

國家地震工程研究中心
NATIONAL CENTER FOR RESEARCH ON
EARTHQUAKE ENGINEERING

2020 年建築物耐震設計規範論文集

盧志杰 黃俊鴻 簡文郁 張毓文 劉勛仁
邱世彬 劉郁芳 翁元滔 林克強 林瑞良
鄧崇任 鍾立來

報告編號：NCREE-20-015

中華民國 109 年 11 月

2020 年建築物耐震設計規範論文集
Proceedings of Seismic Design Specifications and Commentary of
Buildings, 2020

*盧志杰 **黃俊鴻 *簡文郁 ***張毓文 ****劉勛仁 *****邱世彬

****劉郁芳 ***翁元滔 *林克強 *林瑞良 *鄧崇任 *****鍾立來

Chih-Chieh Lu Jin-Hung Hwan Wen-Yu Chien Yu-Wen Chang
Hsun-Jen Liu Shyh-bin Chiou Yu-Fang Liu Yuan-Tao Weng Ker-
Chun Lin Jui-Liang Lin Tsung-Jen Teng Lap-Loi Chung

- * 國家地震工程研究中心 研究員
- ** 國立中央大學土木工程學系 教授
- *** 國家地震工程研究中心 副研究員
- **** 國家地震工程研究中心 助理研究員
- ***** 國家地震工程研究中心 助理工程師
- ***** 國家地震工程研究中心 副主任

編輯：劉郁芳、鍾立來、黃世建

中華民國一零九年十一月
November 2020

目錄

地震時極軟弱與可能液化地盤之耐震設計	22
盧志杰、黃俊鴻	
土壤剪力波速經驗式相關條文修定	29
盧志杰、黃俊鴻	
工址放大係數條文修訂建議	33
簡文郁	
近斷層區域之設計地震檢討及修訂建議	41
簡文郁、張毓文、劉勛仁、邱世彬	
建築物耐震規範第 2.18 節垂直地震力之修正	49
劉郁芳、翁元滔、林克強、林瑞良、鄧崇任、鍾立來	
附錄 A 第十一章 其他耐震相關規定建議修正條文	58
附錄 B 第二章 靜力分析方法建議修正條文	82
附錄 C 第二章 第 18 節 垂直地震力建議修正條文	98

工址放大係數條文修訂建議

簡文郁¹

¹國家地震工程研究中心 研究員

摘要

現行耐震設計規範之設計地震，是基於參考堅實地盤之震區係數配合工址放大係數(F_a 與 F_v)而定，主要在於考慮土壤非線性行為。對於工址放大係數之建立是參考美國 NERHP-97(或 UBC97)之相關規定，並依據不同地震動參數以階梯式形式呈現。此簡化之設定因而於工程實務上衍生困擾，在地盤分類界限上，工址放大係數出現過大差異。因此，本研究目的在於修正此現象，比較現行規範之工址放大係數與 NERHP 及 ASCE 等規範之差異，建立工址放大係數以連續函式呈現，為地震動參數大小與工程常用之淺地表下 30 公尺土層平均剪力波速(V_{S30} , m/s)之函式，並取消了地盤類別。工址放大係數之連續函式將依地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 V_{S30} 接近 520m/s 之地盤(定義為堅實地盤)，為工址放大係數等於 1.0 之基準。

關鍵字：工址放大係數、 V_{S30} 、土壤非線性行為

一、目的

我國耐震設計規範(內政部營建署，2011，以下簡稱 TBC)之地盤特性與工址放大係數參考美國 NERHP-97(或 UBC97)之相關規定。主要反映地盤在地震中之非線性行為，現行 TBC 規定三種地盤類別，再依據地震動參數大小決定地盤放大因子。現行規範採用列表階梯式地盤放大因子，因而在工程實務上衍生出在地盤分類界限附近之地盤放大因子存在階梯狀落差，致生困擾。多數工程界專家建議採用線性內插的方式以避免地盤類別界線附近之地盤放大係數差異過大之現象。因此，現行的公路橋梁設計規範(交通部，2019)則依據現行 TBC 的地盤分類標準與工址放大係數建立連續函數模型，如圖 1 所示，其中參考地盤之代表剪力波速為 270 m/s。

