

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1117

August 2020

日本の港湾基準と英国港湾基準（BS6349）を適用した 直杭式横棧橋設計の比較検討

柴下達哉・宮田正史・菊池喜昭

Comparative study of open-type wharves on vertical piles design applying
Japanese port standard and British port standard(BS6349)

SHIBASHITA Tatsuya, MIYATA Masafumi, KIKUCHI Yoshiaki

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

日本の港湾基準と英国港湾基準(BS6349)を適用した 直杭式横棧橋設計の比較検討

柴下達哉*・宮田正史**・菊池喜昭***

要 旨

国内における港湾の設計基準として、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(日本基準)が利用されており、現行の日本基準は、国際規格における構造物の設計法に対応した荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法を導入し、仕様規定型から性能規定型に移行している。一方、海外における港湾の設計基準として、英国規格協会(British Standards Institution)が発行するBS6349 (Maritime Works)とその関連規格が広く利用されている(BS規格)。しかしながら、両基準による設計体系は異なるため、それぞれの基準による設計結果の相違も不明である。

本研究は、鋼管杭を利用した直杭式横棧橋の基本設計を対象として、日本基準とBS規格の両基準による設計条件のうち、設計への影響が大きいと考えられる項目に絞り、両基準の方法を採用した棧橋の比較検討を行い、設計結果(鋼管杭の断面諸元)に及ぼす影響を把握することを目的とした。はじめに、両基準による設計条件の特徴や相違点の整理を行い、両基準の各条件による直杭式横棧橋の設計結果に及ぼす影響を定性的に評価した。次に、両基準における地震条件(鉛直震度を考慮するか否か)および部分係数・荷重組合せ・応力照査式のみ相違に着目し、直杭式横棧橋の杭の応力照査と支持力照査の比較検討を行った。最後に、日本基準およびBS規格の両基準を適用した場合の杭の支持力推定式(特性値)の比較を行った。

キーワード：港湾，設計基準，比較検討，BS6349，直杭式横棧橋，部分係数，支持力照査式

*港湾研究部 港湾施設研究室 交流研究員

**港湾研究部 港湾施設研究室 室長，京都大学経営管理大学院 客員教授

***東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授

Comparative Study of the Design of Open-type Wharves on Vertical Piles Applying Japanese Port Standards and British Port Standards (BS6349)

SHIBASHITA Tatsuya*

MIYATA Masafumi**

KIKUCHI Yoshiaki***

Synopsis

The “Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities” (“Japanese standards”) are applied as a design standard for domestic ports. The current Japanese standards introduce the partial factor method based on the load resistance factor approach, adjusting to the design method for structures in international standards, and the type has shifted from provision specification to performance specification. On the other hand, BS6349 (Maritime Works) issued by the British Standards Institution and other related standards are widely applied as design standards for ports overseas (“BS standards”). However, because the design systems of both standards are different, it is unclear if there are differences in design results between the Japanese standards and BS standards. The goal of this study is to ascertain how they effect the design results of open-type wharves on vertical piles, applying the Japanese standards method against the BS standards method, focusing on items considered to have a large impact on the design. First, the characteristics and differences of the design conditions based on both standards were summarized, and the effects on the design results of open-type wharves on vertical piles due to the adoption of each condition of both standards were qualitatively evaluated. Next, a comparative study was conducted, focusing on the difference in seismic conditions (whether vertical seismic intensity is taken into consideration) and partial factor/load combinations in both standards, and also on stress and bearing capacity verification of piles on the pier. Finally, we compared the bearing capacity estimation formulas (characteristic values) for piles when both the Japanese and BS standards were applied.

Key Words: Port, Design standards, Comparative study, BS6349, Open-type wharves on vertical piles, Partial factor, Bearing capacity formula

* Exchange Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

** Head, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM
Visiting Professor, Graduate School of Management, Kyoto University

*** Professor, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-468-44-5028 Fax : +81-468-44-5028 e-mail:mitani-m92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的及び全体構成	1
2. 設計条件の設定方法の相違点整理	2
2.1 概要	2
2.2 設計条件の整理で引用する基準の範囲	3
2.3 自然条件	4
2.4 利用条件	8
2.5 材料条件	13
2.6 部分係数・荷重の組合せと支持力照査式	17
2.7 両基準の設計条件の整理及び比較検討の方向性	25
3. 日本基準とBS規格による比較検討	28
3.1 比較検討の方針	28
3.2 比較検討の設計条件	29
3.3 杭の応力照査の比較	30
3.4 杭の支持力照査の比較	36
4. 日本基準とBS規格による杭の支持力推定式の比較検討	40
4.1 比較検討の概要	40
4.2 杭の支持力推定値（特性値）の算定手法	40
4.3 比較検討結果	43
5. おわりに	45
謝辞	46
参考文献	40
付録A 比較検討の照査	48
付録B BS規格の地震時荷重モデル	67

1. はじめに

1.1 研究背景

国内における「港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾」(以下、「日本基準」という。)は、自然災害や社会情勢のニーズに応じて内容が約10年で改訂されている。2007年の日本基準¹⁾の改訂では、国際規格における構造物の設計法に対応した部分係数法を用いた信頼性設計法を導入し、仕様規定型から性能規定型に移行した。また、2018年の日本基準²⁾の改訂では、信頼性設計法についても見直しを行い、荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法を導入している。

一方、海外における港湾の設計基準として、英国規格協会(British Standards Institution)が発行するBS6349(Maritime Works)³⁾とその関連規格が広く利用されている(以下、BS6349とその関連規格を含めて、「BS規格」という)。海外では、日本基準の認知度は低いこともあり、発展途上国等では、日本基準の利用が限定され、ユーロコード(Structural Eurocodes)やBS規格が頻繁に利用されている。このため、日本のODA港湾プロジェクトの設計であっても先方国からユーロコードやBS規格と日本基準との比較設計を求められる場合もある。しかしながら、両基準による設計体系は異なるため、それぞれの基準による設計結果の相違に対する既往研究の数は少ない。

森屋⁴⁾は、ISOへの対応及び日本基準の改訂に資することを目的として日本基準とユーロコードに従った設計による安全性や設計断面に及ぼす影響について検討している。しかしながら、ユーロコードが比較対象であり、BS規格と日本基準の違いを検討したものではない。また、宮田⁵⁾は日本基準の国際展開を図るための課題・方向性を探るために、日本基準とBS規格との外形的な比較(発行主体、基準の位置づけ、ページ数、目次構成、掲載項目等)を行っているものの、比較設計は行っていない。

1.2 研究目的及び全体構成

(1)研究目的

本研究では、鋼管杭を利用した直杭式横棧橋の基本設計を対象として、日本基準とBS規格の両基準による設計条件のうち、設計結果への影響が大きいと考えられる項目に絞り、両基準の方法を採用した棧橋の比較検討を行い、設計結果(鋼管杭の断面諸元)に及ぼす影響を定量的に把握することを目的とした。

なお、本論を進める前に、本稿における2つの用語の意味を説明する。

一つ目は、「比較検討」である。本来、両基準の設計条件の設定方法の違いが設計結果に及ぼす影響について比較するためには、全ての設計条件を両基準に基づき設定し、設計結果を比較することが理想である。一般的には、このような設計の比較が「比較設計」と呼ばれる。

しかしながら、両基準の設計条件を設定する前提条件の違い(例えば、2.(2)で詳述する地震の再現期間の相違など)があるため、両基準の全ての設計条件をそのまま反映して設定しても、同じ作用に対する構造の安全性余裕がどの程度相違するかなどが把握しづらい。また、各国で変更することができない条件(例えば、時刻歴波形を用いた設計震度の設定はしない)もあるため、両基準でどの設計条件が設計結果に与える影響が大きいかを把握することが重要である。このため、本研究では、両基準をそのまま適用した比較設計ではなく、できる限り設計条件は揃えたうえで、部分的に両基準の方法を適用した設計の比較を行っている。これを上述した比較設計とは異なるものであることを明示するため、「比較検討」という用語を利用している。

二つ目は、「設計条件」である。本稿では、構造計算を行う上で定めるべき様々な項目を全て包含する用語として「設計条件」という用語を利用している。このため、設計条件としては、自然条件、利用条件、材料条件などの狭義の設計条件に加えて、作用側や抵抗側の特性値の設定方法、部分係数(作用側と抵抗側の部分係数)・荷重の組合せ係数の設定内容、どの応力照査式や支持力照査式を適用するかなどの広義の条件が含まれる。

(2)全体構成

次に、本研究の全体手順と本研究の構成を図-1.1に示す。以下、本研究の構成について説明する。

第2章(図-1.1の①)では、第3章で実施する比較検討の目的やその際に着目すべき点を明示する。その上で、両基準の設計条件について設定方法の相違点を整理し、両基準の各条件の採否による直杭式横棧橋の設計結果への影響度合いを定性的に評価する。その影響の度合いに応じて各設計条件を分類し、比較検討の方向性を検討した。

第3章(図-1.1の②)では、第3章で実施する比較検討の目的やその際に着目すべき点を整理する。その上で、設計結果への影響が大きいと予測された項目に着目し、日本基準とBS規格に基づく設計を行い、両基準による設計結果への相違程度を把握する。対象とした設計条件は、地震条件の相違(BS規格では鉛直震度を考慮しているが、日本基準では考慮していない)、部分係数・荷重の組合

せ、応力照査式の相違とした。この比較検討の結果より、日本基準とBS規格の断面力や作用耐力比、断面諸元の影響を整理した。

第4章 (図-1.1の③) では、両基準の支持力推定式の違いに着目し、両基準の支持力推定式による杭の抵抗力の特性値を比較する (両基準による部分係数は考慮しない)。

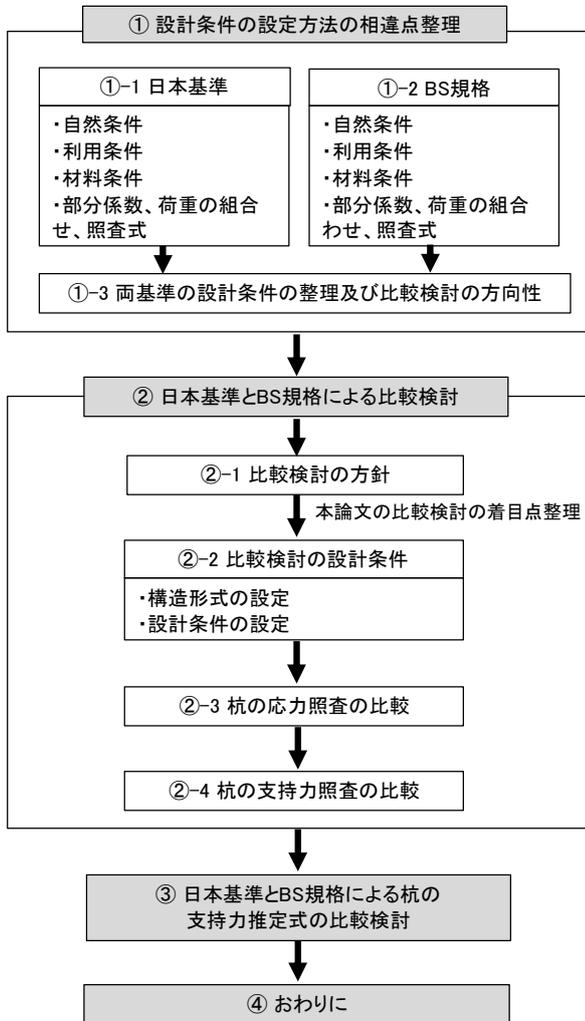


図-1.1 本研究の全体手順フロー

2. 設計条件の設定方法の相違点整理

2.1 概要

(1)比較検討を行う目的

本研究の比較検討の目的は、設計条件の設定方法の相違によって、両基準の設計結果がどの程度変わり得るかを把握することにある。設計結果とは、最終的に決まる断面諸元のことであり、重力式岸壁であればケーソンの幅、矢板式岸壁であれば矢板本体の根入れ長や断面諸元である。本研究で対象とする直杭式横棧橋では、鋼管杭の打設深度や断面諸元 (杭径や肉厚) などである。

(2)設計条件の整理上の課題

設計条件には、1.2 (1)で述べたとおり、自然条件、利用条件、材料条件などの狭義の設計条件に加えて、性能照査式の選定やその安全係数 (部分係数)、さらには照査式の相違などの広義の設計条件の設定が必要となる。この狭義と広義の全ての条件を包含して、本稿では「設計条件」としている。これら全ての設計条件を両基準に基づき設定し、設計結果を比較することが理想であるが、両基準に基づき設定した設計結果に対して、どの設計条件が設計結果に影響しているかを把握することが難しくなる。

例えば、日本国内の係留施設の設計に対して、BS規格をそのまま適用する場合を考えると、容易に理解できる。日本国内では、各港湾でサイト特性を考慮した工学的基盤面与えられるレベル1地震動を用いて、1次元地震応答解析を経て得られた地表面加速度時刻歴に対して、さらにフィルターをかけて算出される照査用震度を水平方向の設計震度として用いる。しかしながら、BS規格では、そのような方法は規定されておらず、基盤層与えられる地震危険度マップを用いて、ある再現期間に対応する最大加速度の期待値から、ASCE (American Society of Civil Engineers : 米国土木学会)、ユーロコードなどの一定の処理に基づき水平震度を設定することになる。当然、設計震度の設定方法が異なるため、耐震設計に用いる設計震度の値は大きく異なることが予想される。さらに、日本基準では地震危険度が高いため再現期間75年の期待値を用いるが、欧州では再現期間475年⁶⁾の期待値を用いることが一般的であり、その点にも大きな開きがある。

このため、設計震度そのものを両基準で設定した場合、設計条件が異なるので、設計結果も異なることとなり、結果を比較すること自体に無理があり、その解釈も難しい。その他の設計条件においても、この問題があると考えられる。

(3)設計条件の整理方針

(1)、(2)を勘案すると、比較検討において両基準で揃えるべき条件と揃えない条件を整理し、その上で本質的に構造物の安全余裕が両基準で、相違しているのかを把握することの方が重要である。

このため、本節では、前述した比較検討の目的に照らして整理を行う。具体的には、両基準の設計条件の各項目について概要を紹介した上で、比較検討において条件を揃えるべきか否かを整理する。また、条件を揃えずに両基準を適用することによる設計結果に及ぼす影響評価に意義があるかの視点で、各設計条件を表-2.1に示す設計

条件のグループに分類して比較検討条件の方向性を示す。なお、第2章では設計条件の概要のみ示しているため、詳細な事項は基準における各条件の該当頁を参考文献に示しているので参照されたい。

表-2.1 設計条件のグループ分けの考え方

設計条件のグループ	グループ分けの考え方
A	<ul style="list-style-type: none"> 両基準による設定方法や設定値が大きく異なり、かつ設計結果への影響が大きいと予測される設計条件である。 本グループに分類される設計条件については、両基準による方法を適用し、比較検討を行う。ただし、比較検討にあたっては、同一の設計条件を設定する範囲と、各基準に従って異なる設計条件を設定する範囲を適切に定める。
B	<ul style="list-style-type: none"> 両基準による設定方法や設定値は異なるものの、設計結果への影響はグループ A より小さいと予測される設計条件である。なお、BS 規格の設計条件の設定方法を十分に把握できず、設計条件の設定が難しいものについてはこのグループに分類し、同一の設計条件とする。 本グループに分類される設計条件については、設計条件の設定内容を揃えた方が比較検討の目的に沿った検討ができるため、両基準において共通の設計条件の設定内容とする。なお、共通の条件は、BS 規格による設計条件の把握ができなかった項目も含めて、日本基準によって設定される一般的な値とする。
C	<ul style="list-style-type: none"> 両基準による設定方法や設定値に大きな相違はない設計条件である。 本グループに分類される設計条件については、グループ B と同様、日本基準によって設定される一般的な値とする。

2.2 設計条件の整理で引用する基準の範囲

本研究における設計条件の整理で検討する基準の範囲を図-2.1に示す。以下、各基準の範囲について具体的に説明する。

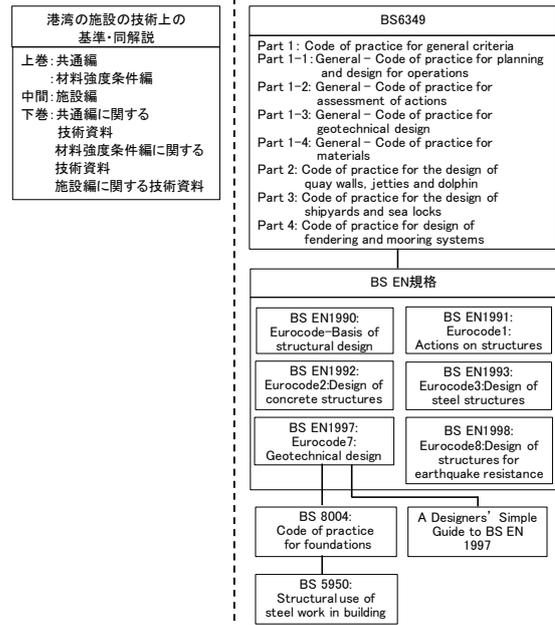


図-2.1 本研究の基準の引用範囲

(1)日本基準の検討範囲

日本基準の構成は、上巻、中巻、下巻の三分冊で構成されているが、これらを対象として設計条件の整理を行う。

日本基準の上巻は、「総論」および「技術基準対象施設の建設、改良または維持や環境等への配慮」が記載されている「共通編」と、気象・海象、地盤条件、地震、船舶、自重及び荷重などが記載されている「作用及び材料強度条件編」から構成されている。日本基準の中巻は、構造物の設計に関する共通事項、外郭施設、係留施設など「施設編」として構成されている。日本基準の下巻は、共通編に関する参考技術資料、作用及び材料強度条件編に関する参考技術資料、施設編に関する参考技術資料として構成されている。このように日本基準は、港湾構造物の設計に関して三分冊でまとめられており、主要な構造形式の設計は基準の三分冊で対応できるような構成となっている。

(2)BS規格の引用範囲

BS6349は海洋構造物の基準としてpart1～part8の8分冊で構成されている。このうち、横棧橋の設計に関連する設計条件は、BS6349のpart1～part4を本検討での基本的な調査範囲とする。ここで、宮田⁵⁾らの論文のとおり、BS6349はその他のBSシリーズやBSEN⁷⁾(ユーロコード系)など多岐にわたる基準を参照するような構成となっている。BS6349のみでは、設計計算を行う際には不足する情報があつたため、本検討では図-2.1に示すBS規格を

設計条件の整理に用いる基準の範囲とした。なお、杭の支持力照査式において、杭の抵抗力の基本式はBS6349やBSENで記載されているが、先端抵抗力や周面抵抗力の詳細な式や照査式の不確実性を考慮する係数(model factor)についてまでは記載されていない。また、杭の応力照査式について、杭の座屈に関する記述については、BS6349やBSENで記載されていない。このため、応力照査式及び支持力照査式については、「BS8004」、「BS5950」、「A Designers' Simple Guide to BS EN 1997」までを基準の範囲とした。

2.3 自然条件

(1)設計潮位

1)日本基準

日本基準⁸⁾は、港毎における天文潮による朔望平均満潮位(H.W.L.)や朔望平均干潮位(L.W.L.)などを設計潮位として用いている。用語の定義を以下に示す。

- ・朔望平均満潮面(H.W.L.)：朔望の日から前2日前後4日以内に現れる各月の最高満潮面を平均した水面。
- ・朔望平均干潮面(L.W.L.)：朔望の日から前2日前後4日以内に現れる各月の最低干潮面を平均した水面。

2)BS規格

BS規格⁹⁾は、LAT (Lowest Astronomical Tide) 及びHAT (Highest Astronomical Tide)などを設計潮位として用いている。また、既往の文献¹⁰⁾を基にした用語の定義を以下に示す。

- ・LAT (Lowest Astronomical Tide)：19年以上の潮位推算値の中での最低潮位。
- ・HAT (Highest Astronomical Tide)：19年以上の潮位推算値の中での最高潮位。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

海外の港湾プロジェクトにおける潮位設定では、利用する各国で定めている潮位を用いるか、基準に具体的な潮位設定が記載されている場合はその潮位を用いていると考えられる。以下、LATは海図基準面として採用されているため、日本沿岸部の験潮所の潮位(海図基準面)とLATがどの程度異なるかについて、既往文献の事例を紹介し、最後に設計への影響について評価する。

既往の文献¹⁰⁾では、日本国内の各験潮所における潮位(海図基準面)とLATと比較すると、全ての験潮所においてLATのほうが海図基準面(2017年時点)よりも低いとい

う報告がなされている。さらに、全験潮所の中で最も差が大きい潮位差(験潮基準面とLATとの差)でも52cmである。

以上に示したとおり、両基準において設計潮位の設定方法は異なる。一方、横棧橋は背後土留壁と分離して設計されることが多く、この場合、横棧橋本体は潮位差の影響はあまり受けない。このため、設計潮位の設定値の相違は設計成果に及ぼす影響は小さいと予想され、かつ設計潮位を揃えた方が比較検討の目的に適していると考えられる。このため、本検討では設計潮位はグループBに分類されると判断した。

(2)風速

1)日本基準

日本基準¹¹⁾では、標準的な断面諸元を有する横棧橋の構造設計に対しては、風は支配的な作用にならないとの前提のもと、横棧橋本体の設計に風荷重を設定することはない。一方、棧橋上にクレーンなどの荷役機械が設置される場合には、厚生労働省告示のクレーン構造規格に従い、荷役機械の作業時として風速16m/s、暴風時(クレーン休止時)風速55m/sを設定した荷役機械の輪荷重を棧橋に作用させて棧橋の構造設計を行う。

なお、クルーズ船など海上部分の受圧面積が大きい風の影響を受けやすい船舶の場合には、独自の設計風速を設定し、係船柱の牽引力や防舷材の反力を算定し、係船柱や防舷材による棧橋本体の耐力照査を行う場合もある。

2)BS規格

BS規格¹²⁾では、係留している船舶の挙動の評価に用いる風速は、船舶の船型と船舶に作用する時間を考慮すると記載されている。また、60分間平均風速と突風速(最大風速)との関係式が基準で示されている。

横棧橋の設計に用いる風速は、日本基準と同様に船舶の動揺などにより係船柱に作用する牽引力を算定する際に、対象船舶に風圧力として作用させる場合に用いている。また、クレーンに関する風速の設定などの記載は確認できなかった。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

以上に示したとおり、両基準において設計風速の設定方法は異なり、設定値も異なると考えられる。しかしながら、設計風速は牽引力の大きさに関係するものの、一般的には横棧橋は牽引力では決まらないため、両基準の相違が設計結果に及ぼす影響は小さいと考えられる。また、クレーンを介した風による棧橋への作用荷重(輪荷

重)については、BS規格による設定方法が把握できなかった。これらの理由のため、本検討では設計風速はグループBに分類されると判断した。

(3)土質条件

1)日本基準

a)全般

日本基準¹³⁾では、地盤条件は地盤調査及び土質試験の結果をもとに、土の物理的性質、力学的特性等を適切に設定すると記載されている。また、地盤構成や地盤物性値の把握を目的としたボーリングや室内土質試験の調査・試験方法が記載されている。ボーリング工では、標準貫入試験が多く用いられており、地盤の層厚やN値を把握し、土質試料のサンプリングを行う。また、得られた土質試料より物理試験、一軸圧縮試験などを行い、試験結果より単位体積重量や粘着力を整理する。なお、地盤調査結果より土質定数を整理する場合は、データの信頼性に関する補正係数として、データのばらつきに関する補正係数とデータ数に関する補正係数を考慮し、補正された平均値として土質定数を設定する。

b)土の物理的性質

日本基準¹³⁾では、土の物理的性質に関して、土の単位体積重量や土の分類について記載されており、単位体積重量は原位置から乱れの少ない資料を採取して湿潤密度試験などの試験方法により求めると記載されている。また、日本の港湾地域における土の単位体積重量のおよその値は、表-2.2に示すとおり記載されている。土の分類は、粒度により分類する粗粒土、含水比やコンシステンシー特性により分類する細粒土に分類される。粗粒土は、粒径75μm以上75mm未満の粒度成分からなる土をいい、細粒土は粒径75μm未満の粒度成分からなる土をいう。

表-2.2 代表的な土の単位体積重量と含水比¹³⁾

	沖積粘性土	洪積粘性土	砂質土
湿潤単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	12~16	16~20	16~20
乾燥単位体積重量 γ_s (kN/m ³)	5~14	11~14	12~18
海底地盤の自然含水比 w (%)	150~30	60~20	30~10

c)土の力学的性質

日本基準¹³⁾では、土の力学的性質として、弾性定数、圧縮圧密特性、土のせん断特性やN値について記載されている。ここでは、構造物の安定計算結果に大きな影響を及ぼす土のせん断強度の設定方法についてのみ、その概要を紹介する。

土のせん断特性については、砂質土、粘性土のせん断

強さの考え方や粘性土の圧密、膨張による強度変化について記載されている。

砂質土のせん断抵抗角は、標準貫入試験で得られるN値と土層の有効土被り圧より式(2.1)で算定する。また、N値と有効土被り圧や相対密度との関係が整理されている。

$$\phi = 25 + 3.2 \sqrt{\frac{100N}{\sigma'_{vo} + 70}} \quad (2.1)$$

ここに、

ϕ : 砂のせん断抵抗角 (°)

N : 標準貫入試験のN値

σ'_{vo} : 有効土被り圧 (kN/m²)

である。

日本基準では、粘性土は、設計の便宜上、粘土分とシルト分の含有率が50%以上のものとされている。粘性土の非排水せん断強さを求める方法として、乱さない試料から求めた一軸圧縮強度強さ q_u を用いる方法や、三軸非排水圧縮試験より求める方法などが示されている。

2)BS規格

a)土の物理的性質

BS規格¹⁴⁾¹⁵⁾では、地盤調査及び土質試験の結果をもとに土質定数を適切に設定すると記載されている。また、地盤調査方法については、標準貫入試験や土の種類に対してどの試験方法が適用可能か整理されている。なお、土や捨石の単位体積重量は、表-2.3に示すとおり、一般的土の分類に対応した単位体積重量、せん断抵抗角が示されている。

表-2.3 土および捨石の物理的性質¹⁴⁾

General description of soil	State of compaction or consolidation	Natural bulk density		Angle of soil shearing resistance in terms of effective stresses	
		Moist kN/m ³	Submerged kN/m ³	Active degrees	Passive degrees
Gravels	Loose	16.0	10.0	35	35
	Medium dense			38	37
	Dense	18.0		41	39
	Very dense			44	41
Sands, coarse or medium	Loose	16.5	10.0	30	30
	Medium dense			33	32
	Dense	18.5	11.5	36	33
	Very dense			39	34
Silts		16.0 to 18.0		24 to 27	
Clayey silts		17.0		21	
Silty clays	Normally-consolidated	15.0		15 to 18	
	Over-consolidated	20.0		15 to 18	
Glacial till				26 to 30	
Peat	Unloaded	11.0	1.0	0	
	After moderate loading	13.0	3.0	15	
Granite		25.0*			
Sandstone		22.0*			
Basalts and dolerites		17.5 to 27.5	11.0 to 16.0		
Shale		21.5 to 23.0	12.0 to 13.5		
Stiff to hard marl		19.0 to 23.0	10.0 to 13.5		
Limestone		27.0*			
Chalk		9.5 to 20.0	3.0 to 10.0		

* Measured in the solid, i.e. not crushed or broken.

b) 土の力学的性質

BS規格¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾では、土質定数の設定について配慮すべき事項が記載されているが、具体的な手法については確認できなかった。土質定数の特性値の設定にあたって配慮すべき事項としては、過去の土質データ、地盤調査及び室内試験の範囲、調査サンプルのタイプやサンプル数などが記載されている。砂質土や粘性土の分類についての詳細は、今回の検討範囲では確認できなかった。

3) 両基準を適用した場合の設計への影響について

日本基準、BS規格に示されている物理定数として、一般的な土の単位体積重量やせん断抵抗角の数値に大きな違いはない。

地盤調査の詳細方法については、日本基準は土質試験の調査方法や室内試験について記載されており、データのばらつきに関する補正係数を考慮した土質定数の設定方法まで示されていた。一方、BS規格においては、今回対象とした基準の範囲では、詳細までは把握することができなかった。また、土質定数の設定方法に関する配慮事項の記載もあったが、土質定数の詳細な設定方法は確認できなかった。

以上に示したとおり、両基準の地盤調査の方法や土質定数の設定方法等は異なるものの、BS規格の詳細が確認できず設計条件の設定が難しいため、グループBに分類されると判断した。

(4) 地震力

1) 日本基準

日本基準¹⁷⁾の地震条件は、図-2.2に示すとおり、震源特性・伝播経路特性・サイト特性を考慮して得られる設計対象地点毎の工学的基盤における地震動の時刻歴波形として与えられる。また、その再現期間は75年が標準とされている。

横棧橋に作用させる照査用震度（水平震度）は、棧橋杭の仮想固定点での時刻歴波形を用いて計算される加速度応答スペクトルの結果から、棧橋の固有周期に対応する棧橋上部工の最大加速度を求め、それを重力加速度で除することにより設定する。なお、照査用震度は水平方向のみを考慮し（鉛直方向は考慮しない）、その下限値は0.05とされている。

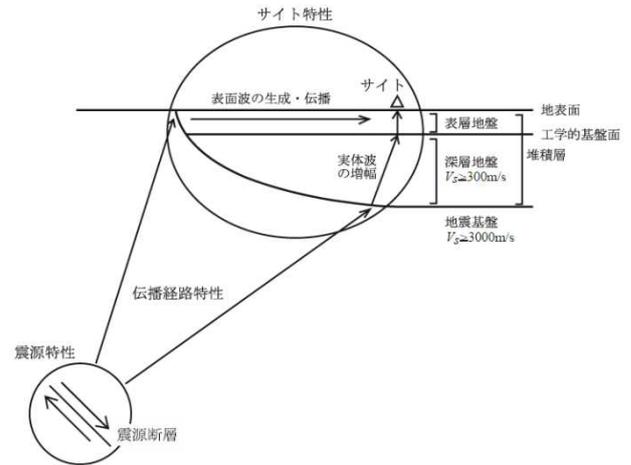


図-2.2 震源特性・伝播経路特性・サイト特性¹⁷⁾

2) BS規格

a) 重力式構造

BS規格¹⁸⁾の重力式構造における水平方向の地震力は、静的解析において自重（鉛直力）に水平震度を乗じたものと記載されている。水平震度は式(2.2)に示すとおり、基盤加速度を重力加速度で除した係数(α)、基盤加速度、 N 値、 C など地盤の種類によって決まる地盤係数(S)（表-2.4、表-2.5）を乗じて、構造タイプによる係数(r)（表-2.6）を除して設計震度（水平方向）を算出するとされている。ここで、係数 r は構造物の許容する変位量に応じて係数が設定され、この構造物の挙動による係数は、重力式構造であれば係数 r 、b)に示す棧橋式構造では係数 q が対応する（係数 q については後述する）。また、BS規格では、標準的な地震動の再現期間として475年を推奨している。

また、式(2.3)に示すとおり、BSEN規格では水平震度に加えて鉛直震度も規定されており、鉛直方向の地震力を考慮している。鉛直震度は鉛直成分の基盤加速度を地盤の種類で決まる設計用の基盤加速度で除した値が0.6以上 ($a_{vg}/a_g \geq 0.6$) の場合は水平震度の0.5倍、その他の場合は水平震度の0.33倍を設定し、構造物に不利な状態を考慮して鉛直上向きまたは鉛直下向きに作用させる。このことから、鉛直震度を考慮した場合、設計に及ぼす影響は大きいと考えられる。特に、日本のように水平設計震度が大きい場合は、水平震度に比例して鉛直震度も大きくなるため、その影響は大きくなるものと予想される。

$$k_h = \alpha \frac{S}{r} \quad (2.2)$$

$$k_v = \pm 0.5k_h \quad \text{if } \alpha_{vg}/\alpha_g \text{ is larger than } 0.6 \quad (2.3)$$

$$k_v = \pm 0.33k_h \quad \text{otherwise} \quad (2.4)$$

ここに、

- k_h : horizontal seismic coefficients (水平震度)
- α : Ratio of the design ground acceleration on type ground, α_g to the acceleration of gravity g (各地盤種類における設計基盤加速度 α_g と重力加速度 g との比)
- S : Soil factor (地盤係数)
- r : Type of retaining structure (擁壁構造によって決まる係数)
- k_v : vertical seismic coefficients (鉛直震度)
- k_h : horizontal seismic coefficients (水平震度)

である。

表-2.4 地盤の種類¹⁸⁾

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	-	-
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 - 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content	< 100 (indicative)	-	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S_1			

表-2.5 水平震度を算出するための係数 r ¹⁸⁾

Type of retaining structure	r
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 300\alpha \cdot S$ (mm)	2
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 200\alpha \cdot S$ (mm)	1.5
Flexural reinforced concrete walls, anchored or braced walls, reinforced concrete walls founded on vertical piles, restrained basement walls and bridge abutments	1

表-2.6 加速度応答スペクトルを表すパラメータ¹⁸⁾

Ground type	S	$T_B(S)$	$T_C(S)$	$T_D(S)$
A	1.00	0.15	1.00	1.00
B	1.20	0.15	1.20	1.20
C	1.15	0.20	1.15	1.15
D	1.35	0.20	1.35	1.35
E	1.40	0.15	1.40	1.40

b) 栈橋式構造

BS規格¹⁸⁾の栈橋式構造における水平方向の地震力(水平震度)は、対象施設の基盤加速度と表-2.6の地盤タイプによって決まる地盤係数(S)や固有周期(T_B, T_C, T_D)を基に式(2.5)~式(2.8)により算定する。なお、BS規格は加速度応答スペクトルのパラメータを2種類推奨しており(Type1, Type2)、地震の規模に応じて選択する。本稿では、BS規格でも一般的に用いられているType1の加速度応答スペクトルのパラメータを紹介する(表-2.6)。また、式(2.5)~式(2.8)の式に含まれる構造物の挙動による係数 q (behavior factor)はBS規格には具体的な数値は示されていないが、水平深度に関しては設計実務において1.0を用いる。

鉛直方向の地震力(鉛直震度)は水平震度と同様に式(2.5)~式(2.8)が適用され、式中の α_g を α_{vg} に置き換える。水平震度と異なる点は係数 q の設定である。水平震度算定における係数 q は、実務設計では1.0を用いるが、鉛直震度算定における係数 q は、構造形式によって異なる係数を適用し、直杭式の栈橋構造であれば、水平震度における q の0.5倍を設定し、斜杭式の栈橋構造であれば、水平震度における q の1.0倍を用いる。このことから、比較検討に用いる構造形式は直杭式横栈橋のため、鉛直震度は水平震度の0.5倍を設定することになる。

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (2.5)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad (2.6)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot \alpha_g \end{cases} \quad (2.7)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot \alpha_g \end{cases} \quad (2.8)$$

ここに、

$S_d(T)$: design spectrum (設計スペクトル)

T : vibration period of a linear single-degree-of-freedom system (1自由度質点系の固有周期)

α_g : design ground acceleration on type ground (各地盤種類における設計基盤加速度)

T_B : lower limit of the period of the constant spectral acceleration branch (加速度スペクトル一定区間の最下限の固有周期)

T_C : upper limit of the period of the constant spectral

acceleration branch (加速度スペクトル一定区間の最上限の固有周期)

T_D : value defining the beginning of the constant displacement response range of the spectrum (加速度スペクトル一定区間の開始を定義する値)

S : Soil factor (地盤係数)

q : behavior factor (構造物の挙動による係数)

β : lower bound factor for the horizontal design spectrum (設計水平スペクトルの下限係数)

