

5章 荷重

5.1 荷重の種類

設計にあたっては、次の荷重を考慮するものとする。

主荷重 (P)	1. 死荷重 (D)部が、浮体橋特有の荷重。
	2. 活荷重 (L)	
	3. 衝撃 (I)	
	4. 土圧 (E)	
	5. 静水圧 (浮力を含む) (HP)	
従荷重 (S)	6. 風荷重 (W)	
	7. <u>波浪の影響</u> (うねりを含む) (WP)	
	8. <u>地震の影響</u> (地震時動水圧を含む) (EQ)	
	9. 温度変化の影響 (T)	
	10. 水流の影響 (F)	
主荷重に相当する 特殊荷重 (PP)	11. <u>潮汐の影響</u> (TD)	
	12. 地盤変動の影響 (GD)	
	13. 支点移動の影響 (SD)	
	14. 雪荷重 (SW)	
	15. 遠心荷重 (CF)	
従荷重に相当する 特殊荷重 (PA)	16. <u>津波の影響</u> (TU)	
	17. <u>高潮の影響</u> (SS)	
	18. <u>副振動</u> (HD)	
	19. <u>航跡波</u> (SW)	
	20. <u>海震</u> (SQ)	
	21. 制動荷重 (BK)	
	22. 施工時荷重 (ER)	
	23. 衝突荷重 (船舶衝突を含む) (CO)	
	24. 流氷と着氷による影響	
	25. 漂砂の影響 (LT)	
	26. <u>漂流物の影響</u> (DM)	
	27. 生物付着の影響 (MG)	
	28. その他	

前記に示した項目は、浮体橋を設計するときに考えなければならない荷重の種類を漏れがないように列挙したものである。必ずしも全ての荷重を設定する必要はなく、架橋地点の諸条件や構造等によって適宜考慮すればよい。

これらのうち、浮体橋設計で支配的になる主なものとしては、1. 死荷重, 2. 活荷重, 6. 風荷重, 7. 波浪の影響, 8. 地震の影響, 11. 潮汐の影響, 12. 地盤変動の影響, 16. 津波の影響, 17. 高潮の影響, 22. 施工時荷重, 23. 衝突荷重等が挙げられる。

5.2 荷重

以下においては、浮体橋に特有な項目を主体に記述する。

5.2.1 死荷重

死荷重は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.2 活荷重

活荷重は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.3 衝撃

衝撃は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.4 土圧

土圧は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.5 静水圧（浮力を含む）

静水圧は、関連する示方書、基準に準ずるものとする。

- 1) 浮力は、静水圧を積分したものとして得られる。海水の単位体積重量として、 10.1kN/m^3 (1.03tf/m^3) を使ってもよい。
- 2) 浮体橋では、潮位及び津波・高潮による水位変化が、支配要因の一つになる。浮力の作用点は潮位や水位によって異なるので、浮体橋の設計においては、最も不利となるケースを想定することが必要である。

5.2.6 風荷重

風荷重は、関連する示方書、基準に準じるものとする。

浮体橋においては、橋軸直角方向の風速が、強度上の支配要因となることが多い。

1) 設計基本風速

水面上 10m の 10 分間平均風速とする。この風速の設定に際しては、浮体橋の設計供用期間の 1.0 倍～2.0 倍の再現期間を考慮することが多い。

2) 交通規制時の風速

交通安全上、一般車輛の通行を制限する風速とする。この風速を定めるには、当該浮体橋の特性、周辺施設、地域防災計画等を勘案しなければならない。既往の例として、20m/s が適用されている事例がある。

3) 変動風のパワースペクトル

変動風のパワースペクトル（時間変動）としては、Davenport の式、Karman 型、日野の式等がよく知られている。国内では、実測値に比較的良く合うといわれている日野の式が多く用いられる。

4) ガストファクター

ガストファクター（突風率ともいう）は、ある観測時間内における最大瞬間風速の平均風速に対する比で定義されるもので、平均風速の大きさ、場所によって変わるので、現地データを参考にするのがよい。10 分間の観測時間をとった場合には、ガストファクターは 1.3 ～1.5 くらいであるが、観測状況によってはもう少し大きめになることがある。

[参考]

風の極値統計解析の事例を表-5.2.1、図-5.2.1 に示す。解析の手順を簡単に示す。

- 1) 10 分間平均風速の年最大値を収集する。
- 2) 高度補正、風向補正を行ったのち、表-5.2.1 の左上の欄に示すようにまとめる。
- 3) いくつかの分布関数（表-5.2.1 の事例では最上段に示す 9 個の関数）を当てはめて、最も適合度の良い関数を選定する。具体的には、当てはめ関数の中で中段に示す相関係数が最も高い関数を、適合度が良いものと判断する。
- 4) 図-5.2.1 は、相関係数が最も高かった極値 I 型の関数を図示したものである。図中の破線は 1σ （標準偏差）離れた値であり、設計値として中央値を採用するか標準偏差を考慮した値にするかは、プロジェクト毎に検討するのがよい。

5.2.7 波浪の影響（うねりを含む）

- (1) 波浪については、風波とうねりの影響について検討するものとする。設計に用いる波浪（風波、うねり）は、長期間の実測値または適切な手法で求められた推算値を用

いる。

(2) 暴風時波浪としては暴風時の気象・海象条件での推算波浪，供用時波浪としては交通規制時に相当する気象・海象条件での推算波浪を用いる。

(1) 設計波浪の考え方

1) 波浪の再現期間は，構造物の重要性，設計供用期間，経済性等の理由から決められる。

設計用の波浪の再現期間と設計用の風の再現期間は，同一にするのがよい。

2) 浮体橋は質量が大きく，相対的に復原ばね定数が弱いために，比較的長い固有周期を持つことが多いので，波浪の長周期成分を十分に調べておくことが重要である。

3) 設計に用いる波浪の諸元としては，周期，波高，波向，スペクトル形状を定める。周波数スペクトルとしては，Pierson-Moskowitz型，Bretschneider-光易型，JONSWAP型，Wallops型，Ochi-Hubble型等がよく知られている。Bretschneider-光易型は，有義波高と有義波周期の2つのパラメーターでスペクトル形状が決まるので，わが国では，Bretschneider-光易型のスペクトルを使うことが多い。