本案修訂建議包含兩部分：(1)取消地盤類別，改以工程常用之淺地表下 30 公尺土層平均剪力波速(V_{S30} , m/s)為地盤特性參數；(2)工址放大係數以連續函式呈現，並與地震動參數大小與 V_{S30} 有關。

二、工址放大係數模型建立

工址放大係數經驗模型可以一個曲面函數表示，為地盤特性參數(V_{S30})及地震動強度(S_s 或 S_1)之函數， $f(V_{S30}, S_s$ 或 $S_1)$ ，如 BSSC(2004)，其中 S_s 為短週期水平譜加速度係數， S_1 為一秒週期水平譜加速度係數。

2.1 參考地盤之定義

現行 TBC 之工址放大係數參考美國 NERHP-97(或 UBC97)之相關規定而定，本研究首先比較現行 TBC 之放大因子與 NERHP 及 ASCE 所採用之模型係數，

並確認適用範圍；其次進行地盤特性參數(V_{S30})之校準。

表 1 列出國際上規範對於工址放大係數模型之考量，包括地盤分類標準與參考之 V_{S30} 值。在 1997 年之後，地盤分類之標準大致上已經確定，岩盤之定義為 B 類地盤，即對應剪力波數值為 760m/s(NERHP, 1997)左右。不同地盤類別之工址放大係數值則以此為標準所計算出來。

相較於台灣的參考岩盤，以我國強震測站地質調查資料庫 EGDT(Kuo et al., 2012)統計成果，如表 2 所列。表中將中央氣象局強震測站之地質鑽探資料，依據國際規範中採用之地盤分類標準進行統計，結果顯示，台灣 C 類地盤平均剪力波數值為 532 ± 98 m/s。由表 2 之統計結果，本研究建議現行 TBC 規範中定義台灣第一、二、三類地盤之代表剪力波速 V_{S30} 分別為 520m/s、260m/s 及 155m/s，這些建議參數與國際上之相關研究 (BSSC, 2004; ASCE/SEI 7, 2017) 成果類似。

2.2 工址放大係數模型

針對工址放大係數模型之發展，以現行 TBC 的工址放大係數，參考較符合地盤效應之經驗模型(Borcherdt, 1994；BSSC, 2004) 之半對數函數，完成本建議案之工址放大係數模型。地盤放大因子如下式，均為地盤之 V_{S30} (單位: m/s) 及地震動參數(S_S 、 S_I)之函數：

$$F_a = \begin{cases} 1.0 - 1.4427 \cdot \ln(V_{S30}/520) \times (F_{a,2} - 1.0); & V_{S30} > 260 \\ F_{a,2} - 1.9333 \cdot \ln(V_{S30}/260) \times (F_{a,3} - F_{a,2}); & V_{S30} \leq 260 \end{cases}$$

(a)

$$F_v = \begin{cases} 1.0 - 1.4427 \cdot \ln(V_{S30}/520) \times (F_{v,2} - 1.0); & V_{S30} > 260 \\ F_{v,2} - 1.9333 \cdot \ln(V_{S30}/260) \times (F_{v,3} - F_{v,2}); & V_{S30} \leq 260 \end{cases} \quad (b)$$

且 $0.9 \leq F_a \leq F_{a,3}$ ，及 $0.8 \leq F_v \leq F_{v,3}$ 。

$$\text{其中，} \quad F_{a,2} = \begin{cases} 1.1; & S_S < 0.6 \\ 1.7 - S_S; & 0.6 \leq S_S < 0.7 \\ 1.0; & S_S \geq 0.7 \end{cases},$$

$$F_{a,3} = \begin{cases} 1.2; & S_S < 0.6 \\ 1.8 - S_S; & 0.6 \leq S_S < 0.8; \\ 1.0; & S_S \geq 0.8 \end{cases}$$

$$F_{v,2} = \begin{cases} 1.5; & S_I < 0.3 \\ 2.1 - 2 \cdot S_I; & 0.3 \leq S_I < 0.5 \\ 1.1; & S_I \geq 0.5 \end{cases},$$

$$F_{v,3} = \begin{cases} 1.8; & S_I < 0.3 \\ 2.4 - 2 \cdot S_I; & 0.3 \leq S_I < 0.5。 \\ 1.4; & S_I \geq 0.5 \end{cases}$$

