

## 無線伝送によるトンネル切羽観察記録システム TUNNEL-FACE-OBSERVATION-RECORD-SYSTEM BY RADIO TRANSMISSION

山崎 多賀一\*・芝 司朗\*・笹尾 春夫\*\*・北原 秀介\*\*・平川 民也\*\*\*  
Takaichi YAMAZAKI, Shiro SHIBA, Haruo SASAO, Shyusuke KITAHARA and Tamiya HIRAKAWA

Safer tunneling can be achieved by performing the appropriate measures required for ground stability, observing tunnel face situations and grasping geological conditions precisely in parallel with excavating. We developed the new "Tunnel Face Observation Record System" contributing to efficient tunnelling and highly information-oriented tunnelling. In the system, filming tunnel face with a video camera or a digital still camera, the digital information is transmitted with the SS radio to a site office. The digital information is converted into a list of face observing record with a personal computer. In this paper, we report about the abstract of "Tunnel Face Observation Record System" and the results of radio transmission experiment on reliability of radio telecommunications.

**Keywords :** Tunnel Face, Tunnel Face Observation Record System, SS radio, the radio transmission

### 1. はじめに

トンネル施工において、工事の安全性の確認と円滑な工程管理および品質管理を行うためには、掘削途中における周辺地山の変化を速やかに把握し、トンネル地山安定に対し適切な処置を講ずる必要がある。トンネル地山は一般に不均一・不連続であり、その性状は位置によっても著しく異なることが多い。そのため切羽観察は掘削切羽ごとに行われているが、従来、この作業は担当職員が切羽状況を手書きでスケッチし、その後事務所に戻って提出書類を作成していた。したがって、①個人の知識や経験等の個人差がやすく、客観的評価が困難である、②提出書類作成の時間と手間がかかる、③個々の切羽観察記録から地質状況の変化を把握することが難しい等の問題があった。そこで今回、トンネル技術者の作業の効率化・情報の高度化に資するための新しい「無線伝送による切羽観察記録システム」を構築した。システムは、切羽をビデオカメラまたはデジタルスチルカメラで撮影し、そのデジタル情報（切羽画像）を事務所までオンラインで坑内無線中継伝送（SS無線：スペクトラム拡散通信）し、事務所パソコン上で切羽観察記録表が作成できるものである。本文は、開発した新しい「トンネル切羽観察記録システム」の概要と現場で行った無線通信の信頼性に関わる伝送実験結果について報告するものである。

---

\* 正会員 鉄建建設(株)技術研究所

\*\* 正会員 鉄建建設(株)エンジニアリング本部

\*\*\*正会員 鉄建建設(株)東北支店小繋作業所

2. システム概要

2.1 概要

本システムは、切羽画像を収録する機能と収録した画像を利用して切羽観察記録表作成の支援を行う機能とで構成している。また、切羽画像は必要に応じてオンラインとオフラインの両方式が選択可能である。ここに、オンライン方式とは切羽画像をSS無線で坑内中継伝送をするもので、オフライン方式とはデジタルスチルカメラで撮影した切羽画像を直接事務所のパソコンにダウンロードする方法である。パソコンへの画像取り込みは、NTSC信号入力、デジタルカメラを直接パソコンに接続する方法、ICカード入力など各種入力形態に対応できるようになっている。また提出する切羽観察記録表のフォーマットは、建設省・鉄道公団・道路公団、およびその他様式等のいずれにも対応できるようになっている。

2.2 構成

システム構成は、図-1に示すように切羽を撮影するためのデジタルスチルカメラおよびビデオカメラ、切羽画像を無線伝送するためのSS無線局、画像情報をディスプレイに表示するパソコン、結果を出力するためのカラープリンタおよびデータをバックアップするための光磁気ディスク(MO)等で構成している。

