強度不足地山の早期閉合トンネル挙動特性に関する考察

中日本高速道路㈱南アルプス工事事務所　正会員　佐藤　淳
清水建設㈱関東支店　正会員　○真下　義章
清水建設㈱地下空間統括部　正会員　楠本　太

１．はじめに

中部横断自動車道ハ之尻トンネルは，トンネル延長 2469mの二車線トンネルである．北側坑口の 220m間の地質は，礫層，地すべり崩積土，泥岩からなり，地山強度比は 0.5 を下まわると推定される地すべりを含む強度不足地山であり，土被りは 3D（D は掘削幅）以下であるが，過大変位の発生が懸念された．このため，計測工でトンネル挙動を確認，把握しながら，曲面切羽による全断面機械掘削の早期閉合で施工した．

その結果，この施工法の有効性が示されたのと土被りの小さい早期閉合トンネルの変形挙動特性が得られたので報告する．

２．トンネル構造

坑口 36m間の DⅢc-1-K，地すべり 110m間の DⅢc-2-K は，最大土被り高は h=17mの 2D 以下である．地すべり隣接 DⅢc-3-K の 75m間は，最大土かぶり高は h=34mの 3D 以下ある．この 220m間の地山強度比は 0.5 以下が予想されるので，土被り 20mと 25m相当の作用土圧を想定した [1]．これらから，トンネル支保構造として，坑口設計パターン DⅢa を基本とする高耐力の早期閉合パターンを設計した（表-1，図-1）．早期閉合部材は，トンネル支保構造と同様とする．h が 2D を超える DⅢc-3-K の早期構造半径比(r3/r1)は，2.0 を採用する．

表-1　早期閉合パターン概要

支保パターン名		DⅢc-3-K	DⅢc-2-K	DⅢc-1-K
区間長（m）		75	110	36
地山強度比		＜0.5		
１掘進長（m）		1.00		
変形余裕量（cm）		0		
支保構造	吹付け厚（cm）	20		
	圧縮強度（28d）	36N/mm²		
	鋼ｱｰﾁ支保工	HH-154（SS590）		
	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ工	L=4m,170kN（8/16/8 本）		
閉合構造	早期閉合部材	上･下半と同様		
	半径比 r3/r1	2.00	2.50	
	閉合距離 Lf（m）	9	6/9	9
覆工厚（cm）		30	35	35

３．施工法

施工方法は，300kW 級軟岩トンネル掘進機による全断面機械掘削の早期閉合である．早期閉合施工単位は Lc=3m，早期閉合距離は Lf=9mを基本とし，初期変位速度に応じて Lf=6mを採用する．1 掘進長 1mの全断面掘削と 3m単位の早期閉合は，交互施工である．切羽形状として，切羽の自立性が高い安定形状の曲面切羽を採用する．補助工法は，鏡吹付け工を基本とし，標準的な注入式長尺鋼管フォアパイリングを採用する．

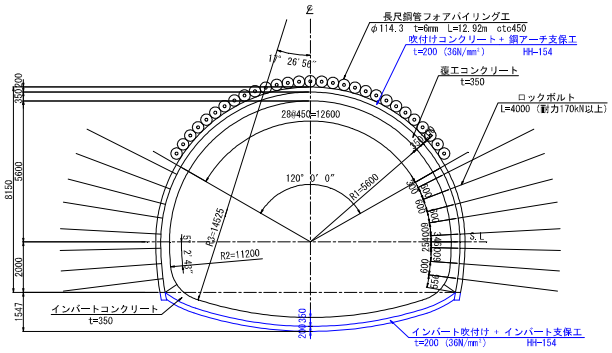

図-1　早期閉合パターン概要（DⅢc-2-K）

４．計測工概要

早期閉合トンネルの挙動特性や安定性の把握，評価および地すべりへの掘削影響評価などを目的に，計測工 A を実施する．計測工 A 断面は，トンネル進行方向 10m間隔に設ける．測点は，切羽通過時に設け，初期値をとり，6～24 時間毎に 3 次元自動測量・計測システムを用いて自動測定する（図-2）．

