

## 特集 「快適な都市環境をめざして」

### 都市におけるクライシスマネジメント

— 爆破テロ対策への取組みとリスク評価 —



諏訪 好英



久保田 孝幸

### Crisis Management in Urban Area

— Bomb Terror Measures and Risk Evaluation —

Yoshihide Suwa Takayuki Kubota

#### Abstract

A comfortable urban environment should be based on a safety, free from worry about disasters or crimes. This report describes countermeasures to bomb terror and risk evaluation methods studied in Obayashi Corporation. First of all, the recent spate of terror is investigated, and physical phenomena and damage by bomb terror is studied. Then, countermeasures enforceable as an architectural approach are discussed, e.g., layout planning, security management, material selection, and secondary disaster prevention. Finally, a basic terror risk evaluation system now under development is described.

#### 概要

快適な都市環境を実現するためには、災害や犯罪などの不安をとりのぞき、安全に生活できる環境を実現することが重要である。本報では、最近急速に現実の問題となりつつあるテロ災害に関連し、爆破テロ対策およびリスク評価手法構築への取組みを報告する。まず、最近発生したテロの種類とその傾向、爆破テロにおける物理現象と被害内容を整理する。次に建築分野として実施できる対策を、配置計画、建築計画、セキュリティ、車両停止バリア、建築構造、部材、二次災害の防止の各観点から検討する。最後に、現在構築を進めているテロリスク評価システムについて基本的な考え方を示す。

#### 1. はじめに

従来から日本は比較的治安のよい国であるとの認識が強く、国内でテロなどの凶悪犯罪に巻き込まれる可能性は低いと考えられてきた。しかし近年の国内外情勢の急激な変化に伴い、2001年の米国9・11同時多発テロ、2004年のスペイン列車爆破テロ、2005年のロンドン地下鉄爆破テロなど、ここ数年の間に多くの犠牲者を出すテロ事件が先進各国の都市で発生している。国際社会の一員たる我が国にとって、各国で頻発するテロ事件は対岸の火事ではない上、国内でのテロ発生の可能性も年々高まってきている。

実際、既に我が国では1995年にオウム真理教による地下鉄サリン事件、炭疽菌使用事件などのWMD(Weapons of Mass Destruction: 大量破壊兵器)を使用した重大なテロ犯罪も発生しており、テロ災害のリスクは現実の問題として考えるべき時期にきている。

このようなテロ災害のリスクを低減するためには、国際協力や出入国管理の強化など政府レベルでの対策も重要であるが、我々ひとりひとりがテロ災害に関する正確

な知識と情報を共有し、テロに対する脆弱性を克服していく努力が必要である。2001年の9・11同時多発テロで多くの犠牲者を出した米国では、国務省の年次報告として定期的にPatterns of Global Terrorism<sup>1)</sup>等の情報発信を行うとともに、FEMA (Federal Emergency Management Agency: 連邦緊急事態管理局)の各種災害に対する地域防災計画の中で、行政・住民・企業を対象としたテロ災害防止対策のマニュアル化やガイドラインづくりを行っている<sup>2), 3)</sup>。我々も、建設分野の立場からどのような役割を果たせるのかを考え、安全という形で快適な都市環境を支えていくことが重要と考えている。

快適な都市環境を実現するためには、生活環境の改善やインフラの整備など、豊かなくらしを追求するための取り組みとともに、災害や犯罪などの不安をとりのぞき、安全で安心して生活できる環境を実現することも重要である。本報では、最近急速に現実的な問題となりつつあるテロ災害に関し、当社における取組み: クライシスマネジメント(最悪のシナリオを想定した対策や行動指針)について報告する。

2. テロの実態

2.1 テロの種類とその脅威

テロリズムの定義に関しては、国際的に統一されたものはないが、各国政府文書等<sup>4)・5)</sup>による定義をまとめると、おおよそ以下のようなものと言える。すなわち、

- 1) 何らかの政治的動機・目的を持ち、
- 2) 非戦闘員・民間人またはその財産を対象とし、
- 3) 社会・民衆に心理的影響を与えるため、
- 4) 計画的に行われる暴力行為

またその手段は、目的、対象によりさまざまである。テロ犯罪には、通常兵器や爆弾を用いた従来型のテロと、WMDとして知られるCBRN（C：化学，B：生物，R：放射性物質，N：核兵器）を用いたテロとがあり、近年の情報化社会の発展に伴い、サイバーテロがこれに加わった。Table 1に主なテロ犯罪の種類とその脅威を示す。

