

営業中のゴルフ場直下における 山岳トンネル工事

白旗 秀紀¹・林下 敏則²

¹株式会社大林組 東京本社土木本部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2品川インターシティB棟)

²株式会社大林組 大阪本店巨勢山トンネル工事事務所 (〒530-8520 大阪市北区中之島3-6-32) .

当工事は営業中のゴルフ場直下を通過する山岳トンネル工事であり、発破の影響や掘削時の地表面沈下等によりゴルフ場へ影響を与える可能性が否めないもので、設計、施工段階で綿密な技術的検討が必要であった。当工事の施工にあたっては、発注者、設計者と協働して設計の見直し等を行うとともに、安全管理、環境対策等の施工管理を慎重に行い、また工期短縮に向けた工夫等も凝らし、無事、工事完成を迎えることができた。

キーワード 発破掘削、発破振動、地表面沈下、防水型トンネル

1. はじめに

大和御所道路は京都、奈良、和歌山をつなぐ京奈和自動車道(総延長約120km)のうち、大和区間と御所区間で構成される高規格道路である。巨勢山トンネル工事は大和盆地の南端にある御所区間に位置しており、延長1,538mの山岳トンネル工事である(発注者:近畿地方整備局奈良国道事務所)。トンネルの地質は中生代白亜紀後期の花崗岩類が分布し、岩種は主に石英閃緑岩である。この花崗岩体は、本質的には塊状で、堅硬であるが、地表面近くでは風化が進み、マサ化している所が多い。また、トンネルの約3分の2区間(約1km)は土被り22m~80mで営業中のゴルフ場直下を通過しており、ゴルフ場調整池に近接する区間(L=60m)については、防水型(ウォータータイト)トンネルとして設計されていた。トンネル掘削は、起点側から上り勾配(0.3~3.0%)で片押し掘削するもので、NATM発破工法で計画されていた。掘削工法はCパターンでは補助ベンチ付き全断面工法、Dパターンでは上半先進ショートベンチ工法で計画されており、工期は約3年(2010年3月~2013年2月)であったが、工事着手の遅れ、一部一時中止もあり、全体工程の遅延を避けるためトンネル掘削を約21ヶ月で完了させる必要があった。

本報告においては、ゴルフ場への影響を与えないために施した対策について、設計の見直し、施工時の安全管理、周辺環境対策、工期短縮に向けた施工時の工夫等について報告するものである。

2. 技術的課題

本工事は発破掘削によるものであり、直上にあるゴルフ場の低土被り区間において修景池が新設されている。また、ゴルフ場調整池に近接する区間は、防水型トンネルとして設計されている。このため、施工にあたり以下の3点が課題となった。

- ① 当該地山は比較的堅硬な花崗閃緑岩が中心であり、発破掘削時の振動等によってゴルフ場施設やプレイヤーに影響を及ぼす懸念があった。
 - ② トンネル直上に修景池が詳細設計後に新設されており、当初設計条件ではトンネル掘削の影響により池の遮水シートが破損する等の事象が懸念され、補助工法の再検討が要求された。
 - ③ ゴルフ場調整池(上記新設修景池とは異なる)に近接する防水型トンネル区間では、複鉄筋構造で防水シート(t=2mm)を全周(インバートを含む)施工するため、この区間防水工を確実に施工することが求められた。
- 本工事の地質縦断面図、平面図を図-1,2に示す。

