

電力供給の変動を利用した地震による建物被害評価の可能性について

秦 康範¹・目黒 公郎²

¹学生会員 工修 東京大学大学院 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

²正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

防災関連機関が迅速な初動をとるためには、地震被害を早期に把握することが不可欠である。本研究は、地震後の被害地域の特定と地域内の建物の被害把握に、電力供給量の変動を利用することの可能性についての検討を試みるものである。すなわち、兵庫県南部地震前後における被災地域の電力供給データを使って、地域の被害量と地震前後の電力の供給量の変動について分析を試みた。その結果、電力供給量の変動と地域の建物被害との関係が強いことが示され、電力供給量を利用した地震による建物被害評価の可能性が示された。

Key Words : damage evaluation, electric power supply, carrier monitoring, substation

1. はじめに

防災関連機関が迅速な初動をとるためには、地震被害の早期把握が不可欠であるが従来はモニタリングされた地震動から予想される被害を早期情報として活用していた^{1),2)}。すなわち予め設置しておいた地震計から得られる地震動情報に基づいて地域の地表の揺れの強さを補完推定し、揺れの強さと地域の建物の強度の関係式(フラジリティカーブ)を利用して建物被害を推定するシステムであり、これが行政機関を中心に現在稼働中である。しかしこのシステムには、地域ごとに多種多様なデータが必要であるばかりでなく、「地震動の推定に関する不確定さ」と「地震動と建物被害の関係に関する不確定さ」、に関する2段階の不確定さを有している。また、近年リモートセンシングや航空写真を利用した被害評価に関する研究が盛んに行われるようになってきた^{例え}ば³⁾など。しかしながら、現状では精度高く被害を把握することは難しく、観測が時間や天候に左右される等の問題もあり、実用化には解決すべき課題も多い。

そこで本研究では、被害状況の把握に電力供給量を用いることを提案する。電力供給量は、地域の人々の活動状況をリアルタイムに反映する。また発災後の人々の活動状況は地震の被災程度に強く影響を受ける。よって、電力供給量は地域の被災程度を強く反映したものとなる。

なお本論文は、地震後の地域別被害評価への電力供給変動量の利用可能性の検討を目的とし、1995年の兵庫県南部地震を例に分析を行った結果である。

2. 評価エリアと使用データ

本研究では、評価エリアの単位として、配電用変電所供給エリア(以下では配電エリアという)を用

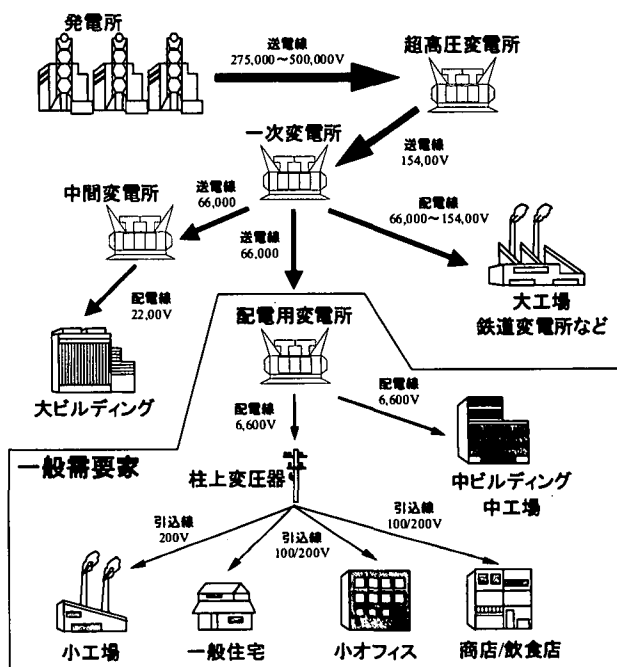


図-1 電力設備の系統

いる。電力は発電所から需要家に供給するまで、送電電圧に応じていくつかの変電所を経由するが、配電用変電所は変電所としては末端にあたり、一般需要家を対象として電力供給を行っている(図-1)。図-2に示す関西電力(株)の神戸支店管内を本研究では選んだ。各配電エリアの電力供給量データは、設置されている変圧器の電力量(MWh)の毎時記録から構成されており、本研究では電力量(MWh)を電力供給量を表す指標として用いる。また、地震後の電力供給量を地震前1週間(1月9日~13日)の平均値で除した

