

14. シールド自動測量システムの開発

村上 譲二

要 旨

近年、建設技術の自動化が進む中、シールド工事における掘進機の位置・姿勢の測量作業についても、その自動化に向けて様々な研究開発が行われており、トータルステーションやジャイロコンパス等を用いた自動測量システムが既に開発されている。しかし、これらは測量精度が不十分であること、大きな測量空間を必要とすること等の問題があり、特に、小口径急曲線シールドでは、路線線形・掘進機外径等に厳しい制約を受けるため、ほとんど利用されていないのが現状である。

今回、この現状を打開できる新しい方式のシールド自動測量システムを開発したので、その概要と特徴について報告する。

キーワード

シールド／自動測量／計測ロボット／トータルステーション

目 次

1. はじめに
2. システムの概要
3. 計測方法
4. 精度確認実験
5. あとがき

14. DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SHIELD SURVEYING SYSTEM

Joji Murakami

Abstract

With the recent advance in the automatization of construction technologies, various researches and developments have been made for the automatization of shields' position/direction surveying operations. In the meantime, automatic surveying systems utilizing total stations and gyrocompasses have been developed. These systems have, however, found very limited uses because of inadequate surveying accuracy and the need for large spaces for surveying operation. Particularly, in the case of shield excavation of tunnels having small diameters and sharply-curved lines, these systems are practically out of use as the alignment of their driving routes and outer diameters are severely restricted. This paper reports on the outline and characteristics of an automatic shield surveying system that has been developed recently.

1. はじめに

近年、社会資本の早期実現を図るため、シールド工
事において、施工の省力化・工期短縮とともに、高精
度で高能率の施工管理が要求されるようになった。

特にシールド掘進機の位置・姿勢の管理は、直接施
工の品質に関わる重要管理項目であり、その拠り所と
なる測量作業の迅速化・高精度化が強く望まれている。

この様な状況下、既に開発されているシールド自動
測量システムの代表的なものとして、①自動追尾型ト
ータルステーションとプリズムターゲットによるシステ
ム、②ジャイロコンパスとジャッキストロークによる
システムがあげられる。しかし、①の方式は、小口径
シールド工事で使用するには、測量のための十分な広
さ、機器の設置場所等を確保しにくく、また測量機の
盛り換えを行う際、作業が煩雑となること、②の方式
は、相対位置しか求められない上、シールド特有の横
スベリやその他の原因によって誤差を生じやすいので
シールド機の絶対位置を確認するための定期的な確認
測量を行う必要があること等から、①、②の両方式と
も小口径シールドではほとんど利用されておらず、人
力による測量に頼っているのが現状である。