3. 発破掘削に伴うゴルフ場への影響検討

(1) 試験発破の実施

詳細設計では、ゴルフ場への発破影響予測の検討が行われている。検討書では、以下の発破振動予測式が用いられている(1a)。

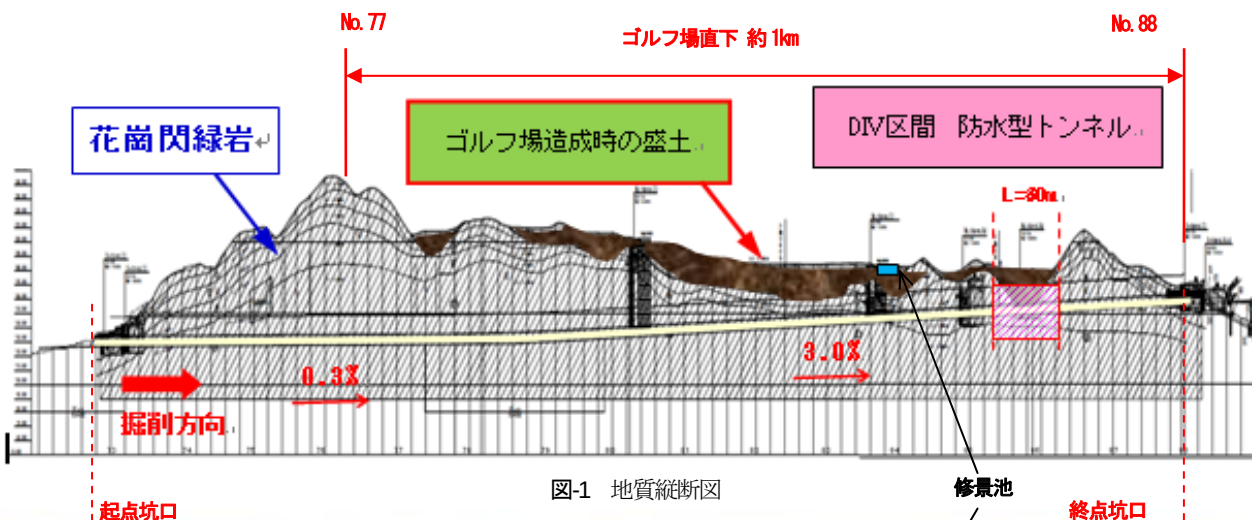


図-1 地質縦断面図



図-2 平面図

$$V = K * W^{2/3} / D \quad (1a)$$

ここで、 V : 振動速度 (cm/s), W : 段あたりの葉量 (kg), D : 計測間距離 (m) である。

発破振動推定係数である K 値は地盤条件等により値が大きく異なるため、実際の現場での適用にあたっては事前に試験発破を行い、その地山に最も適した係数を採用する必要がある。また、人が感じる振動の大きさは振動加速度レベルを人体感覚に補正した振動レベル VL (dB) で表される。今回の保安対象もゴルフ場のプレーヤーであり、人体に対する影響を評価する計測値として振動レベルの値で評価する必要がある。振動速度を振動レベルに換算する式を以下に示す。

$$VL = 20 * \log V + A \quad (1b)$$

ここで、 VL : 振動レベル (dB), V : 振動速度 (cm/s) である。

換算係数である A 値は、発破振動予測式の K 値と同様に地盤条件等により値が異なるため、実測値で確認する必要がある。そのため、ゴルフ場直下の掘削に先立って試験発破、振動計測を行うことにより K 値および A 値の再設定を行い、事前影響予測を見直す必要があった。振動計測は、坑内で飛び石による影響のない測点1とゴルフ場内の最接近位置である測点2で行った。測点1は、爆風や坑壁に衝突した岩石からの反射波を除去するため、瞬発の上下方向の振動値で検討した。発破については、通常発破 (DS 雷管のみ)、制御発破 (DS+MS 雷管を併用、MS 雷管は補助芯抜き) の2つのパターンでおこない振動値および予測係数の違いを検証した。図-3に試験発破の模式図を示す。

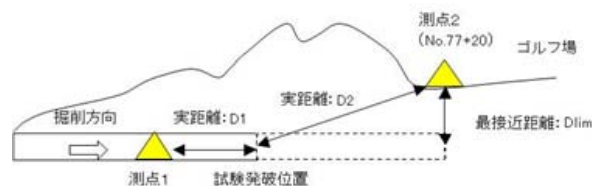


図-3 試験発破の模式図

(2)実施結果および影響予測

トンネル坑内、ゴルフ場での試験発破測定結果を表-1,2 に示す(施工パターンはすべてCⅡ-b)。実施工における発破振動影響予測の検討においてK値は、地盤条件をより正確に把握するために、坑内計測結果の平均値 $K=464$ を、A値は保安対象箇所がゴルフ場であるため、ゴルフ場計測の平均値 $A=75$ を採用した。なお、トンネル掘削時の発破振動管理値は詳細設計業務成果より79dBとした。

