206美濃地震建築物倒塌原因初探

杜怡萱 副教授
國立成功大學 建築系
2016/03/08

本簡報僅以學術研究
角度根據個人勘災心得
所行之初步分析，
並非正式鑑定結果

美濃地震建築結構損害原因初步歸納

- 老舊建築
  - 建造年代無耐震設計規範或耐震基準較低
  - 材料老朽化，ex: 混凝土風化、鋼筋鏽蝕
- 非韌性設計
  - 箍筋間距過大、採90度彎鉤或缺少補助繫筋，導致構件剪力破壞
  - 接合部設計不當、鋼筋搭接位置未錯開配置
- 非韌性施工
  - 未按標準施作，如：彎鉤長度不足、箍筋短少
  - 材料品質不佳，如：混凝土強度過低、水淬鋼筋、不當續接器
- 非結構牆之剛度貢獻未妥適納入分析
  - 窗台短柱、軟弱底層
- 其他 - 土壤液化、共振之可能性？

老舊建築

- 老舊磚造建築 – 屋頂無剛性束制效果，側牆面外倒塌

老舊建築

- 老舊磚造建築 – 前頁建物震前google街景

老舊建築

- 老舊磚造建築 – 屋頂無剛性束制效果，側牆面外倒塌

老舊建築

- 老舊磚造建築 – 屋頂梁與側牆未妥善錨定

老舊建築

- 老舊磚造建築 – 屋頂無剛性束制效果，側牆面外倒塌

老舊建築

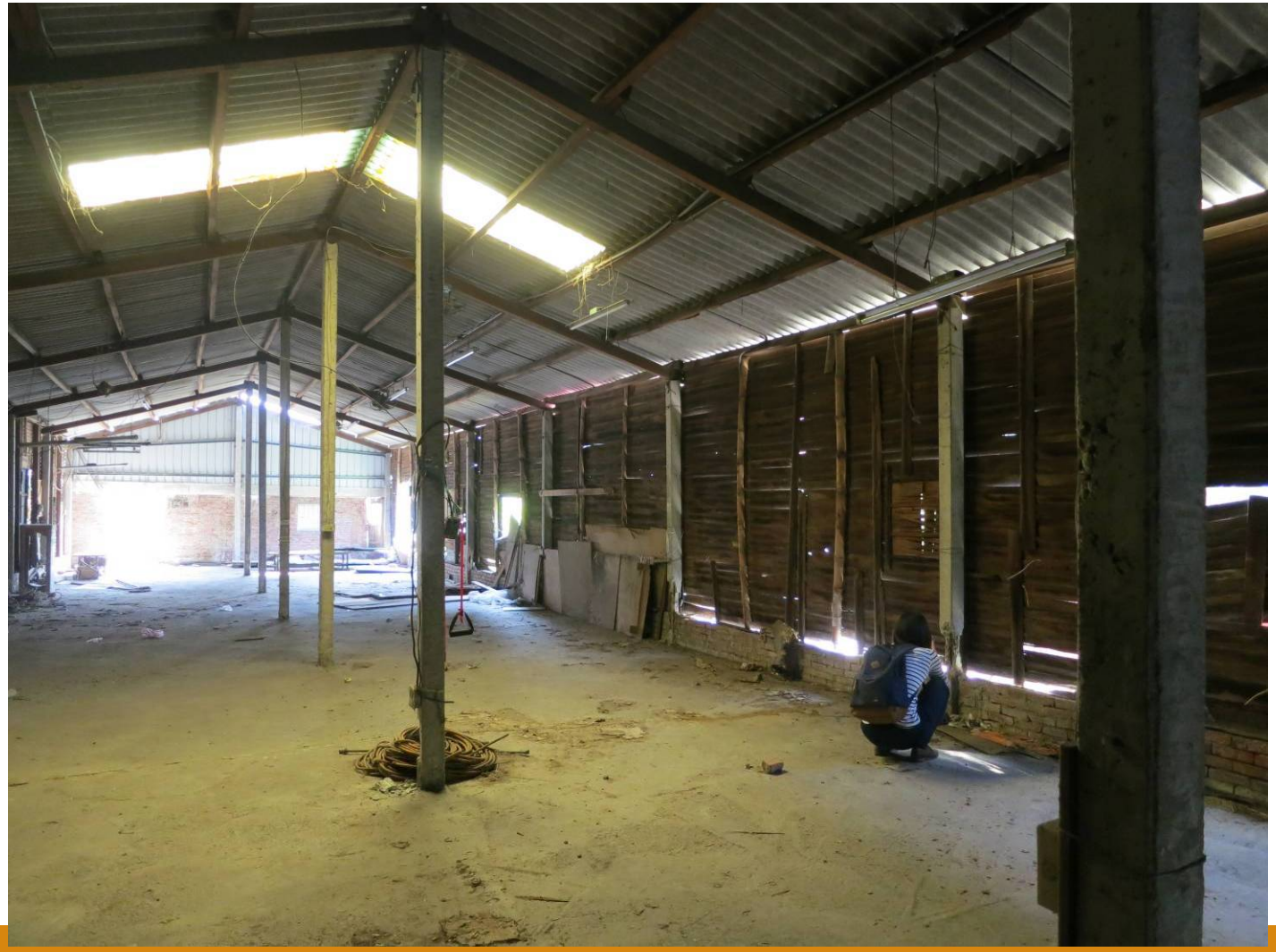
- 老舊混凝土混木結構

老舊建築

- 老舊混凝土混木結構 – 柱斷面明顯過小且無箍筋，柱與屋頂為鉸接

老舊建築

- 老舊混凝土混木結構



老舊建築

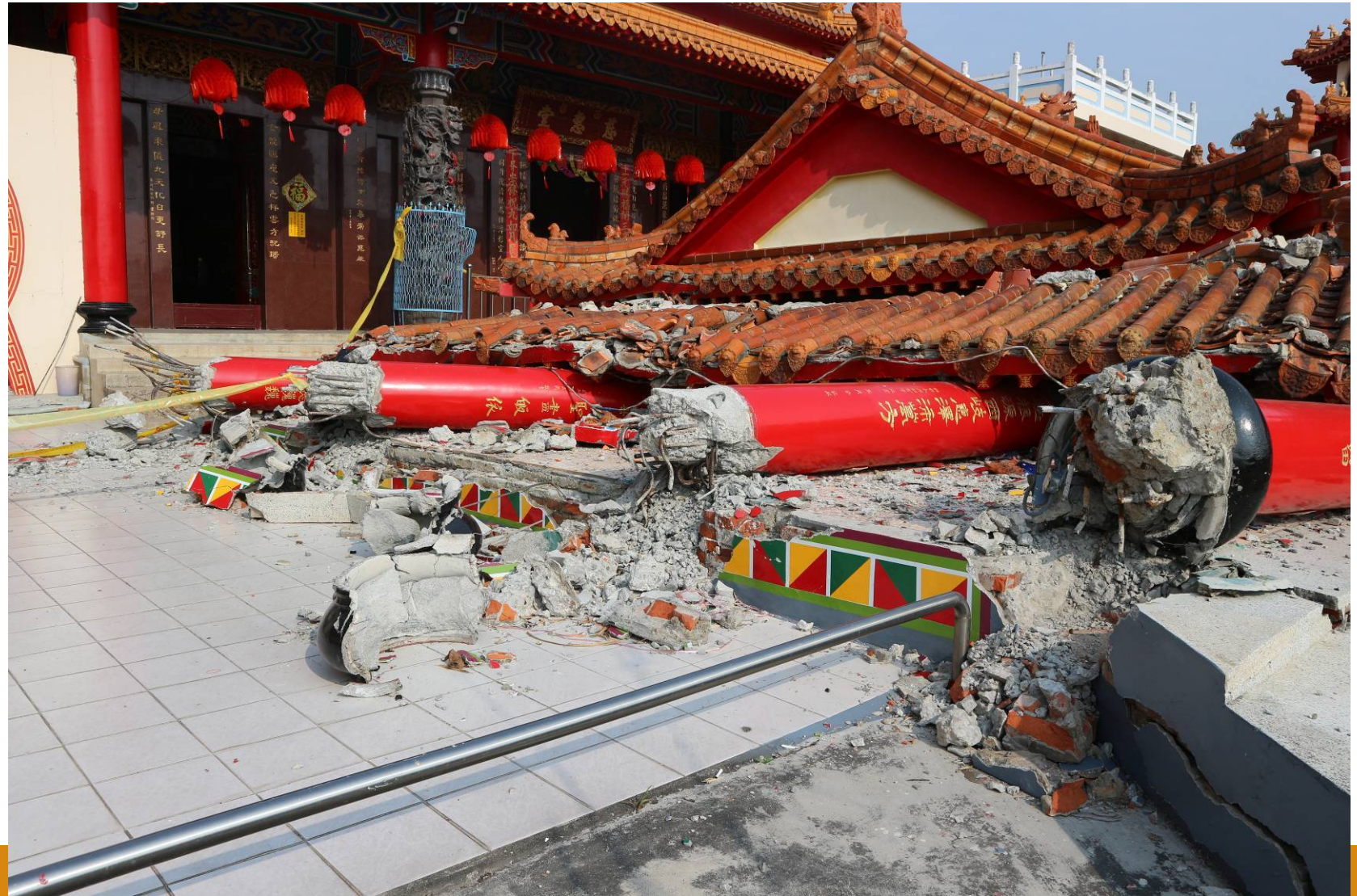
- 老舊混凝土混木結構 – 鋼筋鏽蝕嚴重、箍筋間距明顯過大

老舊建築、非韌性設計或非韌性施工

- 老舊RC建築（1975） – 厚重屋頂下原為開放空間，僅柱支撐

老舊建築、非韌性設計或非韌性施工

- 老舊RC建築（1975） – 柱底接合部破壞



老舊建築、非韌性設計或非韌性施工

- 老舊RC建築（1975） – 柱主筋底部無彎鉤錨定

- 圓形箍筋端部無彎鉤

柱梁接合部破壞，
疑為錨定不良

老舊建築、非韌性設計或非韌性施工

- 老舊RC建築（1976） – 厚重屋頂下原為開放空間，僅8支柱支撐

- 柱主筋搭接集中於柱底

圓形箍筋端部無彎鉤 -

老舊建築、非韌性設計或非韌性施工

- 老舊RC建築 – 梁端部嚴重破壞，柱卻無損，應力似未有效傳遞

非韌性施工

- RC集合住宅騎樓柱剪力破壞（屋齡約30年）

  - 因電箱嵌於柱內而影響箍筋配置

非韌性施工

- RC集合住宅騎樓柱剪力破壞（約1994-1995）

- 保護層過厚、內嵌不明物體

- 箍筋90度彎鉤鬆脫

- 箍筋斷裂於彎鉤處，似無頸縮

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 典型RC街屋（1980）
  - 底層向東側道路崩塌

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 典型RC街屋（1980）

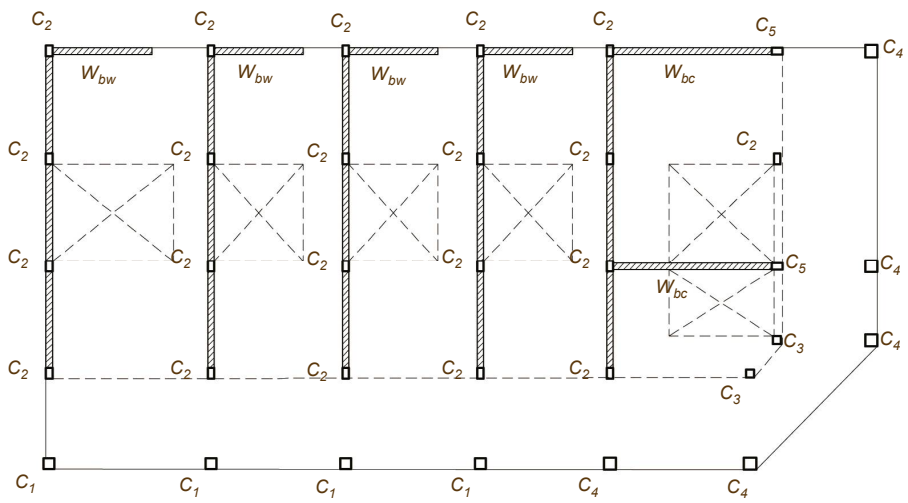
- 震前Google街景

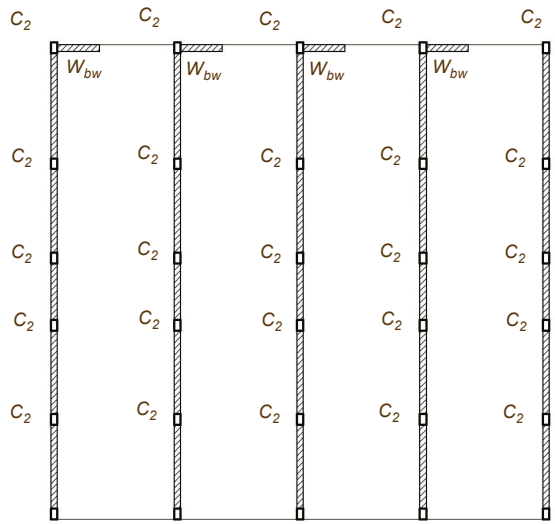
低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 921集集地震之典型街屋底層崩塌

