

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

▶ “山坡地開發之最佳地形設計法” 簡介

An Introduction of Sloping Land Development Using Earth Design Method

doi:10.6154/JBP.1983.2.016

建築與城鄉研究學報, (2), 1983

Journal of Building and Planning, (2), 1983

作者/Author : 黃世孟(Shi-Men Huang)

頁數/Page : 275-283

出版日期/Publication Date : 1983/06

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

<http://dx.doi.org/10.6154/JBP.1983.2.016>



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



「山坡地開發之最佳地形設計法」簡介

黃世孟 *

AN INTRODUCTION OF SLOPING LAND DEVELOPMENT USING EARTH DESIGN METHOD

by

SHI-MEN HUANG *

摘 要

台灣高度經濟成長加速全省山坡地之開發與利用。由於我們尚缺乏認識環境的正確概念與解決工程技術的方法，已導致許多開發所引起的環境問題。本文內容針對住宅社區規劃中、基地工程處理地形規劃之問題。主要介紹利用航照地形資料以電算機自動解析的方法，認識地形、設計地形、繪製地形的理論與應用。全文內容共分三部分：

(一) 山坡地開發方式的動向：說明大規模山坡地開發之問題、坡地規劃概念的改變、地形認識技術的進步、以及提出幾項地形設計的評價方式。

(二) 地形最適設計法：確定地形設計之評價基準，介紹兩種地形解析之數學模型。

(三) 地形設計方法之應用例：主要介紹利用電算機認識地形、模擬設計地形、以及自動製圖之實例。

ABSTRACT

The high economic growth increases the development and using of the sloping land in Taiwan. It makes many environmental problems come out because we are lack of knowledge about correct ecological concept of environment and the method of solving engineering technique.

This paper introduces the research of housing planning, how to solve the problems of earth formation in site engineering. The main introduction is how to use the land information by means of computer automatic analysis to understand, plan and design land. There are three parts in this paper:

1. The tendency of sloping land development method: Explain the problems of the big-scale sloping land development, the concept of sloping land formation, the progress of land knowledge and some evaluation methods of earth design.
2. The basic mathematical theory of optimum design method: Make sure of evaluating conditions, two kinds of mathematical methods of earth analysis.
3. Examples of computer application in earth design: Introduce how to use computer to understand, earth, case studies of earth design simulation.

民國71年3月30日收稿

* 台灣大學土木工程學研究所客座講師

Manuscript received March 30, 1982

* Visiting Lecturer, Graduate School of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, Republic of China

前言

近年，台灣高度經濟成長加速全省都市與鄉村區域山坡地的開發。今後，全省土地利用計劃中，佔著相當重要的角色。

山坡地開發與利用之課題所關連的專門領域甚廣，目前所面臨最具代表性的問題，即如何順應自然地形及維持生態平衡，如何避免地景破壞及發生都市災害，如何提高山坡地土地利用及經濟效益。這些問題，對於開發中的國家而言，往往雖能認同諸如「景觀」、「保存」之重要與價值，但却經常被迫採取「經濟優先」、「開發建設」的選擇。對於台灣的現況而言，山坡地開發的原則或理念的及早確立固然重要，但尚缺乏的是具體的、有效的解決問題的技術。

本文雖秉承生態模型為基礎的規劃理論（註1），然而也接受積極開發與利用的前提下，基於「工程技術」的立場，針對山坡地開發時最基本的二問題：

- 1 原地形該如何改造設計成新地形
- 2 改造地形該如何客觀地進行評價

簡述日本之大規模山坡地開發建設中，利用電腦解析地形的「規劃技術」——即「地形改造最適設計法」（註2）——提供國內各界之參考。

一、山坡地開發方式的動向

(一)大規模山坡地開發的問題

大規模山坡地開發建設時，常需考慮因開發行為所易引起環境改變的諸要素，可概略地列舉如下：

- 1 地形的變更
- 2 地質的變更
- 3 生態系的變更
- 4 洪水流出系的變更
- 5 供水系統的變更
- 6 地下水系的變更
- 7 地景的變更
- 8 土地利用的變更
- 9 生活方式的變更

