

BCP策定のための地震被害モードマトリクスに関する一考察

A Consideration of Earthquake Damage Mode Matrix for Business Continuity Plan

○ 高橋 郁夫¹, 林 孝幸², 荏本孝久³, 宮村正光⁴, 福島誠一郎⁵
 Ikuo TAKAHASHI¹, Takayuki HAYASHI², Takahisa ENOMOTO³,
 Masamitsu MIYAMURA⁴ and Seiichiro FUKUSHIMA⁵

¹ 清水建設(株) 技術研究所

Institute of Technology, Shimizu Corporation

² 東京海上日動リスクコンサルティング(株) 自然災害リスクグループ

Catastrophe Risk Quantification Group, Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.

³ 神奈川大学 工学部 建築学科

Department of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

⁴ 鹿島建設(株) 小堀研究室

Kobori Research Complex, Kajima Corporation

⁵ 東電設計(株) 防災グループ

Disaster Reduction Engineering Group, Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

The mode matrices of earthquake damage for the various types of business are proposed to support settlement of business continuity plans (BCP). The matrices present the damage aspects of structure, non-structure, furniture, machines, life lines etc. to seismic intensities including matters that require attention considering the characteristics of the business. The matrices are produced experimentally for the manufacturing industry and the tourist industry (hotels), and the difference in the earthquake damage modes among the types of business is investigated.

Key Words: Business Continuity Plan, Earthquake Disaster, Damage Mode Matrix, Type of Business

1. はじめに

兵庫県南部地震では多くの企業が被災し、経済活動が停滞した。このような被災事例を背景として、日本では地震発生時における企業の事業継続計画(BCP)の策定の重要性が認識され、BCPの基本的な考え方¹⁾が示されるようになった。ただし、業種によって地震で発生する被害の様相は多様であり、例えば、天井落下、家具什器の転倒や工場の生産ラインの停止など、構造被害以外の二次的な災害であっても、BCPの視点から見ると業種、業態によりその影響度合いが大きく異なる。したがって、企業の業種の特徴を踏まえ、業種毎に地震動レベルに応じて被害の影響度に相違があることに留意して、BCPの策定を進めることが重要であると考えられる。

本論文では、このような観点から、業種毎の地震被害の特徴を考慮して、想定する地震動の大きさと発生する典型的な被害の様相をまとめた被害モードマトリクスの提案を行う。また、過去の地震被害事例等から、この被害モードマトリクスの作成を試み、業種による相違について考察し、マトリクス作成上の課題について言及する。

2. 業種と事業継続

企業は、その業種の特徴、個々の企業の事業形態、地域や他企業との関わり方などにおいて多様な性格を持つ。そのため、BCPには個々の企業によって内容や構成に個性が現れる²⁾。

例えば、事業内容や形態等から企業を大別すると以下のようになる。

(1) 機能分散・集中型企業

本社の他に多数のサプライチェーンを持つ企業、全国に広く販売チェーンを持つことに特徴がある。具体的には、製造業、運輸業、コンビニエンスストアなどの販売業等が該当する。地震発生時には、一施設が被災しても

代替機能を有していれば影響度は小さい。反面、一つの施設であっても、代替の利かない重要機能が停止すると全部の機能が停止する。これらの企業は、想定するシナリオ地震によってアクションプランに大きな影響がある。また、道路等の輸送経路の被害が事業継続に支障をきたす可能性がある。

(2) 地域運動型企業

事業継続が周辺地域の資源に強く依存する企業であり、観光業、宿泊業(ホテル、旅館等)がこれに該当する。これらの企業の特徴としては、建物や施設自身が被災しなくても、周辺地域にある補強・移設が困難な名所、旧跡、文化財の被災や火災による焼失、風評被害による長期的な観光客の減少などのリスクと背中合わせである点にある。これらの企業は、地震発生時の広域の地震動分布の影響が大きく、対象地点だけでなく周辺も含めた地震動分布の評価が重要である。

