供用中トンネルにおけるインバート設置
Invert concrete construction in the tunnel in service

岡本　隆幸*　　荒川　哲平*
Takayuki Okamoto　　Teppei Arakawa
大谷　達彦**
Tatsuhiko Otani

要　約

供用中トンネル内において発生した盤膨れの対策工事として，2 車線トンネルを 1 車線ずつ車線規制しながら半断面施工でインバート設置を行った．トンネル規制内での狭小施工ヤードという条件や軟岩から中硬岩まで変化する地山条件に対応するため，国内初実績となる多機能型掘削機械の使用や，車線規制や車線開放に順応性がよい土留・防護柵分離型構造への変更を発注者と協議し採用した．また試験施工として，月曜日 6：00～金曜日 18：00 に一連のサイクルを施工して，土曜日，日曜日に 2 車線ともに開放する条件において，延長 10.5 m（半断面）の施工が可能であることを検証した．

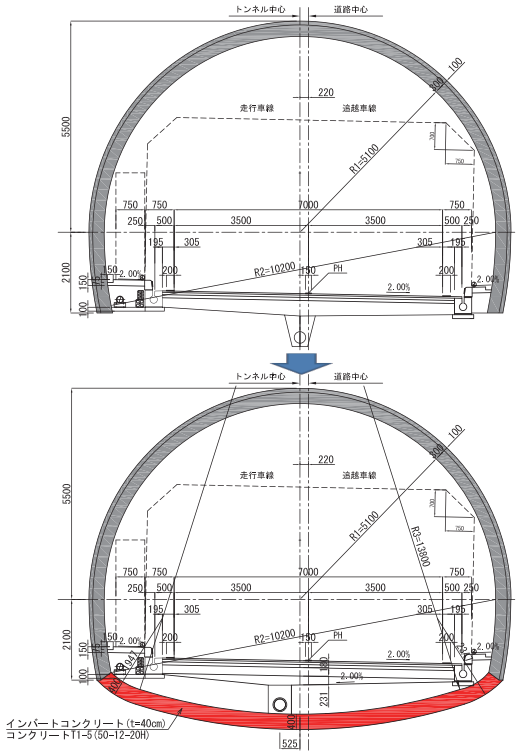
目　次

§1.　はじめに
§2.　盤膨れの発生要因
§3.　施工手順
§4.　サイクルタイム短縮の取組み
§5.　おわりに

§1.　はじめに

関加流山（あかるさん）トンネルは，上信越自動車道碓氷軽井沢 IC～佐久 IC 間に位置する．トンネル（下り線）内では，インバート未施工区間において，最大路面隆起量約 130 mm の盤膨れが発生した．その対策として，長期的なトンネルの健全性を確保するためインバート設置工事を行った（**図―1**）．

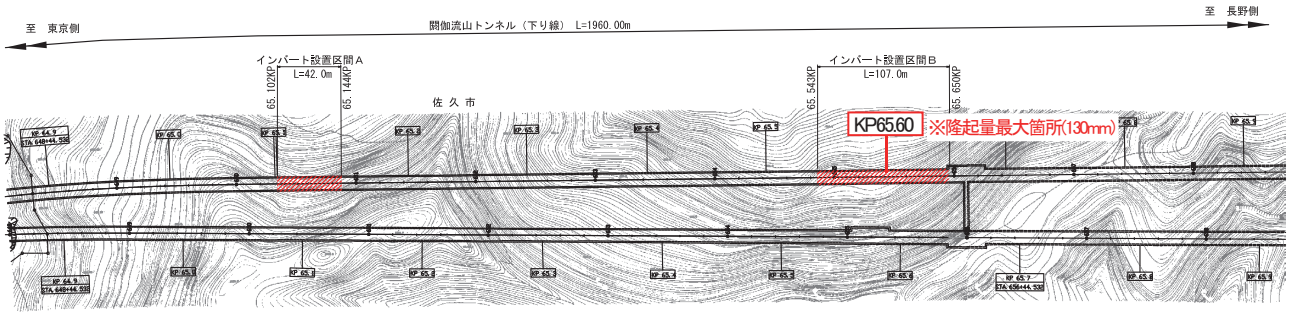
本工事は，2 車線トンネルを 1 車線ずつ昼夜連続規制しながら，半断面施工（**写真―1**）で行い，その対策延長は**図―2** および**図―3** の通り 149 m（42 m＋107 m）である．トンネル規制内での狭小施工ヤードにおいて，通行止めを行わずに施工するため，高速道路利用者の安全性の確保をしながらサイクルタイムを短縮するために，仮設計画，および使用機械等を検討し，施工を行った．本稿では，その施工実績について報告する．



