

第二章 物理模式及相關理論

2.1、模擬場所配置

2.1.1 面積設定

依各類場所消防安全設置標準第 28 條所規定之場所，場所面積達 100 m^2 以上，就需考慮設置排煙設備，又因場所規模及用途類別強弱等因素考量，對於 500 m^2 以上之單一區劃空間即需設置排煙設備。因此，本文模擬之場所面積即設定在 200 m^2 以上至 500 m^2 以下之單一區劃場所，並以面積每 100 m^2 做一防煙區劃遞增，即 200 m^2 、300 m^2 、400 m^2 、500 m^2 等四種單一區劃場所做為本研究之面積設定。

2.1.2 模擬分析佈置

考慮一般常見之營業店面佈置，以營業場所面積在 100 m^2 ~500 m^2 ，樓層高在 3.2m，寬度在 5 或 10 m 之店面為本研究討論之基本方向。圖 2-1 所示，為本研究先針對面積 100 m^2 （寬度 5m，長度 20 m）的場所，評估當火災發生時，在不設防煙垂壁的情況下，居室內人員進行避難逃生所產生嚴重度最高之起火點與有效出口位置的關係。之後再據此結果，針對面積 200 m^2 （寬度 10 m，長度 20 m）之場所，以面積每 100 m^2 （寬度 10m，長度 10 m）為一單元做為防煙區劃，區隔為 2 區劃，並在區劃上設置不同長度之防煙垂壁（ $H=0$ 、50、80 cm）如圖 2-2 所示。逐次配置成為 2、3、4、5 區劃，即為單一區劃面積 200 m^2 、300 m^2 、400 m^2 、500 m^2 的場所做為研究之探討重點。

圖 2-3 所示為 300 m^2 （寬度為 10m，長度為 30m）模擬分析配置示意，圖 2-4 所示為 400 m^2 （寬度為 10m，長度為 40 m）模擬分析配置示意，圖 2-5 所示為 500 m^2 （寬度為 10m，長度為 50m）模擬分析配置示意。

