



2008年結構與地震工程研討會

計算機在結構與地震工程 之應用發展

林聰悟

台灣大學土木系名譽教授
林同棧工程顧問股份有限公司高級顧問

計算機在結構與地震工程之應用發展

- 1. 結構靜力分析 - 地震係數法
- 2. 結構動力分析 - 反應歷時分析
- 3. 隨機振動分析 - 地震反應譜法
- 4. 土壤結構互制動力分析 - 震譜按地質情況分類
- 5. 地震危害度分析 - 地震微分區與近斷層效應
- 6. 整體地震之模擬 - 救災體系與維生線之建立

1. 結構靜力分析 – 地震係數法

1.1 前電腦時代之結構分析與設計

- 作圖法 – 桁架結構之平衡力圖
連續梁之作圖法直接繪出彎矩圖
- 彎矩分配法 – 類似於勁度法所建立之方程式
用GAUSS-SEIDEL反覆試算法
求解大型矩陣(結構)

1.2 後電腦時代之結構分析與設計

- 勁度矩陣法
- 柔度矩陣法
- 混合矩陣法
- 傳接矩陣法

勁度矩陣法以變位為未知數較易以力的平衡條件建立聯立方程式而成為主流進而演變出非常好用的有限元素法

1.3 偏微分方程之數值方法

- 有限差分法
- 有限元素法
- 邊界元素法
- 無元素法(無網格法)

1.4 電腦分析的瓶頸與解決之道

1.4.1 記憶容量之限制

- 結構分段解析法
- 矩陣機外儲存之解法
- 帶狀矩陣或稀疏矩陣之考慮
- 分塊(子)矩陣之解法

1.4.2 運算速度之限制

- 平行運算法 - 多處理器或多台電腦
- 一般情況會兼具記憶容量之限制
- 故需配合上述相關做法考慮平行運算

1.5 非線性分析

1.5.1 材料非線性分析

- 配合各種材料之應力-應變(力-變位)關係
之各種數值運算法則
- 彈塑性分析 - 降伏面
- Bouc-Wen法 - 單自由度之動力分析
SAP2000(二維)
+降伏面(多維)
- 非聯體 - 破壞力學 - 裂縫傳播
- 分離個體 - 接觸面之行為
大變位

1.5.1 材料非線性分析

- 非線性材料之組成律主要以試驗取得
- 構件之行為(組成律)可由試驗取得
或以上述方法分析取得或驗證

1.5.2 幾何非線性分析

- 若不考慮如上述之其他非線性因素，
則只要最後的結果(力或變位)
是根據最後的幾何位置(變形後)
即會得到正確結果

2. 結構動力分析 – 反應歷時分析

- 結構動力分析之受到重視並考慮於結構地震設計中主要是拜電腦之賜
- 因此後電腦初期之大學甚至研究所都少有結構動力分析之課程
- 彈性反應譜
- 塑性反應譜

3. 隨機振動分析 – 地震反應譜法

- 反應譜相容之地震歷時
- 功率密度頻譜
- 地震紀錄之收集分析與應用
- 震區之劃分與震度大小
- 震度與地震規模及距離之關係

4. 土壤結構互制動力分析

4.1 動力分析二類方法

4.1.1 波傳法

- 壓力波 剪力波（水平，垂直）
- 波在均勻介質走直線
- 在介質改變的介面會反射及折射
 - 全反射如鏡子或在水中入射角太大）（對光波）
 - 全折射（同樣的介質之假設介面）
- 反射或折射會產生不同波種（壓力波剪力波）
- 入射點與接收點間只有有限的波傳路徑
 - 根據每一路徑計算到達時間及波形變化
- 介質變化層次愈多，距離愈遠波傳路徑愈多

4.1.2 振動法

- 振態之疊加
- 富利葉轉換
- 半(無限)空間
- 層狀土壤半空間

4.1.3 有限元素法

無限邊界的問題

- 利用不反射邊界
- 利用邊界元素法

4.1.3 有限元素法

地震波引致之作用力問題

- 單支承(同步)輸入震波 - $[M] \{H\} a_{\text{ground}}$,
($\langle H \rangle = \langle 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ \dots \rangle$)
- 多支承(不同步)輸入震波
擬靜態反應 - $[M] [d] \{a_g\}$, ($[d]$:影響線)
由輔助結構導出之直接作用力(1981)
DRM (Domain Reduction Method)(1984, 2003)

