

石積擁壁と最小離隔1mで供用中のトンネルが 近接する新設トンネルの設計・施工

榎田 敦之¹・河原 幸弘¹・森下 光治²・鷲尾 寛¹

¹正会員 株式会社エイト日本技術開発 関西支社 (〒532-0034 大阪市淀川区野中北一丁目12-39)

E-mail:enokida-a@ej-hds.co.jp

²非会員 株式会社エイト日本技術開発 関西支社 (〒532-0034 大阪市淀川区野中北一丁目12-39)

福島第3トンネルは、坑口上部の石積擁壁と供用中の既設トンネルが近接した新設の2車線道路トンネルである。技術課題は、石積擁壁に対しては地表沈下対策と地山のゆるみ抑制であり、既設トンネルに対しては近接施工対策であった。本来であれば、現交通を迂回させたあとで地表の石積擁壁や既設トンネルから対策を行うほうが、経済性ならびに安全性の観点から望ましい。しかしながら、種々の制約条件により既設トンネルを供用しながらの施工を余儀なくされ、新設トンネル坑内からの対策に限定する必要があった。そこで、設計時においては二次元FEM解析を用いたトンネル補助工法ならびに計測計画と安全対策を計画した。また、施工管理時においては計測結果の分析に基づく対応策を提案した。

Key Words : retaining wall, existing tunnel, adjacent, measurement, security precation

1. はじめに

岐阜県と富山県を南北に縦断する国道156号は、図-1に示すように、地域住民の唯一の生活道路のほか第1次緊急輸送路として重要な役割を担っている。また、平成7年に世界遺産に登録された白川郷五箇山の合掌造り集落を行き来する観光バスを含む大型車の交通量が多い道路である。

既設の福島第3トンネル（以下、既設トンネルと称す）は御母衣ダム堤体の左岸域の山腹斜面に位置している。既設トンネルは線形が悪く総幅員が6.5m程度と狭いため、写真-1に示すように大型車同士のすれ違いが困難であった。高山市側坑口周辺の平面図を図-2に示す。この図に示すように、延長316mの既設トンネルの高山市側坑口部には、延長30m程度のスノーシェッドと延長234mの福島第2トンネルが接続されており、閉鎖空間が長く見通しが悪い。また当該地域は岐阜県内でも有数の豪雪地帯である。これらのことから、過去には車両事故も発生している状況であった。

以上の状況から、渋滞の緩和や事故の撲滅を目的に、ダム側への2車線新設トンネル（以下、新設トンネルと称す）が計画された。新設トンネルの標準断面図を図-3に示す。新設トンネルは延長339m（プレキャスト区間43mを含む）、最大土被り約50m、総幅員7.0m（車道3.0m、路肩0.5m）、掘削幅Dは10.5m程度である。既設

