

地震時損傷相関が産業インフラ構成施設の対策優先度に与える影響 (その2)

—港湾コンテナターミナルへの適用—

(株) 篠塚研究所 正会員 ○鮫島 貴裕 正会員 静岡 俊郎 正会員 中村 孝明  
 東京都市大学 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

本報では、同題目(その1)<sup>1)</sup>において示したシステム機能停止確率評価手法を用いて、具体的なシステム機能モデルを対象とし、システム構成施設群の損傷確率の低減に対するシステム全体の機能停止確率への影響度合を考察する。

2. 評価対象とするシステム機能モデルの設定

ここでは、図1に示すようなコンテナターミナルの貨物配送機能を対象とする。コンテナターミナルは東京都大田区の湾岸地域に立地し、主にコンテナヤード、クレーンなどの荷役設備類、荷捌き建屋、出荷倉庫で構成されている。荷揚げされたコンテナは、一時コンテナヤードに集積され、同ヤードのクレーンなどにより荷捌き建屋へと搬送される。ここで仕分けされた貨物は、その後出荷倉庫より各方面へと配送される。ここで、2カ所に設けられたコンテナヤードや複数設置されている荷役設備は、1カ所あるいは1機の機能が保持されていれば、全体としての貨物配送機能は停止しないものとし、一方、荷捌き建屋および出荷倉庫建屋には代替施設が存在せず、建屋の損傷により、貨物コンテナの入荷から出荷に至る全体の機能は停止すると仮定する。

この貨物配送機能を図2に示すようにモデル化する。図の左側から右側に向けて、貨物コンテナの入荷、運搬、荷捌き、出荷といった流れを表している。先述の条件より、2つのヤードおよび3つの荷役設備はそれぞれ並列に接続され、この2つの並列システムと荷捌き建屋、出荷倉庫建屋が直列に接続される。

これらシステム構成施設の脆弱性情報を表1に示す。同表には、施設の損傷モードに応じた耐力中央値を示している。各施設の損傷モードとして、ヤードでは液状化による地盤被害、荷役設備および2つの建屋は中程度の構造被害を想定する。これらの損傷が発生した場合、当該施設の機能は不全となる。なお、表に示す耐力中央値は、施設の振動特性や当該敷地の地盤増幅特性を勘案し、工学的基盤での最大加速度値(Peak engineering Bedrock Acceleration, 以下PBA)に換算している。個別施設の損傷

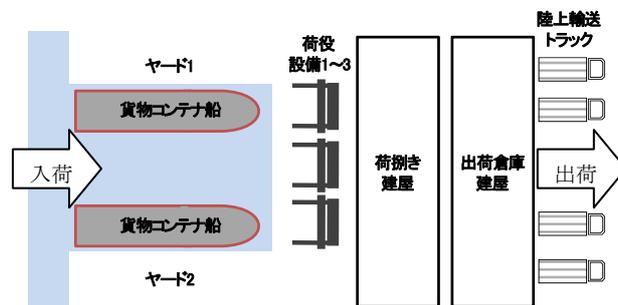


図1 港湾コンテナターミナル配送センターの概況

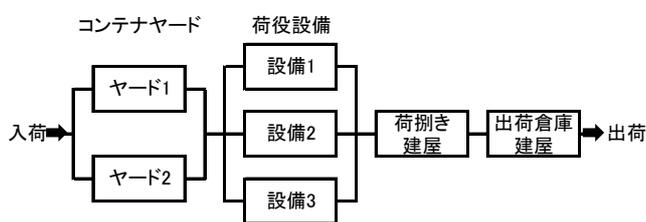


図2 配送センターのシステムモデル

表1 フラジリティー情報

構成施設	損傷モード	耐力中央値 (cm/s/s)
ヤード1	地盤被害	250
ヤード2	地盤被害	250
荷役設備1	構造被害(中破)	300
荷役設備2	構造被害(中破)	300
荷役設備3	構造被害(中破)	300
荷捌き建屋	構造被害(中破)	400
出荷倉庫建屋	構造被害(中破)	500

耐力中央値は基盤最大加速度に換算した値

確率評価の際に用いる複合偏差は、全施設について対数標準偏差で0.5とし、施設間の損傷相関の程度(相関係数で表す)に応じ、地震動のばらつき(対数標準偏差)を制御する。ここで、各施設は同一敷地に立地しているものとし、損傷相関係数も全施設で一定とする。

3. システム構成施設の重要度評価

ターゲット地震をM8.0およびM7.0 関東地震の2つのシナリオ地震<sup>2)</sup>とし、当該敷地におけるPBAは、安中<sup>3)</sup>の距離減衰式より求める。表2に、このシナリオ地震によるPBAおよび、当該加速度が作用した場合の各構成施設の損傷確率を示す。また図3に、両シナリオ地震によるシステム機能停止確率を、損傷相関をパラメータとして示す。構成施設間の損傷の発生が独立の場合、システム機能停止確率はM8.0 関東地震で0.602、M7.0 関東地震の場合では0.079となる。一方完全相関の場合、M8.0 関東地震で

キーワード システム機能モデル, 機能停止, 損傷相関, 対策優先度評価, 港湾コンテナターミナル

連絡先 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 4-5-1 幸伸ビル 3F (株) 篠塚研究所 TEL03-5351-3781

表 2 作用地震動加速度と構成施設の損傷確率

作用地震動:関東地震		
マグニチュード	M8.0	M7.0
PBA (cm/s/s)	280	160
構成施設	損傷確率	
	M8.0	M7.0
ヤード1	0.5897	0.1860
ヤード2	0.5897	0.1860
荷役設備1	0.4451	0.1043
荷役設備2	0.4451	0.1043
荷役設備3	0.4451	0.1043
荷捌き建屋	0.2378	0.0334
出荷倉庫建屋	0.1231	0.0113

0.5897, M7.0 関東地震 0.1860 であり, これは最も脆弱なヤードの損傷確率の値である.

