

プレキャストL型擁壁( $H \leq 2\text{m}$ )の木杭一底盤系基礎  
～ 設計マニュアル(第1版)～

平成20年9月

佐 賀 県 県 土 づ く り 本 部

一般社団法人 佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会

公益財団法人 佐賀県建設技術支援機構

(旧：財団法人 佐賀県土木建築技術協会)

## 発刊によせて

佐賀平野特有の軟弱地盤においては、古くから軽量土木構造物の基礎として、木杭基礎が多く使われてきた。しかしながら、その使用にあたっては、基礎の設計手法がいくつも考えられ、統一した設計が行われてこなかったことから、以前から以下の課題が指摘されてきた。

- ① 水路用ボックスカルバートの基礎を従来の設計手法（道路橋示方書に準じた設計手法）で計画されたものを施工すると沈下を許容しない設計のため、周辺路面との段差が発生し通行機能の低下をきたしている。
- ② 従来の基礎設計手法（木杭の周面支持力の安全率を4としている）では、他工法のボックスカルバート基礎の経済比較をしても、他工法の基礎より割高で、木杭の使用に繋がっていない。

そこで、佐賀県の委託を受けた佐賀大学において木杭の周面摩擦力に関する安全率の実証的研究を行い、軟弱地盤における木杭の有用性について証明がなされたところである。この研究成果に基づき、平成17年10月に、「水路用ボックスカルバートの木杭－底盤系基礎設計マニュアル」を作成し、運用しているところである。

今回、木杭基礎の利用の多いプレキャストL型擁壁についても、水路用ボックスカルバートの木杭と同様に、（財）佐賀県土木建築技術協会、（社）佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会、佐賀県の協働により、木杭－底盤系基礎（構造物に作用する地盤反力と木杭の周面に作用するせん断力とで荷重を支持する基礎）を適用し、本設計マニュアルを作成した。

本設計マニュアルは佐賀県独自の設計手法であり、今後、コスト縮減、公共工事における県産木材の利用に寄与するものと期待している。

平成20年9月  
佐賀県県土づくり本部  
建設・技術課

## まえがき

木材利用研究会は、2003年5月に当協会の地盤専門部会を母体として発足しました。その後、佐賀県県土づくり本部、(財)佐賀県土木建築技術協会、佐賀大学低平地研究センターの技術者が加わって月例の研究会を重ね、2005年10月には『水路用ボックスカルバートの木杭ー底盤系基礎設計マニュアル(第1版)』を出版しました。

2007年2月には、長年使用されていた樋管基礎の木杭に対する載荷試験を行い、掘り出した木杭に対して耐力試験を実施し、耐力は原木と変わらないことを確認しました。

2007年4月からは、第1分科会を中心に、プレキャストL型擁壁の木杭ー底盤系設計マニュアル(第1版)の作成を継続して行い、今般の出版となりました。また、第2分科会で木杭ー底盤系沈下研究、第3分科会で深層混合処理工法の実態調査、第4分科会で木杭ー底盤系基礎のL型擁壁の野外フィールドによる実荷重載荷試験を実施しました。

2008年度からは、第1分科会でプレキャストL型擁壁に背面補強材を用いた木杭底盤系基礎の研究、第2分科会で水路用ボックスカルバートの木杭ー底盤系基礎～設計マニュアル～(第2版)作成、第3分科会でH19現場試験の検証継続、プレキャストL型擁壁(木杭底盤系基礎)の現場実証試験、第4分科会で木材を活用した伝統工法の継承を図るための調査を行う計画です。

近年、木材利用に関する研究会が全国的に開催されています。伝統工法の復権・継承と共に、CO<sub>2</sub>排出低減の環境配慮の観点からも注目されています。また、県産材活用へつながる研究として、地域振興にも貢献できればと考えており、木材利用研究会を継続していきたいと思えます。

今般のマニュアル原案をまとめるにあたっては、元 佐賀県県土づくり本部建設・技術課平信利氏、岩永忠則氏、蘭信助氏、現 下川智志氏、権藤保明氏、中山正一郎氏、佐賀県生産振興部林業課吉良孝広氏、下野智昭氏、元佐賀県林業試験場山浦好幸氏、現 山口修氏、富士大和森林組合松原秀氏、姉川紀之氏、(財)佐賀県土木建築技術協会土井正伸氏、佐賀大学低平地研究センター日野剛徳氏、(株)軟弱地盤研究所三浦哲彦氏、外関係各位に大変お世話になりました。記して感謝の意を表します。

平成20年9月

(社)佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会  
会長 黒田勲夫

# 目 次

1. 本設計マニュアルの基本的な考え方	1
1.1 背景・概要	1
1.2 基本的条件	2
1.3 荷重の考え方	4
1.4 木杭末口径の考え方	6
2. 木杭－底盤系基礎の選定と支持機構	8
2.1 対象とする擁壁の種類	8
2.2 木杭－底盤系基礎の選定フロー	9
2.3 木杭－底盤系基礎の支持機構	10
2.4 木杭周面支持力の現場確認	11
3. 基礎の設計	13
3.1 支持力検討フロー	13
3.2 木杭－底盤系基礎の支持力	14
3.3 基礎地盤の鉛直支持力算定	16
3.4 木杭の鉛直周面支持力算定	22
3.5 基礎地盤の水平支持力算定	23
3.6 木杭－底盤系基礎の設計	24
4. 材料特性	28
4.1 木材の基本特性	28
4.2 木材の特徴	30
4.3 木材の耐久性	31
4.4 地盤定数	34
5. 基礎設計に関する構造細目	38
5.1 プレキャストL型擁壁寸法	38
5.2 木杭の配置パターン例	39
6. 施工時の留意事項	40
むすび	41
参考文献	42
参考資料①（木杭の末口径の頻度分布）	43
参考資料②（既設歩道部擁壁背面土の現場確認試験例）	47
計算事例	
計算事例Ⅰ 歩道部擁壁（壁高1.2m）	48
計算事例Ⅱ 一般部擁壁（壁高2.0m）	53

## 本マニュアルで使用する記号リスト

	単位	ページ数
$A$ : 木杭の断面積	(mm <sup>2</sup> )	27
$A_e$ : 有効載荷面積 ( $A_e = B_e \cdot L$ )	(m <sup>2</sup> )	16,19,21,23
$B$ : L型擁壁のフーチング幅	(m)	5,14,16,17,19,21,25
$B_e$ : フーチングの有効載荷幅	(m)	14,16,19,21
$B_{H0}$ : 歩道幅員	(m)	9
$c$ : 基礎底面下地盤の粘着力	(kN/m <sup>2</sup> )	16,17,19,21
$c_B$ : 基礎底面と地盤との間の付着力	(kN/m <sup>2</sup> )	23
$D_f$ : 基礎の有効根入れ深さ		16,17,19,21
$D_f'$ : 良質地盤への根入れ深さ		16
$E$ : 木杭のヤング (弾性) 係数	(kN/m <sup>2</sup> )	27
$E_0$ : 地盤の変形係数	(kN/m <sup>2</sup> )	27
$e_B$ : フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量	(m)	16,19,21,24,25
$F_{Hb}$ : 基礎地盤の水平支持力に関する安全率 (=1.5)		15,23
$F_{Vb}$ : 基礎地盤の鉛直支持力に関する安全率 (=3)		14
$F_{Vp}$ : 木杭の鉛直周面支持力に関する安全率 (=1.5)		22
$f_i$ : $i$ 番目土層の周面摩擦力度	(kN/m <sup>2</sup> )	22,35
$H$ : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの水平荷重	(kN)	13,15,18,27
$H_L$ : L型擁壁の壁高	(m)	5,9
$H_p$ : 木杭に作用する水平荷重	(kN)	27
$H_{pi}$ : $i$ 番目木杭に作用する水平荷重	(kN)	27
$I$ : 木杭の断面2次モーメント	(m <sup>4</sup> )	27
$i$ : 衝撃係数		4
$i_c, i_q, i_\gamma$ : 荷重傾斜に関する補正係数		21
$K_H$ : 水平方向地盤反力係数	(kN/m <sup>3</sup> )	27
$L$ : L型擁壁の1基当たりの延長	(m)	16,19,21
$L_i$ : $i$ 番目土層の層厚	(m)	22
$L_p$ : 木杭長さ	(m)	22
$M_{max}$ : 木杭に生じる地中部最大モーメント		27
$N_c, N_q, N_\gamma$ : 支持力係数		17,19,21
$n_p$ : 木杭本数	(本)	13,22,25,27
$q_L$ : 上載荷重	(kN/m <sup>2</sup> )	4,5
$q$ : 底盤地盤に作用する上載荷重	(kN/m <sup>2</sup> )	16
$q_u$ : 基礎地盤の極限鉛直支持力度	(kN/m <sup>2</sup> )	21
$q_{Vba}$ : 基礎地盤の許容鉛直支持力度	(kN/m <sup>2</sup> )	19
$R_{Hb}$ : 基礎底面と地盤との間のせん断抵抗力	(kN)	15,23
$R_{Hba}$ : 基礎地盤の許容水平支持力	(kN)	15,23,27
$R_{Hbp}$ : 木杭-底盤系基礎の許容水平支持力	(kN)	13,15

$R_{Hpa}$	: 木杭の許容水平支持力	(kN)	15
$R_{Vba}$	: 基礎地盤の許容鉛直支持力	(kN)	13,14,19,24
$R_{Vbp}$	: 木杭-底盤系基礎の許容鉛直支持力	(kN)	13,14
$R_{Vbu}$	: 基礎地盤の極限鉛直支持力	(kN)	14,16,21
$R_{Vpa}$	: 木杭の許容鉛直周面支持力	(kN)	14
$R_{Vpai}$	: $i$ 番目の木杭の許容鉛直周面支持力	(kN)	22,24,25
$R_{Vpai}'$	: 擁壁設置時の $i$ 番目の木杭の許容鉛直周面支持力	(kN)	13,24
$R_{Vpui}$	: $i$ 番目の木杭の極限鉛直周面支持力	(kN)	22
$S_c, S_q, S_\gamma$	: 寸法効果に関する補正係数		17
$U$	: 木杭周長 (末口)	(m)	22
$V$	: 基礎底面に作用する擁壁1基当たりの鉛直荷重	(kN)	13,14,18,24
$V'$	: 擁壁設置時に基礎コンクリート底面に作用する鉛直荷重	(kN)	13
$V_p$	: 木杭に作用する鉛直荷重	(kN)	24,25
$V_{pi}$	: $i$ 番目の木杭1本に作用する鉛直荷重	(kN)	25
$W_{d1}$	: L型擁壁自重	(kN)	4,5,13
$W_{d2}$	: 裏込め土重	(kN)	4,5
$W_{d3}$	: 基礎コンクリート自重	(kN)	4,5,13
$W_{d4}$	: 基礎コンクリート上の土重	(kN)	4,5
$W_{d5}$	: 基礎コンクリート上の土重	(kN)	4,5
$W_s$	: 主働土圧	(kN)	4,5
$W_{th}$	: 活荷重による側圧	(kN)	4,5
$x_i$	: フーチング幅 $B$ の中心から各杭中心までの水平距離	(m)	25
$Z$	: 木杭の断面係数	(mm <sup>3</sup> )	27
$\alpha, \beta$	: 形状係数		16,19,21
$\beta_0$	: 木杭の特性値	(m <sup>-1</sup> )	27
$\phi$	: 土の内部摩擦角	(°)	18
$\phi_0$	: 木杭の元口径	(m)	22,39
$\phi_B$	: 基礎底面と地盤との間の摩擦角 (粘性土の場合、考慮しない)	(°)	23
$\phi_e$	: 木杭の末口径	(m)	22,27,40
$\gamma_1$	: 基礎底面下地盤の単位体積重量	(kN/m <sup>3</sup> )	16,19,21
$\gamma_2$	: 基礎底面より上方地盤の単位体積重量	(kN/m <sup>3</sup> )	16,19,21
$\eta$	: 基礎の寸法効果に関する補正係数		21
$\kappa$	: 根入れ効果に関する割増し係数		16
$\lambda, \nu, \mu$	: 寸法効果の程度を表す係数		17
$\sigma_{ca}$	: 木杭の許容曲げ圧縮応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	27,28
$\sigma_{ba}$	: 木杭の許容曲げ引張応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	27,28
$\sigma_b$	: 木杭の曲げ圧縮 (引張) 応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	27

# 1. 本設計マニュアルの基本的な考え方

## 1.1 背景・概要

佐賀沖積平野の軟弱地盤上に高さ2m程度以下のプレキャストL型擁壁工を計画する場合、種々の基礎工が使用され、その中でも全体の約70%を木杭基礎が占めている（p.3 図1.2参照）。

しかし、木杭基礎工に関する統一的な設計手法がなかったことから早急な設計マニュアルの作成が望まれている。

機能を損なわない程度の沈下が許容できる構造物に対して周面支持杭を使用した場合は、鉛直変位が小さいときには主に木杭が支持力を発揮し、変位増大に伴って構造物底盤の支持力分担は大きくなることわかっている<sup>1),2),3),4)</sup>

（p.10 図2.3参照）。この基礎形式は木杭－底盤系基礎と呼ばれており、フローティング基礎の一種である。

本設計マニュアルで取り扱うプレキャストL型擁壁においても「水路用ボックスカルバートマニュアル<sup>5)</sup>」と同様に、安全性を低下させることなく、工事費の節減を図ることを目的として、木杭－底盤系基礎を採用した設計法を提案する。

これまで、粘土地盤中の木杭の支持力を実測した例は少ないが、木材利用研究会では既設ボックスカルバートの基礎として使われてきた木杭を対象に、載荷試験を行った。また、本基礎形式の機能を実際に確かめ、より合理的な工法を開発することを目的として、平成19年11月野外フィールドにおいて、木杭－底盤系基礎のL型擁壁（擁壁高2.0m）の実荷重載荷試験を行った。そしてトラック荷重（20t）をかけたときの杭頭反力、壁面土圧、補強材（ジオグリッド）を併用した場合の補強材の応力・ひずみ等を観測した<sup>6)</sup>。

さらに、木材の供給側と計画・使用側との間に木材寸法に関するミスマッチのあることが判明した（p.6参照）。本設計マニュアルでは、木材の流通における問題についても言及し、木材の効率的な利用を促進していきたい。

## 1.2 基本的条件

本設計マニュアルが対象とするのは、施工実績の多い擁壁高0.6～2.0mのプレキャストL型擁壁である（図1.2、図1.3）。高さ0.6～2.0mのL型擁壁の中で幅員2m以上の歩道部に設置される壁高1.2m以下のものについては、以下のことを踏まえて設計では土圧力と活荷重による側圧を考慮しないものとする。

- ①幅員2m以上の歩道に設置する壁高1.2m以下の擁壁においては、擁壁底版背から立ち上げた荷重影響線は歩道内に収まり、擁壁の安定計算に輪荷重が影響しないこと（図1.1参照）。

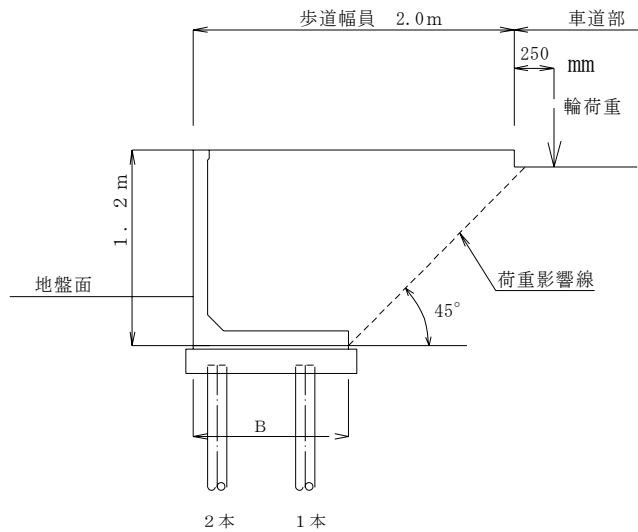


図1.1 歩道部擁壁に作用する活荷重

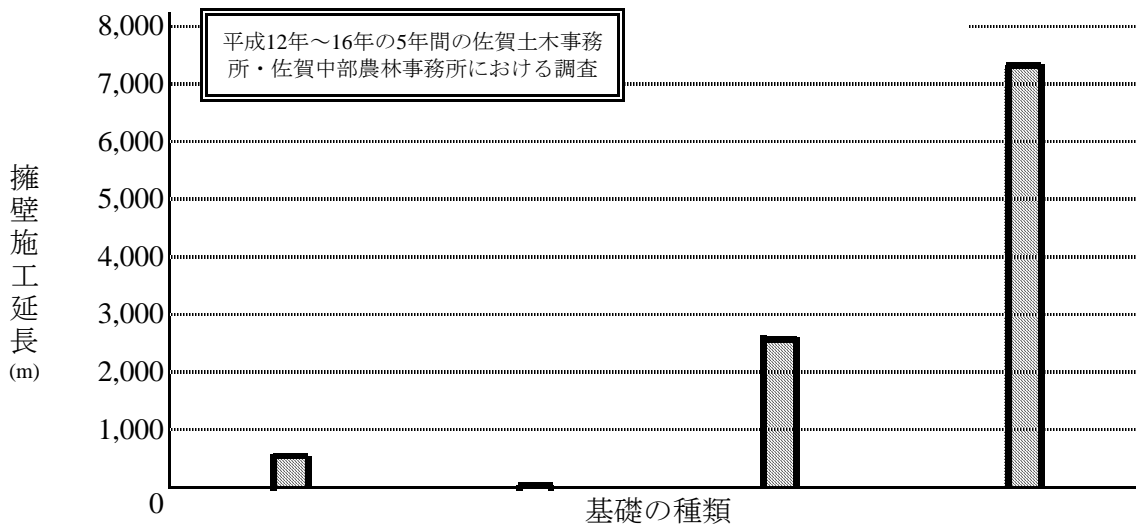
- ②擁壁背面土は幾らかの粘着力を有し、これによる土の自立高が期待できること（参考資料②参照）。
- ③荷重偏心を考慮した計算手法による木杭－底盤系基礎の支持力は、木杭の本数ならびに長さについて、これまで施工された木杭基礎と比べて過大となること。（試算によれば、歩道部設置の壁高1.2mの擁壁において、土圧力と活荷重による側圧を考慮した計算手法の木杭－底盤系基礎では木杭末口径12cm、本数3本、長さ4.0mとなり、これまで施工された木杭基礎と比べて過大となる。）

以上より、本設計マニュアルで対象とするプレキャストL型擁壁は次の2種類とする。

- ・歩道幅員2m以上の歩道に設置の壁高1.2m以下の擁壁（以下、歩道部擁壁という）
- ・上記以外の壁高2m以下の擁壁（以下、一般部擁壁という）

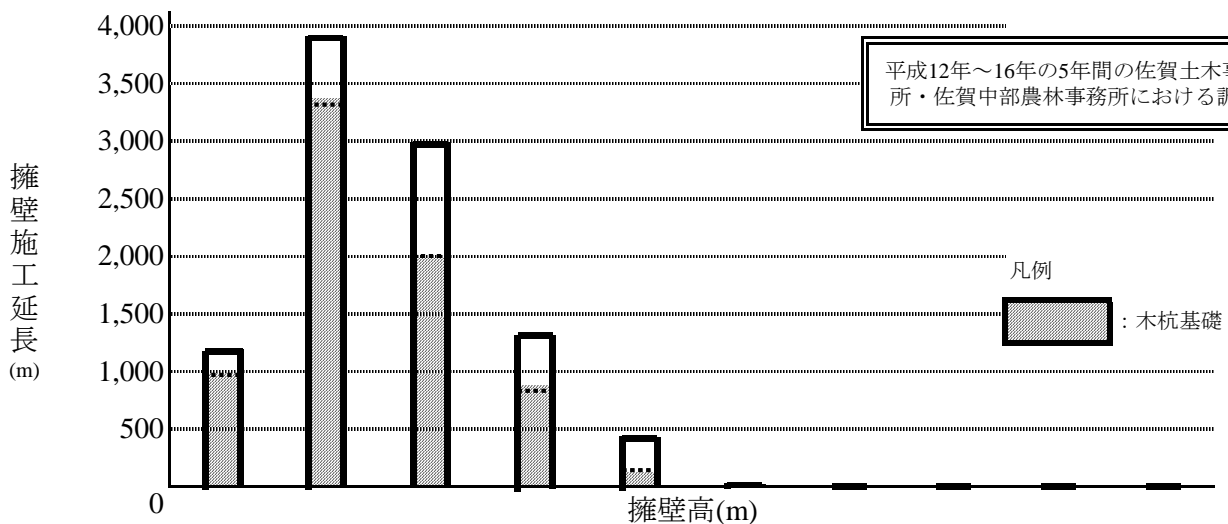
本設計マニュアルに記載されていない事項に関しては「道路土工擁壁工指針」および関連する基準書等（道路橋示方書、土地改良事業計画設計基準、建築基礎構造設計指針）を準用するものとする。





基礎の種類	直接基礎	深層混合処理基礎	浅層混合処理基礎	木杭基礎	合計
擁壁延長(m)	588	40	2,637	7,317	10,582
比率	5.6%	0.4%	24.9%	69.1%	100%

図1.2 L型擁壁の基礎別施工実績



擁壁高(m)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	合計	
擁壁延長(m)	1,186	3,887	2,973	1,339	462	189	121	69	68	70	10,364	
比率	11.4%	37.5%	28.7%	12.9%	4.5%	1.8%	1.2%	0.7%	0.7%	0.7%	100%	
基礎形式別内訳	直接基礎	123	210	232	23						588	
	比率	10.4%	5.4%	7.8%	1.7%						-	
	深層混合								8	10	18	
	比率								44.4%	55.6%	-	
	浅層混合	72	354	704	593	286	132	111	69	60	60	2,441
	比率	6.1%	9.1%	23.7%	44.3%	61.9%	69.8%	91.7%	100.0%	88.2%	85.7%	-
	木杭基礎	991	3,323	2,037	723	176	57	10				7,317
	比率	83.6%	85.5%	68.5%	54.0%	38.1%	30.2%	8.3%				-
比率合計	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				-	

図1.3 L型擁壁の壁高別施工実績

## 1.3 荷重の考え方

### (1) 荷重の種類

表1.1 荷重の種類（プレキャストL型擁壁）

項 目		擁壁本体の 断面計算	本マニュアル	
			歩道部擁壁の 基礎の計算	一般部擁壁の 基礎の計算
死 荷 重	プレキャストL型擁壁自重 $W_{d1}$	○	○	○
	裏込め土重 $W_{d2}$	○	○	○
	基礎コンクリート自重 $W_{d3}$	○	○	○
	基礎コンクリート上の土重 $W_{d4}, W_{d5}$	×	×注1	×注1
活 荷 重	L型擁壁上の活荷重 $q_L$	○	○注2	○注4
	活荷重による側圧 $W_{th}$	○	×	○
	衝撃係数 $i$	×	×	×
土 圧	主働土圧（試行くさび法） $W_s$	○	×	○
	静止土圧	×	×	×
	受働土圧	×	×	×
残 留 水 圧		×	×	×
浮 力		×	×	×
風 荷 重		×	×	×
衝突荷重		×	×注3	×注3
地震の影響		×	×	×

○：必ず考慮する荷重

×：考慮する必要のない荷重

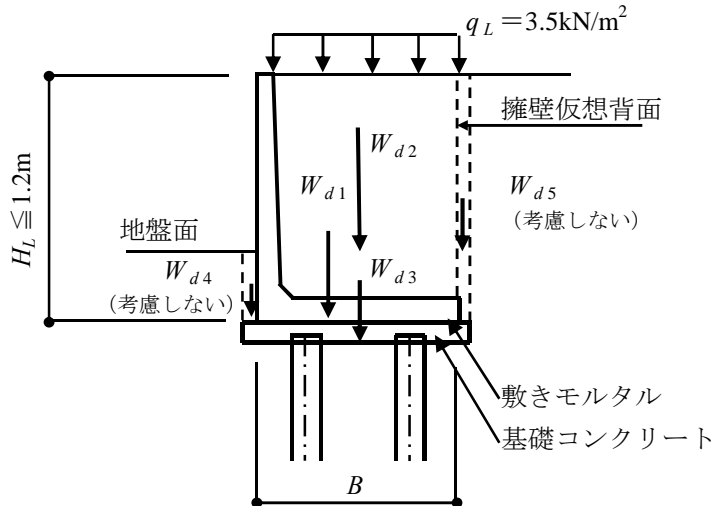
注1：当荷重を考慮して底盤の許容鉛直支持力を基礎コンクリート幅で算出した場合、木杭に作用する荷重が小さくなる。このため、安全側の設計として次頁に示すように擁壁底版幅 $B$ を載荷幅として基礎コンクリート上の土重 $W_{d4}$ と $W_{d5}$ （図1.4参照）は考慮しない。

