

事業継続に向けた効果的な事前/事後 対策の選定手法

副島 紀代

事業継続マネジメント（BCM）において、効果的な事業継続計画（BCP）を策定するためには、災害発生後の重要業務の復旧時間を定量的に把握する必要がある。そこで、プロジェクト管理手法であるPERT/CPMを用いて、災害時の復旧時間を定量化する手法を提案した。想定する災害の程度に応じた個々の被災箇所の復旧所要時間を見積もること、事業全体の復旧所要時間を定量的に予測することが可能となる。また、全体の復旧時間に最も影響のある箇所をクリティカル・パスとして特定することができるため、対策の優先順位を合理的に判断でき、効果的なBCPの策定につなげることができる。

キーワード：事業継続，BCM/BCP，PERT/CPM，復旧時間，クリティカル・パス

1. はじめに

近年、国内外では、地震や風水害などの自然災害、あるいは新型インフルエンザに代表される感染症などの危機に対応するため、従来の防災的な対策に加え、事業継続マネジメント（Business Continuity Management、以下BCMと記す）の取り組みが進められている。

事業継続（BC: Business Continuity）とは、「企業が災害や事故などで被害を受けても重要業務を中断させず、万が一、重要業務が中断した場合にはできるだけ早急に復旧させること」と定義されている[1]。

BCMとは、上記のような事業継続（BC）を実現するためのマネジメント手法を指し、ISO9000などのマネジメントシステムと同様に、PDCA（P=Plan：計画，D=Do：実施および運用，C=Check：点検および是正，A=Act：見直し）を繰り返し行っていく点が特徴である。事業継続を達成するためのこの一連の流れをBCMサイクル（図1）と呼び、BCMサイクルをまわすことで継続的改善が図られる仕組みとなっている。

BCMでは、目的が「事業継続の実現」という簡潔な形で示されているため、対策の効果を業務稼働率や復旧時間（図2）という指標で比較・評価しやすいというメリットがある。

そえじま みちよ
株式会社大林組 技術研究所構造技術研究部
〒204-8558 清瀬市下清戸4-640

一方で、目標とする事業継続を実現するためには、その具体的な行動計画であるBCP（事業継続計画）の策定が不可欠である。事業継続の実現に結びつく効果的な対策を行うには、策定されたBCPに基づく事業継続性を適切に評価し、目標達成のために必要な対策箇所やその効果を示すことが必要である。

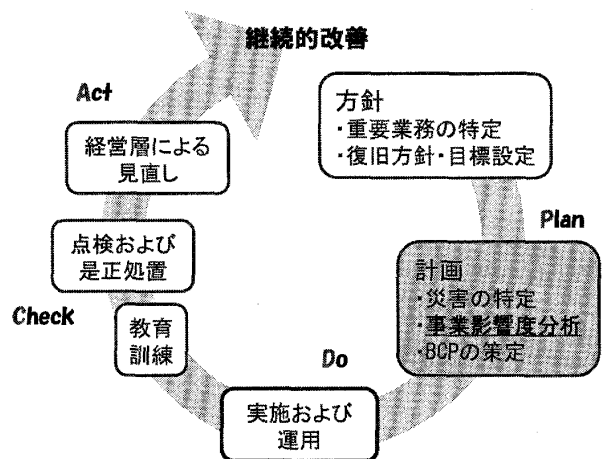


図1 BCMサイクルの概念図

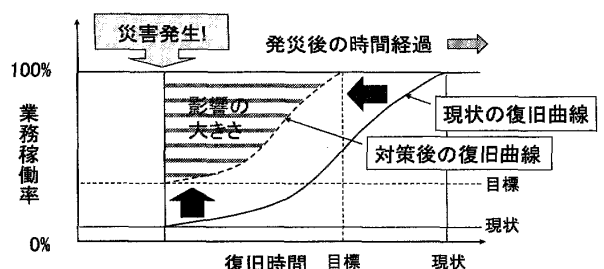


図2 BCMにおける復旧時間と業務稼働率の概念図

そこで本稿では、災害時の効果的な対策選定を目的として、事業継続性=復旧性能（短時間で復旧できること）と定義し、プロジェクト管理手法による復旧時間の定量的予測により、災害に対する事前/事後対策を評価する手法について述べる。なお、想定する災害はいろいろなものが考えられるが、ここでは比較的イメージがしやすいと思われる地震災害を想定するものとする。

