

特集 3

UDC 550.346(794): 627.8+
: 625.78

ダム、発電所、地下埋設管の被害

Earthquake Damages to Dam, Power-house and Underground Pipe

久保 慶三 郎*

Keizaburo KUBO

1. ダムの震害

(1) 概 況

California 地方は雨量が少ない(年雨量 300~500mm 程度)ので, Los Angeles 近郊には昔から数多くの水道用ダムが造られている。雨量が少ないので密生した森林がなく, そのために一度雨が降ると, 川に雨が急速に集まるために洪水のごとくに流れ, 時に水害に見舞われることが起こっている。そのために洪水調節用のダムが水道用の貯水池と同様非常に数多く建造されている。

今回の地震によって最も大きな被害を受けたダムは, Los Angeles 市北西に位置する Lower および Upper の San Fernando Dam であって, 被害総額の約 95% を占めており他のダムは軽微な被害を受けたにすぎない。

震央から南西に約 25 km 離れた位置(図 1 参照)に新

旧 3 ケのダムがあり, 共にアースダムであるが, 水締め工法により 50 年以前に建設された上記の 2 つのダムが大被害をうけ近年転圧工法によって築造された By-Pass Dam のダム本体はクラックもなく表面工のアスファルトに圧縮ならびに引張の亀裂が発生した程度で使用上何らの支障を生じていなかったのが特徴であろう。その他 1040 gal の記録で有名になった Pacoima ダムがある。このダムは高さ 120 m の定角型コンクリートアーチダムで, 実質的な被害を受けていないが, 地震後の測量によって, アーチの弦長が約 2.5 cm 短くなり, 左右岸で 3.8 cm の高低差が生じたと報告されている。

(2) Lower San Fernando Dam

このダムは 1912 年に着工し, 1915 年に使用開始されたダムで, 高さ 40 m, ダム頂長 664 m, ダム体積 250 万 m³, 貯水容量 2,500 万 m³ を有し, その標準断面は図 2

のごとくであって, 水締め工法によって高さ 29 m まで築造され, のちに何回かにわけて乾燥砂を転圧してかさ上げたダムである。その後, 図のごとく上流面にコンクリートフェイスング下流面にドレーン(図 2 中の黒い台形)と, 1940 年には転圧工法による断面補強を行なっている(図 2 の斜線部分)。ダムの基礎は, 河成堆積層で, 第 3 紀の岩盤までの深さは約 10 m である。破壊の状況は写真 1 のごとく, 下流法面から円弧面に沿って貯水池側に迂り, ほぼダム全長にわたって崩壊している。崩壊時の水位は図 2 に示すごとく満水位より 7.5 m 下っていたために, ダムは決壊をまぬがれた。万一決潰すれば, アースダムの土と貯水地の水とが一しょになった泥流となり, 下流の人家を襲い, 多くの人命と財産を失わせたであろう。水締めダムは全体的な安定性が必ずしもよくないので, このダムは 1940 年度に補強工事を行ったし, また常時に水位を満水位より下げて使用していたようで, この配慮が決壊をまぬがれた一因ともなっている。新聞の伝えるところによれば, 12 平方マイル内の住民

