

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

內政部建築研究所委託研究報告

98 年度

特殊地形中風速壓剖面之檢討與 相關設計規範之建議

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 98 年 12 月

PG9802-0272
098301070000G1014

特殊地形中風速壓剖面之檢討與 相關設計規範之建議

受委託者：社團法人中華民國風工程學會

研究主持人：方富民

協同主持人：陳鉅昌

研究助理：鍾政洋、李振豪

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 98 年 12 月

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究內容與方法.....	5
第三節 研究流程與執行進度.....	9
第二章 文獻蒐集與分析.....	11
第三章 風洞試驗.....	15
第一節 特殊地形模型.....	15
第二節 來流風場規劃.....	19
第三節 風速量測.....	21
第四節 試驗結果.....	23
第四章 數值模擬.....	29
第一節 數值模式理論與方法.....	29
第二節 數值模擬結果之驗證.....	35
第三節 特殊地形風場系統化模擬.....	39
第四節 系統化風場模擬結果.....	41
第五節 數值結果與規範之比較.....	79
第五章 研究成果與檢討.....	89
第一節 研究成果.....	89
第二節 問題檢討與對策.....	91

第三節 規範之建議.....	101
第六章 結論與建議.....	111
第一節 結論.....	111
第二節 建議.....	113
附錄一 期中報告意見回覆.....	115
附錄二 期末報告意見回覆.....	119
附錄三 專家諮詢會議意見回覆.....	121
參考書目.....	127

表次

表 2-1 地況相關參數.....	11
表 2-2 計算 K_{zt} 所用的 K_1 值.....	12
表 2-3 計算 K_{zt} 所用的 K_2 值.....	13
表 2-4 計算 K_{zt} 所用的 K_3 值.....	14
表 5-1 建議修正與原規範值比較表.....	101

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

圖次

圖 1-1	三種基本特殊地形簡示圖.....	5
圖 1-2	C 地況平均風速與風速均方根值剖面.....	6
圖 1-3	研究計畫執行流程圖.....	9
圖 1-4	研究甘特圖	10
圖 3-1	懸崖模型設置照片圖.....	15
圖 3-2	山脊模型設置照片圖.....	16
圖 3-3	懸崖模型示意圖.....	16
圖 3-4	山脊模型示意圖.....	17
圖 3-5	山丘模型中央縱斷面示意圖.....	18
圖 3-6	C 地況地表粗糙元設置照片圖.....	19
圖 3-7	C 地況地表粗糙元設置簡示圖.....	19
圖 3-8	錐形渦流產生器簡示圖.....	20
圖 3-9	地表粗糙元擺設簡示圖.....	20
圖 3-10	恆溫流速儀.....	21
圖 3-11	熱線探針.....	22
圖 3-12	懸崖模型來流平均風速與風速均方根值剖面...	23
圖 3-13	山脊模型來流平均風速與風速均方根值剖面...	24
圖 3-14	山丘模型來流平均風速與風速均方根值剖面...	24
圖 3-15	懸崖模型試驗各截面平均風速剖面.....	25
圖 3-16	山脊模型試驗各截面平均風速剖面.....	26
圖 3-17	山丘模型試驗各截面平均風速剖面.....	27
圖 4-1	計算區域立面簡示圖.....	32
圖 4-2	計算格網圖.....	33

圖 4-3	懸崖數值與試驗平均風速剖面比較圖.....	36
圖 4-4	山脊數值與試驗平均風速剖面比較圖.....	37
圖 4-5	山丘數值與試驗平均風速剖面比較圖.....	38
圖 4-6	數值模擬入流截面風速剖面(A地況).....	39
圖 4-7	數值模擬入流截面風速剖面(B地況).....	40
圖 4-8	數值模擬入流截面風速剖面(C地況).....	40
圖 4-9	懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(A地況)....	43
圖 4-10	懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(B地況)....	45
圖 4-11	懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(C地況)....	47
圖 4-12	懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(A地況).....	49
圖 4-13	懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(B地況).....	51
圖 4-14	懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(C地況).....	53
圖 4-15	山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(A地況)....	55
圖 4-16	山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(B地況)....	57
圖 4-17	山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(C地況)....	59
圖 4-18	山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(A地況).....	61
圖 4-19	山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(B地況).....	63
圖 4-20	山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(C地況).....	65
圖 4-21	山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(A地況)....	67
圖 4-22	山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(B地況)....	69
圖 4-23	山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(C地況)....	71
圖 4-24	山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(A地況).....	73
圖 4-25	山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(B地況).....	75
圖 4-26	山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(C地況).....	77

圖 4-27	懸崖數值與規範位移厚度比較圖(A地況).....	80
圖 4-28	懸崖數值與規範位移厚度比較圖(B地況).....	81
圖 4-29	懸崖數值與規範位移厚度比較圖(C地況).....	82
圖 4-30	山脊數值與規範位移厚度比較圖(A地況).....	83
圖 4-31	山脊數值與規範位移厚度比較圖(B地況).....	84
圖 4-32	山脊數值與規範位移厚度比較圖(C地況).....	85
圖 4-33	山丘數值與規範位移厚度比較圖(A地況).....	86
圖 4-34	山丘數值與規範位移厚度比較圖(B地況).....	87
圖 4-35	山丘數值與規範位移厚度比較圖(C地況).....	88
圖 5-1	山脊模型示意圖.....	92
圖 5-2	山脊迴流區內風速變化之機率分佈圖.....	93
圖 5-3	山丘迴流區內風速變化之機率分佈圖.....	96
圖 5-4	懸崖數值與規範值修正後位移厚度比較圖(A地況).....	102
圖 5-5	懸崖數值與規範值修正後位移厚度比較圖(B地況).....	103
圖 5-6	懸崖數值與規範值修正後位移厚度比較圖(C地況).....	104
圖 5-7	山脊數值與規範值修正後位移厚度比較圖(A地況).....	105
圖 5-8	山脊數值與規範值修正後位移厚度比較圖(B地況).....	106
圖 5-9	山脊數值與規範值修正後位移厚度比較圖(C地況).....	107
圖 5-10	山丘數值與規範值修正後位移厚度比較圖(A地	

況).....	108
圖 5-11 山丘數值與規範值修正後位移厚度比較圖(B 地 況).....	109
圖 5-12 山丘數值與規範值修正後位移厚度比較圖(C 地 況).....	110

摘要

關鍵詞：風力規範、數值模擬、風洞試驗

一、緣起

在國內現行建築物耐風設計規範中有關風速壓之估算係基於在三種地況下平坦地形中平均風速剖面為指數律形式之假定，依據準穩定原理推算而得。針對非平坦地形的情況，現頒規範的建議中乃引入一個地形係數，針對懸崖、山脊與山丘等三種基本情況加以修正。此修正的方法係沿用美國規範，而建議之地形係數則由風洞模型試驗之結果整理而得。相對之下，台灣之地形特性之複雜程度遠較大陸型地區高，在缺乏原始風場資料庫之情況下直接沿用此相關規範是否能滿足本國耐風設計之需求實有進一步探討之必要。

由於在台灣地區可用之平地面積並不敷需求，在山坡地構築建築物之數目逐年增加。然而，在此等非平坦地形中風況之非恆定性頗高，以準穩定原理為基礎之風力估計方式是否得宜，則有需要作細部之檢討，進而評估規範建議值之保守程度，甚或提出可能修正或補強的建議。

為了要系統化地檢視地形因素對風速剖面之影響，本研究以風洞試驗與數值模擬交相配合應用的方式進行分析。前者可提供數值模擬風場結果驗證之基本數據；待後者預測精準度確立後，則可藉系統化的數值模擬獲取與實際情況相符合的高雷諾數風場資料庫，以為規範評估與建議提出之依據。

二、研究方法及過程

- 1、於風洞中針對懸崖、山脊與山丘等三種基本情況製作模型地形，量測垂直風速剖面(時均值與擾動量)。
- 2、應用數值方法，針對前述量測個案進行風場模擬，驗證預測結果之準確性。
- 3、在高雷諾數之真實情況下進行系統化數值計算，以獲致風場結果。
- 4、整合數值預測結果，建立風場資料庫。
- 5、依據風場資料庫結果，評估現行規範之保守程度，甚或作可能的修正建議。

三、重要發現

- 1、驗證研究中數值模擬在風場預測之準確性。
- 2、建立了懸崖、山脊與山丘等三種基本情況，風速剖面資料庫。。
- 3、評估現行規範值之保守程度，進而提出未來修正之建議。

四、主要建議事項

建議一

立即可行建議：增加應用數值模擬分析風工程相關研究課題

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：行政院其他相關部會

研究中應用之微可壓縮流風場模擬軟體具有不錯之預測能力。依據專家諮議會議中委員之意見，建議爾後能多提供相關 CFD 應用之研究案，以更進一步地發揮數值模擬方法在建築研究之成效。

建議二

立即可行建議：針對相關風力設計規範提出修正建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：行政院其他相關部會

依據模擬之風速剖面與現行規範在位移厚度之比較結果，研究中針對地形係數提出了修正建議，以為未來相關規範修訂之參考。

建議三

中長期建議：於建築研究所風洞試驗室增設 CFD 實驗室或研究團隊

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：行政院其他相關部會

國際知名的大型風洞試驗室多配置有 CFD 實驗室或研究團隊，除了在實驗上提供服務能量外，亦能配合數值計算以建立數值風洞的機制，在風場分析上達到相輔相成之功效。建議未來建研所風洞試驗室應作 CFD 實驗室或研究團隊建制之規劃，以更提昇其服務能量與研究能力。

ABSTRACT

Key Words: Wind Design Code, Numerical Simulation, Wind Tunnel Test

1. Background

Regarding the evaluation of wind pressure on building surfaces in the local wind design code, suggestions are provided under three types of ground conditions in a plain area by assuming that the wind velocity profile is in a power-law shape based on a quasi-steady theory. When the ground is not flat, a topographic coefficient is introduced in the code to emend the difference due to the topographic effect in areas with an escarpment, ridge and hill. As this concept is adopted directly from the related U.S. design code, additional investigations must be performed to assure its validity since the topographic characteristics in Taiwan is much more complex than that in a continental region.

In Taiwan, the number of buildings in mountain territories is increasing due to lack of plain areas. Generally, the wind behaves highly unsteady. Whether the method of wind pressure evaluation based on the quasi-steady theory is acceptable or not is a doubt and needs extensive studies to assess its conservative extent and further propose possible modifications or supplements for the present code.

To explore the effect due to the topographic factor, wind tunnel tests and numerical simulations are both carried out in the study. Measurement results from the former are used to guide and confirm the accuracy of those from the numerical calculations. After the validity of the numerical model is assured, the predictions of high-Reynolds-number wind fields are then performed systematically. The collected data base will serve as the basis to bring about assessments and possible code amendments.

2. Methods and Procedures

The methods and procedures of the study includes
— execution of certain standard wind tunnel model tests (escarpment, ridge and hill) and measurements of wind velocity profiles(mean and root-mean-square

values),

- execution of wind flow computation and validation of its accuracy,
- achievement of full-scale flow results at high Reynolds numbers,
- establishment of a data base of the numerical wind field results,
- and suggestion for assessments and possible code amendments.

3. Important Findings

- (1) Validation of the numerical method in wind profiles prediction.
- (2) Establishment of wind profile data base.
- (3) Assessment of code applicability and suggestion for future code modification.

4. Major Suggestions

The major suggestions of the study are as follows:

- (1) Encouragement of additional funding to wind-engineering projects regarding the application of CFD

This has been emphasized by the members of the consulting committee during the meeting.

- (2) Suggestions of modification of related wind design codes

According to the comparison between the predicted wind profiles and those proposed by the codes in terms of displacement thickness, suggested values related to the topographic factor are presented.

- (3) Development of CFD program in ABRI wind tunnel laboratory

In most of the internationally reputable wind tunnel laboratories, there is always a CFD program responsible for numerical analysis. It is suggestive that the ABRI wind tunnel laboratory develop a CFD team to promote its service level and research capability.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

一、緣起

台灣屬島嶼地形，平地面積相對少。隨著都會區之發展，可供使用之建地漸不敷需求，高樓之構築有移向郊外坡地或山區之趨勢。由於在高層建築物的設計上需作風力評估之考量，以確保建物之表面風壓與風荷重不致造成帷幕牆破壞或引起住民不舒適性等問題，在規範中已有相關之規定與建議。

由於受到地形之影響，在山區或山坡地中風場之基本形態與平坦地有所差異。隨著地形變化而使得風產生加速或減速的效果，其複雜度更隨著地形變化之程度增加。尤其在背風面或山凹處常見因渦流(vortex)引起之非恆定(unsteady)風場現象，在風力分析的準確度上更不易掌握。

二、國內外有關本計畫之研究情況

過去典型之相關研究，以風洞試驗檢視二/三維(two-/three-dimensional)山丘之風場特性者如 Ferreira 等[3]、Kim 等[4]、Carpenter 與 Locke[5]、Ishihara 等[6]，關注的重點除了風速剖面的時均值(mean)外，亦包括風場的紊流特性(turbulence characteristics)；探討丘陵地面粗糙度(roughness)對風速剖面之影響者如 Cao 與 Tamura [7]、Takahashi 等[8]，研究中指出地面粗糙度對產生之分流(separation)會有相當程度之影響，也因此導致氣流加/減速度之改變。Takahashi 等[9]依據風洞試驗結果，評估三維山丘中氣流之穩定度。Lubitz 與 White[10]則討論山區中氣流方向之變化對風場之影響。近期，Miller 與 Davenport [11]依據風洞試驗結果提出了於多重山

丘地形中設計風速(design wind speed)之簡易估算準則；Weng 等[12]則根據數值模擬結果整合出一套在複雜地形中設計風速之參考準則。

在國內現行建築物耐風設計規範[1]中有關風速壓之估算係基於在 A、B、C 三種地況下平坦地形中平均風速剖面為指數律(power law)形式之假定，依據準穩定原理(quasi-steady theory)推算而得。針對非平坦地形的情況，現頒規範的建議中乃引入一個地形係數(topographic factor)，針對懸崖(escarpment)、山脊(ridge)與獨立對稱山丘(axisymmetrical hill)等三種基本情況加以修正。此修正的方法係沿用美國 ASCE 規範[13]，而建議之地形係數則主要由風洞模型試驗之風場資料庫結果整理而得。

三、計畫之重要性

除了在非平坦地形中非恆定風場導致在分析上的不確定性外，由於本國現頒規範的建議係沿自美國，而台灣地形特性之變化程度遠較大陸型地區為高。在缺乏基本風場資料庫之情況下直接沿用美國之相關規範是否能滿足本國耐風設計之需求，尤其是在風力估算的保守程度上，實有進一步作整體性探討之必要。

四、研究目的

本研究以風洞試驗與數值模擬兩個方法交相配合應用的方式進行特殊地形中風場問題的分析。其中，風洞試驗可以提供數值模擬風場結果驗證之基本數據。待數值模式預測結果之精準度確立後，則藉系統化的數值模擬獲取和實際情況相符合的高雷諾數紊流風場結果，進而建立完整之風場資料庫，以為後續規範評估與建議提出之依據。

計畫之推行係針對如下三個目標：

- 1、針對建築物耐風設計規範中地形係數之建議值，評估其保守之程

度，進而提出可能的建議與修正。

- 2、建立懸崖、山脊與山丘等三種基本情況下風速剖面之資料庫，以為細部耐風設計之參考依據。
- 3、台灣地區在山區興建高樓的情況與日俱增，本研究之成果可以提供更為細部之風況資料，增進設計者在非平坦地區高層建築風力評估之掌握程度。

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

第二節 研究內容與方法

本研究針對懸崖、山脊與山丘等三種基本的特殊地形(參見圖 1-1)，以風洞試驗與數值模擬兩個方法配合應用的方式進行問題的分析。研究中首先進行風洞試驗，就典型的基本特殊地形情況量取風場速度剖面，以為數值模擬結果驗證之依據。然而，在風洞中相應之風場雷諾數(Reynolds number)較實際情況低了 2 至 3 個量級(order)，對地面具有曲度變化之地形而言，有因縮尺效應(scale effect)而引致誤差之虞。因此，待數值模擬的風場預測精準度確立後，研究中繼針對高雷諾數的真實情況，藉地形變化坡度之改變，系統化地進行風場模擬，並建構資料庫，以為現行相關規範保守度評估之依據，甚或提出可能之補強與建議。

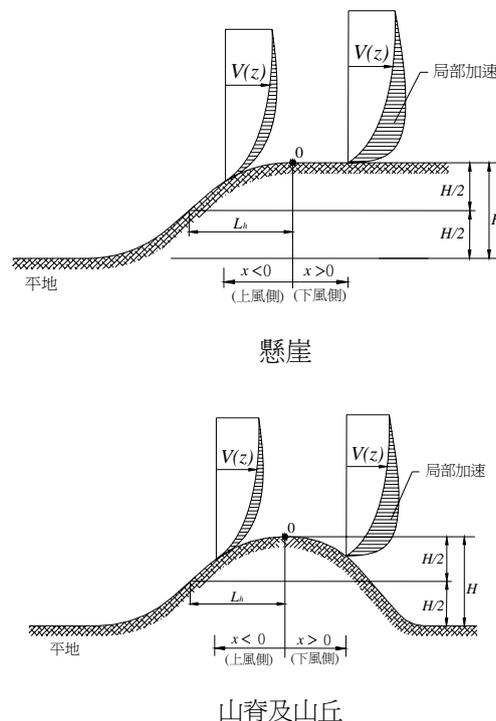


圖 1-1. 三種基本特殊地形簡示圖

資料來源：[1]

(一) 風洞試驗

研究中製作了三個典型之特殊地形模型(包括二維懸崖、二維山脊與三維山丘，每一情況包括兩個 H/L_h 值；參見圖 1-1)，置於風洞中，並在符合 C 地況大氣邊界層來流中(指數率 α 值約為 0.14，邊界層高度 δ 為 120 公分， U_δ 為 14.01 m/s；參見圖 1-2)以熱線流速計(hot-wire anemometer)量取不同截面(x)之垂直風速剖面(時均值與擾動量)，以為數值模擬準確度驗證之依據。

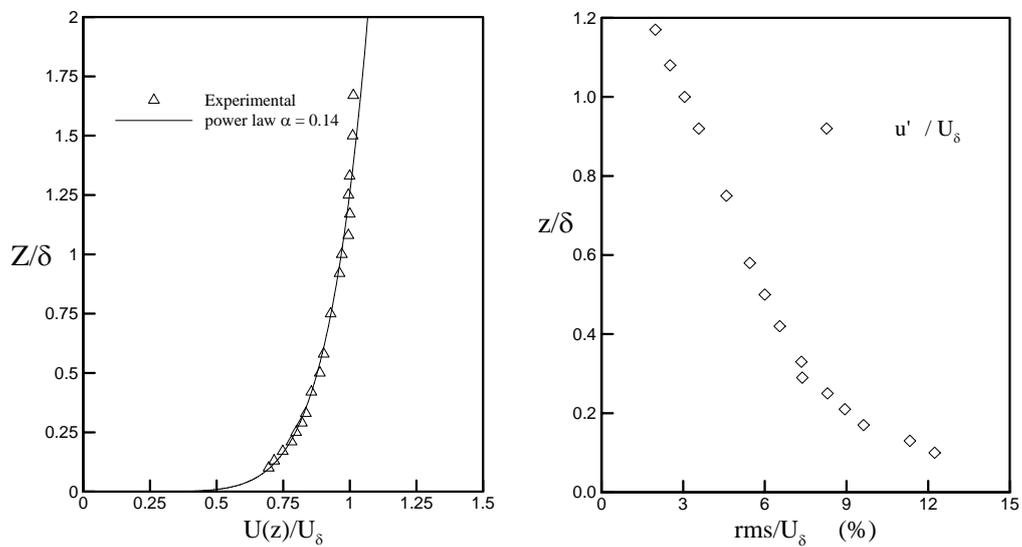


圖 1-2. C 地況平均風速與風速均方根值剖面

($\delta = 120$ cm； $U_\delta = 14.01$ m/s)

資料來源：[2]

(二) 數值模擬

本研究使用微可壓縮流(weakly-compressible-flow; WCF [14])的 CFD 數值模式進行紊流風場模擬。本模式係經研發廿餘年之學術研究型軟體，其在預測非恆定鈍體流(bluff-body flows)之準確度上業有相當不錯之成果(參見[15]至[18])。

1. 數值模式確立

針對風洞模型試驗的三個典型地形，進行數值風場模擬並與實驗量測結果比較驗證，以確定數值預測結果之準確度。

2. 系統化風場預測

針對實際高雷諾數(10^7 以上)的情況，進行系統化的風場模擬(總計 54 個案)，繼依據模擬結果建構風場資料庫。其案例說明如後(參見圖 1-1)：

- (1) 地況：A、B 與 C 地況等 3 種情況。
- (2) 地形：二維懸崖、二維山脊與三維山丘等 3 種情況。
- (3) 坡度變化(H/L_h): 自 0.10 至 0.60 共 6 種變化(規範變化範圍為 0.20 至 0.50)。

(三) 規範評估

「建築物耐風設計規範及解說」[1]第 2.6 節中有關風速壓之計算規定如後：

各種不同用途係數(I 值)之建築物在不同地況下，離地面 z 公尺高之風速壓 $q(z)$ 依下式計算(單位為 kgf/m^2)：

$$q(z) = 0.06 K(z) K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 \quad (1.1)$$

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (1.2)$$

其中， K_{zt} 稱為地形係數，代表在獨立山丘或山脊之上半部或懸崖近頂端處之風速局部加速效應。參數 K_1 與地形特徵和最大頂端加速有關；參數 K_2 與加速效應之水平衰減率有關；參數 K_3 與加速效應之垂直衰減率有關。依據此式，規範中針對不同之地形(二維懸崖、二維山脊與三維山丘)、地況(A、B、C)與坡度變化(H/L_h)，提出有關 K_1 、 K_2 與 K_3 之建議公式與表格。

研究中以系統化風場模擬資料庫為基礎，逐一檢討規範中有關地形係數(K_{zt})建議值之保守程度，進而作可能的建議與修正。

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

第三節 研究流程與執行進度

本計畫擬定之執行流程如圖 1-3 所示。研究工作中包括了風洞試驗與數值模擬兩項工作。前者係提供風速壓剖面之基本資料以為後者比較與驗證之依據；待與後者數值模擬風場結果之準確性確立後，則進行系統化之風場計算，除據以建立三種基本特殊地形相應之風場資料庫外，並針對現有相關規範進行評估。

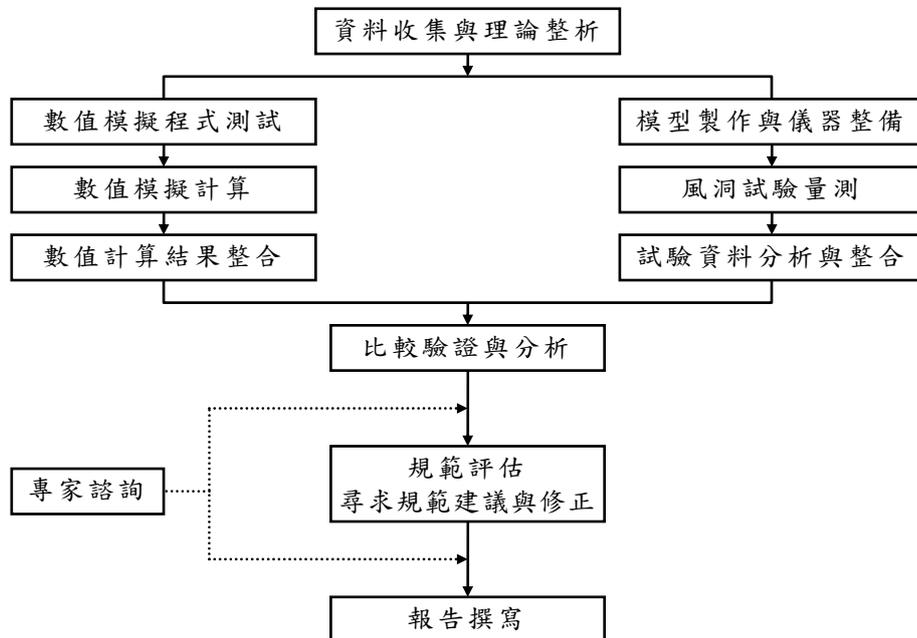


圖 1-3. 研究計畫執行流程圖

資料來源：本研究整理

本計畫研究甘特圖詳圖 1-4，工作項目包括資料收集、理論整析、風洞試驗、數值模擬程式測試與驗證與系統化數值模擬。計畫工作另包含參酌專家諮詢會議之舉行，待參酌諮詢意見後，針對規範提出可能修正之建議。

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

月次 工作項目	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月	第九月	第十月	第十一月	第十二月	備註
	資料收集	■											
理論整析	■	■											
數值模擬 程式測試		■	■	■									
模型製作與 儀器整備			■	■									
風洞試驗量測				■	■	■							
數值模擬計算					■	■	■	■					
期中報告						■							查核點 1
比較驗證 與分析						■	■	■	■				
規範評估							■	■	■	■	■		
專家座談										■			
期末報告											■		查核點 2
預定進度 (累積數)	8	16	24	35	43	58	69	80	88	95	100		%

圖 1-4. 研究甘特圖

資料來源：本研究整理

第二章 文獻蒐集與分析

基本上，目前國內規範中有關順風向(along-wind direction)風力之計算係引用自美國 ASCE 規範[13]。在「建築物耐風設計規範及解說」[1]第 2.6 節中有關風速壓之計算係考慮地況、地形、建築物重要性等因素，依據準穩穩定原理提出如下之建議計算式[1]：

$$q(z) = 0.06 K(z) K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 \quad (1.1)$$

其中， $K(z)$ 為風速壓地況係數，此值為離地面 z 公尺之風速壓與標準風速壓(地況 C，離地面 10 公尺處)之比值，依下式計算：

$$\begin{aligned} K(z) &= 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} ; \quad z > 5\text{m} \\ &= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} ; \quad z \leq 5\text{m} \end{aligned} \quad (2.1)$$

各種地況種類之 α 值及梯度高度(z_g)，如見表 2-1； I 為用途係數； $V_{10}(C)$ 為任一地點之基本設計風速，係假設該地點之地況種類為 C 類，離地面 10 公尺高，相對於 50 年回歸期之 10 分鐘平均風速。

表 2-1. 地況相關參數

地況	α	z_g (m)	\bar{b}	c	ℓ (m)	$\bar{\varepsilon}$	z_{\min} (m)
A	0.32	500	0.45	0.45	55	0.5	18
B	0.25	400	0.62	0.30	98	0.33	9
C	0.15	300	0.94	0.20	152	0.20	4.5

資料來源：[1]

此外， K_{zt} 為地形係數，代表在獨立山丘或山脊之上半部或懸崖近頂端處之風速局部加速效應。若此獨立山丘、山脊或懸崖高度 H (參見圖 1-1) 較上風側 3.22 公里內地形高度超過兩倍以上，且 H 大於 4.5 公尺(地況 C)或 18 公尺(地況 A 或 B)，且此獨立山丘、山脊或懸崖在上風側 $100H$ 或 3.22 公里 (兩者取小值) 內沒有類似高度之障礙物，且 $\frac{H}{L_h} \geq 0.2$ ，則 K_{zt} 可依下式計算：

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (1.2)$$

其中， K_{zt} 稱為地形係數，代表在獨立山丘或山脊之上半部或懸崖近頂端處之風速局部加速效應。參數 K_1 與地形特徵和最大頂端加速有關；參數 K_2 與加速效應之水平衰減率有關；參數 K_3 與加速效應之垂直衰減率有關。依據此式，規範中針對不同之地形 (二維懸崖、二維山脊與三維山丘)、地況(A、B、C)與坡度變化(H/L_h)，提出有關 K_1 、 K_2 與 K_3 之建議公式與表格(如見表 2-2 至 2-4)。

表 2-2. 計算 K_{zt} 所用之 K_1 值

$\frac{H}{L_h}$	地況 A 或 B 下之 K_1			地況 C 下之 K_1		
	山脊	懸崖	山丘	山脊	懸崖	山丘
0.20	0.26	0.15	0.19	0.29	0.17	0.21
0.25	0.33	0.19	0.24	0.36	0.21	0.26
0.30	0.39	0.23	0.29	0.43	0.26	0.32
0.35	0.46	0.26	0.33	0.51	0.30	0.37
0.40	0.52	0.33	0.38	0.58	0.34	0.42
0.45	0.59	0.34	0.43	0.65	0.38	0.47
0.50	0.65	0.38	0.48	0.72	0.43	0.53

註：若 $\frac{H}{L_h} > 0.5$ ，則計算 K_1 時採用 $\frac{H}{L_h} = 0.5$

資料來源：[1]

表 2-3. 計算 K_{zt} 所用之 K_2 值

$\frac{x}{L_h}$	K_2	
	懸崖	山脊或山丘
-4.00	0.00	0.00
-3.50	0.00	0.00
-3.00	0.00	0.00
-2.50	0.00	0.00
-2.00	0.00	0.00
-1.50	0.00	0.00
-1.00	0.33	0.33
-0.50	0.67	0.67
0.00	1.00	1.00
0.50	0.88	0.67
1.00	0.75	0.33
1.50	0.63	0.00
2.00	0.50	0.00
2.50	0.38	0.00
3.00	0.25	0.00
3.50	0.13	0.00
4.00	0.00	0.00

註：若 $\frac{H}{L_h} > 0.5$ ，則計算 K_2 時採用 $L_h=2H$ 。

資料來源：[1]

表 2-4. 計算 K_{zt} 所用之 K_3 值

$\frac{z}{L_h}$	K_3		
	山脊	懸崖	山丘
0.00	1.00	1.00	1.00
0.10	0.74	0.78	0.67
0.20	0.55	0.61	0.45
0.30	0.41	0.47	0.30
0.40	0.30	0.37	0.20
0.50	0.22	0.29	0.14
0.60	0.17	0.22	0.09
0.70	0.12	0.17	0.06
0.80	0.09	0.14	0.04
0.90	0.07	0.11	0.03
1.00	0.05	0.08	0.02
1.50	0.01	0.02	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00

註：若 $\frac{H}{L_h} > 0.5$ ，則計算 K_3 時採用 $L_h=2H$ 。

資料來源：[1]

第三章 風洞試驗

研究中首先以風洞試驗，針對三個典型之特殊地形模型(包括二維懸崖、二維山脊與三維山丘，每一情況包括兩個 H/L_h 值；參見圖 1-1)，並在符合 C 地況大氣邊界層來流中以熱線流速計量取不同截面(x)之垂直風速剖面，作為數值模擬準確度驗證之依據。

第一節 特殊地形模型

圖 3-1 至圖 3-3 顯示典型特殊地形之模型(模型簡圖參見圖 3-3 至圖 3-5)，主要包括傾斜段、水平段與坡面段三個部份。以懸崖模型為例，傾斜段與水平段係以夾板組成，靠近中線 1 米寬之坡面段係採用 ABS(丙烯—丁二烯—苯乙烯)塑膠高精密度製作，坡面段兩側則以保麗龍製成，以維持模型風場之二維特性(two-dimensionality)。

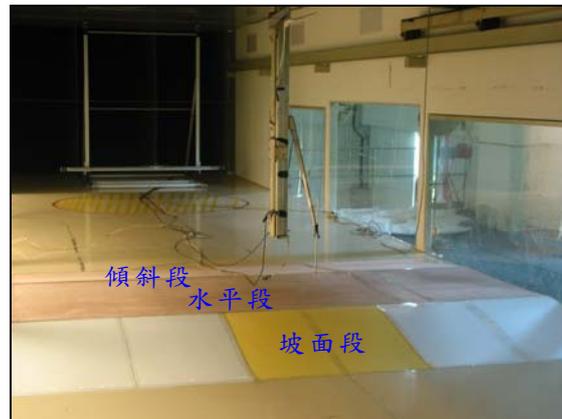


圖 3-1. 懸崖模型設置照片圖

資料來源：本研究整理



圖 3-2. 山脊模型設置照片圖

資料來源：本研究整理

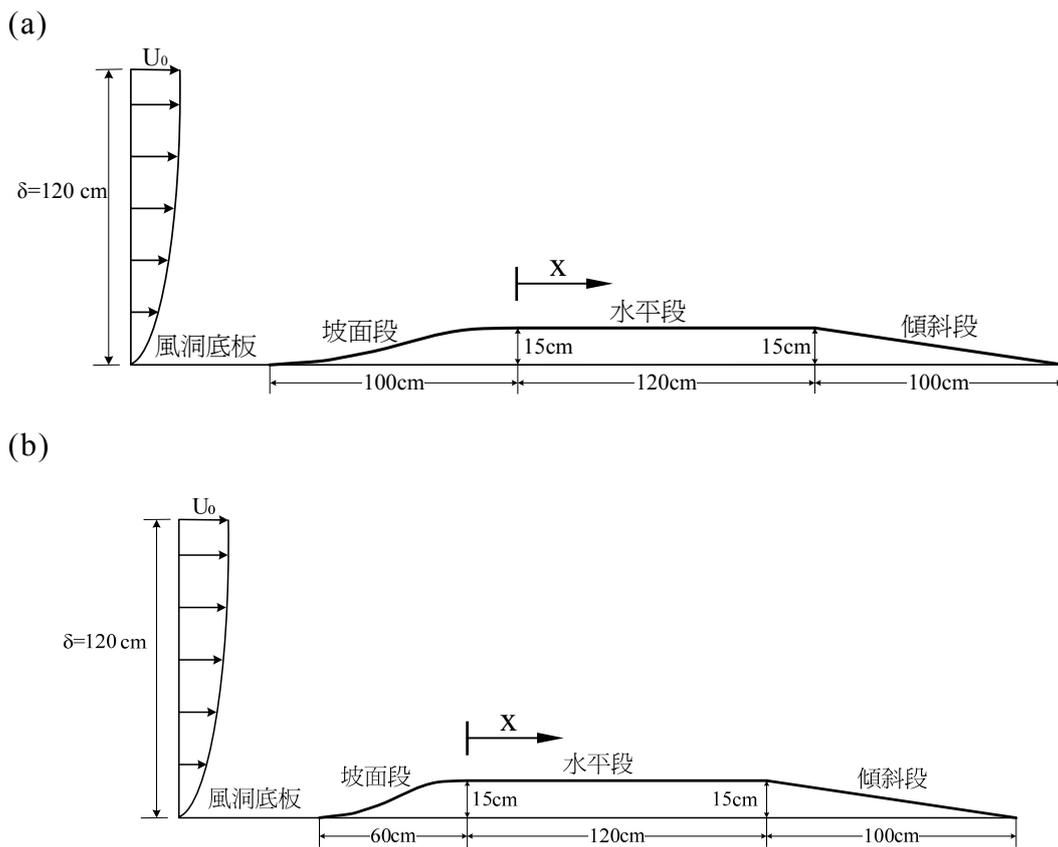


圖 3-3. 懸崖模型示意圖

(a) $H/L_h=0.3$ (b) $H/L_h=0.5$

資料來源：本研究整理

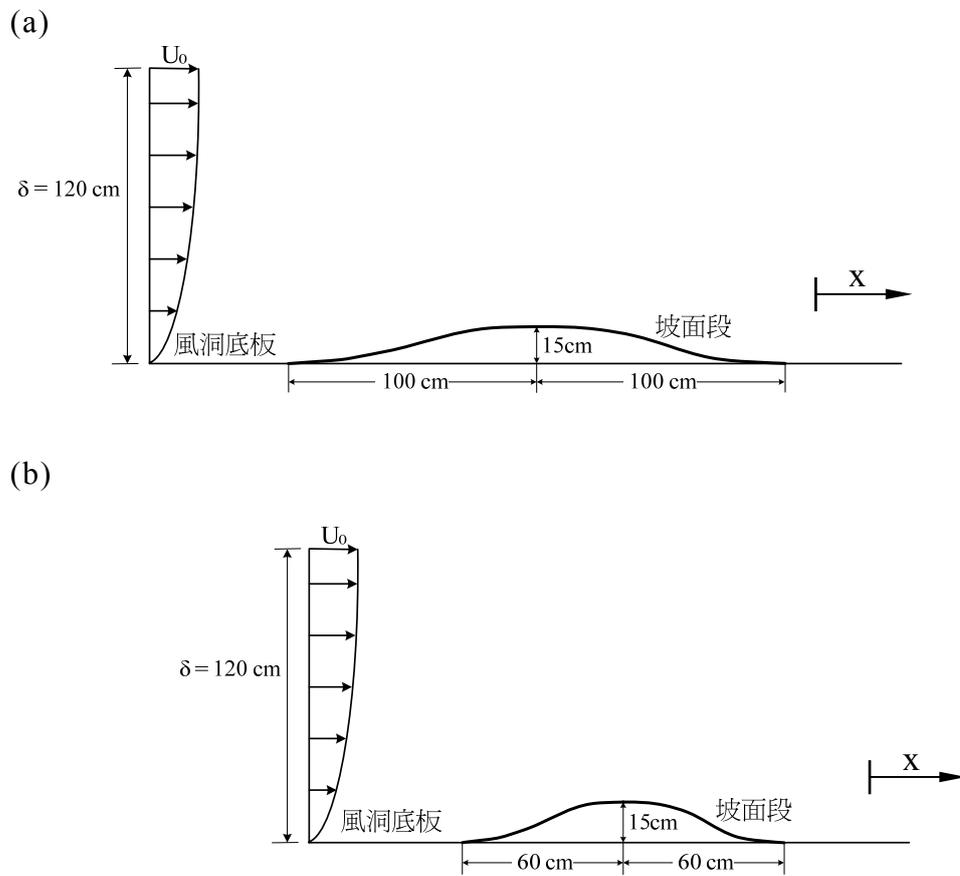
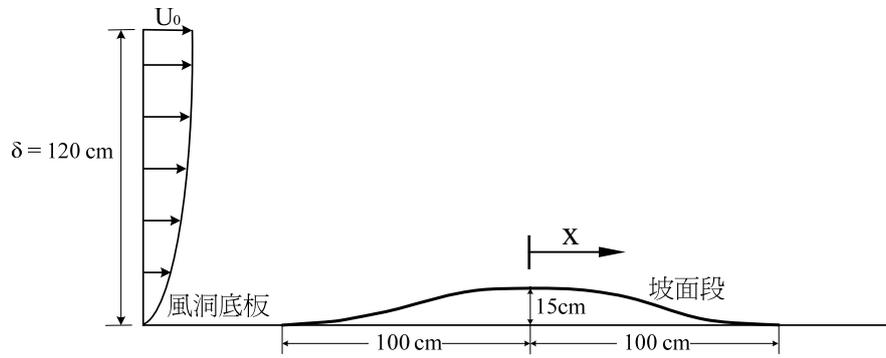


圖 3-4. 山脊模型示意圖

(a) $H/L_h=0.3$ (b) $H/L_h=0.5$

資料來源：本研究整理

(a)



(b)

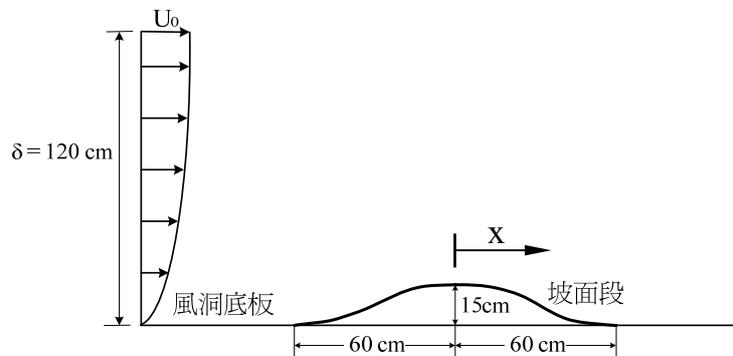


圖 3-5. 山丘模型中央縱斷面示意圖

(a) $H/L_h=0.3$ (b) $H/L_h=0.5$

資料來源：本研究整理

第二節 來流風場規劃

風洞試驗量測係於建築研究所風洞之第一測試區執行，其試驗段長 30 m，斷面為 4.0 m(寬)× 2.6 m(高)，最大風速為 37 m/s。為針對符合風力規範之 C 地況作為探討之基準風況進行特殊地形數值模擬風速剖面之比較驗證，乃於風洞測試段中適當佈設錐形渦流產生器 (spire)與地表粗糙元(參見圖 3-6 至圖 3-9)，以製造出預定之來流風況。



圖 3-6. C 地況地表粗糙元設置照片圖

資料來源：本研究整理

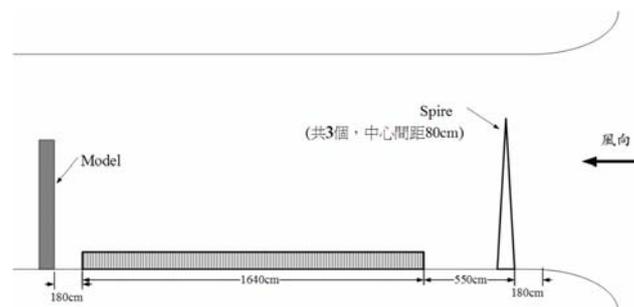


圖 3-7. C 地況地表粗糙元設置簡示圖

資料來源：本研究整理

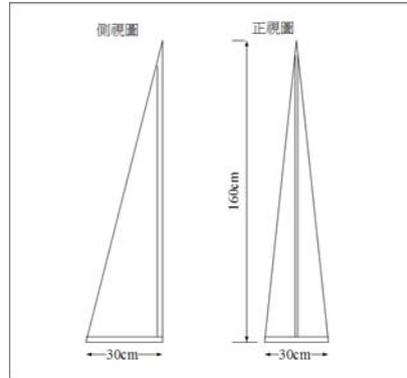


圖 3-8. 錐形渦流產生器簡示圖

資料來源：本研究整理

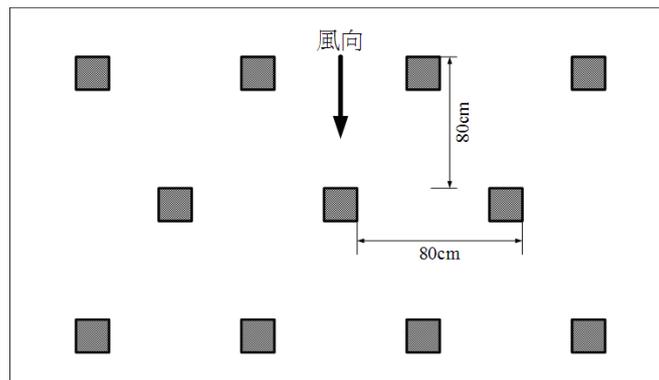


圖 3-9. 地表粗糙元(6 cm× 10 cm× 4 cm)擺設簡示圖

資料來源：本研究整理

第三節 風速量測

本風洞試驗風速之量測係使用 DANTEC 之恆溫流速儀(constant temperature anemometer, 如見圖 3-10)。熱線探針(圖 3-11)的率定乃應用已率定的薄膜式壓力轉換器, 在風洞入口處地面架上皮托管(平行中心線), 將其動靜壓接於薄膜式壓力轉換器上, 再利用熱線探針所得的電壓值與薄膜式壓力轉換器轉換後的風速得出一條四次方多項式的迴歸率定曲線, 以為後續流速儀風速轉換之依據。



圖 3-10. 恆溫流速儀

資料來源：本研究整理

在使用恆溫流速儀進行風速剖面之量測時, 研究中採用之取樣頻率為 1000 Hz, 每測點量測時間為 65 秒。

來流風速剖面之量測, 在懸崖、山脊與山丘情況乃分別於 $x = -(6H+2L_h)$ 、 $x/H = -6$ 與 $x/H = -6$ 之斷面進行, 其結果乃作為數值模擬風場計算之入流速度邊界條件之輸入值。另一方面, 風速剖面之量測乃於 $x/H = -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4$ (參見圖 3-3 與圖 3-4) 等 7 個垂直斷面進行, 其結果將和數值模擬結果作驗證比對, 以確立數值模式之準確性。