2. プロジェクト管理手法を用いた復旧時間の予測

2.1 PERT/CPMを用いた復旧所要時間の推定

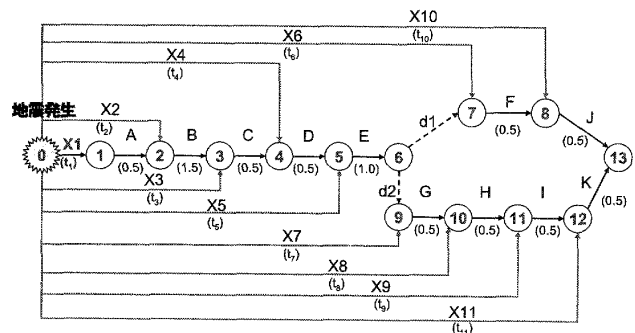
PERT (Program Evaluation and Review Technique) は1958年にアメリカで開発された古典的なプロジェクト管理手法である。結合点 (event または node) と矢印 (作業, job または activity) でプロジェクトの作業順序を表現し、各作業の時間的な前後関係や所要時間を考慮して工程計画・管理を行うことができる。一連の作業工程を結合点と矢印で表した図をアローダイアグラム (図3) と呼ぶ。一方, CPM (Critical Path Method) は同じ頃に米国デュボン社によって開発された手法であり、全体の所要時間をどれくらい短縮することが可能か、また短縮に要する費用を考慮した場合にどの作業をどの程度短縮するのが最適か、という最適化問題を解くことができる手法である [2]~[5]。

通常の重要業務の作業工程が図3に示される場合に、災害時の復旧工程を追加すると図4のようなアローダイアグラムができる。この場合には、通常作業の開始点 (結合点番号1) の前に、災害発生 (例えば地震) という event (結合点番号0) が追加され、そこから各作業の作業開始点 (結合点番号1~13) に X1~X11 という復旧工程を表す矢印が追加されることになる。各復旧作業に要する所要時間 ($t_1 \sim t_{11}$) は、想定する災害の規模により変化する。なぜなら、地震に

よる震度が違えば被害の程度が異なるのと同様に、想定する災害の規模に応じて被害状況が変化するためである。

例えば災害を地震と想定し、震度6弱の揺れが発生した場合の復旧時間の推定例を図5のアローダイアグラムに示す。ここでは、震度6弱相当の地震の揺れに対する構造物や地盤の被害予測を実施し、関係施設・設備の耐震性能評価に基づく被害予測や、周辺のライフライン・交通網の被害によるリソース (物資・人材・エネルギー・情報など) の欠乏、復旧活動の遅延状況などを考慮して、各復旧作業に要する所要時間 ($t_1 \sim t_{11}$) を設定した。その結果、平常時には6時間で完了していた業務が、震度6弱の地震時には171時間かかることと予測され、両者の差異の165時間を復旧時間と考えることができる。

震度の大きさを変えて同様の計算を行えば、地震の規模に応じた被害状況の差異が、重要業務の復旧時間に与える影響について比較することができる (図6) [6]。例えばこの例では、震度6弱を超えると急激に復旧所要時間が増大し、事業継続上の影響が大きくなることがわかる。一般の地震に対するBCMでは、特定の大規模な地震 (ex. 首都直下地震, 東海地震,



注) --- d1, d2はFの復旧作業(X6)とGの復旧作業(X7)を区別するためのダミー作業で、所要時間0である

図4 災害時のアローダイアグラム (地震の例)