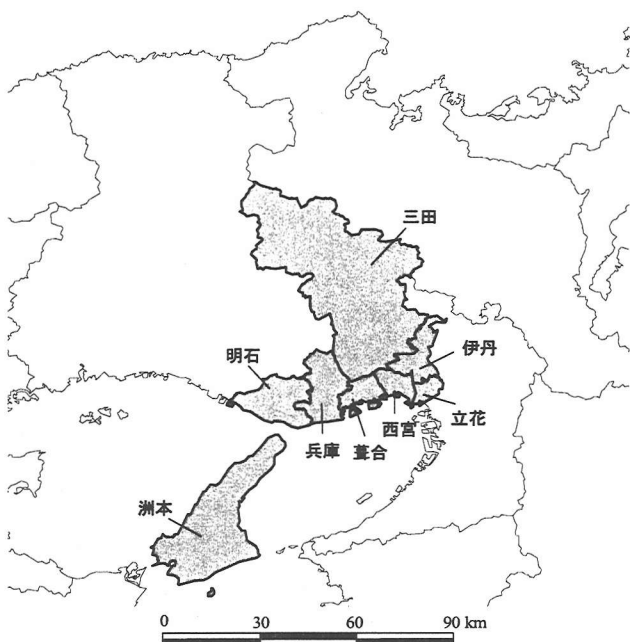


図-2 関西電力㈱神戸支店管内エリア（名称は制御所名）

値を電力供給比とし、地震前後の電力供給量の変動を示す指標とする。

次に建物被害に関するデータとしては、建設省建築研究所提供のデータ²⁾を使用した。また平常時における配電エリアの電力需要分析を行うため、平成2年度国勢調査および平成3年度事業所統計調査結果を利用した。

3. 電力の復旧状況

兵庫県南部地震における関西電力㈱の被害状況は図-3に示すように、地震直後に260万軒が停電し、変電所の供給支障は169配電用変電所（うち神戸支店管内では106箇所）にのぼった。しかし系統切替等により地震から3時間以内には8割以上の変電所が機能を回復し、復旧に最も時間の要した葺合変電所においても、地震発生翌日の午前7時23分には機能を回復している。すべての変電所の機能支障が回復したにもかかわらず、停電軒数が依然として40万軒もあるのは、配電用変電所よりも下位の施設である配電設備（配電線、電柱、引込線など）に問題があったからであり、最終的に停電が解消されるまで、地震発生から1週間を要した。

4. 建物被害と電力供給量の関係

本研究で使用した建物被害データが、被災の激しかった阪神地域を中心にまとめられているため、神戸支店管内全域について被害データを利用することができなかった。しかし、調査自体が被災の激しいところを中心に行われていることから、データの少ない地域は被災程度は小さいと考えられる。図-4は、建設省建築研究所の建物被害データのある59の配電用変電所について、配電エリアごとに集計した低層戸建住宅の全壊・火災率を示している。被害を示す指標としては、被災後に電気が使えなく状況を考慮し、全壊+火災率を使用した。配電エリア単位で見

