

道路盛土の近接施工による既設鉄道トンネルへの影響評価

NEIGHBORING EXECUTION BY THE ROAD FILL OF THE EXISTING RAILWAY TUNNEL

平井孝治*・佐藤友哉*・川畑 智*

Kouji HIRAI, Tomoya SATOU and Satoru KAWAHATA

This existing railway tunnel is the mountain tunnel with 960m length that was built in 1961. 38 years have passed since the railway becomes a business line, and many cracks and deterioration such as a leak at the entrance have been found. The influence when fill surcharge for the road construction appeared at the top at the side around the portal was predicted, measuring was done, and safety was verified under measuring control. Since there were not obvious affections in the measuring values during construction and a month after that, it is regarded that the neighboring construction was accomplished safely.

Addition to this result, this paper proposes a method to classify the degree of neighboring when an eccentric load was encountered on an existing tunnel.

Key Words : neighboring execution, railway tunnel, road fill, eccentricity geographical eccentric load, influence prediction, measurement control

1. まえがき

本件は、既設トンネルに対し、坑口付近の偏圧地形下における偏載盛土荷重の影響をテーマとしている。こうした偏荷重の影響についてはよく知られておらず、近接度区分の範囲設定についてはマニュアル化されていない。しかし、実務上、近接度区分に応じて次段階の対処法が異なり、影響度についての関係者間のコンセンサスを得る上でも、区分判定は必要である。そこで、マニュアル化に向けての一助となればと考え、本件の成果を以下に述べるものである。

2. トンネル概要と近接度の区分判定

本鉄道トンネルは、昭和36年に築造された単線の山岳トンネルである。本区間の開業はトンネル竣工の2年後であり、以来、現在でも通勤通学客をはじめ観光客の利用する鉄道線として営業されている。

近接工事は、図-1に示すように、坑口から+16～+50m付近の側上部に載る道路盛土が対象となる。本区間の地形は、沢筋の隣接する偏圧地形を呈している。ここに、不等厚な盛土がトンネル側方より偏載されることになる。

トンネル覆工は、道路交差部で30cm厚の無筋コンクリ

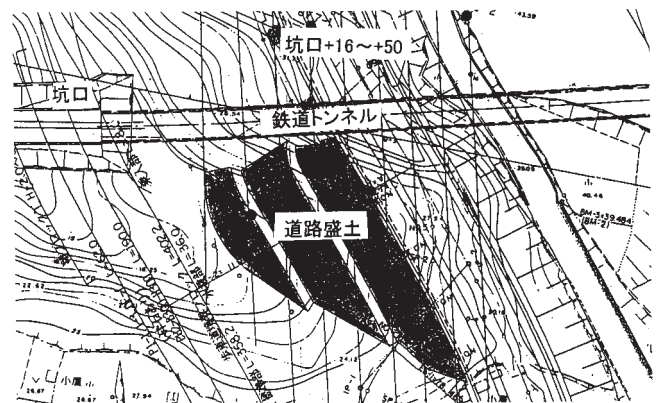


図-1 近接箇所平面図

ート構造(図-2参照)である。トンネル周りの地質は、玄武岩質溶岩・凝灰岩であり、土被りの薄い坑口に近づくほど風化は著しい。近接区間の覆工健全度は、JR健全度判定区分でB・Cランクである。

