

地盤災害：

1 . ONNA 村郊外南部 Aterno 川にかかるコンクリート橋周辺の地盤沈下とクラック：

Aterno 川左岸上流部に連続した堤防に複数の平行する亀裂が発生している。亀裂の深さは最大 90cm 程度。周辺では液状化は見られないが、「ゆすりこみ」沈下のようにも見える。

堤防に直行する右岸道路では、やはり盛土部のゆすりこみ沈下と側方への変位によって、盛土両肩部において道路盛土に平行に、段差約 30cm の亀裂が見られる。ただし、一方はすでに埋められている。また、左岸に直行する道路を Aterno 川から 200m 程度離れたところに位置する住宅においては、周辺地盤で 10cm オーダーの地盤沈下が生じている。このように、ONNA 村付近では、沖積層の厚さが厚いため、地震動の増幅が見られたのではないかと

- ・ 厚い沖積層による地震動増幅の可能性大（ONNA 村の甚大な住宅崩壊の原因）
- ・ 堤防盛土、道路盛土の天端および肩部に生じた亀裂（最大深さ 90cm）

2 .SR261 と FOSSA 村を結ぶ道路と Aterno 川が交差する位置にかかる橋（橋長 32.32m）の破壊：

両側の堤防には変状は見られない。右岸側堤防の内水側は石積護岸として施工されているが、全く損傷はない。左岸側堤防の内水側についても全く損傷はない。したがって、橋の破壊は地盤の変動に伴うものではなく、地震動によるものと思われる。

右岸側はゆるい水衝部にあたり、橋の上下流部とも堤防下部はコンクリート張護岸である。一方、反対側の上下流部は簡単なふとんかごによる護岸である。それ以外の範囲の堤防は土羽構造。右岸側上流部のコンクリート張ははく落しており、水衝部の護岸浸食が進行していると考えられる。このため、護岸に近接している右岸の橋脚基礎部が洗掘されている可能性があったと想像される。

- ・ 水衝部護岸の浸食の進行
- ・ 水衝部とその反対護岸の構造の違い
- ・ 橋の周辺では地盤構造物に全く変状なし（両岸の内水側石積護岸は損傷なし）

3 . 池周辺の盛土および表土の側方流動と地すべり：

直径約 120m の池の周辺地盤が側方流動している。液状化の痕跡はない。特に、北側では数多くの土塊が南側に流動しており、池に最も近い土塊は水没している。この部分の地盤は、盛土であったと想像される。側方流動によって分離された土塊ブロック間のきれつ幅が多地点で計測されている。北東に位置する 2 つの泉（名前が付いているきれいな泉）は枯れていたが、その北側に新たに活発な泉が形成されている。このことから、背面斜面から豊富な伏流水が供給され、また地下水もかなり高いことがわかる。地震動により表土層内の水圧が上昇したことが考えられる。また、地盤の変位により地下水流の経路が変わったことがわかる。南側の護岸は、明瞭な滑落崖を示しながらすべり土塊が池中に滑動

している。

池から東側に位置する石灰質礫岩で構成される岩盤斜面は、今回の地震により大規模に滑落している。

- ・ 池周辺の地盤では高い地下水位
- ・ 地下水流経路の変化（地盤変動による）
- ・ 側方流動した土塊の水没
- ・ 亀裂進展の計測
- ・ 周辺岩壁斜面の表層崩壊

4 . Grotte di Stiffe の落石 :

大きさ 150cm × 160cm × 190cm、重量約 12t の石灰質礫岩（ただしほとんどがマトリックスのみで構成されているので、石灰岩とみなしてもよい）が公園最下部の建物の壁を直撃し破壊している。なお落石表面は新鮮な白色はほとんど見られず、長い間空気に接触した黒色を呈している面がほとんどなので、発生源においては岩盤表面に大部分が露出していたか、浮石・転石状態であったことも考えられる。跳躍距離から衝突時の速度を計算すると 15m/sec 程度であり、衝突時のエネルギーは 2,700kJ となることから、通常の建物の壁では抵抗できない（ロックシェッドで抵抗できるくらいのエネルギー量）。その箇所から 100m 程度東方向にも、若干小さめの落石が最下端まで達している。建物や公園といった保全対象があること、またごく周辺には宅地が密集していることから、早急に落石源を特定して、保全対象への 2 次災害の危険性について早急に確認する必要がある。発生源付近の地形・地質状況を詳細に把握して、不安定岩塊や浮石・転石等が存在する場合には、落石経路を微地形から判断しなければならない。

- ・ 落石シミュレーションにより衝突エネルギーの算定が可能
- ・ 発生源の確認とカルテ（落石高さ、落石形態、不安定岩塊の有無、落石経路、保全対象の有無、想定される対応策など）作成の重要性

5 . SR261、San-Demetrio Ne'vestini のアーチカルバートの破壊 :

高さ約 2.5m、幅約 2m のかぶりのほとんどない石積造アーチカルバートの天端が崩落している。緊急対応として、カルバート内に水がないことから、石灰岩碎石による埋め戻しが行われ、交通規制はない。

- ・ かぶりの浅い石積アーチ構造の地震に対する脆弱性
- ・ 緊急対応の迅速さ

6 . SS17 と SR615 の交差点近くの盛土（？）擁壁の変形 :

盛土（？）の一部が最大 35cm 程度局所的に沈下し、擁壁の上部が折れ曲がり変形している。変形による土圧に抵抗するために、木杭を支持とした斜め木張りが施工されている。

