

## 1994年ノースリッジ地震におけるライフライン系の被害と復旧

Damage and Recovery of Life-lines in the 1994 Northridge Earthquake

能島 暢呂\*, 山崎 文雄\*\*

Nobuoto Nojima, Fumio Yamazaki

### 1. はじめに

「ライフライン地震工学」という言葉で分類される研究分野の誕生の契機となった1971年サンフェルナンド地震から23年を経て、ほぼ同じサンフェルナンド・バレー地域を、1994年1月17日のノースリッジ地震（マグニチュード6.8）が襲った。都市機能が高度化した大都市ロサンゼルス揺るがしたこの地震の被害の様子は、生々しい映像とともに我が国にも次々に報じられ、ライフライン施設の被害と機能損失についても注目を集める結果となった。

筆者らは、文部省突発災害調査団（大町達夫団長）のライフライン系担当メンバーとして、2月初旬に現地調査を行った<sup>1),2)</sup>。本報はその成果をもとに、ライフライン系の被害と災害対応、復旧過程の概要をとりまとめたものである。

### 2. 電力システム

ロサンゼルス周辺の電力供給は、市域をロサンゼルス水道電力局（DWP）が、また市近郊を南カリフォルニア・エジソン社（SCE）が行っている。震源近傍で被害の集中したサンフェルナンドバレーは、主にDWPの管轄区域である。両者の共同所有であるシルマー変換所を通して、北部のオレゴン州などと季節に応じた電力融通を行っている。

DWPでは、シルマー変換所、リナルディ変電所およびその他の震源に近い変電所に被害が集中した。もっとも被害の大きかったシルマー変換所（写真1）では、碍子を有する機器が数多く損傷し、リナルディ変電所においても同様の被害が多

発した。またSCEでは、パーディ変電所およびヴィンセント変電所が大きな被害を受けた。変電機器は近年、耐震性がかなり向上しているが、今回の地震では設計地震力の0.5Gを大幅に上回る0.8Gがシルマーで記録されており、被害につながったものと思われる。

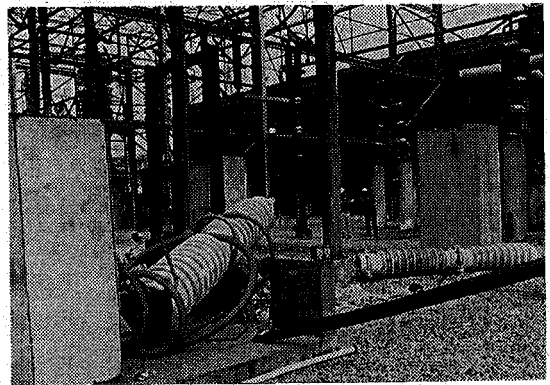


写真1 シルマー変換所の被害状況

送電施設では、数基の送電鉄塔が倒壊した。シルマー北方の山中の鉄塔は、地震で鉄塔基礎部の土砂が崩れ、4脚の独立基礎が変位をしたために倒壊した。写真2はその仮復旧の様態である。配電設備の被害は全体的に軽微であった。