其重要的內容可歸納成如下三點：

- 1 地表的問題
- 2 水系的問題
- 3 生活的問題

雖然，規劃者努力著避免上述各要素所發生的弊害，但是，目前的地形改造設計中，由於固定的規劃觀念，地形認

識技術的落伍，及改造地形的評價方法，存在著若干待解決的問題。詳細內容如下：

(二)山坡地規劃觀念的改變

第1項問題是傳統的規劃作業，過於重視區域「平面計劃」的結果，常導至不合理的地形「斷面計劃」的產生。

一般，首先設定規劃區域內誘致人口與密度，設定若干形式的計劃單元（註3），依照此諸條件著手土地利用計劃——例如，街區道路計劃、公共設施之規模、配置計劃、住宅之鄰里計劃，配置計劃等——，完成所謂主要的平面計劃——即Master Plan。其次，再決定滿足平面計劃之改造地形標高，決定區域內地形的立體斷面的處理。（圖1）

如此的規劃程序，適用於地形起伏較少的平坦地形，對於地形高低起伏變化較大的山坡地，常易造成過多的土方工程，過高的坡面與擋土牆。換言之，為了避免此種規劃程序上所產生的缺點，如圖2所示，建議先設定斷面計劃之若干容許條件後，再規劃全地區的平面計劃。

(三)地形認識技術的改進

第2項問題即，只依2次元（平面）的「等高線地圖」為主進行設計作業時，難於深入把握3次元（立體）的地形構造。即，缺乏科學的地形解析技術。

一般，利用航測方式，收集地形的定性與定量的技術中，近年來由於電腦性能的提高。加以畫像解析技術的進步，如圖3所示，所謂量化的數值解析的表現法，活用到地形的認識、規劃、設計作業。最具代表性的實例即美國LANDSAT MSS Digital Data的全自動畫像解析技術，一般低空航測也利用此種畫像解析的原理，圓滿地處理地形立體的解析。理論上，原始地形的基礎資料——譬如地形標高、植物分布、土地利用形態等——庫存電腦後，可依CAD/CAM的電腦對話設計的方式，迅速地重複進行地形改造設計。至於，地形改造設計中的主要內容，下節中再做詳細說明。總而言之，利用電腦解析地形之技術，不但對地形認識階段有很大的幫助，對設計案的製圖作業也提高很大的效率。

(四)地形改造設計的評價

系統工程（Systems Engineering）成立的三大要素即模擬（Simulation）、最適化（Optimization）及評價（Evaluation）。其中，評價基準可否建立關係全系統的可否成立。一般可供評價地形改造設計的要素，概可略舉如下：

