

「自然公園等施設技術指針」第3部 施設別技術指針 第8章 柵
目 次

第8章 柵	柵 1
I 設計の考え方	柵 1
I-1 柵の適用範囲	柵 1
I-2 基本の方針	柵 1
I-3 設計の手順	柵 2
I-4 種類の確定	柵 3
I-5 設計条件の確認	柵 5
I-6 意匠及び構造の検討	柵 6
I-7 構造計算	柵 7
I-8 設計条件の確認	柵 2 2
II 設計例	柵 2 3

第8章 柵

I 設計の考え方

I-1 柵の適用範囲

自然公園等の柵（転落防止柵、立入防止柵、注意喚起柵、侵入防止柵等）に適用する。

（解説）

本指針は、人の転落を防止する目的で設置する柵（以下、転落防止柵）、人の立入や横断を防止する目的で設置する柵（以下、立入防止柵）、注意を喚起する目的で設置する柵（以下、注意喚起柵）、動物の侵入を防止する目的で設置する柵（以下、侵入防止柵）、上記の柵を除く人の侵入を防止する目的等で設置する柵（その他の柵）に適用する。

車両の衝突を想定する柵、建築基準法施行令に定められる組積造の塀・補強コンクリートブロック造の塀・鉄筋コンクリートブロック造の塀及び土圧を受ける擁壁や土留壁の上部に柵を設置する場合の下部構造部分は、他の指針等*に基づき構造を検討するものとする。

※ 防護柵の設置基準・同解説、建築基準法施行令、道路土工擁壁工指針

I-2 基本方針

目的及び設置する場所に応じた機能を設定し、それに応じた整備を行う。
過剰整備とならないよう整備後の維持管理体制も含めて検討する。

（解説）

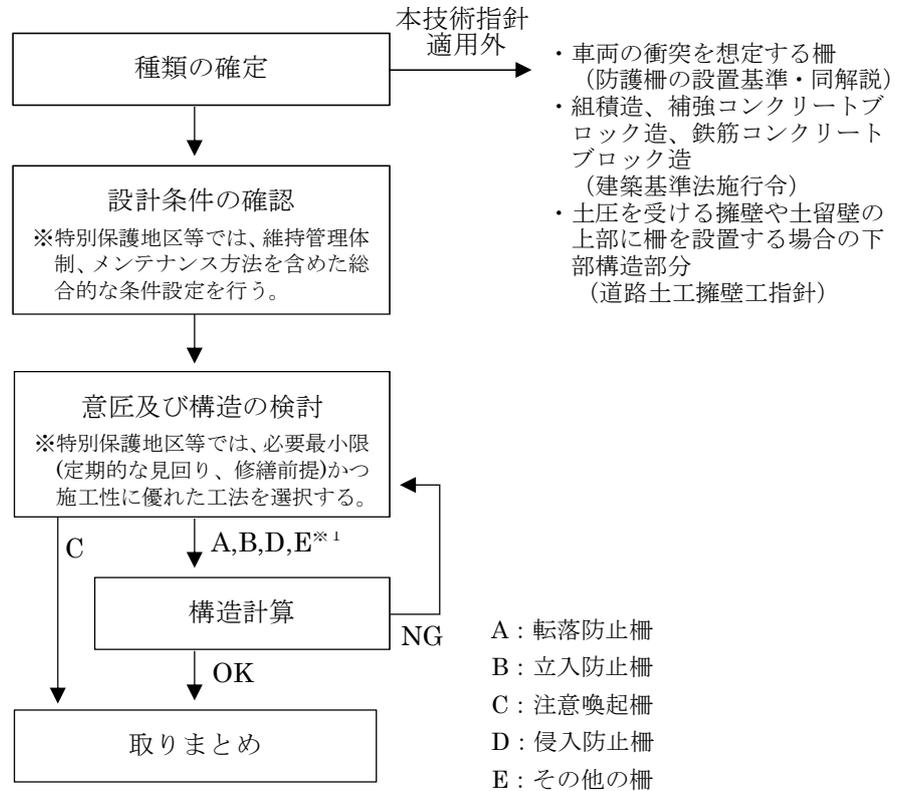
一般の利用者を対象にする柵と動物の侵入防止のための柵では、安全性に対する考え方が大きく異なる。また、利用拠点として多くの人の利用が想定される集団施設地区等に整備する柵と、自然の保護を最優先すべき特別保護地区等に設ける柵では、規模や構造等を検討する設計条件が大きく異なることに留意する必要がある。

特別保護地区等で設計条件の検討を行うに当たっては、荒天時など限定的で特殊な条件ではなく、平常時の気象条件を基本としつつ、立地条件、定期点検や台風や豪雨後の緊急点検、メンテナンスなどの整備後の維持管理体制を加味することで、柵が目的とする機能を果たすように整備を行う必要がある。

そのためには、目的や設置場所に応じて優先事項を整理した上で、柵に求める機能を設定し、それに応じた整備（意匠、構造、施工方法等）をライフサイクルコストの低減も含めて検討する。

I-3 設計の手順

柵の設計の手順は、図1のとおりとする。転落防止柵、立入防止柵、侵入防止柵、その他の柵については、構造計算により構造の判定を行う。



※1 上部工及び下部工について応力や転倒に係る構造計算がされている製品の場合、荷重及び地盤の条件と照らし合わせ適切であることを確認したうえで、その構造計算を用いることができる。

図1 設計の手順

I - 4 種類の確定

設置の目的に応じて、柵の種類を確定する。

(解説)

柵の設計に当たり、目的に応じて種類を確定する。

柵は、同様な形状であっても、目的、利用状況、設置環境によって種類が異なる場合がある。例えば、一般の人が利用する探勝歩道沿いに設置する高さ 0.8m 程度の柵は、自然植生への立ち入りを防止するために設置する立入防止柵であり、物理的に人を抑止できるような耐力が必要である。一方、登山道沿いに設置する高さ 0.8m 程度の柵は、登山者に注意を喚起するために設置する注意喚起柵の場合があり、物理的に人を制止する耐力を必要としない。

このように、柵の種類は、設置場所が、集団施設地区、園地、探勝歩道など一般の利用者が利用する場所なのか、あるいは、登山道や自然植生地内など一般利用者の立ち入りが想定されていない場所なのか、といった利用状況を十分に把握し、目的を明確にした上で、確定する必要がある。

- A 転落防止柵 : 一般の人が利用する集団施設地区、園地、園路、探勝歩道などにおいて、危険な段差が生じる展望台、片栈橋、木橋、歩道に接する崖地など、歩行者等の転落を防止するため必要と認められる区間に設置する。
柵の高さは、 $H=1.1\text{m}$ 以上とし、利用者の視線を遮らない程度の高さとする。児童などのよじ登りを防止するために縦格子（縦栈構造、間隔 150mm 以下）を採用することが望ましい。（防護柵設置基準・同解説）
- B 立入防止柵 : 一般の人が利用する集団施設地区、園地、園路、探勝歩道などにおいて、園路と道路の境界、保護すべき動植物の生息・生育地の周辺などに設置する。
柵の高さは 0.7~0.8m 程度とし、人の視線は遮らずに立入の防止を喚起でき、物理的に人を制止できる耐力を有する。
- C 注意喚起柵 : 保護すべき動植物の生息・生育地及び危険な地域の周辺や、山岳部の登山道など一般の人が足を踏み入れにくい場所において設置する。注意を喚起し、立入を防止するための柵であり、物理的に人を制止できる耐力はない。
- D 侵入防止柵 : 保護すべき動植物の生息・生育地の周辺などに設置する。
対象動物や防除機能の付帯によって多様な形状・形態となる。防鹿柵では、高さ 1.8m 以上で、金属製のメッシュパネルなどを用いる。グリーンアノールやプラナリアなど小さな生物を対象とする場合、面材の開口率は小さくなり、風の影響が大きくなる。
- E その他の柵 : 重要施設や危険施設廻り、保護すべき動植物の生息・生育地の周辺などに設置する。
視線の遮蔽や人のよじ登り防止など目的を考慮した高さや形態とする。人の侵入を防止する場合は、概ね、高さ 1.5m 以上、面材は縦格子やメッシュパネル、視線を遮る場合は金属パネルや板等を用いる。忍び返しや有刺鉄線などが付帯する場合がある。