4) 使用性や疲労の検討を行う場合には，極大波浪の分布ではなく，出現する波浪の分布が必要になる。このような場合には，波浪を表-5.2.2，表-5.2.3のように整理しておくのがよい。

(2) 暴風時波浪には，暴風時のものとして，浮体橋の供用期間と同等かそれ以上の再現期間の風速及び波浪をとることが多い。供用時波浪には，交通規制時の風速（20m/sの事例がある）及びその時の発生波浪をとることが多い。暴風時波浪は安全性の検討に使われるものであり，供用時波浪は浮体橋供用中の動揺特性の検討に使われるものである。

[参考]

1) 再現期間 (T)，設計供用期間 (L) と該当期間内の遭遇確率 (E) は，次式の関係にある。

$$E = 1 - (1 - 1/T)^L$$

遭遇確率の設定については，定まった考え方がないので，浮体橋の重要度，経済性，社会的なもの等を考えて，再現期間を適切に設定する必要がある。

2) 設計に用いる波浪の決め方として，次のものが挙げられる。

① 実測データを用いて，極値統計解析から該当の再現期間の波浪を求める方法。

② 実測の風資料を用いた波浪推算等から設計波浪を決める方法。

③ 既往台風や仮想台風を設定し，これらのデータを基にした波浪推算から設計波浪を決める方法。

上記の①が確実な方法であるが，波浪を常に観測している地点は多くはないので，架設する地点近傍で十分な実測波浪データを確保できないことが多い。そのような場合には，上記②や③の方法を使って総合的に判断するのがよい。

3) 具体的な設計波高を求める手順としては，次のようになる。

- ① 再現期間を設定する。
 - ② 上記の2)の方法によって、沖波の波浪条件を定める。
 - ③ 波の屈折、回折、浅水変形等を考慮して、浮体橋設置地点の波浪条件を定める。
 - ④ 周辺構造物（護岸、防波堤、浮体橋等）の設計波浪とも照合し、不整合がないことを確認する。
- 4) 浮体橋に作用する波力は、浮体部や係留施設の海中部分に作用する波圧に基づいて計算することになる。波力を求める各種の式には適用範囲があるので、構造物の大きさ、波長、波高、水深等を考えて、適切な計算式を用いるものとする。概略的には、ポンツーンのような排水量が多い構造物には線形の解析法を用いることが多く、ジャケット形式のような杭構造物には波の非線形性を取り入れた解析法を用いることが多い。

5.2.8 地震の影響（地震時動水圧を含む）

地震の影響は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）に準じるものとする。

- 1) 地震時の安全性に関しては、3.3で定義する浮体橋の重要度に応じ、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」（日本道路協会）に示されている耐震性能を満足するように検討しなければならない。
- 2) 浮体橋は、通常の固定橋と比べて固有周期が長くなるのが一般的である。したがって、設計地震動の設定に当っては、長周期成分の取り扱いに注意しなければならない。
- 3) 長い固有周期を持つ構造物は、応答加速度よりはむしろ応答変位が設計の支配要因となるので、応答加速度とともに応答変位に注意しなければならない。
- 4) 浮体橋の場合、いろいろな形式があるので、落橋という形態が一義的には定められない。浮体橋の状態毎に地震によるダメージの受け方を想定し、落橋防止工、落橋防止工に相当するフェールセーフ装置、係留構造からの逸脱防止工等を設けなければならない。
- 5) 地震時動水圧の影響を考慮する一手法としては、浮体橋没水部の付加質量、造波減衰力等を組み入れた地震応答解析法があり、固有周期が比較的長くなる浮体橋の場合にはこの解析法を用いることが多い（海震については、5.2.20を参照のこと）。

5.2.9 温度変化の影響

温度変化の影響は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.10 水流の影響

- (1) 水流の影響は、関連する示方書、基準に準じるものとする。
- (2) 流水圧は、流水方向の力と流水直角方向の力（揚圧力）になる。それぞれの値は、

形状やレイノルズ数に関係した抗力係数と揚力係数に左右されるので、抗力係数・揚力係数を適切な資料に基づいて求めるものとする。

- (3) 水流としては、潮流のほかには河川流、吹送流、密度流等がある。浮体橋の設置位置によっては、吹送流が無視できないことがあるので、適切な資料に基づいて求めるものとする。

5.2.11 潮汐の影響

浮体橋の計画や設計の際には、潮位や潮流の影響を考慮するものとする。

- 1) 浮体橋の形式によっては、潮汐の影響が支配要因の一つとなるので、潮位や潮流を適切に定めなければならない。
- 2) Max. H. H. W. L. , H. H. W. L. と Min. L. L. W. L. は、機構上や強度上において最も支配的なものとなり得るので、過去のデータを参照して適切に設定する必要がある。

5.2.12 地盤変動の影響

地盤変動の影響は、関連する示方書、基準に準じるものとする。

浮体橋は、固定橋と比較すると、地盤変動の影響を受けにくい特徴がある。この特徴を利用するために、浮体橋を選択することがあるので、このような場合には、地盤の経年変動、想定以上の変動があったときの対応方法等を検討する必要がある。