注2：L型擁壁の壁背面からフーチング後端までの範囲に載荷する群集荷重を考慮する。

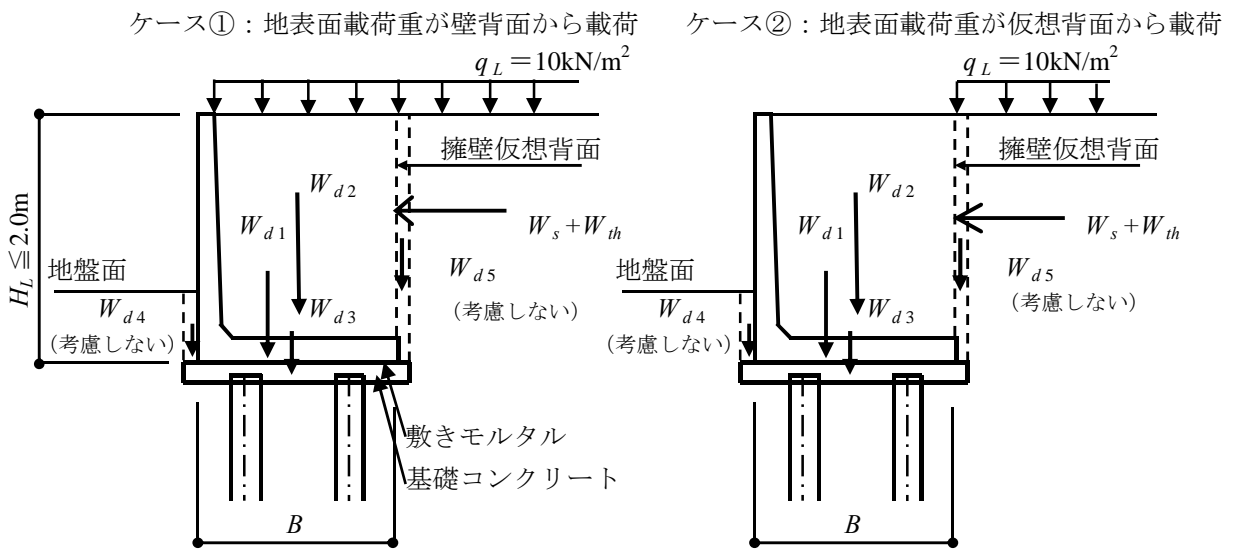
注3：L型擁壁の頂部に車両用防護柵などを設ける場合、その位置は擁壁から離して設置するものとし、防護柵に作用する衝突荷重は考慮しない。

注4：上載活荷重 $q_L$ の載荷位置は、安定計算上最も不利な位置に載荷する必要がある。このため、一般部擁壁では図1.4のケース①およびケース②の両方で計算を行う。

(a) 歩道部擁壁の場合



(b) 一般部擁壁の場合



$H_L$  : プレキャストL型擁壁の壁高 (m)

$B$  : プレキャストL型擁壁のフーチング幅 (m)

図1.4 擁壁基礎の安定計算に用いる荷重

## (2) 活荷重

L型擁壁基礎検討用の上載活荷重としては、“道路土工 擁壁工指針” p.26を準用し、下記のように定める。

### a) 車道部

設計に用いる上載荷重は、活荷重などを考慮した分布荷重 $q_L = 10(\text{kN/m}^2)$ とする。

### b) 歩道部

歩道には群集荷重として $q_L = 3.5(\text{kN/m}^2)$ を載荷する。

## 1.4 木杭末口径の考え方

### (1) これまでの考え方

#### a) これまでの木杭の末口径の取り扱い方

木杭の末口径については、これまで次のように取り扱われてきた。

##### 【木杭設計者・工事発注者】

・農林水産省の積算基準(バックホウ使用)に基づき末口径9cm、12cm、15cm、18cmで長さ2.0m～8.0mの木杭を設計するケースが多い。

##### 【木杭供給者】

・木杭供給者は下記の呼び名の木杭を供給している。

表1.2 供給木杭の呼び名とその末口径範囲

呼び名 (cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22
末口径 範囲 (cm)	7.0 ～ 7.9	8.0 ～ 8.9	9.0 ～ 9.9	10.0 ～ 10.9	11.0 ～ 11.9	12.0 ～ 12.9	13.0 ～ 13.9	14.0 ～ 15.9	16.0 ～ 17.9	18.0 ～ 19.9	20.0 ～ 21.9	22.0 ～ 23.9

#### b) 現状の問題点

以下のような、木杭の生産・流通と設計・施工とに齟齬が認められる。

・工事施工者は、設計図書に基づき木杭の購入を行うが、木杭の設計値に対し、出来形不足とならないように、設計値以上の木杭の確保を供給体制に関係なく木杭生産者に求める状況にある。結果的に、流通の末口径と設計発注の末口径に差があるので、仕分け作業の追加や指定末口径より大きい木杭を提供している。

・また、長さについては木杭で5.0mが指定される場合や、胴木等で4.3mが指定されると、6.0mの木材を購入して1.0mないし1.7mを切り落として生産を行っている状況であり、不経済である。

## (2) 今後の考え方

### a) 木杭末口径の頻度分布調査の実施

供給側における木材生産の実態を調べるために、富士大和森林組合に依頼して各種長さ、末口寸法の木材について調査を実施した。調査対象としたのは、長さ3mおよび4mにおいては末口径が12cm、13cm、14cm、16cm、および18cm、長さ6mにおいては末口径が14cm、16cm、および18cmである。これらについて元口の直径についても測定した。今回の調査により、設計者が末口径14cmと指定したときは、実際の木杭の平均末口径は中央値15cmを超えることが明らかとなった。同じように他の全ての末口径においても平均値は中央値を越えることが判明した。(参考資料①)ただし、このデータは、末口径の長径、短径を全データとして取り入れたものである。

### b) 木杭の供給状況と木杭末口径調査を踏まえた設計末口径について

木杭の供給状況と木杭末口径調査を踏まえ、呼び名に対する設計計算末口径は表1.3の通りとする。

表1.3 木杭の呼び名と設計計算末口径

呼び名 (cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22
設計計算末口径 (cm)	7	8	9	10	11	12	13	15	17	19	21	23

：現在設計・発注にて採用されている末口径

注) 呼び名14cm以上の設計計算末口径が1cm大きく設定しているのは、参考資料①にて、表1.2供給木杭の呼び名に対する末口径範囲の中央値が呼び名を1cm以上上回ること、木杭の元口径と末口径の平均径は全て1cm以上となっていること、による。

## (3) 留意事項

- ①長さについては、原則として標準生産されている2m、3m、4mで設計する。木杭の設計上6mが必要な場合には、工事発注後において早めに木杭生産者等に調達依頼を行う必要がある。
- ②胴木基礎などにおいては、原則として長さ4.0m(繋ぎ代を含む)を指定する。
- ③使用する樹種によって末口径に対する元口径の寸法が異なることに留意する必要がある。すぎ材では、末口から元口にかけて直径が大きくなる傾向はおおむね一定して変わらない。まつ材では、末口からある距離までは直径の変化はやや緩く、元口に近くなると直径の変化は末口付近に比べると急になる傾向がある。
- ④末口径に対する元口径の計算値は、参考資料として添付したすぎ材に対する実測元口径とは大きく異なる。実際に使用する材料寸法の選定に当たって日本農林規格の式を使う場合には③に述べたように樹種によって式の適用性に違いのあることに配慮する必要がある。

## 2. 木杭一底盤系基礎の選定と支持機構

### 2.1 対象とする擁壁の種類

対象とする擁壁の種類は、下表の□（太い実線）で囲んだものとし、道路用、農道用、宅地造成用については、道路土工 擁壁工指針(H11.3)の図1-1における擁壁の分類のうちプレキャストL型擁壁を対象としている。また、基礎工法については、沖積粘性土地盤における「木杭一底盤系基礎」を対象としている。

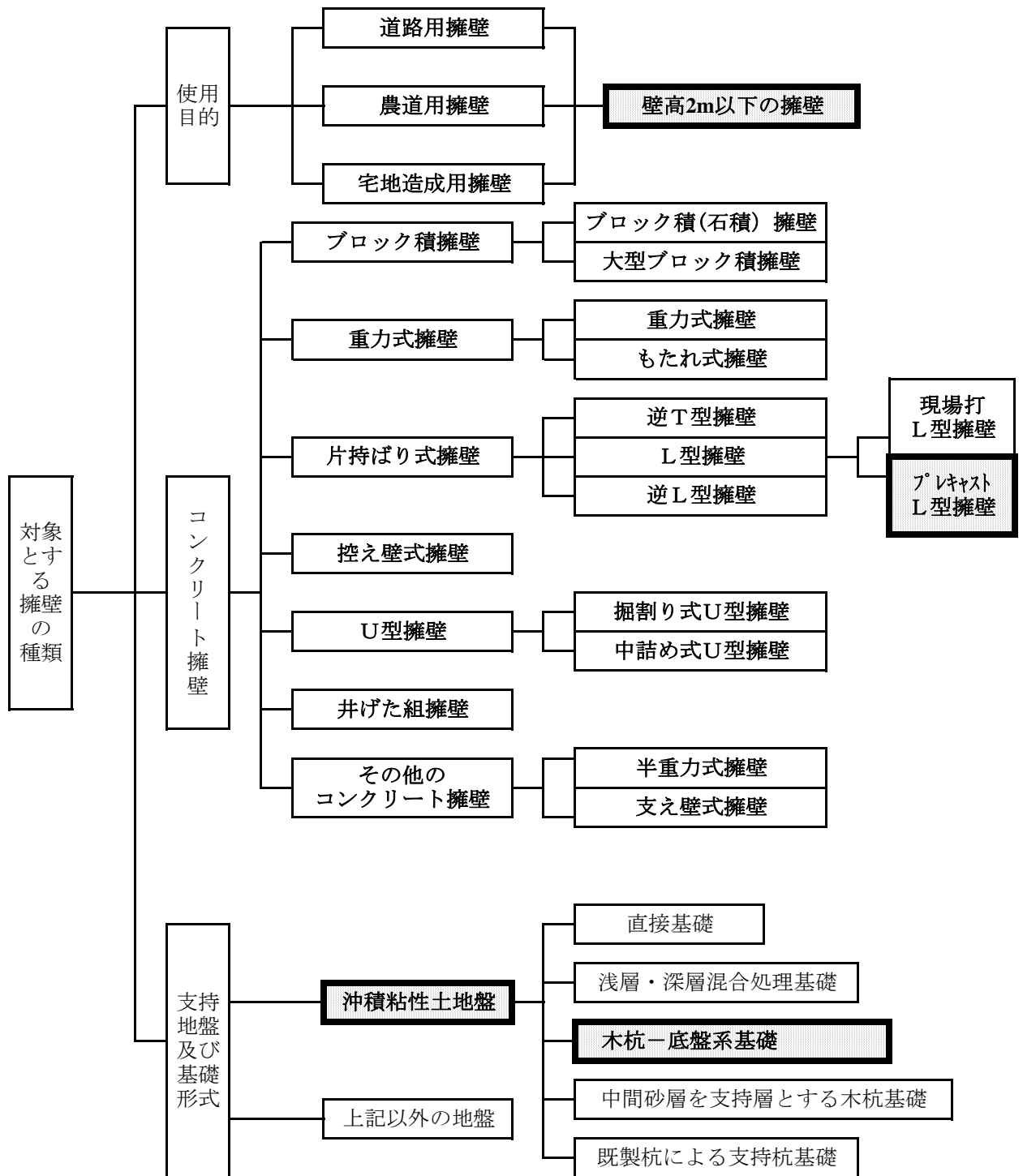


図2.1 対象とする擁壁の種類

## 2.2 木杭－底盤系基礎の選定フロー

木杭－底盤系基礎の選定フローを以下に示す。木杭－底盤系基礎は次項“2.3木杭－底盤系基礎の支持機構”で述べるように、構造物の機能を損なわない程度の沈下（擁壁製品間の不同沈下や擁壁前面への傾斜などの発生により、外観上、目立った擁壁の変状が発生しない程度の沈下）を許容した基礎形式である。

本設計マニュアルの対象とするプレキャストL型擁壁は次の2種類とする。

- ・歩道幅員2m以上の歩道に設置の壁高1.2m以下の擁壁（以下、歩道部擁壁という）
- ・上記以外の壁高2m以下の擁壁（以下、一般部擁壁という）

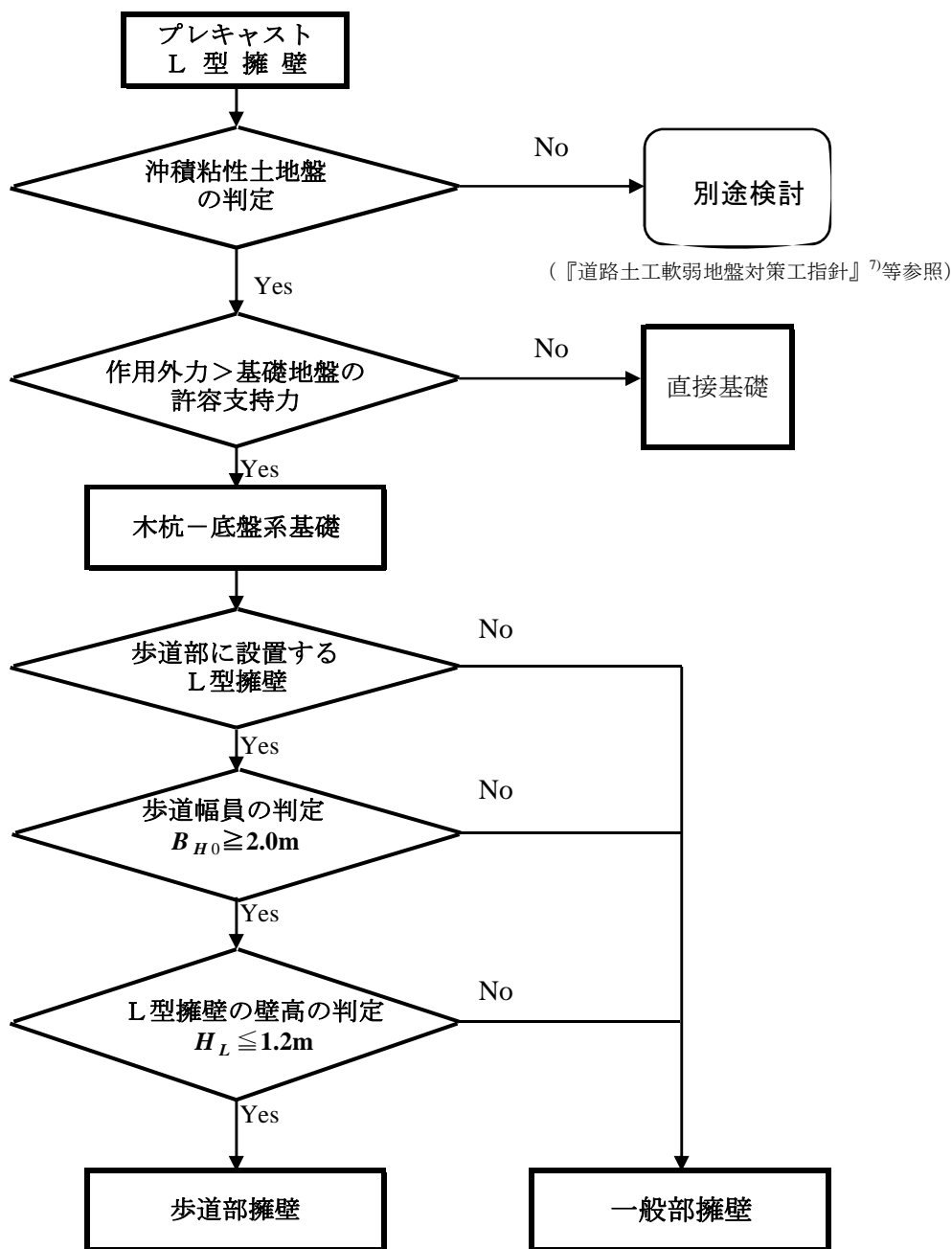


図2.2 木杭－底盤系基礎選定フロー

## 2.3 木杭－底盤系基礎の支持機構

### (1) 木杭－底盤系基礎の支持力発現

木杭の周面支持力ならびに底盤支持力の現れ方は、地盤の変位によって大きく異なる。図2.3は、変位に伴う底盤地盤支持力と木杭の周面支持力の発現の様子を模式的に示したものである<sup>2)</sup>。同図に示すように、底盤の支持力は一般に地盤の変位に伴って大きくなり木杭の周面支持は比較的小さな変位の間にピークに達し一定値を保つ特性を有している。これに対し、木杭－底盤系基礎は底盤基礎と木杭基礎それぞれの支持力を重ね合わせた支持力にほぼ等しいものとなっている。

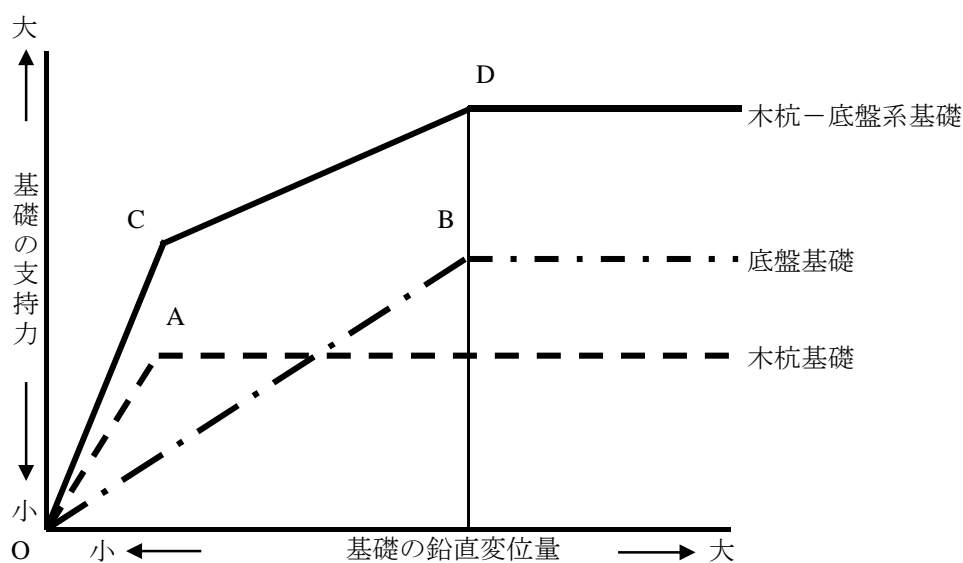


図2.3 木杭－底盤系基礎の支持力発現の模式図

### (2) 本設計マニュアルの考え方

前項(1)の支持力発現の支持機構から、本設計マニュアルでは木杭－底盤系基礎の支持力計算は次の考え方に基づいて行う。

木杭－底盤系基礎の支持力計算では、簡便的に木杭周面支持力と底盤支持力がそれぞれに極限支持力を発揮しているものと考え、それぞれの極限支持力を重ね合わせて求めるものとする。

計算手順は、外力に対する基礎地盤の支持力不足を木杭の周面摩擦力により補完すると考え、まず底盤支持力を計算し、不足支持力を木杭の周面支持力で補うという手順で行う。また、木杭の周面支持力と底盤地盤支持力のそれぞれについて独立の安全率を設定する。



## 2.4 木杭周面支持力の現場確認

平成19年1月、木材利用研究会では、施工後約45年経過した樋門基礎の鉛直載荷試験を実施した<sup>8)</sup>。

当地は、佐賀県南部の白石町大字戸ヶ里、二級河川廻里江川1k500付近左岸に位置する3連樋門（1.6m×1.7m×3連、 $L=10\text{m}$ 、基礎木杭末口径約18cm長さ8m）であり、樋門改築が計画されていた。既設樋門の取壊し前に、中央函渠部において鉛直載荷試験（1ヶ所）を行った。地質特性は図2.4に示すように、N値0のシルト層が約14m、その下にN値10程度の軽石混じり火山灰質砂層が堆積している。

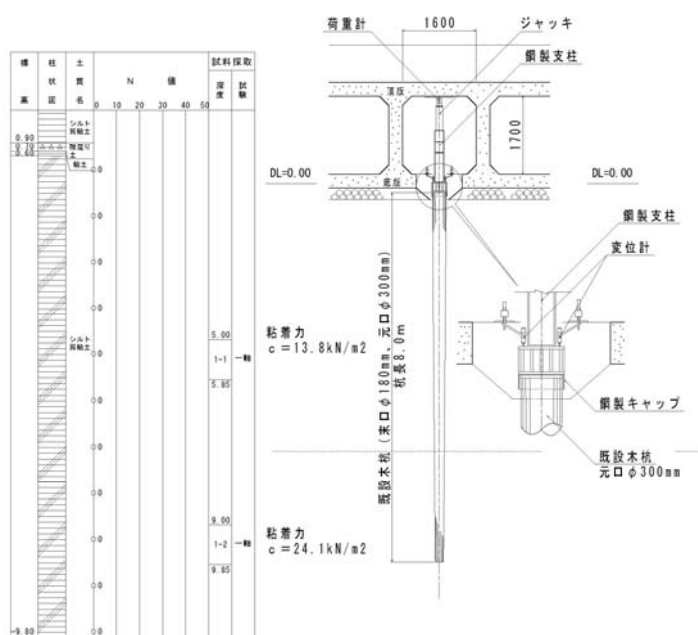


図2.4 鉛直載荷試験の概要

### (1) 鉛直載荷試験

反力荷重として樋門函渠頂版を使用し、分離式オイルジャッキで荷重を段階的に繰り返し載荷する（多サイクル）方式を採用した。試験の手順は以下のようであった。

- ①河川部と川裏水路部の間を締め切り、木杭推定位置の底盤のコンクリートはつりをを行い、木杭を確認した。底版下面には、砕石がのろ等により硬化していたのでピックで入念に解した。
- ②木杭頭部の上面3cmほど傾斜していたので早強コンクリートで水平面を形成した。
- ③杭頭部の変形や座屈防止のため鋼製円筒のキャップを密着して載せ、杭頭部の保護と水平面の確保を図った。
- ④円形鋼板上にジャッキを置き、球座を介して荷重計をセットした。函渠頂版を反力体として、支柱をセットした。
- ⑤基準スタンドにロッドを固定し、マグネットベースを取り付けて変位計を円形鋼板にセットした。
- ⑥円形鋼板と杭頭をなじませるために、初期荷重を超えない範囲で予備載荷を3回繰り返した。
- ⑦多サイクル載荷方式における初期荷重の保持時間を各荷重30分間とし、除荷及び再載荷においては保持時間を5分間とした。表2.1に載荷荷重段階を示す。

表2.1 載荷荷重段階表

	荷重段階 (kN)
予備載荷	0.0→8.0→0.0→8.0→0.0→8.0→0.0
本載荷	0.0→15.0→30.0→45.0→60.0→75.0→90.0→105.0→120.0→135.0→150.0

(2) 極限支持力・降伏荷重の判定

図2.5のlog(P)～S曲線において、105.0kN付近まではほぼ直線を描いているが、その後急激な沈下状況が見られ、約140kNで30mmに達し、その後50mm以上の沈下量となった。通常、沈下量が30mmに対する荷重を極限支持力とするが、今回は135.0kN付近で縦軸に平行に近い状態になったのでこれを極限支持力と判定した。次に、図2.6のlog(P)～log(S)曲線において、110.0kN付近より急激な沈下状況が見られ、変曲する点（降伏荷重）が確認された。