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 921集集地震之典型街屋底層崩塌





街道方向為弱向

典型街屋底層結構平面圖

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 典型RC街屋（1980）

左側同期興建連棟街屋無損。

可能原因：

1. 樓層數較少
2. 底層有平行街道方向隔間磚牆
3. 強軸（隔戶牆方向）為東西向

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 台南市東區大智里菜市場

四層樓，屋齡約31年

底層崩塌

1F為市場，

2F以上為集合住宅

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 台南市東區大智里菜市場

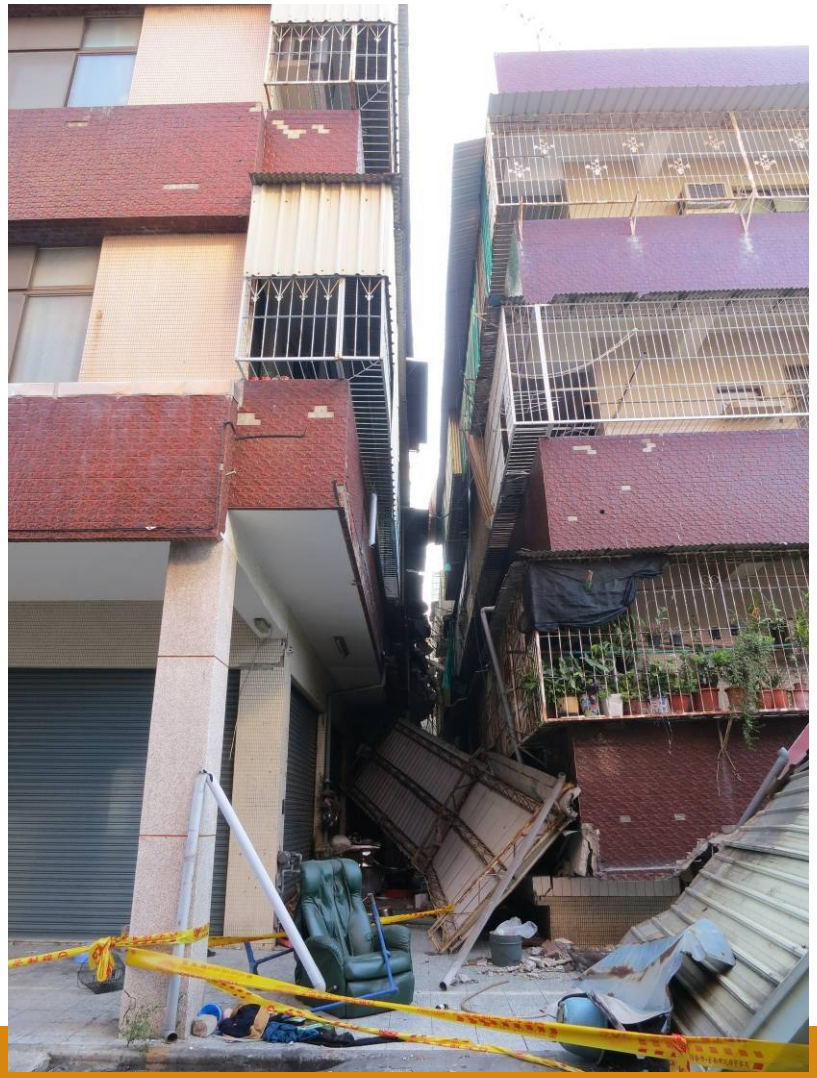
  震前Google街景

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 台南市東區大智里菜市場　- 底層柱似因箍筋量不足導致剪力破壞

