対応原理を用いた線形粘弾性体の同定解析

信州大学工学部 学生員 ○宮沢俊吉
信州大学情報処理センター 正会員 大上俊之
信州大学工学部 正会員 草間孝志

1．まえがき　地盤上に構造物を建造したりトンネルを掘削する場合，地盤や岩盤の複雑な実際の挙動をより正確に把握することが要求される。そのためには原位置の状態にできるだけ忠実な数値解析モデルを設定することが重要であるが，それとともに地盤材料の力学的特性をできるだけ精度良く推定し，データとして入力することが必要不可欠である。一般には地盤材料の力学的特性は室内試験や原位置試験を通じて評価されるが，十分な調査試験を行って得られた値を用いて解析を行っても実際の地盤構造物の挙動と解析結果が一致しない場合が多い。このような問題点を解決する方法として，現場計測結果の逆解析による方法が提案されている。これは，施工中の構造物や地盤の挙動を観測計測し，その結果から逆に地山の材料定数などの未知パラメーターを逆解析によって評価し，続く施工の段階に対して設計の見直しや施工方法の検討のために情報を提供する方法である。

ここでは地盤を線形粘弾性体と仮定し，その力学的特性を逆解析によって求める。これには大上らの増分理論を用いた方法があるが，計算時間が膨大でかつ，コンピューター解析において相当量の演算領域が必要となる欠点を有している。そこで本研究は，弾性－粘弾性の対応原理を用い，弾性体における逆解析と全く同様の手法を繰り返し行うことによって計算時間の短縮をはかり，その有効性を述べたものである。

2．対応原理を用いた同定解析の概要

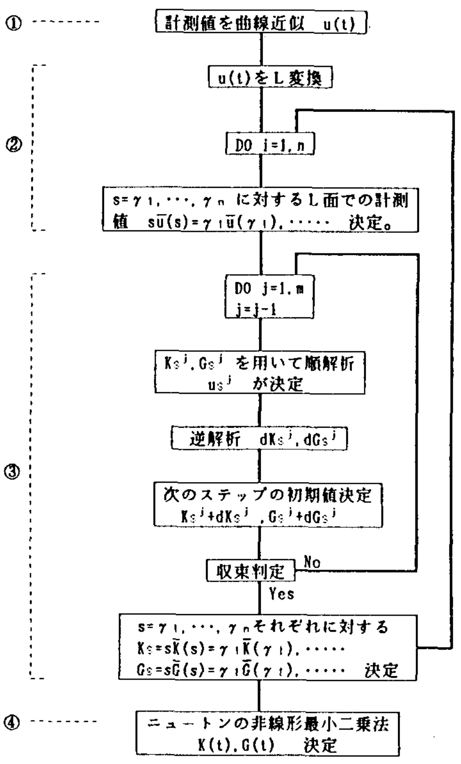
図－1に本法における計算の流れを示す。

①各計測節点ごとに計測変位データを最小二乗法により指数関数u(t)に曲線近似する。

②Laplace 面で逆解析を行う準備として，得られた近似関数u(t)にLaplace 変換を施し，Laplace 変換パラメーター Sを乗じた関数 $s\bar{u}(s)$を求め，任意のLaplace変換パラメーター$s=\gamma_1,\cdots\cdots,\gamma_n$に対する$s\bar{u}(s)=\gamma_1\bar{u}(\gamma_1),\cdots,\gamma_n\bar{u}(\gamma_n)$ を求めて Laplace 面での計測値とみなす。

③Laplace 面で，各々のLaplace 変換パラメーターごとに弾性逆解析を材料定数$s\bar{K}(s),s\bar{G}(s)$ について繰り返し行う。

④求める緩和関数の体積成分をK(t)，偏差成分をG(t)とすると弾性－粘弾性の対応原理により，得られる材料定数は各々のLaplace 変換パラメーター sに対する$K_S=\gamma_1\bar{K}(\gamma_1),\cdots,\gamma_n\bar{K}(\gamma_n),G_S=\gamma_1\bar{G}(\gamma_1),\cdots,\gamma_n\bar{G}(\gamma_n)$である。よってまず仮定した緩和関数の体積成分の一般式K(t)，偏差成分の一般式G(t)にLaplace変換を施し，Laplace 変換パラメーター sを乗じた関数$s\bar{K}(s),s\bar{G}(s)$ を未知パラメーターによって表現する。そして逆解析によって得られた $K_S=\gamma_1\bar{K}(\gamma_1),\cdots\cdots,\gamma_n\bar{K}(\gamma_n),G_S=\gamma_1\bar{G}(\gamma_1),\cdots\cdots$



