

東京競馬場 連絡歩道橋



藤森 智
松田平田設計



佐藤 和広
同



森田 明
同

1 はじめに

連絡歩道橋は京王線の府中競馬場正門前駅から東京競馬場新スタンドへと直接アクセスする為のもので、競馬開催時に競馬場通りの交通を妨げることなく、多数のファンを安全かつ効率的に案内するよう計画している。

府中競馬場正門前駅から東京競馬場正門まで架かる連絡歩道橋2は全長約130m(写真1)、東京競馬場正門から東京競馬場新スタンドまで架かる連絡歩道橋1は全長約104mとなっている。

構造形式は主構造をプレートガーダー形式+免震構造とし、屋根をトラス形式とした複合システムでトラス断面を小さく抑え、内観の透明性を高める計画とした。

本連絡橋は屋根を設けているため、建築物としての申請を行っている。また、本稿は連絡歩道橋2についての報告である。

2 建築計画概要

名称：東京競馬場スタンド改築 正入場門・連絡歩道橋その他工事

発注者：日本中央競馬会

所在地：東京都府中市日吉町1番地

敷地面積：625,635.07m²

建築面積：1,133.75m²

階数：地下なし・地上1階

(最高高さ12.615m)

設計・監理：日本競馬施設株式会社

松田平田設計

施工：東京競馬場スタンド改築第3期工事
(第Ⅱ工区) 共同企業体(竹中・フジタ・飛島JV)

用途：観覧場(入場門)

工期：2005年6月～2007年3月

3 構造計画概要

3.1 構造概要

本計画は不特定多数が使用する大スパン歩道橋として十分な安全性を確保すること、地震応答を減らし橋脚・基礎の負担を低減させること、桁の上下振動による鉛直たわみに追従して免震支承が鉛直面内に回転しやすいこと、温度変化による有



写真1 外観および内観

害な温度応力の発生を防止することを目的とし、免震構造を採用した(図1、2)。

連絡橋全体は31.5m、40.5m、および44.0mの3スパンと13.5mの跳ね出しからなる4点支持の連梁であり、中間2箇所ではRC橋脚に、両端ではS造橋脚および正入場門(SRC造)躯体によりGLから約9mの高さ(歩行面)で支持されている。中間のRC橋脚上には各2基の鉛プラグ入り積層ゴム支承LRB(ゴム総厚さ200mm、650mmおよび750mm角型)を、両端のS造橋脚上および正入場門躯体上には各2基の弾性すべり支承ABS(径408mmおよび288mm、高摩擦タイプ $\mu=0.1$)を配した構成としている。

連絡橋橋本体は2本の組立H型鋼を主桁とし、これに150mm厚のRC造スラブをスタッドコネクタによって接続した合成梁構造が基本となっており、さらにビルドボックスによるトラス屋根構造が橋全体を補剛したトラス橋としている。2本の主桁は3mの間隔をあけて配され、互いに4.5mピッチで横桁が接合されている。また横桁と主桁とを対傾構で接続し、主桁下フランジの座屈補剛とした。主桁外側から約2.8m跳ね出したブラケットは主桁と同様に合成梁としており、歩行面の支持と同時に主桁とトラス屋根とを接続する役割を持つ。

トラス屋根は橋軸方向に対してはトラス橋の上弦材および斜材としてスパン全体の荷重を支持し、橋軸直交方向に対してはアーチ状フレームとして

幅約8.6mスパンの屋根を支持している。ブラケットの先端同士を接続する補剛桁は、跳ね出し先端の荷重を支持する小梁としての役割と同時にブラケット・トラス屋根接合部の安定性を高める役割を持ち、トラス弦材の一部として橋脚間スパンの曲げによる軸力を負担することを許容している。