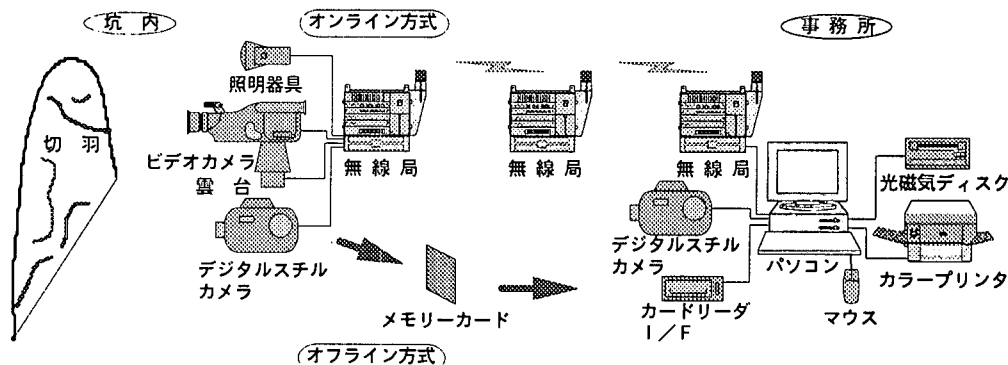


図-1 システム構成

2.3 操作方法

切羽観察記録表の作成は、主にトンネル坑内と事務所での作業に大別される。切羽観察記録表作成フローを図-2に示す。

(1) 坑内作業

坑内においては、切羽の撮影と地質状況の観察を行う。オフライン方式では、職員が切羽状況をデジタルスチルカメラで撮影し、事務所に持ち帰り、切羽画像(JPEG圧縮)を直接RS232Cインタフェースでパソコンに接続する方法とメモリーカードを媒介とする方法のいずれかでパソコンに取り込む。オンライン方式では、照明、ビデオカメラのアングル、フォーカス等をパソコン側からリモート制御でコントロールし

切羽を撮影する。そして撮影した画像は無線により事務所のパソコンまで無線中継伝送し、NTSC信号またはRS232Cインタフェースでパソコンに取り込む。ここで使用している無線は、耐干渉性・雑音性に優れた特徴を持ち、トンネル坑内での適用に実績のあるSS無線<sup>1)</sup>を使用している。SS無線局仕様を表-1に示す。

表-1 SS無線局仕様

|       |                        |
|-------|------------------------|
| 無線機   | クラリオン製JU1100A          |
| 電波形式  | スペクトラム拡散               |
| 周波数帯域 | 2479.0MHz or 2489.0MHz |
| 拡散帯域幅 | 13MHz以下                |
| 送信電力  | 10mW/MHz               |
| 伝送速度  | 256Kbps                |

## (2) 事務所作業

事務所においては、パソコン上で切羽面観察記録への必要項目の入力と、読み込んだ切羽画像の処理を行い、切羽観察記録表の作成を行う（写真－1 参照）。OSはMS-Windowsを採用し、マウスで容易に操作できる。ここに、オンライン・オフラインの各方式で読み込んだ切羽画像は「切羽面画像データ」に登録される。この画像をトンネル形状に沿って切り出し、その後、コントラスト・ブライツ調整などの簡単な画像処理をし、地質情報等を書き加えた「切羽面スケッチ」を作成する。

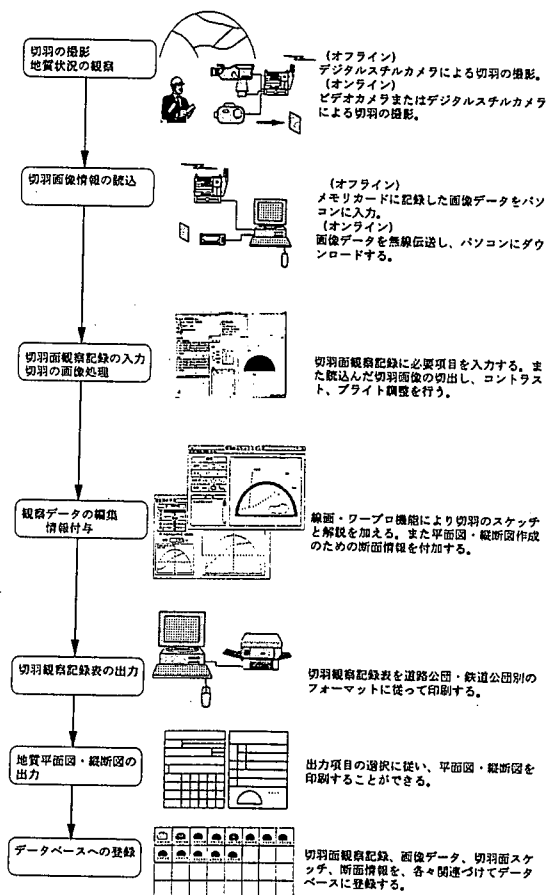
「切羽面観察記録」は提出するフォーマットを選択後、必要な項目にチェックおよびコメントを記入し、これに切羽面画像データを貼り付け切羽観察記録表を作成しカラープリンタで印刷する。作成された切羽観察記録表はそのまま提出用に使用できる（図－3 参照）。

