

機率式土壤液化評估與應用

中興大學土木工程系

鄒瑞卿

中華民國113年12月2日

演講大綱

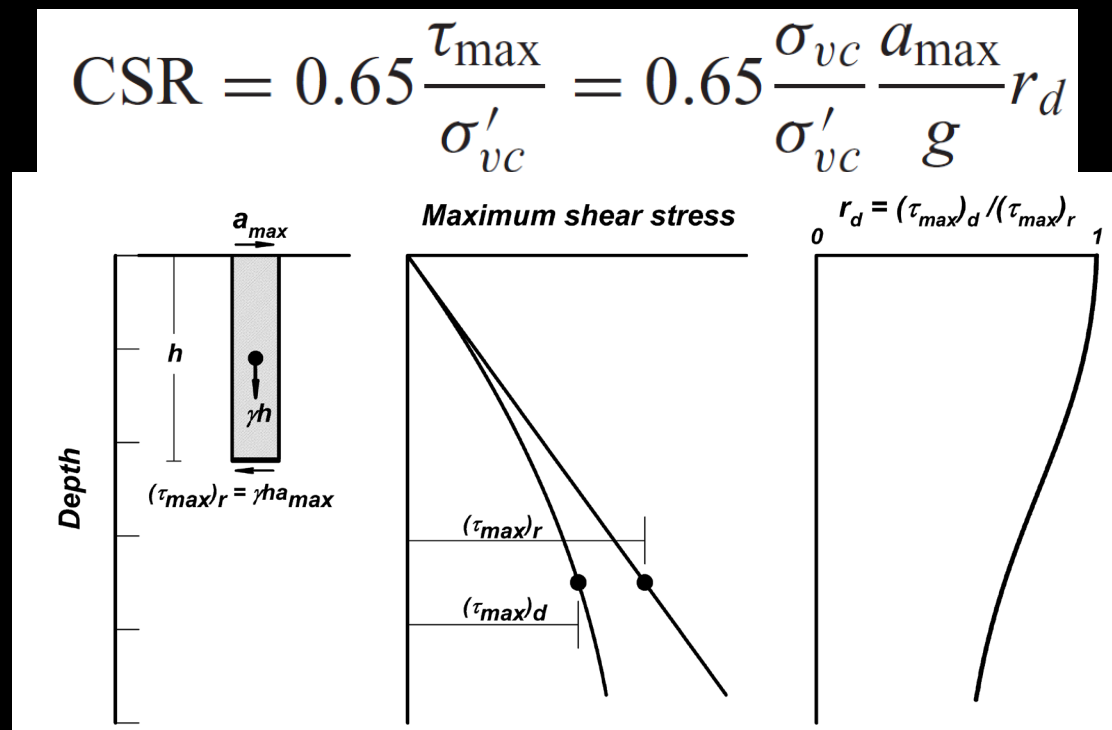
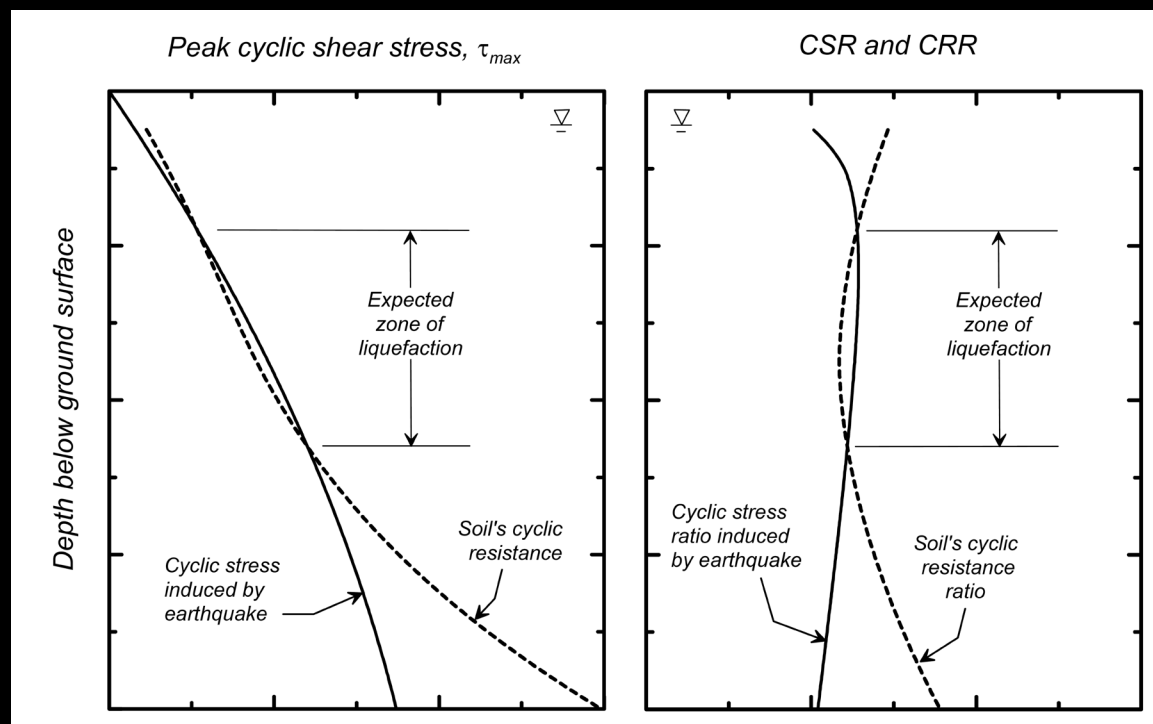
- 土壤液化評估
- 機率式土壤液化危害度評估(PLHA)
- PLHA應用
- PLHA後續研究

簡易土壤液化評估法

➤ 簡易土壤液化評估法

$$FS_L = CRR / CSR$$

Stress-based approach為目前最常使用之方法，比較地震引致反覆剪應力比(Cyclic Stress Ratio, CSR)與土壤臨界液化強度比(Cyclic Resistance Ratio, CRR)，評估土壤是否因地震發生液化



應進行液化潛能判定之砂土層

- (1) 位於地表面下20公尺以內，且位於地下水位以下之飽和土層。
- (2) 塑性指數 I_p 在7以下之土層。

地震

最大水平地表加速度
 A

地震矩規模
 M_w

規模修正因子
 $MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-1.8}$

地震引致土層之
平均反覆剪應力比

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times r_d$$

$$r_d = \begin{cases} 1.0 - 0.01z & z \leq 10m \\ 1.2 - 0.03z & 10m < z \leq 20m \end{cases}$$

地盤

SPT
 N_{60}

垂直有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

細料含量
 FC (%)

$(N_1)_{60} = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}} \times N_{60}$

If $FC \leq 10$
 $K_s = 1.0$
If $FC > 10$
 $K_s = 1 + 0.07 \times \sqrt{FC - 10}$

$(N_1)_{60cs} = K_s \times (N_1)_{60}$
 $CRR_{7.5} = 0.08 + \frac{0.0035 \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs} / 39}$

抗液化剪力強度比
 $CRR = CRR_{7.5} \times MSF$

抗液化安全係數
 $F_L = \frac{CRR}{CSR}$

HB法

需進行土壤液化判定之砂質土層

- (1) 地下水位在地表下10m以內，且飽和砂層在地表下20m以內。
- (2) 細料含量 $FC \leq 35\%$ 或 $FC > 35\%$ 且塑性指數 $I_p < 15\%$ 。
- (3) 平均粒徑 $D_{50} \leq 10mm$ 且 10%粒徑 $D_{10} \leq 1mm$ 。

地震時保有水平耐力法
所用之設計水平震度
 A

細料含量 FC (%) ,
 D_{50} (mm) , D_{10} (mm)

SPT
 N_{72}

有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

地震時，地盤之
尖峰剪應力比

$$CSR = r_d \frac{A}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

$$r_d = 1 - 0.015z$$

抗液化安全係數
 $F_L = \frac{CRR}{CSR}$

抗液化強度比

$$CRR = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

砂質土：

$$N_a = C_1(N_1)_{72} + C_2$$

$$(N_1)_{72} = 17 \times \frac{N_{72}}{(\sigma'_{v0} + 7)}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases}$$

礫質土：

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50} / 2)\} (N_1)_{72}$$

JRA96法

應進行液化潛能判定之砂土層

- (1) 位於地表面下20公尺以內，且位於地下水位以下之飽和土層。
- (2) 塑性指數 I_p 在7以下之土層。

地震

最大水平地表加速度
 A

地震矩規模
 M_w

規模修正因子
 $MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-1.8}$

地震引致土層之
平均反覆剪應力比

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times r_d$$

$$r_d = \begin{cases} 1.0 - 0.01z & z \leq 10m \\ 1.2 - 0.03z & 10m < z \leq 20m \end{cases}$$

地盤

SPT
 N_{60}

垂直有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

細料含量
 FC (%)

$$(N_1)_{60} = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}} \times N_{60}$$

If $FC \leq 10$
 $K_s = 1.0$
If $FC > 10$
 $K_s = 1 + 0.07 \times \sqrt{FC - 10}$

$$(N_1)_{60cs} = K_s \times (N_1)_{60}$$

$$CRR_{7.5} = 0.08 + \frac{0.0035 \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs} / 39}$$

抗液化剪力強度比
 $CRR = CRR_{7.5} \times MSF$

抗液化安全係數
 $F_L = \frac{CRR}{CSR}$

HB法

需進行土壤液化判定之砂質土層

- (1) 地下水位在地表下10m以內，且飽和砂層在地表下20m以內。
- (2) 細料含量 $FC \leq 35\%$ 或 $FC > 35\%$ 且塑性指數 $I_p < 15\%$ 。
- (3) 平均粒徑 $D_{50} \leq 10mm$ 且 10%粒徑 $D_{10} \leq 1mm$ 。

地震時保有水平耐力法
所用之設計水平震度
 A

細料含量 FC (%) ,
 D_{50} (mm) , D_{10} (mm)

SPT
 N_{72}

有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

地震時，地盤之
尖峰剪應力比

$$CSR = r_d \frac{A}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

$$r_d = 1 - 0.015z$$

抗液化安全係數

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

抗液化強度比

$$CRR = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

砂質土：

$$N_a = C_1(N_1)_{72} + C_2$$

$$(N_1)_{72} = 17 \times \frac{N_{72}}{(\sigma'_{v0} + 7)}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases}$$

礫質土：

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\}(N_1)_{72}$$

JRA96法

應進行液化潛能判定之砂土層

- (1) 位於地表面下20公尺以內，且位於地下水位以下之飽和土層。
- (2) 塑性指數 I_p 在7以下之土層。

地震

最大水平地表加速度
 A

地震矩規模
 M_w

規模修正因子
 $MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-1.8}$

地震引致土層之
平均反覆剪應力比

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times r_d$$

$$r_d = \begin{cases} 1.0 - 0.01z & z \leq 10m \\ 1.2 - 0.03z & 10m < z \leq 20m \end{cases}$$

地盤

SPT
 N_{60}

垂直有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

細料含量
 FC (%)

$$(N_1)_{60} = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}} \times N_{60}$$

If $FC \leq 10$
 $K_s = 1.0$
If $FC > 10$
 $K_s = 1 + 0.07 \times \sqrt{FC - 10}$

$$(N_1)_{60cs} = K_s \times (N_1)_{60}$$

$$CRR_{7.5} = 0.08 + \frac{0.0035 \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs} / 39}$$

抗液化剪力強度比
 $CRR = CRR_{7.5} \times MSF$

抗液化安全係數
 $F_L = \frac{CRR}{CSR}$

HB法

需進行土壤液化判定之砂質土層

- (1) 地下水位在地表下10m以內，且飽和砂層在地表下20m以內。
- (2) 細料含量 $FC \leq 35\%$ 或 $FC > 35\%$ 且塑性指數 $I_p < 15\%$ 。
- (3) 平均粒徑 $D_{50} \leq 10mm$ 且 10%粒徑 $D_{10} \leq 1mm$ 。

