

ISO 19901-2設計地震評估方法

**NCREE**

中興工程顧問公司  
大地工程組 鄒家琦

107年 4月26日

# 內容大綱

- ◆ 離岸構造物地震評估規範
- ◆ 簡化法
- ◆ 詳細法

*NIGREE*



# 離岸構造物地震評估規範

# NCREE



# 採用規範

- ▶ 國內無相關規範
  - ▶ 建築物耐震設計規範係針對台澎金馬陸上構造物
  - ▶ 考慮50年使用期限
    - ▶ 設計地震：50年內超越機率10%
    - ▶ 最大考量地震：50年內超越機率2%



# 採用規範

- ▶ 國際上離岸風力發電之設計地震標準
- ▶ 沿用海上鑽油/氣平台之規範標準
- ▶ 最終多指向 ISO 19901-2

NOCREE



## Design of Offshore Wind Turbine Structures

MAY 2014

### 3.8 Other site conditions

#### 3.8.1 Seismicity

*3.8.1.1* The level of seismic activity of the area where the wind turbine structure is to be installed shall be assessed on the basis of previous record of earthquake activity as expressed in terms of frequency of occurrence and magnitude.

*3.8.1.2* For areas where detailed information on seismic activity is available, the seismicity of the area may be determined from such information.

*3.8.1.3* For areas where detailed information on seismic activity is not available, the seismicity is to be determined on the basis of detailed investigations, including a study of the geological history and the seismic events of the region.

*3.8.1.4* If the area is determined to be seismically active and the wind turbine structure will be affected by an earthquake, an evaluation shall be made of the regional and local geology in order to determine the location and alignment of faults, epicentral and focal distances, the source mechanism for energy release and the source-to-site attenuation characteristics. Local soil conditions shall be taken into account to the extent that they may affect the ground motion. The seismic design, including the development of the seismic design criteria for the site, shall be in accordance with recognised industry practice.

*3.8.1.5* The potential for earthquake-induced sea waves, also known as tsunamis, shall be assessed as part of the seismicity assessment.

*3.8.1.6* For details of seismic design criteria, reference is made to ISO 19901-2.

Wind turbines –  
Part 1:  
Design requirements

**11.6 Assessment of earthquake conditions**

There are no earthquake resistance requirements for standard class turbines because such events are only design driving in a few regions of the world. No earthquake assessment analysis is required for sites already excluded by the applicable local seismic code due to their weak seismic action. For locations where the seismic load cases described below are critical, the engineering integrity shall be demonstrated for the wind turbine site conditions. The assessment may be based on Annex C. The evaluation of load shall take account of the combination of seismic loading with other significant, frequently occurring operational loads.

The seismic loading shall depend on ground acceleration and response spectrum requirements as defined in local codes. If a local code is not available or does not give the ground acceleration and response spectrum, an appropriate evaluation of these parameters shall be carried out.

The ground acceleration shall be evaluated for a 475-year recurrence period.

The earthquake loading shall be superposed with operational loading that shall be equal to the higher of

- a) loads during normal power production by averaging over the lifetime;
- b) loads during emergency shutdown for a wind speed selected so that the loads prior to the shutdown are equal to those obtained with a).

The partial safety factor for load for all load components shall be 1,0.

The seismic load evaluation may be carried out through frequency domain methods, in which case, the operational loads are added directly to the seismic load.



AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

# ANSI/API Recommended Practice 2EQ

Seismic Design Procedures and Criteria for Offshore Structures

ISO 19901-2:2004 (Modified) Petroleum and natural gas industries—Specific requirements for offshore structures—Part 2: Seismic design procedures and criteria

FIRST EDITION | NOVEMBER 2014 | 54 PAGES | \$125.00 | PRODUCT NO. GG2EQ01

# ISO 19901-2:2004

EUROPEAN STANDARD  
NORME EUROPÉENNE  
EUROPÄISCHE NORM

EN ISO 19901-2

November 2004

ICS 75.180.20

English version

Petroleum and natural gas industries - Specific requirements for offshore structures - Part 2: Seismic design procedures and criteria (ISO 19901-2:2004)

Industries du pétrole et du gaz naturel – Exigences spécifiques relatives aux structures en mer - Partie 2: Procédures de conception et critères sismiques (ISO 19901-2:2004)

Erdöl- und Erdgasindustrie – Spezielle Anforderungen für Offshore-Anlagen – Teil 2: Seismische Auslegungsverfahren und -kriterien (ISO 19901-2:2004)

This European Standard was approved by CEN on 4 November 2004.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

# ISO 19901-2:2004

- 全名：ISO 19901 Petroleum and natural gas industries specific requirements for offshore structures – Part 2: seismic design procedures and criteria
- 係國際標準組織 (ISO) 針對離岸構造物訂定之 19900 系列 (19900~19906) 標準之一
- 其內容為離岸構造物之設計地震評估程序及規範
- 最新版本為 2004 年版，簡稱 ISO 19901-2:2004
- 國際上離岸風力發電之設計地震標準

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 2個設計地震基準：

### (a) 極限基準地震(Extreme Level Earthquake, ELE)

在結構物設計服務年限中發生機率很低的嚴重地震，結構物遭受此地震作用下應無重大損壞。結構物應設計至遭受ELE時僅造成微小或無損壞；在遭受ELE後暫停營運是允許的，且結構應於ELE後進行檢查

### (b) 異常基準地震(Abnormal Level Earthquake, ALE)

在結構物設計服務年限中發生機率非常低的異常嚴重程度的強烈地震，在其作用下結構不應完全喪失完整性。ALE可能造成結構物相當程度破壞，但結構物應設計至遭受此地震時能維持整體結構完整以避免人員損失或環境破壞

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 2個設計地震基準：

- ◆ ALE之再現週期係依據風險暴露程度(exposure level)與地震危害度而定
- ◆ ELE之再現週期則被設定成當結構物設計滿足ELE時大多亦能符合ALE要求，如此可減少設計週期且能符合安全目標

# ISO 19901-2:2004

- ▶ 風險暴露程度(exposure level)：
  - ◆ 係指結構物在遭受事件(如暴風或地震)時對生命威脅及後續(環境)影響程度之綜合指標
  - ◆ 共分為3級：L1最高、L2次之、L3最低
  - ◆ 風險暴露程度愈高者，其結構耐震設計考量之地震愈大(即地震再現週期愈大)

生命安全分類	後續影響分類		
	C1 後續影響高	C2 後續影響中	C3 後續影響低
S1有人常駐，不撤離	L1	L1	L1
S2有人常駐，撤離	L1	L2	L2
S3無人常駐	L1	L2	L3

依據ISO 19902:2007, Table 6.6-1

# ISO 19901-2:2004

- ▶ 風險暴露程度 (exposure level) :
  - ◆ 各級風險暴露程度對應之年損壞機率目標值 (target annual probability of failure,  $P_f$ )

風險暴露程度	$P_f$
L1	$4 \times 10^{-4} = 1/2500$
L2	$1 \times 10^{-3} = 1/1000$
L3	$2.5 \times 10^{-3} = 1/400$