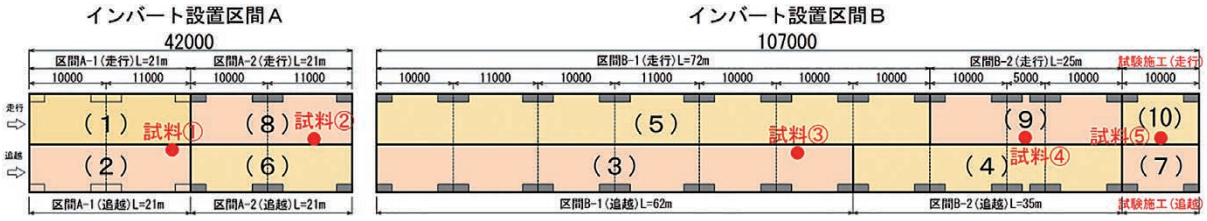
図―1　インバート補強標準断面図
（上段：対策前，下段：対策後）

写真―1　半断面施工状況（走行側施工時）

*　関東土木（支）佐久（出）
**　土木設計部



図―2　平面図



図―3　インバート設置位置図

※（番号）は施工順序を示す

表―1　地山試料試験結果

試験項目		試料①	試料②	試料③	試料④	試料⑤
採取位置		65.12KP付近	65.14KP付近	65.60KP付近	65.63KP付近	65.65KP付近
深度		1.6m付近	1.6m付近	1.6m付近	1.6m付近	1.6m付近
岩石名称		安山岩質凝灰角礫岩	安山岩質凝灰角礫岩	凝灰岩(赤)	凝灰岩	溶結凝灰岩(黒)
岩質区分		細粒分まじり砂質礫	細粒分まじり砂質礫	細粒分質砂質礫	細粒分まじり砂質礫	細粒分まじり砂質礫
含水比試験	自然含水比(%)	12.5	10.5	22.4	7.2	3.5
単位体積重量試験	(kN/m3)	26.6	26.8	27.7	26.7	25.9
浸水崩壊度試験		A・A・A・B・A	A・A・A・A・A	B・A・B・A・A	A・A・A・A・A	A・A・A・A・A
液性限界・塑性限界試験	液性限界(%)	–	38.2	67.2	34.2	–
	塑性限界(%)	–	23.6	37.7	20.8	–
	塑性指数	NP	14.6	29.5	13.4	NP
粒度試験	2μ以下粒度含有量(%)	5.3	7.3	19.7	4.6	4.4
膨潤度試験	吸水膨張率(%)	0.024	0.018	0.018	0.041	0.012
X線分析(スメクタイト)	不定方位	++ (中量)	+++ (多量)	+++ (多量)	++ (中量)	+ (少量)
	定方位	+++ (多量)	+++ (多量)	+++ (多量)	+++ (多量)	+++ (多量)
陽イオン置換容量試験	CEC試験(meg/100g)	13.2	30.3	54.2	26.1	31.9
一軸圧縮強度	(MN/m2)	68.48	75.41	10.08	33.26	36.66
静弾性係数E_{50}	(MN/m2)	33217	37273	変形係数 5861.4	18918	26496
ポアソン比		0.249	0.232	測定不可	0.224	0.289
試料採取年月日		2017.6.30	2018.6.29	2017.12.6	2018.6.25	2018.7.24

表―2　盤膨れ判定指標

項目	細目	単位	JH判定基準(案)
物理試験	単位体積重量	kN/m3	≦21
	自然含水比	%	≧20
	塑性指数	%	≧60
	2μm以下の粒子の含有量	%	≧25
	吸水膨張率	%	※1〔≧2.0〕
定性試験	浸水崩壊度試験	–	C,D
科学試験	X線回析	–	
	CEC試験	meg/100g	≧20

