

2023建築結構耐震評估與補強技術研討會

既有建築物耐震能力初詳評 及補強的現況與未來

鍾立來、邱聰智、林敏郎
曹君婕、涂耀賢、楊智斌

2023.09.01 (台北)

2023.10.20 (台南)

2023.10.27 (台中)

2023.11.24 (台北二場)



TEASPA：初步評估之容量及需求

設計基準(475年回歸期)地震力

$$V = \frac{I}{1.4\alpha_y} \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W$$

耐震規範
式2-3

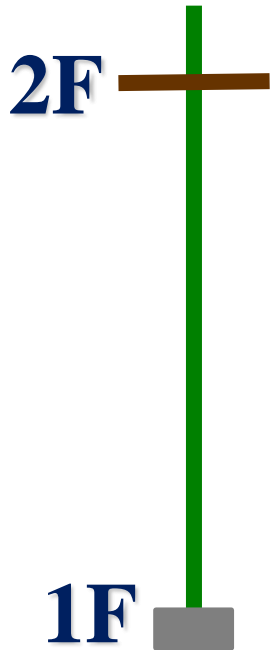
$$\frac{1.4\alpha_y V}{I \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W} = \frac{V_{\text{Cap}}}{V_{\text{Dem}}} = 1 \quad \text{容量需求比}$$

耐震容量 $V_{\text{Cap}} = 1.4\alpha_y V = V_{\text{bs}}$ 極限基底剪力強度

耐震需求 $V_{\text{Dem}} = I \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W$

TEASPA：初步評估之容量

內柱：兩側有梁

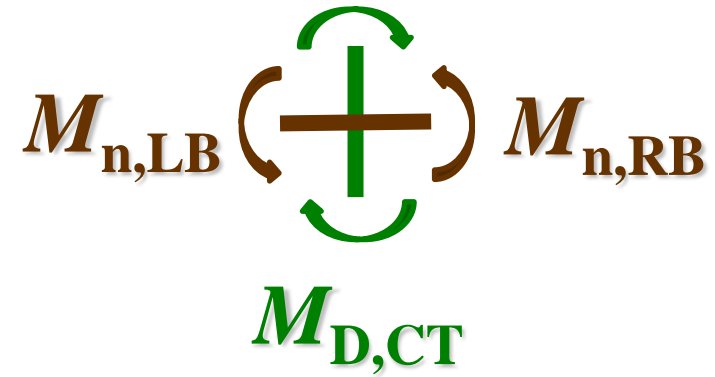


$$\begin{array}{c} M_{n, LB} \quad \left(\begin{array}{c} \curvearrowright \\ \text{+} \\ \curvearrowleft \end{array} \right) \quad M_{n, RB} \\ M_{D, CT} \end{array}$$

TEASPA：初步評估之容量

二樓左梁彎矩強度： $M_{n,LB}$

二樓右梁彎矩強度： $M_{n,RB}$



以勁度分配，得一樓柱頂彎矩：

$$M_{D,CT} = \frac{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F}}{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F} + \left(\frac{EI}{H}\right)_{2F}} (M_{n,LB} + M_{n,RB})$$

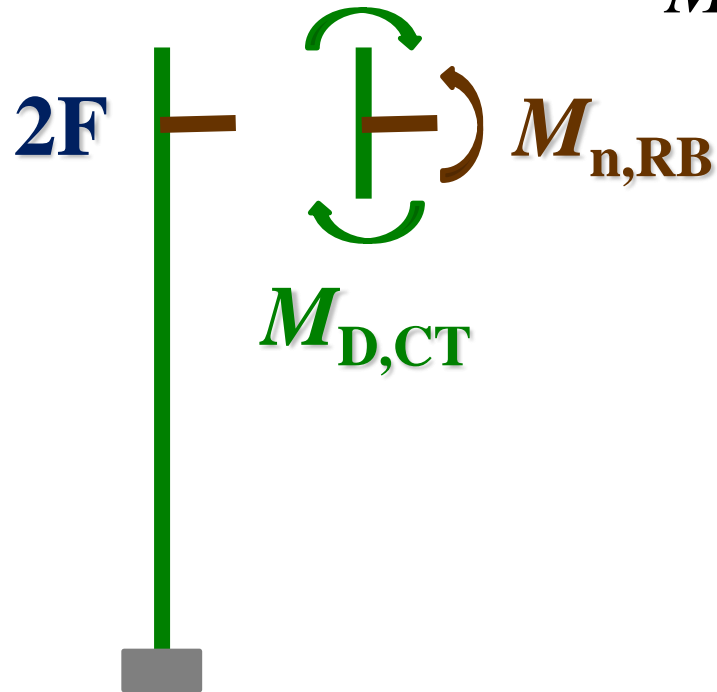
柱之彈性模數： E

柱之斷面積二次矩： I

柱之淨高： H

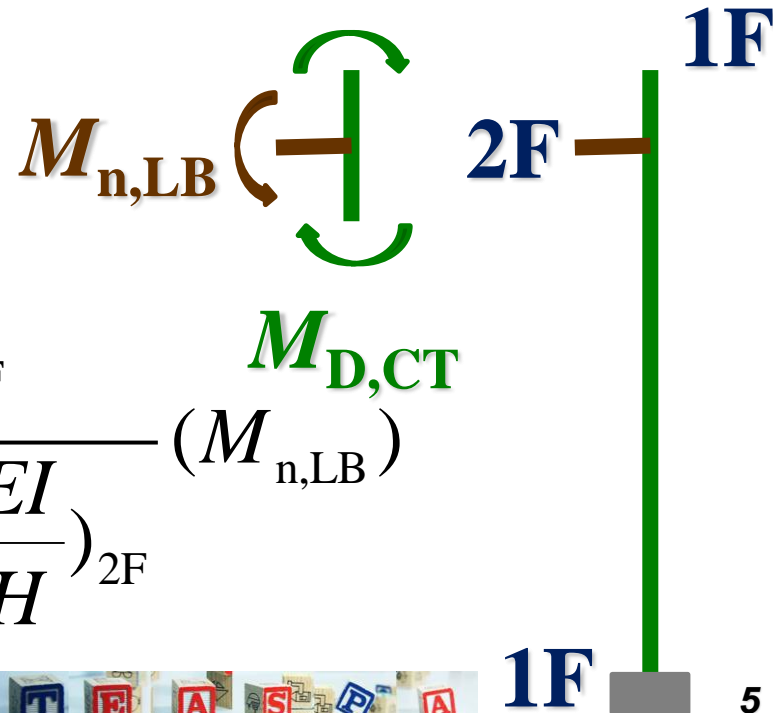
TEASPA：初步評估之容量

外柱：右側有梁



$$M_{D,CT} = \frac{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F}}{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F} + \left(\frac{EI}{H}\right)_{2F}} (M_{n,RB})$$

外柱：左側有梁



$$M_{D,CT} = \frac{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F}}{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F} + \left(\frac{EI}{H}\right)_{2F}} (M_{n,LB})$$

TEASPA：初步評估之容量(強柱弱梁?)

一樓柱頂之分配彎矩： $M_{D,CT}$

一樓柱頂之彎矩強度： $M_{n,CT}$

強柱弱梁： $M_{D,CT} < M_{n,CT}$

弱柱強梁： $M_{D,CT} > M_{n,CT}$

一樓柱頂之彎矩： $M_{CT} = \min(M_{D,CT}, M_{n,CT})$

一樓柱底之彎矩強度： $M_{n,CB}$

一樓柱彎矩主控之側力強度： $V_{m,C} = \frac{M_{n,CB} + M_{CT}}{H_{1F}}$

$$\begin{array}{l} M_{n,LB} \\ M_{n,RB} \\ H_{1F} \end{array}$$

TEASPA：初步評估之容量(剪力破壞?)

一樓柱彎矩主控之側力強度： $V_{m,C}$

一樓柱剪力主控之側力強度： $V_{n,C}$

柱彎矩主控： $V_{m,C} < V_{n,C}$ 彎矩破壞

柱剪力主控： $V_{m,C} > V_{n,C}$ 剪力破壞

一樓柱之側力強度： $V_C = \min(V_{m,C}, V_{n,C})$

結構之極限基底剪力強度： $V_{Cap} = V_{bs} = \beta \sum V_C$

β ：折減係數，所有柱子未必同時發揮其強度

TEASPA：初步評估之需求

$$V_{\text{Dem}} = I \left(\frac{S_{\text{aD}}}{F_u} \right)_m W$$

在檢核既有建築之耐震能力時

以 475 年回歸期之設計地震作為檢核依據

設計譜加速度 S_{aD}

韌性發展到韌性容量 R 值， $R = \gamma R_N$ (新建)