以上により、極限支持力は135.0kN、降伏荷重は110.0kNと判定した。

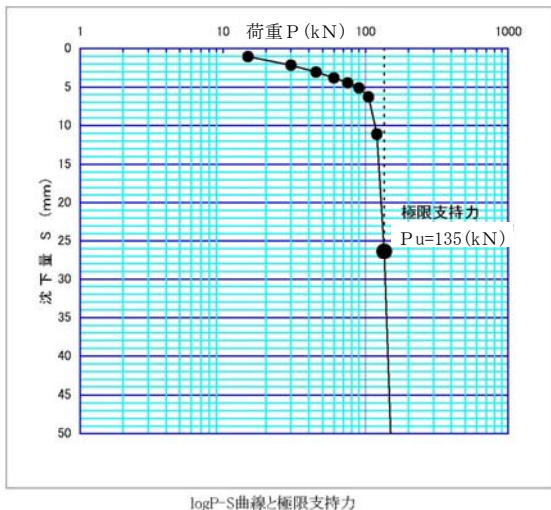


図2.5 log(P)-S曲線図

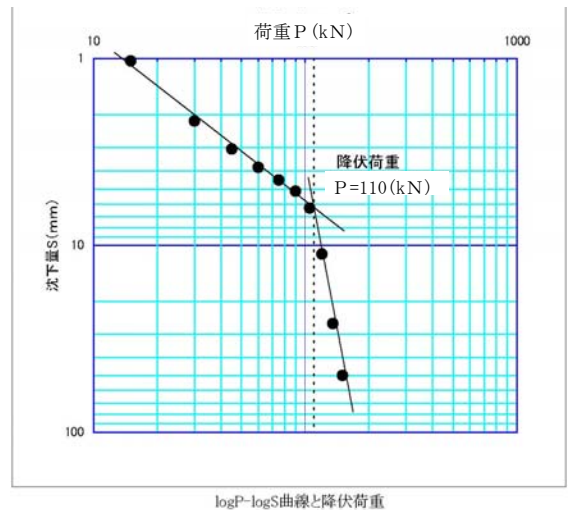


図2.6 log(P)-log(S)曲線図

(3) 結論

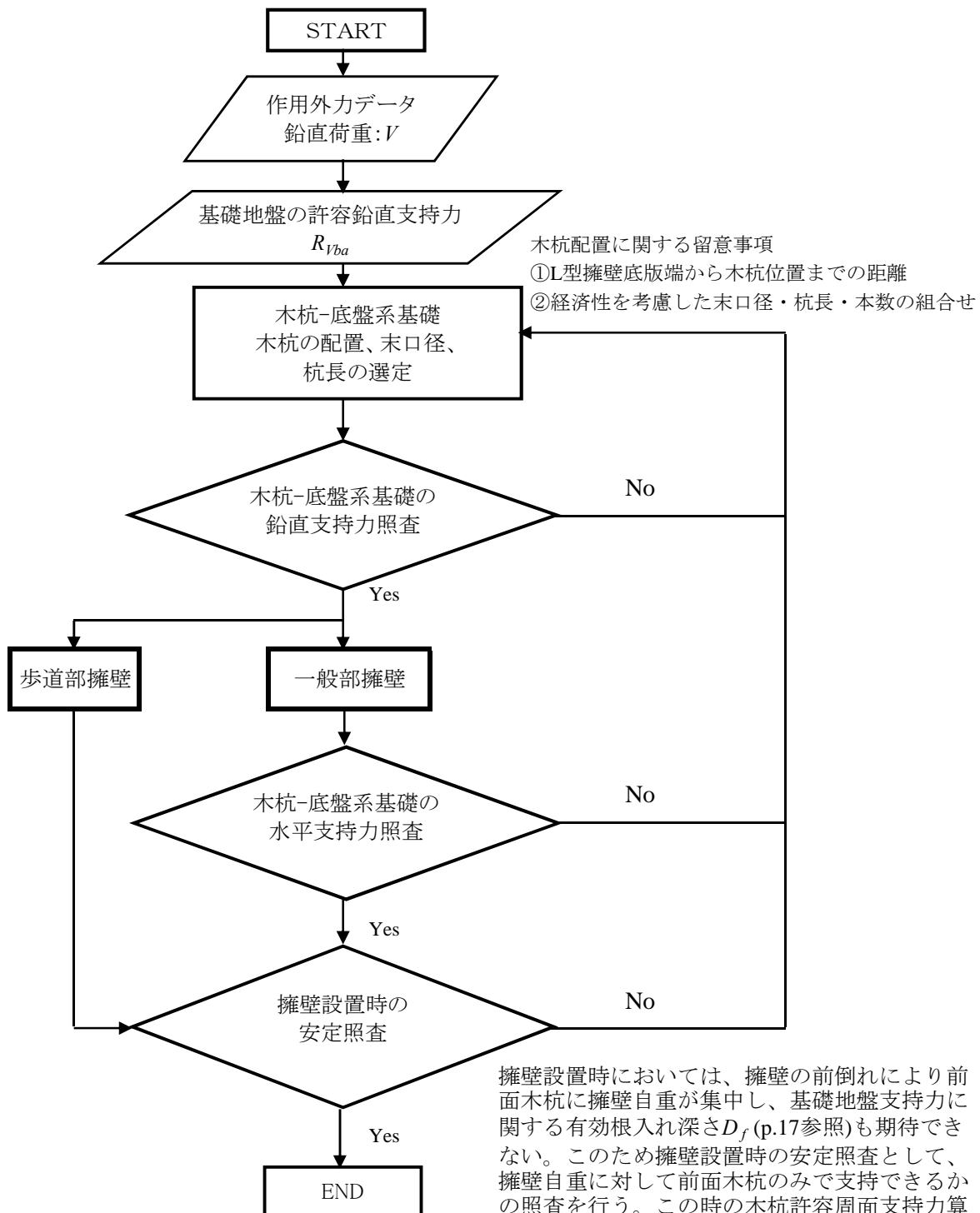
現地土質試験結果を基に本設計マニュアルに従って算出した木杭1本当たりの極限支持力は98kNであった。木杭1本当たりの許容支持力では、実質上 $1.5 \times 135.0 / 98.0 = 2.0$ 程度の安全率が見込まれていたことになる。

試験後に引き抜いた木杭表面には厚さ1cm程度の粘土付着が認められた。この付着確認により、木杭周面直近での粘土面の破壊が推定され、木杭の周面摩擦力度は、粘土の粘着力とほぼ同等との判断もできた<sup>8)</sup>。

### 3. 基礎の設計

#### 3.1 支持力検討フロー

支持力は下記フローにより検討する。



注) ・ 擁壁設置時荷重 $V' = W_{d1} + W_{d3}$

$V'$  : 擁壁設置時に基礎底面に作用する鉛直荷重

$W_{d1}$  : L型擁壁自重 (1基当たり)

$W_{d3}$  : 基礎コンクリート自重

$n_p$  : 木杭本数(本)

$R_{Vpai}'$  : 擁壁設置時の木杭1本の許容鉛直周面支持力

図3.1 支持力検討フロー

### 3.2 木杭－底盤系基礎の支持力

木杭－底盤系基礎の計算は、底盤支持力を計算して不足支持力を木杭の周面支持力で補うという手順で行う。

#### (1) 木杭－底盤系基礎の鉛直支持力（歩道部擁壁および一般部擁壁）

木杭－底盤系基礎におけるL型擁壁の底盤下面に作用する鉛直荷重に対し、基礎地盤の支持力と木杭周面支持力の両方で支持する。このため、基礎の支持力に関しては(3.1)式～(3.3)式を満足する木杭配置が必要である。

なお、下記の式は木杭－底盤系の支持力概念を示す式であり、実際の安定計算ではp.19の「3.7 木杭－底盤系基礎の設計 (1) 鉛直支持力の基礎の設計」から求める。

$$V \leq R_{vbp} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$R_{vbp} = R_{vba} + R_{vpa} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$R_{vba} = \frac{R_{vbu}}{F_{vb}} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

- $V$  : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの鉛直荷重 (kN)
- $R_{vbp}$  : 木杭－底盤系基礎の許容鉛直支持力 (kN)
- $R_{vba}$  : 歩道部擁壁の場合：荷重の偏心を考慮しない基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)  
 一般部擁壁の場合：荷重の偏心を考慮した基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)  
 “3.3基礎地盤の鉛直支持力算定”を参照
- $R_{vbu}$  : 歩道部擁壁の場合：荷重の偏心を考慮しない基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN)  
 一般部擁壁の場合：荷重の偏心を考慮した基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN)  
 “3.3基礎地盤の鉛直支持力算定”を参照
- $F_{vb}$  : 基礎地盤の鉛直支持力に関する安全率 (=3)
- $R_{vpa}$  : 木杭の許容鉛直周面支持力 (kN)  
 “3.6木杭－底盤系基礎の設計”を参照

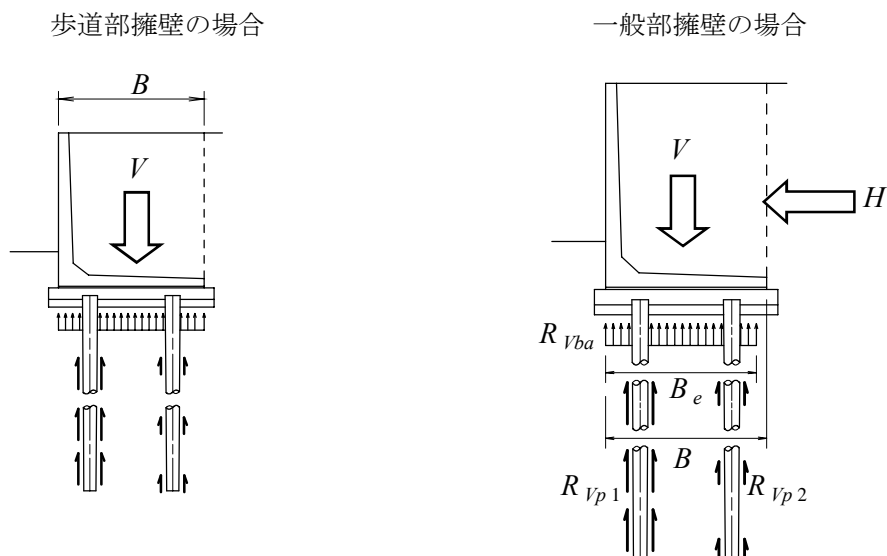


図3.2 木杭-底盤系基礎による鉛直支持力の概念図

## (2) 木杭－底盤系基礎の水平支持力（一般部擁壁）

一般部擁壁の底盤下面に作用する水平力は、偏心を考慮した基礎地盤の水平支持力と木杭の許容水平支持力の両方で支持するものとし、(3.4)式～(3.6)式を満足する木杭の配置が必要である。

(3.4)式～(3.6)式は木杭－底盤系基礎の水平支持力に関する一般式である。実際の計算では「3.7 木杭－底盤系基礎の設計（2）一般部擁壁の水平支持力の計算」によって求める。道路土工擁壁工指針<sup>9)</sup>には「杭頭変位については、橋梁基礎のように上部構造から定まる許容変位量を規定する必要がないと考えられることから、杭頭部における許容変位量は規定しないものとする。」と記述されている。本マニュアルにおいても杭頭変位量は考慮しない。また、木杭の水平許容支持力は、木杭頭部をヒンジ結合の半無限長の杭とした地中部最大のモーメントを満足する木杭本体より決まる値とする。

$$H \leq R_{Hbp} \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

$$R_{Hbp} = R_{Hba} + R_{Hpa} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

$$R_{Hba} = \frac{R_{Hb}}{F_{Hb}} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

$H$  : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの水平荷重 (kN)

$R_{Hbp}$  : 木杭－底盤系基礎の許容水平支持力 (kN)

$R_{Hba}$  : 基礎地盤の許容水平支持力 (kN)  
 “3.6基礎地盤の水平支持力算定”を参照

$R_{Hb}$  : 基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力 (kN)

$F_{Hb}$  : 基礎地盤の水平支持力に関する安全率 (=1.5)

$R_{Hpa}$  : 木杭の許容水平支持力 (kN)  
 “3.7木杭－底盤系基礎の設計”を参照

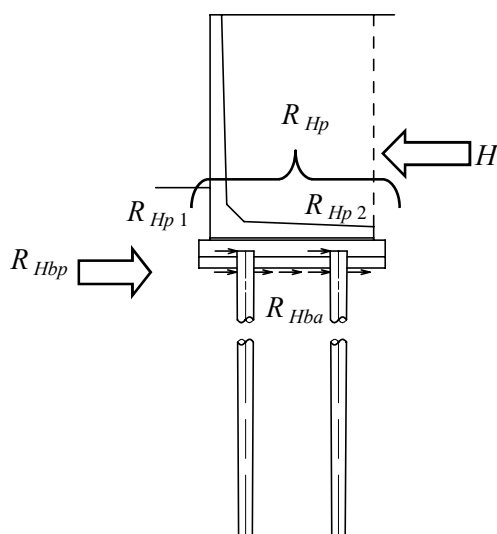


図3.3 一般部擁壁の木杭-底盤系基礎に作用する水平支持力の概念図

### 3.3 基礎地盤の鉛直支持力算定

底盤の支持力算定基準については、下記の3種類とする。

- (1) 道路橋示方書（道路用擁壁）
- (2) 土地改良事業計画設計基準（農道用擁壁）
- (3) 建築基礎構造設計指針（宅地造成用擁壁）

#### (1) 道路橋示方書による基礎地盤の鉛直支持力計算<sup>10)</sup>

$$R_{Vbu} = A_e \cdot (\alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \quad \dots\dots(3.7)$$

『道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編』(平成14年3月)pp.269-277を準用

$R_{Vbu}$  : 荷重の偏心傾斜、支持力係数の寸法効果を考慮した基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN)

$A_e$  : 有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)  $A_e = B_e \cdot L$  ただし、歩道部擁壁では  $B_e = B$  とする。

$L$  : L型擁壁1基当たりの延長 (m)

$c$  : 基礎底面下地盤の粘着力 (木杭根入れ部分の平均粘着力) (kN/m<sup>2</sup>)

$q$  : 底盤地盤に作用する上載荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_1$  : 基礎底面下地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
地下水位以下にある場合は水中単位体積重量

$\gamma_2$  : 基礎底面より上方地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
地下水位以下にある場合は水中単位体積重量

$B_e$  : フーチングの有効載荷幅 (m)  $B_e = B - 2e_B$

$B$  : L型擁壁のフーチング幅 (m)

$e_B$  : フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)

$D_f$  : 基礎の有効根入れ深さ (m)

$\alpha, \beta$  : 形状係数

表3.1 形状係数

基礎荷重面の形状	帯 状
$\alpha$	1.0
$\beta$	1.0

$\kappa$  : 根入れ効果に関する割増し係数  $\kappa = 1 + 0.3 \frac{D_f'}{B_e}$

$D_f'$  : 良質地盤への根入れ深さ (m)

本設計マニュアルでは底盤支持力を考慮しているため、根入れ部の地盤は支持地盤と同程度の地盤とし  $D_f' = D_f$  とする。

$N_c, N_q, N_\gamma$  : 支持力係数

$S_c, S_q, S_\gamma$  : 寸法効果に関する補正係数

$$S_c = (c^*)^\lambda, \quad S_q = (q^*)^\nu, \quad S_\gamma = (B^*)^\mu$$

$$c^* = \frac{c}{c_0}, \quad q^* = \frac{q}{q_0}, \quad B^* = \frac{B_e}{B_0}$$

ただし、 $1 \leq q^* \leq 1.0$        $1 \leq c^* \leq 1.0$        $1 \leq B^*$

$\lambda, \nu, \mu$  : 寸法効果の程度を表す係数で  $\lambda = \nu = \mu = -1/3$  としてよい。

$c_0$  : 10 (kN/m<sup>2</sup>)

$q_0$  : 10 (kN/m<sup>2</sup>)

$B_0$  : 1.0 (m)

$$\tan \theta = \frac{H}{V}$$

ただし、歩道部擁壁では  $\tan \theta = 0$  とする。

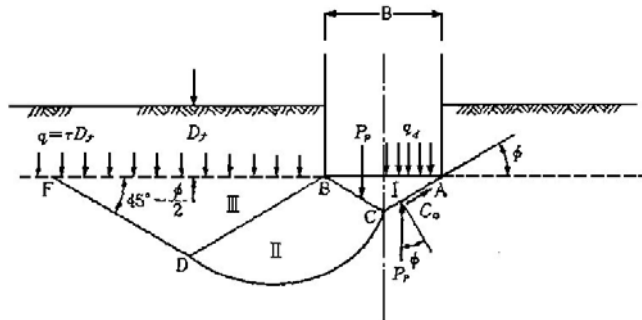
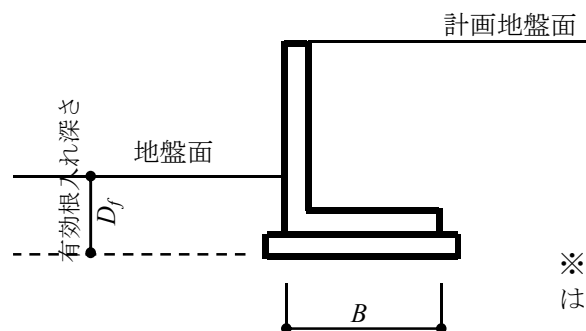


図3.4 連続フーチング下の地盤における塑性平衡状態と根入れ効果の説明図  
(粗い底面で土被りがあるとき、テルツァギーの方法)



※有効根入れ深さ  $D_f$  については現地の状況を考慮する。

図3.5 基礎の有効根入れ深さの説明図

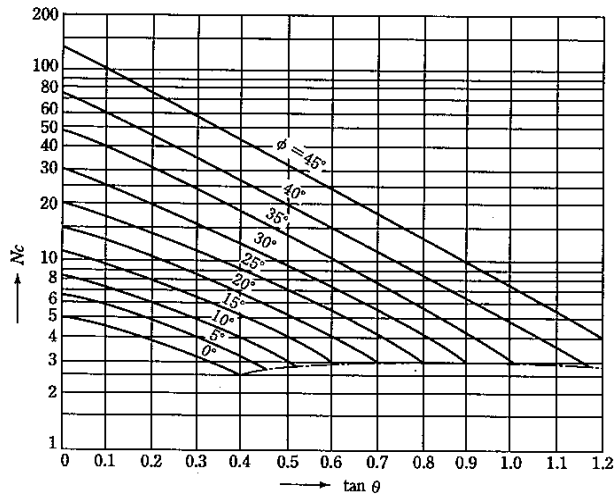


図3.6 支持力係数 $N_c$ を求めるグラフ

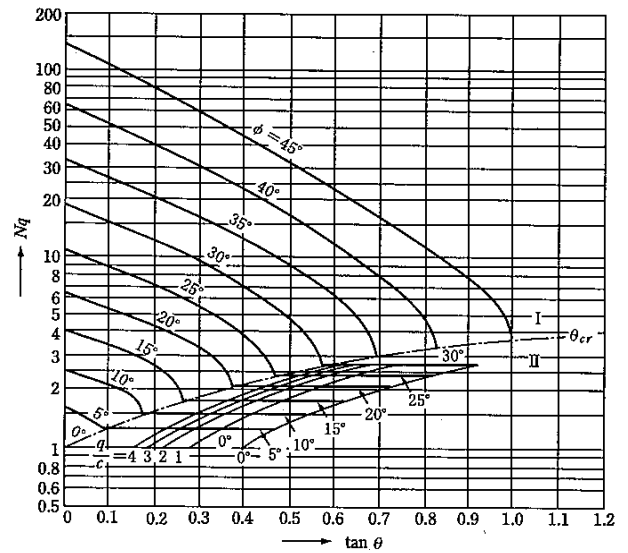


図3.7 支持力係数 $N_q$ を求めるグラフ

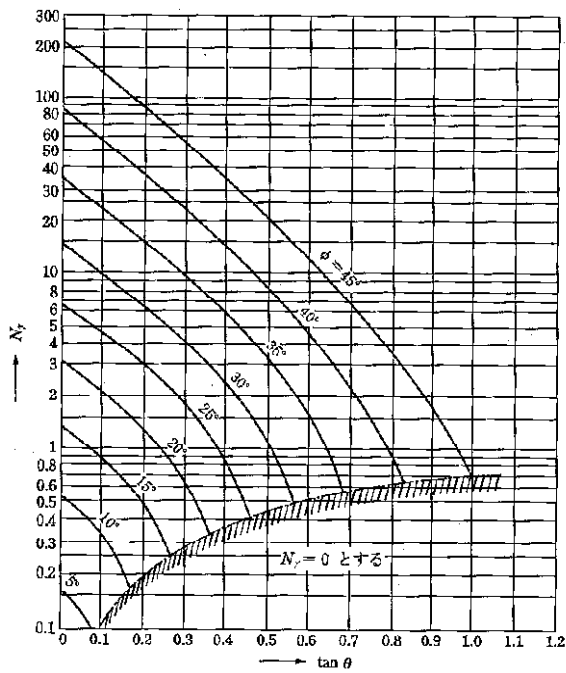


図3.8 支持力係数 $N_y$ を求めるグラフ

$$\tan \theta = \frac{H}{V}$$

$\phi$  : 土の内部摩擦角 (°)



## (2) 土地改良事業計画設計基準による基礎地盤の鉛直支持力<sup>1)</sup>

『土地改良事業計画設計基準 設計（農道）』（平成17年3月）の“第9章付帯構造物の設計 9.1擁壁”の基礎地盤の支持力に対する検討では、基礎地盤の長期許容支持力度によることになっている。

本マニュアルの木杭-底盤系基礎においては、支持力度ではなく支持力で検討を行うこととしていることから、同基準の許容支持力度算定式に擁壁底盤の面積を掛けたものを基礎地盤の許容鉛直支持力とした。

$$q_{vb} = \frac{1}{3}(\alpha \cdot c \cdot N_c + \frac{1}{2} \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

『土地改良事業計画設計基準 設計（農道）』（平成17年3月）pp. 554-555を準用

$$R_{vba} = q_{vb} \cdot A_e \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

ここに、

- $q_{vba}$  : 基礎地盤の許容鉛直支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $R_{vba}$  : 基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)
- $A_e$  : 有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)  $A_e = B_e \cdot L$       ただし、歩道部擁壁では  $B_e = B$  とする。
- $L$  : L型擁壁1基当たりの延長 (m)
- $c$  : 基礎底面下地盤の粘着力 (木杭根入れ部分の平均粘着力) (kN/m<sup>2</sup>)
- $\gamma_1$  : 基礎底面下地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
地下水位以下にある場合は水中単位体積重量
- $\gamma_2$  : 基礎底面より上方地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
地下水位以下にある場合は水中単位体積重量
- $B$  : L型擁壁のフーチング幅 (m)
- $B_e$  : フーチングの有効載荷幅 (m)  $B_e = B - 2e_B$
- $e_B$  : フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)
- $D_f$  : 基礎の有効根入れ深さ (m)
- $\alpha, \beta$  : 形状係数
- $N_c, N_q, N_\gamma$  : 支持力係数

表3.2 形状係数

基礎荷重面の形状	連 続
$\alpha$	1.0
$\beta$	0.5

表3.3 支持力係数

荷重傾斜 $\theta (^{\circ})$		せん断抵抗角 $\phi (^{\circ})$								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	$N_{\gamma}$	0.0	0.2	0.6	1.4	3.2	6.9	15.3	35.2	86.5
	$N_q$	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	18.4	33.3	64.2
	$N_c$	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	30.1	46.1	75.2
5	$N_{\gamma}$		0.1	0.4	1.0	2.3	5.0	11.1	24.4	61.4
	$N_q$		1.2	2.2	3.4	5.6	9.2	15.6	27.9	52.7
	$N_c$		5.8	7.4	9.7	12.6	17.9	25.6	38.6	62.1
10	$N_{\gamma}$		-	0.2	0.6	1.5	3.4	7.5	17.4	41.8
	$N_q$		-	1.5	2.8	4.7	7.7	12.9	22.8	42.4
	$N_c$		5.1	6.4	8.3	11.0	15.1	21.3	31.7	49.8
15	$N_{\gamma}$		-	-	0.3	0.9	2.2	7.9	11.3	27.6
	$N_q$		-	-	1.7	3.6	6.1	10.4	18.1	33.3
	$N_c$		4.3	5.4	6.9	9.1	12.4	17.4	25.4	39.3
20	$N_{\gamma}$		-	-	-	0.3	1.2	2.9	6.9	16.4
	$N_q$		-	-	-	2.1	4.6	8.0	13.9	25.4
	$N_c$		3.4	4.4	5.6	7.4	9.9	13.8	19.9	30.3
25	$N_{\gamma}$			-	-	-	0.4	1.5	3.9	9.6
	$N_q$			-	-	-	2.4	5.7	10.2	18.7
	$N_c$			3.4	4.4	5.7	7.7	10.6	15.1	22.7
30	$N_{\gamma}$				-	-	-	0.4	1.8	5.0
	$N_q$				-	-	-	2.8	6.9	13.1
	$N_c$				3.2	4.2	5.7	7.8	11.2	16.5
35	$N_{\gamma}$						-	-	0.5	2.2
	$N_q$						-	-	3.1	8.4
	$N_c$						4.0	5.6	7.9	11.6
40	$N_{\gamma}$							-	-	0.5
	$N_q$							-	-	3.4
	$N_c$							3.7	5.3	7.8
45	$N_{\gamma}$								-	-
	$N_q$								-	-
	$N_c$								3.3	4.9

(3) 建築基礎構造設計指針による基礎地盤の鉛直支持力<sup>12)</sup>

$$q_u \cdot A_e = (i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \cdot A_e \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

『建築基礎構造設計指針』(2001改定)pp.105-111を準用

$$R_{Vbu} = q_u \cdot A_e \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

ここに、

$R_{Vbu}$  : 基礎地盤の極限鉛直支持力 (kN)

$q_u$  : 基礎地盤の極限鉛直支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$A_e$  : 有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)  $A_e = B_e \cdot L$       ただし、歩道部擁壁では  $B_e = B$  とする。

$N_c, N_q, N_\gamma$  : 支持力係数

$c$  : 基礎底面下地盤の粘着力 (木杭根入れ部分の平均粘着力) (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_1$  : 基礎底面下地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_2$  : 基礎底面より上方地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
( $\gamma_1, \gamma_2$ は、地下水位以下の場合には水中単位体積重量)

$\alpha, \beta$  : 形状係数

$\eta$  : 基礎の寸法効果に関する補正係数

$i_c, i_q, i_\gamma$  : 荷重の傾斜に関する補正係数

$L$  : L型擁壁1基当たりの延長 (m)

$B$  : L型擁壁のフーチング幅 (m)

$e_B$  : L型擁壁フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)

$B_e$  : フーチングの有効載荷幅 (m)  $B_e = B - 2e_B$

$D_f$  : 基礎の有効根入れ深さ (m)

表3.4 形状係数

基礎荷重面の形状	連続
$\alpha$	1.0
$\beta$	0.5

表3.5 支持力係数

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0°	5.1	1.0	0.0
5°	6.5	1.6	0.1
10°	8.3	2.5	0.4
15°	11.0	3.9	1.1
20°	14.8	6.4	2.9
25°	20.7	10.7	6.8
28°	25.8	14.7	11.2
30°	30.1	18.4	15.7
32°	35.5	23.2	22.0
34°	42.2	29.4	31.1
36°	50.6	37.8	44.4
38°	61.4	48.9	64.1
40°以上	75.3	64.2	93.7

