

National Center for Research
on Earthquake Engineering

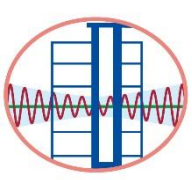
2018 台灣地震損失評估系統講習會

急救責任醫院 緊急供電系統耐震易損性研究

講者：林祺皓

2018/12/4

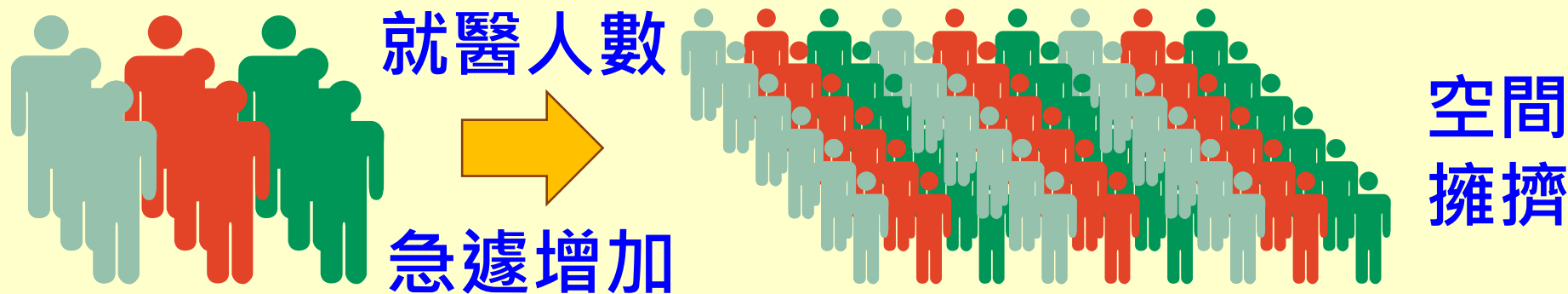




大綱

1. 研究背景與方法
2. 緊急供電設備易損性
3. 緊急供電系統易損性
4. 軟體開發與未來發展





醫院緊急醫療功能完好

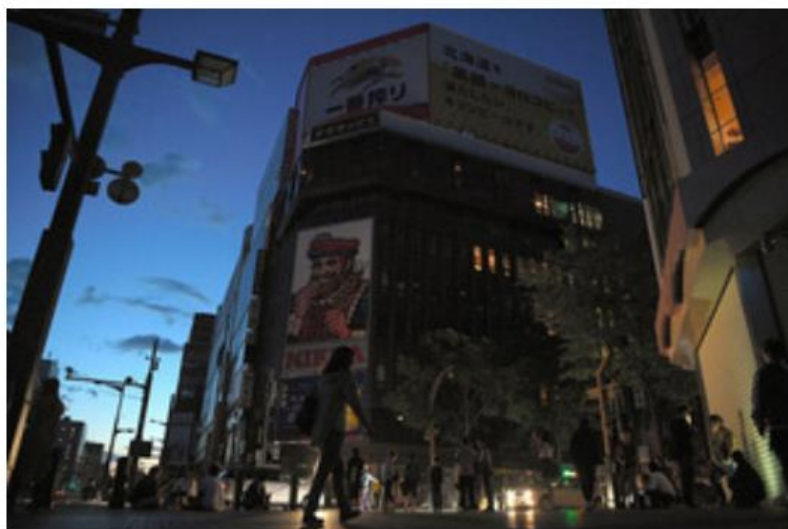
黃金救援時間
與時間賽跑



北海道の39病院で停電 9病院は水も使えず

2018年9月6日08時49分

緊急医療機能 下降/消失



地震で停電したすすきの中心部 = 2018年9月6日午前4時16分、札幌市中央区、白井伸洋撮影



厚生労働省 の6日午前6時半現在のま
とめによると、地震の影響で道内の39病院が停電し、非常用電源などで対応しているという。9病院で水が使えない。2病院では医療ガスが使えなくなっている。現時点で患者の緊急転院が必要な状況は生じていないという。

医療氣體無法使用

【災害INFO】地震が起きたときに役立つ情報など ➡

醫院耐震性能

醫院耐震性能可由以下三項評估

1. 醫院建築整體耐震性能
2. 醫院結構耐震性能
3. 醫院非結構耐震性能
 - (1) 建築裝修構件
 - (2) 機電設備
 - (3) 醫療設備

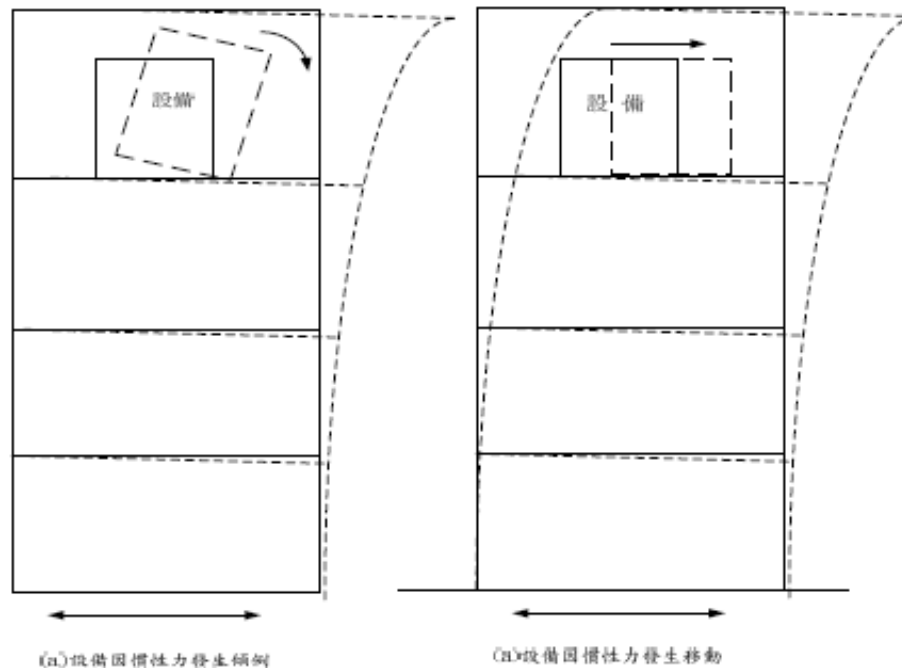
非結構構件損壞之定義

- 以往地震發生後，人們常著重於建築結構體的損壞情況，隨著建築技術的進步和法規的發展，建築物的結構耐震性能已經有明顯的提升，卻忽略了非結構損壞存在的威脅。
- 近幾年來國外研究學者對於非結構構件的耐震設計越來越重視。FEMA 74對於非結構構件損壞分為以下幾種：
 1. 生命安全
 2. 財產損失：a.花費巨大金錢 b.花費大量時間
 3. 機能損失

非結構構件損壞之來源(1/3)

■ 慣性力：

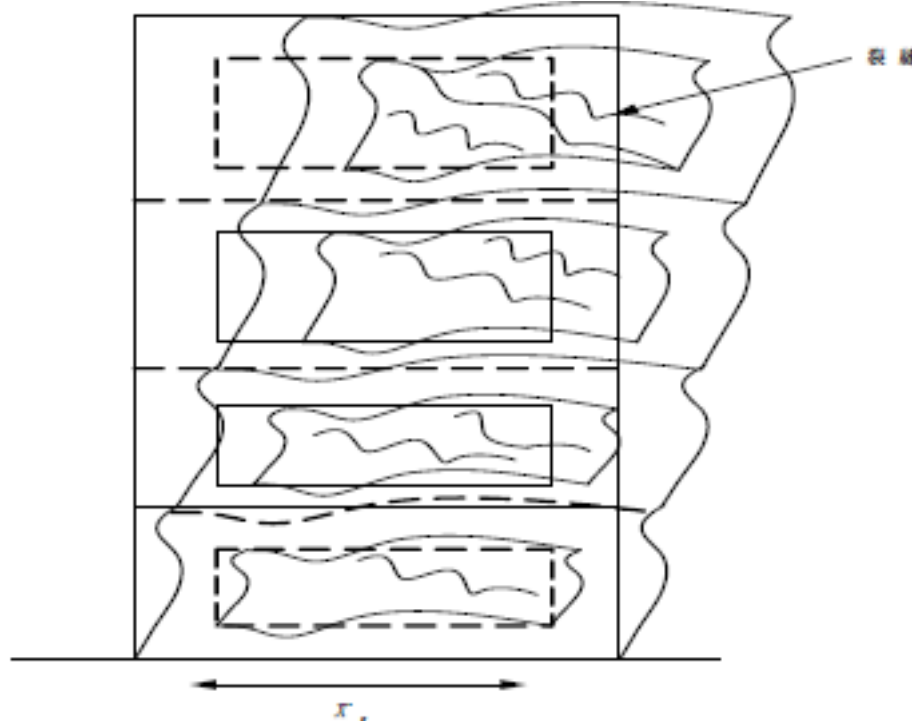
由於非結構構件位於結構體內部，當建築物因地震發生搖晃時，建築物勢必受到相當程度之加速度反應，此時非結構構件亦會受到慣性力，若非結構構件錨定不良或過高，非結構構件可能發生傾倒或與主結構產生分離現象。



