

I-187 構造物の振動に及ぼす地盤の影響について

建設省土木研究所	正員	栗林 栄一
同上	正員	岩崎 敏男
同上	正員	小山田 欣裕
同上	正員	○ 辻 勝成

1. まえがき

地盤上に建設される構造物の振動特性は構造物自身の特性に加えて、それを支える地盤の影響を受ける。このことは過去の地震による被害状況からも推察することができる。地盤自身のもつ複雑な機構と未知の性質が多いために簡単には、それのもつ影響を知ることはできないが、仮説に基づいてその影響が調べられつつある。これまで、観測や現場での振動実験の結果を評価するために行なってきた振動解析に於いては、主として地盤を等価なバネに置きかえるというモデルを対象としてきたが、今日では構造物及び地盤を二次元弾性体と考え、有限要素法による振動解析によってその評価を助けている。今回の報告では、橋梁の橋脚の振動に及ぼす地盤の影響を、鳥井大橋を例にとり、現場の振動実験の結果及び地盤をバネに置まかえたモデルによる解析結果から主として、地盤のバネ的性質に重点を於いて2, 3の検討を試みたので報告する。

2. 鳥井大橋振動実験¹⁾

鳥井大橋の概要及び一般図を表-1, 図-1に示す。本橋のP橋脚のケーソン基礎を対象として振動実験を行なった。実験時の状況概要を図-2に示す。

実験はケーソン頂板上に設置した10 ton型起振機により、橋軸方向ならびに橋軸直角方向の加振を行ない、ケーソンの振動を測定した。

振動実験の結果から、共振振動数(f_r)と減衰定数(h)の平均値として、橋軸方向に対して、 $f_r = 12.0$ % s , $h = 0.149$, 橋軸直角方向に対して、 $f_r = 13.0$ % s , $h = 0.148$ の値が得られた。

表-1 鳥井大橋の概要

管 轄	建設省東北地方建設局 郡山国道工事事務所
路 線 名	国道 49 号線
位 置	福島県耶麻郡西会津町大字宝坂 新島県東澤原郡津川町大字鳥井 } 間
橋 格	一等橋
橋 種	3 径間連続曲線鋼桁
橋 長	114 m (36 m + 42 m + 36 m)
幅 員	7 m
下 脚 柱	鉄筋コンクリート (小判型)
部 基礎	井筒
工 期	昭和 42 年 6 月 ~ 43 年 3 月

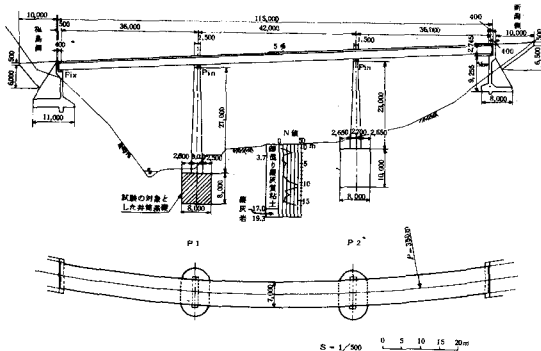


図-1 鳥井大橋一般図

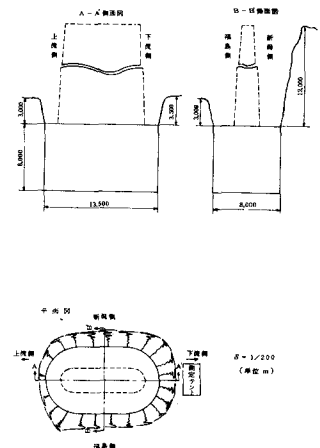


図-2 実験時の状況概要図

また振動モードは、橋軸方向には、底面付近に回転中心をもつロッキング振動に近く、橋軸直角方向には、底面よりかなり下方に中心を有するロッキング振動（横方向並進に近い）として測定された。

3. ケーソン基礎の固有振動の検討

ケーソン基礎の固有振動解析の方法としては、一般に地盤を等価なバネに置きかえて、質量-バネ系として解析する方法が用いられている。この場合バネ定数の詳細が問題になるが、ここでは、道路協会が検討中の「道路橋下部構造設計指針・ケーソン基礎の設計篇（第9次案）」²⁾に示されている、 N 値より変形係数 E_0 を推定し、 E_0 より各地盤反力係数を求める方法によるものとする。