地震時保有水平耐力法
所用之設計水平震度
 A

細料含量 FC (%) ,
 D_{50} (mm) , D_{10} (mm)

SPT
 N_{72}

有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

地震時，地盤之
尖峰剪應力比

$$CSR = r_d \frac{A}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

$$r_d = 1 - 0.015z$$

抗液化安全係數

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

抗液化強度比

$$CRR = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

砂質土：

$$N_a = C_1 (N_1)_{72} + C_2$$

$$(N_1)_{72} = 17 \times \frac{N_{72}}{(\sigma'_{v0} + 7)}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases}$$

礫質土：

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} (N_1)_{72}$$

JRA96法

應進行液化潛能判定之砂土層

- (1) 位於地表面下20公尺以內，且位於地下水位以下之飽和土層。
- (2) 塑性指數 I_p 在7以下之土層。

地震

最大水平地表加速度
 A

地震矩規模
 M_w

規模修正因子
 $MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-1.8}$

地震引致土層之
平均反覆剪應力比

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times r_d$$

$$r_d = \begin{cases} 1.0 - 0.01z & z \leq 10m \\ 1.2 - 0.03z & 10m < z \leq 20m \end{cases}$$

地盤

SPT
 N_{60}

垂直有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

細料含量
 FC (%)

$$(N_1)_{60} = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}} \times N_{60}$$

If $FC \leq 10$
 $K_s = 1.0$
If $FC > 10$
 $K_s = 1 + 0.07 \times \sqrt{FC - 10}$

$$(N_1)_{60cs} = K_s \times (N_1)_{60}$$

$$CRR_{7.5} = 0.08 + \frac{0.0035 \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs} / 39}$$

抗液化剪力強度比
 $CRR = CRR_{7.5} \times MSF$

抗液化安全係數
 $F_L = \frac{CRR}{CSR}$

HB法

需進行土壤液化判定之砂質土層

- (1) 地下水位在地表下10m以內，且飽和砂層在地表下20m以內。
- (2) 細料含量 $FC \leq 35\%$ 或 $FC > 35\%$ 且塑性指數 $I_p < 15\%$ 。
- (3) 平均粒徑 $D_{50} \leq 10mm$ 且 10%粒徑 $D_{10} \leq 1mm$ 。

地震時保有水平耐力法
所用之設計水平震度
 A

細料含量 FC (%) ,
 D_{50} (mm) , D_{10} (mm)

SPT
 N_{72}

有效覆土應力
 σ'_{v0} (tf/m²)

地震時，地盤之
尖峰剪應力比

$$CSR = r_d \frac{A}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

$$r_d = 1 - 0.015z$$

抗液化安全係數

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

抗液化強度比

$$CRR = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

砂質土：

$$N_a = C_1(N_1)_{72} + C_2$$

$$(N_1)_{72} = 17 \times \frac{N_{72}}{(\sigma'_{v0} + 7)}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases}$$

礫質土：

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\}(N_1)_{72}$$

JRA96法

土壤液化評估

➤ 地震規模影響

均勻反覆載重作用時，使土壤發生液化之載重次數(N)與載重大小(CRR)密切相關($CRR = a \cdot N^{-b}$)，地震歷時(非均勻載重)如何轉換成均勻反覆載重，載重次數與地震規模相關($M_w=7.5$ 對應15 cycles均勻反覆載重)

液化分析應將地震規模之影響納入(MSF)

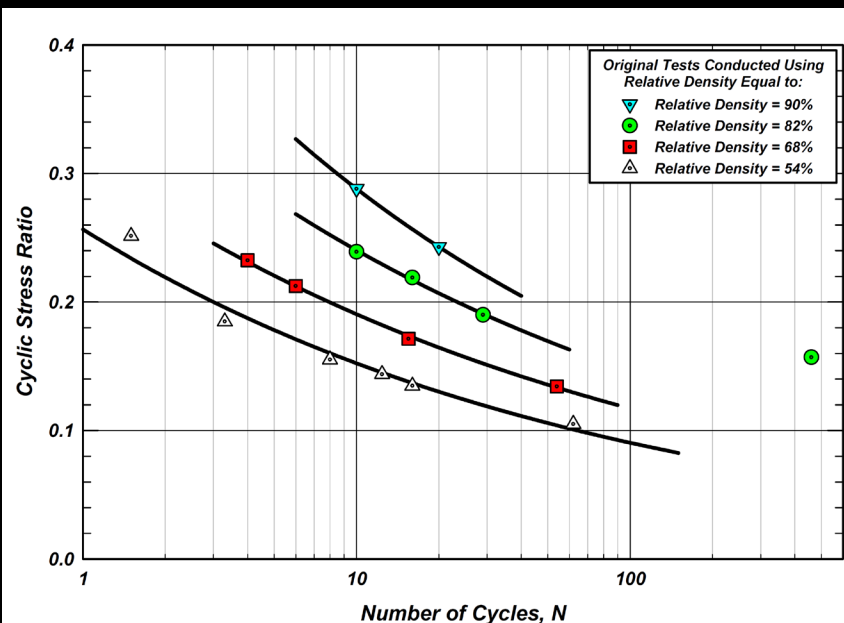


Figure 20: Cyclic stress ratio required to reach initial liquefaction ($r_u=100\%$) from shaking table tests (data from DeAlba et al, 1976).

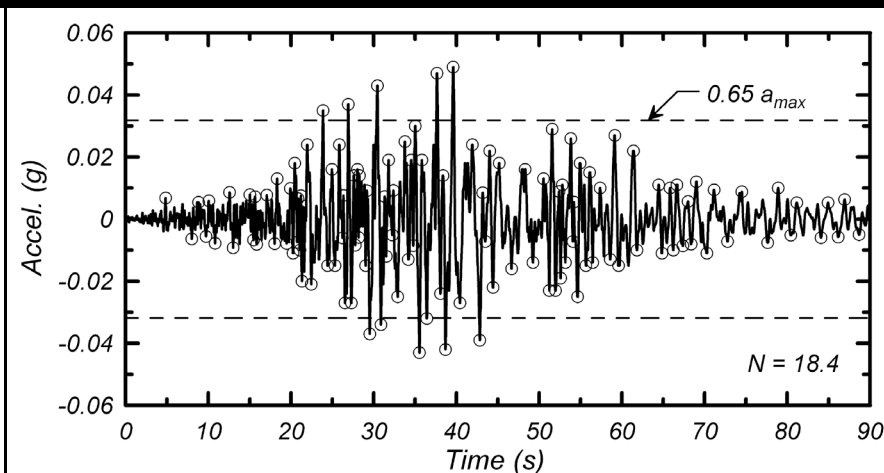


Figure 61. Example of a time series, showing the individual cycles that exceeded 10% of the record's peak acceleration and the equivalent number of uniform cycles at 65% of the peak.

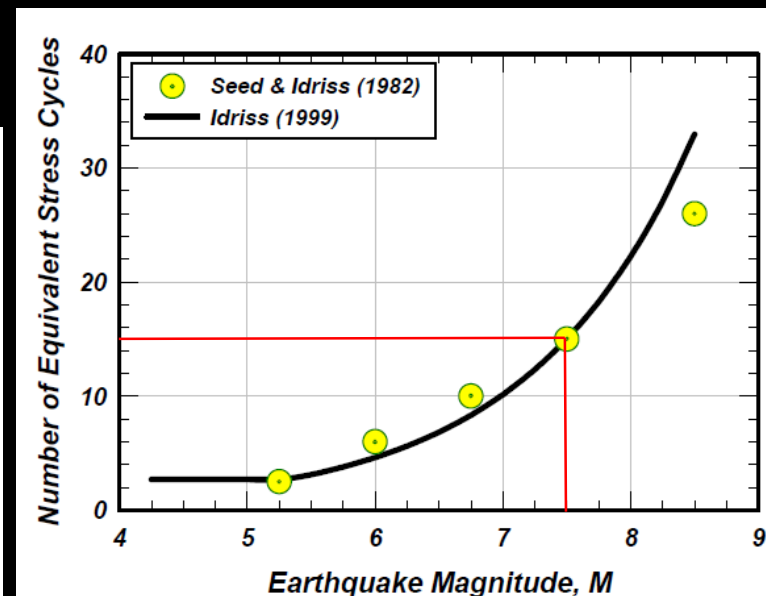


Figure 62. Mean number of equivalent uniform cycles at 65% of the peak stress versus earthquake magnitude.

土壤液化評估

➤ 液化潛能指數

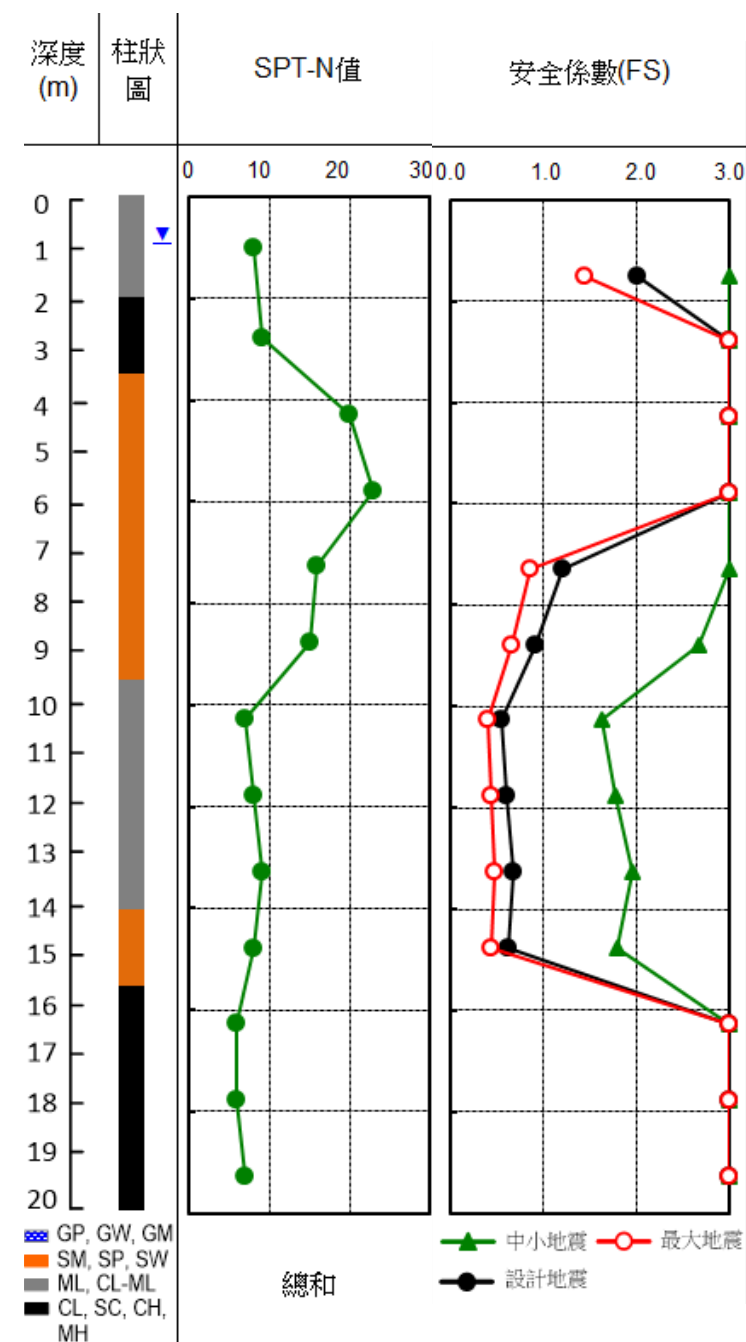
依據土層 FS_L 計算液化潛能指數(P_L)(Iwasaki et al., 1981)，評估影響

$$P_L = \int_0^{20} F(z)W(z)dz$$

z 為深度，考慮20m以內土層(>20m無液化?)

