

[論 文]

建築設計と消防活動との関連
— ワールドトレードセンタービルの崩壊から学ぶもの —

Architectural Design and Fire Fighting
— Lessons to be learnt from the collapse
of the World Trading Center buildings —

田村 正
Tadashi TAMURA

Abstract

Terrorist attacks on the World Trade Center (WTC) buildings and the consequence collapse of the buildings were far beyond both the imagination of architects and the presupposition of architecture-related laws.

However, there are several important lessons for architectural design and fire fighting to be learnt from what happened after the terrorist attacks.

First, with regard to architecture, the disaster induces us to rethink the importance of "redundancy" and the reinforcement of "shaft", and to give a careful consideration to the feasibility of all-floors evacuation.

Secondly, the extent to which a fire brigade knows information on an individual building is of cardinal importance. Moreover, regular fire drills based upon that information are equally crucial.

Thirdly, an emergency management system, including reliable devices and a back-up system for fire fighting, needs to be established.

There is a tendency to make heroes of the fire fighters who were made of victims of

Key Words : Concurrent Design, Redundancy, Shaft, Evacuation, Information, Emergency Management

キーワード : 同時並行方式設計, 冗長性, 堅穴区画, 避難, 情報伝達, 危機管理

the WTC collapse. However, as there is a possibility that the lack of fire drills, together with an inadequate emergency management system, amplified the scale of tragedy, we have to consider this event from this point of view.

1. はじめに

2001年9月11日、イスラム過激派による米国への同時多発テロ攻撃は、世界を震駭させた。テロの共通手段はボストンから西海岸のロスへ向って離陸したばかりの燃料満載の大型民間航空機を立て続けに乗客ごと乗っ取り、これを繁栄の象徴もしくは政治・軍事的標的の建物に体当たりさせ、米国の威信を損なわんとするものであった。なかでもニューヨーク（以下、NYと称する）のワールドトレードセンター（以降、WTCと称する）のタワー北棟（以降、WTC1と称する）とタワー南棟（以降、WTC2と称する）への旅客機の接近・衝突・爆発・炎上そして崩壊の様子は、全世界に繰り返しテレビ報道された。犠牲者は当初、6,000人を越えるといわれたが、最終的犠牲者数は2,801人（02年9月10日現在）である。これには消防士343人、警察官23人が含まれている。

筆者は事故発生直後のテレビ画面を直視した瞬間、かつて消防の指導係官から聞いた「鉄骨造の体育館は火が廻れば何時崩壊するか予測出来ないのだから中には入れないが、木造は火が廻っても中に入って活動できる」の話が蘇った。その通り WTC ビルは崩壊した。

WTC をはじめ複合用途や大型建築の設計では、広範にわたる高度な設計技術が必要なことから、コンカレント（同時並行）方式が採用される。企画・設計等の川上から施工者や施設使用者、維持管理・運営者、救助・消火活動する川下の人が対等の立場で技術や情報を出し合い、設計者がそれを汲み取って設計を進める手法である。しかし手法が優れ英知を集めて建物が完成しても、その後、川下に設計情報が的確に伝わらなければ支障をきたす。消防は逆に川上情報から個別に建物の構造や防災設備の内容と特徴を把握し、これに基づいて訓練がおこなわれ、消防活動の体制や装備の改善、危機管理体制の見直し等がおこなわれているものと考えていた。特に複合用途や超高層建物、危険物貯蔵施設などは優先順位が高い筈である。しかし、今回は納得のいかない点が多いのである。

本稿は WTC ビル崩壊を中心に、建築設計と実際の消火活動との関連について、コンカレント方式の設計の立場に立って考察し、いくつかの知見をまとめたものである。

なお、文中の敬称は略させていただく。

2. WTC ビルの概要

(1) 構想と完成後の評価

世界一の米国経済の拠点であった WTC ビルは、NY 港湾局等が主体となって構想した官民

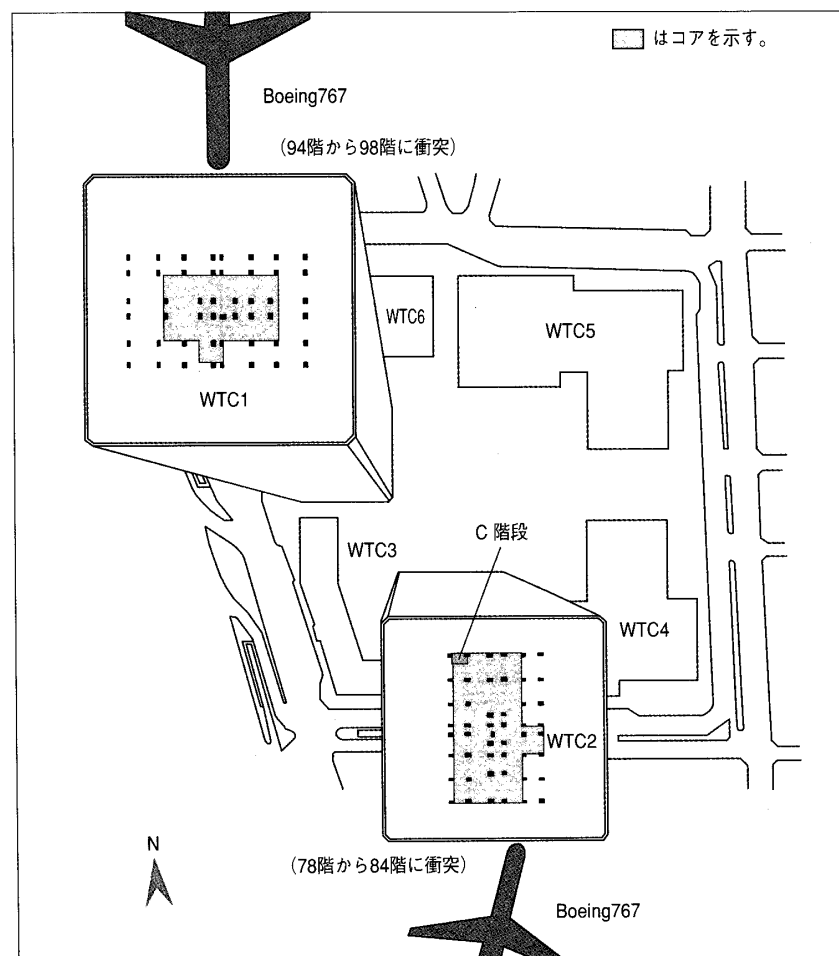
の国際貿易に関するすべての機能と、市の主要な交通ターミナルを含む複合用途の巨大プロジェクトで、延貸室面積30万坪、オフィスワーカー5万人、来街者8万人を想定したものである。十数人の設計候補者の中から選ばれミノルヤマサキの案は、広場を中心に110階建ての高さ400mを越える双子超高層ビルと5棟の高層ビルから構成されるもので、1973年に完成した。この双子超高層ビル（WTC1とWTC2）が今回、テロ攻撃を受けた[表1][図1]。

