

港湾技術資料

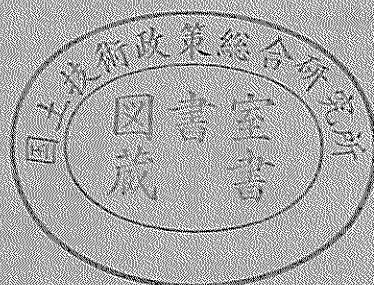
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 749 June 1993

直ぐい式横棧橋の構造諸元の統計的分析

老 平 武 弘
塩 見 雅 樹

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 栈橋式係船岸の特徴	3
2. 1 係留施設の構造様式の地域別の特徴	4
2. 2 係留施設の構造様式の経年変化	5
2. 3 係留施設の構造様式の設計条件による比較	5
3. 直ぐい式横栈橋の構造諸元の決定過程	7
3. 1 直ぐい式横栈橋の設計手順	7
3. 2 直ぐい式横栈橋の構造諸元の決定方法	8
4. 設計事例による直ぐい式横栈橋の構造諸元	8
4. 1 整理すべき構造諸元	8
4. 2 設計事例による構造諸元の統計的分析	9
4. 2. 1 土留部前面水深	9
4. 2. 2 土留部前面勾配	10
4. 2. 3 上部工幅	10
4. 2. 4 上部工長さ	11
4. 2. 5 くいの材質	12
4. 2. 6 法線直角方向のくい本数及び配置	12
4. 2. 7 1ブロックあたりの法線平行方向のくい本数及び配置	14
4. 2. 8 上ぐいと下ぐいの肉厚差	16
4. 2. 9 くいの直径	17
4. 2. 10 くいの肉厚	18
4. 2. 11 くいの根入れ長	18
4. 2. 12 上部工の細部構造諸元	18
4. 2. 13 土留施設の構造様式	19
5. まとめ	19
5. 1 栈橋式係船岸の特徴	19
5. 2 直ぐい式横栈橋の構造諸元	20
6. あとがき	21

Statistical Data Analysis on Open-Type Piers with Vertical Piles

Takehiro ODAIRA *
Masaki SHIOMI * *

Synopsis

Examples of port infrastructure, which have been designed until now, can be regarded as stock of experiences and technical knowledge in the past. Therefore, to researchers or designers who attempt to make full use of the informative stock, it is important that the information should be arranged and analysed.

In this paper, the element dimensions and the design conditions of 105 examples of open-type piers with vertical piles which had been designed until 1987 are arranged, analysed, illustrated and tabulated from following points of view.

- 1) Distribution of Element Dimension
- 2) Relationship among Element Dimensions
- 3) Relationship between Element Dimensions and Design Conditions

We believe that this paper can be used for empirical decision and setting of element dimension or check on computerized design processes.

Key Words: Element Dimension of Port Infrastructure, Design Condition, Data Base, Open-Type Piers with Vertical Piles

* Member of Design Standard Laboratory, Planning and Design Standard Division

* * Chief of Design Standard Laboratory, Planning and Design Standard Division

直ぐい式横棧橋の構造諸元の統計的分析

老 平 武 弘*
塩 見 雅 樹**

要 旨

今日までに築造されてきた港湾構造物の設計データは、設計に関する今までの経験と、技術的な知見の集積としてみることが出来る。したがって、これらの貴重なデータを分析・整理することにより得られる構造諸元等の情報は、今後の設計に対して大きな技術情報となり得る。

本資料は、このような観点から、直ぐい式横棧橋について、過去の設計事例を整理・分析したものである。すなわち、まず、全国において平成四年度までに設計されたすべての構造タイプを含む係留施設1590例の設計条件等のデータを分析することにより、構造形式上、棧橋式係船岸が優位になる設計条件を明らかにした。そして、今までの直ぐい式横棧橋の設計事例105例の設計条件、構造諸元等のデータを分析・整理することにより、

