

善豐花園事件補充調查工作 簡介

2014年4月10日

事件發生概況

- 善豐花園於2012年10月10日發生混凝土結構柱出現爆裂及鋼筋外露的情況。
- 根據初步調查結果所示，二樓受損的混凝土結構柱(P9號)及同層其他3條混凝土結構柱(P8號、P17號及P22號)的混凝土質量偏低。P9號混凝土結構柱更因混凝土強度不足而導致爆裂損壞。

工作團隊

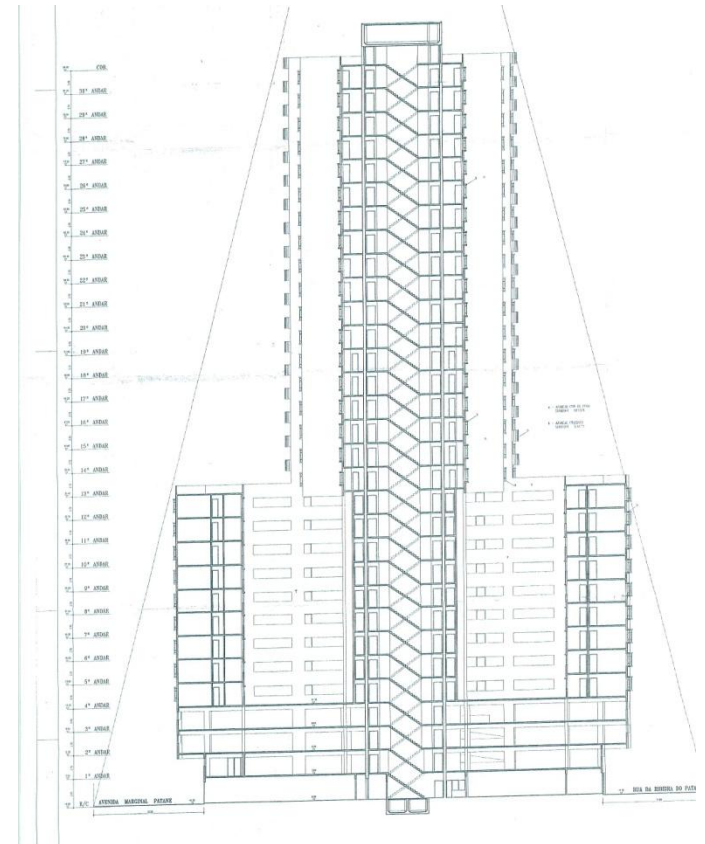
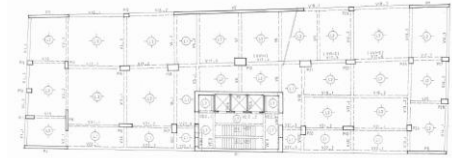
澳門大學團隊		臺灣大學團隊	
高冠鵬 副教授	結構工程，前土木系主任	呂良正 教授	結構工程，土木系主任
姚偉彬 教授	結構工程	蔡益超 名譽教授	結構工程，曾任臺大地震工程中心主任
陸萬海 助理教授	岩土工程	高健章 名譽教授	混凝土專家
林智超 助理教授	結構工程	陳正興 教授	岩土工程
		專業技師	
		楊慕忠	結構工程
		何樹根	岩土工程

