

徳島大学大学院 学生会員 ○根無 孝之
 徳島大学工学部 フェロー会員 山上 拓男
 徳島大学工学部 正会員 蔣 景彩

1. はじめに 自然斜面・切取斜面の安定性を論ずる際、地山せん断強度 c, ϕ の決定が不可欠である。しかし、 c, ϕ を効率的に決定する手法が存在しない。そこで本研究の目的は、ボーリング孔を利用した水平載荷試験により地山せん断強度 c, ϕ を逆解析的に求める方法論を確立することである。具体的には、水平載荷試験による観測変位と有限要素法による計算変位の誤差の最小化を、制約条件付き非線形最小 2 乗問題の数値解法である NLSSQP 法に基づいて行い、地山を弾完全塑性材料とする MC-DP モデルに含まれる c, ϕ を逆解析する手法を構築する。本報告は、この方法をモデル地盤へ適用した結果を述べるものである。

2. 方法論の概要 本研究における方法論の概要について簡単に述べる。図-1 のように自然斜面にボーリング孔を設け、これを利用して水平載荷試験を行う。ここでは、載荷方式を原位置岩盤試験法の指針¹⁾などに記載されている等圧分布載荷方式とする。これは載荷部に耐荷性のゴムチューブを用い、これを液圧または油圧により膨張させボーリング孔壁に局所的に水平荷重を加えるものである。そして、ゴムチューブに取り付けた変位測定装置で数点の水平変位を直接的に測定する。この測定した水平変位をもとに逆解析を行い、地山せん断強度 c, ϕ を決定するのである。

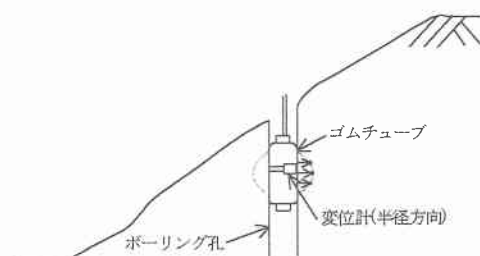


図-1 方法論の概要

3. 逆解析手法 逆解析は、水平載荷試験による観測変位とそれに対応する計算変位との誤差の 2 乗和で表される目的関数 f の最小化を非線形計画法に基づいて行う。目的関数 f は式(1)のように表される。

$$f = \sum_{j=1}^{N=P \times K} (u_j^* - u_j)^2 \quad (1)$$

但し u_j^* : 観測変位 u_j : 計算変位 P : 観測点数 K : 荷重段階数 N : 全てのデータ数

本研究では、水平荷重を数段階に分けて与え、各荷重段階ごとに水平変位を測定し、観測変位とする。図-2 に示すフローチャートに基づいて本研究で提案する逆解析の手順を説明する。まず、パラメータの初期値を設定する。次いで、有限要素法により変形解析を行い、目的関数を計算する。そして、得られた目的関数が非線形計画法の停止条件を満たすかどうかの判定が行なわれる。停止条件が満たされない場合は、パラメータの値を修正し、停止条件を満たす解が得られるまで繰り返し計算が行われる。以上が提案する手法の骨子である。

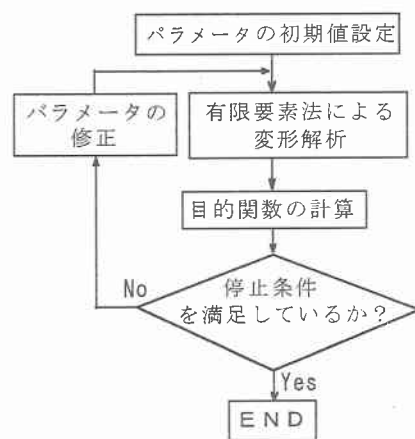


図-2 逆解析の手順

4. 適用例 本研究の第一歩として、提案する手法の妥当性を検証すべく、仮想のモデル地盤に適用した。図-3 は解析断面である。モデル地盤を軸対称であると仮定し、ボーリング孔の鉛直軸を z 軸、鉛直軸からの水平距離を r 軸とした。図-3 に示した部分に載荷幅 1m の水平分布荷重 1.5tf/m^2 を 5 段階に分けて加えた。境界条件は、ボーリング孔壁 AB を自由、底面 BC を水平・鉛直ともに変位拘束、側面 CD を水平変位拘束とする。このモデル地盤に対し、表-1 のパラメータのもとにまず順解析を行う。そして、図-3 に示す 5 つの観測点において 5 段階に分けた水平荷重の各荷重段階ごとの水平変位を求め、それを観測変位とする。以後こうして与えられたパラメータを便宜上正解値と呼ぶことにする。観測変位をもとに逆解析を行ってパラメー

