

路盤下空洞による軌道狂い発生箇所の新たな管理手法の検討

佐々木 陽* 武山 和生
下野 勇希 鈴木 常夫 (JR 西日本)

A Study of Track Management Method for Detecting Track Regularity
Occurred by the Hollows under the Concrete Slab Roadbed

Akira Sasaki*, Kazuo Takeyama,
Yuki Shimono, Tsuneo Suzuki, (West Japan Railway Company)

Some hollows under the concrete slab roadbed resulting from the increase or decrease of ground water lead to large track irregularity in some slab section inside tunnels on the Sanyo-Shinkansen lines. The track irregularity due to the hollowing may progress gradually even if the track is maintained. Then, the progression of track irregularity causes the inefficient maintenance for operator. However, no useful method for discovering hollows has been proposed. In this paper, we propose a novel track management method for the hollowing, which measures the changes of 10m-chord versine longitudinal level. A qualitative evaluation method is also presented to ascertain the efficacy of the management method.

キーワード：路盤下空洞，路盤沈下，10m 弦高低，復元原波形，パワースペクトル密度，高低検測差
(the hollows under the concrete slab roadbed, roadbed settlement, 10m-chord versine longitudinal level, restored track irregularity, power spectrum density, difference of longitudinal level inspection)

1. はじめに

山陽新幹線では、トンネル内スラブ区間の一部箇所において、路盤下空洞の影響によって路盤が沈下し、軌道狂いが発生している。現行の軌道管理は、電気・軌道総合試験車（以下、マヤ車とする）の測定による軌道狂いの管理と 1 回の測定間（以下、マヤ間とする）での軌道狂いの進みによる管理を基本としている。しかし、この路盤沈下は軌道狂い進みが緩やかに進行するため、1 マヤ間では把握することができない。また、軌道狂いが管理値に達した場合において、軌道狂いの原因が路盤沈下であることを特定できず、軌道整備を実施しても軌道狂いが進むため、極めて非効率な整備となっていることから、路盤沈下による軌道狂い発生の予兆を捉え、適切に補修することが望まれる。

以上のことから、本研究では路盤下空洞に対する新たな軌道管理手法を提案するとともに、路盤下空洞対策の効果を定性的に把握する手法を提案する。

2. 路盤沈下箇所における高低狂い進みの検証

今回検証を行った路盤沈下の影響により軌道狂いが発生した箇所については、マヤ間の進みが緩やかであったことから、H18 年 1 月から H21 年 10 月までの 3 年 10 ヶ月間

の高低狂いの推移をマヤ車の測定データを用いて検証した。なお、マヤ車の測定データについては、路盤沈下が発生すると、まず 1 枚のスラブが沈下し、路盤下の空洞が広がることによって 2 枚、3 枚と沈下していくと考えられ、山陽新幹線に敷設されているスラブ長は 5m を標準としていることから、5m および 10m 弦高低狂いの最小値を用いた。

図 1 に A トンネルにおける路盤沈下箇所の高低狂いの推移を示す。H20 年 9 月にスラブむら直しを施工するまで、5m および 10m 弦高低狂いとも徐々に進行しており、施工後も進み続け H21 年 3 月にタイプレート交換及び路盤注入を施工することで進みが止まっている。H18 年 3 月から H20 年 9 月の 90 マヤ間で 10m 弦高低狂いは -5.66mm 進行して

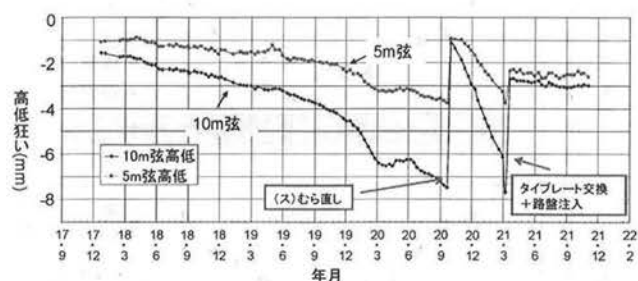


図 1 A トンネルでの 5m、10m 弦高低狂いの推移

おり、現行管理の 1 マヤ間に換算すると $-0.063\text{mm}/\text{マヤ間}$ と緩やかな進みであることから、軌道狂い進みによる管理では把握できず、10m 弦高低狂いが管理目標値である -6mm に達することでようやく把握可能となる。

