

## 特集 4

## 産業施設の被害

Damages of Industrial Plants and Urban Facilities to the Earthquake

柴田 碧\*

Heki SHIBATA

## 1. はじめに

今回の地震は都市地域に近接して発生した。その結果、若干の産業施設の被害が見られた。しかし一般に考えられるほどではないといえる。危険物施設の代表例とされる製油所は、Los Angeles 空港付近よりだいたい南に位置し、激震域よりの距離も 40 km を超えており、ほとんど被害はなかった。San Fernando 地域は住宅が主であり、南東方向に Golden States Freeway を下町方面へ進むに従い、軽工業（たとえば Ampex 社）や Lockheed Aircraft Co. などがみられるようになるが、重工業、重化学工業の施設はみられない。被害を受けた産業施設の最大なものは、Pacific Intertie Converter Station といわれる直流・交流の電力変換所であり、被害総額 \$ 30,000,000 ともいわれる。

筆者は東京都の調査団の一員として、2月21日より3月3日にかけて、危険物関係施設を中心に産業施設について調査した。東京都からすでに調査報告書<sup>1)</sup>が発行されており、筆者もその一部の作成を分担した。本稿はそれをもとに、それでは触れなかった原子力関係などを付け加えたかたちで、その要約としてまとめたものである。

## 2. 地震工学的にみた被害の概要

産業施設を耐震設計の面からみると配管、塔槽、機器など主として地上にある施設と、埋設管のように地中にある施設とにわけられる。貯槽（いわゆる水槽、石油タンクなど）は構造物上にあるもの、地面上にあるもの、地中にあるものなど多様である。配管もまた火力発電所のような構造物内にあるもの、パイプラック上に置かれたもの、地面上に設置されたものなどがあり、その状況はさまざまである。ほぼ共通している点は、鋼材など金属が多く使われていることであり、通常の建築物、土木構造物とは地震時の挙動がかなり異なっている点である。とくにタンク類内の液体の自由表面の挙動は、従来の耐震設計の対象物とは異なっている。

産業施設とくに危険物施設の耐震設計の特異性を論ずることは、対象物の動力学的性格の差を論ずることになる。今回のサンフェルナンド地震を危険物施設の被害か

らみると、やはりこのような角度で論ぜねばならない。さらにそれのみでなく、一般論としての加速度すなわち地震動による被害とともに、通常の耐震設計法の範囲外ともいえる種類の被害が多くあった。その一つは断層にともなう地変による被害であり、他の一つは長周期の地動に対する変位的な共振現象による被害である。

サンフェルナンド地震では、この二つのうち前者がガス管などに大きな被害を起したが、しかし非常に局地的である。後者の現象は広範囲な地域でみられたが、実質的な被害はそれほど大きくはない。新潟地震などでみられた地盤の流動化現象は、この地震の中心域である San Fernando 地区が比較的地下水位の低い乾燥した粘土質を含んだ砂礫層から成っているためか、ほとんどみられない。以下でもうすこし詳しく被害発生メカニズムを検討する。

## (1) 加速度による被害

加速度による被害は二つのタイプに分かれる。一つは対象系に加わる加速度値そのものによる慣性力での破壊、他の一つは共振現象による破壊である。現在の建築基準法に出発点を置く構造物の一般的な耐震設計は、対象系に加わる加速度値を規定し、それによって生ずる慣性力を求めて行なう。これに該当する被害は電力施設関係に多くみられる。トランスの転倒や横ずれなどがそうである。遮断器の破損なども恐らくは、この範囲に属するものが大部分と思われる。またコンクリート構造物の被害のうちで、上下加速度によるものと思われるものがあつたことは重視せねばならぬ。Olive View Hospital の構内の独立した排気塔のき（写真 19）の破損はかなり上下加速度が関与しているものと思われる。Pacoima Dam における加速度波形でも、水平動と上下動は、ごく一部のピークを除いてほぼ同じレベルにあることは、かなりの短周期成分が含まれていることとともに重視されるべきである。電力施設のうち San Fernando 地区から約 40 km 離れた地点の開閉所で起きた 500 kV の遮断器の破損も恐らく共振によるものと思われる。送電線の導体落下や線間短絡もかなりの件数報告されているが、これはつぎのタンク液面の sloshing 現象に近いものと思われる。このような共振現象の正確な解析は応答計算を行なうことによってのみ可能であり、静的震度法では求めることはできない。

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

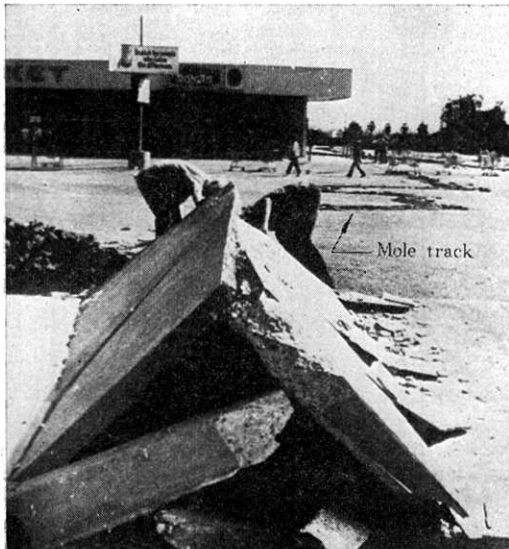


写真 1 基盤にある断層によって地層が圧縮され、舗装コンクリートが盛り上がった。背後のアスファルトにも Mole track を生じている  
(東京都の好意による、UPI 撮影)

### (2) スロッシング現象による被害

地震時における共振現象は 2~10 Hz の加速度波が卓越する領域で生ずるもののほかに周期 2~8 sec 程度の変位波が卓越する領域で生ずるものがある。この現象はタンクの液面の動揺すなわち sloshing という現象となることが多い。新潟地震では、地層の流動化に伴う現象あるいは表面波現象のようにいわれたが、実際はそうではなく、どの地震でもまたどのような地層でもみられる現象であると考えられる。ただ卓越周期は地震のマグニチュードにかなり影響をうけるのではないかと思われる。今回は約 70 km 離れた地点でも被害があり、現象そのものはさらに離れた地点で報告されている。対象系の周期はおよそ 4.5 sec 前後に限られており、これは埋立地、砂丘上、砂岩上のいずれであっても変わらない。この解析は変位波形によるか、精度の高い加速度波形による応答解析でないとは不可能である。従来の加速度データでは、変位波がよほど大振幅のときを除いて、読取誤差によるノイズ成分およそ周期 2 sec の解析が限度である。

### (3) 地変による被害

今回の地震の地変は断層によるものにほぼ限定されていたようである。したがって非常に局地的であって、帯状に地表に現われている。いわゆるモルトトラック状の圧縮帯として舗装面などにみられるこの現象(写真 1)は、地下埋設部に非常に大きな力を与えている。16" 径のガス管に加わった軸圧縮力は数百 ton のオーダーであると推定される。しかもきわめて局所的で、その前後では逆に引張力になっていたところで管を破断させてい

る。曲げ(剪断)力として働いたところも地表に現われた横ずれなどからみて当然であったはずであるが、地下埋設物の被害例としては報告されていない。ただ電線管とマンホール壁の接続部の破損をみると、このような力が働いたと考えられるものもあった。

また断層の喰違いが直接地表に現われたところに送電鉄塔の脚があり、その 4 本の位置関係がずれて、部材に坐屈を生じたことなども報告されている。

この種の被害がわが国で発生する確率はきわめて低いとされている。とくに東京など沖積層など表面層の厚い、しかも活断層の存在が明らかでない地域ではそうである。しかし原子力発電所のように直接岩盤に基礎を置く構造物や山地に近いところでは、やはり重要な要素であると考えられる。

### 3. 危険物施設による災害面からの被害の概要

危険物施設から発生した火災その他にもとづく二次的災害は皆無であったといえる。

高度な文化を有する社会にとって、災害とは何かということとはなかなか難しい。たとえば、社会的影響力からいって、ダム の崩壊が危険物施設の被害に入るなら、Van Norman Dam の滑落による避難行動は、二次災害防止のためというよりは避難行動そのものがすでに災害ともいえる規模のものであった。San Fernando 地区のほぼ全域に発生した、かなり長期にわたる断水、約 2 カ月にわたる電話の不通なども、あるレベルに達した社会では災害といえるかもしれない。さらに今予想される Los Angeles 市(以下 L. A. と省略) 全域の電力不足とそれに伴う冷房の停止もまたその一つかもしれない。しかし、ここでは、もうすこし常識的な意味で災害という言葉を使うことにする。

