

シミュレーションモデルを用いたアースデザイン
に関する研究 (第四報)

A Study on the Earth Design by using Simulation Model

丸 安 隆 和*・村 井 俊 治*・栗 原 京 子*
Takakazu MARUYASU, Shunji MURAI and Kyoko KURIBARA

1. 計画高の制約条件を考慮に入れた宅地造成計画

宅地造成をすすめるにあたって、第一報および第二報では、切取土量と盛土量が等しくなければならないという土工量バランスの条件と宅地造成勾配がある許容勾配内になければならないという造成勾配の条件を考慮した上で評価関数を最小にするような最適計画高を求める手法を紹介した。第三報ではさらにこれらの条件につけ加えて出来るだけ南向き斜面を多くするための手法を提案した。しかしながら実際の宅地造成計画では計画敷地の境界および内部が自由な計画高をとれることは少なく、一般につきのような計画高に関する制約をさらにつけ加えなければならないことが多い。

- (1) 計画敷地境界条件: 敷地境界では極端に大きく切取りや盛土を行ってはならない。一般に滑らかに敷地と境界が接していることが望ましい。
- (2) 占有物件の制約: 高圧線の鉄塔, 文化財および都市計画道路など既設の物件を破壊してはならない。
- (3) 排水処理上の制約: 排水口出口は出来るだけ敷地全体の最低標高地点にあった方がよい。また敷地全体の排水がこの排水口に流れるようにしなければならない。

このような計画高に関する制約条件を考慮に入れた上で南斜面を出来るだけ多くかつ土工量を出来るだけ少なくするような宅地造成計画高を求めることができればつぎのような利点が生まれる。

- (1) 敷地境界および内部に無理な段差や接合部分がなくなる。
- (2) 大きな面積の宅地造成区域をいくつかの小さな工区に分割して造成計画をたてることができる。
- (3) 敷地内にある自然環境の一部をそのまま残しておきたいという希望を満すことができる。

著者らは、以上にのべた目的を満すために、Elastic Surface Method を改良して、任意の計画高に関する制約条件を考慮できるような手法を開発した。以下にこの手法の原理とその応用例を紹介しよう。

* 東京大学生産技術研究所 第5部

2. 計画高の制約条件を考慮に入れた Elastic Surface Method

計画高の制約条件を考慮に入れた宅地造成問題をつぎのように定式化する。

いま計画区域を間隔 d の $m \times n$ の正方メッシュに分割し、 (i, j) 点の地盤高を h_{ij} , 造成すべき計画高を z_{ij} とする。このとき、 (k, l) 点の造成計画高はなんらかの制約により z°_{kl} にしなければならないとしよう。

計画高の制約条件を考慮に入れた Elastic Surface Method はつぎに示すような最適な造成計画高 z_{ij} を求める方法となる。

- (1) 土工量バランス条件:

$$\sum \sum z_{ij} - \sum \sum h_{ij} = 0 \quad (1)$$

- (2) 造成勾配制約条件:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=2}^m (z_{ij} - z_{i-1,j})^2 = n(m-1)d^2 t_x^2 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m (z_{ij} - z_{i,j-1})^2 = m(n-1)d^2 t_y^2 \quad (3)$$

t_x, t_y : それぞれ x 方向, y 方向の平均造成勾配

- (3) 計画高の制約条件:

$$z_{kl} = z^{\circ}_{kl}; (k, l) \text{ は複数個でもよい} \quad (4)$$

のもとに、土工量を表わす関数 (変形エネルギーの関数でもある)

$$f = \sum \sum (z_{ij} - h_{ij})^2 \quad (5)$$

を最小にするような z_{ij} を求める。

第一報でも証明したように f を最小にするような解は (1) 式の条件を満たすことになるので特に考慮しないことにする。また、(2) 式および (3) 式をつぎのような関数におく。

