

## 新潟県中越沖地震における産業施設被害と復旧

後藤 洋三

震度6強を記録した柏崎市内に日本中の自動車工場に主要部品を供給する工場があり、設置機械のほとんどが移動する被害を受けたが1週間で生産を再開した。同市で最大の酒造工場では6割の建物が倒壊したが、1月以内に瓶詰め出荷を再開し、2ヶ月後に例年通りの新酒仕込みを行っている。また同市の下水処理場では汚水浄化機能に被害はなかったが杭基礎に被害が発生した。ごみ焼却場では高煙突が折損し仮煙突ができるまでの4ヶ月間焼却機能が停止した。

キーワード：地震、被害、復旧、新潟県中越沖地震、機械工場、酒造工場、下水処理場、ごみ焼却場

### 1. はじめに

本論では、柏崎市を代表する自動車部品加工工場と酒造工場、同市の下水処理場とごみ焼却場の被害と復旧について述べる。調査と資料の提供でご協力いただいた各位に心より御礼申し上げます。原子力発電所は被害調査と復旧が完了していないので取り上げない。

### 2. 自動車部品工場<sup>1)</sup>

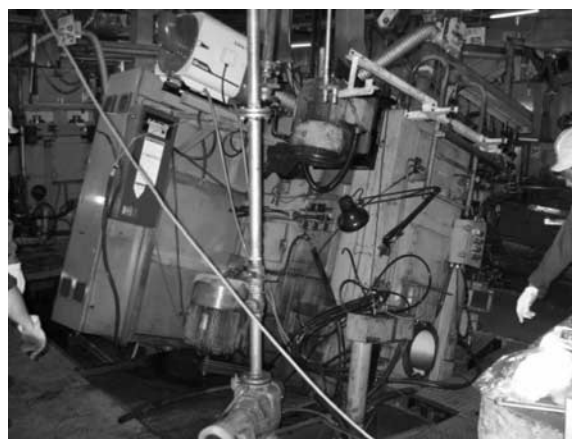
#### (1) 被害の概要

柏崎市には、我国で生産される各社の自動車にピストンリング、カムシャフト、自動変速機油圧シールリングなどを供給する会社（㈱リケン）の主力工場があり、震度6強と推定される地震動による被害の影響が懸念された。この会社は柏崎市北斗町の砂丘上に本工場（12.8万m<sup>2</sup>）、同市大字剣の砂丘後背地に新工場（5.6万m<sup>2</sup>）を持つ。主要な生産ラインには1台数トンの様々な機能の工作機械が連鎖状に配置されており、材料に順次微細な加工を加えて製品に仕上げる。中には仕掛かりから完成まで1ヶ月かかるものもある。

ピストンリングとカムシャフトの生産ラインには約1220台の工作機械がアンカーなしで床に据えられていた。地震で全てが位置ズレを起こし、その1/3が傾斜・転倒、1/2が1～3m移動した（写真—1）。

本工場には49棟の建物がある。2004年の中越地震以降に耐震点検が行われ16棟が補強の対象とされていた。危険度と重要度の高い建物から補強が進められ、

2007年の中越沖地震の時点でその内の3棟、全建物面積の13.5%が耐震補強済みであった（写真—2）。一方、耐震性を欠くため補強ではなく建て替えを予定していた1棟（倉庫）が倒壊した。火災は発生せず、休日ですべての従業員が不在であったため死傷者も出なかった。



写真—1 被災直後の状況（㈱リケン提供）



写真—2 耐震補強されていた工場（㈱リケン提供）

柏崎市内にある同社の関連会社には、液状化による側方流動で全設備を仮工場へ移設せざるを得なくなったところや、建物内の床が沈下し、機械の調整が必要になったところがあった。また、操業していた関連会社で12名が労災に認定されるケガを負った。