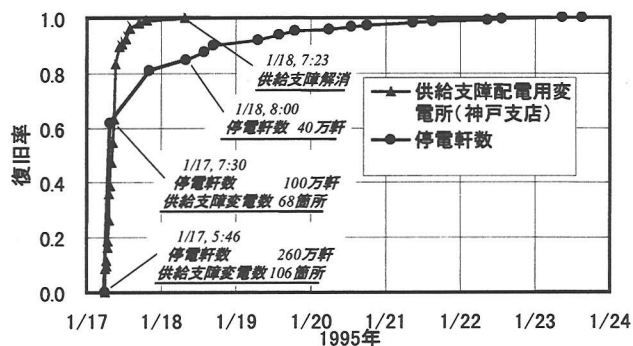


図-3 配電用変電所の電力供給支障（神戸支店管内）と停電の復旧カーブ

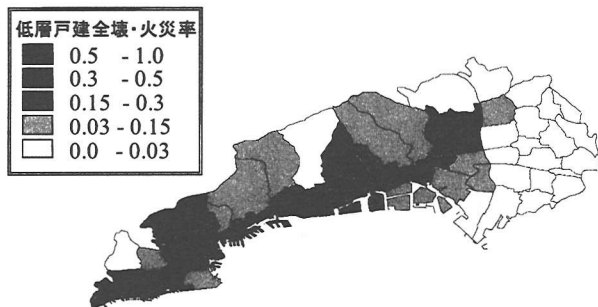


図-4 低層戸建建物の全壊・火災率

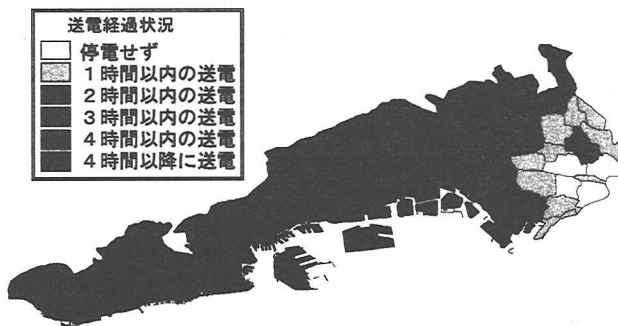


図-5 配電用変電所の送電経過状況

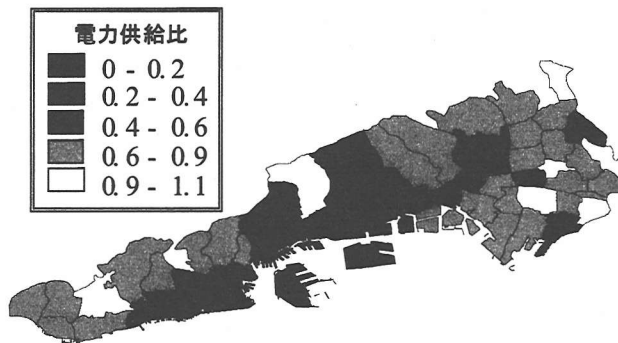


図-6 95年1月18日午前8時の電力供給比

てもいわゆる震度7の帯が見ることができる。図-5は配電用変電所の送電経過状況⁵⁾を示しており、各配電用変電所の機能がどの時点で復旧したのかを示している。送電状況は電力システムの供給系統ネットワークと当該変電所および上位変電所の被害によるため、図-4と比較すると空間的な広がりはずしも

地域の建物の被災状況とは一致しないことがわかる。図-6はすべての変電所において供給支障がなくなった、95年1月18日（地震発生翌日）午前9時における地震後の電力供給比を面的に示したものである。図-4と比較すると、電力供給比の低い地域と建物被害率の高い地域が良く一致することが分かる。また停電が発生しなかったエリアはほとんど電力供給の変動がないことがわかる。図では示されていないが、周囲の配電エリアについても同様であることを確認している。次に図-5と比較すると送電に時間のかかった地域には、電力供給比が小さい地域から大きい地域まで含まれていることがわかった。この原因は、1. 配電エリア内が被災しているために、電力需要が落ち込んでいる、2. 配電施設が被災しているために、需要があるにもかかわらず供給することができない、の2点と思われる。

次に配電エリアの送電経過状況、建物被害、電力供給比の関係についての分析を行った。図-7は配電用変電所の送電経過状況別の変電所数および建物被害率の関係について調べたものである。これを見ると、復旧が遅れた配電エリアにおける建物被害率が大きくなっていく傾向が見られた。しかし建物被害が軽微だと思われる、建物被害データの無い配電エリアも多く含まれており、該当変電所に被害が無くても上位の変電所の被害等により供給が遅れていることが示されている。次に、変電所の供給支障がなくなった地震翌日、95年1月18日9時における電力供給比と建物被害との関係について示したのが図-8である。これを見ると、建物被害データの無い被害が軽微な配電用変電所の電力供給比が、1箇所を除いてどれも0.6以上（そのうち約6割が0.9以上であった）に分布していた。また、被害データのある配電用変電所においても、電力供給比が小さくなるに従って建物被害率は大きくなる傾向が見られた。これらのことから、電力供給比は配電用変電所の建物被害状況に応じて変化することがわかった。

5. 地震後の電力供給量の推移

電力供給量の推移の地域的な変化を分析するために、図-9に示すように時間経過と電力供給比との関係をGISを用いて地図上で比較した。図からまずわかることは、地震被害の少なかった周辺地域ほど電力需要が早く回復していることである。また被害の激しかった震度7の帯を含む配電用変電所は、地震から1週間、2週間と経ても電力需要が回復していない状況がわかる。一方、周辺地域にあって被害が少ないにもかかわらず需要があまり回復していない配電エリアは、工場の寄与率が高いエリアである。水道やガスの供給停止、交通渋滞、従業員の参集不能などによって、操業が困難になったためと考えられる。

