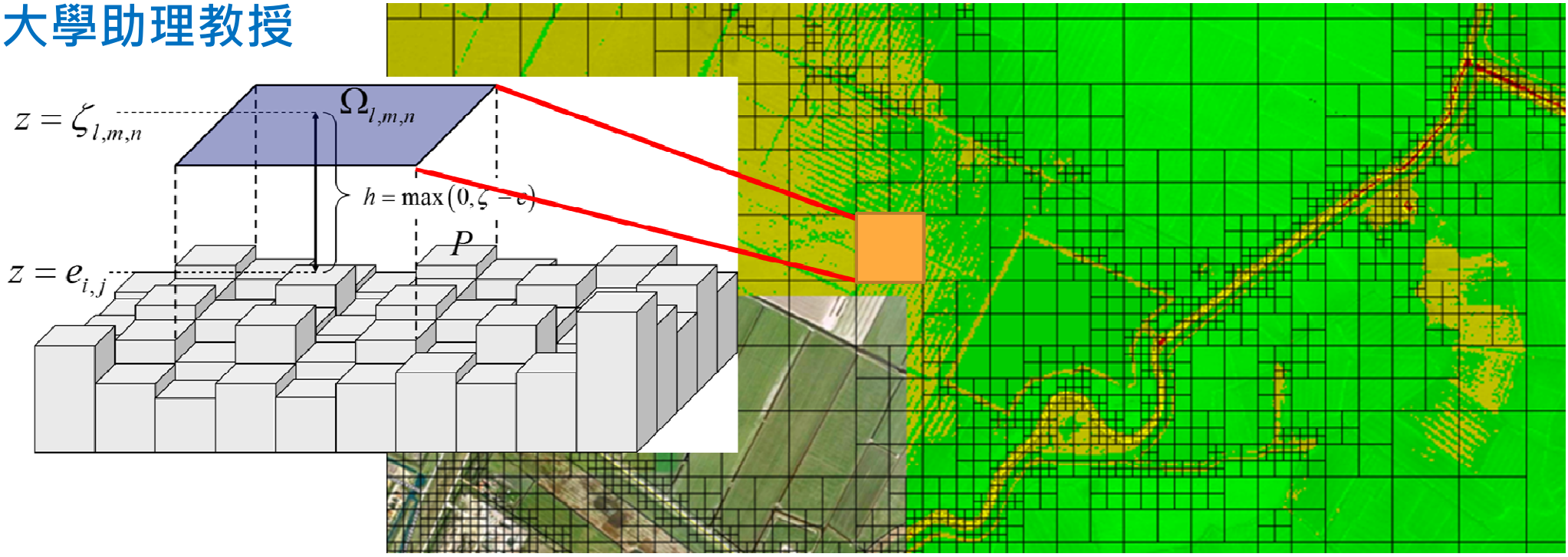
高解析度全動力水理模式應用於堰塞湖潰壩互動模擬及其他應用

許永佳

荷蘭商青蛙科技亞太區域總監

兼任中央大學助理教授



荷蘭商青蛙科技有限公司

Nelen en Schuurmans BV

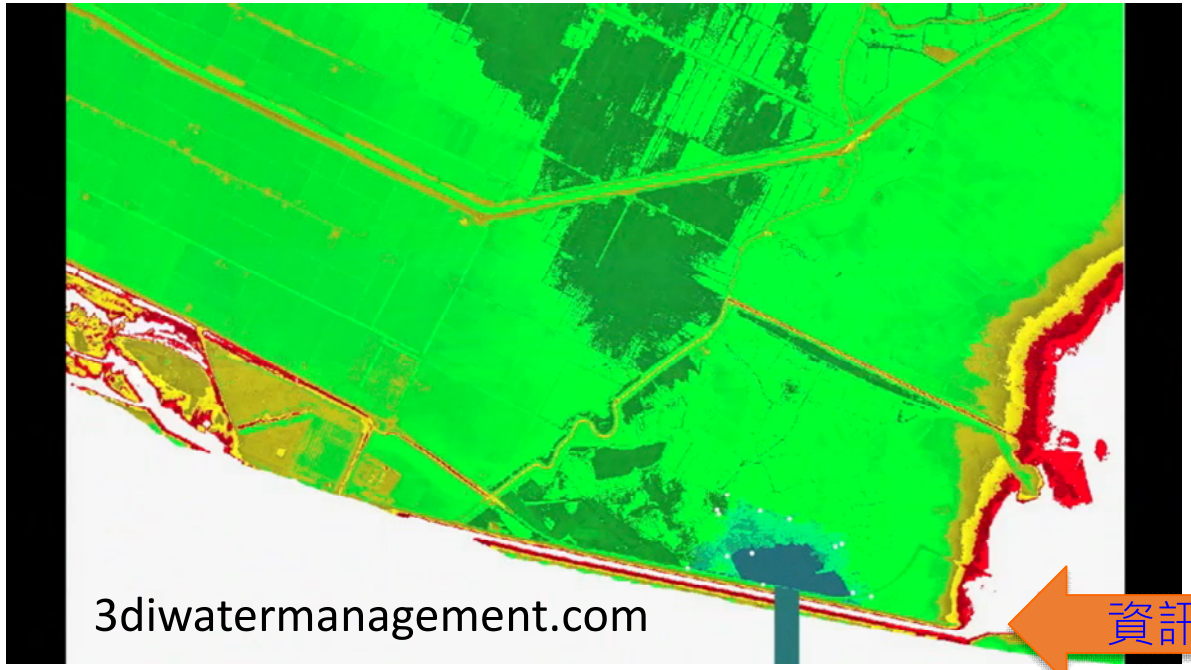
Frogtech.com.tw



- 成立於1999年
- 員工人數~80人
- 在荷蘭：水利工程顧問、資料科學應用、科技服務業
- 在台灣(2019年成立)：資料科學應用、科技服務業
- 特色產品：**3Di智慧水管理系統、Lizard巨量資料分析系統**

雲端軟體產品

3Di互動式高解析度淹水模擬軟體



Lizard巨量空間資料分析引擎

Lizard

Advanced IT system that is used to integrate spatially distributed timeseries, object data and geodata, allowing the user to transform data into informed decisions.