(3) 社会機能提供型企業

電気、ガス、水道、通信など生活に欠かせないものを提供するライフライン系企業で、線的、面的に広がる施設を有し、ネットワークで繋がれていることに企業の特徴がある。地震被害は、地震動の強さの面的な分布の相違を顕著に受けることになる。

以下では、具体的に企業の被災事例を挙げ、事業継続の観点からの被害の特徴を考察する。

2004年に発生した新潟県中越地震では、新潟県小千谷市にある半導体生産企業が地震により大きな被害を受けた³⁾。工場内には製造工程で使う化学物質のビンが倒れて酸が飛び散り、窓ガラスが散乱したが、余震が続いて安全が確保できないため、点検・復旧作業に手間取った。そのため、群馬や岐阜など他の国内拠点での生産代替を余儀なくされ、生産再開に2ヶ月以上を要した。また、2007年に発生した新潟県中越沖地震では、自動車

のエンジン部品や変速機部品で国内に大きなシェアを持つ大手製造メーカーで、倉庫の損壊や設備の転倒などの被害が発生した³⁾。1週間後に工場の操業を一部再開したが、自動車6社は、このメーカーの操業停止を受け一時的に生産休止に追い込まれた。このように、上記(1)に分類される製造業の被害は、設備機器や生産機器の破損、薬品やガスの流出、また、製造工程における部品の供給停止による生産工程全体への影響（サプライチェーンの分断）などが特徴的である。

(2)の地域連動型企業の被害事例として、新潟県中越沖地震における風評被害⁴⁾がある。この地震では、新潟市に被害は少なかったが、柏崎刈羽原子力発電所の放射性物質漏洩の風評などで、市内の宿泊施設で約6100件の宿泊予約の取り消しがあり、その影響は1億円以上に及んだ。また、県内では観光客のキャンセルが相次ぎ、2008年3月までの風評被害額は観光だけで約500億円に上ると推定されている。風評被害は地震災害だけに限らない。2000年夏の三宅島噴火では、三宅島から約百キロメートル離れている八丈島や伊豆大島は何ともないのに、伊豆諸島全体が危ないと思われてしまい、観光客が減少し閉館に追い込まれたホテルも出た⁵⁾。以上のように、風評被害は観光業に特徴的であり、直接的な被害は受けなくても、誤った情報や印象で事業に大きな影響が出る場合がある。また、建物に大きな被害がなくても、ガラスや天井材等の非構造部材の損傷、安全設備（スプリンクラーなど）の停止、エレベータの停止などによるサービスビリティの低下が客足を遠退させる要因になる。

3. 被害モードマトリクスの提案

(1) 被害モードマトリクス作成の目的

地震災害に対して企業がBCPを策定する場合、想定した地震被害シナリオに沿って考える必要がある。この場合、企業としての対応の可否を判断し、現状で対応可能な被害軽減策を模索することも必要となる¹⁾。その際、企業の被害発生状況がイメージできれば、どの被害に対してすぐに対策を講じることができるのか、長期的に考えるべき対策は何かなどを考える足がかりとなる。このイメージ作りがBCPの普及に大切であると考えられる。

この点を鑑み、業種毎に企業に発生する被害の特徴や盲点を考慮しながら、具体的な被害シナリオのイメージ作りをサポートするのが被害モードマトリクス作成の目的である。業種毎の一般的な被害モードマトリクスからその企業独自のものに発展させることができれば、よりその企業のBCPの充実に繋がると考えられる。

(2) 被害モードマトリクスの概要

被害モードマトリクスは、地震動とBCPの視点から見た災害様相を整理したものである。横軸に地震動の大きさ（震度階）を、縦軸に被害項目を取り、既往の研究成果や実被害事例を基に、地震動の大きさに対応してどのような被害が発生するかの目安をグラフ状に表現する。縦軸の被害項目に関しては、次の3つに分けられる。