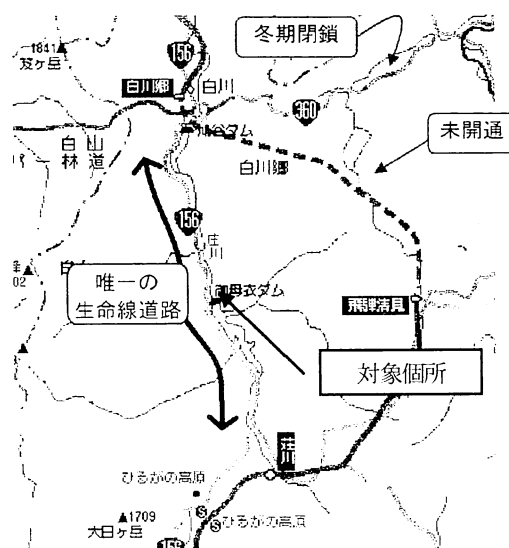


図-1 位置図（平成17年当時）



写真-1 既設トンネルの大型車すれ違い状況

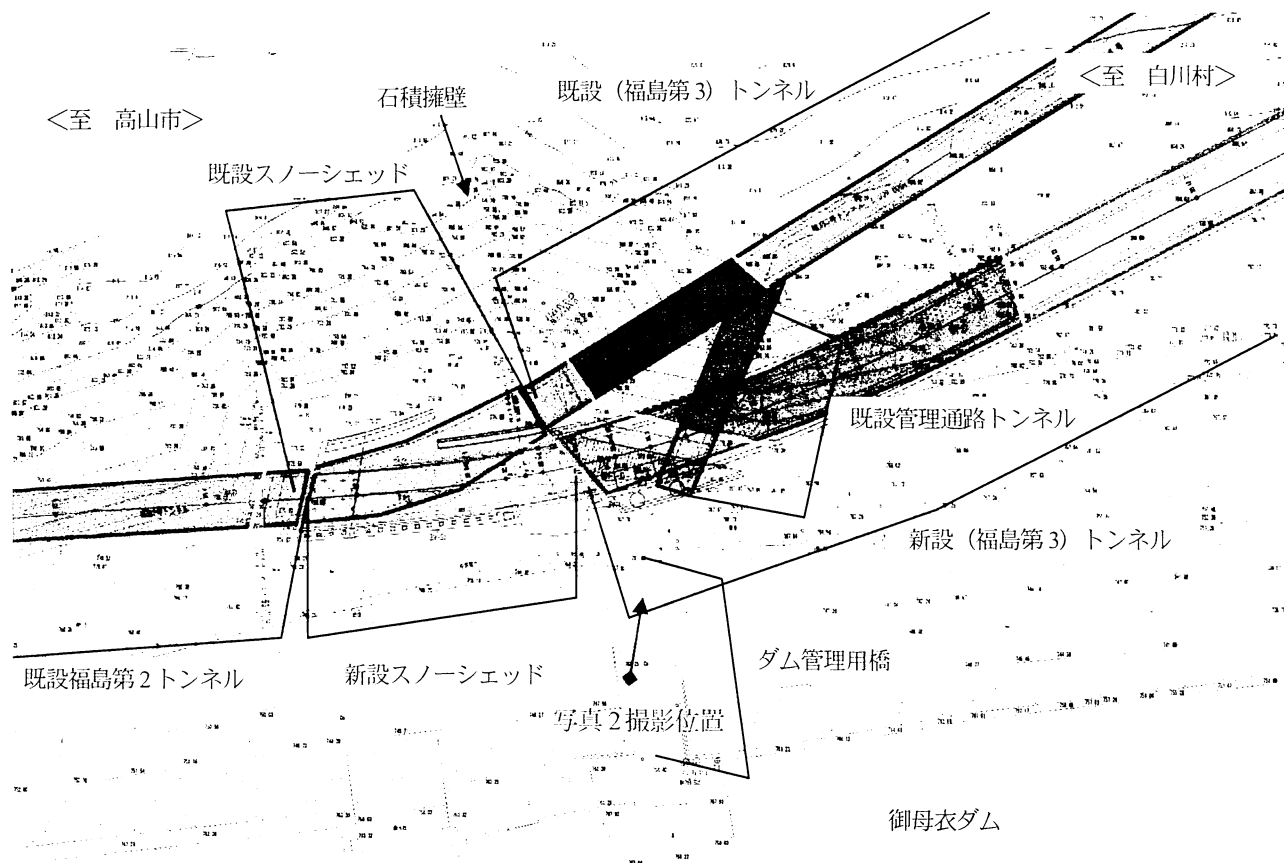


図-2 高山市側坑口周辺の平面図

トンネルは新設トンネルの供用後に廃道となる。

筆者らは、新設トンネルの詳細設計業務と施工管理業務に携わってきた。新設トンネルの上部には構造が不安定な石積擁壁を有し、かつその隣には最小離隔1mで供用中の既設トンネルが並走している。本報文は、石積擁壁と既設トンネルの保全という技術課題に対し、詳細設計時における対策工の検討、計測計画、安全対策をはじめ、施工管理時における計測結果の分析と分析結果に基づき実施した対応策について報告するものである。

2. 地形および地質概要

当該地は、御母衣ダム堤体の左岸域にあたり、付近にはダムの貯水庫である御母衣湖を有する。周辺の地域は急峻な山地形を呈し、国道156号はこの山腹斜面に沿って庄川と並走している。当該地の東側は飛騨高地、西側は両白山地があり、庄川はこれら山地の境界付近に位置する。既設トンネル付近の地形は、40～50°程度の急傾斜面を形成している。トンネル直上の斜面は、自然斜面のほか、コンクリート擁壁、石積擁壁、モルタル吹付け法面を有する。

当該地に分布する地層は、庄川複合岩帯のうちのシツ谷層と御母衣岩体である。シツ谷層は濃飛流紋岩類より

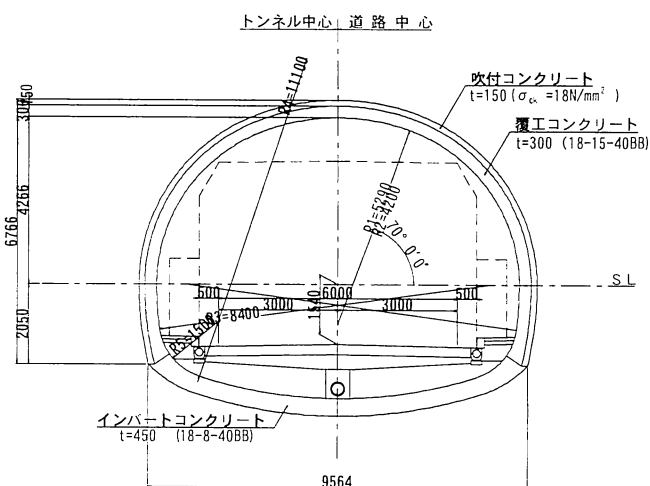


図-3 新設トンネル標準断面図 (D I)

形成時期が新しい火山砕屑岩、御母衣岩体は白川花崗岩であり、トンネル通過部には流紋岩質凝灰岩が分布している。流紋岩質凝灰岩は、一般に新鮮部硬質であることを特徴としているが、当該地の流紋岩質凝灰岩は、風化、破碎の影響を受け割れ目が多く発達し、土砂～角礫状を呈している。一軸圧縮強度は室内試験から45～219N/mm²が得られている。また、付近には御母衣断層系が分布している。

3. 技術課題と問題点

(1) 石積擁壁

当該地は、写真-2に示すように、トンネル坑口上部に最大6段の石積擁壁を有している。この石積擁壁は観光客の写真撮影の対象として親しまれてきた。

技術課題は、新設トンネル建設時において地表沈下対策と地山のゆるみ抑制により石積擁壁を保全することであった。課題解決を阻害する問題点は以下が挙げられた。

- ① 石積擁壁の張替えは景観保護の観点からダム管理者から許可されず、現状を維持する必要がある。
- ② 石積擁壁は経年劣化による風化が進行し、かつ空積み工法であり不安定であった。
- ③ 石積擁壁の崩壊現象の予測が難しい。

(2) 既設トンネル

既設トンネルは、昭和30年代に在来工法にて建設され老朽化が著しかったが、過去に覆工背面空洞の裏込め注入やアーチ部にRC巻立て補強が実施されており、設計当時は比較的安定していた。一方、新設トンネルの線形が、用地などの制約条件により既設トンネルとの離隔が最小離隔1.0mに近接した位置に確定されており、近接施工による既設トンネルへの影響が懸念された。