2.2 テロの手段とその傾向

Fig.1は、2003年度のPatterns of Global Terrorism<sup>1)</sup>に報告されている国際テロおよび米国をターゲットとしたテロの内訳を示したものである。テロの手段としては、爆破テロが全体の6割以上を占めており、その多くはソ

フトターゲットと呼ばれる警備が手薄な一般商用ビルなどを対象としている。ソフトターゲットに対する爆破テロは、まさに現代社会の弱点をつく脅威と言え、現代の都市環境が爆破テロに対して極めて脆弱なことを示している。特に敷地面積等に余裕のない我が国の都市部に関しては、通勤時の電車やビル街の雑踏からも容易に想像できるように、テロに対する脆弱性は、欧米各国の場合に比べ、さらに深刻と言えるであろう。

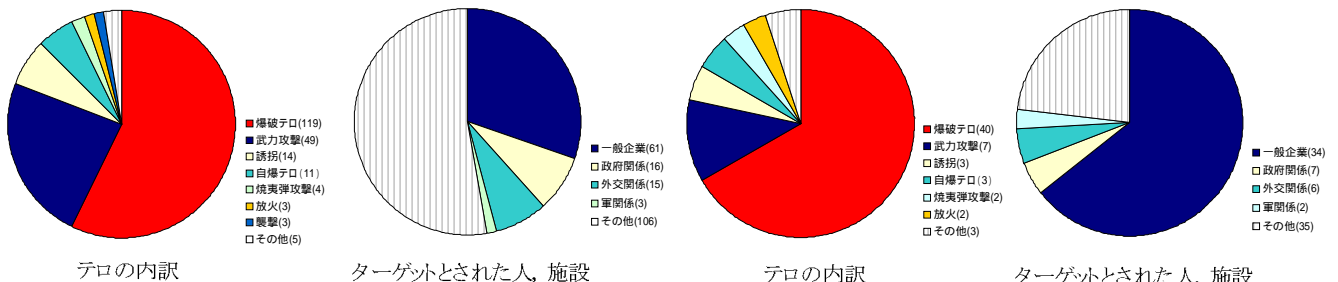
2.3 テロ対策の基本方針

テロに対する対策の基本は、大きく「予防的措置」、「防衛的措置」、「被害の最小化」に分類できる（Table 2）。このうち、「予防的措置」は国際レベル、行政レベルで実施されるべきグローバルなものである。一方「防衛的措置」、「被害の最小化」は、不審者・不審物を敷地内に入れない、テロ攻撃を受けた場合に被害をそれ以上発展させないといった比較的ローカルな対応が求められるものであり、建設分野からのアプローチが重要な意味を持つものと考えている。以下、爆発物によって引き起こされる現象と被害について整理した後、建設分野として取り組むべき項目について考察する。

Table 1 主なテロ犯罪の種類とその脅威  
Type of Terror and the Threat

個人レベル	乗り物レベル	建物レベル	地域レベル	広域レベル	人的被害/社会影響
誘拐					
襲撃	従来型テロ				△
殺人	ハイジャック				△
	放火				
	武力攻撃				
	爆破				
				CBRN (WMD)	○
		化学テロ			○
			生物テロ		○
			放射性テロ		◎
				核兵器テロ	◎
				サイバーテロ	◎

\* 人的被害については想定される被害者数を、社会影響についてはその影響の大きさを◎>○>△として感覚的に示した。



(a) 2003年度に発生した国際テロ

(b) 2003年度に米国をターゲットとして発生したテロ

Fig.1 2003年度に発生したテロの内訳およびターゲットとされた人、施設  
Kind and Target of Terrorism which was Occured in 2003