工作內容

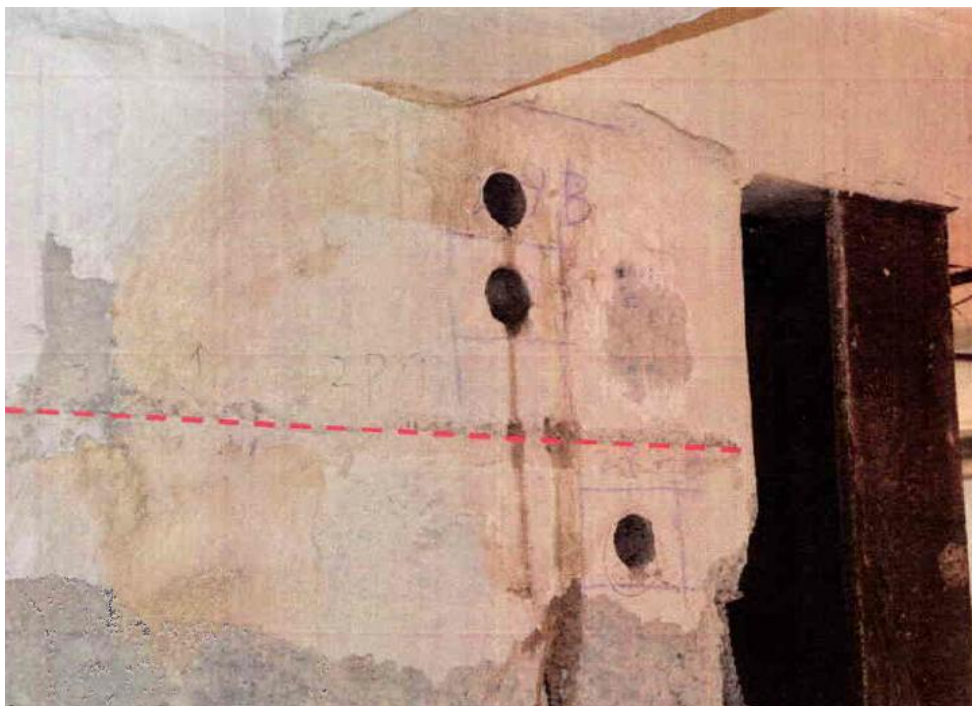
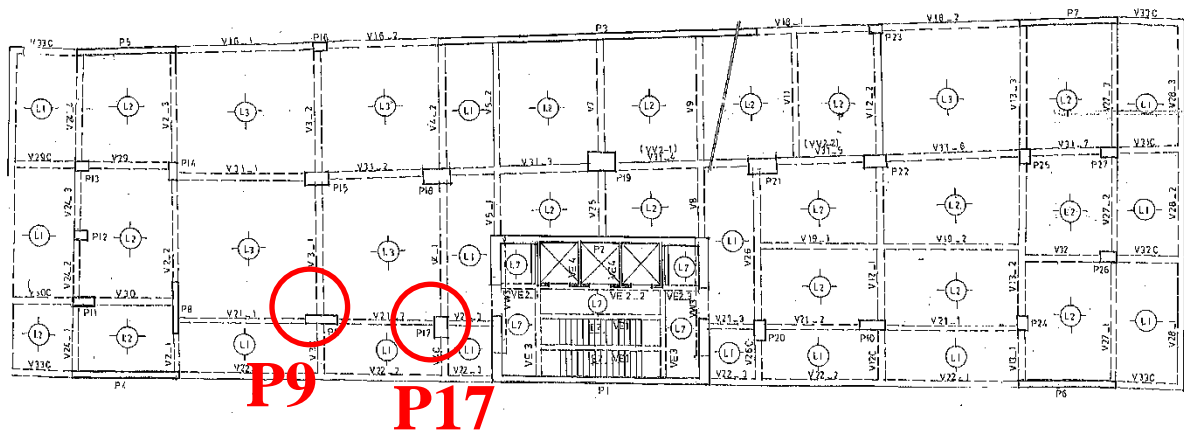
- 善豐花園混凝土強度的影響
 - 主要於第二次鑽心以收集整體強度數據
- 結合一、二次鑽心數據，進行結構分析
 - 構件設計強度
 - 構件現有強度
 - 破壞後的影響
- 以結構分析結果為依歸，分析各項原因的可能性：
 - 蘇豪薈地基工程之影響
 - 風力之影響
 - 大樓傾側的影響

