

複数ランプが並走する 道路用開削トンネルの設計

高橋 敏樹¹・齋藤 隆²

¹正会員 株式会社大林組 生産技術本部 設計第一部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）
E-mail: takahashi.toshiki@obayashi.co.jp

²正会員 株式会社大林組 生産技術本部 設計第一部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）
E-mail: saito.takashi@obayashi.co.jp

近年，都市部の高速道路路線は，用地の制約から地下トンネル形式や半地下形式を採用することが多く，その場合にはインターチェンジやジャンクションの分合流部も地下で構築する必要があり，高度な施工技術を要する．また，この分合流部近傍では複数のランプトンネルが近接して並走することとなるため，各構造物を効率的に施工するためには，適切な構造形式を選定する必要がある．本稿では，並走する複数の道路カルバートに対して，大断面の多連多層カルバート形式を採用することで，止水性能やひび割れ抵抗性能等の要求性能を確保しつつ施工コストを縮減して，構造計画上，維持管理上の合理化を図った事例について報告する．

Key Words : cut and cover tunnel, highway interchange, multiple rampways, combined section

1. 対象工事の概要

対象工事は，東京外かく環状道路と中央自動車道とが交差する中央JCTのうち，地下トンネル形式および半地下形式で構築されるランプ部分の構築工事である（図-1）．当工事は，ジャンクションの分合流部となっていることから8つのランプが近接して並走する延長257mの区間の，総合評価落札方式，設計・施工一括発注方式による工事である（図-2）．掘削深さが最大で約41mと深く，工区の全幅が約80mと大きいことが特徴として挙げられ，このような構造物を効率的に施工するためには，適切な構造形式を選定する必要がある．本稿では，並走する複数ランプを含む構造の設計に，大断面の多連多層カルバート形式を採用することで構造計画上，維持管理上の合理化を図った事例について報告する．

2. 設計上の課題

工事範囲は，図-3の代表横断図（ランプ名称は仮称）に示すような地下高速道路の地上への出入口とジャンクションを有する分合流部付近の8つのランプが並走する区間であり，図中の点線で示されるランプ路線の建築限

界に加え，図-4に示すような保安設備，管理設備，避難路などの必要空間を加えた内空断面を有する道路トンネルを設計・施工するものである．路線空間確保以外の条件として，地下構造物の構築により地下水を大きく変動させないなどの要求事項があり，構造的にはレベル2



