

非排水構造の道路トンネルにおける 避難連絡坑交差部の設計・施工

山仲 俊一朗¹・岡 浩一²・南場 憲一郎³・藤本 昭弘⁴・大塚 勇⁵

¹正会員 大成建設株式会社 関西支店 (〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場1丁目14-10)
E-mail: ymnsni00@pub.taisei.co.jp

²非会員 西日本高速道路株式会社 関西支社 (〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目10-20)
E-mail: k.oka.ab@w-nexco.co.jp

³非会員 西日本高速道路株式会社 関西支社 (〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目10-20)
E-mail: k.namba.aa@w-nexco.co.jp

⁴正会員 大成建設株式会社 関西支店 (〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場1丁目14-10)
E-mail: a-fujimo@ce.taisei.co.jp

⁵正会員 大成建設株式会社 土木本部土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1丁目25-1)
E-mail: ohtsuka@ce.taisei.co.jp

新名神高速道路箕面トンネルは全長約5.0kmのトンネルであり、東工区と西工区に分けられている。そのうちの東工区(延長約2.5km)では、周辺の水文環境への影響を防ぐために、非排水構造区間が設けられている。本報告では、非排水構造区間に設けられた非常駐車帯と避難連絡坑の交差部について、その覆工の設計および施工方法の検討について示す。交差部の設計は3次元シェルバネモデルで行った。検討の結果、交差部の接続部分に応力が集中するため、非排水構造区間の標準の本坑断面と比較して、部材厚および鉄筋量が増大し鉄筋が過密となった。そのため、コンクリートの充填性に配慮して、鉄筋組立用仮設鋼材はH形鋼を用いず鉄筋を仮設鋼材に使用し、インバートは中流動コンクリートで、アーチは高流動コンクリートで施工する計画とした。

Key Words : tunnel intersection, watertight tunnel, design and construction planning, tunnel lining

1. 概要

新名神高速道路は、高槻～神戸間の全長約 40.5km の区間で供用に向け工事中である(図-1)。同区間の中で、最長のトンネルである箕面トンネル(全長約 5.0km)では、工区が西工事と東工事に分割されている。そのうちの箕面トンネル東工事では、周辺水文環境への影響を防ぐために一部の区間で非排水構造区間が設定されている。

トンネル施工中に非常駐車帯から実施した水平の調査ボーリングの結果、周辺水文環境への影響範囲が当初想定よりも広いことがわかった。調査ボーリングの結果から、非排水構造区間の対象が当初計画では上り線 575.0m, 下り線 647.0m であったのに対して、上り線が 651.3m, 下り線が 726.4m とそれぞれ延長された¹⁾。

当初計画では、非常駐車帯および避難連絡坑は非排水構造区間を避けて計画されていた。しかし、非排水構造区間が延長されたため、非排水構造区間を避けるために

非常駐車帯と避難連絡坑の間隔を広げて設置すると、設置間隔が広がりすぎる。そのため、非常駐車帯と避難連絡坑の位置が見直され、非排水構造区間に含まれることになった(図-2)。そこで、新たに水压を考慮した非常駐車帯と避難連絡坑の接続構造を含めた 3 次元的な覆工の構造や支保パターンの設定などの設計検討および施工計画の見直しを行った。



図-1 新名神高速路線概要

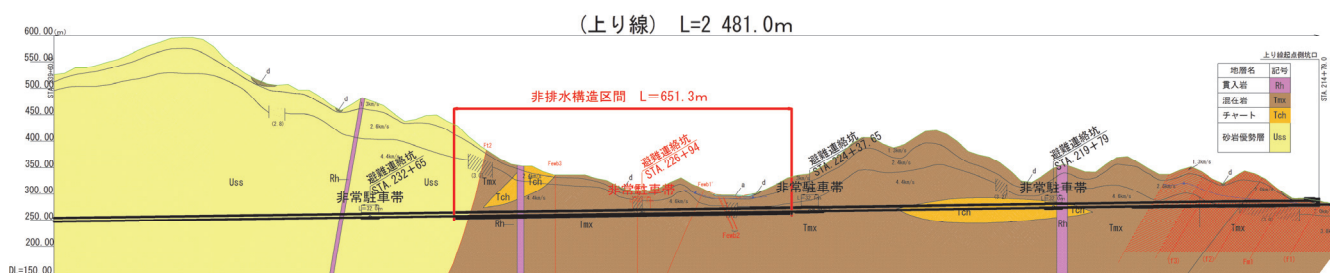


図-2 箕面トンネル東工事上り線地質縦断面図(非排水構造区間見直し後)

