

事業継続を目的とした震災時の社員参集シミュレーション

副島 紀代 野畑 有秀

藤橋 政範

(本社情報ネットワーク部)

Simulation of Arrival Time of the Staff after Earthquake for Business Continuity

Michiyo Soejima Arihide Nobata

Masanori Fujihashi

Abstract

Business Continuation Plan (BCP) is applied for doing immediate action more speedy and accurately after disaster. On the other hand, it is very important to clarify the arrival time of the staff, because they are essential resource for business continuity and may also suffer from the earthquake disaster. Therefore, using the most suitable path finding system based on GIS, arrival time of the staff after earthquake was simulated. As a result, arrival time of each staff from his home to head office on foot was figured. The result can contribute to make more effective BCP.

概要

近年、事業継続計画(BCP)を策定し、災害時の初動対応を迅速かつ的確に行うことを目的とした取り組みが盛んである。一方で、震災時には初動対応の担い手である社員も被災する可能性があることから、事業継続のために必要不可欠なリソースである社員の参集状況を把握することは大変重要である。そこで、地図データに基づく最適経路探索システムを利用して、地震発生時の社員の参集シミュレーションを行った。その結果、地震発生後に自宅から拠点(災害対策本部)に参集することのできる人数を経過時間に応じて把握することができ、これはBCPにおける初動対応を検討する上で重要なデータとなる。また、東京湾北部地震を想定したケースでは、被害予測結果から出勤遅延の影響や通行不能箇所を考慮することで、実際の参集状況や、拠点の位置による参集率の差も比較することができ、より実効的なBCP策定に役立てることが可能である。

1. はじめに

近年わが国では、地震などの災害に備え、企業や自治体などの事業者が事業継続計画(Business Continuity Plan, 以下BCPと記す)を策定する動きが盛んである。BCPでは地震の発生する前(平常時)に始まり、地震発生、復旧活動、そして平常時に戻るまでの幅広い時間軸を対象としているが、中でも地震発生直後の初動対応は大変重要であることから、その部分をいかに迅速かつ的確に行うかということがBCPの一つのポイントとなっている。

一方で、震災時には広域に被災の影響が及ぶことから、初動対応にどれだけのリソース(施設、資機材、要員など)を活用できるかを迅速に把握することが肝要である。施設や設備といった物的リソースについては、適切な手法で被害を評価し、その結果に基づき実効的なBCPの策定に反映することができる¹⁾が、人的リソースについては、発生時の状況に大きく依存する。特に、勤務時間外に地震が発生した際には、公共交通機関の停止や自宅の被災などによって、初動対応の担い手である社員が全員一定時間以内に参集できるとは限らない。そのため、地震発生時の社員の参集状況を把握することは、事業継続を考える上で大変重要である。

そこで本報では、地理情報システム(Geographic Information System, 以下GISと記す)に基づく最適経路探索システムを利用して、地震発生時の社員の参集シミュレーションを行った結果を報告する。

2. 最適経路探索システムを用いた参集シミュレーション

災害時の要員参集に関する研究としては、災害時に重要な役割を担う自治体の行政職員を対象とした研究が1990年ごろから行われており²⁾⁻⁷⁾、実際の災害時における参集実態の調査なども行われている。一方で企業の従業員を対象とした研究としては、GISを利用し延焼予測や道路幅員を考慮した参集シミュレーションの研究が2000年頃から行われており、最近では本報でも使用している最適経路探索システムを用いた研究も行われている⁸⁾⁻⁹⁾。

最適経路探索システムは、地図上で発地点と着地点の位置を与えると、設定した条件(最短時間、最短距離など)に応じて自動的に最適なルートの解を与えてくれるシステムである。道路は両端の点(ポイント)とそれをつなぐ線(ライン)からなるネットワークとしてモデル化されており、それぞれのラインには道路規格や距離、

平均的な通行速度などの情報が与えられている。これらのデータを基に、システムでは最適経路の探索を自動的に行っている。このようなシステムは、流通業などの配送ルートを選定や、宅配ピザの配達エリア設定などに利用されており、最近ではインターネットの地図情報システムにおいて駅から任意の目的地までのルート探索などにも用いられている。

