

澳門特別行政區政府
GOVERNO DA REGIÃO ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE MACAU

土地工務運輸局
DIRECÇÃO DOS SERVIÇOS DE SOLOS, OBRAS PÚBLICAS E TRANSPORTES

“改善氹仔雨水排水系統” 的研究
ESTUDO DO "MELHORAMENTO DA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL DA
TAIPA"

❧ 最終研究方案報告 Relatório do Estudo Final ❧



I. 引言

隨著基本研究方案核准後，本報告將跟進後續工作，分析內容如下：

- 水浸日子資料之分析；
- 現有雨水下水道排水能力分析；
- 現有泵房排水能力分析；
- 根據氹仔建設的變化按不同滲流系數進行場景模擬；
- 集水面積對水浸的影響；
- 提升雨水下水道排水能力的改善/緩解及解決方案；
- 改善/緩解水浸及解決方案 (包括山體截流及遷移或擴建泵房)。

II. 雨水排水網絡簡介

在細部探討在引言提出的各部份前，本章節先探討雨水排水網絡的組成部份與運作，以便在往後的章節中更容易理解相關問題。

雨水排水網絡一般由重力流方式的管網系統，泵房系統及排水口組成，在管網系統設計中，管道 (在非滿管情況下) 排水能力必須大於設計流量，而在泵房系統中，若泵房水泵瞬間排水能力低於設計流量，則需備有集水設施以便臨時儲存雨水，排水口則需高於潮汐以便符合自流排水的要求。

II.1. 降雨強度

在澳門供排水規章 (RADARM) 中，定出了以下降雨強度計算方法 (詳情參考 RADARM 第七十二條)：

$$I = a t^b \quad (1)$$

其中：

I - 降雨強度

a, b - 回歸週期參數

t - 降雨歷時 (流入時間與流過時間之總計)

II.2. 設計流量

透過以下廣泛應用的 *Rational Formula* 可計算出設計流量：

$$Q_d = C I A \quad (2)$$

其中：

Q_d - 設計流量

C - 逕流係數 (詳請參考 RADARM 第七十三條)

I - 降雨強度

A - 集水面積

綜合 (1) 和 (2)，可以得出：

$$Q_d = C a t^b A \quad (3)$$

II.3. 管道 (在非滿管情況下) 排水能力

透過以下曼寧經驗公式 (*Manning Formula*) 可以估算管網中各管道的排水能力。

$$Q_c = K A_p R_h J^{1/2} \quad (4)$$

其中：

Q_c - 排水能力

K - 管道物料摩擦係數(75 $m^{1/3}/s$ 用於混凝土；110 $m^{1/3}/s$ 用於 PVC)

A_p - 管道內排水面積

R_h - 水力半徑

J - 水力坡線或是線性揚程損失的斜率，在計算中其值等於管道的斜率 i

基於以上各參數均為現有管網資料 (不變)，故此管網能否滿足 $Q_c > Q_d$ ，就建基於 Q_d ：

$$Q_d = C a t^b A \quad (3)$$

同時因為 a, b 為回歸週期參數(詳請參考 RADARM 第七十四條，建議使用 10 年作為回歸週期)，所以逕流係數(C)，降雨歷時 (t)，集水面積 (A) 為設計流量的主要變數。

II.4. 泵房排水能力

同管網一樣，泵房排水能力為一現有資料 (不變)，故此泵房排水能力能否 $> Q_d$ 的結論跟 II.3 一樣 - 取決於逕流係數(C)，降雨歷時 (t) 和集水面積 (A)。

II.5. 排水口排水能力

排水口排水能力隨著潮汐高低而變化，當排水口低於潮汐時，相關排水能力將減少，故此排水口排水能力能否 $> Q_d$ 取決於取決於逕流係數(C)，降雨歷時 (t)，集水面積(A)和潮汐高低。

II.6. 水浸

當管道 (在非滿管情況下) 排水能力，或泵房排水能力，或排水口排水能力不足時，雨水不能有效排出，從而產生積水，繼而水浸。而相關的積水體積量可由以下方程式表達：

$$V = (Q_d - Q_c) t \quad (5)$$

其中：

V - 積水體積量

Q_d - 設計流量

Q_c - 排水能力

t - 降雨歷時

綜合 (3) 和 (5)，可以得出：

$$V = (C a t^b A - Q_c) t \quad (6)$$

從式 (6) 得知，逕流係數 (C)，降雨歷時 (t)，集水面積 (A) 的增加，積水體積量 (V) 隨之增加。同時降雨歷時 (t) 越長水浸情況更加嚴重。

透過以 t 來微分方程式 (6)，可了解 V 與 t 的變化，如以下方程式。

$$V' = C a (b + 1) t^{b-1} A - Q_c \quad (7)$$

若受阻程度越大， Q_c 越少時， $V' > 0$ ，也是說，V 隨著 t 而增長。

排水系統能否備有足夠排水能力，繼而避免水浸的發生取決於逕流係數 (C)，降雨歷時 (t)，集水面積 (A) 和潮汐高低，如下表：

表 1 - 影響排水能力的各項因數

項目	逕流係數 (C)	降雨歷時 (t)	集水面積 (A)	潮汐
管道	Yes	Yes	Yes	No
泵房	Yes	Yes	Yes	No
排水口	Yes	Yes	Yes	Yes
水浸	Yes	Yes	Yes	Yes

III. 雨水排水網絡分析

III.1. 水浸日子資料之分析

透過新聞搜尋和天文台暴雨記錄，由 2008 到 2013 年，共找到 11 次水浸記錄，如下表：

表 2 - 水浸記錄

項	水浸時間 (報章或天文台暴雨記錄)	降雨時間 (min)	降雨量 (mm)	最大降雨強度 (mm/h)					最高潮汐 (時間) (m MSL)	備註
				5 min	10 min	30 min	60 min	120 min		
1	2008-06-06 11:00 - 12:45	927	186	96	88	50	33	23	1.56 (11:00)	---
2	2008-10-05 02:20 - 08:00	130	63	73	68	48	35	31	0.93 (01:00)	---
3	2009-04-25 06:50 - 10:30	351	114	82	79	69	55	34	0.86 (08:00)	---
4	2009-05-23 14:00 - 15:10	767	126	93	86	73	63	38	1.08 (07:00)	---
5	2009-09-15 00:00 - 09:30	407	50	23	21	18	15	12	2.43 (03:00)	天文潮
6	2010-06-09 09:05 - 11:00	148	120	100	99	85	76	59	0.80 (07:40)	---
7	2012-07-25 03:10 - 05:00	309	61	50	48	41	31	22	0.91 (02:00)	---
8	2013-05-08 19:00 - 20:45	232	117	103	98	75	67	52	0.46 (20:00)	降雨由 16:30 開始
9	2013-05-22 05:00 - 10:00	---	---	---	---	---	---	---	0.72 (06:00)	沒有降雨記錄
10	2013-05-25 08:20 - 11:45	334	89	92	88	68	51	33	1.26 (08:00)	---
11	2013-06-24 06:45 - 11:45	310	159	90	79	58	55	50	1.37 (09:00)	---

參看上表，降雨時間一般大於 120 分鐘，在排水口受阻時，而相受阻程度大時，積水體積量會隨時間增加。

在同一時期，可找到其他降雨比較大 (歷時> 60 min，降雨量> 30 mm，10 min 最大降雨強度> 100 mm/h 或 60 min 最大降雨強度> 70 mm/h)的記錄，但都沒有發生水浸情況，如下表：

表 3 - 其他降雨比較大記錄但沒有發生水浸得降雨記錄

項	降雨記錄	降雨歷時 (min)	降雨量 (mm)	最大降雨強度 (mm/h)					最高潮汐 (時間) (m MSL)	備註
				5 min	10 min	30 min	60 min	120 min		
1	2008-04-19 15:17 - 17:05	109	52	65	53	37	34	---	0.19 (17:00)	---
2	2008-05-29 07:19 - 07:42	24	27	115	100	---	---	---	0.14 (07:19)	---

項	降雨記錄	降雨 歷時 (min)	降雨 量 (mm)	最大降雨強度 (mm/h)					最高潮汐 (時間) (m MSL)	備註
				5 min	10 min	30 min	60 min	120 min		
3	2008-05-30 14:53 - 15:36	44	35	70	64	55	---	---	0.21 (15:36)	---
4	2008-06-07 05:27 - 06:35	49	40	77	71	58	---	---	0.08 (06:35)	---
5	2008-06-07 19:30 - 20:24	55	40	82	56	47	---	---	-0.91 (19:30)	---
6	2008-06-14 00:51 - 01:38	48	33	86	72	50	---	---	-0.09 (01:38)	---
7	2008-06-25 05:37 - 10:20	284	107	50	46	37	29	25	0.17 (10:20)	---
8	2008-07-10 07:19 - 08:25	67	42	91	86	52	40	---	0.13 (07:19)	---
9	2008-07-12 00:53 - 01:09	17	23	132	113	---	---	---	0.10 (01:09)	---
10	2009-03-05 15:02 - 15:11	10	20	218	121	---	---	---	0.80 (15:02)	---
11	2009-06-09 10:06 - 10:41	36	34	103	88	63	---	---	1.21 (10:06)	---
12	2010-04-29 14:34 - 14:58	25	22	120	101	---	---	---	-0.32 (14:34)	---
13	2010-05-19 15:05 - 16:14	70	36	65	48	35	32	---	0.60 (15:05)	---
14	2010-06-10 01:40 - 03:32	113	112	127	115	94	79	---	0.14 (03:32)	---
15	2010-09-09 01:17 - 01:48	32	27	127	107	53	---	---	0.37 (01:48)	---
16	2010-09-11 00:03 - 01:26	84	102	144	131	112	91	---	0.87 (00:03)	開起時，潮 汐已是高位
17	2010-09-11 05:25 - 05:48	24	26	106	101	---	---	---	-0.83 (05:25)	---
18	2011-08-09 08:05 - 09:01	57	39	82	77	57	---	---	0.55 (08:05)	---
19	2011-10-14 09:43 - 10:43	61	21	34	29	25	21	---	0.43 (10:43)	---
20	2012-08-10 13:49 - 14:29	41	50	98	89	79	---	---	-0.12 (13:49)	---
21	2013-09-04 06:54 - 08:32	99	106	134	125	113	93	---	0.96 (08:00)	開起時，潮 汐已是高位
22	2013-09-04 16:44 - 18:19	96	80	84	76	67	57	---	-0.07 (16:44)	---

