

# サプライチェーンの地震リスク 評価システム ISSOP<sup>®</sup>-SCM

白田 光一, 吉澤 睦博

平成 21 年 8 月 11 日駿河湾の地震で、静岡県内の東名高速道路が被災を受け、交通車両が迂回を余儀なくされ渋滞による物流の遅延が発生していたことは記憶に新しい。本システムは従来技術である地震発生による建物（製造拠点・物流拠点）の被害予測に加えて、周辺のライフライン（道路等）の被害予測を行い、地震発生時の製造から物流にいたる SC（サプライチェーン）に対する BCP（事業継続計画）策定を支援するシステムとして開発をした。

キーワード：SC, BCP, SCM, 地震

## 1. はじめに

昨今、企業において BCP（事業継続計画：Business Continuity Plan）の策定が必要視され、政府も企業の BCP 導入を奨励している。地震国日本では、地震に対する BCP が重要であると認識されている。本システムは、地震時の製造業に必要な BCP 策定を支援するシステムを目的に開発をした。

製造業では、地震による建物の被災を最少にし工場の稼働を維持することだけではなく、生産した物を供給する物流の維持を含めた BCP が必要である。SCM（Supply Chain Management）が、かなめとなる。

本システムは SC（Supply Chain）を構成する製造拠点・配送拠点・輸送の 3 機能それぞれに地震発生時の影響度を予測できる機能を有し、また最適な BCP 策定を行えるよう、被災時に考えられる複数の緊急対応 SC プランの定量的評価を容易に行う機能を付加している。

## 2. システム概要

ISSOP<sup>®</sup>-SCM のシステムフローを図 1 に示す。まず、評価対象となる平常時のパラメータの収集と予測する想定地震を選択する。次に、SC の構成要素の

ち地震発生時に建物がどの程度の被災を受けるか、復旧にどの程度期間を要するかのシミュレーションを行う（機能 1）。

さらに、建物同様に配送ルート上の道路機能のシミュレーションを行う（\*機能 2）。

次に、建物の被災程度に応じて工場・倉庫の稼働率（出荷能力係数）に置き換える計算を行う（機能 3）。

予測された工場・倉庫の稼働率低下に対して、平常時の SC における供給量を維持することを制約条件として、複数コンテンツプランの中から緊急時の総物流コストを最少にする案を導き出す（\*機能 4）。

## 3. 機能詳細

### 3.1 地震後の建物稼働率の算出（機能 1, 2, 3）

地震後の建物稼働率を算出するためのフローを図 2

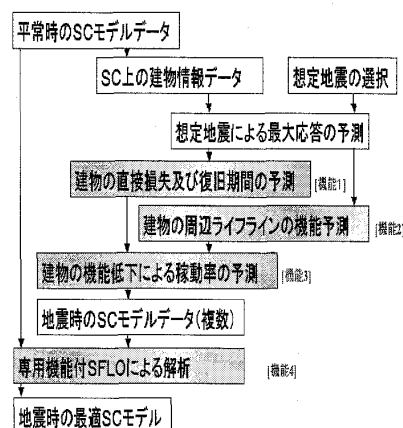


図 1 システムフロー

\* SFLO (Smart Facility Location Optimizer : サイテック社) を利用

うすだ こういち

(株)竹中工務店 エンジニアリング本部

〒136-0075 江東区新砂 1-1-1

よしざわ むつひろ

(株)竹中工務店 技術研究所

〒270-1395 印西市大塚 1-5-1

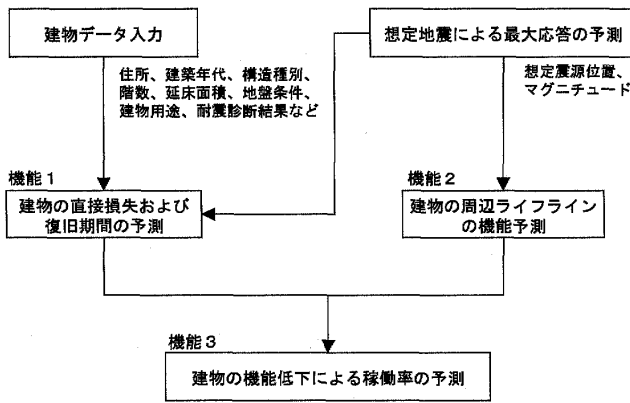


図2 建物の稼働率の予測フロー

ラック	軽微	小破	中破	大破	倒壊
概念図					
状況	仕様の隅部損傷がわずかなり発生	仕様の目地が割れ、部分的剥離	仕様の全面に大きな剥離や剥離	柱梁の局部損傷、仕様の一部脱落	建物の一部が全倒壊

図3 被害程度の概要(鉄骨造の場合)