$R_a \rightarrow R$

$F_u \rightarrow F_{uM}$

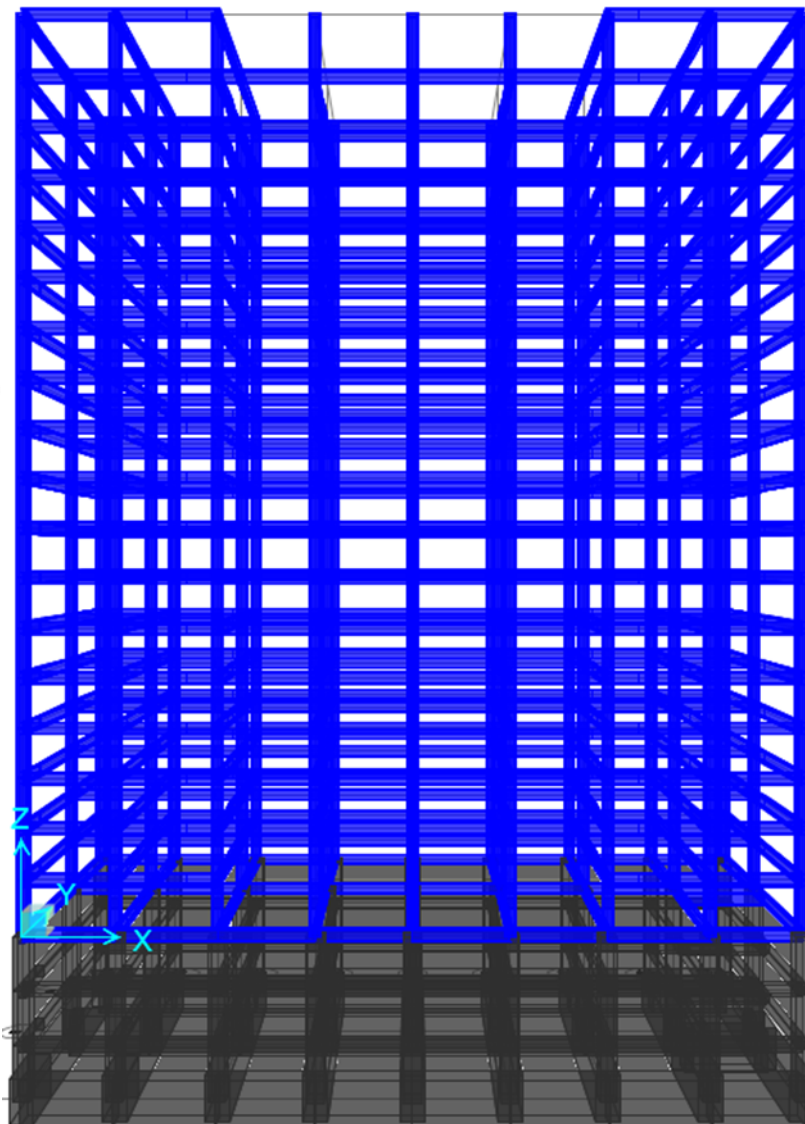
耐震規範
8.3節

耐震需求 $V_{\text{Dem}} = I \left(\frac{S_{\text{aD}}}{F_{uM}} \right)_m W$

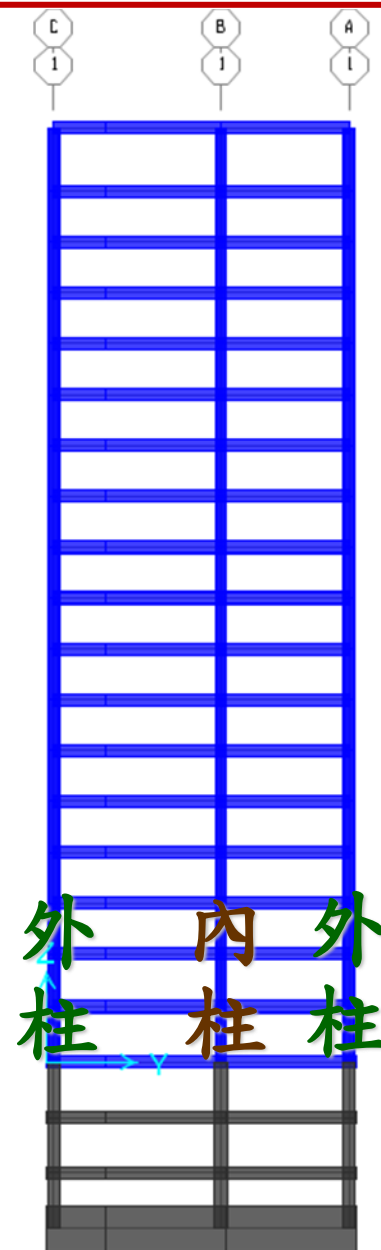
TEASPA：以極限基底剪力作初步評估

18層樓，樓高： $H_n = 65.45$ m

結構3D立面圖



結構短向立面圖

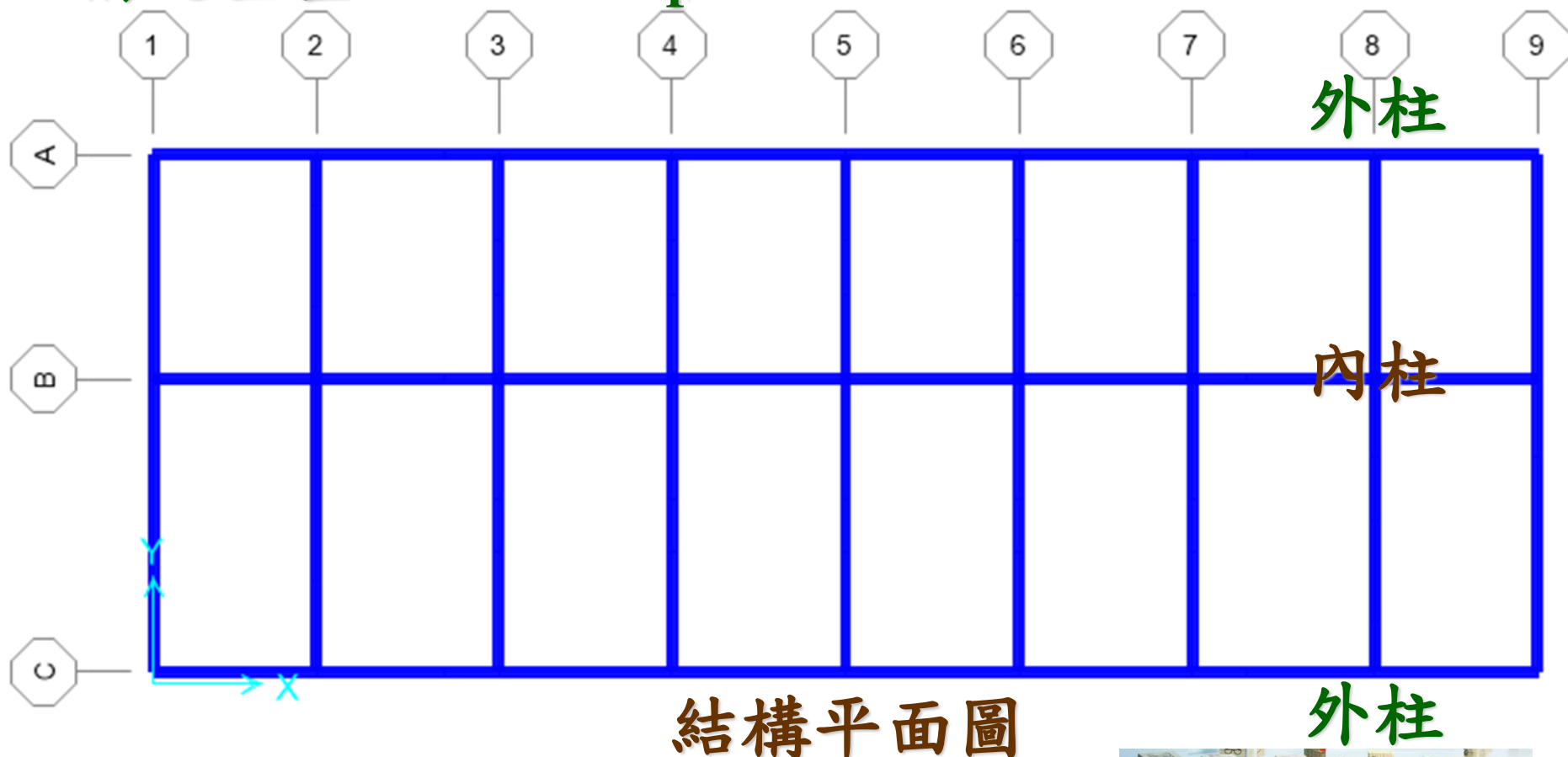


TEASPA：以極限基底剪力作初步評估

結構總樓地板面積： $A_F = 19594 \text{ m}^2$

單位樓地板面積之重量： $w = 1.0 \text{ tf/m}^2$

結構總重量： $W = wA_F = 19594 \text{ tf}$



TEASPA：初步評估之耐震容量

結構總重量： $W = 19594 \text{ tf}$

箱型鋼柱支數： $N_C = 27$

斷面： $700 \times 700 \times 28 \times 28 \text{ mm}$

軸力降伏強度： $P_y = 2635.5 \text{ tf}$

塑性彎矩強度： $M_{p,C} = 665.0 \text{ tf-m}$

塑性彎矩強度折減係數： $1 - \frac{W}{N_C P_y} = 0.7246$

折減後之塑性彎矩強度：

$$\bar{M}_{p,C} = \left(1 - \frac{W}{N_C P_y}\right) M_{p,C} = 481.9 \text{ tf-m}$$

TEASPA：初步評估之耐震容量

$$\bar{M}_{p,C} = 481.9 \text{ tf-m}$$

H型鋼梁斷面：800 × 350 × 12 × 22 mm

塑性彎矩強度： $M_{p,B} = 192.6 \text{ tf-m}$

一樓樓高： $H_{1F} = 3.60 \text{ m}$

二樓樓高： $H_{2F} = 3.40 \text{ m}$

TEASPA：初步評估之耐震容量

$$\bar{M}_{p,C} = 481.9 \text{ tf-m} \quad M_{p,B} = 192.6 \text{ tf-m}$$

$$H_{1F} = 3.60 \text{ m} \quad H_{2F} = 3.40 \text{ m}$$

一、二樓鋼柱同

內柱柱頂之分配彎矩：

$$M_{D,iCT} = \frac{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F}}{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F} + \left(\frac{EI}{H}\right)_{2F}} (M_{p,LB} + M_{p,RB}) = 187.1 \text{ tf-m} \leq \bar{M}_{p,C}$$

強柱弱梁

外柱柱頂之分配彎矩：

$$M_{D,eCT} = \frac{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F}}{\left(\frac{EI}{H}\right)_{1F} + \left(\frac{EI}{H}\right)_{2F}} (M_{p,B}) = 93.56 \text{ tf-m} \leq \bar{M}_{p,C}$$

