

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

河川水位變化對於護岸邊坡穩定之影響

Effect of Water Level Variation in River Channel on
Slope Stability of Embankment

研究生：江效丞

指導教授：單信瑜 博士

中華民國一〇一年八月

河川水位變化對於護岸邊坡穩定之影響

Effect of Water Level Variation in River Channel on Slope Stability of Embankment

研究生：江效丞

Graduate Student : Hsiao-Cheng Chiang

指導教授：單信瑜 博士

Advisor : Dr. Hsin-Yu Shan

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Science

in

Civil Engineering

August, 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇一年八月

河川水位變化對於護岸邊坡穩定之影響

研究生：江效丞

指導教授：單信瑜 博士

國立交通大學土木工程學系

摘要

早期的河川護岸工程施作以安全為主，多使用以鋼筋混凝土為主的人造剛性結構物，鮮少考量施作後對原本天然條件的改變和生態的影響為何。近年來，隨著國際間對生態重視度提高，較能與生態取得平衡點的生態工法概念逐漸成為主流，工程上開始考量使用天然、多孔隙的柔性材料取代原本剛性的材料，台灣也受到生態工法的概念引入而在工程上開始改變。但每當颱風或暴雨後，護岸發生破壞案例尤其多，而至今的研究多著眼於護岸本身擋土結構上的破壞和擋土結構本身穩定性不足而發生破壞，鮮少有針對水位升降對於護岸邊坡穩定性影響的研究。

因此，本研究在考慮非飽和的影響下，假設護岸本身結構穩固不發生破壞，以混凝土護岸、乾砌石護岸和混凝土砌石護岸等三種常見的護岸類型為研究對象，並搭配不同的背填土壤、不同的水位升降型式和不同水位升降的基期，僅針對坡外的水對護岸邊坡的影響。先以數值軟體 FEMWATER 模擬河川水位升降過程得護岸邊坡內的暫態滲流模擬分析結果，再將各暫態滲流結果輸入至邊坡穩定分析程式 Slope/W 中進行邊坡穩定分析，得到安全係數隨時間變化的關係，以釐清河川水位升降是否為造成護岸破壞的原因之一。

研究結果顯示於坡外完整水位升降期間，安全係數受坡外水壓作用所影響，內外水位差導致的水壓力向坡內使得三種護岸的安全係數均隨邊坡外水位升降而升降，由此可知坡外水位的影響大於坡內土壤材料強度的改變；另一方面於急洩降期間，安全係數受坡內水壓作用所影響，內外水位差導致的水壓力向坡外使得三種護岸的安全係數均隨坡外水位洩降而降低，其中混凝土和混凝土砌石護岸的安全係數下降程度大於乾砌石護岸。在本研究所使用之護岸邊坡參數下來說，三種類型護岸於坡外完整水位升降期間都是安全的，但於坡外急洩降期間只有乾砌石護岸是安全的，其餘兩者是不安全的。其中需注意的是由於近年來極端氣候的影響，完整水位升降於高水位的停滯時間導致急洩降發生的可能性不容忽視。

關鍵詞：河川護岸邊坡，非飽和，水位升降，邊坡穩定

Effect of Water Level Variation in River Channel on Slope Stability of Embankment

Graduate Student : Hsiao-Cheng Chiang

Advisor : Dr. Hsin-Yu Shan

**Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University**

Abstract

In the early years, many of revetments are built by using reinforcement concrete due to considering on the safety. But it is seldom been considering the impact of nature and the change of ecology after building in this type. According to the international attention degree on ecology is getting higher and higher in the recent years, the concept of ecological engineering which can get a balance with ecology becomes a popular method. Due to this conception, the materials of construction are using natural and porous materials rather than rigid materials. The concept of ecological engineering also affects the engineering in Taiwan. But many failure cases of revetments occur when encounter typhoons or rainstorm. However, So far, many studies of the revetment failure are focus on structure stability itself due to structural failure. Seldom of studies is focus on the effect of water level variation in river channel on slope stability of embankment.

Therefore, the objects of study are concrete, dry stone masonry and concrete-masonry revetment. In this study is assuming that the revetment itself is strong enough without any breakdown and considering the effect of unsaturated zone, then studying in the effect of water level variation in river channel on slope stability of embankment by combining with different types of backfill, water level variation and time base of water level variation. The Procedure in this study at first step is simulating the seepage of water level variation in transient by using numerical simulation model—FEMWATER, then input the analysis result data from first step per time step in the slope stability model—Slope/W. After doing slope stability analysis, then can get the relationship between the factors of safety of embankment with time. Through this relationship clarify whether the failure of revetment is cause

by water level variation in river channel or not.

The result of analysis reveals that the factor of safety is dominated by water pressure outside the slope during the full water level fluctuation. Because of the water level difference between the slope inside and outside, it cause a water force inward to the slope. The factors of safety of three types of revetment all alter with the water level fluctuation outside the slope. According to this result, it can say that the water level outside the slope affects huge than the change of the strength of backfill. On the other hand, the factor of safety is dominated by water pressure inside the slope during the rapid drawdown. Because of the water level difference between the slope inside and outside, it cause a water force outward to the slope. The factors of safety of three types of revetment are all decreasing with the rapid drawdown outside the slope. During the rapid drawdown, the degree of decreasing in factors of safety of concrete and concrete-masonry revetment is huge than the dry stone masonry revetment.

From the variation of the factor of safety, three types of revetment are safe during the full water level fluctuation, but during rapid drawdown, only the dry stone masonry is safe, others are unsafe. But the probability of occurrence in which must be noted that due to the impact of extreme climate in recent years, the length of time to keep water in high level during full water level fluctuation lead to be rapid drawdown cannot be ignored.

Keywords : The slope of embankment, unsaturated, water level variation, slope stability

謝誌



國立交通大學考試試卷 Exam Paper of National Chiao Tung University



課程名稱 土木工程學系碩士班大地組
Course Name _____

姓名 江效丞
Name _____

學號 9916554
Student ID _____

班別 單董環境地工實驗室
Department _____

日期 2011.02~2012.08
Date _____

※考試作弊者將受記大過以上處分
※If you cheat in an exam, you will be punished.

題號 NO	致謝 <i>gratitude</i>
1	師者
2	家人
3	前輩
4	同儕
5	摯友
6	絲竹
7	格言
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
回憶	



1. 師者：非常謝謝口委 徐松圻老師、賴俊仁老師和 黃富國老師給予學生研究上寶貴的建議，更謝謝吾師於學生碩士生涯的指導！古云：「師者，所以傳道、授業、解惑也。」，於課堂上除傳授專業知識外亦分享人生經歷與哲理，課堂外以亦師亦友方式為學生於課業和人生道路上解惑者，惟吾師也！師恩浩蕩，謝謝吾師 單信瑜博士於學生碩士生涯的指導，能成為您的學生不知是學生幾輩子修來的福份，單董是這個星球上最棒的指導老師！

2. 家人：「家，是永遠的避風港。」，謝謝爹娘從小對我的栽培和照顧，讓我可以衣食無缺的專心求學，一路很平順的念到碩士！感謝目前遠在美國MIT的哥哥，謝謝你在我成長過程都當我求學路上的典範和諮詢的老師，同時也是出國逛街吃美食的最佳玩伴！哈~謝謝你這位「長得很像的好朋友」當我的兄弟！

3. 前輩：謝謝彥森和儒錚學長在我遭遇研究瓶頸時，給予寶貴的建議讓我能迎刃而解！謝謝文俊學長於上班之餘抽空給我研究上所需的參考資料，謝謝凱仁、士輝、逸倫、信忠和冠宇學長於我碩士生涯的照顧和指點，讓我的碩士生活更豐富和平順。

4. 同儕：謝謝成泓、長潤、淵明、志昇、正憲不定期約團打桌遊或打球，謝謝同實驗室的潤翰、智緯和昱辰，有你們一起作研究和一起嘴的日子讓我碩士生活增添了不少色彩！謝謝正在攻讀博士的建智，每次跟你聊天或討論專業知識上的問題都讓我獲益良多。

5. 摯友：謝謝我最好的多年老朋友-許圓，看到你就像看到家人一樣親切，每次碰面總是有聊不完的話！自從你研究所來清大念之後我們約看電影吃飯更是頻繁。謝謝你在我碩士班期間常一起出來吃飯、看電影和去「那家店」敗家買衣服褲子，哈哈！

6. 絲竹：謝謝**Linkin Park**、**Yanni**和吉田潔(**Kiyoshi Yoshida**)陪我渡過研究期間欲振乏力和心浮氣躁的時候，讓我可以時常維持最佳狀態下做研究。

7. 格言：松坂大輔：「我的人生沒有夢想，只有目標。」

田臥勇太：「今からでも遅くない。」

原Masahiko：「人生就像是甩尾，即使在路途上會左搖右擺，但還是要一直注視前方，盡可能踩下油門，前進！」

謝謝你們的人生哲理，讓我在追求理想上更有信心。



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
謝誌.....	IV
目錄.....	VI
圖目錄.....	X
表目錄.....	XIII
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機與目的.....	1
1.3 研究方法與流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 河川護岸設計與配置.....	3
2.1.1 傳統河川護岸設計.....	3
2.1.2 近期河川護岸設計.....	5
2.1.3 河川護岸的破壞機制.....	10
2.2 非飽和邊坡滲流分析與力學機制.....	12
2.2.1 非飽和邊坡的滲流.....	12
2.2.2 非飽和土壤的剪力強度.....	13
2.3 急洩降(Rapid Drawdown).....	16
2.3.1 急洩降的定義與形成條件.....	16
2.3.2 急洩降的分析方法.....	17

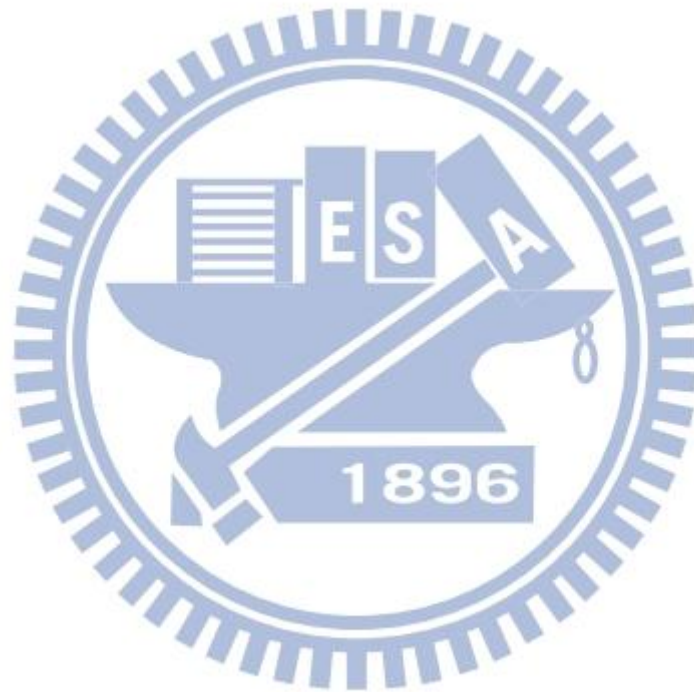
2.4 水位升降於非飽和邊坡穩定的分析與影響	20
2.4.1 非飽和邊坡的水位升降之滲流模擬分析	20
2.4.2 非飽和邊坡的邊坡穩定分析	20
2.4.3 水位升降於非飽和邊坡穩定的影響	21
第三章 研究方法.....	23
3.1 非飽和邊坡滲流模型與參數.....	24
3.1.1 非飽和滲流模擬分析軟體—GMS 6.0 FEMWATER	24
3.1.2 非飽和滲流模型	25
3.1.2.1 模型架構.....	25
3.1.2.2 模型邊界條件的假設.....	25
3.1.2.3 護岸材料與護岸背填材料的組合.....	26
3.1.2.4 滲流的異向性與飽和時的滲流參數.....	26
3.1.2.5 非飽和時的滲流參數.....	26
3.2 模擬水位升降的方式.....	29
3.2.1 完整的水位升降	29
3.2.1.1 使用的模式與假設條件.....	29
3.2.1.2 初始狀態(Initial Condition)模擬分析	30
3.2.1.3 穩態(Steady State)滲流模擬分析	31
3.2.1.4 暫態(Transient State)滲流模擬分析.....	31
3.2.2 急洩降	32
3.2.2.1 使用的模式與假設條件.....	32
3.2.2.2 穩態(Steady State)滲流模擬分析	32
3.2.2.3 暫態(Transient State)滲流模擬分析.....	32

3.3 滲流分析結果轉入邊坡穩定軟體的方法.....	33
3.4 非飽和邊坡穩定模型與參數.....	34
3.4.1 邊坡穩定分析軟體－Geo SLOPE/W	34
3.4.2 非飽和邊坡穩定模型與參數	34
3.4.2.1 模型架構.....	34
3.4.2.2 非飽和邊坡穩定模型配置與相關參數.....	34
3.4.2.3 背填土壤相關參數.....	38
3.4.2.4 非飽和剪力強度的估算.....	38
第四章 研究結果.....	40
4.1 研究案例的分類.....	40
4.2 完整水位升降對安全係數之影響.....	43
4.2.1 護岸材料對安全係數之影響	44
4.2.2 背填土壤對安全係數之影響	51
4.2.3 兩種完整水位升降的結果比較	54
4.3 急洩降對安全係數之影響.....	58
4.3.1 護岸材料對安全係數之影響	59
4.3.2 背填土壤對安全係數之影響	65
4.3.3 兩種急洩降的結果比較	69
4.4 坡外水位停滯時間的長短對安全係數的影響.....	72
第五章 結論與建議.....	79
5.1 結論	79
5.2 建議.....	80

參考文獻.....81

附錄－1：滲流分析結果轉入邊坡穩定軟體的方法.....84

附錄－2：各模擬案例隨時間的壓力水頭.....88



圖目錄

圖 1-1	研究流程圖	2
圖 2-1	擴展莫耳庫倫破壞包絡線示意圖	14
圖 2-2	迴歸參數(κ)與土壤塑性指數(I_p)的關係	15
圖 3-1	研究方法流程圖	23
圖 3-2	FEMWATER 護岸邊坡模型示意圖	25
圖 3-3	護岸背填材料的土壤-水特徵曲線	28
圖 3-4	護岸背填材料的相對導水度	28
圖 3-5	三角歷線示意圖	29
圖 3-6	河川水位變化之歷線圖	30
圖 3-7	急洩降水位變化之歷線圖	32
圖 3-8	滲流分析結果轉入邊坡穩定軟體的完成圖	33
圖 3-9	混凝土護岸配置示意圖	35
圖 3-10	混凝土砌石護岸配置示意圖	36
圖 3-11	乾砌石護岸配置示意圖	37
圖 3-12	非飽和的分割區域示意圖	39
圖 4-1	完整水位升降的代表時間點與坡外水位之相對關係	42
圖 4-2	急洩降的代表時間點與坡外水位之相對關係	42
圖 4-3(a)	不同護岸材料對安全係數影響—短基期 (當背填土同為粉土質壤土)	45
圖 4-3(b)	不同護岸材料對安全係數影響—短基期 (當背填土同為砂質黏土)	45
圖 4-3(c)	不同護岸材料對安全係數影響—長基期 (當背填土同為粉土質壤土)	46
圖 4-3(d)	不同護岸材料對安全係數影響—長基期 (當背填土同為砂質黏土)	46
圖 4-4(a)	邊坡內外水位同時間的變化—短基期 (當背填土同為粉土質壤土)	48
圖 4-4(b)	邊坡內外水位同時間的變化—短基期 (當背填土同為砂質黏土)	48
圖 4-4(c)	邊坡內外水位同時間的變化—長基期 (當背填土同為粉土質壤土)	49

圖 4-4(d) 邊坡內外水位同時間的變化—長基期（當背填土同為砂質黏土）.....	49
圖 4-4(e) 完整水位升降期間—高導水度的護岸材料之水壓分佈.....	50
圖 4-4(f) 完整水位升降期間—低導水度的護岸材料之水壓分佈.....	50
圖 4-5(a) 背填土壤對安全係數影響—短基期（同為混凝土護岸）.....	51
圖 4-5(b) 背填土壤對安全係數影響—短基期（同為乾砌石護岸）.....	52
圖 4-5(c) 背填土壤對安全係數影響—短基期（同為混凝土砌石護岸）.....	52
圖 4-5(d) 背填土壤對安全係數影響—長基期（同為混凝土護岸）.....	53
圖 4-5(e) 背填土壤對安全係數影響—長基期（同為乾砌石護岸）.....	53
圖 4-5(f) 背填土壤對安全係數影響—長基期（同為混凝土砌石護岸）.....	54
圖 4-6(a) 不同基期對安全係數的影響—case 1.....	55
圖 4-6(b) 不同基期對安全係數的影響—case 2.....	55
圖 4-6(c) 不同基期對安全係數的影響—case 3.....	56
圖 4-6(d) 不同基期對安全係數的影響—case 4.....	56
圖 4-6(e) 不同基期對安全係數的影響—case 5.....	57
圖 4-6(f) 不同基期對安全係數的影響—case 6.....	57
圖 4-7(a) 護岸材料對安全係數影響—短基期急洩降（當背填土同為粉土質壤土）...	60
圖 4-7(b) 護岸材料對安全係數影響—短基期急洩降（當背填土同為砂質黏土）.....	60
圖 4-7(c) 護岸材料對安全係數影響—長基期急洩降（當背填土同為粉土質壤土）...	61
圖 4-7(d) 護岸材料對安全係數影響—長基期急洩降（當背填土同為砂質黏土）.....	61
圖 4-8(a) 邊坡內外水位同時間的變化—短基期急洩降(當背填土同為粉土質黏壤土).	62
圖 4-8(b) 邊坡內外水位同時間的變化—短基期急洩降（當背填土同為砂質黏土）.....	63
圖 4-8(c) 邊坡內外水位同時間的變化—長基期急洩降（當背填土同為粉土質壤土）..	63
圖 4-8(d) 邊坡內外水位同時間的變化—長基期急洩降（當背填土同為砂質黏土）.....	64
圖 4-8(e) 急洩降期間不同護岸材料之坡內水位面相對位置.....	64
圖 4-9(a) 背填土壤對安全係數影響—短基期急洩降（同為混凝土護岸）.....	66

圖 4-9(b) 背填土壤對安全係數影響－短基期急洩降（同為乾砌石護岸）	66
圖 4-9(c) 背填土壤對安全係數影響－短基期急洩降（同為混凝土砌石護岸） .	67
圖 4-9(d) 背填土壤對安全係數影響－長基期急洩降（同為混凝土護岸）	67
圖 4-9(e) 背填土壤對安全係數影響－長基期急洩降（同為乾砌石護岸）	68
圖 4-9(f) 背填土壤對安全係數影響－長基期急洩降（同為混凝土砌石護岸） .	68
圖 4-10(a) 不同急洩降速率對安全係數的影響－case 1	69
圖 4-10(b) 不同急洩降速率對安全係數的影響－case 2.....	70
圖 4-10(c) 不同急洩降速率對安全係數的影響－case 3.....	70
圖 4-10(d) 不同急洩降速率對安全係數的影響－case 4.....	71
圖 4-10(e) 不同急洩降速率對安全係數的影響－case 5.....	71
圖 4-10(f) 不同急洩降速率對安全係數的影響－case 6	72
圖 4-11(a) C-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－短基期	73
圖 4-11(b) C-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－短基期.....	73
圖 4-11(c) DSM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－短基期.....	74
圖 4-11(d) DSM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－短基期	74
圖 4-11(e) CM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－短基期	75
圖 4-11(f) CM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－短基期	75
圖 4-11(g) C-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－長基期	76
圖 4-11(h) C-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－長基期.....	76
圖 4-11(i) DSM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－長基期.....	77
圖 4-11(j) DSM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－長基期	77
圖 4-11(k) CM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－長基期.....	78
圖 4-11(l) CM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較－長基期.....	78

表目錄

表 2-1	傳統護岸種類與適用範圍 (整理自行政院農業委員會, 2005).....	3
表 2-2	傳統護岸設計原則 (整理自行政院農業委員會, 2005).....	4
表 2-3	生態工法種類與設計示意圖 (摘自行政院農業委員會, 2005).....	5
表 2-4	各生態工法護岸的適用範圍與限制 (整理自行政院農業委員會, 2005).....	8
表 2-5	河川護岸破壞機制分類 (摘自日本財團法人國土技術研究中心, 1998).....	10
表 2-6	四種估算非飽和強度經驗式的比較	16
表 2-7	三階段分析法的概念	18
表 2-8	Fredlund et al. (2011)與 Duncan et al. (1990)分析急洩降的方法比較	19
表 2-9	研究水位升降於非飽和邊坡穩定的模擬條件差異比較	21
表 3-1	各材料於飽和時的導水度	26
表 3-2	van Genuchten(1980)模型的迴歸曲線參數 (Carsel and Parrish, 1988)	27
表 3-3	護岸背填材料使用的非飽和參數	27
表 3-4	河川水位升降使用的時間參數	30
表 3-5	混凝土護岸模型與參數	35
表 3-6	混凝土砌石護岸模型與參數	36
表 3-7	乾砌石護岸模型與參數	37
表 3-8	使用背填土壤相關強度參數	38
表 4-1	各模擬組合條件中使用的中英對照表	40
表 4-2	模擬案例索引對照表	41
表 4-3	短基期的完整水位升降與安全係數的關係	43
表 4-4	長基期的完整水位升降與安全係數的關係	44
表 4-5	短基期急洩降與安全係數的關係	58
表 4-6	長基期急洩降與安全係數的關係	59

第一章 緒論

1.1 前言

早期的河川護岸工程是以安全為主，因此大量使用以鋼筋混凝土為主的人造剛性結構物，當人造結構物因暴雨、颱風或地震等天然因素影響下而發生破壞後，多直觀地認為是結構強度不足，企圖以更高強度的設計來阻止破壞發生，鮮少考量使用此類型的施作方式後對原本天然條件的改變和生態的影響為何。

近年來，隨著國際間對生態重視度提高，較能與生態取得平衡點的生態工法概念逐漸成為主流，工程上開始考量使用天然、多孔隙的柔性材料取代原本剛性的材料，台灣也受到生態工法的概念引入而在工程上開始改變：台灣政府各相關單位有鑒於過多之人工構造物容易破壞台灣地區原有的生態系統及環境，進而積極推動生態工法，增加柔性資材之使用，減少工程施作對環境之衝擊(行政院農業委員會水土保持局，2005)。

1.2 研究動機與目的

生態工法的概念引入台灣後，許多傳統護岸改成生態工法護岸，但每當颱風或暴雨後，護岸發生破壞案例尤其多，生態工法的穩定性備受質疑，至今的研究多著眼於護岸本身擋土結構上的破壞和擋土結構本身穩定性不足而發生破壞，這隱含著護岸後方的邊坡是安全無虞的假設成立，鮮少有針對水位升降對於護岸邊坡穩定性影響的研究。

因此，本研究在考慮非飽和的影響下，假設護岸本身結構穩固不發生破壞，針對混凝土護岸、乾砌石護岸和混凝土砌石護岸等三種常見的護岸類型為研究對象，僅針對水對護岸邊坡的影響，以數值軟體模擬河川水位升降過程對護岸邊坡穩定性變化關係之暫態模擬分析，釐清河川水位升降是否為造成護岸破壞的原因之一。

1.3 研究方法與流程

參考行政院農業委員會水土保持局(2005)的水土保持手冊分別對於混凝土護岸、乾砌石護岸和混凝土砌石之斷面配置後建立分析護岸的數值模型尺寸，之後分別進行各護岸之強度和滲流相關的使用參數、非飽和滲流機制與水位升降相關、非飽和力學機制和邊坡穩定之文獻回顧，再將各護岸模型使用之相關參數和決定的水位升降形式輸入至滲流模擬軟體 FEMWATER 中進行暫態滲流模擬分析，最後從整個暫態滲流分析過程選取數個時間點的滲流模擬結果，依序轉入邊坡穩定分析程式 Slope/W 中，並引入土壤非飽和強度參數進行邊坡穩定分析，如此即可得各種護岸邊坡隨波外水位升降導致安全係數的變化關係。整個的研究流程架構如下圖 1-1 所示。

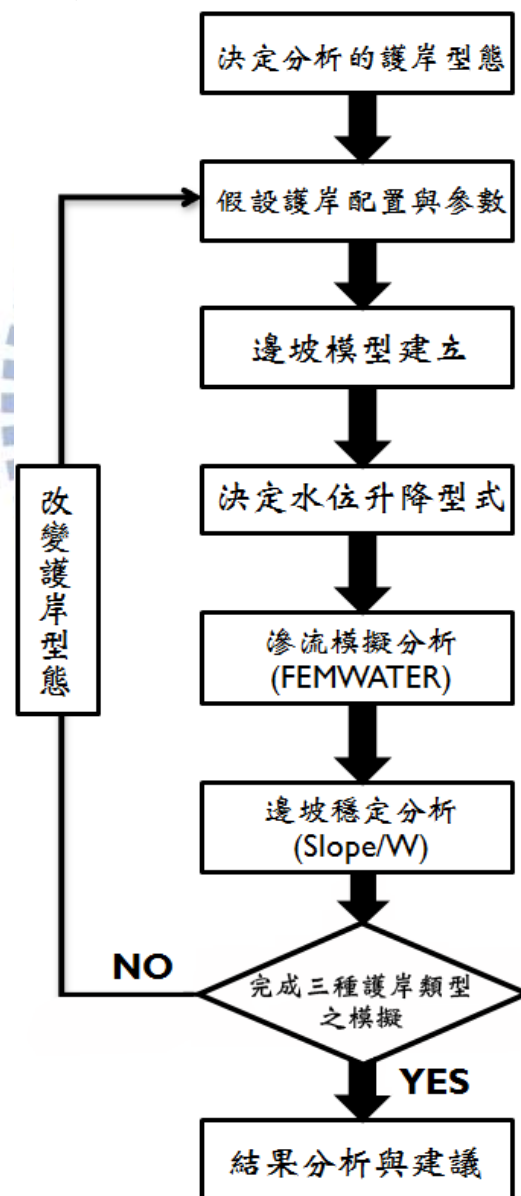


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

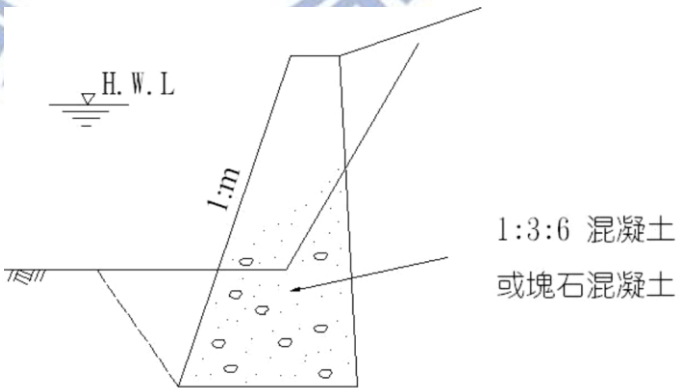
本研究探討生態工法護岸邊坡的水位於暴雨或颱風期間，模擬水位從低水位到高水位再降回低水位，分析隨著水位升降的暫態過程，並考慮非飽和對邊坡的影響下，整個邊坡的安全係數變化。文獻回顧分成四大部份：(1)河川護岸設計與配置、(2)非飽和邊坡滲流分析與力學機制、(3)急洩降、(4)水位升降於非飽和邊坡穩定的分析與影響。

2.1 河川護岸設計與配置

2.1.1 傳統河川護岸設計

台灣以往在溪流整治以安全為導向，因此傳統的河川護岸多以混凝土材料為主體建造護岸等水利構造物，常見俗稱的「三面光」U形管道，也就是把河道兩側護岸及溪底都用混凝土封起來。顧與譚(2007)指出，這種施作方式造成許多問題，如：(1) 阻隔河川之地表水入滲而無法形成地下水補注，(2) 混凝土之表面平滑，使流速加快而增大洪峰流量，(3) 混凝土構造物幾無孔隙，動植物不易生長棲息等不利於生態景觀之問題。根據行政院農業委員會水土保持局(2005)的水土保持手冊，傳統的護岸種類與設計原則如下表 2-1 與表 2-2 所示：

表 2-1 傳統護岸種類與適用範圍 (整理自行政院農業委員會，2005)

種類	適用範圍	示意圖
混凝土護岸	水勢強烈處或重要地區使用	

鋼筋混凝土護岸	水勢強烈處或重要地區使用	
混凝土砌石護岸	在石料豐富地區採用	
其他	於崩塌、地滑等特殊地形需要撓曲性較大或其他特殊構造物	

表 2-2 傳統護岸設計原則 (整理自行政院農業委員會, 2005)

類別	說明
高度	一般採用計畫洪水位加出水高0.8~1.0公尺，惟可視實際需要與地面同高。
坡度	砌石一般採用 1 : 0.3~1 : 1。
超高	凹岸處超高： $\Delta h = 2.3 \frac{V^2}{g} \log \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$ △h：超高（以河床中心線設計高為準）、V：流速（m/sec）、g：重力加速度（m/sec ² ）、R ₁ ：凸岸之曲率半徑（m）、R ₂ ：凹岸之曲率半徑（m）。
基礎深度	以計畫河床高度或現況河床高度中較低者為準，其伸入河床深度一般為1~2公尺。
岸線	起點應有穩固之地形或插入適當之岸內，終點應引導水流順岸流下或導離河岸；凹岸處應延長至曲線終點以下。
穩定分析	除考慮水壓力外，其餘與擋土牆相同。
其他	1. 河槽易刷深處，尤其是在凹岸，基腳應加設保護工程如混凝土塊、蛇籠或潛壩。 2. 採用混凝土塊、蛇籠等保護基腳時，不得與護岸坡腳固結。 3. 岸頂背填土應充分夯實並略高出岸頂，以免積水而增加背後壓力。

2.1.2 近期河川護岸設計

傳統護岸設計與近期護岸設計係以政府推動的政策為主要分界點：政府各相關單位有鑒於過多之人工構造物容易破壞台灣地區原有的生態系統及環境，進而積極推動生態工法，增加柔性資材之使用，減少工程施作對環境之衝擊(行政院農業委員會水土保持局，2005)，工程因此多轉為安全與生態共存的生態工法。林與邱(2002)定義生態工法是指基於對生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害。生態工法的特色是使用多孔隙材料，使其構造物上易生長草木而達到接近自然的效果，除可增加動植物棲息環境外，亦具休閒和涵養水源水質的功能。使用的材料可分為自然材料和人工材料，其中自然材料有草、石頭、木頭等；人工材料為多孔隙混凝土製品、地工合成材料等。

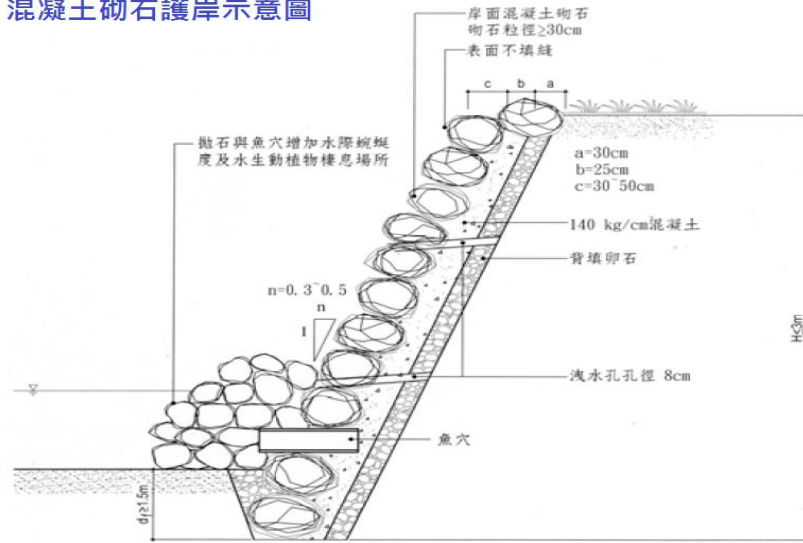
根據行政院農業委員會水土保持局(2005)水土保持手冊，護岸採用的生態工法可分為以下七大類型，以下示意圖僅列舉各大類型中的其中一種設計尺寸與說明，如表 2-3 所示；而各類型適用範圍與限制整理如 2-4 表所示。

表 2-3 生態工法種類與設計示意圖 (摘自行政院農業委員會，2005)

種類	設計示意圖
乾砌石護岸	<p>單階砌石護岸示意圖</p> <p>埋置深度至少130cm</p> <p>$d \geq 130\text{cm}$</p> <p>背填卵石 厚度 $t \geq 20\text{cm}$</p> <p>乾砌塊石</p> <p>$D(\text{平均}) \geq 30\text{cm}$</p> <p>無承載情況</p> <p>$n$</p> <p>$1$</p> <p>$H$</p>

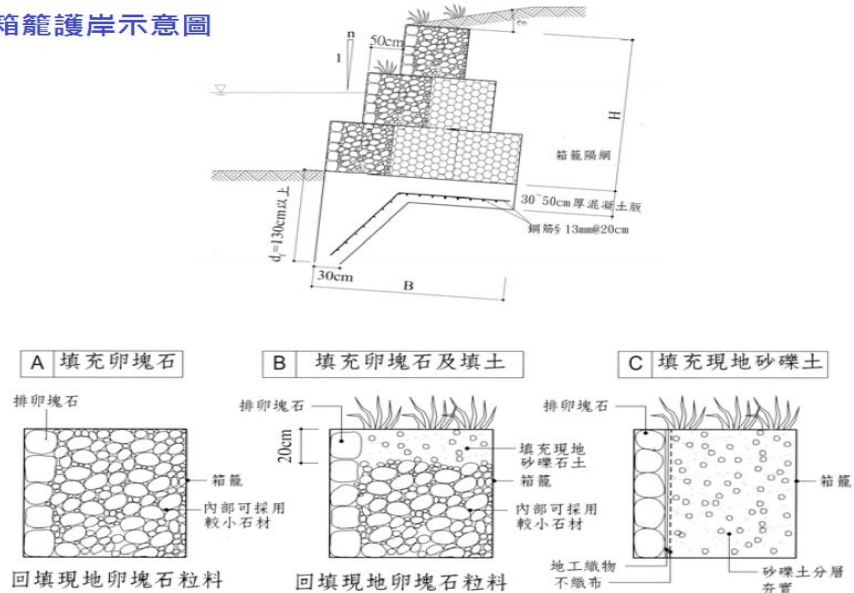
混凝土砌石護岸

混凝土砌石護岸示意圖

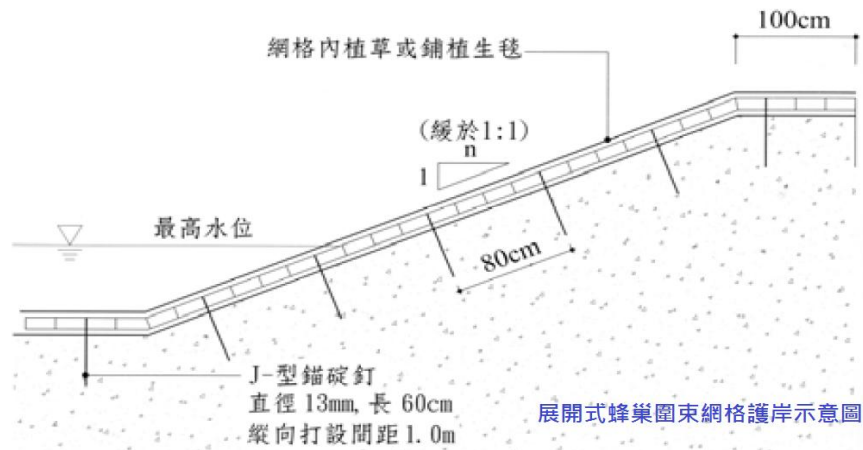


箱籠護岸

箱籠護岸示意圖



蜂巢圍束網格護岸



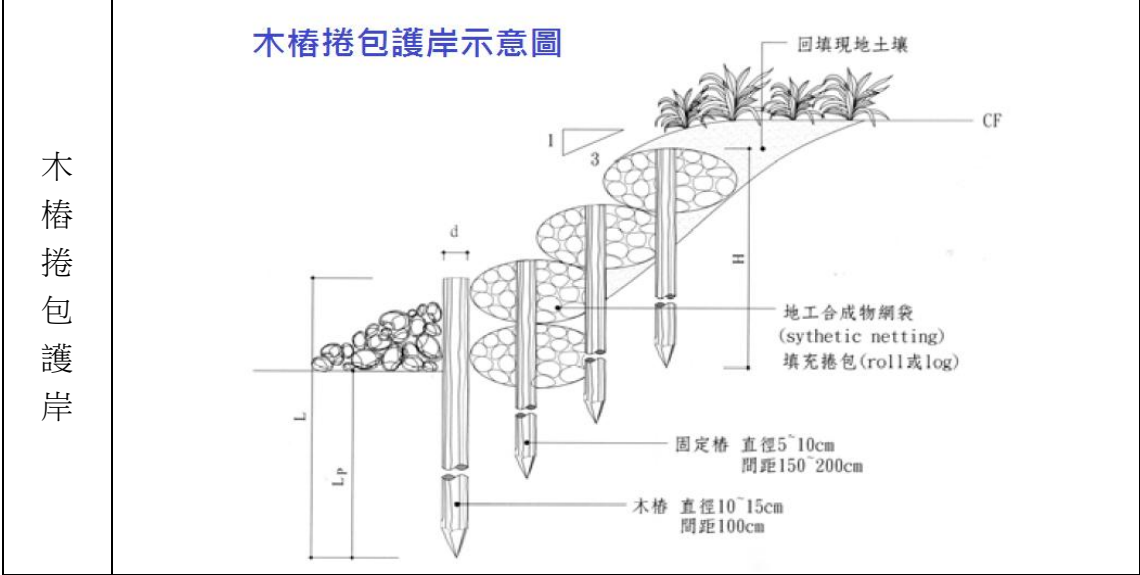
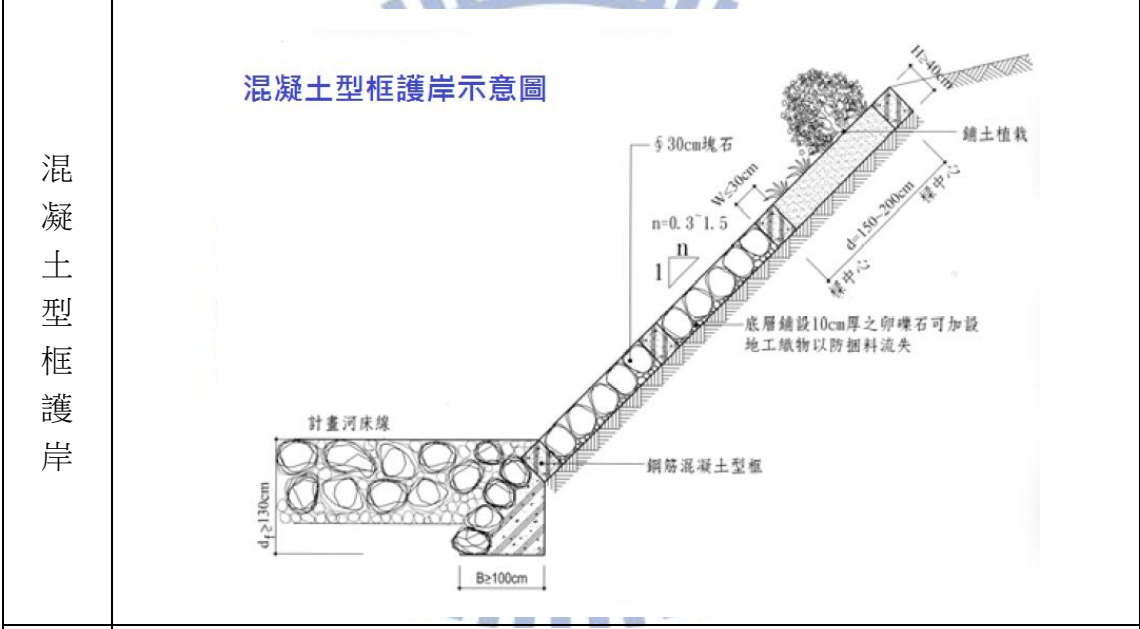
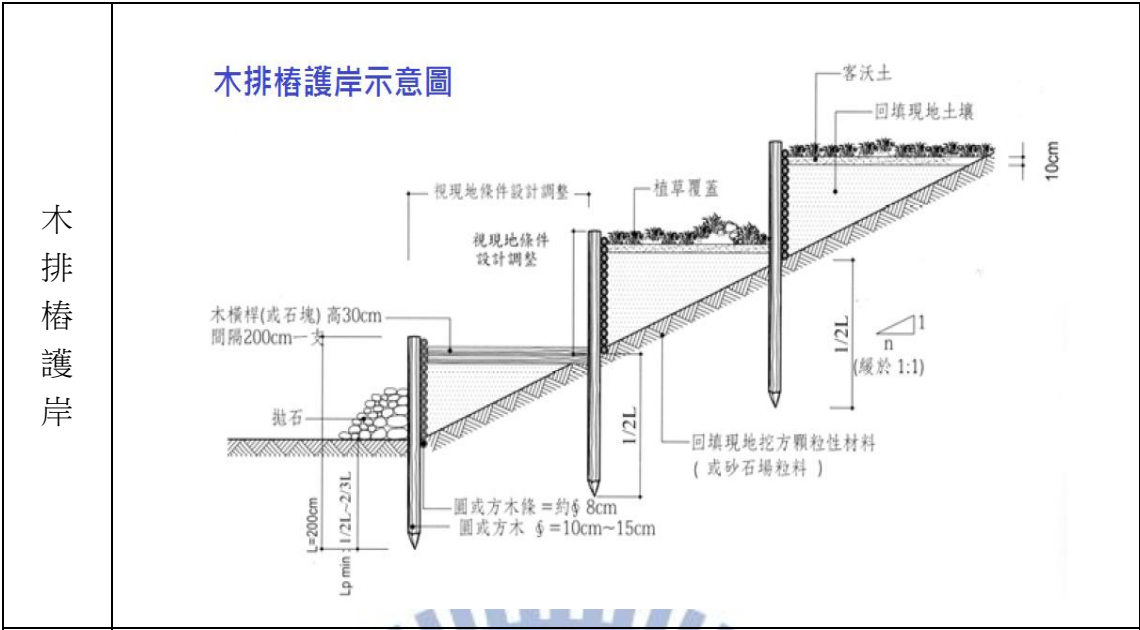


表 2-4 各生態工法護岸的適用範圍與限制 (整理自行政院農業委員會, 2005)

類型	適用情況	優點	限制	適用流速 (m/s)	備註
乾砌石護岸	本身沒有因河岸坡面受滲流水侵入後產生管湧淘空破壞疑慮之地點。	表面具有自然的景觀，砌石縫隙之空間利於動物棲息及植物生長。	1.不適用於凹岸攻擊坡，大河床質之河段攻擊面。 2.較不適用於土石流潛勢溪流。	1.5~4	河床承载力足以支撐結構體並應防止大量沉陷。
混凝土砌石護岸	須防止滲流水滲入河岸坡面之地區。	1.表面具有自然的景觀，砌石縫隙間利於動物棲息及植物生長。 2.可防止河岸坡面受滲流水侵入後產生管湧淘空破壞。	1.較不適用於流速大於 6m/sec 之河溪。 2.不適用於土石流潛勢溪流。	4~6	1.河床承载力應足以支撐結構體並應防止大量沉陷。 2.洪水位高，岸背腹地大，岸高較大且有整體景觀或親水考量時可採用多階施作。
箱籠護岸	1.適用生態棲地考量及須建構多孔性構造物之地區。 2.較適用河床質粒徑 < 10cm 之地區。	河岸區之土層有不均勻沉陷或大量沉陷之顧慮時，可運用其柔性結構本質以抵抗變形。	較不適用於土石流潛勢溪流及河床質粗之溪流。	1~5	地下水高之河岸地區，亦可利用其結構之高滲性以利排水。
蜂巢圍束網格護岸	1.可使用於有沖蝕情形之溪流河岸。 2.由於此工法預組性及重覆性高，亦適用於河岸破壞之緊急修護。	1. 預組性及重覆性高，施工迅速簡易。 2. 河岸區之土層有不均勻沉陷或地震顧慮時，可運用其柔性結構的本質以抵抗可能之大變形量。	無特別限制	1~6	於緩坡度河岸，具有較寬廣之河岸腹地時具實用性。

類型	適用情況	優點	限制	適用流速 (m/s)	備註
木排樁護岸	1.適用於水位變化較小之河段。 2.適用於緊急處理或暫時性修補工程。	1.施工迅速、成本低且能配合蜿蜒地形。 2.可維持原有生態環境及棲地情形。	不適用於高流速，高沖蝕之河岸。	0.75~3	植生容易且符合綠美之需求。且具良好之生態性及親水性。
混凝土型框護岸	適用於中高流速之河道。	可用於河岸坡面呈規則、土砂災害整治地區、河岸坡面表層呈現風化現象或須綠美化之河岸周遭之地點。	無特別限制	5~8	
木樁捲包護岸	適用於人工濕地、生態水池、水岸護坡或低流速河道。	護岸具低矮化、透水化及自然化特性。	不適用於流速高及河川凹岸等沖蝕嚴重之區域。	1~2	1. 可用於社區親水性高之河溪或景觀需求較高之地區。 2. 可用於須緊急處理之暫時性護岸。

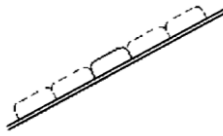
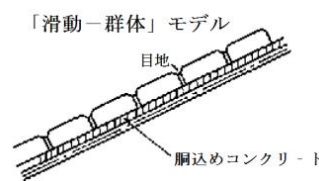
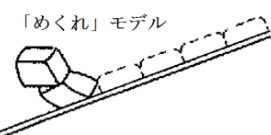
2.1.3 河川護岸的破壞機制


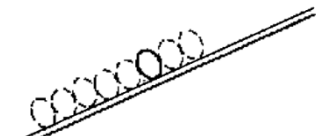
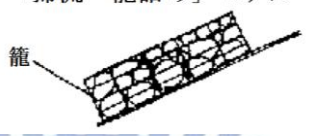
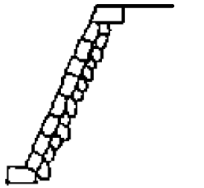
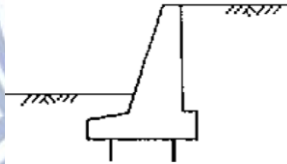
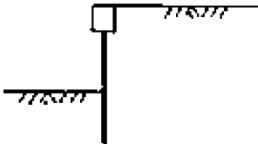

自然外力造成護岸的破壞型態繁多，根據日本財團法人國土技術研究中心(1998)出版之「護岸の力学設計法」之研究成果，由於混凝土結構體與飽和土壤界面間之靜摩擦係數 μ 約為 0.65，其值近似於 $V:H=1:1.5$ 的護岸坡度（傾角約 34° ），因此採用護岸邊坡比 $V:H=1:1.5$ （即坡角 $\theta=34^\circ$ ）為類型分界。依此護岸邊坡比例值為分野，所對應引起破壞之外力分類如下：

- (1) 當護岸邊坡比例較緩 ($V:H < 1:1.5$)：水流作用力為導致破壞之主因，應檢核拖曳力、捲揚及滑動造成的破壞。
- (2) 當護岸邊坡比例較陡 ($V:H > 1:1.5$)：土壓力及孔隙水壓力為導致破壞之主因，應檢核主動土壓力和孔隙水壓力導致之滑動、傾倒及過度變形所造成的破壞。

依照護岸主體構造物之護岸邊坡比例 ($V:H > 1:1.5$ 或 $V:H < 1:1.5$)、主要破壞型態（滑動、捲揚、傾倒、拖曳、大量水準變位和沖蝕）及主體構造設置狀態（有無收尾間隙、整體性的強弱和構造物自由體設計分析之選取方式）來加以分類進行穩定分析的評估，如下表 2-5 所示。

表 2-5 河川護岸破壞機制分類 (摘自日本財團法人國土技術研究中心，1998)

破壞主因	主要破壞型式	構造物設置狀態			構造物模式	對應於實際邊坡的類型
		收尾間隙	整體性	自由體的分析方式		
水流作用 (護岸坡度緩於 $V:H=1:1.5$)	滑動	有保護	弱	單體	「滑動-単体」モデル 	乾砌石護岸
			強	群體	「滑動-群体」モデル 目地 馴染めコンクリート 	漿砌石護岸
	捲揚	無保護	強	單體	「めくれ」モデル 	大型混凝土塊連結的護岸

水流作用 (護岸坡度緩於 V:H=1:1.5)	拖曳	有保護	弱	單體	「掃流—一体性が弱い」モデル 	拋石護岸
			強	單體	「掃流—一体性が強い」モデル 	乾砌石護岸
			籠内填充	單體	「掃流—籠詰め」モデル 籠 	箱籠護岸 布團籠護岸
土壓力作用 (護岸坡度陡於 V:H=1:1.5)	滑動、傾倒			「積み」モデル 	乾砌石堆疊護岸 漿砌石堆疊護岸	
	滑動、傾倒			「擁壁」モデル 	擋土牆護岸	
	大量水準變位			「矢板」モデル 	直立鋼板樁牆護岸	
植生工程	侵蝕			植生 	植生護岸	

根據表2-5，可得知不同類型的河川護岸對應於不同的護岸穩定檢核項目，但是日本財團法人國土技術研究中心(1998)檢核的是河川護岸本身結構體的穩定性，隱含著基於護岸後方邊坡是穩定的為前提。台灣的河川護岸破壞十分頻繁，尤其是以生態工法施做的護岸更是如此，假使護岸的設計符合日本財團法人國土技術研究中心(1998)所提出的穩定檢核，可推測另有其他因素誘發護岸破壞。張等人(2005)指出岸坡(庫岸、河岸邊坡)由於季節性降雨或水庫運行岸坡外的水位通常波動較大，岸坡土體的飽和度也處於變化中，土壤內的水分間相互補給改變了岸坡內的非飽和的基質吸力分佈，進而影響到岸坡的穩定性。由此可知，水位升降對護岸的邊坡穩定分析不容忽視，但台灣關於此方面的研究並不多見。

2.2 非飽和邊坡滲流分析與力學機制

2.2.1 非飽和邊坡的滲流

邊坡內水位面以下至水位面以上的毛細緣層(Capillary Fringe)內都是全飽和，毛細緣層以上才是非飽和的區域。非飽和區域內的土壤，視為包含固態、液態、氣態三相的系統(Lambe and Whitman, 1979)，其中 Fredlund and Morgenstern (1977)更進一步把氣與水之間具收縮性質表面(Contractile Skin)視為獨立的第四相。

非飽和層的土壤導水度並不是定值，其變化與土壤體積含水量有關，而體積含水量與基質吸力有關，可透過土壤-水特徵曲線(Soil-Water Characteristic Curve, SWCC)來描述體積含水量與基質吸力的關係。土壤-水特徵曲線除了可由實驗得外，亦可透過經驗公式求得(Brooks and Corey, 1964；van Genuchten, 1980；Williams et al., 1983；McKee and Bumb, 1984、1987；Fredlund and Xing, 1994)。於體積含水量較高時(即是結構張力較低時)，土壤導水度值較高。非飽和層的土壤水力傳導數可透過現地實驗或室內實驗而得，但較費時且過程複雜，因此數十年來有諸多學者根據半經驗或統計模型，提出了推算非飽和土壤的導水度的經驗式(Richards, 1931；Averjanov, 1950；Wind, 1955；Gardner, 1958；Brooks and Corey, 1964；Rijtema, 1965；Davidson et al., 1969；Green and Corey, 1971；Cambell, 1973；van Genuchten, 1980；Fredlund et al., 1994)。

非飽和區域的土壤導水度可視為飽和區域的導水度的折減，而該折減係數即為相對導水度(Relative Hydraulic Permeability, K_r)， K_r 與體積含水量有關，van Genuchten (1980)提出估算非飽和導水度的方法，並且證明該經驗式求得的理論值與實驗數據結果十分相近。該估算式如下：

$$K_r(\theta) = \frac{K(\theta)}{K_s} = (\Theta)^{\frac{1}{2}} \left[1 - \left(1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad [2.1]$$

其中 Θ 為正規化的體積含水量： $\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha\psi)^n} \right]^m$

θ_s ：飽和體積含水比

θ_r ：殘餘體積含水比

Ψ ：基質吸力

K_s ：飽和時的導水度

α 、 m 、 n ：三個不同的曲線率定參數，與土壤種類有關，其中 $m = 1 - \frac{1}{n}$

2.2.2 非飽和土壤的剪力強度

飽和土壤剪力強度可由Terzaghi於1923年提出有效應力理論和莫耳-庫倫(Mohr-Coulomb)破壞準則結合而得。將Bishop (1959)提出的非飽和有效應力估算方法與莫耳-庫倫(Mohr-Coulomb)破壞準則結合，可得非飽和土壤達破壞時，剪力強度可表示成：

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_a)_f \tan \phi' + \chi(u_a - u_w)_f \tan \phi' \quad [2.2]$$

其中 τ_{ff} 為破壞時破壞面上的剪力強度、 c' 為土壤的有效內聚力、 $(\sigma_f - u_a)_f$ 為做用在破壞面上的淨正向應力、 $(u_a - u_w)_f$ 為破壞面上的結構張力、 ϕ' 為飽和土壤的有效內摩擦角、 χ 為結構張力貢獻有效應力的比例參數。