※1：〔〕は既往文献の管理値から採用するもの

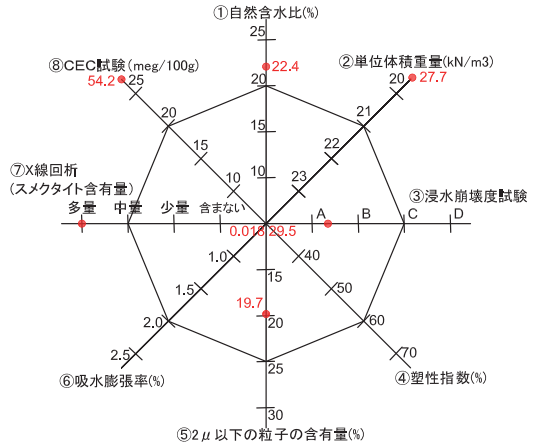
§2.　盤膨れの発生要因

地質は，安山岩溶岩，凝灰岩を主体とし，全体的には安定した岩盤であったが，最大路面隆起量の発生した65.60 KP 付近（**図―2** 参照）では，構成粒子が赤褐色に変色しており，細粒分が多く含まれていた．

地山試料試験結果（**表―1, 図―4**）では，65.60 KP 付近（試料③）は，X 線回析において，スメクタイト含有量が多量であり，CEC 試験値も 54.2 meg/100 g と膨張性の目安となる数値（**表―2**）を大きく上回った．

一方，膨潤度試験結果において吸水膨張率が 0.018％と極めて小さな値であることから，地山の吸水膨張は起こりにくく，浸水崩壊度試験結果が「A～B」であることから急速スレーキングも起こりにくい結果であった．

これらの条件から，今回の盤膨れの発生要因は，スレーキングによるトンネル地山の経年劣化であったと考えられる．

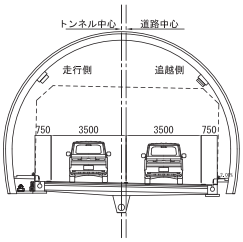


図―4　地山試料試験結果（65.60 KP 付近）

§3.　施工手順

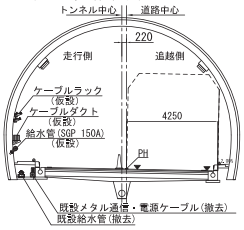
インバート設置工事の概略施工手順を**図―5** に示す．本工事は，トンネルセンターに土留杭を打設し，半断面施工で走行側施工，追越側施工を繰り返し，インバートの閉合を行った．

STEP0：着工前



STEP1：支障移転工事（走行側施工）

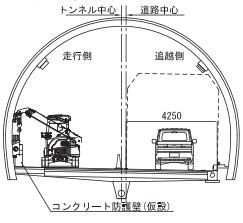
供用線幅員；4.25m



支障移転工事
(1)給水管切回し
(2)ケーブルダクト撤去
(3)ﾒﾀﾙ通信・電源ｹｰﾌﾞﾙ切回し
※別途工事

STEP2：ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁設置（走行側施工）

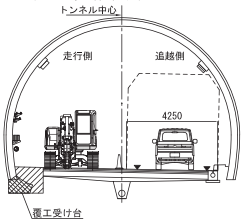
供用線幅員；4.25m



(1)円形水路−管路−監視員通路−縁石
既設給水管の撤去
(2)仮舗装
(3)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁設置
(4)規制開放（規制抑制期間）

STEP3：覆工受けｺﾝｸﾘｰﾄ先行施工（走行側施工）

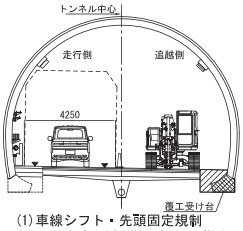
供用線幅員；4.25m



(1)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁撤去
(2)覆工受け台掘削工
(3)覆工切欠き工
(4)覆工受け台コンクリート打設工
(5)仮舗装
(6)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁復旧
(7)規制開放（規制抑制期間）