強柱弱梁

TEASPA：初步評估之耐震容量

$$\bar{M}_{p,C} = 481.9 \text{ tf-m} \quad H_{1F} = 3.60 \text{ m}$$

$$M_{D,iCT} = 187.1 \text{ tf-m} \quad M_{D,eCT} = 93.56 \text{ tf-m}$$

內柱之極限側力強度：

$$V_{iC} = \frac{\bar{M}_{p,CB} + M_{D,iCT}}{H_{1F}} = \frac{\bar{M}_{p,C} + M_{D,iCT}}{H_{1F}} = 185.8 \text{ tf}$$

外柱之極限側力強度：

$$V_{eC} = \frac{\bar{M}_{p,CB} + M_{D,eCT}}{H_{1F}} = \frac{\bar{M}_{p,C} + M_{D,eCT}}{H_{1F}} = 159.8 \text{ tf}$$

柱子之極限側力強度和：9內柱、18外柱

$$9V_{iC} + 18V_{eC} = 4550 \text{ tf}$$

耐震容量： $V_{Cap} = V_{bs} = 0.9(9V_{iC} + 18V_{eC}) = 4095 \text{ tf}$

TEASPA：初步評估之耐震需求

$$H_n = 65.45 \text{ m}$$

台北三區： $S_{DS} = 0.6$ $T_0 = 1.05 \text{ s}$

結構基本振動週期： $T = 0.085 H_n^{0.75} = 1.956 \text{ s}$

設計譜加速度係數： $S_{aD} = 0.322$

韌性容量： $R = \gamma R_N = 0.8(4.0) = 3.2$

地震力折減係數： $F_{uM} = R = 3.2$

$$\frac{S_{aD}}{F_{uM}} = 0.1007$$

$$\left(\frac{S_{aD}}{F_{uM}}\right)_m = \frac{S_{aD}}{F_{uM}} = 0.1007$$

TEASPA：以極限基底剪力作初步評估

$$W = 19594 \text{ tf}$$

$$V_{\text{Cap}} = 4095 \text{ tf}$$

$$\left(\frac{S_{\text{aD}}}{F_{\text{uM}}}\right)_{\text{m}} = 0.1007$$

用途係數： $I = 1.25$

耐震需求： $V_{\text{Dem}} = I \left(\frac{S_{\text{aD}}}{F_{\text{uM}}}\right)_{\text{m}} W = 2465 \text{ tf}$

韌性容量： $R_{\text{C/D}} = \frac{V_{\text{Cap}}}{V_{\text{Dem}}} = 1.66$

TEASPA：以極限基底剪力作初步評估

耐震容量：極限基底剪力強度 V_{bs}

耐震需求：

用途係數 I

譜加速度係數 S_{aD}

韌性容量 $R \rightarrow$ 地震力折減係數 F_u

結構全部重量 W

容量需求比 $R_{C/D}$

反映屋況之調整因子 Q ？

既有結構 \rightarrow 新建結構？

TEASPA：以極限基底剪力作初步評估

范揚志、鍾立來、楊卓諺、劉紹魁、洪維良、陳陸民 (2015)，「直接彎矩平衡之極限基底剪力」，中華民國結構工程學會，結構工程，第30卷，第3期，第53 – 66 頁。

鍾立來 (2017)，「結構耐震能力之簡易詳細評估(一)」，
<https://www.youtube.com/watch?v=EmDqXUWtf7M>

鍾立來 (2017)，「結構耐震能力之簡易詳細評估(二)」，
https://www.youtube.com/watch?v=_eIYBiVH_ko

鍾立來 (2017)，「結構耐震能力之簡易詳細評估(三)」，
https://www.youtube.com/watch?v=orvJu950_eA

鍾立來 (2017)，「結構耐震能力之簡易詳細評估(四)」，
<https://www.youtube.com/watch?v=Gl-z6ne1C1M>

耐震能力詳細評估：TEASPA之振動台驗證

結構線彈性分析→

非線性靜力分析(TEASPA) →

側推曲線→

等效基本振動週期、等效阻尼比

基底剪力強度

日本十層樓建築結構之振動台試驗→

等效基本振動週期、等效阻尼比

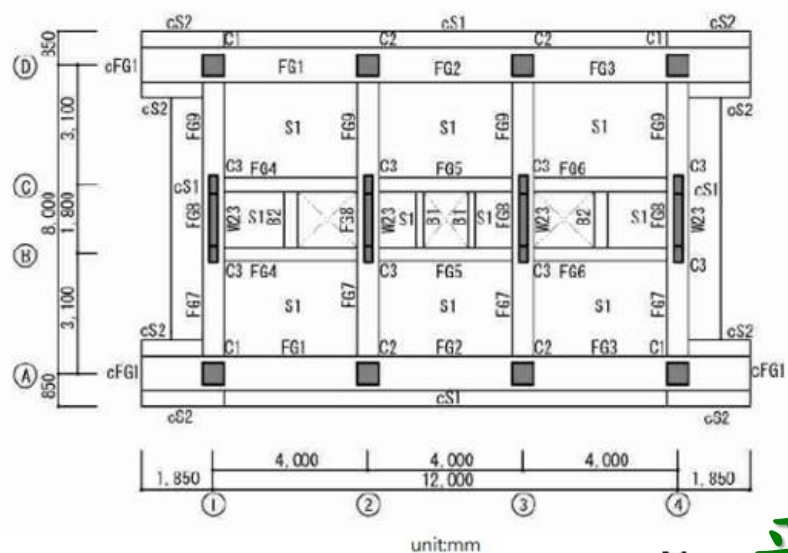
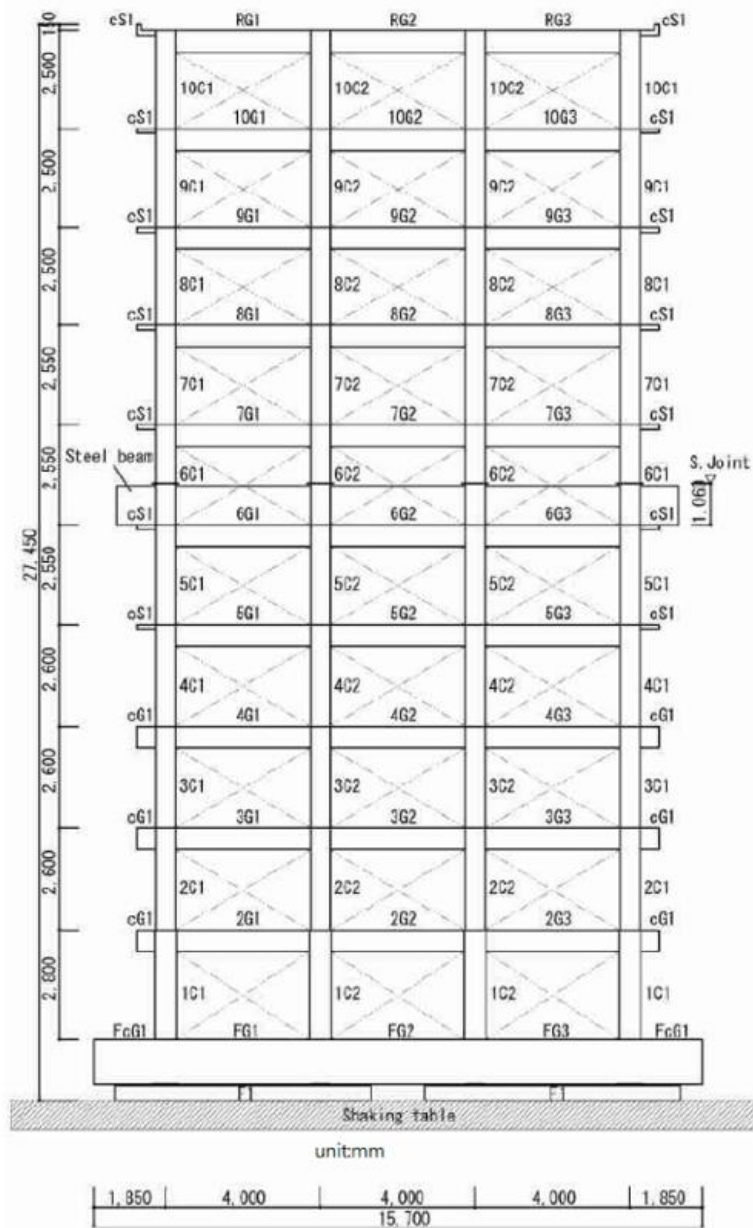
基底剪力強度

