

P 7. 仙台市に分布する谷埋め盛土材の風化過程

Weathering process of artificial valley fills in the Sendai City, Miyagi Prefecture, Japan

○西山賢一（徳島大学）・村尾英彦（株）村尾地研）・釜井俊孝（京都大学防災研究所）

1. はじめに 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により、仙台市では宅地造成地における谷埋め盛土の地すべり被害が多数発生した¹⁾。仙台市太白区緑が丘団地（1968年頃施工）では、1978年宮城県沖地震による被害が発生したため、抑止杭などの対策工が施工済みであったにも関わらず、2011年に再び地すべり被害が発生した。この緑が丘団地4丁目の被災地では、被災後に基盤岩まで掘削されたボーリング調査が行われた²⁾。このコアは、盛土が著しく褐色化し、かつ強度低下が生じている。今回、このボーリングコアを用いて、盛土材と基盤岩の色彩値・強度測定とX線回折（XRD）分析を行い、盛土材の風化による物性変化について予察的に検討した。

2. 地形・地質概要 緑ヶ丘団地は、仙台市街地西部の丘陵を開発した大規模な団地の一角にある（図1）。地質は、鮮新世の仙台層群向山層（凝灰岩・シルト岩・砂岩・亜炭）からなり、上位を更新世の青葉山層（河成の亜円礫層と赤色土・火山灰）が覆う³⁾。宅地造成地は、向山層の谷を埋めた谷埋め盛土、または腹付け盛土からなり、盛土の厚さは最大で10m程度である。

緑が丘団地4丁目で発生した地すべりによる変動範囲と、切盛境界線、ならびにボーリング掘削位置を図2に示す。変動した宅地造成地は、基盤岩からなる凹地に施工された腹付け盛土からなる。地すべりブロックの頂部付近には、ほぼ等高線に沿った引張亀裂が生じているほか、移動体の末端では圧縮亀裂も認められる。すべり面は、地山と盛土との境界付近と推定される。