STEP4：覆工受けｺﾝｸﾘｰﾄ先行施工（追越側施工）

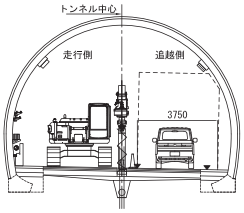
供用線幅員；4.25m



(1)車線シフト・先頭固定規制
(2)円形水路−監視員通路−縁石撤去
(3)覆工受け台掘削工
(4)覆工切欠き工
(5)覆工受け台コンクリート打設工
(6)仮舗装
(7)先頭固定規制・車線シフト復旧
(8)規制開放（規制抑制期間）

STEP5：土留め杭先行施工（走行側施工）

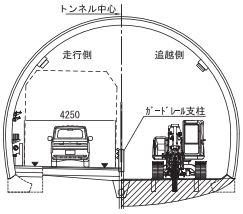
供用線幅員；3.75m



(1)車線シフト・先頭固定規制
(2)ｱｽﾌｧﾙﾄ舗装コア抜き
(3)排水ピット設置工
(4)親杭設置工(土留･防護柵分離型構造)
(5)仮舗装
(6)先頭固定規制・車線シフト復旧
(7)規制開放（規制抑制期間）

STEP6：インバート掘削（追越側施工）

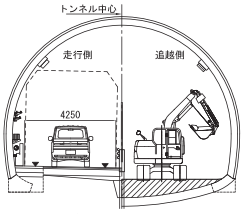
供用線幅員；4.25m



(1)車線シフト・先頭固定規制
(2)ｶﾞｰﾄﾞﾚｰﾙ支柱・ﾋﾞｰﾑ設置
(3)インバート掘削（多機能型掘削機）
※地山強度に応じてｱﾀｯﾁﾒﾝﾄを選定
(4)中央排水工撤去工
(5)鋼アーチ支保工設置
(6)インバート打設工

STEP7：インバート埋戻し（追越側施工）

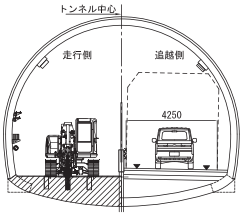
供用線幅員；4.25m



(1)インバート埋戻し工
(2)横断排水工設置工
(3)ｶﾞｰﾄﾞﾚｰﾙ支柱･ﾋﾞｰﾑ撤去
(4)仮舗装
(5)先頭固定規制・車線シフト復旧
(6)規制開放（規制抑制期間）

STEP8：インバート掘削（走行側施工）

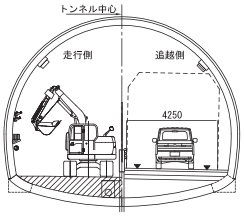
供用線幅員；4.25m



(1)車線シフト・先頭固定規制
(2)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁撤去
(3)ｶﾞｰﾄﾞﾚｰﾙ支柱・ﾋﾞｰﾑ設置
(4)インバート掘削（多機能型掘削機）
※地山強度に応じてｱﾀｯﾁﾒﾝﾄを選定
(5)鋼アーチ支保工設置
(6)インバート打設工

STEP9：インバート埋戻し（走行側施工）

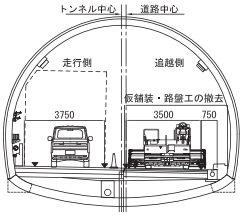
供用線幅員；4.25m



(1)インバート埋戻し工
(2)中央排水工の設置工
(3)横断排水工設置工
(4)ｶﾞｰﾄﾞﾚｰﾙ支柱･ﾋﾞｰﾑ撤去
(5)仮舗装
(6)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁復旧
(7)先頭固定規制・車線シフト復旧
(8)規制開放（規制抑制期間）

STEP10:本復旧工（追越側施工）

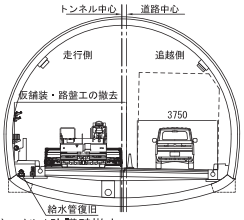
供用線幅員；3.75m



(1)車線シフト・先頭固定規制
(2)円形水路、縁石、監査廊の設置工
(3)粒状路盤工・セメント安定処理路盤工
(4)本舗装（表層:仮舗装）
(5)先頭固定規制・車線規制切替