今回、開発した自動測量システムは、完全自動で高

精度の測量ができ、小口径・急曲線シールド等あらゆる
シールド工事に適用できるようにと考案したもので
ある。

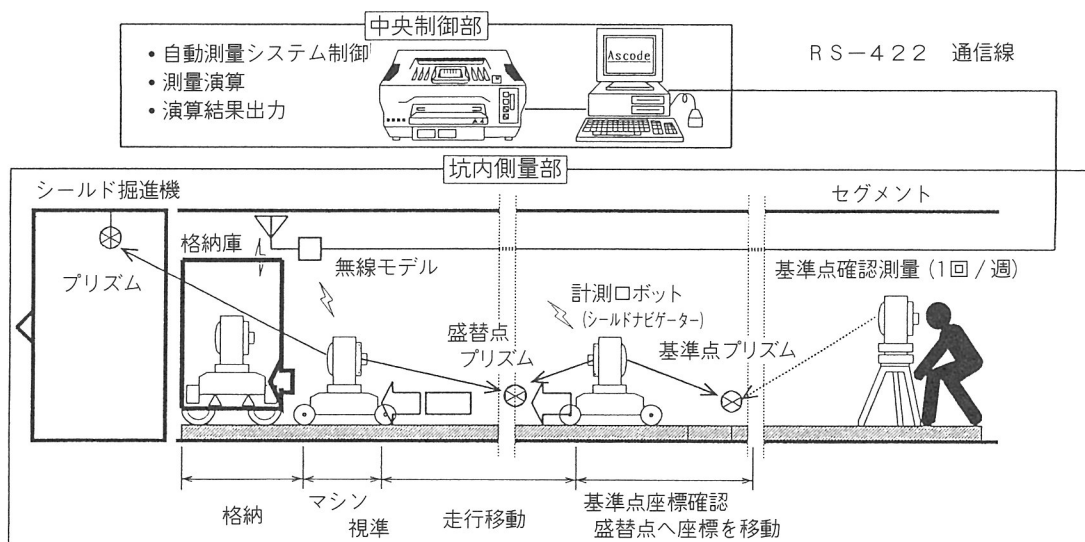
2. システムの概要

本自動測量システムは、ターゲットプリズムを自動
的に探し、測距・測角を行う機能を有する自動追尾式
トータルステーションを走行台車に搭載した、無人で
走行、停止、測量を行う計測ロボットによる自動トラ
バース測量システムである。

その概要図を図－1に示す。

原理は、あらかじめ測量してある2点以上の基準点
プリズムを視準することで、計測ロボットの位置を後
方交会法によって決定した後、坑内に取り付けた盛替
点プリズムを視準し、そのプリズム位置の座標を決定
する。この動作を終了すると移動し、新しく決定され
た2点以上のプリズムにより再び計測ロボット自身の
位置を決定する。この動作を繰り返し、最後に掘進機
に設置したプリズムを視準し、その位置座標を求める。

掘進中のリアルタイム計測は、掘進機に搭載したジャ
イロコンパスとジャッキストローク量の検出により行
う。



図－1 システム概要図

2.1 走行計測部

計測ロボットは、中央制御部からの無線伝送による指示に基づいて、シールドトンネル坑内に敷設された軌条を計測点まで自動走行し、ロボットに搭載されたトータルステーションによりシールド掘進機の位置・方向を自動計測する。

