近接するⅠ期線トンネルへの影響を考慮した制御発破

西松建設株式会社　中国支店　正会員　　○曽根　陽生

1．はじめに

本トンネルは，平成14年3月に暫定2車線で供用した休山トンネルⅠ期線と並行して計画されたⅡ期線トンネル全延長L=1704mのうち，阿賀側L=1014m(坑門工含む)の新設工事である．

新設するⅡ期線トンネルは，坑口部直上の周囲に多数の民家が存在し，地表面沈下の抑制やⅠ期線トンネルの坑内変位を考慮し，全断面早期閉合にて掘削を開始した．坑口より150m付近においては，切羽全体に硬質な花崗岩が現れ，掘削進行が著しく低下した．当初，割岩工法を採用し一定の効果が得られたが，進行に伴い切羽の推定一軸圧縮強度が80MPaにも達し，工事費用の高騰，工程遅延が懸念された．

このような状況から，当初設計された発破掘削開始位置より早期に発破掘削を開始した．しかし，供用中のⅠ期線トンネルへの影響を最小限に抑える必要から，発破振動の低減対策ならびに計測管理が重要であった．本報では，その計画と施工について報告する．

2．Ⅰ期線トンネルへの影響課題と対策結果

(1) 既設トンネルとの近接施工

既設トンネルは4万台/日の交通量があり，発破振動の影響により覆工コンクリートの剥落など，第3者災害を引き起こすことが懸念された．このため，図-1に示す既設トンネルへの影響管理フローに則って施工した．発破振動の管理目標値は，既設トンネルの健全度から3.0kine以下と設定し，制御発破で利用する雷管は，現場で秒時設定が変動可能な電子遅延式雷管を採用した．秒速設定は，事前検討による地山状況把握により秒時間隔を12msに設定した．施工時は，速度計を既設トンネル覆工に30m間隔で設置し，計測管理によって発破振動予測で利用するK値を逆算しながら，斉発量などを管理した．

図-2に示すように，発破振動の管理目標値を満足すると共に，施工後の覆工調査から，既設トンネルへの影響が無いことを確認した．

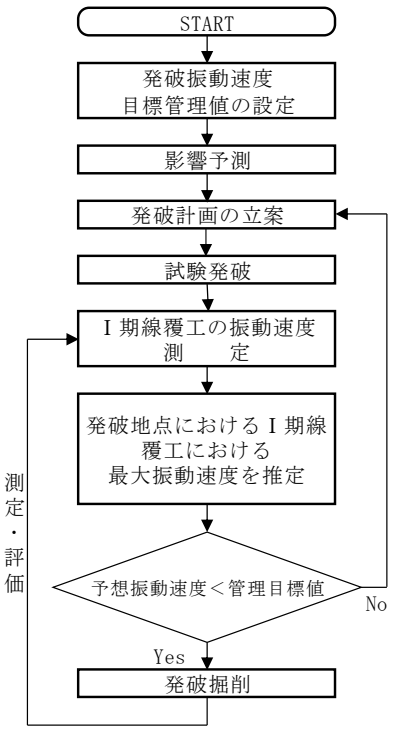

図-1　施工管理フロー

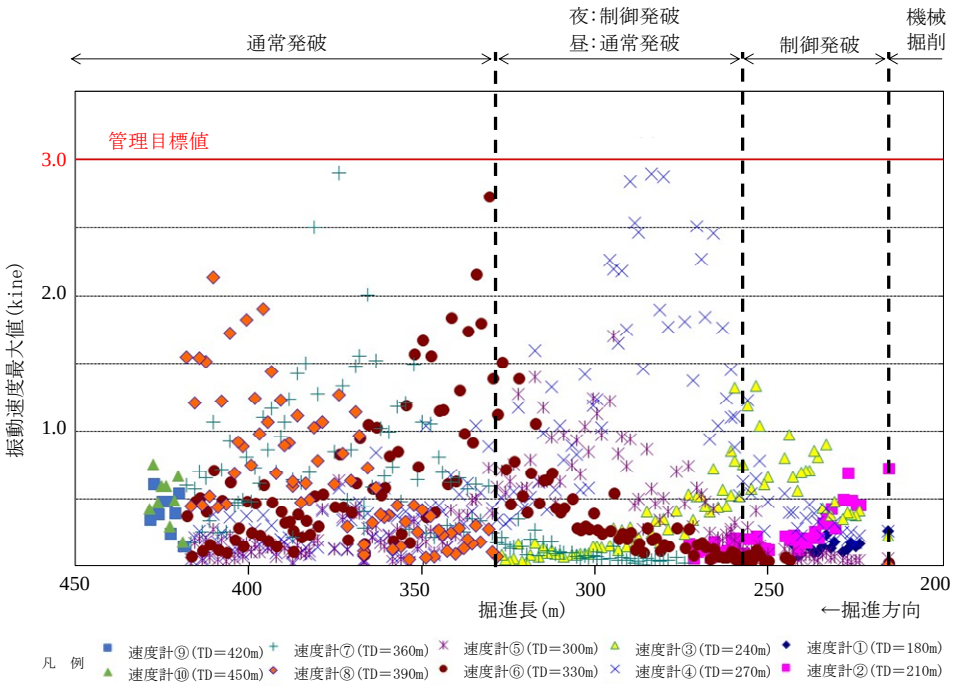

図-2　振動測定結果と掘進距離の関係

キーワード　近接施工，発破掘削，発破振動，制御発破，電子遅延式電気雷管
連絡先　〒730-8589 広島県広島市中区国泰時 2 丁目 2 番 28 号　西松建設（株）中国支店　ＴＥＬ082-247-9298