図-1 対象工事の位置図¹⁾

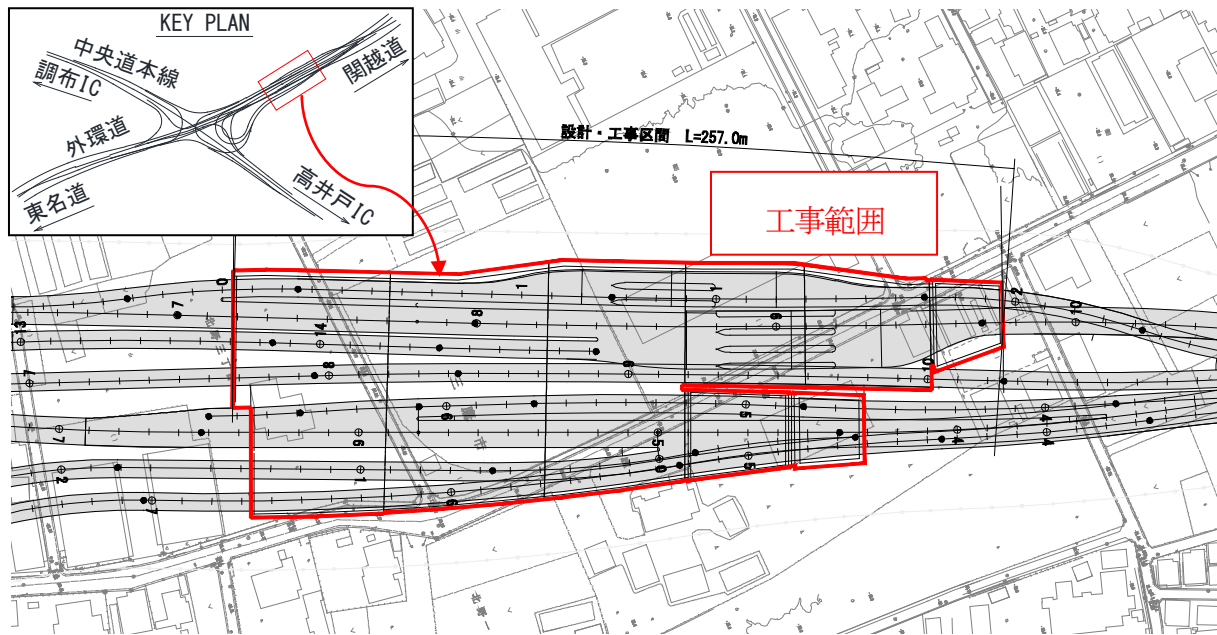


図-2 対象工事の平面図

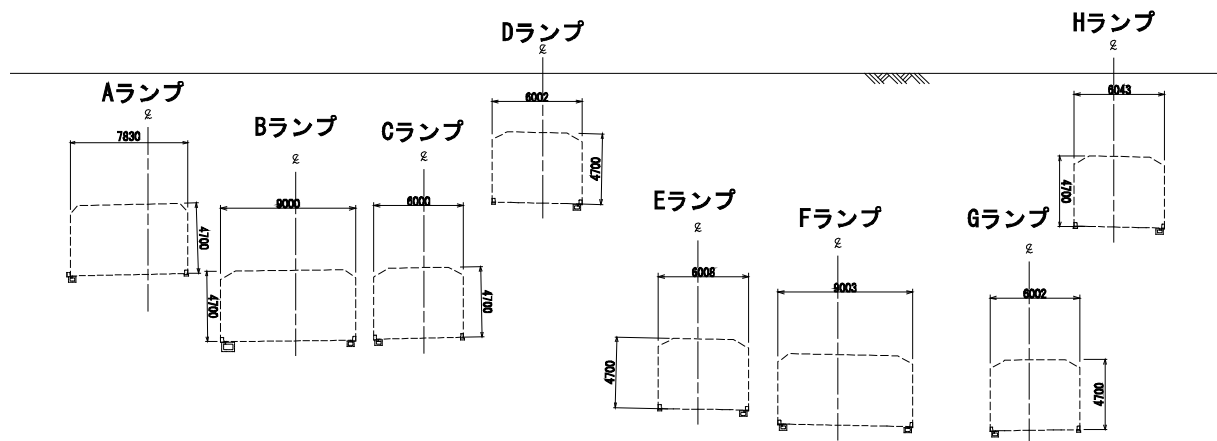


図-3 対象工事の代表横断面図

地震時の耐震性のほか，耐久性，耐火性，遮水性などの性能を確保することが要求されていた．これらの要求性能を満足すれば，開削，非開削，ケーソンなどの施工方法や構造形式，躯体形状は自由に設計できるという非常に設計自由度の高い条件であったため，性能を確保しつつ施工コストを抑えた合理的な設計を行うことが課題であった．

3. 構造形式と断面形状の検討

(1) 構造形式候補案の比較検討

地下に道路構造物を構築する場合，施工方法を大きく分類すると開削カルバート工法，非開削トンネル工法，ケーソン工法の3種類が挙げられる．これら各工法の概要，利点および課題の比較を表-1に示す．