### 3.4 木杭の鉛直周面支持力算定

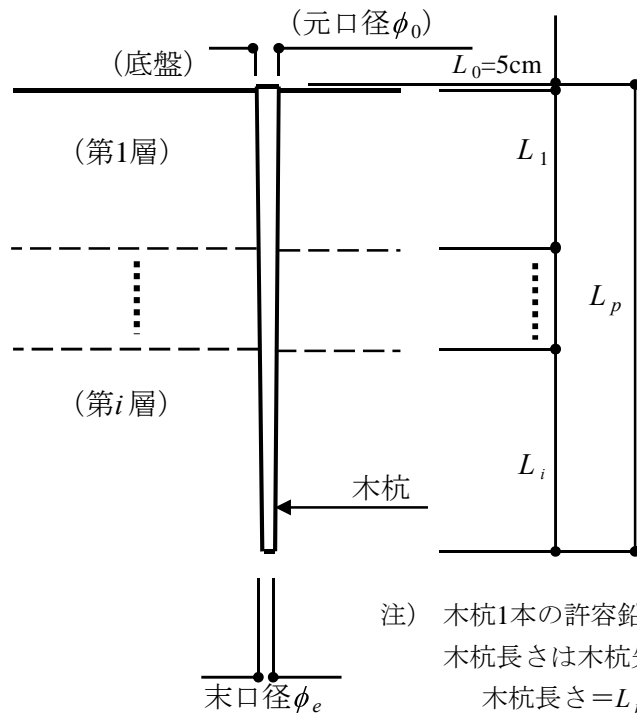
木杭1本の許容鉛直周面支持力の算定

$$R_{Vpai} = \frac{R_{Vpui}}{F_{Vp}} \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

$$R_{Vpui} = U \cdot \sum_{i=1}^{n_e} (f_i \cdot L_i) \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

$$= \pi \cdot \phi_e \cdot (f_1 \cdot L_1 + f_2 \cdot L_2 + \dots + f_{n_e} \cdot L_{n_e})$$

- $R_{Vpai}$  : 木杭1本の許容鉛直周面支持力 (kN)
- $R_{Vpui}$  : 木杭1本の極限鉛直周面支持力 (kN)
- $U$  : 木杭周長 (末口)  $\pi \cdot \phi_e$  (m)
- $\phi_e$  : 木杭の末口径 (m)
- $f_i$  :  $i$  番目土層の周面摩擦力度 (粘性土は粘着力 $c$ 、砂質土は $2N$ ) (kN/m<sup>2</sup>)  
各粘土層の粘着力は平均値とする ( $N$ は標準貫入試験での $N$ 値を示す)。
- $L_p$  : 木杭長さ (m)
- $L_i$  :  $i$  番目土層の層厚 (m)
- $F_{Vp}$  : 木杭の鉛直周面支持力に関する安全率 (=1.5)



注) 木杭1本の許容鉛直周面支持力の計算に用いる  
木杭長さは木杭先端の先研ぎ部も含める。  
木杭長さ =  $L_p - L_0$   
 $L_0$  : 基礎コンクリートへの根入れ長

図3.9 木杭の鉛直周面支持力の算定

### 3.5 基礎地盤の水平支持力算定

「3.2木杭－底盤系基礎の支持力 (2) 木杭－底盤系基礎の水平支持力 (一般部擁壁)」の $R_{Hb}$ 、 $R_{Hba}$ 以下に示す(3.14)式、(3.15)式より求める。

- a) 基礎地盤の水平支持力は基礎コンクリートと地盤との間に働くせん断抵抗力に対して安全率1.5を確保する。
- b) 上記せん断抵抗力は、道路橋示方書IV下部構造編p.280の(10.3.2)式を準用し (3.14)式で求める。

本設計マニュアルでは鉛直支持においては底盤の許容鉛直支持力の不足分を木杭基礎が分担するとしていることから、底盤の許容支持力は100%発揮されていると考える。このため底盤下面のせん断抵抗力算出においては、底盤の許容鉛直支持力を用いることとした。

$$R_{Hb} = c_B \cdot A_e + R_{Vba} \cdot \tan \phi_B \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

$$R_{Hba} = \frac{R_{Hb}}{F_{Hb}} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

- $R_{Hb}$  : 基礎底面と地盤との間のせん断抵抗力 (kN)
- $c_B$  : 基礎底面と地盤との間の付着力 (基礎底面地盤の粘着力 $c$ を用いる) (kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi_B$  : 基礎コンクリート底面と地盤との間の摩擦角 (粘性土では考慮しない) (°)
- $A_e$  : 有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)
- $R_{Vba}$  : 基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)
- $R_{Hba}$  : 基礎地盤の許容水平支持力 (kN)
- $F_{Hb}$  : 基礎地盤の水平支持力に関する安全率 (=1.5)

### 3.6 木杭－底盤系基礎の設計

#### (1) 鉛直支持力の計算

木杭に作用する鉛直荷重は、次式で求める。

$$V_p = V - R_{Vba} \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

$V$  : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの鉛直荷重 (kN)  
 $R_{Vba}$  : 基礎地盤の許容鉛直支持力 (kN)  
 $V_p$  : 木杭に作用する鉛直荷重 (kN)

#### 1) 歩道部擁壁の場合

歩道部擁壁の木杭配置は、本設計マニュアルp.39 “5.2木杭の配置パターン例” に示す擁壁前面側に2本、背面側に1本としている。このような配置での木杭1本に作用する最大鉛直荷重は、擁壁背面の木杭に作用しその鉛直荷重は(3.20)式と(3.21)式において $V_{p2}$ に $e_B=0$ を代入した次式で求められる。

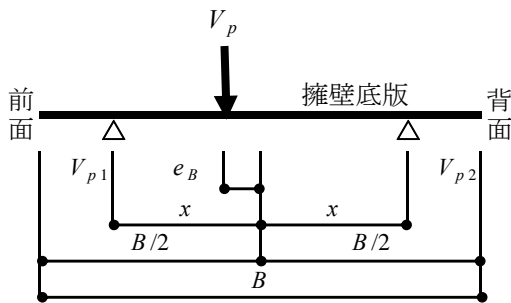
$$V_{p2} = \frac{V_p}{2} \leq R_{Vpai} \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

施工時の安定照査における擁壁前面木杭に作用する鉛直荷重は(3.20)式に $e_B=x$ とした $R_1$ から算出される次式で求められる。

$$V_{p1}' = \frac{V_p'}{2} \leq R_{Vpai}' \quad \dots\dots\dots(3.17')$$

#### 2) 一般部擁壁の場合

##### a) 一般部擁壁において木杭配置が前面2本、背面1本の場合



$V_{p1}$  : 擁壁前面の木杭1本の鉛直荷重 (kN)  
 $V_{p2}$  : 擁壁背面の木杭1本の鉛直荷重 (kN)  
 $e_B$  : L型擁壁フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)

図3.10 木杭に作用する鉛直荷重図

鉛直方向の力の釣合から

$$2V_{p1} + V_{p2} = V_p \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

擁壁底版背面回りのモーメントの釣合から

$$2V_{p1} \cdot \left( \frac{B}{2} + x \right) + V_{p2} \cdot \left( \frac{B}{2} - x \right) = V_p \cdot \left( \frac{B}{2} + e_B \right) \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

式(3.18) と式(3.19)の2式から

$$V_{p1} = \frac{V_p \cdot (x + e_B)}{4x} \leq R_{Vpai} \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

$$V_{p2} = \frac{V_p \cdot (x - e_B)}{2x} \leq R_{Vpai} \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

b) 一般部擁壁において木杭配置が前面2本、背面2本の対称の場合

一般部擁壁の木杭配置が対称の場合、木杭1本に作用する鉛直荷重は、『道路橋示方書・同解説IV下部構造編』p.382の(解12.7.8)の $P_{Ni}$ の式において杭頭ヒンジの場合の次式で求められる((3.24)式参照)。

$$V_{pi} = \frac{V_p}{n_p} + \frac{V_p \cdot e_B}{\sum (n_i \cdot x_i^2)} \cdot x_i \leq R_{Vpai} \quad \dots\dots(3.22)$$

- $V_{pi}$  :  $i$  番目の木杭に作用する鉛直荷重 (kN)
- $R_{Vpai}$  :  $i$  番目木杭の許容鉛直周面支持力 (kN)
- $n_p$  : 木杭本数 (本)
- $e_B$  : L型擁壁フーチング幅中心から外力作用位置までの偏心量 (m)
- $x_i$  : フーチング幅 $B$ の中心から各杭中心までの水平距離 (m)
- $\Sigma(n_i \cdot x_i^2)$  : 杭群の二次モーメント (本・m<sup>2</sup>)       $n_1 \cdot x_1^2 + n_2 \cdot x_2^2$
- $B$  : L型擁壁のフーチング幅 (m)

(a) 歩道部擁壁の場合

(b) 一般部擁壁の場合

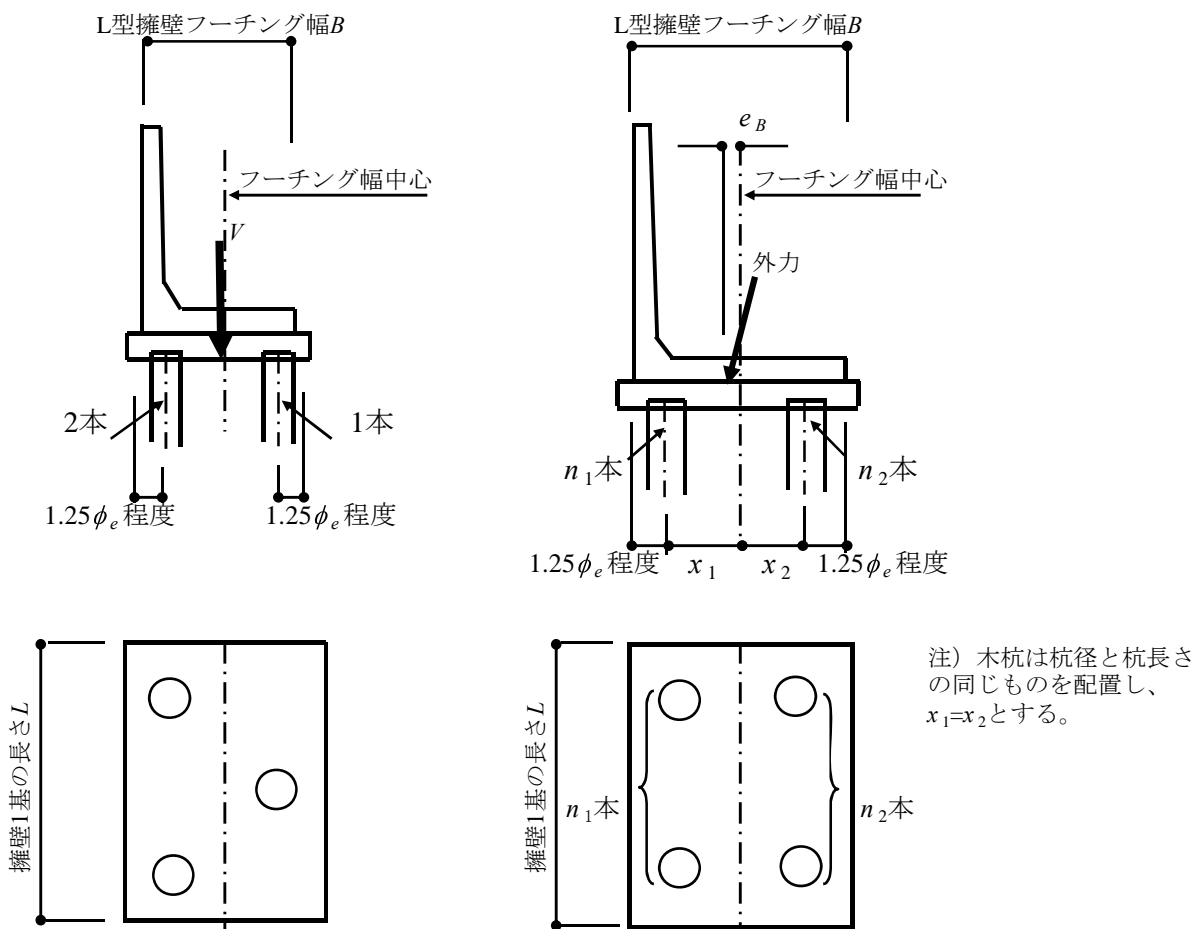


図3.11 擁壁安定の計算座標

一般部擁壁で木杭配置が対称の場合の木杭－底盤系基礎における木杭に作用する鉛直荷重は、『道路橋示方書・同解説IV下部構造編』（平成14年3月）“12章杭基礎の設計”の変位法による計算における杭配列が対称で鉛直杭の場合のp.382の（解12.7.8）式、杭の杭軸方向力 $P_{Ni}$ から算出する。

$$P_{ni} = \frac{V_0}{n} + \frac{M_0 + \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot H_0}{\Sigma x_i^2 + \frac{n}{K_V} \left( K_4 - \frac{K_2^2}{K_1} \right)} \cdot x_i \quad \dots\dots(3.23)$$

ここに、杭頭ヒンジのときは  $\frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot H_0 = 0$  とする。

- $V_0$  : フーチング底面より上に作用する鉛直荷重 (kN)
- $H_0$  : フーチング底面より上に作用する水平荷重 (kN)
- $M_0$  : 原点Oまわりの外力のモーメント (kN・m)
- $n$  : 杭の総本数 (本)
- $x_i$  :  $i$ 番目の杭の杭頭のx座標 (m)
- $K_V$  : 杭頭に単位量の軸方向変位を生じさせる杭軸方向力  
(杭の軸方向バネ定数) (kN/m)
- $K_1$  : 杭頭部に回転を生じさせないようにして、杭頭部を杭軸直角方向に単位量だけ変位させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/m)
- $K_2$  : 杭頭部に移動を生じさせないようにして、杭頭部を単位量だけ回転させるとき、杭頭部に作用させるべき軸直角方向力 (kN/rad)

木杭－底盤系基礎の木杭は、基礎コンクリートに5cm根入れしているだけであるので、木杭と基礎コンクリートの結合状態はヒンジ結合と考える。

さらに同示方書p.376の“表-解12.6.1杭の軸直角方向バネ定数”から杭頭ヒンジ結合の場合の $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_4$ はいずれも0（ゼロ）となる。

このようなことから、一般部擁壁における一本の木杭に作用する鉛直荷重を求める式は(3.23)式に $1/2 \cdot \lambda \cdot H_0 = 0$ 、 $K_2 = K_3 = K_4 = 0$ を代入すると以下のような式となる。

$$\begin{aligned} P_{ni} &= \frac{V_0}{n} + \frac{M_0 + \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot H_0}{\Sigma x_i^2 + \frac{n}{K_V} \left( K_4 - \frac{K_2^2}{K_1} \right)} \cdot x_i \\ &= \frac{V_0}{n} + \frac{M_0 + 0}{\Sigma x_i^2 + \frac{n}{K_V} \left[ 0 - \frac{0}{K_1} \right]} \cdot x_i \\ &= \frac{V_0}{n} + \frac{M_0}{\Sigma x_i^2} \cdot x_i \quad \dots\dots(3.24) \end{aligned}$$



## (2) 一般部擁壁の水平支持力の計算

木杭頭部に作用する水平荷重は、木杭に均等に作用するとして次式で求める。

$$H_p = H - R_{Hba} \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

$$H_{pi} = \frac{H_p}{n_p} \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

$H_p$  : 木杭に作用する水平荷重 (kN)

$H$  : 基礎コンクリート底面に作用する擁壁1基当たりの水平荷重 (kN)

$R_{Hba}$  : 基礎地盤の許容水平支持力 (kN)

$H_{pi}$  :  $i$  番目木杭に作用する水平力 (杭軸直角) (kN)

$n_p$  : 木杭本数 (本)

木杭頭部の水平力により木杭に生じる地中部最大モーメント  $M_{max}$  は木杭頭部をヒンジ結合の半無限長の杭として式(3.27)により算出する。

$$M_{max} = -0.3224 \frac{H_{pi}}{\beta} \quad (\text{kN}\cdot\text{m}) \quad \dots\dots\dots(3.27)$$

(道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 p.392 平成14年3月参照)

木杭の特性値  $\beta_0$  は簡便的に一様地盤と考えて (3.28) 式より算出する。

$$\beta_0 = 4 \sqrt{\frac{K_H \cdot \phi_e}{4 \cdot E \cdot I}} \quad (\text{m}^{-1}) \quad \dots\dots\dots(3.28)$$

$$K_H = K_{H0} \left( \frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (\text{kN/m}^3) \quad \dots\dots\dots(3.29)$$

$$K_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha_0 \cdot E_0 \quad \dots\dots\dots(3.30)$$

$$B_H = \left( \frac{\phi_e}{\beta_0} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots(3.31)$$

$$I = \frac{\pi \cdot \phi_e^4}{64} \quad \dots\dots\dots(3.32)$$

$\alpha_0$  : 地盤反力係数の推定に用いる係数 (常時4)

$K_H$  : 水平方向地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$E_0$  : 地盤の変形係数 (1,500) (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi_e$  : 木杭末口 (m)

$E$  : 木杭のヤング (弾性) 係数 (7,355,000) (kN/m<sup>2</sup>)

$I$  : 木杭の断面2次モーメント (m<sup>4</sup>)

杭体応力度は (3.33) 式により算出する。

$$\sigma_b = \frac{V_{pi} \cdot 10^3}{A} \pm \frac{M_{max} \cdot 10^6}{Z} \leq \left[ \begin{array}{l} \sigma_{ca} \\ \sigma_{ba} \end{array} \right] \quad \dots\dots\dots(3.33)$$

$\sigma_b$  : 曲げ圧縮 (引張) 応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z$  : 木杭の断面係数  $\pi/32 \cdot \phi_e^3$  (mm<sup>3</sup>)

$A$  : 木杭1本当たりの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$V_{pi}$  :  $i$  番目木杭に作用する鉛直荷重 (kN)

$\sigma_{ca}$  : 木杭の許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{ba}$  : 木杭の許容曲げ引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## 4. 材料特性

### 4.1 木材の基本特性

#### (1) 木杭の基本事項

木杭—底盤系基礎に用いる木杭の使用材料は針葉樹材を用いる。杭径の呼び径は末口を基本とする。

##### 1) 杭径および杭長

一般的な基礎材としての木杭には末口径 $\phi_e=12\text{cm}\sim 18\text{cm}$ 、杭長 $2\text{m}\sim 8\text{m}$ が用いられている。

佐賀県産材では末口径 $\phi_e=12\text{cm}\sim 18\text{cm}$ 、杭長 $2\text{m}$ 、 $3\text{m}$ 、 $4\text{m}$ が標準的寸法として供給されている。杭長 $4\text{m}$ を超える場合は受注生産（受注後の切り出し）である。

##### 2) 木杭の加工

木材外皮は腐朽および付着力の低減の原因となるため剥ぎ取る。

##### 3) 材料強度

木材の材料強度は建築基準法施行令第95条、許容応力度は同89条に定められている。具体的な数値については国土交通省告示第1452号に規定されている。この規定では、「木材の強度は目視等級製材、機械等級製材、無等級製材に分けられているが、木杭に用いる木材の強度には無等級製材（JAS規格製材以外の製材で樹種によって基準強度が決められているもの）を用いる」とされている。このため本マニュアルにおいても、木杭の材料強度には無等級製材を用いる。

表4.1 木材の許容応力度（長期）

許容応力度			
圧縮 $\sigma_{ca}$	引張 $\sigma_{ta}$	曲げ $\sigma_{ba}$	せん断 $\tau_a$
$1.1F_c/3$	$1.1F_t/3$	$1.1F_b/3$	$1.1F_s/3$

基礎杭の許容応力度は、表4.2の70%に相当する数値とする（国土交通省告示第1024号）。

木杭の許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$ は次式によって求める。

$$\sigma_{ca} = \frac{1.1F_c}{3} \times 0.7 \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

木杭の許容曲げ引張応力度 $\sigma_{ta}$ は次式によって求める。

$$\sigma_{ba} = \frac{1.1F_b}{3} \times 0.7 \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

表4.2 無等級製材の木材材料強度（基準強度）

樹種	基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	圧縮 $F_c$	引張 $F_t$	曲げ $F_b$	せん断 $F_s$
あかまつ	22.2	17.7	28.2	2.4
すぎ	17.7	13.5	22.2	1.8
ひのき	20.7	16.2	26.7	2.1

国土交通省告示第1452号より

#### 4) 木杭の種類

木杭に使用する木材の種類は調達可能な種類とするが、できるだけ県産材を用いることとし、すぎ、ひのきの間伐材を使用することが望ましい。

#### 5) 木杭の防腐対策

木杭は空気中にさらすと腐朽しやすいが、地下水中に設置する場合は長期間の耐久性を期待できるため、必要な場合を除き防腐処理は行わない。

防腐処理を施した木杭を使用する場合は、防腐剤の種類を確認し、河川、水路耕作地などに悪影響を与えないように配慮する。土壌汚染がある場合は、それへの対策を考慮する必要がある。

## 4.2 木材の特徴

木杭には、コンクリート杭や鋼管杭と比較して次のような長所ならびに短所がある。それらを理解したうえで利用することが大切である。

### 木杭の長所

- ①木杭の形状はテーパー（先細り）を有しており、打設後の水平変位を受けても周辺地盤との密着性が損なわれることは少ない。
- ②末口径に基づいて計算した木杭周面積に比べて実周面積は大きいので、これに地盤粘着力を乗じて支持力を求めた値は安全側となる。
- ③杭打設時に発生した周辺粘土中の過剰間隙水圧は杭周面に水膜を発生させることになるが、木杭は水膜を吸収するので地盤との密着性は確保される。
- ④木杭は軽量であるため、コンクリート杭や鋼管杭に比べて鉛直支持力の面で有利となる。
- ⑤大型杭打ち機を必要としないので、軟弱地盤における施工性がよい。
- ⑥間伐材の利用が可能であり、材料としては他の材質による杭よりも経済的となる。

### 木杭の短所

- ①材料の寸法、形状にばらつきがあり、品質確保と品質管理の上で注意が必要である。
- ②地下水より上の部分は腐食しやすいので、対策が必要となる。

## 4.3 木材の耐久性

### (1) 木杭の耐久性

木材の耐久性には、木材の組織構造、物理的性質や化学成分などが関与する。木材利用研究会では既設構造物基礎の木杭について次のような調査を行った<sup>8)</sup>。

H17年度には、ボックスカルバートの基礎に使用されていた既設木杭（施工後18年経過、米マツ、大牟田川副線）について曲げ強度試験および圧縮強度試験を行った。

H18年度には、樋門基礎に使用されていた木杭（施工後約45年経過、あかまつ、すぎ、ひのき、廻里江川）について鉛直載荷試験と曲げ強度試験および圧縮強度試験を行った。

H17年度試験では、曲げ強さ $56.0\text{N/mm}^2$ （供試体2本、平均密度 $0.70\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率39%）、圧縮強さ $25.8\text{N/mm}^2$ （供試体4本、平均密度 $0.71\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率44%）の値で、通常の木杭区分である無等級は十分満足していることを確認した。

H18年度試験では、曲げ強さは $31.2\text{N/mm}^2$ （あかまつ、平均密度 $1.08\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率133%）、すぎ $48.6\text{N/mm}^2$ （平均密度 $0.98\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率190%）、ひのき $24.2\text{N/mm}^2$ （平均密度 $0.82\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率98%）の値が得られ、いずれも基準強度を超えていることを確認した。圧縮強さはあかまつ $13.2\text{N/mm}^2$ （平均密度 $0.98\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率147%）、すぎ $18.1\text{N/mm}^2$ （平均密度 $0.97\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率180%）、ひのき $14.5\text{N/mm}^2$ （平均密度 $0.82\text{kg/cm}^3$ 、平均含水率115%）の値で、すぎのみで基準強度を上回った。特にひのき供試体はふしが多く認められたのでこのことが試験結果に影響しているとも考えられる。

木材の標準的試験は含水比15%で行われることが多い。本試験に用いた杭は水中保存後、あるいは引き抜き直後に試験を行ったため、含水率は約30～140%の状態であった。一般に繊維飽和点（含水率30%）までは木材強度の変化は小さいが、30%より低くなるとともに強度は直線的に増大することが知られている。

今回の試験によって今後多く活用されると予想されるすぎ材については、長年地下水に存置されても耐久性は確保できることを実証するデータになったと考える。

木材の含水率（日本農林規格(JAS)）を以下に示す。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{W_u - W_0}{W_0} \times 100$$

$W_u$  : 水を含んだときの重量

$W_0$  : 水を含まない木質の重量（全乾重量）

全乾重量は、換気の良い乾燥炉の中で温度 $100\sim 105^\circ\text{C}$ で乾燥し、重さに変化がなくなった状態での重量。

## (2) 木杭耐久性に関する試験結果<sup>8)</sup>

### ①試験体の採取位置

現地より搬出した $L=8\text{m}$ の木杭（3本）について、試験体を図4.1のように、1本の杭材の中央部から曲げ試験体を、その両側から圧縮試験体を採取した。

