

衝撃荷重に対する建築構造設計

岡本隆之祐（山下設計）

1. はじめに

日本においては、通常、衝撃荷重に対して建物を設計することはないし、防御設計のガイドラインも存在しない。しかしながら、稀ではあるが、国の内外において、重要な建物について衝撃荷重に対する対応を要求される場合があり、設計者は大変な苦勞をする。現在、日本では各方面にわたって衝撃荷重の研究が積極的に行われており、いずれは、建築物の耐衝撃設計に関するガイドラインが作成されることを期待したい。はじめに、国内外において、対衝撃設計あるいは建築物が衝撃荷重を受けた場合の例を報告する。ついで、米国における建築物の対衝撃設計の考え方について紹介する。最後に、英国の鋼構造協会が発行された建築物の防御の考え方を紹介する。

2. 衝撃荷重に対する建物の設計例

2.1 中近東の放送局の場合

1970年代の後半に中近東の放送局の設計に際して、建築主から、仮想敵国がミサイル攻撃を仕掛けてきた場合に備えるよう要求があった。これを受け、全ての建物ではないが、建物の地下部分を堅固にするために、1階の床スラブ及び、地下の外壁のコンクリートの厚さを1m以上に設計した。しかしながら、この部分の構造計算を行なったわけではなく、建築主サイドでヨーロッパの専門家と相談したとのことであるが、おそらく他の事例を参照にしたものと考えられる。2001年のNYのWTCへの飛行機衝突事件の後、この国は米国によるミサイル攻撃を受けたが、この建物の地下室が無事であったかどうかの情報はない。

2.2 国内の建物の例

1990年代のなかば、日本における重要な建物について、上記と同じように建物の地下部分を堅固に設計した。上記と異なるのは、厚くした床スラブと壁内に鉄板を挿入したことである。

2.3 爆発荷重を受けた建物の調査と復旧

2.3.1 被害概要

2003年3月2日に、アジアの大都市において、米国政府関連の建物から約20m離れた高層ホテルの駐車場で自動車による爆発が生じ、4人が死亡し49人が負傷した。米国大統領による訪問を控えており、反米機運が高まっていた。日本人は無事であったが、現場から約200m離れた日本の3階建てのRC造の建物が被害を受けた。この建物は、高層ホテルの影になるような位置関係にあったが、爆風の波が回折してこの建物に作用したと考えられる。爆発物は焼夷弾形の爆弾で15kg～20kgと考えられている。

事故の後に建物の詳細な調査を行ったが構造には被害が生じなかった。但し、建物全体にわたり、出入り口のドア、窓のガラスの破損、窓のサッシの変形等が生じた。幸いにも、窓ガラスにはフィルムを貼ってあったため、ガラスは飛散せず、怪我人も無かった。なお、玄関に使用した厚さ10mmの強化ガラスに破損は生じなかった。

2.3.2 補強計画

はじめに、今後同じような事件が生じて、この建物が大きな被害を受けないという方針を立てた。建物への爆発圧力を想定するために、二つのケースを想定した。TNT

爆薬量は両者とも 40kg とし、一つは建物から 50m 離れた位置で爆発し、もう一つは今回の事故と同じ位置で爆発すると仮定した。解析は専門家¹⁾に依頼したが、前者の場合正圧が支配的となり最大 15 kPa 程度が作用するが、吹き抜け部分の壁は負圧が作用し正圧よりもやや大きくなった。後者の場合は、爆発地点から離れているために、正圧のピーク値が減衰し、正圧と負圧の絶対値がほぼ等しくなる傾向が見られた。この圧力をもとに、ガラスは強化ガラスに変更してフィルムをはり、被害の大きかったサッシは鉄骨で補強した。

