

# 無導坑めがねトンネルの施工

新城 実<sup>1</sup>・玉城 守克<sup>1</sup>・津中 重彦<sup>2</sup>・島田 智浩<sup>2</sup>

<sup>1</sup>沖縄県土木建築部 南部土木事務所 街路公園班 (〒900-0029 沖縄県那覇市旭町112-18)  
<sup>2</sup>正会員 大成建設株式会社 九州支店 識名トンネル作業所 (〒902-0072 沖縄県那覇市真地289-1)

識名トンネルは2本のトンネルが非常に近接(最小離隔距離1.0m)しためがねトンネルである。本トンネルの施工上の特徴は、先進導坑を施工することなく直接2本の本坑を掘削するという施工方法を採用していることである。また、トンネル上部地表面には全線にわたり住宅等が密集し、土被りも住宅直下では14m~40mと小さく、地山の安定確保と地表面沈下管理が非常に重要な工事である。このような状況下で、出来る限り地表面沈下を抑制するために採用した施工方法とその効果及び、地表面沈下を管理するために採用した種々の計測手法について報告する。

**キーワード:** 無導坑めがねトンネル, 地表面沈下, 早期閉合, 泥岩

## 1. はじめに

識名トンネルは沖縄県那覇市識名地内(図-1)において、都市計画道路真地久茂地線の一部として計画されている双設トンネル(図-2)である。トンネルは東行線と西行線の2本のトンネルからなり、この2本のトンネルの離隔距離は約1mと非常に近接している。2つのトンネルを近接して施工する場合、これまでの実績では、導坑を本坑に先行して施工し、導坑内に本坑上半一次支保からの荷重と地山からの荷重を分担するピラーコンクリートを施工し、その後本坑を施工する方式が主に採用されてきた。しかしながら、近年、導坑を施工せず、直接本坑を施工する無導坑めがねトンネルの施工例が増加している。識名トンネルもこの無導坑方式を採用し、2本のトンネルの施工をした。

また、トンネルは那覇市内の住宅地の直下に計画

されており、住宅直下の最小土被りは14m程度しかない。このため、施工時の地山安定の確保、地表面沈下量の抑制は最重要課題である。この課題を解決するため、施工時には早期閉合をはじめとする地表面沈下抑制に効果のある施工方法及び補助工法を採用した。

## 2. 施工条件

### (1) 地形地質

識名トンネルの施工場所は、那覇市東部の識名台地内にある。トンネル施工位置での地質は概ね均質な島尻泥岩が分布している(図-4)。この島尻泥岩は潜在的亀裂を多く有し、浸水崩壊性が高い。泥岩の一軸圧縮強度は1MPa~2MPaである。また、島尻泥岩の上層にはポーラスな琉球石灰岩が分布しており、



図-1 施工位置図

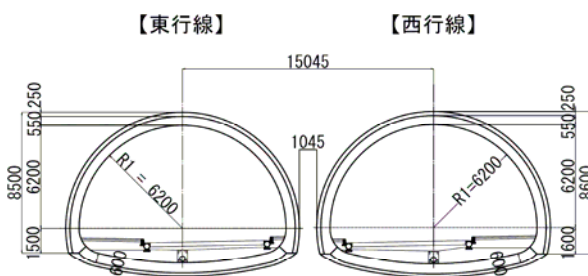


図-2 標準断面図 (D3 パターン)

