

2. 防 災 計 画

木村 建治
久保 正年

要 旨

開閉式ドーム「THE WING」は、大規模なアトリウム空間を有する特殊な多目的施設であり、不特定多数の人間が利用するため、防災計画については特に厳密な検討を必要とされる。

ここでは、屋根の開閉状態やアリーナの使用形態に則して、工学的な火災性状予測を行い、火災時の安全性について検討した結果についてその概要を紹介する。

キーワード

防災システム／避難時間／避難経路／煙流動／蓄煙層／煙濃度

目 次

1. はじめに
2. 基本的な防災対策
3. 火災時の避難安全性の検討
4. あとがき

2. DISASTER PREVENTION PLANNING

Kenji Kimura
Masatoshi Kubo

Abstract

It is necessary to examine in particular detail the planning of disaster prevention for the retractable roof dome, “The Wing”, a special multi-purpose construction with large scale atrium spaces for use by many people for various purposes.

Having confirmed the condition of the opening and closing roof and the configuration of the arena, an engineering forecast of the disaster state was carried out, and in this paper, an outline is introduced, including the results of investigations into safety in case of fire.

1. はじめに

本防災計画は、アリーナで発生した火災を想定して、避難計算および煙流動シミュレーションを行い、人が安全に避難できること（以下、避難安全性という）を確認するため行ったものである。

なお、アリーナ以外の部分については、一般の建物と同様な考えかたで防災計画を行えばよいので、ここでは省略する。

2. 基本的な防災対策

「人の安全を守ることが第一である」という防災の基本理念のもとに、開閉式ドーム「THE WING」の防災対策を立てた。

出火防止および避難者の安全確保をその防災対策の基本として、建物に防災上有効な性能を付加し、人間の対処の仕方や管理方法なども含めた全体の防災システムの中で、究極的に人の安全を確保することを目標とした。

火災時の防災対策として、下記項目を基本として計画を行った。

① 内装の不燃化を図ると同時に、火気の使用や可燃

物の持ち込みなどについて制限を行い出火防止を図る。

② 大規模なアトリウム空間という特性と、その使用形態を考慮して、火災覚知、通報の設備ならびに消火設備を設ける。

③ アリーナおよびコンコースは一体の防火区画とする。また、これに面する諸室は防火区画または防煙区画を行い、延焼防止と避難者の安全を図る。

④ 避難時に避難者が合流するのを避け、避難時間の短縮と二次災害の防止を図るため、建物の外周部に各階毎の専用階段を設ける。

⑤ 避難計算および煙の流動シミュレーションを行い、避難安全性を確認する。

⑥ 万一の災害に備え、所期の防災システムが計画通りに・速やかに・支障なく作動するよう、防災体制の整備を図る。

⑦ アリーナの用途に応じた4種類の使用形態別にアリーナ部の状況および出火の可能性、発見から避難、本格消火が行われるまでの各ステージ毎の総合的な防災対策を立てる。表－1にそのアリーナの使用形態別の総合防災対策を示す。