また、通信回線を利用することで、ファイル化した切羽観察記録データを発注者の事務所へ転送することも可能である

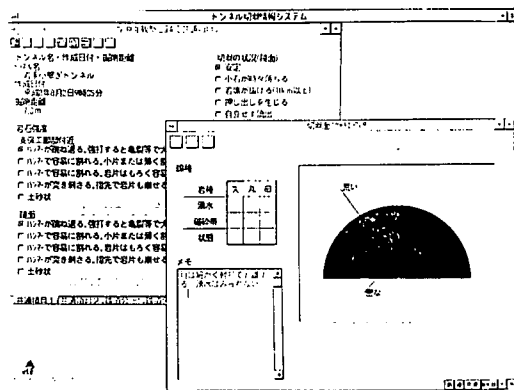
さらに、作成した「切羽面観察記録」、「切羽面画像データ」、「切羽面スケッチ」および「切羽面の破碎帯」は各々関連づけてデータベースに登録できる（表－2 参照）。

表－2 登録内容

| 登録データ名   | 登録内容                     |
|----------|--------------------------|
| 切羽面観察記録  | トンネル名、地質状態、切羽状態          |
| 切羽面画像データ | 切羽面のデジタル画像               |
| 切羽面スケッチ  | 切羽面スケッチを専用データで作成         |
| 切羽面の破碎帯  | トンネルの平面図・縦断面図を作成するためのデータ |



図－2 切羽観察記録表作成フロー



写真－1 観察記録の作成

そしてデータベース化した「切羽面の破碎帯」の断面図から図－4に示す地質平面図・縦断面図が容易に作成できる。

## 2.4 機能および効果

システムの機能および導入効果として、以下の項目があげられる。

①切羽観察記録が、パソコン画面のメニューにしたがった操作により、誰でも容易に短時間に作成できる。

④ビデオカメラによる切羽状況の監視機能より、緊急時の状況把握や連絡用としても活用できる。

〒 市 町 丁目 番地 号

TEL 03-XXXX-XXXX FAX 03-XXXX-XXXX

# 坑内観測調査報告書

観測年度 平成 年

観測月 日

観測者 氏名

| 日 | 時 | 観測者 | 観測時間 | 観測地点 |
|---|---|-----|------|------|
|   |   |     |      |      |

|        |                                           |                                           |                                           |
|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1. 調査区 | 4. 調査区 1. 調査区 2. 調査区 3. 調査区 4. 調査区 5. 調査区 | 5. 調査区 1. 調査区 2. 調査区 3. 調査区 4. 調査区 5. 調査区 | 6. 調査区 1. 調査区 2. 調査区 3. 調査区 4. 調査区 5. 調査区 |
|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|

|        |        |        |         |         |
|--------|--------|--------|---------|---------|
| 7. 調査区 | 8. 調査区 | 9. 調査区 | 10. 調査区 | 11. 調査区 |
|--------|--------|--------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 12. 調査区 | 13. 調査区 | 14. 調査区 | 15. 調査区 | 16. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 17. 調査区 | 18. 調査区 | 19. 調査区 | 20. 調査区 | 21. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 22. 調査区 | 23. 調査区 | 24. 調査区 | 25. 調査区 | 26. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 27. 調査区 | 28. 調査区 | 29. 調査区 | 30. 調査区 | 31. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 32. 調査区 | 33. 調査区 | 34. 調査区 | 35. 調査区 | 36. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 37. 調査区 | 38. 調査区 | 39. 調査区 | 40. 調査区 | 41. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 42. 調査区 | 43. 調査区 | 44. 調査区 | 45. 調査区 | 46. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 47. 調査区 | 48. 調査区 | 49. 調査区 | 50. 調査区 | 51. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 52. 調査区 | 53. 調査区 | 54. 調査区 | 55. 調査区 | 56. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 57. 調査区 | 58. 調査区 | 59. 調査区 | 60. 調査区 | 61. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 62. 調査区 | 63. 調査区 | 64. 調査区 | 65. 調査区 | 66. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 67. 調査区 | 68. 調査区 | 69. 調査区 | 70. 調査区 | 71. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 72. 調査区 | 73. 調査区 | 74. 調査区 | 75. 調査区 | 76. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 77. 調査区 | 78. 調査区 | 79. 調査区 | 80. 調査区 | 81. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 82. 調査区 | 83. 調査区 | 84. 調査区 | 85. 調査区 | 86. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 87. 調査区 | 88. 調査区 | 89. 調査区 | 90. 調査区 | 91. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 92. 調査区 | 93. 調査区 | 94. 調査区 | 95. 調査区 | 96. 調査区 |
|---------|---------|---------|---------|---------|