である。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

両基準において地震条件の設定方法は大きく異なり、設計結果への影響は大きいと想定されるため、グループAに分類されると判断した。なお、比較検討における地震条件について、両基準の水平震度は、地震の再現期間や算定方法が大きく異なるため水平震度の設定の違いが設計結果に影響すること(影響が大きい)は明らかである。また、地震の考え方は利用する各国で従来から設定されており、BS規格を利用する各国において日本基準で必要な時刻歴波形は作成されていない場合が多いと想定されるので、日本基準に基づく地震の考え方の全てを、BS規格を利用する各国に適用することは困難である。このため、比較検討における水平震度は両基準で共通の値を利用し、BS規格の場合にはさらに鉛直震度も作用させることによる両基準の違いのみに着目した検討を行う。なお、先述のとおり、鉛直震度は水平震度の0.5倍と設定する。

2.4 利用条件

(1)計画水深

1)日本基準

日本基準¹⁹⁾の計画水深は、対象船舶の最大喫水から余裕水深を加えた水深を設定する、とされている。余裕水深としては、実務上、対象船舶の満載喫水の1割を設定する場合が多いため、計画水深は一般的には対象船舶の満載喫水の1.1倍とされる場合が多い。

2)BS規格

BS規格²⁰⁾²¹⁾の計画水深は、利用船舶の満載喫水に余裕代を考慮して設定するとされている。具体的には、設計潮位や潮流や気象の影響を考慮した水位の要素、静的な喫水や船舶の傾きなどの不確実性、波浪による船舶の動揺などの船舶の要素、海底面レベルの不確実性や維持浚渫などの海底面の要素を考慮するとされている。その一

方で、計画水深は、標準的には対象船舶の満載喫水の1.1倍として良いとの記載もある。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

以上に示したとおり、両基準において計画水深の設定の基本的な考え方、すなわち対象船舶の満載喫水に余裕代を考慮して設定する点において同じであり、また設計実務ではその余裕代は満載喫水の1割を見込むことも共通している。

このため、両基準において計画水深の設定方法や設定値に大きな相違はなく、本条件はグループCに分類されると判断した。

(2)天端高

1)日本基準

日本基準²²⁾では、天端高の設定についての配慮事項が記載されている。主な配慮事項として、安全かつ円滑な荷役作業や旅客の乗降、対象船舶の乾舷と満載、空載時の各喫水との関係、高潮・波浪・津波による浸水の可能性などが記載されている。また、対象船舶が特定できない場合には表-2.7に示すとおり、岸壁の水深と潮位差ごとに標準的な天端高の範囲が、設計潮位(H.W.L)からの高さとして示されている。

表-2.7 岸壁の標準的な天端高²²⁾

	潮位差 3.0m以上	潮位差 3.0m未満
大型岸壁 (水深4.5m以上)	+0.5~1.5m	+1.0~2.0m
小型岸壁 (水深4.5m未満)	+0.3~1.0m	+0.5~1.5m

2)BS規格

BS規格²³⁾では、天端高は既存の岸壁天端高や背後地の高さに合わせて設定すると記載されている。また、天端高の決定における配慮事項として、浸水のリスクの影響、地球温暖化による海面変化の影響、クレーンの高さに対する天端高の影響などが記載されている。なお、貨物バースの天端高については、作業性を考慮して設計潮位の1.5m以上の高さを確保する必要がある、とされている。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

両基準において岸壁の天端高さの基本的な考え方は相違がない。また、具体的な天端高の設定値も、両基準で概ね同程度である。すなわち、日本基準では水深4.5m以上の大型岸壁において天端高は設計潮位から上方0.5m~2.0m程度とされており、BS規格では設計潮位から1.5m以上確保するとされている。

このため、両基準において天端高の設定方法や設定値に大きな相違はなく、本条件はグループCに分類されると判断した。

(3)対象船舶

1)日本基準

日本基準²⁴⁾の対象船舶は、対象施設の利用が予定される船舶のうち、施設への影響が大きいと想定される船舶を設定するとされている。また、対象船舶が特定できない場合は、表-2.8に示す対象船舶（本表は、コンテナ船の場合）の主要な諸元の標準値より設定できるとされている。なお、表-2.8に示される船舶の標準値は、現存する船舶の諸元データをもとに、統計解析によりトン数毎のカバー率75%値として設定された値である。なお、表-2.5で示されるトン数は、総トン数、載貨重量トン数を代表指標としている。

船舶の接岸エネルギーの算定に必要となる船舶の質量は、船舶の満載時の排水量を重量で表した満載排水トン数で設定される。この船舶の質量は、満載排水トン数について、統計データ全体のカバー率75%の回帰式として提示されている。

2)BS規格

BS規格²⁵⁾の対象船舶は、対象施設の利用が予定される船舶のデータを取得し、対象船舶として設定するとされている。ただし、概略検討の段階では、図-2.3～図-2.4に示すような船舶諸元の概略値を利用しても良いとされている（本表は、コンテナ船の場合）。しかしながら、このグラフの基になるデータや設定方法の詳細は確認できなかった。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

両基準における対象船舶の設定の考え方は、対象施設の利用が想定される船舶を設定するという点では同じである。そして、両基準とも、対象船舶の主要諸元の参考値（日本基準：表 2.8，BS 規格：図-2.3～図-2.4）が示されているため、これらと比較してみる。この結果、同じトン数に対応するコンテナ船の全長および型幅は、100,000 トンまでの範囲では、日本基準と BS 規格との比は、全長で約 0.99~1.01 程度、型幅で約 0.95~1.02 程度と大きな差はなかった。

以上のことから、両基準において対象船舶の設定の考

表-2.8 対象船舶の主要な諸元の標準値²⁴⁾

2. コンテナ船

載荷重量トン数 DWT (トン)	全長 Loa (m)	垂線間長 Lpp (m)	型幅 B (m)	満載喫水 d (m)	参考：積載可能コンテナ個数 TEU*
10,000	138	130	22.2	7.9	900 (50 ~ 1,345)
20,000	175	165	27.0	10.2	1,700 (648 ~ 1,808)
23,000	184	173	28.1	10.8	1,700 (1,400 ~ 2,259)
27,000	194	183	29.4	11.9	1,800 (1,356 ~ 2,268)
30,000	201	190	30.3	11.9	2,500 (1,728 ~ 3,535)
40,000	228	215	31.8	11.9	2,800 (1,700 ~ 4,370)
50,000	269	255	32.3	12.8	4,300 (2,496 ~ 5,752)
60,000	285	272	35.5	13.5	4,700 (2,815 ~ 7,030)
100,000	338	322	45.3	14.6	8,500 (5,541 ~ 10,622)
140,000	367	353	48.5	15.8	13,100 (6,600 ~ 15,000)
165,000	378	360	52.0	16.2	14,000 (11,000 ~ 15,550)
185,000	400	382	59.4	16.2	17,700 (15,908 ~ 19,200)
200,000	400	382	59.4	16.2	19,200 (17,608 ~ 21,413)

※参考値として示している積載可能コンテナ個数は対象とする船階級の中央値（概数）並びに最小値及び最大値である。



図-2.3 標準的な船舶の標準寸法²⁴⁾

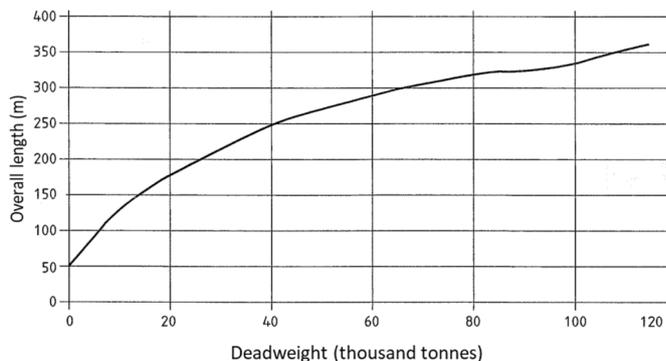


図-2.4 標準的な船舶の標準寸法²⁵⁾

え方やその設定値（主要諸元）に大きな相違はないと推定されることから、本条件はグループCに分類されると判断した。

(4) 上載荷重

1) 日本基準

日本基準²⁶⁾では、上載荷重は、取扱貨物の種類、貨物量、取扱方法、積載期間等を十分考慮して決定することが望ましいと記載されている。また、設計ではエプロン上の上載荷重の特性値として10～30kN/m²程度の値を設定し、地震時では、永続状態の半分と設定する例が多いと記載されている。

2) BS規格

BS規格²⁷⁾では、上載荷重は、配置されている建物、車両などの移動する重量物を考慮して決定すると記載されている。また、クレーンのレールが岸壁に荷重として繰り返し作用する場合には、静的な荷重を大きく超える可能性があるため注意が必要と記載されている。なお、港湾で一般的に用いられる荷役車両の荷重は数値として示されているが、積載荷重の具体的な数値の記載は検討範囲では確認できなかった。

3) 両基準を適用した場合の設計への影響について

上載荷重について、日本基準では10～30kN/m²程度とされており、詳細な解説や分類はなされていない。一方、BS規格では車両の種類に応じた荷重が整理されているが、積載荷重の具体的な数値は今回対象とした基準の範囲では確認できなかった。このため、本検討ではグループBに分類されるものと判断した。

(5) クレーン荷重

1) 日本基準

日本基準²⁸⁾では、棧橋上にクレーンなどの荷役機械が設置される場合には、厚生労働省告示のクレーン構造規格に従い、荷役機械の作業時として風速16m/s、暴風時（クレーン休止時）風速55m/sを設定した荷役機械の輪荷重を棧橋に作用させて棧橋の構造設計を行う。なお、コンテナクレーンの諸元の例が示されているが、棧橋に作用させる輪荷重の算定方法の詳細は示されていない。また、宮田らは²⁹⁾、30mスパン級のコンテナクレーンの主要諸元が整理されており、クレーン自重と輪荷重等の設定例を整理している。

2) BS規格

BS規格³⁰⁾では、一般的なコンテナクレーンの寸法が図で示されている。また、コンテナクレーンの車輪数やレールゲージ、典型的なクレーンの最大荷重について示されているが、具体的な設計実務に用いるクレーン輪荷重の算定方法の詳細については示されていない。

3) 両基準を適用した場合の設計への影響について

両基準においてコンテナクレーンの諸元の例は示されているが、本章で整理する基準の適用範囲では棧橋に作用させる輪荷重の算定方法の詳細は把握できなかった。このため、本検討ではグループBに分類されるものと判断した。

(6) 接岸力

1) 日本基準

日本基準³¹⁾では、接岸力は、船舶の接岸によって生じる接岸エネルギーによって算定するものと記載されている。接岸速度については、過去の計測結果が参考情報として多数例示されている。大型貨物船の設計接岸速度については、既往の実績に基づいて10cm/s～15cm/s程度と設定されることが多いことなどが記載されている。

なお、日本基準で引用されている文献³²⁾では、国内で設定されている設計接岸速度は、高い信頼水準（概ね90%以上）の値として設定されていることが示されている。このため、日本基準における設計接岸速度は、概ね船舶接岸時の制限速度（上限値）と位置付けられる。

2) BS規格

BS規格³³⁾では、接岸力は、船舶の接岸によって生じる接岸エネルギーによって算定するものと記載されている。そして、接岸エネルギーは、次に示す接岸速度を用いて算定する特性値に、berthing energy factorと呼ばれる係数（接岸時に係留システムが破損し、係留施設やその供用停止に影響を及ぼすリスクを考慮するための係数（一般的には、1.5～2.0の値をとる。））を乗じて、設計値を算出することとされている。このため、BS規格による接岸速度は、通常の接岸時の接岸速度として設定されるものと考えられる。

接岸速度については、その特性値を算定するグラフが示されており、何も情報がない場合で、タグ船やスラストターを利用する場合にあっては、このグラフを利用することができることとされている。なお、接岸速度の値は、停泊地が波や潮流の影響を受けるか（遮蔽された静穏な海域であるか）などの係留条件の良し悪しによって変化する

るが、設計では少なくとも8cm/s以上の設計速度を使用する必要があると記載されている。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

以上に示したとおり、両基準では、接岸速度の設定の考え方、および接岸エネルギーの設定の考え方が大きく異なる。このことは、防舷材の規格選定の結果や防舷材からの反力（栈橋等の係留施設に作用する水平力）の値にも影響すると考えられる。このため、本検討では、接岸力は、グループBに分類されると判断した。なお、比較検討において、設計接岸速度や接岸力を両基準で異なる値を設定すると、比較が困難になることから、本検討では両基準において共通の設計条件（日本基準による設定）を採用することとした。

(7)牽引力

1)日本基準

日本基準³⁴⁾では、係船柱に作用する牽引力は、対象とする船舶の保有する係留索の切断荷重、係留施設の設置される場所の気象・海象条件、船舶の諸元等に基づいて、必要に応じ接岸時の船舶による力、係留時の船舶に作用する風圧力及び船舶の動揺による力を考慮して算定することが望ましいと記載されている。

ただし、表-2.9のとおり、一般的な船舶の牽引力の標準値が示されている。表-2.7は、係留索8本で係留されると仮定した場合、風速15m/sの風まで船舶を係留できるように係船柱に作用する牽引力を動揺計算より算定している³⁵⁾。また、表-2.7に示される牽引力は、風速15m/sの時に曲柱のみを用いて船舶が係留される場合に、曲柱に作用する牽引力に対して2倍程度の安全性を有するものとして設定されている。

表-2.9 船舶の牽引力の標準値³⁴⁾

船舶の総トン数 (トン)		曲柱に作用する牽引力 (kN)	直柱に作用する牽引力 (kN)
200 を超え	500 以下	150	150
500 を超え	1,000 以下	250	250
1,000 を超え	2,000 以下	250	350
2,000 を超え	3,000 以下	350	350
3,000 を超え	5,000 以下	350	500
5,000 を超え	10,000 以下	500	700
10,000 を超え	20,000 以下	700	1,000
20,000 を超え	50,000 以下	1,000	1,500
50,000 を超え	100,000 以下	1,000	2,000
100,000 を超え	120,000 以下	1,500	2,000
120,000 を超え	150,000 以下	1,500	2,000
150,000 を超え	170,000 以下	2,000	2,000
170,000 を超え	200,000 以下	2,000	2,000

2)BS規格

BS規格³⁶⁾³⁷⁾では、牽引力は、予想される船舶の船型と係留装置を考慮して係留位置における最大の牽引力を算定すると記載されている。また、表-2.10に示すとおり、牽引力の算定方法が①～⑤まで記載されており、船舶データや外力などのデータがなく、①～④の計算方法を用いることができない場合は、表-2.11に示す船舶の牽引力の標準値で設定してもよいとされている。なお、これらの標準値を設定した詳細内容は確認できなかった。

表-2.10 係留位置の荷重算定方法（著者らが和訳）³⁷⁾

計算方法		概要
①	弾性解析	船舶に作用する風と潮流を設定し、計画した係留位置より決めた係留索配置と係留索の長さや角度を考慮して計算する。
②	簡素化された荷重	横方向の力（法線方向）をスプリングライン以外の係留配置数を考慮した均等な荷重を1つの係留位置に作用する荷重と設定し、縦方向の力（岸壁に離れる方向）はスプリングラインで全て抵抗する。
③	特定の船舶の係留作業荷重	20,000t未満の船舶または係留索と係留索配置が特定できる船舶の場合、係留位置の荷重は係留索の破断荷重を係留位置の荷重として設定できる。
④	電算を用いたシミュレーション	適切な電算シミュレーションを使用して、波力などを予測し係留配置を考慮して動的挙動を把握し荷重を算定する。
⑤	想定される係船柱の能力	①～④の方法を用いるのに十分なデータがない場合に一般貨物により係留位置に作用する荷重として設定する。（表-2.11）

表-2.11 船舶の牽引力の標準値³⁶⁾

Table 7. Mooring point loads for general cargo vessels and bulk carriers	
Ship displacement t	Mooring point load t
20 000 up to and including 50 000	80
Above 50 000 up to and including 100 000	100
Above 100 000 up to and including 200 000	150
Above 200 000	200

3) 両基準を適用した場合の設計への影響について

両基準における係船柱に作用する牽引力は、対象とする船舶より作用する荷重と係留索と係留索の配置より算定するという点は同じである。また、牽引力の標準的な値も提示されている点も同じである。ここでは、両基準による牽引力の標準値の比較を行う。

両基準で示されている表-2.9、表-2.11の数値を比較（日本の表は曲柱を選択）すると、BS規格では20,000トン未満の牽引力が記載されていないが、日本基準では20,000トン未満でもトン数毎に細かく牽引力が設定されている点が異なる。ただし、20,000～50,000トンにおける牽引力を比較すると、日本基準は1,000kN、BS規格は800kNであり、両基準で大きな差はない。50,000～100,000トンにおける牽引力も、両基準ともに1,000kNである。100,000～150,000トンにおける牽引力も、1,500kNと両基準で同じである。ただし、150,000～200,000トンにおける牽引力は両基準間で大きな差があり、日本基準は2,000kN、BS規格は1,500kNである。

以上に示すとおり、同じ対象船舶であっても、両基準による牽引力の標準値は異なる場合もあり、その相違が設計結果に影響を及ぼす可能性もある。ただし、地震条件や後述する部分係数と比べると影響は小さいと推察し、牽引力の条件はグループBに分類されると判断した。なお、比較検討において、両基準で異なる牽引力の値を設定すると、比較が困難になることから、本検討では両基準で共通の設計条件（日本基準による設定）を採用することとした。

(8) 設計供用期間

1) 日本基準

日本基準³⁸⁾では、設計供用期間とは、施設の設計に当たって、当該施設の要求性能を満足し続けるものとして設定される期間と定義されており、設計案件毎に定める必要があるものとされている。その上で、設計供用期間の設定事例として、表-2.12に示すISO2394の記載が紹介されている。また、日本の港湾施設の設計供用期間は一般的な構造物の場合50年と設定する機会が多いが、一部の津波防波堤などでは100年として設計されている例もあることなどが記載されている。

2) BS規格

BS規格³⁹⁾では、設計供用期間とは計画されたメンテナンスを伴うが、構造が意図された目的に使用されると想定される期間と定義されている。その上で、表-2.13に示すとおり、構造物の用途、種類に応じてクラス毎の設計供用期間が参考値として示されている。

3) 両基準を適用した場合の設計への影響について

日本基準とBS規格における設計供用期間の定義は概ね同じである。比較設計の対象である係留施設の設計供用期間は、両基準に掲載されている表(表-2.12、表-2.13)において、どちらも50年に該当すると考えられる。以上より、本検討における設計供用期間は、両基準で相違はないため、本条件はグループCに分類されると判断した。

表-2.12 設計供用期間の概念分類³⁸⁾

クラス	想定設計供用期間(年)	例
1	1-5	仮設構造物
2	25	交換構造要素、例えば橋台梁やベアリング
3	50	建物と他の公共構造物、下記以外の構造物
4	100またはそれ以上	記念的建物、特別または重要な構造物、大規模橋梁

表-2.13 設計供用期間の概念分類³⁹⁾

Design working life category	Indicative design working life (years)	Examples
1	10	Temporary structures ⁽¹⁾
2	10 to 25	Replaceable structural parts, e.g. gantry girders, bearings
3	15 to 30	Agricultural and similar structures
4	50	Building structures and other common structures
5	100	Monumental building structures, bridges, and other civil engineering structures

(1) Structures or parts of structures that can be dismantled with a view to being re-used should not be considered as temporary.

2.5 材料条件

(1)単位体積重量

1)日本基準

日本基準⁴⁰⁾では、自重の算出に用いる単位体積重量の特性値は、事前調査などによって単位体積重量が特定できる場合はその値を用いることが記載されている。また、石材や砂などの単位体積重量は、石質によって変化するため、単位体積重量の特性値を慎重に決定すべきと記載されている。その一方で、表-2.14に示すとおり、一般的な材料の単位体積重量が参考として紹介されている。

2)BSEN規格

BS規格⁴¹⁾では、自重の算出に用いる単位体積重量の特性値として、材料の単位体積重量(表-2.15)とコンクリートの単位体積重量(表-2.16)が掲載されている。また、土など対象場所の影響が大きい場合や含水比により単位

体積重量にばらつきがある場合には、表中の単位体積重量ではなく、上限値や下限値などで特性値を設定すると記載されている。

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

比較設計で単位体積重量を設定する材料を比較する。鉄筋コンクリートの単位体積重量は、日本基準が24.0kN/m³、BS規格が25.0kN/m³と大きく変わらない。鋼材の単位体積重量は、両基準で77.0kN/m³と同じである。

以上より、両基準による材料の単位体積重量の特性値には大きな差異はないため、本条件はグループCに分類されると判断した。

表-2.15 金属の単位体積重量の特性値⁴¹⁾

Materials	Density γ [kN/m ³]
concrete (see EN 206)	
lightweight	
density class LC 1,0	9,0 to 10,0 ¹⁾²⁾
density class LC 1,2	10,0 to 12,0 ¹⁾²⁾
density class LC 1,4	12,0 to 14,0 ¹⁾²⁾
density class LC 1,6	14,0 to 16,0 ¹⁾²⁾
density class LC 1,8	16,0 to 18,0 ¹⁾²⁾
density class LC 2,0	18,0 to 20,0 ¹⁾²⁾
normal weight	24,0 ¹⁾²⁾
heavy weight	> ¹⁾²⁾
mortar	
cement mortar	19,0 to 23,0
gypsum mortar	12,0 to 18,0
lime-cement mortar	18,0 to 20,0
lime mortar	12,0 to 18,0
1) Increase by 1kN/m ³ for normal percentage of reinforcing and pre-stressing steel	
2) Increase by 1kN/m ³ for unhardened concrete	
NOTE See Section 4	

表-2.14 材料の単位体積重量の特性値⁴⁰⁾

材 料	単位体積重量の特性値 (kN/m ³)
鋼及び鋳鋼	77.0
鋳 鉄	71.0
アルミニウム	27.5
鉄筋コンクリート	24.0
無筋コンクリート	22.6
木 材	7.8
アスファルトコンクリート	22.6
石材(花こう岩)	26.0
石材(砂岩)	25.0
砂、砂利及び割ぐり石(乾燥状態)	16.0
砂、砂利及び割ぐり石(湿潤状態)	18.0
砂、砂利及び割ぐり石(飽和状態)	20.0

表-2.16 コンクリートの単位体積重量の特性値⁴¹⁾

Materials	Density γ [kN/m ³]
metals	
aluminium	27,0
brass	83,0 to 85,0
bronze	83,0 to 85,0
copper	87,0 to 89,0
iron, cast	71,0 to 72,5
iron, wrought	76,0
lead	112,0 to 114,0
steel	77,0 to 78,5
zinc	71,0 to 72,0

(2)鋼管杭

1)日本基準

日本基準⁴²⁾では、表-2.17に示すとおり、鋼管杭の降伏応力度の特性値が示されている。日本基準は、JIS規格に基づき鋼材の種類毎の降伏応力度が規定されており、JISにおける降伏応力度の定義は、鋼材の応力ひずみ曲線における鋼材の降伏点のことをいう。また、日本基準は杭の座屈を考慮した降伏応力度の低減を考慮する（表-2.18）。

2)BS規格

BS規格⁴³⁾では、鋼材の降伏応力度の特性値が示されている（表-2.19）。また、BS規格⁴⁴⁾では、降伏応力度の特性値は、利用する製品の材料試験の結果から決定するか、

表-2.19に示す降伏応力度の特性値を用いると記載されている。なお、表-2.19の降伏応力度に関して、降伏応力度の定義と規格値の定義については他のBS規格、に記載されていると考えられるが、本稿の基準の範囲ではその内容までは確認できなかった。

また、BS規格⁴⁴⁾は杭の座屈を考慮した降伏応力度の低減を考慮する（表-2.20）。同表は鋼管部材を対象とした表であり、同表の λ は、鋼管杭の自由長(l)を杭の回転半径(r)で除した値である。これは、日本基準の表-2.18の l/r に対応する。そして、算定した λ より軸力を受けた鋼管部材の座屈を考慮した降伏強度を表から読み取る。なお、本稿では、杭の座屈を考慮した降伏応力度の表の一部を代表して示しているの、詳細は基準⁴⁴⁾を参照されたい。

表-2.17 鋼管杭の降伏応力度の特性値⁴²⁾

応力度の種類	鋼 種	
	SKK400 SHK400 SHK400M SKY400	SKK490 SHK490M SKY490
軸方向引張応力度 (純断面積 ^{*1} につき)	235	315
曲げ引張応力度 (純断面積 ^{*1} につき)	235	315
曲げ圧縮応力度 (総断面積 ^{*2} につき)	235	315
せん断応力度 (総断面積 ^{*2} につき)	136	182

表-2.18 鋼管杭の降伏応力度の特性値⁴²⁾

SKK400		SKK490	
a) $\frac{l}{r} \leq 19$ のとき	235	a) $\frac{l}{r} \leq 16$ のとき	315
b) $19 < \frac{l}{r} \leq 93$ のとき	$235 - 1.4 \left(\frac{l}{r} - 19 \right)$	b) $16 < \frac{l}{r} \leq 80$ のとき	$315 - 2.1 \left(\frac{l}{r} - 16 \right)$
c) $\frac{l}{r} > 93$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{6.7 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	c) $\frac{l}{r} > 80$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{5.0 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
SM490Y		SM570	
a) $\frac{l}{r} \leq 15$ のとき	355	a) $\frac{l}{r} \leq 13$ のとき	450
b) $15 < \frac{l}{r} \leq 76$ のとき	$355 - 2.6 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$	b) $13 < \frac{l}{r} \leq 67$ のとき	$450 - 3.7 \left(\frac{l}{r} - 13 \right)$
c) $\frac{l}{r} > 76$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{4.4 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	c) $\frac{l}{r} > 67$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{3.5 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$

l : 部材の有効座屈長 (mm)、 r : 部材総断面積の断面二次半径 (mm)

3)両基準を適用した場合の設計への影響について

日本基準の鋼管杭の降伏応力度の特性値はJIS規格に基づき設定され、BS規格の鋼材のそれは今回の基準の範囲では確認できていないが、両基準による鋼材の降伏強度の特性値の設定の考え方は、概ね同じであると考えられる。このため、本条件はグループBに分類されると判断した。なお、両基準において、座屈を考慮した降伏応力度の低減は考慮しているため、第3章の比較検討では、両基準の座屈による降伏応力度の低減を考慮した表や式を用いる。

表-2.19 鋼材の降伏応力度の特性値⁴³⁾

Standard	Steel grade	Minimum yield stress N/mm ²
BS EN 10025-1:2004	S 235	235
	S 275	275
	S 355	355
	S 450	450
BS EN 10210-1:2006	S 275	275
	S 355	355
	S 420	420
BS EN 10219-1:2006	S 460	460
	S 235	235
	S 275	275
BS EN 10219-1:2006	S 355	355
	S 420	420
	S 460	460
	BS EN 10248-1:1996 ^{A)}	S 240
S 270		270
S 320		320
S 355		355
S 390		390
S 430		430
BS EN 10249-1:1996 ^{B)}	S 235	235
	S 275	275
	S 355	355

^{A)} A new grade, S460, is expected to be included in the revision of BS EN 10248, currently in preparation.

^{B)} A new grade, S420, is expected to be included in the revision of BS EN 10249, currently in preparation.

表-2.20 座屈を考慮した降伏応力度の特性値⁴⁴⁾

1) Values of p_c in N/mm ² with $\lambda < 110$ for strut curve a															
λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm ²)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	400	410	430	440	460
15	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	399	409	429	439	458
20	234	244	254	264	273	312	322	332	342	351	395	405	424	434	453
25	232	241	251	261	270	309	318	328	338	347	390	400	419	429	448
30	229	239	248	258	267	305	315	324	333	343	385	395	414	423	442
35	226	236	245	254	264	301	310	320	329	338	380	389	407	416	434
40	223	233	242	251	260	296	305	315	324	333	373	382	399	408	426
42	222	231	240	249	258	294	303	312	321	330	370	378	396	404	422
44	221	230	239	248	257	292	301	310	319	327	366	375	392	400	417
46	219	228	237	246	255	290	299	307	316	325	363	371	388	396	413
48	218	227	236	244	253	288	296	305	313	322	359	367	383	391	407
50	216	225	234	242	251	285	293	302	310	318	355	363	378	386	401
52	215	223	232	241	249	282	291	299	307	315	350	358	373	380	395
54	213	222	230	238	247	279	287	295	303	311	345	353	367	374	388
56	211	220	228	236	244	276	284	292	300	307	340	347	361	368	381
58	210	218	226	234	242	273	281	288	295	303	334	341	354	360	372
60	208	216	224	232	239	269	277	284	291	298	328	334	346	352	364
62	206	214	221	229	236	266	273	280	286	293	321	327	338	344	354
64	204	211	219	226	234	262	268	275	281	288	314	320	330	335	344
66	201	209	216	223	230	257	264	270	276	282	307	312	321	326	334
68	199	206	213	220	227	253	259	265	270	276	299	303	312	316	324
70	196	203	210	217	224	248	254	259	265	270	291	295	303	306	313
72	194	201	207	214	220	243	248	253	258	263	282	286	293	296	302
74	191	198	204	210	216	238	243	247	252	256	274	277	283	286	292
76	188	194	200	206	212	232	237	241	245	249	265	268	274	276	281
78	185	191	197	202	208	227	231	235	239	242	257	259	264	267	271
80	182	188	193	198	203	221	225	229	232	235	248	251	255	257	261
82	179	184	189	194	199	215	219	222	225	228	240	242	246	248	251
84	176	181	185	190	194	209	213	216	219	221	232	234	237	239	242
86	172	177	181	186	190	204	207	209	212	214	224	225	229	230	233
88	169	173	177	181	185	198	200	203	205	208	216	218	220	222	224
90	165	169	173	177	180	192	195	197	199	201	209	210	213	214	216
92	162	166	169	173	176	186	189	191	193	194	201	203	205	206	208
94	158	162	165	168	171	181	183	185	187	188	194	196	198	199	200
96	154	158	161	164	166	175	177	179	181	182	188	189	191	192	193
98	151	154	157	159	162	170	172	173	175	176	181	182	184	185	186
100	147	150	153	155	157	165	167	168	169	171	175	176	178	178	180
102	144	146	149	151	153	160	161	163	164	165	169	170	172	172	174
104	140	142	145	147	149	155	156	158	159	160	164	165	166	166	168
106	136	139	141	143	145	150	152	153	154	155	158	159	160	161	162
108	133	135	137	139	141	146	147	148	149	150	153	154	155	156	157

2.6 部分係数・荷重の組合せと照査式

2.6.1 はじめに

(1)比較の背景

本節では、部分係数、荷重組合せ及び照査式（応力照査式、支持力照査式）の3つの項目を合わせて日本基準とBS規格の特徴と相違点を整理する。一般に、ある性能照査式に入力する設計パラメータの特性値の設定方法と部分係数・荷重組合せは、当該性能照査式とセットで運用される。これらを、個別に組合せて利用すると、基準では想定していないような安全余裕の設定（過度に安全側または危険側の設計）になってしまう可能性があるためである。

(2)用語の定義

1)設計状況

本稿では、設計状況(design situation)は「照査を行う際に、想定する荷重や抵抗の状況であり、荷重の組合せ効果も含む」と定義する。なお、設計状況は日本基準では「設計状態」と呼称されているが、両者は同じ内容を意味する。このため、本稿では設計状況を使用する。

2) 部分係数

本稿では、部分係数は「作用側または抵抗側の特性値に乗じて（または除して）設計用値を算出するための係数」と定義する。両基準ともに、共通した用語として利用するが、両基準でその運用方法は異なる。その相違点については、両基準毎に後で説明する。

3)荷重組合せ

本稿では、荷重組合せは「ある設計状況下の照査において、複数の荷重のうちどの作用を考慮するかの組合せ」と定義する。

2.6.2 日本基準

(1)杭の応力照査式（特性値）

本節では、日本基準による杭に発生する応力の特性値の評価式について説明する。

日本基準⁴⁵⁾では、杭の軸方向押込み力の特性値は、下式(2.9)から式(2.11)に従い算出する。 S_k 及び、 R_k を求めて(2)に示す性能照査式を用いて照査を行う。

a)軸方向力が圧縮の場合

$$S_k = \left(\frac{\sigma_{ck}}{red} + \sigma_{bc_k} \right) \quad R_k = \sigma_{by_k} \quad (2.9)$$

b)軸方向力が引張の場合

$$S_k = \sigma_{tk} + \sigma_{bt_k} \quad R_k = \sigma_{by_k} \quad (2.10)$$

$$S_k = -\sigma_{tk} + \sigma_{bt_k} \quad R_k = \sigma_{by_k} \quad (2.11)$$

ここに、

red : 軸方向圧縮降伏応力度を降伏応力度の特性値で除した値として定義される係数

σ_{tk}, σ_{ck} : 断面に作用する軸方向引張力による引張応力度及び、軸方向圧縮力による圧縮応力度 (N/mm²)

$\sigma_{bt_k}, \sigma_{bc_k}$: 断面に作用する曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度(N/mm²)

$\sigma_{ty_k}, \sigma_{cy_k}$: 軸方向引張降伏応力度及び軸方向圧縮降伏応力度(N/mm²)

σ_{by_k} : 曲げ圧縮降伏応力度(N/mm²)

である。

(2)杭の支持力照査式（特性値）

1)杭の軸方向押込み力の特性値

本節では、日本基準による杭の支持力の特性値の評価式について説明する。

日本基準⁴⁵⁾では、杭の軸方向押込み力の特性値は、下式(2.5)から(2.8)に従い算出する。

$$R_{tk} = R_{pk} + R_{fk} \quad (2.12)$$

$$R_{pk} = 300N A_p \quad (2.13)$$

$$R_{fk} = 6C_p A_p \quad (2.14)$$

$$R_{fk} = \sum_i \overline{r_{fki}} A_{si} \quad (2.15)$$

ここに、

R_{tk} : 杭の軸方向押込み抵抗力の特性値 (kN)

R_{pk} : 杭の先端抵抗力の特性値 (kN)

R_{fk} : 杭の周面抵抗力の特性値 (kN)

N : 杭先端付近のN値

A_p : 杭先端の断面積 (m²)

C_p : 杭先端位置の地盤の非排水せん断強さ (kN/m²)

r_{fki} : 地盤の単位接触面積あたりの平均周面抵抗力 (kN/m²)

A_{si} : i 層における杭と地盤の接触面積 (m²)

である。

杭の軸方向押込み抵抗力の特性値(式(2.12))は、杭の先端抵抗力の特性値(式(2.13)、または式(2.14))と杭の周面抵抗力の特性値(式(2.15))との合計により評価される。なお、杭の先端抵抗力の特性値 R_{pk} は、砂質土地盤を支持層とする場合は、式(2.13)に従い、杭先端付近のN値に係数を乗じることにより算出される。粘性土地盤に杭先端

が根入れされている場合は、杭の先端抵抗力の特性値 R_{pk} は、式(2.14)に従い算定する。一方、杭の周面抵抗力 R_{fk} の特性値は、式(2.15)に示すとおり、杭の外周面と地盤との単位接触面積あたりの周面抵抗力に杭の周面積を乗じ、地盤全層にわたって合計することで算定する。

2) 先端閉塞率

日本基準の特徴として、杭の先端閉塞率を考慮していることがあげられる。以下、これについて概説する。日本国内では、鋼管杭の支持層として粘性土地盤を選択することはないため、以下の説明は砂質土地盤を対象としたものである。また、一般的な打撃工法で施工される鋼管杭を想定している。

式(2.13)による杭の先端抵抗力（砂質土地盤を支持層）は、杭先端が完全に閉塞した状態（杭先端の全断面が有効）である場合の特性値である。しかしながら、直径1mを超える大口径の鋼管杭の場合、杭の先端は完全に閉塞した状態にはならず、実際の先端抵抗力は完全閉塞の状態に比べて低下することが知られている。このため、日本基準では、式(2.13)による杭の先端抵抗力に、支持力の低下程度を表す閉塞率（実測による先端抵抗力を式(2.13)による杭の先端抵抗力で除して求める比）を乗じて、設計で用いる特性値を求める。

