

# コスト縮減を目指した新形式斜張橋

## A Lower-Cost Cable-Stayed Bridge

中島 一浩\*      能登 宥愿\*\*  
Kazuhiro NAKAJIMA      Hiroyoshi NOTO

### Summary

A cable-stayed bridge is a type of bridge that consists of main girders, towers, and cables, is flexible in design, has a high degree of freedom, and excels in both mechanical rationality and economy. A diversity of configurations, moreover, has so far been adopted for this type of bridge because it can be erected using cables and has relatively few restrictions on the side-span to intermediate-span ratio. In our model in which the main girder was propped up with a steel strut on suspended cables, this bridge had far less deflection in the central span than the basic model thus indicating that the main girder section can be made smaller and could thereby reduce construction costs. Moreover, another model of the above bridge but with inclined main towers had a reduced bending moment of its towers, and its overall resistance to stress was improved in balance. The analysis showed that the proposed model would pose no mechanical problems and it would reduce construction costs. This paper proposes a new type of rationalized cable-stayed bridge that is cheaper than previous types, and compares its properties with a basic model.

キーワード：新形式橋梁，コスト縮減，斜張橋，逆吊ケーブル構造

### 1. はじめに

平成9年の公共工事コスト縮減対策に基づき、平成12年度以降の政府の新たな「公共工事コスト縮減対策に関する新行動指針」が策定された。「より良くより安く」社会資本を整備するため、直接的な工事コストの低減に加え、ライフサイクルコストの低減など、公共工事の総合的なコスト縮減を目指すというものである。

このような鋼橋のコストダウンに対する社会のニーズを背景に、PC床版を採用した二主I桁橋や合理化トラス橋などの合理化橋梁、鋼桁とコンクリート橋脚との剛結構造や波形鋼板ウェブ橋、エクストラードズド橋など、コスト縮減を目指した新しい構造形式が採用されている。

一方、橋梁の構造形式は架橋条件に依存し、特に谷の深い位置に橋を架設するような場合、側径間に比べ中央径間の長い径間割りとなることがある。また、景観上から主塔高さを低く抑えた橋梁形式が必要となる場合がある。

主桁・塔・ケーブルで構成される極めて自由度の高い橋梁形式である「斜張橋」は、優れた力学的合理性と経済性を有しており、支間割りの制約が比較的少ない。ま

た、ケーブルを利用した合理的な架設が可能であることから、これまでに多種多様な構造形態が採用されている。例えば、鋼桁とコンクリート桁を橋軸方向に接合した斜張橋としては生口橋が挙げられ、側径間が中央径間に比べて短いため、側径間に負反力が生じないように配慮されている。また、桁橋と斜張橋の中間的な性状を持つエクストラードズド橋は、主塔の高さを斜張橋より低く抑えることができるため、高さ制限があるような場合でも架設が可能となる。ケーブルトラス橋は、鋼桁とケーブルのトラス構造を採用した新しい構造形式であり、桁中央付近に配置した支柱によって鋼桁の曲げモーメントを低減させている。

本研究では、谷の深い位置に架設されるような橋梁について、コスト縮減を目指した合理的な新形式斜張橋を提案し、その力学的な基本特性について比較検討を行った。尚、本研究の基本思想については、前報・巻頭言<sup>1)</sup>を参照されたい。