STEP11:本復旧工（走行側施工）

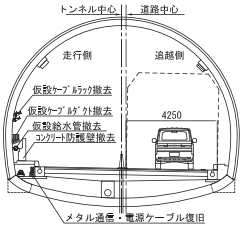
供用線幅員；3.75m



(1)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁撤去
(2)円形水路、縁石、管路、監査廊の設置工
給水管復旧
(3)粒状路盤工・セメント安定処理路盤工
(4)本舗装(表層:仮舗装)
(5)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁復旧
(6)外側線の標示工
(7)先頭固定規制・車線シフト復旧
(8)規制開放（規制抑制期間）

STEP12:施設物復旧工事（走行側施工）

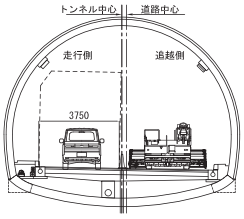
供用線幅員；4.25m



(1)ﾒﾀﾙ通信・電源ｹｰﾌﾞﾙ復旧
(2)ｺﾝｸﾘｰﾄ防護壁撤去・搬出
(3)仮設ﾒﾀﾙ通信・電源ｹｰﾌﾞﾙ撤去
(4)仮設ｹｰﾌﾞﾙﾀﾞｸﾄ・ﾗｯｸ撤去
(5)仮設給水管撤去

STEP13：切削オーバーレイ（追越側施工）

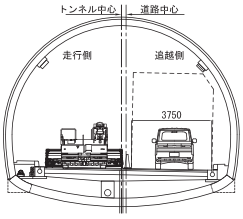
供用線幅員；3.75m



(1)追越側車線規制
(2)追越側　切削オーバーレイ(表層)
(3)先頭固定規制・車線規制切替
(追越⇒走行)

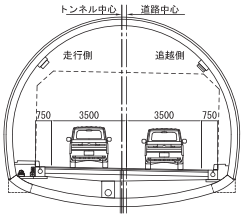
STEP14：切削オーバーレイ（走行側施工）

供用線幅員；3.75m



(1)走行側　切削オーバーレイ(表層)

STEP15：完　了



(1)車線規制の解除
(2)供用開始

図―5　概略施工手順図

§4. サイクルタイム短縮の取組み

4—1　サイクルタイム短縮案

本工事における昼夜連続規制では，渋滞緩和の観点から夏季・冬季・ゴールデンウィーク休暇，及び3連休が抑制期間（2車線開放する期間）となり，連続して施工できる期間(抑制期間から抑制期間までの施工可能期間)が短縮した．そのため，サイクルタイムの短縮方法について，発注者と打ち合わせ・検討を重ねた結果，インバート設置工事の一連の施工サイクルの内，以下2工種の先行施工を行うことで，サイクルタイムの短縮を図ることとした．

①覆工受けコンクリートの先行施工

覆工受けコンクリートとは，覆工下方を全スパン同時に掘削すると，覆工コンクリートが沈下するため，その防止対策として，覆工目地部に先行して設置するものである（**図—6**）．当初の施工サイクルでは，覆工受けコンクリートを設置後，引き続き，インバート掘削を行うものであった．

しかしながら本工事では，連続施工期間が短いときに，覆工受けコンクリートを全箇所先行設置した後，埋戻し・仮舗装を行い，一度規制開放しておくことにより，その後に行うインバート本体施工時の工種を減らすことでサイクルタイムを短縮した．