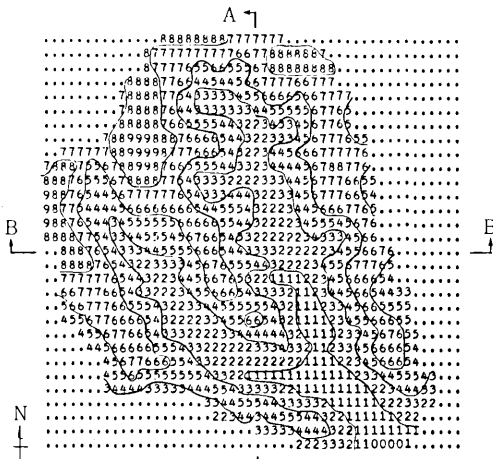
$$G_x(z) = \sum \sum (z_{ij} - z_{i-1,j})^2 - n(m-1)d^2 t_x^2 = 0 \quad (6)$$

$$G_y(z) = \sum \sum (z_{ij} - z_{i,j-1})^2 - m(n-1)d^2 t_y^2 = 0 \quad (7)$$

このとき上記の問題はつぎのような問題を解く問題におきかえられる。

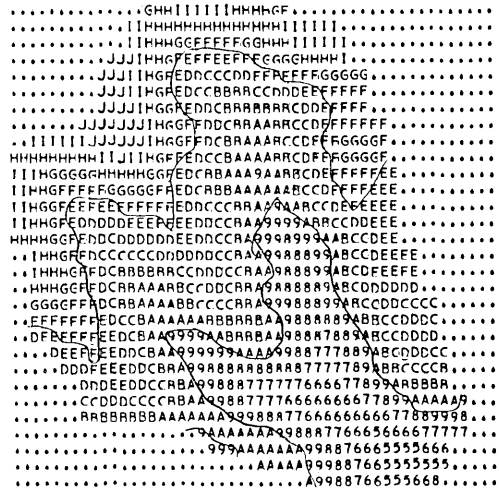
$$F(z) = \sum \sum (z_{ij} - h_{ij})^2 + \lambda_x G_x(z) + \lambda_y G_y(z) \quad (8)$$

を最小にするような z_{ij} をつぎの方程式より求める。



凡 例	0 40~45	3 55~60	6 70~75
	1 45~50	4 60~65	7 75~80
	2 50~55	5 65~70	8 80~85
			9 85~90

図 1 原地形図



凡 例	8 56~58	C 64~66	G 72~74
	5 50~52	9 58~60	D 66~68
	6 52~54	A 60~62	E 68~70
			I 76~78
	7 54~56	B 62~64	F 70~72
			J 78~80