図-2.5は過去の実績から、杭径と閉塞率の関係を示したものである。図より、杭径が大きくなるにつれて、閉塞率が低下する傾向が見取れる。ただし、閉塞率を、杭の載荷試験を行わずに、正確に推定する方法はないため、実務設計では、図-2.5や過去の実績等を基に、設計案件ごとに閉塞率が設定されている。

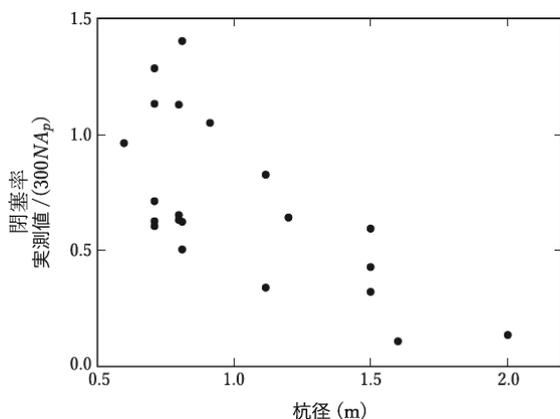


図-2.5 開端杭の杭径と閉塞率の関係⁴⁵⁾

(3) 性能照査式と部分係数、荷重の組合せ

1) 性能照査式

日本基準⁴⁵⁾では、多くの照査項目で、式(2.16)による性

能照査が行われる。式(2.16)により、構造物への作用により生じる応答値（応力、断面力、作用合計値、変位等）の設計用値と、構造物の抵抗（耐力）に基づく限界値（降伏強度、断面耐力、抵抗合計値、許容変位等）の設計用値との比（以下、「作用耐力比」）に、調整係数を乗じた値が1.0以下であることを確認することによって、構造物の性能を照査する。

$$m \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k \quad (2.16)$$

ここに、

R : 抵抗項

S : 荷重項

γ_R : 抵抗項に乘じる部分係数

γ_S : 荷重項に乘じる部分係数

m : 調整係数

である。

式(2.16)における、設計用値は、作用側および抵抗側の特性値にそれぞれの部分係数を乗じて算出される。杭の応力照査の場合、式(2.9)、式(2.10)を用いて棧橋のフレーム計算により算出した杭頭に作用する曲げモーメント、軸力（特性値 S_k ）と曲げ圧縮降伏応力度（特性値 R_k ）を用いる。杭の支持力照査の場合、式(2.16)の中の抵抗側の特性値 R_k は、式(2.12)による杭の軸方向押し込み抵抗力の特性値を用いる。また、作用側の特性値は、棧橋のフレーム計算により算出した杭頭に作用する軸力（特性値）を用いる。

部分係数は、対象構造物の目標とする性能を確保するために、作用効果や抵抗の特性値（設計因子の特性値も含む）に乗ずる係数として統計的解析（キャリブレーション）により算出された値である。

ただし、全ての調査項目についてキャリブレーションが行われている訳ではなく、そのような場合には調整係数を用いる。調整係数は、「過去の経験に基づく方法」（過去の適用事例が多く、十分に実績のある従来から利用されてきた安全率法や許容応力度法）を準用したものであり、従来の許容安全率に相当する値が設定されている。なお、調整係数を利用する場合には、上述の部分係数は利用しない。

2) 応力照査・支持力照査に適用する部分係数

日本基準⁴⁵⁾における棧橋の応力照査、支持力照査に用いる部分係数を表-2.21～表-2.22に示す。杭の応力照査、支持力照査の場合は、照査対象（設計状況）に対して調

整係数が適用されていることがわかる。

(3)設計状況と荷重組合せ

1)設計状況

表-2.23 では、大きく 2 つの設計状況に分類されている。

一つ目は、船舶作用時、載荷重時である。船舶作用時とは、船舶の接岸時および船舶に係留されている際に係船柱を介して棧橋が牽引される状況である。載荷重時は、クレーン等の荷役機械が棧橋上に載っている状況である。

二つ目は、暴風時、波浪時およびレベル 1 地震時である。暴風時は、荷役機械が暴風を受けて棧橋に荷重作用を与える状況である。波浪時は、海側より波浪が棧橋に荷重作用として与える状況である。レベル 1 地震時は、上部工自重、上載荷重、クレーン等の荷役機械が慣性力として棧橋に荷重作用を与える状況である。

2)荷重組合せ

実務設計では、上述の設計状況をさらに細分化し、様々な設計状況に対する照査を網羅的に行う。その際、細分化された設計状況ごとに考慮すべき荷重の組合せが与えられる。

日本基準では、具体的な荷重組合せは記載されていない。

い。このため、国内の設計実務での標準的な計算事例⁴⁶⁾を参考にして、棧橋設計に適用される荷重の組合せを一覧表として整理した(表-2.23)。

表-2.23 荷重ケース及び荷重の組合せ

No.	作用荷重	荷重ケース											
		載荷重による				船舶の作用による				レベル1地震動による			
		作業時(クレーン)		休止時(暴風時)(クレーン)		牽引時		接岸時		地震時			
A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2	D-3	D-4		
1	上部工自重	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	上載荷重 30kN/m ²	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	クレーン荷重 (作業時 海側最大)						○						
4	クレーン荷重 (作業時 陸側最大)		○						○				
5	クレーン荷重 (休止時 海側最大)												
6	クレーン荷重 (休止時 陸側最大)				○								
7	クレーン荷重 (地震時 海側最大)												○
8	クレーン荷重 (地震時 陸側最大)											○	
9	牽引力					○	○						
10	接岸力(防舷材反力)							○	○				
11	地震時慣性力 (陸→海)											○	○
12	地震時慣性力 (海→陸)									○		○	

表-2.21 杭の発生応力の照査に用いる部分係数⁴⁵⁾

照査対象	設置水深	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
棧橋杭の発生応力 (載荷重(作業時)による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.67
棧橋杭の発生応力 (載荷重(暴風時)による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.12
棧橋杭の発生応力 (船舶牽引力による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.67
棧橋杭の発生圧縮応力 (船舶接岸力による変動作用)	12.0m 未満	0.97	1.34	— (1.00)
	12.0m 以上	1.01	1.29	
棧橋杭の発生引張応力 (船舶接岸力による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.67
棧橋杭の発生応力 (レベル1地震動による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.12

表-2.22 杭の支持力の照査に用いる部分係数⁴⁵⁾

照査対象	杭の種類	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
直杭式横棧橋の支持力 (船舶作用時、載荷重に対する変動状態)	引抜杭	— (1.00)	— (1.00)	3.00
	押込杭	— (1.00)	— (1.00)	2.50
直杭式横棧橋の支持力 (暴風時、波浪時及びレベル1地震動に対する変動状態)	引抜杭	— (1.00)	— (1.00)	2.50
	押込杭 (支持杭)	— (1.00)	— (1.00)	1.50
	押込杭 (摩擦杭)	— (1.00)	— (1.00)	2.00

2.6.3 BS規格・BSEN規格

(1) 設計状況と荷重組合せ

1) 設計状況と荷重の組合せ式

BS規格⁴⁷⁾では、荷重側の設計用値の算定式は、3つの設計状況に対して記載がある。①永続状況、変動状況 (Persistent and transient)、②偶発状況 (Accidental)、③地震状況 (Seismic) である。以下、3つの設計状況の詳細を説明する。

2) 永続状況・変動状況における荷重組合せ

式(2.17)に、永続状況・変動状況における荷重の組合せ式 (荷重側の設計用値の算出式) を示す。なお、式中の各荷重や部分係数の和訳は著者らによるものである。

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.17)$$

ここに、

G_k : characteristic value of permanent action (kN)

(永続荷重の特性値)

$Q_{k,1}$: characteristic value of the leading variable action (kN) (主たる変動荷重の特性値)

$Q_{k,i}$: characteristic value of the accompanying variable action i (kN) (従たる変動荷重の特性値)

γ_G : partial factor for permanent action in calculating design values (永続荷重の荷重係数)

$\gamma_{Q,1}$: partial factor for the leading variable action (主たる変動荷重に関する荷重係数)

$\gamma_{Q,i}$: partial factor for variable action i (従たる変動荷重に関する荷重係数)

$\psi_{0,i}$: factor for the combination value of a specific variable action i (変動荷重の組合せ係数)

である。

式中の第一項は、永続荷重の合計値の設計用値である。上部工自重等の複数の永続荷重の特性値 (G_k) に対して、それぞれの荷重係数 (γ_G) を乗じたものを合計することにより算出できる。

式中の第二項は、主たる変動荷重の設計用値である。主たる変動荷重 (例えば、接岸力) の特性値 ($Q_{k,1}$) に、その荷重に対応する部分係数 ($\gamma_{Q,1}$) を乗じることにより、算出できる。

式中の第三項は、従たる変動荷重 (主たる変動荷重以外の変動荷重) の合計値の設計用値である。この際、「従たる変動荷重」の設計用値は、「従たる変動荷重 i 」の特性値 ($Q_{k,i}$) に荷重係数 ($\gamma_{Q,i}$) を乗じたものに、さらに荷重の組合せ係数 ($\psi_{0,i}$) を乗じて算出する。荷重の組合せ

係数 (通常は、1.0より小さい) により、主たる変動荷重とそれ以外の変動荷重との同時生起性を考慮していることになる。

3) 偶発状況における荷重組合せ

式(2.18)に、偶発状況における荷重の組合せ式 (荷重側の設計用値の算出式) を示す。

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (2.18)$$

ここに、

$\psi_{1,1}$: factor for the frequent value of the leading specific variable action

(主たる特定の変動荷重の作用頻度を表す組合せ係数)

$\psi_{2,i}$: factor for the quasi permanent value of a specific variable action i (特定の変動荷重の作用を準静的荷重に換算するための組合せ係数)

である。

式中の第一項は、複数の永続荷重の特性値 (G_k) の合計値である。ここでは荷重係数は乗じず、特性値をそのまま利用している。これは、偶発的に作用する大きな荷重と同時に作用させる永続荷重は、平均的な値とすべきとの考えに基づいている。

式中の第二項は、偶発荷重の設計用値 (A_d) を示している。偶発荷重には、荷重係数は利用しない。

式中の第三項は、偶発荷重と同時に作用させる「主たる変動荷重」の設計用値を示している。「主たる変動荷重」の特性値 ($Q_{k,1}$) に、荷重組合せ係数 ($\psi_{1,1}$) (通常は、1.0より小さい値となる) を乗じ、偶発作用と同時に作用させる「主たる変動荷重」を、まれな事象であることから、低減している。

式中の第四項は、従たる変動荷重 (主たる変動荷重以外の変動荷重) の合計値の設計用値である。先述した、永続状況・変動状況と同じ考え方に基づき、従たる変動荷重の特性値に、荷重係数及び荷重組合せ係数を乗じて、設計用値を算出する。

4) 地震状況の荷重組合せ

式(2.19)に地震状態の荷重の組合せ式 (荷重側の設計用値の算出式) を示す。

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (2.19)$$

ここに,

A_{Ed} : design value of seismic action (kN)

(地震荷重の設計用値)

$\psi_{2,i}$: factor for the quasi permanent value of a specific variable action i (特定の変動荷重の作用を準静的荷重に換算するための組合せ係数)

である.

式(2.19)は, 式(2.18)と類似した式の形となっている.

ただし, 式(2.19)中の第三項(偶発荷重(A_d)と同時に作用させる「主たる変動荷重」)を取り除いた荷重の組合せ式となっている. これは, 地震状況は, 偶発状況よりさらに稀な状況を想定しており, 式(2.18)中の第二項に示す地震荷重(A_{Ed})と「主たる変動荷重」は同時には作用しないとの考えによるものである. このため, 式(2.19)の第三項は, 地震荷重と同時に作用させる変動荷重の特性値に, これまでと同様に, 荷重係数と荷重の組合せ係数を乗じて, 変動荷重の低減を行い, その合計値を設計用値として算出している.

(2) 各設計状況に適用する荷重係数(荷重側の部分係数)

BS規格では, 2), 3), 4)の各設計状況の荷重係数と荷重の組合せ係数が表-2.24~表-2.26に示すとおり, 荷重側の部分係数として整理されている. BS規格では, 横棧橋に限らず, 基本的に全ての構造形式において同表に示す荷重係数, 式(2.17)~式(2.19)に示す荷重の組合せを用いる. 同表では, 荷重係数が「SetA」, 「SetB」, 「SetC」に分類され, 構造物の作用に不利な場合, 有利な場合で部分係数が各設計状況で示されている. 棧橋の照査に用いるは「SetB」, 「SetC」が該当する. この同表に示される「Set」と(3)で支持力照査式に含まれる抵抗側の部分係数の「Set」の組合せが対応する(詳細は(3)で述べる).

上述した内容は, 荷重側の部分係数, 荷重の組合せになるが, 抵抗側の材料係数などの部分係数は, 表-2.27に示すとおり, コンクリートや鋼材などの材料側の部分係数が用いられる. 支持力照査式に含まれる部分係数は(3)で述べる.

表-2.24 BS規格の荷重係数(1)⁴⁷⁾

Table 1 Partial factors for actions (1 of 3)

Action type	Scenario	Item	Symbol (in accordance with BS EN 1990:2002+A1)	EQU (Set A)		STR/GEO (Set B)		STR/GEO (Set C)	
				Unfavourable	Favourable	Unfavourable	Favourable	Unfavourable	Favourable
Permanent actions ^{A)}	Steel self-weight		$\gamma_{G, sup}$	1.05	0.95	1.20	0.95	1.00	1.00
			$\gamma_{G, inf}$						
	Concrete self-weight		$\gamma_{G, sup}$	1.05	0.95	1.35	0.95	1.00	1.00
			$\gamma_{G, inf}$						
	Weight of soil and other materials		$\gamma_{G, sup}$	1.05	0.95	1.35	0.95	1.00	1.00
			$\gamma_{G, inf}$						
	Superimposed dead loads ^{B)}		$\gamma_{G, sup}$	1.05	0.95	1.20	0.95	1.00	1.00
			$\gamma_{G, inf}$						
Geotechnical actions		$\gamma_{G, sup}$	1.05	0.95	1.35	0.95	1.00	1.00	
		$\gamma_{G, inf}$							
Ground water ^{C)}		$\gamma_{G, sup}$	1.05	0.95	1.35	0.95	1.00	1.00	
		$\gamma_{G, inf}$							
	Uneven settlements		$\gamma_{G, sup}$	—	—	1.20 ^{B)}	—	1.00	—
	Prestressing		γ_p	as defined in the relevant Eurocode or for the individual project					
Variable actions	Road traffic actions	Road vehicles (gr1a)	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
		Pedestrian loads (gr1a)	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
		Horizontal forces (gr2)	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
		Pedestrian loads (gr3)	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
	Equipment loads ^{D)}	Gantry crane	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
		Mobile harbour crane	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
		Construction crane	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
		Port vehicles	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
		Cargo handling equipment	γ_Q	1.35	—	1.35	—	1.15	—
	Cargo loads	Containers	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.15	—
		General cargo	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.15	—
		Bulk cargo	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.15	—
		Liquid products	γ_Q	1.05	—	1.05	—	1.00	—

表-2.25 BS規格の荷重係数(2)⁴⁷⁾

Table 1 Partial factors for actions (2 of 3)

Action type	Scenario	Item	Symbol (in accordance with BS EN 1990:2002+A1)	EQU (Set A)		STR/GEO (Set B)		STR/GEO (Set C)	
				Unfavourable	Favourable	Unfavourable	Favourable	Unfavourable	Favourable
Variable actions	Environmental loads	Wind actions ^{a)}	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Operational wind (an environmental operating limit as defined in BS 6349-1-1: 2013)	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Thermal actions ^{a)}	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.20	—
		Snow	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Ice	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Water currents	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Wave	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Operational wave (an environmental operating limit as defined in BS 6349-1-1: 2013)	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Tidal lag or variable ground water ^{c)}	γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—
		Ship operational loads ^{a)}		Berthing (from characteristic energy) ^{b)}	γ_Q	1.35	—	1.35	—
Berthing (from design energy) ^{b)}	γ_Q			1.20	—	1.20	—	1.10	—
Mooring	γ_Q			See Table 8	—	See Table 8	—	See Table 8	—
Ship ramps	γ_Q			1.50	—	1.50	—	1.30	—
Ships propulsion	γ_Q			1.50	—	1.50	—	1.30	—
Construction loads (execution)		γ_Q	1.50	—	1.50	—	1.30	—	
Geotechnical actions ^{d)}	Earth pressures	γ_Q	—	—	—	—	—	—	

表-2.26 BS規格の組合せ係数(ψ)⁴⁷⁾

Action		ψ_0 Factor for the combination value of a variable action ^{a)}	ψ_1 Factor for the frequent value of a variable action ^{a)}	ψ_2 Factor for the quasi-permanent value of a variable action ^{a)}
Vehicular traffic loads	Road vehicles (gr1a) ^{b)}	0.75	0.75	0
	Road vehicles (gr1b)	0	0.75	0
	Pedestrian loads (gr1a) ^{b)}	0.40	0.40	0
	Horizontal forces (gr2) ^{b)}	0	0	0
	Pedestrian loads (gr3) ^{b)}	0	0.40	0
	Pedestrian-only traffic loads ^{c)}	gr1	0.40	0.40
Q_{awk}		0	0	0
gr2		0	0	0
Equipment loads	Gantry crane	0.75	0.75	0 ^{d)}
	Mobile harbour crane	0.75	0.75	0 ^{e)}
	Construction crane	0 ^{f)}	0	0
	Port vehicles	0.75	0.75	0
	Cargo handling equipment	0.75	0.75	0
Cargo loads ^{g)}	Containers in main storage stacks	0.90	0.80	0.70
	General cargo or containers on quay aprons ^{h)}	0.70	0.50	0.30
	Bulk cargo	1.00	0.90	0.80
	Liquid products	1.00	0.90	0.80
Environmental loads	Wind	0.50	0.20	0
	Operational wind	1.00	0	0
	Thermal actions	0.60	0.60	0.50
	Snow	0.80	0	0
	Ice	0.80	0.80	0
	Water currents	0.60	0.20	0
	Operational water currents ⁱ⁾	0.60	0.20	0
	Wave	0.60	0.20	0
	Operational wave	0.60	0.20	0
	Tidal lag ^{j)}	0.60	0.20	0
Operational loads	Berthing	0.75	0.75	0
	Mooring	0.50	0.20	0 ^{g)}
	Ship ramps	0.70	0.50	0
	Ships propulsion	0.75	0.75	0
Construction and installation loads		1.00	0	1.00

表-2.27 材料の部分係数⁴⁸⁾

Design situations	γ_c for concrete	γ_s for reinforcing steel	γ_s for prestressing steel
Persistent & Transient	1,5	1,15	1,15
Accidental	1,2	1,0	1,0

(3)杭の応力照査式

1)杭の軸方向押込み力

本項では、BS規格による杭の応力照査式について説明する。BS規格⁴⁹⁾で示される杭の応力照査式は、式(2.20)により算出する。BS規格では、軸力を抵抗力で除した比と曲げモーメントを抵抗モーメントで除した比の合計が1を超えないか照査を行う。日本基準との相違は、曲げによる座屈強度の低減を考慮した最大曲げモーメントの低減と二方向の曲げを考慮している点にある。ただし、栈橋の鋼管杭については短軸や長軸の分けもなく、本稿の比較検討は2次元の挙動を想定するため、左辺第3項は無視できる。

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{M_x}{M_{bs}} + \frac{M_y}{p_y Z_y} \leq 1 \quad (2.20)$$

ここに、

- F_c : compressive force due to axial force (軸力による圧縮力)
- M_x : nominal moment about the major axis (主軸周りの公称曲げモーメント)
- M_y : nominal moment about the minor axis (kN) (短軸周りの公称曲げモーメント)
- M_{bs} : buckling resistance moment for simple columns (座屈を考慮した抵抗モーメント)
- P_c : compression resistance (圧縮抵抗力)
- p_y : design strength (降伏強度)
- Z_y : section modulus about the minor axis (kN) (短軸周りの断面係数)

である。

(4)杭の支持力照査式

1)杭の軸方向押込み力

本項では、BS規格による杭の支持力の特性値および設計用値の照査式について説明する。

日本基準⁴⁵⁾では、杭の軸方向押込み力の特性値は、式(2.12)から式(2.15)に従い算出する。

BS規格⁵⁰⁾で示される杭の軸方向押込み力の特性値は、式(2.21)により算出する。また、BS8004⁵¹⁾に示される杭の先端抵抗力と周面抵抗力の式は式(2.22)~ 式(2.29)のとおりである。

$$R_{cd} = R_{bd} + R_{sd} \quad (2.21)$$

$$R_{ck} = \frac{R_{bk}}{\gamma_b} + \frac{R_{sk}}{\gamma_s} \quad (2.22)$$

$$R_{bd} = \frac{R_{bk}}{\gamma_b} \quad (2.23)$$

$$R_{sd} = \frac{R_{sk}}{\gamma_s} \quad (2.24)$$

$$R_{bk} = q_b A_p \quad (2.25)$$

$$R_{sk} = \sum_j q_{s,j} A_{s,j} \quad (2.26)$$

$$q_b = N_q \sigma'_{v,b} \quad (2.27)$$

$$q_{s,j} = K_{s,j} \tan \delta_j \sigma'_{v,j} \quad (2.28)$$

$$q_{s,j} = \alpha_j C_{u,j} \quad (2.29)$$

ここに、

- R_{cd} : compressive resistance of the ground against a pile, at the ultimate limit state (kN) (杭の軸方向押込み抵抗力の設計値)
- R_{bk} : characteristic value of the base resistance of a pile (kN) (杭の先端抵抗力の特性値)
- R_{sk} : characteristic value of the shaft resistance of a pile (kN) (杭の周面抵抗力の特性値)
- γ_b : partial factor for the base resistance of a pile (杭の先端抵抗に対する部分係数)
- γ_s : partial factor for shaft resistance of a pile (杭の周面抵抗に対する部分係数)
- q_b : is the vertical effective stress at the pile base (kN) (杭先端における限界支持力)
- N_q : is a bearing pressure coefficient that depends on the soil's constant-volume angle of shearing resistance, ϕ_{cv} ; the soil's density index, I_D ; and the vertical effective stress at the pile base (土の等体積せん断抵抗角 ϕ_{cv} , 土の相対密度指標 I_D , および杭先端における鉛直有効圧力に依存する支持力係数)
- $\sigma'_{v,b}$: is the vertical effective stress at the pile base (kN/m²) (杭先端の鉛直有効応力)
- $q_{s,j}$: characteristic value of unit shaft resistance in stratum j (kN/m²) (j層の杭における単位面積あたりの周面抵抗の特性値)
- $K_{s,j}$: is an earth pressure coefficient (for layer j) against the pile shaft (j層の杭周面の土圧係数)
- δ_j : is the angle of interface (also known as wall) friction between the pile and layer j (壁面摩擦角)
- $\sigma'_{v,j}$: is the average vertical effective stress acting in the soil in layer j. (j層での平均鉛直有効応力)

q_{sj} : characteristic value of unit shaft resistance in stratum (kN/m²) (j層における単位面積あたりの周面抵抗の特性値)

α_j : is an empirical coefficient (for layer j) that depends on the strength of the soil, the effective overburden pressure acting on it, pile type, and method of execution (土の強度, 有効上載圧, 杭の種類や施工方法で決まる経験係数)

C_{ujj} : is the undrained shear strength of the soil in layer j (kN/m²) (j層の非排水せん断強度)

A_{sj} : j層における杭と地盤の接触面積 (m²)

である。

以下, これらの式を上から順に説明する。

式(2.21)について, 杭の押し込み抵抗力の設計用値(左辺)は, 杭の先端抵抗力の設計用値(式(2.23))と杭の周面抵抗力の設計用値(式(2.24))との合計により評価される。そして, 杭の先端抵抗力の設計用値は, 式(2.22)に示すように, 杭の先端抵抗力の特性値 R_{bk} を, 杭の先端抵抗に対する部分係数(γ_b)で除することにより求められる。同様に, 杭の周面抵抗力の設計用値は, 式(2.22)に従い, 周面抵抗力の特性値 R_{sk} を, 杭の周面抵抗に対する部分係数(γ_s)で除することにより求められる。なお, 上述した部分係数については, 2)で述べる。

杭の先端抵抗力の特性値 R_{bk} は, 式(2.25)に従い, 杭先端部の単位面積あたりの限界支持力(q_b)に杭先端の支持面積(A_p)を乗じることにより求める。また, 限界支持力(q_b)は, 式(2.27)に示すとおり, 杭先端地盤の支持力係数(Nq)に杭先端部の鉛直有効応力($\sigma'_{v,b}$)を乗じて求める。以上のことから, BS規格では, 杭の先端抵抗力は, 杭先端が深く(鉛直有効応力が大きく)なるにつれてなるにつれて, 増加する。なお, BS規格の先端抵抗力において, 開端杭の先端閉塞率を設定して先端抵抗力に乘じる考えは確認できなかった。

杭の周面抵抗力の特性値 R_{sk} は, 杭の外周面と地盤との単位接触面積あたりの周面抵抗力の特性値($q_{s,j}$)に, 杭の外周面積を乗じ, それらを地盤全層にわたって合計することで算定する。周面抵抗力の特性値($q_{s,j}$)は, 砂地盤の場合は式(2.28)により算定し, 粘性土地盤の場合は式(2.29)による算定する。砂地盤の場合は, 平均有効応力に土圧係数を乗じて杭に作用する土圧強度を算出し, それに壁面摩擦による効果を乗じることにより, 単位面積あたりの周面抵抗力(摩擦力)を算定している。粘性土地盤の場合は, 日本基準と同様であり, 土のせん断強度にある係数を乗じて, 杭周面の単位面積あたりの抵抗力(摩擦力)を算定している。

2)部分係数およびモデルファクター (model factor)

①部分係数

ここでは, 式(2.14)~式(2.16)に適用する部分係数を示す。表-2.28に, BS規格⁵²⁾による杭の支持力照査に用いる部分係数(抵抗側)を示す。同表では, 杭の打設工法に応じた抵抗側の部分係数が設定されている。表中の「Base」の行に先端支持力に対する部分係数(γ_b)が示されており, 「Shaft(compression)」の行に周面抵抗力に対する部分係数(γ_s)が示されている。

なお, 表中には, 「Set」に4つの異なる係数(「R1」から「R4」)が示されている。このSetは, 表-2.24~表-2.25に記載されている荷重係数における「Set」と対応している。表-2.24~表-2.25の支持力照査に用いる「Set」は, 「SetB」, 「SetC」が対応する。「SetB」には表中の「R1」が対応し, 抵抗側の部分係数(γ_b, γ_s)は1.0となる。「SetC」には表中の「R4」が対応し, 抵抗側の部分係数(γ_b, γ_s)は1.3となる。

表-2.28 杭の抵抗力に関する部分係数⁵²⁾

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Base	γ_b	1,0	1,1	1,0	1,3
Shaft (compression)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combined (compression)	γ	1,0	1,1	1,0	1,3
Shaft in tension	γ_{st}	1,25	1,15	1,1	1,6

②モデルファクターを考慮した支持力式

BS規格⁵³⁾の計算事例では, 支持力照査式の不確実性を考慮する係数(model factor = α)を導入した事例が掲載されており, この手法が実設計では利用されているものと考えられる。

具体的には, 式(2.30)によって杭の先端支持力の設計用値を求める際に, 先端支持力の特性値を部分係数で除するだけでなく, モデルファクターでさらに除することにより, 杭の先端支持力の照査式の不確実性を考慮している。周面抵抗力も同様の考え方でモデルファクターを適用している。

以上に基づく, モデルファクターを適用した場合は, 杭の押し込み抵抗力の設計用値(R_{cd})は, 式のとおりとなる。なお, BS規格には, このmodel factorの具体的な数値は記載がなく, 国毎に定められる数値と記載されている。

$$R_{cd} = \frac{R_{bk}}{\gamma_b \alpha} + \frac{R_{sk}}{\gamma_s \alpha} \quad (2.30)$$

ここに,

α : model factor (照査式の不確実性を考慮する係数)である。

2.6.4 両基準を適用した場合の設計への影響について

(1)杭の応力照査式

両基準において、軸力と曲げモーメントに対して照査を行う点は同じである。日本基準との相違は、曲げによる座屈強度の低減を考慮した最大曲げモーメントの低減、と二方向の曲げを考慮している点が日本基準と異なる。

(2)杭の支持力照査式

表-2.29 に、日本基準と BS 規格における杭の支持力照査式の相違点を示す。

両基準で大きく異なるのは、杭の先端抵抗力の考え方である。日本基準では、 N 値 (砂質土地盤) やせん断強度 (粘性土地盤) から先端抵抗力を算定するが、杭先端部での有効応力 (有効上載圧) は考慮しない。一方、BS 規格では、杭先端部の支持力係数と土の有効応力 (有効上載圧) を考慮した式であり、杭の深度が大きくなる (有効上載圧が大きくなる) につれて、先端抵抗力も増加する。

また、砂地盤における周面抵抗の考え方も異なる。日本基準では、有効上載圧の影響は考慮せずに N 値 (砂質土地盤) のみから周面抵抗力を算出するが、BS 規格では有効上載圧の増加にともない周面抵抗力が増加している。

表-2.29 日本基準とBS規格の支持力照査式

土質の種類	抵抗力	日本基準	BS 規格
砂質土地盤	先端抵抗	300N	$N_{qs} \sigma'_{v0}$
	周面抵抗	2N	$K_s \sigma'_{v0} \tan \delta$
粘性土地盤	先端抵抗	$6c_u$	$9c_u + \sigma'_{v0}$
	周面抵抗	c_u	αc_u

(2)部分係数・荷重組合せ

日本基準とBS規格では、性能照査式や性能照査式中の部分係数の取り扱い、荷重組合せの考え方が異なる。以下、栈橋の設計を対象として、杭頭に発生する断面力 (軸力) をフレーム計算で算出し、その結果に基づき杭の支持力照査を行う場合を事例として、両基準の基本的な相違点を示す。

日本基準の場合、まず、栈橋に作用する荷重の特性値を設定し、それらの特性値を表-2.23 に示す組合せ条件

に合わせて栈橋フレーム計算に入力し、杭頭で発生する断面力 (軸力) の特性値を算出することになる。一方、抵抗側 (杭の押し込み抵抗力) の特性値も、式(2.12)~式(2.15)に基づき算出する。そして、式(2.16)に示すとおり、最後に杭の支持力照査に関する作用側・抵抗側の部分係数 (表-2.22) を乗じて、作用耐力比が 1 未満であることで照査する。以上を簡単にまとめれば、日本基準では特性値による杭に作用する断面力の計算を最初に行い、最後に部分係数を乗じることで、照査が完了する。

一方、BS 規格の場合、BS6349 に基づき、式(2.21)から式(2.29)に示すとおり、各作用の特性値を設定し、各作用ごとに部分係数や荷重組合せ係数を乗じた設計用値を栈橋フレーム計算に入力し、様々な荷重組合せ条件下における杭頭断面力 (軸力) の設計用値を算出する。一方で、杭の支持力の設計用値は、BS8004 に基づき、その特性値を先端抵抗力と周面抵抗力をそれぞれ算出したあと、BS 規格の式(2.30)に基づき、両抵抗力に対して設定されている抵抗側の部分係数と照査式の不確実性を考慮する係数 (model factor) を考慮した低減を図り、最終的な杭の押し込み抵抗力の設計用値を算出する。そして、杭の抵抗力の設計用値が、杭頭で発生する軸力の設計用値を上回ることを照査する。

以上を簡単にまとめれば、BS 規格では、日本基準とは異なり、各荷重や抵抗の特性値に対して、最初の段階で部分係数、荷重組合せ係数、モデルファクターの影響を考慮して設計用値を算定し (この段階で安全余裕が既に考慮されている)、最後に荷重側と抵抗側の設計用値を比較することで、照査が完了する。

(3)まとめ

以上を示したとおり、両基準では、性能照査式、部分係数、荷重組合せ、応力照査式、支持力照査式のどれをとっても、その設定内容や考え方が異なる。このため、これらの相違が設計結果に及ぼす影響は大きいことが予想され、グループAと判断した。

2.7 両基準の設計条件の整理及び比較検討の方向性

(1)概要

本節では、日本基準と BS 規格のそれぞれの設計条件の特徴とその相違点を整理した結果を示す。その結果に基づき、3章以降で比較検討を行う内容を示す。

(2)特徴整理の結果

表-2.30 は、日本基準と BS 規格のそれぞれの設計条件の特徴とその相違点を整理した結果である。表の最左端の列から順に、分類（設計条件の大分類）、項目（大分類を細分化した項目）、日本基準と BS 規格による設計条件の設定方法、両基準による設計条件の設定方法の相違点を示している。そして、最後（最右列）に、表-2.1 に示した「設計条件のグループ分けの考え方」に基づき分類した結果（A, B, C）を示す。

この結果を俯瞰すると、整理した項目の中では、地震力、部分係数・荷重組合せ、応力照査式、支持力照査式の 4 つの条件設定の相違が、設計結果に及ぼす影響が特に大きいことと判断した。

本章で整理した設計条件の特徴整理を踏まえ、3 章以降で、これらの 4 つの設計条件の相違に着目した比較検討を行うが、2 章の冒頭にも述べたとおり、両基準による条件をそれぞれ厳密に設定した上で設計結果を比較することが理想ではあるが、現実的には設定自体が困難であるとともに、両者の安全余裕の相違の本質的な要因の特定も難しくなるという問題が発生する。このため、以下(3)(4)では、これら 4 つの条件について、3 章以降で実施する比較検討の際に、両基準で共通で与えるべき条件と両基準のそれぞれの考え方に基づき異なった条件を与える内容を検討する。

(3) 比較検討における設計条件の設定

1)地震条件

両基準間で、想定する地震の再現期間は異なり、さらに水平震度（水平方向の設計震度）の設定方法も異なる。この場合、両基準によって異なる水平震度を与えたとしても、設計震度の差が設計結果にそのまま影響し、さらに部分係数等の影響も相まって、基準間の安全余裕の比較は難しい。このため、水平震度の値は、比較検討で共通の条件とすることが適切である。

一方、両基準で全く異なるのは、鉛直震度（鉛直方向の設計震度）の取り扱いである。すなわち、BS 規格では鉛直震度を考慮し、日本基準では考慮しない。この影響は比較検討で評価すべきであり、両基準のそれぞれの考え方にに基づき異なる条件を与えるべきと考えられる。

2)部分係数・荷重組合せ

先述したとおり、両基準では、性能照査式（フォーマット）、部分係数、荷重組合せ、支持力照査式のどれをとっても、その設定内容や考え方が大きく異なる。これらの条件を全て両基準で異なるものを適用して比較検討

を行うこと自体が難しいが、さらに両者の安全余裕の相違の要因特定も難しくなる。このため、現段階では、大部分の条件はできるだけ両基準で合わせ、限定された条件の相違による影響を評価することが有効であると考えられる。

以上の考えに基づくと、支持力照査式はその考え方や式が大きく異なるため、最初に行う比較検討ではどちらかの基準の照査式を用いることが適切であると考えられる。支持力照査式を同じものを適用することで、それ以外の部分係数・荷重組合せによる影響を評価することができるため、支持力照査式は日本基準を利用する。一方、応力照査式は両基準を適用する。この比較検討は、第 3 章で行うこととする。

3)応力照査式

2.6.4(1)で述べたとおり、杭の応力照査式は、日本基準と BS 規格とでは、軸力と曲げモーメントに対して照査を行う点は同じであるが、座屈を考慮した降伏応力度の低減の考え方が異なる点である。このため、第 3 章の比較検討では、両基準の応力照査式を適用して検討を行う。

