

桁の回転慣性ならびに偏心が T型橋脚の地震時挙動に及ぼす影響

阿部雅人¹・藤野陽三²

¹正会員 Ph.D. 東京大学講師 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

²フェロー Ph.D. 東京大学教授 工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

都市内高架道路橋によく用いられるT型橋脚は、天端の水平変形が回転と連成するため、桁部分の回転慣性が応答に影響を及ぼす可能性がある。また、偏心があった場合、鉛直動と回転が連成することによる影響も生じうる。そこで、ここでは、回転慣性や偏心の影響を考慮した弾塑性動的応答解析によって、その応答に及ぼす影響を検討した。解析にあたっては、T型橋脚の基部が塑性化すると仮定し、橋脚を鉛直ならびに水平動を同時に受ける1自由度としてモデル化した。解析の結果、弾性領域に留まる限りは回転慣性ならびに偏心によって応答は大きくは変化しないが、塑性化する場合には、偏心の影響により、最大応答ならびに残留応答が偏心の方向に大きく増大することが示された。

Key Words: elevated highway bridges, seismic response, T-shaped column, rotational inertia

1. はじめに

T型単柱橋脚は、桁下空間を確保する必要性が高い都市内高架道路橋によく用いられている構造形式である。図1に模式的に示したとおり、橋脚天端の橋軸直角方向の水平変形と桁の回転が連成するため、桁の回転慣性が地震時応答に影響を及ぼす可能性がある。なお、同じ図に示したとおり、ラーメン型橋脚においては、せん断変形が卓越するため、水平変形が桁の回転を生じさせないので、この問題はT型単柱橋脚特有の問題であると考えられる。

実際、地震後の使用性に大きな影響を及ぼす橋脚の残留傾斜は、阪神高速道路3号神戸線の兵庫県南部地震の実被害に基づいた分析によれば、桁の重心と橋脚断面との図心の橋軸直角方向の偏心量と相関を持っていることが示されている。T型橋脚では、段落としなど特別な事情がなければ、大地震時において基部に塑性ヒンジが形成されるのが一般的であるから、動学的には、桁の偏心は橋脚基部周りの回転慣性を増加させる働きがあると考えられる。したがって、T型橋脚の耐震性能を合理的に評価するためには、偏心を含めて回転慣性の影響を定量的に明らかにしていく必要がある。

また、桁の回転運動は桁の鉛直運動とも連成するから、上下動による地震入力、基部のモーメントを増加させる可能性がある。兵庫県南部地震においては大きな上下動も観測されており、上下動が被害

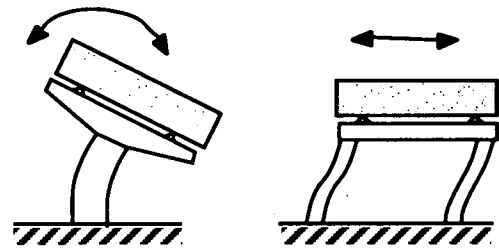


図1 T型橋脚とラーメン橋脚の応答の模式図

に影響をもたらしたのではないかと、この問題提起もなされている²⁾。

そこで、本研究では、T型橋脚における回転慣性・偏心、ならびに上下動の影響を明らかにすることを目的として、水平・鉛直の2方向を考慮した橋軸直角方向面内の2次元弾塑性動的解析を行った。

2. 構造モデルと運動方程式

ここで検討した構造モデルを図2に示す。段落としなどがなく基部で塑性ヒンジが形成されることを想定し、また、基部以外は剛体的に一体として運動すると仮定することによって、面内運動を基部回転角 θ のみによる1自由度振動モデルでモデル化した。すなわち、ピルツ橋に見られるように橋脚桁一体型、あるいは支承が破損しない場合に当たる。通常の桁橋においては、支承が破損すれば、桁と橋脚が別個の運動をするようになって、橋脚に入力される慣性

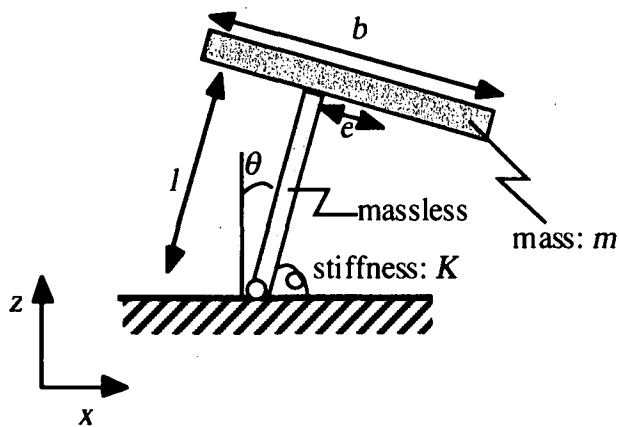


図2 基部が塑性化するT型橋脚のモデル

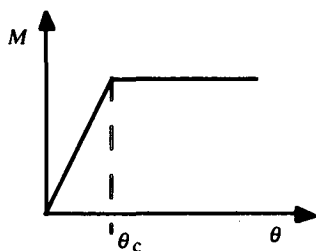


図3 基部の復元力特性

力が軽減されると考えられる。その場合、ここでの解析は、橋脚にかかる慣性力、ひいては応答を過大評価していることになる。高架道路橋においては、桁の質量が橋脚の数倍から10倍程度あることが普通であるから橋脚の質量を無視し、桁を質量が均等分布したの剛体棒であると考え、運動方程式は、