テロリストに狙われる可能性の高い国の政府関連の建物（日本の内外を問わず）の近くでは、事故に巻き込まれる恐れがある。

2.4 兵庫県南部地震において衝撃荷重を受けた建物の被害

1995 年 1 月 17 日の兵庫県南部地震では、多くの建物が衝撃荷重を受け損傷・倒壊した。

2.4.1 建物が斜めに倒壊し隣接する建物に衝突

既存のレンガ造の古い建物が斜めに倒壊し、数 m 離れた 9 階建の鉄骨造の建物の中間（3 階）に激突した。結果的に鉄骨造の建物がレンガ造の建物を支持し、完全に倒壊するのを防いだとも言える。建物は垂直に崩壊するケースが多いが、回転しながら転倒する場合もある。鉄骨造の建物は柱（箱型断面）や梁に局部的な変形（1～2 cm 程度の窪み）を生じたが、致命的な損傷を受けなかった。この二つの建物はあまり離れていなかったため、倒壊した建物が隣接する建物に衝突するときの速度が小さく、運動エネルギーが小さかった。また、衝突するまでの落下長さも少なく、位置エネルギーが小さかった。鉄骨造の建物の仕上げは ALC 版であり、衝突部分ではこの ALC 版が衝撃により、鉄骨に圧着していた。窪み部分を鉄骨のスチフナーで補強した。

2.4.2 鉄骨造建物の梁下端フランジの切断

上記と同じ建物であるが、柱面から 5cm ほど離れた梁の下端フランジが切断し脆性破壊を生じた。また、数は少なかったが、梁のフランジとスカラップ部分の間から亀裂が入り溶接部に広がったもの（フランジ溶接部の端から中央に向かう亀裂）、箱型断面の柱に水平に亀裂が入ったもの、梁のウェブと柱との溶接部に亀裂が入ったもの等が見られた。なお、隣接する建物の衝突方向とは異なり、またフランジが切断したのは主として 6 階 7 階の中間層であったため、隣接する建物の影響ではないと判断した。

破断した部分の鉄骨を切り取り、詳細な調査を行った。²⁾ 調査は化学成分調査、肉眼による外観及び破断面観察、走査型電子顕微鏡 (SEM) による破断面観察、硬さ試験、引張試験、シャルピー衝撃試験等を行った。

補強については、破断した部分を切り取り、新しく鉄板を溶接し、さらに垂直のプレート（2～3 枚）をフランジに溶接した。外観は全く被害を受けたように見られなかったが、外壁のカーテンウォールの目地（十字部分）がわずかにズレていたため、念のために、吹付けの耐火被覆を剥がしたところ、梁下端のフランジの切断とカーテンウォールの取り付けファスナーのボルトに異常が見つかった。

本建物は新耐震設計法で設計し、被害が多かった階では、保有水平耐力が必要保有水平耐力を約 5 割上回っていた。この地域の鉄骨造の建物ではこのような被害を受けたものが多いと推定されるが、十分な調査を行ったかどうかは不明である。この地震の 1 年前に生じた米国の地震では、行政が鉄骨造の建物を強制的に調査するように指導したとのことである。

2.4.3 SRC 造建物の中間層崩壊

兵庫県南部地震では、旧耐震設計法で設計した RC (SRC) 造建物の中間層崩壊が目立ち、今までにない被害であったので注目を集めた。構造計画上、中央コアで壁も十分にあるのに中間層崩壊した建物もあった。当時の構造設計は、柱の太さを上階ほど小さくし、耐力壁の厚さも上階ほど薄くして設計するのが多かった。

ある建物では柱の断面積がすぐ下の階よりも 25%少なくなり、また耐力壁の厚さが 25%少なくなった階で層崩壊を生じている。耐震診断の結果では I_s 値が基準値よりもやや下回っているだけであった。振動解析の復元力特性として、耐力壁を最大耐力に達した後耐力をそのまま維持するトリリニア型と、耐力壁の耐力低下を考慮した二つを検討しているが、後者のみが層崩壊を再現できた。

外国の場合は、柱が細く弱いので、パンケーキクラッシュ型の建物全体の崩壊で、どの層から崩壊が始まったかが分からない場合が多い。日本の場合は、ある中間層のみが崩壊する、ダルマ落とし型であるが、その理由は、崩壊層よりも上の部分が落下してきても、下の部分の柱が耐えたからであろう。2001 年の NY の WTC の場合は、飛行機が衝突した部分で火災が発生し、柱の耐力が低下し、上階を支えきれずに崩壊した中間層崩壊であり、層崩壊した階よりも上部が層崩壊した直下の階に衝突し、衝突された部分の構造が耐えられず進行性崩壊を生じたと考えられる。上部の質量は、日本の中間層崩壊の場合に比べ圧倒的に大きく、従って位置エネルギーも大きかった。