www.lizard.net



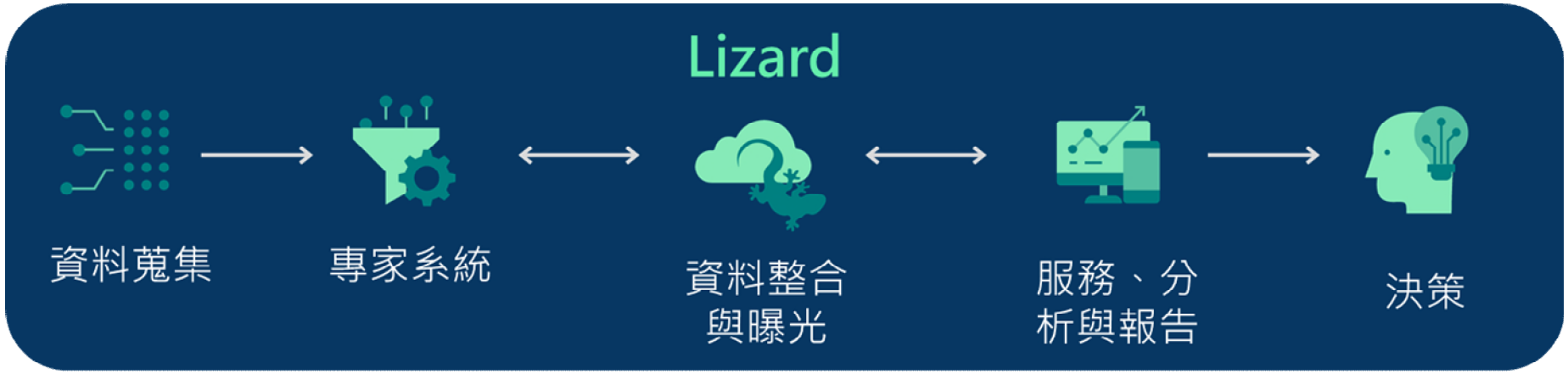
資訊流

資訊流

資訊流

第三方軟體
第三方平台
巨量資料

Lizard



資料工程 ⟷ 資料科學 ⟷ 決策

巨量網格資料



大量時間序列

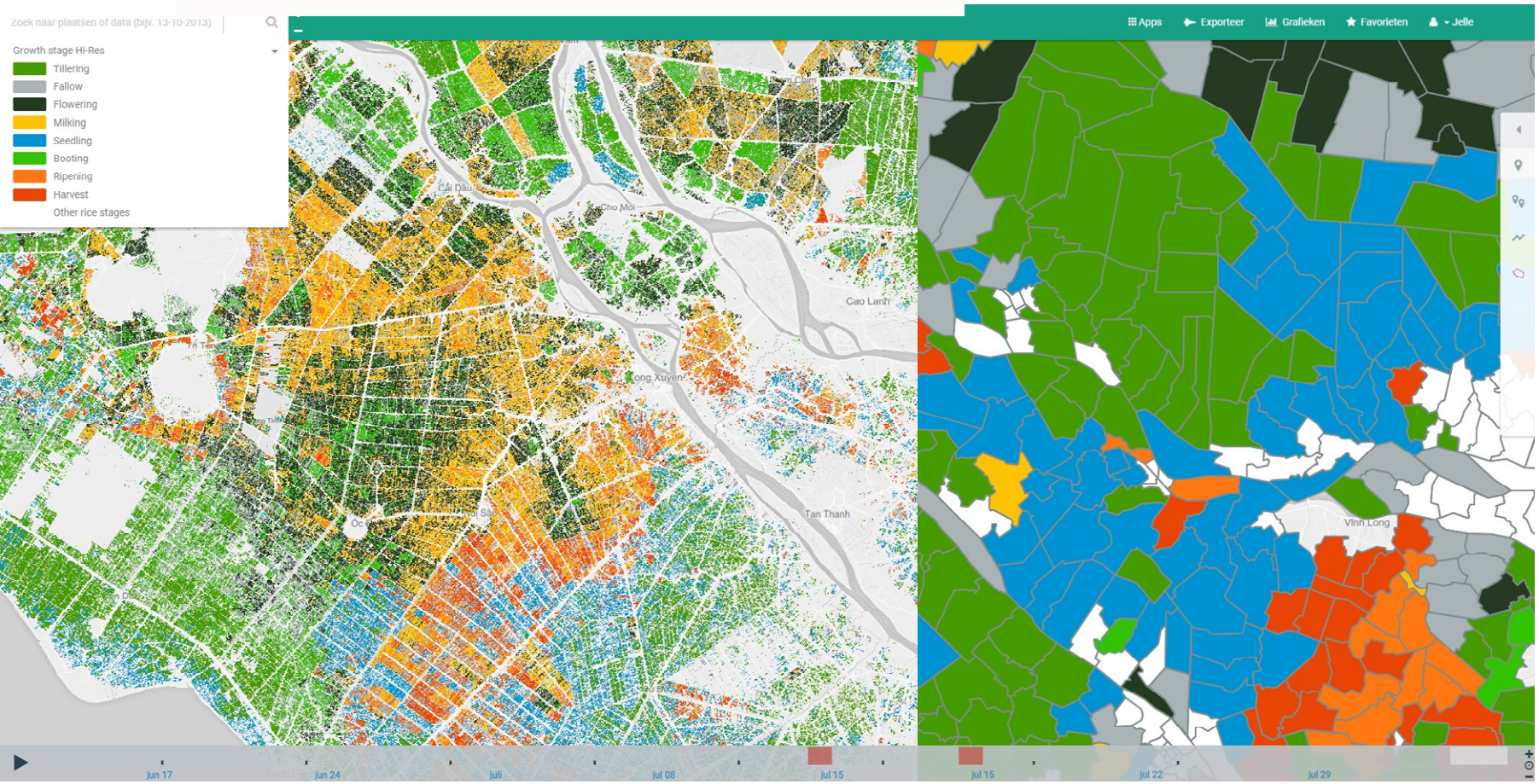
向量資料

行動建議

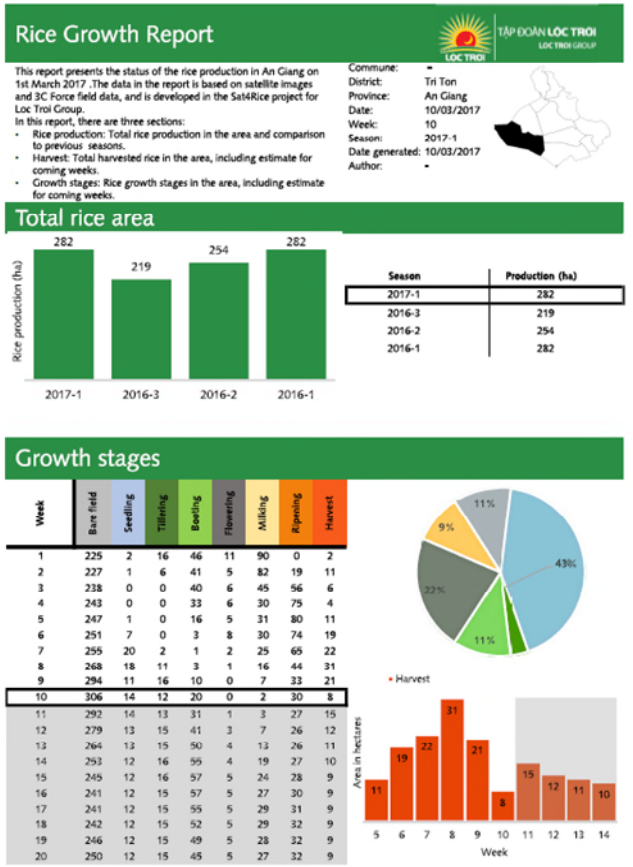
在準確的資訊中
做適當的決策

農業: 作物生長監測

歐洲Sentinel-2，每6天同一區尋訪一次
解析度15X15m



稻米生長階段



區域統計

自動產生報告與建議行動方針

LIZARD

IMPROVING FOOD SECURITY AND ECONOMIC DEVELOPMENT BY USING SATELLITE DATA AND GEO-INFORMATION

IDSS
970.00 RICE FARMERS
BANGLADESH

GREENCOFFEE
100.000 COFFEE FARMERS
VIETNAM – CENTRAL HIGHLAND

SAT4RICE
50.000 RICE FARMERS
VIETNAM – MEKONG DELTA



SALAD
ANGKOR GREEN

100.000 VEGETABLE FARMERS
CAMBODIA



SPICEUP
VERSTEGEN SPICES & SAUCES

100.000 PEPPER FARMERS
INDONESIA

SMARTSEEDS
100.000 VEGETABLE FARMERS
INDONESIA- JAVA

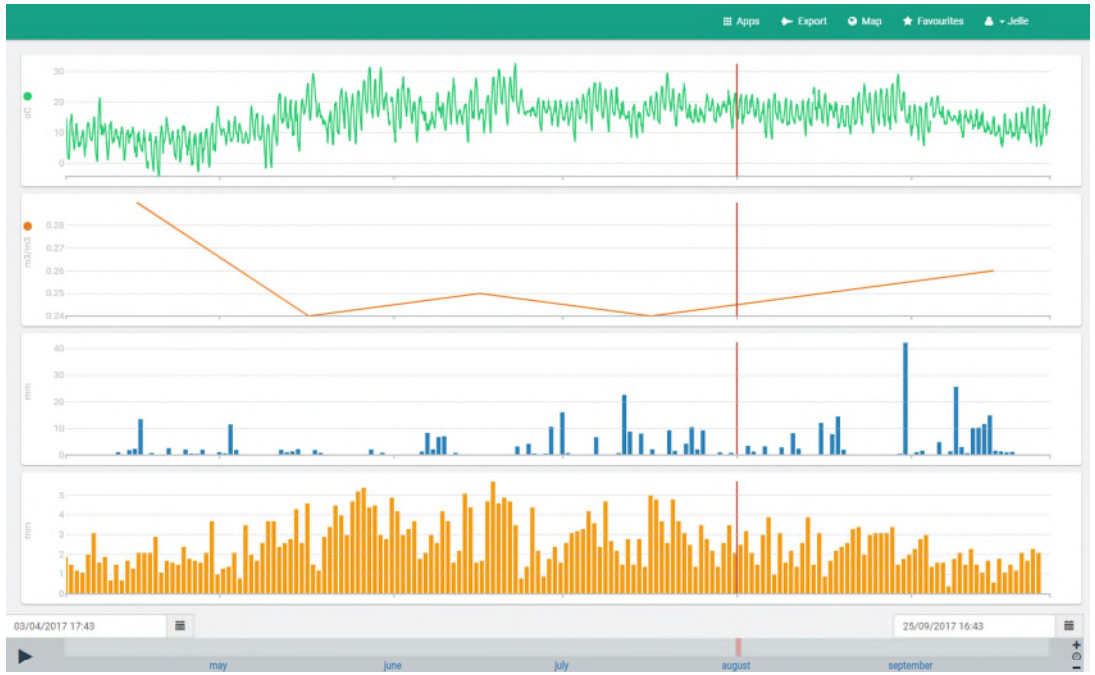
整合與分析

Sensor (Temperature)

Satellite (Soil Moisture)

Radar (rainfall)

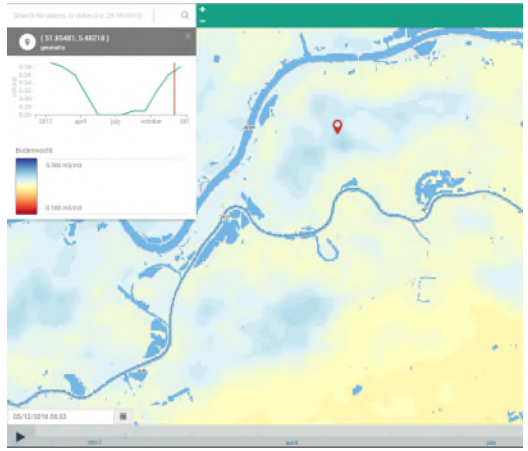
Measurement stations (Evatranspiration)

