

気候変動と地盤工学

Climate Change and Geotechnical Engineering

安原 一哉 (やすはら かずや)

茨城大学 地球変動適応科学研究機関 (ICAS)

1. 気候変動, 異常気象そして極端現象

IPCC (2007)¹⁾では, “気候変動 (climate change)” とは, 気候要素の平均値とその特性のゆらぎにおける変化によって定義され, 数10年かそれ以上の期間持続する気候の状態の変化のことを指している。また, 非人為的な変化であろうと人間活動の結果であろうと関係なく, 時間とともに変わる気候のあらゆる変化のことを指している。

この使い方は, 「“気候変動” は, 地球の大気の組成を変更させる, 直接的及び間接的な人間活動に帰するものであり, これに, 比較しうる時間間隔で観察される非人為的な気候変化 (climate variability) が加えられるものである」とした UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change, 気候変動枠組条約) における定義とは異なっている。

一方, 気象庁²⁾によると, 「異常気象」は, 「三十年に一回起こる程度の珍しい気象」のことを指している。つまり, 異常気象とは, 起こることが信じられないような異変のことではなく, 昔からたまには起こっていた自然事象のことである。この異常気象が起こるのは, 主には大気や海洋の不規則な自然変動に起因すると考えられている。

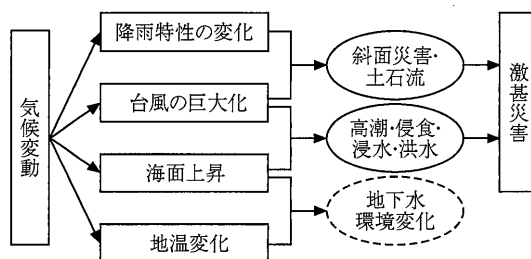
最近発表された IPCC による第5次報告書 (2014)³⁾では, 地球温暖化は着実に進んでおり, 気温上昇の傾向は, 温室効果ガスの排出など, 人為的な要因が大きいこと, そして, このことが, 気候変動をもたらしていることも少しずつ明らかにされてきた, と報告している。

なお, IPCC のレポート中では, 「異常気象」を extreme event (極端現象) と表現していることから, ここでは「異常気象」と, 極端な気象・気候現象を意味する「極端現象」は同義であるという立場で記述する。また, 極端現象を災害に限った場合には, “激甚災害” と呼称することにした。

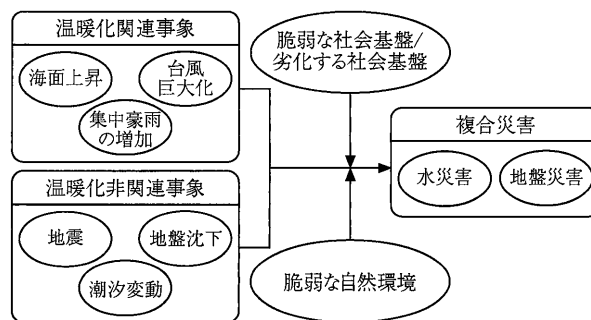
2. 気候変動に起因する自然災害・環境変化

2.1 気候変動に起因する自然災害

気候変動に起因する自然災害に影響する現象のうち, 地盤災害・土砂災害と地盤環境の変化に及ぼす事象としては, 図一1に示すように, (i)降雨特性の変化 (多雨による豪雨や少雨による干ばつ), (ii)台風の巨大化, (iii)海面上昇, (iii)(iv)地温変化に大別される。IPCC による極端



図一1 気候変動の地盤への影響



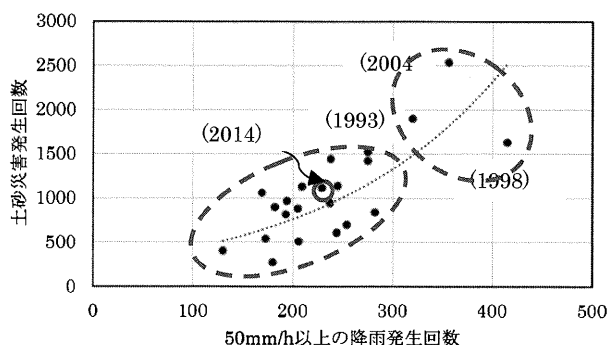
図二 複合地盤災害のメカニズム⁵⁾

現象に関するレポート (SREX)⁴⁾には, “いくつかの極端現象は, 大気中の温室効果ガス濃度の増加を含む人為的影響の結果として変化してきたという証拠がある。”と記述されていることから, 昨今の異常気象や土砂災害の激甚化は地球温暖化が関与しているものと判断される。

気候変動に起因する災害の中でも, 事象の複合化によってもたらされる“複合災害”が重要であり, しばしば, “激甚災害”につながる。複合災害は, 図一2に示すように, 温暖化に起因する事象が重なり合うものと温暖化に起因する事象と温暖化に無関係な事象が重なり合うものに大別され, これらに異なる自然的, 社会的要因が重なって, より激甚な被害をもたらす災害のことを指している⁵⁾。例えば, 2004年の新潟県中越地震において, 長期にわたる降雨の後に起こった大きな地震によって生じた激甚な斜面災害や, 2014年に広島市を襲った土石流災害は, 異常な降雨と脆弱な地形・地質条件とが重なって起きた災害という点で, とともに複合災害といえることが出来る。

集中豪雨と土砂災害の頻度の傾向を気象庁のデータ⁵⁾に基づいて整理してみると図一3のようになる。この図から, 集中豪雨の頻度が増加するに伴って土砂災害数が直線的ではなく, 指数関数的に増加する傾向が伺われる。