降雨強度並非唯一決定水浸與否的參數，透過分析下圖（按照現有水浸及降雨數據，在下圖繪出了一條分界線，以便了解水浸發生與潮汐和降雨強度的相互關係），更可知水浸發生與潮汐和降雨強度有以下相互關係：

- 在降雨強度大時，儘管潮汐較低，水浸會發生。

- 在潮汐高時，儘管降雨強度較低，水浸會發生。

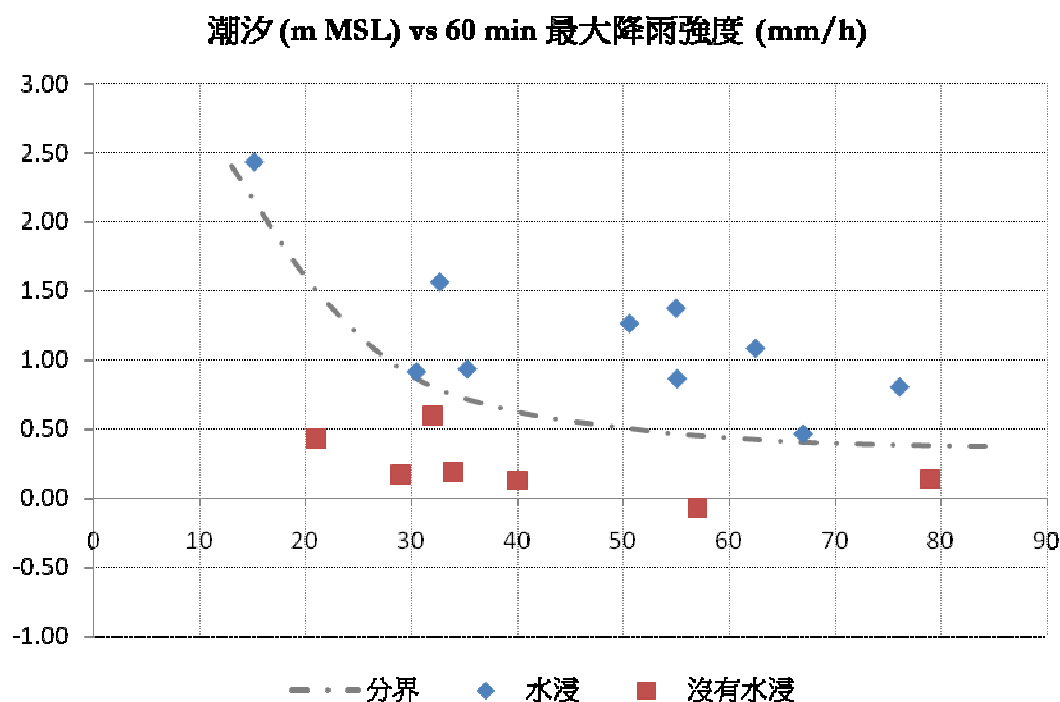


圖 1 - 潮汐與 60 min 最大降雨強度之比較

故此，若想知道水浸會否發生，必須同時考慮潮汐及降雨強度才能作出一個評估，考慮大雨的情況下，並不會每次也出現水浸情況，因此，考慮降雨比較大的同時，還需要考慮潮汐對排水口排水之影響。

III.2. 現有雨水下水道排水能力分析

本次研究的主要目的 - 分析水浸問題及提供改善方案，儘管選用一個比較長的降雨歷時，降雨強度會相對降低，但長降雨歷時會產生更大的雨水量，因為越大降雨歷時，雨水積水量會相對較大。

另一方面，當潮汐高位時，會阻礙雨水出水口正常排放雨水，因此不可只單靠升級雨水下水道管徑來改善水浸情況。

本研究進行了管網排水能力分析，結果如下：

在分析計算結果時，低於 RADARM 第七十七條建議的 0.30 %，經細看氹仔地貌，一般填海地地面標高 $\sim +3.5$ mMSL，排水口平水 ~ -1.0 mMSL，0.7 m 覆土及 ~ 2000 m 排水距離，800 mm 管道直徑的情況下，斜率為 0.20%。故此，有部份管道斜率會出現少於 0.3%-之情況。

下圖表示排水能力 Q_c 與管道斜率 i 的關係，透過下圖可以看到低斜率 (0.20% 以下) 時 Q_c 會大幅下降，故此，當遇到管道排水能力不足及低斜率時，所建議的升級管道的直徑都頗大。特別指出，相關情況為一氹仔地貌問題，因本身路面標高不高，而無法用一個較高斜率鋪設管道，因高斜率會使到排水口行水更低，這個問題需在填海規劃時採用一個較高的路面標高 (最新的 A 區填海已採用了 +4.50 mMSL 作為路面標高)。

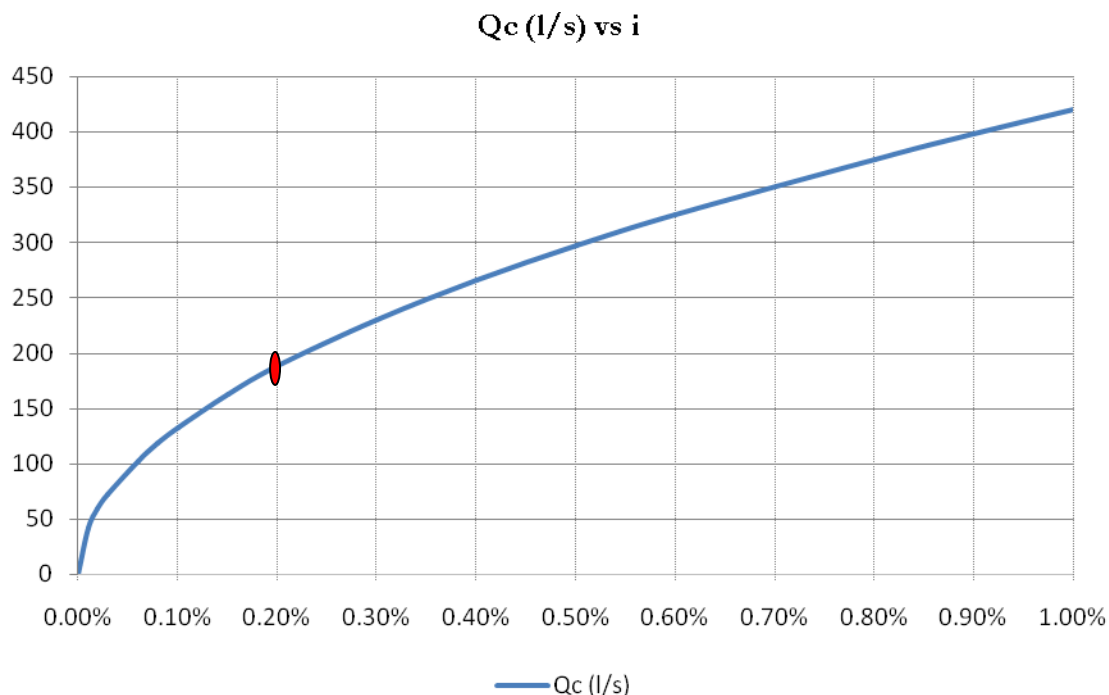


圖 2 - 管道排水能力 (Q_c) 與其斜率 (i) 的關係

III.3. 現有泵房排水能力分析

氹仔現有一個雨水泵房(排角泵房)，其相關排水能力比氹仔現況所需的設計流量不足。同時根據相關泵房設計概念，泵房只作緩解之用，因為原排角泵房的功能定位 – 只是舒緩水浸情況，並不能完全解決氹仔地區之水浸問題。

III.4. 根據氹仔建設的變化按不同滲流系數進行場景模擬

在第 II 章節中，已知逕流係數 (C)，降雨歷時 (t)，集水面積 (A) 為評估排水能力不足的重要參數，本點將會把焦點放在逕流係數 (C)。

透過分析氹仔歷年的施工準照，把 2005 到 2013 年適合的逕流係數 (C) 定下來 (沒有建築物， $C = 0.6$ ，有建築物， $C = 0.9$)，同時模擬了 $C = 1.0$ 的情況，而相關情況反映在經過多場大雨時，土壤已全部飽和且失去了透水能力，持續大雨對設計流量 (Q_d) 具有負面影響。

整體而言，透過參看下表列出的進入涵箱的各個視察井及排水口的設計集水面積變化，計算出的 C 變化相對小，因新落成的建築物佔地面積比所處的原有集水面積相對小，但在區域性方面，尤指 TN27 的落成，則會對週邊造成較大影響。

表 4 - 進入涵箱的各個視察井及排水口的設計集水面積之變化 (有變化)