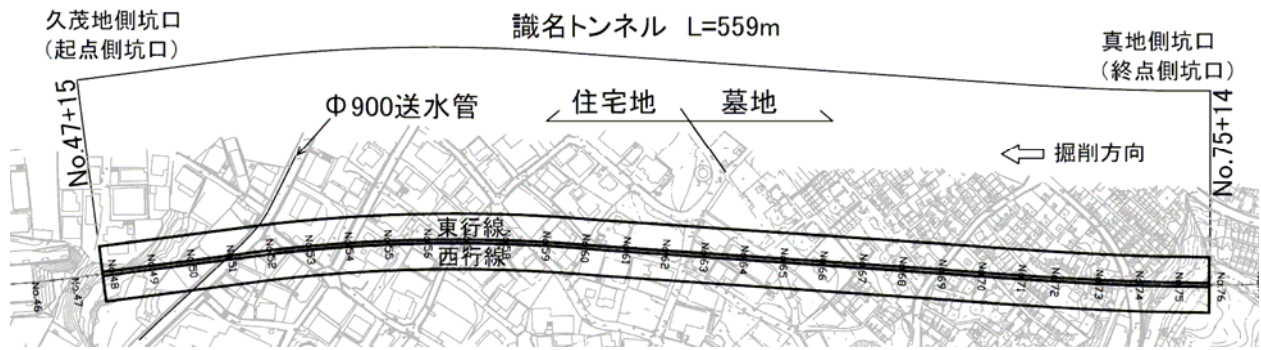


図-3 識名トンネル平面図

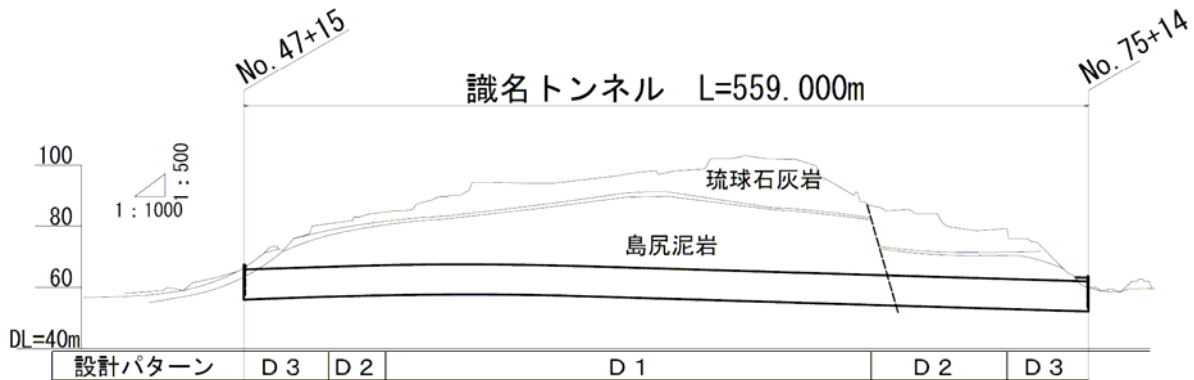


図-4 地質縦断面図



写真-1 全景写真 (着工前)

琉球石灰岩と島尻泥岩の地層境界付近で滞水層が存在している。

## (2) 地表部の状況

トンネル直上部の地表面には、住宅および墓地が密集している。さらに配水池および、水道管、ガス管等のインフラ施設も多く配置されている。また、住宅地部は土被りの浅い区間（住宅部の最小土被り14m）が多いため、トンネル施工の影響が直接地上構造物に影響を与える可能性がある。（図-3、写真-1）。

## 3. 施工方法

### (1) 掘削方法

住宅地直下での施工であるため、掘削方法は、地山安定の確保と地表面沈下量の抑制について効果が期待できる補助ベンチ付全断面掘削工法を採用した。この掘削方法では、インバート吹付による早期閉合が可能となる。また、インバート吹付による閉合位置は上半切羽から7m～9mの位置で閉合するように施工を行った。