## (2) 早期生産再開の要因

被災当初は操業再開まで1ヶ月を要すると危ぶまれたが、1週間ではほぼ全面的な生産再開を達成した。その主な要因として以下が挙げられている。

- ①自動車各社からの迅速で強力な支援があった。地震当日に応援決定、翌日に先遣隊到着、翌々日に本格復旧作業開始、最高835人/日、延べ7,900人/日の応援があった。1週間で全面生産再開という明確な目標管理のもと、1日単位のPDCAサイクルが実施された。自動車各社は復旧支援マニュアルを整備して支援部隊は日頃から訓練している。この支援部隊は手待ち時間を活用して地域の一般工場の復旧も支援した。
- ②地震による死傷者が工場内でゼロ、火災もなく本格復旧に即着手できた。社員の士気が高く復旧期間中の出勤率は通常より高かった。
- ③重要建物が耐震補強されており、余震の続く中でも建物内の復旧作業に集中できた。製品落下防止も導入されていた。
- ④電気はその日の内に回復。通信は正常。ベンダーの参集により社内の情報システムも当日中に正常化された。ガス、水道は1週間で回復した。
- ⑤多品種生産のためITによる管理が不可欠であるが、サーバ室のある建物は最初に耐震補強され、データのバックアップも励行されていた。
- ⑥3年前の中越地震の経験と教訓をマニュアル化して活用していた。非常灯・放送設備、災対本部立上げ、2名一組の設備被害点検、安否確認、関係会社との携帯電話連絡網、避難場所と定期的な防災訓練など。

## (3) 今後の課題

以下が挙げられている。

- ①建屋耐震化対策、防火対策のさらなる推進。
- ②鋳造事業の安全防災対策（鋳造工場の1000℃を超える溶解炉・溶湯操作の危険性をどう解決するか）。
- ③人的被害軽減を第一にした機械設備・棚等の移動・倒壊防止対策、同社が被災経験を基に策定した「機械装置等の耐震化指針」による対策の実施。
- ④最低限必要な水と電力の把握、断水時のトイレ対策、工場敷地の液状化・沈下対策。

⑤災害対応BCPの充実、すなわち、目標復旧時間の設定と復旧部隊の編成、早い被害把握・安否確認による縦（サプライチェーン）と横（同業・関係会社）の相互支援体制の充実、緊急時の生産補完体制の形成、ただし、生産の分散化はコスト・品質面で現実的でない場合もある。素材供給メーカーが1社しかないこともあり得る。

⑥主要製品の在庫によるバッファの確保、生産ラインの簡素化と仕掛かり時間の短縮。

## 3. 酒造工場<sup>2)</sup>

### (1) 被害の概要

柏崎市では最大手で創業約200年の酒造工場（原酒造株）が同市新橋の砂丘後背地にあり、建物の60%以上が崩壊する被害を受けた（写真—3）。崩壊した建物の中には築70年の木造土壁瓦屋根で幅18m延長65mの蔵作りもあった。事務所棟も崩壊したが、休業日で人的被害はなく火災も発生しなかった。また、崩壊した古い蔵の中には金属製のタンクに入れた貯蔵酒が大量に置かれていたが、タンクは堅牢で破損せず、



写真—3 崩壊した蔵作り（原酒造&朝日新聞社提供）



写真—4 被害のなかった精米工場

9年近く寝かせてあった高級酒もタンクごと回収された。酒造工場に不可欠の麹室と濾過機の一部も古い蔵と共に被災したが、原料米を精米する機械が入っていた蔵は被害を受けなかった。精米機械が蔵の柱の各所に固定されていて耐震補強の役割を果たしたと推定されている。一方、それら以外の主要生産設備は昭和40年以降に建築された鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建物内に設置されていて建物共々被害を免れた。

## (2) 早期の生産再開

被災しなかった建物の中の設備は一部で移動や沈下があったものの影響は軽微で、1ヶ月以内に瓶詰め出荷が再開された。麹蓋は被災した蔵から回収され、2ヶ月後にはほぼ例年並みの仕込みが開始された。