Bishop (1959)理論中的 χ 值，陸續有Spark (1963)依據靜力平衡的觀念推導出 χ 的理論解；Blight (1967)利用排水與不排水試驗試圖求 χ 值，但起初並未考慮到氣-水介面間的具收縮性質表面張力，後來加入後雖可得 χ 等於飽和度的理想關係式，但並沒有實驗來證明其存在性。所以，整體來說，上述有關於非飽和有效應力計算的式子，由於一些待定參數無法直接量測而得以至於實際應用上仍有困難，目前為止僅存在於理論解上。

Fredlund et al. (1978) 認為非飽和土壤的剪力強度可獨立成一項，該部份的剪力強度由結構張力所貢獻。從應力場分析中，考慮使用三個應力變數中的任兩

個來定義非飽和土壤的剪應力，其中因為大部分工程情境下，孔隙內的氣壓皆為一大氣壓，因此又以 $(\sigma - u_a)$ 和 $(u_a - u_w)$ 兩個應力狀態變數組合最合適。所以可得非飽和狀態時的剪力強度為：

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad [2.3]$$

其中 τ_f 為非飽和的剪力強度、 c' 為飽和土壤的有效內聚力、 $(\sigma_n - u_a)$ 為破壞面上的淨正向應力、 $(u_a - u_w)$ 為破壞面上的結構張力、 ϕ' 為飽和土壤的內摩擦角、 ϕ^b 為由於張力結構造成的內摩擦角。各項間的關係呈現於下圖2-1的擴展(Extended)三維莫耳-庫倫破壞包絡線圖中。

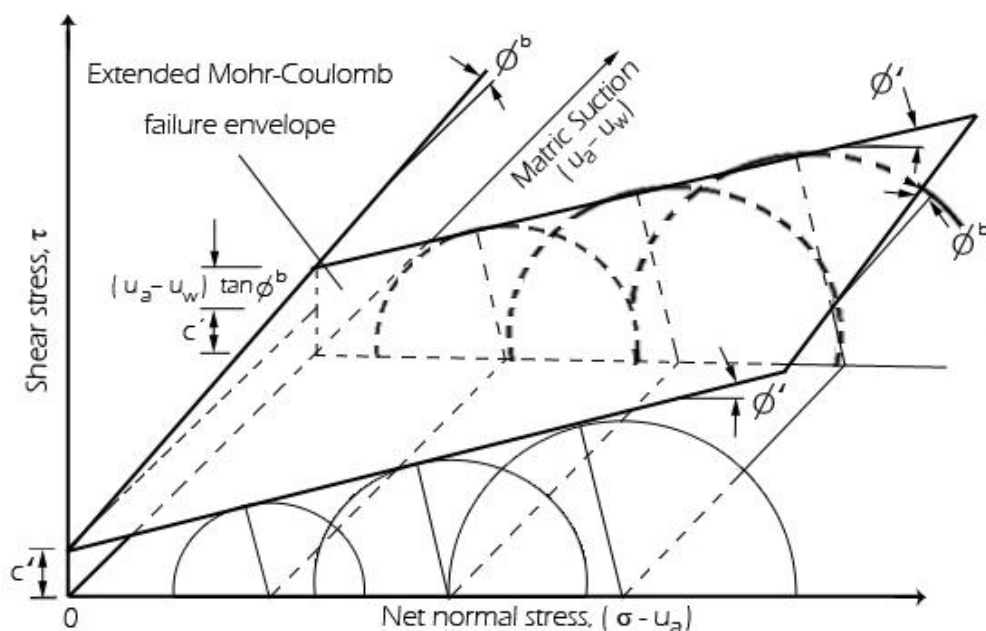


圖 2-1 擴展莫耳庫倫破壞包絡線示意圖
(重繪自 Fredlund and Rahardjo, 1993)

Vanapalli et al. (1996)認為飽和水佔據土壤孔隙與顆粒的接觸面積相關，並基於Greens Theorem (Fung,1977)提出在已知部分實驗數據下，於不同結構張力時，提出能預測非飽和土壤剪力強度的公式：

$$\tau = [c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi'] + (u_a - u_w) [(\Theta^\kappa) \tan \phi'] \quad [2.4]$$

其中 τ 為非飽和的剪力強度、 u_a 為孔隙內空氣壓力、 u_w 為孔隙水壓、 $(u_a - u_w)$ 為結構張力、 Θ 為正規化體積含水量 (θ/θ_s) 、 κ 為待定迴歸參數。

Vanapalli and Fredlund (2000)建議[2.4]式中的 θ 使用Fredlund and Xing (1994)提出的公式並搭配他們利用Escario and Juca (1989)、Vanapalli et al. (1996)和Wulfsohn et al. (1996)的實驗數據，迴歸出 κ 與 I_p 的關係，如下圖2-2所示。

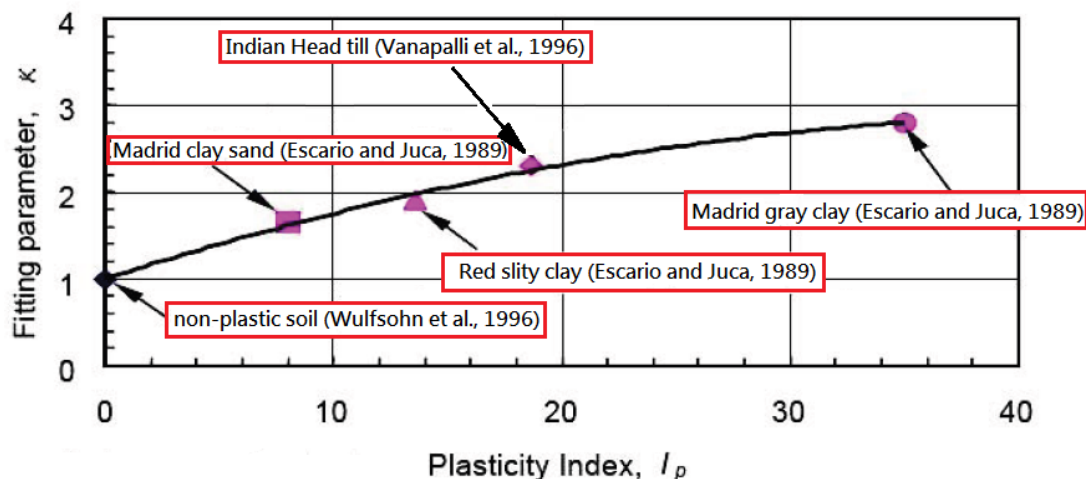


圖 2-2 迴歸參數(κ)與土壤塑性指數(I_p)的關係
(修改自Vanapalli and Fredlund, 2000)

此外，Vanapalli et al. (1996)同時也基於同樣的觀念，延伸出另一套不使用 κ 的預測公式：

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \left[\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \tan \phi' \right] \quad [2.5]$$

其中 θ 為體積含水量、 θ_s 為飽和體積含水量、 θ_r 為殘餘體積含水量。但於研究指出使用此公式的困難點為如何決定殘餘體積含水比，尤其是遭遇SWCC曲線沒有明顯轉折點的時候(i.e., fine-grained soils)。

Oberg and Sallfors (1997)認為Bishop理論中的 χ 值與水佔據土壤孔隙與顆粒的接觸面積相關，且與飽和度近似，因此提出針對非黏質性土壤(如砂和粉土)的不飽和和剪力強度的預測式：

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) [(S) \tan \phi'] \quad [2.6]$$

其中 S 為土壤的飽和度。

Khallili and Khabbaz (1998)延續Bishop (1959)的概念，透過不飽和三軸試驗結果提出不飽和剪力強度的預測式：

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) [(\chi') \tan \phi'] \quad [2.7]$$

$$\chi' = \left[\frac{(u_a - u_w)_f}{(u_a - u_w)_b} \right]^{-0.55} \quad [2.8]$$

其中 $(u_a - u_w)_f$ 為試體於破壞時的結構張力、 $(u_a - u_w)_b$ 為空氣進入壓力值。
[2.8]式中的指數-0.55是經驗常數，由13組土壤資料而得。

Vanapalli and Fredlund (2000)利用Escario and Juca (1989)以三種不同土壤做實驗所得非飽和剪力強度與土壤-水特徵曲線數據，分別使用[2.4]式、[2.5]式、[2.6]式、[2.7]式，比較預測結果與實驗數據的差異，比較結果如下：

表 2-6 四種估算非飽和強度經驗式的比較

學者	分析比較結果
Vanapalli et al. (1996)	無論是在結構張力值範圍是在較小區域 (0~1500 kPa)或是在較大的區域，與實驗數據相比，是四個方法當中預測結果最好的。
Vanapalli et al. (1996)	在結構張力值較小的時候比較精準；在結構張力值較大時精度變得不理想，原因可能來自於選取不合適的 θ_r 所致。
Oberg and Sallfors (1997)	無論是在結構張力值較大或是較小的區域，其結果都不理想。
Khallili and Khabbaz (1998)	可以合理的估計於結構張力較小的區域，但在結構張力較大的區域不理想。

2.3 急洩降(Rapid Drawdown)

2.3.1 急洩降的定義與形成條件

當邊坡外的水位短時間內洩降，而邊坡內的水來不及洩降，等於原本與坡內達平衡的坡外水壓瞬間被移除，導致邊坡內水壓對邊坡整體造成額外驅使滑動的力，這短時間內極端的現象即稱之為「急洩降」。但不是每個邊坡都會發生急洩降，要造成急洩降有兩個條件：

- (1) 邊坡本身為低透水性的土層，不易排水。土壤透水性高低的則由壓密公式裡的時間因數 T 來決定：

$$T = \frac{C_v \times t}{D^2} \quad [2.9]$$

T 為時間因數、 C_v 為壓密係數、 t 為洩降時間、 D 為排水路徑。
當 $T \geq 3$ 視為排水材料； $T < 3$ 則視為不排水材料。

- (2) 邊坡外水位因自然或人為因素，導致水位短時間內急遽變化。

2.3.2 急洩降的分析方法

由急洩降的定義可得知此情況為邊坡最極端的情況，也是邊坡最容易發生破壞的時候。

早些年針對急洩降的問題，最直接的想法是求出內部的孔隙水壓，便可由壓密不排水的情況中，用有效應力分析直接求得剪力強度。大部分用有效應力分析中估算孔隙水壓來自於 Bishop (1954)，之後 Morgenstern (1963) 也是用此方式去計算得安全係數。但 Wong et al. (1983) 用兩個已經破壞的水壩案例，以 Bishop 和 Morgenstern 的有效應力分析方式去估算，結果發現這種分析方式會在急洩降時，僅考慮填築材料 (fill materials) 所對應深度的孔隙水壓值，忽略那些材料本身緊密的程度和受剪時是否會有剪脹的趨勢，實際上從發生急洩降那刻開始，會因為填築材料的緊密程度不同而使邊坡內水滲流出邊坡的速度不同，逐時的滲流會使坡內材料的主應力產生變化，這會額外造成孔隙水壓的變化，而且該問題是隨時變的暫態問題，應考慮此現象才完整。因此，此分析法對對緊密程度較低的材料可行，但對於緊密程度較高的材料則會過於保守。

Duncan et al. (1990)，認為分析滲透係數很低的土層時，相較於使用有效應力分析，用總應力分析可技巧性的避開估算水壓的問題。他們回顧了 U.S. Army Corps of Engineer's method (1970) 和 Lowe and Karafiath method (1959) 所提出的總應力分析法，結合兩個方法的長處並提出了改良的分析方式：三階段分析法 (Three-Stage Analysis)。三階段分析法的由來整理如表 2-7 所示。

表 2-7 三階段分析法的概念

參考的方法	保留的概念	修正的概念
USACE method (1970)	1) 排水所造成的影響 2) 排水剪力強度可能 < 不排水剪力強度	1) 計算不排水剪力強度方式 2) 多考慮排水剪力強度
Lowe and Karafiath method (1959)	不排水剪力強度的計算考慮非等向性壓密的影響	None

三階段分析法將急洩降的過程拆成三個階段來分析：(1)第一階段為在發生洩降前、(2)第二階段為發生洩降後、(3)第三階段為土層內的水滲流達平衡，以下說明各階段的流程與假設前提。

(1) 第一階段為在發生洩降前：

此階段由於邊坡外側水位在高水位，假設在此情況下土壤孔隙內的滲流達穩態。由於土層滲透性較低，處於不排水的狀態，計算滑動面上的有效正向應力 σ' (同時也是有效壓密應力， σ'_{fc}) 和驅使滑動的剪應力 τ 。

(2) 第二階段為發生洩降後：

此階段為邊坡外的水位洩降完成，但坡內因土層滲透性低而仍然處於全飽和的狀態，以總應力分析得 $\tau_{ff}(\text{undrained})$ ，假設前提為急洩降的過程中，土層都是不排水的。同時考慮到壓密的異向性問題(anisotropic consolidation)，當

$K_c = \frac{\sigma'_1}{\sigma'_3} = 1$ 是等向壓密情況下所得的破壞包絡線； $K_c = K_f$ 是非等向壓密情況下所得的破壞包絡線，即是由前一個階段的有效應力的破壞包絡線，其中

$$K_f = \frac{(\sigma' + c \cos \phi')(1 + \sin \phi')}{(\sigma' - c \cos \phi')(1 - \sin \phi')}。 K_c = 1 \text{ 與 } K_c = K_f \text{ 是兩個極端邊界值，利用前一階段}$$

求得在滑動面上的有效正向應力 σ' 和驅使滑動的剪應力 τ ，可分別求出在 $K_c = 1$ 與 $K_c = K_f$ 時的滑動面上的抗破壞剪應力值 τ_{ff} 。根據 Lowe and Karafiath method (1959) 假設前一階段壓密位態是沿主軸應力方向，其與造成破壞的壓密是一致的，則破壞包絡線可用 K_1 表示：

$$K_1 = \frac{\sigma' + \tau[(\sin \phi' + 1)/\cos \phi']}{\sigma' + \tau[(\sin \phi' - 1)/\cos \phi']}， K_1 \text{ 介於 } K_c = 1 \text{ 與 } K_c = K_f \text{ 之間，}$$

有效應力 σ' 與剪應力 τ 來自於上一個階段已求出的值。最後利用線性內插，

$$\tau_{ff} = \frac{(K_f - K_1) \times \tau_{ff(K_c=1)} + (K_1 - 1) \times \tau_{ff(K_c=K_f)}}{K_f - 1}， \text{ 將 } K_1、K_f、\tau_{ff(K_c=1)}、\tau_{ff(K_c=K_f)} \text{ 代}$$

入，可求出當在第一階段求得的正向有效應力時，碰到破壞包絡線 K_1 所對應的抗破壞剪應力值 $\tau_{ff}(\text{undrained})$ 。

(3) 第三階段為土層內的水滲流達平衡：

本階段為在土層內的水滲流與邊坡外的水滲流達平衡，此時以有效應力分析。以有效應力分析得排水時的剪應力強度 $\tau_{ff(drain)}$ ，並計算出該階段的安全係數。

比較第二階段與第三階段的結果：

驅使滑動剪應力 τ ：是由第二階段 γ_{sat} 計算而得。

抵抗滑動的剪應力 τ ：比較第二階段和第三階段的剪力強度來決定。可分為a)和b)兩種情況

- a) 當第三階段的 $\tau_{ff(drain)}$ < 第二階段的 $\tau_{ff(undrain)}$ 時，則以第三階段的排水剪力強度 $\tau_{ff(drain)}$ 控制，以其計算得急洩降的安全係數。
- b) 當第三階段的 $\tau_{ff(drain)}$ > 第二階段的 $\tau_{ff(undrain)}$ 時，則以第二階段的不排水剪力強度 $\tau_{ff(undrain)}$ 控制，以其計算得急洩降的安全係數。

Fredlund et al. (2011)認為在不排水情況下，使用總應力分析固然比較方便，但總應力分析中看不到孔隙水壓與有效應力間相互影響的關係，因此，總應力分析的限制與接近破壞時的土壤基本行為有關，總應力分析過於保守。所以他們針對Duncan et al. (1990)三階段分析法提出質疑，並指出三階段分析法的四個限制：

- (1) 沒有考慮洩降與時間序列的整個過程關係。
- (2) 整個滑動面僅用單一CU強度來表示是不合適的 (Kerkes et al., 2006)。
- (3) 決定不排水剪力強度的分析不夠嚴謹 (Kerkes et al., 2006)。
- (4) 其假設臨界滑動面是深層破壞且位置並不隨急洩降幕列而改變。

Fredlund等人提出的修正分析方法，該方法與三階段分析法的差異如表2-8所示。

表 2-8 Fredlund et al. (2011)與 Duncan et al. (1990)分析急洩降的方法比較

方法	分析方法	水壓取得方式	對急洩降的詮釋方式
Duncan et al. (1990)	都分成三個階段： 1)發生洩降前 2)發生洩降後 3)發生洩降後，滲流達平衡	穩態滲流，以靜水壓估計	<ul style="list-style-type: none"> • 不排水狀態以總應力分析做穩態分析 • 只以各階段當下時間點做分析，忽略急洩降的中間過程
Fredlund et al. (2011)		由數值軟體跑滲流模擬分析 (SVFLUX)	<ul style="list-style-type: none"> • 不排水狀態以有效應力做暫態分析 • 考慮在發生洩降後，將滲流歷時切割成數個時間間隔，記錄各時間點的水位分佈，並將其輸入邊坡穩定程式中計算安全係數 • 可得安全係數與時間序列的變化關係

但該研究忽略非飽和的部分，非飽和的區域的基質吸力能給予土壤額外的穩定幫助，忽略它的影響是比較保守的方法。並以Duncan et al. (1990)曾經以三階段分析法計算過的兩個相同水壩破壞案例，用他們提出的分析方式計算出的安全係數與Duncan等人的進行比較，證明該模擬方法是更貼近現實情況的方法。

2.4 水位升降於非飽和邊坡穩定的分析與影響

2.4.1 非飽和邊坡的水位升降之滲流模擬分析

護岸外的水位並非始終固定在某一定高度，而是會隨著豐水期和枯水期上下變動，由於台灣南北狹長且地勢陡峭，河川多呈東西走向，因此河川有長度短且流速快的特性，河水位於短時間內的漲落於颱風或是梅雨季節期間更是劇烈。因此，水位升降於非飽和邊坡滲流的行為是一系列的暫態過程，而急洩降則是水位下降中的一個特例，在一般降雨事件(暴雨或颱風)不易構成急洩降的要素，而在大型灌排渠道或區域排水渠道的邊坡護岸較容易達到急洩降的要素。

無論是模擬水位上升或洩降，現今針對水位升降於非飽和邊坡滲流的模擬多以有限元素法做有效應力暫態分析，先選定於非飽和區域計算土壤-水特徵曲線和相對導水度 K_r 的方式並代入有限元素法中，之後於邊坡面上決定水頭與時間的序列關係函數，進行暫態滲流模擬分析(劉 等人，2005；廖 等人，2005；張 等人，2005；張和陳，2011)。針對急洩降的分析，上述等人的分析方式水位並非由高水位直接洩降至低水位，且允許於水位升降過程邊坡內的水可自由進出，會比 Fredlund et al. (2011)模擬急洩降的方式更為貼近事實。

2.4.2 非飽和邊坡的邊坡穩定分析

常用的邊坡穩定的計算方式可分為極限平衡法和有限元素法，極限平衡法建立於塑性理論基礎上，基本假設前提為：(1)邊坡未達破壞前，土體為剛體且無形變、(2)當達破壞時為完全剪力破壞、(3)沿破壞面上均達塑性、(4)破壞面上所有點位的安全係數皆相同、(5)破壞面的位置是預先假設的。極限平衡法採用的力學破壞準則為莫耳-庫倫破壞準則(Mohr-Coulomb failure criteria)，對安全係數的定義為在假想滑動面上，土壤本身的剪力強度與驅使在滑動面產生滑動的剪應力的比值。極限平衡法是建立在靜力平衡上。靜力平衡條件即為靜力學上的三個平衡方程式：水準向的總和力為零、垂直向的總和力為零、對任一點之總彎矩和為零。依分析方式可分成兩大類：

(1) 把分析的對象視為單一自由體(Single-free-body)做靜力平衡。

(e.g. Infinite Slope、Logarithmic Spiral and Swedish Slip Circle Method)

- (2) 把分析的對象分成若干個切片(Slice)，各切片間滿足部分或完整靜力平衡。
(e.g. Morgenstern & Price procedure、Lowe & Karafiath、USACE Modified Swedish Method etc.)

由前一小節所述的暫態滲流模擬方式，可得各時間序列(Time Step)的水壓分佈，決定引入非飽和參數的方法，將此結果轉入至軟體中，決定以有限元素法(張和陳，2011)或極限平衡法(劉 等人，2005；廖 等人，2005；張 等人，2005)進行邊坡穩定分析，即可得水位升降於非飽和邊坡的穩定性的變化關係。

2.4.3 水位升降於非飽和邊坡穩定的影響

國內外針對非飽和邊坡的研究多著眼於降雨入滲對邊坡的影響和水壩於急洩降的安全分析，鮮少有針對水位升降對非飽和邊坡的研究，針對傳統或生態護岸於河川水位升降與護岸邊坡穩定關係的研究更是少之又少。但無論邊坡是水庫庫岸、壩堤或是護岸，差別只在於邊坡內材料的配置和整體邊坡尺寸上的差異，分析邊坡外水位升降造成邊坡內滲流分析的方法是一樣的，於非飽和強度參數上的應用方式也可互通。以下整理庫岸和堤岸考慮非飽和時，邊坡外水位元升降速率與邊坡內材料相關的研究，各研究間的模擬條件差異比較如表 2-9 所示。

表 2-9 研究水位升降於非飽和邊坡穩定的模擬條件差異比較

學者	水位變化方式	邊坡型式	穩定分析方法	備註
劉新喜 等人 (2005)	水位下降	雙層不同材料 呈傾斜層狀排 列	極限平衡法	1. 考慮暴雨與水位下降同時發生 2. 在非飽和區域的非飽和參數 ϕ^b 各層各給一個定值來表示。
廖紅建 等人 (2005)	水位下降	單層材料	極限平衡法	1. 於計算邊坡穩定時沒有說明非飽和所貢獻的剪力強度是如何考量。
張文杰 等人 (2005)	完整水位升降	單層材料	極限平衡法	1. 假設在非飽和區域的非飽和參數 ϕ^b 為定值。
張芳枝、陳曉 平(2011)	1.完整的水位 升降過程 2.水位反復升 降	四種不同材料 以近水準層狀 堆疊而成	有限元素法	1. 於滲流時忽略邊坡材料的異向性($K_x=K_y=K_z$)。 2. 在非飽和區域的非飽和參數 ϕ^b 假設為定值。

綜合以上研究可得以下結論：

- (1) 邊坡內外滲流由坡內土壤的導水度控制，而整體的安全係數變化則受制於水位升降型式、水位升降速率、邊坡內材料的導水度、邊坡配置與使用的土壤參數。由多個控制因數所控制結果。
- (2) 水位驟降階段：
 - a) 導水度小的材料會有變化延遲的現象(張和陳，2011)。
 - b) 安全係數會減小(劉 等人，2005；廖 等人，2005；張 等人，2005；張和陳，2011)。
 - c) 安全係數的下降率會隨水位洩降速率增加而增加(劉 等人，2005；廖 等人，2005)。
- (3) 水位上升階段：
 - a) 導水度小的材料，安全係數增加；導水度大的材料，安全係數減少(張 等人，2005)。
 - b) 水位上升導致上游坡面短時間內孔隙水壓力急劇上升，堤岸邊坡的穩定性降低，之後隨著滲流場孔隙水壓力的調整，邊坡安全係數有所回升(張和陳，2011)。
 - c) 推測造成a)和b)結果差異的主要因素是邊坡材料的配置方式(見表2-9)。
- (4) 由表 2-9 可知非飽和參數 ϕ^b 雖有理論式，但礙於詮釋非飽和區域強度參數分佈的表達上，目前為止沒有能完整詮釋非飽和參數 ϕ^b 於邊坡非飽和區域內任一深度的方法，僅能以有限元素網格點來近似。
- (5) 上述四個研究無論對於水位上升或水位驟降(急洩降)期間的模擬，均允許邊坡內外的水自由進出且使用暫態滲流模擬分析，比 2.3.2 小節提及 Duncan et al. (1990)和 Fredlund et al. (2011)的分析方式更貼近真實情況。

第三章 研究方法

研究方法分為四個部份來說明：(1)非飽和邊坡滲流模型與參數、(2)模擬水位升降的方式、(3)滲流分析結果轉入邊坡穩定軟體的方法、(4)非飽和邊坡穩定模型與參數。上述四個部份的關係由研究方法流程圖(圖 3-1)來說明。

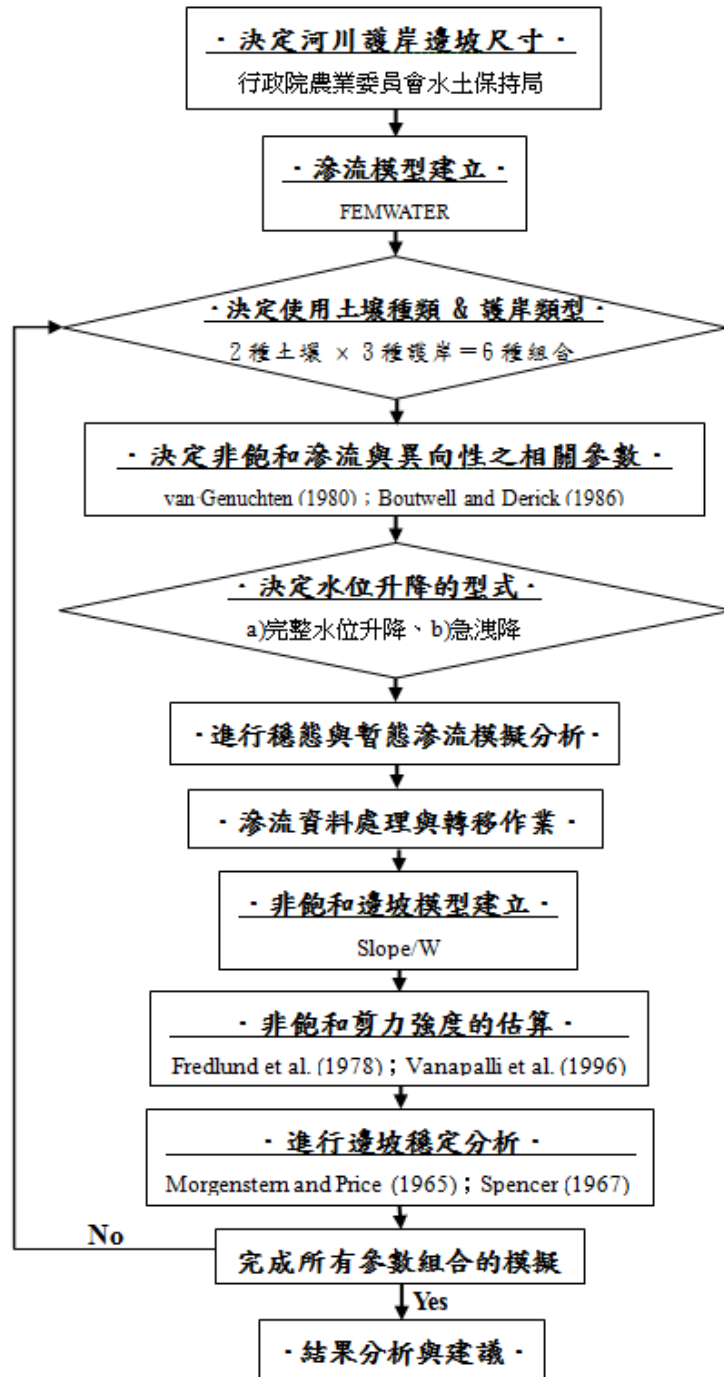


圖 3-1 研究方法流程圖

3.1 非飽和邊坡滲流模型與參數

3.1.1 非飽和滲流模擬分析軟體—GMS 6.0 FEMWATER

本研究使用美國國防部主導所發展出的地下水模擬系統(Groundwater Modeling System, GMS) 6.0 版本, GMS 提供使用者圖形介面, 其滲流模擬分析核心為 FEMWATER。FEMWATER 是 3D-FEMWATER(模擬地下水流)和 3D-LEWASTE (模擬地下水溶質傳輸功能)兩個數值軟體的結合, 均由葉高次教授於美國賓州大學時期所發展出的數值模式(Lin et al., 1997)。

FEMWATER 空間上以葛爾金(Galerkin)有限元素法, 時間上使用有現差分求解地下水流問題與污染物傳輸問題。控制方程式基於流體質量守恆及非飽和層水分變化之修正型理查方程式(Modified Richards equation)：

$$\frac{\rho}{\rho_0} F \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot \left[K \cdot \left(\nabla h + \frac{\rho}{\rho_0} \nabla z \right) \right] + \frac{\rho^*}{\rho_0} q \quad [3.1]$$

其中 $F = \alpha' \frac{\theta}{n} + \beta' \theta + n \frac{dS}{dh}$

α' ：介質的可壓縮性之修正係數

K ：透水係數的張量

β' ：水的可壓縮性之修正係數

z ：勢能水頭

θ ：體積含水量

q ：源流或匯流

n ：孔隙率

ρ ：水的密度（污染物濃度= c 時）

h ：壓力水頭

ρ_0 ：水的密度（污染物濃度=0 時）

S ：飽和度

ρ^* ：注入或抽出水的密度

t ：時間

求解方法有三種：(1)Pointwise iterative matrix solver；(2)Pre-condition conjugate gradient method(polynomial)；(3)Pre-condition conjugate gradient method(incomplete Choleski)。FEMWATER 可模擬穩態(steady)、暫態(transient)、侷限含水層(confined aquifer)、非侷限含水層(unconfined aquifer)和甚至是侷限含水層與非侷限含水層混合而成的多層地下含水層系統。

3.1.2 非飽和滲流模型

3.1.2.1 模型架構

本研究參考行政院農業委員會水土保持局(2005)的水土保持手冊，以混凝土護岸、乾砌石護岸、混凝土砌石護岸為研究對象，將河川護岸邊坡模型視為(A)護岸材料與(B)護岸背填材料，兩種不同材料組合而成的邊坡。其中護岸材料的厚度為 0.6m，埋置深度為 1.3m，詳細的模型尺寸如下圖 3-2 所示。

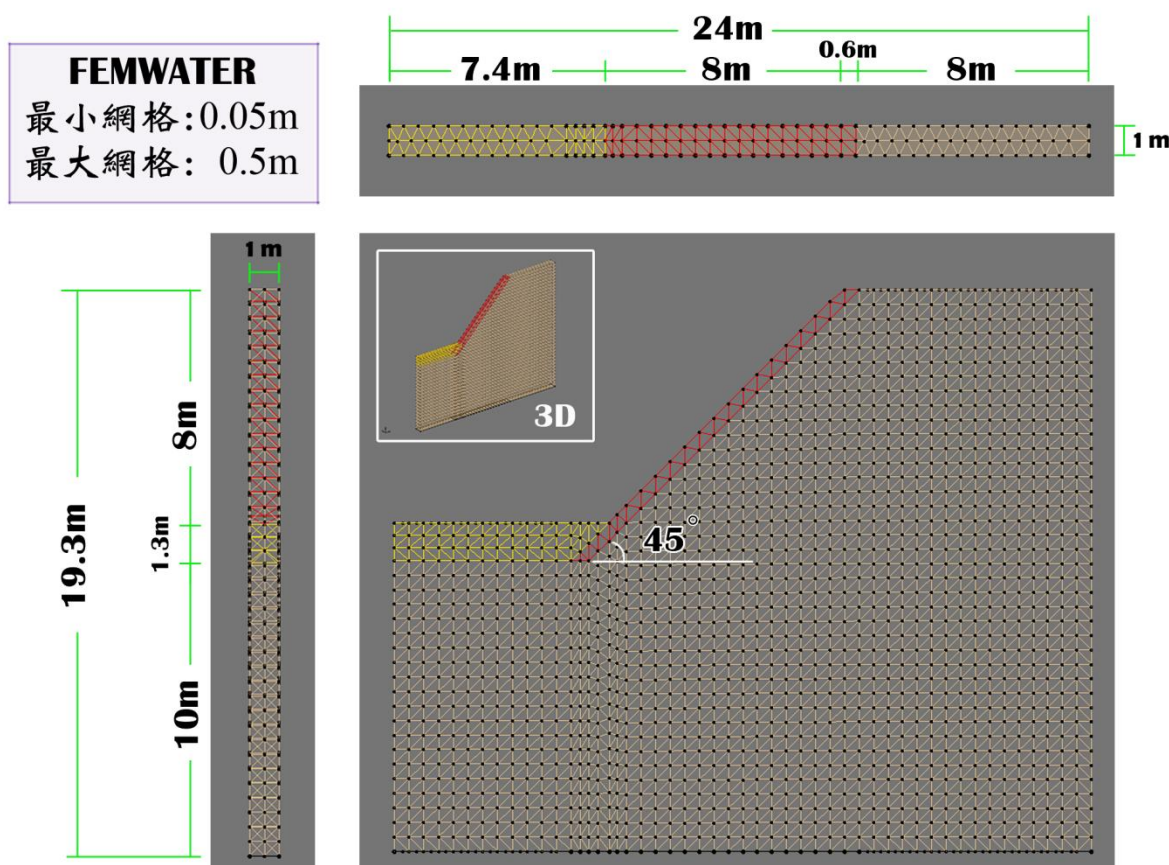


圖 3-2 FEMWATER 護岸邊坡模型示意圖

3.1.2.2 模型邊界條件的假設

本研究於滲流模擬分析中，底部假設為不透水岩盤，因此，邊界條件為零通量；模型左右兩側於初始狀態則是以定水頭邊界，以穩態模擬地下水水位的位置，待河川水位升降之暫態模擬開始後，模型兩側關閉定水頭邊界，河川水位變動的模擬改由邊坡上的節點輸入水頭隨時間變化之動態邊界。

3.1.2.3 護岸材料與護岸背填材料的組合

模擬的護岸材料分為混凝土、乾砌石與混凝土砌石三種；背填材料為導水度較低的粉土質壤土(Silt Loam)和砂質黏土(Sandy Clay)。因此，河川護岸邊坡可分為六種：混凝土護岸背填粉土質壤土、混凝土護岸背填砂質黏土、乾砌石護岸背填粉土質壤土、乾砌石護岸背填砂質黏土、混凝土砌石背填粉土質壤土、混凝土護岸背填砂質黏土。

3.1.2.4 滲流的異向性與飽和時的滲流參數

各護岸材料於飽和時的導水度(K_s)以混凝土的導水度為基準，假設護岸的導水度由大到小依序為乾砌石、混凝土砌石、混凝土。土壤的導水度具有異向性，Boutwell and Derick (1986)針對掩埋場覆蓋層飽和黏土進行研究，發現水平向土壤滲透係數 K_h 約為垂直向土壤滲透係數 K_v 的 5~10 倍。考量到掩埋場夯實的品質要求比護岸後方回填高，故保守取背填土層於飽和時 $K_h : K_v = 5 : 1$ ，並假設水平方向無異向性($K_h = K_x = K_y$)且背填土前方的護岸材料亦有同樣的特性，故本研究於飽和時的各材料之導水度如下表 3-1 所示。

表 3-1 各材料於飽和時的導水度

類型	材料名稱	K_h (m/hr)	K_v (m/hr)
背填材料	粉土質壤土	3.6E-3	7.2E-4
	砂質黏土	3.6E-4	7.2E-5
護岸材料	混凝土	3.6E-7	7.2E-8
	乾砌石	3.6E-1	7.2E-2
	混凝土砌石	3.6E-5	7.2E-6

3.1.2.5 非飽和時的滲流參數

FEMWATER 內建計算非飽和時的土壤-水特徵曲線和非飽和相對導水度的方法為 van Genuchten (1980)提出的模式，其中該模式中所需要迴歸的參數可由 Carsel and Parrish (1988)針對每種不同種類土壤，使用大量的實驗數據並套用 van Genuchten (1980)的模式而迴歸出的參數(見圖 6)，亦可選擇使用者手動輸入參數，再由軟體內建之 van Genuchten (1980)模型自動計算出土壤-水特徵曲線、相對導水度與壓力水頭、持水能力(Water Capacity)等三個關係圖。

Texture	θ_r	θ_s	α 1/cm	n	K_s cm/d
Sand	0.045	0.43	0.145	2.68	712.8
Loamy Sand	0.057	0.41	0.124	2.28	350.2
Sandy Loam	0.065	0.41	0.075	1.89	106.1
Loam	0.078	0.43	0.036	1.56	24.96
Silt	0.034	0.46	0.016	1.37	6.00
Silt Loam	0.067	0.45	0.020	1.41	10.80
Sandy Clay Loam	0.100	0.39	0.059	1.48	31.44
Clay Loam	0.095	0.41	0.019	1.31	6.24
Silty Clay Loam	0.089	0.43	0.010	1.23	1.68
Sandy Clay	0.100	0.38	0.027	1.23	2.88
Silty Clay	0.070	0.36	0.005	1.09	0.48
Clay	0.068	0.38	0.008	1.09	4.80

表 3-2 van Genuchten(1980)模型的迴歸曲線參數 (Carsel and Parrish, 1988)

護岸被填材料的部份，本研究參考 Topp (1969)和 O’Kane Consultants (2004)的土壤-水特徵曲線數據並予以微調，採用手動輸入參數方式得到土壤非飽和相關的關係圖，研究所使用的參數如下表 3-3 所示，繪出的土壤-水特徵曲線與相對導水度分別如圖 3-3、圖 3-4 所示。

護岸材料的部份則由於其結構不同於土壤，缺乏相關材料之土壤-水特徵曲線的研究，因此，本研究中忽略其非飽和造成的影響，護岸材料之滲流行為均由飽和導水度所控制。

表 3-3 護岸背填材料使用的非飽和參數

材料名稱	K_s (m/hr)	θ_s	θ_r	α (m ⁻¹)	β
粉土質壤土	3.6E-3	0.38	0.038	0.39	2.87
砂質黏土	3.6E-4	0.41	0.041	0.23	3.8

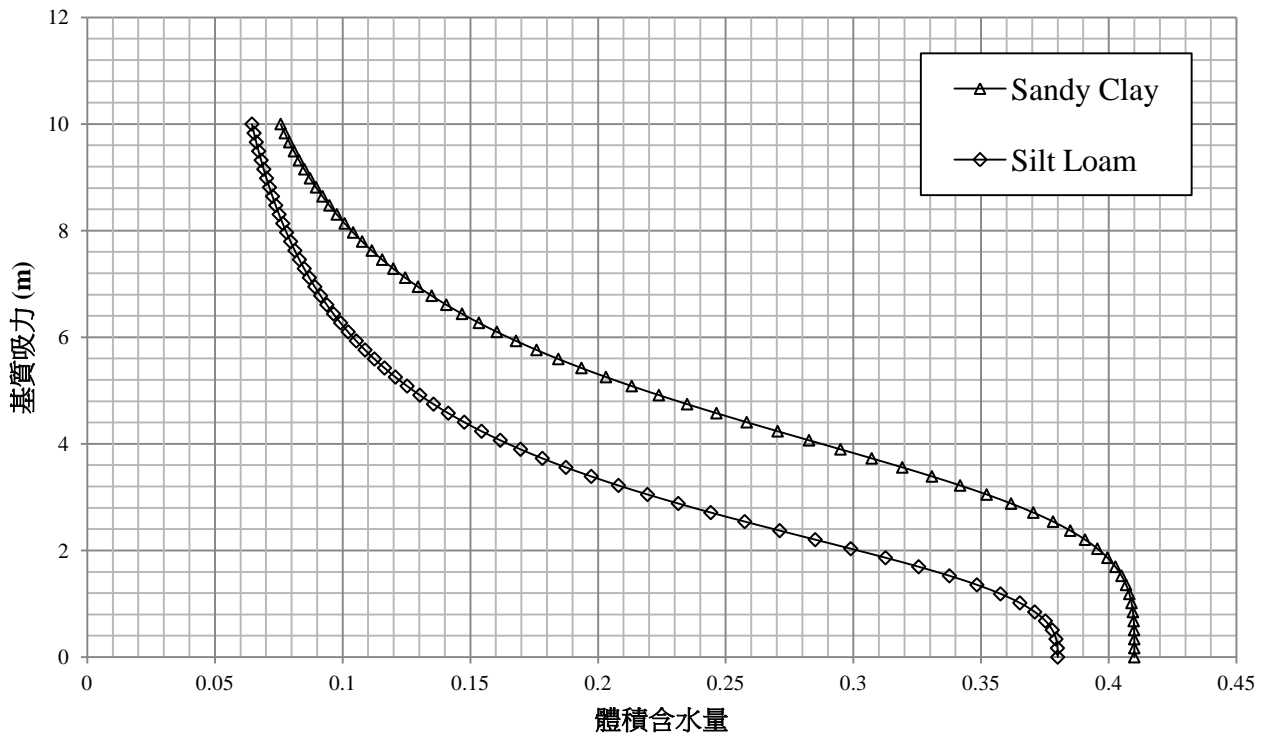


圖 3-3 護岸背填材料的土壤-水特徵曲線

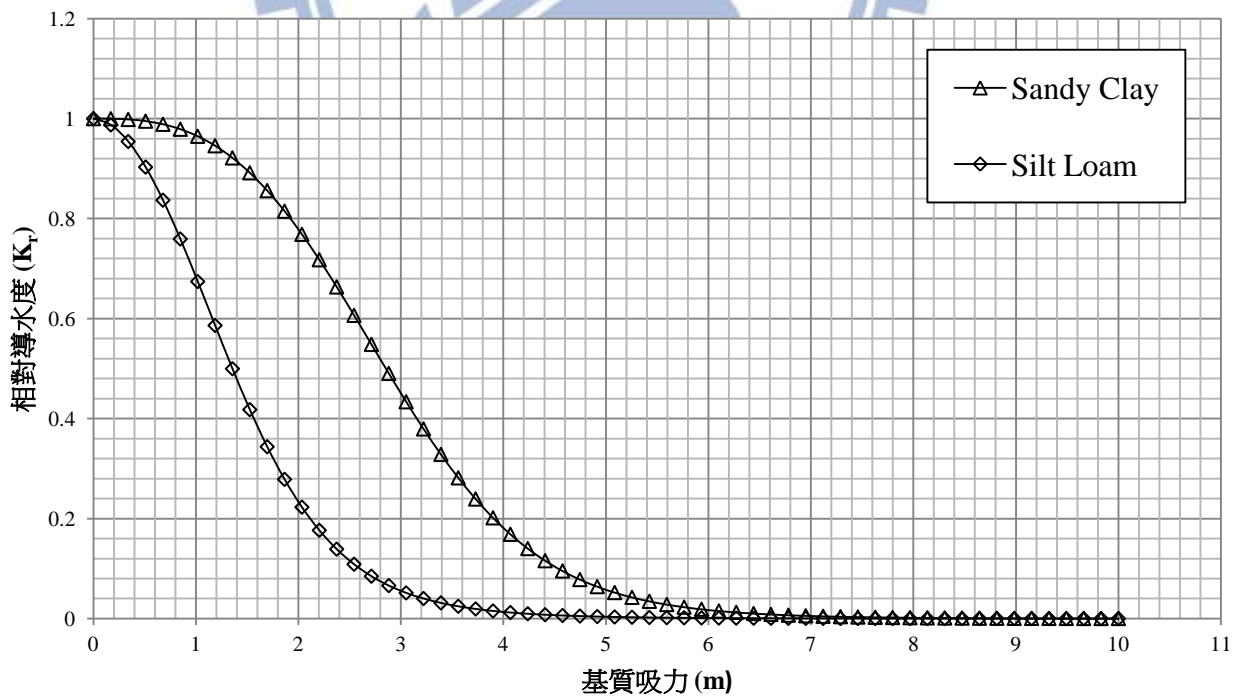


圖 3-4 護岸背填材料的相對導水度

3.2 模擬水位升降的方式

3.2.1 完整的水位升降

3.2.1.1 使用的模式與假設條件

本研究模擬水位升降的假設前提為河川平時處在一個固定的低水位，於一個降雨事件(颱風或暴雨)期間使得河川水位於短時間內上下波動。估計的方式採用由美國水土保持局(U.S. Soil Conservation Service)發展出應用在海島型小集水區，推估暴雨逕流歷線分析的三角歷線(見圖 3-5)，其中原本三角歷線推估基期之參數則是使用水利署(1993)針對台灣河川而修正所得之係數。

一般進行河川溪流整治的著眼點在於流量，本研究則著眼於水位面的升降，其中為模擬方便而假設河道斷面一致，將三角歷線的流量轉化成河道內河水位變化之歷線圖(見圖 3-6)，其中水位高的變化是以下邊坡之河床底(高程為 11.3m)為基準。假設洪峰到達時間時，河川內由低水位上升至高水位，但不至於達滿水位，高水位之高程等於滿水位高扣除設計河川的出水高。出水高的位置根據臺北市政府工務局水利工程處公告的標準：次要河川於 100 年重現期，出水高設計為 1.0 m。集流時間則參考多個行政院農業委員會水土保持局主持的河川溪流集水區整治計畫，分別取高程較高之上游支流段(集流時間較短)和高程較低之下游主流段(集流時間較長)兩種類型，使用的參數如下表 3-4 所示。

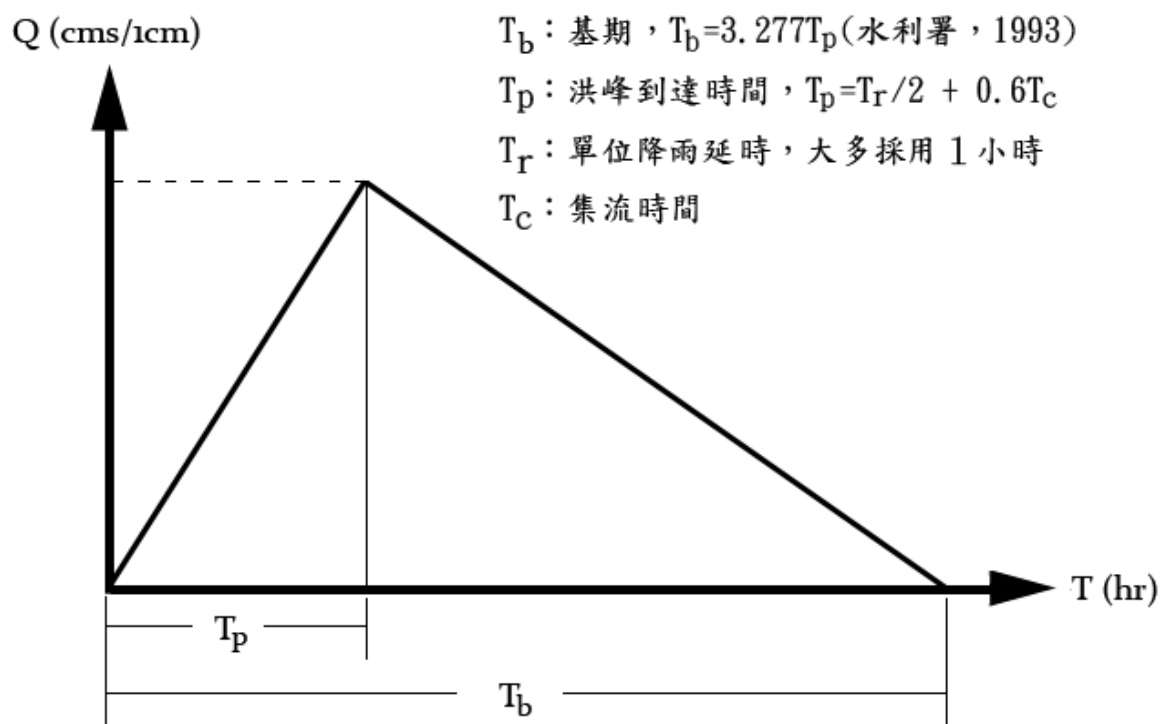


圖 3-5 三角歷線示意圖

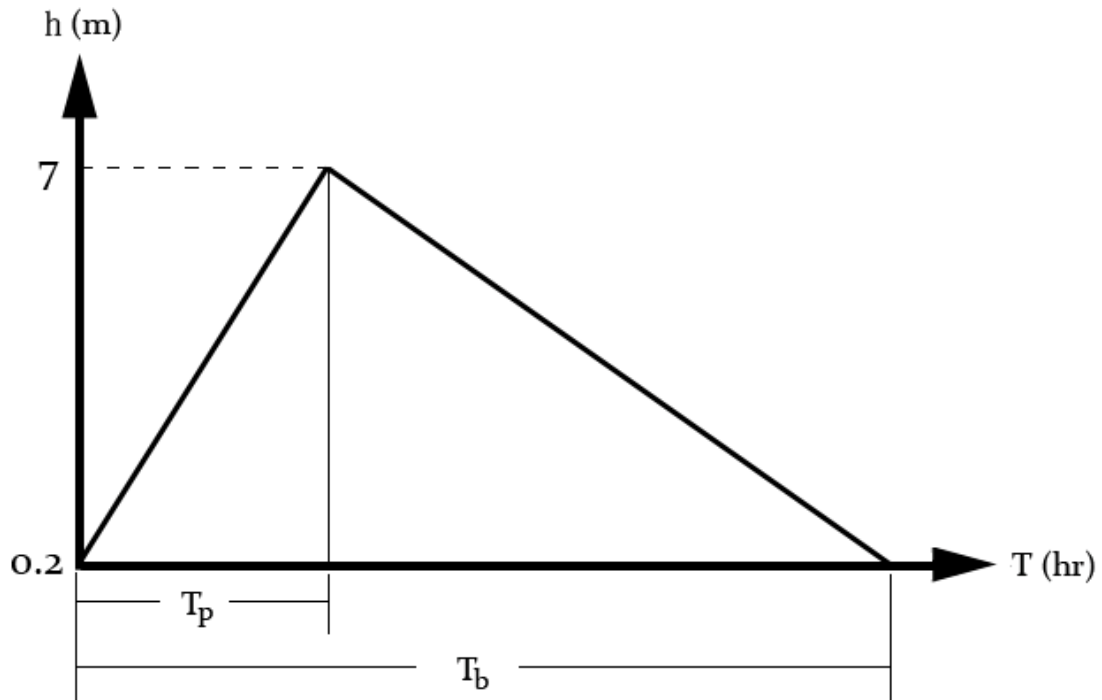


圖 3-6 河川水位變化之歷線圖

表 3-4 河川水位升降使用的時間參數

模擬時間	T_c (hr)	T_b (hr)	T_p (hr) (上升段時間)	$T_b - T_p$ (hr) (退水段時間)
短基期	0.3	2.22	0.68	1.54
長基期	1.0	3.60	1.10	2.50

3.2.1.2 初始狀態(Initial Condition)模擬分析

此階段模擬一開始的初始狀態為假設地下水位於長時間處在護岸埋置深度最下緣的地方(總水頭 10 m)處，假設模型底部為不透水岩盤，故邊界條件假設為零通量邊界。於 FEMWATER 內選擇分析問題方式為穩態，FEMWATER 計算壓力水頭的方式是透過總水頭反推而得，此階段的初始條件輸入固定總水頭為 10m，再輸入欲模擬的護岸材料與背填土壤的飽和導水度和非飽和相關參數後，透過穩態滲流分析可得不同背填土壤與不同護岸之組合時的水壓分佈狀態，以此結果當作模擬的初始滲流狀態。

3.2.1.3 穩態(Steady State)滲流模擬分析

誠如 3.2.1.1 小節所述，假設河川水位長期處在低水位。此階段的模擬以初始狀態的壓力水頭分佈結果作為模擬的起始值。從河床底起算水深為 0.2 m(總水頭 11.5 m)，於 FEMWATER 模型上的河床控制節點和總水頭小於 11.5 m 的邊坡節點均設定為總水頭 11.5 m 的邊界，其餘設定條件與初始狀態相同，以此穩態滲流模擬分析的結果當作平時無降雨事件的河川護岸邊坡水壓分佈。

3.2.1.4 暫態(Transient State)滲流模擬分析

暫態模擬階段是以穩態結果作為模擬的起始值。假設河川水位升降是時間的函數，模擬方式與關係如前面圖 3-6 和表 3-4 所述。於 FEMWATER 內選擇分析問題方式為暫態並於河床底和護岸邊坡面上各節點設定各自於總水頭與時間所對應的暫態控制邊界；模擬分析結果之輸出時間序列(Time-Step)於短基期的設定為 0.02 小時，長基期的設定為 0.04 小時，其餘設定條件與初始狀態相同。此分析結果即為河川護岸邊坡於河川水位升降期間之暫態滲流模擬分析結果，每個時間序列均可得所對應的河川護岸邊坡水壓分佈狀況。



3.2.2 急洩降

3.2.2.1 使用的模式與假設條件

急洩降的情況較常見於大型灌排渠道或是區域排水渠道，一般河川不易構成此條件。因此，假設河川水位長時間停滯於高水位，足以讓河川護岸後方的邊坡土壤飽和度趨近於 1；水位洩降的部分則延續使用前面 3.2.1 節所述完整水位升降方法，取其當中的退水段，即圖 3-7 中實線的部分(退水段的參數詳見表 3-4)來模擬急洩降期間的水位變化。