4.1.3 有限元素法

元素尺寸的問題

- 波長之 $1/10$
- 波速固定, 頻率加倍波長減半
- 元素(結點, 未知數)數目8倍
- 矩陣元素個數32倍(64倍)
- 直接求解時間128倍((512倍))

4.1.4 土壤結構互制動力分析

主要應用於核電廠等大型結構

- 由於核電廠之安全標準較高.
- 美國原子能委員會主導由台電配合先後
在花蓮與羅東建核電廠之1/4模型從事振動試驗
並廣徵與土壤結構互制動力分析有關之研究學者,
程式開發者與核電廠設計者各做二次預估:
- 第一次由試驗所得之土壤反應頻譜
盲目預估結構之反應頻譜
- 第二次公布試驗所得之結構反應頻譜
再次分析結構之反應頻譜

4.1.5 高鐵與捷運行車之振動分析 – 環境振動影響評估

- 地下隧道或地面軌道之情形
- 高架結構之情形

5. 地震危害度分析 - 地震微分區與近斷層效應

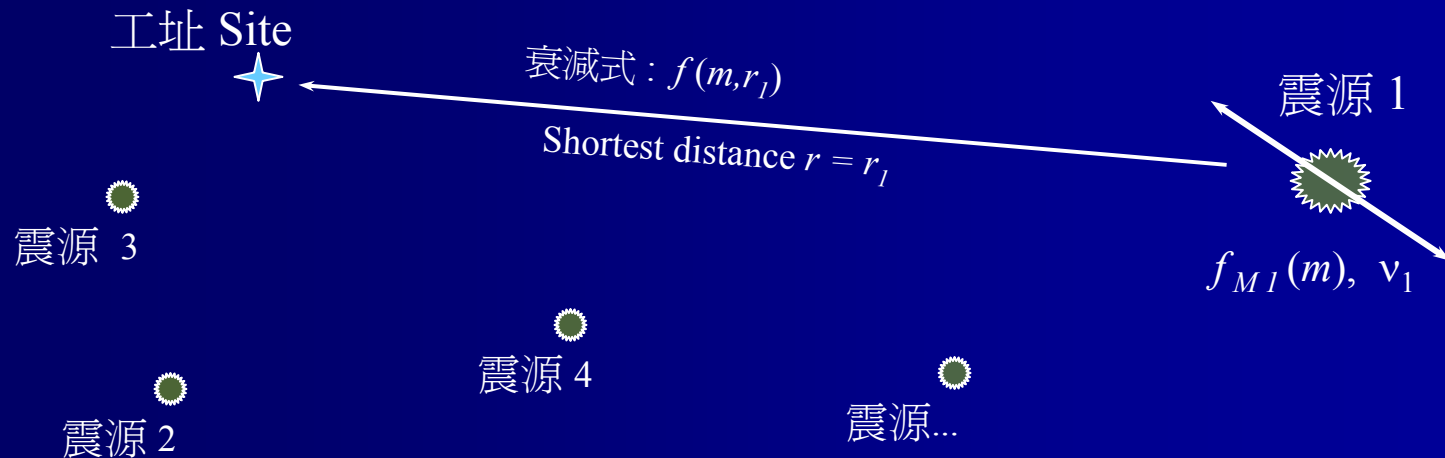
- 地震微分區（震度，頻譜）
- 情境模擬

6. 整體地震模擬 – 救災體系與維生線之建立

- 隨機模型
- 斷層之力學機制
- 多層尺度分析
- 大地之波傳行為與分析
- 局部地盤之動力分析
- 結構之動力分析

