都市設計製図：RC 橋脚の耐震設計

課題 2：RC 橋脚の耐震設計(その 1)

■作業の流れ
※断面形状，配筋，*M*-φ 関係は，課題 1 の値を用いる。

Step1：設計条件を整理
・死荷重および重量の算定(参考資料参照)
・固有周期の算定(参考資料参照)
・設計水平震度の算定(参考資料参照)
＊参考資料に

Step2：レベル 1 地震動に対する耐震設計（許容応力度法）
・設計断面力の算定
・許容応力度法による照査(モバイル UC-1＆手計算)
http://www.forum8.co.jp/i/muc-1/　→「3. RC 断面計算」
・最小・最大鉄筋量の照査(オプション)(道示Ⅳ7.3 参照)

Step3：レベル 2 地震動に対する耐震設計（地震時保有耐力法）
・応力－ひずみ関係の算定
・水平力－水平変位関係の算定
・せん断耐力の算定，破壊形態の判定
・作用荷重の算定
・保有耐力法による照査
・残留変位による判定(オプション)

Step4：提出物
・計算書：配付資料参照
※必ずコピーを提出のこと。原本は配付資料とともにファイルに閉じ，毎回持参のこと。

以上

■参考資料 1：固有周期(標準ケース)の計算例

・予備計算

W ＝W_u＋C_p・W_p＝6330＋0.3・3393＝7347.9×10^3 (N) ＝7348 kN＝7.35 MN

g ＝9.80665 (m/sec^2)

E ＝E_c＝23.5×10^9 (N/m^2)

I ＝BH^3／12＝4.4367 (m^2)

h ＝10 (m)

・質量

m ＝7347.9×10^3／g＝749.277×10^3 (N・sec^2／m)

・バネ定数

k ＝3EI／h^3＝312.79×10^6 (N/m)

・固有周期

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

＝2π[749.277×10^3／(312.79×10^6)]$^{1/2}$

＝0.31 (sec)

■参考資料2：設計水平震度に関する資料

・レベル *1*

表１　レベル１地震動の設計水平震度の標準値 k_{hc0}

地盤種別	固有周期 T (s) に対する k_{h0} の値		
Ⅰ　種	$T<0.1$ $k_{h0}=0.431\,T^{1/3}$ ただし，$k_{h0}\geqq 0.16$	$0.1\leqq T\leqq 1.1$ $k_{h0}=0.2$	$1.1<T$ $k_{h0}=0.213\,T^{-2/3}$
Ⅱ　種	$T<0.2$ $k_{h0}=0.427\,T^{1/3}$ ただし，$k_{h0}\geqq 0.20$	$0.2\leqq T\leqq 1.3$ $k_{h0}=0.25$	$1.3<T$ $k_{h0}=0.298\,T^{-2/3}$
Ⅲ　種	$T<0.34$ $k_{h0}=0.430\,T^{1/3}$ ただし，$k_{h0}\geqq 0.24$	$0.34\leqq T\leqq 1.5$ $k_{h0}=0.3$	$1.5<T$ $k_{h0}=0.393\,T^{-2/3}$

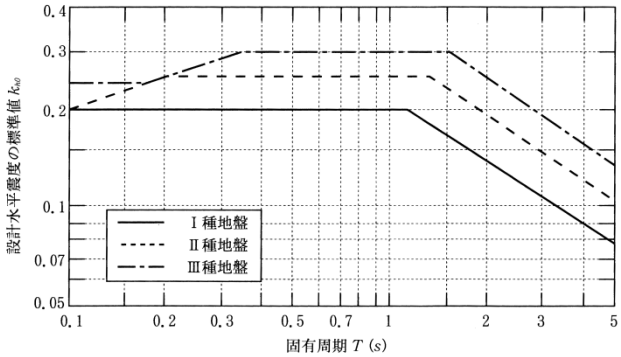

図１　レベル１地震動の設計水平震度の標準値 k_{hc0}

・レベル２

表２　タイプⅠの設計水平震度の標準値 k_{hc0}

地盤種別	固有周期 T (s) に対する k_{hc0} の値		
Ⅰ　種	$T\leqq 1.4$ $k_{hc0}=0.7$		$1.4<T$ $k_{hc0}=0.876T^{-2/3}$
Ⅱ　種	$T<0.18$ $k_{hc0}=1.51T^{1/3}$ ただし，$k_{hc0}\geqq 0.7$	$0.18\leqq T\leqq 1.6$ $k_{hc0}=0.85$	$1.6<T$ $k_{hc0}=1.16T^{-2/3}$
Ⅲ　種	$T<0.29$ $k_{hc0}=1.51T^{1/3}$ ただし，$k_{hc0}\geqq 0.7$	$0.29\leqq T\leqq 2.0$ $k_{hc0}=1.0$	$2.0<T$ $k_{hc0}=1.59T^{-2/3}$

