第八章 消防防護計畫

目 錄

一、消防工作之組織及行政管理 8.1-1
(一) 消防工作組織 8.1-1
(二) 權責區分 8.1-1
二、火災災害分析及影響評估 8.2-1
(一) 引 言 8.2-1
(二) 火災模擬計算工具 8.2-3
(三) 火災情境 8.2-4
(四) 數學模式 8.2-6
(五) 結果與討論 8.2-10
三、防火設計及消防設備 8.3-1
(一) 防火設計 8.3-1
(二) 消防設備 8.3-1
四、火警偵測及消防能力評估 8.4-1
五、相關單位之消防及救護支援 8.5-1
六、防火及消防有關設備之維護及管理 8.6-1
七、防火及消防有關之人員訓鍊 8.7-1
八、參考文獻 8.8-1

附圖目錄

圖 8.1-1 核一廠消防工作組織 8.1-3
圖 8.2-1 在油箱傾覆之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖 8.2-12
圖 8.2-2 在油箱傾覆之火災情境下，貯存場設施之計算格點分割圖 8.2-12
圖 8.2-3 在邊坡灌木林之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖 8.2-13
圖 8.2-4 在邊坡灌木林之火災情境下，貯存場設施之計算格點分割圖 8.2-13
圖 8.2-5 在大型柴油貯槽之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖 8.2-14
圖 8.2-6 在大型柴油貯槽之火災情境下，貯存場設施之計算格點分割圖 8.2-14

第八章 消防防護計畫

本章將依消防工作之組織及行政管理、初步火災災害分析及影響評估、防火設計及消防設備、火警偵測及消防能力評估、相關單位之消防及救護支援、防火及消防有關設備之維護及管理、防火及消防有關人員訓練，以及參考資料[1]等內容，分別說明如下(消防防護計畫將隨除役過程滾動檢討)：

一、消防工作之組織及行政管理

本計畫消防工作之組織架構及責任與權限依程序書 D107.2.1「消防工作之組織及管理」說明如下：

(一) 消防工作組織

本計畫消防工作之組織架構及編制如圖 8.1-1 所示。

(二) 權責區分

依管理權人、防火管理人及防火消防管理人員，分述如下：

1. 管理權人

(1)管理權人由廠長擔任並負責全廠防火管理業務之責任。

(2)選任管理或監督層次之防火管理人，使能適當公正地執行防火管理業務，推動防火管理業務。

(3)指導及監督防火管理上必要業務之推動。

(4)申報消防防護計畫書及防火管理人之遴用、異動及解任。

(5)督導防火避難設施及消防安全設備之檢查維護之實施，以及相關設施（備）缺失時之改善作為。

(6)在防火管理人製定或變更消防防護計畫書時給與必要之指示。

2. 防火管理人

(1)消防防護計畫之製定、檢討及變更。

(2)滅火、通報及避難訓練之實施。

(3)防火避難設施、用火用電設備器具、危險物品設施之檢查實施及監督。

(4)電氣配線、電氣機器、機械設備之管理及安全確認。

(5)消防安全設備檢查維護之實施及監督，以及法定檢修之會同檢查。

(6)施工中消防防護計畫之製作及安全措施之建立。

(7)火源使用或處理有關之指導及監督。

(8)對內部員工消防訓練之實施。

(9)防火管理業務相關人員之指導及監督。

(10)對管理權人提出消防業務改進事項。

(11)廠區避難通路、樓梯、避難路線圖等避難設施之管理。

(12)推動防止縱火之預防措施。

(13)各項防火管理相關書面資料之保管與整理。

(14)其他防火管理上必要之事項。

3. 防火消防管理人員

(1)編擬年度消防工作計畫及預算事項。

(2)消防訓練、演習之計畫及執行事項。

(3)規劃協調執行消防設備之檢查、測試事項。

(4)定期巡視消防設備事項。

(5)火災後之調查處理、報告、原因分析、研判、檢討與防範對策之研擬事項。

(6)消防系統設備改善工作之評估及建議事項。

(7)蒐集國內外消防法規、技術資料事項。

(8)規劃、督導與推動輻射作業區消防作業有關事項。

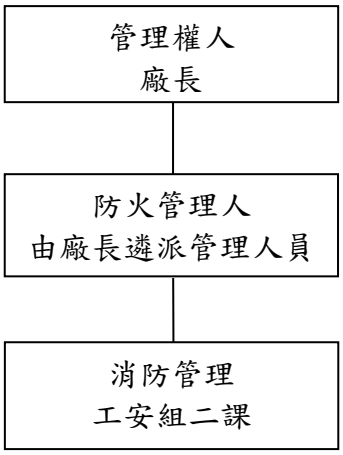

圖 8.1-1 核一廠消防工作組織

二、火災災害分析及影響評估

(一) 引 言

本分析以貯存場為主，而反應器廠房中有關的消防事故分析及因應對策，可依核一廠現有之安全程序規範施作，例如燃料裝填作業時有銲接等作業程序，此部分依核一廠電銲安全程序管制書施工及製作，而無需更新核電廠之消防計畫。