年	視察井	排放到涵箱/排水口	幾何集水面積	計算集水面積	C
(---)	(---)	(---)	(m2)	(m2)	(---)
All1	C47.002	BO 09	67,147.3	67,147.3	1.00
2014	C47.002	BO 09	67,147.3	60,432.6	0.90
2013	C47.002	BO 09	67,147.3	60,432.6	0.90
2012	C47.002	BO 09	67,147.3	60,432.6	0.90
2011	C47.002	BO 09	67,147.3	60,432.6	0.90
2010	C47.002	BO 09	67,147.3	59,496.9	0.89
2009	C47.002	BO 09	67,147.3	59,496.9	0.89
2008	C47.002	BO 09	67,147.3	59,496.9	0.89
2007	C47.002	BO 09	67,147.3	59,337.0	0.88
2006	C47.002	BO 09	67,147.3	59,337.0	0.88
All1	C49.000A	BO 11	92,270.9	92,270.9	1.00
2014	C49.000A	BO 11	92,270.9	83,043.8	0.90
2013	C49.000A	BO 11	92,270.9	83,043.8	0.90
2012	C49.000A	BO 11	92,270.9	82,666.0	0.90
2011	C49.000A	BO 11	92,270.9	82,561.1	0.89
2010	C49.000A	BO 11	92,270.9	82,561.1	0.89
2009	C49.000A	BO 11	92,270.9	82,475.5	0.89
2008	C49.000A	BO 11	92,270.9	82,475.5	0.89
2007	C49.000A	BO 11	92,270.9	82,475.5	0.89
2006	C49.000A	BO 11	92,270.9	82,475.5	0.89
All1	C50.001	BO 14	509,690.2	482,529.0	0.95
2014	C50.001	BO 14	482,529.0	434,276.1	0.90
2013	C50.001	BO 14	482,529.0	434,276.1	0.90
2012	C50.001	BO 14	482,529.0	434,251.8	0.90
2011	C50.001	BO 14	482,529.0	433,146.8	0.90
2010	C50.001	BO 14	482,529.0	433,047.2	0.90
2009	C50.001	BO 14	482,529.0	432,472.8	0.90
2008	C50.001	BO 14	482,529.0	432,203.4	0.90
2007	C50.001	BO 14	482,529.0	432,042.0	0.90
2006	C50.001	BO 14	482,529.0	427,386.7	0.89
All1	C31.001	Outlet 26	76,442.6	76,442.6	1.00
2014	C31.001	Outlet 26	76,442.6	68,798.3	0.90
2013	C31.001	Outlet 26	76,442.6	68,798.3	0.90
2012	C31.001	Outlet 26	76,442.6	68,798.3	0.90
2011	C31.001	Outlet 26	76,442.6	66,484.8	0.87

年	視察井	排放到涵箱/排水口	幾何集水面積	計算集水面積	C
(---)	(---)	(---)	(m2)	(m2)	(---)
2010	C31.001	Outlet 26	76,442.6	66,484.8	0.87
2009	C31.001	Outlet 26	76,442.6	66,484.8	0.87
2008	C31.001	Outlet 26	76,442.6	66,484.8	0.87
2007	C31.001	Outlet 26	76,442.6	66,484.8	0.87
2006	C31.001	Outlet 26	76,442.6	66,484.8	0.87
All1	C4.001	Outlet 31	289,836.9	289,836.9	1.00
2014	C4.001	Outlet 31	289,836.9	260,853.2	0.90
2013	C4.001	Outlet 31	289,836.9	260,853.2	0.90
2012	C4.001	Outlet 31	289,836.9	260,853.2	0.90
2011	C4.001	Outlet 31	289,836.9	260,853.2	0.90
2010	C4.001	Outlet 31	289,836.9	260,853.2	0.90
2009	C4.001	Outlet 31	289,836.9	259,234.8	0.89
2008	C4.001	Outlet 31	289,836.9	259,234.8	0.89
2007	C4.001	Outlet 31	289,836.9	259,234.8	0.89
2006	C4.001	Outlet 31	289,836.9	259,234.8	0.89

III.5. 集水面積對水浸的影響

在一般區域性的雨水排水設計中，集水面積 (A) 只作為一個輸入參數用作計算設計流量 (Q_d)，而忽略了集水面積在水浸時產生積水體積量 (V)，事實上，在同一排水能力不足的情況下 ($Q_c - Q_d$)，雨水集水面積過大，因而產生過大集水體積，在氹仔雨水排水網絡就正正發生相關情況，位於南面的涵箱收集了差不多 43% 氹仔的雨水(位於望德聖母灣大馬路位置)，當涵箱排水口排水能力因潮汐升高而降低時，不能有效排出的雨水則倒流到相關集水面積內的低窪地區。

表 5 - 排水口的集水面積

No	視察井	排水口	行水	井面平水	集水面積	百分比
(---)	(---)	(---)	(mMSL)	(mMSL)	(m2)	(%)
1	C1.001	Outlet 001	-0.19	3.40	2,584.0	0.06
2	C10.002	Outlet 002	-1.40	3.36	103,237.7	2.25
3	C11.002	Outlet 003	-0.76	3.90	82,017.8	1.79
4	C119.001A	Outlet 004	0.30	3.29	8,644.9	0.19
5	C12.002	Outlet 005	1.19	3.99	85,022.4	1.85
6	C13.001	Outlet 006	1.52	4.97	36,528.7	0.80
7	C14.001	Outlet 007	0.33	5.73	123,269.4	2.69
8	C16.001	Outlet 008	0.59	3.59	24,751.9	0.54
9	C16.006A	Outlet 009	5.85	---	49,666.0	1.08
10	C17.002	Outlet 010	0.15	2.85	30,815.5	0.67

No	視察井	排水口	行水	井面平水	集水面積	百分比
(---)	(---)	(---)	(mMSL)	(mMSL)	(m2)	(%)
11	C19.001	Outlet 011	0.70	3.81	138,528.8	3.02
12	C2.001	Outlet 012	-0.53	3.47	3,635.8	0.08
13	C20.003	Outlet 013	-0.05	3.37	79,738.1	1.74
14	C21.001A	Outlet 014	0.46	3.77	185,917.3	4.05
15	C22.002	Outlet 015	1.00	3.78	49,525.3	1.08
16	C23.001	Outlet 016	0.82	4.08	8,206.7	0.18
17	C24.001	Outlet 017	0.67	3.82	13,680.8	0.30
18	C25.001	Outlet 018	0.80	3.90	120,726.8	2.63
19	C26.001	Outlet 019	0.54	3.64	34,264.9	0.75
20	C267.002	Outlet 020	3.73	5.96	16,497.5	0.36
21	C27.001	Outlet 021	0.77	3.87	38,035.9	0.83
22	C28.001	Outlet 022	1.06	3.71	39,594.2	0.86
23	C29.001	Outlet 023	0.52	3.72	31,474.9	0.69
24	C3.001	Outlet 024	-0.42	3.48	3,903.3	0.09
25	C30.001	Outlet 025	0.55	3.75	53,359.0	1.16
26	C31.001	Outlet 026	0.14	4.19	76,442.6	1.67
27	C32.001	Outlet 027	0.81	3.96	22,972.7	0.50
28	C33.001	Outlet 028	2.15	---	54,880.3	1.20
29	C39.005	Outlet 029	3.52	5.92	3,433.8	0.07
30	C39.008	Outlet 030	3.57	5.77	195,497.0	4.26
31	C4.001	Outlet 031	-0.90	3.50	289,836.9	6.32
32	C4.003	Outlet 032	-0.92	3.68	3,241.7	0.07
33	C47.004B	Outlet 033	0.70	---	493.5	0.01
34	C5.001	Outlet 034	-0.41	3.75	26,217.7	0.57
35	C5.003	Outlet 035	0.74	3.64	1,564.1	0.03
36	C5.004	Outlet 036	-0.17	3.76	2,561.8	0.06
37	C6.001	Outlet 037	-0.44	3.73	99,026.6	2.16
38	C7.002	Outlet 038	0.22	3.96	12,242.4	0.27
39	C8.001A	Outlet 039	-1.16	3.83	64,005.2	1.39
40	C9.002	Outlet 040	-1.11	3.59	29,101.3	0.63
41	VM1.008	Outlet 041	0.28	---	110,012.6	2.40
42	VM6.001	Outlet 042	-0.48	4.29	257,150.7	5.60
43	_BC2.018	Outlet 043	-1.10	---	1,977,188.8	43.08