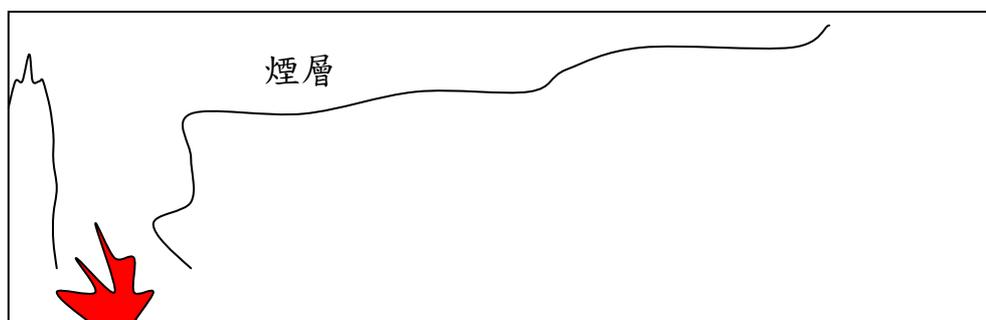


圖 2-1 模擬分析配置示意圖

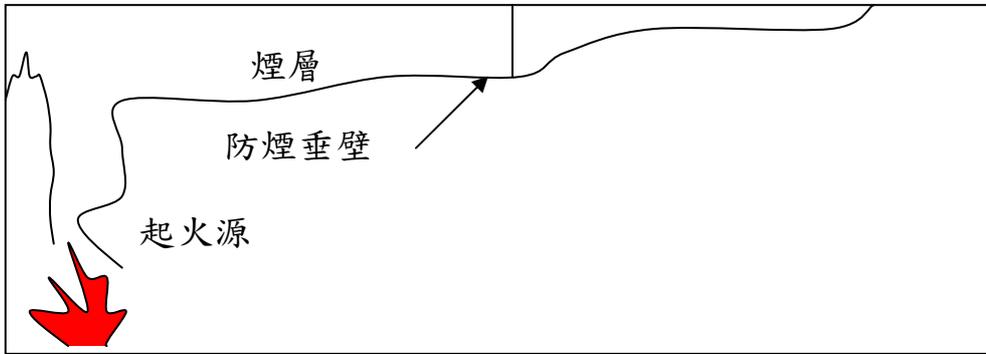


圖 2-2 200 m² 模擬分析配置示意圖

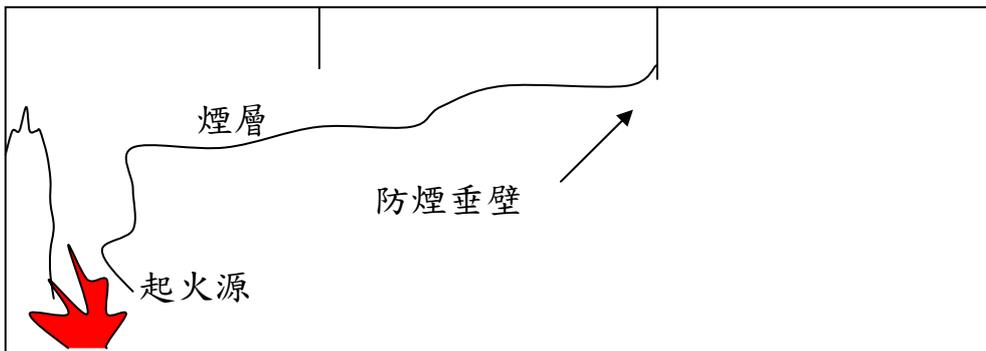


圖 2-3 300 m² 模擬分析配置示意圖

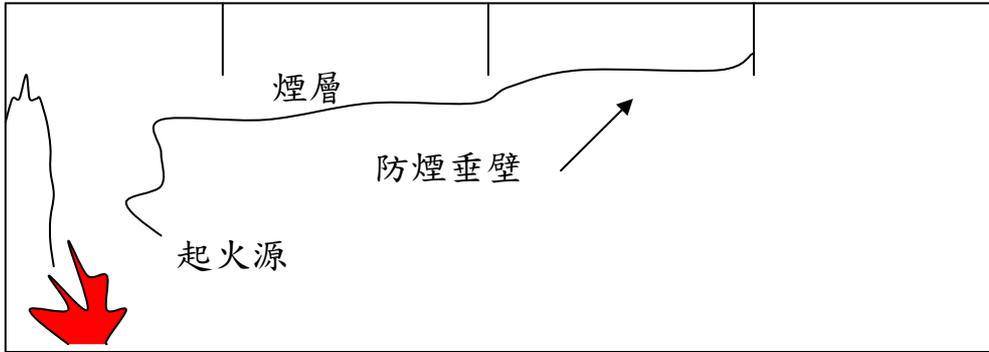


圖 2-4 400 m² 模擬分析配置示意圖

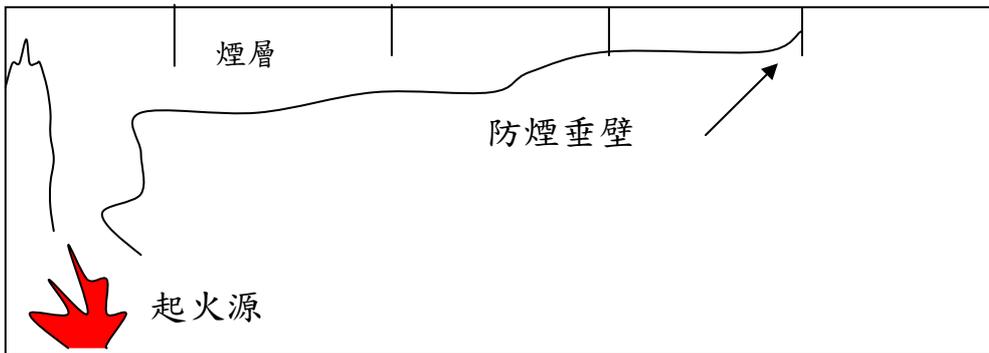


圖 2-5 500 m² 模擬分析配置示意圖

2.2、熱釋放率

在自然狀態下火源是不穩定的，如將其理想化成為穩定的火源，則比較容易來描述火場的各種情境。穩定火源的熱釋放率皆為定值，所以在應用上，採用穩定火源方式來設計則較為保守。Morgan【5】建議將商業、住宅區每單位樓層面積之熱釋放率視為 $500\text{kw}/\text{m}^2$ ，而辦公室建築每單位樓層面積之熱釋放率視為 $225\text{kw}/\text{m}^2$ 。詳表 2-1

