

トンネル坑内での切梁補強による内空変位拡大抑制

大林組・熊谷組・フジタ共同企業体

正会員 ○下村 哲雄, 岩本 俊一

中日本高速道路(株) 静岡工事事務所

大川 了, 板垣 克利

1. 概要

第二東名道島田第一トンネル上り線は掘削断面積195m²の扁平大断面トンネルである。西坑口の低土被り部において変位が発生したため、坑内で「切梁」補強を行った。内空変位拡大抑制に有効であったので報告する。

2. 西坑口部の施工経緯

図-1 のとおり、坑口は偏圧地形で右側方の土被りが3~4mである。地質は第三紀瀬戸川層群の泥岩及び強風化泥岩である。本坑掘削時の逆解析から算出した弾性係数が13.8MPaの不良地質である。当初の対策として軽量盛土とAGFを採用したが、右側脚部が側方に広がる挙動を示し、管理基準値を超える坑内及び地表面変位が発生した。一次対策として坑内からの地山改良と増ボルトを施工したが十分な効果は得られなかった。

追加対策としてアースアンカーや押え盛土を検討したが用地に制約があったため、坑内からの対策を主とした。図-2、表-1 のとおり、二次対策としてフットパイル・上半仮インバート・切梁補強・押え盛土1を行い沈下・内空変位拡大を抑制できたが、水平引張力により切梁に破断が発生した。

3. 切梁補強の効果

切梁補強は内空変位拡大抑制を目的とした補助工法であり、鋼製支保工に溶接固定し、約730kN/本の引張耐力を有する。切梁が破断する時の内空変位は下式のとおりと算定できる。

$$\text{破断までの切梁の伸び } \Delta l = l \times \frac{N}{AE} + \alpha \approx 20\text{mm}$$

ヤング率 $E = 2.06 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$, 切梁長さ $l = 16.2\text{m}$,

切梁断面積 $A = 78.18\text{cm}^2$, ジャッキの遊び代 $\alpha = 10\text{mm}$

$$\text{推定破断軸力 } N = 692\text{kN} \times \frac{20\text{mm}}{19\text{mm}} \approx 730\text{kN}$$

軸力計測切梁(破断せず)・・・発生軸力 $\approx 692\text{kN}$

・・・内空変位 = 19mm

破断した切梁・・・内空変位 = 20mm

(※軸力計測切梁の経時グラフ(図-3)より)

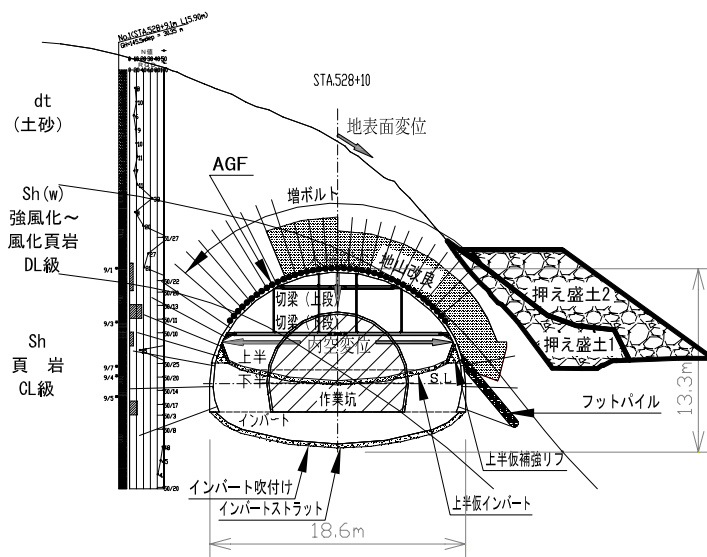


図-1 横断面図

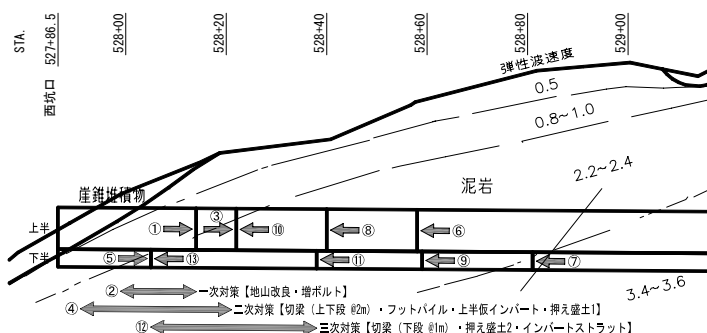


図-2 縦断面図(○数字は施工順序)