### 2. 構造概要

本研究で提案する橋梁モデルの概要を図-1に示す。基本構造は、中央支間長250m、側径間長75m、主塔高

\* 技術本部技術開発部技術開発課

\*\*技術本部技術開発部長

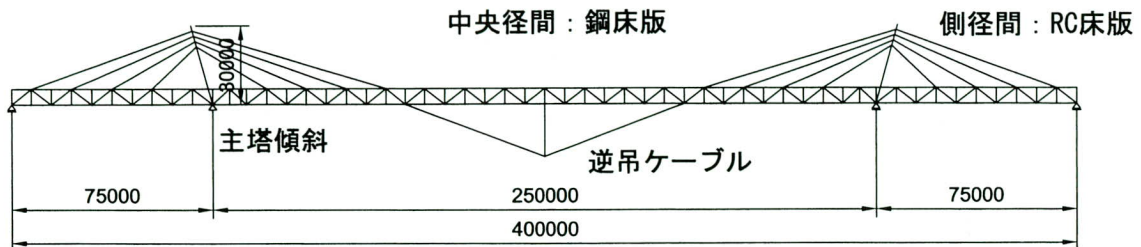


図-1 構造概要

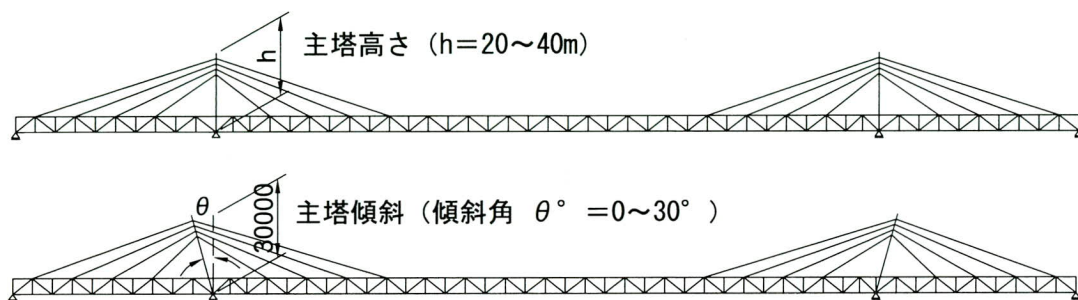


図-2 主塔高、傾斜角検討モデル

30mの二面ファン形式の鋼斜張橋であり、側径間長が中央径間長に比べて短い。側/中央径間長比は1/3.3、主塔高さは中央径間長の1/8.3である。一般的な斜張橋と比べ、主塔の高さを低く抑えている。斜張橋よりもエクストラードード橋に近い構造とすることで、ケーブルコストの低減を目指している。主桁は軽量のトラス構造とし、さらに中央径間を鋼床版、側径間をRC床版とすることでカウンターウェイト的に機能させる。更に、本研究で提案する形式は、ケーブルトラス橋のように中央径間を逆吊ケーブル形式の支柱で支持し、中央径間長の見かけの短縮化を図っている。また、主塔を側径間側に傾斜させることによって、主塔に作用する曲げモーメントの低減を図っている。

### 3. 検討内容

本研究で提案する新形式斜張橋は、上述の通り多くの構造的特徴を有している。ここではまず初めに、斜張橋の主塔高さとし、傾斜角に着目し、一般的な斜張橋との比較を行う。

続いて、主塔傾斜、逆吊ケーブル、主塔傾斜+逆吊ケーブルの各構造別の断面力を比較し、新形式斜張橋の構造特性を明らかにする。

また、固有振動解析を行い、本構造の振動特性を把握する。

### 4. 解析条件

解析モデルは平面骨組モデルとし、微小変位理論による面内解析を行った。ここでは、各構造形式の基本特性を確認することが目的であるため、部材剛性およびケーブル断面は各構造とも同値を用いている。また、解析は活荷重に着目した影響線解析を行い、活荷重載荷時の断面力を算出する。着目する部材および断面力は、主塔基部曲げモーメント、軸力、トラス軸力、最上段のケーブル張力、活荷重たわみとする。

### 5. 主塔高、傾斜角の影響

新形式斜張橋の基本特性を検討するために、主塔の高さと傾斜角によって、斜張橋の断面力がどの程度変化するかを検討した。図-2に示すように、主塔高さは20m～40m（中央径間長の1/12.5～1/6.3）、傾斜角は側径間側に0°～30°まで変化している。

図-3に主塔の高さを変化させた場合の解析結果を示す。横軸は主塔の高さ、縦軸は主塔高20mのケースの断面力で基準化した断面力比を表している。主塔高さが高くなるほど、特に主塔基部の曲げモーメントの影響が顕著になり、高さ40mの場合には20mの断面力の40%程度まで減少している。一方、主塔基部の軸力は高さ40mの場合には20mの断面力の40%程度増加するが、活荷重による主塔