$$I\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + K\theta = -m(l\cos\theta - e\sin\theta)\ddot{x} + m(l\sin\theta + e\cos\theta)\ddot{z} \quad (1)$$

となる。ここに、

$$I = ml^2 + \frac{m(b^2 + 3e^2)}{12} \quad (2)$$

である。なお、 θ : 回転量、 x : 水平地震動、 z : 鉛直地震動、 C : 減衰定数、 K : 基部のモーメントばね定数、 m : 桁の質量、 b : 桁幅、 l : 橋脚高、 e : 偏心量である。 θ を微小と考えて線形化すれば、

$$\ddot{\theta} + \frac{C}{I}\dot{\theta} + \frac{K - me\ddot{x} - ml\ddot{z}}{I}\theta = \frac{-ml\ddot{x} + me\ddot{z}}{I} \quad (3)$$

となる。回転慣性の増加は、式(2)において b の増加を意味し、 I を増加させる。すると、式(3)において減衰項、剛性項の係数、ならびに影響係数を減少させる働きがあることがわかる。

基部モーメントばねの復元力特性は、図3に示したとおり完全弾塑性とした。降伏変位は、式(3)において、鉛直方向に重力加速度 g 、水平方向に震度 α に対

応する $\pm\alpha g$ 載荷した場合の静的釣合関係

$$(K \pm me\alpha g - mlg)\theta = \pm ml\alpha g + meg \quad (4)$$

を満たすように求めた。偏心と静的載荷の向きが一致する場合と逆の場合で異なった値となるが、実際の設計では、より厳しい載荷方向を基準にした対称断面とすることが多いようであるから、大きな方の値をとることとした。すなわち、

$$\theta_c = \max \left| \frac{\pm ml\alpha g + meg}{K \pm me\alpha g - mlg} \right| \quad (5)$$

とした。

3. 計算結果

前章のモデルを用いて、代表的な桁幅 b ならびに偏心 e の値に対する応答スペクトルを比較することによって回転慣性の影響と偏心の影響を検討する。なお、入力としては、1941年エルセントロ波（水平最大341gal, 鉛直最大206gal）、ならびに1995年兵庫県南部地震神戸海洋気象台観測波（水平最大818gal, 鉛直最大332gal）を用いた。

固有周期、ならびに減衰は、桁幅 $b=0\text{m}$ 、偏心 $e=0\text{m}$ の場合の値を基準とすることとし、

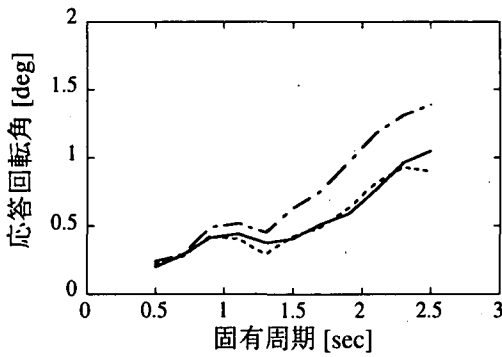
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ml^2}{K - mlg}} \quad (6)$$

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{ml^2(K - mlg)}} \quad (7)$$

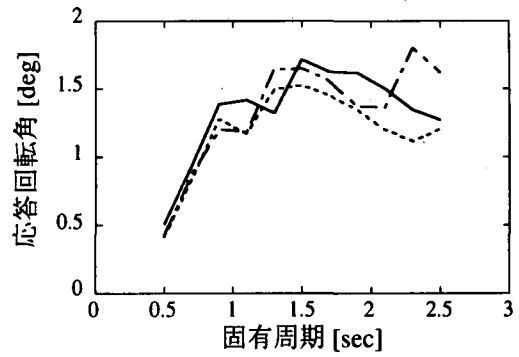
とした。したがって、回転慣性および偏心を持つ場合は、応答スペクトルの横軸の固有周期は過小評価になっている。なお、以下の解析では、全ての場合について橋脚高 l は15m、減衰 ζ は0.05とした。また、高架道路橋において一般的な値として、固有周期は0.5秒から2.5秒までとした。

