

新交通システムの走行安定性—東京臨海新交通・臨海線—

Running Stability of Automated People Mover System —Tokyo Waterfront New Transit, Waterfront Line—

技術本部 山口 正博*¹ 斉藤 通*²

三原製作所 本城 照久*³

機械事業本部 畝田 隆司*⁴

東京臨海新交通株式会社 渡邊 忠敏*⁵

新交通システムはガイドウェイ案内とゴムタイヤ走行方式の採用により、快適性・低公害性・安全走行を実現した都市空間にマッチした中量輸送機関であり、国内外で多数の導入実績を有する。本年秋開業予定の東京臨海新交通臨海線においては、世界で初めて長大吊橋（レインボーブリッジ）上を走行するため、計画時に強風や地震に対する走行安定性の低下が懸念された。これに対し、走行性調査検討会が設置され、この御指導のもと吊橋振動応答解析、風洞実験とこれらに基づく車両走行シミュレーションによる検討を実施した。検討の結果、新交通システムの走行安定性は基準を満たしており、問題ないことが確認された。

Tokyo Waterfront New Transit Waterfront Line is the world's first automated people mover system the vehicles of which will run on a long suspension bridge (the Rainbow Bridge). Because of this, we investigated their safe runnability in the case of strong winds, strong earthquakes or other excitations, while it is generally said that new transit systems are comfortable and have good running stability due to guideway-guidance and rubber-tire drive. As a result, it was confirmed that the Tokyo Waterfront New Transit vehicles are safe in terms of running stability. This paper presents an outline of studies using analyses of the bridge girder response, wind tunnel tests and vehicle running simulations. The YURI-KAMOME, Tokyo Waterfront New Transit Waterfront Line will open in autumn, 1995 and is expected to become the ideal automated people mover system for overcrowded urban areas.

1. ま え が き

新交通システムはガイドウェイに沿ってゴムタイヤで走行する快適性、低公害性、安全性に優れた低コストの都市内中量輸送機関であり、国内外に多数の導入実績を有するが、本年秋開業予定の東京臨海新交通臨海線（全長約 12 km）では新交通システムとして初めて長大吊橋（レインボーブリッジ：全長約 920 m）上を走行する。

新交通システムの走行性については、ガイドウェイ案内方式の採用と左右ゴムタイヤ間隔の広さから、一般に走行性に優れていると考えられる。しかし、前述のように長大吊橋上を走行するのは東京臨海新交通臨海線が初めてのことであり、強風を初め地震や吊橋地上取付部での走行面角折などに対する走行性に関する安全性の確認が必要との見地から、風洞実験及び数値シミュレーションによる走行安定性の検討を実施した。

本報では、強風時の走行安定性検討に関する風洞実験及び車両走行シミュレーションについて報告する。

2. 新交通システムの概要

新交通システムとは、市街地の高架専用軌道をゴムタイヤを装着し、コンピュータコントロールによりガイドウェイに沿って自動運転走行する輸送能力毎時 1 万人程度の都市内中量輸送機関である。

ゴムタイヤ採用により静粛性、快適な乗心地と走行時分短縮のための高加減速を実現するとともに、ガイドウェイ案内方式の採用により安定した走行が可能であり、快適性・低公害性・安定性に優れた低コスト（地下鉄の 1/3～1/5）な輸送システムである。

3. 東京臨海新交通臨海線の概要とその特徴

東京臨海新交通臨海線は、図 1 に示すように新橋～竹芝・日の出・芝浦埠頭そしてレインボーブリッジ（東京港連絡橋）を経由して国際展示場のウォータフロントを結ぶ 12 駅、全長約 12 km の路線である。同図中にレインボーブリッジの概観を示すが、このような長大吊橋を新交通システムが走行するのは世界で初めてである。

図 2 及び表 1 に新交通システム車両の外観と主要諸元を示す。車体寸法 長さ 8.5 m、幅 2.47 m の 6 両編成で、最高運転速度 60 km/h、最大加速度・常用最大減速度 3.5 (km/h) / s と臨海部副都心の大きな輸送量に対応できる走行性能を有している。

4. 強風時の走行安定性

強風時に長大吊橋上の新交通車両に作用する外力としては、車両に直接作用する風外力のほかに、風の変動成分により生ずる吊橋の振動（ガスト応答）も走行面の振動外乱として考慮する必要がある。

