

ルーマニヤ地震 (1977年3月4日) の 産業施設の被害を中心として

On Damages of Industrial Facilities
to Romanian Earthquake

柴田 碧*

Heki SHIBATA

1. はじめに

3月4日に地震が発生して後、50日ほど経た4月24日から28日まで現地を調査した。WienにおけるIAEAのSafety Guide S-1およびS-2(原子力発電所の耐震に関するもの)についてのTechnical Review Committeeに出席した帰途で、九州産業大学の表教授に同行した。通商産業省の高圧ガスおよび火薬類保安審議会の下の地震対策分科会でコンビナート等の耐震設計についての原案を作成中であるので、その一環として立地公害局保安課により、ルーマニヤの化学工業省および科学技術評議会への依頼というかたちで今回の調査は行われた。

2. 調査の概要

2.1 日程

非常に短い期間であり、国の調査団などのように組織だった調査は行えなかった。23日夜Bucuresti^{*1}着、24日はCheia観測所を中心にBrasovまで、震源域に近いTrans-Silvania地帯を往復、25日は国の調査団が帰国前日で、午前中それまでの調査の概要を伺ったりし、午後は科学技術評議会、日本大使館などへの表慶訪問に同行した。激しく雨の降る一日だった。26日は午前中化学工業省での会談、その後Rochimi社の訪問、終了後市街地視察で終えた。その間、短時間ではあったが再び

科学技術評議会のProf. Manzatu副議長を訪問会談をした。27日は午前は引続き市街地調査、午後はBucuresti-Vest発電所の現地調査を行った。ここまで表教授と同行した。28日午前中、化学工業省Tanase局長らの案内で、Ploiestiの東郊にあるCombinatul Petrochimii Taleajenを視察し、そのまま空港へ向かい帰国の途についた。この間5泊、4日半で大変あわただしい調査であった。調査の申入れは在日のルーマニヤ通商代表部の紹介により上記のところへ文書で行ったが、現地では国の調査団とは異なり、全部電話で処理されたので、当日まで予定が判明せず、当日になりスケジュールが重複していることが判って、急に変更したりし関係者の方々に迷惑をかけた。また原子力規制関係の方々とは会談の申入れがあったにも拘わらず会うことができず残念であった。

2.2 調査機関等

今回の調査は現地での各種の制約から、実地に調査するほかは関係者からの聴取りによった。先に科学技術評議会と訳したNational Council for Science and Technologyの副議長Prof. Manzatu^{*2}が全体の窓口になり、またMinistry of Chemical IndustryのProf. Tanaseが石油プラント関係の窓口を、Building Research InstituteのProfessor Serbănescuが耐震工学の面の諸情報の提供を、Dr. Iosifが空港の出迎えから毎日の世話をして下さった。参考までに組織の関係を表1に示す。

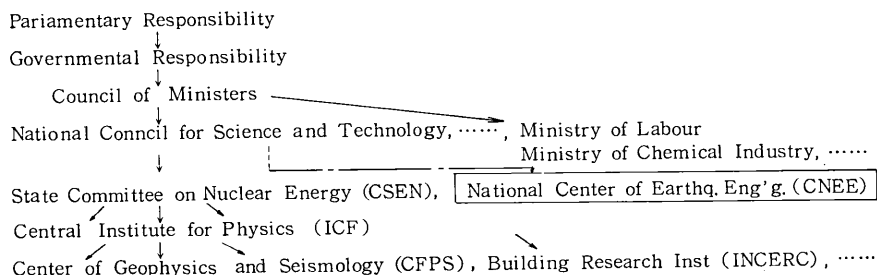


表1 組織の概要 □が新しく設けられる部分

* 東京大学生産技術研究所 第2部

*1 Bucurestiのようにsとなる箇所以後はsと記した。

*2 過去に教職についてたことのある人については、ヨーロッパの多くの国で、Professorの敬称を転職後も使うのが習慣となっている。

以下の調査内容は若干の現地調査のほかは関係者の説明を通訳を介して聴取するというかたちで行われ、印刷物などの提示はなかった。なお現地で人名の表示はわが国と同様姓名の順であり、主として名でよんでいるようであるが、ここでは英語的に記し、また姓でよんでいる。

3. 地震の特徴

久保教授の報告中に示されているように、その地震波形は非常に特徴のあるものである(図1)。Bucuresti

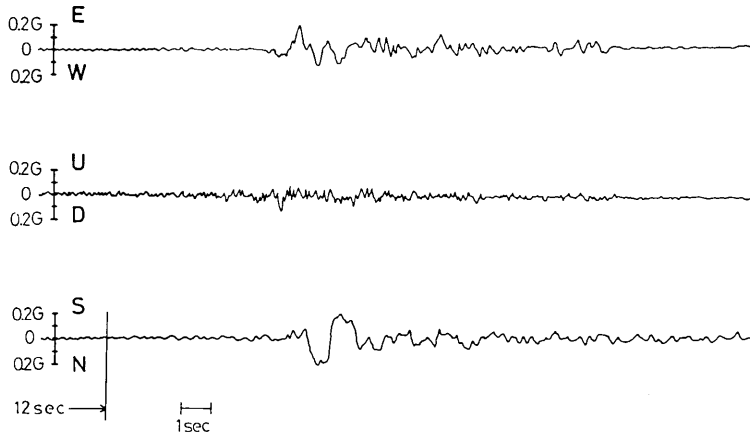


図1 SMAC強震計によるBucuresti 郊外の地震記録

東郊でSMACにより採れた記録はNS動が卓越し、ほとんど正弦波1波(周期約1.8 sec, 加速度約200 gal)のみであり、記録のスタート後20 secほどしてこの波は到達している。このような記録について、Prof. M. A. Sozen (Univ. of Ill.) は調査リポートの原案¹⁾でSMACの特性を疑うような記述をしているが、当時の新聞報道をはじめ、後述するように経験者の体感ともほぼ一致しているといえる。