下圖顯示各排水口的分佈。

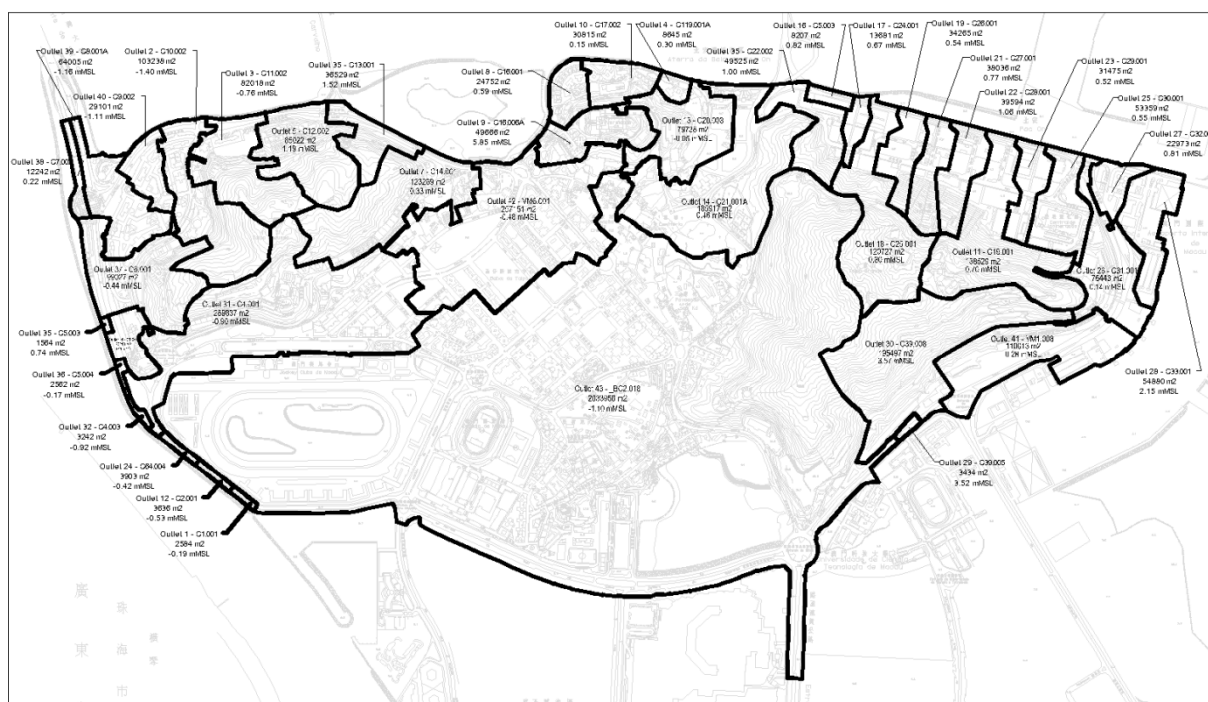


圖 3 - 排水口的分佈

下表列出進入涵箱的各個視察井及排水口的設計集水面積。

表 6 - 進入南面涵箱(Outlet 43) 的各個視察井的集水面積

No	視察井	排放到涵箱	行水	井面平水	集水面積	百分比
(---)	(---)	(---)	(mMSL)	(mMSL)	(m2)	(%)
1	C39.000	BO 001	2.80	5.40	2,894.2	0.15
2	C40.000	BO 002	5.42	8.02	9,968.1	0.51
3	C40.003B	BO 003	2.65	---	5,810.7	0.30
4	C40.003C	BO 004	2.50	---	4,783.7	0.25
5	C41.002	BO 005	1.80	4.00	6,386.1	0.33
6	C41.012	BO 006	2.96	4.20	11,208.6	0.58
7	C43.001	BO 007	2.23	---	150,312.0	7.74
8	C45.002	BO 008	0.46	3.47	28,871.2	1.49
9	C47.002	BO 009	-0.04	3.49	67,147.3	3.46
10	C48.002	BO 010	-0.56	3.47	26,038.3	1.34
11	C49.000A	BO 011	-0.34	3.30	92,270.9	4.75
12	C49.000B	BO 012	-0.35	3.59	498.2	0.03
13	C49.000C	BO 013	-0.25	3.59	1,288.2	0.07
14	C50.001	BO 014	0.01	2.20	482,529.0	24.83
15	C55.001	BO 015	1.29	3.05	6,343.8	0.33
16	C55.002	BO 016	-0.14	2.00	173,980.6	8.95
17	C56.002	BO 017	0.32	3.30	31,643.3	1.63
18	C58.000	BO 018	-0.79	3.79	18,839.5	0.97

No	視察井	排放到涵箱	行水	井面平水	集水面積	百分比
(---)	(---)	(---)	(mMSL)	(mMSL)	(m2)	(%)
19	C59.000A	BO 019	-0.87	3.62	32,325.9	1.66
20	C60.001	BO 020	-0.35	3.60	3,453.3	0.18
21	C62.000	BO 021	-0.97	3.70	3,317.8	0.17
22	C62.000A	BO 022	-0.48	3.82	335.8	0.02
23	C62.004	BO 023	0.90	3.85	400,189.2	20.60
24	C63.000	BO 024	-0.98	3.82	3,831.2	0.20
25	C63.000A	BO 025	-0.88	3.72	530.0	0.03
26	C64.000	BO 026	-0.92	3.80	2,496.5	0.13
27	C64.004	BO 027	0.30	3.77	339.0	0.02
28	VM3.001F	BO 028	-0.19	---	163,988.1	8.44
29	VM5.001	BO 029	0.68	---	211,441.8	10.88

