

## E-Defenseにおける大規模斜面模型構築に関する施工管理

斜面模型，締固め，施工管理

複合技術研究所（正） 小阪拓哉，（正）森腰慎一  
 鉄道総合技術研究所（国）篠田昌弘，（国）中島進  
 原子力安全基盤機構（国）中村英孝，（正）村田雅明  
 東北大学（国）河井正  
 日本大学（国）中村晋

1. はじめに 原子力安全基盤機構では，斜面の安定性評価技術の高度化を図ることを目的として，原子炉建屋周辺斜面の崩壊メカニズムの解明および斜面の変形特性や応答特性の把握のため，平成 20 年度より実験的・解析的検証を進めてきた<sup>1)2)</sup>．本研究では，独立行政法人防災科学技術研究所・兵庫耐震工学研究センターの実大三次元震動破壊実験施設（E-Defense）において，他に類を見ない大型斜面模型での振動台実験を実施した．実験的検証を行うに当たっては，良質な模型の構築が必要不可欠となる．ここでは，E-Defense で実施した振動台実験における斜面模型構築のための施工管理について述べる．

2. 斜面模型の概要 構築した斜面模型は図 1 に示すように，高さ  $H=3.8\text{m}$ ・幅  $B=4.0\sim 4.5\text{m}$ ・奥行き  $L=2.51\text{m}$ ，使用した土の総重量  $W=1,000\text{kN}$  に及ぶ二基の大規模斜面模型であり，局所的な弱層を有する斜面模型（三層斜面模型）と，弱層が明瞭でなく地震動の増幅の影響を顕著に受ける斜面模型（一層斜面模型）から成り立つ．斜面模型の各土層の配合条件を表 1 に示す．三層斜面模型は基盤層・弱層・表層で構成されている．基盤層はセメント改良礫土を用いて構築し，弱層部と表層部は東北珪砂 6 号，ベントナイト，水を重量比 100：7：10 にて攪拌混合して作製した．なお，斜面表面部が先行して崩壊するのを防止するため，表層部には補強材（ジオグリッド）を敷設した．一層斜面模型は弱層と補強土部で構成されている．弱層の配合は三層斜面模型のそれと同様である．補強土部は崩壊防止を目的に，弱層よりも高粘性のベントナイトを使用するとともに，土のうとジオグリッドにより補強土化を図った．また，当該模型において土槽の側壁に接触した状態で構築すると，模型天端における加速度増幅が小さくなることが想定されたため，片側を急勾配の補強斜面とすることで土槽側壁との離隔を図り，模型天端における加速度増幅が大きくなるように配慮した．

3. 模型構築のための施工管理 良質な斜面模型を構築するため，土のふるい掛けおよび事前締固め試験を実施するとともに，土の密度・レベル管理，さらには含水比管理および内部水分管理を徹底して行った．それぞれの状況および結果を以下に示す．

3.1. 攪拌土のふるい掛け 各層に使用する土はミキサーで攪拌混合して作製した．ただし，ベントナイトを使用して作製した攪拌土は悪質なダマ形状となって固まることが判明したため，写真 1 に示すように，人力による攪拌土のふるい掛けを実施することにより，一様で均質な土となるように均した．なお，作製した攪拌土は，乾燥を防止するため長期間の作り置きは避け，模型構築の工程に合わせて必要な時に必要な分だけ作製するようにした．

3.2. 事前締固め試験 所定の土の密度や強度が得られる締固め程度を把握するため，写真 2 に示すように事前に締固め試験を実施した．併せて，対象土に対して最適な締固めエネルギーを有するコンパクタの選定を行った．

3.3. 模型土の密度・レベル管理 模型構築にあたっては，高さ 300mm ごとに層厚管理を実施することを基本とし，事前締固め試験等により得られた知見をもって，所定の密度が得られるように各土層を締め固めた（写真 3）．ただし，計測用に設置する標点（総数  $n=1100$  個）上部の土を締め固める際には，壁沿いにコンパクタが使用できないため，木材片を当て木にして木槌で打撃するなどの人力手法によった．この際，打撃によって標点にズレが生じないように，かつ締固め不足やオーバーコンパクションとならないように，土槽外部からの目視チェックを行いながら慎重かつ入念に締め固めた（写真 4）．また，締め固めた土層に不陸が生じていないことを確認するため，レーザー水準機等を駆使して平面上 500mm ピッチでレベル測定を行った（写真 5）．