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 相鄰連棟街屋僅小害



低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 大智里菜市場鄰棟街屋

  - 騎樓原為懸臂，2013年時於三處轉角增加共9支騎樓柱

原懸臂騎樓

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 大智里菜市場鄰棟街屋

騎樓內側柱有多處剪裂，顯示構件本身可能為非韌性設計且剪力強度不足

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 山上區公有市場

兩層，屋齡約30年，
底層崩塌

1F為市場，
2F為出租住宅

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 山上區公有市場

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 山上區公有市場

底層柱剪力破壞
及強梁弱柱現象
顯示為非韌性設計

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 南化區公有零售市場

兩層，屋齡約25年
底層多數柱頭剪裂
或接近剪力破壞

1F為市場，
2F為集會場
（無隔間）

低層RC建築之軟弱底層崩塌

- 南化區公有零售市場　　- 強梁弱柱現象，柱箍筋間距約25cm

中層RC建築之底層崩塌

- 歸仁區幸福大樓

七層樓，有地下室

據報1、2F崩塌且下陷至地下室

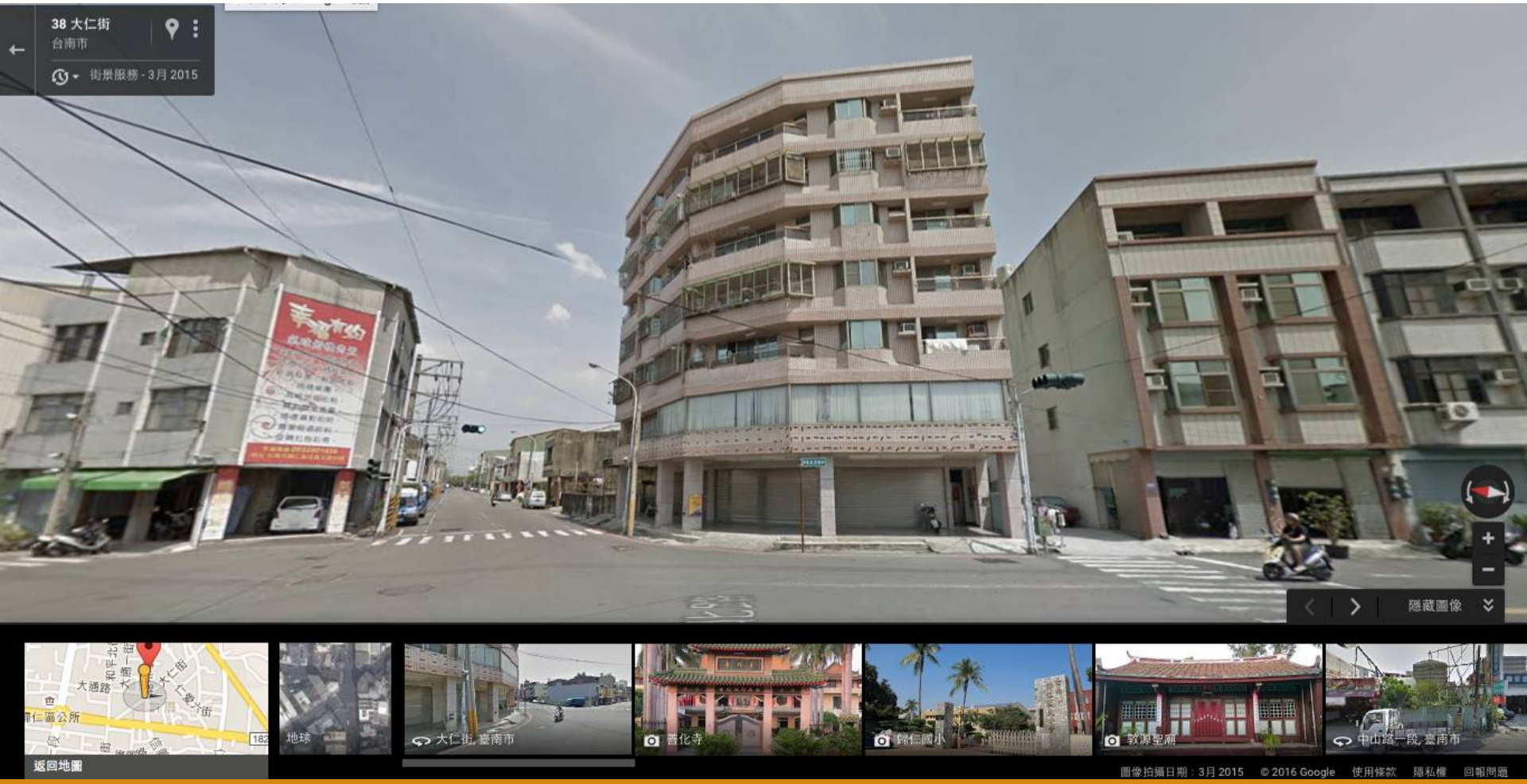
1F & 2F: 店鋪

3F以上: 集合住宅

中層RC建築之底層崩塌

- 歸仁區幸福大樓

  震前 Google街景



中層RC建築之底層崩塌

- 歸仁區幸福大樓

底層崩塌嚴重，難以辨識破壞模式與倒塌機制，需根據原始設計圖說建置結構模型分析

中層RC建築之底層崩塌

- 新化區京城銀行

地上11層，地下1層

屋齡約20年

1F-3F 崩塌，往道路傾斜

1F-3F: 銀行、辦公空間

4F以上: 出租住宅（閒置中）

