

GPSによる地盤変位計測結果の適応フィルタリングを用いた一評価法

清水則一*・江上知幸**・中川浩二***・
桜井春輔****

本ノートは、GPS（人工衛星測量システム）による変位計測結果の精度を向上させる新しい評価手法を提案するものである。それは、クリープ的な挙動を示す地盤変位を対象に、計測結果の精度の向上を図るとともに、最終変位の予測を行うものである。この方法は計測結果の逆解析法に属するが、逆解析の過程で変位観測点間において成り立つべき座標の幾何学的拘束条件を考慮している点に特徴がある。本ノートでは、提案手法の定式化を示し、その方法の妥当性を数値シミュレーションによって検討する。

Key Words: Global Positioning System, displacement measurement, adaptive filtering, improvement of measurement accuracy

1. まえがき

GPS (Global Positioning System) は人工衛星を用いて観測点の三次元座標を求める測量システムである^{1)~3)}。筆者らは、これまでにGPSの地盤変位計測への応用について文献を調査し^{4),5)}、さらに、長大切り斜面の現場において変位の実測を行った⁶⁾。その結果、従来の計測機器では計測が困難であった広大な領域の地盤変位計測に対して、GPSは有用であることが示された。そこで、GPSによる変位計測の次の課題として、(1)計測精度の一層の向上、(2)観測時間および観測データの解析時間の短縮、(3)観測の自動化、などが挙げられる。本研究では、上述の(1)に焦点を絞り、GPSによる変位計測結果の精度を向上させる新しい評価手法を提案する。それはクリープ的な挙動を示す地盤変位を対象に、計測結果の精度の向上を図るとともに、さらに最終変位の予測を併せて行うものである。この方法は計測結果の逆解析手法に属するものであるが、逆解析の過程で、GPS測量の観測点間において成り立つべき座標の幾何学的拘束条件を考慮している点に特徴がある。本ノートでは、提案手法の定式化を示し、その方法の妥当性を数値シミュレーションによって検討する。

2. 適応フィルタリングを用いた評価手法

ここでは、提案手法の定式化とその解法を示す。

(1) 地盤変位の推移式

本研究では、対象とする地盤のクリープ変位が線形粘弾性モデル⁷⁾で近似的に表されるものと仮定する。また、変位の各成分をそれぞれ独立の粘弾性モデルで取り扱う

*正会員 博(工) 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (〒755 宇部市常盤台 2557)

**元山口大学学生 (現中電技術コンサルタンツ)

***正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科

****正会員 工博 PhD 神戸大学教授 工学部建設学科

ものとすると、観測点の変位 $u_i(t)$ (i は成分を示す、 $i=1, 2, 3$) は次の式を満足する。

$$a_{i0}u_i(t) + a_{i1}\frac{du_i(t)}{dt} + a_{i2}\frac{d^2u_i(t)}{dt^2} + \dots + a_{in}\frac{d^nu_i(t)}{dt^n} = p_i(t) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 a_{ij} は地盤変位のクリープ特性を表す粘弾性モデルの定数である。また、 $p_i(t)$ は掘削や載荷などに対応する外部擾乱項である。

ここで、時間間隔を Δt (等間隔) とし後退差分を用いて微分項を近似すると式(1)は次のように表される。

$$\alpha_{i0}u_{i,t} + \alpha_{i1}u_{i,t-1} + \dots + \alpha_{in}u_{i,t-n} = p_{i,t} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $u_{i,t-j} = u_i(t-j\Delta t)$ 、 $p_{i,t} = p_i(t)$ 、

$$\alpha_{ij} = (-1)^j \sum_{k=1}^n \binom{k}{j} \frac{\alpha_{ik}}{k\Delta t}, \quad \binom{k}{j} : \text{組合せ記号}$$

である。式(2)は、一次元圧密に対して浅岡ら⁸⁾が導いた式と同形である。

さらに、 $\mathbf{u}_{i,t} = \{u_{i,t}, u_{i,t-1}, \dots, u_{i,t-n+1}\}^T$ と定義して、式(2)および $u_{i,t-j} = u_{i,t-j}$ ($j=1, 2, \dots, n$) をあわせてマトリクス表示すると次のように書ける。

$$\mathbf{u}_{i,t} = \mathbf{A}_i \mathbf{u}_{i,t-1} + \mathbf{b}_i p_{i,t} \dots \dots \dots (3)$$

ただし、

$$\mathbf{A}_i = \begin{pmatrix} -\frac{\alpha_{i1}}{\alpha_{i0}} & -\frac{\alpha_{i2}}{\alpha_{i0}} & \dots & -\frac{\alpha_{i,n-1}}{\alpha_{i0}} & -\frac{\alpha_{in}}{\alpha_{i0}} \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{b}_i = \left[\frac{1}{\alpha_{i0}} \ 0 \ \dots \ 0 \right]^T$$