#### (1) 災害発生の要因

今回の地震では、二次的災害の発生、拡大ははなはだすくなかった。したがって、発生要因の調査ではなく、非発生要因の調査、つまりなぜ無事であったかを考えることになる。何を一次、二次というかの定義はさて置き、一般家屋の倒潰がすくなく、そして発火した件数は 62 件といわれているが、住宅で全焼したのは 1 棟しか知られていない(L. A. 市域)。他の火災もまったく延焼していない。

このように発火~延焼がいずれもすくなかったことは、空間の余裕すなわち広さのたまものであるといつてよい。家屋内のゆとりは、炊事器具、暖房器具の大型化さらには家屋設備の一部となるような条件をつくり出している。また家具・戸棚類の整頓をうながし、一般に日本の家庭にくらべ、室内に装飾品以外のものが雑然と置かれていることがすくない。

そして屋外に出れば道路幅員の余裕だけでなく、歩道

から家屋前面までの距離の規制による空間さらに裏側にはかなりの庭がある。また、このような住宅地と商店街、これら居住地域と工業地域は明確に分離されている。L. A. 市域南部の地域で、地図の上では、製油所の敷地と民家が隣接してみえるところもあるが、現実にはプラントと数百フィートの余裕がある。また一般にスーパー・マーケットなどの周辺は駐車場として、非常に広い空間がとられている。

このような条件下では、地震動によって発生した一つの事象が災害へ、またその一次災害が二次災害たとえば火災の延焼へと発展する可能性は非常にすくない。ガスの爆発についてみても、この大部分は後述するように容器としての破裂であって着火に到ってはいないが、数個所のガスの燃焼地点においても延焼しておらず、被害は電柱 1 本といわれているほどである。

さらに L. A. 市域南部地域の製油所である程度の火災が発生したと仮定しても、その延焼の可能性はきわめてすくないと思える。1933 年の Long Beach 地震では製油所でかなりの火災があったといわれているが、民家への延焼は記録されていない<sup>2) (b)</sup>。

家庭内からの火災の発生状況は明らかでない点が多い。しかしながら、火点が火災にまで発展した例はごくすくなく、火災として報告されている大部分はマーケット、レストランその他非居住域からのものであった。地震発生時刻が早朝 6 時ちょうどで、まだ暗かったが数個所で聴いた結果によると意外に起きていた人は多い（面接で家庭の誰かが起きていたという回答率は 50% 以上）。しかしほとんどが炊事前であったようである。このことと木造家屋で完全に倒潰したものがほとんどないことが出火がすくない理由と考えられる。また、たとえかなり破損したにしても、新しい住宅街で家屋の様式が比較的似ており、正面左側が 2 階建てで階下が車庫、上が寝室、右側が平屋という構造であるため、台所のある平屋部分は倒潰を免れていることも発火のすくなかった一因であろうと思われる。

危険物の取り扱い是一般にかなり慎重であると思われる。公立学校などでの薬品の取り扱いについては今回は調査の余裕がなかった。しかし工場内などでの印象が、そのように感じさせる。直径 60 cm ぐらいの球形タンクを郊外の砂漠地区で見掛けた。これはガソリン給油所の自家用プロパンタンクであるが、わが国のものと異なり恒久的なものである。

これらのことを総合して考えてみると、二次災害の拡大の要因と思われる事項がほとんどすべての面でわが国における条件とは逆に働いているといえる。その多くはアメリカという土地の広さ、またそこでの生活様式にもとづくものであるが、一方では法的な面や保険制度さらには社会における責任観などが複雑にからみあっている

ことにも注意しなければならない。この地区でこの程度の地震であったなら、その時間がいつであろうと、この程度以上に危険物による二次災害が拡大することは、ほとんどあり得ないのではないと思われる。要するに二次的、三次的災害は、その土地と住民の属性によるものという感が強い。

#### (2) 危険物施設などの防災態勢

製油所施設・パイプライン・ガス施設などについて概観すると、ある程度の地震は予期して施設されているといえる。製油所・石油パイプラインは、その会社によってかなりの差があるとも思われるが、1933 年の Long Beach 地震の経験などもあって、ある程度耐震設計（強度的なものおよび機能的なものともに）が行なわれていた。今後も公害問題などとの関連でさらに現在より厳しくなる方向に進みつつある。

ガス施設は、天然ガスパイプライン・供給管関係ともに古い施設（1920 年代）が大きな被害を受けたことが強調されていたが、古かったことよりは比較的締った地層に、加えて激しい地変があったことの方が被害の原因となっていると思われる。ただ San Fernando 市域が古くから開けていた地域であるため、施設が古く、そこでの被害が多かったことは事実である。緊急遮断弁は、北方から入って来る天然ガスパイプラインに連結されている No. 85 と No. 115 のパイプライン (transmission main) に取り付けられている。これは流量を検出して動作する自動閉鎖機能を備えたものである。設置位置については確認できていないが、上流側の操作所と思われる。その他防災的観点からみた場合、とくに重点があると思われるものは見当らなかった。設計面からみると、この地域では従来から断層とそれに伴う地変にはかなり留意し、一般にあまり深く埋めず、岩盤に近いところでは衝撃緩和を考えて周辺に砂を入れるなど、わが国で軟弱地盤を気にするのと逆の傾向がみられる。なお共同溝のようなことについては、ほとんど考えられておらず、ガス、電力、水道は分離すべきだという考え方が強調されていた。

#### 4. 製油所・貯油施設など

これについて特筆すべきは、貯油タンクの sloshing 現象が非常に広い範囲でみられたことである。しかしながら、これによる発火の例は報告されていない。

耐震設計は一般に U. B. C. (Uniform Building Code) に準拠しているが、これは設計の検討のみならず現場の管理も Building Office によって行なわれている。

##### (1) 製油所の被害

L. A. 地区の製油所は El Segundo, Torrance, Wilmington などにあつて San Fernando に最も近い El Segundo でも 40 km ある。したがっていくつかのプラントについて調査したところでは被害はみあたらなかつ

た。

しかし、約30年前の1933年3月のLong Beach地震でこれらプラントは、若干の火災を伴う非常に大きな被害を受けている。Shell Oil Co. Dominguez 製油所について当時の報告<sup>2)</sup>を入手した。

また1952年のKern County地震についてもLPGプラントの被害、球形タンクの転倒などが報告<sup>3)</sup>されている。

(2) 製油所の耐震設計

前述したようにU.B.C.に準拠している。したがって、主要な塔などについては周期を求めている。このようにして得られた横力にもとづいて、転倒モーメントを算出し基礎の設計を行なっている。基礎の設計に際してはボーリングなどの先行調査も行なわれている。しかしながら塔頂間の相対変位の算出や、塔下部の殻に加わる局所的な応力の検討などは行なわれていない。

配管類については、熱応力に対する対策などからみて、基準(USAS B 31・3, ASTM)プラス経験といった考え方で処理されているものと判断された。熱応力については、経験が定式化されていると担当者は表現している。

なお許容応力を安全率4よりさらに切り詰めることは1965年以降特認の例がある。

(3) 貯油施設の被害

液面の共振現象 sloshing は非常に広範囲に見られ、タンクの事故はLong Beach地区(San Fernandoより60 km)、Oxnard地区(67 km)でも報告されている(図1)。これらは主として軽油もしくは水タンクであるため、浮屋根が回転もしくは沈んだとかライニングがはがれた程度でLong Beach地区の天井・側壁間の連結部の破損を除いては実質的な被害はすくない。

表1に、これらのうち寸法の明らかなものを挙げ、満量状態と仮定しての sloshing の周期を求めてみた。参考に載せた他の地震例と比べて明らかなことは sloshing の周期がほぼ4.5 sec 辺りに集中していることである。この他にも現象としてはかなりの個所で観られたようであるが、いずれも火災などには至らなかった。その一因は卓越周期に関連し、発生したタンクの寸法が限定されていたため原油タンクが無事だったからではないかと思われる。

