

1. まえがき 地震によって液状化が発生すると、埋設管路系もしばしば破壊される。この種の破壊は都市機能に及ぼす影響が大きいだけに、その防止策の工学的意義も大きい。久保らは日本海中部地震で広範に液状化した能代市南部を対象に地震前後の航空写真を比較し、最大4mに及び地盤の永久変位が液状化によって引き起こされている事を見出した。浜田らは、当該地域での埋設管路の破壊をこの永久変位と合わせて検討し、永久変位が破壊の主な原因である事を示した。本稿では、管路の破壊しそうな地点を推定してその補強をするために地盤の永久変位を予測する方法を提案する。

2. 能代市の地盤永久変位 図1は久保らによって提出された能代市の地盤永久変位である。下方中央に前山なる砂丘があり、そこから周囲の低地に向けて地盤が流れ下っている。特に前山北麓で変位が大きく、最大4mにも及ぶが、この地域の斜面勾配は平均で1度以下しかない。また太線で示した管路は×印の地点で破壊した。図2は前山北麓の地盤である。地下水位は深さ約1.5mで、地表には広く噴砂が見られた。土質及び貫入試験値から見て、図中As-1層が液状化した事は疑いない。平時には管路の埋設されている表層Tsと砂層As-1との間にはせん断抵抗力が存在し、表層が重力によってすべり落ちるのを防いでいる。ところが一旦As-1層が液状化すると、このせん断抵抗力が失われ、表層は自由にすべり落ちる事になる。この推論は、本地区で井戸の変状を調べたところ、表層とAs-1層との境界(地下水面)で、ずれによる大変形をしていた事によって、裏付けられる。(図3)

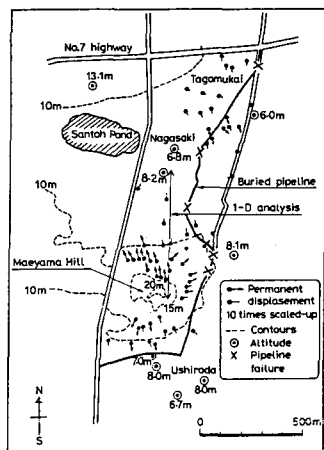


図1 能代市の実測地盤永久変位

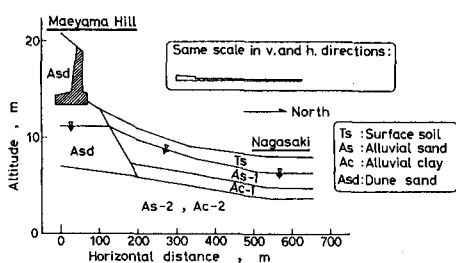


図2 前山北麓の地盤断面図

3. 簡易解析法 永久変位を予測する定道は、図2の断面の有限要素解析であろう。非線形応力ひずみ則を用い、地下水面の位置にジョイント要素を入れてすべり変位も考慮できるようにする。しかしこの方法の欠点は、僅か一断面の解析に多くの手間と時間を要する事である。その原因は、入力データの決定、繰返し計算等非線形性に起因する物のみならず、使用する要素数の多さにも因っている。図2は実は縦横のスケールを大幅に変えて描いてあり、真の形状は挿入図のように極めて細長い。このような断面を例えば一边2mの正方形要素に分割すれば、縦に5個、横に300個の要素が並び、総計1500個となる。縦に5個程度の要素は必須であるから、要素数を200に抑えようとするれば、横に一边15mの要素が40個並ぶ事になる。しかし辺長が2m×15mの長方形要素は余りにも扁平で、正確な計算は難しい。

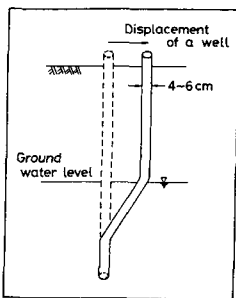


図3 井戸の変状

一断面だけの解析では、図1の地域の解析として不充分である。恐らく十断面程度は必要であろう。しかしこの方法では異なる断面の解析は互いに全く独立で、地盤が連続体である事による変位の適合性は一切考慮されない。

