

プログラムご購入の皆様

社団法人 コンクリートパイル建設技術協会

杭の N - M 図・M - 図・せん断力図作成システムの注意事項について

(社)コンクリートパイル建設技術協会では、杭の N - M 図・M - 図・せん断力図作成システム(2005.12、ver2.41)を製作・販売してきました。通常的设计範囲では問題となりませんが、一部に注意を要する事項が判明したため、ご連絡をいたします。

本プログラムをご使用の際は、十分ご注意ください。

1. 高軸力時の M - 図について

高軸力時の M - 図を計算する際には、以下の 2 点に注意する必要があります。(図 1 - 1 参照)

全圧縮軸力の 1/2 以上の高軸力が作用した状態の M - 図を計算する場合に降伏時の M_y 、 M_c が正常に計算されない。

これは、計算断面が全圧縮領域になり、中立軸が正確に求まらないためである。

高軸力時にひび割れ曲げモーメント (M_c) が降伏曲げモーメント (M_y) を上回る。

高軸力時の降伏曲げモーメント (M_y) は、ひび割れ曲げモーメント (M_c) より小さくなるが、本プログラムでは、 M_y と M_c をそれぞれ個別に計算しており、大小関係の判定していないためである。

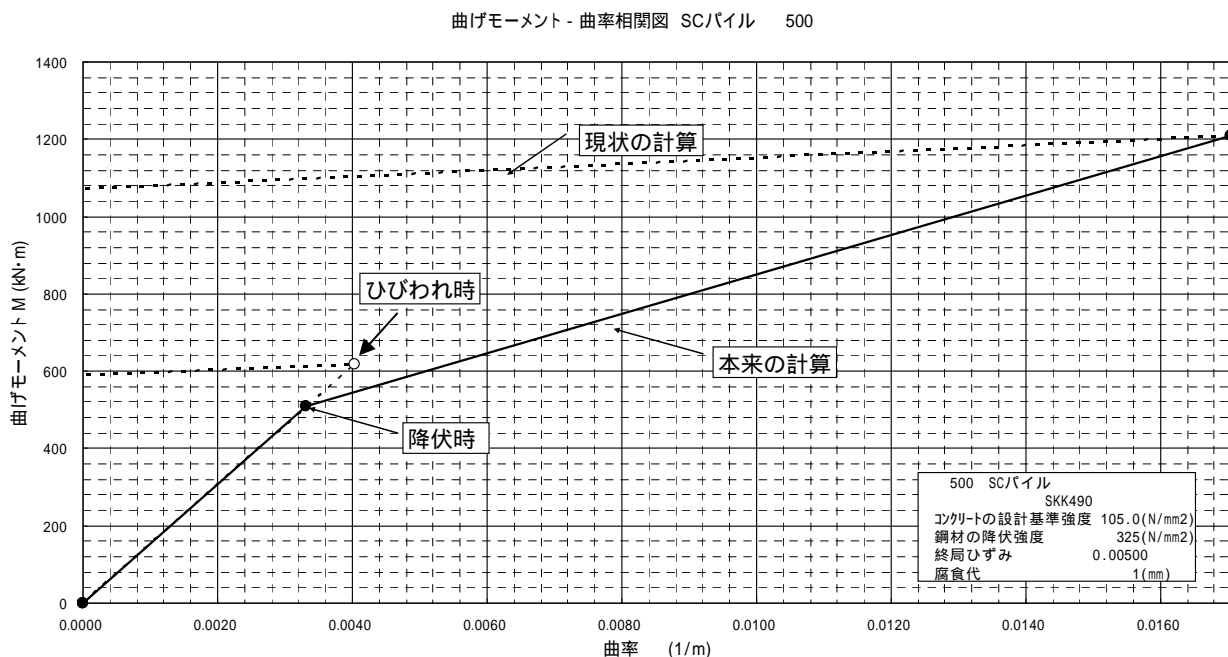


図 1 - 1 SC 杭の M - 図出力例 (N=5000kN)

2. コピタ型 PRC (CPRC) の短期許容せん断力について

コピタ型 PRC (以下 CPRC とする) の短期許容せん断力には軸力負担分による制限条項が設定されているが、本プログラムではこの制限条項について考慮されていない。また、全引張軸力 (Nmin) および全圧縮軸力 (Nmax) 時のせん断力の制限も考慮されていない。

表 2 - 1 は、コンクリート基準強度 85N/mm²、短期許容応力度 48N/mm² で M/Q・d = 1.0、1.5、2.0 の場合の制限条項境界軸力 (N_{Qlim}) と短期許容せん断力上限値 (Q_{lim}) である。複合軸方向応力

($\sigma_{ce} + \sigma_o$) が 2.79N/mm² となる制限条項境界軸力 (N_{Qlim}) は、CPRC の全圧縮軸力 (Nmax) の 1/3 程度の軸力である。通常の設計の範囲では、制限条項境界軸力 (N_{Qlim}) は、変動軸力の範囲外か、短期変動軸力の最小値より大きい。また、CPRC の短期許容せん断力 (Qas) は、短期変動軸力の最小値のせん断力を採用するため、通常の設計の範囲では問題にならない。