技術課題は、新設トンネル建設時において最小離隔1.0mの近接施工に対する対策により既設トンネルを保全することであった。課題解決を阻害する問題点としては以下が挙げられた。

- ④ 周辺に迂回路がなく観光路線であるため24時間全面交通止めができない。したがって既設トンネルを供用しながらの施工を余儀なくされた。
- ⑤ 偏圧地形、亀裂が多い地山条件下における複数トンネル掘削によるゆるみ相互干渉が懸念された。
- ⑥ 地表の石積擁壁は景観保護、既設トンネルは供用中であることから、地表や既設トンネルから新設トンネルに向けての対策が不可で新設トンネル坑内からの対策に制約された。

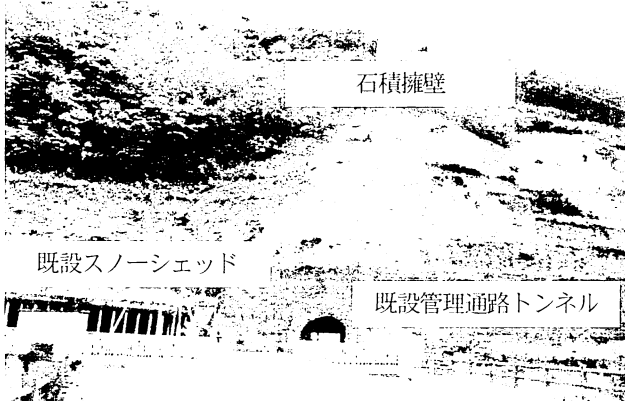


写真-2 ダム管理用橋から石積擁壁側を望む

- ⑦ 新設トンネルと既設トンネルとの中間地山に対する新設トンネル坑内からの確実な改良。

これまでに述べてきた技術課題と課題解決を阻害するボトルネックのイメージ図を図-4に整理する。石積擁壁の課題は地表沈下対策および地山のゆるみ抑制、既設トンネルの課題は近接施工対策であり、これらの技術課題に対して上記に示す問題点①～⑦を解消しながら検討を進める必要があった。

4. 設計時の解決策提案

(1) 石積擁壁

a) 管理目標値

石積擁壁には特に基準類で決められた管理目標値はない。しかしながら石積擁壁をとりまく状況を考慮すると安全側に配慮し厳しい管理目標値を設定する必要があると考えた。そこで、建築基礎構造設計指針¹⁾に示されているコンクリートブロック造の連続(布)基礎の即時沈下の場合の15mmを地表沈下量の管理目標値に設定した。

b) 設計手法

前述のとおり、新設トンネル坑内からの対策に制約されるため新設トンネルの補助工法を計画した。技術課題が地表沈下対策および地山のゆるみ抑制であるため、その目的に即した補助工法として長尺先受け工、長尺鏡補強工、脚部補強工を選定し、その妥当性を二次元FEM解析を用いて検証した。解析モデルを図-5、地盤物性値を表-1、構造物性値を表-2、解析ステップを表-3に示す。長尺鏡補強工の解析モデルについては、既往の文献²⁾を参考に応力解放率を掘削時20%、支保建て込み時80%に設定した。解析断面の選定に際しては、偏圧地形で、か

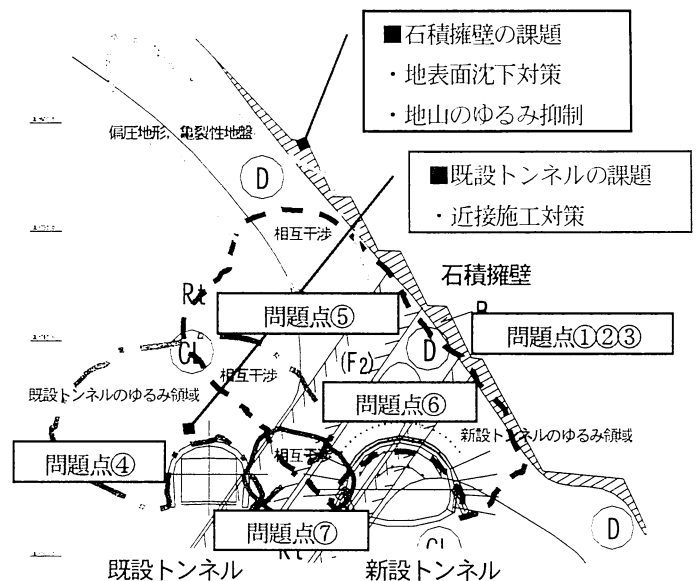


図-4 技術課題と問題点のイメージ図

つD級の不良地山の出現によって石積擁壁への影響が大きいと予測されるNo.10+6.6を選定した。

c) 提案した補助工法

管理目標値の地表沈下量15mmを満足する補助工法として、図-6に示すとおり、長尺先受け工（φ114.3，L=12.9m，160°まわり/シフト，6mシフト，シリカレジン），長尺GFRP鏡ボルト（φ76，L=13.0m，11本/シフト，9mシフト，セメント），脚部補強ボルト（φ600，L=2.0m，4本/シフト，1mシフト，シリカレジン）を提案した。