- 1 土方量：全土方量可推算出大約的總工程費。

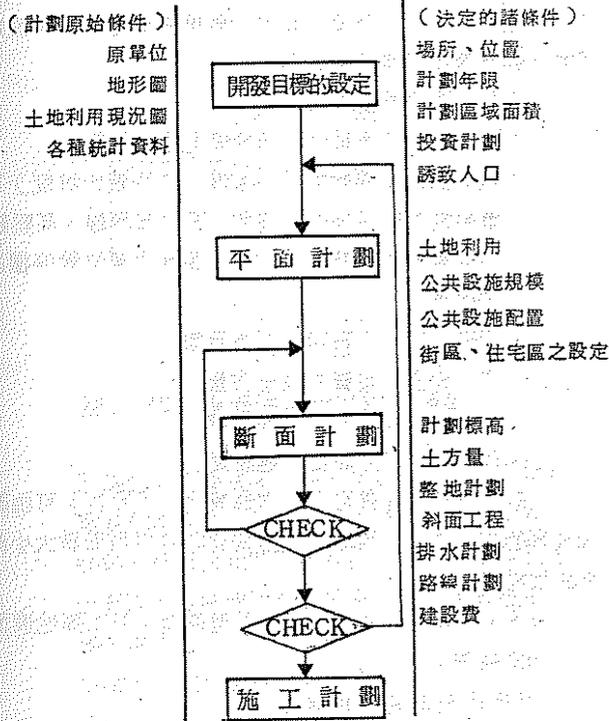


圖1 傳統的土地改造計畫的模式

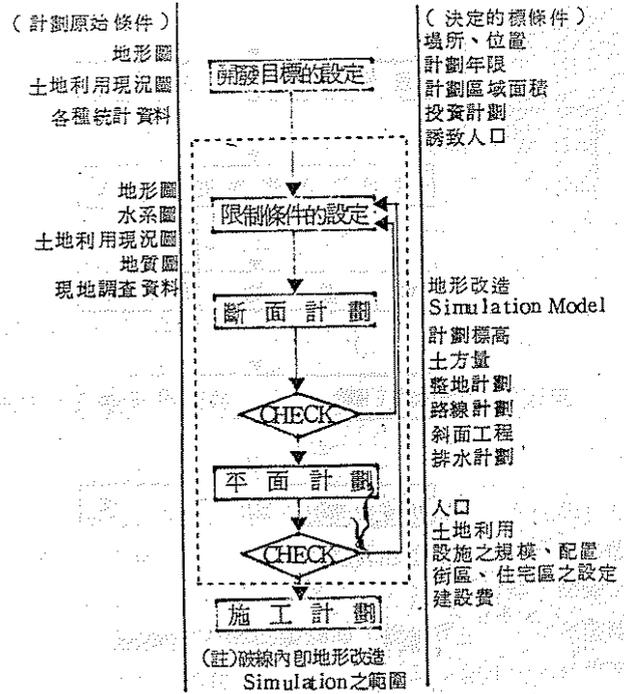


圖2 新土地改造計畫的模式

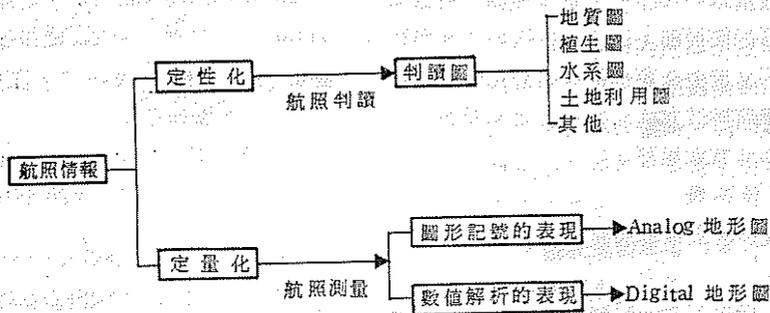


圖3 利用航測之地形情報之抽出系統

- 2 適居性、安全度：由改造地形的坡度構成比表示。
- 3 日照、日射量：由改造地形的坡向構成比表示。
- 4 雨水處理系統：由坡面之雨水流向、流量及流域面積的狀況來表示。
- 5 地景視覺：各視向、視角的透視、鳥瞰圖來表示。
- 6 綠地保存率：此代表原地形的保存狀態。一般，依改造地形的高低差變化量在50公分以內面積大小來表示。