天端沈下 V と内空変位 H の管理基準値は，早期閉合トンネル実績から，それぞれ-30mm と-50mm とする [2]．

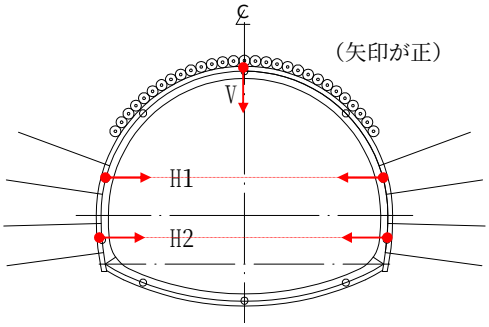

図-2　測点位置（DⅢc-3-K）

キーワード：強度不足，地すべり崩積土，早期閉合，トンネル変位比，閉合変位比
連絡先：山梨県西八代郡市川三郷町下大鳥居池尻 1649-1，Tel.048-631-3311，Fax.055-272-6761

５．計測結果と考察

北側坑口 221m 間の天端沈下 V と上半内空変位 H1 および下半内空変位 H2 は，図-3 に示す．収束変位に対する早期閉合直後の変位の比の Vc/V，H1c/H1 は，図-4 に示す．トンネル変位比の H1/V は，図-5 に示し，H1 とこれの初期変位速度 dH1/dt の関係は，図-6 に示す．これらから，以下のことがわかる．

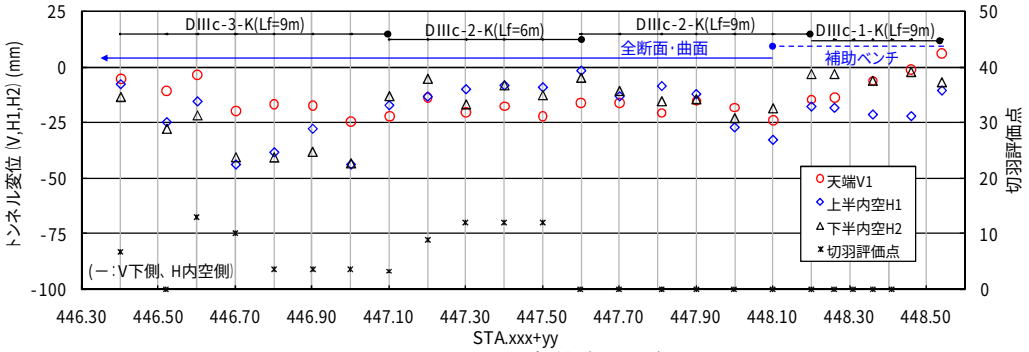

図-3 トンネル変位 (V, H1)

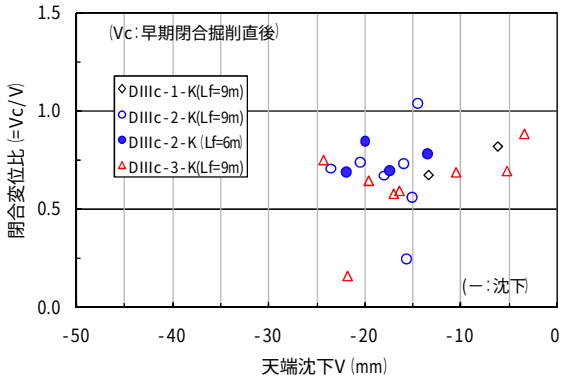

図-4(1) 閉合変位比 (Vc/V)

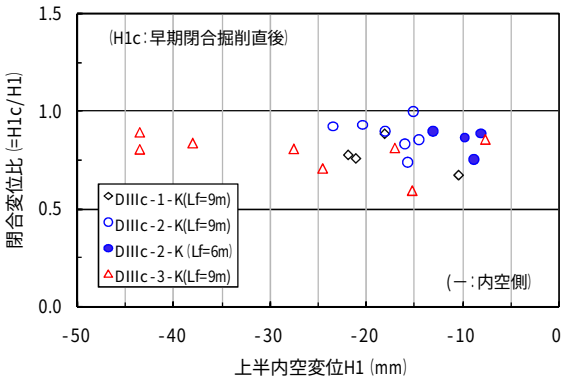

図-4(2) 閉合変位比 (H1c/H1)