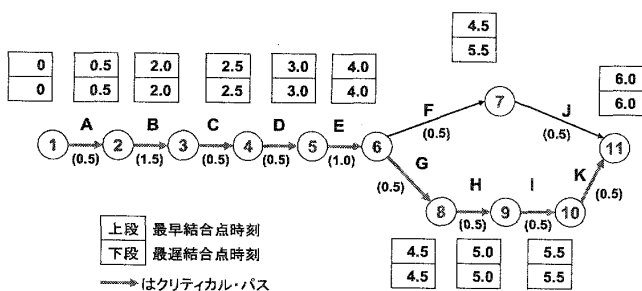


図3 アローダイアグラムの例

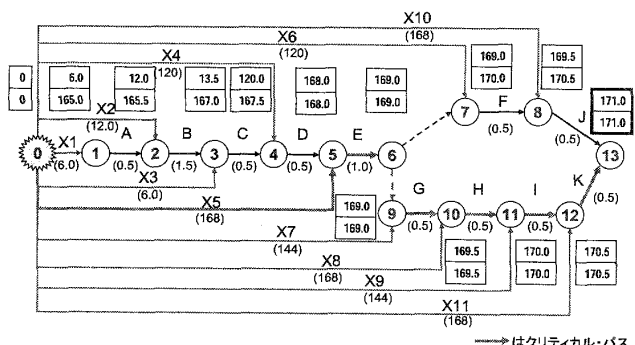


図5 復旧時間の推定例 (震度6弱の場合)

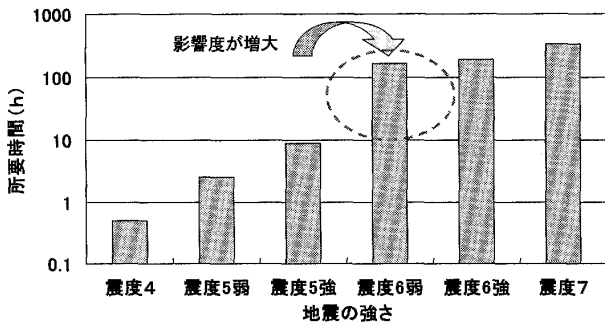


図6 災害強度の違いによる復旧所要時間の比較（地震の例）

など）を想定したケースしか検討していない場合が多いが、それより1ランク小さい、あるいは大きい地震の場合にはどの程度の影響があるかを把握することは、想定外の対応を考える上で大変重要である。またこのような検討により、どの程度の規模の地震まで対応すべきかという判断にも役立てることができる。

2.2 PERT/CPMによる効率的な対策箇所の特定

PERT/CPMでは、全体工程の所要時間が計算されるとともに、クリティカル・パスが自動的に明示される。クリティカル・パスとは、その作業が遅延すると全体工程に影響の出る工程であり、PERT/CPMでは理論上、クリティカル・パスを短縮しない限り全体の所要時間が短縮されないことが自明である。したがって、図5に示すようなケースの場合、復旧時間を短縮するには、まずクリティカル・パスにあたるX5という復旧工程の所要時間を短縮する対策が必要であることを特定できる。

このように、PERT/CPMによる復旧時間予測手法では、復旧時間短縮のために必要な対策箇所がクリティカル・パスという形で自動的に提示されることが、大きなメリットのひとつとなっている。

3. 復旧時間を短縮する対策の選定手法

3.1 合理的な対策の考え方

事業継続の観点から対策を実施する目的は、想定する災害に対する事業継続性を要求される水準まで高めることにある。すなわち、事業継続性＝復旧性能とするならば、目標とする時間内に復旧できるようにすることが必要である。

また同時に、対策を実施することで余分に発生する費用と、得られる効果（損失の減少分）を比較し、後者の方が大きくなければ対策を行う意味がない。つまり、復旧時間の短縮効果を定量的に示すことと、それ