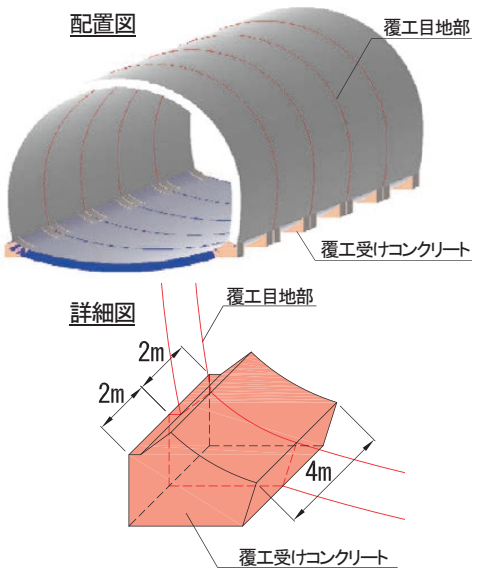
②親杭の先行施工（土留・防護柵分離型構造の採用）

親杭は土留の機能の他に，**写真—2**の通りガードレールの支柱としての機能がある．当初の施工サイクルでは，土留・防護柵一体型構造であったため，親杭打設後，インバートの閉合を行い，ガードレール支柱を切断・撤去しなければ規制開放ができず，連続施工期間が長く確保できない期間は施工不可能であった．分離型構造では，親杭打設後，ガードレール支柱を取付けずに，①と同様，仮舗装を行い一度規制開放することが可能なため，連続施工期間が短いときに，親杭の先行施工を行うことでサイクルタイムを短縮した．分離型構造における土留杭とガードレール支柱の接合はボルト接合とした．HH-200の親杭に対し，**図—7**の通りガードレール支柱をNH-250とすることでボルト締付けスペースを確保した．

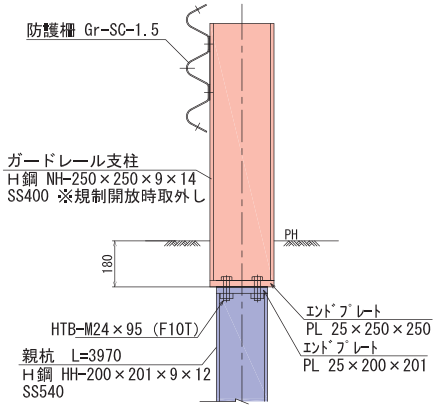
①覆工受けコンクリートの先行施工，②親杭の先行施工を行うことで，インバート施工効率を向上させ，連続施工期間を長く確保できない条件においても施工を可能にした．**表—3**に施工実績を示す．

4—2　掘削機械の選定

供用中トンネル車線規制内での作業となるため，作業幅員が狭く，機械同士の離合およびバックホウの旋回が制限された．また，掘削する地盤強さは，盤膨れ箇所は軟岩程度であるが，端部では中硬岩程度の硬質（一軸圧縮強さは10 MPa～80 MPa程度）であり，軟岩と中硬岩が混在していた．



図—6　覆工受けコンクリート配置図



図—7　土留・防護柵分離型構造詳細図

写真—2　土留設置状況

表—3　施工実績

インバート施工能力(工期全体での実稼働率を考慮)	
先行施工なしの場合	先行施工ありの場合
7.0　m/月	14.5　m/月
(10.68m/月×65.3%)	(22.26m/月×65.3%)

※ 月進は，半断面施工の実績を両断面に換算した数値を示す．
実稼働日での月進に，工期全体での稼働率65.3%を乗じた値を比較した．

※ ”先行施工ありの場合”には，覆工受けコンクリートおよび親杭の先行施工に要した日数は含まない．

ホイールカッター

チルト機能付き縦型ブレーカー

ローテーション機能付き
ドラムカッター

写真―3　アタッチメント使用状況

これらの条件に対応するため，0.45 m^3 級ショートリーチバックホウをベースマシンとした，地山状況に応じて3種類のアタッチメントを交換することが可能な，多機能型掘削機械を選定した（**写真―3**）．また，アタッチメントの交換には3種類のアタッチメントをワンタッチで切替可能とする切替装置（オイルクイック）を採用した．

なお，本掘削機械は国内で実績がなかったため，現場導入前に，本工事箇所と地質が類似し，地盤強度が同程度である試験ヤードにおいて，掘削能力や有効性について発注者と検証を行い協議した結果，採用に至った．

ホイールカッターは溝掘り用のアタッチメントであり，開放面を作ることで硬質な地盤での掘削効率の向上を図った．チルト機能付き縦型ブレーカーは左右50°ずつ油圧で曲がるチルト機能を有しているため正面から打撃困難な狭小施工ヤードにおいても最適な打撃が可能であった．また，ローテーション機能付きドラムカッターは360°旋回可能なため最適な切削面を確保できた．これら3種類のアタッチメントを地山状況に応じて切り替えることにより，掘削を効率化した．アタッチメントの選定は，地盤強度により**表―4**を標準としたが，掘削地盤の割れ目の量，方向による影響が大きいため，それに応じて切り替えを行った．

