

傾斜地の地形特性指標による 造成土工量・法面量の推定*

— ゴルフコースの造成計画事例を対象として —

A QUICK ESTIMATION OF EXPECTED VOLUME OF EARTHWORK AND AREA OF SLOPE FOR THE LAND DEVELOPMENT OF COMPLEX TERRAINS

— A CASE STUDY ON GOLF COURSE DEVELOPMENTS —

滝沢克己**・堤喜久男***・谷平考****・藤原康政*****

By Katsumi TAKIZAWA, Kikuo TSUTSUMI, Ko TANIHIRA,
and Yasumasa FUJIWARA

Taking thirty-two golf course development projects designed by the author group as samples, a statistical relationship between the volume of earthwork and the area of slope actually realized, on the one hand, and a set of indicators of pre-development terrain characteristics, on the other, is analysed by means of multiple-regression analysis. Result shows that the average gradient measured on twenty meter-by-twenty meter grids is their satisfactory estimator and therefore can be used as a convenient evaluator of a project site.

1. はじめに

近年の大規模な土地開発は平坦地から傾斜地へ移向し、土地造成において大量の土工事を伴うことが多くなってきた。わが国の山岳傾斜地では、地形と気象・地質・植生等の様々な要素が重なり合って微妙なバランスを形成しており、土地造成を行うにあたっては極めて慎重な対応が必要となる。特に計画時における十分な検討が不可欠であるが、傾斜地の造成形態といった計画面での研究はいまだ多くは行われていないといえる。

筆者らは、これまでに数多く傾斜地の土地造成計画を作成してきた。その作業過程では筆者らの開発

したコンピュータシステムを活用し、敷地の地形特性を様々な視点から分析・把握した上で造成シミュレーションを実施することにより計画作成を行ってきた。これらの計画作業を通し、傾斜地における造成において、その敷地の地形特性と造成土工量および法面量との間には、計画・設計作業を行う前の段階で地形特性の分析結果からそれらを推定できるに足る強い関係があることがわかった。

本研究では、傾斜地の造成計画において地形特性および計画要素と造成土工量・法面量の間にある関係を実証的に明らかにすることを目的としている。そして、事業の初期段階において、

- ① 土地の選定
- ② フィージビリティスタディー
- ③ 好ましい造成形態の選定

等の資料としてに利用でき、より望ましい土地開発を推進する上で役に立てば幸いと考えらる。

なお、本研究では、筆者らが長年にわたって計画

* キーワーズ : 傾斜地, 地形特性, 造成, ゴルフコース
** 正会員 (株) ポリテクニクコンサルタンツ
(〒180 武蔵野市吉祥寺東町1-14-6)
*** (株) ポリテクニクコンサルタンツ
(〒182 狛江市中和泉5-23-7-102)
**** (株) ポリテクニクコンサルタンツ
(〒281 千葉市小中台15-12-6)
***** (株) ポリテクニクコンサルタンツ
(〒270 松戸市常盤平3-28-1)

立案してきた多数の大規模な土地造成の中から、以下に述べる理由により、ゴルフコースを取り上げて分析の対象とした。

① 全国的に傾斜地での計画・設計・実施例が多い。

② ゴルフは自然の中で行うスポーツであることから、ゴルフコースにはその土地およびその周辺の地形特性に最も調和した造成形態が求められる。

③ 将来的には、ゴルフコースのような自然と調和した造成形態が他の土地利用に対する造成計画にも適用可能と考えられる。

2. 研究の概要

本研究は、図-1に示す手順に従って行う。

本研究の構成は、第3章で地形情報データ化の方法としてメッシュ法を用いたこと、および分析に用いる地形特性指標として、平均勾配・標高差・標高差勾配を選定したことを述べる。

第4章ではゴルフコースの造成土工量・法面量に

関係する計画要素のうちから特に重要な要素を抽出したのち、造成土工量・法面量の基準化について述べ、次に分析に用いる計画要素として敷地面積を選定したことを述べる。

第5章では、基準化された単位土工量・単位法面量の計算方法を記す。

第6章では、単位土工量・単位法面量を目的変数とし、平均勾配・標高差・標高差勾配・敷地面積を説明変数とする重回帰分析を行う。次いで、平均勾配のみによる多項式回帰分析を行い、単位土工量・単位法面量は平均勾配による1次回帰式により実用的には十分な精度の推定が可能であることを述べ、推定式を提案している。

3. 地形特性の分析方法

(1) 地形特性指標化の方法と特徴

地理調査に関する文献・その他によると、地形図を用いて地形に関する種々の量を計測する方法のうち、地形の傾斜や起伏にかかわるものとしては、表-1に示すようなものがある。

