

トンネル施工中に発生した大規模な岩盤崩落

—北陸新幹線飯山トンネルの事例—

鉄道・運輸機構 北原秀介 京都大学 朝倉俊弘 鉄建建設 ○笹尾春夫

Large-scale bedrock collapse generated in tunneling

Shusuke KITAHARA, Toshihiro ASAKURA and Haruo SASAO

1 はじめに

北陸新幹線（長野・金沢間）（Fig.1）飯山トンネル（延長 22km225m）の施工現場において、2003 年 9 月 11 日午前 3:05 に起点側坑口から距離 3,067m 地点の切羽で、大規模な切羽先端の崩落が発生した。坑内への流入土砂は、油圧ジャンボ等を約 500m 押し流す規模であった。また、崩落地点の土被りは 190m であり、地表部には直径約 50 m、深さ約 30m の陥没孔が発生し、陥没容積は約 30,000m³ に至った。

地質は、新第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけて堆積された砂岩・泥岩・礫岩の互層であり、背斜・向斜構造や顕著な断層が発達する複雑な地質構造を示し、事前の調査で把握できなかった断層と地下水を原因として崩落が発生した。

トンネル工事での崩落規模としては、おそらく最大規模のものと考えられ、現在、復旧工事中であるが、崩落の状況および原因について報告する。

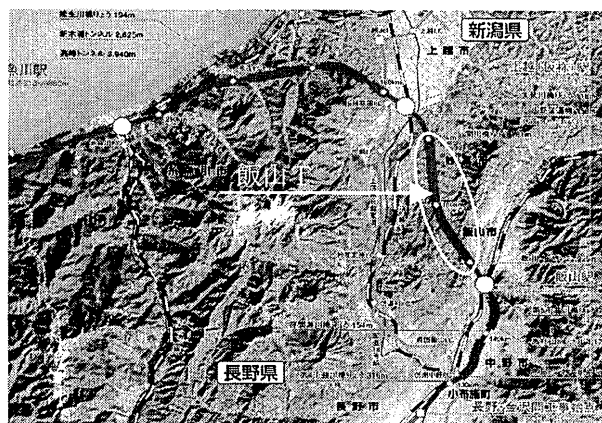


Fig.1 Railway plan view of Hokuriku Shinkansen

2 地形・地質概要

2.1 地形概要 飯山市から上越市にかけて流れる河川系は、千曲川と関川に分けられる。千曲川は、松本盆地から流れ飯山盆地を通過して新潟県で信濃川となる。飯山盆地内をほぼ北流し、右岸ではいくつかの支流が大きな扇状地を構成しながら千曲川に注ぐ。一方左岸では、飯山トンネルを施工している関田山地から流れ出す短い支流が山麓を刻んでいる。

関田山地は、標高 1,000m に達するやや急峻な山地であり、山稜が非対称である。南東斜面がやや急峻で崩壊地形や地すべり地形が広く発達しており、その堆積物は一部千曲川を越えて右岸に達している。また、山地の頂部付近には平坦な侵食起伏面が発達している。

2.2 地質概要 崩落個所の地質は、新第三紀鮮新世後期第四紀更新世前期に堆積した新潟標準層序という灰爪層で構成されている。本層は魚沼層群に相当し、海水準変動に伴う海成—非海成層が周期的に繰り返すサイクルが発達している。

泥岩・砂岩・礫岩を主体として、特に泥岩と砂岩が数十センチの層厚単位で互層を成す。さらに、亜炭層や凝灰岩層を頻繁に挟み、ときには火山泥流堆積物や火砕岩層を挟む。

富倉背斜東翼の関田山地に頂部に広く、灰爪層を覆って安山岩質火砕岩と溶岩が存在する。この安山岩溶岩は、多量の裂か水を貯留し、集落の水源となっている。

地層の傾斜は、富倉背斜を形成した地殻運動のため、60 度前後と急傾斜を示す。

3 トンネル掘削状況

3.1 トンネルの概要 飯山トンネルは、延長 22km225m を飯山市側から「上倉」「富倉」「新井」「東沼沼」「木成」「板倉」の 6 工区として平成 10 年 6 月に着工した（Fig.2）。