図4に上下動を考慮しない場合の弾性応答を示した。実線は $b=e=0\text{m}$ として回転慣性の影響を無視した場合であり、破線は $b=20\text{m}$ 、 $e=0\text{m}$ として回転慣性を考慮したものである。一点鎖線は、 $b=20\text{m}$ 、 $e=1.5\text{m}$ として偏心の影響を考慮した。これら b 、 e の値は、実際の高架道路橋の寸法から、現実的な値を用いた。

式(3)の直後に述べたように、回転慣性は減衰・剛性・入力を低減させる効果があるが、ここでの解析では、 b による回転慣性の増加は15%程度であるので、応答には大きな変化は認められない。また、偏心による影響もエルセントロ波において2割程度の応答の増加が見られる程度である。図5には、上下動を含めた場合の弾性応答スペクトルを示した。図4と比べほとんど変化が無く、上下動の影響は小さい。

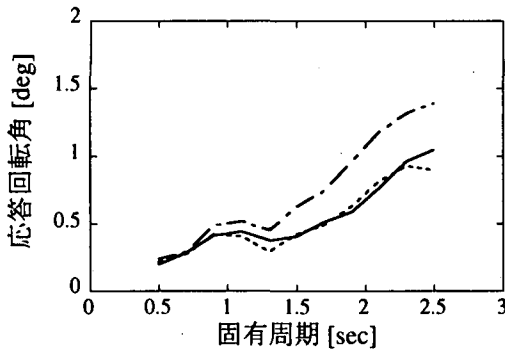


(a) エルセントロ波による応答

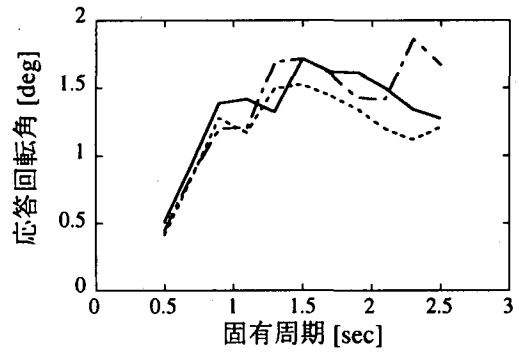


(b) 神戸海洋気象台観測波による応答

図4 水平動のみによる弾性応答スペクトル

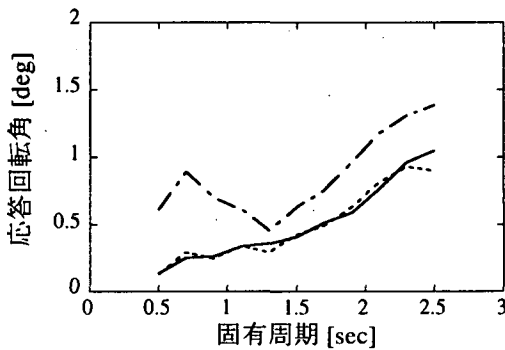


(a) エルセントロ波による応答

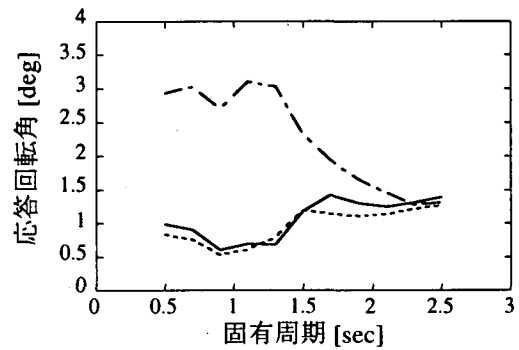


(b) 神戸海洋気象台観測波による応答

図5 上下動を含む場合の弾性応答スペクトル



(a) エルセントロ波による応答



(b) 神戸海洋気象台観測波による応答

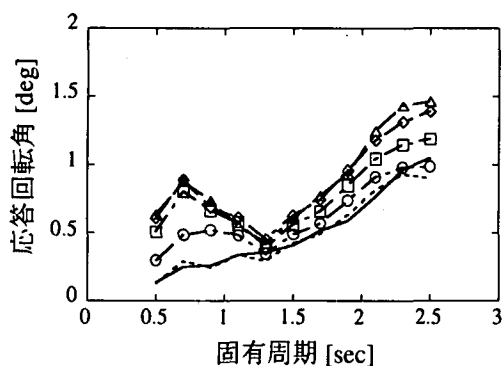
図6 水平動のみによる弾塑性応答スペクトル

——, $b=e=0[m]$; - - - - - , $b=20[m]$, $e=0[m]$; - · - · - · , $b=20[m]$, $e=1.5[m]$.