3. 爆破テロによる被害

3.1 爆発の物理的影響範囲

半開放空間（地面上に爆発源があり，他は開放されている空間）における爆発の威力（Maximum Overpressure：最大ピーク圧力）には相似則が成り立ち，無次元距離 $R/R_0$ を導入すると，無次元ピーク圧力 $\Delta p/p_0$  [ $\Delta p = p_m - p_0$ ] との間には，Fig.2に示すような一対一の対応関係が成り立つ。爆破テロにはさまざまな爆発物を使用される可能性があるが，一般には爆薬量をTNT爆薬(Tri-nitro-toluene)に質量換算した値が用いられる。無次元距離 $R/R_0$ の分母 $R_0$ は爆発物のTNT換算質量 $W$ の1/3乗に相当し，爆発エネルギーの燃焼熱換算値 $E$ を用いて以下のように表される<sup>6),7)</sup>。

$$R_0 = W^{1/3} = (E/\rho_0)^{1/3} \quad (1)$$

ここに， $R$ ：爆発源からの距離， $p_m$ ：ピーク圧力， $p_0$ ：環境の大気圧である。なお，爆発源の有効範囲内に建物などがある場合には，その壁面で衝撃波が反射し最大ピーク圧力が增大することも知られている（Reflected over-pressure）。

3.2 内部爆発と外部爆発

TNT換算量で等量の爆薬であれば，建物の内部で爆発した場合の方が外部爆発よりも威力が大きく，場合によっては建物の床スラブや天井の崩落，建築物構造そのものの崩壊により甚大な被害を及ぼす場合もある。また一般に，屋内の人口密度は屋外よりも高く，家具や建具などが飛散して人的被害を与える可能性も高い。窓ガラスの破片などが飛散して建物外部の歩行者などに被害を及ぼすことも考えられる。しかし，人手や郵便物による爆発物の持ち込みには量的に限りがあり，またセキュリティの強化によって持ち込みを阻止することが可能である。一方，外部爆発の場合には，爆発物の輸送，設置がしやすいことから，屋内をターゲットとしたテロよりも多量の爆薬が用いられることが多い。近年非常に多い爆破テロの形態に車両を利用して大量の爆発物を持ち込む例があるが，1995年に発生したオクラホマシティの連邦政府ビル爆破事件の例では，トラックに満載した2.2トンもの硝酸アンモニウム(ANFO爆薬)が使用され，ビルの北側半分が完全に崩壊した<sup>8)</sup>。

3.3 人的，物的被害の指標

Fig. 3は最大ピーク圧力に対する人的，物的被害のおおまかな指標を示したものである<sup>9)</sup>。ただし固有周期が大きな建築構造物などの損傷被害に関しては，最大ピーク圧力よりもインパルス（力積）が支配的であることがわかっているが，爆発に伴う鉄筋コンクリート造構造物などの損壊現象に関しては未解明な部分も多い。テロ対策と目的は異なるが，当社では，水素関連施設の爆発事故対策の研究において，爆発に伴う構造物損傷について実験的な基礎データ収集を行っており，数値シミュレーションによる現象予測技術の高度化を図っている<sup>10)</sup>。

Table 2 テロ対策の基本的な考え方  
Basic Policy of Counter-terrorism

予防的措置	<ul style="list-style-type: none"> <li>テロ組織の無力化 資金源の凍結、爆薬・武器の拡散防止</li> <li>テロ行為の無意味化 ODA等による国際支援</li> <li>テロ実行者の取締り 出入国管理、各種取締りの強化</li> </ul>
防衛的措置	<ul style="list-style-type: none"> <li>テロ実行条件の排除 監視の強化 物理的に実行できない条件作り (アクセスできない、設置できないなど)</li> <li>テロ実行者の侵入阻止 セキュリティの強化 侵入防止構造物の設置</li> </ul>
被害の最小化	<ul style="list-style-type: none"> <li>テロに対する認識、知識の共有 テロ手段に応じた対処方法のマニュアル化</li> <li>避難経路と手段の確保</li> <li>二次的な被害要因の排除 建物等の構造強化、飛散物発生要因の排除</li> </ul>

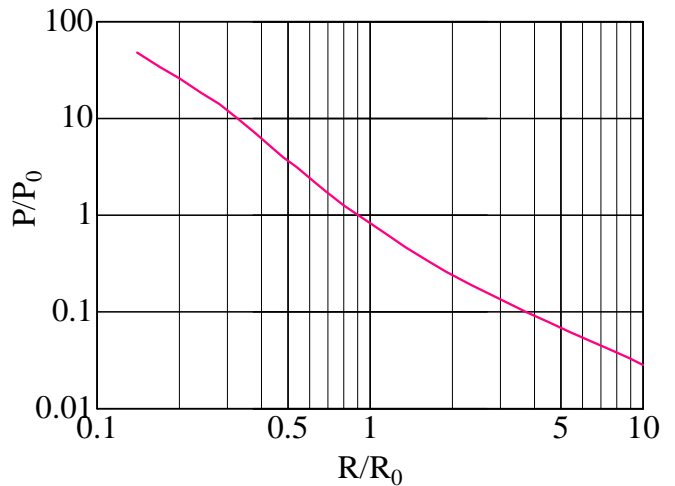


Fig.2 爆風の無次元ピーク圧力と無次元距離との関係  
Non-dimensional Relation between Peak Overpressure with Stand-off Distance