4.1 車両に作用する吊橋のガスト応答

新交通車両の走行面は吊橋補剛桁（けた）に敷設されているため、吊橋が風により揺れれば走行面も振動することになる。レインボーブリッジ架橋地点での風観測データに基づいて算定された吊橋補剛桁部の鉛直方向のガスト応答例を図 6 中に示す。算定に当たっては、補剛桁各位置の時刻歴応答波形と車両の走行位置を考慮し、車両が通過するタイミングでの補剛桁各位置のガスト応答値を取り出し、これを合成することによって求めた。

*1 広島研究所機械研究室

*2 長崎研究所流体・伝熱研究室長

*3 新製品開発部交通システム設計課主査

*4 交通・輸送システム部主務

*5 車両課長

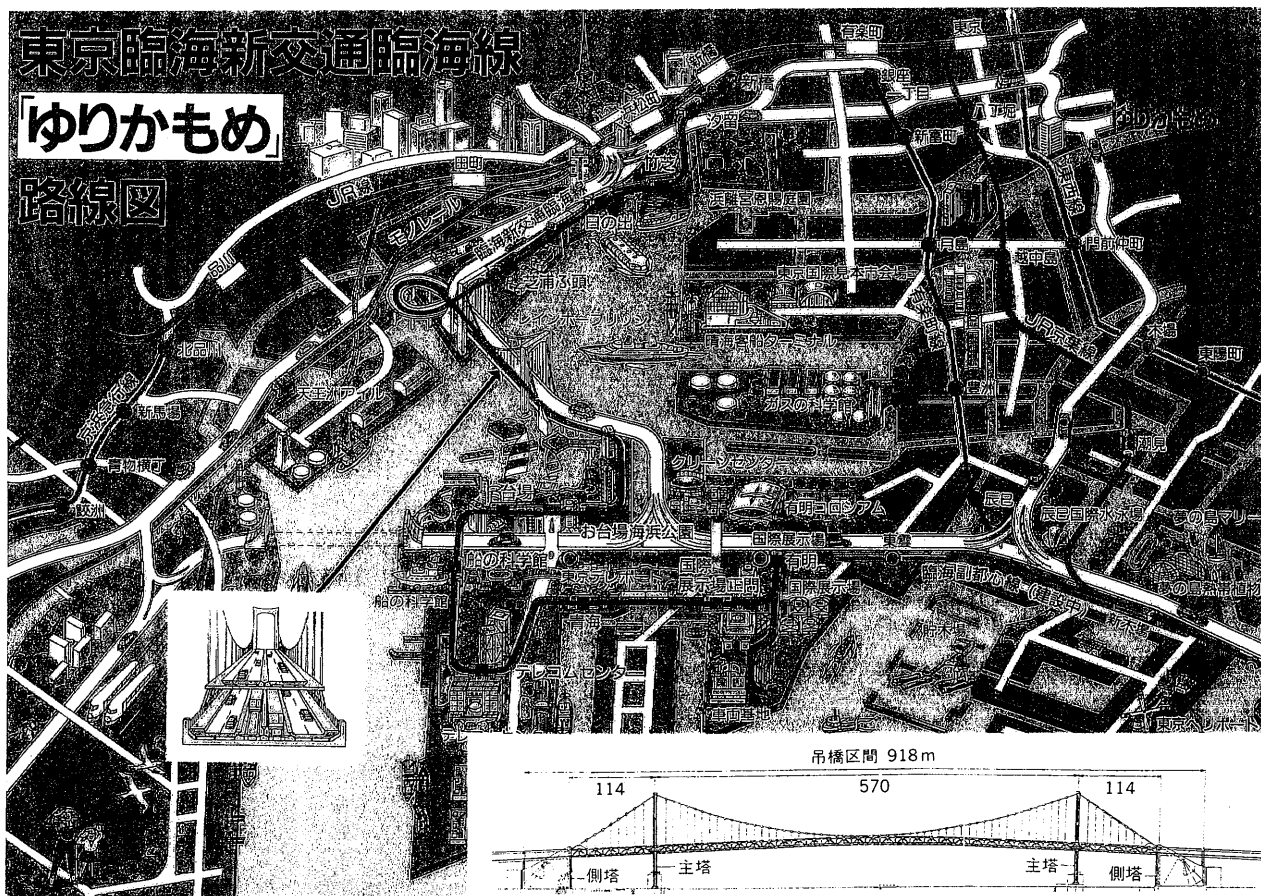


図1 東京臨海新交通臨海線の概要 レインボーブリッジを經由して新橋～有明駅間約12kmの臨海部副都心を結ぶ新交通システムで、本年秋開業予定である。
Tokyo Waterfront New Transit, Waterfront Line



