

## 摘要

非正交曲線座標顯式有限解析法動床模式之特點為：(1) 引介貼壁座標系統，以描述天然河道不規則變化的邊界；(2) 引介有限解析法，此一方法有別於習見之有限差分法或有限元素法，該法原應用在流力問題上且成果甚佳；(3) 輸砂通量考量非均勻沉滓之懸浮載及河床載運移，以及兩者間交換之機制。

為使此水平二維動床模式功能更趨完備，以符合台灣河川治理規劃之需，本研究延續模式既有架構，發展具模擬河道岸壁側向變遷之功能，以便較正確掌握河道或渠道在水流作用下之垂向沖淤與側向變遷之行為。目前已建制完畢之側向變遷機制計有非凝聚性沈滓之岸壁沖刷機制及凝聚性沈滓之圓弧及平面崩坍機制。

經由測試案例模擬發現上游入流量對於非凝聚性沈滓之岸壁沖刷影響較大；岸壁土壤臨界剪應力則是對於凝聚性沈滓之圓弧及平面崩坍機制影響較大。現地模擬案例常遭遇乾濕互見之渠槽底床，目前能針對河道幾何變化未較複雜者進行模擬，未來可朝此問題再做深入探討，以增加模式之實用性。

# ABSTRACT

The special features of the 2-D explicit finite analytic depth-averaged mobile bed numerical model derived on non-orthogonal curvilinear coordinate system include: (1) the development of a generalized body-fitted coordinate system to describe the irregular boundary of natural river; (2) the adoption of the finite-analytic method, which is different from the common finite-difference or finite-element method, and is originally proposed for solving the fluid-mechanics problems with great success; (3) non-uniform sediment transport in form of suspended and bed load, with the consideration of exchange mechanic between them.

In order to expand the model applicability, the study established lateral bank migration mechanics in the previous framework. The established mechanics would clarify the later mobile migration behavior. The model had developed bank erosion mechanism of non-cohesive sediment and rotational and planar failure mechanisms of cohesive sediment.

Through the simulation of testing cases, it had shown that the upstream water discharge played an important role in the bank erosion mechanism of non-cohesive sediment, while the soil critical shear stress had most effect in the rotational and planar failure mechanisms of cohesive sediment. In the simulation of practical cases, it had suffered enormous challenge of alternative dry and wet bed problem. At the present time, the model could simulate the cases of less complex channel morphology. It is suggested to pay more attentions to this problem to enhance the model practicability.

# 目 錄

摘要 .....	I
Abstract .....	II
目 錄 .....	III
表目錄 .....	VI
圖目錄 .....	VII
符號表 .....	XIV
一、緒論 .....	1
1.1 研究目的 .....	1
1.2 文獻回顧 .....	1
1.3 研究方法 .....	2
1.4 章節內容 .....	4
二、水理及輸砂模式 .....	7
2.1 水理控制方程式 .....	7
2.1.1 非正交曲線座標系統控制方程式 .....	8
2.1.2 時間平均控制方程式 .....	9
2.1.3 水深平均控制方程式 .....	9
2.1.4 底床剪應力 .....	12
2.2 水理數值模式 .....	12
2.3 邊界條件 .....	17
2.4 輸砂控制方程式 .....	17
2.5 輸砂輔助關係式 .....	18
2.5.1 河床載通量 (bedload flux, $\check{q}_b$ ) .....	18
2.5.2 懸浮載源 (S).....	20

2.5.3	作用層厚度 ( $E_m$ ) .....	21
2.5.4	作用層源 .....	22
2.6	輸砂數值模式 .....	22
2.6.1	結合演算之理由與方法 .....	23
2.6.2	河床載質量守恆方程式之離散化 .....	24
2.6.3	懸浮載質量守恆方程式之離散化 .....	24
2.6.4	結合演算法 .....	25
2.7	模式演算流程 .....	26
三、	非凝聚性岸壁沖刷機制 .....	28
3.1	岸壁沖刷所致之河床載輸運 .....	28
3.2	岸壁沖刷率方程式 .....	30
3.3	岸壁沖刷率方程式之應用 .....	31
3.4	測試案例 .....	32
四、	凝聚性岸壁沖刷機制 .....	35
4.1	岸壁沖刷主要因素 .....	35
4.2	圓弧崩坍 .....	36
4.3	平面崩坍 .....	37
4.4	測試案例 .....	38
五、	實例模擬 .....	42
5.1	背景說明 .....	42
5.2	模式演算輸入參數 .....	42
5.3	模擬結果 .....	45
六、	結論與建議 .....	46
6.1	結論 .....	46
6.2	建議 .....	47
	參考文獻 .....	49