受限經驗模型資料庫內涵，建議之地盤放大因子皆有上下限範圍， $0.9 \leq F_a \leq F_{a,3}$ ， $0.8 \leq F_v \leq F_{v,3}$ 。為免變動過大，地盤放大因子之控制點係

數 $F_{a,2}$ 、 $F_{a,3}$ 及 $F_{v,2}$ 、 $F_{v,3}$ 等，仍沿用現行 TBC 規範值。圖 2 為工址放大係數 F_a 與 F_v 隨地盤特性參數 V_{S30} 變化之趨勢。

2.3 本建議案與 108 年公路橋梁規範比較

與 2019 年公路橋梁規範之地盤放大因子模型比較，本修訂建議主要在校準公路橋梁規範及現行 TBC 規範中三類地盤之代表剪力波速。

以 $S_S = 0.65$ ， $S_I = 0.4$ 為例，短及中長週期地盤放大因子 F_a 、 F_v 分別對地盤不同 V_{S30} 之變化如圖 3 所示，圖中並比較 2019 年公路橋梁規範之地盤放大因子。結果顯示，兩者之差異主要為：(1) 對地盤特性參數 (V_{S30}) 之觀點不同，本建議案中 F_a 、 F_v 對不同 V_{S30} 之變化較為平滑；(2) 對 V_{S30} 大於 520m/s 之工址，其 F_a 、 F_v 小於 1.0，可反映制定震區係數時所依據地震危害度分析之參考地盤條件。

四、規範修訂條文

本建議案主要修訂第 2 章第 2.5 節「工址短週期與一秒週期水平譜加速度係數」內容，修改如下，其中有關地盤分類之標準將刪除相關說明：

2.5 工址短週期與一秒週期水平譜加速度係數

(略)...其中， F_a 為反應譜等加速度(短週期)段之工址放大係數，隨地盤特性與震區短週期水平譜加速度係數 S_S (S_S^D 或 S_S^M) 而改變；而 F_v 為反應譜等速度(中長週期)段之工址放大係數，隨地盤特性與震區一秒週期水平譜加速度係數 S_I (S_I^D 或 S_I^M) 而改變。工址放大係數 F_a 、 F_v 分別為地盤特性參數 V_{S30} (單位:m/s) 與地震動參數 S_S 、 S_I 之函數，可由(2-5a)與式(2-5b)求得。

$$F_a = \begin{cases} 1.0 - 1.4427 \cdot \ln(V_{S30}/520) \times (F_{a,2} - 1.0); & V_{S30} > 260 \\ F_{a,2} - 1.9333 \cdot \ln(V_{S30}/260) \times (F_{a,3} - F_{a,2}); & V_{S30} \leq 260 \end{cases} \quad (2-5a)$$

$$F_v = \begin{cases} 1.0 - 1.4427 \cdot \ln(V_{S30}/520) \times (F_{v,2} - 1.0); & V_{S30} > 260 \\ F_{v,2} - 1.9333 \cdot \ln(V_{S30}/260) \times (F_{v,3} - F_{v,2}); & V_{S30} \leq 260 \end{cases} \quad (2-5b)$$

且 $0.9 \leq F_a \leq F_{a,3}$ ，及 $0.8 \leq F_v \leq F_{v,3}$ 。

$$\text{其中，} F_{a,2} = \begin{cases} 1.1; & S_S < 0.6 \\ 1.7 - S_S; & 0.6 \leq S_S < 0.7 \\ 1.0; & S_S \geq 0.7 \end{cases}, F_{a,3} = \begin{cases} 1.2; & S_S < 0.6 \\ 1.8 - S_S; & 0.6 \leq S_S < 0.8; \\ 1.0; & S_S \geq 0.8 \end{cases}$$

$$F_{v,2} = \begin{cases} 1.5; & S_I < 0.3 \\ 2.1 - 2 \cdot S_I; & 0.3 \leq S_I < 0.5 \\ 1.1; & S_I \geq 0.5 \end{cases}, F_{v,3} = \begin{cases} 1.8; & S_I < 0.3 \\ 2.4 - 2 \cdot S_I; & 0.3 \leq S_I < 0.5 \\ 1.4; & S_I \geq 0.5 \end{cases}$$