図2 東京臨海新交通車両の外観 側方案内2軸4輪（ゴムタイヤ）ステアリング、6両編成（定員352人）、最高運転速度60km/hの走行性能を有する。
View of Tokyo Waterfront New Transit vehicles "YURIKAMOME"

表1 新交通システム車両の主要諸元
Specifications of Tokyo Waterfront New Transit

項目	諸元
列車編成	6両固定編成
車体寸法	長さ8.5m、幅2.47m、高さ3.34m 1編成の全長54m
車両定員	1編成352人
案内方式	側方案内2軸4輪ステアリング
走行輪	ゴムタイヤ
電気方式	交流3相600V
運転性能	最高運転速度 60 km/h
	最大加速度 3.5 (km/h)/s
	減速度 常用最大 3.5 (km/h)/s
	非常 4.5 (km/h)/s

補剛桁内の車両の空気力係数は車両模型内に設けた三分力検出器により、抗力・揚力・空力モーメントの三分力を計測し、模型車両寸法を考慮し三分力係数（抗力係数・揚力係数・空力モーメント係数）を求めた。測定結果を表2に示す。表中には、比較のため実験した平地上での測定結果を併記している。

吊橋補剛桁内の車両の抗力係数はトラスによる閉そく効果により、平地上の1.47に対し先頭車両で0.58、中間車両で0.74と小さい値になっている。この値は本州四国連絡橋での列車の値⁽¹⁾と同等又はそれ以下の値である。

4.2.2 車両作用風外力の算定

車両に作用する風外力は、表2に示す風洞試験結果に基づき次式により算定した。

4.2 車両に作用する風外力

4.2.1 風洞実験

新交通車両に作用する風外力を想定するため、まず吊橋補剛桁内にある車両の空気力係数を風洞実験により把握した。

使用風洞及び模型（実寸の1/26）の概要を図3、4に示す。風洞は三菱重工業（株）長崎研究所に設置の大型汎用風洞であるが、今回の実験では、縦長（高さ10×幅3m）の測定部中央に6車両1編成を内蔵する吊橋補剛桁模型を設置した。