① 建物・ライフラインに関する被害（共通項目）

建物およびその内部・周辺にある設備機器、電気・ガス・水道・通信等のライフライン被害は業種によって被害の様相が大きく変化しないため、共通項目として整理する。ただし、製造業における工場のような平屋または2～4階程度で大空間を持つ建物、ホテルのような中層～高層のRC造建物のように、業種によって建物の仕様自体に特徴を備えている場合があり、この点も考慮する。

② 業種特有の項目

業種によって施設内に特徴的な什器・機器設備を有することが多い。例えば、病院内に多数存在する大きくて高価な医療機器、製造業における生産機器、一般的なオフィスにおける書棚やロッカーなどがそれに当たる。また、薬品や有毒ガスなどを扱う業種では、その危険物の移動経路や格納設備などに関しても考慮が必要である。

③ BCP策定上の留意点

被害状況とは異なるが、業種別の特記事項とも言える内容がこのマトリクスの中では重要である。重要施設が倒壊や大破に至れば営業停止となるが、軽微な被害が引き金となって営業停止を余儀なくされる場合がある。例えば、オフィスビルにおけるエレベータの停止は、営業停止までに至る致命傷とはならない場合が多いと考えられるが、ホテルでエレベータが停電、損傷、自動停止などで稼働不可能になった場合には、建物や他の設備が健全であっても営業を継続することは難しい。BCP策定上の留意点は過去における被害事例に基づいて記述するが、専門家の目から見た場合に想定される事項も含まれる。

4. 被害モードマトリクスの試作

ここでは、2.で言及した製造業と観光業（宿泊業）に関して、被害モードマトリクスの作成を試みる。

(1) 構造の被害

地震動強さと建物構造被害の関係を示す地震損傷率曲線を用いて、計測震度と被害程度との関係を明示する。地震損傷率曲線は文献6)によるものを用い、被害程度として無被害、一部損壊、半壊、全壊の4区分を採用する。この表現では、地震損傷率曲線の地震動強さとして最大速度が採用されているため、文献7)で提案されている速度-計測震度換算式を用いて震度に換算する。なお、文献6)では、構造種別/建築年代毎に地震損傷率曲線が提示されている。製造業については、事業の中核となる工場の被災度が最も影響があると考え、工場の構造として一般的な「鉄骨造」を想定する。建築年代については、耐震補強などの対策が進みつつあることから、「1982年以降」の結果を用いる。観光業（宿泊業）では、ホテルを想定して構造種別を「鉄筋コンクリート(RC)造」に設定する。また、これらは集客施設であり、「建築物の耐震改修の促進に関する法律」の対象となるので、建築基準法の新耐震規準相当の耐震性能が確保されていると考え、建築年代が「1982年以降」の結果を用いる。

(2) 非構造部材の被害

神原ら⁸⁾は、アンケート調査に基づいて地震動強さ（震度）と非構造部材や設備の被害率を関係づけている。ここではこれを参考に、各震度における被害率を概略化して示す。なお、震度6強以上については文献中で言及されていないため、震度6強以上についても、そのままの損傷率とする。

(3) ライフラインの被害

ライフラインの被害程度は、その敷設状況や耐震性能、供給源との位置関係などに大きく左右され、地震動強さ（震度）ごとに被害程度を分類することが難しい。しかし、ライフラインは企業の営業活動に大きな影響を及ぼし、事業継続の観点で考慮すべき重要項目であるため、ここでは気象庁震度階級関連解説表⁹⁾から一般的な被害程度を判断し表記する。表記に当たり、解説表のライフライン被害の記述に対して損傷率を想定して図化する。

(4) 復旧期間

昨今の被害地震（2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2007年三重県中部の地震、2007年新潟県

中越沖地震)における企業の復旧期間について調査する。復旧期間は、地震後の新聞記事、企業の報道発表などで示されている完全復旧までの期間とし、復旧対象施設の地震時の震度に対してプロットする。なお、施設地点の正確な震度が不明であるため、気象庁発表の推定震度分布図から当該地点付近の震度を採用する。