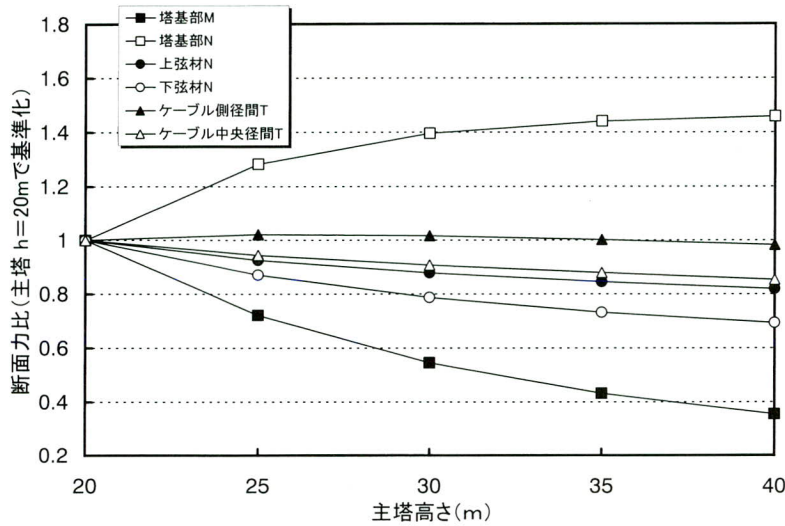


図-3 主塔高さの影響

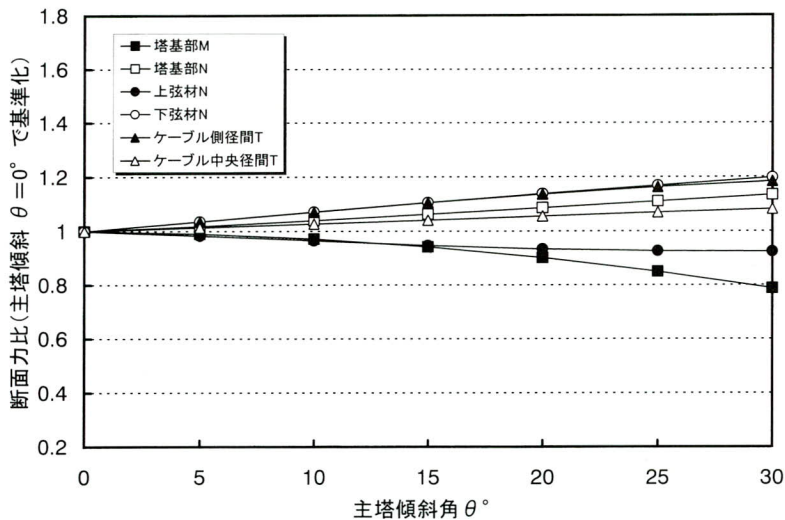


図-4 主塔傾斜角の影響

基部の曲げモーメントと軸力の断面力比は約4:1であり、主塔高さに対する曲げモーメントの低減効果大きい。

図-4に主塔の傾斜角を変化させた場合の解析結果を示す。横軸は主塔の傾斜角、縦軸は傾斜角 $0^\circ$ の断面力で基準化した断面力比を表している。主塔高さの影響と比較して、主塔を傾斜させることによる断面力への影響は小さいが、主塔の傾きが大きくなるほど、影響がでてきており、 $30^\circ$ で主塔基部の曲げモーメントは20%程度小さくなる。しかし、傾斜とともに主桁の断面力は大きくなる傾向になる。

## 6. 新形式斜張橋の構造特性

主塔高さの主塔傾斜に加えて、逆吊ケーブル形式の支柱を中央径間に配置した構造を考え、基本モデルとの比較を行う。図-5に示すように、CASE-1を解析の基本モデルとし、CASE-2は主塔傾斜モデル、CASE-3は逆吊ケーブルモデル、CASE-4は逆吊ケーブル+主塔傾斜モデルとする。ここでは各モデルとも、主塔高さを30mとした。

図-6に各構造形式の解析結果を示す。横軸は構造形式、縦軸は基本モデル(CASE-1)の断面力で基準化した断面力比を表している。中央径間側のケーブル張力は、逆吊ケーブル形式(CASE-3)で26%減少しており、本構造



がケーブルコストの削減に寄与していることが判る。また、主塔基部の曲げモーメントも同様に減少しており、ケーブルトラス橋のような支持構造が有効であることが分かる。トラス上・下弦材の軸力は、逆吊ケーブル構造を採用することで約30%減少し、谷が深く景観上から主塔を高くできない場合は有効な構造形式である。一方、主塔傾斜のみの構造ではケーブル張力は増加し、基本モデルと同程度の張力が発生するため、主塔の傾斜角とケ