$F = 1 - FS_L (\geq 0)$ ， $W = 10 - 0.5z$ 為權重函數

P_L 值	液化等級	狀況描述
$P_L=0$	液化危險性極低	-
$P_L \leq 5$	輕微	無噴水冒砂現象，對建築物一般不致引起明顯之震害
$5 < P_L \leq 15$	中等	噴水冒砂之可能性大，將造成建築物不均勻沉陷或開裂
$P_L > 15$	嚴重	噴水冒砂嚴重，可使建築物產生 10~30cm 之不均勻沉陷及建築物傾斜倒塌

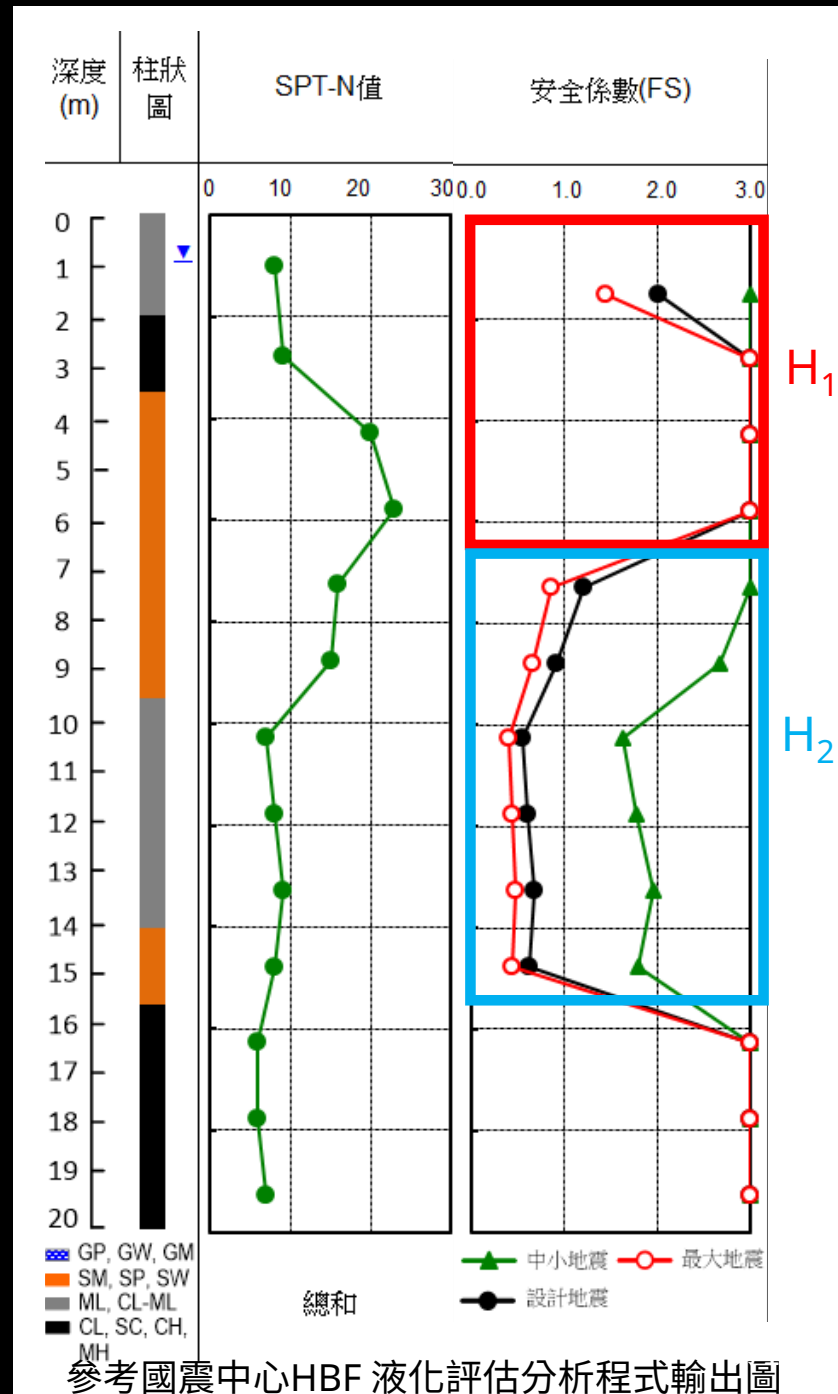
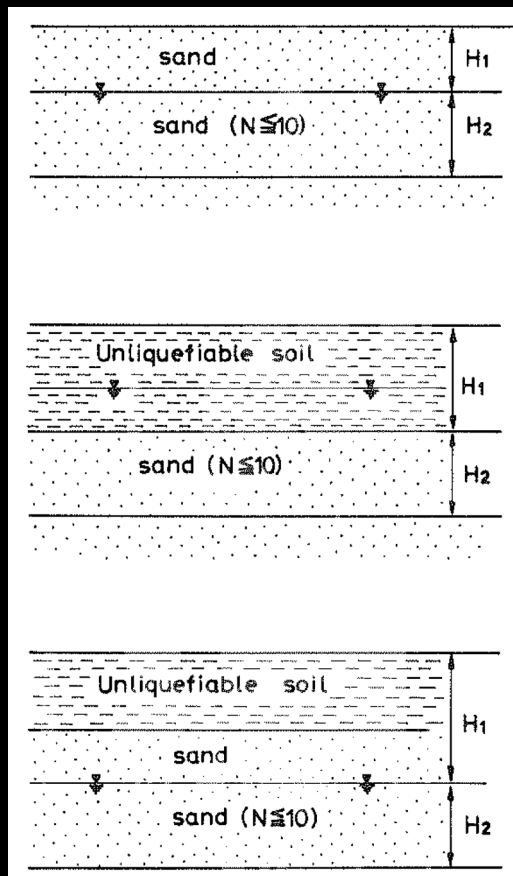
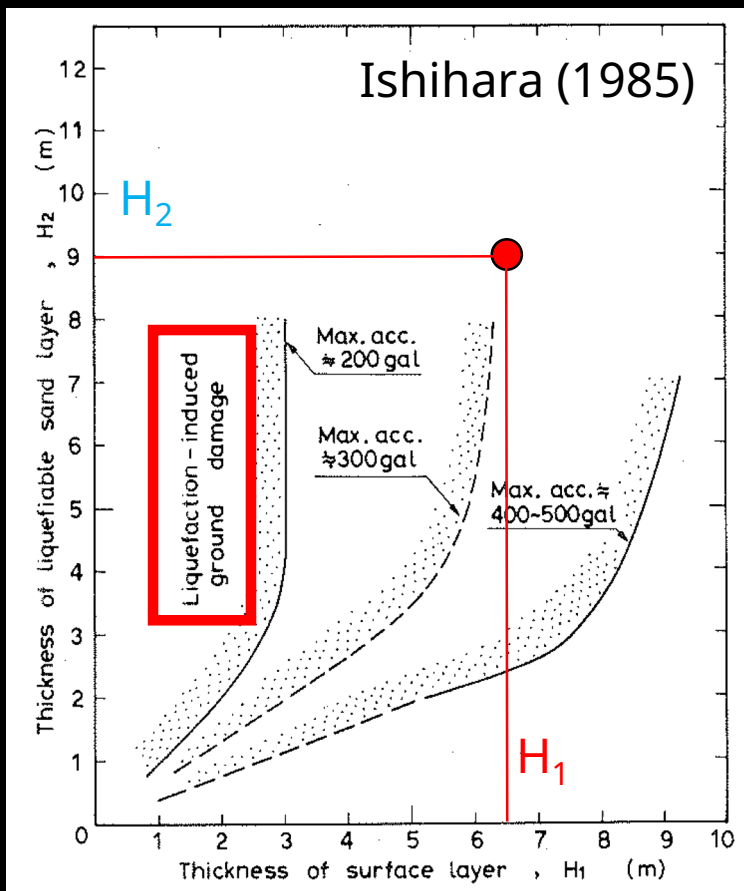


參考國震中心HBF 液化評估分析程式輸出圖

土壤液化評估

➤ 相對厚度法

若場址有發生土壤液化可能時，如何評估場址或結構物遭受之**損害與程度**？



土壤液化評估

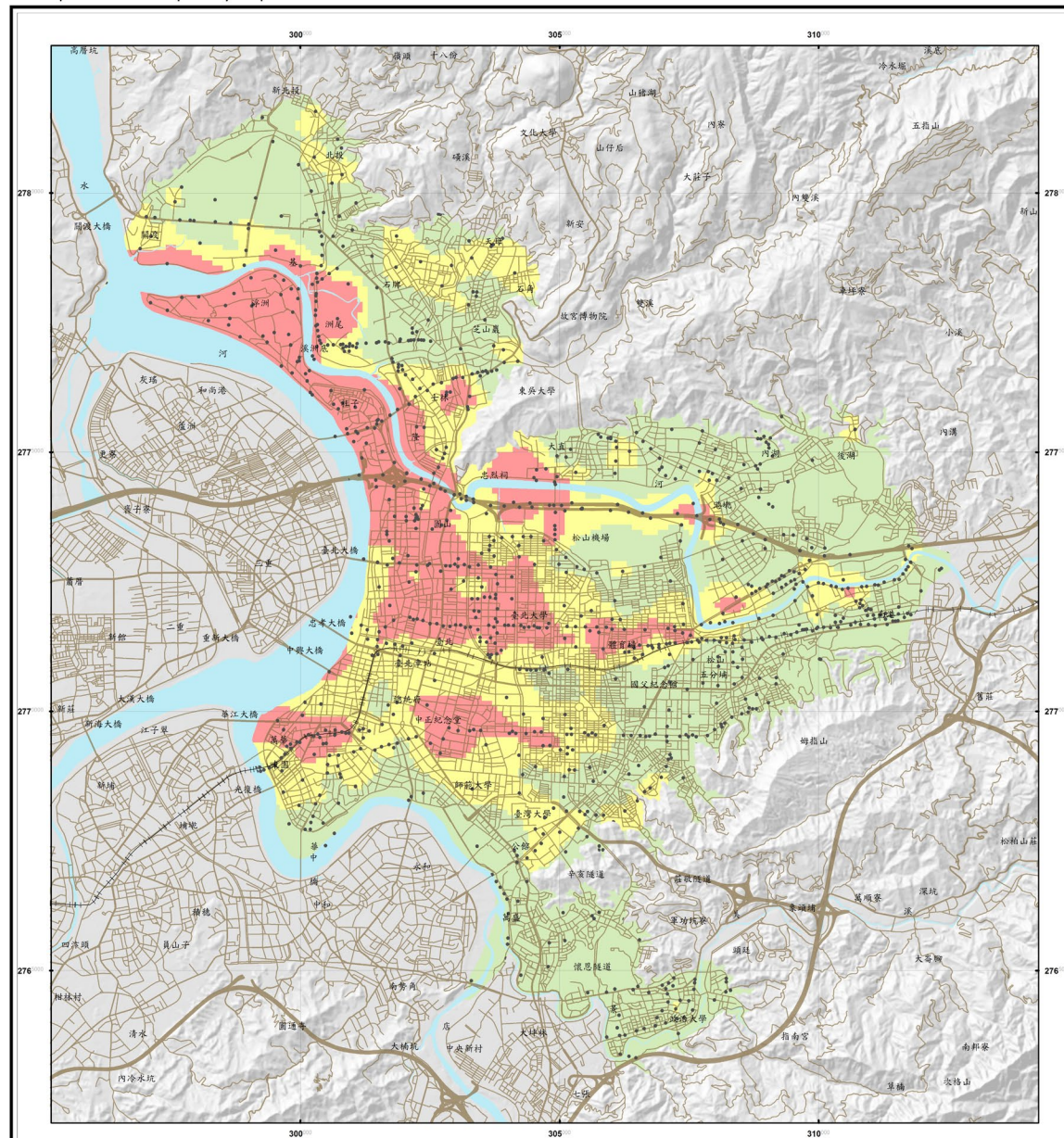
- 業界目前採用之土壤液化評估方式 - 定值式(或稱仿機率式)
 - ① 土壤抗液化強度採用簡易液化評估法提供之CRR(不考慮變異性)
 - ② 地震力參數(PGA與 M_w)採用耐震規範建議值
- PGA採用設計地震基準(再現週期475年)或最大可能地震基準(再現週期2500年)， M_w 為該再現週期下影響程度最大地震事件規模(利用參數拆解方式求得)
- ③ 以地震力參數計算 FS_L 或相關液化災害，並假設災害與地震力參數之再現週期相同(即再現週期475年或2500年)
- ④ 實際上，上述方式計算之 FS_L 或相關液化災害，再現週期並非為475年或2500年，且無法提供不同液化災害程度之再現週期(或發生機率)，作為後續液化災害風險評估參考