特別指出現時氹仔的常出現水浸之地區(請參看下圖)，全都位於排水口的集水面積內，且地面標高不高 (~+2.0 ~ +3.2 mMSL)。

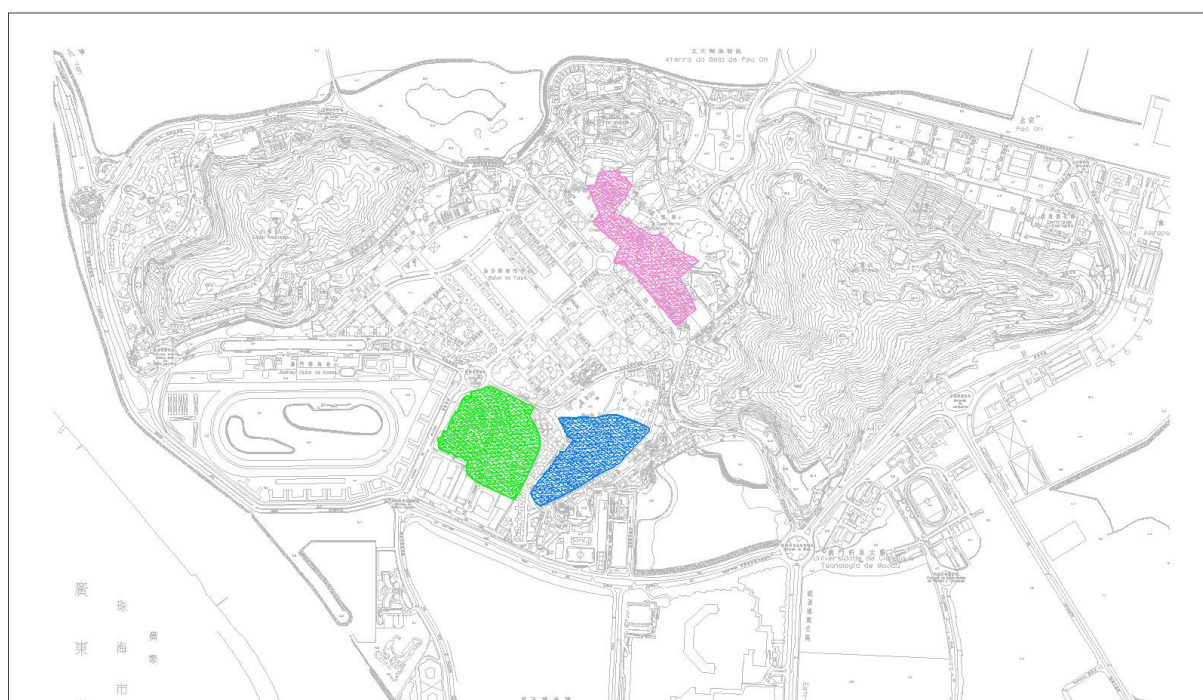


圖 4 - 氹仔常見水浸位置

每當南面涵箱排水口被潮汐部份或全部蓋過，且又遇上大雨，所有不能有效排放的雨水將會倒灌到卓家村及舊城區。

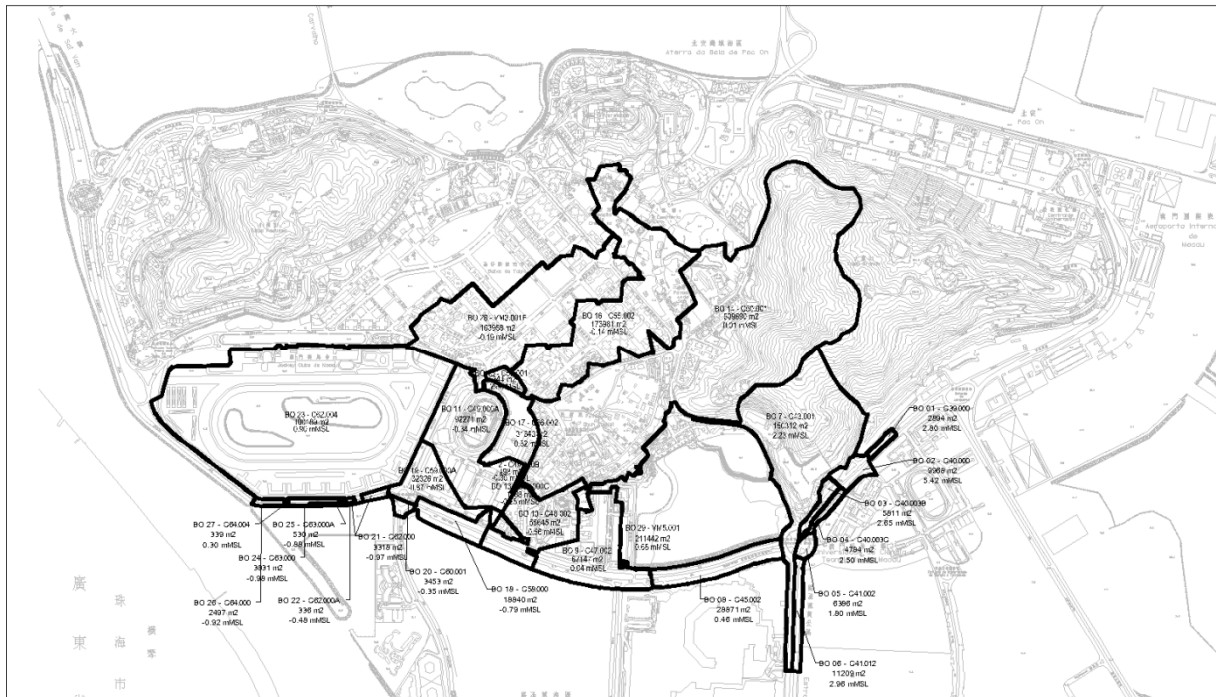


圖 5 - 進入涵箱的各個視察井集水面積的分佈

IV. 改善及解決方案

在經過第 III 章節的分析，已找出了氹仔雨水排水網絡的現有問題，可分類如下：

- 提升管道排水能力；
- 在潮汐升高時排水口排水能力不足而導致南面涵箱得雨水倒灌地低窪地區。

就所預到的問題會建議相關的改善/緩解及解決方案，並就其逼切性定短、中及長方案。

IV.1. 提升雨水下水道排水能力的改善/緩解及解決方案

就提升管道排水能力的改善，建議其升級或分流，列作短、中期改善方案。

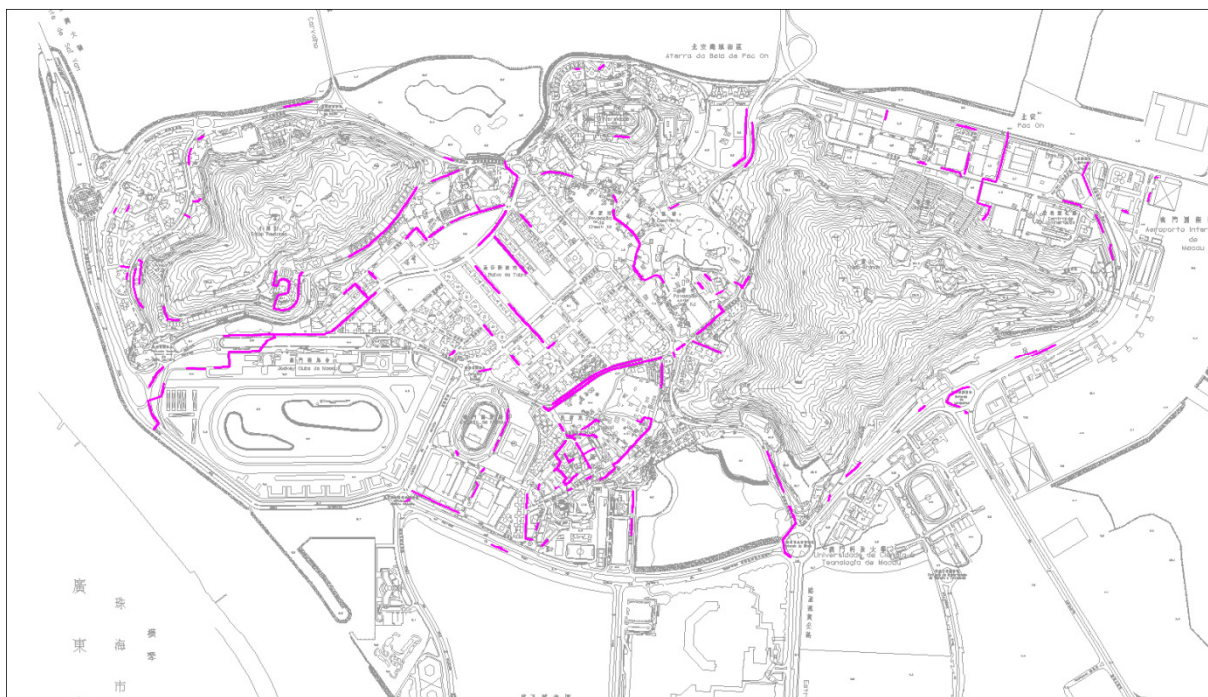


圖 6 - 改善排水能力的管道

IV.2. 改善/緩解水浸及解決方案

在水浸問題方面，位於氹仔望德聖母灣大馬路的涵箱的排水口因潮汐升高而降低其排水能力，並且相關集水面積過大的問題。

作為最終解決方案，有以下建議：

- 在涵箱排水口建造雨水泵房，若這個方案能夠實行，可有助解決第 IV.1 點的問題。
但當中關乎城市規劃和土地資源的問題，現方案可列為長期改善方案。

作為改善/緩解方案，有以下建議：

- 透過雨水改道以減少集水面積，從而減少水浸的情況。
 - a. 改道部份大潭山雨水排放路徑，現方案列為短期改善方案，因可以減少水浸幅度，且在施工空間上沒有太大約束。
 - b. 在氹仔東北發展方案起動時，建造一個分流且具獨立排水口（可沿氹仔東北馬路或孫逸仙博士大馬路排放到海）的渠網，現方案列為中期改善方案，因需配合氹仔東北發展。

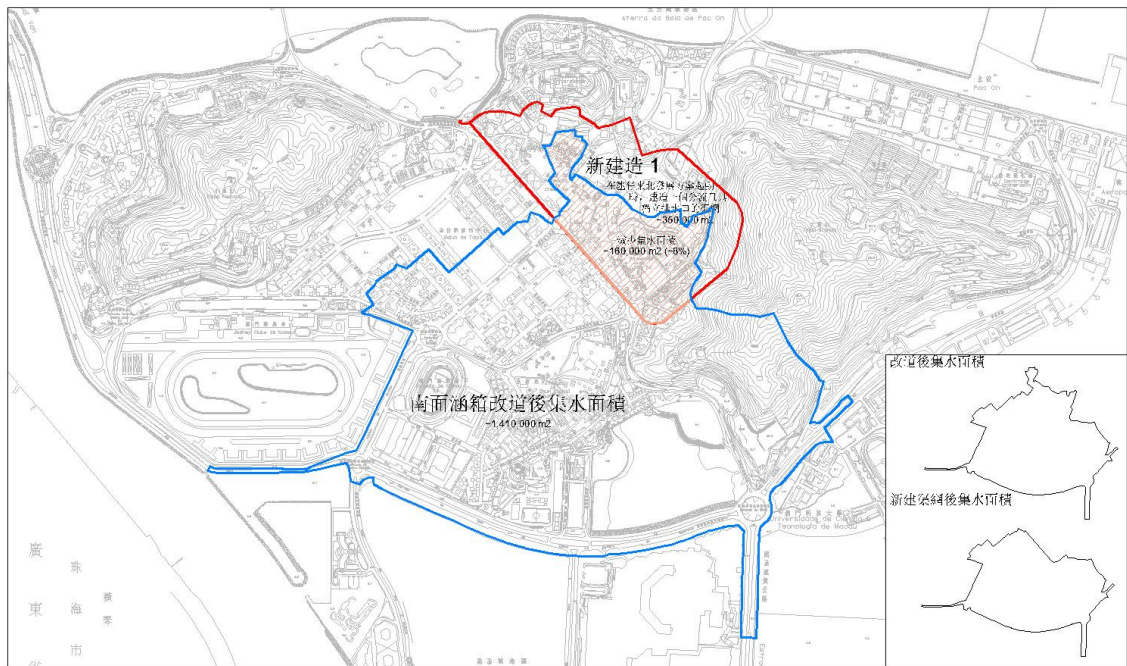


圖 7 - 建造氹仔東北發展區渠網

附件. 對降雨強度進行分析

本次研究將會將資料整理並求出 1992 年至 2013 年間每年最大的降雨強度，其分析步驟總括如下：

求出每一年 5 分鐘，10 分鐘至 120 分鐘歷時的最大降雨強度；為不同降雨歷時的每年最大降雨強度資料出現頻率以常態分佈 (Normal Distribution) 和甘氏分佈 (Gumbel Distribution) 表示；

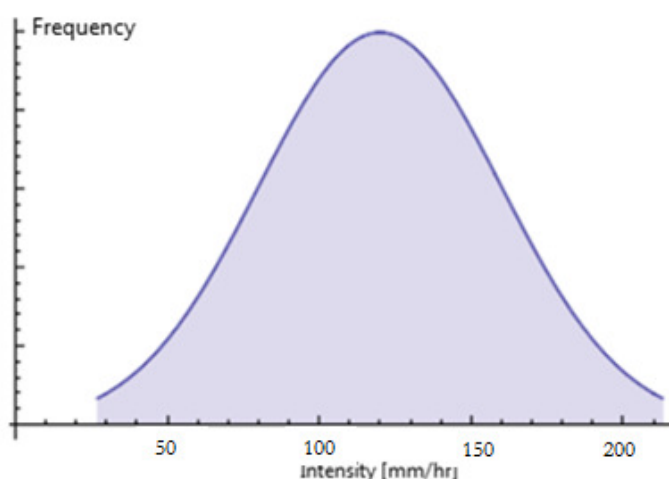


圖 1 - 某歷時之降雨強度常態分布示意

在求出各歷時之常態分佈和甘氏分佈等預備工作後，根據降雨強度分布圖中概率 P 為 50%，80%，90%，95%，98%，99% 分別所對應之降雨強度求出回歸週期為 $\frac{1}{1-P}$ ，這將指出回歸週期為 2 年，5 年，10 年，20 年，50 年，100 年的降雨強度。

表 1 - 回歸週期與分佈概率

回歸週期	2 年	5 年	10 年	20 年	50 年	100 年
概率	50%	80%	90%	95%	98%	99%

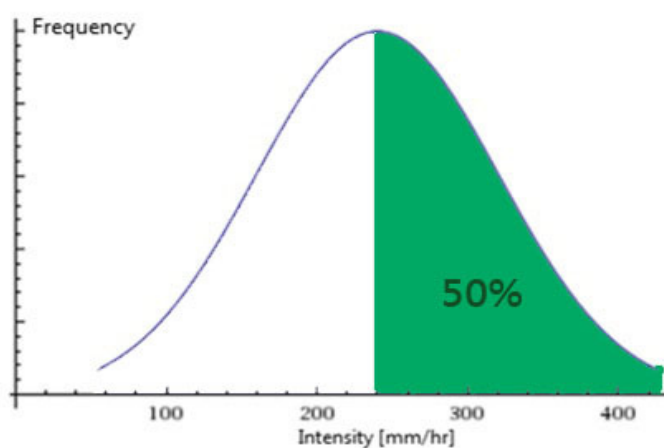


圖 2 - 某歷時 $1 - P = 50\%$ 對應之降雨強度示意 (回歸週期為 2 年)

根據以上資訊則可在分佈曲線中找出或使用公式計算出各降雨歷時不同回歸週期所對應的降雨強度，如下表。

表 2 - 不同降雨歷時及回歸週期所對應之降雨強度示意

降雨歷時	回歸週期					
	T2	T5	T10	T20	T50	T100
5 min	T2, 5 min 降雨強度	T5, 5 min 降雨強度	T10, 5 min 降雨強度	T20, 5 min 降雨強度	T50, 5 min 降雨強度	T100, 5 min 降雨強度
10 min	T2, 10 min 降雨強度	T5, 10 min 降雨強度	T10, 10 min 降雨強度	T20, 10 min 降雨強度	T50, 10 min 降雨強度	T100, 10 min 降雨強度
15 min	T2, 15 min 降雨強度	T5, 15 min 降雨強度	T10, 15 min 降雨強度	T20, 15 min 降雨強度	T50, 15 min 降雨強度	T100, 15 min 降雨強度
.
.
120 min	T2, 120 min 降雨強度	T5, 120 min 降雨強度	T10, 120 min 降雨強度	T20, 120 min 降雨強度	T50, 120 min 降雨強度	T100, 120 min 降雨強度