である。ここで、 $\mathbf{x}_{i,t} = \mathbf{u}_{i,t} - \mathbf{u}_{i,t-1}$ 、 $q_{i,t} = p_{i,t+1} - p_{i,t}$ とおくと、式(3)から次の式が導かれる。

$$\mathbf{x}_{i,t+1} = \mathbf{A}_i \mathbf{x}_{i,t} + \mathbf{b}_i q_{i,t} \dots \dots \dots (4)$$

式(4)が変位増分ベクトル $\mathbf{x}_{i,t}$ の経時的な推移式である。

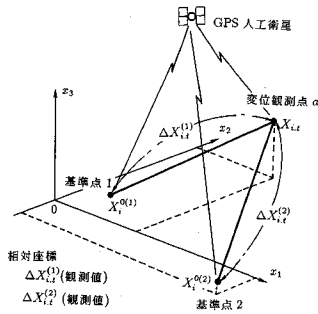


図-1 GPS 測量の基準点と変位観測点

(2) 観測点座標の拘束条件式

GPS 測量では観測点の座標が観測値として直接得られる特徴がある。ここでは、その点に着目して、計測結果の精度を向上させるための条件として、観測点間の座標に対して成り立つべき幾何学的拘束条件を考える。

観測点の座標を GPS によって次のように測量する。まず、図-1 に示すように、不動点と考えられる2カ所の基準点をそれぞれ 1, 2 と表し、変位を観測する点を a とする。いま、基準点 1, 2 の座標 $X_i^{0(k)}$ ($k=1, 2$; k は基準点を表す) が与えられているものとする。GPS によって時刻 t に基準点 k と観測点 a 間の相対座標 $\Delta X_{i,t}^{(k)}$ が観測される。その場合、時刻 t において、観測点 a の真の座標 $X_{i,t}$ と観測値 $\Delta X_{i,t}^{(k)}$ との間に成り立つべき幾何学的関係は次のように表される。

$$X_i^{0(k)} + \Delta X_{i,t}^{(k)} = X_{i,t} + w_i \quad (k=1, 2) \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 w_i は観測誤差である。 $t=t-1$ に対し上式と同様な式を求め、式 (5) から辺々を引くと次式を得る。

$$\Delta X_{i,t}^{(k)} - \Delta X_{i,t-1}^{(k)} = (u_{i,t} - u_{i,t-1}) + v_i \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 $u_{i,t} = X_{i,t} - X_{i,0}$ であり、観測誤差は v_i とおきなおした。

ここで、時刻 $t-n\Delta t$ から t までに観測した $\Delta X_{i,t}^{(k)}$ を用いて、 $y_{i,t}$ を次のように定義する。

$$y_{i,t} = \begin{Bmatrix} \Delta X_{i,t}^{(1)} & - & \Delta X_{i,t-1}^{(1)} \\ \Delta X_{i,t}^{(2)} & - & \Delta X_{i,t-1}^{(2)} \\ \Delta X_{i,t-1}^{(1)} & - & \Delta X_{i,t-2}^{(1)} \\ \Delta X_{i,t-1}^{(2)} & - & \Delta X_{i,t-2}^{(2)} \\ \dots & & \dots \\ \Delta X_{i,t-n+1}^{(1)} & - & \Delta X_{i,t-n}^{(1)} \\ \Delta X_{i,t-n+1}^{(2)} & - & \Delta X_{i,t-n}^{(2)} \end{Bmatrix}$$

上式と式 (6) から次の式を得る。

$$y_{i,t} = C_i x_{i,t} + v_i \dots\dots\dots (7)$$

ただし、

$$C_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad v_i = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} v_i$$

である。

式 (7) が観測点間の幾何学的拘束条件から導かれた観測方程式であり、観測値 $y_{i,t}$ と変位増分ベクトル $x_{i,t}$ との関係を表している。

(3) 適応フィルタリングの適用

式 (4) および式 (7) を組み合わせると

$$x_{i,t+1} = A_i x_{i,t} + b_i q_{i,t}$$

$$y_{i,t} = C_i x_{i,t} + v_i \dots\dots\dots (8)$$

となる。上式は GPS 測量によって得られた観測値 $y_{i,t}$ から、現時刻における真の変位増分の推定値 $x_{i,t}$ を求める一つの線形システムを構成する。ただし、このシステムにおいて、マトリックス A_i および b_i に含まれる係数 α_{ij} は、地盤変位のクリープ特性を反映するパラメータであり、観測時において未知である。したがって、式 (8) で表されるシステムでは、観測値 $y_{i,t}$ から $x_{i,t}$ および α_{ij} を同時に推定する必要がある。このような推定は適応フィルタリング (adaptive filtering) と呼ばれる⁹⁾。