(2) 既設トンネル

a) 管理目標値

既設トンネルの管理目標値の設定に際しては、NEXCO設計要領に示されている表-4の覆工増加応力³⁾を用いた。既設トンネルの健全度判定を、①既設トンネルが供用中であること②補強されてはいるものの老朽化が進行していること③地形、地質条件が悪いこと、以上3点から安全側の計画を行うことがよいと考え、A判定と評価した。したがって、覆工増加応力の管理目標値は増加圧縮応力3.60N/mm²，増加引張応力0.72N/mm²である。

b) 設計手法

石積擁壁への対策と同様、新設トンネル坑内からの補助工法を計画した。技術課題が近接施工対策、すなわち

表-1 地盤物性値

地層	単位 体積 重量 γ kN/m ³	変形 係数 E MN/m ²	ポア ソン比 ν	粘着力 c kN/m ²	内部 摩擦角 φ deg
D	19	25	0.4	112	35
CL	22.6	268	0.48	165	38
CM	23.5	684	0.35	490	40
EF	11.0	150	0.35	500	0
置換 工	23.0	22 000	0.20	—	—
抱き 擁壁	23.0	22 000	0.20	—	—

表-2 構造物物性値

構造物	要素	変形 係数 E MN/m ²	断面積 A m ²	断面 二次 モーメント I m ⁴	断面 係数 Z m ³
既設 トンネル 二次覆 工 50cm	ビーム	2.2×10 ⁴	0.50	1.042× 10 ⁻²	4.167× 10 ⁻²
新設 トンネル 吹付け 工 25cm	トラス	4.0×10 ³	0.25	—	—
新設 トンネル H鋼	ビーム	2.1×10 ⁵	63.53× 10 ⁻⁴	4 720× 10 ⁻⁸	472× 10 ⁻⁶

表-3 解析ステップ

ステップ	内容	解放率
1	初期応力の計算	
2	既設トンネル掘削，覆工	
3	新設トンネル上半掘削 " 上半支保	40% 60%
4	新設トンネル下半掘削 " 下半支保	40% 60%
5	新設トンネルインバート掘削	100%

表-4 覆工増加応力の許容値の目安³⁾

判定区分	一般的状況
AA	損傷が著しく、交通の安全確保、または第三者に対し、支障となっているか、もしくはその恐れがあり、緊急補修の必要のある場合。
A	損傷が大きく、補修するかどうかの検討が必要な場合。
B	損傷は小さいが、補修するかどうかの検討が必要な場合。
OK	損傷がないか、もしくは軽微で、補修する必要がない場合。

注) 上記の補修とは、悪化対策のための総合的な対策工のことをいう。

既設トンネル覆工の健全度判定区分	増加圧縮応力 (N/mm ²)	増加引張応力 (N/mm ²)
B, OK	0.3σ _{ck}	0.06σ _{ck}
A	0.2σ _{ck}	0.04σ _{ck}
AA	0.1σ _{ck}	0.02σ _{ck}

σ_{ck} コンクリートの設計基準強度 18N/mm²

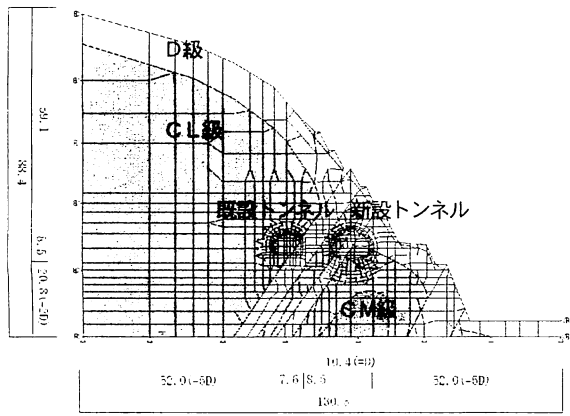


図-5 解析モデル (No. 10+6.6)

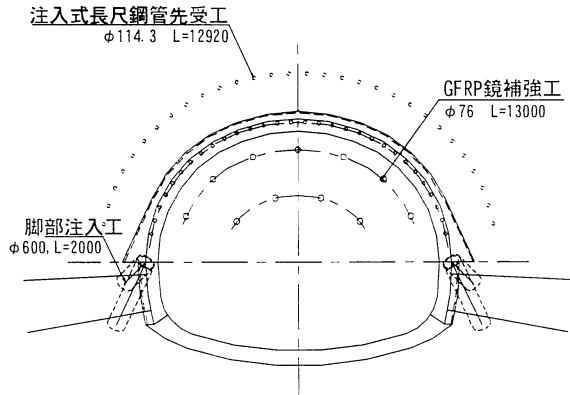


図-6 設計時の補助工法図 (No. 10+6.6)

中間地山の確実な改良であるため、その目的に即した補助工法として長尺先受け工，中間地山部への注入改良を選定し，その妥当性を二次元FEM解析を用いて検証した。解析モデルを図-7に示す。入力物性値と解析ステップは，石積擁壁の検討と同様である。解析断面は，新設トンネルと既設トンネルとの中間が地山で，かつ純距離が小さい断面としてNo.8+13.8を選定した。

c) 提案した補助工法

管理目標値の増加圧縮応力 3.60N/mm^2 ，増加引張応力 0.72N/mm^2 を満足する補助工法として，図-8に示すとおり，長尺先受け工（ $\phi 114.3$ ， $L=12.9\text{m}$ ， 60° まわり/シフト， 9m シフト，シリカレジン），中間地山部への注入式先受け工（ $\phi 27.2$ ， $L=3.0\text{m}$ ， 60° まわり/シフト， 1m シフト，シリカレジン）を提案した。

一方，既設管理通路トンネルに対しては新設トンネル工事前にエアモルタルを用いた人工地山によりトンネル内を充填することで地山の安定を図る計画とした。

(3) 計測計画と安全対策

上記のとおり，解析的手法により補助工法を計画したが，解析的手法自体の精度には限界があるため，情報化施工による管理体制の強化にて補完する必要があると考えた。そこで，石積擁壁については地表沈下測定，既設