傾斜は、地形の特性を最もよく表わす指標で、土地利用その他の現象と関係が大きい。寺田法¹⁾、松井法¹⁾、方眼法¹⁾では、大地域の概略の傾向を把握するには適しているが、土地造成の工事量と関係づけるには、精度が不足する。また、数値地形モデルのうちのメッシュ法²⁾は、比較的小地域の詳細な計測に適しており、傾斜以外の地形特性についても、さらに、後の計画設計作業にも地盤高メッシュデータが利用できる。

起伏量¹⁾は、地形の開析状態や傾斜の大きさと関係が深く、山地と丘陵地といった地形区分の指標として用いられる。

コンター係数³⁾は、ある区域内の等高線の総延長が長いほど地形が複雑であることに着目した指標で、コンター係数が大きいほど、傾斜や起伏が大きい。

谷密度¹⁾は、地形の開析の程度を把握するために計測される指標で起伏量や傾斜と関係が深い。

(2) 本研究で用いた地形特性の指標

地形特性の指標化の方法は、前述したとおり種々の方法が提案されているが、各方法によって地形の特徴を説明できる項目や精度が限定されてくるとともに、指標化のための作業内容や作業量が異なる。

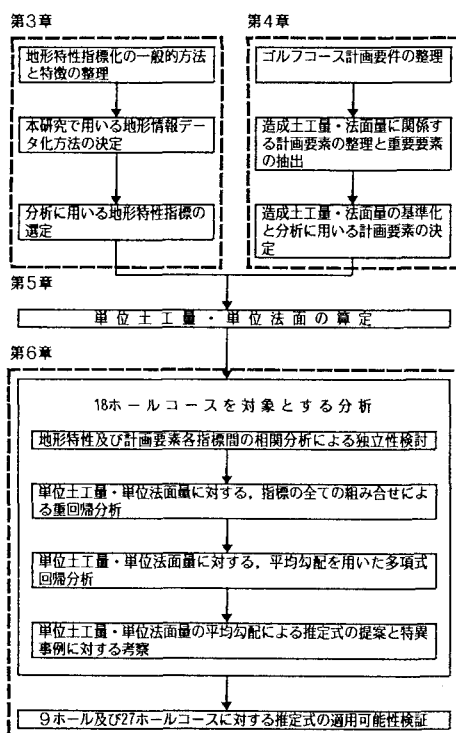


図-1 研究の手順

表-1 地形特性指標化の主要な方法

傾 斜	寺 田 法	5万分の1の地形図の縦横をそれぞれ10等分し、東西、南北方向にそれぞれ9本の平行線群を描く、その81の交点を中心に半径 2.5mmの円を描き、その円内に含まれる等高線の本数を数える。5万分の1の地形図では、等高線の高度間隔は20m、円の直径は250mに当るので、傾斜角を右式で求める。	$\tan \theta = 20/250 \times N$ ここに、 θ ：傾斜角（度） N ：円内に含まれる等高線の本数
	松 井 法	2.5万分の1の地形図に1辺4mm（実距離では100m）の方眼を重ねる。それぞれの交点において、その交点を挟む2本の等高線の最短距離を測定して、傾斜角を求める。	$\tan \theta = h/L$ ここに、 θ ：傾斜角（度） h ：等高線の高度間隔(m) L ：2本の等高線の最短距離 (m)
	方 眼 法	対象地域に適当な間隔の方眼を重ねる。その方眼の中に含まれる等高線の本数を数え、傾斜角を求める。	$\tan \theta = h/d \times N$ ここに、 θ ：傾斜角（度） h ：等高線の高度間隔(m) d ：方眼の間隔(m) N ：等高線の本数
	数値地形モデル（メッシュ法）による方法	対象地域の地盤高メッシュデータを作成し、1つのメッシュを構成する4隅の地盤高から、コンピュータによりメッシュごとの地形勾配を求める方法。	地形勾配 = $\sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial Y}\right)^2}$ ここに、 $\frac{\partial Z}{\partial X}$ ：X方向の地形勾配 $\frac{\partial Z}{\partial Y}$ ：Y方向の地形勾配
起 伏 量	1)	対象地域に適当な間隔の方眼を重ね、各方眼内の最高点と最低点との標高差で示す方法。この場合、方眼の大きさによって標高差は異なるので、方眼の大きさをだんだん大きくしていき、標高差が一定値に近づいたときの大きさとする。	
コンター係数	3)	対象地域内に含まれる高度10m ごとの等高線の総延長と、対象地域の面積から求める。	コンター係数 = $L/A \times 100$ ここに、 L ：対象地域内の等高線（高度10m ごと）総延長(m) A ：対象地域の面積 (㎡)
谷密度（古村法）	1)	5万分の1や 2.5万分の1の地形図で、等高線の状態から谷と判断されるものをぬき出して谷系図（水系図）を作る。それに1kmの方眼を重ねて、方眼の各辺が切る谷の数の合計をその方眼の谷密度とする。	