2本のトンネルの掘削方法については、次のように設定した。

- ・ 先進坑（東行線）と後進坑（西行線）の切羽は、同時併進させる。
- ・ 後進坑切羽は、先進坑の掘削の影響が収束している位置まで近づけられる。

### (2) 覆工コンクリート

覆工コンクリートは後進坑の掘削の影響が収束した区間から順次施工した。

## 4. 一次支保仕様

本トンネルの標準支保パターンは、土被りの大きさに応じてD1パターン、D2パターン、D3パターン

表-1 標準支保パターン

	パターン					
	D1		D2		D3	
	東行線 (先進坑)	西行線 (後進坑)	東行線 (先進坑)	西行線 (後進坑)	東行線 (先進坑)	西行線 (後進坑)
吹付 コンクリート	t=200mm σ ck=36N/mm <sup>2</sup>	t=200mm σ ck=18N/mm <sup>2</sup>	t=200mm σ ck=36N/mm <sup>2</sup>	t=200mm σ ck=18N/mm <sup>2</sup>	t=250mm σ ck=36N/mm <sup>2</sup>	t=250mm σ ck=18N/mm <sup>2</sup>
インバート 吹付					t=200mm σ ck=36N/mm <sup>2</sup>	t=200mm σ ck=18N/mm <sup>2</sup>
鋼製支保工	H-150@1.0m		H-200@1.0m		H-200@1.0m	
インバート ストラット	-		-		H-200@1.0m	
ロックボルト	D25+FRP, L=4m		D25+FRP, L=4m		D25+FRP, L=4m	
鏡吹付	t=50mm (毎切羽) σ ck=18N/mm <sup>2</sup>		t=50mm (毎切羽) t=100mm (補助工法断面) σ ck=18N/mm <sup>2</sup>		t=50mm (毎切羽) t=100mm (補助工法断面) σ ck=18N/mm <sup>2</sup>	
先受工	-		GFRPφ76mm L=12.5m		鋼管φ114.3mm L=12.5m	
鏡補強工	-		-		鋼管φ76mm L=12.5m	



写真-2 GPSセンサー



図-5 GPSセンサー配置図

と設定された。一次支保の仕様を表-1に示す。無導坑めがねトンネルでは、先進坑の一次支保仕様は後進坑通過時にも応力変化を受けるため、後進坑側の一次支保よりも剛な仕様としている。また、早期閉合の効果を確実なものとするため、インバート吹付コンクリートを東行線、西行線とも全区間に採用した。さらに、土被りが小さい区間に設定されたD3パターンでは、インバートストラット（H-200）を追加採用した。

## 5. 地表面沈下計測

トンネル上部地表面には住宅、墓地等重要構造物が密集しているため、トンネル施工時の地表面沈下管理が重要となる。

本トンネルは、全区間において土被りが小さいため（最大で土被り40m）、トンネル全線にわたる広い範囲で地表面沈下計測を実施し、地表面沈下量の管理を行う必要があった。計画当初は人力にてレベル計測を実施する予定であったが、地上部の制約条件が厳しいこと、および多くの計測ポイントを常時監視する必要があったため、GPSセンサーを使用した地表面沈下計測を実施することとした。GPSセンサーは2本のトンネルの中央部に約40m間隔で設置し、

また、重要構造物部、予測解析実施断面では横断方向にも設置した。GPSセンサーの配置図を図-5に示す。GPSセンサーは、切羽進行と計測データの収束状況に応じて順次設置移動を行い、合計39箇所の地表面沈下を監視した。

## 6. 先進坑と後進坑の相互作用

無導坑めがねトンネルでは、2つのトンネルが非常に近接しているため、先進坑、後進坑の相互作用の把握が重要となる。ここでは坑内B計測の計測結果を用いて、2本のトンネルの相互作用について評価を行う。坑内B計測は鋼製支保工応力、吹付コンクリート応力について実施した。評価断面は、最大土被り位置に設置したD1パターンの計測結果を使用する（No. 64+00）。図-6に先進坑通過時と後進坑通過時の鋼製支保工軸力、曲げモーメント、吹付コンクリート応力の分布図を示す。