在求出不同歷時所對應之降雨強度後，進行 Duration-Intensity 繪圖，則可將每一列的數據繪制成回歸曲線。

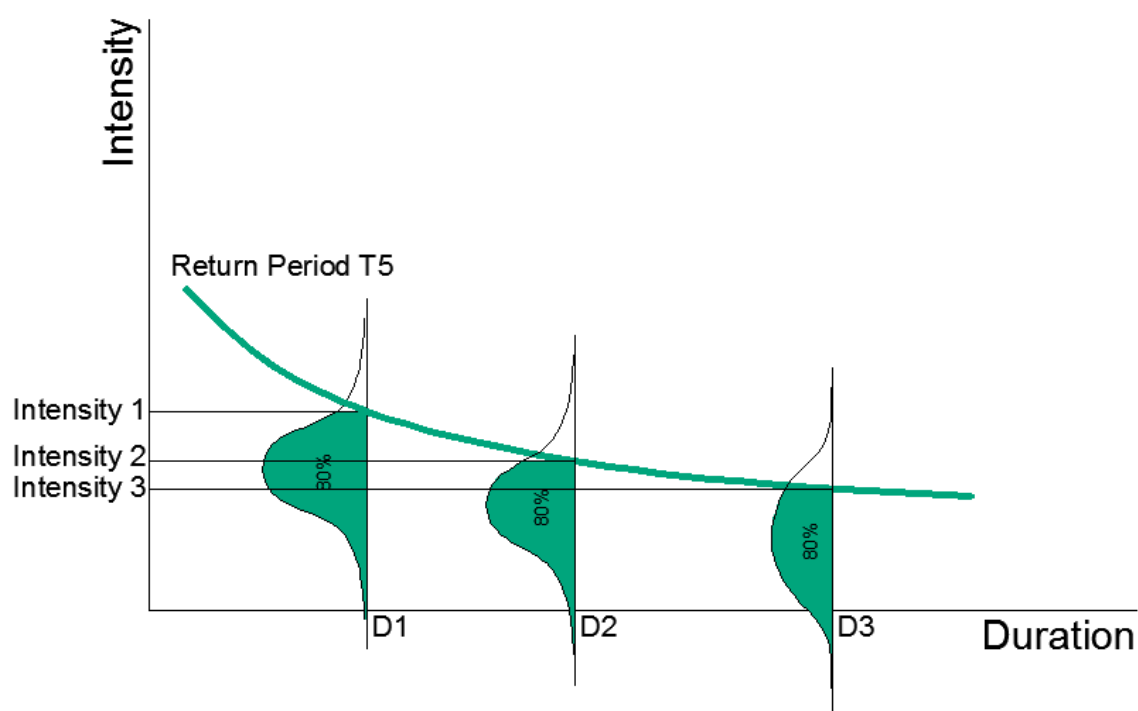


圖 3 - 回歸週期為 5 年之降雨強度曲線示意

I.1. 每年最大降雨強度

每年最大降雨強度資料取自 1992 年至 2012 年間 (共 21 年) 每年 5 月 26 日 00:00 至下一年 5 月 25 日 23:59 間的降雨資料 (例 1992，指 1992 年 5 月 26 日 00:00 至 1993 年 5 月 25 日 23:59 期間最大降雨強度)。

表 3 - 5 至 60 分鐘降雨歷時 1992 - 2012 最大降雨強度

降雨 歷時 年\	最大降雨強度 (mm/hr)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
1992	269	149	118	112	97	91	82	74	66	60	54	50
1993	137	124	96	82	69	64	59	53	52	50	48	47
1994	134	118	106	91	94	87	78	70	64	59	54	51
1995	158	155	134	113	97	83	78	76	72	71	70	69
1996	125	118	99	87	79	73	66	61	56	51	48	45
1997	151	140	127	114	98	96	90	85	84	80	77	78
1998	125	121	103	92	86	78	70	67	63	64	63	61
1999	178	140	121	112	107	102	98	94	89	85	83	81
2000	168	160	150	139	130	126	119	114	104	95	88	81
2001	110	90	80	71	64	63	60	56	56	57	54	49
2002	132	122	104	92	82	80	78	76	74	71	69	65
2003	178	167	164	161	148	139	131	125	119	113	106	101
2004	158	128	120	102	102	94	86	77	72	69	65	61
2005	192	160	127	103	86	80	77	73	68	66	65	64
2006	137	122	90	89	82	71	66	59	54	54	54	51
2007	137	113	105	100	98	101	96	92	85	79	76	71
2008	218	121	89	83	80	76	77	75	74	71	67	63
2009	125	101	82	80	70	63	58	51	48	43	40	36
2010	144	131	122	120	117	112	108	104	102	99	95	91
2011	127	96	76	76	64	57	54	51	48	45	42	39
2012	144	133	126	121	120	116	110	105	100	99	96	92

表 4 - 65 至 120 鐘降雨歷時 1992 - 2012 最大降雨強度

降雨 歷時 年\	最大降雨強度 (mm/hr)											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
1992	47	44	43	42	41	40	38	37	35	34	34	33
1993	46	46	45	45	44	43	42	41	41	41	41	40
1994	49	46	49	47	46	47	45	44	43	42	41	39
1995	65	63	61	59	59	59	57	56	55	54	55	55
1996	41	38	36	37	36	35	35	34	33	32	31	30
1997	75	73	71	71	70	68	65	64	64	63	63	60

降雨 歷時 年\	最大降雨強度 (mm/hr)											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
1998	60	60	58	55	52	50	48	47	45	43	42	41
1999	79	77	73	71	68	66	63	61	60	58	57	55
2000	76	70	66	62	59	56	53	50	48	46	44	42
2001	46	43	40	39	39	39	39	41	42	42	41	40
2002	64	64	64	63	63	63	62	60	58	55	53	50
2003	95	90	85	81	77	73	69	66	64	62	59	57
2004	59	56	53	51	48	47	46	45	45	45	44	42
2005	62	58	54	51	48	46	44	43	41	39	38	36
2006	49	48	48	48	48	48	47	45	43	41	40	39
2007	66	61	58	55	51	49	46	44	42	40	39	37
2008	61	58	54	52	50	48	46	44	42	41	39	38
2009	36	35	36	38	37	37	37	36	35	34	33	32
2010	88	84	80	76	72	68	65	64	63	61	59	57
2011	38	37	37	38	36	34	34	33	31	30	29	28
2012	88	86	82	79	76	74	72	69	66	63	60	58

I.2. 降雨強度常態分布 (Normal Distribution) 計算

平均值計算：

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

μ = 1992 至 2012 平均值

x_n = 某一年的最大降雨強度

n = 資料數量

根據上述公式計算出各降雨歷時 21 年間的平均值。

標準差計算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n - 1}}$$

σ = 1992 至 2012 標準差

μ = 1992 至 2012 平均值

x_n = 某一年的最大降雨強度

n = 資料數量

根據上述公式計算出各降雨歷時 21 年間的標準差。

表 5 - 各降雨歷時 21 年间的平均降雨強度和標準差

降雨歷時 (min)	平均值 (mm/hr)	標準差 (mm/hr)
5	155	37
10	129	21
15	111	23
20	102	22
25	94	22
30	88	22
35	83	21
40	78	21
45	74	20
50	71	19
55	67	19
60	64	18
65	61	17
70	59	16
75	57	15
80	55	14
85	53	13
90	52	13
95	50	12
100	49	11
105	47	11
110	46	11
115	45	10
120	43	10

根據平均值和標準差作出各降雨歷時對應之常態分佈：

$$f_d(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

σ = 常態分佈標準差

μ = 常態分佈標準差平均值

降雨強度常態分布回歸週期：

由平均值和標準差得出的常態分佈通過積分可以得出概率 P ，而概率 $\frac{1}{1-P}$ 便可以計算出回歸週期：

$$T = \frac{1}{1 - \int_0^{\infty} f_d(x) dx}$$

T = 回歸週期 (年)

$\int_0^x f_a(x) dx$ = 分佈曲線 $f_a(x)$ 的積分，代表少于 x 時的概率

x = 降雨強度

因此，可以設定不同回歸週期倒推降雨強度大小，結果如下表。

表 6 - 各回歸週期常態分佈不同降雨歷時的降雨強度

降雨歷時	平均值	標準差	T2	T5	T10	T20	T50	T100
(min)	(mm/hr)	(mm/hr)	1-P=0.50	1-P=0.80	1-P=0.90	1-P=0.95	1-P=0.98	1-P=0.99
5	155	37	155	186	202	215	230	241
10	129	21	129	147	156	163	172	178
15	111	23	111	131	141	149	158	165
20	102	22	102	120	130	138	147	153
25	94	22	94	112	121	129	138	144
30	88	22	88	107	116	124	133	139
35	83	21	83	101	110	118	126	132
40	78	21	78	96	105	112	121	127
45	74	20	74	91	100	107	115	121
50	71	19	71	87	95	102	110	115
55	67	19	67	83	91	98	105	110
60	64	18	64	79	87	94	101	106
65	61	17	61	76	83	90	97	101
70	59	16	59	73	80	86	93	97
75	57	15	57	70	76	82	88	92
80	55	14	55	67	73	78	84	88
85	53	13	53	65	70	75	81	84
90	52	13	52	62	68	72	78	81
95	50	12	50	60	65	70	74	78
100	49	11	49	58	63	67	72	75
105	47	11	47	57	61	65	70	73
110	46	11	46	55	60	64	68	71
115	45	10	45	53	58	62	66	69
120	43	10	43	52	56	60	64	67

在接下來的部分將會以曲線顯示上表的數據。

I.3. 降雨強度甘氏分布 (Gumbel Distribution) 計算

平均值計算：

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

μ = 1992 至 2012 平均值

x_n = 某一年的最大降雨強度

n = 資料數量

根據上述公式計算出各降雨歷時 21 年間的平均值。

標準差計算：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n - 1}}$$

σ = 1992 至 2012 標準差

μ = 1992 至 2012 平均值

x_n = 某一年的最大降雨強度

n = 資料數量

根據上述公式計算出各降雨歷時 21 年間的標準差。

表 7 - 各降雨歷時 21 年間的平均降雨強度和標準差

降雨歷時 (min)	平均值 (mm/hr)	標準差 (mm/hr)
5	155	37
10	129	21
15	111	23
20	102	22
25	94	22
30	88	22
35	83	21
40	78	21
45	74	20
50	71	19
55	67	19
60	64	18
65	61	17
70	59	16
75	57	15
80	55	14
85	53	13
90	52	13
95	50	12