筆者らは、地形分析や土量計算等において、正方形メッシュの交点の地盤高を入力するメッシュ法を用いている。その理由は以下のとおりである。

① 微地形を分析できる方法であり、微地形に影響される土工量や法面量の算定上十分な精度が得られる。

② データ化が客観的で、作業が簡略である。

そして、メッシュデータの分析から得られる指標のうち、地形特性が客観的にとらえられ定量化が可能な、平均勾配・標高差・標高差勾配の3指標を選定した。以下に各指標について述べる。

a) 平均勾配

メッシュごとの最急勾配を求め、敷地全体に対する最急勾配の平均値を平均勾配とする。したがって、微地形における傾斜度をふまえた値であり、敷地全体の傾斜度を代表する指標となる。地形の平均勾配を求めるには次の方法による。

まず、図-2に示すメッシュの4点の標高値が既知のとき、そのメッシュの最急勾配Dは次式により

計算される。ただし、 Z_i 、 Z_j 、 Z_m 、 Z_n はメッシュ格子点上の標高値(m)、 x および y はそれぞれメッシュの横方向および縦方向の長さ(m)を表す。

$$\left. \begin{aligned} \tan A &= |Z_m - Z_j| / \sqrt{x^2 + y^2} \\ \tan B &= |Z_i - Z_n| / \sqrt{x^2 + y^2} \\ D &= \tan^{-1} \sqrt{(\tan A)^2 + (\tan B)^2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

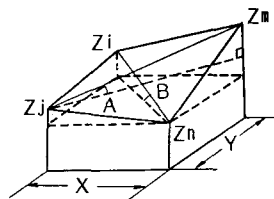


図-2 メッシュ最急勾配

これより敷地内全域にわたる最急勾配の平均値 $\bar{D}$ を求めると次式のようなになる。ただし、 n は敷地内の最急勾配をもとめたメッシュ数である。この平均値

$\overline{D}$ を度単位に換算した値を平均勾配とする。

$$\overline{D} = \sum_{k=1}^n D_k / n \quad \dots\dots\dots (2)$$

b) 標高差

地形の起伏は造成土工量や法面量に影響を及ぼす。例えば図-3の地形横断モデルに示すように(a)と(b)は同じ平均勾配をもつが、(a)の造成土工量は(b)の造成土工量の1/2となる。したがって地形全体の大きな起伏を把えるため、敷地内標高の最高値と最低値の差を(m)の単位で求め、敷地の起伏を表わす指標とする。

なお、この指標は敷地面積や敷地形状に影響されるが、ゴルフ場はホール数が同であれば敷地面積はおおむね同程度であり、また敷地形状も極端に変形した形が少ないことを前提条件としている。

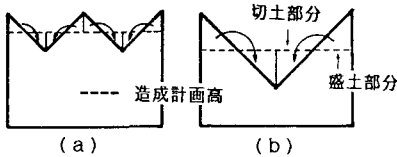


図-3 地形横断モデル

c) 標高差勾配

片流れの傾斜地かどうかといった敷地全体の傾きを表わす指標として、標高差をその区間距離すなわち標高の最高地点と最低地点間の水平距離で割った値を標高差勾配とする。

この指標もまた、敷地面積はおおむね同じ程度を有し、敷地形状も極端に変形した形が少ないことを前提条件としている。

4. ゴルフコースの計画要素

ゴルフコースの造成計画において特に計画上で考慮すべき基本的な要件は、以下のとおりである。

① ゴルフコースは、造成のロット（ホール）が0.7ha位（ショートホール）から、3ha位（ロングホール）までのバリエーションがあり、かつロットの並び方の順序においても大中小のバリエーションが貴ばれる。