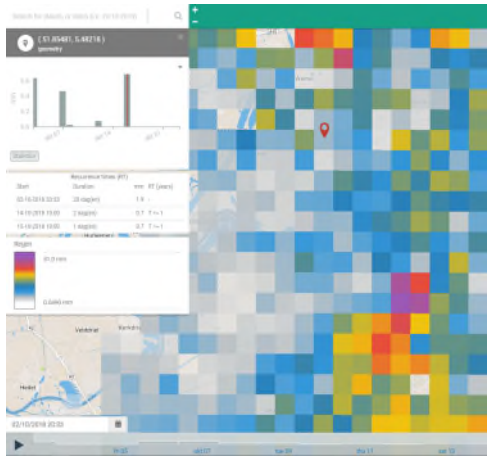


溫度



土壤濕度





降雨



蒸發散

淹水模擬與衍生分析

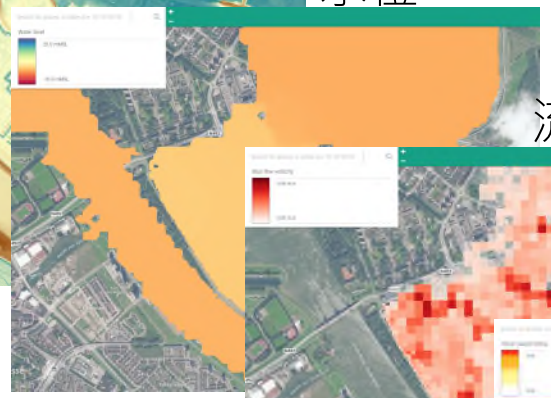


水深

DEM



水位



流速



災害指數



土地利用





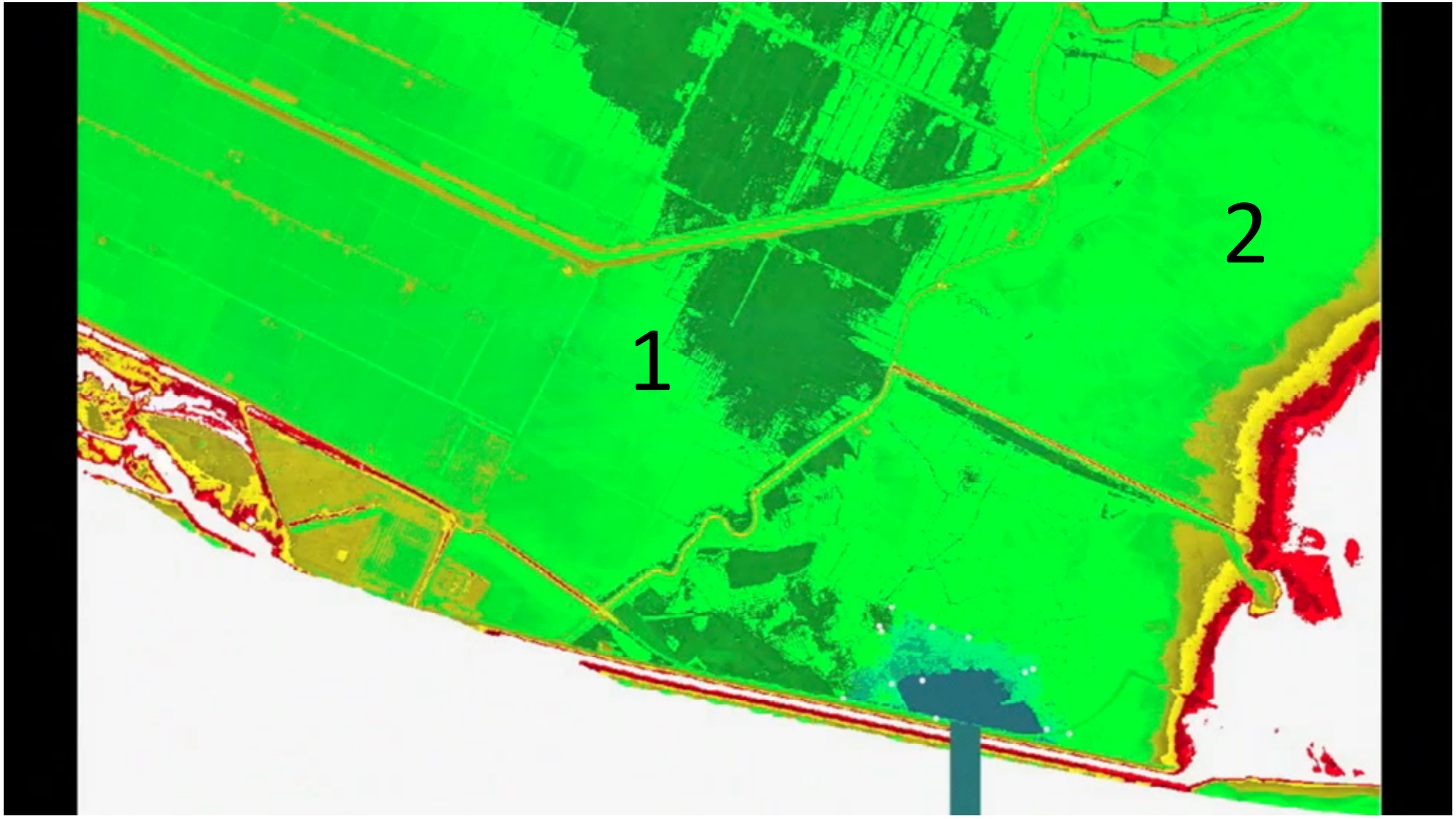
解析度對計算結果的影響



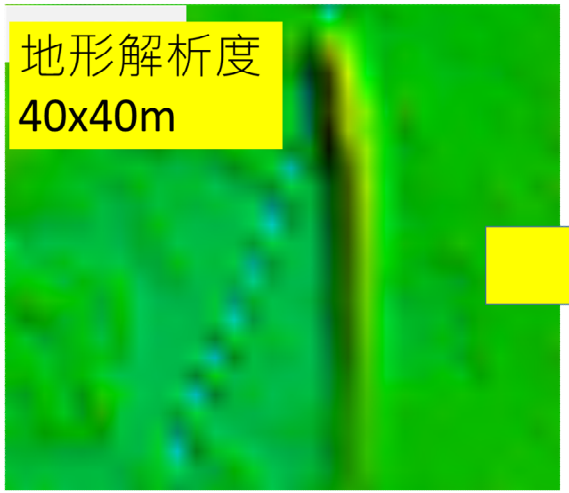
淹水範圍好像差不多
但是河道？

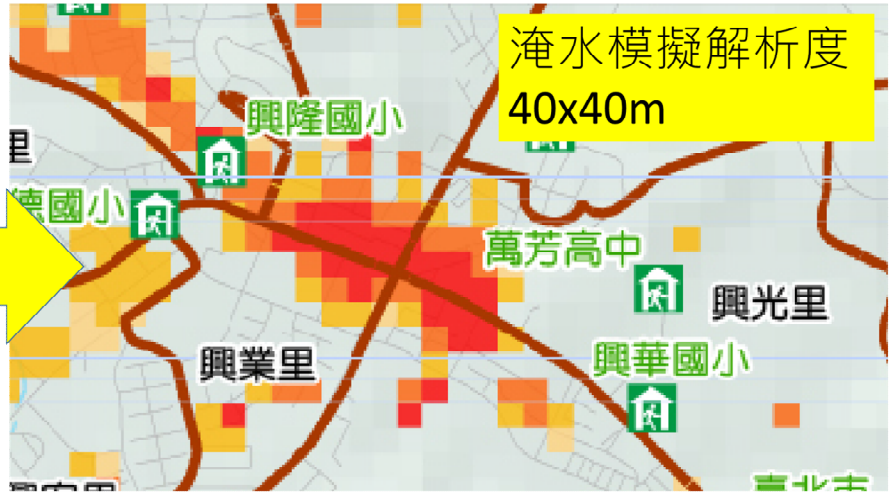
注意河道的迅洪

當北海海提潰堤時.....