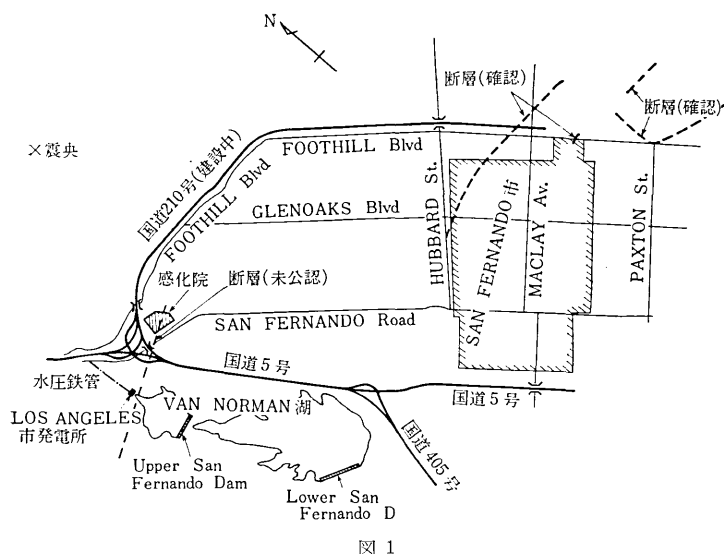


図 1

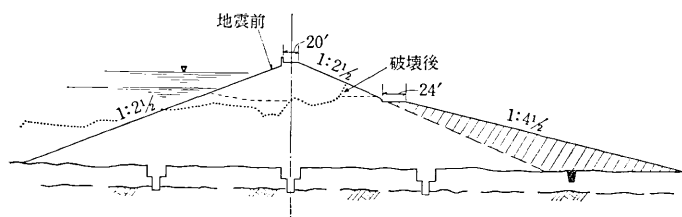


図 2 Lower San Fernando Dam 断面図

* 東京大学生産技術研究所 第 5 部



写真1 Lower Dam 破壊の状況

を退去させる一方、幸にして震害をまぬがれた取水パイプ (72" と 78" の 2 管) を用いて水道局は早急に水位を低下させるのに全力を尽し、また水面に近い部分には土のうを積むなどして余震による決潰に備えた。この 2 つの処置はアースダムの場合に最も必要な地震後の対策である。1 カ月後に筆者らが現地を訪れたときは写真のように、防火用水のみを残している程度で、ほとんど水はなかった。ダム付近の地震記録は、地震計自体が水没したので計測されていないが、土木研究所の推定によると、最大加速度が垂直で 290 gal、水平で 480 gal と発表されておる。ロス市水道局技術者の言によれば、この地区のアースダムの設計水平震度は 0.15g を見込んでいたことであつたが、工法上の問題と大きい水平ならびに垂直の加速度が原因して大被害が発生したと思われる。

今回の Lower Dam の破壊の状況が、現在フィルタイプダムの設計に慣用的に用いられている方法で想定する円弧すべりにかなり類似しているが、アメリカの学者の中で円弧すべりでなく、ダム底部の砂が流動化し、抵抗力が激減したためにダムがすべり出したと説明する人もいる。

Lower San Fernando Dam の破壊の解析のためには入力地震波の時間一振幅曲線が与えられなければならない。しかしダム地点での 2 月 9 日の記録はないので、地震波形を推定しなければならないが、これには現在のところ、いくつかの問題が残っている。前述の土木研究所の最大の加速度値をそのまま静的計算の加速度値とするのでは過大すぎることは明らかである。関西電力の横田氏は水平震度を 0.25, 0.4, 0.35, 0.4 として、円弧にそつて、上流側にダムがすべつたとしたときの安定、不安定を静的計算で検討した。その結果によると、土の粘



写真2 Upper Dam 上流面の破壊

着力が 2kg/cm^2 位あれば 0.4 の震度でも安定であるが 1kg/cm^2 の場合は震度 0.3 以上で不安定になるようである。ダムのすべり破壊には土の内部摩擦角と粘着力とが重要な要素になっていることは過去の地震の破壊、非破壊のダムについての調査から結論されてることで、このダムがすべり破壊を起こしている事実と横田氏の計算とを比べてみると、ダムの堤体材料の粘着力は 1.5kg/cm^2 位で、内部摩擦角は $20\sim 30^\circ$ 位ではないかと想像される。

(3) Upper San Fernando Dam

当ダムは 1919 年に着工、1921 年から使用されている。ダムの高さは 25~12m、ダム頂長 350m、ダム体積 44 万 m^3 、貯水量 230 万 m^3 、Lower ダムと同じく水締め工法により築造されたダムであつて、標準断面は図 3 のごとくで、上流面はコンクリートフェイシングを持つ。地震時は、当ダムは満水状態であつた。被害の内容は Lower Dam とは逆に、上流から下流にかけて、潜在的なびりが生じたもので、その結果最大の変位で、天端が 0.9m 沈下し、下流側へ 1.5m 移動した。上流面のコンクリートフェイシングの破壊状況は写真 2 のごとく、鋸歯状の破断面を現していた。幸い下流面の断面が大きかつた故か最終的なびりは発生せずに済んだが、堤体内を横断する放水管はダム上流部分において引張り破壊、下流部分において圧縮破壊しており、地震時にはかなり、危険な状態までびりが潜在的に進行したことを物語っている。取水塔への橋はダムが下流側に動いたために橋が取水塔からはずれ落橋している。取水塔が傾斜したか否かは、潜水夫を用いて調査中であつた。一部の drainage system からは平常時の 2 倍の漏水が続き、ダム下流部分もかなり被害を受けたことを示していた。このダムは幸いすべり破壊はまぬがれたので上流面ですべ