開削カルバート工法は，非開削トンネル工法やケーソン

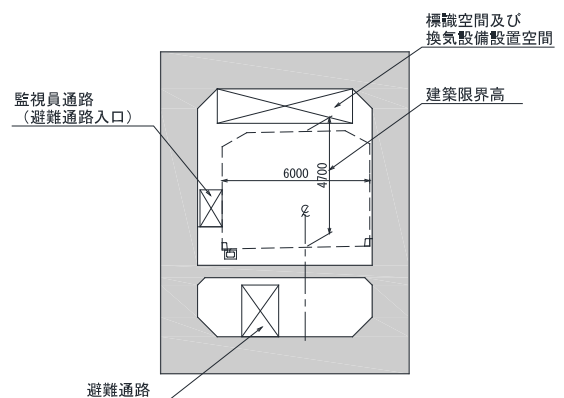


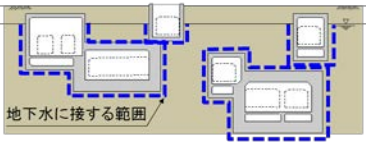
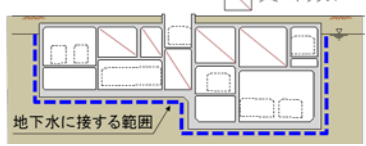
図-4 必要内空断面の概要

ン工法と比べて経済性が圧倒的に有利であるが，掘削深度が大きい場合や，短工期で施工する必要がある場合，地表面の事業用地に制約がある場合などには他の工法が有利になる場合もある．今回の工事では，工区端部にシールド発進立坑となる部分があり，この周辺は掘削深度が大きく，別発注されているシールド工事のために発進

表-1 開削カルバート，非開削トンネル，ケーソンの3工法の比較

工法	開削カルバート	非開削トンネル	ケーソン
概要	土留め壁を構築後，支保工を設置しながら掘削し，順巻き施工により躯体を構築する．	立坑から山岳工法あるいはシールド工法により地表面からの掘削を行わずに道路トンネルを構築する．	函体底版下に気密性の作業室を設け，躯体を構築しながら作業室内の掘削により所定の深度まで沈設する．
利点	- 大断面を全面同時施工が可能 - 道路縦断勾配なりに躯体構築可能であり，ケーソンと比較して掘削量，コンクリート量を低減できる．	- 地表面からの掘削を行わないため，路上交通への影響が少ない． - 深度が深くなると経済的になる．	- 掘削と構築の同時施工が可能のため工程が短い． - 地層や地下水の影響を受けにくい．
課題	掘削底面の安定検討結果によっては地盤改良や土留め壁長が増大し，不経済となる．	- 施工延長が短いと不経済となる． - 道路断面形状の変化への対応が困難．	- 隣接する複数ケーソンの同時施工が困難． - 作業室が底版下であり，底面を水平とするため掘削量，コンクリート量が多い．

表-2 開削カルバートの3構造形状の比較

構造形状	1連単層式断面	2分割多連多層式断面	全断面一体多連多層式断面
断面形状			
止水性	- 部材厚さが大きく，道路空間が独立していることから避難通路を道路下に設ける必要があるため，掘削深度が深くなり，揚水圧が大きい． - 地下水に接する面積が最も大きい．	- 部材厚さが小さく，多連多層断面のため避難通路を道路横に設けることが可能なため，掘削深度を浅くでき，揚水圧が小さい． - 地下水に接する面積は中程度（1連単層式断面の約67％）．	- 部材厚さが小さく，多連多層断面のため避難通路を道路横に設けることが可能なため，掘削深度を浅くでき，揚水圧が小さい． - 地下水に接する面積は最も小さい（1連単層式断面の約52％）．
耐久性	部材厚さが最大で3.2mと厚いため，温度応力ひび割れのリスクが大きい．	部材厚さが最大で2.5mと1連単層式断面に比べて薄くできるため，温度応力ひび割れを抑制できる．	部材厚さが最大で2.5mと1連単層式断面に比べて薄くできるため，温度応力ひび割れを抑制できる．