建物の過半が崩壊した状況を考えれば早期復旧されたとと言えるが、その要因として次が挙げられる。

- ①この酒造会社は品質を高めつつ製造施設を近代化して新しい建物に移してきており、その努力が功を奏した。古い蔵の中で伝統的な酒造方法が続けていたら壊滅的な打撃を受けていた。
- ②休業日で人的被害はなかった。取引先からの支援もあり復旧に取り組む従業員の士気が高かった。
- ③酒類は高度な嗜好品であり、原料米を生産する契約農家や顧客取引先との連携が深い。それらの代換えは容易でなく、サプライチェーン全体を通じた減災と早期復旧への備えが重要となる。

## 4. 下水処理場<sup>3)</sup>

### (1) 被害の概要

柏崎市の下水処理場(柏崎市自然環境浄化センター)は鯖石川河口付近の左岸の安政町に位置している。一般に下水処理場は地盤条件の劣悪なところに建設されることが多く、地盤に起因する被害を受けやすい。この下水処理場でも震度6強と推定される地震動を受け

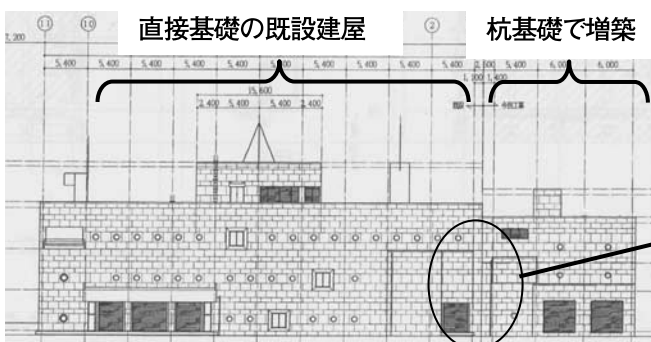
て敷地の各所で液状化や小規模な地盤滑りが発生した。処理施設にも、後述する杭基礎の被害の他、反応タンクと沈殿槽の蓋の一部破損や落下、汚泥かき寄せ板の破損とチェーンの脱輪、監視汚泥棟周りの汚泥移送管の断絶、消化槽とガスホルダーの破損などが発生した。しかし、下水の浄化機能に被害はなく、地震の当日から処理場に流入する下水は浄化処理されて河口へ排出されていた。したがって、この施設は要求される機能を維持したと言える。

一方、監視汚泥棟増築部、ガスホルダー、脱硫装置の基礎杭が折損し、阪神淡路大震災以降に改訂された耐震基準に従って設計されていた監視汚泥棟の増築部分が地下1Fを有する直接基礎の既設部分と比較して9cm沈下、水平方向に20cm移動(図—1、写真—5)する被害を受けた。地震後の水準測量の結果から監視汚泥棟の既設部分がより大規模で基礎の深い本館と比較して5cm程度沈下していると推定されるので、増築部分の沈下は9cmより大きい可能性がある。

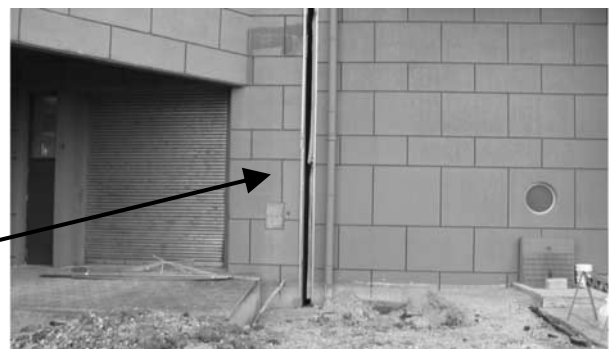
### (2) 監視汚泥棟杭基礎被害の考察

この増築部分はRC3F造、φ700mmのPHC杭51本で支持されていた。杭一本当たりの常時荷重は900kN前後である。地震後に建物側面と地盤の間に隙間が残り、建物は大きく揺れたと推定された。掘削調査から杭がフーチングから約1.8m下のコンクリート充填部の直下でひび割れを起こしているのが確認され(写真—6、図—2)、解析から全ての杭が曲げひび割れを起こしていると推定された。推定の地震力から計算される杭のひび割れ部の塑性率は許容値の4を超えるが、写真からも明らかのように、杭体にせん断破壊は認められず、このひび割れで9cmを超える沈下が発生したとは考えられない。