上式中用於決定工址地盤放大係數之地盤分類特性參數 V_{S30} (單位:m/s)，除臺北盆地區域外，餘依工址地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 V_{S30} (單位:m/s) 決定之，其中， $V_{S30} \geq 270\text{m/s}$ 者為第一類地盤(堅實地盤)； $180\text{m/s} \leq V_{S30} < 270\text{m/s}$ 者，為第二類地盤(普通地盤)； $V_{S30} < 180\text{m/s}$ ，

為第三類地盤(軟弱地盤)。

另外，由於地盤分類標準相關說明被移除，因此，第 2 章第 2.3 節「一般區域之震區短週期與一秒週期水平譜加速度係數」中之解說將註解“其中堅實地盤之定義為地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 V_{s30} 接近 520m/s 之地盤，是為工址放大係數等於 1.0 之基準。”

五、未來展望

由於目前工址放大係數值仍沿用國際規範，未來可進一步進行地盤反應分析求得各類地盤之地盤放大效應。

六、參考文獻

- [1] American Society of Civil Engineers, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, ASCE/SEI 7-16, (2017)
- [2] Building Seismic Safety Council (BSSC), 1997. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, 1997 Edition, Part 1: Provisions and Part 2: Commentary, prepared by the Building Seismic Safe Council for the Federal Emergency Management Agency (Report Nos. FEMA 302 and 303). Washington, D.C.
- [3] Building Seismic Safety Council (BSSC), 2004. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450), 2003 Edition, Part 1: Provisions. Part 2: Commentary.
- [4] Borchardt, R. D. ,1994b. An integrated methodology for estimates of site-dependent response spectra, seismic coefficients for site dependent building code provisions, and predictive GIS maps of strong ground shaking, in Proceedings of Seminar on New Developments in Earthquake Ground Motion Estimation and Implications for Engineering Design Practice, Applied Technology Council ATC 35-1, 10-1–10-44.
- [5] International Conference of Building Officials (ICBO), 1997. Uniform Building Code, Whittier, California, 492 p.
- [6] Kuo, C. H., K. L. Wen, H. H. Hsieh, C. M. Lin, T. M. Chang, and K. W. Kuo (2012). Site Classification and V_{s30} estimation of free-field TSMIP stations using the logging data of EGDT. *Engineering Geology*, **129-130**, 68-75. DOI: 10.1016/j.enggeo.2012.01.013
- [7] 內政部營建署(2011)。建築物耐震設計規範及解說，營建雜誌社。
- [8] 交通部(2019)。公路橋梁耐震設計規範，交通技術標準規範公路類公路工程部。