図 2 - 1 に CPRC の 600 - 種 M/(Q・d)=1 の N-M 図を示す。図中には、制限条項境界軸力 (N_{Qlim})、全引張軸力 (Nmin) および全圧縮軸力 (Nmax) を併せて示す。図 2 - 2 は本プログラムの短期許容せん断力出力図例を示し、図 2 - 3 は制限条項を考慮した短期許容せん断力図である。

制限条項にはらせん筋負担分に関する条項があるが、 $p_w \times p_{spa}$ の標準値 (参考資料 2 参照) は、いずれも 7.4N/mm² 以下であり、通常の範囲では問題にならない。

$$Q_{as} = \frac{2}{3} \times \left[0.8 \times \frac{b_e \times j}{1000} \times \left\{ \frac{0.115 \times k_u \times k_p \times (\sigma_{cu} + 17.7)}{\frac{M}{Qd} + 0.115} + 0.657 \times p_w \times p_{spa} + \frac{0.102 \times (\sigma_{ce} + \sigma_o')}{1} \right\} \right]$$

Q_{as} : 短期許容せん断力 (kN)

軸力負担分

$$\sigma_{ce} + \sigma_o > 27.4 \text{ N/mm}^2 \text{ の時、 } 0.102 \times (\sigma_{ce} + \sigma_o) = 2.79 \text{ N/mm}^2$$

らせん筋負担分

$$p_w \times p_{spa} > 7.4 \text{ N/mm}^2 \text{ 時、 } 0.657 \times p_w \times p_{spa} = 4.87 \text{ N/mm}^2$$

b_e (mm) : 有効断面幅 $b_e = a \times \frac{A_c}{D}$
 $a = -1.24 \times \frac{t}{D} + 1.19$

d (mm) : 有効せい $d = D - \frac{t}{2}$

j (mm) : 応力中心間距離 $j = \frac{7}{8} \times d$

p_g : 主筋比 $p_g = \frac{A_{rp}}{b_e \times j}$

p_w : せん断補強筋比 $p_w = \frac{a_w}{b_e \times s}$

$\sigma_{ce} + \sigma_o'$ (N/mm²) : 複合軸方向応力度 $\sigma_o' = \frac{N}{b_e \times j}$

A_{rp} (mm²) : 軸方向筋全断面積 $A_{rp} = A_r + A_p$

A_r (mm²) : 異形棒鋼の全断面積

A_p (mm²) : PC鋼材の全断面積

σ_{cu} (N/mm²) : コンクリートの設計基準強度

k_u : 断面寸法による補正係数

杭径 (mm)	$\sigma_{cu} = 85 \text{ (N/mm}^2)$			
	300	350	400	450~1000
k _u	0.82	0.76	0.73	0.72

「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」1999 (日本建築学会) の図16.3から読み取った値

k_p : 引張り鉄筋比 (P_t) による補正係数

$$k_p = 0.82 (100 P_t)^{0.23} \quad P_t = \frac{P_g}{4}$$

a_w (mm²) : せん断補強筋の断面積の2倍

s (mm) : せん断補強筋のピッチ

M/Qd : 計算上のシアスパン比

M (kN・m) : 設計用曲げモーメント

Q (kN) : 設計用せん断力

σ_{spa} (N/mm²) : せん断補強筋の短期許容応力度 (基準強度)

$$N_{Qlim} = (2.79 / 0.102 - ce) \times be \times j$$

N_{Qlim} : 制限条項境界軸力(kN)