表 2-1 穩定火源熱釋放率【5】

用途場所	每單位面積熱釋放率 (kw/m^2)
商業區、住宅區	500
辦公室	225

在本研究採用之火源設計，由於考慮到舊有建築物空間內，並無機械排煙，且舊有建築內部之防火避難設施亦需改善之故，因此設定火載量以商業區用途使用，每單位面積之熱釋放率取 $500\text{kw}/\text{m}^2$ ，並以火勢規模為小火，火勢面積 1m^2 ，即熱釋放量 500kw 做為起火源的燃燒能量。

2.3、煙層下降危害因子的判定

火災發生時，燃燒產生煙、熱、光等物理及化學變化過程中，對人體避難行為較具影響的要素為煙與熱，熱的表徵即溫度反應，而煙的產生則來自於不完全燃燒。由於物質的不完全燃燒，產生有毒的氣體如一氧化碳等致命性氣體及煙灰等物質漂浮於空間中形成視覺上的障礙，間接影響逃生判斷的時間。

因此，火場內危及避難人員最主要因素有可見度、熱輻射、溫度及氣體毒性等。故本研究針對上項之危害因子，在模擬場所內設置煙濃度、火場溫度、消光係數以及一氧化碳濃度之監測點，並以煙層下降至距樓地板 1.8 公尺做為人員避難障礙的高度，經量測不同監測點各危害因子之臨界值後，即可決定溫度、一氧化碳以及煙濃度其危害到人員避難行為的忍耐值，此即人員避難之危害時間為本研究分析避難安全之重要參數。

1、溫度 Temperature

人員全部完成逃生避難之氣體溫度不可超過 80°C，此為將安全係數訂為 1.5 所得到之溫度基準【6】。一般而言，皮膚在 45°C 即生刺痛，54°C 即會有火傷，70°C 可以忍受一小時。

2、消光係數 Extinction Coefficient

在火場中燃燒條件不易控制，在真實火災，煙粒子的分佈，會受氣流之局部加熱、亂流擴散、沉降等影響而改變濃度。所以，測定煙霧濃度一般多採用能見距離的光學濃度為主，並以下列公式所得之消光係數來量測煙霧之濃度。

光學密度 $D = \log(I_0/I)$

單位長度之光學密度 $D_L = D/L$

消光係數 $K = 2.3 \times D_L$

其中 I_0 ：無煙時的光線強度， I ：有煙時的光線強度

L ：煙層厚度 (m)

距樓地板高度 1.8 公尺處，煙霧的濃度以消光係數來表示。【7】提及當消光係數在 0.3 時，對於熟悉建築物動線的人亦會有避難障礙，詳表 2-2。

3、一氧化碳濃度 Carbon Monoxide

【6】亦論及，基於相同的安全係數的前提下，整棟建築物在完成避難之前毒性氣體 CO 的濃度以不超過 4000ppm 為生命安全之毒性基準。人員吸入煙而中毒死亡者主要之原因乃煙霧內之一氧化碳，與血液中之血紅素結合，阻礙紅血球輸氧功能，造成窒息死亡。人體內若吸入一氧化碳 CO 濃度達 3000~5000ppm 時，即會在 20~30 分鐘內死亡。

因此，針對區劃空間內距樓地板高度 1.8 公尺處，以煙層下降之溫度、消光係數、以及一氧化碳濃度等三項因素之時間數值做比較，取最小值做為場所人員避難之煙層下降危害時間。其中溫度之危害時間係取到達 80°C 之第一時間，而消光係數之危害時間則取煙層持續達 0.3 之最初時間。

即 $T = \text{Min}(\text{Temp}, \text{EX}, \text{CO})$

表 2-2 煙霧濃度與能見距離【7】

消光係數	能見距離	狀況說明
0.1	20~30m	煙霧剛發生時之淡薄濃度，煙霧探測器開始有反應，此時對不熟悉建物動線的人會有避難障礙。
0.3	5m	對於熟悉建物動線的人亦會有避難障礙。
0.5	3m	感覺昏暗時的濃度，避難人員須摸黑前進。
1.0	1~2m	幾乎看不見前方。
10	< 1m	火災旺盛期之濃度，幾乎完全看不見，誘導燈也看不見。
30		煙霧自起火室噴出時之濃度。