※注 手摺りについて

「手摺り」は行動の補助に使用されるが、「柵」は行動の補助に使用されることはなく、人の転落や立入防止、動物の侵入防止などのために設置される施設である。

「柵」を設置する場合は、目的、機能を十分に検討する必要がある。

表 1

柵の分類	機能	形状・形態	設置箇所	事例
A 転落防止柵	人の安全性の確保	H=1.1m 以上かつ利用者の視線を遮らない高さ、人の荷重に耐える応力を有する 金属製の柱+縦格子など 例：展望台の柵、片栈橋の柵、木橋の柵、歩道に接する崖地に設置する柵	一般の人が利用する集団施設地区、園地、園路、探勝歩道などにおける転落のおそれがある場所の周辺	 木道の柵（網張）
B 立入防止柵	人の安全性の確保	H=0.7~0.8m 程度、人を制止できる耐力を有する 例：園路と道路の境界の柵、保護すべき動植物の生息・生育地の周辺の柵	一般の人が利用する集団施設地区、園地、園路、探勝歩道などにおける保護すべき動植物の生息・生育地及び危険な地域の周辺など	 木柵（田貫湖）
C 注意喚起柵	人への注意喚起	人を制止できる耐力はない 例：ロープ+鋼製打ち込みピン、丸太柵、樹木を利用した注意喚起のためのロープ柵など	保護すべき動植物の生息・生育地及び危険な地域の周辺や、山岳部の登山道など	 ロープ柵
D 侵入防止柵	動物の侵入防止	目的とする動物を制止できる耐力や機能を有する 例：防鹿柵、小笠原のグリーンアノール柵及びプラナリア柵	一般の人の利用が想定されない保護すべき動植物の生息・生育地の周辺など	 グリーンアノール柵
E その他の柵	視線の遮蔽や人の侵入防止など	人の侵入を防止する場合は H=1.5m 以上 金属製の柱+縦格子、メッシュパネル、金属パネル、木板など 例：鳥の生息地周辺に設置する板塀	一般の人が利用する集団施設地区、園地、園路、探勝歩道における重要施設や危険施設廻り、保護すべき動植物の生息・生育地の周辺など	 板塀（片野鳴池）

I - 5 設計条件の確認

柵を設置する場所の施工性、気象、地形、地質、関連法規等を把握する。

(解説)

意匠及び構造を検討する上で、主に施工性及び自然環境が重要な条件となる。そこで、設計に先立ち、以下に示す視点で設置場所の状況を確認する。

(1) 施工性の把握

施工場所に道路が接しているかどうか、接していない場合、運搬は人力で行うのか、あるいは、ヘリコプターで運搬するのかなど、資機材の搬入搬出方法、資機材の搬入搬出に当たり考慮すべき事象を確認する。

(2) 気象、地形、地質等の把握

- ・ 風の影響を評価するために周辺の植生や地形の状況を確認する。
- ・ 設置場所の土質（砂質土または粘性土等）を現地で確認する。必要に応じて、当該地の地盤に関する既往資料を収集する。軟弱地盤が想定される場合、試験によって地盤支持力を確認する。
- ・ 傾斜地に設置する場合は、柵が規定の高さを確保できるよう、縦横断勾配や線形の変化点等を確認する。
- ・ 積雪地においては、積雪量、斜面地における雪の横方向の荷重の有無、雪崩がないことなどを確認する。
- ・ 火山地においては、火山性ガスの影響による金属などの腐食の状況及び使用可能な材料について確認する。
- ・ 海岸においては、潮風の影響による金属の腐食の状況及び使用可能な材料について確認する。
- ・ コンクリート使用に関してセメントから溶出する高アルカリ水などによる生態系への影響が懸念される場合など周辺環境への影響による使用材料の制約の有無を確認する。

(3) 関連法規の把握

意匠及び構造の検討に当たり、道路の敷地内や建築の敷地内など設置場所の違いにより、順守すべき法規が異なる場合がある。そこで、設計に先立ち、敷地に関する法規制を把握する。

I - 6 意匠及び構造の検討

柵の種類、設置場所の自然条件、設置場所の施工性及び法規を考慮して、形状・形態・材料を検討する。

(解説)

(1) 対象とする人や動物を考慮した意匠及び構造

- ・侵入防止柵については、目的とする動物を制止するための高さの考え方（根拠）を整理する。
- ・転落防止柵については、自然景観への眺望に配慮し、利用者の視線を遮らない高さにする。

(2) 設置場所の自然環境を考慮した意匠及び構造

- ・周囲の自然景観に調和した意匠とする。自然石や木材など自然材料を使用することが望ましい。
- ・動物の侵入防止柵以外の柵については、原則として小動物の生息域間の移動が可能になるように考慮する。

動物の侵入防止柵については、目的とする動物以外の動物の生息域間の移動が妨げられないよう配慮する。特に面的な部材を使用する場合は、動物の移動に大きく影響を与える可能性があるため、現地調査を行い、対応することが望ましい。

- ・水が集まるところや水が流れ込む場所に設置する場合は、流水による地形浸食や土砂の堆積などによる地形変化を防ぐ措置をあわせて検討する。
- ・積雪地では、積雪による荷重に対応した形状・形態・材料を検討する。特に斜面地では、積雪の移動や場合によって雪崩の発生を想定し、設置の可否を含め、検討が必要である。
- ・火山地帯では、火山性ガスによって腐食が生じないように支柱や横木に木材など金属以外の材料を使用することや金具やネジをステンレスなど比較的腐食に強い材料にするなどの工夫が必要である。
- ・海岸地では、潮風によって腐食が生じないように支柱や横木に耐塩害素材や木材など金属以外の材料を使用することや金具やネジをステンレスなど比較的腐食に強い材料にするなどの工夫が必要である。
- ・岩盤の露出する場所では自然地形の保護について検討が必要である。やむを得ず岩盤の露出する場所で施工する場合は、施工のしやすさや施工費の低減を考慮し、直接岩盤に固定することも検討する。
- ・軟弱地盤では、上部工及び下部工に軽い材料を用いる、支柱間隔を短くして荷重を分散する、支持力を十分に得られる下部工の形態とするなど、軟弱地盤に対応した構造にする必要がある。

(3) 補修管理や設置場所の施工性を考慮した意匠及び構造

- ・部分的な劣化や腐朽箇所の補修等で済む場合を考慮して、補修管理が容易な構造とする。木材の場合は、木材保存剤の加圧式注入処理を施すなど耐久性の向上に留意する。
- ・工事車両がアクセスできない地域では、材料及び工具を人力又はヘリコプターにより運搬することを考慮して、また、施工後、人力によるメンテナンスが行えるよう、形状・形態・材料を検討する必要がある。
- ・既存柵の上部工及び下部工の再利用に当たっては、再利用する部材が本技術指針に適合するよう改修を行う。

(4) 設置場所の法規を考慮した意匠及び構造

- ・道路の敷地内では、防護柵の設置基準・同解説や道路橋仕方書・同解説など関連する法規及び基準に準拠する必要がある。

- ・建築物の敷地内では、建築基準法などの関連する法規及び基準に準拠する必要がある。

I - 7 構造計算

柵は、目的とする機能が発揮できるように構造を検討する。転落防止柵、立入防止柵、侵入防止柵、その他の柵については、構造計算によって目的とする機能が確保できるかどうかを確認する。

(解説)

