの掻き出しとなります。神戸大震災の経験を紹介しながら「方法論」ではなく、高炉に再送風し、「蘇生させ」、再稼働させることに向けた「共通感覚論」⁵⁾が重要になってきました。

高炉の場合は、「火入れ」、あるいは、「休止後の立ち上げ」の何れも、羽口から出銑口に向けて送風し、「湯道」を形成します。羽口から出銑口の間に、健全な枕木を充填できるのが、「火入れ」、これに対して、ボタ山・サラマンダーが邪魔しているのが、「休止後の立ち上げ」になります。ですから、羽口から出銑口への「湯道」を確保することが大変重要です。上述の炉内掻き出しを終えての炉内観察をもとに黒板に何度も図を書きながら、打合せが進みました。その結果、羽口から酸素パイプを挿入し、内容物を溶解しながら炉外へ排出させ、羽口から出銑口への湯道を確保する方式になりました（図7）。

ここで、「方法論」そのものではなく、再稼働することに向けた「共通感覚論」、羽口から出銑口への「湯道」を確保するという第一義に立ち向うことができたことが重要であったと思います。煙草で一服しながら、双方の銘柄が、同じであり、「ワチパトが考えていることは、Wrong wayではないが、Long wayだから、羽口と出銑口を Lucky Strike させよう。」と励ましあったこと、「映画のUボートみたいで、御互い、出撃から帰還まで、洗濯も入浴もできない」と愚痴を言い合ったことが懐かしく思い出されます（図8）。

今回、三菱商事を通じてCAP社が「思い起こした」のは、1995年の神戸製鋼の「経験」でした。その「経験」を今回、チリ・ワチパト製鉄所の友人（図9）が、「追体験」されるのを私たちは、御手伝いしたに過ぎないと思っています。

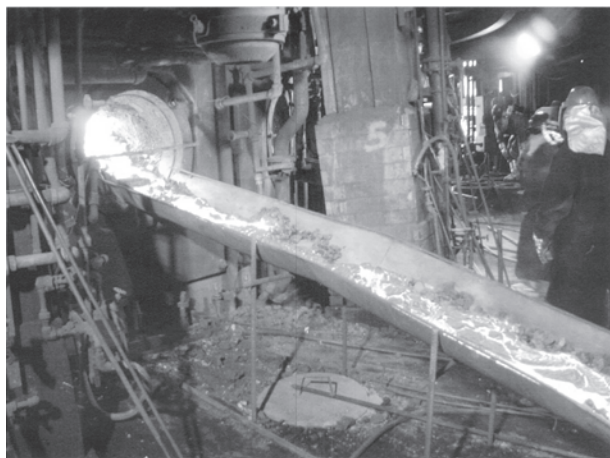


図7 稼働停止中の高炉から内容物を排出している様子

3 おわりに

帰国後、4月9日復旧開始したことが、以下の文面とともにチリCAP社から伝えられました。

“It is said sometimes that hardship tests friendship.

Such statement fully applies to the long and fruitful relationship between Kobe Steel Ltd. And CAP S.A..”

6月9日、大震災後103日目、出鉄が再開されたことが、以下の文面とともにCSH社ワチパト製鉄所から伝えられました。

“We appreciate very much your excellent technical assistance and the energy and encourage that you gave us. Your support was very useful for this extremely difficult situation.”

そして、7月14日の現地新聞に、以下のスペイン語がチリ国内で報じられました。

「WE ARE PRODUCING AGAIN IN ORDER TO RECOVER CHILE AS STRONG AS STEEL」

“Thanks to the effort of all our workers, we can proudly say that we had achieved the compromise we acquired after the earthquake. We are back in our feet again, producing steel of the best quality to contribute for the reconstruction of a more solid Chile.”

本支援は、チリ三菱：竹原悟史氏、Eleazar Zuniga氏、三菱商事：浅田巖氏、tri-A tec社：吉村維弘氏と筆者ら3名、計7名の現地ミッション、および、三菱商事、神戸製鋼：原料部・神戸製鉄所・加古川製鉄所・技術総括部の4部署からなる24時間体制の支援のもとで遂行されました。

また、本支援は、昨年5月9日に朝日新聞にて国内報道され、同6月10日に製鉄部会にて鉄鋼協会より御要請頂き、寄稿しましたことを附します。

参考文献

- 1) 石田博士，工藤章構成：中南米が日本を追い抜く日，朝日新書，(2008年6月30日)，62.
- 2) 増田義郎：物語ラテン・アメリカの歴史，中公新書，(1998年9月25日)，119.
- 3) C.R.Darwin 著，荒川秀俊訳：ビーグル号世界周航記，講談社学術文庫，(2010年2月10日)，210.
- 4) 高橋大輔：ロビンソン・クルーソーを探して，新潮文庫，(2002年7月1日)，323.
- 5) 中村雄二郎：共通感覚論，岩波現代文庫，(2000年1月14日)，8.

(2010年9月30日受付)



図8 ようやく温かい食事が出せるようになったばかりの社員食堂でのGonzalez操業VP以下による、心温まる昼食会

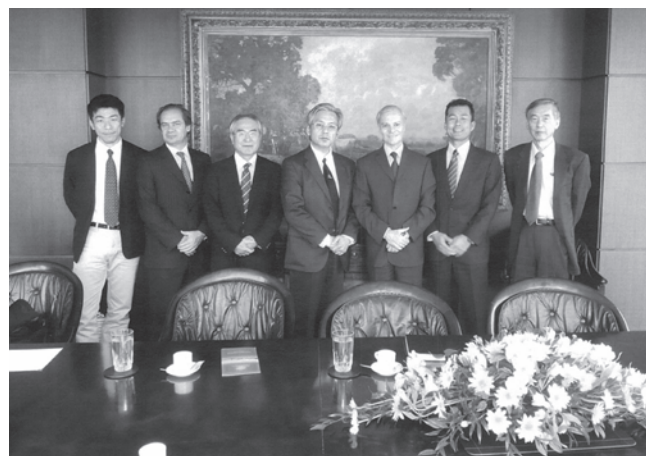


図9 CAP本社でのVerdugo COOへの報告会