依據ISO 19901-2:2004, Table 2

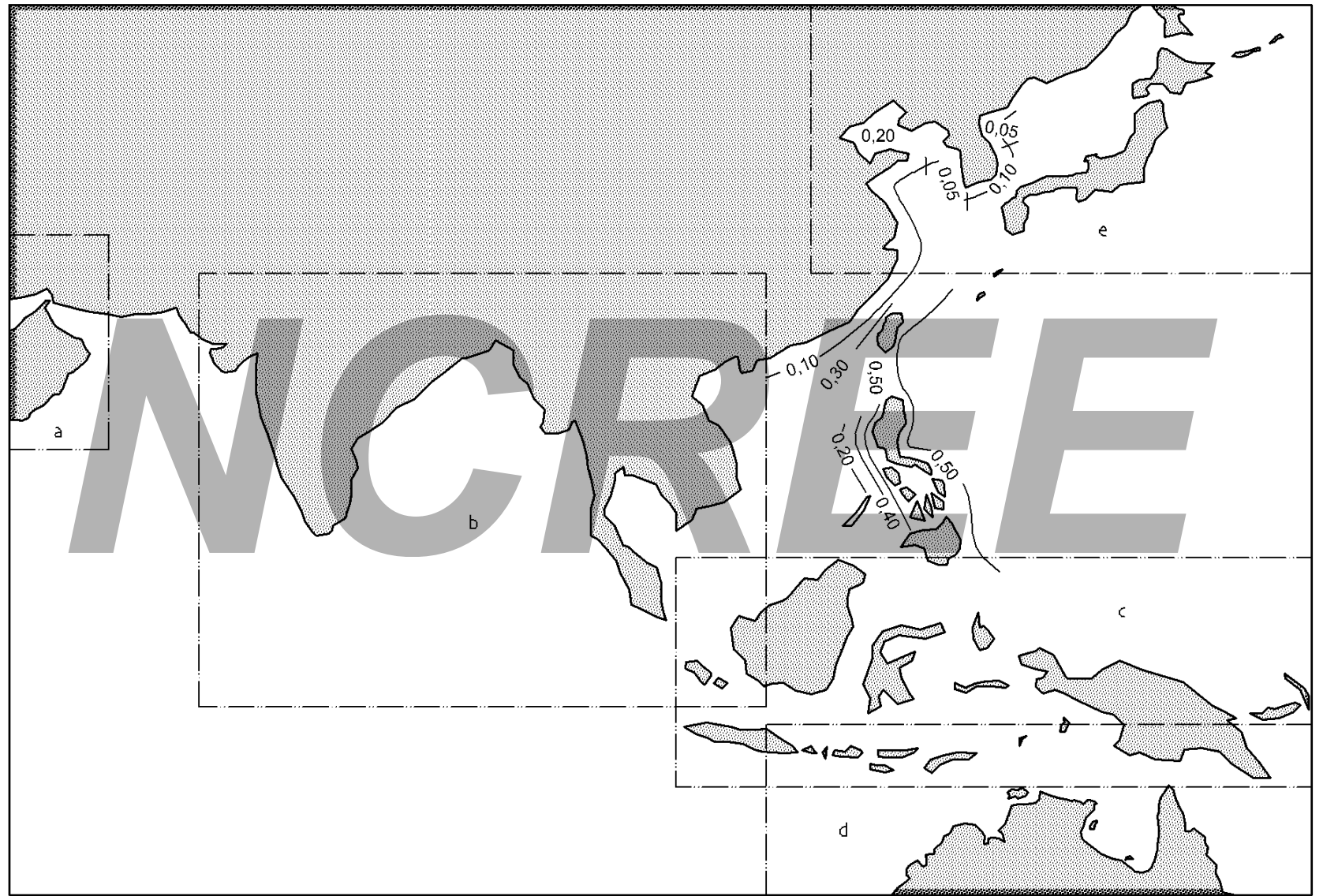
# ISO 19901-2:2004

- ▶ 地震風險分類(seismic risk category, SRC)：
  - ◆ 係綜合考量結構物所處地震環境及其風險暴露程度，以決定設計地震評估應採用之方法及是否需進行非線性分析
  - ◆ ISO 19901-2:2004之地震分區係依據其附錄B所示計畫區所在位置再現週期1,000年之周期1秒水平向譜加速度值 $S_{a, \text{map}}(1.0)$ 而定

$S_{a, \text{map}}(1.0)$	<0.03g	0.03g~0.10g	0.11g~0.25g	0.26g~0.45g	>0.45g
地震分區	0	1	2	3	4

依據ISO 19901-2:2004, Table 1

# 東亞離岸地區5%阻尼比之1.0秒譜加速度分布



摘自ISO 19901-2:2004, Annex B, Figure B.6

# ISO 19901-2:2004

- ▶ 地震風險分類(seismic risk category, SRC)：
  - ◆ 由場址地震分區及風險暴露程度對應之地震風險分類，共分為SRC1~SRC4等四類，數字愈大代表風險愈高

場址地震分區	風險暴露程度		
	L3	L2	L1
0	SRC1	SRC1	SRC1
1	SRC2	SRC2	SRC3
2	SRC2	SRC2	SRC4
3	SRC2	SRC3	SRC4
4	SRC3	SRC4	SRC4

依據ISO 19901-2:2004, Table 3

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 耐震設計需求：

- ◆ 由不同之地震風險分類ISO 19901-2:2004訂出對應之設計地震評估方法、地動值之依據、及是否應進行ALE之非線性分析

SRC	設計地震評估法	地動值依據	ALE非線性分析
1	不需要	不需要	不需要
2	簡化法	ISO分布圖或區域分布圖	允許
3	簡化法	場址特定分析、ISO分布圖或區域分布圖	建議
	詳細法	場址特定分析	建議
4	詳細法	場址特定分析	必需