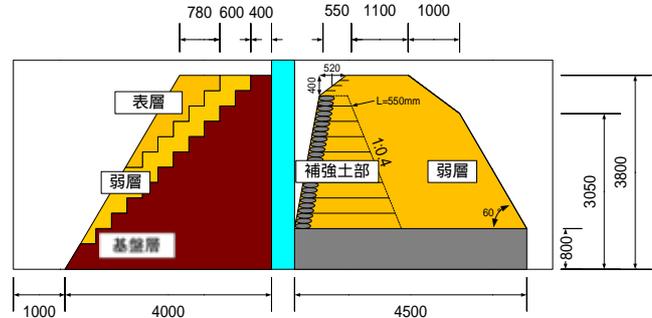


図 1 斜面模型の概念図（左：三層斜面模型・右：一層斜面模型）

表 1 各土層の配合条件

土層	配合(重量比)
基盤層	礫(100)・セメント(4)・水(7)
弱層・表層	東北珪砂 6 号(100)・ベントナイト(7)・水(10)
補強土部	東北珪砂 6 号(100)・ベントナイト(10)・水(10)

Construction management of large-scale slope model at E-Defense. Takuya Kosaka, Shinichi Morikoshi, (Integrated Geotechnology Institute), Masahiro Shinoda, Susumu Nakajima (Railway Technical Research Institute), Hidetaka Nakamura, Masaaki Murata (Japan Nuclear Energy Safety Organization), Tadashi Kawai (Tohoku University), Susumu Nakamura (Nihon University)



写真1 攪拌土のふるい掛け



写真2 事前締固め試験



写真3 模型地盤の締固め



写真4 標点設置状況



写真5 レベル測定



写真6 模型内部の含水比測定

3.4.土の含水比管理 土の含水比管理の一例として、弱層および表層に使用した土の含水比試験の結果を表2に示す。土の含水比は、含水比(%) = { (試料土の重量) - (試料土の乾燥重量) } / (試料土の乾燥重量) × 100 で算出した。表2より、測定期間内での最大含水比は Wmax=9.33(%)・最小含水比 Wmin=9.22(%) と、Renge=0.11(%) の範囲に収まっていることが分かる。なお、基盤層および補強土部の土の含水比についても、測定期間内にてほとんど変化の無いことを確認している。

3.5.模型土の水分管理 乾燥による土の強度低下を防止するため、製作中の斜面模型の土の水分管理にも万全を期した。事前吸水試験により選定した最適な不織布とビニールシートを模型表面に被せて水分の蒸発を防ぐとともに、写真6に示すように、一層斜面模型にて土壌水分計による模型内部の含水比測定のモニタリングを実施した。モニタリングの結果を図2に示す。なお、今回使用した土壌水分計による土の含水比は体積比で、含水比(%) = { (表示値) / (土粒子密度) } × (校正係数) で表される。図2より、測定期間中の模型土内の含水比は、W=8.52~8.61(%) とほとんど変動していないことが確認される。

4. おわりに E-Defense で実施した振動台実験において、良質な斜面模型構築のための施工管理について述べた。上述の施工管理の徹底により、事前に実施した安定解析と振動台試験によって発生したすべり線がほぼ一致する結果が得られた<sup>3)4)5)</sup>。当該事例が同様な実験模型構築の際の参考になれば幸いである。

参考文献 1) 篠田ら：岩盤斜面の地震時安定性評価手法の構築に向けた試み，第13回地震工学シンポジウム，日本地震工学会，pp2935 - pp2942，2010。 2) 中村ら：すべり発生層の特性に応じた岩盤斜面模型の地震時変形状に関する検討，第66回年次学術講演会，土木学会，pp573 - pp574，2011。 3) 中村ら：Eディフェンスで実施した大型斜面模型の振動台実験の概要，第67回年次学術講演会，土木学会，pp625 - pp626，2012。 4) 篠田ら：Eディフェンスを用いた岩盤斜面の地震時安定性に関する振動台実験，第67回年次学術講演会，土木学会，pp627 - pp628，2012。 5) 中島ら：Eディフェンスを用いた斜面の地震時安定性に関する振動台実験，第47回地盤工学研究発表会，地盤工学会，pp819 - pp820，2012。

表2 攪拌土の含水比測定結果(弱層・表層)

測定年月日	含水比(%)	備考
2011/10/19	9.25	全6本平均値
2/11/10/23	9.29	
2011/10/26	9.25	
2011/10/27	9.25	
2011/10/29	9.33	
2011/11/09	9.33	
2011/11/11	9.29	
2011/11/15	9.33	
2011/11/16	9.22	
2011/11/17	9.31	
範囲(Renge)	0.11	

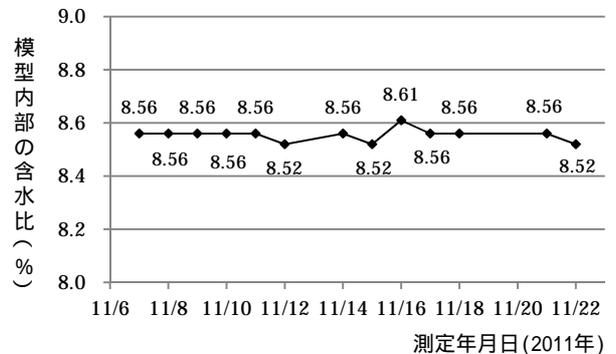


図2 模型内部の含水比の経時変化