完成した時、設計者ミノルヤマザキは「設計チームに最も優秀な設計者と技術者に参加を求め、その人たちの力量を最大限発揮してもらって、はじめてこのビルは可能となった¹⁾」¹⁾とっている。しかし、建築界からは、超高層としての設計技術の高さについて評価は得られたが、多くの尖塔をもつ超高層群のNYの景観を壊したとされ、必ず

表 1. WTC1, TWC2 の概要 (出典：文献 2, 参考文献より作成)

発注者	ニューヨーク州, ニュージャージー州の港湾局	
設計者	ミノルヤマサキ (建築), L. ロバートソン (構造)	
構造・階数・高さ	鉄骨造 地下6階・地上110階・417m	
規模	おのおの約42万m ²	
基準階	平面サイズ	63m×63m
	階高・天井高	3.66m・2.62m
	有効面積	2,900m ²
避難施設	各タワーにA, B, Cの3本。前室なし。A, C階段はプラザ階(避難階), B階段は地下まで直通	
防災設備設備	自動火災報知設備, 火災通報設備, 非常放送設備, 非常通信設備, 非常照明設備, 誘導灯, スプリンクラー設備, 屋内消火栓設備, 排煙設備, 等	
竣工年	TWC1: 1970年, TWC2: 1973年	

図 1. WTC 全体配置とテロ攻撃衝突位置



しも高い評価は得られなかった。一方、市民からは NY で最も高く印象的な双子の建物であったことから、米国の繁栄を象徴する NY の名所として認知されていた。

(2) 設計の基本

超高層ビルはその建物の構成から垂直方向の人、物、エネルギー、情報等の運搬・伝達をコンパクトなスペースで効率よく成立させるかがポイントである。有効率が高いことは、即事業性に直結するからである。このビルは40階建て程度の超高層ビルを1単位とし、これを三個積み重ね、グランドロビー階とスカイロビー階（44階と78階）とをシャトルエレベーター（以降、エレベーターはEV という）でつなぐ構成である。スカイロビー階は高速のシャトルEVと各階へのEV乗換え階であり、この考えは後の超高層建築のモデルとなった[図2]。