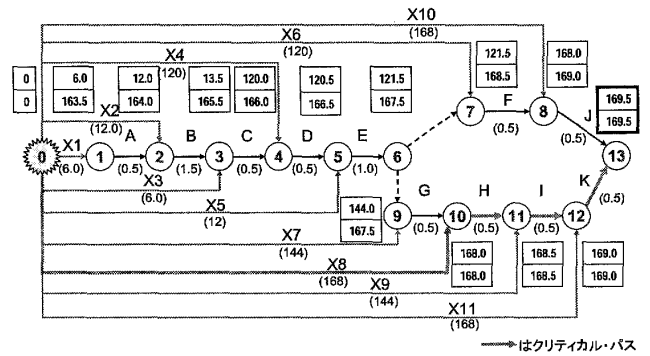


図7 震度6弱の地震に対する復旧所要時間（X5対策後）

に基づいた費用対効果の十分な検討が、合理的な災害対策を実施する上で重要である。

3.2 復旧時間短縮効果の比較

2.2節で述べたように、図5に示すようなケースで復旧時間を短縮するには、クリティカル・パスにあたるX5という復旧工程の所要時間を短縮する対策が必要である。そこで、関連する箇所に対策を実施し、X5の所要時間を168時間→12時間に短縮すると、図7に示すような新しいアローダイアグラムができる。この結果、対策後の復旧所要時間は171時間→169.5時間と1.5時間短縮されることになる。このようにして、対策による全体の復旧時間の短縮効果が算定できるので、複数の対策案がある場合には短縮効果の比較をすることができる。

ただし、この例の場合、X5の所要時間だけをいくら短縮しても、全体の所要時間はこれ以上短くならない。なぜなら、新たにクリティカル・パスとなるX8の所要時間が支配的になるからである。このような場合には、1箇所だけの対策では効果が薄く、複数箇所の対策をあわせて実施しなければ、目標とする短縮効果が得られないことがわかる。

そこで、以下同様に、順次クリティカル・パスとなる作業に対策を実施して、最終的にすべての対策を行った場合、図8に示すとおり復旧所要時間は15時間となり、対策前より156時間短縮される結果となった。これは逆に、どんなに対策をしてもこれ以上の短縮は難しいということを示している。

3.3 復旧時間予測に基づく費用対効果の比較

さらに、最適な対策案を決定するには、費用対効果の観点からの検討が必要である。ここでは、災害による影響を受けたときの全体損失費用を①復旧費用、②対策費用、③機会損失費用の和と考え、それぞれの対策案に対して、全体損失費用を比較することとする。

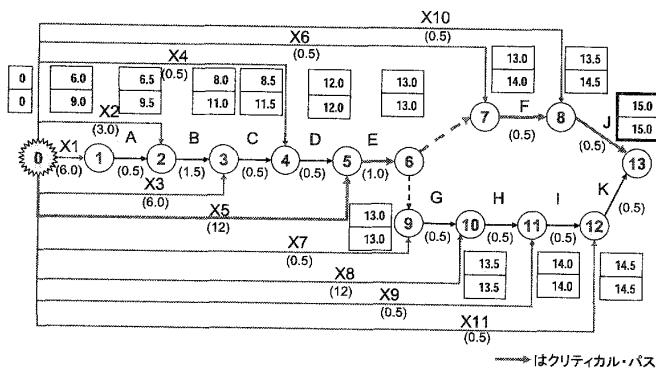


図8 震度6弱の地震に対する復旧所要時間（全工程対策後）

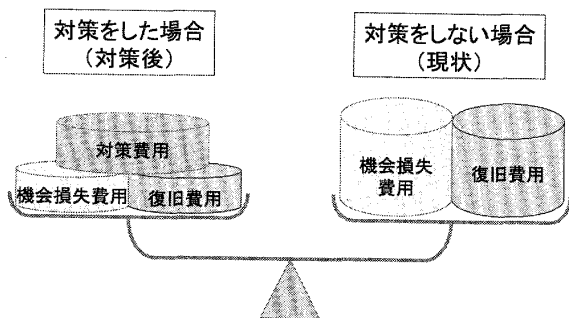


図9 対策案のコスト比較

ここで、それぞれの費用は以下のように定義する。

- ① 復旧費用：災害により被害を受けた施設（構造物、設備など）を復旧するためにかかる費用で、予想される被災程度が小さければ少なく、大きければ多くなる。
- ② 対策費用：事前および事後の対策にかかる費用で、補強工事費用や代替品の準備費用などが相当する。
- ③ 機会損失費用：事業を継続していれば得られるはずだった利益と考えられ、(単位時間当たりの利益) × (復旧時間) で表すこととする。なお、対策工事に伴う機会損失費用（補強工事による臨時休業など）は、対策費用に含めるものとする。