混凝土鑽心取樣工作

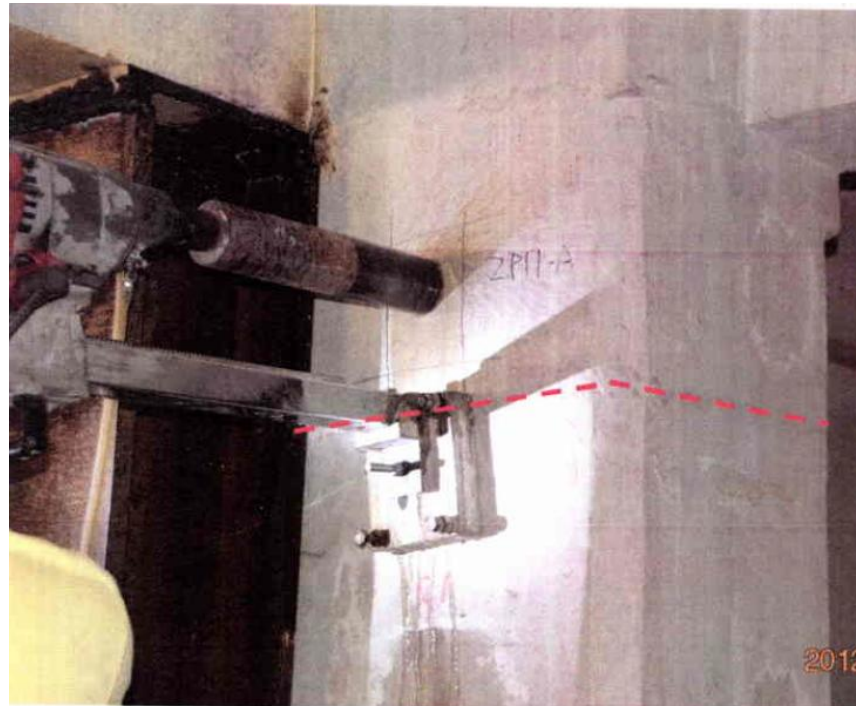
- 第一次於2012年10月
 - 於2樓爆柱區域
- 第二次於2013年12月
 - 於大樓各層進行
- 主要進行抗壓強度和化學試驗
- 以美國ACI318-95為判定標準



第一次鑽心 取樣 (10/2012)

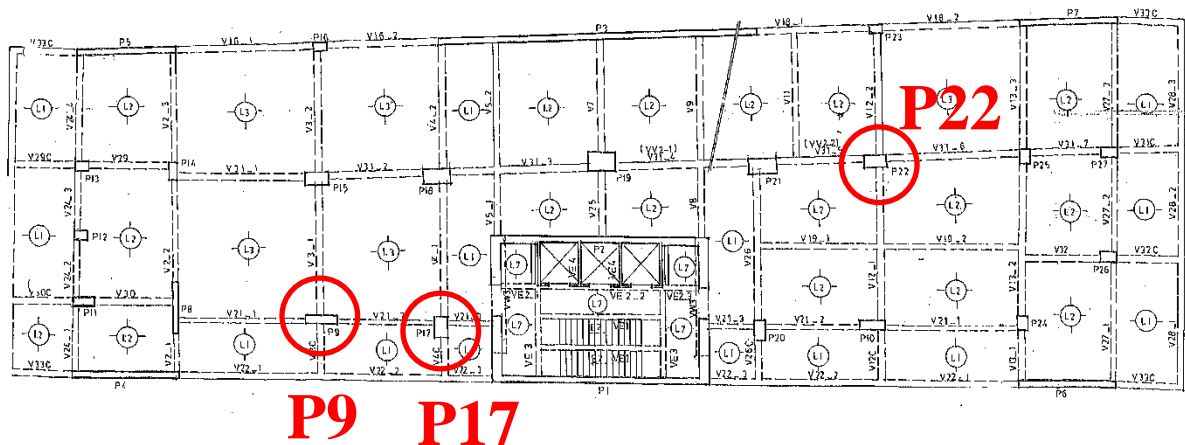


P9



P17

第一次鑽心 取樣 (10/2012)