|         |         |         |          |          |
|---------|---------|---------|----------|----------|
| 97. 調査区 | 98. 調査区 | 99. 調査区 | 100. 調査区 | 101. 調査区 |
|---------|---------|---------|----------|----------|

|          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 102. 調査区 | 103. 調査区 | 104. 調査区 | 105. 調査区 | 106. 調査区 |
|----------|----------|----------|----------|----------|

|          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 107. 調査区 | 108. 調査区 | 109. 調査区 | 110. 調査区 | 111. 調査区 |
|----------|----------|----------|----------|----------|

|          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 112. 調査区 | 113. 調査区 | 114. 調査区 | 115. 調査区 | 116. 調査区 |
|----------|----------|----------|----------|----------|

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| 117. 調査区 | 118. 調査区 | 119. 調査区 | 120. 調査区 |
|----------|----------|----------|----------|

平面図・縦断図

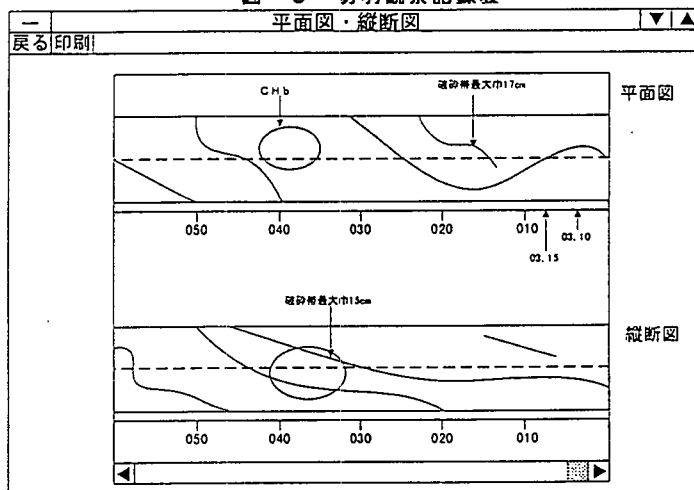


圖-4 地層平面圖・縱斷圖

### 3. 現場への適用

開発した切羽観察記録システムの現場適用を段階的に行うこととし、第一段階として、デジタルスチルカメラを用いたオフライン方式を東北新幹線岩手トンネル小鑿工事において導入し、基礎的データの収集とシ