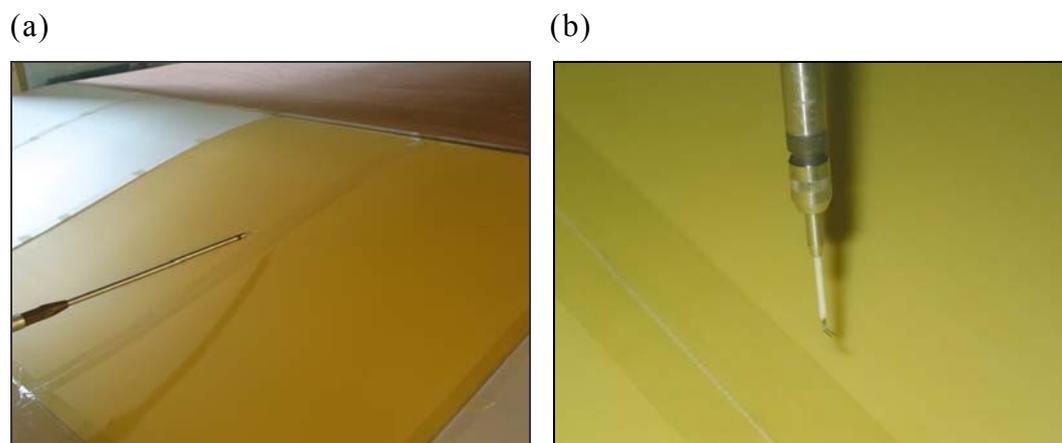


圖 3-11. 熱線探針

(a) 山脊情況用(型號 55P14) (b) 懸崖與山丘情況用(型號 55P11)
資料來源：本研究整理

第四節 試驗結果

一、來流風速剖面

依據風速量測資料，圖 3-12 至圖 3-14 顯示懸崖、山脊與山丘情況分別在 $x = -(6H+2L_h)$ 、 $x/H = -6$ 與 $x/H = -6$ (模式試驗中 $H = 15 \text{ cm}$ ；參見圖 3-3 至圖 3-5) 斷面之無因次平均風速與風速均方根值剖面。結果顯示，懸崖與山丘情況之來風與空流場情況(即尚未擺設模型時；參見圖 1-2)相近。然而，在山脊情況中由於模型本身對來流則有明顯之影響，使得風速剖面產生了些許的改變。

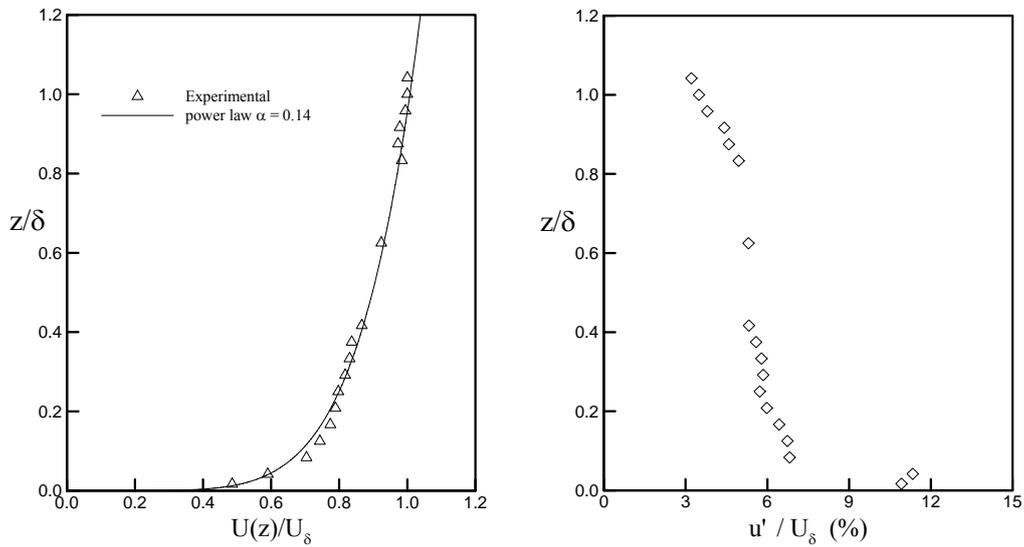


圖 3-12. 懸崖模型來流平均風速與風速均方根值剖面

($\delta = 120 \text{ cm}$ ； $U_\delta = 11.12 \text{ m/s}$)

資料來源：本研究整理

二、各斷面風速剖面

圖 3-15 至圖 3-17 分別顯示在懸崖、山脊與山丘情況 ($H/L_h=0.3$) 各截面之平均風速剖面量測結果。此將作為數值模式風場預測準確性驗證之依據。

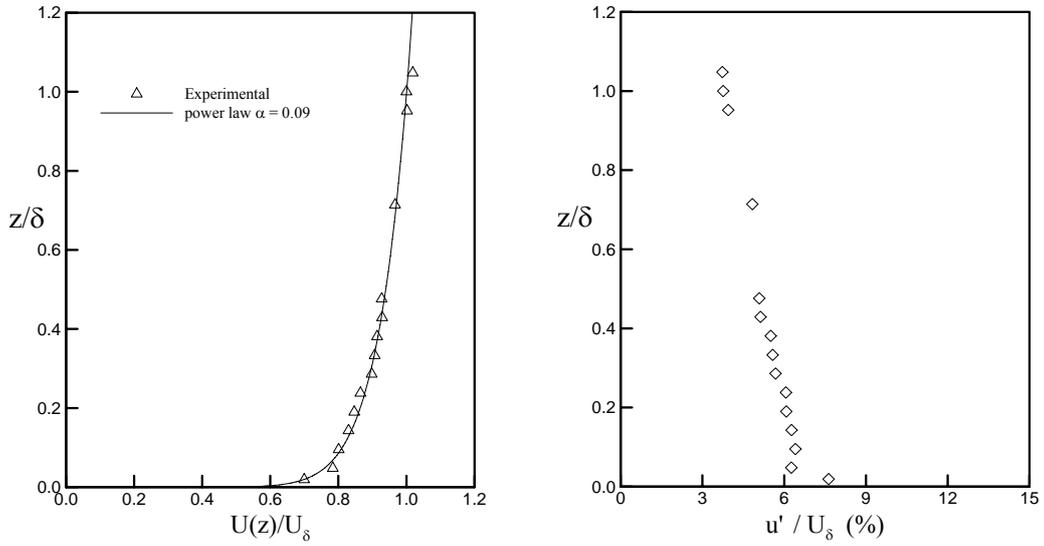


圖 3-13. 山脊模型來流平均風速與風速均方根值剖面
($\delta = 105$ cm ; $U_\delta = 14.12$ m/s)

資料來源：本研究整理

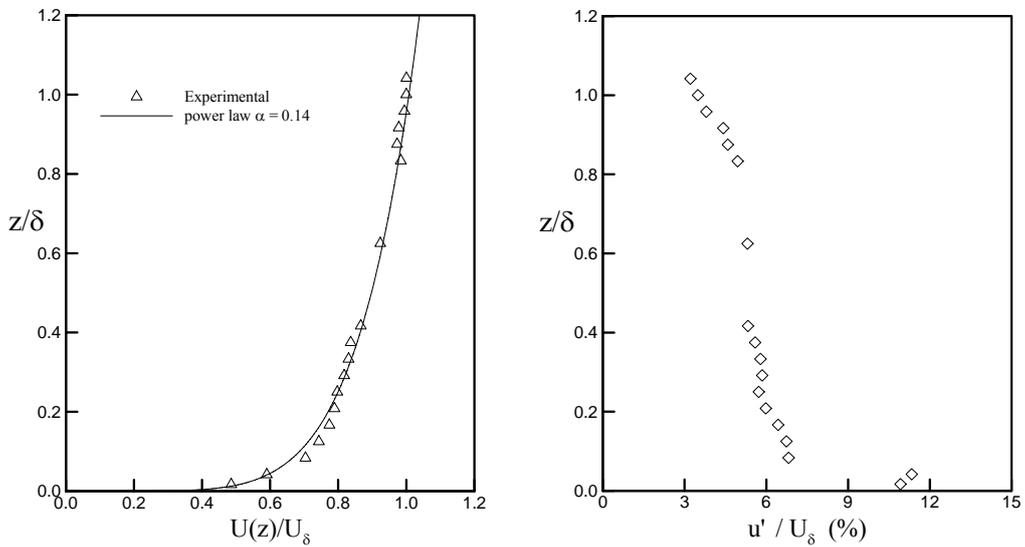


圖 3-14. 山丘模型來流平均風速與風速均方根值剖面
($\delta = 120$ cm ; $U_\delta = 15.41$ m/s)

資料來源：本研究整理

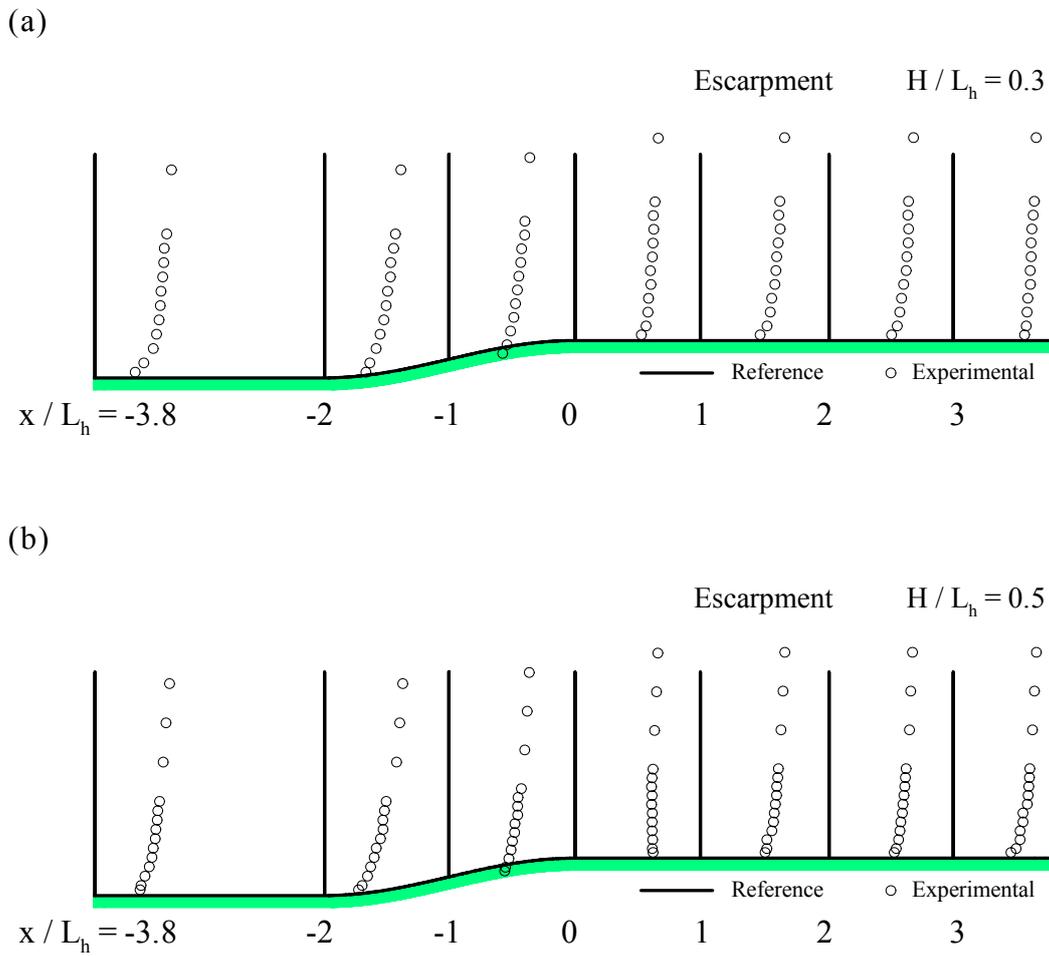


圖 3-15. 懸崖模型試驗各截面平均風速剖面

(a) $H/L_h=0.3$ (b) $H/L_h=0.5$

資料來源：本研究整理

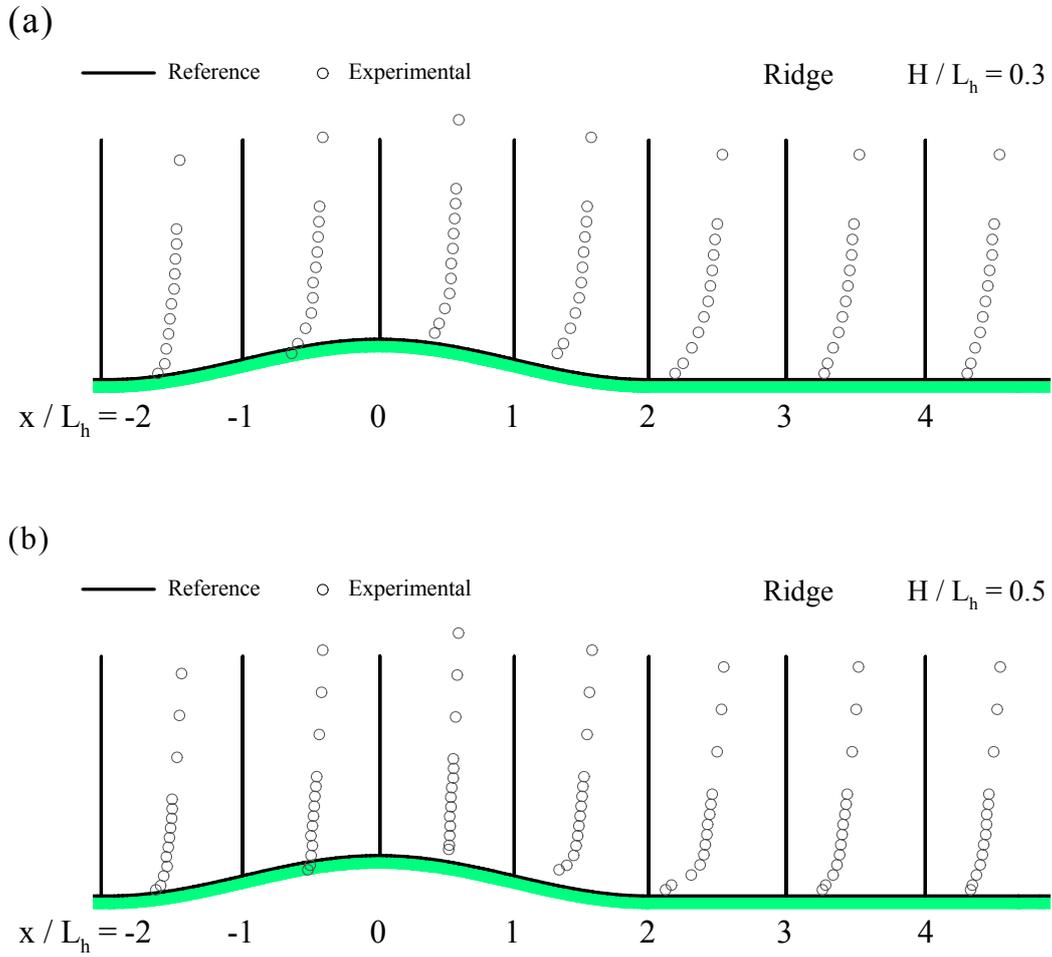


圖 3-16. 山脊模型試驗各截面平均風速剖面

(a) $H/L_h = 0.3$ (b) $H/L_h = 0.5$

資料來源：本研究整理

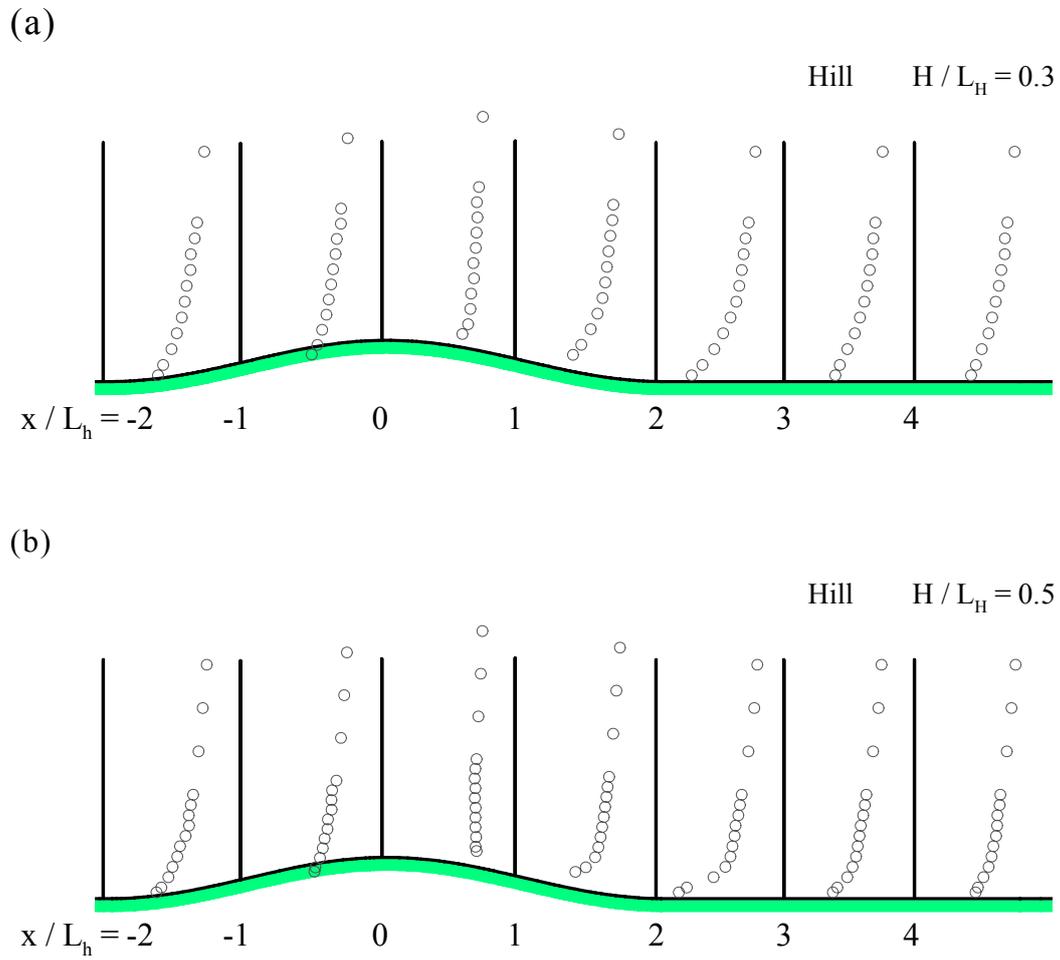


圖 3-17. 山丘模型試驗各截面平均風速剖面(中央縱斷面)

(a) $H/L_h=0.3$ (b) $H/L_h=0.5$

資料來源：本研究整理

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

第四章 數值模擬

研究中風場數值模擬係採用微可壓縮流的方法(weakly-compressible-flow method；簡稱 WCF 法)[14]，以預測特殊地形中相應之三維(three-dimensional)、非恆定(unsteady)紊流(turbulent)風場。本方法為一採用可壓縮流連續及動量方程式為控制方程之有限體積法，業已成功地應用在諸多流場模擬個案中([15]至[18])。

第一節 數值模式理論與方法

一、WCF 數值方法說明

本方法原僅適用於解非黏性(non-viscous)流場，經擴展後已具黏性(viscous)流場之解析能力。在三維流況中，連續及動量方程式分別為

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p \quad (4.2)$$

其中， ρ 、 \vec{V} 、 p 、 t 分別代表流體密度、速度向量、壓力及時間。在馬赫數平方的誤差下，(4.1)式可近似為

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho c^2 \vec{V}) = 0 \quad (4.3)$$

另一方面，對低馬赫數(low-Mach-number)之黏滯性流場而言，(4.2)式(動量方程式)成為

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{V} \vec{V}) = -\nabla \left(\frac{p}{\rho} \right) + \nu \nabla^2 \vec{V} \quad (4.4)$$

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

其中 ν 為運動粘滯度 (kinematic viscosity)。

將(4.3)式與(4.4)式做空間平均(space average)後，其物理量可以指標符號(index notation)表示為(" $\bar{\quad}$ "表平均(average)、" $'$ "表擾動(fluctuation)部份， $u_i = \bar{u} + u'_i$ ， $p = \bar{p} + p'$)

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho c^2 \bar{u}_j) = 0 \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_j} &= \frac{\partial (p/\rho)}{\partial x_i} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ -\overline{u'_i u'_j} - \overline{u'_i u'_j} - \overline{u_i u'_j} - (\overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j) + \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right\}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

由雷諾平均假設($\overline{u'_i u'_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j + \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j = 0$)，(4-6)式成為

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\bar{p}^*}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ -\left(\overline{u'_i u'_j} - \frac{1}{3} \overline{u'_i u'_j} \delta_{ij} \right) + \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right\} \quad (4.7)$$

其中， δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數； $\bar{p}^* = \bar{p} + \frac{\rho}{3} \overline{u'_i u'_j} \delta_{ij}$ 。

根據渦流粘滯度假設(eddy-viscosity hypothesis)，次網格紊流剪應力項可表示為

$$-\left(\overline{u'_i u'_j} - \frac{1}{3} \overline{u'_i u'_j} \delta_{ij} \right) = \nu_t S_{ij}, \quad S_{ij} = \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) \quad (4.8)$$

其中 ν_t 為紊流粘滯度。因此，(4.8)式可重寫為

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\bar{p}^*}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\tau_{ij}}{\rho} \right) \quad (4.9)$$

其中 τ_{ij} 是層流粘性剪應力以及次網格紊流剪應力的和，而次網格紊流擴散係數則依據 Smagorinsky[19]建議之如後形式：

$$v_t = (C_s \Delta)^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (4.10)$$

其中， Δ 為計算網格的特徵長度，而 C_s 為 Smagorinsky 常數。

二、邊界條件

風場模擬中在數值邊界條件之處理上，對固定邊界(stationary boundary)而言，計算中係於計算區邊界外之鏡射點(phantom point)給定適當物理量的方式，以正確地反應出邊界之特性。

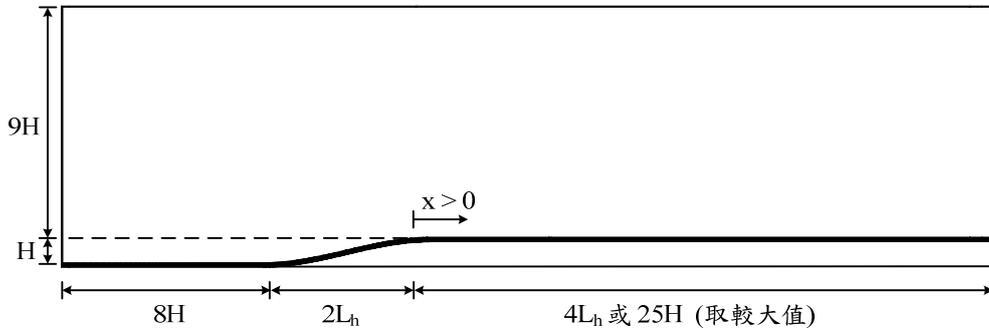
在速度方面，入流截面之速度採用預定來流分佈之給定值以定義入流形態，地面之鏡射點則給予不可滑動條件(no-slip condition)，而在其他可穿透邊界(上邊界與出流截面)之鏡射點則依據零梯度之物理特性給定之。在壓力方面，除將出流截面之平均壓力定為流場之參考壓力外，其餘邊界之壓力給定均基於零梯度之物理特性予以處理。

三、計算區域與格網

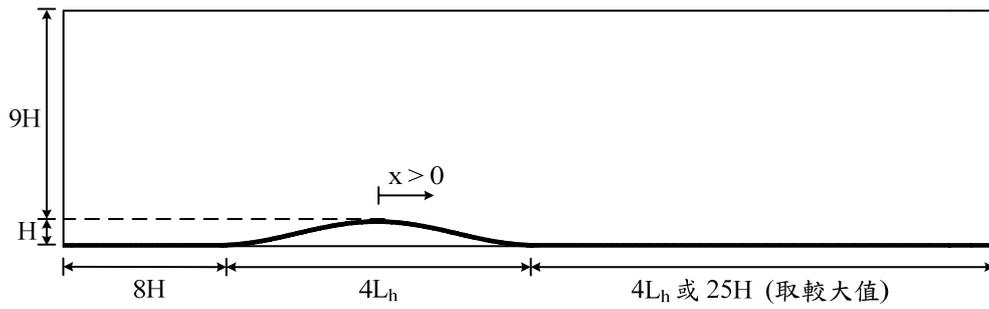
針對懸崖、山脊與山丘之情況，典型(以 $H/L_h=0.3$ 為例)之流場計算區域(computation domain)如見圖 4-1。在垂直方向，計算區之高度取 $10H$ (H 為坡面高度)；而在水平方向，計算區之入流/出流截面與坡面段之間距需取足夠長度，確使因邊界引致之誤差降至極低。

數值模擬中採用之典型計算格網(懸崖、山脊與山丘情況； $H/L_h=0.3$)如見圖 4-2，最小格網大小為 $0.05H$ 。在非恆定紊流計算過程中，無因次(dimensionless)之時間增量(time increment)為 2.7×10^{-3} ，每計算個案之總無因次真時(real time)時間約為 800。

(a) 懸崖



(b) 山脊



(c) 山丘

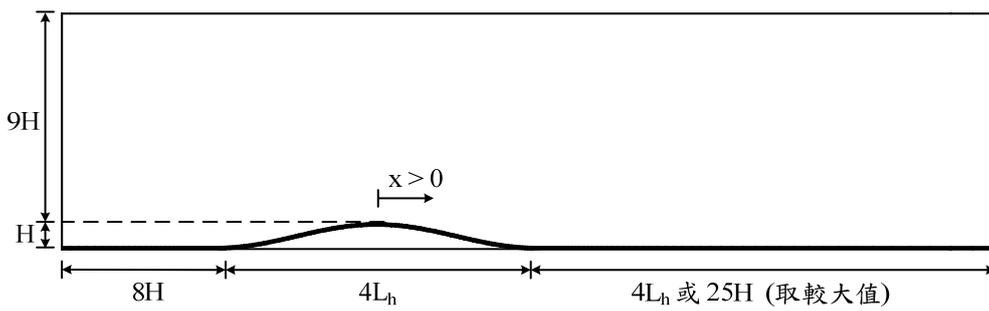
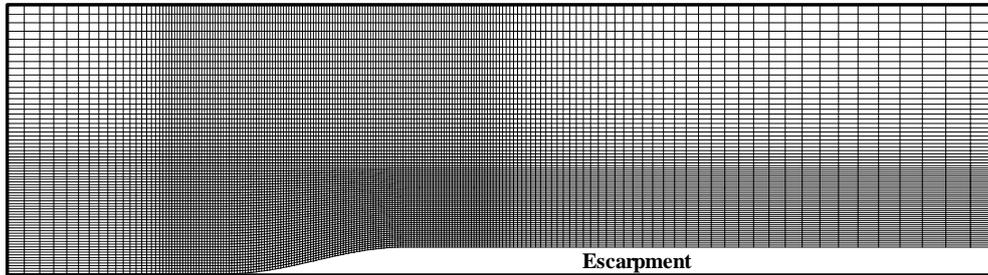


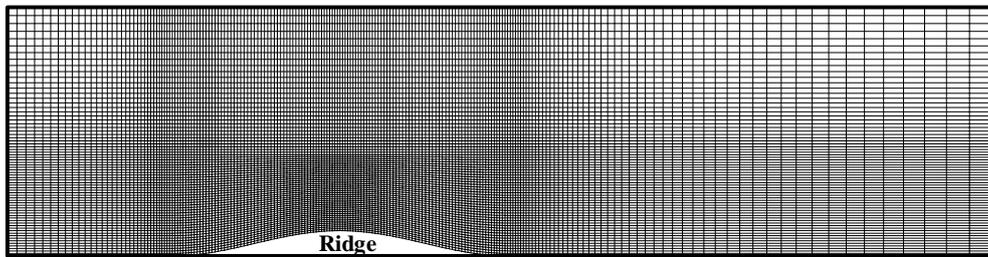
圖 4-1. 計算區域立面簡示圖

資料來源：本研究整理

(a) 懸崖



(b) 山脊



(c) 山丘(中央縱斷面)

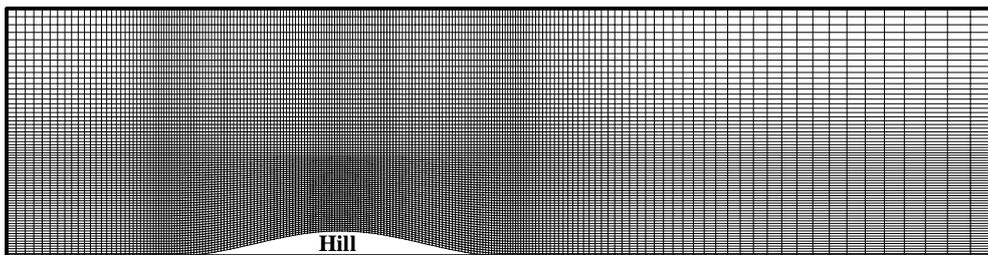


圖 4-2. 計算格網圖

資料來源：本研究整理

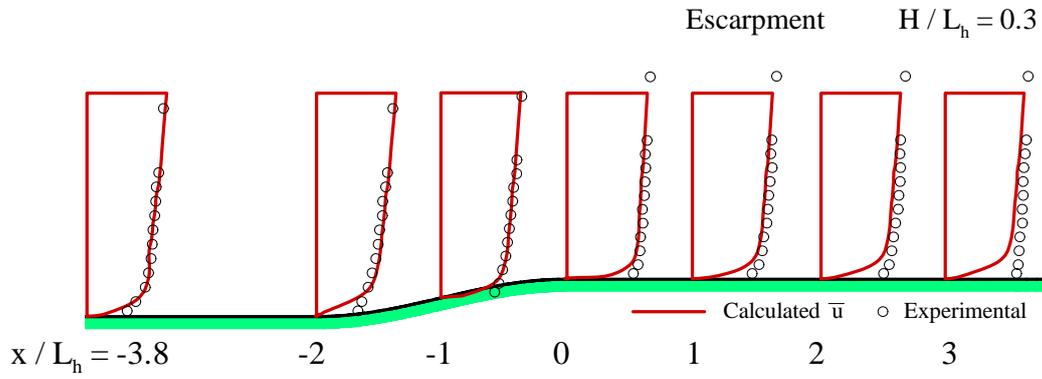
特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

第二節 數值模擬結果之驗證

為了要確實掌握數值模擬之精確度，研究中將懸崖、山脊與山丘模型試驗中量得之來流風速剖面(參見圖 3-12 至圖 3-14)作為數值模擬之入流條件，繼而進行風場的預測與比對。

依據數值結果，圖 4-3 至圖 4-5 分別顯示在 H/L_h 為 0.3 與 0.5 時，懸崖、山脊與山丘三個情況下平均風速剖面之比較。其中，在懸崖情況(圖 4-3)，除了在近地面處數值結果略呈低估外，在其他大部份之區域，數值與量測結果則有相當不錯之吻合度。另一方面，在山脊與山丘情況(圖 4-4 與圖 4-5)中，由於自坡頂後因分流(separation)之產生而導致非恆定(unsteady)的風場迴流(reverse flow)現象，而以熱線流速儀進行風速量測時尚無法正確地分辨出正/逆向之風速。因此，在坡面段後近地面處之量測結果並不能正確地反映出實際風場之行為。相對地，數值模擬在此近地面處風場之描述則較為真確。由圖 4-4 與圖 4-5 中亦見，在相對遠離地面之區域，數值與量測結果有不錯之吻合度。

(a) $H/LH=0.3$



(b) $H/LH=0.5$

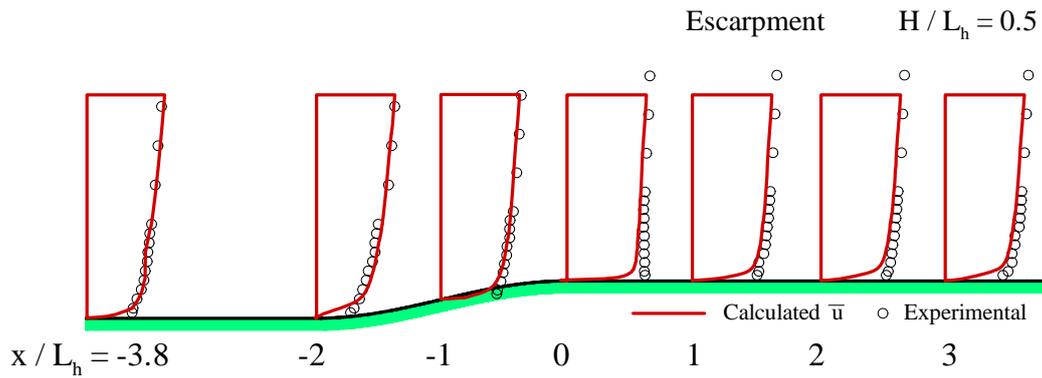


圖 4-3. 懸崖數值與試驗平均風速剖面比較圖

資料來源：本研究整理

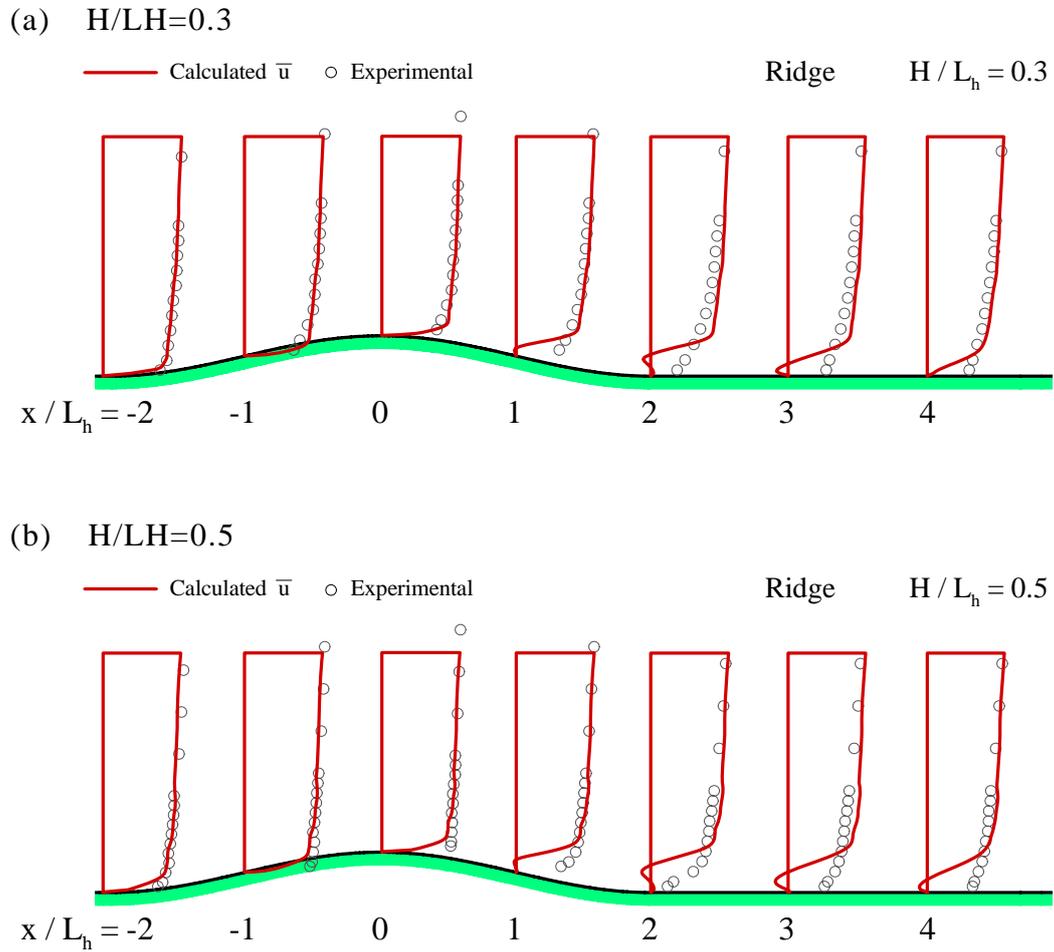
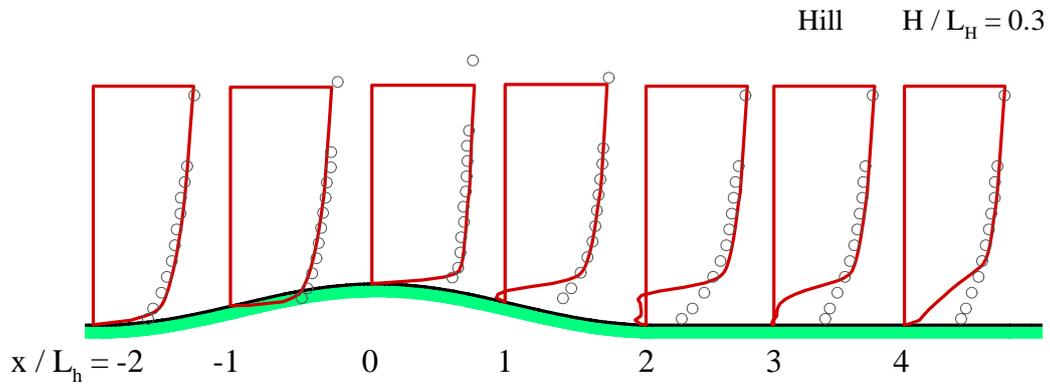


圖 4-4. 山脊數值與試驗平均風速剖面比較圖

資料來源：本研究整理

(a) $H/L_H=0.3$



(b) $H/L_H=0.5$

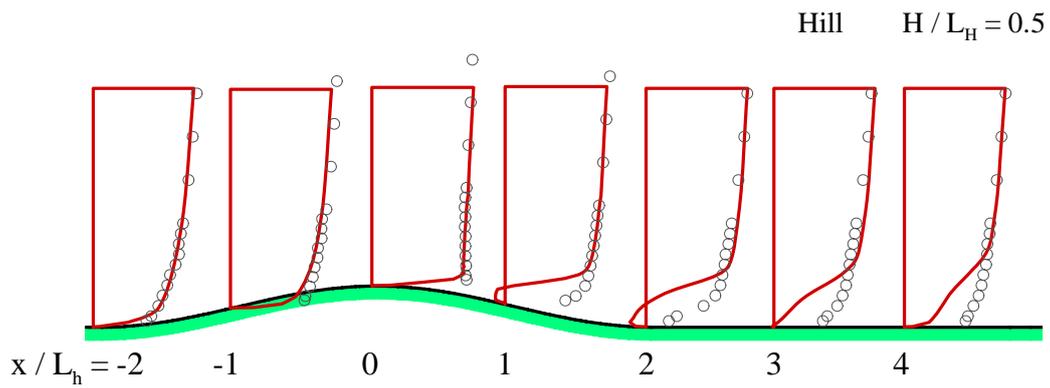


圖 4-5. 山丘數值與試驗平均風速剖面比較圖

資料來源：本研究整理

第三節 特殊地形風場系統化模擬

為了要檢視現行建築物耐風設計規範中地形係數之建議值進而評估其保守之程度，研究中待數值模式之預測準確性確立後，繼而於典型高雷諾數(10^7)的情況下進行系統之風場數值模擬，據以建構在懸崖、山脊與山丘三種基本特殊地形中風速剖面之資料庫。風場模擬採坡面高(H)為 100 米，包括 3 種地形(二維懸崖、二維山脊與三維山丘)、3 種地況(A、B 與 C)與 6 個坡度比($H/L_h=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$)。數值模擬中相應於 A、B、C 地況採用的入流條件如圖 4-6 至圖 4-8 所示，平均風速剖面相應之 α 值分別為 0.32、0.25 與 0.15，最大紊流強度分別為 12%、9%與 4%。

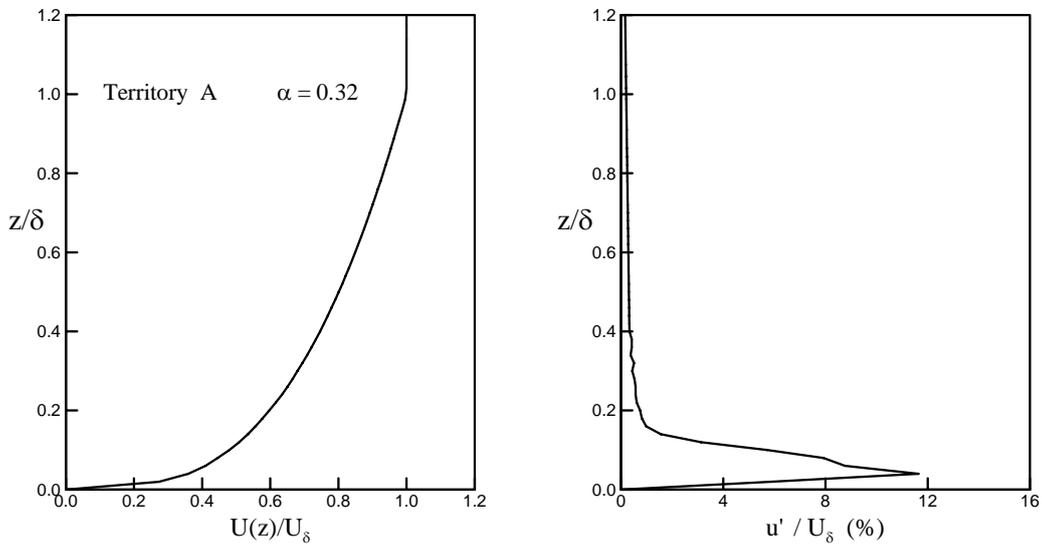


圖 4-6. 數值模擬入流截面風速剖面(A 地況)

資料來源：本研究整理

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

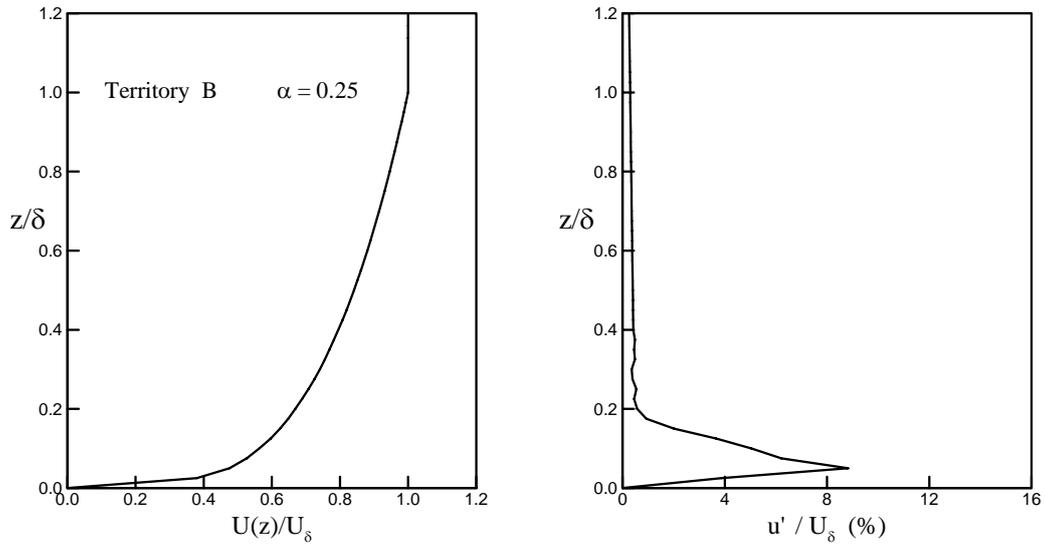


圖 4-7. 數值模擬入流截面風速剖面(B地況)