以下4張資料由國家地震工程研究中心
葉錦勳博士提供

Seismic hazard analysis



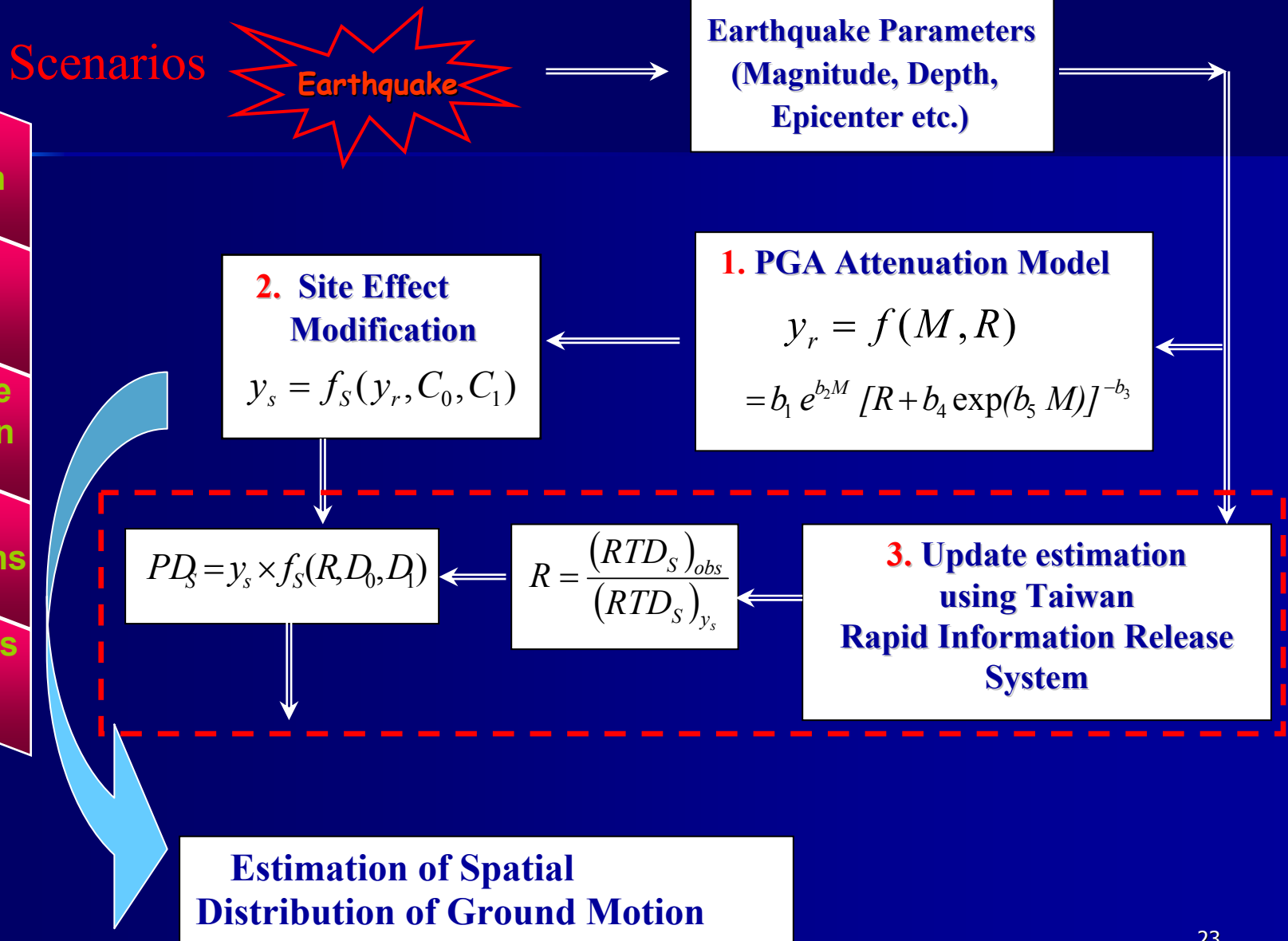
➤ Seismic Source

➤ Attenuation Model : $f(M, R)$

➤ Intensity: PGA, S_a ,

➤ SHA

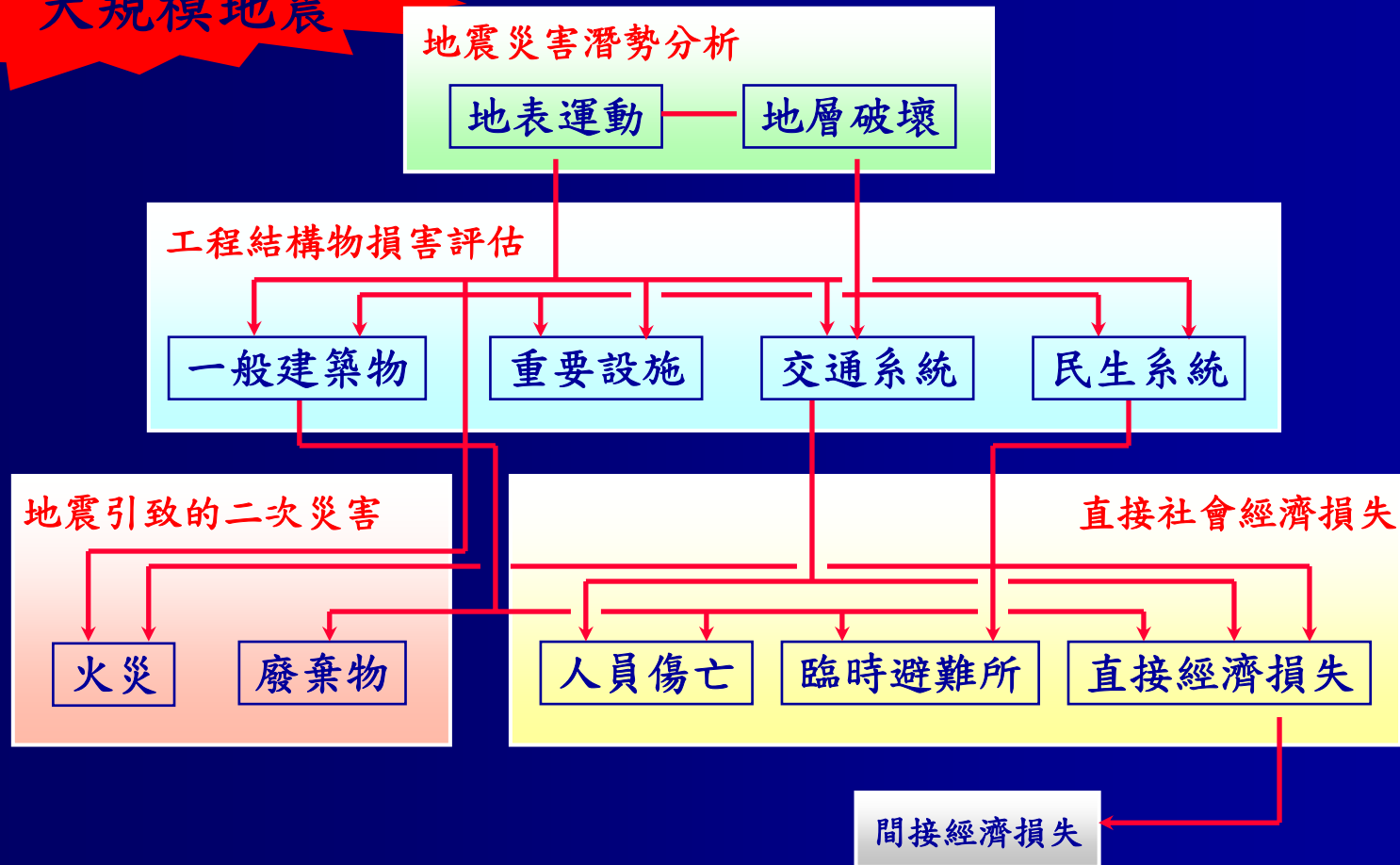
Estimation of Spatial Distribution of Ground Motion



