

# 爆発荷重を受けるRC構造物に対するリスク評価手法に関する基礎的検討

防衛省 正会員 ○永田 真  
防衛大学校 正会員 別府 万寿博 矢代 晴実

## 1. はじめに

世界中で爆破テロや爆発事故が頻発しており、爆発荷重が生じた場合の構造物や人命の被害程度を評価する手法を確立する必要がある。本研究は、爆発荷重を受けるRC構造物のリスク評価の方法について、基礎的な検討を行ったものである。

## 2. 爆発荷重を受ける構造物リスク評価手法の概要

本研究では、爆発荷重が生じる例として爆破テロを対象とし、過去の爆破テロの統計データから爆破テロの爆薬量と発生頻度の関係を求めた。次に、爆薬量と構造物の損傷確率の関係であるフラジリティを求めた。損失（ロス）は被害状態ごとの損失を設定することで、フラジリティとの関係から求めることができる。ここでは、建物損失と人的損失について評価した。以上のハザードとロスを統合して、外力の頻度と損失の関係曲線であるリスクカーブを算定した。

## 3. ハザードの評価

過去の統計データから、爆破テロによる死者数と年発生頻度の関係を調べた。次に、爆薬量と死者数に関する関係式<sup>1)</sup>を用いて、死者数を爆薬量へと変換した。そのうえで、リスクを算定する対象構造物における爆破テロの爆薬量と発生頻度の関係を求めた。ここでは、福島らの研究<sup>2)</sup>を参照して、爆薬量と年発生頻度の関係における傾きは、対象構造物においても等しいと仮定した。以上から、得られたハザードカーブを図-1に示す。

## 4. フラジリティの評価

### (a) 爆発荷重の評価

爆発荷重の評価では、爆風圧を受ける構造物に作用する圧力～時間関係を三角形パルスに置換した。次に、過去の実験データを参照して、換算距離から最大反射圧及び荷重継続時間を求めた。爆発荷重は、最大反射圧と爆風を受ける部材面の表面積の積から求めた。

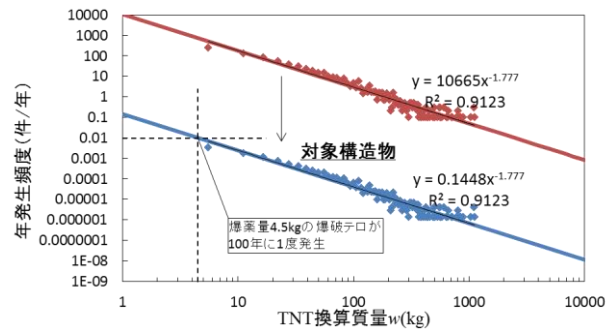


図-1 対象構造物のハザードカーブ

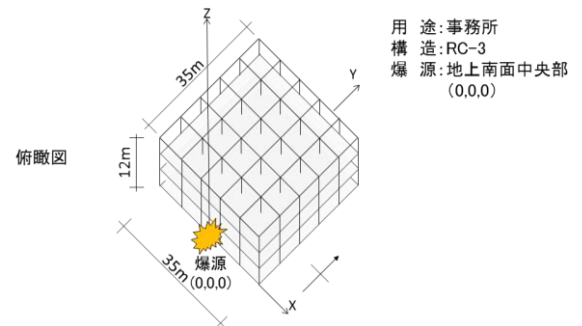


図-2 対象構造物

表-1 RC部材の損傷程度と応答値の関係<sup>3)</sup>  
(曲げで決まる場合)

| 損傷程度 <i>i'</i>         | 応答値 $\theta$ (rad)          |                             |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                        | 主要構造材<br>(柱・梁・耐力壁)          | 補助構造材<br>(床・せん断壁)           |
| 小損傷<br>( <i>i</i> =1)  | 降伏耐力～                       | 降伏耐力～                       |
| 中損傷<br>( <i>i</i> =2)  | 0.010～0.017<br>(1/100～1/60) | 0.010～0.033<br>(1/100～1/30) |
| 大損傷<br>( <i>i</i> =3)  | 0.017～0.033<br>(1/60～1/30)  | 0.033～0.067<br>(1/30～1/15)  |
| 甚大損傷<br>( <i>i</i> =4) | 0.033～<br>(1/30～)           | 0.067～<br>(1/15～)           |

### (b) 構造物の条件設定

構造物は図-2のように、幅、奥行きが35m、高さが12mのRC造3階建であり、柱、梁、床スラブの部材数はそれぞれ108, 180, 150と設定した。爆発位置は1階部分に固定とし、爆薬量(1.0～10,000kg)の爆発が発生した際の各部材の応答解析を行った。

### (c) 部材の応答解析

各部材を1質点系モデルに置換して、爆発荷重が生じた際の最大変位を求めた。ここで、部材の最大

キーワード リスク評価, 爆発荷重, フラジリティカーブ, 1質点系モデル

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel:046-841-3810 Fax:046-844-5913

変位は、曲げ破壊を仮定した完全弾塑性モデルから求めた<sup>3)</sup>。最大変位から材端回転角を求め、表-1に示す材端回転角と部材の損傷程度<sup>4)</sup>を用いて、個々の部材の損傷程度を無損傷もしくは「小損傷」、「中損傷」、「大損傷」、「甚大損傷」に分類した。