立坑を早期に部分引き渡しする必要があったため，この部分に関しては掘削と構築の同時施工が可能で工程が短縮できるニューマチックケーソン工法を採用した．これ以外の部分に関しては，土留め壁長が著しく長くなるといった不経済にならないことを仮設検討により確認した上で，開削カルバート工法を採用することとした．

(2) 開削カルバートの断面形状の検討

開削カルバート工法は，非開削トンネル工法やケーソン工法と比べて経済性が圧倒的に有利であり，今回のように制約条件を全てクリアできる場合には，当然ながら採用となる．しかしながら，開削カルバートが並走する場合にはカルバート断面形状にもバリエーションがあり，どの形状を選定するかにより経済性だけでなく構造的にも差異が生じる．今回の路線計画に対しては，①個別の1連単層式断面，②2分割の多連多層式断面，③全断面一体の多連多層式断面の3案を候補として比較を行い，全ランプを一体化した多連多層化を図ることが，様々な要求性能に対して最も有利になるという結果が得られたため，これを採用した．3案の比較結果を表-2に示す．

4. カルバート断面の多連多層化のポイント

(1) ダミーボックス

本構造物では，道路機能として必要のない部分に関しても，ダミーボックスの空間を設ける構造とした．これにより上載土砂による鉛直土圧が軽減し，図-5に示すように1連単層式断面では部材厚さが3.2mと非常に厚くなるのに対し，全断面一体では最大で2.5mとなった．部材厚の低減は温度応力ひび割れを抑制し，躯体の耐久性を向上することができる．

カルバート躯体体積と埋戻し土体積の比較を表-3に示す．ダミーボックスを設けた2分割多連多層式断面構造では，1連単層式構造に比べ，躯体体積は18%増加するが，躯体上部の埋戻し土量は27%にまで削減することができる．さらに，全断面一体の多連多層式断面構造では，1連単層式構造に比べ，躯体体積の増加は14%に抑制され，躯体上部の埋戻し土量は22%にまで大幅に削減することができる．本工事は都市部での施工であり，近隣に土砂仮置き場等はなく，掘削土を仮置しておいて埋戻しに使用することができない．そのため，躯体数量は増加するものの，埋戻し土数量の削減によりトータルとして

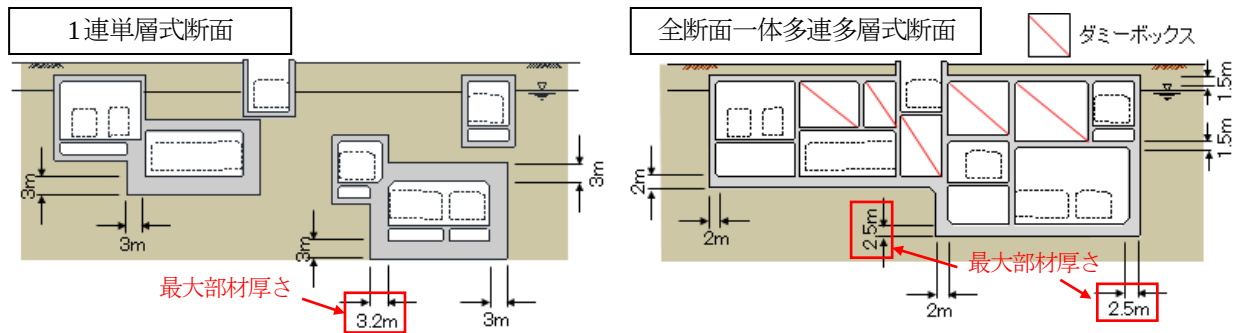


図-5 1連単層式断面と全断面一体多連多層式断面の部材厚さの比較

のコスト削減効果がある。また、複数の隣接工事が同時に進行するジャンクション工事においては、工事用車両の走行台数に制約があり、工期末に埋戻し土運搬のための大量の車両を運用することが難しく、埋戻し土の削減は近隣の安全性向上や環境負荷低減の効果もある。

