

路盤鉄筋コンクリート施工における出来形精度向上と 品質確保，工程短縮の取組み

九州新幹線(西九州)彼杵川橋りょう工事路盤鉄筋コンクリート施工報告

鹿島道路(株)

鈴木 泰
○ 野田 哲也

1. はじめに

九州新幹線(西九州)彼杵川橋りょう工事では三ノ瀬トンネル 855m, 彼杵トンネル 2,075m の路盤鉄筋コンクリート・突起コンクリートの施工を行うこととしている。路盤鉄筋コンクリート(図-1)は、インバートコンクリートと軌道スラブの間にあり、仕上がり精度向上と曲線区間のカント部を形成するために設けられているもので、高い出来形精度が要求される重要な構造物である。

本工事では曲線カント部の多い路盤鉄筋コンクリートの施工にスリップフォーム工法を採用し、出来形精度の向上及びカント部の仕上がり精度向上及び連続施工による工期短縮を図った。

本稿は当工種において出来形精度の確保，品質確保を念頭に置きながら，工程短縮を達成するために実施した様々な取組みについて報告するものである。

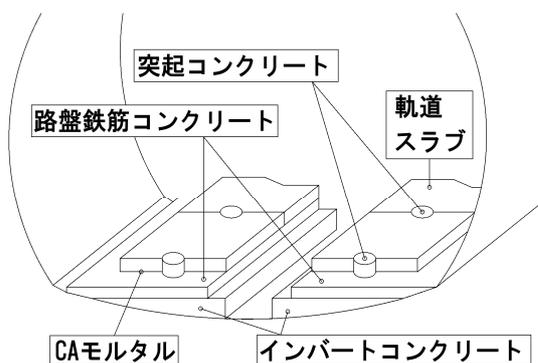


図-1 新幹線軌道構造(トンネル部)

2. スリップフォーム工法の特徴

スリップフォーム工法とはコンクリートの締固め装置(バイブレータ)と成形装置(モールド)を備えた施工機械を用い、コンクリートを所定の形状に締固め、成形しながら同一断面を連続してコンクリート路盤・構造物を構築する型枠が不要な工法である。従来的人力施工と比較すると、高さに関する出来形精度の向上，カント部の精度向上，仕

上げ面の平坦性向上が可能となる。

連続的に施工するスリップフォーム工法の採用により断面全体を同時施工することが可能となり、弱点のコールドジョイント等が少ないこと，自動制御による精度向上に加え，省力化・工事期間の短縮等を図ることが可能となる。

3. 施工方法の検討に向けての課題

施工方法の検討にあたって，様々な課題が浮上したので下記に記載する。

3.1 トンネル内空断面が狭い

当施工箇所はカントが大きく3トラック(脚)仕様のコンクリートスリップフォームペーパー(以下CSP)では機械の走行安定性を確保することが難しく，自社で保有している4トラック(脚)仕様のCSP(GOMACO社製Commander III)を採用した。しかしトンネル内空断面が狭く，トンネル内をアジテータ車と離合することが困難であり，他にもトンネル延長約500m間隔に設置してある器材坑の側壁(写真-1)をかわして通過しなければならない等の条件下での施工にあたって自社機械の改造が不可欠であった。



写真-1 器材坑側壁

3.2 カント部(最大横断勾配12.8%)の肩ダレ

カント部側面のコンクリートのエッジスランプ

(肩ダレ)の防止対策が必要となる。その対策としてダレにくいコンクリート配合の検討が重要である。スリップフォーム工法は、側面整形版が機械に直角固定されており、角度補正ができないため、カントが大きいと薄層側は出来形不足、厚層側は側面テーパで余剰断面が増大し5%程度の材料のロスとなる。(図-2参照)