表３　タイプⅡの設計水平震度の標準値 k_{hc0}

地盤種別	固有周期 T (s) に対する k_{hc0} の値		
Ⅰ　種	$T<0.3$ $k_{hc0}=4.46\,T^{2/3}$	$0.3\leqq T\leqq 0.7$ $k_{hc0}=2.0$	$0.7<T$ $k_{hc0}=1.24\,T^{-4/3}$
Ⅱ　種	$T<0.4$ $k_{hc0}=3.22\,T^{2/3}$	$0.4\leqq T\leqq 1.2$ $k_{hc0}=1.75$	$1.2<T$ $k_{hc0}=2.23\,T^{-4/3}$
Ⅲ　種	$T<0.5$ $k_{hc0}=2.38\,T^{2/3}$	$0.5\leqq T\leqq 1.5$ $k_{hc0}=1.50$	$1.5<T$ $k_{hc0}=2.57\,T^{-4/3}$

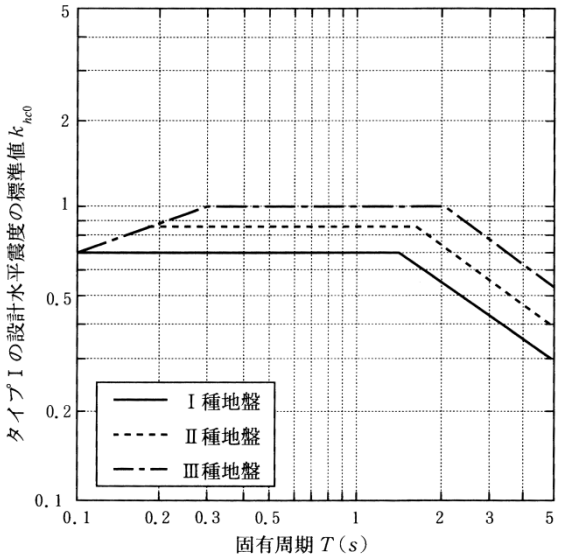

図２　タイプⅠの設計水平震度の標準値 k_{hc0}

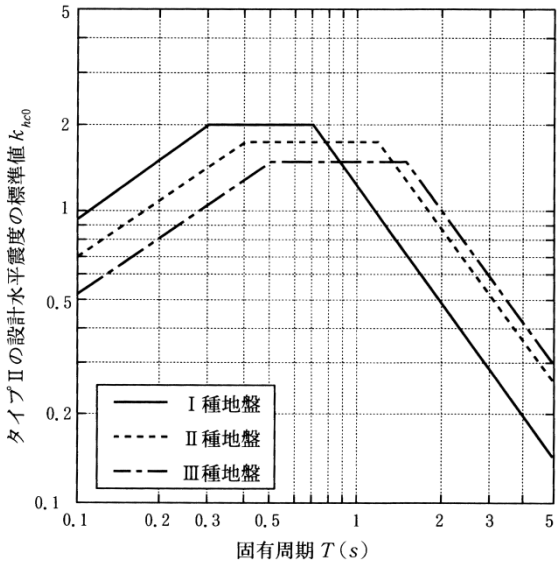

図３　タイプⅡの設計水平震度の標準値 k_{hc0}

都市設計製図：RC 橋脚の耐震設計

許容応力度法に関する資料

1) 単鉄筋長方形断面による算定

文献[1]の式(7.5)(7.6)を用い，軸力を無視(ただし圧縮鉄筋を無視)した時の作用応力を算定する。

・計算条件の確認

曲げモーメント M ＝20.771 (MN-m)

（圧縮軸力 N' ＝10.493 (MN)）

断面幅 b ＝5000 mm

有効高 d ＝2080 mm

鉄筋比 p ＝39×642.4／(5000×2080)＝0.002409

ヤング係数比 n ＝15

np ＝0.03614

・式(7.6)より

$$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.2351$$

$$j = 1 - k/3 = 0.9216$$

よって作用応力は次のように算出される。

式(7.5)より

$$\sigma'_c = \frac{2}{kj} \cdot \frac{M}{bd^2} = \frac{2}{0.2351 \cdot 0.9216} \cdot \frac{20.771 \times 10^9}{5000 \cdot 2080^2} = 8.9 \ (\mathrm{N/mm^2})$$

$$\sigma_s = \frac{1}{pj} \cdot \frac{M}{bd^2} = \frac{1}{0.002409 \cdot 0.9216} \cdot \frac{20.771 \times 10^9}{5000 \cdot 2080^2} = 432 \ (\mathrm{N/mm^2})$$

2) 複鉄筋長方形断面による算定 (その 1)

文献[1]の式(7.7)(7.8)を用い，軸力を無視した時の作用応力を算定する。

・計算条件の確認

圧縮軸力 N' ＝10.493 (MN)