➤ 台北市液化潛勢地圖

參考地礦中心土壤液化查詢系統

土壤液化潛勢圖
Soil Liquefaction Susceptibility Map

臺北市 Taipei City



圖例 Legend

- 低潛勢區 (Low)
 $PL < 5$
- 中潛勢區 (Moderate)
 $5 \leq PL \leq 15$
- 高潛勢區 (High)
 $PL > 15$
- 地質鑽井

註：PL為液化潛能指數



經濟部中央地質調查所
Central Geological Survey, MOEA
中華民國一〇九年十二月

圖幅使用說明：

- 1.本圖係為區域性、大範圍的工程環境地質成果彙整，原圖比例尺為二萬五千分之一，提供國土區域計畫、土地利用及防災規劃之參考，以瞭解區域土壤液化潛勢區的分布特性。
- 2.本圖分析網格為100x100公尺，基於調查及使用上精度之限制，本圖不適於大比例尺的放大套疊使用。對於特定目的之開發審議或工程規劃設計上的應用，應依相關法規選擇適當之比例尺及精度，從事進一步的工程環境地質調查工作。
- 3.地理坐標採用TWD97系統。
- 4.本分析結果未考慮經人為填土、地下開挖或地質改良等因素。

資料分析依據：

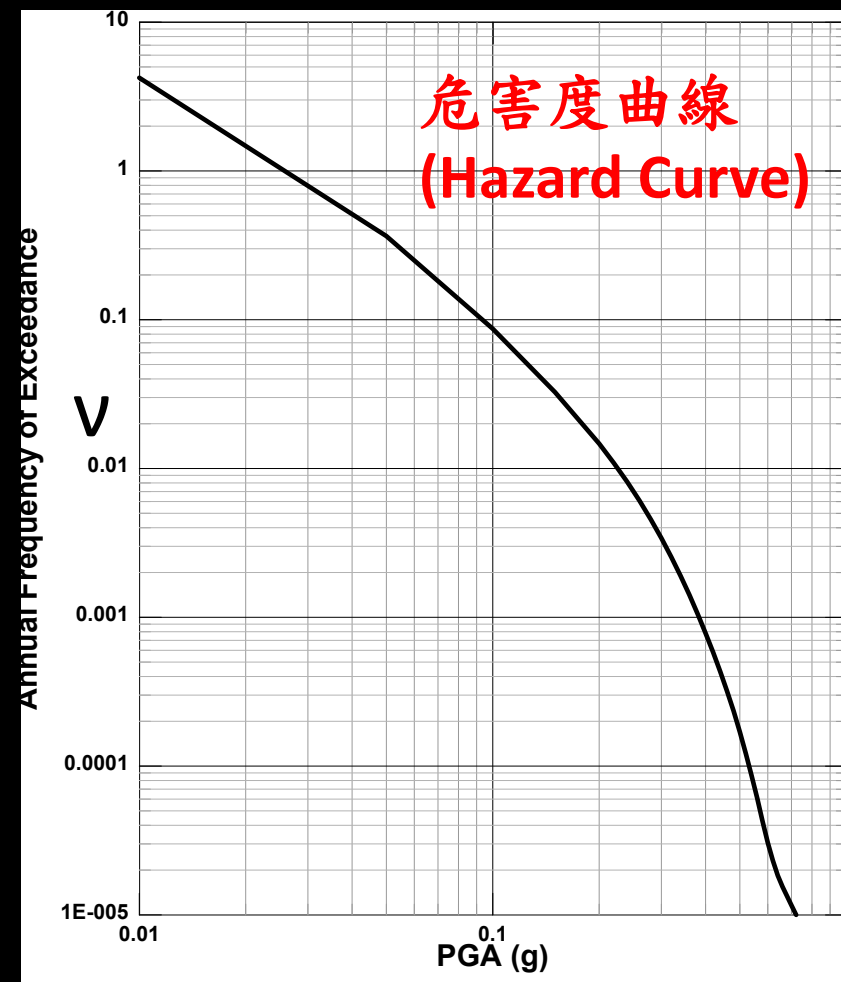
- 1.本圖所參考之鑽井及分析資料來源，包含中央地質調查所工程地質探勘資料庫以及內政部安家固園計畫地質調查成果。
- 2.土壤液化潛勢分析係依據內政部建築物耐震設計規範(2011)及建築物基礎構造設計規範(2001)規定，以各地區設計地震水平地表加速度係數進行分析。

機率式土壤液化危害度評估

- 機率式 $FS_L = CRR(\text{強度不確定性}) / CSR(\text{地震力不確定性})$
- 地震危害度分析

機率法(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)

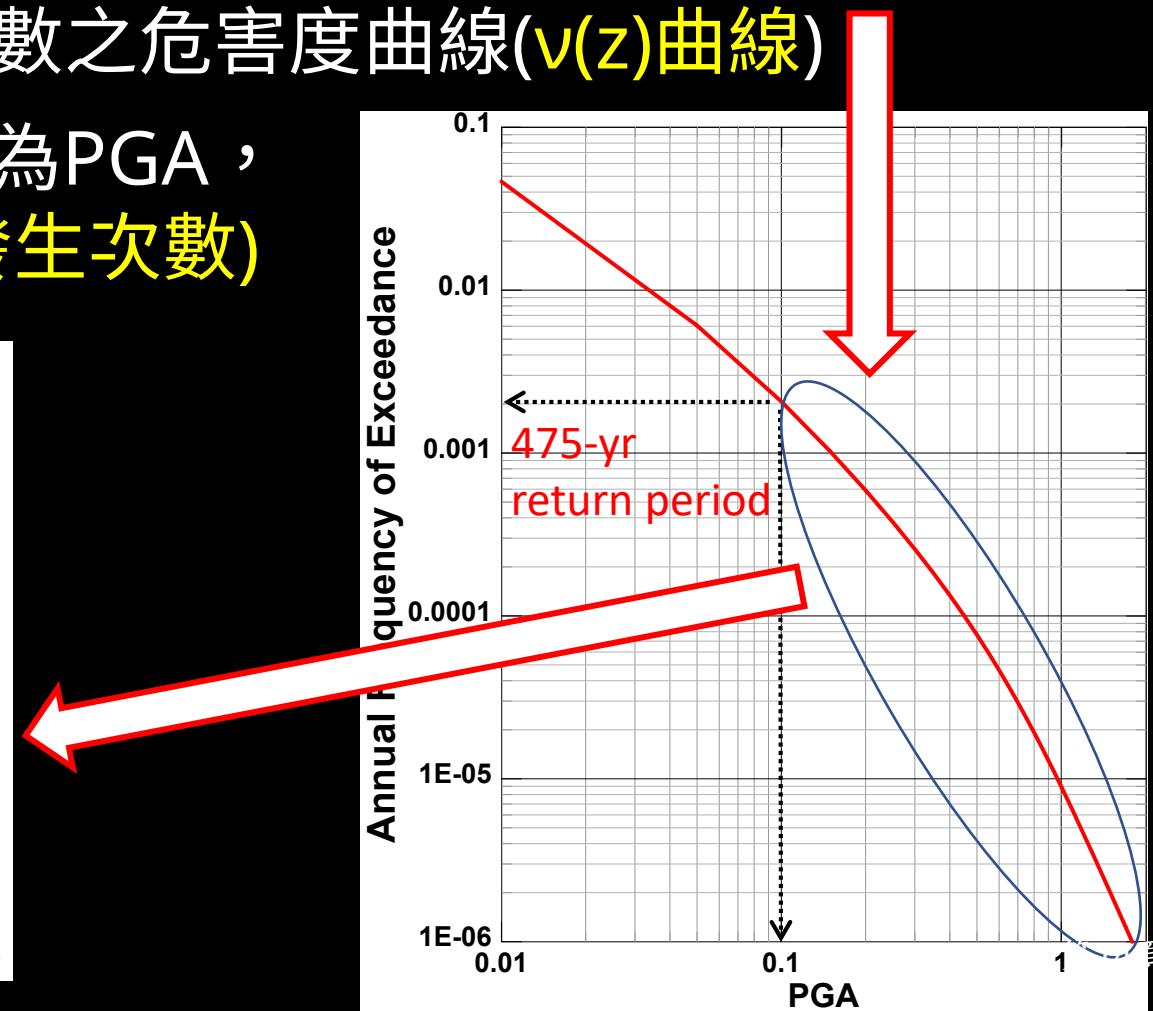
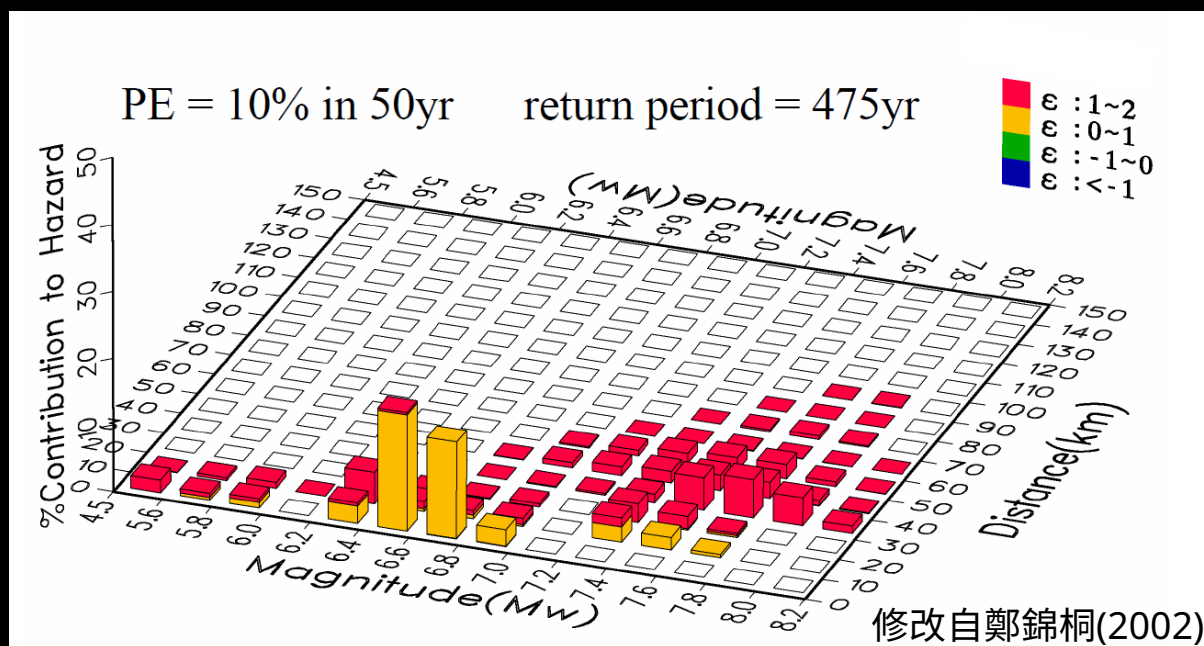
- ① 利用既有地震與地質資料，以統計方法或機率方法推求場址結構物遭受超過各程度強地動值(z)的年發生頻率 $\nu(z)$ ， $1/\nu$ 為再現週期(return period, RP)
- ② 利用卜桑過程(Poisson process)，將再現週期與結構物使用年限中遭受強地動機率連結，提供分析者依結構物之重要性與經濟性選取設計值