ーブル張力のバランスに配慮する必要がある。

図-7に各構造形式の活荷重たわみを示す。活荷重たわみは、逆吊ケーブルを配置することによって半分程度まで減少している。斜張橋の活荷重たわみは、主塔高、ケーブル本数、主桁断面の増加などで制御可能であるが、逆吊ケーブル構造は主塔高、主桁断面などを大きく変更することなく活荷重たわみを減少させることができる。

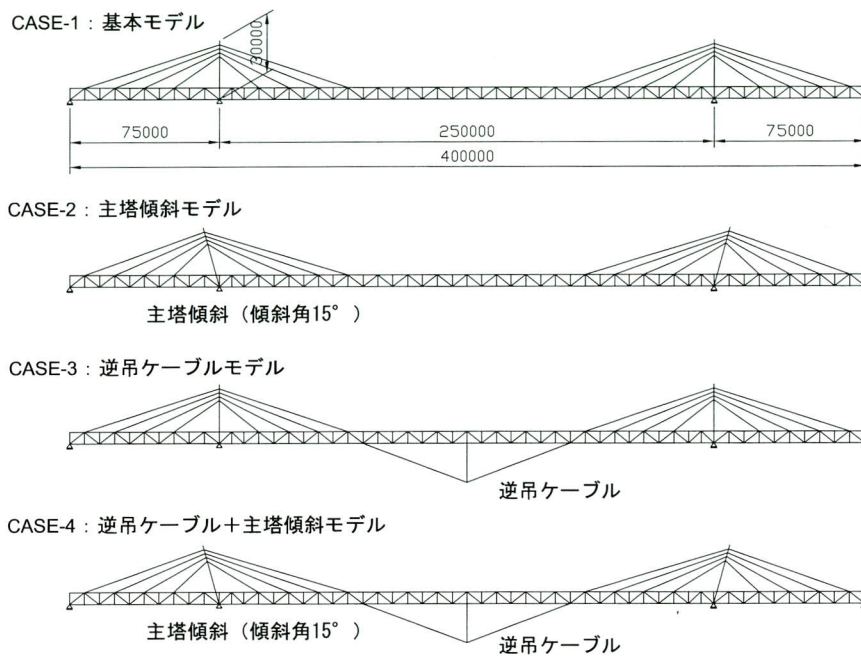


図-5 検討モデル

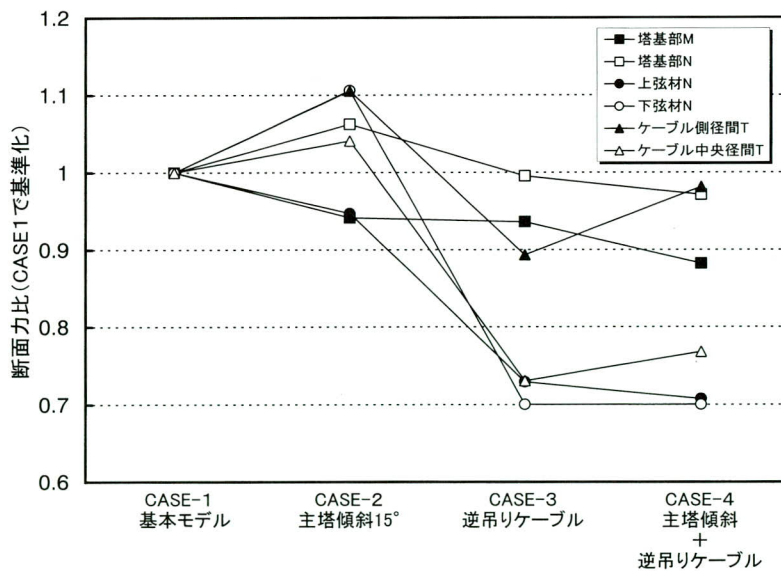


図-6 形式別断面力比

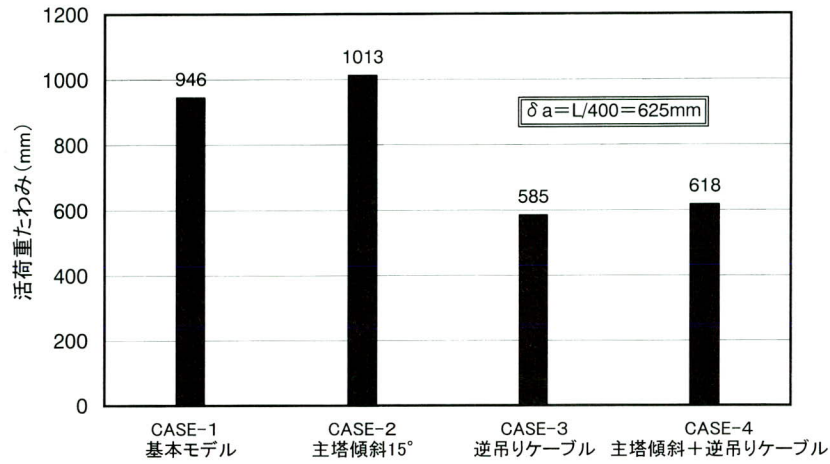


図-7 形式別活荷重たわみ

表-1 case-1 基本モデル

次数	振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	有効質量比 (%)			加速度応答スペクトル (gal) タイプII		
			橋軸方向	鉛直方向	並進	I種地盤	II種地盤	III種地盤
1	0.274	3.655	0	21	11	127	273	340
2	0.487	2.053	8	2	5	333	715	889
3	0.749	1.334	5	2	4	683	1467	1500
4	0.965	1.036	1	4	2	1041	1750	1500
5	1.000	1.000	0	32	16	1104	1750	1500
6	1.246	0.803	11	1	6	1591	1750	1500
7	1.497	0.668	33	2	18	2000	1750	1500
8	1.786	0.560	2	2	2	2000	1750	1500
9	1.951	0.513	3	1	4	2000	1750	1500