機会損失費用には復旧時間の短縮効果も考慮されていることから、全体損失費用を指標として費用対効果を評価することができる。図9に費用対効果の考え方を示す。対策をしない場合（右）に比べて、対策をした場合（左）は被災程度が軽減されるため、復旧費用が一般的に小さくなる。また、復旧時間が短縮されることで機会損失費用も小さくなるが、何らかの対策費用が発生する。機会損失費用は復旧時間に比例するため、適切な対策による復旧時間の短縮がコスト

表1 対策案一覧

作業記号	対策内容	標準所要時間 D_i (h)	特急所要時間 d_i (h)	標準費用 M_i (億円)	特急費用 m_i (億円)
X1	液状化対策(地盤改良)	6.0	0.5	0.05	0.3
X2	新設備への更新	12.0	3.0	0.05	5.0
X3	液状化対策(地盤改良)	6.0	0.5	0.05	0.5
X4	液状化対策(地盤改良)	120.0	0.5	0.05	0.3
X5	設備の高耐震化	168.0	12.0	0.10	2.0
X6	液状化対策(地盤改良)	120.0	0.5	0.50	0.4
X7	液状化対策(地盤改良)	144.0	0.5	0.10	0.2
X8	設備の高耐震化	168.0	12.0	0.50	2.0
X9	液状化対策(地盤改良)	144.0	0.5	0.10	1.0
X10	液状化対策(地盤改良)	168.0	0.5	0.10	0.7
X11	液状化対策(地盤改良)	168.0	0.5	0.10	0.7

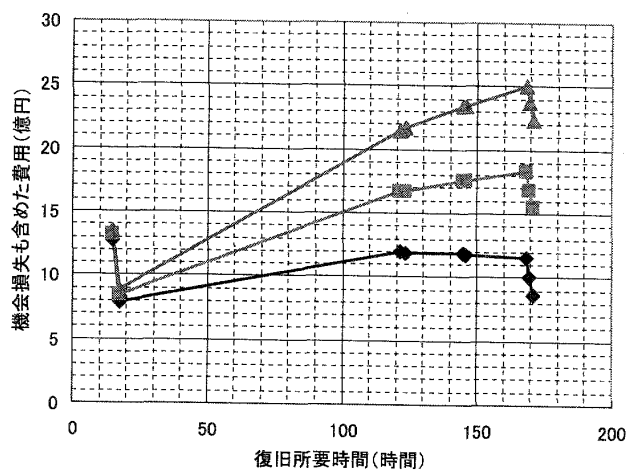


図10 復旧時間と全体損失費用の比較

の面でも重要となってくる。

それぞれの復旧工程 X1~X11 に対して、復旧時間を短縮するための対策をそれぞれ表1のように設定し、対策を最も効率的な組み合わせで行う（必ずクリティカル・パスに行く）と仮定して、対策箇所数が0箇所（無対策）の場合から11箇所（全箇所）の場合までの全体損失費用を計算した。ここで、表1の標準所要時間と標準費用は、それぞれ何も対策を行わない（=現状）場合の被災後の復旧に要する時間と費用であり、特急所要時間と特急費用は、その対策を行った場合に予測される復旧所要時間と費用（=対策費用+復旧費用）である。

1日あたりの機会損失費用を1億円、2億円、3億円とした場合の比較結果を図10に示す。機会損失費用が1億円/日のケースでは、無対策の場合（復旧所要時間が一番長い右端の点）と10箇所の対策を行った場合（復旧所要時間が2番目に短い点）とで、発生する費用に大きな差はない。しかし、1日あたりの機