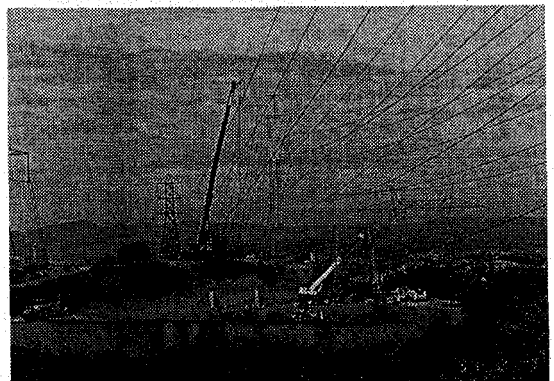


写真2 地盤変状で倒壊した送電鉄塔の仮復旧

\*広島工業大学工学部土木工学科

\*\*東京大学生産技術研究所

図1は、DWPとSCEを含む全体とSCEのみの停電戸数の時間変化を示す。DWPの供給区域では、ロサンゼルス市全域にあたる約150万戸の需要家が史上初めて全面停電した。停電は約8時間後には50%が解消し、3日後には約90%が解消したが、すべてが解消したのは地震後9日後であった。SCEの供給区域では、地震発生後、保護リレー動作により約110万戸の需要家が停電したが、30秒後に自動再通電機能が働き、このうちの約47.5万戸の停電が解消した。停電が長期化した地域は、ヴェンチュラ郡とサンタバーバラ郡であり、そのうち約10万戸は断続的な停電であった。地震発生から約11.5時間後までに85%の停電が解消し、2日後にはすべての停電が解消した。ロサンゼルス地域の電力系統が分断されたため、電力動揺は北西部の州やカナダにまで広がり、影響はきわめて広範囲に及んだ。

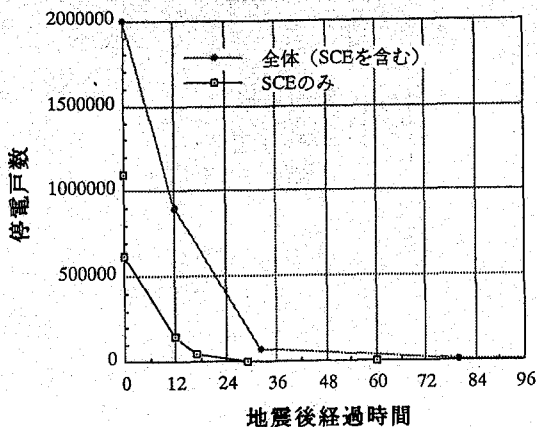


図1 停電戸数の時間変化

### 3. ガス供給システム

ロサンゼルスを中心とする南カリフォルニア帯の天然ガス供給は、南カリフォルニアガス会社 (SCG) によって行われている。同社のガスメーター設置数は約466万であり、米国最大規模のガス会社である。

輸送幹線の被害は37箇所、1932年以前に敷設された管の酸素アセチレン溶接部の亀裂または破損が27箇所を占めている。今日の材料や設計基準によらない古い導管の被害が多く、全体として輸

送幹線システムはよく機能したといえる。

バルボア通りの輸送幹線120 (1930年建設、55cm径) では、地盤が引張り変形を受けた区域 (写真3) と圧縮変形を受けた区域の2箇所、輸送幹線の大きな破損が発生した。この場所には、多くのガス管や水道幹線が平行して埋設されており、被害が集中した。ここでは、水道幹線からの漏水のためストップしたトラックが、エンジンをかけようとした際、イグニッションスパークが漏洩ガスに着火し、道路の両側の住宅が5軒消失した (写真4、写真5)。

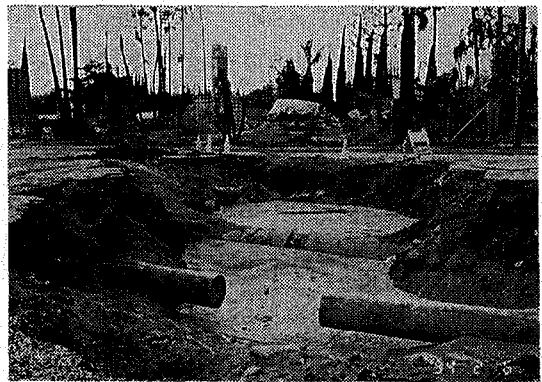


写真3 バルボア通りの埋設管引張り破断現場

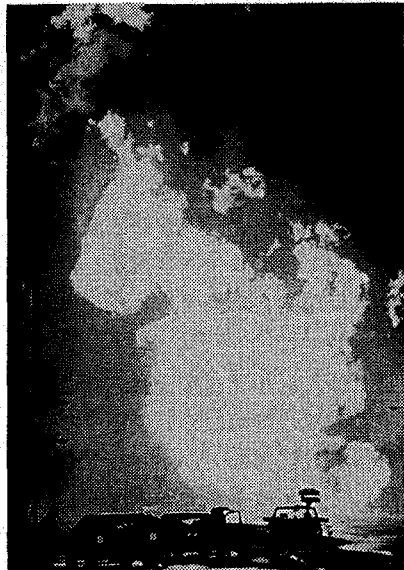


写真4 バルボア通りの漏洩ガス火災 (ロサンゼルス・タイムズ紙)