依據ISO 19901-2:2004, Table 4

# NCREE 簡化法地震評估



# ISO 19901-2:2004

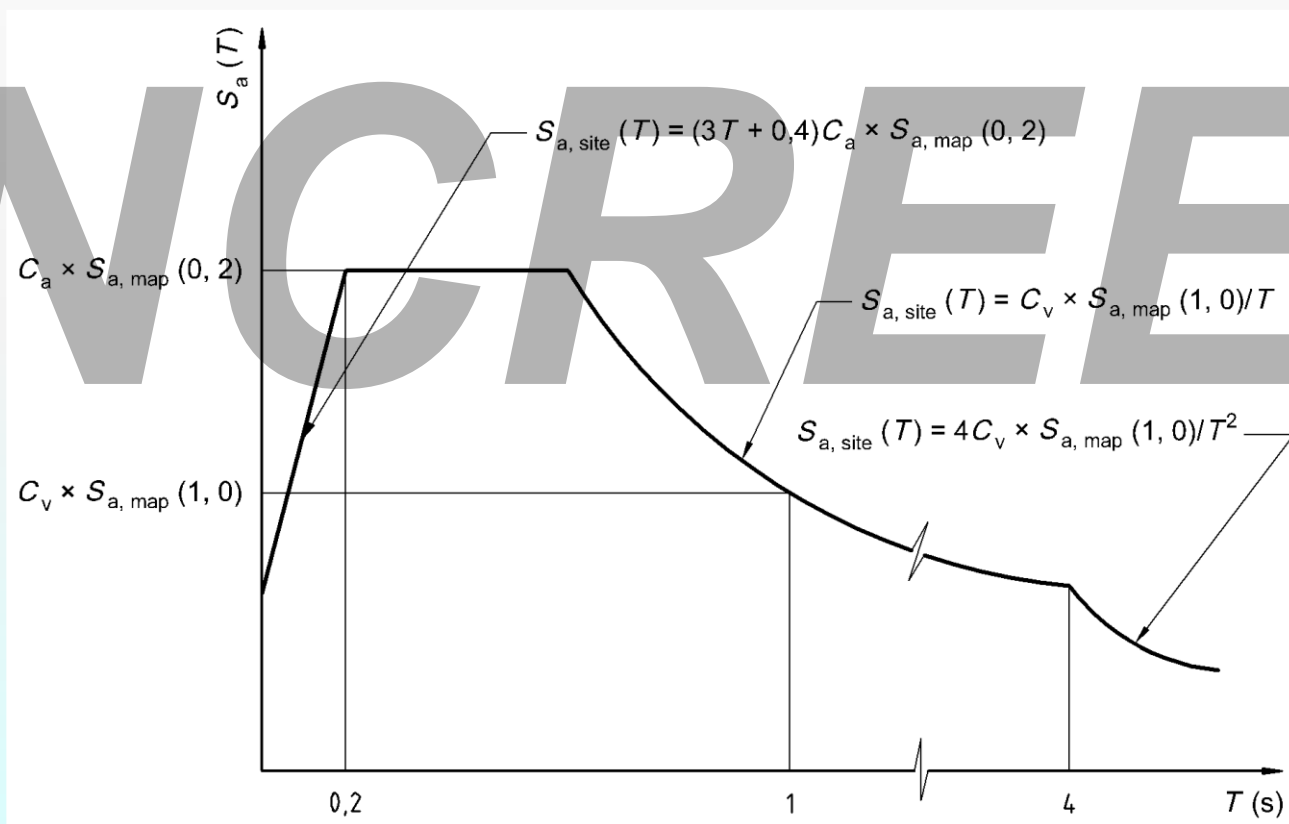
## ▶ 簡化法設計地震評估

- 1) 由附錄B譜加速度值分布圖中得到計畫場址再現週期1,000年之5%阻尼比水平向0.2秒及1.0秒周期譜加速度值 $S_{a, \text{map}}(0.2)$ 及 $S_{a, \text{map}}(1.0)$
- 2) 由於上述譜加速度值分布圖係基於假設場址地層為岩盤 (bedrock) 而製作，故而針對場址地層條件進行修正
  1. 由場址表層30公尺深度以內之平均剪力波速、砂土之正規化CPT值或黏土之土壤不排水剪力強度，將場址由堅實至軟弱分為A~E級地盤
  2. 再依不同之分級查表得到加速度段及速度段之調整因子 $C_a$ 及 $C_v$
  - ◆ 針對特別軟弱地盤，另分為F級，需進行場址特定之地質調查及地層動態反應分析，以決定其 $C_a$ 及 $C_v$ 值
  3. 由 $S_{a, \text{map}}(0.2)$ 及 $S_{a, \text{map}}(1.0)$ 與 $C_a$ 及 $C_v$ 即可得到場址再現週期1,000年之水平向反應譜值 $S_{a, \text{site}}(T)$ ，如圖所示



# ISO 19901-2:2004

簡化法場址再現週期1,000年之水平向反應譜



摘自ISO 19901-2:2004, Figure 2

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 簡化法設計地震評估

3) 場址ALE譜加速度值  $S_{a, ALE}(T) = N_{ALE} \times S_{a, site}(T)$

- ◇ ALE之調整係數 $N_{ALE}$ 係由風險暴露程度決定，對應L1、L2及L3之 $N_{ALE}$ 值分別為1.60、1.15及0.85

4) 場址ELE譜加速度值  $S_{a, ELE}(T) = S_{a, ALE}(T) / C_r$

- ◇ 其中 $C_r$ 為地震保留容量因子(seismic reserve capacity factor)，代表結構系統以非線性變形抵抗地震力之能力，即結構物在滿足ELE之耐震需求下可承受最大地震(ALE)之反應譜值倍率
- ◇  $C_r$ 與結構物之型態、組構及材料等有關，其值應在設計前即決定，可由先前業經詳細評估之類似結構案例中取得並調整
- ◇ 為避免ELE之再現週期太短，對L1、L2及L3結構物之 $C_r$ 值訂有上限，分別為2.8、2.4及2.0

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 簡化法設計地震評估

- ◆ 對於垂直向反應譜值，ISO之規定其值為水平向值之半，且不得因水深效應(water depth effects)而再折減
- ◆ 對於阻尼比非5%之結構物，可將反應譜值乘以一修正係數D作調整。  $D = \ln(100/\eta) / \ln(20)$ ， $\eta$  為阻尼比

NCRRE

# NCREE

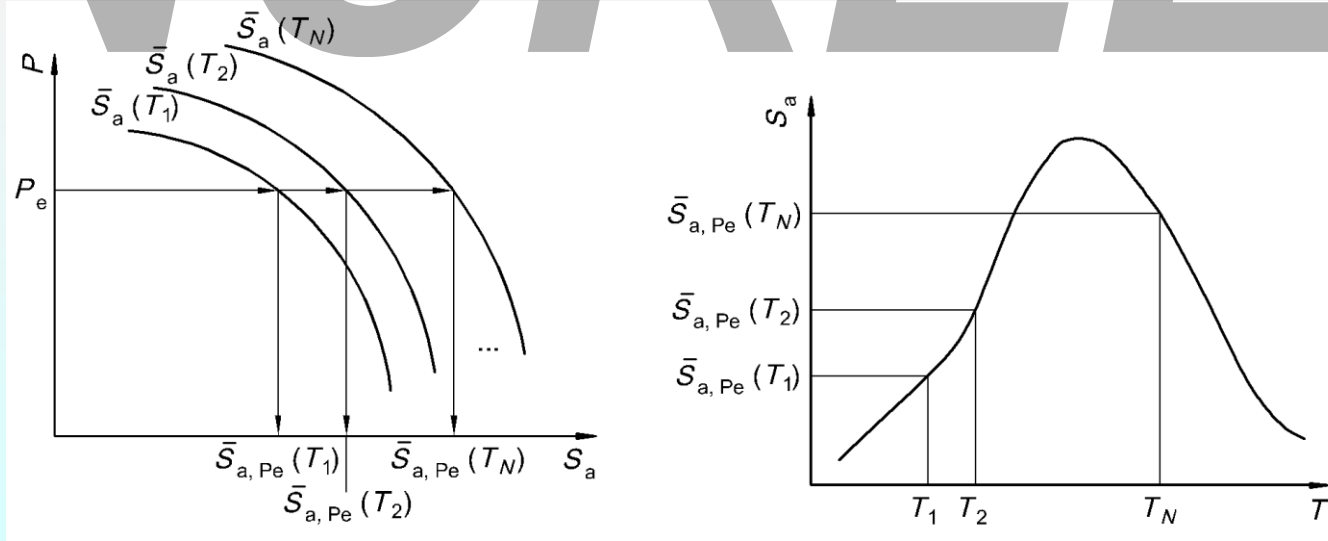
詳細法地震評估



# ISO 19901-2:2004

## ▶ 詳細法設計地震評估

- ◆ 首先需進行機率式地震危害度分析(PSHA)，以得到場址不同振動周期之譜加速度危害度曲線(hazard curves)
- ◆ 於不同周期之譜加速度危害度曲線上選取相同之年超越率，將對應得到之譜加速度值另對周期作圖，即可得到均布危害度反應譜(uniform hazard spectrum)