資料來源：本研究整理

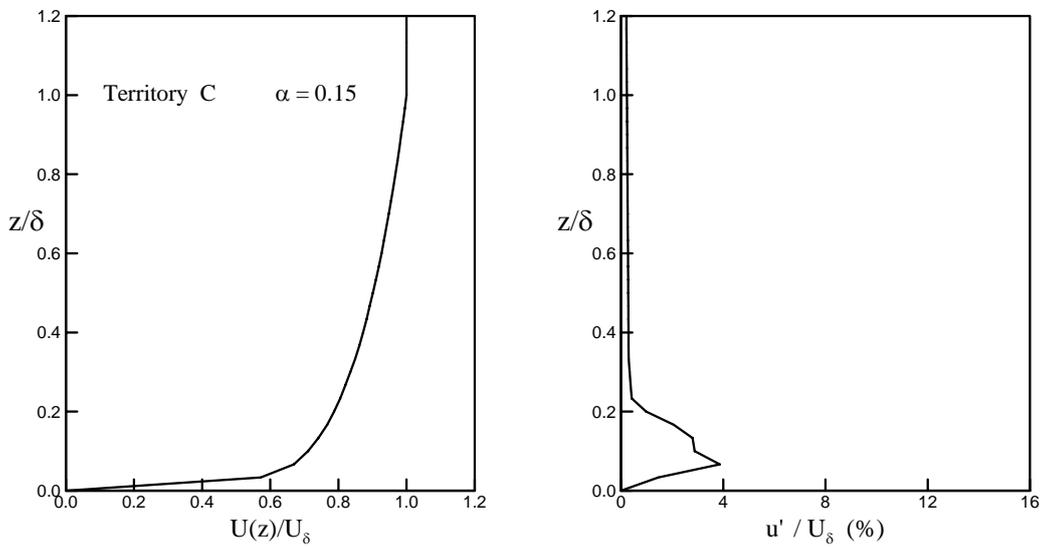


圖 4-8. 數值模擬入流截面風速剖面(C地況)

資料來源：本研究整理

第四節 系統化風場模擬結果

一、二維懸崖情況

依據數值計算結果，圖 4-9 至圖 4-11 為二維懸崖分別在 A、B、C 三種地況下平均風速剖面與規範建議剖面之比較。為便於比對，相應於規範建議之風速剖面係依據風速壓計算式((1.1)式)中採用途係數(I 值)為 1 之情況反推而得。平均風速剖面之比較顯示，數值結果與規範建議者大致相若。值得一提的是，在懸崖起始截面處($x=-2L_h$)，因地面坡度之改變而在縱向(x 方向)產生了些許程度之逆壓梯度(adverse pressure gradient)，致使平均速度剖面在近地面處之飽滿度銳減。(類似之現象亦會發生在管道收縮段(contraction)入流截面[18])。由圖 4-9 至圖 4-11 可見，數值模擬的結果顯示此減速效應，而在規範建議剖面中則無。儘管如此，由於風速剖面直接反映出風速壓之垂直分佈，規範建議之結果仍屬保守者。

圖 4-12 至圖 4-14 為三種地況下風速均方根值剖面之模擬結果。和入流截面($x=-6H-2L_h$)之縱向均方根值剖面(參見圖 4-6 至 4-8)相較後得知，於懸崖起始截面($x=-2L_h$)之紊流強度已有些許程度的降低。續往下游，在坡面變化的範圍內，紊流強度則略增。於坡頂後，紊流強度之縱向變化並不明顯，但其垂直向分佈之範圍則漸增。

二、二維山脊情況

圖 4-15 至圖 4-17 則顯示二維山脊情況之平均風速剖面結果。比較中呈現，平均風速剖面在下降坡後近地面處之不一致性。究其原因，應是坡面段後迴流產生之故。圖 4-18 至圖 4-20 為相應之縱向均方根值風速剖面結果。大體上，風速均方根值於近山脊頂端截面($x/L_h=0$)前有略減之趨勢；然通過下降之坡面後，風速均方根值則隨下游漸增。細部檢視後發現，在起始坡面之前($x/L_h<0$)風速均方根值

源自紊流，而當 $x/L_h > 0$ 後風速均方根值則主要是流場中渦流引致之非恆定現象所造成。

三、三維山丘情況

圖 4-21 至圖 4-23 顯示二維山脊情況之平均風速剖面結果。在山丘坡面上升段 ($-2 < x/L_h < 0$)，計算而得之風速剖面略較規範建議值飽滿，呈現出規範不保守之情形；通過山丘頂後，則因迴流之產生，使得規範建議值又高於計算結果(此與二維山脊之情況相似)。

圖 4-24 至圖 4-26 為相應之縱向均方根值風速剖面結果。在起始坡面之前 ($x/L_h < 0$)，風速均方根值仍源自來流挾帶之紊流。而當 $x/L_h > 0$ 後，風速均方根值則是因流場中渦流引致之非恆定現象所造成。直至 $x=4L_h$ ，風速均方根值有往下游漸增之趨勢。

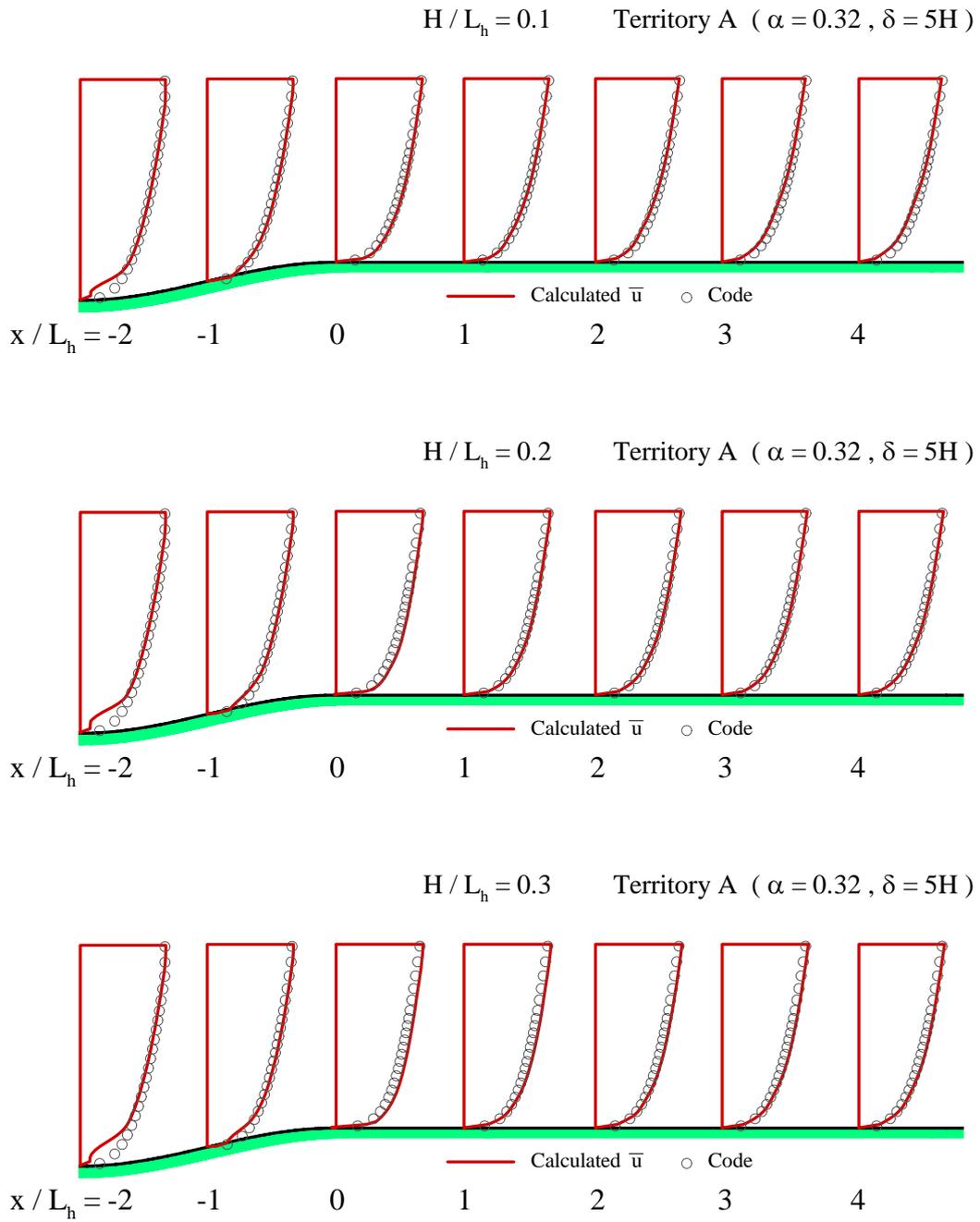


圖 4-9. 懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(A 地況)
 資料來源：本研究整理

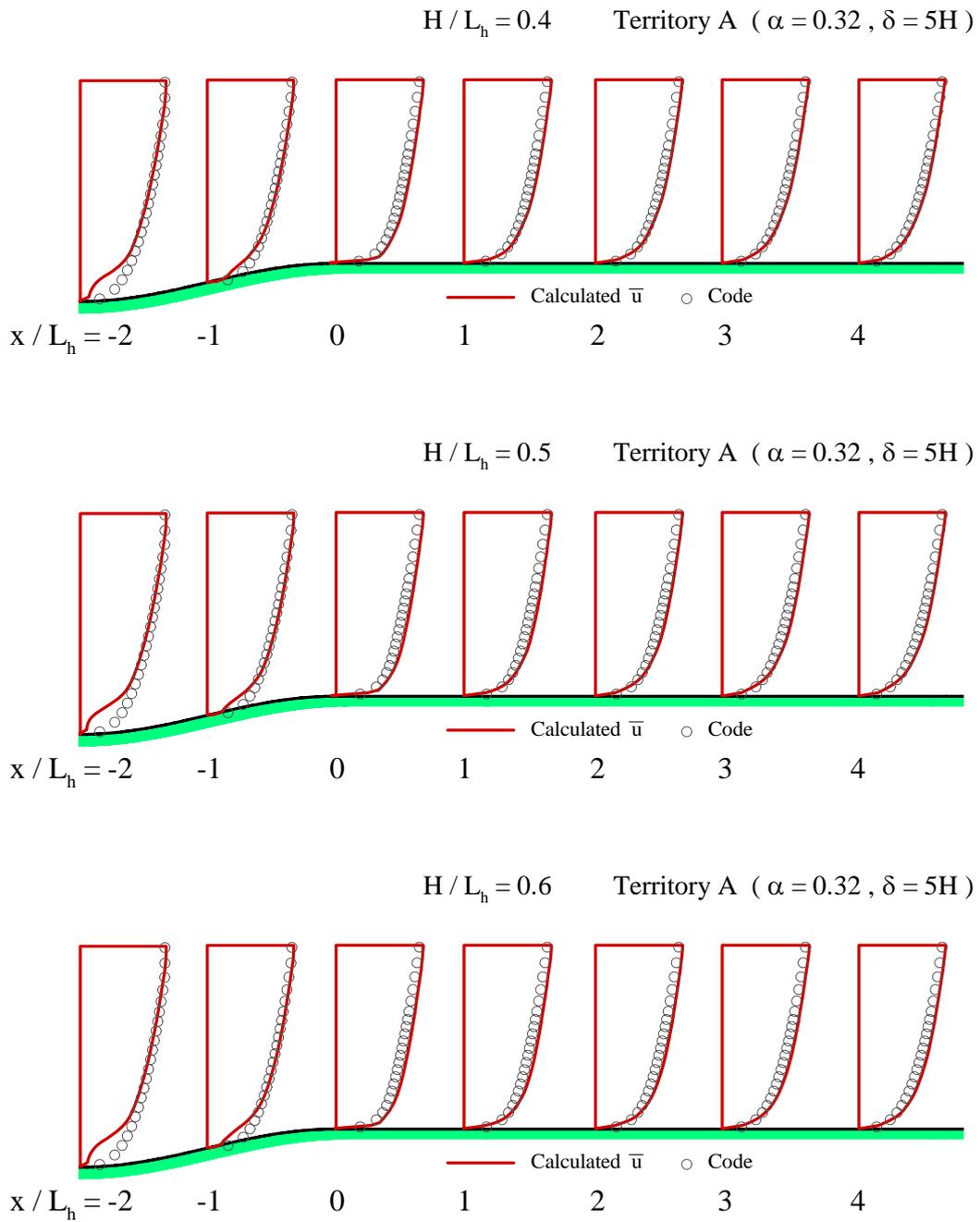


圖 4-9. 懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(A 地況) (續)
資料來源：本研究整理

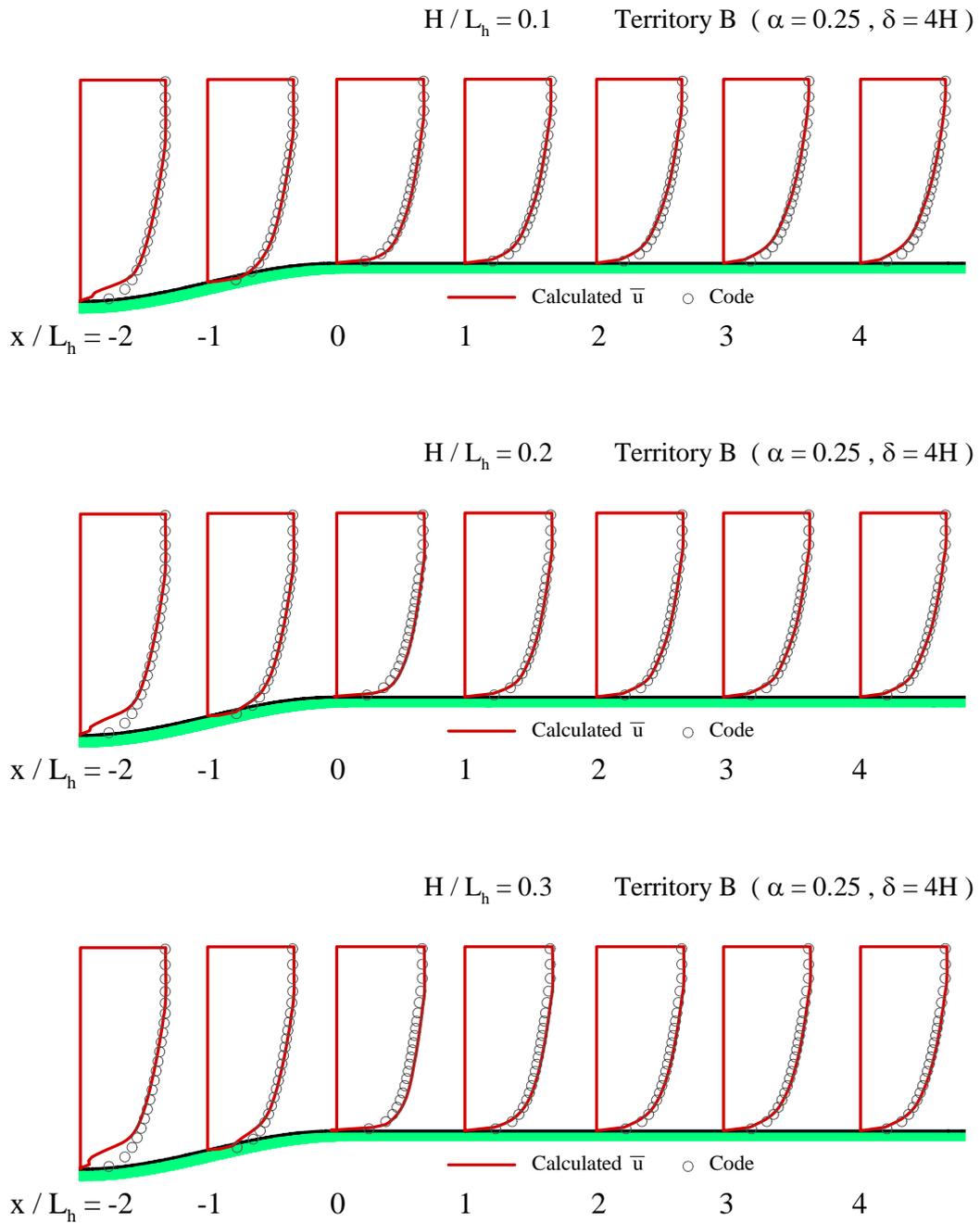


圖 4-10. 懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(B 地況)
 資料來源：本研究整理

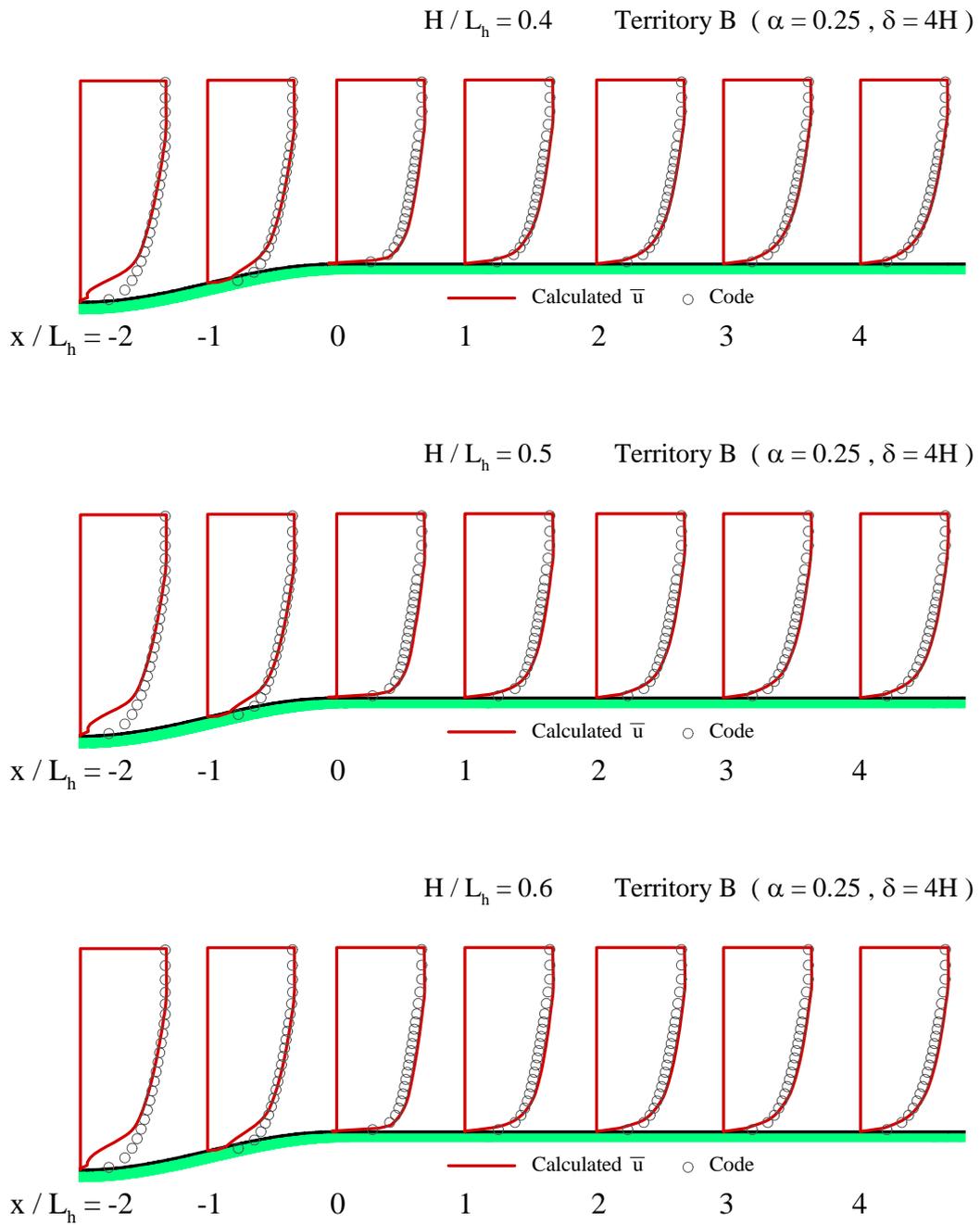


圖 4-10. 懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(B 地況) (續)
資料來源：本研究整理

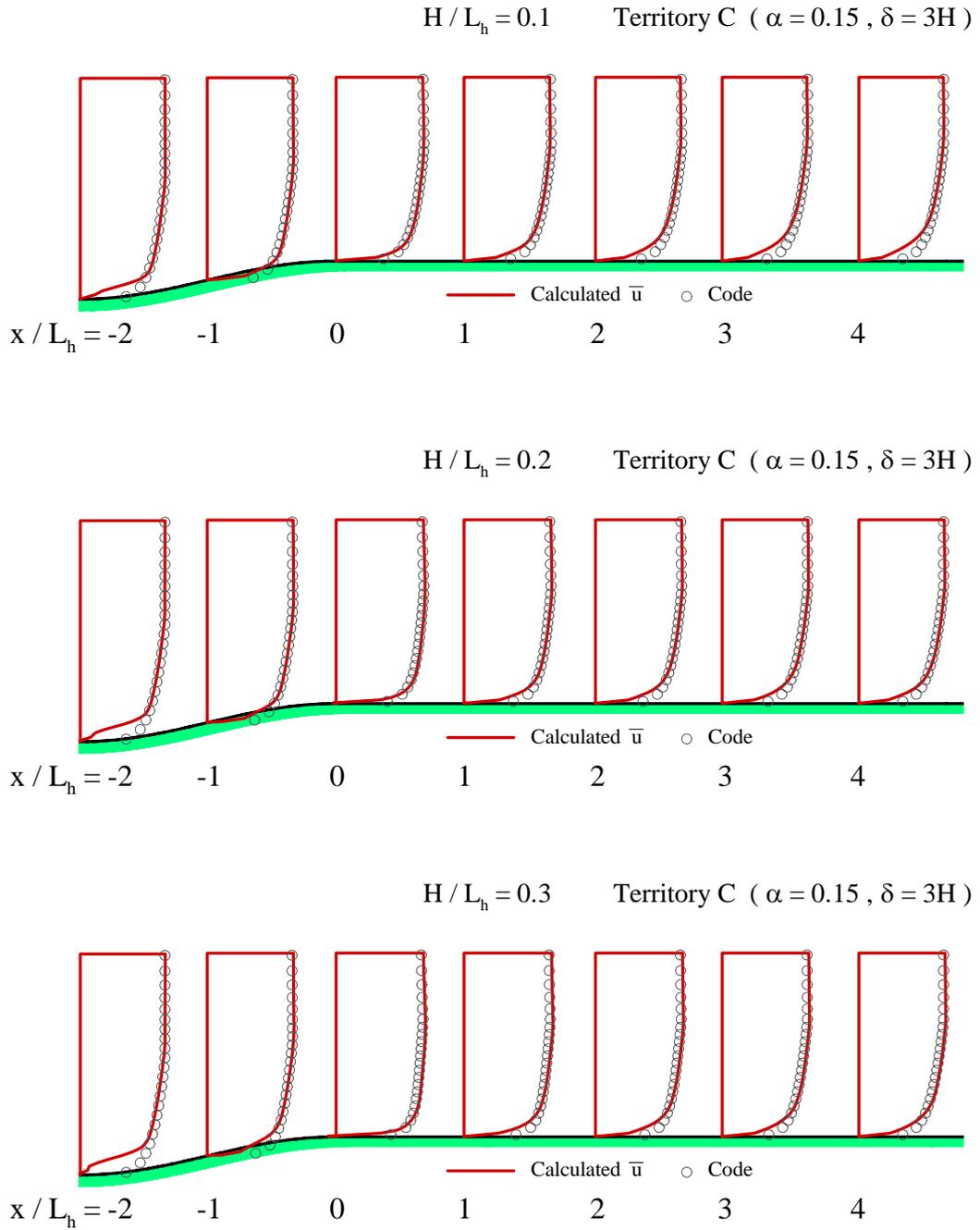


圖 4-11. 懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(C 地況)
 資料來源：本研究整理

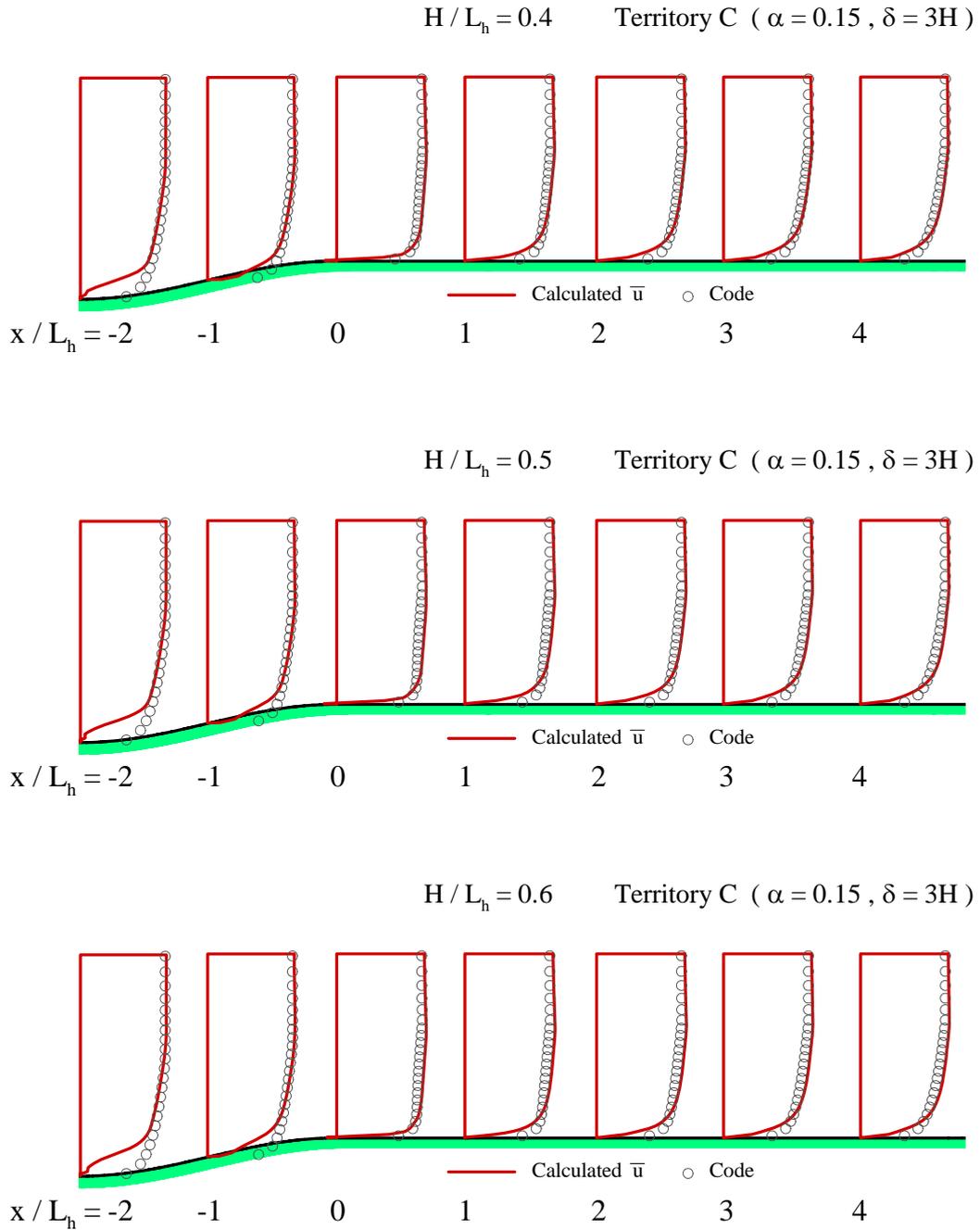


圖 4-11. 懸崖數值與規範平均風速剖面比較圖(C 地況) (續)
資料來源：本研究整理

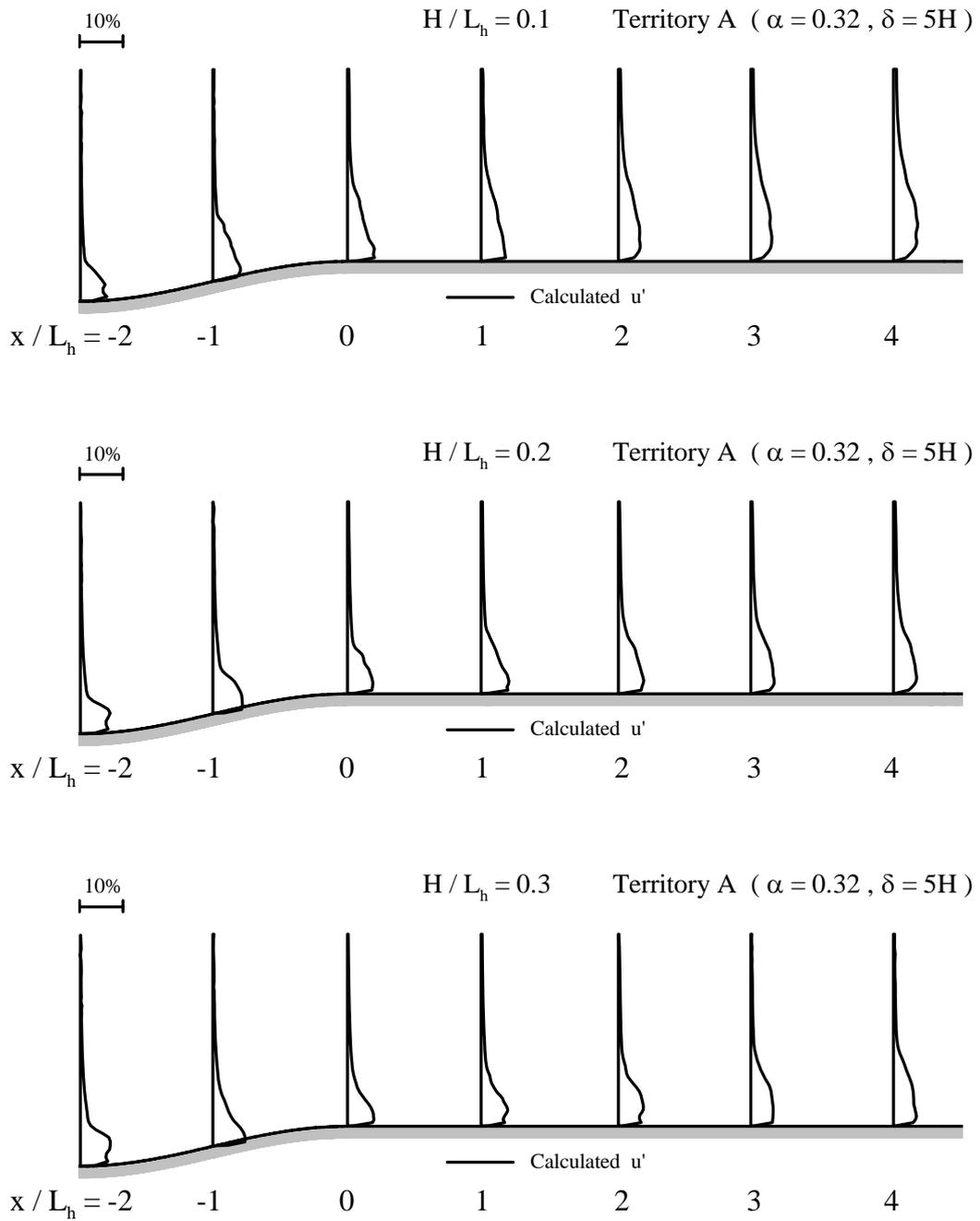


圖 4-12. 懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

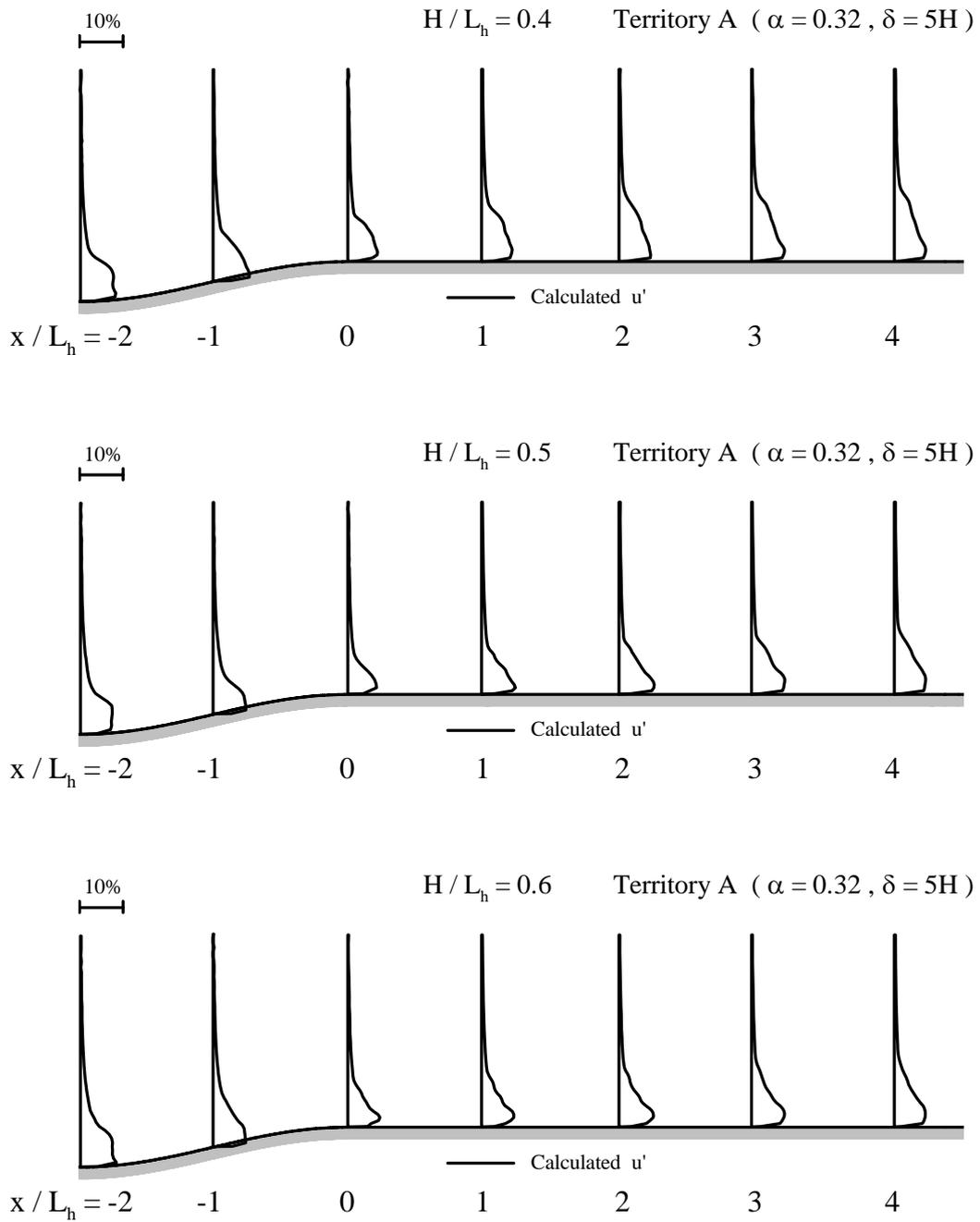


圖 4-12. 懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(A 地況)(續)

資料來源：本研究整理

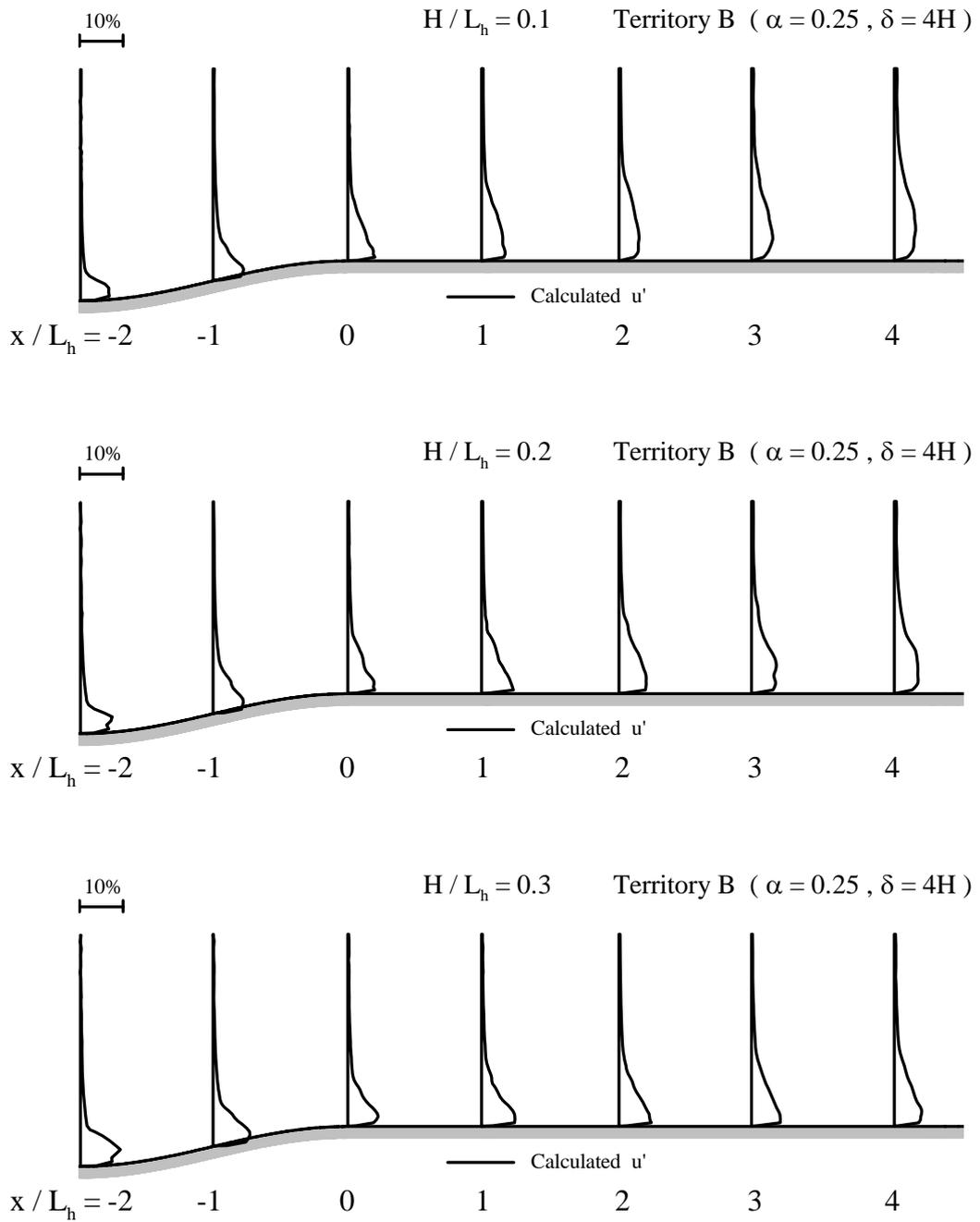


圖 4-13. 懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

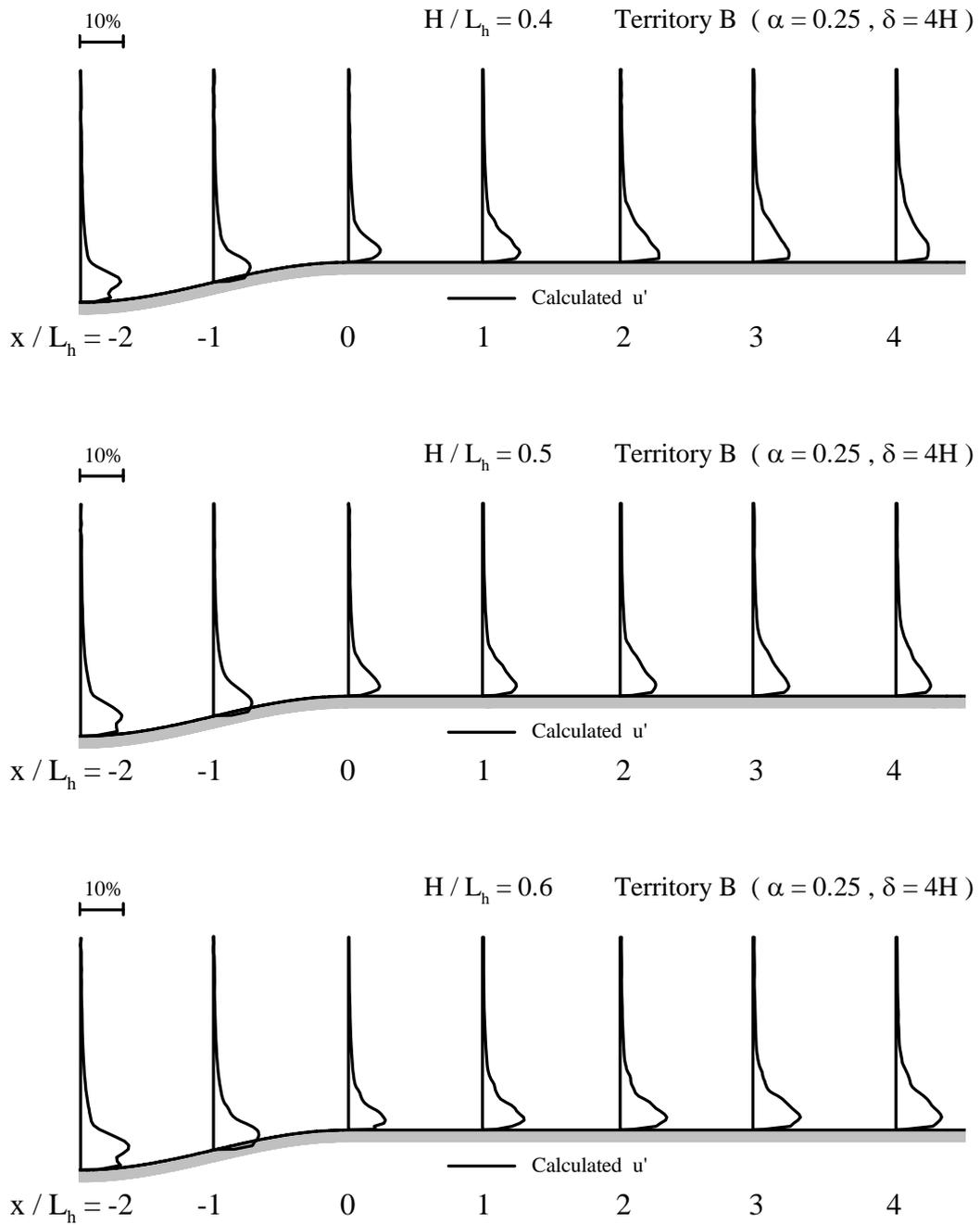


圖 4-13. 懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(B 地況) (續)