機率式土壤液化危害度評估

➤ 危害度曲線

- ① 針對特定參數(PGA 或 FS_L)，將所有發生 $PGA > z$ 或 $FS_L < z$ 案例之年發生頻率相加，最終完成該參數之危害度曲線($v(z)$ 曲線)
- ② 以PGA危害度曲線為例，水平軸為PGA，垂直軸為年超越頻率(or年平均發生次數)



機率式土壤液化危害度評估

➤ 卜桑過程

描述事件在某特定時段之平均發生率，如自然災害發生次數。P(n|T) 表示在時間區間 T 中發生 n 次事件的機率 (n 為整數，v 為年平均發生次數)

$$P(n | T) = \frac{\exp(-vT) (vT)^n}{n!}$$

出處:

http://140.116.77.14/mate/lab2/Course/962sta/ch8_1.pdf

➤ 超越機率

危害度分析關心任何1次事件在T區間內發生，可看成全部機率(100%)減去沒有任何事件發生機率

$$P(n \geq 1 | T) = 1 - P(n = 0 | T) = 1 - \exp(-vT)$$

以475 年再現週期為例，即結構物50年使用期中有10%超越機率(表示有10%機率至少有1次地震地動值超過z)：

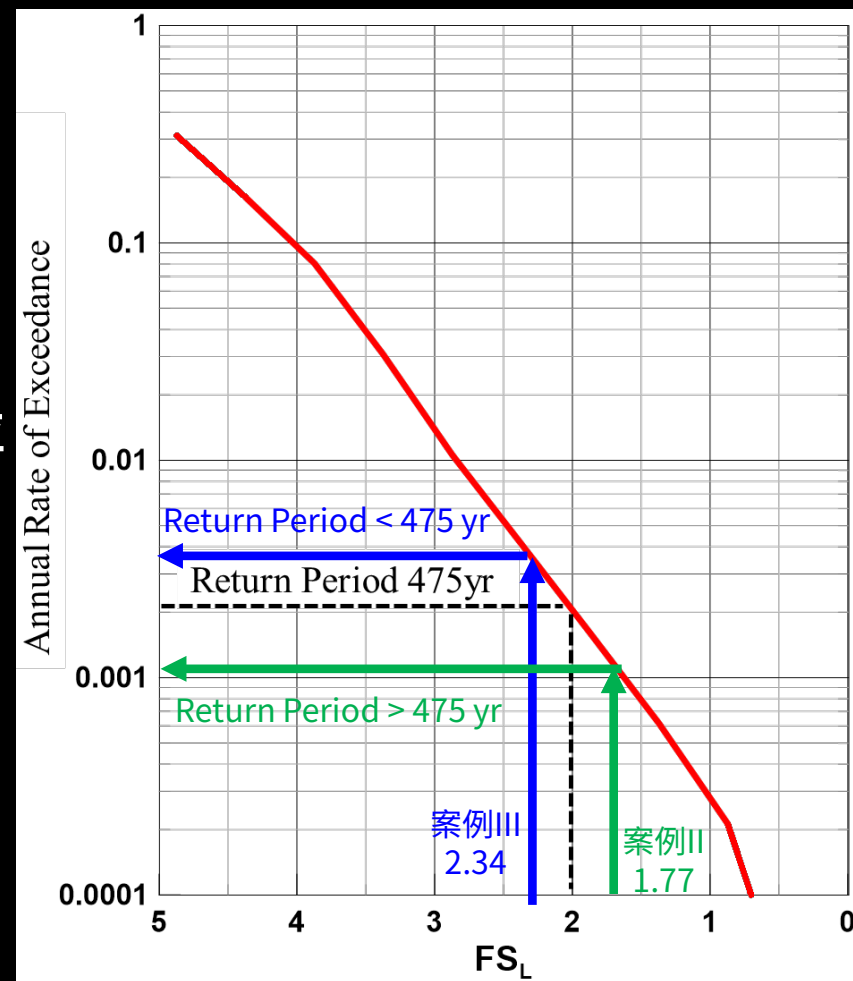
$$10\% = 1.0 - e^{-v \times 50} \quad v = 0.002107, \quad 1/v = 475 \text{年}$$

機率式土壤液化

案例	PGA	M_w	MSF	$CRR_{Mw=7.5}$	$CSR_{Mw=7.5}$	FS_L
I	0.10	7.5	1.00	0.234	0.117	2.00
II	0.09	8.5	0.80	0.234	0.132	1.77
III	0.11	6.5	1.29	0.234	0.100	2.34

➤ 液化危害度曲線

- ① 液化分析之地震力參數與土壤抗液化強度，均以機率方式納入分析，完成 FS_L 或液化災害危害度曲線
- ② FS_L 危害度曲線是將所有 $FS_L < z$ 案例之年發生頻率相加，並非地震力年發生頻率相加
- ③ 以HBF為例，如**案例I**地震力(PGA與 M_w)為再現週期475年(RP 475年)參數，以目前評估方式，案例I之 FS_L 即為再現週期475年
- ④ **案例II**地震力RP<475年→ FS_L 之RP<475年
- ⑤ **案例III**地震力RP>475年→ FS_L 之RP>475年
- ⑥ 圖中顯示定值式分析可能低估或高估 FS_L 發生率



機率式土壤液化危害度評估

➤ 液化危害度曲線

- ⑦ 目前台灣常用簡易液化評估法，並未提供評估土壤強度(CRR)變異性之參數(標準偏差值)

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}}$$

$$= \exp \left\{ \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right]^2 - \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right]^3 + \left[\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right]^4 - 2.67 + \varepsilon_{\ln(R)} \right\}$$

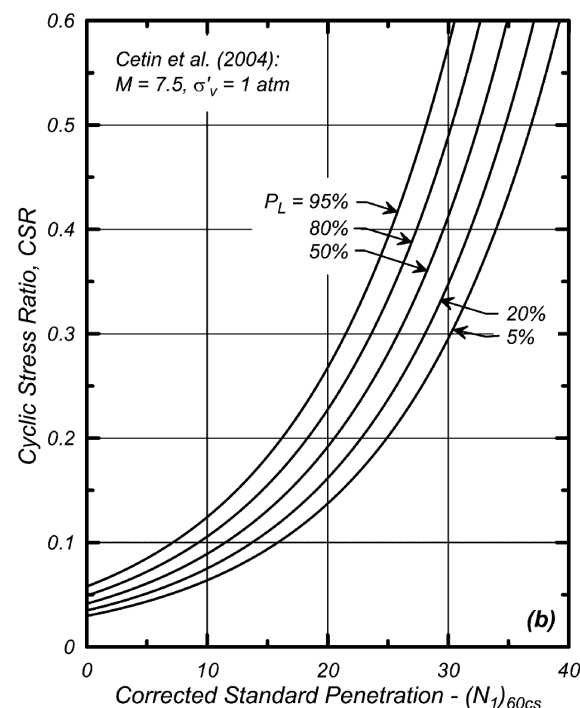
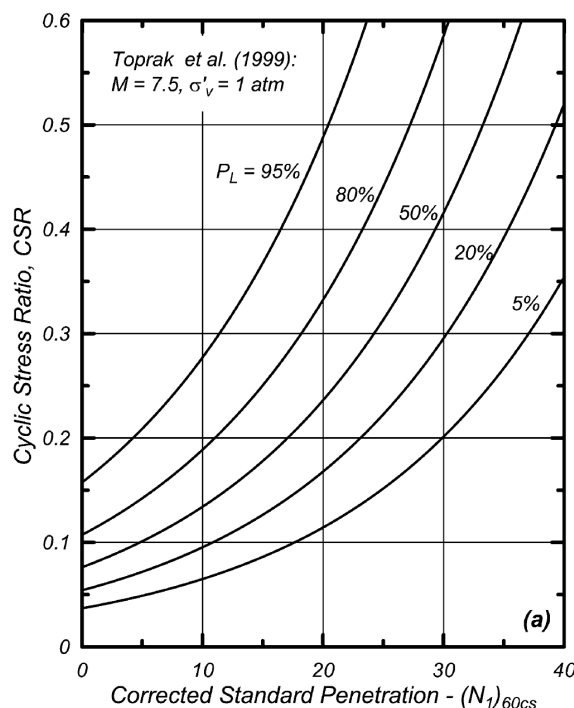


Fig. 1. SPT-based probabilistic correlations for the CRR of sands for $M = 7.5$ and $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$: (a) Toprak et al. (1999); (b) Cetin et al. (2004)

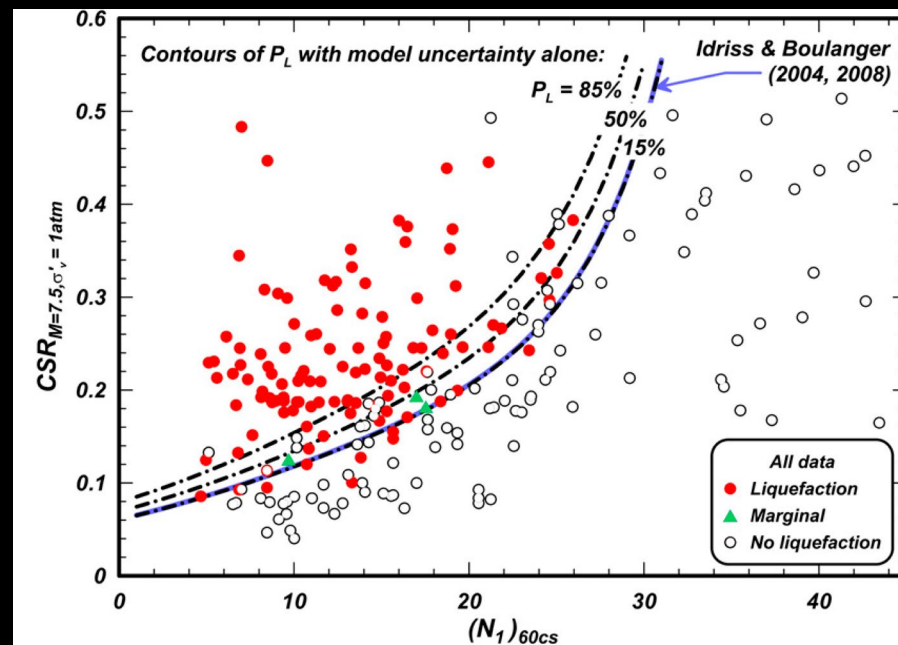


Fig. 6. Curves of $CRR_{M=7.5, \sigma'_v=1 \text{ atm}}$ versus $(N_1)_{60cs}$ for probabilities of liquefaction of 15, 50, and 85%

(Boulanger and Idriss 2012)

機率式土壤液化危害度評估

1. 震源與參數評估

評估可能影響場址的震源與分所需參數

- 活動斷層/區域震源/隱沒帶
- 地震目錄分析/震源幾何形貌/滑移速率

2. 地動預估式

評估當地震發生後，場址所在位置的地動值

- 以 V_{s30} 考慮場址特性
- 地殼地震與隱沒帶地震不同

$$CSR_{7.5} = CSR/MSF$$

3. 地震動強度參數($CSR_{7.5}$)

考慮震源的位置與場址的相對位置，並計算其活動特性，以地動預估式評估可能的地動值(地震力參數PGA值)，搭配地震規模，計算土層遭受地震力作用時之 $CSR_{7.5}$

4. 地層抗液化強度參數($CRR_{7.5}$)

配合各土層 $(N_1)_{60}$ ，考量CRR之變異性後，計算土層之 $CRR_{7.5}$

5. 地層抗液化安全係數(FS_L)與液化災害評估

計算土層抗液化安全係數 $(FS_L) = CRR/CSR = CRR_{7.5}/CSR_{7.5}$ ，並計算液化災害程度

6. 危害度曲線計算

將不同評估法與地下水位納入分析，計算液化潛能指數的年超越機率，繪製危害度曲線。

7. 成果應用

機率式土壤液化危害度評估

➤ 台灣PLHA使用現況

- ① 工程實務上仍採用定值式分析
- ② 因PLHA需專業分析程式進行計算，但工程師無法取得該分析程式，實務上無法廣泛使用PLHA

➤ 台灣目前液化分析遭遇之困難

- ① 無法針對特定災害發生之超越機率進行評估(例如發生嚴重液化($P_L > 15$)機率，影響後續風險評估成果之代表性)
- ② 如何選用適當地下水位(目前採用平均水位+1個標準差?)
- ③ 如何整合不同簡易液化評估法成果(只採用HBF?)