写真5 ガス火災による5軒の家屋焼失  
(ロサンゼルス・タイムズ紙)

今回の地震では、ガス漏洩が原因と考えられる需要家での火災が数多く発生した。特に、車で移動可能なモービルホームと呼ばれる簡易住宅(写真6)で、ガス管破断が原因とみられる火災が多発し、数箇所まで延焼している。また米国のガス温水器は、常に種火がついているものが大半で、漏洩したガスに種火から着火したものと思われる。

今回の地震によって、需要家の約3%の15万件のガス供給が停止した。そのうち13万3千件は、需要家が自らの判断で元栓を締めたものであった。このような場合、ガス会社が戸別に復帰作業を行う必要があり復旧に時間がかかる。地震から1週間以内に約8万4千件、12日以内に約12万件の復

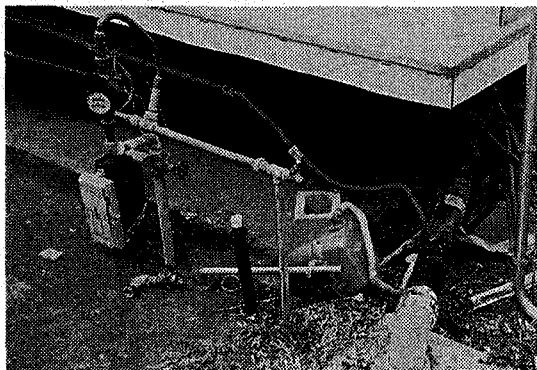


写真6 モービルホームに接続する各種配管

旧が完了し、最終的には15日後に全需要家の復旧を完了した。

#### 4. 上水道システム

ロサンゼルス周辺の上水道事業は、市域をDWPが、また市近郊を南カリフォルニア水道事業団(MWP)が行っている。

米国最大規模のDWPロサンゼルス・アクアグクト浄水場では、浄水機能に大きな影響を及ぼす被害はなかった。第一・第二導水路に6箇所の被害が発生し、6日間導水不能となったが、貯水場の大量備蓄により断水の直接的原因とはならなかった。MWPジェンセン浄水場においても、場内の導水管が斜面崩壊によって折損したほかは、軽微な被害にとどまった。

震源に近いサンフェルナンド・バレー地区周辺においては、主要幹線に被害が多発した。バルボア通りでは、173cm径(リナルディ幹線)および122cm径(グラナダ幹線)のモルタルライニング鉄管が、管体亀裂、継手離脱・押し込みなどの被害を受けた(写真3)。これにより大規模な地上漏水が発生し、付近一帯で交通障害(写真7)が生じるとともに、S-118と交差する橋梁の裏込め土が洗掘されて通行不能となる事態に発展した(写真8)。またロサンゼルス貯水池付近の183cm径鉄管(ロサンゼルス市幹線)が被害を受け(写真9)、市中心部への配水に支障が出ると同時に、隣接するリナルディ変電所に浸水した。



写真7 地上漏水による道路冠水(ロサンゼルス・タイムズ紙)