3本の避難階段は中央のコア内に分散して配されおり、また上階の主要設備機械室は、スカイロビー階ごとの単位に設けられていた[図2]。

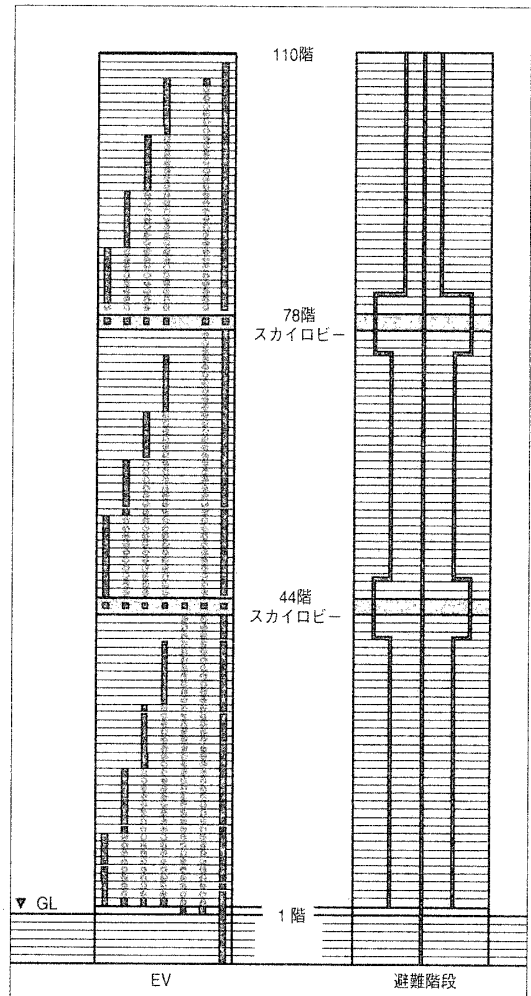
(3) 架構上の特徴

外周に約1mおきに配された244本の鉄骨のボックス柱を配し、隣接の柱とは成の大きい梁（ウォールガーダー）で剛接合することにより支持地盤からのフィレンディール・トラス構造として風荷重のすべてと建物荷重の4割を受け持たせ、残る6割の建物荷重は中央部のEVや設備のシャフト、避難階段からなるコア部の柱48本で分担する明快な設計思想が特徴であった。外周柱とコアをつなぐ梁は各階の床荷重を支持する小梁でよいことから、上階も下階も同一サイズでコア側の接合は柱ではなく横架材のチャンネルにピン接合となっていた。これは風荷重より地震荷重で決まる高さ200m以下のわが国の超高層ビルでは、柱と大梁は剛接合とすることが一般的であることから大きな差異がある。

(4) 構造体の耐火被覆

WTC1, 2とも、衝突階の法的な耐火性能は3時間耐火であり、蛭石プラスター吹付の仕様であった。²⁾

図2. EV と避難階段の配置



3. 衝突から崩壊まで

(1) タワー内にいた人数

当初発表の行方不明者数約6,000人の数と、ほとんどの人が犠牲となった衝突階から上の階の人数を規模から算出した人数を比較すると、後者がはるかに多くなり整合性が認められなかった。早朝だったこと、訪問者はほとんどなかったと仮定してみても合わない。この疑問点は文献³⁾で納得することができた。それによれば早朝だけでなく、アメリカの経済不振時で空室が多かったこと、テナント工事中の階が多数あったこと、学校の新学期の始まりで子供の付き添いで休暇を取った人が多かったなどが重複していたようである。現時点で推定されている衝突時に WTC1 と WTC2 にいた人数は在籍人数の半分のおおの7,000人、合計14,000人前後と考えられている。仮に経済が活況下でテロ攻撃の時間が来訪者の多い時間とすると、合計3万人がいてもおかしくない。

(2) 衝突階の状況[表 2]

衝突した飛行機（巾47.6m×高さ15.85m）のうち建物破壊に大きな影響を及ぼすのは、質量の大きな部分（両エンジン間約22m×胴体と尾翼下部約10m）と衝突速度によるという。衝突した際の飛行機の速度は、当初 350km/h 程度と見られていたが、その後の調査で 880km/h の巡航速度に達していたとの見方が有力となった（フライトレコーダーは発見されず、ビデオやレーダーからの解析による⁴⁾）。

WTC1 と WTC2 とともに平面の外形寸法は63m 角で柱本数は1面当り60本、基準階階高は3.66m である。今回の衝突による外周部の柱の破断本数は各々30～40本であった。衝突面の柱数の半数以上が破断したことになる。内部のコアの柱や床梁、床版等の構造体及び各縦穴シャフトの破壊状況は不明であるが、爆発炎上の映像から、柱・梁の破損、床版等の落下、構造体の耐火被覆の飛散・剥落、縦穴シャフトの防火区画やスプリンクラー等の防災設備破壊等、甚大な被害を受けたと思われる。

WTC1 では北面の94～98階に衝突し残る三面から火柱が噴出した。WTC2 ではやや東寄りの南面の78～84階に衝突し東面と北面から火柱が噴出した。一機あたりが積載していたジェット燃料の約10,000ガロンのうち、文献⁵⁾によれば、爆発時に約3,000ガロン消費され、そして約3,000ガロンが下階へ流出し、残りの4,000ガロンは衝突階で可燃物とともに燃焼したとしている。これと各種のメディアに載った衝突階の爆発・炎上状況から、衝突階に居合わせた人々は瞬時に命を絶たれる状況であった。

しかし2棟のタワーはしばらくの時間、立ちつづけた。

(3) 衝突階の上下階の状況[表 2]

(3-1) 衝突階上部

衝突階で EV シャフトや設備シャフト、避難階段などほとんどの縦穴区画が破壊され、火

や煙がこの堅穴を上昇拡散したと考えられている。WTC1 では熱と煙に追われ窓から飛び降りた人が 37 人にもものぼり、WTC2 では機能した避難階段により生還した人の証言からなどから WTC1 と WTC2 とでは室内環境的差異があった可能性がある。犠牲者は衝突階を含め WTC1 は約1,350人全員、WTC2 では約600人である。

また WTC2 では幸運にも一本の避難階段が機能し続けたが、これを使って生還した人は僅か18人、ほとんどの人が犠牲となった。

(3-2) 衝突階下部

生還者証言から、衝突階に近い階では燃焼しながら堅穴区画を伝わる大量の炎と煙で生命の危機に直面したこと。また炎と燃料が EV シャフトを最下階まで落下し、その燃焼により中間階より下階のほうが煙の濃度が高かったことがわかっている。犠牲者は WTC1 の84人に対し WTC2 では18人である。

表 2. WTC ビルのテロ攻撃から崩壊まで
(日本建築学会「WTC 崩落調査中間報告書」、新聞報道等から作成)