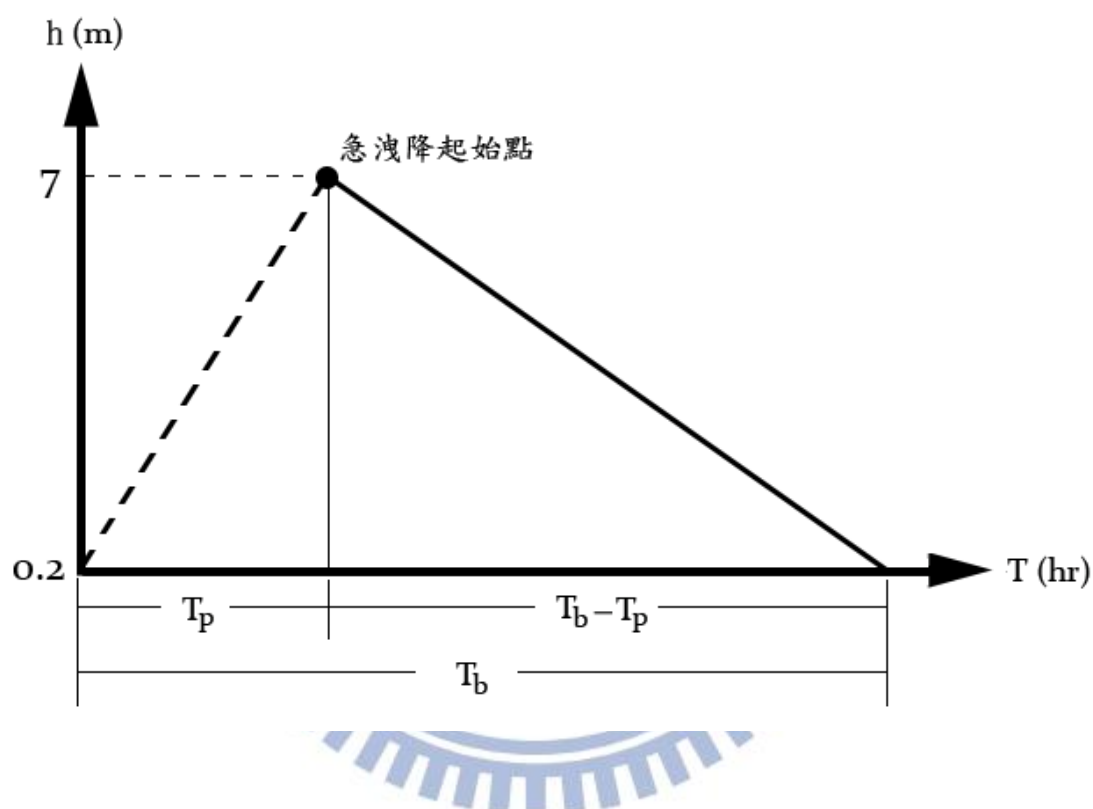


圖 3-7 急洩降水位變化之歷線圖

3.2.1.2 穩態(Steady State)滲流模擬分析

急洩降穩態的模擬係以固定高水位(總水頭 18.3 m)的穩態滲流模擬當作初始條件。其餘設定方式與 3.2.1.2 節說明穩態滲流模擬的方式相同。

3.2.1.3 暫態(Transient State)滲流模擬分析

此階段的暫態滲流模擬分析係以穩態結果作為模擬的起始值。上下游的洩降高度均從高水位(總水頭 18.3m)至低水位(總水頭 11.5m)，上下游不同的地方在於洩降的速率，短基期者取 1.54 小時內洩降完畢；長基期者取 2.50 小時內洩降完畢。其餘設定方式與 3.2.1.4 節說明暫態滲流模擬的方式相同。

3.3 滲流分析結果轉入邊坡穩定軟體的方法

由於使用滲流模擬分析的軟體 FEMWATER 與分析邊坡穩定的軟體 Slope/W 由不同公司所開發，兩個軟體本身間並沒有提供可直接輸入的溝通平台。因此，需要手動輸入的方式讓兩者間資料能橋接在一起。手動的方式可分為兩種：

- (1) 直接手動的方式將滲流結果的水壓值一一輸入至 Slope/W 當中，但這方法費時費工，非常不經濟。
- (2) 透過程式語言當媒介，將方法(1)當中繁瑣的工作交由程式指令完成，再將結果技術性的植入到 Slope/W。

本研究採用第(2)個方法，使用的程式語言為 MATLAB R2010a 版本，本研究的詳細處理流程見附錄-1。

其中，雖然 Slope/W 本身不支援 FEMWATER 的資料直接輸入，但 Slope/W 支援存取成另一種標記語言的格式(.xml)，XML 為可擴展標記語言的英文縮寫 (eXtensible Markup Language, XML)，透過此格式便可繞過原本的使用者介面，直接從標記語言的格式與 Slope/W 運算核心進行溝通並下達指令，編輯 Slope/W 的 XML 檔案格式，按附錄-1 中所得到的程式碼貼入標記座標點和壓力水頭的正確位置，即完成將 FEMWATER 滲流分析結果植入 Slope/W 的所有程序，結果如圖 3-8 所示，圖中的 50 個藍點即為各暫態分析下的壓力水頭值。

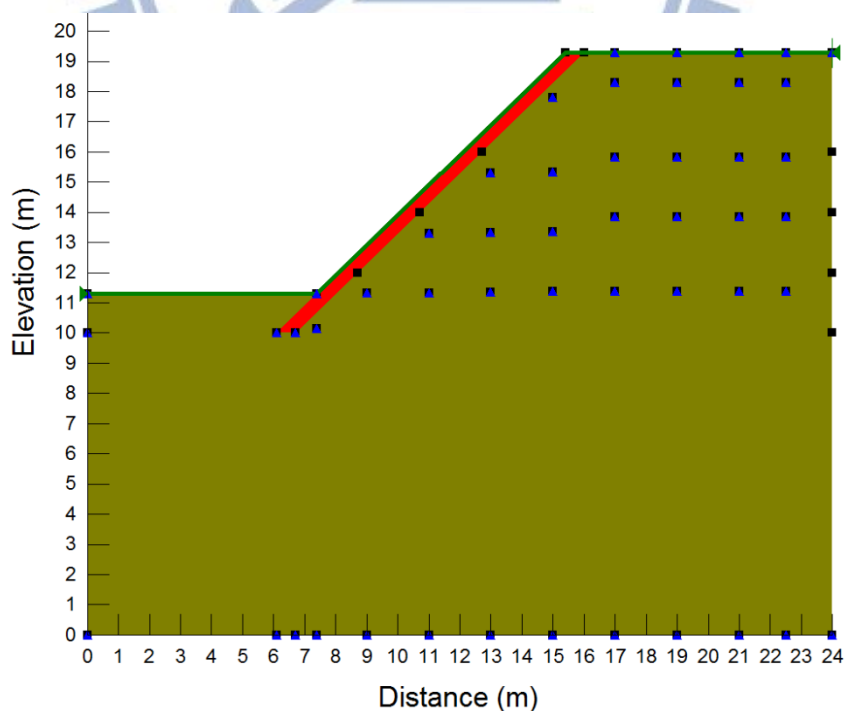


圖 3-8 滲流分析結果轉入邊坡穩定軟體的完成圖

3.4 非飽和邊坡穩定模型與參數

3.4.1 邊坡穩定分析軟體—Geo SLOPE/W

此軟體是基於極限平衡法計算邊坡穩定的數值軟體，最早的程式原始碼是由 D. G. Fredlund 於加拿大的薩斯喀徹溫大學(University of Saskatchewan)所開發。軟體提供極限平衡法中的切片法類型的所有方法(e.g. Spencer, Morgenstern and Price, Sarma etc.)。適用於不同土壤類型、複雜的地層和任一幾何的滑動面，允許使用者自行輸入孔隙水壓分佈狀況，提供滑動面的搜尋方式有五種：

- 1) 完全人為設定滑動面(Fully Specified)
- 2) 區塊搜尋設定(Block Specified)
- 3) 圓心及半徑搜尋(Grid and Radius)
- 4) 指定滑動面起始與離開區域(Entry and Exit)
- 5) 自動搜尋(Auto Locate)

於非飽和土壤對邊坡安全係數貢獻方面，Slope/W 提供估算非飽和土壤剪力強度的功能，其計算的方法根據 Fredlund et al. (1978)，即第二章文獻回顧中提及的式子[2.3]。其中非飽和參數 ϕ^b 是 Slope/W 中可獨立輸入的參數，介於 0 和 ϕ' 之間。其計算剪力強度邏輯為當遇到水壓值為正值時使用 ϕ' ， ϕ^b 不參與計算；當遇到水壓值為負值時 ϕ' 和 ϕ^b 同時參與計算。

3.4.2 非飽和邊坡穩定模型與參數

3.4.2.1 模型架構

邊坡模型的尺寸與 FEMWATER 滲流模型於 X-Z 剖面相同。首先將邊坡分割成兩大區域，一個是前方護岸，另一個是護岸後方的背填土壤；於護岸後方背填土壤的區域再分割成 4 塊小區域(見圖 3-12)，目的是為了估算各區域於每個暫態滲流模擬分析下，每個區域各自的平均代表 ϕ^b ，以減緩全區域只用一個 ϕ^b 來代表，高值和低值會因平均而被弭平的程度。分析邊坡穩定的方法則分別採用 Morgenstern and Price (1965)和 Spencer (1967)，另外，由於本研究中無預期破壞的弱面，因此搜尋滑動面的方式則採用自動搜尋。

3.4.2.2 非飽和邊坡穩定模型配置與相關參數

本研究護岸的類型分為三種，其中混凝土護岸與混凝土砌石護岸使用同一個模型來模擬，兩者的差異只在於護岸本身強度參數上假設的不同；乾砌石護岸則使用另一個模型，詳細的邊坡使用斷面配置與相關參數如下表 3-5 至表 3-7 和圖 3-9 至圖 3-11 所述。

表 3-5 混凝土護岸模型與參數

護岸型式	γ (kN/m ³)	K_s (cm/s)	c' (kPa)	ϕ' (度)
混凝土護岸	22.56	10^{-8}	5837	0
說明	<p>γ : 混凝土單位重採用常重混凝土, 2300 (kg/m³)。</p> <p>K_s : 根據混凝土透水性質而得。</p> <p>c'、ϕ' : 1. 視混凝土護岸受力情況等同於單壓的情況, 故以無圍壓估計強度。</p> <p>2. 設計單壓強度 140(kgf/cm²)考量現場施工品質良莠不齊, 給予折減係數 0.85(內政部營建署結構混凝土施工規範), 故得混凝土護岸的強度參數: $c' = 0.85 \times 0.5 \times (140 \times 9.81 \times 10) = 5837$ (kPa)。</p>			

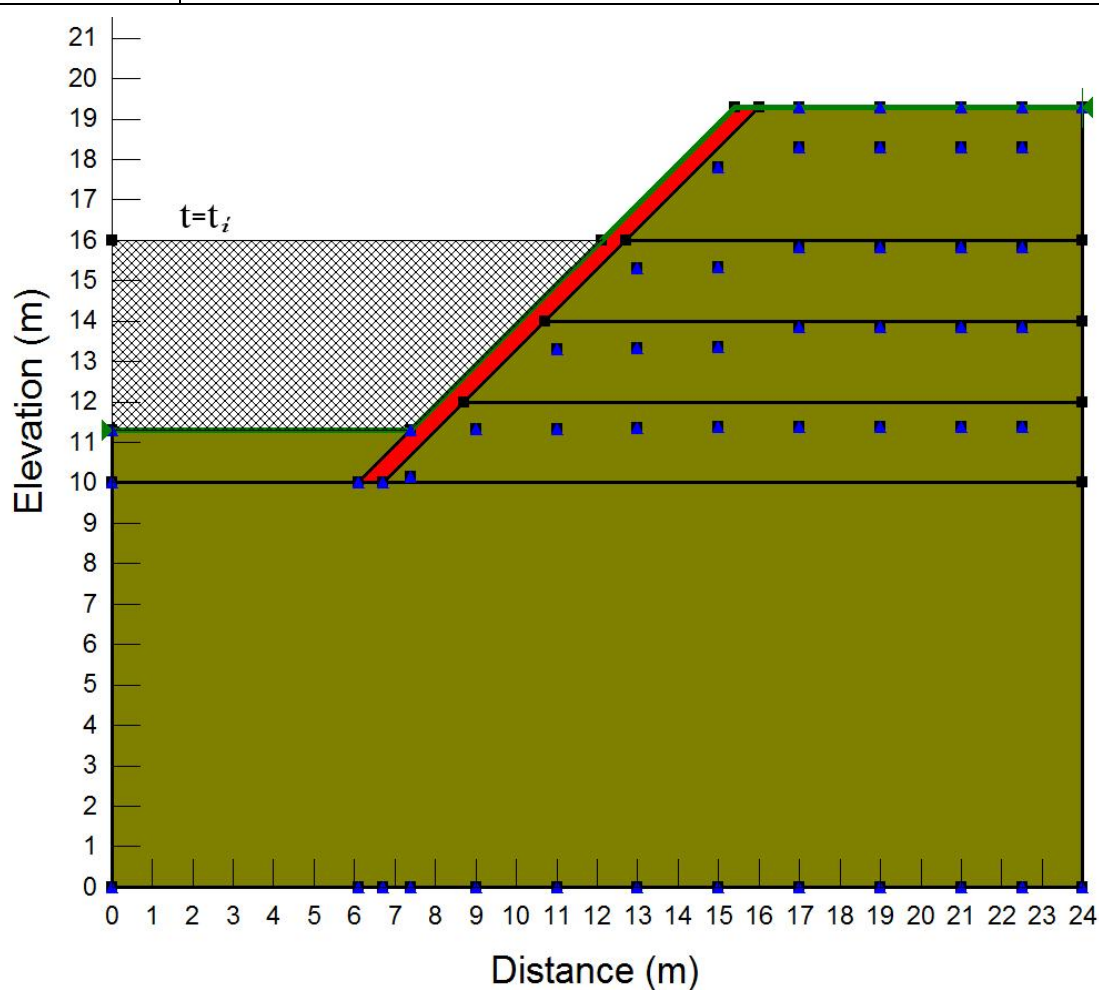


圖 3-9 混凝土護岸配置示意圖

表 3-6 混凝土砌石護岸模型與參數

護岸型式	γ (kN/m ³)	K_s (cm/s)	c' (kPa)	ϕ' (度)
混凝土砌石	20.43	10^{-6}	4670	0
說明	<p>γ : 1. 卵礫石單位重 25.04(kN/m³)、乾砌石牆的孔隙率為 0.476，所以卵礫石佔的孔隙率為 0.524 (楊朝平, 2011)。</p> <p>2. 卵礫石體積：孔隙體積=0.524：0.476 \div 1.1：1。</p> <p>3. 考量砌石靠河川側為保留生態空間沒有灌漿，砌石內側灌漿的漿液並沒有確實占滿所有孔隙，故給予折減係數 0.5。</p> <p>4. 假設混凝土後方與邊坡間卵石濾層單位重為 22(kN/m³)。</p> <p>5. 假設護岸寬度比例為砌石：混凝土：卵石=3：2：1，故漿砌卵石的單位重由算術平均數可得：</p> $\gamma = \frac{3 \times 0.524 \times 25.04 + 3 \times 0.5 (0.476 \times 22.56) + 2 \times 22.56 + 1 \times 2}{3 + 2 + 1} = 20.43$ <p>K_s : 假設透水性介於混凝土護岸與乾砌石護岸間，10^{-6}(cm/s)。</p> <p>c'、ϕ' : 1. 視漿砌卵石護岸破壞是肇因於卵石間膠結的混凝土被破壞。</p> <p>2. 考量實際上因灌漿沒有完全填滿孔隙，導致漿液之間沒有連貫，強度無法有效發揮，故假設強度自純混凝土再給予折減：$c'_{\text{average}} = 0.8 \times 5837 = 4670$ (kPa)。</p>			

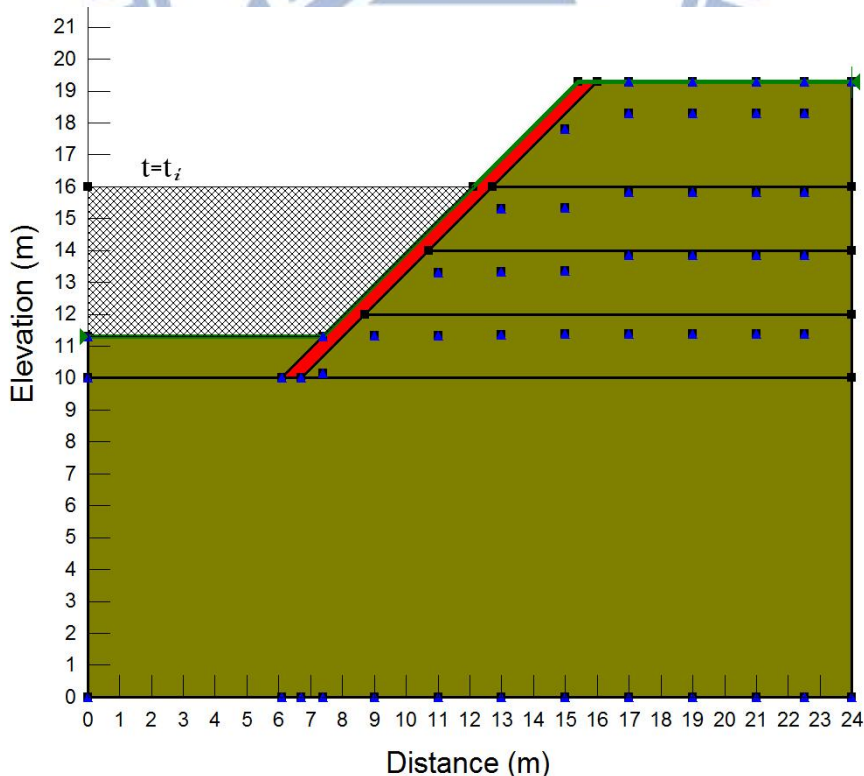


圖 3-10 混凝土砌石護岸配置示意圖

表 3-7 乾砌石護岸模型與參數

護岸型式	γ (kN/m ³)		K_s (cm/s)	c' (kPa)		ϕ' (度)	
	砌石	弱面		砌石	弱面	砌石	弱面
乾砌石護岸	25.04	1	10 ⁻²	10 ⁴	0	36	36
說明	<p>γ：根據楊朝平(2011)於頭前溪的量測卵石平均值 25.04 (kN/m³)，平均浸水單位重 15.23(kN/m³)。</p> <p>K_s：乾砌石表面與孔隙間無填充物，假設透水性良好，10⁻²(cm/s)</p> <p>c'、ϕ'：1. 視乾砌石護岸破壞時為砌石間滑動所致，破壞面不通過乾砌石。</p> <p>2. 楊勝崎(2005)以紅磚模擬砌石，研究砌石擋土牆之破壞力學分析。採用台灣本地生產的紅磚作為替代砌石，原因是紅磚介面間的摩擦係數與天然石塊相當接近，因此以紅磚間的摩擦係數視為砌石間的摩擦係數，摩擦係數為 0.7173。假設砌石間是弱面，內摩擦角取 $\tan^{-1}(0.7173)=36^\circ$、$c'=0$；乾砌石層假設 $c'=10^4$(kPa)以確保破壞面不會通過該區域。</p>						

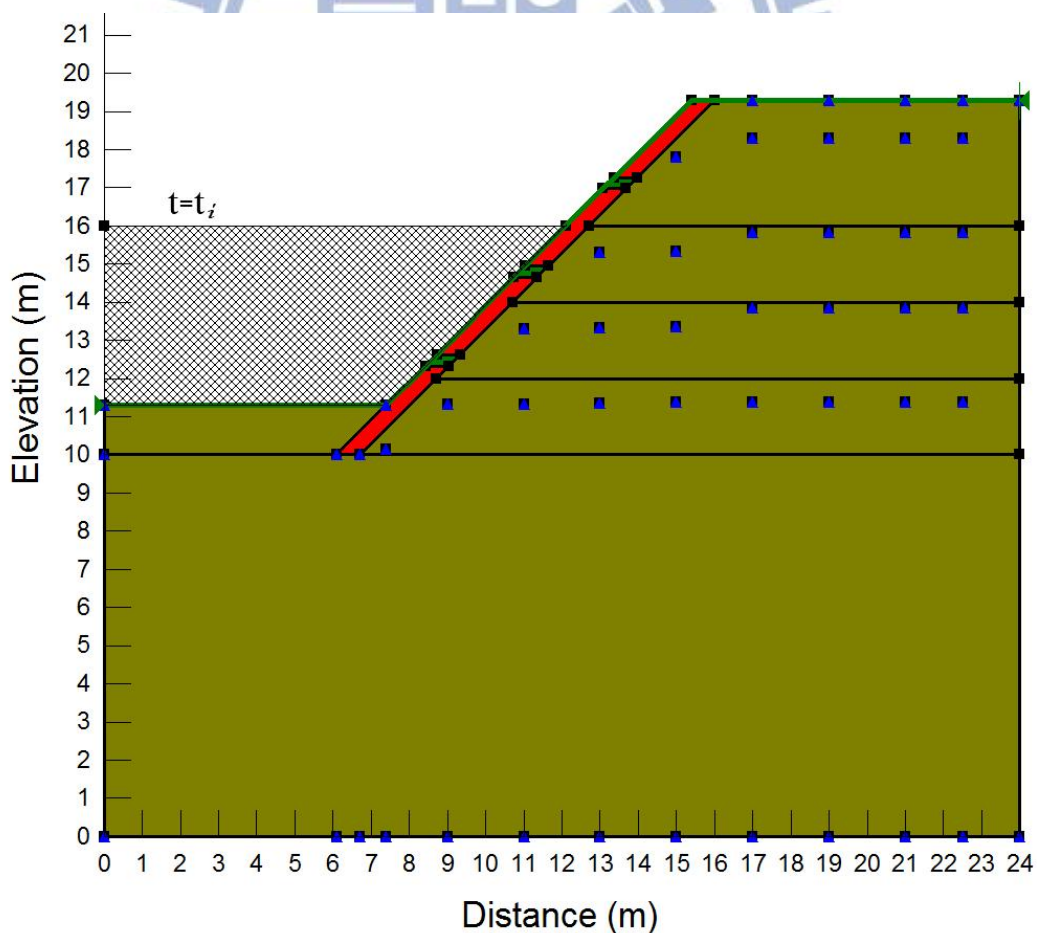


圖 3-11 乾砌石護岸配置示意圖

3.4.2.3 背填土壤相關參數

護岸後方背填的土壤相關參數如表 3-8 所述，其中考量模擬水位升降時(含急洩降)的易滲流性，故飽和時的導水度取 $10^{-4} \sim 10^{-5}(\text{cm/s})$ ； c' 、 ϕ' 參考自多個水保計畫案，概估而得。

表 3-8 使用背填土壤相關強度參數

土壤種類	γ (kN/m ³)	K_s (cm/s)	c' (kPa)	ϕ' (度)
粉土質壤土 (Silt Loam)	19.22(γ_{sat}) 18.00(γ_m)	10^{-4}	10	35
砂質黏土 (Sandy Clay)	18.00(γ_{sat}) 17.85(γ_m)	10^{-5}	12	33

3.4.2.4 非飽和剪力強度的估算

本研究於非飽和剪力強度的估算是採用 Vanapalli et al. (1996)提出的公式，即第二章文獻回顧中提及的式子[2.5]；而 Slope/W 內建計算非飽和的方法為 Fredlund et al. (1978)，兩者對於非飽和剪力強度的理念相同，但詮釋的方法並不相同，兩者之間的關係為：

$$\tan \phi^b = \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right] \tan \phi' \quad [3.2]$$

或是

$$\phi^b = \tan^{-1} \left\{ \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right] \tan \phi' \right\} \quad [3.3]$$

本研究針對非飽和剪力強度的轉換概念與流程如下：

- (1) 由滲流分析結果轉入Slope/W，可知壓力水頭值對應的基質吸力數值。
- (2) 使用FEMWATER內建的van Genuchten(1980)計算土壤-水特徵曲線模式，可反算出該基質吸力所對應的體積含水量。
- (3) 代回[3.3]式中即可算出該基質吸力下所對應的 ϕ^b 值。
- (4) 重覆上述(1)至(3)，處理50個決定的壓力水頭點。
- (5) 計算出各區域的代表 ϕ^b 值，區域的分割說明如下所述。

本研究將全區域分割成6個區域來分別估算各區域的代表 ϕ^b ，50個壓力水頭點散佈於各區域裡，其中因考量下方區域於本模擬設定條件下大部份都保持在飽和的狀態且分佈的壓力水頭值的點數較少，因此從6個區域再簡化成4個區域(見圖3-12)。

於各區域代表 ϕ^b 的計算本研究是透過Matlab，撰寫同時計算各區域 ϕ^b 的程式指令，可自動辨識負的壓力水頭值和數量並進行計算，計算完成後自動輸出各區域的數值成記事本格式，以便迅速取得各區域的代表 ϕ^b 。

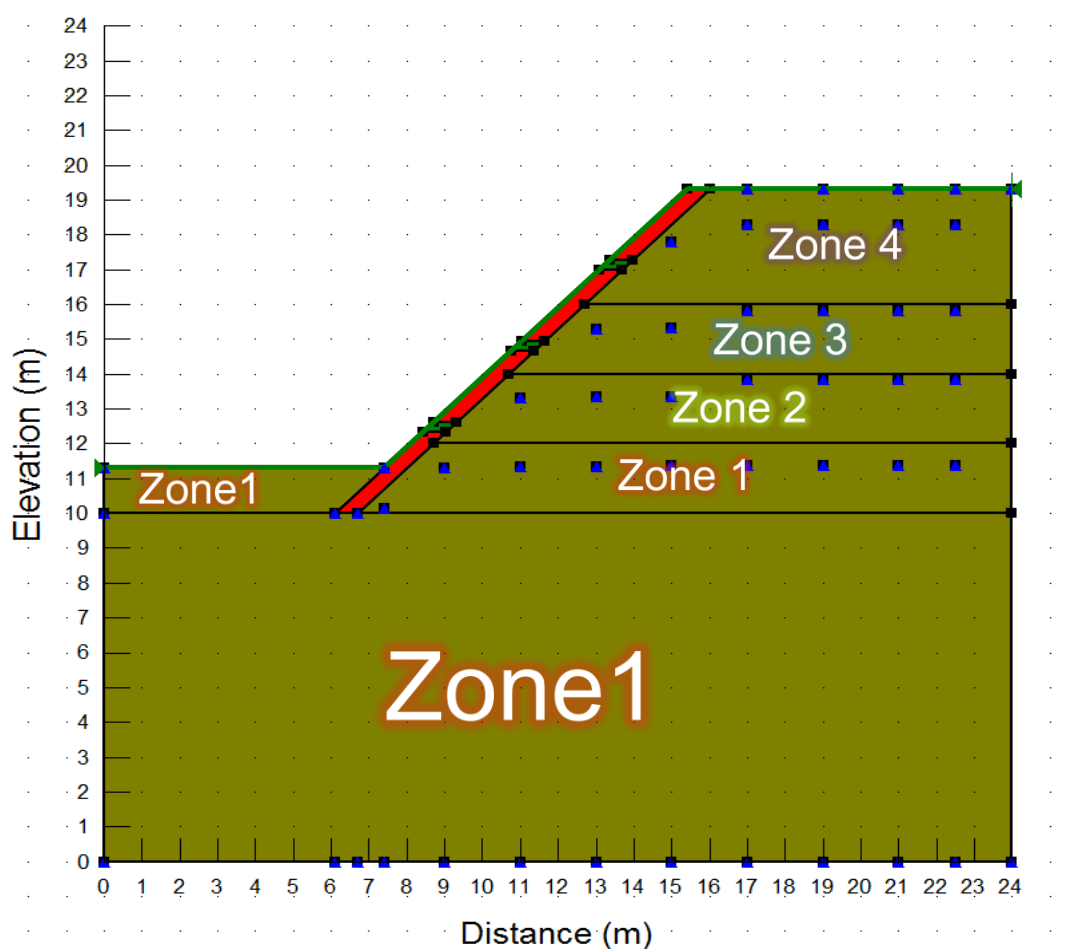


圖 3-12 非飽和的分割區域示意圖

第四章 研究結果

本章節依照模擬結果主要分成四大部份來說明：(1)研究案例的分類與索引、(2)完整水位升降對安全係數之影響、(3)急洩降對安全係數之影響、(4)坡外水位停滯時間的長短對安全係數的影響。先依照第(1)部份對研究案例的分類給予索引，然後基於此分類索引下再搭配第(2)部份與第(3)部份的水位變動方式來進行本研究的結果說明，第(4)部份則是利用第(2)部份和第(3)部份所得之結果來闡述坡外水位停滯的時間長短對護岸邊坡穩定的影響。

4.1 研究案例的分類

本研究以英文縮寫的組合來表示各個模擬案例並給予索引對照，組合的方式是按使用的護岸類型、背填土壤種類、水位升降方式和基期長短之依序排列，詳細的中英縮寫對照如下表 4-1 所述，模擬案例索引則如表 4-2 所示。

表 4-1 各模擬組合條件中使用的中英對照表

中文名稱	本研究使用的英文代稱
混凝土護岸	Concrete (C)
乾砌石護岸	Dry Stone Masonry (DSM)
混凝土砌石護岸	Concrete-Stone Masonry (CSM)
粉土質壤土	Silt Loam (SL)
砂質黏土	Sandy Clay (SC)
完整水位升降	Water Level Fluctuation (F)
急洩降	Rapid Drawdown (R)
長基期 & 短基期	Long (L) & Short (S)

本研究將各模擬案例的模擬歷程分成數個代表時間點，再由邊坡穩定分析軟體 Slope/W 中的 Mongenstern and Price 法(以下簡稱 M-P 法)和 Spencer 法分別計算於該模擬時間點下的安全係數，其中 M-P 法是可精準地適用於真實任何幾何形狀的邊坡，更嚴謹的來說，此方法為滿足完整力平衡方法中最被廣為推崇的 (Duncan and Wright, 2005)，因此，以下如沒特別說明者均以 M-P 法為基準和作圖。至於代表時間點的取法則按模擬水位升降的類型分為兩種取法：

- (1) 完整水位升降的案例：以邊坡外水位變化歷線為基準，將其分為水位上升段與退水段兩個部份，其中由於退水段歷時比上升段歷時還長，因此額外多取一個代表時間點，各時間點分別為 t_1 (起始水位高)、 t_2 (上升段的中點水位高)、 t_3 (水位最高點)、 t_4 (約退水段的三分之二水位高)、 t_5 (約退水段的三分之一水位高)、 t_6 (結束水位高)。各時間點與坡外水位之相對位置如圖 4-1 所示。

(2) 急洩降的案例：急洩降水位變化歷線只有退水段，因此將邊坡外水位洩降高度等分成四等份，各等份水位高度所對應的時間點即為代表時間點。即 t_1 (水位最高點)、 t_2 (約洩降的四分之三水位高)、 t_3 (約洩降的四分之二)、 t_4 (約退水段的四分之一水位高)、 t_5 (結束水位高)。各時間點與坡外水位之相對位置如圖 4-2 所示。

表 4-2 模擬案例索引對照表

護岸型式	背填土壤種類	水位變動方式	基期長短	模擬索引
混凝土 (C)	粉土質壤土 (SL)	完整水位升降(F)	短 (S)	C-SL-F-S
			長 (L)	C-SL-F-L
		急洩降(R)	短 (S)	C-SL-R-S
			長 (L)	C-SL-R-L
	砂質黏土 (SC)	完整水位升降(F)	短 (S)	C-SC-F-S
			長 (L)	C-SC-F-L
		急洩降(R)	短 (S)	C-SC-R-S
			長 (L)	C-SC-R-L
乾砌石 (DSM)	粉土質壤土 (SL)	完整水位升降(F)	短 (S)	DSM-SL-F-S
			長 (L)	DSM-SL-F-L
		急洩降(R)	短 (S)	DSM-SL-R-S
			長 (L)	DSM-SL-R-L
	砂質黏土 (SC)	完整水位升降(F)	短 (S)	DSM-SC-F-S
			長 (L)	DSM-SC-F-L
		急洩降(R)	短 (S)	DSM-SC-R-S
			長 (L)	DSM-SC-R-L
混凝土砌石 (CM)	粉土質壤土 (SL)	完整水位升降(F)	短 (S)	CM-SL-F-S
			長 (L)	CM-SL-F-L
		急洩降(R)	短 (S)	CM-SL-R-S
			長 (L)	CM-SL-R-L
	砂質黏土 (SC)	完整水位升降(F)	短 (S)	CM-SC-F-S
			長 (L)	CM-SC-F-L
		急洩降(R)	短 (S)	CM-SC-R-S
			長 (L)	CM-SC-R-L

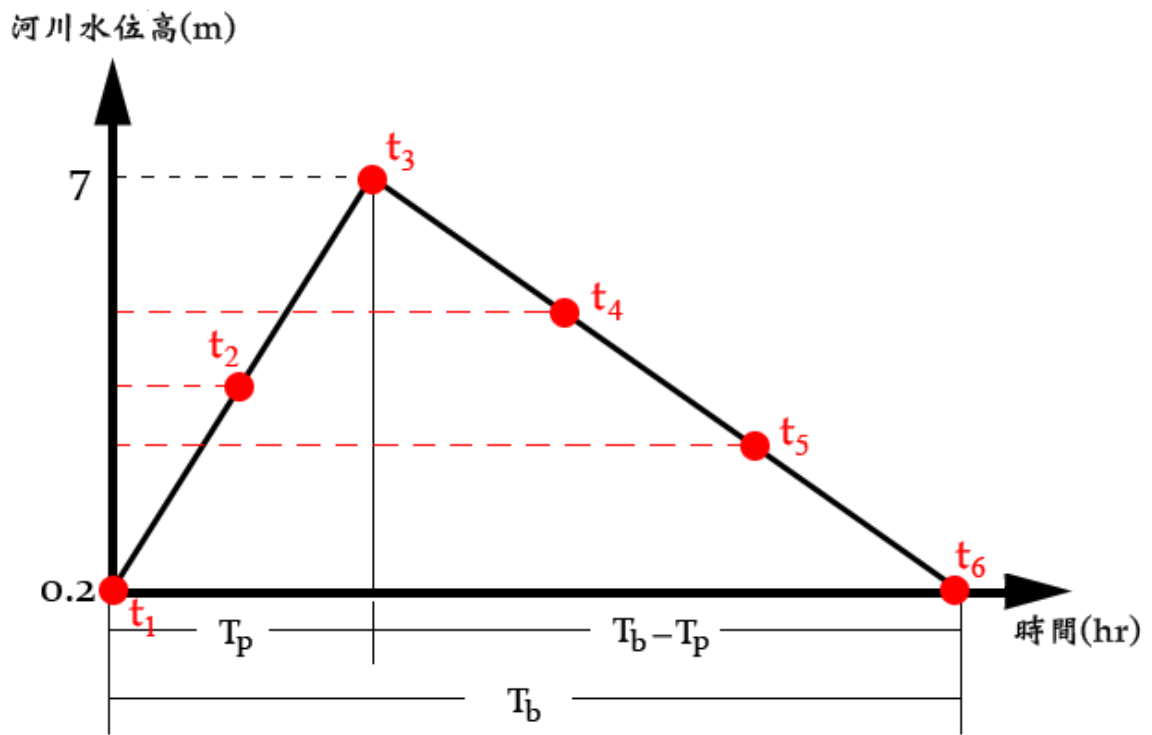


圖 4-1 完整水位升降的代表時間點與坡外水位之相對關係

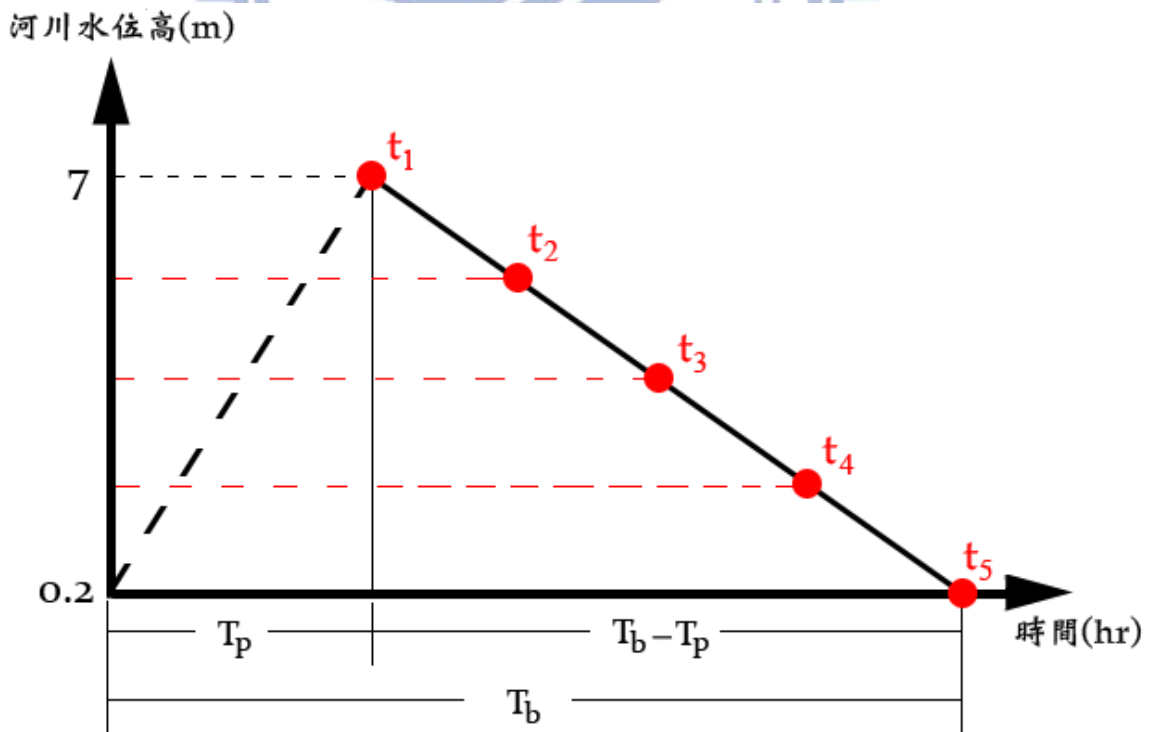


圖 4-2 急洩降的代表時間點與坡外水位之相對關係

4.2 完整水位升降對安全係數之影響

此節針對兩個不同基期之完整水位升降的模擬結果各自進行比較，再對兩種不同基期的水位歷線對於安全係數的變化關係進行分析。

代表時間的取法如 4.1 節所述，短基期的支流之代表時間點 $t(\text{hr})$ 與對應坡外水位高 $h(\text{m})$ 如下： $t_1=0.00\text{hr}$ ($h=0.20\text{m}$)、 $t_2=0.34\text{hr}$ ($h=3.60\text{m}$)、 $t_3=0.68\text{hr}$ ($h=7.00\text{m}$)、 $t_4=1.20\text{hr}$ ($h=4.70\text{m}$)、 $t_5=1.70\text{hr}$ ($h=2.50\text{m}$)、 $t_6=2.22\text{hr}$ ($h=0.20\text{m}$)，各時間點與安全係數的變化如表 4-3 所示；長基期的主流之代表時間點如下： $t_1=0.00\text{hr}$ ($h=0.20\text{m}$)、 $t_2=0.56\text{hr}$ ($h=3.66\text{m}$)、 $t_3=1.10\text{hr}$ ($h=7.00\text{m}$)、 $t_4=1.92\text{hr}$ ($h=4.77\text{m}$)、 $t_5=2.80\text{hr}$ ($h=2.38\text{m}$)、 $t_6=3.60\text{hr}$ ($h=0.20\text{m}$)。各時間點與安全係數的變化如表 4-4 所示。以下的說明根據各模擬案例條件組合的不同，分別以：(1)護岸材料對安全係數之影響、(2)背填土壤對安全係數之影響，來進行研究結果的說明。

表 4-3 短基期的完整水位升降與安全係數的關係

模擬索引	t(hr)	安全係數(FS)		模擬索引	t(hr)	安全係數(FS)	
		M-P	Spencer			M-P	Spencer
C-SL-F-S	0.00	2.059	2.053	C-SC-F-S	0.00	2.165	2.178
	0.34	2.801	2.865		0.34	2.955	3.004
	0.68	4.753	4.836		0.68	5.175	5.207
	1.20	3.207	3.256		1.20	3.404	3.449
	1.70	2.431	2.461		1.70	2.566	2.585
	2.22	2.010	2.021		2.22	2.102	2.111
DSM-SL-F-S	0.00	1.890	1.901	DSM-SC-F-S	0.00	1.968	1.981
	0.34	2.159	2.175		0.34	2.561	2.580
	0.68	3.880	3.911		0.68	4.137	4.167
	1.20	2.440	2.447		1.20	2.889	2.885
	1.70	2.093	2.133		1.70	2.189	2.202
	2.22	1.841	1.869		2.22	1.935	1.938
CM-SL-F-S	0.00	2.032	2.077	CM-SC-F-S	0.00	2.146	2.143
	0.34	2.806	2.849		0.34	2.927	2.966
	0.68	4.793	4.853		0.68	5.115	5.164
	1.20	3.222	3.263		1.20	3.359	3.394
	1.70	2.430	2.458		1.70	2.519	2.539
	2.22	1.983	2.024		2.22	2.060	2.062

表 4-4 長基期的完整水位升降與安全係數的關係

模擬索引	t(hr)	安全係數(FS)		模擬索引	t(hr)	安全係數(FS)	
		M-P	Spencer			M-P	Spencer
<i>C-SL-F-L</i>	0.00	2.059	2.053	<i>C-SC-F-L</i>	0.00	2.152	2.153
	0.56	2.823	2.860		0.56	2.983	3.005
	1.10	4.747	4.830		1.10	5.150	5.190
	1.92	3.233	3.278		1.92	3.430	3.465
	2.80	2.412	2.421		2.80	2.518	2.542
	3.60	2.008	2.027		3.60	2.100	2.084
<i>DSM-SL-F-L</i>	0.00	1.890	1.901	<i>DSM-SC-F-L</i>	0.00	1.968	1.981
	0.56	2.163	2.179		0.56	2.567	2.586
	1.10	3.837	3.874		1.10	4.063	4.136
	1.92	2.456	2.466		1.92	2.909	2.920
	2.80	2.073	2.086		2.80	2.155	2.169
	3.60	1.862	1.855		3.60	1.927	1.930
<i>CM-SL-F-L</i>	0.00	2.032	2.077	<i>CM-SC-F-L</i>	0.00	2.156	2.156
	0.56	2.824	2.861		0.56	2.976	3.017
	1.10	4.787	4.849		1.10	5.149	5.195
	1.92	3.247	3.286		1.92	3.418	3.454
	2.80	2.387	2.419		2.80	2.506	2.524
	3.60	1.978	2.020		3.60	2.095	2.081

4.2.1 護岸材料對安全係數之影響

此部分探討的是背填土壤相同之下，護岸材料於坡外水位升降期間對安全係數之影響為何。按照背填土壤的種類可分為兩種，每種再依照基期長短可再分為兩類，以下分別呈現四種組合的結果：

- (1) 背填粉土質壤土，各護岸材料於上游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-3(a))
- (2) 背填砂質黏土，各護岸材料於上游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-3(b))
- (3) 背填粉土質壤土，各護岸材料於下游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-3(c))
- (4) 背填砂質黏土，各護岸材料於下游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-3(d))

由圖 4-3(a)至圖 4-3(d)結果顯示，無論是在基期較短的上游或是基期較長的下游，安全係數均隨坡外水位上升而上升；待坡外水位過了最高水位進入退水段，安全係數隨坡外水位下降而下降。此外可發現在相同背填土壤之下，護岸材料導水度小者(混凝土和混凝土砌石)於各時間點的安全係數均較導水度大者(乾砌石)的高，且護岸材料導水度較小者隨坡外水位升降期間的安全係數變化幾乎一致。

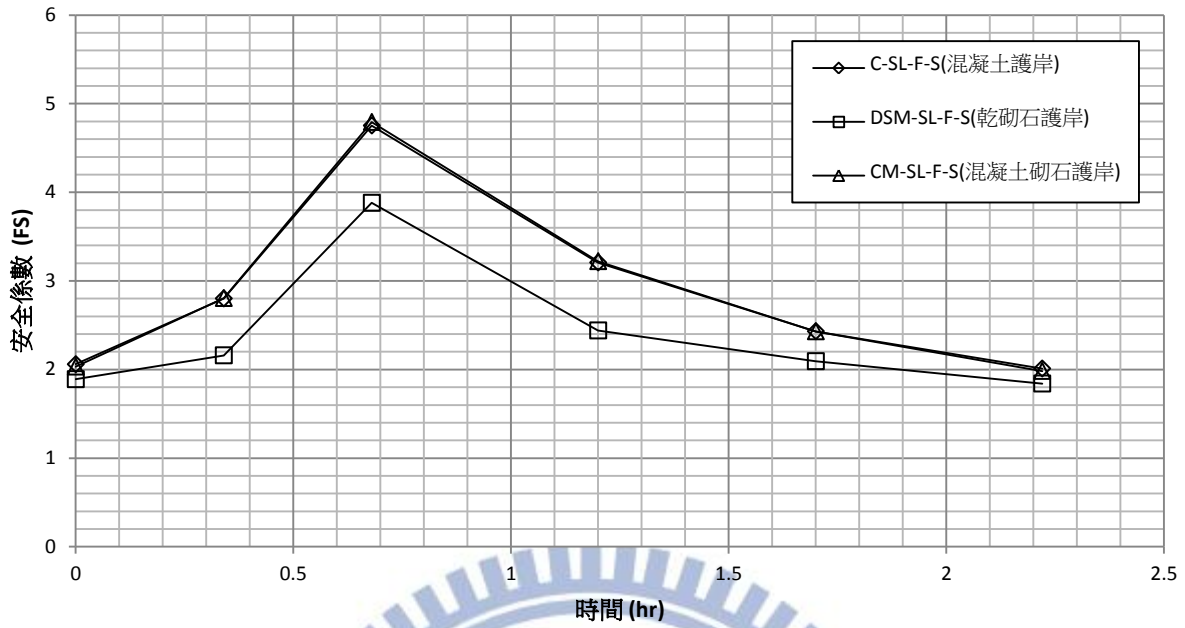


圖 4-3(a) 不同護岸材料對安全係數影響—短基期（當背填土同為粉土質壤土）

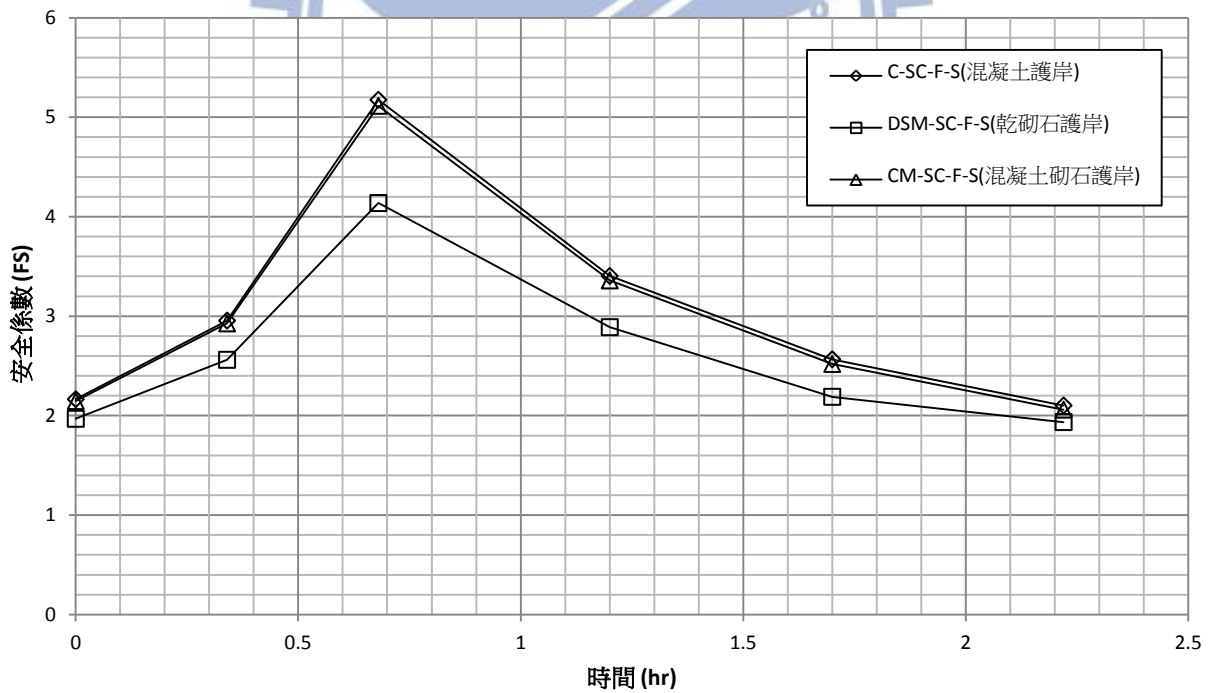


圖 4-3(b) 不同護岸材料對安全係數影響—短基期（當背填土同為砂質黏土）

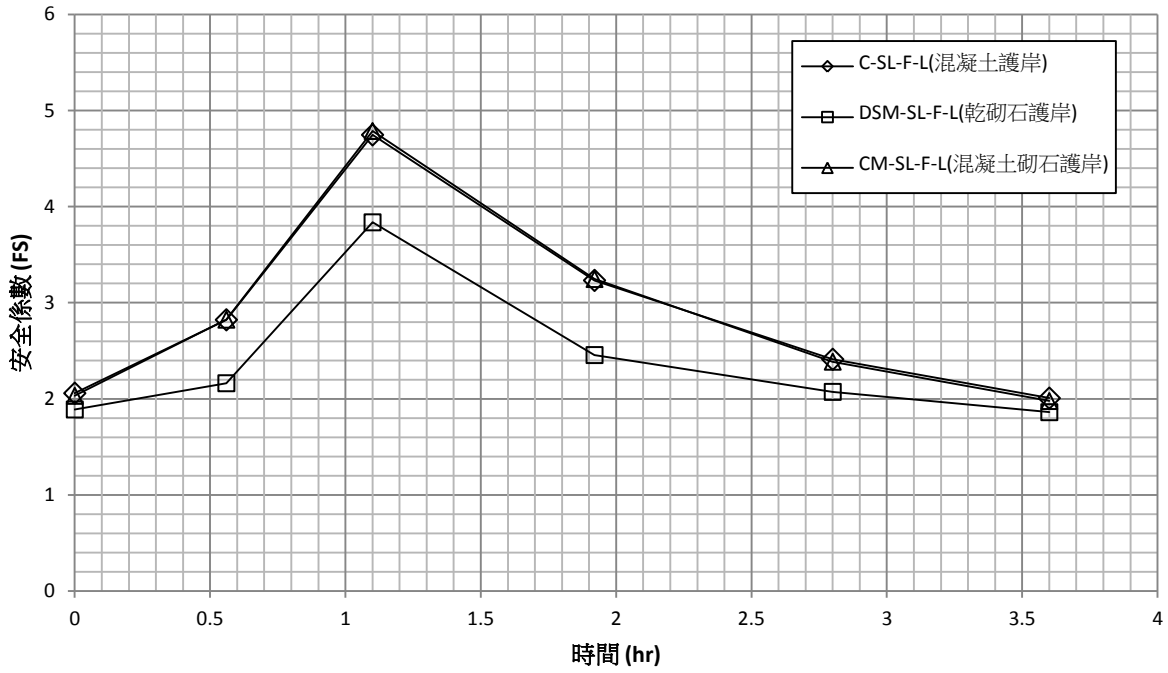


圖 4-3(c) 不同護岸材料對安全係數影響—長基期（當背填土同為粉土質壤土）

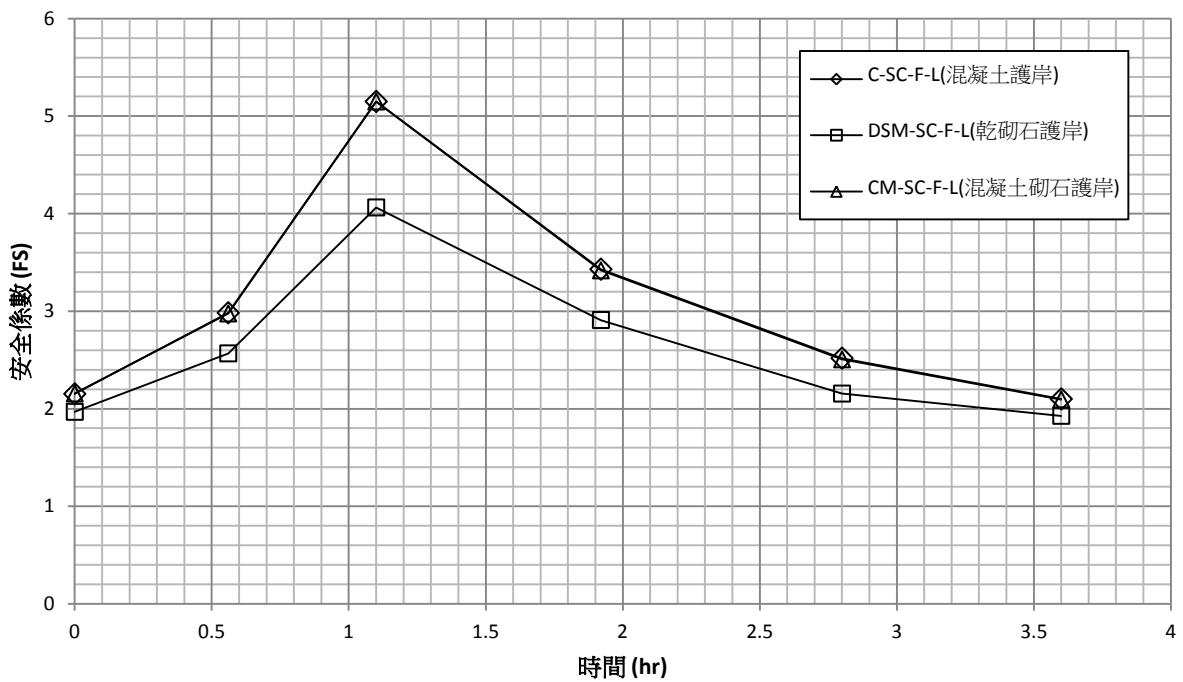


圖 4-3(d) 不同護岸材料對安全係數影響—長基期（當背填土同為砂質黏土）

造成 4-3(a)至 4-3(d)之結果可由邊坡內外的水位差變化所造成的滲流力來解釋。其中坡內水位由滲流所控制，水位面並非水平，因此選擇不同的切面會有得到不同的水位面，本研究選擇靠近護岸材料附近的點(X , Y)=(9 , 11.316)做為所有案例坡內水位變化的根據，選擇該點的理由為對各種模擬組合之下，對坡外水位反應較敏感，計算水位面的高度以整個模型底(總水頭= 0)的面起算，各點詳細的壓力水頭隨時間分佈如附錄-2 所示。