3. 米国における爆発に対する建物の防御設計の考え方

米国では、1995 年のオクラホマシティの連邦ビルの爆破テロや 1993 年の NY の WTC 爆破テロを契機として、爆発に対する建物防御の関心が高まり、重要な建物には防御設計を取り入れるようになった。ここでは、米国の代表的な構造設計事務所であるワイドリシガー、アソシエーツの考え方を紹介する。³⁾ここで、述べられているのは、対象が民間の建物で、大使館の近くや、建物内部に大使館等がテナントとして入っている建物を想定している。2001 年の時点では、米国の建築基準法では、一般施設の対爆設計は明確ではないが、安全性重視の設計基準を確立しようとする動きがある。

3.1 屋外の爆破テロ対策

次に述べるのは、建物から 30m 以内の建物前に駐車した車か、建物沿いの路上に置かれた包みに仕掛けられた場合を想定し、爆破の規模は特定していないが、建物各部に甚大な被害を生じて、安全性を確保することを目的としている。

3.1.1 窓ガラスおよび外壁

1995 年に発生したオクラホマシティ爆破テロ事件では、168 人が亡くなり多くの人が怪我をしたが、人的被害の 8 割がガラス破損によるものであった。ガラス対策として三つを考えている。一つは合わせガラスで 2 枚のガラスの間に合成樹脂の膜をはさみ、熱と圧力で接着したもので、次は飛散防止フィルムを貼った強化ガラスで普通板ガラスの約 4 倍の強度を有し、ついで非常に強度が高い防弾ガラスである。アルミサッシの内部を鉄骨で補強したり、ガラスのみ込みを従来よりも深くし、さらに特殊加工したシリコンを用いてガラスと強固に接合する等の工夫をしている。特に重要な室の外窓のガラスは防弾仕様とする。

建物の外壁の開口面積を小さくする。民間のオフィスは開口面積が外壁面積の 30% 以上だが、30% 以下も考える。米国の在外公館では 15% 以下で設計した例もある

3.1.2 進行性崩壊を防ぐ

屋外の地表面で爆発が起きると、爆圧を広く受けるガラス面や外壁が損傷を受けやすい。次いで、外壁に接する柱が壁からの圧力を受ける。さらにスラブが下からの爆圧で上に突き上げられ、損傷を受けやすく、スラブに接する梁もスラブから伝わる上向きの力を受ける。スラブや梁は通常上からの力に対して設計し、鉄筋もそのように設計されるので、下からの力には弱い。もし、大スパンのスラブや梁が損傷を受け、その結果下方に大きく撓むと、接続する柱も影響を受けて、上階に向かって次々と連鎖的に破壊を誘発する。このような、進行性崩壊は過去の事故でも見られ、これを防ぐには構造システムとしての補強が必要となる。

なお、窓ガラスの破損は 14 kPA (約 1.4t/m²)、人の殺傷は 70~100 kPA、構造体の破損は 200 kPA で生じるとしている。

また、爆圧を逃すため、外壁や天井の一部を外れるようにするのも一つの対策である。

3.1.3 建物の内部位置による影響の大きさ

建物の内部位置即ち場所によって、外部で生じた爆発の影響が異なる。

これは、平面的及び立面的の両方に関係する。平面的に言えば、爆発が想定される道路側がより危険であり、道路から離れた場所や中心部分はより危険が少ないといえる。また、建物の底部はより危険であり、最上部はより危険が少ないといえる。すなわち、建物の部位が低価値から中価値さらに高価値に分類される。従って、重要な機能を有する部屋をより高価値な場所に設け、危険からより遠ざけることができる。