(5) 機械設備の被害

製造業に関しては、多くの機械設備が建物の中に存在し、その被害発生状況が企業の事業継続を考える上で重要であるため、阪神・淡路大震災における種々の機械設備の被害発生状況^{10),11)}を調査する。表1に調査結果を示す。被害モードマトリクスはこれを基にして表現する。

以上のような方法によって試作された製造業と観光業(宿泊業)の被害モードマトリクスを図1に示す。

この図によると、建物の構造体に損傷が発生し始めるのは、製造業(S造)、ホテル(RC造)とも概ね震度6弱からである。また、ライフラインは震度5弱あたりから被害が発生する可能性があることがわかる。製造業では、震度4から一般機械や配管の損傷が出始め、震度5弱～5強では機械設備全般に何らかの損傷が発生する可能性が高まる。すなわち、製造業の事業継続は、建物の損傷よりは、比較的小さな震度から発生する機械設備の損傷の影響、ライフライン停止の影響を受け易いことがわかる。震度5弱～5強では電気や水道の供給が停止する可

能性があり、ホテルではこれがサービス機能(エレベータ、トイレ、レストラン)の低下に繋がる可能性を考えなければならない。また、震度4あたりから、建物の外壁にひび割れが発生する可能性があり、営業可能であっても宿泊客に対して安全性への悪い印象を与えかねない。今回の調査の範囲は、製造業では震度5強あたりから、宿泊業では震度6弱あたりから営業が停止する可能性があり、震度6強になると製造業、宿泊業とも事業をそのまま継続するのは困難になる可能性が高いと考えられる。

5. まとめと課題

本研究では、企業のBCP策定をサポートする目的から、業種によって異なる様々な地震被害を具体的に表現した被害モードマトリクスを提案した。また、製造業および観光業を事例として、過去の地震被害に関する研究成果や文献調査等により被害モードマトリクスを試作し、地震被害の発生状況と事業継続に関して考察した。

被害モードマトリクスの作成上の課題としては、種々の地震における、小～中～大震度に対する実被害データの収集と蓄積、様々な被害項目に対する統一的な表現や理解し易いマトリクス表現への洗練、既存のBCPに関するガイドラインとの整合や同調などが挙げられる。また、今回の被害モードマトリクスの試作では、サプライチェーンの分断や通信の障害に関しては記述していないが、個別企業の状況に応じて、被害の様相に大きな影響のある項目は追加して検討することが望ましい。

今後、提案した被害モードマトリクスをより有効なものにするためには、上記の課題への取り組みが不可欠であるが、被害モードマトリクスの充実が企業のBCP策定の一助になれば幸いである。

謝辞

本研究は、地域安全学会・調査研究委員会「企業災害時業務継続計画(BCP)の基本的考え方に関する研究」小委員会の活動の一環として行ったものである。関係者各位の熱心な議論と貴重な助言に感謝する。

