

# 高架橋に付帯する旅客上家の地震応答特性と耐震設計法

構造物技術研究部 (建築)  
副主任研究員 山田聖治

## 1. はじめに

高架橋の上部に付帯する旅客上家は、高架橋と連成した振動挙動を示す。しかし、上家は建築基準法上では建築物から除外されており、高架橋の影響を考慮した設計用地震力などの規定がなく、耐震性能の統一化がなされていないのが現状である。そこで、常時微動測定から高架橋-上家連成系の振動特性を確認するとともに、地震応答解析により上家の構造形式や構造特性の違いが応答性状に及ぼす影響について把握した。そして、これらの解析結果に基づき、高架橋に付帯する旅客上家の新たな構造設計法を提案した。

## 2. 高架橋に付帯する旅客上家の振動特性

### 2.1 常時微動による旅客上家の振動特性の確認

#### 2.1.1 測定概要

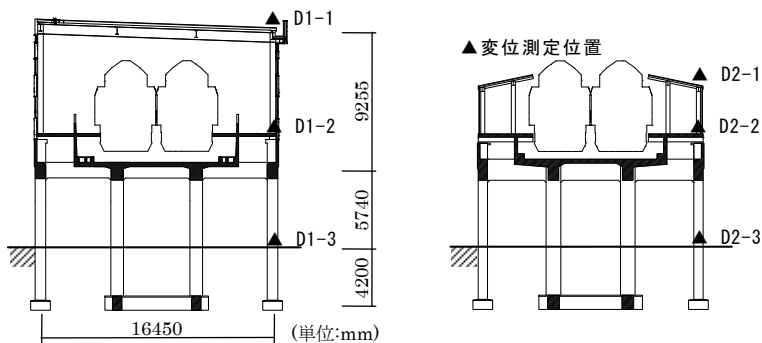
測定位置を図1に示す。高架橋は一層の鉄筋コンクリート造、上家は鉄骨造である。ケース1では全覆型上家（線路階全体を覆う形式）を、ケース2では開放型上家（プラットホーム部分のみを覆う形式）を対象にし、上家屋根、上家柱脚、高架橋柱脚の線路直角方向の微動変位を計測した。サンプリング周波数は100Hz、記録時間長は10分間である。

#### 2.1.2 周波数分析

測定データのフーリエ分析結果を図2に示す。この図から、上家屋根では、上家の固有振動によるピークと高架橋と上家の連成と思われるピークが、両ケースともに0.2~0.5sに見られる。また、上家柱脚では、全覆型には2つのピークに対して開放型には1つのピークしか確認できないことから、全覆型のほうが開放型に比べて、上家と高架橋の連成による影響が大きいと言える。さらに、高架橋柱脚ではともに1つのピークしかなく、全覆型の2次と開放型の1次が高架橋の振動が卓越するモードを表していると考えられる。

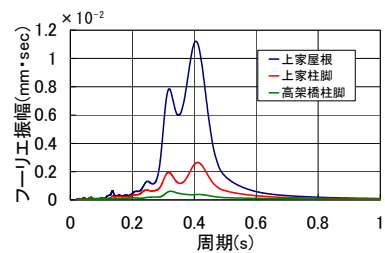
#### 2.1.3 固有周期、減衰定数の推定

上家屋根および上家柱脚のデータに対して、上家と高架橋

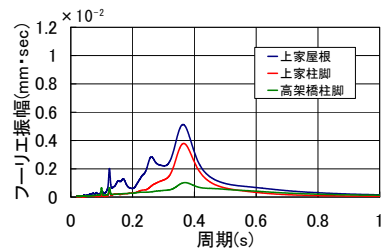


ケース1：全覆型上家      ケース2：開放型上家

図1 測定位置



(a) ケース1 (全覆型上家)



(b) ケース2 (開放型上家)

図2 微動変位のフーリエ振幅

の卓越固有周期を含む8次のバターワース型バンドパスフィルタを施し、RD (Random Decrement) 法<sup>1)</sup>を適用した。推定した自由振動波形と減衰曲線を図3に、固有周期と減衰定数を表1に示す。

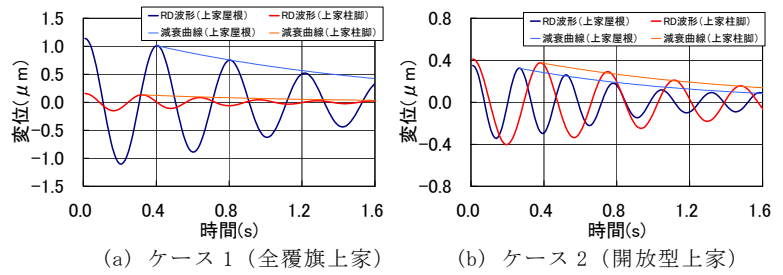


図3 RD波形と減衰曲線

固有周期の推定結果は図2と良く整合している。また、減衰定数が4~5%とやや大きめに推定されているが、これは、対象構造物が低層で高剛性があること、柱の下部が地盤に埋もれていることなどが影響していると考えられる。