3.2 屋内の爆破テロ対策

3.2.1 不法侵入を防ぐ

まず第一に、テロリストの建物内部への侵入を防ぐ。そのために、入り口から内部へ通じる通路部分を隔離個室化する。前室では、入り口の 3 面を強固にし、ドアはソフトにして衝撃をやわらげる。前室につながるロビーも個室化するのが望ましい。ロビー内には回転通過ゲート、磁気反応スクリーン、X線探知スクリーンなどを設置し、この付近の柱や開口部は構造的に補強する。警備室ではロビーや建物各所の状況を監視し、窓を防弾ガラスとする。

車の出入りする部分では、建物からなるべく離れた位置に、可動式の防護杭や防護板を設け、車が建物への激突を防ぐ。時間外に使用する巻き上げ式のシャッター、照明設備を設置する。建物の周辺にはコンクリート製の塀又は防護杭を一定間隔に設け、車が建物に近づけないようにする。

駐車場、荷物の積み下ろし場所、郵便物の集配室には TNT 火薬 45 kg の爆発物が持ち込まれることを想定して、あらかじめ構造部材を補強する。

3.2.2 構造部材の補強

建物内部で爆発が生じ、一定の構造部材が破壊された場合は、残った構造部材でいかに建物を支持できるかがポイントである。屋外の爆発と同様に、進行性崩壊を防ぐために、構造部材を補強しなければならない。以下に述べるのは、玄関やロビー、駐車場、荷卸し場所、郵便物集配所、監視室、大使館等がテナントとして入っている階等特に爆破テロが生じやすい場所の構造補強である。

壁は、柱や梁に比べて、面積も大きく爆圧をまともに受けるので、耐力壁の補強を十分に行う。耐力壁を増やしたり、厚さを 30% 増しにしたり、壁の配筋を 0.3% (小規模爆発を想定) から 0.5% (中規模爆発を想定) に増やしている。なお、米国の場

合はこの配筋量は通常の2倍になるとのことであるが、日本でも同じような配筋を行っている。外壁は、内側の全面に厚さ9.5mmの鉄板を張ったり、H型鋼を1.2m間隔で配置することもある。

柱は表面積が小さいので、爆圧の影響は壁ほど多くない。壁と縁を切ることで、柱を守る場合もある。柱の通常の補強はフープを10cm間隔（日本では普通）にしたり、柱の外周に鉄板を巻いたりする。

床や梁には炭素繊維の膜を接着剤で固定する。後から補強する場合には床の表面に溝を空けて鉄筋を埋め込むことも多い。

3.2.3 フラットスラブ構造は爆発に弱い

フラットスラブ構造は日本ではあまり用いられないが、外国では多く見られる。フラットスラブ構造は柱とスラブで構成され、梁が無いので爆発に対して耐力が十分でない。スラブのたわみが生じやすく、建物の水平方向に作用する爆圧には弱い。そのために補強が必要となる。例えば、柱と柱の間に鉄骨の梁を新設したり、柱周りにシアプレートを埋め込み補強したり、スラブの下面に炭素繊維の布をエポキシセメントで接着する。

3.3 費用対効果

民間の建物に爆発対策を行うと、当然のことながらコストが上昇し、大きな投資効果は期待できない。しかしながら、最近の傾向として、その資産の付加価値の増大と保険会社の損害保険料の低下傾向が見られ、不動産マーケットでも評価されてきており、ディベロッパーの関心も高い。又、経済性を重視した爆破対策の方法にも関心が集まり、費用対効果が意味を持つ時代になってきた。

4. 英国における爆発に対する建物の防御設計の考え方

ここでは、英国の鋼構造協会が1999年に発行した「爆発に対する建物の防御」⁴⁾を紹介する。ページ数が多いので、目次と要約及び1章と3章のみの翻訳したものを以下に示す。英国ではアイルランド独立に関係し古くから紛争が発生し、それに対する建物の防御に関する研究の歴史も長いと考えられる。

Protection of Buildings against Explosions
The Steel Construction Institute (英国)

序

テロリストによる攻撃により財産や人命の被害は残念ながら現在もあるし、さらにテロリストの活動範囲は世界的なレベルで広がっている。本書は強力な爆薬により引き起こされる爆発から、いかに財産や人命を防ぐかのガイダンスを示すものである。この本は、防御を必要とする建物の設計に携わる建築家や技術者にとって有用であろう。