進一步確認TEASPA之可信度

<https://www.youtube.com/watch?v=MYnUZBo9n2c>

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證

日本國立研究開發法人
防災科學技術研究所(NIED)
十層樓鋼筋混凝土建築



平面圖

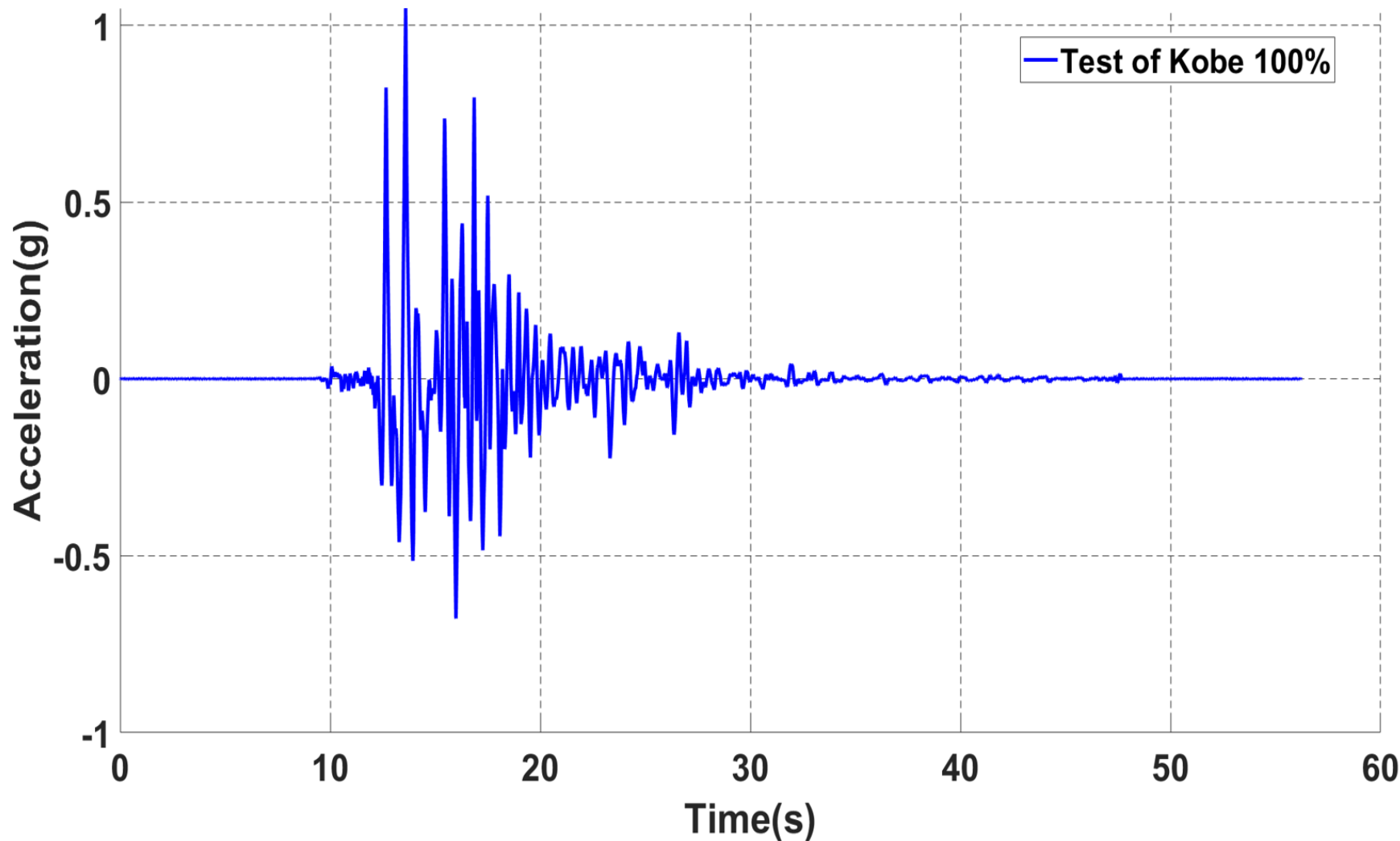
高25.75 m

X向尺度9.2 m

Y向15.7 m

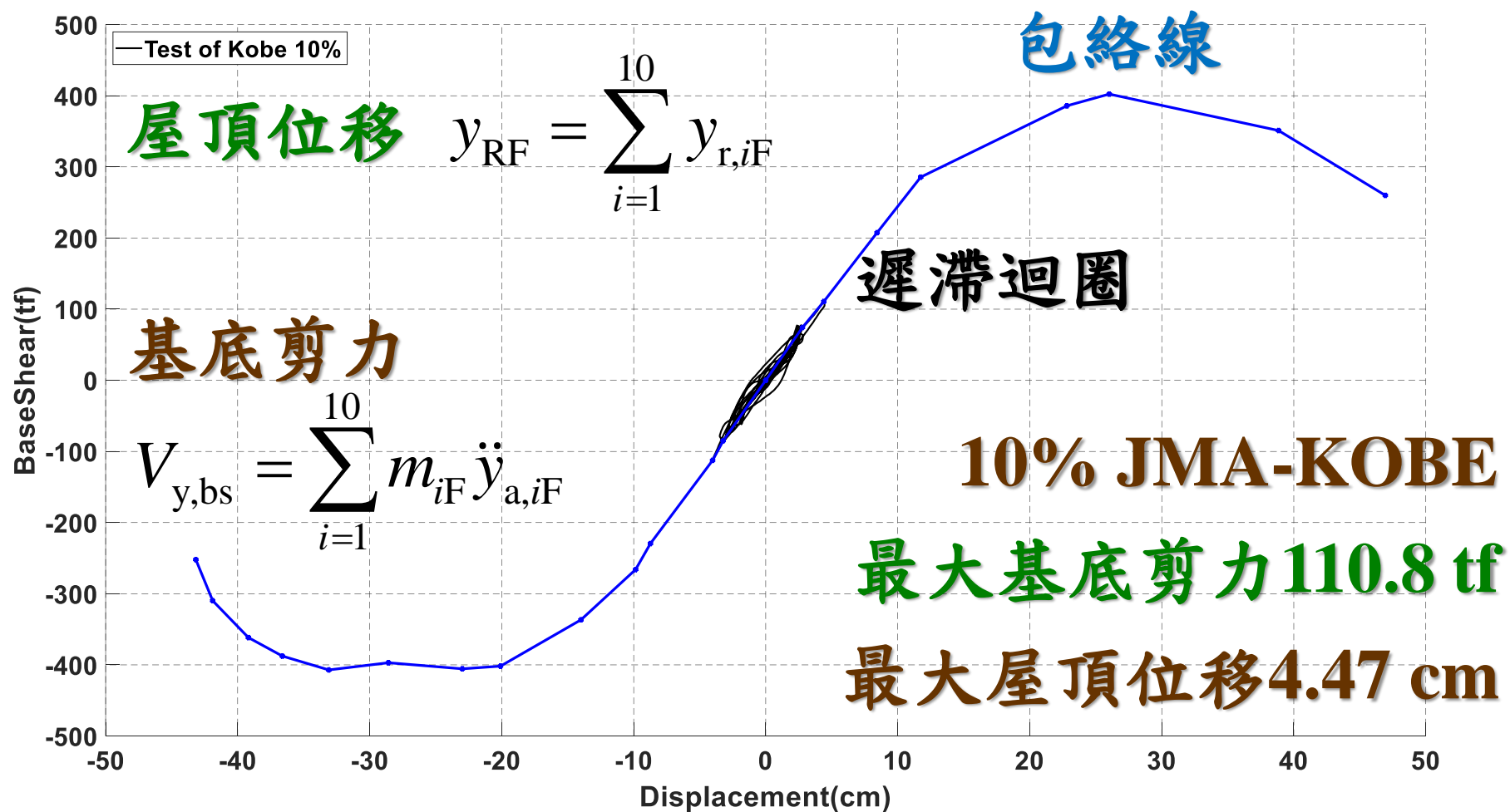
Y向立面

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