3. 近接度の検討

トンネルと道路盛土の関係は次のとおりである。沢筋の最大盛土高は、道路横断図上(図-3)約14mである。トンネル奥行き方向には、図-4のとおり土被り・盛土厚とも

* 大阪支店 技術第一部

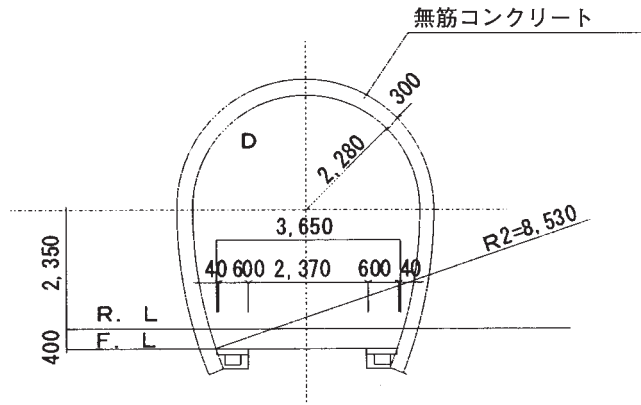


図 - 2 トンネル標準断面図

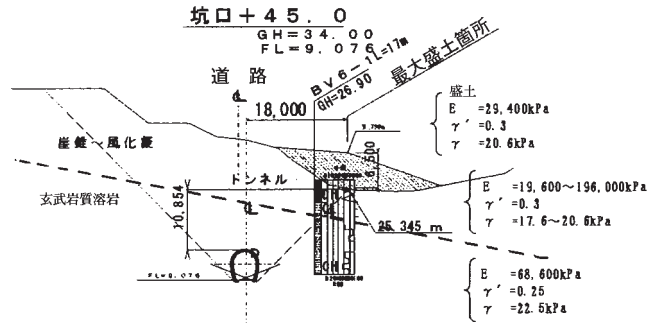


図 - 5 トンネル横断面

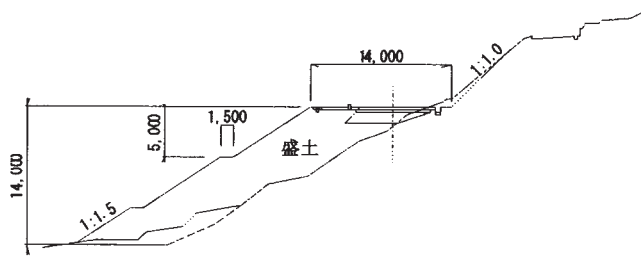


図 - 3 道路横断面

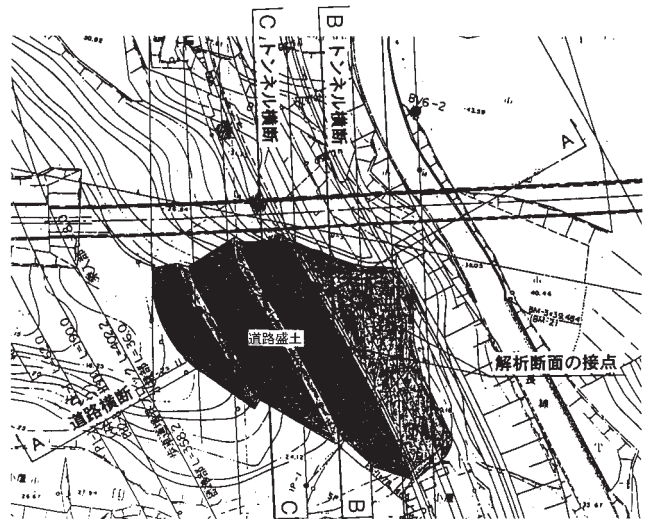


図 - 6 影響解析断面位置図

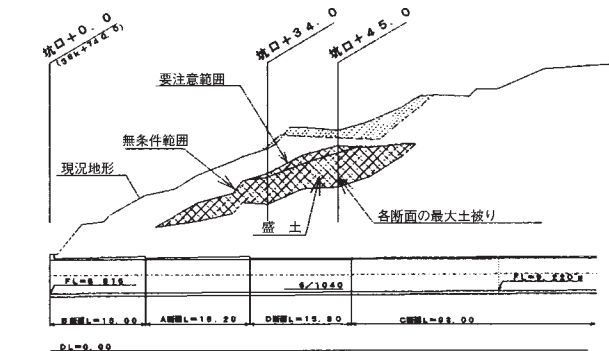


図 - 4 トンネル縦断面

増加する。トンネルへの影響は、盛土厚が小さくても土被りが薄ければ生ずることになり、図 - 4 のどの位置で影響が大きいか、一概に判断できない。

そこで、トンネル奥行き方向に数測線盛土との関係断面図を作成し、近接度の検討を行った(図 - 5 参照)。検討方法は、「既設トンネル近接施工対策マニュアル」(以下、JR マニュアルと称す)のトンネル上部盛土のケースに準じるが、土被りは安全側にトンネル側方での最小被りをとった。この結果、標準勾配(1:1.8)の盛土では、土被りの薄い坑口寄りでは対策範囲にかかるため、良質材を用いて盛土勾配を1:1.5に立て法尻を縮小して要注意範囲まで近接度を改善した。近接の度合いについては、図 - 4 に示す盛土区間の中央部(坑口から3ブロック目)での近接度が要