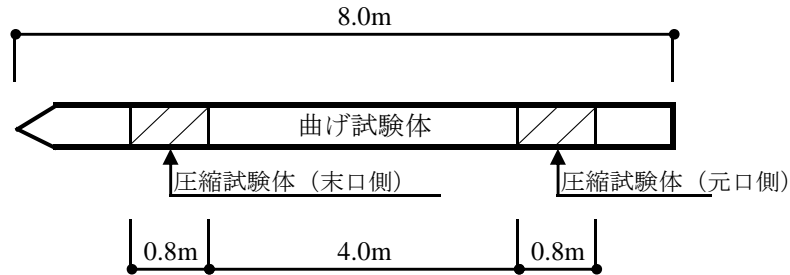


図4.1 試験体の採取位置

### ②曲げ強度試験

試験は、支点間距離（スパン）360cm、荷重点間距離120cmで試験体を設置し、3等分4点荷重方式で行った（図4.2）。試験機は最大容量1000kNの強度試験機を用い、油圧シリンダーにより荷重速度50mm/minの定速ストローク制御で加圧を行った。変位の測定は、試験体中立軸上において、巻き込み式変位計（容量：500mm、感度：0.1 $\mu$ /mm）を用いて、材長さ方向中央部のたわみ量を計測した。

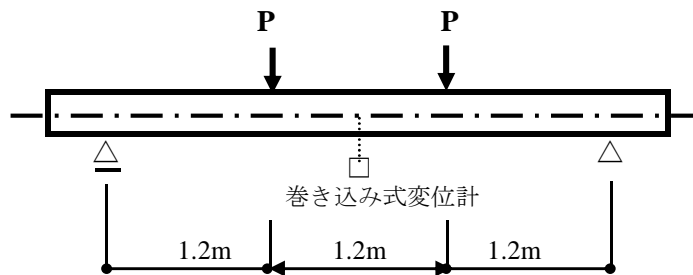


図4.2 曲げ強度試験方法概要

### ③圧縮強度試験

圧縮試験体を図4.3に示す方法で設置し、最大容量1000kNの強度試験機を用いて、油圧シリンダーにより荷重速度2mm/minの定速ストローク制御で材長さ（繊維）方向に加力を行い、そのとき計測した最大荷重（破壊時の荷重）を基に圧縮強さを算出した。

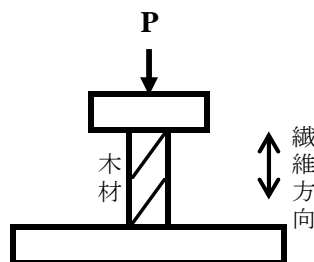


図4.3 圧縮強度試験方法概要

④材料強度試験結果

表4.3に曲げ強度試験結果、表4.4に圧縮強度試験結果を示す。

表4.3 曲げ強度試験結果

試験体名	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	動的ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	含水率 (%)
曲げ1	70.5	31.2	8.24	6.69	133.3
曲げ2	71.5	48.6	9.25	7.51	190.1
曲げ3	77.9	24.2	6.75	6.75	97.6
平均値	73.3	34.7	8.08	6.98	140.3

表4.4 圧縮強度試験結果

試験体名	最大荷重	圧縮強さ		含水率	
	(kN)	(N/mm <sup>2</sup> )		(% )	
圧縮1末	365.0	10.5	平均	152.6	平均
圧縮1元	917.0	15.9	13.20	142.5	147.55
圧縮2末	514.0	18.1	平均	176.2	平均
圧縮2元	783.5	18.1	18.10	184.6	180.40
圧縮3末	603.0	16.6	平均	121.1	平均
圧縮3元	874.0	12.5	14.55	109.3	115.20
平均値	676.1	15.3		147.7	

注) 部材1はあかまつ、部材2はすぎ、部材3はひのきである。

曲げ3部材にはふしが多く確認されたため、試験結果に影響もあると考えられる。

表4.3、表4.4と表4.2で圧縮部材の基準値である無等級の基準強度を対比すると、以下のとおりである。

曲げ強度

あかまつ

$$31.2/28.2 \times 100 = 111(\%)$$

すぎ

$$48.6/22.2 \times 100 = 218(\%)$$

ひのき

$$24.2/26.7 \times 100 = 90(\%)$$

圧縮強度

あかまつ

$$13.2/22.2 \times 100 = 59(\%)$$

すぎ

$$18.1/17.7 \times 100 = 102(\%)$$

ひのき

$$14.5/20.7 \times 100 = 70(\%)$$

以上より、含水率140%程度で埋設された木杭の材料強度では、すぎ材においては、ほぼ要求される基準強度を満足していることが判った。

## 4.4 地盤定数

### (1) 設計に必要な調査

L型擁壁の基礎の計算に必要な地盤定数は、地盤の強度、単位体積重量及び変形係数などがある。軟弱地盤の粘土について設計に必要な地盤定数は表4.5の通りである。

表4.5 地盤定数を求める調査法

試験等の項目 調査の項目	ボーリング	サンプリング	サウンディング		物理試験			力学試験			土の湿潤密度試験	得られる定数	調査 頻度	
			標準貫入試験	静的コーン貫入試験	スウェーデン式	含水比試験	粒度試験	液性・塑性限界試験	一軸圧縮試験	三軸試験				圧密試験
外力の計算						◎	△	△				○	$\gamma$	100mに 1箇所程度
基礎支持力の計算	地盤支持力	○	△	△	◎	△	◎	△	△	◎	△	△	$c, \phi, q_u$ $N$ 値	
	周面支持力	○	△	△	◎	△	◎			◎				
試料の種類						乱した	乱した	乱した・粘性土	乱さない・粘性土	乱さない	乱さない	乱さない		

◎：特に有効な調査方法      ○：有効な調査方法

△：場合によっては用いられる調査方法

注) 旧水路は軟弱でありその位置に擁壁を設置する場合には調査を行い設計をする。

#### a) ボーリング調査位置

支持力の計算に用いる地盤定数の調査位置は、一般にはL型擁壁の延長100mに1箇所程度とされるが、旧地形を考慮して地質の変化が想定される場合は追加調査を行う必要がある。

#### b) 土の単位体積重量

土圧の計算に用いる単位体積重量は、砂及び砂れき $20\text{kN/m}^3$ 、砂質土 $19\text{kN/m}^3$ 、粘性土 $18\text{kN/m}^3$ とする。ただし、この値と異なる盛土材、埋め戻し材を用いる場合は締固め試験などによって定めなければならない。なお、地下水位以下にある土の単位体積重量は、 $9\text{kN/m}^3$ を差し引いた値とする。



## (2) 粘性土地盤の周面支持力度

粘性土の場合の周面支持力度  $f_i$  は次式による。

$$f_i = c_i = \frac{1}{2} q_{ui} \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

$c_i$  : 粘性土層の粘着力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$f_i$  :  $i$  番目土層の周面支持力度 (粘性土は粘着力  $c$ 、砂質土は  $2N$ ) (kN/m<sup>2</sup>)

$q_{ui}$  : 粘性土層の一軸圧縮試験の圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>)

ポータブルコーン貫入試験の場合<sup>13)</sup>は  $\frac{1}{10} q_{ci} \quad \dots\dots\dots(4.4)$

電気式静的コーン試験の場合<sup>13)</sup>は  $\frac{1}{10} q_{ci} \quad \dots\dots\dots(4.5)$

オランダ式二重管コーン貫入試験の場合<sup>13)</sup>は  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{17} q_{ci} \quad \dots\dots\dots(4.6)$

佐賀平野の粘土地盤に対しては、できるだけ貫入試験など原位置試験を行い、設計に用いる粘着力や粘性土層厚さなどを決定することが望ましい。

さらに、今まで多くの土質試験が行われており、L型擁壁を設置する付近のデータを入手することがよい。

データが無い場合、佐賀平野に堆積する粘性土地盤の粘着力の最低値として以下の値を用いても良い。しかし、この値を用いると不経済な設計になることが考えられる。

$$c = \frac{c_u}{p} \cdot \gamma' \cdot Z \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

$$= 0.3\gamma' \cdot Z$$

ここに、

$c$  : 粘性土地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$p$  : 有効土被り荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$\frac{c_u}{p}$  : 当地域での強度増加率0.3とする。

$\gamma'$  : 土の水中単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$Z$  : 地表面からの深さ (m)

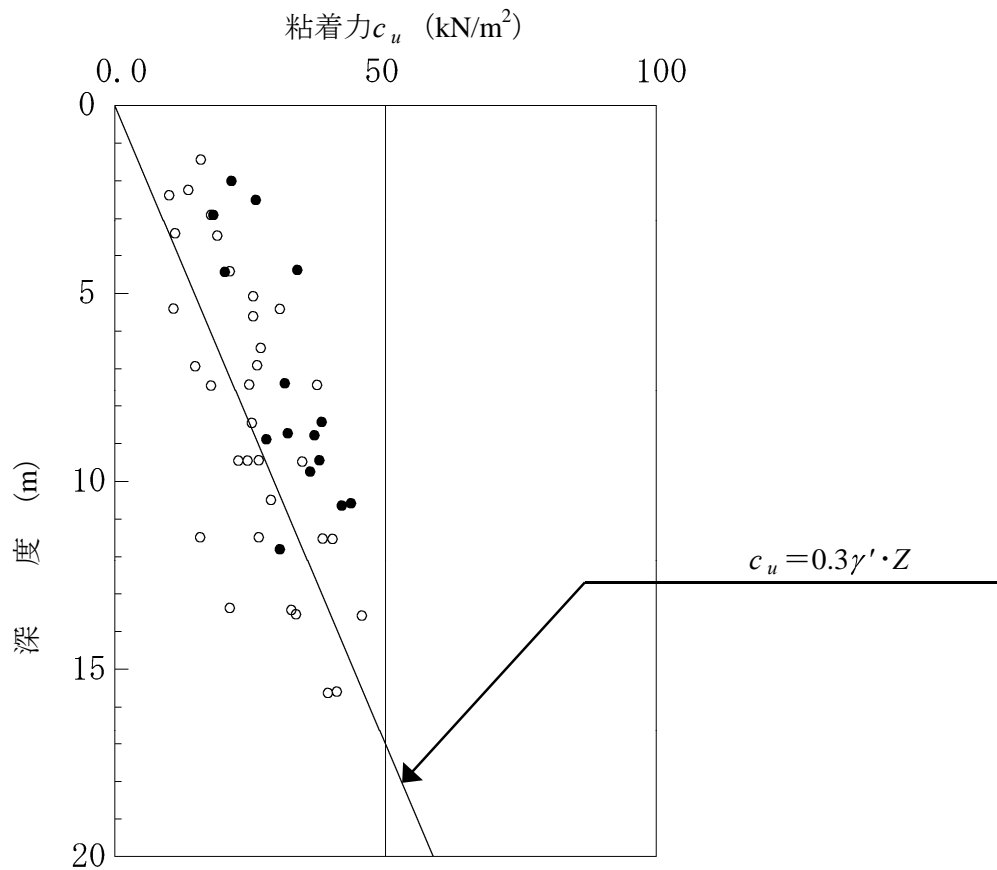


図4.4 深さ方向の粘着力の分布例<sup>14), 15)</sup>  
 (佐賀県道路調査における有明沿岸域)

(3) 砂質土地盤の周面支持力度

砂質土の場合の周面支持力度  $f_i$  は、次式による。

$$f_i = 2N \quad (\leq 100 \text{ kN/m}^2) \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

$N$  : 標準貫入試験の  $N$  値

(4) 変形係数

変形係数は、一軸圧縮強度試験結果より次式のように求める。

$$E_{50} = 100 \frac{\left(\frac{q_u}{2}\right)}{\epsilon_{50}} \quad \dots\dots\dots(4.9)$$

変形係数の例として佐賀国道工事事務所で調査されたデータ<sup>14), 15)</sup>として深さ3.5mで  $E_{50} = 690 \sim 1,700 \text{ kN/m}^2$ 、6.5mで  $E_{50} = 2140 \sim 2,890 \text{ kN/m}^2$ 、9.5mで  $5,510 \sim 7,290 \text{ kN/m}^2$  同じ場所で10mまでの値として  $E_{50} = 1,500 \text{ kN/m}^2$  がある。

したがって、変形係数は  $1,500 \text{ kN/m}^2$  を使用する。

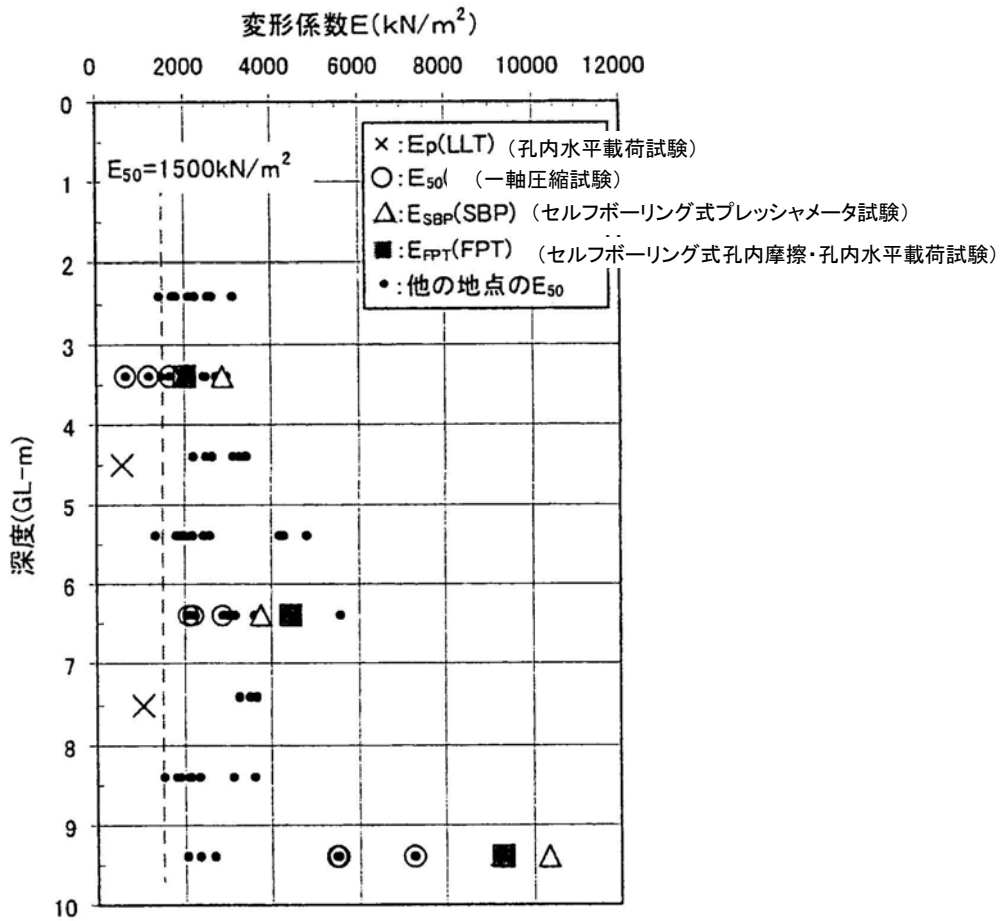


図4.5 各種試験から求めた変形係数<sup>14),15)</sup>

## 5. 基礎設計に関する構造細目

### 5.1 プレキャストL型擁壁寸法

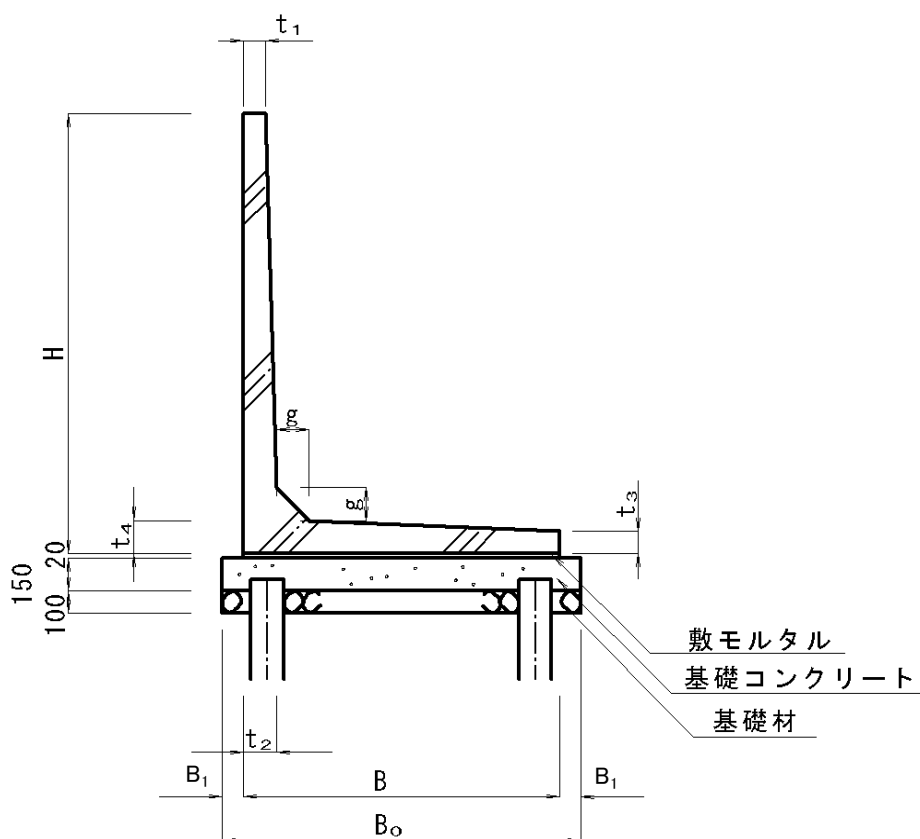


図5.1 プレキャストL型擁壁の形状図

表5.1 L型擁壁寸法表 (mm)

呼び名	$H$	$B$	$B_o$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$g$	$B_1$
600用	600	680	880	100	70	70	70	100	50
800用	800	760	960	100	80	80	80	100	50
1000用	1,000	850	1,050	100	90	90	90	100	50
1200用	1,200	970	1,170	100	100	100	100	120	50
1400用	1,400	1,090	1,290	100	120	100	120	120	50
1600用	1,600	1,210	1,410	100	130	100	130	150	100
1800用	1,800	1,330	1,530	100	140	100	140	150	100
2000用	2,000	1,450	1,650	100	150	100	150	150	100

## 5.2 木杭の配置パターン例

### (1) 一般部擁壁の配置例

杭の配置例を以下に示す。なお木杭は擁壁1個（製品1個当たり）に最小3本配置とする。

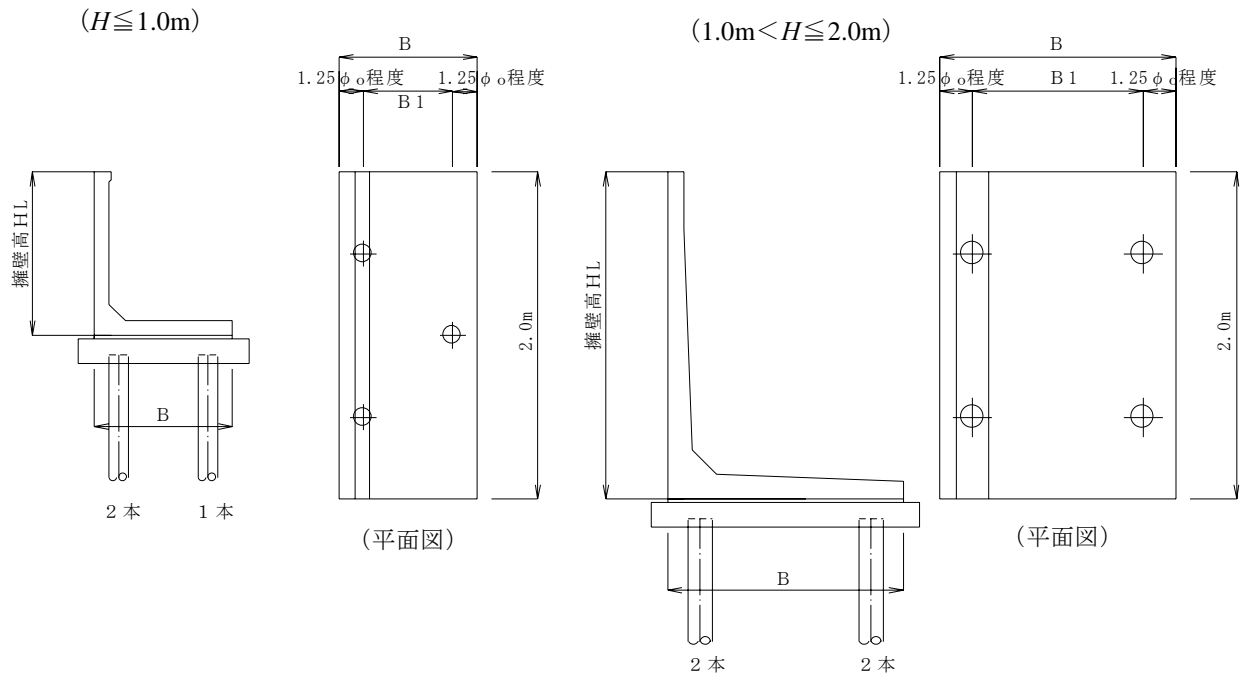


図5.2 一般部擁壁の木杭配置例

### (2) 歩道部擁壁の配置例

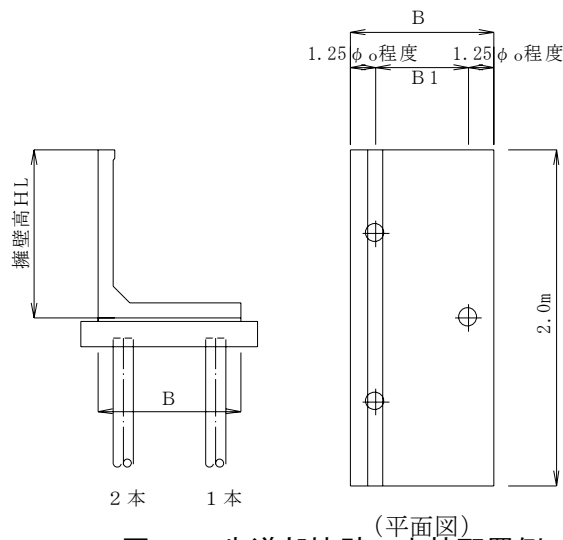


図5.3 歩道部擁壁の木杭配置例

## 6. 施工時の留意事項

粘性土地盤におけるL型擁壁に対して木杭一底盤系基礎を採用する場合には、施工時に次のような事項に留意することが必要である。

- ①L型擁壁は帯状の構造物であるので一工区内でも地盤条件の変化が予想される。このため、設計段階での十分な地質調査が望まれる。十分な調査が行われていない場合は、施工前にあらかじめサウンディング試験等で補足調査を行うことが望ましい。
- ②木杭の打設に当たっては、施工機械（バックホウ等）の能力や施工・地形条件を考慮する。
- ③木杭打設に伴って周辺の粘土地盤は乱され、一時的に強度低下をきたす。このため、木杭打設後に地盤強度の回復（経験上、概ね1週間程度）を待ってL型擁壁の設置工事を行うことが望ましい。木杭打設後は、木杭の支持力低下を招かないように、不用意に衝撃等を与えないように留意する。
- ④施工箇所が家屋等に近接している場合は、振動・騒音など周囲の環境に影響を与えないように配慮するものとする。
- ⑤中間砂層に当たって打設困難となった場合は、速やかに監督員と協議を行い、打設工法の変更を行って所定の位置まで打ち込むか、支持力を確認し高止まりとして杭頭を切る等の判断を行うものとする。
- ⑥一般部擁壁は外力の偏心を受けるので、木杭の配置はこの偏心を考慮して配置されている。このため、設計図面に示されている木杭配置を変更する場合は外力の偏心に注意する必要がある。木杭打設の施工管理基準では、許容偏心誤差（設計図に示された木杭位置に対し施工上の木杭位置のずれ）が $\delta_a \leq \phi_e/4$ （ $\phi_e$ ：木杭末口径）と定めている。

## むすび

これまで、多くのL型擁壁が木杭基礎で施工されてきたにもかかわらず、統一的な設計手法が整備されていなかった。

本設計マニュアルが一応完成したことによって設計手法の統一が図られ、佐賀県産材の利用促進にも寄与できると期待される。しかし、解決すべき課題も残っている。

本設計マニュアルの改善を図るためには、実工事における検証が必要であり、データ収集・分析を行って周辺環境、安全性、経済性等に配慮したものへと完成度を高める必要がある。また木材の流通にも目を向け、実態に則した計画・設計・施工を立てることにより、一層の木材有効活用を図る必要がある。そのためには、発注者、設計者、施工者、木材生産者の一層の協働が求められる。

一般部擁壁は偏心を受ける構造物であるので、擁壁背面部に地盤補強材等を用いて木杭に作用する鉛直荷重の均等化を図る研究もしていきたい。

## 謝辞

本設計マニュアルは、木材利用研究会の方々の協力を得て作成されたものである。当研究会は佐賀県県土づくり本部職員、(財)佐賀県土木建築技術協会職員および(社)佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会の会員から構成されている。関係各位に謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 佐賀県佐賀土木事務所：軟弱地盤上の道路の不等沈下予測と合理的設計法に関する総合的調査，平成4年度報告書（概要版），p.73，1993.3.
- 2) 呉文経：粘土地盤における周面支持杭一底盤系の支持機構に関する研究，佐賀大学学位論文，p.208，1996.
- 3) 三浦哲彦・呉文経・中村六史・一瀬智郎：軟弱粘土中杭の周面支持機構に関する実験的考察，土木学会論文集，No.517/III-31，pp.63-72，1995.
- 4) 三浦哲彦・呉文経：粘土地盤における木杭の周面支持力評価のための鉛直載荷試験土と基礎，Vol.43，No.5，pp.40-42，1995.
- 5) 佐賀県県土づくり本部・（財）佐賀県土木建築技術協会・（社）佐賀県県土づくりコンサルタント協会：水路用ボックスカルバートの木杭一底盤系基礎～設計マニュアル～（第1版），p.34，2005.10.
- 6) 木材利用研究会 第4分科会：L型擁壁背面土における原位置試験による粘着力と擁壁背面に作用する側圧の評価（仮称）
- 7) 社団法人日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針，p.291，1986.3.
- 8) 宮副一之・大塚祥譽・福岡仁・三浦哲彦：施工後約45年の樋門基礎の木杭調査速報 軟弱地盤No.4、pp.65-70、2007.6.
- 9) 社団法人日本道路協会：道路土工 擁壁工指針，p.3，1999.3.
- 10) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編，pp.269-277，2002.3.
- 11) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準 設計 農道，pp.554-555，2005.3.
- 12) 社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.105-111，2001.10.
- 13) 社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説，889p，2004.6.
- 14) 国土交通省佐賀国道事務所 佐々木敏宏・辻芳樹：平成15年度第2回国土交通研究会 発表論文：有明粘土における杭設計に用いる変形係数の検討，2003.7.
- 15) 佐賀大学理工学部・国土交通省佐賀国道工事事務所：佐賀平野における軟弱地盤上道路に関する主要論文集，p.113，2002.3.