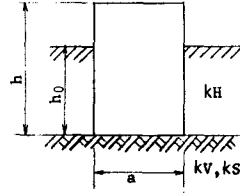


図-3.1

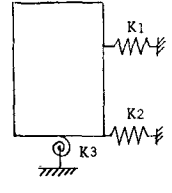


図-3.2

上述の推定法によると、図-3.1に示すケーソン基礎を図-3.2のようにモデル化した場合、バネ定数は次式によって算定される。

$$E_0 = 28N$$

$$k_H = \frac{1.2}{30} \alpha E_0 \left(\frac{B_H}{30}\right)^{-3/4}$$

$$k_V = \frac{1}{30} \alpha E_0 \left(\frac{B_V}{30}\right)^{-3/4}$$

$$k_S = k_V / \lambda$$

$$K_1 = \frac{1}{2} k_H A_H$$

$$K_2 = k_S A_V + \frac{1}{2} k_H A_H$$

$$K_3 = k_V I$$

N : 標準貫入試験の N 値

E_0, α : 地盤の変形係数 (kg/cm^2) 及び係数、地震時 $\alpha = 2$

A_H, A_V : ケーソン側面及び底面の面積 (cm^2)

I : ケーソン底面の断面2次モーメント (cm^4)

B_H, B_V : 基礎の換算載荷幅 $B_H = \sqrt{A_H}$ (cm), $B_V = \sqrt{A_V}$ (cm)

k_H, k_V : 水平方向及び鉛直方向の地盤反力係数 (kg/cm^2)

k_S : 水平方向のせん断ばね係数 (kg/cm^2)

λ : k_S に対する k_V の比 (実測 2~5)

K_1, K_2 : 水平バネ定数 (kg/cm)

K_3 : 回転バネ定数 ($\text{kg}\cdot\text{cm/rad}$)

鳥井大橋の場合、工費調査より得られた N 値の結果より、オ一層の N 値(N_1)を20、オ二層の N 値(N_2)を50とした場合、橋軸方向及び橋軸直角方向の1次の固有振動数はそれぞれ $f_{L1} = 5.13 \text{ 1/s}$ 、 $f_{H1} = 5.10$ と実験値の5割以下の値である。この差は、バネ定数算定法、巨視的に読みとった N 値の大きさ、力学系の単純化などが影響していると思われる。

バネ定数の算定に関しては、最初の仮定に $E_0 = 28N$ の関係を用いている、一方振動実験結果より便宜的に、本州四国連絡橋耐震設計指針(1967)³⁾に示されている $\log \sigma$ の方法で逆算した弾性係数は上層が $E_1 = 1800 \text{ kg/cm}^2$ 、下層が $E_2 = 4500 \text{ kg/cm}^2$ となる。この値から $E-N$ の関係を求めると $E = 90N$ となる。ここで E_0 が変形係数で E が弾性係数であることについて考えてみると、土のような場合、変位が大きくなるに従って変形係数は小さくなる。一方振動試験に於いては、ごく小さい変位で振動していることを考えると、上記のように E が約3倍に評価されていることは、その倍率には未だ検討の余地はあるが、理解しうる結果であると思われる。一方、振動の大きい振幅を対象とする、地震時の振動特性は、 $E_0 = 28N$ としても不当であるとは言えない。

二層系地盤中にあるケーソンの振動特性を検討するために、地盤の堅さは N 値で代表するものと

して、二層の N 値の N_1 及び N_2 をそれぞれ変化させた場合について下記の関係について調べた。

- i) f_{L1} (橋軸方向の1次の固有振動数) $\sim N_1, N_2, N_1/N_2$
- ii) f_{T1} (橋軸直角方向の1次の固有振動数) $\sim N_1, N_2, N_1/N_2$
- iii) ϕ_{L1} (水平方向変位に関する固有ベクトルを1.0とした場合の
橋軸方向の回転変位に関する固有ベクトル) $\sim N_1/N_2$
- iv) ϕ_{T1} (水平方向変位に関する固有ベクトルを1.0とした場合の
橋軸直角方向の回転変位に関する固有ベクトル) $\sim N_1/N_2$

その結果を図-4及び図-5に示す。つぎに、鳥井大橋のケーソンの幅(a)、奥行(b)、高さ(h)、根入れ深さ(h_0)、及び h_0 に対する h の比(λ)を変化させて、上記4項の関係について調べた。その結果の一部を図-6、図-7に示す。