図 2 に B トンネルの路盤沈下箇所における 5m、10m 弦高低狂いの推移を示す。この箇所は、周期的な変化をしながら、凹凸のピークにおいて進行が見られ、夏季（雨季）に値が大きく、冬季に小さいことから路盤下の水量の増減が影響していると考えられる。

なお、図 1、2 ともに 5m より 10m 弦高低狂いの進みが速いことから、路盤沈下による軌道狂い発生の予兆は 10m 弦高低狂いの推移から把握することが可能であると推定される。

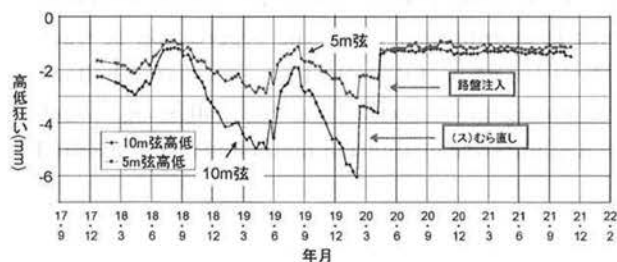


図 2 B トンネルでの 5m、10m 弦高低狂いの推移

3. 路盤沈下による軌道狂い発生のメカニズムの解明

〈3・1〉軌道狂い発生のメカニズムの仮説

路盤沈下が確認されている A トンネルにおいて、軌道狂い発生メカニズムの推定を行った。図 3 に現場調査による路盤及びスラブ板上のレベル測量の結果を示す。図 3 より、路盤境付近で最も路盤が沈下していることから、路盤沈下は、列車振動荷重によって路盤を支える均しコンクリート下の岩が細かく削られ、山からの流水や湧水により流されることで、徐々に路盤下の空洞が広がり⁽¹⁾、路盤境から沈下する軌道狂い発生メカニズムの仮説を立てた（図 4 参照）。