## 参考資料①（木杭の末口径の頻度分布）

### （1）これまでの設計者（コンサルタント技術者）の対応

木杭を構造物基礎に用いる場合、設計担当者は必要とする支持力に見合うように木杭の末口径と長さを選択することになる。過去の設計事例においては、末口径15cm、長さ5m、などの選択をすることが少なくなかった。これは「土木工事積算資料」（p.242、佐賀県県土づくり本部、平成19年7月）に、末口径は9cm、12cm、15cm、18cm、長さは2m、3m、4m、5m、6m、7m、8mと記載されていることによるところが大きいと思われる。類似の記述は、「平成19年度 土木工事施工単価コード表」や「平成19年度 土木工事標準積算基準書(共通編）」（佐賀県県土づくり本部）にも見受けられる。

設計者は上記の設計基準書等に準拠して設計を行うことになるので、末口径15cmと指定したり、長さ5mと指定することが多かったと推測される。この需要に対して、供給者側は受注生産として時間を掛けて5mものを準備し、しかも末口径16cm（16.01cm～17.99cm）の木材を供給することになる。

### （2）木材の末口径の頻度分布

供給側における木材生産の実態を調べるために、富士大和森林組合に依頼して各種長さ、末口径の木材について調査を実施した。調査対象としたのは、長さ3mおよび4mにおいては末口径が12cm、13cm、14cm、16cm、および18cm、長さ6mにおいては末口径が14cm、16cm、および18cmである。これらについて元口径の直径についても測定した。

本設計マニュアルでは調査結果のうち、長さ3m、4mおよび6mの末口径14cm、16cm、18cmを掲載する。調査にあたっては末口径毎に、50本の木杭について1本ごとに末口径および元口径を2回ずつ測定（直交測定）した。したがって、末口径、元口径ごとに100個のデータが得られた。これらのデータをもとに、頻度分布曲線を描いたのが図-参1-1～図-参1-9である。

これらのデータから明らかなように、末口径14cmの木材は、その平均径は15.33cmであり、末口径16cmの場合には平均径17.27cmである。これらの結果より、設計者が末口径14cmと指定したときは、実際の木材の平均末口径は中央値15cmを超えることが明らかとなった。同じように他の全ての末口径においても平均値は中央値を越えることが判明した。

これらの結果に基づいて、木材利用研究会は次のように改善していくことを検討して行きたい。

- ①設計における木材の末口径は9cm、12cm、15cm、18cm、のいずれかを指定すること。
- ②設計における木材の長さは2m、3m、4mを標準とすること。
- ③ある末口径を指定した場合には、設計においてはその指定末口径の中央値を用いて良いこと。例えば設計上において末口径15cmを必要とする場合には、末口径14cmを指定することができること。
- ④土台木（胴木）に用いる木材長さは4.0mを標準とすること（継手長さを0.5mとする）。

# 1) 木杭長さ3.0mの頻度分布

## 末口径 $\phi_e = 14\text{cm}$ の頻度分布

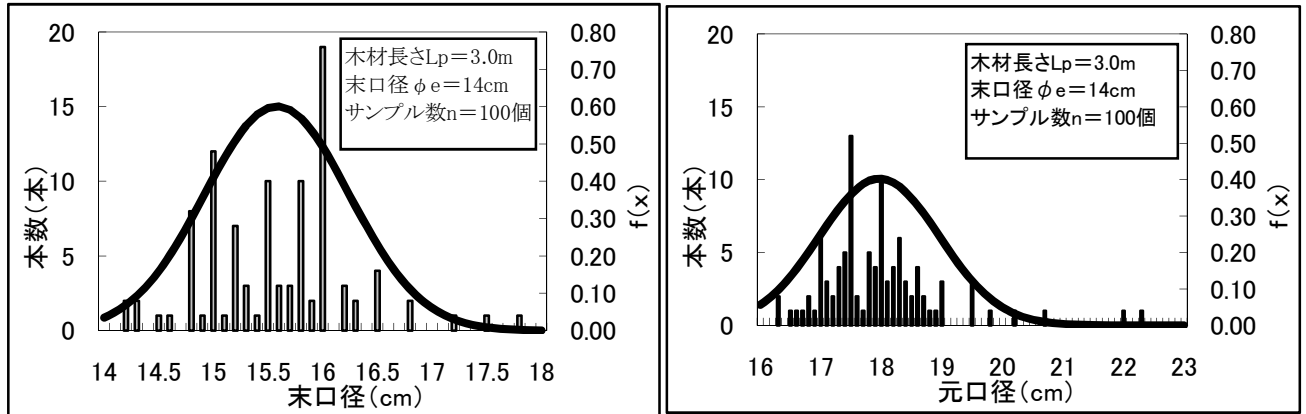


図-参1-1 木材長さ3.0m, 末口径14cmの正規分布曲線

## 末口径 $\phi_e = 16\text{cm}$ の頻度分布

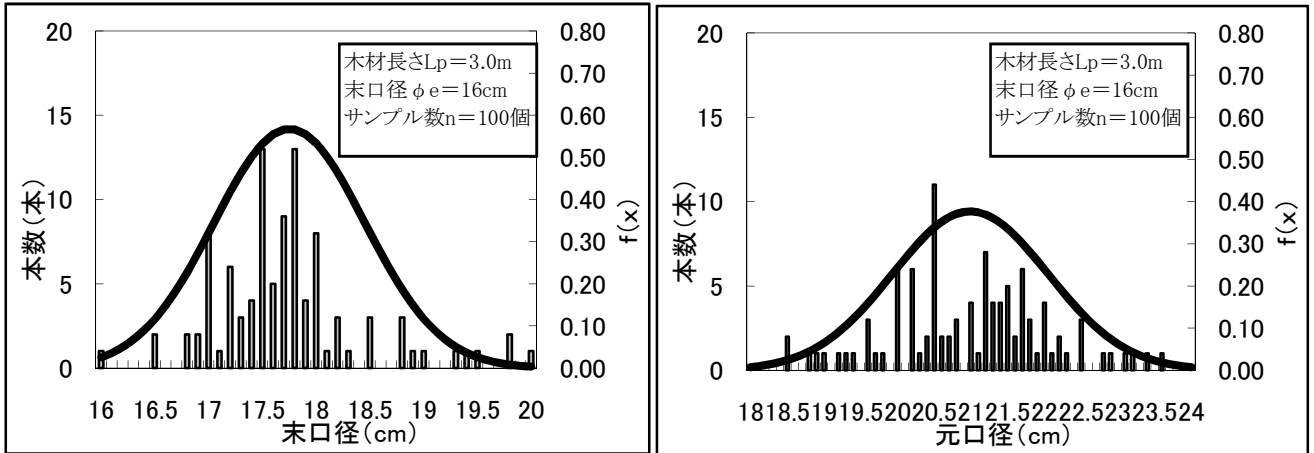


図-参1-2 木材長さ3.0m, 末口径16cmの正規分布曲線

## 末口径 $\phi_e = 18\text{cm}$ の頻度分布

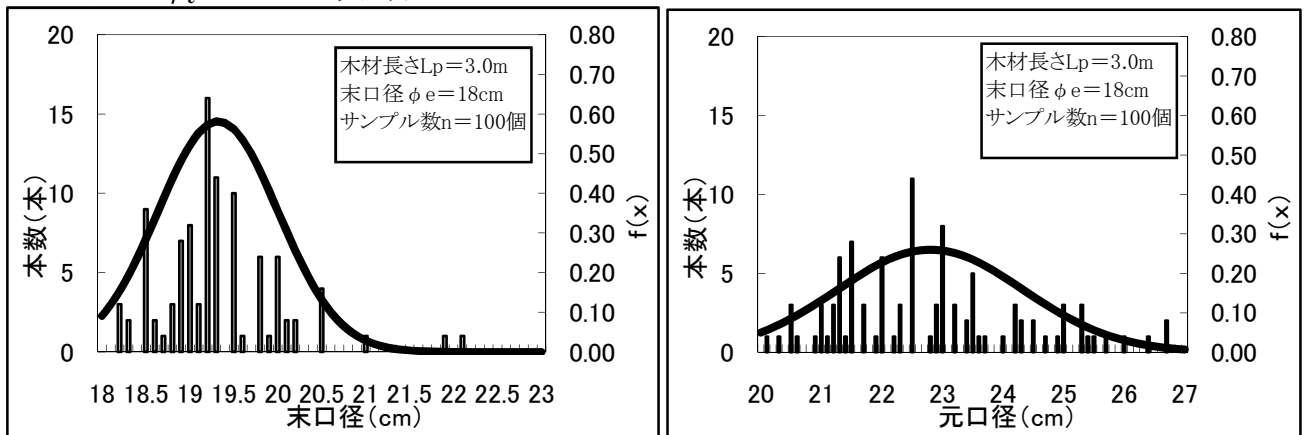


図-参1-3 木材長さ3.0m, 末口径18cmの正規分布曲線

## 2) 木杭長さ4.0mの頻度分布

### 末口径 $\phi_e=14\text{cm}$ の頻度分布

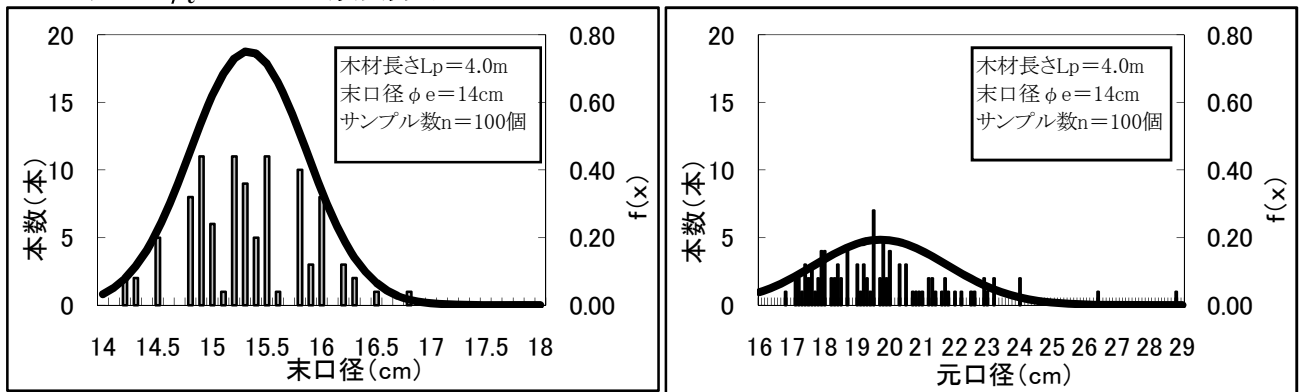


図-参1-4 木材長さ4.0m, 末口径14cmの正規分布曲線

### 末口径 $\phi_e=16\text{cm}$ の頻度分布

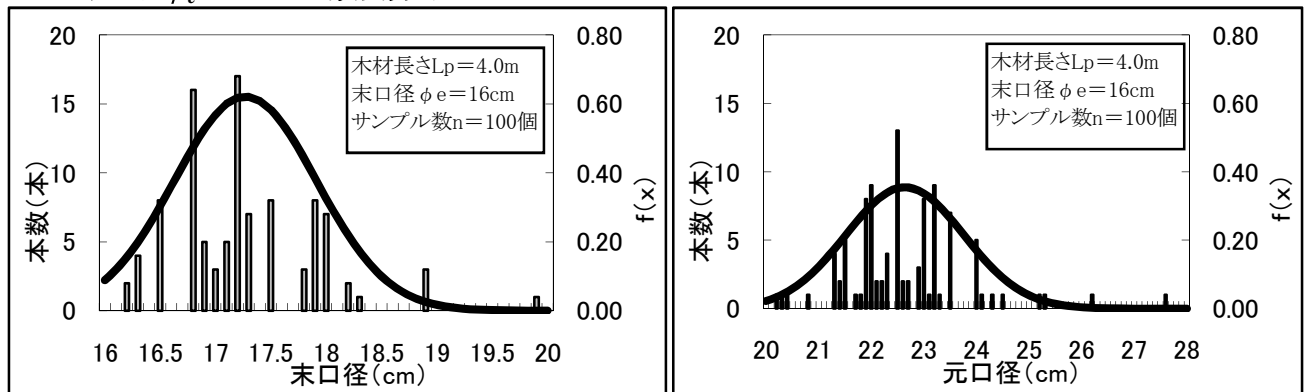


図-参1-5 木材長さ4.0m, 末口径16cmの正規分布曲線

### 末口径 $\phi_e=18\text{cm}$ の頻度分布

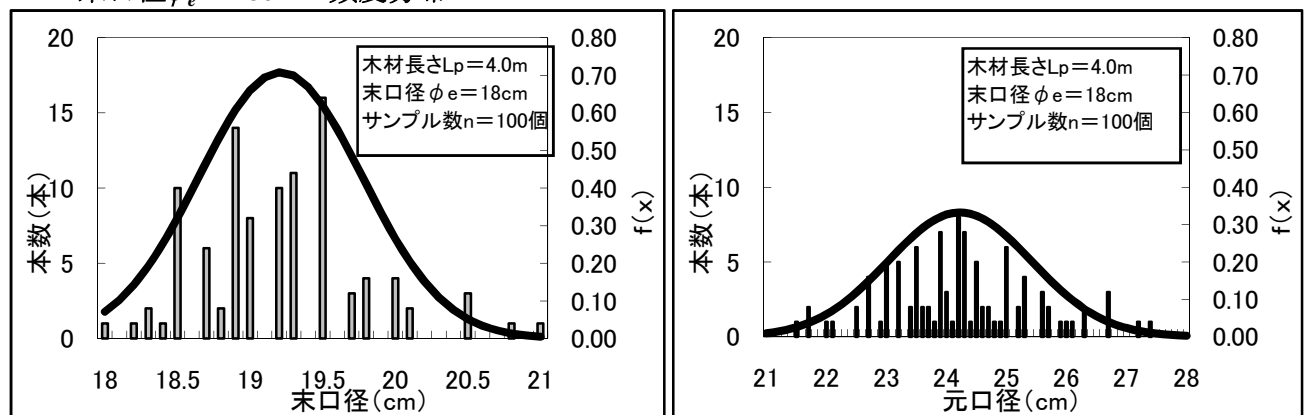


図-参1-6 木材長さ4.0m, 末口径18cmの正規分布曲線

### 3) 木杭長さ6.0mの頻度分布

#### 末口径 $\phi_e=14\text{cm}$ の頻度分布

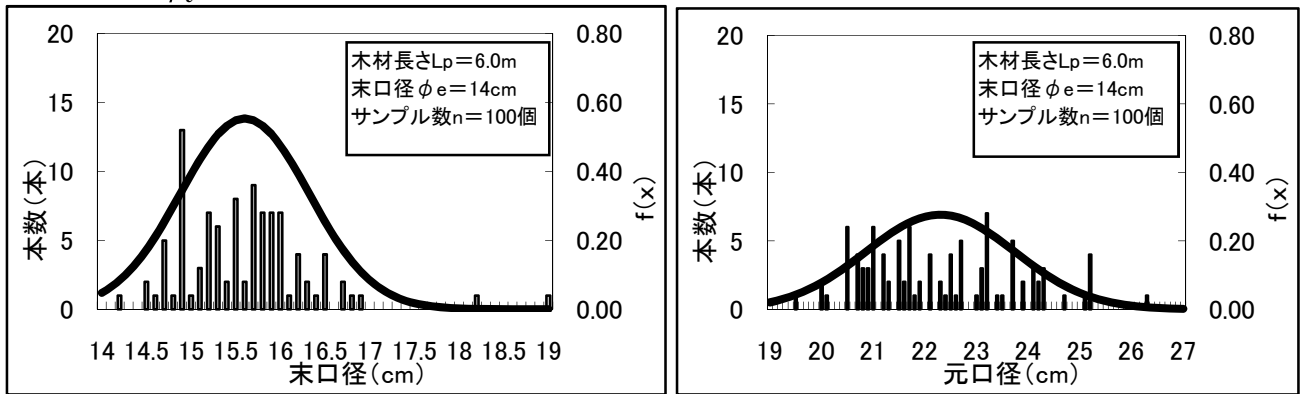


図-参1-7 木材長さ6.0m, 末口径14cmの正規分布曲線

#### 末口径 $\phi_e=16\text{cm}$ の頻度分布

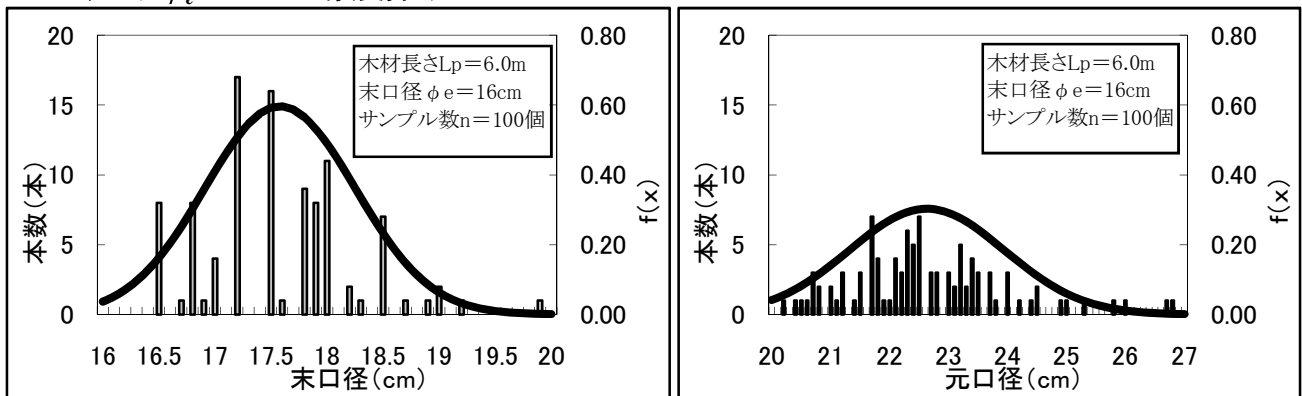


図-参1-8 木材長さ6.0m, 末口径16cmの正規分布曲線

#### 末口径 $\phi_e=18\text{cm}$ の頻度分布

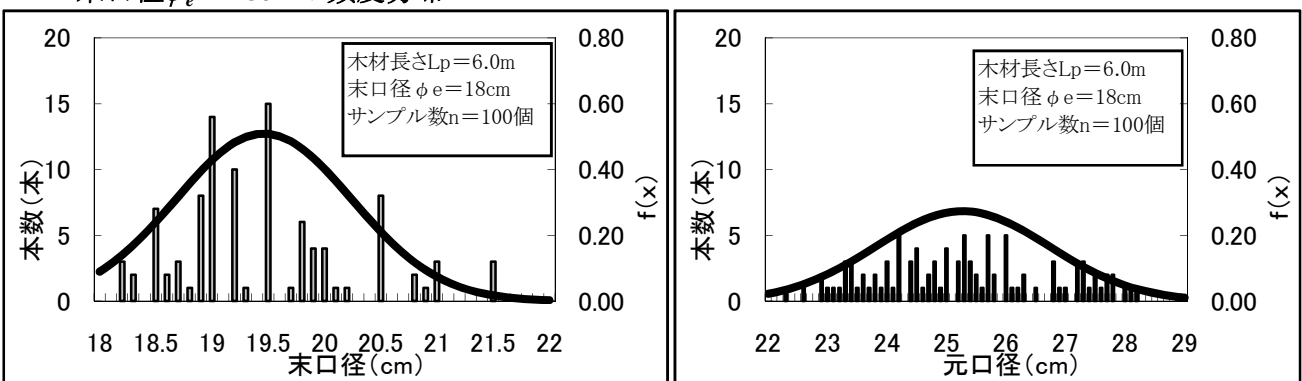


図-参1-9 木材長さ6.0m, 末口径18cmの正規分布曲線

# 参考資料② (既設歩道部擁壁背面土の現場確認試験)

木材利用研究会 第4分科会

## 1. はじめに

「プレキャストL型擁壁 ( $H \leq 2.0\text{m}$ ) の木杭-底盤系基礎～設計マニュアル (第1版)～」の基本的条件は次のとおりである。幅員 2.0m 以上の歩道部に設置される壁高 1.2m 以下の擁壁の設計を行う場合、土圧による側圧は考慮しないものとする。その理由は、擁壁背面土は幾らかの粘着力を有し、これによる土の自立高が期待できると推察されるからである。

本試験では、多く利用されている石灰にて改良された建設残土を背面土とする既施工のプレキャストL型擁壁背面土において、土圧の発生状況を確認するために、原位置試験を行うものである。

## 2. 試験内容

### 2.1 試験箇所

試験場所は図-1に示す江北芦刈線と大牟田川副線の2路線で行った。測点は、20m～30m 間隔で1路線当り5測点の合計10測点とした。試験は、L型擁壁底版端部より背面側にて行い、試験状況は写真-1のとおりである。

### 2.2 試験内容

試験内容は下記のとおりである。

#### 1) 粒度試験

.....2箇所/1路線×2路線=4箇所

#### 2) スウェーデン式サウンディング試験

.....5箇所/1路線×2路線=10箇所



図-1 原位置試験場所



写真-1 試験状況写真

## 3. 試験結果

### 3.1 粒度試験結果

表-1 粒度特性一覧表

試料採取箇所	礫分(%)	砂分(%)	細粒分(%)	摘要
江北芦刈線	3.9	62.0	34.1	
	20.6	44.3	35.1	
大牟田川副線	7.6	18.1	74.3	
	20.1	40.9	39.0	

表-1より、L型擁壁背面土に使用されている3箇所分の材料は砂質土と分類されるが、石灰改良による団粒化によって影響されていると判断できる。したがって、ここでは当該材料を粘性土として考えるものとする。

### 3.2 スウェーデン式サウンディング試験結果

図-2に江北芦刈線及び大牟田川副線の測点から得られた試験結果を示している。一軸圧縮強度の換算値に関して最小値は、 $q_{\text{min}} = 22.5\text{kN/m}^2$ であり、最も頻度の大きい値は  $45.0 \sim 50.0\text{kN/m}^2$ であった。

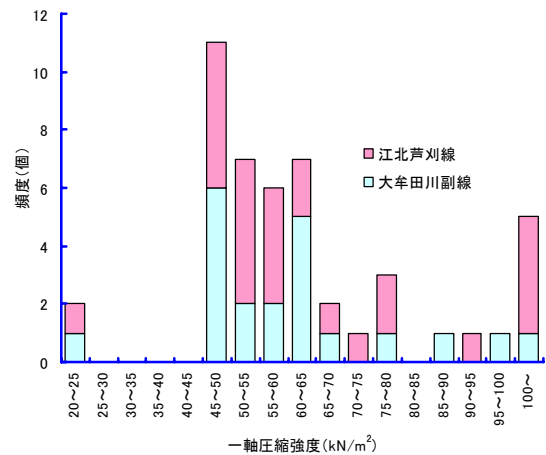


図-2 一軸圧縮強度の換算値と頻度の関係

## 4. 擁壁背面に作用する側圧の検証

擁壁背面に作用する側圧は道路橋示方書・同解説 I 共通編 p.38より、下記の式を用いる。

$$p_A = K_A \cdot \gamma \cdot x - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_A} + K_A \cdot q$$

ここに、各パラメータを以下のとおりとする。

主働土圧係数  $K_A = 1.0$

単位体積重量  $\gamma = 14.0\text{kN/m}^3$

擁壁高さ  $x = 1.20\text{m}$

粘着力  $c = q_{\text{min}} \div 2 = 22.5 \div 2 = 11.25\text{kN/m}^2$

地表上載荷重 (群集荷重)  $q = 3.5\text{kN/m}^2$

以上より、今回の試験箇所にて求まる主働土圧強度は  $P_A = -2.2\text{kN/m}^2$ となり、L型擁壁背面に作用する側圧は発生しない結果となった。

