

垂直縫地ボルトによるトンネル坑口部地山安定対策工とその効果に関する挙動計測結果について

The Observed Effect of Vartical Earth Stitching Bolts that Stabilize the Slope Above a Tunnel Portal

中山 隆*、大宮 貴治**、長沼 泉**、斎藤 和男***、○寺本 哲****

Takashi NAKAYAMA, Takaharu OHMIYA, Izumi NAGANUMA, Kazuo SAITO and Satoshi TERAMOTO

This paper describes the measures taken to stabilize the slope above a tunnel portal during construction. In Takasaki Tunnel, Chiba Prefecture, geology of the portal section is very poor, which consists of highly weathered mudstone. Vartical earth stitching bolts were installed prior to the tunnel excavation to minimize the influence of excavation on slope stability. The behavior of the ground and support works including earth stitching bolts were monitored during construction. The observed data indicate that vertical earth stitching bolts effectively worked to reduce the subsidence of the ground and then to maintain slope stability.

Keywords : vertical earth stitching bolts, tunnel portal, observational construction

1. まえがき

一般にトンネル坑口部斜面を構成する地盤は、風化・侵食の影響を直接受ける場所であり、地形的に沢部に位置し、崖錐層が堆積している場合も多い。このように軟弱化・強度低下した地盤にトンネルを掘削すれば、もとより土被りが薄いこともありトンネル周辺にグラウンドアーチが形成されにくく、ゆるみ領域の拡大、地盤の沈下を引き起こし、斜面の崩壊、地すべり等の不安定化につながりやすい状況にある。さらに、トンネル軸と斜面走向が斜交するような場合にはトンネルが偏圧を受ける状態となり、上記の傾向がより増長されることになる。

千葉県「道路整備事業」の一環として進められている、「高規格富津館山道路」の一部として現在建設中の高崎トンネルの起点側坑口部では、トンネルルートが山腹斜面に約50°に斜交している。さらに、坑口部斜面は、一部に過去の表層すべりの痕跡も見られる活動性斜面の様相を呈し、掘削に伴い表層部斜面が滑動する可能性が十分にあること、トンネル掘削によりゆるみやすい地質であり、斜面内にゆるみ領域が拡大すれば、斜面深部での大規模なすべり挙動を誘発する可能性があることが推定された。

このため坑口部トンネル掘削時の地山安定対策工として、活動性の表層すべり抑止、トンネル周辺地山のゆるみ領域の拡大およびそれに伴う上方斜面の大規模なすべり挙動の誘発の防止を目的として垂直縫地ボルト工を採用した。また併せて、地表面、地中、トンネル坑内での動態観測を実施し、トンネル掘削に伴うす

* 正会員 建設省関東地方建設局千葉国道工事事務所、 ** 建設省関東地方建設局千葉国道工事事務所
*** 大成建設(株)千葉支店、 **** 大成建設(株)土木本部土木設計第一部

べり挙動の発生を迅速に把握し、適切な対策工を検討・施工する体制をとった。

本報告では、トンネル施工時の垂直縫地ボルトをはじめとする坑口対策工の概要ならびにトンネル施工時の動態観測結果概要、特に計測結果より明らかとなった垂直縫地ボルトの効果についての知見を述べる。

2. 工事概要

2・1 概要

高崎トンネル工事は、千葉県「道路整備事業」の一環として進められている、延長20.4kmの「高規格富津館山道路」のうち、JR線岩井駅付近の千葉県安房郡富山町～富浦町を結ぶ全長1,446mのトンネルを施工するものである。トンネルは図-1に示すようにやや偏平な断面形状

をもつ2車線道路トンネルで、掘削断面積は97～133m²である。また、掘削工法はツインヘッダ、ロードヘッダ等による機械掘削方式のNATMショートベンチ、タイヤ工法である。