2.4 避難分析

2.4.1 避難之安全性評估

1、安全性確認

避難安全主要確認要素為煙霧下降的過程，所以應於火災發生初期，對於火災之性質及煙霧流動等因素進行分析，了解煙層下降危害時間即危險波及時間，藉以對避難安全進行確認。

2、時間評估

避難所需時間與煙層下降危害時間之關係如圖 2-6 所示，避難開始時間係指火災發生後到避難開始之時間，避難行動時間係指避難開始到避難終止之時間，兩者合計亦即避難所需時間。如避難所需時間不超過煙層下降危害時間，則評估避難為安全。

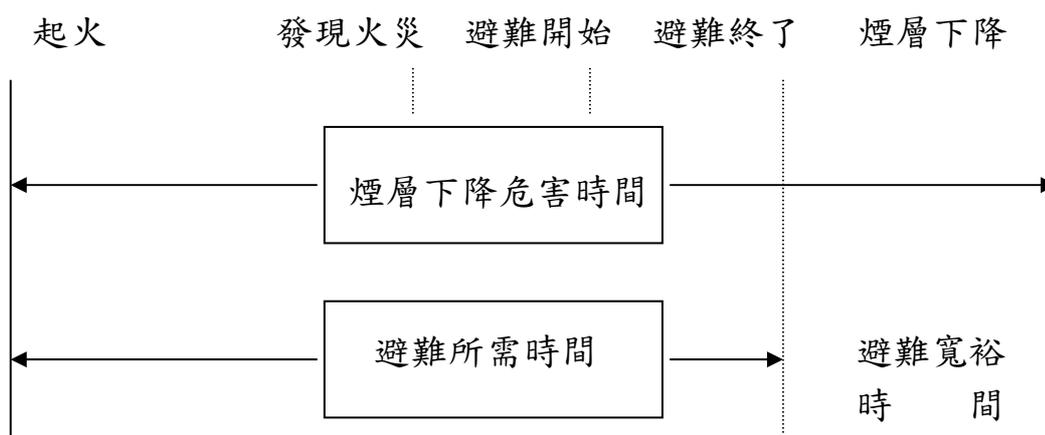


圖 2-6 避難過程歷時示意圖

2.4.2 避難所需時間之設定

避難所需時間為依循日本建築基準法【8】檢證法之計算公式而得，其檢證過程係經過簡化，並排除建築物本身之防火系統如自動撒水設備以及消防單位介入救災的影響。然而此計算值會依火焰傳播或煙霧瀰漫之空間面積、高度等以及居室避難、走廊避難、樓層避難等型態而有所不同。圖 2-7 說明當居室發生火災時人員避難行動疏散路線，其疏散路線計算之方式係假設居室發生火災有一處出口遭火源封閉人員無法使用，居室內之總收容人數以平均方式透過其餘有效出口逃生，以最遠的距離計算避難之步行距離。

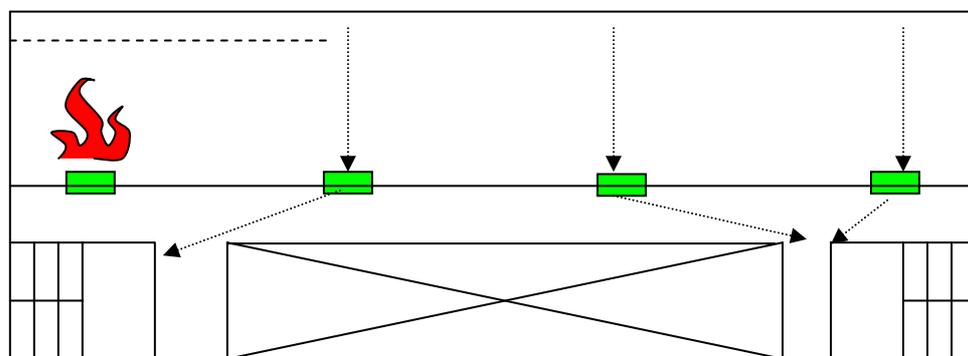


圖 2-7 避難行動疏散路線示意圖

2.4.3 避難所需時間評估之建立

【7】文中談及，避難計算即避難行動之預測，乃是在一建築物中，假設某一層發生火災的情況下，預測該層人員全部進入樓梯的情形，以做為評估該層建築物避難安全與否的參考。惟本文僅對單一區劃場所直接由有效出口進入安全區域作深入之探討，不考慮進入走廊或樓梯等相對安全區域。因此，其評估步驟如下所述：

