

IV-346 乗り心地を考慮した浮上式鉄道におけるガイドウェイの施工精度

鉄道総合技術研究所 正会員 古川 敦 橋本 渉一 岡田 勝也

1. はじめに

JR方式の浮上式鉄道のガイドウェイ構造の一つとして、鉄道総研では図1に示す側壁ビーム方式の開発を進めている。浮上式鉄道においても、従来鉄道と同様、一定レベルの乗り心地確保のために、ガイドウェイ狂いを所定の範囲以内で管理する必要がある。本報告は乗り心地確保の観点から、図2①～⑤に示すガイドウェイの各施工段階における精度と、完成したガイドウェイの狂いとの関係について考察したものである。

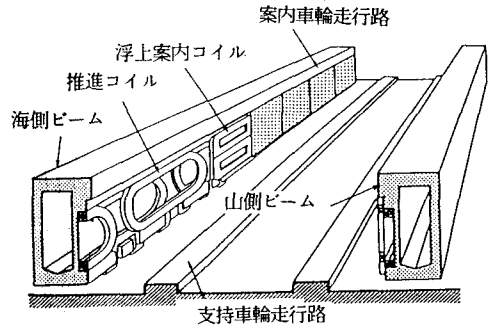


図1 側壁ビーム方式のガイドウェイ

2. ガイドウェイの等価狂い

JR方式の浮上式鉄道においては、車両の支持と案内は、浮上案内コイルによって行われる。浮上案内コイル位置は、1コイル当り、並進、回転方向にそれぞれ3ずつの6自由度を、海側山側コイルを併せて12の自由度を持つ。さらに浮上案内コイルは上下2つのコイルを連結した8字型の構造をしているため、この上下のコイルの位置関係についても並進、回転方向に海山併せて12の自由度をもつ。したがってガイドウ

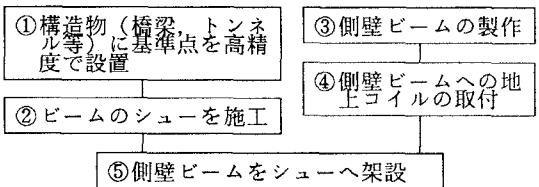


図2 ガイドウェイの施工手順

エイ狂いは計24の自由度をもち、各々の方向の狂いが車両の振動に影響を及ぼす。ここでは、ガイドウェイの狂いは、各々の狂いの線形和で表されるものとし、これをガイドウェイ等価狂いと呼び ε_{eq} と表わす。

$$\varepsilon_{eq} = \sum_{i=1}^{24} c_i \cdot \varepsilon_i \quad \varepsilon_i: i \text{ 方向自由度におけるコイル位置の狂い} \quad \text{-----} (1)$$

$c_i: \varepsilon_i$ が車両運動に及ぼす影響の重み

24の自由度の狂いが各々独立であるとする、ガイドウェイ等価狂い ε_{eq} の分散 σ_{eq}^2 は次の式で表される。

$$\sigma_{eq}^2 = \sum_{i=1}^{24} c_i^2 \cdot \varepsilon_i^2 \quad \text{-----} (2)$$

一方、ガイドウェイ狂いのパワースペクトル密度 $S(f)$ とガイドウェイ等価狂いの分散 σ_{eq}^2 には次の関係式がある。¹⁾

$$\sigma_{eq}^2 = \int v \cdot S(f) df \quad \begin{array}{l} f: \text{ガイドウェイ等価狂いの時間周波数(1/s)} \\ v: \text{車両の速度(m/s)} \end{array} \quad \text{-----} (3)$$

また、車両の乗り心地補正された加速度パワースペクトル密度 $R(f)$ とガイドウェイ狂いのパワースペクトル密度 $S(f)$ の間には次の関係式がある。¹⁾

$$R(f) = |H(f)|^2 \cdot S(f) \cdot W(f)^2 \quad \text{-----} (4)$$

$H(f)$: 車両の周波数応答関数, $W(f)$: 乗り心地フィルタの周波数特性

式(3), (4)より車両動揺の振動加速度を所定の範囲内に抑えるためには、ガイドウェイ等価狂いの分散を管理すれば良いことがわかる。

3. 各施工段階における管理目標値と等価狂いの関係

24の自由度のガイドウェイ狂いを合成した等価狂いは、実際には図2の各施工段階における誤差と地上コイルの製作誤差とを合成したものである。各施工誤差が独立であるとしたときの、施工管理目標値（標準偏差の3倍を管理目標値とする）と等価狂いの標準偏差の関係の例を図3に示す。管理目標値を大きく（緩く）すると等価狂いの標準偏差が大きくなることがわかる。誤差が正規分布に従っている場合は、この標準偏差から等価狂いが許容値を越える確率を求めることができる。