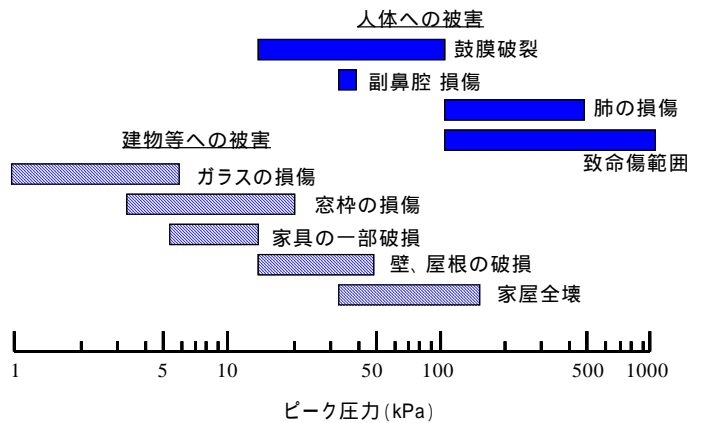


Fig.3 最大ピーク圧力に対する人的、物的被害  
Human, Material Damage to the Maximum Peak Pressure

Table 3 建築分野から実施可能と思われる爆破テロ対策  
Bomb Terror Measures which can be Achieved by Architectural Approach

	防衛的措置	被害の最小化
配置計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第一、第二防御線の明確化</li> <li>・車両、人の侵入範囲制限、車両停止バリア等の設置</li> <li>・敷地境界から建物を遠ざけた配置</li> <li>・重要建物の敷地内側への配置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外部と建物との間への障害物設置(爆風の低減)</li> </ul>
建築計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重要区域の建物内側への配置</li> <li>・セキュリティを考慮したエントランス構造</li> <li>・アクセスしにくい各種開口部</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重要区域と駐車場等との鉛直分離</li> <li>・作業域、居住域を外窓から遠ざけた配置</li> </ul>
構造		<ul style="list-style-type: none"> <li>・梁スパン幅の縮小、床、天井スラブの構造強化</li> <li>・非構造壁等の削減、外窓面積の制限、窓枠の強化</li> </ul>
部材		<ul style="list-style-type: none"> <li>・内装材、外装材等の軽量化(飛散物の危険性緩和)</li> <li>・窓ガラスへの飛散防止加工</li> <li>・難燃材、不燃材の使用</li> </ul>

4. 爆破テロ対策への取り組み

爆破テロへの対策としては、外部からのテロ実行犯の侵入や爆発物の持ち込みを阻止し、重要施設や建物の主要箇所にテロ実行者や爆発物をできるだけ近付かせないことが重要である。また配置計画や建築計画などを工夫することで、万が一爆破テロが発生してしまっても被害を最小化することができる。建築分野から対策可能と考えられる項目をまとめてTable 3に示し、以下それぞれについての具体例を述べる。

4.1 配置計画, 建築計画

敷地境界を第一防御線、建物のエントランスを第二防御線とするなど防御線を明確化し、敷地境界から建物の主要箇所までの距離(Stand-off distance)を確保する、重要な領域を外側から直接アクセスできないところに配置するなど、配置計画の工夫で爆発威力の低減を図ることができる。車両を利用したテロでは、建物に付属する自動車駐車場がターゲットとなりやすいが、重要区域が地下駐車場等の真上とならないよう別棟の立体駐車場として鉛直分離するレイアウトが有効である。