図 4 周辺を自由端としたときの解

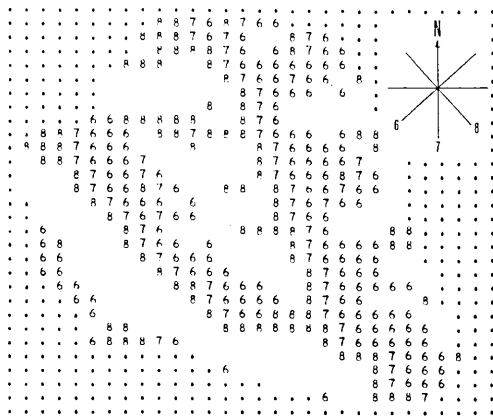


図 2 原地形図の南斜面分布図

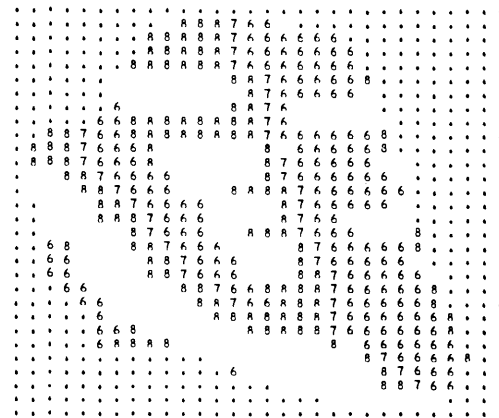


図 5 周辺を自由端としたときの南斜面分布図

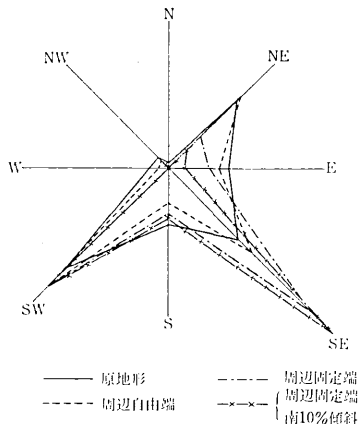


図 3 斜面構成分布図

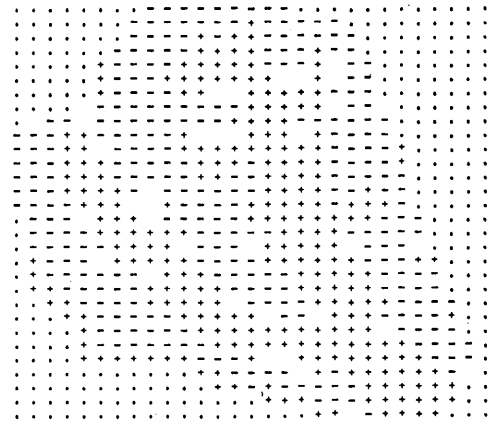


図 6 土区区分図 (周辺自由端)

研究速報

```

.....K K K K L L K J I I I I H M .....
.....K K K K K K K J I I I I I I L K J .....
.....L K K J J J J I I I I I I K K J J .....
.....L L L K J J I I I I H M I I I I J J J .....
.....K K K K J J I I I H M H H H H I I I I I H .....
.....J K K J J I I I H M G G G G G H H H H H G D .....
.....J I J J J J J I I I H M G G G G G H H H H G E D D .....
.....I J J J I I I J J J I I H M G G G F F F G G G H G G R E E .....
.....L J J J I H M I I I I I H M G G G F F F F G G G G G F F D .....
.....L J I H M H H H I H M H G G F F F E E E E E F G G G F F E D .....
.....M J I H G G G G H M G G G F F F E E D D D D E E E F F E C .....
.....M L K I H G G F F F F G F F F F E E D D D D D E E E E E D .....
.....M L K I H G F F F E E E E E E E D D D C C C C D D E E E E E C .....
.....M L K I H G F F E E E E E E E E D D D C C B B B C C D D E E F .....
.....J H F E D D D D D D D D D D D C C B B B B B B B C C D D E A F E .....
.....J H G F E D D C C C C C C C C C C B B A A A A A A R B C D D D E D .....
.....H G F E D D C C C B B B B B B C C C B B A A A A A A A B B C C C B .....
.....F E E D D C C B B A A A B B B B B B A A A A A A A A B B C C B A .....
.....D D D D C C C B B A A A A A A A A A A A A A 9 8 8 8 8 8 9 A A B B B C .....
.....A B C C C C B B A A A 9 9 9 9 9 A A A 9 9 8 8 8 7 7 8 8 8 9 A A B B C .....
.....A B B C C B B A A 9 9 9 9 9 9 9 9 9 8 8 7 7 7 7 7 8 8 8 9 A A B A .....
.....A A B B B B A A 9 9 9 9 8 8 8 8 9 9 8 8 8 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 A .....
.....A B B B A A 9 9 9 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 7 7 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 9 9 .....
.....A B B A A 9 9 8 9 8 7 8 8 8 8 8 7 7 6 6 6 6 6 5 5 6 6 6 7 7 6 .....
.....9 A B B A 9 9 8 9 8 8 7 8 8 9 8 8 8 7 7 6 6 6 6 5 5 6 6 6 7 7 6 .....
..........7 6 7 8 9 9 9 8 8 1 (b b 6 6 6 5 5 6 6 6 6 6 5 .....
.....5 7 9 A A 9 9 9 8 8 7 7 6 6 6 5 5 4 4 4 4 6 .....
.....9 9 9 8 8 6 6 6 7 7 5 4 3 3 3 3 3 3 .....
.....6 6 6 8 8 6 4 2 2 2 2 2 .....