計測ロボットを構成する各パーツは、次のとおりである。図－２にその構成図を示す。

・測距、測角部

自動追尾式トータルステーションは、ボードコンピュータから与えられる旋回・サーチ命令に基づき、所要のプリズムターゲットへの視準、測距・測角を行う。

・整準部

整準台は、搭載したトータルステーションを自動的に水平に保ち、正確な測量を可能にする。

・距離計測部

ロータリーエンコーダーで計測ロボットの車輪の回転数を計測することにより、走行距離を演算し、正確な停止位置を決定する。

・走行部

駆動モーター、ブレーキと各種センサーからの信号を処理し走行動作全体を制御するプログラマブルコントローラーからできている。

・電源部

ロボットが走行するためのバッテリーと安定した電源を供給するDC-DCコンバーターで構成されている。

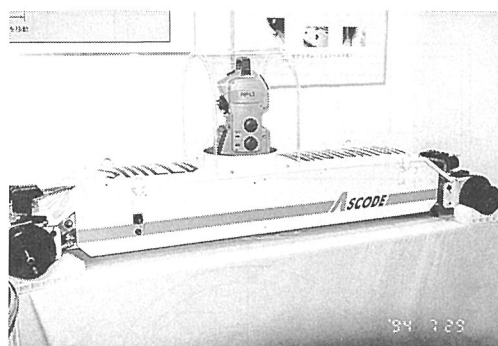
・コンピューター部

ロボット内での機器の制御、走行部への指示、測量結果の演算などを行う。

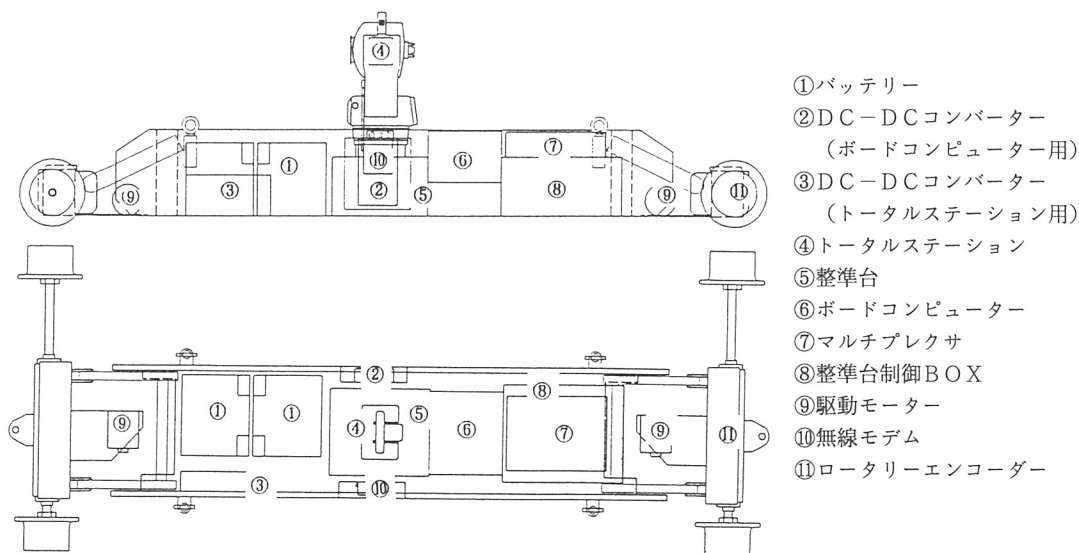
・センサー部

ロボットの前後に配置した近距離センサーによって、走行中の計測ロボットが障害物で脱線しないように監視する。

なお、ロボットの台車の車軸長は連続的に可変となっているので、専用の軌条を敷設する必要なく既設の軌条を走行することができる。



写真－１ 計測ロボット（シールドナビゲーター）



図－２ 計測ロボットの構成図

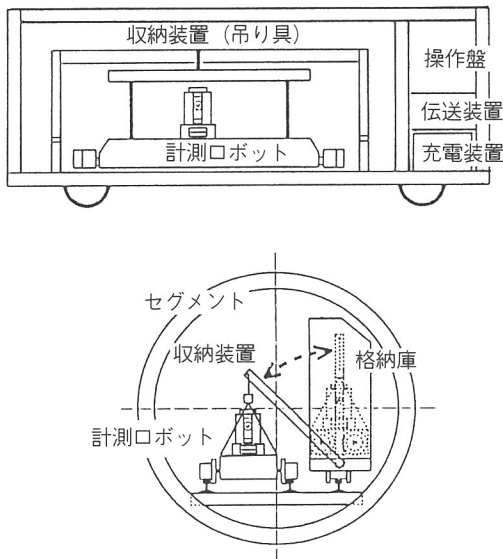
2.2 格納庫

格納庫は、測量作業終了後ロボットを軌条上から待避させ、収納する装置であり、後続台車の後部に連結されている。

格納庫には、無線伝送装置、充電装置、荷役設備が搭載されている。図－3 にその構成図を示す。

2.3 中央制御部

中央制御部は、計測ロボットの走行距離、トータルステーションの旋回角、測距等の指示を、無線伝送によりロボットに与える。また、計測結果を受け取り、計画路線と現在のシールドマシン位置座標の比較を行う。



図－3 格納庫

3. 計測方法

計測作業は、従来行われている人手による測量作業時間帯（昼休憩時および昼・夜作業員交代時）で以下の手順に従って行う。

1. 掘進作業が終了すると、切羽付近軌条上の台車と作業員を第1機械点（基準点プリズムを視準する位置）より後方に退避させる。
2. 計測ロボットを後続台車の格納庫より出して軌条上に設置し（吊り降ろし・車輪伸展・蓋締め・ブーム収納）、中央制御部から与えられた動作指示に基づき、第1機械点に向かって走行させる。
3. 計測ロボットが第1機械点にくと自動停止し、以下の自動測量を開始する。

- ①ロボットの台車車輪ロック（台車の位置を固定）
- ②A P－L 1（自動追尾式トータルステーション）台座整準・ロック
- ③正位での観測開始（バックサイト／フォアサイト）