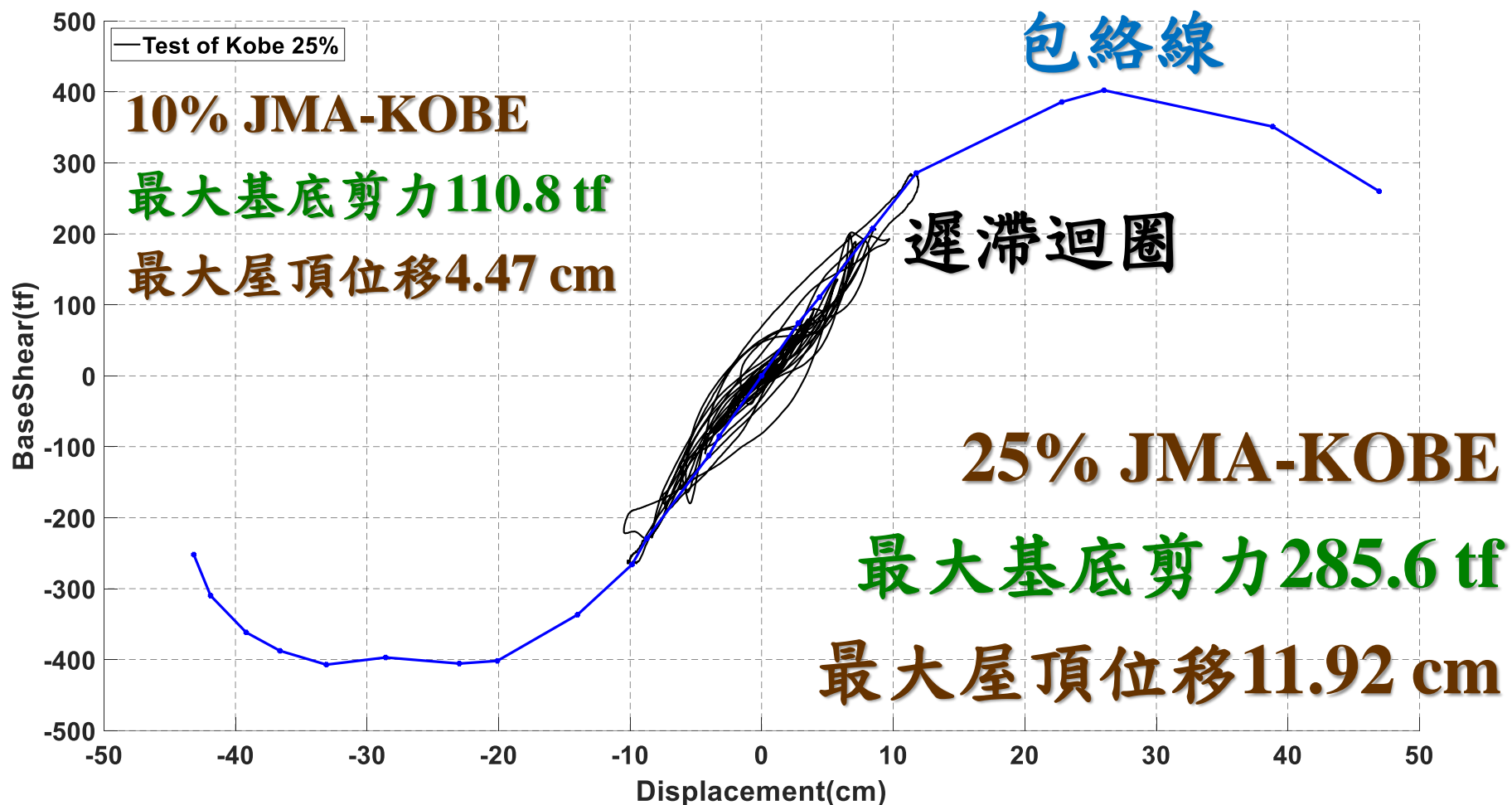
100% JMA-KOBE試驗之地表加速度

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



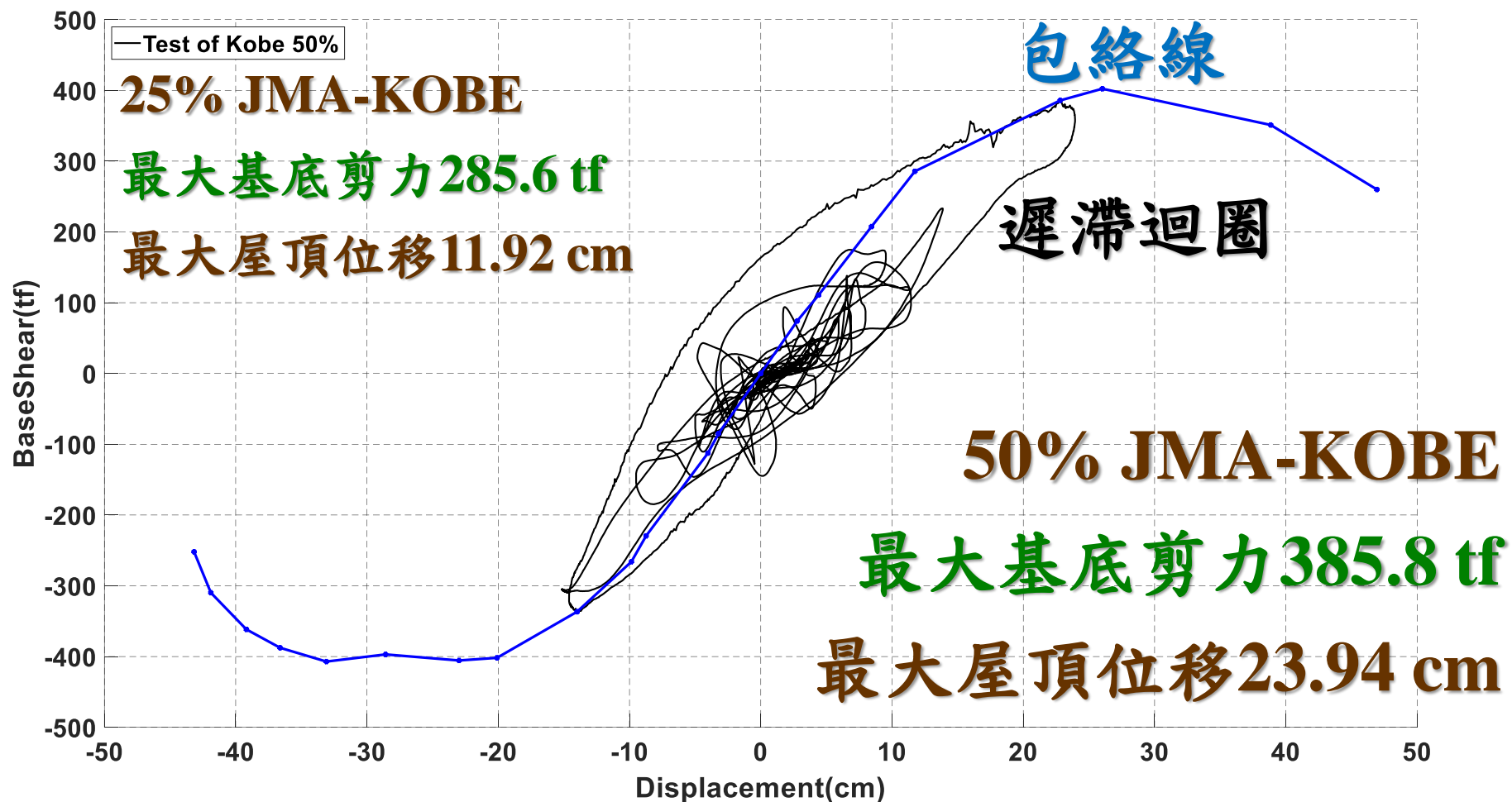
結構基底剪力與屋頂位移之振動台試驗迴圈(黑線)
及其包絡線(藍線) [10% JMA-KOBE]

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



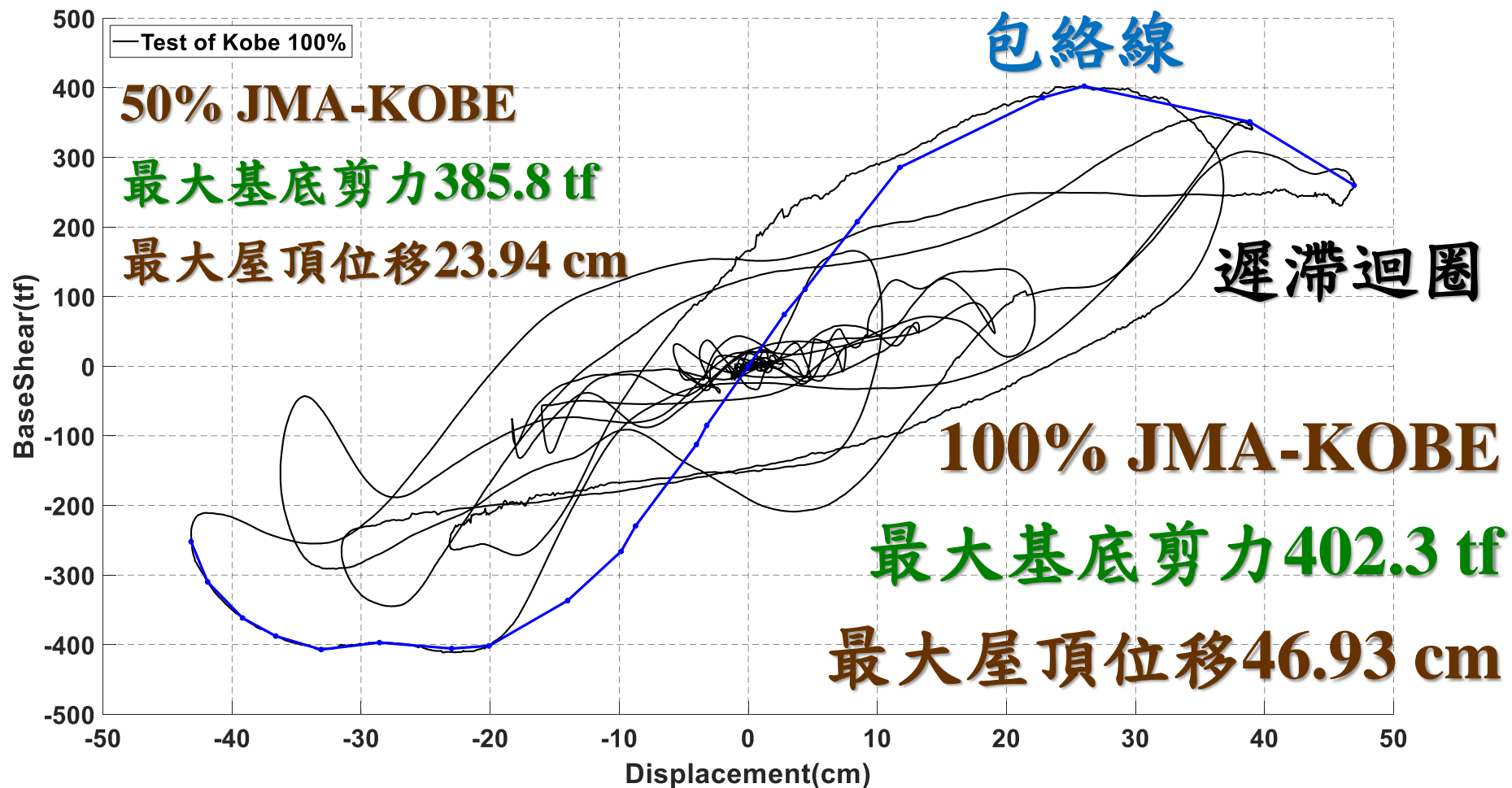
結構基底剪力與屋頂位移之振動台試驗迴圈(黑線)
及其包絡線(藍線) [25% JMA-KOBE]