資料來源：本研究整理

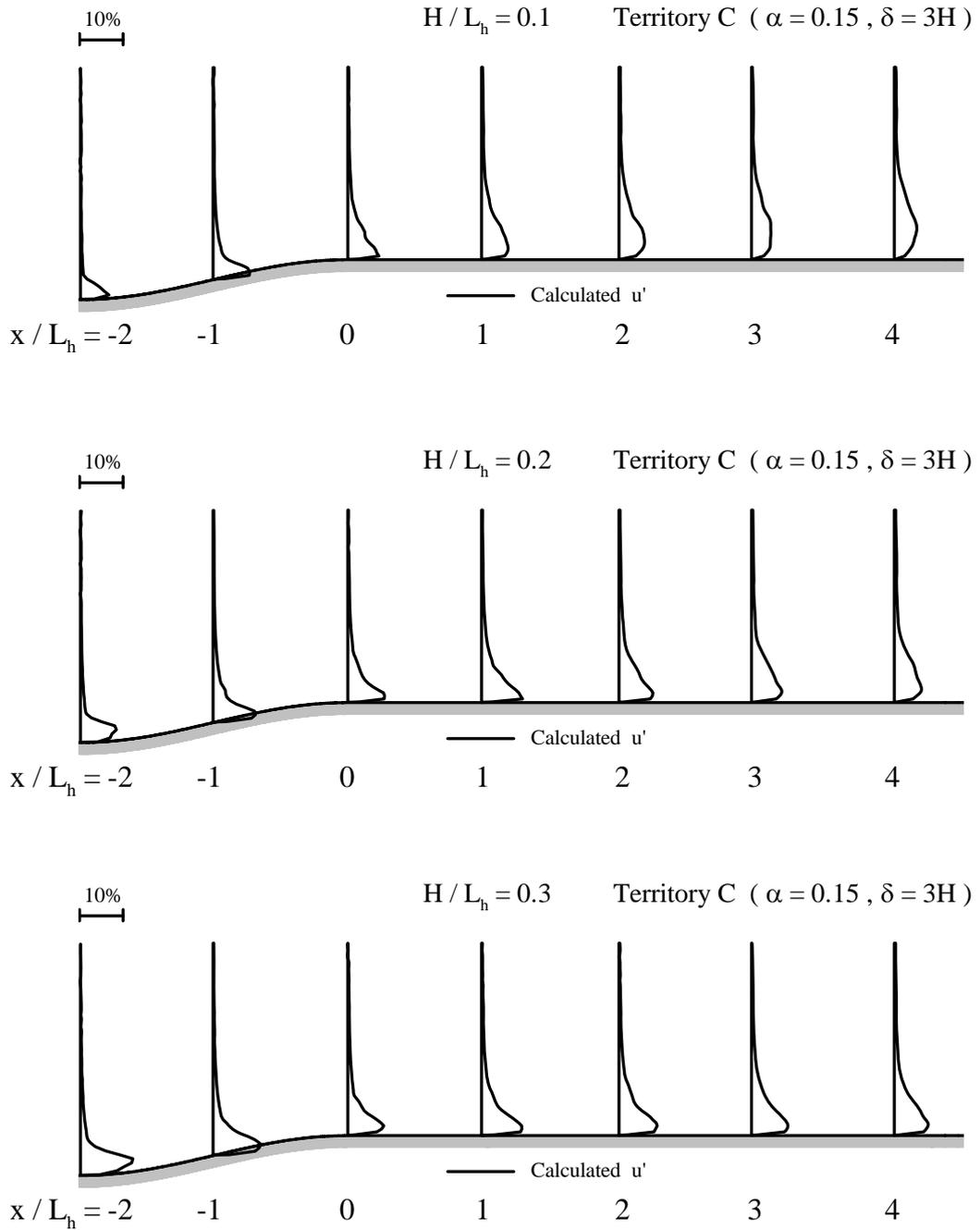


圖 4-14. 懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(C 地況)
 資料來源：本研究整理

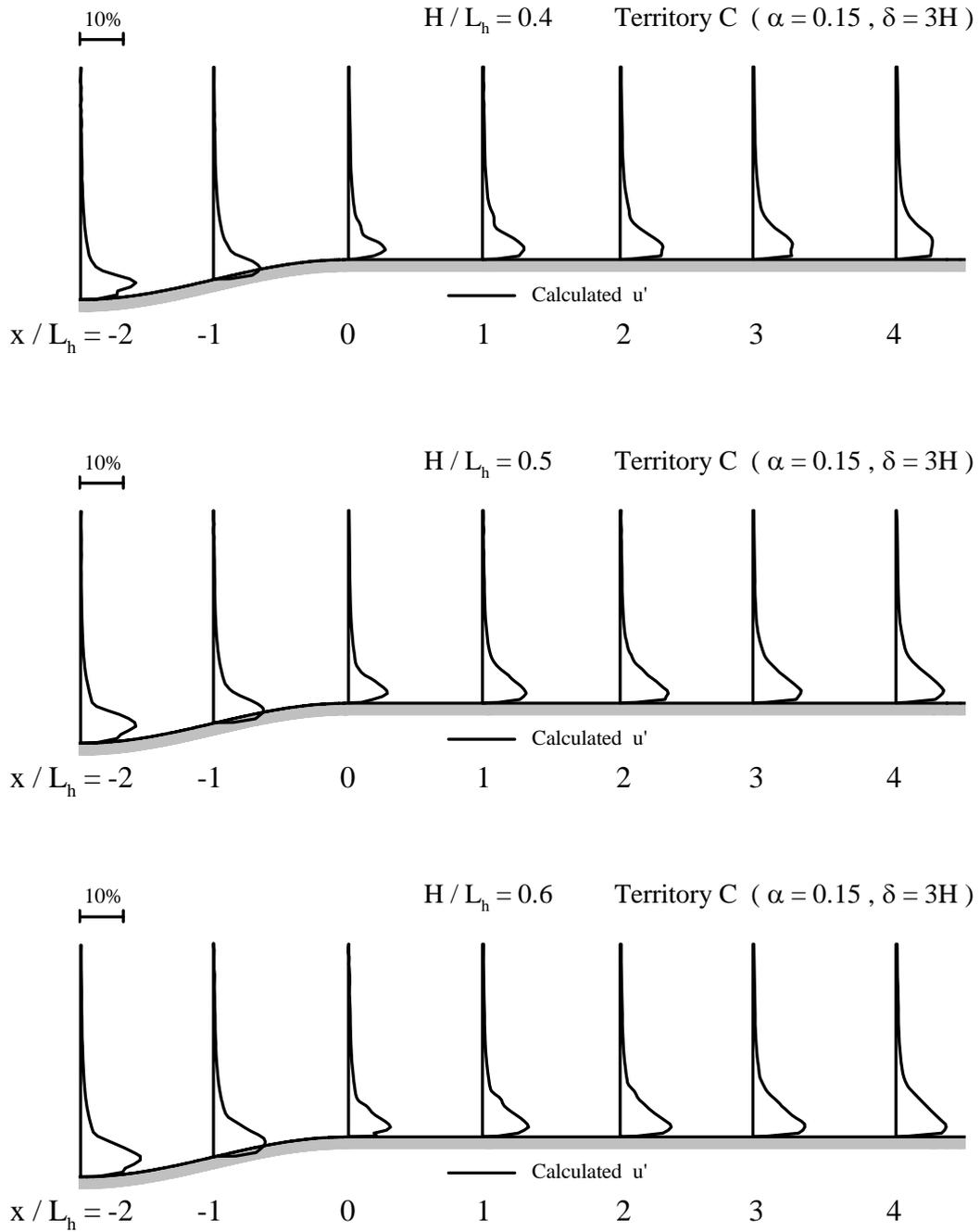


圖 4-14. 懸崖數值模擬風速均方根值剖面圖(C 地況) (續)
資料來源：本研究整理

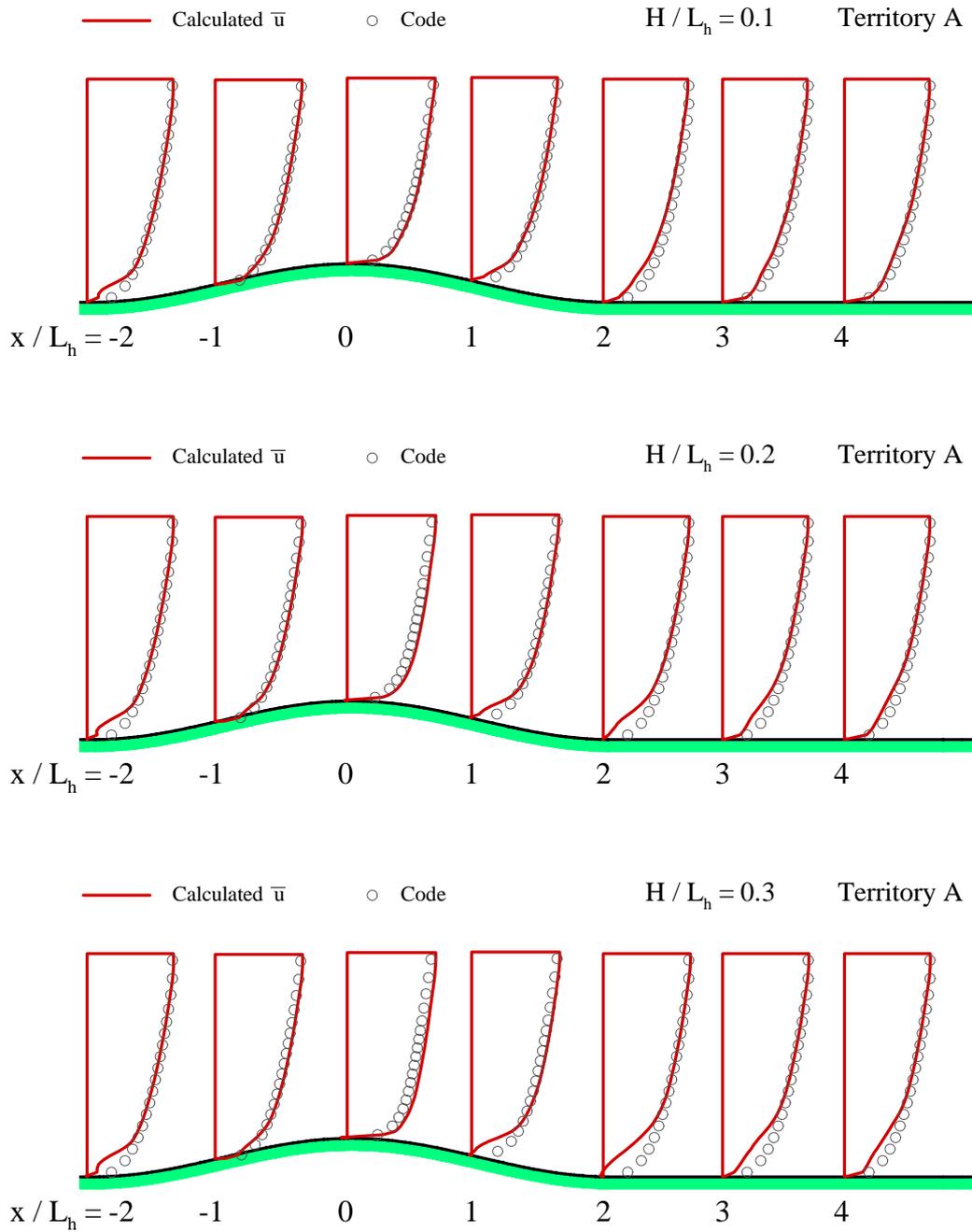


圖 4-15. 山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

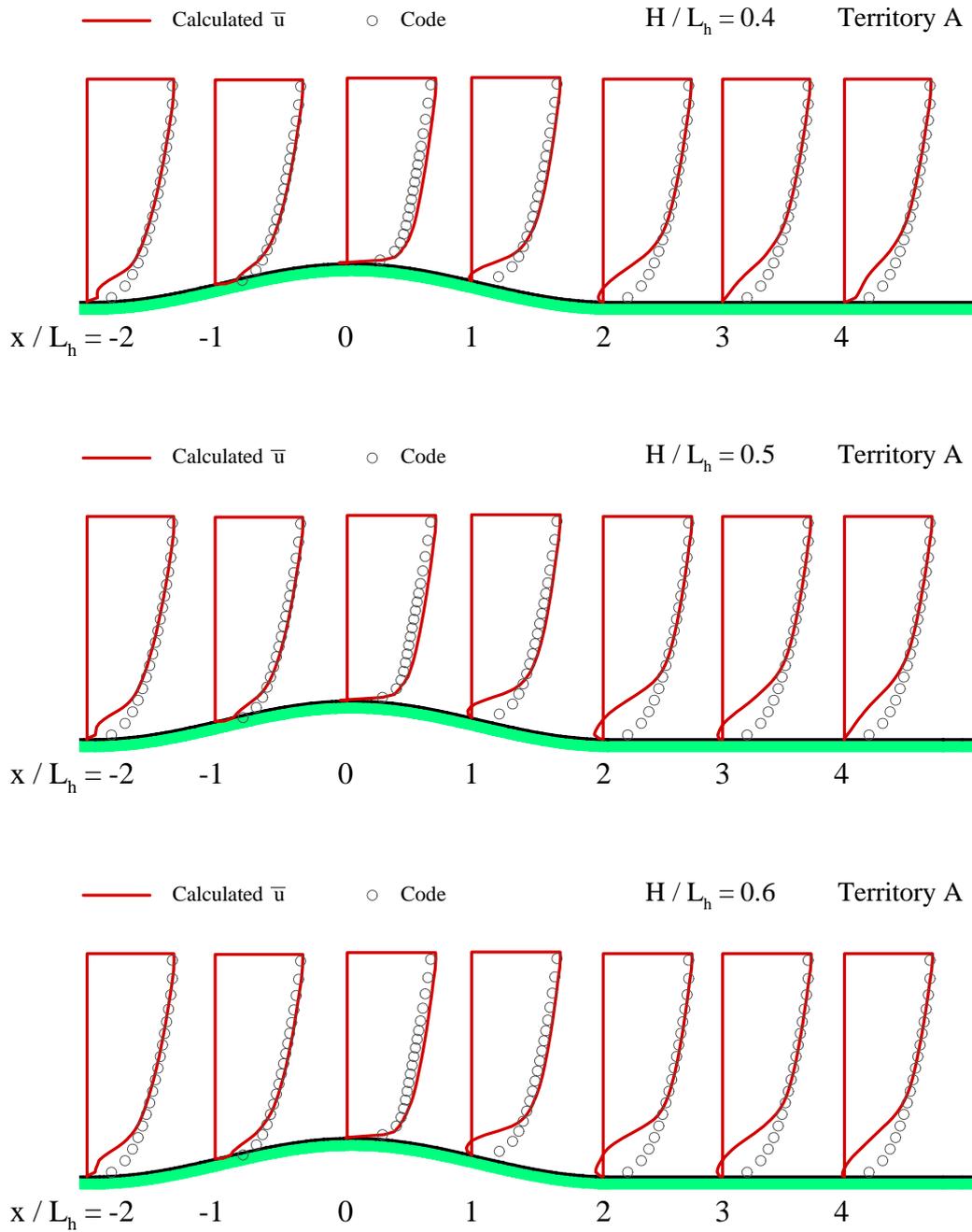


圖 4-15. 山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(A 地況) (續)
資料來源：本研究整理

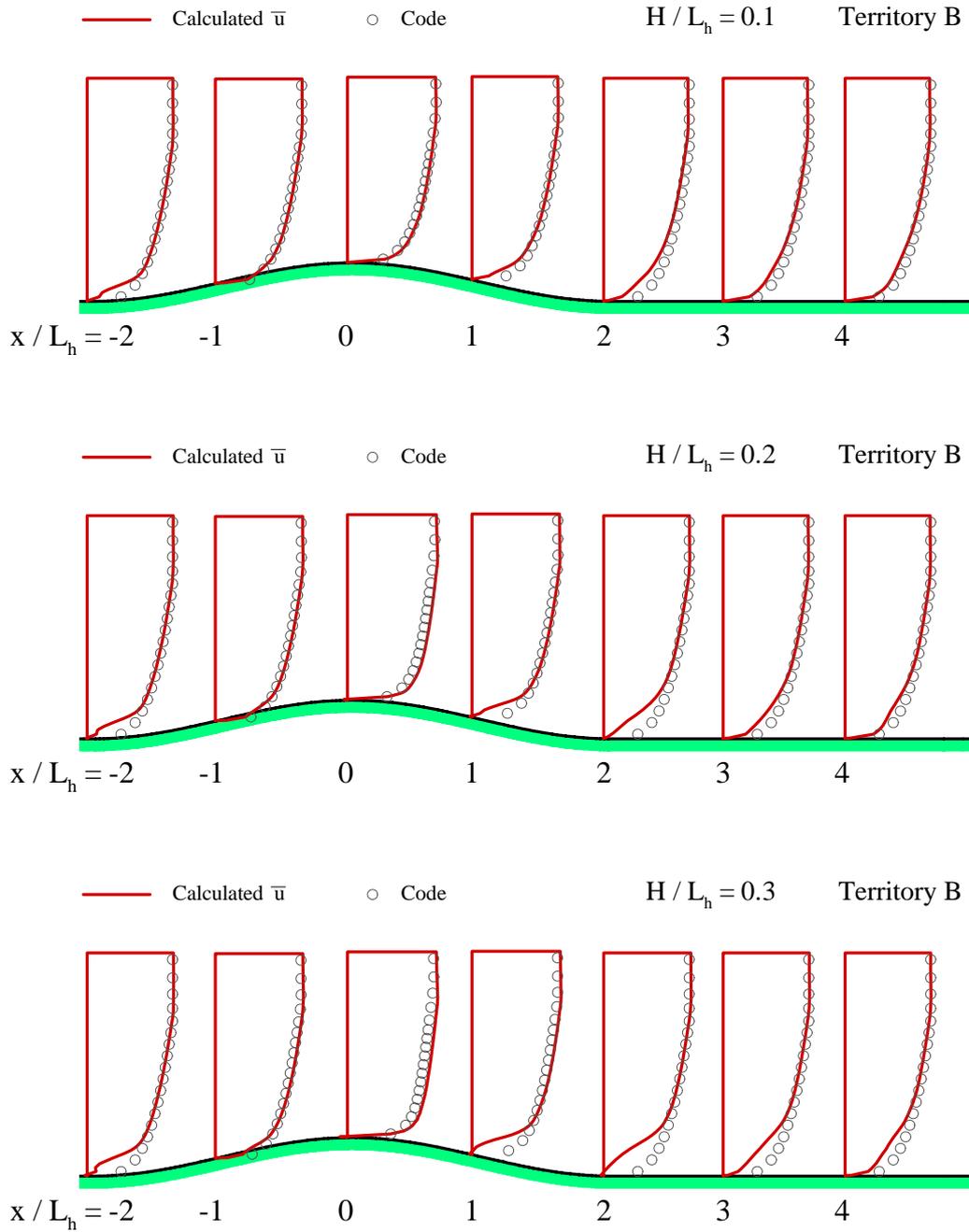


圖 4-16. 山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

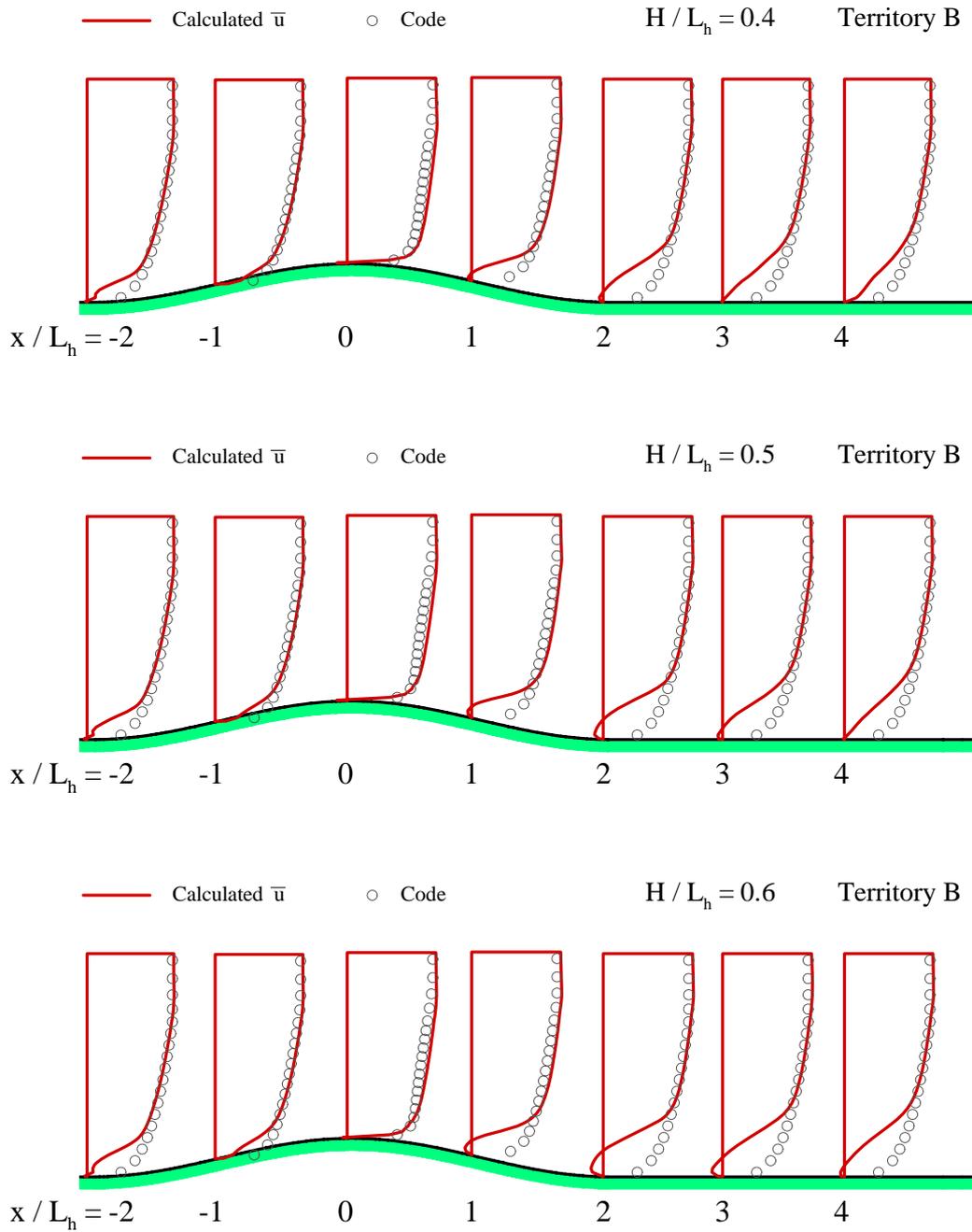


圖 4-16. 山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(B 地況) (續)
資料來源：本研究整理

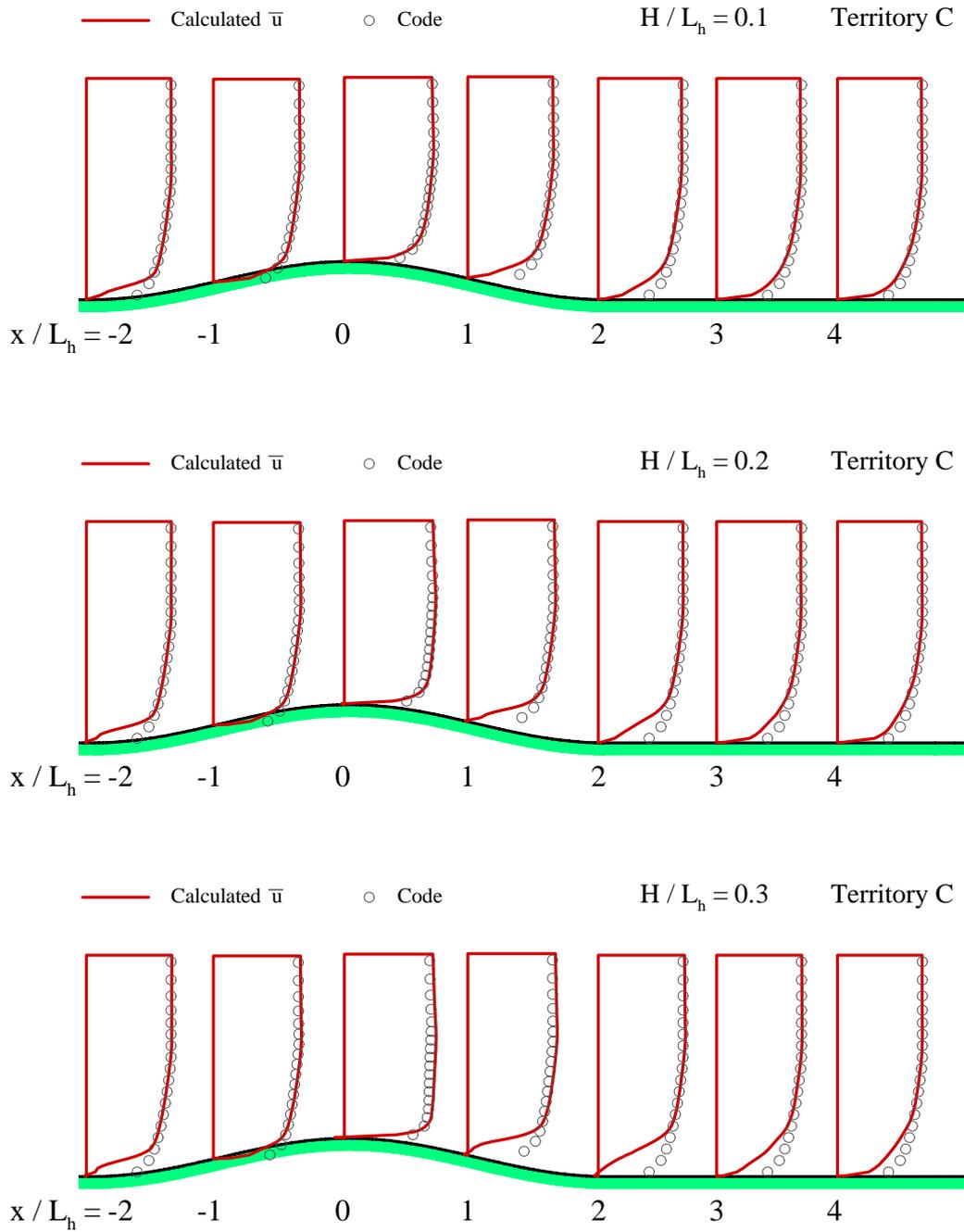


圖 4-17. 山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(C 地況)
 資料來源：本研究整理

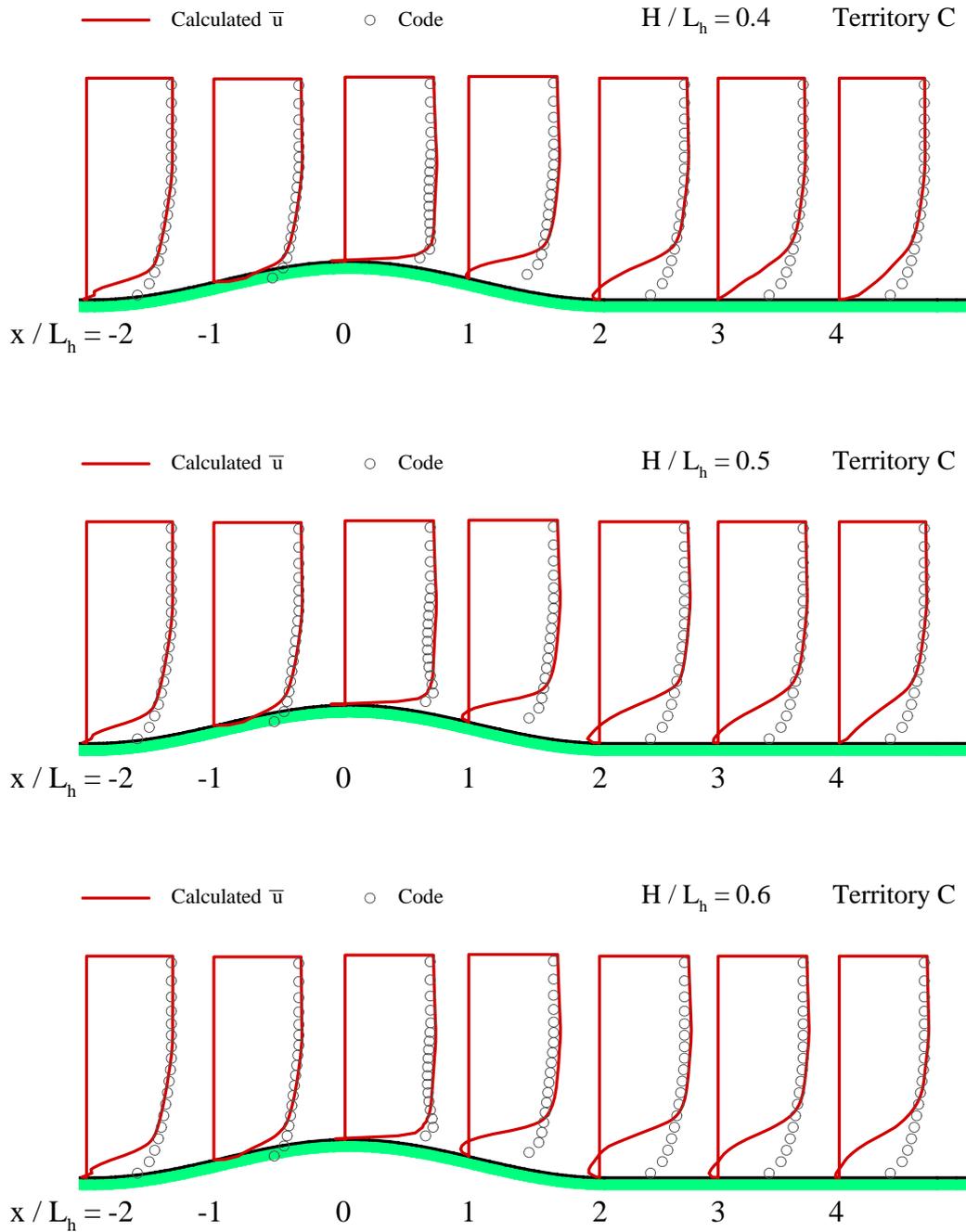


圖 4-17. 山脊數值與規範平均風速剖面比較圖(C 地況) (續)
資料來源：本研究整理

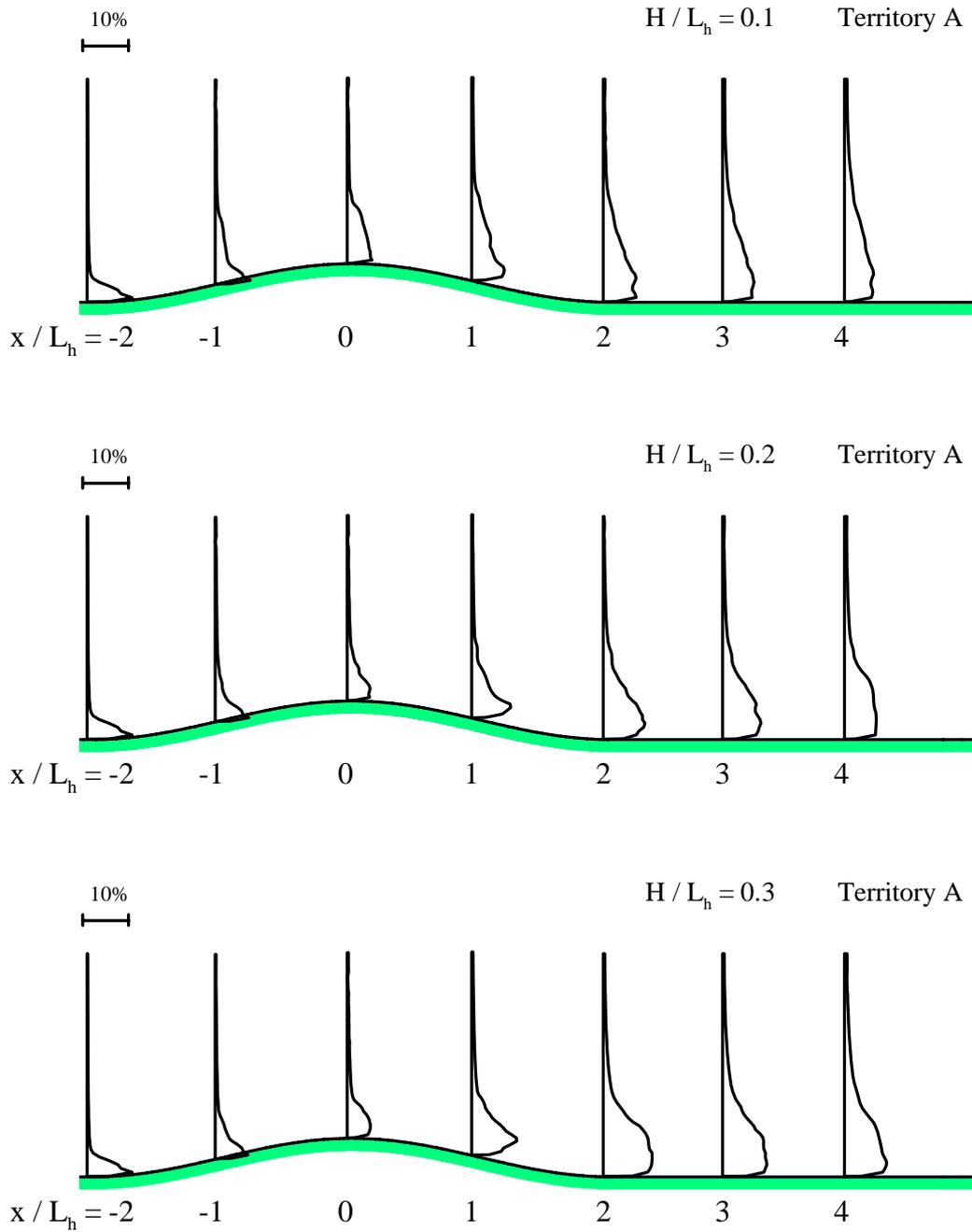


圖 4-18. 山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(A 地況)
資料來源：本研究整理

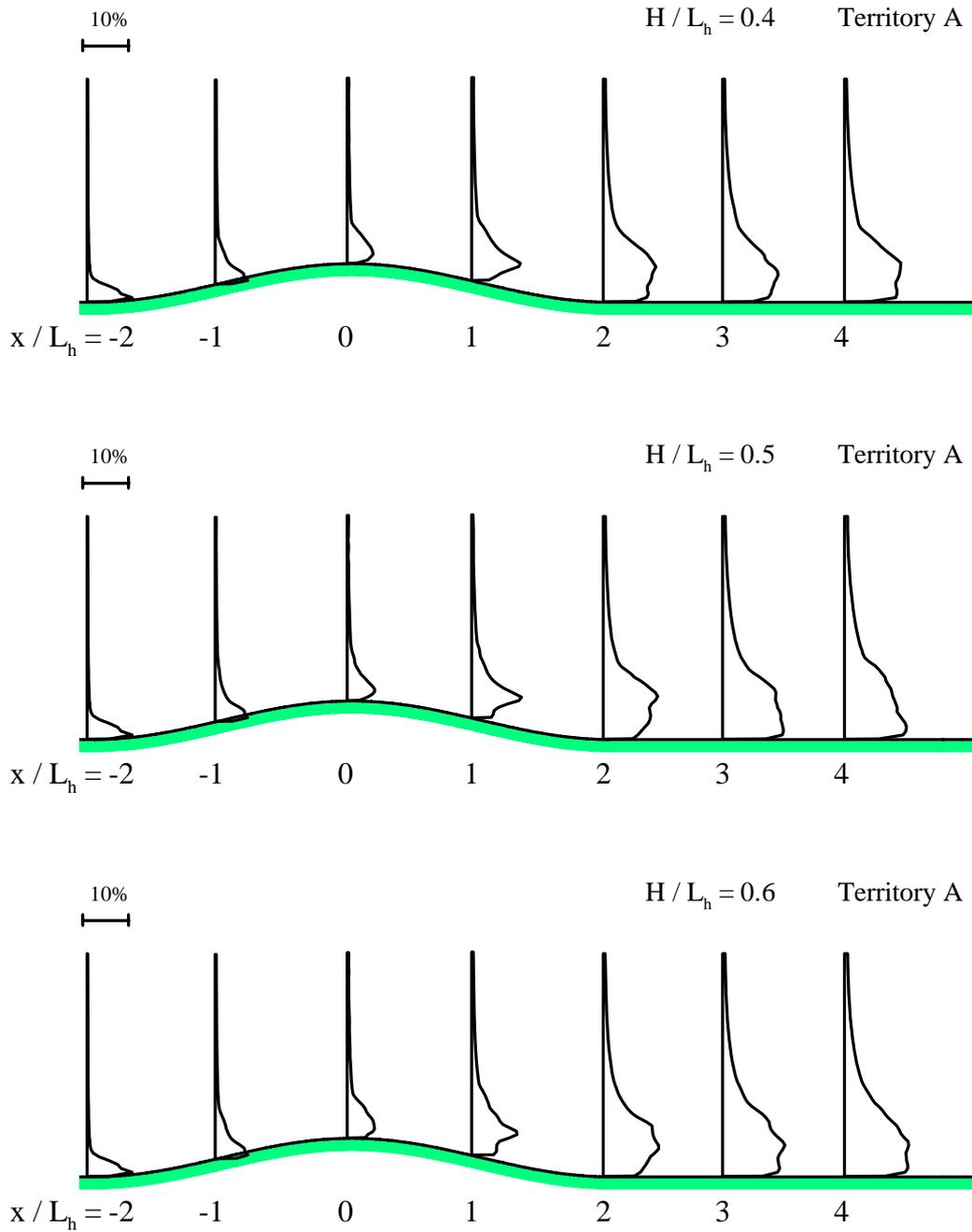


圖 4-18. 山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(A 地況)(續)

資料來源：本研究整理

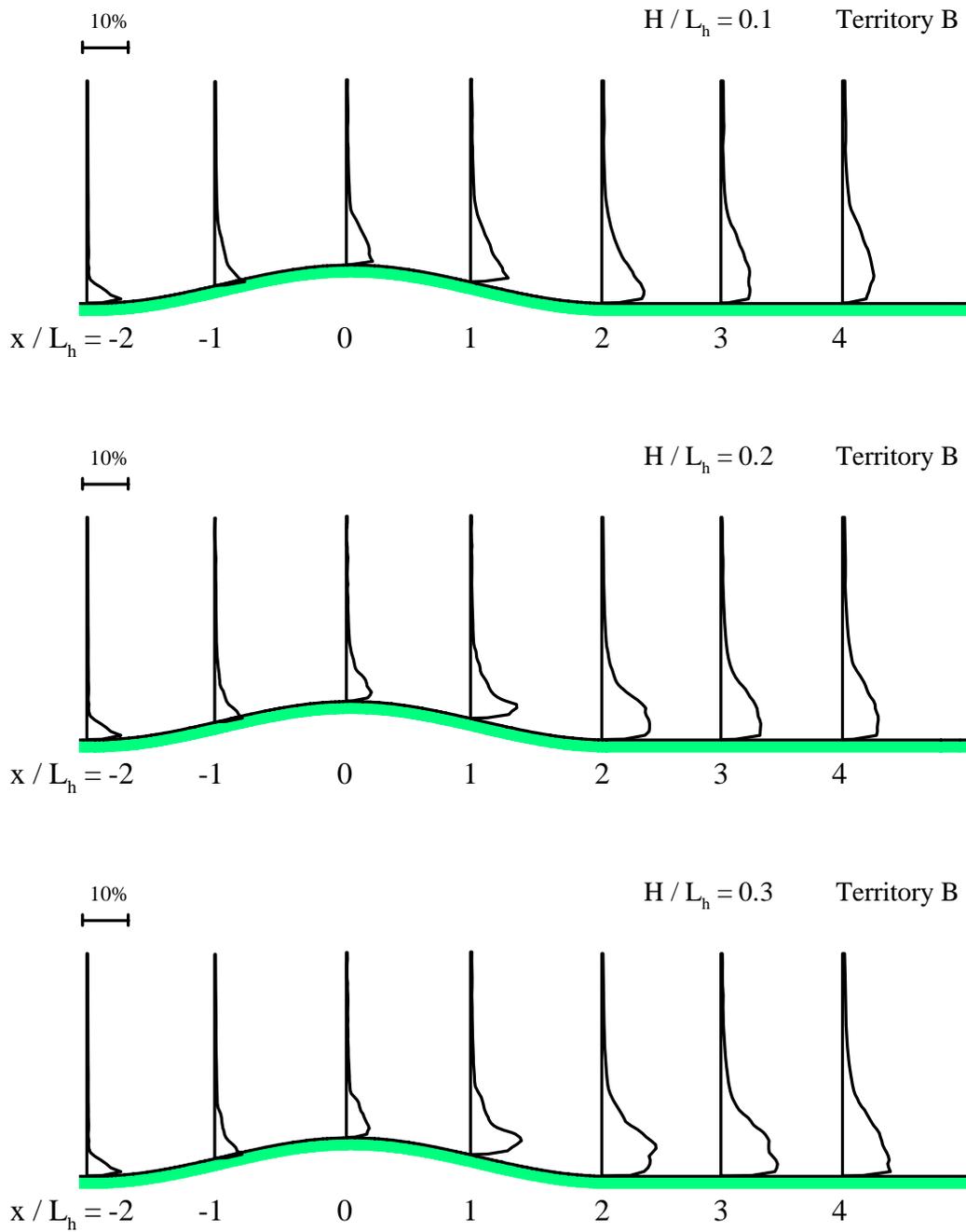


圖 4-19. 山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

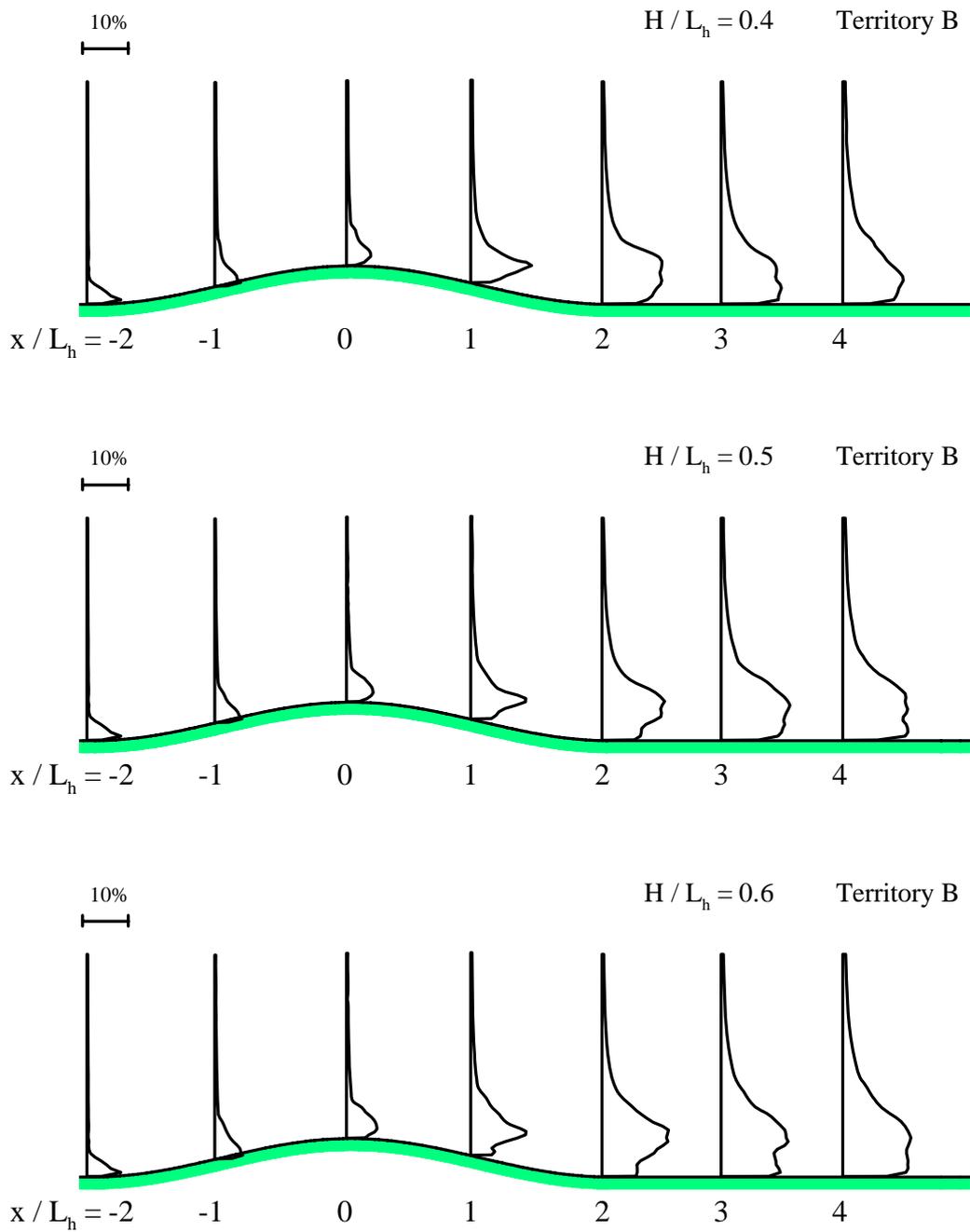


圖 4-19. 山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(B 地況) (續)
資料來源：本研究整理