会損失費用が2億円、3億円と上がっていくと、復旧所要時間の長い場合の発生費用はどんどん上昇していき、一番発生費用の低い17.5時間まで短縮させる場合の2倍以上の費用が発生することになる。この結果から、機会損失費用が比較的小さい場合には、全体の発生費用を考えて「何も対策をしない」という選択肢もありうるが、機会損失費用が大きくなるにつれて、適切な対策による復旧時間の短縮がコストの面でも重要となってくるのがわかる。

またグラフからは、最後にクリティカル・パスとなる11箇所目の対策は、復旧時間の短縮効果に比べ費用がかかり過ぎることがわかる。このことから、費用対効果の良くない対策箇所も明らかとなる。

3.4 合理的な対策の選定フロー

以上のような知見を基にBCMを考えると、費用対効果を最大にする事業継続レベルの設定も重要であることがわかる。例えば地震災害を想定した場合、対策後の建造物の耐震性能を新設と同等になるように補強するより、軽微な被害を許すレベルで補強する方が、費用対効果が大きい場合もある。

そのような視点から、効果的なBCP策定を目的とした合理的な対策選定フローを図11に示す。フローは、①想定した災害に対する直接および間接被害予測、②各種被害に基づく復旧時間の算定、③復旧時間短縮のために必要な対策箇所の特定と費用対効果による対策の評価、という3つの柱から成り立っている。

一般的なBCMのガイドライン類では、まず目標復

旧時間を設定するように記載されている。しかし、現実的な復旧時間を把握できていない状態で設定された目標復旧時間は、現実的な復旧時間との間に大きな乖離がある可能性がある。そこで、このフローでは、まず復旧時間の予測を行い、現実的な復旧時間を認識した上で、対応可能な目標復旧時間を設定し、BCP策定と対策選定を行えるフローとなっている。

本稿では主に物的な被害を念頭において説明してきたが、実際には施設・設備の機能的な被害や、周辺のライフラインや公共交通網などの被害による間接的な影響（物資・人材・情報などの調達遅延、復旧活動の遅延状況など）も考慮する必要がある。また最近ではサプライチェーンの重要性も指摘されており、取引先の被災状況も念頭に置いたBCP策定が求められている。サプライチェーンやライフラインなどの被害予測は容易ではないが、例えば広域的な被害想定から、自社とサプライヤーとの位置関係により簡易的に影響を把握する手法もある[7][8]。今回ご紹介した復旧時間予測手法では、そのような様々な影響も考慮することが可能である。

4. まとめ

事業継続に結び付く効果的な事前/事後対策の選定を目的に、復旧時間および費用対効果から事業継続性を評価し、早期復旧に寄与する合理的な対策選定を行う方法について述べた。