1、避難計算要點

於進行避難計算作業時，首先必須假設環境條件與事態條件。環境條件包括空間形狀及避難人數，而事態條件則包括起火點與避難路徑。

一般起火點及避難人數的假定，均以最危險之狀態為對象，即假設一條避難路徑無法使用時，檢討場所之最大收容人數如何進行避難活動。同時，場所之空間為一高度一定之長方形，並以最高之人口密度做為計算避難人數的基準。

2、避難人數假定

根據建築技術規則【9】建築設備篇第 37 條，說明五所述；建築物裝設衛生設備所列使用人數之計算，以使用人口密度最高者。以戲院、演藝場、集會堂、電影院、歌廳為例，其使用人數之計算方式按設固定席位數計算；未設固定席位者，按觀眾席面積每平方公尺 1.2 人計算。

同樣在消防法中對收容人數的計算方式，亦表列於各類場所消防安全設備設置標準【4】第 160 條有提，以電影片映演場所(戲院、電影院)、歌廳、集會堂、體育館、活動中心為例，其收容人員人數係依(1)、從業員工數，(2)、設固定席位以該部分座椅數計，(3)、設立位部份以該部分樓地板面積除 0.2 平方公尺所得之數，(4)、其他部分以該部分樓地板面積除 0.5 平方公尺所得之數，合計之總額。

又【7】文中談及，避難人數應參考不同使用分區類別之人口密度加以設定，如表 2-3 所列，即為避難計算人口密度的一種。

綜合上項資料，本研究採用商業區如酒家、遊藝場、百貨公司、補習班等場所，人口密度取 1.0 人/m²來做為計算場所內總避難人數計算之依據。

表 2-3 避難計算採用之人口密度【7】

建物用途	對象空間	人口密度 (人/m ²)	備 註
集合住宅		0.08	
辦公廳	辦公區	0.30	
	會議室	0.60	
	餐廳	0.75	
補習班		1.00	
商場市場	有購物車	0.55	
	無購物車	0.75	
展覽場		0.50	
夜總會	舞 台	0.75	
舞 廳	舞 池	2.00	
	休息區	0.75	
餐 廳		0.75	
酒 家		1.00	
公共浴室		1.00	
飲食店		0.75	
保齡球館	除球道部分	0.75	
	溜冰場		
溜冰場	溜冰區	0.25	
	休息區	0.75	
遊藝場		1.00	
百貨公司		1.00	

3、步行能力

人們在知道身處於災害環境時，直覺的反應即避難逃生。而建築物內之避難逃生屬於「群集類型」的避難逃生行為，其避難逃生之步行能力與群集流動，主要受災害環境心理的影響及個人體能、年齡等因素，導致步行速度有別於正常狀況下之步行能力。因此，在不同狀況下人員步行速度與群集流動係數，可參考【10】所提供之參考值如表 2-4。

表 2-4 不同狀況避難步行能力分類表【10】

種類	例示	群集的行動能力			
		步行速度		出口流率	
		水平	樓梯	水平	樓梯
自立難以行動的人	重病、老衰、幼兒、精神薄弱者、身體障礙者等	0.8	0.4	1.3	1.1
不習慣建築物內之位置、路徑的一般人	旅館等之寄宿客，商店、事務所等之來客、通行人等	1.0	0.5	1.5	1.3
慣於建築物內之位置、路徑、而身心強健的人	建築內之勤務者、從業者、警備者等	1.2	0.6	1.6	1.4

註：步行速度 (m/s) 出口流率 (人/m/s)

2.4.4 避難所需時間計算的基本假設

舊有建築物興建時，對於避難計劃亦曾做過詳細探討，不過由於年代變遷，時有拆除裝修或用途變更等因素，使得當時假設的條件有可能不符合現在使用。因此，在評估避難計算時，有必要將部分條件做調整，而其中又以出入口數量及人口密度等二項為最主要的考慮因素。