第一次化性試驗結果 (全在二樓)

試體編號	構件位置 (註1)	氯離子含量 (%)	氯離子與水泥比 (%)	水泥含量 (%)	骨材與水泥比	pH值	碳化試驗位置	碳化深度 (mm)
P13	柱	未做化性試驗					柱中	27
P11	柱						柱中	25
P14	柱						柱中	35
P8_A	柱頂	<0.01	0.02	13.1	6.4	12.7	柱中	28
P8_C	柱底	<0.01	0.02	13.4	6.2	12.7		
P9_A	柱中	<0.01	0.02	4.9	7.2	12.5	柱中	83
P9_B	柱頂	<0.01	0.02	11.8	7.2	12.7		
P9_B1	柱頂	<0.01	0.01	12.8	6.6	12.7		
P17_A	柱頂	0.01	0.04	14.4	5.7	12.5		
P17_C	柱底	<0.01	0.04	8.1	11.1	12.4	柱中	60
P22_A	柱頂	<0.01	0.02	15.7	5.1	12.6	柱中	80
P22_C	柱底	未做化性試驗						

第一次鑽心試驗結果 (全在二樓)

試體編號	構件位置	抗壓強度 (MPa)
P8_A	柱頂	28.4
P8_C	柱底	14.5
P9_B1	柱頂	25.9
P9_A	柱中	4.5
P17_A	柱頂	12.2
P17_C	柱底	6.6
P22_A	柱頂	27.5
P22_C	柱底	5.6

第二次鑽心取樣(12/2013)

- 全棟普遍取樣(85樣本)
- 普遍強度無明顯偏低
- 碳化深度大部份在4厘米以下 (在保護層內)
- 水泥含量比例亦無異常 (正常為10~15%)

第二次鑽心取樣

第二次鑽心試驗結果							
樓層	取樣數	樓層平均抗壓強度	樓層最低抗壓強度		低於規定抗壓強度之75%		
		(MPa)	(MPa)	位置	處	(MPa)	位置
GF	8	29.6	23.0	V17_7	0		
1F	9	28.7	22.0	VW3	2	22.0	VW3、P21
2F	9	27.2	23.5	P21	0		
3F	9	26.7	23.0	P15、V42_1	0		
4F	6	31.8	29.5	V58	0		
5F	6	25.8	25.0	P10	0		
6F	6	27.5	25.5	P10	0		
8F	3	27.7	26.5	0	0		
10F	2	26.5	25.0	V58	0		
12F	2	32.3	31.5	V58	0		
14F	3	27.7	24.0	P19	0		
16F	3	30.3	29.5	V92_2	0		
18F	3	32.0	29.0	V91_2	0		
20F	3	23.5	19.5	V87	1	19.5	V87
22F	3	24.8	23.0	P19	0		
24F	2	32.8	32.5	V92_2	0		
26F	3	33.0	31.0	VW6	0		
28F	2	36.0	35.5	P19	0		
30F	3	29.3	29.0	V95_1	0		