附錄一 非正交水深平均控制方程式 .....	58
附錄二 輸砂控制方程式 .....	63
作者簡歷 .....	163



## 表目錄

表1 阿公店溪各計畫斷面相關資料表 .....	66
表2 阿公店溪各斷面代表粒徑組成百分比 .....	68
表3 阿公店溪河口100年頻率潮位資料 .....	69



## 圖目錄

圖 1 EFA 模式之特性線運動軌跡 .....	71
圖 2 交錯式計算格點 .....	71
圖 3 EFA 模式演算流程 .....	72
圖 4 近岸動量平衡情形 .....	73
圖 5 近岸輸砂通量平衡情形 .....	73
圖 6 岸壁前進 (或後退) 之距離 .....	74
圖 7 原始底床高程 .....	74
圖 8 10 分鐘後底床高程 (使用岸壁沖刷機制) .....	75
圖 9 20 分鐘後底床高程 (使用岸壁沖刷機制) .....	75
圖 10 30 分鐘後底床高程 (使用岸壁沖刷機制) .....	76
圖 11 40 分鐘後底床高程 (使用岸壁沖刷機制) .....	76
圖 12 50 分鐘後底床高程 (使用岸壁沖刷機制) .....	77
圖 13 60 分鐘後底床高程 (使用岸壁沖刷機制) .....	77
圖 14 10 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=3000\text{ppm}$ ) ..	78
圖 15 20 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=3000\text{ppm}$ ) ..	78
圖 16 30 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=3000\text{ppm}$ ) ..	79
圖 17 40 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=3000\text{ppm}$ ) ..	79
圖 18 50 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=3000\text{ppm}$ ) ..	80
圖 19 60 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=3000\text{ppm}$ ) ..	80
圖 20 10 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=6000\text{ppm}$ ) ..	81
圖 21 20 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=6000\text{ppm}$ ) ..	81
圖 22 30 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=6000\text{ppm}$ ) ..	82
圖 23 40 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=6000\text{ppm}$ ) ..	82
圖 24 50 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=6000\text{ppm}$ ) ..	83
圖 25 60 分鐘後底床高程 (非凝聚性沈滓, $c=6000\text{ppm}$ ) ..	83

圖 26	10分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.2\text{mm}$ )	....84
圖 27	20分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.2\text{mm}$ )	....84
圖 28	30分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.2\text{mm}$ )	....85
圖 29	40分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.2\text{mm}$ )	....85
圖 30	50分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.2\text{mm}$ )	....86
圖 31	60分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.2\text{mm}$ )	....86
圖 32	10分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.8\text{mm}$ )	....87
圖 33	20分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.8\text{mm}$ )	....87
圖 34	30分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.8\text{mm}$ )	....88
圖 35	40分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.8\text{mm}$ )	....88
圖 36	50分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.8\text{mm}$ )	....89
圖 37	60分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $d=0.8\text{mm}$ )	....89
圖 38	10分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=0.95\text{cms/m}$ )	90
圖 39	20分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=0.95\text{cms/m}$ )	90
圖 40	30分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=0.95\text{cms/m}$ )	91
圖 41	40分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=0.95\text{cms/m}$ )	91
圖 42	50分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=0.95\text{cms/m}$ )	92
圖 43	60分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=0.95\text{cms/m}$ )	92
圖 44	10分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=1.05\text{cms/m}$ )	93
圖 45	20分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=1.05\text{cms/m}$ )	93
圖 46	30分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=1.05\text{cms/m}$ )	94
圖 47	40分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=1.05\text{cms/m}$ )	94
圖 48	50分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=1.05\text{cms/m}$ )	95
圖 49	60分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱, $q=1.05\text{cms/m}$ )	95
圖 50	原始底床高程 .....	96
圖 51	10分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱) .....	97
圖 52	20分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱) .....	97



圖 53 30分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱) .....	98
圖 54 40分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱) .....	98
圖 55 50分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱) .....	99
圖 56 60分鐘後底床高程 (非凝聚性沈澱) .....	99
圖 57 岸壁幾何形狀示意圖 (圓弧崩坍) .....	100
圖 58 岸壁幾何形狀示意圖 (平面崩坍) .....	100
圖 59 原始底床高程 .....	101
圖 60 10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制) .....	101
圖 61 20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制) .....	102
圖 62 30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制) .....	102
圖 63 40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制) .....	103
圖 64 50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制) .....	103
圖 65 60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制) .....	104
圖 66 底床高程變化情形 (圓弧崩坍機制) .....	104
圖 67 10分鐘後底床高程 (平面崩坍機制) .....	105
圖 68 20分鐘後底床高程 (平面崩坍機制) .....	105
圖 69 30分鐘後底床高程 (平面崩坍機制) .....	106
圖 70 40分鐘後底床高程 (平面崩坍機制) .....	106
圖 71 50分鐘後底床高程 (平面崩坍機制) .....	107
圖 72 60分鐘後底床高程 (平面崩坍機制) .....	107
圖 73 底床高程變化情形 (平面崩坍機制) .....	108
圖 74 10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=3000\text{ppm}$ )	109
圖 75 20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=3000\text{ppm}$ )	109
圖 76 30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=3000\text{ppm}$ )	110
圖 77 40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=3000\text{ppm}$ )	110
圖 78 50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=3000\text{ppm}$ )	111
圖 79 60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=3000\text{ppm}$ )	111

圖 80	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=6000\text{ppm}$ )	112
圖 81	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=6000\text{ppm}$ )	112
圖 82	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=6000\text{ppm}$ )	113
圖 83	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=6000\text{ppm}$ )	113
圖 84	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=6000\text{ppm}$ )	114
圖 85	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $c=6000\text{ppm}$ )	114
圖 86	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}+25\%$ )	... 115
圖 87	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}+25\%$ )	... 115
圖 88	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}+25\%$ )	... 116
圖 89	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}+25\%$ )	... 116
圖 90	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}+25\%$ )	... 117
圖 91	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}+25\%$ )	... 117
圖 92	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}-25\%$ )	.. 118
圖 93	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}-25\%$ )	.. 118
圖 94	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}-25\%$ )	.. 119
圖 95	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}-25\%$ )	.. 119
圖 96	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}-25\%$ )	.. 120
圖 97	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\gamma_{bank}-25\%$ )	.. 120
圖 98	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}+25\%$ )	... 121
圖 99	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}+25\%$ )	... 121
圖 100	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}+25\%$ )	.. 122
圖 101	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}+25\%$ )	.. 122
圖 102	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}+25\%$ )	.. 123
圖 103	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}+25\%$ )	.. 123
圖 104	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}-25\%$ )	. 124
圖 105	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}-25\%$ )	. 124
圖 106	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh}-25\%$ )	. 125

圖 107	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh} - 25\%$ )	.125
圖 108	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh} - 25\%$ )	.126
圖 109	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $C_{coh} - 25\%$ )	.126
圖 110	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi + 25\%$ )	.... 127
圖 111	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi + 25\%$ )	.... 127
圖 112	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi + 25\%$ )	.... 128
圖 113	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi + 25\%$ )	.... 128
圖 114	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi + 25\%$ )	.... 129
圖 115	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi + 25\%$ )	.... 129
圖 116	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi - 25\%$ )	... 130
圖 117	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi - 25\%$ )	... 130
圖 118	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi - 25\%$ )	... 131
圖 119	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi - 25\%$ )	... 131
圖 120	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi - 25\%$ )	... 132
圖 121	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\phi - 25\%$ )	... 132
圖 122	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c + 10\%$ )	... 133
圖 123	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c + 10\%$ )	... 133
圖 124	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c + 10\%$ )	... 134
圖 125	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c + 10\%$ )	... 134
圖 126	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c + 10\%$ )	... 135
圖 127	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c + 10\%$ )	... 135
圖 128	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c - 10\%$ )	... 136
圖 129	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c - 10\%$ )	... 136
圖 130	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c - 10\%$ )	... 137
圖 131	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c - 10\%$ )	... 137
圖 132	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c - 10\%$ )	... 138
圖 133	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制, $\tau_c - 10\%$ )	... 138