非結構構件損壞之來源(2/3)

■ 建築物扭曲變形：

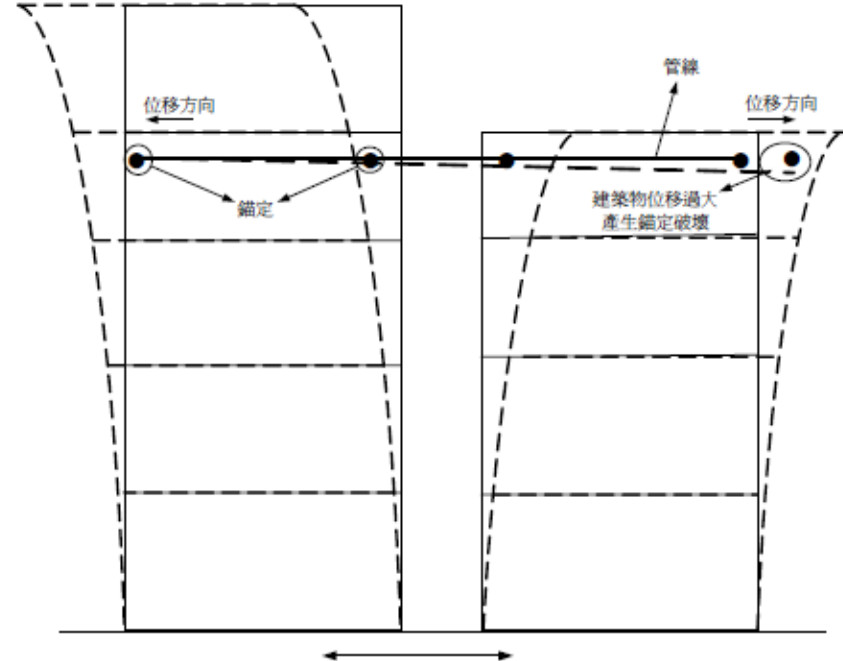
非結構構件若位於高樓層建築物內，當地震發生時，建築物由於扭曲及本身建築特性而產生相當程度之層間位移，此時非結構構件與建築物之接合處可能因扭曲現象可能使接合處產生破壞，而造成非結構構件的損壞。



非結構構件損壞之來源(3/3)

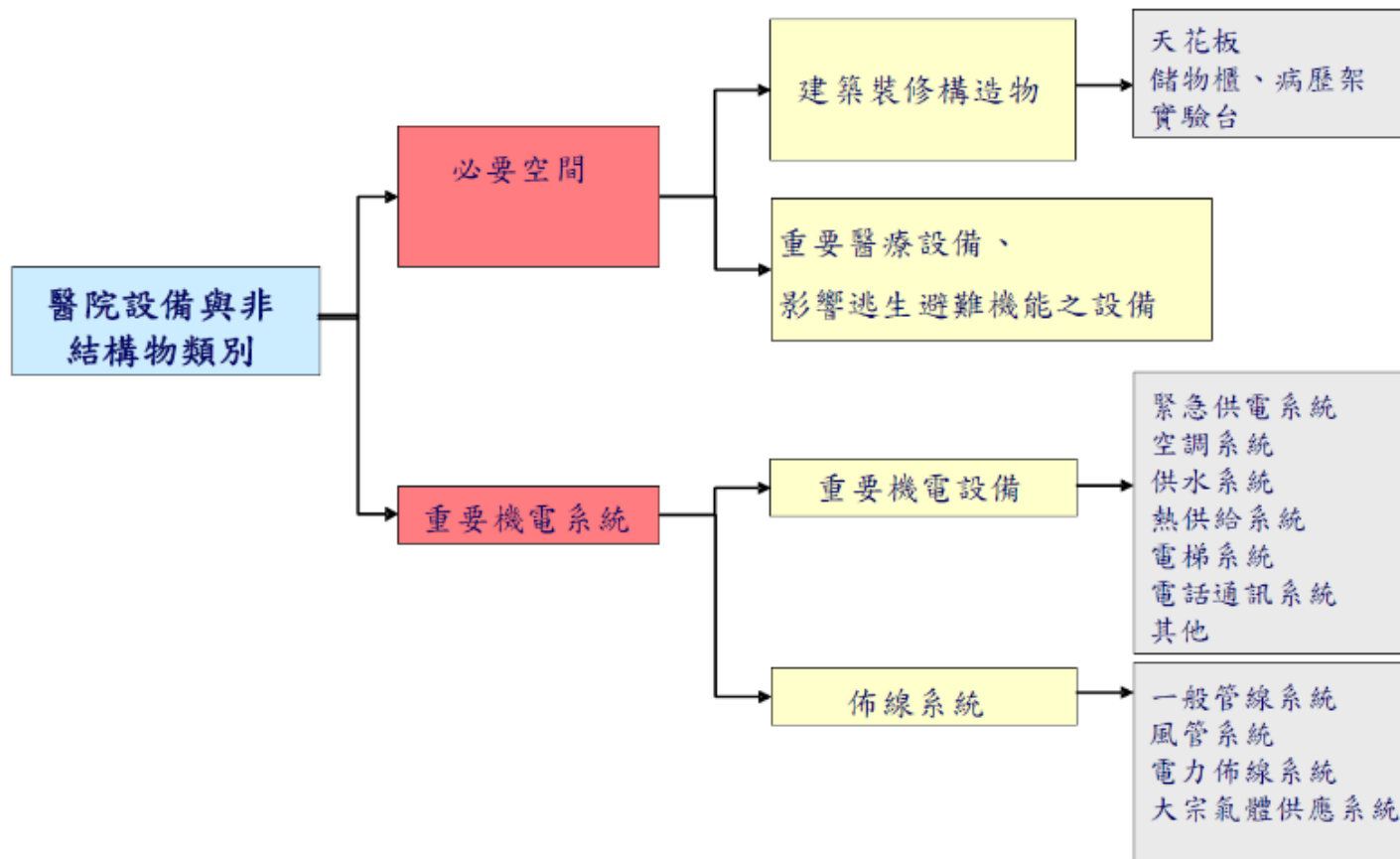
■ 建築物隔離縫：

有些非結構構件可能橫跨隔離縫同時錨定於不同建築結構中，例如管線系統等，當地震發生時，兩個建築結構體可能運動行為不一致而導致管線錨定點產生過大的相對位移。當管線系統的錨定裝置無法承受此位移所產生的力量時，該管線可能發生破壞。



醫院非結構分類

■ 醫院非結構物可以依其所在位置及重要性進行分類



美國醫院抗震經驗(1/2)

- 1971年發生的San Fernando地震，有三家醫院受到嚴重損害而無法提供緊急醫療服務，其中兩家醫院坍塌造成多人傷亡。
- 1971 年的San Fernando 地震中醫院崩塌導致人員傷亡的悲劇，促使美國加州於1973 年通過**SB519「醫院耐震安全法案」**，並成立OSHPD (California Office of Statewide Health Planning and Development)，落實與執行醫院耐震設計規範與補強方針
- **SB519**規定在1973年後建造的醫院必須能夠承受大規模的地震而不倒塌，在震後維持正常的醫療功能及協助救災的能力。



美國醫院抗震經驗(2/2)

- 1994年美國加州Northridge地震後，OSHPD對加州的醫療機構進行勘查，95%的醫院沒有顯著結構損壞，代表依照SB519法案來建造的醫院結構體的耐震性能有明顯的提升。
- **但是非結構等設備的破壞情形相當普遍**，影響了醫院震後的救災能力，這次的地震讓加州政府發現到非結構構件對醫院醫療能力的影響，並在1995年通過耐震安全法案之修正案**SB1953**。

加州醫院耐震安全法案(1/3)

■ SB 1953:

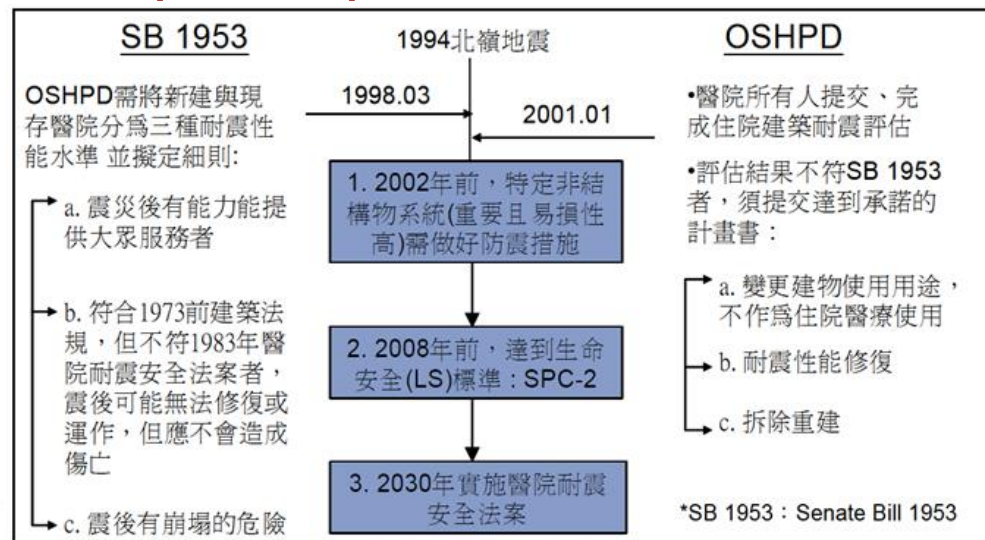
不論1973 年前之舊有或新建的**急性照護醫院**均必須提升醫院結構體與非結構構件耐震能力，亦即在強震後結構體與非結構構件不僅能夠無損，還能持續運作並供應震災後迫切需要的醫療服務。

■ SB 1953法案將醫院耐震等級分為三大類：

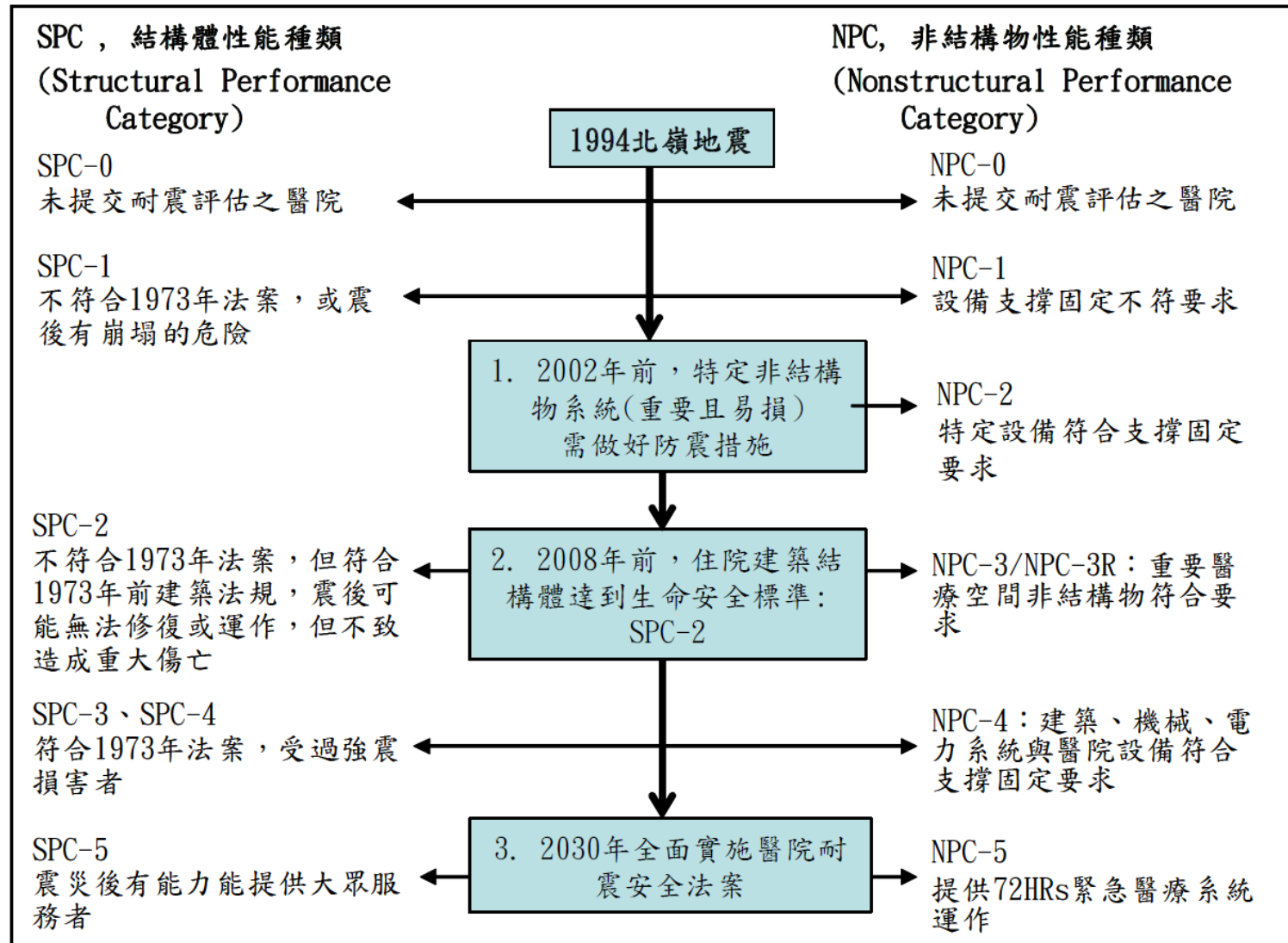
- 1.震災後有能力提供大眾服務者。
2. 震後雖不能修復或運作但不致倒塌傷及人命，亦即該醫院符合1973 年之前的加州建築規範，但不符合1983 年OSHPD 制定之醫院耐震設計規定。
3. 具有崩塌危險傷及人命者。

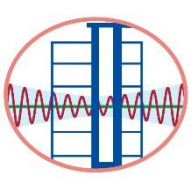
加州醫院耐震安全法案(2/3)

- 經過耐震評估為最危險的第三類耐震等級醫院者，若在2008年元旦前未經補強提升耐震等級，則**僅能作為「非急性照護」**功能的醫院。
- 若在2030年元旦前，未符合1983年OSHPD制定之醫院耐震設計規定的急性住院照護的醫院，則該醫院應拆除或**轉為非急性照護使用**。
- 按照SB1953法案的規定時程，在2030年時，不論是舊有或新建醫院，都要達到最高等級的要求，也就是醫院之非結構構件與系統必須能在斷水斷電的情況下，提供**獨立維持72小時緊急醫療系統的運作(NPC-5)**，以待外界救援。



加州醫院耐震安全法案(3/3)

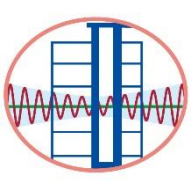




大綱

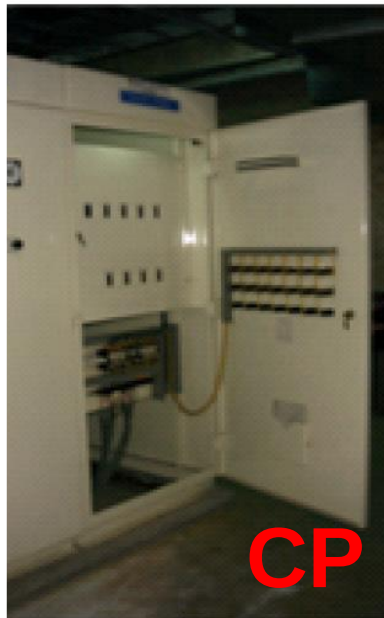
1. 研究背景與方法
2. 緊急供電設備易損性
3. 緊急供電系統易損性
4. 軟體開發與未來發展





緊急供電設備物

- In general, five types of emergency power supply component (EPSC) are involved in an EPSS : a control panel (CP), a generator (G), a battery rack (BR), a diesel tank (DT), and a cooling tower (CT).