(2) 既設換気横坑の直下横断

本トンネルは，図-2に示す既設換気横坑の直下3.0mを掘削する計画であり，掘削による影響により換気横坑の機能が損なわれることが懸念された．

T.D.710mにおける最も近接する地点で発破を実施した場合の換気横坑床版で振動予測に際し，これまでの振動測定結果に基づいて逆算したK値を用いて実施した結果を表-1に示す．表-1から，通常発破の斉発量では，40kineを超える振動が予測され，コンクリートにひび割れが発生する振動速度である30kine程度を大幅に上回ることが想定された．このため，換気横坑横断部付近では制御発破を利用して細心の注意を払って掘削した．

表-1　換気横坑床版での振動予測値

発破方法	距離 (m)	段当り薬量 (m)	予測値 (kine)	備考
通常発破	5.4	4.8	44.5	
制御発破	5.4	0.8	23.8	EDD雷管使用

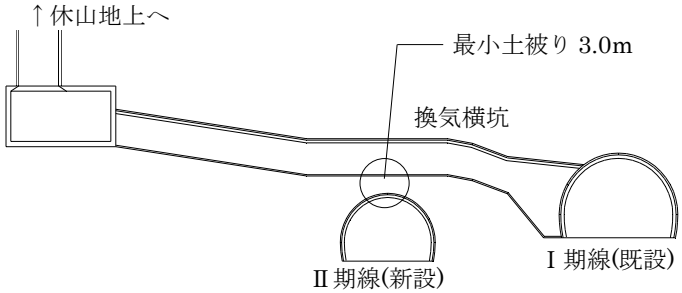

図-2　換気横坑縦断図

(3) 既設トンネルに向かい掘削する避難連絡坑の新設

T.D.500m付近の避難連絡坑の施工では，既設トンネルに向かいL=15.6mを新規に掘削し，既設トンネル施工時に部分的に施工されたL=3.5mに接続する．避難連絡坑付近の地山は，堅硬な岩盤（支保パターンB相当）であり，多くの火薬量が必要となるため，供用中の既設トンネルへの影響に加え，貫通時の掘削による岩盤の飛散による交通阻害が懸念された．

しかし，避難連絡坑の掘削はⅠ期線の通行を規制することなく発破掘削を施工することから，準備工として既設トンネルへの飛散防護対策を施し，振動計測機は貫通位置に増設した．また，発破効率と経済性を考慮して可能な限り通常発破（DS電気雷管）の使用を前提として掘削の計画を実施した．通常発破は，既設トンネル覆工において3.0kine未満の範囲まで施工し，以後を制御発破に移行して実施した．さらに，貫通付近では機械掘削を採用した．

ここで、Ⅰ期線覆工で計測した代表的な振動速度波形として，通常発破（DS 電気雷管 10 段）と制御発破（電子遅延式電気雷管 1 孔 1 段）に別けて図-3 に示す．通常発破では，心抜きで最大速度が発生していることに対し，制御発破では，先行起爆孔と後続起爆孔の振動波形が重なり合うことによる振動増幅を回避することで，最大速度が小さくなっている．

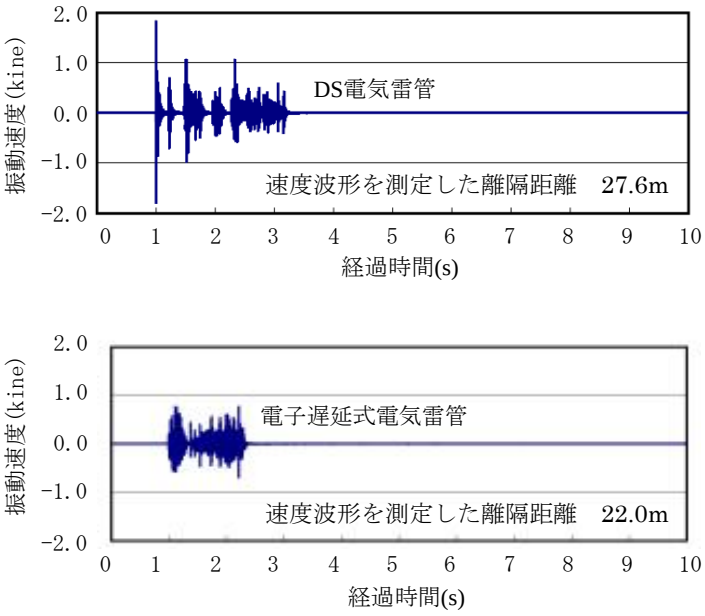

図-3　振動速度波形図

3. まとめ

本トンネルの施工では，リアルタイムの計測結果を施工にフィードバックすることにより，速やかに発破掘削の実施方法を変更し，既設トンネルへ影響を与えることなく掘削を完了した．

休山トンネルⅡ期線は平成30年1月に無事貫通し，供用開始に向けて現在も施工中である．本件の成果が，今後の同種の近接施工の僅かながらの一助になれば幸いである．