貯存場沿線可能發生火災之地點或情境，經評估有主變壓器、大型柴油貯槽、貯存場邊坡灌木林，以及運送車萬一傾覆所產生之火災。以下就這四項進行分析：

1.主變壓器

主變壓器位於運送沿線接近貯存場前爬坡路段左邊，離道路邊緣約 8 m 處；萬一在運送時恰好發生爆炸並起火燃燒，只會產生爆炸壓力，即使波及混凝土護箱，由於混凝土護箱為不可燃，不會產生燃燒；另主變壓器內為機油，故其燃燒發生火災之溫度，低於柴油所發生之火災溫度，因此已被運輸載具油箱傾覆之火災情境模擬所涵蓋。

2.大型柴油貯槽

大型柴油貯槽位於運送沿線接近貯存場橋樑左前方，離貯存場約 48 m 處；萬一發生爆炸並起火燃燒，由於內貯有大量柴油，將考量萬一發生火災之影響。

3.邊坡灌木林

邊坡灌木林位於貯存場西側，長有一片相思樹林，由於緊鄰貯存場，將考量萬一發生火災之影響。

4.運送車油箱爆炸燃燒

運送車於卸載混凝土護箱時，萬一發生碰撞，由於油箱中有汽油，將考量汽油洩漏發生火災之影響。

本場址無任何火源發生之可能，但在進行火災的意外分析時，將以假想情境進行火災危害評估。此假想火災情境為：（1）運送車於卸載混凝土護箱時發生碰撞，導致油箱中的汽油洩漏引火，（2）貯存場設施周邊之邊坡灌木林因煙蒂丟棄引起火災，（3）大型柴油貯槽因意外發生火災。以下將以計算所得之火場環境氣溫，作為熱流與結構分析時之邊界條件。

(二) 火災模擬計算工具

目前常見的可模擬火災分析之軟體如 FDS 4.0(Fire Dynamics Simulator 4.0)、Kameleon、CFX、Pheonix…等；其中，CFX、Pheonix 等為泛用型之商用 CFD 程式，可以用來計算各種類型之流場分析，且其可計算多區塊格點系統（Multi-Block Grid）之流場，因此可用來分析特殊造型之建築物之火災模擬（如隧道、巨蛋體育館等）。然其並非專為火災之燃燒流場所設計，因此，用來作為模擬火災之分析工具時常會有耗費大量記憶體資源、計算時間太久等之缺點。美國國家標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)開發完成的 FDS 4.0 程式，則為一功能較為完整，專為火災之燃燒流場所設計之 CFD 軟體，除了在計算火災燃燒這種暫態流場（transient flow）時具有省記憶體、計算時間短之優點外，更有針對火災設計的後處理工具 Smokeview，以及有其他軟體所沒有的撒水頭模式（Sprinkler mode）；惟其缺點是前處理格點系統只能計算規則系統格點（regular grid）。然經整體評估，本分析所進行之火災模擬仍以 FDS 4.0 為最佳選擇。此外須注意的是，對混凝土護箱旁之大型柴油貯槽與邊坡灌木林所引起之火災情境，由於二者引起的火災與混凝土護箱之間有一段距離，其火勢並不容易直接影響到混凝土護箱；但其火場所產生的輻射熱則仍可能使混凝土護箱處於異常熱暫態，故仍需評估熱輻射對火場環境氣溫所產生的效應。

(三) 火災情境

當本設施因意外或遭縱火而發生火災時可能出現之危險情境，隨著火災之位置、規模、防災設施性能、人員應變及管理能力而有所不同，任一種變數都足以影響火災的成長及其可能導致之危險性。故在火災過程中以意外分析作為假想的火災情境，來預估火災之成長模式，並評估本設施對火災成長之影響，以及本設施因火場環境造成之溫度分佈，作為進行本設施後續意外下之熱傳與結構分析時的邊界條件。本分析將以火災過程中單位面積之火源釋熱率(heat release rate per unit area，HRRPUA)來預估火災之成長模式，並評估其對火災成長之影響。

通常決定設計火源之位置應考慮所謂的最嚴重之情況(the worst case)，其設定應是由真實火災發生時，可能導致人員避難或財物損失之最嚴重威脅。而最常（最有可能）發生的狀況，則可由統計資料或相關文獻探討選出發生機率最高之位置。