りを生じた区間を取去り、代りに小段をつけるよう設計をしなおし、現在その修理工事を進めており、低い水位で貯水池を運用している。修理工事をまて満水でダムを運用したい様子であつた。

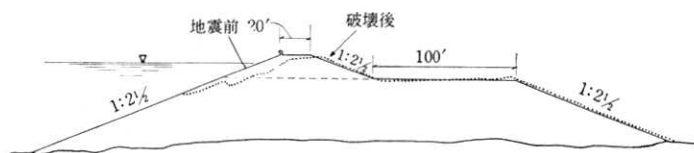


図3 Upper San Fernando Dam 断面図

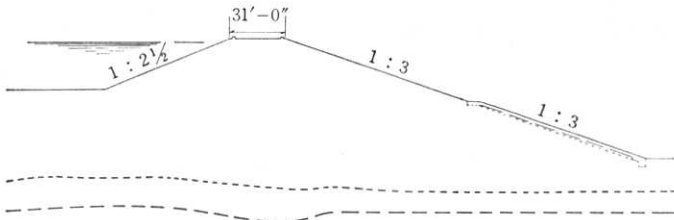


図4 Bypass Dam 断面図

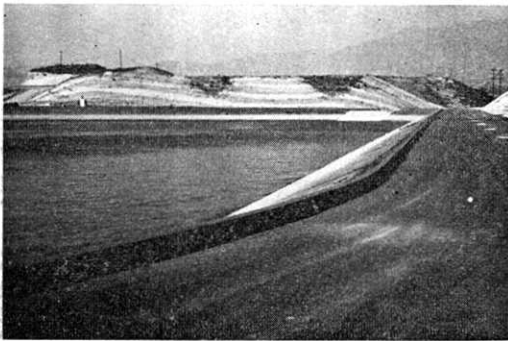


写真3 Bypass Dam

(4) Van Norman Bypass Dam

このダムは前記2ダムに隣接して築造された新しいダムであって、1968年に着工、1970年より使用されている。

基礎は岩盤まで掘削し、十分な地質調査と土質試験を行なって、近代的な転圧工法によって建設されたものである。ダムの平均高さは10m程度で前述の被害を受けた2つのダムに比して低いダムである。貯水容量は35万 m^3 、断面は図4のごとく上下流面、天端共アスファルトフェイシングを行なっている。地震時には貯水池は満水で余水路に溢流していた状況であった。

ダムの受けた被害はアスファルトフェイシングの1部にオーバーラップした部分と開口亀裂を生じた部分があるのみでダム本体は構造的な被害がない模様であった。

フェイシングが被害を受けた部分でピットを掘り、アスファルトの下の状況を調査し、その部分においては、ダムに異常のないことを確認しているし、漏水もほとんどないようであった。ダム本体は健全でアスファルトフェイシングのみに引張および圧縮の破損が生じた。この破損はアスファルトのヤング係数が堤体材料のそれより大きく、のびが小さい、すなわち地震時の堤体の振幅が大きく、アスファルトの弾性変形が追従できなかったことによると考えられる。

3つのダムを比較すると、第1に断面形、施工方法、材料などにそれぞれ相違はあるがダムの高さが高いと、被害も大きくなること、第2に堤体の材料がダムの耐震強度に及ぼす影響の大きいことが結論される。わが国の河川堤防、盛土の震害の調査結果からも同じ結論がえら

れている。今回の地震のように大きい加速度が構造物に作用し、その結果破壊したり、無被害であったりすると、この現象の説明には静的計算では不完全であって、動的解析の必要性が再認識させられた。

2. 発電所、水圧鉄管の震害

(1) 発電所

Los Angeles市の発電所は3MWのタービン基をそなえた小規模の発電所で1920年代に建設されたものである。北側での水道管の破裂によって溢れた水により土砂が流出され、発電所内は浸水、砂の堆積が見られた。発電所は50cm沈下した。図5によってもわかるように、発電所の背後ならびに側方で水道管は数多くの個所で破壊した。建物自身の損害は軽微で、上側の窓の部分の柱に細いせん断亀裂がみられる程度であった。案内した技師の説明によると、本発電所は建物全体をもち上げて、再使用することになるとのことであった。