注意範囲となった。

4. 影響予測解析

予測解析は、2次元弾性FEMにて次のように行った。トンネルへの影響を解析するとき、横断方向(図 - 5)の解析は必須である。ただ、単純なモデル化では、盛土の主測線 A - A における法高14m(図 - 3)の応力状態を考慮できず危険側の予測値になってしまう。そこで、下記に示す手順で解析を行った。

図 - 6 の盛土の主軸となる道路横断方向(A - A 断面)の解析を行う。

トンネル横断方向(B - B、C - C 断面)の解析を行う。この結果、と とでは解析断面の接点での解析値に相違が生じるはずである。

で求めた接点での解析値に で求めた値を近づけるように盛土密度を変化させ、合致するケースを求める。

で求めたケースにてトンネル横断方向の解析を行い、トンネルへの影響を の結果からまとめる。

以上の方法により、トンネル横断方向に対して安全側の

表 - 1 影響予測解析結果

断面	盛土による覆工増加応力		安全率	
	解析値 kg/cm ² (kPa)	許容値 kg/cm ² (kPa)		
坑口+45m	圧縮	6.6 (646.8)	50 (4900)	7.6
	引張	1.1 (107.8)	10 (980)	
坑口+34m	圧縮	3.0 (294.0)	50 (4900)	16.7
	引張	0.1 (9.8)	10 (980)	

解析となるよう、3次元（奥行方向）の応力分散影響を考慮した。また、坑口から3ブロック目のどの位置に対して影響が出やすいか傾向を見るため、図 - 5の坑口 + 45mに対し坑口 + 34mでも予測解析を行った解析の結果を表 - 1および図 - 7に示す。表 - 1は盛土による覆工縁部における増加応力解析値であり、図 - 7はその発生位置を示している。影響度としては、土被り・盛土厚とも厚い坑口 + 45m断面で大きくでている。

安全度としては、JRマニュアルにおける健全度B・Cランクの許容値の目安に対し、7倍以上の安全率を有する結果となった。以上より、前章で要注意範囲としたが、懸念されるほどの影響が生ずる可能性は小さく、近接度としては無条件範囲（「JRマニュアル」の定義で、新設構造物の施工により、既設構造物に変位や変形等の影響が及ばないと考えられる範囲）に近いと評価した。

5. 計測管理

計測内容は、予測解析の結果を踏まえ次のようにして行うこととした。計測項目は内空変位・覆工温度・覆工ひずみ（温度計内蔵）である。トンネル断面内の計器配置は図 - 8に示すとおりである。コンクリート打ち継ぎ目となっているスプリングラインを挟んで左右上下に内空変位計測点、列車通過に支障とならない側壁部に覆工温度計、

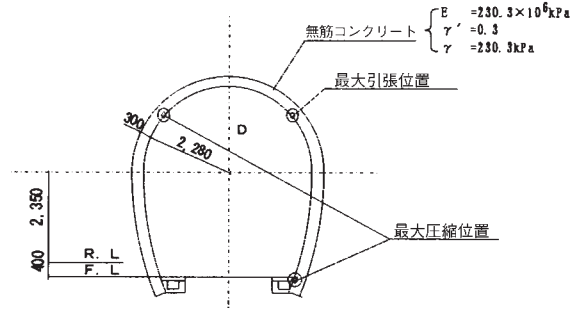


図 - 7 覆工増加応力発生予測位置

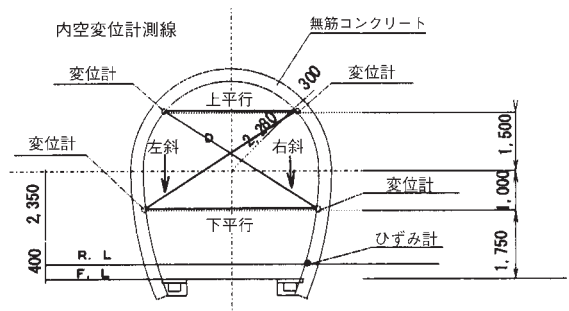


図 - 8 計測配置図

同じく側壁下端に覆工ひずみ計をそれぞれ設置した。トンネル奥行き方向には、盛土区間のトンネル各ブロックに対して、内空変位計計測各2断面、覆工温度計測1断面、盛土と直接影響のない坑口ブロックでも両計測1断面の配置とした。覆工ひずみ計は、影響の現れ易いと考えた坑口から3ブロック目に2箇所設置した。