今回は最適経路探索システムとして、「ACT距離計算パッケージ (アドバンスド・コア・テクノロジー社)」を利用し、都内に拠点を有する会社の社員参集シミュレーションを試みた。なお、ベースのGISソフトとしては「MapInfo Professional (ピツニーボウズ・ソフトウェア社)」を、また解析用の道路ネットワークデータは「道路地図 V-2009-9(三井造船システム技研)」を使用した。

Fig. 1にシミュレーションの基本モデルを示す。関東地方を対象とし、東京都内に2箇所(拠点A, 拠点B)を設定した。また、参集する社員モデルはn=2500人とし、大林組職員の実際の居住地分布に基づいて分布を設定した。そして、社員が帰宅している勤務時間外に地震が発生し、公共交通機関の停止を想定して全員が徒歩(早さは一律3.2km/hと設定)で拠点に参集するという条件で検討を実施した。また、参集経路は、道路データのうち幅員5.5m以上の道路を経由し、最適経路探索システムにおける最短距離ルートをとると仮定した。なお、各地点から道路までは、幅員5.5m以上の道路データに含まれるノード(点)のうち最も近い点を選択し、直線的に移動するものと仮定している。

まず、基本ケースとして、被災の影響がなく、地震発生後すぐに全員が、自宅から徒歩で拠点に向かって出勤する場合の計算を行った。全員が拠点Aに向かうケースでは、Fig. 2に示すように3時間後に11%、6時間後に44%の社員が参集する結果となった。一方で、拠点Bに全員が参集する場合には、Fig. 3に示すように3時間後に9%、6時間後に25%の参集率となり、基本ケースの場合には拠点Aの方が初動対応の上で参集率が高いことが明らかとなった。また、いずれの拠点も24時間後には99%の社員が参集する結果となっているが、現実的には12時間程度が限度だと考えられるため、最終参集率を12時間後とすれば、拠点Aでは85%、拠点Bの場合は75%となる。

Fig. 4には、基本ケースの条件下における拠点A, 拠点Bへの徒歩による12時間以内の参集圏を示した。図に示す拠点Aの参集圏内では、拠点Bより拠点Aに向かう方が短時間で拠点に到着することを示している。同様に拠点Bの参集圏内では拠点Bに向かう方が短時間で到着する。解析の結果、拠点Aの参集圏内に居住する社員は約6割、拠点Bの参集圏内に居住する社員は約3割であり、このケースにおいては拠点Aの参集機能が拠点Bより高いと言える。