中層RC建築之底層崩塌

- 新化區京城銀行

中層RC建築之底層崩塌

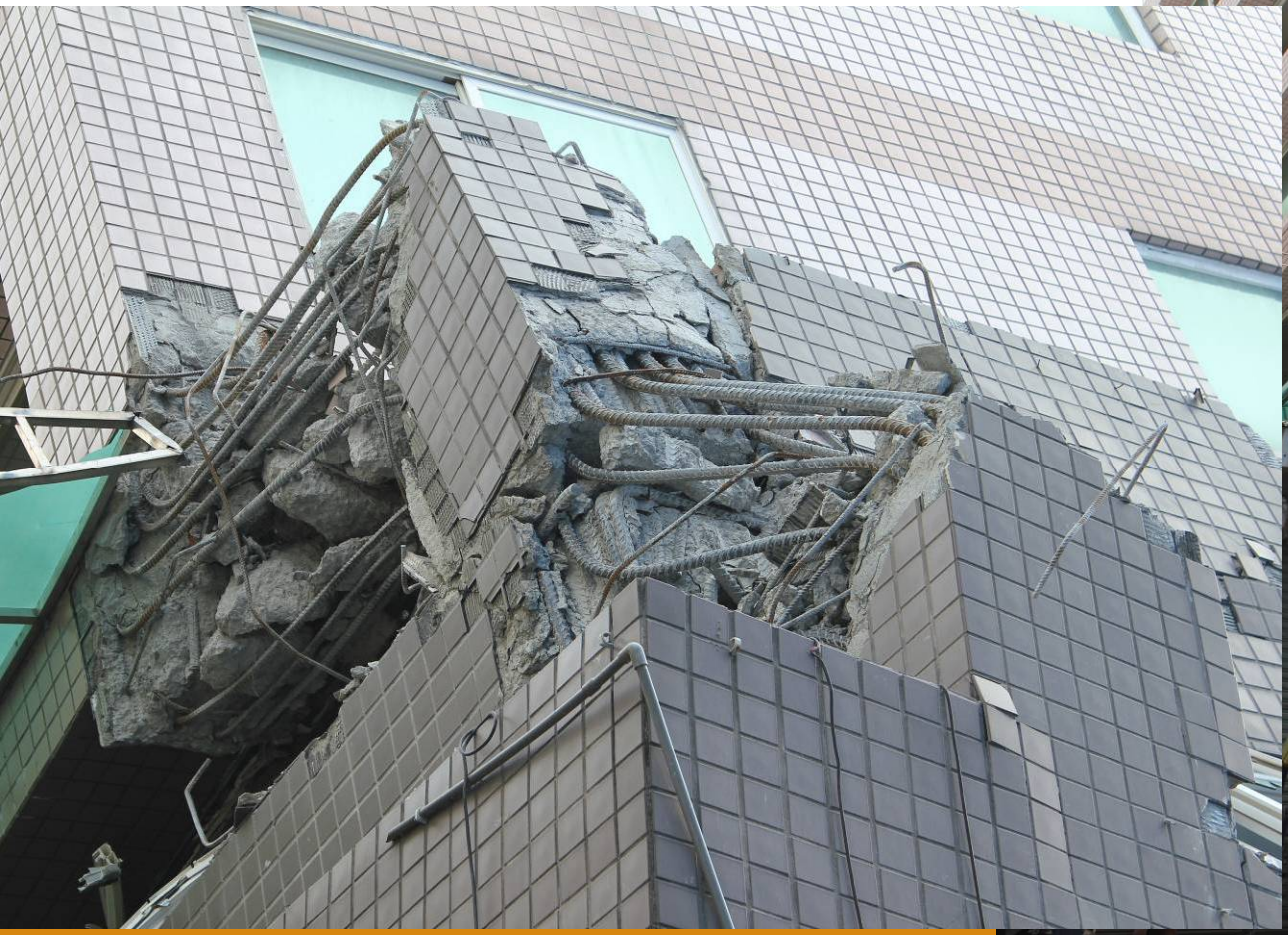
- 新化區京城銀行

  震前Google街景

中層RC建築之底層崩塌

- 新化區京城銀行

1-3F柱剪力破壞，箍筋量似不足，採90度彎鉤

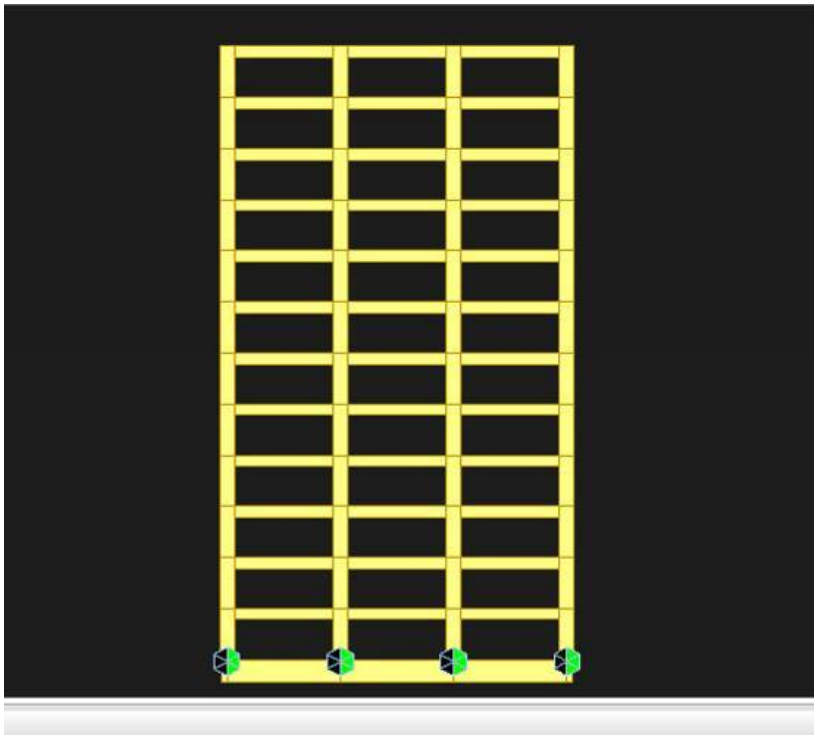


非結構牆之剛度貢獻探討-窗台短柱

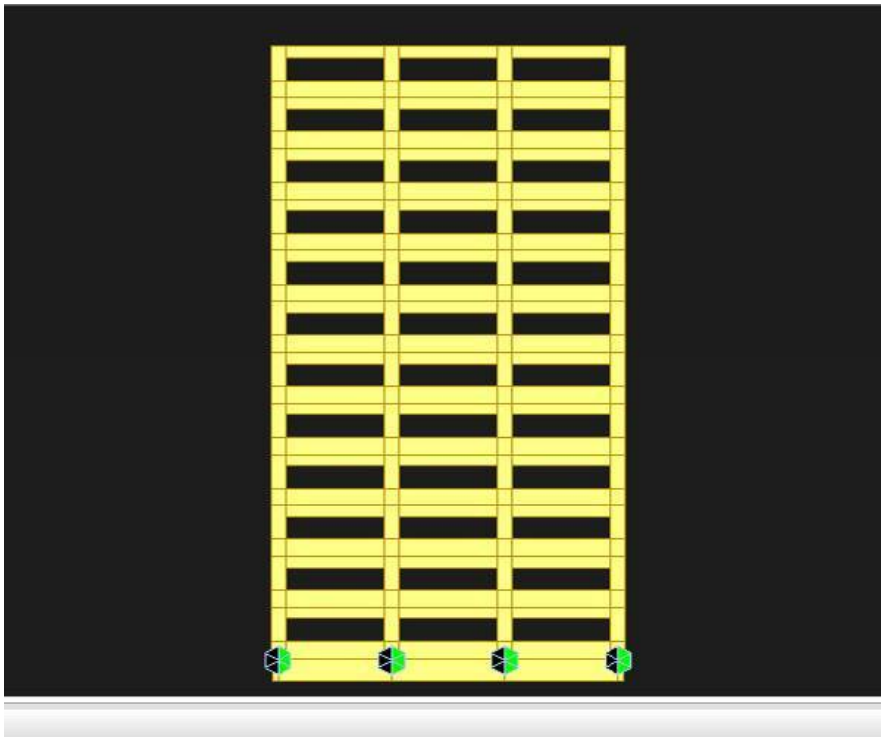
- 結構分析有無建置窗台之比較

設定條件：樓層自重相同，層高270cm，梁深60cm，窗台高90cm

未考慮窗台



考慮窗台存在



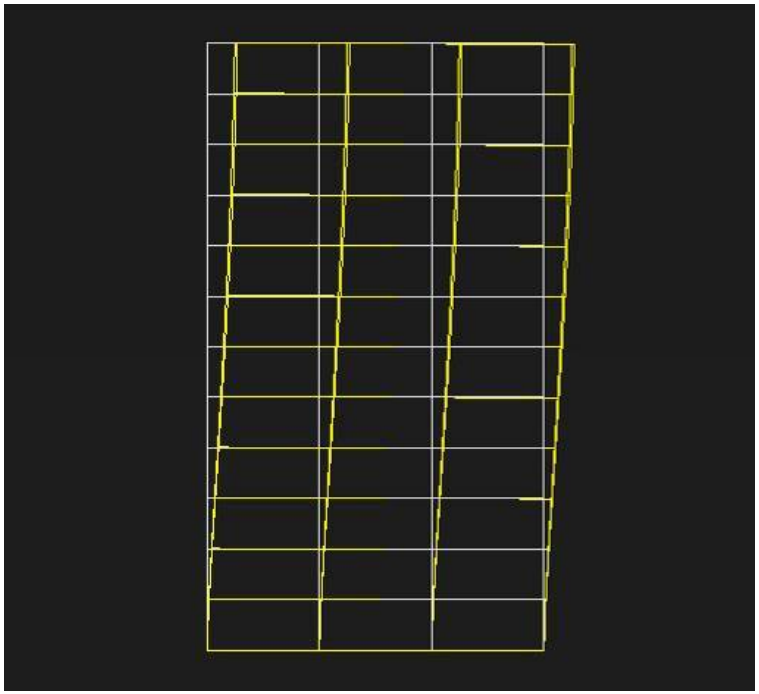
※此為簡化分析模型，不代表真實案例

非結構牆之剛度貢獻探討-窗台短柱

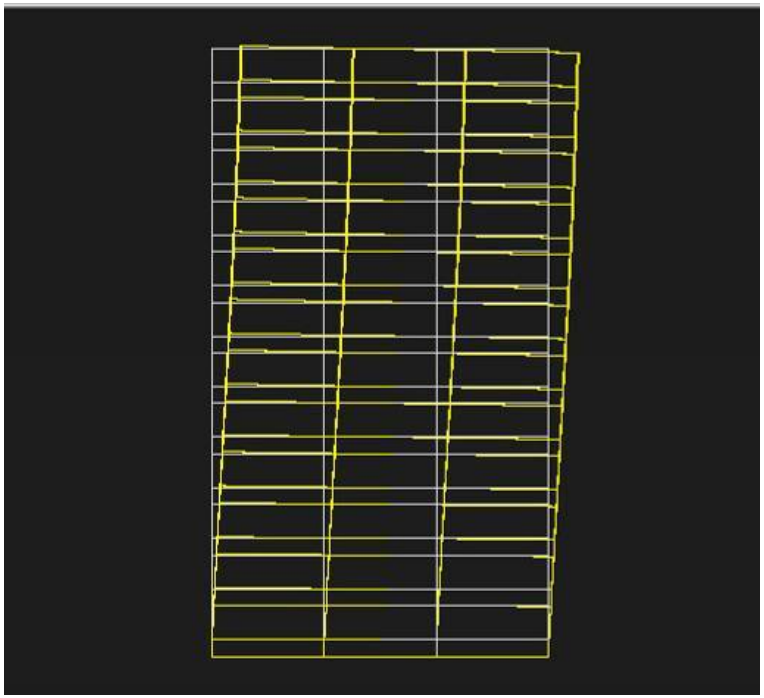
- 側向變形模式

依2011年版耐震設計規範設定地震力，採靜態分析豎向分配

未考慮窗台



考慮窗台存在

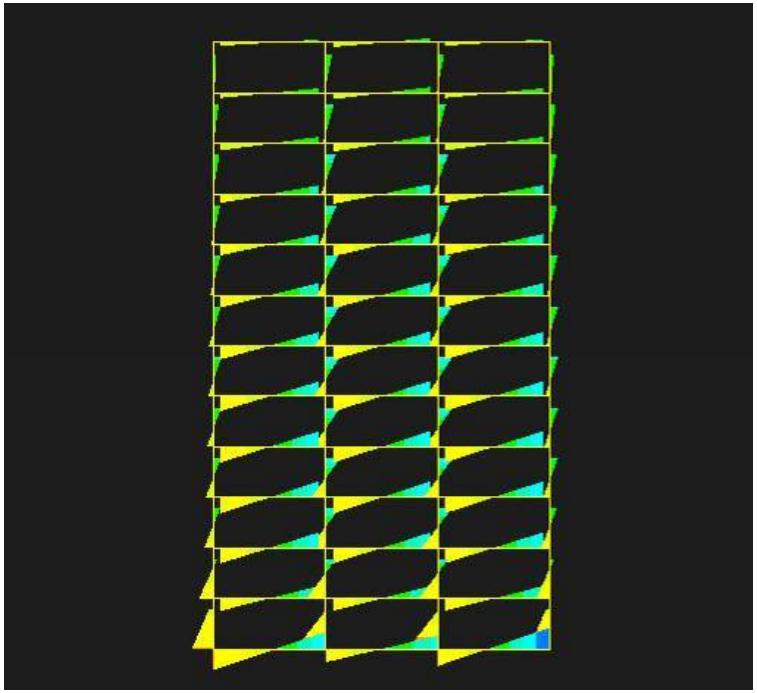


※此為簡化分析模型，不代表真實案例

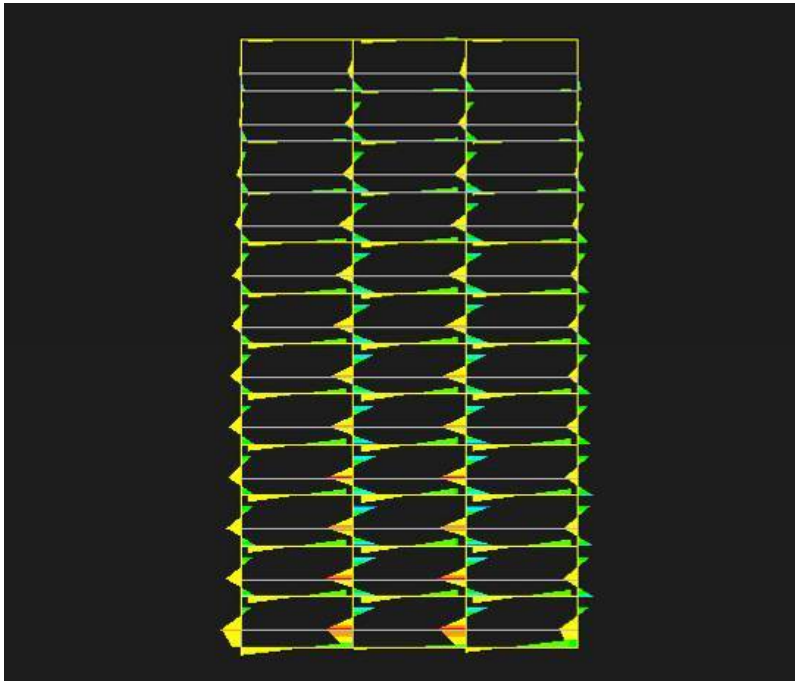
非結構牆之剛度貢獻探討-窗台短柱

- 彎矩圖

未考慮窗台



考慮窗台存在

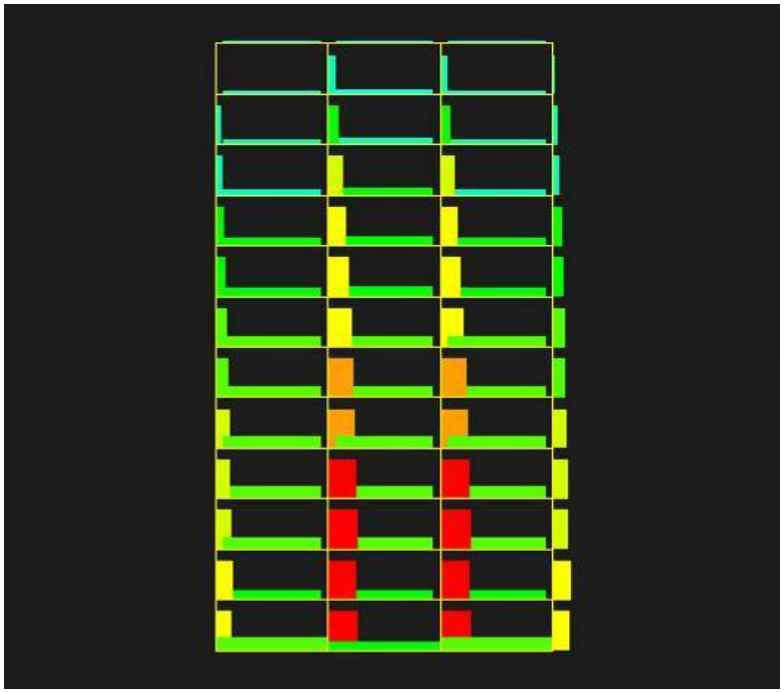


※此為簡化分析模型，不代表真實案例

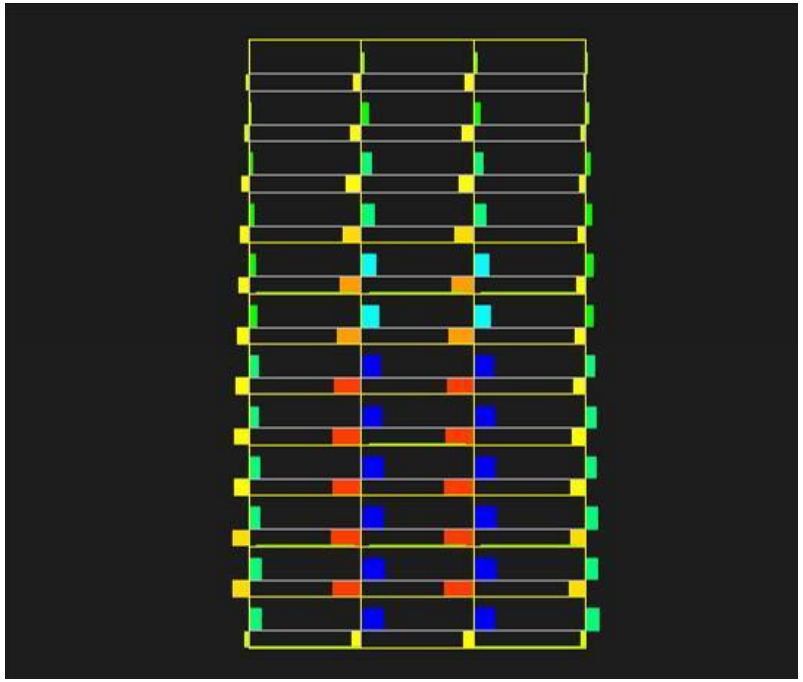
非結構牆之剛度貢獻探討-窗台短柱

- 剪力圖

未考慮窗台



考慮窗台存在



※此為簡化分析模型，不代表真實案例

非結構牆之剛度貢獻探討-窗台短柱

- 結構分析有無建置窗台之比較

	X向週期	法規經驗公式週期	設計基底剪力	底層外柱最大彎矩	底層外柱最大剪力
	(sec)	(sec)	(kgf)	(kgf-m)	(kgf)
未考慮窗台	0.956	0.951	368956	3.22E+04	4.69E+04
考慮窗台	0.397	0.679	565791	4.12E+04	5.20E+04