2. 交差部の断面形状

非排水構造区間の非常駐車帯と避難連絡坑の交差部の平面図を図-3 に示す。非常駐車帯の打設割毎に施工目地を設け、3つの区間に分割する。中央の非常駐車帯と避難連絡坑が交差する区間で、避難連絡坑を中心とした10.5mの範囲を交差部区間と定義し、それ以外の区間を一般部区間とした。避難連絡坑についても同様で、交差部近傍に打設割の施工目地を設け、施工目地から非常駐車帯側を避難連絡坑の交差部区間、それ以外を一般部区間と定義した。交差部区間は、構造が3次元的になるため、原設計で実施されている非排水構造区間の検討結果と比較した場合、部材厚や鉄筋量の増加が予想された。一方、非常駐車帯および避難連絡坑のそれぞれの一般部区間は、通常のトンネルと同様に2次元モデルでの構造検討が可能であり、原設計で実施されている非排水構造区間の検討結果と比較しても覆工厚や鉄筋量等は、大きく異なることが予想された。そのため、非常駐車帯および避難連絡坑は施工目地を境界として、交差部区間と一般部区間で異なる設計手法を適用し、覆工の配筋および部材厚を分けて検討した。

各断面の断面図を図-4 に示す。通常(排水構造)区間のトンネルの断面形状は馬蹄形だが、原設計では非排水構造区間は、円形断面としている。そのため、非常駐車帯区間についても原設計と同様に円形断面を採用し、非常駐車帯と避難連絡坑のそれぞれのトンネルの必要内空を包含する形状とする。また、避難連絡坑は設備として扉を設置する必要がある。そのため、避難連絡坑一般部には連絡坑として必要な内空断面と扉に必要な内空断面が存在する。扉の取付く断面のみ両者を考慮すればよいのだが、施工性や型枠の転用などを考慮し避難連絡坑一般部は、断面の形状を統一し、扉の必要内空を包含する円形断面とした。避難連絡坑交差部には、扉を設置しないため、避難連絡坑の必要内空だけを考慮した。断面を小さくすることで、非常駐車帯の開口の大きさを極力小さくし、構造的に有利な形状とした。

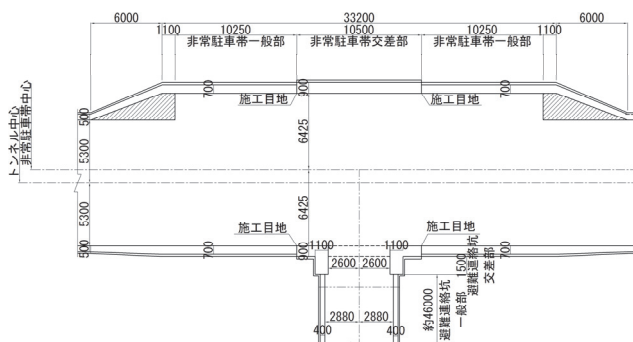


図-3 非排水構造区間の非常駐車帯と避難連絡坑
交差部平面図(上り線)