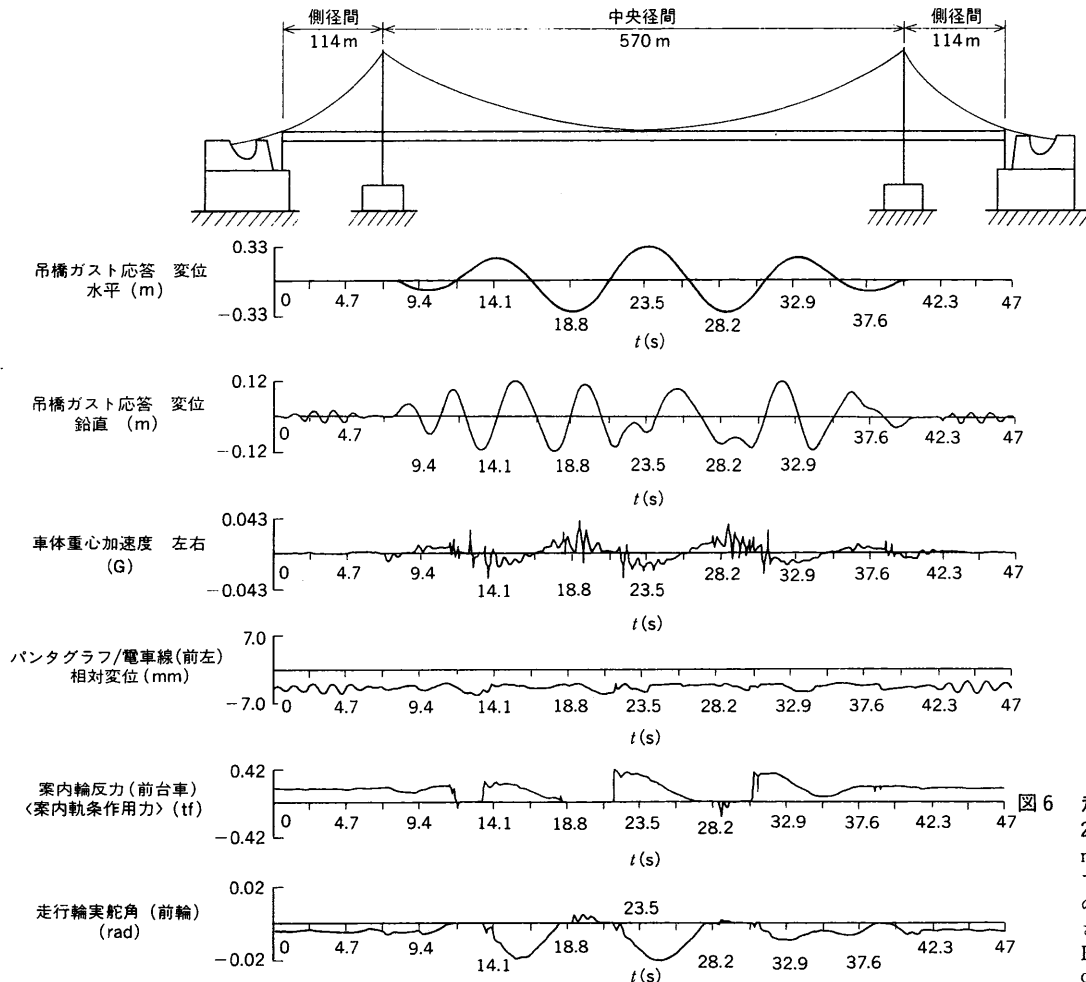


図6 走行シミュレーション結果（風速 25 m/s, 時速 60 km/h） 風速 25 m/s の強風時に吊橋を速度 60 km/h で走行する場合でも、輪重抜けや脱線の危険はなく、安定した走行性が確保されている。
Running simulation of the vehicle on the bridge girder

表3 強風時の走行安定性に関する検討結果
Running stability under strong winds affecting

検討項目	基準値	解析結果
1. 浮上がりに対する安全性	走行輪荷重 が 0 にならないこと	最小 2 tf (浮上りなし)
2. 脱線に対する安全性	案内輪/案内軌条上下相対変位 空車時 $-93 \text{ mm} < \delta_{GE} < +74 \text{ mm}$ 満車時 $-79 \text{ mm} < \delta_{GF} < +88 \text{ mm}$	$-6.1 \text{ mm} < \delta_{GE} < +7.3 \text{ mm}$ $-5.9 \text{ mm} < \delta_{GF} < +7.8 \text{ mm}$
	パンタグラフ/電車線上下相対変位 空車時 $-66 \text{ mm} < \delta_{PE} < +44 \text{ mm}$ 満車時 $-52 \text{ mm} < \delta_{PF} < +58 \text{ mm}$	$-5.5 \text{ mm} < \delta_{PE} < +7.0 \text{ mm}$ $-5.7 \text{ mm} < \delta_{PF} < +7.5 \text{ mm}$
3. 案内軌条の強度	案内軌条作用力 が 2.7 tf 以下であること。	最大 0.42 tf
4. 乗心地 ⁽²⁾	車体加速度 上下方向 0.2g 以下 左右方向 0.1g 以下	上下方向 0.07 g 左右方向 0.05 g

4.4 走行安定性の評価

4.4.1 耐風評価の考え方

吊橋上を、走行する新交通車両の耐風性については、車両の浮上り、脱線に対する安全性、案内軌条の強度、乗心地について検討する必要がある。

各々の項目を評価する基準を表3に示す。

4.4.2 耐風性能の評価

前述の各項目に対する基準値と解析結果を表3に示す。なお、同表中の解析結果は、車両走行速度 60 km/h、風速 25 m/s 時の値である。

平均風速 25 m/s の強風時に吊橋上を速度 60 km/h で走行する新交通車両は、走行安定性、乗心地ともに評価基準を満たしており、問題ないことが確認された。

5. まとめ

東京臨海新交通臨海線では、世界で初めて長大吊橋（レインボーブリッジ）上をガイドウェイ案内、ゴムタイヤ走行の新交通車両が走行する。そこで、強風を初めとする地震や吊橋地上取付部での走行面角折れに対する車両の走行安定性について、吊橋補剛桁の振動応答解析、風洞実験及び車両走行シミュレーションを実施し、走行安定性に関し基準を満たしており、問題のないことを確認した。

本新交通は、本年秋の開業に向け工事が進行中であるが、東京臨海部副都心の安全で快適な公共交通機関として重要な役割りを果たすことが期待されている。

最後に、本研究は昭和 63 年 12 月～平成元年 3 月にかけ設置された“新交通の吊橋における走行性調査検討会⁽³⁾（座長：埼玉大学工学部教授 田島二郎 博士）”の委員の方々の御指導により遂行されたものである。ここに、深く謝意を表します。

参考文献

- (1) 日本鉄道施設協会，本州四国連絡橋の列車走行に関する研究分科会報告書（1982）
- (2) 日本機械学会編，鉄道車両のダイナミクス，電気車研究会，（1994）p.71
- (3) 東京都港湾局，東京臨海新交通（株），新交通の吊橋上における走行性調査検討報告書（1989）