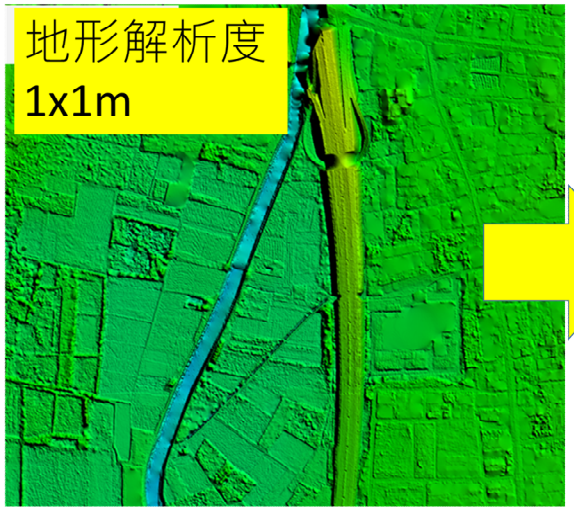


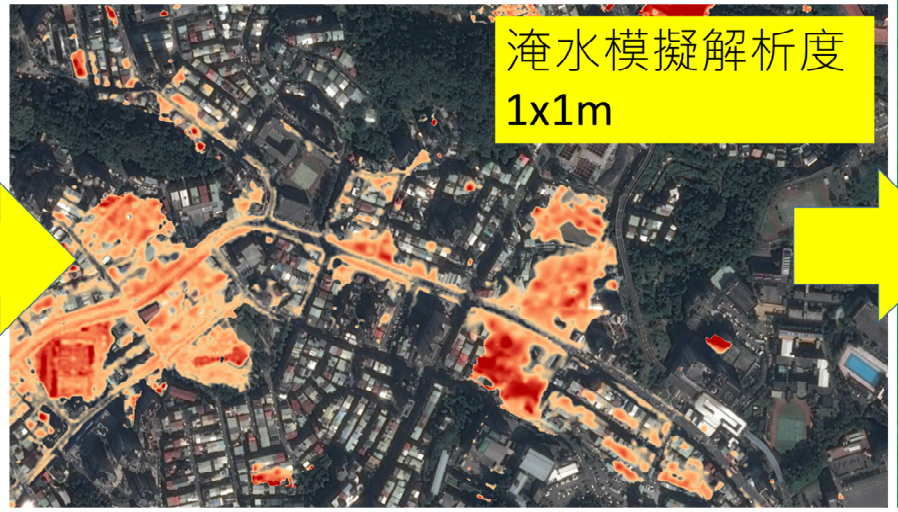
為什麼需要高解析度水理分析

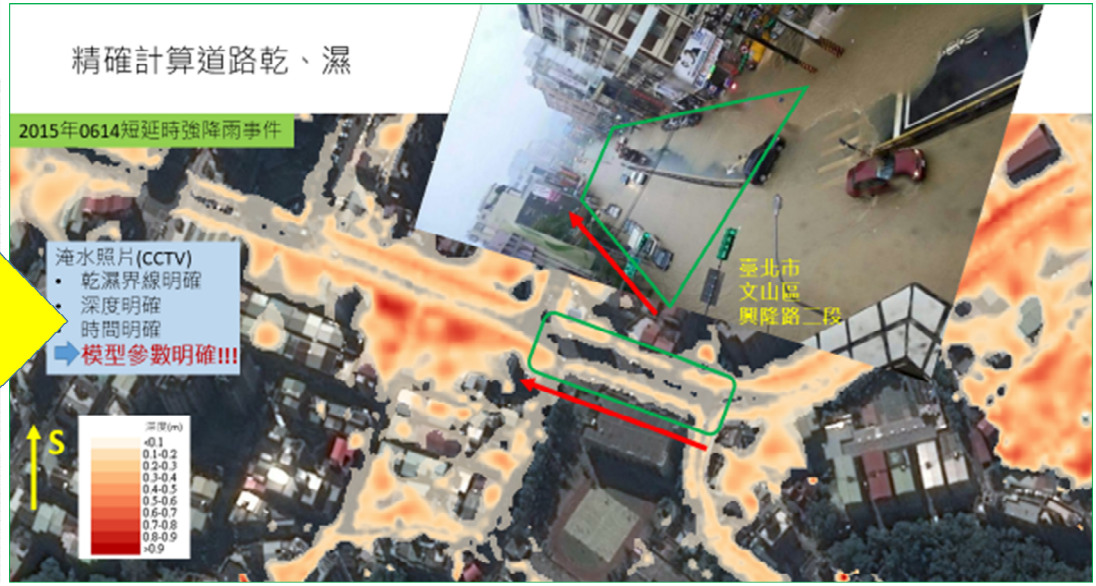




好的資料與好的模型配合有助於提升模擬的正確性，提升規劃設計品質、提供精準淹水預報







模型越來越複雜

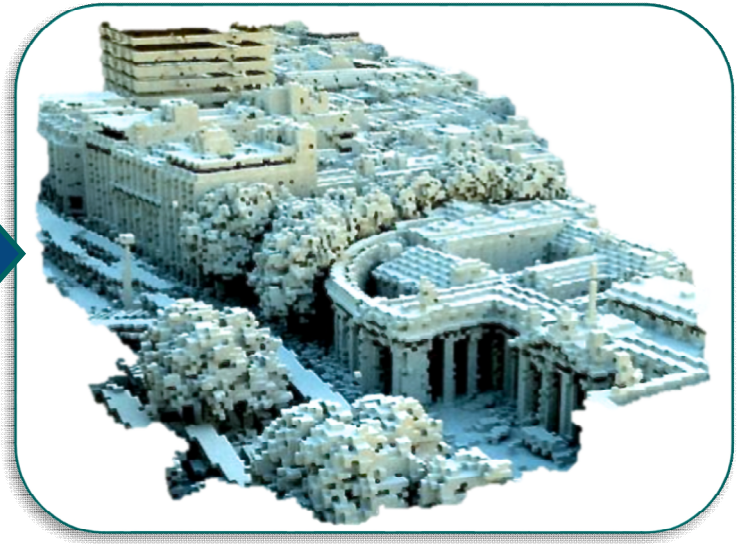


coarse resolution model

資訊越多，傳統模型越難處理
光達DEM怎麼處理？



medium resolution model



High resolution model

3Di起源

- 台夫特科技大學教授Guus Stelling (2009)：『開放資料前，我們有模式，但是沒資料；開放資料後，我們有很多資料，但是沒有模式可以處理這麼多資料.....』
- 2009年起，與荷蘭商青蛙科技、水務局及Deltares共同研發3Di，為因應
  - 巨量資料 (高解析度地形[LiDAR DEM])
  - IoT資料
  - 加強民眾溝通
- Guus Stelling 曾開發的軟體：
  - Sobek模式，並在2009年停止開發
  - Delft3D三維水理模式，並在2009年停止開發
  - Rebisim水文模式，並在2002年停止開發



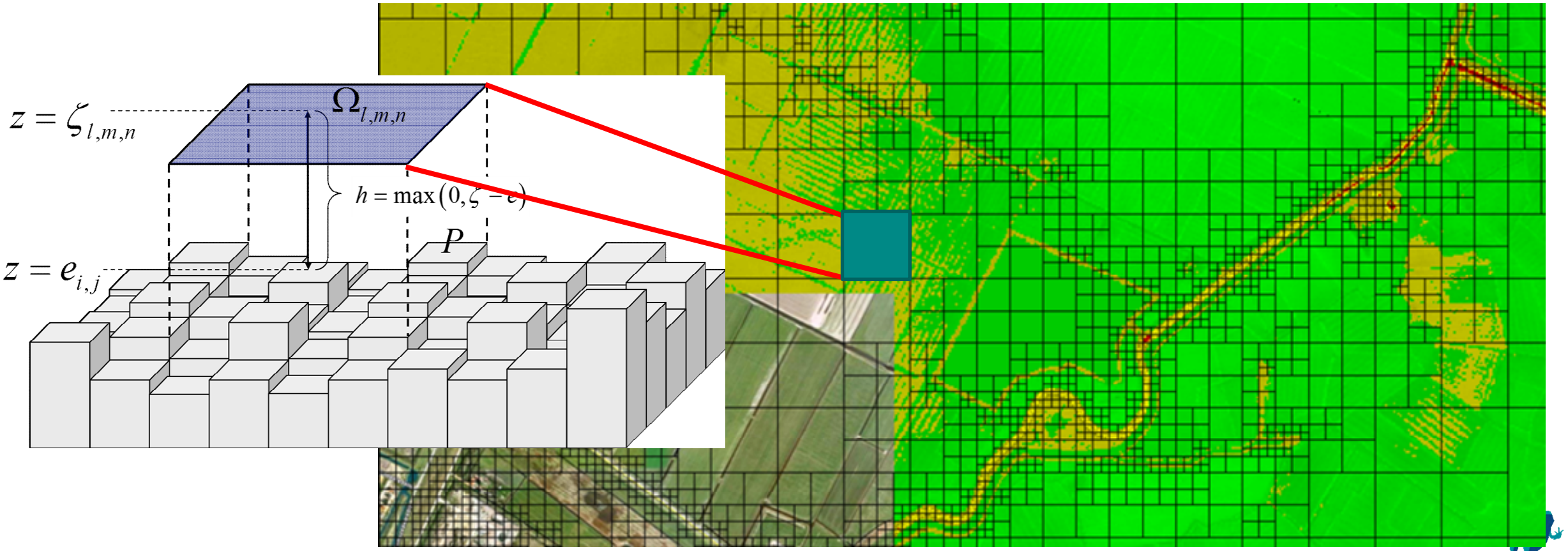
Prof Guus Stelling, TU Delft



3Di Consortium 2009年成立

3Di – 理論
四分數法與子網格法

•Paper: *Quadtree flood simulations with sub-grid digital elevation models* 2012; ICE Publishing; Guus S. Stelling



二維網格計算

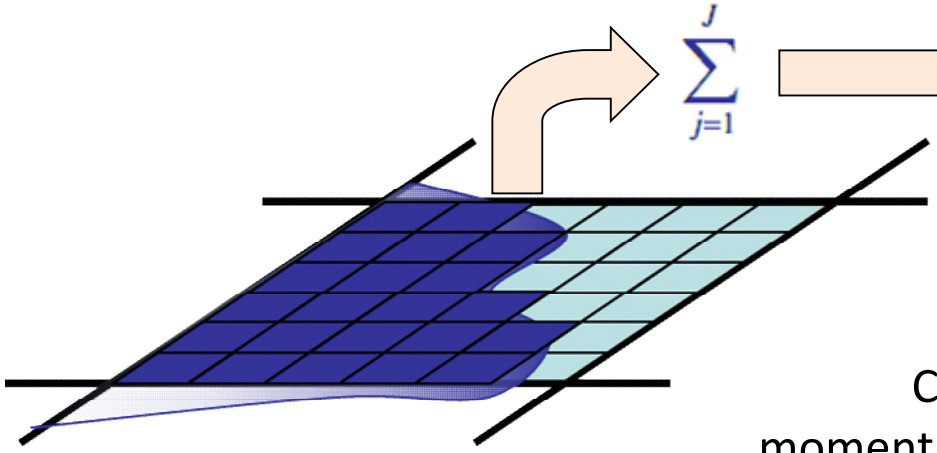
動量方程式:

$$\frac{DU}{Dt} + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + cf\frac{U\|U\|}{h} = 0$$

$$\frac{DU}{Dt} + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + g\frac{U\|U\|}{\Omega^2} = 0, \Omega = \sqrt{\frac{gh}{cf}}$$