- ・NO1プリズム方向へ回頭，視準，測距／測角



- ・NO_nプリズム方向へ回頭，視準，測距／測角

- ④反位での観測開始（バックサイト／フォアサイト）

- ・NO_nプリズム方向へ回頭，視準，測距／測角



- ・NO1プリズム方向へ回頭，視準，測距／測角

- ⑤整準台ロック解除，

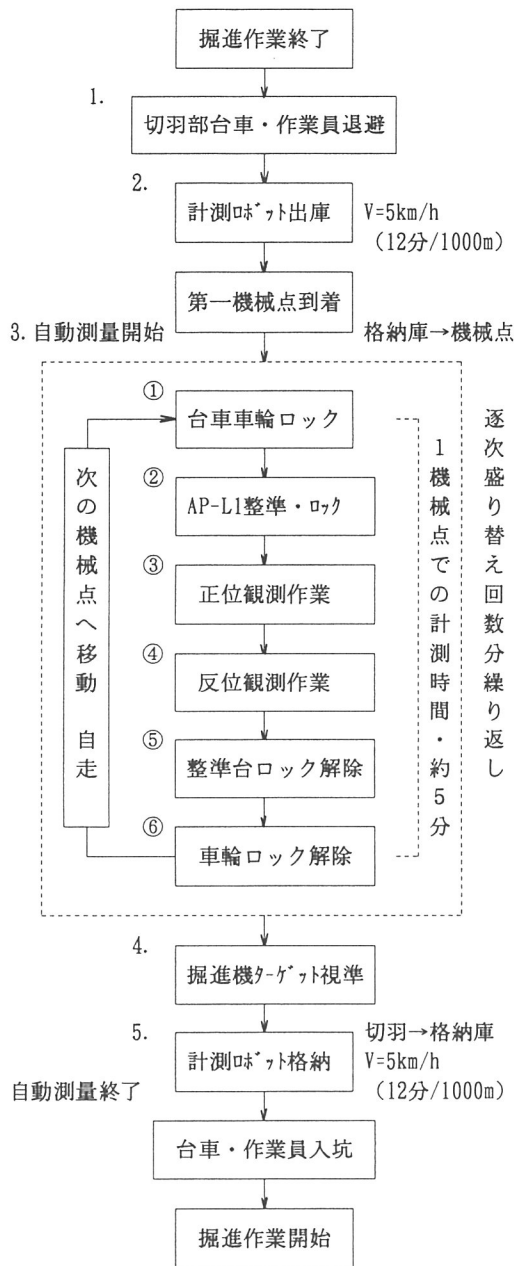
- ⑥台車車輪ロック解除

逐次機械点を移動し、上記の自動測量を盛り替え回数分実施する。

4. 計測ロボットが、シールド掘進機内ターゲットの視準が可能な位置に到着すると、掘進機中心点座標計測・掘進機方向角計測を行う。
5. 計測終了後、計測ロボットを格納庫に向かって走行させ、格納庫に収納する（ブーム下げ・玉掛け・蓋開け車輪短縮・吊り上げ）。
6. 測量結果データを中央制御部へ伝送する。

一連の計測作業はこれで完了で、ここから掘進作業が開始される。図－4 にその計測の流れを示す。

なお、掘進中の掘進機の位置確認は、掘進機に搭載したジャイロコンパス（方位角），ジャッキストローク（掘進長），傾斜計，水盛りレベル計にて行い、計測ロボットによる自動測量により、その都度補正する。



図－４ 計測の流れ

4. 精度確認実験

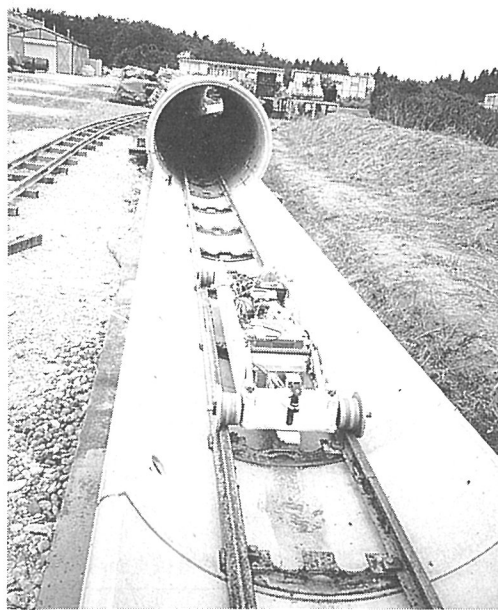
本自動測量システムの精度を確認するために、地上に設置した模擬トンネルでロボットを走行させ、計測を行った。実験の状況を写真－２に示す。また図－５に模擬トンネルの線形ならびに計測点の位置を示す。

トンネルの延長長さは約30mで、写真－３のように、トンネル内にプリズムを固定した。

基準点から計測点までの測量区間長は約45mである。ロボットは基準点を視準してからトンネル区間を3回盛り替えて最終計測点の位置座標を出している。

図－６にロボットの計測結果と真値（人力測量）との座標誤差を示す。

また図－７に計測点のX、Y座標の誤差をプロットしたものを示す。この図からX方向で5mm以内、Y方向で10mm以内に収まっており、満足できる精度であることを確認した。