切替装置（オイルクイック）の採用により，機械同士の離合を行わず，短時間で安全にアタッチメントの交換を行うことが可能であった．

4―3　試験施工（土日開放）

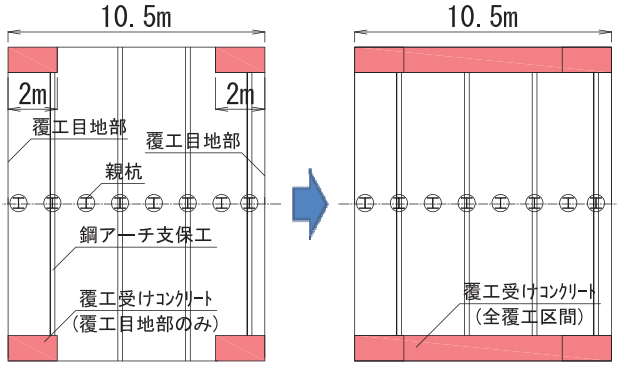
今後行われるインバート補強工事の中には，渋滞緩和の観点から，毎週土曜日，日曜日に規制開放を要するものが見込まれている．本工事において，試験的にそのモデル空間を設定し，インバート本体工事の検証を行った．試験施工に際し，以下項目の検討を行った．

まず，前節4―1①で示した覆工受けコンクリートの設置位置を見直し，**図―8**の通り全覆工区間に変更し，先行設置することでインバート本体工事期間に施工する工種の省力化を図った．**表―5**にこの変更による省力化可能工種を示す．

次に前節4―2で採用した掘削機械を用いた，最適な掘

表―4　アタッチメント選定表

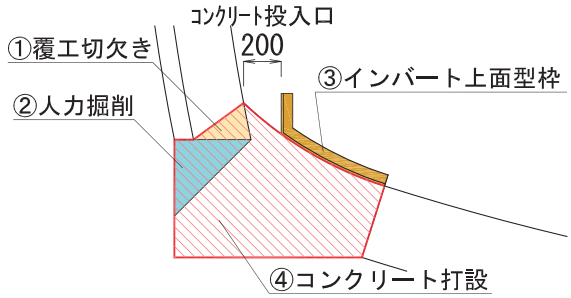
地盤強度	アタッチメント
40MPa以下	ローテーション機能付きドラムカッター
40MPa～80MPa	ホイールカッター+チルト機能付き縦型ブレーカー
80MPa以上	チルト機能付き縦型ブレーカー