以上所列舉的諸項目中，包括能定量與不能定量的評價要素。定量的評價要素中，通常只依「土方量」的大小作為

評價基準。至目前為止，尚未建立同時能考慮上述諸要素所謂多元的評價系統。主要的理由是：

- 1 傳統的土方量計算費時費力，因此很難嘗試多元評價要素、多數代替案的比較與檢討。
- 2 評價要素中，不能定量的評價基準很難有統一的評價認識。

但是，由於(三)之地形認識、解析技術的進步，逐漸可能建立較客觀的評價方式。

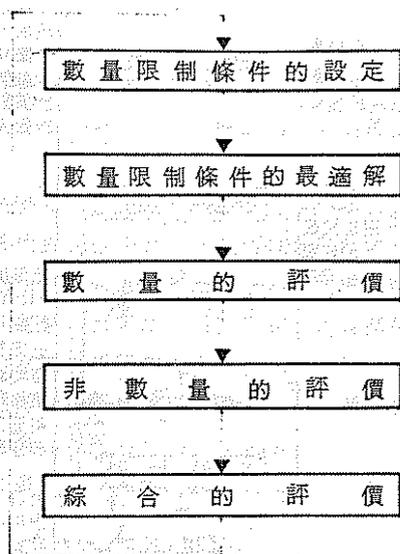


圖4 地形模擬設計的過程

二、地形改造最適設計方法

地形改造設計之最基本問題即是，原地形該如何改造成新地形。其中最重要的問題即，改造完成後的新地形該如何客觀地評價。以下，首先介紹地形改造最適設計過程中幾項重要的評價基準與評價方式。其次，再具體說明地形改造之二種數理模型的基本原理。

(一) 地形改造設計的評價函數

一般，求取地形改造的最適案的設計過程中可分成如下的各階段（圖4）。

1 首先假設可定量評價要素的限制條件——例如，改造地形的平均坡度在6%以下，或規劃區域內土方量之平衡條件。

2 其次求得滿足定量評價要素的限制條件的最適解。例如，土方量的最小值案，平均坡度 $t \leq 6\%$ 之計劃案。

3. 進行1、2所得定量的評價。

4. 進行非數量的評價。

5. 同時考慮3、4的綜合評價。

由此可見，非數量的評價建立於數量評價的基礎上。但，數量與非數量評價要素的最適案，並難保證就是綜合的最適案。一般綜合評價改造地形計劃案時，可轉換成數學中最大值原理來處理。

以上，雖然知道單依定量要素的地形解析時，難能求得地形改造設計的最適案。但是，若能求得數式表現的定量條件之最適解時，可說已完成地形改造中最重要的一部

份。因此，二〇中地形改造設計的數學模型建立時，設定了如下的定量限制條件與評價。

1 地形改造時數量限制條件

- (1) 土方量的平衡條件（即挖填土量的平衡）
- (2) 地形的坡度條件（平均坡度，容許最大坡度）
- (3) 重要定點標高條件（例如，區域境界線、高壓線塔位置、防災調整池位置，保存古蹟位置等標高的條件）

2 地形改造時數量表示的評價函數

- (1) 最小建設工程費（或土方量）
- (2) 最大的效益（收益—建設費）
- (3) 最大的效率（收益/建設費）

一般，建設工程費可由土方量表示。「收益」可由改造地形的集水效率，地形高低差變化50cm以內面積大小等來進行推算。

以下，介紹兩種地形改造的數理模型，即(1)彈性表面法、(2)水柱法。

(二) 地形改造設計的數理模型

利用電腦解析地形特徵時，通常利用方格分析法（Mesh Analysis Method）記錄地形各種情報（Information）。假設，規劃區域設以間隔 d (m)（註5）區分成 $m \times n$ 個方格（Mesh）。某交點 (i, j) 之對應地形標高 $H_{i,j}$ ，改造地形標高 $Z_{i,j}$ 。

1 彈性表面法（Elastic Surface Method）

(1) 改造地形坡度的限制條件：

$$\begin{aligned} |Z_{i+1,j} - Z_{i,j}| / d &\leq t_x, i=1, m-1; j=1, n \\ |Z_{i,j+1} - Z_{i,j}| / d &\leq t_y, i=1, m; j=1, n-1 \end{aligned} \quad \dots \text{式(1)}$$

t_x, t_y 即表示 i 方向及 j 方向的最大容許坡度。

(2) 土方量平衡條件：

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Z_{i,j} - H_{i,j}) = 0 \quad \dots \text{式(2)}$$

(3) 重要定點標高限制條件：

$$Z_{k,l} = H_{k,l}' \quad \dots \text{式(3)}$$

點 (k, l) 之改造地形標 $Z_{k,l}$ 固定為 $H_{k,l}'$ ，但不限制定點個數，如求其最小土方量之改造地形 $Z_{i,j}$ 時，土方量 = 挖土量 + 填土量