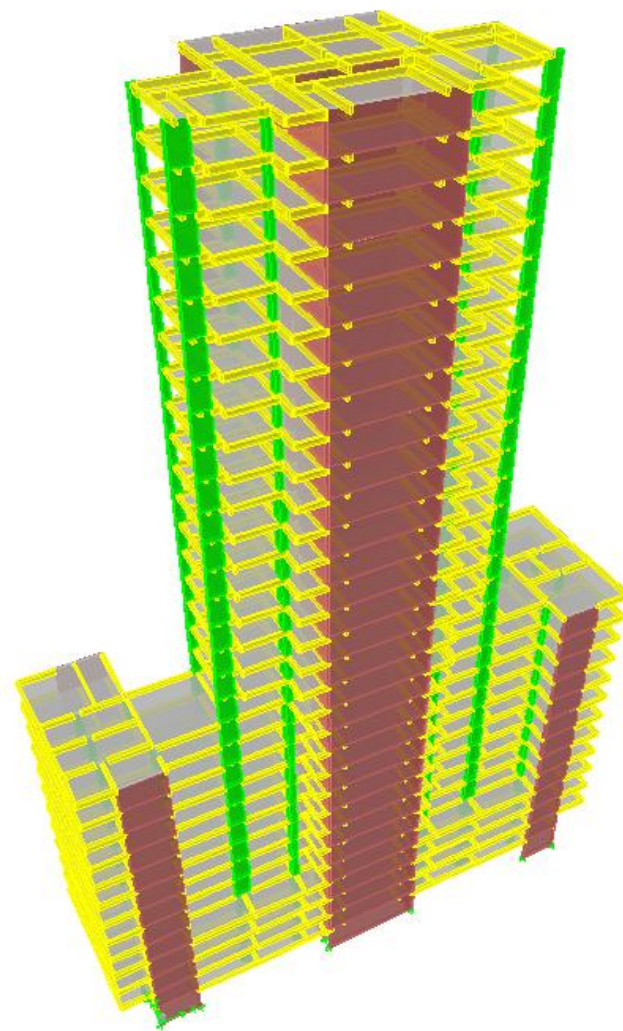
柱鑽心試體



重組善豐花園結構模型

基本資料

- 按業主提供的原設計建築平立面和建構圖，包括：
 - 建築高度
 - 平面跨度
 - 構件，如柱梁之尺寸
- 採用實測強度
- 風荷載以澳門規範計算
- 檢核規範採用興建時期的ACI 318-95，極限強度法



分析結果

- 在常時荷載下，各層大梁均符合要求並承擔各樓的彎矩和剪力
- 三樓以上的柱基本上都能符合要求。只有二樓的P9， P17 和 P22未能達標。

二樓 P9，P17，P22 之檢核

柱編號	柱寬 (cm)	柱深 (cm)	主筋強度 (kgf/cm ²)	實際配筋 (cm ²)	混凝土強度 (kgf/cm ²)	P9未縮短		P9已縮短		軸力容量 (tf)
						柱軸力需求tf	強度/需求	柱軸力需求	強度/需求	
P9	150	40	3546.12	76.98	45.86	790.2	0.36	343.6	0.83	283.8
P17	60	100	3546.12	50.27	67.25	533.9	0.55	658.9	0.44	291.9
P22	100	60	3546.12	128.67	57.06	733.4	0.57	728.0	0.57	418.5

樓宇傾斜度之影響

- 根據澳門大學2013年測量，東西傾斜在 $-1/545 \sim -1/1300$ ，南北傾斜在 $+1/550 \sim -1/1100$

樓層	柱編號	靜載	活載	東西向 1/545橫力		南北向 1/550橫力	
		柱軸力 (tf)	柱軸力 (tf)	軸力增量(tf)	增量/(靜載+活載)	軸力增量(tf)	增量/(靜載+活載)
2F	P8	218.3	46.3	-0.44	0.2%	-0.20	0.1%
	P9	463.6	83.0	1.23	0.5%	2.21	0.8%
	P17	314.7	54.9	3.22	1.2%	1.09	0.4%
	P20	338.5	59.2	-3.57	1.4%	0.99	0.4%
	P10	448.0	82.2	-1.21	0.5%	1.75	0.7%
	P24	180.7	39.8	0.16	0.1%	-0.03	0.0%
	P11	164.0	38.5	0.52	0.2%	-0.23	0.1%
	P26	253.0	58.6	-0.56	0.2%	0.62	0.2%
	P12	170.4	41.6	0.28	0.1%	-0.08	0.0%
	P13	205.9	53.8	0.50	0.2%	-0.46	0.2%
	P14	234.6	58.2	-0.34	0.1%	-0.79	0.3%
	P15	437.9	88.2	1.12	0.4%	-2.23	0.8%
	P18	548.6	109.3	1.65	0.6%	-4.71	1.8%
	P19	578.1	131.4	-0.06	0.0%	-5.34	2.0%
	P21	556.7	110.7	-1.63	0.6%	-4.94	1.9%
	P22	421.9	84.0	-1.12	0.4%	-1.84	0.7%
	P25	249.6	57.1	0.49	0.2%	-0.98	0.4%
	P27	251.7	58.0	-0.71	0.3%	-0.87	0.3%
P16	38.6	9.7	0.10	0.0%	-0.20	0.1%	
P23	39.3	9.9	-0.10	0.0%	-0.20	0.1%	