對於情境一之油箱傾覆模擬，假設其引火源是因運送載具之油箱發生碰撞導致油箱中的油洩漏引起火災，或貯存時遭縱火等情形，作為假想的火災境況。本分析假設燃燒之液體為汽油，其釋熱率為 2,403.5 kW/m^2。情境二之灌木林火災是假設貯存場西北側之邊坡灌木林，因煙蒂丟棄引起火災；本分析以最嚴重之情況－整片灌木林引火燃燒為基準，其釋熱率是根據”The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”中最大燃燒值與木材之燃燒熱所得，為 200 kW/m^2。情境三之大型柴油貯槽假設其引火源是因意外所造成，並假設三個柴油貯槽皆起火燃燒，所燃燒之液體為柴油，其釋熱率為 1,953.6 kW/m^2。

混凝土護箱之直徑約 4.2 m、高 6.0 m，二組混凝土護箱中心點間距為 5.8 m。在油箱傾覆之火災情境方面，其模擬空間為長 30 m × 寬 40 m × 高 40 m 的室外環境，以 6 組混凝土護箱並排成兩列進行火災模擬。圖 8.2-1 與圖 8.2-2 分別為油箱傾覆之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖與計算格點分割圖。在大型柴油貯槽與邊坡灌木林之火災情境方面，由於整體模型之空間尺寸太大，因此本分析將截取部份之模擬空間進行計算，同時在引火源與混凝土護箱周邊設置熱耦線來量測其溫度值，以觀察大型貯油槽與灌木林引起

之火災所產生的輻射熱，是否會對混凝土護箱與環境溫度造成顯著影響。如圖 8.2-3~8.2-6 所示為其模型圖。圖 8.2-3 與圖 8.2-4 分別為邊坡灌木林之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖與計算格點分割圖。圖 8.2-5 與圖 8.2-6 分別為大型柴油貯槽之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖與計算格點分割圖。以上三種情境，均以周圍溫度 32 ℃且無風之天候條件下進行模擬。

(四) 數學模式

FDS 4.0 火災模擬軟體主要是以數值方法求解控制方程式，包括模擬煙塵流動與熱量傳遞的數學模式。這些控制方程式基本上是由 Navier-Stokes 方程式推導而來，是屬於符合守恆守則的方程式，包括符合質量、動量及能量守恆等方程式，並配合燃燒模式以解出計算域中之各物理量變化情形。

1. 控制方程式

質量方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \bullet (\rho \mathbf{u}) = 0 \qquad (8.2\text{-}1)$$

化學種方程式

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_l) + \nabla \bullet \rho Y_l \mathrm{u} = \nabla \bullet (\rho \mathrm{D})_l \nabla Y_l + \dot{W}_l^{\,m} \qquad (8.2\text{-}2)$$

動量方程式

$$\rho\left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \bullet \nabla)\mathbf{u}\right) + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \bullet \tau \qquad (8.2\text{-}3)$$

能量方程式

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \bullet \rho h \mathbf{u} - \frac{Dp}{Dt} = \dot{q}''' - \nabla \bullet \mathbf{q}_r + \nabla \bullet k \nabla T + \nabla \bullet \sum_l h_l (\rho D)_l \nabla Y_l \qquad (8.2\text{-}4)$$

其中

ρ =流體密度

$\mathbf{u}$ =流體速度

Y_l =化學種 l 的質量分率

h =流體熱焓

D=擴散係數

$\dot{W}_l^{\,m}$ =單位體積內化學種 l 的產生率

$\mathbf{g}$ =重力向量

$\mathbf{f}$ =外力向量（重力向量除外）

τ =黏性應力張量

$\dot{q}^m$=單位體積內的釋熱率

$\mathbf{q}_r$ =輻射熱通率向量

k =流體熱導度

T =流體溫度

P =流體壓力

t =時間

2. 紊流與燃燒模式

本模擬在處理動黏滯係數 μ（dynamic viscosity）之數值方法為 LES（large eddy simulation）模式，其基本假設為大尺度渦漩主導整個流體參數遷移，故其模式可準確地預測大尺度渦漩之行為，並採用近似的模式來代表較小尺度渦漩。因此，對於紊流現象的掌握，LES 紊流模式是一可靠之模擬模式。

在燃燒方面本模擬將使用混合分率（mixture fraction）燃燒模式。此模式是假設在燃燒中之有物種(species)可以用混合分率(mixture fraction) Z(x,t)來描述，而物種之質量分率（mass fraction）與混合分率之關係則以狀態關係式（state relation）來示。由燃燒的通式

$$\nu_O[O]+\nu_F[F]\rightarrow\sum_P\nu_P[P] \tag{8.2-5}$$

其中

ν_i =化學計量係數（stoichiometric coefficient）

O=氧氣

F=燃料

P=產物

可以得到，燃料與氧化劑的質量耗損率之關係式：

$$\frac{\dot{m}_F'''}{\nu_F M_F} = \frac{\dot{m}_O'''}{\nu_O M_O} \tag{8.2-6}$$

定義混合分率（mixture fraction）Z

$$Z = \frac{sY_F - (Y_O - Y_O^\infty)}{sY_F^I + Y_O^\infty} \quad ; \quad s = \frac{\nu_O M_O}{\nu_F M_F} \tag{8.2-7}$$