(4) 評價函數條件：

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |Z_{i,j} - H_{i,j}| \quad \dots \text{式(4)}$$

基於式(1)、式(2)、式(3)之限制條件，理論上依線形

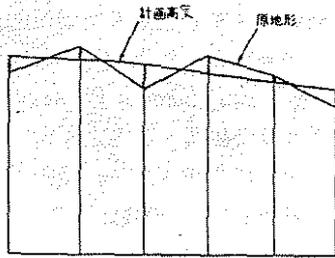


圖5 彈性表面法之地形變更模型

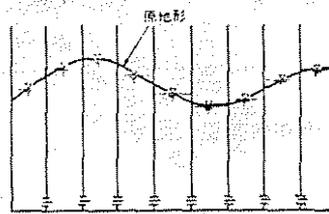


圖6 水柱法之地形變更模型

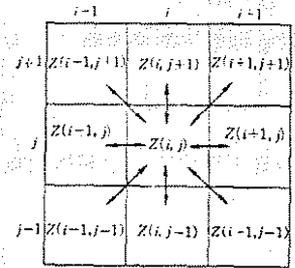


圖7 水的流動方向

計劃法可求得式(4)之解。但實際作業時，需龐大的電腦記憶容量及較長的演算時間，實用上存有若干缺點。為解決此問題，利用最小 2 乘法原理，修改限制條件及評價函數之若干形式，求取應用上的效率。其方法即，

(5)改造地形坡度的限制條件：

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m-1} (Z_{i+1,j} - Z_{i,j})^2 = n(m-1) d^2 t_x^2 \quad \dots \text{式(5)}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Z_{i,j+1} - Z_{i,j})^2 = m(n-1) d^2 t_y^2$$

式(5)之含意即 x 方向與 y 方向的平均改造坡度之 2 乘方值以 t_x, t_y 值表示。

(6)土方量平衡條件：

$$\sum \sum Z_{i,j} = \sum \sum H_{i,j} \quad \dots \text{式(6)}$$

(7)重要定點標高限制條件：

$$Z_{k,i} = H_{k,i} \quad \dots \text{式(7)}$$

(8)評價函數的條件：

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Z_{i,j} - H_{i,j})^2 \rightarrow \min \quad \dots \text{式(8)}$$

若求得 V 值成最小值的 $Z_{i,j}$ ，即是彈性表面法的基本地形改造設計案。

此模型的特徵即附帶限制條件的最小 2 乘法數學原理。利用 Lagrange's 的未定係數法解此非線形連立方程式。當實際模擬演算時，改變式(5)之 t_x, t_y 值可重覆進行模擬設計。至於式(8)採用 2 乘方和之最小值的道理，如圖 5 所示，即原地形標高與改造地形標高之變位差所發生之「功能」(Energy) 令其成最小的意思。

2 水柱法

地形改造設計之另一明快的數理模式即「水柱法」(圖 6)，原地形標高相當水柱群的水位高，任意水柱的下端，備有 8 方向的水閘(圖 7)。若同時打開水閘時，相鄰水位差的位能之關係產生了「變形運動」，當無限時間後所有水柱之水位高均成同一水平面。如此的水柱模型具有下列的諸特徵。

- (1)若能把握變形過程中任意時刻的狀況，即能計劃地形改造的形狀。
- (2)變形運動產生的挖填土方能自然取得平衡(雖然土方換算率不同，但對全體無大影響)。
- (3)依力學觀點評價時，能得最安定的地形改造案。
- (4)就土方工程效率而言，能得最小的地表變化之地形改造工程。

現在，假設規劃區域內某方格 (i, j) 的水位高 $Z_{i,j}$ ，模擬演算過程中，每微小時間 Δt 所變動的水位高表 $\Delta H_{i,j}$ 。

$$\Delta H_{i,j} = \alpha \{ G_{i+1,j} + G_{i+1,j+1} + G_{i,j+1} + G_{i-1,j+1} + G_{i-1,j} + G_{i-1,j-1} + G_{i,j-1} + G_{i+1,j-1} \} \quad \dots \text{式(9)}$$

