

ラーメン橋脚における杭基礎の限界状態設計法

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡
鳥取大学工学部 正会員 松保重之水資源開発公団 正会員 杉村重憲
広島市 ○正会員 井上和則

1. まえがき 現在、多くの国で限界状態設計法について様々な研究が行われ、許容応力度設計法に代わってこの設計法に基づく設計標準への移行が検討されている。我国ではコンクリート構造は、すでに限界状態設計法への移行が行われ、鋼橋の上部構造についても現在検討中である。しかし、基礎構造に対してはようやく検討が行われ始めたところである。本研究では、この基礎構造の中の杭基礎に注目し、限界状態設計法の有効性について考える。その手段として、同じ条件のもとで許容応力度設計法(我国の標準)と限界状態設計法(カナダ・オンタリオ州の標準)とで杭基礎の設計を行い、断面寸法と安全性について比較・検討する。

2. 限界状態設計法による杭基礎の設計

本研究で対象とする構造物は、これまでの研究¹⁾でモデル化された図1～2に示す3径間連続非合成箱桁橋を支える一層の門型鋼製ラーメン橋脚における杭基礎とする。そして、図3に示す杭基礎の断面寸法を我国の現行の道路橋設計標準とカナダ・オンタリオ州道路橋設計標準(OHBDC)^{2), 3)}の二つの設計標準に基づいて設計を行う。OHBDCは、信頼性理論に基づく限界状態設計標準として知られている。この設計標準で用いられる杭基礎の終局限界状態の設計標準式の一例を式(1)に示す。

$$f \cdot R \geq \gamma_D \cdot D + \gamma \cdot (\gamma_L \cdot L + \gamma_E \cdot E) \cdots \cdots (1)$$

ここに、 f :抵抗係数; R :支持力公式、載荷試験等により得られた終局限界状態における支持力; γ :重要度係数(通常1.0を用いる); $\gamma_D, \gamma_L, \gamma_E$:それぞれ、死荷重、活荷重、地震荷重の荷重係数; D, L, E :それぞれ、死荷重(D), 活荷重(L), 地震荷重(E)により杭に作用する外力の規格値である。これらの部分安全係数は、上部工の場合と異なり安全率に基づいた現在の土質解析とのキャリブレーションによって求められている。この部分安全係数についてはOHBDCに細かく規定されているので、その値を次に示しその値を用いて設計計算を行う。荷重係数: $\gamma_{Dc}=1.25$ (現場打ちコンクリート), $\gamma_{Ds}=1.20$ (盛土), $\gamma_L=1.40$, $\gamma_E=1.30$; 抵抗係数 $f_\phi=0.80$ (摩擦力), $f_c=0.50$ (粘着力), $f_s=0.90$ (鋼)である。杭基礎の終局限界状態を図4に示す。この状態において設計標準式(1)を満たすように設計する。また、許容応力度設計法(我国の標準)との差異を明らかにするため、我国の標準においてOHBDCの終局限界状態に対応する杭基礎の極限状態を図5に示す。また、本研究の杭基礎の設計は地震時(死荷重+地震荷重)において行う。我国の標準は平成2年2月改訂されたので、改訂前後の両標準を用いて設計を行った。また、OHBDCでは引抜き支持力を考慮した設計になっている。しかし、これで設計した杭基礎の安全性を評価する際に引抜き支持力に関する統計的資料を必要とする。著者の知る限りにおいてその資料はほとんどないため、引抜き支持力を考慮した設計の他に引抜き支持力を無視した設計も合わせて行った。

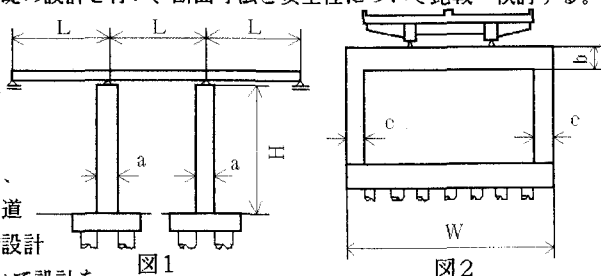


図1

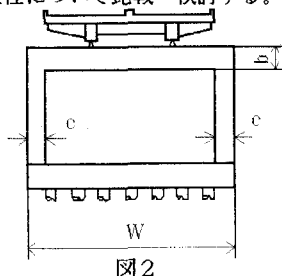


図2

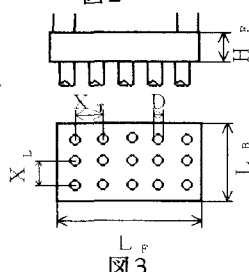


図3

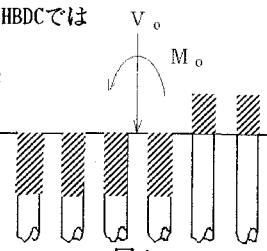


図4

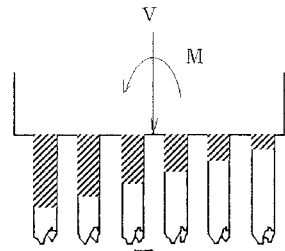


図5

3. 限界状態設計法により設計された杭基礎の安全性と経済性 上述した4つの場合について設計した杭基

礎の断面寸法を表1~4に示す。ここでは、この4つの杭基礎の安全性の評価を行い、安全性と経済性について比較検討する。安全性を評価する際の実働荷重のモデルはこれまでの研究¹⁾でモデル化したものを用いる。また、安全性はIFM(Iterative Fast Monte-Carlo)手法により求めた破壊確率 P_f により評価する。杭基礎の破壊の定義は、杭頭鉛直反力が杭の鉛直支持力を超えた時であるとして計算を行った。破壊確率 P_f の計算結果を図6に示す。図において、横軸は構造モデル番号