```

凡 例 6 52~54 C 64~66 I 76~78
 7 54~56 D 66~68 J 78~80
 2 44~46 8 56~58 E 68~70 K 80~82
 3 46~48 9 58~60 F 70~72 L 82~84
 4 48~50 A 60~62 G 72~74 M 84~86
 5 50~52 B 62~64 H 74~76

図 7 周辺を固定端としたときの解

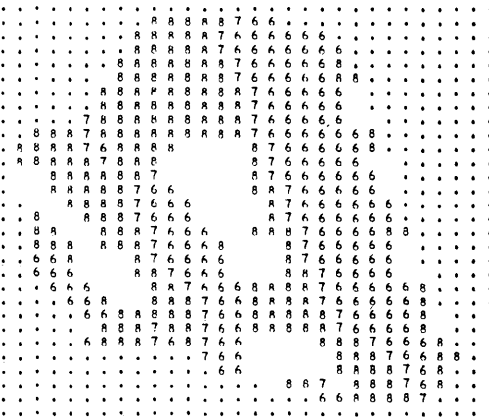


図 8 周辺を固定端としたときの南斜面分布図

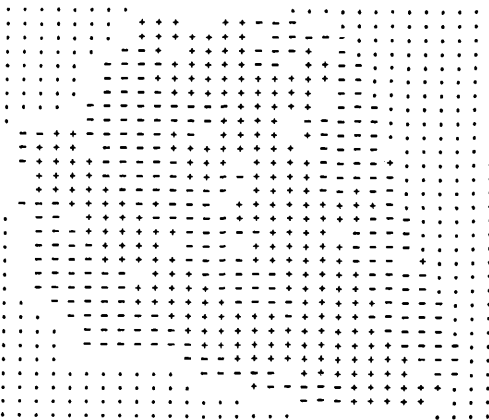


図 9 土工区分図(周辺固定端)

```

.....K K K K L L K J I I I I H M .....
.....K K K J J J J I I H M H I I L L J .....
.....L J I I I H M G G G G H H I J J J J .....
.....L K J I H G F F F F F G G G H H I J .....
.....J J J I I H G F F F F F E E F F G G H M H .....
.....I J J I H G F F E D D D D D F E F F G F F .....
.....I I I I H G F F E D D C C C C D E F E C .....
.....J I I I I H G F F E D C C C B R C D F E E E D D .....
.....I J J J I I I H M G G F E D C C B R B R C D E E E E E .....
.....J J J I I H M H M H G F F E D C C B R B R C D D F E E E F .....
.....I J I H M G G G G G F F E D C C B R A A R R C D F E E E C .....
.....M L I H G F F F F F F F F D D C C B R A A A R C D D E E E C .....
.....M L I H G F F F F F F F F F D D C C B R A A A R B C D D E E C .....
.....M L I H G F F F F F F F F F E E E D D D D D C C B R C D E E C .....
.....M L K I H G F F E E F D D D D D D C C B R A A A B R C C D E E .....
.....M L K I H G F F E E F D D D D D D C C B R A A A A B R C C D E E .....
.....M L K I H G F F E E F D D D D D D C C B R A A A A A R C C D E E F .....
.....K J H G F F D C C C C C D D D C C B R A A A A A A R C D D E E E .....
.....J H G F F D C C C C C C C C C C B R A A A A A A A R B C D D E D .....
.....J H G F F D C C C B R C C C C C B R A A A A A A A R C D D C B .....
.....F F F F D C C B R B B B C C C C B R A A A A A 9 9 A B R C C C C B A .....
.....D D D D D C C C B R B B B R R R B R A A A 9 9 9 9 A A B R C C C C .....
.....A R C D D D C C C B R A A A A A A A B B B A A A 9 9 9 9 A A B C C C C .....
.....A B C C C C C B A A A A A A A A A A A A A 9 9 9 9 9 A A B B B B B .....
.....A A B C C C C B A A A A A A A A A A A A A 9 9 8 8 8 9 A A B B B A .....
.....A R C C B R A A A A A 9 9 9 9 9 9 9 8 8 8 8 8 9 A A A A A .....
.....A B B B A A A 9 9 9 9 9 9 9 9 9 8 8 8 8 8 7 7 6 6 6 6 6 6 6 6 5 .....
.....9 A B B A 9 9 8 9 8 9 8 9 9 9 9 9 9 8 8 8 8 7 7 7 7 7 8 8 8 7 7 7 .....
..........7 7 8 9 9 9 8 8 1 (b b 6 6 6 5 5 6 6 6 6 6 5 .....
.....5 7 9 A A 9 9 9 8 8 7 7 6 6 6 5 5 4 4 4 4 6 .....
.....9 9 9 8 8 6 6 6 7 7 5 4 3 3 3 3 3 3 .....
.....6 6 6 8 8 6 4 2 2 2 2 2 .....