圖 134	10分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c+10\%$ )	... 139
圖 135	20分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c+10\%$ )	... 139
圖 136	30分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c+10\%$ )	... 140
圖 137	40分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c+10\%$ )	... 140
圖 138	50分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c+10\%$ )	... 141
圖 139	60分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c+10\%$ )	... 141
圖 140	10分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c-10\%$ )	... 142
圖 141	20分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c-10\%$ )	... 142
圖 142	30分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c-10\%$ )	... 143
圖 143	40分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c-10\%$ )	... 143
圖 144	50分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c-10\%$ )	... 144
圖 145	60分鐘後底床高程 (平面崩坍機制, $\tau_c-10\%$ )	... 144
圖 146	10分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制)	..... 145
圖 147	20分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制)	..... 145
圖 148	30分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制)	..... 146
圖 149	40分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制)	..... 146
圖 150	50分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制)	..... 147
圖 151	60分鐘後底床高程 (圓弧崩坍機制)	..... 147
圖 152	10分鐘後底床高程 (平面崩坍機制)	..... 148
圖 153	20分鐘後底床高程 (平面崩坍機制)	..... 148
圖 154	30分鐘後底床高程 (平面崩坍機制)	..... 149
圖 155	40分鐘後底床高程 (平面崩坍機制)	..... 149
圖 156	50分鐘後底床高程 (平面崩坍機制)	..... 150
圖 157	60分鐘後底床高程 (平面崩坍機制)	..... 150
圖 158	阿公店溪 (中、下游段) 計畫河道標準橫斷面圖 (1/3)	..... 151

圖 158 阿公店溪（中、下游段）計畫河道標準橫斷面圖 （2/3） .....	152
圖 158 阿公店溪（中、下游段）計畫河道標準橫斷面圖 （3/3） .....	153
圖 159 阿公店溪斷面位置示意圖 .....	154
圖 160 阿公店溪初始底床高程 .....	155
圖 161 阿公店水庫各頻率年之入放流量（更新改善前） 摘自「高雄縣土庫排水系統」 .....	156
圖 162 水庫更新後各頻率年洪水之放流歷線 .....	157
圖 163 高雄港第二港口民國76年6月上旬之天文潮位曲 線 .....	158
圖 164 防淤操作後底床高程（20小時） .....	159
圖 165 防淤操作後底床高程（40小時） .....	159
圖 166 防淤操作後底床高程（60小時） .....	160
圖 167 防淤操作後底床高程 .....	160
圖 168 防淤操作前底床高程（20小時） .....	161
圖 169 防淤操作前底床高程（40小時） .....	161
圖 170 防淤操作前底床高程（60小時） .....	162
圖 171 防淤操作前底床高程 .....	162



## 符號表

$a$  = 沙丘高度之一半

$BW$  = 崩坍後岸壁頂部之拓寬量

$b$  = 滑落土體的寬度

$b_s$  = 比例係數

$C$  = 某一代表粒徑之懸浮質濃度(上標 $\bar{\quad}$ 代表水深平均之物理量)

$C$  = Chezy係數

$c = \sqrt{gh}$  為擾動波傳遞的速度

$c = 18 \log\left(\frac{12d}{3D_{90}}\right)$  為顆粒蔡司係數

$C_{coh}$  = 土壤黏性係數

$C_k$  = 顆粒 $k$ 之深度平均濃度。

$d$  = 水深

$dr$  = 控制體積之寬度

$D_{*k} = D_k \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{\frac{1}{3}}$  為無因次顆粒粒徑

$D_m$  = 不產生移動的最小顆粒粒徑

$D/Dt$  = 對於時間之全微分運算

$E_m$  =作用層厚度

$F$  =體力 (body force) 向量

$FS_p$  =平面崩坍安全因子

$FS_r$  =圓弧崩坍安全因子

$FD$  =土體崩坍的下滑驅動力

$FR$  =抵抗土體崩坍的摩擦力

$f$  =Darcy-Weisbach摩擦係數

$\bar{f}$  =函數 $f$ 在 $Z_b$ 至 $Z_s$ 間的平均值

$g^{mm}$  =公制係數 (metric coefficient)