なお、San O'nofre 原子力発電所(124 km)でも燃料冷却池の液面変動のアラーム信号が出たと報告されているが、その程度は明らかでない。

(4) 貯油施設の耐震設計

1933年の被害経験にもとづき、タンク内の補強方法を改善したことが聞かれた。大型のタンクであってもコン

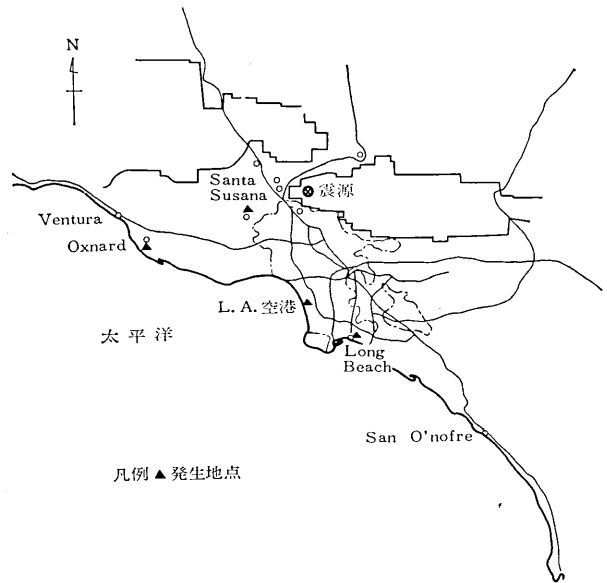


図1 スロッシング分布図

表1 貯槽スロッシング周期(被害のあったもの)

地 点	直 径	液面高	周 期 sec	備 考
Long Beach	50'	?	(4.3)	軟質沖積層
Oxnard	63'	40'	4.62	・・・(?), 軽油
Santa Susana	60'	80'	4.48	砂岩, 水
L. A. 空港*1	60'	30~35'	4.59~4.54	砂丘, 軽油
L. A. 空港*2	45'	30~35'	3.90~3.89	砂丘, 軽油
他の地震による例				
Bakersfield	100'	48'	5.96	沖積層(乾燥)(1952) 軟弱地, 原油 } (1964) 軟弱地
新 潟	51.5m	13.0m	8.79	
新 潟	44.6m	12.1m	8.00	

( ) 概算値

\*1 被害率 3/3

\*2 同 1/3

クリートのリング基礎が使われている点が日本と異なるように思えた。配管の処理もやはりかなり異なっており(図2)、弁をなるべくタンク側壁に近く取り付け、一方埋設個所までなるべく長くとり、中間を適当に支持するなどの工法がとられている(これらはともShell Oil Co. 系のものなので、この社の設計の特徴ともいえる)。

さらに地面下に入る点の角度が緩いのも特徴である。これらの個所についてはいずれも損傷を見出すことはできなかった。ただSoldad Canyonのパイプ橋(写真2)の埋設点に若干傷がみられたとの報告もあり、角度が緩くとる工法に利点があるかどうかはわからない。

防油堤については鉄筋コンクリートのかなり丈夫なものが設けられている。しかし製油所内でタンクのための敷地が広いところでは、土堤を築きその上部を道路として使用している例もみられた。

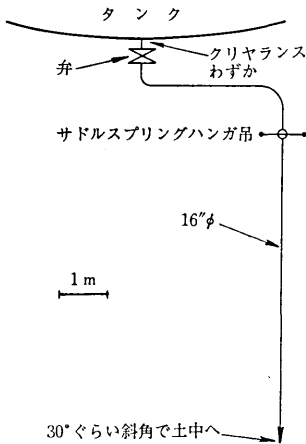


図 2 タンク周辺の配管

5. 石油パイプ・ライン

石油パイプ・ラインは現在伸展中であり, Southern Pacific 鉄道もパイプ・ライン網の建設計画を有している。

一方, 地元の反対運動がかなりあり, そのためもあって耐震設計の基準がかなり厳しいものとなっている。被害は数件あったとのことであるが, 直接調査することはできなかった。

(1) 石油パイプ・ラインの被害

大きな被害は報告されていない。現調査時点での Shell Oil Co. の技術者によると, 次のような損傷があったように聞いているとのことであったが, その後の手紙によると若干内容は変っている。当初の報告は2件で, 第1は Mobil Oil 社のパイプライン (1965年建設 14"φ, 1200 psi) が震源付近を通っているが, 100' ぐらいの間で蛇行した。偶然地震直前に運転を停止した。地震後, 水を入れてリークテストを行なったが損傷は発見できなかった。また Richfield 社の低圧管 (1930年代建設 8"φ, 約 200 psi) のねじ部が抜けて約 50 bbls (バレル) (8 kl) ほど流出した事故が Saugas 付近であったとのことであった。

次に続報の要約を記す。パイプラインの配置は図3に示すとおりである。以下, 図中の番号に対応させて説明する。

1 Mobil 社所有のものであるが, 最近は使われ

\*1 以上のうち 2, 3 および 4 は地下 48' のところに埋設され, 原油用である。

3 および 4 はいずれも地変のあった付近で蛇行した。この点については見ていないが (Shell Oil Co. の技術者), 2~3' のオーダで横ずれを起したものと思っている。

ていない。地震後も引き続き使用されず, 破損状況は不明である。

2 Richfield 社所有, 10" 管で 1925 年敷設。4 個所で切れた。切断箇所はいずれも地変のあったところに極めて近いアセチレン溶接部である。

3 Richfield 社所有, 14" 管で 1950 年敷設。電弧溶接管で破損, 洩れは発見されていない。地震の後遮断され, 圧力テストが行なわれた。その後, 通油を再開した。

4 Mobil 社所有, 1965 年に古い 10" 管から電弧溶接の 14" 管に交換された。地震直前に定期修理のため止めた。すぐに後で圧力テストをした結果, 2 個所のコロージョンによる洩れが見付かった。1 箇所は断層の近く他の 1 箇所は Newhall である\*1。

5 Shell Oil Co. 所有の 4" および 8"φ のガソリン用の地下埋設管である。最初 4" 管が 1930 年敷設され, その後最近 6 年間にいくつかの部分が 8" 管に取り換えられた。圧力記録計が洩れのあることを示さなかったので地震後も停止しなかった。

6 Getty Oil 社所有, これらのパイプ・ラインは一

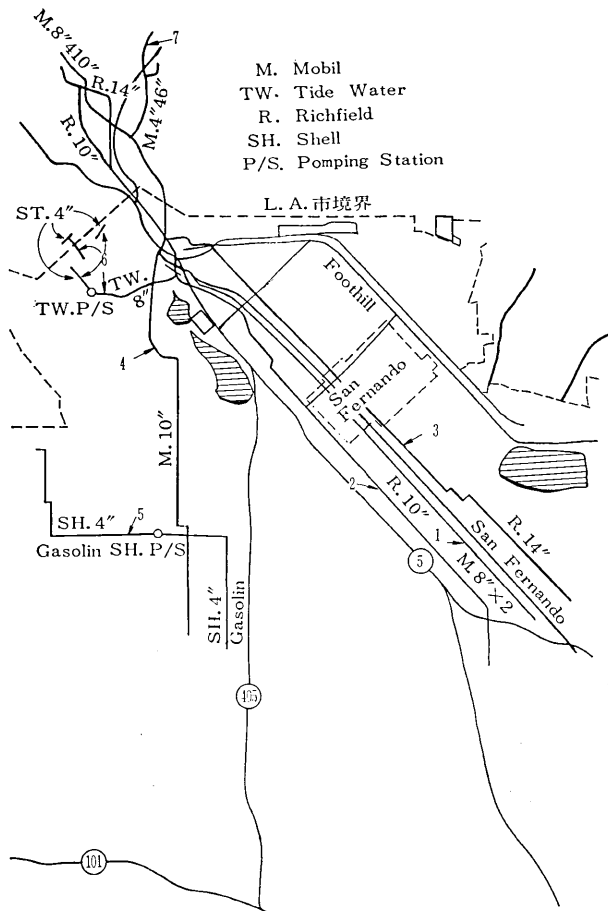


図 3 パイプライン概略図

部地下であるが産油地域では地上に敷設されている。平均して建設後 40 年を経過している。8" 径のものが Upper Van Norman Lake の上方でアセチレン溶接部から切れ 200 bbls (約 32 kl) の原油が流出した。しかし D. W&P 所有の 30" 径の水道管が同じ地点で切れたため、流出した原油は完全に洗い流されてしまった (図 3 では Tidewater 社所有となっている)\*1。

また同様な報告によると、油田地帯では震源から 3~4 mi 付近にあるものが被害を受けた。おおよそ 2"φ の配管 (ねじ結合) が路面下に直接埋設されており、上をアスファルトで舗装してある。この結合部の抜けたものが多数あるが、いずれも油田敷地内は油びたしの土地であるのでとくに問題はなかったとのことである。