図5

(2) 水圧鉄管

水圧鉄管は鉚接管で、径は約2.4m、長さ約500mで両端と中間の3か所で固定台に支えられ、固定台間には単に管が載っているだけの中間支持台(間隔は10m位)がある。この管は、ほぼ南北に走り、南端の固定台を過ぎたところで分岐され、2台のたて形タービン(総出力6MW)に入る。北端の固定台と中間の固定台の間にはスリーブ形の伸縮継手がある。中間の固定台(鉄筋コンクリート製のコンクリートはかなりの力をうけて破壊し、固定台としての機能をほとんど失っているようであった。伸縮継手のペンキの色の変わっている部分の長さは27cmあり(写真4)、このずれは温度変化によるものでなく地震によって発生したものであると推定される。

中間支持台のところで、管の移動によってペンキを塗っていない部分が見え、この部分は地震前の支持台のあった位置を意味している。これを利用すると、その点に

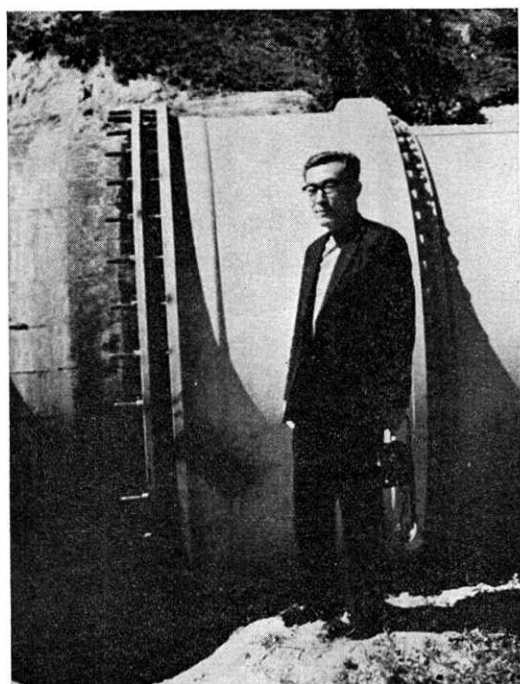


写真 4 継手ののび

おける管のずれがわかる。これによると、伸縮継手より北側の管は相対的に北側に、南側の部分は南側に移動したことが明らかで、しかもその相対変位量を加えると約 27cm となったので、上述のごとくこの変位は地震によるものと推定した。

この水圧鉄管は未公認の断層（図 1 参照）よりは北側に位置している。未公認という意味は発電所付近と感化院とを結ぶ地変線（地割れ）は断層であるとする学者と単なる地割れだとする学者とがあるからである。ガス管の被害例（後述参照）をみると断層付近では圧縮変形をうけ、それより北側では最大 60mm の口があき、断層から離れるに従って開口の幅が狭くなるが、震害は 2～300m にわたっていた。この地変線を断層だと考え、ガス管の例のようにそれより北側では地表面がのびたと仮定すると、27cm の伸縮継手ののびがうまく説明され

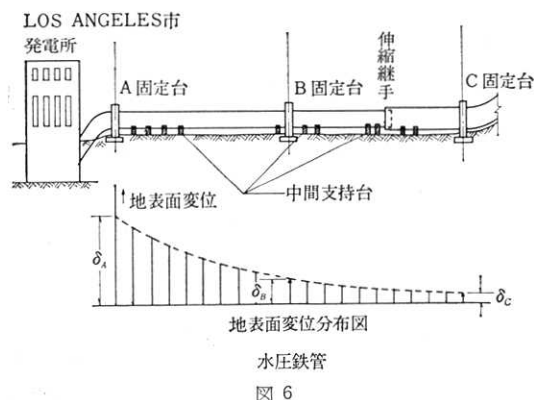


図 6

る。次にパイプと中間支持台との相対変位について考える。A, B, C（図 6 参照）の変位 $\delta_A, \delta_B, \delta_C$ とすると、ガス管の破壊から想像して $\delta_A > \delta_B > \delta_C$ となる。水圧鉄管に伸縮継手があると、引張応力が 0 に等しいと考えられるから、B 点より北側に i 番目の中間支持台（伸縮継手より南側）の相対変位は地盤の変位が直線分布するとして $\delta_B - \{\delta_B - (\delta_B - \delta_C)i/n\}$ また C 点より南側 j 番目の中間支持台の相対変位は同様の仮定から $\{\delta_C + j(\delta_B - \delta_C)/n\} - \delta_C$ となる。ここに n は中間支持台の総数である。この式は両方とも正の値、すなわち伸縮継手の北側のパイプは北に、南側の部分は南に鉄管と中間支持台とが相対変位したことを意味している。このことは実際の現象と一致している。