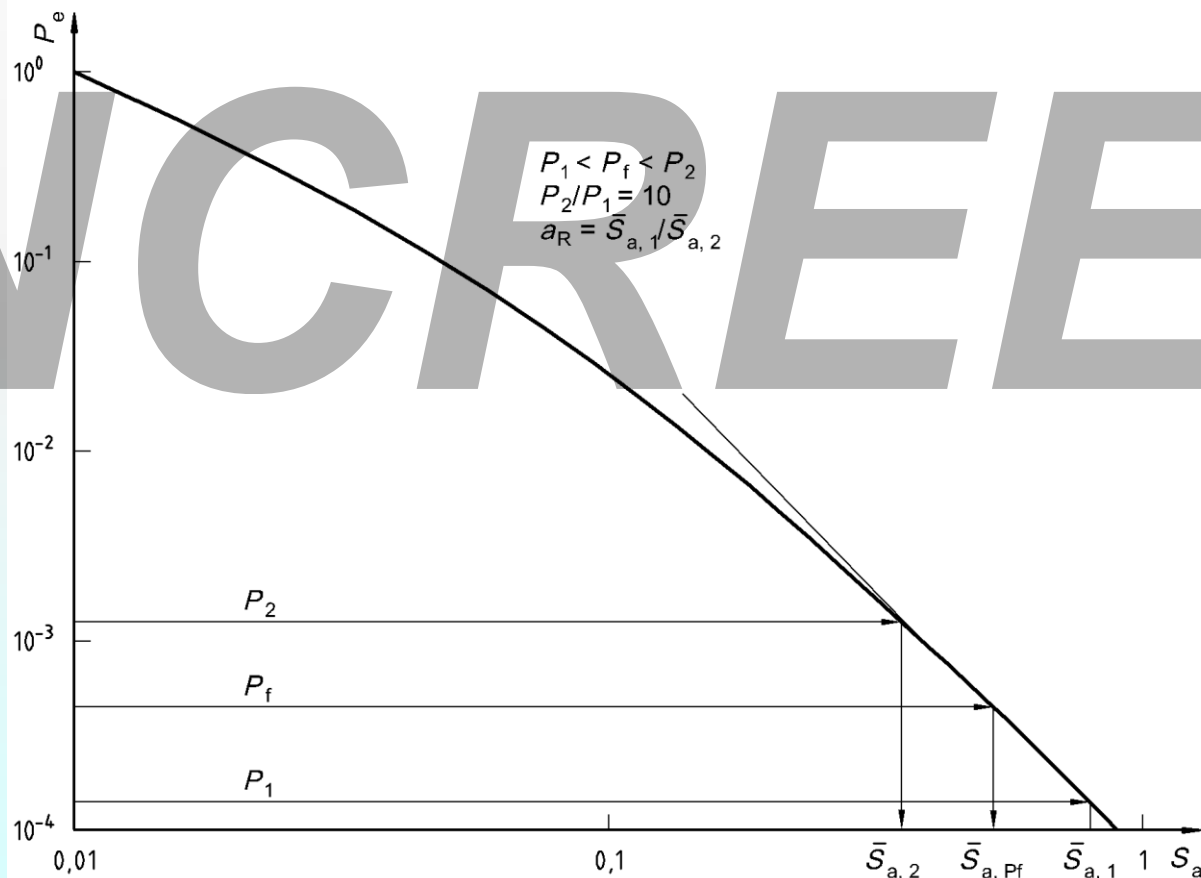
# ISO 19901-2:2004

## ▶ 詳細法設計地震評估

- ◆ 於得到場址不同周期之譜加速度危害度曲線後，按下列步驟即可得到ALE及ELE之設計反應譜
  1. 以雙常用對數軸( $\log_{10}$ - $\log_{10}$ )繪出主要振動周期(the dominant period,  $T_{\text{dom}}$ )之譜加速度危害度曲線
    - ◆ 若無法得知主要振動周期，可選擇1.0秒周期作為主要振動周期
  2. 依據結構物風險暴露程度決定其年損壞機率目標值 $P_f$ ，並由危害度曲線圖上找到對應之譜加速度值
  3. 找出危害度曲線圖上 $P_e=P_f$ 附近之斜率 $a_R$ 。其方法為於危害度曲線圖上 $P_e=P_f$ 下方靠近位置處選擇一點 $P_1$ ，其對應之譜加速度值為  $\bar{S}_{a,1}$ ；於 $P_f$ 上方找到 $P_2$ ，令 $P_2=10 P_1$ ，其對應之譜加速度值為  $\bar{S}_{a,2}$ ； $a_R = \bar{S}_{a,1} / \bar{S}_{a,2}$

# ISO 19901-2:2004

譜加速度危害度曲線上特定位置斜率 $a_R$



摘自ISO 19901-2:2004, Figure 4 a)