	WTC1 (北棟)	WTC2 (南棟)
衝突時刻	8 時46 分	9 時02分
衝突位置	94～98階の北面ほぼ中央	78～84階の南面のやや東側
衝突飛行機機種・重量	B767-200ER ・ 136トン (アメリカン航空 11 便・ボストン発ロス行)	B767-200ER ・ 136トン (ユナイテッド航空 175 便・ボストン発ロス行)
衝突飛行機乗員	92人 (うちハイジャック犯人 5 人)	65人 (うちハイジャック犯人 5 人)
衝突飛行機搭載燃料	約10,000ガロン (約38,000リットル)	約10,000ガロン (約38,000リットル)
衝突飛行機全幅×全高	47.6m×15.85m	47.6m×15.85m
衝突飛行機速度 ^{注1)}	約700km/h (当初予想約350km/h)	約900km/h (当初予想約 350km/h)
衝撃時の飛行機の姿勢	ほぼ水平	約30度傾斜
損傷外周柱数	衝突面の約 6 割に損傷、5 層にわたる梁も含む。内部の柱や他面の柱、梁は不明	衝突面の約 6 割に損傷、7 層にわたる梁も含む。内部の柱や他面の柱、梁は不明
爆発時の最高温度	約1100度	約1100度
崩落時刻	10時28分	9 時59分
衝突から崩落までの時間	1 時間42分	56 分
乗員以外の犠牲者	衝突階より上部の一般人	(92階 ^{注2)} より上階) 約1,350人 (全員死亡、生還者なし)
	衝突階より下部	84人 (91階より下階)
	場所不明の一般人	約200人
	消防士 (計 343 人)	121人 (場所不明、その他) 125人
	警察官	23人
	合 計	2,801人
注 1) 巡航速度 880km/h		
注 2) 避難階段が階段内の壁材でふさがれたため、この断面位置で上階からの避難不能となった		

(4) 避難

衝突によりビルに備えていたほとんどの防災設備は一瞬の内に機能を失い、また WTC1 では衝突階より下階の92階で避難階段の内装の石膏ボードが階段をふさいでしまったことが確認されている。それにもかかわらず WTC1 では91階より下部、WTC2 では77階より下部にいた人のほとんどが避難できたのは、崩壊まで時間的余裕があったこと、ビル内の在館人数が少なかったこと、階段の非常照明が機能したこと等による。下階で煙の充満により進めなくなった避難階段があったが、消防士の誘導で他の避難階段に乗り換えて避難したこともわかっている。衝突から崩壊までの時間的余裕は WTC2 においては56分、WTC1 は1時間42分であった[表 2]。

ここで2棟の衝突階より上部の犠牲者数が整合しない点について触れておく。表2より犠牲者数は WTC1 で約1,350人、WTC2 では約600人であるが、これに対する階数は WTC1 の19層（避難階段が塞がれた92階から上部とした）に対し、WTC2 は33層である。在館人口を調べてみると大きな差異は認められない。そこで「WTC1 から噴出した火の玉を目撃して本能的に避難を決断した」と「WTC1 への衝突から WTC2 への衝突までの16分間の時間差」の二つの報道に着眼してみる。避難階段を夢中で下りたとすると、その避難速度は避難訓練で得られている表4. a.の10.9秒/階以上であったと思われる。この避難速度を適用すると110階の最上階から衝突階の最下階78階を通過するのに要する時間は $(110-78) \text{ 階} \times 10.9 \text{ 秒} = \text{約} 6 \text{ 分}$ となり、16分の時間差は十分な避難時間であった。この間に半数以上の人々が衝突階より下階へ逃れたと推定すると矛盾は説明がつく。しかし WTC1 の爆発炎上が視野に入らない場所にいた人は「このビルは安全です」の館内放送で避難しなかったり、避難しはじめたのに途中でやめ上階のオフィスに戻り明暗を分けた。また避難途中の78階のスカイロビー階でシャトル EV を待っていた多数の人が僅かの時間差で犠牲となったことも、途中まで EV を利用していち早くこの階に到達して惨状を伝えた後、犠牲となった消防士の無線記録で確認されている。

表 3. 超高層ビルにおける避難階段降下速度と所要時間 (出典：文献「近代消防」102.1月号、p.68-69)

	階段内の環境と階段降下速度	WTC タワー 1 階当たりの避難所要時間
a.	避難訓練（照明付き、煙なし、群集密度 3 人/m ² ）の階段降下速度 0.5m/s	3.66m（WTC の階高）÷ 0.5m/s=7.3秒、これに踊り場通過時間 1.8 秒/箇所× 2 箇所 =3.6秒を加え 10.9 秒
b.	建築防災専門家の常識、100m 下降の所要時間15分から、踊り場通過時間含・降下速度 0.111m/s	3.66m（WTC の階高）÷ 0.111m/s = 約33秒
c.	実火災（照明なし、煙あり）時 の階段降下速度0.049m/s	3.66m（WTC の階高）÷ 0.049m/s=74.7秒、これに踊り場通過時間1.8 秒/箇所× 2 箇所 =3.6秒を加え 78.3秒
備考	a の階段降下速度：新梅田シティ（40階建）の40階から、ランドマークタワー（70階建）の69階からの避難訓練による。 c. の階段降下速度：1993年 WTC1, 2 の地下 2 階爆弾テロ時の避難者証言からの総合分析による。	

(5) 消火活動体制⁶⁾

米国では災害全般に適用される災害指揮システム（ICS: Incident Command System）があり、災害出動はこれにより制御される。さらに高層ビル火災には高層ビル ICS があり、今回のケースはこれが適用となったと考えられる。一つの単位は 1 人の大隊長と 5 個中隊からなり、5 個中隊はハシゴ車の 2 中隊とポンプ車 3 中隊からなる。これに特別優先出場地区へは特殊作業中隊が加わる。到着後の状況により指揮官の判断で増強隊の出場要請がおこなわれる。