ここで、この問題を解くために、

$$\theta_{i,t} = \left[-\frac{\alpha_{i1}}{\alpha_{i0}}, -\frac{\alpha_{i2}}{\alpha_{i0}}, \dots, -\frac{\alpha_{in}}{\alpha_{i0}}, \frac{1}{\alpha_{i0}} \right]^T$$

とおき、文献 9) を参考にして新たな未知パラメータ

$$z_{i,t} = \{x_{i,t}^T, \theta_{i,t}^T\}^T$$

を定義する。 $\theta_{i,t}$ は時間に対して変化しないものと仮定して、 $\theta_{i,t+1} = \theta_{i,t}$ とし、これと式 (8) を連立して次の式を得る。

$$z_{i,t+1} = A'_i z_{i,t} + b'_i q_{i,t}$$

$$y_{i,t} = C'_i z_{i,t} + v_i \dots\dots\dots (9)$$

$$A'_i = \begin{pmatrix} A_i & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix}, \quad b'_i = \begin{Bmatrix} b_i \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad C'_i = (C_i \ 0)$$

ただし、 I は単位マトリックスである。

式 (9) に拡張カルマンフィルタの解法⁹⁾を適用すると、未知パラメータ $z_{i,t}$ の推定値 $\hat{z}_{i,t/t}$ は、フィルタ方程式と呼ばれる次式によって求められる。

$$\hat{z}_{i,t/t} = \hat{z}_{i,t/t-1} + K_{i,t} [y_{i,t} - C'_i \hat{z}_{i,t/t-1}] \dots\dots\dots (10)$$

$$\hat{z}_{i,1/0} = \hat{z}_{i,0} \text{ (初期条件)}$$

ここで、 $K_{i,t}$ は次に示すカルマンゲインである。

$$K_{i,t} = P_{i,t/t-1} H_{i,t}^T [H_{i,t} P_{i,t/t-1} H_{i,t}^T + R_{i,t}]^{-1}$$

$$R_{i,t} = v_i^T v_i \text{ (観測誤差)}$$

ただし、 $P_{i,t/t-1}$ は $\hat{z}_{i,t/t-1}$ の推定誤差共分散行列であり次の式から求められる。

$$P_{i,t+1/t} = F_{i,t} P_{i,t/t} F_{i,t}^T$$

$$P_{i,t/t} = P_{i,t/t-1} - K_{i,t} H_{i,t} P_{i,t/t-1}$$

$$P_{i,1/0} = \Sigma_{i,0} \text{ (初期条件)}$$

なお、

$$F_{i,t} = \left(\begin{array}{c|cc} A_i & x_{i,t}^T & q_{i,t} \\ \hline 0 & I & 0 \end{array} \right), \quad H_{i,t} = (C_i \ 0)$$

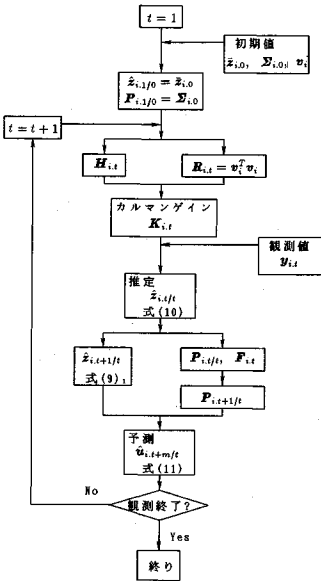


図-2 提案手法のフローチャート

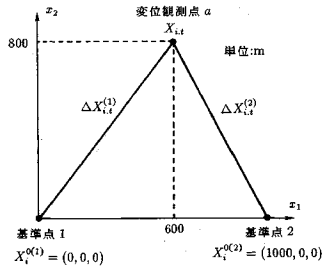


図-3 シミュレーションにおける観測点 (平面図)

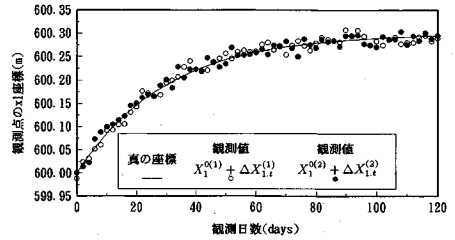


図-4 シミュレーションに用いる観測データ

である。

以上のように本手法では、新たな観測値 $\Delta X_{i,t}^{(k)}$ を得るごとに変位増分の推定値 $x_{i,t}$ のみならず、地盤変位のクリープ特性を表す未知パラメータ $\theta_{i,t}$ が、式 (9) にしたがって更新されることに特徴がある。