さらにコンクリートのクラック、剥落が見られた中間の固定台の破壊とそのすぐ北側に起った鉄管の挫屈もつぎのような解釈が可能になる、この水圧鉄管は B 固定台の北側には継手があるが、南側には継手がなかったので BC 間の軸方向張力 (T_{BC}) は無視できるほどであったと思われるが、AB 間には $(\delta_A - \delta_B)EA/l_{AB}$ の張力 (T_{AB}) が鉄管に生じたことになる。しかしこの張力はガス管の引張破壊から考えるとかなり大きい値に達していたであろう。B 固定台には $(T_{AB} - T_{BC})$ が作用していたことになり、この力は B 固定台を破壊（写真 5 参照）するに十分であったのではないかと推定されたわけである。つぎに鉄管の挫屈について考える。B 固定台には $(T_{AB} - T_{BC})$ なる張力と、これによるモーメントが作用し、これと水圧による円周方向の引張応力とによって、鉄管に局部挫屈が発生したと推定される。



写真 5 固定台の破壊

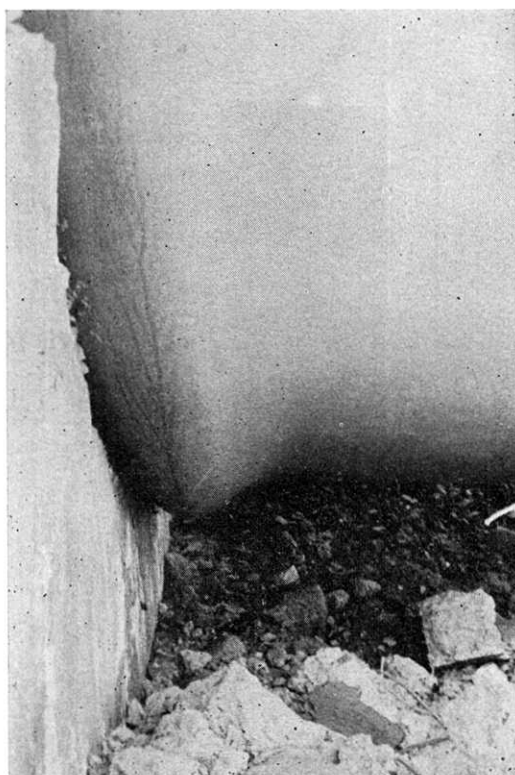


写真 6 鉄管の局部挫屈

以上をまとめると、本水圧鉄管の継手におけるのび、 B 固定台の破壊、鉄管の挫屈などは、断層およびその北側の地表面ののびを仮定することにより矛盾なく説明することが可能になる。もし AB 間にも伸縮継手が存在していたら固定台に働く ($T_{AB}-T_{BC}$) の力も小さいものになり、鉄管の局部挫屈も発生しなかったのではないかと思われる。

3. 地下埋設管の震害

(1) オイルパイプ

今回の San Fernando 地震の調査の際に、訪問したオイルパイプの会社は Mobil と Getty であった。Mobil Oil 社関係のオイルパイプの被害はなかった模様で、Getty Oil 社の $\phi 150\text{mm}$ のパイプは Upper Van Norman 湖の西側で切れ、約 5cm 離れ、約 23cm 横にずれたが鉛直方向のくいちがいは僅少であった、この切断箇所はちょうど前にしばしば問題にした地変線（あるいは断層）上にあり、地割れおよびオイルパイプのずれ方は Sylmar の断層の特徴とまったく同じである。

Getty Oil 社は切れたパイプを互に引寄せて、開口部を溶接して修理した模様である。Mobil、および Getty の両社ともパイプはすべて鋼管で、のびの悪い鋳鉄管は耐震的でないと考え使用していない。1933 年の Long Beach 地震では、パイプ ($\phi 250\text{mm}$) の食違が最大 130cm あったという。アメリカの石油会社の技師たちには