写真－２ 精度確認実験状況

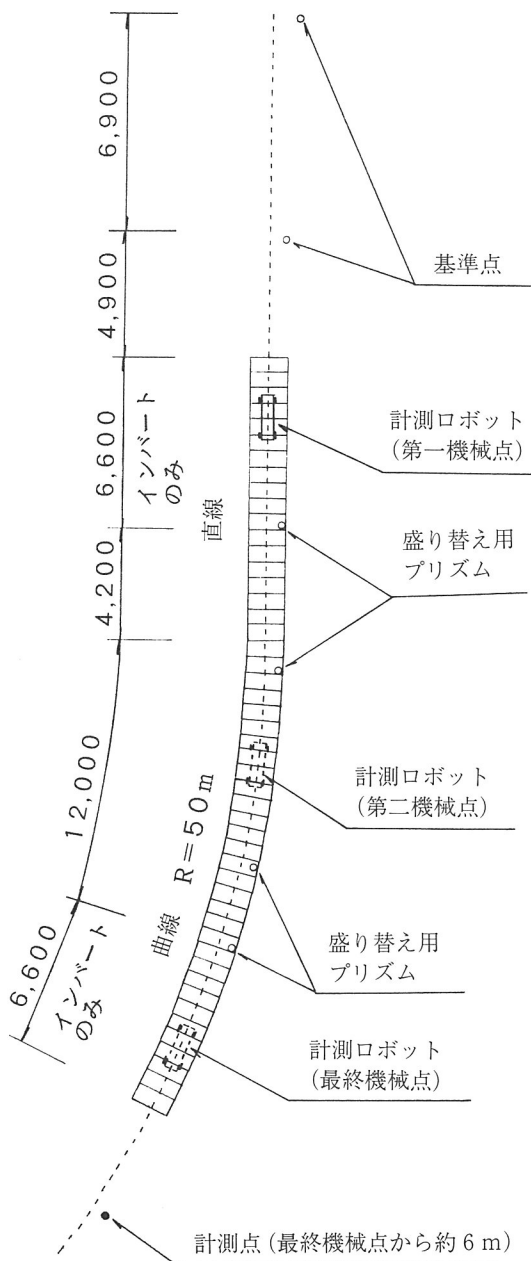


図-5 模擬トンネル線形および視準点

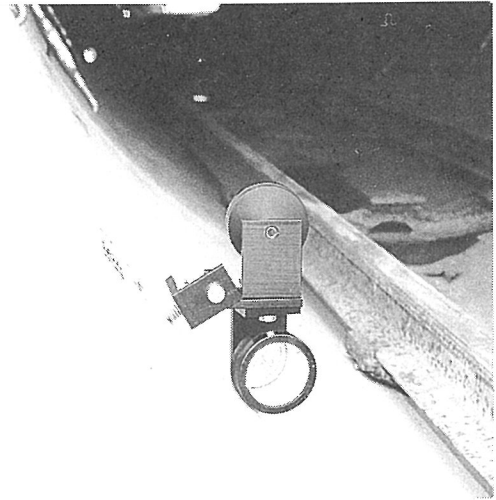


写真-3 プリズム設置状況

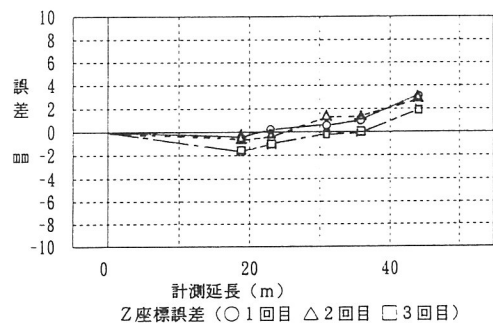
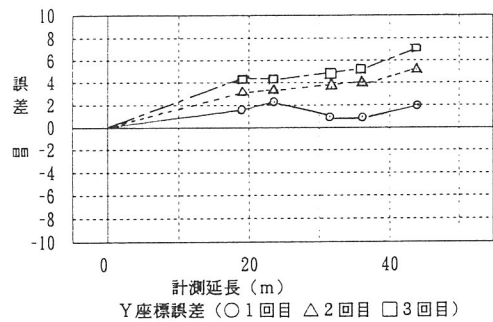
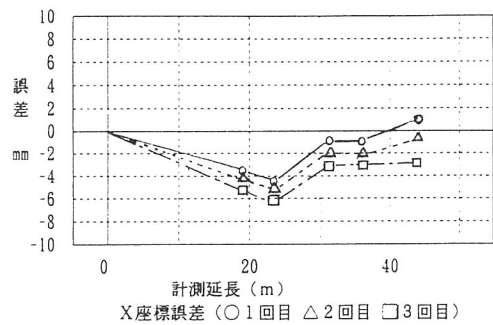


