

1. はじめに

山地が国土の大部分を占める日本では、高度経済成長期以降、山や丘陵地を切り盛りすることで宅地を造成してきた。しかし、造成宅地の技術基準で豪雨や基礎の支持力に対する防災は意識されている一方で、場所によって沈下量が異なる不同沈下を予測することは困難となっている。また、粘土の沈下は早期に収束するのではなく、載荷後、数年、数十年経過しても継続する。これは粘土が粘性を持つ塑性材料としての性質を持つため、二次圧密が生じることに起因する。そこで、本研究では、基礎地盤の問題に着目し、宅地造成による傾斜基盤上の軟弱地盤の変形メカニズムの解明を目的とし、弾粘塑性構成モデル（関口モデル）を組み込んだ有限要素法による地盤の変形解析を行った。

2. 地盤モデル

本研究で対象としたのは、熊本県の丘陵地に広がる火山灰性粘土地盤を切り盛りし、谷部を埋め立てることで開発された造成宅地であり、ボーリング調査によって詳細な地形を把握できている幅 105m の部分をモデル化した（図 1）¹⁾。傾斜基盤上に軟弱な風化火山灰性粘土がほぼ一定の層厚 7m で堆積する上部に盛土を造成したことが当該地盤の特徴である。また、盛土と切土にまたがる箇所に立つ家屋やその周辺で、床や電柱の傾斜や、長さ 1m 以上の地割れなどの深刻な被害が生じている。境界条件は図 2 のように設定した。地盤の物性値については既往の調査報告書を基に設定した（表 1）¹⁾。盛土造成は造成完了まで 1 年かけるものとし、現場での造成期間を想定した。また粘土の圧密特性は、比較的盛土層厚が浅い箇所で盛土造成後 15 年経過した現在でも沈下が継続しているという現場の状況を踏まえ、応力が圧密降伏応力より小さい部分を粘塑性変形が生じる擬似過圧密領域と仮定した。

3. 弾粘塑性構成モデル（関口モデル）²⁾³⁾

粘土の粘塑性体としての変形特性を扱うため、本研究では弾粘塑性構成モデルとして関口モデルを用いた。関口モデルで塑性体積ひずみは次式のように表される。

$$v^p = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{m0}} \right) + D \cdot \left\{ \frac{\sqrt{2J_2}}{\sigma_m} - \frac{(\sqrt{2J_2})_0}{\sigma_{m0}} \right\} - \alpha \cdot \ln \left(\frac{\dot{v}}{\dot{v}_0} \right) \quad (1)$$

ここで、 λ ：圧縮指数、 κ ：膨潤指数、 e_0 ：初期間隙比、 σ_m ：平均応力、 D ：ダイレイタンシー係数、 α ：二次圧縮指数、 \dot{v} ：体積ひずみ速度、 \dot{v}_0 ：初期基準体積ひずみ

速度、 J_2 ：偏差応力の第二不変量である。式 (1) の右辺の第一項は圧密、第二項はダイレイタンシー、第三項はクリープによるひずみを表している。式 (1) から粘塑性ポテンシャル、降伏関数 f を設定することにより、次の応力～ひずみ関係を得る。

$$\dot{\epsilon}_{ij}^{vp} = \frac{\partial f / \partial \sigma_{ij}}{\partial f / \partial \sigma_{kk}} \left[\left\{ 1 - \exp(-v^p / \alpha) \right\} \dot{f} + \dot{v}_0 \exp \left(\frac{f - v^p}{\alpha} \right) \right] \quad (2)$$

4. 実地盤の変形解析結果

既述の弾粘塑性構成モデルを用いて、対象地盤の変形解析を行い、変状の把握を試みた。解析結果として盛土造成開始 15 年後の変形図と変位量分布図を図 3 に示す。変形量自体は図 3(a) の①で大きくなっているが、切り盛り境界の傾斜が小さいため側方変位も小さい。また、盛土造成期間中に地表を平坦化することが可能であり、最終的な地表面の凹凸や沈下は実際の現場でも小さくなっている。一方、図 3(a) の②では、変形量は小さいものの、盛土層厚が急変する箇所や地表での切り盛り境界を含み、被害が最も深刻である。そこで、図 3(a) の②での変状の詳細について、家の直下での鉛直沈下量の経時変化を図 4 に示す。盛土造成開始 1 年後（造成完了時）に、家の直下の切土部と盛土部で鉛直沈下量の差は最大 3cm 程度であったが、15 年後には約 9cm になっていることが分かる。これを床の傾斜に直すと約 1000 分の 6 となり、建設省（現国土交通省）が定めた「住宅紛争処理の参考となるべき技術基準」においても、構造耐久上主要な部分に瑕疵が存在する可能性が高いと分類される。

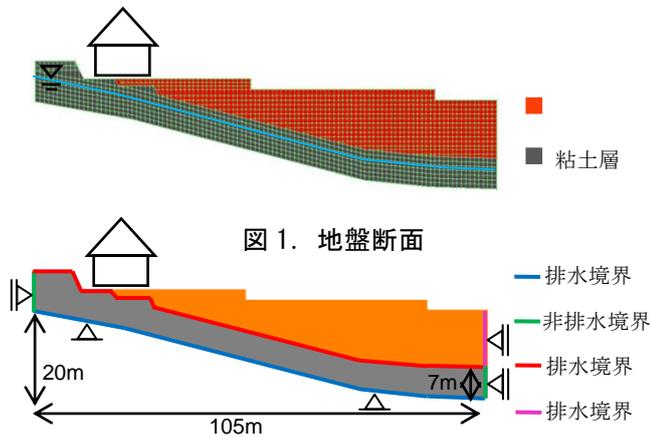
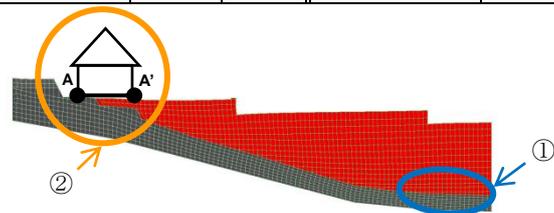