4. 数値実験によるシミュレーション

前節までで求めたガイドウェイ狂いの分散 σ_{eq}^2 は、コイル位置の1枚毎の誤差の分散である。ところで、実際の施工時においてガイドウェイ狂いが生じた場合、各コイル位置を修正することは現実的ではなく、側壁ビーム位置を調整することによりビーム単位で等価狂いを修正することとなる。このため施工に要するコストを検討する場合、等価狂いの許容値を越える狂いのビーム単位での発生確率を知る必要がある。ところがこれは、1本のビーム上に取り付けられている複数のコイル間での、誤差が許容値を越える確率が独立ではないために、解析的に求めることは困難である。ここではモンテカルロ法による数値実験を行ってビーム単位での誤差の発生確率を求める。実験に用いた管理目標値を表1に示す。数値実験は海山各500本のビームについて、各施工段階において乱数を発生させ、等価狂いの海山平均値が許容値を越えるコイルの個数およびビームの本数を計測した（コイルは1ビームあたり14個）。このとき等価通り狂いの許容値を越える確率を許容値が3, 4, 5 mmの場合について表2に示す。これから、等価狂いの許容値が大きい場合、これを越えるコイルの発生確率が小さくなり、同一のビームで複数のコイルが許容値を越える確率も非常に小さくなるため、許容値を越えるコイルの個数とビームの本数がほぼ等しくなることがわかる。このことから、許容値を越えるビームの発生確率は、許容値を越えるコイルの発生確率の1/4倍と考えることとする。

5. まとめ

ガイドウェイ施工時における精度管理目標値設定のフローを以下に示す。

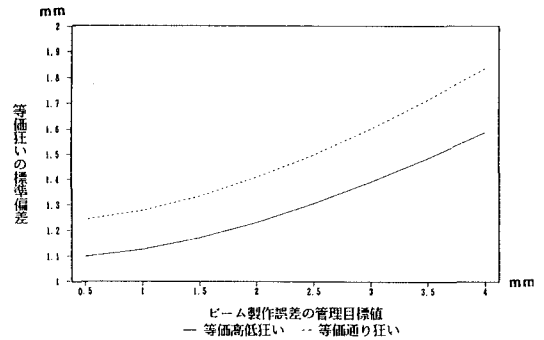
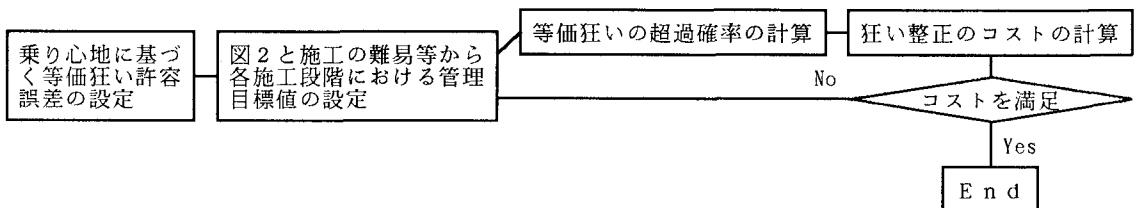


図3 ビーム製作誤差と等価狂い

表1 計算の前提条件（単位mm）

項目	許容誤差
測量誤差	$3\sigma = 2$
ビーム製作誤差	$3\sigma = 2$
シュー施工誤差	$3\sigma = 2$
架設誤差	$3\sigma = 3$

表2 等価通り狂いの許容値を越える確率

等価狂い 許容値	コイル超過確率		ビーム超過確率	
	個 数	確 率	本 数	確 率
3 mm	177	0.0253	106	0.2120
4 mm	18	0.0026	16	0.0320
5 mm	3	0.0004	3	0.0060