つぎに指揮系統をみると、高層ビル ICS では屋外に指揮本部、前進基地、後方支援、救護所がおかれる。指揮本部は火災ビルから 200フィート離れ、火災ビルに侵入する人員・資材をコントロールできる場所に設置が決められている。今回は WTC1, 2, 4, 5 に囲まれた中央と想定されているが、指揮本部が崩壊に巻き込まれ、現場最高責任者の消防局長も犠牲になった。前進基地は同じくビルから 200フィート離れ、進入する隊員の安全経路を確保する場所に設けられたはずであるが、これも崩壊に巻き込まれた。屋内にはロビーコントロールと階段サポート、前進指揮所が設置され、その管理・支援下で消火・救援活動がおこなわれる。前者はビルのロビー階で階段や EV を管理しやすい位置となると、1 階かプラザ階に設置されたと考えられ、後者は通常は火災階から 2 階下の階に設置されることから、時間的に設置できたか微妙のところである。

消防士は防火服と携帯装備で 30kg 以上を身に付け避難階段を上って火災階へ向った。訓練された者でも超高層ビルでは 1 階上がるのに平均 1 分を要することから、60階で 1 時間かか

るとのことになる。WTC2 では41階まで動いていた EV を使い短時間に78階に到達した消防士がいたが、階段を上った消防士は火災階に到達する前に二次災害に遭遇した可能性が高い。

(6) 崩壊までのメカニズム

FEMA (Federal Emergency Management Agent) の調査報告を受けて文献⁷⁾は、耐火被覆が剥ぎ取られた鉄骨の部材が熱膨張により変形し、軽微な接合部(床梁と柱やコアの接合部)に力が集中し破断。これにより床が脱落すると、拘束を失ない座屈長が長くなった5～7階に及んだ柱(自身も加熱され強度低下し、かつ破断した柱からの荷重増もある)が座屈。これにより、衝突階上部の20階(WTC1)、30階(WTC2)が一気に落下したため、下階は連続的に崩壊したとしている。テレビ画面を見て「持たない」との直感は誤っていなかったのである。文献⁸⁾で、和田章は米政府の調査報告から、衝突・爆発による外周柱の破断、複数階にわたる梁と床版の破壊等で、すぐに崩壊してもおかしくないとの見解を示し、そうはならなかった要因を二つあげている。一つはアウトリガー・システム⁹⁾、いま一つはこれに密接につながった外周架構のフィーレンディール・トラス状のラーメン構造である。これが避難出来る人に十分な時間を与える冗長性を発揮したとの考えを示している。

4. 考 察

文献¹⁰⁾によると、FEMA の調査報告は①鉄骨造のロバストネスとリダンダンシーの大切さ、②衝撃・火災時の鉄骨造接合部の性能確認、③火災時の構造体の挙動について応答予測可能な設計法の開発、④突風・衝撃・変形に耐えられる耐火被覆、⑤構造設計者と耐火技術者へ技術教育、⑥部材の燃焼時性能のデータベース化、⑦避難階段の分散配置、⑧避難階段周囲に衝撃抵抗壁、⑨避難階段の照明設備の性能維持、⑩余裕ある給水能力のスプリンクラー設備、⑪テナントに対する避難訓練の実施、⑫非常時における EV 使用の検討、⑬消防隊への鉄骨造火災教育、⑭緊急時の適切な判断のため消防と工学的専門家の連携、の改善項目の指摘をおこなっている。この中から本稿に深く関わる①、⑦～⑨、⑬、⑭について考察する。(②～⑥は主に建築構造・建築生産、⑩～⑫は主に建築設備やビル管理者に関連することから本稿では除く)

(1) 建築設計

一部に「テロ攻撃にも耐えられる強固な建物を」の声がある。しかし仮にロバストネスに関していえば、今回のテロ攻撃に耐えられるものにしたとことで、更に大きく・早い速度には耐えられないし、より致命的な場所への爆弾テロもある。従ってすべてに耐え得ることを、一般建築に要求めることは本末転倒と考える。そうならない国際関係や治安環境を整えるのが大切かつ先決である。しかし、今回のケースを丹念に見ていくと、冗長性や防煙区画のように、一般の火災や地震災害でも発生しこれまで見落とされてきたものや、改良すべきこと、さらには危機管理のあり方が見えてくる。したがって今回の事態が通常の想定を超えたものであるとい

う理由で、防災計画や構造計画を議論するのは無意味との考えには組しない。

(1-1) 冗長性

現場での作業を減らせる鉄骨造や乾式工法は、短納期、品質管理、ローコスト、建設現場の環境改善などの理由から今日の建築生産の主流となりつつあるが、WTC ビルをはじめとする超高層建築が先駆的役割を果たした。WTC ビルより少し前に竣工のシーグラムビル¹¹⁾などは、外装はガラスカーテンウォールであるが柱は SRC であるから爆発に対しての耐力維持はできたと思われる。今回の崩壊により純鉄骨造は、一般の火災で問題がなくとも、爆発や物理的衝撃を伴った火災に弱い構造・工法であることを露呈した。しかし WTC においては、頂部のアウトリガー・トラスと外周柱梁のフィーレンディール・トラスにより、避難可能の人を避難させる時間的猶予を与えてくれ、冗長性についての重要性を改めて認識させた。