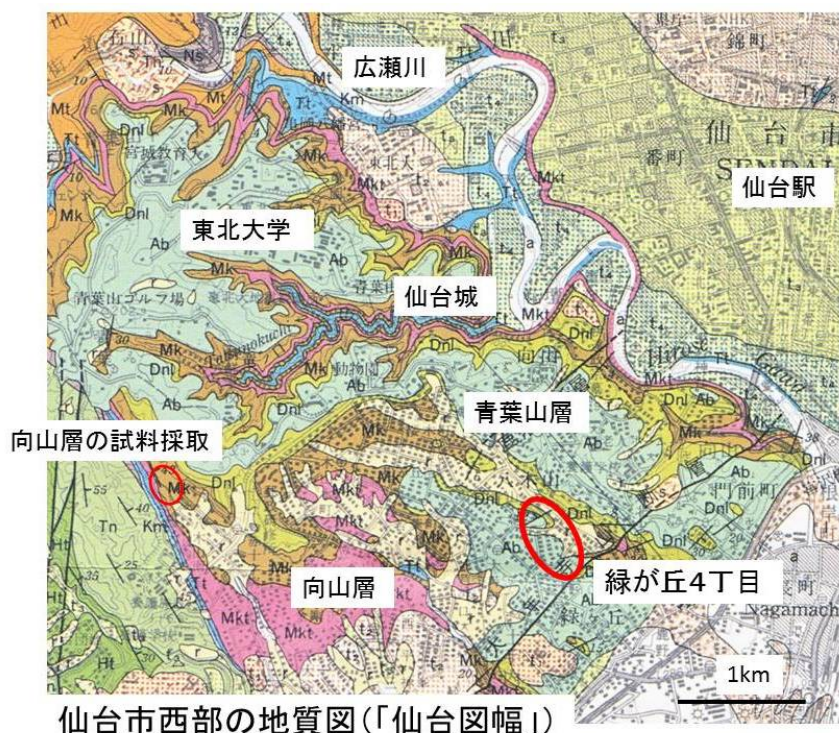


図1 調査地域の地質図
（文献3）に加筆

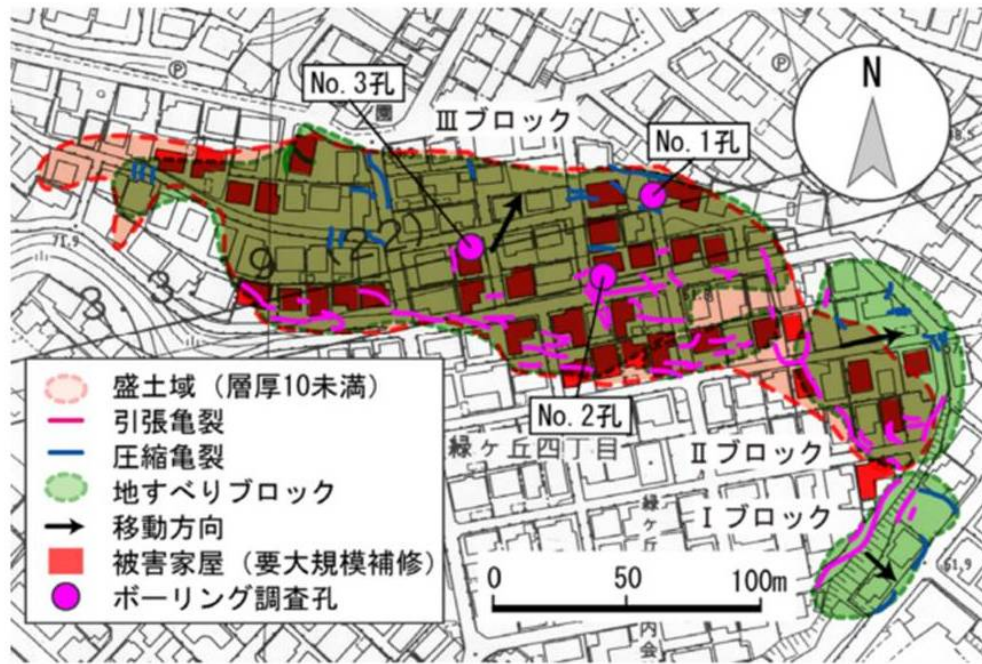


図2 谷埋め盛土における変状とボーリング掘削位置

3. ボーリングコアの記載と測定 3孔のボーリングコアの層相の観察と色彩値 (L*a*b*表色法による. コニカミノルタ製 SPAD-503)・針貫入勾配 (N/mm. 丸東製作所製軟岩ペネトロ計) の測定を行った. 盛土の厚さは概ね6m程度であり, N値は0~18程度と低く, ばらつきが大きい. 基盤岩は凝灰岩および亜炭からなり, N値は32~50以上である. 地下水位はいずれも孔口-1m程度と浅い. 基盤岩の表面には, しばしば微細な白色の針状の鉱物が付着している. 一方, 盛土材は褐色を呈し, 著しく軟質である. 中には多くの角礫(凝灰岩や軽石など)を含むため, この礫ならびに基盤岩を対象に, 自然含水状態の色彩値(測定窓: 直径8mm)と針貫入強度を, それぞれ0.1mごとに測定した. 加えて, 団地近郊の丘陵斜面から向山層の凝灰岩とシルト岩(弱風化)を7試料採取し, 1試料につき10回の測定を行った(採取位置は図1). また, No.1の孔口-4.5~5.0m間の攪乱試料(盛土材)を用いて, X線回折分析(XRD, 不定方位法)を行った.

