

復建調査設計 (株)	正会員	○吉田 仁司
復建調査設計 (株)	正会員	岩崎 信正
大阪工業大学工学部	正会員	大山 理
大阪工業大学八幡工学実験場	正会員	栗田 章光

1. はじめに

ポータルラーメン橋(Portal Rigid-Frame (独:Rahmen) Bridge, 以下, PRB と略記) は, 支承及び伸縮装置がない橋台を有する単径間の橋梁形式である. PRB の地震時応答は支承及び伸縮装置を有する通常の橋梁と異なり上下部工が一体となった構造系で応答し, 橋台背面土の受働抵抗の影響をより大きく受ける. PRB の地震時応答特性に影響を及ぼす主な要因としては, PRB 本体の剛性及び橋台堅壁背面の地盤抵抗であると考えられる.

本文では, PRB 本体の剛性及び地盤抵抗の評価式を誘導するとともに, これらの影響について, 上下部構造の重量を集中重量に置換し, 下部構造を線形部材, 橋台背面土を粘弾性バネとする 1 質点系にモデル化して解析式を誘導する. さらに, この解析式を用いたパラメータ解析より, 地震力を受ける PRB の応答振動に与える橋台背面地盤の影響について考察した結果を報告する.

2. 検討手法

PRB の解析モデルは, 図-1 に示すように上下部構造を質点に置き換え, 下部構造は両橋台の堅壁を 1 つの線形部材とし, 橋台背面の地盤は粘弾性バネとする.

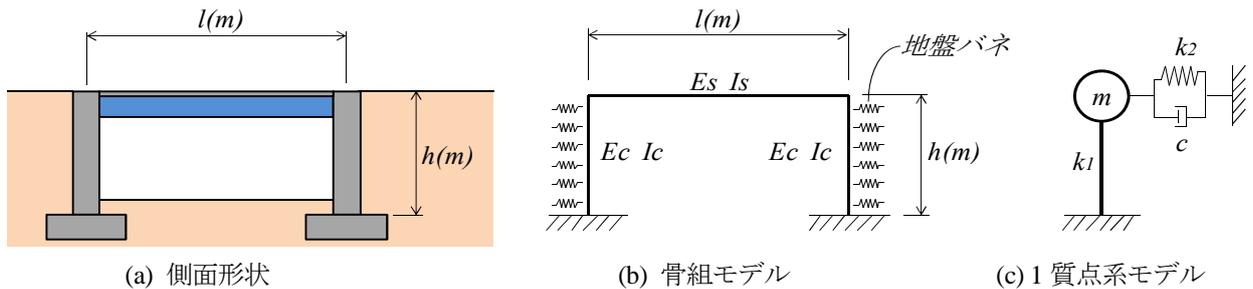


図-1 PRB の 1 質点系へのモデル化

ここに, k_1 : ラーメン構造としての水平バネ定数(N/m), k_2 : 橋台背面土の受働抵抗から決まる地盤バネ定数(N/m), c : 橋台背面土の粘性減衰定数, m : 上下部構造の質量(kg)

3. 水平バネ定数 k_1 及び地盤バネ定数 k_2 の評価

ラーメン構造としての水平バネ定数 k_1 (以下, 水平バネ定数 k_1 と略記) は, 図-2 に示すように, 門型ラーメンの柱上端に水平荷重 P が作用したときの水平変位 Δ を求める力学公式¹⁾を用いて算定する. 門型ラーメンの柱上端に水平荷重 P が作用したときの水平バネ定数 k_1 は式(1)のとおりとなる.