同じ冗長性でも、これと対照的であったのが同時多発テロ攻撃を受けたペンタゴンの建物である。FEMA が中心となってまとめた WTC とペンタゴンの建物性能調査¹²⁾によると、ペンタゴンは1940年に完成したが短工期のため鉄骨造であった。テロ攻撃時には全体を5ブロックに分けて、大掛かりなリノベーションの工事中であった。主たる狙いは鉄骨躯体を攻撃から守るため場所打ちコンクリートによる被覆である。工事が完了したブロックでは構造体が部分的に崩壊したが、それは非常にゆっくり起きたため、救助隊が入り被災者を捜索するのに十分な時間が確保されたこと、崩壊後も人が生存するのに可能な隙間が残されたと評価している。筆者の建物の壊れ方に対する提案「人の生存スペース確保のために、中層建物には壊れ方に優先順序をつけ、従来の柱が壊れて梁、床の落下型を逆にする工夫を」¹³⁾が具現化されていたのである。

WTC の避難する間立ち続けるのも、ペンタゴンの万一壊れても人が生存できる隙間を確保するのも冗長性と考え、設計する建物の特徴を生かした工夫が求められる。

(1-2) 堅穴区画の強化：堅穴には避難階段だけでなく EV や設備シャフトがある。

まず、煙の遮蔽性能では、映画「タワーリングインフェルノ」で騒がれた設備シャフトの不備は現在では改善されている。避難階段も前室付や加圧方式により煙の流入を防ぐ工夫が進んでいる。残る課題は EV シャフトの防煙性能向上である。しかし WTC では1993年の地下駐車場爆破攻撃で得た「EV シャフト経由で煙が地下からタワー上部に数分間で拡散」の教訓は生かされず、スプリンクラー設備追加が優先的に採用された。わが国でも大規模建築では EV シャフトと乗降ロビーを一体的に防煙区画することを推進中であるが、それ以外の大多数の建物は不完全な EV シャフトのままである。根本的解決には EV 乗降口扉に防煙性能を持たせることである。メーカーの技術開発が急務なのである。今回のケースでは、EV の扉に防煙性能があれば衝突上下階の室内環境悪化を防げたし、これにより WTC2 では機能した避難階段 C で上階のほとんどの人が避難できた可能性がある。

つぎに、避難階段内の照明機能の維持である。照明と前述の煙流入防止の二点は避難降下速度を決定する上で大きな要素であることが表4から明らかである。避難階段の照明は非常照明として法的に設置が義務付けられているものの、電源方式はイ、照明器具バッテリー内臓方式と、ロ、別置方式（セントラル方式でバッテリーを置く方式と、発電機と併用方式がある）から、経済性とメンテナンス性で決定されている。使用する電線は配管内仕様では耐熱性能、露出仕様では耐火仕様が義務付けられるが、経路に対しての規定はない。さらに点灯時間は用途や規模、階数に関係なく30分一律である。これらに今回のケースや表4.cの実火災事例をあてはめると、電源の選択は経済性とメンテナンス性だけでは不十分であること、配線経路も階段と他と経路を分けるべきであること、点灯時間は超高層では不足となるケースがあることを教えてくれている。

さらに、避難階段分散配置と区画の対衝撃性能強化である。WTCではコアが小さく三本の避難階段が中央に集まっていた階に衝突したWTC1では、三本とも破断して上階からの避難を不能にしたのに対し、WTC2ではコアが大きく、かつ設備機械室付近で三本の避難階段が最も分散配置されていた階に衝突したこと、飛行機が中心から若干それて衝突したこと[図1, 3]、下層階でその分、柱梁が強固で障壁となったことなどから衝突場所と対角線上の最も奥の避難階段Cを守ったと考えられる。後者は乾式耐火壁の弱点克服を問うものであるが、一般の建物に求めるのはどうかと考える。しかし、同じ大きさの建物に同じ型式の飛行機が同速度で衝突し、差異が認められたことから、多角的な検討がされてよい。

最後は、避難階段への消火水の流入防止である。今回は多量の飛行機燃料の下階への流出が問題であったが、一般の火災ではスプリンクラーや屋内消火栓の消火水が避難階段に流入し避難を妨げる恐れがあることである。これに対してはOAフロアのレベル差を利用すれば歩行上の床レベルなしで実質的に100mm程度上げる効果が得られることから採用検討項目である。

階段室の数やスペースについては次項で考察する。

(1-3) 避難

照明が確保され煙の影響がそれほどでなかった今回のケースでは、表4のb.を適用できると考えられ、これにより避難時間を略算すると、WTC2の衝突直下階77階からは77階×33秒=42分、WTC1は91階×33秒=50分である。テロ翌日の新聞報道¹⁶⁾「避難階段で避難中、行列が幾度も停止した。下から重装備の消防士が上がってきた」や、WTC1の89階からの生還者詳細証言¹⁷⁾「前略。35～20階の間、消防隊員が非常階段を上がってくる。その数、10人、20人、隊員の列は途切れることはない。50～60人は見ただろうか」などから、建物内に入った消防士が避難を妨げ犠牲者を増やしたことを危惧していた。しかし、この生還者証言「滞留や階段乗換えを含んでも65分程度」や、表2から時間的猶予の少なかったWTC2衝突階下部の犠牲者が少なかったことからなどから避難できる人はほとんど避難できたと考えてよい。

しかし、テナントが満杯でかつ活発に活動する時間帯であれば、在館人口は2倍近くになってもおかしくない。これと今回発生した全館避難を前提とすると、階段の数やスペースの不足が予見される。今回はいくつかの幸運に恵まれたケースであったと考えてよい。