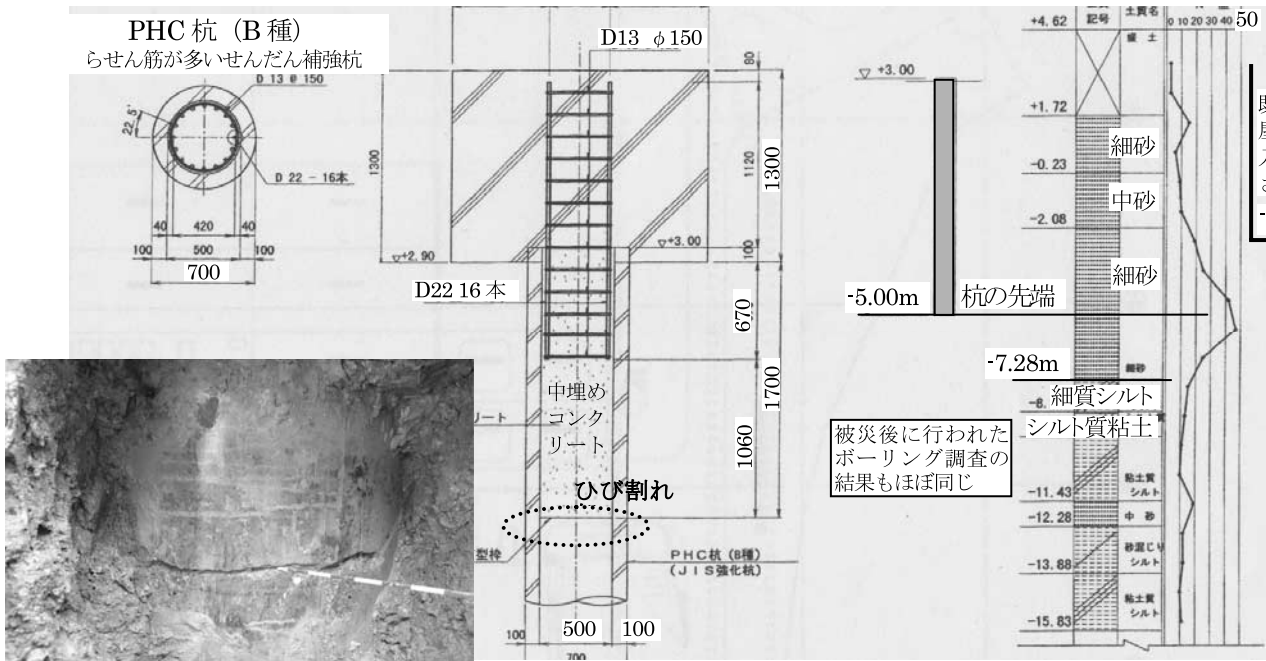
杭は中堀・先端拡大根固め工法(DANK version-N工法)で施工されていた。設計支持力は杭下端の4D上方から杭下端の1D下方までの地盤の平均N値を



図—1 監視汚泥棟立面図(柏崎市提供図面に加筆)



写真—5 既設と増築の接合部の相対変位



写真一六 杭のひび割れ (柏崎市提供)

図一 杭の詳細と地盤柱状図 (柏崎市提供図面に加筆)

使って計算することとされており、平均 N 値 31 から長期設計支持力は 1040 kN と計算される。しかし、杭下端の 1D 下方からの N 値は急減しており、杭下端より 1 m 下方の根固め改良部分の下面レベルから 1D 下方では N 値 30 を切っている。地震時に杭周囲の摩擦が切れて荷重が下端に集中したため、杭は下端から沈下したと考えるのが自然である。建設時に試験杭が施工されオーガの抵抗から支持層の確認が行われているが載荷試験は行われていない。