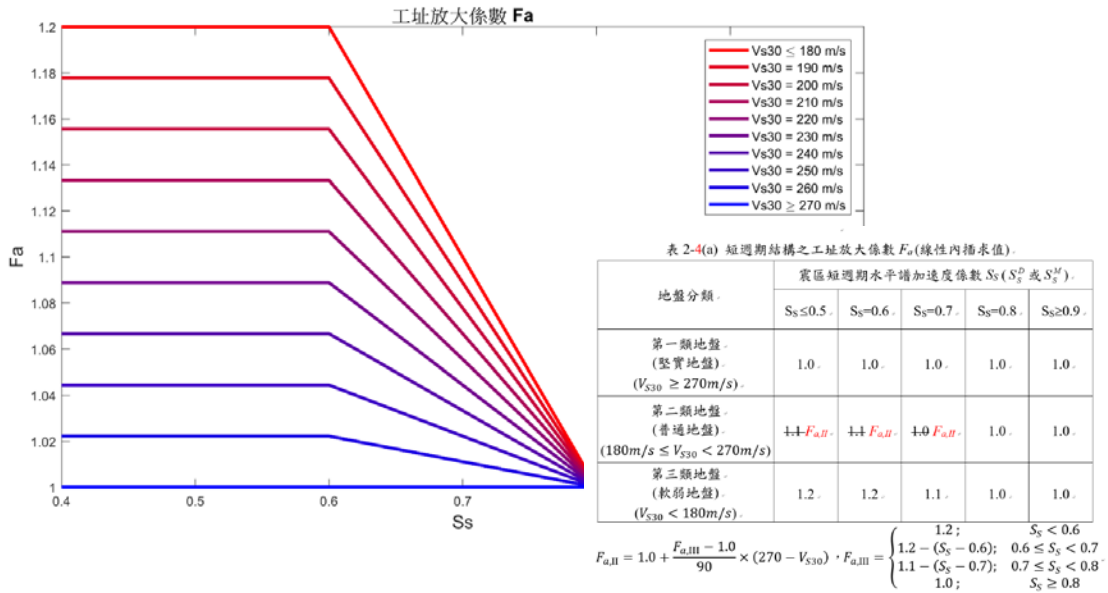
表 1、國際規範對於工址放大係數模型之考量

Time	●1994	●1997	●2003	●2009	●2015
event / Code versions	Northridge Earthquake UBC-1994	NERHP-1997, UBC-1997	NERHP-2003 ASCE/SEI 7-05 NERHP-2009 ASCE/SEI 7-10	NERHP-2009 ASCE/SEI 7-10	NERHP-2015, ASCE/SEI 7-16
Site Classification	Simplified Classes: 4 Classes qualitative descriptions	Classes: 5 Classes quantitative descriptions based on geologic conditions	Same as NERHP'97 (The most up-to-date version)	Same as NERHP'03	Same as NERHP'97 (The most up-to-date version)
Site Amplification	Site Factors = 1 ~ 2 ; Independent from GMIM, or structural period	Site Factors = $f(T,IM,V_{s30})$; IM: level of ground shaking	Site Factors = $f(T,IM,V_{s30})$, similar to UBC'97	Same as NERHP'03	Site Factors = $f(T,IM,V_{s30})$, similar to UBC'97
Reference site condition ^{*2}	Rock-like, or $V_{s30} > 750 \text{ m/s}$	site CLASS B	site CLASS B ^{*3}	Same as NERHP'03	$V_{s30} = 760 \text{ m/s}$ (The boundary of CLASS B and C)