4)支持力照査式

2.6.4(2)で述べたとおり、杭の支持力式（杭の押し込み抵抗力の評価式）は、日本基準と BS 規格（BSEN 規格）とでは、その考え方が大きく異なる。日本基準では、杭の先端抵抗力や周面抵抗力の評価に有効上載圧の影響は考慮しないが、BS 規格では考慮している。このため、まず始めに検討すべき内容は、両基準による押し込み抵抗力の特性値を、部分係数等の影響を受けない条件下で、相互に比較し、その違いの特徴を把握することにあると考えられる。この比較検討は、第 4 章で行うこととする。

表-2.30 両基準における設計条件の特徴、相違点整理結果

分類	設計条件の設定方法		項目	条件の設定方法の相違点	グループ
	日本基準	BS規格			
自然条件	設計潮位	期望平均満潮位(H.W.L)、期望平均干潮位(L.W.L)を設計潮位とする。	LAT、HATを使用しており、国外で多く用いられている。	両基準において設計潮位の設定方法は異なり、設定値もは多少異なるが、設計潮位の設定値の相違が設計成果に及ぼす影響は小さいと予測され、かつ設計潮位条件を揃えた方が比較検討の目的に適していることと判断されるため、グループBと判断される。	B
	風速	気象の実測値や推算値より設定される。船舶が沿岸可能な風速を設定する。	気象の実測値や推算値より設定される。	両基準で設定方法の違いにより設計成果に及ぼす影響もあると予測できるが、風速の設計条件を揃えないことによる設計成果に及ぼす影響評価に意識は低いと判断し、比較設計においてグループAと判断される。	B
	土質条件	データの信頼性に関する補正係数を考慮。(データのばらつき、データ数)	検討すべき状態を考慮して安全側に設定する。具体的な方法の明示はない。	両基準で整理する基準の適用範囲では詳細な土質条件の設定方法を整理できなかつたので、設計成果に及ぼす影響評価は難しいと判断し、比較設計においてグループBとする。	B
	地震力	震源特性、伝播経路特性、サイト特性を考慮して得られる時刻歴波形を基に算定する。	基礎加速度と地盤タイプによって決まる地盤係数や固有周期を基にスペクトル図より算定する。水平震度に加えて鉛直震度を考慮する。	設計震度(水平方向)の設定方法や地震の再現期間も異なるため、両基準による設計震度(水平方向)の値は大きく異なることが予想される。さらに、鉛直方向の地震力をBS規格では考慮し、日本基準では考慮していない点も異なるため、グループAに分類され ると判断される。	A
	計画水深	利用船舶の喫水に余裕代を考慮して設定。	利用船舶の喫水に余裕代を考慮して設定。	両基準において日本基準とBS規格の計画水深の設定の基本的な考え方や対象船舶の満載喫水に余裕代を考慮して設定する点において同じのためグループCと判断される。	C
	天端高	潮位差と岸壁水深よりH.W.L+余裕高と設定。	近隣バースの天端高、背後地の高さに合わせて。新規整備港湾においては、利用に合わせて強制的な高さとす	両基準において岸壁の天端高の基本的な考え方は相違がない。また、日本基準における具体的な天端高の設定値も、両基準で概ね同程度であるためグループCと判断される。	C
	対象船舶	利用が決まっている実船の諸元。船舶の種類毎に標準船型より設定。	利用が決まっている実船の諸元。基準記載のグループより諸元を設定。	両基準において対象船舶の設定の考え方やその設定値(主要諸元)に大きな相違はないと推定されることから、本条件はグループCと判断される。	C
	上載荷重	永続状態10kN/m ² ~30kN/m ² 。変動状態は永続状態の半分とすることが多い。	洗濯車両の分散荷重は数値として示されているが、積載荷重の具体的な数値の記載は今回の検討範囲では確認できなかつた。	上載荷重について、一方、BS規格では10~30kN/m ² 程度とされており、詳細な解説や分類はなされていない。一方、BS規格では両面の種類に応じた荷重が整理されているが、積載荷重の具体的な数値は今回の検討範囲では確認できなかつたためグループBと判断される。	B
	クレーン荷重	コンテナクレーンの諸元の例が示されているが、仕様により作用させる荷重の算定方法の詳細は示されていない。	クレーンの最大荷重について示されているが、具体的な設計実務に用いるクレーン論荷重の算定方法詳細については示されていない。	両基準においてコンテナクレーンの諸元の例は示されているが、本章で整理する基準の適用範囲では仕様により作用させる荷重の算定方法の詳細は把握できなかつたので、比較設計においてグループBと判断される。	B
	接岸力	基準に示されている算定式で設定。	基準に示されている算定式で設定。	防舷材の設計と合わせて考える必要があるため、設計への影響評価の意識はあるが比較設計においてグループBと判断される。	B
利用条件	牽引力	船舶諸元より係船柱一基に作用する牽引力を設定。	船舶諸元より係船柱一基に作用する牽引力を設定。係留索と係船柱配置より牽引力を算定。	牽引力は、対象とする船舶より作用する荷重と係留索や係留索の配置より算定するといふ点において比較設計の上では、どちらかの基準を採用しても同じなため、比較設計において条件を揃えるべき項目としてグループCと判断される。	C
	供用期間	施設の重要度に応じて設計供用年数を分類。	施設の重要度に応じて設計供用年数を分類。	比較設計の構造形式に該当する一般的な構造は両基準とも50年と供用期間の設定に変わらないため、比較設計において条件を揃えるべき項目としてグループCと判断される。	C
	単体積重量(鋼材、Co)	基準に記載されている単体積重量を用いる。	基準に記載されている単体積重量を用いる。	両基準において基準に示される一般的な材料の単体積重量等に大きな差異はないため、比較設計において条件を揃えるべき項目としてグループCと判断される。	C
	鋼管杭	基準に記載されている鋼管杭の降伏応力度を用いる。	基準に記載されている鋼管杭の降伏応力度を用いる。	両基準の降伏応力度の定義が違い鋼管杭の耐力(抵抗)も異なるが、両基準で大きく変わらないため、比較設計においてグループBと判断される。	B
	部分係数	荷重抵抗係数αプロットによる部分係数法。	部分係数法。	外力の特性値に準ずる部分係数の考え方が異なるため、設計の結果に大きく起因する可能性はある。日本の基準では荷重の組み合わせの記載がなく、BS規格では基準に示されており、荷重の組み合わせの考え方がよって、設計の結果に大きく起因する可能性があるため、グループAと判断される。	A
	荷重の組み合わせ	基準に記載なし。	基準に記載なし。	各基準において支持力照査式は異なるため、設計の結果に大きく起因する可能性があるため、グループAと判断される。	A
	照査式(支持力照査式)	日本基準では特性値による積に作用する断面力の計算を最初に行い、最後に部分係数を乗じて照査を行う。	各荷重や抵抗の特性値に対して、最初の段階で部分係数、荷重組合せ係数の影響を考慮した設計用値を算定し、最後に荷重側と抵抗側の設計用値を比較する照査を行う。	両基準において、軸力と曲げモーメントに対して照査を行う点は同じであるが、BS規格は曲げモーメントに対して断面を考慮して降伏応力度を低減する点や、鋼材などの材料係数を考慮する点があるため、グループAと判断される。	A
	照査式(応力照査式)	軸力による圧縮力に対して、座間による降伏応力度の低減を考慮する。	軸力による圧縮力と曲げモーメントに対して、座間による降伏応力度の低減を考慮する。鋼材の材料係数を考慮する。	両基準において、軸力と曲げモーメントに対して照査を行う点は同じであるが、BS規格は曲げモーメントに対して断面を考慮して降伏応力度を低減する点や、鋼材などの材料係数を考慮する点があるため、グループAと判断される。	A

3. 日本基準と BS 規格による比較検討

3.1 比較検討の方針

3.1.1 比較検討において両基準間で変更する設計条件

本節では、設計への影響が大きいグループ A に分類される項目 (表-2.30) に着目した比較検討を行う。表-3.1 に、表-2.30 を今回の比較検討用に簡潔に整理した結果を示す。

なお、グループ B の設計条件の項目は、比較検討において全て共通の条件 (日本基準) を適用した。これは、グループ B の項目は、設計結果に及ぼす影響が大きくなる可能性があるものも含まれているが、グループ A に比較すると影響は小さいと考えられたためである。また、グループ B の一部の項目では、今回対象とした BS 規格の範囲では記載がない情報もあったため、比較検討を行うための十分な情報が揃わない項目もあり、その点も考慮している。

グループ C の設計条件の項目は、全て共通の条件 (日本基準) を適用した。

3.1.2 グループ A の条件に着目した比較検討ケース

本節では、両基準におけるグループ A の条件の相違が、設計結果に及ぼす影響を評価するために、表-3.2 に示す比較検討を行う。以下、表中の各検討ケースについて、検討目的と比較検討の概要を説明する。

(1) 検討ケース P

表-3.2 中の P に分類される比較検討では、地震力を無視した条件下で、日本基準と BS 規格における部分係数の相違のみに着目する。すなわち、表-3.1 の ⑮ と ⑰ に示す条件に着目する。この比較検討では、鋼管杭の支持力照査式は日本基準を適用し、両基準による部分係数 (荷重の組合せも含む) と応力照査式の相違によって、設計結果がどの程度影響を受けるかを評価する。

なお、この比較検討は部分係数 (partial factor) の相違に着目したものであるため、部分係数の英語表記の頭文字の P を検討ケースの略称として利用している。さらに、日本基準によるケースを P-JP (Japanese standards)、BS 規格によるケースを P-BS (British standards) としている。

(2) 検討ケース PS

次に、表-3.2 中の PS に分類される比較検討では、P の比較検討の条件に加えて、日本基準と BS 規格における設計震度の与え方、すなわち BS 規格では鉛直震度を考慮していること (表-3.2 の ④ に示す条件) の影響評価を目的とする。水平震度は両基準で同じ値を用いるが、日本基準

では鉛直震度を考慮せず、BS 規格では水平震度の 0.5 倍を考慮する条件で設計結果を比較する。本検討では、水平震度として比較的大きめの値である 0.15 を設定した。

なお、この比較検討は、部分係数 (partial factor) の相違に加えて地震条件 (seismic condition) の相違も考慮した検討であるため、両者の英語表記の頭文字の P と S とを合わせて PS として表記し、本検討ケースの略称として利用している。また、検討ケース P と同様、日本基準によるケースを PS-JP、BS 規格によるケースを PS-BS と呼称している。

表-3.1 比較検討における条件の設定方法

分類	項目	設計条件の適用基準	グループ	比較検討への適用
自然条件	① 設計潮位	日本基準	B	・グループ B、C は共通の条件として日本基準を適用する
	② 風速		B	
	③ 土質条件		B	
	④ 地震力	各適用基準	A	・時刻歴波形は各国基準では設定されていない ・本検討では、設計震度の与え方のみに着目 ・水平震度は両基準共通とし、BS 規格のみ鉛直震度を考慮する
利用条件	⑤ 計画水深	日本基準	C	・グループ B、C は共通の条件として日本基準を適用する
	⑥ 天端高		C	
	⑦ 対象船舶		C	
	⑧ 上載荷重		B	
	⑨ クレーン荷重		B	
	⑩ 接岸力		B	
	⑪ 牽引力		C	
⑫ 供用期間	C			
材料条件	⑬ 単位体積重量	日本基準	C	
	⑭ 鋼管杭		B	
部分係数、荷重の組み合わせ	⑮	各適用基準	A	・両基準の部分係数 (荷重の組み合わせ) を適用する
照査式	⑯ 支持力照査式	各適用基準	A	・本検討では、支持力照査式の違いに着目して、両基準の照査式を適用した杭の抵抗力の特性値を比較する (第 4 章参照)
	⑰ 応力照査式	日本基準	A	・両基準の照査式を適用する

表-3.2 日本基準とBS規格を適用した比較検討ケース

大分類	目的	検討ケース	部分係数	照査式 (応力照査)	照査式 (支持力照査)	地震条件
杭の応力照査の比較 杭の支持力照査の比較	P	P-JP	日本基準	日本基準	日本基準	考慮しない
		P-BS	BS規格	BS規格		
	PS	PS-JP	日本基準	日本基準	日本基準	日本(水平震度のみ) Kh=0.15
		PS-BS	BS規格	BS規格		BS(水平+鉛直震度) Kh=0.15, Kv=0.5×Kh

3.2 比較検討の設計条件

3.2.1 検討モデルの構造

図-3.1 に比較検討の断面モデル図を示す。検討モデルは、近年の船舶の大型化など大水深の岸壁需要が高いため、水深-15mの幅35mの棧橋構造を設定する。また、本検討では、クレーンなしの鋼管杭の杭径を直径1,000mm、クレーンありの鋼管杭の杭径を直径1,400mmで固定して検討する。

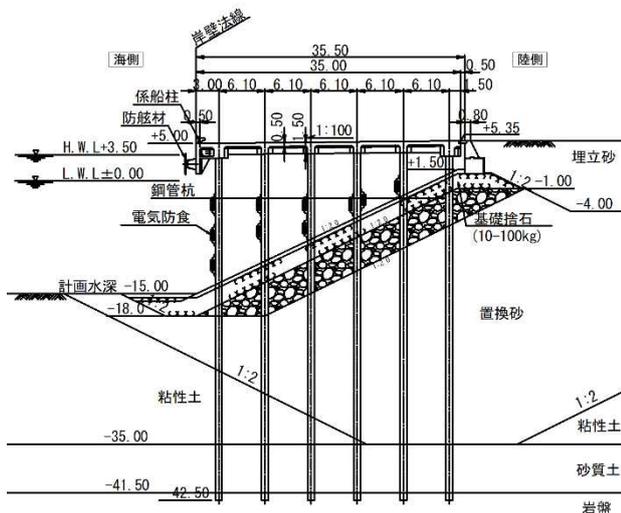


図-3.1 検討モデル断面図

3.2.2 設計条件

(1) 全体

表-3.3~表-3.4に、比較検討における設計条件のうち、グループBおよびグループCに分類される項目の一覧を示す。これらの項目は、比較検討における共通の条件として、日本基準を基に設定している。なお、表-3.4のクレーン荷重の設定は日本基準に基づき設定し、宮田らの文献²⁹⁾よりクレーン自重と輪荷重等を用いて算出した。棧橋に作用するクレーン輪荷重の詳細は付録Bを参照されたい。

表-3.3 設計条件一覧(1/2)

分類	設計条件				
自然条件	設計潮位	H.W.L.+3.50m M.W.L.+2.00m L.W.L.±0.00m			
	土質条件	地盤	標高(m)	N値	粘性土(粘着力) kN/m ³
		置換砂		10	—
		粘性土	-4.0m~-35.0m	—	C=2Z Z:粘着力の一次係数(深度)
		砂質土	-35.0m~-42.0m	30	—
岩盤	-42.0m	50	—	—	
地震力	kh=0.15				
利用条件	計画水深	D.L.-15.0m			
	天端高	D.L.+5.0m			
	上載荷重(両基準共通)	①クレーンなし 作業時 30kN/m ² 休止時 15kN/m ² 牽引時 30kN/m ² 接岸時 30kN/m ² 地震時 15kN/m ² ②クレーンあり: 作業時 10kN/m ² 休止時 5kN/m ² 牽引時 10kN/m ² 接岸時 10kN/m ² 地震時 5kN/m ² (第2章2.6表-2.19参照)			
	対象船舶	コンテナ船 60,000DWT(日本基準より設定)			
		載荷重量トン数 DWT(トン)	パースの長さ(m)	パースの深さ(m)	
	10,000	170	9.0		
	20,000	220	11.0		
	23,000	230	12.0		
	27,000	240	13.0		
	30,000	250	13.0		
	40,000	290	13.0		
	50,000	330	14.0		
	60,000	350	15.0		
	100,000	410	16.0		
	140,000	440	17.0		
	165,000	470	18.0		
	185,000	500	18.0		
	200,000	500	18.0		
接岸力	防舷材: 1150H(受衝版付防舷材) (棧橋1ブロックあたり2箇所防舷材設置) 接岸速度: 0.10m/s 接岸エネルギー: 防舷材1箇所あたり 350kN・m 棧橋1ブロック 700kN・m 接岸力(防舷材反力) 400kN/列				

表-3.4 設計条件一覧 (2/2)

分類		設計条件			
利用条件	牽引力	係船柱 1000kN 型 (1ブロックに1箇所) 棧橋 1ブロックあたり牽引力: 1000kN			
	クレーン荷重 (特性値)	鉛直力	作用	方向	特性値 (kN)
			作業時 風速16m/s	海側	2316.9
				陸側	1842.5
			暴風時 風速55m/s	海側	2901.3
				陸側	3358.4
			地震時 (設計震度0.20)	海側	3451.3
		陸側		3293.1	
		水平力	作業時 風速16m/s	海側	115.8
				陸側	92.1
暴風時 風速55m/s			海側	290.1	
	陸側		335.8		
地震時 (設計震度0.20)	海側	690.3			
	陸側	658.6			
設計供用期間	50年				
材料条件	単位体積重量	鋼及び鋳鋼: 77.0kN/m ³ 鉄筋コンクリート: 24.0kN/m ³			
	鋼管杭	第2章の表-2.14を適用			

(2) 荷重ケース及び荷重の組み合わせ

(1)に示した表-3.3~表-3.4以外の設計条件として、比較検討で対象とする荷重ケース及び荷重の組み合わせがある。本検討では、表-3.5に示す、日本基準による荷重ケース及び荷重の組み合わせを適用する。なお、表-3.5は、表-2.23 (第2章2.6) に対して、表の上部に荷重ケースと検討ケース (P, PS) との関係が分かるような情報を追加している。また、上載荷重についても地震時の上載荷重が載荷重時、載荷重時の0.5倍を設定するため、比較検討ケースを追加している。

表-3.5に示すとおり、検討ケースの P (P-JP, P-BS) では、載荷重時 (作業時, 休止時), 船舶作用時 (牽引時, 接岸時) を対象とした設計 (全10の荷重ケース) を各基準で行い、各基準で最も厳しい条件を満足する断面を設定し、両基準間の相違による設計結果への影響を把握する。同様に、比較検討ケース PS (PS-JP/, PS-BS) では、全4種類の荷重ケースによる設計を各基準で行い、同じ方法で両基準間の相違による設計結果への影響を把握する。

表-3.5 荷重ケース

No.	作用荷重	荷重ケース															
		載荷重による						船舶の作用による				レベル1地震動による					
		作業時 (クレーン)		休止時 (暴風時) (クレーン)		牽引時		接岸時		地震時							
		比較検討の分類															
P-JP, P-BS																	
PS-JP-K0.15 PS-BS-K0.15																	
A-1 A-2 A-3 A-4 A-5 A-6 B-1 B-2 C-1 C-2 D-1 D-2 D-3 D-4																	
1	上部工自重	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	クレーンなし 上載荷重 30kN/m ²	○				○				○					○	○	
3	クレーンあり 上載荷重 10kN/m ²		○	○			○	○			○					○	○
4	クレーン荷重 (作業時 海側最大)			○						○							
5	クレーン荷重 (作業時 陸側最大)	○													○		
6	クレーン荷重 (休止時 海側最大)									○							
7	クレーン荷重 (休止時 陸側最大)																
8	クレーン荷重 (地震時 海側最大)																○
9	クレーン荷重 (地震時 陸側最大)															○	
10	牽引力								○	○							
11	接岸力 (防舷材反力)											○	○				
12	地震時慣性力 (陸→海)															○	○
13	地震時慣性力 (海→陸)															○	○

3.3 杭の応力照査の比較

3.3.1 比較検討の骨子

(1)概要

本節では、表-3.2の比較検討ケース P 及び PS について杭の応力照査を行う。比較検討ケース P は、地震力を考慮しない条件下で日本基準と BS 規格における部分係数の相違のみに着目し、鋼管杭の照査式は両基準を適用した場合の影響評価を行う。比較検討ケース PS は、部分係数の影響に加えて地震条件の違いに着目し、鋼管杭の照査式はケース P と同様に日本基準を適用した場合の影響評価を行う。以下、比較検討の具体的な手順を示す。

(2)具体的な手順

棧橋の構造計算は骨組解析を用いる。骨組解析では、地盤は線形バネとしてモデル化し、棧橋の鋼管杭は線要素として軸力、せん断力および曲げモーメントを考慮する。この骨組解析に各種の荷重を上部工部分に入力し、杭頭の軸力や曲げモーメントを算出する。骨組解析の詳細条件については、付録 A に添付している。次に、設計結果への影響評価の方法について述べる。

3)設計結果への影響評価の方法

日本基準の場合は、第2章で述べたように、全ての荷重の特性値をそのまま利用し (骨組解析に入力し)、杭頭における発生断面力の特性値を計算し、それに荷重側の部分係数を乗じて発生断面力の設計用値を求める。一方で、抵抗側については、同様に全ての設計因子につい

て特性値を用いて抵抗側の特性値（鋼材の降伏応力度）を計算し、それに抵抗側の部分係数を乗じて抵抗側の設計用値を求める。そして、最後に、作用耐力比（作用側の設計値を抵抗側の設計値で除し、さらに調整係数を乗じた値）が1を超えないことを照査する。

一方、BS規格では、第2章で述べたように、荷重の特性値にあらかじめ荷重側の部分係数（荷重の組合せ係数も含む）を乗じた設計用値を、骨組解析に入力し、杭頭における発生断面力や発生応力度の設計用値を求めることになる。抵抗側の特性値については、鋼材の降伏強度の部分係数を1.15と設定した。以上の数値を用いて、BS規格による作用側の設計用値を抵抗側の抵抗値で除することにより、日本基準と同じ定義に基づく作用耐力比を算出することができる。

日本基準とBS規格による作用耐力比がどの程度相違しているかがわかれば、両基準によって必要とされる杭の断面諸元（肉厚）に及ぼす影響を評価することができる。

3.3.2 杭頭における断面力の算定方法

(1) 検討ケース P

表-3.7に検討ケースPの荷重側の部分係数の一覧表を示す。表中の上段は荷重側のBS規格の部分係数を示しており、表中の下段は、日本基準の部分係数を示す。3.3.1で説明したとおり、BS規格は荷重の特性値にあらかじめ荷重側の部分係数（荷重の組合せ係数も含む）を乗じた設計用値を、骨組解析に入力する。日本基準の場合は、

全ての荷重の特性値をそのまま骨組解析に入力する。

図-3.2に、日本基準とBS規格における栈橋骨組解析へ入力する各荷重の大きさと発生する杭頭断面力の一例を示す。本図は、表-3.7の荷重ケースC-1の検討結果であり、日本基準による荷重（特性値）や発生断面力（特性値）に比較して、BS規格における荷重（設計用値）や発生断面力（設計用値）が何倍になるかを示しており、両基準間で最も差が大きかった接岸時（クレーンなし）の陸側の杭での結果である。以下、図-3.2の内容について、さらに詳細に説明する。

まず、荷重の作用方法の相違点について説明する。図-3.2に示すとおり、日本基準は栈橋に作用させる荷重として、上部工自重 W_{10} 、上載荷重 W_{20} 、接岸力 P_0 の特性値を作用させる。荷重の記号について、 W や P は荷重の種類となり、添え字の0は特性値を表している。一方、BS規格は栈橋に作用させる作用荷重に部分係数を乗じるので、上部工自重 $W_{10} \times 1.35$ 、接岸力 $P_0 \times 1.35$ 、上載荷重 $W_{20} \times 1.00$ の荷重（設計用値）を作用させる。上載荷重の部分係数 γ_Q は1.35となるが、主たる変動荷重を接岸力と設定するため、部分係数 γ_Q に組合せ係数 ψ を乗じて $W_{20} \times 1.35 \times 0.75 = 1.01$ となる。

これらの荷重を作用させて骨組解析を行って算出された杭頭（海側杭）の発生断面力が図-3.2に示されている。本図より、BS規格の断面力（設計用値）は、日本基準の曲げモーメント M_0 、軸力 N_0 に対して $M_0 \times 1.13$ 、 $N_0 \times 1.15$ となることがわかる。ここで算定した日本基準とBS規格の断面力の関係を基に、杭の断面諸元に及ぼす影響を

表-3.7 検討ケースPの部分係数(荷重係数)一覧表

No.	作用荷重	荷重ケース									
		載荷重による						船舶の作用による			
		作業時 (クレーン)			休止時(暴風時) (クレーン)			牽引時		接岸時	
		比較検討の分類									
		P-JP、P-BS									
A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	C-1	C-2		
1	上部工自重	1.35 (1.00)			1.00 (1.00)			1.35 (1.00)		1.35 (1.00)	
2	クレーンなし 上載荷重 30kN/m2	1.35 (1.00)			0.50 (0.50)			1.35 × "0.75" (1.00)		1.35 × "0.75" (1.00)	
3	クレーンあり 上載荷重 10kN/m2		1.35 × "0.75" (1.00)				0.50 (0.50)	0.50 (0.50)		1.35 × "0.75" (1.00)	1.35 × "0.75" (1.00)
4	クレーン荷重 (作業時 海側最大)			1.35 × "0.75" × 1 (1.00)						1.35 × "0.75" × 1 (1.00)	
5	クレーン荷重 (作業時 陸側最大)		1.35 × "0.75" × 1 (1.00)								1.35 × "0.75" × 1 (1.00)
6	クレーン荷重 (休止時 海側最大)						1.00 (1.00)				
7	クレーン荷重 (休止時 陸側最大)					1.00 (1.00)					
8	牽引力						1.50 (1.00)	1.50 × "0.50" (1.00)			
9	接岸力(防舷材反力)								1.35 (1.00)	1.35 × "0.75" (1.00)	

※表中の上段はBS規格の部分係数、" "内の数字は組み合わせ係数 ψ

※表中の下段は日本基準の部分係数

※1:BS規格のクレーン荷重の部分係数は鉛直荷重を主要な荷重として1.35、水平荷重を従たる荷重として1.35 × "0.75"とする

評価する (以下の 3.3.3 を参照)。

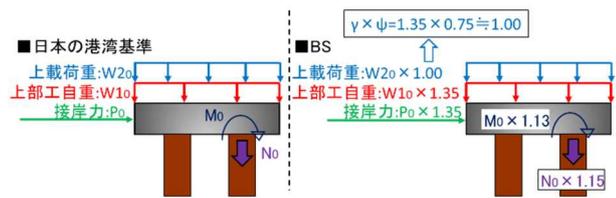


図-3.2 棧橋への作用荷重と杭頭断面力(大分類 P, 荷重ケース C-1)

(2)比較検討ケース PS

次に、表-3.8 に検討ケース PS の部分係数 (荷重側) の一覧表を示す。表の見方は、表-3.7 と同じである。また、各荷重の骨組解析への入力方法も①と同じである。

図-3.3 は、表-3.8 の荷重係数を利用し、棧橋骨組解析へ入力する各荷重の大きさと発生する杭頭断面力 (陸側の杭) の一例を示したものである。荷重ケースは D-3 のケースである。なお、3.1.2 で述べたとおり、日本基準では水平震度 (0.15) のみ考慮した水平力を作用させ、BS 規格では水平震度に加えて鉛直震度を考慮している

比較検討ケース PS のクレーンありの場合は、D-3, D-4 のケースである。本稿の BS 規格の範囲では、クレーン荷重の鉛直震度の考え方や荷重の設定方法の詳細が把握できなかった。このため、以下の二つの方法により鉛直震度を考慮した。一つ目の方法は、鉛直震度を上部工自重と上載荷重のみ考慮して鉛直力を算出し、クレーン荷重は鉛直震度を考慮しない輪荷重のみを考慮するケースである (D-3, D-4 クレーン鉛直震度非考慮)。二つ目の方法は、一つ目の作用に加えて、さらに上述のクレーン輪荷重に鉛直震度を考慮して輪荷重を増加させたケースである (D-3, D-4 クレーン鉛直震度考慮)。以上に示した地震時荷重の詳細は付録 B を参照されたい。以下、図-3.3 の内容について、さらに詳細に説明する。

まず、両基準における荷重の作用方法の相違点について説明する。日本基準は、棧橋に作用させる荷重として、上部工自重 W_{10} 、上載荷重 W_{20} 、クレーン荷重 W_{30} 、慣性力 P_0 の特性値を作用させる。一方、BS 規格は棧橋に作用させる作用荷重に部分係数を乗じるので、上部工自重 $W_{10} \times 1.00$ 、上載荷重 $W_{20} \times 0.30$ 、クレーン荷重 W_{30} 、慣性力 P_0 の荷重 (設計用値) を作用させる。表-3.8 における D-1~D-4 の検討ケースについて、上部工自重、クレーン荷重の部分係数は両基準 1.00 になり、BS 規格の上載荷重の部分係数が 0.30 になる。

これらの荷重を作用させて骨組解析を行って算出された杭頭 (陸側の杭) の発生断面力が図-3.3 に示されている。本図より、日本基準の曲げモーメント M_0 、軸力 N_0

表-3.8 検討ケース PS の部分係数 (荷重係数) 一覧表

No.	作用荷重		荷重ケース			
			レベル1地震動による			
			地震時			
			比較検討の分類			
		PS-JP-K0.15		PS-BS-K0.15		
		D-1	D-2	D-3	D-4	
1	上部工自重	1.00 (1.00)				
2	クレーンなし	上載荷重 30kN/m ²	1.00 × "0.3" (0.50)			
3	クレーンあり	上載荷重 10kN/m ²		1.00 × "0.3" (0.50)		
4	クレーン荷重 (地震時 海側最大)				1.00 (1.00)	
5	クレーン荷重 (地震時 陸側最大)			1.00 (1.00)		
6	地震時慣性力 (陸→海)		1.00 (1.00)		1.00 (1.00)	
7	地震時慣性力 (海→陸)	1.00 (1.00)		1.00 (1.00)		

※表中の上段はBS規格の部分係数、" "内の数字は組み合わせ係数 ψ

※表中の下段は日本基準の部分係数

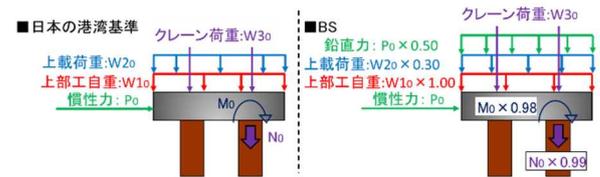


図-3.3 棧橋への作用荷重と杭頭断面力(大分類 PS, 荷重ケース D-3)

の特性値に対して、BS 規格では $M_0 \times 0.98$ 、 $N_0 \times 0.99$ の設計用値との関係なることがわかる。

3.3.3 作用耐力比の結果及び設計結果への影響

(1)荷重ケース C-1 (検討ケース P, 接岸時 (クレーンなし))

最初に、荷重ケース C-1 (大分類、接岸時 (クレーンなし)) の条件を事例として、日本基準と BS 規格によって算出された杭の応力照査に関する作用耐力比の算出方法と、その結果に基づく杭の断面諸元に及ぼす影響評価方法を示す。なお、その他の全荷重ケースの結果は(2)に示す。

図-3.4 に、荷重ケース C-1 を事例として、両基準によって算出された杭の応力照査に関する作用耐力比の算出方法を示す。同図の上段には、日本基準による作用耐力比の算出方法を示している。日本基準では、接岸時の部分係数 (表-3.6 に示す) を適用するため、荷重項の部分係数 $\gamma_s=1.29$ 、抵抗項の部分係数 $\gamma_R=1.01$ 、調整係数 $m=1.00$ を適用する。この結果、日本基準の作用耐力比は 0.57 と

なることがわかる。

一方、同図の下段には BS 規格による作用耐力比の算出方法を示す。BS 規格では、栈橋に作用する荷重に部分係数を乗じた断面力（設計用値）を既に算出しているので、作用側はこれを入力することになる。具体的には、接岸時（クレーンなし）の場合には、同図の結果より、BS 規格による軸力と曲げモーメントは日本基準に比して、それぞれ 1.15 倍、1.13 倍であることから、図中下段に示すように、軸方向圧縮による圧縮応力度として $1.15\sigma_{c0k}$ 、曲げモーメントによる最大圧縮応力度として $1.13\sigma_{bc0k}$ を入力して、作用耐力比を計算することになる。

ここで、BS 基準による作用耐力比の算定における、日本基準で利用している調整係数については、もともと日本の従来の安全率を適用する場合に利用する係数であるため、これも考慮する必要はなく、1.0 としている。また、鋼材の降伏強度に乘じる抵抗側の部分係数 (γ_c) は BS 規格において用いられている鋼材の部分係数を 1.15 と設定した。

以上の設定に基づくと、BS 規格による作用耐力比は 0.53 となることがわかる（図-3.4 の下段）。先述のとおり日本基準による作用耐力比は 0.57 であるため、荷重ケース C-1 の場合には、日本基準の方がやや大きい作用耐力比となり、安全側の断面設定になることを示している。なお、両基準による必要最小となる断面諸元（杭径は 1,000mm の場合）を比較すると、日本基準では肉厚 13mm、BS 規格では肉厚 12mm が必要とされる。肉厚の差は、約 1mm であり、これが両基準による設計結果の相違への具

体的な影響となる。以上のことから、荷重ケース C-1 の場合には、影響は小さいものであるといえ

(2)全検討ケースの結果

以下、全検討ケースの結果を示すが、a)クレーンなしの結果を検討ケース P（地震なし、クレーンなし）、検討ケース PS（地震あり、クレーンなし）と称し、b)クレーンありの結果を検討ケース P-C（地震なし、クレーンあり）、検討ケース PS-C（地震あり、クレーンあり）と称す。なお、両基準の作用耐力比の比較は、各杭列の杭径と肉厚は変化させずに、最も厳しい作用耐力比で各杭列の断面諸元が決まることを前提とした両基準の比較を行う。

a)クレーンなしの場合

表-3.9、表-3.10 にクレーンがない場合の、全ての設計状況（作業時・接岸時・牽引時・地震時(水平震度=0.15)）における、両基準による全杭の応力照査の作用耐力比の結果を示す。杭は、1 列目が最も海側の杭、6 列目が最も陸側の杭を示している。また、図-3.5 には、BS 規格と日本基準による作用耐力比の比（BS 規格/日本基準）を示す。

①比較検討ケース P（地震なし、クレーンなしの場合）

図-3.5 から読み取れるように、検討ケース P（作業時、接岸時、牽引時）については、いずれの設計状況の場合であっても、日本基準の方が高い安全性の断面を要求されることがわかる（作用耐力比の比が 1.0 以下）。また、比較検討ケース P（表-3.9）の中では、両基準ともに接岸

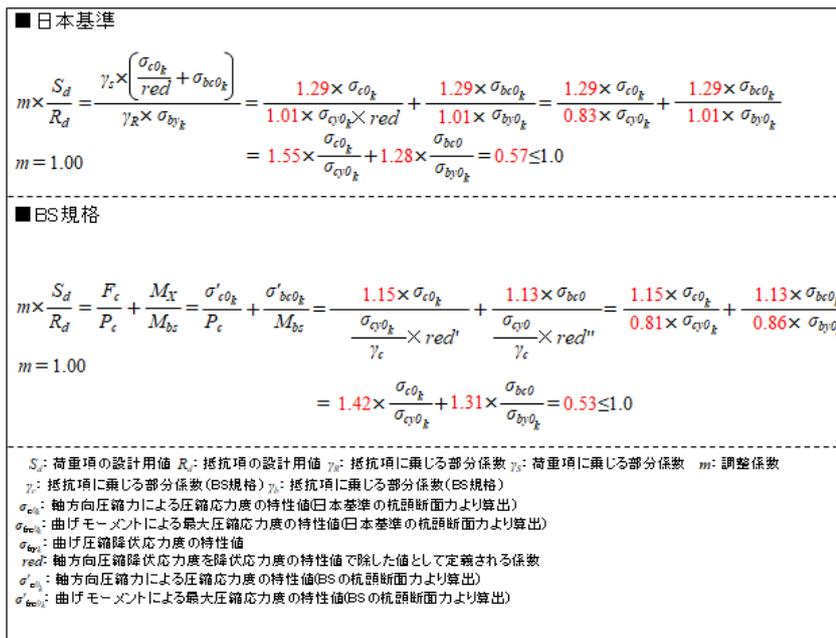


図-3.4 性能照査の比較（接岸時）

時 (荷重ケース C-1) における作用耐力比が最も大きく、接岸時で断面諸元が決まる。接岸時の作用耐力比の比は 0.9 前後であり、作用耐力比の比における 0.1 程度 (=1.0-0.9) の差が、両基準の差となる。この差について、BS 規格の作用耐力比に相当する断面剛性を日本基準で得るためには、鋼管杭 (直径 1,000mm) の肉厚を 1mm (12→13mm) 増厚する必要があるが、大きな差異ではないと言える。