(1) 構造計算の考え方

柵の中で、人の荷重及び動物の荷重が想定される転落防止柵、立入防止柵、侵入防止柵、その他の柵について、構造モデルを作成し、想定される荷重条件に対して構造計算を行い、材料の特性および地盤条件に対して、目的とする機能が確保できるかどうかを確認する。

転落防止柵については、「防護柵の設置基準・同解説平成 28 年 12 月 公益社団法人日本道路協会」に示される歩行者自転車用柵 P 種（転落防止）の基準に従い、構造を検討することができる。

立入防止柵については、「防護柵の設置基準・同解説平成 28 年 12 月 公益社団法人日本道路協会」に示される歩行者自転車用柵 P 種（立入防止）の基準に従い、構造を検討することができる。

侵入防止柵は、動物の衝突荷重、風荷重、雪荷重のうち、最も大きな荷重に対して、主要構造部材の応力及び転倒について計算し、機能が保たれることを確認する。ただし、雪荷重については以下の注) について考慮することとする。

その他の柵は、人荷重、風荷重、雪荷重のうち、最も大きな荷重に対して、主要構造部材の応力及び転倒について計算し、機能が保たれることを確認する。ただし、雪荷重については以下の注) について考慮することとする。

※注)

- ・地盤支持力に対して懸念がある場合、上記に加え、長期の沈下等に対して機能が保たれることを確認する。
- ・雪荷重には垂直方向の積雪荷重と水平方向の雪荷重がある。垂直方向の積雪荷重は単位体積当たりの重量及び積雪量から想定でき、水平投影面積の小さな柵の場合、人荷重や動物荷重に比べ小さな値となる。一方、水平方向の雪荷重は、勾配、地形の凹凸、積雪量、雪質などにより変化し、計算によって算出することが難しく、場合によっては人荷重や動物荷重に比べ大きな値となることもある。過去の積雪データなどを収集・分析し、雪荷重が最も大きくなると想定される場合は、設置の必要性、設置場所、意匠及び構造の検討を行う。
- ・地震による荷重が人荷重を上回ると想定される場合、地震時の検討を行うこととする。(比較的重量の小さな侵入防止柵等においては地震の検討は行わない。)

(2) 構造計算の方法

構造計算の流れは、図1のとおりとする。

転落防止柵及び立入防止柵については、防護柵の設置基準・同解説及び道路橋示方書・同解説に従って計算を行う。

荷重条件のなかで、雪荷重が最も大きくなると想定される場合、雪荷重に耐えるために一般に設置される侵入防止柵等としての構造以上の検討が必要となることから、設置の必要性、設置場所の変更、積雪荷重の影響を低減できる意匠及び構造など、再検討が必要である。

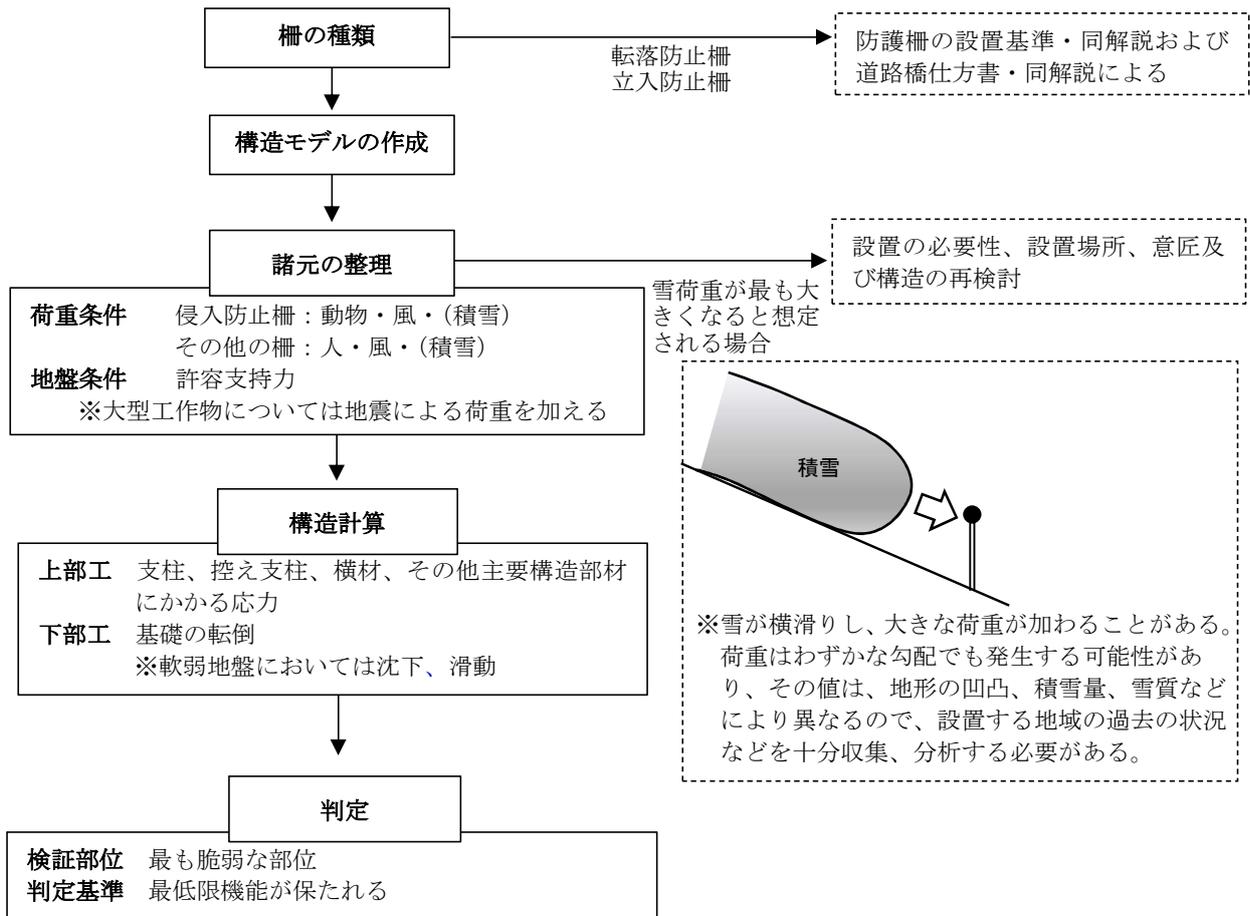
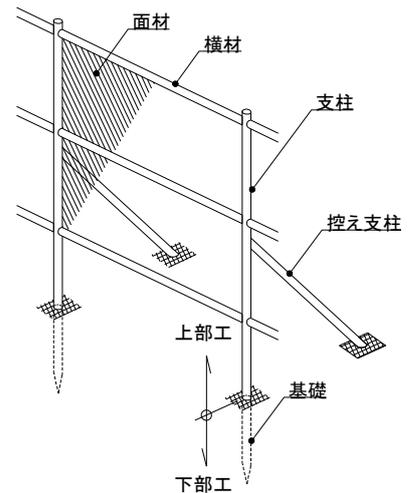


図2 構造計算の流れ

(3) 構造モデルの作成

構造図から、構造計算の対象となる支柱、控え支柱、横材、基礎などの部材をモデル化した構造モデル（略図）を作成する。

柵の寸法、規格が設置場所によって異なる場合は、構造モデルをいくつかのタイプに分ける。タイプ分けは、経済性や施工性を勘案し決定する。



(4) 諸元の整理

構造検討に用いる荷重条件、材料の特性、地盤条件を設定する。

①荷重条件の設定

- ・侵入防止柵の構造検討には、動物荷重及び風荷重のうち、大きい荷重を用いる。
侵入防止柵は動物を対象に一般の人の利用が想定されない自然林内などの場所に設置することから、検討に用いる風荷重は、過剰な数値とならないよう安全性や樹木などによる減速の効果などに関する係数を適切に設定し、算出する。
- ・その他の柵の構造検討には、人荷重（歩行者自転車用柵P種（転落防止））または風荷重のうち、大きい荷重を用いる。