次に、各時刻において推定された $\hat{z}_{i,t/t}$ と式 (4) から誘導される次式を用いれば、時刻 $t+m\Delta t$ における変位を予測することができる。

$$\hat{u}_{i,t+m/t} = u_{i,0} + \sum_{j=0}^m \hat{x}_{i,t+j/t} + \sum_{k=1}^m \hat{x}_{i,t+k/t} \dots (11)$$

ただし、 $\hat{x}_{i,t+1/t} = A_i \hat{x}_{i,t/t} + b_i q_{i,t}$ である。

以上の手順を取りまとめ、フローチャートにして図-2 に示す。

3. 数値シミュレーション

本章では、提案手法の妥当性を調べるために数値シミュレーションを行う。ここでは、最も簡単なモデル、すなわち式 (1) において $n=1$ とする場合を例にとる。その場合、式 (9) に対応する式は次のようになる。

$$z_{i,t+1} = \begin{pmatrix} \theta_{i,t} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} z_{i,t}, \quad y_{i,t} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} z_{i,t} + v_i \dots (12)$$

ただし、

$$z_{i,t} = \{x_{i,t}, \theta_{i,t}\}^T, \quad x_{i,t} = u_{i,t} - u_{i,t-1}$$

$$y_{i,t} = \begin{Bmatrix} \Delta X_{i,t}^{(1)} - \Delta X_{i,t-1}^{(1)} \\ \Delta X_{i,t}^{(2)} - \Delta X_{i,t-1}^{(2)} \end{Bmatrix}$$

である。また、時刻 t において最終変位 $\hat{u}_{i,\infty/t}$ を予測する式は、 $0 < \theta_{i,t} < 1$ の場合、式 (11) から次のように求められる。

$$\hat{u}_{i,\infty/t} = u_{i,0} + \sum_{j=1}^t \hat{x}_{i,t+j/t} + \frac{\theta_{i,t}}{1-\theta_{i,t}} \hat{x}_{i,t/t} \dots (13)$$

なお、ここでは荷重項 $p_{i,t}$ は時間に対して変化しないものとして、 $q_{i,t}=0$ とおいた。

本シミュレーションでは図-2 に示す観測点配置を例にとり、 $\Delta X_{i,t}^{(1)}$ および $\Delta X_{i,t}^{(2)}$ を GPS によって観測するものとする。ただし、基準点 1 から 2 に向かう方向を x_1 軸とする (図-3 参照)、なお、以下には変位の x_1 座標成分に対する結果のみを示すが、他の座標成分に対しても同様の結果を得ることができる。

図-4 にシミュレーションで用いた座標の観測値 $X_{1,t}^{(1)} + \Delta X_{1,t}^{(1)}$ および $X_{1,t}^{(2)} + \Delta X_{1,t}^{(2)}$ を示す。それらの値は、真と仮定した値を平均値とし、それに適当な標準偏差を与えて正規乱数を発生させて求めたものである。ここでは、 $X_{1,t}^{(1)} = 0.0$ および $X_{1,t}^{(2)} = 1000 \times 10^2$ cm、観測値の真値を $\Delta X_{1,t}^{(1)} = (600 \times 10^2 + u_{1,t})$ cm および $\Delta X_{1,t}^{(2)} = (-400 \times 10^2 + u_{1,t})$ cm、また、標準偏差はこれまでの実測結果⁶⁾ を考慮して 0.5 cm として正規乱数を発生させた。ただし、 $u_{1,t}$ は観測点の x_1 軸方向の真のクリープ変位で、一例として $u_{1,t} = 30(1 - \exp(-t/30))$ cm (最終変位: 30 cm, $a_{11}/a_{10} = 30$, t : 日) と仮定した。

また、GPS 測量は 2 日に一度行い (その場合 $\theta_{1,t}$ の真値 $\bar{\theta}_{1,t} = 0.938$)、観測値を得る毎に未知パラメータ $\hat{z}_{1,t/t}$ および最終変位 $\hat{u}_{1,\infty/t}$ を図-2 に示した手順で求める。なお、以下に示す結果は、誤差マトリックスとして $R_{1,t} = 0.25 I$ 、未知パラメータ $\theta_{1,t}$ の推定誤差の初期値として $\Sigma_{1,0} = 1.0 I$ 、変位増分の初期値として $\bar{x}_{1,0} = (\Delta X_{1,t}^{(1)} - \Delta X_{1,t-1}^{(1)} + \Delta X_{1,t}^{(2)} - \Delta X_{1,t-1}^{(2)})/2$ を与えたケースに対するものである。