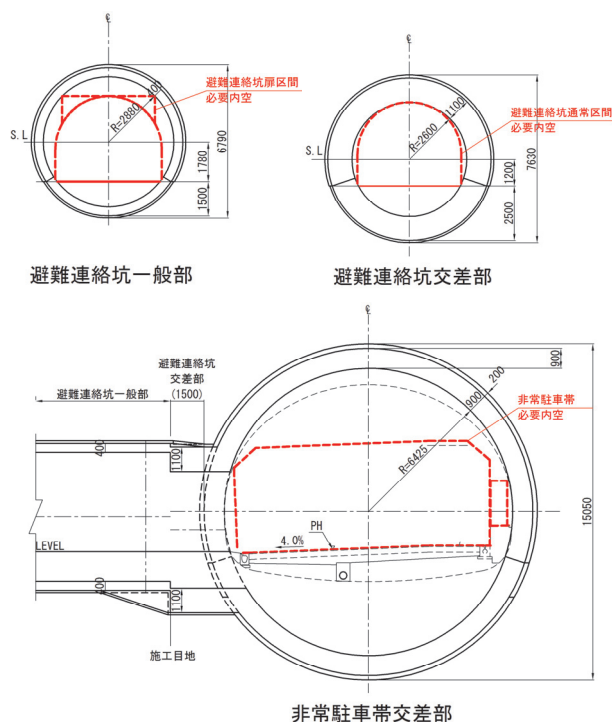


図-4 非排水構造区間各構造物断面図

3. 交差部の構造解析

(1) 解析モデル

非排水構造区間における非常駐車帯と避難連絡坑の交差部の覆工の部材厚および配筋を決定するために、覆工

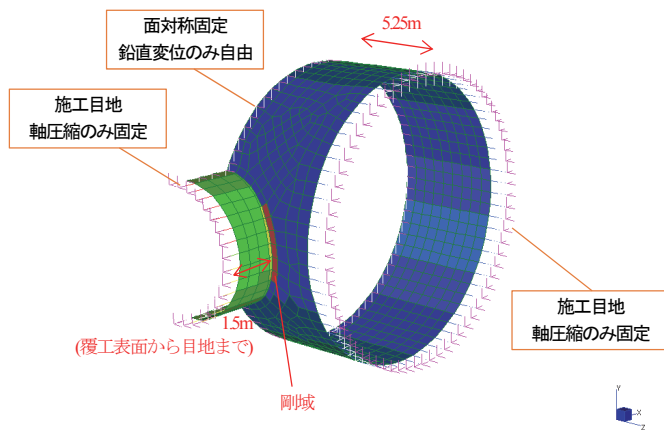


図-5 交差部構造解析モデル

をシェル要素、地盤をバネ要素でモデル化し、3次元シェルバネ解析を実施した。モデルは非常駐車帯交差部区間の10.5mのうち避難連絡坑中心を対称面とする5.25mの1/2モデルとした。また、施工目地は、図-5に示すように軸圧縮のみを伝える境界条件とした。また、非常駐車帯と避難連絡坑の接続部については、剛域を設定した。

設計荷重は、原設計で実施されている非排水構造区間の標準の本坑断面に適用されている荷重を参考に設定した。非排水構造区間の非常駐車帯は、設計水圧が0.5MPaの区間に存在することからトンネル天端位置で0.5MPaの水圧を作用させた。また、その他に原設計で考慮している緩み土圧と交通に伴う活荷重についても、原設計での設定方法を踏襲して設定した。

交差部の構造については、交差している避難連絡坑を開口補強部材の役割と考え、非常駐車帯の部材厚は、極力変化させず、避難連絡坑の部材厚を増加させる事で成立するように設計を行った。その際、施工目地の位置が構造の成立に重要な役割を果たした。そのため、施工目地位置は、以下の事項を考慮して適切に設定した。

- ・施工目地の位置を非常駐車帯に近づける場合
避難連絡坑の交差部の延長が短くなり、開口補強の剛性が小さくなるため、避難連絡坑の部材厚を厚くする必要がある。避難連絡坑の部材厚が厚くなりすぎると、避難連絡坑の開口断面が大きくなり、延長10.5mの非常駐車帯交差部で閉合している区間が短くなるため、非常駐車帯の覆工構造が成立しなくなる。
- ・施工目地の位置を非常駐車帯から遠ざける場合
図-6に示すように非常駐車帯付根部の避難連絡坑断面(1-1断面)が上下から押しつぶされ、相対的に避難連絡坑目地端部の断面(2-2断面)が縦方向に引張られる。施工目地位置が非常駐車帯から離れるほど、端部の断面が縦方向に引張られる傾向が強くなる。そのため、目地端部(2-2断面)では、側壁に引張力が発生し避難連絡坑覆工の構造が成立しなくなる。