・天端沈下 V は-25mm 以下で，管理基準値の-30mm 以下で収束する．内空変位は，H1，H2 ともに-45mm 以下であり，管理基準値の-50mm 以下で収束する．

・天端沈下 V は，早期閉合構造半径比(r3/r1)，早期閉合距離 Lf の違いによる有意な差はない．

・内空変位 H は，早期閉合距離 Lf が 9mから 6mに短くなると小さくなり，Lf の短縮は，内空変位抑制に有効である．(r3/r1)の違いによる変位差の有無は，不明である．

・補助ベンチ付き全断面掘削の H1 は，全断面掘削のものより大きい．全断面掘削の H2 は H1 と同程度であるが，補助ベンチ付き全断面掘削は H1 と H2 の変位差が大きい．

・Vc/V は 0.5～0.8 であり，早期閉合距離 Lf が短い 6mの方が若干大きくなり，早期閉合効果が高い．

・H1c/H1 は 0.75～0.9 であり，早期閉合距離 Lf の違いによる差は小さく，早期閉合による H2 抑制効果は V より高い．

・H1/V のトンネル変位比は，早期閉合距離 Lf を 9mから 6mに短くすると小さくなり，概ね 0.5 である．早期閉合構造半径比の(r3/r1)が 2.5 から 2.0 に小さくなると，H1/V は大きくなり，概ね 2.0 となる．

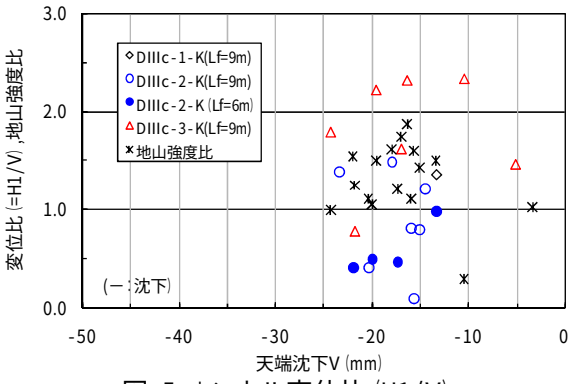

図-5 トンネル変位比 (H1/V)

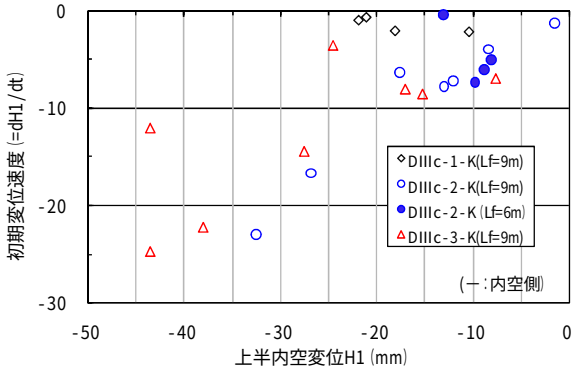

図-6 H1 と初期変位速度 (dH1/dt)

・H1 の初期変位速度は，概ね-10mm/day 以下である．これが-10mm/day を超えると，H1 は-25mm を超える．

６．まとめ

土被りが 3D 以下の強度不足地山に，曲面切羽による全断面機械掘削の早期閉合で施工し，早期閉合トンネルの挙動特性に関する知見が得られた．今後は，押出し性地山でこれらを確認する予定である．

1)西村和夫，城間博通，楠本太：早期閉合トンネル力学ﾊﾟﾗﾒｰﾀに関する考察， JSCE 第 66 回講演会，VI部門，2011.
2)中野清人，小川澄，楠本太，樽井稔：早期閉合トンネルの現状と挙動特性，トンネル工学報告集，pp.151-162，2011.