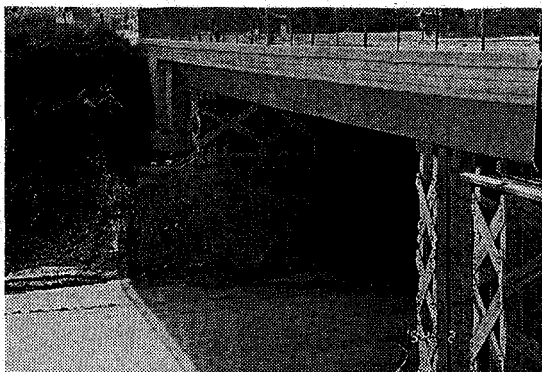


写真8 漏水により洗掘された橋台（S-118とバルボア通りの立体交差点部）

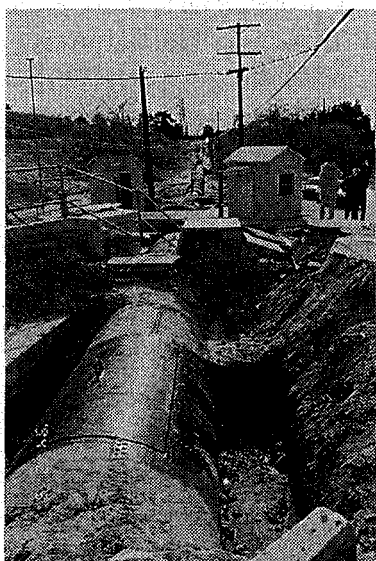


写真9 183cm径鑄鉄管（ロサンゼルス市配水幹線）の被害現場

配水管路網には、サンフェルナンド・バレーで約1,200箇所の被害が発生した。タイトン継手のダクタイル鑄鉄管には被害が報告されておらず、鉛継手の鑄鉄管と鋼管の被害が多くを占めると考えられる。ロサンゼルス市全域の配水本管延長から求めた被害率は0.11（箇所/km）であるが、被害が集中した西バレー地区に限定すると0.28（箇所/km）に達する。

地震当日の断水人口はサンフェルナンド・バレーを中心に約5万人に及び、図2のような復旧過程をたどった。この間、80台の給水車が出動し、高等学校など10箇所を拠点とした応急給水が行わ

れた。これらのうち40台はビール会社や飲料水会社などが提供したものであった。

必要な水圧が保てない高台の地区ではロサンゼルス市消防局の消防車が水のポンプアップに協力するとともに、漏水箇所発見のために配水本管に水を圧送した。断水地区において消防用水を確保するため、南カリフォルニア一帯からタンク車30台が緊急配備された。また水圧が低下した配水管の亀裂から汚水が浸入するおそれがあるため、飲用には十分注意し、煮沸や殺菌剤を使用するよう広報された（写真10）。

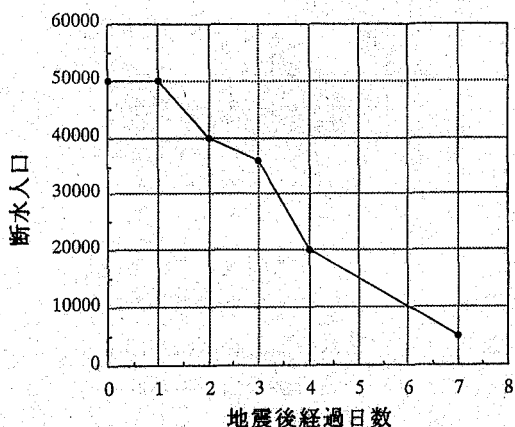


図2 断水人口の日変化

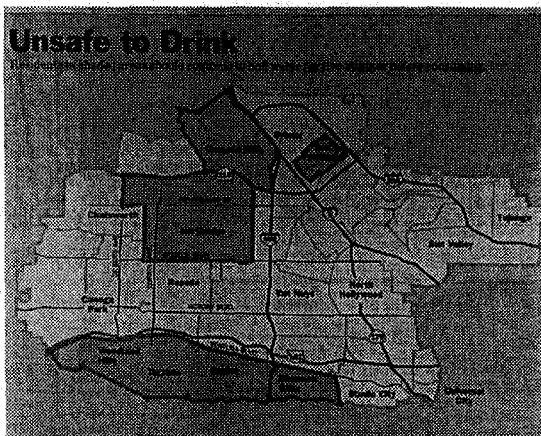


写真10 水道水の汚染の危険を伝える記事（ロサンゼルス・タイムズ紙）

## 5. 交通システム

自動車王国アメリカを象徴するロサンゼルスの高速度道路の3地域・7箇所における落橋は、ロサ

ンゼルス市一帯の交通機能を大幅に低下させ、交通体系に大きな変化をもたらした。1989年ロマ・プリアタ地震においても、ベイブリッジ（日平均交通量約25万台）の一ヵ月間の通行不能による交通体系の激変が報告されている<sup>3)</sup>が、今回の場合は復旧に時間がかかるだけに、より深刻な状況にあるといえよう。