パイプラインの断層対策、ならびに橋梁への添架方法が最重要問題のようで、現在のところは、バルブの適正配置（5哩に 1カ所、場所によっては区間をもう少し短くする）、パイプの支持方法（岩盤地帯でパイプのまわりにゆる詰めめの砂をおく）などを耐震対策とし、震度を用いる設計方法はオイルパイプについては用いていない。オイルパイプと発火の問題は、過去にこのような例は 1件もなかったということで彼等は問題にはしていなかった。

(2) 水道管

水道管の被害地域も、他の構造物と同じく、San Fernando 市周辺（図 1 参照）に限られている。今回の地震により配水管（径は $2''\sim 99''$ ）の 708 カ所で漏水があった。また配水管から分岐して各家庭に至る供給小管では 828 カ所が震害を受けた。その他消火栓が 49 コ、ゲートバルブが 39 カ所、空気栓が 32 カ所が地震により破損した。配水管は鋼管または鋳鉄管であるが、大部分は鋳鉄管であって、わが国における過去の震害例と同じくこの種の管は継手（鉛コーキングかフランジ継手が主として使用されている）が強度上の弱点になっており、その上管自身も延性にとほしく、震害を受け易かったと想像される。配水管の埋め込み深さは、舗装の下で約 90cm 、舗装のない道路の下で約 120cm を標準としておりこの標準深さは車輪荷重を対象として決めたので、舗装のある場合は荷重が分布されることを考えて浅くなっているであろう。

水道管の震害の有無の調査、修理は時間がかかるためとりあえず直径約 20cm の鋼管を道路わきに設置し、給水した。わが国と異なる点は応急管に家庭用分岐管（小口径）を溶接で取付け、蛇口からビニールホースで一軒づつに給水していた。わが国の場合だと、人家が密集しているので、このようなサービスは困難で、共用栓を応急配水管に取付けている場合が多い、地震発生後約 1 カ月経っていたので、修理がほとんど終了していた。応急配管も散見したに過ぎなかった。

水道管は被害件数も多く、震害の分布と断層との関係を調査するには今回の地震は最も好条件であった。ロスアンゼルス市水道電力局の好意により、Sylmar 地区の水道管の被害個所の分布図をもらうことができた。被害の集中した個所は、Sylmar 地区の断層（明瞭に現われている）の付近、感化院の東側地区、Los Angeles 市発電所の北および西、Upper Van Norman 湖西側地区で、他の区域では被害が散発した程度である。とくに Sylmar 地区の断層の近くでは給水本管がメチャメチャに破壊された。また感化院東側、発電所付近に被害が多く発生したことからすると、地変線と認められているものがあるいは断層ではないかと想像したくなる。

下水道本管はプレキャストのコンクリート管で、写真 7 に見られるように、モルタル製の目地が破損し、コン

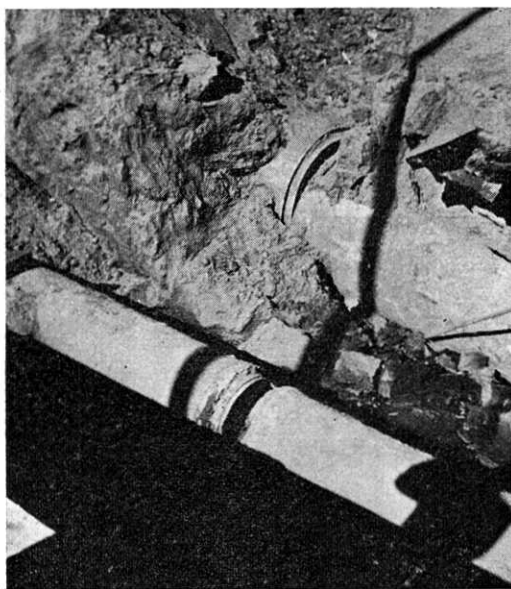
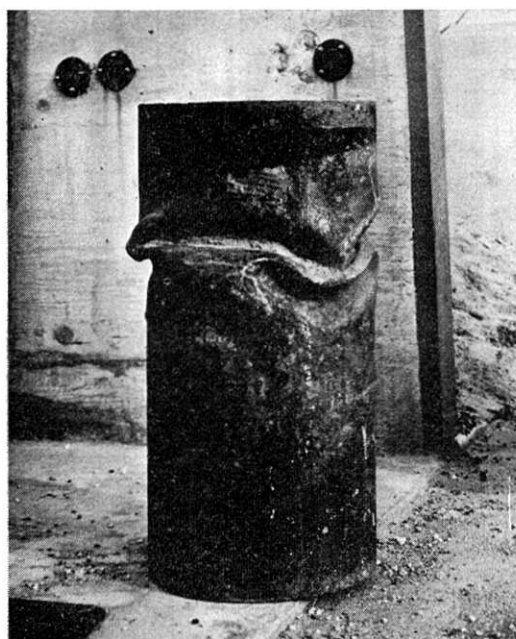