基礎はGL-11m以深の細砂層を支持層とする回転圧入鋼管杭を用いている。

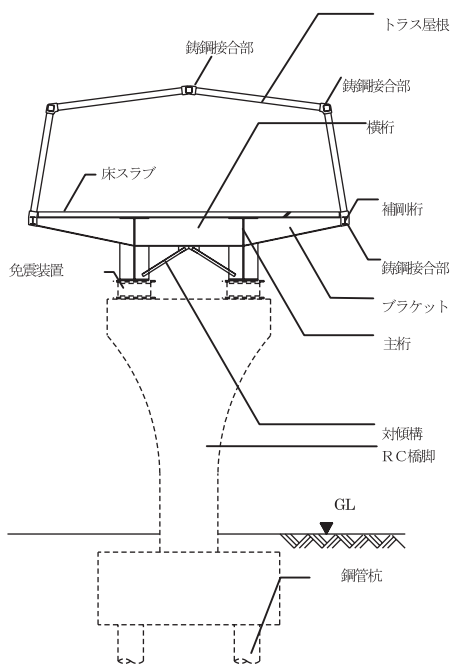


図2 システム概要

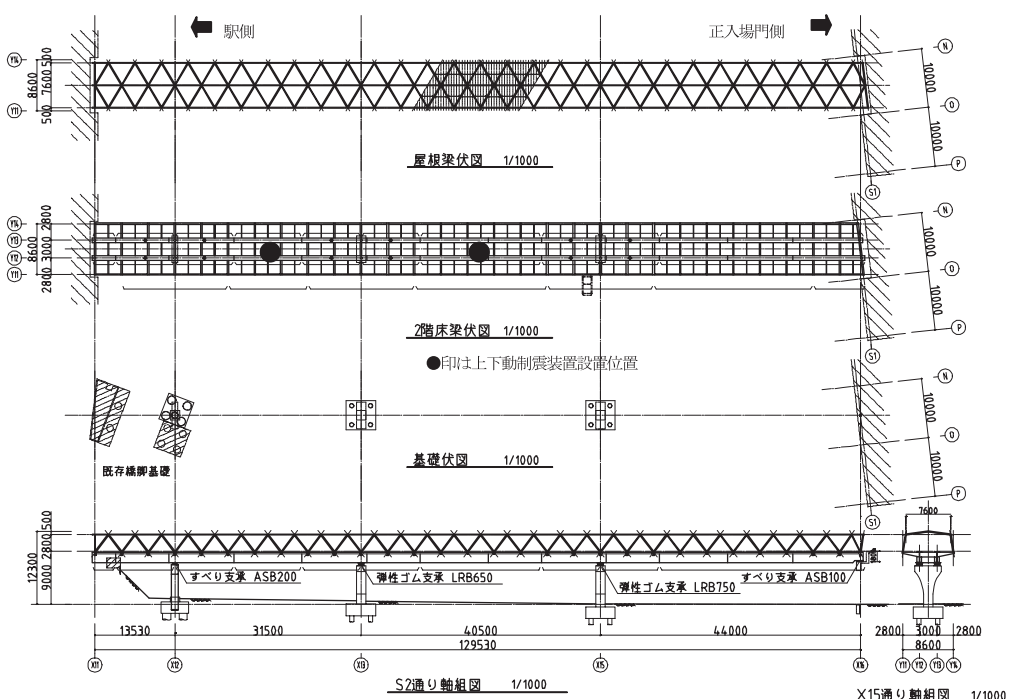


図1 連絡歩道橋2伏・軸組図

3.2 構造設計方針

1) 長期荷重設計

長期荷重は固定荷重と積載荷重のほか温度荷重を考慮し、有害な変形や応力が発生しないことを確認する。

鉄骨およびトラス屋根は(平均20℃)+45℃、-30℃の温度変化とした。

長期荷重時のクライテリアは以下のように定める。

- ・鉛直変位がスパンに対し1/600以内であること
- ・部材の応力が長期許容応力度以下であること

2) 耐震設計

連絡歩道橋は橋脚を下部構造とし、連絡橋本体(歩行面より下)が免震層、トラス屋根が第1層という断面構成になっている(図2)。

応答解析に用いた地震動は6波とした。サイト波の関東地震については、敷地特性および本建物における上下地震動(水平上下同時入力)を考慮した地震波として採用した。サイト波作成にあたっては、断層の大きさや破壊伝播効果を考慮できる経験的方法によって敷地直下の地震基盤における地震動レベルを評価し、次に地震基盤における地震動を堆積地盤モデルに入射することにより、表層における地震動を評価した(図3)。

時刻歴応答解析に採用する設計用入力地震動は、表層地盤の増幅を考慮して基礎底位置での模擬地震動とした(表1)。免震設計では、固有周期を2秒程度に抑え、桁変位を小さくすることを基本としている。この内容を踏まえ、耐震クライテリアを決定した(表2)。