$T=0.05h_n^{3/4}$

$T=0.07h_n^{3/4}$

- 考慮窗台存在時，振動週期較低，基底剪力較高，底層柱彎矩及剪力皆增加

※此為簡化分析模型，不代表真實案例

中層集合住宅之側傾倒塌

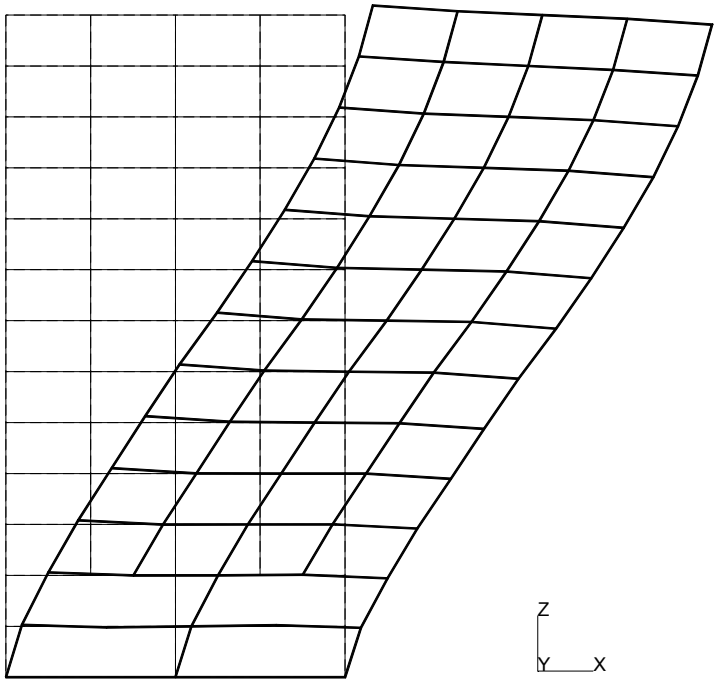
- 永康區維冠金龍大樓

中層集合住宅之側傾倒塌

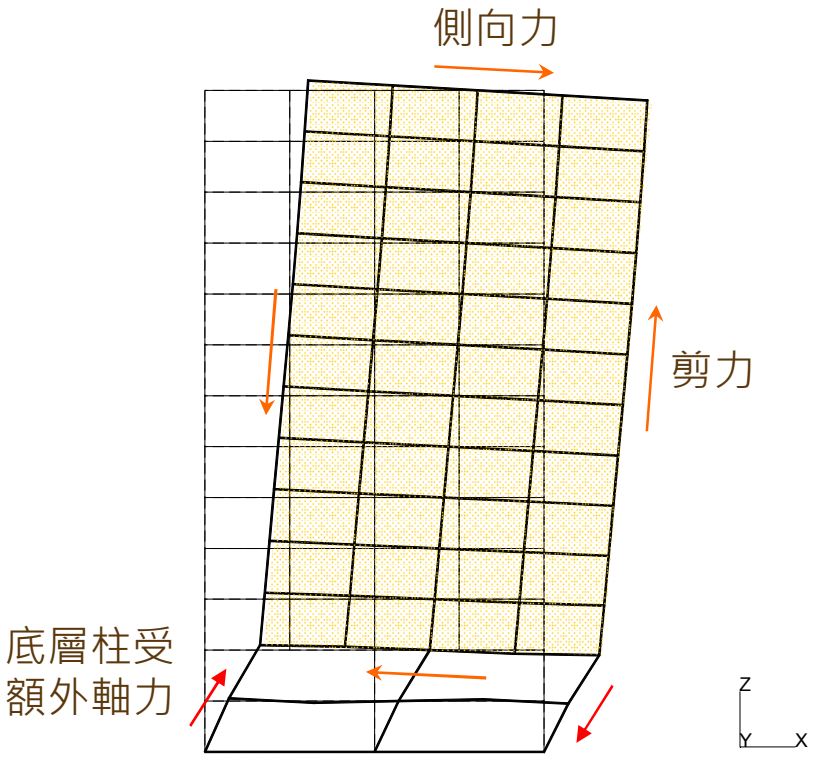
- 921集集地震倒塌集合住宅

中層集合住宅之側傾倒塌

- 軟弱底層於中高層集合住宅



剛構架系統變形模式



上部樓層因牆體加勁，底部開放空間形成軟弱底層

中層集合住宅之側傾倒塌

- 永康區維冠金龍大樓

- 震前Google街景

中層集合住宅之側傾倒塌

- 永康區維冠金龍大樓

地上17層，地下1層

屋齡約23年

底層崩塌，向東側傾倒於道路上

中層集合住宅之側傾倒塌

- 永康區維冠金龍大樓

南翼斷裂處，西南角柱似為拉拔破壞

中層集合住宅之側傾倒塌

- 永康區維冠金龍大樓 - 多處接合部嚴重破壞

中層集合住宅之側傾倒塌

- 永康區維冠金龍大樓

中層集合住宅之側傾倒塌

- 永康區維冠金龍大樓

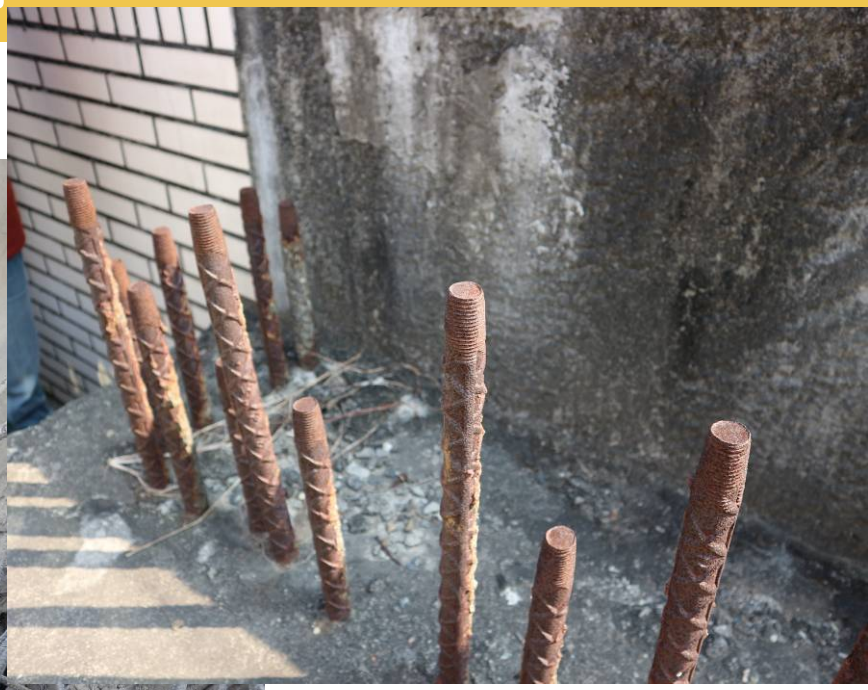
中層集合住宅之側傾

- 梁主筋疑似於彎折處斷裂？

- 箍筋採90度彎鉤但量似無不足
- 混凝土似有平行拉力裂縫
- 主筋斷裂於同一處

中層集合住宅之側傾倒塌

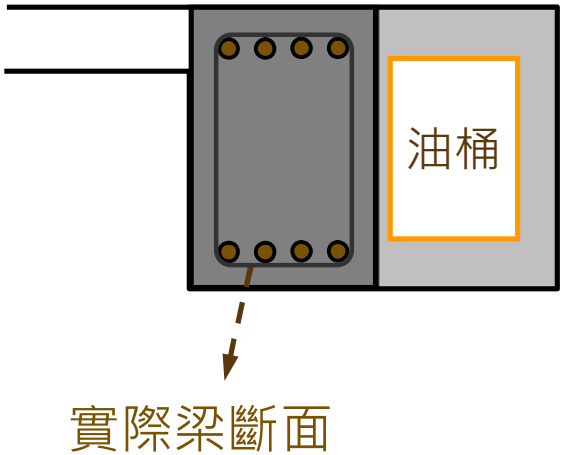
- 永康區維冠金龍大樓



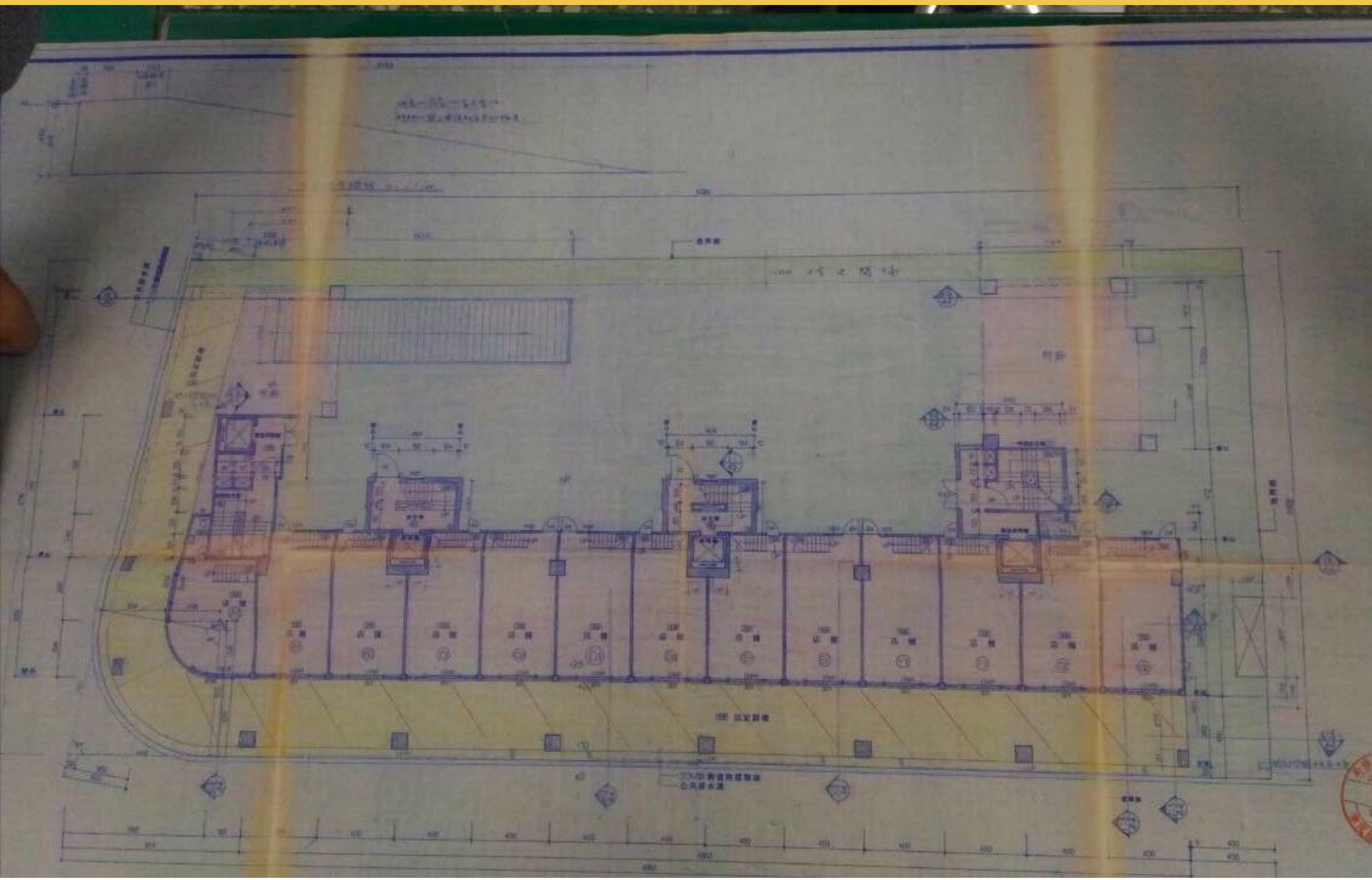
▲ 螺紋式續接器需於鋼筋續接處車牙，造成接合處斷面損失（非本大樓照片）

中層集合住宅之側傾倒塌

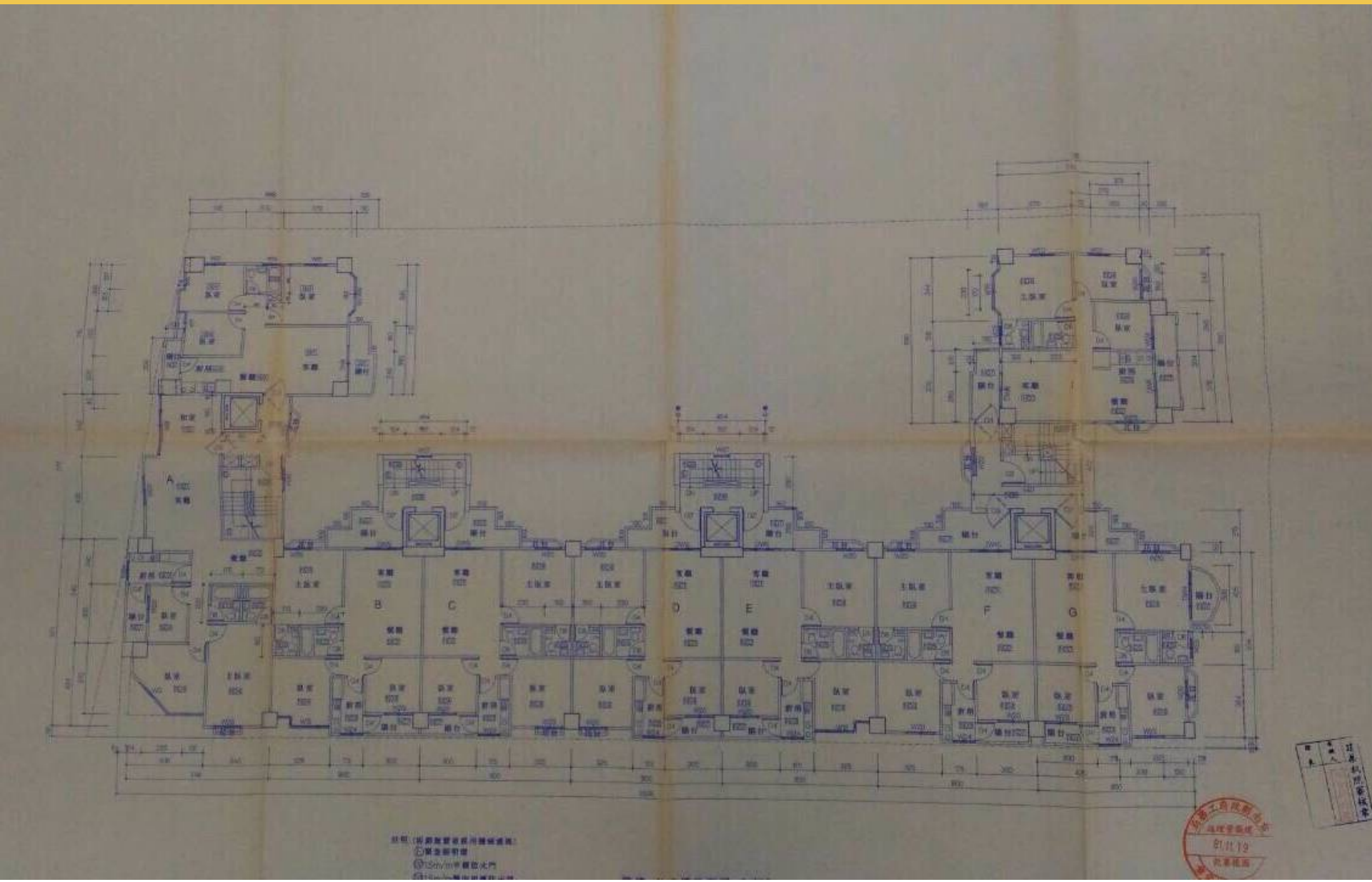
- 永康區維冠金龍大樓



- 梁側增打部分內嵌油桶已知非結構斷面，但增打部分是否對梁造成加勁效果？