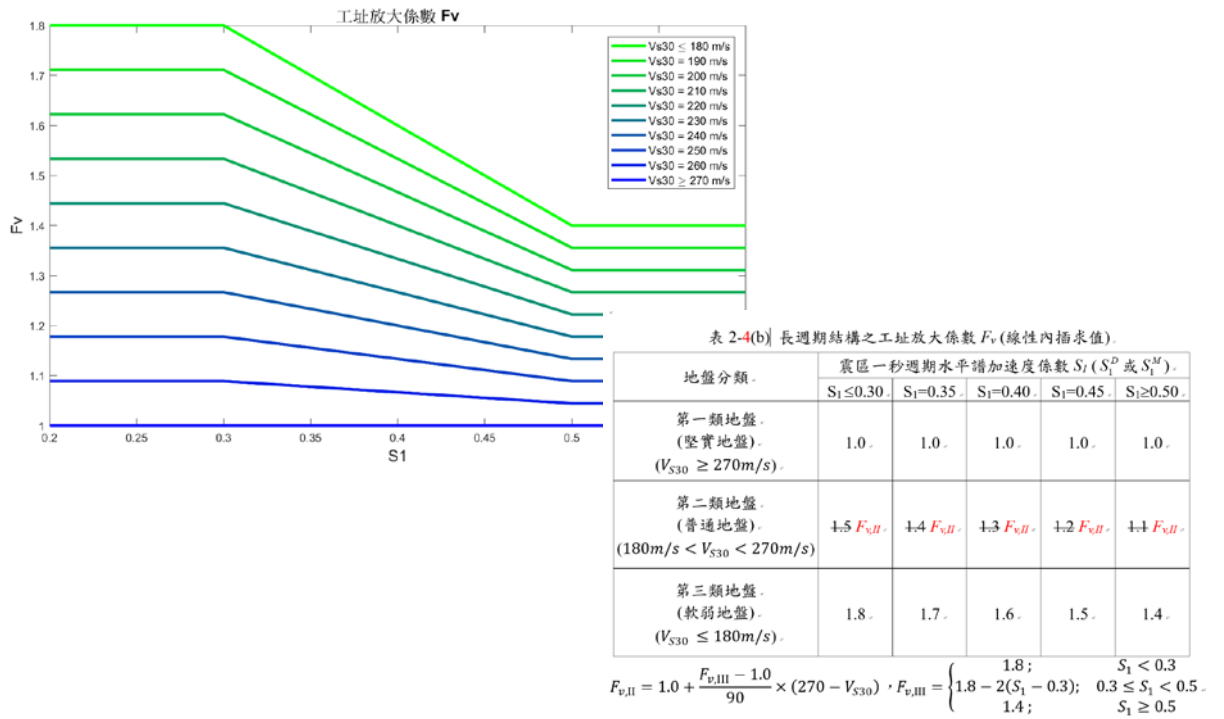
表 2、台灣地盤特性統計

地盤類別	分類標準	代表剪力波速 \bar{V}_{S30}	本研究比較基準 \bar{V}_{S30}	Egtd 資料庫 ^{*4} (average $\pm\sigma$) / No.
SA	$V_{S30} > 1500 \text{ m/s}$			
SB (S0) ^{*1}	$760 \text{ m/s} < V_{S30} < 1500 \text{ m/s}$	1050 m/s^{*3} ; 913 m/s^{*2}	900 m/s	(901 \pm 148) / 61
SC (S1) ^{*1}	$360 \text{ m/s} < V_{S30} < 760 \text{ m/s}$	520 m/s^{*3} ; 489 m/s^{*2}	520 m/s	(532 \pm 98) / 455
SD (S2) ^{*1}	$180 \text{ m/s} < V_{S30} < 360 \text{ m/s}$	255 m/s^{*3} ; 266 m/s^{*2}	260 m/s	(246 \pm 44) / 286
SE (S3) ^{*1}	$V_{S30} < 180 \text{ m/s}$	155 m/s^{*2}	155 m/s	(161 \pm 19) / 15

Note: 1 現行 TBC 之地盤分類為 S1、S2、S3；建議新增岩盤之分類，暫定 S0。
2 ASCE/SEI 7-16: C11.4.4
 3 (Boore and Joyner, 1997) ; **The reference value of the V_{S30} may be changed to 850 m/s (Borcherdt, 2002*).**
 4 <http://egdt.ncree.org.tw/DataList.htm>



(短週期地盤放大因子 F_a)



(長週期地盤放大因子 F_v)