(目次)

要約

1章. 序

2章. 建物の爆破被害例

2.1 ワールドトレードセンター ニューヨーク

- 2.2 Murrah 連邦ビルディング オクラホマ市
- 2.3 St Mary Axe ロンドン
- 2.4 マンチェスター 市役所
- 2.5 ロンドン ドックランド
- 2.6 ステープルズ コーナー 北ロンドン
- 2.7 ユダヤ人 コミュニティ センター ブエノスアイレス アルジェンチン
- 3章. 建物設計における防御の考え方
 - 3.1 防護設計
- 4章. 防止方法
 - 4.1 建物の配置
 - 4.2 進入路の制御
 - 4.3 爆発に対するシェルター空間
 - 4.4 管理手順
- 5章. 建物の設計
 - 5.1 建物規則で要求されるもの
 - 5.2 法規で要求されるもの
 - 5.3 ガイダンスと技術的なマニュアル
 - 5.4 構造システムの選択
- 6章. 爆薬
 - 6.1 爆発の原因
 - 6.2 爆薬の材料
 - 6.3 強力な爆発のプロセス
 - 6.4 爆破方法と爆薬の運搬
 - 6.5 TNT 換算
- 7章. 爆圧と荷重
 - 7.1 爆発の種類
 - 7.2 爆発距離の尺度
 - 7.3 自由空間における爆風の性質
 - 7.4 爆風の反射の性質
 - 7.5 表面を伝わる爆風の圧力
 - 7.6 爆風の圧力の数値的表現
 - 7.7 爆風と建物に作用する力
 - 7.8 建物内部の爆発
 - 7.9 爆風の圧力と建物に作用する力のコンピュータ解析法
- 8章. 動的応答
 - 8.1 応答手法
 - 8.2 解析方法
 - 8.3 一自由度の手法
 - 8.4 多自由度の手法
 - 8.5 エネルギー法
 - 8.6 圧力と衝撃力のダイアグラム
- 9章. 材料特性

- 9.1 動的荷重における材料の挙動
 - 9.2 鉄骨の歪速度効果
 - 9.3 ステンレス・スチールの歪速度効果
 - 9.4 コンクリートの歪速度効果
 - 10 章. 構造設計のアプローチ
 - 10.1 構造設計に要求されるもの
 - 10.2 容認されるクライテリア
 - 10.3 応答評価と適切な構造部材評価の手順
 - 11 章. 詳細設計と構造物の接合
 - 11.1 梁
 - 11.2 柱
 - 11.3 床
 - 11.4 屋根
 - 11.5 外装材
 - 11.6 階段
 - 11.7 梁-柱接合部
 - 12 章. 基礎
 - 13 章. 非構造物の対策
 - 13.1 ガラス
 - 13.2 ファサード
 - 13.3 建物内部の配置
 - 14 章. 被害を受けた建物の調査
- 参考文献
- 付録 A シェルター空間
 - 付録 B 衝撃波のパラメータ
 - 付録 C 変形に関する図表
 - 付録 D ガラス防御の設計

要約 (SUMMARY)

本書は、民間施設であれ公共施設であれ、強力な爆発の被害から建物を守る為のガイダンスを提供するものである。爆発の効果を少なくする為の建物設計の考え方が紹介され、設計手順が提案されている。この手順には、次のようなことが含まれている。すなわち、被害の評価、防御手段、爆圧や荷重の評価、爆風による応答や構造部材の適正な補強等である。各々のステップのバックグラウンドや基本を説明してある。

建物のロバストネスや、進行性破壊を防ぐことが論じられている。これらはUK Building Regulations や Code of Practice、さらには陸軍で確立され発展した技術的なガイダンスとも関連している。構造骨組みの補強や非構造部材の補強も提案され、爆風により被害を受けた建物の調査方法も紹介されている。

包括的な参考文献も紹介されている。

本書の第一の目的は、技術者や建築家に対して、強力な爆発により引き起こされる被害をいかに少なくするかというガイダンスを提供することにある。

1 章 序 (INTRODUCTION)