国の調査団の浅田・高木両氏の話、現地のニューテクトニックマップ等から総合すると、震源付近には海溝に相当する基盤岩の沈み込み(深さ4,000m程度)があり、わが国の三陸沖の日本海溝に似た構造となっており、その地下深く、97 Km (Iosifによる)のところに震源があるとのことであった。Bucurestiまで震央距離で160 Kmであるので、震源距離としては約190 Kmとなる。被害はBucurestiよりむしろ震源と反対側のBulgaria国境付近へと広がっている。分布の形状は上記の沈み込みの軸線方向(NSよりやや東に片寄っている)に楕円状に拡がり、Meldekovの作成した震度分布図によると震度Ⅶの領域がNSには500 Km以上となっている。

またMoscowでも有感であったとWien在住の日本人より聴いた。1896年の三陸津波を起したM=7.6の地震

に比し、今回の地震はM=7.2と小規模ではあるが、緩慢なゆれ、短軸方向の近い地点での加速度(震度)が低いことなど、かなりの類似点があるのではないかと思われる。上述の正弦波を200 gal, T=1.8 secとして最大速度、振幅を求めると57.6 kine, 16.5 cmとなる。振幅の方はともかくとして、この最大速度は震源距離が190 Km程度であることを考え合せると非常に大きな値でBucuresti付近の震害を考えるのに重要な値であると思われる。応答スペクトルもSozenらによって、地震後すぐ

に求められたが、前述の長周期側に大きなピークがあることが特徴である。

産業施設の被害

4.1 産業施設の地域的分布

ここで取り上げるのは、石油精製施設関係と火力発電所である。ルーマニアは産油国で、1945年の第二次大戦終了直後は世界一位であったが、量としてはそのままは横ばいで今日に至っている。産油地帯はトランスシルバニア山系がL形をしているその外側沿の平野部から丘陵地帯であり、Bucuresti北方のPloiestiやその西方のPestiなど中心として石油産業があり、製油所群もこの地帯に分散しているが、その中でもPloiesti北西郊のBreaze*³製油所が最大のものとすることである。国の調査団が訪れた火力発電所と併設されている。この発電所もそうであるが、Bucurestiの発電所も比較的都市近郊(10~20 Km)に配置され、抽気を主な熱源とした温水暖房用のプラントも兼ねている。石油化学関係は十分な発達を遂げているようには見受けられず、著者が訪問した、Ploiesti東郊のTaleajenコンビナートも、石油化学関係は建設計画中であった。ガスのうち天然ガスはパイプラインでソ連から入ってきているものと思われ、

*3 スペル不正確“もみの木”との意味とのこと

Ploiesti Brasov 間の道路沿いに見ることができた。

Bucuresti での都市ガスはLPG系のものが多く使われているとのことであった。

4.2 Cheia 観測所とその周辺 (図2)

到着の翌日, Bucuresti の北方直距離で120KmのCheia 観測所を訪れた。震源の西南西約75Kmにあるこの観測所はCFPSに属し, L字形のトンネルを有し地震学的な地震観測を行っている。その内容はここでの主題でないで、省略するが、一つ印象に残ったのは中国, 上海工廠製の地震計群である。記録計ともども日本製と酷似しているが、その工作, 仕上りは非常によく、またケースがプラスチック製であることなどが目についた。記象もたいへん美しく描れていた。その他アメリカ, ソ連, 西ドイツ製など地震後に持ち込まれたピックアップ群でにぎやかであった。冬期2~3mの積雪をみる高度約1,400mのこの観測所は, Mr Constantinとその夫人(技官), 2年7カ月と11カ月の二人の子供によって運用されている。

被害のパターンをみると, Bucuresti から Otopeni 空港の傍を通過してPloiestiへ至る国道E-15に沿っては、ところどころで全壊したのか取片付けられた家もある反

面, 外見としても無傷の家も多く, 全壊は1~2%, 半壊は2~30%といった感じであった。これらの農村地帯の家は1戸建もしくは片流れの家を2戸, 背中合せに別別に建てたものが多く見られた。このような農村地帯の一面にある空港は滑走路側, 国道側とも一面大きなガラス張りで, その規模はやや前の千歳空港程度のものであるが, 何枚かのガラスが破損したままになっているほかとくに内部など目につく被害はなかった。

Ploiestiの手前の郊外にInstitute of Gas and Oil (IPG)があったが素通をした。中央駅の構内には多くのタンク車があり, また線路に沿って保温された配管がT字形のパイプラック上に架設されているのが見られた。当時パイプラインと思ったが, その後集中暖房用の温湯の大口径配管がかなり多くあることがわかり, これがどちらであるかは判別がつかない。街の中の被害は本稿の目的でないで省略するが, 引続きCheia を経由してBrasovへ行く街道へ入る付近のアパートで, 同じ設計の一群の建物だけ, 第一層がひどくやられているのが見られ(図3), いわゆる設計の欠陥からくるCommon mode failureの1例になるのではないかと興味深かつ