本研究の目的は、例えば東京下町のように地盤液状化による被害が心配される地域で、埋設管路の破壊を予測する事にある。そのためにはまず地盤の永久変位を計算せねばならない。しかし一つの断面の計算に数多くの要素を使用し、各要素毎に非線形変位パラメーターを苦労して決定し、繰り返し計算を行なってやると解を得ていたのでは、東京下町はおろか、一つの区を解析する事すら覚えない。これは手間と時間の面からだけでなく、計算コストの面からも言える事である。

このような障害を打破するため、簡易な方法を提案する。図4は、図1の領域をパソコンから見た図で、有限要素分割されている。太線は管路の位置を示すが、計算では特に考慮されていない。計算は通常のFEM弾性解析であり、非線形性は含まれない。各節点は、下層が液状化してせん断抵抗を失った事を反映して、自由に移動できる。境界条件に関しては、まず高所(砂丘頂部等)が、地震時に亀裂を生じた事を理由に、自由端として扱われる。一方、低地は固定端である。これは、低地で変位の実測値が小さい事、谷筋では両側斜面から土が衝突して実際には動かない事を反映している。非液状化地域も、下層からの拘束が存在するので固定端である。

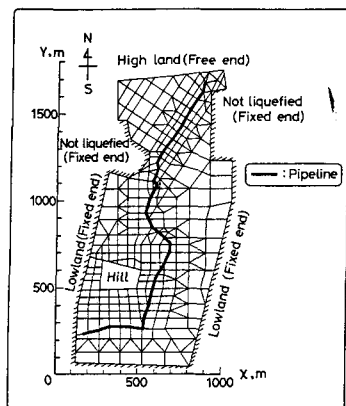


図4 地盤の有限要素分割

今回は図3を根拠に、地下水面の位置で表層がすべるものと仮定した。地砂図から斜面勾配を求め、表層土に働く重力の斜面方向分力を節点荷重として集中させた。(図5) 以上のような記述からわかるように、ここで提案する方法は何ら特別のプログラムと要せず、初歩的なFEMプログラム(平面応力)で実行できる。

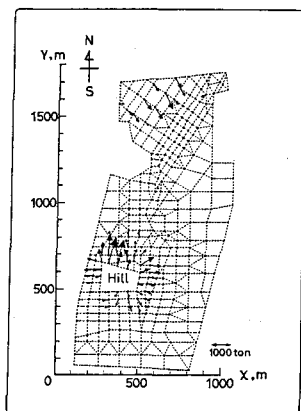


図5 重力の節点荷重化

4. 計算結果 標準貫入試験及びスウェーデン式貫入試験結果に基づき、表層のヤング率 $=1100 \text{ t/m}^2$ 、ポアソン比 $=0.3$ を仮定して計算した結果を図6に示す。前山と北端高地から流れ下る向きに変位している事、前山北麓での変位が約4mである事、北部の低地(長崎地区)で変位が小さい事は、図1の実測値と一致する。低地が固定端となるため、表層と下部層(A₅-1)との間でせん断抵抗が失われても直ちに斜面崩壊とならない事に注意されたい。なお本計算に要したCPU時間は東大大型計算機センターで17秒であった。

5. 結論 本稿で提案した方法は、少ない斜面で表層の永久変位を求めるためのもので、直ちにアースダム等には適用できない。また弾性解析であるがゆえの限界も備えている。しかし、平面的な把握を持つ管路の流域を容易に解析できる、という長所を備えており、要する手間も少ない。図6からわかるように計算結果も実測値とも充分一致しており、採集の埋設管路の破壊予測に有力な方法となろう。なお詳細は東畑(1985)を参照されたい。

6. 参考文献

- 久保、浜田、磯山：土木学会地震工学研究発表会，1985
 浜田、磯山、越本：同上，1985
 東畑：同上，1985

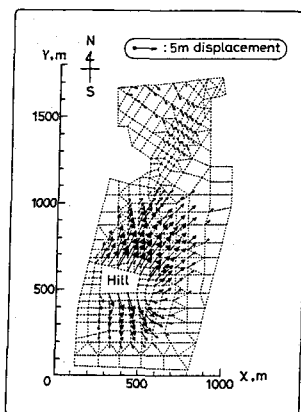


図6 永久変位の計算値