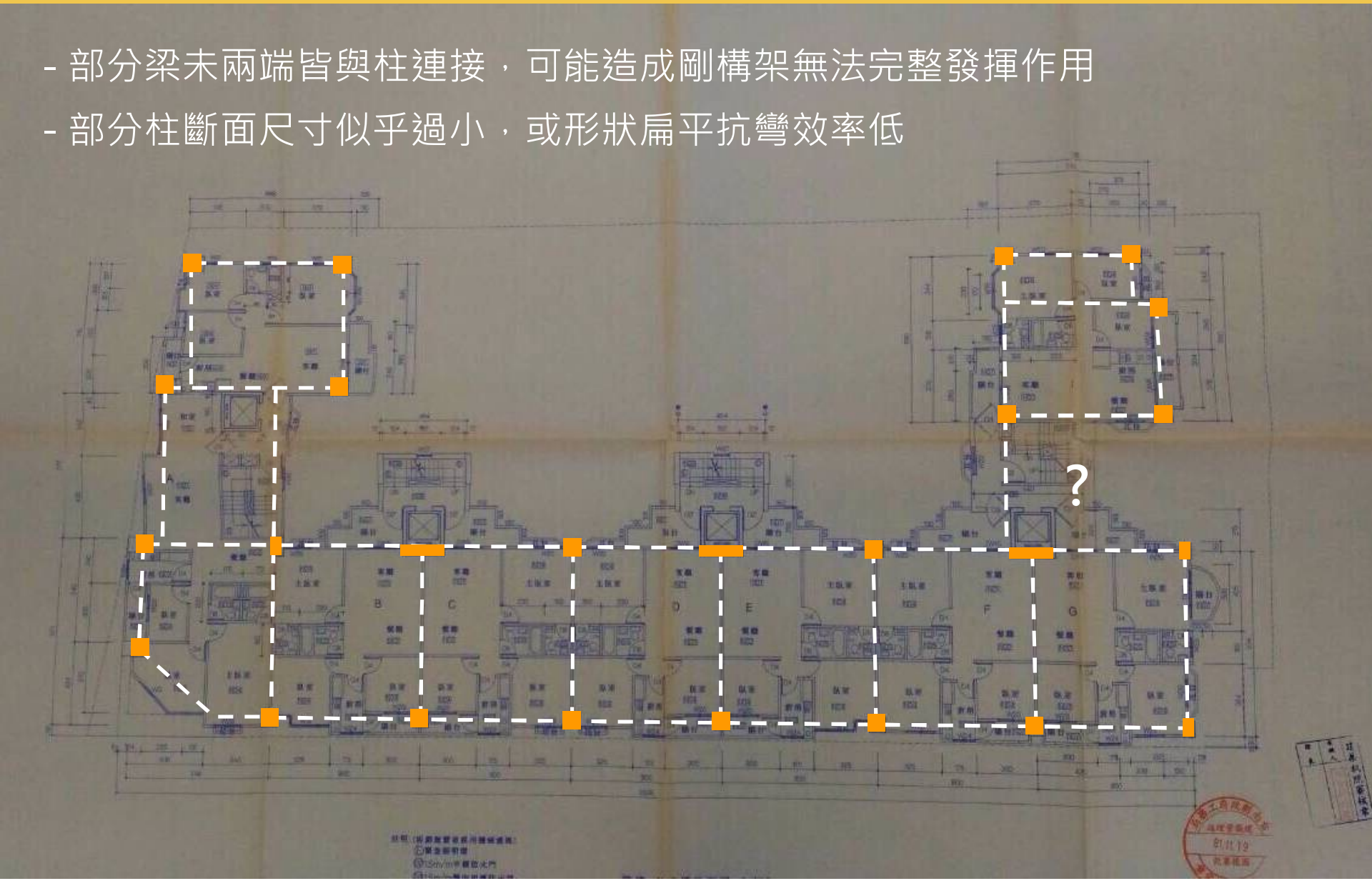


1F建築平面圖（台南市建築師公會提供）



標準層建築平面圖（台南市建築師公會提供）

- 部分梁未兩端皆與柱連接，可能造成剛構架無法完整發揮作用
- 部分柱斷面尺寸似乎過小，或形狀扁平抗彎效率低

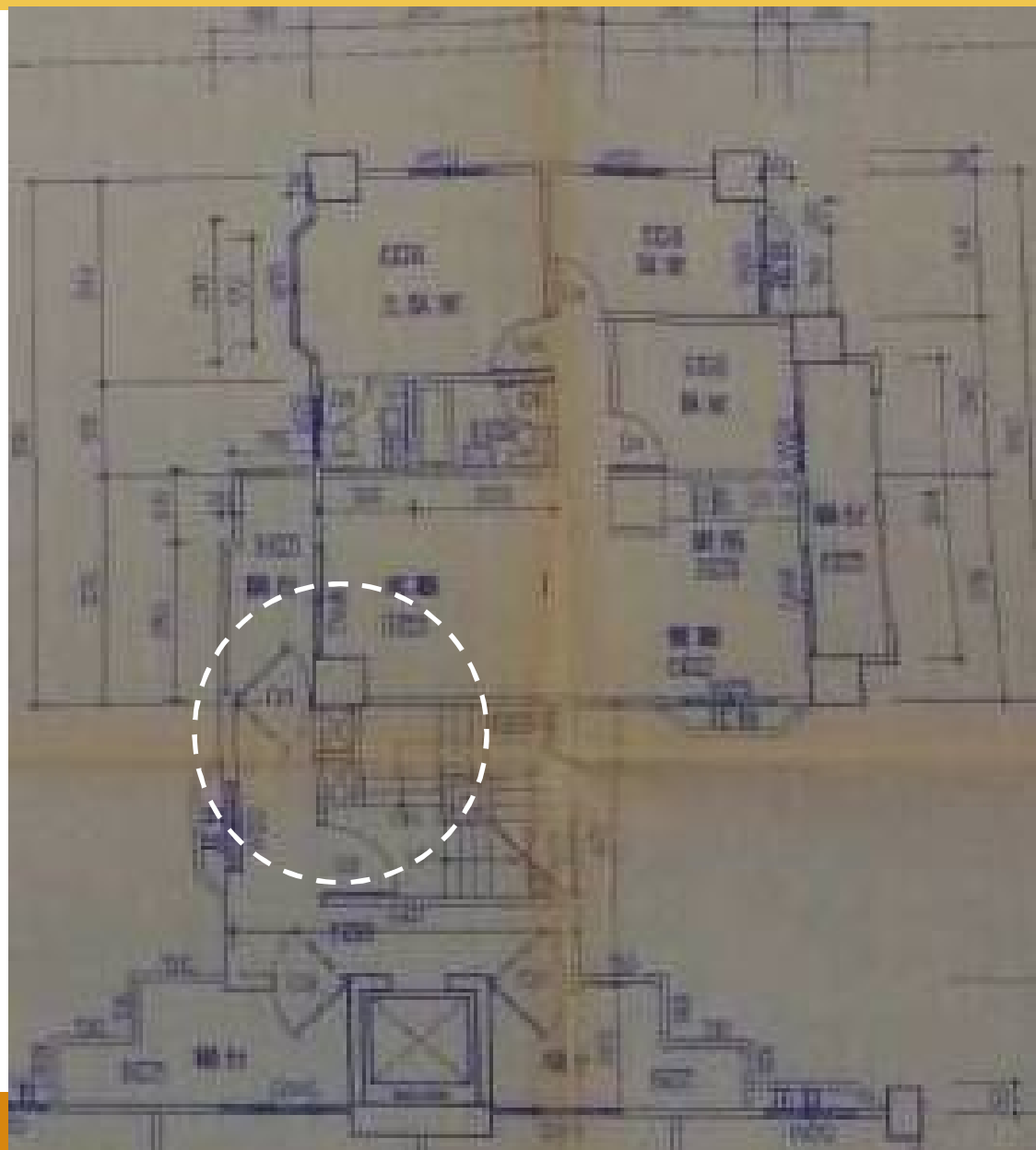


根據標準層建築平面推測梁配置

中層集合住宅之側傾倒塌

- 永康區維冠金龍大樓

疑似管道間配置於應該有梁通過的位置

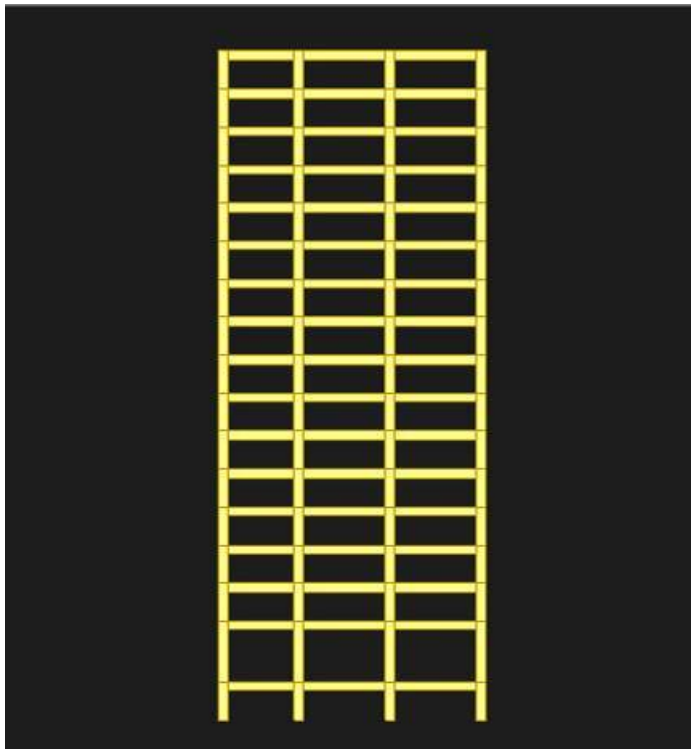


非結構牆之剛度貢獻探討-軟弱底層

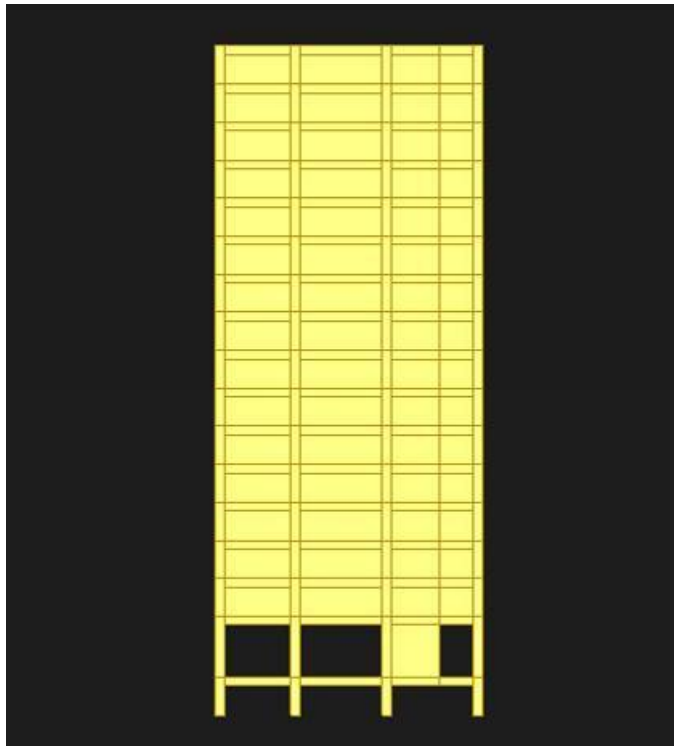
- 結構分析有無建置隔間牆之比較

設定條件：樓層自重相同，地面層挑高，以12cm厚RC牆模擬隔間

未考慮隔間牆



2F以上及1F店鋪有隔間，地下室無牆



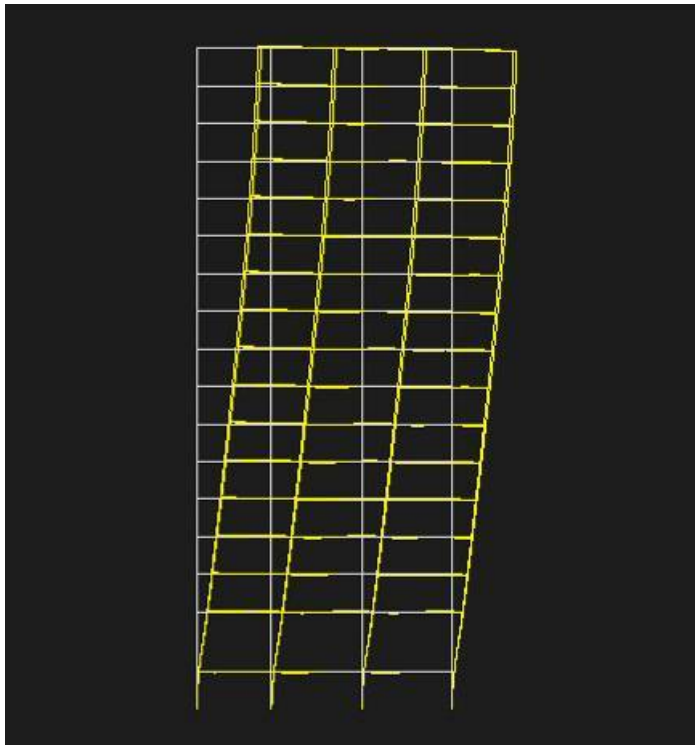
※此為簡化分析模型，不代表真實案例

非結構牆之剛度貢獻探討-軟弱底層

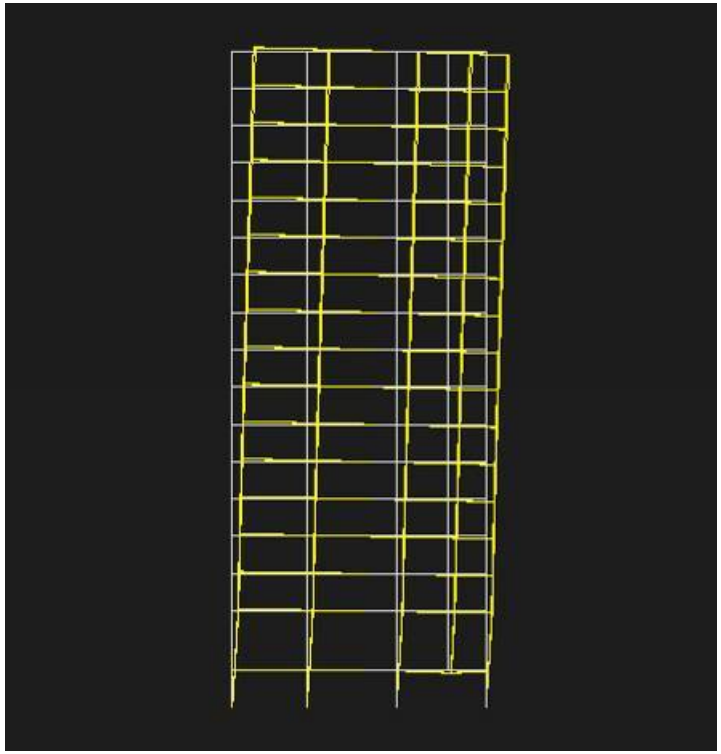
- 側向變形模式比較

依2011年版耐震設計規範設定地震力，採靜態分析豎向分配

未考慮隔間牆



考慮隔間牆存在

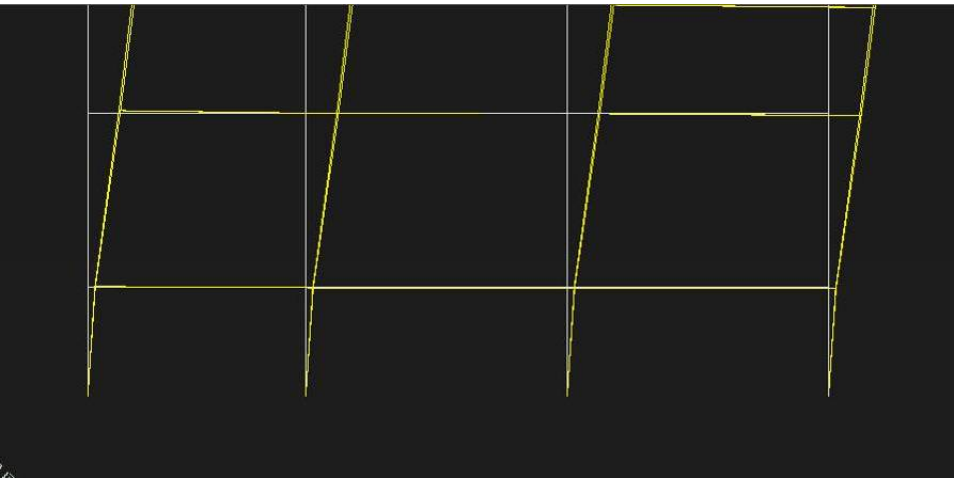


※此為簡化分析模型，不代表真實案例

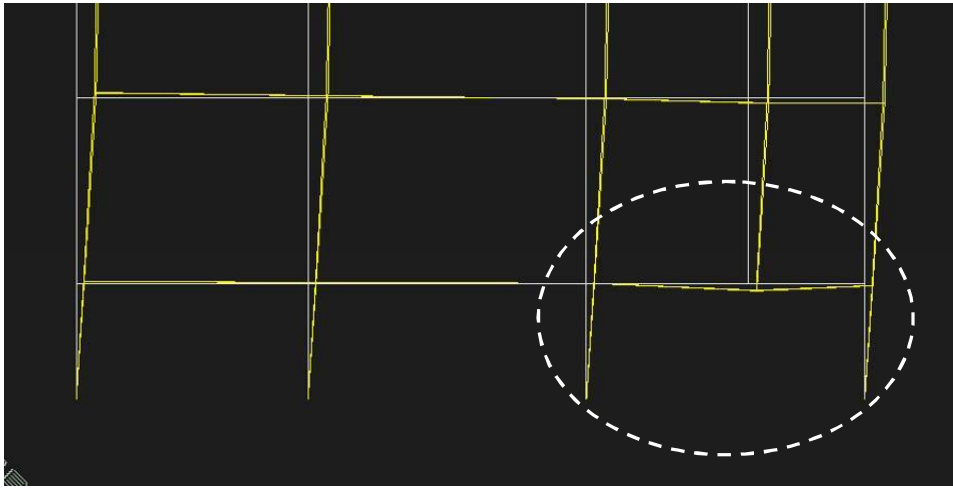
非結構牆之剛度貢獻探討-軟弱底層

- 側向變形模式比較

未考慮隔間牆



考慮隔間牆存在



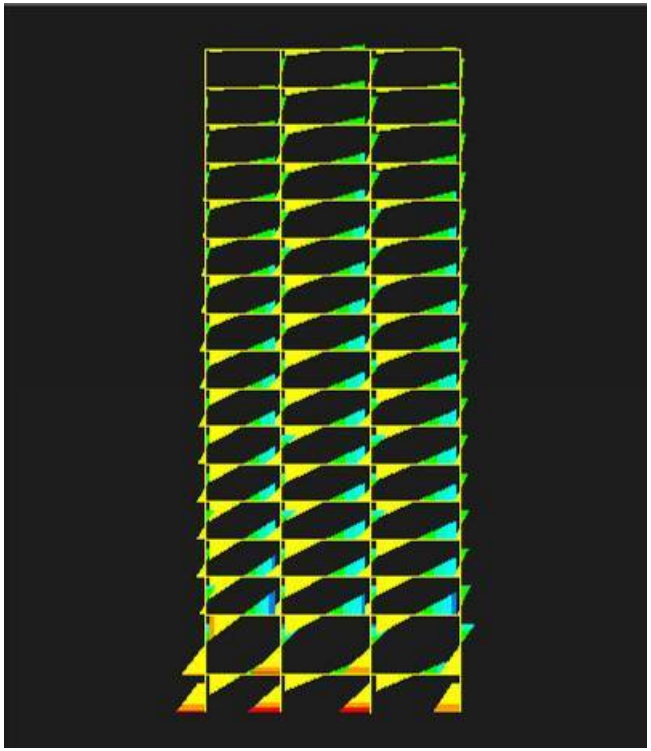
未連通到底的隔間牆對1F梁造成集中力

※此為簡化分析模型，不代表真實案例

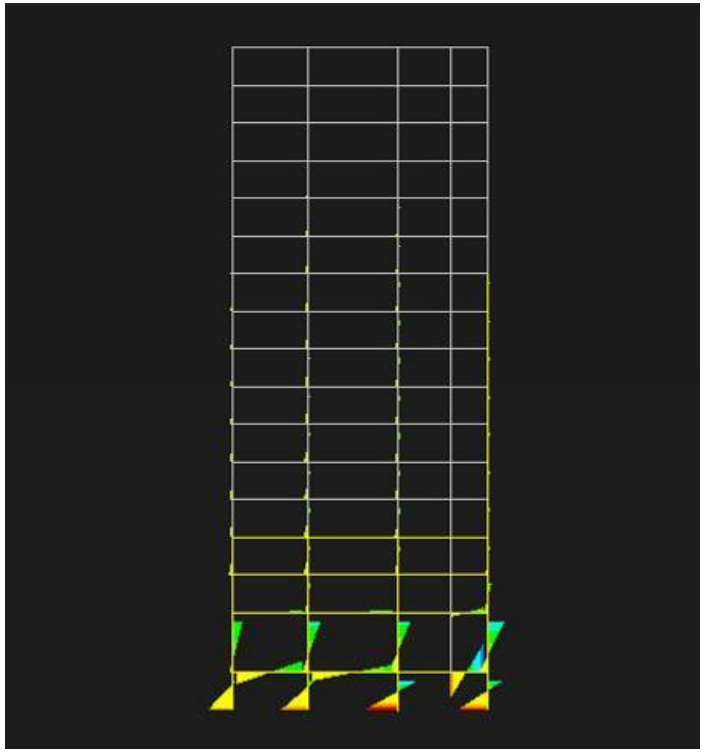