その起点側（富山側）坑口部では、トンネルルートが山腹斜面に約50°に斜交している。また、トンネル起点から約25mの範囲は粘土地盤上に基礎（支保脚部）を置くこととなり、トンネルへの偏圧作用の抑制、地耐力不足による沈下防止のためのソイルセメントによる押え盛土工、置き換えコンクリートが当初から計画されていた。

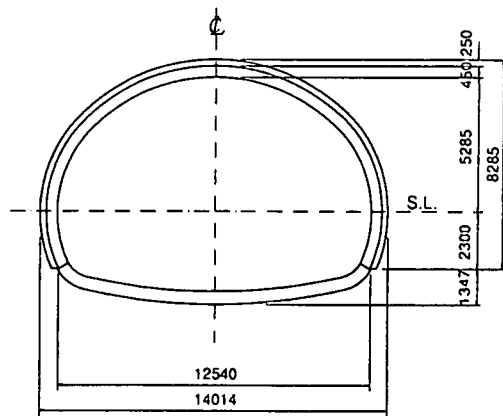


図-1 トンネル標準断面図

2・2 地形地質概要

トンネル坑口部の地山に係わる事前の地質調査および施工開始に先立ち実施された追加地質調査結果より、坑口部の地形・地質状況に関し以下の点が明らかとなり、置き換えコンクリート施工時の掘削ならびにトンネル掘削に伴う坑口部斜面の不安定化が懸念された。（図-2 坑口部地質断面図参照）

- ・坑口部斜面は、一部に過去の表層すべりの痕跡も見られる活動性斜面の様相を呈する。
- ・坑口部付近の岩種は一軸圧縮強度5MPa以下の凝灰質シルト（泥質）岩であるが、地表面に近いほど風化劣化が進行しており、地表面近くでは土砂化している。
- ・風化劣化した泥質岩はじん性が低く、自立性は一時的にはあるが僅かなショックでゆるみ不規則な小片に崩れやすいという性質を持つ。
- ・斜面内には断層破碎ゾーンの存在を示唆する低速度帯が存在する。

以上のような調査結果から、掘削に伴い表層部斜面が滑動する可能性が十分にあること、トンネル掘削によりゆるみやすい地質であり、斜面内にゆるみ領域が拡大すれば、斜面深部での大規模なすべり挙動を誘発する可能性があることが推定された。このため、以下に示すような追加対策工を実施した。

3. 坑口部斜面安定のための追加対策工

3・1 垂直縫地ボルト工

風化劣化を受け、トンネル掘削により崩れやすい性質を持つ地盤の一体化を図り、トンネル周辺地山のゆるみ領域の拡大およびそれに伴う上方斜面の大規模なすべり挙動の誘発を防止すること、ならびに活動性の表層すべりを抑止することを目的として垂直縫地ボルト工を採用した。その設計上の考え方は、図-3の破