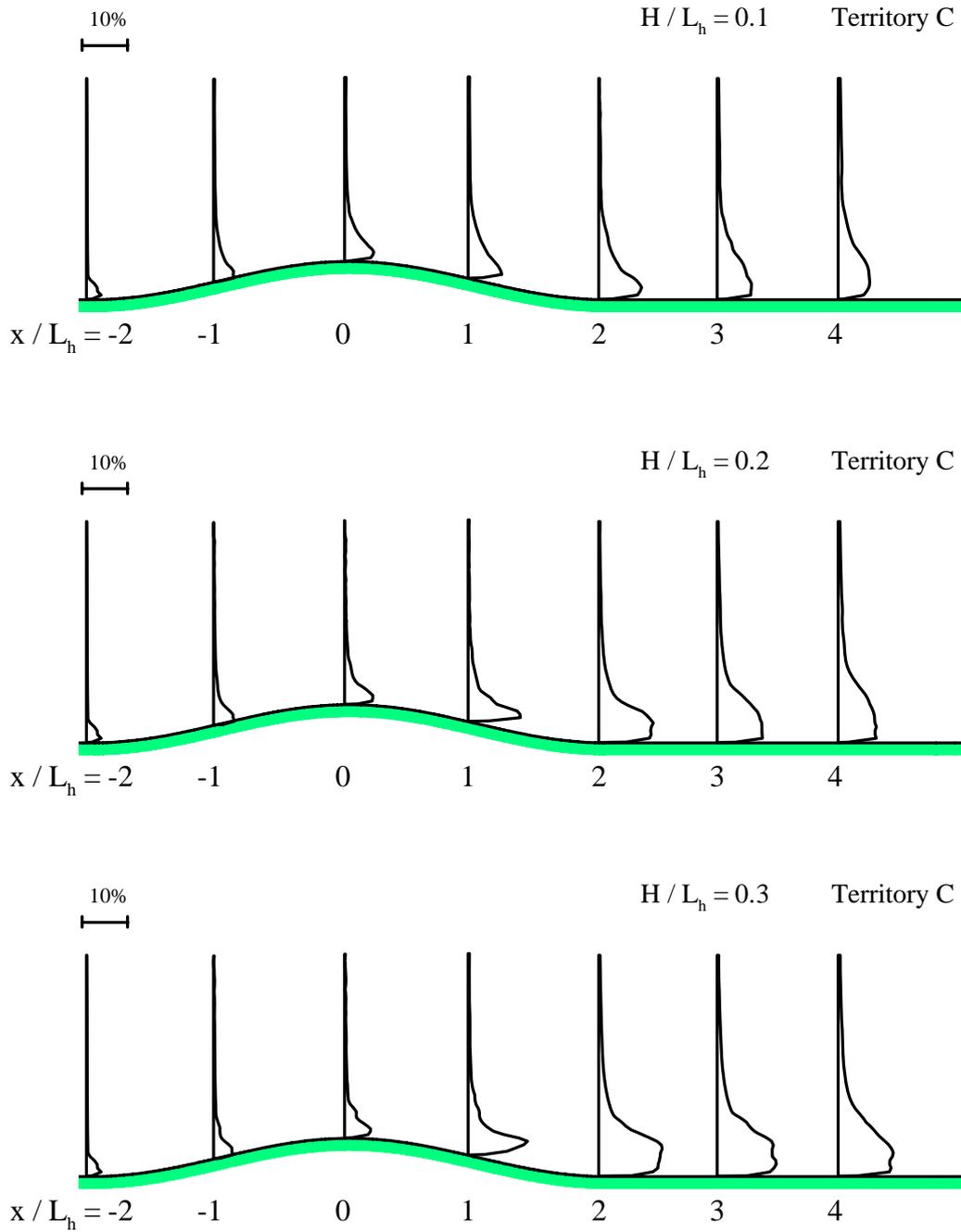


圖 4-20. 山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(C 地況)
 資料來源：本研究整理

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

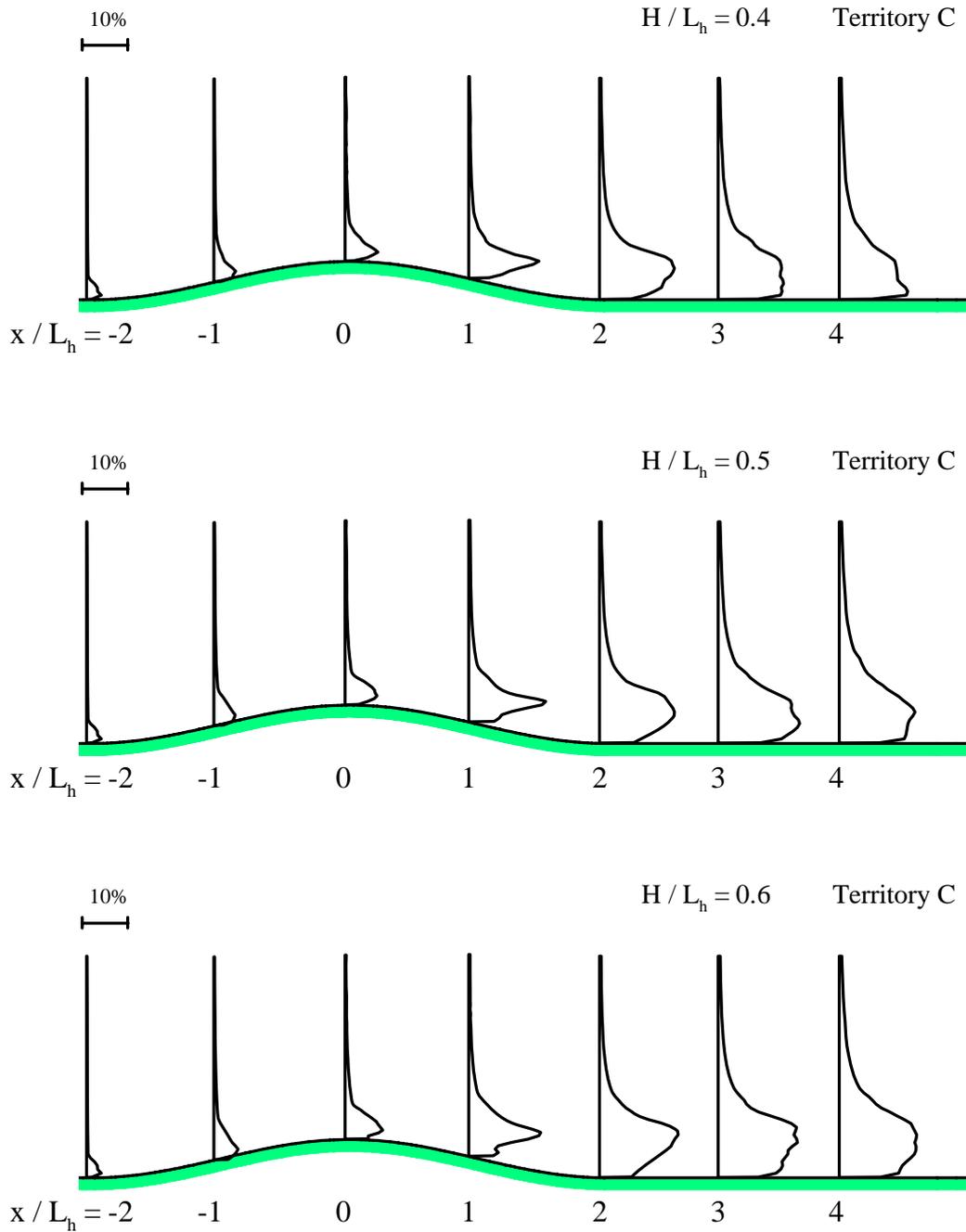


圖 4-20. 山脊數值模擬風速均方根值剖面圖(C 地況) (續)
資料來源：本研究整理

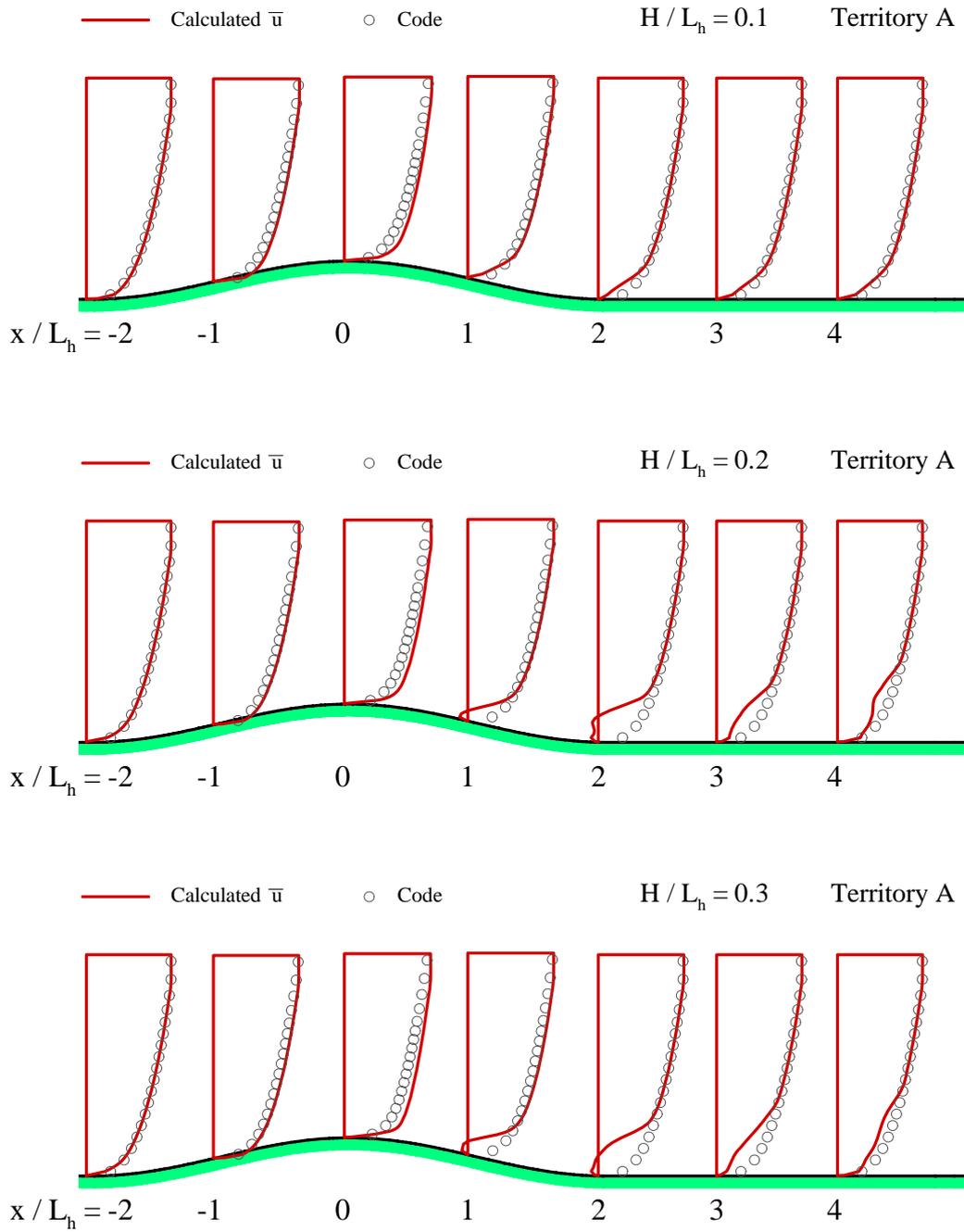


圖 4-21. 山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

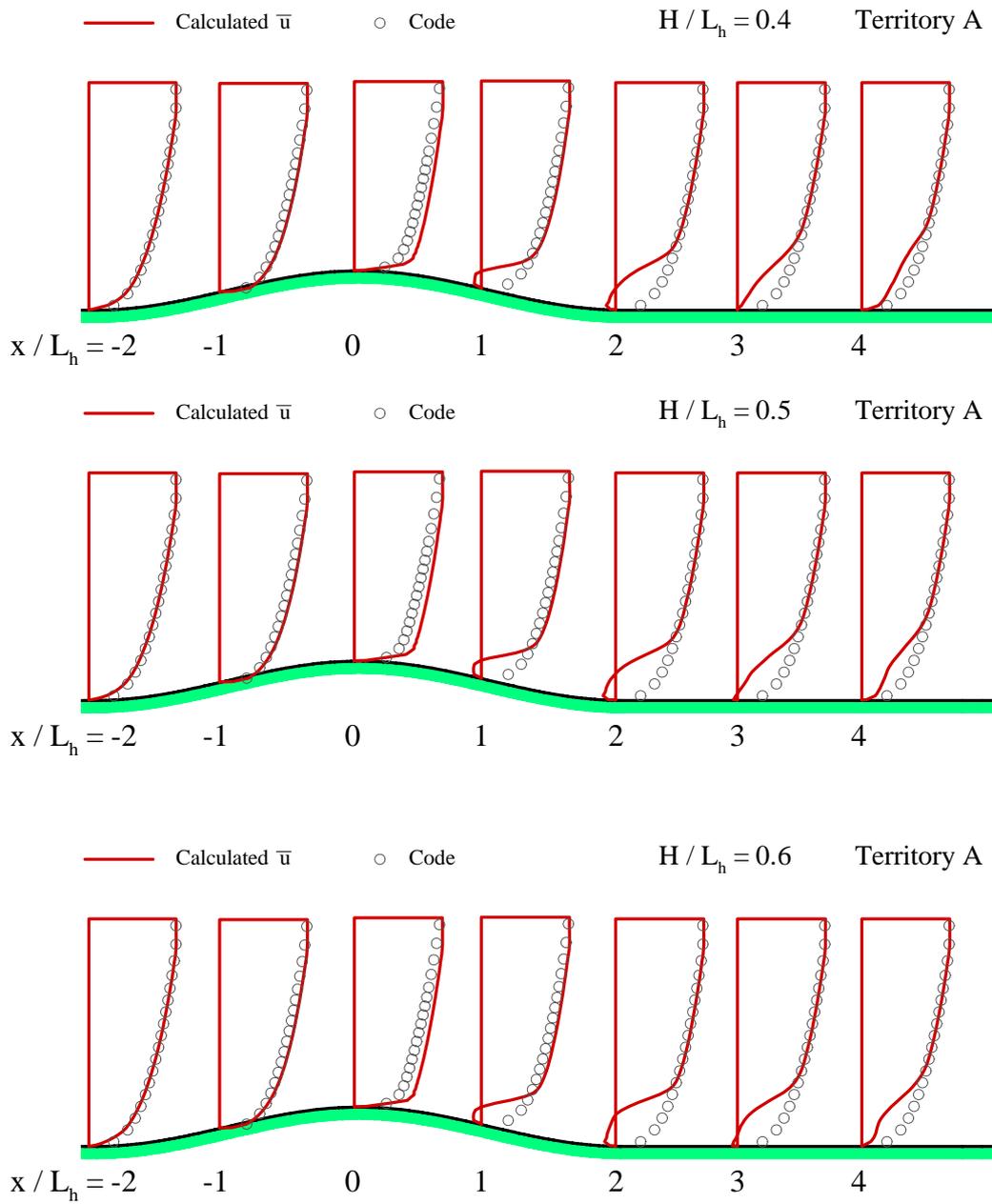


圖 4-21. 山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(A 地況) (續)
資料來源：本研究整理

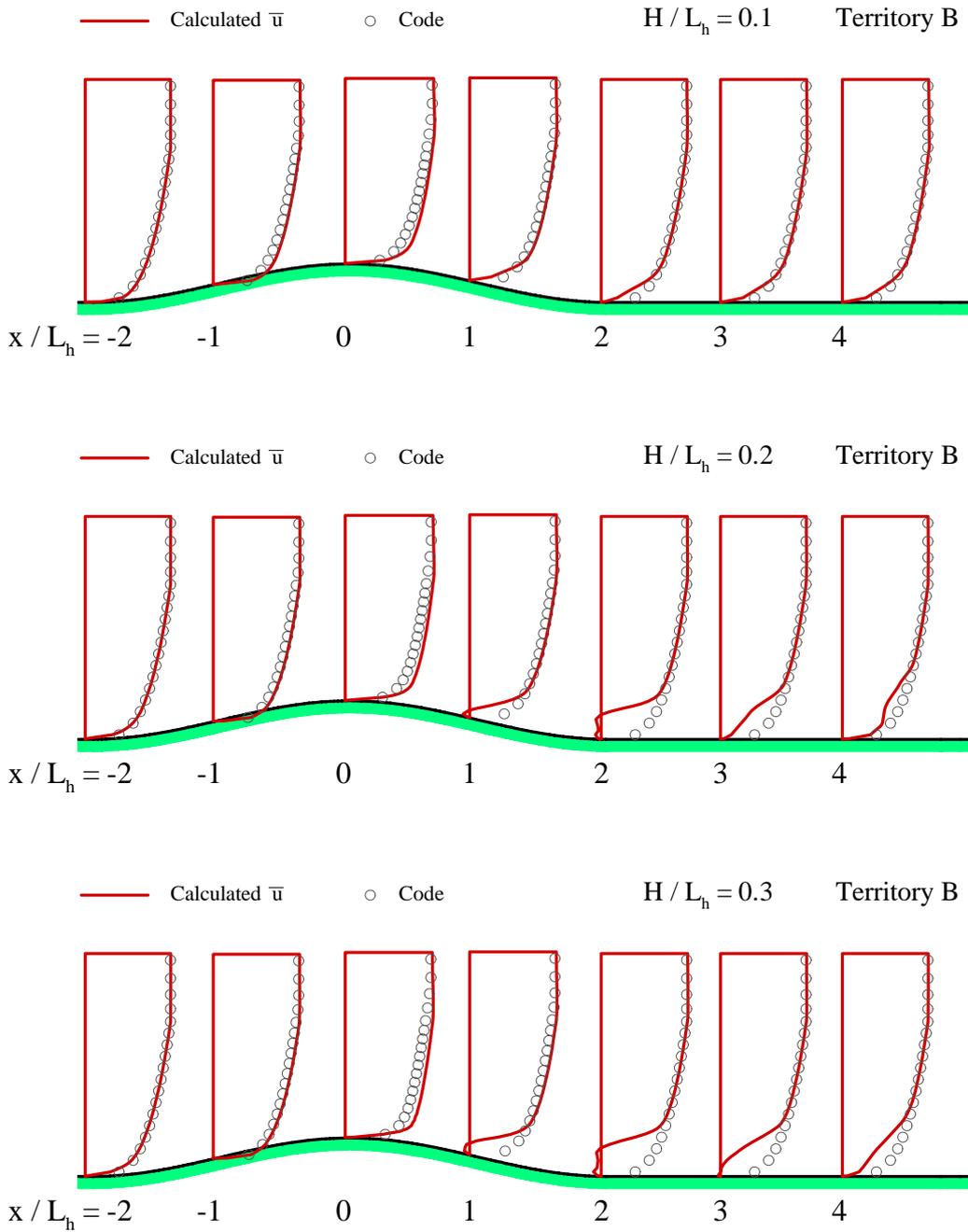


圖 4-22. 山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

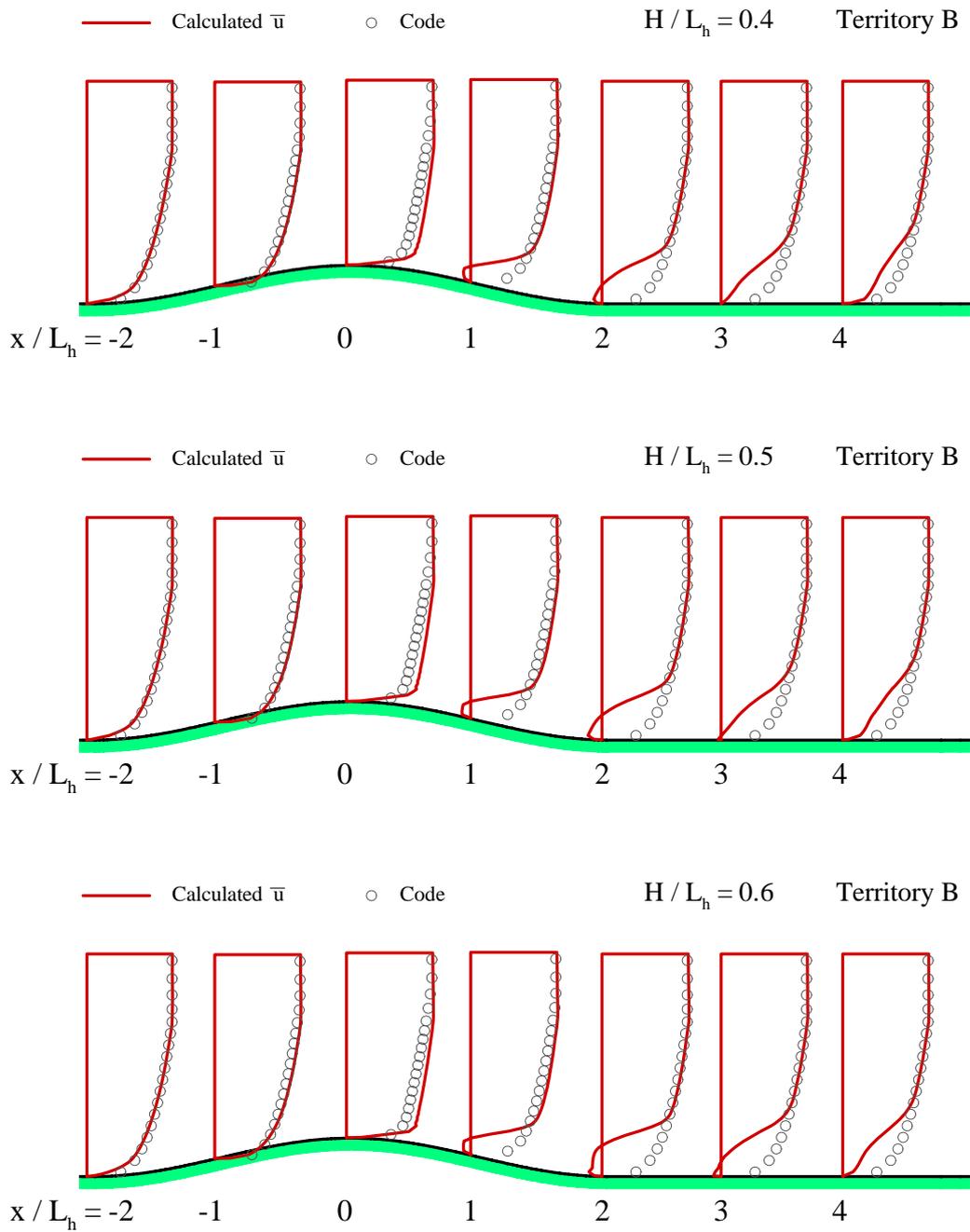


圖 4-22. 山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(B 地況) (續)
資料來源：本研究整理

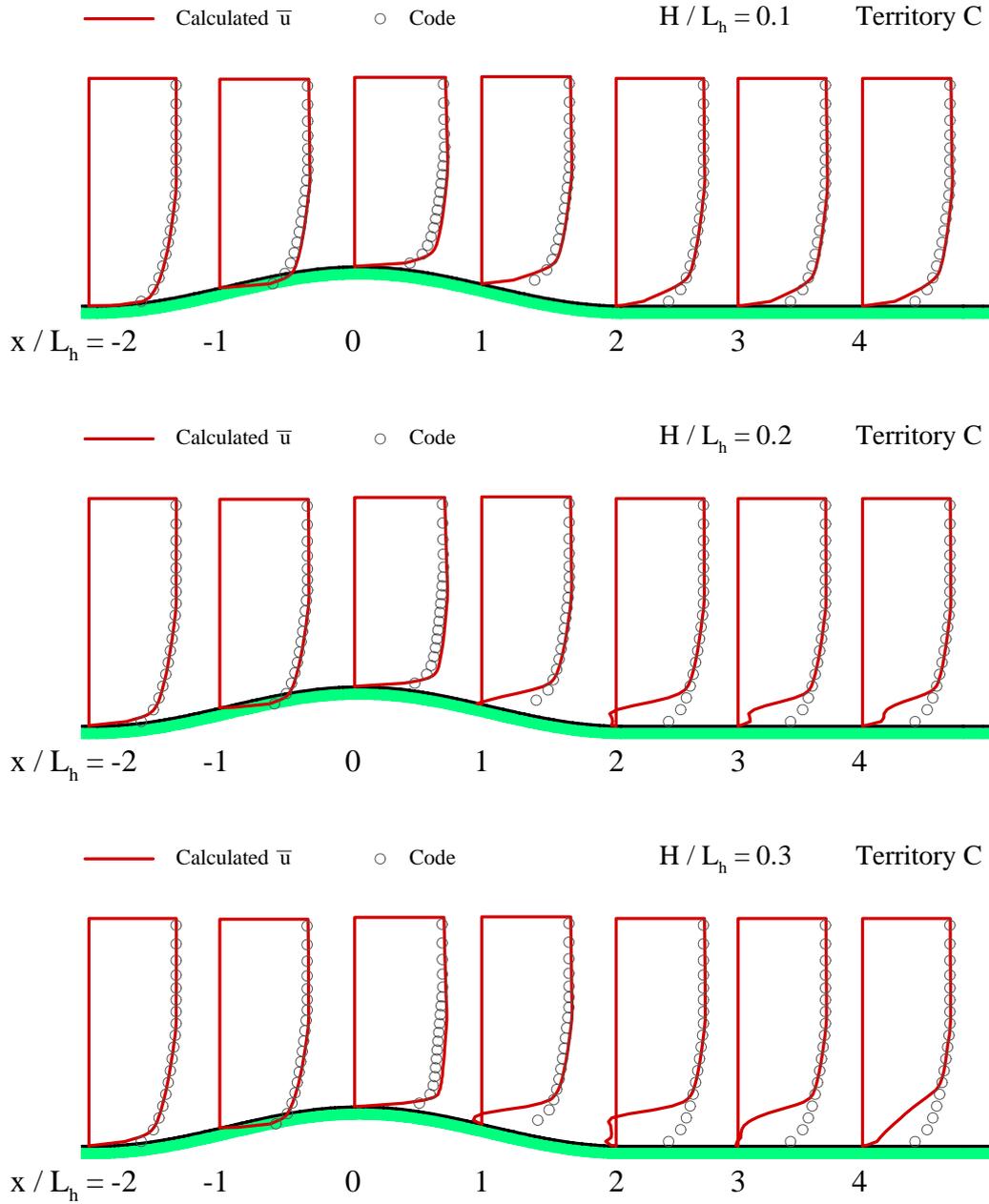


圖 4-23. 山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(C 地況)

資料來源：本研究整理

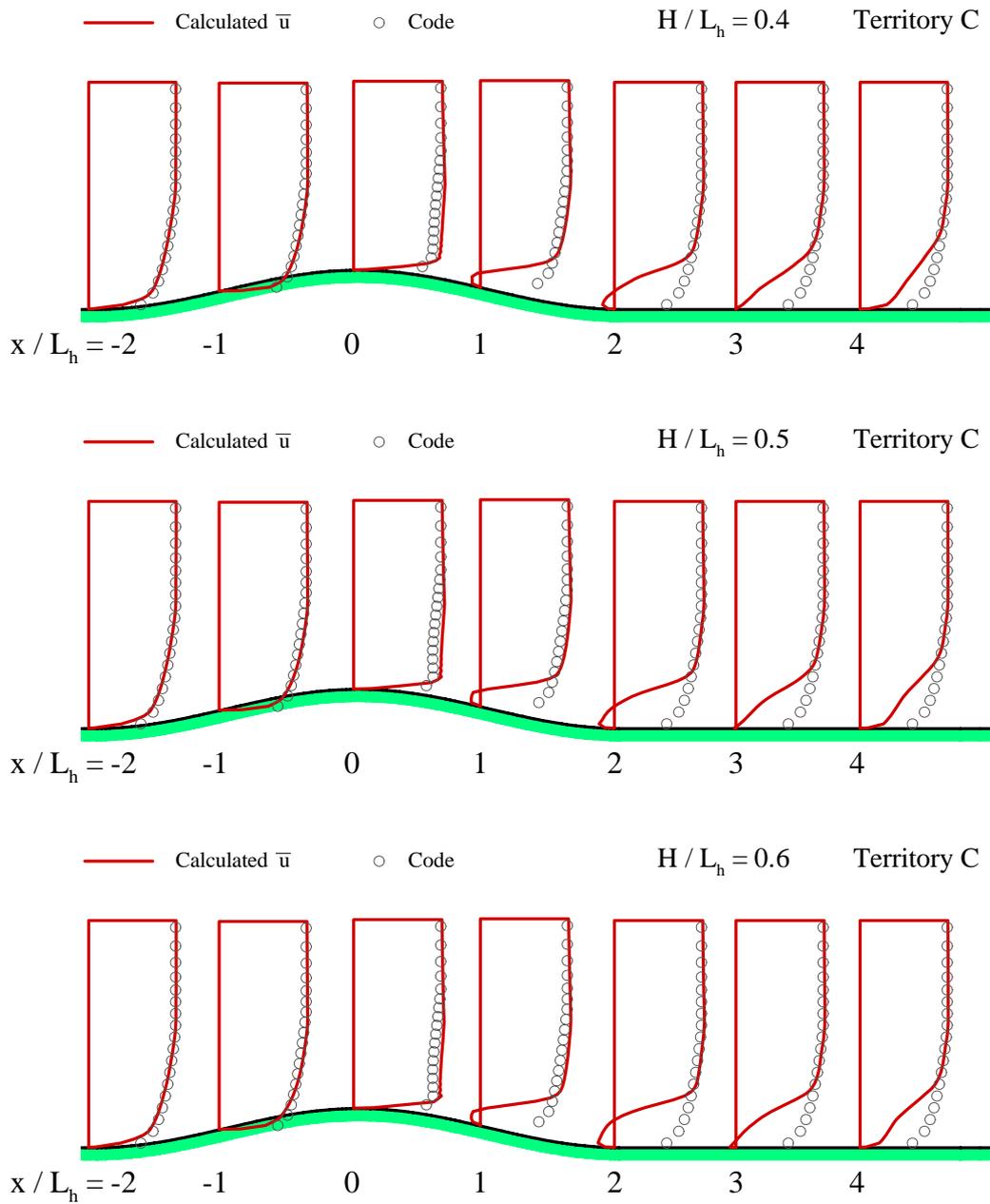


圖 4-23. 山丘數值與規範平均風速剖面比較圖(C 地況) (續)
資料來源：本研究整理

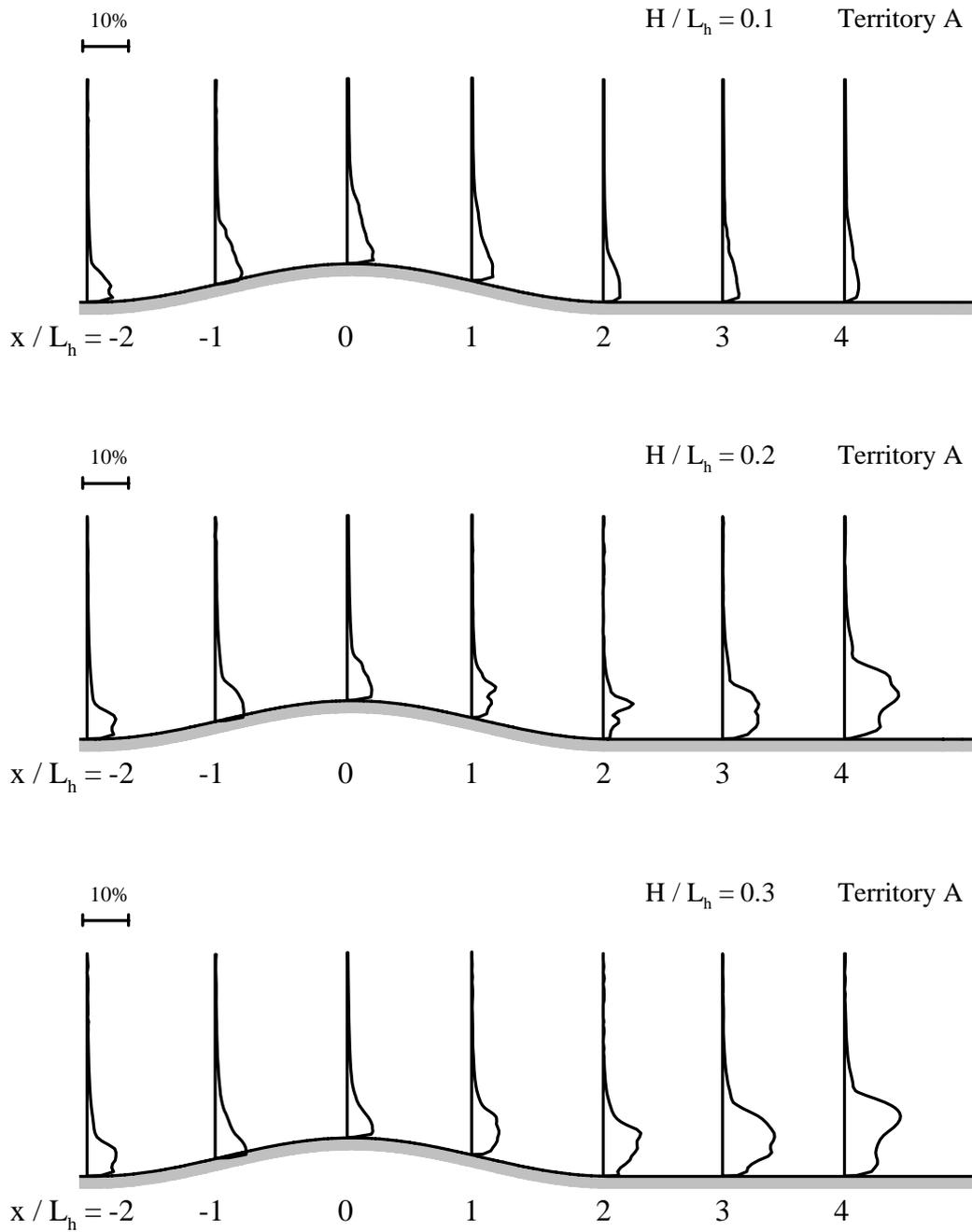


圖 4-24. 山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

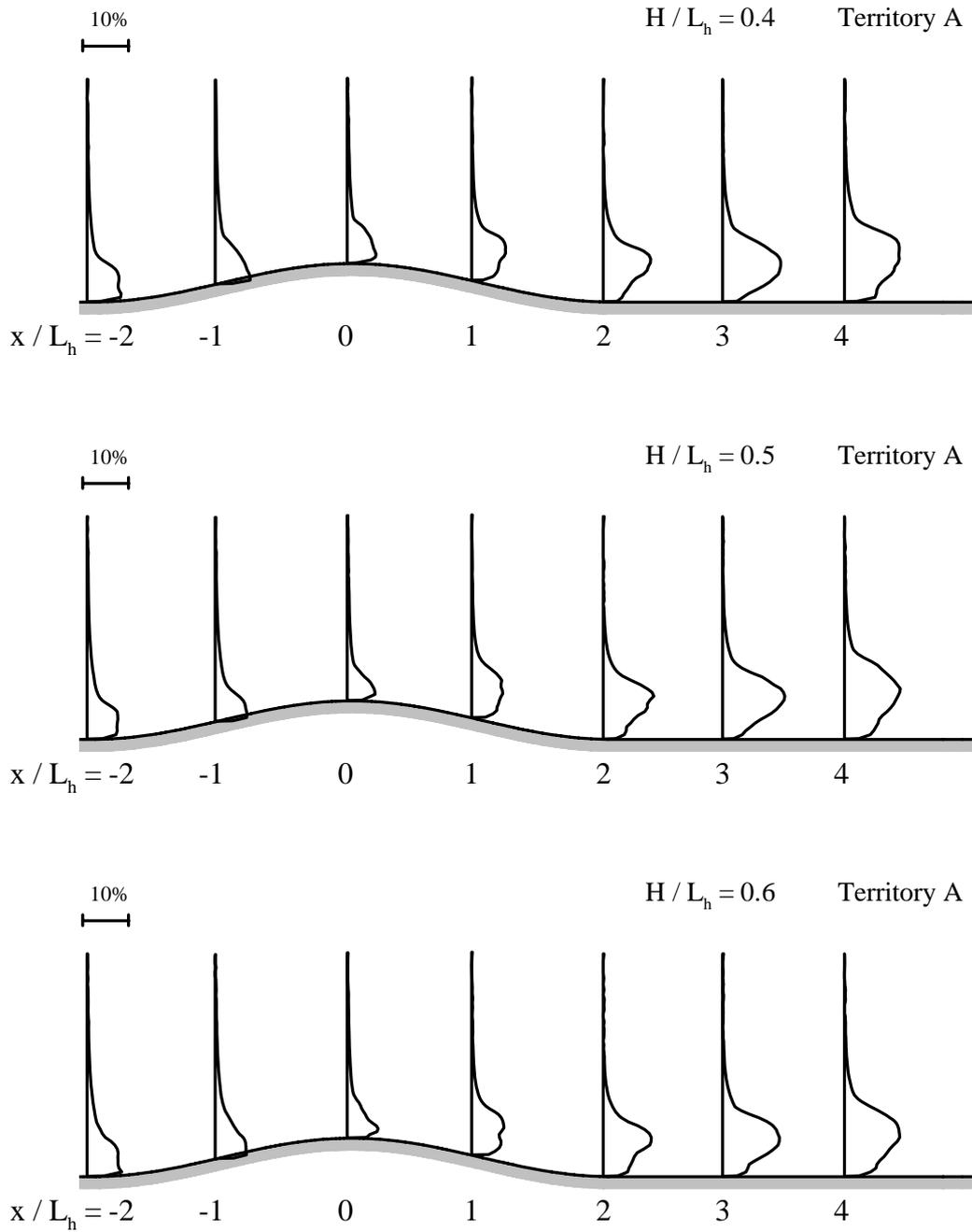


圖 4-24. 山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(A 地況)(續)
資料來源：本研究整理

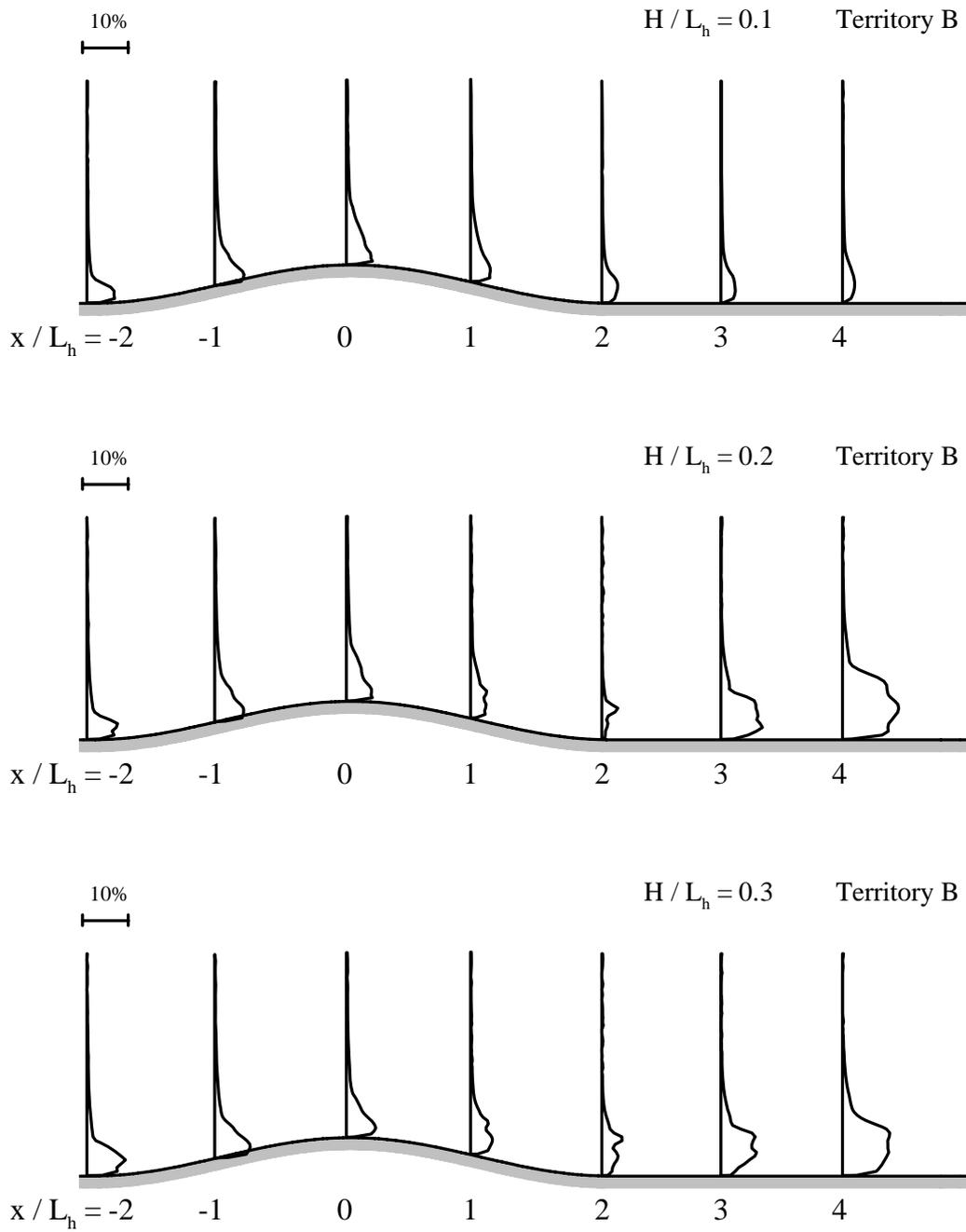


圖 4-25. 山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(B 地況)
資料來源：本研究整理

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

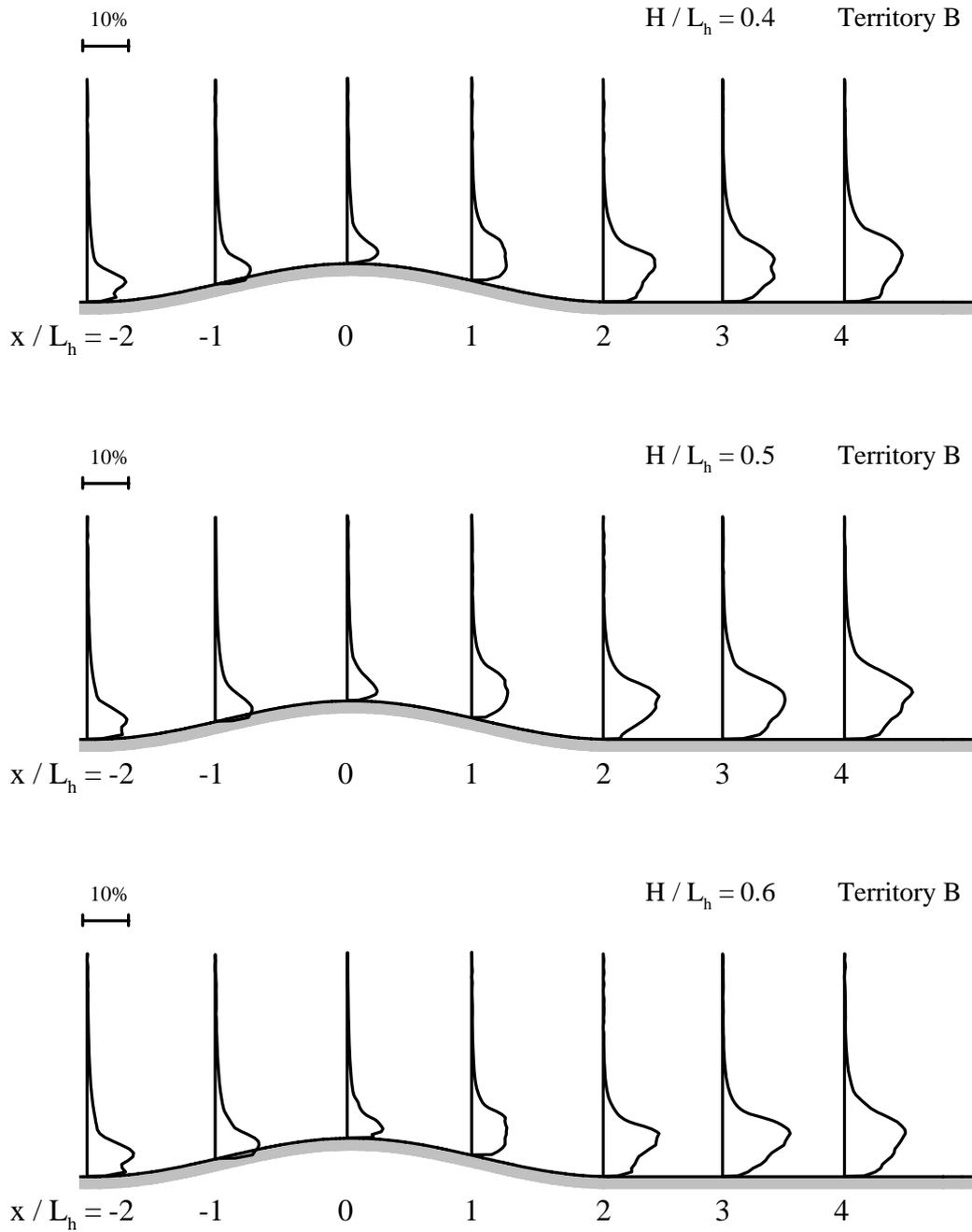


圖 4-25. 山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(B 地況) (續)
資料來源：本研究整理