次に建物被害データのある59の配電エリアについて、地震発生前の95年1月11日（水）におけるデータを使用し、目黒らの手法⁶⁾による電力需要特性の分析を行った。その理由は以下の通りである。日常時の電力需要は、配電エリアの地域特性に強く影響を受けることが示されている⁶⁾。そのため災害時における電力需要の変動特性は、配電エリアの日常的な電力需要特性と関係が強いと考えたからである。電力需

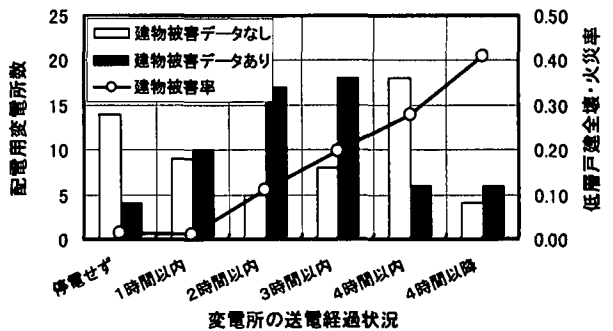


図-7 変電所の送電経過状況と配電エリアの建物被害

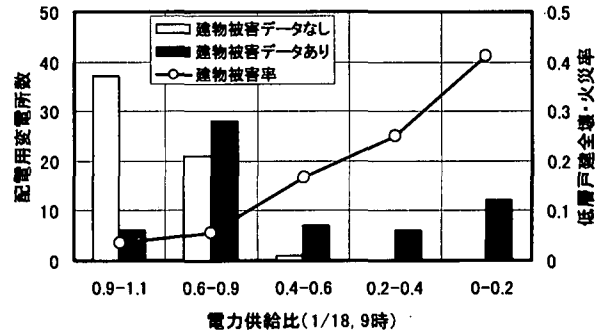
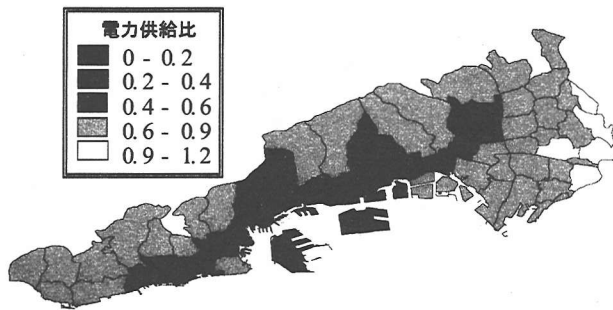


図-8 地震発生翌日（95年1月18日）の午前9時における電力供給比と配電エリアの建物被害

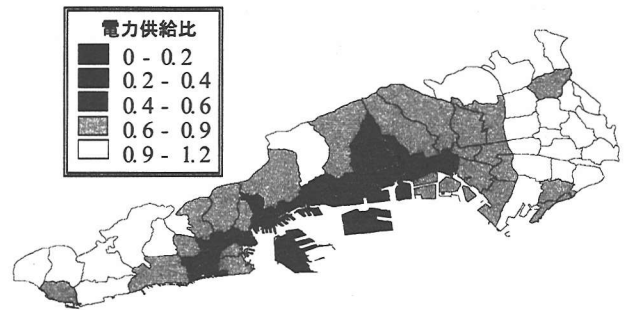
要特性分析の結果、住宅、オフィス、工場、店舗/飲食店のそれぞれの寄与率の大きい配電エリアと低層の戸建住宅、商業・業務施設、工業施設の被害と電力供給量の推移（地震当日、1週間後、2週間後、1ヶ月後）の関係について分析を行った。紙面の都合上、住宅と工場の寄与率が高い配電エリアの結果が図-10である。地震当日は電力供給系の問題で停電している配電エリアがあるため、被害と電力供給量の相関はあまり高くない。しかし供給系の機能支障が解消された1月24日以降は、建物被害と電力供給量との間に高い負の相関が見られた。また地震から、2週間、1ヶ月と時間が経つに従って、被害のない地域では電力供給量が地震前の水準に回復し、その他の地域は建物被害との相関の高いまま、電力供給量が回復していくことがわかった。