一般の人々に対する攻撃の恐怖は存在し、テロリズムの規模は世界中に広がっている。建物への爆発による人命や財産への危険は次のようなものがある。

- ・ 飛散物： 例えばガラス、仕上材、ドア 等
- ・ 爆圧： 爆圧や衝撃波が人間の内臓や手足を傷つける
- ・ 局所的な構造体の崩壊： 局所的な骨組みの部材の崩壊が生じる
- ・ 全体崩壊： 局所的な破損が建造物の進行性破壊を引き起し、全体的な崩壊へつながる。

もし、テロリストの脅威がなくなるとすれば、人命や財産の損傷による経済的・社会的な被害を最小限に抑えなければならない。危険地域の建物の爆発の被害を最小限になるように設計することは非常に有効であることは、一般大衆はもとより、オーナー、保険会社、政府によっても認められている。

民間の建物を完全に衝撃荷重に対して安全にすることは経済的にみれば唯一の選択枝ではないが、新築であれ既存であれ爆発による被害を減少させる技術的な知識が存在する。

この本の主たる目的は爆発から建物を守る知識を建築家や技術者に提供することにある。爆発の効果を減少させる方法が述べられており、これによって、人命や構造体に対する防御を図ることが出来る。本書には次のような内容を含んでいる。

- ・ 建物を守るための設計の考え方
- ・ 爆発荷重のパラメータ
- ・ 爆発を受ける建造物の動的応答の解析方法
- ・ 鉄骨構造の建物の強度と変形に対する設計
- ・ 構造体と非構造物の強化方法
- ・ 予防的措置

爆発荷重による人間の負傷に関しては、情報だけとする。

3章 建物の防御の考え方 (Protection Philosophy for buildings)

この章では民間施設において、建物と建物内部にいる人を爆発から防御する考え方を紹介する。現在の多くの建物は自己防御について殆ど考慮されずに建てられている。政策的に防御の認識を広めない限り、これからも、爆発を考慮されずに建設されるであろう。建物の防御は爆弾から建物を守るために考えられるあらゆる手段の総和である。防御が有効に機能するためには；

- ・ 配置計画、警備計画、防御体制により、テロリストに成功の可能性が低いことを認識させること。
- ・ 建物の弱点や脆弱箇所を隠すことにより、攻撃の焦点を間違った所に当てさせること
- ・ 攻撃対象となるものを分散し、攻撃しても甚大な被害が出ないようにすること
- ・ 物理的な防御壁を構築することで、攻撃が目標物に到達しないようにすること
- ・ 構造を強化して、攻撃が目標物まで到達しても被害が最小になるようにすること。

建物を防御することは単に建物と内部にいる人を防御するだけではなく、業務を守ることである。いかなる攻撃を受けても、その後に業務がすぐに再開できる機能が非常に重要となっている。また、重要資産をいかに防御するかが重要な課題となるだろう。脅威評価により、防御要求対象を明確にし、防御方法の重要度を定義できる。

3.1 設計における防御 (Protection by Design)

設計において考慮すべき防御方法を次に述べる。

- ・ テロリストに攻撃を思いとどませたり、邪魔するような予防的処置により、脅威の可

能性及び規模を最小限とする。

- 建物を崩壊させないこと。設計条件によっては損傷しても局所的なものとし、致命的な崩壊とならないこと。
- 出火させないこと。出火しても延焼しないようにすること。
- 爆風と飛散物から人命と資産を守ること。
- 建物内部の人が避難できる安全な区域、または避難経路と集会場所を確保すること。
- 攻撃の後、修復が容易に出来るようにすること