由圖 4-4(a)至圖 4-4(d)可得知邊坡內外於同時間的水位升降變化情況，可發現導水度較小的混凝土護岸和混凝土砌石護岸的邊坡內水位變動極小，幾乎不隨坡外水位升降而有所改變，坡內土壤強度參數幾乎不受影響；導水度大的乾砌石護岸的坡內水位則有明顯隨坡外水位升降而升降的一致反應，但由於選取的代表坡內水位點是靠近護岸側的位置，實際上透過 FEMWATER 滲流模擬分析結果，水位面的分佈是個類似貼近護岸材料的凹向右上方的拋物線(見圖 4-4(e))，與低導水度的護岸材料同一時間所得之水壓分佈有明顯的差異(見圖 4-4(f))，雖然坡外的水並沒有影響坡內全區域的非飽和分佈，但此影響區域較導水度低的護岸者之後方邊坡大，因此土壤強度有部分的下降。

因此，由以上可得知護岸導水度影響的是坡內土壤因前方護岸透水性高低導致強度參數的變化。安全係數的變化反應在坡外水位造成的額外抗滑強度和土壤強度變化的互制結果，無論是導水度較高或較低的護岸材料，邊坡安全係數均隨坡外水位升降而升降，推測造成此結果是因為當坡外水位上升時，反而給予邊坡額外的抗滑動強度，讓安全係數提高；當水位下降後，額外的抗滑動強度消失，邊坡又回到原本的初始安全係數，而且即使是坡內土壤強度有受影響的乾砌石護岸依然有此趨勢，可知安全係數受坡外水位的影響較坡內土壤強度變化的影響大。

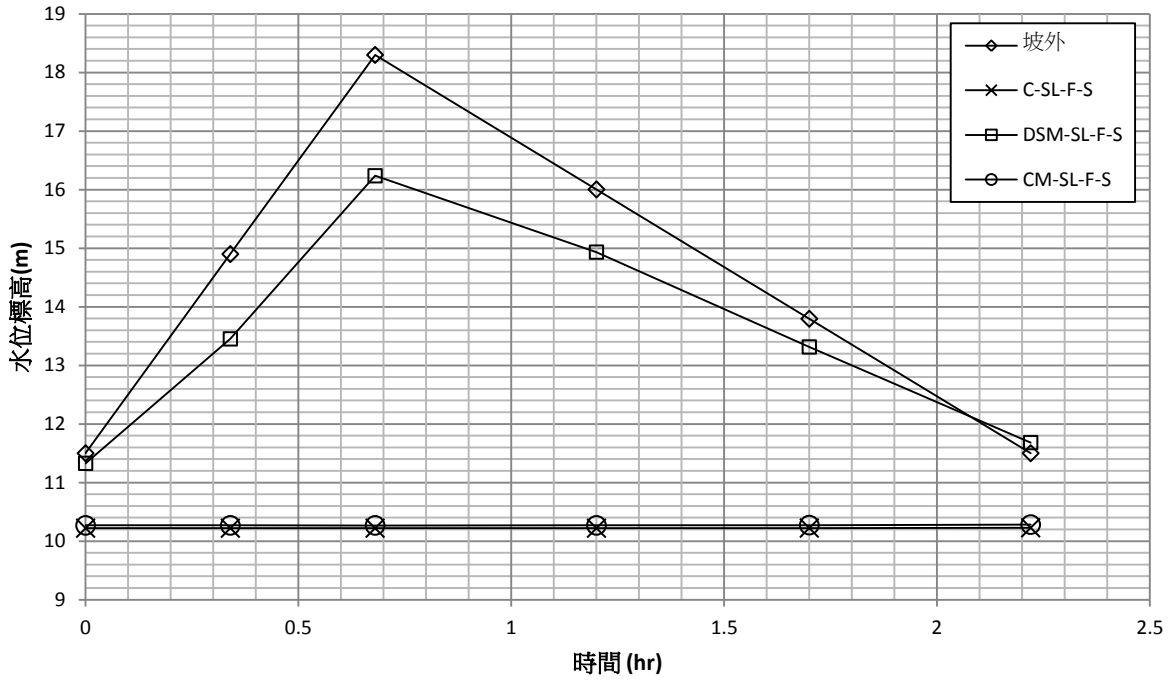


圖 4-4(a) 邊坡內外水位同時間的變化—短基期（當背填土同為粉土質壤土）

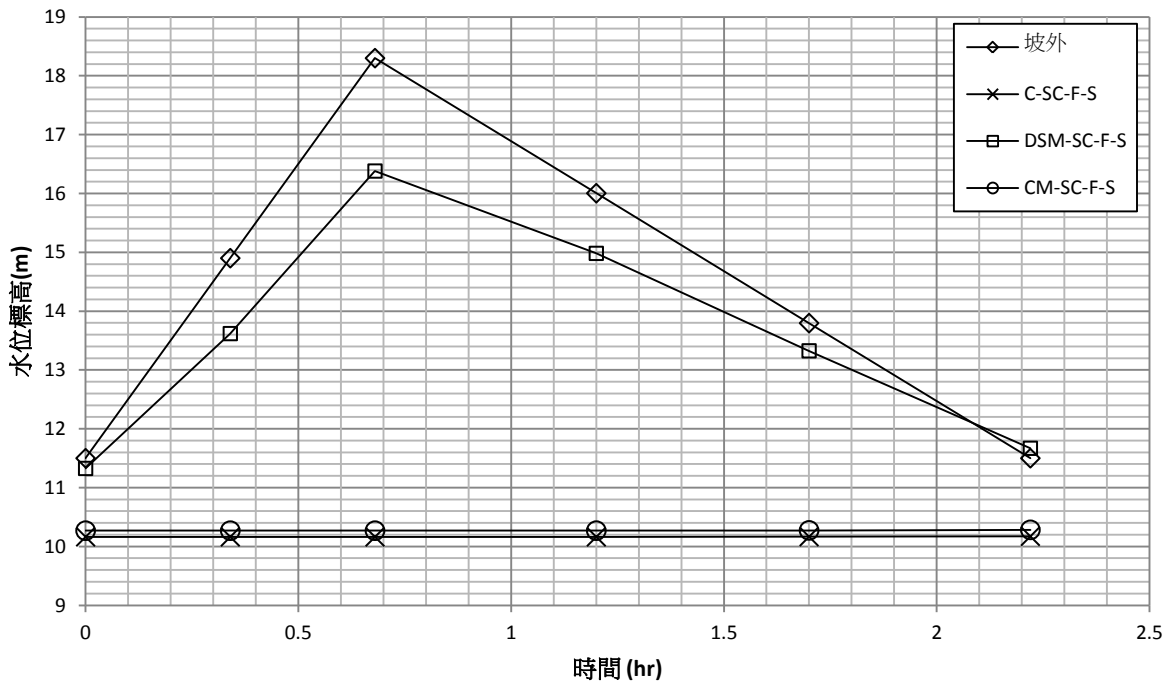


圖 4-4(b) 邊坡內外水位同時間的變化—短基期（當背填土同為砂質黏土）

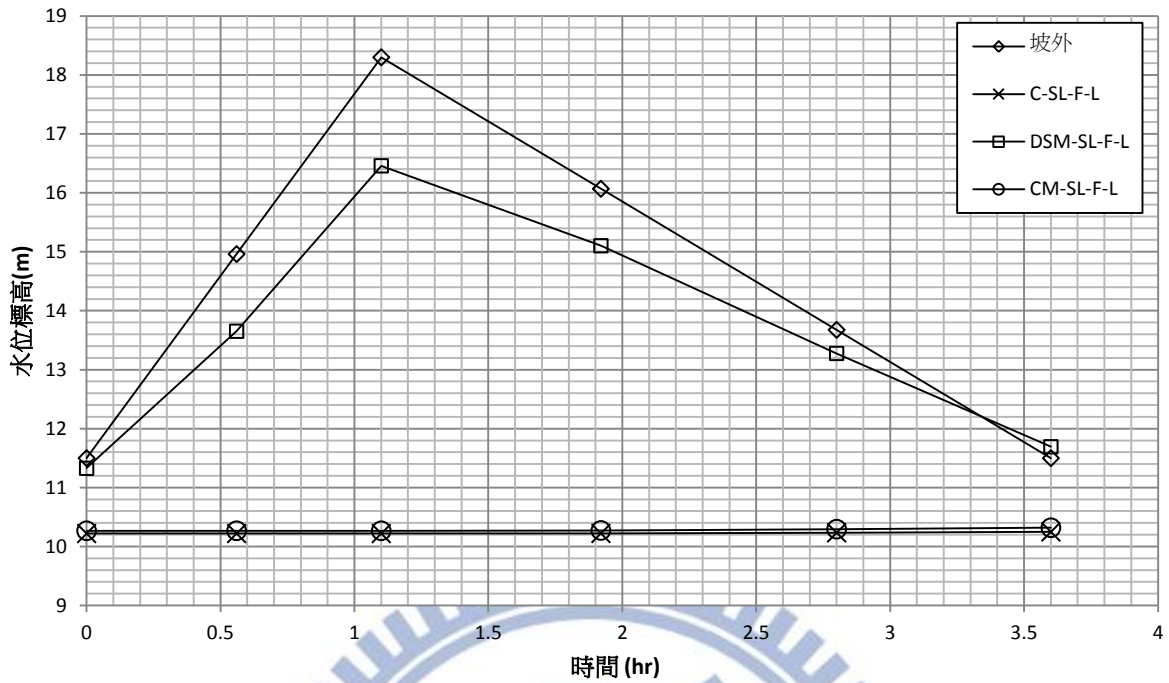


圖 4-4(c) 邊坡內外水位同時間的變化—長基期（當背填土同為粉土質壤土）

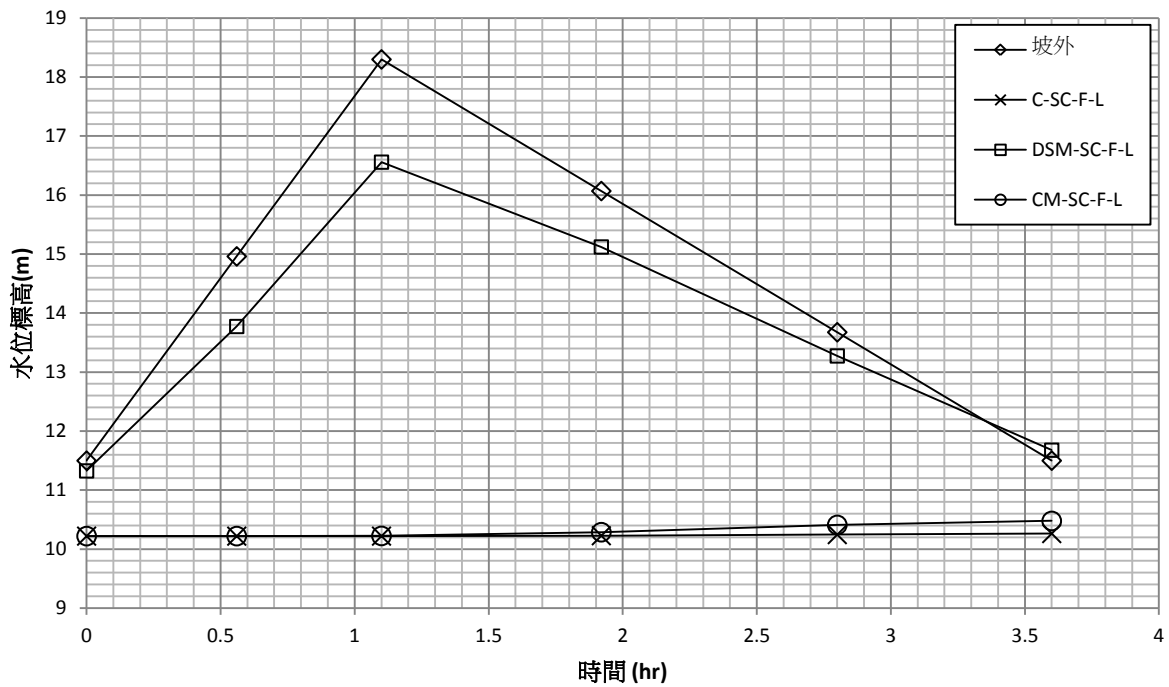


圖 4-4(d) 邊坡內外水位同時間的變化—長基期（當背填土同為砂質黏土）

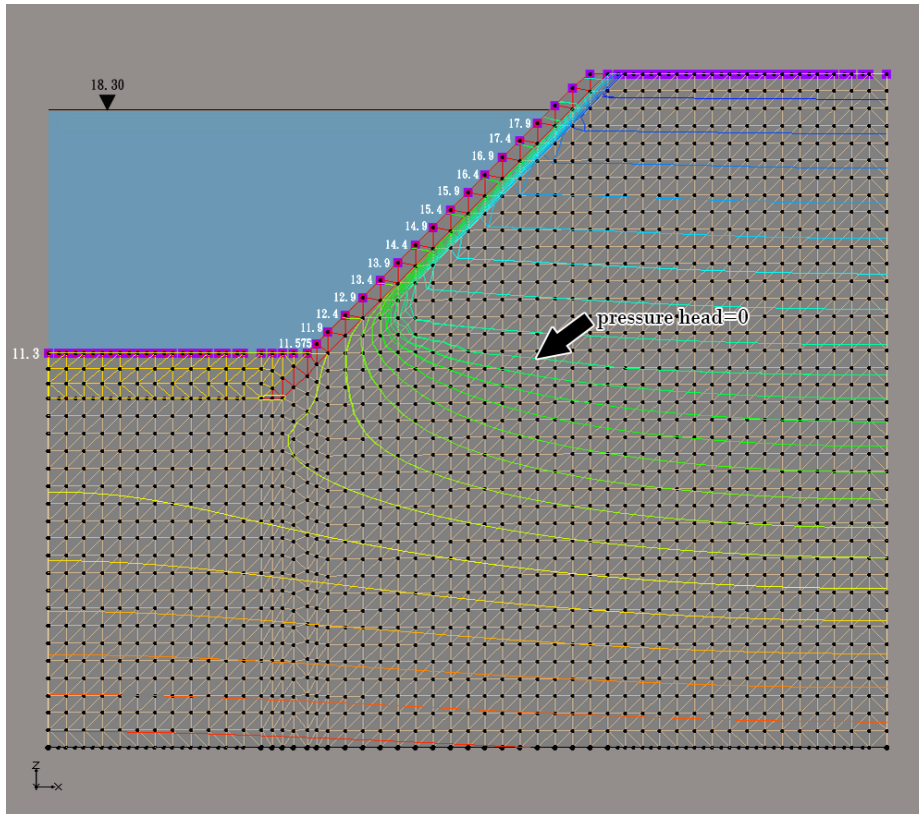


圖 4-4(e) 完整水位升降期間－高導水度的護岸材料之水壓分佈

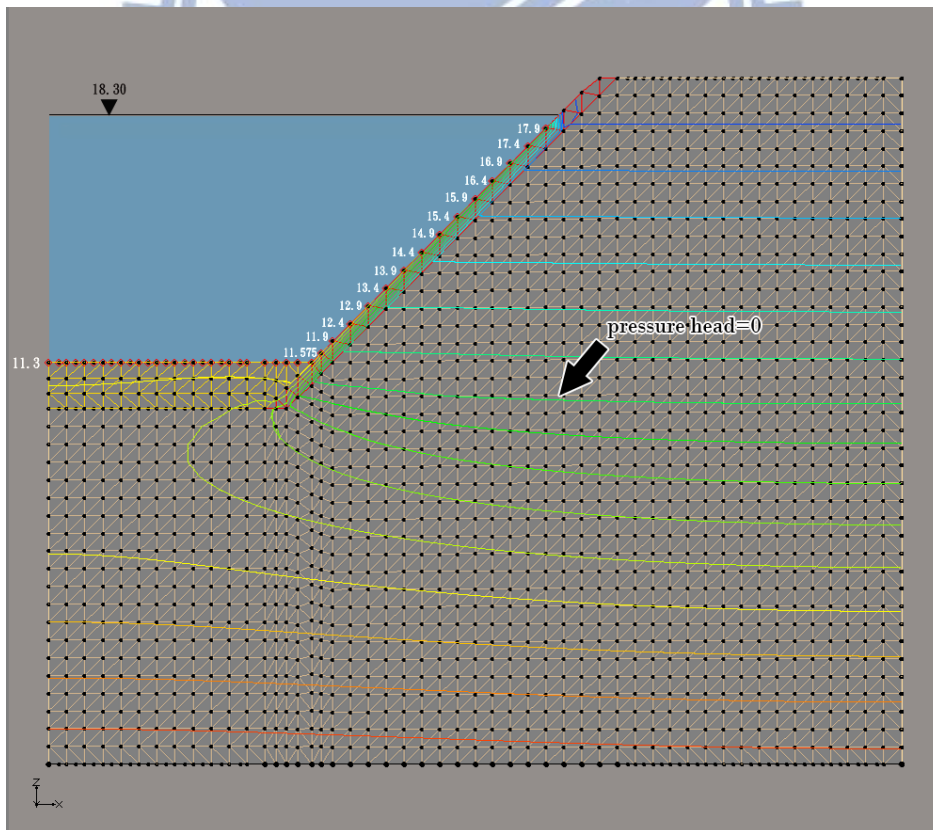


圖 4-4(f) 完整水位升降期間－低導水度的護岸材料之水壓分佈

4.2.2 背填土壤對安全係數之影響

此部分探討的是護岸材料相同之下，護岸後方背填土壤於坡外水位升降期間對安全係數之影響為何。按照護岸的種類可分為三種，每種再依照基期長短可再分為兩類，以下分別呈現六種組合的結果：

- (1) 混凝土護岸背填不同土壤於上游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-5(a))
- (2) 乾砌石護岸背填不同土壤於上游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-5(b))
- (3) 混凝土砌石護岸背填不同土壤於上游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-5(c))
- (4) 混凝土護岸背填不同土壤於下游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-5(d))
- (5) 乾砌石護岸背填不同土壤於下游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-5(e))
- (6) 混凝土砌石護岸背填不同土壤於下游水位升降期間之安全係數變化。(圖 4-5(f))

由圖 4-5(a)至 4-5(d)結果可知，當前方護岸材料相同之下，背填土壤之導水度小者的安全係數於坡外水位升降期間均大於導水度大者的安全係數。導水度的高低影響滲流的難易程度，進而影響坡內水位因坡外水位變動的即時反應程度，而造成土壤強度參數的改變與影響區域不同，因此造成安全係數上的差異。此現象在護岸導水度小的時候更為明顯，原因為當護岸為較透水材料時，滲流路徑不再只能從下方繞過護岸進入坡內，還有從護岸坡面上直接滲流進坡內的通路，此時就取決於土壤本身性質，坡內土壤導水度小者受坡外水壓上升而滲流進坡內的區域較小，受影響的非飽和區域亦較少，因此安全係數較高。

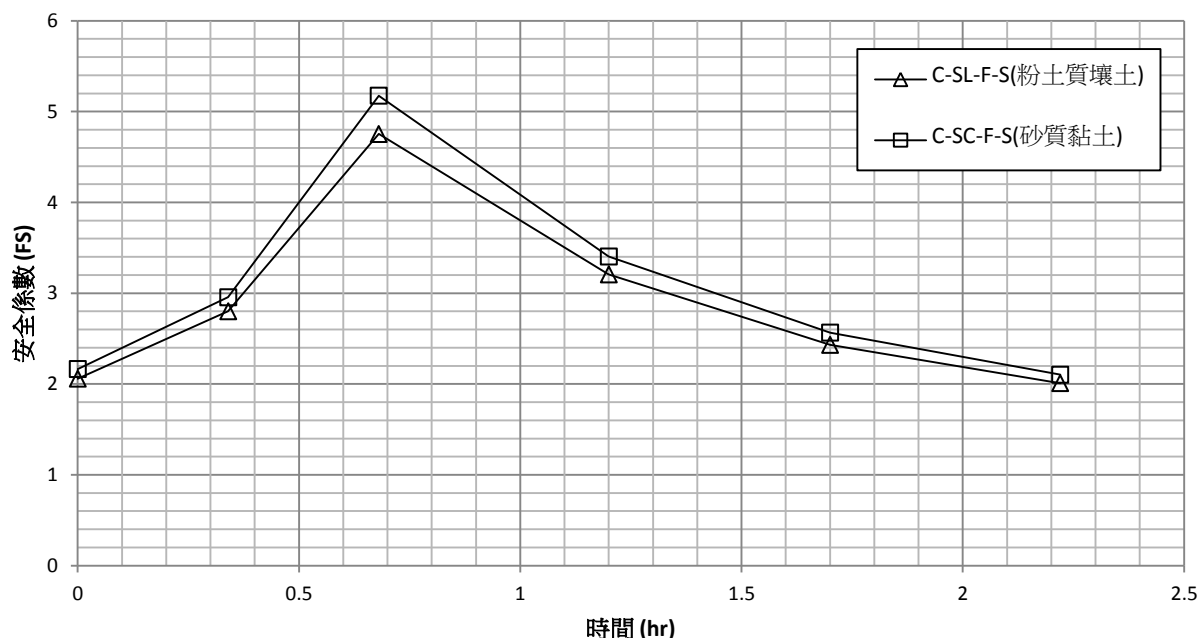


圖 4-5(a) 背填土壤對安全係數影響－短基期（同為混凝土護岸）

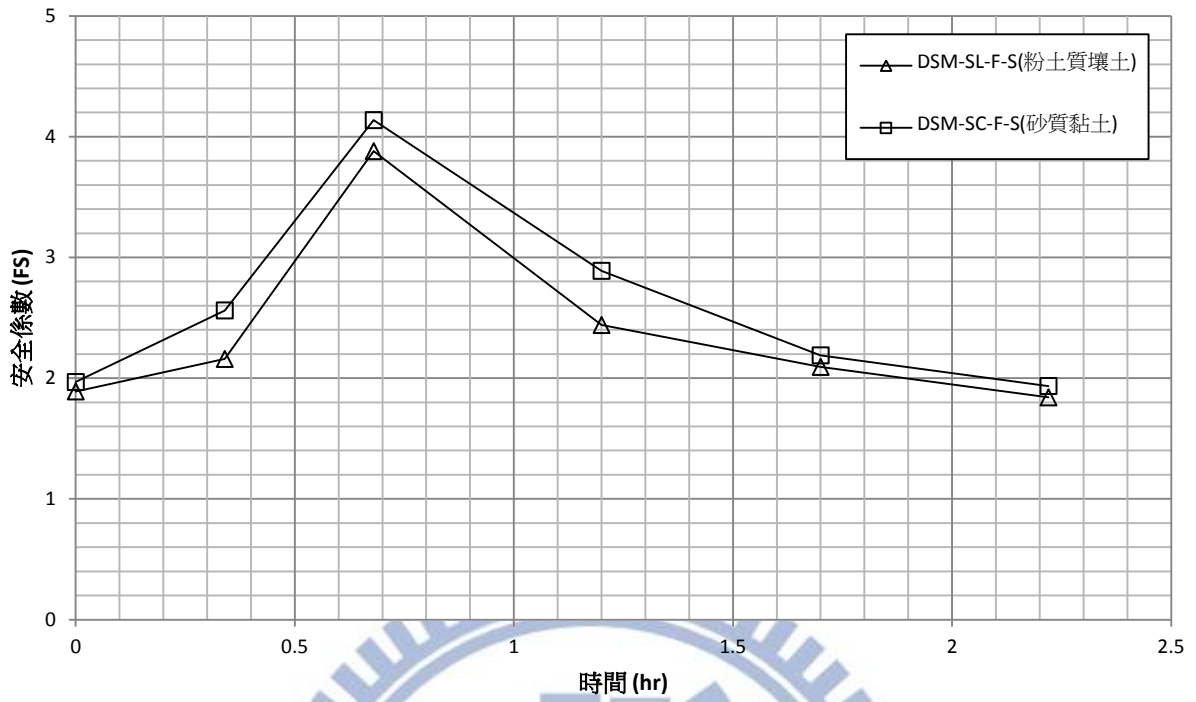


圖 4-5(b) 背填土壤對安全係數影響—短基期 (同為乾砌石護岸)

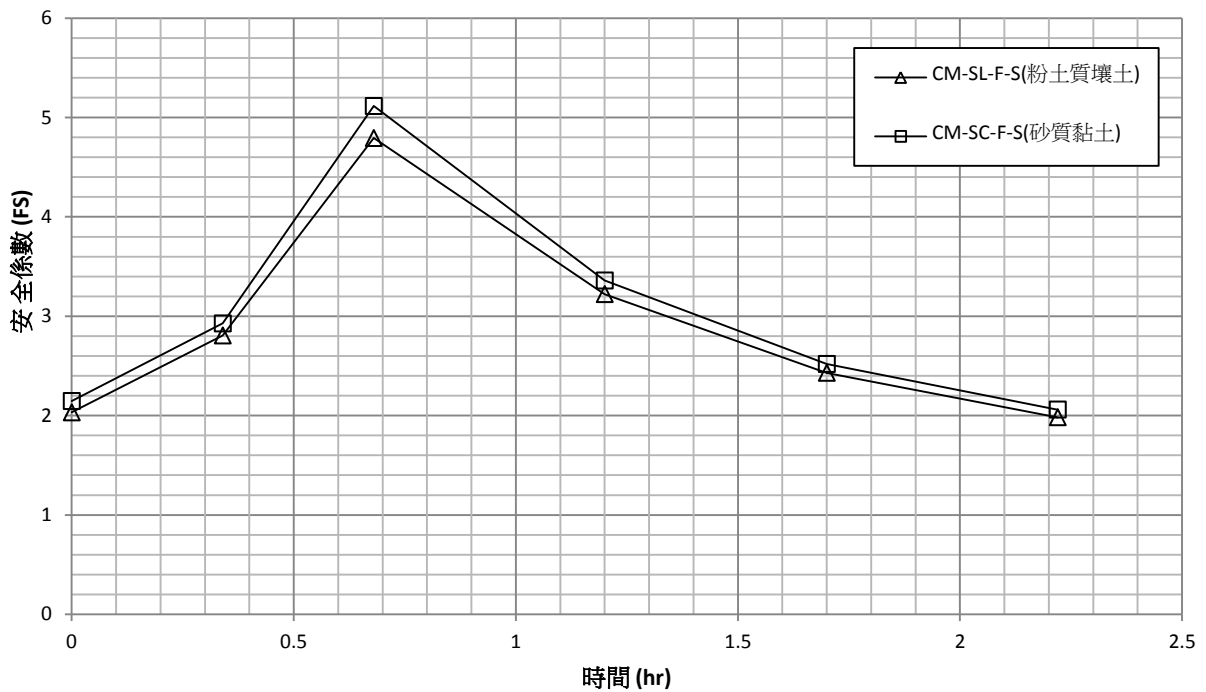


圖 4-5(c) 背填土壤對安全係數影響—短基期 (同為混凝土砌石護岸)

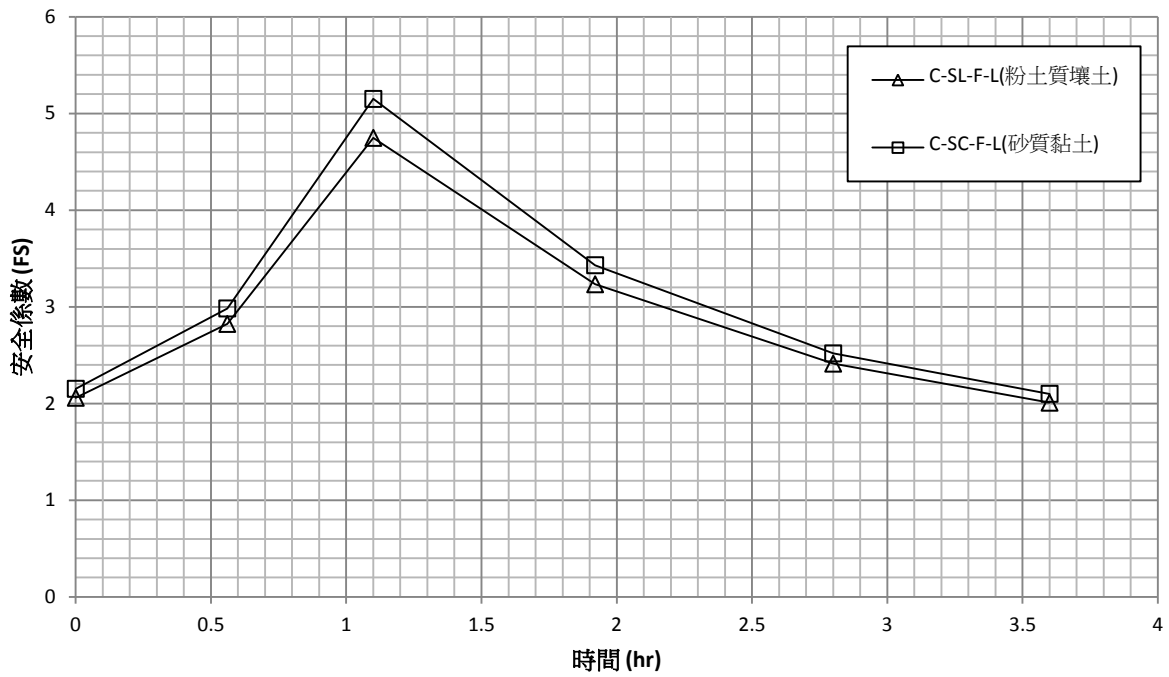


圖 4-5(d) 背填土壤對安全係數影響—長基期 (同為混凝土護岸)

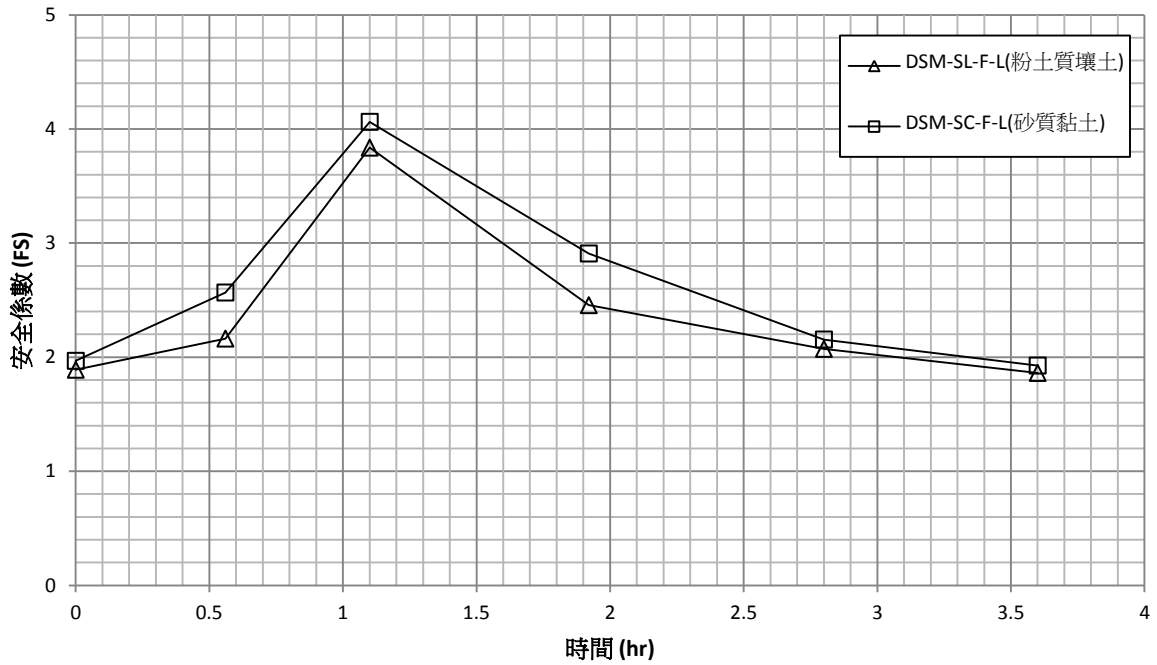


圖 4-5(e) 背填土壤對安全係數影響—長基期 (同為乾砌石護岸)

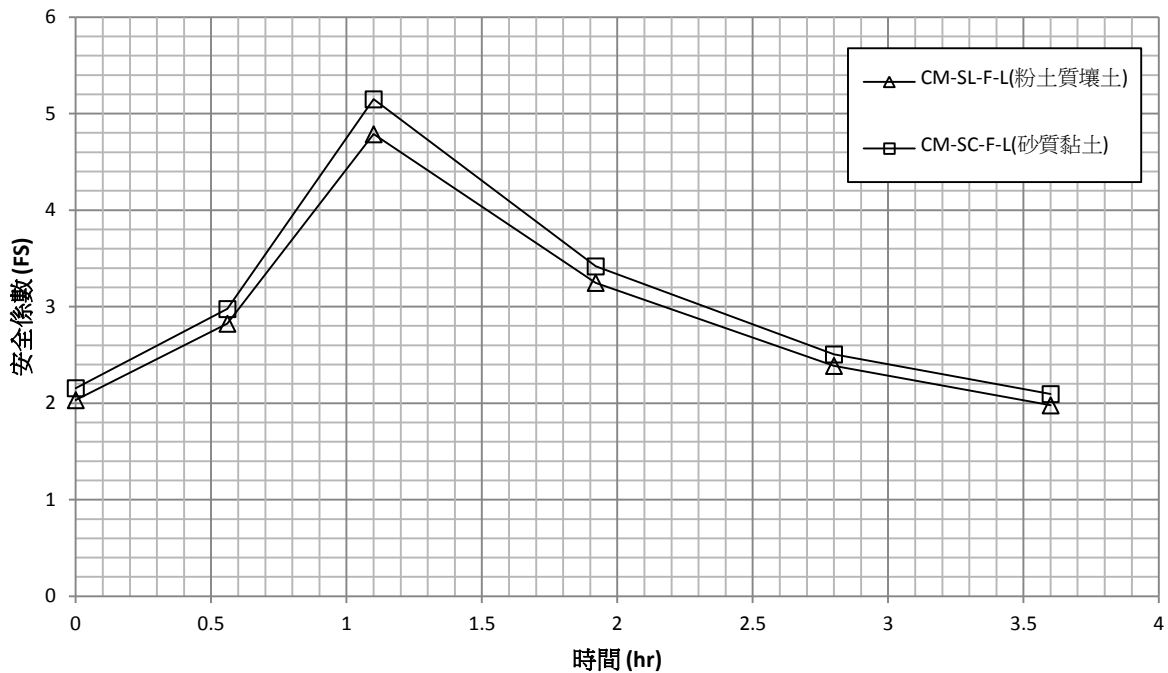


圖 4-5(f) 背填土壤對安全係數影響—長基期（同為混凝土砌石護岸）



4.2.3 兩種完整水位升降的結果比較

兩種完整水位升降的模擬，無論是使用 M-P 法或 Spencer 法，兩種分析方法所得的安全係數最大誤差不超過 3%，因此以下僅以 M-P 法為基準進行繪圖比較。圖 4-6(a)至圖 4-6(f)顯示在兩方法分析相同護岸材料和背填土壤在不同基期時的安全係數變化，可發現基期為上游所得的安全係數歷時曲線均相似於下游所得的安全係數歷時曲線，大致上整個安全係數歷時曲線有垂直高度固定，水平向被拉長的趨勢，基期越短者其安全係數變化越劇烈。

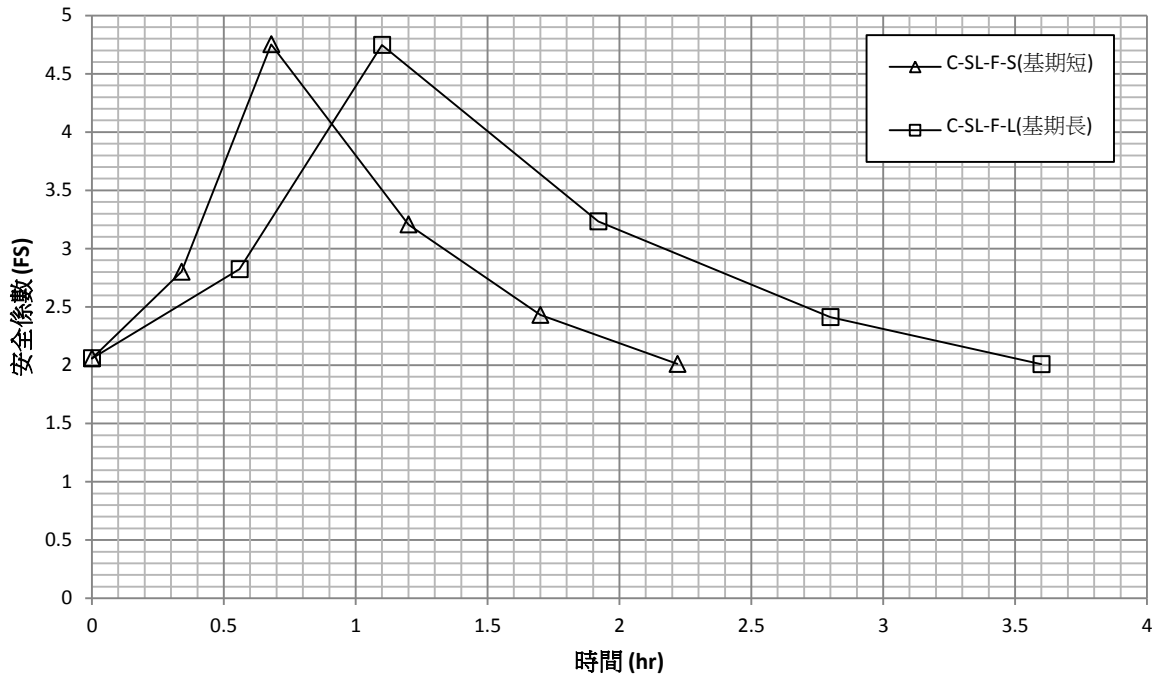


圖 4-6(a) 不同基期對安全係數的影響—case 1

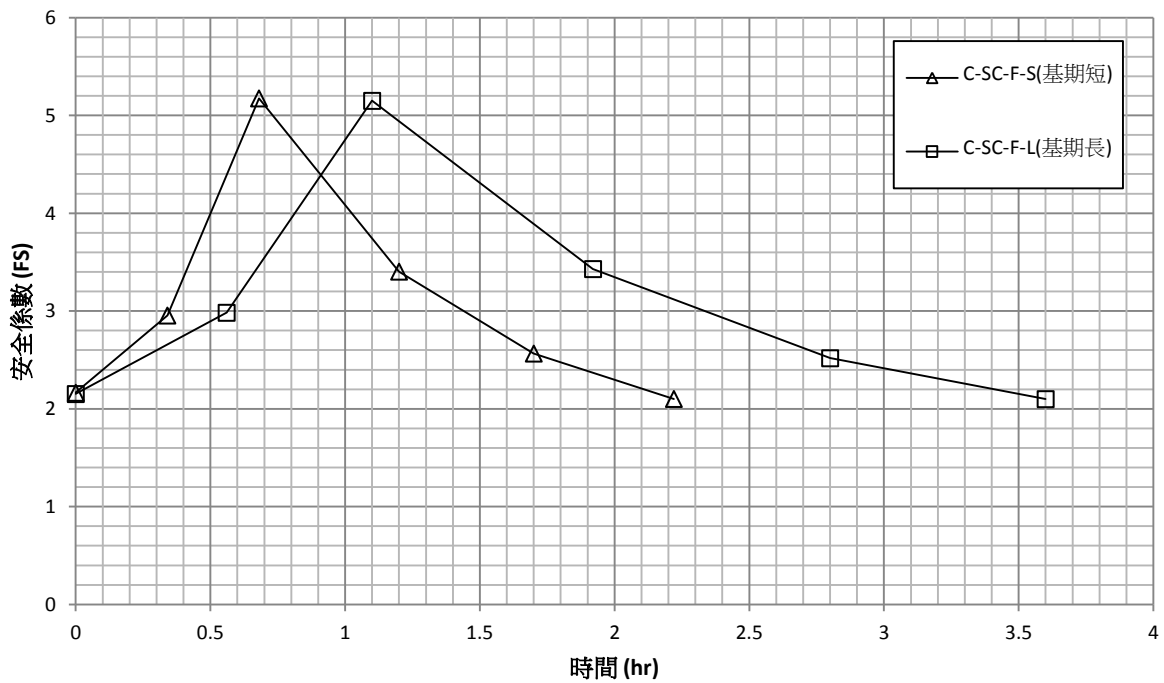


圖 4-6(b) 不同基期對安全係數的影響—case 2

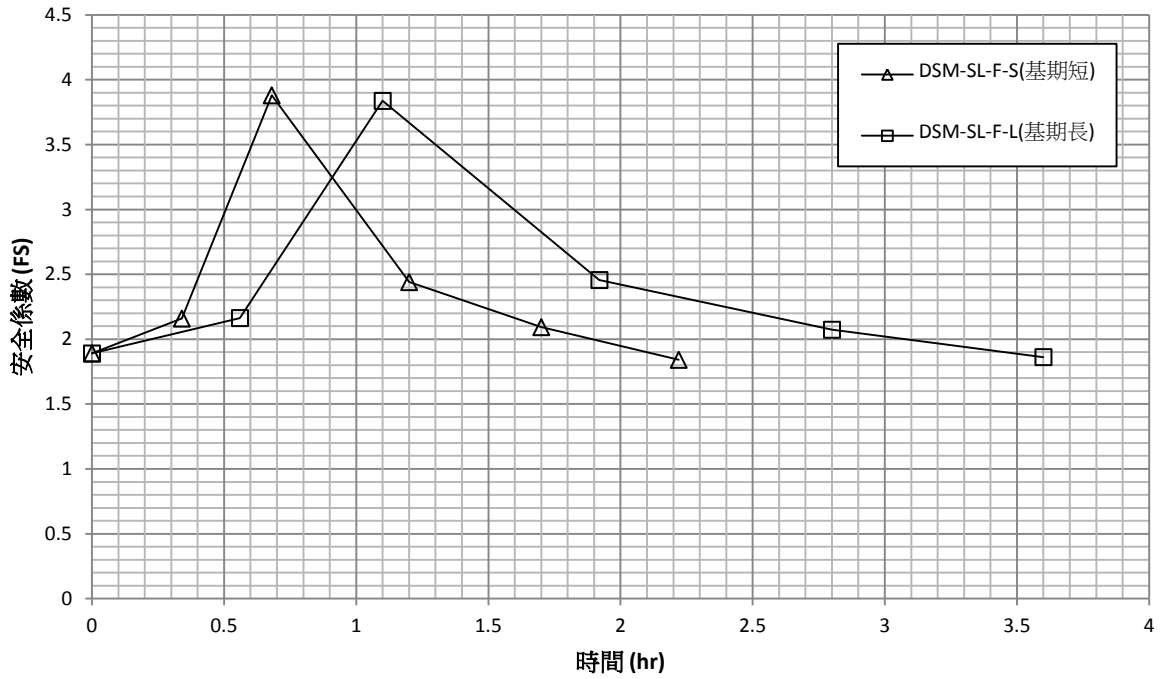


圖 4-6(c) 不同基期對安全係數的影響—case 3

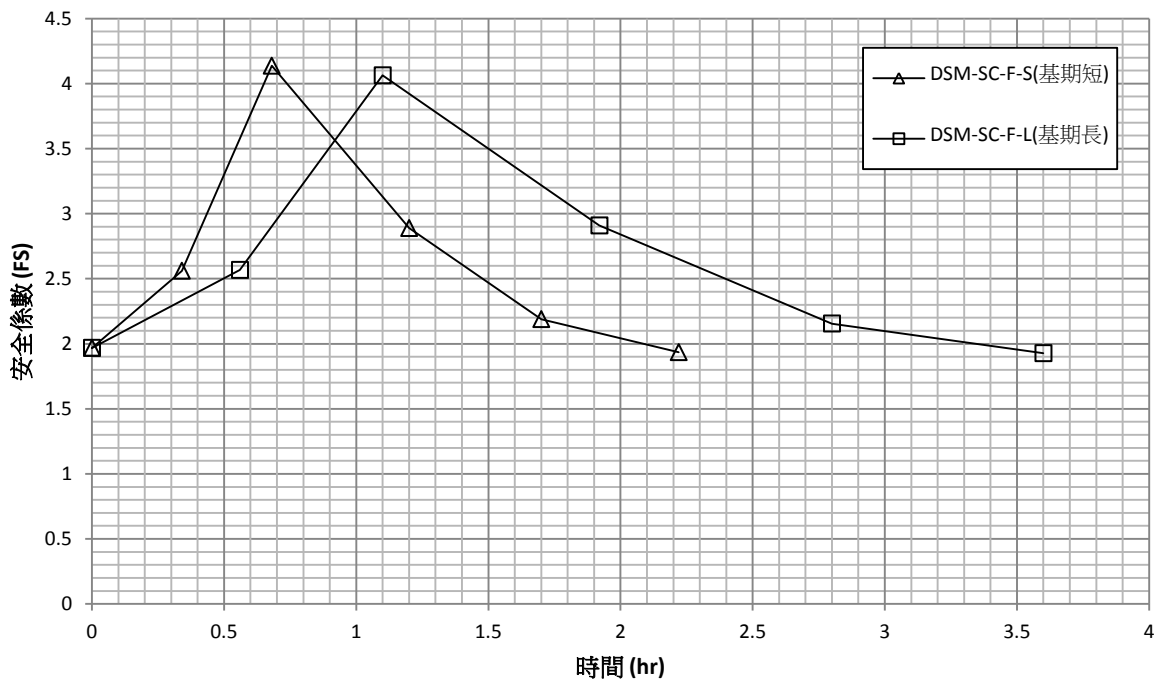


圖 4-6(d) 不同基期對安全係數的影響—case 4

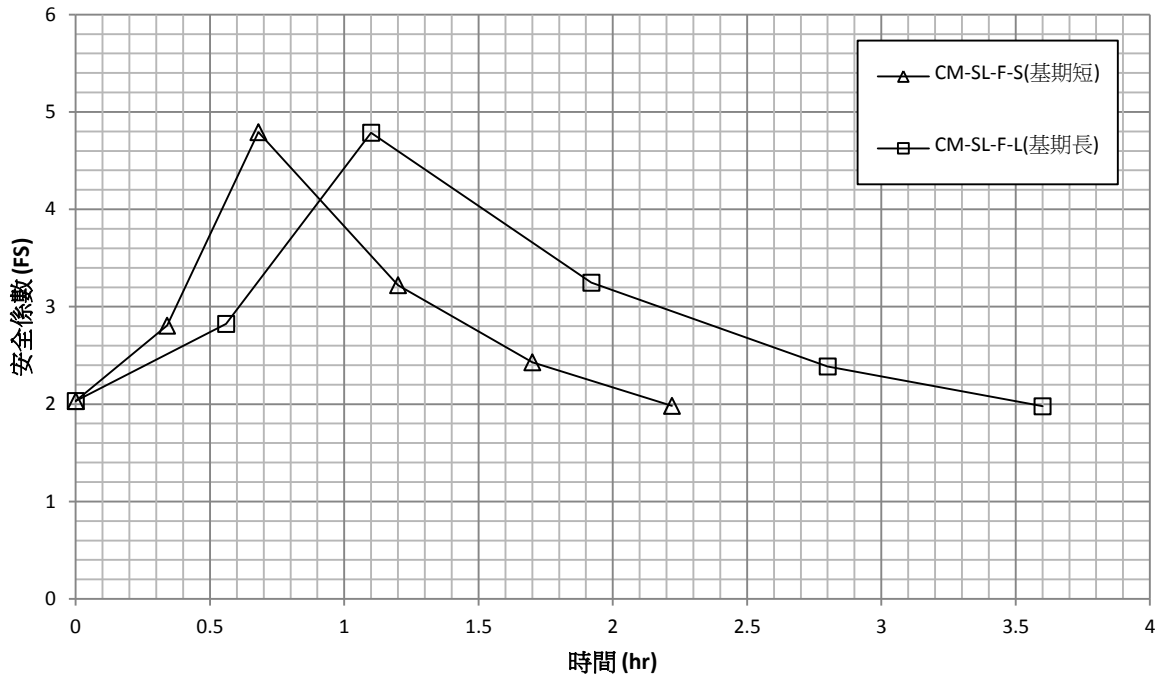


圖 4-6(e) 不同基期對安全係數的影響—case 5

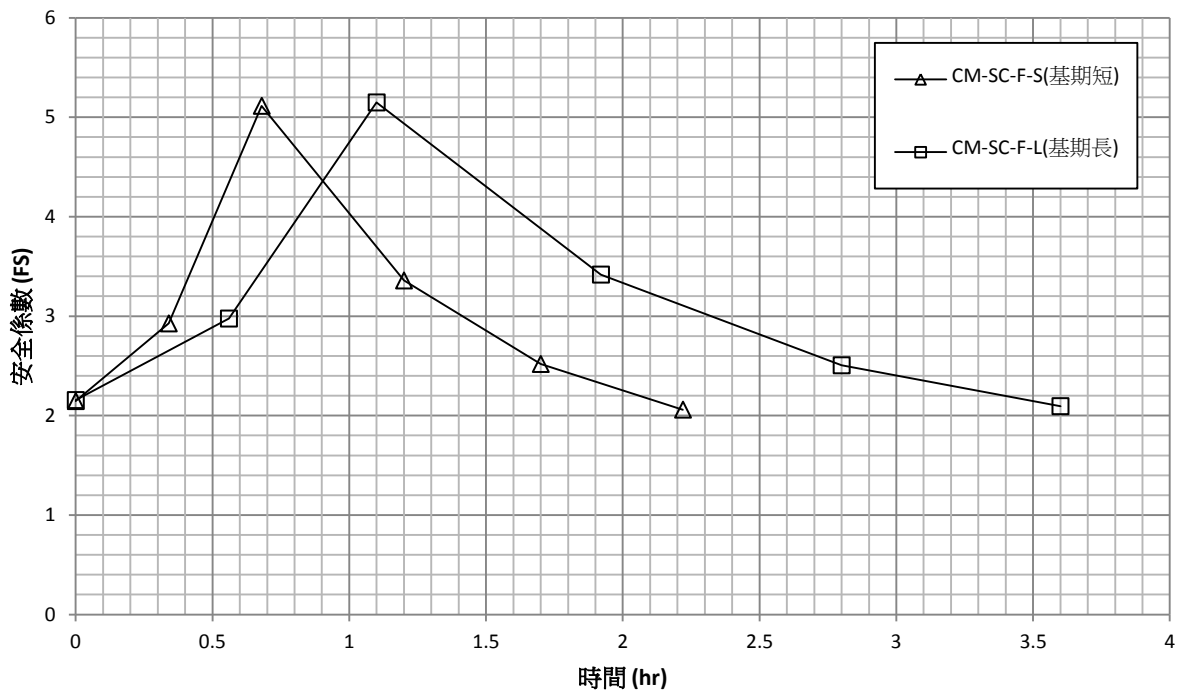


圖 4-6(f) 不同基期對安全係數的影響—case 6

4.3 急洩降對安全係數之影響

此節針對兩個不同基期之急洩降的模擬結果各自進行比較，再對兩種不同基期的急洩降對於安全係數的變化關係進行分析。

急洩降模擬取代表時間的方法如 4.1 節所述，基期短之急洩降代表時間點 t (hr) 與對應坡外水位高 h (m) 如下： $t_1=0.00hr$ ($h=7.00m$)、 $t_2=0.38hr$ ($h=5.32m$)、 $t_3=0.76hr$ ($h=3.64m$)、 $t_4=1.14hr$ ($h=1.97m$)、 $t_5=1.54hr$ ($h=0.20m$)，洩降期間各時間點與安全係數的變化如表 4-5 所示；基期長之急洩降代表時間點如下： $t_1=0.00hr$ ($h=7.00m$)、 $t_2=0.62hr$ ($h=5.31m$)、 $t_3=1.24hr$ ($h=3.63m$)、 $t_4=1.86hr$ ($h=1.94m$)、 $t_5=2.50hr$ ($h=0.20m$)，洩降期間各時間點與安全係數的變化如表 4-6 所示。