写真7 下水道管の開口

クリート管は口が開いた状態になっていた。この写真はガス管の最も被害の大きかった Glenoaks Blvd に埋設された管で Maclay St. との交叉点の南側を掘起していたので、撮影したものである。掘起した部分のどの目地も1~4cm 位口が開いていた。モルタル製の目地では引張強度が0に等しいので、管は地盤と同じ変位を示していると思われる。下水道施設が破壊したので、水洗便所が使用不能になり町のあちこちに、応急の可搬式便所が設置されていたのは、まだ下水道の修理が完了していないのではないと思われる。昭和39年の新潟地震の際に水洗便所が使用不能になって、市民が大変困ったことを思い出し、可搬式便所の方式はよいアイデアだと思った。

(3) ガス 管

震害のあった地域には、2社のガス管が設置されている。1つは Southern California Gas Co. であり、他の1つは Pacific Lighting Service Co. である。前者は $\phi 40\text{cm}$ で Glenoaks Blvd に埋設され、San Fernando 市を縦貫している。後者の管は $\phi 25\text{cm}$ で San Fernando Road (図1参照) に沿って南下している。この管の所管会社の技師には直接会って説明をきくことができなかったが南カリフォルニアガス会社の技師の説明だと、 $\phi 65\text{cm}$ の管は電弧溶接管で震害は軽微だったとのことである。しかしこの管は、感化院 (Jevenile Hall) 付近と San Fernando 市北端付近とで2カ所の断層を横断しているのに震害がなかったという説明は不思議に思われる。東京都の調査団の報告「航空写真などを総合すると感化院付近の1/2 哩程度で、7カ所がほぼ $\phi 16''$ と同様に破壊したとのことであるが詳細は不明である」によってもいかなる個所にいかなる被害があったかは明確ではない。以上のような調査結果しかわかっていないのでここでは



(a)



(b)

写真8 パイプの圧潰

Southern California Gas Co. の $\phi 40\text{cm}$ の管について述べることにする。

この管が断層を横切る地点付近の2カ所で、写真8に示すような圧縮挫屈的な破損が発生した。その他の破損はすべて管の引張破壊であって、その数は58に達した。管の引張破壊は規則正しく、ほぼ6m 間隔に発生し開口の幅は最大6.5mm で、この幅は圧潰部近くで大きく、その後次第に減少してやがてヘヤクラック程度のもとなっていた。この管は1920年頃敷設されたもので、接合にはガス溶接を使用しているので、溶接部の強度が母材に比して小さく、そのため約6m 間隔すなわち溶接部で口が開いたものと考えられる。破壊した管から出たガスに引火して、3カ所で火災が起ったが、その中の最大の被害は電柱1本が燃えた話であった。

Southern Pacific Gas Co. 関係の主な震害は、Foothill Blvd, Golden State Fwy, Paxton St. に囲まれた地

域に限られ、約 500 カ所の漏洩事故があった。この地域のガス供給世帯数は約 15,000 で、地震発生後ただちにこの地域へのガスのバルブ管を閉め、12ブロックに区分し、各ブロックごとに急いでガス漏れを調査し、11日の夕刻までには 30% を供給可能にした。Glenoaks Blvd を通っている供給本管の供給源側に自動遮断弁が設置され、過大流量で作動するようになっていたので、ガスの折損によるガス噴出にともない自動的に弁が閉じた。この設備によりガス漏洩による 2 次災害を僅少に示えたものと思われる。主たるガスの被害は、上述の区域に発生したが、この地域外で 2, 3 の破損が起こっている。San Gabriel 山裾の断層によるものと高速道路のインターチェンジ (5 号と 210 号) と感化院とを結ぶ線上の地震によるものとである。Lopez および Kagel 谷の $\phi 7.5$ cm のガスの破損は前者に属し、断層なりにガス管が変形し、Z 字形 (写真 9 参照) になっていた。Van Norman 湖西方の地区の $\phi 15$ cm ガスの破損は後者に属している。この地方は上水道管も高い被害率を示している地域である。なお、ガス本管はすべて延性に富む鋼管を使用し、铸铁管はまったく使用していないのは、前述のオイルパイプと同じで、幾度かのカリフォルニア南部を襲った地震から得た教訓かもしれないと考えた。