機率式土壤液化危害度評估

➤ 台灣PLHA使用現況

① 工程實務上仍採用定值式分析

② 因PLHA需專業分析程式進行計算，但工程師無法取得該分析程式，

缺乏一套簡易且適合台灣使用的PLHA分析程式!!!

① 無法針對特定災害發生之超越機率進行評估(例如發生嚴重液化($P_L > 15$)機率，影響後續風險評估成果之代表性)

② 如何選用適當地下水位(目前採用平均水位+1個標準差?)

③ 如何整合不同簡易液化評估法成果(只採用HBF?)

機率式土壤液化危害度評估

➤ PLHA分析模組(HAZ45PL Module)

- ① 中興大學與中興社共同開發，由HAZ45PL與Python後處理平台組成
- ② HAZ45PL由HAZ45改寫，提供五種台灣常用簡易液化評估法(HBF, NCEER, JRA96, T-Y, AIJ法)的 $PGA_{Mw=7.5}$ 危害度曲線，Python後處理平台使用該危害度曲線，建構 P_L 與不同液化災害之危害度曲線
- ③ 協助台灣世曦(彰化)、中興公司(高雄)、兆豐公司(苗栗)進行分析

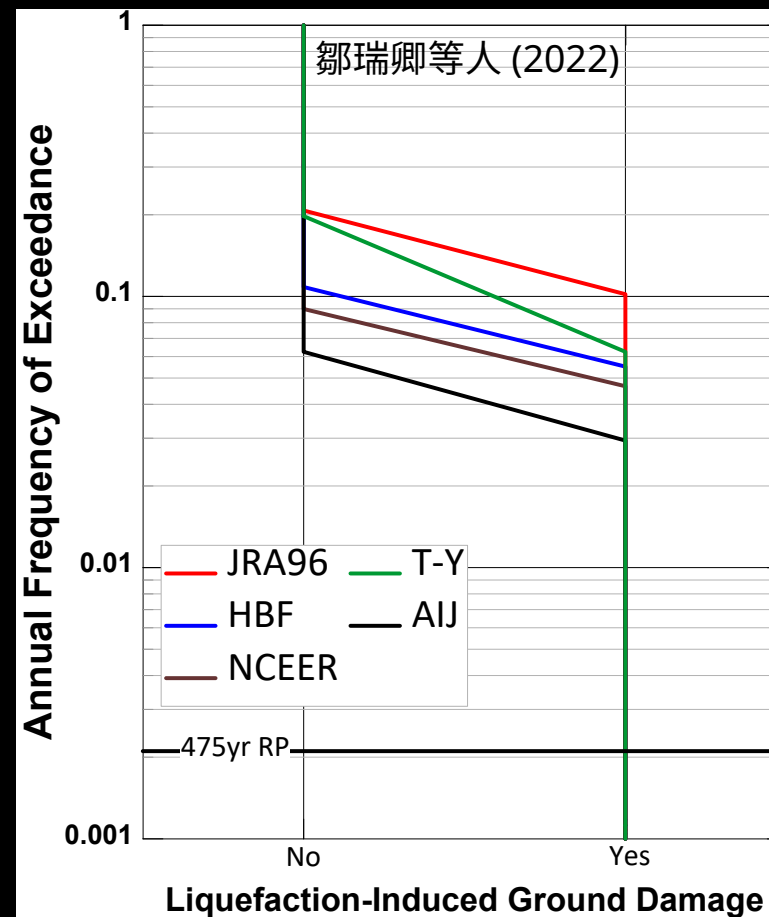
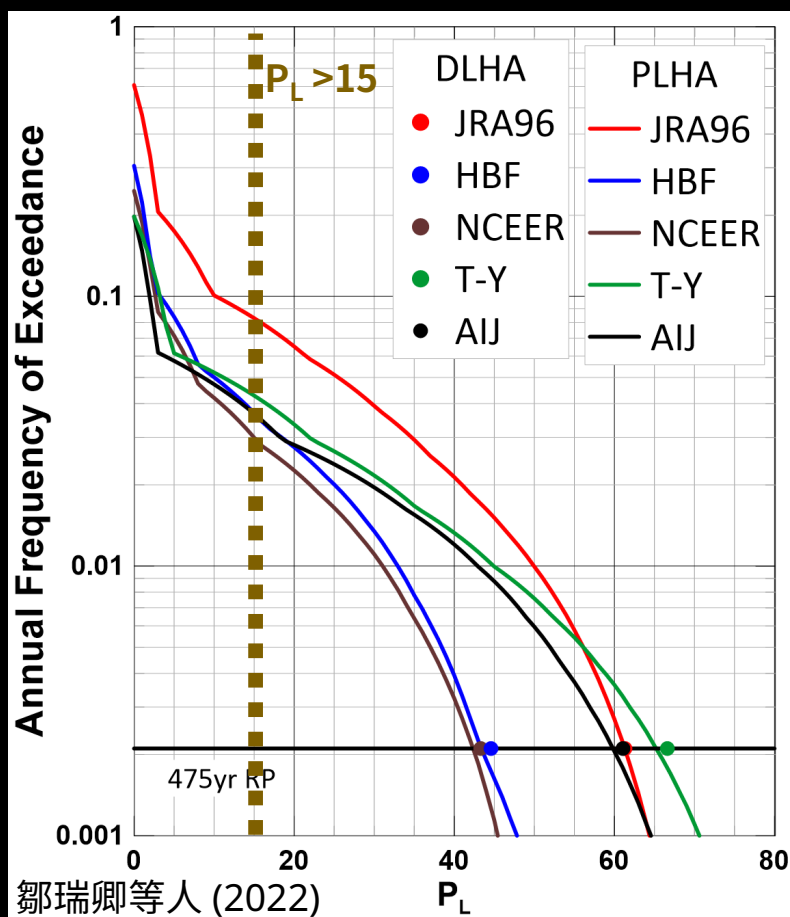
1. 鄒瑞卿、李昱濤、謝寶珊、林柏伸、顏銀桐, “機率式淺基礎結構物液化沉陷量分析,” 地工技術, no. 180, 06 2024.
2. Jui-Ching Chou, Pao-Shan Hsieh, Po-Shen Lin, Yin-Tung Yen, Yu-Ling Liu, and Ya-Zhi Hsu, “PROBABILISTIC LIQUEFACTION-INDUCED DAMAGE EVALUATION - HAZ45PL MODULE,” Journal of GeoEngineering, vol. 19, no. 2, pp. 59-64, doi.http://dx.doi.org/10.6310/jog.20240, 06 2024.
3. 鄒瑞卿、謝寶珊、林柏伸、顏銀桐、劉育伶、許雅孜, “機率式液化危害度分析模組之介紹與應用,” 技師期刊, 98, pp. 54-62, 09 2022.

PLHA應用

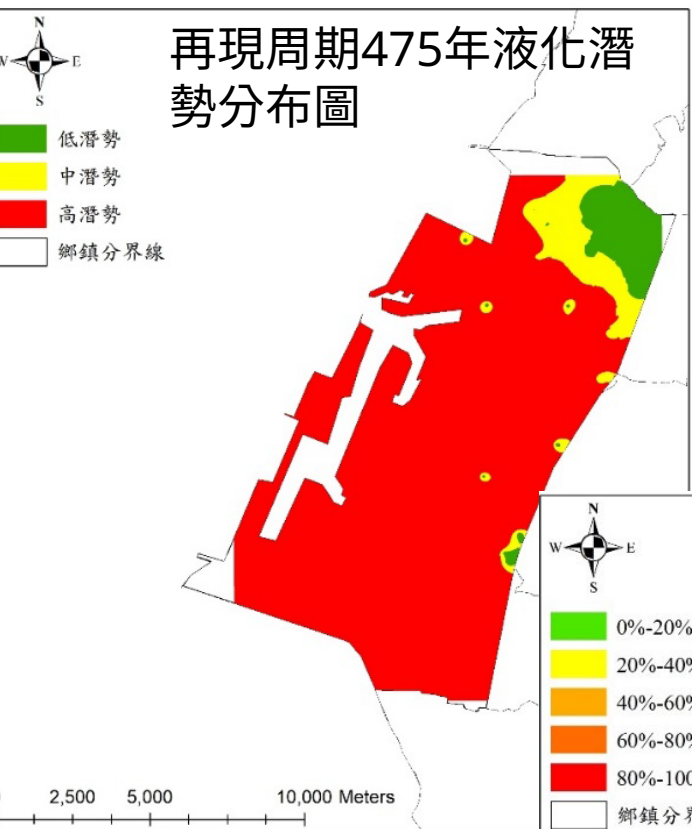
- 目前HAZ45PL Module可提供之分析項目
 - ① 搭配**液化潛能指數(P_L)**建構 **P_L 危害度曲線**
 - ② 搭配相對厚度法建構**是否發生液化災害**危害度曲線
 - ③ 搭配簡易淺基礎液化沉陷量公式(Bertalot et al., 2013; Lu, 2017)，建構**淺基礎結構物液化沉陷量**危害度曲線
 - ④ 搭配地下結構物上浮評估公式(Koseki et al., 1997; Sasaki and Tamura, 2004; Tobita et al., 2011)，建構**結構物上浮**危害度曲線
 - ⑤ 簡易數值分析法搭配液化折減係數(Chou et al., 2023)，建構**場址相依淺基礎結構物液化沉陷量**危害度曲線
 - ⑥ **地下水位變異性** – 以長期水位搭配鑽孔短期水位，評估水位變異性參數，以**邏輯樹(logic tree)**將水位變異性納入評估