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



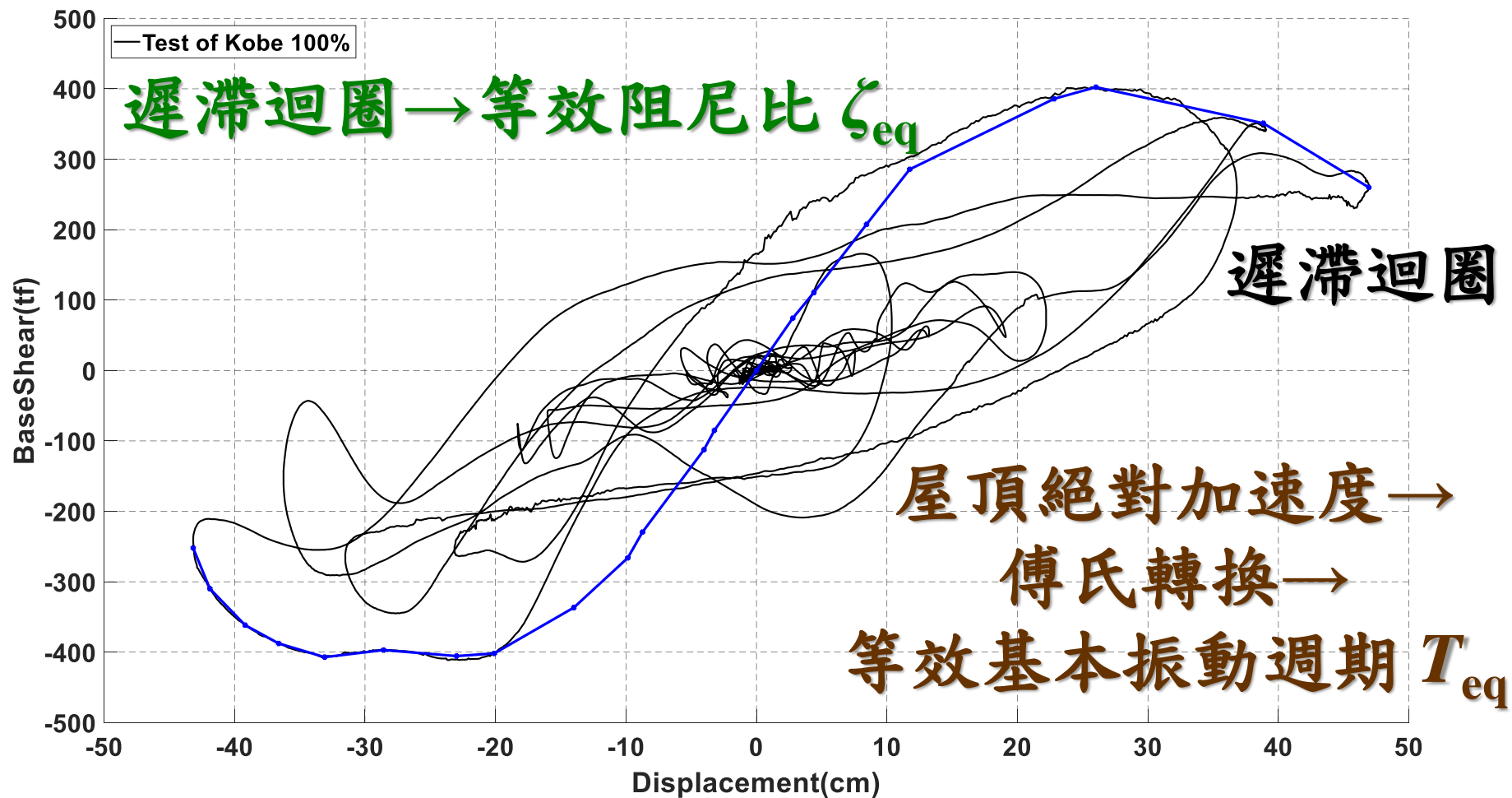
結構基底剪力與屋頂位移之振動台試驗迴圈(黑線)
及其包絡線(藍線) [50% JMA-KOBE]

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



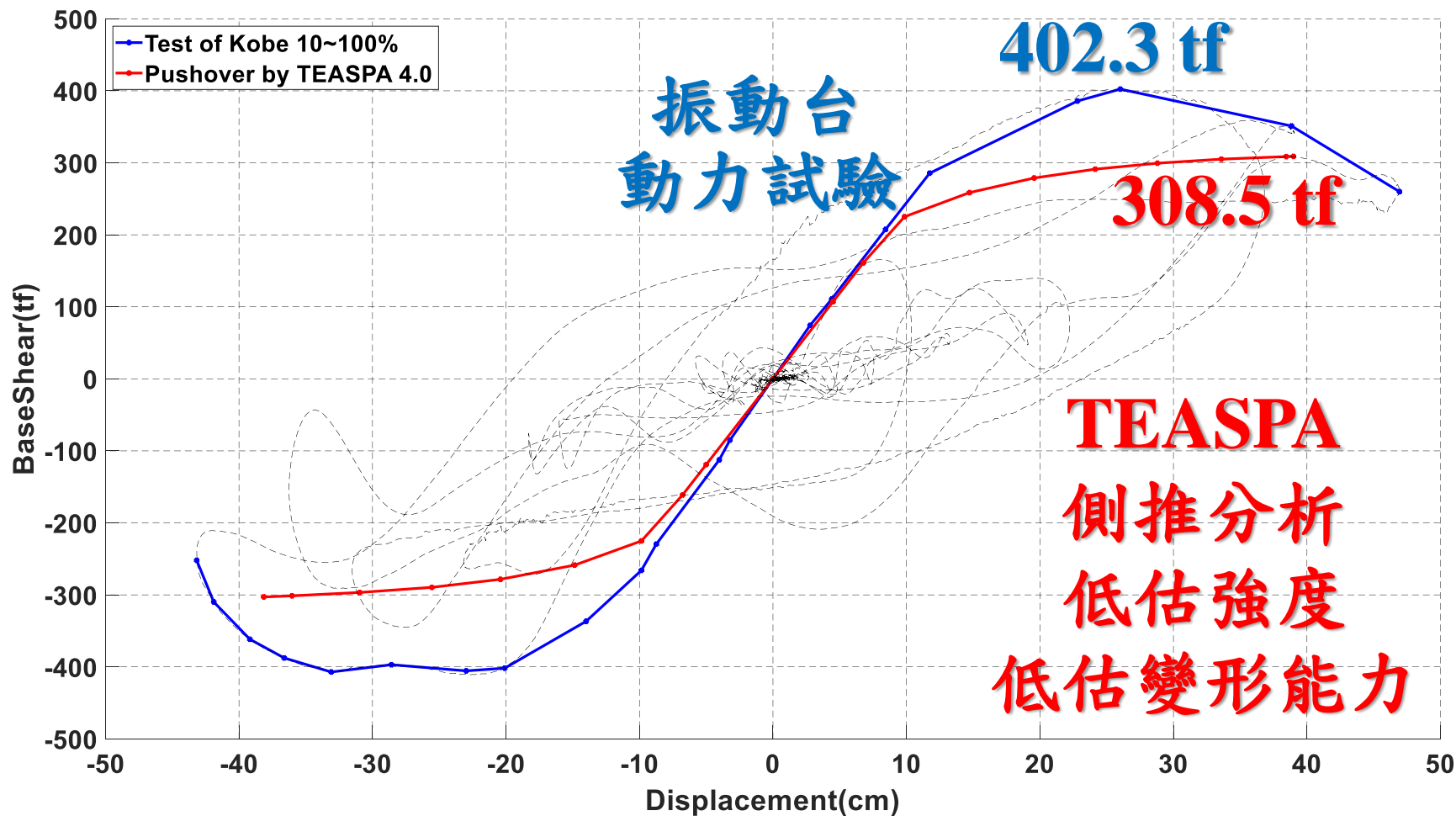
結構基底剪力與屋頂位移之振動台試驗迴圈(黑線)
及其包絡線(藍線) [100% JMA-KOBE]

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



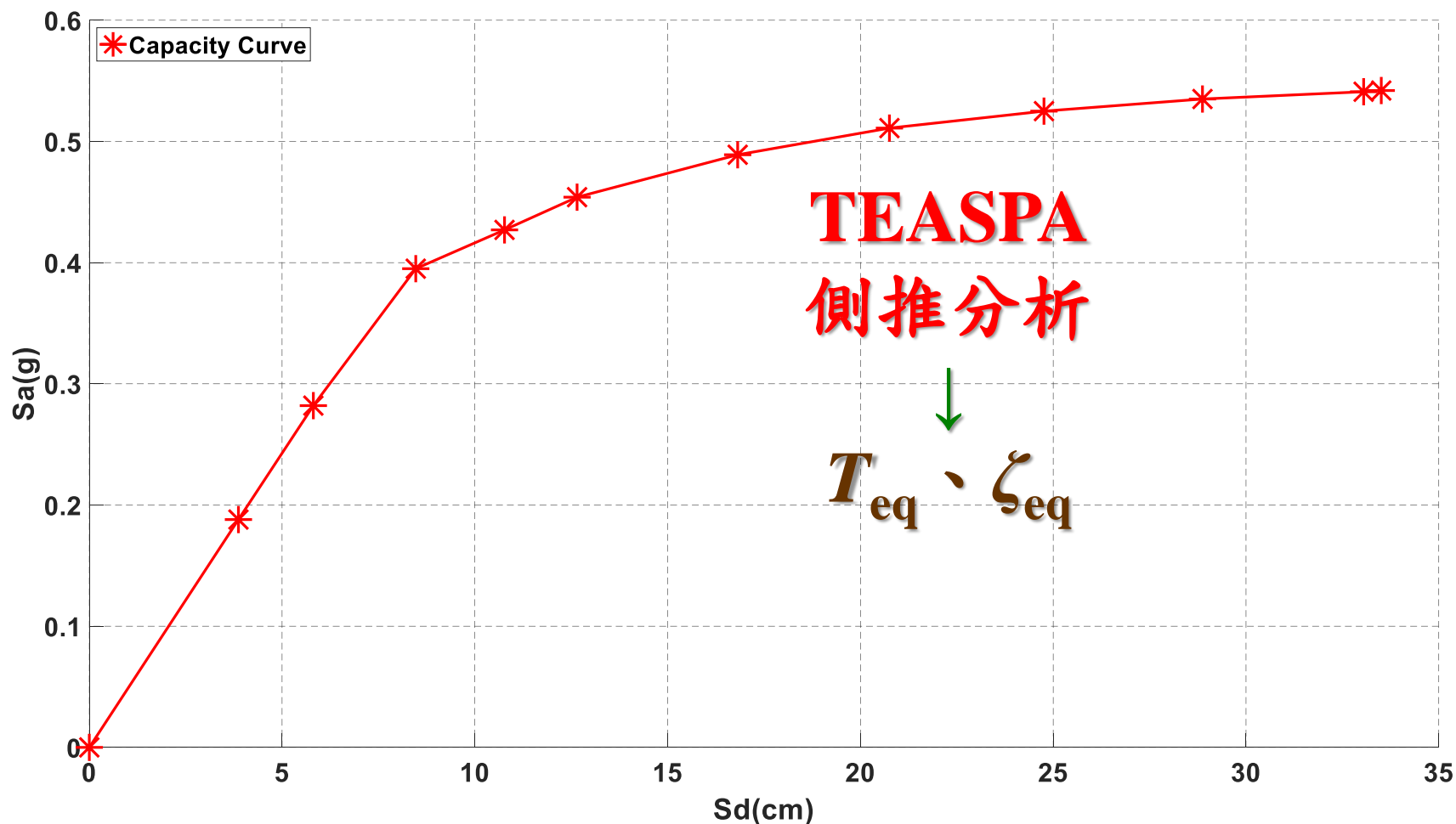
結構基底剪力與屋頂位移之振動台試驗迴圈(黑線)
及其包絡線(藍線) [100% JMA-KOBE]