図 4 に, 各施設の補強等の対策によるシステム機能停止確率の低減量を損傷相関係数をパラメータとして示す. 同図には, 各施設の損傷確率を 0.1 小さくした場合のシステム機能停止確率の低減量を示し, この低減量の大小により各施設の対策優先度を評価する. (a)に M8.0, (b)に M7.0 の関東地震を想定した結果を示す.

まず, (a)M8.0 関東地震に着目すると, 独立の場合, システム機能停止確率を最も大きく低減できるのは荷捌き建屋に対策を施した場合であり, 低減量は0.052である. 従って荷捌き建屋の対策優先度が最も高いと判断される. 次に, 優先度が高い施設は出荷倉庫建屋(低減量 0.045)である. しかし, これらの施設は損傷相関が大きくなるにつれ優先度が低くなっていき, 損傷相関係数が 0.9 付近では, 最も優先度の低い荷役設備と同程度となる. このように, 損傷相関係数が大きな領域ではヤードの対策によるシステム機能停止確率低減量が他と比して大きく, ヤードが最も優先度の高い施設となる. (b)M7.0 関東地震では, 独立の場合, 荷捌き建屋, 次いでヤードの優先度が高く, M8.0 関東地震とは順位が異なる. しかし全体的な傾向としては M8.0 関東地震と同様に, 損傷相関が大きくなるにつれ荷捌き建屋, 出荷倉庫建屋の優先度は低くなり, ヤードの優先度が増す.

完全相関の場合は両シナリオ地震ともに, ヤードの対策のみがシステム全体の機能停止確率低減に有効となる. ここで, M8.0 関東地震の場合はヤードの損傷確率低減量とシステム機能停止確率の低減量が一致するが, M7.0 関東地震の場合は一致しない. これは後者において, ヤードの損傷確率を 0.1 低減した場合, 最も脆弱な施設が荷役設備となり, この荷役設備の損傷確率にてシステム機能停止確率が決定されるからである. このように, 完全相関の場合のシステム機能停止確率は, 本モデルの場合, 最も脆弱な施設の損傷確率で決定され, 従ってシステム機能停止確

率の低減量もこの影響を受ける.

4. まとめ

システムを構成する各施設の対策効果は損傷相関によって異なり, 機能停止確率の低減量を優先度の指標とすると, 損傷相関係数の大小によって優先度が変動する. これは, システムの機能停止評価の際には, 適切に損傷相関を評価しなければならないことを示唆している.

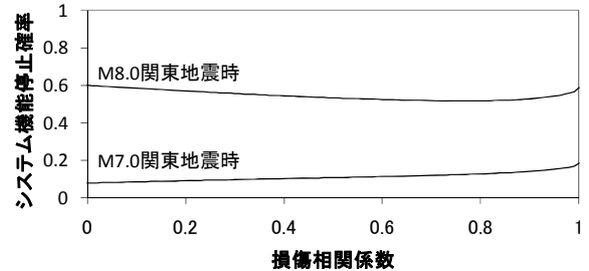
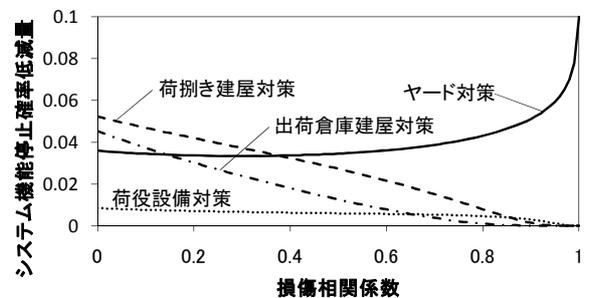
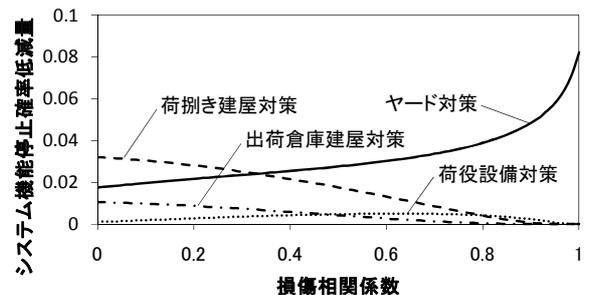


図 3 システム機能停止確率の損傷相関による変化



システム機能停止確率の低減量(抜粋)				
損傷相関係数	0.0	0.5	0.7	1.0
ヤード1,2	0.036	0.035	0.039	0.100
荷役設備1,2,3	0.009	0.006	0.005	0.000
荷捌き建屋	0.052	0.027	0.015	0.000
出荷倉庫建屋	0.045	0.013	0.004	0.000

(a) M8.0 関東地震 (PBA=280cm/s/s)



システム機能停止確率の低減量(抜粋)				
損傷相関係数	0.0	0.5	0.7	1.0
ヤード1,2	0.018	0.028	0.034	0.082
荷役設備1,2,3	0.001	0.005	0.005	0.000
荷捌き建屋	0.032	0.017	0.008	0.000
出荷倉庫建屋	0.011	0.004	0.001	0.000

(b) M7.0 関東地震 (PBA=160cm/s/s)

図 4 各施設の損傷確率を 0.1 小さくした場合のシステム機能停止確率低減量

参考文献

- 1) 静間俊郎ほか: 損傷相関の程度に依存するシステム要素の重要度(その1), 土木学会第 64 回年次学術講演会論文集, 2009(掲載予定)
- 2) 宇賀田健: シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価, 日本建築学会構造系論文集, 2001
- 3) 安中正ほか: 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