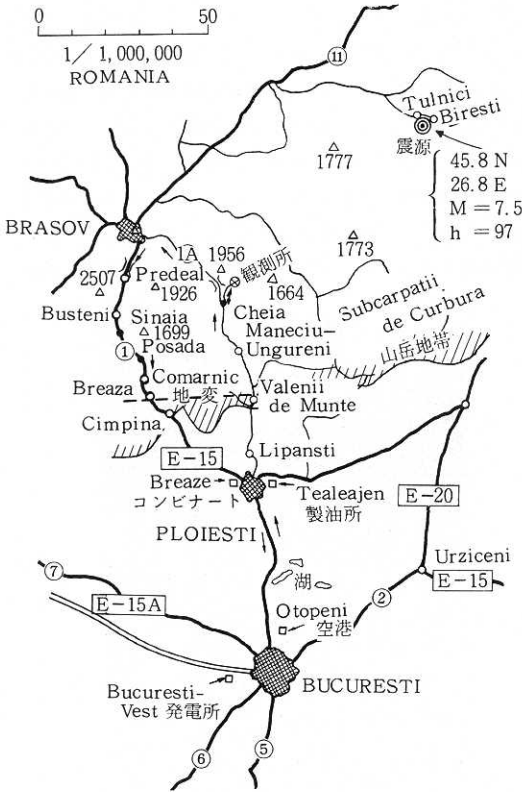


図2 Bucuresti 周辺の地図

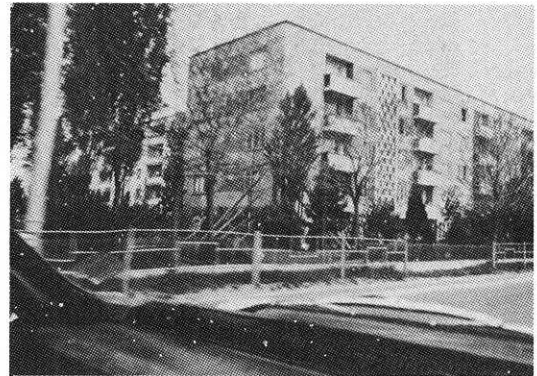


図3 Ploiestiの集合アパートの損傷

た。この郊外から油井が見えはじめた。一面平らな農村地帯から次第に丘陵地帯になり, ぶどう畑となる。農村部で大規模な畜産施設のようなものを見かけ, そこには高さ数mの鋼製サイロがかなりの個数あったが, 一見無傷のようであった。一方, 油井に近接したぶどう畑の中には, 油の集積用の小規模なタンク群がある。Ploiestiから20kmぐらいのところにあるやや大きなタンク数基があり, そのうち1基の上部に地震によると思われる軽微なしわを見かけた。容量は4~5,000KIのものと思っただがやや大きく見積りすぎているかもしれない。その地点より35kmほど進んだ地点で道路際のタンクの側壁が大きくへこんだのが見られた。容量は100 KIぐらいのものと思われた。タンクの被害は後でまとめてもう一度述べるが,

*4 E-15はユーロピアン・ハイウェイの番号

一般には軽微でスロッシングによる被害も軽かったといえるが、これは地震波の性質によるものと思われる。

一般の建物の被害は谷間に入る立前の丘陵地帯で局地的にひどいところがあった。何箇所かがかなり深く切り込んだ谷であり、その間の平坦部に農村があるがその一つ Vallenii de Munte では局部では50%以上の被害（既に整地されて空地になっているところも含め）があったのではないかと見られた。一軒、主として木の骨組で建てかけの家が、北から南へ傾いているのが印象的であった。この点 Ploiesti の街中でのコンクリート製の花台や Bucuresti の科学評議会の前の Roma St. の街燈（図4）



図4 Bucuresti の街燈の傾斜（かなりの数ある）

の首の折れ曲りの方向もまたほぼN→Sであり、SMACの記録がEWよりNSの方が大きく出ているのとはほぼ一致している。

側壁にへこみのあるタンクはこのような地帯から10Kmぐらいい北であったが、その付近より川沿いの谷間となり天然ガスのパイプラインが併行して走るようになる。ソ連からのガスを受けるためのものであるが、とくに損傷を受けた様子はなかった。石積のアーチ橋などを使用しているところがあるのが印象に残った。数Kmで山間部にかかり、道路の舗装に損傷があるのが見立つ区間があった。大分県中部地震に似てやや谷的な地形を横切るところに補修の跡が集中していた。この山間部に Cheia の部落があり、そこから分岐して前述の観測所へ上がって行くわけであるが、震源に近付いているにもかかわらずこの付近になるとほとんど被害がないように見受けられた。

Cheia の観測所を出て更に北上すると、やがて峠を越し Brasov の街へ入るが、この辺の民家にも被害らしきものは見られなかった。街の南郊で再び E-15 に出会い Ploiesti へと戻ることになった。鉄道と平行して深い谷

間を走るが、リゾートホテルのある谷合いの街 Predeal なども外見の被害は見当らなかった。一つ古い感じの工場があったがビール工場とのことであった。この街の手前道路の西側には高度2000mほどの Sinaya 山があり、頂上に航空機事故をいたんだの巨大な十字架が夕立直前の暗雲の間から白く見えたのが印象的であった。やがて谷が開け前方はるか下方に小規模な工場群が見えてきた。粉じんを含んだ煙を多く出しているのが目立ったが、Comarnic とよばれる街であり、同行の Dr. Iosif によると、製油所の火災はこの街から入ったところのことであるとあったが不明確である。この街が見える付近の山間部の部落 Posada では壁の新しい家が多く見られた。被害が急に出だしたという感じであった。