しかしながら、実際には地震による被害には地域差が生じることや、被害の程度によって社員が自宅をすぐに離れることができなかつたり、最短経路が通行不能にな

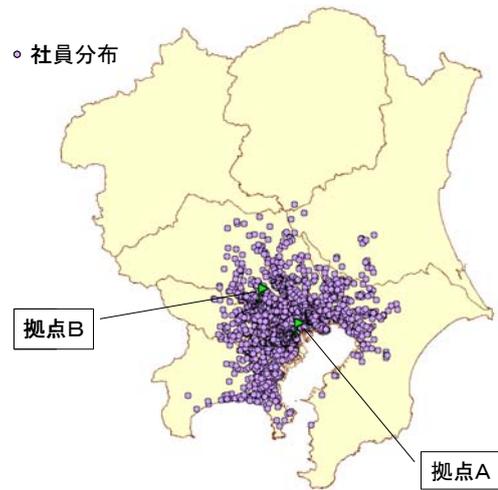


Fig. 1 参集シミュレーションの基本モデル
Basic Model of Simulation

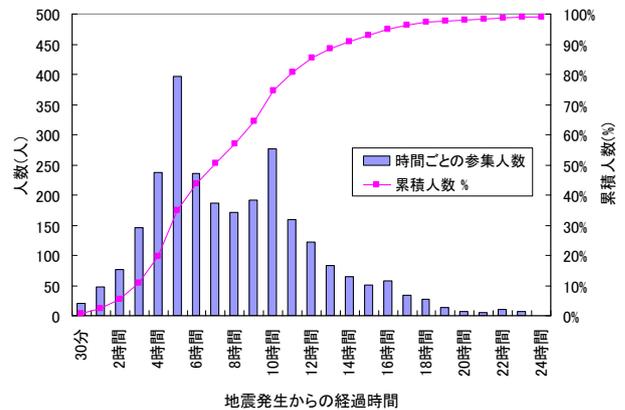


Fig. 2 徒歩による拠点Aへの参集状況予測結果
(被災影響のない場合)
Result of Simulation to Head Office A on Foot
(Without Influence of Damage)

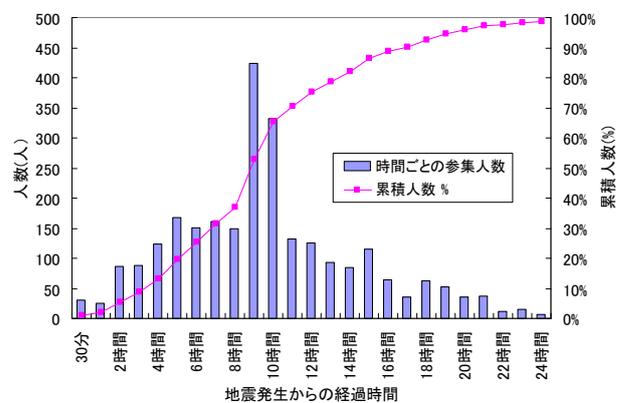


Fig. 3 徒歩による拠点Bへの参集状況予測結果
(被災影響のない場合)
Result of Simulation to Head Office B on Foot
(Without Influence of Damage)

ったりする場合も考えられる。

そこで、実際の想定地震として、内閣府中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会で想定されている東京湾北部地震(M7.3)を対象として、上記のような被災の影響を考慮した参集のケーススタディを次章に示す。

3. 想定地震を対象としたケーススタディ

3.1 想定地震（東京湾北部地震）による震度分布

Fig. 5に東京湾北部地震による想定震度分布図を示す。震度予測には大林組の開発した地震被害予測システム「Quake Mapper[®]」を利用し¹⁰、震源情報から各地の震度を予測した。東京湾北部地震は首都直下地震とも呼ばれ、東京都心域で大きな揺れが予想される地震である。Fig. 5に示す結果でも、都心湾岸域を中心に震度6強が予測される地域が分布している。また、今回の検討においては、2章で示した基本ケースで拠点としての優位性を持っていた拠点Aは、震度6強が予測される地域に隣接した場所に位置している（拠点Aの位置の予測震度は震度6弱）ことから、被災によってより大きな影響を受けることが予測される。

Fig. 6には、Fig. 1の社員居住地の分布とFig. 5の震度分布から求めた、それぞれの震度分布域に居住する社員の割合を示す。約1/4の社員が震度6強の想定される地域に居住しており、震度6弱の地域まで含めると、社員の約9割が該当することとなる。これは震災時の初動対応を考える上での基本データとなる。

3.2 震度に応じた出勤遅延時間の考慮

まず、揺れの大きさによって社員の参集行動に与える影響について検討する。基本ケースでは、社員は地震発生後、直ちに自宅を出て拠点に向かうことを想定していたが、大地震の場合、居住地の揺れの大きさによって、自らが被災したり、家族や近隣が被災してその対応に時間がとられたりすることも予想される。

そこで、このケースでは、Table 1に示すように、居住地の想定震度に応じて、地震発生から自宅を出て拠点に向かうまでのタイムラグを出勤遅延時間として設定し、基本ケースの参集時間に足し合わせた。拠点Aに対する解析結果をFig. 7に示す。基本ケースの結果（図中「遅延なし」）と比較すると、参集率は3時間後で11%→0%、6時間後でも44%→7%となり、大幅に参集率が低くなることが明らかとなった。さらに、12時間後の参集率も85%→43%と約半分になっている。これは拠点A付近で揺れが大きく（震度6弱～6強）、本来なら短時間で参集できる社員に出勤遅延や出勤不可が起こっていることが大きく影響していると考えられる。