其中

Y_F^I =燃料流（fuel stream）中燃燒所佔的分率

M_F =燃料的分子量

M_O =氧的分子量

可知當 Z=1 時，表示該處只含燃料，而當 Z=0 時，表示該處氧的質量分率與一般空氣中氧的質量分率 Y_O^∞ 相同。而混合分率亦滿足

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \bullet (\rho D \nabla Z) \tag{8.2-8}$$

本模式假設燃燒之化學反應速率為無限快，因此，燃料與氧化劑無法共存，可定義火焰曲面（flame surface）為

$$Z(x,t) = Z_f \quad ; \quad Z_f = \frac{Y_O^\infty}{sY_F^I + Y_O^\infty} \tag{8.2-9}$$

3. 邊界條件

(1) 火源(fire)邊界條件

在混合分率模式（mixture fraction model）中，FDS 以燃燒物之單位面積的熱釋率來定義火焰，以此參數來控制燃料的燃燒率。

(2) 開放(open)邊界條件

假設模擬之情況為燃燒的火焰所產生之產物氣體(包含二氧化碳、水、氮氣等)及煙塵飄向室外。因此，必須在計算域中部份適當

邊界上設定開放邊界條件，以模擬燃燒產物及煙塵飄向戶外廣大空間之情形，通常開放之邊界條件之壓力內定值為一大氣壓。

(3) 壁面(wall)邊界條件

由於流體之分布是從牆壁上的邊界層(boundary layer)內向外發展，造成近壁流場分布有劇烈變化的特性。對此變化過劇的現象在數值分析上若採用不移動(no-slip)的邊界條件，就必須使用大量的分析格點才足以掌握近壁流場之分布特性。為了避免使用過量的分析格點以節省計算時間，同時兼顧模擬流場的準確性，FDS 程式將牆壁上的速度設為相鄰格點的速度之分率值，並以參數 VBC 來定義之：

$-1 < VBC < 1$

當 VBC=-1 時，表示壁面為不移動（no-slip）之邊界條件；當 VBC=1 時，表示壁面為自由移動（free-slip）之邊界條件；而當 VBC 界於-1 與 1 之間時，表示壁面為部分移動（partial-slip）之邊界條件。

在 FDS 程式中，LES 的數值方法，牆壁的邊界條件之 VBC=0.5，如此可以避免使用過量的分析格點以節省計算時間，同時兼顧模擬流場的準確性；而 DNS（direct numerical simulation）的數值方法，牆壁的邊界條件之 VBC= -1。

4. 格點模式

情境一（油箱傾覆火災）之空間尺寸為 30 m x 40 m x 40 m，其計算域分割為 120、160 及 160 格，合計含有 3,072,000 個格點；情境二（邊坡灌木林火災）之空間尺寸為 32 m x 45 m x 50 m，其計算域分割為 128、180 及 160 格，合計含有 3,686,400 個格點；情境三（柴油貯槽火災）之空間尺寸為 45 m x 42 m x 40 m，其計算域分割為 180、168 及 160 格，合計含有 4,838,400 個格點。這三種情境經切割後的每格點（grid）之長寬高為 25 cm，如此之格點密度已足夠使用 LES 的方法來模擬在燃燒過程中之火場變化情形。

(五) 結果與討論

在油箱傾覆之火災情境方面，本模擬中所使用燃料為汽油，其最大燃燒值為 55 g/m^2-s。然而，實際上汽油在燃燒時有許多因素會導致其燃燒值並無法達到 55 g/m^2-s。可能的因素如空氣之溫度、濕度與風速，均會影響到汽油燃燒的時間；油箱傾覆的狀況可能是汽油已完全倒在地面上才開始燃燒，亦有可能是汽油邊傾倒邊起火燃燒，這些情況也會影響到燃燒的時間與燃燒值的大小。由於有這些不確定的因素，而導致燃燒值並無法持續保持在 55 g/m^2-s，而增加燃料的燃燒時間。為了保守估算，燃燒時間將乘以 1.5 倍來考量。評估結果顯示，運輸車輛的燃料容量在 50 gallons 以下，其火災發生時燃料的燃燒時間會持續 6.15 min，在無風狀態下火場溫度最高達 660 ℃，但仍符合設計基準（火災溫度< 802 ℃、燃燒時間 8 min）。

在情境二之邊坡灌木林火災方面，雖然灌木林距離混凝土護箱仍有一段距離，約 35 m 左右，實際上，灌木林萬一發生火災時，其火勢並不容易影響到混凝土護箱。但值得注意的是，因火災所產生的輻射熱是否會對混凝土護箱表面造成影響。經計算結果得知，在灌木林中的火場溫度最高約為 590 ℃。由於灌木林火災距離混凝土護箱有一段距離，且混凝土護箱周圍的擋土牆會有效地阻擋部份之輻射熱量，其造成之周邊溫度最高約為 36.5 ℃；因此，符合上述設計基準。以緊急應變計畫的觀點來看，當灌木林發生火災時，由於模擬的結果其火場環境氣溫低於所規範的安全值範圍內，但仍須快速地完成森林火災通報，並在森林火災尚未撲滅前，以行政管理嚴格地進行監控。