說明：正號表壓力；負號表拉力

大樓基礎分析和檢核

- 蘇豪薈地基工程可能引發：
 - 善豐大樓間隔牆和外牆出現裂縫（非結構破壞，並不影響樓宇安全）
 - 局部基礎沉降（屬結構破壞，與結構安全有關）
- 以假設的情況模擬局部基礎沉降引起：
 - P9 柱基礎沉降
 - P9 柱不沉降，但旁邊基礎出現沉降，並以P17柱作模擬分析
 - 土壤受擾動

樓層	柱編號	未考慮P9柱樁沉降效應			考慮P9樁沉降效應		
		軸力 (tf)	彎矩 Mx (tf-m)	彎矩 My (tf-m)	軸力 (tf)	彎矩 Mx (tf-m)	彎矩 My (tf-m)
30F	P9	14.7	3.8	4.9	10.0	8.7	8.8
29F	P9	30.1	2.7	4.3	19.9	6.5	7.6
28F	P9	45.6	2.9	4.4	29.9	7.4	8.2
27F	P9	60.9	2.7	4.4	39.4	7.2	8.2
26F	P9	76.2	2.7	4.4	48.7	7.3	8.2
25F	P9	91.4	2.6	4.3	58.0	7.2	8.1
24F	P9	106.5	2.6	4.5	67.1	7.6	8.6
23F	P9	121.7	2.6	4.3	76.1	6.8	7.7
22F	P9	136.9	2.7	4.2	85.9	6.9	7.8
21F	P9	152.1	2.4	5.2	95.6	6.8	7.0
20F	P9	167.4	2.3	5.4	106.1	7.0	7.0
19F	P9	182.8	2.2	5.1	116.3	6.6	6.6
18F	P9	198.1	2.0	5.4	126.4	7.5	7.3
17F	P9	213.2	1.9	5.3	135.4	7.6	7.3
16F	P9	228.4	1.9	5.5	144.3	7.9	7.6
15F	P9	243.6	2.1	5.3	153.1	7.6	7.2
14F	P9	258.9	1.6	6.1	162.4	7.5	8.1
13F	P9	274.2	3.8	0.3	171.6	8.5	2.2
12F	P9	294.9	6.7	0.3	177.5	13.3	2.8
11F	P9	315.2	5.8	0.5	180.9	11.9	2.8
10F	P9	336.0	6.1	0.7	185.9	12.3	3.1
9F	P9	357.1	6.1	0.9	190.7	12.5	3.4
8F	P9	378.4	6.2	1.0	195.4	12.8	3.6
7F	P9	400.1	6.3	1.2	199.8	13.2	3.9
6F	P9	422.1	6.0	1.3	204.1	12.8	4.2
5F	P9	444.5	8.0	1.6	208.2	16.5	4.4
4F	P9	467.3	2.0	1.1	212.0	4.0	5.1
3F	P9	504.2	7.2	1.7	213.4	7.5	4.7
2F	P9	546.6	4.9	1.4	227.6	5.1	3.8
1F	P9	590.7	7.8	2.7	242.2	7.9	6.1
GF	P9	634.7	2.5	1.7	255.6	2.5	2.4