事業継続の実現を目的として限りある経営資源（リ

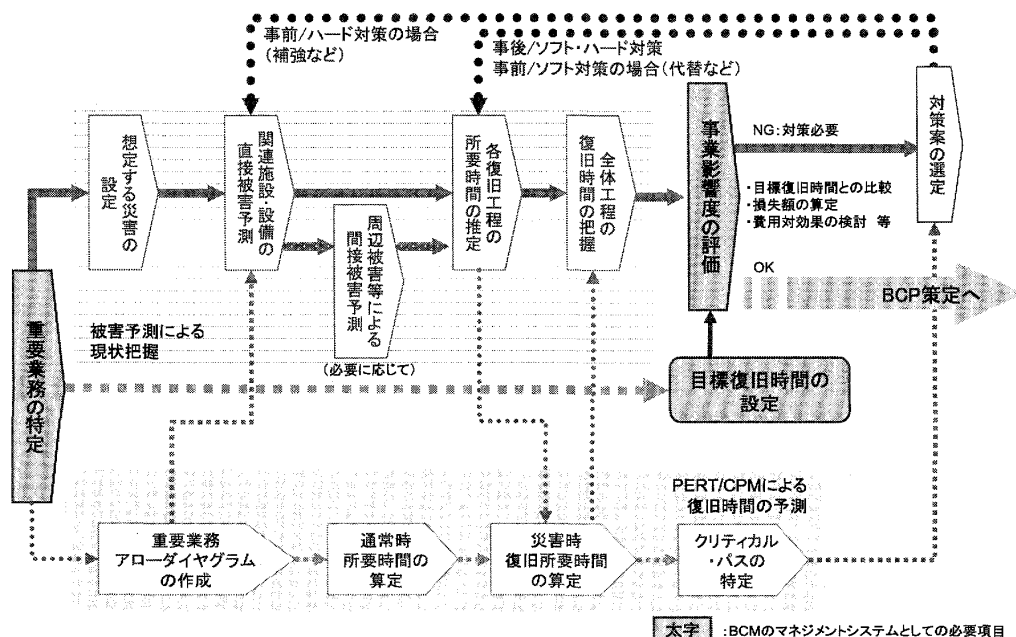


図11 BCP策定における合理的な対策選定のフロー

ソース)を有効に活用するためには、①想定した災害に対する個々の構造物の被害予測、②構造物の被害による施設機能への影響度予測、③必要な対策箇所の特定制と効果的な災害対策の選定、の3つが重要である。

その実現のため、プロジェクト管理手法であるPERT/CPMを利用し、被害の程度を反映した復旧時間の予測手法を提案した。この手法では復旧にかかる所要時間を計算できるとともに、全体の復旧所要時間に最も影響のある復旧工程をクリティカル・パスという形で特定することができる。PERT/CPMでは、クリティカル・パスにあたる工程を短縮しなければ全体工程を短縮できないことが自明であり、このことから復旧所要時間を短縮するために対策すべき箇所がクリティカル・パスという形で合理的に特定されることになる。

さらに、立案した対策案について、費用対効果による評価手法を示した。計算された復旧所要時間を基に、復旧費用、対策費用、機会損失費用の和として表される全体損失費用を用いて、対策による費用対効果を定量的に比較することが可能である。

以上から、対策の優先順位や選定に関する判断を合理的に行うことができる。さらに、今まで個別対応的に行われてきた災害対策の事業全体における位置付けが明確になり、経営判断が行いやすくなる。

実務への展開という観点からは、①被害予測技術の精度の向上、②事業者相互の影響波及の考慮、③費用対効果の高い対策手法の開発、などが今後の課題として挙げられる。このうち①と③については、それぞれ

の専門分野で、日々研究開発が進められているところである[9]が、②についてはOR的な手法の活用が求められる分野であり、今回提案した手法も含めて、より効果的な事業継続に役立てるため、今後一層議論が進んでいくことを願っている。

最後に、PERT/CPMを用いた復旧時間予測手法については、東京大学生産技術研究所の目黒公郎教授に多大なご指導を頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- [1] 内閣府, 事業継続ガイドライン 第一版, 2005.
- [2] 関根智明, PERT・CPM, OR ライブラリー 11, 日科技連, 1973.
- [3] 加藤昭吉, 使える計画技法 PERT/CPM—プロジェクトを成功させる科学的プランニング—, 1999.
- [4] 加藤昭吉, 計画の科学—どこでも使える PERT・CPM—, 講談社ブルーバックス, 1965.
- [5] 長畑秀和, OR へのステップ, 共立出版, 2002.
- [6] 副島紀代, 目黒公郎, 事業継続性の評価に基づく効果的な地震対策の選定手法, 土木学会地震工学論文集, 第30巻, 2009.
- [7] 副島紀代, 目黒公郎, サプライチェーンを考慮した地震時の復旧時間推定手法, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.
- [8] 副島紀代, 目黒公郎, 震災時BCPにおける事前/事後対応の評価手法, 第13回日本地震工学シンポジウム, 2010.
- [9] 副島紀代, 江尻謙嗣, 事業継続の実現に向けた被害予測と災害対策, 電力土木, Vol. 346, pp. 41-45, 2010.