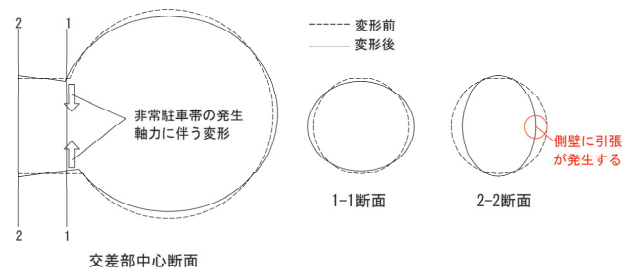


図-6 交差部変形概念図

(2) 構造解析結果

施工の制約からコンクリートの設計基準強度を30N/mm²とし、使用する最大の配筋を片側でD35ctc125の2段配筋までとした。避難連絡坑の施工目地位置を検討した結果、非常駐車帯の覆工外面から1.5mの位置に施工目地を設けることで非常駐車帯の部材厚900mm、避難連絡坑の部材厚1100mmで交差部の構造が成立することが確認できた。

構造解析により得られた断面力分布を図-7に非常駐車帯と避難連絡坑の交差部断面の変形図を図-8に示す。断面力、変形図の傾向として、以下の事がわかる。

- 避難連絡坑の交差部付根の側壁部に圧縮力が集中している。
- 目地端部になるほど、側壁の圧縮力は低下しているが引張力は発生していない。
- 非常駐車帯の軸力が避難連絡坑に作用することにより、避難連絡坑天端部・下端部に内空側の曲げモーメントが集中している。
- 避難連絡坑断面の変形は、交差部の付根の断面よりも目地近傍の断面の方がトンネル上下端の相対変位が小さい。

これらの事より、以下の結果を得た。

- 避難連絡坑付根の側壁部に集中して発生している圧縮力に対してコンクリートの部材厚の仕様が決定した。
- 施工目地端部の位置でも引張力は発生しておらず、引張に対しての補強は必要ない結果となった。
- 非常駐車帯からの集中荷重が作用し、天端・下端の内空側への曲げモーメントが大きくなることによる曲げ引張により鉄筋の仕様が決定する結果となった。

最も配筋仕様が厳しくなる場所は、避難連絡坑のトンネル周方向鉄筋で、地山側・内空側共に、D35ctc125の片側2段の配筋となった。

交差部の構造の中で、避難連絡坑の方が部材の発生応力が厳しい結果となったが、非常駐車帯においても、避難連絡坑の付根部で、内空側への曲げモーメントが集中し、片側2段配筋が必要となった。