10	2.041	0.490	0	2	1	2000	1750	1480
		累積	67	69	68			

表-2 case-4 主塔傾斜+逆吊りケーブルモデル

次数	振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	有効質量比 (%)			加速度応答スペクトル (gal) タイプII		
			橋軸方向	鉛直方向	並進	I種地盤	II種地盤	III種地盤
1	0.313	3.193	0	26	13	159	342	426
2	0.494	2.026	6	1	3	340	731	909
3	0.783	1.277	11	2	6	734	1577	1500
4	1.052	0.950	1	11	6	1203	1750	1500
5	1.138	0.879	0	20	10	1369	1750	1500
6	1.241	0.806	1	1	1	1582	1750	1500
7	1.470	0.680	44	3	24	2000	1750	1500
8	1.706	0.586	0	2	1	2000	1750	1500
9	1.989	0.503	5	1	3	2000	1750	1500
10	2.131	0.469	0	0	0	2000	1750	1437
		累積	67	69	68			

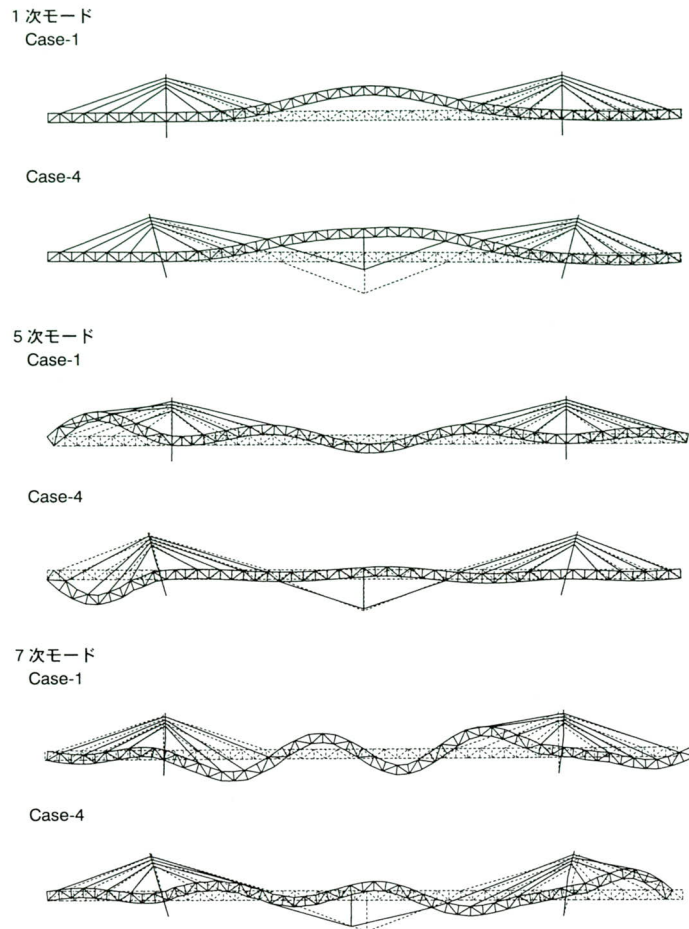


図-8 振動モード図

## 7. 固有振動解析

振動特性の変化を把握するために、基本モデル (CASE-1) と主塔傾斜+逆吊ケーブルモデル (CASE-4) について固有値解析を行い、新形式斜張橋の振動特性を比較した。固有値解析の結果を表-1 および表-2 に示す。また、振動源としての外力には交通振動、風、地震などがあるが、ここでは地震応答に着目し、各モード別の加速度応答スペクトルを示している。