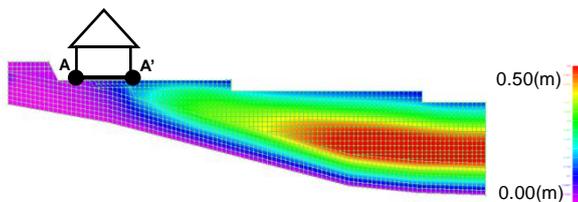
図 2. 地盤全体のスケールと境界条件

表 1. 解析に用いた物性値

	粘土層	盛土		粘土層	盛土
圧縮指数	1.46×10^{-1}		せん断剛性係数(kPa)	3.47×10^3	3.89×10^3
膨潤指数	1.46×10^{-2}		圧密降伏応力(kPa)	1.46×10^{-1}	
二次圧縮指数	2.72×10^{-3}		初期間隙比	1.71	
体積ひずみ速度(s^{-1})	1.73×10^{-10}		透水係数(m/s)	1.00×10^{-8}	4.50×10^{-5}
限界状態応力比	1.34		透水係数変化率	1.46×10^{-1}	
ポアソン比	3.59×10^{-1}	3.00×10^{-1}	単位体積重量(kN/m^3)	1.59x10	1.75x10
静止土圧係数	5.60×10^{-1}	5.00×10^{-1}	N 値	1.5	12.3



(a) 地盤全体の变形図 (变形量 $\times 2$)



(b) 地盤全体の变位量分布

図 3. 地盤全体の变形図

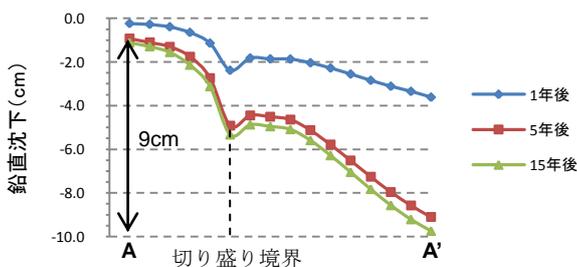


図 4. 家の直下での鉛直沈下量の経時变化

5. 緩速施工による沈下量の比較検討

擬似過圧密領域と正規圧密領域での变形特性は時間

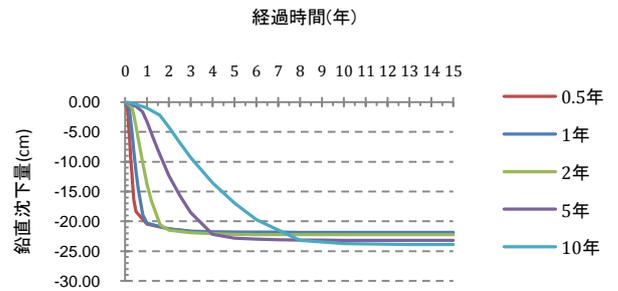


図 5. 盛土造成期間の変更による沈下量の変化

依存性を持つ粘塑性変形であるが、盛土の造成期間を変更することによる粘性挙動の違いの把握を試みる。実際の現場での造成期間は 1 年であったが、半年、2 年、5 年、10 年の 4 パターンを検討する。近傍の粘土の変状の影響が小さい点での鉛直沈下の経時変化を図 5 に示す。これより応力速度が遅いほど 15 年後の鉛直方向の沈下量は僅かに大きくなっていることが分かる。

6. まとめ

宅地造成による傾斜基盤上の軟弱地盤の变形メカニズムの解明を目的とし、弾粘塑性構成モデルを用いた变形解析を行った。当該地域の解析において、地盤全体の圧密沈下による変形を表すことができ、盛土層が深い箇所では大きな変形が見られたものの、地表での凹凸は切り盛り境界が浅い場合に顕著に見られることが分かった。また、実現象で見られた家屋の不同沈下を解析上でも捉え、切り盛り境界での危険性を指摘できた。また、粘性挙動の把握のため、緩速施工を検討し、応力速度が遅いほど沈下量が僅かに大きくなる知見が得られた。本研究の課題として、現場では継続した沈下量の計測が行われておらず、解析結果の定量的な妥当性を検証できなかったため、他の詳細な沈下データが記録されている地盤でも解析を行う必要がある。また、不同沈下の要因として基礎地盤の問題のみを対象としたが、盛土材料の締固め不良についても考慮する必要がある、より詳細な地質調査が不可欠である。

参考文献

- 1) 日本地研株式会社：(仮称) 徳王地区地質調査報告書, 2011.
- 2) Sekiguchi, H.: Rheological Characteristics of Clays, Proc. 9th ICSMFE, Vol.1, pp.289-292, 1997.
- 3) Sekiguchi, H. and Ohta, H.: Induced Anisotropy and Time Dependency in Clays, Proc. Of Specially Session 9, 9th ICSMFE, pp.229-238, 1977.