(2) 止水性能

工事場所は地下水位がGL-4.7mと躯体のほとんどが地下水位以下となる条件であったため、躯体の止水性能を向上するには、確実な防水工法の選択・施工とともに、地盤と接する躯体面積を低減することが有効になる。表-2に示すように、1連単層式に比べて、2分割多連多層式断面の場合は地盤と接する面積を約67%に低減でき、全断面一体の場合はこれを約52%と半分程度に最小化でき、躯体の止水性能を向上することができる。

この他、開削カルバートの止水性能を確保するために、躯体外周には超速硬化ポリウレタン樹脂吹付塗膜防水を施工し、ブロック境界の構造目地には図-6に示すような、可とう継手、止水板を用いている。可とう継手、止水板は、設置深度に応じた水圧により、耐水圧0.20～0.32MPaの材料を使用している。また、許容変位量に関しては、縦断方向耐震検討により算定した変位量から、伸び量50mm、縮み量（目地が閉合する距離）30mm、沈下量（せん断変形量）35mmとして可とう継手、止水板を選定している。

(3) ひび割れ抵抗性能

全断面一体多連多層式断面の採用による部材厚さの低減に加え、温度応力ひび割れを抑制するために、温度応力解析を実施し、表-4に示すような各種対策を採用した。ひび割れ指数1.0以上、許容ひび割れ幅0.15mm（内部部材では0.30mm以下）を目標値として、土木学会、コンクリート工学会の規準^{2) 3) 4)}に準拠した解析を実施した。

材料、配合面では高性能AE減水剤、中庸熱ポルトランドセメント、膨張材（壁部材のみ）を使用し、養生条件としては高機能型枠を用いて保温・保湿養生を28日間継続することとした。また、壁部材にはひび割れ誘発目

表-3 3構造形状の躯体体積と埋戻し土体積の比較

構造形状	躯体体積	埋戻し土体積
1連単層式	514m ³ (100%)	562m ³ (100%)
2分割多連多層式	615m ³ (120%)	150m ³ (27%)
全断面一体多連多層式	596m ³ (116%)	125m ³ (22%)

※奥行 1m 当りの体積。

※括弧内は 1 連単層式を 100%とした場合の割合。

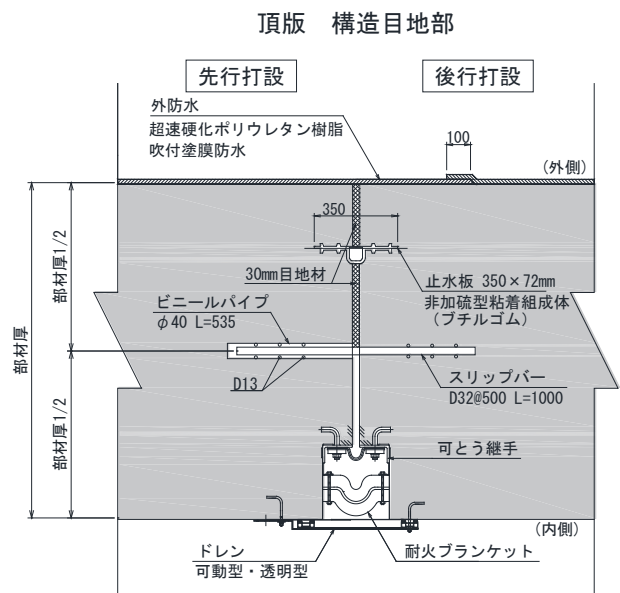


図-6 構造目地詳細図

表-4 温度ひび割れ対策一覧

分類	項目
材料・配合	高性能AE減水剤の使用
	中庸熱ポルトランドセメントの使用
	壁部材に膨張材の添加
誘発目地	壁部材にひび割れ誘発目地を5m間隔で設置
配筋	壁部材の配力筋を鉄筋比0.20%以上配置
養生	高機能型枠による保温・保湿養生を28日間継続