5.2.13 支点移動の影響

支点移動の影響は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.14 雪荷重

雪荷重は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.15 遠心荷重

遠心荷重は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.16 津波の影響

過去に津波が来襲した海域や来襲の恐れがある海域では、津波の影響について検討す

るものとする。

- 1) 津波は、高い波浪、強風、高潮のような異常時扱いの自然条件と同時に生起する確率は小さいので、単独で検討してよい。
- 2) 津波を受けると、水位の上昇、水位の下降、流れとして現れるので、強度上の照査ばかりでなく、水位の上下による機構上の照査をしなければならない。
- 3) 津波を引き起こす断層モデルには、次の2つが考えられる。
 - ① 既往記録の最大の津波を起こした地震を、断層モデルと設定する。
 - ② 既往の地震のデータを参考にして、想定断層モデルを設定する。
 構造物の重要度、津波来襲の頻度によって、断層モデルの設定の考え方は変わるが、現状では上記①の考え方で検討することが多い。
- 4) 断層モデルが設定された後は、数値シミュレーションによって津波の伝播状況を調べることになる。この解析の際、浮体橋の設置地点近傍の海底地形が、津波エネルギーの集中・分散についての重要な因子となるので、できるだけ精度の高い海底地形データを用いるのがよい。

5.2.17 高潮の影響

高潮の検討においては、できるだけ長期間にわたる潮位の実測値、既往災害時の記録、異常気象条件に対する推算値及び高潮偏差を考慮するものとする。

実際の潮位の変動は、天文潮、気象潮、副振動、海流、海水温度、季節的気圧変動、河川水位、沿岸波浪等の合成されたものである。高潮は、台風等の通過によって生じる異常潮位を指し、その要因は気圧降下による潮位上昇、これの湾内における変形や共振による増大、風による吹き寄せによる上昇等である。浮体橋の設計においては、高潮によって水位が上昇することによりポンツーンの鉛直標高が変化することから、高潮の影響を考慮して桁高さの設定、係留装置の設計等を行う必要がある。

5.2.18 副振動

副振動の影響が大きな地点における浮体橋の設計においては、副振動による水位変動を考慮するものとする。

湖や入り口の狭い湾等では、外力の刺激を受けて一定の周期をもったセイシュと呼ばれる自由振動が発生する。また、外海に通じている湾内に発生する水面変動には、外海の振動よりも増幅した振動が見られることがあり、これを副振動と呼ぶ。一般に副振動の周期は数分から数十分であるので、浮体橋の固有周期よりもかなり長いことが多く、副振動による動的応答効果が起こる

ことは少ないと考えられる。しかしながら、副振動による水位上昇が顕著な場合には、水位が上昇することによりポンツーンの鉛直標高が変化することから、その影響を考慮して桁高さの設定、係留装置の設計等を行う必要がある。

5.2.19 航跡波

浮体橋の設計においては、その水域を航行する船舶の航跡波を考慮するものとする。

運河や航路を跨ぐ浮体橋の場合には、その海域を航行する船舶の諸元や航行速度を考慮して航跡波の諸元を求め、それによる浮体部応答への影響を検討することが望ましい。

5.2.20 海震

海震の影響が想定される海域に建設される浮体橋においては、海震の特性を十分考慮の上で、設計することを基本とする。

海洋で地震が発生すると、流体を通しては津波と海震によってそのエネルギーが伝播する。海震は、海水を通して伝播する粗密波やせん断波の鉛直成分としての性格を持つ波動現象であり、地盤を通じて影響する通常の地震波とは区別される。海震による影響としては、震源域を航行する船舶が激しい振動を受けたり、船体の損傷を受けたという報告があるが、その定量的な特性については通常の地震波ほどには分かっていない。一般に浮体構造物が海震を受けると、その鉛直振動成分は、そのまま浮体に作用すると言われている。したがって、海震による浮体橋の上載構造物の鉛直振動性状には注意する必要がある。

5.2.21 制動荷重

制動荷重は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.22 施工時荷重

施工時荷重は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

5.2.23 衝突荷重（船舶衝突を含む）

衝突荷重は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

浮体橋は、船舶の航行が激しいところに建設されることがあるので、この場合には船舶からの衝突を防止するか和らげる防護工を検討しなければならない。

5.2.24 流氷と着氷による影響

流氷あるいは着氷が発生する海域に設置される場合には、次の項目に示す氷の影響を考慮しなければならない。

- (1) 環境力
- (2) 水位変動による氷荷重
- (3) その他

(1) 環境力¹⁾

流氷（氷盤）には風や流れといった流体力が作用するが、この力のことを一般に環境力という。構造物と接している氷盤は、氷荷重（環境力 F_E ）として構造物に作用することになる。しかし、氷盤の規模が非常に大きい場合には、この環境力で氷盤が構造物に強い力で押しつけられると、氷盤が破壊する。この氷盤が破壊する時の力を F_B とすると、設計氷荷重は以下となる。

$$F_E \geq F_B \text{ では } F_D = F_B \quad \dots\dots (1)$$

$$F_E < F_B \text{ では } F_D = F_E \quad \dots\dots (2)$$

すなわち、 F_E と F_B の小さいほうが設計に用いる氷荷重となる。

氷盤に作用する環境力 F_E は次式で示される。

$$F_E = F_A + F_W = (F_{SA} + F_{DA}) + (F_{SW} + F_{DW}) \quad \dots\dots (3)$$

ここで

$$F_{SA} = \rho_A C_{SA} U_{10}^2 A / 2 \quad \dots\dots (4 \cdot a)$$

$$F_{DA} = \rho_A C_{DA} U_{10}^2 a / 2 \quad \dots\dots (4 \cdot b)$$

$$F_{SW} = \rho_W C_{DW} V^2 A / 2 \quad \dots\dots (5 \cdot a)$$

$$F_{DW} = \rho_W C_{DW} V^2 a' / 2 \quad \dots\dots (5 \cdot b)$$

ただし

F_E : 面積 A 、喫水面上下それぞれの流れ方向から見た投影面積 a 、 a' の氷盤に作用する力

F_{SA} 、 F_{SW} : 風や流れが氷盤に及ぼすせん断力

F_{DA} 、 F_{DW} : 抗力

ρ_A 、 ρ_W : 密度

U_{10} : 海面上 10m の位置の風速

V : 流速

C_{DA} : 抗力係数で 2.45 程度

C_{DW} : 抗力係数で 0.53~1.0

C_{SA} : せん断力係数。 $U_{10} \leq 5 \text{ m/s}$ で 2.0×10^{-3} 程度の値。

C_{SW} : せん断力係数。平坦な氷盤の場合は $(7.0 \sim 7.7) \times 10^{-3}$ 、凹凸が激しい場合は $(2.1 \sim 4.0) \times 10^{-2}$