さらに10Kmほど南へ行き、谷の幅も4～500mとなりその間は全く平坦となる。Prahova 川をはさんで東側は E-15、西側を鉄道が通っている。Breaza の駅の近くに地変があるということで車を停めた。道路の舗装がコンクリート・スラブであって、目地が50mmほど開いたという。見たところ、地震前からあったものかどうか一見不明であるが、道路脇の側溝のコンクリートにも、若干の開いたところが認められた。すぐ傍にスパンの短いコンクリート橋を E-15 はまたいでいるが、はっきりした損傷は見当らなかった。地形的に見ると支谷が十字形に入っており、東側の支谷に沿ってもこのような地変が見られるとの事であった。一方、対岸の駅の石積みの建屋は NW の隅を斜めに切るように亀裂が入り、その両側、駐車場のアスファルト（図5）および、ホーム側のコンクリートモルタルに続いていた。アスファルト側の亀裂は古いもののようにも見えるものであったが、E-15 の舗装と同じく20～30mm開いていた。縁石も同様であった。

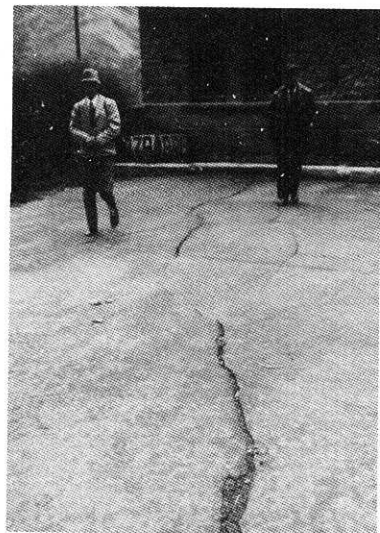


図5 Breaza における地表の割れめ、後方の駅舎を貫通している

一方ホーム側は、かなりモルタルは破砕し、また建屋との接縁では口が開くとともに、50～100mmぐらい沈んだ痕跡があった。建屋のクラックにはその後の変形をみるためのガラス板が固定されていたが、動いた形跡はなかった。このような構造物のない部分の地変はと思ったがそれは見当らなかった。地震の震源深さから考えて、谷を横切るように2点で見られたこの地変はなにを意味するのか興味深く思われた。なお鉄道は電化された複線で、レールは片線だけは新しく60kg/m以上と思われる重いものに交換されており、他の線はわが国の50N程度に思えた。そのような施設が立派で貨物の運転頻度が高いのに比べ、旅客施設は貧弱であり片線の外側に低いホームがあるのみであり、他の線に到着した列車の昇降は軌道面の碎石の上からすることになり、現地にいる間にも、昇降しているところへ反対側から貨物列車が入ってくるなどよく事故が起きないものと感心した。なお、ここより上流のNistroesti 付近の鉄道橋(トラス)の下半分だけ塗り変えられているのが印象的であったが、地震との関係は不明である。

帰途はPloiestiの市内には入らず、西側をまわる外側環状線を通った。この外側環状線沿いに前述のBreazeのコンビナートがある。遠くから、1本のフレヤスタックのほか、地上に近いところから火焰と黒煙が上がりかなり遠くまでたなびいているのが見られ、不審に感じられた。近づいてみると、5～6ユニット並置された加熱炉の煙突と思われるものの先端からの火焰と煙で、そのうちの1本からはフレヤスタックよりはるかに多量のもので出ている。これについての真相は不明である。併設の火力発電所建屋、コンクリートクーリングタワー、巨大な温水配管のループなどが印象に残った。石油化学の施設が含まれていたかどうかは不明であり、球型タンクも目につかなかった。

4.3 化学工業省での会合ほか

化学工業省ではProfessor Tanase(施設関係の局長)と前述のPloiestiの石油・ガス研究所のProfessor Pavelほか14名の人々と会談した。この中にはDesign Institute for Chemical Plantsの人々が多かった。先方からこちらの意見を聴かれる点も多かったが、ここではそのうちの被害に関するものを要約する。

主な被害は建屋の破壊によっている。装置、機器単独の損傷はなかった。基準*5は25年前からあり、その当時から耐震構造計算は行っているが、それがよかったものと考えている。ただアンカボルトの損傷はあった。球形タンクに若干の損傷があった。日本の新聞報道についての質問に対しては、加熱炉で煙突の折損、壁体の倒潰があり、火災が発生した。いずれの構造体もレンガ造で

あるとの回答があった。場所については不明である。また塔で冷却が止まったことによる爆発があったことについては回答が得られなかった。以下、若干の事柄についてやや詳しく述べる。

第1に目立ったのは、アンカボルトの伸びであった。一部には切れたものもあったが、コンクリートとの付着は良好であった。いちばん重いコラムは直径3.5m、高さ29mのもので、42mmφのボルト20本で固定してあったが4～5本が伸びた。この場合は切れたのはなかった。コラムの周期は1.3～1.4secであり、地盤は地耐力25ton/m²の粘土である。Ploiesti地区ではこの程度である。

球形タンクに若干の被害があったが、ガス爆発、火災などには至らなかった。1957年以後、この種のものにも日本にならって静的震度法を適用することにした。その後1961年には動的解析法を導入し、その後基準とした