4.2 セキュリティ対策と車両の侵入防御

高層ビルなどを対象として発生した過去の爆破テロの多くは、建物のアプローチやエントランスからの爆発物持ち込みにより発生しており、爆破テロの対策はまず侵入口からとされている<sup>8)</sup>。第一防御線では監視カメラと認証システムとを組合せた、車両や人の侵入制限や、物理的な車両停止バリアの設置が、また第二防御線では、爆発物検査等のセキュリティ強化により、不審者の侵入、不審物の持ち込みを徹底的に排除する必要がある。Fig. 4は車両の敷地内への侵入防御を目的として実施した数値シミュレーション結果の例である<sup>10)</sup>。耐衝撃度60kJ以上(道路法によるAp級防護柵に相当)および

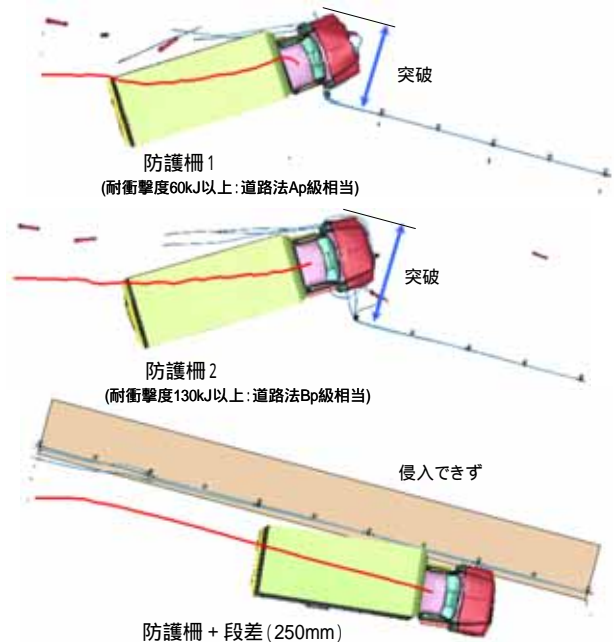


Fig.4 暴走車両侵入防止対策のシミュレーション結果  
Simulation of Measures to Prevent Reckless Driving Vehicles



Fig.5 車両停止バリアの性能検討例  
Simulation on the Performance of Vehicle Stop Barrier

130kJ以上（同Bp級防護柵に相当）の強度を有する2種類の防護柵を想定したシミュレーションを実施した結果、敷地境界線外部からの暴走車両の侵入防御には、ガードレールやガードパイプのような防護柵に適切な段差を組合せると有効なことがわかった。また爆発物を搭載して強引に突入しようとする車両に対しては、固定式または遠隔操作式の車両停止バリアが用いられる。想定される車両の重量や突入速度に対し、どの程度の停止バリアが必要となるのかについても検討を進めている（Fig. 5<sup>10)</sup>。

#### 4.3 建築構造、部材

一般の商用ビル等を強固な耐爆構造とすることは現実的でない。建築構造や部材に関する対策は、万が一爆破テロが発生した場合に被害を最小限にとどめるものとして考えるべきであろう。建築構造的にはまず、想定される最大の爆破により受けた損傷が、床スラブの崩落や建

物全体の進行性崩壊(progressive collapse)に至らないことが最も重要である。構造設計に際しては、梁のスパン幅を広くとり過ぎないこと、床スラブや天井構造を強化することなどの配慮が必要となる。

爆破テロによる人的被害への対策として飛散物への対策も重要である。爆発が建物内部で発生した場合には窓ガラスや窓枠が外部に飛散して、また建物外部で爆破テロが発生した場合には窓ガラスや窓枠、非構造壁や内装部材等が建物内部に飛散して大きな人的被害を及ぼす。飛散物となる可能性のある部材の軽量化や飛散防止、落下防止をはかるとともに、窓近くに重量物を配置しないような内装レイアウトが必要である。