3.3 震度に応じた通行不能箇所の考慮

さらに次に、地震被害により参集経路に生じる影響を考慮する。地震の揺れの大きい箇所では、建物の倒壊に



Fig. 4 平常時の徒歩による参集圏
Reasonable Area to Arrive at Head Office A or B on Foot in Emergency (Without Influence of Damage)

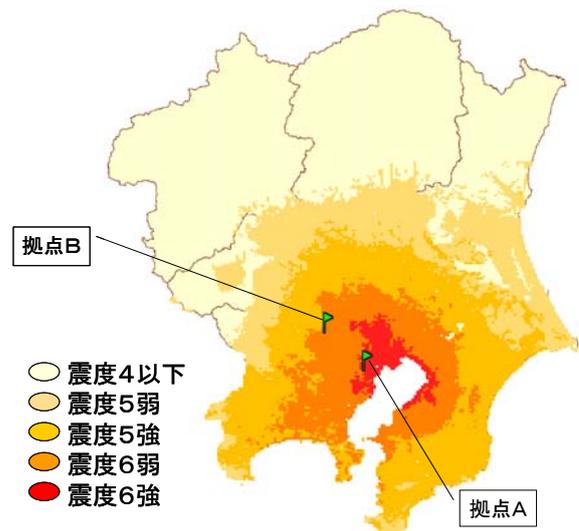


Fig. 5 東京湾北部地震による想定震度分布
Assumed Seismic Intensity Distribution by The Tokyo Bay Northern Part Earthquake

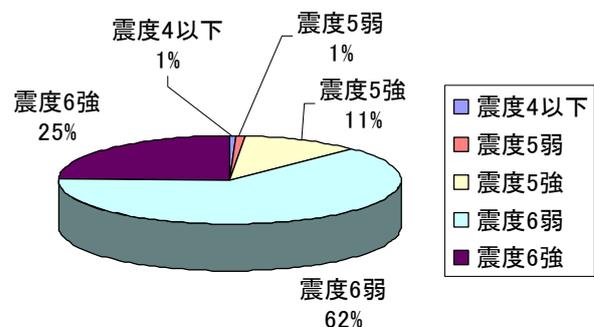


Fig. 6 震度別の社員分布割合
Staff Distribution Ratio According to Seismic Intensity

よる道路閉塞や火災の発生、道路施設の被害などによる通行不能箇所が発生する場合がある。そこで次のケースでは、予想震度が震度6強以上のエリアを通行不能エリアとして、新たに拠点への最短経路を探索して所要時間を算定した。東京湾北部地震を想定した場合に通行不能となる震度6強のエリアを、改めてFig. 8に示す。

もとの最短経路が通行不能地域を経由する場合には、Fig. 9に示すように迂回経路（回り道）を再検索することになる。システム上では、通行不能地域に存在するすべての道路データを除いた上で、新たに最短経路探索を実行する。Fig. 8に示すように、拠点Aは通行不能地域の西側に近接しているため、千葉方面から参集する経路は、通行不能地域の北側を迂回して拠点Aに到達することになる。

3.2節で検討した出勤遅延の条件に、上記の通行不能地域の条件を加えて考慮した解析結果をFig. 10に示す。出勤遅延のみを考慮した場合と比較して、参集率は6時間後で7%→2%、12時間後で43%→36%となり、さらに低くなっていることがわかる。

以上から、社員の被災状況や道路の被災状況を考慮した場合、このケースでは最終的に4割弱の社員しか参集が見込めないことになる。1995年の兵庫県南部地震の際には、1月17日当日における参集状況は神戸市職員が約35%、区役所職員は24%と言われており¹¹⁾、それに近い結果となっている。また、地震発生から3時間は、常時待機させている災害対策要員以外の参集者は期待できず、6時間後においても50人程度の人員しか参集できないことから、少人数でいかに初動を効率的に行うかが課題となる。BCPに基づく災害対応マニュアルなども、実際に参集できる人数に応じて見直すことが重要である。