### 2.2 骨組モデルの固有値解析との比較

ケース1(全覆型上家)について、上家の柱脚型式を固定と仮定した2次元骨組モデルの固有値解析を行った。得られた1,2次のモード形状と固有周期を図4に示す。固有周期は、表1に示す推定結果よりやや小さな値を示しているものの精度よくモデル化できている。なお、一般建築物で常時微動測定を用いた場合には、2次部材の影響などから固有周期を短めに推定する傾向がある。鉄道高架橋や旅客上家では2次部材が少ないため、この傾向は受けにくいと思われる。

表1 RD法による固有周期と減衰定数

		固有周期[s]	減衰定数
全覆型上家 (ケース1)	1次(上家卓越)	0.41	0.0463
	2次(高架橋卓越)	0.31	0.0533
開放型上家 (ケース2)	1次(高架橋卓越)	0.37	0.0483
	2次(上家卓越)	0.26	0.0403

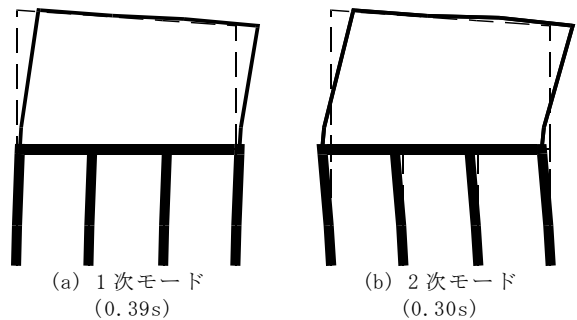


図4 モード形状と固有周期(全覆型)

## 3. 高架橋に付帯する旅客上家の振動解析

### 3.1 解析モデル

図5に示すように解析モデルは杭を含めた2次元骨組モデルであり、杭は地盤ばねで支持し、上家柱脚はピン、半固定、固定とした。高架橋は鉄道土木の現行設計標準<sup>2)</sup>に準拠した一層の鉄筋コンクリート造として、表2に示す部材断面で全解析ケース同一とした。また、上家は鉄骨造とし、表3に示すように架構形式を開放型(F型、Y型)と全覆型とした。一部のケースでは、多雪地域(積雪荷重=6kN/m<sup>2</sup>)を想定し、高架橋に対する上家の重量比は、最も小さいY型で1.9%、最も大きい全覆型(多雪)で11.4%であった。上家の部材断面は、上家のみのモデル(全覆型・F型は柱脚ピン、Y型は柱脚固定)に対し、層せん断力係数0.25の水平力作用時に部材応力が許容応力度以下かつ層間変形角が概ね1/200になるように設定し、他の柱脚条件の場合も同一断面と

表2 高架橋・旅客上家の部材断面

架構型式	柱	梁
高架橋	1000×1000	900×1300(線路直角方向) 900×1400(線路方向)
開放型(F型)	H-300×300×10×15	H-340×250×9×14
開放型(F型) 多雪地域	H-400×400×13×21	H-390×300×10×16
開放型(Y型)	H-350×350×12×24	H-340×250×9×14 (線路直角方向)
		H-244×175×7×11 (線路方向)
全覆型	□-450×450×22	H-600×300×14×23
全覆型 多雪地域	□-550×550×25	H-800×300×14×26

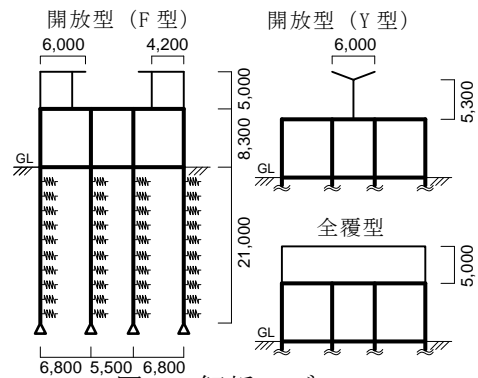


図5 解析モデル

した。表 2 に旅客上家の断面をあわせて示す。

入力地震動は、建築告示波 (L1, L2 レベルそれぞれ 3 波) と鉄道土木波 (L2SP II G3 地盤適合波) とした。減衰条件は、ひずみエネルギー比例型とし、部材別に設定している。