参考資料 1

【人荷重】

人荷重には歩行者自転車用柵P種（転落防止）を用いる。

種別	設計強度	設置目的	備考
P	垂直荷重 590N/m(60kgf/m)以上 水平荷重 390N/m(40kgf/m)以上	転落防止 横断防止	荷重は、防護柵の最上部に作用するものとする。
SP	垂直荷重 980N/m(100kgf/m)以上 水平荷重 2,500N/m(250kgf/m)以上	転落防止	この時種別P種にあつては部材の耐力を許容限度として設計することが出来る。

出典：防護柵の設置基準・同解説 平成 28 年 12 月 公益社団法人 日本道路協会 P65

【動物荷重】

動物荷重は対象とする動物が衝突する場合を想定する。

検討例

鹿の標準的な体重は 100kg（標準原色図鑑全集 別巻 動物Ⅱ 保育社 P131）
鹿の衝突力 P は 100kg（980N）とする。

出典：防鹿柵計画・設計指針（案）平成 27 年度 北海道農政部 P22

【風荷重】

風荷重は、道路橋示方書・同解説 I または建築基準法建告第 1454 号に定める方法などによって算出する。計算に用いる風速は、地方自治体などが定める数値を用いる。

① 道路橋示方書・同解説 I 平成 29 年 11 月 P137

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot U_d^2 \cdot C_d \cdot G$$

P : 風荷重 (N/m²)

U_d : 設計基準風速 (m/s)

ρ : 空気密度 (=1.23kg/m³)

C_d : 抗力係数

G : ガスト応答係数

② 建築基準法 建告第1454号より

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$$

q : 速度圧 (N/m²)

E : 当該建築物の屋根の高さ及び、周辺の地域に存する建築物その他の工作物、樹木その他の風速に影響を与えるものの状況に応じて、国土交通大臣が定める方法により算出した数値

V₀ : その地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度、その他の風の性状に応じて30~46m/sまでの範囲内において国土交通大臣が定める風速 (m/s)

※建築基準法施行令 第 87 条 風圧力

3 建築物に近接してその建築物を風の方向に対して有効にさえぎる他の建築物、防風林その他これらに類するものがある場合においては、その方向における速度圧は、前項の規定による数値の 1/2 まで減らすことができる。

【雪荷重】

雪荷重の検討に用いる積雪量は、既往資料又は建築基準法に基づき地方自治体が示す数値を用いる。

- ・ 積雪荷重 1cm あたり 20N/m² (地域性を考慮する場合あり)
- ・ 垂直積雪量 地域により設定 (過去の気象データから 50 年再現期待値)

【地震による荷重】

地震による検討が必要な防護柵の重量の目安は、柵の自重が下記を上回る場合である。

$$\text{人荷重} / \text{水平震度} = 40\text{kgf (P種)} / 0.3 = 133\text{kgf} \quad (\text{※水平震度 } 0.2 \sim 0.3)$$

・・・133kgf/m以上の自重を有する柵に対して検討が必要

【土圧による荷重】

柵自体に偏土圧が発生する場合は、擁壁・土留めとして扱うため、本編では扱わない。

②材料の特性の確認

設計図書に示される材料の特性を既往資料により確認する。

参考資料 2

【使用材料（上部）と許容応力度（長期）の例】

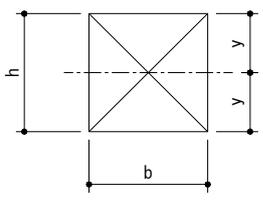
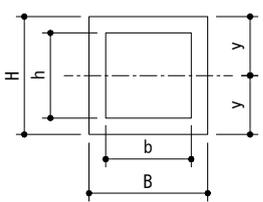
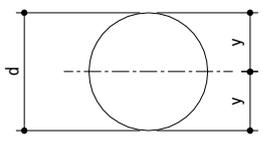
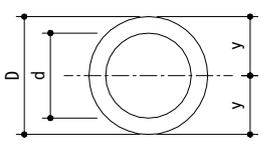
使用材料(上部)と許容応力度(長期)

短期は長期×1.5

材料名	圧縮許容応力度 (N/mm ²)	引張許容応力度 (N/mm ²)	剪断許容応力度 (N/mm ²)
木材(杉)	6.49(11.8)	8.14(14.8)	0.66(1.20)
木材(檜)	7.59(13.8)	9.79(17.8)	0.77(1.40)
構造用鋼材(SS400)	140	140	80
アルミ	70	70	40
コンクリート(18N)	5.5	6.0	0.21
コンクリート(24N)	6.5	8.0	0.23

※木材のみ（ ）内は短期許容応力度を示す
 ※木材の許容応力度は、建築基準法平成12年度
 建告第1452号
 ※コンクリート擬木やプラ擬木等の複合材につ
 いては各メーカーの基準値による

【使用材料の形状寸法による断面力の算定】

形状寸法図	断面二次モーメント(I) (mm ⁴)	断面係数(Z) (mm ³)
	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	$\frac{b \cdot h^2}{6}$
	$\frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12}$	$\frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6H}$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$
	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$

③地盤条件の設定

砂質土、粘性土、岩盤など支持地盤の種類、N 値などのデータから許容支持力度を設定する。ただし、現地確認により軟弱地盤が想定される場合、現地試験を行い、許容支持力度を算出する。

参考資料 3

【土の粒径による分類】

(単位: mm)	0.005	0.075	0.25	0.85	2	4.25	19	75	300
粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石	巨礫
		砂			礫			石	
細粒分		粗粒分						石分	

砂質土 粗粒分を50%以上含み、粒径が2.0mm以下の土

礫質土 粗粒分を50%以上含み、粒径が2.0mm以上の土

粘性土 75 μ m以下の粒子が多い土

出典：地盤工学会基準 JGS0051

【土の単位体積重量】

			(kN/m ³ (tf/m ³)) ³
地 盤	土 質	緩いもの	密なもの
自然地盤	砂および砂礫	18(1.8)	20(2.0)
	砂 質 土	17(1.7)	19(1.9)
	粘 性 土	14(1.4)	18(1.8)
盛 土	砂および砂礫	20(2.0)	
	砂 質 土	19(1.9)	
	粘性土(ただし、WL<50%)	18(1.8)	

出典：道路土工 擁壁工指針（平成 24 年度版） 公益社団法人 日本道路協会 P66

【支持地盤の種類と許容支持力度（常時値）】

支持地盤の種類		許容支持力度 qa (kN/m ² (tf/m ²))	備 考	
			qu (kN/m ² (kgf/cm ²))	N値
岩盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1000 (100)	10000以上 (100以上)	
	亀裂の多い硬岩	600 (60)	10000以上 (100以上)	
	軟岩・土丹	300 (30)	1000以上 (10以上)	
礫層	密なもの	600 (60)		
	密でないもの	300 (30)		
砂質地盤	密なもの	300 (30)		30~50
	中位なもの	200 (20)		20~30
粘性土地盤	非常に堅いもの	200 (20)	200~400 (2.0~4.0)	15~30
	堅いもの	100 (10)	100~200 (1.0~2.0)	10~15

出典：道路土工 擁壁工指針（平成 24 年度版） 公益社団法人 日本道路協会 P69

【砂質地盤における試験結果の N 値からの内部摩擦角 φ の推定】

$$\phi = \sqrt{20N + (15 \sim 20)} \quad \text{ダナムの式}$$

$$\phi = \sqrt{15N + 15} \quad \text{大崎の式 (建築学会)}$$

$$\phi = 4.8 \log N + 21 \quad (N > 5) \quad \text{道路橋示方書}$$

N 値	相対密度 Dr		内部摩擦角 φ°	
			ベックによる	マイヤーホフによる
0~4	非常に緩い	0.0~0.2	28.5以下	30以下
4~10	緩い	0.2~0.4	28.5~30	30~35
10~30	中位の	0.4~0.6	30~36	35~40
30~50	密な	0.6~0.8	36~41	40~45
50以上	非常に密な	0.8~1.0	41以上	45以上