計測方法は、手動計測とし、計測時間帯による誤差や観測における個人誤差が極力生じないように、同一時間帯に同一計測メンバーで実施することとした。加えて、毎回覆工観察を行い異常の無い事を確認することとした。計測頻度については、事前の影響予測結果も考慮して、1週間

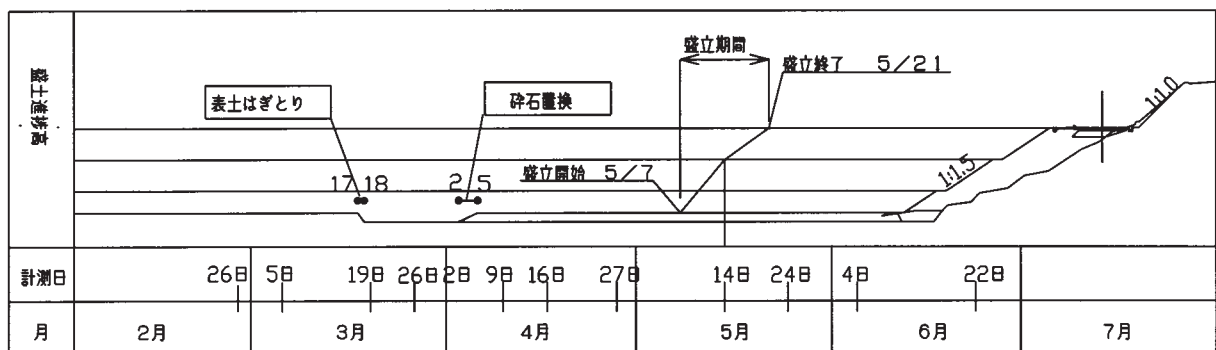


図 - 9 盛土工事の経過と計測実施日の関係

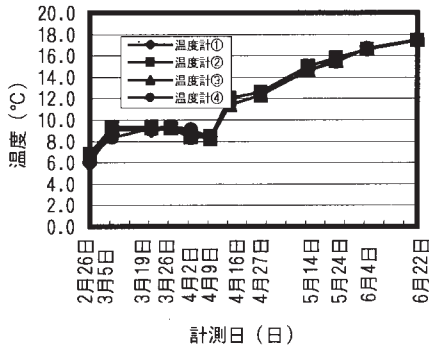


図 - 10 覆工コンクリート温度経日変化

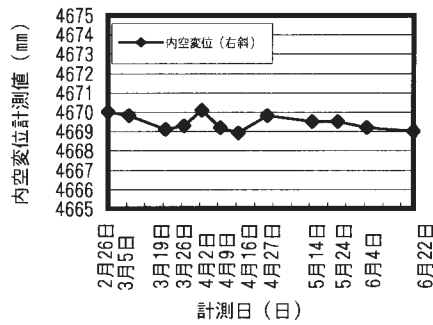


図 - 11 内空変位経日変化

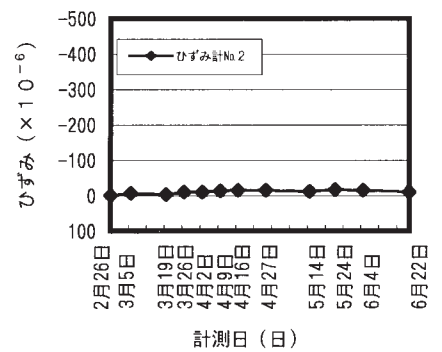


図 - 12 覆工ひずみ経日変化

に1回を基本とした。計測管理としては、計測値の増加・減少傾向が認められた場合、工事を中断して安全性を確認することとした。

盛土工事は、約1mの表土剥ぎ、砕石置換、良質材による本格盛土の3段階で実施された。これら盛り立て工事の進捗経過と計測実施日の関係について図-9にまとめて示した。

工事全期間は約2箇月であり、このうち段取り替え等現場休工日があり、実質盛り立て期間は約2週間であった。計測では、これら工事の着手前に初動計測を済ませ、工事中はもとより、工事終了後1箇月間にわたり全てフォローした。