に示す。

地震時の直接損失(構造被害)および復旧期間の予測では、建物の耐震診断で算出される構造耐震指標  $I_s$  値をベースに行う。耐震診断結果が無い場合には、建築年代、構造種別、階数等より  $I_s$  値を概算して検討する。耐震性の優れた建物(新耐震基準の設計や免震構造など)の場合は耐震性を  $I_s$  値に換算して検討する。

建物の被害の概要を図3に示す。建物被害は  $I_s$  値だけで確定的に決まるものではなく、地震波の振動特性や地盤特性などの不確定性によりばらつく。そこで建物にあるレベルの損傷を与える地震動の大きさを確率変数として、その中央値と不確定性によるばらつきを対数標準偏差で与えて建物被害を連続的に評価した関数を用いて、各拠点での想定地震による被害程度を予測した[2]。一般にこの評価関数を損傷度曲線(フラジリティ曲線)と呼ぶ。損傷度曲線のイメージを図4(a)に示す。縦軸に損傷程度の超過確率  $P$ 、横軸が最大加速度  $a$  である。図4(b)は損傷費用率  $D$  の例である。以上の  $P$  と  $D$  により、加速度  $a$  が発生した場合の建物の予想被害率が次式で求められる。

$$\begin{aligned} \text{予想被害率} &= D_{\text{小破}}(P_{\text{小破}} - P_{\text{中破}}) \\ &+ D_{\text{中破}}(P_{\text{中破}} - P_{\text{大破}}) + D_{\text{大破}}(P_{\text{大破}} - P_{\text{倒壊}}) \\ &+ D_{\text{倒壊}} P_{\text{倒壊}} \end{aligned}$$

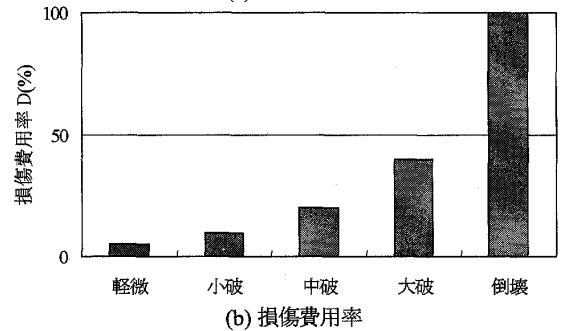
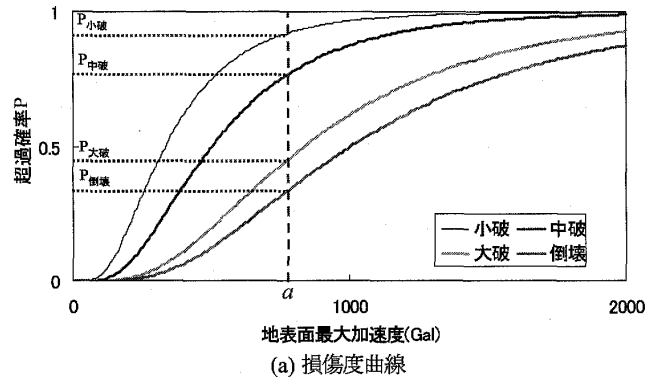


図4 損傷度曲線と損傷費用率の例

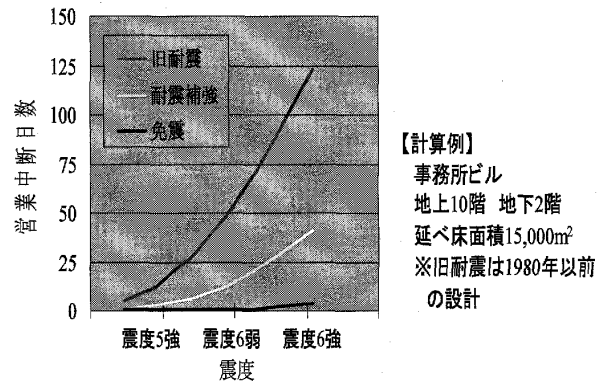


図5 営業中断日数の計算例

ここで地表面加速度  $a$  は、安中・山崎・片平の断層最短距離式[3]を用いて工学的基盤の最大速度を算出し、地表面の速度増幅特性および加速度への変換は地震被害想定支援マニュアル[4]に準じて行った。

建物の復旧期間(ここでは建物の機能が90%回復するレベルの営業中断日数を復旧期間と考えた)は過去の震災復旧データをもとに、建物の耐震性能、建物用途、および建物の延べ床面積と予想震度によって設定した。設定事例を図5に示す。

道路等のライフラインの被害予測は、個々の道路をモデル化して予測することは難しいため、震度と地盤特性による被害箇所数の関係[4]を参照して、SCの拠点間を結ぶ道路の輸送速度の低下で評価する。