```

凡 例 6 52~54 C 64~66 I 76~78
 7 54~56 D 66~68 J 78~80
 2 44~46 8 56~58 E 68~70 K 80~82
 3 46~48 9 58~60 F 70~72 L 82~84
 4 48~50 A 60~62 G 72~74 M 84~86
 5 50~52 B 62~64 H 74~76

図 10 周辺固定+南 10% 傾斜のときの解

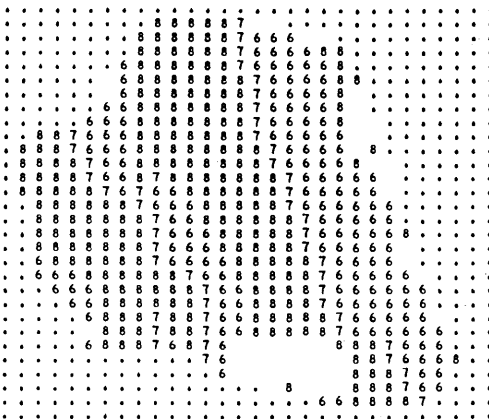


図 11 南斜面分布図(周辺固定+南 10% 傾斜)

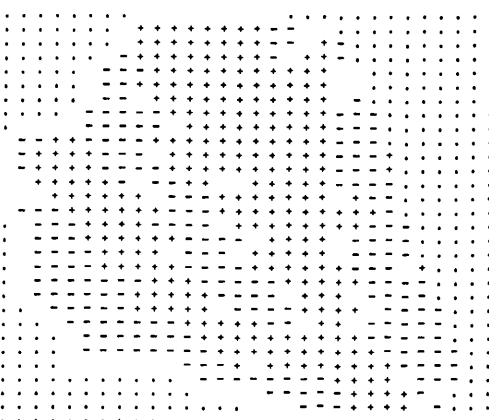


図 12 土工区分図(周辺固定+南 10% 傾斜)