図-5 は、未知パラメータ $\theta_{1,t}$ の初期値を $\bar{\theta}_{1,0} = 0.5$ 、1.0 としたケースについて、推定値 $\hat{\theta}_{1,t/t}$ の収束状況を観測日数の経過にしたがって示したものである。いずれのケースも、観測後 10 日 (観測回数 5 回) を過ぎると正解値に対して誤差 2% 以内の値に収束している。

図-6 は $\bar{\theta}_{1,0} = 0.5$ の場合について、観測時ごと (2 日ごと) に得られる変位増分の推定値 $\hat{x}_{1,t/t}$ から求めたクリープ変位の推定値 $\hat{u}_{1,t/t}$ とその真の値 $u_{1,t}$ との比較、および、各観測時において求めた最終変位の予測値 $\hat{u}_{1,\infty/t}$ である。推定変位 $\hat{u}_{1,t/t}$ は、観測値に図-4 に示すような誤差があるにもかかわらず、観測開始直後から真

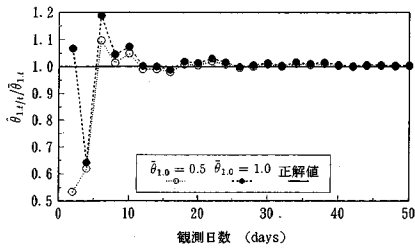
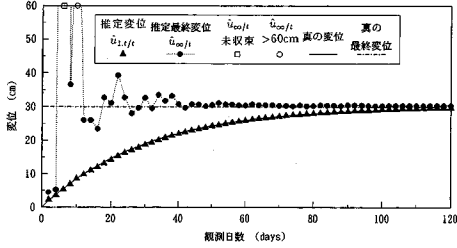
図-5 パラメータ $\theta_{L,t}$ の推定値の収束状況

図-6 観測点の変位と最終変位の推定値

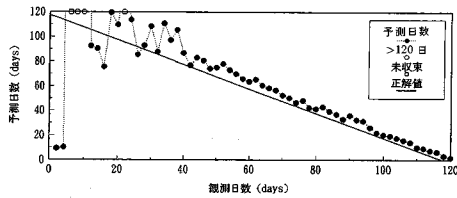


図-7 最終変位の98%に達するまでの日数の予測

の値にはほぼ等しく求められている(図-6の記号▲)。すなわち、提案手法を用いれば、観測誤差を含んだGPS測量結果の精度が向上することが分かる。これは、観測点座標の幾何学的拘束条件(式(5),(7)あるいは式(12)の第2式)を考慮した効果と考えられる。また、最終変位の予測値は観測開始後30日頃から真の値(30 cm)に対して10%以内の範囲に収まり、その後、数%の精度に収束している。

図-7は変位が各観測時における最終変位の推定値の98%に達する時期を、式(11)を用いて推定した結果である。40日頃から正解の直線(117.4-t)に収束し始め、最終的には数日の誤差で推定されている。

以上のシミュレーションの結果、提案手法によって計測結果の精度向上が図れるとともに、最終変位が十分な精度で予測できることが示された。

4. むすび

本ノートでは、クリープ挙動を示す地盤変位を対象に、GPSによる変位計測結果の精度向上と最終変位予測を行う新しい評価手法を提案して、数値シミュレーションによってその妥当性を検証した。提案手法は一種の逆解析法であり、変位観測点間において成り立つべき座標の幾何学的拘束条件を考慮し逆解析を行う点に特徴がある。

数値シミュレーションを行った結果、提案手法によって、(1)誤差を含んだ計測結果から精度良く観測時点の変位を推定できること、(2)クリープ変位の最終変位と収束時期を概ね妥当な値で予測できること、が示された。本ノートでは、提案手法に対し最も簡単なモデル(式(1)において $n=1$)を用いてシミュレーションを行ったが、より高次のモデル(式(1)において、 $n=2, 3, \dots$)に対するシミュレーションの実施や、実際の観測値への適用などが今後の課題である。

本研究を遂行するに当たって京都大学農学部村上章博士に貴重な御討議を頂いた。ここに感謝の意を表す。また、本研究は文部省の科学研究費補助(平成4年度、課題番号04750477)を受けて行ったことを付記する。