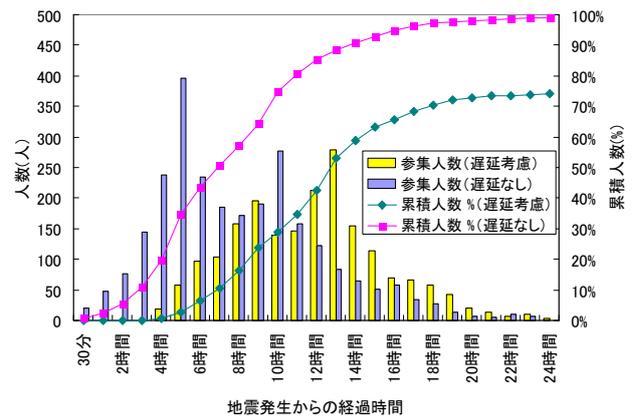


Fig. 7 出勤遅延時間を考慮した場合の参集状況 (拠点A)
Arrival Time at Head Office A
Considering Delay of Time to Leave Their Home

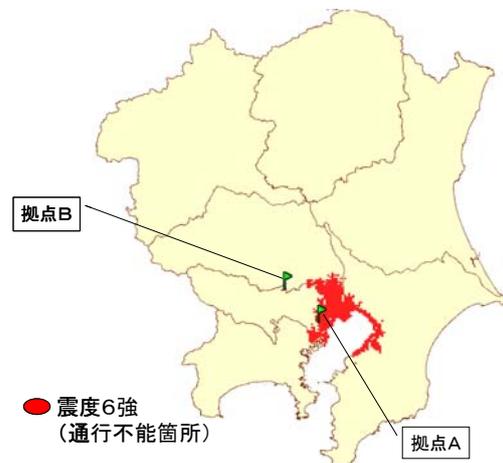


Fig. 8 地震による通行不能エリアの設定
Impassable Area by Earthquake

Table 1 揺れの大きさによる出勤遅延時間の設定
Delay of Time to Leave Their Home According to Seismic Intensity

揺れの大きさ	屋内の状況 ^{※1}	想定される社員の状況	出勤遅延時間(分)
震度4以下	電灯などのつり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。	被害なし	0
震度5弱	電灯などのつり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の大半が倒れる。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。	軽微な被害 周囲の状況確認必要	30
震度5強	棚にある食器類や書棚の本で、落ちるものが多くなる。テレビが台から落ちることがある。固定していない家具が倒れることがある。	一部の家具の転倒、落下、ガラス破損などの被害 危険物の撤去・片付けが必要	60
震度6弱	固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。	多数の家具の転倒、落下、ガラス破損などの被害 危険物の撤去・片付け、自宅の安全確認が必要	180
震度6強	固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多くなる。	地域に大きな被害、近隣の救出活動、自身や家族の被災など	出勤不可

※1 気象庁震度階級関連解説表より引用

3.4 拠点による参集率の比較

事業継続においては、所定のリソースが被災等の理由で機能しない場合、他の同等のリソースにその機能を移管する「代替」という概念が重要である¹²⁾。2章で述べたように、このケースの場合には拠点Aの方が拠点Bよりも基本的な参集条件としては有利であるが、この章で想定したような特殊な条件下ではそうならない場合も考えられる。そこで、このケースにおいて、拠点Bが拠点Aの代替拠点となり得るかを検討した。

3.3で設定した条件（出勤遅延+通行不能箇所を設定）の元で、拠点Aに参集する場合と拠点Bに参集する場合の解析結果を比較したものをFig. 11に示す。拠点Bに参集する場合、拠点Aに参集する場合と比較して、参集率は6時間後で2%→11%、12時間後で36%→44%となり、拠点Bには地震発生後の比較的早い段階で社員が参集しやすいといえる。