② 各ホールは、クラブハウスを中心に9ホール

ずつの単位で、無理のない歩径路等により連続性が保たれていると同時に、隣接するホールとの間が樹林等によりセパレートされる必要がある。

③ ゴルフコースは、自然ないしは自然らしさが貴ばれる。したがって、工学的検討に加え、自然との調和といった造成形態面の配慮が重要である。

以上の基本要件をふまえ、ゴルフコース全体の造成土工量・法面量に関係すると考えられる要素をあげると次のとおりである。

- ・敷地面積
- ・敷地形状
- ・開発率の基準値（行政指導がある）
- ・コース面積（クラブハウス及び駐車場等の施設用地面積を含む）
- ・ホール縦横断勾配
- ・ホール幅
- ・ホール延長
- ・ホール間歩径路の標高差
- ・法面勾配

ゴルフコースでは、他の多くのスポーツ施設と異なり、形状・寸法の規格はホール延長とパーの関係以外には定められておらず、この点が自然を大切にするゴルフスポーツの大きな特性であるといえる。しかし、ゴルフスポーツのルールに則り楽しくプレーを行えるコースとしては、上記の各要素に対して最低限必要な計画基準が存在し、筆者らの計画事例においてもそれらをふまえた計画を行っている。

これらの要素のうち、敷地形状は数値化が難しいとともに計画事例中に極端に変形したものがなく、また、ホール縦横断勾配、法面勾配、ホール間歩径路の標高差には計画事例中で大きな相違はない。したがって、ゴルフコース全体の造成土工量や法面量に影響を与える要素としては、敷地面積とコース面積（ホール幅、ホール延長、開発率の基準値を含めた代表値と考える）の2つが重要と考えられる。

a) 敷地面積

敷地面積に余裕があればレイアウトの自由度が増し、造成量が低くおさえられる可能性があり、逆に極端に狭い場合には自然地形に逆らった造成を行わざるを得ないことにより造成量が増加することが考えられる。

b) コース面積

コース面積は、ホール幅、ホール延長を包含した値である。また、開発率の基準による制限を受ける場合には直接影響される値であり、この点もある程度表現していると考えられる。そして、有効利用面積の大部分を占めることから、造成量に関係する基本的かつ集約的な値であるといえる。

ただし、コース面積は、各ホールとクラブハウス・駐車場等の施設用地の切土法尻および盛土法肩で囲まれる範囲とする（図-4参照）。

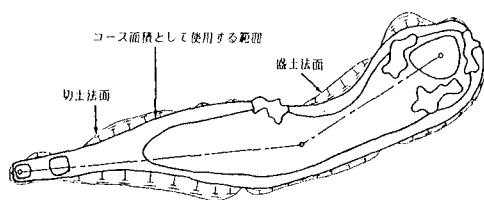


図-4 ホール平面図

ここで、コース面積は計画ホール数や計画方針によって異なるため同一の条件で分析を行えるよう基準化を行なう。すなわち、コース全体の造成土工量・法面量をコース面積で除した単位土工量および単位法面量を算出し、これらを目的変数として、地形特性および計画要素を説明変数とした関係を分析することとする。したがって、以後の分析に用いる計画要素の指標としては、敷地面積のみを取りあげる。

5. 単位土工量・単位法面量の算定

筆者らの作成したゴルフコース造成計画プログラムでは、入力する主なデータは以下のとおりである。

- ① 現況地盤高メッシュデータ
- ② コースレイアウト平面座標値と中心線座標値
- ③ ホール縦断変化点とその高さ

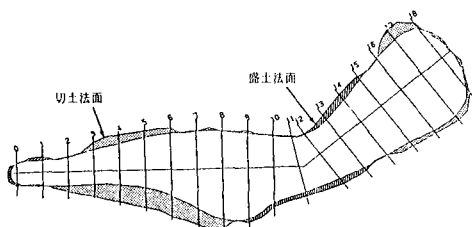


図-5 法面図

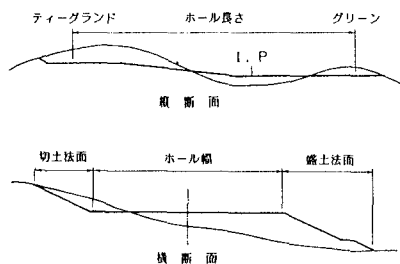


図-6 ホール縦横断面図

④ ホール横断変化点とその高さ

⑤ 法勾配と小段幅

これらのデータを基に、以下に説明する方法に従って造成土工量・法面量を計算し、計画平面図、ホール縦断面図・横断面図および法面図を作成する（図-5、図-6）。

a) 単位土工量

ゴルフコースの土量計算は、メッシュ点高法を採用している。ここで、各メッシュ計画地盤高の算出は次の方法によっている。まず、ホール中心線の縦断変化点とその高さのデータから、中心線縦断方向に10mピッチで計画高を求めていく。次に、この10mごとの横断面に対し、ホール横断変化点とその高さおよび法勾配と小段幅のデータをもとに、法尻、法肩等の計画横断面各点の高さを計算する。これを全断面について計算した後、各メッシュ格子点の計画高を、それが含まれる三角形の3点の計画高より補間計算を行って求める。このようにして求めた計画地盤高と現況地盤高のメッシュデータから土工量を計算する。