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 詳細法設計地震評估

4. 由下表得出斜率 $a_R$ 對應之修正係數 $C_C$

- ◆  $C_C$ 係用以涵蓋危害度曲線上未能反應之不確定性

$a_R$	1.75	2.0	2.5	3.0	3.5
修正係數 $C_C$	1.20	1.15	1.12	1.10	1.10

依據ISO 19901-2:2004, Table 10

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 詳細法設計地震評估

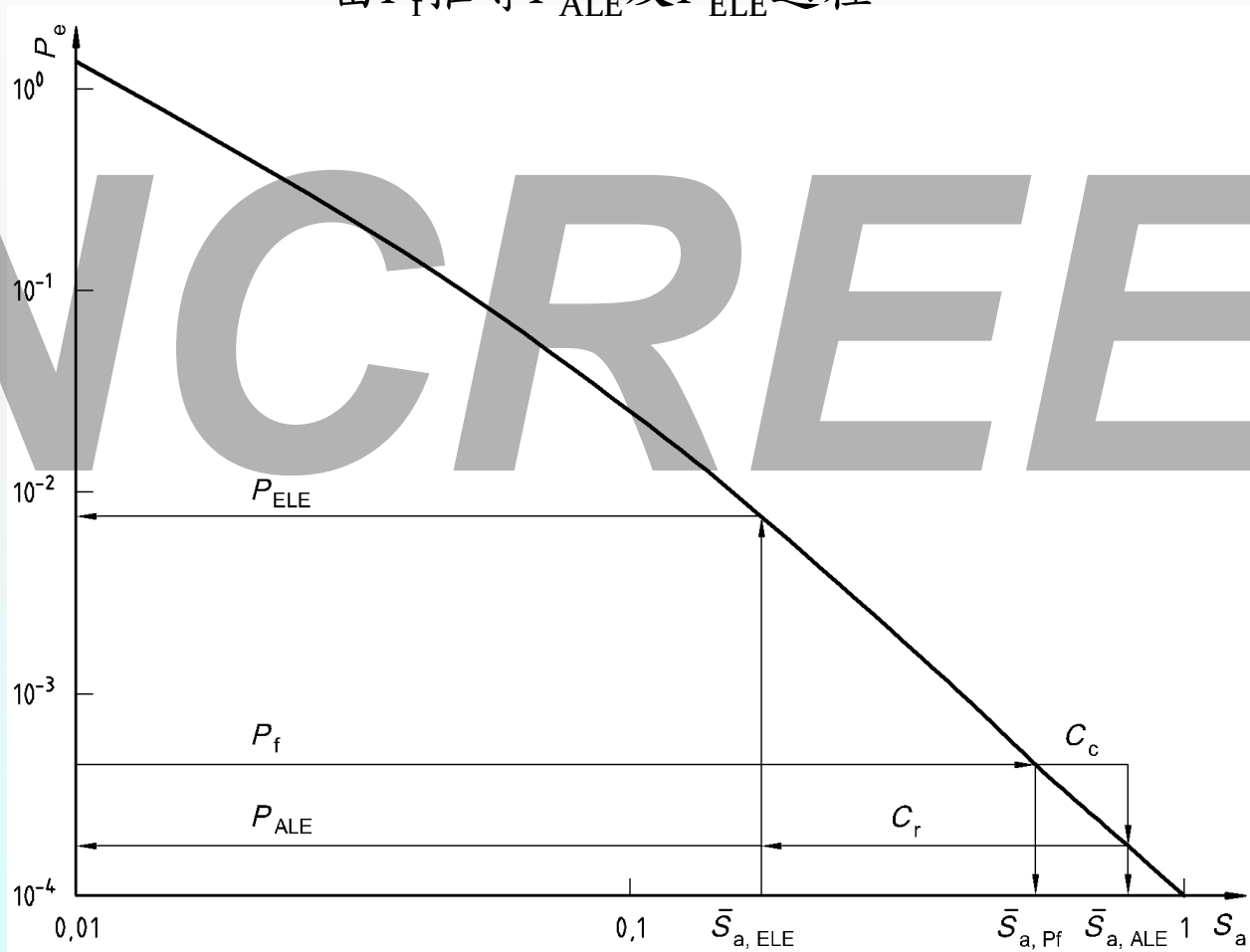
5. 計算ALE之譜加速度值  $\bar{S}_{a,ALE}(T_{dom})$ 。 $\bar{S}_{a,ALE}(T_{dom}) = C_C \times \bar{S}_{a,Pf}(T_{dom})$ 。  
由危害度曲線可找到 對應之年超越率  $P_{ALE}$ ，其倒數即ALE之再現週期
6. 由ALE之譜加速度值  $\bar{S}_{a,ALE}(T_{dom})$ 及地震保留容量因子  $C_r$ 計算出ELE之譜加速度值  $\bar{S}_{a,ELE}(T_{dom})$ 。 $\bar{S}_{a,ELE}(T_{dom}) = \bar{S}_{a,ALE}(T_{dom}) / C_r$
- ◆  $C_r$ 與結構物之型態、組構及材料等有關，其值應在設計前即決定，可由先前業經詳細評估之類似結構案例中取得並調整
  - ◆ 為避免ELE之再現週期太短，對L1、L2及L3結構物之  $C_r$ 值訂有上限，分別為2.8、2.4及2.0
  - ◆ 由危害度曲線可找到 對應之年超越率  $P_{ELE}$ ，其倒數即ELE之再現週期
  - ◆ ISO對ELE之再現週期有最小值之規定，若上述方法所得之再現週期低於最小值，應以最小值取代

風險暴露程度	ELE再現週期最小值
L1	200
L2	100
L3	50

依據ISO 19901-2:2004,  
Table 11

# ISO 19901-2:2004

由 $P_f$ 推導 $P_{ALE}$ 及 $P_{ELE}$ 過程



摘自ISO 19901-2:2004, Figure 4 b)

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 詳細法設計地震評估

7. 由PSHA結果不同周期之譜加速度危害度曲線中選取 $P_{ALE}$ 及 $P_{ELE}$ 對應之譜加速度。將譜加速度值對周期作圖，即可得到ALE及ELE之均布危害度反應譜

NCREE

# ISO 19901-2:2004

## ▶ 詳細法設計地震評估

- ◆ 有關垂直向反應譜及阻尼比非5%結構物之反應譜，ISO之規定一如簡化法
- ◆ ISO 19901-2:2004中另有規定針對場址地盤進行反應譜修正之方法；惟而若此反應譜係由場址特定機率法地震危害度分析所得，於分析中已考慮場址地盤條件，理應不需再做上述之修正