その結果、トンネル延長が約1200mから1350mの区間において、通常発破で管理値を超えるが、制御発破を行うことで管理値内に収まることが予測された。実際の施工においては定期的にモニタリングを行い、その結果により、振動低減を図るため、段数を増やし1孔当りの装薬量を減らす対策を行った。発破振動影響予測とモニタリング結果を図-4に示す。

表-1 試験発破測定結果(トンネル坑内)

発破No.	離隔D1(m)	芯抜き薬量(kg)	K値	A値
①	104.0	13.2	398	72
②	93.0	4.8	384	73
③	122.0	10.4	472	68
④	259.0	10.8	531	73
⑤	120.0	3.2	533	77
平均値			464	72

表-2 試験発破測定結果(ゴルフ場)

発破No.	離隔D2(m)	芯抜き薬量(kg)	K値	A値
①	156.5	13.2	400	75
②	155.5	4.8	298	73
③	154.4	10.4	288	76
④	150.1	10.8	286	76
⑤	149.1	3.2	285	76
平均値			311	75

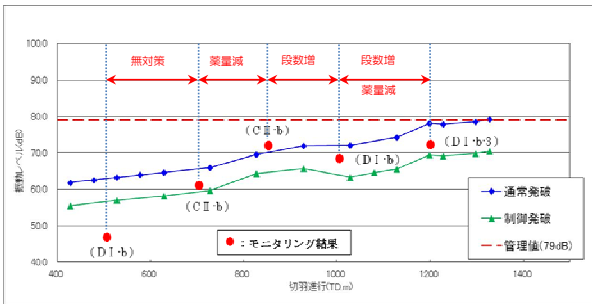


図-4 発破振動影響予測およびモニタリング結果

4. ゴルフ場新設修景池への対応

(1)補助工法の検討

測点 No. 82+60 付近直上においては、設計業務報告時

にはなかった修景池が新設されていた。この箇所の旧地山からの土被りは最小12m程度であり、池の底面には遮水シートが設置されており、トンネル掘削の影響により地表面が不等沈下を起こしシートを損傷して漏水する恐れがあった。設計では注入式FP(セメント系注入材)が採用されていたが、地表面沈下抑制効果や注入材が周辺環境に与える影響に懸念があった。よって、修景池に与える影響について、FEM解析等を行い、補助工法の効果、周辺環境への影響も含めた検討を行った。

(2)解析結果

地表面沈下量の管理値について、一般に家屋等については最大で20~30mmの管理値が設定されることもあり、今回のケースにおいては、これらの管理値を参考にして協議のうえ20mmと設定した。

解析ケースは補助工法の効果を確認するため、①無対策、②注入式FP、③AGF工法の3ケース実施した。図-5にFEM解析結果による地表面沈下の比較を示す。この結果、地表面沈下量を20mm以内に抑制するため、AGF工法を採用する必要がある。

(3)注入材の変更

補助工法注入材は「セメント系注入材」で設計されていたが、低土被り部であり修景池に近接することから、湧水下では流出する恐れがあり、アルカリ分溶出も懸念された。また、ゴルフ場からの放流水は一部農業用水として使用されていることから、工事による周辺環境への影響を防止することが重要であり、注入材の流出を防止する必要がある。よって、現場の適用条件から表-3より作業上の安全の確保や周辺環境への影響を防止するためウレタン系注入材であるシリカレジンに変更した。

表-3 補助工法注入材の比較

項目	セメント系	ウレタン系
性能	1日強度 2.5~3MN/m ² 強度発現が遅く、接着力 小	1時間強度 2~3MN/m ² 強度発現が速く、接着力 大
環境への影響	湧水の影響を受けやすく 状況によっては流出する ゲルタイムの調整が難しい アルカリ溶出の恐れがある	ゲルタイムが短く 湧水の影響を受けにくい アルカリ溶出の恐れなし
コスト	材料単価: @280円/ℓ 3,808千円/シフト	材料単価: @900円/kg 3,888千円/シフト
評価	×	◎

(4)効果の検証

地表面沈下の計測は既設修景池の縁石上に計測点を設け、測定頻度は当該区間の掘削作業日について1回/2日とした。地表面沈下は、インバート打設後に収束する傾向が見られ、最終変位量は、すべての計測点で事前に設定した管理値20mm以下に抑えることができた。