表 4-5 短基期急洩降與安全係數的關係

模擬索引	t (hr)	安全係數(FS)		模擬索引	t (hr)	安全係數(FS)	
		M-P	Spencer			M-P	Spencer
C-SL-R-S	0.00	2.195	2.215	C-SC-R-S	0.00	2.378	2.385
	0.38	1.504	1.512		0.38	1.586	1.603
	0.76	1.113	1.095		0.76	1.171	1.164
	1.14	0.813	0.827		1.14	0.896	0.898
	1.54	0.826	0.834		1.54	0.861	0.874
DSM-SL-R-S	0.00	2.132	2.061	DSM-SC-R-S	0.00	2.377	2.301
	0.38	1.656	1.607		0.38	1.811	1.766
	0.76	1.615	1.617		0.76	1.734	1.736
	1.14	1.486	1.511		1.14	1.542	1.546
	1.54	1.536	1.54		1.54	1.585	1.587
CM-SL-R-S	0.00	2.2	2.22	CM-SC-R-S	0.00	2.343	2.364
	0.38	1.497	1.533		0.38	1.713	1.744
	0.76	1.166	1.153		0.76	1.456	1.439
	1.14	0.850	0.915		1.14	1.221	1.208
	1.54	0.910	0.919		1.54	1.202	1.185

表 4-6 長基期急洩降與安全係數的關係

模擬索引	t(hr)	安全係數(FS)		模擬索引	t(hr)	安全係數(FS)	
		M-P	Spencer			M-P	Spencer
C-SL-R-L	0.00	2.195	2.215	C-SC-R-L	0.00	2.378	2.385
	0.62	1.482	1.513		0.62	1.589	1.604
	1.24	1.128	1.104		1.24	1.182	1.177
	1.86	0.844	0.960		1.86	0.925	0.890
	2.50	0.832	0.854		2.50	0.883	0.896
DSM-SL-R-L	0.00	2.132	2.061	DSM-SC-R-L	0.00	2.377	2.301
	0.62	*5.878	*87.858		0.62	*5.328	*84.821
	1.24	1.622	1.624		1.24	1.740	1.742
	1.86	1.560	1.576		1.86	1.635	1.618
	2.50	1.534	1.554		2.50	1.582	1.581
CM-SL-R-L	0.00	2.200	2.220	CM-SC-R-L	0.00	2.343	2.364
	0.62	1.503	1.534		0.62	1.716	1.748
	1.24	1.180	1.168		1.24	1.469	1.451
	1.86	0.945	1.030		1.86	1.292	1.295
	2.50	0.922	0.941		2.50	1.207	1.199

註：表中有「*」者表示計算出不合理的安全係數

4.3.1 護岸材料對安全係數之影響

此部分探討的是背填土壤相同之下，護岸材料於急洩降期間對安全係數之影響為何。按照背填土壤的種類可分為兩種，每種再依照基期長短可再分為兩類，以下分別呈現四種組合的結果：

- (1) 背填粉土質壤土，各護岸材料於上游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-7(a))
- (2) 背填砂質黏土，各護岸材料於上游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-7(b))
- (3) 背填粉土質壤土，各護岸材料於下游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-7(c))
- (4) 背填砂質黏土，各護岸材料於下游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-7(d))

由圖 4-7(a)至圖 4-7(d)結果並忽略表 4-6 中 *DSM-SL-R-L* 和 *DSM-SC-R-L* 於 $t=0.62$ 計算出不合理的安全係數點，可得無論是在洩降速率較快的上游或是洩降速率較慢的下游，所有的護岸類型邊坡皆因坡外水位急洩降而使得安全係數降低。

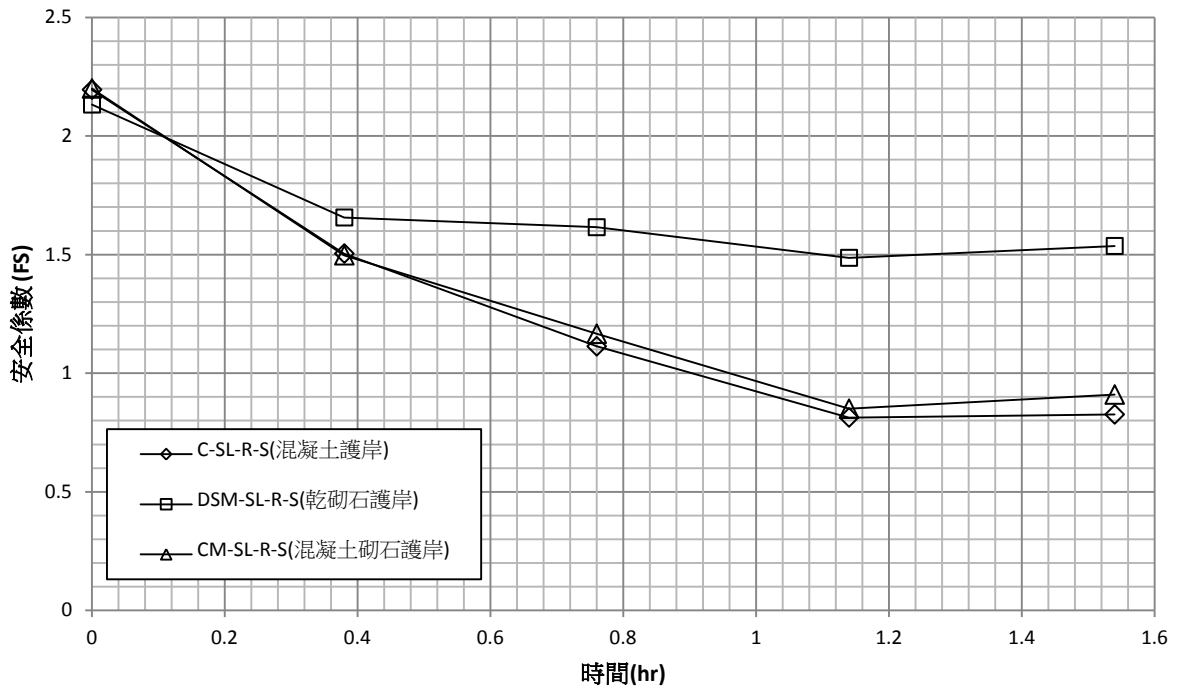


圖 4-7(a) 護岸材料對安全係數影響—短基期急洩降(當背填土同為粉土質壤土)

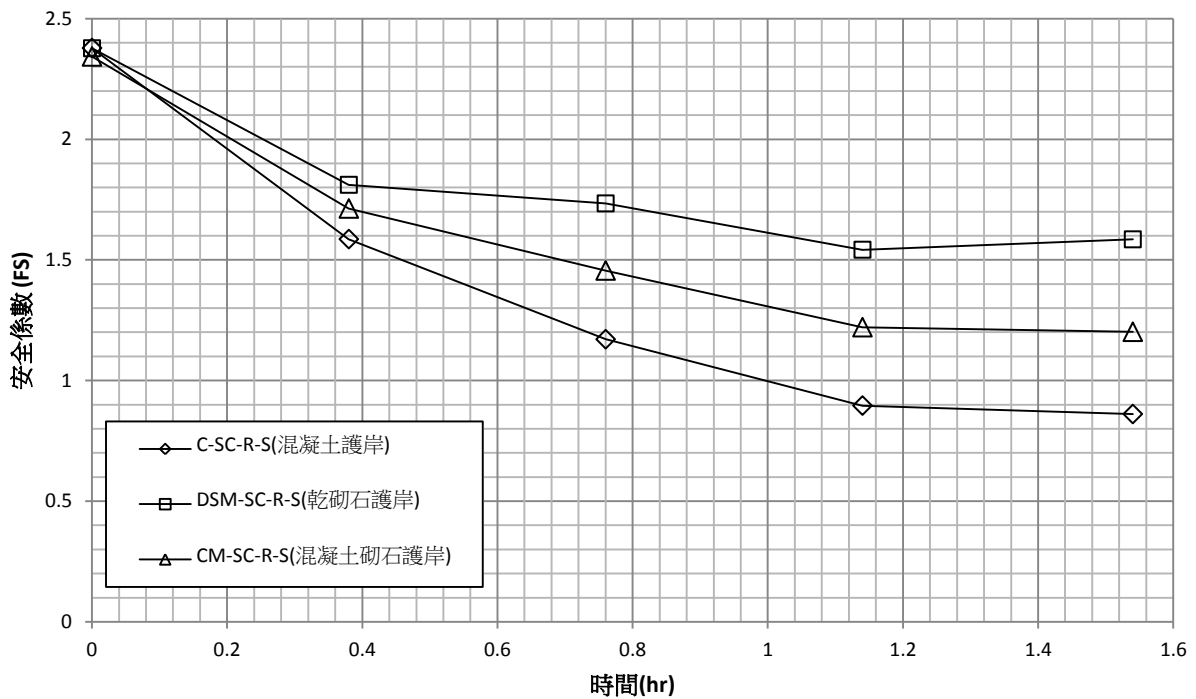


圖 4-7(b) 護岸材料對安全係數影響—短基期急洩降 (當背填土同為砂質黏土)

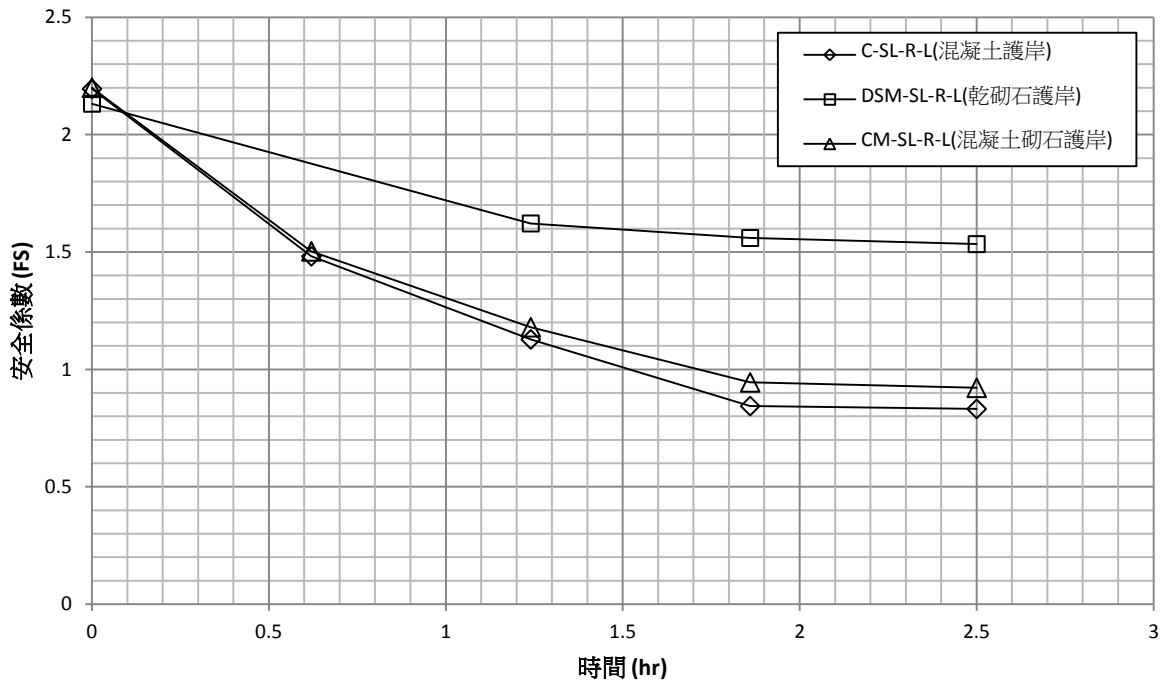


圖 4-7(c) 護岸材料對安全係數影響—長基期急洩降(當背填土同為粉土質壤土)

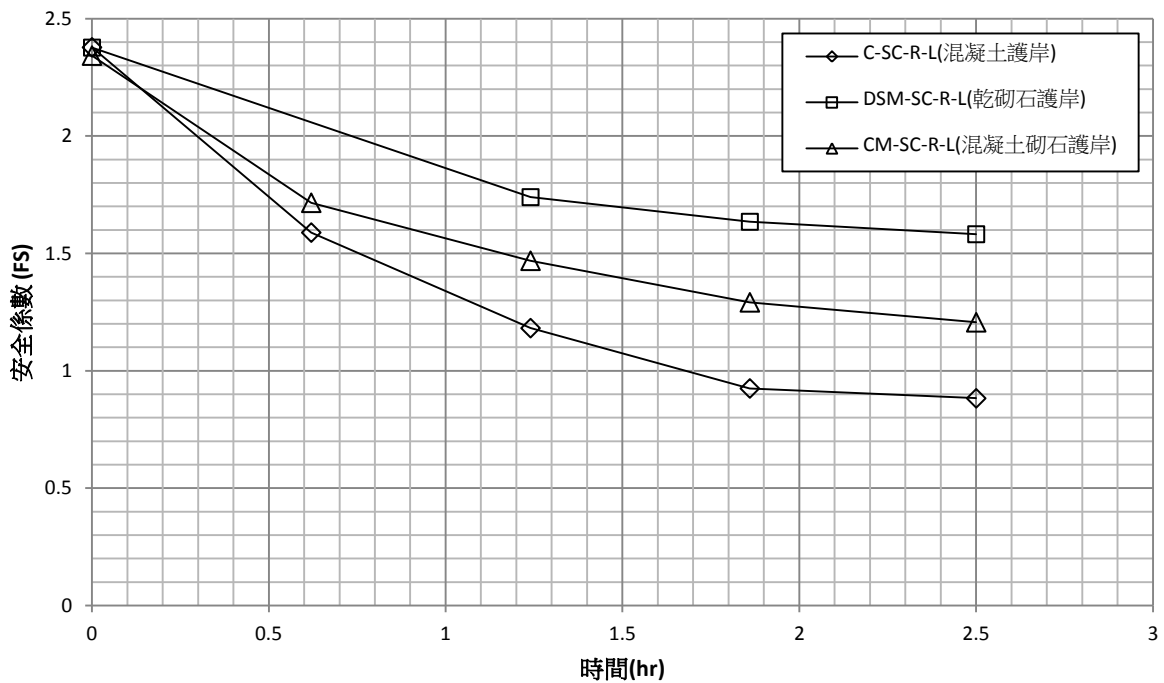


圖 4-7(d) 護岸材料對安全係數影響—長基期急洩降 (當背填土同為砂質黏土)

同樣地，造成安全係數降低的原因亦可由邊坡內外於急洩降期間之同時間的水位差造成的滲流力來說明，圖 4-8(a)至圖 4-8(d)呈現的是以坡內固定點為基準，該點隨坡外洩降的水位變化歷程，該基準點與完整水位時使用的為同一個點，圖 4-8(e)呈現的則是由 FEMWATER 進行急洩降滲流模擬分析後，選擇同個洩降時間點之下，三種不同護岸材料於同一種背填土壤之下，坡內水位隨坡外洩降當下的反應。由可看到三種護岸類型的坡內水位於坡外水位急洩降期間均高於坡外，即坡內的水位變化來不及與坡外同步洩降，其中只有導水度較大的乾砌石護岸之坡內水位洩降比例較大，導水度較小的混凝土護岸與混凝土砌石護岸則只有部分的洩降，因此，急洩降的過程中以乾砌石護岸的安全係數最高，混凝土護岸的安全係數最低。

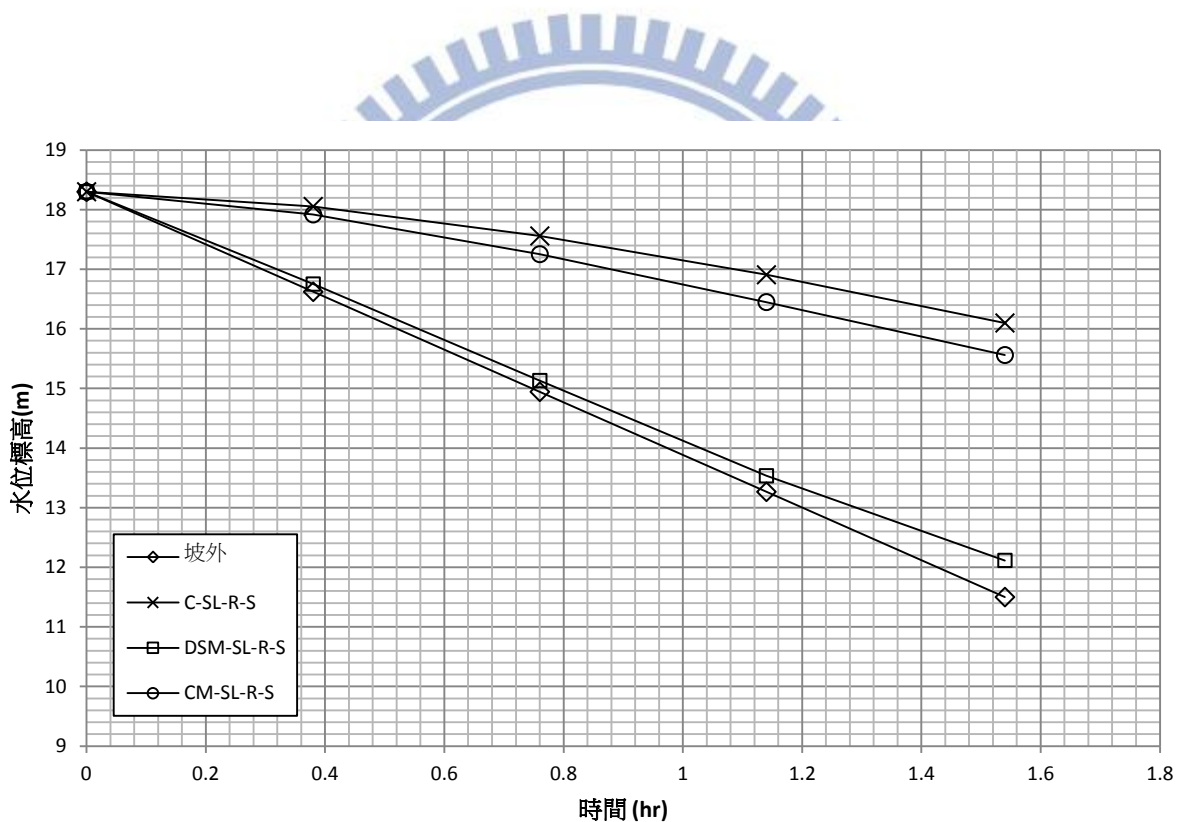


圖 4-8(a) 邊坡內外水位同時間的變化—短基期急洩降(當背填土同為粉土質黏壤土)

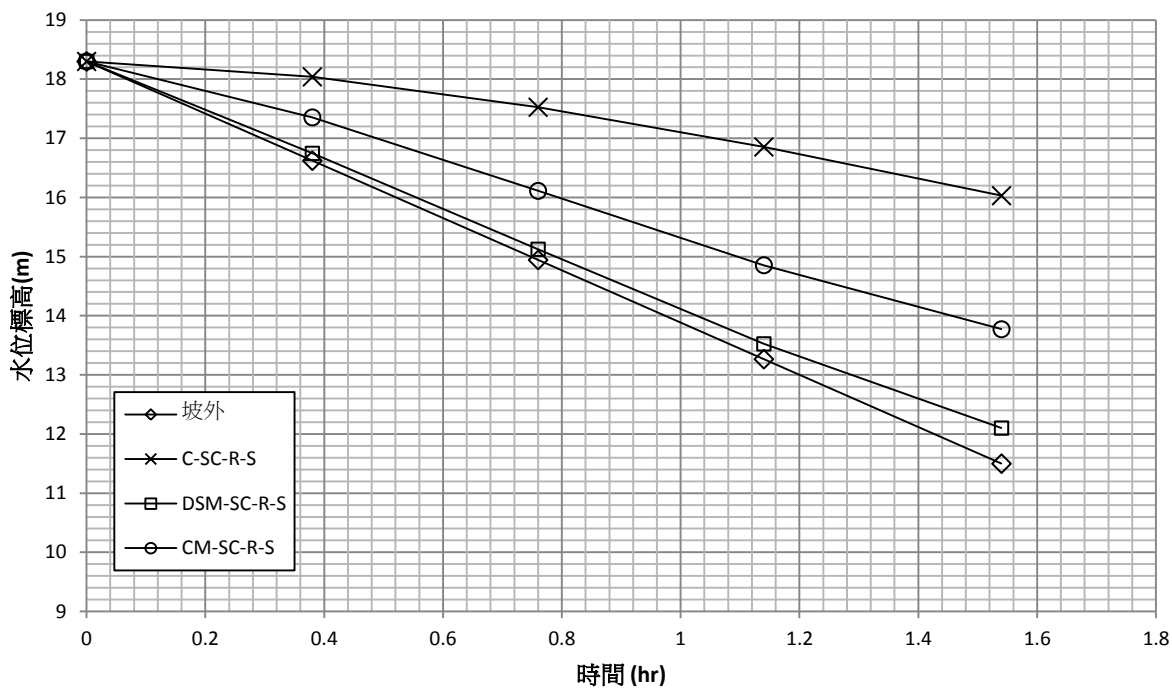


圖 4-8(b) 邊坡內外水位同時間的變化—短基期急洩降 (當背填土同為砂質黏土)

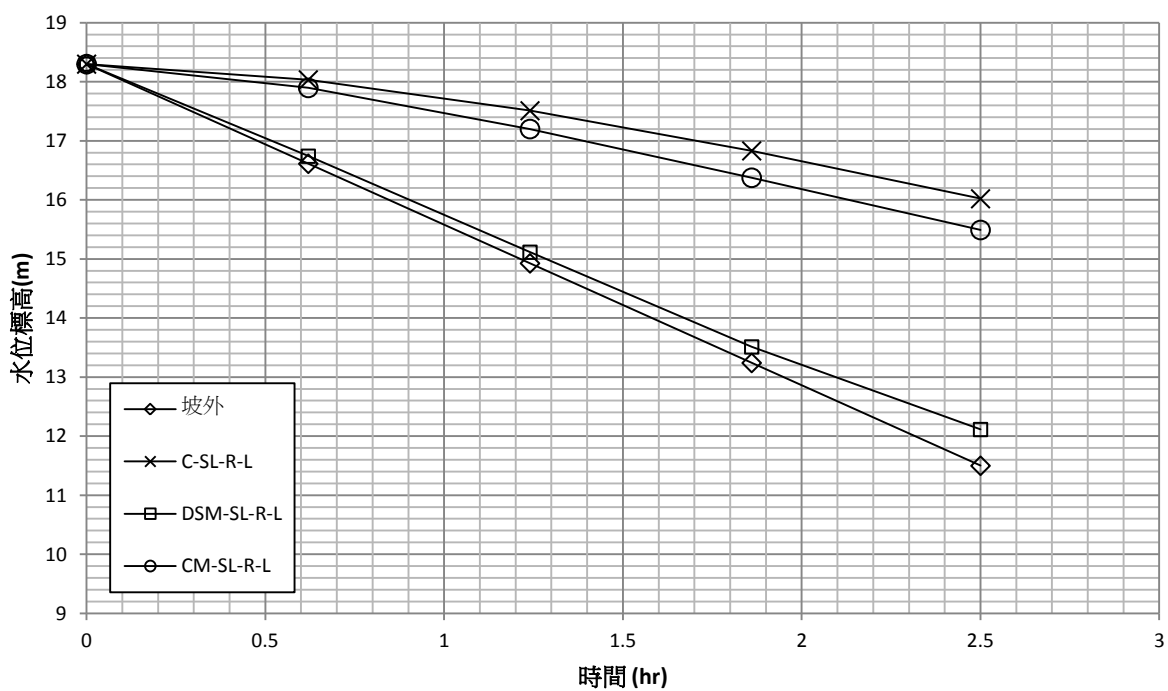


圖 4-8(c) 邊坡內外水位同時間的變化—長基期急洩降 (當背填土同為粉土質壤土)

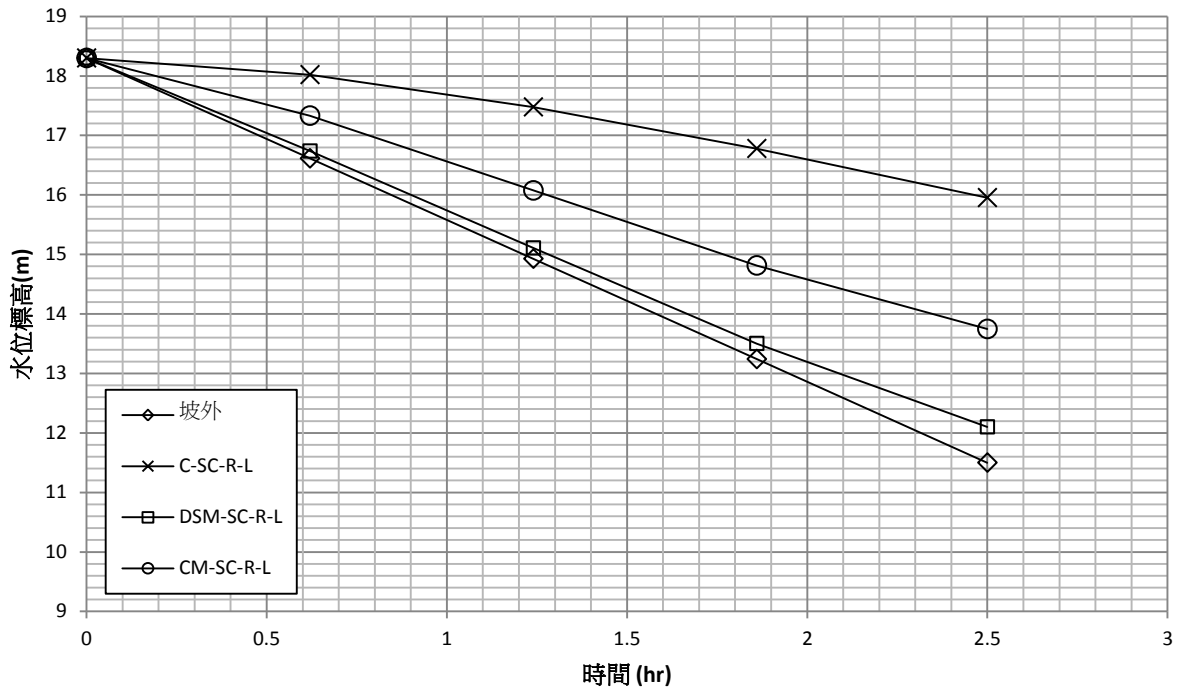


圖 4-8(d) 邊坡內外水位同時間的變化—長基期急洩降 (當背填土同為砂質黏土)

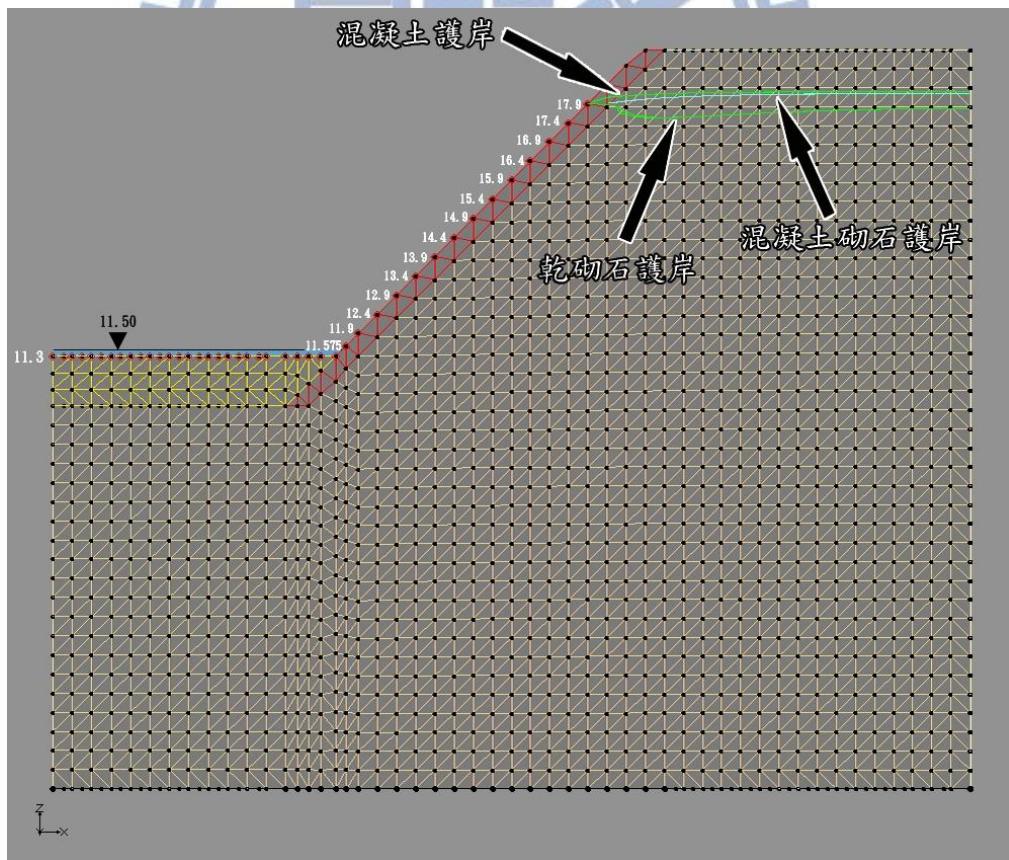


圖 4-8(e) 急洩降期間不同護岸材料之坡內水位面相對位置

4.3.2 背填土壤對安全係數之影響

此部分探討的是護岸材料相同之下，護岸後方背填土壤於坡外急洩降期間對安全係數之影響為何。按照護岸的種類可分為三種，每種再依照洩降基期之長短可再分為兩類，以下分別呈現六種組合的結果：

- (1) 混凝土護岸背填不同土壤於上游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-9(a))
- (2) 乾砌石護岸背填不同土壤於上游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-9(b))
- (3) 混凝土砌石護岸背填不同土壤於上游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-9(c))
- (4) 混凝土護岸背填不同土壤於下游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-9(d))
- (5) 乾砌石護岸背填不同土壤於下游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-9(e))
- (6) 混凝土砌石護岸背填不同土壤於下游急洩降期間之安全係數變化。(圖 4-9(f))

由圖 4-9(a)至圖 4-9(f)顯示，背填土壤導水度較小者之安全係數均大於背填土壤導水度較大者。此外，可發現乾砌石的護岸之安全係數總變化量最緩和，很快進入穩定的狀態；混凝土護岸則是安全係數總變化量最大，安全係數於急洩降後半段才趨於穩定，推測造成安全係數回穩時間的差異除了因為坡內水位洩降的快慢外，另一個原因是來自於非飽和區域發展的早晚所致，乾砌石護岸坡內水位退得快，非飽和強度的發展較早；混凝土護岸則反之。

另外，以邊坡內之相同位置來說，從急洩降分析結果所得之水壓分佈來看(見附錄-2)，可發現導水度較低的背填土壤之水壓值均較導水度較高者低。研判造成此結果原因與土壤飽和時的導水度和非飽和之相對導水度之綜合效應有關，砂質黏土雖然飽和導水度比粉土質壤土低，但兩者於非飽和狀態的 $SWCC$ 並不相同，洩降過程的水力梯度亦不相同，因此非飽和區域的導水度也不同。由本研究使用土壤的 $SWCC$ 來看，砂質黏土的持水能力較粉土質壤土好，換言之在到達相同的基質吸力之下，砂質黏土相較於粉土質壤土只需要損失較少量的飽和度即可達到平衡狀態，同時也因為飽和度損失的少，所以砂質黏土在非飽和區域之相對導水度(K_r)也較粉土質壤土高，因此飽和與非飽和綜合效應下導致導水度較低的砂質黏土於洩降過程之水壓消散較快外，同時使得非飽和強度回升較快，再綜合本身土壤強度參數效應之下，反應出背填砂質黏土者之安全係數高於粉土質壤土者的結果。

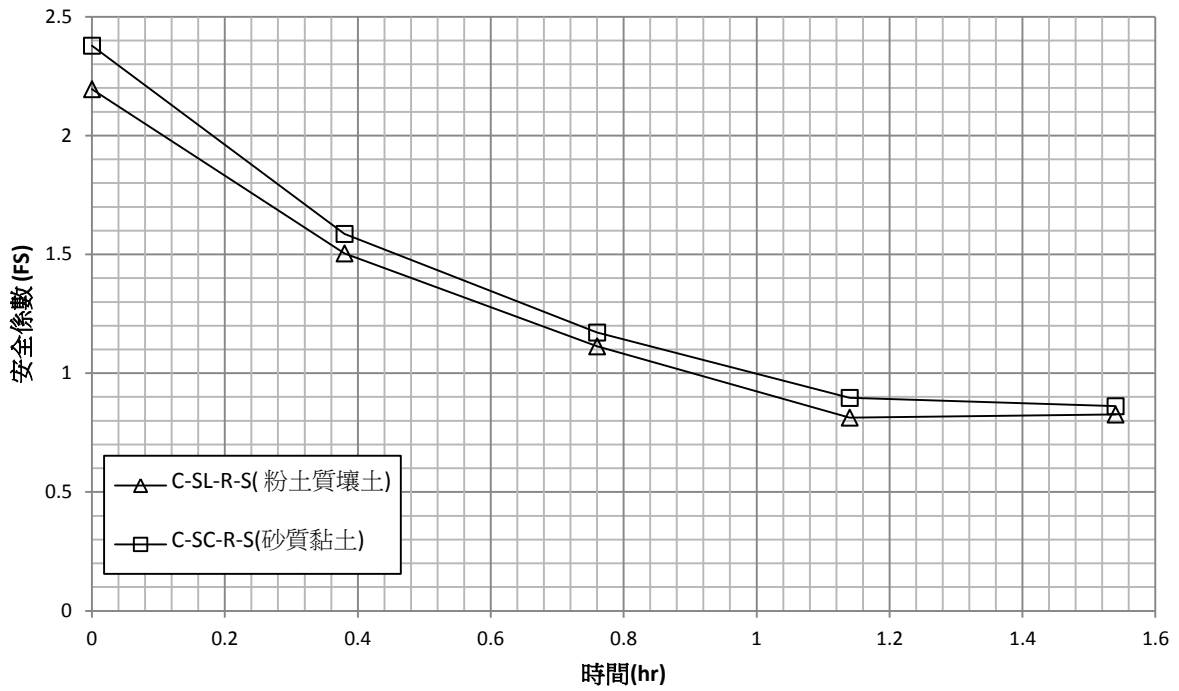


圖 4-9(a) 背填土壤對安全係數影響—短基期急洩降（同為混凝土護岸）

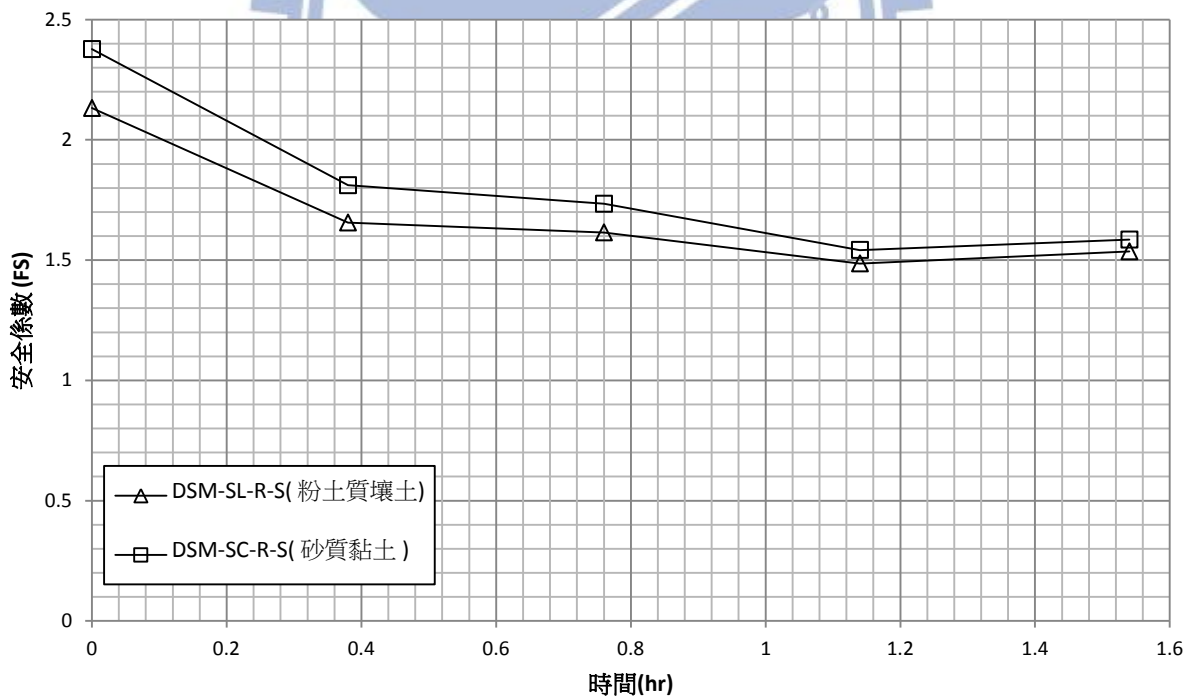


圖 4-9(b) 背填土壤對安全係數影響—短基期急洩降（同為乾砌石護岸）

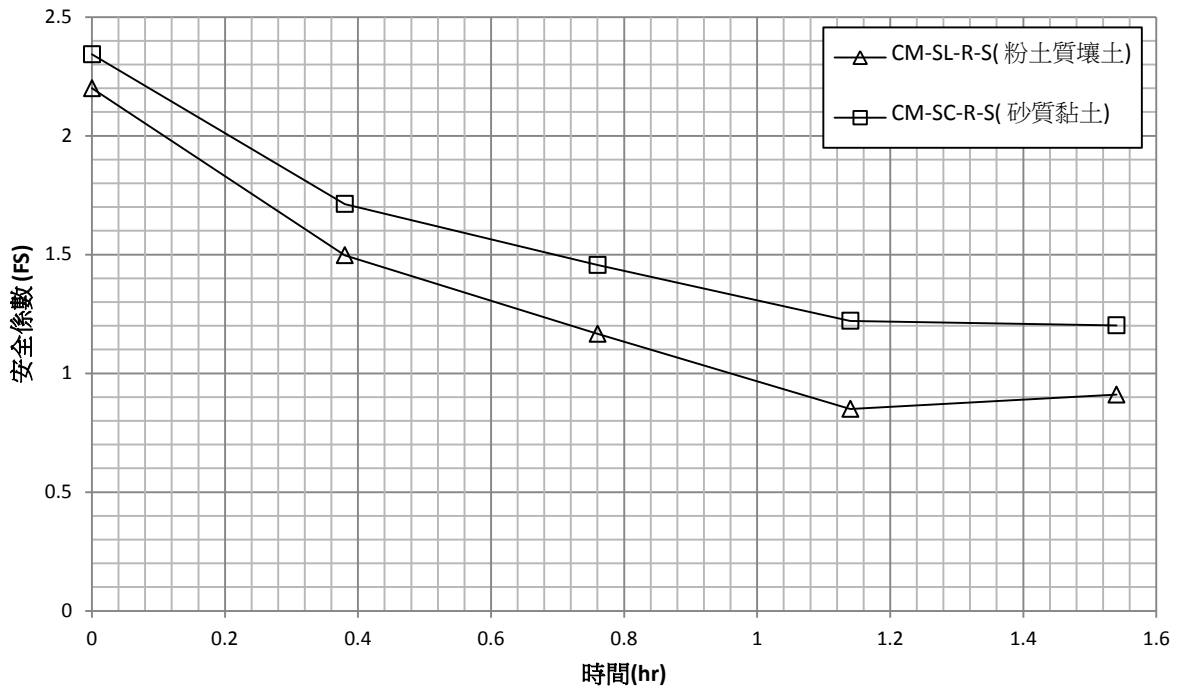


圖 4-9(c) 背填土壤對安全係數影響—短基期急洩降（同為混凝土砌石護岸）

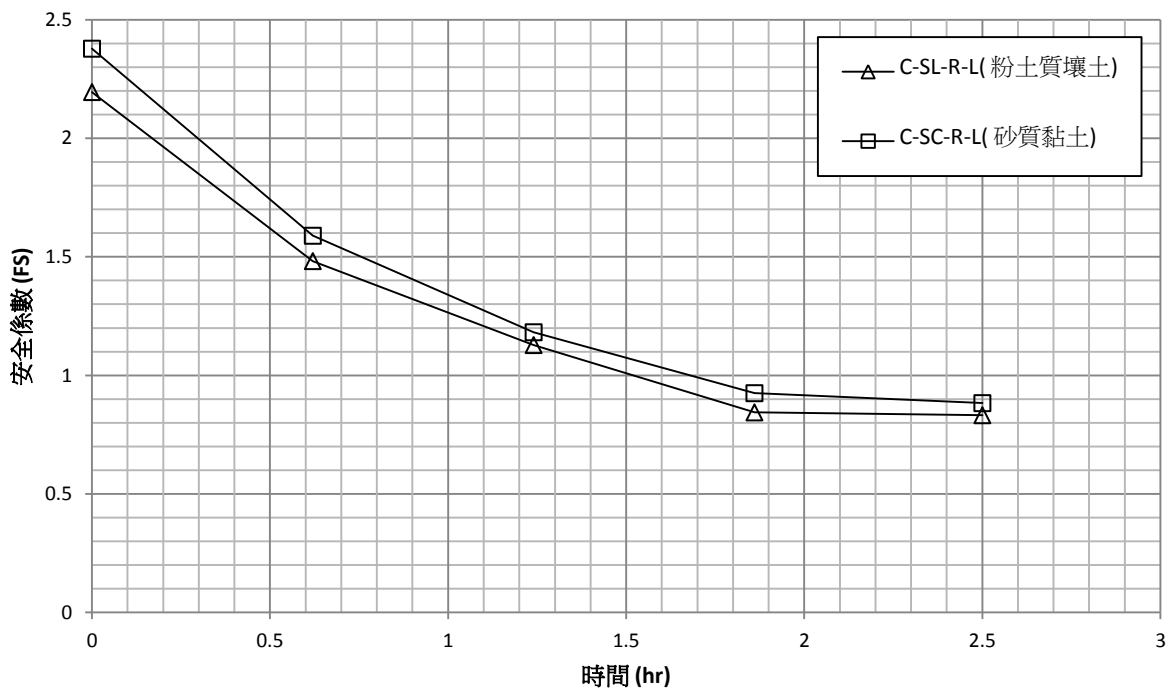


圖 4-9(d) 背填土壤對安全係數影響—長基期急洩降（同為混凝土護岸）

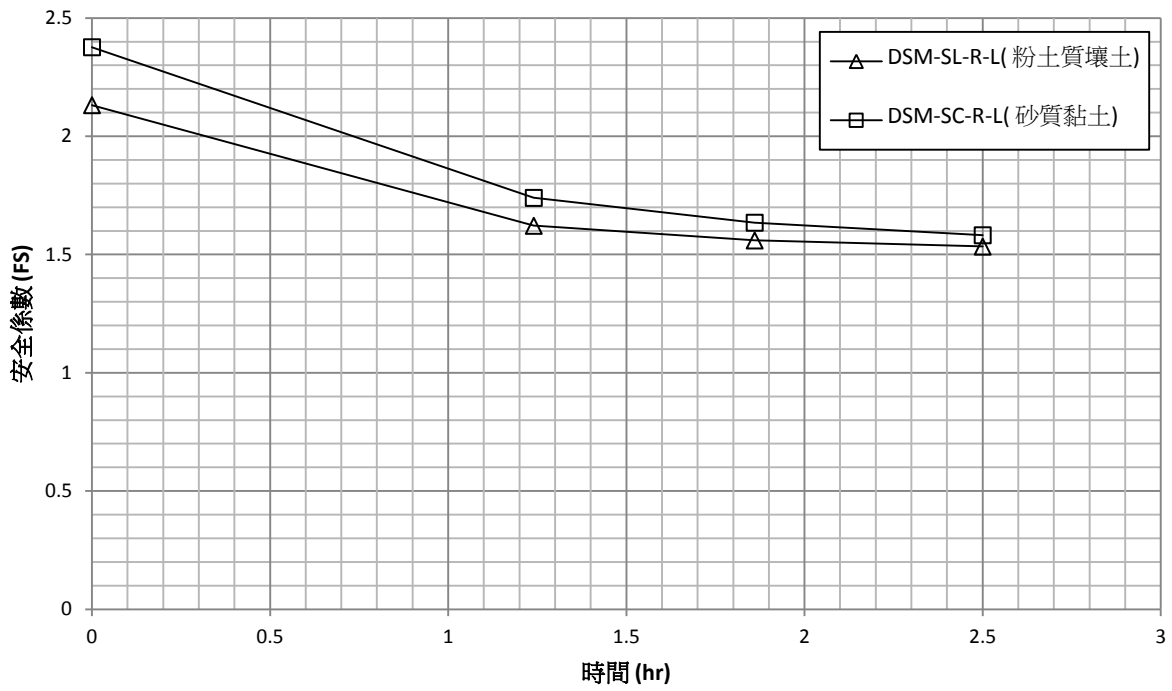


圖 4-9(e) 背填土壤對安全係數影響—長基期急洩降 (同為乾砌石護岸)

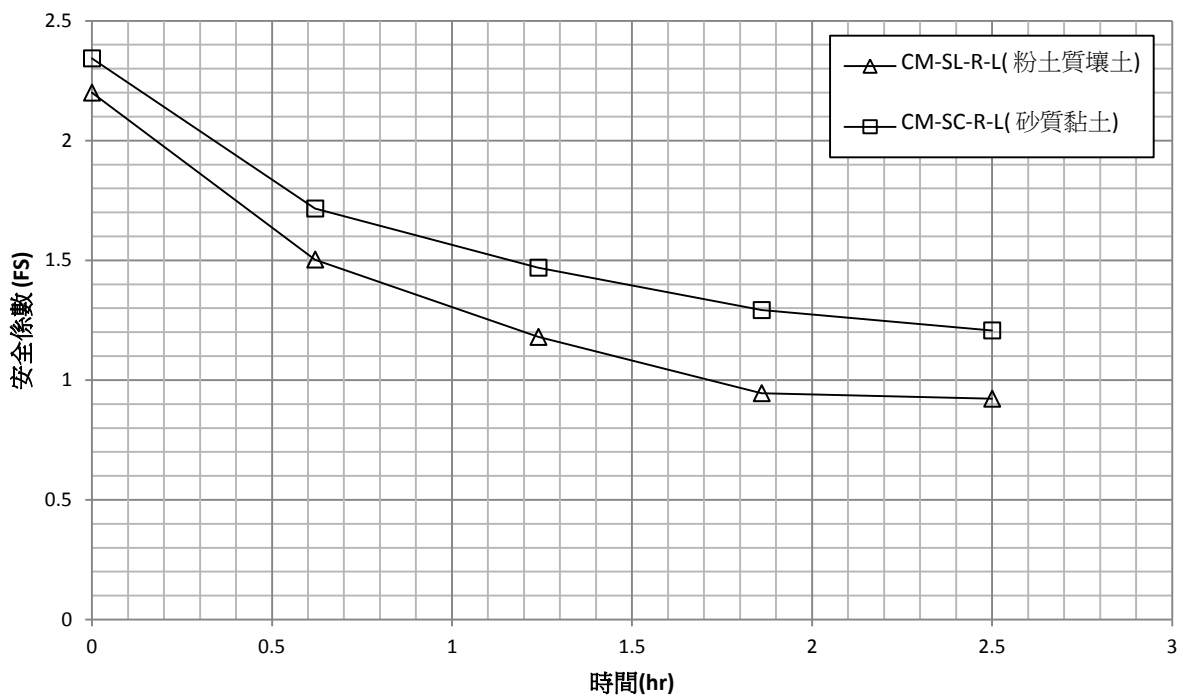


圖 4-9(f) 背填土壤對安全係數影響—長基期急洩降 (同為混凝土砌石護岸)

4.3.3 兩種急洩降的結果比較

兩種不同速率的急洩降的模擬，無論是使用 M-P 法或 Spencer 法，兩種分析方法所得的大部分安全係數之最大誤差不超過 4%，少數的誤差大於 4% 但最大不超過 13% (扣除計算出不合理安全係數後)，因此以下先刪除計算出不合理的安全係數後，僅以 M-P 法為基準進行繪圖比較。圖 4-10(a) 至圖 4-10(f) 顯示在相同護岸材料和背填土壤之下，不同急洩降速率對安全係數的變化。可發現洩降速率較快者(短基期)所得的安全係數歷時曲線大致相似於洩降速率較慢者(長基期)所得的安全係數歷時曲線，大致上整個安全係數歷時曲線有垂直高度固定，水平向被拉長的趨勢，洩降速率快者其安全係數變化較劇烈，其結果與 4.2.3 的完整水位升降之兩種基期比較結果有類似的結論。