非結構牆之剛度貢獻探討-軟弱底層

- 彎矩圖

未考慮隔間牆



考慮隔間牆存在



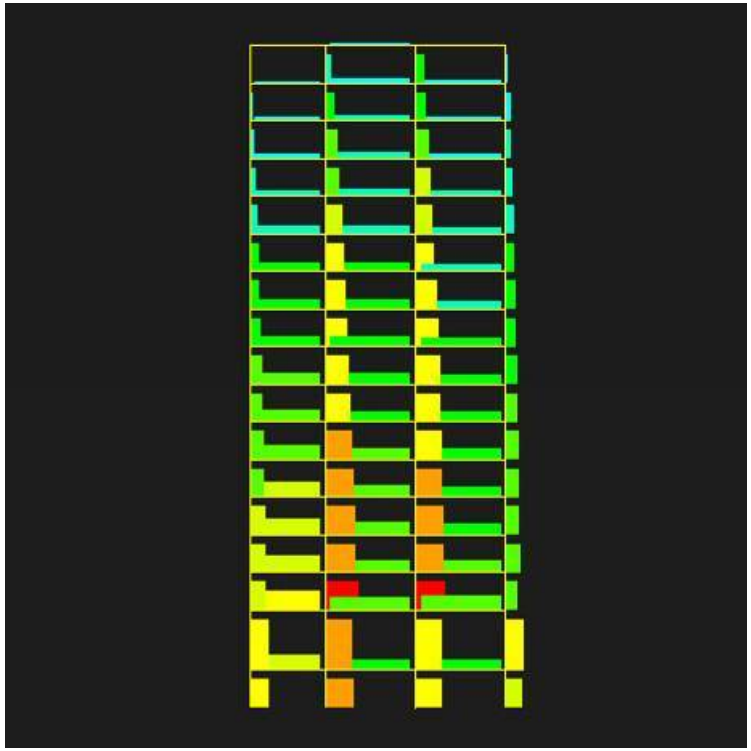
含牆部分之柱梁彎矩減少，若依此設計則偏不保守

※此為簡化分析模型，不代表真實案例

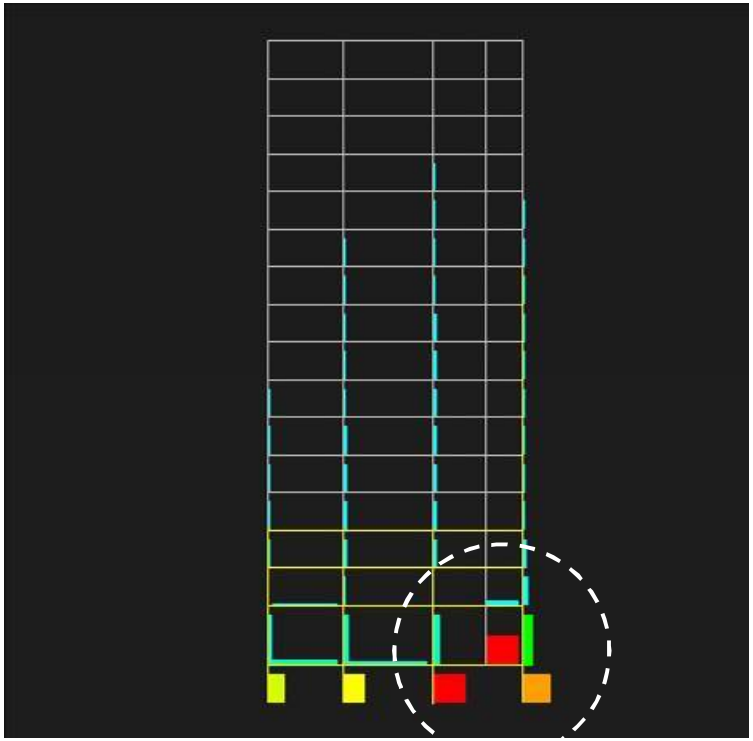
非結構牆之剛度貢獻探討-軟弱底層

- 剪力圖

未考慮隔間牆



考慮隔間牆存在



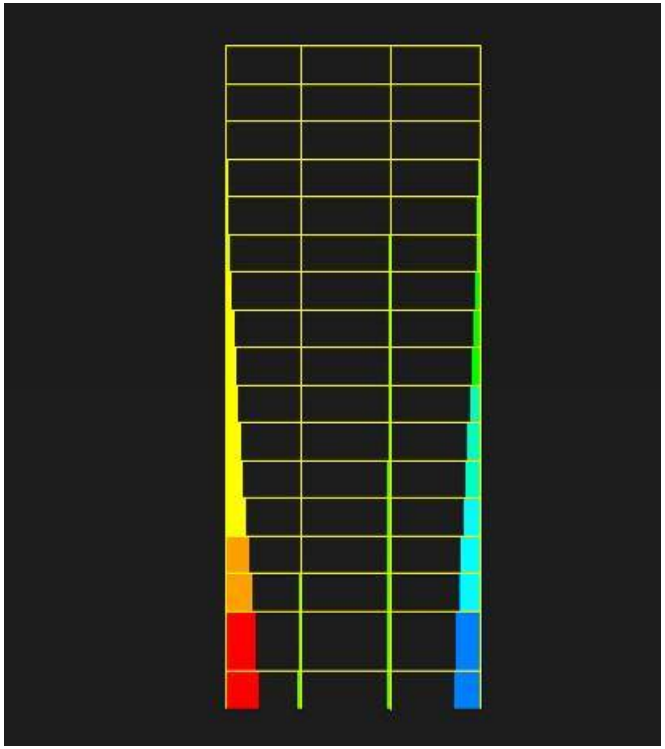
含牆部分之柱梁剪力減少，但牆中斷處梁剪力劇增

※此為簡化分析模型，不代表真實案例

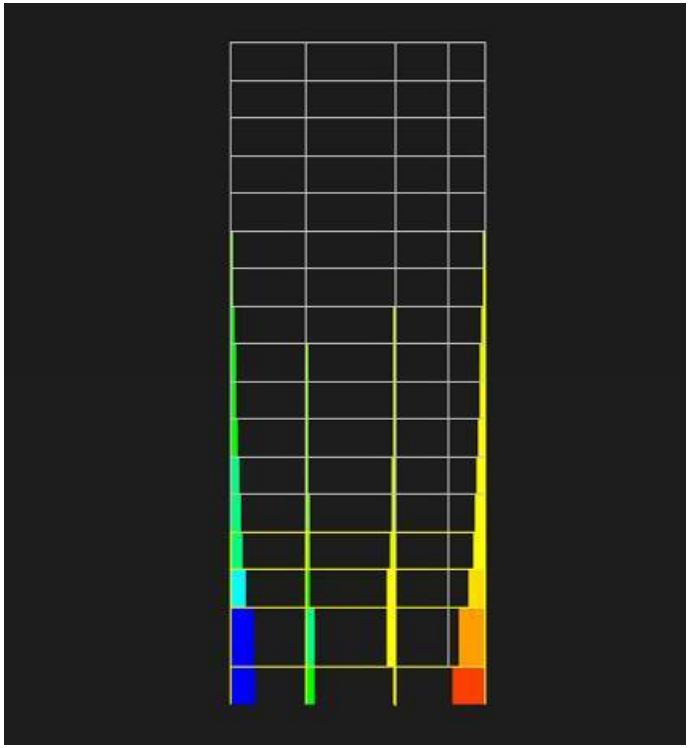
非結構牆之剛度貢獻探討-軟弱底層

- 軸力圖

未考慮隔間牆



考慮隔間牆存在



※此為簡化分析模型，不代表真實案例

非結構牆之剛度貢獻探討-軟弱底層

- 結構分析有無建置隔間牆之比較

	X向週期	法規經驗公式週期	設計基底剪力	底層柱最大拉力	底層柱最大壓力	1F梁最大彎矩	1F梁最大剪力
	(sec)	(sec)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf-m)	(kgf)
未考慮隔間牆	1.546	1.371	347493	3.39E+05	2.74E+05	6.66E+04	2.05E+04
考慮隔間牆	0.625	0.949	761725	5.42E+05	7.01E+05	1.62E+05	1.19E+05

$T=0.05h_n^{3/4}$

$T=0.07h_n^{3/4}$

- 隔間牆未垂直連通到底造成軟弱底層時，底層柱軸力明顯增加，牆中斷處構件應力集中

※此為簡化分析模型，不代表真實案例

一般結構破壞原因

- 許茂雄，「建築結構系統」講義，第十五章「結構破壞」

導致結構破壞的原因，可以歸納爲下列兩類：

1. 設計不當
2. 施工不當