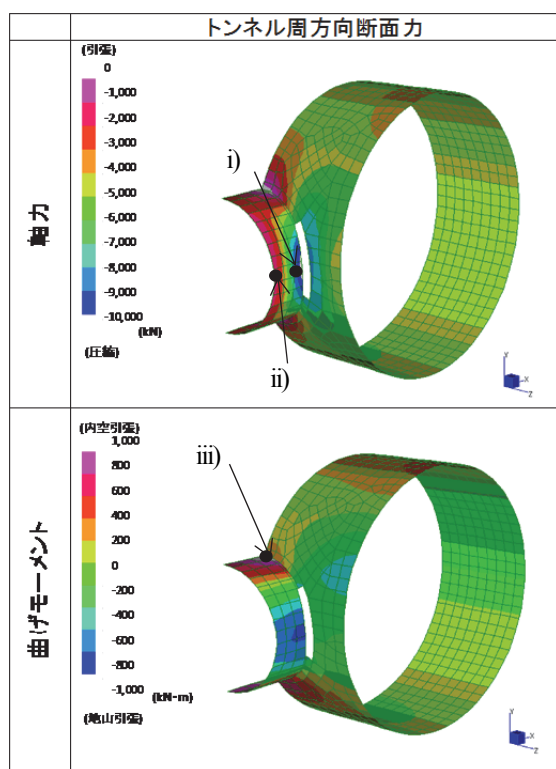


図-7 断面力コンター

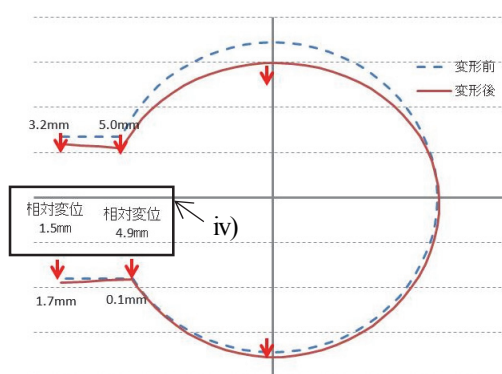


図-8 断面変形図

4. 支保パターン

決定した覆工部材厚を考慮した断面形状に対して、標準支保パターンに準じて各断面の支保工を設定する。非常駐車帯は、第二東名・名神高速道路の大断面トンネルの標準支保パターンを採用する²⁾。また、避難連絡坑については、小断面トンネルの支保パターンを採用する³⁾。さらに、交差部の範囲については、上半部に補強の増しロックボルトを倍ピッチで打設し、支保工の補強を行う(図-9)。交差部の補強範囲の定義については、図-10に示す範囲とする³⁾。また、交差部において避難連絡坑掘削で切断される非常駐車帯の鋼アーチ製支保工については、写真-1で示すようにプレートで補強を行った。その他、吹付けコンクリートの施工については、非排水構造区間であるため、表面を平滑し防水シートを傷付けない

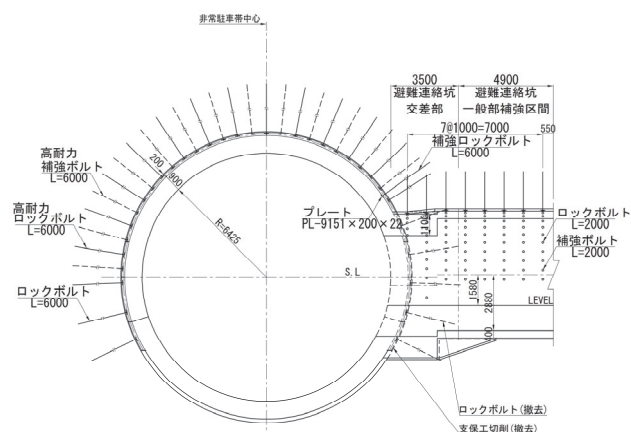


図-9 交差部支保工断面図

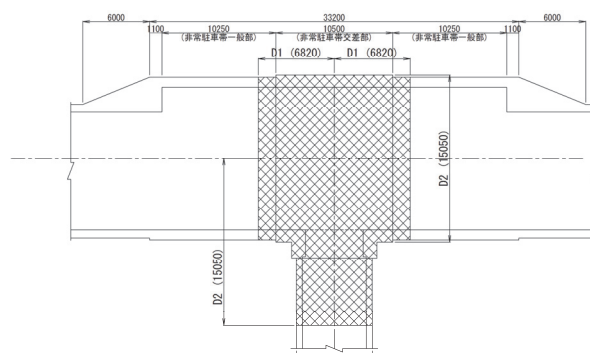


図-10 交差部支保工補強範囲



写真-1 交差部支保工設置状況

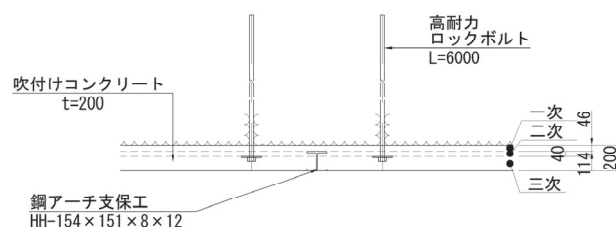


図-11 吹付断面図

い様にした。図-11に示すように、一次吹き付けを実施した後に、鋼アーチ支保工を設置し、二次吹き付けを実施した後にロックボルトを打設し、三次吹き付けでロックボルトを覆い、鋼アーチ支保工の表面に合わせて吹付表面を仕上げた。

5. 施工計画

設計検討の結果、特に交差部付根については、応力が集中し、過密な配筋となった。そのため、コンクリートの充填性に配慮して、一般部ではインバートは普通コンクリート、アーチは中流動コンクリートで施工が行われているのに対し、以下のように変更を行った。