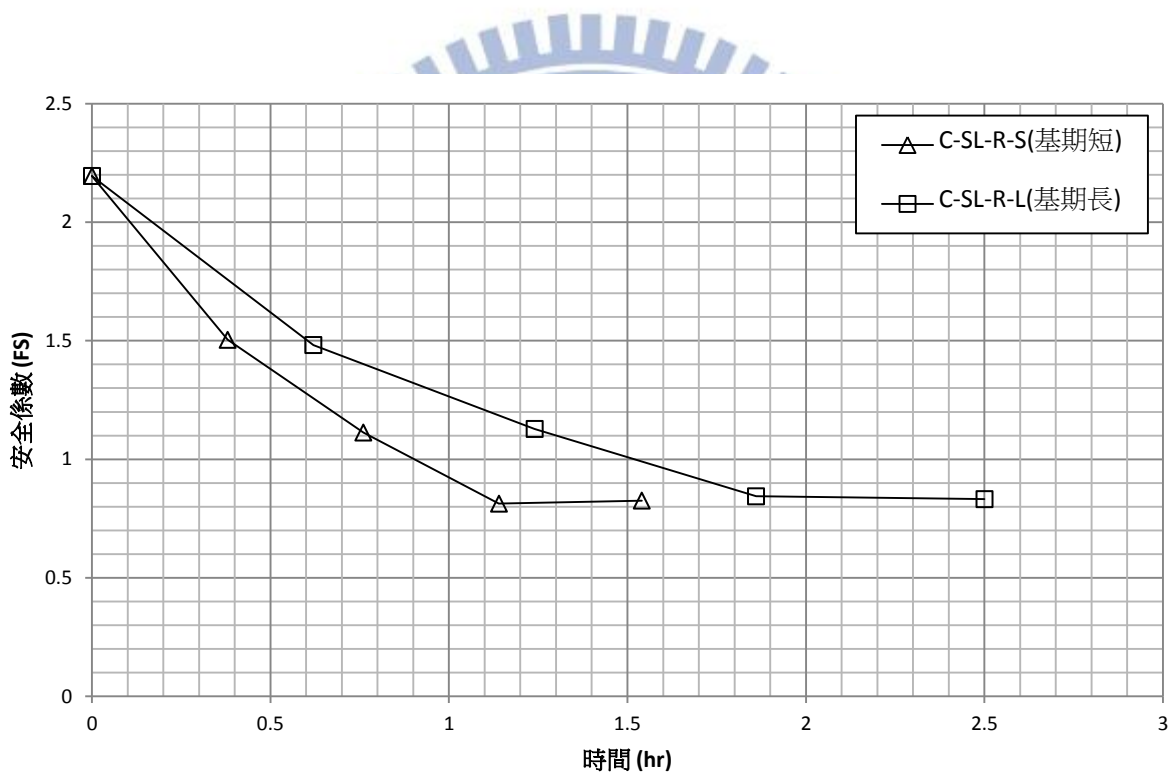


圖 4-10(a) 不同急洩降速率對安全係數的影響—case 1

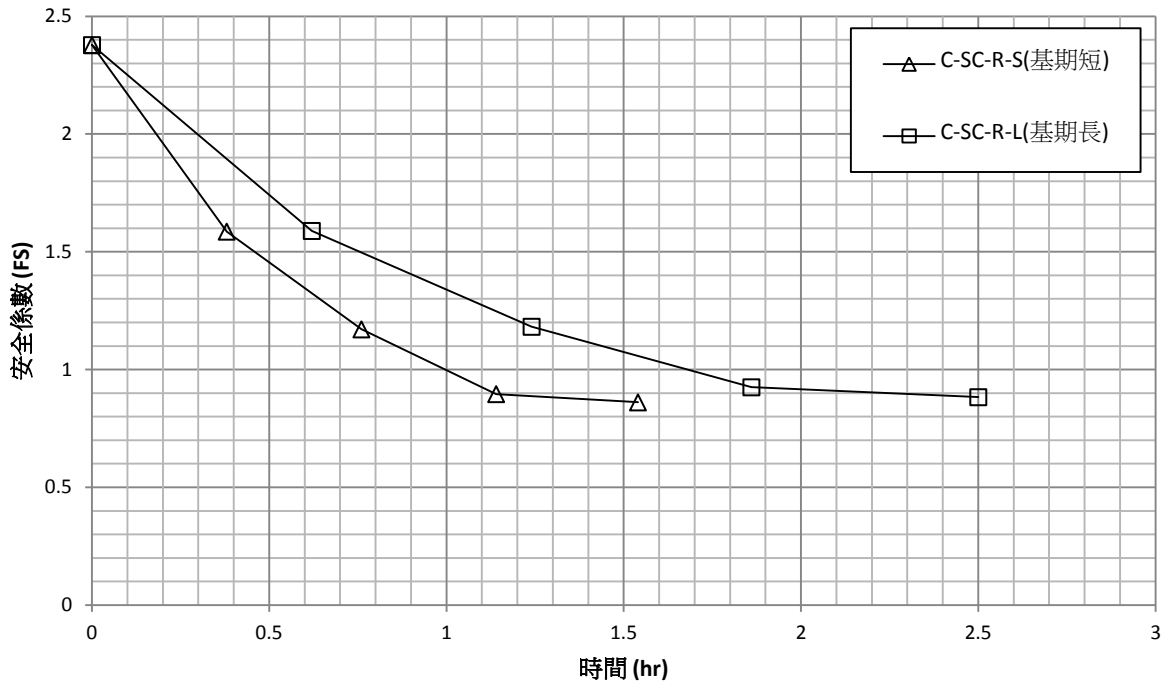


圖 4-10(b) 不同急洩降速率對安全係數的影響—case 2

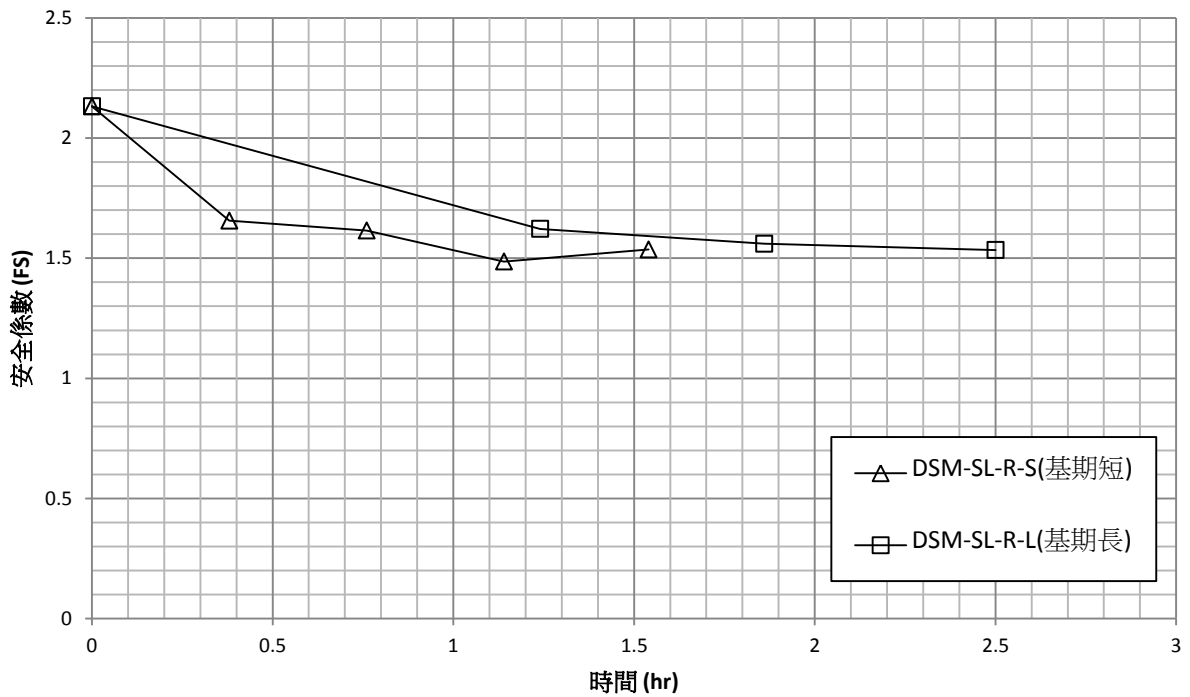


圖 4-10(c) 不同急洩降速率對安全係數的影響—case 3

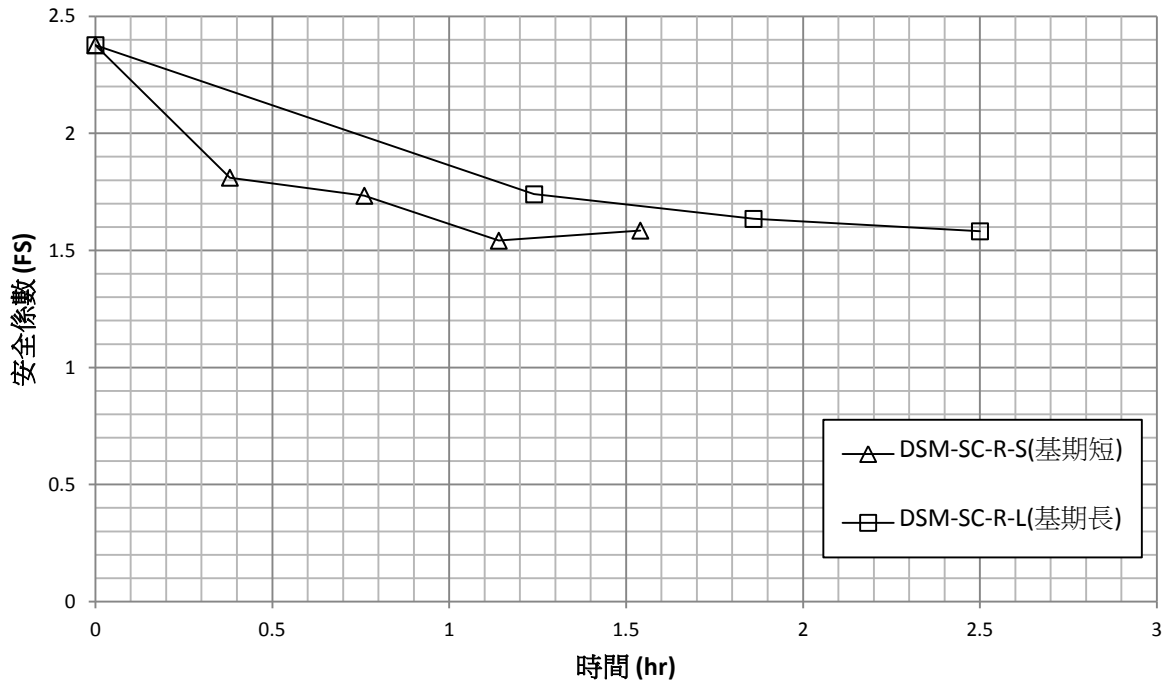


圖 4-10(d) 不同急洩降速率對安全係數的影響—case 4

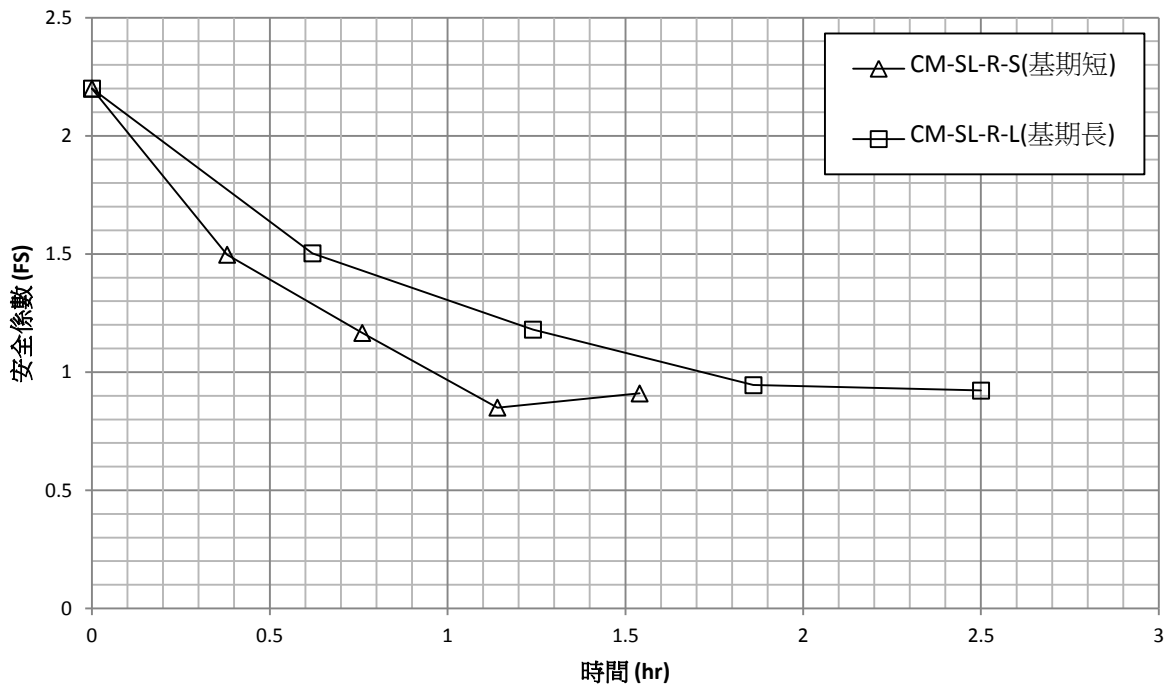


圖 4-10(e) 不同急洩降速率對安全係數的影響—case 5

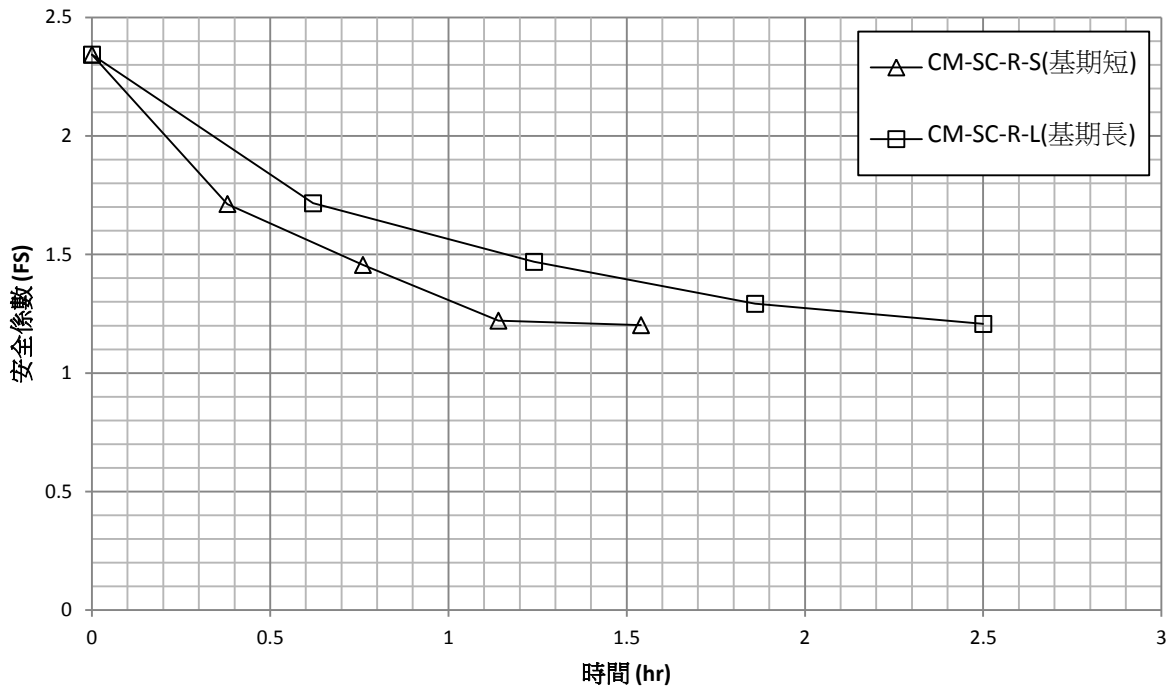


圖 4-10(f) 不同急洩降速率對安全係數的影響—case 6

4.4 坡外水位停滯時間的長短對安全係數的影響

前面 4.2 和 4.3 小節分別闡述完整水位升降和急洩降對安全係數的影響，兩者於本研究中的共通點是坡外的水位變化速率與歷時於完整水位升降的退水段與急洩降是完全相同的，差異只在坡內的初始飽和度不同；完整水位升降於本研究的模擬中為貼近颱風或暴雨事件於短時間影響河川水位的變動之現象，因此於完整水位升降過程中並沒有允許坡外高水位停滯一段時間再進行退水，坡內的土壤大部分為非飽和狀態；反觀急洩降模擬的初始狀態是來自於完整水位升降之上升段至高水位後停滯於高水位達穩態，有足夠的時間讓坡內土壤大部份呈飽和狀態。

將各模擬案例於完整水位升降的退水段之安全係數和急洩降的之安全係數變化繪圖進行比較(見圖 4-11(a)至圖 4-11(l))，可發現如坡外高水位有滯留，則安全係數會因為後方土壤飽和度提高而開始下降，如果滯留得夠久則安全係數就會降至與急洩降相同的初始狀態，則整體的安全係數會大幅度下降，因此，水位滯留坡外時間的長短是個不可忽視的因子。

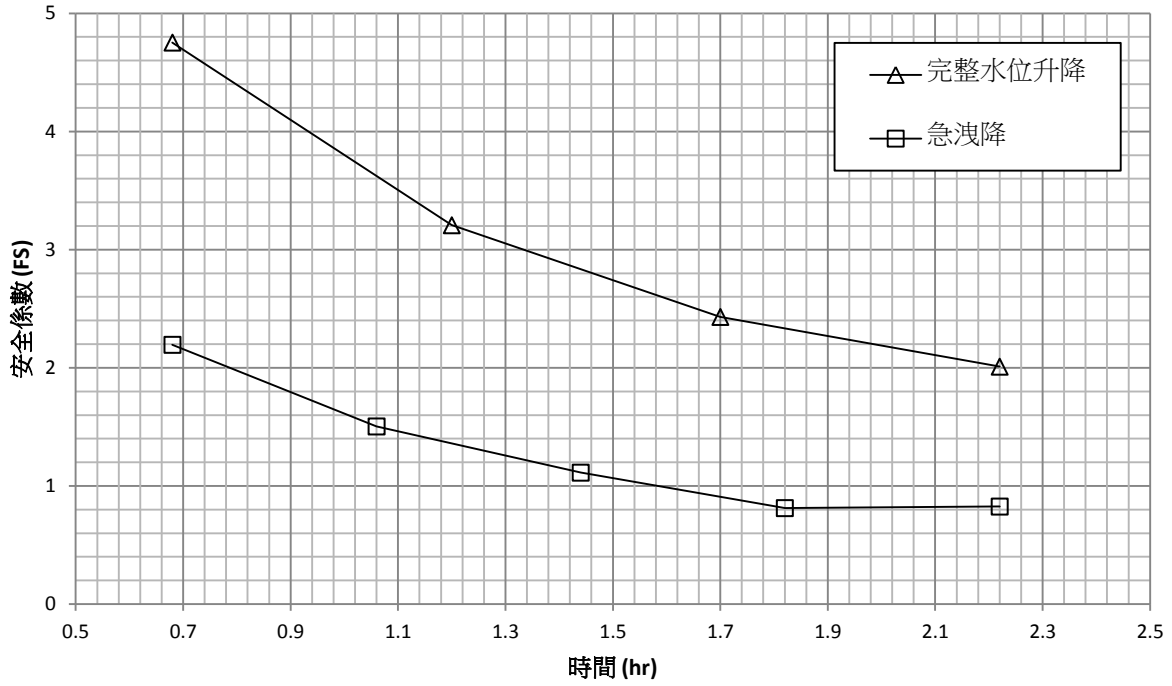


圖 4-11(a) C-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—短基期

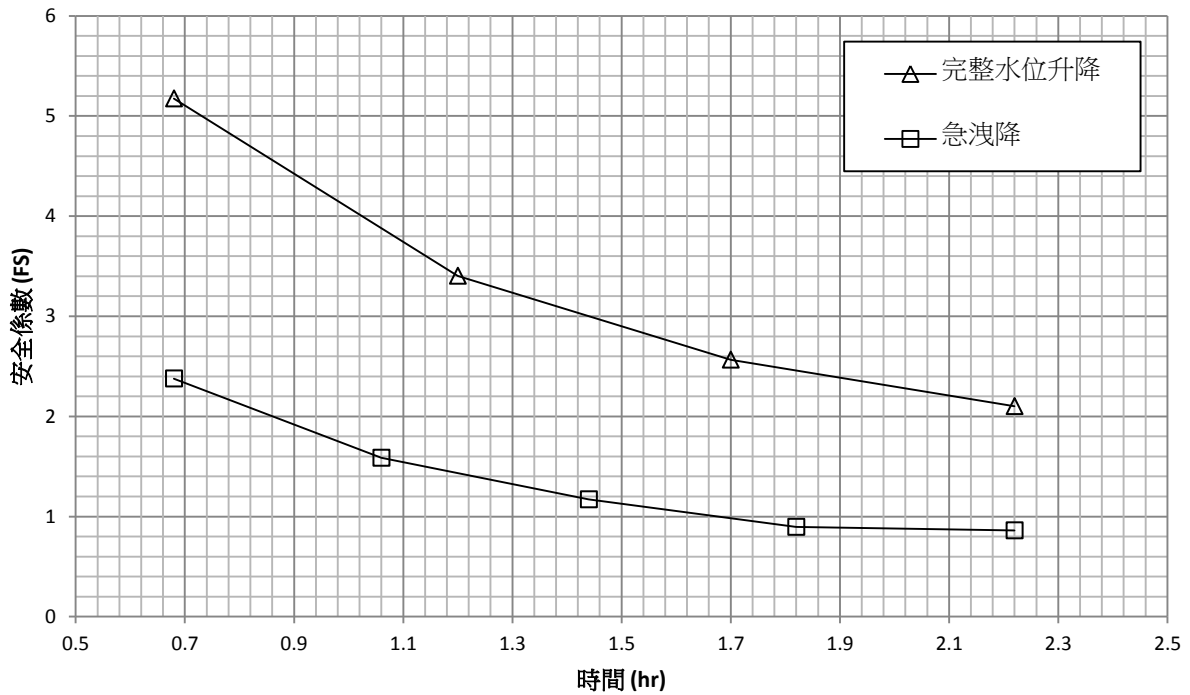


圖 4-11(b) C-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—短基期

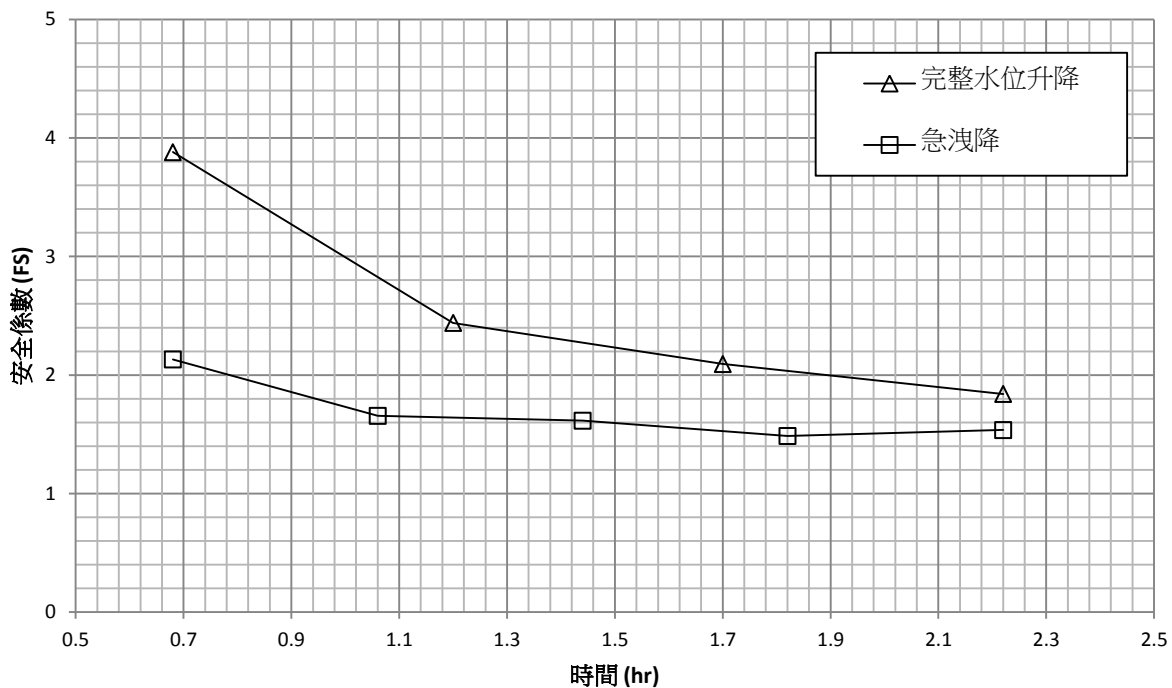


圖 4-11(c) DSM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—短基期

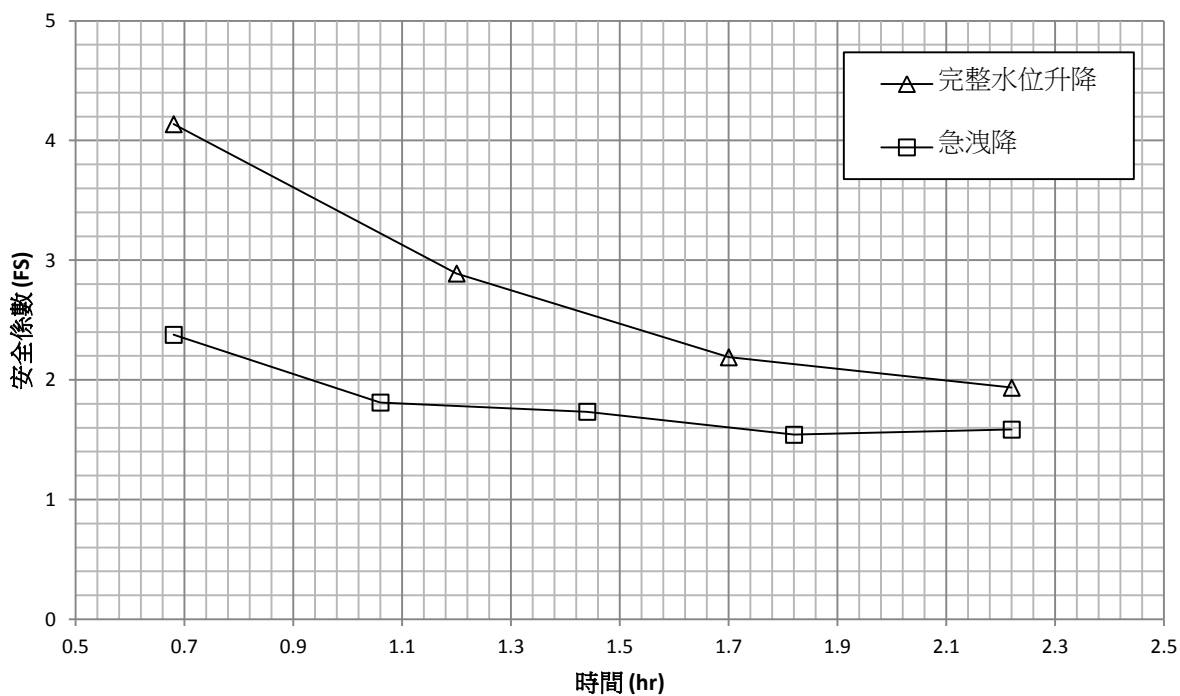


圖 4-11(d) DSM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—短基期

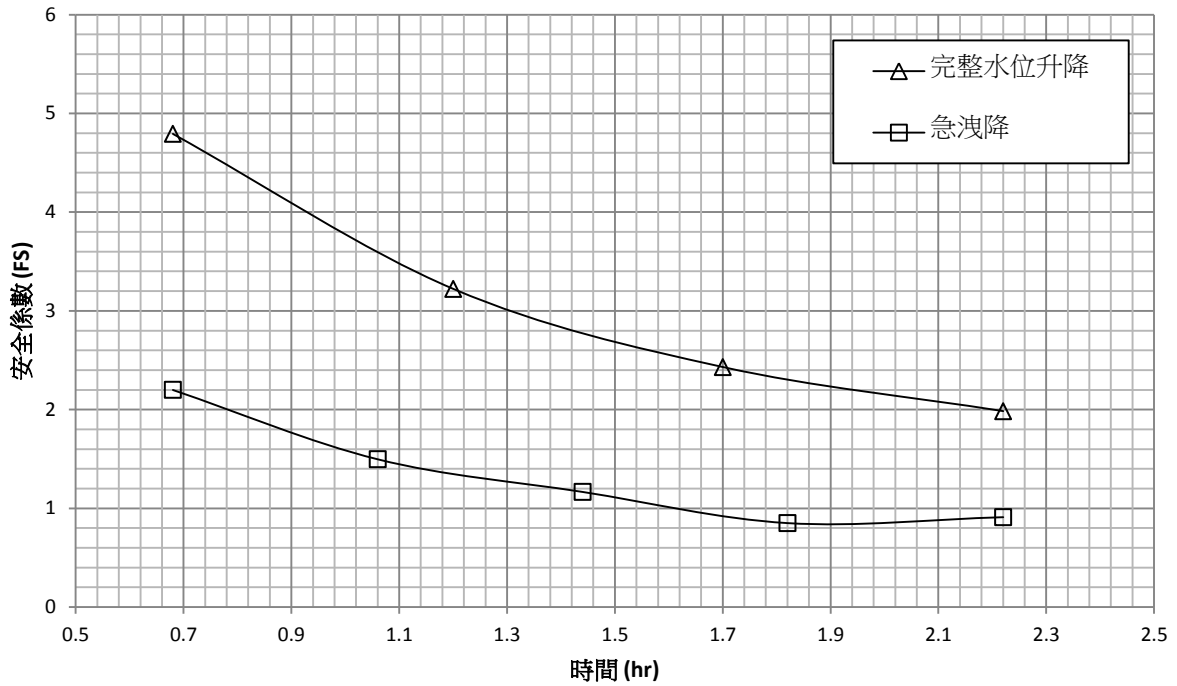


圖 4-11(e) CM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—短基期

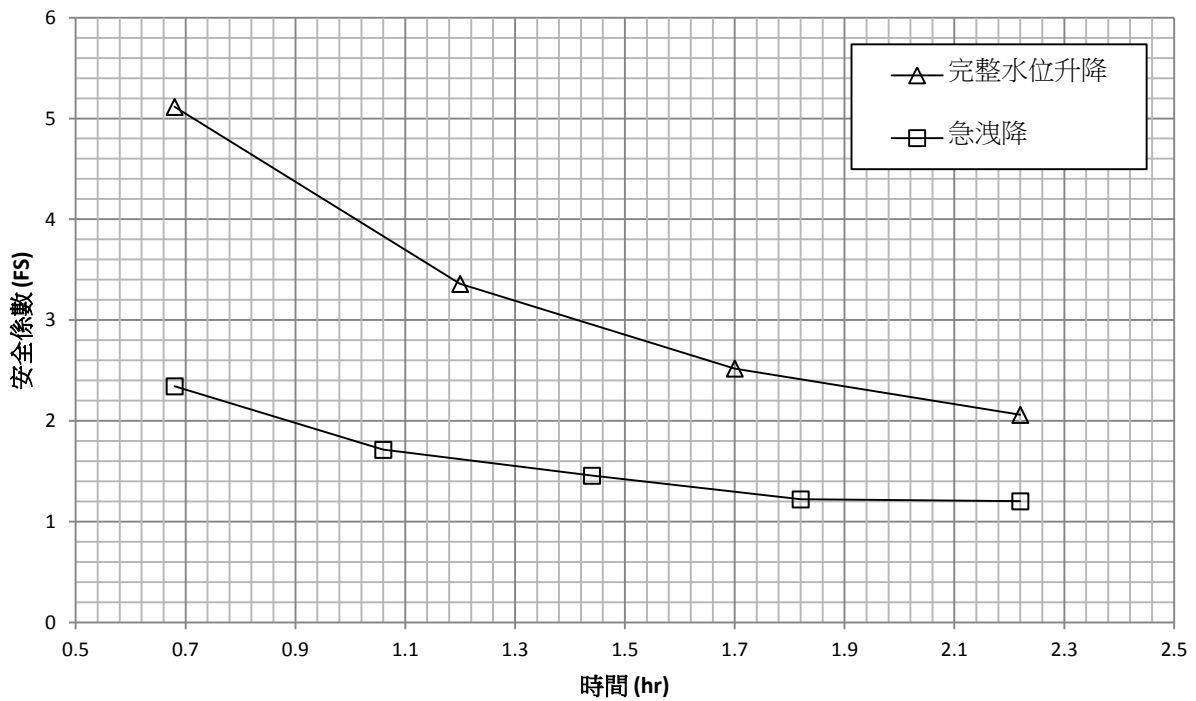


圖 4-11(f) CM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—短基期

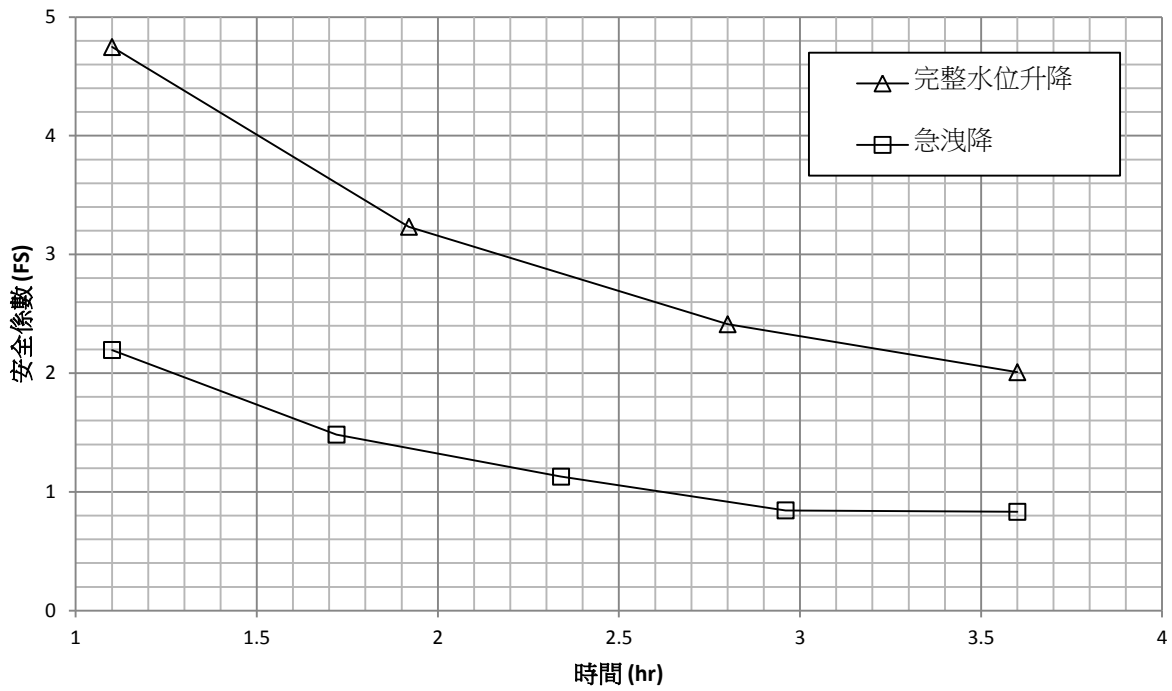


圖 4-11(g) C-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—長基期

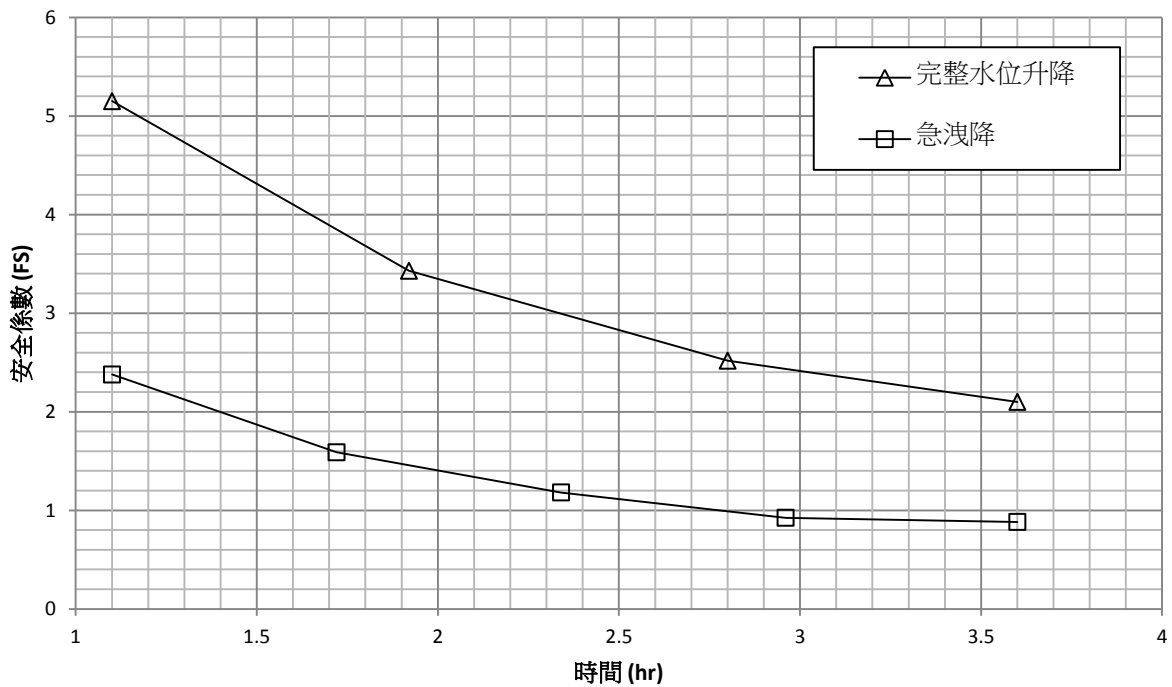


圖 4-11(h) C-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—長基期

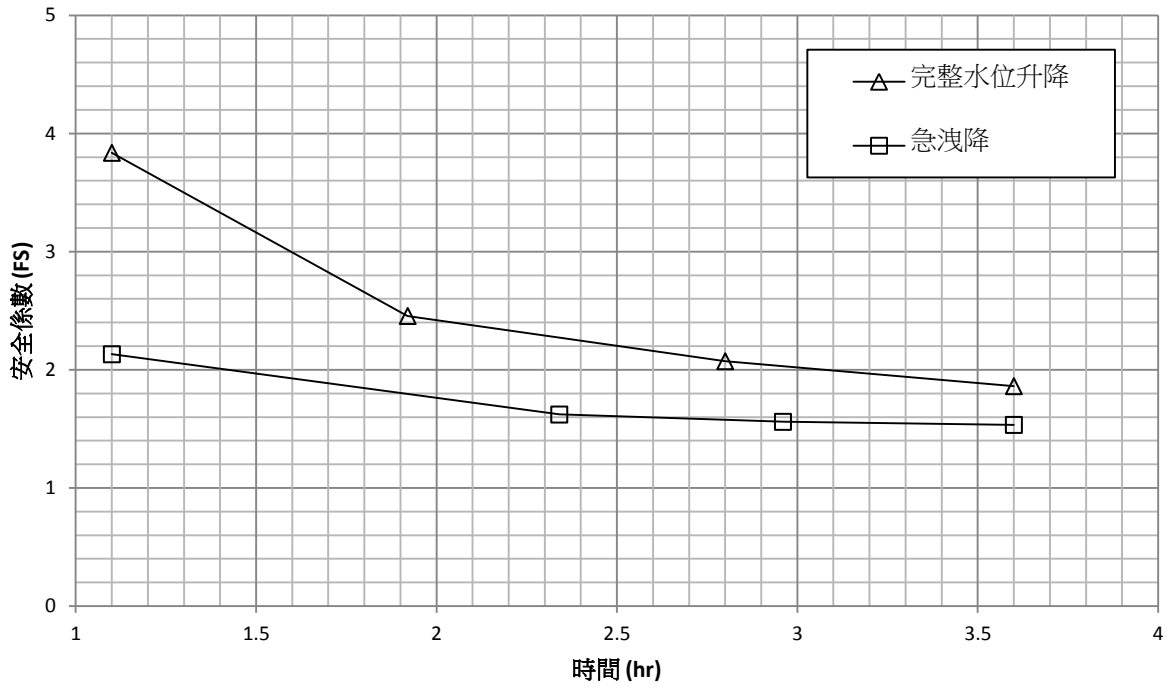


圖 4-11(i) DSM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—長基期

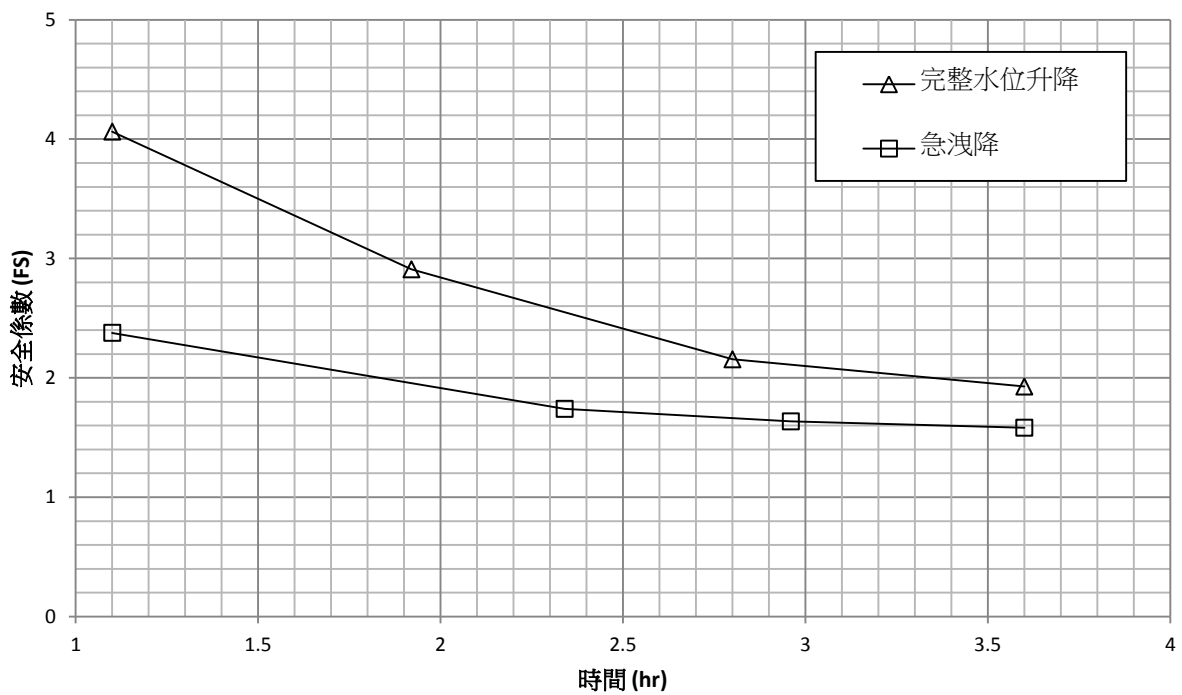


圖 4-11(j) DSM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—長基期

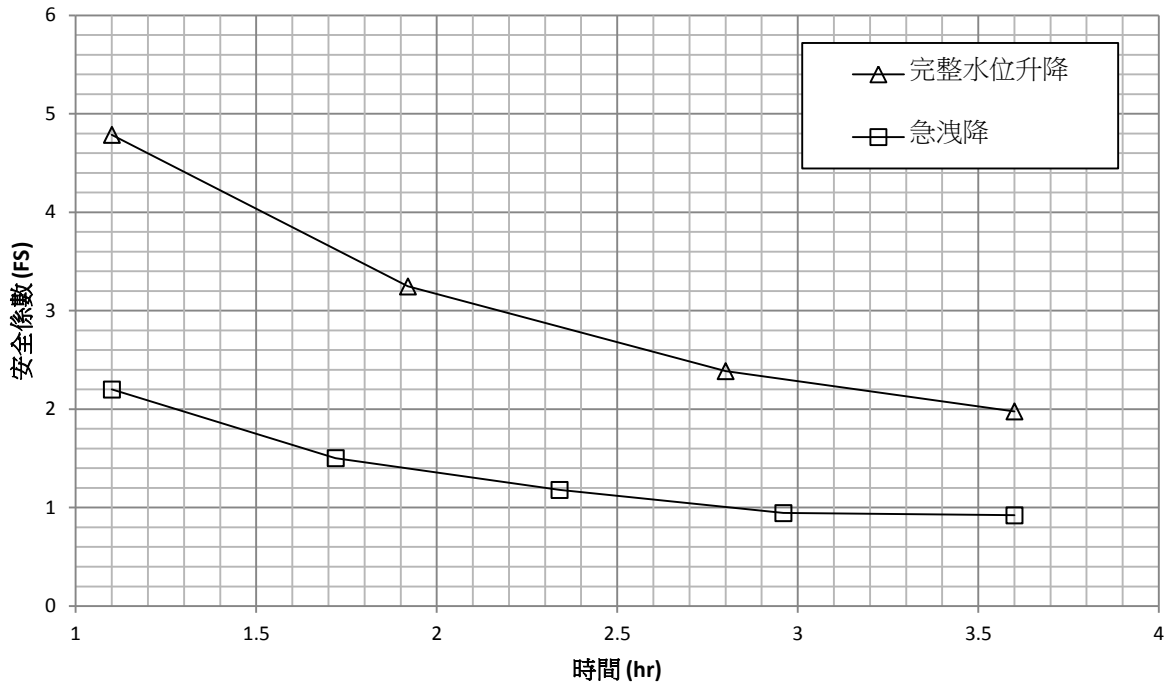


圖 4-11(k) CM-SL 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—長基期

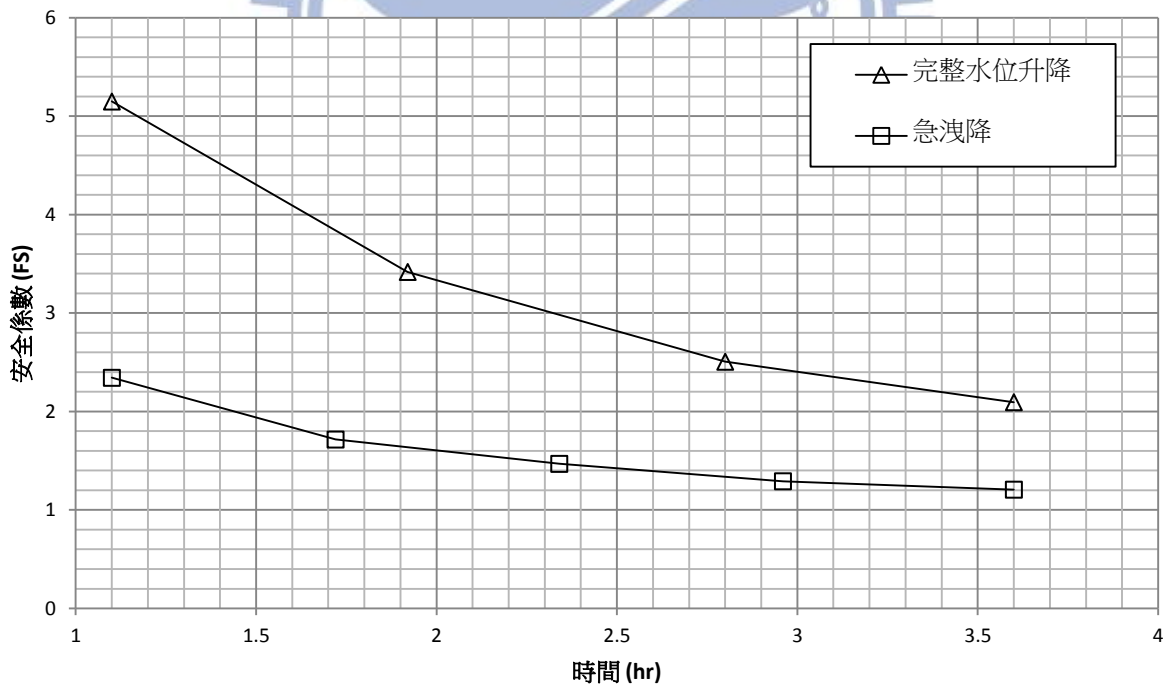


圖 4-11(l) CM-SC 在完整水位升降退水段與急洩降之安全係數比較—長基期

第五章 結論與建議

邊坡安全係數反應出的是綜合條件組合之下的整體穩定性，不同的護岸材料、背填土壤、水位升降方式和升降基期的組合之下，安全係數有不同的變化，根據第四章之研究結果可歸納出以下結論與建議：

5.1 結論

- (1) 完整水位升降之安全係數的變化由坡外水壓作用所控制，三種護岸之安全係數均隨坡外水位升降而升降。
- (2) 急洩降之安全係數的變化由坡內水壓作用所控制，三種護岸之安全係數均隨坡外水位洩降而降低。
- (3) 完整水位升降情況常見於一般河川或溪流。在完整水位升降期間，導水度較低的護岸坡內水壓分佈幾乎不受影響，安全係數隨坡外水位升降而升降；導水度較高的護岸雖然坡內局部區域之水壓分佈受影響，但安全係數依然隨坡外水位升降而升降。由此推論除非護岸背填土壤的透水性較高，否則安全係數受坡外水位的影響大於坡內土壤強度變化的影響。
- (4) 急洩降情況常見於大型灌排渠道或區域排水渠道。在急洩降期間，導水度較高的護岸因為坡內的水容易流出，坡內水位下降幅度較大，水壓消散較快，因此整體安全係數下降幅度較小，較快趨於穩定；導水度較低之者因坡內的水相對不易流出，坡內處於高水位狀態，水壓消散較慢，因此整體安全係數下降幅度較大，且較慢趨於穩定。
- (5) 水位升降的基期長短控制安全係數單位時間內變化的程度，基期愈短者之安全係數變化越大；護岸材料控制坡外水位滲流至坡內的路徑，愈不透水的護岸材料對邊坡穩定越有利；背填土壤使用飽和-非飽和滲流綜合效應下使得邊坡整體水壓消散較快者為佳。
- (6) 一般河川水位的變化多為快速的完整水位升降，在此情況下三種護岸邊坡均是安全的。但近年來因極端氣候所引致的降雨延時較一般情況長，且其雨量亦較一般情況多，如此使得河川水位處在高水位的時間變長，護岸後方被填土壤有機會大區域的達飽和，當河川水位開始進入退水段時，則整個情境即有機會變成急洩降，在急洩降的情況之下則只有乾砌石護岸是安全的；混凝土和混凝土砌石護岸雖然本身強度較高且導水度較低，但其低導水度的特性並非絕對是優點，於完整水位升降期間固然是有利於邊坡穩定，但於急洩降期間卻是不利於邊坡穩定的，縱觀安全係數的變化歷程結果是不安全的。

5.2 建議

- (1) 現地場址的土壤相關參數和護岸邊坡尺寸會因地而異，建議日後做護岸邊坡設計宜先取得現地相關參數再使用本研究方法與流程進行分析，且須考量坡外水位停滯的時間長短的影響，如此所得之安全係數於該地才具有代表性。
- (2) 本研究使用的滲流模擬分析軟體 FEMWATER 雖然支援飽和-非飽和層的滲流模擬，但並沒有考慮土壤真實情況下的 SWCC 於乾溼循環路徑上的遲滯現象(hysteresis)，亦沒有考慮土壤於真實情況下因上部覆土厚度不同，使得孔隙率分佈是與深度有關的函數而非全域為一個定值的問題，此類型的問題以目前的工程技術上來說仍難以歸納出規律性並轉入數值軟體內，有待日後技術上的突破使飽和-非飽和滲流分析結果更趨近於真實情況。



參考文獻

內政部營建署，2011，「結構混凝土施工規範」。

台灣省水利局，1993，「三角形單位歷線參數之研究」，台灣水文資料電腦檔應用之研究。

行政院農業委員會水土保持局，2005，「水土保持手冊」。

林鎮洋、邱逸文，生態工法概論，初版，國立台北科技大學水環境研究中心，台北，2002年10月。

張文杰、陳云敏、凌道盛，2005，「庫岸邊坡滲流及穩定性分析」，水利學報，第36卷，第12期，1510-1516頁。

張芳枝、陳曉平，2011，「非飽和堤岸的滲流特徵及其穩定性研究」，岩土力學，第32卷，第5期，1561-1567頁。

楊勝崎，2005，「砌石擋土牆之破壞力學分析」，國立台灣大學，碩士論文。

楊朝平，2011，「卵石及乾砌石牆之物理性質－頭前溪產卵石」，農業工程學報，第57卷，第2期，87-94頁。

廖紅建、盛謙、高石夯、許志平，2005，「庫水位下降對滑坡體穩定性的影響」，岩石力學與工程學報，第24卷，第19期，3454-3458頁。

劉新喜、夏元友、張顯書、郭瑞清，2005，「庫水位下降對滑坡穩定性的影響」，岩石力學與工程學報，第24卷，第8期，1439-1444頁。

顧承宇、譚志豪，2007，「傳統砌石技術於生態工法之應用」，土木水利科技資訊期刊，第38期，9-17頁。

(財)国土技術研究センター，護岸の力学設計法，改訂版，山海堂，日本，平成19年9月。

- Bishop, A. W., 1959, "The principle of effective stress," Tecknish Ukebland, Vol. 106, No. 39, pp.859-863.
- Boutwell, G. P. and Derick, R. K., 1986, "Groundwater protection for sanitary landfills in the saturated zone," Presented to Waste Tech '86, National Solid Waste Management Association, Chicago, III.
- Carsel, R. F. and Parrish, R. S., 1988, "Developing joint probability distributions of soil-water retention characteristics," Water Resources Research, Vol. 24, No.5, pp. 755-769.
- Duncan, J. M., and Wright, S. G., 2005, Soil Strength and Slope Stability, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., and Wong, K. S., 1990, "Slope stability during rapid drawdown," H. Bolton Seed Memorial Symposium, May, Vol. 2, pp. 253-272.
- Fredlund D. G., Morgenstern, N. R. and Widger, R. A., 1978, "The shear strength of unsaturated soils," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 15, No. 3, pp. 313-321.
- Fredlund, D. G. and Morgenstern, N. R., 1977, "Stress state variables for unsaturated soils," ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol. 103, No. 5, pp. 447- 466.
- Fredlund, D. G. and Rahardjo, H., 1993, Soil Mechanics for Unsaturated Soils, John Wiley & Sons, Canada.
- Fredlund, D. G. and Xing, A., 1994, "Equations for the soil-water characteristic curve," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, No. 3, pp. 521-532.
- Fredlund, D. G., Xing, A. and Huang, S., 1994, "Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, No. 3, pp. 533-546.
- Fredlund, M. D., Lu, H. H. and Feng, T., 2011, "Combined seepage and slope stability analysis of rapid drawdown Scenarios for Levee Design," Geo-Frontiers 2011 Conference, Dallas, Texas, USA, March 13 - 16, 2011.
- Geo-Slope, 2002, "SLOPE/W for slope stability analysis, version 5 : user's guide," Geo-Slope International, Calgary, Alberta, Canada.
- Geo-Slope, 2004, "Seepage modeling with SEEP/W – an engineering methodology," Geo-Slope International, Calgary, Alberta, Canada.
- Geo-Slope, 2004, "Stability modeling with SLOPE/W – an engineering methodology," Geo-Slope International, Calgary, Alberta, Canada.
- Kerkes, D.J., and Fassett, J.B., 2006, "Rapid drawdown in drainage channels with earthen side slopes," ASCE Texas Section Spring Meeting, Beaumont, TX, 19-22.
- Khallili, N. and Khabbaz, M. H., 1998, "A unique relationship for the determination of the unsaturated soils," Geotechnique, Vol. 45, No. 5, pp.681-687.

- Lin, H. C., Richards, D. R., Yeh, G. T., Cheng, J. R., Cheng, H. P. and Jones, N. L., 1997, "FEMWATER : a three-dimensional finite element computer model for simulating density-dependent flow and transport in variably saturated media," US Army Engineer Waterways Experiment Station, Pennsylvania State University, Brigham Young University.
- Lowe, J., and Karafiath, L., 1959, "Stability of earth dams upon drawdown," First Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Vol. 2, pp. 537-552.
- Oberg, A. and Sallfors, G., 1997, "Determination of shear strength parameters of unsaturated silts and sands based on the water retention curve," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 20, No. 1, pp.40-48.
- USACE, 1970, "Engineering and design: stability of earth and rock-fill dams," Engineer Manual EM 12110-2-1902, Department of the Army, Corps of Engineers, Office of the Chief of Engineers, Washington, DC.
- van Genuchten, M. Th., 1980, "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils," Soil Science Society of America Journal, Vol. 44, No. 5, pp.892-898.
- Vanapalli, S. K. and Fredlund, D. G., 2000, "Comparison of different procedures to predict the shear strength of unsaturated soils uses the soil-water characteristic curve," Geo-Denver 2000, American Society of Civil Engineers, Special Publication, No. 99, pp. 195-209.
- Vanapalli, S. K., Fredlund D. G., Pufahl, D. E. and Clifton, A. W., 1996, "Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33, No. 3, pp.379-392.