出典：地盤調査法（平成 7 年）地盤工学会 P201

【粘性土地盤における試験結果の N 値からの極限支持力度の推定（軟弱地盤含む）】

コンシステンシー	非常に軟らかい	非常に軟らかい	中位の	硬い	非常に硬い	固結した
N値	2以下	2~4	4~8	8~15	15~30	30以上
qu (kN/m ²) (kgf/cm ²)	25以下 (0.25以下)	25~50 (0.25~0.50)	50~100 (0.5~1.0)	100~200 (1.0~2.0)	200~400 (2.0~4.0)	400以上 (4.0以上)

出典：地盤調査法（平成 7 年）地盤工学会 P202

(5) 構造計算

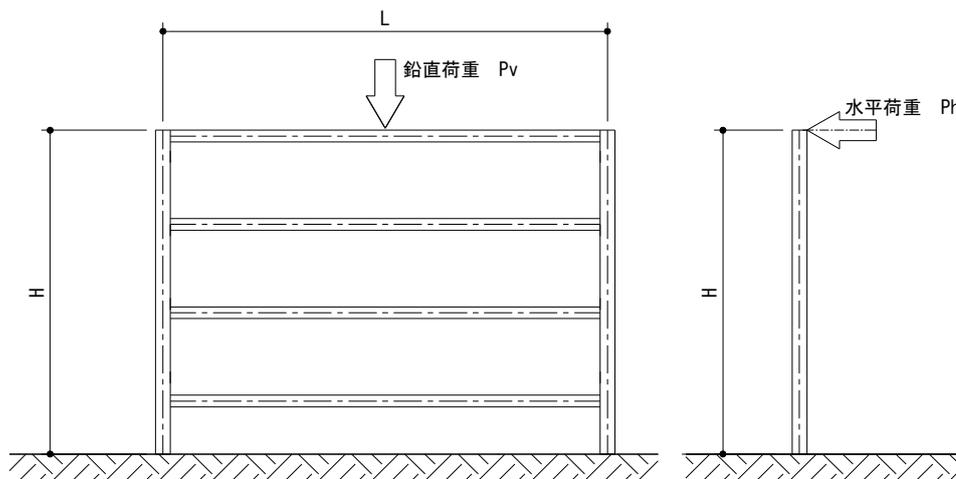
①上部工（応力の検証）

構造モデル及び荷重をもとに、支柱、控え支柱、横材、その他主要構造部材にかかる応力度（せん断、曲げ、圧縮（座屈））を計算し、その計算結果を各部材の許容応力度と比較し、判定を行う。

参考資料 4

上部工の検証例

【人荷重の検証】



1) 横材の検討

①横材中央部の最大曲げモーメントの算出

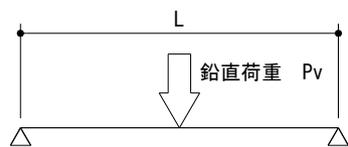
$$M = \frac{P_v \cdot L}{4}$$

M : 横材中央部最大曲げモーメント (Nmm)
 P_v: 鉛直荷重 (N) : 590 N
 L : 防護柵スパン (mm)

②横材の応力度の算定

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \leq \sigma_{ba}$$

σ_b : 横材の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 横材中央部最大曲げモーメント (Nmm)
 Z : 横材の断面係数 (mm³)
 σ_{ba} : 横材の長期許容曲げ応力度 (N/mm²)



横材の計算モデル

2) 支柱材の検討

①支柱材地際の最大曲げモーメントの算出

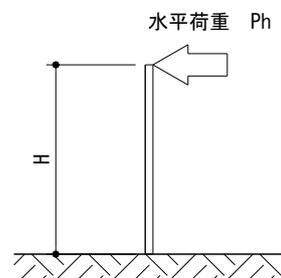
$$M = Ph \cdot L$$

M : 横材中央部最大曲げモーメント (Nmm)
 Ph: 水平荷重 (N) : 390 N (Lm分乗じる)
 L : 防護柵スパン (mm)

②支柱材地際の応力度の算定

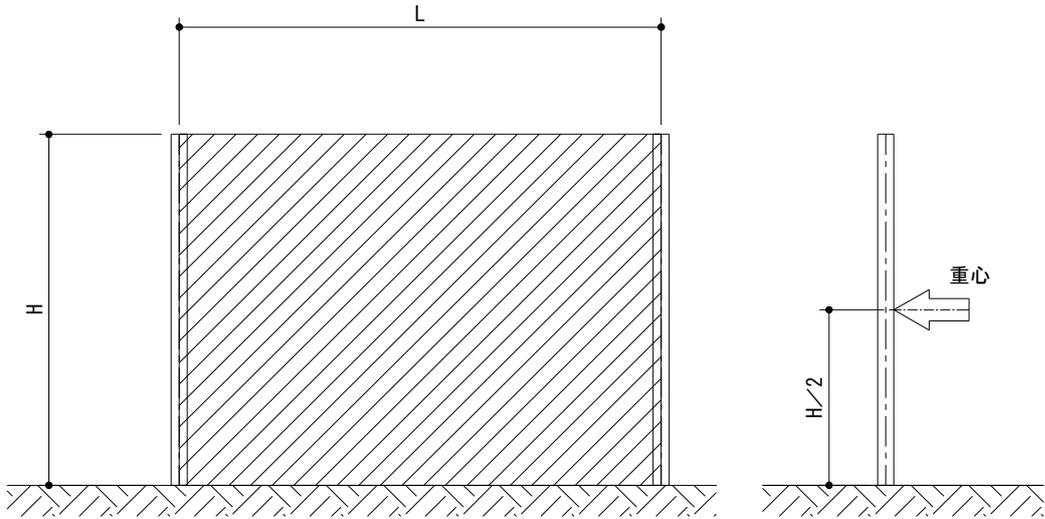
$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \leq \sigma_{ba}$$

σ_b : 支柱材の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 支柱材地際部最大曲げモーメント (Nmm)
 Z : 支柱材の断面係数 (mm³)
 σ_{ba} : 支柱材の長期許容曲げ応力度 (N/mm²)



支柱材の計算モデル

【風荷重の検証】



計算上の最大受風面積 $H \times L$

注) 柵の形状によって重心位置は変化する

1) 横材がある場合の検討

① 風荷重の算定

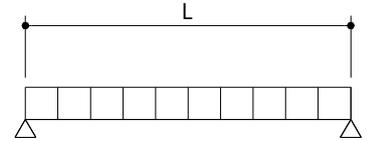
$$P_w = q \cdot A$$

P_w : 風荷重 (N)
 q : 単位面積当り風荷重 (N/m²)
 A : 受風面積 (m) $H \cdot L$

② 横材中央部の最大曲げモーメントの算出

$$M = \frac{W \cdot L^2}{8}$$

M : 横材中央部最大曲げモーメント (Nmm)
 W : 風荷重による等分布荷重 (N/m) P_w / L
 L : 防護柵スパン (mm)



横材の計算モデル

③ 横材の応力度の算定

$$\sigma_b = \frac{M}{n \cdot Z} \leq \sigma_{ba}$$

σ_b : 横材の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 横材中央部最大曲げモーメント (Nmm)
 n : 横材の部材本数
 Z : 横材の断面係数 (mm³)
 σ_{ba} : 横材の長期許容曲げ応力度 (N/mm²)