式(9)中之 $\{ \}$ 內的和以 $P_{i,j}$ 表示， $G_{k,i}$ 即表示式(10)的函數。

$$G_{k,i} = \{ \text{SIGN}(Z_{i,j} - Z_{k,i}) \} / \sqrt{|Z_{i,j} - Z_{k,i}|} \quad \dots \text{式(10)}$$

因此，任何微小時間 Δt 後，(i, j) 格子水位高變化成

$$Z_{i,j} = Z_{i,j} + \Delta H_{i,j} \quad \dots \text{式(11)}$$

水柱群變形運動中，藉 α 值大小可決定所有水柱高收束成等水位高前的時刻，換言之，變形運動中任何時刻 T

，設其水位高 $Z_{i,j}$ ，同水柱模型中 $Z_{i,j}$ 是向量，所以

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Z_{i,j} = \text{Constant} \quad \text{式(12)}$$

當水柱群水位高曲面 $Z_{i,j}$ 收束成 Z_{mean} 時，即

$$Z_{i,j} = Z_{\text{mean}} \quad \text{式(13)}$$

曲面上所有點均依漸減收束之故，空間中任何 2 點的距離可定義成式(14)

$$F = \sum \sum (Z_{\text{mean}} - Z_{i,j})^2 = \sum \sum \{ (Z_{\text{mean}} - Z_{i,j}) - \alpha P_{i,j} \}^2 \quad \text{式(14)}$$

係數 α 即表示能調整 F 值變成最小時的數值，式(14) F 若以 α 微分時，

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0$$

結果可求得

$$\alpha = \frac{\sum \sum P_{i,j} (Z_{\text{mean}} - Z_{i,j})}{\sum \sum P_{i,j}^2} \quad \text{式(15)}$$

以上簡述了水柱模型的原理及地形改造計算中 α 值的解法。

當然，地形改造設計方法，不只上述 2 模型而已，日本之各大建設公司均擁有獨自的地形改造設計法。至於實際電腦程式的架構及內容，待別稿詳述。

三、地形改造設計法之應用

利用電腦解析地形之應用例中，依設計過程中所運用的電腦程式內容可概分如下 3 部分。

1 地形認識階段——可供認識規劃區域內地形特徵，環境統計等電腦程式群如下：

- (1) 地形標高分析。(2) 地形坡度、坡向分析。(3) 地形兩水流線、流量、流域分析。(4) 地形日照、日射量分析。(5) 地形透視、景觀分析等。

2 模擬設計階段——地形認識後，實際進行各設計案時之模擬演算階段，可重覆比較檢討各設計案之優劣，求設計之最適案，可供利用之電腦程式群如下：

- (1) 地形標高自動決定分析。(2) 土量計算。(3) 運土計劃。(4) 安全、防災設施計算，加上 1 之地形認識各分析。

3 自動設計製圖階段——2 之決定的設計案，利用電腦製圖方式，正確且快速完成設計圖，其主要內容有：

- (1) 山坡地改造平面設計圖。(2) 道路設計圖。(3) 下水道

設計圖。(4) 1 2 階段之所有設計圖。

簡言之，規劃者只需熟悉電腦操作及各程式之利用方法，地形等高線之 Mesh Data 輸入後，就可進行地形資料的統計，計劃案的模擬演算，以及最後階段的自動製圖的系統作業。最具代表的此套設計系統，即日本清水建設公司所建立的 System Land Planning Package。

但是，由於電腦輸出裝置、機種之不同——即 LINE PRINTER 方式或 PLOTTER 方式——地形改造設計案的圖示表現也不同，對於 LINE PRINTER 方式而言，基本需完成圖 8 ~ 圖 10 所示之作業。