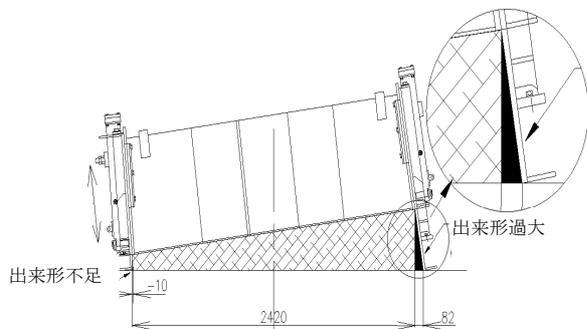


図-2 標準整形版での課題

3.3 新幹線の高速走行安定性の確保

新幹線の高速走行安定性の確保のために、基準高はもちろんのこと、軌間や通りの精度も求められる。インバートコンクリートの仕上がり基準高の精度が設計値から-30 mmの範囲内であるのに対して、路盤鉄筋コンクリートの仕上がり基準高は設計値±10 mmを求められており、精度を確保するためにはリアルタイムに出来形補正を行うことが重要である。また突起コンクリートの基準高は設計値+10 mmの範囲内であり、平面位置のズレ量の規格値は設計値から±10 mmとなっており、鉄筋のかぶり量の確保と突起コンクリートの設置精度についても求められている。仕上がり、品質面においてコンクリートの性状のバラツキ、更に材料待ちによる性状変化をなくすことを考え、コンクリートの品質の安定化と材料の連続供給が重要となる。

3.4 作業効率の向上

所定の期日内に路盤鉄筋コンクリートを完成させる必要がある。先行施工した三ノ瀬トンネルは計画通りの施工とはならず、作業効率が低下した。本施工に向けて作業サイクルの見直しと工程短縮による日施工量の向上が重点課題となった。

4. 課題への対策

4.1 トンネル内空断面に適応したCSPの改良

鉄道トンネル内空断面は道路断面より狭く、一般道路断面に対応したCSPの本体ではアジテータ車との坑内離合が困難である課題に対し、本体フレームを切断し本体幅を標準仕様よりも縮める改造を行った。さらにトンネル内器材坑の突出した側壁部分(写真-1)を通過させる課題に対して、本

体フレームを切断しただけでは対応できず、器材坑通過側のクローラ部をハイドライブトラック(写真-2)という標準クローラよりも幅が狭いクローラ(図-3)を採用することにより器材坑の側壁部の施工が可能となった。



写真-2 器材坑脇を通過するハイドライブトラック

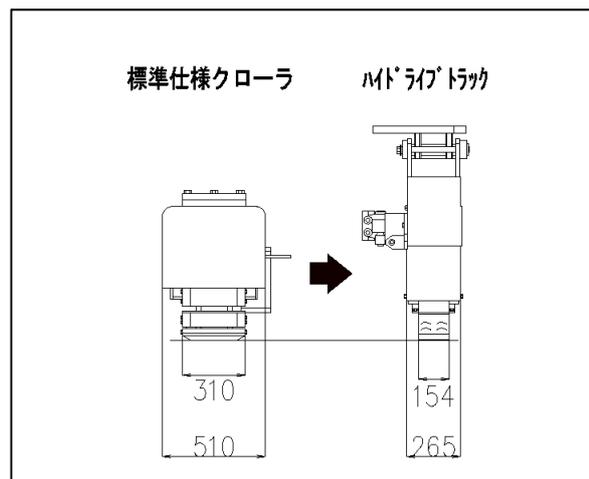


図-3 標準仕様クローラとハイドライブトラックの比較

4.2 カント部の対策

カント部のエッジスランプ防止の対策として、コンクリートの呼び強度を24N/mm²から27N/mm²に設定することで、粘性を高めエッジスランプの防止を図った。さらに単位セメント量と細骨材率を調整し、道路用のコンクリート配合と比較して粘性が高く空気量に富むコンクリート配合としてエッジスランプが生じにくい配合(表-1)とした。

側面整形版が機械直角固定されており、カント部での角度補正ができないという課題に対しては、側面整形版が直角に下りないように、あらかじめ角度をつけたブラケット(図-4)を製作し、懸念された課題の対策とした。さらに、横断勾配が12.8%と急勾配となり、機械も同一横断勾配に設置するとクローラ部への負担が大きく、施工時の走行安定