今回の分析で用いているメッシュデータのメッシュ間隔は20mを基準にしている。なお、河野彰らはメッシュ法による土工量の算定においてメッシュ間隔5mを基準とした土工量の相対誤差は、メッシュ間隔が20m以下の場合ほぼ1%以下となり、またメッシュ間隔を30m以上とすると誤差は急激に増大することから、精度および作業量の両面を考えるとメッシュ間隔は20mが最も適当であると述べている⁴⁾。

単位土工量は、メッシュ法で計算したコース全体の造成切土量と盛土量の総和をコース面積で除して求める（単位 m^3/m^2 ）。切土量と盛土量の総和を基にしたのは、ゴルフコースの造成では通常敷地内で

の切盛バランスを前提とすることによる。

b) 単位法面量

ゴルフコースの造成法面量は、図-5の法面図に示すように、各ホールに発生する切土および盛土法面の水平投影面積から求めることが出来る。またこの場合法部分に設置されている小段も法面積に含めている。法面図は、横断面により法尻、法肩の位置を求め、それらを直結で結んで作成している。一般に道路の造成設計における横断面図は20mピッチを標準に作成しているが、本プログラムでは精度を向上させるため、10mピッチを基本に法位置を計算し、法面積を求めている。

単位法面量は、単位土工量と同様、コース全体の法面積をコース面積で除して求める(単位 m^2/m^2)。

6. 結果と考察

(1) 各指標データとその相関

表-2に、筆者らが昭和48年から昭和58年の間に行った31ケースのゴルフコース計画事例についての地形特性・計画要素・単位土工量・単位法面量の各指標データを示す。この31ケースの計画事例には、9ホールが1ケース、27ホールが2ケース含まれており、残り28ケースは18ホールのコースである。これらのうち8ケースは完成済、4ケースは現在工事

表-2 各指標データ

コース No.	所在地 コース名	ホール数	平均勾配 (%)	標高差 (m)	標高差勾配 (m/m)	敷地面積 ($\times 10,000\text{m}^2$)	コース面積 ($\times 10,000\text{m}^2$)	単位土工量 (m^3/m^2)	単位法面量 (m^2/m^2)
①	立川	9	21.9	150.0	0.1000	89.4	16.2	12.73	0.684
②	園川	18	19.6	83.6	0.0771	56.8	20.4	9.04	0.842
③	北海通	18	15.9	106.8	0.1165	91.8	34.6	7.92	0.587
④	徳島	18	20.5	112.8	0.0589	146.4	33.1	11.06	0.341
⑤	千葉	18	21.2	91.0	0.0617	115.8	40.3	8.60	0.531
⑥	奈良	18	11.9	243.8	0.1172	131.3	33.9	2.45	0.252
⑦	長野	18	20.8	204.0	0.3008	129.7	33.6	9.21	0.566
⑧	新潟	18	18.3	82.5	0.1109	96.4	29.8	6.96	0.336
⑨	新潟	18	12.9	73.6	0.0941	95.1	38.8	6.06	0.408
⑩	新潟	18	15.0	105.9	0.0982	83.4	24.0	6.55	0.415
⑪	滋賀	18	23.7	101.6	0.0750	105.9	27.3	12.67	0.781
⑫	北海通	18	11.1	99.7	0.1078	72.6	34.5	3.00	0.248
⑬	立川	18	13.0	395.0	0.1011	110.0	32.1	7.48	0.343
⑭	栃木	18	16.2	142.0	0.1516	137.0	39.8	6.76	0.480
⑮	岐阜	18	20.0	142.0	0.0940	118.8	25.5	9.02	0.550
⑯	兵庫	18	20.8	156.0	0.0901	118.8	35.9	10.28	0.766
⑰	兵庫	18	22.1	158.0	0.0893	140.2	30.4	12.12	0.833
⑱	埼玉	18	27.1	234.1	0.1227	112.8	27.8	15.87	0.895
⑲	静岡	18	19.4	267.5	0.1260	137.0	34.0	10.92	0.688
⑳	千葉	18	15.4	74.7	0.0622	110.0	42.0	8.02	0.367
㉑	静岡	18	19.3	186.0	0.1159	142.7	32.4	10.12	0.738
㉒	埼玉	18	15.7	78.7	0.0803	102.3	35.2	7.20	0.446
㉓	福岡	18	22.3	114.3	0.1064	131.6	37.2	11.60	0.649
㉔	長野	18	17.3	101.4	0.2150	85.4	33.3	8.39	0.485
㉕	神奈川	18	21.0	300.0	0.2544	165.2	36.4	10.13	0.687
㉖	山梨	18	21.0	153.0	0.0841	130.8	36.3	9.97	0.628
㉗	山梨	18	26.5	224.0	0.2693	104.1	32.0	15.42	0.888
㉘	栃木	18	22.9	294.6	0.1284	137.2	33.6	14.79	0.826
㉙	岐阜	18	10.5	229.0	0.1337	113.6	36.4	4.76	0.359
㉚	岐阜	27	28.6	274.4	0.1292	210.0	49.4	12.21	0.822
㉛	岐阜	27	14.8	134.6	0.0730	289.3	57.1	8.94	0.515