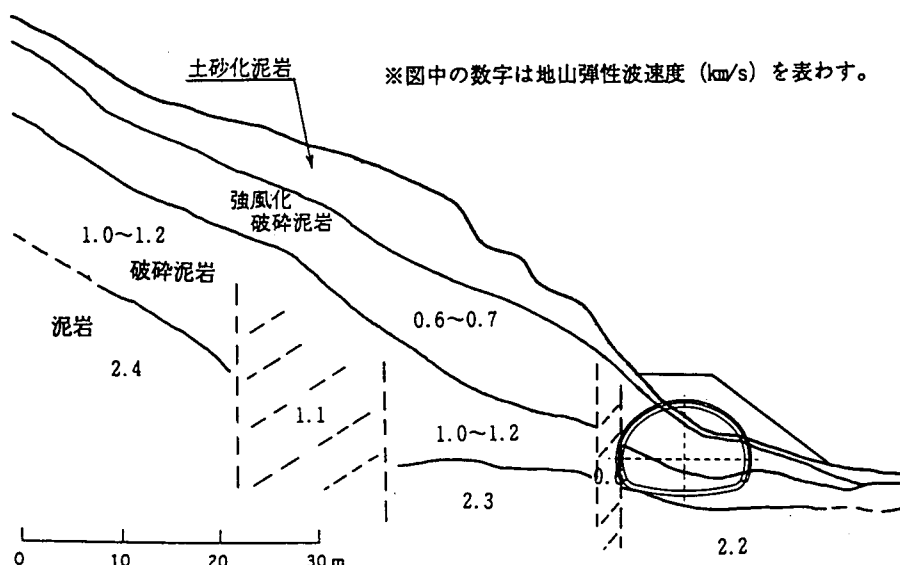


図-2 坑口部地質断面図

線で示されるトンネル掘削による想定ゆるみ範囲のトンネル方向への変位挙動に対し、ボルトの軸力により抵抗するというものである。また、トンネル切羽前方地山に対しても同様のトンネル方向への変位挙動（ゆるみ）を想定し、トンネル断面内にも垂直縫地ボルトを配置している。（図-3）垂直縫地ボルト工の仕様は以下の通りである。さらに、この垂直縫地ボルト工は、表層すべりの抑止工の役割も果たす。

ボルト仕様：鉄筋D32（SD295A）

削孔：φ115mm（ロータリーパーカッションドリル）

打設間隔：2.25m²（1.5m×1.5m）当り1本

打設範囲：No.97+15.5～No.100（土被り1Dが確保される位置まで）

ボルト長：想定ゆるみ範囲以深かつ破碎泥岩層まで貫入

3・2 動態観測工

シャフト工、アンカー工等の対策工を要するような大規模な地すべり挙動については、施工開始前の時点では、斜面深部において旧地すべり面等の過去の地すべりを示すような地質状況は明確にはなっておらず、すべり面も確定されないが、場合によってはトンネル掘削に誘発されこのような挙動が発生することが懸念された。

このような問題点に対処するため、表-1および図-4に示すような地表面、地中、トンネル坑内での動態観測を実施し、トンネル上方斜面のすべり挙動の発生を迅速に把握し、計測結果にもとづき適切な対策工を検討・施工する体制をとることとした。

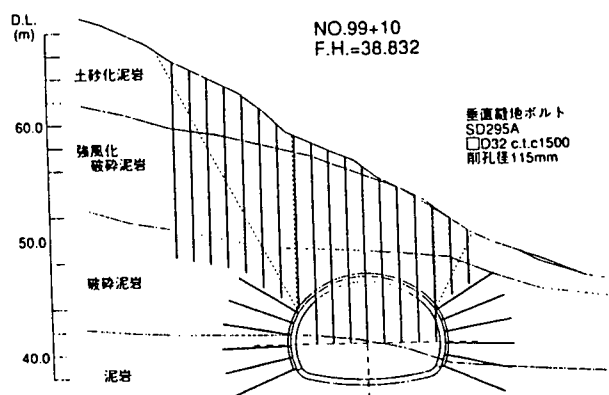


図-3 垂直縫地ボルト工配置断面図

表-1 動態観測計測項目一覧

計測目的	測定項目	計測器	設置箇所	測 点 数			
				測線1	測線2	測線3	合計
地盤挙動の監視	地中水平変位	挿入式傾斜計	各測線	2孔	3孔	1孔	6孔
	地表面変位	伸縮計	各測線	2点	4点	2点	8点
		測量	地表面各所	3+1点	5点	3+2点	14点
	坑内観察		トンネル内	切羽毎			—
	地表面観察		地表面				—
	内空変位・天端沈下		トンネル内	10 m 毎			—
変状原因の推定	地下水位	水位計	各測線	2孔	3孔	1孔	6孔 (傾斜計と兼用)
	垂直地ボルト応力	ひずみ計	No.99+5	3本 (2点+4点+5点)			11点
	ロックボルト軸力	ひずみ計	No.99+5	2本 (3点/本)			6点