トンネルについては内空変位測定を計画した。石積擁壁の地表沈下測定は，水盛式沈下計の出力信号を計測ケーブル，変換器を介して記録計において監視期間中，連続的に沈下量を自動記録する。また，既設トンネルの内空変位測定は，覆工コンクリート面に7測定点程度を据え，各測定点間の変位量を監視期間中，自動計測する。

そのほかにも，対象構造物自体にも安全対策を講じることで安全性を向上すべきと考えた。そこで，石積擁壁には写真-3に示す防護ネットで覆う計画とした。設置範囲については，解析的手法により予測した地表沈下量に2倍の安全率を加味した 7.5mm 範囲とした。また，既設トンネルには施工時の道路利用者への安全確保を目的に，高山市側坑口部の 10m の区間に写真-4に示すプロテクターを設置した。

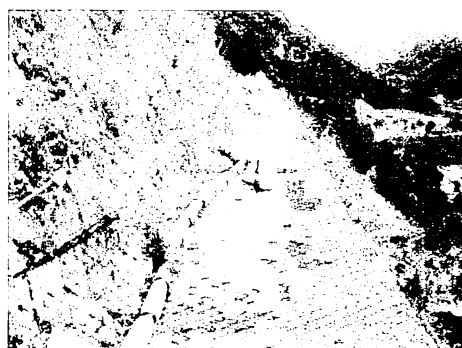


写真-3 防護ネット

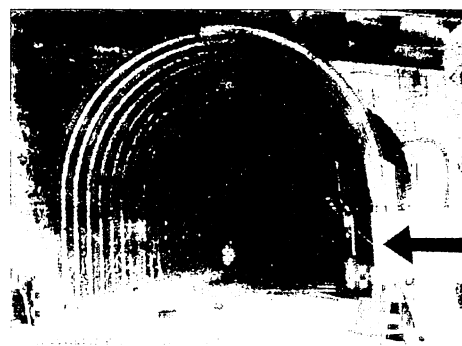


写真-4 プロテクター

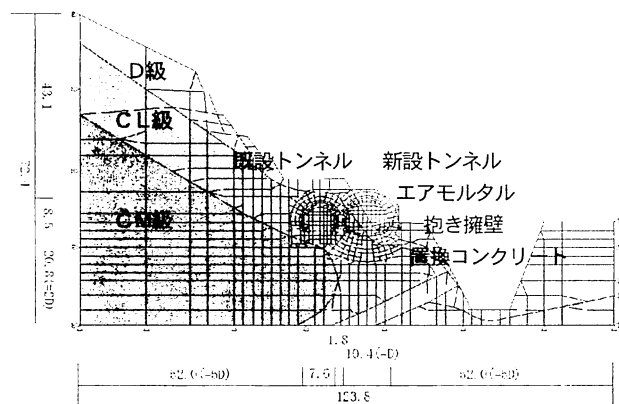


図-7 解析モデル (No.8+13.8)

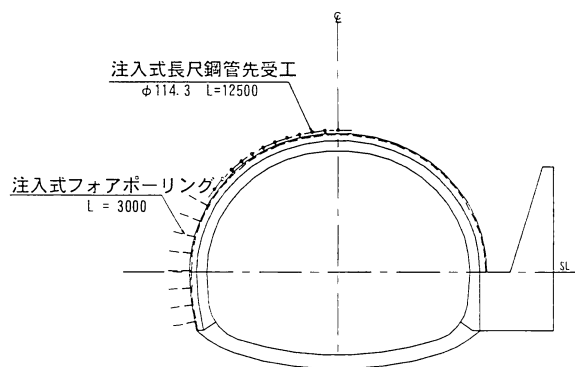


図-8 設計時の補助工法図 (No. 8+13.8)

5. 施工時の計測結果と対応策

施工時に実施された計測概要図を図-9に示す。本報文では，石積擁壁の地表沈下測定と既設トンネルの内空変位測定の計測結果の分析に限定し，それら分析結果に基づき実施した対応策について報告する。

(1) 石積擁壁の地表沈下測定

石積擁壁の下から2段目と4段目の小段上の平面計画線上に4横断，計8個所に沈下計を設置した。管理体制については，石積擁壁の管理目標値である 15mm を管理レベルⅢ（工事休止し新たな対策を検討）とし，その75%の 11.3mm を管理レベルⅡ（計測頻度を密にし対策工の検