設備物耐震評估法(1/7)

✚ 設備物耐震分數(參考美國MCEER)：

$$RS = BS - PMF$$

- BS為設備物在正常安裝條件下的耐震基本分數（Basic Score）；
- PMF是考量各項設備物安裝條件缺失而納入的耐震性能修正分數（Performance Modification Factor），其數值建立在專家評估的基礎上。
- RS為修正後的設備物耐震分數（Resultant Score），即為基本分數與某項缺失產生的修正分數的差值。

設備物耐震評估法(2/7)

✚ 耐震基本分數BS

● 設備物年損害機率

$$P_{fa} = \int_0^{\infty} \frac{-dH(a)}{da} P_f(a) da$$

P_{fa} : 設備物年損害機率

P_f : 設備物損害機率

H : 地震危害度曲線

a : PGA

● BS計算

$$BS = -\log_{10}(P_{fa})$$

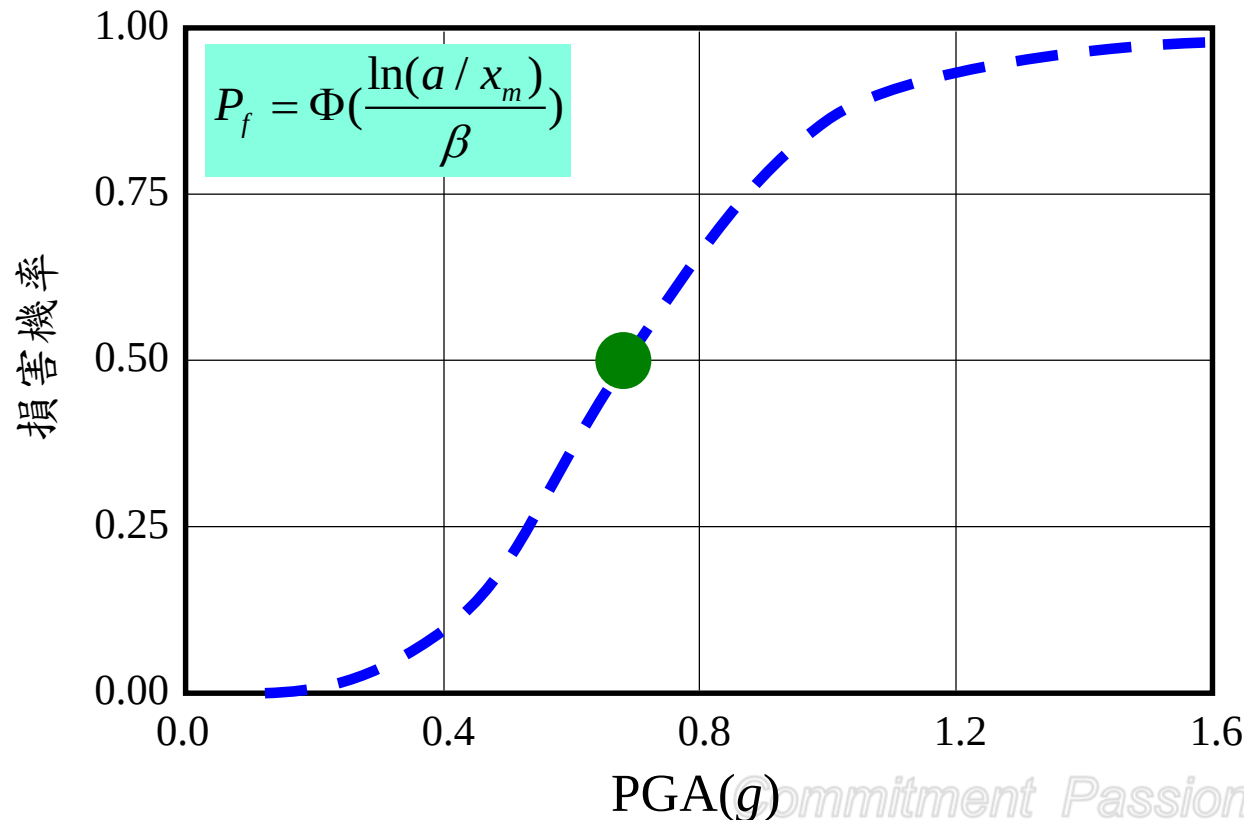
✚ 耐震性能修正分數PMF

- 根據設備物之耐震缺失給予PMF值。PMF值越大，代表某項缺失因素對設備物耐震可靠度的影響越大，往往是地震中該項設備物主要的破壞原因。

設備物耐震評估法(3/7)

✚ 損害機率(易損性曲線)

- 以對數常態分佈之損害機率曲線，包含中值和標準差
- 自變數可為災害潛勢或結構反應(本研究採用PGA)



設備物耐震評估法(4/7)

+ MCEER耐震基本分數

設備名稱	基本耐震分數					易損性參數	
	A	B	C	D	E	中值 X_m	標準差 β
發電機	5.6	5.1	4.7	4.2	3.8	2.0	0.4
分電盤	5.8	5.3	4.9	4.4	4.0	2.3	0.4
蓄電池	6.0	5.5	5.1	4.6	4.2	2.5	0.4
柴油桶	5.0	4.4	4.1	3.5	3.2	1.6	0.5
冷卻水塔	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	N/A	N/A

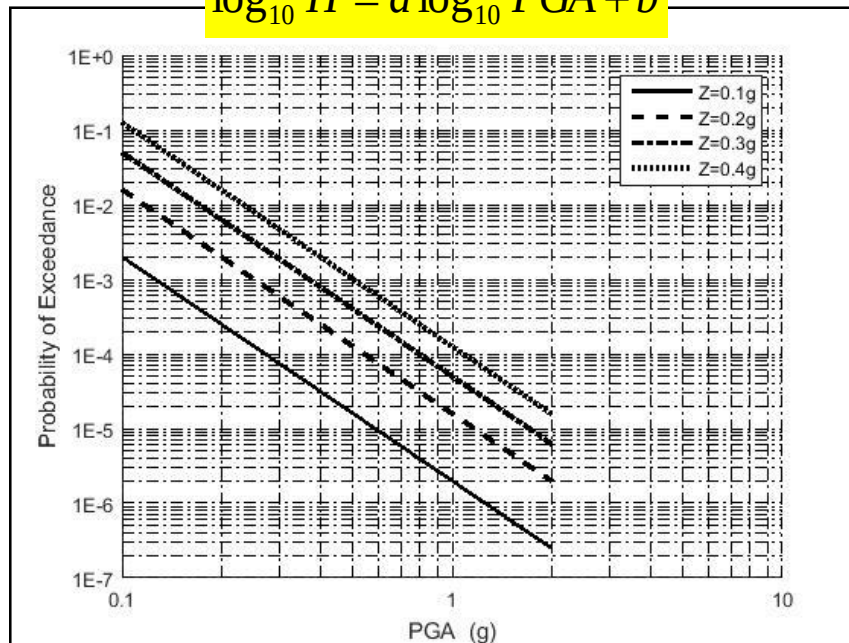
- 美國Uniform Building Code建築法規中將美國本土劃分為四個震區(Zones 1~4)，即年超越機率0.002（回歸週期為500年）所對應的PGA分別為0.1g、0.2g、0.3g、0.4g。

設備物耐震評估法(5/7)

震區地震危害度曲線

- 簡化以四條直線作為對應四個震區的地震危害度曲線
- 台灣乙震區(0.23g)與甲震區(0.33g)與上述震區劃分相近，故本研究延用MCEER的地震危害度曲線來推導設備物的基本耐震分數。

$$\log_{10} H = a \log_{10} PGA + b$$



設備物耐震評估法(6/7)

✚ 結構內加速度

- 結合場址特性和加速度樓高放大係數，MCEER引入設備物的結構內加速度（ZPA）概念。
- 例如，在底部1/3樓高內，設備物的ZPA等同於其場址PGA。又如當某設備物位於建築物的頂層（加速度樓高放大係數= 2），而該建築物位於震區Zone 3（場址PGA=0.3g），則設備物ZPA=2×0.3=0.6g。

震區	設備物在建築物的位置		
	底部1/3樓高(倍率1.0)	中間1/3樓高(倍率1.5)	頂部1/3樓高(倍率2.0)
1	A ZPA = 0.2g, a = -3.0, b = -4.8	A ZPA = 0.2g, a = -3.0, b = -4.8	A ZPA = 0.2g, a = -3.0, b = -4.8
2	A ZPA = 0.2g, a = -3.0, b = -4.8	B ZPA = 0.3g, a = -3.0, b = -4.3	C ZPA = 0.4g, a = -3.0, b = -3.9
3	B ZPA = 0.3g, a = -3.0, b = -4.3	C ZPA = 0.4g, a = -3.0, b = -3.9	D ZPA = 0.6g, a = -3.0, b = -3.4
4	C ZPA = 0.4g, a = -3.0, b = -3.9	D ZPA = 0.6g, a = -3.0, b = -3.4	E ZPA = 0.8g, a = -3.0, b = -3.0

設備物耐震評估法(7/7)

設備物耐震分數評估表

設備名稱	耐震缺失項目(修正分數PMF)	最終耐震分數					X_m	β
		A	B	C	D	E		
發電機	Basic Score	5.6	5.1	4.7	4.2	3.8	2.0	0.4
	1. No anchorage (1.6)	4.0	3.5	3.1	2.6	2.2	?	?
	2. “Poor” anchorage (1.4)	4.2	3.7	3.3	2.8	2.4	?	?
	3. Vibration isolator concerns (1.4)	4.2	3.7	3.3	2.8	2.4	?	?
	4. Rigid attachment concerns (2.0)	3.6	3.1	2.7	2.2	1.8	?	?
	5. Driver/generator diff. displacement (2.0)	3.6	3.1	2.7	2.2	1.8	?	?
	6. Interaction concerns (1.4)	4.2	3.7	3.3	2.8	2.4	?	?