参考文献

- 1) 日本測地学会編：新訂版GPS, 日本測量協会, 1989.
- 2) Wells, D.(ed.): Guide to GPS Positioning, Can. GPS Assoc., 1986.
- 3) Leick, A.: GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons, 1990.
- 4) 桜井春輔・清水則一：GPS(汎地球測位システム)の地盤変位計測への応用, 土と基礎, 38-4(387), pp.65~72, 1990.
- 5) 清水則一・桜井春輔：GPSの岩盤変位計測への適用, 資源と素材, 1(109), pp.1~7, 1993.
- 6) 桜井春輔・清水則一・血海章雄・古谷茂也：GPSによる切取斜面の変位計測, 土木学会論文集, 475/III-24, pp.137~142, 1993.
- 7) フリュージェ, W.(訳:堀幸夫):粘弾性学, 培風館, 1973.
- 8) Asaoka, A. and M.Matsuo: An inverse problem approach to settlement prediction, Soils and Foundations, 20(4), pp.53~66, 1980.
- 9) 片山徹:応用カルマンフィルタ, 朝倉書店, 1983.

(1993.7.29受付)

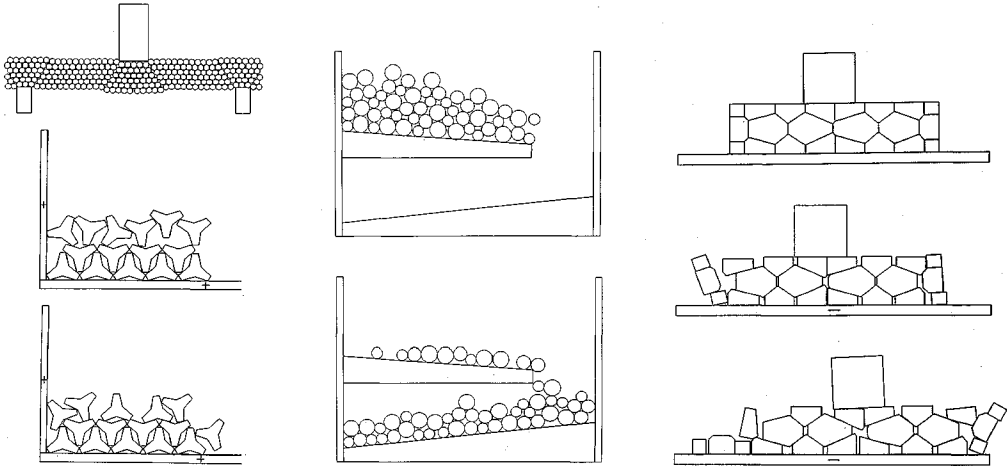
APPLICATION OF ADAPTIVE FILTERING FOR IMPROVING THE ACCURACY OF GROUND DISPLACEMENT MEASUREMENTS BY USING THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM

Norikazu SHIMIZU, Tomoyuki EGAMI, Koji NAKAGAWA and Shunsuke SAKURAI

This paper proposes a method for improving the accuracy of ground displacement measurements by using the Global Positioning System (GPS). Adaptive filtering was adopted to formulate the method. Numerical simulations were conducted in order to prove the applicability of the method to GPS displacement measurements.

個別要素法プログラムシリーズ

■開発元 Dr.Cundall (ITASCA社)



UDEC

個別要素、差分要素を基本とする汎用 2 次元コードです。

- ・転倒、滑落解析
- ・地震応答解析
- ・地盤、不連続性岩盤の安定解析
- ・岩盤の掘削解析
- ・コンクリートの亀裂進行解析
- ・流れ解析 (Coupled flow-mechanical analysis)
- ・熱解析 (Coupled thermal-mechanical analysis)

BALL2D/3D

解析対象を円あるいは球でモデル化する手法のコードで、この手法は数多くの個別要素法プログラムに採用されています。

BALL2D -Polygon

BALL2Dに多角形ブロックを機能追加したバージョンです。任意剛体壁境界あるいは、飛翔体等を多角形ブロックとし、円ブロックとの相互作用解析が可能です。

BFLOW

解析対象を任意多角形でモデル化する手法のコードで、接触判定ロジック、特に凹型のブロックの接触判定の難点を解決したものです。

UDECではやや困難な完全崩壊、流動解析に適します。

CASK-3D

キャスク等の 3 次元円筒構造物の地震時の転倒解析コードです。

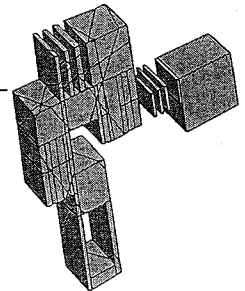
3DEC

UDECの 3 次元バージョンです。充実した 3 次元グラフィック機能をもっています。

- ・転倒、滑落解析
- ・地震応答解析
- ・地盤、不連続性岩盤の安定解析
- ・岩盤の掘削解析
- ・コンクリートの亀裂進行解析

■価格

| | | | |
|------------------|---|-----------|--------|
| ● UDEC | SUN/IBM-PC (Barton-Bandis Model等の機能追加も可能です。) | ソース・コード | 260万円 |
| ● BALL2D/3D | SUN/IBM-PC/FACOM/HITAC | ソース・コード | 各200万円 |
| ● BALL2D-Polygon | SUN/IBM-PC | ソース・コード | 260万円 |
| ● BFLOW | SUN/IBM-PC | ソース・コード | 260万円 |
| ● CASK-3D | SUN/IBM-PC | ソース・コード | 200万円 |
| ● 3DEC | SUN/IBM-PC | ロード・モジュール | 680万円 |