曲げモーメント M ＝20.771 (MN-m)

断面幅 b ＝5000 mm

有効高 d_1 ＝2080 mm

d_2 ＝ 120 mm

γ ＝d_2／d_1＝0.05769

鉄筋比 p_1 ＝39×642.4／(5000×2080)＝0.002409

p_2 ＝p_1

ヤング係数比　n　＝15

np_2＝0.03614

$n(p_1+p_2)$　＝0.07227

・式(7.8)より

$$k=-n(p_1+p_2)+\sqrt{n^2(p_1+p_2)^2+2n(p_1+\gamma p_2)}=0.2135$$

よって作用応力は次のように算出される。

式(7.7)より

$$j'=\frac{k^2\left(1-\frac{k}{3}\right)+2np_2(k-\gamma)(1-\gamma)}{k^2}=1.162$$

$$j''=\frac{k^2\left(1-\frac{k}{3}\right)+2np_2(k-\gamma)(1-\gamma)}{k^2+2np_2(k-\gamma)}=0.9315$$

$$\sigma'_c=\frac{2}{kj'}\cdot\frac{M}{bd^2}=\frac{2}{0.2135\cdot1.162}\cdot\frac{20.771\times10^9}{5000\cdot2080^2}=7.7\ (\mathrm{N/mm^2})$$

$$\sigma_{s1}=\frac{1}{p_1j''}\cdot\frac{M}{bd^2}=\frac{1}{0.002409\cdot0.9315}\cdot\frac{20.771\times10^9}{5000\cdot2080^2}=428\ (\mathrm{N/mm^2})$$

3) 複鉄筋長方形断面による算定 (その 2)

文献[1]の表 7-4 を用い，軸力を考慮した時の作用応力を算定する。

・計算条件の確認

圧縮軸力　N'　＝10.493 (MN)

曲げモーメント M　＝20.771 (MN-m)

断面幅　b　＝5000 mm

断面高　h　＝2200 mm

圧縮縁～図心　y_c　＝h／2＝1100 mm

$e\sim$　＝M／N'－y_c＝879.5 mm

有効高　d_1　＝2080 mm

d_2　＝ 120 mm

γ　＝d_2／d_1＝0.05769

鉄筋比　p_1　＝39×642.4／(5000×2080)＝0.002409

p_2　＝p_1

ヤング係数比　n　＝15

np_1＝np_2＝0.03614

・表 7－4 より，中立軸 x は次のように表される。

$$f(x)=x^3+3e\sim x^2+6n/b\{A_{s1}(d_1+e\sim)+A_{s2}(d_2+e\sim)\}x-6n/b\{A_{s1}d_1(d_1+e\sim)+A_{s2}d_2(d_2+e\sim)\}=0$$

ここで,

$$f(x)=x^3+Ax^2+Bx+C$$

とおくと，$f(x)=0$ をみたす実数解 x は，カルダノの公式を用いて次のように表せる

$$x=\sqrt[3]{-P+\sqrt{P^2+Q^3}}+\sqrt[3]{-P-\sqrt{P^2+Q^3}}-A/3$$

ここで，$P=(27C+2A^3-9AB)/54$

$Q=(3B-A^2)/9$

すると，

$A=2.6385\times10^3$、$B=1.7854\times10^6$、$C=-2.8301\times10^9$

より

$P=-1.5199\times10^9$、$Q=-1.7841\times10^5$

よって，

$x=1448.290+123.188-879.510=692.0$ (mm)

$(k=x/d_1=0.333)$

・作用応力は表 7-4 より次のように算出される。

$$\sigma'_c=\frac{N'}{\frac{1}{2}bx-nA_{s1}\frac{d_1-x}{x}+nA_{s2}\frac{x-d_2}{x}}=8.2\ (\mathrm{N/mm^2})$$

$$\sigma_{s2}=n\sigma'_c\frac{x-d_2}{x}=101\ (\mathrm{N/mm^2})$$

$$\sigma_{s1}=n\sigma'_c\frac{d_1-x}{x}=245\ (\mathrm{N/mm^2})$$

4)計算結果の比較

	計算結果		計算条件			
	σ'_{cu}(N/mm^2)	σ_{s1}(N/mm^2)	p_1	p_2	N'(kN)	備考
式(7.5)	8.9	432	○	×	0	
式(7.7)	7.7	428	○	○	0	
表 7-4	8.2	245	○	○	0	
Mobile UC-1	8.7	432	○	×	0	式(7.5)と同条件
	7.7	428	○	○	0	式(7.7)と同条件
	9.3	256	○	×	○	
	8.2	245	○	○	○	表(7.4)と同条件
UC-win/Section	7.8	211	○	○	○	側方鉄筋も考慮

参考文献

[1]吉川弘道：鉄筋コンクリートの設計　限界状態設計法と許容応力度法，丸善，1997

以上