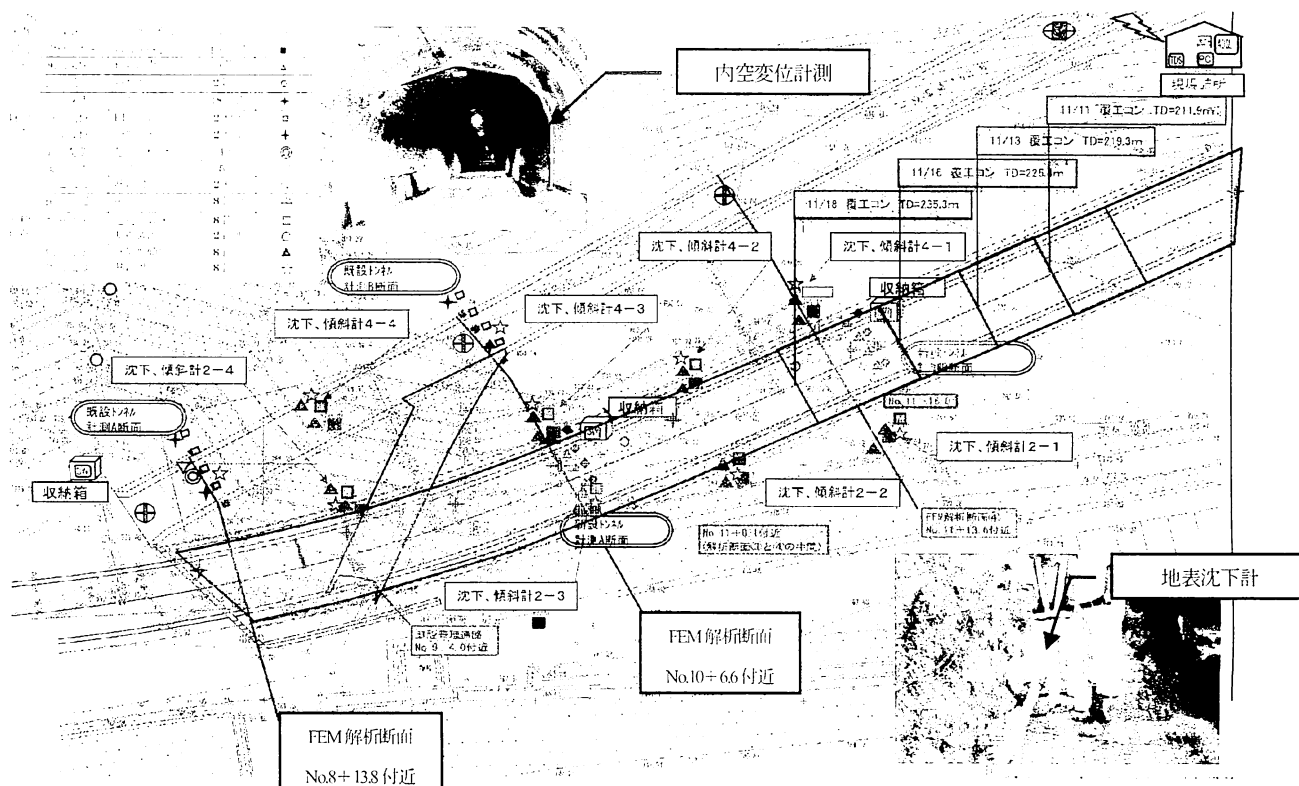


図-9 施工時の計測概要図

計), 50%の7.5mmを管理レベルⅠ(注意喚起)に設定した。計測結果の一部を図-10に示す。この図に示すように、計測結果の傾向から3区間に分類し分析した。

a) 区間①

この区間は、上半切羽は沈下計4-2、4-3、2-3の直下をすでに通過しているものの、上半掘削のさらなる進行によって切羽後方の地表へ影響を及ぼした結果、地表沈下が進行した。

b) 区間②

この区間は、長尺先受け工や削孔探査の作業を行っており、掘削作業を行わず切羽の進行が休止していたため、顕著な地表沈下が認められなかった。

c) 区間③

この区間は、掘削作業が再び開始されたことによって切羽後方の地表に影響を及ぼした結果、地表沈下が進行した。区間①と異なる点は、上半掘削に加え下半掘削の影響が追加されはじめてきたことである。例えば9月1日現在、下半切羽位置はNo.11+4.4で沈下計4-3があるNo.10+6.6付近との離隔は17.8m程度であったが、その後下半掘削により下半切羽が進行し離隔が小さくなることから、地表沈下が次第に大きくなったものと考えられる。

地表沈下量は沈下計4-3や2-3において管理目標値15mmを超えた。要因としては、既設管理通路トンネル、既設トンネル、新設トンネルの3トンネルの地山のゆるみの相互干渉と断層破碎帯などの不良地山が複合的に作用した結果と推察した。対策工については、地山のゆるみ抑制を目的にシリカレジンによる地山への注入改

良を採用した。改良ゾーンは、注入材のリークによる石積擁壁への影響を避けるためパターンロックボルト長程度とした。施工時には石積擁壁のブロック間の目開きに着目した近接目視による監視体制の下で慎重に掘り進んでいった。最終的には地表沈下量は最大23mm程度まで進行したものの、やがて収束した。

管理目標値を超えたことで将来にわたる石積擁壁の保全が懸念された。そこで施工時に設置していた防護ネットを将来にわたり設置することで安全面の確保に努めた。なお、防護ネットの網目は大きいため景観を大きく損なうものではない。

d) その他区間

沈下計4-1や2-1のように、地表沈下がほとんどない区間もあった。この要因としては、既設トンネルと新設トンネルの離隔がある程度確保されており地山のゆるみの相互干渉が小さいため地表への影響が小さかったこと、地質が相対的によかったことが挙げられる。

(2) 既設トンネルの内空変位測定

設計時には覆工の増加応力を管理目標値に設定していたが、これを精度良く測定することは困難である。そこで内空変位量を管理目標値とした。管理目標値については図-11に示す解析結果から得られた上半水平内空変位と既設トンネルの覆工増加引張応力の関係から求めた内空変位量3.5mmを管理レベルⅢとし、その75%の2.6mmを管理レベルⅡ、50%の1.8mmを管理レベルⅠとした。内空変位測定的位置については坑口部付近と坑口より