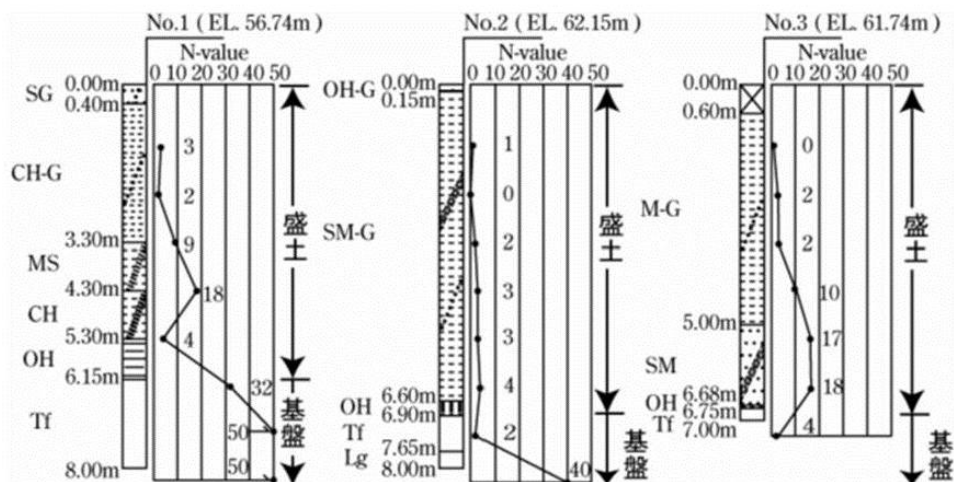


図3 ボーリング柱状図

4. ボーリングコアの測定結果 測定結果を表 1 に示す. 盛土と地山のいずれの測定値も, 鉛直方向の変化は明瞭ではなかったため, 3 孔の測定結果の平均値 (盛土平均と地山平均) で議論する. 赤色を表す a*値は, 基盤岩より盛土材が+1.9 と高く, 黄色を表す b*値は, 同様に盛土材が+3.4 となっている. すなわち, 基盤岩に比べ, 盛土材の褐色化が進行している. 鉄鉱物の種類を簡便に推測するために提唱された指標値 b^*/a^{*4} は, 基盤岩が 2.7, 盛土材が 2.4 とほぼ等しいことから, いずれも水酸化鉄 (FeOOH) による変色と推定される. 針貫入勾配は, 基盤岩が 20.1 N/mm² に対し, 盛土材は 10.5 N/mm² と, ほぼ半減している.

No.1 の盛土材の XRD 結果を図 4 に示す. 石英に加えて, 赤金鉱 (水酸化鉄, β -FeOOH) とイライト-スメクタイト混合層鉱物と考えられる回折ピークが確認された.

表 1 ボーリングコアの色彩・強度測定結果一覧

試料	L*	a*	b*	NP(N/mm)
No.1盛土	36.1	5.3	12.2	8.0
No.2盛土	35.7	8.8	19.9	-
No.3盛土	38.7	6.2	17.3	13.0
盛土平均	36.8	6.8	16.5	10.5
No.1地山	31.5	3.2	9.2	23.3
No.2地山	38.4	6.6	16.9	16.9
地山平均	35.0	4.9	13.1	20.1
向山層平均	48.5	2.8	15.4	59.5

