

水～土骨格連成動的有限変形解析による富士山静岡空港滑走路端安全区域 (RESA) の高盛土の耐震性の検証

名古屋大学 正会員 ○酒井崇之
 名古屋大学 フェロー会員 野田利弘 中野正樹
 一般社団法人 GEOASIA 研究会 正会員 高稲敏浩
 静岡県空港管理課空港調整室 非会員 山下大介 小藤智久 紅林哲

1. はじめに

静岡空港の滑走路端安全区域（以下「RESA」）の拡張整備では、空港既設盛土のり面上に新たな高盛土造成が計画されている。近い将来発生するとされる南海トラフ巨大地震に対し、静岡空港は「緊急輸送の拠点となる空港」相当の空港と考えられ、「発災後3日以内に、緊急物資・人員等の輸送受け入れ機能」を確保する耐震性が求められる。本報告では新たな高盛土造成後の滑走路について地震応答解析を行い、耐震性を検証した。解析には、砂から中間土、粘土までを同じ理論的枠組で記述する弾塑性構成式（SYS Cam-clay model¹⁾）を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**²⁾ を用いた。

2. 解析対象とモデル化について

図-1 は盛土部のみ拡大した断面、図-2 は解析全断面を示す。対象盛土は、70mを超える高盛土である。SR1, SR2 層は原地盤で、A1-1, A1-2, SG2 は盛土である。紙幅の都合上、材料定数の一覧は省略するが、実際に空港から採取した試料に対して実施した三軸圧縮試験結果を構成式により再現し、材料定数と初期値を得た。なお、RESA 整備で使用する盛土材(盛土 1, 2, 補強土)については、使用する材料を締固めて作製した供試体に対して実施した三軸圧縮試験の結果を再現した。空港の築造については、A1-1 層、A1-2 層が盛られていない状態を初期の地盤とし、A1-1 層や A1-2 層を追加し、現在の空港を造成した。その後、整備予定の補強土や盛土 1, 2 を追加し、RESA 整備後の空港を造成した。盛土築造は、水～土二相系弾塑性体として有限要素の追加により行い、補強土についてはジオテキスタイルを当該部分の要素の節点間距離が不変という束縛条件を課してモデル化した³⁾。水理境界は、両端、下端は非排水境界で、地表面のみ排水境界である。なお、SR1 層よりも下側は飽和状態で、SR1 層よりも上側は不飽和状態であった。そこで、SR1 層側よりも上側は、疑似不飽和条件を設定し、計算を行った。具体的には要素を構成する4つの辺に常に水圧ゼロの条件を課した。地震中は、下端に粘性境界($V_s=700\text{m/s}$)を設定し、両端に側方要素単純せん断境界を設けた。