降雨歷時	平均值	標準差
(min)	(mm/hr)	(mm/hr)
100	49	11
105	47	11
110	46	11
115	45	10
120	43	10

根據平均值和標準差作出各降雨歷時對應之常態分佈：

$$f(x) = e^{-(x+e^{-x})}$$

$$x = \alpha(x_r - u)$$

$$u = \mu - \frac{c}{\alpha}$$

μ = 甘氏分佈平均值

c = 歐拉常數 0.577

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$$

σ = 甘氏分佈標準差

降雨強度甘氏分布回歸週期：

由平均值和標準差得出的甘氏分佈通過積分可以得出概率 P ，而概率 $\frac{1}{1-P}$ 便可以計算出回歸週期：

$$T = \frac{1}{1 - \int_0^x f(x) dx}$$

T = 回歸週期 (年)

$\int_0^x f(x) dx$ = 分佈曲線 $f(x)$ 的積分，代表少于 x 時的概率

x = 降雨強度

或使用公式：

$$T = \frac{1}{1 - e^{-x}}$$

T = 回歸週期 (年)

$$x = \alpha(x_r - u)$$

x_r = 橫座標數值，降雨強度

$$u = \mu - \frac{c}{\alpha}$$

μ = 甘氏分佈平均值

c = 歐拉常數 0.577

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$$

σ = 甘氏分佈標準差

因此，可以設定不同回歸週期倒推降雨強度大小，結果如下表。

表 8 - 各回歸週期甘氏分布不同降雨歷時的降雨強度 (mm/hr)

降雨歷時	平均值	標準差	T2	T5	T10	T20	T50	T100
(min)	(mm/hr)	(mm/hr)	1-P=0.50	1-P=0.80	1-P=0.90	1-P=0.95	1-P=0.98	1-P=0.99
5	155	37	149	182	203	224	251	271
10	129	21	126	144	157	168	184	195
15	111	23	108	128	142	155	171	184
20	102	22	99	118	131	143	159	171
25	94	22	91	110	122	134	150	162
30	88	22	85	104	117	129	145	157
35	83	21	80	98	111	123	138	149
40	78	21	75	93	106	117	133	144
45	74	20	71	89	100	112	126	137
50	71	19	68	85	96	107	121	131
55	67	19	64	81	92	102	115	126
60	64	18	61	77	88	98	111	121
65	61	17	59	74	84	94	106	115
70	59	16	56	71	81	90	102	111
75	57	15	55	68	77	86	97	105
80	55	14	53	65	74	82	92	99
85	53	13	51	63	71	78	88	95
90	52	13	50	61	68	75	85	92
95	50	12	48	59	66	72	81	88
100	49	11	47	57	64	70	78	84
105	47	11	46	55	62	68	76	82
110	46	11	44	54	60	66	74	80
115	45	10	43	52	58	64	72	77
120	43	10	42	51	57	62	70	75

在接下來的章節將會以曲線顯示上表的數據。

I.4. 常態分佈和甘氏分佈回歸週期降雨強度曲線

綜合常態分佈及甘氏分佈得出的降雨強度資料可總結成下表：

表 9 - 不同回歸週期之降雨強度資料 (mm/hr)

降雨 歷時	常態分佈						甘氏分佈					
	T2	T5	T10	T20	T50	T100	T2	T5	T10	T20	T50	T100
(min)	1-P=0.50	1-P=0.80	1-P=0.90	1-P=0.95	1-P=0.98	1-P=0.99	1-P=0.50	1-P=0.80	1-P=0.90	1-P=0.95	1-P=0.98	1-P=0.99
5	155	186	202	215	230	241	149	182	203	224	251	271

降雨 歷時	常態分佈						甘氏分佈					
	T2	T5	T10	T20	T50	T100	T2	T5	T10	T20	T50	T100
(min)	1-P= 0.50	1-P= 0.80	1-P= 0.90	1-P= 0.95	1-P= 0.98	1-P= 0.99	1-P= 0.50	1-P= 0.80	1-P= 0.90	1-P= 0.95	1-P= 0.98	1-P= 0.99
10	129	147	156	163	172	178	126	144	157	168	184	195
15	111	131	141	149	158	165	108	128	142	155	171	184
20	102	120	130	138	147	153	99	118	131	143	159	171
25	94	112	121	129	138	144	91	110	122	134	150	162
30	88	107	116	124	133	139	85	104	117	129	145	157
35	83	101	110	118	126	132	80	98	111	123	138	149
40	78	96	105	112	121	127	75	93	106	117	133	144
45	74	91	100	107	115	121	71	89	100	112	126	137
50	71	87	95	102	110	115	68	85	96	107	121	131
55	67	83	91	98	105	110	64	81	92	102	115	126
60	64	79	87	94	101	106	61	77	88	98	111	121
65	61	76	83	90	97	101	59	74	84	94	106	115
70	59	73	80	86	93	97	56	71	81	90	102	111
75	57	70	76	82	88	92	55	68	77	86	97	105
80	55	67	73	78	84	88	53	65	74	82	92	99
85	53	65	70	75	81	84	51	63	71	78	88	95
90	52	62	68	72	78	81	50	61	68	75	85	92
95	50	60	65	70	74	78	48	59	66	72	81	88
100	49	58	63	67	72	75	47	57	64	70	78	84
105	47	57	61	65	70	73	46	55	62	68	76	82
110	46	55	60	64	68	71	44	54	60	66	74	80
115	45	53	58	62	66	69	43	52	58	64	72	77
120	43	52	56	60	64	67	42	51	57	62	70	75