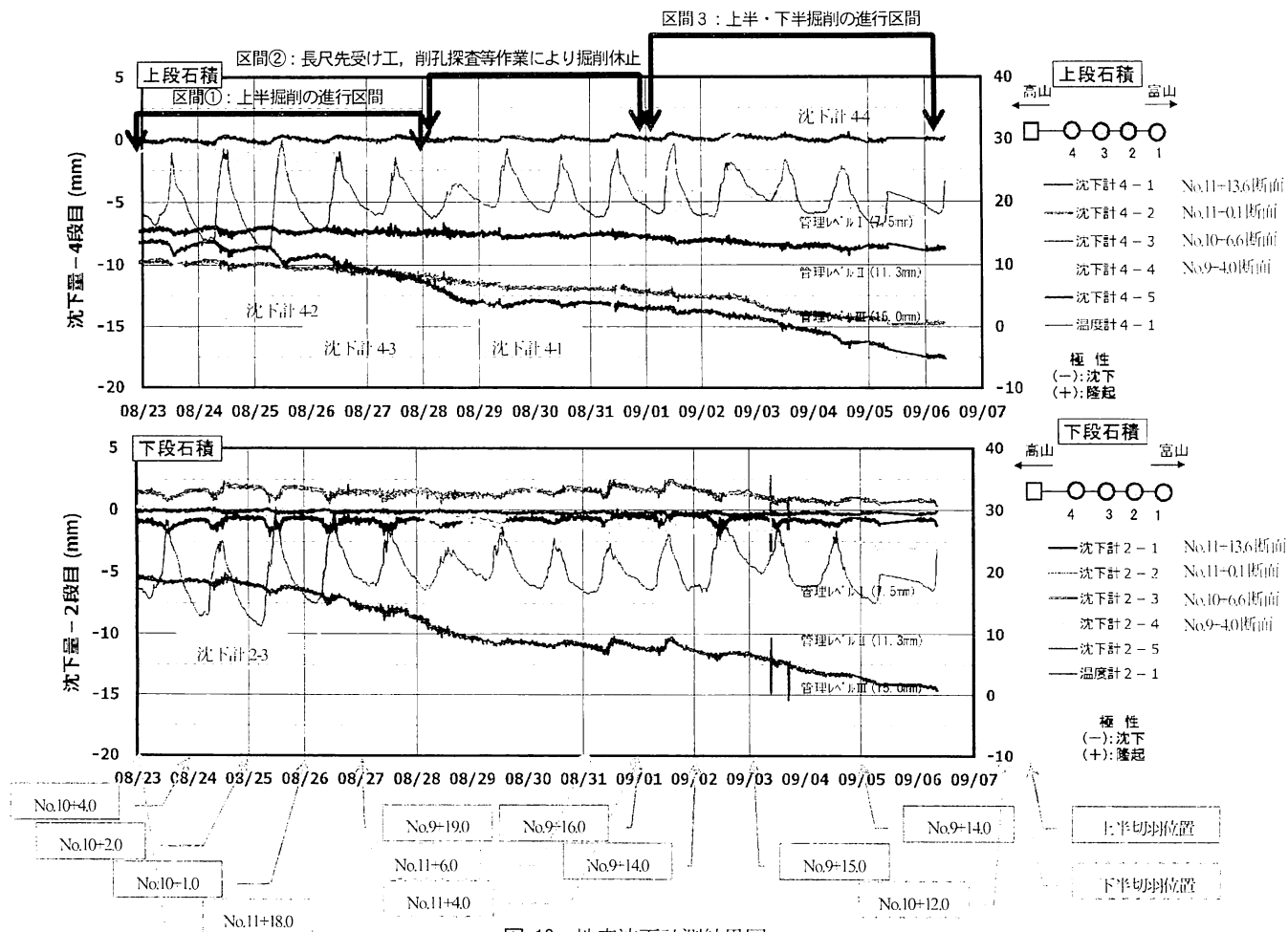


図-10 地表沈下計測結果図

30m程度以奥の2断面とした。

計測結果の一部を図-12に示す。この図から、新設トンネルの掘削に伴い通過前から徐々に変位幅が大きくなり変位方向が内空側に向かう傾向が認められた。これは中間地山の改良により内空側に押し出されたためと考える。内空変位量は管理目標値3.5mm以内に収まった。また、目視においても変状は認められなかった。

その後、石積擁壁や既設トンネルが崩壊することなく2009年10月に無事貫通することができた。

6. おわりに

石積擁壁と既設トンネルが近接した新設トンネルの設計から施工管理にいたるまでの内容について述べてきた。石積擁壁は事例が少ない上に不安定であり、また既設トンネルは最小離隔1.0mで供用しながらの施工を余儀なくされ、さらには坑外からの対策が不可という制約条件も加わり苦心したが、解析的手法による補助工法の設計と計測計画および安全対策を計画するとともに、施工管理における計測結果の分析を基に対応策を講じ、無事トンネル工事を完了することができた。本報告の結論を以下

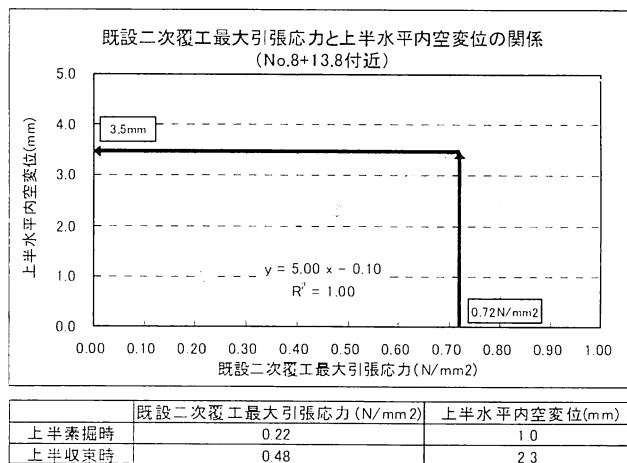


図-11 解析結果における変位と覆工増加応力の関係

に示す。

- ① 石積擁壁や既設トンネルに対しては、補助工法がその効果を発揮し、石積擁壁や既設トンネルの保全が確保された。
- ② 地表沈下の計測値は解析値を若干上回ったものの大差ないことから、解析手法は概ね妥当といえる。石積擁壁の崩壊機構を取り込んだ解析手法があれば、より計測値と解析値の適合性が増すと考えられ、今後の研究が待たれる。