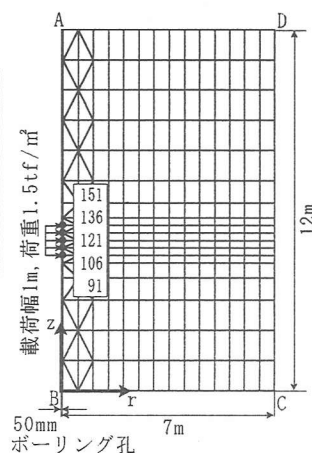
図-4 は正解値のもとでの $1.5\text{tf}/\text{m}^2$ 荷重における各観測点の水平変位と、逆解析値のもとでのそれらとの比較図である。Case2, Case3 に比べ目的関数の小さい Case1, Case4 が正解値のもとでの水平変位に近くなっている。図-5 は正解値のもとでの観測点 91 における各荷重段階ごとの水平変位と、逆解析値のもとでのそれらとの比較図である。この図では、Case2 が Case4 よりも正解値に近くなっている。図-4 のように全ての観測点に注目せず、1 観測点の水平変位のみに注目するとこういう結果になる場合がある。

その結果、逆解析値は概ね正解値に近い値で求まり、逆解析値のもとで行われた変形解析により求まる水平変位は、正解値のものとはほぼ一致していることが確認できた。実際の適用にあたっては、初期値を種々変えて逆解析し、目的関数の最も小さいケースをモデルパラメータとして採用すればいい。そうして得られたパラメータのうち、地山せん断強度 c, ϕ を用いて自然斜面・切取斜面の安定性を論ずることができる。今後、実地山のデータに基づき提案法を検討する予定である。

1) 岩盤力学委員会：原位置岩盤試験法の指針，(社) 土木学会 pp.46~47, 2000.

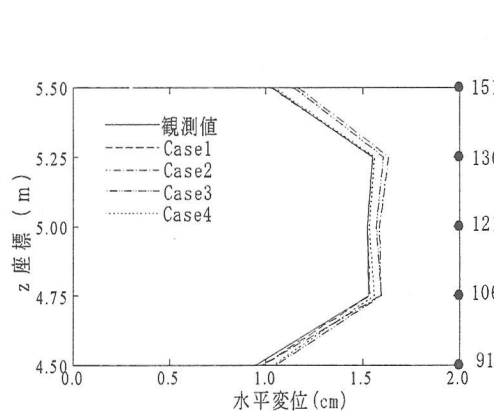
パラメータ	正解値
c (kNm ²)	10.0
φ (°)	32.0
E (kNm ²)	7800
ν	0.30
ψ (°)	0.0
γ (kNm ³)	20.0

$c > 0$
$0^\circ < \phi < 50^\circ$
$E > 0$
$0 < \nu < 0.5$



パラメータ	Case1		Case2		正解値
	初期値	逆解析値	初期値	逆解析値	
c (kNm ²)	14.0	14.6	4.2	13.8	10.0
φ (°)	39.0	29.8	19.7	29.2	32.0
E (kNm ²)	12700	7810	5500	7510	7800
ν	0.38	0.30	0.24	0.31	0.30
目的関数(×10 ⁻⁷)	4.89		25.2		
反復回数	4		10		

パラメータ	Case3		Case4		正解値
	初期値	逆解析値	初期値	逆解析値	
c (kNm ²)	7.5	6.7	15.8	9.6	10.0
φ (°)	23.3	27.3	38.7	28.7	32.0
E (kNm ²)	14500	7650	5800	7780	7800
ν	0.38	0.30	0.24	0.30	0.30
目的関数(×10 ⁻⁷)	33.5		6.91		
反復回数	8		5		



図・4 1.5tf/m²荷重における各観測点の
水平変位の比較

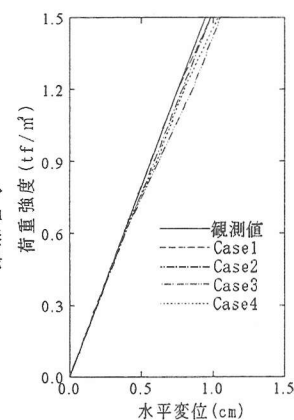


図-5 観測点91における各荷重段階ごとの水平変位の比較