PLHA應用

- HAZ45PL Module產出之 P_L 與是否發生液化災害危害度曲線

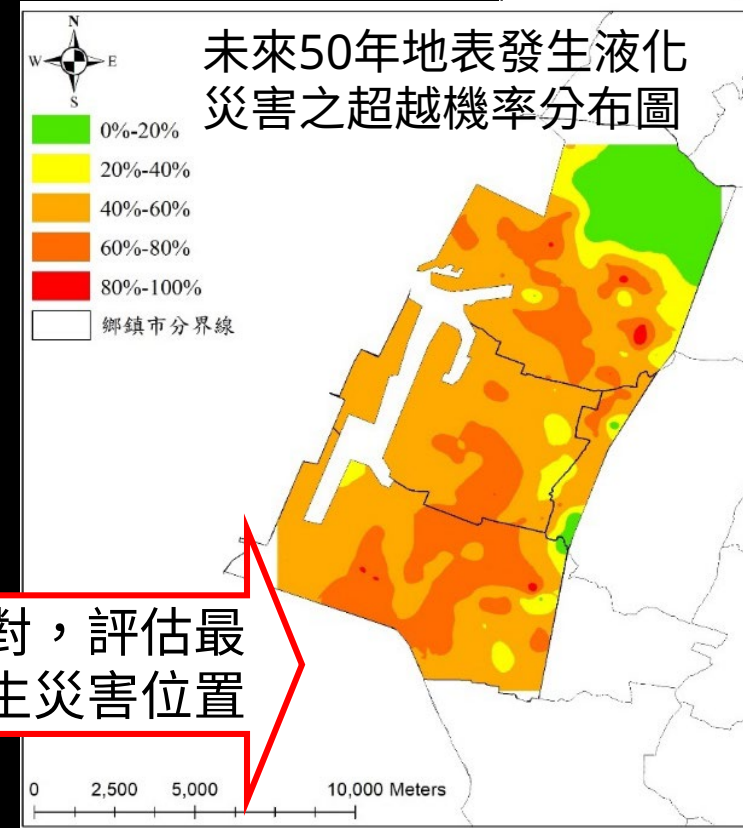
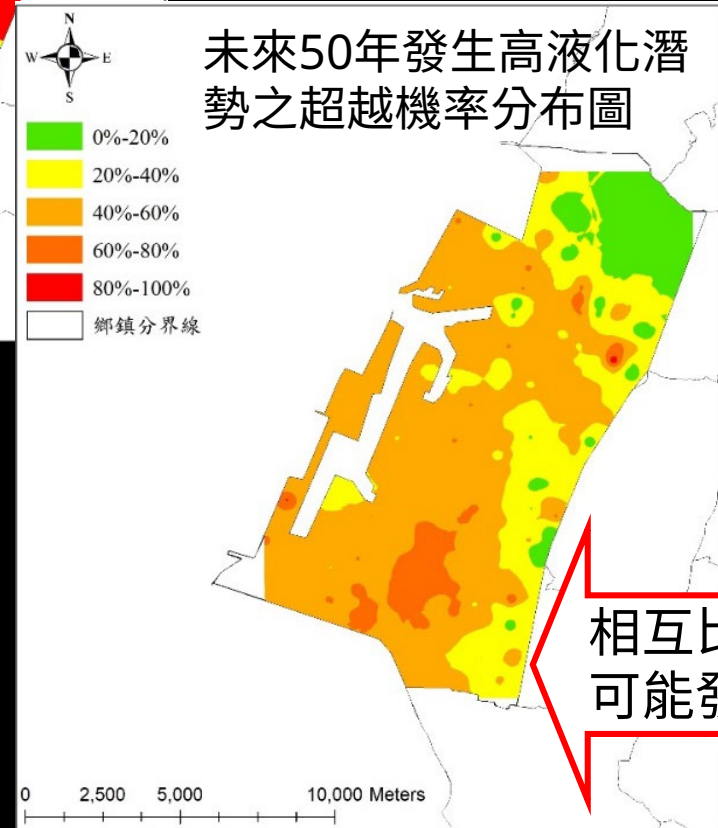
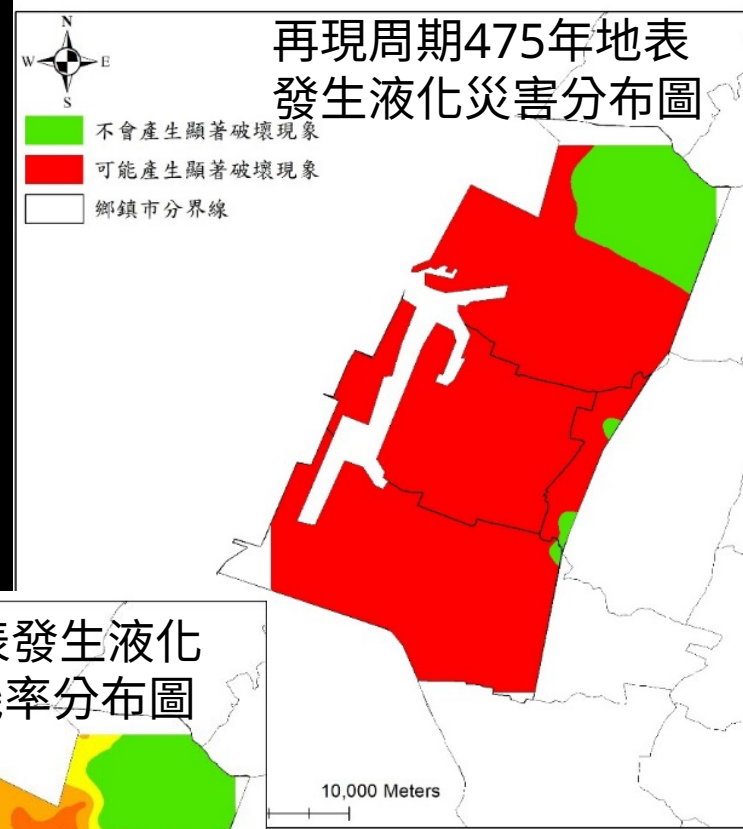


➤ 液化災害機率分布圖



利用PLHA之危害度曲線搭配前述卜桑過程，計算不同期限內發生災害之機率

$$P(n \geq 1 | T) = 1 - \exp(-\nu T)$$



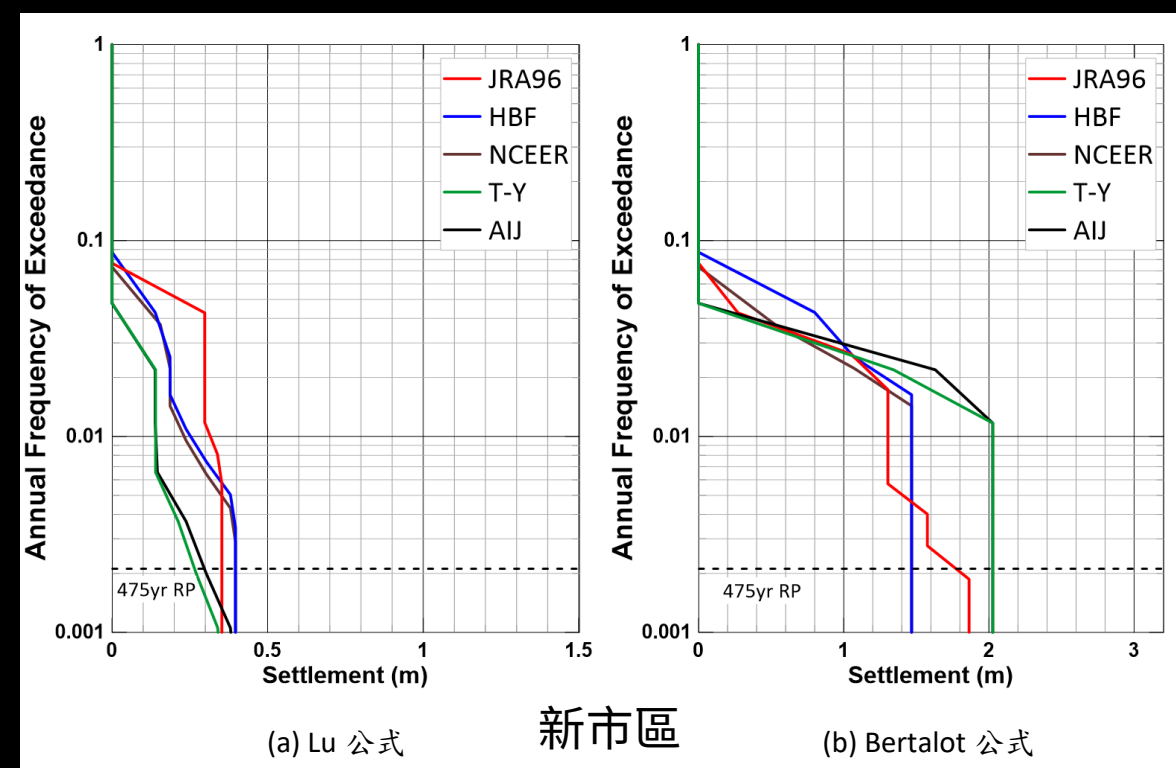
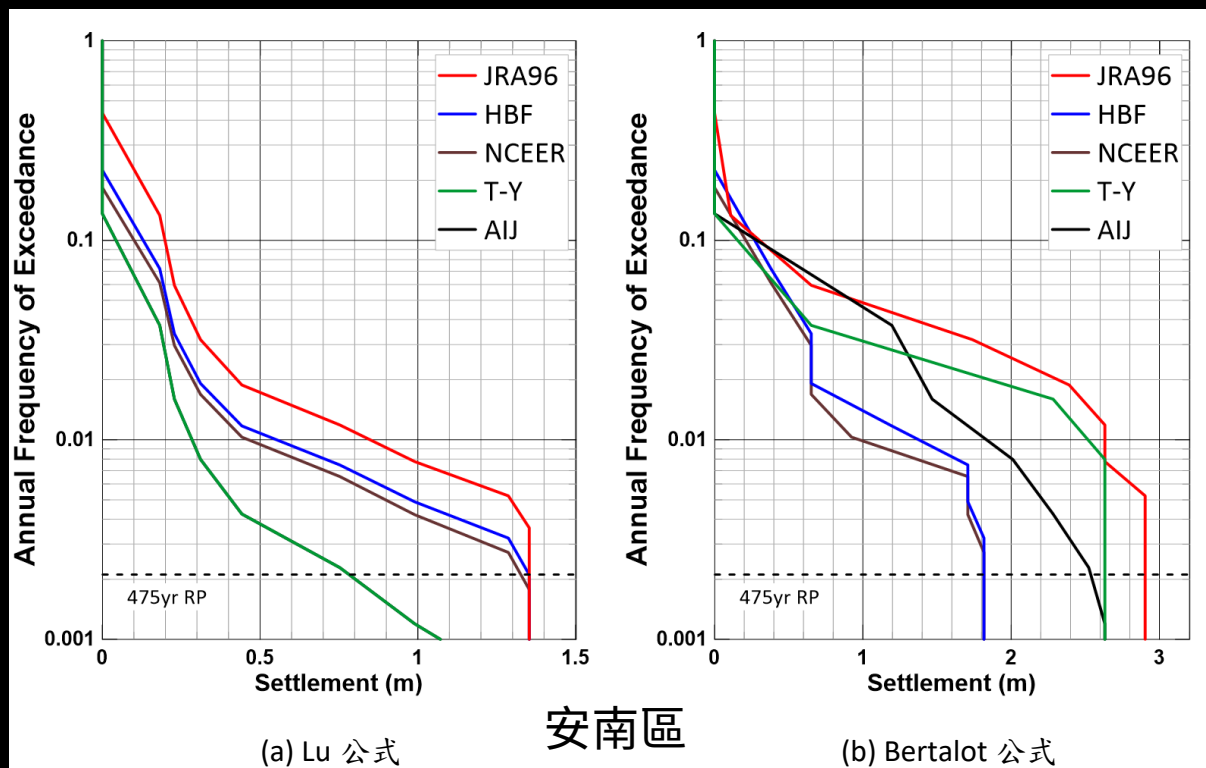
相互比對，評估最可能發生災害位置