なお Inglewood 付近の地震 (1970 年秋?) で小孔径のパイプラインの破損があり、約 20 分間油が流出した例があった。また Alaska 地震 (1964 年 3 月) では地滑り地帯を穿っていたパイプラインは潰滅的な被害を受けた。1960 年に建設された揚陸ターミナル (港が全天候型でないので貯油施設を有する) から空港に至るパイプラインは 3/4 mi にわたって完全に破損し、その大部分は残骸すら見出されない。望遠鏡のように軸力によって圧入された部分が発見されている (8-(3) 参照)。

(2) 石油パイプ・ラインの耐震設計

パイプ・ラインの耐震設計は、非常に神経質になりつつある。それは用地問題を含み、現地の反対が強くなりつつあるからで、それに対峙するためといった感がある (最近の例では全コストの 20% が補償費とのことである)。

Shell Oil Co. では約 1,200 mi のパイプラインを有する。ポンプ所 (P/S) が 10~40 mi (1930 年の基準では 25 mi) ごとに配置され、ここに遮断弁がある。この遮断弁はポンプの差圧により動作するようになっている (排出し側の圧力低下により閉鎖)。また電話回線による遠隔操作で閉じることができる。この弁の閉鎖時間は 10 sec で、その際弁の際で 450 psi のサージ圧を生ずる。

現在二つの P/S 間の流量差で弁を閉鎖するシステムおよび対震センサ (たとえば Teledyne Co. 製  $f_0 = 1$  sec,  $\zeta = 60\%$ ) の使用を考えている。

一般的な設計は AISC, 1968 年版による塑性設計が行なわれている。居住地区 (将来なることが予定されている地域も含む) はできる限り避けフリーウェの側道などを利用し、地下 48" を標準に埋設している (基準では 42" であるが他の埋設物との競合を避けるためやや深くとしている)。

\*1 Upper Van Norman Lake と 6 の Getty Oil 社の油田との間に小さな油を集める浅い池がある。いくらかの油が油田地帯にある油溜、タンク、その他小規模な油源から集まった。

表 2 Hayward 断層上の推定変形値と設計値 (4)

設計値種別	史上最大 Maximum Historic*1	最大発生可能 Maximum Probable	最大想定 Maximum Credible													
1 断層延長	30 mi	44 mi	110 mi													
2 マグニチュード M	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>													
3 断層水平変位 (西側北行)	3' **	2'	7'													
4 3 の水平変位 通減率 (%) と断層よりの距離	<table border="0"> <tr> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle;"> <math>\begin{cases} 3\% \\ 2\% \\ 1.5\% \\ 1\% \end{cases}</math> </td> <td>—</td> <td>—</td> <td>0~25' 区間</td> </tr> <tr> <td>0~10' 区間</td> <td>—</td> <td>25~95' 区間</td> </tr> <tr> <td>10~60' 区間</td> <td>0~35' 区間</td> <td>95~150' 区間</td> </tr> <tr> <td>60~110' 区間</td> <td>35~80' 区間</td> <td>150~200' 区間</td> </tr> </table>	$\begin{cases} 3\% \\ 2\% \\ 1.5\% \\ 1\% \end{cases}$	—	—	0~25' 区間	0~10' 区間	—	25~95' 区間	10~60' 区間	0~35' 区間	95~150' 区間	60~110' 区間	35~80' 区間	150~200' 区間		
$\begin{cases} 3\% \\ 2\% \\ 1.5\% \\ 1\% \end{cases}$	—		—	0~25' 区間												
	0~10' 区間		—	25~95' 区間												
	10~60' 区間		0~35' 区間	95~150' 区間												
	60~110' 区間	35~80' 区間	150~200' 区間													
5 断層縦変位	1'	3/4'	1 1/2'													
6 地震継続時間	35 sec	30 sec	50 sec													
7 水平加速度*3,4	.....	0.25G*3,4	0.40G													
8 垂直加速度	.....	0.17G	0.26G													

\*1 1868 年地震  
 \*2 1868 年地震についての San Francisco 地震委員会報告中の数字  
 \*3 1966 年 Parkfield 地震において断層から 250' の地点で 0.50 G が観測された。Hayward 断層でもこのようなことは明らかに起き得るので、一つのパルスとして 0.50 G を最大設計値としてとるべきである。  
 \*4 最大発生可能タイプおよび Parkfield タイプの地震の加速度スペクトルは区別して扱うべきである

最近の例として Hayward 地区のものがある。これは有名な Hayward 断層を横切っている外径 10.75" 肉厚 0.365" の製品輸送用のものである。設計はこの断層に対する処理に重点が置かれているが、その設計の基準は表 2 にみられるようになりかなり厳しいものとなっている。原子力発電所の耐震設計基準に似て、Maximum Credible と Maximum Probable を設け、前者の段階で Maximum Historic な地震を十分上回るようにしている。さらに断層の変形量を定めているほか、地震の継続時間を定めていることおよび上下動を水平動と独立に規定していることなども注目される。

この断層による強制変形 (その前後の緩和距離も考慮して) により種々の条件 (たとえば直埋あるいは径 24" ~60" の導管内敷設で 1 点固定 (アンカ) その他) でどのような応力が発生するかを求めている。直埋の場合では、軸方向で 85,300 psi (弾性換算) の応力値が得られている。これに対し一端のみ固定して導管内に入れた場合は 14,780 psi となって許容応力  $0.75 \times 0.72 \times 52,000 = 28,000$  psi 以下であるのでよいとしている。なお、この数字には地震加速度による値は含まれていない。

これと同時に断層でパイプラインが破断した際の措置として、図 4 のように、断層の前後に遮断弁を入れ、さらに断層側にノッチを入れて弁体を保護することをはじめ採用することにした。この考え方は特筆するに値する。

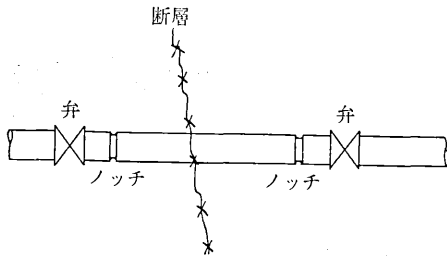


図4 断層部弁保護

その他設計上の留意すべき点としては、重油用パイプ・ラインは加熱するのでガソリンなど引火性の強いラインとの関係に注意すること、プロパン、プロピレンなどの配管は事故が多いので注意を要する、不連続点の処理などが挙げられた。

空港の給油施設については、L. A. 空港については表1の燃料貯槽以外には被害がなかった。San Fernando 地区などの小空港でもとくに聞いていないとのことであった。Burbank の Lockheed 空港について Lockheed Aircraft Co. で聞いたところによるとこれら小空港では Tank Rory からの直接給油のようである。L. A. 空港の施設はわが国におけるものはほとんど同様とのことであった。また San Fernando 空港に近接した補給業者の建物より出火したと報告されているが、給油施設に直接関係したものではない。

6. ガソリン・スタンド

見掛けの被害は激震地域（たとえば San Fernando の Glenoaks Blvd. 沿い）にあっても見られず、聞いたところでも被害はなかった。しかし被害が皆無ということではないようで、一部では地下配管より若干の洩れがあったとの噂であったが、実際に確認するには至らなかった。なお、天井懸垂形のスタンドは市域一帯では見られなかった。

7. 施設内危険物

これについては、あまり調査されていない。報道写真で壁面に陳列してあったペイントの缶類が転落して内容物が流出しているのは見られたが、発火例は報告されていない。

Canoga Park 所在の型鋼・ブロック壁2階建の事務棟兼実験棟で、主として建物端部に近い2階の実験室で機の転倒等があり、微量の RI 物質など薬品ビンの転落があった。また机上の計測器類の落下破損や、高压ガスビンを実験機などにきいている細い配管 (1/4"φ ぐらい) の束に細い鎖 (やはり幅 1/4" ぐらい) で固定してあったものが、転倒したことなども報告されている。これら

の被害総額は約 \$ 15,000 とのことなどでたいしたものではない。

なお、この建物自体の被害はブロック壁の一部にわずかに見える剪断タイプの亀裂、シャッタの開閉の不調などあり、またこの地区としては一部商店の窓の破損があった程度で地動にて 100~150 gal と思われる。

引出しの多い机で地震動により引出しがほとんど全部出て、その重量で傾斜して机上の器具ビンなどが落下した部屋があった床面、キャスト付の背の高い計測器が無事だったことを見ると、2階面での振動はかなり単純な水平動であったのではないかと思われる。いずれにしても同一建物内でも、場所によりかなり被害程度が異なることは注意しなければならない。