注) コースNo.で○が付されたコースは完成済
□が付されたコースは現在工事中

中である。なお完成済のコースにおいては、計画土工量に準拠して支障なく施工管理が行われたと報告されている。

以降の分析では、条件をそろえるため、最もデータ数の多い18ホールのコースについて着目し、土工量・法面量の関係を分析する。また9ホールと27ホールのコースについては、18ホールの分析結果をあてはめ、その相違を考察することとする。

次に、各指標を用いて重回帰分析を行うに先立ち、各指標間の独立性を検証する意味で18ホールのコース28組について各指標間の相関係数を計算した。その結果を表-3に示す。これによると、最も大きい相関係数でも0.490であり、重回帰分析を行うには支障がないと思われる。

表-3 各指標間の相関係数

	1 平均勾配	2 標高差	3 標高差勾配	4 敷地面積
1 平均勾配	—	0.097	0.216	0.316
2 標高差	—	—	0.409	0.490
3 標高差勾配	—	—	—	0.197
4 敷地面積	—	—	—	—

(2) 単位土工量・単位法面量の推定式

単位土工量と単位法面量を地形特性と計画要素から推定するにあたり、平均勾配、標高差、標高差勾配、敷地面積の4つの指標を用いて、全ての組み合わせによる重回帰分析を行った。表-4、表-5にそれぞれ計算結果を示す。

最も高い重相関係数が得られるのは、単位土工量、単位法面量とも4つの指標を全て用いた組み合わせの場合であり、重相関係数の値はそれぞれ0.948、0.881が得られる。一方、平均勾配のみによる場合

表-4 単位土工量の重回帰分析結果

ケース	平均勾配	標高差	標高差勾配	敷地面積	定数	重相関係数	相与率	F値
1	0.699	—	—	—	-3.85	0.929	0.864	165.0
2	—	0.00952	—	—	7.61	0.240	0.058	1.6
3	—	—	9.28	—	8.02	0.177	0.031	0.8
4	—	—	—	0.0435	4.15	0.323	0.104	3.0
5	0.688	0.00509	—	—	-4.62	0.942	0.887	97.6
6	0.703	—	-1.31	—	-3.76	0.930	0.864	79.7
7	0.691	—	—	0.00439	-4.21	0.930	0.865	80.0
8	—	0.00800	4.95	—	7.25	0.255	0.065	0.9
9	—	0.00427	—	0.0364	4.27	0.336	0.113	1.6
10	—	—	6.18	0.0404	3.75	0.343	0.118	1.7
11	0.701	0.00759	-5.40	—	-4.47	0.946	0.895	88.2
12	0.699	0.00707	—	-0.00788	-4.11	0.943	0.889	84.0
13	0.695	—	-1.57	0.00497	-4.16	0.930	0.866	51.6
14	—	0.00272	5.01	0.0385	3.90	0.347	0.121	1.1
15	0.715	0.00888	-5.62	-0.00896	-3.88	0.948	0.898	50.6

表-5 単位法面量の重回帰分析結果

ケース	偏 回 帰 係 数			定 数	重 相 関 係 数	F 値
	平均勾配	傾 斜 差	微 高 差			
1	0.0388	-----	-----	-0.147	0.867	78.4
2	-----	0.00043	-----	0.506	0.867	0.9
3	-----	-----	0.542	0.506	0.173	0.30
4	-----	-----	-----	0.00188	0.360	0.234
5	0.0384	0.00023	-----	-0.177	0.872	0.761
6	0.0390	-----	-0.0457	-0.144	0.867	0.751
7	0.0395	-----	-----	-0.00036	0.868	0.753
8	-----	0.00032	0.370	0.480	0.212	0.045
9	-----	0.00021	-----	0.00153	0.366	0.246
10	-----	-----	0.414	0.00167	0.333	0.267
11	0.0389	0.00029	-0.204	-0.172	0.874	0.764
12	0.0399	0.00037	-----	-0.00100	0.878	0.771
13	0.0385	-----	-0.0274	-0.00035	0.868	0.753
14	-----	0.00009	0.373	0.00153	0.338	0.269
15	0.0406	0.00044	-0.230	-0.00104	0.881	0.776