上記の考え方に従った設計フローチャート次に示す。このフローチャートは人命、資産及び業務を有効に防御するための処置と流れを示す。

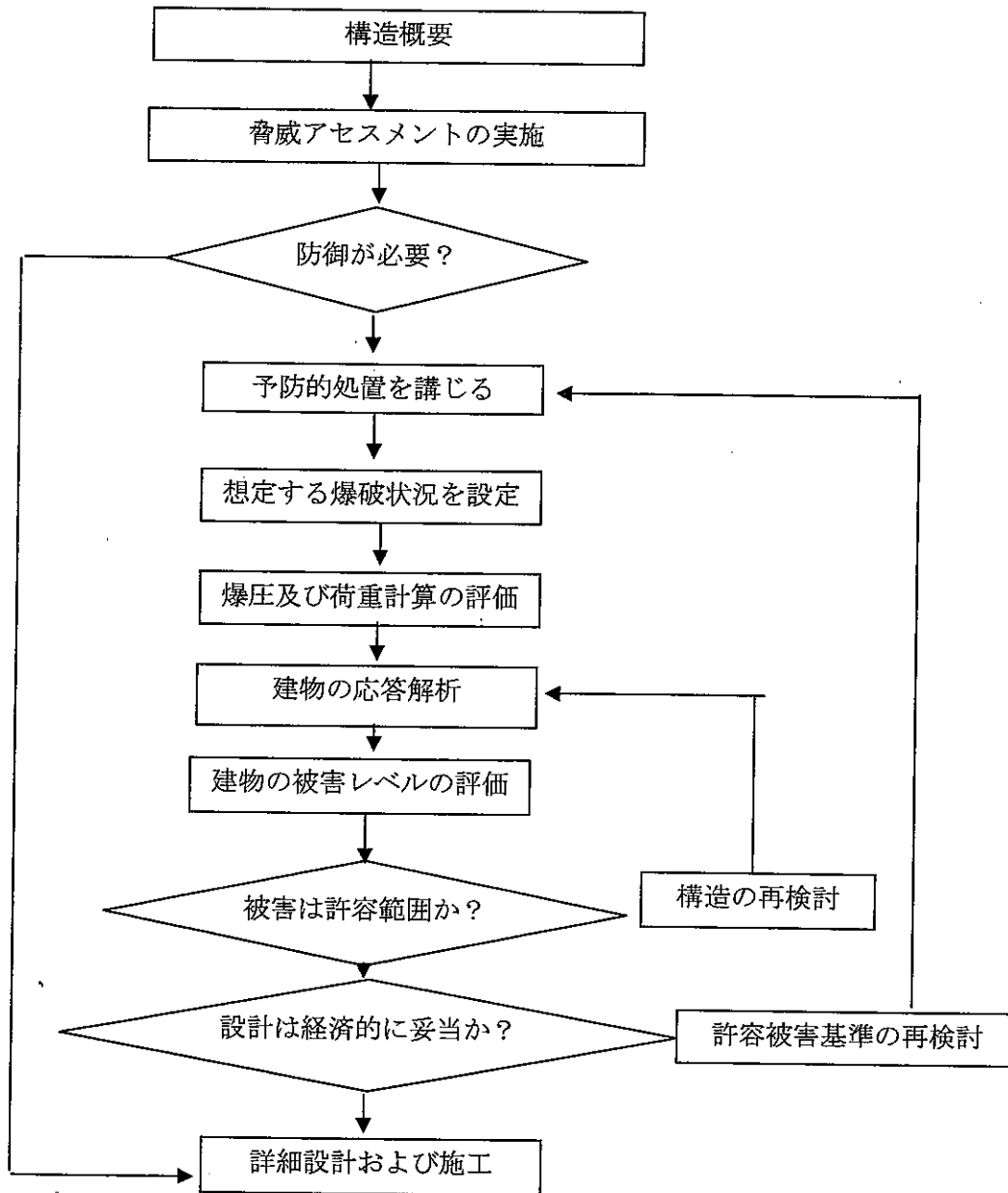


図 3.1 爆発から建物を守るための考え方を示すフローチャート

民間施設の建物や、建物内部の人、備品の防御設計は下記基準に適合しなければならない。

- 労働安全基準 1992
- 建設資材指針 EC 付属書 1
- 建設規準（設計及び運用）1994

これらの規準は建物所有者に下記事項について法的に拘束する

- テロ行為の恐れがある場合に、従業員を安全を確保すること
- 機材が使用目的に適用していること
- リスク管理が全期間において実行されていることを保証すること

次の節では最適な手法を選択するために実施すべき行動について述べる。これらの選択肢が実際の設計において細部が詰められる。

3.1.1 脅威アセスメント (Threat assessment)