$H$  =岸壁高度

$H'$  =未發生沖刷之岸壁高度

$h_b$  =近岸水深

$\dot{h}_b$  =岸壁底床沖刷率

$K$  =懸浮質擴散係數

$K_{tci}$  =張力裂縫指標

$LE$  =橫向沖刷速率

$m$  =累加指標



$N$  = 常數(定義為  $\kappa\sqrt{\frac{8}{f}}$ )

$P$  = 壓力

$p$  = 孔隙率

$\bar{q}_b$  = 河床載通量

$\bar{q}_s$  = 懸浮質之擴散通量(flux)  $\bar{q}_b$

$q_s^b$  = 近岸縱向河床載通量

$q_r^{b'}$  = 近岸側向河床載通量

$q_r^{b''}$  = 重力所引起之側向河床載通量

$r$  = 曲率半徑

$r_{deg}$  = 起始土體沖刷速率

$S$  = 懸浮載資源項(source term)

$s = \frac{\rho_s}{\rho}$  為砂比重

$S_f$  = 作用層底部資源項

$S_d$  = 因非線性移流項進行水深積分而產生之延散項

$S_p$  = 靜水壓產生之傳播項

$S_{fri}$  = 水流與固體邊界作用之摩擦項





$S_t$  = 紊流項

$S_c$  = 層流黏滯項

$S_{ox}$  = 底床坡降；

$S_{fx}$  = 能量坡降

$t$  = 時間

$TK$  = 非均勻沉澱之代表粒徑數

$T_k = \frac{V_*^2 - (u_{*c})_k^2}{(u_{*c})_k^2}$  為輸送參數

$u$  = 主流流速

$\bar{u}$  = 水深平均之主流流速

$u_l$  = 縱向速度分量

$u_w$  = 土體基腳處之孔隙水壓

$u_{*c}$  = 臨界剪應力

$\bar{u}_{ns}$  = 自由水面處之二次流流速

$V$  = 速度向量

$V_f$  = 崩坍岸壁的體積

$v$  = 側向流速

$v_r$  = 側向速度分量



$\bar{v}_* = \frac{\bar{v} \sqrt{g}}{c}$  為有效河床剪力速度

$\bar{v}$  =水深平均之淨側向流速

$\overline{v^i v^m}$  =表示雷諾剪應力項

$W_s$  =土體的重量

$W_t$  =崩坍土體的重量

$y_d$  =張力裂縫深度

$Z_b$  =底床高程

$Z_s$  =水面高程

$\phi$  =流場變數

$\phi_{res}$  =安息角

$\phi_{fri}$  =土壤摩擦角

$\alpha$  =岸壁傾斜角度

$\alpha_{rat}$  =上升(lift)係數與阻抗(drag)係數之比值

$\beta$  =底床剪力與流場主流方向之偏差角

$\beta_2$  =岸壁側向角度

$\beta_p$  =崩坍平面傾角

$\beta_{dis}$  =作用層內某一代表粒徑之組成百分比



$\gamma$  = 岸壁土體比重

$\Delta t_{bank}$  = 岸壁沖刷時距

$\delta$  = 距離底床之高程

$K$  = von Karman係數

$\mu$  = 動力黏滯係數

$\mu_{fri}$  = 摩擦係數

$\nu$  = 運動滯度

$\rho$  = 流體密度

$\rho_s$  = 沉滓密度

$\tau$  = 作用在岸壁上之流體剪應力

$\tau_b$  = 作用於岸壁上之剪應力

$\tau_c$  = 岸壁土體之臨界剪應力

$\tau_l$  = 摩擦剪應力

$\tau_*$  = 無因次剪應力

$\tau_{*c}$  = 無因次臨界剪應力

$w_{lk}$  = 顆粒向上躍起之速度

下標  $s$  = 代表在自由水面位置

下標  $car$  = 代表在代表卡氏座標系統中

下標  $cur$  = 代表在一般曲線座標系統中。