3.3 解析モデル

主桁と橋脚の剛性は、静的解析に基づき設定した諸係数を用い、すべての入力レベルにおいて弾性モデルとする。トラス屋根の剛性は、静的解析に基づき設定した水平、上下方向の等価せん断剛性とし、トラス屋根鉛直材は要素端回転拘束、トラス屋根水平材は要素端ピンとする(図4)。

3.4 固有値解析結果

免震装置LRBのせん断歪み度が10%(微小振幅時)、50%(稀地震動レベル相当)、100%時(極稀地震動レベル相当)の固有値解析結果を表3に示す。X方向(主桁方向)に関しては、並進モードが主であるため、免震装置固定時の上部構造固有周期はY方向

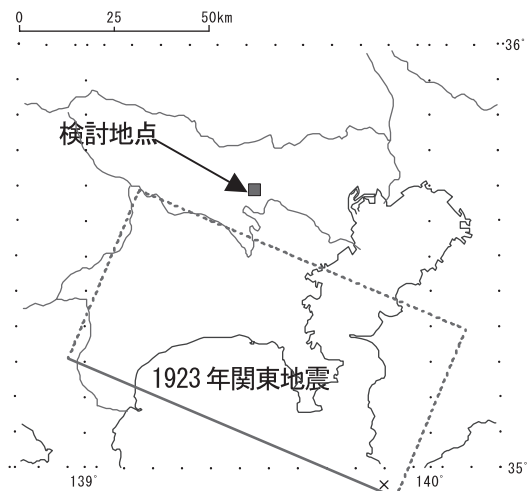


図3 検討対象とした地震の断層モデル(x印はアスペリティー)

表1 基礎底レベルの地震波

地震動			最大加速度 (m/s ²)
水平地震動	観測波	ElCentro 1940 NS	5.11
		Taft 1952 EW	4.97
		Hachinohe 1968 NS	3.30
	告示波	一様乱数位相1	4.41
		一様乱数位相2	4.72
上下地震動	観測波	El centro UD	3.79
		一様乱数位相1	3.89
		一様乱数位相2	3.93
水平+上下	サイト波	関東地震	水平 4.27
			上下 3.05

表2 耐震クライテリア

部 位		項 目	稀地震動レベル	極稀地震動レベル
上部構造		変位量	30cm 以下	
		部材応力	短期許容応力度以下	
		層間変形角	1/400 以下	1/200 以下
免震装置	鉛入り積層ゴム (LRB)	圧縮応力度	σ_{cr} (装置径と変形量に对应した許容最大面圧) 以下	
		引張応力度	生じない	1.0N/mm ² 以下
		水平変形量	安定変形以内	性能保証変形以内
		せん断歪み	75%以下	150%以下
	弾性滑り支承 (ASB)	圧縮応力度	35N/mm ² 以下	
下部構造		引張応力度	生じない	
		部材応力	短期許容応力度以下	

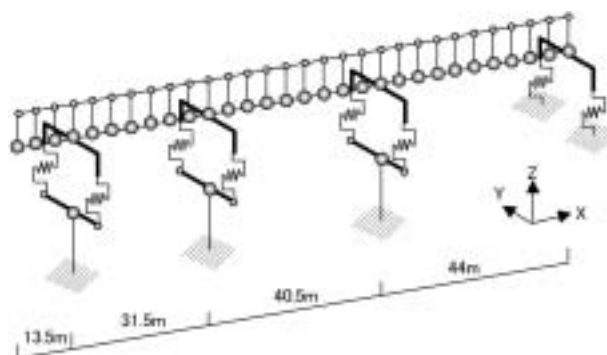


図4 解析モデル

(主桁と直行方向)のみを示す。また、X方向固有周期は全体系での1次固有周期のみを示す。

3.5 検討結果(同時入力による構造体の応答結果)

水平・上下方向の地震同時入力(サイト波)に対するレベル2応答結果を図5～7に示す。

(1) 上部構造

最大水平応答変位は主桁及びトラス屋根共に、Y方向12.4cmであり、最大層間変形角は最大1/366であった。また、最大鉛直応答変位は、トラス屋根で3.8cm、主桁で2.8cmとなっていた。最大たわみ角は1/487であり、許容値1/400以内であることを確認した(図5)。