4. 動態観測結果概要

トンネル上半掘削開始後、切羽がソイルセメントによる抑え盛土区間から地山区間に到達した時点で、切羽面に現われた強風化土砂化泥岩で小規模な崩落が発生するようになった。これと前後して、トンネル切羽が動態観測測線2に接近するにつれて最下段の地表面伸縮計Cで急激な伸びが発生して約30mmに達し、(図-5) トンネル掘削による周辺地山のゆるみに起因する斜面のすべり挙動の発生が懸念された。一方、同測線がトンネル軸と交差するNo.98+15のトンネル内空変位計測結果では、天端および脚部で20～25mm程度の沈下が観測されており、さらに同測線に設置した挿入式傾斜計では、地山のトンネル側への変位は発生しているものの、明確なすべり面の発生は認識されなかった。以上より、伸縮計で計測された変状は、掘削に伴うトンネル上方地山の沈下挙動に起因するものであると判断された。

さらに、他の内空変位計測断面も含めて、天端沈下トンネル同時に上半支保工脚部も同程度沈下しており、内空断面変化量は小さいことから、トンネルが断面形状を保ちながら全体として沈下していることが明らかとなり、計測された地盤挙動は、上半支保工に作用する上載荷重に対する支保工脚部の支持力不足に起因すると判断された。

その後、掘削の進行に応じて沈下が漸増する傾向が続いたため、斜面安定性への影響も考慮して、以下のようなトンネル内部における補助工法が採用された。

- ・切羽安定のための、ウレタン注入式フォアパイリング
- ・上半支保工脚部の支持力増強のためのウレタン注入式フットボルト
- ・下半並進・インバート閉合

これらの補助工法は沈下抑止に対して効果的であったと考えられ、施工後は沈下傾向は収束に向かった。

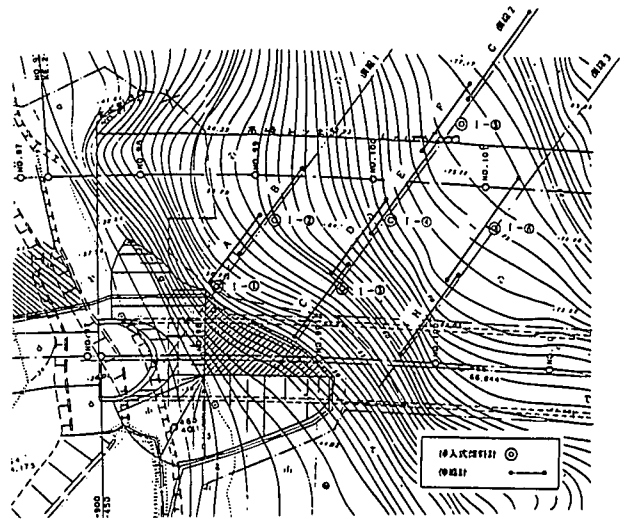
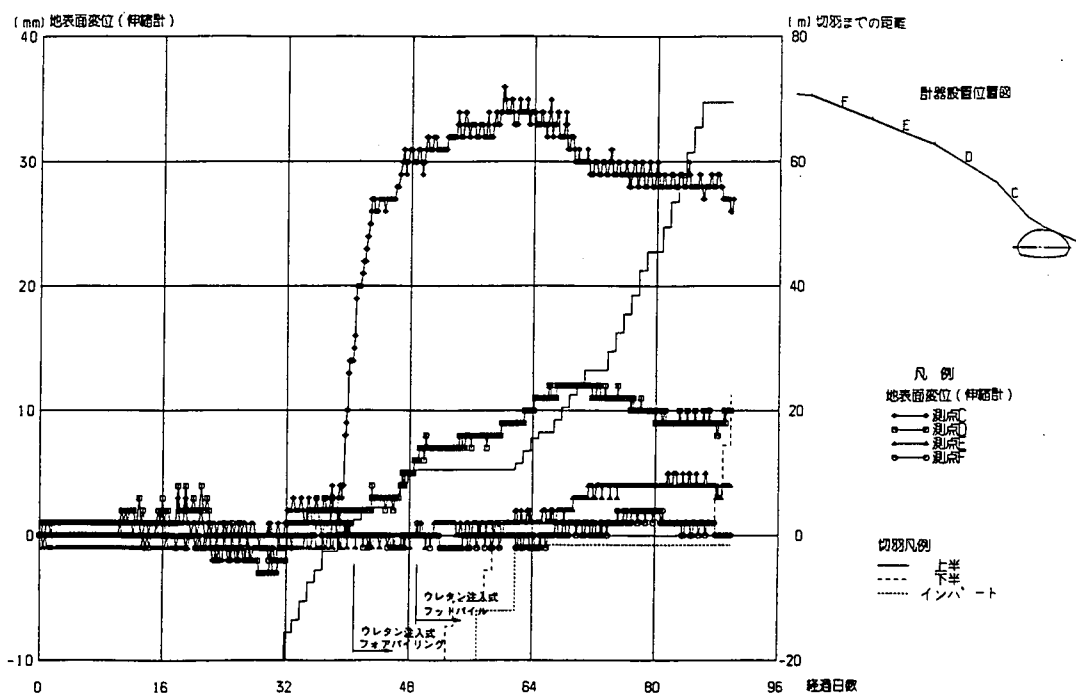