在情境三之大型柴油貯槽火災方面，本模擬是以最嚴重情況－三個柴油貯槽皆起火燃燒作為假想情境，並假設柴油貯槽之直徑與火焰高度的乘積為其火焰面積，此為影響貯存護箱之輻射熱來源。由於每個單位之火焰面並非正向貯存護箱，有大部份之火焰面並不會直接影響到貯存護箱，為求嚴謹仍保守以此假設進行評估。經計算得知，貯存護箱表面受到柴油貯槽火災情境之輻射熱通量為 1,356.47 kW/m^2，造成之表面溫度至少為 33.444 ℃，；低於灌木林火災對貯存護箱之輻射熱通量 6156 kW/m^2。另以火焰面積來看，本模擬於柴油貯槽火災下之火焰面積約為 501 m^2，於灌木林火災則約為 4,000 m^2。

因此，柴油貯槽火災之輻射熱對混凝土護箱的影響，較邊坡灌木林火災小；故於火災危害分析時，僅就最保守之油箱翻覆火災及邊坡灌木林火災兩情境進行暫態熱傳分析。

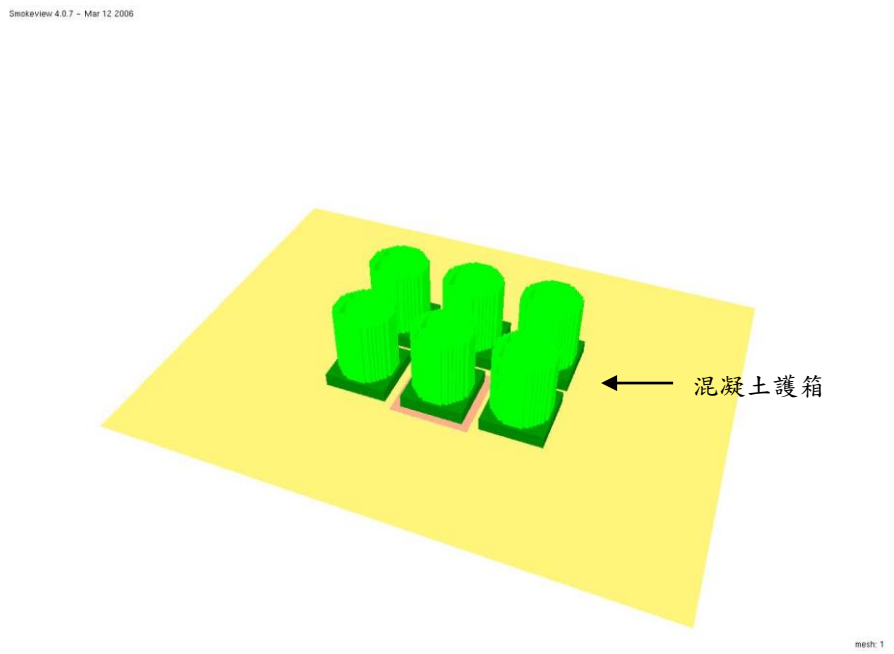

圖 8.2-1 在油箱傾覆之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖

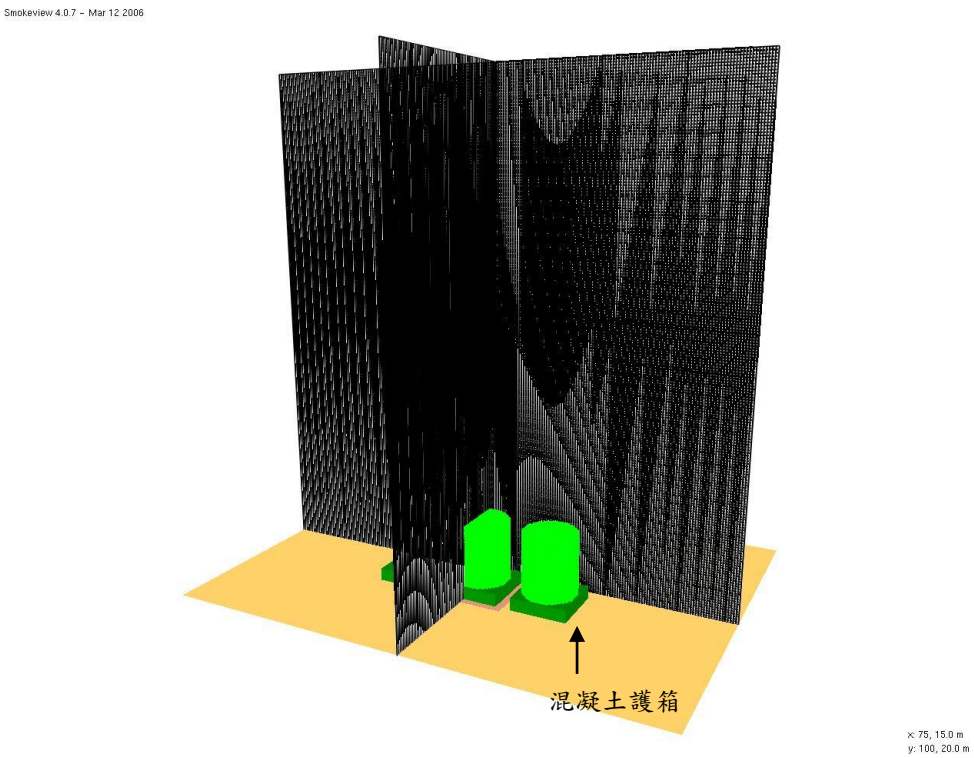