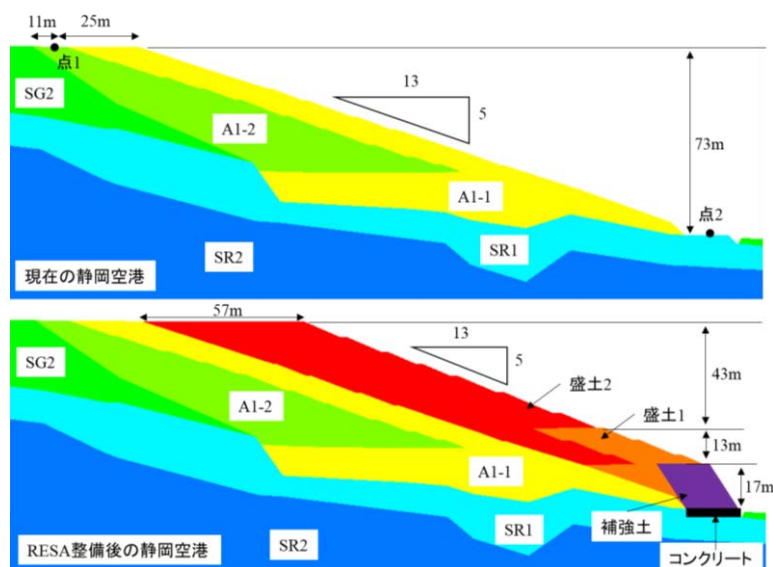


図-1 盛土部のみ拡大図

れていない状態を初期の地盤とし、A1-1 層や A1-2 層を追加し、現在の空港を造成した。その後、整備予定の補強土や盛土 1, 2 を追加し、RESA 整備後の空港を造成した。盛土築造は、水～土二相系弾塑性体として有限要素の追加により行い、補強土についてはジオテキスタイルを当該部分の要素の節点間距離が不変という束縛条件を課してモデル化した³⁾。水理境界は、両端、下端は非排水境界で、地表面のみ排水境界である。なお、SR1 層よりも下側は飽和状態で、SR1 層よりも上側は不飽和状態であった。そこで、SR1 層側よりも上側は、疑似不飽和条件を設定し、計算を行った。具体的には要素を構成する4つの辺に常に水圧ゼロの条件を課した。地震中は、下端に粘性境界($V_s=700\text{m/s}$)を設定し、両端に側方要素単純せん断境界を設けた。

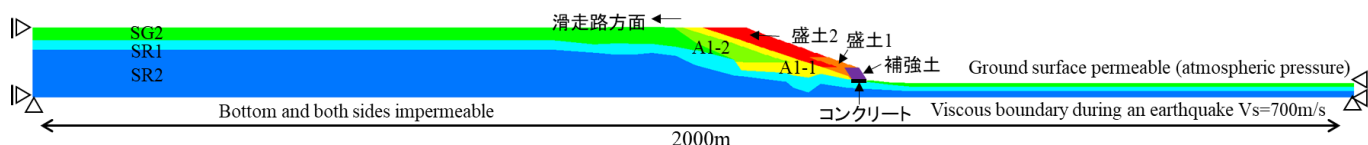


図-2 解析全断面

高盛土、地震応答解析、補強土

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL: 052-789-2734

3. 解析モデルの妥当性の検証

既設盛土の上面部（図-1の点1）と法尻の地山部（図-1の点2）で水平方向の常時微動が計測された。本検討では、図-3に示す非常に小さい地震動を図-2の解析全断面の下端水平方向に入力し、点1と点2で得られた応答加速度のスペクトルの比と計測結果から得られたスペクトル比の比較から解析モデルの妥当性を検証した。図-4は、点1、2における応答加速度のフーリエスペクトルを示す。点1、2のどちらも、1 Hzよりも大きい振動数において増幅が見られた。図-5は、点1と点2で得られた常時微動観測結果と解析結果（応答加速度）のスペクトル比の比較を示す。2.2 Hzあたりでピークが見られる点など、解析結果は常時微動観測結果を概ね再現できたことから、解析モデルは空港の振動特性を表現できていると判断した。

