

杭基礎の地震時設計荷重の算定手法に関する基礎的考察

(株)構造技術センター 福岡支社 正員 岩上 憲一
九州大学大学院工学研究院 教授 フェロ - 大塚 久哲

1. まえがき

橋脚における杭基礎（図-1 参照）の地震時荷重に対する設計手法は、道路橋示方書¹⁾および鉄道構造物等設計標準²⁾などに示されており現在これらの基準が設計の主流となっている。これらの基準に示されている地盤 - 杭 - 橋脚 - 上部工を一体とした動的解析を用いた設計を行えば、慣性力の影響や地盤変位の影響を考慮した設計が可能であるが、実際の設計において、計画当初から動的解析を用い、構造寸法を決定するのは非常に複雑であり、一般の設計者にとっては難解である。このため、この動的解析に代わるものとし、地震による荷重を静的に置き換えた設計手法も上記の基準書^{1),2)}には示されている。しかし、この場合には種々の仮定の上に成り立っており、まだまだ明確になっていない事項も残されている。

現行基準における地震時の静的荷重による設計は、上部工、橋脚柱およびフ - チングに発生する慣性力を1方向に作用させている。これに対し、筆者らは、上部工および橋脚柱部とフ - チングは同一振動とならないと考えており、これを明確にするには地盤 - 杭 - 橋脚 - 上部工を一体とした動的解析より各部位に発生している断面力を、作用方向を含め定量化する必要があると考えている。そこで、ここでは、動的解析における断面力の定量化手法について考察した結果を示すものである。

具体的には、地盤 - 杭 - 橋脚 - 上部工を一体とした動

動的解析において、最も杭に影響を与えている時刻の断面力を算定し、その断面力を質量で除し無次元化した震度により定量化する。この時、作用方向も同時に考慮できるように、震度には方向性を持たせている。

2. 定量化手法

2.1 概要

橋脚杭基礎の地震時静的荷重による設計において、地震時荷重（外力）は、先に示した設計基準^{例えば1),2)}では、設計地盤面より上方の上部工・橋脚躯体（柱部）およびフ - チングが同じ方向に慣性力を生じることを前提として杭頭部で与えられている。しかし、図-2 に示すように、各部位の剛性や重量を考慮すると振動単位としては3つに分かれることが想定される。そこで、本研究では、この3つの部位の挙動を定量的に把握するための手法について示している。

実際には、動的解析における発生断面力（慣性力）により評価する手法であり、断面力そのもので3つの部位の挙動を評価してもよいが、杭基礎に対する慣性力によるモ - メントと水平力の寄与率の大きさを評価すること、静的な荷重による設計結果との比較を行うこと、を考慮し、モ - メントおよび水平力をそれぞれ評価することにしている。

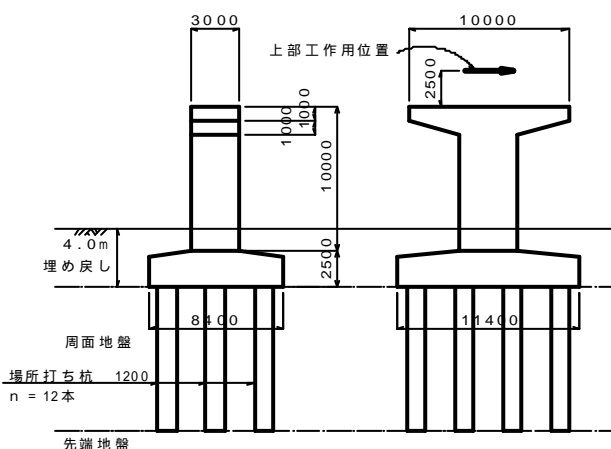


図 1 橋脚形状概略図

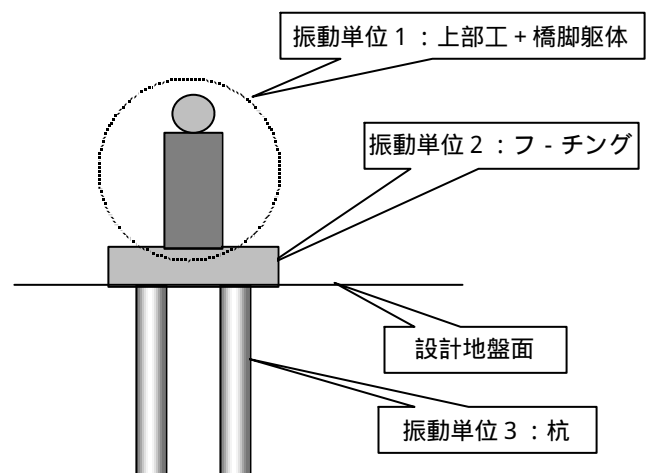


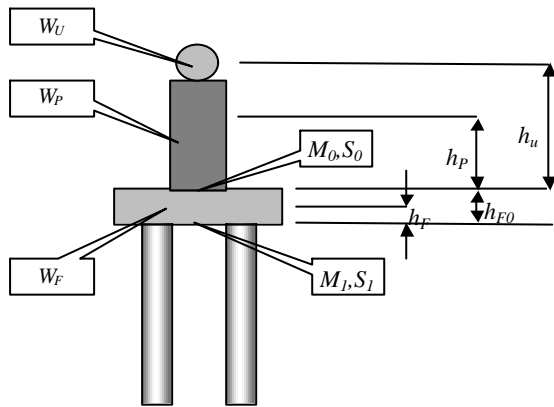
図 - 2 杭基礎を有する橋脚振動単位概念図

Key Word: 杭基礎, 短い杭, 耐震設計, 設計震度

連絡先: 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前 3-5-7 博多センタービル TEL:092-471-1655, FAX:092-471-4099