圖 8.2-2　在油箱傾覆之火災情境下，貯存場設施之計算格點分割圖

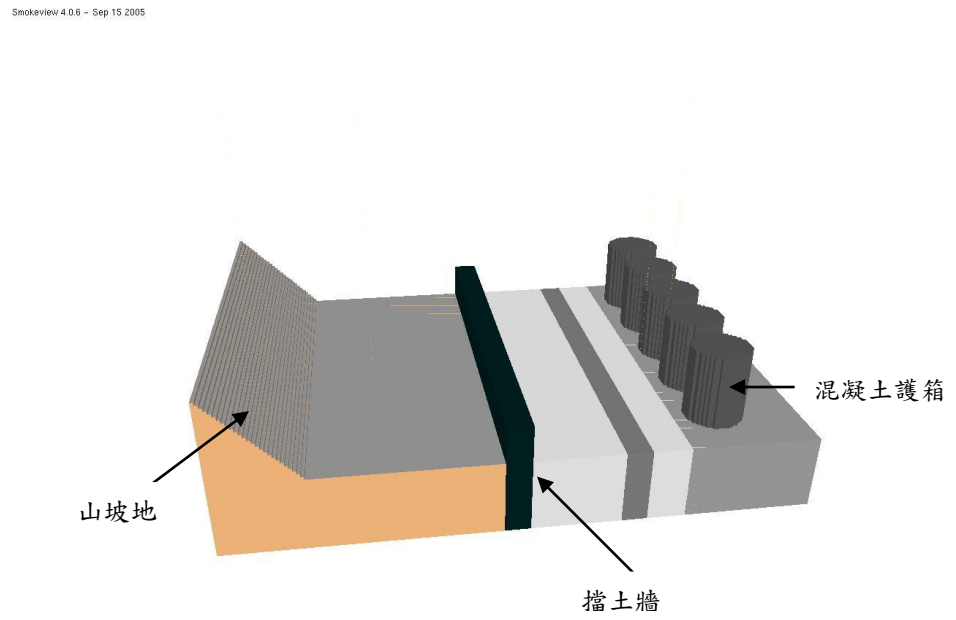

圖 8.2-3 在邊坡灌木林之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖

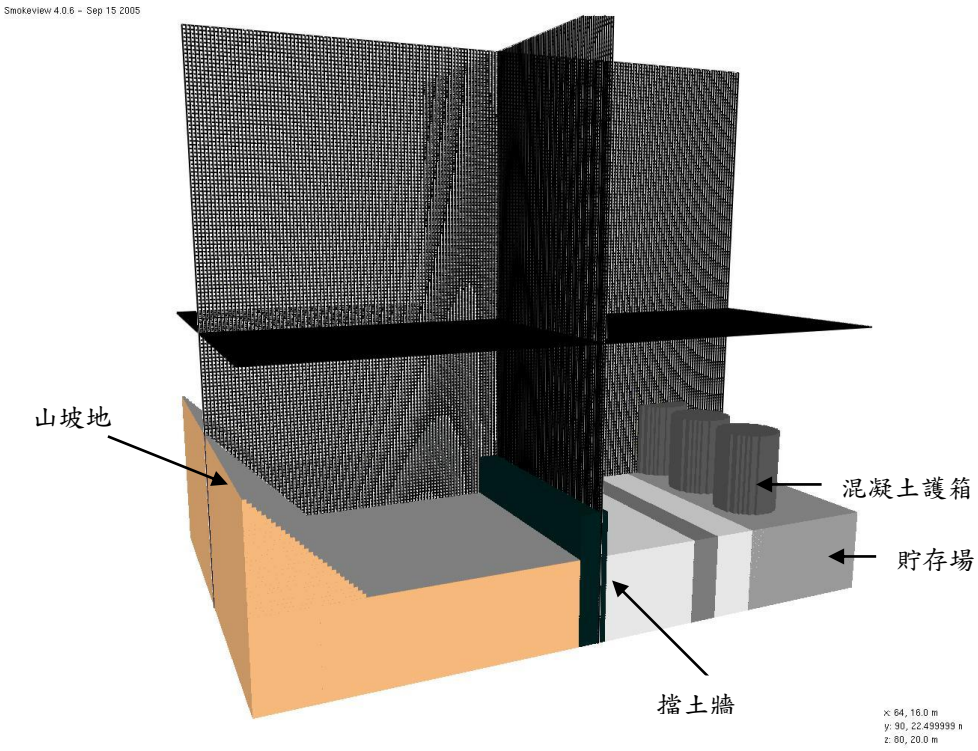

圖 8.2-4　在邊坡灌木林之火災情境下，貯存場設施之計算格點分割圖

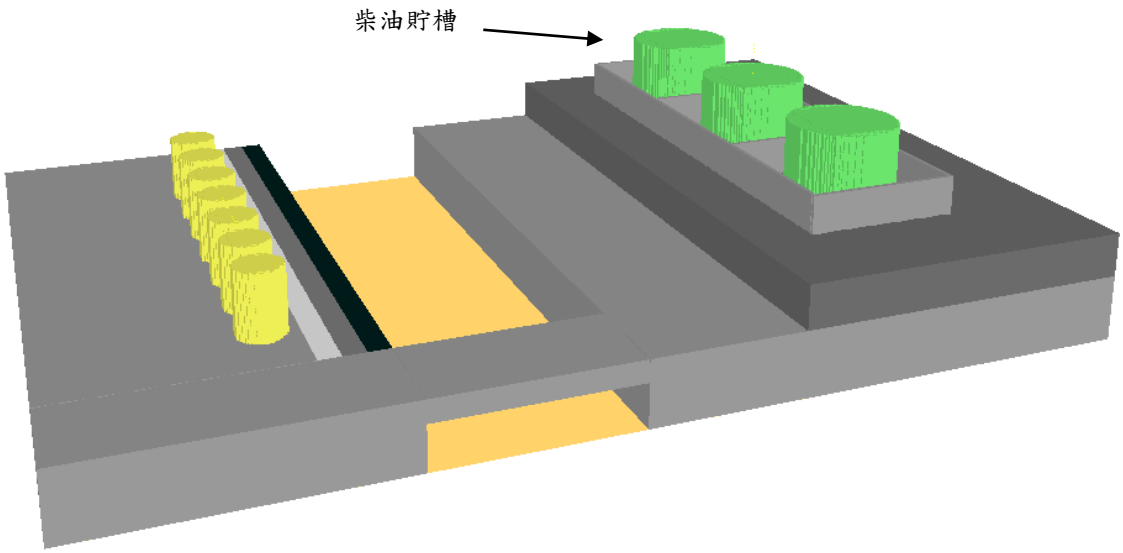

圖 8.2-5 在大型柴油貯槽之火災情境下，貯存場設施之火災計算模型圖

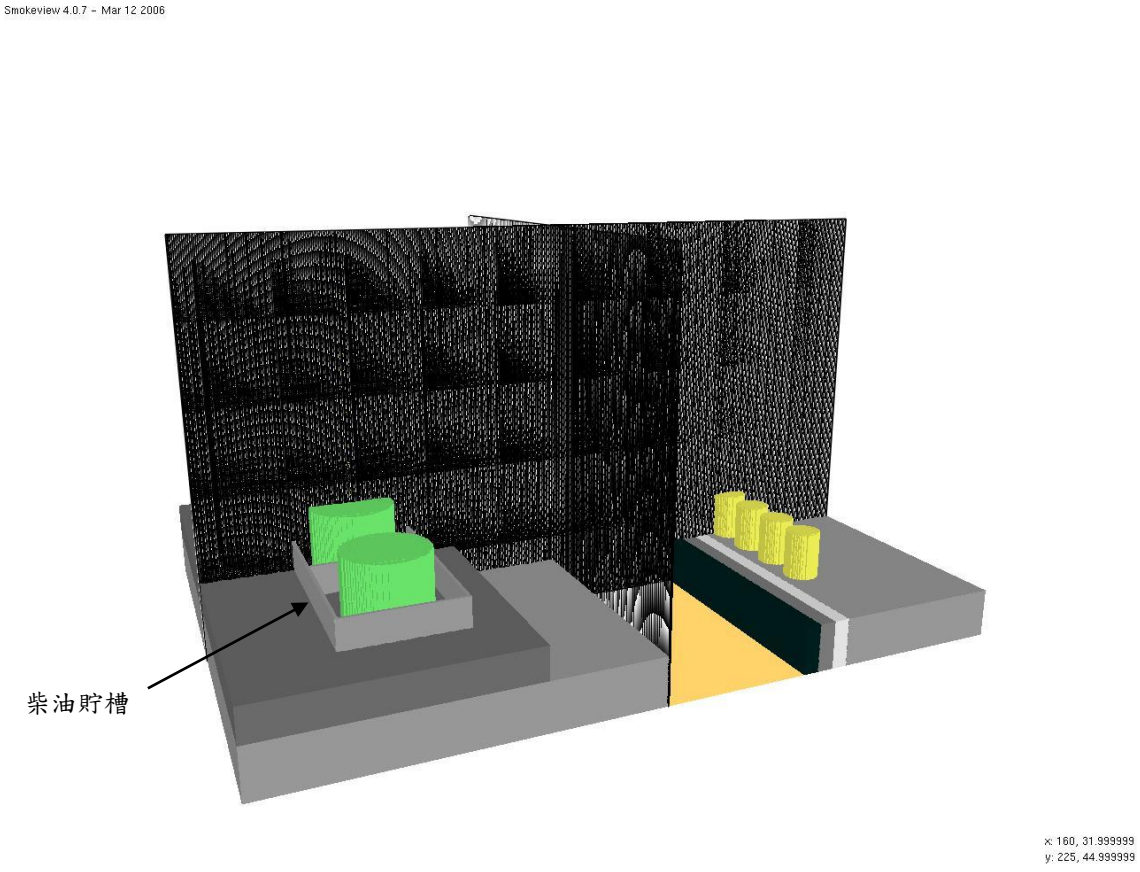

圖 8.2-6　在大型柴油貯槽之火災情境下，貯存場設施之計算格點分割圖

三、防火設計及消防設備

(一) 防火設計

本貯存場各設施為不可燃之混凝土護箱，設施內因無可燃物及易爆裂物之陳設，又貯存設施所採用材料，皆為不可燃材料，，而貯存場增設五只手提式滅火器（手提式滅火器需定期更換），其擺設位置請參閱第一章圖 1.2-8。

(二) 消防設備

1. 正常操作及檢查