結構設計不當可能來自：利用不當的電腦程式、輸入錯誤的資料、引用不當規範公式、超靜力不足、施工詳圖說明不清楚、對地震力、風壓力、土壤特性、溫度應力等瞭解不深入、設計團隊間協調不夠，造成誤解等。例如豐原高中禮堂屋頂以噴水散熱

在台灣常見的結構體施工不良，不外乎混凝土因添加免費飛灰，造成配比不當嚴重緩凝。或者鋼筋搭接位置不當、箍筋未做135°彎鉤。或者太厚的鋼板（超過50mm者屬太厚）電焊時，未做適當預熱處理，而產生層裂現象，如圖15-7。過度的電焊因溫度太高也會引起鋼材脆化。

美濃地震建築結構損害原因之思考

- 老舊建築
  - 多數倒塌建物屋齡為20-30年或更久，無921之後興建建物
- 非韌性設計
  - 剪力破壞為最主要的損害原因，顯示箍筋在RC結構的重要性
- 非韌性施工
  - 接合部位（柱梁接頭、鋼筋續接、混凝土與鋼筋之握裹）之性能應有效確保
- 非結構牆之剛度貢獻未妥適納入分析
  - 如何適當評估”非結構牆”之剛度？或以適當工法隔離其剛度影響
- 其他 - 既存建物應進行耐震評估及補強

耐震補強之重要性

- 典型區公所震害

山上區公所，地上3層

屋齡約30年，中害

- 1F幾乎所有柱皆剪裂
- 天花板及櫃子受損

-南化區公所

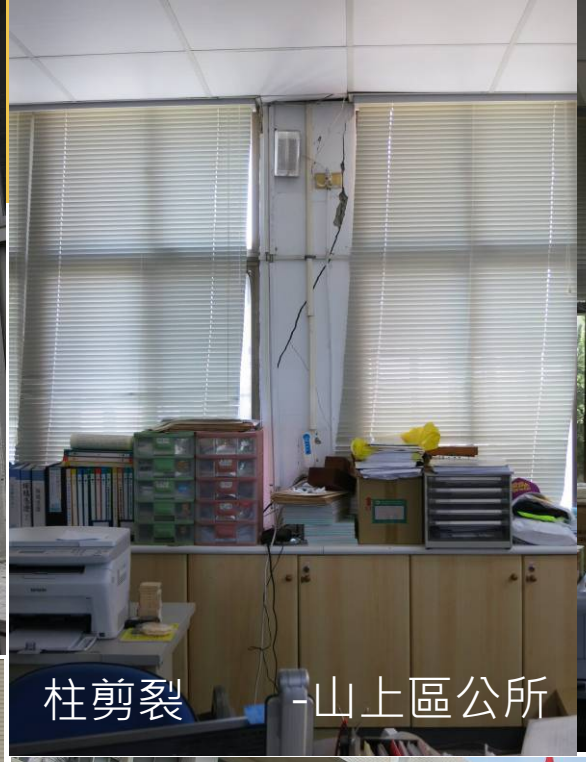
-山上區公所

-左鎮區公所

RC剪力牆補強

-歸仁區公所

柱剪裂
-南化區公所


柱剪裂
-山上區公所

舉手做環保
明日會更好

柱剪裂
-左鎮區公所

無害
-歸仁區公所

如何善用牆壁

- 山上國中（鄰近山上區公所、山上區公有市場）

地上3層，屋齡30-50年（分期興建）

尚未補強

（初評分數較高）

兩跨教室，懸臂走廊

無害

如何善用牆壁

- 921集集地震倒塌校舍

與山上國中類似的兩跨教室平面、懸臂走廊，折版屋頂

如何善用牆壁

- 山上國中

背面構架有多數加強磚造翼牆

結語

- Learning from Earthquake

921集集地震震損校舍

從每次地震中，
我們學到了什麼？

是否準備好
面對下次地震？

感謝您的聆聽

敬請指教