建物の稼働率は、建物の被害予測から想定される機

能低下だけでなく、SCにおける建物の機能面を考慮して設定する。図6は配送センターでの出荷能力係数と建物構造被害予測の関係の例である。

### 3.2 緊急時の最適なSCの予測 (機能4)

平常時のSCモデルに対し、供給量を変えずに機能2, 3で得られた結果をそれぞれ導入すれば当然ながら実行不能となる。供給量を維持するために、平常時のSCモデルでは固定値となっているパラメータを変動させれば (例えば、倉庫のスペースを緊急時は外部に借りるあるいは、被災を受けなかった工場の最大生産量を緊急時は稼働時間を延長して増やす等) 当然実行可能なモデルとなるが、複数のパラメータを同時に変動させ最適解を求めることが必要となる (図7)。

表1 道路延長1km当たりの被害箇所数

地表最大速度 (cm/s)	山地・台地・扇状地	自然堤防・砂州・谷底平野・三角州・旧河道・埋立地
10未満	0.00	0.00
10~20	0.04	0.06
20~40	0.07	0.12
40~60	0.10	0.16
60以上	0.13	0.20

単位:箇所/km

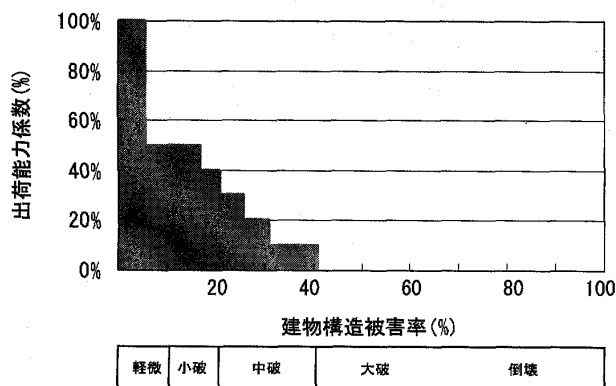


図6 配送センターの出荷能力係数の例

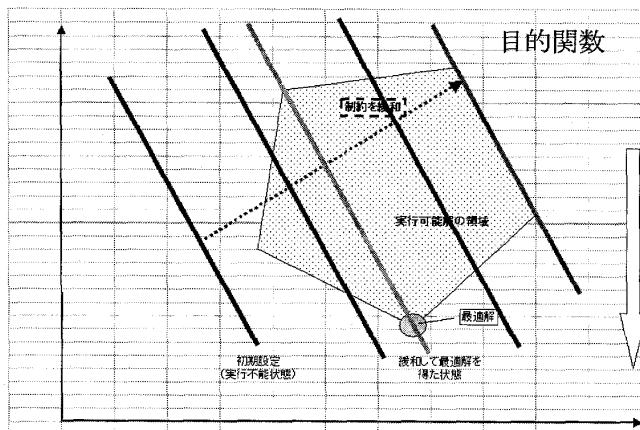


図7 最適解を解くモデルイメージ

本システムでは、サイテック社がリリースしているSFLOに追加して利用する専用機能を開発して実現をさせた。

## 4. 実施例による機能紹介

### 4.1 実施モデル

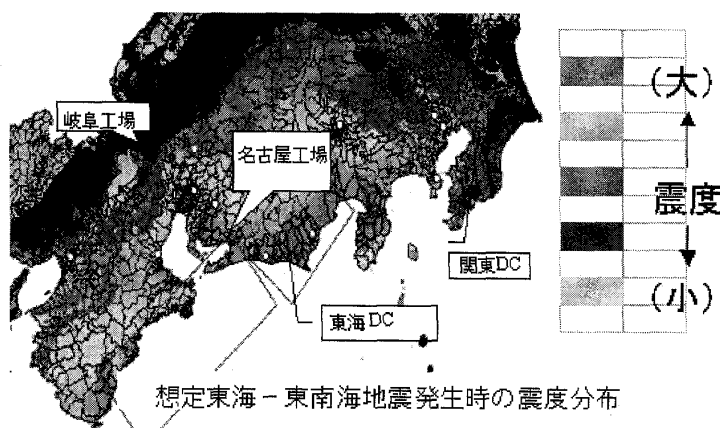
図8に示すSC (サプライチェーン) を有する製造業を例に東海-東南海地震発生時に必要な緊急対応プランを本システムを利用して導いた事例を紹介する。最適化計算に設定できる項目は、製造品種・品種別工場別生産能力・工場内倉庫およびDC別保管能力・顧客所在地と顧客別需要量・工場別製造コスト (固定費、変動費)・製品在庫費用・輸送費となっている。