プログラムはいずれも最新バージョンを提供いたします。また、問題に応じた個別要素法プログラムの開発も行っています。

* 当社は1988年7月からITASCA社の販売代理店をしています。

OKL 株式会社 応用工学研究室

〒151 東京都渋谷区上原2-2-7 カマタビル201
TEL.(03)3485-9360 FAX.(03)3485-6955

FLAC-2D (Fast Lagrangian Analysis of Continue)

1950年代に有限要素法が出現し、コンピュータの発展と共に進歩をとげていったのと並行して、衝撃分野での解析を目的に始まった差分法に基づく、“Hydrocodes”もすくなく成功をおさめていました。応力波伝播を基本とする弾塑性固体の大変形、スライド・ライン手法による滑り・剝離挙動の解析には目覚ましいものがありました。しかし、これらを取り扱うプログラムの多くは公的機関での開発のため、公開されたものは余りありませんでした。FLAC-2Dはこの流れをくむ地盤非線形解析プログラムです。

プログラムの特徴

- ・幾何学的大変形及び材料非線形を取り扱うことができます。微小変形・歪解析も可能です。
- ・要素の大きなゆがみの発生からくる数値不安定を避けるため3角形差分要素を採用しています。
- ・要素間の滑りを考慮できるスライド・ライン機能(大変形)を備えています。

要素ライブラリー

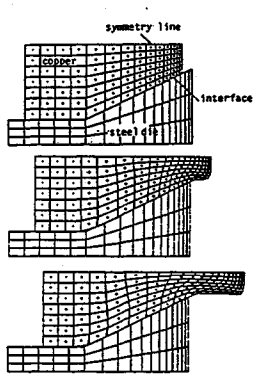
- ・2次元平面歪/応力要素
- ・ケーブル要素
- ・ビーム要素
- ・ロックボルト要素(point anchor/grouted)

適用分野

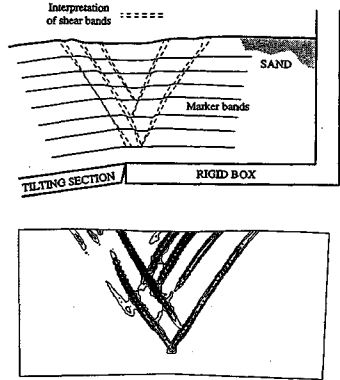
- ・斜面・盛土の設計及び安定解析
- ・浅/深基礎解析
- ・アースダム及びコンクリートダム解析
- ・トンネル、鉱山掘削解析
- ・圧密、流れ解析
- ・固体と流体の相互作用解析

構成則

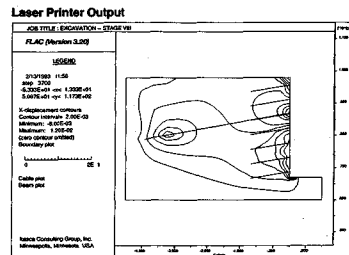
- ・等方性、非等方性弾性
 - ・弾塑性(Mohr-Coulomb, Von Mises, Drucker-Prager等)
 - ・偏在ジョイント・モデル(Ubiquitous joint)
 - ・歪硬化/軟化
 - ・ヌル要素
 - ・体積歪依存の間隙水圧発生モデル等
- その他の構成則の機能追加も可能です。



スライド・インターアクション



断層解析



地盤安定解析

■価格

- FLAC-2D SUN/IBM-PC ロード・モジュール 標準バージョン……80万円
- ※追加オプションとして、動解析、クリープ解析及び熱解析があります。
- 追加オプションを含む一括購入の場合……150万円

プログラムはいずれも最新バージョンを提供いたします。また、問題に応じた地盤非線形プログラムの開発も行っています。

* 当社は1988年7月からITASCA社の販売代理店をしています。

OKL 株式会社 応用工学研究室

〒151 東京都渋谷区上原2-2-7 カマタビル201
TEL.(03)3485-9360 FAX.(03)3485-6955

地盤の有限要素法解析ソフト

未来設計企業



3月リリース
開始

世界標準のソフトウェア

Mr.SOIL Ver.3.0 WINDOWS版

Mr. SOILの新バージョン (Ver.3.0) はWindows[®]で稼働する強力なシステムに生まれ変わり大モデルも扱えるようになりました。
また、マウスを使ったメニュー形式の導入、画面上での出力が可能になるなどの新機能により、すぐれた操作性をもたらします。