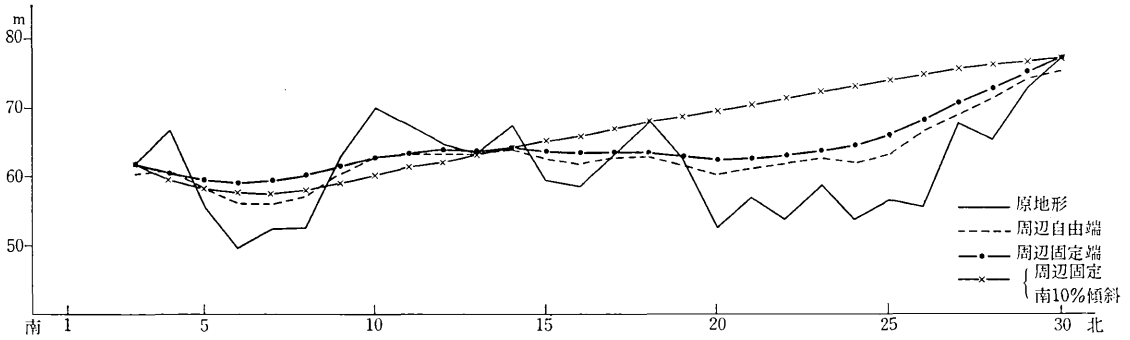


図 13 A-A 断面

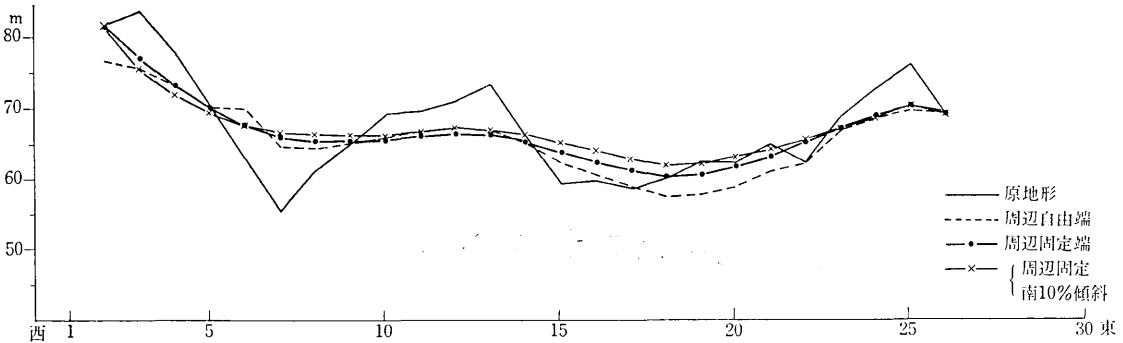


図 14 B-B 断面

表 1 周辺の境界条件を考慮に入れた宅地造成

	原地形	周辺自由端	周辺固定	周辺固定 南10%傾斜
平均斜面勾配%	28.2	10.0	8.1	7.8
最大勾配%	75.0	22.0	35.0	35.0
南斜面比率%	60.0	65.0	83.0	92.0
北斜面比率%	23.0	22.0	9.0	6.0
南斜面増加率%		8.3	38.3	53.0
土工量 (10 ⁴ m ³)		52.3	62.0	67.0

$$\begin{cases} \frac{\partial F(z)}{\partial z_{ij}} = 0 & \text{ただし } (k, l) \text{ 点を除く} \end{cases} \quad (9)$$

$$z_{kl} = z^{\circ}_{kl} \quad (10)$$

上記の問題にさらに第三報でのべた傾斜地形モデルの考え方を導入して南向き斜面を多くする場合には、上記の h_{ij} または z°_{kl} をつぎの式におきかえて上記の解 z_{ij} を求め、あとで再びもとのモデルにもどしてやればよい。

$$\left. \begin{aligned} h'_{ij} &= h_{ij} + d_j \theta \\ z^{\circ}_{kl} &= z^{\circ}_{kl} + d_j \theta \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ただし j 方向を南北方向と考える。

3. 計画高の制約条件を考慮に入れた宅地造成の応用例

第一報および第二報で用いた宅地造成区域のモデルに 2. のべた手法を応用した例をつぎに示そう。

計画高の制約条件を考慮した場合とそうでない場合とを比較するために、敷地境界を自由端にした場合と周囲の境界をすべて固定端とした場合について解を求めてみた。また周辺を固定端とした場合にさらに傾斜地形モデルを導入した場合についても解を求めてみた。