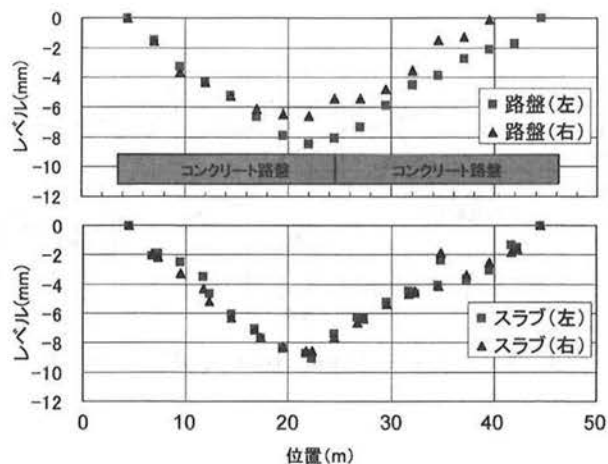


図 3 路盤及びスラブ板上のレベル測量結果

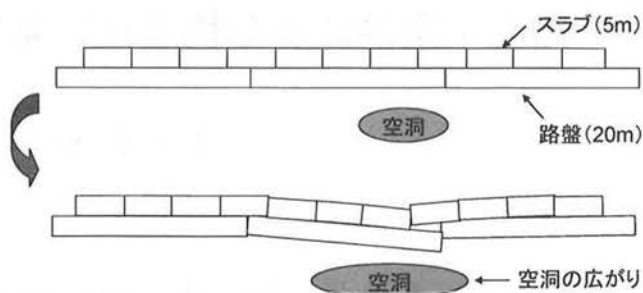


図 4 軌道狂い発生メカニズム（仮説）

〈3・2〉高低狂いの波形の推移による仮説の検証

先に述べた路盤沈下による軌道狂い発生メカニズムの仮説をマヤ車の測定データから算出した高低復元原波形、10m 弦高低、5m 弦高低を用いて検証した。

路盤沈下によるスラブの変動を把握するために復元帯域は、スラブ 1 枚を想定した 2.5-3-8-12m（以下、3-8m とする）、スラブ 2 枚を想定した 2.5-3-15-20m（以下、3-15m とする）、路盤（20m 長）上のスラブ 4 枚を想定した 2.5-3-25-30m（以下、3-25m とする）の 3 通りとした。図 5 にそれぞれの波形の推移を示す。現場での目視による路盤の変状位置や図 5 に示す路盤変状箇所での波形から、路盤境（25m）付近である 22m において低むらの進行が見られ、3-8m 復元原波形や 5m 弦高低よりも、3-15m、3-25m 復元原波形、10m 弦高低の方が狂いの進行が顕著にみられ、3-25m 復元原波形のピーク（上に凸）の間隔から 15m 程度の波長の進行が確認された。従って、図 4 に示すように路盤境から路盤が沈下し、スラブ 3 枚（15m）程度の高低狂いに現れたと考える。

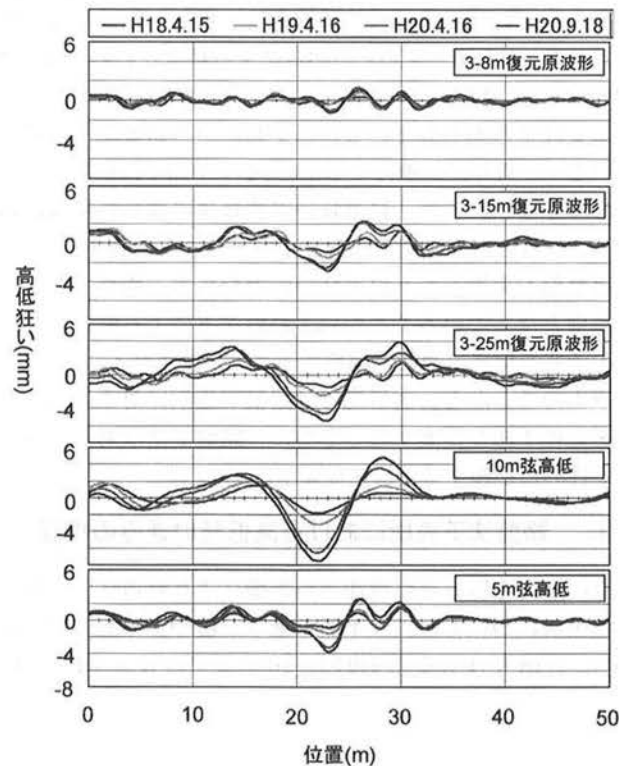


図 5 各高低狂いの波形の推移

〈3・3〉路盤沈下に対して有効な波長の検証

A トンネルにおける、偏心矢による測定値（高低）のパワースペクトル密度⁽²⁾を確認したところ、波長 15m 程度の狂いに進行が見られ（図 6 参照）、B トンネルにおいては、波長 10m 程度の狂いに進行が見られたことから、10～15m 程度の高低狂いを捉える必要がある。10m 弦の検出特性⁽³⁾から波長 10～15m に対して検出倍率が 1.5～2 倍であり、路盤沈下については、1 枚のスラブから沈下すると考えられるため、10m より短い波長についても捉える必要があることから、10m 弦高低が有効であると考え（表 1 参照）。