環境力が氷盤の破壊荷重より大きい場合の水平氷荷重は氷盤の破壊モードに大きく依存する。構造物の幅(W), 氷厚(h)によって与えられるアスペクト比(W/h)で分ければ, (W/h)が小さいとき圧壊破壊が, 大きいとき座屈破壊が卓越し, その境界は(W/h)が40~50の間にあるとされている。既存の氷海構造物は(W/h) ≤ 40 の場合が多く, 実用的には圧壊荷重を考慮するが, その算定式は一般に次式で表される。

$$F = f(\sigma_c, W, h) \quad \dots\dots (6)$$

ただし σ_c = 圧縮強度。例えば, (W/h) < 10 の場合に適用可能な F として佐伯の式²⁾を示す。

$$F = CW^{0.5}h\sigma_c \quad \dots\dots (7)$$

ここで,

F : 水平氷荷重 (kgf)

C : 構造物の形状係数で, 矩形6.8, 円形5.0, 楔(角度90°)型4.5とする。

この係数は(cm)^{0.5}の次元を有すると考えてよい。

W : 構造物の幅(cm)

h : 海氷の氷厚(cm)

σ_c : 海氷の一軸圧縮強度(kgf/cm²)。高さ20cm, 直径10cmの円筒供試体を用いて, 歪み速度が10⁻³ (1/s)のオーダーで計測された値である。

(W/h)が大きい構造物の場合には, 氷盤の破壊が複数領域で非同時的に発生することを考慮する必要がある。この場合, 氷盤の破壊現象が複雑であり, 単一破壊領域の大きさを決定することが困難なことから, 実用的なレベルに至っていないが, 現地観測データ, 室内データ等をまとめて示したSanderson³⁾のPressure-Area Curveが参考値の1つとして挙げられる。

海氷の強度は, 構造物が設置される海域の海象により相違があるので, 十分な現地調査が必要である。一軸圧縮強度については, オホーツク海北部海域でのTruskovら⁴⁾の報告, 北海道沿岸での佐伯⁵⁾の報告がある。

海氷の曲げ強度はオホーツク海南部海域の値が佐伯⁵⁾により報告されているが, 強度はブライン量, 氷温等に大きく依存する。また, 海氷のせん断強度は佐伯⁵⁾によれば, 一軸圧縮強度の約20%程度である。海氷の曲げ弾性係数は, 曲げ強度との間に強い相関があり, 一般に, 北極海, オホーツク海の海氷の場合, 曲げ弾性係数は曲げ強度の約3000倍となっている。

(2) 水位変動による氷荷重¹⁾

氷盤が構造物に凍着して水位変化が起こると, 水位が上昇する時は上向きの, 水位が低下するときは下向きの氷荷重が作用する。参考値として, 円断面の構造物の場合には, 弾性基礎上の半無限円板として求めた中沢⁶⁾の成果がある。

(3) その他

特定の海域で発生する大型漂流氷である氷山の衝突や着氷による復原性への影響についても別途考慮する必要がある。

5.2.25 漂砂の影響

漂砂については、実情に応じて考慮するものとする。

現状では、浮体橋の設計荷重としての漂砂の影響を評価するのは難しいので、漂砂に対する配慮が必要な場合は、漂砂制御施設等による対策が望まれる¹⁾。

5.2.26 漂流物の影響

漂流物が浮体橋に衝突する場合の衝撃力は「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）によるものとする。

漂流物には質量の大きな船舶のようなものから質量の小さな流木まで種々の物が考えられる。これらが浮体橋に衝突する可能性がある場合には衝突に対する対応も検討する。衝突時の衝撃力は「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）に規定してある式を用いて算定する。

5.2.27 生物付着の影響

設計に際しては次の項目に示す生物付着の影響を検討する必要がある。

- (1) 重量として作用する生物付着
- (2) 波力，海流，潮流による流体力の増大をもたらす生物付着
- (3) 浮体橋の強度や景観が損なわれる可能性のある生物付着

付着生物の種類はムラサキガイ，フジツボ等が代表例であるが，水温，潮流，水深，浮体橋の材質によって異なるため，近接海域の資料等を参考にして推測する必要がある。

- (1) 重量として作用する付着生物の影響としては，余剰浮力の減少，傾斜による安全性への影響等がある。生物付着による自重増加量や付着厚さは，現時点では明確なものが無いので，予備浮力や傾斜安定性の余裕代の中にはいるものとする。ただし，特殊な形式の浮体橋の場合には，この自重増加量が無視できないことがあるので，そのときには適切な資料に基づいてこれを推定する必要がある。
- (2) 生物付着による波力や潮流力の増大は，浮体橋の見かけ上の寸法増大に伴う作用流体力の増大や表面粗度の変化による抗力の増大等がある。また，複数の部材が近接している場合は互いの干渉効果も考えることが必要である。
- (3) 浮体橋に多量の生物が付着した場合，材質によっては腐食や損傷を生じる原因となり，浮体橋の形状によっては景観を損なう原因となることがある。多量の生物付着が考えられる場合には，生物が付着しないような対策や定期的な除去法の検討を要する。