システムの有効性の確認実験を行った。現場概要を表－3に示す。

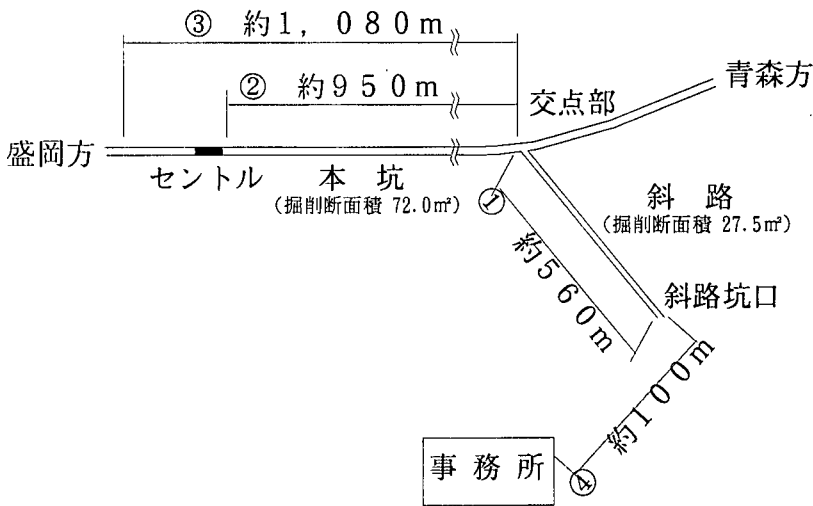
3.1 実験概要

実験項目は、照明機器の違いによるカメラ照明テストとトンネル坑内無線伝送テストである。

カメラ照明テストでは、撮影時の照明の当て方で、アイランプ、水銀灯、フラッシュ（同期型）の各照明機器を利用した場合どれが一番望ましいかを検討した。また無線伝送テストは、SS無線を利用し切羽から事務所までを中継伝送するために、図－5に示す各区間において無線伝送テストを行い、その時のエラー率（（エラーデータ数／全送信データ数）×100）を測定することで無線伝送の信頼性と必要無線局数を確認した。

表－3 現場概要

|       |                           |
|-------|---------------------------|
| 工 事   | 東北新幹線岩手小繋トンネル             |
| 施工場所  | 岩手県二戸郡一戸町小繋地内             |
| 掘削工法  | N A T M（機械掘削及び発破掘削）       |
| 延 長   | 本坑:3,610m 斜路:552.4m 10%下り |
| 断 面 積 | 本坑:内空約 62㎡ 斜路:約 25㎡       |



図－5 無線伝送テスト区間

表－4 無線伝送テスト結果

| No | 伝 送 区 間    | 距 離     | エラ-率  | 備 考         |
|----|------------|---------|-------|-------------|
| ①  | 斜路入口～交点部   | 約 560m  | 8 %   | 車の通行あり      |
| ②  | 交点部～セントル手前 | 約 950m  | 0 %   | －           |
| ③  | 交点部～セントルの先 | 約1,080m | 4 7 % | セントルを車が通過   |
| ④  | 事務所～斜路坑口   | 約 100m  | 5 %   | アンテナを窓の外へ固定 |

3.2 実験結果

カメラ照明テストの結果、水銀灯、フラッシュ（同期型）の各々を使用して切羽を撮影した場合、良好な結果が得られたが、アイランプ使用の場合は光量不足であった。

無線伝送テスト結果は、表－4のようになり、無線の信頼性を確保した。一方、車の通行や障害物（セントル）等で無線電波が遮蔽されるとエラー率が大きくなることも確認した。

以上の実験結果から、切羽照明には軽量で携帯性に優れたフラッシュ（同期型）を選択した。またオンライン方式導入時の無線局設置では、無線伝送テストでエラー率の大きくなる傾向にあるポイントでは無線局を増設し、中継伝送することで対応した。

#### 4. おわりに

切羽観察記録システムの概要と現場確認実験について述べたが、本システムを利用することで切羽観察記録表が容易に作成でき、またデータベース化した切羽断面情報から地質平面図・縦断図が自動的に作成できるため、書類作成の省力化と均一な書類提供および将来のペーパーレス化に大いに貢献するものと考えられる。

今後は、本システムを拡張した研究開発として以下の項目を検討している。

- ①オンライン方式と通信回線を利用し、坑内から切羽情報を事務所または現場から離れた本社へ伝送し、地質の専門家の判断等リアルタイムに、かつ対話的なシステムを確立する。
- ②地質平面図・縦断図から、切羽前方の予測やエキスパートシステムを利用した地山安定システムなどに展開する。

最後に、本システムの現場適用に当たり協力をしていただいた関係各位に紙面を借りて謝意を表します。

#### 5. 参考文献

- 1) 山崎多賀一 芝司朗 飯島正和 岩崎次夫：トンネル坑内「無線テレメータシステム」の研究開発、第5回トンネル工学研究発表会、1995. 11
- 2) 山崎多賀一 芝司朗 飯島正和 岩崎次夫：シールド坑内におけるS S無線による画像・データ伝送システム、地下空間シンポジウム1995、1995. 12