



第四話 季節変動による斜面の劣化

物理的風化の主要な要因に、温度と湿度の季節変動がある。季節変動に斜面はどのように応答するのであろうか？

4.1 温度の季節変動

温度の季節変動に関しては、冬季の凍結融解に伴う岩石の劣化との関連で議論されることが多く、寒冷地の斜面の維持管理上重要な検討課題である。凍結融解に至らない気象条件下でも、太陽光による熱エネルギーの季節変動によって斜面は熱膨張・収縮を繰り返す。こうした温度変動、熱膨張・収縮の現象は、太陽光と斜面の相対的な方向や斜面角度、斜面長、斜面表面の植生の有無等が影響する。

太田ら（2004）⁴²⁾の切土法面の風化抑制としての植生工に関する研究として、弾性地盤を仮定し外界温度の季節変動によって斜面内の温度分布および変位挙動を2次元FEM非定常熱伝導・熱応力解析によって調べている。図-30は、モデル地盤の地表面に入力した外界温度の経時変化である。冬季には摂氏4度程度から夏季には31度程度まで上昇する。その外界温度に反応して斜面内の温度も変化する。図-31は、法肩付近の地中温度を1月の地中温度からの変化量で、植生工の層厚の影響をも示してある。ここで植生工の熱伝導率はモデル地盤の熱伝導率より10%に低下させている。図-32は法肩付近の鉛直変位量の経時変化である。いずれも、植生工の有無および層厚の影響を調べ、裸地に比べて植生工の層厚が厚くなるほど、地中温度は低く鉛直変位は小さくなり、季節変動の振幅が小さくなることを示している。

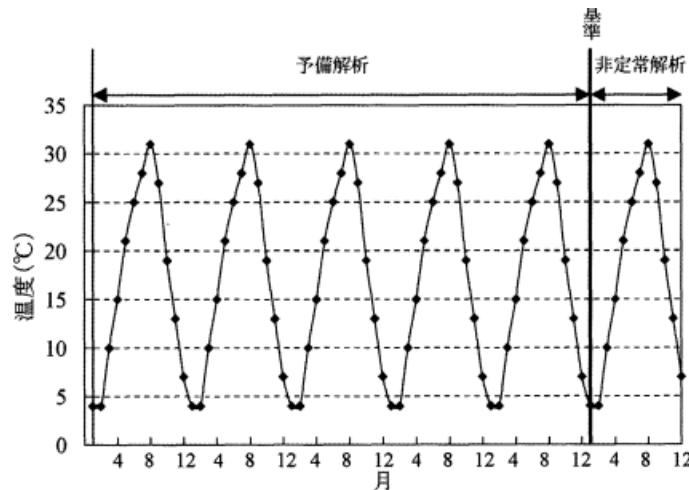


図-30 入力外界温度の経時変化。出典：太田ら（2004）⁴²⁾



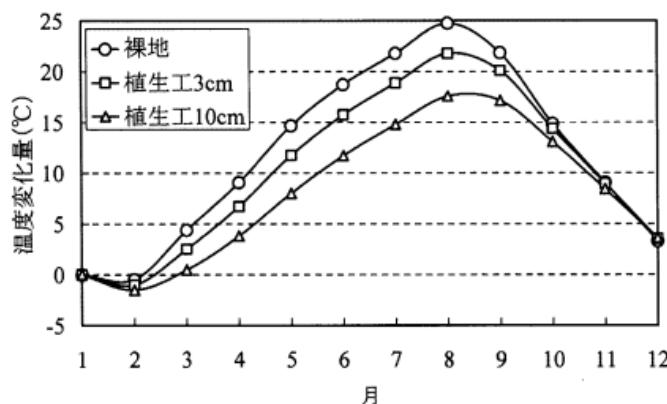
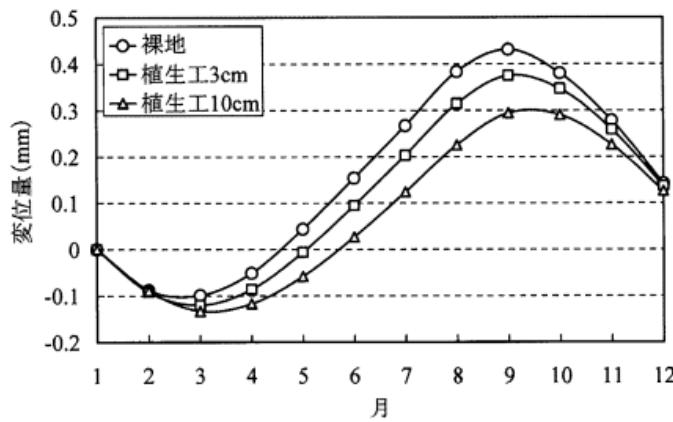
図-31 法肩付近の地中温度の経時変化. 出典：太田ら (2004) ⁴²⁾図-32 法肩付近の鉛直変位の経時変化. 出典：太田ら (2004) ⁴²⁾