NCREE

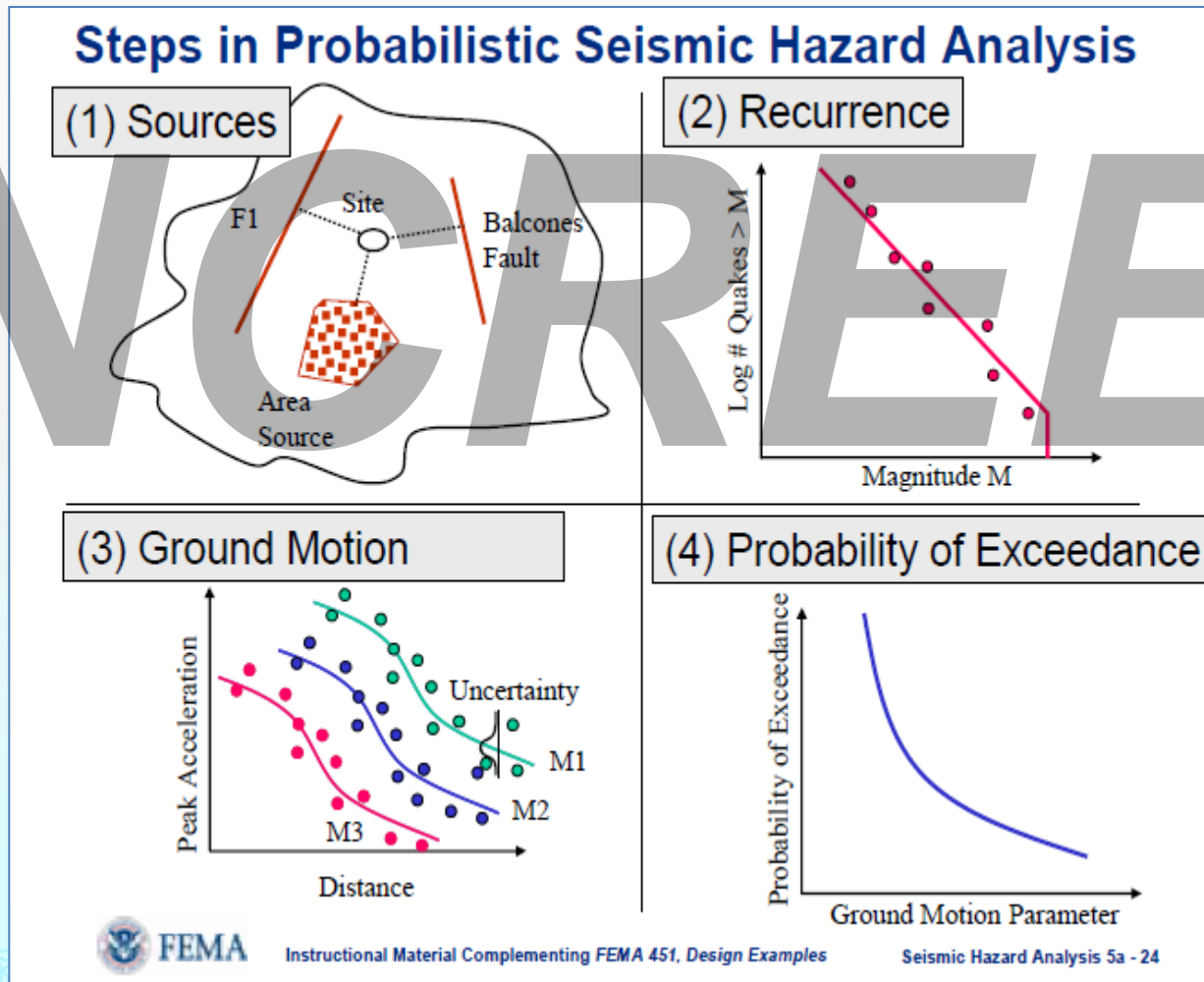
感謝您的耐心聆聽

敬請指教



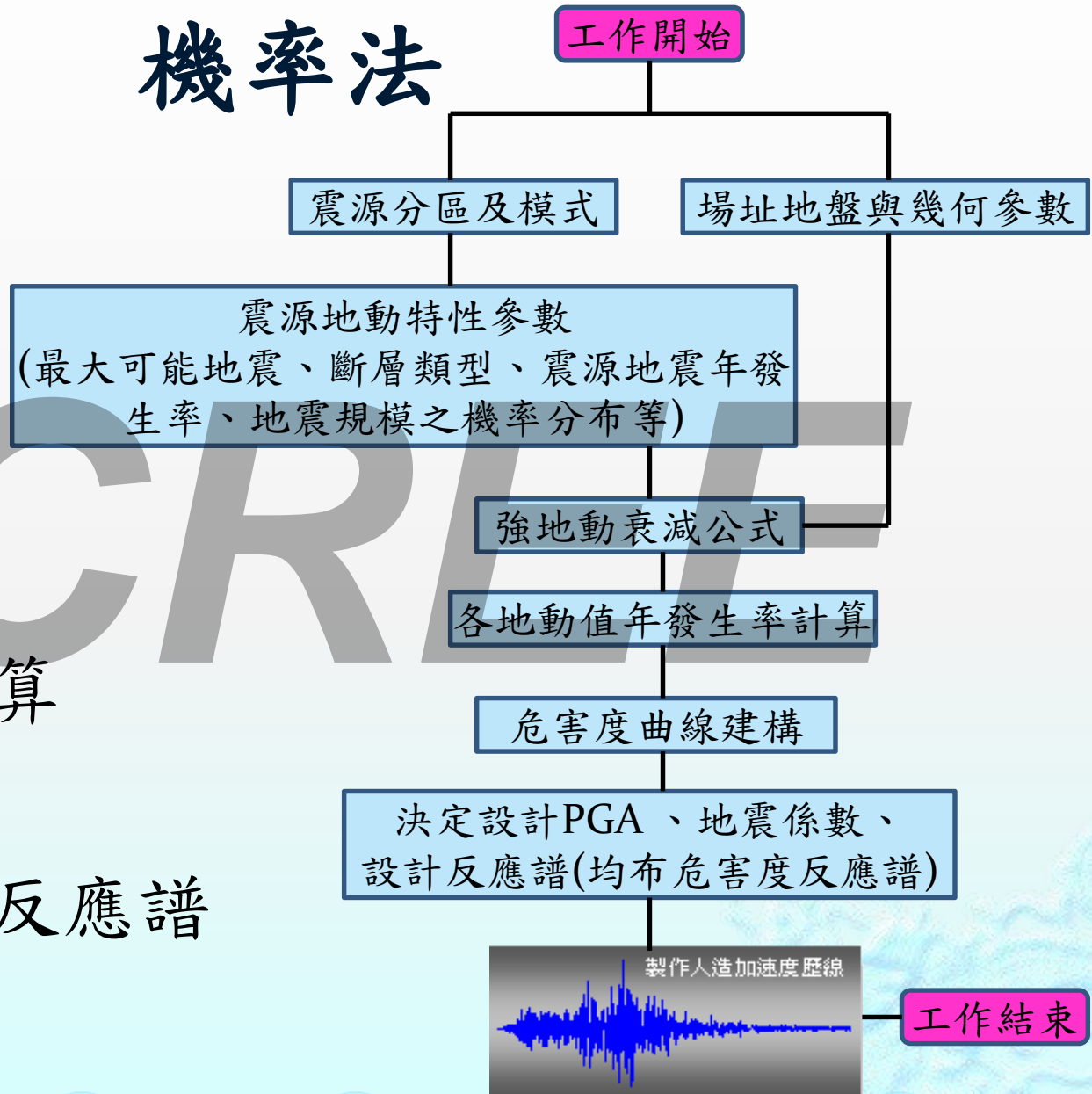
# 地震評估方法

## ◆ PSHA 步驟



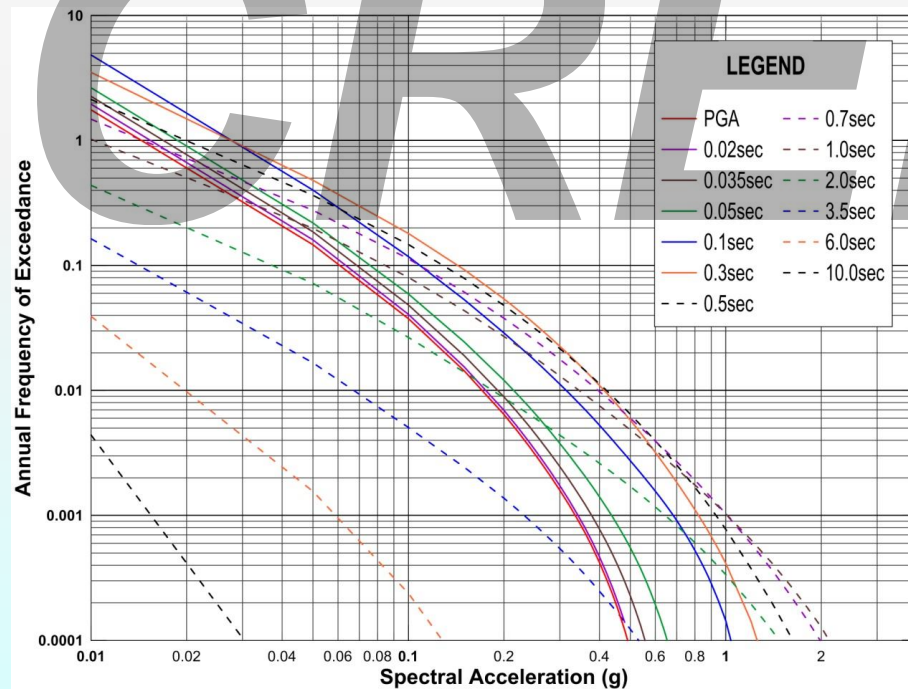
# 機率法

- 機率法概念
- 震源分區
- 震源參數
- 衰減公式
- 年發生率計算
- 危害度曲線
- 均布危害度反應譜



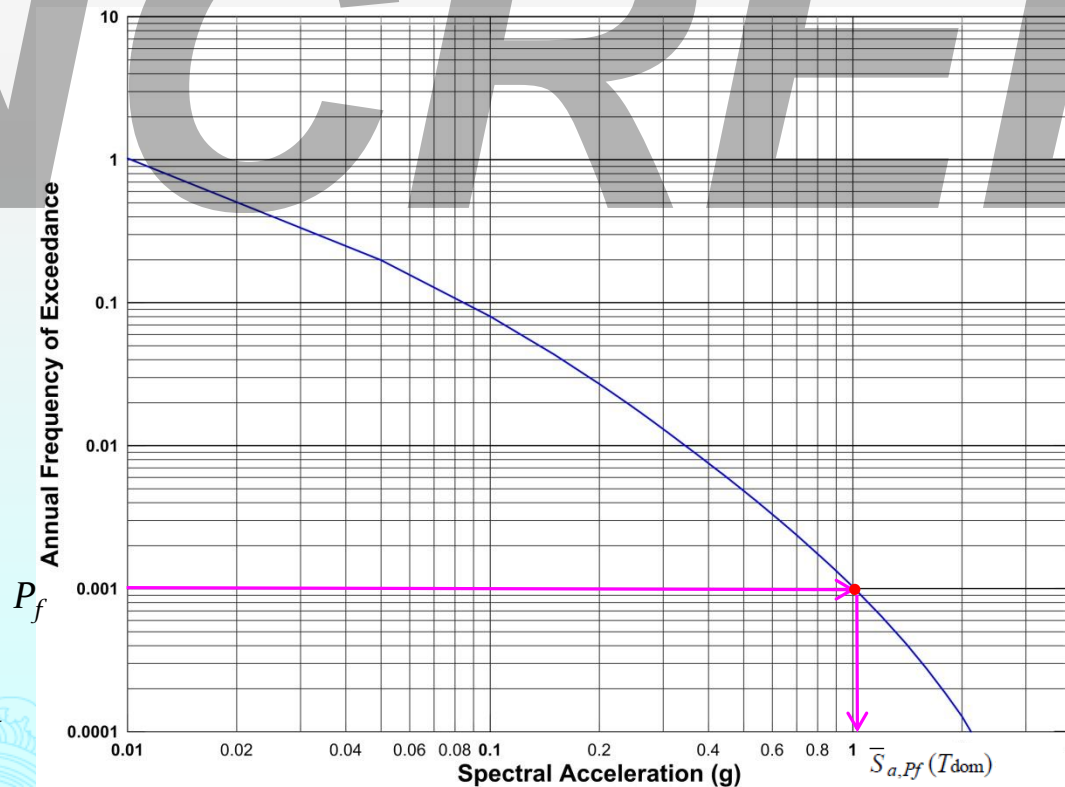
# PSHA

- ▶ 分析結果
  - ▶ 水平向PGA與0.02~10.0秒之譜加速度地震危害度曲線



# ALE與ELE推導

- (a) 選擇1.0秒周期作為主要振動周期(dominant period,  $T_{\text{dom}}$ )，繪出主要振動周期之譜加速度危害度曲線圖