圖 1、現行公路橋梁設計規範採用之工址放大係數模型

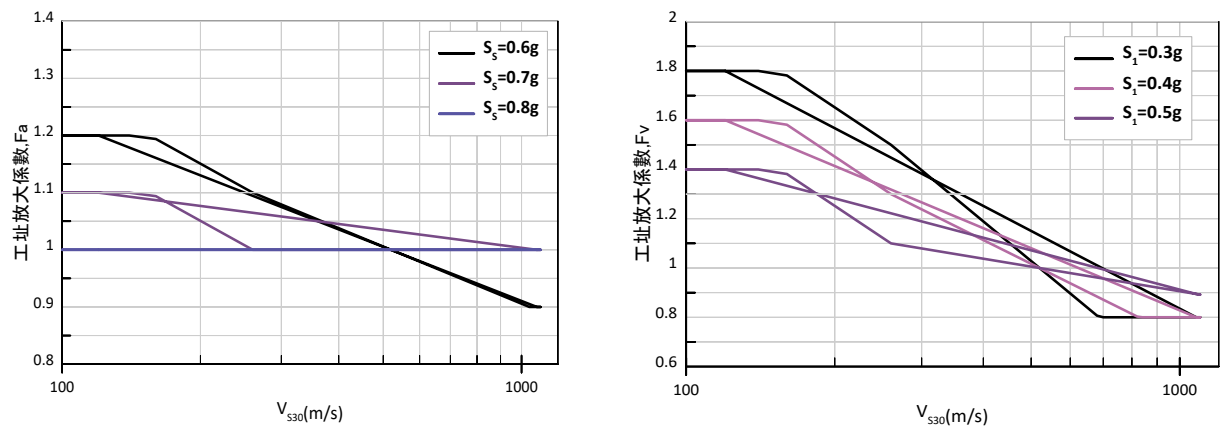


圖 2、本建議案工址放大係數 F_a 與 F_v 隨地盤特性參數 V_{s30} 變化之趨勢

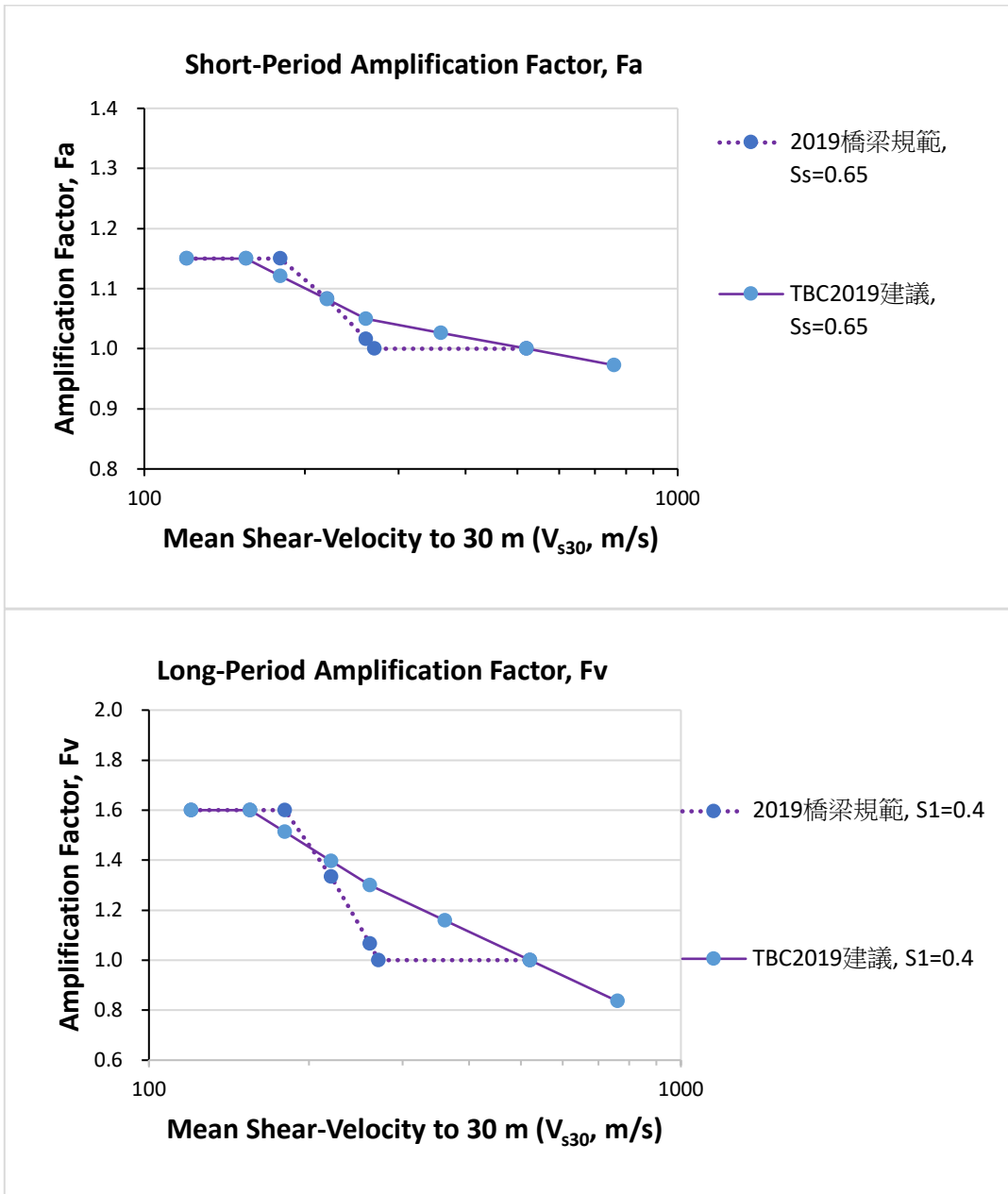


圖 3、TBC 工址放大係數修訂建議比較。(上) F_a 因子; (下) F_v 因子。