沈下が生じた建物には使用性を損なう損傷や傾斜がないことから杭基礎はレベル 2 に対する耐震性能（震度 6 弱以上の地震動に対し、ある程度の構造的損傷は許容するが機能の一時的な停止はあっても復旧に時間は要しない損傷にとどめる性能）を維持したと言えるが、杭基礎を採用したために既設建物との相対変位が大きくなって接続配管が破断し、地震後に地盤改良杭を打設する改修が必要になったとも言える。杭基礎が採用された理由の一つは、阪神淡路大震災以降に下水道施設の設計にもレベル 2 地震動が導入されその設計震度が 0.8 ~ 0.6 と設定されたため、地下室のない直接基礎では滑動や転倒などに対する安定が計算上は確保できなくなったためと推定される。

## 5. ごみ焼却場<sup>3)</sup>

### (1) 被害の概要

柏崎市と刈羽村共用のごみ焼却場（クリーンセンターかしわざき）が鯖石川右岸、橋場の砂丘の内縁にあ

る。震度 6 強と推定される地震動を受けて場内の高煙突が折損し、解体、再構築を余儀なくされたほか、炉の支持架構も軽微な被害を受けた。

高煙突は 2 本の鋼製円筒煙突を鉄筋コンクリート（RC）製箱型断面の筒で囲った構造であり、破損は RC 筒の上から 2/3 で起きた（写真一七、図一三）。破損部から上の箱断面の壁は単鉄筋となっており、コンクリートが損壊した位置がこの単鉄筋に切り替えた位置とほぼ一致していた。RC 筒は 2.38 度傾き内部の鋼製煙突に支えられて止まったが、余震で倒壊する恐れがあったため、隣接する焼却施設内の炉の点検やピットに溜まった生ごみの処理ができなくなった。

煙突の解体はまず安定化のために折損部の内部にコンクリートを充填、汚染の可能性のあるために鋼製煙



写真一七 折損したごみ焼却場の煙突 (柏崎市提供)