- (b) 由風險暴露程度為L2得年損壞機率目標值 $P_f=1.0\times 10^{-3}$ ；由危害度曲線圖上找到對應之譜加速度值 $\bar{S}_{a,P_f}(T_{\text{dom}})=1.011\text{g}$



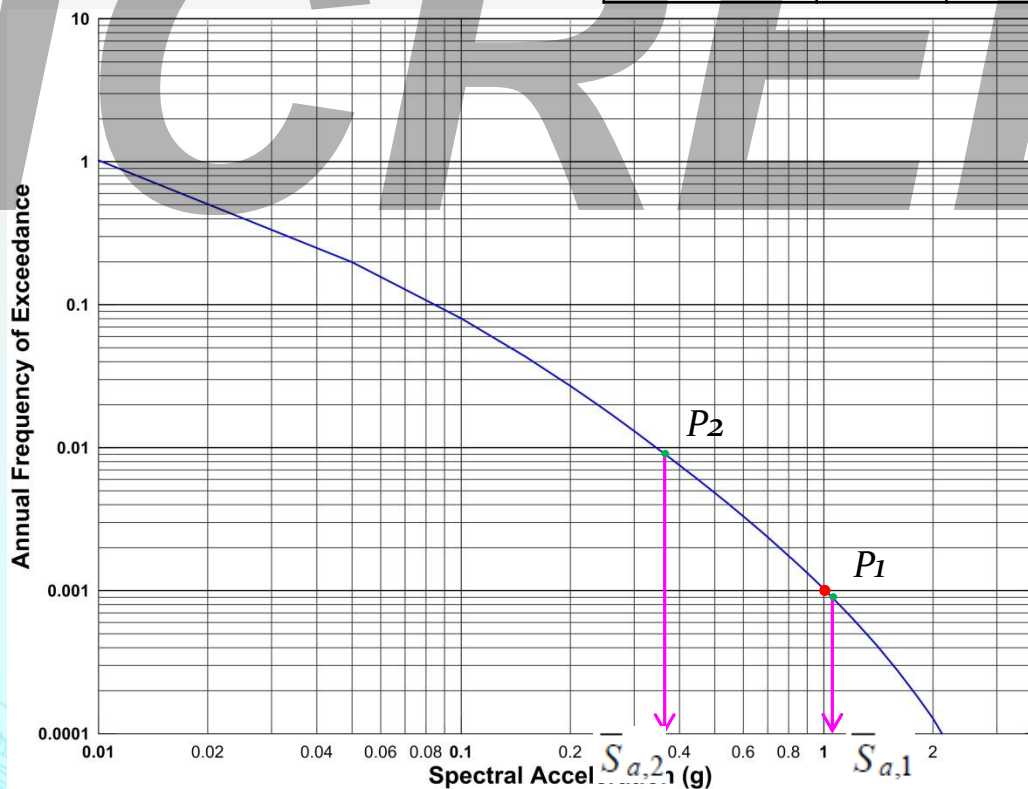
主要振動周期(1.0秒)之  
譜加速度危害度曲線

# ALE與ELE推導

(c) 取 $P_1=9.0 \times 10^{-4}$ 、 $P_2=9.0 \times 10^{-3}$ ，其對應之譜加速度值 $\bar{S}_{a,1}=1.051g$ 、 $\bar{S}_{a,2}=0.365g$ ； $a_R = \bar{S}_{a,1} / \bar{S}_{a,2} = 2.88$