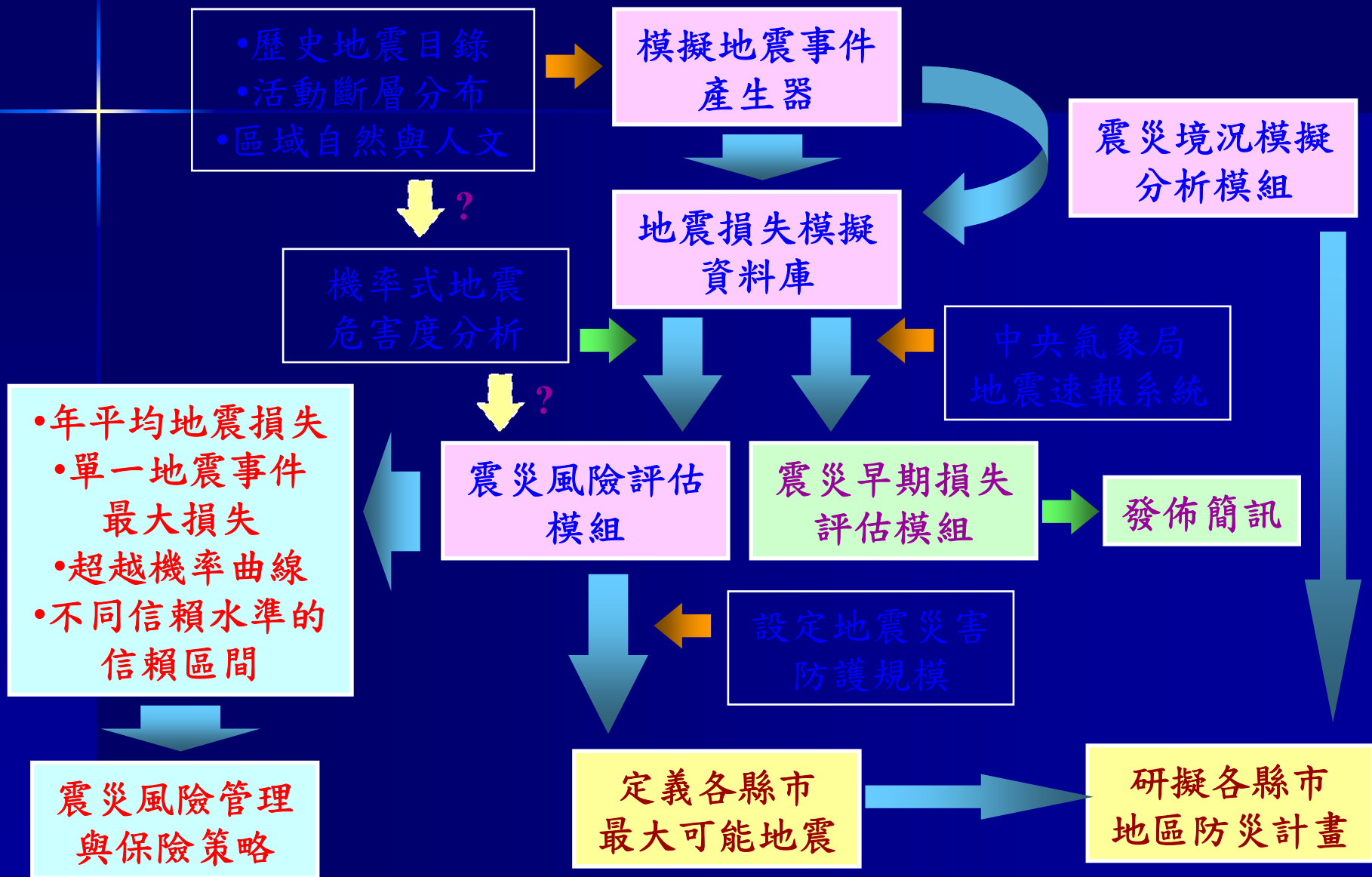
震災境況模擬技術一

資料庫建置、分析模式與參數校正、整合應用軟體研發

大規模地震



TELES的整體架構與應用



7. 結構疊加原理

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{f\} \quad (1)$$

$$[M_o]\{\ddot{y}_o\} + [C_o]\{\dot{y}_o\} + [K_o]\{y_o\} = \{f\} + \{\tilde{f}\} \quad (2)$$

$$[M]\{\ddot{y}_1\} + [C]\{\dot{y}_1\} + [K]\{y_1\} = \{f_1\} \quad (3)$$

$$\{f_1\} = -[M_1]\{\ddot{y}_o\} - [C_1]\{\dot{y}_o\} - [K_1]\{y_o\} - \{\tilde{f}\}$$

7.1 消除掉震源之地震力 $\{f\}$

$$\{y_1\} = \{y\} - \{y_o\}$$

$$[M_1] = [M] - [M_o]$$

$$[C_1] = [C] - [C_o]$$

$$[K_1] = [K] - [K_o]$$

式(1)中: $\{f\}$ 未知, $\{y\}$ 待求, 其餘皆已知

式(2)中: $\{f\}$ 未知, 其餘皆已知

式(3)中: $\{y_1\}$ 待求, 其餘皆已知

7.2 土壤結構受地震波動之分析

$$[M_o] = [M]$$

一般疊加原理 - 即
作用力的疊加

$$[C_o] = [C]$$

$$[K_o] = [K]$$

$$[M_1] = [C_1] = [K_1] = [0]$$

$$[M]\{\ddot{y}_1\} + [C]\{\dot{y}_1\} + [K]\{y_1\} = -\{\tilde{f}\}$$

7.3 由輔助結構導出之直接作用力

$\{y_{ao}\}, \{y_{bo}\}$ 等於零

$\{y_{co}\}, \{y_{do}\}$ 等於自由場運動

$\{\tilde{f}\} =$

$$\begin{Bmatrix} \tilde{f}_a \\ \tilde{f}_b \\ \tilde{f}_c \\ \tilde{f}_d \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ M_{bc} \\ M_{cc} \\ 0 \end{bmatrix} \{\ddot{y}_{co}\} + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{bc} \\ C_{cc} \\ 0 \end{bmatrix} \{\dot{y}_{co}\} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{bc} \\ K_{cc} \\ 0 \end{bmatrix} \{y_{co}\} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \tilde{f}_{co} \\ 0 \end{Bmatrix}$$