わが国の防災計画においては、出火階の居室から避難階段までの避難時間の検討でよしとされ、全館一斉避難は考えていないことから、今回と類似のケースでは混乱が起こる可能性がある。不特定多数の人で高密度となる用途や、超高層建築では全館避難の検討も必要であろう。また障害者も分け隔てなく生活するユニバーサルデザインの社会との折り合いも考慮しなければならない。1993年地下駐車場爆破では障害者の平均避難時間は3時間20分である¹⁸⁾。

つぎに残念なのは、WTC2で衝突後も機能した避難階段を使って生還した人は18人とどまり、約600人の人が犠牲となったことである。衝突階を通過できた人が、途中で消防士にこれを伝え現地指揮官経由で本部に伝わり、マスメディアの協力を得て知人や家族に取残された人に携帯電話による情報伝達ができなかったか惜しまれる。時間的猶予は少なかったが、表4.aから100階から18分であるから、健康な人なら急げば10分程度であるから助かる可能性はあった。41階までEVで上って78階に早期に到着した消防士が機能していた階段を確認していた可能性も考えられる。今回の同時多発テロで、乗客が決死的行動により標的への衝突を回避させユナイテッドト航空93便からは、複数の乗客が地上に携帯電話していたことがわかっている。危機時の通信手段として携帯電話の有効活用は今後の検討課題であろう。

(3) 消防の危機管理

(3-1) 建築設計との双方向情報伝達

今回の事件は慎重に計画・設計しても想定外のことが起こりうることを示した。この際、行動の源となるのは、その建物の特徴の正確な把握に基づく、判断力・想像力と行動力であろう。コンカレント方式で設計されたにもかかわらず、完成後の消防の訓練や学習は何に基づいておこなってきたのであろうか。1993年のWTC地下駐車場爆破事件や1945年のエンパイアステートビルの飛行機衝突事故¹⁹⁾等からの教訓が生かされたとは考えにくい。前者は強力爆薬によるテロで中枢機械室を破壊し防災設備の破壊とタワー上部まで短時間で煙が充満したが、タワーの崩壊は免れた。後者は爆撃機

B25が急上昇中78階に衝突したものの、衝突した角度や遅い速度、建物が強固な鉄骨鉄筋コンクリートであったことから被害は比較的軽微であった。これらから超高層ビルは頑丈とある種の誤った神話が存在し、純鉄骨造火災教育がおろそかになっていたと

表4. NY市と東京都の消防車両等の比較

	NY市 (1999)	東京都 (2001)
消 防 車 両	850台 (うち救急車428台)	1,829台 (別に消防ロボット14台)
消 防 艇	8 艇	9 艇
ヘリコプター	0 機	6 機

(出典：「近代消防」01.11 と Web.情報から作成)

したら科学的でない。

1993年にはボストンで高層ビルに対して飛行機の衝突の詳細な避難シュミレーション²⁰⁾がおこなわれ検討がなされている。その成果も生かされていなかった。

(3-2) 危機管理

まず現地の指揮本部に対するサポート体制、危機管理体制ができていたかである。今回のケースのように火災階が地上300mでは、地上レベルでは建物に近づけば近づくほど状況把握は難しい。地上の指揮官は鉄骨が丸裸となりスプリンクラー設備も配管の破損で機能しない状態は確認できないはずである。当日は晴天で、繰り返し遠方から望遠撮影されたテレビ映像のほうかはるかに状況把握が可能であった。消防本部は直ちに危機管理局(EMA)²¹⁾のNY事務所の専門家が構造設計者に意見を求め、崩落が予測されたら現地指揮官に伝達・指示の必要があった。今回はこうしたバックアップ体制がなかったか、あっても機能しなかったといわざるを得ない。さらに詳細な状況把握が必要ならヘリで接近・目視調査をおこなって判断の制度をあげるべきであったが、表4からNY消防はヘリを所有していなかった可能性がある。としたり警察や軍のヘリに協力を要請すべきである。ところが警察ヘリの「崩落は間近い」の報告はライバル同士という低次元の理由から消防には伝わらなかった²²⁾。ちなみに文献²³⁾によれば、わが国では高層建築物警防計画がり、高さ100mを超える場合には建物の特徴に応じた個別計画が作られているのが一般的であり、これには第一出動隊の隊長が乗るヘリコプター隊が含まれるという。

さらに不可解なのはWTC2が崩壊してから約30分後に崩壊したWTC1のほうが、犠牲となった消防士が多いという事実である。訓練された消防士であるから装備を放棄させて空身避難を指示すれば10~15分で地上に降り立つことが可能だった筈である。これに対しては無線装置が旧式のため、建物内の消防士と連絡がとりにくい状況であったことが報道された²²⁾。これでは危機管理体制不備の責任が問われなければならないまい。

これらから考察すると、(2)で述べたWTC2で取残された600人への避難階段1本が機能している情報伝達は望むべくもないことになってしまう。

圧倒的なハイテク武装で世界に君臨している国の危機管理体制とはとうてい思えないのである。

(3-3) 犠牲となった消防士

多くの消防士の犠牲は、日頃の学習の浅さ、危機管理体制の不備、旧式な伝達装置等のために犠牲になったと考えられる。これは人災の疑い大であり、指揮官や上層部の責任が問われてしかるべきである。ところが、大統領やNY市長は、消火や救助活動のためにビル内に入って犠牲となった人達を英雄視している。責任問題や補償問題の拡大を恐れ、組織や管理まで踏み込んだ原因究明を阻害してしまわないか心配する。