### 4.2 建物の直接損失予測と稼働率予測

図9は地震発生時の各拠点での震度予測と建物の直接損失と稼働率を出力した結果である。これによると



図8 平常時のサプライチェーン



想定東海-東南海地震発生時の震度分布

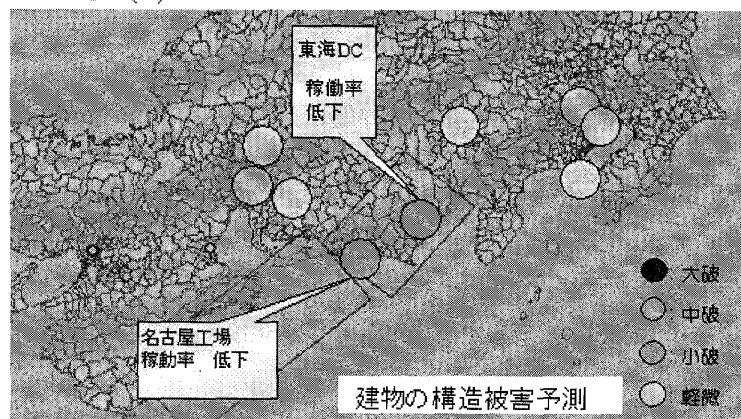


図9 被災予測出力例

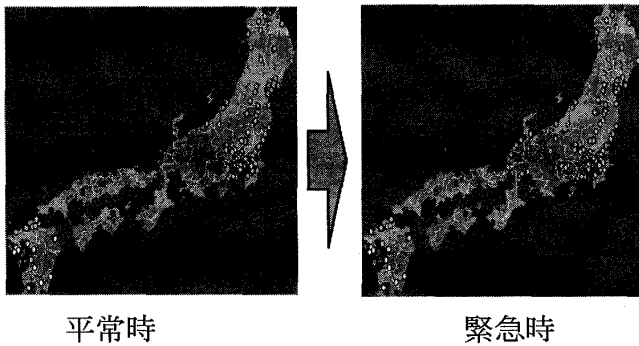


図10 緊急時の配送ネットワーク

東海 DC と名古屋工場の稼働率が低下するとの結果になっている。

#### 4.3 地震発生時の最適緊急対応プランの出力例

東海 DC と名古屋工場の稼働率低下に対して平常時の供給を維持する緊急対応としての最適案について本システムを利用して見だすことができる。この例では関東圏の工場と関東 DC および近畿 DC の取扱いを増やし対応するプランが最適との結果が出力された(図10)。同時に緊急対応時には関東 DC においては外部倉庫が臨時に必要となる(必要スペース含)結果も出力された。

#### 4.4 緊急対応時の製造・物流費用予測結果

最適緊急対応案に必要な臨時費用を図11に示す一覧として出力することができる。本機能は、SFLOの基本機能を利用している。

### 5. おわりに

本システムは、地震時の被害として、建物本体に加えて建物内の製造設備や周辺道路の被害についても一

図11 物流コスト算出結果

0. 配送センターコストレポート

	01北関東DC	02東北DC	03関東DC	04東海DC	05北陸DC	06近畿DC	07中部DC	08西国DC
-現状	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼
-決定	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼
-結果	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼	開稼
開閉費	0	0	0	0	0	0	0	0
固定費	1815	4725	42950	18718	4646	11980	453	917
変動費	2287	1410	22440	24289	4920	12387	573	1895
在庫費	861	2227	9348	5429	777	1967	80	173
輸送費	722	4326	4381	8545	1202	2655	282	936
合計費	5295	25089	77920	68078	16873	28047	1590	2768

	09JNDC	合計
-現状	開稼	-
-決定	開稼	-
-結果	開稼	-
開閉費	0	0
固定費	7641	34756
変動費	3127	43520
在庫費	1441	15969
輸送費	4690	42190
合計費	22902	242915

図11 物流コスト算出結果

定の考慮をした。しかしながら、実際には物理的な損傷の他にも考慮しなければならない項目がある。例えば、被害を受けた地域で従業員が出勤できる状況にない場合のシナリオであったり、現在の高度な情報インフラ上に成り立っている SC では、情報インフラへの影響を予測することも重要である。

本システムを総合的な BCP 策定のツールの1つとして位置付け、活用できればと考えている。

#### 参考文献

- [1] 伊倉義郎：「最適拠点配置ソフト SFLO の開発と適用例」, 2001 年第 4 回 OR セミナー。
- [2] (株)建築・設備維持保全推進協会・(株)日本ビルディング協会連合会：「不動産投資・取引におけるエンジニアリング・レポート作成に係るガイドライン」, 2007 年。
- [3] 安中・山崎・片平：「気象庁 87 型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案」, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, 1997 年 7 月。
- [4] 国土庁：「地震被害想定支援マニュアル」, 平成 11 年 1 月。