また、通行不能箇所を設定した場合の拠点A、拠点Bへの徒歩による12時間以内の参集圏を、Fig. 4と同様にFig. 12に示した。解析の結果、拠点Aの参集圏内に居住する社員は約27%、拠点Bの参集圏内に居住する社員は約30%となり、このケースにおいては拠点Bの参集機能の方が若干ではあるが高いことが伺える。

以上から、複数の拠点を有する場合には、発生した地震の震度分布に応じた被害状況の予測によって参集機能の最も高い拠点を选定することが、初動対応を効率的に行うために有効であると考えられる。ただし、そのためには、地震発生後できるだけ早い段階で拠点を設定し、参集対象社員に伝達しなければならない。また、それに先立って、拠点の健全性の把握（拠点として使用可能な状態であるかどうか）が重要である。



Fig. 9 通行不能を考慮した経路探索の例
Example of the Path Finding Considering Impassable Area

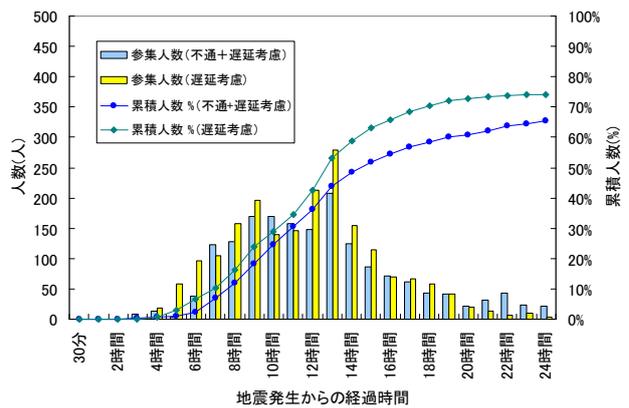


Fig. 10 通行不能箇所を考慮した場合の参集状況
(拠点A)
Arrival Time at Head Office A Considering Impassable Area



Fig. 12 通行不能を考慮した場合の徒歩による参集圏
Reasonable Area to Arrive at Head Office A or B on Foot in Emergency Considering Impassable Area

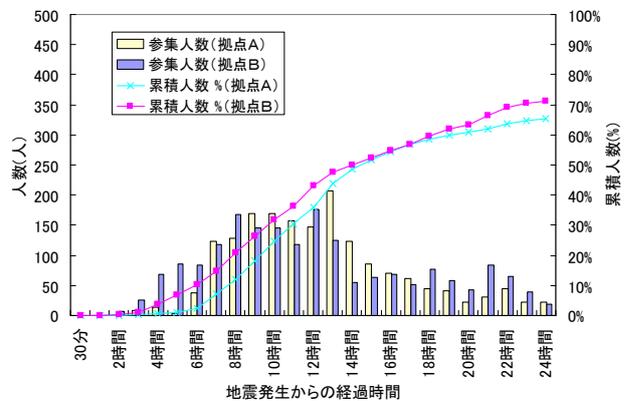


Fig. 11 通行不能を考慮した場合の参集状況
(拠点A, 拠点B)
Arrival Time at Head Office A and B Considering Impassable Area

3.5 地震時の速やかな社員参集に関する考察

今回検討した首都圏のような場合には、社員が広範囲に分布している場合が多いと推察されるため、地震による被災状況によって拠点への参集に時間がかかることが予測できる。そこで、事業継続のためには、最低限の緊急対応要員は拠点にすぐ参集できる場所に常にいるようにすることが重要である。その上で、今回のようなシミュレーションを事前に実施することで、想定される様々なタイプの地震に対して、実際にどの程度の割合で社員が参集できるのかを予測し、初動計画に反映させることが大切である。

拠点を1箇所に限定せず、複数機能させることも効果的である。例えば今回のケースでも拠点A・拠点Bのどちらも機能させることにした場合、12時間以内に拠点Aまたは拠点Bに参集できる社員は合わせて約6割になる。いくつかの拠点から、実際の被災状況に応じて参集しやすい拠点を選択することも参集率向上に役立つ。ただし、複数の拠点を立ち上げる場合は、拠点間の情報伝達手段を確保しておく必要がある。さらに、地震後できるだけ早期に拠点機能の健全性を把握し、使用の可否を判断することも重要である。