今回、報告する大規模な岩盤崩落が発生したのは、飯山市側の坑口にあたる上倉工区であり、その工事概要を以下に示す。

- 工事名称：北陸新幹線飯山トンネル上倉工区
- 工事場所：長野県飯山市
- 工事内容：本坑掘削延長 L=3,820m
掘削断面積 81m²
縦断勾配 10/1,000 および 30/1,000
- 掘削工法：ショートベンチカット工法
補助ベンチ付き全断面工法
- 掘削方式：機械掘削

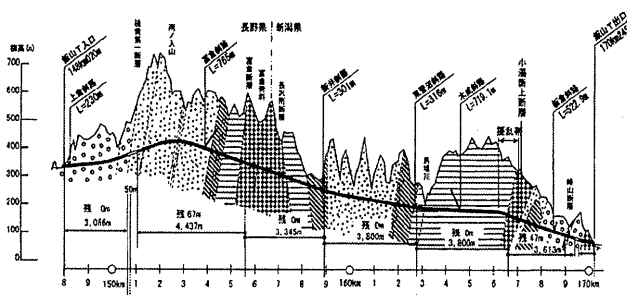


Fig.2 Geological profile of Iiyama tunnel

3.2 上倉工区の掘削状況

坑口から約 2,800m は、灰爪層の上盤にあたる小国層を掘削した。土被りの小さく（約 40m）なる皿川下位や地

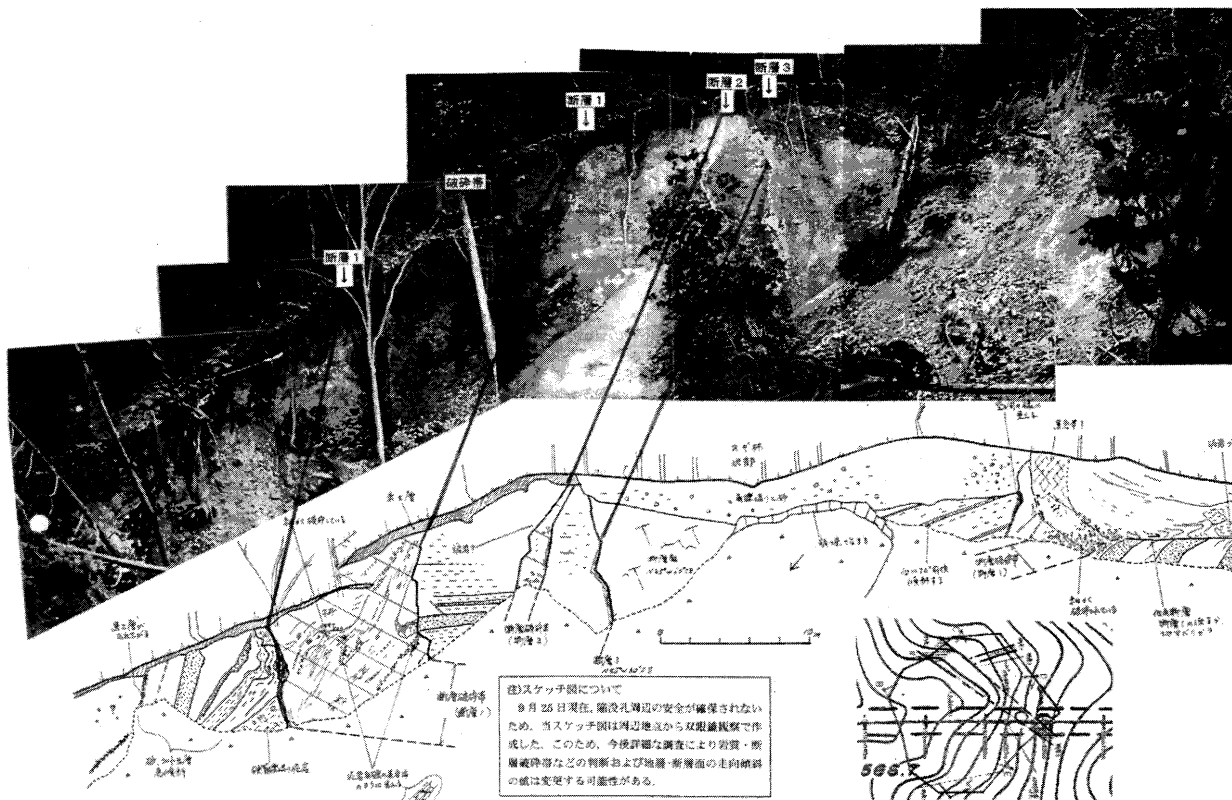


Fig.3 Cave-in of the surface just after tunnel collapse

質が脆弱な箇所では、長尺先受け工法（AGF）の採用などで掘削した。

灰爪層の掘削に入ってから、水抜き工法を併用しながら順調にトンネル掘削が実施された。水抜き工法の併用は、互層で存在する砂層が地下水を胚胎し、切羽の解放とともに流砂を起し、同時にシルト層への破壊につながるためである。坑口から 3,067m まで補助ベンチ付き全断面工法で掘削を進めたところ、2003 年 9 月 11 日に切羽天端の大規模崩落に至った

4 崩落の状況

切羽の崩落は 2003 年 9 月 11 日午前 3:05 から同日の 22:00 の 19 時間の間に前後して 4 回発生した。3 回目および 4 回目の崩落が大きく、重機械類の全てを切羽後方 550m の覆工セントルの位置まで流出させ、圧砕した。

また、地表部の陥没孔(Fig.3)は 2 回目の崩壊後に確認され、順次拡大していった。4 回にわたる崩落の状況は、以下のとおりである。