図-4 坑口部動態観測平面図



図－5 地表面伸縮計計測結果の経時変化

5. 垂直縫地ボルト工の効果に関する計測結果

垂直縫地ボルトの設計としては、想定すべり力・土圧に対してボルトのせん断耐力あるいは軸引張（圧縮）耐力により抵抗するという考え方が提案されているが、実際の作用メカニズムは明確になっておらず設計手法として確立されるに至っていない。当トンネルで採用した垂直縫地ボルト工の設計上の考え方は、トンネル掘削による上方地山の想定ゆるみ範囲の地盤挙動に対し、ボルトの軸力により抵抗するというものであった。

当トンネルでは、施工中の坑口部上方斜面の安定性を確認するための動態観測の一環として、前述のような計測項目とともに、垂直縫地ボルト軸力を計測している。図－6に坑口から約40mのNo.99+7の断面に設置した垂直縫地ボルト軸力計の計測結果を示す。

垂直縫地ボルト軸力は、図に示すように天端直上の2点および山側肩部の合計3点で計測した。これらの計測点における縫地ボルト軸力は、いずれも切羽が計測断面の手前約10mに達した時点から急激に圧縮側への変動を開始し、切羽がボルト直下付近に達した時点でボルト軸力は一挙に圧縮から引張に転じた。さらにその後切羽が進行してゆくに連れ、引張軸力は低減傾向を示した。

これらの挙動から以下に示すような垂直縫地ボルトの効果が推定される。

- ・ 切羽到達前の、圧縮のボルト軸力が増大する段階では、切羽前方上部およびトンネル側部の地山のトンネル方向に向う変位に対し、ボルトは移動しようとする土塊重量の一部を負担し、下部の地山に打ち込まれるような形でこれに抵抗していると考えられる。なお、各計測点における最大軸圧縮力は、No.1で5.5tf、No.2で3.5tfに対し、No.3では14.0tfに達し（設計時の平均軸力8.2tf）、トンネルより山側の斜面部における沈下挙動が大きかったことに対応している。
- ・ 切羽が接近し、ボルト軸力が引張に変化した時点では、掘削の影響を受けてゆるんだトンネル天端付近の地山がトンネル内空側に押し出ようとするのに対し、上方の地山に力を伝達しこれを吊り下げるよう