(1) ゴールデンステート・フリーウェイ (I-5) およびアンテロープ・フリーウェイ (S-14)

I-5 (片側4車線, 計8車線) は日平均交通量約20万台の西海岸の南北幹線であり, S-14は北方へ通じる日平均交通量約4万台の州道である。ガビン・キャニオンでの落橋およびS-14とのインターチェンジ部での落橋によりI-5が通行不能となったため, I-5に沿った旧道を迂回ルート (片側2車線, 計4車線) とする措置がとられた (写真11)。

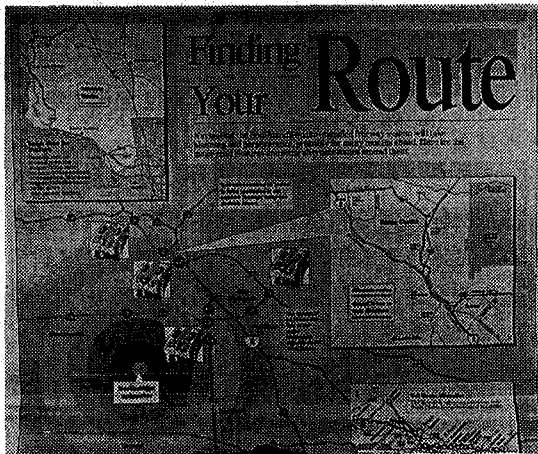


写真11 高速道路の迂回ルートを伝える記事 (ロサンゼルス・タイムズ紙)

I-5の代替交通手段として, これにほぼ並行した通勤用鉄道メトロリンク・サンタクラリタ線の利用者が, 図3に示すように急増した。一日7便を10~11便に増便, 車両一便3両を8~12両に増結, 新駅の追加, 接続バスの増便などによってサービス向上が図られ, 道路の混雑緩和に寄与した。しかし道路の機能的復旧に伴って, 2月に入ると減少傾向に転じている。

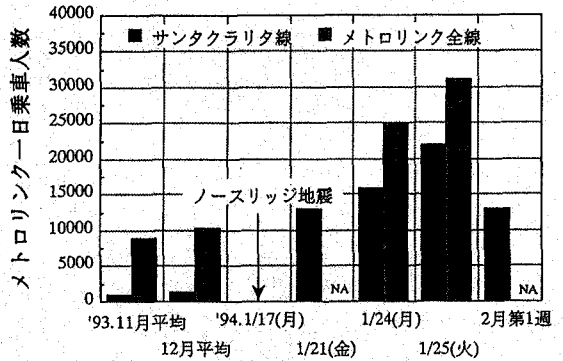


図3 メトロリンクの一日乗車数の変化

(2) サンフェルナンド・フリーウェイ (S-118)  
S-118は, ゴシッタ通り付近での2箇所落橋などにより通行不能となったため, 西向・東向ともにタンパ通りとデボンシャー通りを経由する迂回ルートが設定された (図4)。大量の迂回交通が流入したデボンシャー通りを優先した交通信号制御により交通の円滑化が図られた。迂回ルートの一部である地点1では, S-118とI-5, I-405, I-210との接続が不能となった交通により, 一日交通量が2.4万台から6.0万台となり, 地点2では2.5万台から4.7万台となった。地点3では1.5万台が3.8万台となった。

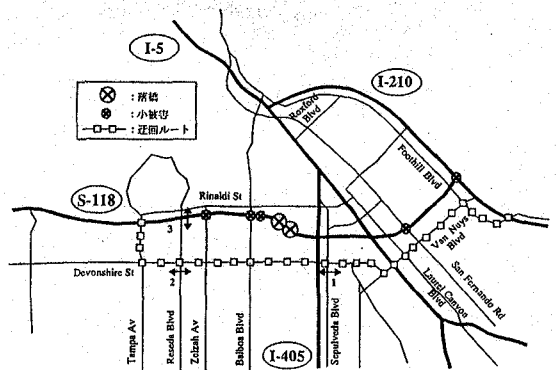


図4 S-118の被害と迂回ルート

(3) サンタモニカ・フリーウェイ (I-10)  
日平均交通量約33万台でアメリカで最も混雑する道路と言われるI-10は, 2箇所での落橋のためラシエネガ通りからワシントン通りまでが不通となった (写真12)。迂回ルートは復旧状況と交通