(Prof. Pavelによる。)この時点ではこのような方式を採用しているのは世界で4カ国しかなかった。その後1973年に改定し、コラムなどを含め適用対象とした。現状は85%はこれに適合すると思われるが、残り15%には問題があると考えられている。ブレーシングには伸びおよび圧縮による変状がみられた。なかには切断したものあり、方向性がみられた。またアンカボルトの伸び切断もみられた。球体が回転するようアンカボルトの切断が起きた例が1,000m³のもの4基について発生した。アンカボルトの径は40～60mm×2であり、内側方向に脚がずれるよう変形したが、幸いにして基礎からは落ちなかった。殻本体については異常がみられなかった。以上に対し、Tanase局長より、水平動の2軸の動きを合成してみるとかなり回転するような軌跡となるので、それによって球体の回転を惹起されたのではないかと考えているむねの発言があり、さらに、上下動も関与しているのではないかとも思われるが、基礎が浮き上がった形跡はなかったと述べられた。しかしながら、Prof. Pavelの状況説明によると、ブレースのゆるみの発生が不均等に起きたことによる構造体としてのねじれのように判断され、1952年のKern郡地震の例²⁾などと考え合せると、今後のわが国の基準でも何等かの対策が必要と考えられる。

タンクのスロッシングについては、次のようなことが報告されている。小容量のガソリン貯槽がずれてパイプが切断し内容物の流出する事故があったが、すぐ止めることができ、大事には至らなかった。また約1,000m³程度のタンクで、液面が大ゆれになったのを目撃したと報告された。このタンクはPloiesti地区にあるもので、

0.8σ_yで設計されていたが、若干の塑性変形が残った。以上が被害についての話で、後の時間は設計方法につ

*5 基準については後出

いての討論などであった。このあと、Rochimi社を訪れた。政府組織外の会社と思われ興味があったが、実質的な会合とはならず、その後の製油所調査の世話などをさせていただくことに留まった。

その後、科学評議会副議長Professor Manzatuに約30分話をした。物理系の分野で最近まで大学にいたとの事で非常に雄辯という感じを受けた。

地震工学関係の組織はCSEN (略号、表1参照)の下にあるICFに属する5研究所の一つCFPSで行われているが、これをCNEE (国立地震工学センター)に発展させて、一部に経済的問題も含んだものを対象として今後研究を行う。全基準の見直し、マイクロゾーニング、サイスシティアマップの確立などを早急に行いたい。とくにゾーニングを改訂し、現在ⅦであるBucuresti地区をⅦ½^{*6}としたい。しかしながら、この研究所の主な目的は対策というよりは新しいことの開発に重点を置く考えである。とくに生物の地震予知能力の研究を行いたいと言い、人間の超能力的予知の問題にも興味を持っていることに触れた。

4.4 プラント調査

Bucuresti-Vest発電所とPoliesti東郊のCombinatul Petrochimi Taleajenについて行った。最初に前者について述べる。

発電所は125 MWの発電機2基からなっており、このようなものがBucuresti周辺に4カ所あり、総発電容量は1,000 MWである。そのうちで最も被害が大きかったのがこの発電所である。クーリングタワー2基、2段目の注気により加熱された温水をさらに加熱するボイラ5基が通常の発電所施設の外に並んでいるのが目立った。

被害は建屋の破壊、すなわち屋根の落下によるものが主であるとのことで、これは他の発電所の例とも同じであるようであった。建屋の状況は既に久保教授が報告されているので省略する。タービン・発電機はわが国と異なり、回転軸がボイラ方向へ向いており2基平行となっている。概略の配置は図6のようである。タービフロア間がピットとなっていて、油ポンプその他が配置され復水器の側面などを見ることができる。損傷は#1の方が大きかった。主なものを挙げると、タービフロアにあった脱気器ヘッダの折損(図7、修復後)がいちばん大きなものであった。油ポンプ廻りの配管が破損して小火災を生じ、#1のタービンケーシング等の床下部分を焦した(図8)。#1の発電機カバ(本体のものでなくその外側、鉄骨鉄板)が変形し、その内側のH₂配管で6"径のものが折損、水素火災が発生したが間もなく鎮火した。ガス爆発はなかった(表紙写真参照)。

モータをはさんでタンデム配置となっている給水ポン

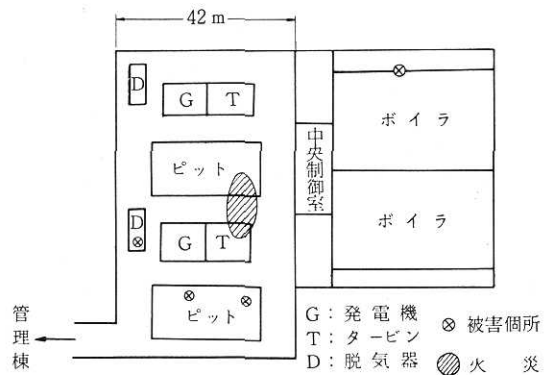


図6 Bucuresti-Vest 発電所 125 MW×2

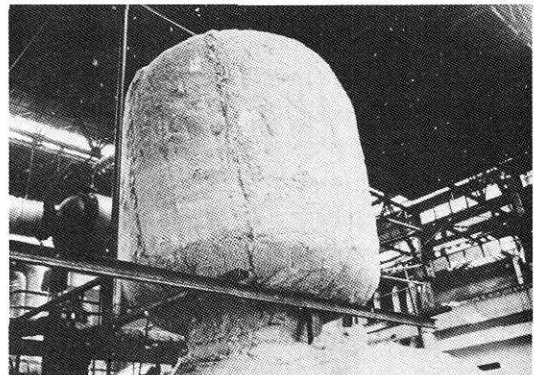


図7 Bucuresti-Vest 発電所の脱気器修復状況(屋根も修理中)