設備物耐震易損性研究(1/5)

$$BS = -\log_{10}(P_{fa})$$

$$RS = BS - PMF \equiv -\log(P_{fa}')$$

$$P_{fa}' = \frac{1}{10^{RS}}$$

$$P_{fa}' \equiv \int_0^{\infty} \frac{-dH(a)}{da} P_f'(a) da$$



$$\frac{1}{10^{RS}} = \int_0^{\infty} \frac{-dH(a)}{da} \Phi\left(\frac{\ln(a / x_m')}{\beta'}\right) da$$

✚ 兩個參數 (x_m', β') ，藉由積分計算回推。

設備物耐震易損性研究(2/5)

+ 發電機

發電機			A	B	C	D	E	x'_m	β'
基本耐震分數			5.6	5.1	4.7	4.2	3.8	2.0	0.4
耐震缺失	PMF1	無固定支座	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.78	0.5
	PMF2	支座固定不佳	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.91	0.5
	PMF3	存在避振隱患	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.91	0.5
	PMF4	剛性連接因素考量	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.58	0.5
	PMF5	啟動器與發電機間存在移位	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.58	0.5
	PMF6	地震動引起的設備物間或設備物同結構物間相互作用的考量	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.91	0.5

設備物耐震易損性研究(3/5)

分電盤

分電盤			A	B	C	D	E	x'_m	β'
基本耐震分數			5.8	5.3	4.9	4.4	4.0	2.3	0.4
耐震缺失	PMF1	無固定支座	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	0.58	0.5
	PMF2	支座固定不佳	2	2	2	2	2	0.67	0.5
	PMF3	力傳遞路線不佳	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	0.58	0.5
	PMF4	易受到大力撞擊	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.22	0.5
	PMF5	剛性連接	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	0.58	0.5
	PMF6	地震動引起的設備物間或設備物同結構物間相互作用的考量	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.46	0.5

設備物耐震易損性研究(4/5)

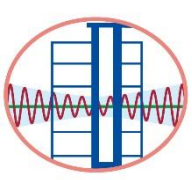
+ 蓄電池

蓄電池			A	B	C	D	E	x'_m	β'
基本耐震分數			6.0	5.5	5.1	4.6	4.2	2.5	0.4
耐震 缺失	PMF1	無固定支座	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	0.67	0.5
	PMF2	支座固定不佳	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.78	0.5
	PMF3	無電池間隔物	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	0.67	0.5
	PMF4	無縱向橫撐	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.78	0.5
	PMF5	電池無束制	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	0.58	0.5
	PMF6	地震動引起的設備物間或設備物同結構物間相互作用的考量	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	0.58	0.5

設備物耐震易損性研究(5/5)

柴油桶/冷卻水塔

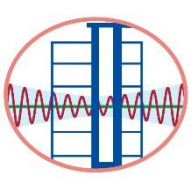
柴油桶			A	B	C	D	E	x'_m	β'
基本耐震分數			5.0	4.4	4.1	3.5	3.2	1.6	0.5
耐震 缺失	PMF1	無固定支座或支座固定不佳	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.56	0.5
	PMF2	底部剎車裝置未固定	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.89	0.5
	PMF3	剛性連接因素考量	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.71	0.5
	PMF4	底部支撐腳尺寸不足	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.71	0.5
冷卻水塔			A	B	C	D	E	x'_m	β'
基本耐震分數			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	N/A	N/A
耐震 缺失	PMF1	無固定支座或支座固定不佳	2.7	3.2	3.6	4.1	4.5	0.46	0.5
	PMF2	底部剎車裝置未固定	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	0.91	0.5
	PMF3	剛性連接因素考量	2.7	3.2	3.6	4.1	4.5	0.46	0.5



大綱

1. 研究背景與方法
2. 緊急供電設備易損性
3. 緊急供電系統易損性
4. 軟體開發與未來發展





研究方法

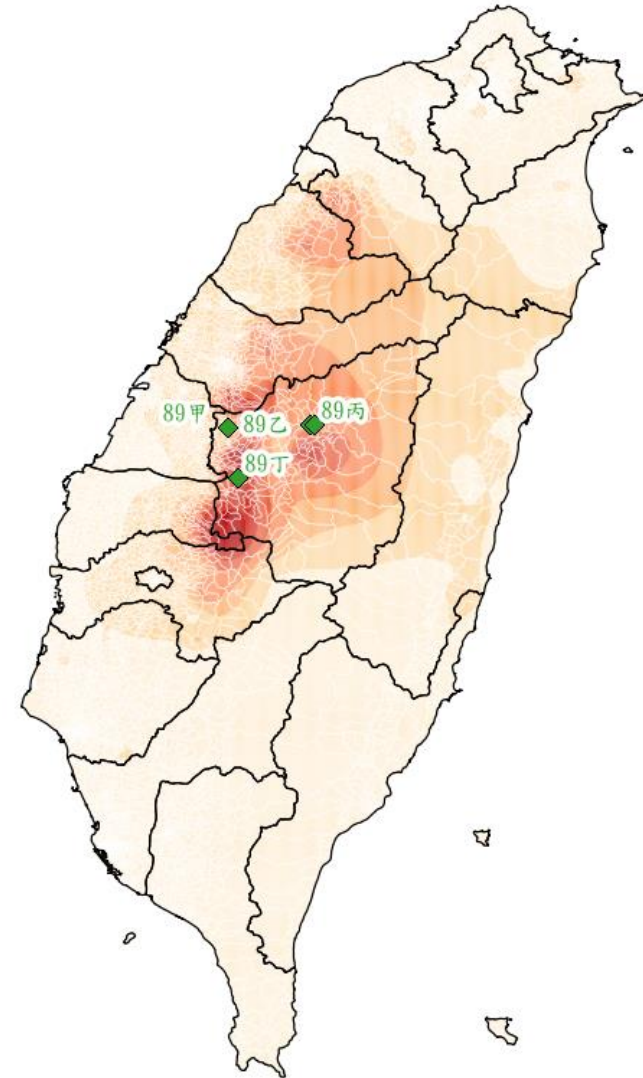
- Our methodology involved applying a **system logic tree**, assessing **component fragility data**, and **hospital's site hazards**.
- The seismic fragility function of these components was studied based on the component seismic scoring system developed by the Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (**MCEER**).
- We utilized **logic trees** to estimate the failure probabilities of the EPSSs on the basis of the peak ground acceleration (PGA) of the hospital sites, and then verified the suitability of the methodology.

系統性評估法——緊急供電系統為例

921震害醫院探討

莊佳璋醫師、姚昭智教授等人針對南投地區四家醫院現場設備物的耐震缺失調查。

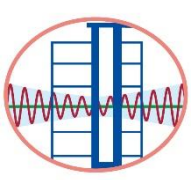
	甲醫院	乙醫院	丙醫院	丁醫院
場址 PGA (g)	0.28	0.45	0.45	0.67



系統性評估法——緊急供電系統為例

✚ 邏輯樹法:

以圖形的方式，將系統中各重要設備物依據一定的組合和順序排列起來，以直觀地呈現設備物間的邏輯關係。在邏輯樹圖中，每個設備物用一個方框來表示，並分層排列，而位於最上層的系統用橢圓來表示。位於同一層的設備物通過符號 $\sqcap$ (和連結，也即and gate) 或 $\diamond$ (或連結，也即or gate) 同上一層的設備物或子系統相連接。



系統邏輯樹計算方法

- Logic Tree

$$P[u] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P[l_i]) \quad (\text{and gate } \sqcap)$$

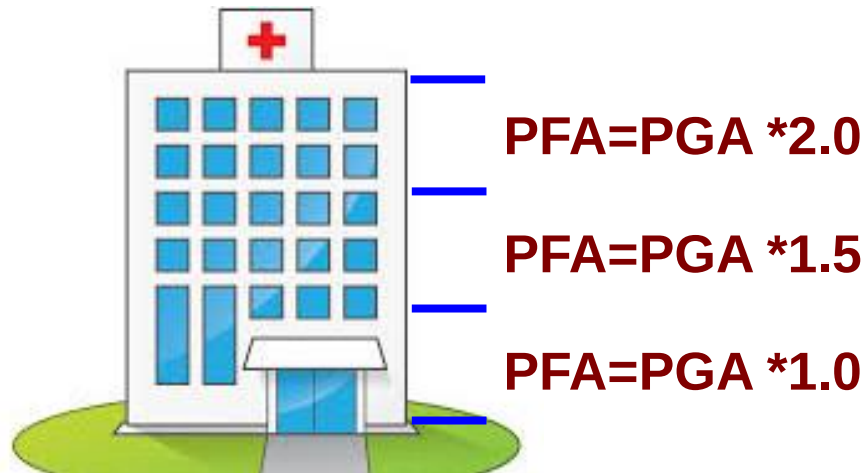
$$P[u] = \prod_{i=1}^n P[l_i] \quad (\text{or gate } \diamond)$$