#### 4.4 二次災害の防止

被害を最小化するためには、爆破による直接的な影響のみならず、二次災害を防止することも重要である。爆破テロの発生後は、通常の防火区画や避難経路が機能し

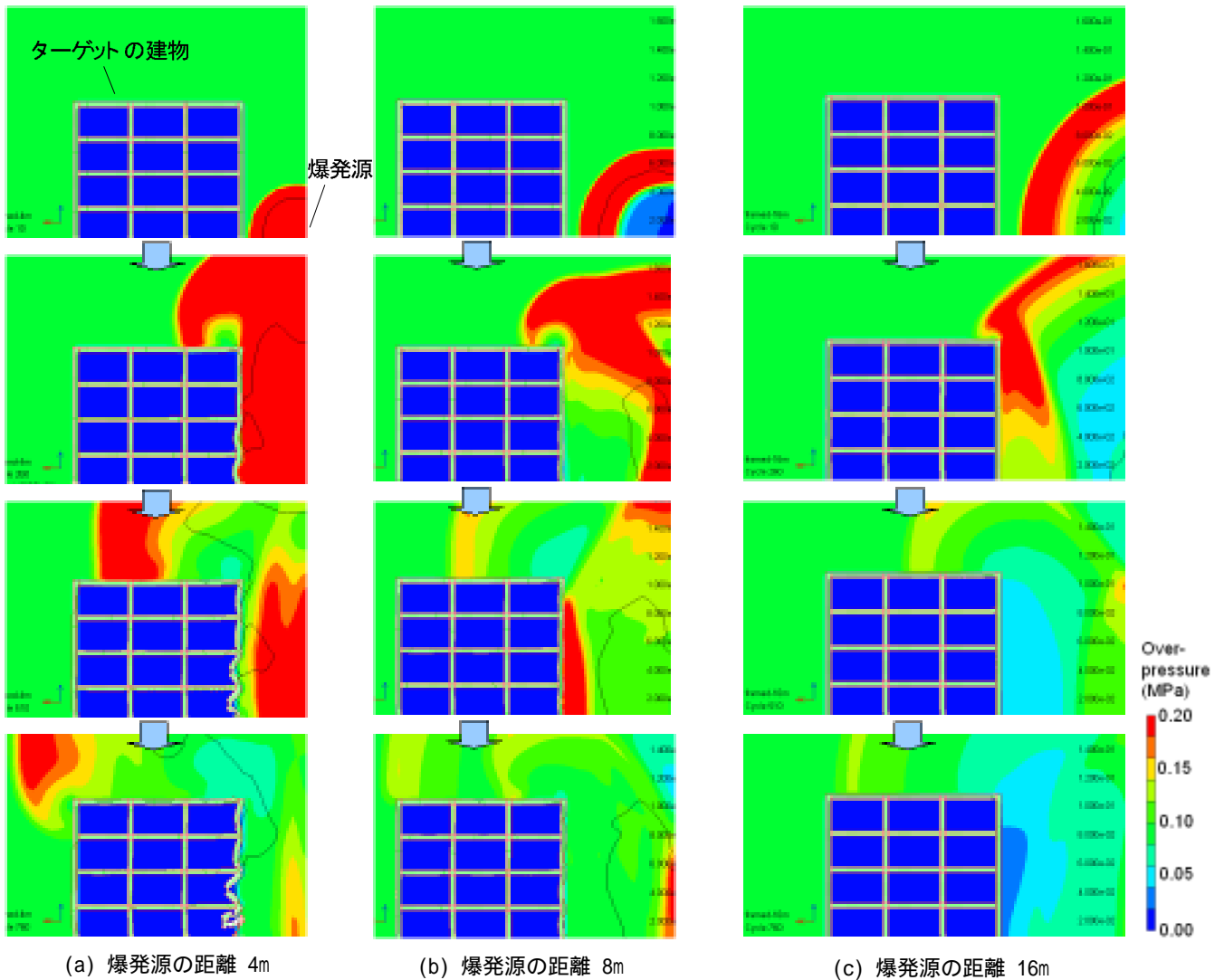


Fig.6 爆破テロ（300kgTNT爆薬）を想定して実施した簡易シミュレーション結果の比較  
- 建物と爆発源との距離による違いの比較 -

Comparison of Simple Simulation Results of Bomb Terror with 300kgTNT  
-Comparison with Different Stand-off Distances-