### 3.2 固有値解析結果

上家だけの固有周期は、架構形式、柱脚条件、積雪荷重の有無により異なり、0.17~0.64s の範囲となった。高架橋-上家連成系の 1 次固有周期は、上家だけの固有周期が長いほど高架橋のみの 1 次固有周期 (0.49s) より長くなる傾向があり、連成系の固有周期は上家の影響を受けることがわかる。

開放型 (F 型) を代表として、固有モードを刺激関数 (=刺激係数×固有ベクトル) 図として図 6 に示す。1 次で高架橋と上家が同位相、2 次で逆位相の振動モードとなった。また、2 次の刺激関数は 1 次よりやや小さい程度であり、2 次も全体の振動性状に影響を与えるといえる。

### 3.3 応答性状

L1 レベル入力時の上家と高架橋の最大応答層せん断力係数の比較を図 7 に示す。上家は 0.2~0.8 までばらついたが、高架橋は約 0.15 であり、上家の重量が高架橋に対して小さく、上家の挙動が高架橋の最大応答に与える影響は少ないことを示している。

高架橋に対する上家の固有周期比と最大応答層せん断力係数比の関係を図 8 に示す。固有周期比が大きくなるほど、上家と高架橋の共振により層せん断力係数比も大きくなった。固有周期比が 1 を超えても増加傾向にあるのは、連成系の固有周期が高架橋のみの時より長くなるためであり、固有周期比 1.5 程度では低減していた。

### 3.4 応答結果と高さ方向の分布係数 $A_i$ の比較

応答層せん断力係数比 (上家/高架橋) と上家の  $A_i$  計算値の関係を図 9 に示す。 $A_i$  の算定は、告示 (建設省告示第 1793 号) に基づき、 $T=h(0.02+0.01a)$  ( $h$ : 高さ,  $a$ : 鉄骨造である階の高さ/ $h$ ) から求めた値 (以下、略算法) と、モーダルアナリシスから求めた値<sup>3)</sup> (以下、精算法) の 2 種類である。精算法による  $A_i$  は応答層せん断力係数比と概ね一致したが、略算法による  $A_i$

表 3 解析ケースと固有周期  
( ) 内は積雪考慮の場合

架構形式	柱脚形式	重量比 (%) (上家/高架)	固有周期比 (上家/高架)
開放型 (F 型)	ピン	3.4	1.18
	半固定	〃	0.90
	固定	〃	0.59
開放型 (F 型) 多雪地域	ピン	3.4 (7.2)	0.74 (1.08)
	固定	〃	0.36 (0.52)
開放型 (Y 型)	固定	1.9	1.31
全覆型	ピン	5.4	1.04
	半固定	〃	0.79
	固定	〃	0.49
全覆型 多雪地域	ピン	5.4 (11.4)	0.83 (1.21)
	固定	〃	0.38 (0.55)

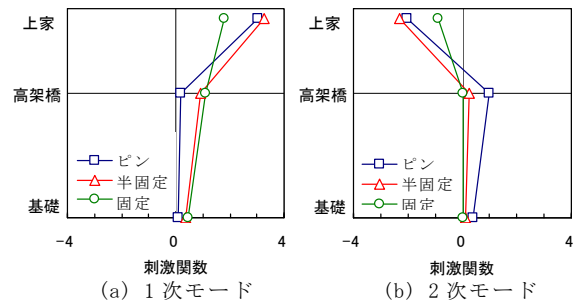


図 6 刺激関数図 (開放型 (F 型))

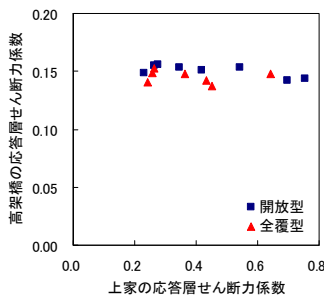


図 7 上家と高架橋の応答層せん断力係数の比較

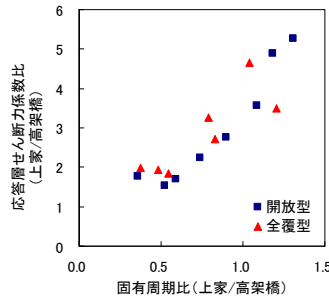


図 8 上家と高架橋の固有周期比と応答層せん断力係数比の関係

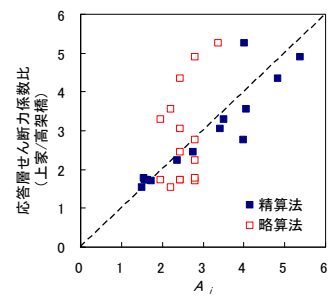


図 9 高さ方向の分布係数 ( $A_i$ ) と応答層せん断力係数比の関係

は3を超える範囲で小さくなった。図8より応答層せん断力係数比が3になる固有周期比は0.8程度であることから、固有周期比が0.8を超える範囲では、精算法により実際の応答性状に即した設計用地震力を設定することができる。