表－1 アリーナの使用形態別総合防災対策

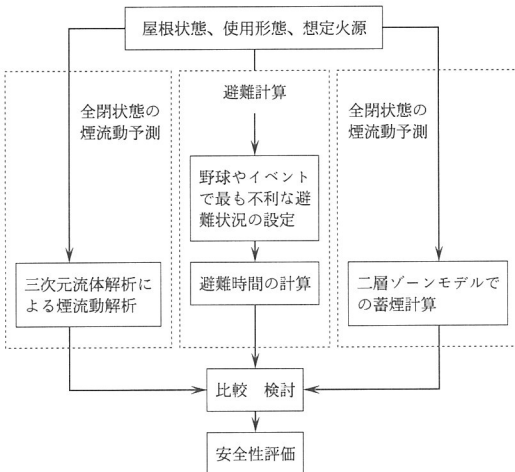
使用形態	各部の状況			出火場所の想定 (出火の可能性)	防災対策（防災センターを拠点とした管理）						
	アリーナ		コンコース 等		出火防止	発 見	避難・誘導	初期消火・ 拡大防止	煙制御		本格消火
	フィールド	スタンド							屋根全閉時	屋根全開時	
用途1：野球 用途2：アメリカンフット ボール	選手と 関係者のみ	観客数 35,484人 (41,818人)	売店、喫茶 店レストラ ンは営業	・調理店、レスト ラン、喫茶店の 厨房 ・ロイヤルルーム アリーナ、コンコ ースでの出火の可 能性殆どない	・火気使用場所 の制限 ・可燃物、危険 物の持ち込み制 限 ・アリーナ、コ ンコース内の 可燃物の管理	・自動火災 報知器 ・防災セン ターにて 総合監視 ・監視係に よる特別 監視 ・従業員そ の他	・状況に応じ た避難誘導 ・一般出入口 より避難 ・1階の出入 口はすべて 開放	・防火防煙区 画 ・スプリンク ラー作動 ・放水銃(フィ ールド) ・消火栓 ・消火器 火災窓内で火 災を閉じ込め る 内装の不燃化	・アリーナ は蓄煙 ・アリーナ 以外は機 械排煙 ・防火防煙 区画	・アリーナ は自然排 煙 ・アリーナ 以外は機 械排煙 ・防火防煙 区画	・消火栓 フィールド内 へ消防者が 進入し消火 にあたる
用途3：集会 (コンサート)	観客数 10,080人 出演者、関 係者	観客数 35,932人		・調理店、レスト ラン、喫茶店の 厨房 ・フィールドの仮 設物 ・ステージの使用 火気 コンコースでの 出火の可能性は 殆どない	・火気使用場所 の制限 ・可燃物、危険 物の持ち込み制 限 ・アリーナ、コ ンコース内の 可燃物の管理 ・所轄消防署と 協議し出火防 止計画書作成		・状況に応じ た避難誘導 ・一般出入口 より避難 ・1階とフィ ールド部の出 入口はすべて 開放				
用途4：展示会	観客数 11,000人 関係者 展示物	観客数 0人	地下1階と 1階の売店 及び調理店 並びに2階 のレストラン は営業	・調理店、レスト ランの厨房 ・フィールド内展 示物 コンコースでの 出火の可能性は 殆どない						使用せず	

3. 火災時の避難安全性の検討

3.1 検討方法

当建物は、多目的スタジアムという特殊建築物であるため、色々な使用形態に則した検討を行う必要がある。図－1は火災時の避難安全性の検討フローを表したもので、建物の使用形態や屋根の開閉状態を考慮して、避難計算と煙流動予測をもとに総合的な安全性について評価することとした。

すなわち、避難計算については、使用形態に応じた避難対象人数とその存在位置および避難経路を想定して、避難時間の計算を行った。また、煙流動予測については、屋根が全開状態（以下、開状態という）の場合には、煙は外気の影響を受けるが、全閉状態（以下、閉状態という）の場合には、外気の影響を受けないことを考慮して、開状態については、外気の影響を考慮



図－1 火災の避難安全性の検討フロー

した煙の流動解析を、閉状態の場合には、アリーナ内の蓄煙計算を行った。

安全性の評価は、屋根が開状態の場合には、避難者が避難を完了するまでの間に、煙濃度が火源の煙濃度の0.5%以上の煙にさらされないことを条件とした。屋根が閉状態の場合には、避難者が避難を完了するまでの間に、アリーナ内を徐々に降下してくる煙にさらされないことを条件とした。

3.2 避難時間の計算

「建物火災時の避難性予測モデル」（建設省建築研究所監修）に基づき、アリーナ部の使用形態別に避難時間を計算した。計算の諸条件は、以下の通りである。ただし、付属の諸室（レストラン、スポーツジム等）については、異種用途区画され、別途の避難経路を確保しているため、計算から除外した。