- 構造諸元量の分布
- 構造諸元間の関連
- 構造諸元と設計条件の関連

を調べ、直ぐい式横棧橋の構造特性をまとめた。

なお、これら設計事例に関するデータは、当研究室が永年にわたって、収集・作成してきた港湾構造物集覧及び港湾構造物データベースに基づいている。

本資料は、直ぐい式横棧橋の設計をする際に、経験的な諸元決定、設計計算結果のチェック等に活用することができる。

キーワード；港湾構造物諸元、設計条件、データ・ベース、直ぐい式横棧橋

1. まえがき

構造物の設計にあたっては、類似の設計条件下における過去の構造諸元例を認識しておくことは重要である。特に、今日のように電子計算機によって構造の決定が行われることが一般的になってくると、計算値の良否、構造諸元の大小に対する感覚が従来と比べて薄れがちとなるため、事前に構造諸元の概ねの大きさを知っておくことは、構造物の適切な設計を行ううえで極めて重要である。港湾構造物のうち、ケーソン式混成堤及びケーソン式係船岸については、先の資料¹⁾で構造諸元に関する分析を行い、その構造特性についてとりまとめている。今回は、平成四年度までにとりまとめた全国の係留施設1590例のデータを利用して、構造様式の地域別の特徴及び構造様式の経年変化を整理し、構造様式の設計条件による比較を行うことにより、棧橋式係船岸の特徴について

調べた。そして、平成三年度までに港湾構造物データベースに登録した全国の直ぐい式横棧橋の設計事例105例の構造諸元について、構造諸元量の分布、構造諸元間の関連、構造諸元と設計条件の関連について整理し、主として以下の2点の内容について詳細な分析を行い、今後の設計に資するための資料を作成した。

- 直ぐい式横棧橋の設計を行ううえで、あらかじめ決定すべき構造諸元についての、過去の設計事例による分析。
- 設計計算により得られる構造諸元のうち、設計の妥当性を確認する必要がある諸元についての、決定要因とその概略寸法についての分析。

2. 棧橋式係船岸の特徴

前述した全国の係留施設1590例のデータを利用して、

* 計画設計基準部 設計基準研究室

** 計画設計基準部 設計基準研究室長

構造様式の地域別の特徴及び構造様式の経年変化を整理し、構造様式の設計条件による比較を行うことにより、栈橋式係船岸の特徴について調べた。

2.1 係留施設の構造様式の地域別の特徴

図-1に港湾建設局別の係留施設の構造様式を示す。この図をみると、重力式係船岸の割合が多い港湾建設局は三建(47%)、四建(52%)、沖総局(55%)、北開局(59%)であり、矢板式係船岸の割合が多い港湾建設局は、一建(60%)、二建(43%)、五建(53%)となっている。栈橋式係船岸の割合は、一建及び北開局では非常に少ないが、その他の港湾建設局では15%~25%程度である。

係留施設の構造様式が選定される要因を調べるために、図-2~図-4に港湾建設局別の設計条件を示す。それぞれの特徴を以下に示す。

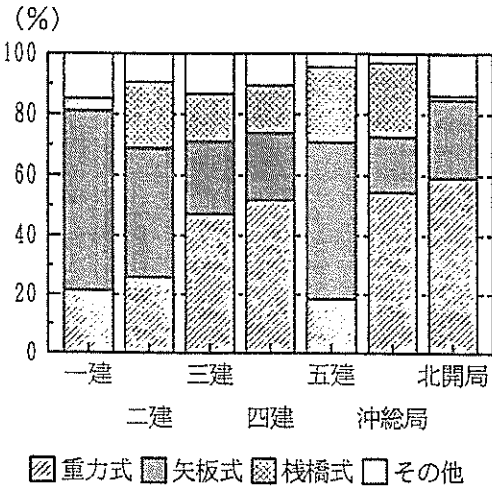


図-1 港湾建設局別係留施設の構造様式

図-2に港湾建設局別の計画水深を示す。この図をみると、一建及び二建は、計画水深-10m以上の岸壁の割合が5割程度あり、他の港湾建設局に比較して計画水深の深い施設の割合が多い。