6. 今後の可能性

現在稼働中のリアルタイム地震防災システムの多くは、稼働時期が地震発生直後であり、しかもシステムが稼働する機会は震後の1度限りである¹⁾。一方、電力供給量は地震発生前からの継続的なリアルタイムモニタリングが可能であり、その結果を被害評価に逐次フィードバックすることが容易である。この点は、リアルタイム地震防災システムの有効な情報源としての価値を持つと言える。電力供給量を用いた被害評価のメリットについて簡単にまとめると、「リアルタイム評価が可能」、「新たな設備投資がほとんど不要」、「建物強度の分布や被害関数などを事前に準備する必要がない」、「天候や時間に左右されない観測が可能」、「評価結果を逐次フィードバックすることができる」などが挙げられ

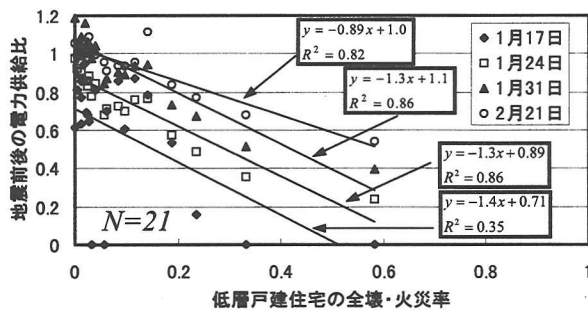


(a) 地震1週間後(95年1月24日)の電力供給比と震度7の地域

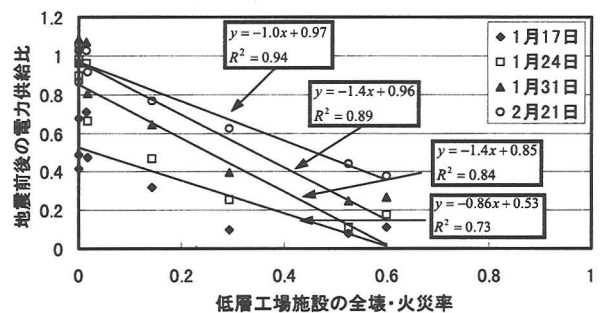


(b) 地震2週間後(95年1月31日)の電力供給比

図-9 電力供給量の推移



(a) 住宅の比率の高いエリア
(住宅の寄与率70%以上)



(b) 工場の比率の高いエリア
(工場の寄与率35%以上)

図-10 建物被害と電力供給比の関係の時間的推移

る。

また被害評価を行う地域の単位であるが、これも将来的にはより小さくすることが容易である。現在日常的に電力会社がリアルタイムに電力供給量をモニタリングし記録する最小単位は配電用変電所であるが、1つの配電用変電所には通常15~20本の配電線(東京23区内で19本、23区周辺で15本程度)が接続されており、各配電線ごとの電力供給量をモニタリングすることは可能である。よって、地域単位としては各配電エリアの15~20分の1程度エリアを単位とする被害評価が可能となる。配電線を単位とする評価は地域単位は町丁目並み、もしくはそれ以下の面積を単位とする評価である。よりミクロな評価が可能になれば本手法の有用性も高まるものと思われる。

5. まとめ

本研究では、電力供給量を用いた建物被害評価手法の有用性について検討した。すなわち配電用変電所の送電経過状況と配電エリアの建物被害、電力供給量の関係について分析を行った。その結果、電力供給量は配電エリア内の建物被害の影響を強く受けることが示された。次に日常的な電力需要分析を行い、4つの需要特性(住宅、オフィス、工場、店舗/飲食店)それぞれの寄与率の高い配電エリアについて

建物被害との関係について分析をした。その結果、地震後の電力供給量と建物被害の間には高い負の相関が見られ、時間経過とともに被災エリアの需要が回復していく様子が示された。

謝辞: 本研究に当たって、貴重なデータをご提供下さった関西電力株式会社の関係者各位に、厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会地震工学委員会リアルタイム地震防災小委員会: 第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集, 1999.
- 2) 土木学会地震工学委員会リアルタイム地震防災小委員会: 第2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集, 2000.
- 3) 松岡昌志・山崎文雄・翠川三郎: 1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴, 土木学会論文集, No. 668/I-54, pp. 177-185, 2001.
- 4) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996.
- 5) 関西電力(株)神戸支店: 兵庫県南部地震被害からの復旧の概要(応急復旧編), 1996.
- 6) 目黒公郎, 副島紀代, 山崎文雄, 片山恒雄: 電力需要特性から見た都市の地域分類, 土木学会論文集, No. 507/I-30, pp. 255-263, 1995.