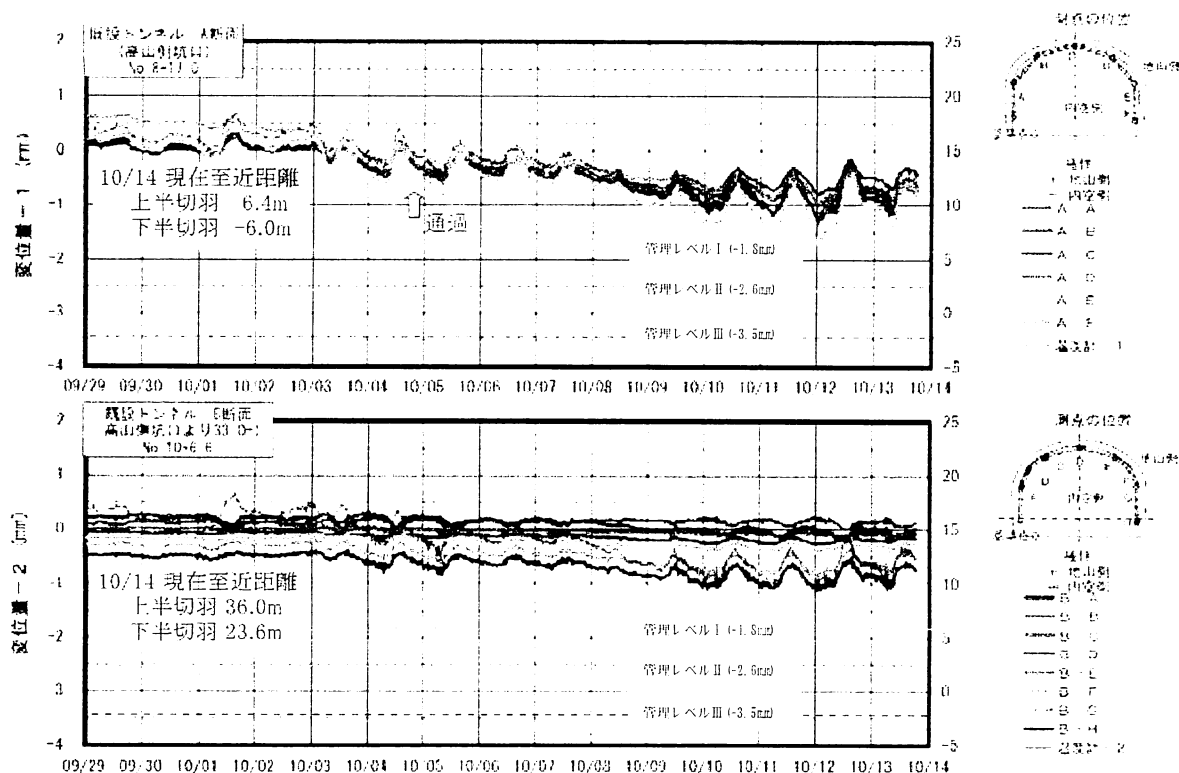


図-12 内空変位計測経時結果図

- ③ 切羽の進行と地表沈下の進行には相関性が認められた。
- ④ 既設管理通路トンネル周辺では地表沈下の管理目標値を超過した。これはゆるみ相互干渉によるものと考え、既設管理通路トンネルの内空だけでなく覆工背面の地山も事前に改良しておけば、ゆるみの相互干渉が抑制され地表沈下も低減できたと考える。
- ⑤ 石積擁壁と既設トンネルそれぞれの構造物を分離して設計したが、本工事においてそれらの相互影響が大きな問題となることを確認した。今後は、当案件のように複数の構造物が近接する場合、構造物を分離しないよう配慮するとともに、周辺の地盤物性値を低減させるなどを解析条件に取り込むことで、よ

り良い設計、施工が可能になると考える。

謝辞：本報告を作成するにあたり、貴重な資料を提供頂いた岐阜県高山土木事務所と大日本・金子特定建設工事共同企業体に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計基準，pp.159-160, 1988.
- 2) ジェオフロンテ研究会：切羽前方コアに着目した新しいトンネル工法，pp.59-66, 2002.11.27.
- 3) 高速道路株式会社：設計要領第三集トンネル編 トンネル本体工保全編（近接施工），pp.16-18, 2009.7.

Design and construction of tunnel adjacent to retaining wall and minimum distance of 1m from the tunnel of existing used

Atsuyuki ENOKIDA, Yukihiro KAWAHARA, Mitsuji MORISHITA
and Satoshi WASHIO

Fukushima third tunnel is new two-lane road tunnel the adjacent to retaining wall on portal of the tunnel and tunnel of existing used. The problem was to have controlled the subsident of ground and ground's loosening for retaining wall, and to have constructed it near the tunnel of existing used. Generally, it was preferable to construct from outside tunnel after traffic was made to take a detour. But we could not help constructing it while passing traffic because of various restrictions. Therefore, we had to construct it from inside tunnel. I designed the auxiliary method by 2D FEM analyses, measurement and safety measures. Moreover, I proposed measures based on the analysis of the result of measurement.