Burbank でも実験室の被害が若干あった (口絵20)。また工場では金属の電解による表面処理槽の電液の流出があった。工場内の床面に I ビームの枕を置いて、そのうえに配置された矩形の槽で概略寸法は幅 1.5 m × 長 15 m × 深 2 m 程度であり7槽中1槽から約 7 m ほど長手方向に電液が飛散した跡が見られた。長手方向の寸法が sloshing を生じた石油貯槽の寸法と似ている点、注目

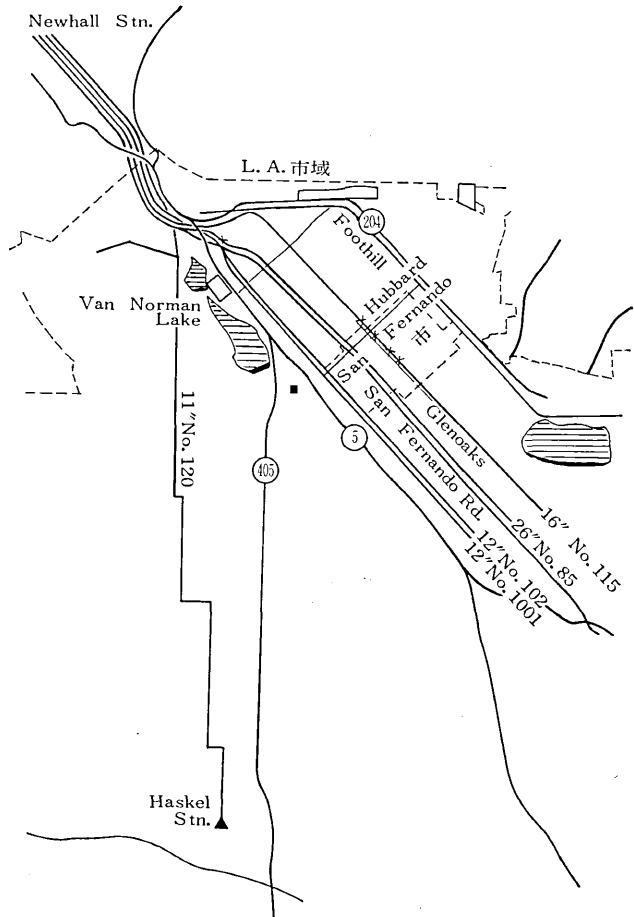


図5 ガスパイプライン図

に値する。工場としては床上の槽と、槽上面が一致するように地上に沈めたものとの耐震に対する適不適を考えているようであったが、著者の意見としては、主として槽の寸法によるものと思われる。この工場では工作機械基礎などにも若干の被害があったが後述する。

### 8. ガス 施 設

San Fernando 地区の北西から南東に走る道路下に埋設された導管に激しい被害があった。これは想定断層線にはほぼ直交するものである。主として軸力による破損がきっかけとなった高圧ガスの噴出による爆裂孔の発生がその代表的な被害である。いわゆるガス爆発は地震後ある時間を置いて発生した家屋内での火災を除いてはみられなかったとのことである。

#### (1) ガス施設の状況

会社は Southern California Gas Co. (SOCAL) と Pacific Lighting Service Co. (PLS) とに分れている。後者が前者に天然ガスを供給し前者が需要家へ分配しているのであるが、両社の運営はかなり一体となっていて、たとえば、パイプラインの所属関係などについても現時点では明確でない。図5が地震を受けた区域のパイプライン (transmission main—主として PLS 所属と思われる) の分布である。L. A. 市のガスはすべて油田地帯から供給される天然ガスであり、主に東方の Arizona, Newmexico 州方面から送られている。San Fernando 地区に対する分は比較的近くの油田地帯からのものが多く、Newhall Stn. から Newhall Pass を経て、Sylmar

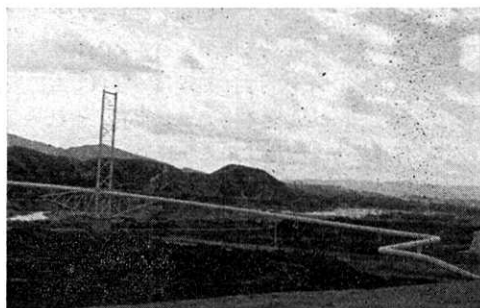


写真 2 Soldad Canyon にあるガス橋。被害はなかった。管末の屈曲に注意。

地区に入ってきている。4本のパイプラインは、Upper Van Norman Lake の北方で、San Fernando 市域を経て南東方面へ向う3本と、南下して Van Nuys 方面へ向う1本にわかれている。南東へ向うものうち No. 115 という 16" 管および No. 85 という 26" 管が主として被害を受けている。

図6に概念的に示すように市外では高圧で送られてきたガスは市外域で約 1/2 に減圧され供給幹線 (distribution trunk) を経て、さらに何段かに減圧され、最後に各需要端のメータ脇で減圧され供給される。この間にガス・ホルダはなく、地下に埋設された操作弁、減圧弁と順次配置するのが標準設計となっているようである。市外域との境界にある遠隔操作の減圧弁前後の流量は計測されてテレメータでデータは送られている。これ以後の供給側の減圧弁は各2段になっていて、後段の減圧弁 (前段より高く調整されている) の動作により前段の弁の不良をチェックする。その他7日巻の自記圧力計で供給状態を測っている。

この地区の2本の本管には自動遮断弁があり、過大流量で動作するようになっていたとのことである。この2本が前述の No. 85 と No. 115 であるのか他の供給本管 (distribution main) であるのかよくわからない。しかしながら、No. 115 の圧力が 150 psi というのであるので、それからみると No. 115 は供給本管のレベルものと考えられ、この2本がそれに該当するとしてもおかしくない。

市外域は 30" また 34" 径のパイプ・ラインである。これについては独立の基準で規制されているとのことであるが詳細は不明である。非居住域では 72%  $\sigma$ 、居住域では 33%  $\sigma$  が許容応力となっている。この居住地というのは敷地時だけではなく、4年に1回程度周辺人口の調査を行ない、その結果によりパイプラインの品質寸法の改善が要求されることもあるとのことであった。

河を横断する場合はガス橋によるものと、地中のものとある。写真2はガス橋の1例であって、Santa Clara 川を横断している。吊橋形式が使われ、側線により空力振動防止している。設計は主として風に対して行なわ

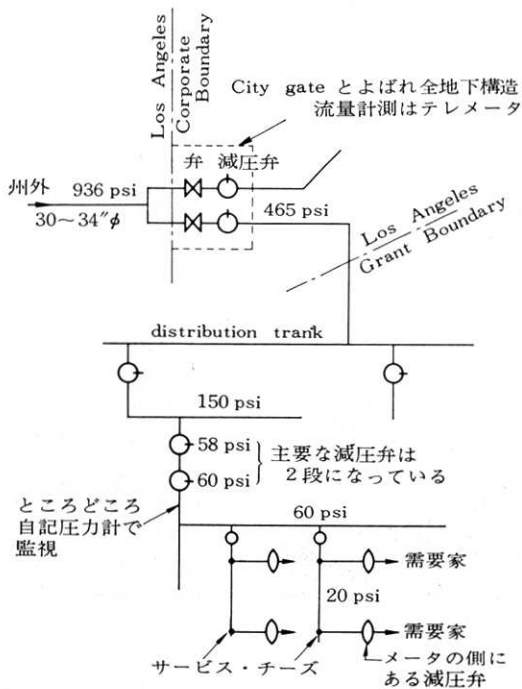


図6 ガス配管概念図



れており、調査したところでは耐震設計がどのレベルで行なわれたかは不明である。パイプ・ラインのアンカ・ポイントに対する処理は、写真でもわかるように、十分な撓性を与えるよう考えられている。この種のガス橋は3基ありおおむね1956年頃の建設である。また地中管は34" 径を河川底部分で22" 径2本に分割するように処理されている。これは浮力減少のためとのことである。

供給管 (distribution line) であっても、おおむね鋼管を使用しているが、古いものでは铸铁弁・可撓铸铁管などのような材料の部品もある。また一部ではプラスチック (4" 径以下の地中部, Dupon-ALDAA-ポリエチレン管) が使われているが、今回地震で被害を受けた区域では使われていない。いわゆるパイプライン (transmission main) は道路中央に、供給管 (60 psi 以下) の戦後のものについては、park way (車道の歩道寄り) 下に埋設されている。一部は歩道下もある。さらに本管から分れた3/4" 管は歩道を横切ったところの敷地内で、数戸へ分配されるようになっていることが多い。この3/4" 管が車道を横切ることもある。