図-33 は、夏季の8月（図左）と冬季の12月（図右）の最大せん断ひずみの分布を比較したもので、両方とも法尻部で高いせん断ひずみが発生しているが、気温の高い8月の方が大きなせん断ひずみが発生することが読み取れる。

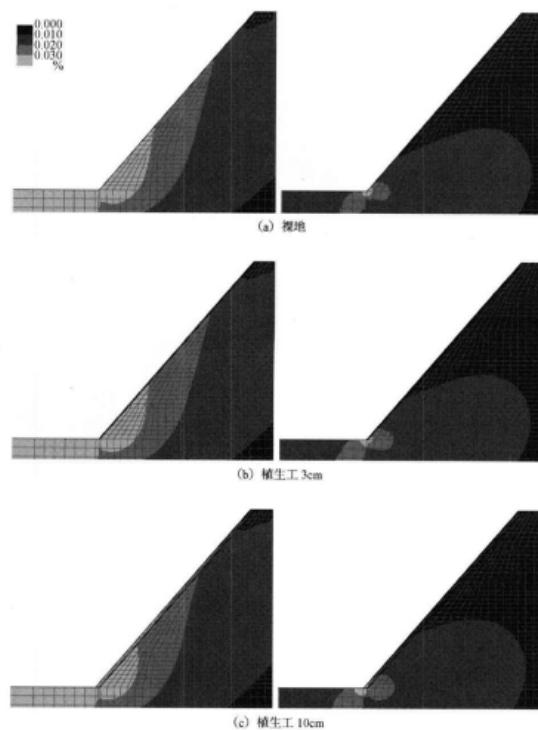


図-33 最大せん断ひずみ分布（左8月、右12月）．出典：太田ら（2004）⁴²⁾

なお、太田らは本論文で赤外線ビデオカメラを用いてヘリコプターから熱エネルギーを計測する方法を開発し表面温度状態を把握したと述べているが、解析結果との比較はない。

本解析は地盤を弾性体と仮定して1年間の温度の季節変動の影響を検討したものの、塑性ひずみの累積による長期の劣化予測を意図したものではない。地盤を弾塑性体と仮定して同様な非定常熱伝導・熱応力解析を実施すれば、地球温暖化による法面安定への影響のヒントが得られるであろう。

4.2 湿度の季節変動

次に、湿度の季節変動に関する研究例を見てみよう。英国の地盤工学分野の研究者達は、粘土斜面の劣化の原因として季節による乾湿の繰返履歴を重要視している。この湿度の季節変動に関する一連の研究の嚆矢となったのは、第一話で触れた Take & Bolton (2011)¹¹⁾の遠心模型実験による研究である。彼らは遠心実験用に大気の制御が可能な容器を新たに作成し、実験容器内に過圧密粘土の模型斜面を作成して 60g の遠心加速度場で大気環境を制御しつつ粘土斜面内の間隙水圧と地盤変形を計測した。図-34 はその実験装置である。

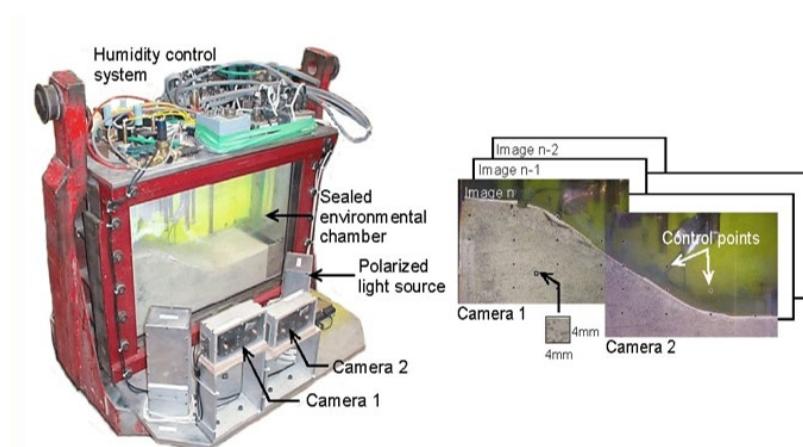


図-34 大気制御が可能な遠心模型装置. 出典: Bolton (2014) , 8th International Conference of Physical Modelling in Geotechnics, 1st Schofield lecture 資料⁴³⁾から