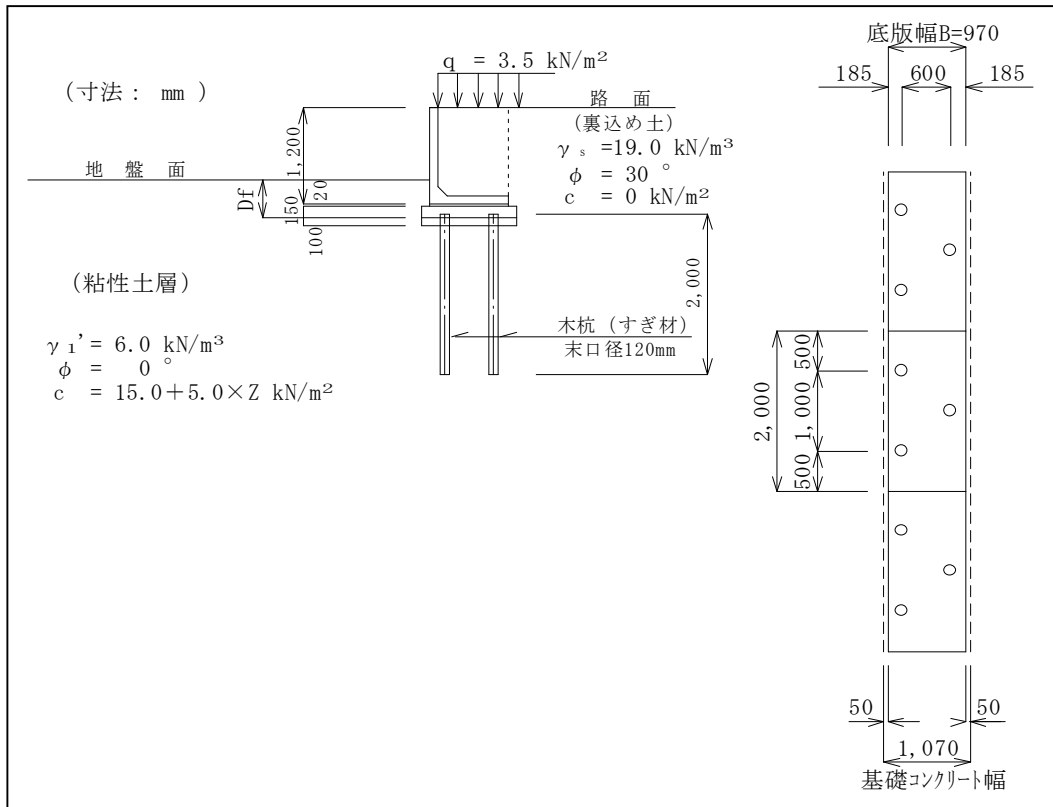
# 計 算 事 例

# 計算事例 I : 歩道部擁壁 (壁高1.2m)

実際の安定計算では木杭の末口径や長さ及び本数の数ケースの組み合わせにおける計算を行った上で、コストをも考慮して最適な寸法の杭と配置を決定する。

## 1. 計算断面および計算結果集計

### 1.1 計算断面



### 1.2 計算結果集計

木杭の樹種：すぎ 杭径：末口径 $\phi_e = 120$  (mm) 杭長  $L_p = 2.0$  (m) 本数 $n_p = 3$  (本)  
 ただし、設計計算上の木杭末口径も 120 (mm)ある。

表-1 計算結果集計表 (鉛直方向)

計算状態	(擁壁製品1個当たり、擁壁延長 $L = 2.0\text{m}$ )					
	鉛直荷重 $\Sigma V$ (kN)	基礎地盤の鉛直支持力 $R_{Vba}$ (kN)	木杭に作用する鉛直荷重 $V_p$ (kN)	木杭一本に作用する鉛直荷重 $V_{pi}$ (kN)	木杭一本の許容鉛直周面支持力 $R_{Vpai}$ (kN)	$V_{pi} \leq R_{Vpai}$
供用時	60.89	55.72	5.17	2.59	10.89	OK
施工時	18.71	—	18.71	9.36	13.62	OK

## 2. 荷重の計算

歩道部擁壁の基礎コンクリート下面に作用する鉛直荷重は、擁壁自重、裏込め土重、モルタルおよび基礎コンクリート自重を考慮する。荷重の作用位置は擁壁底版幅の中心とする。

表-2 荷重集計（擁壁延長L=2.0m当たり）

項目	記号	計算式	鉛直荷重V(kN)
L型擁壁本体	$W_{d1}$	擁壁本体の安定計算書から引用	10.51
裏込め土重	$W_{d2}$		36.09
群集荷重	$q$		6.09
均しモルタル	$W_{d3}$	$0.97 \times 2.0 \times 0.02 \times 21.0$	0.81
基礎コンクリート自重		$1.07 \times 2.0 \times 0.15 \times 23.0$	7.38
合計			60.89

## 3. 基礎地盤の鉛直支持力の算定

本事例では、基礎地盤の許容鉛直支持力はマニュアルp.16の「3.3 (1) 道路橋示方書による基礎地盤の鉛直支持力計算」より求める。

基礎地盤の許容鉛直支持力 $R_{vba}$

$$R_{vba} = \frac{R_{vbu}}{F_{vb}} \quad (F_{vb}=3) \quad (\text{マニュアルp.14参照})$$

基礎地盤の極限鉛直支持力 $R_{vbu}$

$$R_{vbu} = A_e \cdot (\alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \quad \dots \text{マニュアルp.16の(3.7)式}$$

$$\text{有効載荷幅 } B_e = B = 0.970 \text{ m}$$

$$\text{有効載荷面積 } A_e = B_e \cdot L = 0.970 \times 2.00 = 1.940 \text{ (m}^2\text{)}$$

(3.7)式の第1項

$$\text{形状係数 } \alpha = 1.00$$

$$\begin{aligned} \text{根入れ深さ } D_f &= \left( \overset{\text{有効根入長}}{0.300} + \overset{\text{モルタル厚}}{0.020} + \overset{\text{基礎コン厚}}{0.150} \right) \\ &= 0.47 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{割増し係数 } \kappa = 1 + 0.3 \cdot \frac{D_f}{B_e} = 1 + 0.3 \times \frac{0.47}{0.97} = 1.145$$

$$\begin{aligned} \text{粘着力 } c &= 15.0 + 5.0 \times D_f \\ &= 15.0 + 5.0 \times 0.47 \\ &= 17.35 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\text{支持力係数 } N_c = 5.00 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0) \quad (\text{マニュアルp.18の図3.6より})$$

$$\text{荷重の傾斜 } \tan\theta = \frac{\Sigma H}{\Sigma V} = \frac{0.00}{60.89} = 0.00$$

$$\text{補正係数 } S_c = (c^*)^\lambda = 0.832 \quad \lambda = -1/3$$

$$c^* = \frac{c}{c_0} = \frac{17.35}{10.0} = 1.735 \quad (1 \leq c^* \leq 10)$$



$$\begin{aligned} \text{第1項の計算 } \alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c &= 1.00 \times 1.145 \times 17.35 \times 5.00 \times 0.832 \\ &= 82.64 \quad (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

(3.7)式の第2項

$$\begin{aligned} \text{割増し係数 } \kappa &= 1.145 \\ \text{上 載 荷 重 } q &= \gamma_2 \cdot D_f = 6.0 \times 0.470 = 2.820 \quad (\text{kN/m}^2) \\ \text{支 持 力 係 数 } N_q &= 1.00 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0) \quad (\text{マニュアルp.18の図3.7より}) \\ \text{補 正 係 数 } S_q &= (q^*)^\nu = 1.00 \quad \nu = -1/3 \\ q^* &= \frac{q}{q_0} = \frac{2.820}{10.0} = 0.282 = 1.000 \quad (1 \leq q^* \leq 10) \end{aligned}$$

$$\text{第2項の計算 } \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q = 1.145 \times 2.820 \times 1.00 \times 1.00 = 3.23 \quad (\text{kN/m}^2)$$

(3.7)式の第3項

$$\begin{aligned} \text{支 持 地 盤 の} & \\ \text{単 位 重 量 } \gamma_1 &= 6.0 \quad (\text{kN/m}^3) \\ \text{形 状 係 数 } \beta &= 1.00 \\ \text{有 効 載 荷 幅 } B_e &= 0.970 \quad (\text{m}) \\ \text{支 持 力 係 数 } N_\gamma &= 0.10 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0) \quad (\text{マニュアルp.18の図3.8より}) \\ \text{補 正 係 数 } S_\gamma &= (B^*)^\mu = 1.00 \quad \mu = -1/3 \\ B^* &= \frac{B_e}{B_0} = \frac{0.97}{1.00} = 0.970 = 1.000 \quad (1 \leq B^*) \end{aligned}$$

第3項の計算

$$\frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma = \frac{1}{2} \times 6.00 \times 1.00 \times 0.97 \times 0.10 \times 1.00 = 0.29 \quad \text{kN/m}^2$$

基礎地盤の極限鉛直支持力 $R_{vbu}$ は、

$$\begin{aligned} R_{vbu} &= A_e \cdot (\alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \\ &= 1.940 \times (82.64 + 3.23 + 0.29) \\ &= 167.15 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

基礎地盤の許容鉛直支持力 $R_{vba}$ は、

$$R_{vba} = \frac{R_{vbu}}{F_{vb}} = \frac{167.15}{3} = 55.72 \quad (\text{kN})$$

$$\Sigma V = 60.89 \quad (\text{kN}) > R_{vba} = 55.72 \quad (\text{kN})$$

$\Sigma V > R_{vba}$  であるため、木杭-底盤系基礎の計算を行う。

#### 4. 木杭の配置、杭本数、杭径、杭長の選定

木杭の配置、杭本数、杭径、杭長を設定する。木杭の配置は、木杭の配置パターン例（マニュアルp.39）から、杭本数3本、末口径120mm、杭長2.0mと仮定して計算する。

#### 5. 木杭の鉛直周面支持力の算定

1本の木杭の許容鉛直周面支持力 $R_{Vpai}$

$$R_{Vpai} = \frac{R_{Vpui}}{F_{Vp}} \quad (F_{Vp} = 1.5) \quad (\text{マニュアルp.22参照})$$

1本の木杭の極限鉛直周面支持力 $R_{Vpui}$

$$R_{Vpui} = U \cdot \sum_{i=1}^{n_e} (f_i \cdot L_i)$$

現地盤面から木杭までの平均深度 $Z_{av}$

$$Z_{av} = D_f + \overset{\text{基礎コンへの根入れ}}{(L_p - 0.05) / 2}$$

$$= 0.47 + (2.0 - 0.05) / 2 = 1.445 \quad (\text{m})$$

$$\text{木杭周長 } U = \pi \cdot \phi_e = \pi \times 0.120 = 0.377 \quad (\text{m})$$

$$\text{周面摩擦力度 } f = c_{av} \quad (\text{ここに、} c_{av} \text{は平均粘着力、} Z_{av} \text{は現地盤面から木杭までの平均深度})$$

$$= 15.0 + 5 \times Z_{av} = 15.0 + 5 \times 1.445 = 22.23 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{層厚 } L = 1.950 \quad (\text{m})$$

$$\text{層数 } n_e = 1 \text{ 層}$$

1本の木杭の極限鉛直周面支持力 $R_{Vpui}$ は、

$$R_{Vpui} = U \cdot \sum_{i=1}^{n_e} (f_i \cdot L_i) = 0.377 \times (22.23 \times 1.950) = 16.34 \quad (\text{kN})$$

1本の木杭の許容鉛直周面支持力 $R_{Vpai}$

$$R_{Vpai} = \frac{R_{Vpui}}{F_{Vp}} = \frac{16.34}{1.5} = 10.89 \quad (\text{kN})$$

#### 6. 木杭が分担する鉛直荷重の算定

木杭が分担する鉛直荷重 $V_p$ は、プレキャストL型擁壁製品1個の長さを $L=2.0\text{m}$ として

$$V_p = \Sigma V - R_{Vba} = 60.89 - 55.72 = 5.17 \quad (\text{kN})$$

擁壁背面の木杭1本が分担する鉛直荷重 $V_{pi}$ はマニュアルp.24の(3.17)式から

$$V_{pi} = \frac{V_p}{2} = \frac{5.17}{2} = 2.59 \quad (\text{kN})$$

## 7. 木杭一底盤系基礎の鉛直支持力の照査

木杭1本に作用する鉛直荷重 $V_{pi}$ と1本の木杭の極限鉛直周面支持力 $R_{vpui}$ の関係について照査する。

$$V_{pi} = 2.59 \quad (\text{kN}) \leq R_{vpai} = 10.89 \quad (\text{kN}) \quad \dots\text{OK}$$

## 8. 擁壁設置時の検討

擁壁設置時荷重

$$\begin{aligned} V' &= ( W_{d1} + W_{d3} ) \\ &= ( 10.51 + 0.81 + 7.38 ) = 18.71 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

擁壁設置時における擁壁前面木杭1本に作用する鉛直荷重 $V_{pi}'$ はマニュアルp.24の(3.17')式から

$$V_{pi}' = \frac{V_p'}{2} = \frac{18.71}{2} = 9.36 \quad (\text{kN})$$

擁壁設置時における1本の木杭の許容鉛直周面支持力 $R_{vpai}$

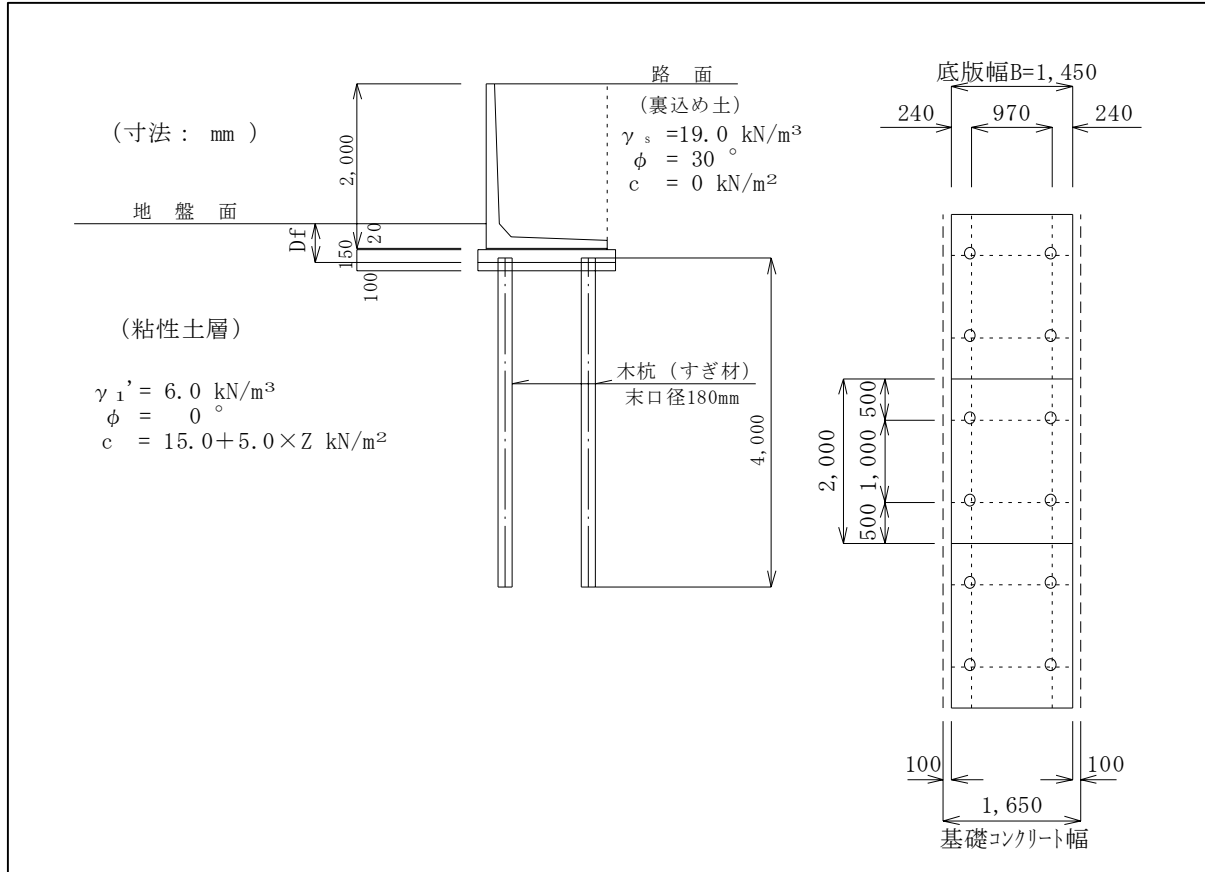
$$R_{vpai}' = \frac{R_{vpui}}{F_s'} = \frac{16.34}{1.2} = 13.62 \quad (\text{kN}) \geq V_{pi}' = 9.36 \quad \dots\text{OK}$$

## 計算事例Ⅱ：一般部擁壁（壁高2.0m）

実際の安定計算では木杭の末口径や長さ及び本数の数ケースの組み合わせにおける計算を行った上で、コストをも考慮して最適な寸法の杭と配置を決定する。

### 1. 計算断面および計算結果集計

#### 1.1 計算断面



#### 1.2 計算結果集計

木杭の樹種：すぎ 杭径：末口径 $\phi_e = 180$  (mm) 杭長 $L_p = 4.0$  (m) 本数 $n_p = 4$  (本)  
ただし、設計計算上の木杭末口径は 190 (mm)である。

表-1(a) 計算結果集計表（鉛直方向）

計算状態	荷重ケース	(擁壁製品1個当たり、擁壁延長 $L = 2.0\text{m}$ )					
		鉛直荷重 $\Sigma V$ (kN)	基礎地盤の鉛直支持力 $R_{Vba}$ (kN)	木杭に作用する鉛直荷重 $V_p$ (kN)	木杭一本に作用する最大鉛直荷重 $V_{pi}$ (kN)	木杭一本の許容鉛直周面支持力 $R_{Vpai}$ (kN)	$V_{pi} \leq R_{Vpai}$
供用時	①	154.40	43.44	110.96	38.32	42.80	OK
	②	127.40	35.22	92.18	34.45	42.80	OK
施工時		33.42	—	33.42	16.71	53.50	OK

注：荷重ケース①、②はマニュアルp.5の図1.4参照

表-1(b) 計算結果集計表 (水平方向)

計算状態		(擁壁製品1個当たり、擁壁延長 $L=2.0\text{m}$ )						
		水平荷重 $\Sigma H$ (kN)	基礎地盤の 水平支持力 $R_{Hba}$ (kN)	木杭に作用する 水平荷重 $H_p$ (kN)	杭体の曲げ応力度 (上段：圧縮、下段：引張) $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )		杭体の許容 曲げ応力度 上段：圧縮 下段：引張 $\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma \leq \sigma_a$
					1列目	2列目		
供用時	①	38.68	24.98	13.70	2.80	2.05	4.54	OK
					-0.10	-0.85	-5.70	
	②	38.68	22.44	16.24	2.93	2.41	4.54	OK
					-0.51	-1.59	-5.70	

## 2. 荷重の計算

一般部擁壁の基礎コンクリート下面に作用する荷重は、L型擁壁本体の安定計算結果とモルタルおよび基礎コンクリートの自重を考慮する。荷重の作用位置はL型擁壁の前面下端位置を原点とする。モルタルおよび基礎コンクリートは偏心距離 $e_B$ の算出式には考慮しない。

### 2.1 荷重ケース①の場合

表-2 荷重集計 (擁壁延長 $L=2.0\text{m}$ 当たり)

項目	記号	作用荷重(kN)		作用位置(m)		モーメント(kN・m)		備考
		鉛直 $V$	水平 $H$	$x$	$y$	$V \cdot x$	$H \cdot y$	
L型擁壁本体	$W_{d1}$	20.82	—	0.336	0.562	6.996	—	擁壁本体の 安定計算書 から引用
裏込め土重	$W_{d2}$	93.98	—	0.792	1.075	74.432	—	
活荷重	$q$	27.00	—	0.775	2.000	20.925	—	
土圧+ 活荷重による側圧	$W_s + W_{th}$	—	38.68	1.450	0.667	—	25.800	
小計		141.80	38.68	—	—	102.353	25.800	
基礎コンクリート自重	$W_{d3}$	12.60	—	—	—	—	—	モルタル自重含む
合計		154.40	38.68	—	—	—	—	

合力の作用位置 $x_0$ は上表の小計に該当する数値を用いて以下の式から求める。

$$x_{01} = \frac{\Sigma V \cdot x - \Sigma H \cdot y}{\Sigma V} = \frac{102.353 - 25.800}{141.80} = 0.540 \quad (\text{m})$$

合力の作用位置の擁壁底版中心からの偏心距離 $e_{B1}$ は以下の式から求める。

$$e_{B1} = \frac{B}{2} - x_{01} = \frac{1.45}{2} - 0.540 = 0.185 \quad (\text{m})$$

## 2.2 荷重ケース②の場合

表-3 荷重集計（擁壁延長L=2.0m当たり）

項目	記号	作用荷重(kN)		作用位置(m)		モーメント(kN・m)		備考
		鉛直V	水平H	x	y	V・x	H・y	
L型擁壁本体	$W_{d1}$	20.82	—	0.336	0.562	6.996	—	擁壁本体の 安定計算書 から引用
裏込め土重	$W_{d2}$	93.98	—	0.792	1.075	74.432	—	
活荷重	$q$	0.00	—	—	—	—	—	
土圧+ 活荷重による側圧	$W_s+W_{th}$	—	38.68	1.450	0.667	—	25.800	
小計		114.80	38.68	—	—	81.428	25.800	
基礎コンクリート自重	$W_{d3}$	12.60	—	—	—	—	—	モルタル自重含む
合計		127.40	38.68	—	—	—	—	

合力の作用位置 $x_0$ は上表の小計に該当する数値を用いて以下の式から求める。

$$x_{02} = \frac{\Sigma V \cdot x - \Sigma H \cdot y}{\Sigma V} = \frac{81.428 - 25.800}{114.80} = 0.485 \quad (\text{m})$$

合力の作用位置の擁壁底版中心からの偏心距離 $e_{B2}$ は以下の式から求める。

$$e_{B2} = \frac{B}{2} - x_{02} = \frac{1.45}{2} - 0.485 = 0.240 \quad (\text{m})$$

## 3. 基礎地盤の鉛直支持力の算定

本事例では、基礎地盤の許容鉛直支持力はマニュアルp.16の「3.3 (1) 道路橋示方書による基礎地盤の鉛直支持力計算」より求める。

基礎地盤の許容鉛直支持力 $R_{vba}$

$$R_{vba} = \frac{R_{vbu}}{F_{vb}} \quad (F_{vb}=3) \quad (\text{マニュアルp.14参照})$$

基礎地盤の極限鉛直支持力 $R_{vbu}$

$$R_{vbu} = A_e \cdot (\alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma)$$

### 3.1 荷重ケース①の場合

$$\text{有効載荷幅 } B_e = B - 2 \cdot e_{B1} = 1.45 - 2 \times 0.185 = 1.080 \quad (\text{m})$$

$$\text{有効載荷面積 } A_e = B_e \cdot L = 1.080 \times 2.00 = 2.160 \quad (\text{m}^2)$$

(3.7)式の第1項

$$\text{形状係数 } \alpha = 1.00$$

$$\text{根入れ深さ } D_f = \left( \begin{array}{c} \text{有効根入長} \\ 0.300 \end{array} + \begin{array}{c} \text{モルタル厚} \\ 0.020 \end{array} + \begin{array}{c} \text{基礎コン厚} \\ 0.150 \end{array} \right) = 0.47 \quad (\text{m})$$

$$\text{割増し係数 } \kappa = 1 + 0.3 \cdot \frac{D_f}{B_e} = 1 + 0.3 \times \frac{0.47}{1.080} = 1.131$$

$$\begin{aligned}
\text{粘着力 } c &= 15.0 + 5.0 \times D_f \\
&= 15.0 + 5.0 \times 0.47 = 17.35 \quad (\text{kN/m}^2) \\
\text{支持力係数 } N_c &= 3.50 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0.251) \quad (\text{マニュアルp.18の図3.6より}) \\
\text{荷重の傾斜 } \tan\theta &= \frac{\Sigma H}{\Sigma V} = \frac{38.68}{154.40} = 0.251 \\
\text{補正係数 } S_c &= (c^*)^\lambda = 0.832 \quad \lambda = -1/3 \\
c^* &= \frac{c}{c_0} = \frac{17.35}{10.0} = 1.735 \quad (1 \leq c^* \leq 10)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{第1項の計算 } \alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c &= 1.00 \times 1.131 \times 17.35 \times 3.50 \times 0.832 \\
&= 57.14 \quad (\text{kN/m}^2)
\end{aligned}$$

(3.7)式の第2項

$$\begin{aligned}
\text{割増し係数 } \kappa &= 1.131 \\
\text{上載荷重 } q &= \gamma_2 \cdot D_f \\
&= 6.0 \times 0.47 = 2.820 \quad (\text{kN/m}^2) \\
\text{支持力係数 } N_q &= 1.00 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0.251) \quad (\text{マニュアルp.18の図3.7より}) \\
\text{補正係数 } S_q &= (q^*)^\nu = 1.00 \quad \nu = -1/3 \\
q^* &= \frac{q}{q_0} = \frac{2.820}{10.0} = 0.282 = 1.000 \quad (1 \leq q^* \leq 10)
\end{aligned}$$

$$\text{第2項の計算 } \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q = 1.131 \times 2.820 \times 1.00 \times 1.00 = 3.19 \quad (\text{kN/m}^2)$$