Conduit (洞道) は鉄道を横断する場合もしくは電線の恐れのあるところ以外は使用しておらず共同溝の考え方はない。建物の下を通すことは政府のレベル (OPS)\*<sup>1</sup> では禁じられていないが、市の規制で最近距離は16~18" が限度となっている。

フリーウェーを横断する個所の二重管にする。平行には原則として敷設しない。ただ状況に応じフリーウェーの道路橋を利用する。道路橋両側に設けられた小孔径の洞道を使用する。これは電話、電力、水道なども同様であるが、同一の洞道内に他の管などと一諸に入れることはしていない。

家屋内の配管はすべて鋼管で、ねじ結合となっている。家屋外で立上って、減圧弁、止め弁、メータを経て屋内に入っている。屋内の器具とは直接連結されており、とくに止め弁がないのが通常である。

(2) ガス施設の被害

ガス管の漏洩事故は約500個であった。San Fernando 市域とその北部のほぼ3×4miの地域である。市中心付近に合併により入手した古い系統があり、その関係の古い配管しかも铸铁弁の損傷が著しかった。なお、カラーアップの際铸铁管内に新しい鋼管を通した部分もあ

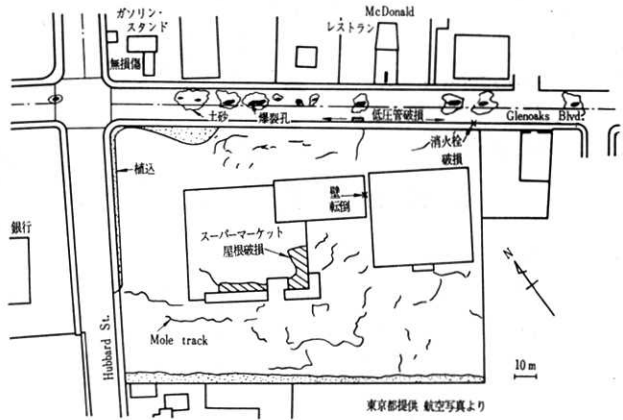


図7 San Fernando Glenoaks Blvd. ガスパイプライン被害状況。

るということである。SOCAL では道路における事故は自社の責任と考えるが、建物内の火災が原因となったものは直接ガスが原因となってSOCALに責任あるものがあるとは考えていない。

被害区域でSan Fernandoは周辺3地区(SOCALとしての地区分け)で17,000戸が含まれており、これらに対しては地震後供給が止った。その原因は上述のような供給管関係の破損の他に、いわゆるパイプライン (transmission main) の破損による点もあった。

もっとも顕著な被害はNo. 115の16"管にみられる。この管はGlenoaks Blvd.の道路中心線や北側に埋設されており、San Fernando市のやや北寄を北西から南東にむけ縦貫している。そのうちHubbard St.とOrang Grove Ave.との間がもっとも激しく破損している。この管は1926年製の鋼管で肉厚は1/4"であり36"の深さに直接埋められ、建設年代が古いことではっきりしないが、とくに周辺に砂などの充填材を置いては



写真3 San Fernando Rd. ガスパイプの破損による爆裂孔に落ちた自動車 (Southern California Gas Co. 発行 Gas News より)

\*1 関係規定  
 OPS-Dot. Sect. 192 連邦政府により制定  
 GO 112-B カルフォルニア州政府により制定  
 GO 112-C 同上 準備中  
 B 31.8 USAS コード  
 内容は未調査

いないものとのことである。

管の長さは約 20' と思われ溶接されている。溶接法は電弧溶接ではなく、settle welding\*1 であるとのことであった。

上述の地点前後 2 mi ほどで、35 個所の損傷があり、道路面に爆裂孔を生じている。航空写真からその概略を読みとると、図 7 のようになる。かなり大きなものもみられるが、撮影時期が明らかでないで、あるいは修理のため掘削した部分があるかもしれない。なお、この図で矢印で示した部分の孔は掘削したものである可能性が強い。Cal. Tech. における航空写真説明は爆裂孔となっており、さらに SOCAL での説明もそうになっているが、これらの孔のうちいずれがガス圧によるものか確認することは難しい。ただこのような爆裂孔を生ずる可能性は、Newhall における自動車が爆裂孔に転落した写真(写真 5) からみても、舗装のはがれた状況からみても知られる。No. 85, 26" 管は 1930 年の敷設で電弧溶接(チルドリング付)および settle welding が両方使われている。経路は Newhall Pass, Golden State Freeway の下を通った後 No. 115 とわかれて、San Fernando Road に沿って、San Fernando 市へ向っている。航空写真などを総合すると Juvenile Hall 付近の 1/2 mi 程度の地域で被害を受けている。7 個所が No. 115 とほぼ同様に破損したとのことであるが詳細は不明である。以上いずれも着火によるガス爆発ではなく、高压ガスとしての事故であることに留意すべきである。特集 3 写真 8 (p. 26) から判断すると鋼管の亀裂は一部分にとどまっている。しかし引張り力を受けたところでは完全に破断しているが、破壊が脆性的なものかどうか判断しがたい。ただ SOCAL の担当者は脆性に原因を求めている。これらのうち 3 個所に着火し、あるところではその火焰で電柱があぶられた。

図 7 の矢印で示した孔の部分には歩道寄りから電線管、ガス管、下水管さらに水道管が通っている。ガス管は鋼管にモルタル・コーティングを施したもので、径は約 10~12" ある。切断部は 1~1 1/2" 開いており一端はややめくれ、一部に傷がある。他端はゴムのパッキングが見えている。接続部周辺にリング状のものがあつたと思われるが、取り外されておられない。電線管は修理済みで詳細不明である。下水管も 1" 程度の開きがあるので、ガス管も軸力によりメカニカル・シールが破損したものであると思われる。なおこのような破損は各継手について連続して生じたようである。一方 No. 102, No. 1001 の 2 本の鋼管をはじめ 1946 年以降敷設の電弧溶接管については、被害が報告されていないが、これらは強度的な理由か、あるいは通過地域に大きな地変がなかったからか

\*1 settle welding について正確なことが不明、熱影響が広く、溶接部が脆いとのことであった。

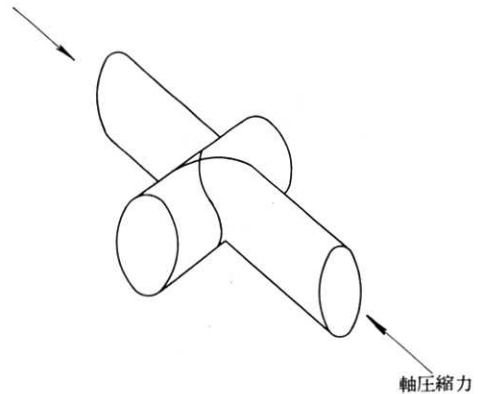


図 8 チーズの圧挫モデル



写真 4 分岐部(チーズ)が圧挫したガス管(8"φ) (電々公社杉田氏の好意による)。

明らかでない。このような軸力は、道路の舗装や歩道のコンクリートが山形に盛り上がる現象と関係があるものと思える。以下管に加わった軸力を推定し、二三の検討を試みる。

### (3) ガス管に加わった力

No. 115 の鋼管の寸法は、半径  $R=8"$ 、肉厚  $t=1/4"$  である。材質は明らかでないが SS 41 程度で降伏点  $\sigma_y=29 \text{ kg/mm}^2$ 、引張り強さ  $\sigma_t=41 \text{ kg/mm}^2$  とする。内圧を  $10 \text{ kg/cm}^2$  とすると軸力は  $13,000 \text{ kg}$  で断面  $A=8,100 \text{ mm}^2$  に加わる引張応力は  $1.6 \text{ kg/mm}^2$  となる。この応力はかなり低く、鋼管が何等かの理由で脆くなっていて、そこに地震力でクラックが発生したとしても、これだけで脆性破壊に進展する可能性はほとんどない。したがって地震力そのものが主な破壊力であると考えられる。しかし爆裂孔の発生は、ガス圧によるものである。

つぎに軸力による破断が単純な引張り応力場で生じたとするなら、そのときの軸力は、 $P=330 \text{ ton}$  程度となり、非常に大きなものとなる。特集 3 写真 8 でみるような圧挫が発生し、その隣接の溶接継手では破断しているとなると、一区間で土より受ける軸力が前述の値程度になると推定される。これを管表面の剪断応力に換算する

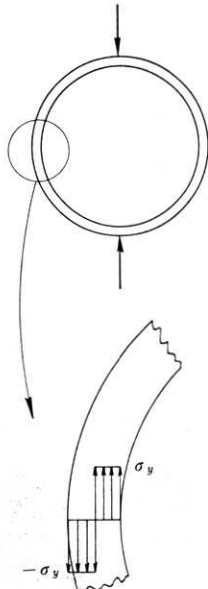


図9 チーズの破壊時の応力分布.