利用子網格修正底床減應力

Define friction in terms of conveyance velocity Ω



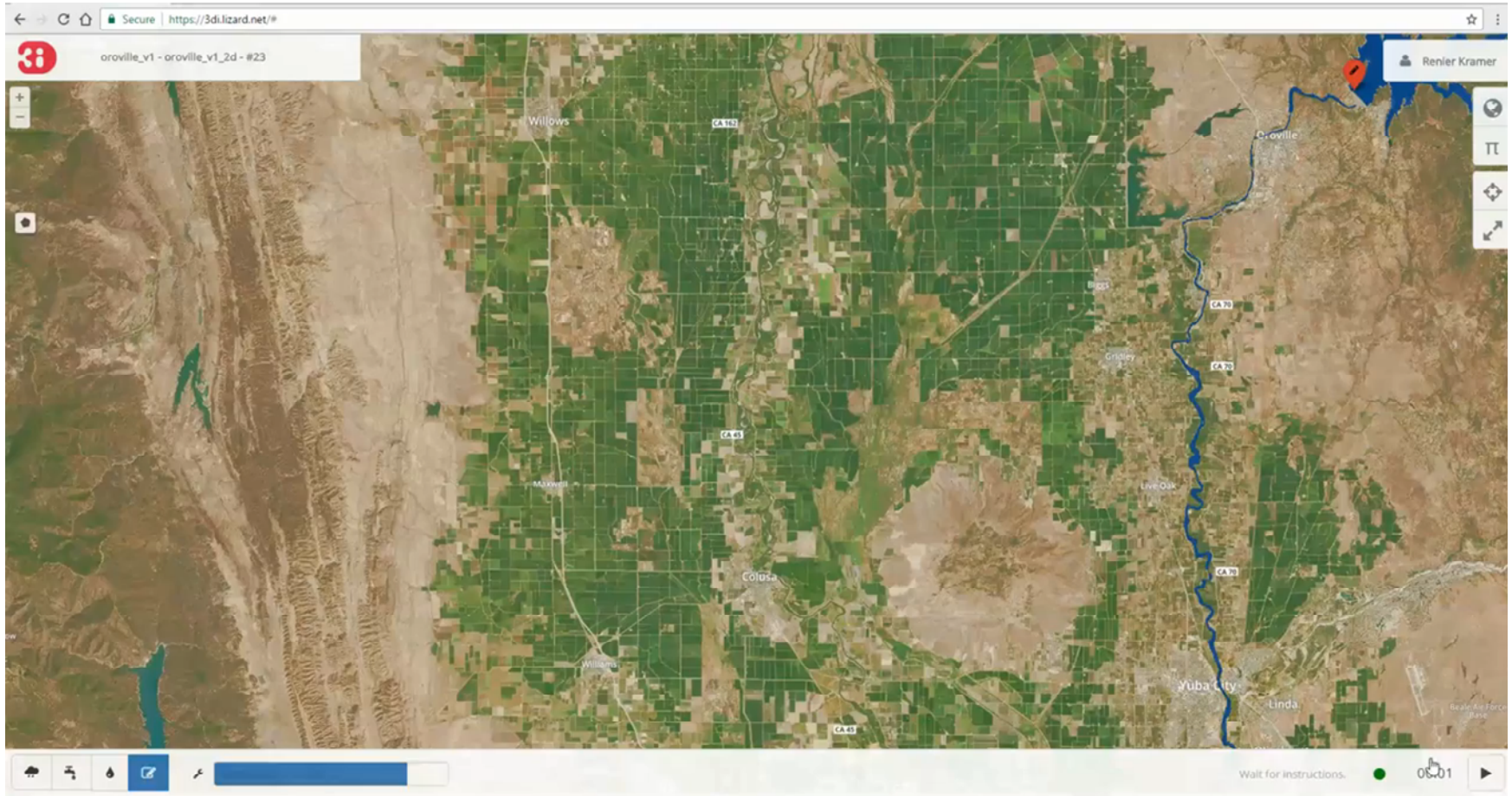
$$\|U\| = \frac{\sum_{j=1}^{J} h_j \|u_j\|}{\sum_{j=1}^{J} h_j},$$

