

段差フーチングを有するRC壁式橋脚の設計について

第一復建 正 員 石橋 治 九州大学 正 員 彦坂 熙
九州大学 学生員 工藤嘉久 九州大学 黄 玲

1. まえがき

山岳部に建設される橋梁では、その下部工（橋台、橋脚）が段差フーチングを有する形状となることがある。段差フーチングを考慮したRC橋脚部材の設計法はまだ必ずしも確立されておらず、設計者により様々な方法でなされている。本文では、段差フーチング有する下部工のうち橋脚について、実橋脚の橋軸方向および橋軸直角方向設計荷重に対する有限要素法（FEM）解析を行い、主として橋脚下端近傍の応力状態におよぼす段差フーチングの影響を明らかにするとともに、合理的で実用的と考えられる段差フーチングをもつ橋脚の設計法を提案する。

2. 有限要素法解析の概要

I橋P1橋脚（図-1）およびその段差形状のみを変えた2段および3段フーチングをもつ壁式橋脚（図-2）を、有限要素法解析対象物とする。

2. 1 解析条件

- (1) 橋脚はヤング係数 $E = 2.7 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ，ポアソン比 $\nu = 1/6$ ，単位体積重量 $\gamma_c = 2.5 \text{ tf/m}^3$ の等方弾性体とする。設計水平震度は $K_h = 0.13$ とする。
- (2) 荷重は、設計荷重を作用させる。
- (3) 使用する有限要素のタイプ

i) 橋軸方向の作用力に対する解析には、1節点6自由度の厚肉シェル要素を使用する。

ii) 橋軸直角方向の作用力に対する解析には1節点2自由度の平面応力要素を使用する。

2. 2 解析ケースと荷重の組合わせ

- (1) 橋軸方向の作用力に対する解析

Case I : I橋P1橋脚（2段フーチング）， Case II : 2段フーチングの段差形状を変えた壁式橋脚
Case III : 3段フーチングをもつ壁式橋脚

- (2) 橋軸直角方向の作用力に対する解析

Case IV : I橋P1橋脚，常時荷重（橋脚自重および上部工鉛直反力）を受ける場合

Case V : I橋P1橋脚，地震時荷重（橋脚自重+上部工鉛直反力+水平地震力）を受ける場合

2. 3 有限要素法解析結果

- (1) 橋軸方向作用力に対する解析

Case I の場合、応力は橋脚の上段側フーチング付根に集中し、その最大値は $\sigma_{\max} = 24.5 \text{ kgf/cm}^2$ である。下段側フーチングの近傍の応力は極めて小さくなる。橋脚天端の地震時最大水平変位は $W_{\max} = 3.46 \text{ mm}$ である。Case II の場合、上段フーチング幅が狭くなると、曲げ応力が橋脚の上段側フーチング付根にさらに集中することを示している。また、上段Case III の場合、最上段のフーチング幅の等しいCase II と、橋脚の上段側フーチング付根近傍の曲げ応力はほとんど同じ分布を示している。天端の最大変位もほぼ同じ値をしめしている。この結果から、段差フーチングをもつ壁式橋脚の応力と剛性は最上段のフーチング幅によって大きく支配され、3段フーチングの場合であっても、橋脚の上段側フーチング付根近傍の曲げ