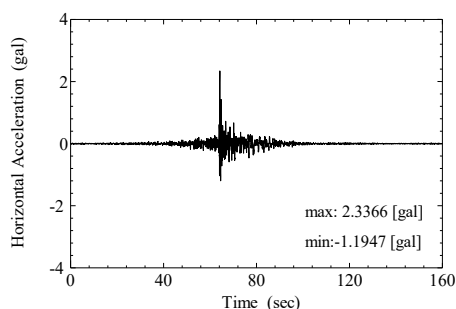


図-3 妥当性検証で使用した地震動

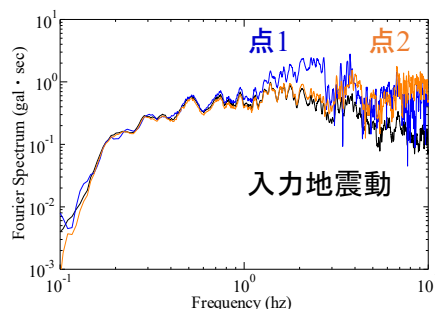


図-4 フーリエスペクトル

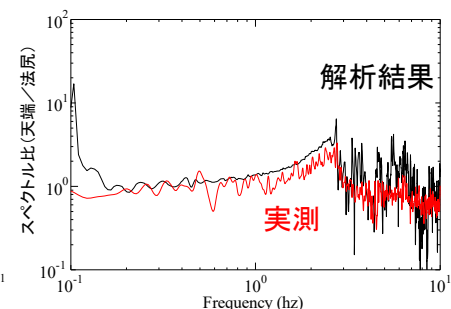


図-5 点1と点2のスペクトル比の比較

4. 南海トラフ巨大地震に対する耐震性の検討

図-6に示す入力地震動は南海トラフ巨大地震を想定している。図-7に地震終了時のせん断ひずみ分布および各点における変形量を示す。巨大地震によって、A1-1層に最大で30%程度のひずみが発生した。また、補強土部分においても15%程度ひずみが進展し、各点における水平変位はどの点もおおよそ1m発生した。また、鉛直変位については、天端でおおよそ1m発生した。このように、盛土全体で大変形には至っていない。省略するが、滑走路側に近づくとも図-2に示す通り、SR1層などの基盤層が厚くなっていくため変形は30cm程度まで小さくなっている。

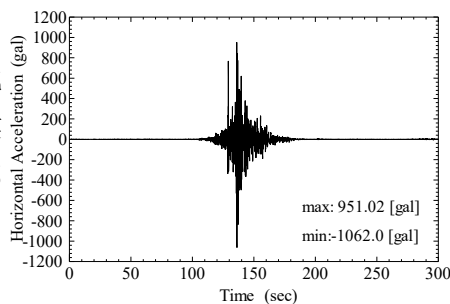


図-6 耐震性の検討で使用した地震動

5. おわりに

本報では、静岡空港に対して耐震性の検討を行った。想定される南海トラフ巨大地震に対しては、滑走路の変形は小さく、追加した高盛土についても損傷が小さいことから要求性能を有していることを確認した。なお、新たな造成高盛土部分については、締固め度 93%での造成を仮定して解析を実施した。紙幅の都合で省略するが、補強土の密度が 90%の時は、補強土部や追加盛土部の変位が約 2.0m になった。このことから、適切な締固めを行い施工することが耐震性、すなわち要求性能を確保する上で重要である。

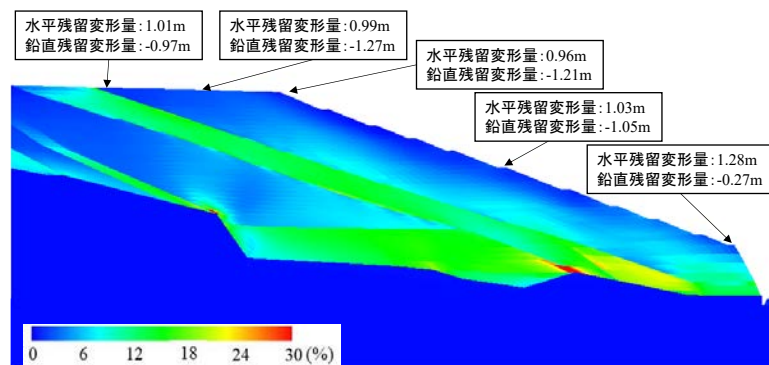


図-7 地震終了時におけるせん断ひずみ分布と各点の変形量

参考文献 1) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002). An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol.42(5), pp.47-57. 2) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. (2008). Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, Vol.48(6), pp.771-790. 3) Asaoka, A., Noda, T. and Kaneda, K. (1998). Displacement/traction boundary conditions represented by constraint conditions on velocity field of soil, *Soils and Foundations*, Vol.38(4), pp.173-181.