5.3 荷重の組合せ

浮体橋の設計は、表-5.3.1に示す荷重の組合せのうち、最も不利となる条件を考慮して行うものとする。

表-5.3.1 荷重の組合せ

構造要素	要求性能	照査項目	荷重の組合せ
橋 体 部	安全性	部材破壊 疲労破壊 構造物の破壊 (落橋)	1. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) 2. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 温度変化の影響 (T) 3. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 風荷重 (W) 4. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 温度変化の影響 (T) + 風荷重 (W) 5. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 制動荷重 (BK) 6. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 衝突荷重 (CO) 7. 活荷重及び衝撃以外の主荷重+地震の影響 (EQ) 8. 風荷重 (W) 9. 活荷重及び衝撃以外の主荷重+遠心荷重を除く主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 異常時扱いの従荷重 (S ₂) 10. 制動荷重 (BK)
		走行安定性 乗り心地 外観, 振動, 騒音	1. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) 2. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 常時扱いの従荷重 (S ₁)
		修復の難易度	対象部位に応じて、安全性検討に使用する荷重を用いる。
		施工時の安全性 品質	施工時荷重 (ER)
		点検・維持管理 の難易度	1. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) 2. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 風荷重 (W) 3. 想定する維持管理の状態に応じて、適切な荷重の組合せを用いる。
下 部 構 造 ・ 係 留 構 造 ・ 付 帯 設 備	安全性	部材破壊 疲労破壊 構造物の破壊 (沈没、漂流、転覆)	1. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) 2. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 温度変化の影響 (T) 3. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 風荷重 (W) 4. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 温度変化の影響 (T) + 風荷重 (W) 5. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 制動荷重 (BK) 6. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 衝突荷重 (CO) 7. 活荷重及び衝撃以外の主荷重+地震の影響 (EQ) 8. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 常時扱いの従荷重 (S ₁) 9. 活荷重及び衝撃以外の主荷重+遠心荷重を除く主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 異常時扱いの従荷重 (S ₂) 10. 活荷重及び衝撃以外の主荷重+遠心荷重を除く主荷重に相当する特殊荷重+特殊荷重 (PA)
		外観 振動 騒音	1. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) 2. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 常時扱いの従荷重 (S ₁)
		修復の難易度	対象部位に応じて、安全性検討に使用する荷重を用いる。
		施工時の安全性 品質	施工時荷重 (ER)
		点検・維持管理 の難易度	1. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) 2. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 風荷重 (W) 3. 主荷重 (P) + 主荷重に相当する特殊荷重 (PP) + 常時扱いの従荷重 (S ₁) 4. 想定する維持管理の状態に応じて、適切な荷重の組合せを用いる。

1) 潮位は、次の範囲で考えるものとする。

地震時：H. W. L. ～L. W. L.

暴風時：H. H. W. L. ～L. W. L. (または L. L. W. L.)

供用時：H. W. L. ～L. W. L.

さらに、既往最高潮位 (Max. H. H. W. L.)、既往最低潮位 (Min. L. L. W. L.)、津波による上昇水位、下降水位に対して、機構上及び強度上において致命的な損傷を受けないことを確認しなければならない。

2) 常時扱いの従荷重 (S_1) には、次のものを想定する。

- ① 潮汐の影響
- ② 交通規制時の風荷重
- ③ 供用時の波浪影響
- ④ 温度変化の影響
- ⑤ 水流の影響

3) 異常時扱いの従荷重 (S_2) には、次のものを想定する。

- ① 暴風時の風荷重
- ② 暴風時の波浪影響
- ③ 地震の影響
- ④ 津波の影響

ただし、①と②は重ねるが、③、④は単独扱いとする。

4) 潮位と他の荷重の組合せは複雑になるので、一例を表-5.3.2 に示す。この表の下の方には、従来法の許容応力度の割増しが記載してあるが、これは概略検討の利便用であり、参考資料扱いである。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：海岸施設設計便覧，pp. 319-325，2000
- 2) Saeki, H. and Ozaki, A. : Ice force on a pile, IUTAM Symp., Copenhagen, 1979
- 3) Sanderson, T. J. O. : A pressure-area curve for ice, Proc. 8th IAHR, Vol. II, pp. 361-384, 1986
- 4) Truskov, P. A., Aslafiev, V. N. and Surkov, G. A. : Problems of choice of sea ice cover parameters design criteria, Proc. 7th Int. Symp. on Okhotsk Sea & Sea Ice, pp. 21-25, 1992
- 5) 佐伯：海氷の強度試験方法の確立と強度特性に関する研究，文部省科学研究報告，pp. 1-50
- 6) Nakazawa, N. : Ice force due to changes in water level and adfreeze bond strength between sea ice and various materials, J. Offshore Mechanics & Arctic Engineering, ASME, Vol. 10, pp. 74-80, 1988
- 7) 本州四国連絡橋公団：明石海峡大橋耐風設計要領・同解説，1990