図-6 計測値と真値の座標誤差

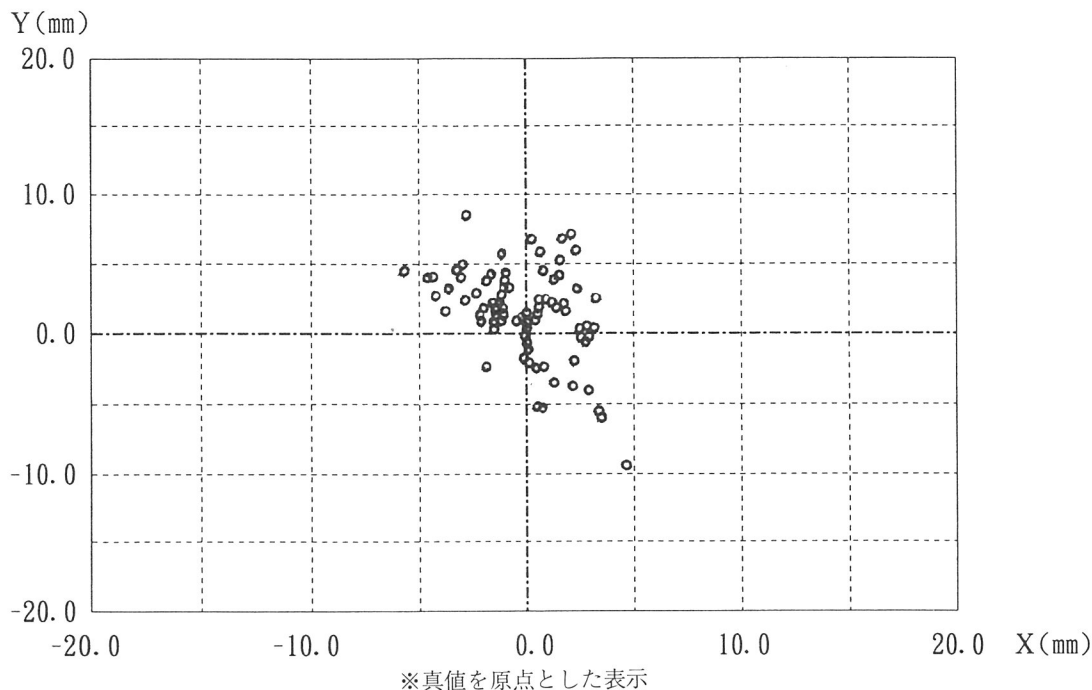


図-7 計測データのばらつき（3回盛り替え）

5. あとがき

以上、本自動測量システムの装置の構成ならびに計測方法について述べた。

現在はシステムの基本的な動作や測量精度をテストヤードにおいて確認している段階であるが、初期に立てた目標をほぼ達成できたものと考えている。

今後、実際のシールド工事現場にこの測量システムを導入し、

- ① 測量精度
- ② 測量所要時間
- ③ 計測ロボットの走行性能
- ④ 制御プログラム動作
- ⑤ 温度、湿度、振動などの影響
- ⑥ その他の問題点、改良点

などについて、検証を行い、実用化に向けての準備を進めていく予定である。

最後に、増加傾向にあるといわれている小断面・急曲線シールドにも十分対応できるこの自動測量システムが、幅広く活用できる日のくることを期待して止まない。

この自動測量システムは、測量や建設工事における自動化技術の開発を目的として設立された自動測量研究会（ASCODE）において、下記のゼネコン13社で共同開発されたものであることを付記しておく。

共同開発参加会社（50音順）

- 株式会社 青木建設
- 株式会社 浅沼組
- 株式会社 新井組
- 奥村組土木興業 株式会社
- 小田急建設 株式会社
- 株式会社 クボタ建設
- 大都工業 株式会社
- 大日本土木 株式会社
- 日産建設 株式会社
- 不動建設 株式会社
- 株式会社 松村組
- 三菱建設 株式会社
- 株式会社 森本組