大気環境の季節変動は、容器内大気の相対湿度を周期的に変動させることでモデル化した。乾燥期には容器内に温風を送り相対湿度を40%程度に制御し、湿潤期には降雨を発生させて相対湿度を100%に維持した。図-35は、実験で付与した相対湿度の季節変動と粘土斜面内での間隙水圧変動である。乾燥期は6~8月、湿潤期は12~2月に該当するのではなかろうか。乾燥期には間隙水圧は負の値となっていて、地盤が収縮していることを示唆している。

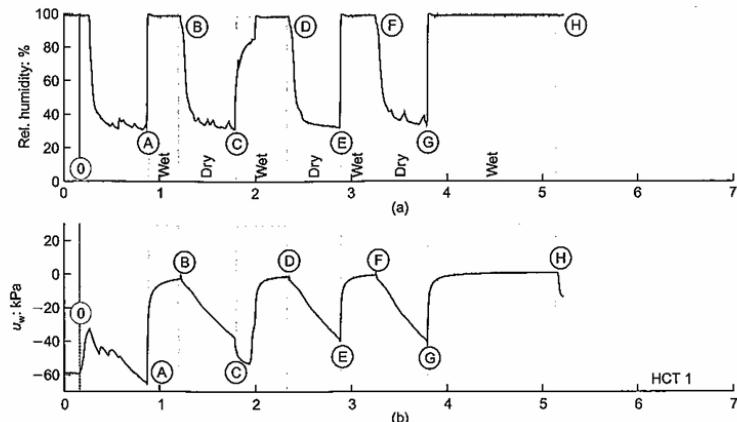


図-35 相対湿度変動と粘土斜面内での間隙水圧変動. 出典: Take & Bolton (2011)¹¹⁾

図-36はPIVと言われる手法によって計測された季節変動による模型地盤の変位ベクトルである。原図に青いベクトル記号を加筆したように、乾燥期ではのり肩はほぼ鉛直下方に変位し、のり面の変位はのり面に垂直下方に変位している。湿潤期の変位はその反対方向である。すなわち、斜面は乾燥期に収縮し湿潤期に膨張し、それを繰り返している。