Glenoaks Blvd の $\phi 400$ mm の管と直交して、Hubbard St. に埋設されているガス管は無被害であった。ガス会社の技師は、この管は電弧溶接のために無被害だったといっていたが、実際はこの管は断層を横切っていないことの方が無被害の主たる原因ではないかと考える。Hubbard St. では配水管の被害率も小さかった。

ガス会社の標準の埋設深さは 90 cm であるが、深く埋設すれば、断層付近で管が周囲の地盤とまったく同じに変位させられる結果になるので、断層対策からすれば、管をなるべく自由に動けるようにしておいた方がよく、できることなら (実際は実施困難であるが) 地上配管が最もよいというのがガス会社の技師の意見であった。また小径口の管のガスを止めるのに、管を両側からはさみつぶす方法 (必要な場合は加熱する) を用いている例をみせてもらった。これだとバルブ以外の任意の所でもガスを止めることができ便利だと感じた。

(4) 管路の耐震設計上の注意点

橋梁、建物などの地震時挙動は慣性力と地盤動とによって、主として支配されている点は管の挙動との基本的な相違点である。管路の耐震設計を考える場合にまずこの相違点が非常に重要である。橋梁、建物などは水平抵抗が大切であり、また慣性力が重要であるので、設計用の地震荷重としては自重×震度を横力として作用させる考え方を採用している。管路では果して地盤の加速度は重要であろうか、管路の地震時挙動あるいは耐震工学的弱点から考えると、管路の耐震設計には加速度は不必要

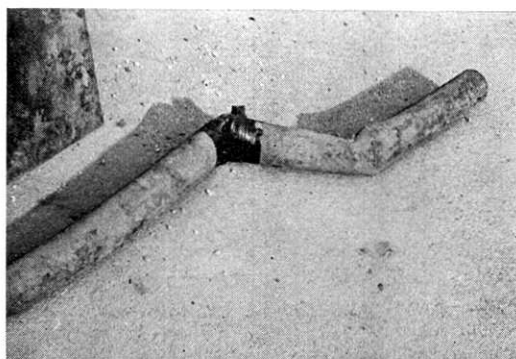


写真 9 パイプの曲げ破損

であり、相対変位が支配的要素であるべきで、この点はアメリカの石油会社の技術陣のオイルパイプの設計に対する考え方は正しいものと思っている。しかも軸方向の相対変位による管の引張、圧縮に最も注意すべきで、管の曲げ変形はそれほど重要でないことは過去の地震が教えてくれているし、理論的にも軸方向の変形の方が重要であることがわかっている。

4. あとがき

今回の San Fernando 地震は近代都市施設に被害が発生したこと、約 250 の強震記録がとれ、構造物への入力加速度が異常に大きいことがわかったなどで、われわれに数多くの教訓を与えてくれた。現在動的解析を行なう場合に、大きい入力加速度をとると構造物の応答変位、応答応力などが許容量をはるかに超過するので、どちらかというとなめめの入力加速度で解析したがる傾向があった。この点からも強震記録は今後の研究問題を提供したことになるし、強震観測体制を世界的に確立して、入力問題の解決をはからねばならないであろう。地下埋設管については、特に新しい現象がみられたわけではなく、地下埋設管の地震時特性、耐震設計の考え方については岡本名誉教授¹⁾、筆者²⁾、電力関係の研究者³⁾がすでに調査、発表してきたことである。しかし現地を調査し、アメリカの考え方と設計の実情を知ることができたことは幸であった。今回の調査に際し土木学会の調査団の編成を実現させられた岡本先生、現地のアメリカの教授、技師はじめ多くの方々に深謝する次第である。

(1971 年 6 月 4 日受理)

文 献

- 1) 岡本舜三:「地震を考慮した土木構造物の耐震設計法」オーム社
- 2) 川崎市防災会議地震専門部会:「川崎市の震災予防に関する基礎的調査報告書」1969.
- 3) 桜井彰雄ほか 5 名:「松代地震を利用した超高圧地中電線路埋設管の耐震研究」電力中央研究所技術研究所報告 No. 67056, 1967.