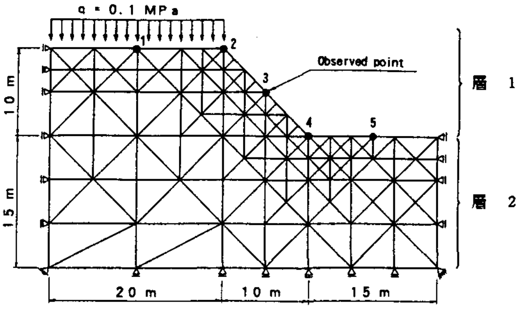
図－1 流れ図

$\gamma_n \bar{G}(\gamma_n)$ の値が関数 $s\bar{K}(s)$, $s\bar{G}(s)$の式を満たすようにニュートンの非線形最小二乗法を用いて未知パラメーターを決定する。

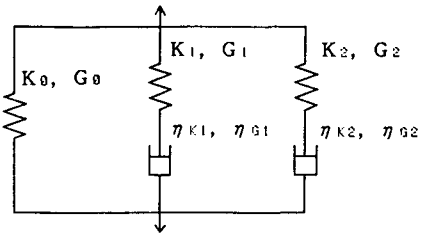
3．計算例　図－2に示すような粘弾性特性の異なる2層からなる斜面の肩に等分布荷重が載荷された場合の斜面の変形を平面ひずみ状態として同定解析した。地盤は等方性材料で図－3のモデルで表されると仮定し，順解析において入力した緩和関数の体積成分K(t)，偏差成分G(t)は表－1の正解値に示す通りである。なお，図中の●印で示した5節点が変位計測点で，増分理論により Δt=0.5 分で順解析して得られる変位のt=0,10,20,30,40,50,60,70,80 分の値を測定値として与えた。また，同じ条件で増分理論を用いて同定解析し，その比較も行った。

4．考察および問題点　表－1よりこの計算例の場合，同定すべき未知パラメーターの数が20個と大変多く，しかもそれぞれの値の大きさがかなりばらついて異なっている。それにもかかわらず，すべての材料パラメーターについて，増分理論を用いた方法には劣るが良い精度で正解値と計算値が一致した結果が得られており，本手法によって得られる解の安定性が高いことがわかる。また表－2より両手法の計算時間を比較すると，本手法の計算時間は短く十分実用性が高いことが認められる。本法において最大の問題となるのは，計測変位が指数関数に的確に曲線近似されなければ，同定解析で得られる解の精度が落ちてしまうことである。それゆえ曲線近似にはなるべく正確な，数多くの計測変位測定値が必要となる。しかし実際には，得られる現場での測定値には多くの誤差を含むことから，その測定値をそのまま解析に用いることはせず，測定値を曲線近似するのが一般的である。このことを考慮すれば，本法での同定解析は十分に実用的であるのではないかと思われる。なお，逆解析におけるLaplace変換パラメーター Sの数や値の設定方法については，当日発表する予定である。

5．あとがき　数値計算には東京大学大型計算機センターを利用した。参考文献：大上俊之；一般化逆解析手法と岩盤力学への適用，名古屋大学学位論文1991.2　草間孝志；数値ラプラス逆変換による線形粘弾性解析，土木学会論文報告集第292号1979.12　赤木知之；土木構造物の粘弾性的挙動の関する解析的研究，名古屋大学学位論文1976.1



図－2　解析図



図－3　粘弾性モデル

表－1　緩和関数の体積成分，偏差成分

		K_0	K_1	η_{k1}	K_2	η_{k2}
層 1	正解値	2.080	0.330	0.999	0.080	2.400
	初期値	3.000	1.000	3.000	0.300	5.000
	増分理論	2.080	0.331	0.841	0.079	2.377
	対応原理	2.088	0.348	1.269	0.052	1.580
層 2	正解値	4.170	1.110	5.550	0.280	14.000
	初期値	2.000	3.000	10.000	0.500	10.000
	増分理論	4.170	1.112	5.232	0.278	13.903
	対応原理	4.172	1.143	6.065	0.244	14.400

		G_0	G_1	η_{G1}	G_2	η_{G2}
層 1	正解値	0.960	0.150	0.450	0.040	1.200
	初期値	2.000	0.500	1.000	0.300	2.000
	増分理論	0.960	0.150	0.383	0.040	1.189
	対応原理	0.962	0.157	0.548	0.030	0.994
層 2	正解値	3.130	0.830	4.150	0.210	10.500
	初期値	5.000	2.000	5.000	0.500	20.000
	増分理論	3.130	0.831	3.912	0.209	10.456
	対応原理	3.132	0.855	4.542	0.183	10.711

表－2　計算時間の比較

解析方法	SPU TIME	VPU TIME
増分理論	2分43秒	1分36秒
対応原理	18秒	4秒