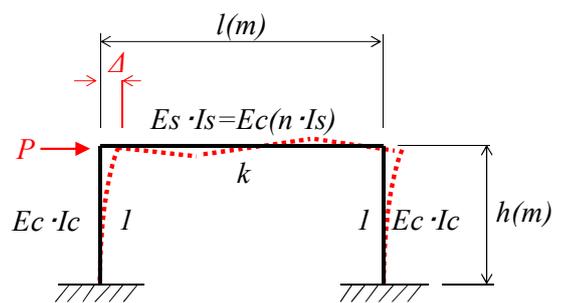


図-2 門型ラーメン

$$k_1 = \frac{P}{\Delta} = \frac{12E_c I_c (6k+1)}{h^3 (3k+2)} \dots\dots\dots (1),$$

$$k = \frac{E_s I_s}{E_c I_c} \cdot \frac{h}{l} \dots\dots\dots (2)$$

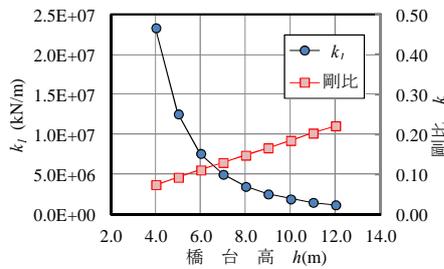
橋台背面の地盤抵抗から決まる地盤バネ定数 k_2 (以下, 地盤バネ定数 k_2 と略記) は, 橋台堅壁(橋台幅= D)を水平方向地盤反力係数 k_H ²⁾の背面地盤に支持された弾性床上のはりと考え, 弾性床上の有限長はりの先端に荷重 P が作用したときの水平変位 Δ を求める力学公式¹⁾を用いて算定する. このとき, 地盤バネ定数 k_2 は式(3)のとおりとなる.

$$k_2 = \frac{P}{\Delta} = \frac{k_H (\sin h^2 \beta h - \sin^2 \beta h)}{2\beta (\sinh \beta h \cdot \cosh \beta h - \sin \beta h \cdot \cos \beta h)} \dots\dots\dots (3),$$

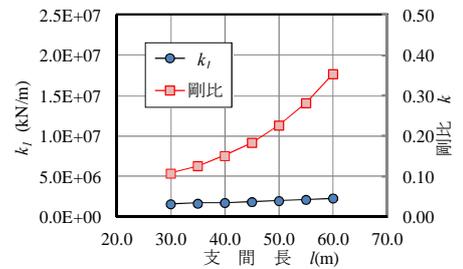
$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H \cdot D}{4 \cdot E_c I_c}} \dots\dots\dots (4)$$

4. バネ定数 k_1 , k_2 の影響評価

水平バネ定数 k_1 に関して、橋台高 $h=4.0\text{m}\sim 12.0\text{m}$ 、支間長 $l=30.0\text{m}\sim 60.0\text{m}$ として算出した結果を図-3(a), (b)に示す。同図より水平バネ定数 k_1 は、橋台高に大きく影響し、特に橋台高が低い範囲での変化が顕著に見られる。一方、支間長にはほとんど影響を受けないことがわかる。



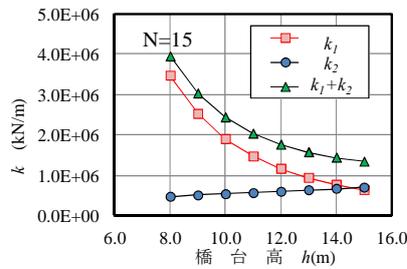
(a) 橋台高の影響



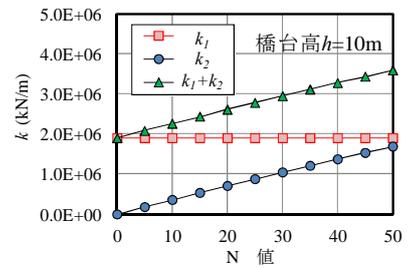
(b) 支間長の影響

図-3 ラーメン構造としての水平バネ定数 k_1

地盤バネ定数 k_2 に関して、橋台高 $h=8.0\text{m}\sim 15.0\text{m}$ 、地盤強度 N 値 $=0\sim 50$ に変化させた水平方向地盤反力係数 k_H で評価した結果を図-4(a), (b)に示す。同図より、地盤バネ定数 k_2 は、地盤強度 N 値に比例する。また、橋台高に対しては大きく影響しない。なお、橋台高が 15.0m 程度になると水平バネ定数 k_1 と地盤バネ定数 k_2 は同程度となり、 k_2 の影響も大きいことがわかる。