- (1) 地形標高表示圖
- (2) 地形坡度表示圖
- (3) 集水面積圖
- (4) 挖填土工區分圖

至於 PLOTTER 方式的圖示例，上述 1 2 3 階段之內容均可圖示表現（註 6）。

以上只列舉諸電腦程式名稱，本文中不擬詳述其內容。現在正待開發研討之內容，諸如挖填土交界部分之土地利用方式，地質與植物移植關係等將陸續列入 Package，本文主要強調圖 8 ~ 圖 10 之內容於規劃階段中完全把握時，地形設計之結果至少可維持在某要求水準。

四、結論

台灣地區山坡地的開發事業既然已成必行之趨勢，當然宜早建立適合國情的開發模式。本文僅針對地形設計 (Earth Design) 中，利用電腦的「規劃技術」作概要的介紹，然而山坡地開發事業包含問題範圍廣，也非只依技術為主就可解決，需集合各領域專家，成立長期的「山坡地開發問題」之組織，研擬開發政策，活用學術研究，累積開發技術，才能期求具體的實效。

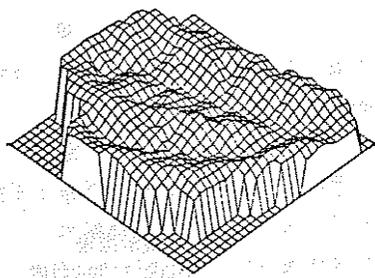
最後，本文內容主要引用東京大學生產技術研究所村井俊治副教授的研究報告及清水建設公司之山坡地計劃設計系統之資料，特向此二單位致謝。

註釋：

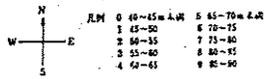
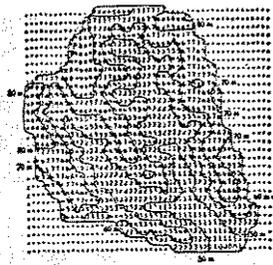
註 1：陳志梧：「一個以生態模型為基礎的規劃及設計方法簡介」：國立台灣大學土木工程學研究所建築與城鄉研究學報：中華民國 70 年 9 月，VOL.1 No. 1。

註 2：丸安隆和・村井俊治：「A Study on the Earth Design by using Simulation Model」：東京大學生產研究所：昭和 46 年 4 月：生產研究第 23 卷第 4、5、7 號。

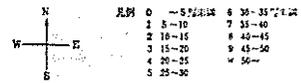
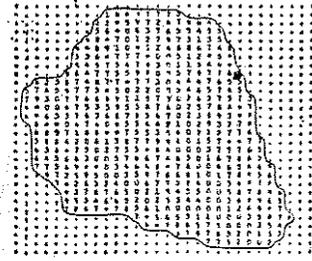
圖8 改造設計前原地形



(a) 等角投影圖

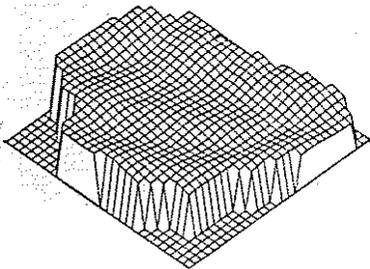


(b) 地形標高圖

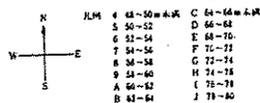


(c) 斜面坡度圖

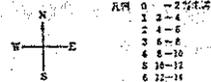
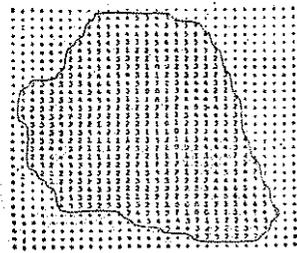
圖9 彈性表面法