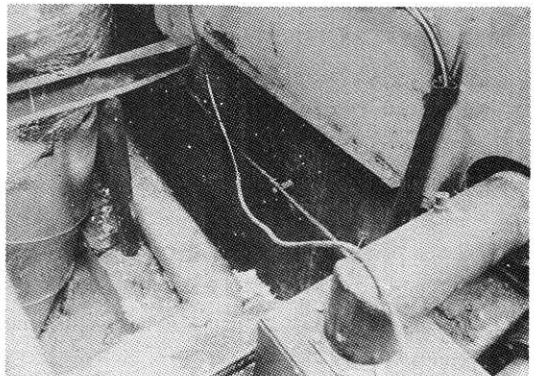


図8 Bucuresti-Vest 小火災(タービンハウジング)

プは芯狂いが多く出て据付けのやり直し工事を行っていた。ボイラは固定式であったがブレスが切れたので修復中であった(#2、図9)。

以上が先方よりの報告であったが、その他現場をみて気付いたことは、蒸気管とくに低圧部がかなり交換してあったこと、またHPとMP間のパイプに損傷があったといっていたが、修復の跡がみられなかったことなどが

*6 Ⅶ½の意味は明らかでない。他ではⅧともいわれた

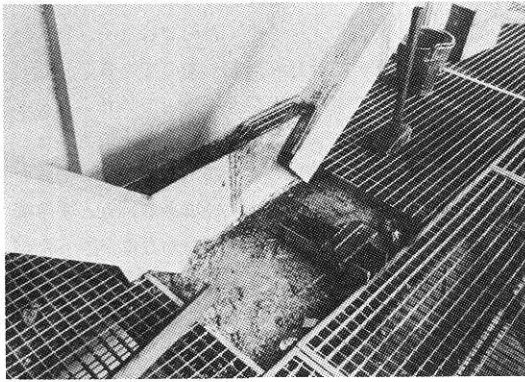


図9 Bucuresti-Vest ボイラー・プレス切断

挙げられる。制御室関係も異常なく計器架はすべて頂部も建屋に固定されていた。タービンベデスタルは、ジーマンス型に似たもので、 $1\sim 2\text{ m}^2$ の断面で長さ13m程度の柱構造である。なおタービンその他はSKODA社製であるが、この関係のところには損傷は見当らなかった。

地震当時#1ブロックは公称出力で運転中であり、ボイラはガス+重油用であるがガスのみを焚いていた。#2ブロックは検査中で60 rpmでのターニングを行っていた。#1についてはタービン振動のアラームが出て停止したが、それは建屋の崩壊とほとんど同時であった。調査時点では#2が既に発電していた。なお、発電電圧13.8KV、送電電圧110KVであるが、この関係にはとくに被害はなかったとのことである。

Taleajenの製油所は1930年前後に建設された部分が主体であり、現在、その3~4倍の敷地に製油所を新設中であった。新設のものはコラムその他の建込みは終了し配管等もおおよそ終了した段階のように見えた。今後さらに石油化学関係の増設が行われる予定とのことであった。製油所の調査は化学工業省の大臣の許可が必要ということで、出発当日の午前中となった。局長のProf. Tanaseと渉外部長Mr. Fliescuが本省より同行した。

工場側の説明によるといちばん大きな被害は建屋の屋根が落下したことである。ほとんど同じ寸法の建屋が2棟あり、1棟は屋根がRCのプレハブ板、他は鉄骨であったが、前者で被害が出た。下にあった機器類についてはほとんど被害がなく、解体手入れ後試運転を行っている。屋根の構造は12 tonのRCの山型梁にコンクリート・スラブが載っていた(図10)。この重量が1スパン130~140 tonあり、それに2階面にある機器が重いことと重なって、大きく揺れて落下した。柱の補強工事を行い復旧をほぼ完了している。タンクについてはリベティング構造の $3,000\text{ m}^2$ のものが、円筒の一部に破損を生じたが約50年前に作られたもので、強度的な保証のないものである。ただこれは1基ということではなく3基にその被害がみられた(総数は不明、このプラントの図

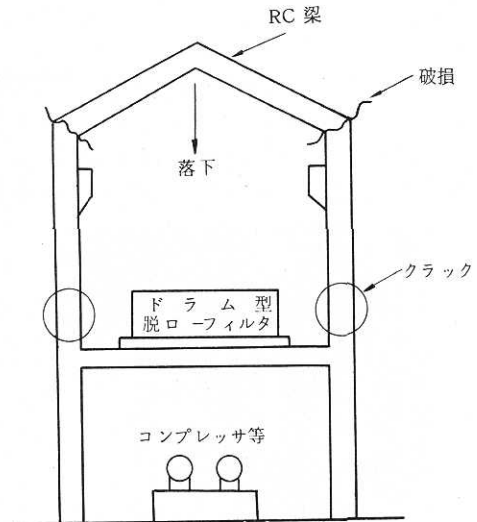


図10 製油所建屋破損

面一会議室にあったものによると、このいちばん古いものはそんなに多くないようであった)。またあまり大きくないタンクの元弁のフランジ部がゆるみ漏油したがたいしたことはなかった。所内のRC煙突は無事であったが、今回の地震で製油所関係の煉瓦の煙突は2本折れたと聞いている。1本は炉の上に落下した。この地域の近くの工場でも煉瓦煙突の折損があったが上部 $\frac{1}{2}$ と見えた。クーリングタワーは内側の損傷がひどく使用不能であった。煉瓦が完全に崩れ落ちた。運転状況は次のようであった。3交代の2直めで昼間より人は少ない。所内の蒸気プラントの被害で全動力が停止、外部電源も停ったので緊急停止の措置をとった。全停電等の経験は過去にもあり、うまく行ったのでブローアップやさらに火災などの事故もなく、日頃の訓練がよくいっていると思った。以上が口頭による説明であり、以下現場での状況を述べる。