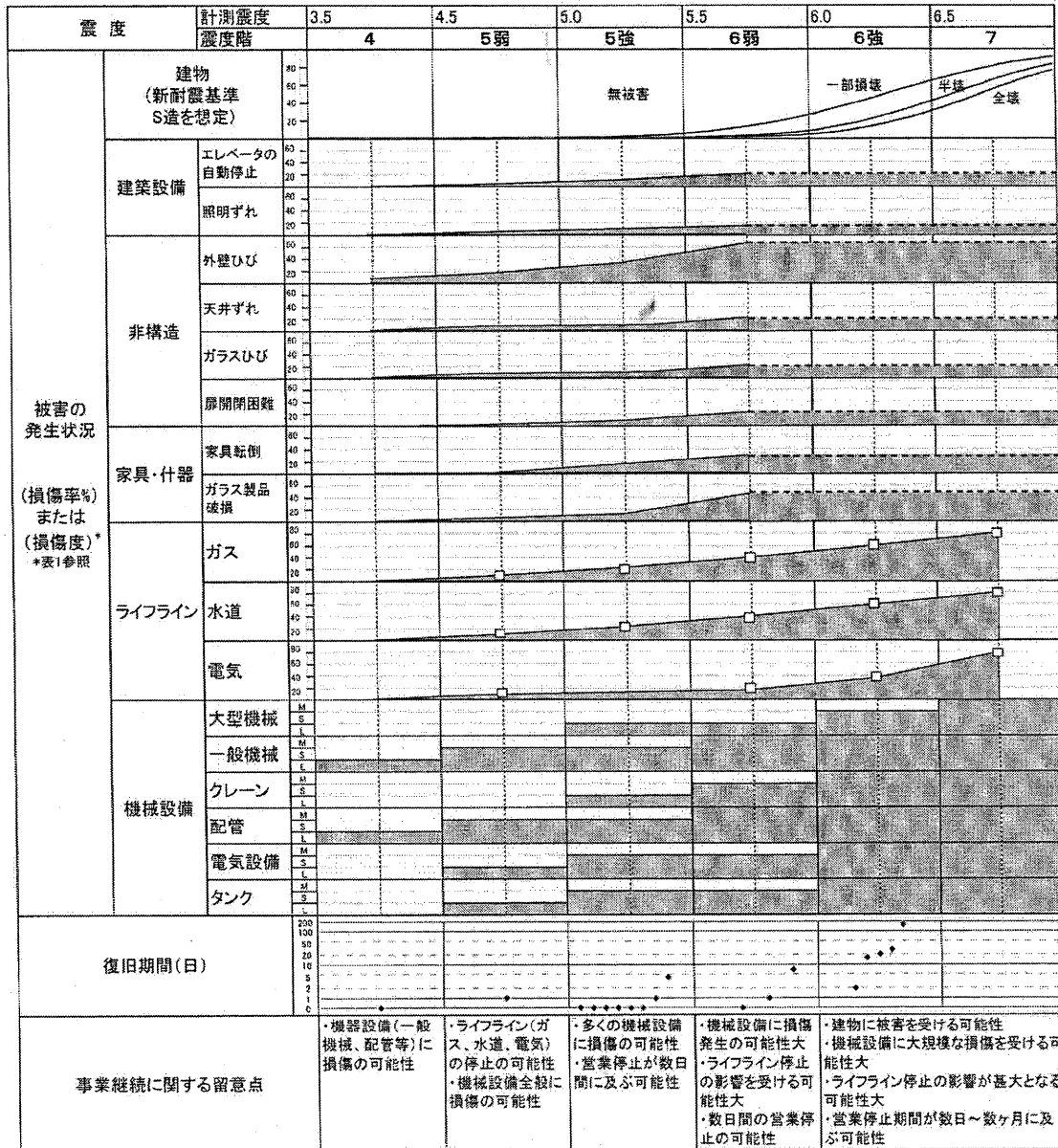
参考文献

- 1) 中央防災会議：事業継続ガイドライン(第一版)、2005.7
- 2) 『日本経済新聞』2004年10月26日朝刊「復旧供給確保へ企業奔走」
- 3) 『日本経済新聞』2007年7月17日朝刊「工場操業再開なお時間」
- 4) 『東京読売新聞』2007年8月1日朝刊(神奈川)「一新潟の海、安全ですー新潟市長、横浜市に風評被害解消の協力要請」
- 5) 『朝日新聞』2001年1月13日朝刊(東京)「八丈島・大島 観光に“風評被害” (揺れる島)」
- 6) 防災科学技術研究所：木造建物群の地震損傷度評価手法の検討、防災科学技術研究所研究資料、No.250、2004.2
- 7) 翠川三郎、藤本一雄、村松郁栄：計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係、地域安全学会論文集、Vol.1、pp.51-56、1999.11
- 8) 神原浩、林康裕、田村和夫：アンケート調査に基づく建物の非構造部材被害と地震動強さとの関係、日本建築学会構造系論文集、第578号、pp.155-161、2004.4
- 9) 気象庁：震度を知る、ぎょうせい、1996.
- 10) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告・機械編 機械設備の被害、1998.8
- 11) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告・共通編-1 総集編、2000.3