計測結果より、先進坑の横を後進坑が通過する際の先進坑側の挙動として、以下の現象が確認できる。

- ・後進坑の通過前後で先進坑の軸力は全計測点で圧縮力が増加する（軸力の増加率は天端が最も小さい）。

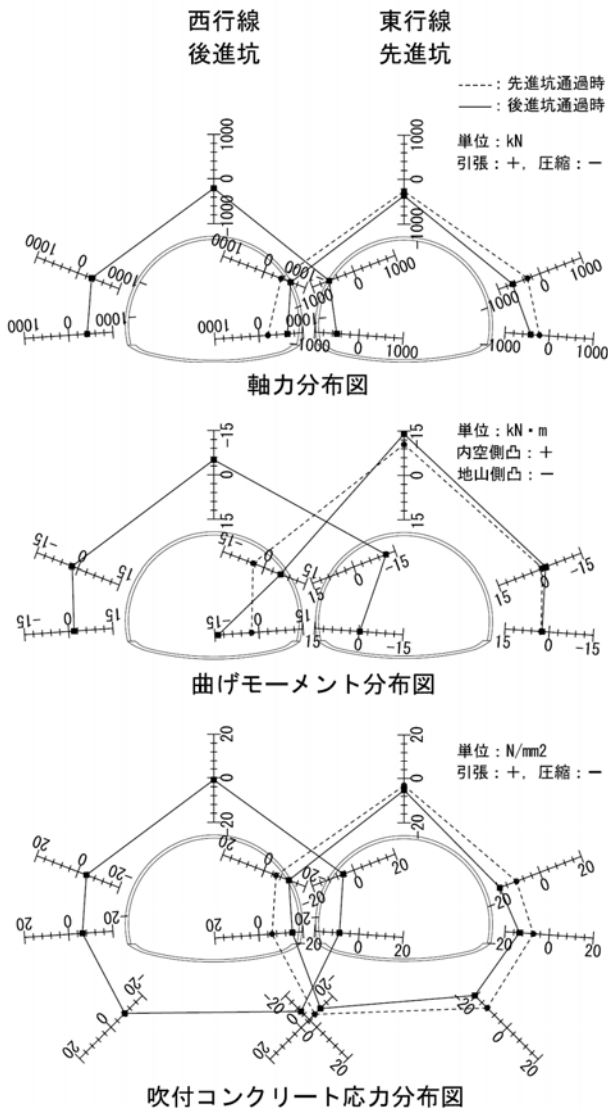


図-6 先進坑，後進坑通過時の断面分布図  
D1パターン (No. 64+00)

- 曲げモーメントは，後進坑通過直後に先進坑の後進坑側肩部で内空側の曲げモーメントが増加し，同じく脚部で地山側に曲げモーメントが増加している．この現象は後進坑掘削による応力再配分の影響で，後進坑側からの応力が，先進坑側の肩部に流れたためと考えられる．
- 吹付コンクリート応力は，鋼製支保工軸力と同様な挙動を示している．また，インバート吹付部の応力計測では，20N/mm<sup>2</sup>程度の圧縮応力が発生しており（設計基準強度： $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ ），インバート吹付が構造として十分に機能していることを確認できる．

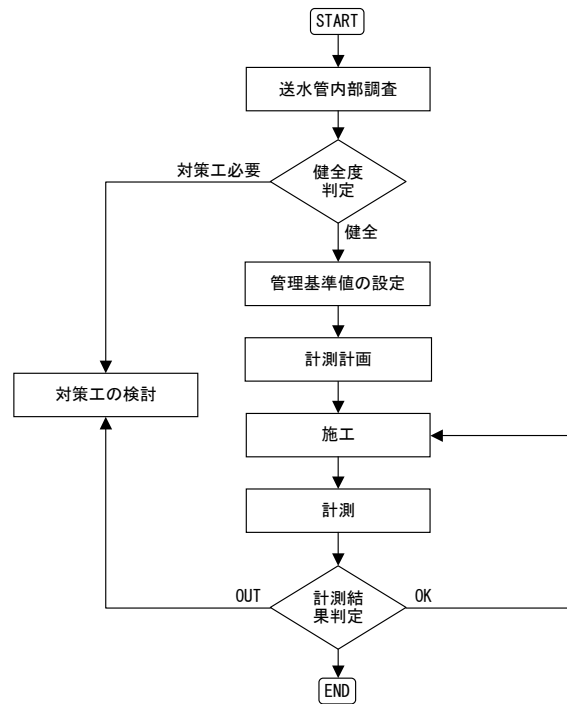


図-7 送水管部施工フロー



写真-3 送水管管理設置位置図

## 7. 送水管部のトンネルの施工

久茂地側坑口上部の市道下には那覇市内に水道水を供給するための送水管が埋設（トンネル天端から11m上部）されている（写真-3）。この送水管是那覇市の3分の2の地域に水道水を供給している重要幹線である。事前の資料調査からこの送水管はφ900のダクタイル鋳鉄管であり埋設後30年が経過し，管の劣化も懸念された。さらに，埋設管は内圧が0.6MPa作用しており，僅かな漏水でも発生した場合