I.5. 澳門規範比對

根據澳門供排水規章 (RADARM)，其圖示敘述了回歸週期為 2 年，5 年，10 年，20 年，50 年，100 年之降雨強度 ($I = at^b$)。

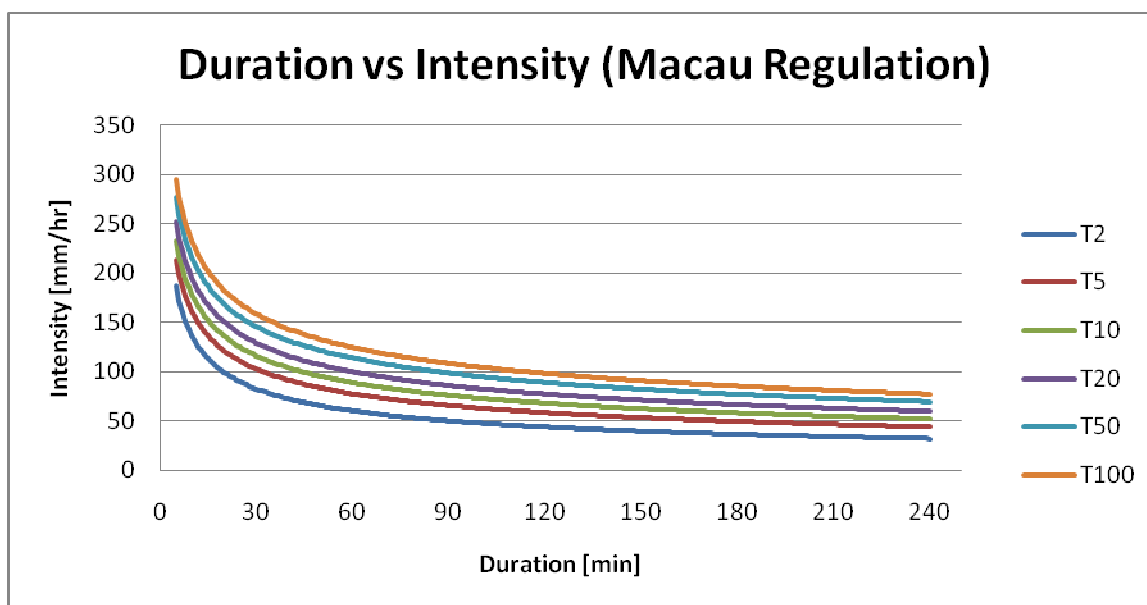


圖 4 - RADARM 不同回歸週期之降雨強度

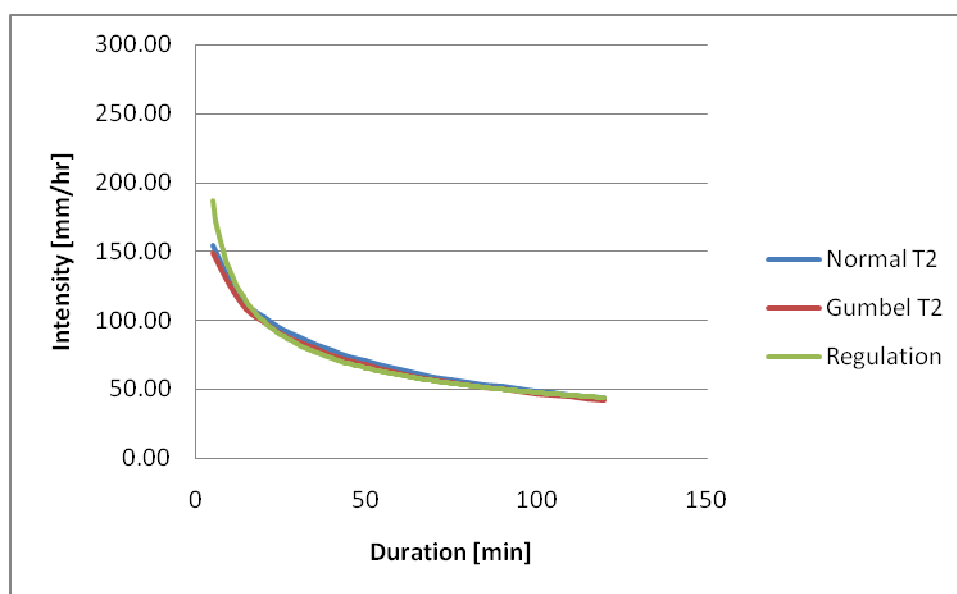


圖 5 - 回歸週期為 2 年之降雨強度曲線與規章比較

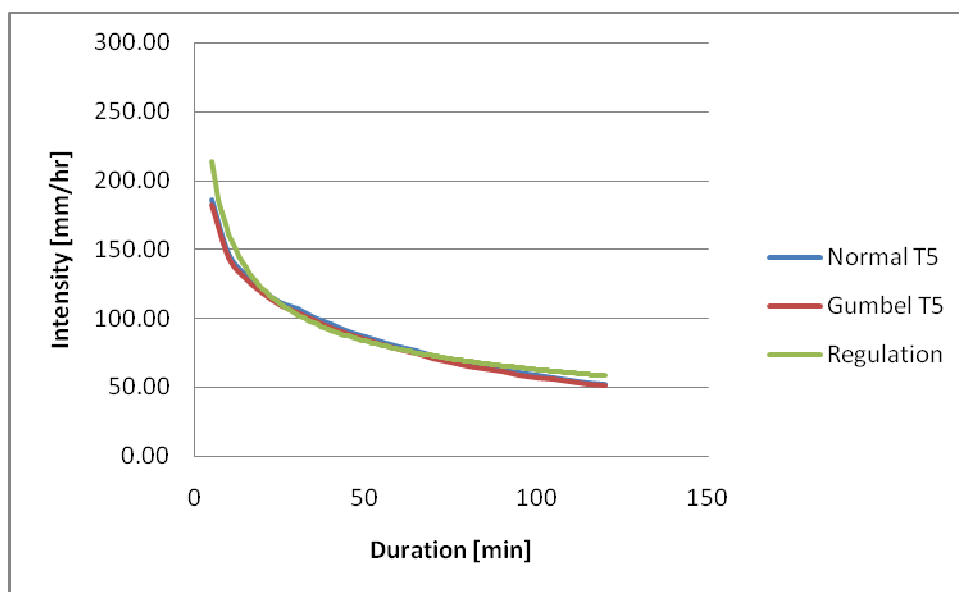


圖 6 - 回歸週期為 5 年之降雨強度曲線與規章比較

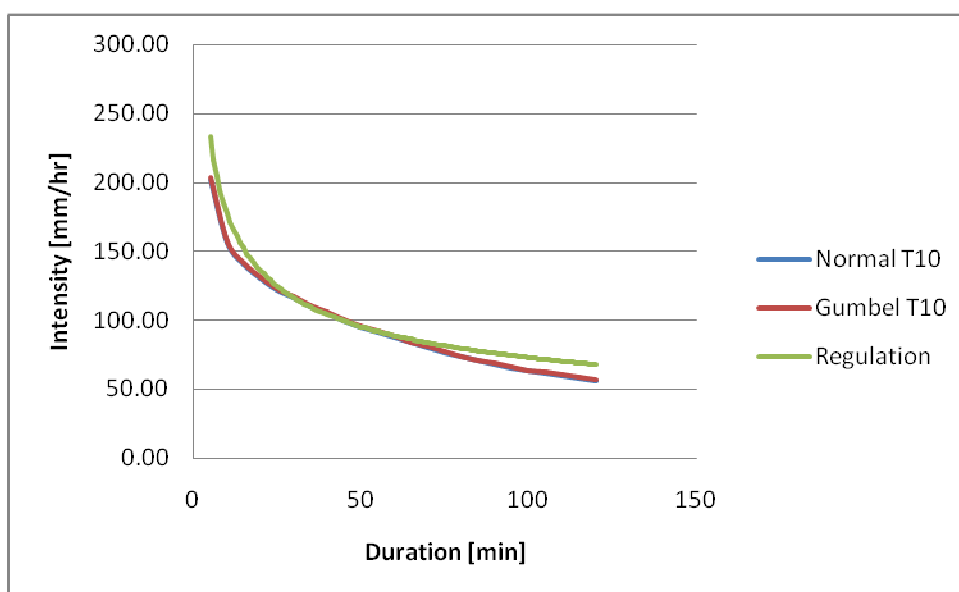


圖 7 - 回歸週期為 10 年之降雨強度曲線與規章比較

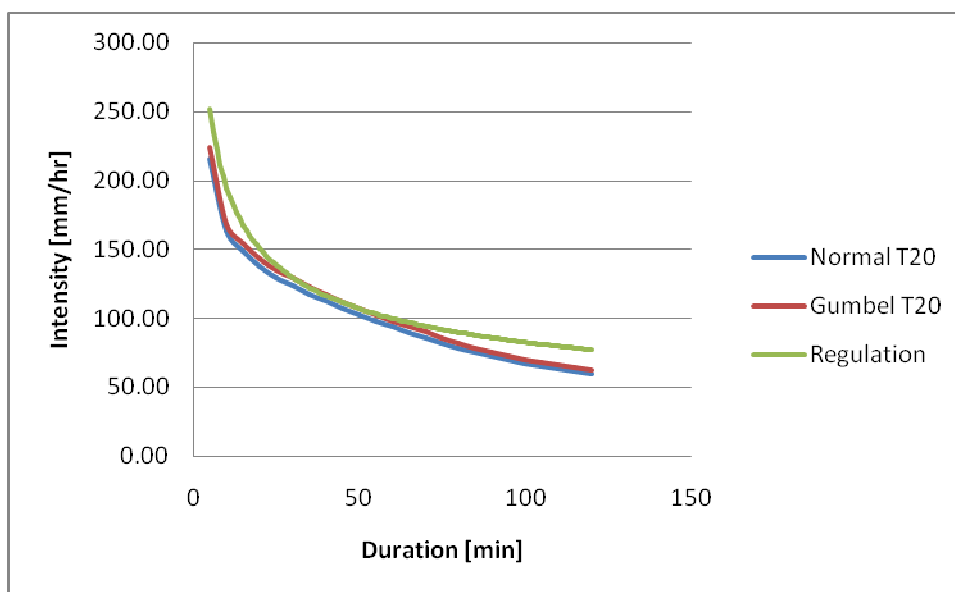


圖 8 - 回歸週期為 20 年之降雨強度曲線與規章比較

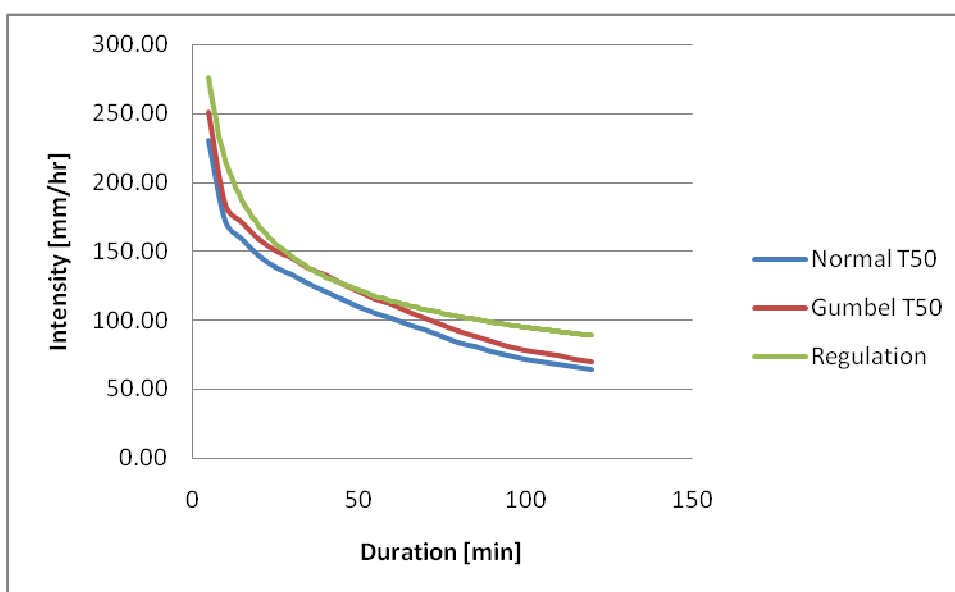


圖 9 - 回歸週期為 50 年之降雨強度曲線與規章比較

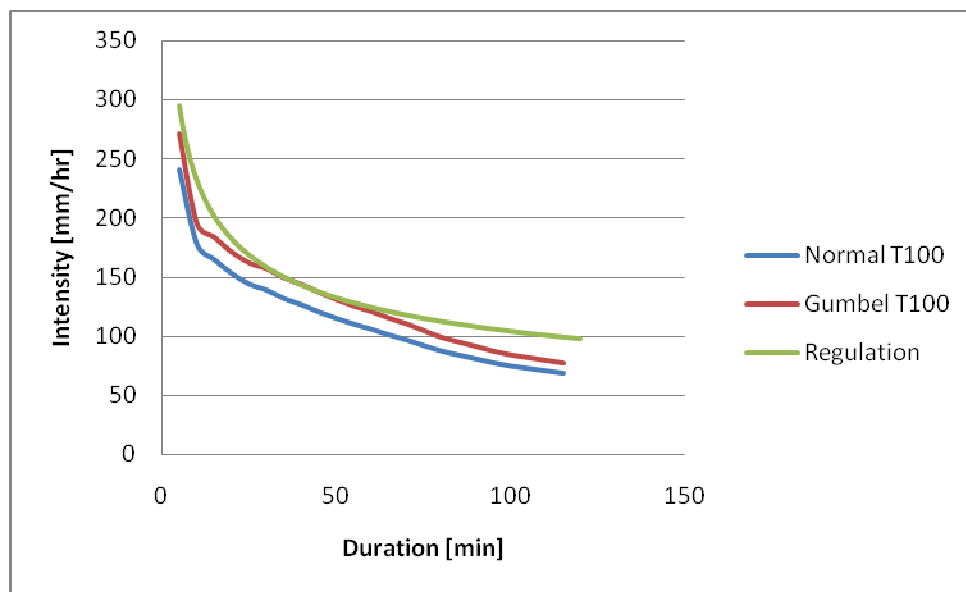


圖 10 - 回歸週期為 100 年之降雨強度曲線與規章比較

比較由統計得出的降雨強度與澳門供排水規章定立的降雨強度，可得知分別不大。故此，在雨水流量預測中可按照澳門供排水規章進行。