手提式滅火器，按核一廠程序書 D731.1「滅火器檢查」（每季 1，4，7，10）執行。

2. 異常與緊急情況的操作

(1)核一廠程序書 D107.2：消防防護計畫。

(2)核一廠程序書 D107.2.4：火災通報及聯絡。

(3)乾貯意外事件應變計畫

四、火警偵測及消防能力評估

設施內因無可燃物及易爆裂物之陳設，故應無設置專屬火警偵測設備之必要，已規劃貯存場設置 CCTV 作為設施監視保全之用，同時每個混凝土護箱均設有冷卻空氣進出口溫度偵測裝置，且其信號均即時送至現場監測中心，故藉此信號即可達火警偵測及消防保全之目的。至於鄰近乾式貯存設施之可能引火源，例如油槽，則以核一廠目前之火警偵測設備，而邊坡灌木林地，則以核一廠目前之行政管理措施，即可達成偵測功能。

五、相關單位之消防及救護支援

（一）核一廠 112 年 08 月 21 日與新北市政府消防局第四大隊簽訂消防救災支援協定書。

（二）核一廠程序書 D107.2.3 核一廠與鄰近地區消防及救護支援程序。

六、防火及消防有關設備之維護及管理

核一廠在工安組下設有工安二課，專司消防設備之維護及管理，依消防防護計畫書及核一廠程序書內容分項執行，遵照各類場所消防安全設備檢修及申報作業基準規定，每年執行外觀、性能、綜合等檢查，並向新北市政府消防局作檢修申報。