で、上部工主桁のスパン長 $L=40$ (m)、橋脚全高 $H=10,20$ (m)、橋脚全幅 $W=20,30$ (m)、の組合せで4種類の橋脚モデルについて計算を行った。まず、経済性について考える。

表1~4を見て分かるように、OHBCDにより設計された断面は、我国の規準により設計された断面よりも少し不経済になった。しかし、これは安全性とのからみで議論すべきである。OHBCDにおける部分安全係数は、前にも述べたように従来の安全余裕度を確認するように、従来の構造および地盤の設計・解析とのキャリブレーションにより主として求められている。そこで、安全余裕度の目安である実質安全率を比較すると、我国の規準では2.0を使用しているのに対して、OHBCDでは約2.8を使用している。また、我国の規準とOHBCDとの鉛直支持力の推定値を比較すると、同じ断面においてOHBCDの方が大きく推定されている。これらのことにより、次の二つのことが考えられる。一つは、カナダの従来の設計規準は、本研究で行った設計に対して約2.8の実質安全率を有していた。二つ目は、もし我国にOHBCDのような限界状態設計法に基づく設計規準がつくられたなら、安全余裕度は従来のままで経済性が向上する。次に、安全性について考える。モデル1と2の組とモデル3と4の組は、死荷重は異なるが作用する外力(地震荷重)は等しいとして設計されている。図6を見ると、我国の規準により設計された杭基礎よりもOHBCDにより設計された杭基礎の方が、安全余裕度を大きくとっている

ため異なる外力に対する安全性の差は大きくなるが、等しい外力に対しては破壊確率の線が水平に近く、安全性の均一性が向上することが分かる。これは部分安全係数を用いる限界状態設計法の利点の一つである。このように、杭基礎に対しても限界状態設計法の方が許容応力度設計法に比べて有効であるといえる。我国の規準の改訂前後では、改訂後の方が杭の支持力の推定に対する信頼度が向上している。また、OHBCDの引抜き支持力を考慮する

としないのでは、考慮した場合はモーメントに対する抵抗力は向上するが鉛直力に対する抵抗力は低下する。

【参考文献】1) 白木:道路橋の鋼製ラーメン橋脚における杭基礎構造物の信頼性解析, JCOSSAR'87, Vol.1, pp. 207~212, 1987-12. 2) 大塚:基礎の限界状態設計法入門, 九州大学出版会, 1989-8. 3) 九州橋梁・構造工学研究会:道路橋の限界状態設計法に関する調査研究報告書(Ⅰ), 1985-3.

表1 OHBCD (引抜き無視)

モデル	フーチング形状 $L_F \times L_B \times H_F$ (m × m × m)	杭寸法		杭中心間隔(m)		終局限界状態における支持力(t)
		径D(mm)	x_T	x_L		
1	20 × 9.07 × 5	907	2.50	2.27		598.1
2	30 × 10.92 × 7.5	874	2.50	2.18		613.5
3	20 × 11.29 × 5	904	2.50	2.26		593.1
4	30 × 12.46 × 7.5	831	2.50	2.08		542.1

表2 OHBCD (引抜き考慮)

モデル	フーチング形状 $L_F \times L_B \times H_F$ (m × m × m)	杭寸法		杭中心間隔(m)		終局限界状態における支持力(t)
		径D(mm)	x_T	x_L		
1	20 × 8.59 × 5	859	2.50	2.15		523.6
2	30 × 10.30 × 7.5	824	2.50	2.06		531.6
3	20 × 10.82 × 5	866	2.50	2.17		534.2
4	30 × 12.40 × 7.5	827	2.50	2.07		535.7

表3 我国の規準 (旧道路橋示方書)

モデル	フーチング形状 $L_F \times L_B \times H_F$ (m × m × m)	杭寸法		杭中心間隔(m)		鉛直極限支持力(t)
		径D(mm)	x_T	x_L		
1	20 × 7.52 × 5	752	2.50	1.89		455.1
2	30 × 9.45 × 7.5	756	2.50	1.88		475.5
3	20 × 10.55 × 5	844	2.50	2.11		510.7
4	30 × 12.75 × 7.5	850	2.50	2.13		514.4

表4 我国の規準 (新道路橋示方書)

モデル	フーチング形状 $L_F \times L_B \times H_F$ (m × m × m)	杭寸法		杭中心間隔(m)		鉛直極限支持力(t)
		径D(mm)	x_T	x_L		
1	20 × 7.25 × 5	725	2.50	1.81		438.8
2	30 × 9.06 × 7.5	725	2.50	1.81		438.8
3	20 × 10.26 × 5	821	2.50	2.05		596.9
4	30 × 12.30 × 7.5	820	2.50	2.05		596.3

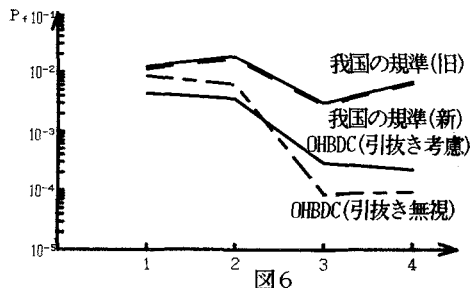


図6