現在、変形した反対車線の1車線を開放しているが、さらにその側方に迂回用新規盛土が施工済みであり、近く2車線開放の予定。木材を用いた緊急対応によって1車線通行規制しているが、緊急対応構造の安定性に関するモニタリングがまったく行われていない。

- ・ 擁壁の変形による背土の局所的沈下
- ・ 新しい盛土施工による切り回しで2車線確保を予定
- ・ 木材を用いた緊急対応で安定性確保。ただし、どのように安定性を確認しているのかは不明。計測がなされていない。

7．液状化痕と斜面崩壊：

河川近くの畑（盛土か？）および駐車場において、液状化による噴砂を確認した。噴砂厚さは最大10cm程度と小規模である。均質な砂の噴砂が見られる。液状化による周辺地盤への影響は見られない。

周辺の河川は、屈曲しており鉄道橋下流の攻撃斜面において斜面崩壊が見られる。

- ・ 標高600mでも、地下水位が高い砂層では液状化が発生することの確認
- ・ 攻撃斜面（水衝部）の地震時斜面崩壊の確認

8．Paganica 北部の石灰岩および石灰質礫岩斜面からの落石：

道路の「落石注意」表示版より北部の西側斜面において新しい崩壊跡が数多く確認される。また一部の岩塊は道路まで達しており、さらに道路を通り越えて東側河川にまで達したのも数多くある。道路に近接している岩斜面では覆式ロックネットが施工され、小規模落石には十分抵抗している。今後の道路への2次災害を防ぐために、不安定岩塊の点検はぜひ必要と感じた。住宅地および道路などの保全対象に近接する同種斜面においては、落石カルテ（落石の形態（岩盤崩壊型 or 浮石・転石型）、落石高、落石径、岩質、既存対策の有無など）の作成を勧める。

- ・ 石灰質礫岩の多数の落石を確認
- ・ 道路管理者が落石の多いことを認識
- ・ 地震でゆるんだ状態で、制限付きではあるが道路を開放
- ・ 落石点検カルテの早急な作成が必要

9．正断層の確認：

今回の地震による断層ではないが、かなり新しい時代の相対変位を確認した。その周辺では、正断層のすべり方向に地盤の変位が見られた。断層活動なのか、地すべり的な変位であるのかは未確認。

10．旧市街の被害：

ラクイラは、第三紀鮮新世（Pliocene）から更新世にかけて形成された段丘上に発達す

る。段丘を構成する地質は、下部は地溝帯が湖沼化した（もしくは海水の浸入を受けた？）ことから細粒分を主体とした堆積物が厚く堆積し、これを覆うように礫質土からなる段丘堆積物が分布する。このため、表層の段丘堆積物には地下水が豊富で、完新世の枝谷が多く発達している。したがって、地震動の増幅が大きいと考えられる。地盤の固有周期は2秒程度である。

Abruzzo Engineering の近くで、自然空洞アーチ部の破壊による陥没を確認。1つはすでに崩壊ガラなどで埋め戻されていた。陥没は約8m直径、深さ13mまで確認。地表面より3.7m下部に下水路を確認した。石灰質礫岩を掘削し、下水路を施工している。空洞アーチの肩部を掘削していることから、空洞のアーチアクションが弱くなっていたところに地震動が加わって崩壊したものと考えられる。埋め戻された陥没は、これよりも大規模で、陥没のすぐ横の住宅にあった外構壁が落下したものの、道路面から確認できないほど深かったとのことである。

旧市街地に広域的に多数存在すると考えられる地下空洞の存在を明らかにし、今後の安定性を確認するためには、まず地表からの非破壊探査を早急を実施する必要がある。簡便な非破壊探査方法として重力探査、地下レーダー探査、表面波探査などが考えられる。それぞれの探査法は以下のような特徴をもつ。

1) 重力探査

非常に簡単な探査法である。ただし、調査地点の標高を精度よく計測しておく必要がある。重力探査が得意とする深部地盤構造の評価においては、GPS等による簡易標高計測の標高精度でも十分であるが、ラクイラのように、ごく浅いところ存在する空洞を評価するためには、詳細な標高計測が必要となり、かなり煩雑な計測工程となる。また、探査を実施する道路には両側に重量建物が近接していることから、重力探査により得られる解析データに建物の重量が大きく影響することも考えられる。したがって、ラクイラにおける空洞探査にはあまり向かないのではないか。

2) 地下レーダー探査

地下レーダー探査は、沖積層などの柔らかい地盤では、地下2~3m程度のごく浅い空洞しか検知できない。しかし、ラクイラの表層地盤は、石灰質礫岩等の比較的硬い地盤であり、また想定される空洞もある程度大きいことから、5~10m程度深度の空洞の存在については評価できると考えられる。したがって、旧市街における広範囲で延長の長い道路における空洞探査として最適であろう。

3) 表面波探査

地下レーダー探査では、空洞の存在を評価することはできるが、空洞の安定性を評価するためには、空洞直上地盤がどの程度ゆるんでいるのかを把握しなければならない。表面波探査は、簡便に計測ができるだけでなく、10~20m深度程度の地盤のせん断波速度が評価できることから、空洞直上地盤の剛性評価が可能となる。

以上の議論に基づいて、ラクイラ旧市街の道路において、地下レーダーを用いた網羅的

探査を実施し、浅い位置における空洞の有無を把握する。空洞が存在すると考えられる地域、もしくは存在が疑われる地域において、表面波探査を実施して、地盤のゆるみを評価することが望まれる。一連の探査および結果の評価に基づいて、今後の恒久対策等を検討していただきたい。