②比較検討ケース PS (地震あり、クレーンなしの場合)

比較検討ケース PS (地震時：海側→陸側、地震時：海側→陸側) についても、日本基準の方が高い安全性の断面を要求されることがわかる (作用耐力比の比が 1.0 以下)。また、検討ケース PS (表-3.10) の中では、両基準ともに地震時 (荷重ケース D-1) における作用耐力比が最も大きい。地震時の作用耐力比の比は 0.77~0.78 程度であり、日本基準で BS 規格の作用耐力比に相当する断面剛性を得るためには、検討ケース P と同様、鋼管杭の肉厚を 1mm (12→15mm) 増厚する必要がある。ただし、この検討ケースでも、両基準による杭の断面諸元に及ぼす影響は軽微であると言える。

BS 規格の鉛直震度の影響は、表-3.11 に示すように、鉛直震度を考慮する場合と考慮しない場合の作用耐力比は、鉛直震度を考慮しない場合の作用耐力比が若干小さい結果となる。両ケースの作用耐力比の差は最大で 0.01 の差となるが、杭の断面諸元は杭 6 列目で決まるため、両ケースの作用耐力比は同じである。また、図-3.6 に鉛直震度を考慮する場合の各杭列の応力の増分を示す。その結果、軸力の増分は 1 割以下であり、曲げモーメントは鉛直震度を考慮しない場合とほとんど変わらない結果となった。このことから、鉛直震度を考慮する場合と考慮しない場合の作用耐力比の差は小さなものとなり、今回の検討ケースに限れば鉛直震度の影響は小さいと言える。

表-3.9 杭の発生応力の照査結果 (検討ケース P)

分類	適用基準	作業時		牽引時		接岸時	
		荷重ケースA-1		荷重ケースB-1		荷重ケースC-1	
		作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	港湾基準	0.35	0.77	0.44	0.73	0.41	0.90
	BS規格	0.27		0.32		0.37	
2列杭	港湾基準	0.32	0.78	0.45	0.76	0.42	0.90
	BS規格	0.25		0.34		0.38	
3列杭	港湾基準	0.32	0.81	0.48	0.75	0.45	0.89
	BS規格	0.26		0.36		0.40	
4列杭	港湾基準	0.32	0.81	0.50	0.78	0.48	0.92
	BS規格	0.26		0.39		0.44	
5列杭	港湾基準	0.29	0.83	0.49	0.84	0.52	0.92
	BS規格	0.24		0.41		0.48	
6列杭	港湾基準	0.26	0.85	0.34	0.91	0.57	0.93
	BS規格	0.22		0.31		0.53	

表-3.10 杭の発生応力の照査結果 (検討ケース PS)

分類	適用基準	地震時(陸→海)		地震時(海→陸)	
		荷重ケースD-2		荷重ケースD-1	
		作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	港湾基準	0.52	0.77	0.48	0.77
	BS規格	0.40		0.37	
2列杭	港湾基準	0.57	0.77	0.56	0.77
	BS規格	0.44		0.43	
3列杭	港湾基準	0.65	0.77	0.62	0.79
	BS規格	0.50		0.49	
4列杭	港湾基準	0.74	0.78	0.70	0.79
	BS規格	0.58		0.55	
5列杭	港湾基準	0.81	0.78	0.79	0.78
	BS規格	0.63		0.62	
6列杭	港湾基準	0.75	0.77	0.90	0.78
	BS規格	0.58		0.70	

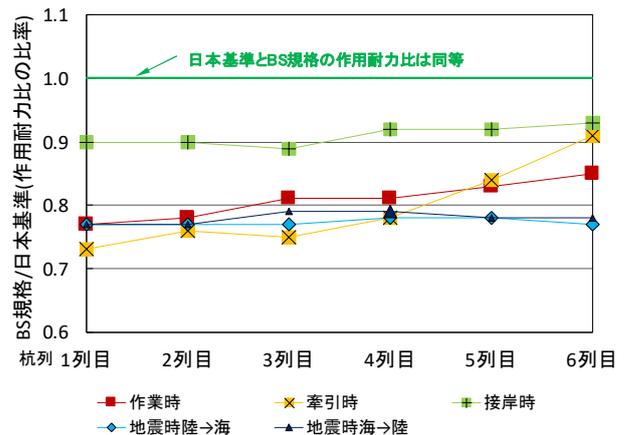


図-3.5 両基準の作用耐力比の比 (クレーンなしの場合)

表-3.11 BS 規格の作用耐力比 (鉛直震度の影響)

杭列	鉛直震度	上部工荷重 (kN)	上載荷重 (kN)	地震力 (kN)		作用耐力比	
				水平	鉛直	荷重ケースD-2	荷重ケースD-1
						地震時 (陸→海)	地震時 (海→陸)
1列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.39	0.36
	あり	3675.00	1653.75	799.31	399.66	0.40	0.37
2列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.43	0.42
	あり	3675.00	1653.75	799.31	399.66	0.44	0.43
3列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.50	0.48
	あり	3675.00	1653.75	799.31	399.66	0.50	0.49
4列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.57	0.54
	あり	3675.00	1653.75	799.31	399.66	0.58	0.55
5列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.62	0.61
	あり	3675.00	1653.75	799.31	399.66	0.63	0.62
6列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.58	0.70
	あり	3675.00	1653.75	799.31	399.66	0.58	0.70

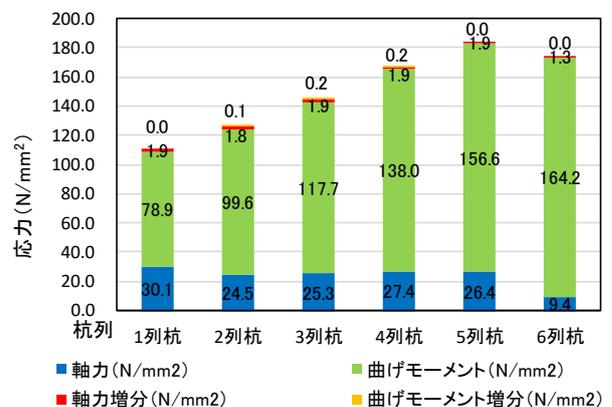


図-3.6 鉛直震度を考慮する場合の応力

b)クレーンありの場合

表-3.12, 表-3.13 にクレーンありの場合の, 全ての設計状況 (作業時・休止時・接岸時・牽引時・地震時(水平震度=0.15)) における, 両基準による全杭の応力照査の作用耐力比の結果を示す. また, 図-3.6 には, BS 規格と日本基準による作用耐力比の比 (BS 規格/日本基準) を示す.

①検討ケース P-C (地震なし, クレーンありの場合)

図-3.7 から読み取れるように, 検討ケース P-C (作業時, 接岸時, 牽引時, 休止時) については, 両基準の作用耐力比は同等, もしくは日本基準の方が安全性の高い断面を要求されることがわかる.

両基準間で最も差が大きかったのは 4 列目杭の牽引時の場合 (荷重ケース B-2) で, 作用耐力比の比は 0.64 程度であった. ただし, 検討ケース P-C では, 接岸時 (荷重ケース C-2) で断面諸元が決まるため, 牽引時の作用耐力比が両基準で差が大きくても断面諸元の決定には影響しない (図-3.6). そして接岸時の作用耐力比の比は 0.88 ~1.00 であった. このため, 本検討ケースの場合は, この差が両基準による断面諸元の設定に及ぼす影響になる.

先述と同様に, 日本基準で BS 規格と同じ断面剛性を得るためには, 鋼管杭 (直径 1,400mm) の肉厚を 1mm (14 →15mm) 増厚する必要があることがわかる. ただし, この検討ケースにおいても, 両基準による杭の断面諸元に及ぼす影響は軽微であると言える.

②検討ケース PS-C (地震あり, クレーンありの場合)

検討ケース PS-C (地震時) については, 図-3.7 に示すとおり, 両基準の作用耐力比は同等, もしくは日本基準の方が安全性の高い断面を要求されることがわかる. (作用耐力比の比は, 0.90~1.00 程度). この差は, 日本準で, 鋼管杭 (直径 1,400mm) の肉厚を 1mm (14→15mm) 増厚することで埋めることができる.

次に, 地震時の中でも, クレーンの鉛直震度を考慮した場合と考慮しない場合の相違程度を確認する. 鉛直震度を考慮しない場合, 作用耐力比の比は 0.90~0.92 程度であった. 一方, 鉛直震度を考慮すると 0.91~0.96 程度にまで増加していた. そのため, 断面諸元に及ぼす影響は小さいものであった.

表-3.12 杭の発生応力の照査結果 (検討ケース P-C)

	分類	適用基準	作業時		休止時		牽引時		接岸時	
			荷重ケースA-3		荷重ケースA-5		荷重ケースB-2		荷重ケースC-2	
			作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	押込	港湾基準	0.43	0.81	0.46	0.91	0.38	0.87	0.46	1.00
		BS規格	0.35		0.42		0.33		0.46	
2列杭	押込	港湾基準	0.16	0.88	0.30	0.93	0.20	0.70	0.32	0.94
		BS規格	0.14		0.28		0.14		0.30	
3列杭	押込	港湾基準	0.16	0.69	0.22	0.95	0.23	0.65	0.24	0.92
		BS規格	0.11		0.21		0.15		0.22	
4列杭	押込	港湾基準	0.19	0.68	0.22	0.95	0.28	0.64	0.25	0.88
		BS規格	0.13		0.21		0.18		0.22	
5列杭	押込	港湾基準	0.30	0.77	0.20	1.00	0.40	0.68	0.25	0.88
		BS規格	0.23		0.20		0.27		0.22	
6列杭	押込	港湾基準	0.40	0.80	0.35	0.94	0.45	0.76	0.33	0.91
		BS規格	0.32		0.33		0.34		0.30	

表-3.13 杭の発生応力の照査結果 (検討ケース PS-C)

	分類	適用基準	地震時(陸→海)		地震時(海→陸)		地震時(陸→海)BSクレーン鉛直地震力考慮		地震時(海→陸)BSクレーン鉛直地震力考慮	
			荷重ケースD-4		荷重ケースD-3		荷重ケースD-4		荷重ケースD-3	
			作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	押込	港湾基準	0.51	0.90	0.72	0.92	0.51	0.94	0.72	0.96
		BS規格	0.46		0.66		0.48		0.69	
2列杭	押込	港湾基準	0.43	0.91	0.63	0.90	0.43	0.91	0.63	0.94
		BS規格	0.39		0.57		0.39		0.59	
3列杭	押込	港湾基準	0.54	0.91	0.57	0.91	0.54	0.91	0.57	0.91
		BS規格	0.49		0.52		0.49		0.52	
4列杭	押込	港湾基準	0.64	0.91	0.62	0.92	0.64	0.92	0.62	0.92
		BS規格	0.58		0.57		0.59		0.57	
5列杭	押込	港湾基準	0.84	0.92	0.65	0.91	0.84	0.94	0.65	0.91
		BS規格	0.77		0.59		0.79		0.59	
6列杭	押込	港湾基準	0.92	0.92	0.78	0.92	0.92	0.96	0.78	0.92
		BS規格	0.85		0.72		0.88		0.72	

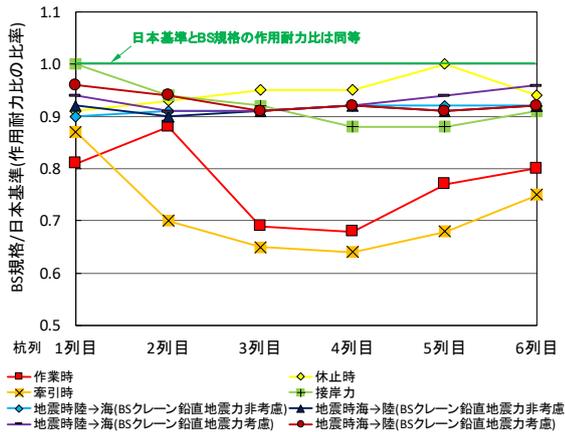


図-3.7 両基準の作用耐力比の比 (クレーンありの場合)

BS 規格の鉛直震度の影響は、表-3.14 に示すように、鉛直震度を考慮する場合と考慮しない場合の作用耐力比は、鉛直震度を考慮しない場合の作用耐力比が小さい結果となる。両ケースの作用耐力比の差は最大で 0.02 の差 (0.71~0.73) となる。鉛直震度を考慮するケースが鉛直震度を考慮しないケースの作用耐力比に相当する断面剛性を得るためには、鋼管杭の肉厚を 1mm (14→15mm) 増厚する必要がある。

表-3.14 BS 規格の作用耐力比 (鉛直震度の影響)

杭列	鉛直震度	上部工荷重 (kN)	上載荷重 (kN)	地震力 (kN)		作用耐力比	
				水平	鉛直	荷重ケースD-4	荷重ケースD-3
						地震時 (陸→海)	地震時 (海→陸)
1列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.46	0.65
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.47	0.66
2列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.39	0.57
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.40	0.58
3列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.49	0.52
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.50	0.53
4列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.58	0.57
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.60	0.58
5列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.77	0.59
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.79	0.61
6列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.85	0.71
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.86	0.73

3.4 杭の支持力照査の比較

3.4.1 比較検討の骨子

(1)概要

本節では、比較検討ケース P 及び PS について支持力照査を行う。検討ケース P では、地震力を考慮しない条件下で日本基準と BS 規格における部分係数の相違のみに着目し、鋼管杭の照査式は日本基準を適用した場合の影響評価を行う。検討ケース PS では、部分係数の影響に加えて地震条件の違いにも着目した評価を行う。

(2)具体的な手順

両基準による比較は、3.3 で示した杭の応力照査と同様、杭の支持力照査に関する作用耐力比を比較することで行う。そして、その結果に基づき杭の断面諸元に及ぼす影響を評価する。

日本基準による作用耐力比は、以下のように求める。まず、3.3.1 で示した方法により、杭頭軸力の特性値を算出する。一方で、杭の押し込み抵抗力の特性値を、式 (2.5) ~ 式 (2.8) に基づき算出する。そして、表-2.18 に示す杭の支持力照査用の部分係数を用いて、式 (2.9) に基づき、軸力の設計用値と杭の押し込み抵抗力の設計用値を除して、作用耐力比を求める。

BS 規格による作用耐力比は、以下のように求める。まず、3.3.1 で示した方法により、杭頭軸力の設計用値を算出する。杭の押し込み抵抗力については、まず日本基準に従い、先端抵抗力の特性値と周面抵抗力の特性値を算出する。その上で、BSEN 規格の計算ガイド⁵⁰⁾に基づき設定した式(2.22)を用いて、杭の押し込み抵抗力の設計用値を算出する。その際、式(2.22)中では、表-2.23 に示す部分係数および 2.6.3(3)に示すモデルファクターを利用する。こうして算出した軸力の設計用値を杭の押し込み抵抗力の設計用値で除することにより、式 (2.9) に基づき作用耐力比を求めることができる。

以上の方法で求めた両基準の作用耐力比を比較することにより、日本基準と BS 規格の部分係数 (モデルファクターを含む) が国の断面諸元 (杭の直径) に及ぼす影響を評価することができる。

3.4.2 杭頭における断面力の算定方法

(1)荷重モデル及び断面力 (検討ケース P 及び PS)

検討ケース P・PS の断面力の算定方法および適用する部分係数 (表-3.7, 表-3.8) は、3.3.2 と同様である。また、各荷重の大きさと発生する杭頭断面力の一例も、図-3.2~図-3.3 と同じである。

3.4.3 作用耐力比の結果及び設計結果への影響

(1)荷重ケース C-1 (大分類 P, 接岸時 (クレーンなし))

ここでは、接岸時 (クレーンなし) の条件を事例として、日本基準と BS 規格によって算出された杭の支持力照査に関する作用耐力比の算出方法と、その結果に基づく杭の断面諸元に及ぼす影響評価方法を示す。

日本基準の場合 (図-3.8 上段), 解析モデルから得られた軸力 ($S_d=1.0 \times S_k$), 日本基準による杭の押込方向抵抗力 ($R_d=1.0 \times R_k$), 作業時・牽引時・接岸時の調整係数 $m=2.50$, 地震時の調整係数 $m=1.50$ から、作用耐力比を算

出する。これらの数値と骨組解析から得られた N_0 を代入すると、図中の上段の最右端に示す照査式が得られる。

一方、BS 規格の部分係数は、栈橋に作用する荷重に部分係数を乗じた断面力を算出しているため、日本基準の式(2.9)における荷重項、抵抗項の部分係数は 1.00 と仮定し、調整係数も 1.0 と仮定する。ただし、杭頭における軸力は日本の 1.15 倍であるため、BS 規格の場合は軸力の設計値として $N_0 \times 1.15$ を代入する。抵抗側部分係数は、荷重側部分係数を大きく(構造物に不利な条件)設定しているため(表-2.21, 表-2.21 の SetB), BS 規格に基づき、杭の先端抵抗力 R_{bk} 及び周面抵抗力 R_{sk} に対する部分係数 (γ_b, γ_s) は 1.0 と設定した(表-2.23 の SetR1)。また、杭の抵抗力の設計用値 R'_d の算出は、BS の計算ガイドに基づき、解析モデルの不確実性を考慮するための係数として model factor(α)を考慮した。ガイドの事例では $\alpha=1.4$ が用いられており、本検討では $\gamma_b = \gamma_s = 1.0$ と設定しているため、日本基準の m に相当する BS の値は 1.61 ($=1.15 \times \alpha$) となる(図-3.8 下段)。日本基準の m は従来の安全率に相当するため、BS 規格の安全率相当値(1.61)は日本基準の常時や接岸時の $m=2.50$ と比べると小さい値となる。

ここで、図-3.8 の上段と下段の最右端の作用耐力比を比較すると、日本基準の作用耐力比は、BS 規格のそれに比して約 1.55 倍 ($=2.5/1.61$) になることがわかる。この条件下では、日本基準の方が安全側の評価であり、杭の直径としても大きなものが必要になる。例えば、BS 規格による杭の直径を 1,000mm と仮定すると、日本基準では直径 1,300mm 程度が必要とされることになる。なお、model factor が 2.2 程度であれば、日本基準と同程度の作用耐力比となる。ただし、この作用耐力比の傾向は、本検討の設計条件下における結果であり、本検討は日本基準と BS 規格の作用耐力比が両基準でどの程度相違があるか把握することを目的とした外形的な比較であるため、日本基準が過度に安全側な傾向になっているとは限らないことに留意されたい。

■日本基準	$m=2.50$	$m \times \frac{S_{d0}}{R_{d0}} \leq 1.0$	\Rightarrow	$2.50 \times \frac{N_0}{R_d} \leq 1.0$
■BS	$m=1.00$	$m \times \frac{S'_d}{R'_d} \leq 1.0$		$R'_d = \left(\frac{R_{bk}}{\gamma_b} + \frac{R_{sk}}{\gamma_s} \right) \times \frac{1}{\alpha}$
		$\frac{1.15 N_0}{R'_d} \leq 1.0$	\Rightarrow	$1.15 \times \frac{N_0}{R'_d} \leq 1.0$

図-3.8 性能照査の比較 (接岸時)

(2)全検討ケースの結果

以下、全検討ケースの結果を示すが、a)クレーンなしの結果を検討ケース P (地震なし、クレーンなし)、検討ケース PS (地震あり、クレーンなし) と称し、b)クレーンありの結果を検討ケース P-C (地震なし、クレーンあり)、検討ケース PS-C (地震あり、クレーンあり) と称す。なお、両基準の作用耐力比の比較は、各杭列の杭径と肉厚は変化させずに、最も厳しい作用耐力比で各杭列の断面諸元が決まることを前提とした両基準の比較を行う。

a)クレーンなしの場合

表-3.15, 表-3.16 にクレーンがない場合の、全ての設計状況(作業時・接岸時・牽引時・地震時(水平震度=0.15))における、両基準による全杭の支持力照査の作用耐力比の結果を示す。また、図-3.9 には、BS 規格と日本基準による作用耐力比の比 (BS 規格/日本基準) を示す。

①検討ケース P (地震なし、クレーンなし)

図-3.9 から読み取れるように、クレーンなしの検討ケース P (作業時、接岸時、牽引時、休止時) については、いずれの設計状況の場合であっても、日本基準の方が安全性の高い断面を要求されることがわかる。また、検討ケース P の中では、両基準ともに接岸時(荷重ケース C-1)の作用耐力比が最も大きく(表-3.13)、接岸時で断面諸元が決まる。接岸時の作用耐力比の比は 0.65 前後であり、この差が両基準による断面諸元の相違になる。この差について、BS 規格の作用耐力比に相当する杭断面積を日本基準で得るためには、鋼管杭 1,000mm の杭径を 1,300mm 相当に変更する必要がある。設計結果の影響は大きいと言える。

②検討ケース PS (地震あり、クレーンなしの場合)

検討ケース PS の地震時の場合には、BS 規格の方がやや大きい作用耐力比となり、安全性が高い断面設定となることがわかる(図-3.9)。①に示す地震なしのケースと逆の結果となっている。これは以下の理由による。

まず、日本基準の地震時と地震時以外の場合の安全率(調整係数)は大きく異なり(作業時・牽引時・接岸時の調整係数 $m=2.50$, 地震時の調整係数 $m=1.50$)、日本基準では地震時の安全率を下げている。一方、BS 規格では、地震時と地震時以外の model factor(α)は、照査式の不確実性を考慮する係数であり、設計状態毎に設定されている係数ではないと判断し、同じ値 ($\alpha=1.4$) としている。このため、地震時の条件下では、日本基準と BS 規格の安全性が同程度になるためである。なお、地震時の作用耐

力比の比は 1.1 前後であり、日本基準において、BS 規格の作用耐力比まで許容されるのであれば、鋼管杭 1,000mm の杭径を 900mm 相当にまで縮小できることになるが、大きな差異ではない。

次に、BS 規格の鉛直震度の影響は、表-3.17 に示すように、鉛直震度を考慮する場合と考慮しない場合の作用耐力比は、鉛直震度を考慮しない場合の作用耐力比が小さい結果となる。両ケースの作用耐力比の差は最大で 0.03 の差 (0.18~0.21) となる。鉛直震度を考慮するケースが鉛直震度を考慮しないケースの作用耐力比に相当する断面剛性を得るためには、杭の直径を 1,000mm と仮定すると、鉛直震度ありのケースでは直径 1,100mm 程度が必要とされることになる。

表-3.15 杭の支持力照査結果 (検討ケース P)

分類	適用基準	作業時		牽引時		接岸時	
		荷重ケースA-1		荷重ケースB-1		荷重ケースC-1	
		作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	港湾基準	0.42	0.74	0.43	0.65	0.39	0.64
	BS規格	0.31		0.28		0.25	
2列杭	港湾基準	0.41	0.76	0.41	0.63	0.41	0.63
	BS規格	0.31		0.26		0.26	
3列杭	港湾基準	0.44	0.75	0.44	0.64	0.44	0.64
	BS規格	0.33		0.28		0.28	
4列杭	港湾基準	0.47	0.77	0.45	0.64	0.46	0.65
	BS規格	0.36		0.29		0.30	
5列杭	港湾基準	0.46	0.76	0.44	0.66	0.45	0.64
	BS規格	0.35		0.29		0.29	
6列杭	港湾基準	0.34	0.74	0.31	0.61	0.39	0.64
	BS規格	0.25		0.19		0.25	

表-3.16 杭の支持力照査結果 (検討ケース PS)

分類	適用基準	地震時(陸→海)		地震時(海→陸)	
		荷重ケースD-2		荷重ケースD-1	
		作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	港湾基準	0.20	0.85	0.14	0.86
	BS規格	0.17		0.12	
2列杭	港湾基準	0.17	0.82	0.17	0.82
	BS規格	0.14		0.14	
3列杭	港湾基準	0.19	0.79	0.18	0.83
	BS規格	0.15		0.15	
4列杭	港湾基準	0.21	0.81	0.18	0.83
	BS規格	0.17		0.15	
5列杭	港湾基準	0.20	0.85	0.17	0.88
	BS規格	0.17		0.15	
6列杭	港湾基準	0.07	0.86	0.21	0.81
	BS規格	0.06		0.17	

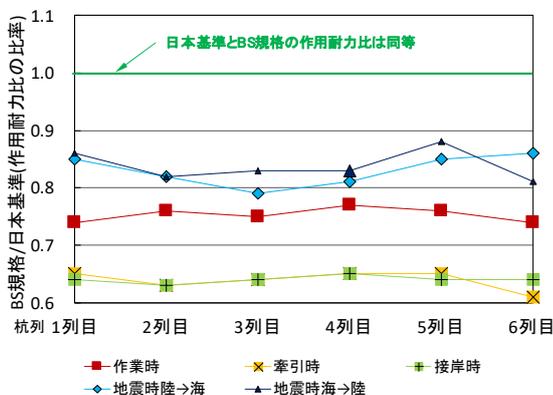


図-3.9 両基準の作用耐力比の比 (クレーンなしの場合)

表-3.17 BS 規格の作用耐力比 (鉛直震度の影響)

杭列	鉛直震度	上部工荷重 (kN)	上載荷重 (kN)	地震力 (kN)		作用耐力比	
				水平	鉛直	荷重ケースD-2	
						地震時(陸→海)	地震時(海→陸)
1列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.18	0.14
	あり	3675.00	1653.75	859.26	399.66	0.20	0.15
2列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.16	0.16
	あり	3675.00	1653.75	859.26	399.66	0.17	0.17
3列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.17	0.17
	あり	3675.00	1653.75	859.26	399.66	0.19	0.18
4列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.19	0.17
	あり	3675.00	1653.75	859.26	399.66	0.22	0.19
5列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.19	0.17
	あり	3675.00	1653.75	859.26	399.66	0.21	0.19
6列杭	なし	3675.00	1653.75	799.31	0.00	0.07	0.18
	あり	3675.00	1653.75	859.26	399.66	0.09	0.21

b) クレーンありの場合

表-3.18, 表-3.19 にクレーンありの場合の、全ての設計状況 (作業時・休止時・接岸時・牽引時・地震時(水平震度=0.15)) における、両基準による全杭の応力照査の作用耐力比の結果を示す。また、図-3.9 には、BS 規格と日本基準による作用耐力比の比 (BS 規格/日本基準) の結果を示す。

① 検討ケース P-C (地震なし, クレーンあり)

図-3.10 に示すとおり、クレーンありの検討ケース P-C (作業時、接岸時、牽引時、休止時) については、いずれの設計状況の場合であっても、日本基準の方が安全性の高い断面を要求されることがわかる。また、検討ケース P-C の中では、両基準ともに接岸時 (荷重ケース C-2) の作用耐力比が最も大きく (表-3.18)、接岸時で断面諸元が決まる。接岸時の作用耐力比の比は 0.7 前後であり、この差が両基準による断面諸元の相違になる。この差について、BS 規格の作用耐力比に相当する杭断面積を日本基準で得るためには、鋼管杭 1,400mm の杭径を 1,700mm 相当に変更する必要がある。設計結果の影響は大きいと言える。なお、両基準間で休止時の作用耐力比の比が 1.00 となるが (図-3.10)、これは、クレーン荷重を杭 1 列目と杭 6 列目に作用させているため、休止時の作用耐力比は両基準で杭 1 列目と杭 6 列目の作用耐力比が大きくなり、杭 3 列目や杭 4 列目の断面力や作用耐力比は小さい。本検討では、この小さな作用耐力比が両基準で同じ結果のため、両基準の作用耐力比は 1.00 となるが、検討ケース P-C では、接岸時 (荷重ケース C-2) で断面諸元が決まるため、断面諸元の決定には影響しない。

② 検討ケース PS-C (地震あり, クレーンあり)

検討ケース PS-C の地震時の場合には、日本基準がやや大きい作用耐力比、または両基準で同等の作用耐力比の

結果となった(図-3.10)。これは、a)②でクレーンなしの検討ケース PS で述べた理由と同じである。すなわち、日本基準の場合では、地震時の照査における杭の支持力照査の安全率を変えて(下げて)いるためである。

次に、地震時の中でも、クレーンの鉛直震度を考慮した場合と考慮しない場合の相違程度を確認する。鉛直震度を考慮しない場合、作用耐力比の比は0.93~1.00程度であった。一方、鉛直震度を考慮すると0.92~1.03程度にな

る。鉛直震度を考慮した場合、両基準間の差が大きくなるものと推定されたが、設計諸元に及ぼす影響は比較的小さいものであった。

BS規格の鉛直震度の影響は、表-3.20 に示すように、鉛直震度を考慮する場合と考慮しない場合の作用耐力比は、鉛直震度を考慮しない場合の作用耐力比が小さい結果となる。両ケースの作用耐力比の差は最大で0.01の差(0.61~0.62)となる。鉛直震度を考慮する場合のケース

表-3.18 杭の支持力照査結果(検討ケース P-C)

	分類	適用基準	作業時		休止時		牽引時		接岸時	
			荷重ケースA-3		荷重ケースA-5		荷重ケースB-2		荷重ケースC-2	
			作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	押込	港湾基準	0.67	0.73	0.42	0.93	0.62	0.72	0.63	0.75
		BS規格	0.49		0.39		0.45		0.47	
2列杭	押込	港湾基準	0.30	0.70	0.17	0.94	0.30	0.70	0.30	0.70
		BS規格	0.21		0.16		0.21		0.21	
3列杭	押込	港湾基準	0.21	0.67	0.09	0.89	0.21	0.67	0.20	0.70
		BS規格	0.14		0.08		0.14		0.14	
4列杭	押込	港湾基準	0.23	0.70	0.09	1.00	0.23	0.70	0.21	0.71
		BS規格	0.16		0.09		0.16		0.15	
5列杭	押込	港湾基準	0.33	0.70	0.20	0.90	0.33	0.70	0.31	0.71
		BS規格	0.23		0.18		0.23		0.22	
6列杭	押込	港湾基準	0.57	0.74	0.58	0.93	0.55	0.75	0.66	0.71
		BS規格	0.42		0.54		0.41		0.47	

表-3.19 杭の支持力照査結果(検討ケース PS-C)

	分類	適用基準	地震時(陸→海)		地震時(海→陸)		地震時(陸→海)BSクレーン鉛直地震力考慮		地震時(海→陸)BSクレーン鉛直地震力考慮	
			荷重ケースD-4		荷重ケースD-3		荷重ケースD-4		荷重ケースD-3	
			作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本	作用耐力比	BS/日本
1列杭	押込	港湾基準	0.57	0.93	0.44	0.93	0.57	1.00	0.44	1.02
		BS規格	0.53		0.41		0.57		0.45	
2列杭	押込	港湾基準	0.18	0.94	0.18	0.94	0.18	0.94	0.18	0.94
		BS規格	0.17		0.17		0.17		0.17	
3列杭	押込	港湾基準	0.09	1.00	0.08	1.00	0.09	0.89	0.08	0.88
		BS規格	0.09		0.08		0.08		0.07	
4列杭	押込	港湾基準	0.12	0.92	0.08	0.88	0.12	0.92	0.08	0.88
		BS規格	0.11		0.07		0.11		0.07	
5列杭	押込	港湾基準	0.24	0.92	0.17	0.94	0.24	0.96	0.17	1.00
		BS規格	0.22		0.16		0.23		0.17	
6列杭	押込	港湾基準	0.40	0.93	0.66	0.94	0.40	1.03	0.66	1.00
		BS規格	0.37		0.62		0.41		0.66	

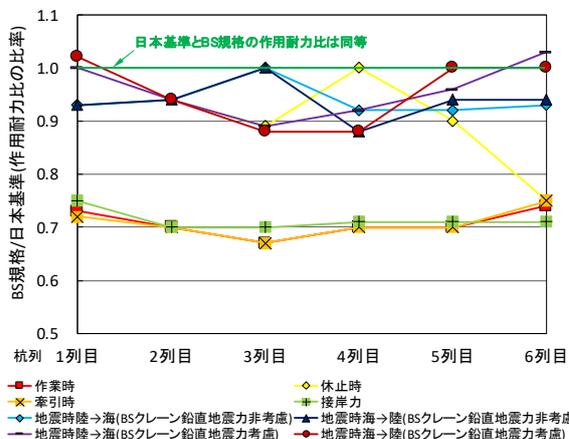


図-3.10 両基準の作用耐力比の比(クレーンあり)

表-3.20 BS規格の作用耐力比(鉛直震度の影響)

杭列	鉛直震度	上部工荷重(kN)	上載荷重(kN)	地震力(kN)		作用耐力比	
				水平	鉛直	荷重ケースD-4地震時(陸→海)	荷重ケースD-3地震時(海→陸)
				1列杭	なし	3675.00	551.25
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.53	0.41
2列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.16	0.16
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.17	0.17
3列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.08	0.07
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.09	0.08
4列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.10	0.06
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.11	0.07
5列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.21	0.15
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.22	0.16
6列杭	なし	3675.00	551.25	633.94	0.00	0.37	0.61
	あり	3675.00	551.25	681.48	316.97	0.37	0.62

が鉛直震度を考慮しないケースの作用耐力比に相当する断面剛性を得るためには、杭の直径を 1,400mm と仮定すると、鉛直震度を考慮する場合のケースでは直径 1,500mm 程度が必要とされることになる。また、クレーンなしの結果 (表-3.17) と比べると、大きく変わらない傾向となる。

4. 日本基準とBS規格による杭の支持力推定式の比較検討

4.1 比較検討の概要

(1) 検討の骨子

本章では、日本基準およびBS規格の両基準を適用した場合の杭の抵抗力 (支持力推定式) を比較する。抵抗力の比較は、部分係数は考慮せず、両基準の杭の抵抗力の特性値を比較する。両基準による杭の抵抗力の特性値の算定方法については、4.2で説明する。

(2) モデル断面

比較検討は、図-4.1 に示すような単純な土層構成の地盤条件を対象に行う。図中に示すとおり、海底面-15m に打設される鋼管杭 (直径 1,000mm, 肉厚 12mm) の抵抗力の特性値を両基準で比較する。その際、杭の基盤層の標高を-30m~-60m (実際の設計条件で想定される一般的な範囲で杭の根入れ長が $3/\beta$ 以上の範囲) まで変化させ、砂質土層、基盤層深度の変化が両基準による杭の抵抗力の相違に及ぼす影響を評価する。杭の抵抗力は、先端抵抗力、周面抵抗力および両者の合計抵抗力を算出して評価するが、先端抵抗力は両基準とも日本基準の先端閉塞率 (50%) を仮定して算出する。また、杭先端の基盤層への根入れ長は、杭直径の 4 倍の長さとした。

地盤条件は 2 層の砂地盤とし、図-4.1 に示すとおり、N 値は 1 層目 $N=10$ 、2 層目 $N=30$ と設定した。また、両条件の砂の水中単位体積重量は BS 規格の支持力推定式は有効上載圧の影響を受けるため、 $7\text{kN/m}^3 \sim 9\text{kN/m}^3$ を仮定した。基盤層については、 $N=50$ の砂地盤を仮定した。なお、基盤層の深度の変化に応じて、砂地盤の層厚も変化させているが、1 層目と 2 層目の層厚比を概ね 2:1 に設定した。