Continuity and momentum evaluated **on quadtree cells:**

$$\Omega = \frac{\sum_{j=1}^{J} h_j \Omega_j}{\sum_{j=1}^{J} h_j}$$

不同水位，對應不同粗糙度，趨近於現實情況

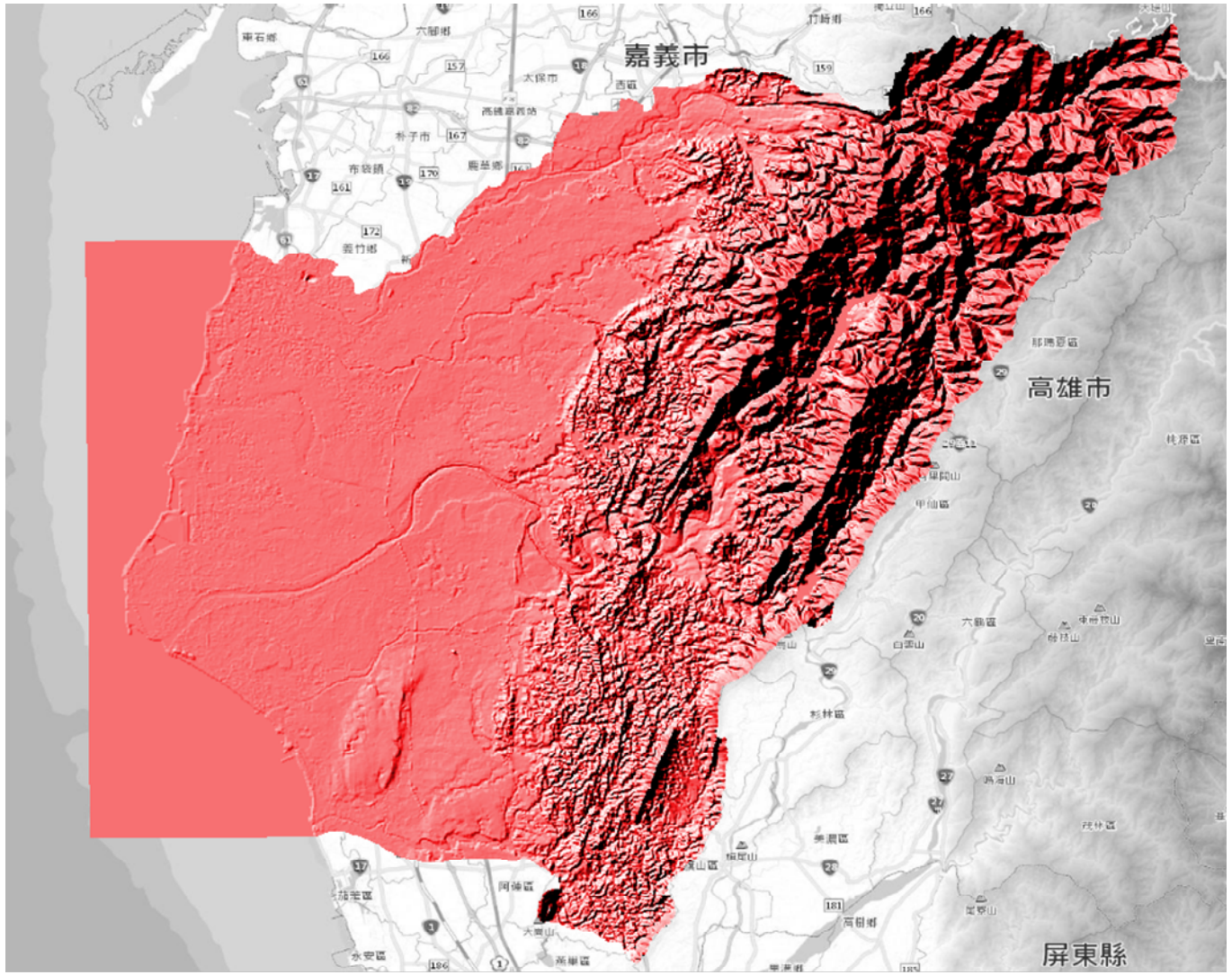
潰壩洪水模擬



美國加州

Oroville Dam breach

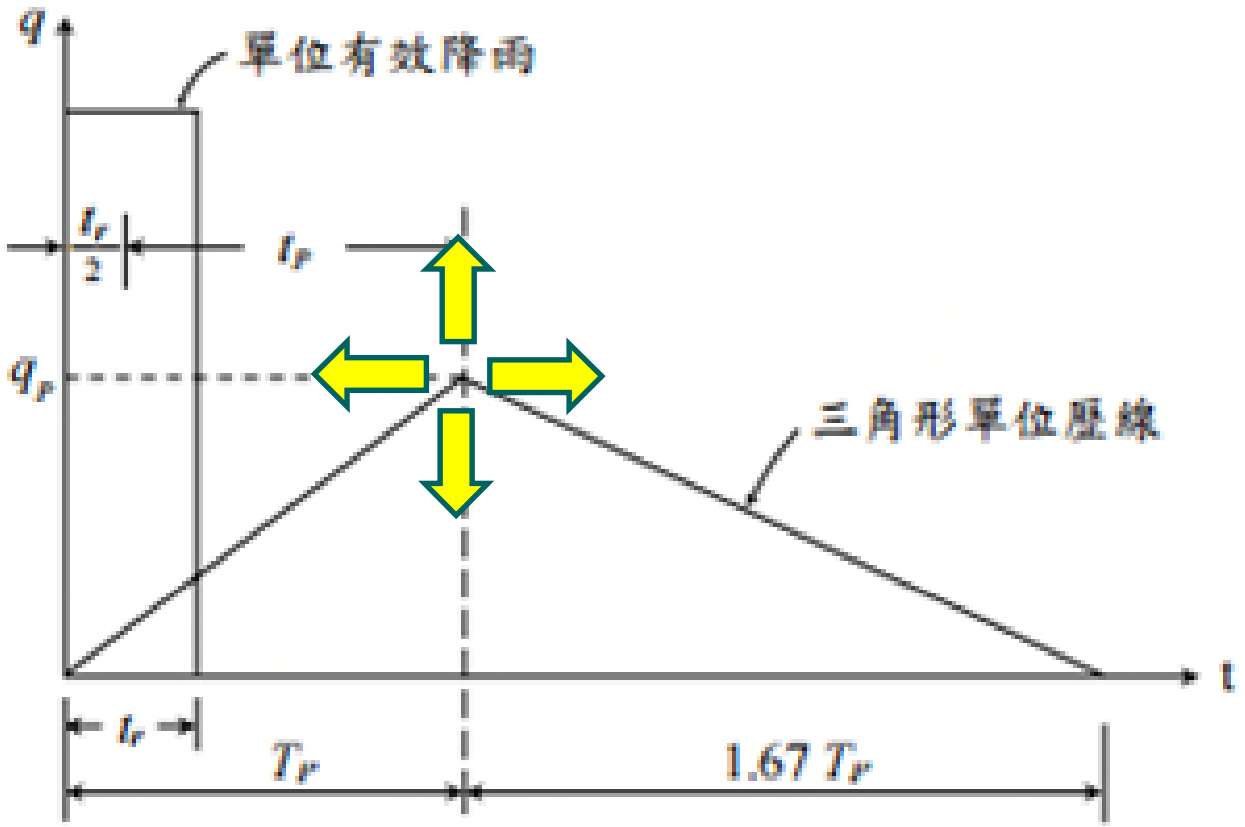
潰壩模擬-曾文水庫為例



模擬範圍：

- 整個曾文水庫集水區與台南市
- 超過2600公里
- 解析度5m
- 考慮網格粗糙度

降雨逕流模擬



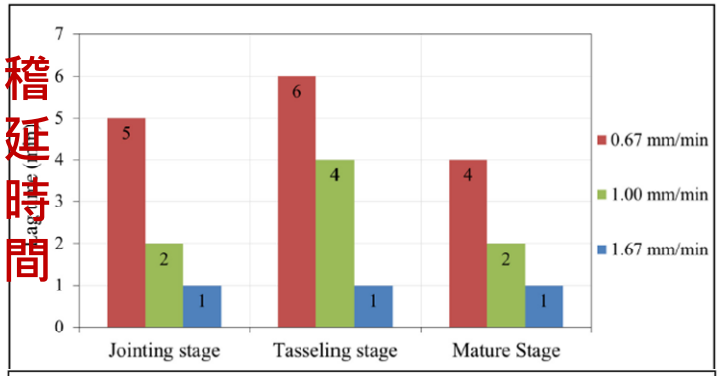
過去：**單位歷線+雨量**

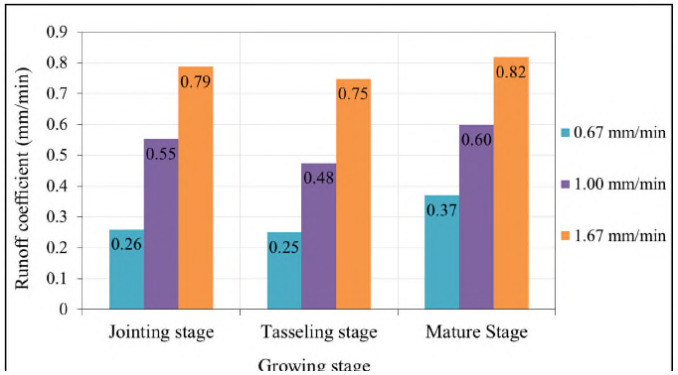
- 但一個子集水區的單位歷線無法代表其他子集水區的單位歷線
- 實務上多採同樣幾組單位歷線，尖峰發生時間相同。

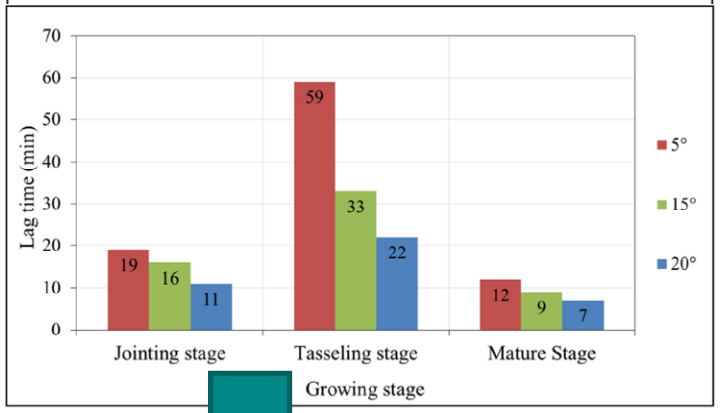
事實上：流量尖峰[量與時間]與降雨強度、坡度、入滲、土壤水份有很大的關係

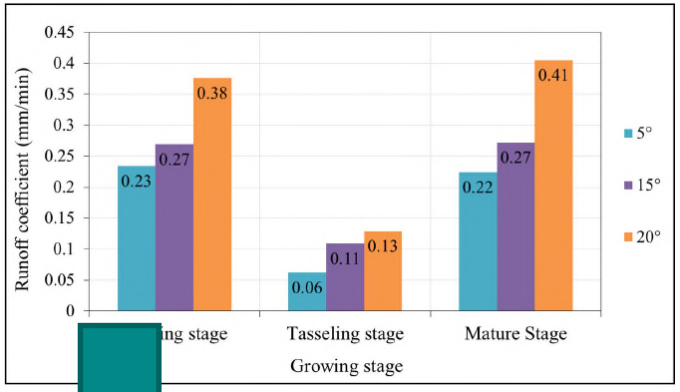
降雨逕流尖峰發生時間非固定

稽延時間









稽延時間隨降雨強度增加而縮短

(上)**逕流係數隨降雨強度增加**

(下)**逕流係數隨坡度增加**

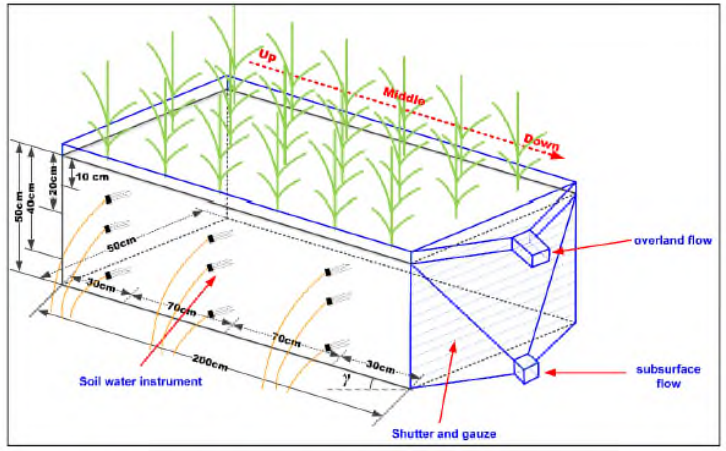


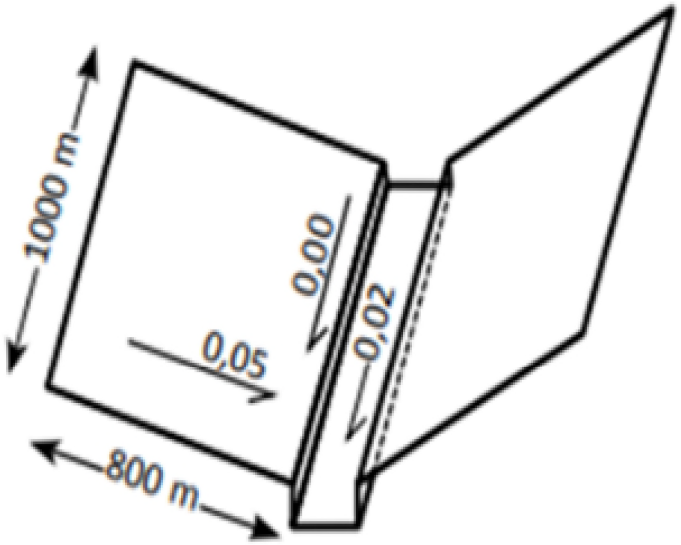
Figure 1. The structure of the experimental plots and soil water measurement instruments [4].

Water 2015, 7, 2990-3008; doi:10.3390/w7062990
Wenbin Mu, Fuliang Yu, Chuanzhe Li, Yuebo Xie, Jiyang Tian, Jia Liu,
and Nana Zhao