構内への入口は、片側が守衛所になっているピロティ風の点検所でその2階が事務棟となっている。メーソリー構造であり、中の被害はかなり大きくやはり200 gal前後かと思わせる。構内は全般的には何事もなかった感じであるが、旧設備のある付近に行くとなんともなく変状が感じられる。地上配管などが片寄ったり、保温材を巻いた1,000~2,000KI程度のタンクの保温材が脱落している部分があり、上部には歪みが見られる。配管の変形からタンクが多少ずっているのではないかと思われるところもあった。案内者はこれらは地震によるものでないと言った。屋根の落下した建屋は前に述べた2階面の脱ローフィルタが5基ほどならび一部は組立中であり、1台は既に運転していた。外装に若干傷があるがとくにひどい損傷はなかったように見受けられた。建屋は工場側の説明のように重さが過大であったことのほかに

2階面までと、その上でいわゆる2自由度系を構成し、いわゆるホッピング効果を起こしているように見受けられた。2階面から1~2m付近の高さの柱の損傷が甚しいことがそのことを裏付けているように思われる。なお、前述の発電所についても同様なことがいえる。

写真(図11)は発電所のものであるが、こちらにも似た

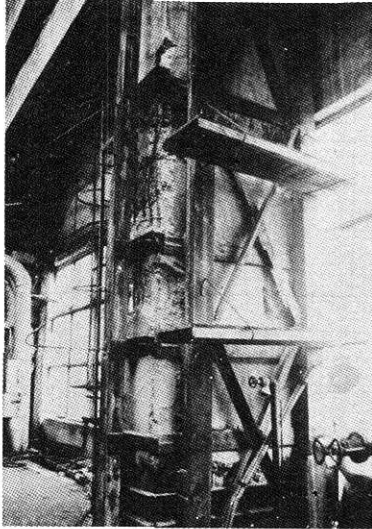


図11 Bucaresti-Vest 建屋柱損傷

状況であったようで、訪れたときは柱の修復工事はほぼ終わっていたが、そのやり方は張り出した鉄筋は切り取り柱断面を増大させた位置に新しい鉄筋を入れ、端部は旧鉄筋に溶接する。コンクリートの表面に近い破壊した部分はきれいに取り除き、エポキシ樹脂を塗布した後直ちに生コンクリートを打設するといったものであり、一般建築物の修復に比べ丁寧なものである。屋根面の軽量化も行われているが、ホッピング効果を考えると、上部の加速度応答は余り抑えることはできないのではないかと考えられる。

その後建設中の精製施設をみた。炉、集合煙突、常圧と真空蒸溜塔などであるが、その規模はかなり大きなものであった。国内産の原油は低硫黄なので不銹鋼は使っていないとの説明であり、工程は一部配管を残す程度であり塗装はしていなかった。そのため、錆び止めないしは鋼材の地肌が露出した状態であり、降伏などの発生の有無の観察には最適であった。アンカボルトの太さその他かなり剛強に設計されているとの感じで、上述のような損傷部も見出すことができなかった。以上が現地で見えたものの概要である。

5. 地震に際しての行動

地震発生の瞬間における行動と体感を数名の人から聴くことができたのでそのうちの若干を以下に記す。これらの話は地震波の記録とも一致している。ただしA氏と

B氏は地震工学者であり、地震記録を知っている。なお、これは話を伺った際にメモを採ったのではなく、日常の会話で得られたものを後刻整理したものである。

A氏：台所にいてジャムのびんを持っていた。なんとなく地震を感じたので、それをテーブルの上に置いた。(地震後みたらこれは下にころげ落ちていた)。P波のような上下動だった。居間の方へ数歩あるいたとき停電した。子供(20才の男子、土木工学)がなにか言ったが内容は記憶がない。そのときもまだたいした地震とは思っていなかった。暗くなって間もなく建物にひびが入る音を聞いた。数秒以上経ったと思った後で押すような波を感じたが間もなくやんだ。そのあともゆれが続かずいぶん長く思われた。書棚は上の方2カ所で固定してあったがその一つが外れ、回転して片方が30cm以上前へ出ていた。

A氏のお宅は標準な古いタイプの集合住宅の2階であって、訪問したが内部には地震の跡はみられなかった。

B氏：自分は机に向かって図面を書いていた。奥さんは身内に不幸があった後、肝臓を悪くしベッドで休んでいた。地震だと言って起きて仕事をしているところに来、どうしようかと言った。仕事をディスタ―ブされるのが嫌で、扉(庭に通じる)でも開けて置けと言いつ仕事を続けた。奥さんは扉を開けて外へ飛び出して行った。そこで、煙突などの落下物のことが気になり、あわてて外へ出ている奥さんを連れ戻し、家の中に引張り込んだ。そのとき、シャンデリアが大ゆれに揺れて、一部が落ちて来たので二人で扉の際に立って、おさまるのを待った。終わったところでテレビをつけた。しばらくしてはじめてキャタストロフィックな地震であることに気付いた。なお、お宅は4寝室のあまり新しくないものであるとのことであった。