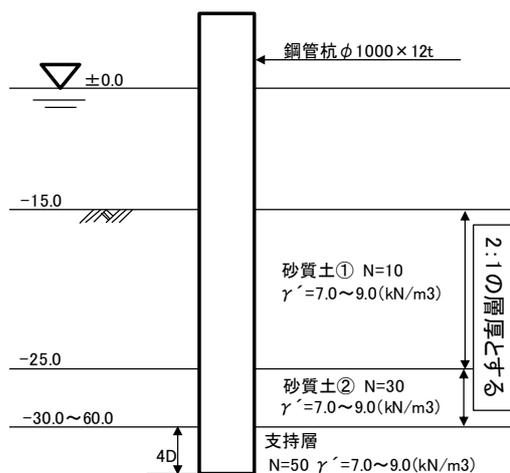


図-4.1 地盤モデル (砂地盤)

4.2 杭の支持力推定値 (特性値) の算定手法

(1) 両基準による支持力式とその相違点

本検討における杭の抵抗力の特性値は、日本基準は式 (4.1) から式 (4.3) (再掲) により算出する。BS規格は式 (4.4) から式 (4.9) により算出する。なお、BS規格の支持力推定式は、第2章2.6で示した式と基本的には同じであるが、抵抗側の部分係数とモデルファクターを考慮しない (両係数を 1.0 とする) 場合に相当する。

$$R_{tk} = R_{pk} + R_{fk} \quad (4.1)$$

$$R_{pk} = 300N A_p \quad (4.2)$$

$$R_{fk} = \sum_i \bar{r}_{fki} A_{si} \quad (4.3)$$

ここに、

R_{tk} : 杭の軸方向押し込み抵抗力の特性値 (kN)

R_{pk} : 杭の先端抵抗力の特性値 (kN)

R_{fk} : 杭の周面抵抗力の特性値 (kN)

A_p : 杭先端の断面積 (m^2)

N : 杭先端付近のN値

\bar{r}_{fki} : 地盤の単位接触面積あたりの平均周面抵抗力 (kN/m^2)

A_{si} : i 層における杭と地盤の接触面積 (m^2)

である。

$$R_{ck} = R_{bk} + R_{sk} \quad (4.4)$$

$$R_{bk} = q_b A_b \quad (4.5)$$

$$R_{sk} = \sum_j q_{s,j} A_{s,j} \quad (4.6)$$

$$q_b = N_q \sigma'_{v,b} \quad (4.7)$$

$$q_{s,j} = K_{s,j} \tan \delta_j \sigma'_{v,j} \quad (4.8)$$

ここに、

- R_{ck} : characteristic value of the compressive resistance of a pile (kN)
(杭の軸方向押し込み抵抗力の特性値)
- R_{bk} : characteristic value of the base resistance of a pile (kN) (杭の先端抵抗力の特性値)
- R_{sk} : characteristic value of the shaft resistance of a pile (kN) (杭の周面抵抗力の特性値)
- q_b : is the vertical effective stress at the pile base (kN) (杭先端における極限支持力)
- A_p : base area under pile (m²) (杭先端の断面積)
- $q_{s,j}$: characteristic value of unit shaft resistance in stratum j (kN/m²) (j層の杭における単位面積当たりの周面抵抗の特性値)
- $A_{s,j}$: pile shaft surface area in layer j (m²) (j層における杭と地盤の接触面積)
- N_q : is a bearing pressure coefficient that depends on the soil's constant-volume angle of shearing resistance, ϕ_{cv} ; the soil's density index, I_D ; and the vertical effective stress at the pile base (土の等体積せん断抵抗角 ϕ_{cv} , 土の相対密度指標 I_D , および杭先端における鉛直有効応力, に依存する支持力係数)
- $\sigma'_{v,b}$: is the vertical effective stress at the pile base (kN/m²) (杭先端の鉛直有効応力)
- $K_{s,j}$: is an earth pressure coefficient (for layer j) against the pile shaft (j層の杭周面の土圧係数)
- δ_j : is the angle of interface (also known as wall friction between the pile and layer j (壁面摩擦角)
- $\sigma'_{v,j}$: is the average vertical effective stress acting in the soil in layer j. (j層での平均鉛直有効応力)

である。

表-4.1に両基準の支持力照査式を簡潔に整理した一覧表を示す(表-2.24の再掲). 両基準で大きく異なるのは、先端抵抗力の考え方である。日本基準では、 N 値(砂質土地盤)やせん断強度(粘性土地盤)から先端抵抗力を算定するが、杭先端部での有効応力(有効上載圧)は考慮しない。一方、BS規格では、杭先端部の支持力係数と有効応力(有効上載圧)を考慮する。

表-4.1 日本基準と BS 規格の支持力推定式

土質の種類	抵抗力	日本基準	BS 規格
砂質土地盤	先端抵抗	300N	$N_{qs} \sigma'_{v0}$
	周面抵抗	2N	$K_s \sigma'_{v0} \tan \delta$

(2)BS規格による支持力推定式に入力する地盤パラメータの設定方法

1) 概要

(1)に示したBS規格による抵抗力算出には、支持力係数

やせん断抵抗角を設定する必要がある。本検討では、これらの係数やせん断抵抗角を、菊池らによる方法⁵⁴⁾を利用して、 N 値(日本基準で設定)から設定することとした。

図-4.2に地盤パラメータ(砂地盤の N 値)を、日本基準とBS規格でどのように利用しているかの関係図を示す。日本基準では地盤パラメータをそのまま推定式に適用することができる。一方、BS規格では、上述した地盤パラメータから支持力係数 N_{qs} を設定する必要がある。また、その他にも、杭周辺の土圧係数 K_s (砂地盤の場合)を設定する必要がある。以下、これらの係数の設定方法について詳述する。

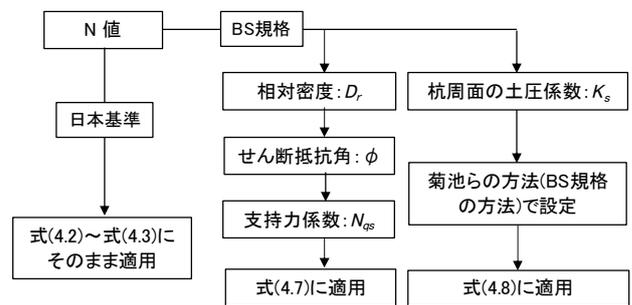


図-4.2 地盤パラメータと式への適用

2)日本基準によるせん断抵抗角の推定方法

せん断抵抗角より支持力係数を設定する方法は菊池らによる方法で示されているとおり、様々な研究者によって提案されており、その提案内容によって数値が多少異なる。本検討の両基準における支持力係数の設定は、日本基準⁵⁵⁾で示されている土のせん断抵抗角と支持力係数の関係から設定する(図-4.3)。

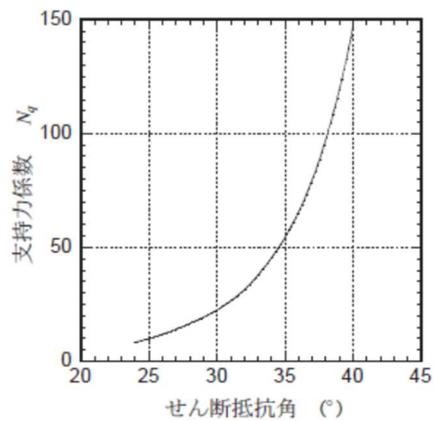


図-4.3 せん断抵抗角と支持力係数の関係⁵⁵⁾

ここで、日本基準における N 値、相対密度、せん断抵抗角および有効上載圧の関係について述べる。式(4.10)は、

相対密度と N 値・有効上載圧との関係を示している⁵⁶⁾。本式は、同じ深度の地盤(有効上載圧が同じ)であれば、 N 値が大きくなるにつれて、相対密度 D_r も大きくなる関係にあることを示している。また、同じ N 値であっても、有効上載圧が小さければ(浅い深度)、相対密度は大きい値となることを示している。

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{100N}{\sigma'_{vo} + 70}} \quad (4.9)$$

$$\phi = 25 + 0.15 D_r \quad (4.10)$$

ここに、

D_r : 相対密度

N : 標準貫入試験の N 値

σ'_{vo} : 有効応力(有効土被り圧) (kN/m²)

ϕ : 砂のせん断抵抗角(°)

である。

次に、相対密度とせん断抵抗角の関係を式(4.11)に示す。一般的に、砂地盤の相対密度が大きくなると、間隙比は小さくなり、より密な締まった地盤となるため、せん断抵抗角も大きくなる。本式は、その関係を表している。すなわち、相対密度が大きくなると、せん断抵抗角もそれに伴い直線的に大きくなる関係にあることを示している。

以上に示した日本基準における関係のうち、「相対密度が大きくなると、せん断抵抗角も大きくなる」という関係は、BS 規格でも同じ考え方に基づいた関係式が構築されている(以下、3)で詳述)。ただし、海外では、 N 値ではなく、コーン試験により地盤パラメータを設定することが多いと推察され、 N 値と相対密度とを関係づける一般的な式が少ない。このため、以下 3)の BS 規格に基づくせん断抵抗角の設定の際にも、日本基準による N 値と相対密度の関係式(式(4.10))はそのまま用いることとしている。

3)BS 規格によるせん断抵抗角の推定方法

BS 規格では、式(4.12)から式(4.15)を用いて砂地盤のせん断抵抗角を推定する。

$$\phi' = \phi'_{cv} + 3 I_R \quad (4.11)$$

$$I_R = I_D (5.4 - \ln(p'/p_a)) - 1 \quad (p' > 150 \text{ kPa の場合}) \quad (4.12)$$

$$I_R = 5 I_D - 1 \quad (p' < 150 \text{ kPa の場合}) \quad (4.13)$$

$$p' = \sqrt{Nq} \sigma'_{vo} \quad (4.14)$$

ここに、

ϕ' : 砂のせん断抵抗角(°)

ϕ'_{cv} : 限界状態のせん断抵抗角(°)

I_R : 修正相対密度

I_D : 補正前の相対密度

p' : 平均応力

p_a : 基準圧力(大気圧) (100kPa)

σ'_{vo} : 有効応力(有効土被り圧) (kN/m²)

Nq : 支持力係数

である。

菊池らの方法によると、 N 値から式(4.10)を用いて推定した相対密度を、式(4.13)または式(4.14)における I_D (補正前の相対密度)に代入することになる。なお、式(4.10)を基に D_r を算出する際に、浅い根入れ深度において有効上載圧が小さいが支持層は N 値 50 と設定することにより、相対密度が 100 を超えてしまう場合があるため、本検討における D_r の最大は 100 とする。

次に、式(4.12)を用いて、砂のせん断抵抗角 ϕ' を推定する。式(4.12)は、日本基準による式(4.11)と類似しており、一定のせん断抵抗角(限界状態のせん断抵抗角 ϕ'_{cv})に修正相対密度に比例したせん断抵抗角の増分を加算することで、砂のせん断抵抗角 ϕ' を求めることができる。なお、本検討では、式(4.12)の限界状態のせん断抵抗角は、菊池らの方法に記載の 32° 以上 ($\phi' \geq \phi'_{cv} = 32^\circ$) とした。この限界状態のせん断抵抗角の設定は、BS 規格⁵⁷⁾に記載されている ϕ'_{cv} の設定に基づいた考え方であり(表-4.2)、同表より本検討では、丸みを帯びた土の形状として $\phi'_{ang} = 0^\circ$ 、 C は $2 \leq C < 6$ として $\phi'_{PSD} = 2^\circ$ と仮定し、式(4.16)より $\phi'_{cv} = 32^\circ$ と設定した。以上のように、BS 規格の場合には上述した手順で推定した砂のせん断抵抗角 ϕ' を用いて、図-4.3 から支持力係数を設定する。なお、式(4.12)、式(4.13)より設定したせん断抵抗角 ϕ' を用いて支持力係数を算出する(図-4.3)が、式(4.13)の式の中に支持力係数が含まれるため、式(4.12)のせん断抵抗角 ϕ' は繰り返し計算を行う。

$$\phi'_{cv} = 30^\circ + \phi'_{ang} + \phi'_{PSD} \quad (4.15)$$

ここに、

ϕ'_{cv} : critical state effective angle of shearing resistance (°) (限界状態のせん断抵抗角)

ϕ'_{ang} : contribution to ϕ'_{cv} from the angularity of the

particles (°)
 (φ'cvに寄与する土の粒子角度)
 φ'PSD : contribution to φ'cv from the soil's particle size distribution. (°) (φ'cvに寄与する土の粒度分布からの角度)

表-4.2 φ'ang, φ'PSDの値⁵⁷⁾

Soil property	Determined from	Classification	Parameter ^(D)
Angularity of particles ^(A)	Visual description of soil	Rounded to well-rounded Sub-angular to sub-rounded Very angular to angular	φ'ang = 0° φ'ang = 2° φ'ang = 4°
Uniformity coefficient, Cu ^(B)	Soil grading	Cu < 2 (evenly graded) 2 ≤ Cu < 6 (evenly graded) Cu ≥ 6 (medium to multi graded) High Cu (gap graded), with Cu of fines < 2 ^(E) High Cu (gap graded), with 2 ≤ Cu of fines < 6 ^(E)	φ'PSD = 0° φ'PSD = 2° φ'PSD = 4° φ'PSD = 0° φ'PSD = 2°
Density index, I _D ^(C)	Standard penetration test blow count, corrected for energy rating and overburden pressure (N _{1,60})	I _D = 0% I _D = 25% I _D = 50% I _D = 75% I _D = 100%	φ'dil = 0° φ'dil = 0° φ'dil = 3° φ'dil = 6° φ'dil = 9°

4)その他 BS 規格の支持力推定式に必要な係数の設定
 BS 規格の支持力推定式について、周面抵抗力算定に式(4.8)を用いる。その際に、杭周辺の土圧係数 K_s (砂地盤の場合)を設定する必要がある。本検討では BS 規格⁵⁸⁾に記載されている K_s の設定方法を用いる(表-4.3)、開端杭の鋼管杭は同表より広範囲の置換砂における K_s (1.0~1.2)の80%を設定するため、本検討における K_s は0.8と設定した。

表-4.3 K_s の設定方法⁵⁸⁾

Pile type		Soil type	Typical coefficient, K _s ^{(A), (B)}
Large displacement	Precast concrete (solid)	(all)	1.0-1.2
	Closed-ended tubular steel		
	Timber		
Small displacement	H-section steel bearing piles Open-ended tubular steel Helical steel	(all)	80% of large displacement value

5)地盤パラメータの設定一覧 (BS 規格)
 上述した各種係数の設定方法を基に整理した一覧表を表-4.4~表-4.6に示す。同表の各種係数より、両基準を適用した場合の杭の抵抗力を4.3で比較する。

表-4.4 地盤パラメータ (γ'=7.00kN/m³)

	標高 (m)	水中単位体積重量 (kN/m ³)	上載圧 (kN/m ²)	相対密度 D _r	せん断抵抗角 φ (度)	支持力係数 N _a
			Σ P' _{v0}			
砂質土地盤	-20.00	7.00	35.0	—	—	—
	-25.00	7.00	70.0	—	—	—
	-34.00	7.00	133.0	100	37.612	89.0000
	-39.00	7.00	168.0	96	36.823	75.9203
	-44.00	7.00	203.0	90	36.027	65.2613
	-49.00	7.00	238.0	85	35.380	58.0745
	-54.00	7.00	273.0	80	34.797	52.4655
	-59.00	7.00	308.0	76	34.326	48.3582
	-64.00	7.00	343.0	73	33.951	45.2922

表-4.5 地盤パラメータ (γ'=8.00kN/m³)

	標高 (m)	水中単位体積重量 (kN/m ³)	上載圧 (kN/m ²)	相対密度 D _r	せん断抵抗角 φ (度)	支持力係数 N _a
			Σ P' _{v0}			
砂質土地盤	-20.00	8.00	40.0	—	—	—
	-25.00	8.00	80.0	—	—	—
	-34.00	8.00	152.0	100	37.305	83.5828
	-39.00	8.00	192.0	92	36.274	68.3263
	-44.00	8.00	232.0	85	35.433	58.6226
	-49.00	8.00	272.0	80	34.805	52.5317
	-54.00	8.00	312.0	76	34.301	48.1525
	-59.00	8.00	352.0	72	33.848	44.4625
	-64.00	8.00	392.0	69	33.490	41.6506

表-4.6 地盤パラメータ (γ'=9.00kN/m³)

	標高 (m)	水中単位体積重量 (kN/m ³)	上載圧 (kN/m ²)	相対密度 D _r	せん断抵抗角 φ (度)	支持力係数 N _a
			Σ P' _{v0}			
砂質土地盤	-20.00	9.00	45.0	—	—	—
	-25.00	9.00	90.0	—	—	—
	-34.00	9.00	171.0	96	36.783	75.3317
	-39.00	9.00	216.0	88	35.770	62.2588
	-44.00	9.00	261.0	82	35.008	54.4144
	-49.00	9.00	306.0	77	34.396	48.9559
	-54.00	9.00	351.0	72	33.853	44.5035
	-59.00	9.00	396.0	69	33.473	41.5132
	-64.00	9.00	441.0	66	33.131	38.8471

4.3 比較検討結果

砂質土地盤モデルを基に、両基準の杭の抵抗力を整理したものを図-4.4~図-4.6に示す。

(1)先端抵抗力

先端抵抗力の結果を図-4.4に示す。同図より、標高が-50m~(深度35m)付近までは日本基準の抵抗力が大きい先端抵抗力となるが、杭の根入れ深度が深くなるにつれて BS 規格の抵抗力が大きくなる。これは、BS 規格では、地盤の有効上載圧の影響を受けるため、杭の根入れ深度が深くなれば先端抵抗力が増加するためである。その一方で、日本基準の先端抵抗力は N 値より算出することから、支持層と評価した N 値 50 以深の先端抵抗力は深度方向に増加しないためである。また、単位体積重量が 9kN/m³ の場合は、標高が-50m~(深度35m)が両基準の先端抵抗力は同等となる。単位体積重量が 7kN/m³ の場合は、標高が-60m~(深度45m)が両基準の先端抵抗力は同等となり、単位体積重量が 9kN/m³ の場合と比べると 10m の差がある。このことから、単位体積重量の影響(有効上載圧の影響)が大きいことが把握できる。

(2)周面抵抗力

周面抵抗力の結果を図-4.5に示す。本図より、標高が-37.5m(深度22.5m)付近までは日本基準の抵抗力が大きい、杭の根入れ深度が深くなるにつれて、BS 規格の抵抗力が大きくなり、さらにその差が拡大していることが

わかる。これは、日本基準でも深度が深くなるにつれて、周面摩擦力を発揮する杭長が長くなるため周面抵抗力（合力）も大きくなるが、BS規格の場合には、それに加えて有効上載圧の影響による周面抵抗力の増加が見込めるためである。杭の根入れ深度が深くなるほど、有効上載圧が大きくなり、式(4.7)における q_s （杭の単位面積あたり周面抵抗の特性値）が増大するためである。また、杭の先端抵抗力と同様に単位体積重量の影響（有効上載圧の影響）が大きいことが把握できる。

(3) 抵抗力の合計（先端抵抗力+周面抵抗力）

両基準の抵抗力合計を図-4.6に示す。図より、標高が-40m（深度25m）付近までは日本基準の抵抗力が大きいが、深度が深くなるにつれてBS規格の抵抗力が大きくなる。 (1), (2)の結果において、BS規格の先端抵抗力、周面抵抗力は、地盤の有効上載圧の影響を受けるため、杭の根入れ深度が深くなればBS規格の抵抗力が増加するためである。

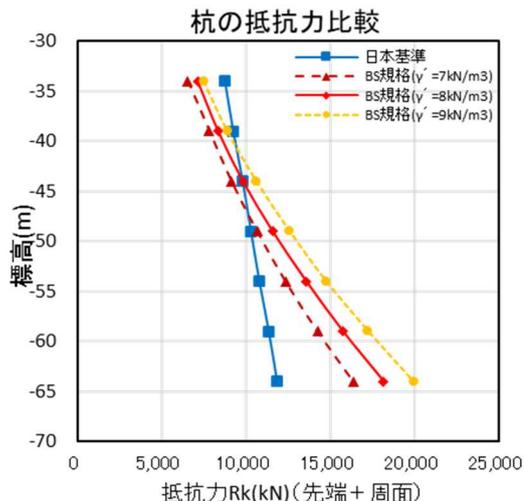


図-4.6 杭の抵抗力（先端抵抗力+周面抵抗力）

(4) まとめ

比較検討の結果、本検討の条件下では、基盤層の標高が-40m（深度25m）付近までは日本基準の抵抗力が大きく、それ以深では逆にBS規格の抵抗力が大きくなる結果であった。これは、BS規格では、地盤の有効上載圧の増加に伴う杭の先端抵抗力と周面抵抗力の増加を見込んでおり、日本基準では有効上載圧の効果は考慮していないためである。また、BS規格は土の単位体積重量の設定で（有効上載圧の影響）で抵抗力が大きく変わることが把握できた。上述した内容より、両基準の支持力推定式を適用にするにあたり、地盤の物性値の設定や、杭の根入れ深度によっては、抵抗力が異なることに留意して両基準の支持力推定式を適用しなければならない。

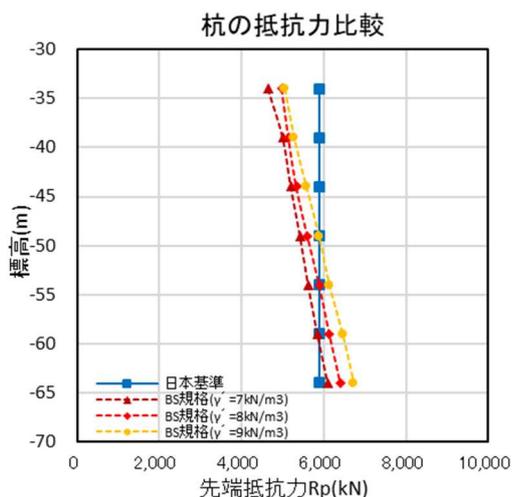


図-4.4 杭の先端抵抗力

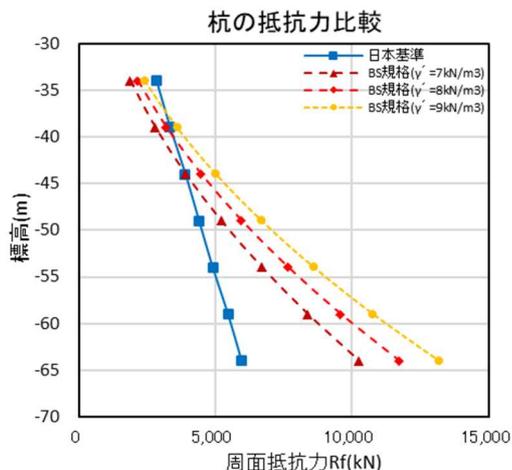


図-4.5 杭の周面抵抗力

5. おわりに

本研究では、鋼管杭を利用した直杭式横棧橋の基本設計を対象として、日本基準とBS規格の両基準による設計条件のうち、設計への影響が大きいと考えられる項目に絞り、日本基準とBS規格により比較検討を行い、その設計結果（鋼管杭の断面諸元）より日本基準とBS規格の違いを定量的に把握した。また、日本基準とBS規格による杭の押し込み抵抗力の推定式に関して、両者の相違点を調べた。本研究の結果として得られた結論は、以下のとおりである。

(1)設計条件

棧橋設計の比較検討に先立ち、両基準による設計条件の特徴や相違点について体系的な整理を行った（表-2.25）。その結果、以下の3つの条件に関する設定や考え方において、大きな相違があることが分かった。

- ・一つ目は、地震条件である。水平震度の設定方法（再現期間の設定、日本基準では時刻歴波形の利用すること等）が異なることに加え、日本基準では鉛直震度を考慮していないが、BS規格では鉛直震度を考慮している点が全く異なる。
- ・二つ目は、性能照査式（フォーマット）、部分係数、荷重組合せの考え方である。日本基準の場合は、特性値を利用して作用側の応答値（断面力等）と抵抗側の特性値を先に計算し、最後に部分係数を乗じて安全余裕が付与される。一方、BS規格では、全ての荷重に対して先に荷重係数（作用側の部分係数）と必要に応じて荷重組合せ係数（荷重組合せ効果を考慮するための係数）を乗じて算出される作用側の設計用値の合計を計算し、抵抗側も抵抗のソースごとに抵抗係数（抵抗側の部分係数）と性能照査式の不確実性を表すモデルファクターで除した設計用値の合計を計算し、前者が後者を下回ることを確認をもって安全余裕が付与される。
- ・三つ目は、杭の支持力式（杭の押し込み抵抗力の特性値の評価式）である。日本基準とBS規格（BSEN規格）とでは、その考え方が大きく異なる。日本基準では、杭の先端抵抗力や周面抵抗力の評価に有効上載圧の影響は考慮しないが、BS規格では考慮している。

(2)杭の応力と支持力の照査

次に、両基準における地震条件（鉛直震度を考慮するケース・考慮しないケース）および部分係数・荷重組合せ、応力照査式のみ相違に着目し、直杭式横棧橋の杭

の応力照査と支持力照査を行い、設計結果の比較を行った。応力照査式は両基準を適用し、支持力の照査式は日本基準を採用した結果、以下の知見が得られた。

- ・杭の応力照査の結果（作用耐力比で評価）に基づく、日本基準の方がやや高い安全性を課す断面設定になるが、その差は小さい。今回の検討条件下で、日本基準でBS規格の作用耐力比に対応する杭の断面剛性を得ることを想定すると、鋼管杭（クレーンなし：直径1,000mm・肉厚12mm、クレーンあり：直径1,400mm・肉厚14mm）の肉厚を1mm～3mm増厚する程度の差に相当する。
- ・杭の支持力照査の結果（作用耐力比で評価）に基づく、地震時以外の条件では日本基準の方が高い安全性を課す断面設定になるが、今回の検討条件下で、日本基準でBS規格の作用耐力比に対応する杭の支持力を得ることを想定すると、鋼管杭（クレーンなし：直径1,000mm、クレーンあり：直径1,400mm）の直径を300mm程度拡大する程度の差に相当する。

一方で、地震時の条件では、両基準で作用耐力比の差がなく、概ね同じ断面設定となった。これは、日本基準の地震時における押し込み杭の支持力照査の調整係数（安全率）は、地震時以外と比べて小さく設定しているが（地震時：1.50、地震時以外：2.50）、BS規格は、本検討における全ての荷重ケースで同じ係数を設定しているためである（model factor $\alpha=1.4$ ）。

BS規格の鉛直震度の影響について、鉛直震度を考慮する場合と考慮しない場合の作用耐力比は、鉛直震度を考慮しない場合の作用耐力比が若干小さい結果となるが、大きな作用耐力比の差ではない結果となった。なお、重力式構造の場合は、構造物本体や上部工の重量が地震力として作用するため、鉛直震度の影響は大きいと想定されることから、上述した結論は適用外であるため注意を要する。

(3)杭の支持力推定式

日本基準およびBS規格の両基準を適用した場合の杭の抵抗力（支持力推定式）の特性値の比較を行った。検討条件は、砂地盤（海底面-15m）に打設される鋼管杭（直径1,000mm）とし、杭の基盤層の標高を-30m～-60mまで変化させて杭の抵抗力を比較した。

その結果、先端抵抗力、周面抵抗力の合計は、基盤層の標高が-45m（深度30m）付近までは日本基準の抵抗力が大きく、それ以深では逆にBS規格の抵抗力が大きくなる結果であった。これは、BS規格では、地盤の有効上載圧の増加にともなう杭の先端抵抗力と周面抵抗力の増加

を見込んでおり、日本基準では有効上載圧の効果は考慮していないためである。

(4)今後の課題

本研究は、日本基準、BS規格の基準をベースとした比較検討を行った。しかしながら、基準には詳細な設定方法が記載されていない条件もあり、比較検討を実施した結果、設計条件によっては実務設計の情報が不足している。そのため、実際にBS規格を利用する各国の基準の具体的な運用状況を把握する必要がある。

また、本研究で整理・検討した中で、更なる検討が必要と考えられる項目としては以下である。

一つ目は地震力の設定方法である。両基準は、水平震度の算定方法や再現期間が異なるが、比較検討における水平震度は共通した条件とした。このことから、BS規格に記載の水平震度の設定方法を日本の港湾で用いた場合にどの程度の相違があるかなど検討が必要と考えられる。

二つ目は、接岸力や牽引力の設定方法である。本検討では、接岸力、牽引力の算定方法はグループBとして比較検討において共通の条件として設定したが、詳細な設定方法は両基準で異なる。接岸力では、接岸速度の設定方法が異なり、牽引力は、BS規格では、複数の牽引力の算定方法が掲載されている。

三つ目は杭の支持力推定式や支持力照査方法の更なる検討である。本検討で両基準の支持力推定式の整理や両基準を適用した抵抗力の特性値の比較を実施した。その結果、両基準で式の考え方が異なり、杭の根入れ深度で結果が異なるため、支持力推定式や照査に用いる部分係数の適用、杭の先端閉塞率の考え方について運用状況を把握する必要がある。

四つ目は、その他構造形式の検討である。本研究は直杭式横棧橋を対象に、比較検討を実施したので、矢板式係船岸や、重力式係船岸などその他構造物に対して、両基準の設計結果がどのように相違があるか検討する必要がある。

上記内容を今後検討することで、中長期の観点で日本基準の国際展開に繋がると考えられる。本稿で海外の港湾プロジェクトにおいて、今後の日本基準の部分的な運用も踏まえた基礎資料として本論文を活用していただければ幸いである。

(2020年6月11日受付)

謝辞

本稿をとりまとめるにあたり、本論文の執筆や内容に

対して、港湾施設研究室の交流研究員である錦織勇人氏、住岡直樹氏、日本港湾コンサルタントの山本良氏、沿岸技術研究センターの秋山齊氏に貴重なご意見をいただきました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (公社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 2) (公社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2018.
- 3) BS6349-1: Code of practice for general criteria,2000.
BS6349-1-1: General-Code of practice for planning and design for operations,2013.
BS6349-1-2: General-Code of practice for assessment of actions,2016.
BS6349-1-3: General-Code of practice for geotechnical design,2012.
BS6349-1-4: General-Code of practice for materials,2013.
BS6349-2: Code of practice for the design of quay walls, jetties and dolphins, 2010.
BS6349-3: Design of dry docks, locks, slipways and shipbuilding berths, shiplifts and dock and lock gates, 1988.
BS6349-3: Code of practice for the design of shipyards and sea locks, 2013.
BS6349-4: Code of practice for design of fendering and mooring systems, 1994.
BS6349-4: Code of practice for design of fendering and mooring systems, 2014.
- 4) 森屋陽一・松本英雄・田邊俊郎・山本修司：港湾の技術基準とEurocodesの比較研究，国土技術政策総合研究所資料，No.7，2001.
- 5) 宮田正史・中野敏彦・原田卓三・山本康太・浅井茂樹：港湾分野における技術基準類の国際展開方策に関する検討～港湾設計基準のベトナム国家基準への反映に向けた取り組みを事例として～，国土技術政策総合研究所資料，No.769，2013.
- 6) BS EN1998-1: Eurocode8: Design of structures for earthquake resistance, p.29,2004.
- 7) BS EN1990: Eurocode-Basis of structural design, 2002.
BS EN1991-1-1: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions-Densities, self-weight, imposed loads for buildings, 2002.
BS EN1992: Eurocode 2: Design of concrete structures,

2004.
 BS EN1993: Eurocode 3: Design of steel structures, 2005.
 BS EN1997: Eurocode 7: Geotechnical design, 2004.
 BS EN1998: Eurocode8: Design of structures for earthquake resistance, 2004.
- 8) 2)と同じ, pp.108~121.
 9) 3) BS6349-1と同じ, p.4.
 10) 佐藤 敏, 熊谷 武:日本沿岸のLowest Astronomical Tide について, 海洋情報部研究報告第54号, 2017
 11) 2)と同じ, pp.95~105, pp.436~440.
 12) 3) BS6349-1-1と同じ, pp.25~26.
 13) 2)と同じ, pp.300~345.
 14) 3) BS6349-1と同じ, pp.145~159.
 15) 3) BS6349-1-3と同じ, pp.53~62.
 16) 7) BS EN1997と同じ, BS EN1997-1,pp.23~35.
 17) 2)と同じ, pp.363~399.
 18) 7) BS EN1998と同じ, BS EN1998-5,pp.28~30.
 19) 2)と同じ, p.1059.
 20) 3) BS6349-1-1と同じ, pp.55~56.
 21) 3) BS6349-2と同じ, p.9.
 22) 2)と同じ, p.1059.
 23) 3) BS6349-2と同じ, p.9.
 24) 2)と同じ, pp.418~425.
 25) 3) BS6349-1と同じ, pp.33~41.
 26) 2)と同じ, pp.448~464.
 27) 3) BS6349-1-2と同じ, pp.77~81.
 28) 2)と同じ, pp.454~456.
 29) 宮田正史・竹信正寛・菅野高弘・長尾毅・小濱英司・渡部昌治:耐震強化施設としてのコンテナクレーンの耐震性能照査手法に関する研究(その1) 国土技術政策総合研究所資料, No.455, 2008.
 30) 3) BS6349-1と同じ, pp.130~132.
 31) 2)と同じ, pp.430~440.
 32) 村上和康, 竹信正寛, 宮田正史, 米山治男:船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析, 国土技術政策総合研究所資料, No.864, 2015.
 33) 3) BS6349-4と同じ, pp.18~23.
 34) 2)と同じ, pp.440~443.
 35) 米山治男:係船柱に作用する船舶の牽引力に関する検討:港湾空港技術研究所資料No.1341, 2018.
 36) 3) BS6349-4, 1994と同じ, pp.36~44.
 37) 3) BS6349-4, 2014と同じ, pp.32~46.
 38) 2)と同じ, pp.39~41.
 39) 7) BS EN1990と同じ, p.28.
 40) 2)と同じ, p.447.
 41) 7) BS EN1991と同じ, BS EN1991-1,p.32,p.36.
 42) 2)と同じ, p.471.
 43) 3) BS6349-1-4と同じ, pp.26~30
 44) BS5950-1: Structural use of steel work in building,2000, pp.82~89.
 45) 2)と同じ, pp.693~700, pp.1210~1215.
 46) (一財)沿岸技術研究センター:港湾構造物設計事例集, 2018.
 47) 3) BS6349-1-2と同じ, pp.15~30.
 48) 7) BS EN1992と同じ, BS EN1992-1,pp.24.
 49) 44)と同じ, pp.82~89.
 50) 7) BS EN1997と同じ, BS EN1997-1,pp.74~90.
 51) BS8004: Code of practice for foundations, 2015, pp.46~87.
 52) 7) BS EN1997と同じ, BS EN1997-1,p.132.
 53) A Designers' Simple Guide to BS EN 1997, 2007,p.77
 54) 菊池 喜昭・兵動 太一:東南アジア地域における杭基礎への鋼管杭導入に関する研究, 第23回土木鋼構造研究シンポジウム資料, 2019.
 55) 1)と同じ, pp.590~593.
 56) 2)と同じ, pp.816.
 57) 51)と同じ, pp.15~17.
 58) 51)と同じ, pp.52~53.