$Qlim$: 軸力が制限境界軸力(N_{Qlim})以上の場合の短期許容せん断力上限値

表 2 - 1 CPRC の制限条項境界軸力と短期許容せん断力上限値

杭径 D (mm)	厚さ t (mm)	杭種	有効 プラス ce (N/mm ²)	全引張 軸力 Nmin (kN)	制限条項 境界軸力 N _{Qlim} (kN)	全圧縮 軸力 Nmax (kN)	短期許容せん断力上限値 Q _{lim} (kN)		
							M/Qd:1.0	M/Qd:1.5	M/Qd:2.0
300	60	種	6.7	-761	693	2072	200	161	141
		種	6.5	-911	699	2153	209	168	146
		種	6.3	-1096	706	2252	218	174	150
		種	6.1	-1308	713	2364	226	179	155
350	60	種	6.5	-888	892	2507	244	200	176
		種	6.3	-1062	900	2603	255	207	181
		種	6.1	-1277	909	2719	265	214	187
		種	5.9	-1524	918	2850	274	220	192
400	65	種	6.1	-1024	1155	3141	300	247	219
		種	5.9	-1221	1166	3253	313	255	225
		種	5.7	-1464	1177	3388	325	264	232
		種	5.5	-1743	1188	3541	336	272	238
450	70	種	6.2	-1277	1423	3836	372	306	272
		種	6.0	-1524	1436	3975	387	317	280
		種	5.8	-1829	1450	4143	402	327	288
		種	5.6	-2179	1463	4333	415	337	295
500	80	種	5.9	-1530	1808	4859	461	380	338
		種	5.8	-1837	1817	5016	480	393	348
		種	5.6	-2200	1834	5218	498	406	357
		種	5.4	-2618	1850	5449	516	418	366
600	90	種	5.8	-2045	2526	6639	643	531	473
		種	5.7	-2453	2537	6850	669	549	486
		種	5.5	-2936	2561	7121	694	567	499
		種	5.3	-3492	2584	7430	718	583	512
700	100	種	5.7	-2409	3359	8587	838	696	621
		種	5.6	-2781	3374	8789	866	715	636
		種	5.5	-3306	3390	9062	897	737	653
		種	5.4	-3875	3405	9358	926	757	668
		種	5.2	-4531	3436	9729	954	776	683
		種	5.0	-5278	3468	10148	981	795	697
800	110	種	5.2	-2733	4387	10904	1058	883	790
		種	5.1	-3147	4407	11136	1093	907	808
		種	5.0	-3732	4427	11450	1132	934	829
		種	4.9	-4365	4447	11789	1167	958	848
		種	4.7	-5094	4486	12216	1202	982	866
		種	4.6	-5953	4506	12668	1236	1005	884
900	120	種	4.8	-3063	5550	13487	1303	1090	978
		種	4.7	-3518	5575	13749	1345	1119	1001
		種	4.6	-4162	5600	14104	1393	1152	1026
		種	4.5	-4860	5624	14486	1435	1182	1048
		種	4.4	-5694	5649	14937	1478	1211	1070
		種	4.2	-6607	5698	15481	1519	1239	1092
1000	130	種	4.7	-3649	6774	16327	1586	1329	1193
		種	4.7	-4233	6774	16605	1637	1364	1220
		種	4.6	-5005	6804	17031	1695	1404	1250
		種	4.5	-5843	6834	17490	1746	1439	1277
		種	4.3	-6802	6894	18072	1798	1475	1304
		種	4.2	-7939	6924	18684	1847	1509	1330

コンクリート設計基準強度85N/mm²。短期許容応力度48N/mm²

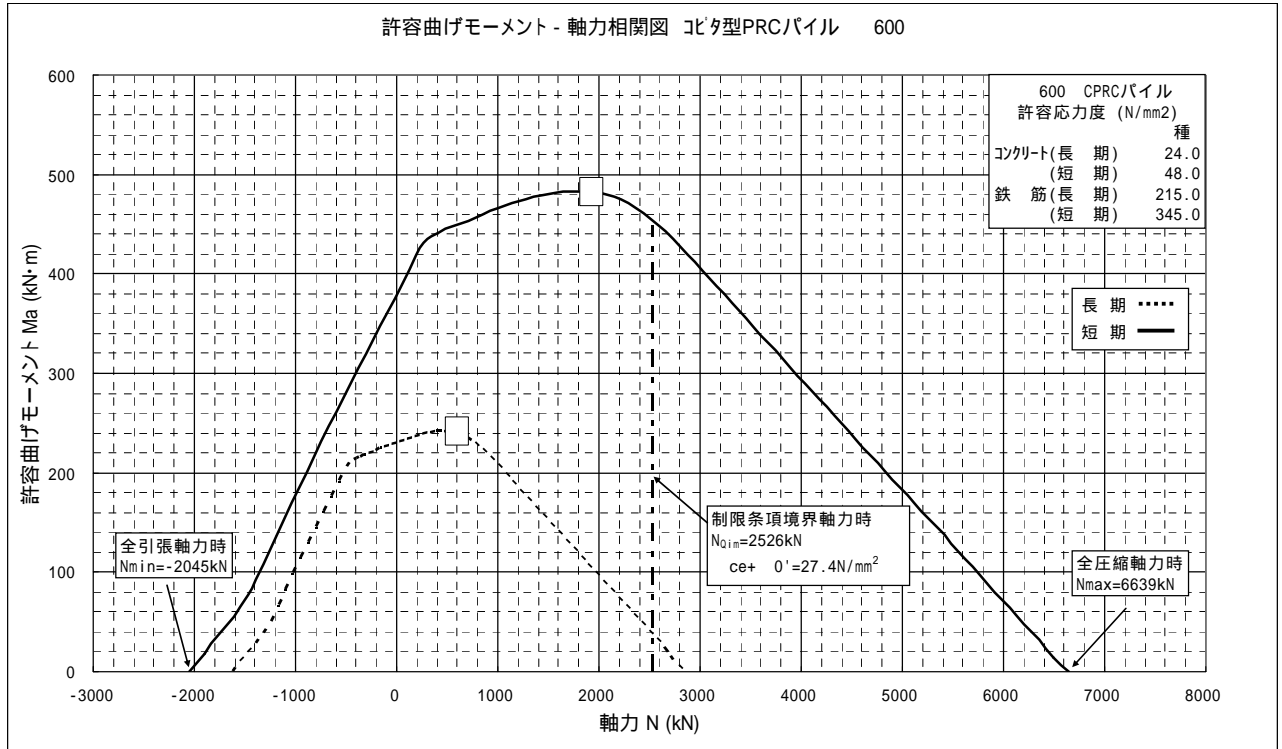


図 2 - 1 C-PRC の N - M 図 (600 - 種 - $M / (Q \cdot d) = 1$)