橋軸方向の卓越モードは7次、鉛直方向は1次、5次が卓越している。両構造とも、橋軸方向の卓越周期約0.7秒と短周期であり、桁を免震支承などで弾性支持し、橋梁全体の固有周期を伸ばすなどの対策が必要である。

図-8 に1次、5次、7次のモード形状を示す。上段が基本モデル、下段が主塔傾斜+逆吊ケーブルである。1次モードでは、中央径間部が大きく変形するが、両構造に大きな差はない。5次モード、7次モードでは逆吊ケーブルによってモード形状が変化し、中央径間部の変形

が抑えられていることが分かる。

## 8. まとめと今後の検討課題

今回の解析結果によると、支間長比が大きいかつ主塔高が抑えられる場合、側径間をカウンターウェイト的に使用することによりバランスを良くすることはできるが、さらに積極的に改善していくためには、逆吊形式のケーブルで主桁を支持することは非常に有効である。また、さらに主塔を傾斜させることにより曲げモーメントはかなり改善されることが判った。さらに今後は以下のような技術検討が必要である。

- (1) トラス下面のケーブル施工や傾斜した主塔など施工上の検討、構造細目などの検討が必要である。
- (2) 斜張橋の耐震性を向上させるために、免震支承などによって弾性的に支持することにより地震力の低減を図る。また、耐風安定性および地震時の挙動を把握するために、構造系の振動特性を考慮した検討が必要である。



(3) 主桁に鋼、主塔にコンクリートを使用した複合斜張橋、側径間をコンクリート桁、中央径間を鋼桁とした複合斜張橋など、より合理的、経済的な構造検討を行うことも必要である。

#### 〈参考文献〉

- 1) 家村浩和：深い谷を渡る長スパンアーチ橋の代替案の思いつき－新しい構造形式への挑戦に期待する－，宮地技報巻頭言，1999，No.15
- 2) 土木学会：鋼斜張橋－技術とその変遷－，平成2年9月
- 3) 日本橋梁建設協会：新しい鋼橋，平成11年8月  
2000.11.1 受付

### グラビア写真説明

#### 大宮市連絡通路橋

本橋は、JR13線を跨ぎ中山道より、さいたまスーパーアリーナを結ぶ支間95mの歩道橋です。さいたま新都心のシンボルとして、景観デザインを考慮したバスケットハンドル型鋼管アーチローゼ桁が採用されています。

外観上の最大の特徴は、吊り材の定着角度（橋軸直角方向）を一定にして、桁側の定着位置をアーチ面の外側にしていることです。

そのほか、維持管理を容易にするため、本体には亜鉛・アルミ擬合金溶射を施し、吊り材には被覆プレハブ平行線ストランド、床版にはGRC（ガラス繊維補強セメント）埋設型枠を採用しています。

（伊藤）

#### 古島軌道桁

本工事は、国道330号から第2環状線を通る4径間連続曲線鋼軌道桁のうちのP449～J9間を宮地・富士車特定建設工事共同企業体で施工しました。本橋は、立体交差の交差点上に位置し、国道330号は沖縄県でも一番交通量の多いところでもあります。架設については本線を片側規制してのトラッククレーンによるベント工法で夜間架設で施工致しました。

沖縄都市モノレールは、那覇空港駅から首里駅間で2003年12月開業をめざし、工事も順調に進行しております。沖縄都市モノレール「ゆいレール」が開業しますと、那覇空港駅から首里駅までの12.9kmの運行所要時間が約27分となり、現在の交通手段に比較して大幅な時間の短縮が可能となります。交通渋滞に左右されず、通勤・通学をはじめ、レジャー・ショッピング等への利便性が大いに向上し、都市機能の活性化が図れます。

（村島）