技術手帳



図—3 集中豪雨と土砂災害の頻度の傾向（1993年～2014年までの気象庁データ²⁾に基づいて筆者が作成）

この他に、広域地盤沈下の影響を受ける低平地が海面上昇とともに大きな台風に見舞われて水害が増大する事象もアジアに共通する重要な複合災害のひとつである⁵⁾。

2.2 気候変動に起因する地盤環境変化

地盤災害への影響に比べると、地球温暖化が地盤環境へ及ぼす影響については、未解明の部分が多い。例えば、地温の変化は土中微生物の活動に影響を与えるし、地下水の塩水化など水質にも影響する。また、森林生態系への影響も土砂災害とは無縁ではない。

一方、災害との関係性の点では、災害によって生じた廃棄物の有効利用が可能になれば悲惨な災害の中でも、せめてもの救いとなる。2004年の新潟県中越地震において廃棄物がダムの中詰め材に使われた例があり、2011年の東日本大震災後には津波堆積物を含めた震災廃棄物が堤体の材料に使われようとしている。

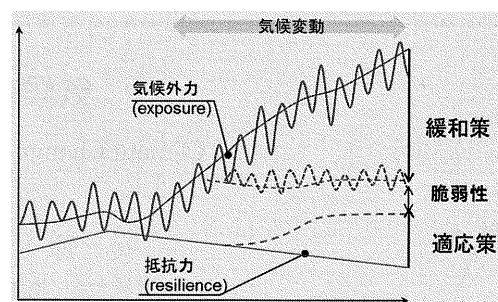
気候変動に起因する海面上昇に伴う塩水の遡上は、農業や水産業に影響を及ぼすことが懸念されているが、土構造物への影響も懸念される。

3. 気候変動による地盤災害と環境変化への対応

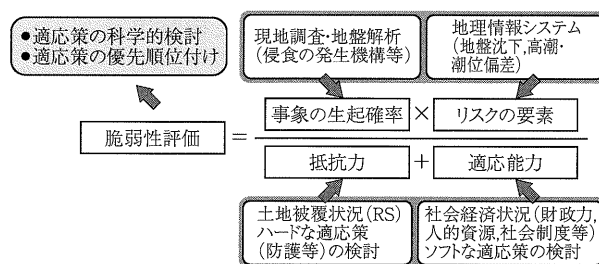
3.1 気候変動に起因する地盤災害への対応

気候変動に対する対応策は、緩和策と適応策に分けられる。緩和策は、温室効果ガスの低減である。一方、適応策は、気候変動の影響に対し自然・人間システムを調整することにより、被害を防止・軽減し、あるいはその便益の機会を活用する方策のことであり、災害について言えば、防護（Protection）、順応（Accommodation）、避難（Retreat）に分けられる。また、災害に関する気候変動対応策については、図—4が理解しやすい⁶⁾。図—4は、縦座標を災害外力、横座標を時間軸と考えると、災害外力を減らす方策が緩和策、災害に対する抵抗力（Resilience）を増加させる方策が適応策と理解できる。このように考えると、地盤工学の立場に立った適応策を提案できる可能性が多々あることが理解できる。事実、そのような試みを行った例がある⁷⁾。

また、図—4からは、適応策は、脆弱性の改善に資する方策と理解される。この脆弱性は、例えば、図—5によって定義される。このような脆弱性指標は、適応策の



図—4 緩和策・適応策と脆弱性の関係（小松ら⁶⁾による）



図—5 災害脆弱性の定義の例（Hay & Mimura (2010)⁸⁾による提案式を基礎に筆者らが加筆・修正）

科学的検討や優先順位付けに利用できることから、地盤災害においても具体的な脆弱性指標の提案が期待される。

3.2 気候変動に起因する地盤環境の変化への対応

2.2でも記述したように、気候変動が地盤環境変化にどのような影響を及ぼすか、については、まだ研究が十分なされていない。したがって、その対応策についても、例えば、農学分野では、土壌の塩水化に対して耐塩性の高い作物を開発するなどの適応策の例はあるものの、工学分野では研究事例は少なく、今後の大事な課題である。

引用文献

- 1) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 WGII, p. 29, Cambridge University Press.
- 2) 気象庁 HP: <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/jirei.html> <参照2015. 2. 16>
- 3) IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2014, Synthesis Report Summary for Policymakers, p. 1, Cambridge University Press.
- 4) IPCC: Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: SREX, Cambridge University Press, 2012.
- 5) 安原一哉：地球温暖化と複合地盤災害，地盤工学会誌，Vol. 57, No. 4, pp. 1～5, 2009.
- 6) Komatsu, T., Shirai, N., Tanaka, M., Harasawa, H., Tamura, M. and Yasuhara, K. : Adaptation philosophy and strategy against climate change-induced geo-disasters, Proc. 10th JGS Symp. on Environmental Geotechnics, Tokyo, Japan, pp. 76-82, 2013.
- 7) 安原一哉・梶井公美子：2. 地球温暖化と地盤工学的取り組み，講座「地球温暖化がもたらす地盤の環境変化と災害」，地盤工学会誌，Vol. 61, No. 10, pp. 56～63, 2013.
- 8) Hay J. E. and Mimura N.: The changing nature of extreme weather and climate events: risks to sustainable development. Geomatics Natural Hazards Risk Vol. 1, No. 1, pp. 3-18, 2010. (原稿受理 2015.1.5)