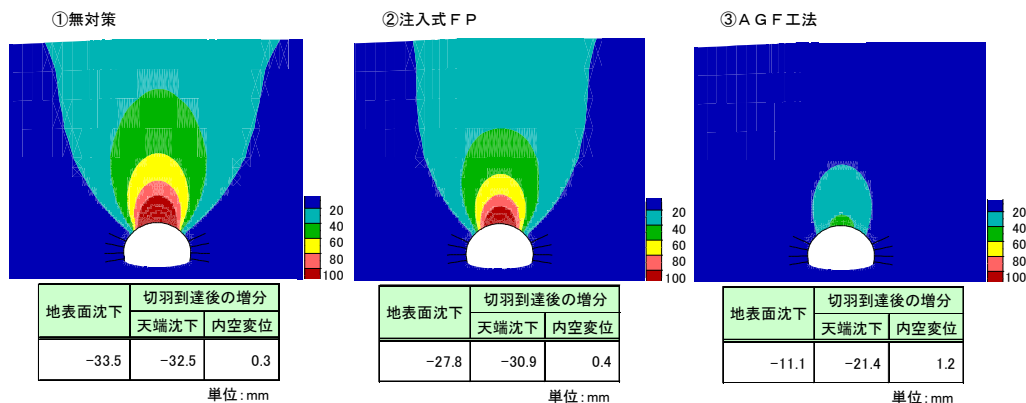


図-5 FEM解析による地表面沈下量の比較

5. 防水型トンネルの施工

(1) 技術的課題

当該区間は覆工へ水圧が作用するため、複鉄筋構造で、防水シート(t=2mm)が全周(インバートを含む)施工となっている。防水型トンネルは、シートを損傷せずに確実にアーチ鉄筋を施工するための工夫が要求され、全体工程を遅延させることなく、不具合を発生させることなく確実な施工することが課題であった。

(2) 解決策

当初設計ではインバート下面に厚さ 10cm の均しコンクリート施工後に、防水シート敷設となっていたが、強度発現が早くトンネル安定性向上に繋がり、かつ工程上でも有利である吹付けコンクリートに変更した。また複鉄筋構造であり、段取り筋の設置方法にも工夫が必要で、段取り筋に円鉄板を取り付け、シートに固定後保護モルタルを施工し、シート損傷防止を図った。保護モルタルは、モルタルポンプと液体急結剤を使用した(図-6)。



図-6 保護モルタル施工状況

アーチ鉄筋はシート非貫通型の吊金具を使用し固定するケースが多いが、シートの損傷、漏水のリスクが高いと考え、鉄筋支保工(2m 間隔)を採用することにした(図-7)。インバートコンクリート打設時に鉄筋支保工の脚部を設置し位置を確定するとともに、鉄筋支保工組立時に繋ぎ材等を用いて自立性を確保した。建込み作業はトンネル工事機械であるエレクター台車を使用した。



図-7 鉄筋支保工組立状況

6. まとめ

ゴルフ場直下の発破掘削に関して、事前に試験発破、影響予測を行い、管理値を設定したうえで、ゴルフ場に説明することで、良好な関係を保持することができた。施工中は、定期的実施したモニタリング結果をフィードバックするとともに、数値ではなく、あくまでも感じ方がすべてであることを意識して臨むように努めた。

新設修景池部直下については、事前にFEM解析を行い、施工法の比較検討を行った結果、信頼性のより高いAGF工法を採用し、注入材もシリカレジンに変更した。施工中は計測管理を綿密に行い、管理値を超える地表面沈下は発生しなかった。また、注入材の流出やアルカリ分の溶出もなく、環境への影響も発生しなかった。

防水型トンネルの施工にあたって、防水工の不具合発生が最大の懸念であったが、様々な工夫により漏水等の不具合発生もなく、効率的な施工を行うことができた。

今後の同種案件に際しては、相手方に対して、計画、設計段階から継続的に情報を開示し、良好なコミュニケーションを保持するように努め、事業全体が円滑に捗るように配慮すべきである。また経済性比較が第一ではあるが、安全性、施工性、工期等とのトレードオフも考慮したうえで、信頼性の高い工法を選定し、最適なジャッジを最適なタイミングで行うことの重要性を感じた。

本報告が同種案件での参考の一助になれば幸いである。