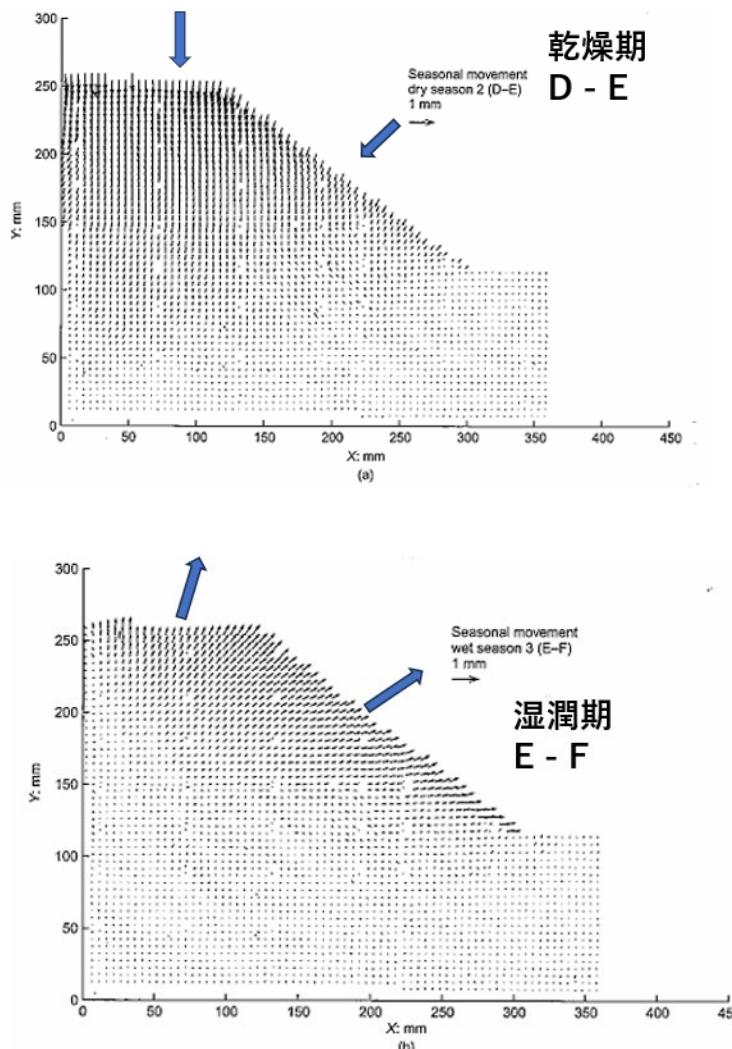


図-36 季節変動による地盤の変形挙動。出典：Take & Bolton (2011)¹¹⁾

乾湿の季節変動による地盤変位の応答は可逆的ではなく、乾湿の繰返しにより地盤内にはせん断ひずみが蓄積されていく。図-37は2サイクルの乾湿の繰返しが完了した時点（図-35のD点）のせん断ひずみ分布であり、法尻近傍にせん断ひずみが蓄積されている様子が見て取れる。乾湿の繰返しがさらに継続すると、せん断ひずみの蓄積から初期的なすべり線が形成されていく。

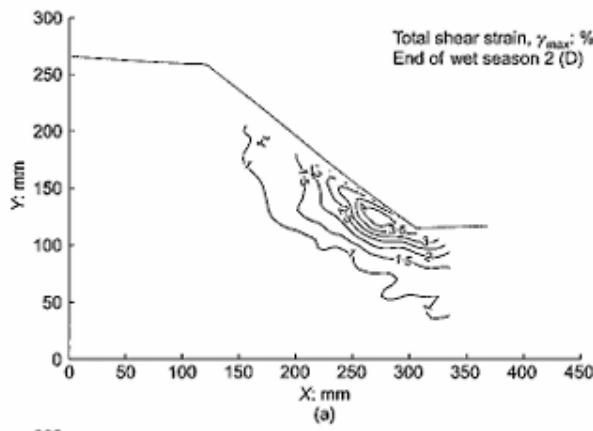


図-37 せん断ひずみ分布。出典：Take & Bolton (2011)¹¹⁾

図-38 が実験で観察された法尻近傍で発生したクラックと初期的なすべり線である。

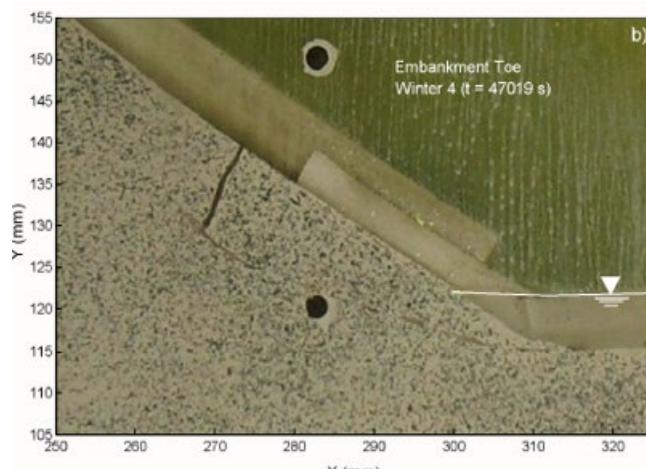


図-38 観察されたクラック 出典：Bolton (2014) 8th International Conference of Physical Modelling in Geotechnics, 1st Schofield lecture 資料⁴³⁾から

この興味深い遠心実験結果の数値解析事例は次の第五話劣化を考慮した斜面の安定性評価で触れる予定である。

参考文献

- 42)太田英将、里優、萱原敏史 (2004)：植生工が軟岩切土法面の風化を抑制する機構の解析的研究、日本地すべり学会誌、第41巻、第3号、72-79.
 43)Bolton, M.D. (2014) , 1st Schofield lecture, at the 8th International Conference of Physical Modelling in Geotechnics, private communication.



バックナンバー

シリーズ2

- No.15 2026年1月21日
No.14 2026年1月9日
No.13 2025年12月19日
No.12 2025年12月5日
No.11 2025年11月21日

シリーズ1

- No.10 2025年11月7日
No.9 2025年10月24日
No.8 2025年10月10日
No.7 2025年9月26日
No.6 2025年9月12日
No.5 2025年8月22日
No.4 2025年8月 8日
No.3 2025年7月25日
No.2 2025年7月 4日
No.1 2025年6月20日