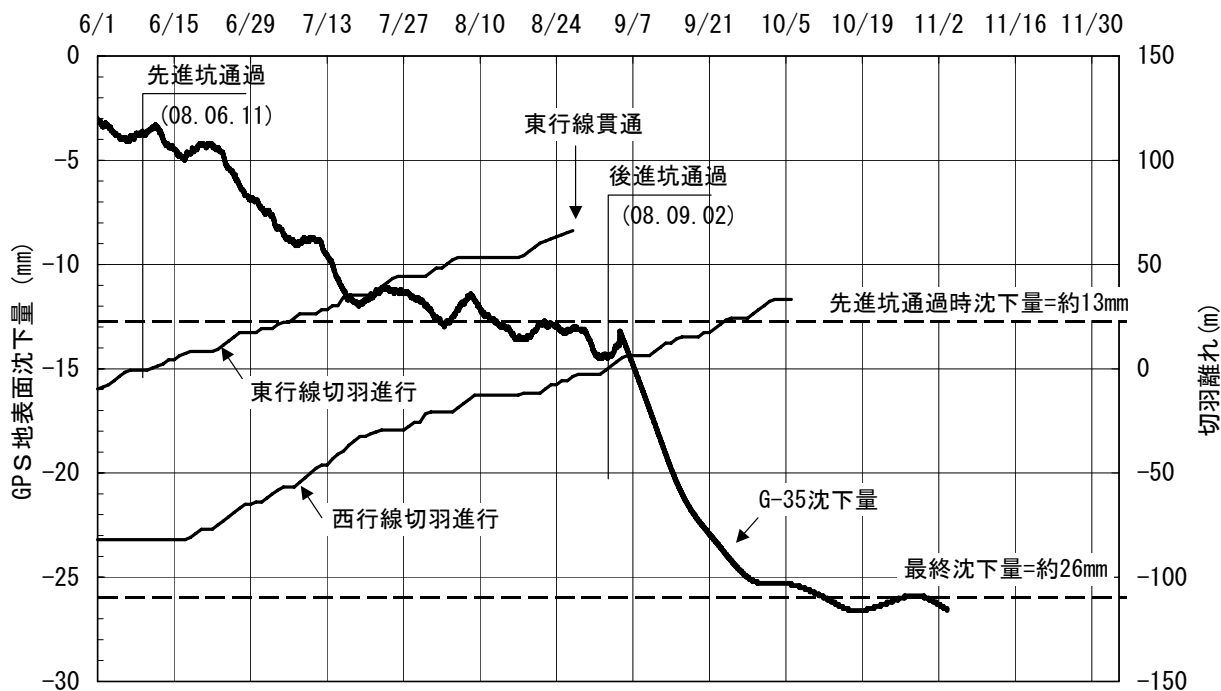


図-9 送水幹部地表面沈下計測結果 (G-35)

はトンネル全線にわたり設定している管理目標値30mmを確保すれば十分な安全率を確保していることが確認できた。

## (2) 送水管部の計測計画

送水管部の沈下量は、送水管の埋設されている市道の路面沈下量にて管理することとし、沈下量の計測には、GPSセンサーによる計測、レベル測量による計測に加えて、24時間常時計測可能なトータルステーションを用いた路面のノンプリズム沈下計測を実施した。送水管部の計測計画図を図-8に示す。

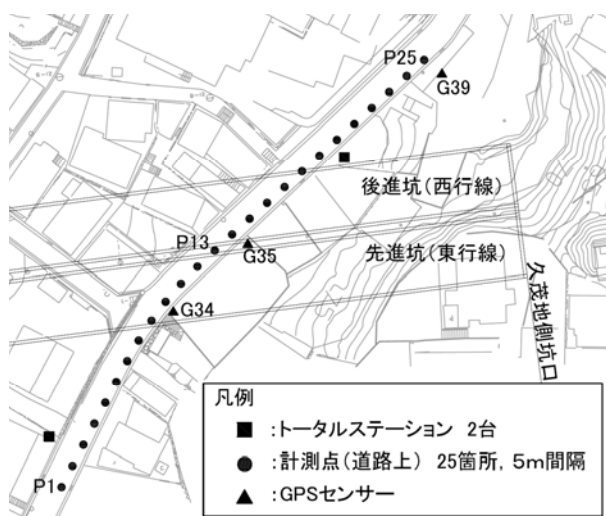


図-8 送水管部計測計画図

は、多大な影響を地表部におよぼす可能性があった。このため、この区間の施工では図-7のフローに従い実施し、確実な施工管理ができる体制を構築した。

## (1) 調査

送水管の内部の健全度および継手部の引抜きに対する余裕度を確認するために、送水管を断水し、送水管内部に入り調査を実施した。調査の結果、管の健全度は当初想定された状態より良好であり、継手部の引抜きまでの変形余裕から算定される許容沈下量