現實情況：
沒有任何兩個坡是相同的，沒有任兩場場降雨在空間與時間上是相同的

- **逕流係數在同一個坡不同時間上都會改變**
- **洪峰延遲時間也隨降雨強度與坡度而改變**

各種模式計算



SHE：運動波模式
SWMM-RR: 經驗公式

動力波模式有好的表現
但速度？

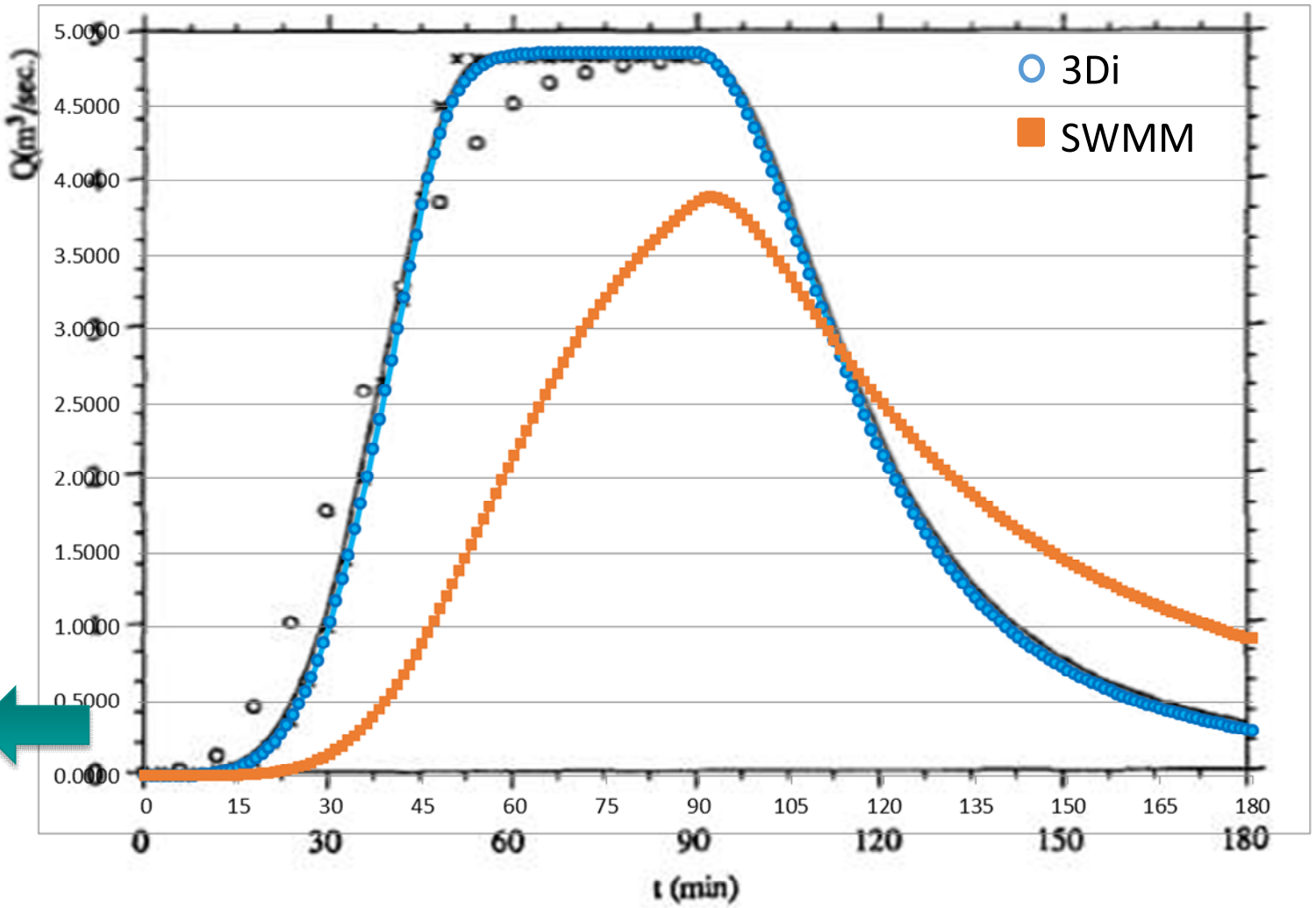


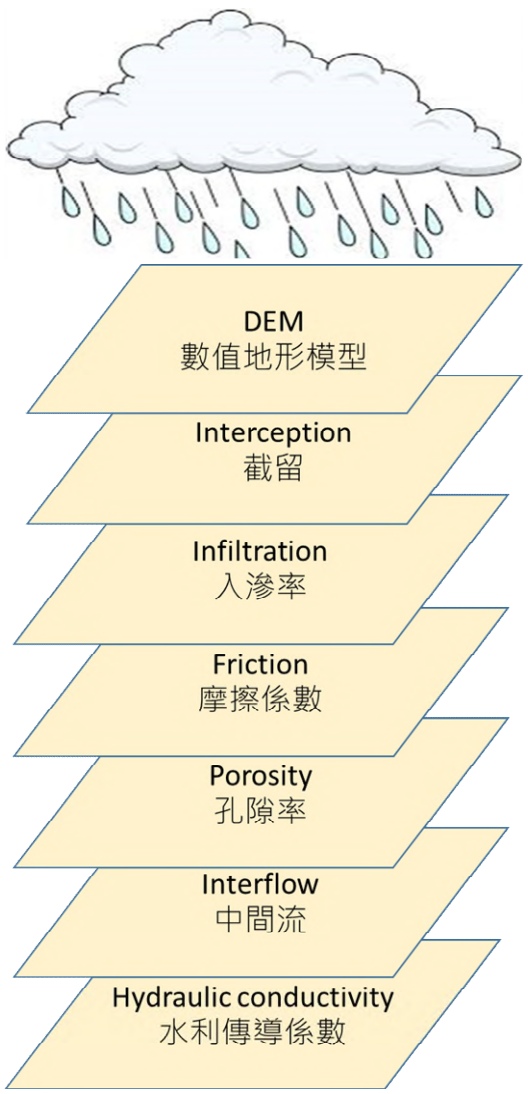
Fig. 8. Discharge at the outlet of the channel in the level V-catchment (both the analytical solution and the FD solutions are not available for the recession).

模式比較

	經驗公式	運動波模式	動力波模式
優點	快	準確性中等	計算準確
缺點	計算不準確 無地下水模組	網格數量多 慢 無地下水模組	網格數量多 極慢 多數無地下水模組

藉由四分數與子網格法可改善速度與準確性

3Di模式在集水區的應用設定



地表水模組 → 動力波模式，精確模擬漫地流

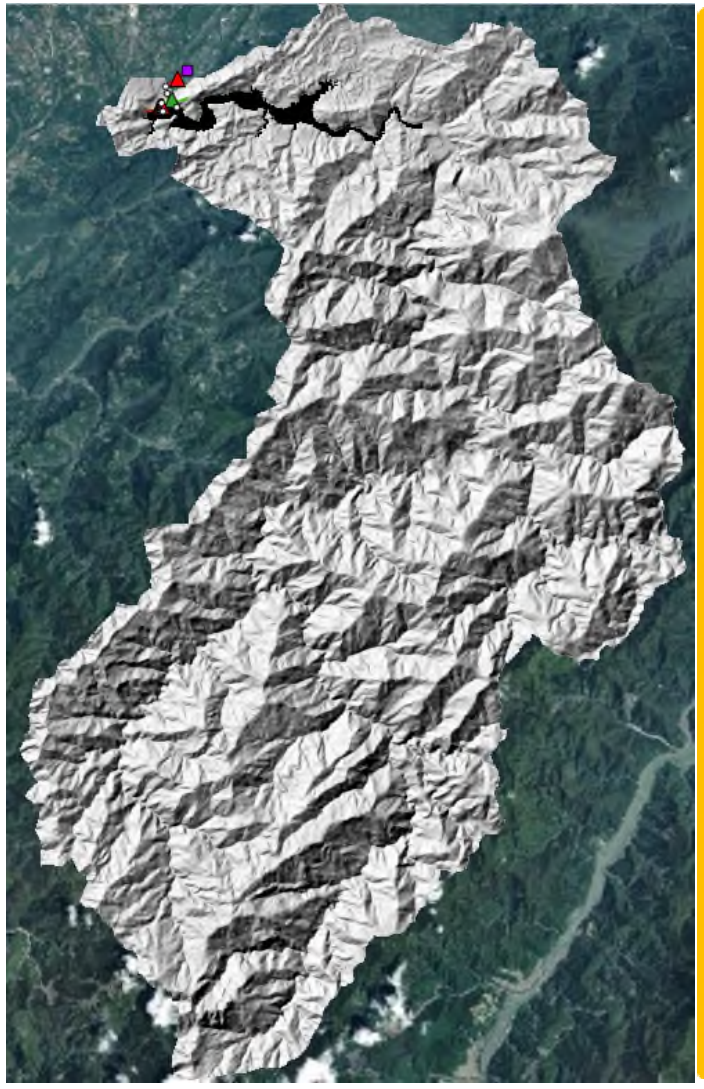
考慮

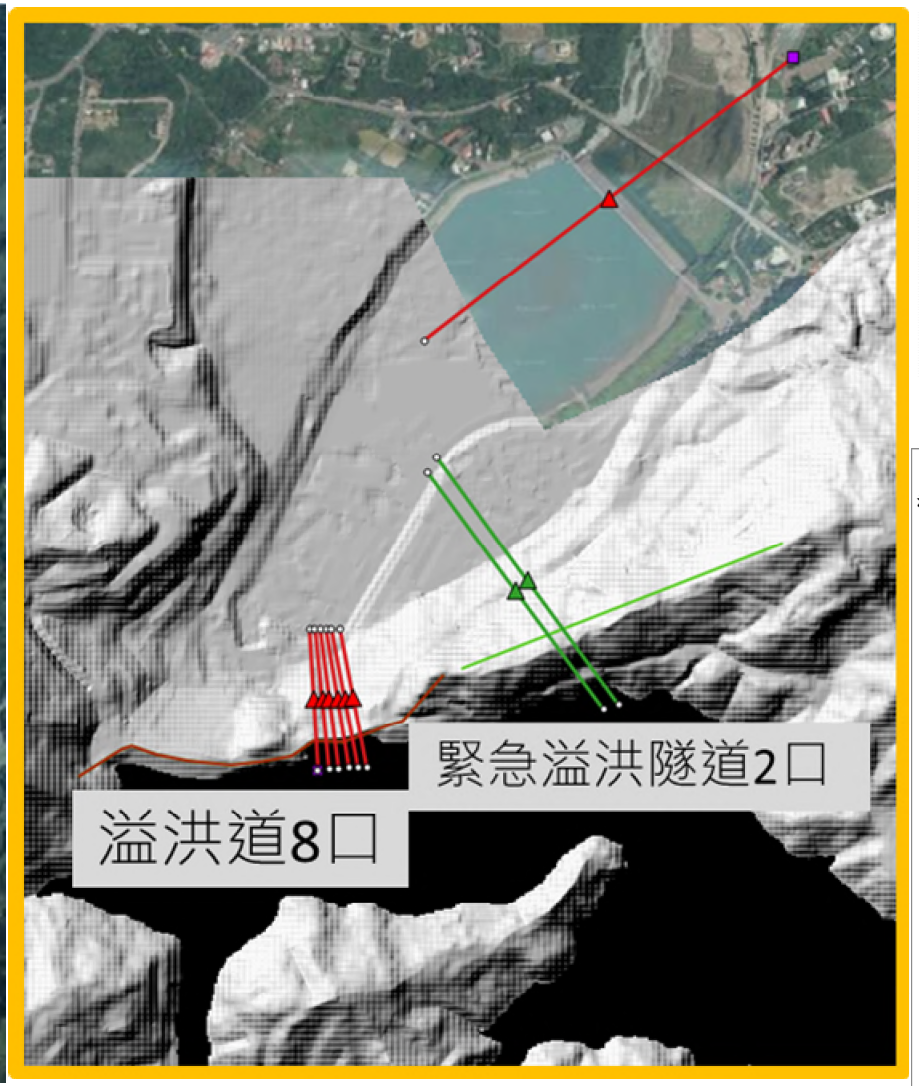
- 各網格不同的粗糙度
- 各網格的降雨量
- 各網格的損失量(入滲、截留)