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



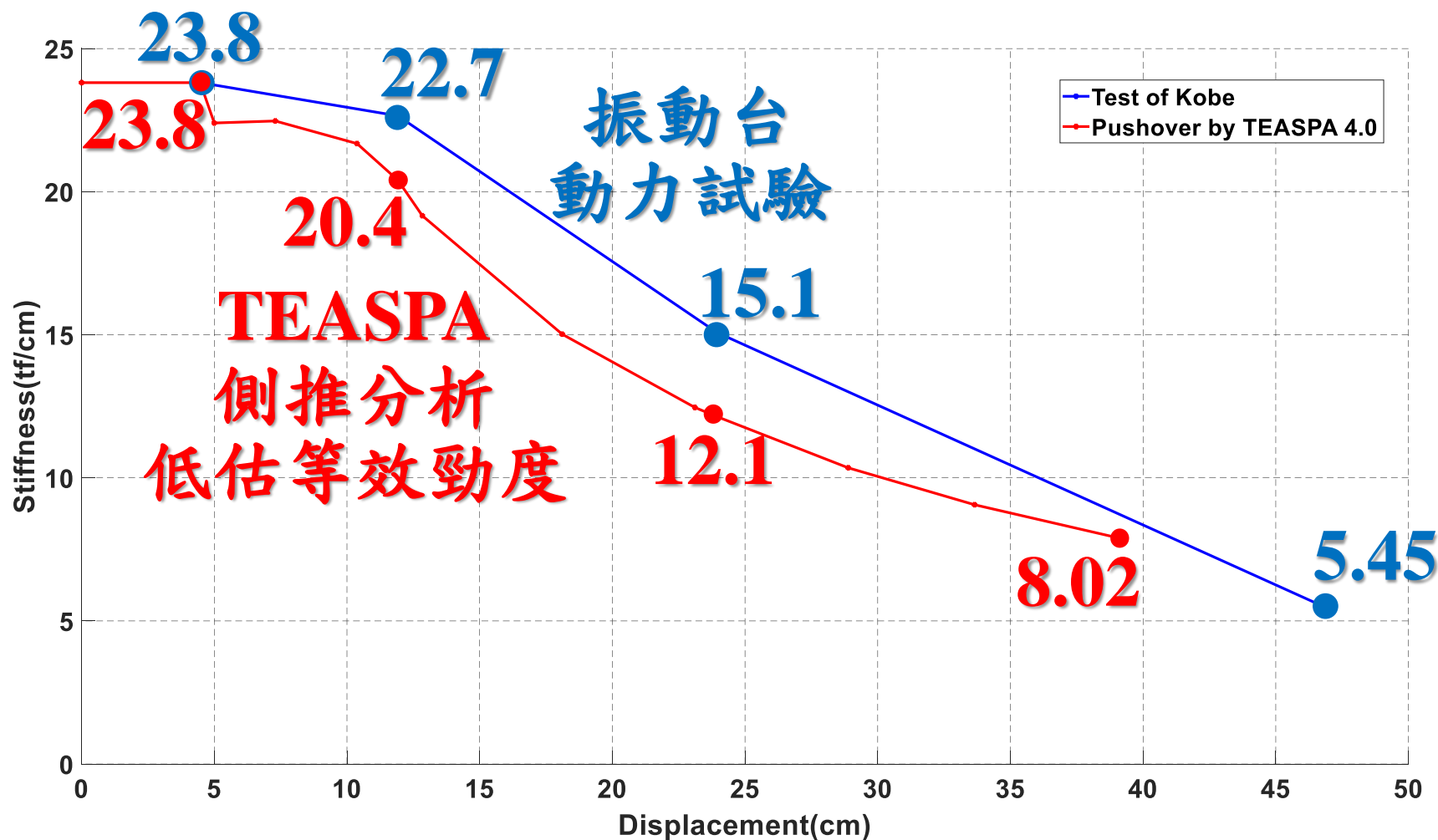
非線性靜力分析(紅線)與動力試驗(藍線)之
結構側推曲線

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



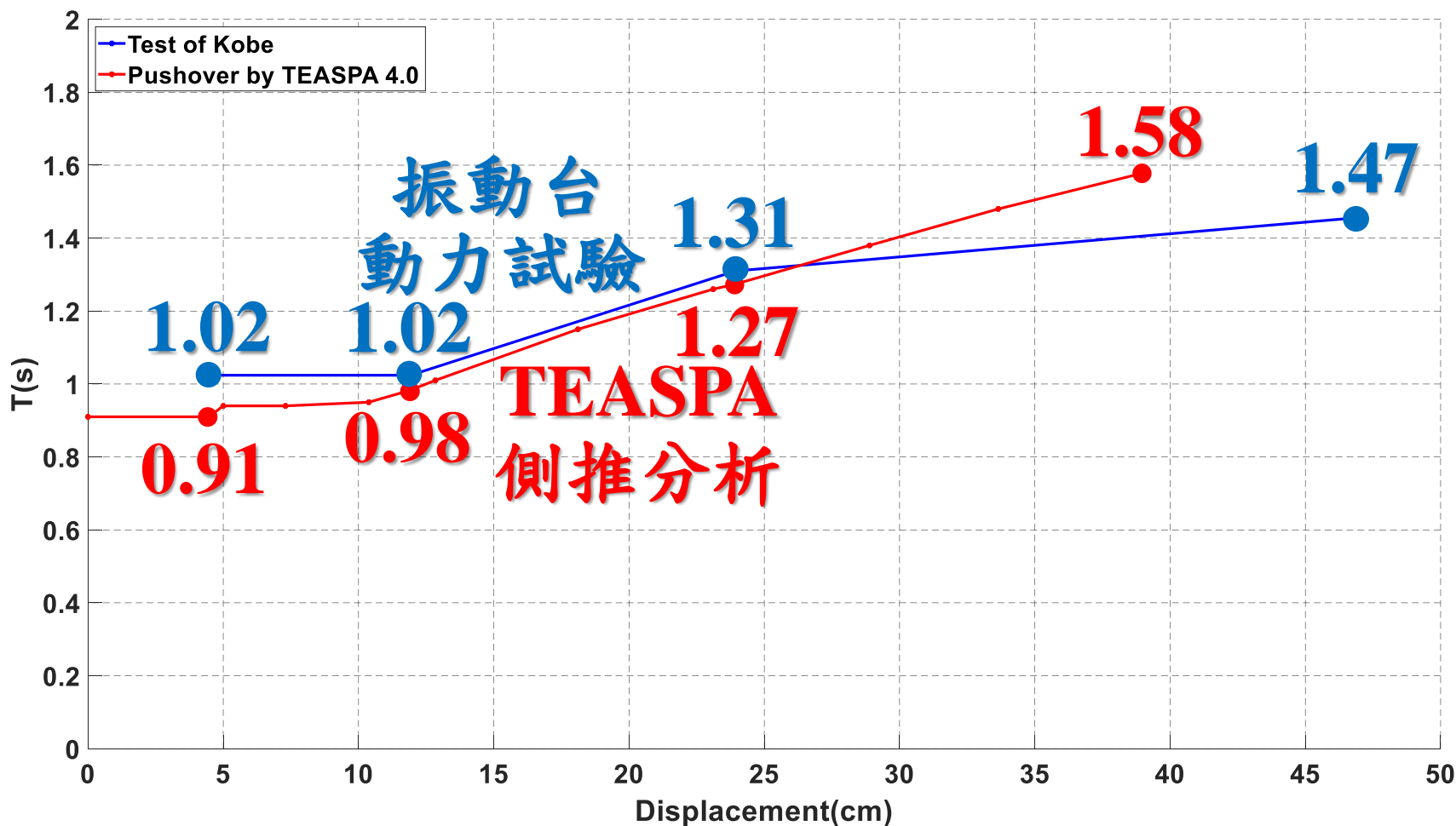
結構之容量震譜曲線(靜力分析)