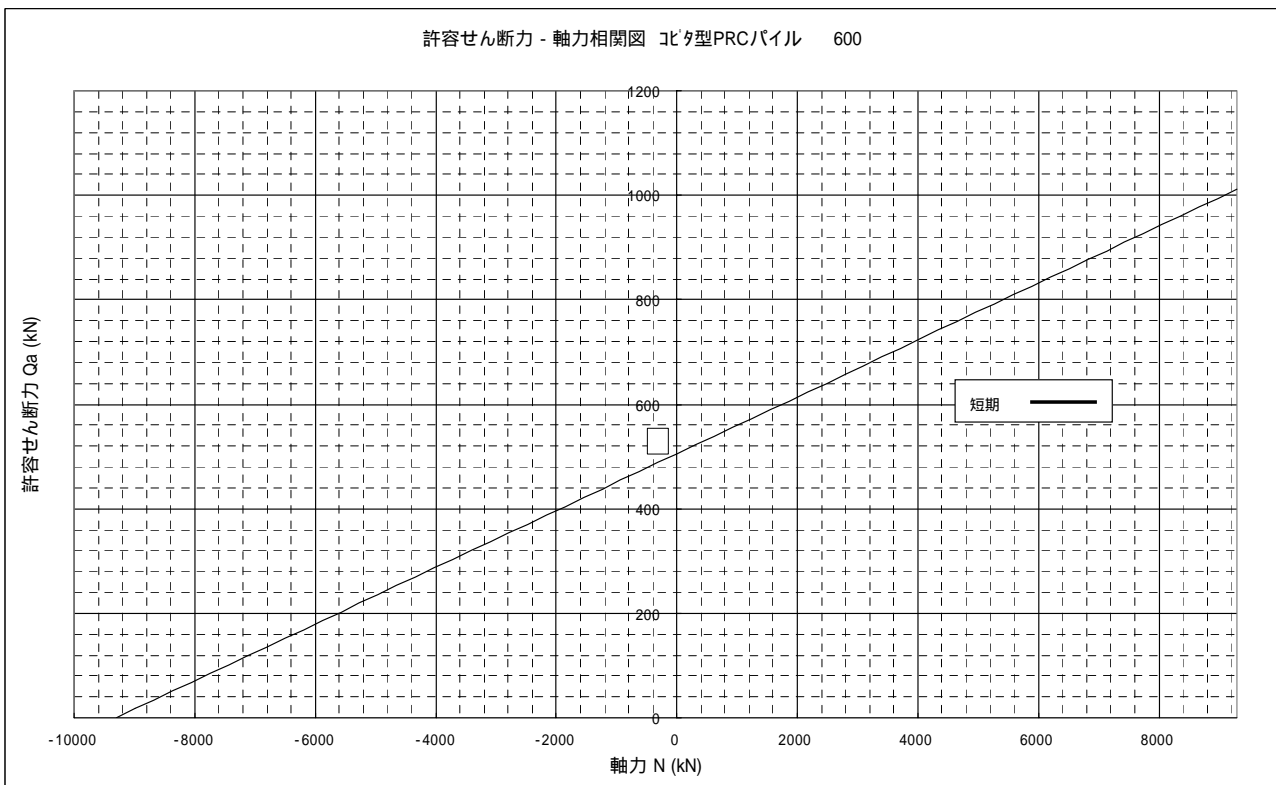


図 2 - 2 現在の C-PRC 短期許容せん断力の出力図例 (600 - 種 - $M / (Q \cdot d) = 1$)