### 3.5 高架橋と旅客上家の質量比・剛性比の応答への影響

高架橋と上家の質量比と剛性比をパラメータにして、応答層せん断力係数比を運動方程式より導出した。検討モデルは、高架橋に対して上家の質量と剛性を相対的に変化させた2質点系モデルである。減衰はレーリ一型とし、1,2次モードに対して3%を仮定した。

応答層せん断力係数比を略算法による  $A_i$  で除した結果を図10に示す。高架橋と上家の質量比がおよそ10%程度以下(図10中の黒い太線部分)であることを考慮すると、層せん断力係数比が略算法による  $A_i$  を上回る範囲は、固有周期比でおよそ0.8~1.5の間となる。

### 4. 高架橋に付帯する旅客上家の構造設計法の提案

以上の結果に基づき、高架橋に付帯する旅客上家の構造設計法を提案した。設計フローの概要を図11に示す。

1次設計レベルの設計用地震力として、高架橋に対する標準せん断力係数  $C_0$  を0.2以上とし  $A_i$  を考慮して設定している。 $A_i$  の算定方法は、1次固有周期比(上家/高架橋)が0.8以下であれば略算法でもよいが、0.8を超える場合は精算法によることが望ましい。ただし、上家の規模や重要度により必ずしも略算法を排除するものではない。大規模・重要構造物については、建築基準法に定める保有水平耐力計算により大地震時の構造安全性を直接確認することが望ましい。なお、必要保有水平耐力算定時の  $A_i$  については、各層の剛性率に基づき算定する  $F_{es}$  (形状特性を表す係数) を考慮することから、略算法による値を用いてよい。

### 5. まとめ

高架橋の上部に付帯する旅客上家の地震時応答特性を解析的に把握し、高架橋の挙動を考慮した新たな構造設計法を提案した。提案した設計法は、建築基準法を準用したものであるが、重量が高架橋に対して極端に小さい上家の応答特性を考慮して設計用地震力を設定していることが特徴である。また、構造物の規模や重要度に応じて、設計ルートや地震力の設定を設計者の判断により選択できる性能設計に対応している。

### 文献

- 1) 日本建築学会編集：建築物の減衰，2000
- 2) 鉄道総合技術研究所編集：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999
- 3) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会編集：2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書，2007

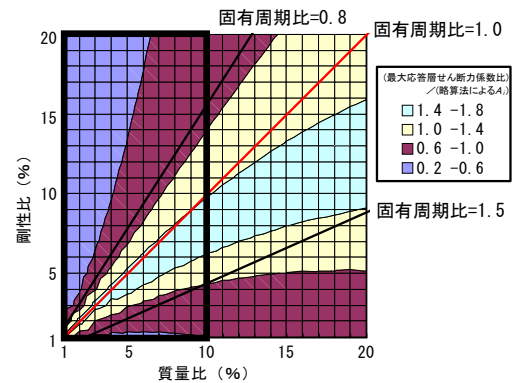


図10 質量比・剛性比(上家/高架橋)の違いによる(最大応答層せん断力係数比) / (略算法による  $A_i$ ) の結果

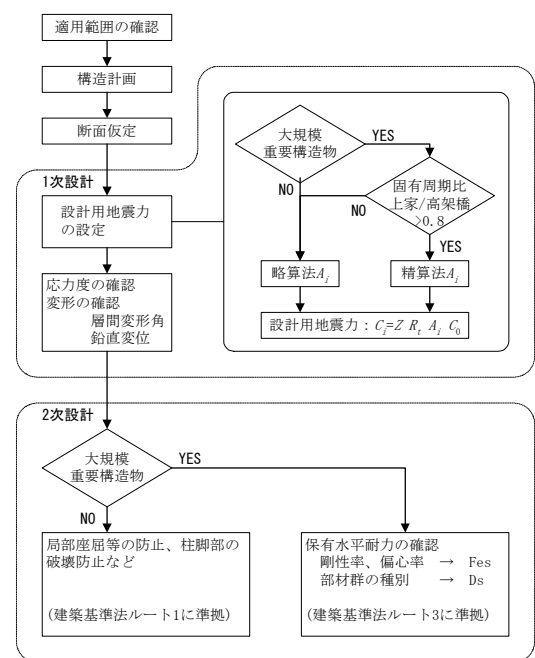


図11 構造設計フロー概要