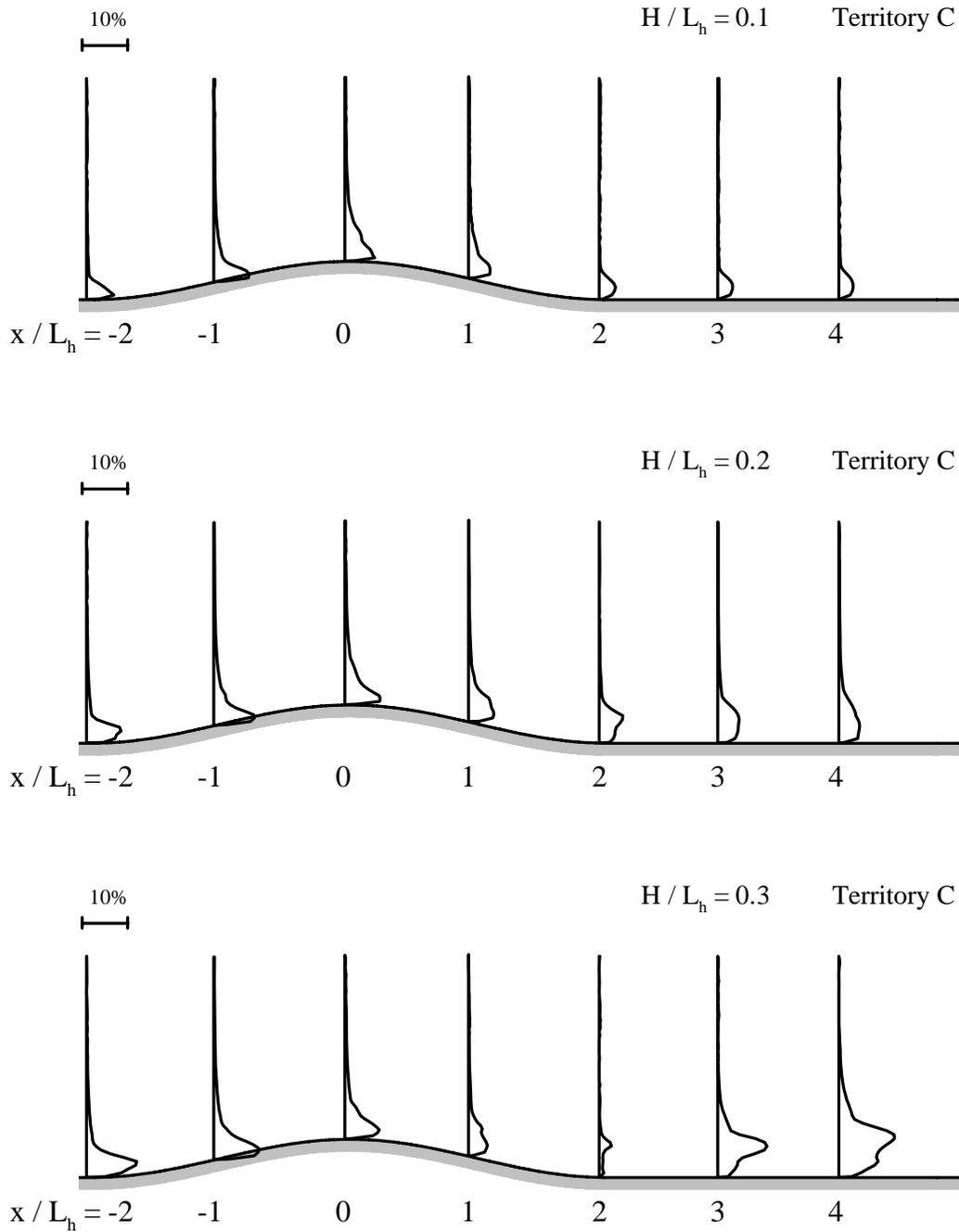


圖 4-26. 山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(C 地況)
資料來源：本研究整理

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

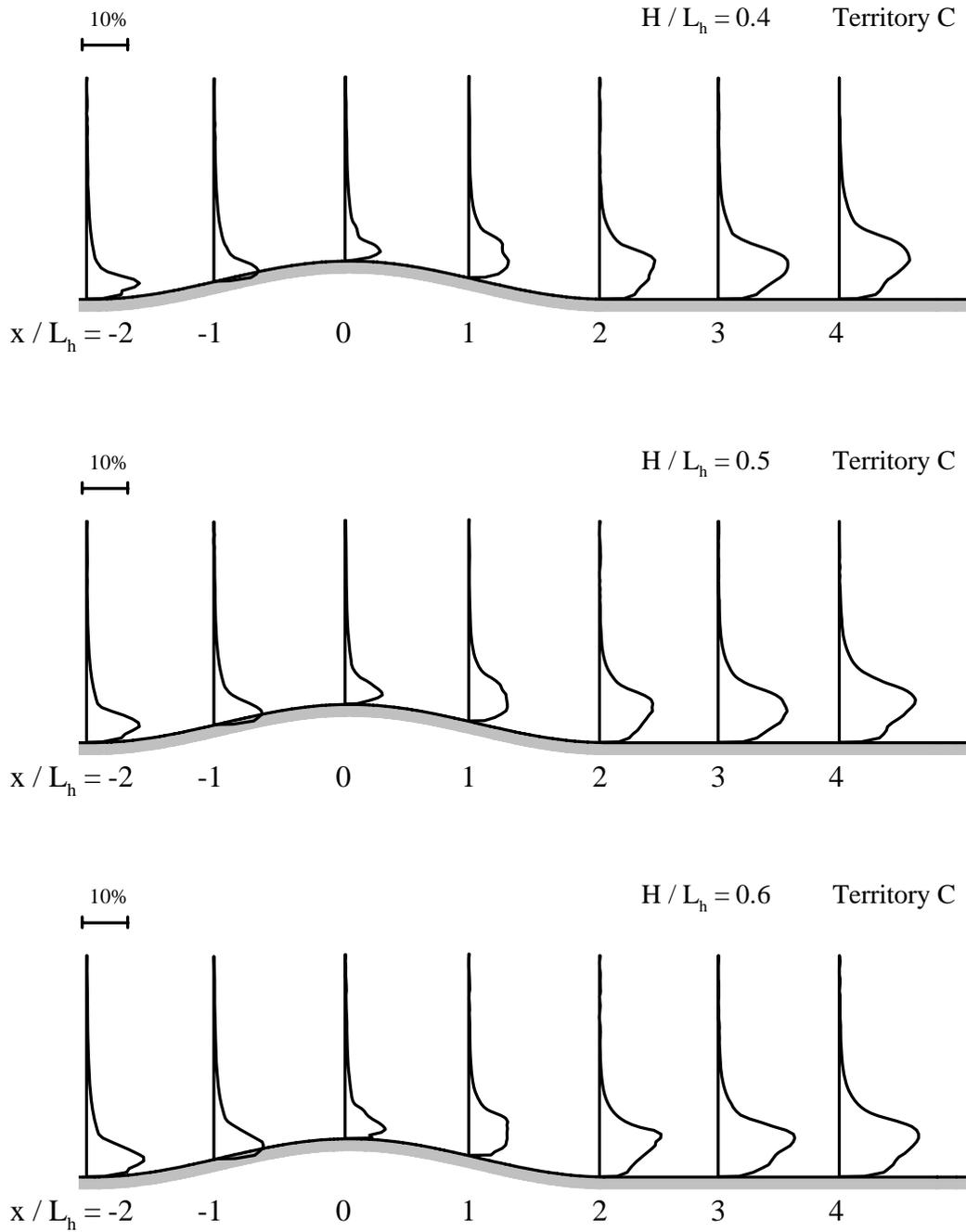


圖 4-26. 山丘數值模擬風速均方根值剖面圖(C 地況)(續)
資料來源：本研究整理

第五節 數值結果與規範之比較

因風速剖面數量頗多而難以一一作細部比對，研究中將風速剖面作垂直積分，獲得相應之位移厚度(displacement thickness; δ_1)，作為表徵風速剖面飽滿度之指標(位移厚度愈小代表風速剖面愈飽滿)。其定義為

$$\delta_1 = \int_0^{4H} \left(1 - \frac{\bar{u}}{U_\delta}\right) dz \quad (4.11)$$

其中， U_δ 為邊界層之層緣風速，而在系統化數值模擬中 $H=100$ m。

圖 4-27 至圖 4-29 為懸崖情況平均風速剖面(\bar{u})、平均值加上 2 倍均方根值風速剖面($\bar{u}+2u'$)以及規範建議風速剖面相應之位移厚度變化比較圖。在 A 與 B 地況之情形(圖 4-27)，除了於懸崖上昇坡面之起始段($-2 < x/L_h < -1.5$)外，規範值多偏高(即不保守)。至於在 C 地況時，規範值大致上滿足風速壓計算保守度之需求。

圖 4-30 至圖 4-32 為山脊情形相應之位移厚度變化比較圖。整體而言，在 A、B、C 三種地況情形中均顯示規範值約於 $-1.5 < x/L_h < 1.5$ 之範圍內呈現不保守之現象。

圖 4-33 至圖 4-35 為山丘情況相應之位移厚度變化比較圖。在三種地況中均顯示，規範值約於 $-2 < x/L_h < 1.5$ 之範圍內呈現不保守之現象。

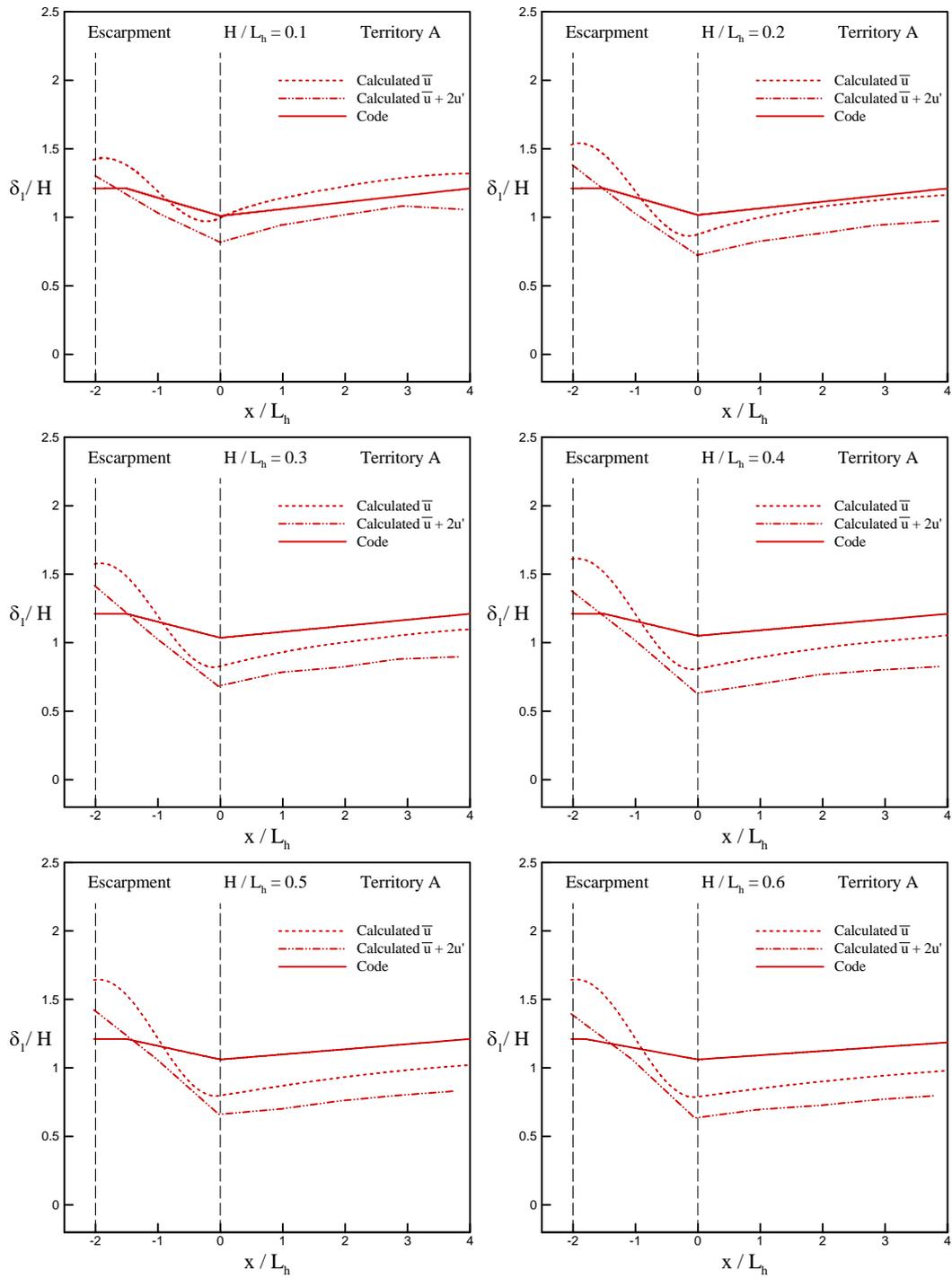


圖 4-27. 懸崖數值與規範位移厚度比較圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

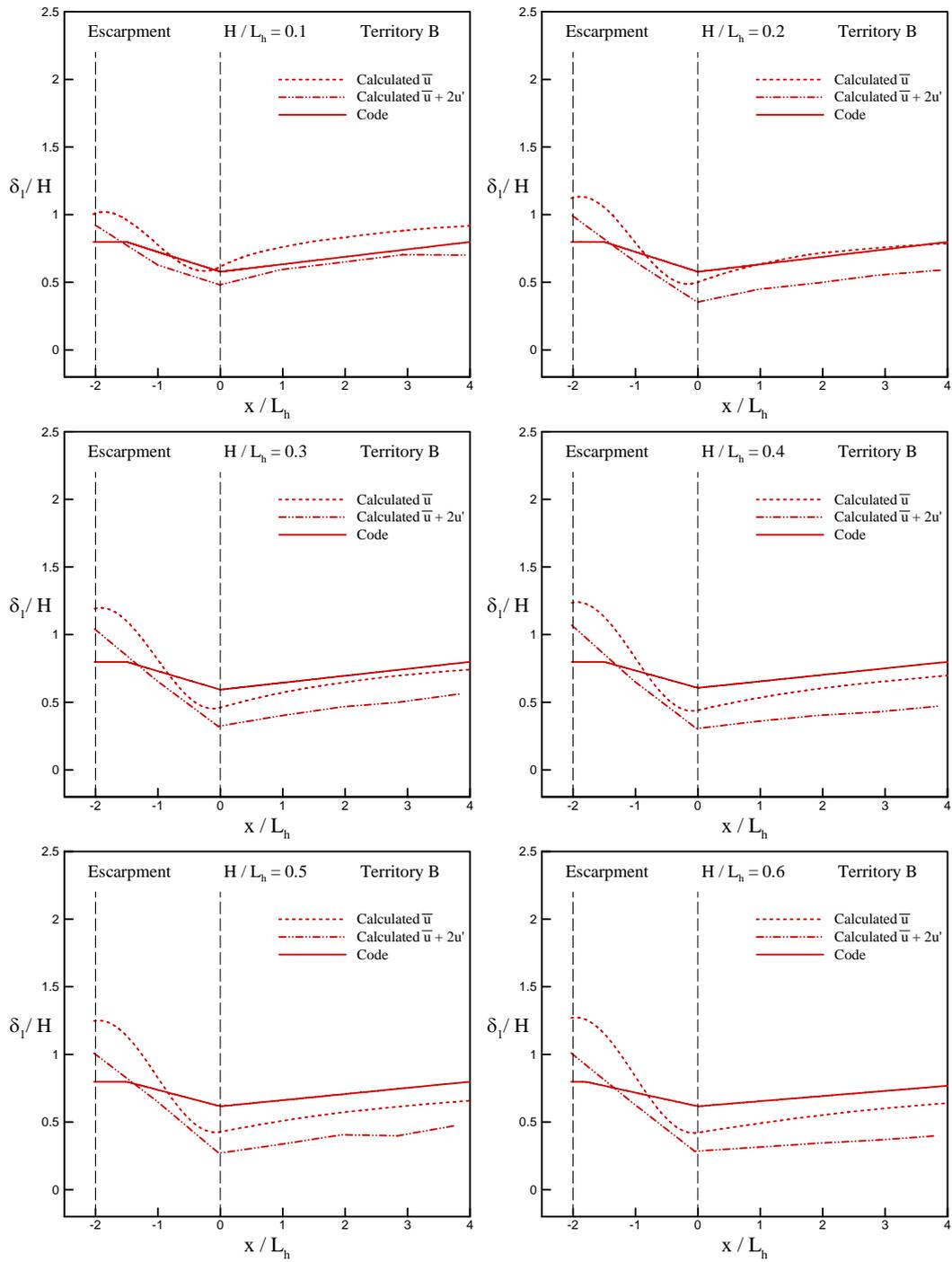


圖 4-28. 懸崖數值與規範位移厚度比較圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

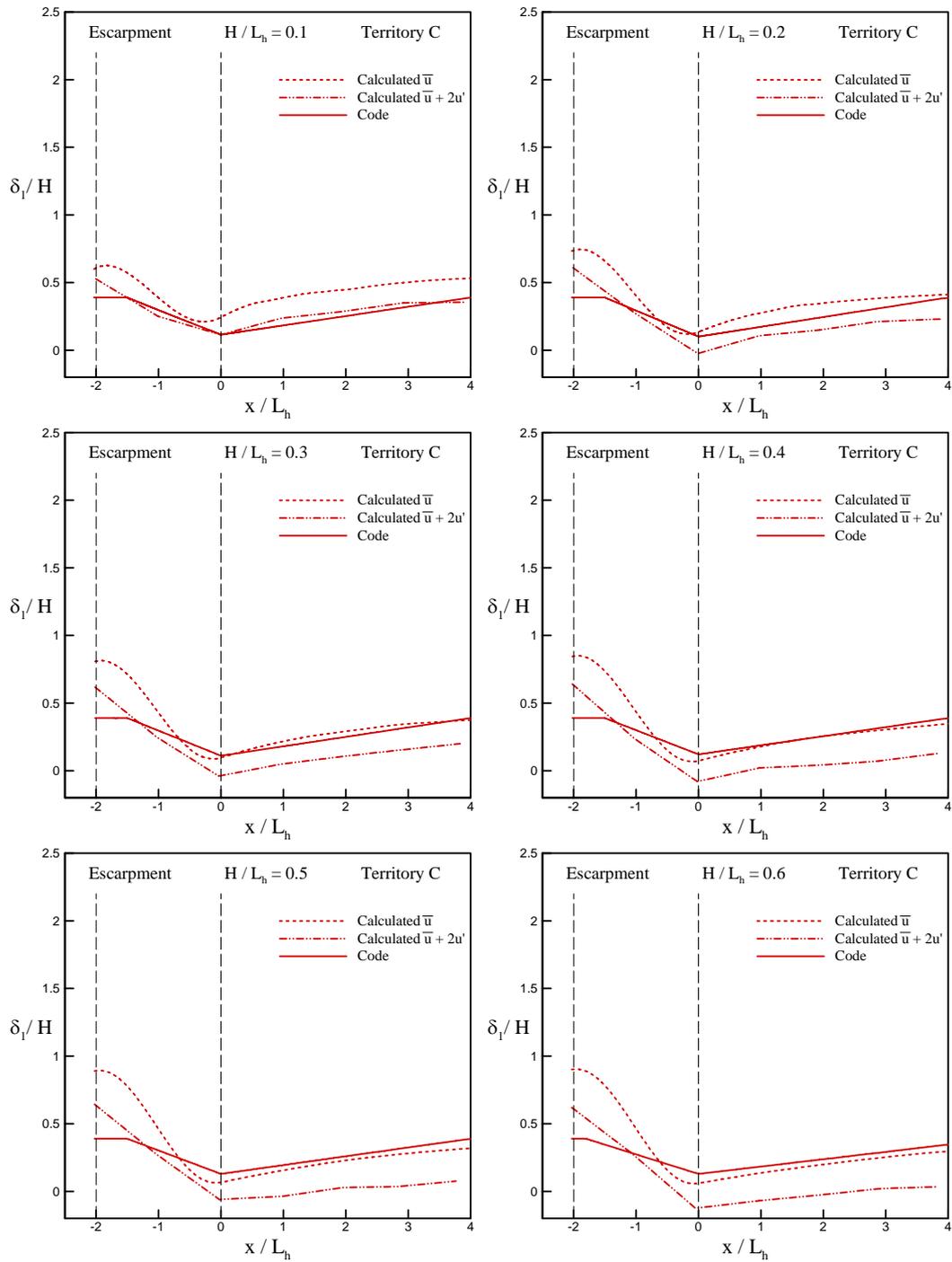


圖 4-29. 懸崖數值與規範位移厚度比較圖(C 地況)

資料來源：本研究整理

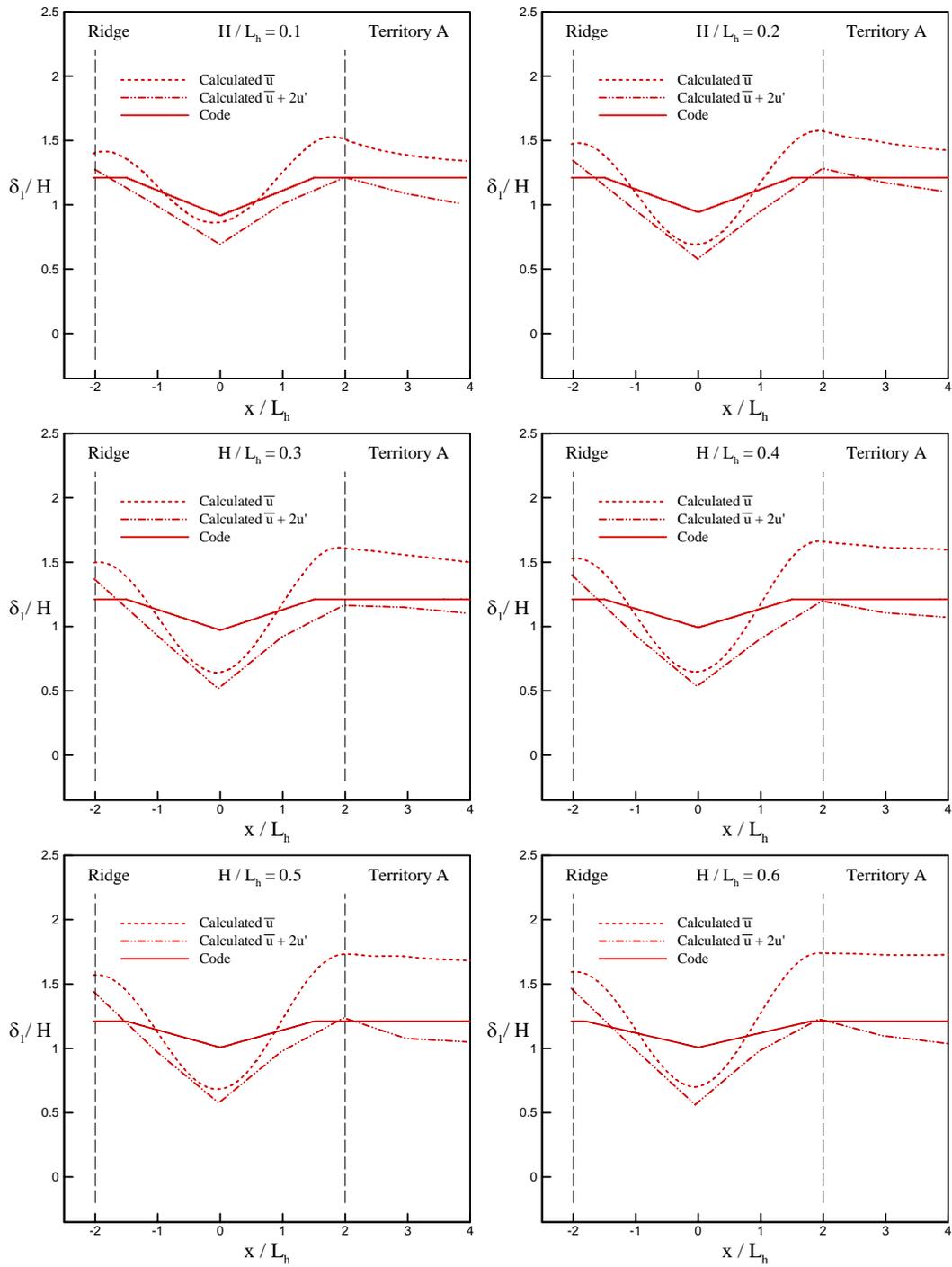


圖 4-30. 山脊數值與規範位移厚度比較圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

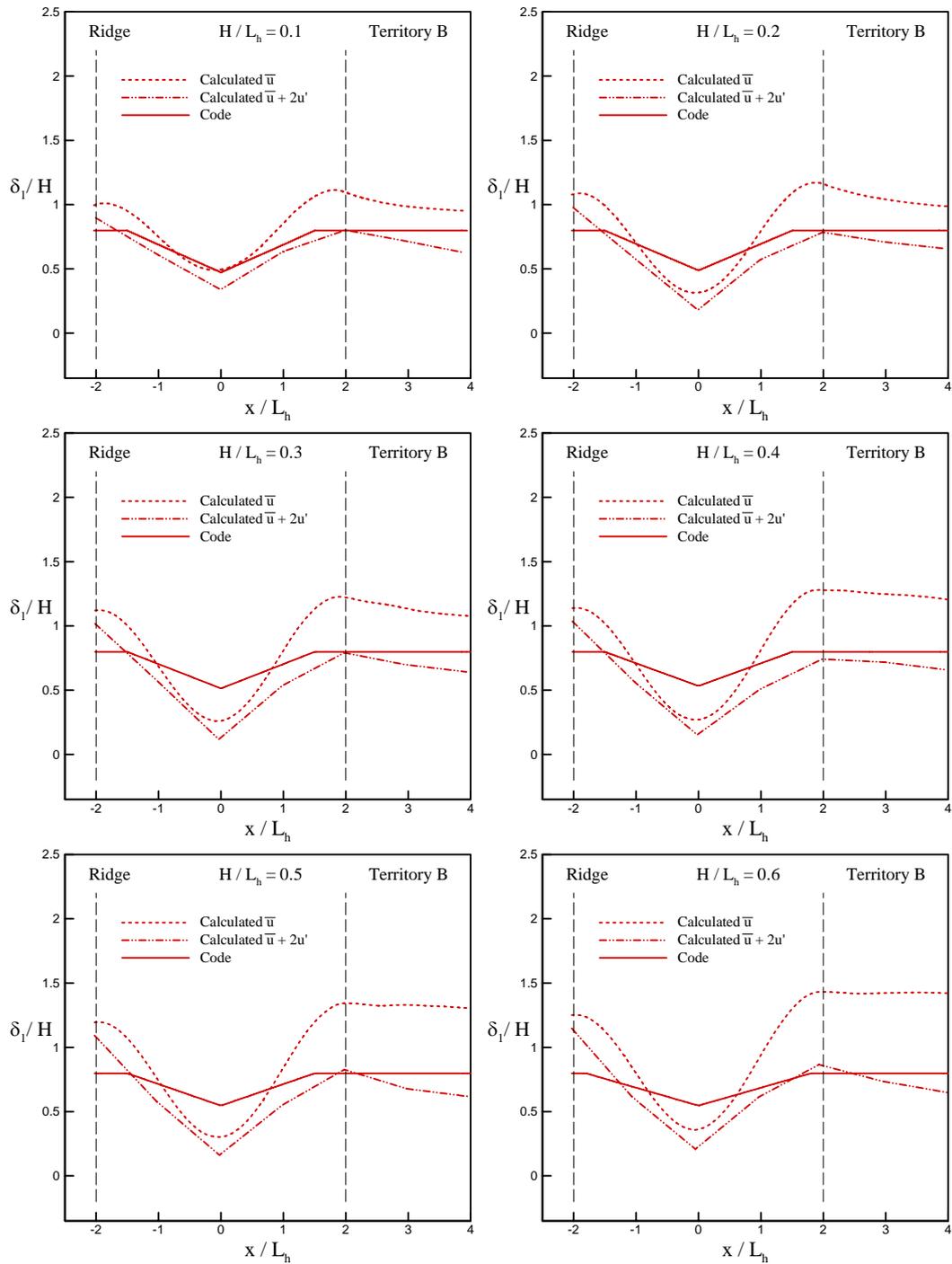


圖 4-31. 山脊數值與規範位移厚度比較圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

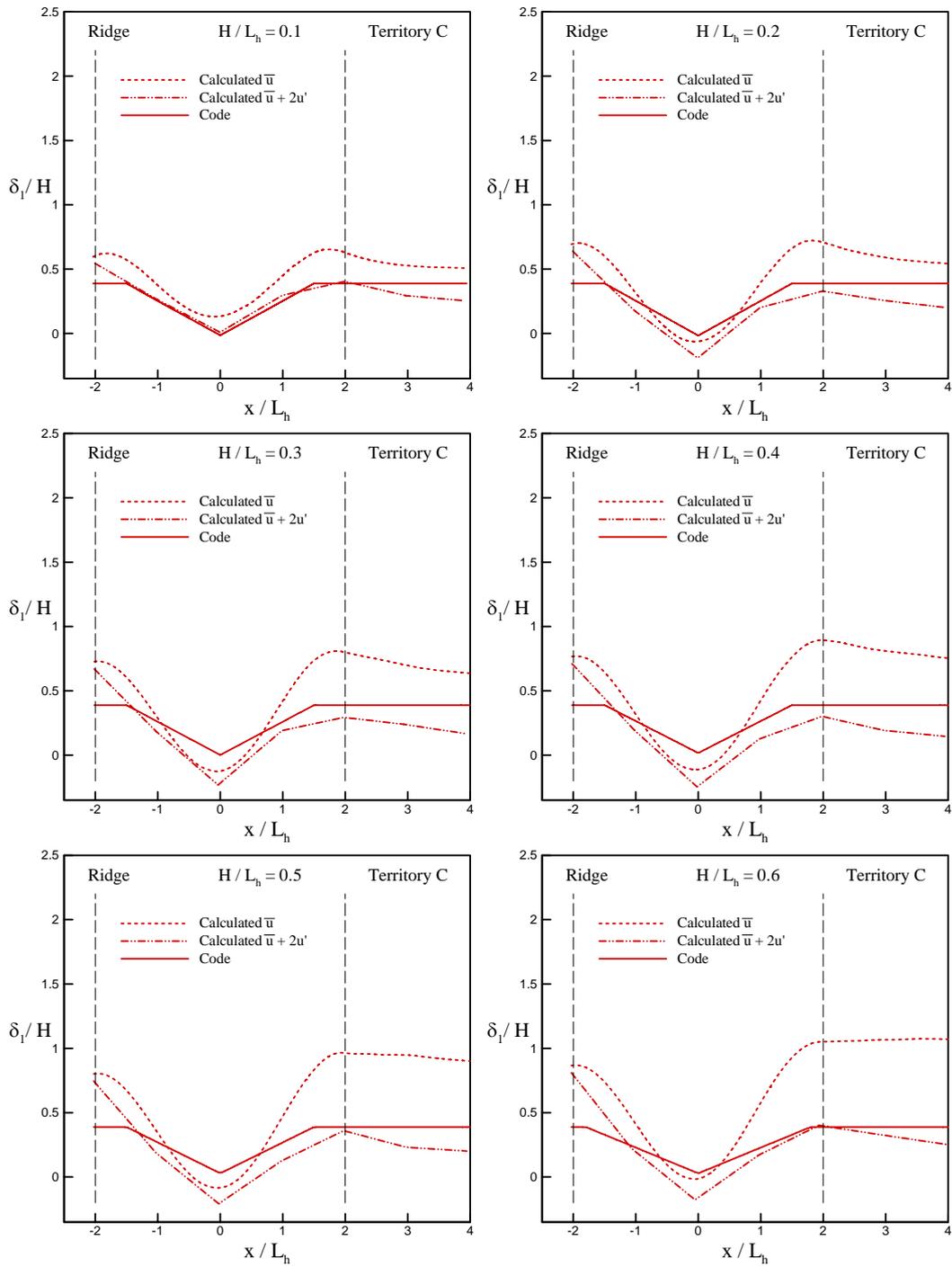


圖 4-32. 山脊數值與規範位移厚度比較圖(C 地況)

資料來源：本研究整理

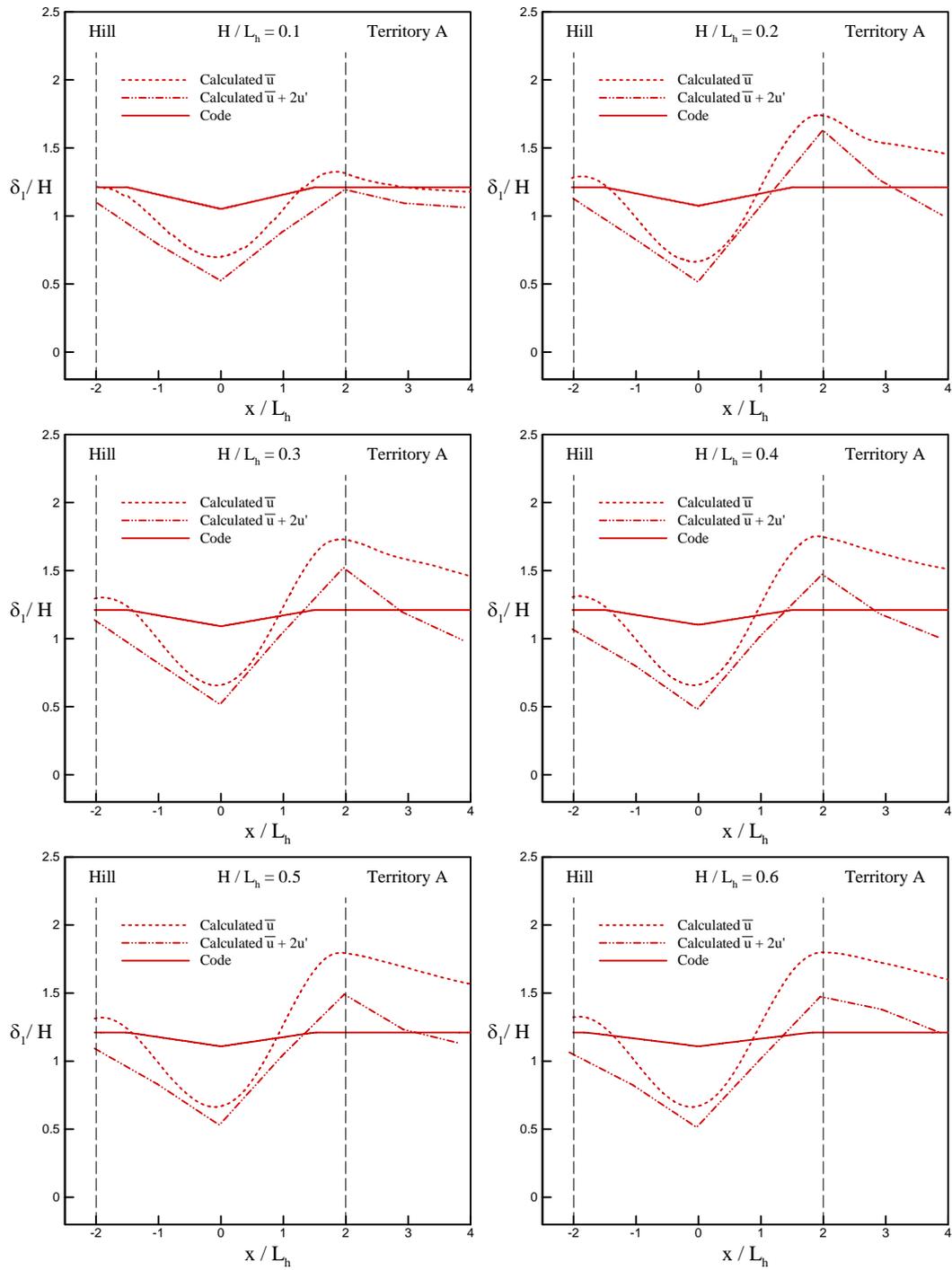


圖 4-33. 山丘數值與規範位移厚度比較圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

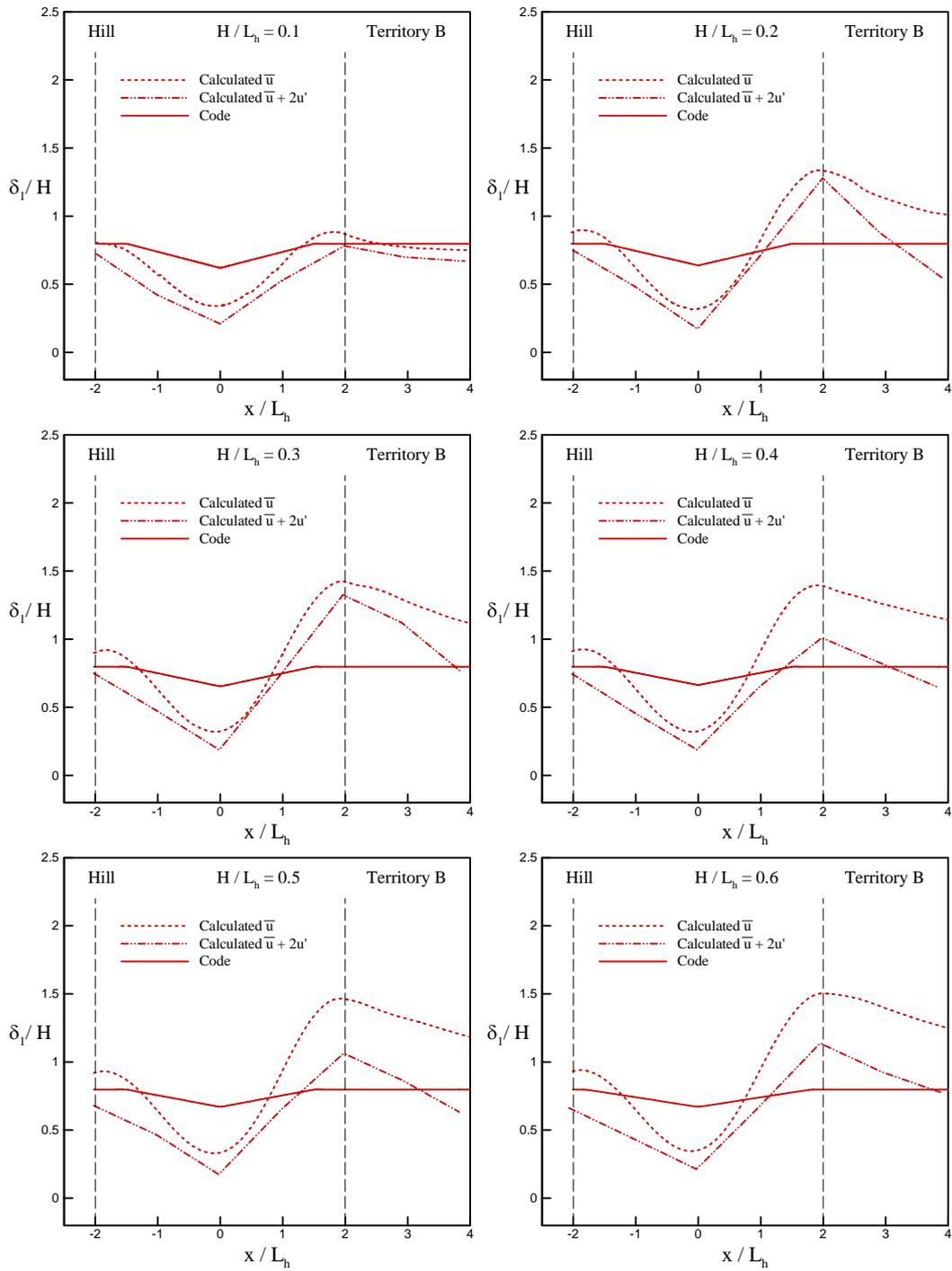


圖 4-34. 山丘數值與規範位移厚度比較圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

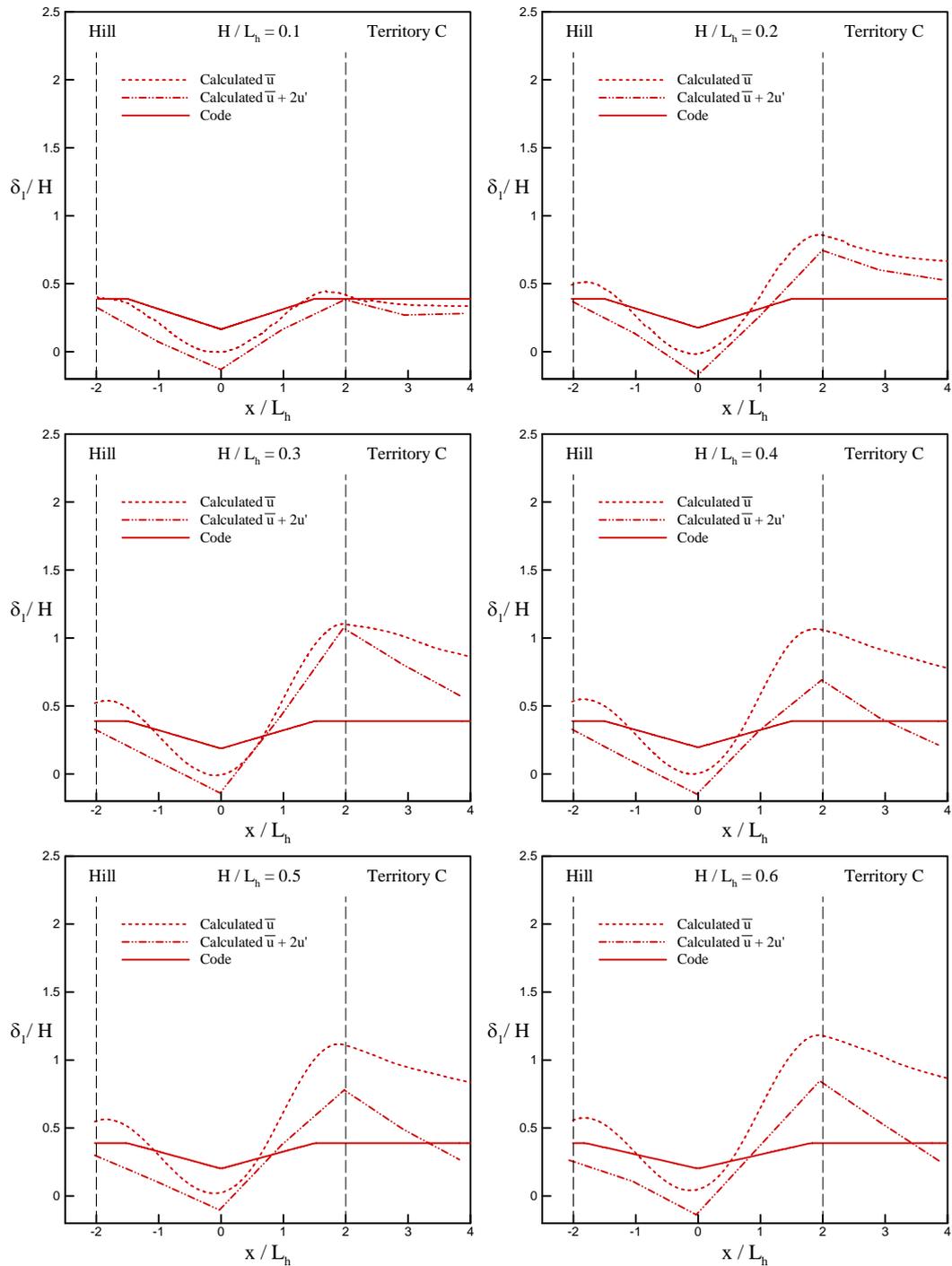


圖 4-35. 山丘數值與規範位移厚度比較圖(C 地況)