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



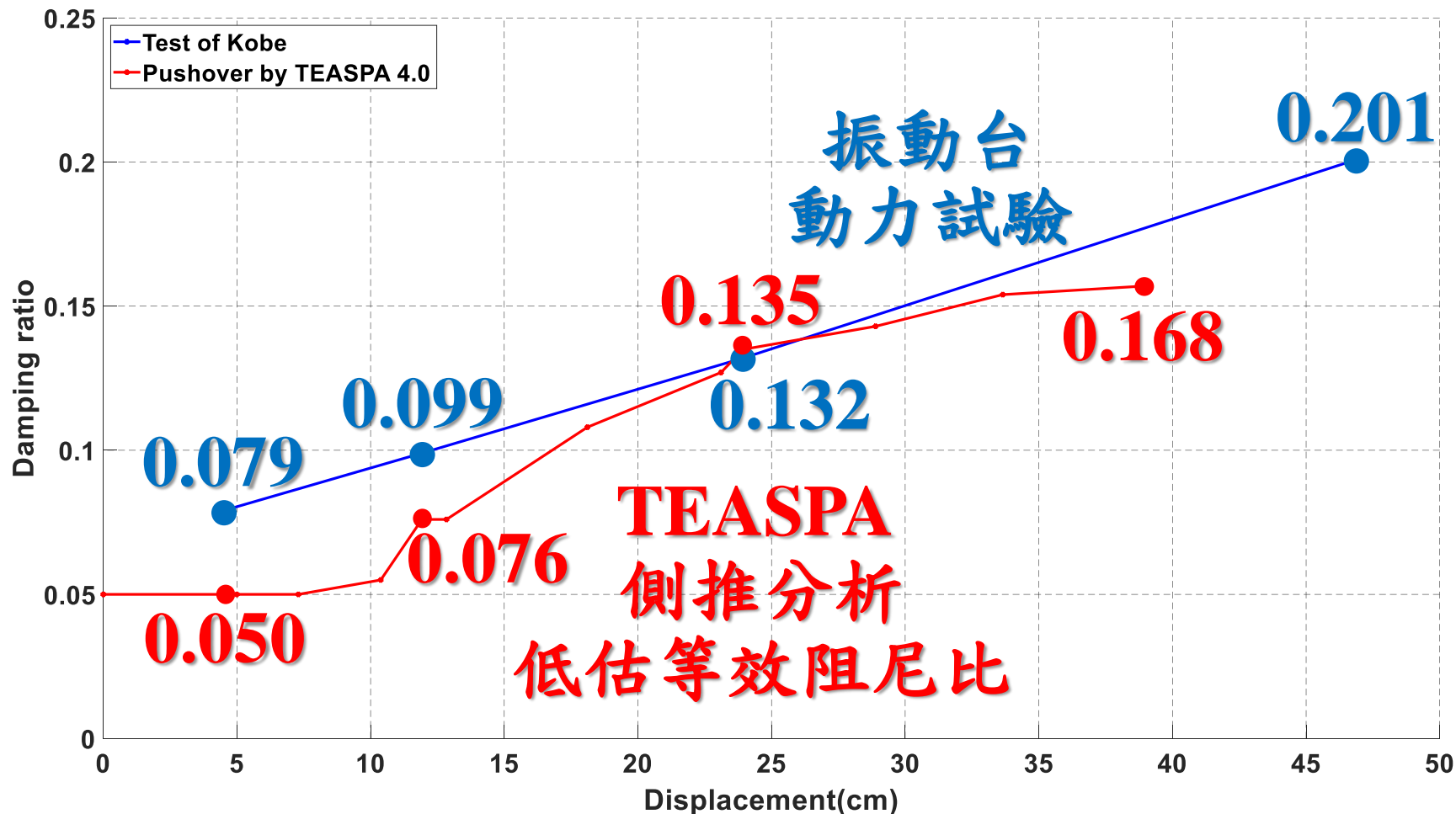
結構之等效勁度與屋頂位移
(動力試驗及靜力分析)

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



結構之等效週期與屋頂位移
(動力試驗及靜力分析)

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證



結構之等效阻尼比與屋頂位移
(動力試驗及靜力分析)

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證

TEASPA 非線性靜力側推分析

轉動慣量 I 之折減，掌握鋼筋混凝土之開裂

阻尼比折減係數 $\kappa = 0.33$ ，反映消能

等效基本振動週期及等效阻尼比

掌握動力行為

低估結構之強度

低估變形能力 (阻尼比)

TEASPA 保守但不會過度低估

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證

邱聰智、鍾立來、賴昱志、趙奕涵、Kang JD、Kajiwara K (2023), 「結構耐震評估：TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證」, 技師報, 第1384期。

邱聰智、鍾立來、涂耀賢、賴昱志、曾建創、翁樸文、莊明介、葉勇凱、李其航、林敏郎、沈文成、蕭輔沛、薛強、黃世建, 「臺灣結構耐震評估側推分析法 (TEASPA V4.0)」, 國家地震工程研究中心, 報告編號：NCREE-20-005。

Tosauchi Y, Sato E, Fukuyama K, Inoue T, Kajiwara K, Shiohara H, Kabeyasawa T, Nagae T, Fukuyama H, Kabeyasawa T, Mukai T (2017). "2015 Three-dimensional Shaking Table Test of a 10-story Reinforced Concrete Building on the E-Defense, Part 3: Base Slip and Base Fixed Test Results." 16th World Conference on Earthquake Engineering.

私有建築物之弱層補強

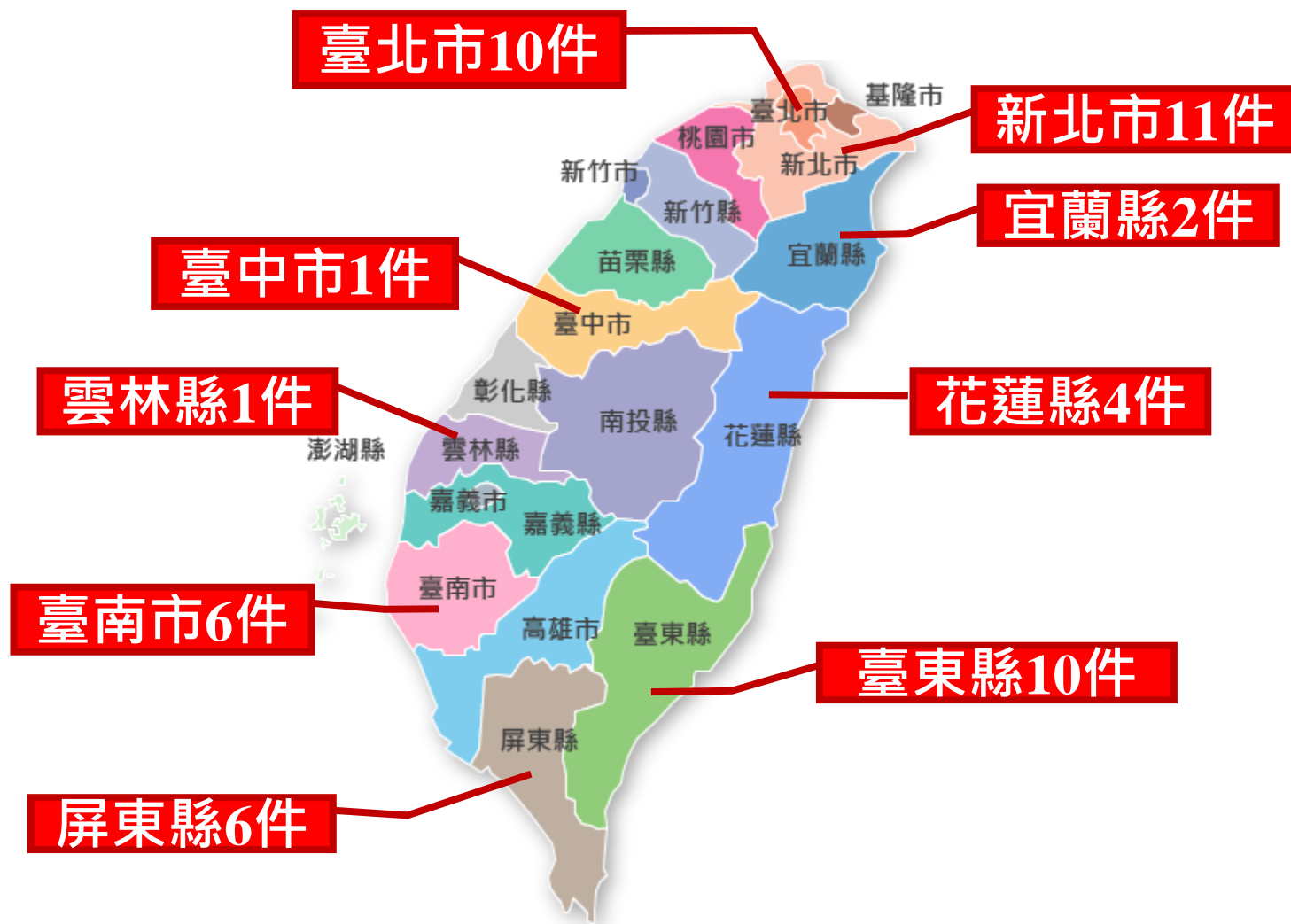
方案A：弱層補強

方案B：補強至規範需求之80%

方案C：修復至原有之強度

弱層補強之成效

累計核定共51棟



弱層補強之成效

竣工

花蓮已竣工案例



A00200

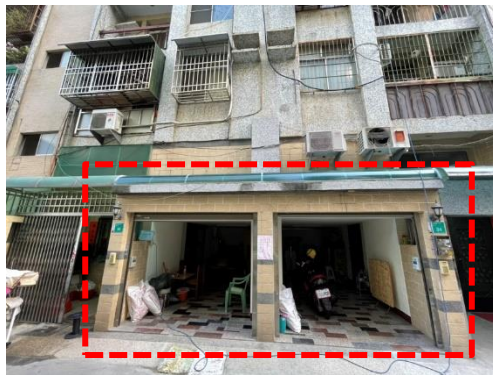


A00100



A00300

台南已竣工案例

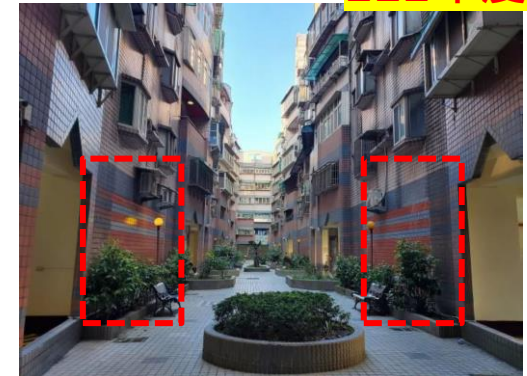


A00500



A00400

宜蘭已竣工案例



A01100

111年度

弱層補強之成效

竣工

台北已竣工案例



111年度

A00600

台中已竣工案例



111年度

A01200

耐震能力初詳評及補強的現況與未來

謝謝！

TEASPA：以極限基底剪力作初步評估

<https://youtu.be/WbSp3LpKj-I>

TEASPA側推分析之足尺寸振動台驗證

<https://www.youtube.com/watch?v=MYnUZBo9n2c>

Chung's Group

<https://www.youtube.com/channel/UCkqFe9pQB9u5bYvmuRrIZTw>