性が損なわれるため、モールドの吊り具の改善を行い、機械本体の勾配を5%以内に納まるようにした(写真-3)。

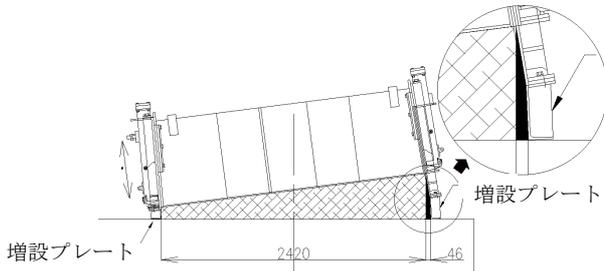


図-4 角度補正ブラケット図

表-1 コンクリート配合表

コンクリートの種類		普通27-4.0-20N	
呼び強度 (N/mm ²)		27	
最大粒径 (mm)		20	
スランプ (cm)		4	
空気量 (%)		5.5	
水セメント比 (%)		53	56
細骨材率 (%)		46.5	46.5
単位量 (kg/m ³)	水	150	150
	セメント	283	268
	細骨材①	599	603
	細骨材②	253	255
	粗骨材	996	1003
	混和剤	2.83	2.68

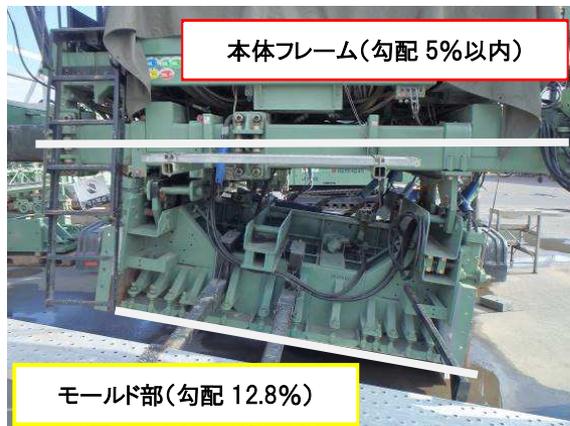


写真-3 モールド傾斜補正

4.3 高速走行安定性確保の対策

仕上がり精度向上のために、高さおよび走行位置の自動制御をリアルタイムに補正が行える三次元マシンコントロールシステム(以下3D-MC)での施工を採用した。CSPでの3D-MCは高さの自動制御と走行の自動制御も同時に行なえるため、基準高精度の確保はもちろんのこと、幅員や通りの精度も得ることが可能となった。また仕上がり品質の向上のためコンクリート品質確認の専任者を配置して検査頻度を増やして品質の安定化を図ることとし

た。さらにコンクリートの連続供給を実現させるために、打設サイクルタイム表を作成して工場出荷管理を実施し、コンクリート材料待ちによる性状変化をなくす対策をとった。

4.4 作業効率の向上

施工着手中である彼杵トンネル施工時に挙げた課題なので「6. 本施工」の方で対策と効果を記載する。

5. 試験施工

課題への対策の効果を見極めるために試験施工を行って評価した。試験施工では本施工を考慮し、幅員、厚み、横断勾配、曲率を本施工時と同条件で行った。本施工の断面を図-5に示す。