と約  $4 \text{ kg/cm}^2$  となる。一方圧挫を起す軸方向荷重については、現在すぐに推定する手段はない。

またこの 16" 管あるいは 8" 管 T 継手 (チーズ) が圧潰したともいわれている (写真7)。計算のため図8のようなモデルを考えた。この中間の円筒部が図9下のような応力状態になって、全断面が完全に降伏したとき圧潰すると仮定すると、その際の軸方向荷重はわずかに約 3.2 ton となる。この場合、下部の底については考えていないがおおざっぱにいて軸力による単純圧縮、引張りには強くとも、壁体の曲げを生ずる場合にはかなり強度が低下することがわかる。弁・チーズなどが弱い理由はここにある。

### 9. 電力施設

L. A. 市 Department of Water & Power (D. W&P) 所属の Pacific Intertie Converter Stn. の被害がいちばん顕著であるが、その他 Sylmar Switching Stn., Olive Switching Stn. でも被害があった。Pacific Intertie Converter Stn. は Oregon 州 Celilo からの 800 kV-DC を 338 kV-AC に変換するためのもので公称 1,440 MW である。GE 社とスウェーデンの ASEA 社製で、一部は Southern California Edison Co. (So. Cal. Edison) の財産である。運転開始は 1970 年 5 月で、耐震設計は 0.2 G でなされたという。しかしながら、フィルタ用リアクタ (縦横比 0.23) の転倒 (口絵21)、気中遮断器の幹部切損 (60% 以上の破損率 (口絵22))、整流器室の碍子の切断による分配器の落下、フィルタ用コンデンサ・バンクの倒潰 (口絵23) など各機種それぞれ全数に近く破損したものが目立った。詳細は略すが、建築関係の



写真5 母線ベドスタル碍子の縦裂. 手前が固定側 (Pacific Intertie Converter Stn. 交流側)

加速度分布から考えても、0.4 G 程度の水平地震力は受け、はるかに設計地震力を超えていたものと思われる。ただ破損率の高かった気中遮断器は幹部の碍子が、かなり肉厚の薄い碍管であり、細かく割れていることからみて設計にも問題があるものと考えられる。径が大きく計算では曲げ剛性が高く出るので、実際の破壊機構と設計計算の際の破壊様式の推定に差があったと考えられる。このようにことはベドスタル碍子の切損をみても、曲げモーメント最大の点からではなく、むしろ幹部が縦に割れている (写真5) 点にもある。碍子材の安全率だけを増して、計算モデルは通常の構造物と同じという現在の設計方式を再検討する必要があるのではないかという感じ

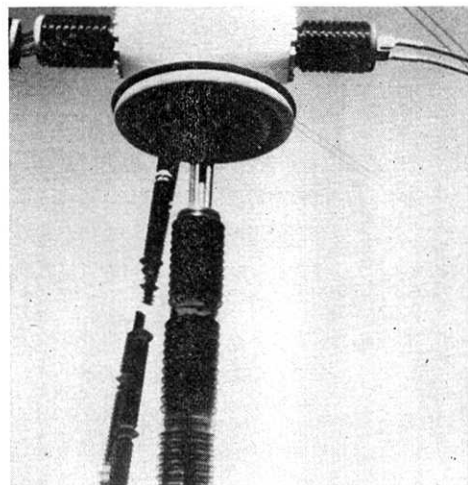


写真6 Vincent Substation (開閉所) の 500 kV 気中遮断器の破損状況 (ステーが切れ円筒碍子の上段が割れている。高さ約 4 m のものである) (Southern California Edison Co. の好意による)

がある。

トランスなどはアンカボルトのないものも多く、横ずれを生じたりしている (口絵26)。しかし転倒したりアクタンスはアンカボルトがあったが引抜けたりしたものもある (口絵25)。

So. Cal. Edison の Vincent Substation における 500 kV の気中遮断器 1 基および 275 kV の SF<sub>6</sub> 遮断器 3 基の破損についても、設計モデルと破壊現象との間に差異があったのではないと思われる。500 kV 気中遮断器 (写真6) は碍子材によるステーをとっていたにも拘わらず、その切断から主碍子上端側の破損となっている。ここでは SF<sub>6</sub> ガスの喪失による遮断不能から事故が拡大したとのことである。この施設は San Fernando 地区から北東へ 39 km の地点にあり、周辺にはほとんどの被害がみられず、地震加速度は 100~150 gal 程度ではなかったかと推測される。

他の Switching Stn. の被害も遮断器、避雷器などの切損、主トランスの転倒などで概して同様なものである。また送電線関係で 220 kV の架空線に導体落下の被害があった。市内配電線には腕木の切損、トランスの落下も目だったとのことである。So. Cal. Edison 側でトランスの落下が皆無といていたことは、設備方式にあるのか地域的なものか不明であった。

地下ケーブルは、D. W&P の関係で 34.5 kV のものが約 10 本切れた。浸水により事故が拡大している地点もあった。被害額は \$ 300,000 と見込まれている。Pacific Intertie Conv. Stn. 構内のケーブル・マンホールなども周辺の地変に比べ、管との接続部などの破損がはなはだしい。

火力発電所にも軽い被害が報告されている。しかしながら、配管系については報告されていない。直接調査を行なわなかったので、発電所の機能としては問題はないにしてもより強い地震に際しての被害を予測させるような性質の損傷の有無についてはわかっていない。Olive View Hospital 構内の機械室では、建屋 (一階建) には外見上あまり被害はないにも拘わらず、配管を支持したハンガの脱落が目だった。建屋内に入れなかったので詳細は不明であるが管径 12~16" の鋼管の水平部を天井・柱に吊った長さ数 ft のハンガが梁への取付部から外れ、逆に配管からぶら下っていた。その他配管に取り付けられた検出器 (恐らく温度) の切損や、鋼管の落下などもみられた。その他、Mandalay P/S (215 MW×2) で給水ポンプ 1 台に損傷があったことが報告されている。また Valley P/S (San Fernando 地区, 125 MW×4) は、タービン振動のアラーム (約 8 mil) があり停止したとのことである。この P/S ではボイラドラムの水面の異常もあったともいわれているが詳細は不明である。

表 3 San O'nofre 原子力発電所加速度分布  
(単位 G)

◎加速度計 (磁気テープ記録)				
シールドコンクリート				
	GL-10'	NW 0.035,	NE —,	UD —
蒸気発生器頂部		NW 0.22,	NE 0.31,	UD 0.1
◎Seismoscope				
格納容器頂部		NS 0.08,	NW ~0,	UD 0.03
◎強 震 計		Hor. Max 0.02,		UD ~0

## 10. 原子力関係施設

San O'nofre 原子力発電所 (PWR 450 MW, So. Cal. Edison 管理) は運転中であつた。150 km ほど離れたこの地区での地震加速度は強震計によると 0.03~0.04 G であつた。地震発生とともにデータレコーダが始動し、そのアラームが点灯した。また燃料冷却池の水面の異常のアラームも点灯した。この二つのアラームにより、規定のチェックを行なつた。たとえば coolant leak rate test, control rod excise や emergency diesel engine start などである。データレコーダの始動用の感震器は二つのうち一つのみ働いており、それは結果表 3 のような加速度記録が得られた。加圧器にもピックアップは取り付けられていたが、接続が不完全で記録されなかった。また seismoscope が 6 個所に取り付けられてあつたが、表 3 に示した格納容器頂部のものを除いて、次の定期検査までデータは入手できない。機器系の応答倍率が 10 ちかいことがわかつたことだけでも一つの成果である。燃料冷却池のアラームの設定は ±4" であるが平均水位が明らかでないで、水面動揺の振幅は不明である。しかしこのような離れた地点でも sloshing 現象が見られたことは重要である。原子力発電所としての被害は無かつた。