(d) 由表內插得出斜率 $a_R$ 對應之修正係數 $C_C=1.105$

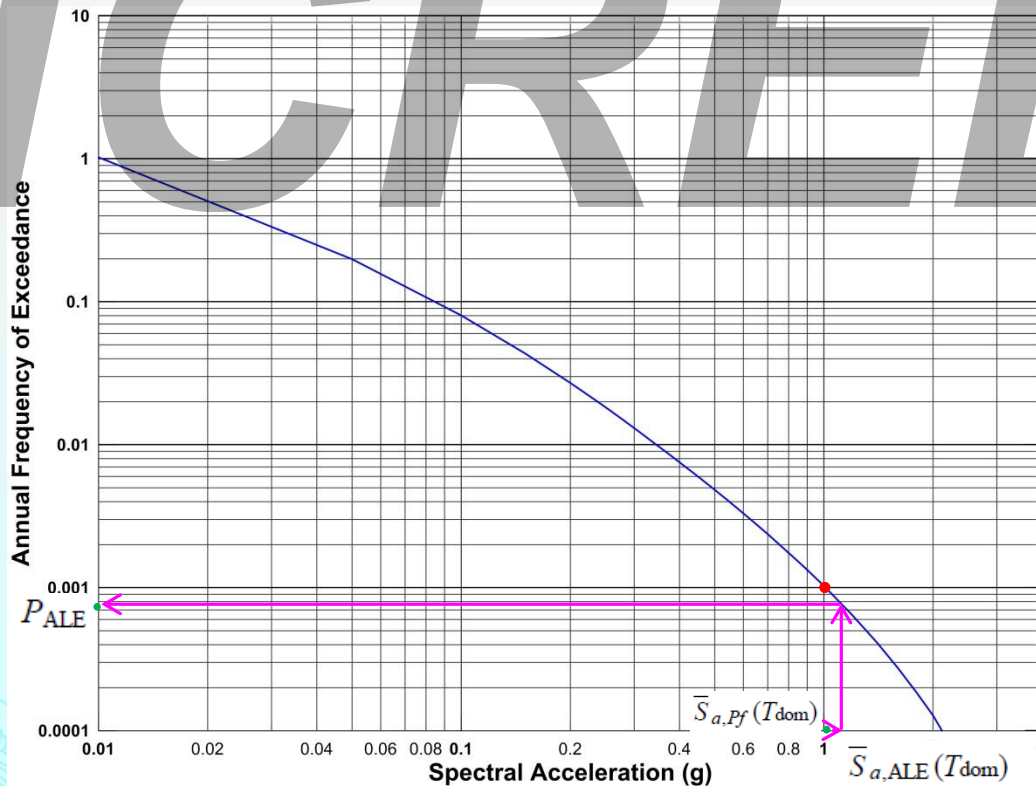
$a_R$	1.75	2.0	2.5	3.0	3.5
修正係數 $C_C$	1.20	1.15	1.12	1.10	1.10



主要振動周期(1.0秒)之  
譜加速度危害度曲線

# ALE與ELE推導

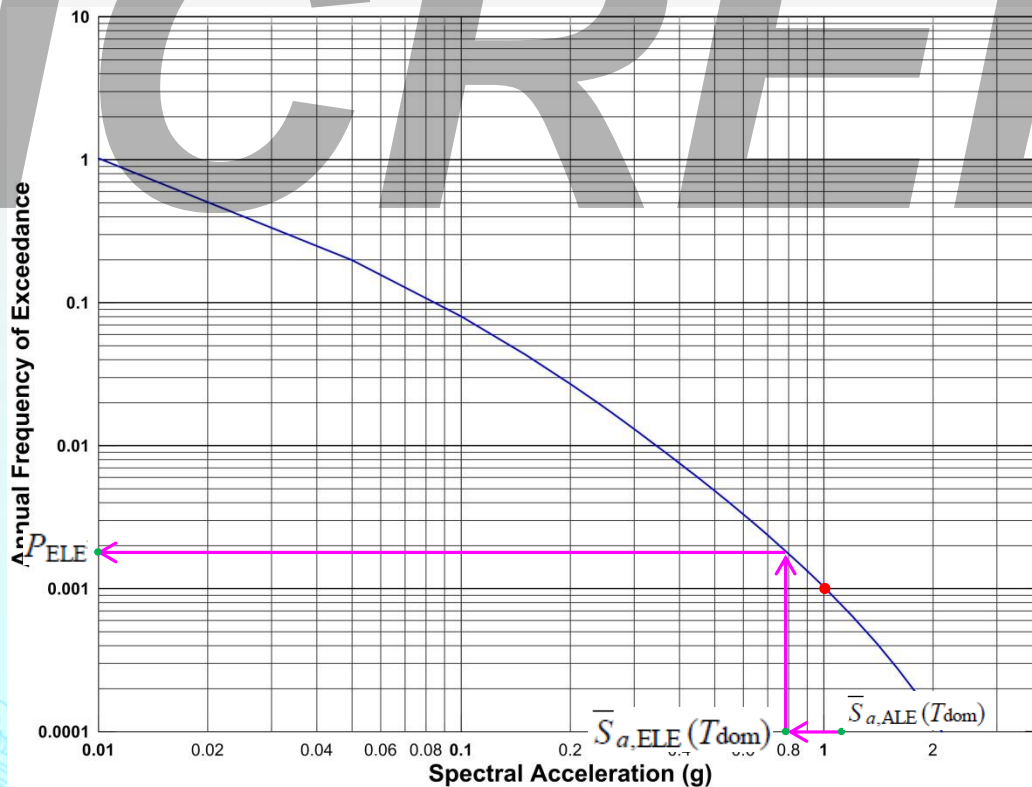
(e) ALE之譜加速度值  $\bar{S}_{a,ALE}(T_{dom}) = C_C \times \bar{S}_{a,Pf}(T_{dom}) = 1.12g$ 。由危害度曲線可找到  $\bar{S}_{a,ALE}(T_{dom})$  對應之年超越率  $P_{ALE} = 7.90 \times 10^{-4}$ ，即ALE之再現週期為約1,266年



主要振動周期(1.0秒)之  
譜加速度危害度曲線

# ALE與ELE推導

- (f) 依據ISO 19902第11.3節，並假設本計畫採用套筒(Jacket)型式之風機塔基礎、且將進行韌性設計，保守取 $C_r=1.4$ 。ELE之譜加速度值 $\bar{S}_{a,ELE}(T_{dom}) = \bar{S}_{a,ALE}(T_{dom}) / C_r = 0.798g$ 。由危害度曲線可找到 $\bar{S}_{a,ELE}(T_{dom})$ 對應之年超越率 $P_{ELE} = 1.77 \times 10^{-3}$ ，即再現週期約為566年 >475年



主要振動周期(1.0秒)之  
譜加速度危害度曲線

# ALE與ELE推導

(g) 由 $P_{ALE}$ 及 $P_{ELE}$ 對應不同振動周期之譜加速度值對周期作圖，即可得到ALE及ELE之水平向均布危害度加速度反應譜