の相関係数の値はそれぞれ 0.929, 0.867であることから, 4つの指標のうち平均勾配が非常に高い寄与をしていることがわかる。

これらの値の比較より, ゴルフコース計画の初期段階において, 地形分析結果から概略の造成土工量・法面量を推定するという実用的な目的に対しては, 平均勾配のみを用いても十分な精度が得られると判断される。

次に, 平均勾配を用いた単位土工量と単位法面量の推定式を検討するため, それぞれに対して1次から3次までの多項式重回帰分析を行った。表-6と表-7には多項式重回帰分析の結果を示す。

表-6 単位土工量の平均勾配による多項式重回帰分析結果

	x^3	x^2	x	定 数	重 相 関 係 数	F 値	標準誤差推定量 (m^3/m)
1 次	-----	-----	0.699	-3.850	0.929	165.0	1.24
2 次	-----	0.0136	0.198	0.482	0.934	85.3	1.23
3 次	0.00173	-0.0048	1.984	-9.787	0.935	55.9	1.24

表-7 単位法面量の平均勾配による多項式重回帰分析結果

	x^3	x^2	x	定 数	重 相 関 係 数	F 値	標準誤差推定量 (m^2/m)
1 次	-----	-----	0.0388	-0.147	0.867	78.4	0.100
2 次	-----	0.00025	0.0291	-0.066	0.867	37.8	0.102
3 次	-0.00010	0.00574	-0.0701	0.506	0.868	24.5	0.103

これによると, 単位土工量と単位法面量は, 高次の多項式で計算しても重相関係数の値にほとんど差異がみられない。

これらの結果より, 単位土工量と単位法面量についての推定式として, 平均勾配による1次回帰式が提案できる。推定式は次のとおりである。

a) 単位土工量の推定式

$$V = 0.699 \times \bar{D} - 3.85 \quad \dots\dots\dots (3)$$

b) 単位法面量の推定式

$$S = 0.0388 \times \bar{D} - 0.147 \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに V : 単位土工量 (m^3/m)

S : 単位法面量 (m^2/m)

$\bar{D}$: 平均勾配 (度)

次に, この回帰式のF値についてみると, データ数が28組の1次回帰による1%有意水準は

$$F = (1, 26; 0.01) = 7.72$$

となる。表-6と表-7より単位土工量と単位法面

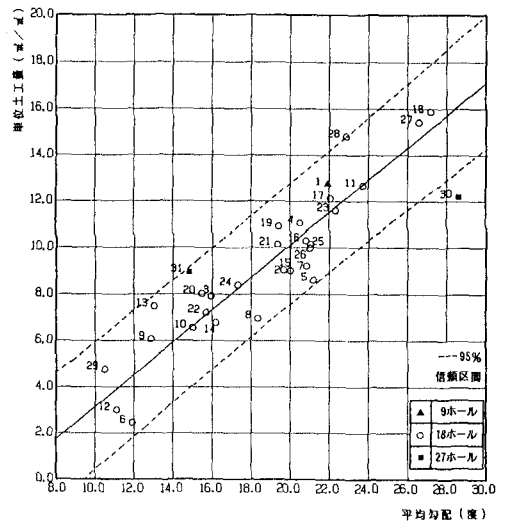


図-7 単位土工量と平均勾配の関係

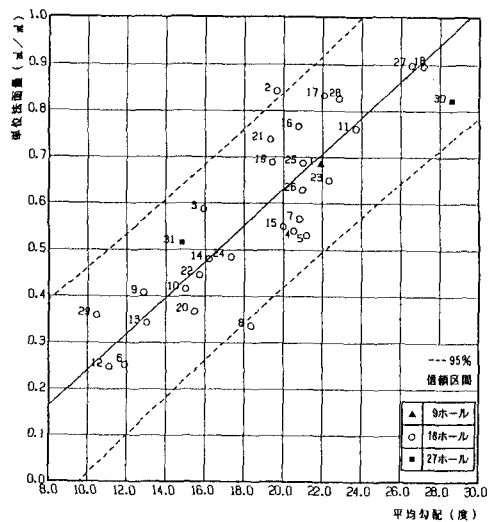


図-8 単位法面量と平均勾配の関係

量のF値はそれぞれ 165.0, 78.4であるので、この回帰式は高度に有意であるといえる。

ただし、平均勾配のデータは、最大27.1度、最小10.5度となっているため、この推定式は、平均勾配が約10度から27度程度の範囲で有効と考えられる。図-7と図-8には、単位土工量と平均勾配および単位法面量と平均勾配の関係をプロットした。ただし9ホールと27ホールのコースについても同時にプロットしている。