C氏(日本人)：地震かなと思った。しばらくするとシャンデリアが大揺れになり危いと思った。間もなく止んだ。A、B両氏が専門家で波形をみているのに反し、この人は科学・工学を専門とする人ではない。

D氏：日本から訪問した人とレストランで食事をしていて。最初、地震を感じたとき、地震の経験のすくない自分はすぐに屋外に逃げようと考えた。日本人はこの程度の地震は日本ではざらにある。大丈夫だと言って座っていたが自分はこわくなり室外へ出た。日本人はシャンデリアの破片で顔を、また逃げ出すとき落ちてきたぶどう酒びんではほを怪我し入院した。

E氏：Ploiestiの中心街を歩いていた。地震を感じて人が建物から飛び出してきた。自分も衝動的に走り出した。地区評議会(不正確)のビルの前だった。音で後を振りかえると、そこのドアボーイ(守衛のような役割である)が飛び出して来、のきが崩れて下敷になるのを見た。その男は死んだ。自分は危機一髪の間だったと思っ

た。

以上、San Fernando地震のときよりも地震の波形との関連が比較的明確であるように思えた。その一方で、E氏の Ploiesti でのを除き、他の Bucuresti でのはいずれも余り強い地震であると意識しなかったためかパニック的な気持の表現が少ない。

6. 耐震設計法規

昭和45年国際地震工学部発行の各国の法規集³⁾に載っているものが現行のものとはほとんど同じであるようである。ゾーンを7, 8, 9に分けてあり、動的な考えにより、さらに地盤との相互作用も導入されているかなり進歩的なものである。また重要度分類もⅠ～Ⅴあり、Ⅱが基準となつてⅠは1級上げて、Ⅲ, Ⅳは下げて、Ⅴは耐震設計を行わないとしている。震度係数の基本値は、7で0.025, 8で0.050, 9で0.100となり、これに0.6～3.0の修正震度係数、その他が乗せられる。そのうち重要なのは煙突、高架水槽などに乗ずる係数で1.5である。上下動はゾーンにより25%, 50%, 100%をみることになっている。またパラペットや煙突などで建物の一部であるが構造要素となっていないものについては、0.35, 0.70, 1.40という値を与えているのが注目される。全体としてかなり複雑な構成となっているので詳しく述べないと誤解を与える恐れもあるが、紙面の都合もありこの程度にとどめる。

今後のこととしては、Prof. Manzatuによると Bucuresti 周辺をゾーン7から8.5程度まで引き上げたいとのことであった。8.5という正確な意味は不明である。また Prof. Serbănescu によると、非建築物の耐震設計基準は橋梁については完成、ダムについてはプロポーザルが完成しているので、産業施設についてのものを至急いわゆるナショナル・プロジェクトとして完成したいとのことであった。

本調査ははじめにも述べたように、通商産業省立地公害局保安課が行っているコンビナート等の高圧ガス製造施設の地震対策の一環として行われ、IAEAの会議の帰途現地へ行った。現地へ行くことに同意いただいたIAEAのDr. Iansitiの好意に感謝する。

調査の大部分は九州産業大学 表 俊一郎教授、現地の

Dr. Iosif と一緒であった。このお二人のご援助は重要なものであった。

ルーマニア側については在日ルーマニア通商代表部、国家科学評議会、Prof. Manzatu、化学工業省 Prof. Tanase、建築研究所 Prof. Serbănescu と Dr. Iosif はじめ数多くの方々のご支援があった。ここに厚くお礼申し上げます。

なお、地下鉄が建設中であったこと、今後の地震予知計画、建築物の被害などについても若干調査したが専門外なので割愛した。ただ国および都の調査団とも市街地火災はないということであったが、科学技術評議会のある Roma St. の南側への延長上の道筋で図12のような火

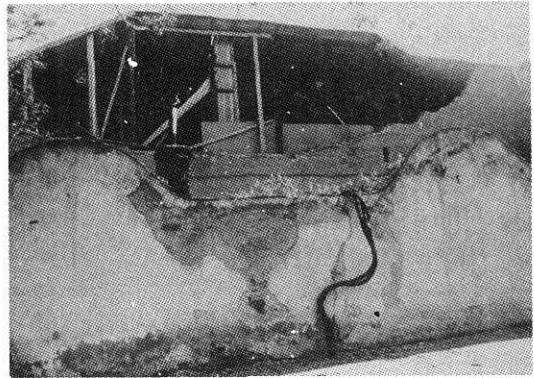


図12 Bucuresti, Roma St, 近くの火災跡
災の跡を見掛けた。現地には老人との英・仏両方の片語の会話では地震時に発生したもののである。

(1977年7月28日受理)

参 考 文 献

- 1) Sozen, M. A.: Report on Rumanian Earthquake (March 4, 1977) (draft), (March 1977)
- 2) 柴田 碧: 海外産業施設地震被害調査報告, 生産研究 Vol. 26, No 7, (昭49-7) p. 259
- 3) Earthquake Resistant Regulations, A World List-1970, International Association for Earthquake Engineering, (Nov. 1970) p. 327
- 4) 国際協力事業団: ルーマニア地震日本政府地震専門家グループ調査報告書, (昭52-6) 223 pp.