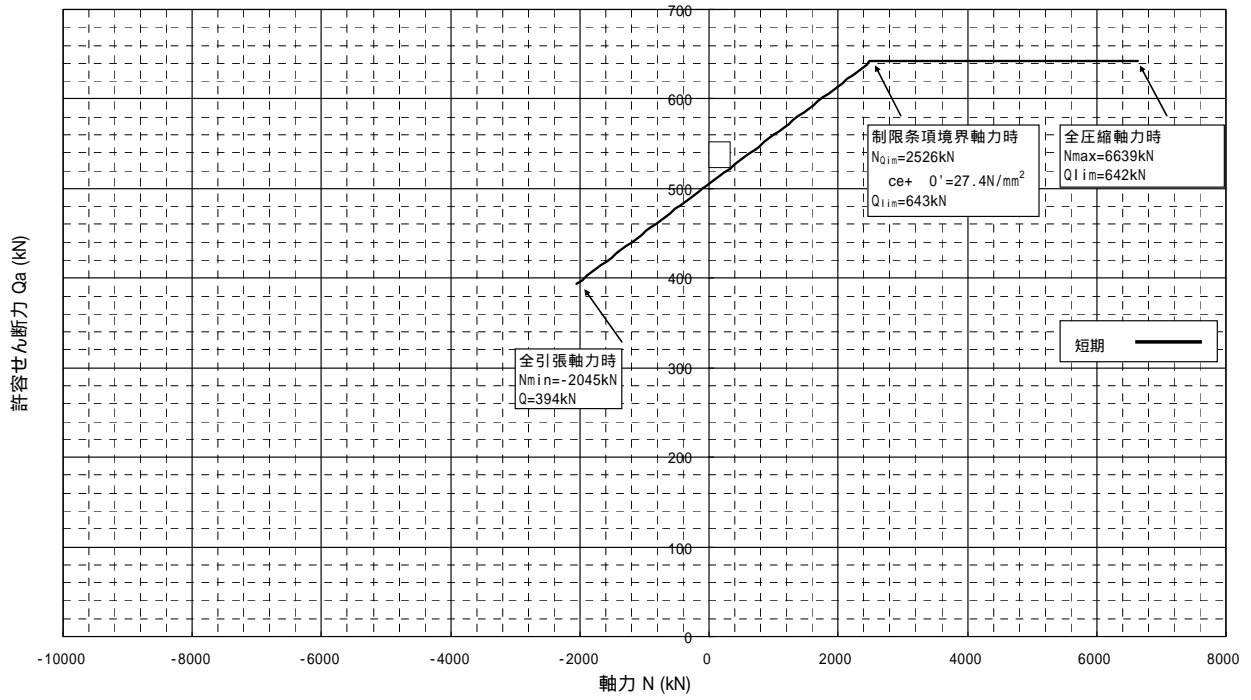


図 2 - 3 制限条項を考慮した CPRC 短期許容せん断力図例 (600 - 種 - $M / (Q \cdot d) = 1$)

以上

参考資料 1 CPRC の設計例

(社)コンクリートパイル建設技術協会発行「既製コンクリート杭 基礎構造設計マニュアル 建築編 2005/10、設計例3(地上8階RC造事務所ビル)」に準じ、CPRCの制限条項を考慮した場合の設計例を示す。

1. 設計条件

- (1) 建物の概要：地上8階、RC造、事務所ビル
- (2) 地盤：図1参照、原位置試験結果より変形係数 $E_0 = 2000\text{kN/m}^2$ とする。
- (3) 設計軸力：柱毎の軸力 $N_L = 415 \sim 3109\text{kN}$ 、柱毎の変動軸力 $= 304 \sim 1361\text{kN}$
- (4) 施工方法：打撃工法
- (5) 使用杭：表-1～3参照、総本数101本

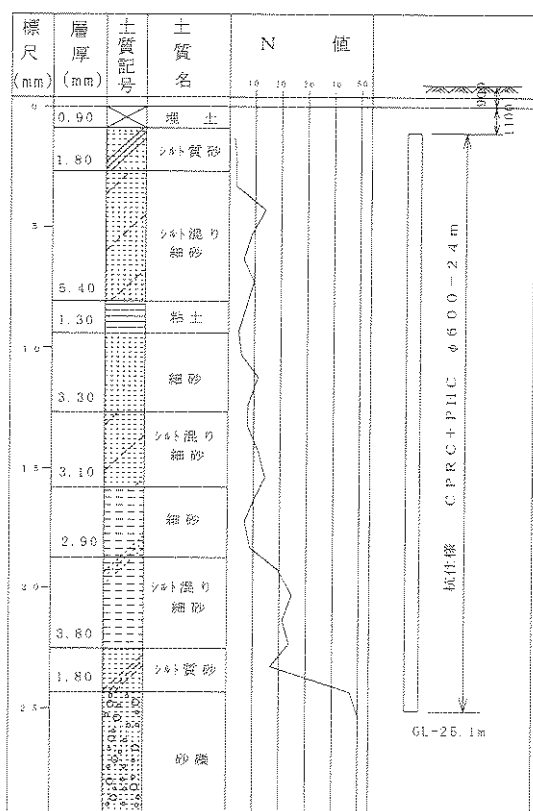


図-1 土質柱状図

表-1 使用杭一覧表

杭径 D (mm)	杭長 L (m)	杭の組み合わせ	
		上杭 (CPRC 種)	下杭 (PHC A種)
600	24	10	14

表-2 杭の許容応力度 (N/mm^2)

杭名称	コンクリート			鉄筋
	圧縮 f_c	引張 f_t	斜引張 d	圧縮・引張 f_s
CPRC - 種	24 (48)	-	1.2 (1.8)	215 (345)
PHC-A 種	24 (48)	1.0 (2.0)	1.2 (1.8)	-