(a) 橋台高の影響



(b) 地盤強度の影響

図-4 橋台背面の地盤バネ定数 k_2

5. 地盤バネ定数 k_2 が応答値に及ぼす影響と考察

支間長 $l=45\text{m}$ 、橋台高 $h=8, 10, 12\text{m}$ でモデル化した1質点系に一定外力 $P_0 \cdot \sin \omega t$ が作用した場合、地盤バネ定数 k_2 が応答値に与える影響について、外力の振動数 ω と1質点系の固有振動数 ω_n の比に着目し、 $\omega = \omega_n/2$ 及び $\omega = 2 \cdot \omega_n$ についてそれぞれ Case-1, Case-2 として最大応答変位を算出した。外力の振幅 P_0 は1質点系モデルの質量 m の0.3倍(レベル1地震の設計水平震度相当程度)とした。その結果を図-5(a), (b)に示す。

解析の結果、応答変位は Case-1, Case-2 ともに地盤強度 N 値が大きいほど小さくなるが、Case-1 は N 値による変動が大きく、Case-2 は N 値による変動が小さい。Case-1 は相対的に荷重周期が長く、 $\omega/\omega_n=0$ に近づくほど静的解析結果に収束していく。一方、Case-2 は構造物の固有周期に対して相対的に荷重周期が早く応答変位が生じにくい。また、最大応答変位は橋台高が高いほど N 値による変動が大きくなる傾向があることがわかる。

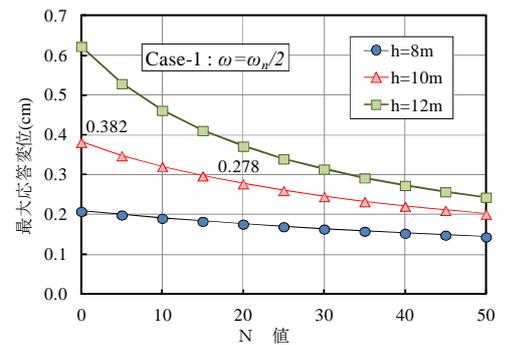
6. 結論

PRB に地震力が作用したときの地震時応答特性について解析・検討した結果、以下の知見が得られた。

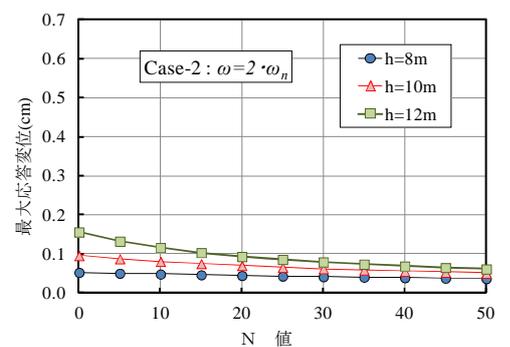
- (1) 水平バネ定数 k_1 は橋台高の影響を大きく受け、地盤バネ定数 k_2 は地盤強度 N 値に比例する。
- (2) 地盤バネ定数 k_2 は、橋台高 $h > 15.0\text{m}$ で水平バネ定数 k_1 を上回るほどの値を示し、応答変位にも影響を及ぼす。
- (3) 橋台背面の地盤強度 N 値は最大応答変位に影響を及ぼす。例えば、支間長 $l=45\text{m}$ 、橋台高 $h=10\text{m}$ の場合、 N 値=20 の最大応答変位は図-5(a)に示すとおり 0.278cm であり、背面土を無視した場合(N 値=0)の 0.382cm に比して約 30% 小さくなる。

今後の課題としては、アプローチスラブに関する抵抗を評価したモデルでの影響についても把握する必要がある。

【参考文献】 1) 土木学会編：構造力学公式集，(株)技報堂，1986， 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2012.3， 3) 建設省制定：土木構造物標準設計第 23～27 巻(単純プレートガーダー橋)，(社)全日本建設技術協会，1994.4



(a) Case-1



(b) Case-2

図-5 地盤バネ定数 k_2 の応答変位への影響