多数の消防士犠牲に関する文献や報道のなかで唯一、納得のいくインタビュー²⁴⁾に出会った。NY市消防本部の一消防士の「多くの市民を救えなかった。加えて二次災害に巻き込まれた同胞の消防士を救えなかった。中略。生き残った我々は決してヒーローではない。中略。我々をヒーローとして祭り上げ、米国民を戦争にかりだすための道具に使われている違和感がある」である。

5. まとめ

得られた知見は下記である。

1. タワーが直ちに崩壊したと仮定すると、犠牲者の数は14,000人に達した恐れがある。
避難可能な人が避難するのに必要な時間、自立し続けたことは建築設計における冗長性の重要性を示した。また一般の建物においては、万一の際の壊れ方への研究課題についても取り組む必要がある。
2. 堅穴のなかで弱点となっているEVシャフトの堅穴区画の強化については、防煙性能を持ったEV扉の技術開発と既存建物への遡及義務付けは急務である。
3. 用途や建物形状によっては、現在の階避難から全館避難を検討する必要がある。
4. 鉄骨造では、耐火被覆が剥落する爆発炎上型火災には弱点がある。この鉄骨造の基本的特徴について把握せず、正確な状況確認もしないで多数の消防士を建物に入れたこと、現地指揮本部が万一の事態に陥った際のバックアップ体制の欠如していたこと等、消防の日常学習や危機管理体制に不備が見られる。
5. 消防無線の性能がよく、情報伝達が迅速・的確で、バックアップ体制が機能すれば、WTC2の上階に残された人への避難階段一本が機能していることの伝達、WTC2の崩落を受けてWTC1の消防士への退避命令等により、犠牲者数を大幅に減少できた可能性がある。
6. 多数の消防士の犠牲については、責任の所在に対する調査がなされなければならない。

〈引用文献・注〉

- 1) 日経アーキテクチャ 2002. 9.16, p.63, 65
- 2) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.20
- 3) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.28
- 4) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.6-7
- 5) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.17
- 6) 近代消防社「近代消防」2002. 1月号, p.69-70, 2002. 2月号, p.48-50
- 7) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002.8, p.10-12,

- 18-25,
- 8) 日経アーキテクチャ 2002. 8. 5, p.82-85
 - 9) 日経アーキテクチャ 2002. 8. 5, p.82-85, タワーの頂部に高さ100m を越す巨大なテレビ塔を設置のために, 中央コアの柱列と外周の柱を, 2 ～ 6 層にわたって斜材でつないだトラス。攻撃により外周柱やコア柱が破壊したが, アウトリガーにより上から吊ったような状態となり, すぐに崩壊しなかったことに寄与した。
 - 10) 日本建築学会「建築雑誌」2002. 9, p.42
 - 11) 現代建築家シリーズ「ミース・ファン・デル・ローエ」美術出版社, 1968, p.81
 - 12) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.46-47
 - 13) 田村正著「複合建築における空間構成の計画手法に関する研究」学位論文, 2000.12, p.122
 - 14) 日本建築学会「ニューヨーク世界貿易センター爆破 (1993年) 被害と復旧」1995. 8, p.68-75
 - 15) 日本建築学会「ニューヨーク世界貿易センター爆破 (1993年) 被害と復旧」1995. 8, p.76-84
 - 16) 朝日新聞, 2001. 9.12
 - 17) 「近代消防」2001.12月号, p.40-41
 - 18) 日本建築学会「ニューヨーク世界貿易センター爆破 (1993年) 被害と復旧」1995.8, p.159-162
 - 19) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.41
 - 20) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.42
 - 21) 日本建築学会 WTC 崩壊特別調査会編「WTC 崩壊調査中間報告書」2002. 8, p.45
 - 22) 朝日新聞, 2002. 9.11
 - 23) 「近代消防」2002年 1 月号, p.70
 - 24) 「近代消防」2001年12月号, p.19

〈参考文献〉

- 小川正・他著「現代建築家シリーズ-ミノル・ヤマサキ」美術出版社, 1968
- ミノル・ヤマサキ著「ミノル・ヤマサキ建築作品集」淡交社, 1980
- 日本建築学会「ニューヨーク世界貿易センター爆破 (1993年) 被害と復旧」1995. 8
- 日本建築学会「建築雑誌 (建築および都市の防災性向上に関する提言)」1998. 2
- 日本建築学会「建築雑誌 (特集・都市の危機)」1999. 1

日本建築学会「建築雑誌（特集・都市の危機管理）」1999.11

田村正著「複合建築における空間構成の計画手法に関する研究」学位論文，2000.12

FEMA「World Trade Center; Building Performance Study」2002. 5

日本建築学会 WTC ビル崩壊特別調査委員会「WTC ビル崩壊調査中間報告書」2002. 8

「日経アーキテクチャ，2002-8-5」日経 BP 社

「日経アーキテクチャ，2002-9-16」日経 BP 社

日本建築学会編「建築雑誌No. 1493」2002. 9

「近代消防（特集・WTC ビル旅客機突入テロによる火災），2001.11月号」近代消防社

「近代消防（特集・消防隊325名が犠牲—米国・同時多発テロ事件①），2001.12月号」同

「近代消防（特集・消防隊325名が犠牲—米国・同時多発テロ事件②），2002. 1 月号」同

「近代消防（特集・消防隊325名が犠牲—米国・同時多発テロ事件③），2002. 2 月号」同
朝日新聞