(1) 計算条件

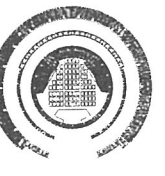
① 避難対象人数

観客は、通常上段・中段・下段（可動席・仮設席

表－3 部位別避難経路

部 位		避 難 経 路		
		アリーナ内→避難区画→階段→外部		
上 段 スタンド	バックネット裏	――	3階ホール	中 階 段
	一 般 席	――	3階中廊下	外周階段
中 段 スタンド	ロイヤルルーム	――	2階ホール	外周階段
	一 般 席	2階コンコース	――	外周階段
下 段 スタンド	上部スタンド	1階コンコース	――	――
	下部スタンド	――	B1階中廊下	内部階段
フィールド		――	B2階中廊下	内部階段

表－2 アリーナの使用形態別避難対象人数

使用形態	野 球	アメリカンフットボール	集 会	展 示 会
観客席の基本形状				 フィールドのみ収容
避難対象人数	35,484人	41,818人	46,012人	11,000人
屋根状態	全開または全閉状態で使用			全閉状態のみ

含む)の各スタンドに入るが、集会に利用される場合には、上記のスタンドだけでなくフィールド内にも入っている。また、展示会などに利用される場合は、スタンドに入らずフィールドのみに入る。

表－2にこれらアリーナの使用形態別の避難対象人数(観客数)を示す。この表から分かるように、この中で最も避難対象人数が多いのは、集会に使用しているときである。

② 避難経路

観客が上、中、下の各スタンドおよびフィールドの各部位から避難する経路をまとめると、表－3のようになる。

いずれの避難経路も、他の部位からきた避難者と合流することのないようにして、二次災害の防止を図っている。

図－2に避難経路の断面を模式図で示す。

③ その他

イ) 歩行速度

- ・スタンド部 : 0.7m/s
- ・水平部 : 1.0m/s
- ・階段部 : 0.5m/s

ロ) 開口流動係数

$1.5\text{人/m}\cdot\text{s}$ とした。

ハ) 避難開始時間

アリーナ内は見通しがよいという空間性状から判断して、避難は一斉に行われるものとした。

その開始時間は、どの部位でも一様に90秒とした。

(2) 計算結果

火災が発生してから、観客が避難を完了するのに最も長くかかったのは、集会に使用されているときである。このときの避難完了時間は、上段スタンドが483秒、中段スタンドが381秒、下段スタンドが561秒、フィールドが561秒となった。表－4に各部位からの避難が完了するまでの時間を示す。