其他參考出處：

台北市政府工務局水利工程處，「河川出水高的設計」，總合治水：建立完整治水體系－貳、台北市排水防洪工程概況。

(<http://www.heo.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=71692&CtNode=7319&mp=106031>)

附錄一 1：滲流分析結果轉入邊坡穩定軟體的方法

1. 選定水壓代表點

Slope/W 內建提供以輸入壓力水頭點的方式來詮釋水壓，點與點之間的水壓值以雲形線函數內差(Spline interpolation)而得。因此，本研究挑出 50 個座標點給定壓力水頭的值，由於研究對象關心非飽和區域造成的影響，所以 50 個座標點主要集中在護岸邊坡的上半部區域。

2. FEMWATER 滲流結果輸出

由於 Slope/W 是處理二維邊坡穩定的分析軟體，而 FEMWATER 處理的則是三維滲流模擬分析的軟體，因此需決定要分析的剖面，由於本研究於滲流模擬分析考量的異向性僅有垂直方向(Z)和水平方向(X&Y)，所以所有 X-Z 剖面上的滲流模擬分析結果是一致的。本研究統一取 Y=0 的 X-Z 剖面來進行分析，按照本研究網格的設置，一共有 4890 節點的壓力水頭數值，在網格大小不改變的情況下，其輸出的 4890 個點座標是固定的。選定欲分析的時間點後，按照以下步驟進行執行 Matlab 的前置作業：

- (1) 於 FEMWATER 使用者介面點選並輸出壓力水頭的檔案至 Excel。
- (2) 將輸出的壓力水頭資料進行排序，篩選的順序為 B 欄(Y 軸數值) → C 欄(Z 軸數值) → A 欄(X 軸數值)。
- (3) 將 Excel 檔案另存成.csv 的格式。

3. 資料處理—MATLAB 程式碼

壓力水頭值的前置作業完成後，執行本研究自行撰寫的程式碼，程式碼分為三大部份：(1)讀取檔案 (2)挑出選定的50個壓力水頭點 (3)製造Slope/W模型使用的點座標和壓力水頭的程式碼，各部份詳細說明與程式碼(以方框呈現)如下所述：

3.1 讀取檔案

顧名思義就是將前置作業處理完的檔案讀進Matlab當中，需注意的是所有路徑和檔名最好都以英文和數字組成，以避免讀檔過程會有錯誤。

```
Load C:\壓力水頭所在的目錄位置\檔名.csv
```

3.2 挑出選定的 50 個壓力水頭點

這部份的目的地是從4980點中濾出選定的50個點的壓力水頭值，藉由Excel可有效率地得知所需要的50個點分別是位在4890筆數據中的相對位置，如同第2點所述，決定剖面之後所關心的就是(X,Z)座標點，於是先刪除不相關的Y軸數據，再來建立一個名為B的3行50列的零矩陣，之後將選定的50個點依序存入B矩陣內即完成此步驟。

```
檔名(:,2)=[];  
A=檔名;  
B=zeros(50,3);  
  
B(1,:)=A(1,:);   B(2,:)=A(13,:);   B(3,:)=A(15,:);   B(4,:)=A(17,:);   B(5,:)=A(21,:);  
B(6,:)=A(25,:);   B(7,:)=A(29,:);   B(8,:)=A(33,:);   B(9,:)=A(37,:);   B(10,:)=A(41,:);  
B(11,:)=A(45,:);   B(12,:)=A(48,:);   B(13,:)=A(51,:);   B(14,:)=A(1056,:);  
B(15,:)=A(1068,:); B(16,:)=A(1070,:); B(17,:)=A(1071,:); B(18,:)=A(1172,:);  
B(19,:)=A(1188,:); B(20,:)=A(1191,:); B(21,:)=A(1195,:); B(22,:)=A(1199,:);  
B(23,:)=A(1203,:); B(24,:)=A(1207,:); B(25,:)=A(1211,:); B(26,:)=A(1215,:);  
B(27,:)=A(1218,:); B(28,:)=A(1321,:); B(29,:)=A(1325,:); B(30,:)=A(1329,:);  
B(31,:)=A(1362,:); B(32,:)=A(1366,:); B(33,:)=A(1370,:); B(34,:)=A(1373,:);  
B(35,:)=A(1435,:); B(36,:)=A(1439,:); B(37,:)=A(1468,:); B(38,:)=A(1472,:);  
B(39,:)=A(1476,:); B(40,:)=A(1479,:); B(41,:)=A(1554,:); B(42,:)=A(1578,:);  
B(43,:)=A(1582,:); B(44,:)=A(1586,:); B(45,:)=A(1589,:); B(46,:)=A(1616,:);  
B(47,:)=A(1620,:); B(48,:)=A(1624,:); B(49,:)=A(1627,:); B(50,:)=A(1630,:);
```

3.3 製造 Slope/W 模型使用的點座標和壓力水頭的程式碼

透過Slope/W支援存取成另一種標記語言的格式(.xml)，該格式類似電腦與使用者溝通的媒介，透過此格式可得知座標點和壓力水頭於Slope/W的定義方式，這部份即是透過Matlab仿製Slope/W認得的標記語言程式碼後並自動輸出成記事本格式(.txt)，以便快速大量定義邊坡模型和決定出的50個點壓力水頭值。

製造Slope/W座標點程式碼：

```
matrix=B;
for i=1:1:50;
    k=num2str(i);
    y=matrix(i,2);
    x=matrix(i,1);
    Y=num2str(y);
    X=num2str(x);
    str8=['<Point ID="'k,'" X="'X,'" Y="'Y,'" />'];
    fid=fopen('create_coordinate_code.txt','a');
    fprintf(fid,'%s',str8);
    fclose(fid);
end

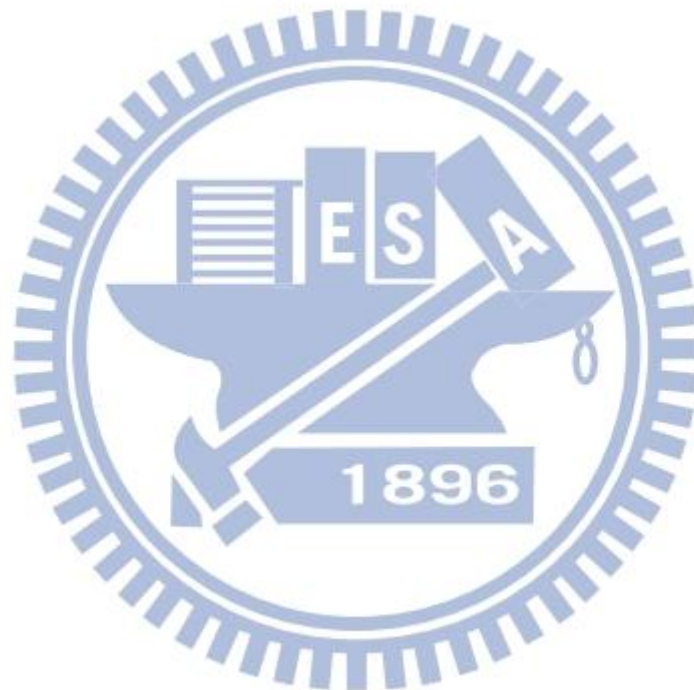
% 以下為手動補點，該點位與邊坡內的水頭座標沒有剛好。
ps1='<Point ID="51" X="15.4" Y="19.3" />';
ps2='<Point ID="52" X="16" Y="19.3" />';

% 以下為定義非飽和Phi B分割區域使用，不給予壓力水頭值。
ps3='<Point ID="53" X="24" Y="10" />';
ps4='<Point ID="54" X="24" Y="12" />';
ps5='<Point ID="55" X="24" Y="14" />';
ps6='<Point ID="56" X="24" Y="16" />';
ps7='<Point ID="57" X="8.7" Y="12" />';
ps8='<Point ID="58" X="10.7" Y="14" />';
ps9='<Point ID="59" X="12.7" Y="16" />';

fid=fopen('create_coordinate_code.txt','a');
fprintf(fid,'%s',ps1,ps2,ps3,ps4,ps5,ps6,ps7,ps8,ps9);
fclose(fid);
```

製造Slope/W決定50個座標點上的壓力水頭程式碼：

```
for j=1:1:50;
    k=num2str(j);
    z=matrix(j,3);
    Z=num2str(z);
    str8=['<POGHPoint ID="',k,'"';' Value="',Z,'">'];
    fid=fopen('Final_PWP_Head_code.txt','a');
    fprintf(fid,'%s',str8);
    fclose(fid);
end
```



附錄—2：各模擬案例隨時間的壓力水頭

<i>C-SL-F-S</i>		完整水位升降@上游					
X	Y	t=0.00	t=0.34	t=0.68	t=1.20	t=1.70	t=2.22
0	0	10.01428	10.62084	11.48107	11.82839	11.66832	11.22152
6.1	0	10.00971	10.56821	11.38393	11.73979	11.61035	11.19441
6.7	0	10.00887	10.55834	11.36564	11.72299	11.59927	11.18915
7.4	0	10.00811	10.54705	11.34406	11.70228	11.58504	11.18187
9	0	10.00693	10.52145	11.2933	11.65125	11.54843	11.16181
11	0	10.00548	10.48724	11.22531	11.58253	11.49901	11.13458
13	0	10.00413	10.45294	11.15705	11.5132	11.449	11.10689
15	0	10.003	10.42108	11.09335	11.448	11.40172	11.08045
17	0	10.00215	10.39387	11.03852	11.39123	11.36011	11.05683
19	0	10.00157	10.37255	10.99519	11.34585	11.32651	11.03745
21	0	10.00117	10.35753	10.96483	11.31417	11.3032	11.02412
22.5	0	10.00099	10.35087	10.95153	11.30042	11.29321	11.0185
24	0	10.00092	10.34845	10.94686	11.29577	11.29001	11.01682
0	10	1.031955	3.573445	6.16107	4.697061	3.092192	1.372102
6.1	10	0.777687	2.584037	4.491476	3.525429	2.387153	1.142174
6.7	10	0.553832	1.728613	3.058779	2.539804	1.801669	0.962052
7.4	10.1429	0.252661	0.850948	1.680654	1.525153	1.130633	0.646648
0	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
7.4	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
9	11.316	-1.09473	-1.09473	-1.09502	-1.09519	-1.09315	-1.08847
11	11.34138	-1.17347	-1.17343	-1.17344	-1.17355	-1.17324	-1.17225
13	11.36061	-1.2426	-1.24256	-1.24253	-1.24252	-1.24244	-1.24214
15	11.37568	-1.29665	-1.29662	-1.29659	-1.29656	-1.2965	-1.29635
17	11.38205	-1.33019	-1.33017	-1.33014	-1.33009	-1.33001	-1.32987
19	11.38205	-1.34811	-1.3481	-1.34809	-1.34807	-1.34803	-1.34795
21	11.38205	-1.35916	-1.35915	-1.35914	-1.35912	-1.35908	-1.35902
22.5	11.38205	-1.36362	-1.36361	-1.3636	-1.36358	-1.36355	-1.36349
11	13.31379	-3.18987	-3.18986	-3.18986	-3.18985	-3.18985	-3.18984
13	13.33636	-3.23846	-3.23846	-3.23846	-3.23845	-3.23845	-3.23845
15	13.35405	-3.28322	-3.28322	-3.28322	-3.28321	-3.28321	-3.28321
17	13.85641	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886

19	13.85641	-3.82	-3.82	-3.82366	-3.82	-3.82	-3.82
21	13.85641	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355
22.5	13.85641	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769
13	15.31212	-5.24	-5.24	-5.23751	-5.2375	-5.24	-5.24
15	15.33243	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299
17	15.8359	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066
19	15.8359	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062
21	15.8359	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753
22.5	15.8359	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053
15	17.8054	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944
17	18.31026	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018
19	18.31026	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208
21	18.31026	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368
22.5	18.31026	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444
17	19.3	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292
19	19.3	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327
21	19.3	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444
22.5	19.3	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503
24	19.3	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529

C-SC-F-S		完整水位升降@上游					
X	Y	t=0.00	t=0.34	t=0.68	t=1.20	t=1.70	t=2.22
0	0	10.00968	10.6168	11.49228	11.84385	11.68038	11.22593
6.1	0	10.00626	10.56396	11.39486	11.7555	11.62289	11.19929
6.7	0	10.00563	10.55404	11.37651	11.73875	11.61192	11.19413
7.4	0	10.00508	10.54271	11.35487	11.7181	11.5978	11.18696
9	0	10.00426	10.51704	11.30402	11.66719	11.56145	11.16714
11	0	10.00328	10.48271	11.23588	11.59865	11.5124	11.14028
13	0	10.0024	10.44831	11.16744	11.52947	11.46278	11.11298
15	0	10.00167	10.41635	11.10356	11.46442	11.41588	11.08695
17	0	10.00115	10.38907	11.04857	11.40777	11.37461	11.0637
19	0	10.0008	10.36769	11.00509	11.36248	11.34129	11.04464
21	0	10.00057	10.35262	10.97462	11.33087	11.31818	11.03154
22.5	0	10.00046	10.34595	10.96127	11.31714	11.30828	11.02602
24	0	10.00042	10.34352	10.95658	11.3125	11.30511	11.02439
0	10	1.030188	3.575434	6.169601	4.70093	3.092862	1.369412

6.1	10	0.764126	2.595881	4.514018	3.530111	2.385545	1.131137
6.7	10	0.53224	1.751734	3.096702	2.547303	1.799394	0.944223
7.4	10.14286	0.221902	0.89228	1.737614	1.534769	1.127423	0.62057
0	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
7.4	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
9	11.316	-1.15339	-1.1534	-1.1536	-1.15312	-1.14997	-1.14422
11	11.34138	-1.22546	-1.22543	-1.22544	-1.22536	-1.2247	-1.22338
13	11.36061	-1.28316	-1.28313	-1.28311	-1.28307	-1.28283	-1.28229
15	11.37568	-1.32609	-1.32607	-1.32605	-1.326	-1.32589	-1.32562
17	11.38205	-1.35084	-1.35083	-1.3508	-1.35074	-1.35062	-1.3504
19	11.38205	-1.36249	-1.36248	-1.36247	-1.36244	-1.36238	-1.36226
21	11.38205	-1.36951	-1.3695	-1.36949	-1.36947	-1.36941	-1.36931
22.5	11.38205	-1.3723	-1.37229	-1.37229	-1.37226	-1.37221	-1.37212
11	13.31379	-3.24849	-3.24849	-3.24849	-3.24848	-3.24848	-3.24848
13	13.33636	-3.28616	-3.28616	-3.28616	-3.28616	-3.28615	-3.28615
15	13.35405	-3.31855	-3.31855	-3.31855	-3.31854	-3.31854	-3.31854
17	13.85641	-3.83409	-3.83409	-3.83409	-3.83409	-3.83409	-3.83409
19	13.85641	-3.84	-3.84	-3.84132	-3.84	-3.84	-3.84
21	13.85641	-3.84617	-3.84616	-3.84616	-3.84616	-3.84616	-3.84616
22.5	13.85641	-3.8482	-3.8482	-3.8482	-3.8482	-3.8482	-3.8482
13	15.31212	-5.28	-5.28	-5.28308	-5.28308	-5.28	-5.28
15	15.33243	-5.30978	-5.30978	-5.30978	-5.30978	-5.30978	-5.30978
17	15.8359	-5.82101	-5.82101	-5.82101	-5.82101	-5.82101	-5.82101
19	15.8359	-5.82509	-5.82509	-5.82509	-5.82509	-5.82509	-5.82509
21	15.8359	-5.82814	-5.82814	-5.82814	-5.82814	-5.82814	-5.82814
22.5	15.8359	-5.82949	-5.82949	-5.82949	-5.82949	-5.82949	-5.82949
15	17.8054	-7.79449	-7.79449	-7.79449	-7.79449	-7.79449	-7.79449
17	18.31026	-8.30262	-8.30262	-8.30262	-8.30262	-8.30262	-8.30262
19	18.31026	-8.30406	-8.30406	-8.30406	-8.30406	-8.30406	-8.30406
21	18.31026	-8.30543	-8.30543	-8.30543	-8.30543	-8.30543	-8.30543
22.5	18.31026	-8.3061	-8.3061	-8.3061	-8.3061	-8.3061	-8.3061
17	19.3	-9.29431	-9.29431	-9.29431	-9.29431	-9.29431	-9.29431
19	19.3	-9.29515	-9.29515	-9.29515	-9.29515	-9.29515	-9.29515
21	19.3	-9.29606	-9.29606	-9.29606	-9.29606	-9.29606	-9.29606
22.5	19.3	-9.29655	-9.29655	-9.29655	-9.29655	-9.29655	-9.29655
24	19.3	-9.29676	-9.29676	-9.29676	-9.29676	-9.29676	-9.29676

<i>DSM-SL-F-S</i>		完整水位升降@上游					
X	Y	t=0.00	t=0.34	t=0.68	t=1.20	t=1.70	t=2.22
0	0	10.27389	11.70195	13.45437	13.91759	13.33908	12.28966
6.1	0	10.25197	11.63612	13.33346	13.82281	13.28668	12.27627
6.7	0	10.24785	11.62359	13.31032	13.80451	13.27644	12.27353
7.4	0	10.24371	11.6093	13.28288	13.78144	13.26265	12.26886
9	0	10.2359	11.57689	13.2177	13.72296	13.22543	12.25394
11	0	10.22509	11.53246	13.12833	13.64266	13.17427	12.23337
13	0	10.21379	11.48666	13.03621	13.55978	13.12142	12.21207
15	0	10.20304	11.44296	12.94802	13.48003	13.07032	12.19121
17	0	10.19396	11.40478	12.87035	13.40896	13.02423	12.17189
19	0	10.18699	11.3743	12.80776	13.351	12.98621	12.15553
21	0	10.18167	11.35241	12.76323	13.31016	12.95969	12.14436
22.5	0	10.17906	11.3426	12.74355	13.29241	12.94837	12.13978
24	0	10.17786	11.33898	12.73663	13.28652	12.94489	12.13861
0	10	1.288828	4.243607	7.29584	5.592949	3.693666	1.649861
6.1	10	1.471778	4.747922	8.064094	5.912902	3.770034	1.512038
6.7	10	1.47374	4.752641	8.071352	5.915779	3.770646	1.510124
7.4	10.14286	1.243598	4.210119	7.28536	5.420247	3.471523	1.399009
0	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
7.4	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
9	11.316	0.01203	2.136438	4.920501	3.617598	1.998494	0.36584
11	11.34138	-0.23661	-0.08182	1.048752	1.351844	0.888778	0.268061
13	11.36061	-0.42615	-0.41861	-0.35462	-0.03387	0.062019	-0.03547
15	11.37568	-0.57661	-0.57568	-0.56645	-0.51643	-0.45882	-0.41818
17	11.38205	-0.68891	-0.68839	-0.68537	-0.66903	-0.646	-0.62587
19	11.38205	-0.76793	-0.76777	-0.76687	-0.7616	-0.75096	-0.73758
21	11.38205	-0.8211	-0.82097	-0.8204	-0.81741	-0.81144	-0.80298
22.5	11.38205	-0.84386	-0.84373	-0.84325	-0.84077	-0.83581	-0.82868
11	13.31379	-2.22392	-2.2225	-2.20856	-2.01268	-1.75756	-1.63531
13	13.33636	-2.36858	-2.36857	-2.36857	-2.36856	-2.36856	-2.36855
15	13.35405	-2.50833	-2.50833	-2.50832	-2.50832	-2.50831	-2.50831
17	13.85641	-3.11156	-3.11156	-3.11156	-3.11156	-3.11155	-3.11155
19	13.85641	-3.2	-3.2	-3.19529	-3.2	-3.2	-3.2
21	13.85641	-3.25495	-3.25495	-3.25494	-3.25494	-3.25494	-3.25494
22.5	13.85641	-3.28118	-3.28118	-3.28118	-3.28118	-3.28117	-3.28117

13	15.31212	-4.45	-4.45	-4.45207	-4.44775	-4.44	-4.43
15	15.33243	-4.51412	-4.51412	-4.51412	-4.51412	-4.51412	-4.51412
17	15.8359	-5.08862	-5.08862	-5.08862	-5.08862	-5.08862	-5.08861
19	15.8359	-5.15726	-5.15726	-5.15726	-5.15726	-5.15726	-5.15726
21	15.8359	-5.21412	-5.21412	-5.21412	-5.21412	-5.21412	-5.21412
22.5	15.8359	-5.24096	-5.24096	-5.24096	-5.24096	-5.24096	-5.24096
15	17.8054	-7.16869	-6.94545	-6.55224	-5.89797	-5.33811	-4.82114
17	18.31026	-7.70244	-7.70244	-7.70244	-7.70244	-7.70244	-7.70244
19	18.31026	-7.71857	-7.71857	-7.71857	-7.71857	-7.71857	-7.71857
21	18.31026	-7.73638	-7.73638	-7.73638	-7.73638	-7.73638	-7.73638
22.5	18.31026	-7.74587	-7.74587	-7.74587	-7.74587	-7.74587	-7.74587
17	19.3	-8.70666	-8.70666	-8.70666	-8.70666	-8.70666	-8.70666
19	19.3	-8.71993	-8.71993	-8.71993	-8.71993	-8.71993	-8.71993
21	19.3	-8.73402	-8.73402	-8.73402	-8.73402	-8.73402	-8.73402
22.5	19.3	-8.74167	-8.74167	-8.74167	-8.74167	-8.74167	-8.74167
24	19.3	-8.74489	-8.74489	-8.74489	-8.74489	-8.74489	-8.74489

DSM-SC-F-S		完整水位升降@上游					
X	Y	t=0.00	t=0.34	t=0.68	t=1.20	t=1.70	t=2.22
0	0	10.25726	11.75554	13.5837	14.05309	13.43359	12.33112
6.1	0	10.23533	11.68912	13.463	13.96026	13.38328	12.31923
6.7	0	10.23121	11.67647	13.43989	13.94232	13.37344	12.31678
7.4	0	10.22711	11.66208	13.41251	13.91966	13.36011	12.31244
9	0	10.21949	11.62951	13.34749	13.86215	13.32393	12.29826
11	0	10.20894	11.58481	13.25828	13.78314	13.27422	12.27873
13	0	10.1979	11.53868	13.16622	13.70157	13.22288	12.25852
15	0	10.18742	11.49462	13.07802	13.62304	13.17322	12.23872
17	0	10.17859	11.45612	13.00027	13.55303	13.12842	12.22035
19	0	10.17184	11.42537	12.93759	13.4959	13.09142	12.20476
21	0	10.16666	11.40326	12.89295	13.45566	13.06565	12.19416
22.5	0	10.16411	11.39334	12.87321	13.43816	13.05467	12.18984
24	0	10.16292	11.38966	12.86626	13.43237	13.05132	12.18876
0	10	1.292595	4.281586	7.361269	5.637375	3.71752	1.65312
6.1	10	1.506176	4.879388	8.271133	6.018641	3.812139	1.494482
6.7	10	1.506583	4.879985	8.272024	6.018816	3.812085	1.493644
7.4	10.14286	1.264947	4.318808	7.453516	5.509079	3.509102	1.389122

0	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
7.4	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
9	11.316	0.010237	2.302058	5.065182	3.665896	2.0092	0.352697
11	11.34138	-0.24438	0.18588	1.449768	1.482075	0.926231	0.240526
13	11.36061	-0.43279	-0.40406	-0.18863	0.208822	0.146789	-0.04602
15	11.37568	-0.57692	-0.57194	-0.53977	-0.42616	-0.33099	-0.32345
17	11.38205	-0.68097	-0.67913	-0.66815	-0.6284	-0.58973	-0.56428
19	11.38205	-0.75236	-0.75178	-0.74822	-0.73024	-0.70644	-0.68628
21	11.38205	-0.79999	-0.79959	-0.79756	-0.78733	-0.77109	-0.75497
22.5	11.38205	-0.82033	-0.81999	-0.8183	-0.80991	-0.79601	-0.7814
11	13.31379	-2.25452	-2.2539	-2.25036	-2.22778	-2.19015	-2.15203
13	13.33636	-2.4021	-2.4021	-2.40209	-2.40209	-2.40208	-2.4
15	13.35405	-2.52836	-2.52835	-2.52835	-2.52834	-2.52834	-2.52833
17	13.85641	-3.11938	-3.11938	-3.11938	-3.11937	-3.11937	-3.11937
19	13.85641	-3.19	-3.19	-3.18664	-3.19	-3.19	-3.19
21	13.85641	-3.23423	-3.23423	-3.23423	-3.23422	-3.23422	-3.23422
22.5	13.85641	-3.25514	-3.25514	-3.25514	-3.25514	-3.25514	-3.25513
13	15.31212	-4.49	-4.49	-4.49396	-4.4937	-4.49	-4.49
15	15.33243	-4.55506	-4.55506	-4.55506	-4.55506	-4.55506	-4.55506
17	15.8359	-5.12434	-5.12434	-5.12434	-5.12434	-5.12434	-5.12434
19	15.8359	-5.16915	-5.16915	-5.16915	-5.16915	-5.16915	-5.16915
21	15.8359	-5.20613	-5.20613	-5.20613	-5.20613	-5.20613	-5.20613
22.5	15.8359	-5.2235	-5.2235	-5.2235	-5.2235	-5.2235	-5.2235
15	17.8054	-7.19317	-7.15276	-7.09255	-6.99295	-6.89822	-6.80151
17	18.31026	-7.68313	-7.68313	-7.68313	-7.68313	-7.68313	-7.68313
19	18.31026	-7.68051	-7.68051	-7.68051	-7.68051	-7.68051	-7.68051
21	18.31026	-7.69355	-7.69355	-7.69355	-7.69355	-7.69355	-7.69355
22.5	18.31026	-7.70231	-7.70231	-7.70231	-7.70231	-7.70231	-7.70231
17	19.3	-8.70794	-8.70794	-8.70794	-8.70794	-8.70794	-8.70794
19	19.3	-8.68552	-8.68552	-8.68552	-8.68552	-8.68552	-8.68552
21	19.3	-8.69018	-8.69018	-8.69018	-8.69018	-8.69018	-8.69018
22.5	19.3	-8.69603	-8.69603	-8.69603	-8.69603	-8.69603	-8.69603
24	19.3	-8.6988	-8.6988	-8.6988	-8.6988	-8.6988	-8.6988

<i>CM-SL-F-S</i>		完整水位升降@上游					
X	Y	t=0.00	t=0.34	t=0.68	t=1.20	t=1.70	t=2.22
0	0	10.015	10.63466	11.50399	11.85378	11.69457	11.246
6.1	0	10.01027	10.5818	11.40655	11.76504	11.63644	11.21881
6.7	0	10.0094	10.57188	11.38819	11.7482	11.62534	11.21353
7.4	0	10.00862	10.56054	11.36653	11.72745	11.61106	11.20622
9	0	10.00739	10.53484	11.3156	11.6763	11.57432	11.18606
11	0	10.00588	10.50045	11.24734	11.60739	11.5247	11.15868
13	0	10.00447	10.46595	11.17876	11.53781	11.47445	11.13081
15	0	10.00328	10.43387	11.11472	11.47235	11.4269	11.10418
17	0	10.00238	10.40646	11.05957	11.41533	11.38505	11.08036
19	0	10.00176	10.38497	11.01596	11.36972	11.35122	11.06082
21	0	10.00133	10.36981	10.98539	11.33787	11.32775	11.04736
22.5	0	10.00114	10.3631	10.97199	11.32404	11.31768	11.04168
24	0	10.00106	10.36065	10.96729	11.31937	11.31445	11.03999
0	10	1.035008	3.58046	6.170841	4.70679	3.102942	1.38186
6.1	10	0.787347	2.602252	4.513474	3.546971	2.411907	1.163943
6.7	10	0.574883	1.778236	3.12724	2.596221	1.853251	0.998643
7.4	10.14286	0.28741	0.941332	1.807459	1.624051	1.214977	0.700373
0	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
7.4	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
9	11.316	-1.0474	-1.04742	-1.04772	-1.04721	-1.0427	-1.03378
11	11.34138	-1.14279	-1.14274	-1.14277	-1.14287	-1.1424	-1.14112
13	11.36061	-1.22178	-1.22174	-1.22171	-1.2217	-1.2216	-1.22121
15	11.37568	-1.28249	-1.28246	-1.28243	-1.28239	-1.28232	-1.28215
17	11.38205	-1.32052	-1.3205	-1.32047	-1.32041	-1.32032	-1.32016
19	11.38205	-1.34139	-1.34138	-1.34137	-1.34135	-1.3413	-1.34122
21	11.38205	-1.35426	-1.35425	-1.35424	-1.35422	-1.35418	-1.35411
22.5	11.38205	-1.35946	-1.35945	-1.35944	-1.35942	-1.35938	-1.35931
11	13.31379	-3.16214	-3.16213	-3.16213	-3.16212	-3.16211	-3.1621
13	13.33636	-3.21691	-3.21691	-3.2169	-3.2169	-3.2169	-3.21689
15	13.35405	-3.26767	-3.26767	-3.26766	-3.26766	-3.26766	-3.26765
17	13.85641	-3.79792	-3.79792	-3.79792	-3.79792	-3.79791	-3.79791
19	13.85641	-3.82	-3.82	-3.8159	-3.82	-3.82	-3.82
21	13.85641	-3.82787	-3.82787	-3.82787	-3.82787	-3.82787	-3.82787

22.5	13.85641	-3.83288	-3.83288	-3.83288	-3.83288	-3.83288	-3.83288
13	15.31212	-5.23	-5.23	-5.22646	-5.22646	-5.23	-5.23
15	15.33243	-5.25983	-5.25983	-5.25983	-5.25983	-5.25983	-5.25983
17	15.8359	-5.79135	-5.79135	-5.79135	-5.79135	-5.79135	-5.79135
19	15.8359	-5.804	-5.804	-5.804	-5.804	-5.804	-5.804
21	15.8359	-5.81243	-5.81243	-5.81243	-5.81243	-5.81243	-5.81243
22.5	15.8359	-5.81609	-5.81609	-5.81609	-5.81609	-5.81609	-5.81609
15	17.8054	-7.78808	-7.78807	-7.78807	-7.78806	-7.78804	-7.78801
17	18.31026	-8.29809	-8.29809	-8.29809	-8.29809	-8.29809	-8.29809
19	18.31026	-8.29981	-8.29981	-8.29981	-8.29981	-8.29981	-8.29981
21	18.31026	-8.30148	-8.30148	-8.30148	-8.30148	-8.30148	-8.30148
22.5	18.31026	-8.30232	-8.30232	-8.30232	-8.30232	-8.30232	-8.30232
17	19.3	-9.2901	-9.2901	-9.2901	-9.2901	-9.2901	-9.2901
19	19.3	-9.29131	-9.29131	-9.29131	-9.29131	-9.29131	-9.29131
21	19.3	-9.29251	-9.29251	-9.29251	-9.29251	-9.29251	-9.29251
22.5	19.3	-9.29314	-9.29314	-9.29314	-9.29314	-9.29314	-9.29314
24	19.3	-9.29343	-9.29343	-9.29343	-9.29343	-9.29343	-9.29343

CM-SC-F-S		完整水位升降@上游					
X	Y	t=0.00	t=0.34	t=0.68	t=1.20	t=1.70	t=2.22
0	0	10.01333	10.70166	11.66021	12.03768	11.87669	11.39104
6.1	0	10.00901	10.64746	11.5605	11.94722	11.8181	11.36424
6.7	0	10.00821	10.63727	11.54167	11.93001	11.80687	11.35902
7.4	0	10.00752	10.62564	11.51947	11.90882	11.79241	11.35171
9	0	10.00647	10.59931	11.46723	11.85654	11.75506	11.33138
11	0	10.00518	10.56395	11.39695	11.78587	11.70444	11.30369
13	0	10.00396	10.52831	11.32604	11.71422	11.65299	11.27539
15	0	10.00293	10.49503	11.25955	11.64656	11.60412	11.24825
17	0	10.00216	10.46649	11.20209	11.58741	11.56094	11.22387
19	0	10.00163	10.44405	11.1565	11.53997	11.52594	11.2038
21	0	10.00124	10.42817	11.12445	11.50676	11.5016	11.18997
22.5	0	10.00107	10.42111	11.11038	11.49231	11.49116	11.18414
24	0	10.00099	10.41854	11.10544	11.48741	11.48781	11.18241
0	10	1.047848	3.617534	6.24454	4.78788	3.171174	1.429084
6.1	10	0.820542	2.696313	4.694132	3.737371	2.56058	1.256353
6.7	10	0.66106	2.054202	3.621581	3.025667	2.152687	1.149405

7.4	10.14286	0.432567	1.426115	2.661176	2.324645	1.680564	0.909714
0	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
7.4	11.3	0.2	3.6	7	4.703896	2.496104	0.2
9	11.316	-0.88845	-0.88837	-0.88037	-0.78871	-0.67794	-0.63344
11	11.34138	-1.05838	-1.05834	-1.05835	-1.05735	-1.05289	-1.04513
13	11.36061	-1.17054	-1.17048	-1.17046	-1.17022	-1.16935	-1.16773
15	11.37568	-1.24907	-1.24903	-1.24899	-1.24889	-1.24857	-1.24791
17	11.38205	-1.29785	-1.29781	-1.29777	-1.29763	-1.29738	-1.29697
19	11.38205	-1.32552	-1.32551	-1.32549	-1.32543	-1.32532	-1.3251
21	11.38205	-1.34262	-1.3426	-1.34259	-1.34254	-1.34244	-1.34227
22.5	11.38205	-1.34957	-1.34956	-1.34954	-1.3495	-1.34941	-1.34925
11	13.31379	-3.12055	-3.12054	-3.12054	-3.12053	-3.12053	-3.12051
13	13.33636	-3.18509	-3.18509	-3.18508	-3.18508	-3.18508	-3.18507
15	13.35405	-3.2437	-3.2437	-3.24369	-3.24369	-3.24369	-3.24368
17	13.85641	-3.78136	-3.78136	-3.78136	-3.78136	-3.78136	-3.78136
19	13.85641	-3.80305	-3.80305	-3.80305	-3.80305	-3.80305	-3.80305
21	13.85641	-3.81766	-3.81766	-3.81766	-3.81766	-3.81766	-3.81766
22.5	13.85641	-3.82384	-3.82384	-3.82384	-3.82384	-3.82384	-3.82384
13	15.31212	-5.21366	-5.21366	-5.21366	-5.21366	-5.21366	-5.21366
15	15.33243	-5.25141	-5.25141	-5.25141	-5.25141	-5.25141	-5.25141
17	15.8359	-5.7782	-5.7782	-5.7782	-5.7782	-5.7782	-5.7782
19	15.8359	-5.79154	-5.79154	-5.79154	-5.79154	-5.79154	-5.79154
21	15.8359	-5.80184	-5.80184	-5.80184	-5.80184	-5.80184	-5.80184
22.5	15.8359	-5.80648	-5.80648	-5.80648	-5.80648	-5.80648	-5.80648
15	17.8054	-7.77129	-7.77129	-7.77128	-7.77128	-7.77126	-7.77125
17	18.31026	-8.27946	-8.27946	-8.27946	-8.27946	-8.27946	-8.27946
19	18.31026	-8.28117	-8.28117	-8.28117	-8.28117	-8.28117	-8.28117
21	18.31026	-8.28514	-8.28514	-8.28514	-8.28514	-8.28514	-8.28514
22.5	18.31026	-8.2874	-8.2874	-8.2874	-8.2874	-8.2874	-8.2874
17	19.3	-9.278	-9.278	-9.278	-9.278	-9.278	-9.278
19	19.3	-9.27658	-9.27658	-9.27658	-9.27658	-9.27658	-9.27658
21	19.3	-9.27839	-9.27839	-9.27839	-9.27839	-9.27839	-9.27839
22.5	19.3	-9.27981	-9.27981	-9.27981	-9.27981	-9.27981	-9.27981
24	19.3	-9.2805	-9.2805	-9.2805	-9.2805	-9.2805	-9.2805

<i>C-SL-F-L</i>		完整水位升降@下游					
X	Y	t=0.00	t=0.56	t=1.10	t=1.92	t=2.80	t=3.60
0	0	10.01428	10.70864	11.59759	11.92792	11.68691	11.21601
6.1	0	10.00971	10.65385	11.49925	11.84013	11.63213	11.1902
6.7	0	10.00887	10.64356	11.48071	11.82346	11.62166	11.1852
7.4	0	10.00811	10.63168	11.45871	11.80284	11.60814	11.17827
9	0	10.00693	10.60444	11.40664	11.75177	11.57319	11.15918
11	0	10.00548	10.56798	11.33683	11.68299	11.526	11.13328
13	0	10.00413	10.5314	11.26667	11.61354	11.47821	11.10691
15	0	10.003	10.49734	11.20111	11.54818	11.43298	11.08173
17	0	10.00215	10.46818	11.14458	11.49118	11.39312	11.05921
19	0	10.00157	10.44526	11.09979	11.44554	11.36087	11.04074
21	0	10.00117	10.42912	11.06843	11.41371	11.33852	11.02802
22.5	0	10.00099	10.422	11.05472	11.39991	11.32896	11.02267
24	0	10.00092	10.41943	11.04994	11.39528	11.32591	11.02107
0	10	1.031955	3.636708	6.189689	4.767569	3.017553	1.377131
6.1	10	0.777687	2.650654	4.545586	3.602233	2.35557	1.157291
6.7	10	0.553832	1.799154	3.135468	2.622603	1.807336	0.985656
7.4	10.14286	0.252661	0.930401	1.781625	1.616642	1.17346	0.680314
0	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
7.4	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
9	11.316	-1.0947	-1.0948	-1.0951	-1.093	-1.0821	-1.0673
11	11.34138	-1.17347	-1.17341	-1.17346	-1.1732	-1.17104	-1.16745
13	11.36061	-1.2426	-1.24254	-1.2425	-1.24241	-1.24172	-1.24031
15	11.37568	-1.29665	-1.2966	-1.29656	-1.29647	-1.29616	-1.2955
17	11.38205	-1.33019	-1.33015	-1.33011	-1.32998	-1.32968	-1.32921
19	11.38205	-1.34811	-1.3481	-1.34808	-1.34801	-1.34785	-1.34756
21	11.38205	-1.35916	-1.35915	-1.35913	-1.35907	-1.35893	-1.3587
22.5	11.38205	-1.36362	-1.3636	-1.36359	-1.36354	-1.36341	-1.36319
11	13.31379	-3.18987	-3.18986	-3.18985	-3.18985	-3.18984	-3.18983
13	13.33636	-3.23846	-3.23846	-3.23845	-3.23845	-3.23844	-3.23844
15	13.35405	-3.28322	-3.28322	-3.28322	-3.28321	-3.28321	-3.2832
17	13.85641	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80885
19	13.85641	-3.82	-3.82	-3.82366	-3.82	-3.82	-3.82
21	13.85641	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83354

22.5	13.85641	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769
13	15.31212	-5.24	-5.24	-5.2375	-5.2375	-5.24	-5.24
15	15.33243	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299
17	15.8359	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066
19	15.8359	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062
21	15.8359	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753
22.5	15.8359	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053
15	17.8054	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944
17	18.31026	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018
19	18.31026	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208
21	18.31026	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368
22.5	18.31026	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444
17	19.3	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292
19	19.3	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327
21	19.3	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444
22.5	19.3	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503
24	19.3	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529

C-SC-F-L		完整水位升降@下游					
X	Y	t=0.00	t=0.56	t=1.10	t=1.92	t=2.80	t=3.60
0	0	10.01428	10.72636	11.63696	11.97454	11.7304	11.24627
6.1	0	10.00971	10.6712	11.53853	11.88708	11.67621	11.22097
6.7	0	10.00887	10.66083	11.51997	11.87048	11.66584	11.21607
7.4	0	10.00811	10.64888	11.49796	11.84993	11.65245	11.20924
9	0	10.00693	10.62149	11.44588	11.79906	11.61778	11.19034
11	0	10.00548	10.58481	11.37602	11.73051	11.57095	11.16469
13	0	10.00413	10.54797	11.30575	11.66127	11.52353	11.1386
15	0	10.003	10.51363	11.24003	11.59607	11.47864	11.11368
17	0	10.00215	10.48422	11.18331	11.53919	11.43906	11.0914
19	0	10.00157	10.46109	11.13837	11.49364	11.40703	11.0731
21	0	10.00117	10.44479	11.10688	11.46185	11.38484	11.06052
22.5	0	10.00099	10.43758	11.09309	11.44806	11.37535	11.05523
24	0	10.00092	10.43499	11.08829	11.44344	11.37233	11.05366
0	10	1.031955	3.649701	6.209165	4.786141	3.03017	1.383152
6.1	10	0.777687	2.68616	4.591091	3.642483	2.379305	1.163564

6.7	10	0.553832	1.856599	3.206861	2.684359	1.841864	0.992247
7.4	10.14286	0.252661	1.016095	1.882655	1.703403	1.218719	0.684671
0	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
7.4	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
9	11.316	-1.09473	-1.09492	-1.09487	-1.08819	-1.06946	-1.05157
11	11.34138	-1.17347	-1.17347	-1.17346	-1.17224	-1.16826	-1.16279
13	11.36061	-1.2426	-1.24255	-1.2425	-1.24207	-1.24053	-1.2383
15	11.37568	-1.29665	-1.2966	-1.29654	-1.29632	-1.29556	-1.29438
17	11.38205	-1.33019	-1.33015	-1.33009	-1.32986	-1.32931	-1.32851
19	11.38205	-1.34811	-1.34809	-1.34806	-1.34795	-1.34763	-1.34711
21	11.38205	-1.35916	-1.35914	-1.35911	-1.35901	-1.35875	-1.35834
22.5	11.38205	-1.36362	-1.3636	-1.36357	-1.36348	-1.36324	-1.36285
11	13.31379	-3.18987	-3.18986	-3.18986	-3.18986	-3.18986	-3.18985
13	13.33636	-3.23846	-3.23846	-3.23846	-3.23846	-3.23845	-3.23845
15	13.35405	-3.28322	-3.28322	-3.28322	-3.28321	-3.28321	-3.28321
17	13.85641	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886
19	13.85641	-3.82	-3.82	-3.82366	-3.82	-3.82	-3.82
21	13.85641	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355
22.5	13.85641	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769
13	15.31212	-5.24	-5.24	-5.23751	-5.23751	-5.24	-5.24
15	15.33243	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299
17	15.8359	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066
19	15.8359	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062
21	15.8359	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753
22.5	15.8359	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053
15	17.8054	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78944
17	18.31026	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018
19	18.31026	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208
21	18.31026	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368
22.5	18.31026	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444
17	19.3	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292
19	19.3	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327
21	19.3	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444
22.5	19.3	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503
24	19.3	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529

<i>DSM-SL-F-L</i>		完整水位升降@下游					
X	Y	t=0.00	t=0.56	t=1.10	t=1.92	t=2.80	t=3.60
0	0	10.27389	11.81637	13.57953	14.03427	13.31908	12.28113
6.1	0	10.25197	11.74978	13.4597	13.9423	13.27117	12.26912
6.7	0	10.24785	11.73709	13.43675	13.92452	13.26179	12.26665
7.4	0	10.24371	11.72251	13.40945	13.90204	13.24909	12.26237
9	0	10.2359	11.68916	13.34436	13.8449	13.2146	12.24856
11	0	10.22509	11.64342	13.25506	13.7664	13.16718	12.22951
13	0	10.21379	11.59624	13.16292	13.68531	13.11815	12.20977
15	0	10.20304	11.55116	13.07463	13.60719	13.07069	12.19042
17	0	10.19396	11.51171	12.99676	13.53749	13.02783	12.17247
19	0	10.18699	11.48014	12.93392	13.48057	12.99241	12.15724
21	0	10.18167	11.4575	12.88923	13.44047	12.96772	12.14686
22.5	0	10.17906	11.44737	12.86948	13.42305	12.9572	12.14261
24	0	10.17786	11.44367	12.86256	13.4173	12.95398	12.14153
0	10	1.288828	4.308222	7.316143	5.667048	3.598902	1.654565
6.1	10	1.471778	4.806571	8.067073	5.985244	3.662651	1.520966
6.7	10	1.47374	4.811323	8.074268	5.988106	3.663101	1.519022
7.4	10.14286	1.243598	4.28002	7.31757	5.506654	3.383205	1.409526
0	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
7.4	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
9	11.316	0.01203	2.336997	5.143297	3.787295	1.96039	0.377662
11	11.34138	-0.23661	0.10704	1.502576	1.666779	1.011926	0.308148
13	11.36061	-0.42615	-0.40669	-0.23967	0.246967	0.214245	0.020961
15	11.37568	-0.57661	-0.57361	-0.54816	-0.43718	-0.31474	-0.29537
17	11.38205	-0.68891	-0.68758	-0.67943	-0.64067	-0.59142	-0.56064
19	11.38205	-0.76793	-0.76748	-0.76481	-0.74941	-0.72011	-0.69576
21	11.38205	-0.8211	-0.82077	-0.81915	-0.81061	-0.79223	-0.77333
22.5	11.38205	-0.84386	-0.84356	-0.84219	-0.83513	-0.81977	-0.80308
11	13.31379	-2.22392	-2.21975	-2.16367	-1.4881	-1.16544	-1.14754
13	13.33636	-2.36858	-2.36857	-2.36856	-2.36855	-2.36855	-2.36857
15	13.35405	-2.50833	-2.50832	-2.50832	-2.50831	-2.5083	-2.50829
17	13.85641	-3.11156	-3.11156	-3.11156	-3.11155	-3.11155	-3.11154
19	13.85641	-3.2	-3.2	-3.19528	-3.2	-3.2	-3.2
21	13.85641	-3.25495	-3.25495	-3.25494	-3.25494	-3.25493	-3.25493

22.5	13.85641	-3.28118	-3.28118	-3.28118	-3.28117	-3.28117	-3.28116
13	15.31212	-4.45	-4.45	-4.45011	-4.43316	-4.39	-4.33
15	15.33243	-4.51412	-4.51412	-4.51412	-4.51412	-4.51412	-4.51411
17	15.8359	-5.08862	-5.08862	-5.08862	-5.08862	-5.08861	-5.08861
19	15.8359	-5.15726	-5.15726	-5.15726	-5.15726	-5.15726	-5.15726
21	15.8359	-5.21412	-5.21412	-5.21412	-5.21412	-5.21412	-5.21412
22.5	15.8359	-5.24096	-5.24096	-5.24096	-5.24096	-5.24096	-5.24096
15	17.8054	-7.16869	-6.70414	-6.03796	-5.09324	-4.30126	-3.70919
17	18.31026	-7.70244	-7.70244	-7.70244	-7.70244	-7.70244	-7.70244
19	18.31026	-7.71857	-7.71857	-7.71857	-7.71857	-7.71857	-7.71857
21	18.31026	-7.73638	-7.73638	-7.73638	-7.73638	-7.73638	-7.73638
22.5	18.31026	-7.74587	-7.74587	-7.74587	-7.74587	-7.74587	-7.74587
17	19.3	-8.70666	-8.70666	-8.70666	-8.70666	-8.70666	-8.70666
19	19.3	-8.71993	-8.71993	-8.71993	-8.71993	-8.71993	-8.71993
21	19.3	-8.73402	-8.73402	-8.73402	-8.73402	-8.73402	-8.73402
22.5	19.3	-8.74167	-8.74167	-8.74167	-8.74167	-8.74167	-8.74167
24	19.3	-8.74489	-8.74489	-8.74489	-8.74489	-8.74489	-8.74489

DSM-SC-F-L		完整水位升降@下游					
X	Y	t=0.00	t=0.56	t=1.10	t=1.92	t=2.80	t=3.60
0	0	10.25726	11.86715	13.70166	14.16468	13.39715	12.30795
6.1	0	10.23533	11.8002	13.58239	14.07459	13.35071	12.29693
6.7	0	10.23121	11.78743	13.55954	14.05717	13.34162	12.29464
7.4	0	10.22711	11.77281	13.53238	14.0351	13.32922	12.29057
9	0	10.21949	11.73944	13.4677	13.9789	13.2954	12.27719
11	0	10.20894	11.69363	13.3789	13.90167	13.2489	12.25876
13	0	10.1979	11.64632	13.28721	13.82189	13.20085	12.23967
15	0	10.18742	11.60109	13.19928	13.74503	13.15431	12.22095
17	0	10.17859	11.56149	13.1217	13.67641	13.11226	12.20356
19	0	10.17184	11.52979	13.05907	13.62036	13.07748	12.18878
21	0	10.16666	11.50704	13.01449	13.58089	13.05327	12.17873
22.5	0	10.16411	11.49684	12.99478	13.56375	13.04297	12.17463
24	0	10.16292	11.4931	12.98786	13.55811	13.03984	12.17362
0	10	1.292595	4.344324	7.377404	5.70993	3.619056	1.654209

6.1	10	1.506176	4.934406	8.265294	6.088273	3.699898	1.502092
6.7	10	1.506583	4.935049	8.266215	6.088422	3.699781	1.501207
7.4	10.14286	1.264947	4.38336	7.474372	5.589591	3.414243	1.396817
0	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
7.4	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
9	11.316	0.010237	2.457754	5.242883	3.805617	1.95842	0.361337
11	11.34138	-0.24438	0.37958	1.788058	1.741871	1.011404	0.26858
13	11.36061	-0.43279	-0.37059	0.045993	0.39181	0.240033	-0.01231
15	11.37568	-0.57692	-0.56478	-0.49803	-0.27425	-0.19832	-0.26023
17	11.38205	-0.68097	-0.67649	-0.65262	-0.57768	-0.50514	-0.48119
19	11.38205	-0.75236	-0.75079	-0.74143	-0.7025	-0.65634	-0.62975
21	11.38205	-0.79999	-0.79897	-0.7936	-0.76905	-0.73469	-0.71141
22.5	11.38205	-0.82033	-0.81946	-0.81499	-0.79439	-0.76375	-0.74185
11	13.31379	-2.25452	-2.25287	-2.24267	-2.16266	-2.03343	-1.95787
13	13.33636	-2.4021	-2.4021	-2.40209	-2.40208	-2.40208	-2.40208
15	13.35405	-2.52836	-2.52835	-2.52834	-2.52833	-2.52832	-2.52831
17	13.85641	-3.11938	-3.11938	-3.11937	-3.11937	-3.11936	-3.11936
19	13.85641	-3.19	-3.19	-3.18663	-3.19	-3.19	-3.19
21	13.85641	-3.23423	-3.23423	-3.23422	-3.23422	-3.23421	-3.23421
22.5	13.85641	-3.25514	-3.25514	-3.25514	-3.25513	-3.25513	-3.25513
13	15.31212	-4.49	-4.49	-4.49381	-4.49314	-4.49	-4.49
15	15.33243	-4.55506	-4.55506	-4.55506	-4.55506	-4.55506	-4.55506
17	15.8359	-5.12434	-5.12434	-5.12434	-5.12434	-5.12434	-5.12434
19	15.8359	-5.16915	-5.16915	-5.16915	-5.16915	-5.16915	-5.16915
21	15.8359	-5.20613	-5.20613	-5.20613	-5.20613	-5.20613	-5.20613
22.5	15.8359	-5.2235	-5.2235	-5.2235	-5.2235	-5.2235	-5.2235
15	17.8054	-7.19317	-7.11502	-7.01322	-6.85582	-6.69499	-6.55406
17	18.31026	-7.68313	-7.68313	-7.68313	-7.68313	-7.68313	-7.68313
19	18.31026	-7.68051	-7.68051	-7.68051	-7.68051	-7.68051	-7.68051
21	18.31026	-7.69355	-7.69355	-7.69355	-7.69355	-7.69355	-7.69355
22.5	18.31026	-7.70231	-7.70231	-7.70231	-7.70231	-7.70231	-7.70231
17	19.3	-8.70794	-8.70794	-8.70794	-8.70794	-8.70794	-8.70794
19	19.3	-8.68552	-8.68552	-8.68552	-8.68552	-8.68552	-8.68552
21	19.3	-8.69018	-8.69018	-8.69018	-8.69018	-8.69018	-8.69018
22.5	19.3	-8.69603	-8.69603	-8.69603	-8.69603	-8.69603	-8.69603
24	19.3	-8.6988	-8.6988	-8.6988	-8.6988	-8.6988	-8.6988