2) 支柱材の検討

① 支柱材地際の最大曲げモーメントの算出

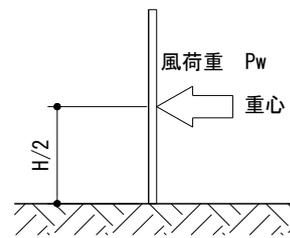
$$M = \frac{P_w \cdot H}{2}$$

M : 横材中央部最大曲げモーメント (Nmm)
 P_w : 風荷重 (N)
 H : 受風高 (mm)

② 支柱材地際の応力度の算定

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \leq \sigma_{ba}$$

σ_b : 支柱材の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 支柱材地際部最大曲げモーメント (Nmm)
 Z : 支柱材の断面係数 (mm³)
 σ_{ba} : 支柱材の長期許容曲げ応力度 (N/mm²)



支柱材の計算モデル

注) 柵の形状によって重心位置は変化する

②下部工（転倒の検証）

下部工にはコンクリート基礎、根柵基礎、杭基礎などがある。構造モデル、荷重をもとに、図2に示す下部工の種類に応じて、下部工にかかる水平荷重及び鉛直荷重を計算し、その計算結果を地盤条件と比較し、判定を行う。

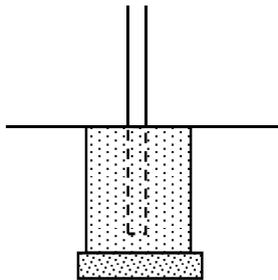
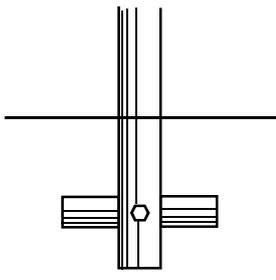
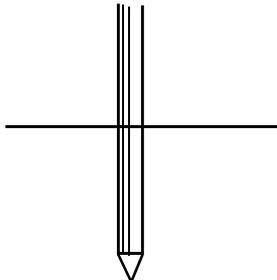
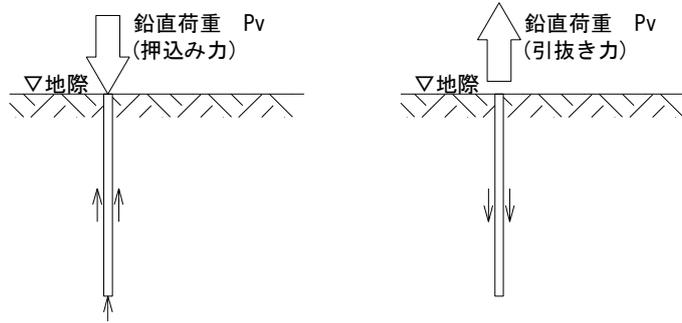
	コンクリート基礎	根柵基礎	杭基礎
			
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・大きな荷重にも対応しやすい。 ・寸法精度を高くしやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭基礎に比べ一定方向の荷重に対して強度を増すことができる。 ・人力による施工が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削しないため、工事による周辺植生への影響が少ない。 ・人力による施工が可能である。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・重量が大きいため、軟弱地盤では沈下する恐れが高い。 ・人力による施工は難しい。 ・掘削工事による周辺植生への影響が想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大きな荷重への対応が難しい。 ・掘削工事による周辺植生への影響が想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大きな荷重への対応が難しい。

図3 下部工の例

参考資料 5

下部工の検証例

【道路橋仕方書・同解説 I・IV H24 (杭基礎)】



(1) 道路橋仕方書・同解説 I・IV の場合

1) 軸方向力(押し込み力) 道路橋仕方書 I・IV 平成 24 年 3 月 P383

$$Ra = \frac{\gamma}{n} (Ru - Ws) + Ws - W \quad (12.4.1)$$

- Ra: 杭頭における杭の軸方向許容押し込み支持力 (kN)
- n: 表-12.4.1に示す安全率
- γ : 表-12.4.2に示す極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数
- Ru: 地盤から決まる杭極限支持力 (kN)
- Ws: 杭で置換えられる部分の土の有効重量 (kN)
- W: 杭及び杭内部の土の有効重量 (kN)

なお、杭の自重が小さい場合においては、式(12.4.2)を用いてよい。

$$Ra = \frac{\gamma}{n} Ru \quad (12.4.2)$$

表-12.4.1 安全率 n

荷重状態	杭の種類	
	支持杭	摩擦杭
常時	3	4
暴風時、レベル I 地震時	2	3

表-12.4.2 極限支持力推定法の相違による補正係数 γ

極限支持力推定法	安全率の補正係数
支持力推進式	1.0
鉛直載荷試験	1.2

$$Ru = qdA + U \sum L_i f_i \quad (12.4.3)$$

- Ru: 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)
- qd: 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m²)
- A: 杭先端面積 (m²)
- U: 杭の周長 (m)
- L_i: 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
- f_i: 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

判定 $Ra \geq Pv \dots OK$

2) 軸方向力(許容引抜き抵抗力) 道路橋仕方書 I・IV 平成 24 年 3 月 P385

$$Pa = \frac{1}{n} Pu + W \quad (12.4.4)$$

- Pa: 杭頭における杭の軸方向許容引抜き抵抗力 (kN)
- n: 表-12.4.3に示す安全率
- Pu: 地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力 (kN)
- W: 杭の有効重量 (kN)

表-12.4.3 安全率 n

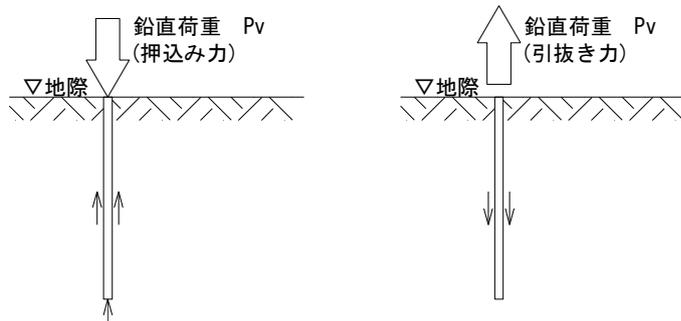
常時	暴風時、レベル I 地震時
6	3

$$Pu = U \sum L_i f_i \quad (12.4.5)$$

- Pu: 地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力 (kN)
- U: 杭の周長 (m)
- L_i: 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)
- f_i: 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

判定 $Pa \geq Pv \dots OK$

【マイヤーホフの算式（杭基礎）】



(2) Meyerhoff (マイヤーホフ) の算式

1) 許容支持力の算式

$$Ra = \frac{Ru}{n}$$

$$Ru = 40NAp + \left(\frac{\bar{N}sLs}{5} + \frac{\bar{N}cLc}{2} \right) \times \phi \times g$$

$$Ra = \frac{1}{n} \left(40NAp + \frac{\bar{N}sLs}{5} + \frac{\bar{N}cLc}{2} \right) \times \phi \times g$$

判定 $Ra \geq Pv \dots OK$

n : 安全率 (短期1.5 長期3.0)

N : 杭先端N値

Ru : 杭極限支持力 (kN)

Ra : 杭許容支持力 (kN)

Ap : 杭許容先端面積 (m²)

$\bar{N}s$: 杭周地盤中の砂質部分の平均N値

Ls : 杭が砂質中にある部分の長さ (m)

$\bar{N}c$: 杭周地盤中の粘土質部分の平均N値

Lc : 杭が粘土質中にある部分の長さ (m)

ϕ : 杭の周長 (m)

g : 重力加速度 (9.81)

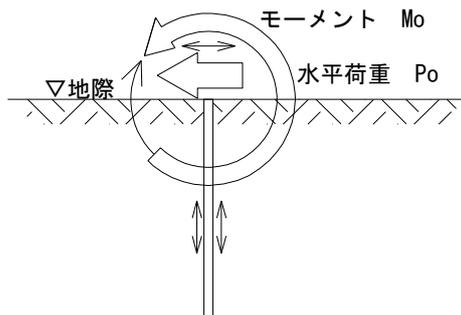
2) 許容引抜き力の算式

上記1)式より先端支持力を控除した周辺摩擦抵抗として求める。

$$Pa = \frac{1}{n} \left(\frac{\bar{N}sLs}{5} + \frac{\bar{N}cLc}{2} \right) \times \phi \times g$$