P : failure probability

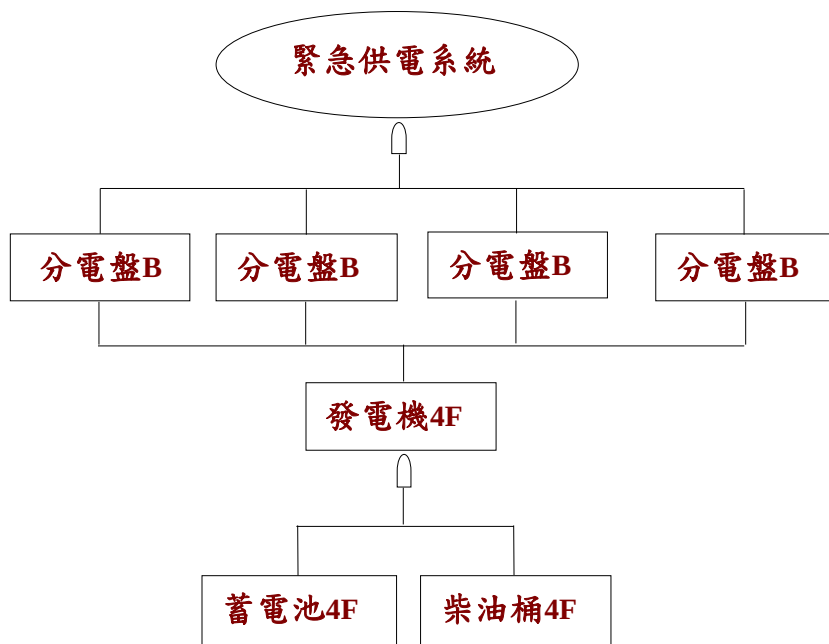
n : the number of lower events

Π : the product

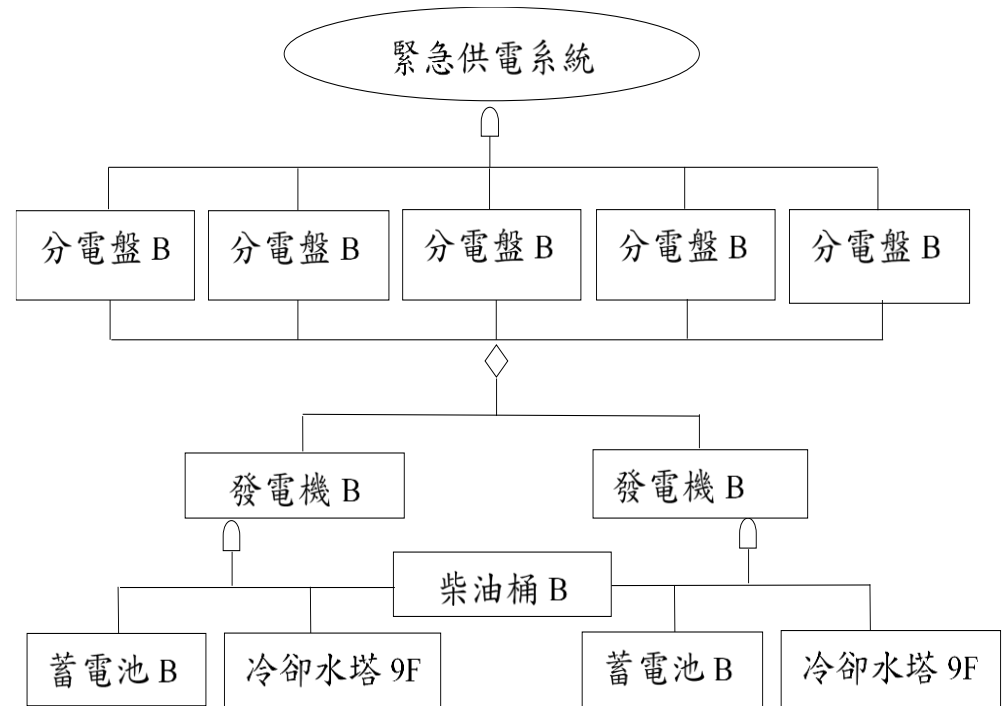
- Peak Floor Acceleration



系統性評估法—緊急供電系統為例

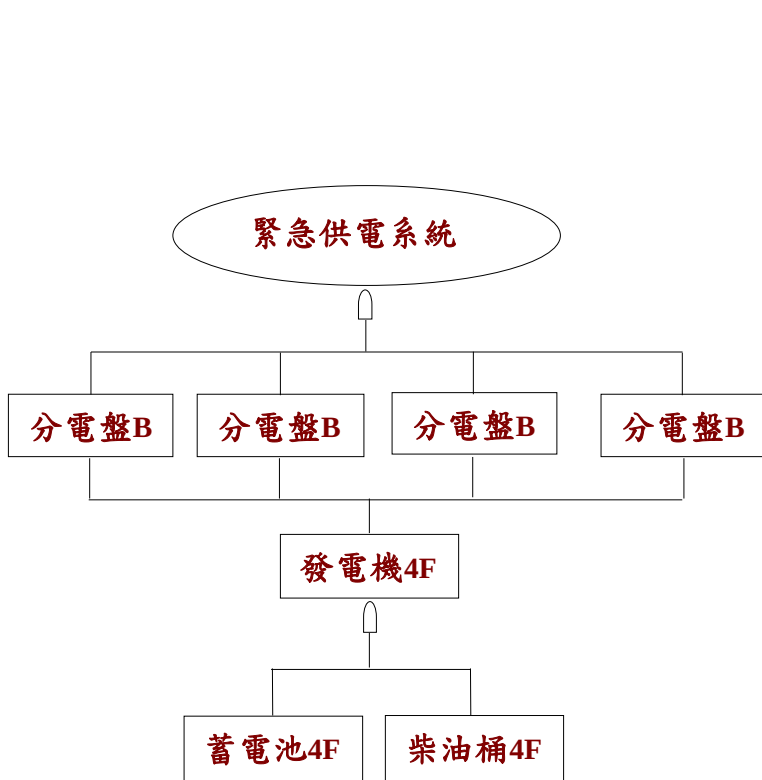


甲醫院

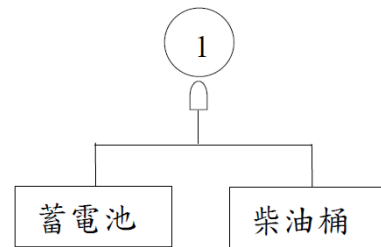


乙醫院

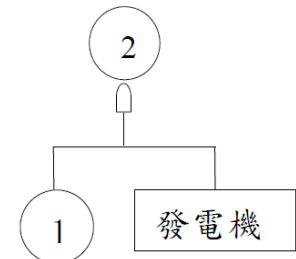
系統性評估法—緊急供電系統為例



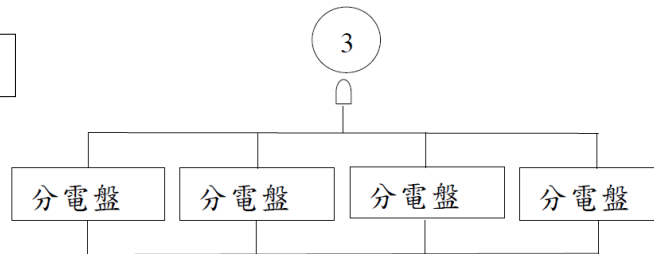
甲醫院



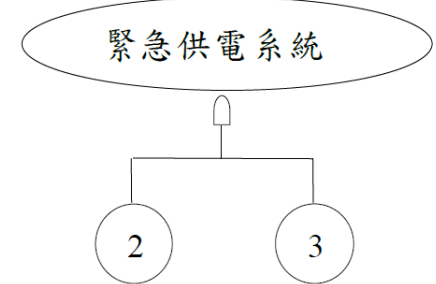
$$P_1 = 1 - (1 - P_{\text{蓄}})(1 - P_{\text{柴}}) = 46.9\%$$



$$P_2 = 1 - (1 - P_1)(1 - P_{\text{發}}) = 52.6\%$$

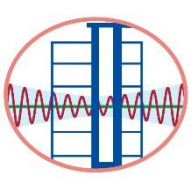


$$P_3 = 1 - (1 - P_{\text{分}})^4 = 0.6\%$$



$$P_{\text{甲}} = 1 - (1 - P_2)(1 - P_3) = 52.9\%$$

	甲醫院	乙醫院	丙醫院	丁醫院
現場勘災*	正常	故障	故障	故障
故障機率	52.9%	70%	83.7%	97.4%



大綱

1. 研究背景與方法
2. 緊急供電設備易損性
3. 緊急供電系統易損性
4. 軟體開發與未來發展



TELES地震事件資訊:

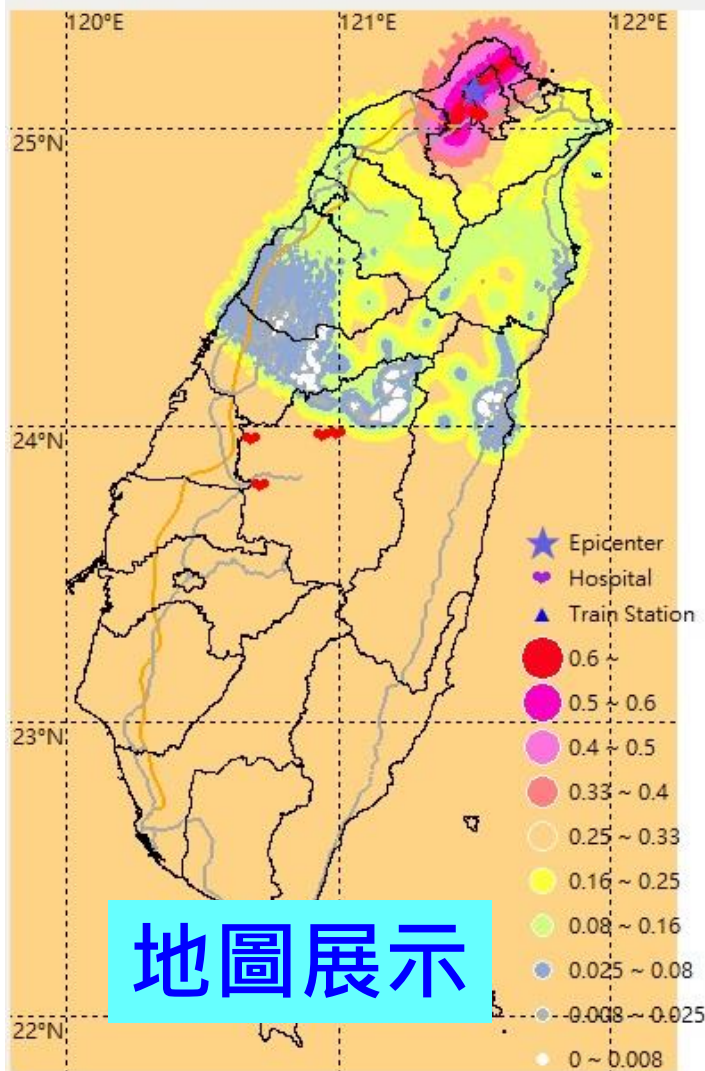
情境編號: x16950

斷層編號: 山腳

規模: 6.9

深度: 5.0 km

最大PGA: 0.6305 g



地圖展示

資料庫

資料庫: EQ_Record.sqlite

更新最新地震事件

檢查並重載資料庫(CWB)

地震資料來源

氣象局

氣象局信件

P-alert

NCREE

NCREE+P-alert

TELES

地震事件列表:

x16751 > 0.6042
 x16850 > 0.6170
 x16851 > 0.6171
x16950 > 0.6305
 x17050 > 0.6442
 x17150 > 0.6580
 x17250 > 0.6721
 x17350 > 0.6863
 x17450 > 0.7006
 x17550 > 0.7151

地震事件

計算

測站PGA

網格震度圖

村里震度存檔

醫院PGA

故障機率

縣市:

醫院名稱:

PGA:

供電故障機率

南投縣
 南投縣
 南投縣
 南投縣
 台北市
 台北市

0.3061
 0.3160
 0.3160
 0.2860
 0.4654
 0.5003

21.26 %
 17.54 %
 65.66 %
 31.38 %
 93.43 %
 94.40 %

醫院評估

重度級醫院病床資訊

緊急醫療能力分級:

一般級

中度級

重度級

醫院設備物易損性曲線:

Power_system

Demo

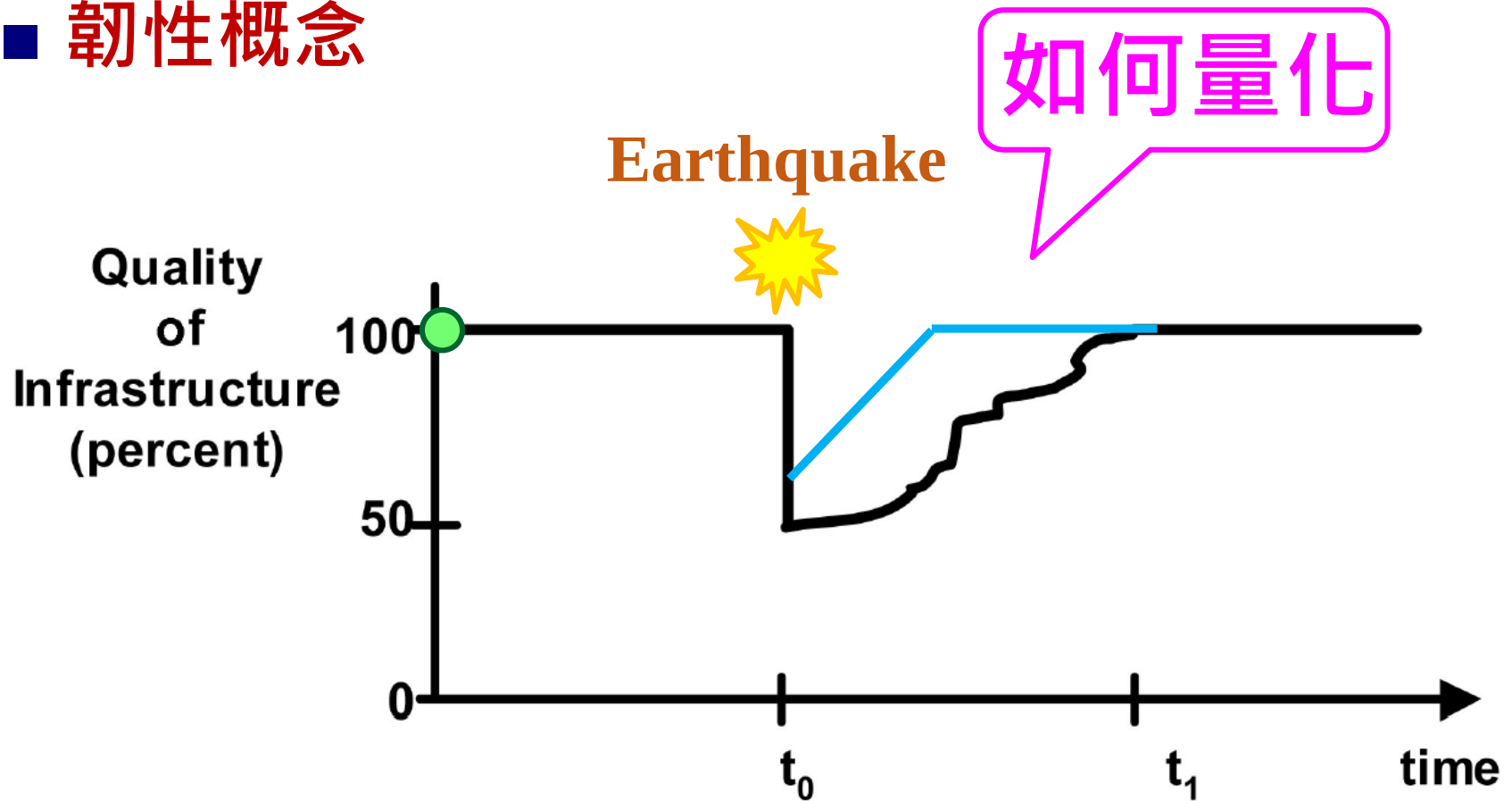
火車

清除地圖

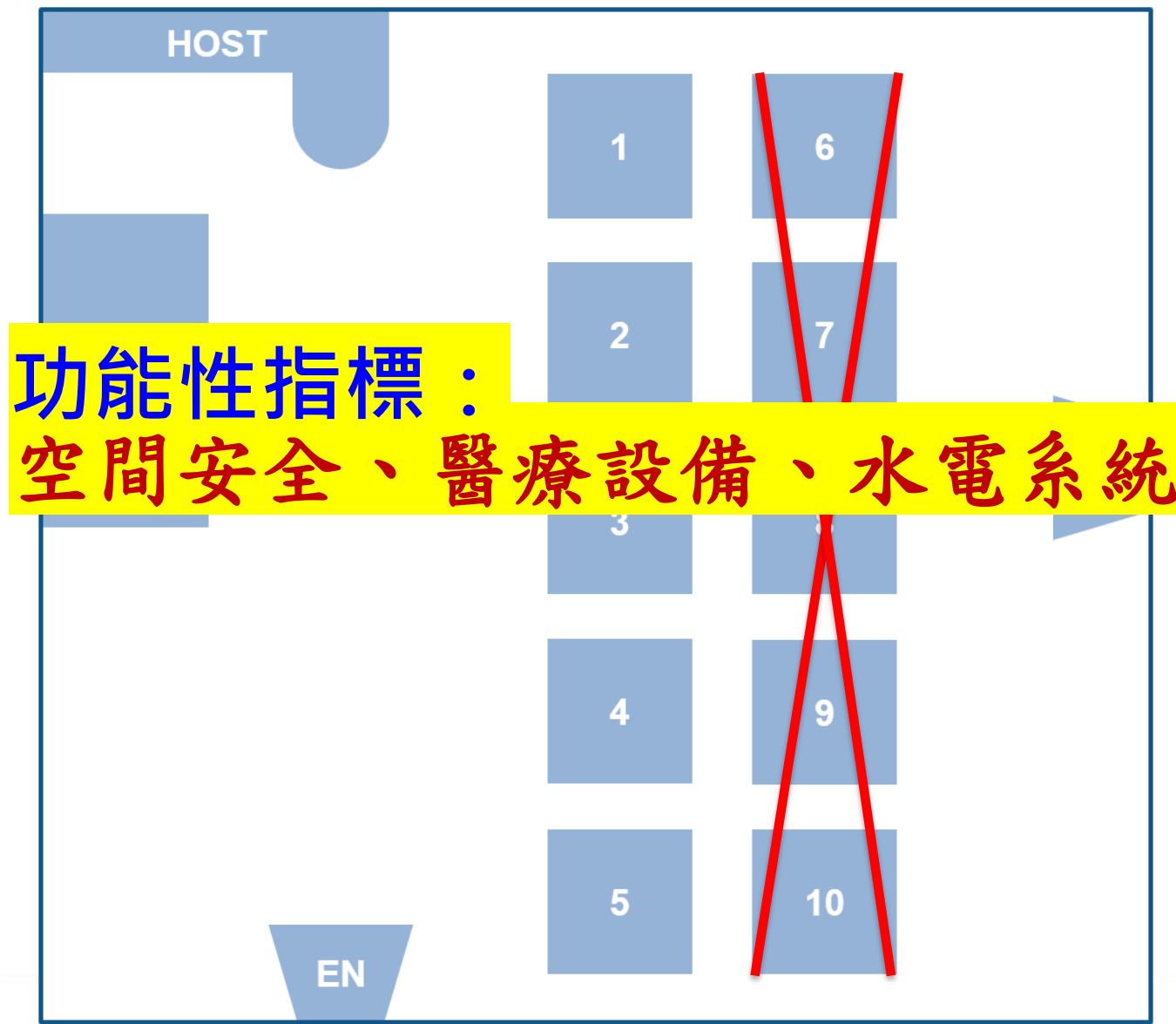
存取地圖

緊急醫療韌性評估法(1/3)

■ 韌性概念

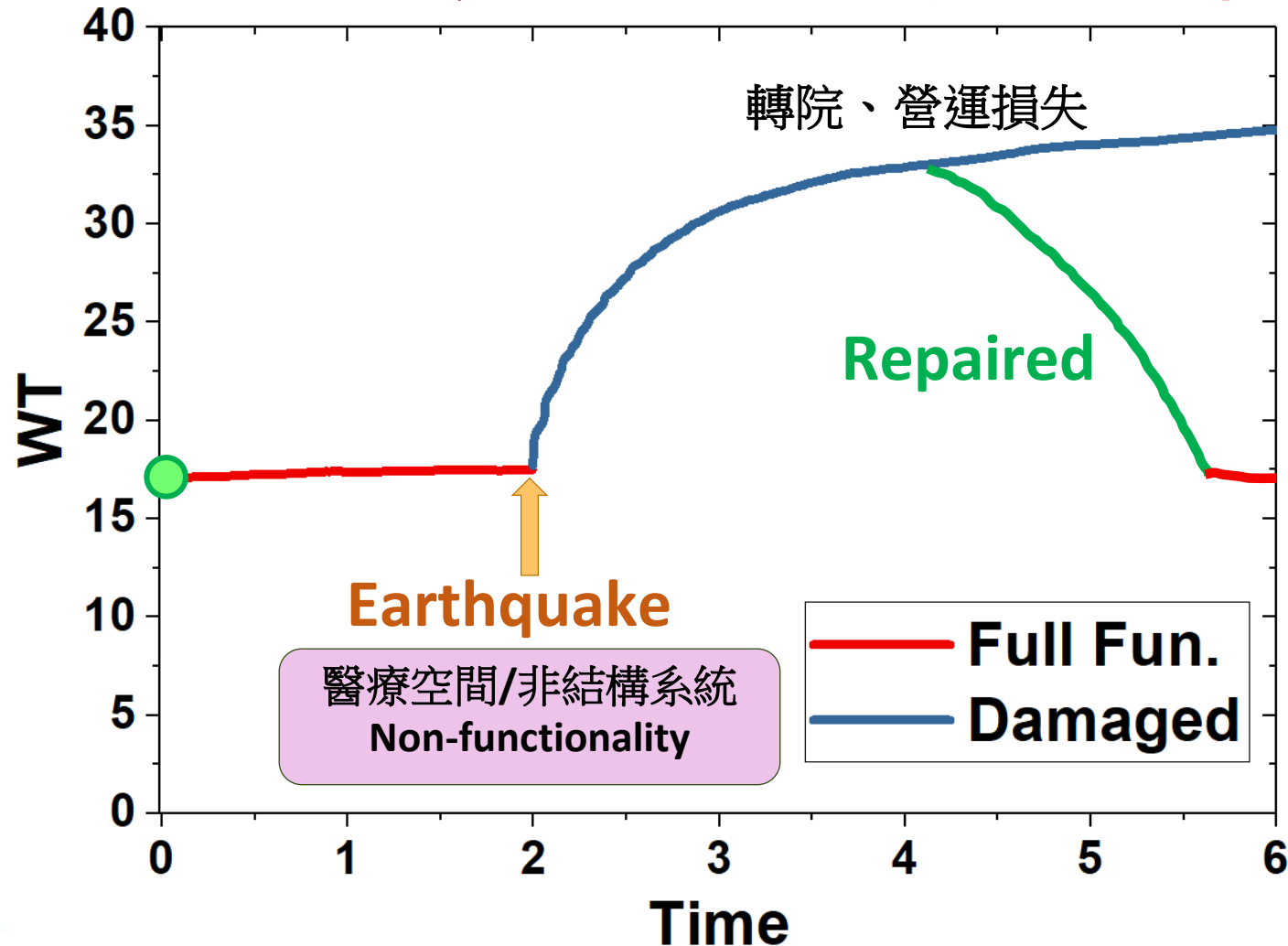


緊急醫療韌性評估法(2/3)



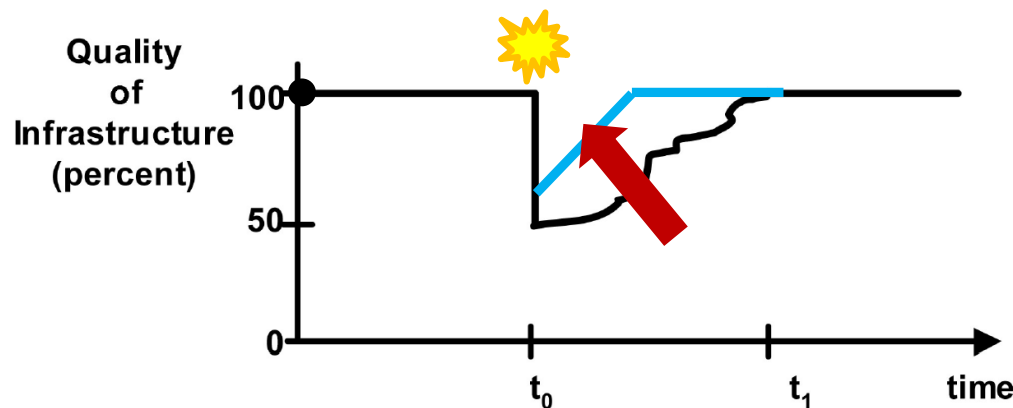
緊急醫療韌性評估法(3/3)

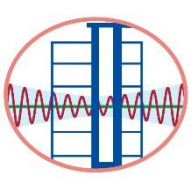
服務能量指標：緊急就醫平均等候時間(WT)



跨區域震後緊急醫療韌性評估

- ✦ 持續尋求急救責任醫院合作
- ✦ 點→面的緊急醫療防災思維(Community)
- ✦ 提供中央/地方政府災害防救計畫使用
- ✦ 打造醫療韌性城市





National Center for Research
on Earthquake Engineering

**Thank you for your
kind attention**