表-1 支保構造・対策

断面	3車線道路トンネル(掘削面積195m ² ・扁平形状)
掘削工法	上半先進ベンチカット工法(既設作業坑拡張)
掘削方式	機械掘削
支保構造	鋼アーチ支保工(下半ウイングリブ付き, HH-200, 1mピッチ) 高強度吹付けコンクリート($\sigma = 36\text{N/mm}^2$, $t = 250\text{mm}$) ロックボルト(上半: 290kN/本×8本, $L = 4 \sim 6\text{m}$) (下半: 170kN/本×6本, $L = 4 \sim 6\text{m}$) AGF($L = 12.5\text{m}$, $\phi 114.3\text{mm}$, 41.5本(450mmピッチ), シリカレジン注入) 上半仮補強リブ ¹⁾ (H-150+高強度吹付けコンクリート) インバート吹付け(高強度吹付けコンクリート($t = 250\text{mm}$))
当初対策	坑外 軽量盛土(FCB)
一次対策	坑内 地山改良(シリカレジン注入, $t = 3 \sim 4\text{m}$) 増ボルト(290kN/本×23本, $L = 4 \sim 6\text{m}$)
二次対策	坑内 切梁(H-250, 上下段, 2mピッチ) フットパイル($\phi 114.3\text{mm}$, 1mピッチ, シラクソル注入) 上半仮インバート(高強度吹付けコンクリート($t = 300\text{mm}$)) 坑外 押え盛土1(改良土, 添加量50kg/m ³)・坑外押えトラサ補強(H-300)
三次対策	坑内 切梁(H-250, 下段, 1mピッチ) インバートストラット(H-200, 1mピッチ, 下半掘削サイクルで施工) 坑外 押え盛土2(改良土, 添加量50kg/m ³)

キーワード トンネル, 扁平, 大断面, 坑口, 偏圧, 切梁

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株) 大林組 TEL 03-5769-1111

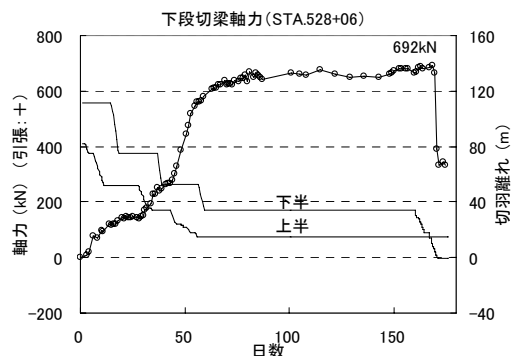


図-3 切梁の発生軸力

図-4 のように、内空変位（広がり）が、20mm を超えた箇所では切梁の耐力が不足し破断した。逆に、破断しなければ20mm 以内に内空変位を抑制できたことになる。

破断範囲では発生する引張力に対して耐力が不足しているため、三次対策として図-2 の範囲に下段切梁の追加（2m ピッチ→1m ピッチ）・インバーストラット・押え盛土2を行った。図-5 のように切梁追加後の沈下速度は変わらないが、下半切羽通過後はほとんど内空変位は発生しない。

図-6 のように、並行して実施した再現解析により切梁補強の効果を比較した。切梁補強の内空拡大抑制によってトンネル形状が保持され、坑内天端・地表面沈下抑制にも寄与し、地山の緩みが抑制されることを確認した。

4. 切梁補強の特徴まとめ

本トンネルの事例において、上半掘削時には扁平率が大きくなり、内空変位が拡大、トンネル形状がより扁平化し、さらにトンネル構造が不安定化した。トンネルを安定化するために「切梁」補強により内空変位拡大を抑制し、無事貫通を迎えた。事例から得られた特徴を表-2 にまとめる。切梁補強の状況を写真-1 に添付する。