因此，本研究針對出入口，以至少設置二處為原則，其中一處因起火源而遭受封閉，僅剩一處有效出口提供人員避難逃生使用。而關於人口密度則採用商業區如酒家、遊藝場、百貨公司、補習班等使用之場所取 $1.0 \text{ 人}/\text{m}^2$ 來計算場所內之總收容人數。另對於步行速度與出口流率以採用不習慣建築物路徑之一般來客或通行人為基準，分別假設人員之水平步行速度為 1.0 m/s ，水平出口流率取 $1.5 \text{ 人}/\text{m/s}$ 。

2.4.5 避難所需時間之計算方法與檢視流程

當場所內發生火災，人員感知火災而後開始進行避難，並且持續到所有人員均逃出場所外完成避難為止，此整個過程全部所需的時間稱為避難所需時間。決定避難所需時間會因出口數量、寬度及人員總人數之改變而有不同。因此之故乃引用日本建築基準法施行令【11】有關避難安全性能檢驗方法來計算避難所需時間，針對居室避難安全檢證之避難所需時間 ($T = t_1 + t_2 + t_3$) 來與煙層下降時間 (t_s) 做比對，做為判斷避難行動是否成功的方法。

1、避難所需時間計算方法

起火室之避難時間 $t = t_1 + t_2 + t_3$

(1)、火災發生至屋內人員開始避難前所需的時間

$$t_1 = 2 \sqrt{A} \text{ (秒)}$$

A：該居室各部分之樓地板面積 (m^2)

(2)、到達起火室出口之步行時間

$$t_2 = \text{Max} (L/v) \text{ (秒)}$$

L：從該居室到達該居室任一出口之步行距離

V：步行速度 ($\text{m}/\text{秒}$)

(3)、通過起火室出口之時間

$$t_3 = p \times A / N_{eff} \times B_{eff} \text{ (秒)}$$

p ：收容人口密度 (人/ m^2)

A ：該居室部分之樓地板面積 (m^2)

N_{eff} ：有效流動係數 (人/秒/ m)

B_{eff} ：有效出口寬度 (m)

圖 2-8 在說明居室發生火災時，有一處出口遭受火源封閉，居室內人員需以最遠距離來逃生，並以此距離來計算避難步行時間。而在本研究中係以居室之長度加寬度做為避難逃生之步行距離，逕而計算到達起火室出口之步行時間。而對於整體之避難安全檢視流程圖如圖 2-9 所示。

2、避難安全驗證法使用條件限制

- (1)、建築結構必須為耐火或防火結構之建築物。
- (2)、人員屬性應具有自力行動能力 (醫院、療養院等不適用)。
- (3)、火災成長模式為 t^2 -Fire Model 及 Zone Model，並假設火災為初期火災且侷限發生於起火室。
- (4)、除排煙相關設施外，不考慮其他滅火設備動作的影響。