付録A 比較検討の照査

1. はじめに

付録Aでは、本稿で比較検討した直杭式横棧橋の性能照査を示す。また、日本基準、BS規格を適用した性能照査例を1ケース示し、その他の性能照査結果は照査結果のみ示す (2.6に示す)。付録Aに示す検討ケースは付表-A.1に示すとおりである。検討ケースのうち、牽引時 (検討ケースB-1) の性能照査例を代表して示す。

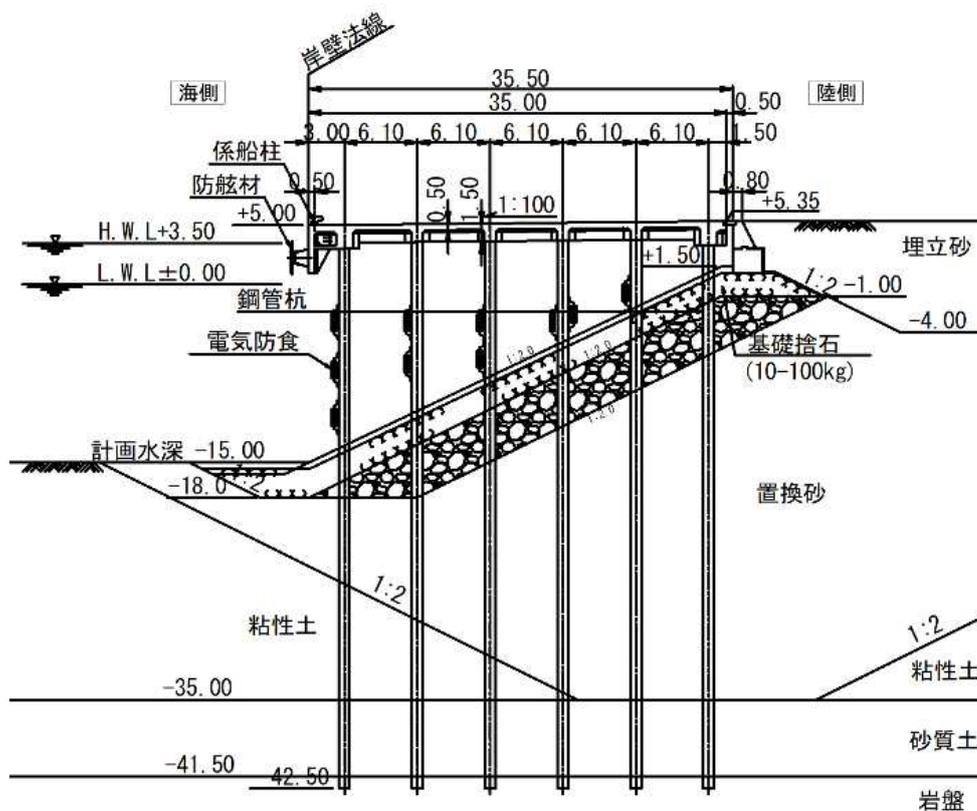
付表-A.1 検討ケース

No.	作用荷重		荷重ケース											
			載荷重による						船舶の作用による				レベル1地震動による	
			作業時 (クレーン)		休止時(暴風時) (クレーン)				牽引時		接岸時		地震時	
			比較検討の分類											
			P-JP、P-BS										PS-JP-K0.15 PS-BS-K0.15	
			A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2
1	上部工自重		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	クレーン なし	上載荷重 30kN/m ²	○			○			○		○	○		
3	クレーン あり	上載荷重 10kN/m ²		○	○		○	○		○			○	○
4	クレーン荷重 (作業時 海側最大)				○				○					
5	クレーン荷重 (作業時 陸側最大)			○							○			
6	クレーン荷重 (休止時 海側最大)						○							
7	クレーン荷重 (休止時 陸側最大)						○							
8	クレーン荷重 (地震時 海側最大)													○
9	クレーン荷重 (地震時 陸側最大)												○	
10	牽引力							○	○					
11	接岸力(防舷材反力)									○	○			
12	地震時慣性力 (陸→海)											○		○
13	地震時慣性力 (海→陸)										○		○	

2. 牽引時の性能照査例

2.1 検討断面モデル

付図-A.1に比較検討の断面モデル図を示す。検討モデルは、近年の船舶の大型化など大水深の岸壁需要が高いことから、水深-15mの幅35m (1ブロック長L=25.0m) の棧橋構造を設定した。また、本検討では、クレーンなしの鋼管杭の杭径を直径1,000mm、クレーンありの鋼管杭の杭径を直径1,400mmで固定して検討する。なお、両基準の作用耐力比の結果は、各杭列の杭径と肉厚は変化させずに、最も厳しい作用耐力比で各杭列の断面諸元が決まることを前提とした両基準の比較を行う。



付図-A.1 検討断面モデル

2.2 設計条件

付表-A.2, 付表-A.3に設計条件一覧表を示す(本編の設計条件の再掲)。

付表-A.2 設計条件一覧表(1)

分類		設計条件			
自然条件	設計潮位	H.W.L.+3.50m, M.W.L.+2.00m L.W.L. ±0.00m			
	土質条件	地盤	標高(m)	N値	粘性土(粘着力) kN/m ³
		置換砂	-4.0m~ -35.0m	10	—
		粘性土		—	C=20+2Z (Z=0 at-4.0m) Z: 粘着力の一次係数(深度)
		砂質土	-35.0m~ -42.0m	30	—
		岩盤	-42.0m	50	—
地震力	kh=0.15				
利用条件	計画水深	D.L.-15.0m			
	天端高	D.L.+5.0m			

付表-A.3 設計条件一覧表 (2)

分類		設計条件																																										
利用条件	上載荷重 (両基準共通)	②クレーンなし 作業時 30kN/m ² , 休止時 15kN/m ² , 牽引時 30kN/m ² , 接岸時 30kN/m ² , 地震時 15kN/m ² ②クレーンあり: 作業時 10kN/m ² , 休止時 5kN/m ² , 牽引時 10kN/m ² , 接岸時 10kN/m ² , 地震時 5kN/m ² (付表-1.1 参照)																																										
	対象船舶	コンテナ船 60,000DWT(日本基準より設定) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>載荷重量トン数 DWT (トン)</th> <th>パースの長さ (m)</th> <th>パースの深さ (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10,000</td><td>170</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>20,000</td><td>220</td><td>11.0</td></tr> <tr><td>23,000</td><td>230</td><td>12.0</td></tr> <tr><td>27,000</td><td>240</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>30,000</td><td>250</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>40,000</td><td>290</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>50,000</td><td>330</td><td>14.0</td></tr> <tr style="border: 2px solid red;"><td>60,000</td><td>350</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>100,000</td><td>410</td><td>16.0</td></tr> <tr><td>140,000</td><td>440</td><td>17.0</td></tr> <tr><td>165,000</td><td>470</td><td>18.0</td></tr> <tr><td>185,000</td><td>500</td><td>18.0</td></tr> <tr><td>200,000</td><td>500</td><td>18.0</td></tr> </tbody> </table>	載荷重量トン数 DWT (トン)	パースの長さ (m)	パースの深さ (m)	10,000	170	9.0	20,000	220	11.0	23,000	230	12.0	27,000	240	13.0	30,000	250	13.0	40,000	290	13.0	50,000	330	14.0	60,000	350	15.0	100,000	410	16.0	140,000	440	17.0	165,000	470	18.0	185,000	500	18.0	200,000	500	18.0
	載荷重量トン数 DWT (トン)	パースの長さ (m)	パースの深さ (m)																																									
	10,000	170	9.0																																									
	20,000	220	11.0																																									
	23,000	230	12.0																																									
27,000	240	13.0																																										
30,000	250	13.0																																										
40,000	290	13.0																																										
50,000	330	14.0																																										
60,000	350	15.0																																										
100,000	410	16.0																																										
140,000	440	17.0																																										
165,000	470	18.0																																										
185,000	500	18.0																																										
200,000	500	18.0																																										
接岸力	防舷材: 1150H (受衝版付防舷材) (棧橋 1 ブロックあたり 2 箇所防舷材設置) 接岸速度: 0.10m/s 接岸エネルギー: 防舷材 1 箇所あたり 350kN・m 棧橋 1 ブロック 700kN・m 接岸力 (防舷材反力) 400kN/列																																											
牽引力	係船柱 1000kN 型 (1 ブロックに 1 箇所) 棧橋 1 ブロックあたり牽引力: 1000kN																																											
クレーン荷重 (特性値)	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>作用</th> <th>方向</th> <th>特性値 (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">鉛直力</td> <td rowspan="2">作業時 風速16m/s</td> <td rowspan="2"></td> <td>海側</td> <td>2316.9</td> </tr> <tr> <td>陸側</td> <td>1842.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">暴風時 風速55m/s</td> <td rowspan="2"></td> <td>海側</td> <td>2901.3</td> </tr> <tr> <td>陸側</td> <td>3358.4</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">地震時 (設計震度0.20)</td> <td rowspan="2"></td> <td>海側</td> <td>3451.3</td> </tr> <tr> <td>陸側</td> <td>3293.1</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">水平力</td> <td rowspan="2">作業時 風速16m/s</td> <td rowspan="2"></td> <td>海側</td> <td>115.8</td> </tr> <tr> <td>陸側</td> <td>92.1</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">暴風時 風速55m/s</td> <td rowspan="2"></td> <td>海側</td> <td>290.1</td> </tr> <tr> <td>陸側</td> <td>335.8</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">地震時 (設計震度0.20)</td> <td rowspan="2"></td> <td>海側</td> <td>690.3</td> </tr> <tr> <td>陸側</td> <td>658.6</td> </tr> </tbody> </table>			作用	方向	特性値 (kN)	鉛直力	作業時 風速16m/s		海側	2316.9	陸側	1842.5	暴風時 風速55m/s		海側	2901.3	陸側	3358.4	地震時 (設計震度0.20)		海側	3451.3	陸側	3293.1	水平力	作業時 風速16m/s		海側	115.8	陸側	92.1	暴風時 風速55m/s		海側	290.1	陸側	335.8	地震時 (設計震度0.20)		海側	690.3	陸側	658.6
		作用	方向	特性値 (kN)																																								
鉛直力	作業時 風速16m/s		海側	2316.9																																								
			陸側	1842.5																																								
	暴風時 風速55m/s		海側	2901.3																																								
			陸側	3358.4																																								
地震時 (設計震度0.20)		海側	3451.3																																									
		陸側	3293.1																																									
水平力	作業時 風速16m/s		海側	115.8																																								
			陸側	92.1																																								
	暴風時 風速55m/s		海側	290.1																																								
			陸側	335.8																																								
地震時 (設計震度0.20)		海側	690.3																																									
		陸側	658.6																																									
設計供用期間	50 年																																											
材料条件	単位体積重量	鋼及び鋳鋼: 77.0kN/m ³ 鉄筋コンクリート: 24.0kN/m ³																																										
	鋼管杭	本編第 2 章の表-2.15, 表-2.16 を用いる																																										

2.3 設計荷重の計算

2.3.1 部分係数・荷重の組合せ

日本基準の場合は、全ての荷重の特性値をそのまま利用し（骨組解析に投入し）、杭頭における発生断面力の特性値を計算し、それに荷重側の部分係数を乗じて発生断面力の設計用値を求める。一方で、抵抗側については、同様に全ての設計因子について特性値を用いて抵抗側の特性値（鋼材の降伏応力度）を計算し、それに抵抗側の部分係数を乗じて抵抗側の設計用値を求める。一方、BS規格では、荷重の特性値にあらかじめ荷重側の部分係数（荷重の組合せ係数も含む）を乗じた設計用値を、骨組解析に投入し、杭頭における発生断面力や発生応力度の設計用値を求めることになる。

付表-A.4に検討ケースPの荷重側の部分係数の一覧表を示す。表中の上段は荷重側のBS規格の部分係数を示しており、表中の下段は、日本基準の部分係数を示す。同表に示すとおり、BS規格は荷重の特性値にあらかじめ荷重側の部分係数（荷重の組合せ係数も含む）を乗じた設計用値を、骨組解析に投入する。本参考資料で示す牽引時は同表の検討ケースB-1になる。

付表-A.4 検討ケースPの部分係数(荷重係数)一覧表

No.	作用荷重	荷重ケース									
		載荷重による					船舶の作用による				
		作業時 (クレーン)			休止時(暴風時) (クレーン)		牽引時			接岸時	
		比較検討の分類									
		P-JP、P-BS									
A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	C-1	C-2		
1	上部工自重	1.35 (1.00)			1.00 (1.00)		1.35 (1.00)		1.35 (1.00)		
2	クレーン 上載荷重 30kN/m ²	1.35 (1.00)					1.35×"0.75" (1.00)		1.35×"0.75" (1.00)		
3	なし 上載荷重 15kN/m ²				1.00 (1.00)						
4	クレーン 上載荷重 10kN/m ²		1.35×"0.75" (1.00)					1.35×"0.75" (1.00)		1.35×"0.75" (1.00)	
5	あり 上載荷重 5kN/m ²				1.00 (1.00)	1.00 (1.00)					
6	クレーン荷重 (作業時 海側最大)			1.35×"0.75"※1 (1.00)				1.35×"0.75"※1 (1.00)			
7	クレーン荷重 (作業時 陸側最大)		1.35×"0.75"※1 (1.00)							1.35×"0.75"※1 (1.00)	
8	クレーン荷重 (休止時 海側最大)					1.00 (1.00)					
9	クレーン荷重 (休止時 陸側最大)				1.00 (1.00)						
10	牽引力						1.35 (1.00)	1.35×"0.75" (1.00)			
11	接岸力(防舷材反力)								1.35 (1.00)	1.35×"0.75" (1.00)	

※表中の上段はBS規格の部分係数、"''"内の数字は組み合わせ係数ψ

※表中の下段は日本基準の部分係数となるが、日本基準の棧橋に作用させる荷重は特性値を作用させるため1.00となる

※1:BS規格のクレーン荷重の部分係数は鉛直荷重を主要な荷重として1.35、水平荷重を1.35×"0.75"とする

2.3.2 日本基準の設計荷重

(1) 上部工荷重

上部工荷重はm²あたり20kN/m²とする。

$$\begin{aligned} (20 \times 35) \times 5.25 &= 3675.00 \text{ (kN)} \\ &= 105.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

(2) 上載荷重

$$\begin{aligned} (30 \times 35) \times 5.25 &= 5512.50 \text{ (kN)} \\ &= 157.50 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

(3) 牽引力

曲柱1000kN型は、1ブロック長25.0mの中央に取付けるものとし杭5列で均等に受けるものとする。

$$H = \frac{1000}{5} = 200.00 \text{ (kN/列)}$$

2.3.3 BS規格の設計荷重

(1) 荷重の組合せ式

牽引時の設計荷重の設定は、式(2.1)示す荷重の組合せ式（荷重側の設計用値の算出式）を用いる。なお、部分係数、組合せ係数は、付表-2.3の検討ケースB-1になる。

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.1)$$

ここに、

G_k : characteristic value of permanent action (kN)

(永続荷重の特性値)

$Q_{k,1}$: characteristic value of the leading variable action (kN) (主たる変動荷重の特性値)

$Q_{k,i}$: characteristic value of the accompanying variable action i (kN) (従たる変動荷重の特性値)

γ_G : partial factor for permanent action in calculating design values (永続荷重の荷重係数)

$\gamma_{Q,1}$: partial factor for the leading variable action

(主たる変動荷重に関する荷重係数)

$\gamma_{Q,i}$: partial factor for variable action i

(従たる変動荷重に関する荷重係数)

$\psi_{0,i}$: factor for the combination value of a specific variable action i (変動荷重の組合せ係数)

である。

(2) 上部工荷重

① 上部工荷重の特性値

上部工荷重はm²あたり20kN/m²とする。

$$\begin{aligned} (20 \times 35) \times 5.25 &= 3675.00 \text{ (kN)} \\ &= 105.00 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

② 上部工荷重の設計用値

$$\gamma_G = 1.35$$

$$\begin{aligned} 3675.00 \times 1.35 &= 4961.25 \text{ (kN)} \\ &= 141.75 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

(3) 上載荷重

① 上載荷重の特性値

$$\begin{aligned} (30 \times 35) \times 5.25 &= 5512.50 \text{ (kN)} \\ &= 157.50 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

② 上載荷重の設計用値

$$\gamma_Q = 1.35, \quad \psi = 0.75$$

・牽引時、接岸時

$$\begin{aligned} 5512.50 \times 1.35 \times 0.75 &= 5581.41 \text{ (kN)} \\ &= 159.47 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

(4) 牽引力

曲柱1000kN型は、1ブロック長25.0mの中央に取付けるものとし杭5列で均等に受けるものとした

① 牽引力の特性値

$$H = \frac{1000}{5} = 200.0 \text{ (kN/列)}$$

② 牽引力の設計値

$$\gamma_Q = 1.50$$

$$H = 200.0 \times 1.50 = 300.0 \text{ (kN/列)}$$

2.4 部材の断面性能及び地盤のバネ定数

2.4.1 部材の断面性能

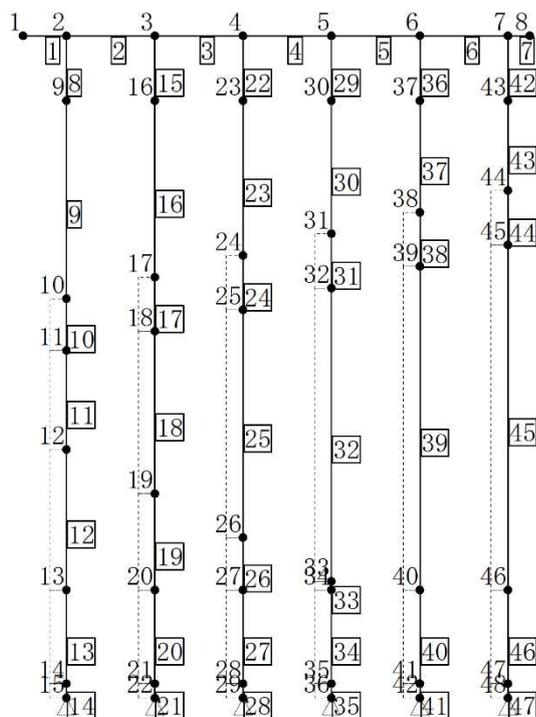
付表-A.5 に鋼管杭の断面性能を示す. 防食対策が施されるものと設定し, 腐食量は0.00とした. また, 海水中の腐食速度は日本基準に基づき 0.15mm/y と設定するが, 電気防食が施されるもの設定し防食効率 90%を見込む腐食量を設定した. 土中部の腐食速度は日本基準に基づき 0.03mm/y と設定した.

付表-A.5 鋼管杭の断面性能

杭列	区間	腐食量	断面積 A	断面二次 モーメント I	断面係数 Z	回転半径 r
		(mm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm)
1列杭 φ1000 × 12t	杭頭部	0.00	372.5	454.544	9,090	34.9
	海水中	0.75	348.9	425.158	8,520	34.9
	土中部	0.15	367.8	448.656	8,980	34.9
2列杭 φ1000 × 12t	杭頭部	0.00	372.5	454.544	9,090	34.9
	海水中	0.75	348.9	425.158	8,520	34.9
	土中部	0.15	367.8	448.656	8,980	34.9
3列杭 φ1000 × 12t	杭頭部	0.00	372.5	454.544	9,090	34.9
	海水中	0.75	348.9	425.158	8,520	34.9
	土中部	0.15	367.8	448.656	8,980	34.9
4列杭 φ1000 × 12t	杭頭部	0.00	372.5	454.544	9,090	34.9
	海水中	0.75	348.9	425.158	8,520	34.9
	土中部	0.15	367.8	448.656	8,980	34.9
5列杭 φ1000 × 12t	杭頭部	0.00	372.5	454.544	9,090	34.9
	海水中	0.75	348.9	425.158	8,520	34.9
	土中部	0.15	367.8	448.656	8,980	34.9
6列杭 φ1000 × 12t	杭頭部	0.00	372.5	454.544	9,090	34.9
	海水中	0.75	348.9	425.158	8,520	34.9
	土中部	0.15	367.8	448.656	8,980	34.9

2.3.1 解析モデル及び地盤のバネ定数

付図-A.2 に解析モデルを示し, 付表-A.6, 付表-A.7 に部材の節点座標とバネ定数を示す.



付図-A.2 解析モデル

付表-A.6 部材の節点座標

番号	節点座標		番号	節点座標	
	x座標	y座標		x座標	y座標
1	0.000	3.500	25	15.200	-15.534
2	3.000	3.500	26	15.200	-31.350
3	9.100	3.500	27	15.200	-35.000
4	15.200	3.500	28	15.200	-41.500
5	21.300	3.500	29	15.200	-42.500
6	27.400	3.500	30	21.300	-1.000
7	33.500	3.500	31	21.300	-10.250
8	35.000	3.500	32	21.300	-14.024
9	3.000	-1.000	33	21.300	-34.400
10	3.000	-14.760	34	21.300	-35.000
11	3.000	-18.354	35	21.300	-41.500
12	3.000	-25.250	36	21.300	-42.500
13	3.000	-35.000	37	27.400	-1.000
14	3.000	-41.500	38	27.400	-8.750
15	3.000	-42.500	39	27.400	-12.524
16	9.100	-1.000	40	27.400	-35.000
17	9.100	-13.260	41	27.400	-41.500
18	9.100	-17.034	42	27.400	-42.500
19	9.100	-28.300	43	33.500	-1.000
20	9.100	-35.000	44	33.500	-7.250
21	9.100	-41.500	45	33.500	-11.024
22	9.100	-42.500	46	33.500	-35.000
23	15.200	-1.000	47	33.500	-41.500
24	15.200	-11.760	48	33.500	-42.500

付表-A.7 地盤の横方向地盤反力係数

部材番号	N値	Kh	杭径D	Es
	(回)	(kN/m ³)	(m)	(kN/m ²)
10	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
11	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
12	6.00	9.00E+03	1.00	9.00E+03
13	30.00	4.50E+04	1.00	4.50E+04
14	50.00	7.50E+04	1.00	7.50E+04
17	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
18	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
19	6.00	9.00E+03	1.00	9.00E+03
20	30.00	4.50E+04	1.00	4.50E+04
21	50.00	7.50E+04	1.00	7.50E+04
24	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
25	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
26	6.00	9.00E+03	1.00	9.00E+03
27	30.00	4.50E+04	1.00	4.50E+04
28	50.00	7.50E+04	1.00	7.50E+04
31	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
32	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
33	6.00	9.00E+03	1.00	9.00E+03
34	30.00	4.50E+04	1.00	4.50E+04
35	50.00	7.50E+04	1.00	7.50E+04
38	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
39	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
40	30.00	4.50E+04	1.00	4.50E+04
41	50.00	7.50E+04	1.00	7.50E+04
44	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
45	10.00	1.50E+04	1.00	1.50E+04
46	30.00	4.50E+04	1.00	4.50E+04
47	50.00	7.50E+04	1.00	7.50E+04

2.5 部材の断面力算定結果及び照査結果

付表-A.8 に牽引時（検討ケース B-1）の杭の応力照査結果を示し、付表-A.9 に杭の支持力照査結果を示す。

付表-A.8 断面力及び杭の応力照査結果（牽引時（検討ケース B-1））

	単位	牽引時(検討ケースB-1)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5
断面係数Z	(cm ³)	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0
軸力N	(kN)	1682.0	1945.1	1564.6	1795.9	1603.3	1841.2	1651.4	1901.3	1593.7	1835.0	1092.6	1224.5
曲げモーメントM	(kN・m)	165.0	254.0	249.5	365.2	298.1	434.9	343.5	503.1	352.3	530.0	277.0	454.7
σ_{ck}	(N/mm ²)	45.2	52.2	42.0	48.2	43.0	49.4	44.3	51.0	42.8	49.3	29.3	32.9
σ_{bck}	(N/mm ²)	18.2	27.9	27.4	40.2	32.8	47.8	37.8	55.3	38.8	58.3	30.5	50.0
σ_{byk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{byk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.683	0.683	0.711	0.711	0.740	0.740	0.769	0.769	0.797	0.797	0.826	0.826
S_k	(N/mm ²)	84.4	104.3	86.5	108.0	90.9	114.6	95.4	121.6	92.5	120.2	66.0	89.8
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	84.4	104.3	86.5	108.0	90.9	114.6	95.4	121.6	92.5	120.2	66.0	89.8
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00
$m \times S_d$		140.95	104.30	144.46	108.00	151.80	114.60	159.32	121.60	154.48	120.20	110.22	89.80
作用耐力比		0.44	0.33	0.45	0.34	0.48	0.36	0.50	0.38	0.49	0.38	0.34	0.28
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部

付表-A.9 断面力及び杭の支持力照査結果（牽引時（検討ケース B-1））

	分類	適用基準	牽引時(検討ケースB-1)									
			S _k (kN)	R _k (kN)	γ _s	γ _R	S _d (kN)	R _d (kN)	調整係数m	m×S _d	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	1,682.0	9,720.8	1.00	1.00	1682.0	9720.7	2.50	4,205.0	0.43	OK
		BS	1,945.1	9,720.8	1.00	1.00	1945.1	9720.7	1.40	2,723.1	0.28	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,564.6	9,377.1	1.00	1.00	1564.6	9377.1	2.50	3,911.5	0.41	OK
		BS	1,795.9	9,377.1	1.00	1.00	1795.9	9377.1	1.40	2,514.3	0.26	OK
3列杭	押込	港湾基準	1,603.3	8,977.3	1.00	1.00	1603.3	8977.3	2.50	4,008.3	0.44	OK
		BS	1,841.2	8,977.3	1.00	1.00	1841.2	8977.3	1.40	2,577.7	0.28	OK
4列杭	押込	港湾基準	1,651.4	8,518.1	1.00	1.00	1651.4	8518.0	2.50	4,128.5	0.48	OK
		BS	1,901.3	8,518.1	1.00	1.00	1901.3	8518.0	1.40	2,661.8	0.31	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,593.7	8,496.7	1.00	1.00	1593.7	8496.7	2.50	3,984.3	0.46	OK
		BS	1,835.0	8,496.7	1.00	1.00	1835.0	8496.7	1.40	2,569.0	0.30	OK
6列杭	押込	港湾基準	1,092.6	8,591.0	1.00	1.00	1092.6	8590.9	2.50	2,731.5	0.31	OK
		BS	1,224.5	8,591.0	1.00	1.00	1224.5	8590.9	1.40	1,714.3	0.19	OK

2.6 牽引時以外の照査結果

付表-A.10 杭の応力照査結果（作業時（検討ケース A-1））

	単位	作業時(検討ケースA-1)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	367.8	367.8	372.5	367.8
断面係数Z	(cm ³)	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	8980.0	8980.0	9090.0	9090.0
軸力N	(kN)	1639.4	2213.3	1563.4	2110.7	1599.2	2159.0	1633.7	2205.6	1576.2	2127.9	1175.6	1587.1
曲げモーメントM	(kN・m)	18.3	24.8	25.6	34.6	46.8	34.5	46.7	14.2	19.1	11.2	15.0	15.0
σ _{ck}	(N/mm ²)	44.0	59.4	42.0	56.7	42.9	58.0	43.9	59.2	42.9	57.9	31.6	43.2
σ _{ack}	(N/mm ²)	2.0	2.7	2.8	2.8	3.8	5.1	3.8	5.1	1.6	2.1	12.2	16.5
σ _{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ _{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.683	0.683	0.711	0.711	0.740	0.740	0.769	0.769	0.797	0.797	0.826	0.826
S _k	(N/mm ²)	66.4	89.7	61.9	82.5	61.8	83.5	60.9	82.1	55.4	74.7	50.5	68.8
R _k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ _s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ _R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S _d	(N/mm ²)	66.4	89.7	61.9	82.5	61.8	83.5	60.9	82.1	55.4	74.7	50.5	68.8
R _d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00
m×S _d		110.89	89.70	103.37	82.50	103.21	83.50	101.70	82.10	92.52	74.70	84.34	68.80
作用耐力比		0.35	0.28	0.32	0.26	0.32	0.26	0.32	0.26	0.29	0.23	0.26	0.21
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	土中部	土中部	杭頭部	杭頭部

付表-A.11 杭の支持力照査結果（作業時（検討ケース A-1））

	分類	適用基準	作業時(検討ケースA-1)									
			S _k (kN)	R _k (kN)	γ _s	γ _R	S _d (kN)	R _d (kN)	調整係数m	m×S _d	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	1,639.4	9,720.8	1.00	1.00	1639.4	9720.7	2.50	4,098.5	0.42	OK
		BS	2,213.3	9,720.8	1.00	1.00	2213.3	9720.7	1.40	3,098.6	0.31	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,563.4	9,377.1	1.00	1.00	1563.4	9377.1	2.50	3,908.5	0.41	OK
		BS	2,110.7	9,377.1	1.00	1.00	2110.7	9377.1	1.40	2,955.0	0.31	OK
3列杭	押込	港湾基準	1,599.2	8,977.3	1.00	1.00	1599.2	8977.3	2.50	3,998.0	0.44	OK
		BS	2,159.0	8,977.3	1.00	1.00	2159.0	8977.3	1.40	3,022.6	0.33	OK
4列杭	押込	港湾基準	1,633.7	8,518.1	1.00	1.00	1633.7	8518.0	2.50	4,084.3	0.47	OK
		BS	2,205.6	8,518.1	1.00	1.00	2205.6	8518.0	1.40	3,087.8	0.36	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,576.2	8,496.7	1.00	1.00	1576.2	8496.7	2.50	3,940.5	0.46	OK
		BS	2,127.9	8,496.7	1.00	1.00	2127.9	8496.7	1.40	2,979.1	0.35	OK
6列杭	押込	港湾基準	1,175.6	8,591.0	1.00	1.00	1175.6	8590.9	2.50	2,939.0	0.34	OK
		BS	1,587.1	8,591.0	1.00	1.00	1587.1	8590.9	1.40	2,221.9	0.25	OK

付表-A.12 杭の応力照査結果 (接岸時 (検討ケース C-1))

	単位	接岸時(検討ケースC-1)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5
断面係数Z	(cm ³)	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0
軸力N	(kN)	1554.4	1785.6	1561.1	1791.4	1591.2	1826.1	1598.3	1834.8	1541.2	1769.3	1341.7	1535.8
曲げモーメントM	(kN・m)	384.9	433.5	422.1	474.2	492.2	552.9	583.4	655.6	716.4	806.1	887.6	1001.0
σ_{ck}	(N/mm ²)	41.7	47.9	41.9	48.1	42.7	49.0	42.9	49.3	41.4	47.5	36.0	41.2
σ_{bck}	(N/mm ²)	42.3	47.7	46.4	52.2	54.1	60.8	64.2	72.1	78.8	88.7	97.6	110.1
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.683	0.683	0.711	0.711	0.740	0.740	0.769	0.769	0.797	0.797	0.826	0.826
S_k	(N/mm ²)	103.4	117.8	105.3	119.9	111.8	127.0	120.0	136.2	130.7	148.3	141.2	160.0
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00
γ_R		1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00
S_d	(N/mm ²)	133.3	117.8	135.8	119.9	144.2	127.0	154.8	136.2	168.6	148.3	182.1	160.0
R_d	(N/mm ²)	318	315	318	315	318	315	318	315	318	315	318	315
調整係数m		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$m \times S_d$		133.30	117.80	135.80	119.90	144.20	127.00	154.80	136.20	168.60	148.30	182.10	160.00
作用耐力比		0.41	0.37	0.42	0.38	0.45	0.40	0.48	0.43	0.52	0.47	0.57	0.50
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部

付表-A.13 杭の支持力照査結果 (接岸時 (検討ケース C-1))

	分類	適用基準	接岸時(検討ケースC-1)									
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	$m \times S_d$	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	1,554.4	9,720.8	1.00	1.00	1554.4	9720.7	2.50	3,886.0	0.39	OK
		BS	1,785.6	9,720.8	1.00	1.00	1785.6	9720.7	1.40	2,499.8	0.25	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,561.1	9,377.1	1.00	1.00	1561.1	9377.1	2.50	3,902.8	0.41	OK
		BS	1,791.4	9,377.1	1.00	1.00	1791.4	9377.1	1.40	2,508.0	0.26	OK
3列杭	押込	港湾基準	1,591.2	8,977.3	1.00	1.00	1591.2	8977.3	2.50	3,978.0	0.44	OK
		BS	1,826.1	8,977.3	1.00	1.00	1826.1	8977.3	1.40	2,556.5	0.28	OK
4列杭	押込	港湾基準	1,598.3	8,518.1	1.00	1.00	1598.3	8518.0	2.50	3,995.8	0.46	OK
		BS	1,834.8	8,518.1	1.00	1.00	1834.8	8518.0	1.40	2,568.7	0.30	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,541.2	8,496.7	1.00	1.00	1541.2	8496.7	2.50	3,853.0	0.45	OK
		BS	1,769.3	8,496.7	1.00	1.00	1769.3	8496.7	1.40	2,477.0	0.29	OK
6列杭	押込	港湾基準	1,341.7	8,591.0	1.00	1.00	1341.7	8590.9	2.50	3,354.3	0.39	OK
		BS	1,535.8	8,591.0	1.00	1.00	1535.8	8590.9	1.40	2,150.1	0.25	OK

付表-A.14 杭の応力照査結果（地震時（検討ケース D-1））

	単位	地震時(検討ケースD-1)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5
断面係数Z	(cm ³)	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0
軸力N	(kN)	942.5	1114.8	1088.6	1253.0	1100.0	1268.1	1058.1	1229.9	1018.9	1184.6	1223.4	1347.0
曲げモーメントM	(kN・m)	896.9	898.9	1061.7	1059.0	1246.2	1242.6	1466.1	1462.5	1721.2	1721.6	1950.2	1961.9
σ_{ck}	(N/mm ²)	25.3	29.9	29.2	33.6	29.5	34.0	28.4	33.0	27.4	31.8	32.8	36.2
σ_{bck}	(N/mm ²)	98.7	98.9	116.8	116.5	137.1	136.7	161.3	160.9	189.4	189.4	214.5	215.8
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.683	0.683	0.711	0.711	0.740	0.740	0.769	0.769	0.797	0.797	0.826	0.826
S _k	(N/mm ²)	135.7	142.7	157.9	163.8	177.0	182.6	198.2	203.8	223.8	229.3	254.2	259.6
R _k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S _d	(N/mm ²)	135.7	142.7	157.9	163.8	177.0	182.6	198.2	203.8	223.8	229.3	254.2	259.6
R _d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00
作用耐力比		0.48	0.45	0.56	0.52	0.62	0.57	0.70	0.64	0.79	0.72	0.90	0.82
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部

付表-A.15 杭の支持力照査結果（地震時（検討ケース D-1））

	分類	適用基準	地震時(検討ケースD-1)								
			S _k (kN)	R _k (kN)	γ_s	γ_R	S _d (kN)	R _d (kN)	調整係数m	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	942.5	9,720.8	1.00	1.00	942.5	9720.7	1.50	0.14	OK
		BS	1,114.8	9,720.8	1.00	1.00	1114.8	9720.7	1.40	0.16	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,088.6	9,377.1	1.00	1.00	1088.6	9377.1	1.50	0.17	OK
		BS	1,253.0	9,377.1	1.00	1.00	1253.0	9377.1	1.40	0.18	OK
3列杭	押込	港湾基準	1,100.0	8,977.3	1.00	1.00	1100.0	8977.3	1.50	0.18	OK
		BS	1,268.1	8,977.3	1.00	1.00	1268.1	8977.3	1.40	0.19	OK
4列杭	押込	港湾基準	1,058.1	8,518.1	1.00	1.00	1058.1	8518.0	1.50	0.18	OK
		BS	1,229.9	8,518.1	1.00	1.00	1229.9	8518.0	1.40	0.20	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,018.9	8,496.7	1.00	1.00	1018.9	8496.7	1.50	0.17	OK
		BS	1,184.6	8,496.7	1.00	1.00	1184.6	8496.7	1.40	0.19	OK
6列杭	押込	港湾基準	1,223.4	8,591.0	1.00	1.00	1223.4	8590.9	1.50	0.21	OK
		BS	1,347.0	8,591.0	1.00	1.00	1347.0	8590.9	1.40	0.21	OK

付表-A. 16 杭の応力照査結果 (地震時 (検討ケース D-2))