注：() 内は短期許容応力度を示す。

表-3 CPRC、PHCの断面諸元表

杭名称	杭径 D (mm)	有効 プレスト e (N/mm^2)	コンクリート 断面積 Ac $\times 10^2$ (mm^2)	換算 断面積 Ae $\times 10^2$ (mm^2)	断面二次 モーメント Ic $\times 10^6$ (mm^4)	換算断面 二次モーメント Ie $\times 10^6$ (mm^4)	断面一次 モーメント So $\times 10^3$ (mm^3)
CPRC- 種	600	5.5	1442	1676	4834	5574	11830
PHC - A 種	600	4.0	1442	1470	4834	4951	11830

2. 設計

(1) 許容鉛直支持力

打撃工法であるため「国土交通省 告示 1113 号」にて求める。($\alpha = 300$ 、 $\beta = 10/3$ 、 $\gamma = 0.5$)
 先端平均 N 値を 39 とし、GL-18.7 ~ 25.1m (平均 N 値 = 23) の周面摩擦力を考慮すると、長期
 許容支持力は、1411kN となる。

(2) 地震時水平力に対する検討

杭設計用総水平力は、23291kN とする。

水平地盤反力係数は、原位置試験結果 ($E_0 = 2000\text{kN/m}^2$) から求めると $k_h = 7422\text{kN/m}^3$ となる。

フーチング重量を考慮した 1 本当たりの長期軸力：298 ~ 1361kN

1 本当たりの短期変動軸力：22 ~ 2072kN

1 本当たりのせん断力：231kN

(3) 杭体に作用する曲げモーメント

杭頭条件は固定とし、弾性支承梁として計算した結果を示す。

表 1 水平力に対する検討結果

杭径 D (mm)	断面二次 モーメント $I_e \times 10^6$ (mm^4)	水平地盤 反力係数 k _h (kN/m^3)	(m^{-1})	杭頭曲げ モーメント M ₀ ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	せん断力 Q (kN)
600	5574	7422	0.266	434	231

(4) 杭体応力の検討

軸力と曲げモーメントに対する検討

外力に対して断面応力が許容値以内であるかの検証は、杭体の N ~ Ma 図にプロットして検討
 を行う。判定の結果、CPRC- 種で問題ない。

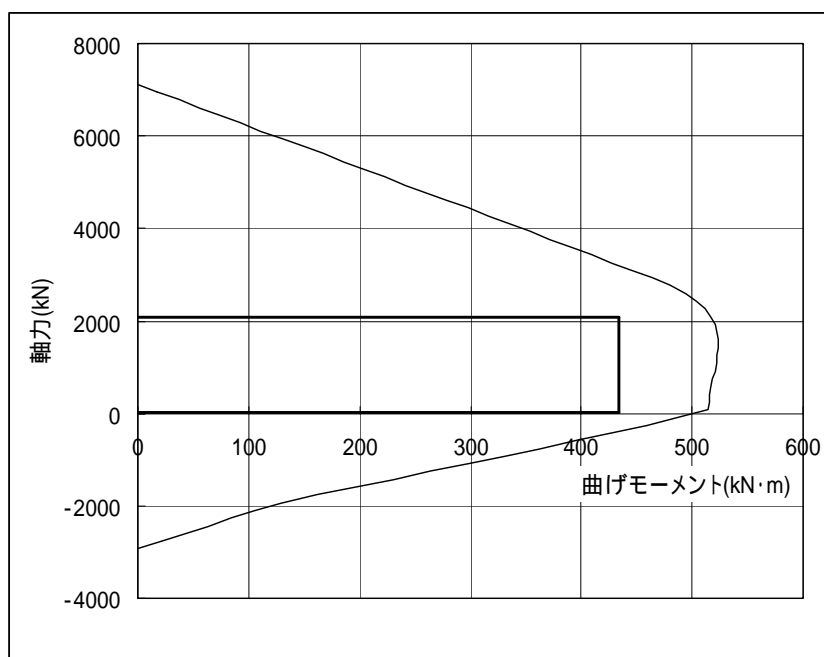


図 - 2 N - Ma 図 (CPRC 600 種)

(5) せん断力に対する検討

CPRC の短期許容せん断力は下式で求める。許容せん断力～軸力相関図にプロットして安全性の検討を行う。相関図では、CPRC の短期許容せん断力の軸力による制限事項を考慮した。なお、CPRC - 種の $p_w \times s_{pa}$ 標準値は 2.64N/mm^2 であるので、らせん筋負担分の制限条項には該当しない。判定の結果、CPRC 種で問題ない。

$$Q_{as} = \frac{2}{3} \times \left[0.8 \times \frac{be \times j}{1000} \times \left\{ \frac{0.115 \times k_u \times k_p \times (\sigma_{cu} + 17.7)}{\frac{M}{Qd} + 0.115} + 0.657 \times p_w \times s_{pa} + \frac{0.102 \times (\sigma_{ce} + \sigma_o')}{\sigma_{cu} + 17.7} \right\} \right]$$