(3) 推定式に対する考察

図-7と図-8に示した18ホールコースに対する推定式と各データに顕著な差のみられるコースについてその理由を明らかにするため、各計画事例を個別考察した結果を以下に示す。

95%の信頼区間をはずれたコースは、単位法面量－平均勾配の関係におけるNo.2, No. 8,である。

a) No.2は、敷地面積が 568,000㎡と極端に狭いため(18ホールの敷地面積は平均 1,150,000㎡、標準偏差 244,000㎡)、敷地外周部を除くとホール間に自然緑地を残すことができず全面造成に近い形態となっている。このため、法面量が多く出ており、敷地面積が法面量に影響を及ぼしているケースであるといえる。

b) No.8は、比較的なだらかで延長の長い沢が交互に並びその間にやや急な斜面が位置している地形である。コースは主として尾根・谷に沿って配置し、尾根ホールの切土を谷ホールの盛土として利用できるため、尾根・谷間の斜面が保全され法面量が小さくなっている。尾根・谷の長さ、間隔がコースのロットにうまく適合した場合に法面量が少なくてすむ特殊ケースであるといえる。

次に、この推定式を9ホールと27ホールのコースに適用して計算した結果を表-8に示す。

表-8および図-7と図-8から、単位土工量－

平均勾配の関係におけるNo.30 (27ホール)の誤差が大きいことがわかる。この計画事例をみると次の点がわかる。

c) No.30 は、敷地面積が 2,100,000㎡と27ホールのコースにしてはゆったりとしている。したがって、傾斜の急な尾根を使用しないでコース配置が行われている。また、移動にリフト等を多用し、コースレイアウトの自由度を大きくしているため、結果的に土工量や法面量の発生がおさえられている。

以上より、9ホールと27ホールのコースは計3組と少ないが、ゴルフコースの造成計画において各種のホール数に対しても、この推定式は十分有効であると思われる。

7. 結語

本研究では、ゴルフコースの造成を取り上げ、地形特性と計画要素について指標化を行ない、数多くの計画事例をデータとしてこれらの指標と単位土工量および単位法面量との重相関分析を行った。次に地形特性の中から平均勾配を取り上げ、単位土工量と単位法面量の推定式の作成を試みた。

研究結果から、地形特性と計画要素の諸指標の中で、平均勾配が造成土工量・法面量に非常に大きく影響しており、他の指標は影響が小さいこと、および単位土工量・単位法面量は平均勾配のみを用いた1次回帰式で、事業の初期段階における意志決定には十分有効な推定が可能であることが明らかになった。更に、コース規模にかかわらず、本推定モデルは適合性が高いことが確認できた。

なお、本研究ではゴルフコースのみを対象としたが、今後は宅地造成等の土地造成についても広げていきたいと考える。

参考文献

- 1) 尾留川正平ほか：地理調査の基礎，朝倉書店，pp.67～82，1978.
- 2) 村井俊治：地形の計量化，土木学会誌，Vol.57，8，pp.61～69，1972
- 3) 渡部三郎：宅地開発における計画技法の調査と研究その1 丘陵地における宅地開発とコンター係数，宅地開発，No.32，1972
- 4) 土木設計システム協会：ACES，3号，1975，pp.93～102

表-8 9ホールと27ホールに対する推定値と誤差

ホ ー ル 数	9 ホ ー ル	2 7 ホ ー ル	
コ ー ス NO.	NO. 1	NO. 30	NO. 31
平 均 勾 配 (度)	21.9	28.6	14.8
単位土工量推定値 (㎡/㎡)	11.46	16.14	6.50
計画単位土工量 (㎡/㎡)	12.73	12.21	8.94
誤 差 (㎡/㎡)	-1.27	3.93	-2.44
単位法面量推定値 (㎡/㎡)	0.703	0.963	0.427
計画単位法面量 (㎡/㎡)	0.684	0.822	0.515
誤 差 (㎡/㎡)	0.019	0.141	-0.088