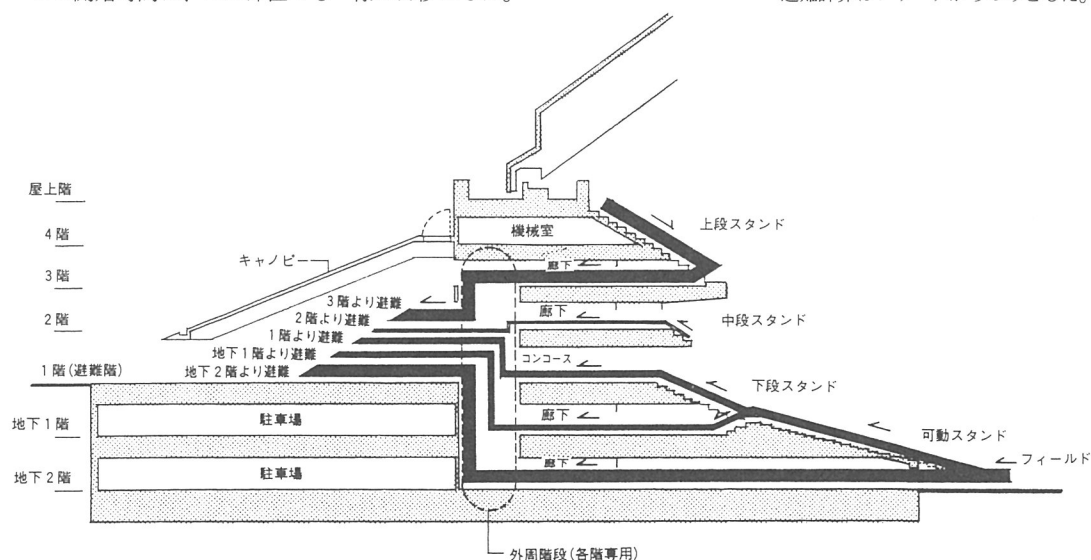
3.3 火災時の煙流動予測

アリーナ部の煙制御方式は、屋根が閉状態においては、アリーナという大空間の気積(約150万 m^3)および高さ(86m)を利用した蓄煙方式とし、屋根が開状態においては、開口部を排煙口とみなした自然排煙方式とした。

表－4 部位別避難完了時間(出火からの経過時間)
単位: 秒

	部 位	使 用 形 態			
		野 球	フットボール	集 会	展示会
避難完了 アリーナ	上段スタンド	3 6 3	3 6 3	3 6 3	—
	中段スタンド	3 0 9	3 0 9	3 0 9	—
	下段スタンド	3 9 9	3 9 9	5 2 8	—
	フィールド	—	—	4 4 1	4 5 0
避難完了 階	上段スタンド	4 4 7	4 4 7	4 4 7	* 計算せず
	中段スタンド	3 4 2	3 4 2	3 4 2	
	下段スタンド	4 4 4	4 4 4	5 6 1	
	フィールド	—	—	4 4 1	
避難完了	上段スタンド	4 8 3	4 8 3	4 8 3	* 計算せず
	中段スタンド	3 8 1	3 8 1	3 8 1	
	下段スタンド	4 4 4	4 4 4	5 6 1	
	フィールド	—	—	5 6 1	

* 屋根が閉状態のみに使用されるため
避難計算はアリーナからのみとした。



図－2 避難経路断面模式図

(1) 検討内容と検討ケース

屋根の開状態および閉状態のそれぞれの場合について、使用形態、想定火源とその出火場所をパラメーターにして検討を行った。想定火源は、日本建築センター発刊の「建築物の総合防火設計法」に示されている初期火災用標準火源であり、図-3に示す性状のものである。

屋根が開状態のときには、想定火源がNo.1のみの1ケースについて、屋根が閉状態のときには、想定火源がNo.1とNo.2の2ケースについて行った。表-5に検討内容の組み合わせを示す。

(2) 屋根が開状態のときの煙流動予測

屋根が全開時のときに火災が発生した場合、開口部から煙が徐々に外部へ排出されていくが、その性状はその時の風向きや風速によりかなり違ったものになることが予想される。そこで、屋根が開状態のときには、火源を野球使用時におけるホームベース付近にあるものと想定し、建物内外部を含めた空間を約25万個の空間にメッシュ化して、三次元熱流体解析シミュレーション(STREAM)により解析を行った。なお解析は、前述したように、想定火源がNo.1の場合の1ケースについて行った。

計算は、風向を東、南、北の3方向（西方向は東方向と同じ条件になるため省略した）として、風速を地上10mの高さにおいて5m/sに設定して、火災発生から15分経過するまでの間、2.5分間隔毎に行い、経過時間毎に煙の性状を求めた。

その結果、風向が東風のときに、煙が避難者に及ぼす影響が最も大きいことが分かった。そこで、次に風向を東方向のみに限定し、風速を10m/s（最も危険と予測される風速条件：屋根が開いている時の管理風速）に設定して計算を行った。

その結果、避難者がさらされる最大煙濃度は、火源の煙濃度の0.05%であった。

(3) 屋根が閉状態のときの煙流動

屋根が完全に閉じられた状態で火災が発生すると、火災の進行にともない、煙が屋根の下部の空間に徐々に蓄積されていき、次第にその煙が降下してくる。ここでは、その性状を予測するために、二層ゾーン煙挙動性状予測プログラム(BRI2)を使って計算した。計算は、想定火源がNo.1とNo.2の2ケースについて行った。