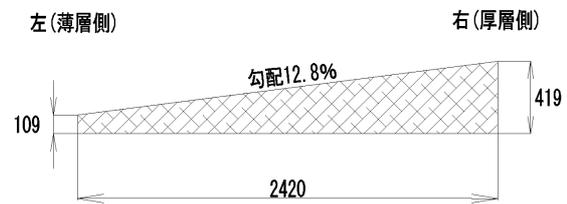


図-5 本施工断面図

5.1 仕上がり精度の確認

試験施工での仕上がり精度は、敷均し位置で左側(薄層側)端部位置と設計との誤差は-2mm~+5mmとなっており、規格値内であった。右側(厚層側)端部敷均し位置は+3mm~+10mmで規格値内であったが、施工幅員は+4mmから+12mm広がっており、モールドの幅2,420mmより広がっている状態であった。これは敷き均し直後にモールドに拘束されていたコンクリートが側方に押し広げられていることが考えられ、スランプによりこの値は変動するものと考えられる。敷き均し高さに関しては、±5mmで敷き均しが規格値を満足した。以上のことより、12.8%の急勾配施工、R4,200mの曲率の施工においても3D-MCでの施工が可能であることを確認した。

5.2 締固め度、圧縮強度試験結果

コンクリートの締固め度を確認するため、採取コアの密度を測定した。当該試験施工では採取コアを深さ方向で4等分にカットし、それぞれの密度と基準密度から締固め度を求めた。層毎に多少のばらつきは見られたが、全供試体において締固め度が100%を満足しており、下層まで十分に締め固まっていることが確認できた。圧縮強度はいずれのコアにおいても呼び強度27N/mm²を満足しており、コンクリートの締固め性に問題ないことを確認した。

5.3 中性化試験結果

切取りコアの中性化深さを計測するために、一定期間、中性化促進環境下にコアを暴露した後にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、中性化深さを計測した。中性化深さは暴露13週で14.4mmとなった。既往の中性化の研究結果と今回得られた結果を比較した結果、今回採取したコアの促進中性化深さは、既往の研究において室内で作製された供試体と大きな差異はなかった。今回のスリップフォーム工法で施工したコンクリートの表面は、室内供試体と同程度に密実に施工できていることを確認した。

5.4 試験施工結果まとめ

試験施工において、路盤鉄筋コンクリートの機械施工を想定し条件の最も厳しい曲率R4,200m,横断勾配12.8%で実施した。機械の制御は高さ、走行位置共に3D-MCにより幅0mm以上、高さ±10mm以内を十分にクリアする精度の高い敷き均しを実施することができた。本施工においても横断勾配が12.8%の施工に対応できるものと考えられた。

配合については、水セメント比53%と56%の2配合で敷き均しを実施したが、表面性状に大きな差異は見受けられず、敷き均し後のダレもほぼ見られなかった。これらより端部のエッジスランプをより防止できる水セメント比53%を採用することとした。締固めに関しても、バイブレータで流動化させたコンクリートをスクリュ内を抱え込んだ材料荷重によりモールド下部に押し込み、圧入することで、コンクリート内のエアが抜けて高い締固め効果が得られた。また、切取りコアによる試験結果からも上層から下層まで十分に締固まっていることが確認できた。以上の結果を踏まえ、本施工に臨んだ。

6. 本施工

6.1 トンネル内空断面に適応したCSPの改善効果

機械の本体フレームを切断し、標準仕様よりも脚間を短縮したため、アジテータ車との離合は難無く行えた。器材坑の通過に関しても標準のクローラよりも幅が狭いハイドライブトラックを採用したことで問題なく施工できた。クローラ部に掛かる負担を軽減するために、モールドを傾けたことによりクローラは地面全面に密着しており、クローラには無理な力は掛からなかった。写真-4にアジテータ車との離合時の写真、写真-5及び写真-6に施行状況の写真を載せる。



写真-4 アジテータ車との離合



写真-5 施工時写真：正面モールド



写真-6 施工時写真：敷均し仕上げ

6.2 カント部への改善効果

カント部におけるコンクリートのエッジスランプの防止のために通常の道路用のコンクリート配合と比較して粘性が高く空気量に富むコンクリート配合とした。フレッシュ性状は出荷時のスランプを変更することで対応し、締固め性、変形抵抗性に関してもこれまでの舗装用スリップフォームコンクリートで良好な施工が行われた実績の範囲内

に収まる結果となった。また、懸念されていたエッジスランプは見られず、今回のコンクリート性状であれば良好な施工が可能であることが確認できた。写真-7 に敷均し後の仕上げ状況の写真を載せる。