(a) 等角投影圖

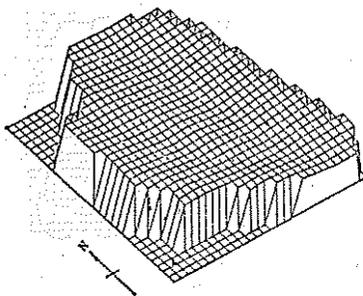


(b) 改造地形標高圖

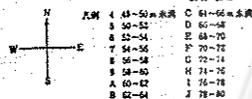


(c) 斜面坡度圖

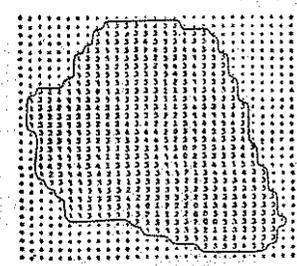
圖10 水柱法



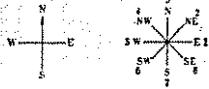
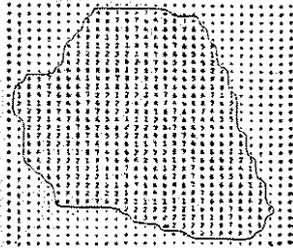
(a) 等角投影圖



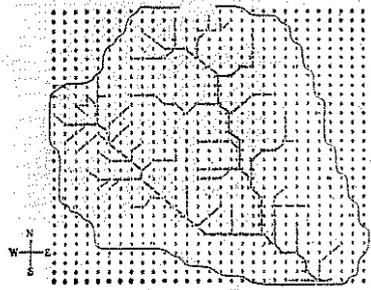
(b) 改造地形標高圖



(c) 斜面坡度圖

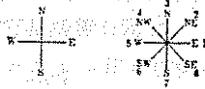
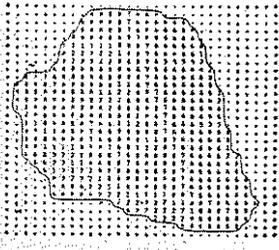


(d) 斜面坡向圖

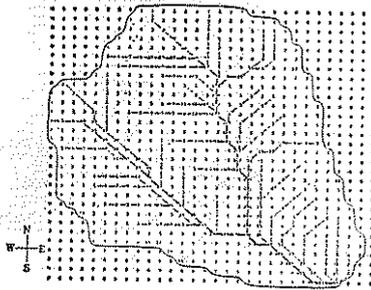


(e) 流域面積圖

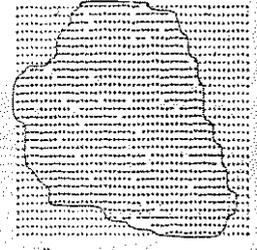
範例：
 + 填土部份
 - 挖土部份
 □ 空白表示挖填
 變化在±50cm以內
 的部份 + -



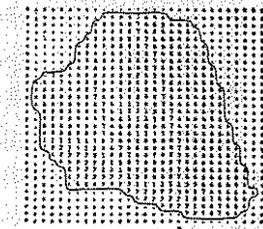
(d) 斜面坡向圖



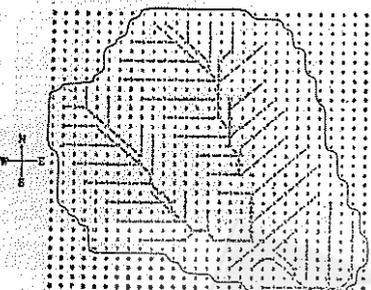
(e) 流域面積圖



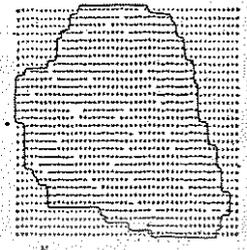
(f) 挖填土方區分圖



(d) 斜面坡向圖



(e) 流域面積圖



(f) 挖填土方區分圖

註3：所謂形式的計劃單元即 Neighborhood Unit，住宅集合配置的形態等，意包括概念性與實質的問題。

註4：考慮日照時間的長短時，南向坡面冬至時能受日照時間長，較易達到建築法規中維持日照4小時的要求。

註5：地形改造設計中通常採用20M或25M。實際經多次模擬演算的結果， $d < 20M$ 或 $d > 25M$ 時，易造成過煩演算或過於粗略演算。

註6：參考清水建設之「地域計劃設計系統」。