2.2 算定式の誘導

非線形解析においても，時刻を特定すれば静的な力の釣り合い関係が成立する．また，橋脚に作用する地震時の荷重は，死荷重による鉛直方向の荷重の他は，重量に起因する慣性力（水平力）およびそれにより発生するモーメントである．一方，静的解析では重量に別途推定された設計水平震度を乗じて慣性力（水平力）を求め，この慣性力よりモーメントを算定する．この関係を利用し，動的解析において発生する断面力より，重量で除した設計水平震度に相当する値を換算し，利用しようとするものである．この時，断面力の方向を考慮しておけば，換算された震度の大きさの他に方向性も与えられることになる．



注) W : 各部重量，添え字 U,P,F は部位の位置，h : 高さ方向の寸法， M_0, S_0 : 柱基部断面力（モーメント，水平力）， M_I, S_I : フーチング断面力（モーメント，水平力）

図 - 2 橋脚条件諸元図

図 - 2 に示す諸量を用いると柱基部とフーチング下面の断面力（モーメントおよび水平力）は，柱から上部の震度を k_{h1} （モーメント用）， k_{h2} （水平力用）とし，フーチングの震度を k_{h3} （モーメント用）， k_{h4} （水平力用）とすれば以下のように釣り合い式で表現することができる

柱基部における断面力の釣り合い

$$M_0 = W_U \cdot k_{h1} \cdot h_U + W_P \cdot k_{h1} \cdot h_P \quad (2.1)$$

$$S_0 = W_U \cdot k_{h2} + W_P \cdot k_{h2} \quad (2.2)$$

フーチング下端における断面力の釣り合い

$$M_I = W_U \cdot k_{h1} \cdot (h_U + h_{F0}) + W_P \cdot k_{h1} \cdot (h_P + h_{F0}) + W_F \cdot k_{h3} \cdot h_F \\ = M_0 + W_U \cdot k_{h1} \cdot h_{F0} + W_P \cdot k_{h1} \cdot h_{F0} + W_F \cdot k_{h3} \cdot h_F \quad (2.3)$$

$$S_I = W_U \cdot k_{h1} + W_P \cdot k_{h1} + W_F \cdot k_{h4} \\ = S_0 + W_F \cdot k_{h4} \quad (2.4)$$

次に，断面力が既知であれば他の諸量（各部の重量および寸法）が既知のため，上記式(2.1)～(2.4)より以下のように震度を逆算できる．

$$k_{h1} = M_0 / (W_U \cdot k_{h1} + W_P \cdot h_P) \quad (2.5)$$

$$k_{h2} = S_0 / (W_U + W_P) \quad (2.6)$$

$$k_{h3} = [M_I - \{W_U \cdot (h_U + h_{F0}) + W_P \cdot (h_P + h_{F0})\} \cdot k_{h1}] / W_F \cdot k_{h3} \quad (2.7)$$

$$k_{h4} = [S_I - (W_U \cdot k_{h1} + W_P \cdot k_{h1})] / W_F \quad (2.8)$$

2.3 換算震度の取り扱い方

上記で算定した震度は，以下に述べるような取り扱いが考えられる．

モーメントおよび水平力による震度が同等の場合， $k_{h1} = k_{h2}$ ， $k_{h3} = k_{h4}$ の関係が成り立つ．また，フーチングが柱より上部と同様に振動していれば $k_{h1} (=k_{h2}) = k_{h3} (=k_{h4})$ となり，フーチングが柱より上部と異なる振動をしていれば $k_{h1} (=k_{h2}) \neq k_{h3} (=k_{h4})$ となる．

さらに，フーチングが柱より上部と異なる振動をしている場合で，同方向に異なる振動をしていれば $k_{h1} (=k_{h2}) \neq k_{h3} (=k_{h4})$ であるが符号は同じであり，方向が異なれば異符号となる．

3. まとめ

現行の動的解析では，履歴や最大値に着目した設計が行われているが，前項に示した換算震度の算定手法を用いれば，杭に最も影響を及ぼす時刻の上部構造およびフーチングの作用荷重をそれぞれ定量的に定めることができ，かつ変位図を見ることなく上部構造およびフーチングの相対的な変位方向を把握することができるため，静的な設計で用いた荷重状態との比較が容易に行える．

また，各部位の減衰，構造諸元など条件を変化させて求めることが可能であるため，地盤の種類，杭の形状，橋脚形状，減衰などを広くパラメータ化し，定量化すれば，従来の設計水平震度に比べ，構造物の振動特性を合理的に反映した設計震度として用いることが可能である．

参考文献

- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成8年12月
- (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計編，平成11年10月