また実務的には、社員の自宅の位置関係だけでなく、家族構成や本人の属性などから、緊急時の参集の可否や出勤遅延時間などを細かに設定した検討も必要である。さらに部署や年齢などの人員構成を考慮することで、地震発生後の時間経過に伴うそれぞれの場面で、参集可能なメンバーの人数・属性に応じた対応マニュアルの構築が可能となる。

4. まとめ

実効的なBCPを策定して効果的な初動対応を行うためには、実際の社員の参集状況を把握しておくことが大変重要である。そこで、GISに基づく最適経路探索システムを用いて、地震発生時の社員の参集シミュレーションを行った。

その結果、地震による被害の影響を考慮しないケースでは、当初設定した拠点(拠点A)に3時間後に11%、6時間後に44%、12時間後に85%の社員が参集する解析結果となった。しかしながら、実際に大地震が発生した場合には、すぐには自宅を出られない、または被災により参集できない、通行不能の箇所が生じる等の理由により、社員の参集にも影響が生じると考えられる。

そこで次に、拠点A付近で大きな揺れが予測される東京湾北部地震を想定したケースで地震被害を考慮した解析を行った。想定される震度に応じて、地震発生から社員が参集のため自宅を出動するまでの時間(出勤遅延)や、通行不能となるエリアの設定を行った結果、参集率

は3時間後で0%、6時間後でも2%、12時間後で36%という結果となり、大幅に参集率が低くなることが明らかとなった。そこで、同じ条件で拠点Bへの参集シミュレーションを実施したところ、参集率は6時間後で11%、12時間後で44%となり、このケースの場合には拠点Bを代替拠点として機能させることが有効であることがわかった。

地震時の事業継続を考える上で、物的リソース(構造物、設備、施設など)の耐震性の確保が重要であることは言うまでもないが、それに加え、このような人的リソースへの影響も考慮することが、より堅牢で実効的なBCPの構築に役立つと考える。

参考文献

- 1) 副島紀代：地震被害予測に基づく事業継続影響度の評価方法，大林組技術研究所報 No.72，(2008)
- 2) 関沢愛：地震災害時における防災担当職員の非常参集に関する研究-1-川崎市の非常参集訓練における調査結果，消防研究所報告，pp.23-32，(1993)
- 3) 関沢愛：地震災害時における防災担当職員の非常参集に関する研究-2-1993年釧路沖地震時の消防職員・団員の非常参集の実態に関する調査結果，消防研究所報告，pp.67-76，(1994)
- 4) 関沢愛：地震災害時における防災関係職員の非常参集に関する調査研究-川崎市の参集訓練時と1993年釧路沖地震時の比較考察，日本建築学会 学術講演梗概集F，pp.609-610，(1994)
- 5) 黒田洋司 他：阪神・淡路大震災と芦屋市職員の参集行動，東京大学 社会情報研究所 調査研究紀要7，pp.27-68，(1996)
- 6) 鉦田泰子 他：災害時水道事業継続のための職員参集に関する調査研究，建設工学研究所論文報告集，pp.137-153，(2008)
- 7) 村上ひとみ 他：2009年駿河湾の地震における静岡県職員参集に関するアンケート調査と自転車利用の課題，東濃地震科学研究所報告，pp.37-48，(2010)
- 8) 福島誠一郎 他：地震時従業員参集評価システムの開発，日本建築学会 学術講演梗概集A-2，pp.389-390，(1999)
- 9) 西村浩一 他：事業継続計画のための社員参集時間マップの作成，地域安全学会梗概集，pp.37-38，(2008)
- 10) 奥田暁 他：GISを用いた地震被害予測システム，大林組技術研究所報 No.53，(1996)
- 11) 高雄真 他：GISによる緊急対応支援システムに関する基礎的研究，地域安全学会論文報告集，pp.11-18，(1996)
- 12) 内閣府 防災担当：事業継続ガイドライン 第一版，p.29，(2005)