判定 $Pa \geq Pv \dots OK$

【エンゲルの算式（杭基礎及びコンクリート基礎）】



※エンゲルの算式について

上部工より算出した地際の水平力、曲げモーメント（外力）から基礎の根入れ長さを算出（鉛直荷重が考慮されていないことから必要に応じて別途検証をおこなう。）

(3) エンゲルの算式 (防風網施設設計指針 北海道農開部設計管理課P22)

$$3KP \cdot \gamma \cdot B \cdot L^3 - 9L \cdot Po - 12Mo \geq 0$$

$$KP = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

kp : 受働土圧係数

ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

γ : 土の単位重量 (N/m³)

B : 支柱径 (幅) (m)

L : 根入れ長 (m)

Po : 地表面における水平力 (N) = s

Mo : 地表面におけるモーメント (Nm) = M

【道路土工擁壁工指針 H24 (コンクリート基礎)】

(4) コンクリート基礎の場合 (道路土工 擁壁工指針(平成24年度版) P120)

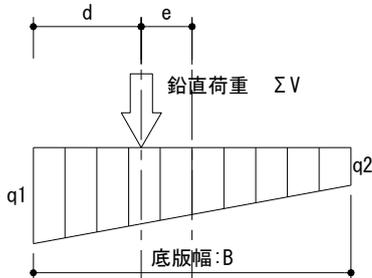
前提条件

$$\text{長期 } e \leq \frac{B}{6}$$

$$\text{短期 } e \leq \frac{B}{3}$$

e : 底版中心からの偏心距離 (m)
 B : 底版幅 (m)

1) 地盤反力

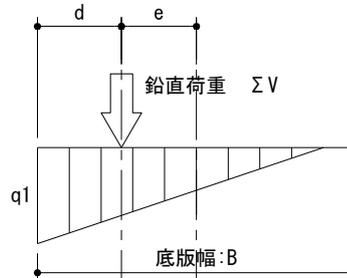


合力作用点が底版中央の底版幅1/3にある場合
 (台形分布)

$$q1 = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (2-14)$$

$$q2 = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (2-15)$$

$$q1 \leq qa = \frac{qu}{Fs} \quad (2-17)$$



合力作用点が底版中央の底版幅2/3の中にあり、
 かつ、底版中央の底版幅1/3の外にある場合
 (三角形分布)

$$q1 = \frac{2\Sigma V}{3d} \quad (2-16) \quad \Sigma V: \text{鉛直荷重 (N)}$$

d : 荷重中心距離 (m)

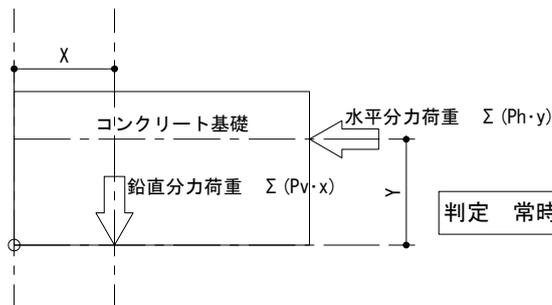
qa : 地盤の許容支持力度 (kN/m^2)

qu : 地盤の極限支持力度 (kN/m^2)

Fs : 地盤の支持力に対する安全率

判定 上記 (2-17) 式に 常時 $Fs=3.0$ 地震時 (短期) $Fs=2.0$ を代入して成立・・・OK

2) 転倒の検討 (道路土工 擁壁工指針(平成24年度版) P116)



$$Fs = \frac{MRe}{Mde}$$

MRe : 自重等の抵抗モーメント (kNm)

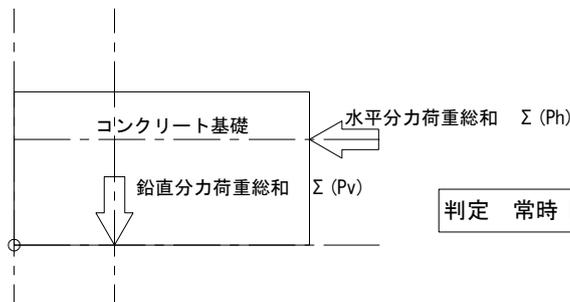
$MRe = \Sigma (Pv \cdot x)$ 抵抗モーメントの総和

Mde : 転倒モーメント (kNm)

$Mde = \Sigma (Ph \cdot y)$ 転倒モーメントの総和

判定 常時 $Fs=1.5$ 以上 地震時 (短期) $Fs=1.2$ 以上・・・OK

3) 滑動の検討 (道路土工 擁壁工指針(平成24年度版) P113)



$$Fs = \frac{\mu \cdot \Sigma Pv}{\Sigma Ph}$$

μ : $\tan \phi$

ϕ : 土の内部摩擦角

ΣPv : 鉛直荷重の総和

ΣPh : 水平荷重の総和

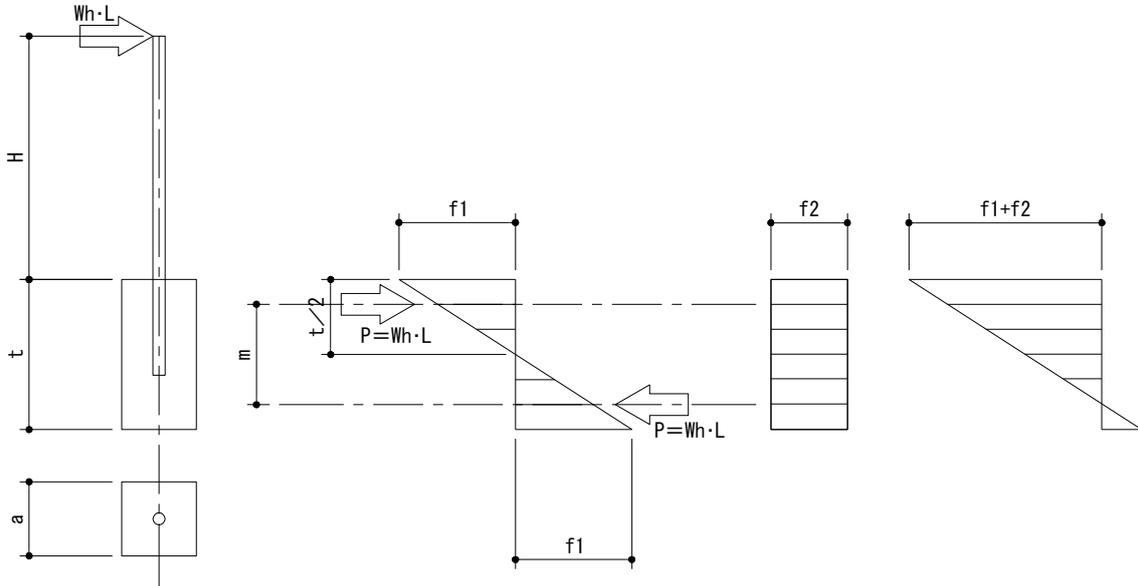
判定 常時 $Fs=1.5$ 以上 地震時 (短期) $Fs=1.2$ 以上・・・OK

【建設省土木研究所 道路部交通安全研究室 S62 (コンクリート基礎2)】

(5) コンクリート基礎の検討(その2)