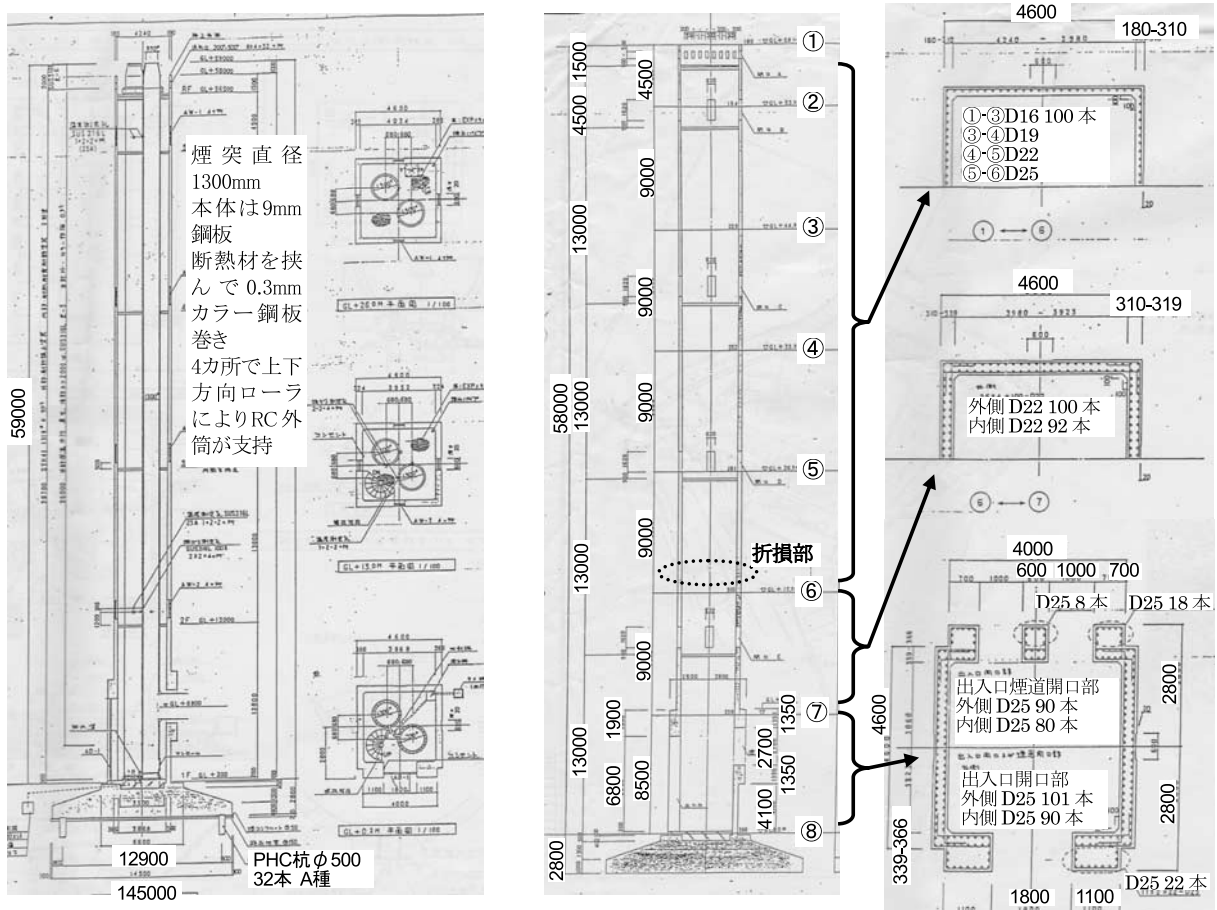


図-3 クリーンセンターかしわざぎの高煙突の構造図と折損力所（柏崎市提供図面に加筆）

突内を洗浄，上部よりニブラで解体，コンクリート充填部はワイヤーソーで輪切りしてクレーンで搬出，と慎重に行われた。3ヶ月後に煙突の解体が進み，ごみの取り出しが行われたが，猛烈な異臭が流れ，住宅密集地であれば困った事態になるところであった。

(2) 高煙突被害の考察

設計図書からRC筒のひび割れ前の固有周期は1.2秒と概算される。K-NET 柏崎市役所の記録の5%減衰線形加速度応答スペクトルは1秒から2秒くらいまで1Gを超えている。

折損部の配筋図から鉄筋降伏時の抵抗モーメントを計算し折損部から上のRC筒に水平加速度が一様に作用するとして抵抗モーメントに達する震度を概算すると0.35G，同じ断面がせん断耐力に達する震度を概算すると0.4Gとなる。曲げ降伏が先行し，単鉄筋の壁で構成された箱断面は降伏後の靱性が乏しいため断面欠損が起きてせん断型の崩壊に至ったと説明できる。

一方，現在建設中の新煙突の同じ高さにおける配筋図について，鉄筋降伏時のモーメントに達する震度とせん断耐力に達する震度を概算すると0.55Gと0.8Gである。断面内の配筋は頂部に至るまで複鉄筋で，内

外の帯筋を交差させて靱性を高める工夫もされている。したがって，同じ地震動が作用しても損傷は設計で想定される軽微な状態とどまると予想される。

建築学会による煙突構造設計指針は2007年11月に改訂されており，厚さが180mm以上の壁は複鉄筋にして靱性を高めることとしている。しかし，1976年の旧指針にその記述はなかった。ごみ焼却場のRC高煙突は全国で約1600本あるとされ，長周期成分を含む大きな地震動が発生すると同じ被害が起こりうる。

[JCMA]

《参考文献》

- 1) (株)リケン経営企画部；新潟県中越沖地震による被災からの生産復旧，同社出版物，2007年12月
- 2) 原酒造ホームページ；http://www.harashuzou.com
- 3) 後藤，柳川：機械工場，酒造工場，ごみ焼却施設，下水処理場の被害と復旧，土木学会第63回年次学術講演会研究討論会〔研12〕講演概要，2008年9月

[筆者紹介]

後藤 洋三（ごとう ようぞう）  
 富士常葉大学  
 附属環境防災研究所  
 特任研究員