(3.7)式の第3項

$$\begin{aligned}
\text{支持地盤の単位重量 } \gamma_1 &= 6.0 \quad (\text{kN/m}^3) \\
\text{形状係数 } \beta &= 1.00 \\
\text{有効載荷幅 } B_e &= 1.080 \quad (\text{m}) \\
\text{支持力係数 } N_\gamma &= 0.00 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0.251) \quad (\text{マニュアルp.18の図3.8より}) \\
\text{補正係数 } S_\gamma &= (B^*)^\mu = 0.975 \quad \mu = -1/3 \\
B^* &= \frac{B_e}{B_0} = \frac{1.080}{1.00} = 1.080 \quad (1 \leq B^*)
\end{aligned}$$

第3項の計算

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma &= \frac{1}{2} \times 6.00 \times 1.00 \times 1.08 \times 0.00 \times 0.975 \\
&= 0.00 \quad (\text{kN/m}^2)
\end{aligned}$$

基礎地盤の極限鉛直支持力 $R_{vbu}$ は、

$$\begin{aligned}
R_{vbu} &= A_e \cdot (\alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \\
&= 2.160 \times (57.14 + 3.19 + 0.00) \\
&= 130.31 \quad (\text{kN})
\end{aligned}$$

基礎地盤の許容鉛直支持力 $R_{vba}$ は、

$$R_{vba} = \frac{R_{vbu}}{F_{vb}} = \frac{130.31}{3} = 43.44 \quad (\text{kN})$$

$$\Sigma V = 154.40 \quad (\text{kN}) > R_{vba} = 43.44 \quad (\text{kN})$$

$\Sigma V > R_{vba}$  であるため、木杭-底盤系基礎の計算を以下行う。

### 3.2 荷重ケース②の場合

$$\text{有効載荷面積 } A_e = B_e \cdot L = 0.970 \times 2.00 = 1.940 \quad (\text{m}^2)$$

$$\text{有効載荷幅 } B_e = B - 2 \cdot e_{B2} = 1.45 - 2 \times 0.240 = 0.970 \quad (\text{m})$$

第1項

$$\text{形状係数 } \alpha = 1.00 \quad \text{根入れ深さ } D_f = 0.47 \quad (\text{m})$$

$$\text{割増し係数 } \kappa = 1 + 0.3 \cdot \frac{D_f}{B_e} = 1 + 0.3 \times \frac{0.470}{0.970} = 1.145$$

$$\begin{aligned} \text{粘着力 } c &= 15.0 + 5 \times D_f \\ &= 15.0 + 5 \times 0.47 = 17.35 \quad (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

$$\text{支持力係数 } N_c = 3.10 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0.304) \quad (\text{マニユアルp.18の図3.6より})$$

$$\text{荷重の傾斜 } \tan\theta = \frac{\Sigma H}{\Sigma V} = \frac{38.68}{127.40} = 0.304$$

$$\text{補正係数 } S_c = (c^*)^\lambda = 0.832 \quad \lambda = -1/3$$

$$c^* = \frac{c}{c_0} = \frac{17.35}{10.0} = 1.735 \quad (1 \leq c^* \leq 10)$$

$$\begin{aligned} \text{第1項の計算 } \alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c &= 1.00 \times 1.15 \times 17.35 \times 3.10 \times 0.832 \\ &= 51.24 \quad (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

第2項

$$\text{割増し係数 } \kappa = 1.145$$

$$\begin{aligned} \text{上載荷重 } q &= \gamma_2 \cdot D_f \\ &= 6.0 \times 0.47 = 2.820 \quad (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

$$\text{支持力係数 } N_q = 1.00 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0.304) \quad (\text{マニユアルp.18の図3.7より})$$

$$\text{補正係数 } S_q = (q^*)^\nu = 1.00 \quad \nu = -1/3$$

$$q^* = \frac{q}{q_0} = \frac{2.820}{10.0} = 0.282 = 1.000 \quad (1 \leq q^* \leq 10)$$

$$\begin{aligned} \text{第2項の計算 } \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q &= 1.145 \times 2.820 \times 1.00 \times 1.00 \\ &= 3.229 \quad (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$



### 第3項

$$\begin{aligned} \text{支持地盤の} & \gamma_1 = 6.0 \quad (\text{kN/m}^3) \quad (= \gamma_1') \\ \text{単位重量} & \\ \text{形状係数} & \beta = 1.00 \\ \text{有効載荷幅} & B_e = 0.970 \quad (\text{m}) \\ \text{支持力係数} & N_\gamma = 0.00 \quad (\phi=0.00^\circ, \tan\theta=0.304) \quad (\text{マニュアルp.18の図3.8より}) \\ \text{補正係数} & S_\gamma = (B^*)^\mu = 1.000 \quad \mu = -1/3 \\ & B^* = \frac{B_e}{B_0} = \frac{0.970}{1.00} = 0.970 = 1.000 \quad (1 \leq B^*) \end{aligned}$$

### 第3項の計算

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma &= \frac{1}{2} \times 6.00 \times 1.00 \times 0.970 \times 0.00 \times 1.000 \\ &= 0.00 \quad (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

基礎地盤の極限鉛直支持力 $R_{vbu}$ は、

$$\begin{aligned} R_{vbu} &= A_e \cdot (\alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \\ &= 1.940 \times (51.24 + 3.229 + 0.00) \\ &= 105.67 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

基礎地盤の許容鉛直支持力 $R_{vba}$ は、

$$R_{vba} = \frac{R_{vbu}}{F_{vb}} = \frac{105.67}{3} = 35.22 \quad (\text{kN})$$

$$\Sigma V = 127.40 \quad (\text{kN}) > R_{vba} = 35.22 \quad (\text{kN})$$

$\Sigma V > R_{vba}$  であるため、木杭-底盤系基礎の計算を以下行う。

## 4. 木杭の配置、杭本数、杭径、杭長の選定

木杭の配置、杭本数、杭径、杭長を設定する。木杭の配置は、木杭の配置パターン例 (マニュアルp.39) から、木杭本数 4 本、杭径 190 (mm)、杭長 4.0 (m)と仮定して計算する。

## 5. 木杭の鉛直周面支持力の算定

1本の木杭の許容鉛直周面支持力 $R_{vpai}$

$$R_{vpai} = \frac{R_{vpui}}{F_{vp}} \quad (F_{vp} = 1.5) \quad (\text{マニュアルp.22参照})$$

1本の木杭の極限鉛直周面支持力 $R_{Vpui}$

$$R_{Vpui} = U \cdot \sum_{i=1}^{n_e} (f_i \cdot L_i)$$

$$\text{木杭周長 } U = \pi \cdot \phi_e = \pi \times 0.19 = 0.597 \quad (\text{m})$$

現地盤面から木杭中心位置までの深度 $Z_{av}$

$$Z_{av} = D_f + \overset{\text{基礎コンへの根入れ}}{(L_p - 0.05) / 2} = 0.47 + (4.0 - 0.05) / 2 = 2.445 \quad (\text{m})$$

$$\begin{aligned} \text{周面摩擦力度 } f &= c_{av} = 15.0 + 5 \times Z_{av} = 15.0 + 5 \times 2.445 \\ &= 27.23 \quad (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

(ここに、 $c_{av}$ は平均粘着力、 $Z_{av}$ は現地盤面から木杭までの平均深度)

$$\text{層厚 } L = 3.95 \quad (\text{m})$$

$$\text{層数 } n_e = 1 \text{ 層}$$

1本の木杭の極限鉛直周面支持力 $R_{Vpui}$ は、

$$R_{Vpui} = U \cdot \sum_{i=1}^{n_e} (f_i \cdot L_i) = 0.597 \times (27.23 \times 3.95) = 64.20 \quad (\text{kN})$$

1本の木杭の許容鉛直周面支持力 $R_{Vpai}$

$$R_{Vpai} = \frac{R_{Vpui}}{F_{Vp}} = \frac{64.2}{1.5} = 42.80 \quad (\text{kN})$$

## 6. 木杭が分担する鉛直荷重の算定

### 6.1 荷重ケース①の場合

木杭が分担する鉛直荷重 $V_p$ は、

$$V_p = \Sigma V - R_{Vba} = 154.40 - 43.44 = 110.96 \quad (\text{kN})$$

偏心を考慮した $i$ 番目の木杭1本が分担する鉛直荷重 $V_{pi}$

$$V_{pi} = \frac{V_p}{n_p} + \frac{V_p \cdot e_{B1}}{\Sigma (n_i \cdot x_i^2)} \cdot x_i$$

$$\text{杭総本数 } n_p = 4 \text{ 本} \qquad \text{偏心量 } e_{B1} = 0.185 \quad (\text{m})$$

$$\text{1列目の杭本数 } n_1 = 2 \text{ 本} \qquad \text{2列目の杭本数 } n_2 = 2 \text{ 本}$$

$$\text{杭中心までの水平距離 } x_1 = 0.485 \quad (\text{m}) \qquad \text{杭中心までの水平距離 } x_2 = -0.485 \quad (\text{m})$$

$$\Sigma (n_i \cdot x_i^2) = n_1 \cdot x_1^2 + n_2 \cdot x_2^2$$

$$\begin{aligned} &= \underset{\text{1列目の木杭}}{2 \times (0.485)^2} + \underset{\text{2列目の木杭}}{2 \times (-0.485)^2} \\ &= 0.941 \quad (\text{m}^2) \end{aligned}$$

よって、偏心を考慮した*i*番目の木杭1本が分担する鉛直荷重 $V_{pi}$ は

$$\begin{aligned} V_{pi} &= \frac{110.96}{4} + \frac{110.96}{0.941} \times \frac{0.185}{0.941} \times (\pm 0.485) \\ &= 27.74 \pm 10.58 \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 38.32 \\ 17.16 \end{array} \right\} \text{ (kN)} \quad \begin{array}{l} \text{(前面木杭)} \\ \text{(背面木杭)} \end{array} \end{aligned}$$

## 6.2 荷重ケース②の場合

木杭が分担する鉛直荷重 $V_p$ は、プレキャストL型擁壁製品1個の長さを $L=2.0\text{m}$ として

$$V_p = \Sigma V - R_{vba} = 127.4 - 35.22 = 92.18 \text{ (kN)}$$

偏心を考慮した*i*番目の木杭1本が分担する鉛直荷重 $V_{pi}$ は

$$V_{pi} = \frac{V_p}{n_p} + \frac{V_p \cdot e_{B2}}{\Sigma (n_i \cdot x_i^2)} \cdot x_i$$

杭総本数  $n_p = 4$  本      偏 心 量  $e_{B2} = 0.240$  (m)

よって、偏心を考慮した*i*番目の木杭1本が分担する鉛直荷重 $V_{pi}$ は

$$\begin{aligned} V_{pi} &= \frac{92.18}{4} + \frac{92.18}{0.941} \times \frac{0.240}{0.941} \times (\pm 0.485) \\ &= 23.05 \pm 11.40 \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 34.45 \\ 11.65 \end{array} \right\} \text{ (kN)} \quad \begin{array}{l} \text{(前面木杭)} \\ \text{(背面木杭)} \end{array} \end{aligned}$$

## 7. 木杭一底盤系基礎の鉛直支持力の照査

鉛直支持力の照査は、前項で算出した偏心考慮の木杭1本に作用する鉛直荷重 $V_{pi}$ の最大値と木杭1本の許容鉛直周面支持力 $R_{vpai}$ の関係について照査すれば十分であるが、本計算事例では各木杭で照査する。

### 7.1 荷重ケース①の場合

$$V_{pi} = \left\{ \begin{array}{l} 38.32 \\ 17.16 \end{array} \right\} \text{ (kN)} \quad \begin{array}{l} \text{(前面木杭)} \\ \text{(背面木杭)} \end{array} \leq R_{vpai} = 42.80 \text{ (kN)} \quad \cdots \text{OK}$$

### 7.2 荷重ケース②の場合

$$V_{pi} = \left\{ \begin{array}{l} 34.45 \\ 11.65 \end{array} \right\} \text{ (kN)} \quad \begin{array}{l} \text{(前面木杭)} \\ \text{(背面木杭)} \end{array} \leq R_{vpai} = 42.80 \text{ (kN)} \quad \cdots \text{OK}$$

## 8. 基礎地盤の水平支持力の算定

基礎地盤の許容水平支持力 $R_{Hba}$

$$R_{Hba} = \frac{R_{Hb}}{F_{Hb}} \quad (F_{Hb} = 1.5) \quad (\text{マニュアルp.15参照})$$

基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力 $R_{Hb}$

$$R_{Hb} = c_B \cdot A_e + R_{Vba} \cdot \tan\phi_B$$

### 8.1 荷重ケース①の場合

基礎底面と地盤との間の付着力	$c_B$	$=$	$15.0 + 5 \times D_f$	$=$	$15.0 + 5 \times 0.47$	$=$	$17.35$	$(\text{kN/m}^2)$
有効載荷面積	$A_e$	$=$	$2.160$	$(\text{m}^2)$				
基礎地盤の許容鉛直支持力	$R_{Vba}$	$=$	$43.44$	$(\text{kN})$				
基礎底面と地盤との間の摩擦角	$\phi_B$	$=$	$0.00$	$^\circ$				

基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力 $R_{Hb}$ は、

$$\begin{aligned} R_{Hb} &= c_B \cdot A_e + R_{Vba} \cdot \tan\phi_B \\ &= 17.35 \times 2.160 + 43.44 \times \tan 0.00^\circ \\ &= 37.48 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

基礎地盤の許容水平支持力 $R_{Hba}$

$$R_{Hba} = \frac{R_{Hb}}{F_{Hb}} = \frac{37.48}{1.5} = 24.98 \quad (\text{kN})$$

### 8.2 荷重ケース②の場合

基礎底面と地盤との間の付着力	$c_B$	$=$	$15.0 + 5 \times D_f$	$=$	$15.0 + 5 \times 0.47$	$=$	$17.35$	$(\text{kN/m}^2)$
有効載荷面積	$A_e$	$=$	$1.940$	$(\text{m}^2)$				
基礎地盤の許容鉛直支持力	$R_{Vba}$	$=$	$35.22$	$(\text{kN})$				
基礎底面と地盤との間の摩擦角	$\phi_B$	$=$	$0.00$	$^\circ$				

基礎底面と地盤との間に働くせん断抵抗力 $R_{Hb}$ は、

$$\begin{aligned} R_{Hb} &= c_B \cdot A_e + R_{Vba} \tan\phi_B \\ &= 17.35 \times 1.940 + 35.22 \times \tan 0.00^\circ \\ &= 33.66 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

基礎地盤の許容水平支持力 $R_{Hba}$

$$R_{Hba} = \frac{R_{Hb}}{F_{Hb}} = \frac{33.66}{1.5} = 22.44 \quad (\text{kN})$$

## 9. 木杭の水平支持力の算定

### 9.1 荷重ケース①の場合

木杭頭部に作用する水平荷重 $H_p$

$$H_p = \Sigma H - R_{Hba} = 38.68 - 24.98 = 13.70 \quad (\text{kN})$$

一本の木杭頭部に作用する水平荷重 $H_{pi}$

$$H_{pi} = \frac{H_p}{n_p} = \frac{13.70}{4} = 3.425 \quad (\text{kN})$$

木杭本体に生じる地中部最大モーメント $M_{max}$

$$M_{max} = -0.3224 \cdot \frac{H_{pi}}{\beta_0}$$

$$\text{木杭の特性値} \quad \beta_0 = 4 \sqrt{\frac{K_H \cdot \phi_e}{4 \cdot E \cdot I}} \quad \left[ \begin{array}{l} \text{横方向地盤反力係数} K_H \text{と木杭の特性} \\ \text{値} \beta \text{は相関関係にあるため繰り返し計} \\ \text{算が必要となる。} \end{array} \right]$$

$$\text{横方向地盤反力係数} \quad K_H = K_{H0} \cdot \left( \frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$\text{水平載荷試験の値に相当} \quad K_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha_0 \cdot E_0 = 20,000 \quad (\text{kN/m}^3)$$

地盤反力係数推定  
に用いる係数

$$\alpha_0 = 4$$

変形係数

$$E_0 = 1,500 \quad (\text{kN/m}^2)$$

荷重作用方向に直行  
の基礎換算載荷幅

$$B_H = \sqrt{\frac{\phi_e}{\beta_0}} = \sqrt{\frac{0.190}{1.182}} = 0.401 \quad (\text{m})$$

$$\text{横方向地盤反力係数} \quad K_H = K_{H0} \cdot \left( \frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4} = 16,088 \quad (\text{kN/m}^3)$$

$$\text{木杭平均末口} \quad \phi_e = 0.19 \quad (\text{m})$$

$$\text{木杭の弾性係数} \quad E = 7,355,000 \quad (\text{kN/m}^2)$$

木杭の断面  
2次モーメント

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot \phi_e^4 = \frac{\pi}{64} \times 0.19^4 = 6.397\text{E-}05 \quad (\text{m}^4)$$

$$\begin{aligned} \text{木杭の特性値} \quad \beta_0 &= 4 \sqrt{\frac{K_H \cdot \phi_e}{4 \cdot E \cdot I}} \\ &= 4 \sqrt{\frac{16,088 \times 0.190}{4 \times 7,355,000 \times 6.397\text{E-}05}} \\ &= 1.129 \quad (\text{m}^{-1}) \end{aligned}$$

$$M_{max} = -0.3224 \frac{H_{pi}}{\beta_0} = -0.3224 \frac{3.425}{1.129} = -0.978 \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

木杭の曲げ応力度（1列目）

$$\sigma_b = \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z}$$

木杭1本が分担する鉛直荷重  $V_{pi} = 38,320$  (N)

木杭1本当りの断面積  $A = 28,400$  (mm<sup>2</sup>)

木杭本体に生じる地中部最大モーメント  $M_{max} = 978,000$  (N・mm)

木杭の断面係数  $Z = \pi \cdot \phi_e^3 / 32 = \pi \times 190^3 / 32 = 673,000$  (mm<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z} = \frac{38,320}{28,400} \pm \frac{978,000}{673,000} \\ &= 1.35 \pm 1.45 \\ &= \{ \begin{array}{l} 2.80 \\ -0.10 \end{array} \} \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

(曲げ圧縮応力度)  
(曲げ引張応力度)

木杭の曲げ応力度（2列目）

$$\sigma_b = \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z}$$

木杭1本が分担する鉛直荷重  $V_{pi} = 17,160$  (N)

木杭1本当りの断面積  $A = 28,400$  (mm<sup>2</sup>)

木杭本体に生じる地中部最大モーメント  $M_{max} = 978,000$  (N・mm)

木杭の断面係数  $Z = \pi \cdot \phi_e^3 / 32 = \pi \times 190^3 / 32 = 673,000$  (mm<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z} = \frac{17,160}{28,400} \pm \frac{978,000}{673,000} \\ &= 0.60 \pm 1.45 \\ &= \{ \begin{array}{l} 2.05 \\ -0.85 \end{array} \} \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

(曲げ圧縮応力度)  
(曲げ引張応力度)

## 9.2 荷重ケース②の場合

木杭頭部に作用する水平荷重 $H_p$

$$H_p = \Sigma H - R_{Hba} = 38.68 - 22.44 = 16.24 \text{ (kN)}$$

一本の木杭頭部に作用する水平荷重 $H_{pi}$

$$H_{pi} = \frac{H_p}{n_p} = \frac{16.24}{4} = 4.060 \text{ (kN)}$$

木杭本体に生じる地中部最大モーメント $M_{max}$

$$M_{max} = -0.3224 \frac{H_{pi}}{\beta_0} = -0.3224 \frac{4.060}{1.129} = -1.159 \text{ (kN・m)}$$

木杭の曲げ応力度（1列目）

$$\sigma_b = \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z}$$

木杭1本が分担する鉛直荷重  $V_{pi} = 34,450$  (N)  
 木杭1本当りの断面積  $A = 28,400$  (mm<sup>2</sup>)  
 木杭本体に生じる地中部最大モーメント  $M_{max} = 1,159,000$  (N・mm)  
 木杭の断面係数  $Z = \pi \cdot \phi_e^3 / 32 = \pi \times 190^3 / 32 = 673,000$  (mm<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z} = \frac{34,450}{28,400} \pm \frac{1,159,000}{673,000} \\ &= 1.21 \pm 1.72 \\ &= \{ \begin{array}{l} 2.93 \\ -0.51 \end{array} \} \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

(曲げ圧縮応力度)  
(曲げ引張応力度)

木杭の曲げ応力度（2列目）

$$\sigma_b = \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z}$$

木杭1本が分担する鉛直荷重  $V_{pi} = 11,650$  (N)  
 木杭1本当りの断面積  $A = 28,400$  (mm<sup>2</sup>)  
 木杭本体に生じる地中部最大モーメント  $M_{max} = 1,159,000$  (N・mm)  
 木杭の断面係数  $Z = \pi \cdot \phi_e^3 / 32 = \pi \times 190^3 / 32 = 673,381$  (mm<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{V_{pi}}{A} \pm \frac{M_{max}}{Z} = \frac{11,650}{28,400} \pm \frac{1,159,000}{673,381} \\ &= 0.41 \pm 2.00 \\ &= [ \begin{array}{l} 2.41 \\ -1.59 \end{array} ] \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

(曲げ圧縮応力度)  
(曲げ引張応力度)

## 10. 木杭一底盤系基礎の水平支持力の照査

木杭の許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$ 及び $\sigma_{ba}$ について照査する（マニュアルpp.28～29を参照）。  
 木杭の許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$

$$\sigma_{ca} = \frac{1.1F_c}{3} \times 0.7 = \frac{1.1 \times 17.7}{3} \times 0.7 = 4.54 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

すぎの無等級製材の圧縮基準強度  $F_c = 17.7$  (N/mm<sup>2</sup>)

木杭の許容曲げ引張応力度 $\sigma_{ba}$

$$\sigma_{ba} = \frac{-1.1F_b}{3} \times 0.7 = \frac{-1.1 \times 22.2}{3} \times 0.7 = -5.70 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

すぎの無等級製材の曲げ基準強度  $F_b = 22.2$  (N/mm<sup>2</sup>)

## 11. 擁壁設置時の検討

擁壁設置時荷重

$$\begin{aligned} V' &= ( W_{d1} + W_{d3} ) \\ &= ( 20.82 + 12.60 ) = 33.42 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

擁壁設置時における前面木杭1本に作用する鉛直荷重 $V_{pi}'$ はマニュアルp.24の(3.22)式に $e_B = x$   
 $n_p = 4$ を代入した次式から求められる。

$$\begin{aligned} V_{pi}' &= \frac{V_p'}{n_p} + \frac{V_p' \cdot e_B}{\Sigma (n_i \cdot x_i^2)} \cdot x_i \\ &= \frac{V_p'}{4} + \frac{V_p' \cdot x}{4x^2} \cdot x \\ &= \frac{V_p'}{2} \\ &= \frac{33.42}{2} \\ &= 16.71 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

擁壁設置時における1本の木杭の許容鉛直周面支持力 $R_{Vpai}$

$$R_{Vpai}' = \frac{R_{Vpai}}{F_s'} = \frac{64.20}{1.2} = 53.50 \quad (\text{kN}) \quad \geq \quad V_{pi}' = 16.71 \quad (\text{kN}) \quad \cdots \text{OK}$$



## 木材利用研究会佐賀県県土づくりコンサルタント協会関係

三浦 哲彦	平成19年度、平成20年度	顧問
飯盛 邦尚		
牛谷 逸朗		
浦丸 裕起		
大串 正		
大塚 祥譽	平成20年度第2分科会長	
岡 達也		
小倉 驍	平成19年度第5分科会長	
片渕 隆則		
川田 仁		
北原 雅邦		
笹田 幸利		
塩田 博昭		
副島 正和		
中島 博之		
西田 泰介		
西山 義剛	平成19年度第2分科会長	
野口 一也	平成20年度第4分科会長	
法村 考樹		
橋本 久徳	平成20年度第1分科会長	
廣田 秀春		
福岡 仁	平成20年度第3分科会長	
福岡 久美		
藤井 孝弘		
牧野 一松		
松本 誠		
宮副 一之	平成19年度、平成20年度会長（平成19年度第4分科会長）	
毛利 豊治		
森 正信		
盛永 保弘	平成19年度第3分科会長	
山口 孝幸		
山口 秀規		
山下 恒雄		
山中雄二郎		
米田 政弘	平成19年度第1分科会長	
力武 春人		

（平成20年9月現在 五十音順、敬称略）

問合せ先：佐賀県佐賀市鍋島町二丁目 13 番 4 号

一般社団法人 佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会 設計委員会

電話番号 0952-33-6010

FAX 番号 0952-33-6012

E-mail sasoku@po.saganet.ne.jp

**プレキャスト L 型擁壁 ( $H \leq 2\text{m}$ ) の木杭-底盤系基礎  
～設計マニュアル (第 1 版) ～**

平成 20 年 9 月 第 1 版第 1 刷発行

平成 25 年 7 月 第 1 版第 2 刷発行

**監修・編集：**佐賀県県土づくり本部

(一社) 佐賀県県土づくりコンサルタンツ協会

**発 行：**(公財) 佐賀県建設技術支援機構

(旧：(財) 佐賀県土木建築技術協会)