該乾式貯存設施依安全分析報告設置滅火器，該設備維護與管理則依「消防法第 9 條第 1 項」規定由本廠管理權人(廠長)委託合格消防設備士定期檢修消防安全設備，其檢修結果依規定期限報請當地消防主管機關審核。

七、防火及消防有關之人員訓鍊

人員訓練依「消防法施行細則第 5 條」規定規劃辦理，相關訓練陳報當地消防主管機關審核，其訓練人員說明如下：

1. 防火管理人
   每三年至中央消防主管機關認可之專業機構講習訓練乙次。

2. 消防班人員
   依工安二課擬定之訓練計畫予專業人員設備、設施、火場、環境等專門訓練。

3. 緊急消防隊人員
   配合每半年乙次之消防訓練及緊急計畫予消防訓練及操演。

4. 一般員工及包商
   配合每半年消防訓練予徵召參訓。

八、參考文獻

1. 第一核能發電廠二號低放射性廢棄物貯存庫，"最新版安全分析報告"。

2. 核一廠程序書

D107.2	消防防護計畫
D107.2.12	消防班定期演習程序
D107.2.3	核一廠與鄰近地區消防救災及救護車支援程序
D731.1	滅火器檢查
D107.2.4	火災通報及聯絡

3. 乾貯意外事件應變計畫