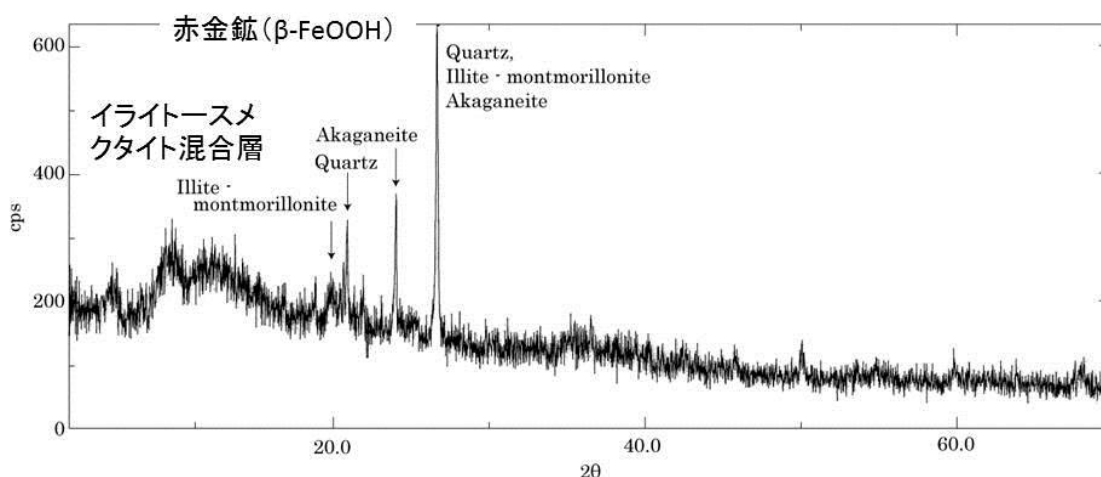


図 4 盛土材の XRD 回折チャート

5. 盛土材の風化速度と風化の原因 盛土施工時の盛土材 (礫) の色彩・強度が, 基盤岩のそれとほぼ等しく, 盛土施工後の風化により値が変化すると仮定すれば, 施工後の約 40 年に, 色彩が褐色化するとともに, 強度がほぼ半減したことになる. 盛土材の急速な色彩変化の原因は, 凝灰岩やシルト岩に含まれる黄鉄鉱の酸化分解による Fe イオンが, 地表付近の酸化的な環境条件下で Fe(III)となり, 水に対する溶解度が低いため, 水酸化鉄として沈殿・結晶化したためと推定される. 風化に伴う色彩変化 (褐色化) には, 数万年といった長い風化継続時間を要する岩石 (例: 四万

十帯の砂岩⁵⁾もあるが、地表露出後の数週間～数ヶ月で急速に褐色化する岩石（例：中新世の来待砂岩⁶⁾や大谷石⁷⁾）もある。今回対象とした鮮新統の場合、後者と同様に、盛土施工後に急速な褐色化が進行したものと考えられる。

盛土材の急速な強度低下には、コアに付着していた白色の針状鉱物の存在から、黄鉄鉱の酸化分解起源の石膏の成長による強度低下＝塩類風化や、イライトースメクタイト混合層鉱物によるスレーキングが関与する可能性が考え得る。スレーキングの場合、わずか数ヶ月程度で切土のり面の急激な劣化が生じることも多い。来待砂岩では、スレーキングではないものの、 10^2 年オーダーで一軸圧縮強度がほぼ半減する⁶⁾。今回対象とした向山層も、これらの岩石と同様に、風化による褐色化・強度低下が 10^1 ～ 10^2 年オーダーで急速に進行する岩石と考えられる。

6. 地震時地すべりが懸念される盛土材 黄鉄鉱の酸化分解・塩類風化・スレーキングによる強度低下が生じやすい地層は、主に新第三系～第四系の浅海成堆積岩や凝灰岩である。これらの地層からなる丘陵地に施工された谷埋め盛土では、施工後の盛土材の急速な強度低下が進行している可能性が高く、地震時の地すべりが特に懸念される。例えば、新第三系宮崎層群が分布し、南海トラフ巨大地震の震源域に隣接する宮崎平野には、多くの谷埋め盛土からなる宅地造成地が分布するため、盛土の分布に加え、ボーリング掘削による盛土材の強度低下を把握する必要がある。一方、スレーキングや塩類風化による急速な強度低下が生じにくい岩石からなる都市の谷埋め盛土の地震時危険性は、相対的に低いとみなせる可能性がある（例えば、徳島市に分布する三波川変成岩類の丘陵地に施工された谷埋め盛土）。これまでに知見が蓄積されてきた盛土の形状に基づく危険予測⁸⁾に加えて、今後は、盛土材の風化特性を考慮した地震時地すべりに関する検討も行う必要がある。

引用文献

- 1) 釜井俊孝 (2011) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震によって発生した造成地盤の地すべり. 自然災害科学, **30**, pp. 193-197.
- 2) 村尾英彦・釜井俊孝・太田英将 (2013) : 地震による都市域斜面災害－2011 年東北地方太平洋沖地震を例として－. 応用地質, **53**, pp. 292-301.
- 3) 北村信・石井武政・寒川旭・中川久夫 (1986) : 仙台地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 134p.
- 4) Nakashima, S., Miyagi, I., Nakata, E., Saseki, H., Nittori, S., Hirano, T. and Hayashi, H., 1992, Color measurement of some natural and synthetic minerals, 1, Rep. Res. Inst. Natural Resources, Mining College, Akita Univ., **57**, 57-76.
- 5) 西山賢一・松倉公憲 (2001) : 四万十帯砂岩の風化 : 色彩および鉱物化学的性質の変化, 地形, **22**, pp. 23-42.
- 6) 横田修一郎・妹尾大輔・西山賢一 (2006) : 色彩値変化からみた来待石の風化速度, 応用地質, **47**, pp.188-195.
- 7) 黒木紀子・斉藤典之 (1996) : 岩石の酸化反応のその場測定－大谷石の例－. 月刊地球, **18-4**, pp. 231-235.
- 8) 釜井俊孝・守随治雄 (2002) : 斜面防災都市. 理工図書, 200p.