計測の結果について、最も影響の生じ易いと考えた坑口+45m地点の経日変化を代表として図-10~12に示す。

図-10は覆工温度の変化を示している。初動計測時点から盛土終了まで10度程暖かくなっていることがわかる。図-11の内空変位については、計測期間中一貫して1mm内外の変動しかなく、一定した増加・減少傾向も見られないことから、計測誤差のみを表していると判断した。図-12の覆工ひずみについては、全期間を通してやや圧縮側に増加傾向が見られるが、盛り立て開始後変化度増加による躯体自身の内部応力の変化の影響であろうと推察した。

上記と同様に、他の計測値についても盛土の影響と見られるような変化は認められなかった。以上の結果をもって、盛土工事によるトンネルへの影響は生じなかった事を鉄道管理者に報告した。

6. 考察（近接度区分判定法の一提案）

以上、本トンネルに対し、懸念されるほどの影響が生ずる可能性は小さく、近接度としては無条件範囲に近いと事前評価し、計測管理により影響の生じないことを検証した。

この成果を踏まえ、当初、近接度の検討で要注意範囲としていた事について、別途の解釈はできなかったのか、振

り返って考察するものとする。

前段でも述べたが、JRマニュアルでは、トンネル上部の盛土ケースとして盛土前後の地形が平坦な場合を想定しており、偏圧地形・偏荷重に対する近接度区分の簡易判定法について示されていない。そこで本件の場合、当初は安全側を考え、図-13、表-2に示す方法-1により近接度区分を要注意範囲としていた。

方法-1は、覆工下端より45度で立ち上げた線と地表面の交差した影響圏内での最小土被りを、JRマニュアルにおけるもとの土被りHとしたものである。これは図-13からわかるように、トンネルから離れた影響圏縁端での土被りを取るようになるため、かなり安全側である。

これに対し、方法-2を提案するものである。方法-1では、安全側ではあるが盛土の形状が加味されないという点で不合理である。これを改善して、盛土の形状も反映するために影響圏内の盛土重心位置を出し、そこでの土被りをもとの土被りHとするのである。これによって、本件の場合、方法-1による要注意範囲から方法-2による無条

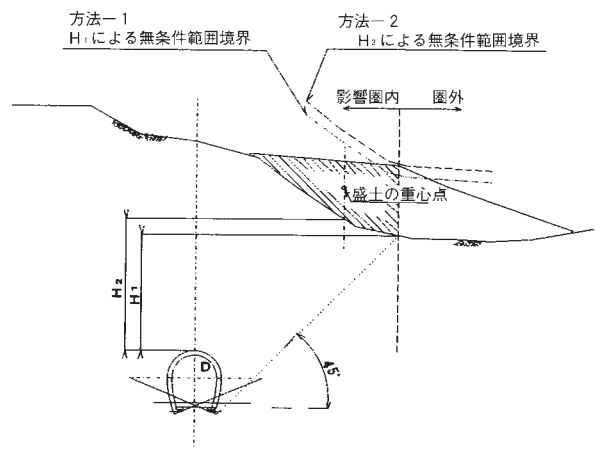


図 - 13 近接度判定における土被りHのとり方

表 - 2 土被りのとり方による近接度区分の相違

項目	方法-1 (当初)	方法-2 (提案)	備考
H (土被り)	H1	H2	
Hの とり方	盛土影響圏内での 最小土被り	盛土影響圏内の 範囲の重心位置 での土被り	
本件の場 合の判定	要注意範囲	無条件範囲	

件範囲に変わる。計測により実際に影響の無かったことを考慮し、この結果と整合する方法 - 2 を採用することは、より現実的であると考えられるものである。

7. あとがき

以上、既設トンネルに対し、偏荷重載荷時の影響について予測解析を行い、計測管理を通して影響の無いことを検証した。この結果と整合を取る意味からも、近接度の判定

法として盛土重心位置での土被りを指標とすることを提案した。

今後、本件のようなケースに対して、省力化・コスト縮減を図る上からもマニュアル化される事が望まれよう。本論文がこのための一助となれば幸いである。

本件のような近接施工問題について、実際を検証しつつ、取り組んでいきたいと考えている。

本業務の遂行においては、担当者全員がJR西日本における鉄道工事に関する資格を取得し、身をもって現場計測に携わった。業務のアプローチとして意義あるものと願うものである。

付記：本件については過去に他のコンサルタントがNATMFEMによる影響予測をしたものの、明解な判断を下せず、客先から別途8社に対して半プロポーザル式の提案依頼があり、その中で日本工営の提案が採用されたものである。

参考文献

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル、pp.17-18、H.7.1