地を5m間隔で設置することとした。ひび割れ幅を抑制するために全部材で配力筋（道路方向鉄筋）を鉄筋比0.20%以上配置することとしているが、この条件でひび割れ幅が目標値を超えた場合にはさらに配力筋を追加して目標ひび割れ幅以下となるように対策を行った。

温度応力解析の左側壁に関する一例を図-7に示す。全ての部位でひび割れ指数は目標値の1.0を超えているが、コンクリート標準示方書【設計編】²⁾に示されるひび割れ指数とひび割れ幅の関係より、予測ひび割れ幅が許容ひび割れ幅（この左側壁では0.15mm）となるように必要鉄筋比を算出した。構造設計で決まる配力筋の鉄筋比がこれに満たない場合は、必要鉄筋比を超えるように配力筋を追加した。

(4) 耐震性能

全断面一体の場合には構造系の不静定次数が上がるため、耐震性能が向上する。一方、断面の左右で地盤条件が異なる場合など、断面力の集中する部位ができ、部材数が多いために全ての部材で照査を満足するためのトライアル計算は増える傾向になるが、主にせん断補強筋の追加により、地震時の照査を満足することができた。

5. まとめ

今回のような複数ランプを含む道路トンネルにおいては、ランプが近接していれば一体化構造を採用することにより、躯体の品質や止水性を向上することができると考えられる。また、一体化構造とすることで、躯体総数量は増加するが、埋戻しなども含めて評価すると、工程やコストに関してもメリットがあると考えられる。

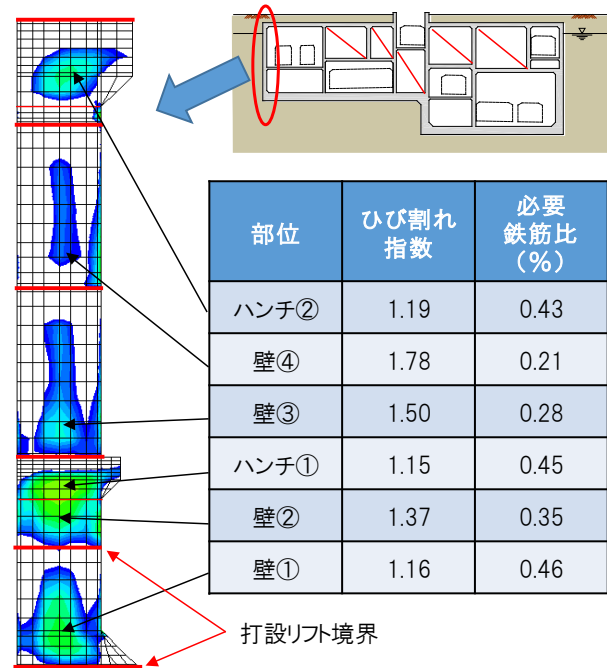


図-7 ひび割れ指数と必要鉄筋比の例

参考文献

- 1) 国土交通省 東京外かく環状国道事務所：東京外かく環状道路（関越～東名）事業概要パンフレット
- 2) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2012.
- 3) コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008.
- 4) コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2009，2009.
- 5) 高橋敏樹，齋藤隆：並走する複数の道路カルバートの多連多層化による合理化，土木学会第 71 回年次学術講演会，VI-909，pp.1817-1818，2016.

(2017. 8. 11 受付)

DESIGN OF HIGHWAY CUT AND COVER TUNNEL CONTAINING MULTIPLE RAMPWAYS

Toshiki TAKAHASHI and Takashi SAITO

In recent years, underground or semi-underground tunnel structure is applied for highways in urban area due to limited right-of-way. In this case, since highway interchange is constructed underground as well, high construction technology is required to construct large section underground structure adjacent to urban area. To construct highway interchange efficiently, adequate structure type shall be important to meet the requirement of structural quality, construction period and project cost. In this paper, a case of rational design applying large section multi-layer and multi-box culvert for multiple highway ramps is reported.