表-5.2.1 風速の極値統計解析例

1/1. A地点

風向：全方向	ワイプル k=0.75		ワイプル k=1.00		ワイプル k=1.40		ワイプル k=2.00		極値II型 k=2.50		極値II型 k=3.33		極値II型 k=5.00		極値II型 k=10.00		地点名		A地点		
	順位	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)	F _m	y(m)
発生年	40.10	0.9773	5.8954	0.9753	3.8997	0.9733	2.5076	0.9715	1.8861	0.9833	10.3049	0.9808	7.5603	0.9784	5.7418	0.9759	4.4988	0.9735	3.6166		
1	35.00	0.9307	3.7020	0.9286	2.6395	1.9848	0.9247	1.6081	0.9359	4.9018	0.9334	4.1060	0.9310	3.4742	0.9286	2.9720	0.9261	2.5674			
2	33.00	0.8841	2.7833	0.8819	2.1366	0.8798	1.7095	0.8779	1.4501	0.8894	3.3709	0.8860	2.9484	0.8836	2.5937	0.8812	2.2969	0.8788	2.0463		
3	31.50	0.8375	2.2173	0.8353	1.8035	0.8330	1.5157	0.8311	1.3335	0.8410	2.5409	0.8386	2.2803	0.8362	2.0542	0.8338	1.8592	0.8314	1.6896		
4	31.00	0.7909	1.8170	0.7886	1.5541	0.7863	1.3633	0.7842	1.2384	0.7935	1.9903	0.7912	1.8190	0.7888	1.6670	0.7864	1.5328	0.7841	1.4137		
5	30.90	0.7443	1.5125	0.7420	1.3546	0.7396	1.2361	0.7374	1.1584	0.7461	1.5853	0.7437	1.4694	0.7414	1.3646	0.7391	1.2706	0.7367	1.1858		
6	29.90	0.6977	1.2702	0.6953	1.1884	0.6928	1.1257	0.6906	1.0831	0.6986	1.2676	0.6963	1.1884	0.6940	1.1157	0.6917	1.0495	0.6894	0.9890		
7	29.00	0.6512	1.0714	0.6486	1.0469	0.6461	1.0275	0.6438	1.0160	0.6512	1.0072	0.6489	0.9531	0.6466	0.9029	0.6443	0.8567	0.6420	0.8140		
8	28.50	0.6046	0.9049	0.6020	0.9212	0.5993	0.9383	0.5970	0.9533	0.6037	0.7866	0.6015	0.7501	0.5992	0.7160	0.5969	0.6842	0.5947	0.6545		
9	27.80	0.5580	0.7630	0.5553	0.8103	0.5526	0.8559	0.5502	0.8938	0.5563	0.5948	0.5540	0.5707	0.5518	0.5479	0.5496	0.5265	0.5473	0.5064		
10	27.30	0.5114	0.6408	0.5086	0.7106	0.5059	0.7790	0.5034	0.8366	0.5088	0.5088	0.5066	0.4089	0.5044	0.3940	0.5022	0.3799	0.5000	0.3665		
11	26.60	0.4648	0.5345	0.4620	0.6198	0.4591	0.7063	0.4566	0.7809	0.4614	0.2704	0.4592	0.2604	0.4570	0.2506	0.4548	0.2413	0.4527	0.2324		
12	25.40	0.4182	0.4415	0.4153	0.5367	0.4124	0.6368	0.4098	0.7261	0.4139	0.1287	0.4118	0.1218	0.4096	0.1150	0.4075	0.1084	0.4053	0.1019		
13	24.50	0.3716	0.3599	0.3686	0.4599	0.3656	0.5699	0.3629	0.6715	0.3685	-0.0038	0.3644	-0.0096	0.3622	-0.0154	0.3601	-0.0212	0.3580	-0.0270		
14	23.60	0.3250	0.2880	0.3220	0.3886	0.3189	0.5048	0.3161	0.6164	0.3190	-0.1297	0.3169	-0.1361	0.3148	-0.1427	0.3127	-0.1494	0.3106	-0.1563		
15	23.50	0.2785	0.2247	0.2753	0.3220	0.2722	0.4408	0.2693	0.5602	0.2716	-0.2515	0.2695	-0.2602	0.2674	-0.2693	0.2653	-0.2788	0.2633	-0.2886		
16	23.20	0.2319	0.1692	0.2287	0.2287	0.2254	0.3772	0.2225	0.5017	0.2241	-0.3717	0.2221	-0.3845	0.2200	-0.3980	0.2180	-0.4122	0.2159	-0.4272		
17	22.30	0.1853	0.1208	0.1820	0.1820	0.2009	0.3132	0.1757	0.4396	0.1767	-0.4937	0.1747	-0.5126	0.1726	-0.5328	0.1706	-0.5542	0.1686	-0.5769		
18	22.20	0.1387	0.0792	0.1353	0.1454	0.1319	0.2474	0.1289	0.3715	0.1292	-0.6225	0.1272	-0.6503	0.1252	-0.6803	0.1232	-0.7123	0.1212	-0.7468		
19	21.00	0.0921	0.0443	0.0887	0.0928	0.0852	0.1777	0.0821	0.2927	0.0818	-0.7681	0.0798	-0.8095	0.0778	-0.8547	0.0758	-0.9039	0.0739	-0.9576		
20	19.50	0.0455	0.0168	0.0420	0.0429	0.0384	0.0989	0.0353	0.1895	0.0344	-0.9624	0.0324	-1.0301	0.0304	-1.1064	0.0285	-1.1922	0.0265	-1.2892		
21	相関係数	γ	0.9318	γ	0.9694	γ	0.9905	γ	0.9941	γ	0.9109	γ	0.9464	γ	0.9718	γ	0.9874	γ	0.9944		
標本数： (N)	21	1年	23.57	1年	22.18	1年	20.15	1年	17.40	1年	—	1年	—	1年	—	1年	—	1年	—	—	—
		2年	25.57	2年	25.82	2年	26.30	2年	26.81	2年	25.92	2年	25.98	2年	26.12	2年	26.35	2年	26.63	26.63	26.63
平均値： (x)	27.42	5年	29.70	5年	30.64	5年	31.37	5年	31.75	5年	28.95	5年	29.63	5年	30.29	5年	30.86	5年	31.33	31.33	31.33
		10年	33.46	10年	34.29	10年	34.64	10年	34.56	10年	31.85	10年	32.83	10年	33.61	10年	34.15	10年	34.44	34.44	34.44
標準偏差： (σ _x)	5.10	20年	37.61	20年	37.93	20年	37.63	20年	36.98	20年	35.60	20年	36.66	20年	37.30	20年	37.54	20年	37.42	37.42	37.42
		30年	40.20	30年	40.06	30年	39.29	30年	38.26	30年	38.29	30年	38.29	30年	39.27	30年	39.68	30年	39.14	39.14	39.14
標準偏差	σ(x _y)	50年	43.61	50年	42.75	50年	41.30	50年	39.77	50年	42.35	50年	43.02	50年	42.95	50年	42.30	50年	41.29	41.29	41.29
		100年	48.48	100年	46.39	100年	43.91	100年	41.67	100年	49.35	100年	49.09	100年	47.92	100年	46.18	100年	44.18	44.18	44.18
標準偏差	σ(x _y)	200年	53.60	200年	50.04	200年	46.42	200年	43.44	200年	58.56	200年	56.56	200年	53.62	200年	50.32	200年	47.06	47.06	47.06
		1年	1.11	1年	1.23	1年	1.32	1年	1.45	1年	—	1年	—	1年	—	1年	—	1年	—	—	—
標準偏差	σ(x _y)	2年	1.48	2年	1.30	2年	1.29	2年	1.27	2年	1.12	2年	1.13	2年	1.16	2年	1.18	2年	1.17	1.17	1.17
		5年	3.20	5年	2.51	5年	2.10	5年	1.81	5年	2.45	5年	2.31	5年	2.18	5年	2.05	5年	1.83	1.83	1.83
標準偏差	σ(x _y)	10年	4.97	10年	3.62	10年	2.75	10年	2.19	10年	4.30	10年	3.78	10年	3.32	10年	2.91	10年	2.45	2.45	2.45
		20年	6.97	20年	4.76	20年	3.37	20年	2.54	20年	6.80	20年	5.61	20年	4.65	20年	3.84	20年	3.09	3.09	3.09
標準偏差	σ(x _y)	30年	8.22	30年	5.44	30年	3.72	30年	2.73	30年	8.61	30年	6.88	30年	5.51	30年	4.43	30年	3.46	3.46	3.46
		50年	9.88	50年	6.30	50年	4.15	50年	2.96	50年	11.36	50年	8.71	50年	6.72	50年	5.20	50年	3.94	3.94	3.94
標準偏差	σ(x _y)	100年	12.25	100年	7.48	100年	4.71	100年	3.25	100年	16.10	100年	11.70	100年	8.56	100年	6.31	100年	4.60	4.60	4.60
		200年	14.75	200年	8.66	200年	5.25	200年	3.52	200年	22.36	200年	15.37	200年	10.68	200年	7.51	200年	5.25	5.25	5.25