- ・インバート部(写真-2)：鉄筋組立を行い、充填性を考慮し中流動コンクリートにより打設を行った。
- ・アーチ部：鉄筋組立用仮設鋼材がコンクリートの充填の妨げにならない様に、H形鋼は使用せず鉄筋をトラス形状に組立て、構造用の鉄筋を組立てる計画とした(図-12および写真-3)。さらに、コンクリートの充填性を考慮し、高流動コンクリートで施工を行う事とした。

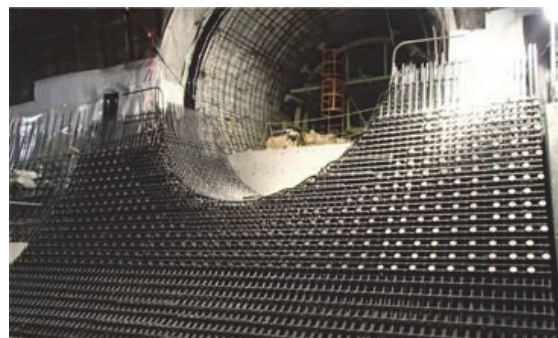


写真-2 インバート鉄筋組立状況

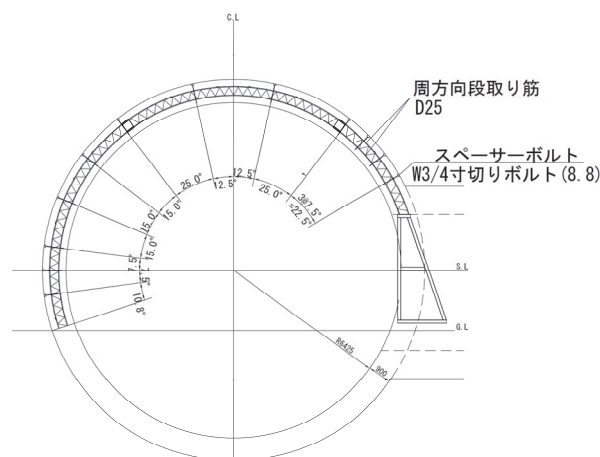


図-12 交差部アーチ鉄筋組立用仮設鋼材

6. 結論

本報告では、前例の少ない非排水構造区間におけるトンネル交差部の設計・施工計画で以下の結論を得た。

- 1) 避難連絡坑の施工目地を構造的に有利な位置とすることにより、合理的な覆工構造にすることができた。
- 2) コンクリートの仕様を配筋状況に応じて適切に変更し、鉄筋組立用仮設鋼材に鉄筋を用いることにより、確実にコンクリートの充填が行える計画とした。

参考文献

- 1) 岡ほか：道路トンネルで初めて超長尺先進コントロールボーリングを採用－新名神高速道路 箕面トンネル、トンネルと地下、第 45 巻 11 号、pp843-852, 2014.11
- 2) 設計要領第三集 トンネル本土工建設編（第二東名・名神高速道路 大断面トンネル）p83 東日本高速株式会社 中日本高速株式会社 西日本高速株式会社 2006.7
- 3) 設計要領第三集 トンネル本土工建設編p97,pp204-208 東日本高速株式会社 中日本高速株式会社 西日本高速株式会社 2015.7



写真-3 アーチ部鉄筋組立用仮設鋼材

(2016.8.5 受付)

DESIGN AND CONSTRUCTION PLANNING OF WATERTIGHT TUNNEL AT TUNNEL INTERSECTION FOR HIGHWAY

Shunichiro YAMANAKA, Koichi OKA, Kenichiro NANBA, Akihiro FUJIMOTO and Isami OHTSUKA

This paper shows the design and construction of tunnel intersection in the watertight area. As a design result, tunnel lining thickness and amount of reinforcement should be increased dramatically as compared with normal section. Therefore it is necessary to consider how to cast concrete adequately at high-density rebars. High-fluidity concrete and medium-fluidity concrete are cast at arch and invert respectively and temporary steel members for assembling reinforcement are applied to keep enough space to cast concrete.