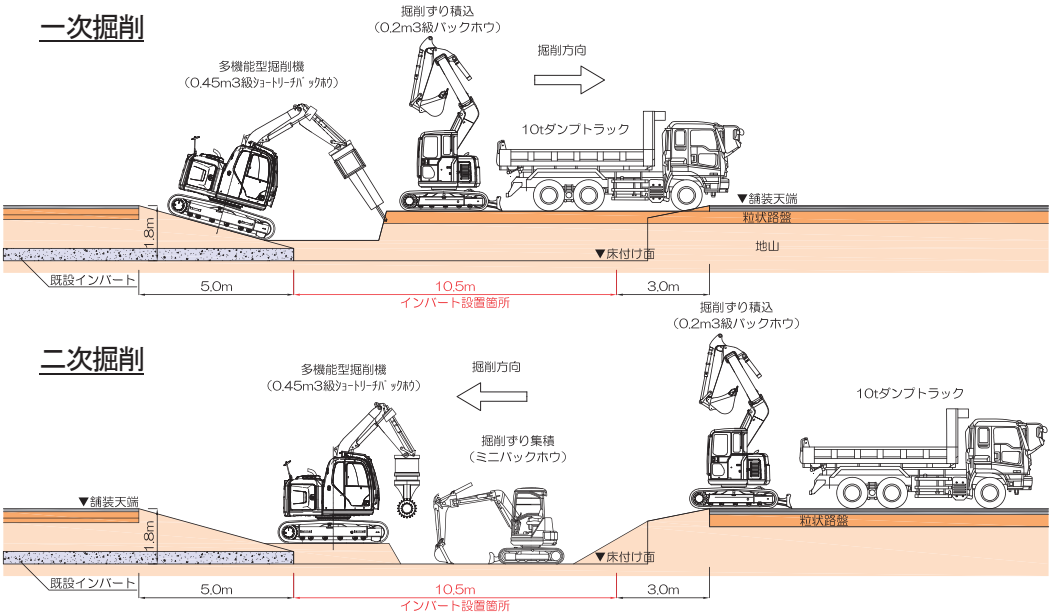


図―8　覆工受け設置位置変更図

表―5　省力化可能工種

省力化可能工種	
①	覆工脚部切欠き作業
②	覆工脚部人力掘削作業
③	コンクリート上面型枠作業
④	覆工受け部コンクリート打設作業





図―9　掘削機械の編成

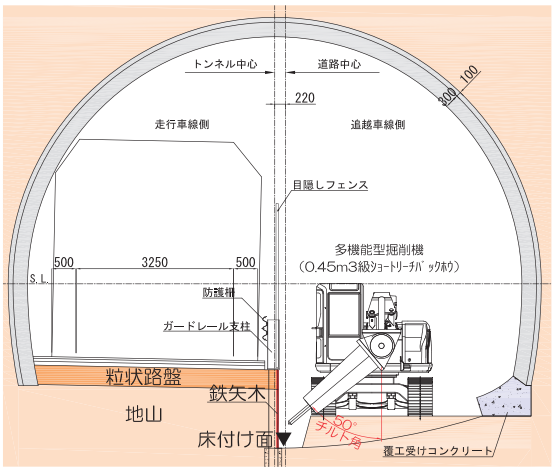
削方法及び機械編成の確立を図った．**図―9** に試験施工掘削時（追越側）における，機械編成を示す．掘削土量は約 80 m^3（地山土量）であった．一次掘削においては，積込機械（0.2 m^3 バックホウ）旋回範囲内毎に，ホイールカッター及びチルト機能付きブレーカーを使用し，車両進行方向に掘削を行った．親杭の横約 50 cm は床付け面まで掘削を行い，鉄矢木を一間ずつ設置しながら掘削を行った（**図―10**）．二次掘削においては，ドラムカッターにて掘削を行った．掘削機械が床付け面を走行する場合，床付け面が R 形状となるため，掘削機械が傾き，ガードレール支柱と接触するため，車両進行方向逆向きに掘削を行った．10 t ダンプトラック，及び積込機械は舗装版上に配置した．また，積込機械の旋回範囲まで掘削ずりを移動するため，掘削箇所にミニバックホウを投入した．

走行車線側，追越車線側それぞれにおいて，施工サイクルおよび施工に必要な時間・日数について検証した結果，昼夜連続規制：月曜日 6：00～金曜日 18：00 において，延長 10.5 m（半断面）の施工が可能であることを確認した（**表―6**）．

§5. おわりに

盤膨れ対策工事では，隆起箇所の掘削地盤は軟質であるが，硬質の岩盤が混在する場合が考えられる．また，供用中トンネル内では，一般通行車両の他に，照明，電源ケーブル，給水管など様々な供用施設物と近接施工となる．今回採用した国内初実績となる多機能型の掘削機械は，その特異な条件下でも施工を可能とする掘削機械として，今後行われる同種工事の選択肢の一つになると考える．

また，今回試験施工で採用した覆工受けコンクリートの全覆工区間先行施工は，インバート本体施工時の工種を大幅に省力化できる他に，地盤強度や湧水状況を事前に把握できる点や，作業員に対しては本掘削前の慣らし期間となる点から非常に有効な施工手順となると考える．



図―10　一次掘削状況断面図

表―6　試験施工実施工程表

	月	火	水	木		金
昼	防護柵設置	掘削	ｺﾝｸﾘｰﾄ打設	路盤	防護柵撤去	仮舗装
夜	掘削	鋼製支保工	埋戻し	路盤		

土留・防護柵分離型構造の採用は，車線開放を行う上で必要不可欠なものであったが，同種工事で採用する際は，トンネル断面等の現場条件に留意する必要がある．

本報告が今後の供用中のインバート設置工事の参考になれば幸いである．

最後に，計画・施工を進めるにあたり，施工実績の少ない工法に対しても，柔軟に対応して頂いた東日本高速道路株式会社をはじめ，本工事の課題に対しご指導，ご協力いただいた関係者の皆様に，ここに改めて謝意を表します．