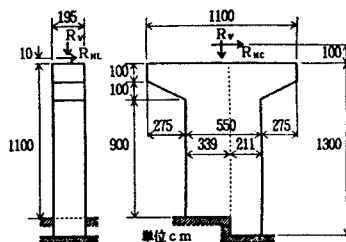


図-1 I橋P1橋脚の諸元

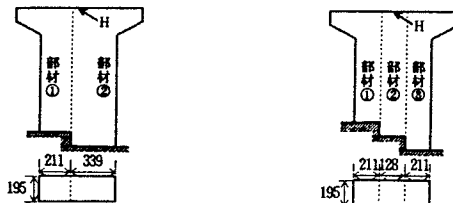


図-2 2段および3段フーチング

応力は下2段フーチングを1つにまとめた2段フーチングにモデル化できることがわかる。

(2) 橋軸直角方向の作用力に対する解析

橋軸直角方向についても、最大圧縮応力は上段側フーチング付根に集中するが、その値は小さい。また、下段側フーチング近傍の応力も極めて小さい。

3. 段差フーチングをもつ壁式橋脚の設計法

3. 1 2段フーチングの場合の橋軸方向水平分担力および固定端モーメントの計算

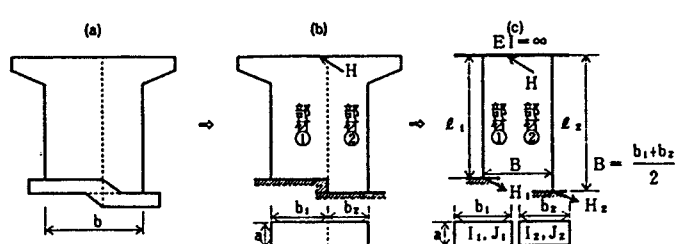


図-3 橋軸方向作用力に対する解析モデル

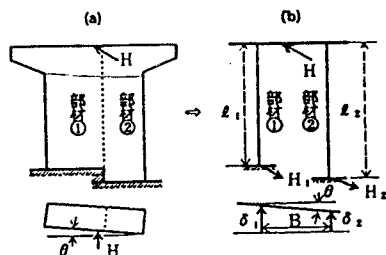


図-4 柱天端の変位

図-3(a)の2段フーチングをもつ壁式橋脚が橋軸方向水平力を受ける状態を、図(C)の門形ラーメンでモデル化する。各柱部材の分担力 H_1 、 H_2 が、部材①、②の天端の橋軸方向変位 δ_1 、 δ_2 の変形条件($\theta = (\delta_1 - \delta_2) / B$)と釣合条件($H_1 + H_2 = H$ 、 $-H_1(B - a) + H_2 a - (T_1 + T_2) = 0$)から下式のように求められる。ここで T_1 、 T_2 は柱部材①、②の天端のねじりモーメントである。

図-5 梁部材の作用力

$$H_1 = \frac{1}{1 + I_2 l_1^3 / I_1 l_2^3 \times k} H, \quad H_2 = \frac{I_2 l_1^3 k / I_1 l_2^3}{1 + I_2 l_1^3 k / I_1 l_2^3} H$$

ここで、 $k = \delta_1 / \delta_2$ である。この H_1 、 H_2 を用いて部材①、②の付根(固定端)モーメント M_1 、 M_2 を算出する。

3. 2 3段フーチングの場合の橋軸方向水平分担力および固定端モーメントの計算

3段フーチングの場合も、2段フーチングと同様にラーメンでモデル化し、脚付根モーメントを算出することができる。

4. 提案式による計算例

2章で有限要素法解析を行った橋軸方向の作用力を受ける3種の段差フーチングをもつ壁式橋脚(Case I, II, III)を対象にして、ここでは3章に提案した設計式による計算結果を示し、有限要素法による結果と比較する。

4. 1 解析結果

解析結果を表-1に示す。Case I ~ IIIのどれも提案式の結果は有限要素法の結果とよく一致しており、ラーメンでモデル化する方法が段差フーチングをもつ橋脚の設計にあたって有効な手法であることが明らかになった。なお、計算の結果本例の橋脚においては、 $k \approx 1$ であることから、 $k = 1$ とした。

表-1 脚付根の曲げ応力

Case	脚付根応力 (kgf/cm ²)	
	提案式	有限要素法
Case I	26.1	24.5
Case II	29.6	27.3
Case III	28.0	26.5

5. 結語

本文では、段差フーチングをもつ壁式橋脚の応力性状を有限要素法で明らかにし、その簡易設計法を提案した。提案法による2、3の検討の結果、この様な橋脚の設計にあたり、ここで提案した方法が有効であることが明らかになった。