その結果、アリーナは気積が非常に大きく、しかも

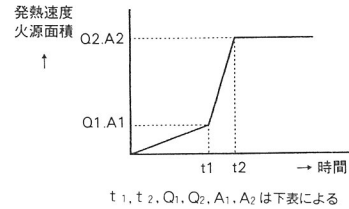


図-3 標準火源の発熱速度及び火源面積

表-5 煙流動検討内容

使用 形態	想定 火源	想定出 火場所	屋根の状態	
			全開	全閉
野 球	No. 1	フィールド		
フットボール	No. 1		○	○
集 会	No. 1			
展示会	No. 2		×	○

注) ○印が検討ケース（合計3ケース）
全開時：煙流動解析
全閉時：蓄煙計算

表-6 避難完了時間と最高煙濃度

火 源	使用 形態	部 位	避難 完了 時間 (秒)	火災発生以降、左欄の時間内 に表れる最高煙濃度（％）			
				東 風 5 m/s	南 風 5 m/s	北 風 5 m/s	東 風 10m/s
No 1	野球	上段スタンド	3 6 3	0. 0 3	0. 0 3	0. 0 3	0. 0 5
		中段スタンド	3 0 9		0. 0 3		
		下段スタンド	3 9 9		0. 0 1		
	フット ボール	上段スタンド	3 6 3		0. 0 3	0. 0 3	
		中段スタンド	3 0 9		0. 0 3		
		下段スタンド	3 9 9		0. 0 1		
	集会	上段スタンド	3 6 3		0. 0 3	0. 0 3	
		中段スタンド	3 0 9		0. 0 3	0. 0 3	
		下段スタンド	5 2 8		0. 0 1	0. 0 1	
フィールド		4 4 1	0. 0 1	0. 0 1			

屋根の高さも相当高いため、煙の降下速度は極めて遅く、避難者が最初に煙にさらされると予想される上段スタンドに煙が達するまでに、火源No.1の場合で約1800秒（約30分）、火源No.2の場合で約1050秒（約18分）かかることが分かった。

3.4 避難安全性の評価

上記3.2および3.3の結果から、以下に述べるように避難安全性が確認された。

(1) 屋根が開状態のとき

避難が完了するまでの間に、避難者がさらされる煙の最大濃度は、表－6に示すように、火源の煙濃度の0.05%で、許容値とされる0.5%より薄く、安全性に何ら問題ないことが判った。

(2) 屋根が閉状態のとき

表－7に示すが、煙の降下時間は避難時間に比べてかなり遅く、避難者が煙にさらされる危険性はないものと判断された。なお、図－4に表－7を分かり易く図式化したものを示す。

4. あとがき

以上の結果から、当開閉式ドーム「THE WING」で万一火災が発生しても、観客の避難安全性には問題ないことが分かった。しかし、防災の基本は、出火防止であり、そのためには、日常の防災管理を遺漏なく行うこと、また、建物の防災性能を恒常的に維持し続けることが最も重要であることはいうまでもない。

表－7 避難完了時間と蓄煙層の降下時間

火源	使用形態	部 位	避難完了時間 (秒)	火災発生以降、蓄煙層が達するのに要する時間 (秒)
No.1	野球	上段スタンド	3 6 3	1, 8 0 0
		中段スタンド	3 0 9	2, 8 5 0
		下段スタンド	3 9 9	4, 5 0 0
	フットボール	上段スタンド	3 6 3	1, 8 0 0
		中段スタンド	3 0 9	2, 8 5 0
		下段スタンド	3 9 9	4, 5 0 0
	集会	上段スタンド	3 6 3	1, 8 0 0
		中段スタンド	3 0 9	2, 8 5 0
		下段スタンド	5 2 8	4, 5 0 0
No.2	展示会	フィールド	4 4 1	7, 2 0 0
		上段スタンド	—	1, 0 5 0
		中段スタンド	—	1, 6 5 0
		下段スタンド	—	2, 1 0 0
		フィールド	4 5 0	4, 8 0 0