	単位	地震時 (検討ケース D-2)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5	372.5
断面係数Z	(cm ³)	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0	9090.0
軸力N	(kN)	1351.7	1524.0	1100.2	1264.9	1139.6	1307.7	1229.9	1401.7	1188.6	1354.3	421.2	544.9
曲げモーメントM	(kN・m)	865.7	863.8	1093.0	1095.7	1291.8	1295.4	1514.1	1517.7	1718.4	1718.1	1801.3	1789.7
σ_{ok}	(N/mm ²)	36.3	40.9	29.5	34.0	30.6	35.1	33.0	37.6	31.9	36.4	11.3	14.6
σ_{bk}	(N/mm ²)	95.2	95.0	120.2	120.5	142.1	142.5	166.6	167.0	189.0	189.0	198.2	196.9
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.683	0.683	0.711	0.711	0.740	0.740	0.769	0.769	0.797	0.797	0.826	0.826
S_k	(N/mm ²)	148.3	154.9	161.7	168.3	183.5	189.9	209.5	215.9	229.0	234.7	211.9	214.6
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	148.3	154.9	161.7	168.3	183.5	189.9	209.5	215.9	229.0	234.7	211.9	214.6
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00
作用耐力比		0.52	0.49	0.57	0.53	0.65	0.60	0.74	0.68	0.81	0.74	0.75	0.68
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部

付表-A. 17 杭の支持力照査結果 (地震時 (検討ケース D-2))

	分類	適用基準	地震時 (検討ケース D-2)								
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	1,351.7	9,720.8	1.00	1.00	1351.7	9720.7	1.50	0.20	OK
		BS	1,524.0	9,720.8	1.00	1.00	1524.0	9720.7	1.40	0.21	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,100.2	9,377.1	1.00	1.00	1100.2	9377.1	1.50	0.17	OK
		BS	1,264.9	9,377.1	1.00	1.00	1264.9	9377.1	1.40	0.18	OK
3列杭	押込	港湾基準	1,139.6	8,977.3	1.00	1.00	1139.6	8977.3	1.50	0.19	OK
		BS	1,307.7	8,977.3	1.00	1.00	1307.7	8977.3	1.40	0.20	OK
4列杭	押込	港湾基準	1,229.9	8,518.1	1.00	1.00	1229.9	8518.0	1.50	0.21	OK
		BS	1,401.7	8,518.1	1.00	1.00	1401.7	8518.0	1.40	0.23	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,188.6	8,496.7	1.00	1.00	1188.6	8496.7	1.50	0.20	OK
		BS	1,354.3	8,496.7	1.00	1.00	1354.3	8496.7	1.40	0.22	OK
6列杭	押込	港湾基準	421.2	8,591.0	1.00	1.00	421.2	8590.9	1.50	0.07	OK
		BS	544.9	8,591.0	1.00	1.00	544.9	8590.9	1.40	0.08	OK

付表-A.18 杭の応力照査結果（作業時（検討ケース A-2））

	単位	作業時(検討ケースA-2)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	3077.8	4027.3	1308.7	1661.7	865.3	1059.0	908.1	1110.8	1280.1	1614.4	2232.1	2963.9
曲げモーメントM	(kN・m)	368.4	561.5	96.2	197.4	279.5	269.7	395.4	410.0	691.4	799.3	740.6	887.5
σ_{ck}	(N/mm ²)	50.5	66.1	21.5	27.3	14.2	17.4	14.9	18.2	21.0	26.5	36.6	48.6
σ_{bck}	(N/mm ²)	17.6	26.9	4.6	9.4	13.4	12.9	18.9	19.6	33.1	38.2	35.4	42.4
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S_k	(N/mm ²)	81.4	110.4	31.0	43.0	30.4	33.8	36.4	40.9	57.1	68.5	76.3	96.7
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	81.4	110.4	31.0	43.0	30.4	33.8	36.4	40.9	57.1	68.5	76.3	96.7
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00
$m \times S_d$		135.94	110.40	51.77	43.00	50.77	33.80	60.79	40.90	95.36	68.50	127.42	96.70
作用耐力比		0.43	0.35	0.16	0.13	0.16	0.10	0.19	0.12	0.30	0.21	0.40	0.30
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	土中	杭頭部								

付表-A.19 杭の支持力照査結果（作業時（検討ケース A-2））

	分類	適用基準	作業時(検討ケースA-2)									
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	$m \times S_d$	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	3,077.8	11,325.0	1.00	1.00	3,077.8	11,325.0	2.50	7,694.5	0.67	OK
		BS	4,027.3	11,325.0	1.00	1.00	4,027.3	11,325.0	1.40	5,638.2	0.49	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,308.7	10,844.0	1.00	1.00	1,308.7	10,844.0	2.50	3,271.8	0.30	OK
		BS	1,661.7	10,844.0	1.00	1.00	1,661.7	10,844.0	1.40	2,326.4	0.21	OK
3列杭	押込	港湾基準	865.3	10,284.2	1.00	1.00	865.3	10,284.2	2.50	2,163.3	0.21	OK
		BS	1,059.0	10,284.2	1.00	1.00	1,059.0	10,284.2	1.40	1,482.6	0.14	OK
4列杭	押込	港湾基準	908.1	9,641.4	1.00	1.00	908.1	9,641.4	2.50	2,270.3	0.23	OK
		BS	1,110.8	9,641.4	1.00	1.00	1,110.8	9,641.4	1.40	1,555.1	0.16	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,280.1	9,611.5	1.00	1.00	1,280.1	9,611.5	2.50	3,200.3	0.33	OK
		BS	1,614.4	9,611.5	1.00	1.00	1,614.4	9,611.5	1.40	2,260.2	0.23	OK
6列杭	押込	港湾基準	2,232.1	9,743.4	1.00	1.00	2,232.1	9,743.4	2.50	5,580.3	0.57	OK
		BS	2,963.9	9,743.4	1.00	1.00	2,963.9	9,743.4	1.40	4,149.5	0.42	OK

付表-A.20 杭の応力照査結果 (休止時 (検討ケース A-5))

	単位	休止時(検討ケースA-5)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	3217.6	3217.6	1248.4	1248.4	650.3	650.3	630.7	630.7	1294.2	1294.2	3812.4	3812.3
曲げモーメントM	(kN・m)	1345.4	1345.4	1290.7	1290.7	1046.9	1046.9	1096.1	1096.1	725.4	725.4	643.9	581.3
σ_{ck}	(N/mm ²)	52.8	52.8	20.5	20.5	10.7	10.7	10.3	10.3	21.2	21.2	62.5	62.5
σ_{bck}	(N/mm ²)	64.3	64.3	61.7	61.7	50.1	50.1	52.4	52.4	34.7	34.7	30.8	27.8
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{yk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S_k	(N/mm ²)	131.0	131.0	86.9	86.9	62.9	62.9	64.5	64.5	59.0	59.0	100.6	97.6
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	131.0	131.0	86.9	86.9	62.9	62.9	64.5	64.5	59.0	59.0	100.6	97.6
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00
$m \times S_d$		146.72	131.00	97.33	86.90	70.45	62.90	72.24	64.50	66.08	59.00	112.67	97.60
作用耐力比		0.46	0.41	0.30	0.27	0.22	0.19	0.22	0.20	0.20	0.18	0.35	0.30
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	土中部	土中部	土中部

付表-A.21 杭の支持力照査結果 (休止時 (検討ケース A-5))

	分類	適用基準	休止時(検討ケースA-5)									
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	$m \times S_d$	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	3,217.6	11,325.0	1.00	1.00	3217.6	11325.0	1.50	4,826.4	0.42	OK
		BS	3,217.6	11,325.0	1.00	1.00	3217.6	11325.0	1.40	4,504.6	0.39	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,248.4	10,844.0	1.00	1.00	1248.4	10844.0	1.50	1,872.6	0.17	OK
		BS	1,248.4	10,844.0	1.00	1.00	1248.4	10844.0	1.40	1,747.8	0.16	OK
3列杭	押込	港湾基準	650.3	10,284.2	1.00	1.00	650.3	10284.2	1.50	975.5	0.09	OK
		BS	650.3	10,284.2	1.00	1.00	650.3	10284.2	1.40	910.4	0.08	OK
4列杭	押込	港湾基準	630.7	9,641.4	1.00	1.00	630.7	9641.4	1.50	946.1	0.09	OK
		BS	630.7	9,641.4	1.00	1.00	630.7	9641.4	1.40	883.0	0.09	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,294.2	9,611.5	1.00	1.00	1294.2	9611.5	1.50	1,941.3	0.20	OK
		BS	1,294.2	9,611.5	1.00	1.00	1294.2	9611.5	1.40	1,811.9	0.18	OK
6列杭	押込	港湾基準	3,812.4	9,743.4	1.00	1.00	3812.4	9743.4	1.50	5,718.6	0.58	OK
		BS	3,812.3	9,743.4	1.00	1.00	3812.3	9743.4	1.40	5,337.2	0.54	OK

付表-A.22 杭の応力照査結果（牽引時（検討ケース B-2））

	単位	牽引時(検討ケースB-2)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	3126.4	4063.7	1308.2	1661.2	868.7	1061.6	922.9	1122.0	1298.9	1628.5	2146.9	2900.0
曲げモーメントM	(kN・m)	174.2	415.9	247.9	187.2	575.4	491.7	736.3	665.7	1072.8	1085.3	1100.9	1157.8
σ_{ck}	(N/mm ²)	51.3	66.7	21.5	27.3	14.3	17.4	15.1	18.4	21.3	26.7	35.2	47.6
σ_{bck}	(N/mm ²)	8.3	19.9	11.9	9.0	27.5	23.5	35.2	31.8	51.3	51.9	52.6	55.4
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S_k	(N/mm ²)	73.1	104.1	38.3	42.6	44.7	44.4	52.9	53.4	75.7	82.4	91.9	108.6
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	73.1	104.1	38.3	42.6	44.7	44.4	52.9	53.4	75.7	82.4	91.9	108.6
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00	1.67	1.00
$m \times S_d$		122.08	104.10	63.96	42.60	74.65	44.40	88.34	53.40	126.42	82.40	153.47	108.60
作用耐力比		0.38	0.33	0.20	0.13	0.23	0.14	0.28	0.16	0.40	0.26	0.48	0.34
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	土中部	土中部	杭頭部							

付表-A.23 杭の支持力照査結果（牽引時（検討ケース B-2））

	分類	適用基準	牽引時(検討ケースB-2)									
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	$m \times S_d$	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	3,126.4	11,325.0	1.00	1.00	3126.4	11325.0	2.50	7,816.0	0.69	OK
		BS	4,063.7	11,325.0	1.00	1.00	4063.7	11325.0	1.40	5,689.2	0.50	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,308.2	10,844.0	1.00	1.00	1308.2	10844.0	2.50	3,270.5	0.30	OK
		BS	1,661.2	10,844.0	1.00	1.00	1661.2	10844.0	1.40	2,325.7	0.21	OK
3列杭	押込	港湾基準	868.7	10,284.2	1.00	1.00	868.7	10284.2	2.50	2,171.8	0.21	OK
		BS	1,061.6	10,284.2	1.00	1.00	1061.6	10284.2	1.40	1,486.2	0.14	OK
4列杭	押込	港湾基準	922.9	9,641.4	1.00	1.00	922.9	9641.4	2.50	2,307.3	0.23	OK
		BS	1,122.0	9,641.4	1.00	1.00	1122.0	9641.4	1.40	1,570.8	0.16	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,298.9	9,611.5	1.00	1.00	1298.9	9611.5	2.50	3,247.3	0.33	OK
		BS	1,628.5	9,611.5	1.00	1.00	1628.5	9611.5	1.40	2,279.9	0.23	OK
6列杭	押込	港湾基準	2,146.9	9,743.4	1.00	1.00	2146.9	9743.4	2.50	5,367.3	0.55	OK
		BS	2,900.0	9,743.4	1.00	1.00	2900.0	9743.4	1.40	4,060.0	0.41	OK

付表-A.24 杭の応力照査結果 (接岸時 (検討ケース C-2))

	単位	接岸時(検討ケースC-2)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	2879.9	3828.0	1311.1	1664.1	851.1	1044.7	847.1	1049.5	1202.9	1536.7	2579.9	3314.1
曲げモーメントM	(kN・m)	1158.2	1356.6	1113.9	1240.3	926.3	944.0	995.3	990.0	865.9	768.3	732.3	603.7
σ_{ck}	(N/mm ²)	47.2	62.8	21.5	27.3	14.0	17.1	13.9	17.2	19.7	25.2	42.3	54.4
σ_{bck}	(N/mm ²)	55.4	64.9	53.3	59.3	44.3	45.1	47.6	47.3	41.4	36.7	35.0	28.9
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S_k	(N/mm ²)	115.0	144.2	79.7	92.9	61.1	65.6	63.9	67.5	63.9	65.5	82.3	89.7
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00	1.29	1.00
γ_R		1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00
S_d	(N/mm ²)	148.3	144.2	102.8	92.9	78.8	65.6	82.4	67.5	82.4	65.5	106.1	89.7
R_d	(N/mm ²)	318	315	318	315	318	315	318	315	318	315	318	315
調整係数m		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$m \times S_d$		148.30	144.20	102.80	92.90	78.80	65.60	82.40	67.50	82.40	65.50	106.10	89.70
作用耐力比		0.46	0.45	0.32	0.29	0.24	0.20	0.25	0.21	0.25	0.20	0.33	0.28
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	土中部

付表-A.25 杭の支持力照査結果 (接岸時 (検討ケース C-2))

	分類	適用基準	接岸時(検討ケースC-2)									
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	$m \times S_d$	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	2,879.9	11,325.0	1.00	1.00	2,879.9	11,325.0	2.50	7,199.8	0.63	OK
		BS	3,828.0	11,325.0	1.00	1.00	3,828.0	11,325.0	1.40	5,359.2	0.47	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,311.1	10,844.0	1.00	1.00	1,311.1	10,844.0	2.50	3,277.8	0.30	OK
		BS	1,664.1	10,844.0	1.00	1.00	1,664.1	10,844.0	1.40	2,329.7	0.21	OK
3列杭	押込	港湾基準	851.1	10,284.2	1.00	1.00	851.1	10,284.2	2.50	2,127.8	0.20	OK
		BS	1,044.7	10,284.2	1.00	1.00	1,044.7	10,284.2	1.40	1,462.6	0.14	OK
4列杭	押込	港湾基準	847.1	9,641.4	1.00	1.00	847.1	9,641.4	2.50	2,117.8	0.21	OK
		BS	1,049.5	9,641.4	1.00	1.00	1,049.5	9,641.4	1.40	1,469.3	0.15	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,202.9	9,611.5	1.00	1.00	1,202.9	9,611.5	2.50	3,007.3	0.31	OK
		BS	1,536.7	9,611.5	1.00	1.00	1,536.7	9,611.5	1.40	2,151.4	0.22	OK
6列杭	押込	港湾基準	2,579.9	9,743.4	1.00	1.00	2,579.9	9,743.4	2.50	6,449.8	0.66	OK
		BS	3,314.1	9,743.4	1.00	1.00	3,314.1	9,743.4	1.40	4,639.7	0.47	OK

付表-A. 26 杭の応力照査結果（地震時（検討ケース D-3））

	単位	地震時(検討ケースD-3)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	3364.5	3315.2	1341.3	1282.3	610.2	550.7	520.2	462.7	1150.8	1096.0	4351.3	4284.8
曲げモーメントM	(kN・m)	2820.0	2767.6	3144.9	3080.6	3113.9	3039.2	3471.7	3385.4	3401.0	3302.0	2938.0	2836.2
σ_{ck}	(N/mm ²)	55.2	54.4	22.0	21.0	10.0	9.0	8.5	7.6	18.9	18.0	71.4	70.3
σ_{bk}	(N/mm ²)	134.9	132.4	150.4	147.3	148.9	145.3	166.0	161.9	162.6	157.9	140.5	135.6
σ_{byk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{yk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S _k	(N/mm ²)	204.6	201.1	177.5	173.1	160.9	156.1	176.0	170.8	184.2	178.5	220.3	214.1
R _k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S _d	(N/mm ²)	204.6	201.1	177.5	173.1	160.9	156.1	176.0	170.8	184.2	178.5	220.3	214.1
R _d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00
作用耐力比		0.72	0.63	0.63	0.54	0.57	0.49	0.62	0.54	0.65	0.56	0.78	0.67
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部

付表-A. 27 杭の支持力照査結果（地震時（検討ケース D-3））

	分類	適用基準	地震時(検討ケースD-3)								
			S _k (kN)	R _k (kN)	γ_s	γ_R	S _d (kN)	R _d (kN)	調整係数m	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	3,364.5	11,325.0	1.00	1.00	3364.5	11325.0	1.50	0.44	OK
		BS	3,315.2	11,325.0	1.00	1.00	3315.2	11325.0	1.40	0.40	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,341.3	10,844.0	1.00	1.00	1341.3	10844.0	1.50	0.18	OK
		BS	1,282.3	10,844.0	1.00	1.00	1282.3	10844.0	1.40	0.16	OK
3列杭	押込	港湾基準	610.2	10,284.2	1.00	1.00	610.2	10284.2	1.50	0.08	OK
		BS	550.7	10,284.2	1.00	1.00	550.7	10284.2	1.40	0.07	OK
4列杭	押込	港湾基準	520.2	9,641.4	1.00	1.00	520.2	9641.4	1.50	0.08	OK
		BS	462.7	9,641.4	1.00	1.00	462.7	9641.4	1.40	0.06	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,150.8	9,611.5	1.00	1.00	1150.8	9611.5	1.50	0.17	OK
		BS	1,096.0	9,611.5	1.00	1.00	1096.0	9611.5	1.40	0.15	OK
6列杭	押込	港湾基準	4,351.3	9,743.4	1.00	1.00	4351.3	9743.4	1.50	0.66	OK
		BS	4,284.8	9,743.4	1.00	1.00	4284.8	9743.4	1.40	0.61	OK

付表-A. 28 杭の応力照査結果 (地震時 (検討ケース D-4))

	単位	地震時 (検討ケース D-4)											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	4349.8	4275.4	1330.7	1272.0	682.5	621.2	826.5	761.2	1538.7	1474.0	2609.9	2587.9
曲げモーメントM	(kN・m)	1163.8	1129.0	2017.9	1950.3	2902.0	2823.1	3476.1	3385.0	4388.4	4288.6	4438.2	4351.7
σ_{ok}	(N/mm ²)	71.4	70.1	21.8	20.9	11.2	10.2	13.6	12.5	25.2	24.2	42.8	42.5
σ_{bk}	(N/mm ²)	55.7	54.0	96.5	93.3	138.8	135.0	166.2	161.9	209.9	205.1	212.3	208.1
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S_k	(N/mm ²)	145.9	142.5	123.3	119.0	152.2	147.2	182.1	176.6	238.7	232.8	260.1	255.6
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	145.9	142.5	123.3	119.0	152.2	147.2	182.1	176.6	238.7	232.8	260.1	255.6
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00
作用耐力比		0.51	0.45	0.43	0.37	0.54	0.46	0.64	0.56	0.84	0.73	0.92	0.81
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		土中部	土中部	杭頭部									

付表-A. 29 杭の支持力照査結果 (地震時 (検討ケース D-4))

	分類	適用基準	地震時 (検討ケース D-4)								
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	4,349.8	11,325.0	1.00	1.00	4349.8	11325.0	1.50	0.57	OK
		BS	4,275.4	11,325.0	1.00	1.00	4275.4	11325.0	1.40	0.52	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,330.7	10,844.0	1.00	1.00	1330.7	10844.0	1.50	0.18	OK
		BS	1,272.0	10,844.0	1.00	1.00	1272.0	10844.0	1.40	0.16	OK
3列杭	押込	港湾基準	682.5	10,284.2	1.00	1.00	682.5	10284.2	1.50	0.09	OK
		BS	621.2	10,284.2	1.00	1.00	621.2	10284.2	1.40	0.08	OK
4列杭	押込	港湾基準	826.5	9,641.4	1.00	1.00	826.5	9641.4	1.50	0.12	OK
		BS	761.2	9,641.4	1.00	1.00	761.2	9641.4	1.40	0.11	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,538.7	9,611.5	1.00	1.00	1538.7	9611.5	1.50	0.24	OK
		BS	1,474.0	9,611.5	1.00	1.00	1474.0	9611.5	1.40	0.21	OK
6列杭	押込	港湾基準	2,609.9	9,743.4	1.00	1.00	2609.9	9743.4	1.50	0.40	OK
		BS	2,587.9	9,743.4	1.00	1.00	2587.9	9743.4	1.40	0.37	OK

付表-A. 30 杭の応力照査結果（地震時（検討ケース D-3））BS 規格クレーン鉛直震度考慮

	単位	地震時(検討ケースD-3)BS規格クレーン鉛直地震力考慮											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	3364.5	3586.3	1341.3	1338.2	610.2	533.0	520.2	438.5	1150.8	1138.3	4351.3	4631.8
曲げモーメントM	(kN・m)	2820.0	2980.1	3144.9	3310.1	3113.9	3251.7	3471.7	3618.3	3401.0	3510.8	2938.0	2995.1
σ_{ok}	(N/mm ²)	55.2	58.8	22.0	22.0	10.0	8.7	8.5	7.2	18.9	18.7	71.4	76.0
σ_{bk}	(N/mm ²)	134.9	142.5	150.4	158.3	148.9	155.5	166.0	173.0	162.6	167.9	140.5	143.2
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S_k	(N/mm ²)	204.6	216.7	177.5	185.4	160.9	165.9	176.0	181.4	184.2	189.3	220.3	228.1
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	204.6	216.7	177.5	185.4	160.9	165.9	176.0	181.4	184.2	189.3	220.3	228.1
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00
作用耐力比		0.72	0.68	0.63	0.58	0.57	0.52	0.62	0.57	0.65	0.60	0.78	0.72
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部	杭頭部

付表-A. 31 杭の支持力照査結果（地震時（検討ケース D-3））BS 規格クレーン鉛直震度考慮

	分類	適用基準	地震時(検討ケースD-3)BS規格クレーン鉛直地震力考慮								
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	3,364.5	11,325.0	1.00	1.00	3364.5	11325.0	1.50	0.44	OK
		BS	3,586.3	11,325.0	1.00	1.00	3586.3	11325.0	1.40	0.44	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,341.3	10,844.0	1.00	1.00	1341.3	10844.0	1.50	0.18	OK
		BS	1,338.2	10,844.0	1.00	1.00	1338.2	10844.0	1.40	0.17	OK
3列杭	押込	港湾基準	610.2	10,284.2	1.00	1.00	610.2	10284.2	1.50	0.08	OK
		BS	533.0	10,284.2	1.00	1.00	533.0	10284.2	1.40	0.07	OK
4列杭	押込	港湾基準	520.2	9,641.4	1.00	1.00	520.2	9641.4	1.50	0.08	OK
		BS	438.5	9,641.4	1.00	1.00	438.5	9641.4	1.40	0.06	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,150.8	9,611.5	1.00	1.00	1150.8	9611.5	1.50	0.17	OK
		BS	1,138.3	9,611.5	1.00	1.00	1138.3	9611.5	1.40	0.16	OK
6列杭	押込	港湾基準	4,351.3	9,743.4	1.00	1.00	4351.3	9743.4	1.50	0.66	OK
		BS	4,631.8	9,743.4	1.00	1.00	4631.8	9743.4	1.40	0.66	OK

付表-A.32 杭の応力照査結果（地震時（検討ケース D-4））BS 規格クレーン鉛直震度考慮

	単位	地震時(検討ケースD-4)BS規格クレーン鉛直地震力考慮											
		1列杭		2列杭		3列杭		4列杭		5列杭		6列杭	
		港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS	港湾基準	BS
断面積A	(cm ²)	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6	609.6
断面係数Z	(cm ³)	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0	20910.0
軸力N	(kN)	4349.8	4611.8	1330.7	1327.2	682.5	608.3	826.5	757.3	1538.7	1541.9	2609.9	2819.7
曲げモーメントM	(kN・m)	1163.8	1199.3	2017.9	2062.6	2902.0	3008.8	3476.1	3611.9	4388.4	4595.3	4438.2	4681.0
σ_{ok}	(N/mm ²)	71.4	75.7	21.8	21.8	11.2	10.0	13.6	12.4	25.2	25.3	42.8	46.3
σ_{bck}	(N/mm ²)	55.7	57.4	96.5	98.6	138.8	143.9	166.2	172.7	209.9	219.8	212.3	223.9
σ_{byk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
σ_{bk}	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
低減係数red		0.792	0.792	0.813	0.813	0.833	0.833	0.853	0.853	0.874	0.874	0.895	0.895
S_k	(N/mm ²)	145.9	153.0	123.3	125.4	152.2	155.9	182.1	187.2	238.7	248.7	260.1	275.6
R_k	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
γ_s		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ_R		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S_d	(N/mm ²)	145.9	153.0	123.3	125.4	152.2	155.9	182.1	187.2	238.7	248.7	260.1	275.6
R_d	(N/mm ²)	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
調整係数m		1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00	1.12	1.00
作用耐力比		0.51	0.48	0.43	0.39	0.54	0.49	0.64	0.59	0.84	0.78	0.92	0.87
照査		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
備考		土中部	土中部	杭頭部									

付表-A.33 杭の支持力照査結果（地震時（検討ケース D-4））BS 規格クレーン鉛直震度考慮

	分類	適用基準	地震時(検討ケースD-4)BS規格クレーン鉛直地震力考慮								
			S_k (kN)	R_k (kN)	γ_s	γ_R	S_d (kN)	R_d (kN)	調整係数m	作用耐力比	照査
1列杭	押込	港湾基準	4,349.8	11,325.0	1.00	1.00	4349.8	11325.0	1.50	0.57	OK
		BS	4,611.8	11,325.0	1.00	1.00	4611.8	11325.0	1.40	0.57	OK
2列杭	押込	港湾基準	1,330.7	10,844.0	1.00	1.00	1330.7	10844.0	1.50	0.18	OK
		BS	1,327.2	10,844.0	1.00	1.00	1327.2	10844.0	1.40	0.17	OK
3列杭	押込	港湾基準	682.5	10,284.2	1.00	1.00	682.5	10284.2	1.50	0.09	OK
		BS	608.3	10,284.2	1.00	1.00	608.3	10284.2	1.40	0.08	OK
4列杭	押込	港湾基準	826.5	9,641.4	1.00	1.00	826.5	9641.4	1.50	0.12	OK
		BS	757.3	9,641.4	1.00	1.00	757.3	9641.4	1.40	0.10	OK
5列杭	押込	港湾基準	1,538.7	9,611.5	1.00	1.00	1538.7	9611.5	1.50	0.24	OK
		BS	1,541.9	9,611.5	1.00	1.00	1541.9	9611.5	1.40	0.22	OK
6列杭	押込	港湾基準	2,609.9	9,743.4	1.00	1.00	2609.8	9743.4	1.50	0.40	OK
		BS	2,819.7	9,743.4	1.00	1.00	2819.7	9743.4	1.40	0.40	OK

付録B BS規格の地震時荷重モデル

1. 栈橋に作用するクレーン輪荷重

クレーン荷重の設定は、宮田らの文献²⁹⁾より、クレーン自重と輪荷重等を用いて算出した。文献を基に整理したクレーン荷重を付表-1.1に示す。同表より栈橋モデルの骨組解析を行い、栈橋に作用するクレーン輪荷重を整理した(付表-1.2)。なお、文献ではクレーンの鉛直荷重しか整理されていないため、クレーンの水平荷重については、実務設計のクレーン荷重や港湾構造物設計事例集⁴⁷⁾を基に、作業時は鉛直力の5%、休止時は鉛直力の10%、地震時は鉛直力に設計震度(0.20)を乗じた水平荷重を設定した。

付表-B.1 クレーン荷重

項目		設定値	
荷役性能	全横行距離	6,046 (m・m)	
	全揚程		
クレーン自重(kN)		12,000	
輪荷重 (kN)	作業時	海側	674
		陸側	536
	休止時	海側	844
		陸側	977
	地震時	海側	1,004
		陸側	958
輪配置	レールスパン	30.5m	
	ホイールベース (海側・陸側)	18.0m	
	車輪数 (海側・陸側)	16輪/2脚	
	車輪間隔	1.1m	

付表-B.2 栈橋に作用するクレーン荷重

作用	方向	特性値 (kN)	
		鉛直力	海側
鉛直力	作業時 風速16m/s	海側	4212.5
		陸側	3350.0
	休止時 風速55m/s	海側	5275.0
		陸側	6106.3
	地震時 (設計震度0.20)	海側	6275.0
		陸側	5987.5
水平力	作業時 風速16m/s	海側	210.6
		陸側	167.5
	休止時 風速55m/s	海側	527.5
		陸側	610.6
	地震時 (設計震度0.20)	海側	1255.0
		陸側	1197.5

※ 作業時の水平力は過年度及び事例集より鉛直荷重の5%と設定
 ※ 休止時の水平力は過年度及び事例集より鉛直力の10%と設定
 ※ 地震時の水平力は過年度及び事例集より鉛直力に設計震度を乗じた値を設定

2. BS規格の地震時荷重モデル

BS規格の地震時は、付表-1.3に示すD-1~D-4の比較検討ケースを行った。本稿では、栈橋に作用する荷重モデルを付図-B.1~付図-B.3に示す3つの荷重モデルで比較検討した。

付図-B.1はクレーンなしの比較検討ケース(D-1, D-2)になり、考慮する荷重は上部工自重(W1)、上載荷重(W2)、上部工自重及び上載荷重に作用する水平方向の慣性力(P_{H1})、上部工自重及び上載荷重に作用する鉛直方向の慣性力(P_{V1})となる。なお、鉛直方向の慣性力(P_{V1})は、水平震度の0.5倍の鉛直震度を作用させることとし、栈橋幅に等分布荷重として作用させる。

付図-B.2はクレーンありの比較検討ケース(D-3, D-4)になり、考慮する荷重は上部工自重(W1)、上載荷重(W2)、上部工自重及び上載荷重に作用する水平方向の慣性力(P_{H1})、上部工自重及び上載荷重に作用する鉛直方向の慣性力(P_{V1})、クレーンの水平方向と鉛直方向の輪荷重(W3)となる。クレーンの輪荷重については、日本基準に基づくもので水平震度(クレーン構造規格に基づく水平震度0.2)のみしか考慮していない。本稿のBS規格の範囲では、クレーン荷重の鉛直震度の考え方や荷重の設定方法の詳細が把握できなかった。このため、鉛直震度を上部工自重と上載荷重のみ考慮して鉛直力を算出し、クレーン荷重は鉛直震度を考慮しないこととした。

付図-B.3はクレーンありの比較検討ケース(D-3, D-4)になり、付図-B.2にクレーン荷重の鉛直震度を考慮したモデルとなる。そのため、W1, W2, P_{H1}, P_{V1}は付図-B.2と同じである。本稿におけるクレーンの鉛直震度は、上部工自重や上載荷重の鉛直震度の考え方と同様に、クレーンに作用させる水平震度(=0.2)の0.5倍を鉛直震度(=0.1)として設定した。これに基

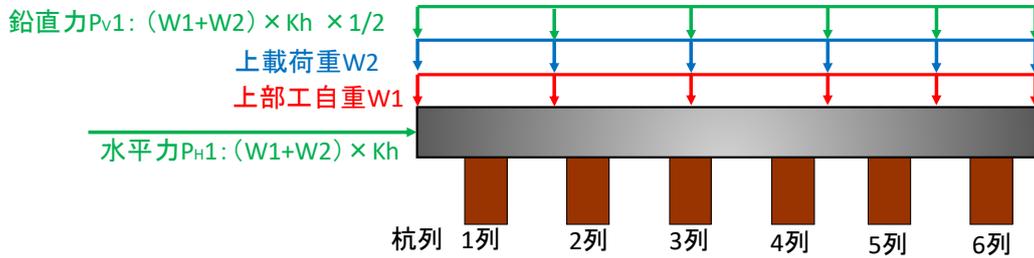
付表-B.3 比較検討ケース(地震時)

No.	作用荷重	荷重ケース			
		レベル1地震動による			
		地震時			
		比較検討の分類			
		PS-JP-K0.15 PS-BS-K0.15			
		D-1	D-2	D-3	D-4
1	上部工自重	1.00 (1.00)			
2	クレーンなし	上載荷重 30kN/m ²	1.00 × "0.3" (0.50)		
4	クレーンあり	上載荷重 10kN/m ²		1.00 × "0.3" (0.50)	
10	クレーン荷重 (地震時 海側最大)				1.00 (1.00)
11	クレーン荷重 (地震時 陸側最大)			1.00 (1.00)	
14	地震時慣性力 (陸→海)		1.00 (1.00)		1.00 (1.00)
15	地震時慣性力 (海→陸)	1.00 (1.00)		1.00 (1.00)	

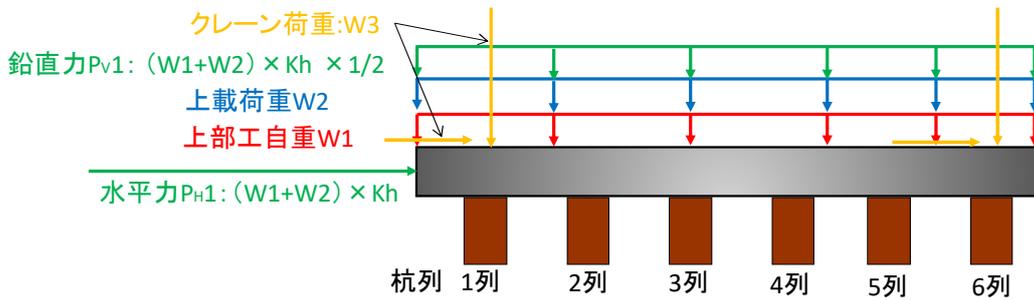
※表中の上段はBS規格の部分係数、" "内の数字は組み合わせ係数ψ

※表中の下段は日本基準の部分係数

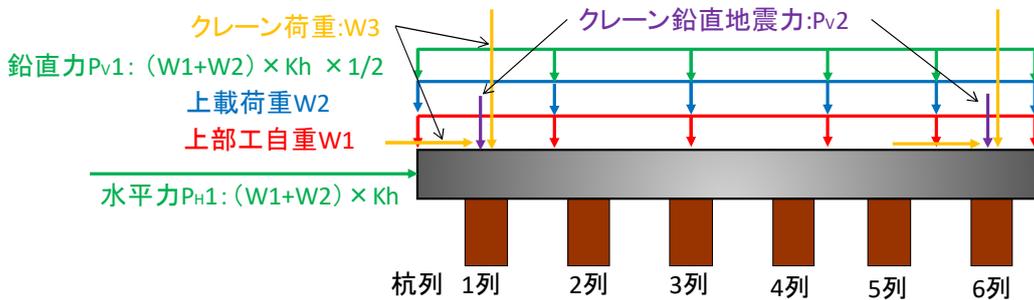
づき、クレーンの輪荷重は、水平震度のみを考慮して設定された鉛直方向の輪荷重値を10%増加させることにより（水平方向の輪荷重値はそのままとする）、鉛直震度の影響を便宜的に反映した。（同図：P_{v2}）。なお、このクレーン荷重の鉛直震度の考え方は、BS規格に詳細な設定方法の記載はなく、あくまでも本稿で設定した荷重モデルのため、今後の課題として、実務設計において棧橋に作用させるクレーン荷重の鉛直震度の考え方等を把握する必要がある。



付図-B.1 荷重モデル図（比較検討ケースD-1, D2）



付図-B.2 検討断面モデル（比較検討ケースD-3, D4）



付図-B.3 検討断面モデル（比較検討ケースD-3, D4）クレーン鉛直地震力考慮

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1117 August 2020

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019 〕
E-mail:ysk.nil-pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料

No.1117

日本の港湾基準と英国港湾基準(BS6349)を適用した直杭式横棧橋設計の比較検討

August 2020