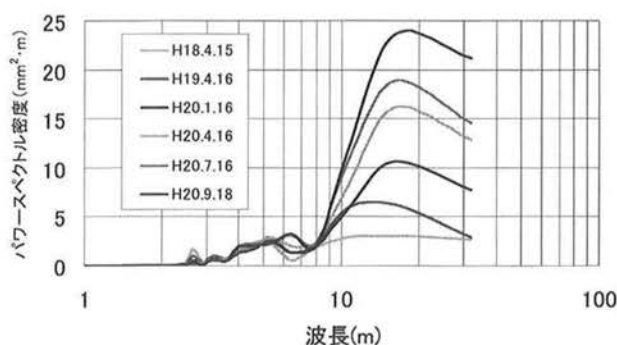


図 6 偏心矢による測定値のパワースペクトル密度

表 1 路盤沈下箇所軌道狂いに対する各弦長の検出倍率

路盤長	検証箇所	路盤沈下によって現れる軌道狂いの波長	検出倍率 20m弦	検出倍率 10m弦	検出倍率 5m弦
10m	B トンネル	10m	0 ×	2 ○	1 ○
20m	A トンネル	15m	1.5 ○	1.5 ○	0.5 ○

4. 管理手法の検討

〈4・1〉路盤沈下箇所の抽出方法の検討

路盤沈下による軌道狂い発生箇所については、沈下の初期段階で見出し路盤注入を実施することが望まれる。従って、山陽新幹線全線において、路盤沈下箇所を抽出する方法を検討した。

トンネル内スラブ区間において、10m 弦高低狂いの変動している箇所については、路盤沈下の可能性が考えられ、B トンネルのように高低狂いが周期的な変化をする場合を考慮し、冬季と冬季の 1 年間及び夏季と冬季の 6 ヶ月間における 10m 弦高低狂いの最小値の変動が±0.3mm（マヤ車の許容誤差）以上の箇所を抽出する。また、10m 弦高低狂い値の変動のみでは原因が不明であるため、当該箇所の過去 3 年分の 10m 弦高低狂いの推移図を作成し、図 1、2 に示すように徐々に進む、もしくは周期的な変化をする傾向であることを確認する。ここで、10m 弦高低狂いの最小値では、軌道の変動範囲が不明であるため、冬季－夏季－冬季の 10m 弦高低狂いの波形を重ね合わせ、変動の始終点を路盤沈下の範囲として抽出し、コア削孔等の現地調査により路盤沈下であることを確認する。

〈4・2〉路盤沈下箇所の管理手法の検討

現地調査により路盤沈下箇所であることが確認された箇所においては、軌道の沈下や軌道狂い進みによる優先順位を付け、順位に基づいた路盤注入の計画を立てることとする。優先順位については、A トンネル、B トンネルにおいて、路盤沈下の初期段階で年間 1mm 以上進行しており、その後、進みが速くなる可能性も考えられ、軌道側の非効率な補修が必要となりうることから、優先的に路盤注入を実施することとする。また、軌道狂い進みから管理目標値に達する時期が早いと予測される箇所から順に優先順位を付け、路盤注入による補修を実施することとする。

5. 路盤注入の仕上がりに対する評価手法の検討

〈5・1〉高低検出差による路盤沈下箇所の評価手法の検討

過去に路盤注入を実施したにも関わらず、高低狂いが進み続ける事象が発生している。これは、路盤注入に使用する注入剤が硬化する前に地下水によって流されたことによるとの報告があり、路盤注入の仕上がり状態を評価する手法を確立することが望まれている。

軌道狂い発生のメカニズムから、路盤沈下箇所においては、路盤の変状によりスラブのあおりが発生すると考えられる。従って、図 7 に示すように 1・2・4 軸配置と 3 軸のみ载荷した場合の 1・3・4 軸配置で検出された高低狂いに差（以下、高低検出差とする）が出ると考えられる⁽⁴⁾。