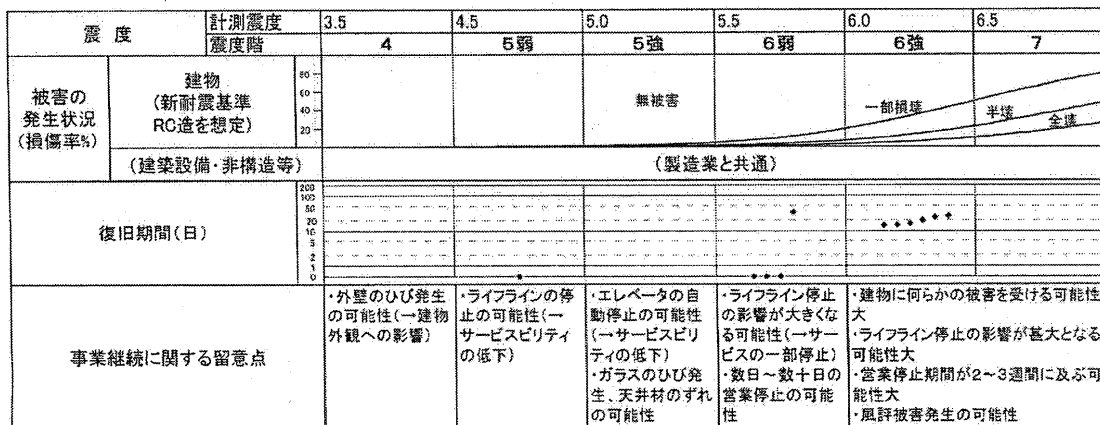
表1 製造業における機械設備の地震被害の発生^{10),11)}

機械設備の分類	設備名	震度階						
		3	4	5-	5+	6-	6+	7
大型機械	大型工作機械				△	△	⊙	■
	鉄鋼用機械				△	△	⊙	■
一般機械	機械加工・成形加工設備			△	⊙	⊙	■	■
	電気電子生産設備			△	⊙	⊙	■	■
	電気情報機器		△	⊙	⊙	■	■	■
	半導体製造設備		△	⊙	⊙	■	■	■
	自動制御設備		△	⊙	⊙	■	■	■
	食品生産設備		△	⊙	⊙	■	■	■
クレーン	天井クレーン				△	⊙	■	■
	ジブクレーン				△	⊙	■	■
	クライミングクレーン(タワークレーン)				△	⊙	■	■
	コンテナクレーン・アンローダ				△	⊙	■	■
ボイラ・冷凍機	ボイラ			△	⊙	⊙	■	■
	冷凍機			△	⊙	⊙	■	■
昇降機	エレベータ			△	⊙	⊙	■	■
	エスカレータ			△	⊙	⊙	■	■
配管	配管	△	△	⊙	⊙	■	■	
電気設備	発電設備			△	⊙	⊙	■	■
	送電設備			△	⊙	⊙	■	■
	変電設備			△	⊙	⊙	■	■
	配電設備		△	△	⊙	⊙	■	■
	特別高圧受電設備				△	⊙	⊙	■
	高圧受電設備				△	⊙	⊙	■
非常用電源	ディーゼル発電設備				△	⊙	⊙	■
	ガスタービン発電設備				△	⊙	⊙	■
蓄電池	蓄電池		△	△	⊙	⊙	■	
タンク	危険物タンク			△	⊙	⊙	■	■
	高圧ガスタンク			△	⊙	⊙	■	■
	水タンク			△	⊙	⊙	■	■
ポンプ	ポンプ			△	⊙	⊙	■	
FRP水槽	受水層・高置水槽		△	△	⊙	⊙	■	

【凡例】 △:被害少しあり(L) ⊙:被害あり(S) ■:被害多くあり(M)



(a) 製造業



(b) 観光業(宿泊業)

図1 地震被害モードマトリクスの作成事例