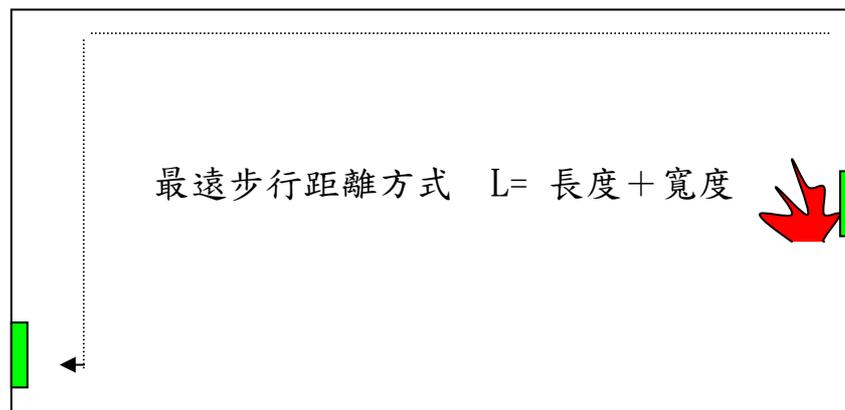


圖 2-8 避難行動步行距離計算示意圖

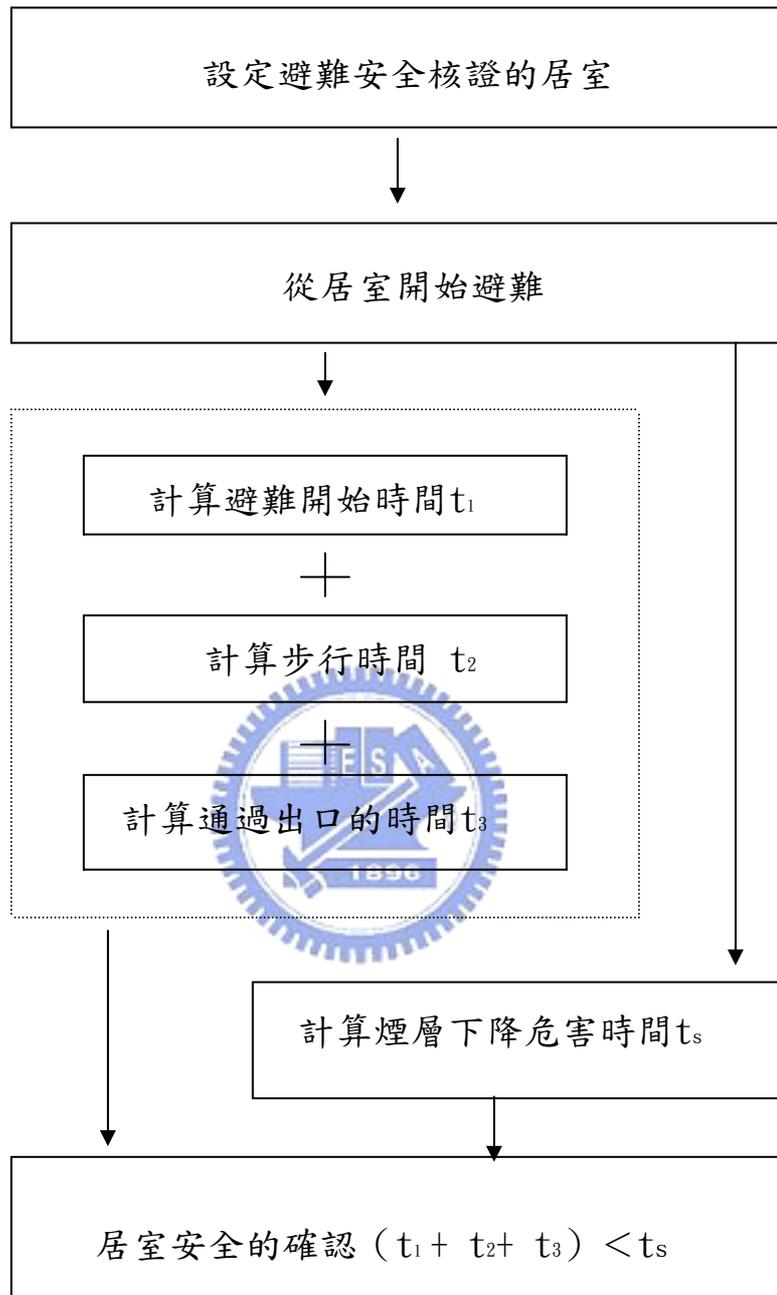


圖 2-9 起火居室避難安全檢證流程圖

資料來源：日本建築基準法，自行整理。

本研究避難時間之計算係以檢視表格來決定避難所需時間。資料整理採表格方式，其避難所需時間之計算如表 2-4 及表 2-5 所示。

表 2-5 居室避難所需時間檢視表

居室		數 值
計 算 項 目		
居 室 面 積	A (m ²)	
居 室 人 口 密 度	p (人/m ²)	
居 室 避 難 人 員	P (人)	
居 室 總 出 口 寬 合 計	B _T (m)	
有 效 出 口 寬 合 計	B _{eff} (m)	
居室避難所需時間	避難開始時間 $t_1 = 2 \sqrt{A}$ (秒)	
	步行時間 $t_2 = \text{Max}(L/v)$ (秒)	
	通過出口時間 $t_3 = p \times A / N_{\text{eff}} \times B_{\text{eff}}$ (秒)	
起火室煙層下降危害時間 t_s		(秒)

資料來源：日本建築基準法，自行整理