統計期間：海上風補正：あり

表-5.2.2 波高・周期別度数分布

統計期間		年 月 ~ 年 月																測得回数		回		
対象地点																		欠測回数		回 (%)		
波高	周期	2.9s	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0s	計	発生率 (%)	累積発生率 (%)
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~			
12.01m~																						
11.01~12.00																						
10.01~11.00																						
9.00~10.00																						
8.01~ 9.00																						
7.01~ 8.00																						
6.51~ 7.00																						
6.01~ 6.50																						
5.51~ 6.00									1											1	0.0	0.0
5.01~ 5.50								0.0												3	0.1	0.1
4.51~ 5.00																				6	0.2	0.2
4.01~ 4.50																				8	0.2	0.4
3.51~ 4.00																				18	0.4	0.9
3.01~ 3.50																				21	0.5	1.4
2.51~ 3.00																				49	1.2	2.6
2.01~ 2.50																				102	2.5	5.1
1.76~ 2.00																				92	2.3	7.4
1.51~ 1.75																				102	2.5	9.9
1.26~ 1.50																				139	3.4	13.35
1.01~ 1.25																				300	7.4	20.76
0.76~ 1.00																				427	10.6	31.31
0.51~ 0.75																				996	24.6	55.91
0.26~ 0.50																				1650	40.8	96.66
~ 0.25m																				135	3.3	99.99
計			79	657	728	984	788	543	198	53	18	1							4049	100.0	100.0	
発生率 (%)			2.0	16.2	18.0	24.3	19.5	13.4	4.9	1.3	0.4	0.0							100.0			
累積発生率 (%)			2.0	18.2	36.2	60.5	79.9	93.3	98.2	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			

注) 上段は回数
下段は出現率

表-5.2.3 波高・波向別度数分布

統計期間		年 月 ~ 年 月																測得回数		回	
対象地点																		欠測回数		回 (%)	
波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	計	発生率 (%)		
		12.01m~																			
11.01~12.00																					
10.01~11.00																					
9.01~10.00																					
8.01~ 9.00																					
7.51~ 8.00																					
7.01~ 7.50																					
6.51~ 7.00																					
6.01~ 6.50																					
5.51~ 6.00																			1	0.0	
5.01~ 5.50																			3	0.1	
4.51~ 5.00																			6	0.2	
4.01~ 4.50																			8	0.2	
3.51~ 4.00																			18	0.4	
3.01~ 3.50																			21	0.5	
2.51~ 3.00																			49	1.2	
2.01~ 2.50																			102	2.5	
1.76~ 2.00																			92	2.3	
1.51~ 1.75																			102	2.5	
1.26~ 1.50																			139	3.4	
1.01~ 1.25																			300	7.4	
0.76~ 1.00																			427	10.6	
0.51~ 0.75																			996	24.6	
0.26~ 0.50m																			1650	40.8	
~0.25m																			135	3.3	
計			8	3	4	25	73	341	1733	971	676	176	20	4	8	7		4049	100.0		
発生率 (%)			0.2	0.1	0.1	0.6	1.8	8.4	42.8	24.0	16.7	4.4	0.5	0.1	0.2	0.2		100.0			

注) 上段は回数
下段は出現率

表-5.3.2 主な荷重の組合せ (参考例)

■ : 支配要因になることが多い

L. L. W. L. (C.D.L+ m)		供用時	暴風時	地震時	津波時	その他 (道示準拠)
項目	死荷重	○				
	活荷重+衝撃	○				
波の荷重	風	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$			
	うねり	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$			
風荷重		供用時 $V = m/s$	暴風時 $V = m/s$			
流水圧		$V = m/s$				
津波						
その他 (道示準拠)						○
参考	(許容応力度の割増)	1.0				道示準拠
	たわみの許容値		活荷重に対し, $L/350(L:支間長)$			
	認をする	Min. L. L. W. L. に対しては、機構上及び強度上の確認をする				