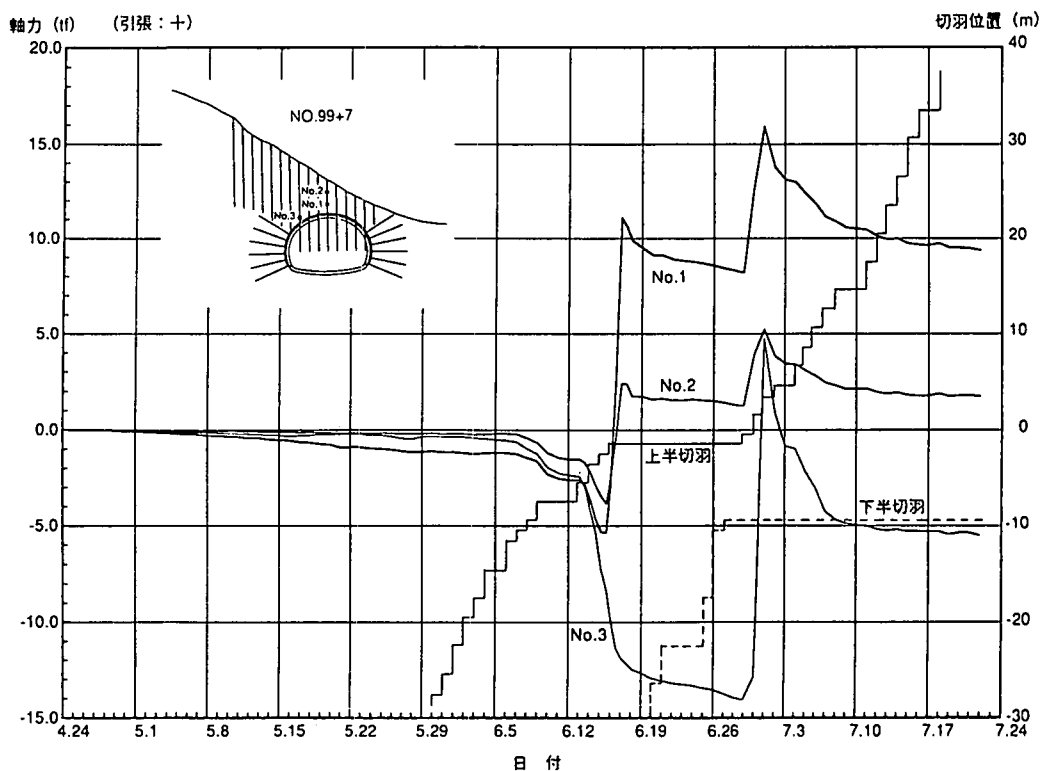


図-6 垂直縫地ボルト軸力の経時変化

なロックボルト的な効果を発揮していると考えられる。

- ・その後ボルトの引張軸力が低減し、一部圧縮力となるのは、切羽通過時にトンネル近傍の地山が沈下し、しだいに上方の地表面方向にその影響範囲が広がるためであると考えられる。この時点で垂直縫地ボルトはトンネル上方の地山を一体化し、見かけの剛性を増大させ、全体の沈下量を抑制する効果を発揮していると考えられる。

以上のように、今回の計測結果より、周辺地山と一体化した縫地ボルトが、切羽通過前後のトンネル周辺地山の挙動に対して、設計で期待したとおりその軸剛性により抵抗し、有効にゆるみ抑制効果を発揮しているという垂直縫地ボルト工の有効性が確認された。

今回の計測結果と同様の地山変形挙動は、既往の工事においても確認されており^{1)・2)}、今後は同種の工事において垂直縫地ボルトと地山の変形挙動に関する計測データを蓄積し、設計・施工にフィードバックすることにより、現場の地質、地山条件に応じた合理的な設計手法を確立することが期待される。

6. 参考文献

- 1) 種池信好・松橋貞雄・水原憲三・五十嵐勉：地表面沈下対策としての縫地ボルトを併用したトンネル掘削，土木学会論文集，No.486，pp.45～54，1994.3.
- 2) 井上勝人・香月広志・田中康弘：地すべり地形の坑口を垂直縫地工法で施工 松山自動車道石槌トンネル，トンネルと地下，24-9，pp.17～24，1993.9.