第 1 回崩落：上半切羽左肩部から 1.5t/min の湧水とともに発生。（流入土砂約 350m³）

第 2 回崩落：切羽後方 42m 付近まで土砂が流入。地表部で直径 15m の陥没孔を確認（流入土砂約 700m³）。

第 3 回崩落：ドンという音とともに坑内に突風が吹く。切羽後方 337m まで土砂が流入し、吹付けロボット、ツインヘッダーなどの施工機械が 100m 程度流される。（流入土砂約 9,000m³）

第 4 回崩落：突風の発生とともに土砂および泥水が切羽後方 1,237m にまで達する。（流入土砂約 30,000m³）

5 崩落の要因

崩落切羽直前までは火山礫凝灰岩が分布し、当層までの地下水位はトンネル掘削および水抜きボーリングにより低下していた。崩落切羽は F-1 断層の出現により、鏡肌が発達し低強度であるが難透水性の泥岩層が分布し、その背面には砂岩層が存在した。

地質は砂岩・泥岩の互層（一軸圧縮強さ 5~10MPa）であった。第 1 回崩落において 1.5t/min の湧水が認められたことから、切羽にみられた断層粘土と考えられる泥岩層が遮水層となり、その背面の砂岩層には地下水が分布していたものと考えられる。この砂岩層中の地下水は、崩落時の湧水量と水抜きボーリング孔からの湧水量の差が大きいことや砂岩層に不均質性が認められることから、水圧を有するうえに不均衡に貯留分布していたと想定される。

6 おわりに

今回のトンネル崩落事故については、施工記録の詳細な検証によっても明確な予兆を確認していない。また、発生後に実施された詳細な地質調査でも発生原因やそこに至る経緯を直接的に特定する根拠となる要因を確認できなかった。しかしながら、発生した崩落は土盛り 190m、坑内への流入推定土砂量 30,000m³ と極めて大規模なものであり、さらに崩壊土砂が地下水とともに坑内を流動したことが確認され、特殊な条件下で発生したことが伺える。断層（遮水層）とスポット的な地下水の状況によって、予測できない岩盤崩落が発生した特殊な事例として報告する。