**(d) 構造物全体の被害状態の判定**

部材種別ごとの損傷程度から構造物全体の被害状態を判定するため、表-2に示す部材の損傷程度と建物の被害状態の関係<sup>4)</sup>を用いた。iを構造物全体の被害状態を表す変数(i=1が微被害, i=2が軽被害, i=3が小被害, i=4が中被害, i=5が大被害, i=6が甚大被害)として、ある爆薬量wの爆破テロによって、被害状態がi以上となる損傷確率 $F_i(w)$ を次式のように求めた。

$$F_i(w) = \frac{\sum N_{isw}}{\sum N_s} \quad (1)$$

上記の方法により得られた fragility curves を、図-3に示す。

**5. ロスおよびリスクカーブ評価**

爆薬量に対して建物が被る被害状態ごとに、建物損失と人的損失を算定し、合計損失を求めた。そして、被害状態の割合を重みとした加重和を求めることで、当該爆薬量に対する損失を求めた。得られたロスカーブを図-4に示す。以上から求めたハザード及びロスから、爆薬量を媒介変数として図-5に示すリスクカーブを得ることができる。

**6. 結言**

構造物を構成している部材を1質点系モデルに置換し、その損傷から構造物全体の fragility curves やリスクカーブを算出する方法を提案した。提案手法を用いることで、リスクカーブから年発生頻度ごとの損失の算定が可能となり、損失を定量的に評価することができた。

**参考文献**

- 1) 清野純史, 岡本直剛, Charles Scawthorn : 爆弾テロのリスク評価手法について, 社会技術研究論文集, Vol.4, pp.84-93, 2006.
- 2) 福島誠一郎, 矢代晴実 : 人為災害リスクの定量化に関する基礎的研究, 地域安全学会梗概集, No.23, pp.114-117, 2008.
- 3) M. Biggs : Introduction to Structural Dynamics, John, McGraw-Hill, Inc., 1964.

表-2 構造物全体の被害状態と部材の損傷程度の関係<sup>4)</sup>

|                 | 構造物全体の被害状態 |            |            |            |            |             |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
|                 | 微被害<br>i=1 | 軽被害<br>i=2 | 小被害<br>i=3 | 中被害<br>i=4 | 大被害<br>i=5 | 甚大被害<br>i=6 |
| ①主要構造材<br>(柱・梁) |            |            | 小損傷        | 中損傷        | 大損傷        | 甚大損傷        |
| ②補助構造材<br>(床・壁) |            | 小損傷        | 中損傷        | 大損傷        | 甚大損傷       |             |
| ③非構造材<br>(窓・建具) | 小損傷        | 中損傷        | 大損傷        | 甚大損傷       |            |             |

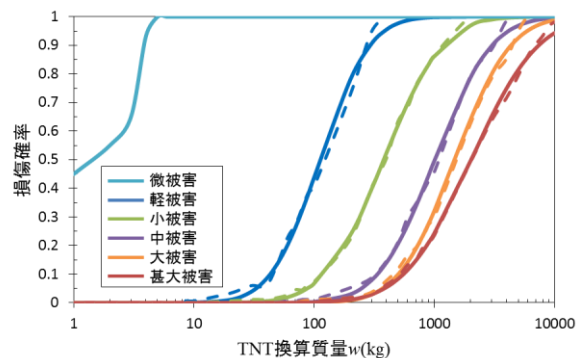


図-3 対象構造物の fragility curves

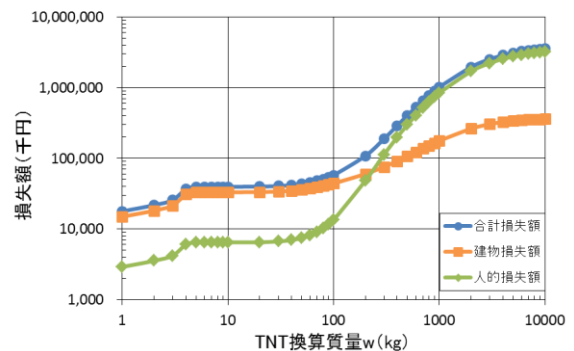


図-4 対象構造物のロスカーブ

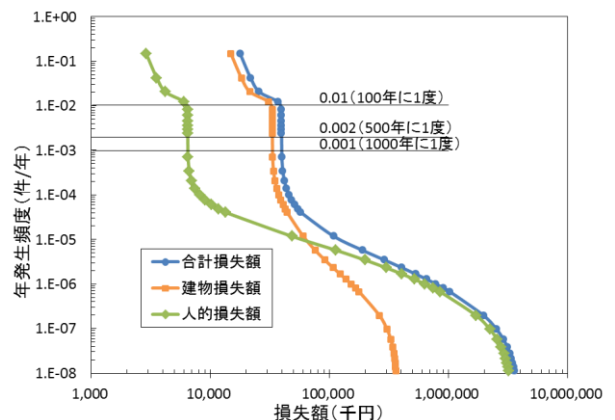


図-5 対象構造物のリスクカーブ

- 4) 向井洋一, 井川望, 崎野良比呂, 榎部淳道 : 部材応答のクライテリア, 2012 年度日本建築学会大会(東海), 構造部門(応用力学)パネルディスカッション資料, 2012.