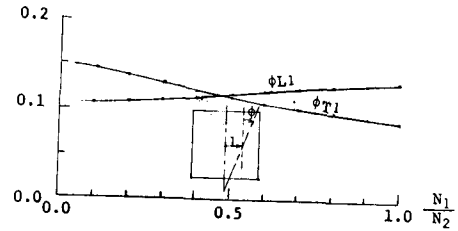


図-4

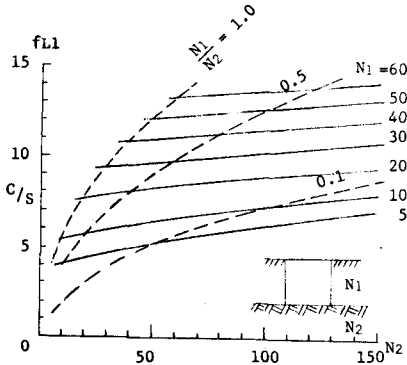


図-5.1

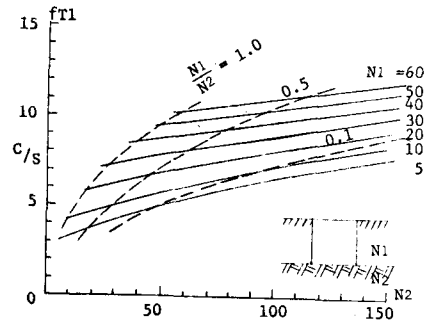


図-5.2

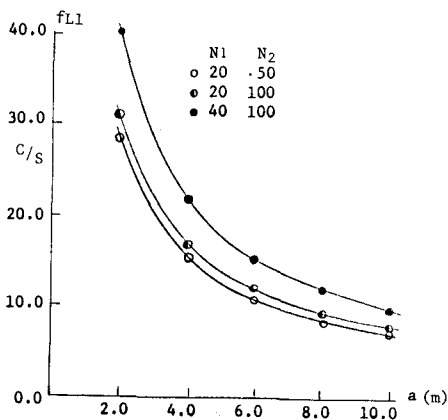


図-6.1

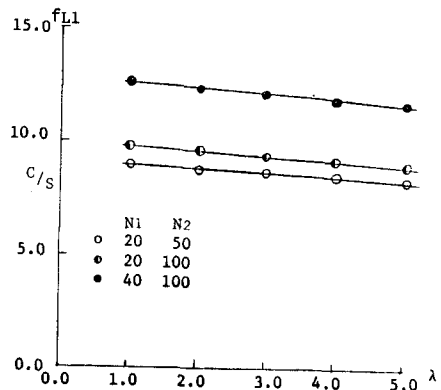


図-6.2

これらの結果から、つぎのような傾向を指摘することができる。

1.) 固有振動数は構造物の振動方向に直交する幅員、側面地盤と底面地盤の堅さおよびその比によって種々変化する。側面と底面の地盤に関しては、2自由度系とした場合側面の影響をより強く受ける。 λ の影響は小さい。

2.) 2自由度系の回転変位に関する固有ベクトルは、 N_1/N_2 が使用の範囲で最大値と見なしうる1.0の場合には、 h/a 、 h_0/h によって著しく変化する。しかしながら N_1/N_2 が零に近づくにつれて、それらの影響は小さくなる。側面と底面の地盤に関しては、堅さの比によってのみ変化する。

4. むすび

鳥井大橋を例にとり、地盤の影響を二層の N 値の比を中心として考察してきた。 N 値を判断の基準とすることは、構造物の振動特性に複雑に影響を及ぼす地盤の効果を検討する意味では不十分な点も多いが、最も資料の豊富な地盤に関する情報であるので、今後の継続的な研究によって、より有益なものとする必要がある。

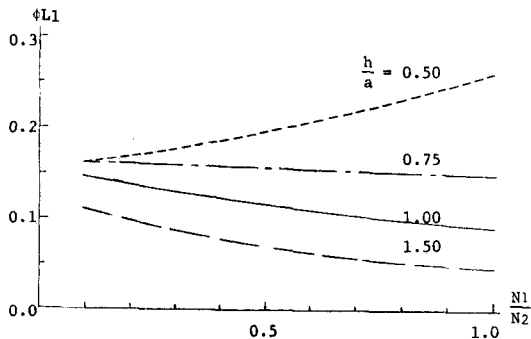


図-7.1

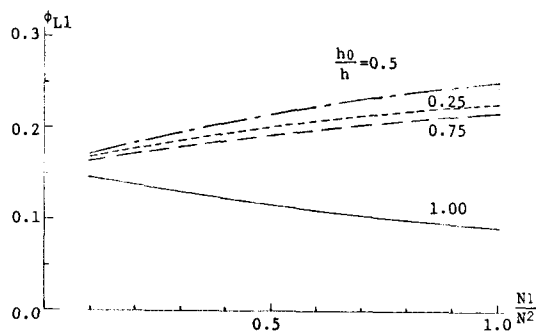


図-7.2

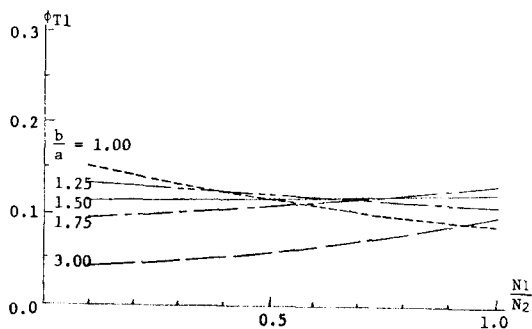


図-7.3

参考文献

- 1.) 鳥井大橋振動試験 土木研究所資料 第342号 昭和43年2月
- 2.) 道路橋下部構造設計指針・ケーソン基礎の設計篇(第9次案) 日本道路協会 昭和44年11月
- 3.) 本州四国連絡橋技術調査報告書 付属資料2 耐震設計指針(1967)・同解説および耐震設計詳説 昭和42年7月 工学会・本州四国連絡橋技術調査委員会