注：許容応力度の割増は、参考資料である。

L. W. L. (C.D.L+ m)		供用時	暴風時	地震時	津波時	その他 (道示準拠)
項目	死荷重	○	○	○	○	
	活荷重+衝撃	○				
波の荷重	風	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	○	○	
	うねり	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	○	○	
風荷重		供用時 $V = m/s$	暴風時 $V = m/s$			
流水圧		$V = m/s$				
津波						
その他 (道示準拠)						○
参考	(許容応力度の割増)	1.0	1.25	1.5	1.5	道示準拠
	たわみの許容値		活荷重に対し, $L/350(L:支間長)$			
	認をする	注：許容応力度の割増は、参考資料である。				

注：許容応力度の割増は、参考資料である。

H. W. L. (C.D.L+ m)		供用時	暴風時	地震時	津波時	その他 (道示準拠)
項目	死荷重	○	○	○	○	
	活荷重+衝撃	○				
波の荷重	風	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	○	○	
	うねり	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	○	○	
風荷重		供用時 $V = m/s$	暴風時 $V = m/s$			
流水圧		$V = m/s$				
津波						
その他 (道示準拠)						○
参考	(許容応力度の割増)	1.0	1.25	1.5	1.5	道示準拠
	たわみの許容値		活荷重に対し, $L/350(L:支間長)$			
	認をする	注：許容応力度の割増は、参考資料である。				

注：許容応力度の割増は、参考資料である。

H. H. W. L. (C.D.L+ m)		供用時	暴風時	地震時	津波時	その他 (道示準拠)
項目	死荷重		○			
	活荷重+衝撃					
波の荷重	風	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	○		
	うねり	供用時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	暴風時 $H_{1/3} = m$ $T_{1/3} = m$	○		
風荷重		供用時 $V = m/s$	暴風時 $V = m/s$			
流水圧		$V = m/s$				
津波						
その他 (道示準拠)						○
参考	(許容応力度の割増)		1.25			道示準拠
	たわみの許容値					
	認をする	Max. H. H. W. L. に対しては、機構上及び強度上の確認をする				

注：許容応力度の割増は、参考資料である。

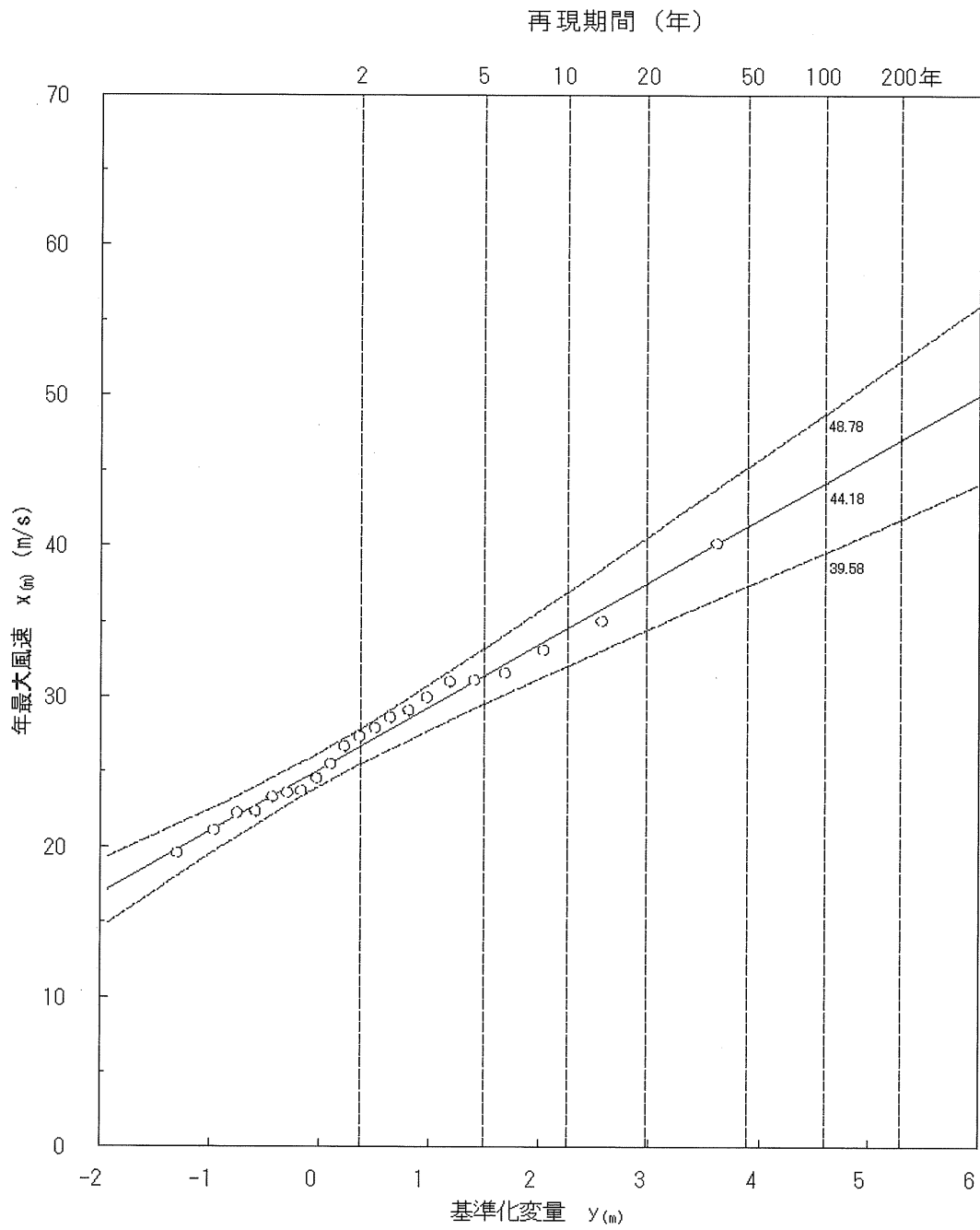


図-5.2.1 極値統計解析例