すなわち、つぎに示す三つのケースについて解を求めた。

ケース 1 周辺の境界を固定しないで自由端とする。ただし $t_x = t_y = 0.08$ (8%) とする。

ケース 2 周辺の境界をもとの地盤と同じ高さをもつように固定端とする。 $t_x = t_y = 0.08$ (8%)

ケース 3 周辺を固定端とし、さらに南北方向に10%の傾斜地形モデルにする。

図 1 から図 12 までは、それぞれ各ケースにおける造成計画高図、斜面方向図、土工区分図、斜面分布構成図である。

研 究 速 報

図13および図14は、それぞれ南北方向および東西方向のある一つの断面をとり出したものである。

表1は、各ケースにおける平均勾配、最大勾配、南斜面および北斜面の比率、土工量を示している。

4. 計画高の制約条件を考慮に入れた Elastic Surface Method の特徴

まえに示した図および表から、計画高の制約条件を考慮に入れた Elastic Surface Method の特徴をあげるとつぎようになる。

- (1) 周辺を固定端としたときには一般に中央部が平坦となる。全体の斜面構成は周辺地形の斜面構成に強い影響をうける。この地形モデルでは周辺を固定すると南斜面が急激に増加する。
- (2) 周辺を固定すると自由端の場合よりも土工量が増加する。ただし自由端の場合のように境界周辺で急激な切土や盛土をしなくてすむので、土工量が増加した以上の利便があると考えられる。
- (3) 本手法では境界周辺以外にも中央部付近である高さに制約を加えることも可能である。
- (4) 周辺を固定しさらに南方向に傾斜地形モデルを作った場合には、南斜面の増加が著しい。ここでは南方

向 10% の傾斜地形モデルを用いたが、もう少し小さい傾斜で十分である。傾斜地形モデルを用いた場合も土工量は増加する。「シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究」第三報では、周辺を自由端のまま傾斜地形モデルを用いた例を紹介したが、この場合全体的な南斜面の増加は見られず、周辺近辺のみで南斜面が増加した。周辺を固定した場合には第三報で予測したように、中央部にむしろ強い影響が見られたことがわかる。(1972年4月28日 受理)

参 考 論 文

- 1) 丸安, 村井, 平井, 高橋: シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究 (第一報) 生産研究 Vol. 23, No. 4, 1971年4月
- 2) 丸安, 村井, 小宮山: シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究 (第二報) 生産研究, Vol. 23, No. 5, 1971年5月
- 3) 丸安, 村井: シミュレーションモデルを用いた宅地造成の事前評価に関する研究, 写真測量, Vol. 10, No. 2, 1971年
- 4) 村井: 宅地造成計画の最適化, 施工技術, Vol. 4, No. 11, 1971年2月
- 5) 丸安, 村井, 栗原: シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究(第三報) 生産研究, Vol. 24, No. 7, 1972年7月

次 号 予 告 (8月号)

特集 加工プロセスの進歩とその最適化

特 集

最適生産システム研究の重要性.....	鈴木 弘
タンDEM圧延作業の最適化について.....	阿高松 男
ロールフォーミング加工における製品形状の特性と制御.....	木内 学
引抜圧延における変形機構について.....	荒木 甚一郎
半溶融状態における金属加工の問題点.....	福岡 新五郎
高密度焼結体の成形法.....	天野 富雄 中川 威雄
精密打抜きのパールナイト鋼への応用.....	中川 威雄 鈴木 清 チュブカ・ウラジミール
放電加工の最適化.....	増沢 隆久
工作機械の振動について.....	佐藤 壽芳

研究速報

THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY OF METAL IONS ON ION EXCHANGER LAYERS.....	Takeo YAMABE Erika FALK Nobuharu TAKAI
稲城砂の分類特性と含有細粒分の透水系数に及ぼす影響.....	齋藤 孝夫 三木 五三郎

研究室紹介

川井研究室.....	川井 忠彦
------------	-------