Q_{as} : 短期許容せん断力 (kN)

軸力負担分

$\sigma_{ce} + \sigma_o' > 27.4\text{N/mm}^2$ の時、 $0.102 \times (\sigma_{ce} + \sigma_o') = 2.79\text{N/mm}^2$

らせん筋負担分

$p_w \times s_{pa} > 7.4\text{N/mm}^2$ 時、 $0.657 \times p_w \times s_{pa} = 4.87\text{N/mm}^2$

b_e (mm) : 有効断面幅 $b_e = a \times \frac{A_c}{D}$
 $a = -1.24 \times \frac{t}{D} + 1.19$

d (mm) : 有効せい $d = D - \frac{t}{2}$

j (mm) : 応力中心間距離 $j = \frac{7}{8} \times d$

p_g : 主筋比 $p_g = \frac{A_{rp}}{b_e \times j}$

p_w : せん断補強筋比 $p_w = \frac{a_w}{b_e \times s}$

$\sigma_{ce} + \sigma_o'$ (N/mm²) : 複合軸方向応力度 $\sigma_o' = \frac{N}{b_e \times j}$

A_{rp} (mm²) : 軸方向筋全断面積 $A_{rp} = A_r + A_p$

A_r (mm²) : 異形棒鋼の全断面積

A_p (mm²) : PC鋼材の全断面積

σ_{cu} (N/mm²) : コンクリートの設計基準強度

k_u : 断面寸法による補正係数

$\sigma_{cu} = 85$ (N/mm²)

杭径 (mm)	300	350	400	450~1000
k_u	0.82	0.76	0.73	0.72

「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」1999 (日本建築学会) の図16.3から読み取った値

k_p : 引張り鉄筋比 (P_t) による補正係数

$k_p = 0.82 (100P_t)^{0.23}$ $p_t = \frac{P_g}{4}$

a_w (mm²) : せん断補強筋の断面積の2倍

s (mm) : せん断補強筋のピッチ

M/Qd : 計算上のシアスパン比

M (kN・m) : 設計用曲げモーメント

Q (kN) : 設計用せん断力

σ_{spa} (N/mm²) : せん断補強筋の短期許容応力度 (基準強度)

表2 せん断力計算値(1)

杭種	杭径 D (mm)	壁厚 T (mm)	設計用 最小軸力 N1 (kN)	設計用 最大力 N2 (kN)	設計用 せん断力 Q (kN)	設計用 曲げモーメント M (kN・m)	シアスパン比 $\frac{M}{Q \times d}$
CPRC - 種	600	90	22	2072	231	434	3.39

表3 せん断力計算値(2)

有効断面積 be (mm)	有効せい d (mm)	中心距離 j (mm)	主筋比 pg	PC断面積 Ap (mm ²)	鉄筋断面積 Ar (mm ²)	補正係数 ku	補正係数 kp	プレス入 ce (N/mm ²)	変動軸力 N (kN)	複合軸方向 応力度 ce+o (N/mm ²)	短期せん断力 Qas (kN)	判定
241	555	486	0.05	1256	4584	0.72	0.863	5.5	22	5.7	276	OK: Qas(276) > Q(231)
									2072	23.2	387	OK: Qas(387) > Q(231)

表3 せん断力計算値(3)

杭種	全引張軸力 Nmin (kN)	Nmin時のせん断力 Qmin (kN)	制限条項境界軸力 N _{Qlim} (kN)	全圧縮軸力 Nmax (kN)	N _{Qlim} 、Nmax時のせん断力 Q _{lim} (kN)
CPRC - 種	-2396	115	2561	7121	414