假設
P9柱
基礎
沉降
2cm

說明：1、常時載重：靜載重(DL)及活載重(LL)。

2、不考慮載重係數。

樓層	柱編號	未考慮P17樁沉降效應			考慮P17樁沉降效應		
		軸力 (tf)	彎矩 Mx (tf-m)	彎矩 My (tf-m)	軸力 (tf)	彎矩 Mx (tf-m)	彎矩 My (tf-m)
30F	P9	14.7	3.8	4.9	15.8	4.1	6.4
29F	P9	30.1	2.7	4.3	32.2	2.9	5.6
28F	P9	45.6	2.9	4.4	48.7	3.2	5.9
27F	P9	60.9	2.7	4.4	65.2	3.0	5.9
26F	P9	76.2	2.7	4.4	81.7	3.0	6.0
25F	P9	91.4	2.6	4.3	98.2	2.9	5.9
24F	P9	106.5	2.6	4.5	114.7	3.0	6.4
23F	P9	121.7	2.6	4.3	131.1	2.9	5.9
22F	P9	136.9	2.7	4.2	147.6	3.0	6.0
21F	P9	152.1	2.4	5.2	164.1	2.7	6.2
20F	P9	167.4	2.3	5.4	180.6	2.6	6.4
19F	P9	182.8	2.2	5.1	197.0	2.4	6.0
18F	P9	198.1	2.0	5.4	213.4	2.3	6.5
17F	P9	213.2	1.9	5.3	229.9	2.2	6.5
16F	P9	228.4	1.9	5.5	246.4	2.2	6.8
15F	P9	243.6	2.1	5.3	263.0	2.4	6.6
14F	P9	258.9	1.6	6.1	279.7	1.9	6.8
13F	P9	274.2	3.8	0.3	296.5	4.1	5.9
12F	P9	294.9	6.7	0.3	320.7	7.2	8.4
11F	P9	315.2	5.8	0.5	344.9	6.3	8.1
10F	P9	336.0	6.1	0.7	369.7	6.6	8.8
9F	P9	357.1	6.1	0.9	395.1	6.6	9.4
8F	P9	378.4	6.2	1.0	421.1	6.7	10.1
7F	P9	400.1	6.3	1.2	447.8	6.8	10.8
6F	P9	422.1	6.0	1.3	475.4	6.5	11.7
5F	P9	444.5	8.0	1.6	504.0	8.1	11.7
4F	P9	467.3	2.0	1.1	533.5	4.1	16.6
3F	P9	504.2	7.2	1.7	583.8	10.7	14.3
2F	P9	546.6	4.9	1.4	636.3	8.0	12.9
1F	P9	590.7	7.8	2.7	692.6	12.4	18.5
GF	P9	634.7	2.5	1.7	749.6	3.7	6.6

假設
P17
柱
基礎
沉降
2cm

說明：1、常時載重：靜載重(DL)及活載重(LL)。

2、不考慮載重係數。

樁基檢核

- 善豐花園採用55cm基樁
- 驗算長度採用38m
- 本大樓無地基鑽探記錄，故參考蘇豪薈基樁施作資料
- 本大樓並無足夠資料顯示其樁基入岩，故不採用入岩之方式計算，而採用較保守的計算方式進行分析
- 基樁容許承载力取極限承载力的 $1/3$ ，即採用安全系數3.

承載力檢核				
柱編號	極限承載力 (tf)	容許承載力(tf) 長期 F.S.=3	長期載重(tf) DL+LL	檢核
P4	688	229	125	0.55
P6	688	229	138	0.60
P11	785	262	193	0.74
P8	705	235	173	0.74
P9	687	229	218	0.95
P17	687	229	169	0.74
P20	687	229	178	0.78
P10	687	229	217	0.95
P24	705	235	147	0.62
P12	705	235	153	0.65
P26	705	235	186	0.79
P13	705	235	154	0.65
P14	705	235	190	0.81
P15	687	229	218	0.95
P18	628	209	168	0.80
P19	628	209	170	0.81
P21	628	209	168	0.80
P22	687	229	208	0.91
P25	705	235	193	0.82
P27	705	235	188	0.80
P5	688	229	150	0.65
P16	785	262	148	0.57
P23	785	262	147	0.56
P7	688	229	145	0.63
P1	527	176	175	0.99
P2	527	176	175	0.99
P3	564	188	142	0.76