脅威アセスメントとは、脅威となりうる全ての要素を認識評価し、それが発生する可能性および起きた場合の潜在的影響力を分析評価したリスク管理である。

建物に対する攻撃の可能性は下記によって分析評価する。

- その国の政治的、社会的安定度
- テロの歴史
- 所有者または使用者の業態
- 建物の位置、有名な場所かどうか
- 付近に攻撃対象となる施設があるか

どのような攻撃があるかを判断するには、同様な場所または状況について発生した攻撃の統計情報が入手できなければならない。このような統計情報は出来る限り多くの情報が記載されていることが望ましいが、少なくとも日時、種類、規模、場所および発生した理由が記載されている必要がある。脅威アセスメントを行うのに役立つよう、これら統計情報は記録できる場所で編纂されることが望ましい。専門的な見解は警察や内務省など公的機関、または民間団体や「Bombs Protecting people and property」などの発行物から得られる。他の選択肢としては地元のメディアを検索することだが、時間がかかり信頼性が低い。

脅威の大きさは搬入可能な爆発物の大きさにある程度比例する。爆薬装置については 6.4 章で述べる。

攻撃を受けた場合の潜在的影響の評価は下記項目による

- 人的被害 — 死傷（物理的、精神的）
- 再建費用
- 仮移転費用
- 業務損失費用
- 時間のロス
- 人材の遺失
- 労働意欲の低下
- 法的制裁処置

アセスメントは建物設計に十分な基礎条件を与えなければならない。他方、アセスメントは建物管理期間中、定期的実施し、状況の変化を評価分析し、必要に応じて建物を改修し防御を新しくする必要がある。

3.1.2 予防的処置 (Preventive measures)

攻撃の影響を回避するためには予防的処置も重要な要素である。攻撃の規模を小さくする現実的な対処を初めから実施していかなければならない。これについては4章で述べる。

3.1.3 想定する攻撃の状況を定義する (Determine credible explosion scenario)

予防的処置およびアセスメントの内容に応じて想定する攻撃が定義できる。定義には種類、規模および爆発の場所が必要である。

3.1.4 爆圧および荷重の計算 (Evaluate blast overpressure and loads)

爆圧およびそれによって生じる荷重については7章で述べる。手計算と電算機との両方の方法を述べる。7章では建物に対する荷重についても説明する。

3.1.5 爆発時の建物応答解析 (Analyses building response to extension)

7章の計算結果は8章で説明する手法で分析できる。単純なもの、複雑な計算手法、両方を説明する。圧力衝撃図について、単純だが効果的な分析手法について説明する。

3.1.6 建物被害状況の分析評価 (Assess level of damage to building)

建物被害の程度は、5章の建物の設計、9章の材料特性、10章の構造設計手法により分析評価できる。許容被害を説得させるには強度と変形規準によって定義できるかもしれない。8.5章の圧力衝撃図を使用することで爆発の許容被害を設定できるかもしれない。詳細設計および建設資材については11章で述べる。

12章では建物基礎の爆発に対する抵抗力について述べる。

効果的な防御となる非構造部材による補強については13章で述べる。これには耐爆風強化ガラス、被害が最小となる建物立面デザイン、人や資産の被害が最小となる部屋配置などを含む。

3.1.7 経済的実現性 (Economic viability)

テロに対する完璧な対策はなく、防御処置の費用と想定被害の金額とのバランスをとらなければならない。防御費用の金額を出すのは困難で、どこまで防御するのかの判断が難しい。建物全体のコストは当然高くなり、最低でも全体コストの3~5%程度は高くなる。しかし、他のプロジェクトでは想定被害状況、想定規模の設定などにより、もっと高くなっている事例が多い。

(以下省略)

参考文献

- 1) 野津、日比、小川：第18回 風工学シンポジウム、2004 P133~138
- 2) 岡本隆之祐 水平力を受ける箱形断面柱-H形断面はり接合部に関する研究
学位論文 付録 1996年3月
- 3) 日経アーキテクチャ-2001.11.26
- 4) 爆発に対する建物の防御 (Protection of Buildings against Explosions)
英国鋼構造協会 (The Steel Construction Institute) 1999年