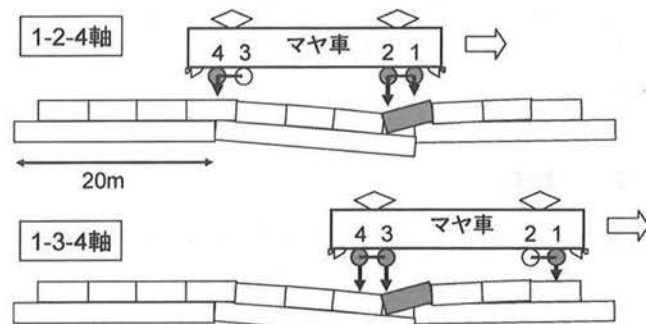


図 7 高低検出差の概念図

〈5・2〉高低検出差による路盤沈下箇所の検証結果

図 8 に A トンネルの路盤注入直前の状態において、検証した結果を示す。復元帯域は A トンネルの路盤長及びマヤ車の 1・4 軸間が 20m であることから 2.5・3・20・25m とした。1・2・4 軸配置と 1・3・4 軸配置の高低狂いに差が見られたこと

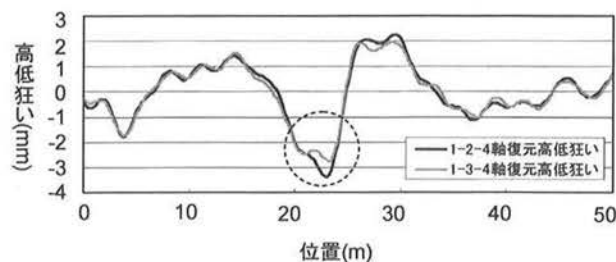


図 8 軸配置の違いによる復元高低狂いの比較

から、高低検測差によりスラブのあおりを捉えることができると考えられる。

図 9 に A トンネルにおける H19 年 9 月から H21 年 9 月までの 2 年間の高低検測差の推移を示す。なお、高低検測差については、20-25m 区間における絶対値の最大値とした。路盤注入後に値が小さくなっていることから、スラブのあおりが治まっていると考えられ、図 9 において路盤注入後に高低狂い進みが止まっていることから、この箇所における路盤注入の仕上がりは良好であったと考えられる。従って、この手法を用いることによって、路盤注入の仕上がり状態を評価できると考えられ、今後、検証箇所を増やし更に検討していく。

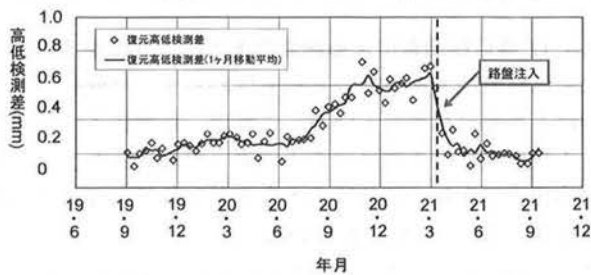


図 9 A トンネルにおける復元高低検測差の推移

6. 終わりに

路盤下空洞に対して 10m 弦高低狂いの推移を確認することによる新たな軌道管理手法を提案するとともに、高低検測差による路盤注入の仕上がり状態を評価できる手法を提案した。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたって、財団法人鉄道総合技術研究所にご協力いただき厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 「トンネル補修・補強マニュアル」, 鉄道総合技術研究所, p.III-5 (2007)
- (2) 「軌道保守管理データベースシステム Micro LABOCS_II+ 使用説明書」, 鉄道総合技術研究所, p.146 (1995)
- (3) 須田征男, 長門彰, 徳岡研三, 三浦重: 「新しい線路」, 日本鉄道施設協会, p.500 (1997)
- (4) 下野勇希, 桶谷栄一, 山口義信: 「高低検測差を活用した軌道状態把握手法の検証」, 第 64 回土木学会年次学術講演会概要集, IV-242 (2009)