6.3 高速走行安定性確保への改善効果

(1) 出来形精度

出来形精度に関しては、敷均し高さ、走行ラインの制御に 3D-MC を採用した事で基準高、幅のどちらとも目標値を満足することが確認できた。出来形検測に関しては、トータルステーションを用いて敷均し直後の面をリアルタイムに検測した。路盤鉄筋コンクリートの出来形精度についてヒストグラムでまとめたものを図-6 に示す。図から分かるように、数値のバラつきはあるものの、全て基準高規格値の設計値±10 mmを満足できた。3D-MC 制御に用いたトータルステーションを写真-8 に示す。

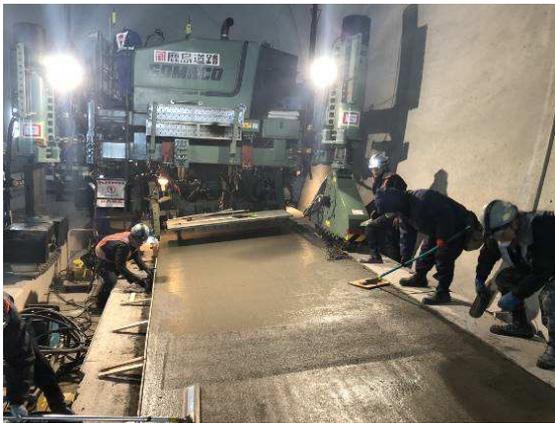


写真-7 敷均し後の仕上げ施工



写真-8 3D制御用トータルステーション検測

また、突起コンクリートの平面位置出来形精度のヒストグラムを図-7 に示す。

突起コンクリートの平面位置のズレに関しても規格値を満足する事ができた。以上の結果から基準高、位置共に規格値を満足する精度の高い施工が可能となることが確認できた。

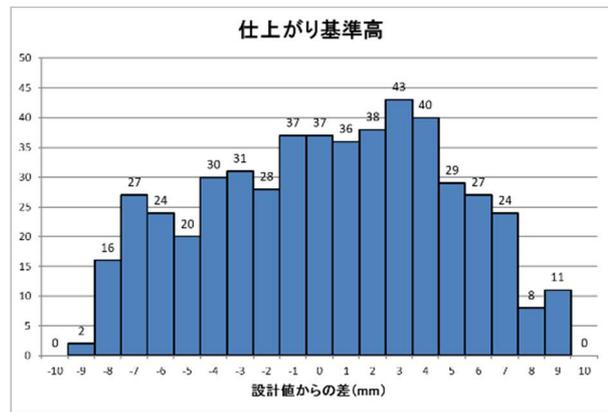


図-6 路盤鉄筋コンクリート
仕上り基準高出来形精度 (ヒストグラム)

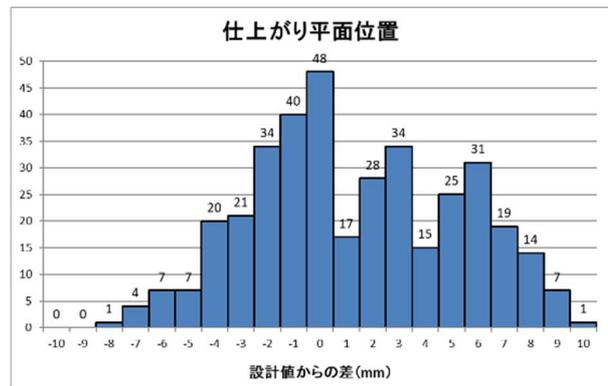


図-7 突起コンクリート
仕上り平面位置出来形精度 (ヒストグラム)

(2) 地上型レーザースキャナでの計測結果

地上型レーザースキャナを用いて、面的に計測を行った測定結果を以下に報告する。計測場所は延長100m、幅員2.42m、横断勾配が10.53~12.07%に変化する勾配変化区間であった。