事情に応じて段階的に変更されたが、最終的に図5のような形となっており、HOV（多人数乗車車両）が優遇されている。迂回ルートの一部である地点4では、一日交通量3.3万台が5.6万台へと増加した。ロサンゼルス市交通局では、交通量や走行速度のモニタリングなどによって交通制御を行うスマート・コリドー・システムをI-10沿線の街路に適用しており、信号・可変交通標識の制御や迂回ルートの設定に役立てられた。

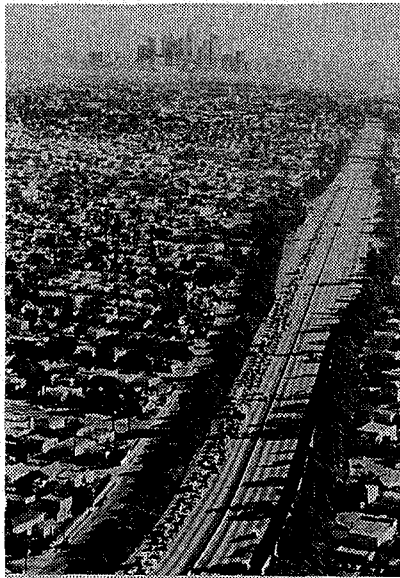


写真12 I-10の機能低下に伴う渋滞  
(ロサンゼルス・タイムズ紙)

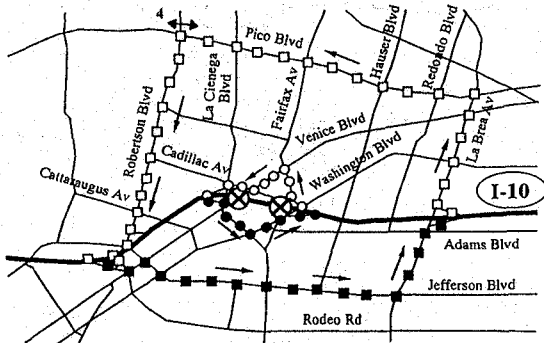
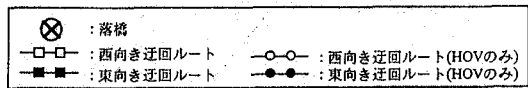


図5 I-10の被害と迂回ルート

## 6. おわりに

ノースリッジ地震により都市ライフライン系は少なからぬ被害を被り、その機能損失によって、大都市ロサンゼルス市の北部一帯は大きな影響を受けた。膨大な施設を都市全域に張り巡らしたライフライン系においては、ネットワーク上の弱点の存在と対策未着手の部分の問題がいつまでもつきまとうのは、一種の宿命である。今回、被害を受けた箇所は、それぞれのシステムの弱点を突かれた形である。

しかし近年、耐震対策が着実に進められており、地震動の大きさや市街地の拡大を考慮すると、むしろ被害は少なかったといえ、対策の成果が根付きつつあることが確認できる。また緊急対応などのソフト面でも、明らかに進歩が見られる。

我が国と比較して、状況の違いや耐震対策で遅れた面もあるとはいえ、人と社会資本が極度に集中した大都市圏での直下型地震が懸念される今日、我が国にとってもこの地震から学ぶ点が多いと思われる。

## 参考文献

- 1) 大町達夫代表：1994年ロスアンゼルス地震と都市機能障害の調査研究，文部省科学研究費突発災害研究成果，1994
- 2) 山崎文雄・能島暢呂：1994年ノースリッジ地震によるライフラインの被害，土と基礎，Vol.42, No.8, pp.5～10, 1994
- 3) 亀田弘行代表：1989年ロマプリエタ地震によるサンフランシスコ湾岸地域の被害に関する調査研究，文部省科学研究費突発災害研究成果，1990