➤ 液化沉陷量 – 簡易公式法

以美濃地震台南市安南區與新市區淺基礎液化沉陷案例為範例

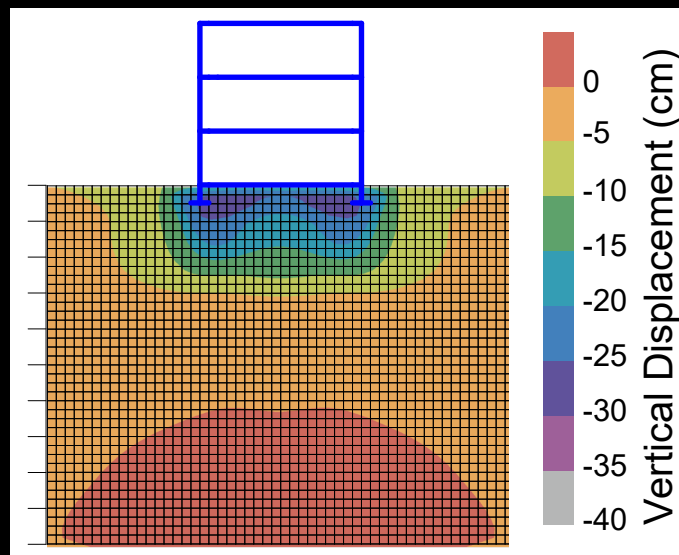
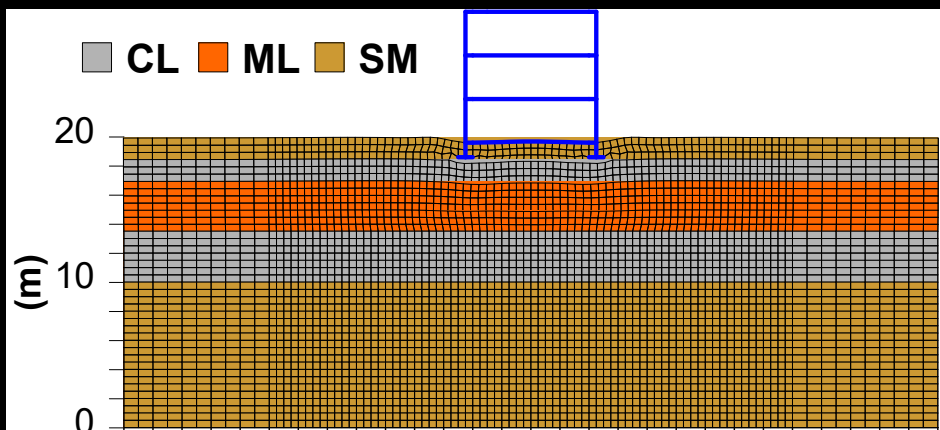
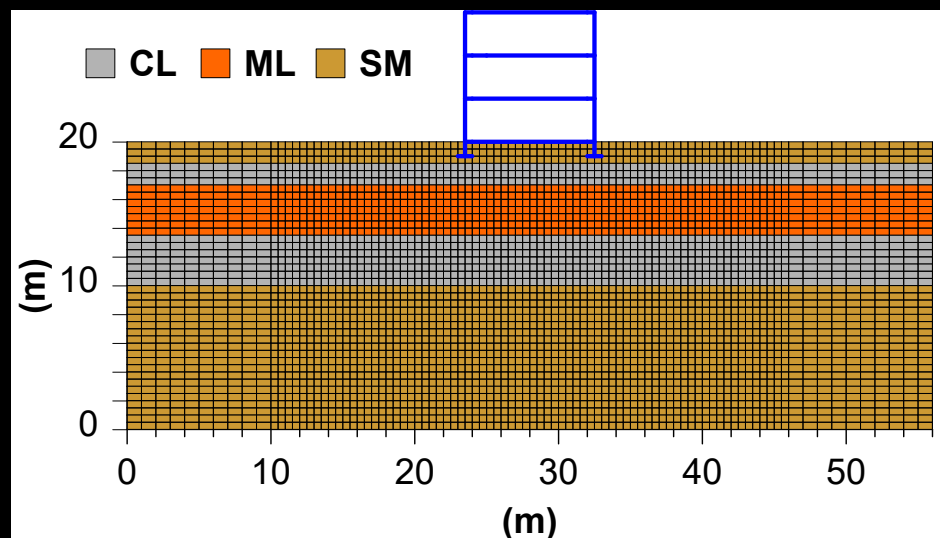
案例	安南區	新市區
再現周期475年液化沉陷量(m) (Lu公式)	0.59	0.67
未來50年發生超過容許沉陷量(10cm)之超越機率 (Lu公式)	99%	91%
再現周期475年液化沉陷量(m) (Bertalot公式)	1.94	1.58
未來50年發生超過容許沉陷量(10cm)之超越機率(Bertalot公式)	99%	98%

可搭配經驗公式計算
沉陷造成之角變量危
害度曲線!

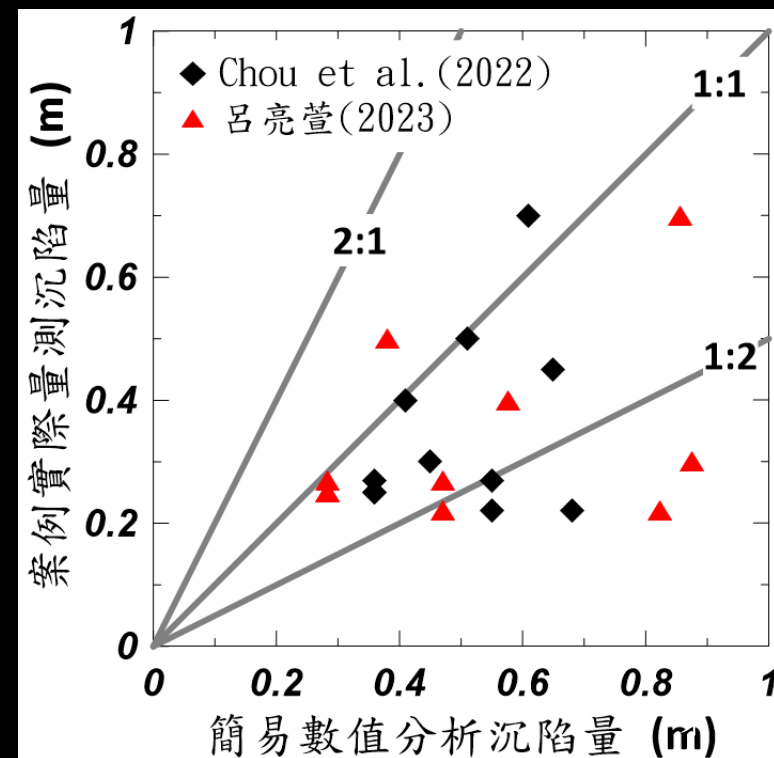


- 液化沉陷量 – 簡易數值分析法搭配液化折減係數(D_E)
- ① 可依場址地層分層建構數值模型，以折減土壤強度與勁度方式，模擬液化時土壤強度與勁度降低現象，Chou et al.(2023)與呂亮萱(2023)採用美濃地震沉陷案例評估適用性，簡易數值分析可提供**偏保守之場址沉陷量**

- ② 若將上述簡易數值分析搭配HAZ45PL Module計算之**DE危害度曲線**，則可進行場址相依機率式液化沉陷量分析

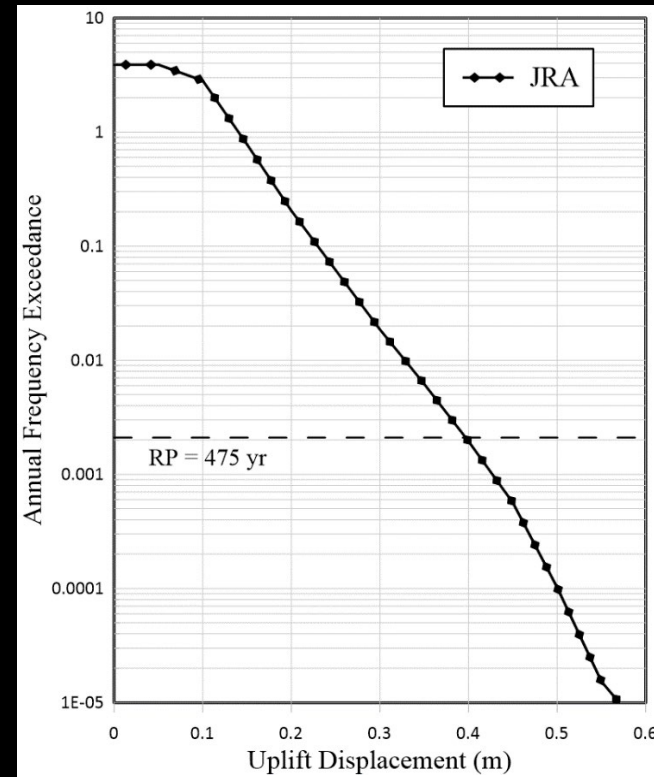


Chou et al. (2023)

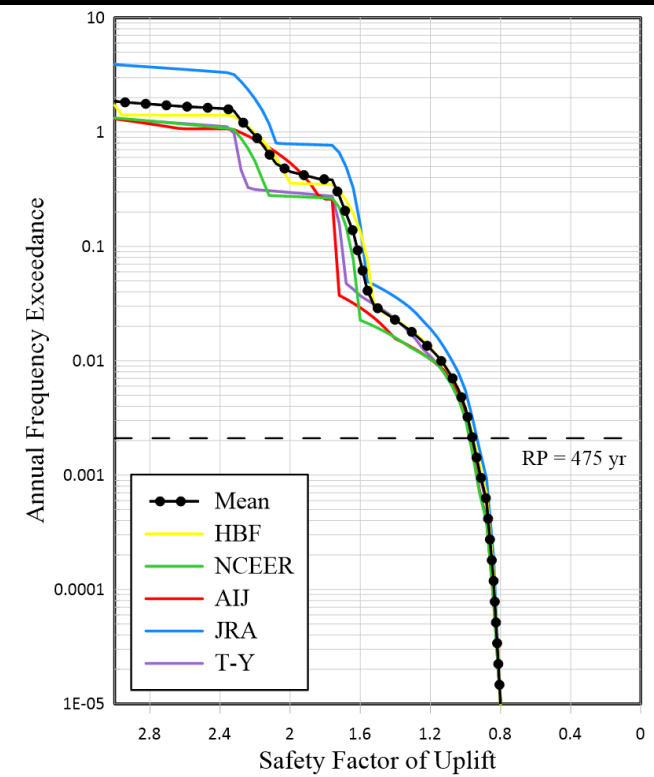


- 地下結構物上浮 – 簡易公式法
- 以高雄市地層資料，假設管徑2公尺之地下管線進行分析
- (1)使用Sasaki and Tamura(2004)公式計算上浮量(圖(a))
- (2)使用Koseki et al.(1997)公式計算上浮安全係數(圖(b))

再現周期475年上浮安全係數 – HBF法	0.94
未來50年發生上浮安全係數<1之超越機率	22%
再現周期475年上浮量	0.4 m



(a) 上浮量



(b) 上浮安全係數

PLHA應用

液化災害機率分布圖提供發生災害之機率，依據該機率資料：

工程師	---	決定新建物設計或舊建物補強之先後順序
政府機關	---	規劃應變計畫或救援計畫
產險公司	---	制定合理之保險費率
一般民眾	---	了解住家發生災害可能性

PLHA後續研究

- ① 繪製液化分析使用之 $PGA_{MW=7.5}$ 分布圖
- ② HAZ45PL Module擴充 – 自由場液化沉陷量機率式分析
- ③ HAZ45PL Module擴充 – 河岸側潰位移量機率式分析
- ④ HAZ45PL Module擴充 – 土壤CRR不確定性納入模組

謝謝聆聽

敬請指教