CM-SL-F-S		完整水位升降@下游					
X	Y	t=0.00	t=0.56	t=1.10	t=1.92	t=2.80	t=3.60
0	0	10.015	10.72307	11.62134	11.95496	11.71621	11.24296
6.1	0	10.01027	10.66808	11.52279	11.86691	11.66127	11.21709
6.7	0	10.0094	10.65774	11.50421	11.85019	11.65075	11.21207
7.4	0	10.00862	10.64582	11.48216	11.8295	11.63718	11.20511
9	0	10.00739	10.61848	11.42996	11.77828	11.6021	11.18592
11	0	10.00588	10.58187	11.35994	11.70924	11.55468	11.15986
13	0	10.00447	10.5451	11.28952	11.63948	11.50663	11.1333
15	0	10.00328	10.51085	11.22368	11.5738	11.46111	11.10792
17	0	10.00238	10.4815	11.16687	11.51648	11.42098	11.0852
19	0	10.00176	10.45841	11.12184	11.47057	11.38849	11.06655
21	0	10.00133	10.44215	11.0903	11.43854	11.36596	11.05371
22.5	0	10.00114	10.43497	11.0765	11.42465	11.35631	11.04829
24	0	10.00106	10.43238	11.0717	11.41998	11.35324	11.04668
0	10	1.035008	3.644016	6.198907	4.780286	3.029092	1.387439
6.1	10	0.787347	2.668877	4.565835	3.63202	2.383185	1.179421
6.7	10	0.574883	1.848288	3.20064	2.69204	1.86246	1.022102
7.4	10.14286	0.28741	1.018744	1.902505	1.735601	1.261827	0.73264
0	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
7.4	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
9	11.316	-1.0474	-1.04746	-1.04759	-1.04207	-1.02065	-0.9964
11	11.34138	-1.14279	-1.14273	-1.14279	-1.14235	-1.13956	-1.13502
13	11.36061	-1.22178	-1.22172	-1.22168	-1.22156	-1.22069	-1.21902
15	11.37568	-1.28249	-1.28244	-1.28239	-1.28229	-1.28192	-1.28116
17	11.38205	-1.32052	-1.32048	-1.32043	-1.32029	-1.31996	-1.31943
19	11.38205	-1.34139	-1.34138	-1.34135	-1.34128	-1.3411	-1.34079
21	11.38205	-1.35426	-1.35424	-1.35422	-1.35416	-1.35401	-1.35376
22.5	11.38205	-1.35946	-1.35944	-1.35942	-1.35937	-1.35923	-1.35899
11	13.31379	-3.16214	-3.16213	-3.16212	-3.16211	-3.16209	-3.16206
13	13.33636	-3.21691	-3.21691	-3.2169	-3.21689	-3.21689	-3.21688
15	13.35405	-3.26767	-3.26766	-3.26766	-3.26766	-3.26765	-3.26764
17	13.85641	-3.79792	-3.79792	-3.79792	-3.79791	-3.79791	-3.79791
19	13.85641	-3.82	-3.82	-3.8159	-3.82	-3.82	-3.82

21	13.85641	-3.82787	-3.82787	-3.82787	-3.82787	-3.82787	-3.82787
22.5	13.85641	-3.83288	-3.83288	-3.83288	-3.83288	-3.83287	-3.83287
13	15.31212	-5.23	-5.23	-5.22646	-5.22646	-5.23	-5.23
15	15.33243	-5.25983	-5.25983	-5.25983	-5.25983	-5.25983	-5.25983
17	15.8359	-5.79135	-5.79135	-5.79135	-5.79135	-5.79135	-5.79135
19	15.8359	-5.804	-5.804	-5.804	-5.804	-5.804	-5.804
21	15.8359	-5.81243	-5.81243	-5.81243	-5.81243	-5.81243	-5.81243
22.5	15.8359	-5.81609	-5.81609	-5.81609	-5.81609	-5.81609	-5.81609
15	17.8054	-7.78808	-7.78807	-7.78806	-7.78803	-7.78797	-7.78791
17	18.31026	-8.29809	-8.29809	-8.29809	-8.29809	-8.29809	-8.29809
19	18.31026	-8.29981	-8.29981	-8.29981	-8.29981	-8.29981	-8.29981
21	18.31026	-8.30148	-8.30148	-8.30148	-8.30148	-8.30148	-8.30148
22.5	18.31026	-8.30232	-8.30232	-8.30232	-8.30232	-8.30232	-8.30232
17	19.3	-9.2901	-9.2901	-9.2901	-9.2901	-9.2901	-9.2901
19	19.3	-9.29131	-9.29131	-9.29131	-9.29131	-9.29131	-9.29131
21	19.3	-9.29251	-9.29251	-9.29251	-9.29251	-9.29251	-9.29251
22.5	19.3	-9.29314	-9.29314	-9.29314	-9.29314	-9.29314	-9.29314
24	19.3	-9.29343	-9.29343	-9.29343	-9.29343	-9.29343	-9.29343

CM-SC-F-L		完整水位升降@下游					
X	Y	t=0.00	t=0.56	t=1.10	t=1.92	t=2.80	t=3.60
0	0	10.01428	10.73209	11.68005	12.03677	11.80454	11.30688
6.1	0	10.00971	10.67694	11.58068	11.94782	11.74934	11.28113
6.7	0	10.00887	10.66657	11.56193	11.93091	11.73876	11.27613
7.4	0	10.00811	10.65461	11.53968	11.91001	11.72509	11.26915
9	0	10.00693	10.62723	11.48706	11.85831	11.68968	11.24978
11	0	10.00548	10.59052	11.41634	11.78849	11.64175	11.22345
13	0	10.00413	10.5536	11.34509	11.71782	11.59309	11.1966
15	0	10.003	10.51917	11.27834	11.65113	11.54692	11.17089
17	0	10.00215	10.48965	11.22066	11.59286	11.50614	11.14784
19	0	10.00157	10.46641	11.1749	11.54613	11.47309	11.12889
21	0	10.00117	10.45003	11.1428	11.51348	11.45015	11.11585
22.5	0	10.00099	10.44279	11.12873	11.4993	11.44032	11.11035
24	0	10.00092	10.44017	11.12383	11.49452	11.4372	11.10873

0	10	1.031955	3.639714	6.21765	4.81415	3.05944	1.404758
6.1	10	0.777687	2.645389	4.600978	3.712414	2.445017	1.211116
6.7	10	0.553832	1.950438	3.480247	2.964549	2.034011	1.089376
7.4	10.14286	0.252661	1.258044	2.457583	2.225955	1.554662	0.836779
0	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
7.4	11.3	0.2	3.661818	7	4.7696	2.376	0.2
9	11.316	-1.09473	-1.09472	-1.09154	-1.02865	-0.90546	-0.83785
11	11.34138	-1.17347	-1.17348	-1.17353	-1.17236	-1.16707	-1.15861
13	11.36061	-1.2426	-1.24255	-1.24251	-1.24209	-1.24041	-1.23786
15	11.37568	-1.29665	-1.2966	-1.29655	-1.29633	-1.29553	-1.29425
17	11.38205	-1.33019	-1.33015	-1.33009	-1.32985	-1.32926	-1.32841
19	11.38205	-1.34811	-1.34809	-1.34806	-1.34794	-1.34761	-1.34707
21	11.38205	-1.35916	-1.35914	-1.35911	-1.35901	-1.35874	-1.35831
22.5	11.38205	-1.36362	-1.3636	-1.36357	-1.36348	-1.36323	-1.36282
11	13.31379	-3.18987	-3.18986	-3.18986	-3.18986	-3.18984	-3.18982
13	13.33636	-3.23846	-3.23846	-3.23846	-3.23846	-3.23845	-3.23845
15	13.35405	-3.28322	-3.28322	-3.28322	-3.28321	-3.28321	-3.28321
17	13.85641	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886	-3.80886
19	13.85641	-3.82	-3.82	-3.82366	-3.82	-3.82	-3.82
21	13.85641	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355	-3.83355
22.5	13.85641	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769	-3.83769
13	15.31212	-5.24	-5.24	-5.23751	-5.23751	-5.24	-5.24
15	15.33243	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299	-5.27299
17	15.8359	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066	-5.80066
19	15.8359	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062	-5.81062
21	15.8359	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753	-5.81753
22.5	15.8359	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053	-5.82053
15	17.8054	-7.78944	-7.78944	-7.78944	-7.78942	-7.78938	-7.78933
17	18.31026	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018	-8.30018
19	18.31026	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208	-8.30208
21	18.31026	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368	-8.30368
22.5	18.31026	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444	-8.30444
17	19.3	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292	-9.292
19	19.3	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327	-9.29327
21	19.3	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444	-9.29444
22.5	19.3	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503	-9.29503
24	19.3	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529	-9.29529

<i>C-SL-R-S</i>		急洩降@上游				
X	Y	t=0.00	t=0.38	t=0.76	t=1.14	t=1.54
0	0	18.3	18.20777	17.81372	17.16117	16.26894
6.1	0	18.3	18.22053	17.84808	17.21389	16.33807
6.7	0	18.3	18.22291	17.85452	17.22379	16.35108
7.4	0	18.3	18.2254	17.86156	17.23484	16.36581
9	0	18.3	18.23043	17.87669	17.25913	16.3988
11	0	18.3	18.23712	17.89703	17.29185	16.44331
13	0	18.3	18.2438	17.91755	17.32495	16.48836
15	0	18.3	18.24995	17.93666	17.35588	16.53057
17	0	18.3	18.25508	17.95286	17.38226	16.56674
19	0	18.3	18.259	17.96544	17.40287	16.59514
21	0	18.3	18.26182	17.97449	17.41765	16.61543
22.5	0	18.3	18.26311	17.97861	17.42435	16.62457
24	0	18.3	18.26363	17.98024	17.42695	16.62804
0	10	8.3	7.110763	5.784945	4.396192	2.885416
6.1	10	8.3	7.389998	6.302661	5.119284	3.798862
6.7	10	8.3	7.635964	6.751788	5.742767	4.583475
7.4	10.14286	8.157144	7.674328	6.947175	6.076007	5.046975
0	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
7.4	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
9	11.316	6.984	6.736296	6.242779	5.591222	4.782879
11	11.34138	6.958621	6.763059	6.32716	5.730534	4.977859
13	11.36061	6.939394	6.787465	6.402596	5.854655	5.151258
15	11.37568	6.924325	6.805682	6.462396	5.954411	5.291649
17	11.38205	6.917949	6.823217	6.511815	6.034704	5.4035
19	11.38205	6.917949	6.839753	6.551497	6.096875	5.488702
21	11.38205	6.917949	6.850409	6.577483	6.137754	5.544829
22.5	11.38205	6.917949	6.854857	6.588417	6.154972	5.568467
11	13.31379	4.986207	4.874448	4.561313	4.10508	3.51439
13	13.33636	4.963637	4.869279	4.583418	4.157868	3.601851
15	13.35405	4.945947	4.867411	4.606752	4.209105	3.684388
17	13.85641	4.44359	4.385025	4.165102	3.819117	3.357148
19	13.85641	4.44359	4.39	4.19	3.86	3.41
21	13.85641	4.44359	4.398649	4.203116	3.884695	3.454005
22.5	13.85641	4.44359	4.40107	4.209837	3.896191	3.470859

13	15.31212	2.98788	2.935593	2.74	2.45	2.05
15	15.33243	2.967568	2.92298	2.75043	2.476906	2.110715
17	15.8359	2.464103	2.432048	2.296107	2.075226	1.776778
19	15.8359	2.464103	2.436109	2.310463	2.103503	1.822354
21	15.8359	2.464103	2.438927	2.320071	2.122062	1.851872
22.5	15.8359	2.464103	2.440153	2.324154	2.129836	1.864122
15	17.8054	0.494595	0.483282	0.429022	0.335245	0.20703
17	18.31026	-0.01026	-0.011758	-0.02503	-0.05403	-0.09741
19	18.31026	-0.01026	-0.011364	-0.02217	-0.0467	-0.08448
21	18.31026	-0.01026	-0.0112	-0.021	-0.04372	-0.07918
22.5	18.31026	-0.01026	-0.011153	-0.02072	-0.043	-0.07785
17	19.3	-1	-1	-1.00002	-1.00011	-1.00044
19	19.3	-1	-0.999999	-1.00001	-1.00008	-1.00036
21	19.3	-1	-0.999999	-1.00001	-1.00009	-1.00035
22.5	19.3	-1	-0.999999	-1.00001	-1.00009	-1.00035
24	19.3	-1	-0.999999	-1.00001	-1.0001	-1.00041

C-SC-R-S		急洩降@上游				
X	Y	t=0.00	t=0.38	t=0.76	t=1.14	t=1.54
0	0	18.3	18.20738	17.80851	17.14518	16.23902
6.1	0	18.3	18.22015	17.84281	17.19766	16.3077
6.7	0	18.3	18.22252	17.84923	17.20752	16.32062
7.4	0	18.3	18.22501	17.85625	17.2185	16.33523
9	0	18.3	18.23002	17.87129	17.24258	16.36791
11	0	18.3	18.23669	17.89151	17.27504	16.41199
13	0	18.3	18.24336	17.91192	17.30787	16.45663
15	0	18.3	18.24949	17.93093	17.33856	16.49846
17	0	18.3	18.25461	17.94703	17.36473	16.53429
19	0	18.3	18.25852	17.95953	17.38516	16.56241
21	0	18.3	18.26133	17.96853	17.39983	16.58253
22.5	0	18.3	18.26262	17.97264	17.40648	16.59159
24	0	18.3	18.26315	17.97427	17.40907	16.59504
0	10	8.3	7.110013	5.781528	4.388793	2.87384
6.1	10	8.3	7.387424	6.294163	5.103211	3.775609
6.7	10	8.3	7.631227	6.737897	5.717843	4.548432

7.4	10.14286	8.157144	7.667006	6.927359	6.041882	5.000177
0	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
7.4	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
9	11.316	6.984	6.723186	6.210307	5.538659	4.714814
11	11.34138	6.958621	6.751997	6.298065	5.682497	4.915172
13	11.36061	6.939394	6.778164	6.376505	5.810533	5.09262
15	11.37568	6.924325	6.797863	6.438914	5.913597	5.236214
17	11.38205	6.917949	6.816577	6.490471	5.996549	5.350573
19	11.38205	6.917949	6.834002	6.531785	6.06072	5.437636
21	11.38205	6.917949	6.845259	6.558877	6.102935	5.494996
22.5	11.38205	6.917949	6.849966	6.570283	6.120718	5.519154
11	13.31379	4.986207	4.857431	4.520626	4.043242	3.439881
13	13.33636	4.963637	4.855718	4.549211	4.104566	3.535093
15	13.35405	4.945947	4.85662	4.57769	4.162119	3.623402
17	13.85641	4.44359	4.376003	4.139461	3.776469	3.300234
19	13.85641	4.44359	4.39	4.16	3.82	3.36
21	13.85641	4.44359	4.392356	4.182385	3.847761	3.402394
22.5	13.85641	4.44359	4.39522	4.189901	3.860187	3.420124
13	15.31212	2.98788	2.919238	2.71	2.39	1.98
15	15.33243	2.967568	2.910755	2.72039	2.430423	2.050622
17	15.8359	2.464103	2.423103	2.271811	2.035141	1.722465
19	15.8359	2.464103	2.429217	2.289502	2.067145	1.771626
21	15.8359	2.464103	2.433275	2.301222	2.088165	1.803611
22.5	15.8359	2.464103	2.434997	2.306171	2.09697	1.816915
15	17.8054	0.494595	0.475767	0.407601	0.297873	0.153129
17	18.31026	-0.01026	-0.015137	-0.03997	-0.08369	-0.14294
19	18.31026	-0.01026	-0.013819	-0.03457	-0.0722	-0.12426
21	18.31026	-0.01026	-0.013204	-0.03214	-0.06717	-0.11619
22.5	18.31026	-0.01026	-0.013009	-0.0314	-0.06564	-0.11374
17	19.3	-1	-1	-1.00009	-1.00053	-1.00175
19	19.3	-1	-1	-1.00007	-1.00042	-1.00147
21	19.3	-1	-1	-1.00006	-1.0004	-1.00139
22.5	19.3	-1	-1	-1.00006	-1.00039	-1.00136
24	19.3	-1	-1	-1.00007	-1.00045	-1.00154

DSM-SL-R-S		急洩降@上游				
X	Y	t=0.00	t=0.38	t=0.76	t=1.14	t=1.54
0	0	18.3	18.02594	16.95849	15.56162	14.15199
6.1	0	18.3	18.0422	16.98767	15.59989	14.20281
6.7	0	18.3	18.04524	16.99313	15.60711	14.21245
7.4	0	18.3	18.04804	16.99834	15.61443	14.22288
9	0	18.3	18.05258	17.0073	15.62854	14.24495
11	0	18.3	18.0589	17.01978	15.64813	14.27547
13	0	18.3	18.06555	17.03289	15.66866	14.30728
15	0	18.3	18.07182	17.04533	15.68827	14.33776
17	0	18.3	18.07695	17.05564	15.70498	14.36422
19	0	18.3	18.08072	17.06336	15.71794	14.38516
21	0	18.3	18.08377	17.06948	15.72777	14.40059
22.5	0	18.3	18.08536	17.07259	15.73253	14.40774
24	0	18.3	18.0862	17.07416	15.73466	14.41064
0	10	8.3	6.905098	5.318631	3.695838	2.009393
6.1	10	8.3	6.682206	5.015172	3.349522	1.584439
6.7	10	8.3	6.679914	5.012134	3.346067	1.579729
7.4	10.14286	8.157144	6.630575	5.001989	3.370183	1.678854
0	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
7.4	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
9	11.316	6.984	5.435742	3.81662	2.219184	0.798869
11	11.34138	6.958621	5.629213	4.124681	2.698132	1.622644
13	11.36061	6.939394	5.794496	4.401147	3.129679	2.206505
15	11.37568	6.924325	5.933005	4.640874	3.48638	2.635479
17	11.38205	6.917949	6.049041	4.841368	3.76675	2.952747
19	11.38205	6.917949	6.141273	4.997294	3.973579	3.179005
21	11.38205	6.917949	6.203591	5.101534	4.107805	3.32361
22.5	11.38205	6.917949	6.230237	5.145648	4.163691	3.383359
11	13.31379	4.986207	3.421886	1.839521	0.623827	0.415392
13	13.33636	4.963637	3.622025	2.245114	1.315507	0.94091
15	13.35405	4.945947	3.810091	2.611956	1.79196	1.342527
17	13.85641	4.44359	3.474146	2.47045	1.796756	1.381667
19	13.85641	4.44359	3.62	2.7	2.03	1.58
21	13.85641	4.44359	3.713259	2.839816	2.177032	1.71067
22.5	13.85641	4.44359	3.753103	2.89827	2.237014	1.763617

13	15.31212	2.98788	1.475721	0.481	0.332	0.268
15	15.33243	2.967568	1.786512	1.00417	0.699851	0.537779
17	15.8359	2.464103	1.604778	1.035132	0.738369	0.558085
19	15.8359	2.464103	1.792081	1.237374	0.895421	0.674423
21	15.8359	2.464103	1.902254	1.360348	0.995847	0.751101
22.5	15.8359	2.464103	1.945678	1.409827	1.037331	0.783334
15	17.8054	0.494595	0.059935	0.011764	-0.01222	-0.02781
17	18.31026	-0.01026	-0.106751	-0.18652	-0.23893	-0.27906
19	18.31026	-0.01026	-0.066415	-0.14143	-0.19678	-0.2398
21	18.31026	-0.01026	-0.051285	-0.12263	-0.18023	-0.22595
22.5	18.31026	-0.01026	-0.046695	-0.11655	-0.17491	-0.22165
17	19.3	-1	-1.00072	-1.00435	-1.01076	-1.01945
19	19.3	-1	-1.00002	-1.00031	-1.00119	-1.00288
21	19.3	-1	-1.00002	-1.00027	-1.00105	-1.00256
22.5	19.3	-1	-1.00002	-1.00025	-1.00099	-1.00247
24	19.3	-1	-1.00002	-1.00031	-1.00116	-1.00279

DSM-SC-R-S		急洩降@上游				
X	Y	t=0.00	t=0.38	t=0.76	t=1.14	t=1.54
0	0	18.3	18.0173	16.93755	15.53381	14.11556
6.1	0	18.3	18.03378	16.96685	15.57219	14.16658
6.7	0	18.3	18.03685	16.97233	15.57943	14.17627
7.4	0	18.3	18.0397	16.97757	15.58679	14.18675
9	0	18.3	18.04431	16.98658	15.60097	14.20896
11	0	18.3	18.05072	16.99914	15.62067	14.23967
13	0	18.3	18.05747	17.01234	15.6413	14.27168
15	0	18.3	18.06385	17.02487	15.66103	14.30236
17	0	18.3	18.06906	17.03526	15.67785	14.329
19	0	18.3	18.07289	17.04304	15.69088	14.35009
21	0	18.3	18.07599	17.0492	15.70078	14.36562
22.5	0	18.3	18.0776	17.05234	15.70556	14.37282
24	0	18.3	18.07846	17.05392	15.70771	14.37573
0	10	8.3	6.896104	5.305536	3.679626	1.987318
6.1	10	8.3	6.643683	4.962182	3.285527	1.496763
6.7	10	8.3	6.643319	4.961766	3.285063	1.495642

7.4	10.14286	8.157144	6.604554	4.965874	3.326212	1.617949
0	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
7.4	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
9	11.316	6.984	5.430148	3.808678	2.209269	0.785094
11	11.34138	6.958621	5.620998	4.112833	2.683477	1.603671
13	11.36061	6.939394	5.784823	4.387019	3.112378	2.184803
15	11.37568	6.924325	5.922149	4.624806	3.46687	2.611496
17	11.38205	6.917949	6.037186	4.823566	3.745258	2.926695
19	11.38205	6.917949	6.128626	4.978055	3.950432	3.151208
21	11.38205	6.917949	6.190396	5.081271	4.083472	3.294559
22.5	11.38205	6.917949	6.216808	5.124938	4.138838	3.353756
11	13.31379	4.986207	3.419263	1.835657	0.618818	0.410636
13	13.33636	4.963637	3.6156	2.236146	1.305046	0.929173
15	13.35405	4.945947	3.800244	2.598345	1.776216	1.324559
17	13.85641	4.44359	3.46086	2.452232	1.775933	1.358244
19	13.85641	4.44359	3.6	2.68	2.01	1.55
21	13.85641	4.44359	3.695904	2.815191	2.148653	1.678732
22.5	13.85641	4.44359	3.735137	2.872565	2.207341	1.730217
13	15.31212	2.98788	1.471671	0.476	0.327	0.263
15	15.33243	2.967568	1.775569	0.990425	0.68502	0.521855
17	15.8359	2.464103	1.585422	1.010698	0.71164	0.529447
19	15.8359	2.464103	1.768404	1.205866	0.86027	0.63638
21	15.8359	2.464103	1.876919	1.325082	0.955907	0.70754
22.5	15.8359	2.464103	1.919948	1.37324	0.995615	0.737681
15	17.8054	0.494595	0.034353	-0.00905	-0.03044	-0.04431
17	18.31026	-0.01026	-0.17983	-0.26585	-0.31861	-0.35814
19	18.31026	-0.01026	-0.117279	-0.20824	-0.26868	-0.31442
21	18.31026	-0.01026	-0.092328	-0.18452	-0.24961	-0.29919
22.5	18.31026	-0.01026	-0.084132	-0.17631	-0.24315	-0.2943
17	19.3	-1	-1.00342	-1.01426	-1.02879	-1.04534
19	19.3	-1	-1.00015	-1.00144	-1.00442	-1.00919
21	19.3	-1	-1.00012	-1.00119	-1.00379	-1.00813
22.5	19.3	-1	-1.00011	-1.0011	-1.0036	-1.00784
24	19.3	-1	-1.00013	-1.00128	-1.00401	-1.00848

CM-SL-R-S		急洩降@上游				
X	Y	t=0.00	t=0.38	t=0.76	t=1.14	t=1.54
0	0	18.3	18.20126	17.75743	17.0133	16.03234
6.1	0	18.3	18.21417	17.79122	17.06407	16.09814
6.7	0	18.3	18.21658	17.79755	17.0736	16.11053
7.4	0	18.3	18.21907	17.80437	17.08409	16.12443
9	0	18.3	18.22402	17.81871	17.10676	16.15522
11	0	18.3	18.23063	17.83803	17.13737	16.19684
13	0	18.3	18.23726	17.85758	17.1684	16.23906
15	0	18.3	18.24337	17.8758	17.19744	16.27868
17	0	18.3	18.24845	17.8912	17.22216	16.3126
19	0	18.3	18.25233	17.90311	17.24142	16.33921
21	0	18.3	18.25515	17.91176	17.25533	16.35832
22.5	0	18.3	18.25645	17.91574	17.26169	16.36697
24	0	18.3	18.25699	17.91737	17.26421	16.3703
0	10	8.3	7.101033	5.750002	4.329815	2.795882
6.1	10	8.3	7.361724	6.219931	4.978034	3.618701
6.7	10	8.3	7.585618	6.617735	5.523285	4.307992
7.4	10.14286	8.157144	7.598179	6.757417	5.775455	4.675294
0	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
7.4	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
9	11.316	6.984	6.60328	5.936846	5.132943	4.244712
11	11.34138	6.958621	6.650729	6.055975	5.321151	4.501553
13	11.36061	6.939394	6.692948	6.162297	5.48752	4.722
15	11.37568	6.924325	6.726215	6.248939	5.622833	4.899499
17	11.38205	6.917949	6.755783	6.320351	5.731575	5.040129
19	11.38205	6.917949	6.781391	6.376771	5.814965	5.146398
21	11.38205	6.917949	6.798179	6.414017	5.869882	5.216287
22.5	11.38205	6.917949	6.805253	6.429739	5.893006	5.24567
11	13.31379	4.986207	4.705433	4.190511	3.592343	2.972925
13	13.33636	4.963637	4.734834	4.277988	3.732821	3.142058
15	13.35405	4.945947	4.760859	4.353483	3.849133	3.285778
17	13.85641	4.44359	4.297364	3.951624	3.513442	3.015249
19	13.85641	4.44359	4.32	4	3.59	3.11
21	13.85641	4.44359	4.338454	4.038717	3.636027	3.165183
22.5	13.85641	4.44359	4.3453	4.053243	3.656553	3.190446

13	15.31212	2.98788	2.777744	2.43	2.06	1.66
15	15.33243	2.967568	2.807045	2.510994	2.166353	1.783679
17	15.8359	2.464103	2.35121	2.122258	1.842317	1.526228
19	15.8359	2.464103	2.375581	2.168452	1.904518	1.602218
21	15.8359	2.464103	2.390364	2.197283	1.943906	1.650493
22.5	15.8359	2.464103	2.3963	2.209032	1.960056	1.670302
15	17.8054	0.494595	0.431794	0.335411	0.218628	0.090315
17	18.31026	-0.01026	-0.020004	-0.04904	-0.09	-0.13807
19	18.31026	-0.01026	-0.016105	-0.03895	-0.07433	-0.1179
21	18.31026	-0.01026	-0.014481	-0.03436	-0.06715	-0.10872
22.5	18.31026	-0.01026	-0.013992	-0.03298	-0.06502	-0.10602
17	19.3	-1	-1	-1.00007	-1.00033	-1.00096
19	19.3	-1	-1	-1.00004	-1.00022	-1.00073
21	19.3	-1	-1	-1.00003	-1.0002	-1.00067
22.5	19.3	-1	-1	-1.00003	-1.00019	-1.00065
24	19.3	-1	-1	-1.00004	-1.00023	-1.00075

CM-SC-R-S		急洩降@上游				
X	Y	t=0.00	t=0.38	t=0.76	t=1.14	t=1.54
0	0	18.3	18.16495	17.47936	16.38734	15.1812
6.1	0	18.3	18.17835	17.5098	16.42958	15.23532
6.7	0	18.3	18.18085	17.51548	16.4375	15.24551
7.4	0	18.3	18.1833	17.52119	16.44576	15.25662
9	0	18.3	18.18773	17.53191	16.4623	15.28027
11	0	18.3	18.19373	17.54653	16.48486	15.31251
13	0	18.3	18.19985	17.56154	16.50804	15.34556
15	0	18.3	18.20554	17.57558	16.52985	15.37679
17	0	18.3	18.21022	17.58724	16.54829	15.40355
19	0	18.3	18.21373	17.59606	16.56249	15.42451
21	0	18.3	18.2164	17.60276	16.57307	15.43981
22.5	0	18.3	18.21771	17.60604	16.5781	15.44688
24	0	18.3	18.21833	17.60757	16.58028	15.44973
0	10	8.3	7.054252	5.601136	4.076868	2.488265
6.1	10	8.3	7.231372	5.884809	4.45687	3.00682
6.7	10	8.3	7.357759	6.085102	4.722904	3.367442

7.4	10.14286	8.157144	7.265129	6.026087	4.704272	3.418724
0	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
7.4	11.3	7	5.322078	3.644156	1.966234	0.2
9	11.316	6.984	6.038385	4.795956	3.538293	2.456365
11	11.34138	6.958621	6.167467	5.033611	3.896375	2.958662
13	11.36061	6.939394	6.278493	5.243333	4.206385	3.348624
15	11.37568	6.924325	6.370051	5.420177	4.460051	3.650643
17	11.38205	6.917949	6.446723	5.565977	4.661591	3.882997
19	11.38205	6.917949	6.508179	5.679141	4.812906	4.053886
21	11.38205	6.917949	6.549331	5.754481	4.912087	4.164924
22.5	11.38205	6.917949	6.566866	5.786363	4.953662	4.211241
11	13.31379	4.986207	4.010335	2.842933	1.881491	1.35724
13	13.33636	4.963637	4.164569	3.147124	2.31694	1.769127
15	13.35405	4.945947	4.295445	3.399678	2.64177	2.087519
17	13.85641	4.44359	3.904421	3.138325	2.487717	1.990843
19	13.85641	4.44359	3.99574	3.292684	2.664702	2.164087
21	13.85641	4.44359	4.055083	3.391269	2.7777	2.275802
22.5	13.85641	4.44359	4.079798	3.431966	2.824344	2.32213
13	15.31212	2.98788	2.107737	1.31533	0.891361	0.613921
15	15.33243	2.967568	2.299561	1.634675	1.191107	0.880607
17	15.8359	2.464103	1.984463	1.473341	1.095925	0.817372
19	15.8359	2.464103	2.092355	1.621198	1.242579	0.952254
21	15.8359	2.464103	2.156844	1.711799	1.334742	1.038035
22.5	15.8359	2.464103	2.182481	1.748326	1.37237	1.073277
15	17.8054	0.494595	0.192474	0.011075	-0.10874	-0.19329
17	18.31026	-0.01026	-0.092922	-0.18176	-0.24912	-0.30312
19	18.31026	-0.01026	-0.065183	-0.14608	-0.21288	-0.26805
21	18.31026	-0.01026	-0.051631	-0.12727	-0.1939	-0.25021
22.5	18.31026	-0.01026	-0.047058	-0.12061	-0.18721	-0.24404
17	19.3	-1	-1.00014	-1.00119	-1.00366	-1.00784
19	19.3	-1	-1.00006	-1.00075	-1.00273	-1.00634
21	19.3	-1	-1.00005	-1.00063	-1.00235	-1.00562
22.5	19.3	-1	-1.00004	-1.00058	-1.00223	-1.0054
24	19.3	-1	-1.00005	-1.00068	-1.00251	-1.00589

<i>C-SL-R-L</i>		急洩降@下游				
X	Y	t=0.00	t=0.62	t=1.24	t=1.86	t=2.50
0	0	18.3	18.18794	17.74737	17.04944	16.14739
6.1	0	18.3	18.20176	17.7822	17.10183	16.21537
6.7	0	18.3	18.20433	17.78872	17.11168	16.22817
7.4	0	18.3	18.20706	17.79591	17.12271	16.24271
9	0	18.3	18.21265	17.81143	17.14709	16.27543
11	0	18.3	18.2201	17.83231	17.17995	16.31957
13	0	18.3	18.22758	17.8534	17.2132	16.36426
15	0	18.3	18.23448	17.87305	17.2443	16.40615
17	0	18.3	18.24025	17.88974	17.27085	16.44209
19	0	18.3	18.24469	17.90272	17.29163	16.47034
21	0	18.3	18.24788	17.91205	17.30652	16.49051
22.5	0	18.3	18.24934	17.9163	17.31325	16.49958
24	0	18.3	18.24993	17.91797	17.31585	16.503
0	10	8.3	7.098676	5.756086	4.351851	2.858168
6.1	10	8.3	7.375241	6.26651	5.063139	3.754031
6.7	10	8.3	7.619011	6.709563	5.676883	4.524074
7.4	10.14286	8.157144	7.656062	6.901057	6.003716	4.977476
0	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
7.4	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
9	11.316	6.984	6.718219	6.195023	5.515233	4.704436
11	11.34138	6.958621	6.745564	6.279583	5.654185	4.897686
13	11.36061	6.939394	6.770768	6.355442	5.7782	5.069717
15	11.37568	6.924325	6.789874	6.415856	5.878142	5.209242
17	11.38205	6.917949	6.808254	6.46594	5.958779	5.320613
19	11.38205	6.917949	6.82549	6.506198	6.02129	5.405547
21	11.38205	6.917949	6.836643	6.532596	6.062421	5.461518
22.5	11.38205	6.917949	6.841309	6.543708	6.079746	5.48509
11	13.31379	4.986207	4.860078	4.519757	4.037071	3.440487
13	13.33636	4.963637	4.855752	4.543276	4.091674	3.529253
15	13.35405	4.945947	4.854709	4.567894	4.14449	3.612873
17	13.85641	4.44359	4.37394	4.129682	3.759411	3.290002
19	13.85641	4.44359	4.38	4.15	3.8	3.35
21	13.85641	4.44359	4.388525	4.169221	3.8269	3.388317
22.5	13.85641	4.44359	4.391119	4.176202	3.838715	3.40541

13	15.31212	2.98788	2.925933	2.71	2.39	1.99
15	15.33243	2.967568	2.914121	2.721314	2.42698	2.053163
17	15.8359	2.464103	2.424891	2.271377	2.031921	1.725601
19	15.8359	2.464103	2.429439	2.286911	2.061975	1.772921
21	15.8359	2.464103	2.43258	2.297283	2.081688	1.803586
22.5	15.8359	2.464103	2.433943	2.301679	2.089936	1.81631
15	17.8054	0.494595	0.479969	0.414944	0.308132	0.17144
17	18.31026	-0.01026	-0.01297	-0.03284	-0.07135	-0.12349
19	18.31026	-0.01026	-0.01234	-0.02884	-0.06187	-0.1078
21	18.31026	-0.01026	-0.01206	-0.02716	-0.05792	-0.10121
22.5	18.31026	-0.01026	-0.01199	-0.02673	-0.05685	-0.09938
17	19.3	-1	-1	-1.00006	-1.00042	-1.00147
19	19.3	-1	-1	-1.00005	-1.00034	-1.00126
21	19.3	-1	-1	-1.00005	-1.00033	-1.0012
22.5	19.3	-1	-1	-1.00005	-1.00033	-1.00119
24	19.3	-1	-1	-1.00005	-1.00038	-1.00133

C-SC-R-L		急洩降@下游				
X	Y	t=0.00	t=0.62	t=1.24	t=1.86	t=2.50
0	0	18.3	18.18719	17.7411	17.03317	16.11863
6.1	0	18.3	18.20101	17.77583	17.08528	16.18613
6.7	0	18.3	18.20358	17.78234	17.09506	16.19884
7.4	0	18.3	18.20631	17.7895	17.10602	16.21326
9	0	18.3	18.21188	17.80491	17.13017	16.24565
11	0	18.3	18.21932	17.82564	17.16272	16.28935
13	0	18.3	18.22678	17.84659	17.19567	16.33361
15	0	18.3	18.23366	17.86612	17.22648	16.3751
17	0	18.3	18.23943	17.88269	17.25279	16.41068
19	0	18.3	18.24385	17.89557	17.27336	16.43864
21	0	18.3	18.24704	17.90484	17.28812	16.45862
22.5	0	18.3	18.2485	17.90907	17.2948	16.46761
24	0	18.3	18.24908	17.91074	17.29738	16.47101
0	10	8.3	7.097749	5.752385	4.344607	2.847184
6.1	10	8.3	7.372344	6.257483	5.047196	3.731643
6.7	10	8.3	7.613839	6.694966	5.65212	4.490195

7.4	10.14286	8.157144	7.648217	6.880402	5.969783	4.932084
0	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
7.4	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
9	11.316	6.984	6.704426	6.161496	5.462866	4.638068
11	11.34138	6.958621	6.733759	6.249298	5.606191	4.836545
13	11.36061	6.939394	6.760679	6.328043	5.733972	5.012484
15	11.37568	6.924325	6.781239	6.390975	5.83709	5.155084
17	11.38205	6.917949	6.800787	6.443131	5.920279	5.268857
19	11.38205	6.917949	6.818908	6.484976	5.984709	5.35557
21	11.38205	6.917949	6.830662	6.512449	6.027121	5.412718
22.5	11.38205	6.917949	6.835587	6.524022	6.044989	5.436786
11	13.31379	4.986207	4.842226	4.477808	3.975327	3.367588
13	13.33636	4.963637	4.841322	4.507712	4.03828	3.463883
15	13.35405	4.945947	4.843031	4.537399	4.097261	3.553093
17	13.85641	4.44359	4.364019	4.102561	3.716398	3.234104
19	13.85641	4.44359	4.37	4.13	3.76	3.3
21	13.85641	4.44359	4.381344	4.146959	3.789462	3.337547
22.5	13.85641	4.44359	4.384385	4.154727	3.802183	3.355486
13	15.31212	2.98788	2.908671	2.68	2.34	1.92
15	15.33243	2.967568	2.900981	2.689883	2.38022	1.994047
17	15.8359	2.464103	2.415037	2.245681	1.991429	1.672005
19	15.8359	2.464103	2.421658	2.264538	2.025136	1.722805
21	15.8359	2.464103	2.42606	2.277019	2.047267	1.755879
22.5	15.8359	2.464103	2.42793	2.282283	2.05653	1.769634
15	17.8054	0.494595	0.471449	0.392245	0.270316	0.117739
17	18.31026	-0.01026	-0.01737	-0.04911	-0.10173	-0.16917
19	18.31026	-0.01026	-0.01567	-0.04249	-0.08796	-0.14744
21	18.31026	-0.01026	-0.01486	-0.03949	-0.08189	-0.13798
22.5	18.31026	-0.01026	-0.0146	-0.03852	-0.07998	-0.13503
17	19.3	-1	-1.00001	-1.00031	-1.00162	-1.00488
19	19.3	-1	-1.00001	-1.00024	-1.00134	-1.00413
21	19.3	-1	-1.00001	-1.00022	-1.00124	-1.00386
22.5	19.3	-1	-1.00001	-1.00021	-1.00122	-1.0038
24	19.3	-1	-1.00001	-1.00025	-1.00135	-1.00408

<i>DSM-SL-R-L</i>		急洩降@下游				
X	Y	t=0.00	t=0.62	t=1.24	t=1.86	t=2.50
0	0	18.3	17.98402	16.89333	15.50945	14.11238
6.1	0	18.3	18.00021	16.92171	15.54722	14.16259
6.7	0	18.3	18.00324	16.92703	15.55434	14.17212
7.4	0	18.3	18.00603	16.93211	15.5616	14.18245
9	0	18.3	18.01055	16.94091	15.57564	14.2044
11	0	18.3	18.01684	16.95317	15.59513	14.23475
13	0	18.3	18.02346	16.96605	15.61556	14.26638
15	0	18.3	18.02971	16.97827	15.63508	14.2967
17	0	18.3	18.0348	16.98842	15.65173	14.32302
19	0	18.3	18.03854	16.99604	15.66465	14.34388
21	0	18.3	18.04158	17.00205	15.67445	14.35923
22.5	0	18.3	18.04316	17.0051	15.67918	14.36634
24	0	18.3	18.04401	17.00664	15.68129	14.36921
0	10	8.3	6.892605	5.300492	3.673164	2.008884
6.1	10	8.3	6.67855	5.005346	3.331895	1.591921
6.7	10	8.3	6.676295	5.002324	3.328424	1.587219
7.4	10.14286	8.157144	6.623436	4.989169	3.350945	1.683118
0	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
7.4	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
9	11.316	6.984	5.425506	3.799764	2.196128	0.797919
11	11.34138	6.958621	5.614587	4.106316	2.677523	1.617812
13	11.36061	6.939394	5.775291	4.380443	3.109346	2.197545
15	11.37568	6.924325	5.909255	4.617145	3.464596	2.622781
17	11.38205	6.917949	6.021305	4.814424	3.742873	2.936977
19	11.38205	6.917949	6.110468	4.967576	3.947775	3.160906
21	11.38205	6.917949	6.170732	5.069865	4.080627	3.303945
22.5	11.38205	6.917949	6.196509	5.113136	4.135919	3.363027
11	13.31379	4.986207	3.412014	1.823096	0.617235	0.413481
13	13.33636	4.963637	3.609155	2.229245	1.304494	0.935021
15	13.35405	4.945947	3.793524	2.594823	1.777347	1.332677
17	13.85641	4.44359	3.455043	2.451817	1.779723	1.368424
19	13.85641	4.44359	3.6	2.68	2.01	1.57
21	13.85641	4.44359	3.687965	2.815725	2.154593	1.692183
22.5	13.85641	4.44359	3.726682	2.873135	2.213652	1.744221

13	15.31212	2.98788	1.4663	0.475	0.329	0.265
15	15.33243	2.967568	1.77446	0.993077	0.690027	0.529192
17	15.8359	2.464103	1.589652	1.019226	0.722312	0.542961
19	15.8359	2.464103	1.773633	1.217105	0.87455	0.654514
21	15.8359	2.464103	1.881785	1.337549	0.972207	0.72841
22.5	15.8359	2.464103	1.924409	1.386062	1.012646	0.759586
15	17.8054	0.494595	0.048686	0.001366	-0.02211	-0.0373
17	18.31026	-0.01026	-0.13838	-0.22606	-0.28215	-0.3244
19	18.31026	-0.01026	-0.0881	-0.17396	-0.23411	-0.28009
21	18.31026	-0.01026	-0.06875	-0.15273	-0.21596	-0.26489
22.5	18.31026	-0.01026	-0.0627	-0.14564	-0.20995	-0.26007
17	19.3	-1	-1.00233	-1.01199	-1.02609	-1.04239
19	19.3	-1	-1.00009	-1.00113	-1.00377	-1.00818
21	19.3	-1	-1.00008	-1.00093	-1.00323	-1.0072
22.5	19.3	-1	-1.00007	-1.00086	-1.00306	-1.00693
24	19.3	-1	-1.00009	-1.001	-1.0034	-1.00745

DSM-SC-R-L		急洩降@下游				
X	Y	t=0.00	t=0.62	t=1.24	t=1.86	t=2.50
0	0	18.3	17.97453	16.87183	15.48287	14.07779
6.1	0	18.3	17.99089	16.90034	15.52078	14.1282
6.7	0	18.3	17.99394	16.90567	15.52793	14.13777
7.4	0	18.3	17.99677	16.91079	15.53522	14.14816
9	0	18.3	18.00134	16.91965	15.54934	14.17024
11	0	18.3	18.00771	16.93199	15.56896	14.20078
13	0	18.3	18.0144	16.94496	15.5895	14.23261
15	0	18.3	18.02073	16.95728	15.60915	14.26313
17	0	18.3	18.02589	16.96751	15.62592	14.28964
19	0	18.3	18.02968	16.97519	15.63893	14.31064
21	0	18.3	18.03275	16.98126	15.6488	14.3261
22.5	0	18.3	18.03436	16.98433	15.65355	14.33325
24	0	18.3	18.03521	16.98587	15.65567	14.33613
0	10	8.3	6.884287	5.287457	3.65725	1.987702
6.1	10	8.3	6.642114	4.953781	3.268764	1.506151
6.7	10	8.3	6.64171	4.953314	3.268244	1.504971

7.4	10.14286	8.157144	6.598933	4.953954	3.307639	1.623734
0	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
7.4	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
9	11.316	6.984	5.420252	3.791934	2.186394	0.784552
11	11.34138	6.958621	5.606893	4.09456	2.663258	1.599581
13	11.36061	6.939394	5.766166	4.366398	3.09262	2.176791
15	11.37568	6.924325	5.898876	4.601192	3.44584	2.599911
17	11.38205	6.917949	6.009798	4.796796	3.722302	2.912174
19	11.38205	6.917949	6.098028	4.948573	3.925687	3.134467
21	11.38205	6.917949	6.157633	5.049886	4.057451	3.276326
22.5	11.38205	6.917949	6.183124	5.092731	4.112265	3.334889
11	13.31379	4.986207	3.409544	1.819287	0.612396	0.408929
13	13.33636	4.963637	3.603125	2.22049	1.294502	0.923855
15	13.35405	4.945947	3.784189	2.581621	1.76239	1.315619
17	13.85641	4.44359	3.442279	2.434357	1.760061	1.346222
19	13.85641	4.44359	3.58	2.65	1.99	1.54
21	13.85641	4.44359	3.670935	2.792187	2.127813	1.661852
22.5	13.85641	4.44359	3.708978	2.848569	2.185647	1.712485
13	15.31212	2.98788	1.46244	0.471	0.324	0.261
15	15.33243	2.967568	1.764049	0.980201	0.676199	0.514241
17	15.8359	2.464103	1.571097	0.996541	0.69745	0.516062
19	15.8359	2.464103	1.750619	1.187702	0.841652	0.618507
21	15.8359	2.464103	1.856875	1.304514	0.934685	0.686973
22.5	15.8359	2.464103	1.898976	1.351738	0.973402	0.716076
15	17.8054	0.494595	0.027283	-0.0153	-0.03669	-0.05055
17	18.31026	-0.01026	-0.2084	-0.29837	-0.35463	-0.39636
19	18.31026	-0.01026	-0.13824	-0.23544	-0.3012	-0.35097
21	18.31026	-0.01026	-0.11034	-0.20974	-0.28053	-0.33437
22.5	18.31026	-0.01026	-0.10098	-0.20078	-0.27356	-0.32911
17	19.3	-1	-1.00863	-1.03113	-1.05645	-1.08157
19	19.3	-1	-1.00052	-1.00417	-1.0114	-1.0216
21	19.3	-1	-1.00039	-1.00336	-1.00968	-1.01897
22.5	19.3	-1	-1.00035	-1.00312	-1.00922	-1.01832
24	19.3	-1	-1.0004	-1.00345	-1.00979	-1.01898

<i>CM-SL-R-L</i>		急洩降@下游				
X	Y	t=0.00	t=0.62	t=1.24	t=1.86	t=2.50
0	0	18.3	18.18012	17.68411	16.8985	15.91418
6.1	0	18.3	18.19398	17.7181	16.94867	15.97879
6.7	0	18.3	18.19657	17.72446	16.95809	15.99095
7.4	0	18.3	18.19927	17.73136	16.96851	16.00465
9	0	18.3	18.20472	17.74594	16.99114	16.03516
11	0	18.3	18.212	17.76559	17.02171	16.07639
13	0	18.3	18.21932	17.7855	17.05271	16.11822
15	0	18.3	18.22609	17.80407	17.08174	16.15749
17	0	18.3	18.23174	17.81978	17.10648	16.19116
19	0	18.3	18.23607	17.83195	17.12579	16.21761
21	0	18.3	18.23921	17.84078	17.13972	16.23657
22.5	0	18.3	18.24067	17.84485	17.14607	16.24514
24	0	18.3	18.24127	17.84649	17.14858	16.24842
0	10	8.3	7.08893	5.719761	4.285568	2.770145
6.1	10	8.3	7.345967	6.181222	4.922283	3.577068
6.7	10	8.3	7.567106	6.572278	5.458379	4.25356
7.4	10.14286	8.157144	7.577857	6.707712	5.704884	4.612541
0	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
7.4	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
9	11.316	6.984	6.58205	5.88519	5.060157	4.176065
11	11.34138	6.958621	6.629434	6.003417	5.246902	4.429955
13	11.36061	6.939394	6.671914	6.109206	5.412095	4.647956
15	11.37568	6.924325	6.705683	6.195689	5.546633	4.823654
17	11.38205	6.917949	6.73587	6.267196	5.654933	4.963033
19	11.38205	6.917949	6.762054	6.323793	5.73807	5.068444
21	11.38205	6.917949	6.779271	6.36119	5.792839	5.13778
22.5	11.38205	6.917949	6.786535	6.376979	5.815899	5.166928
11	13.31379	4.986207	4.686831	4.144553	3.528062	2.909164
13	13.33636	4.963637	4.716669	4.232508	3.668651	3.077677
15	13.35405	4.945947	4.743224	4.308509	3.785151	3.220913
17	13.85641	4.44359	4.281257	3.909684	3.453233	2.953224
19	13.85641	4.44359	4.31	3.96	3.53	3.04
21	13.85641	4.44359	4.323271	3.997688	3.576415	3.103062
22.5	13.85641	4.44359	4.330295	4.01238	3.597049	3.128312

13	15.31212	2.98788	2.763628	2.4	2.01	1.6
15	15.33243	2.967568	2.793617	2.476413	2.116517	1.731151
17	15.8359	2.464103	2.339672	2.091659	1.797433	1.477714
19	15.8359	2.464103	2.364645	2.138797	1.860629	1.554411
21	15.8359	2.464103	2.379877	2.168308	1.900735	1.603224
22.5	15.8359	2.464103	2.386012	2.180352	1.917195	1.62327
15	17.8054	0.494595	0.424344	0.315265	0.187722	0.053566
17	18.31026	-0.01026	-0.0247	-0.06321	-0.11355	-0.16888
19	18.31026	-0.01026	-0.01947	-0.0509	-0.09517	-0.14573
21	18.31026	-0.01026	-0.01717	-0.04513	-0.08659	-0.13508
22.5	18.31026	-0.01026	-0.01646	-0.04331	-0.08391	-0.13178
17	19.3	-1	-1.00002	-1.00025	-1.00108	-1.00294
19	19.3	-1	-1.00001	-1.00016	-1.0008	-1.00236
21	19.3	-1	-1.00001	-1.00014	-1.00071	-1.00213
22.5	19.3	-1	-1	-1.00013	-1.00068	-1.00206
24	19.3	-1	-1.00001	-1.00015	-1.00077	-1.00228

CM-SC-R-L		急洩降@下游				
X	Y	t=0.00	t=0.62	t=1.24	t=1.86	t=2.50
0	0	18.3	18.13633	17.39639	16.29033	15.09733
6.1	0	18.3	18.15035	17.42632	16.33179	15.15056
6.7	0	18.3	18.15296	17.43191	16.33956	15.16059
7.4	0	18.3	18.15553	17.43753	16.34771	15.17156
9	0	18.3	18.1602	17.44817	16.36414	15.19506
11	0	18.3	18.16653	17.46268	16.38655	15.22708
13	0	18.3	18.17301	17.47757	16.40957	15.25991
15	0	18.3	18.17902	17.49151	16.43125	15.29095
17	0	18.3	18.18398	17.50311	16.4496	15.31758
19	0	18.3	18.18769	17.5119	16.46378	15.33846
21	0	18.3	18.19053	17.51856	16.47431	15.35369
22.5	0	18.3	18.19192	17.52181	16.4793	15.3607
24	0	18.3	18.19258	17.52332	16.48145	15.36351
0	10	8.3	7.039222	5.571464	4.040579	2.473213
6.1	10	8.3	7.211469	5.848526	4.414971	2.98381
6.7	10	8.3	7.334912	6.044671	4.677615	3.339358

7.4	10.14286	8.157144	7.240921	5.984319	4.658174	3.38878
0	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
7.4	11.3	7	5.3136	3.6272	1.9408	0.2
9	11.316	6.984	6.015036	4.758251	3.497301	2.429777
11	11.34138	6.958621	6.140781	4.991738	3.852357	2.926511
13	11.36061	6.939394	6.248945	5.197684	4.159162	3.311758
15	11.37568	6.924325	6.338328	5.371334	4.409811	3.609962
17	11.38205	6.917949	6.413613	5.514677	4.60886	3.839365
19	11.38205	6.917949	6.474255	5.626079	4.758308	4.008085
21	11.38205	6.917949	6.51493	5.70027	4.856248	4.117685
22.5	11.38205	6.917949	6.532272	5.731665	4.897297	4.163392
11	13.31379	4.986207	3.989371	2.811739	1.852275	1.334973
13	13.33636	4.963637	4.140557	3.112649	2.283074	1.741719
15	13.35405	4.945947	4.268786	3.361982	2.603918	2.055803
17	13.85641	4.44359	3.877318	3.100507	2.449273	1.957407
19	13.85641	4.44359	3.97	3.25	2.62	2.13
21	13.85641	4.44359	4.025946	3.349992	2.735269	2.238101
22.5	13.85641	4.44359	4.050371	3.390129	2.781273	2.283732
13	15.31212	2.98788	2.089607	1.29	0.868	0.593
15	15.33243	2.967568	2.279188	1.607254	1.162894	0.854696
17	15.8359	2.464103	1.96388	1.444949	1.065486	0.788073
19	15.8359	2.464103	2.070708	1.590881	1.209755	0.920374
21	15.8359	2.464103	2.1347	1.680462	1.30063	1.004726
22.5	15.8359	2.464103	2.160182	1.716619	1.337784	1.03943
15	17.8054	0.494595	0.177241	-0.01133	-0.13595	-0.22371
17	18.31026	-0.01026	-0.10892	-0.20675	-0.28121	-0.34027
19	18.31026	-0.01026	-0.07843	-0.16821	-0.24191	-0.30207
21	18.31026	-0.01026	-0.06315	-0.14778	-0.22135	-0.28276
22.5	18.31026	-0.01026	-0.05782	-0.14042	-0.21401	-0.27601
17	19.3	-1	-1.00042	-1.00329	-1.00945	-1.01875
19	19.3	-1	-1.00021	-1.00228	-1.00731	-1.01532
21	19.3	-1	-1.00016	-1.00186	-1.00629	-1.01365
22.5	19.3	-1	-1.00014	-1.00172	-1.00597	-1.01314
24	19.3	-1	-1.00016	-1.00192	-1.0064	-1.01371