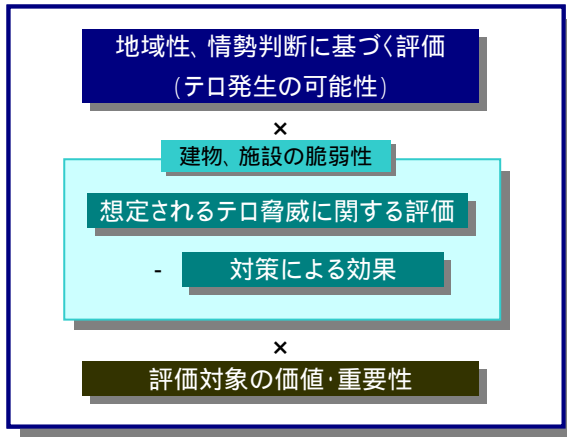


Fig.7 テロリスク評価の考え方  
Basic Idea of Risk Evaluation for the Terrorism

なくなる可能性もあり、これを考慮した防災体制を考えておく必要がある。また最近では、爆発物に放射性物質を梱包したいわゆるダーティボム（放射性物質テロの一種）、化学兵器テロ、生物兵器テロとの複合的な事態発生の可能性も指摘されている<sup>11)</sup>。先述した地下鉄サリン事件では、化学テロへの認識不足から素手で救助作業に携わり、除洗措置が遅れた人々に多くの二次災害被災者が出た。万が一の事態を想定した緊急対応マニュアルの作成や情報発信により、二次災害防止を目的とした知識の共有化を図っていくことが重要と思われる。

#### 4.5 対策の効果予測

ここに示した各種対策は、対象とする建築物の用途、形態、周辺環境等に合せ、それぞれ異なる形で実現されることになる。そこで、個々の具体的対策について、あるいは複合的に対策を組合せた場合についての対策効果を予測するシミュレーション技術を開発している。Fig.6は、TNT爆薬300kgを用いた爆破テロについて建物の損傷影響をシミュレーションした結果である。爆発源から建物までの距離により、建物が受けるダメージには大きな違いが認められ、同一爆薬量を用いたテロでも、爆発物をできるだけ建物近傍に設置できないよう対策することで、被害を最小限に食い止められることがわかる。

#### 5. テロリスクの評価

テロ対策の有無は、テロ攻撃に対する防御力強化や万が一攻撃を受けた場合の直接的な被害低減のみならず、今後、建物や施設の資産価値評価や災害保険金額の設定にも大きく関わってくる。これに対応して、現在、当社ではテロに対するリスクポテンシャルの定量的評価手法の構築を進めている。自然災害等に対するリスクアセスメントとは異なり、テロに関しては発生頻度を想定できない。したがって、守るべき建物や資産の価値・重要性に応じたテロ脅威のシナリオを想定し、これに基づき合理的な評価・対策を行っていくことが重要である。本評価手法では、Fig.7に示すように「対策の実施によるテ

ロ脅威の削減」と「守るべき資産の価値」とをそれぞれ定量化し、最悪のシナリオを想定した場合にどこまで守れるのかについて評価する。今後、本評価手法を、別途構築中の自然災害リスク（地震、風害、水害など）、人的災害リスク（火災、環境汚染、情報セキュリティなど）の各評価システムと連動させ、有機的に活用していきたいと考えている。

#### 6. まとめ

爆破テロへの対策およびテロリスクの評価を中心に、当社で検討を進めている内容を紹介した。これらの取組みが、今後、安全・安心な生活環境実現のための礎となることを希望している。

#### 謝辞

本報の中で平成15年度、16年度のNEDO（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構）委託事業として、水素インフラ施設の安全性を目的に実施した研究開発成果を一部使用した。ここに記して関係各位に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) Patterns of Global Terrorism 2003, United States Department of State (2004)
- 2) Risk Management Series -Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings-, FEMA 426 (2003)
- 3) Risk Management Series -Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks-, FEMA 427 (2003)
- 4) 公安調査庁 国際テロリズム要覧 第1章 国際テロリズムについて、(1993)など
- 5) CIA: The war on terrorism -Terrorism FAQs-, <http://www.cia.gov/terrorism/faqs.html>など
- 6) Kinney, G.F. and Graham, K.J.: Explosive Shocks in Air, Springer-Verlag (1985)
- 7) Task Committee on Blast Resistant Design: Design of Blast Resistant Buildings in Petrochemical Facilities, American Society of Civil Engineering (1997)
- 8) The History Channel: Terror Tech Defending The Highrise (2003)
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: WE-NET第II期研究開発, 安全対策に関する調査研究, 平成13年度成果報告書NEDO-WE-NET-0120 (2002)
- 10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 水素安全利用等基盤技術開発 - 水素インフラに関する研究開発 - 水素インフラと建築構造物の耐爆, 耐震性の研究開発, 平成15年度~16年度研究成果報告書 (2005)
- 11) 井上忠雄「テロ」は日本でも確実に起きる, 講談社+α新書 (2001)