San Fernando の西南方の Canoga Park に核燃料工場などがある。実験室で \$ 15,000 ほどの被害があつた程度で生産施設は無事であつた。ここから西へさらに 12 km ほど離れた Santa Susana にあるナトリウム冷却炉関係の施設でもほとんど被害はなかつた。感震器が 1 台作動したことにより 0.13 G 以上とは推定されているが、水タンクの内貼りが sloshing で若干はがれたほかは異常なく、近くにある Satan V ロケットのテストスタンドその他の施設とともに無傷である。ただこの地区の Na ループ用の蒸気発生器 (11 MWth) を Canoga Park で製作中であつたのが支持台 (スクリュで心出しをしていた) から転落しかけたことが、問題として取り上げられていた。生産工程上の仕掛品については、新潟地震以来関心のあるところである。

## 11. 工場施設

上述の例のほか、南東 15 km ほどの Burbank にお

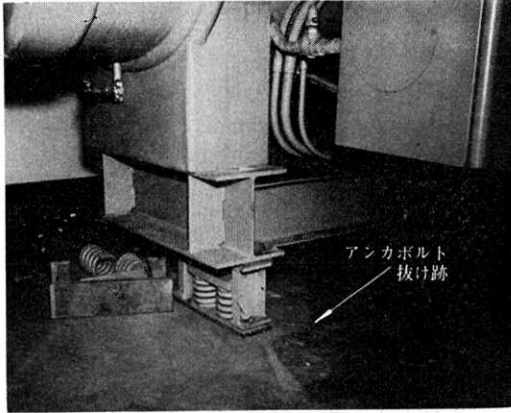


写真7 Burbank 地区工場内の冷房用熱交換器アンカ部の破損 (Lockheed Aircraft International の好意による)。

ける航空機工場でも若干の被害が見られた。8,000 ton のプレスが8°ほど回転したのも、8スピンドルのミーリングが8/1,000ほど傾斜したなど、0.2Gで基礎の設計はされていたにも拘わらず若干の被害をみている。また、冷房用の横形の熱交換器のアンカボルト(写真7)や防振ばねの脱出、急速焼入炉の扉の開閉不良、天井クレーンの異常などもあり、地震加速度に比べ被害が大きいようである。口絵27, 28などもこの工場におけるものである。

7で触れたようにアルミニウム合金などの表面処理槽の電解液があふれて、床面上に拡がった。これも sloshing 現象の一つである。この表面処理には毒性の強い電解液は使われていないと思われるが、わが国のメッキ電解液のことを考えると、メッキ槽の設計法について考慮する余地があることを示している。

Saugas 付近のガラス工場で炉が破損しガラス生地が流出した(写真8)。原料ホップの傾斜などともかなりの損害といわれている。溶解炉のみならずボイラも壁体をレンガで築いたものは、一般の建築物同様弱い。わが国でも新潟地震でこの種の被害があり、1933年のLong Beach地震の報告<sup>2, (b))</sup>にもそのことが記されている。

## 12. 今後への提言

非建築物としての産業施設は、その振動特性が多様である。したがって、静的震度法を基礎とする建築基準法を準用することは多くの問題がある。とくに建築基準法は人命の保護という観点から構成されているので、機能の異なる産業施設に適用した場合、裕度といった面からみると当を得ていないことが多い。

地震前には明らかに基準に合格していた構造物に被害が多かったこと、また基準施行以前の施設に多くの被害があったことなども、基準の運用を根本的な考え直さなければならないことを示している。

最後にいくつかの項目を列記する。



写真8 Saugas におけるガラス工場の炉の破損によるガラス生地の流出 (東京都提供, UPI 撮影)。

- a) 製油所・化学プラント関係
  - i) 地震計の設置(塔槽など機器関係を含む)
  - ii) 設計条件によっては、地震後の強度余裕チェックの義務化
  - iii) 耐震設計とプロセス設計の一体化
  - iv) 事故時のプロセス系などからの放出エネルギー量の制限
  - v) 防災(消火ほか)施設の耐震性強化と保護措置
  - vi) 静的震度による設計法の再検討
- b) 石油パイプライン
  - i) 緊急遮断弁配置設計
  - ii) 地変に対する強度計算法と対策の確立
- c) タンク類
  - i) 長周期波の観測網の設置
  - ii) 長周期波に対する応答計算・設計
  - iii) sloshing 現象による破損防止対策
  - iv) 横ずれ現象とくに上下動との関連の解明
- d) ガス施設
  - i) 地変による地下埋設管に加わる荷重の推定と強度的対策
  - ii) 自動遮断弁など緊急時の配管ブロック化の方法と手段の検討
  - iii) 配管破損時の許容放出ガス量(エネルギー量)の推定
  - iv) 地下空間内の爆発防止法
  - v) 高圧ガス配管のガス圧による破損拡大防止
  - vi) 微量ガス漏洩検知の機動化、高速化
  - vii) ガス配管破断とその発生個所の早期検出法の開発(とくに高圧ガス管)
- e) 家屋内
  - i) 暖房器具などの固定化、設備化
  - ii) 危険物量の制限強化と戸棚などの設置方法についての規制
  - iii) 病原菌の取り扱い法の検討
- f) 工場など施設内
  - i) 緊急処理態勢の確立

- ii) 毒物等の拡散防止
- iii) 吊下げタイプの給油施設 (ガソリンスタンド, 鉄道車両給油スタンド) の安全性の検討
- g) その他
  - i) 老朽施設の有効な改善策の検討
  - ii) 耐震設計のシステム工学的検討
  - iii) 静的震度法の限界の明確化と, それに代わる設計法の確立
  - iv) 地震予知 (警報) と防災態勢の関連の検討
  - v) 電力施設とくに碍子強度設計の再検討
  - vi) 職域内における震度判定法と処置法の教育
  - vii) 危険物施設の住宅地域商業地域からの隔離
  - viii) 地震時の情報保護とくに電子計算機関係の耐震性の強化

(1971年6月11日受理)

参 考 文 献

- 1) 東京都: 1971年2月9日サンフェルナンド地震調査報告書 (昭46. 4) 97 pp.
- 2) (a) Shell Oil Co.: General Report on Damage Resulting from the Earthquake of March 10, 1933 (1933. 4) 20 pp. (非公刊); (b) R. L. Wiegel ed.: *Earthquake Engineering*, Prentice Hall (1933) p.183.
- 3) (a) K. L. Steinbrugge & D. F. Moran: *Bull of Seis. Soc. of Amer.*, 2nd pt., Vol. 44, No. 2B (1954. 4) p. 201; (b) 文献 (2・b) の p. 192
- 4) Woodward-Clyde & Assoc.: Shell Oil Bay Area Products Pipeline Detailed Engineering Geologic Evaluation, Diamond Canyon Realignment (1970. 9) 34 pp.
- 5) Bechtel Inc.: Stress Calculations for Proposed New Alignment at the Hayward Fault Zone Shell Products Pipeline (1970. 9)



次 号 予 告 (9月号)

解 説

熱量測定による固体表面の研究 .....	提 高 橋 和 男 浩
活動等高線 (AC) についての基礎研究 (II) .....	原 渡 林 辺 司 一 昭 智 瑛 芦 川 入 之 内

速 報

フエプリー・ペロ干涉計の見かけのフィネスと真のフィネスについて .....	藤 井 陽 一 之 滝 本 英
円柱部に作用する流体力の実験的研究 第1報 .....	小 林 敏 雄 佐 賀 徹 雄
円柱群に作用する流体力の実験的研究 第2報 .....	小 林 敏 雄 恒 森 佐 賀 徹 雄
STATISTICAL METHOD OF RESPONSE ANALYSIS FOR THE MODEL SUBJECTED TO TWO-RANDOM EXCITAIONS HAVING CERTAIN TIME-LAG INTERVAL .....	Kohei SUZUKI
円筒殻の非線型振動に関する研究 .....	柴 田 耕 一 也 川 股 重
表面脱炭材の平面曲げ疲労における疲れき裂の進行 .....	北 川 英 夫 明 三 角 正
ON THE INITIAL DROPLETS FORMATION DURING THE PROCESS OF DROPWISE CONDENSATION (I) .....	Ichiro TANASAWA Shin-ichi NAGATA
A STUDY ON IDENTIFICATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MACHINE TOOL BY MEANS OF MICRO TREMOR .....	Hisayoshi SATO Takashi AKUTSU

研 究 室 紹 介

北川研究室 .....	北 川 英 夫
-------------	---------