今後、掘削サイクル中の切梁補強等、掘削工程への影響の少ない工法を検討したい。

表-2 「切梁補強による内空変位抑制対策」の特徴

切梁補強が有効なケース	- 扁平率が大きく、坑内内空変位が拡大する - トンネル坑外からの対策が限定されている - 大断面であり、切梁がその後の施工の支障とならない
長所	費用対効果が大きい
短所	- 工程に及ぼす影響が大きい - 仮設であり、撤去が必要

参考文献

- 1) 古家, 岩本, 高橋, 千国: 上半仮補強リブの脚部沈下抑制効果, 土木学会第 63 回年次学術講演会, IIIpp. 649-659, 2008 年 9 月

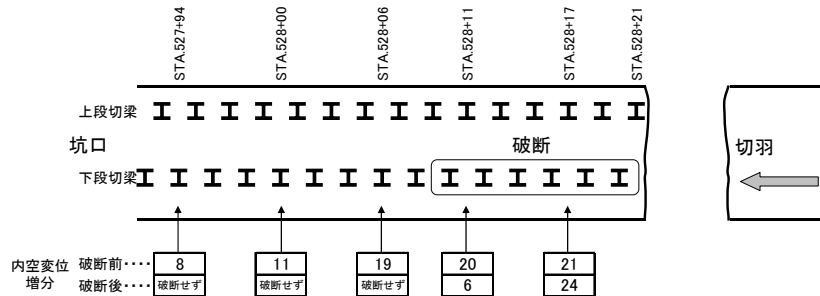


図-4 切梁破断箇所と内空変位の分布

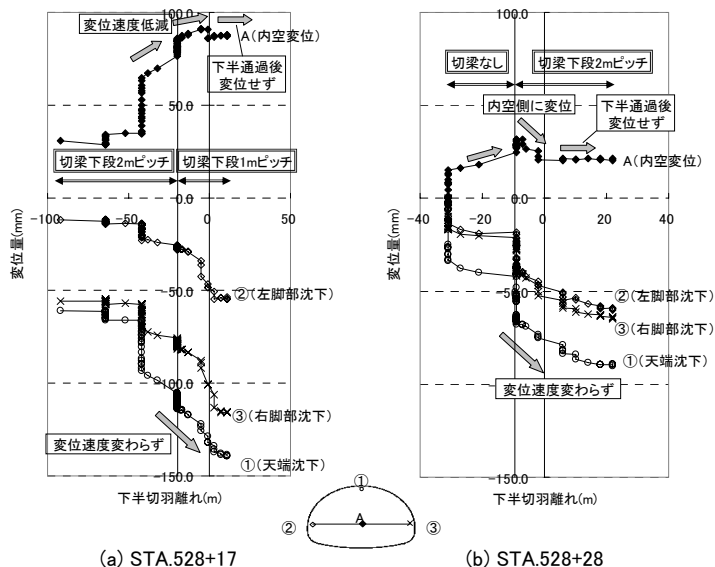


図-5 坑内計測結果(切羽離れ)

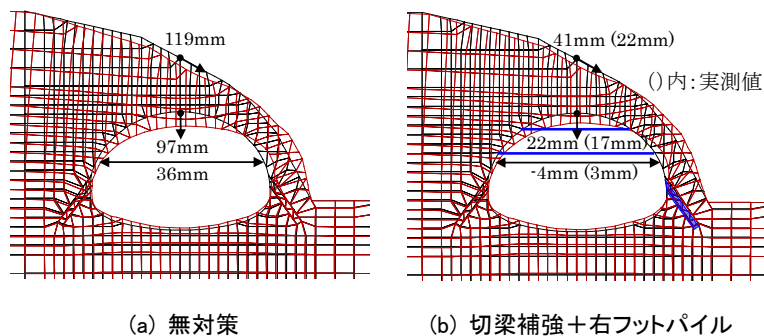


図-6 解析結果(下半掘削時の変位増分):FLAC



写真-1 トンネル坑内切梁補強