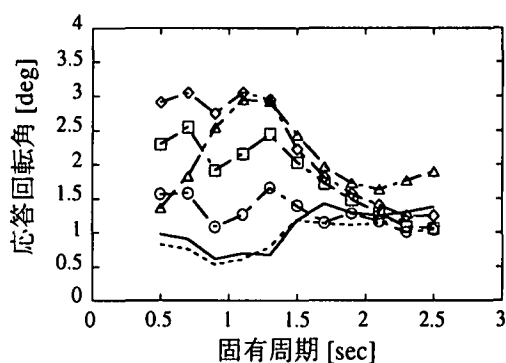
次いで、降伏震度は $0.2g$ として、弾塑性応答解析を行った。図6に上下動を無視した場合の、図7に上下動を含んだ場合の応答をそれぞれ示した。いずれの地震動の場合も上下動の影響は大きくないことがわかる。しかしながら、偏心によって応答がかなり大きくなるが見取れる。特に図7においては、偏心量 e を $0.5m$ から $1.5m$ に変化させているが、

偏心量の増加に伴って最大応答も増加していくことがわかる。また、偏心が逆方向である場合 ($e=1.5m$) の場合も示してあるが、偏心が正である場合と同様の傾向を示している。

図8に、残留応答を示した。弾塑性スペクトルと同様の傾向が認められるが、いずれの周期においても、偏心の方向と残留傾斜の方向が一致している。

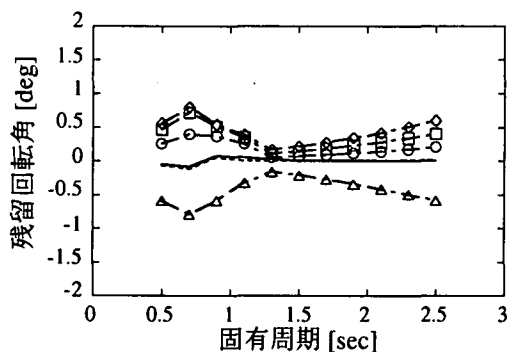


(a) エルセントロ波による応答

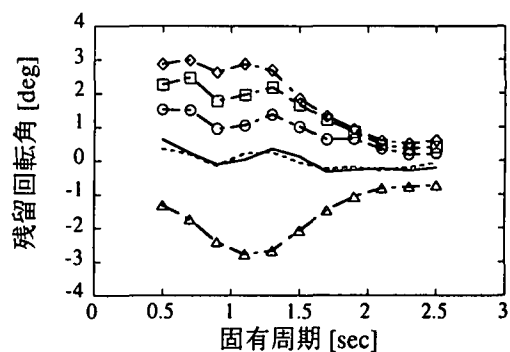


(b) 神戸海洋気象台観測波による応答

図7 上下動を含む場合の弾塑性応答スペクトル



(a) エルセントロ波による応答



(b) 神戸海洋気象台観測波による応答

図8 上下動を含む場合の弾塑性残留応答

————, $b=e=0$ [m]; - - - - - , $b=20$ [m], $e=0$ [m];
 ○, $b=20$ [m], $e=0.5$ [m]; □, $b=20$ [m], $e=1.0$ [m]; ◇, $b=20$ [m], $e=1.5$ [m]; △, $b=20$ [m], $e=-1.5$ [m].

4. まとめ

T型単柱橋脚における地震時応答特性を解明することを目的として、簡単な2次元モデルを用いた弾塑性動的解析を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 桁の回転慣性は、減衰・剛性・入力の高減効果があるが、それらの影響はあまり大きくなく、偏心がない場合は、集中質量と考えた場合と同程度の応答が得られる。
- 2) 弾塑性解析では、偏心量が増加すると応答も増加し、また、残留応答が偏心の向きに出るなど、偏心の影響が大きい。弾塑性動的解析においては、偏心の影響を十分に考慮する必要がある。
- 3) 上下動の影響は、弾性・弾塑性解析を通して小さく、T型橋脚に一般的な損傷モードである基部の破損には上下動の影響は少ないと考えられる。

なお、ここでの解析では、橋脚・桁を剛体として

考えているため、衝撃に伴う波動伝播の影響や高次モードの影響はこのモデルでは扱うことが出来ない。しかしながら、兵庫県南部地震において、ほとんどのT型RC単柱橋脚で基部が破損していることを考えると、このモデルで基本的な傾向をつかむことが可能であると考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、東洋大学鈴木崇伸講師ならびに大林組技術研究所孫利民氏から、有益な助言を頂いた。なお、本研究は、一部、財団法人河上記念財団の補助を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 林秀侃, 幸左賢二, 山村清, 中田恒和, 矢沢公樹: RC橋脚の残留変形に関する検討, 「コンクリート系構造物の耐震技術」に関するシンポジウム論文報告集, pp.69-76, 1997.
- 2) 伯野元彦: 上下動復活か, 土木学会第51回年次学術講演会概要集, 第1部(B), pp.186-187.