資料來源：本研究整理

第五章 研究成果與檢討

第一節 研究成果

茲針對本研究之成果，逐項分述如後：

一、風洞試驗方面

1. 完成二維懸崖、二維山脊與三維山丘之模型製作，每個地形模型均包括兩個坡度比 ($H/L_h=0.3$ 與 0.5)。
2. 完成二維懸崖、二維山脊與三維山丘之模型試驗，量測而得之風速剖面係作為數值結果比對驗證之依據。

二、數值模擬方面

1. 完成二維懸崖、二維山脊與三維山丘($H/L_h=0.3$ 與 0.5)之數值模擬與風場驗證。
2. 完成二維懸崖、二維山脊與三維山丘之系統化風場模擬，包括 3 種地況(A、B、C)、6 個坡度比($H/L_h=0.1$ 至 0.6)，總計 54 個案之風場預測，並依據預測結果建構風場資料庫。

三、專家諮詢會議

舉行兩次專家諮詢會議(詳附錄三)。

四、規範檢討

檢討規範中建議地形係數之保守程度，並對規範提出修正建議(詳本章第三節)。

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

第二節 問題檢討與對策

一、坡面形狀與粗糙度之考量

在規範中並未明確敘述懸崖、山脊與山丘之基本幾何形狀。考量坡度變化之連續性，研究中採用餘弦函數(cosine function)作為風洞試驗與數值模擬中坡面之外形。

此外，在真實情況中，山坡之表面應為粗糙者。然在目前數值模擬方法中，尚無一套準確反映出粗糙表面物理特性之數值處理。本研究中假定山坡為光滑表面，據以進行風場數值模擬。

二、坡面高度之選定

由於在規範中有關特殊地形之規定裡並未詳細明定坡面高度(H)之值，在坡面高度與來風邊界層厚度(δ)或梯度高度(z_g)相對比值不明確之情況下，研究中難以進行實質之比對。

研究中有關坡面高度(H)之選定係依據「水土保持法」第三條中有關山坡地之定義：『標高在一百公尺以上者；或標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者』，取為 100 公尺，並據以進行系統化之風場模擬分析。

三、規範中描述三種特殊地形之名稱與圖示

在「建築物耐風設計規範及解說」[1]中述及之三種基本特殊地形係依據美國 ANSI/ASCE7-02[13] 規範翻譯而得，包括懸崖(escarpment)、山脊(ridge)與山丘(hill)。由於此三個中文名詞後未能直接影射實際地形變化之真義，研究中建議將其依序更改為二維上昇坡(escarpment)、二維山脊(ridge)與三維山丘(hill)。

四、規範中有關地形係數之檢討

在第四章第二節的系統化模擬中已獲得了所有 54 個案之平均風

速與風速均方根值剖面，據以建構相應特殊地形之風場資料庫。然而，在預測與規範風速剖面之比對上仍有再予檢討之必要。

1. 二維山脊與三維山丘在下降坡面迴流區域內特性之檢視

由於縱向逆壓梯度(adverse pressure gradient)之作用，使得二維山脊與三維山丘之邊界層流在下降坡面附近產生分流並形成迴流區。於此迴流區中，數值模擬結果所得之平均風速剖面在平均的過程中因正負值抵消而呈現較不飽滿之情形(與規範結果相較)。事實上，本區域內之風速具有高度之時間變異性，以前述之比對說明規範在迴流區中風速剖面屬保守之結論有待商榷。

研究中於二維山脊與三維山丘情況平均風場之迴流區(參見圖 5-1)內選擇了 9 個位置，以檢視其時變風速相應之機率密度函數(possibility density function; pdf)。依據數值模擬結果，圖 5-2 與圖 5-3 顯示二維山脊與三維山丘情況 9 個檢視點典型之結果。大致上，各點之風速變化約呈常態分佈之形式。據此，本研究續增加了平均風速與 2 倍風速均方根值(即 $\bar{u} + 2u'$)結果與規範之比較。

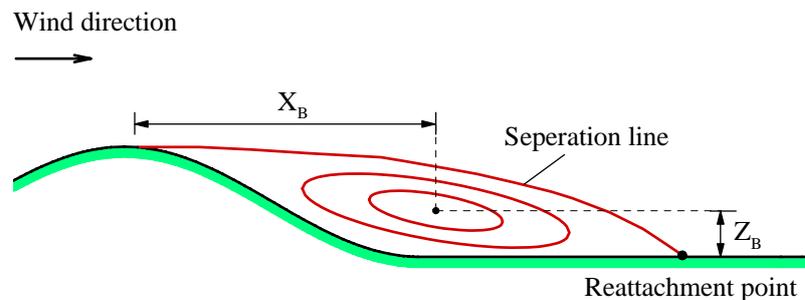


圖 5-1. 迴流區示意圖

資料來源：本研究整理

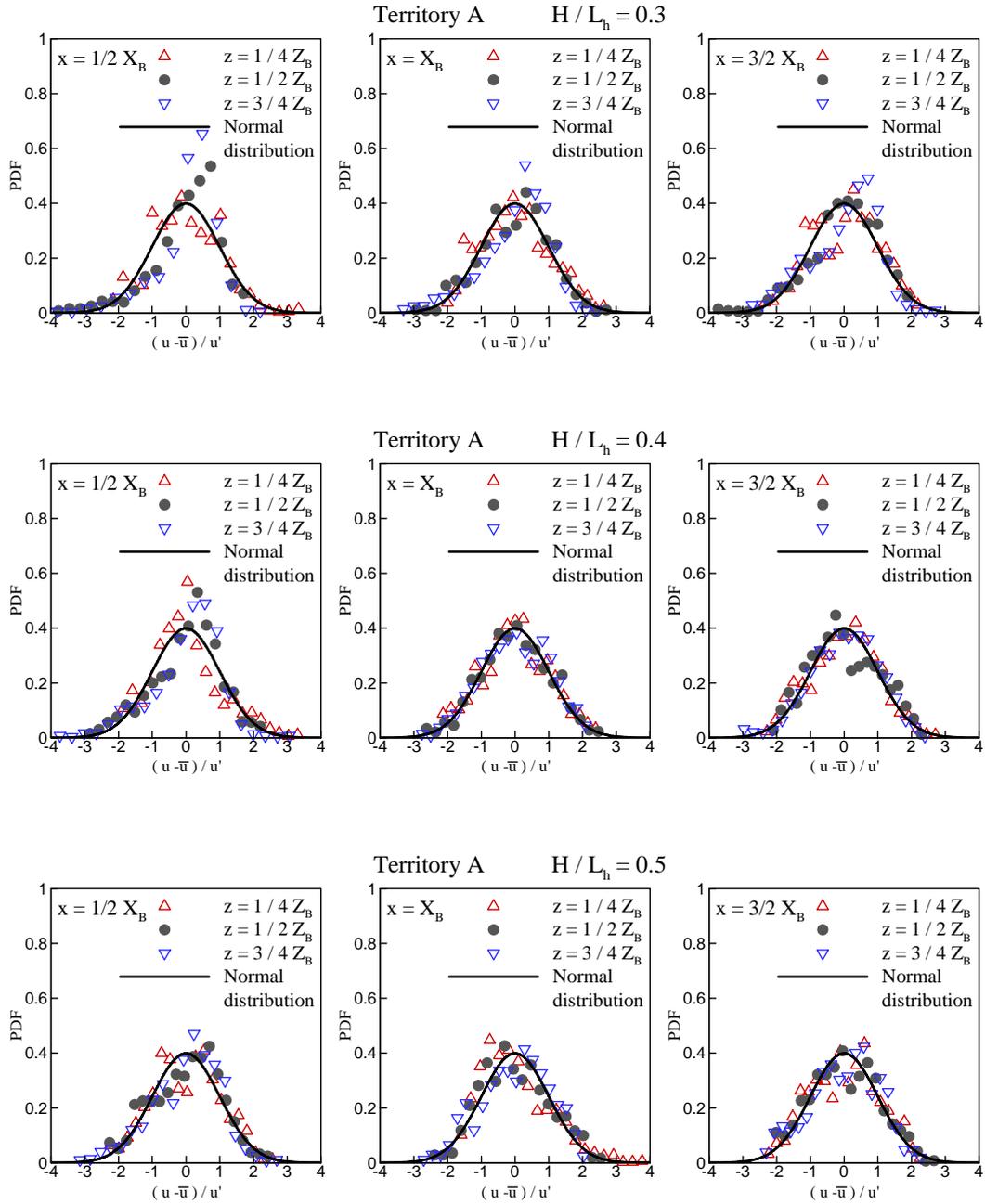


圖 5-2. 山脊迴流區內風速變化之機率分佈圖

資料來源：本研究整理

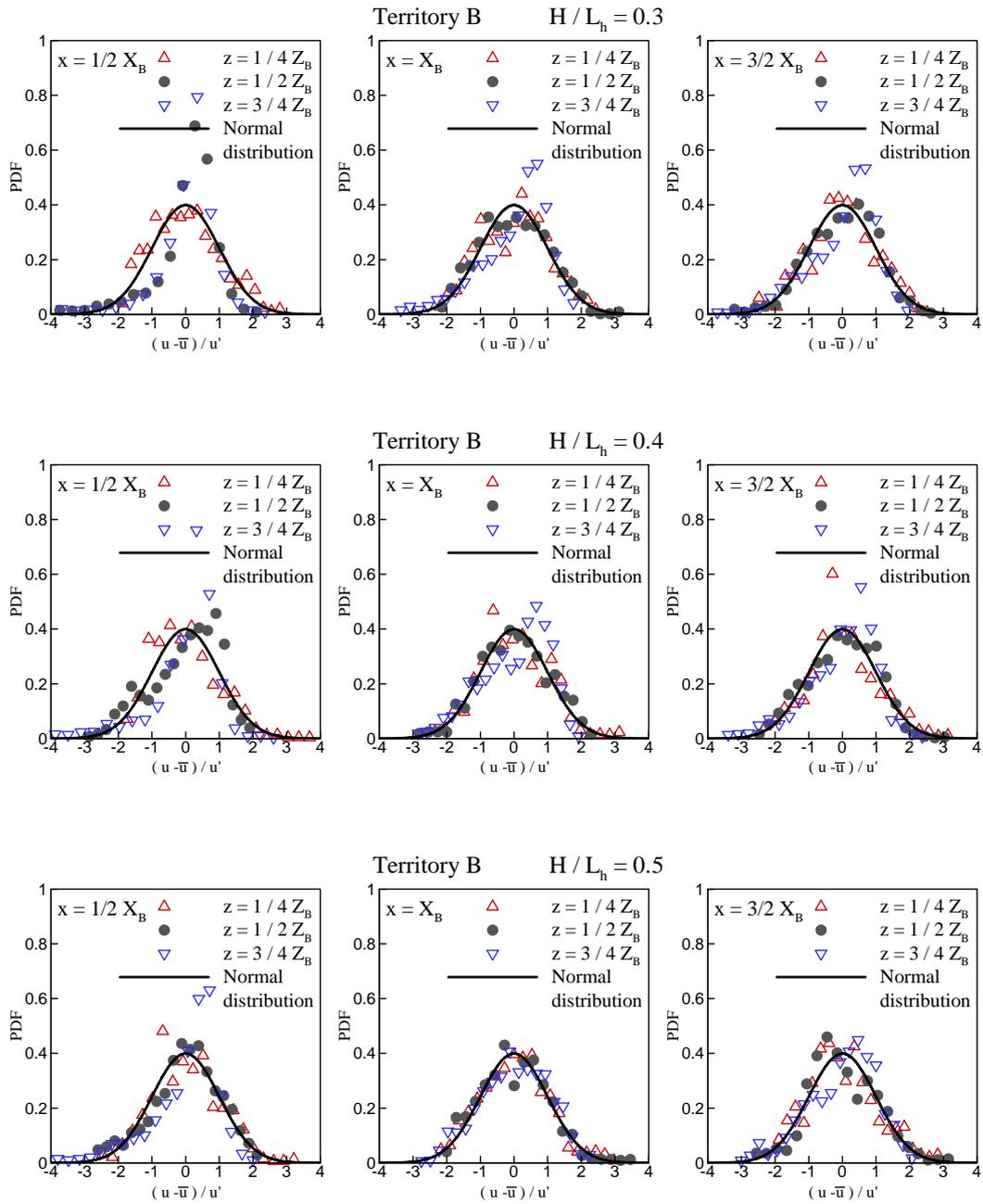


圖 5-2. 山脊迴流區內風速變化之機率分佈圖(續)

資料來源：本研究整理

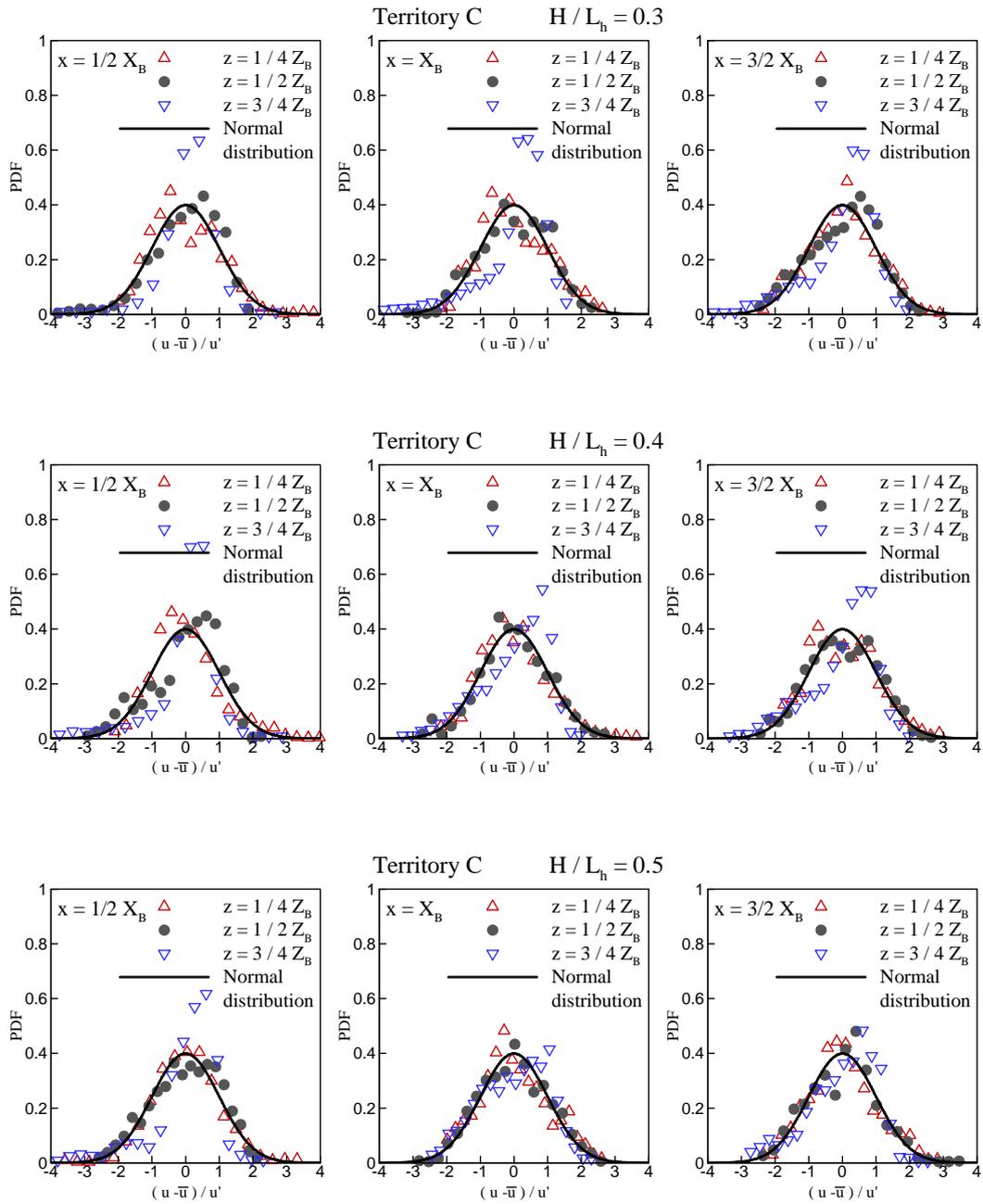


圖 5-2. 山脊迴流區內風速變化之機率分佈圖(續)

資料來源：本研究整理

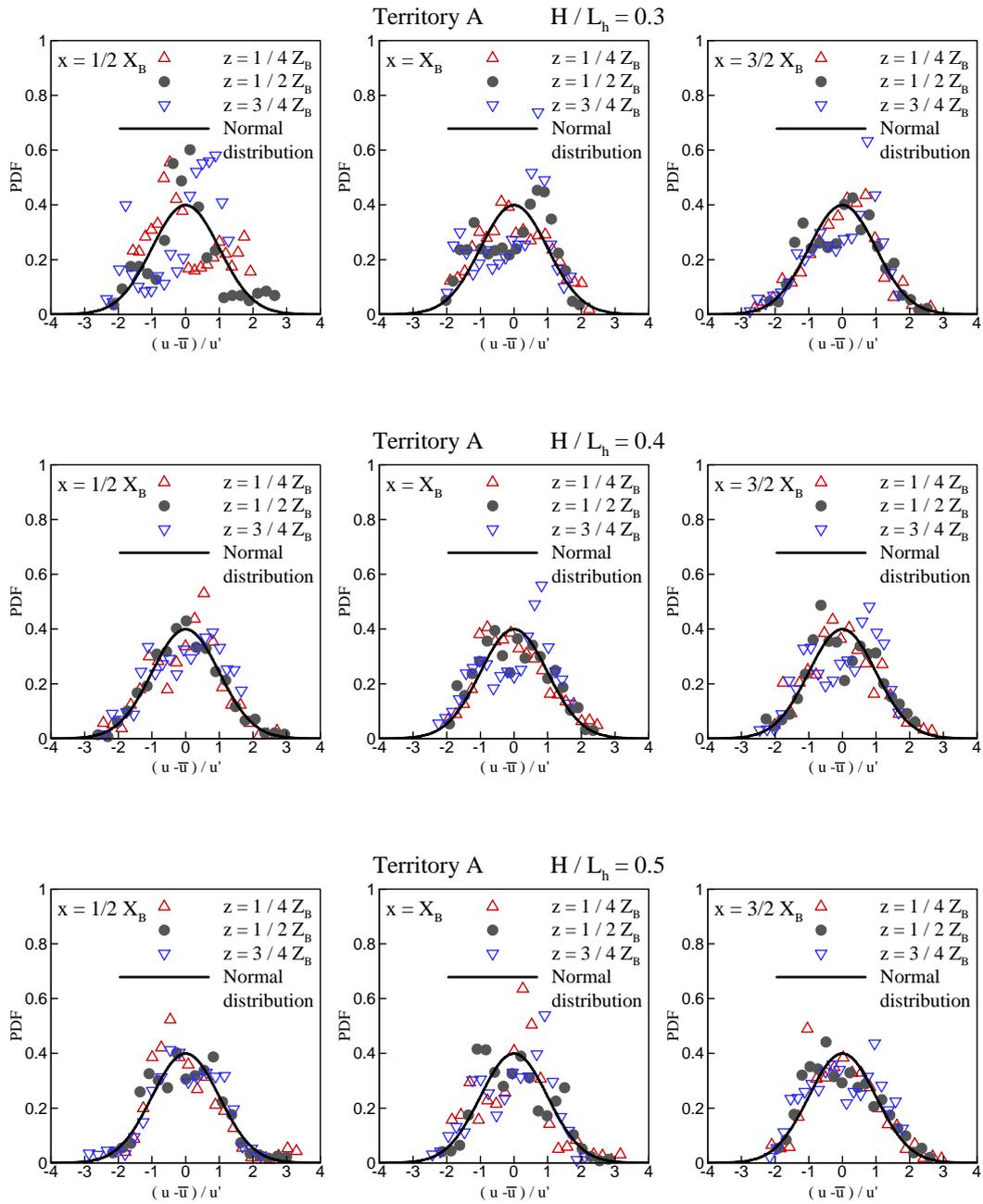


圖 5-3. 山丘迴流區內風速變化之機率分佈圖

資料來源：本研究整理

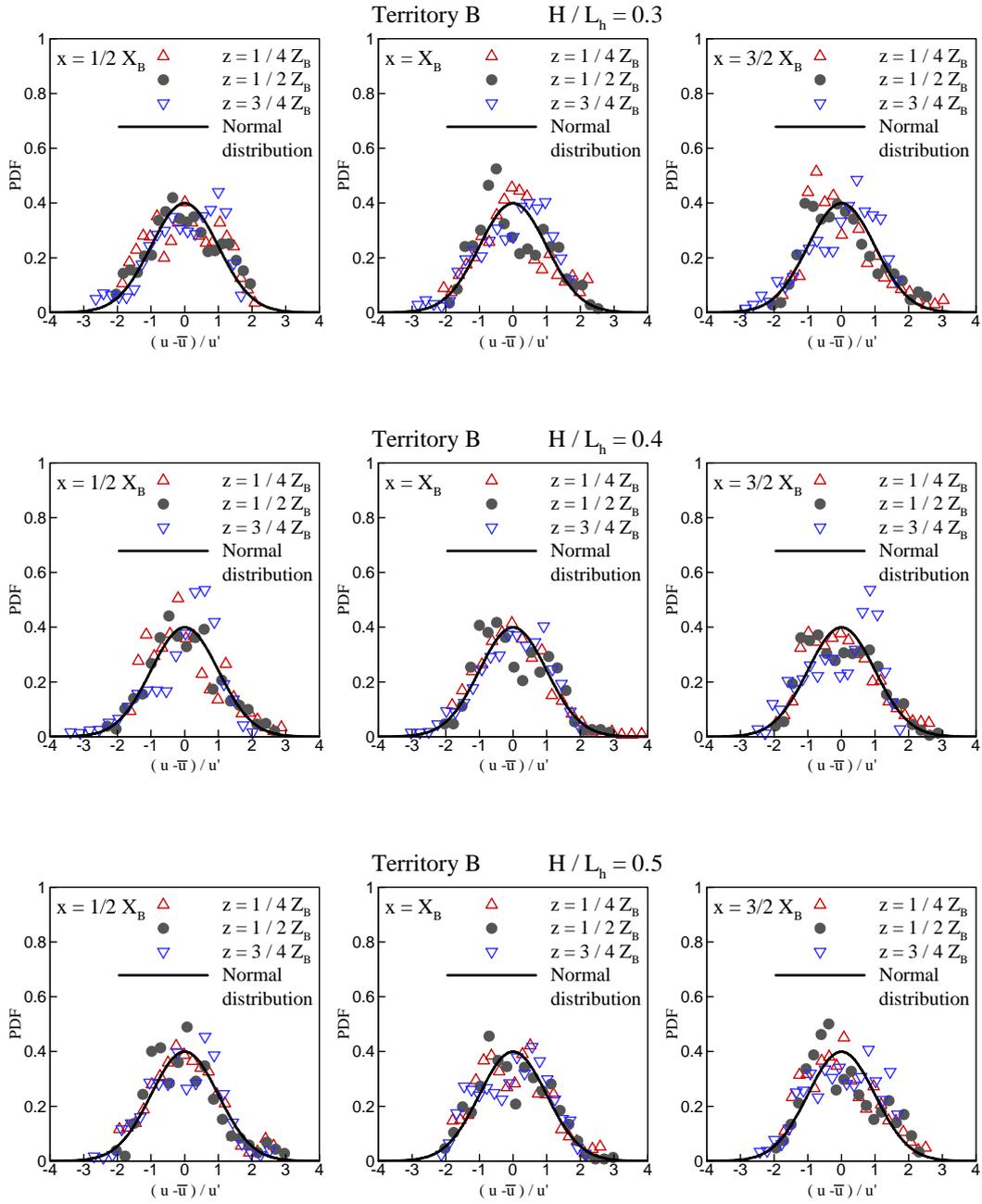


圖 5-3. 山丘迴流區內風速變化之機率分佈圖(續)

資料來源：本研究整理

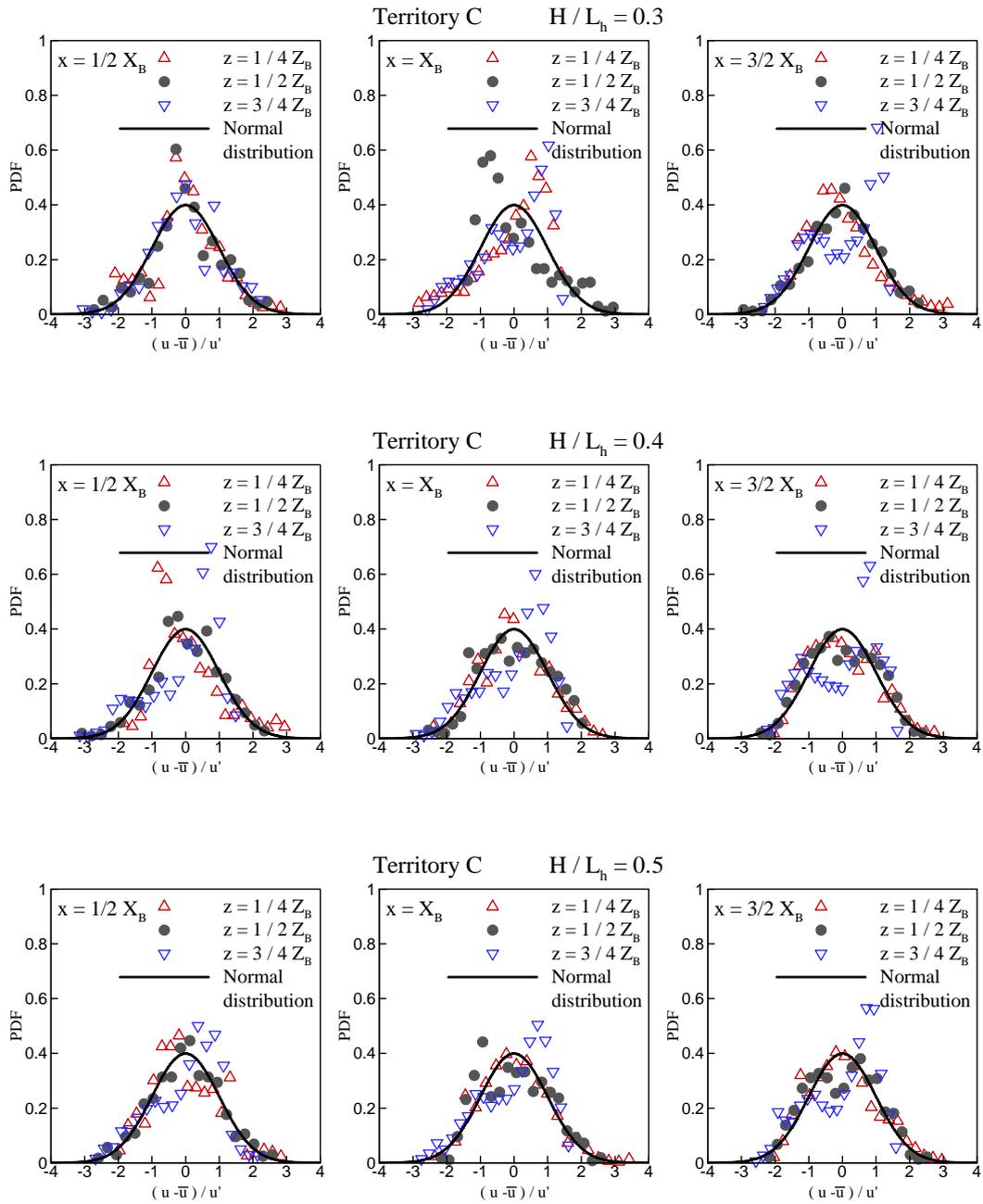


圖 5-3. 山丘迴流區內風速變化之機率分佈圖(續)

資料來源：本研究整理

2. 表徵風速剖面飽滿度之指標

規範中風速壓之計算係基於準穩定定理，依風速剖面求得。因風速剖面數量繁多而難以一一作細部比對，研究中決採風速剖面垂直積分的「厚度」作為指標。常用之厚度指標有位移厚度(displacement thickness; δ_1)與動量厚度(momentum thickness)。前者可以用來量化顯示風速剖面之飽滿度，應是一個不錯的選擇；後者乃表徵動量虧損，然在物理意義上較不契合本研究中分析之需求。

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

第三節 規範之建議

針對數值模擬與規範建議風速剖面在位移厚度之比較結果得知，在懸崖與山丘方面規範有低估之虞(參見圖 4-27 至圖 4-35)。經細部檢討，建議將規範值修正如表 5-1 所示。圖 5-4 與圖 5-9 顯示，修正後規範建議風速剖面相應之位移厚度在坡度變化範圍內較數值模擬結果為低，已屬保守之結果。

表 5-1. 建議修正與原規範值比較表

		$\frac{K_1}{(H/L_h)}$			γ	μ	
		地況				上風側	下風側
		A	B	C			
懸崖	原規範建議值	0.75	0.75	0.85	2.5	1.5	4.0
	建議修正值	2.20	1.80	1.40	2.0	1.5	10
山脊	原規範建議值	1.30	1.30	1.45	3.0	1.5	1.5
	建議修正值	2.45	2.00	1.60	2.0	2.0	2.0
山丘	原規範建議值	0.95	0.95	1.05	4.0	1.5	1.5
	建議修正值	2.80	2.10	1.50	2.0	2.0	2.0

資料來源：本研究整理

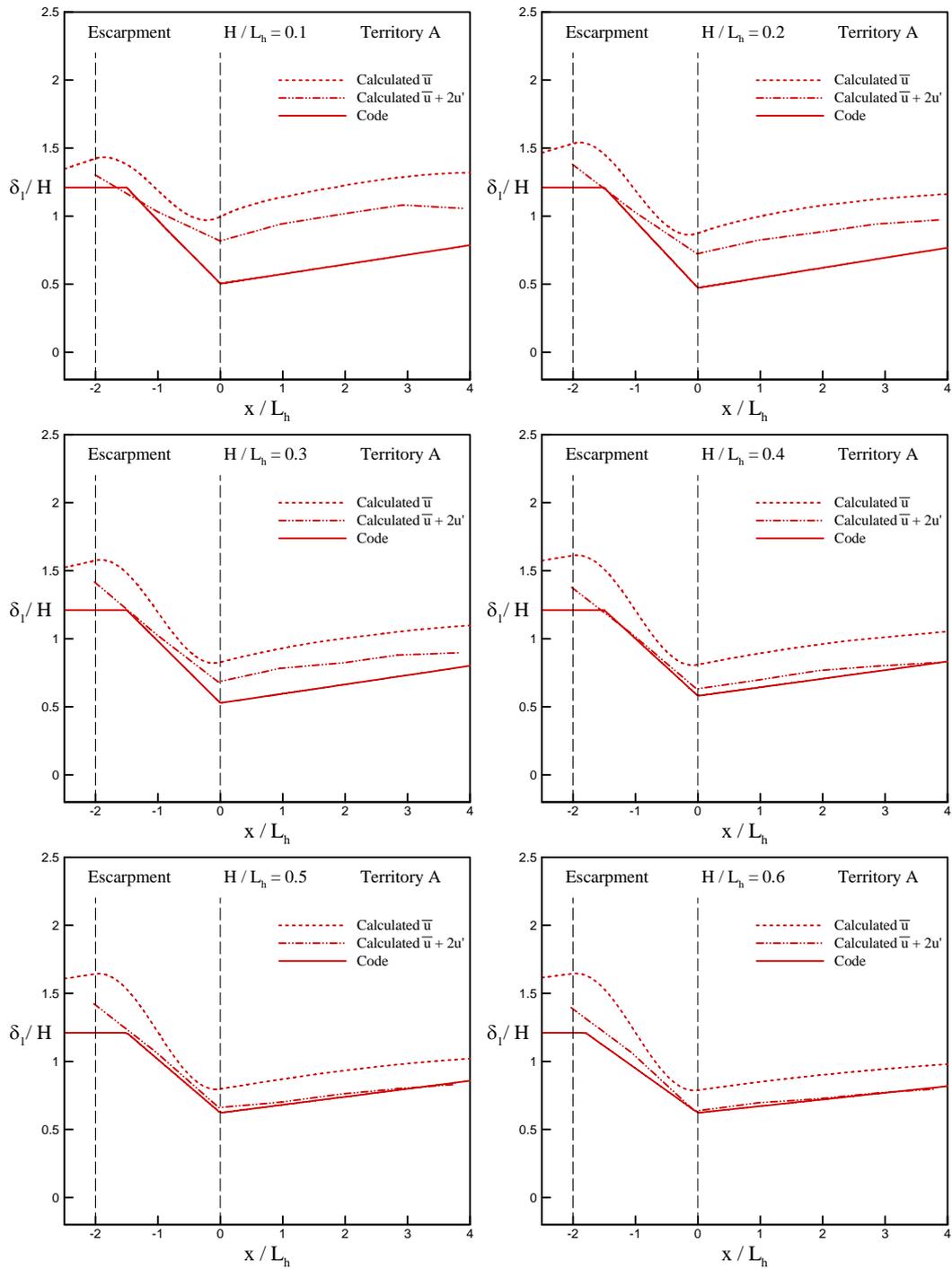


圖 5-4. 懸崖數值與規範值修正後位移厚度比較圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

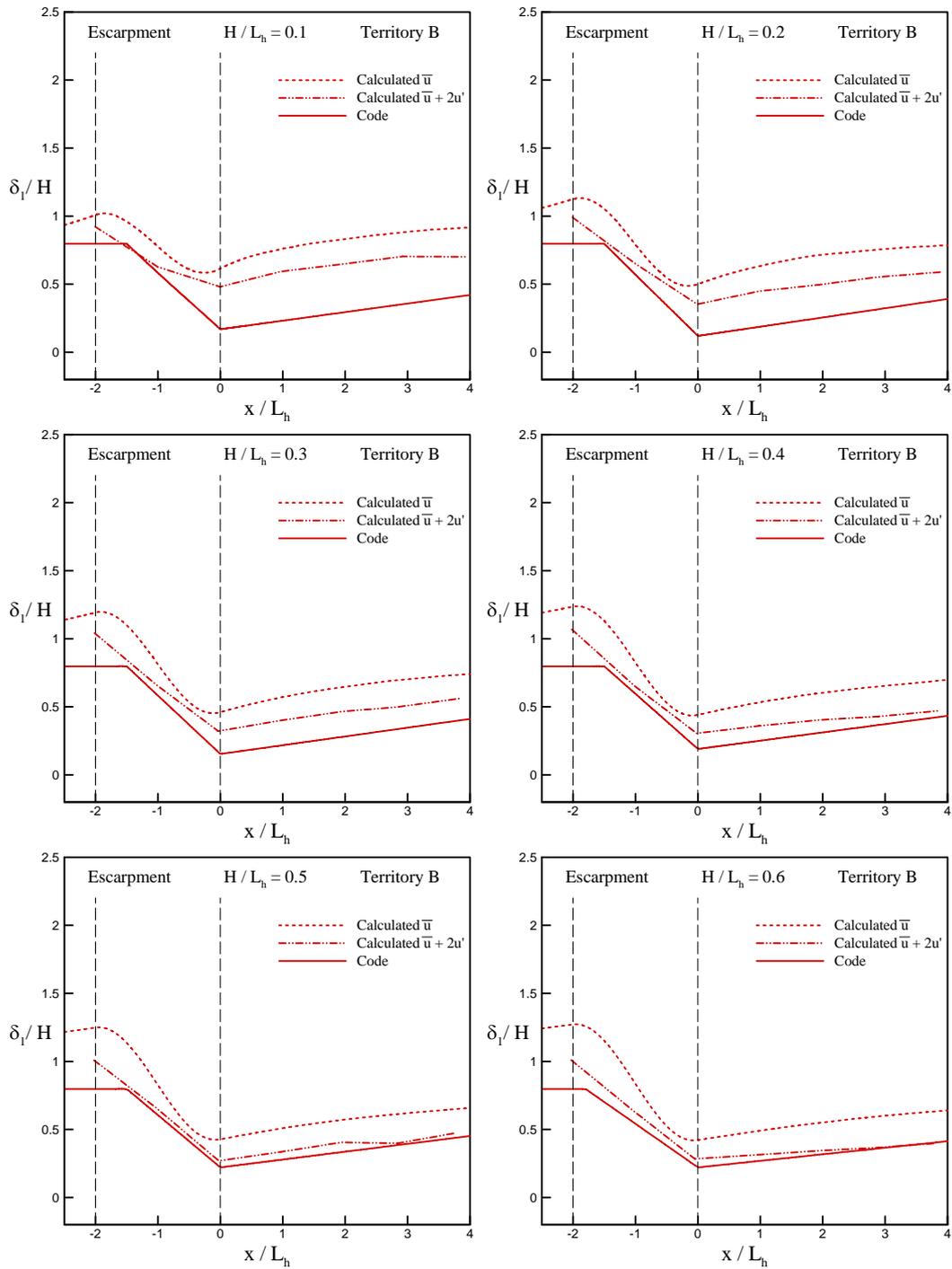


圖 5-5. 懸崖數值與規範值修正後位移厚度比較圖(B 地況)
 資料來源：本研究整理

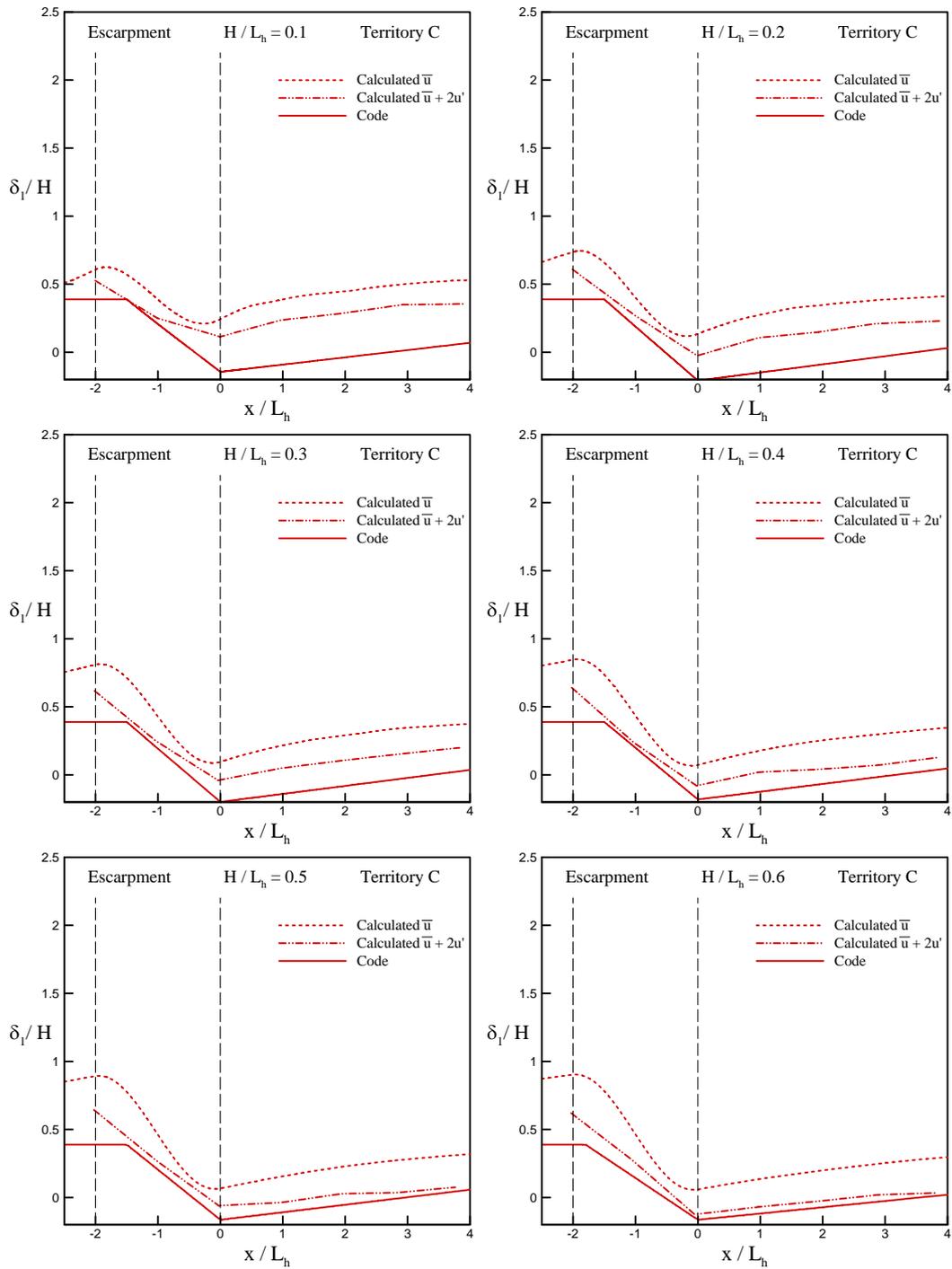


圖 5-6. 懸崖數值與規範值修正後位移厚度比較圖(C 地況)