最大水平応答加速度は主桁で205.4(cm/s^2)となり、トラス屋根は433.2(cm/s^2)であった。また、最大鉛直応答加速度は、主桁で1547(cm/s^2)、トラス屋根で3349(cm/s^2)となっていた(図6)。

トラス屋根の最大応答せん断力に関しては、全体に亘って設計用せん断力(図中の点線で表す)に納まっているものの、最大応答軸力は屋根の上下動設計震度(1.7G)に相当する軸力の値を部分的に超えているが、短期許容応力度に対する比率で確認を行っている(図7)。

(2) 免震装置の積層ゴム(LRB)の変形によるせん断ひずみ

最大応答層間変形は10.6cmとなり、積層ゴム(LRB)の最大応答せん断ひずみは53%と設定した目標値150%以下となることを確認した。

3.6 施工時のクライテリア

建方精度の管理値として各梁の鉛直精度を30mm以下に抑える計画とした。これは、仕上げの水平精度の確保や免震装置の水平精度を1/500以下に抑えることより決定している。

4 上下動制振装置

本連絡歩道橋は上下動応答解析結果でも分かるように1,000gal以上の加速度が主桁に生じている。そこで、歩行振動(歩行振動による疲労損傷低減)及び上下動、水平振動による上下動振動の励起に対処べく補助質量付トグル制振装置を採用した(図8)。

通常の上下動対策として使用される同調質量ダンパー方式は付加質量とバネ、および減衰の3要素

表3 全体系の等価固有周期(秒)

	ゴムのせん断歪	1次	2次	3次
X方向	10%	1.040	—	—
	50%	1.926	—	—
	100%	2.474	—	—
Y方向	10%	1.089	0.985	0.609
	50%	1.948	1.892	0.737
	100%	2.497	2.481	0.764

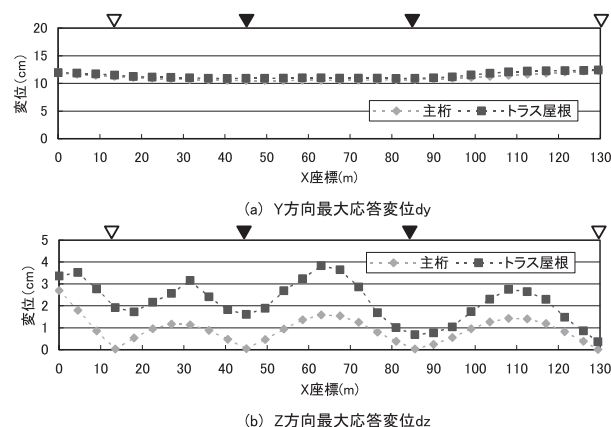


図5 最大応答変位

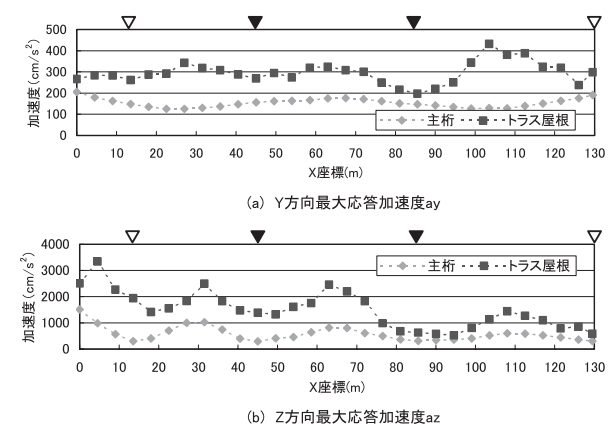


図6 最大応答加速度

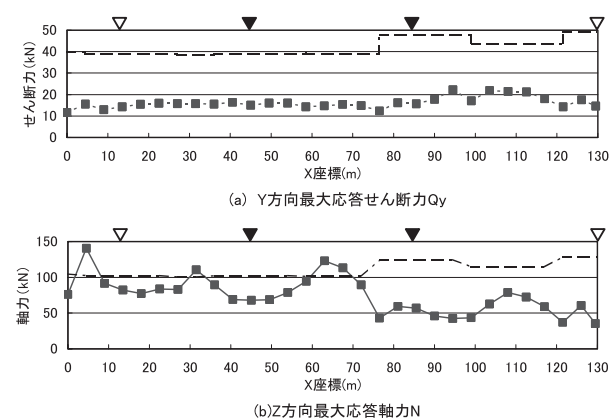


図7 トラス屋根の最大応答せん断力・軸力

の微妙な動力的バランスのもとで良好な制振効果の得られる装置であり、付加質量は構造物振動重量の約1~2%程度の重量が必要となる為、大きな構造物等を対象とした場合、大きな付加質量が必要となる。また、付加質量を余り大きく設定できない場合は、制振効果が小さくなる場合が多い。