*Windowsは、米国マイクロソフト社の登録商標です。

バージョンアップ項目

入力部

- モデル作成のためのメッシュジェネレート機能。
- モデル図を参照しながら荷重条件、境界条件、材質条件、はり、棒要素のデータをメニュー画面のテーブルにより入力することが可能。

ソルバー部

- 強制変位。
- 解析途中の材質の変更。(薬注施工のモデル化)
- 節点数制限のUP。(約3000節点が可能)

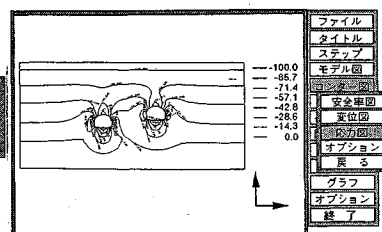
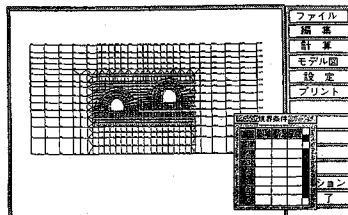
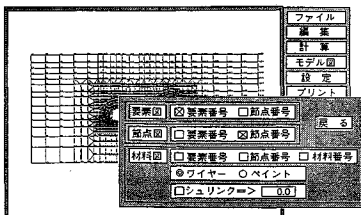
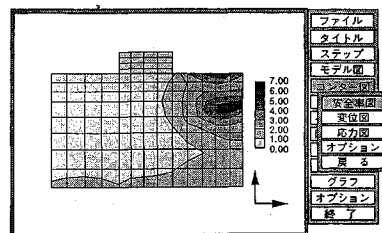
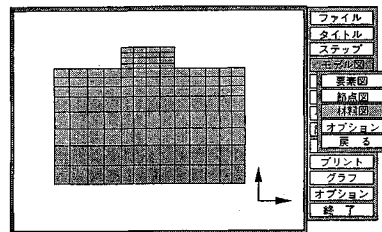
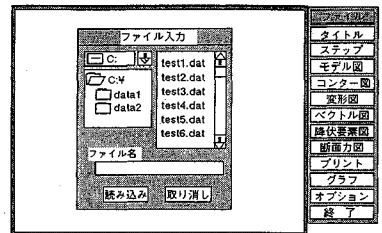
出力部

- 線画だけでなく画面塗りつぶし処理が可能。
- マウス入力とメニュー型式による操作性の大幅な向上。

動作環境

CPU 80386 以上 (推奨 80486 以上)
Windows 3.1 以上
メモリ 640Kbyte + 7Mbyte (プロテクトメモリー)
ハードディスク 10Mbyte以上

以上のメモリーは今後、改良により小さくなる場合もあります。



製品版は、一部異なる場合があります。

株式会社 **CRC** 総合研究所 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06)241-4121 担当/村中 一意

MATRAN EX

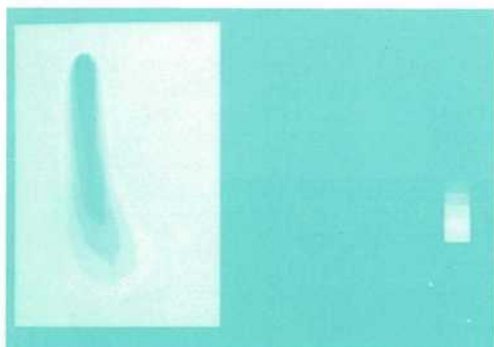
地下水汚染
の解析に!

塩水くさび
農薬汚染
廃棄物処理
その他

飽和・不飽和浸透解析に、移流分散・拡散を考慮。
EXtensiveな問題に適用可能なEXcellentなプログラム。

プログラムの特長

- 断面(EXV)および平面(EXH)の解析が可能
- 充実した解析機能
 - 定常・非定常解析 (断面、平面)
 - 軸対称解析 (断面)
 - 降雨 (断面、平面)
 - 揚水・注水 (断面、平面)
 - 浸出面 (断面)
 - 材質変更 (断面、平面)
 - 境界条件の変更 (断面、平面)
 - 水位・濃度の経時変化 (断面、平面)
- 豊富なグラフィック出力 (濃度コンター図、流速ベクトル図、濃度の時間推移グラフ 他)



濃度コンター図(平面解析例)

画面出力図



濃度コンター図(断面解析例)

画面出力図