① 横断形状評価

計測した点群データをもとに横断方向に描いた近似直線と、各点群の高低差を比較した。また、施工端部は先行コンクリートが既に打設されており、3D-MCで施工した際に現況に擦り付けている可能性が高いため、出来形評価対象として設定されている点から内側の範囲を対象とした。

計測延長100mのうち、20m毎の5測点で評価を行うこととし、突起コンクリート施工測点では正確な評価ができないため、それ以外の測点を対象とした。図-8に点群データと設計データとの標高差の評価イメージを、表-2に計測結果を示す。

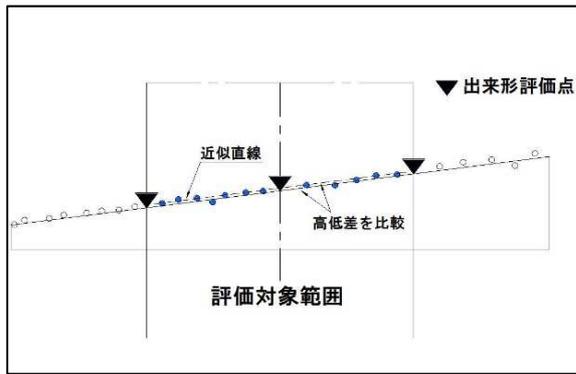


図-8 近似直線に対する点群評価 (イメージ)

表-2 各測点における近似直線に対する高低差

測点	計測結果		標準偏差
	MIN	MAX	
20+802	-1.4	1.1	0.6
20+822	-1.0	1.7	0.7
20+842	-1.3	1.4	0.8
20+862	-1.3	2.1	0.8
20+882	-1.5	0.8	0.6
全箇所平均	-1.5	2.1	0.7

② 横断近似直線と設計勾配の比較

①にて算出した横断近似直線と、設計勾配との差を比較した。表-3 に比較結果を示す。

表-3 近似直線勾配と設計勾配の比較

測点	計測結果		勾配の差
	設計勾配	近似勾配	
20+802	12.07	11.77	-0.30
20+822	11.79	11.59	-0.20
20+842	11.42	11.21	-0.21
20+862	11.00	10.94	-0.06
20+882	10.53	10.42	-0.11
平均			-0.176

レーザースキャナでの計測結果から、横断近似直線との高低差、近似直線勾配と設計勾配の差ともに小さく、管理測点だけではなく面的に精度を確保できる 3D-MC の優位性が確認できた。

6.4 作業効率の向上への改善効果

先行して施工を行った三ノ瀬トンネルでは現場条件や進入路の関係でアジテータ車が一方通行できず、トンネル内での U ターンを余儀なくされたため連続打設ができなかった。そのため彼杵トンネルでは工程短縮のため施工サイクルの向上が重要となった。

前述したような各課題に対する改善策を実施した結果、施工サイクルが向上し、日当たりの最大施

工量 280m を達成でき、所定の期日内に彼杵トンネルの路盤鉄筋コンクリートの施工を終えることができた。写真-9 は上下線の路盤鉄筋コンクリートの仕上がり状況である。



写真-9 上下線の路盤鉄筋コンクリート施工完了

7. おわりに

本工事における路盤鉄筋コンクリートは、スリップフォーム工法によって施工したが、機械の改造やコンクリート配合を調整することで、新幹線のトンネル内の路盤鉄筋コンクリート施工への高速施工の実績ができるとともにスリップフォーム工法の優位性が確認できた。また、3D-MC を採用したことで高精度な出来形が確保でき、新幹線の高速走行安定性の確保に貢献した。なお、CSP の運搬に関して、今回は重量 20 トン超の大型機械を運用するため、運搬用車両を入念に検討し、施工計画に反映した。

今後同種工事に対応していく場合には、より確実な施工が実現できるよう、今回得られた知見を活かすとともに、得られた情報を水平展開できるように整理していく必要もあると考えている。

最後に、今回このような機会をいただき大変有意義な取組みであったと考えている。関係各位に感謝申し上げる次第である。