本システムは補助質量をトグル機構(梃子機構)によって増幅させ補助質量比の増大を図ったものであり、重量項・減衰項・剛性項を有効に制御するシステムとなる。

この構造は図9の「 m_{T1} 」の補助質量の慣性力が、相対加速度に対して増幅率($\alpha_1^2 + \alpha_2^2 - \alpha_1$)倍の効果があることに対して、絶対加速度に対しては(α_1)倍の効果があることを利用したものである。

また、補助質量の増幅と同様に、図9の「 k_T, c_T 」のバネ及び減衰装置もこの増幅機構によって、増幅率($4\beta_1^2$)倍の性能が得られる。

5 耐火設計

本計画では、主桁鉄骨及び通路下道路近傍に位置するLRB及びASBについて耐火性能検証法を行い、免震装置とトラス屋根以外の鉄骨について無被覆としている。

具体的に下記の火災の設定条件にて検討を行った。

- ① 局所火災は通路下道路に駐車中のトラック(10t)の積荷(衣類)を想定
- ② 全体火災は告示第1433号に示された火災継続時間および火災室温度より検証

6 おわりに

本プロジェクトを設計・施工するにあたり、日本中央競馬会の皆様、また、共同設計・監理の日本競馬施設の関係者に感謝します。

上下動制震装置の開発研究の御指導を頂いた石丸辰治教授(日本大学理工学部)ならびに本件に携わりました関係者の方々、また、全工期を通じて綿密な工程管理を確立し、工期内に高品質・高精度な建物を実現した建築JVの関係者の皆様には深く感謝致します。

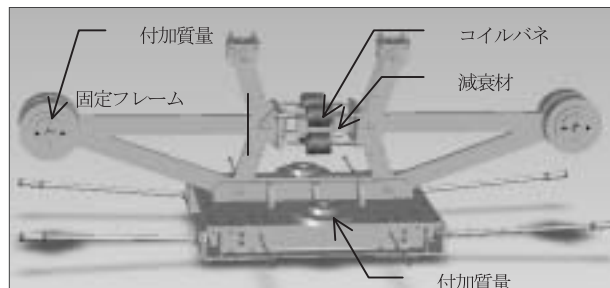


図8 上下動制振装置

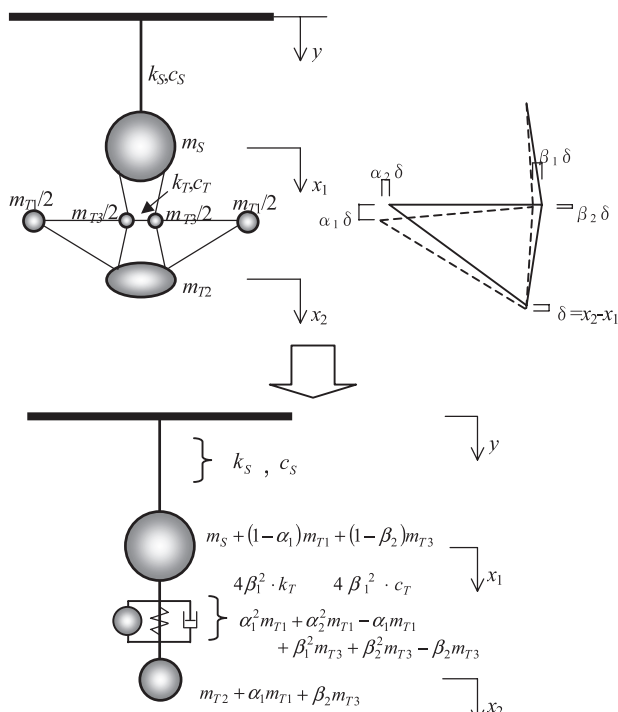


図9 増幅機構付き力学モデルと等価な振動系