## (3) 沈下対策工

先進坑掘削時に、送水管が埋設されている道路の脇にあるGPSセンサー (G-35) の計測値が先進坑通過後の収束値で約13mm発生となった。この地点に到達するまでの地表面沈下計測結果の分析より (図-10)、後進坑通過後の地表面沈下量の収束値は先進坑通過後の収束値の3倍程度発生していることが確認できた。この分析結果よりG-35においては後進坑通過後の最終沈下量が13mm×3倍=39mm程度となることが予測され、管理目標値30mmを超過することが懸念された。このため、後進坑通過時の地表面沈下抑制のための対策工を実施することとした。

計測点G-35付近の支保パターンはD3パターンであり、設計の段階で長尺先受工、長尺鏡ボルト工、インバート吹付工、インバートストラット工等が採用されており、地表面沈下抑制の対策工としては既に



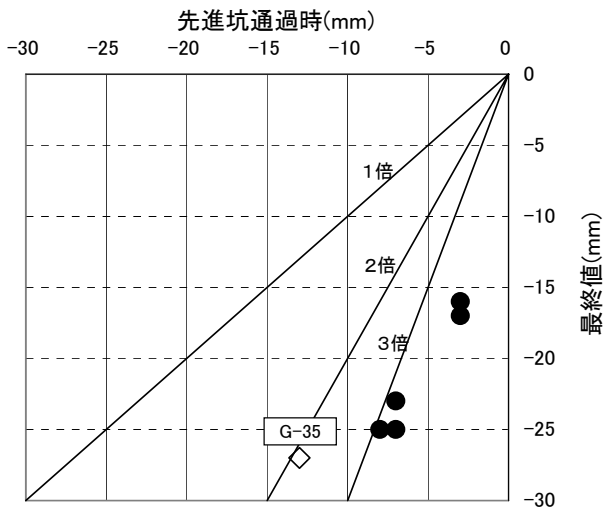


図-10 先進坑通過時沈下量と最終沈下量の比較

種々の工法が採用されていた。このため、現在採用されている補助工法の仕様のランクアップ等では、大幅な沈下抑制は期待できないと判断した。また、この区間は住宅地直下であり、土被りが14m程度と小さく、補助工法施工時の騒音・振動がトンネル上の民家に影響を及ぼすことに配慮して昼間のみの施工としていた。このため、施工サイクルとしては、一般部と同様に早期閉合を上半切羽から7m～9mでインバート閉合を行う施工サイクルを採用していたが、インバート閉合するまでの開放時間が、昼夜施工に比較して長くなり、早期閉合の効果が薄れている可能性が考えられた。このような状況を考慮し、後進坑通過時の沈下抑制対策としては、早期閉合の効果を更に向上させることを目的に、インバート閉合をこれまでよりさらに切羽に近い位置で実施することとした。新たに採用した施工サイクルでは上半切羽からインバート閉合位置までの距離を4m～7mとした(写真-4)。この施工サイクルを後進坑において計測点G-35の直前より採用し、後進坑貫通直前まで採用した。

図-9に示すように計測点G-35の地表面沈下量は最終的に26mmに収束し、管理目標値30mmを超えることはなかった。

この対策工の効果を検証するために、住宅地内に設置したGPSセンサーの先進坑通過時と後進坑通過時の沈下量の比較を図-10に示す(検討対象はトンネル中心に設置したGPS)。図-10より計測点G-35では、その他の計測点の計測結果とは異なり、後進坑通過時の地表面沈下量の増加率が小さくなっており、先進坑通過後の計測値の約2倍となっている。計測点G-35が他の計測点と施工条件が異なるのは、イン



写真-4 インバート閉合完了

バートの閉合位置のみである。よって、計測点G-35における後進坑通過時の地表面沈下量の抑制には、インバートの閉合位置を更に切羽に近づけた効果が寄与していると考えられる。

## 8. おわりに

住宅地の直下を浅い土被りで、これまでに施工実績の少ない無導坑めがねトンネルを施工するという厳しい施工条件であったが、種々の評価、検討によりトンネルの安定性を確保しながら、無事貫通させることができた。本工事を施工するにあたり、ご指導を頂いた識名トンネル施工技術検討委員会(今田徹委員長)の委員の方々と社団法人建設機械化協会施工技術総合研究所の方々に、この場を借りてお礼申し上げる次第である。