資料來源：本研究整理

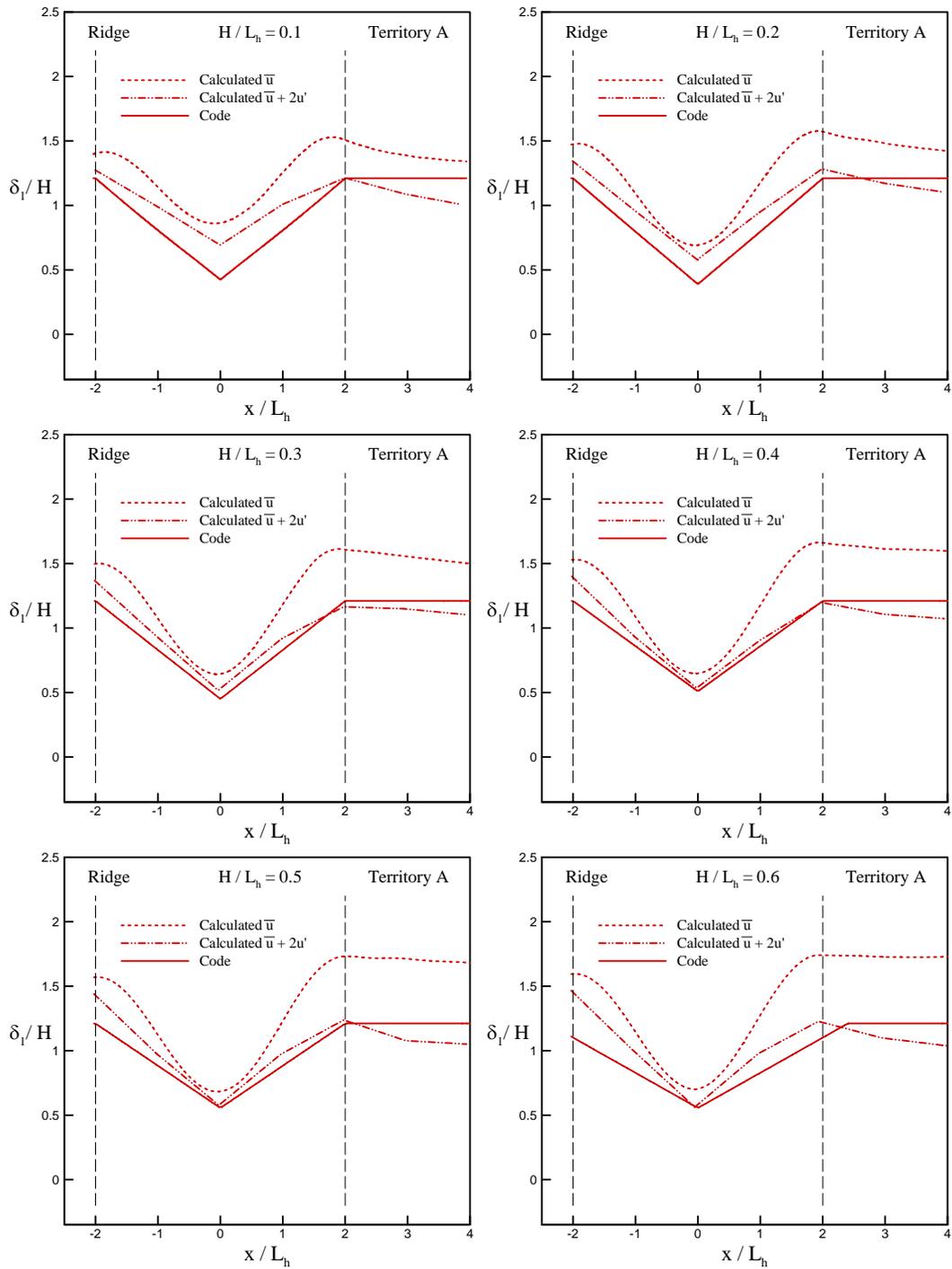


圖 5-7. 山脊數值與規範值修正後位移厚度比較圖(A 地況)

資料來源：本研究整理

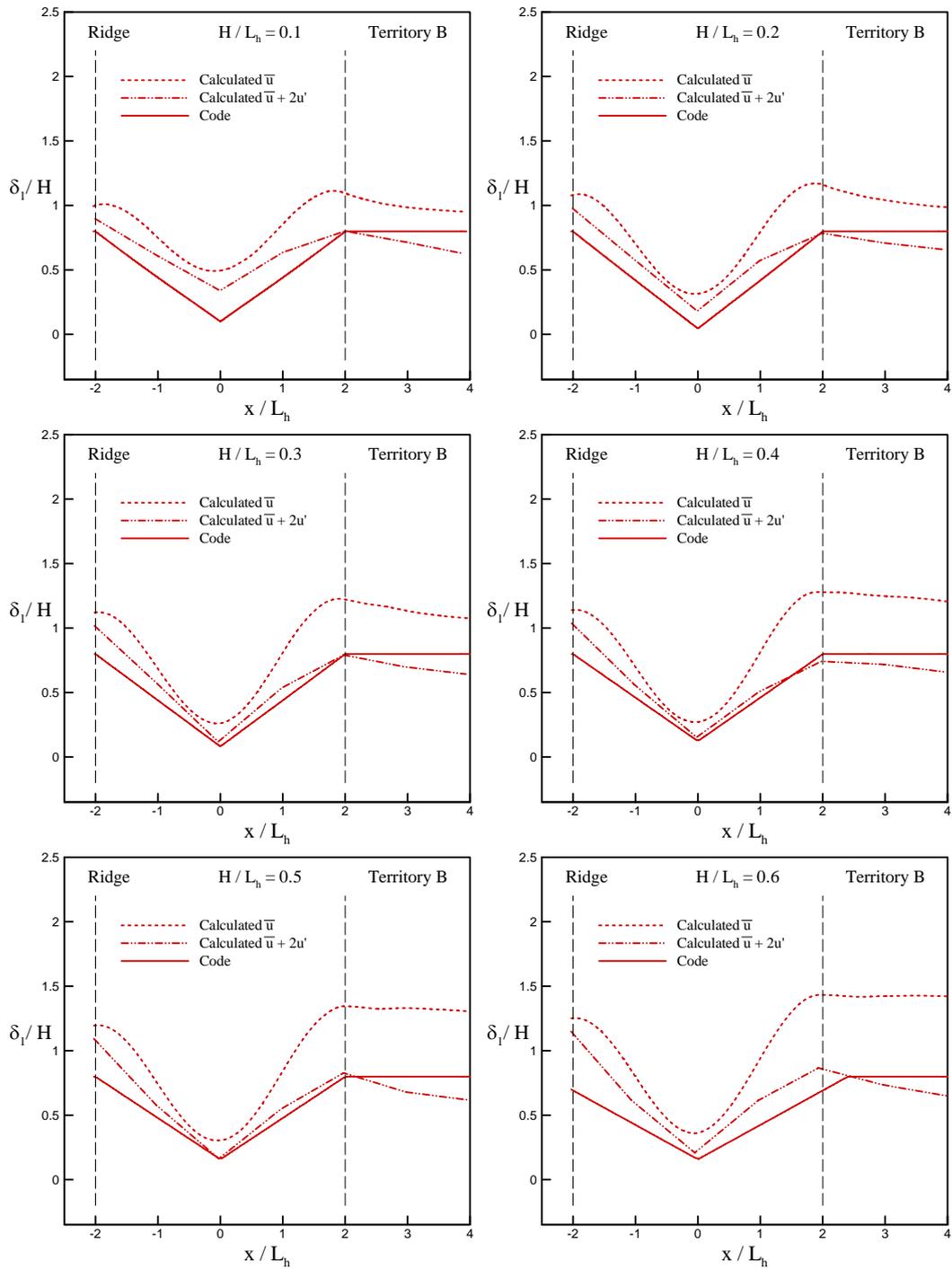


圖 5-8. 山脊數值與規範值修正後位移厚度比較圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

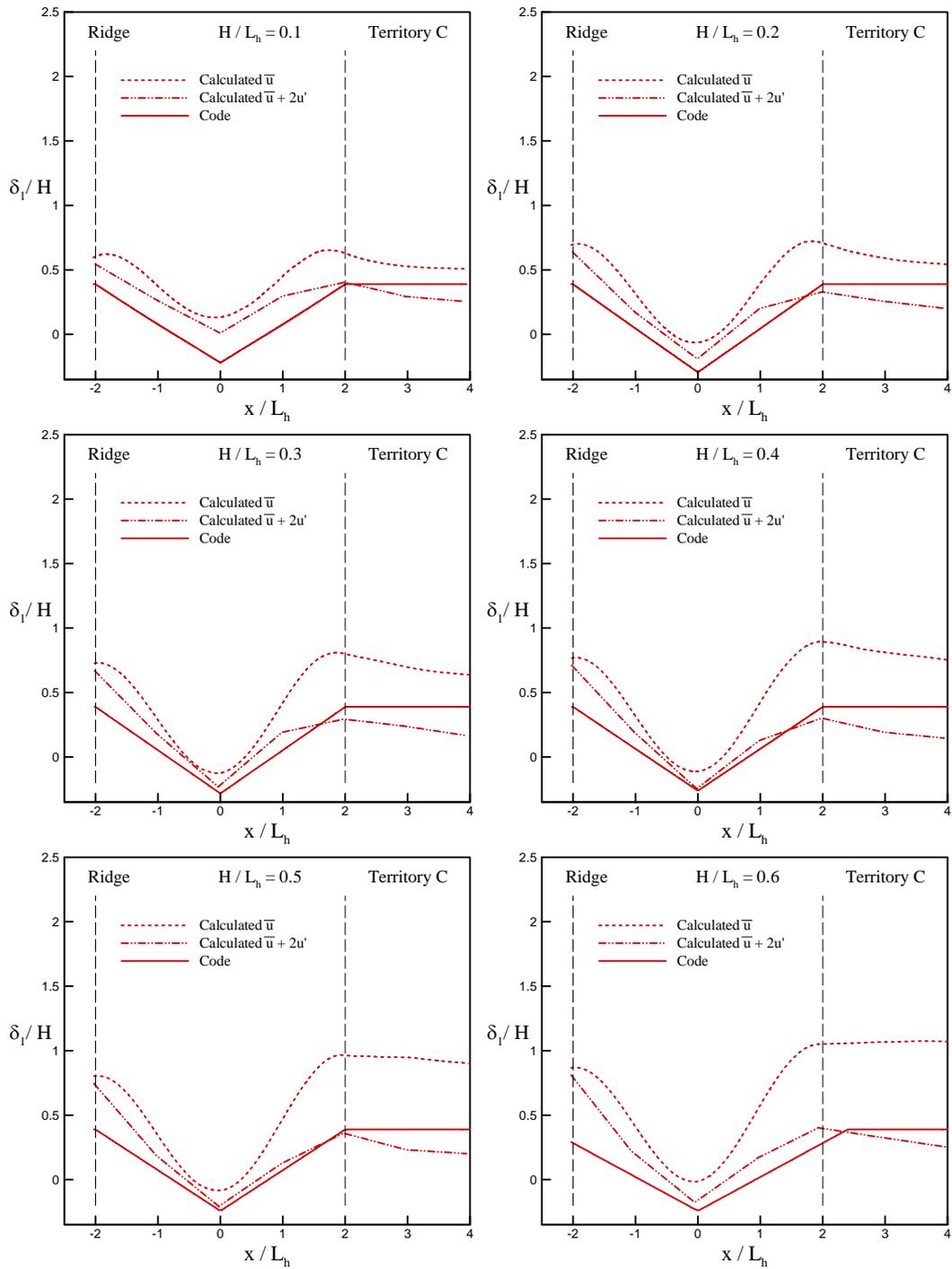


圖 5-9. 山脊數值與規範值修正後位移厚度比較圖(C 地況)

資料來源：本研究整理

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

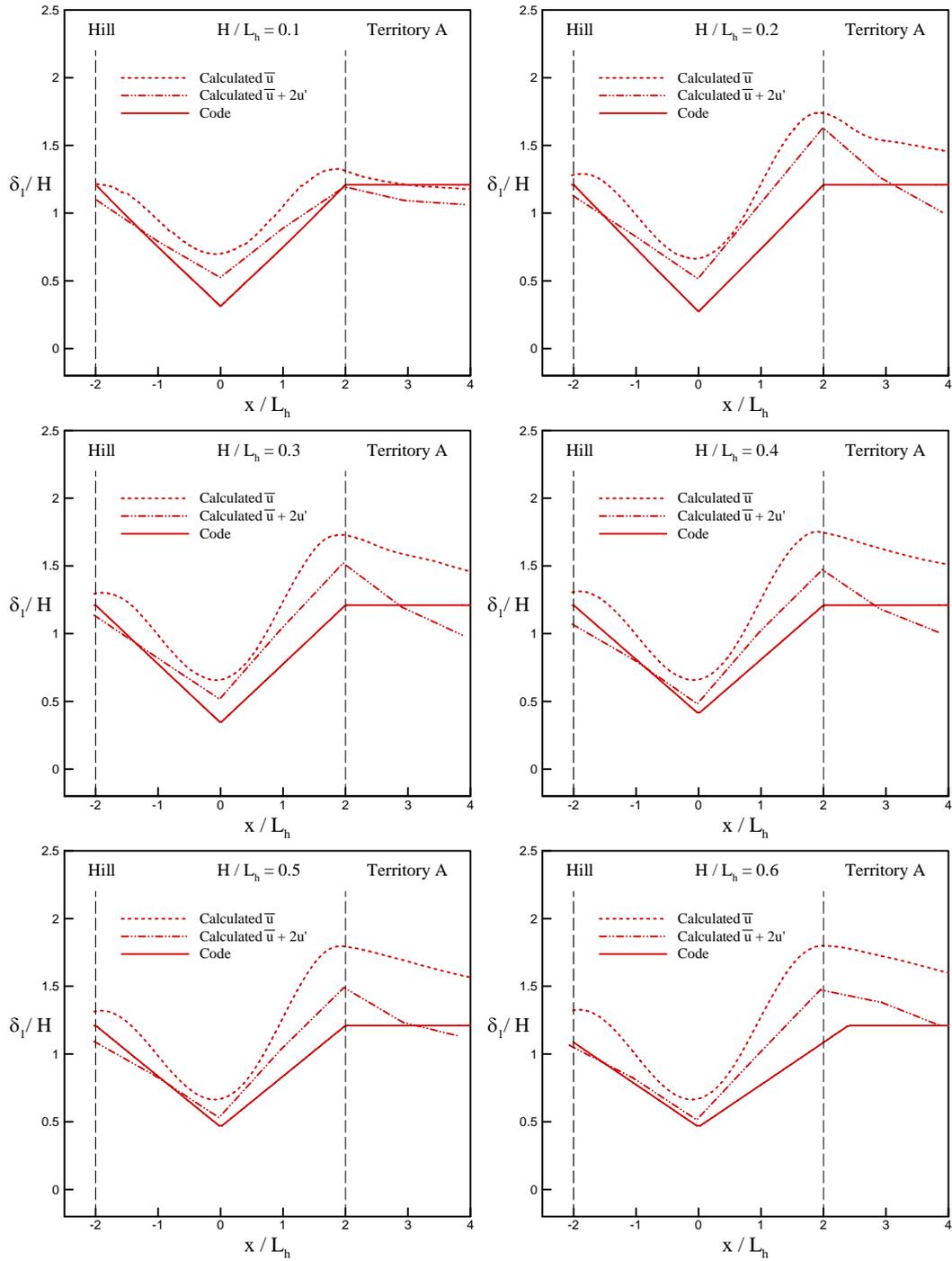


圖 5-10. 山丘數值與規範值修正後位移厚度比較圖(A 地況)
資料來源：本研究整理

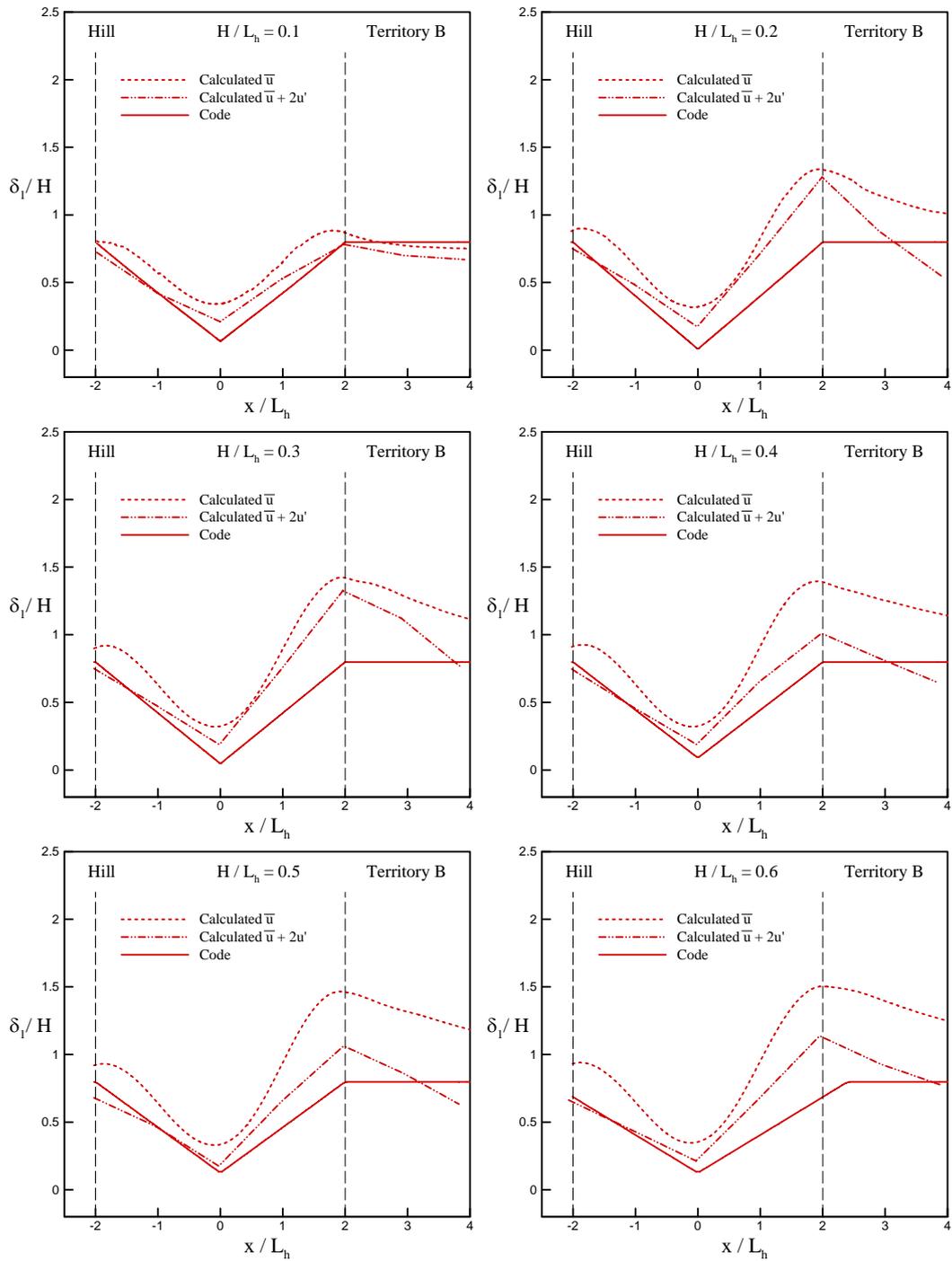


圖 5-11. 山丘數值與規範值修正後位移厚度比較圖(B 地況)

資料來源：本研究整理

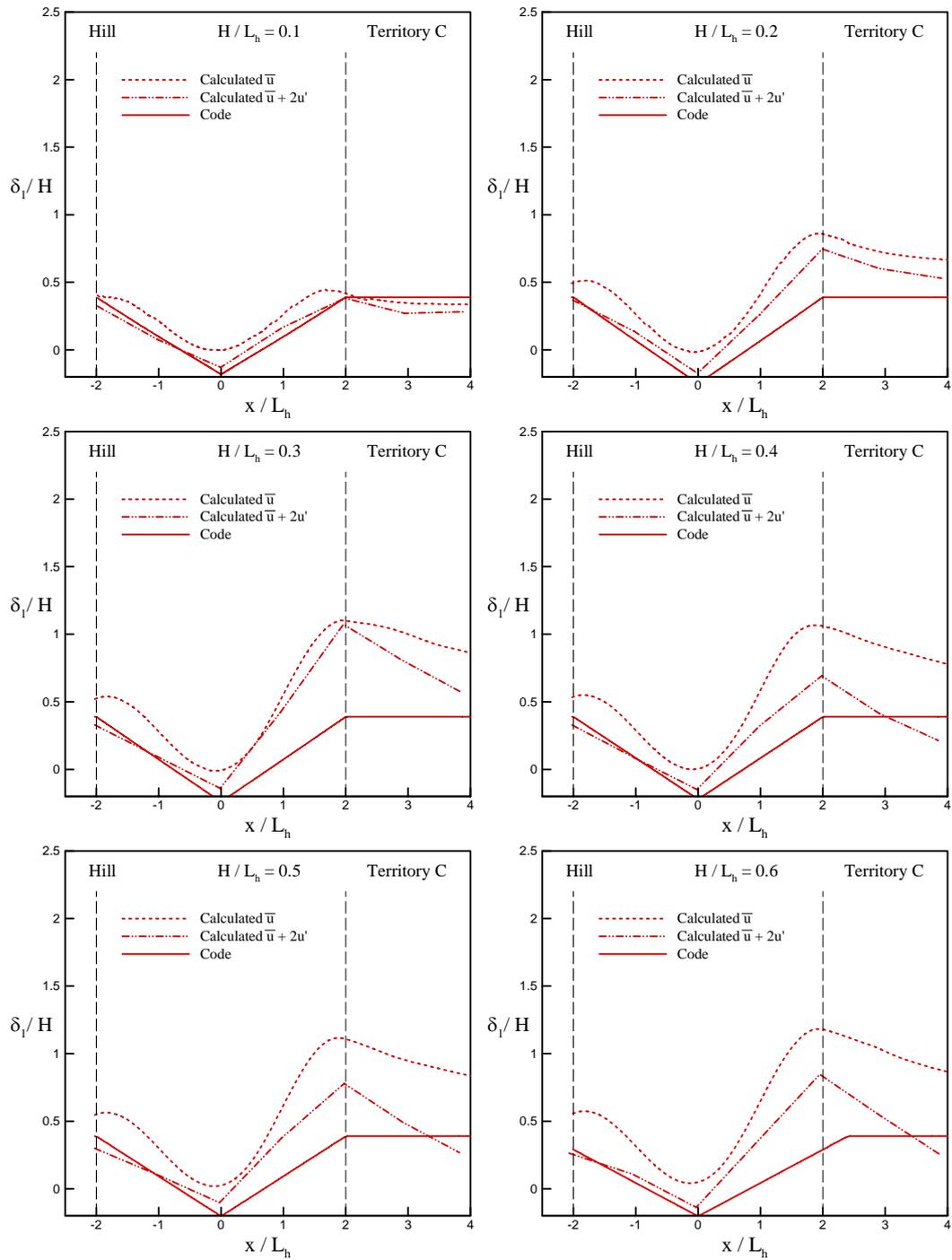


圖 5-12. 山丘數值與規範值修正後位移厚度比較圖(C 地況)
資料來源：本研究整理

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究針對二維懸崖、二維山脊與三維山丘三種基本特殊地形，在選定的坡度範圍中以數值模擬的方法探討其風速剖面。研究中首先進行風洞試驗量測，以獲得數值模式計算準確性比對之依據。數值模式預測結果經驗證後，繼於高雷諾數的情況系統化地進行風場模擬。其結果除用以建構風場資料庫外，並與現行規範進行比較與檢討。最後，研究中並提出了相關之修正建議。獲得的初步結論計有如後六項：

- 一、完成了二維懸崖、二維山脊與三維山丘($H/L_h=0.3$ 與 0.5)風洞試驗風速剖面量測。
- 二、完成了 WCF 數值模式在二維懸崖、二維山脊與三維山丘風場預測準確性之驗證。
- 三、建立了二維懸崖、二維山脊與三維山丘風場資料庫，其變化參數包括 3 種地況(A、B 與 C)與 6 個坡度比($H/L_H=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$)，共計 54 個案之風場結果。
- 四、完成了二維懸崖、二維山脊與三維山丘風場特性之檢視。
- 五、完成了風速剖面數值結果與規範建議值之比對與檢討。
- 六、提出了相關規範之修正建議。

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

第二節 建議

本研究建議事項分述：

建議一

增加應用數值模擬分析風工程相關研究課題：立即可行建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：行政院其他相關部會

研究中應用之微可壓縮流風場模擬軟體具有不錯之預測能力。依據專家諮議會議中委員之意見，建議爾後能多提供相關 CFD 應用之研究案，以更進一步地發揮數值模擬方法在建築研究之功效。

建議二

針對相關風力設計規範提出了修正建議：立即可行建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：行政院其他相關部會

依據模擬之風速剖面與現行規範在位移厚度之比較結果，研究中針對地形係數(K_{zt})提出了修正建議(詳表 5-1)，以為爾後相關規範修訂之參考。

建議三

於建築研究所風洞試驗室增設 CFD 實驗室或研究團隊：中長期建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：行政院其他相關部會

國際知名的大型風洞試驗室多配置有 CFD 實驗室或研究團隊，除了在實驗上提供服務能量外，亦能配合數值計算以建立數值風洞的機制，在風場分析上達到相輔相成之功效。建議未來建研所風洞試驗室應作 CFD 實驗室或研究團隊建制之規劃，以更提昇其服務能量與研究能力。

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

附錄一 期中會議意見回覆

審 查 意 見	回 覆
<p>一、中華民國結構技師公會全國聯合會 蔡東和技師：</p> <p>1. 本研究係針對本土環境及地形影響風力之研究，期待本研究成果能使設計者更能有效掌握風力對結構物之影響。</p> <p>二、萬能科技大學 陳遠斌教授：</p> <p>1. 風洞實驗之風速量測取樣頻率為 512 Hz，歷時 65 秒，建議說明取樣原則。其是否與模型比例尺相關？另本研究實驗模型未載明模型製作比例。</p> <p>三、中央大學 朱佳仁教授：</p> <p>1. 本研究之模型坡面上的平滑或粗糙程度是否會影響風速剖面，可否針對此影響加以探討？</p> <p>2. 本研究之風速量測是否採用二維探針？若是，其方向是否為縱向(x)和垂直向(z)？建議於期末報告中增加紊流強度剖面之擾動量探討。</p>	<p>本研究係針對現行規範中有關風速壓之計算在特殊地形情況下地形係數之檢討。除建立風場資料庫以供設計者作細部分析外，亦整合平均與均方根風速剖面結果，使分析者有更佳之掌握度。</p> <p>一般針對流體為空氣之量測，其採樣頻率多採用至少 1000Hz 之採樣頻率，據以統計分析流場之紊流特性。縮尺效應之影響應不顯著。</p> <p>地表之平滑或粗糙程度應會造成風場在接近地面處結果之些許不同。然規範中較著重於坡度地形變化對風場剖面之影響，屬於巨觀之考量，本計畫乃以平滑地面之考慮方式進行分析。</p> <p>本計畫在風洞試驗之風速量測係採用二維之熱線探針。依委員之建議，已於期末報告中納入風速剖面擾動量之討論。</p>

<p>3. 報告書第 24 頁採不同的來流邊界層緣風速 $U_{\delta}=11$ 及 14 m/s, 與模型上量測之風速剖面是否會有差異, 請加以說明。</p> <p>4. 報告書第 28 頁 (4.6)、(4.7)與 (4.9) 式中, x_j 是否應為 x_i?</p> <p>5. 數值模式中靠近邊壁處是否有使用牆函數(wall function)?</p> <p>6. 建議本研究就紊流強度剖面, 比較數值模擬與風洞試驗所得結果之差異性。</p> <p>四、海洋大學 張景鐘教授：</p> <p>1. 本研究以風場數值模擬為主, 風洞試驗為輔, 建議增加實地量測, 進行三項資料比對, 則本研究成果將更有正確性。</p>	<p>報告中風速剖面圖形均以無因次之方式呈現。儘管風速有程度上的差異, 然驗證部份之數值模擬係依據風洞試驗量測剖面作為輸入與比對之基礎, 應不致造成問題。</p> <p>謝謝指正, 報告書中已修正(4-6)式、(4-7)式、(4-9)式。</p> <p>一般使用 $k-\varepsilon$ 紊流模型時確需使用牆函數以彌補紊流消散率(ε) 在反映固體邊界條件物理特性之不足。然在本研究中數值模擬係採用空間平均之大渦紊流模式, 並無使用牆函數之必要。</p> <p>依委員建議, 已於期末報告中納入風速剖面擾動量之討論。</p> <p>本研究在計畫書中設定以數值模擬與風洞試驗之驗證的方法執行, 主要著眼於此二方式在執行時之風場情況可以作有效的掌控。誠然, 現場監測更能增益成果之充實度, 然其涉及相當之工作能量與必要之設備, 且應以長期持續之方式進行。在本計畫有限之執行期限內, 尚無法推行。</p>
---	--

<p>2. 本研究所提之懸崖、山脊與山丘三種情況之名詞定義、圖形與文字說明宜更加明確。</p> <p>3. 風洞試驗中懸崖模型之上昇坡採用餘弦波(cosine curve)，山脊模型下降坡段採直線斜坡製作，與規範圖形示意圖皆採圓滑曲線有所不同，請說明考量理由。</p>	<p>為避免混淆並提高規範之親和度，本計畫已針對現有規範中有關特殊地形之中文名詞(懸崖、山脊)與相關之圖示提出修正建議。</p> <p>由於風洞地板為水平面，模型之擺設則有實際技術面的問題待克服。於風洞試驗中，在降低因模型擺設而引起的風場不確定度前提下，於山脊情況則需於其上游處加設緩昇(傾斜)段與水平段，以確保來流之風況品質。至於在懸崖情況，其後亦需加設水平段與緩降(傾斜)段，以維持地面之連續性。由於風洞試驗之結果乃為數值模擬驗證之用，而在數值模擬驗證中係以風洞試驗之來流風況作為入流條件，並以量測之風場作為比對之基礎，故無不一致之情形發生。</p> <p>此外，在後續系統化模擬以建構風場資料庫部份之數值模擬工作中，則不考慮傾斜段與水平段之存在，以契合實際之狀況。</p> <p>最後，研究中懸崖、山脊與山丘之坡面部份係以餘弦曲線描述，以確保單側坡面變化之連續性(規範中並未針對坡面之形狀作明確之定義)。</p>
--	---

特殊地形中風速剖面之檢討與相關設計規範之建議

附錄二 期末會議意見回覆

審 查 意 見	回 覆
<p>一、胡銘煌總監：</p> <p>1. 本案針對風速壓計算式 K_{zT} 中分別代表懸崖、山脊及山丘之修正係數 K_1、K_2 及 K_3 進行應用研究，對風速壓剖面加以檢討，本案之研究成果對規範之影響建議，請更明確描述，提供設計人引用。</p> <p>2. 研究成果很有價值應能提供實務使用。</p> <p>二、蔡益超教授：</p> <p>1. 懸崖與山脊為 2D，在風洞試驗中其長度夠長否？請加以說明。</p> <p>2. 山脊應有稜線，沒有平台，於模擬時是否應以有稜線者為準。</p> <p>3. $K_{zT} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$ 其 K_1、K_2 及 K_3 不一定相乘，或取一次方，建議可依本案之研究成果，改其他數學式回歸。</p>	<p>遵照委員之建議，於期末報告中將有關 K_1、K_2 及 K_3 等係數作更明確之描述與修正(詳第五章第三節)。</p> <p>謝謝委員對本計畫研究成果之肯定，提供實務使用實為本計畫之主要目標之一。</p> <p>在風洞試驗中，模型坡度為 15cm，寬度為 4m，而風速剖面量測係於中心截面(2m 處)完成，其風場行為應具有不錯之二維行為。</p> <p>謝謝委員之提醒，將針對此點再予檢核並於期末報告中作必要之修正。</p> <p>將考量委員之建議，再針對數值模擬風速剖面資料庫之整體評估，尋求適當 K_{zT} 之修正方式。</p>

<p>三、王亭復技師：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 在坡面段後近地面處平均風速剖面之實驗值與數值分析值及規範與數值分析有所差異（圖 4.3 ~ 4.5 及圖 4.9 ~ 4.11，圖 4.15 ~ 4.17），本研究認為量測值不能反應風場行為，但如何認定數值分析值為正確值，建議進一步加以討論以修訂規範值。2. 本研究之結論對於現行規範地形係數 $K_{zt}(K_1、K_2、K_3)$ 之建議如何應更明確說明。3. CFD 模型分析軟體是否為開放程式，否則成立該軟體之使用研究室或團隊是否合宜？又該團隊之配置設備規模或常設性又如何？建議一併加以考量。	<p>在風洞試驗中，因模型相應之雷諾數遠較實場情況為低，故模型試驗量測值尚不能反應真實情況之風場行為，而於研究中僅能作為在低雷諾數情況下數值模擬結果比對之依據。本研究採用之數值模式乃主持人發展逾廿年之研究型軟體，並已在諸多學術期刊中呈現了其在風場預測之準確性。</p> <p>遵照委員之建議，於期末報告中將有關 $K_1、K_2$ 及 K_3 等係數作更明確之描述與修正(詳第五章第三節)。</p> <p>如同一般之 CFD 軟體，本研究採用之 WCF 風場數值模擬程式之執行者應具有一定之專業水準且需受相當程度之前置訓練，否則將無從獲得正確之預測結果。如果未來歸仁風洞試驗室有 CFD 研究室或團隊之編制，則較容易進行 CFD 軟體之訓練。本研究在報告中有提出有關建研所在歸仁風洞試驗室增設常設性 CFD 研究室或團隊之建議，以增益本國家級試驗室在風場分析之能力，期望在不久之將來能夠達成。</p>
---	--

附錄三 專案諮詢會議意見回覆

內政部建築研究所委辦計畫專家諮詢會議

計畫名稱：特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

日期：98年10月8日(下午 2:30 -5:00)

地點：國立中興大學土木環工大樓 328 室

主持人：方富民

出席專家：

中興大學 水土保持系 黃隆明 教授



建國科技大學 空間設計系 陳若華 教授



虎尾科技大學 休閒遊憩系 梁大慶 教授



專 家 意 見	回 覆
<p>一、中興大學 黃隆明教授：</p> <p>1. 在數值模擬中，計算區範圍之選定原則為何？請說明與實際情況之差異。</p> <p>二、建國科技大學 陳若華教授：</p> <p>1. 三種特殊地形中若坡面過陡，是否會發生極端情況？</p> <p>2. 研究中僅探討 x 方向之風速 (u)，在水平 y 方向與垂直 z 方向如何？</p>	<p>儘管探討對象包括二維(懸崖、山脊)與三維(山丘)的情況，研究中之數值模擬均以三維之計算進行，以獲得更理想之結果，也因而需用大量的計算能量。此外，實際問題中涉及之空間區域應假定為無窮大者，然為兼顧計算精確度與計算效益，在進行數值模擬之初即需作計算區範圍大小對結果準確度之測試，以決定計算區範圍。</p> <p>規範中坡度指標(H/L_h)之建議範圍僅限於 0.1 至 0.5 間(坡度約在 25% 以下)。在實際情況若建築物地面坡度有更陡之情況，建議進行風洞試驗。事實上，依據現有的法規，陡坡屬禁建區。</p> <p>整體上，風速之大小應考慮在 x、y 與 z 三個方向之分量。檢視研究結果發現，y 方向之風速分量相對相當小；坡面附近雖然流線有傾斜，然其風速低，故影響並不顯著。當遠離坡面時，風速漸增，但流線亦趨水平。另一方面，由於規範中僅以縱向水平之風速部份呈現，本研究即依循其處理方式進行檢視與探討。</p>

<p>3. ANSI/ASCE7-05 已將 A 地況刪除，是否有考慮本地況之必要？</p> <p>三、虎尾科技大學 梁大慶教授：</p> <p>1. 研究中以位移厚度(δ_1)作為與規範建議值之比對指標，考量為何？</p> <p>2. 建議爾後能多提供相關 CFD 應用之研究案，以更進一步地發揮數值模擬方法在建築研究之效率。</p>	<p>在本國規範尚未隨之更動前，本研究仍將呈現 A 地況之結果。</p> <p>規範中風速壓之計算係基於準穩定定理，依風速剖面求得。因分析風速剖面數量繁多而無法一一作細部比對，研究中決定採用風速剖面垂直積分的「厚度」作為指標。常用之厚度指標有位移厚度(δ_1)與動量厚度。前者可以量化顯示風速剖面之飽滿度，應是一個不錯的選擇；後者乃表徵動量虧損，然在物理意義上較不契合本研究分析之需求。</p> <p>遵照委員之意見，於期末報告中提出建議。</p>
--	--

內政部建築研究所委辦計畫專家諮詢會議

計畫名稱：特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

日期：98年11月21日(上午9:00-11:00)

地點：國立中興大學土木環工大樓206室

主持人：方富民

出席專家：

雲林科技大學 營建工程系 彭瑞麟 教授



大漢技術學院 土木工程系 黃中和 教授



中興大學 土木工程系 黃玉麟 教授



專 家 意 見	回 覆
<p>一、雲林科技大學 彭瑞麟教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在規範中高度 5 米以下係以 5 米高之風速值計算風速壓，研究中是否有考慮？請說明。 2. 實際情況之山形變化未必能以懸崖、山脊或山丘等三種基本地形描述，在設計上應如何因應？ <p>二、大漢技術學院 黃中和教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 研究中僅針對順風 (along wind) 向作探討，其結果是否也適用於橫風 (across wind) 向之設計考慮？ 2. 在風場數值模擬中並未考慮地面之粗糙度，其引致之差異是否顯著？ 	<p>在計算規範值相應之位移厚度 (δ_1) 時確有考慮此一因子。</p> <p>實際上山形之變化形式複雜，恐非規範中三種基本地形作全然之描述，在設計觀念上應以保守為原則。甚而，可考慮以專案研究的方式進行風場之解析。</p> <p>誠然，本研究係以順風向之風速壓估算為探討之主軸，並未針對橫風向之效應進行剖析。不過，規範之精神應有其一貫性，故本研究之結果應具應用性。</p> <p>在風場數值計算中並未考慮地面粗糙度之影響，主要是因為在 CFD 應用中，地面粗糙度效應之模擬尚值研究階段，目前尚無一個可以獲得精確結果之數值處理方法。另一方面，由於地面粗糙度造成之影響主要發生在極接近地面的地區，對整個高度區域中所占比例低，其引致之差異應相當有限。</p>

<p>三、中興大學 黃玉麟教授：</p> <p>1. 研究中風速剖面之模擬並未考慮建築物本身對風場之影響，請說明。係基於，</p> <p>2. 有鑑於 CFD 之應用可以獲得系統化分析之整體性資料，提供相關風力分析詳盡之數據，建議主管單位爾後能多提供相關之研究案。</p>	<p>實際情況中建築物本身確實會對鄰近之風場造成影響，繼而改變其表面風壓。然而，在規範中風速壓之計算係以不考慮建築物存在之情況下之風速剖面為基準，依據準穩定定理求得。本研究乃依循規範之既有精神進行風速剖面之解析。</p> <p>遵照委員之意見，本建議將於期末報告中提出。</p>
--	---

參考書目

- [1] 「建築物耐風設計規範及解說」, 2006, 內政部建築研究所。
- [2] 方富民、陳若華、陳鉅昌 (2008), 「建築結構所受風力之數值模擬與風洞實驗比較驗證研究」, 內政部建築研究所計畫報告, 計畫編號 097301070000G1015。
- [3] Ferreira, A., Lopes, A., Viegas, D. and Sousa A. (1995), “Experimental and numerical simulation of flow around two-dimensional hills,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 54/55, pp. 173-181.
- [4] Kim, H., Lee, C., Lim, H. and Kyong, N. (1997), “An experimental and numerical study on the flow over two-dimensional hills,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 66, pp. 17-333.
- [5] Carpenter, P. and Locke, N. (1999), “Investigation of wind speeds over multiple two-dimensional hills,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 83, pp. 109-120.
- [6] Ishihara, T., Hibi, K. and Oikawa, S. (1999), “A wind tunnel study of turbulent flow over a three-dimensional hills,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 83, pp. 95-107.
- [7] Cao, S. and Tamura T. (2006), “Experimental study on roughness effects on turbulent boundary layer flow over a two-dimensional steep hill,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 94, pp. 1-19.
- [8] Takahashi, T., Ohtsu, T., Yassin, M., Kato, S. and Murakami, S. (2002), “Turbulence characteristics of wind over a hill with a rough surface,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 90, pp. 1697-1706.
- [9] Takahashi, T., Kato, S., Murakami, S., Ooka, R., Yassin, M. and Kono, R. (2005), “Wind tunnel tests of effects of atmospheric stability on turbulent flow over a three-dimensional hill,” *Journal of Wind Engineering and*

- Industrial Aerodynamics, Vol. 93, pp. 155-169.
- [10]Lubitz, W. and White, B. (2007) “Wind-tunnel and field investigation of the effect of local wind direction on speed-up over hills,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 95, pp. 639-661.
- [11]Miller, C. and Davenport, A. (1998), “Guidelines for the calculation of wind speed-ups in complex terrain,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 74-76, pp. 189-197.
- [12]Weng, W., Taylor, P. and Walmsley, J. (2000), “Guidelines for air flow over complex terrain: model developments,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 86, pp. 169-186.
- [13]American Society of Civil Engineering (2002), “Minimum design loads for buildings and Other Structures,” ANSI/ASCE7-02.
- [14]Song, C.C.S. and Yuan, M. (1988), “A weakly compressible flow model and rapid convergence methods,” Journal of Fluids Engineering Transactions ASME, Vol. 110, pp. 441-455.
- [15]Fang, F.M., Li, Y., Liang, T. and Chen, C. (2007), “Investigation on the aerodynamic instability of a suspension bridge with a hexagonal cross-section,” Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 30, No. 6, pp. 1009-1022.
- [16]Fang, F.M., Li, Y., Liang, C. and Chen, J. (2005), “Numerical predictions on the dynamic response of a suspended bridge with a trapezoidal cross-section,” Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 28, No. 2, pp. 281-291.
- [17]Fang, F.M., Ueng, J. and Chen, J. (2002), “Numerical investigations on the along-wind response of a vibrating fence under wind action,” Wind and Structures, Vol. 5, No. 2-4, pp. 329-336.
- [18]Fang, F.M., Chen, J. and Hong, Y. (2001), “Experimental and analytical evaluation of flow in a square-to-square wind tunnel contraction,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 89, pp. 247-262.
- [19]Smagorinsky, J. (1963), “General Circulation Experiments with Primitive Equations,” Month Weather Review, Vol. 91, No. 3, pp. 99-164.

特殊地形中風速壓剖面之檢討與相關設計規範之建議

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：方富民、陳鉅昌

出版年月：98 年 12 月

版次：第一版

ISBN：978-986-02-1454-3(平裝)