地下水模組 → 地下水模式，精確模擬降雨事件後的伏流水

石門水庫集水區模型初步測試

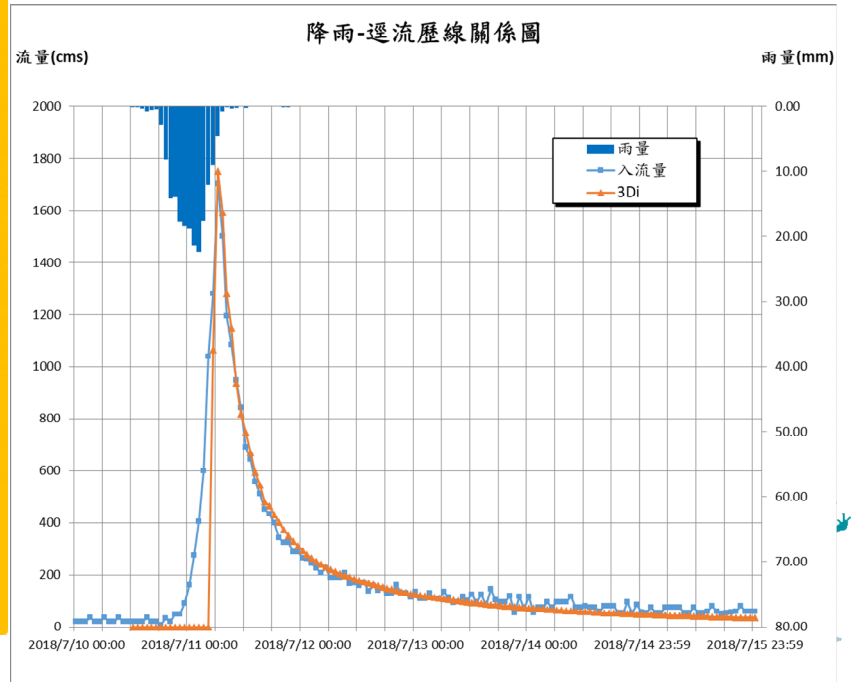
考慮地下伏流水
以2018年瑪麗亞颱風模擬7日



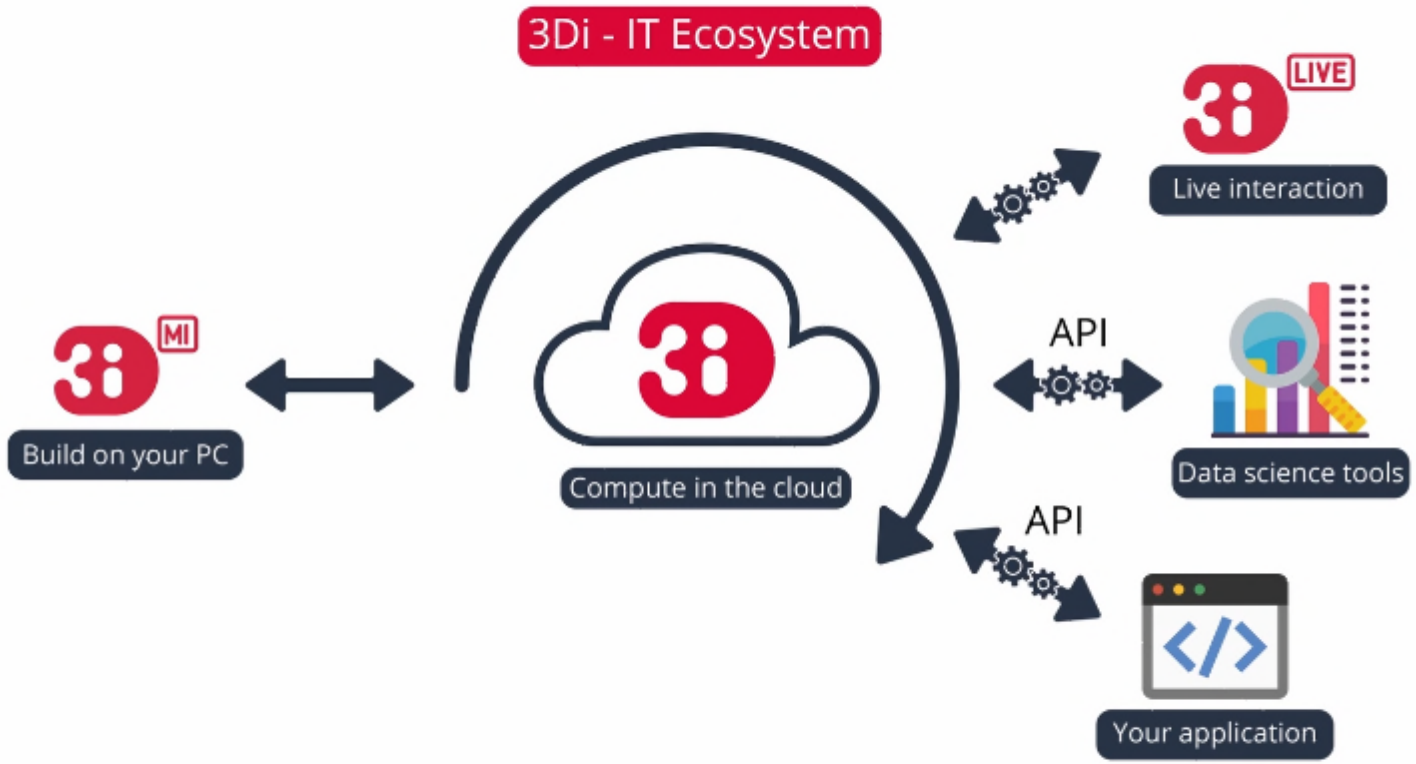


測試案例，多數參數為假設

- 非侷限含水層厚度
- 孔隙率
- 入滲係數、容量
- 地下水位 等

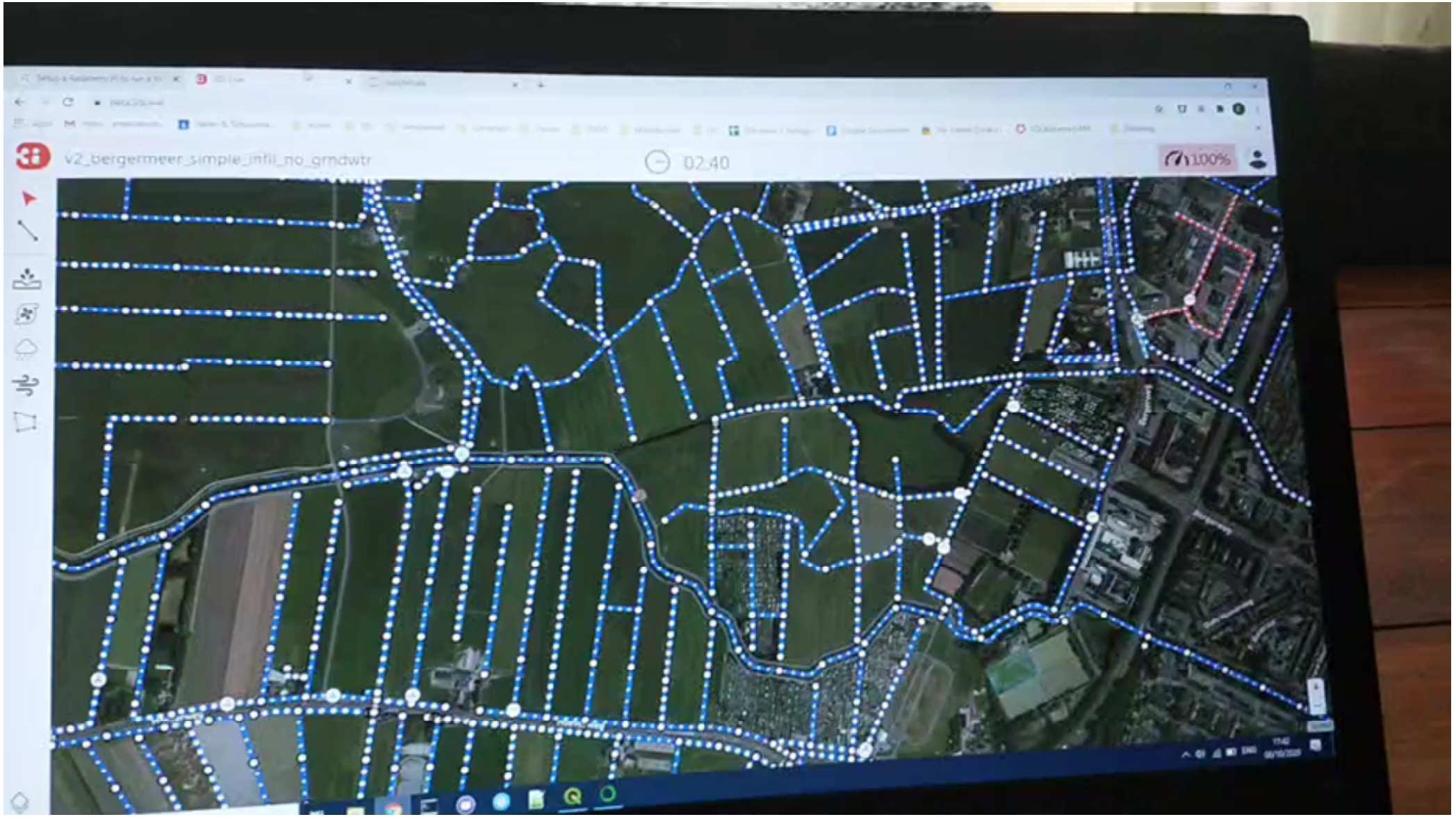


API輸入與輸出



- 介接自己的觀測資料
  - 水位、水深
  - QPE (雷達定量降雨觀測)
  - QPF (雷達定量降雨預測)
  - 其他
- 介接自己的模式
  - 地滑模式
  - 河道退縮模式、堤防安全模式
  - 橋墩沖刷
  - 其他
- 介接自己的網站與平台

API的應用



結論

- **潰壩淹水模擬**
  - 地形解析度對結果的影響？
- **動力波降雨逕流**
  - 物理型坡地泥沙沖刷
  - 土石流發生時機

謝謝指教

Nelen & Schuurmans
荷蘭商青蛙科技有限公司
許永佳 ychsu1978@gmail.com