樁基承載力檢核

考慮擾動後之承载力檢核

柱編號	極限承载力 (tf)	容許承载力(tf) 長期 F.S. =3	長期載重(tf) DL+LL	檢核
P4	671	224	128	0.57
P6	671	224	141	0.63
P11	766	255	200	0.78
P8	688	229	183	0.80
P9	670	223	230	1.03
P17	670	223	174	0.78
P20	670	223	179	0.80
P10	670	223	229	1.03
P24	688	229	157	0.68
P12	688	229	158	0.69
P26	688	229	191	0.83
P13	688	229	157	0.69
P14	688	229	207	0.90
P15	670	223	227	1.02
P18	613	204	175	0.86
P19	613	204	176	0.86
P21	613	204	175	0.86
P22	670	223	217	0.97
P25	688	229	208	0.91
P27	688	229	194	0.85
P5	671	224	153	0.68
P16	766	255	157	0.62
P23	766	255	156	0.61
P7	671	224	149	0.67
P1	514	171	181	1.06
P2	514	171	181	1.06
P3	550	183	144	0.79

假設因受擾動，地表
下0.1米的土壤不存在

風力檢核

- 北泰工業大樓拆卸前
 - 工業大樓遮蔽部份善豐大樓風力
 - 為善豐大樓低樓層提供支點
 - 風力和常時載重造成2樓P9柱軸力為586tf。
- 北泰工業大樓拆卸後
 - 受風面積增大
 - 低樓層支點消除
 - 風力和常時載重造成2樓P9柱軸力為623.5tf
- 拆卸前後比對，增加了37.5tf(6.5%)，並不大
- 完工至今20年期間，最大風速為42.7 m/sec，小於設計值65 m/sec；整段期間風速並無異常。

總結(一)

前後兩次混凝土鑽心試驗結果顯示，混凝土質量較差部份集中在2樓局部，抗壓強度明顯偏低之外，碳化深度較深，成份亦與其它樓層試體有明顯差別。

總結(二)

- 鄰近工地主要造成樓宇非結構性部份如間隔牆和外牆的破壞
- 對其他主要構件，如受力更大的G樓和1樓的梁柱，均沒造成破壞
- 整體而言，即使大樓的土壤受到擾動而失去了5米土壤的承托，大樓下方因設置基樁，承载力仍符於所需。

總結(三)

- 結構分析時亦考量了：
 - P9柱沉降2厘米，導至軸力減少，不足以引起P9柱破壞
 - P17柱沉降2厘米，導至軸力增加了16%，亦不足以引起P9破壞
- 且現場未觀察到有明顯的沉降跡象，此外考慮安全係數3以檢核基樁應力比，最大應力比為1.06，因此可排除樁基礎沉降，造成P9柱破壞之可能。

總結(四)

- 拆卸北泰工業大廈前後，僅導致2樓P9柱 6.5% 軸力上的差異。
- 此外，本地區颱風雖非為罕見，但依據紀錄顯示，過去20多年之風速皆明顯小於規範設計需求。
- 故推論2樓P9柱受損與風力作用無直接關係。

總結(五)

實測大樓雙向傾斜量皆在1/500以下，而此一傾斜造成柱軸力增量並不明顯；2樓柱軸力最大增加 2%，P9柱僅增加 0.8%。

結論

- 無論鄰近工地施工震動、打樁造成基礎沉降之可能、及北泰大樓拆卸前後風力差別，皆與本次善豐大樓2樓柱破壞無直接關係。
- 依據結構分析結果，P9柱因混凝土強度極度偏低，軸向強度自設計值1025.9 tf節減至283.8 tf，僅為原設計值27.7%。此為主因。
- 根據目前的分析，善豐大樓強度不足之構件數量相當少，屬可修復性。後續之補強工法主要是針對低樓層進行擴柱補強及受損柱附近之樑補強。