(現国土技術政策研究所 土木研究資料第 2450 号

「防護柵の開発に関する研究」 S62 年 2 月 P42)



$$P = \frac{f_1 \cdot a \cdot t}{4}$$

$$m = \frac{2 \cdot t}{3}$$

$$P \cdot m = \frac{f_1 \cdot a \cdot t}{4} \cdot \frac{2 \cdot t}{3} = Wh \cdot L \cdot \left(H + \frac{t}{2} \right)$$

$$f_1 = \frac{6 \cdot Wh \cdot L}{a \cdot t^2} \cdot \left(H + \frac{t}{2} \right) = \frac{6 \cdot Wh \cdot L}{a \cdot t} \cdot \left(\frac{H}{t} + \frac{1}{2} \right) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$f_2 = \frac{Wh \cdot L}{a \cdot t}$$

$$f_{\max} = f_1 + f_2 = \frac{Wh \cdot L}{a \cdot t} \cdot \left(\frac{6 \cdot H}{t} + 4 \right) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

判定 q_a (許容応力度) $> f_{\max} \dots \text{OK}$

$$t^2 \cdot f_{\max} = \frac{Wh \cdot L}{a} (6 \cdot H + 4 \cdot t)$$

上記式を変形して f_g (短期許容水平方向地耐力) より

$$a \cdot f_g \cdot t^2 - 4Wh \cdot L \cdot t - 6 \cdot Wh \cdot L \cdot H = 0$$

基礎巾 a の最低根入れ深さを 2 次方程式で算出出来る。

Wh : 柵に生じる水平力 (kN/m)

L : 柵のスパン (m)

H : 柵の高さ (作用距離) (m)

t : 基礎の高さ (m)

a : 基礎の幅 (m)

(6) 判定

構造計算結果より、最も脆弱な個所で検証する。侵入防止柵等に力を加える場合、はじめに変形し、やがて破断・転倒に至るが、経済性を考慮し、人を対象とする柵は‘主要構造部材が変形・転倒しないこと’を判定基準とし、動物を対象とする侵入防止柵については‘主要構造部材が変形しても機能を確保すること’を判定基準とする。

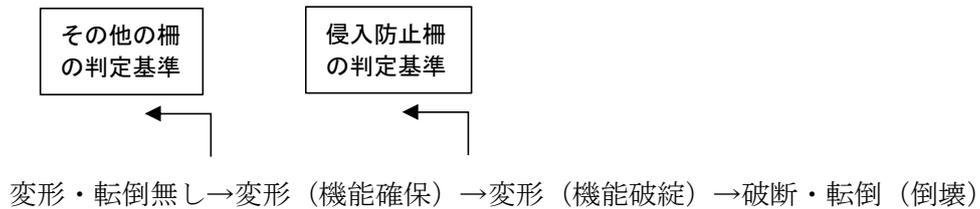


図4 変形・破断・転倒の流れと判定

【判定基準】

侵入防止柵の判定基準：主要構造部材が変形しても機能を確保すること

その他の柵の判定基準：主要構造部材に変形・転倒が生じないこと

I-8 とりまとめ

設計説明書、設計図、構造計算書、収集した資料等を設計図書として取りまとめる。

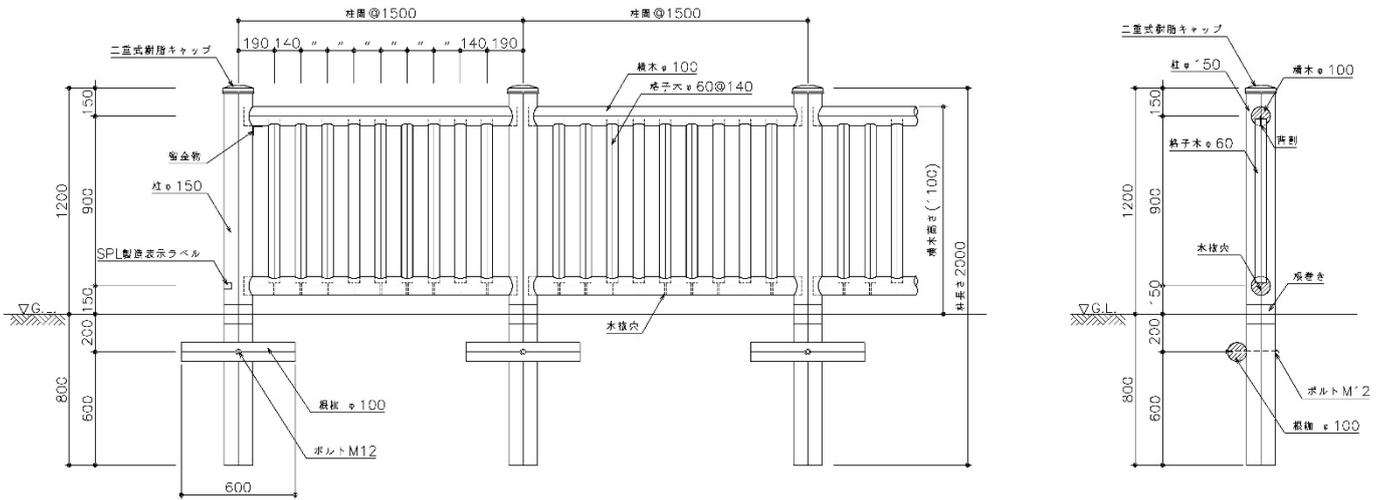
(解説)

- ・設計説明書には、目的、設置場所の環境、地盤の状況、設計の考え方等を記載する。
- ・設計図として、配置図、平面図、立面図、断面図等を作成する。また、必要に応じて特記仕様書を添付する。
- ・設計図書には、形状・寸法、使用する材料、地盤の状況、施工機材及び材料の搬入方法等を明記する。
- ・構造計算書には、計算手法、引用数値の出典、計算の手順、柵の種類、設計荷重の考え方と採用した荷重、地盤の考え方と採用した地盤の特性、主要構造部材の特性、主要構造部材の応力の検討、転倒の検討、検討の基となった資料名等を記載する。

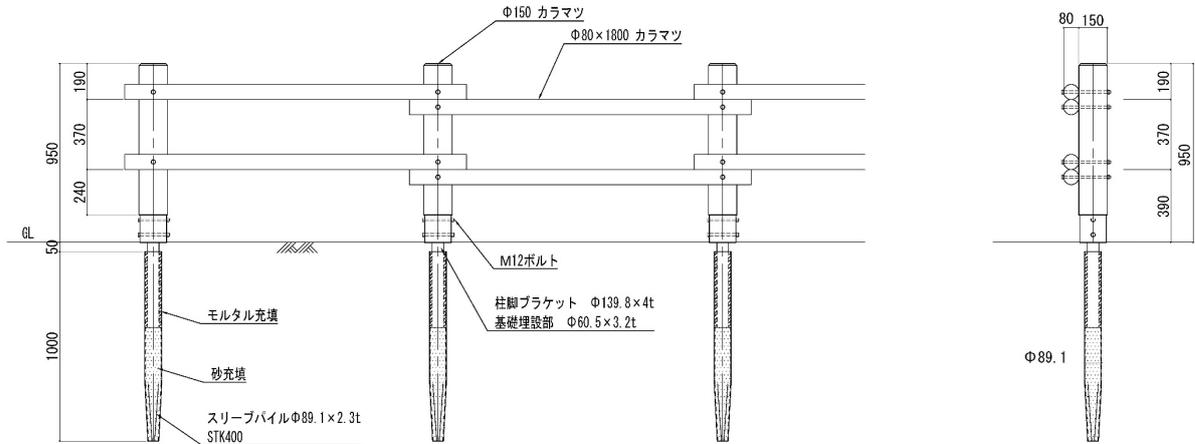
II 設計例

柵の設計事例を参考のために以下に示す。柵の設計に当たっては、目的や設置場所等が参考事例と一致するとは限らないため、それぞれの目的や設置場所等に応じた意匠及び構造を検討する必要がある。

(1) 転落防止柵の事例 (木柵)



(2) 立入防止柵の事例 (木柵 (網張))



(3) 注意喚起柵の事例 (ロープ柵)