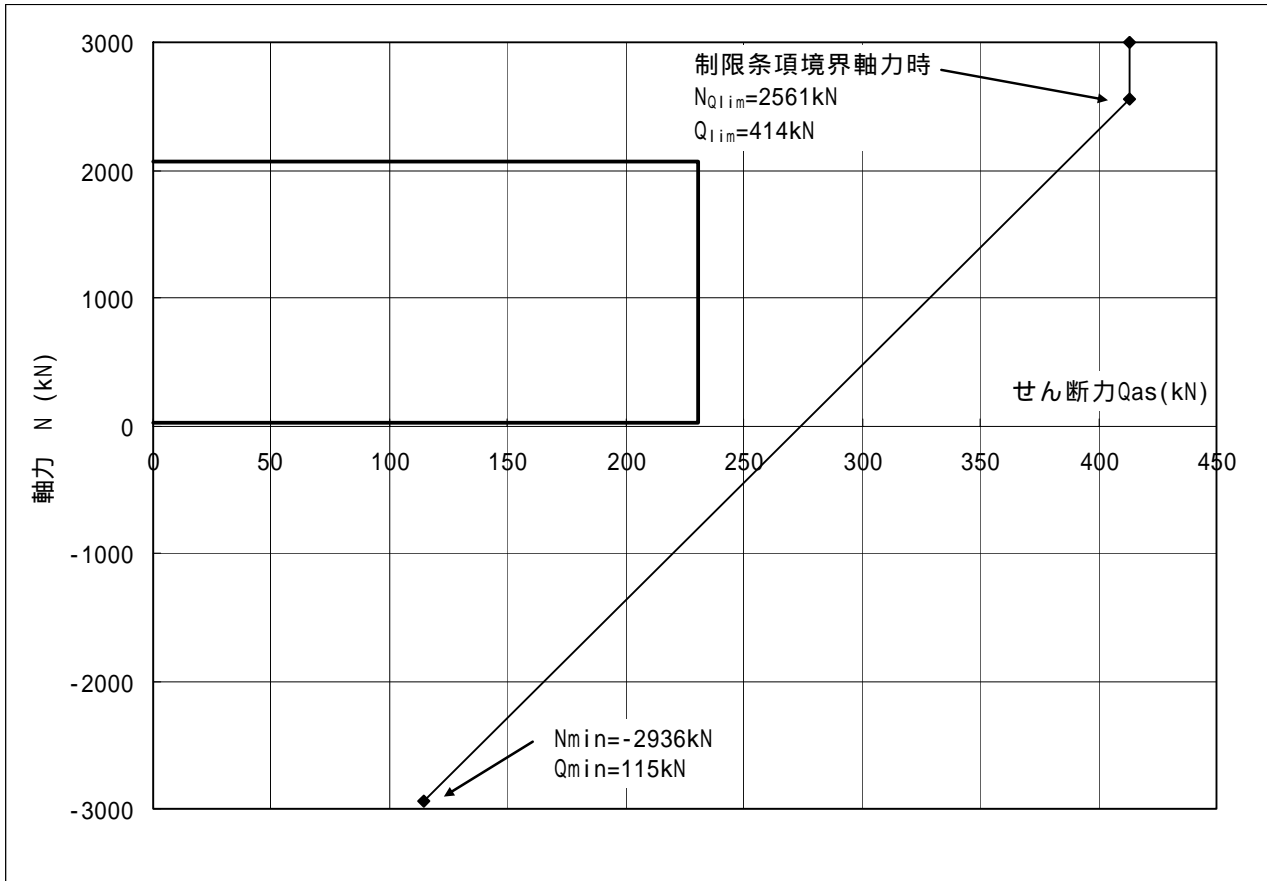


図 - 3 N - Qas 図 (CPRC 600 種)

以上

参考資料2 CPRC 標準断面データ

杭の N - M 図・M - 図・せん断力図作成システムの CPRC 標準断面データを表 1 に示す。

表 1 断面データ

外径 D (mm)	厚さ t (mm)	種類	PC鋼材			異形鉄筋			有効 プレストレス ce (N/mm ²)	pw・spa (N/mm ²)
			径 (mm)	本数 (本)	断面積 Ap (mm ²)	径 (mm)	本数 (本)	断面積 Ar (mm ²)		
300	60		10	6	471	13	6	760	6.7	2.16
						16	6	1192	6.5	
						19	6	1719	6.3	
						22	6	2323	6.1	
350	60		10	7	550	13	7	887	6.5	2.41
						16	7	1390	6.3	
						19	7	2006	6.1	
						22	7	2710	5.9	
400	65		10	8	628	13	8	1014	6.1	2.47
						16	8	1589	5.9	
						19	8	2292	5.7	
						22	8	3097	5.5	
450	70		10	10	785	13	10	1267	6.2	2.58
						16	10	1986	6.0	
						19	10	2865	5.8	
						22	10	3871	5.6	
500	80		10	12	942	13	12	1520	5.9	2.52
						16	12	2383	5.8	
						19	12	3438	5.6	
						22	12	4645	5.4	
600	90		10	16	1256	13	16	2027	5.8	2.64
						16	16	3178	5.7	
						19	16	4584	5.5	
						22	16	6194	5.3	
700	100		11	16	1600	13	16	2027	5.7	2.75
						22	8	3097	5.6	
						19	16	4584	5.5	
						22	16	6194	5.4	
						25	16	8107	5.2	
800	110		11	18	1800	13	18	2281	5.2	2.83
						22	9	3484	5.1	
						19	18	5157	5.0	
						22	18	6968	4.9	
						25	18	9121	4.7	
900	120		11	20	2000	13	18	2281	5.2	2.90
						22	10	3871	4.7	
						19	20	5730	4.6	
						22	20	7742	4.5	
						25	20	10134	4.4	
1000	130		11	24	2400	13	24	3041	4.7	2.95
						22	12	4645	4.7	
						19	24	6876	4.6	
						22	24	9290	4.5	
						25	24	12161	4.3	
						29	24	15418	4.2	