図-3に港湾建設局別の設計震度を示す。この図をみると、二建及び五建は、設計震度0.2以上の施設の割合が多く、他の港湾建設局に比較して設計震度が大きい値となっている。反対に、四建及び沖総局では設計震度0.05の施設の割合が多く、他の港湾建設局に比較して設計震度が小さい値となっている。

図-4に港湾建設局別の土質条件を示す。この図をみると、沖総局及び北開局は、粘性土を含まない地盤条件の良い施設の割合が比較的多い。

これらの図から、計画水深の深い施設の割合が比較的多い一建及び二建や、設計震度の大きい施設の割合が比

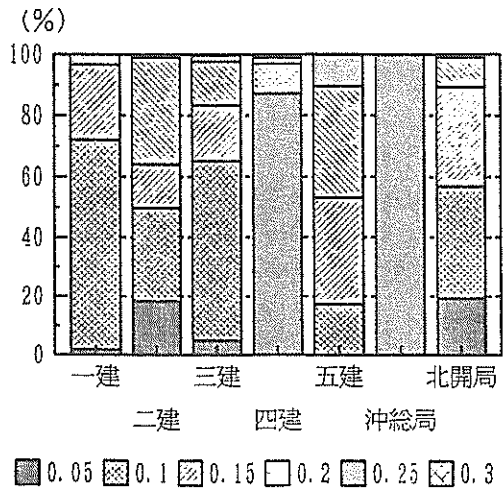


図-3 港湾建設局別の設計震度

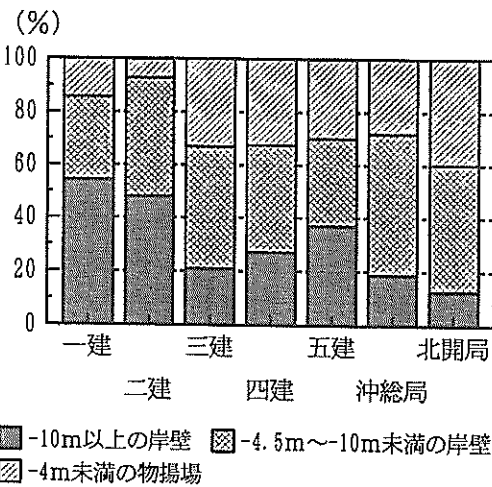


図-2 港湾建設局別の計画水深

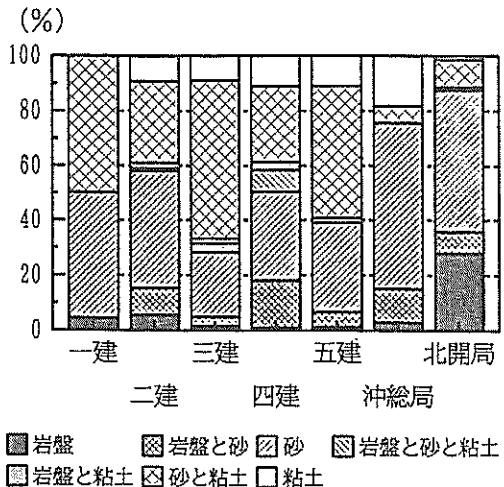


図-4 港湾建設局別の土質条件

較的多い五建では、重力式係船岸の割合は少ないが、その他の港湾建設局では重力式係船岸の割合が多くなっていることがわかる。

また、極端に地盤の悪い地域がある港湾建設局や、比較的設計震度の大きい港湾建設局では、栈橋式で設計されることが多いようである。

なお、港湾建設局の正式名称と管轄は表-1のとおりである。

表-1 港湾建設局の正式名称と管轄

略称	正式名称	管轄
一建	第一港湾建設局	秋田県、山形県、新潟県 富山県、石川県、福井県 長野県
二建	第二港湾建設局	青森県、岩手県、宮城県 福島県、茨城県、栃木県 群馬県、埼玉県、千葉県 東京都、神奈川県 山梨県
三建	第三港湾建設局	滋賀県、京都府、大阪府 兵庫県、奈良県、 和歌山県、鳥取県 島根県、岡山県、広島県 徳島県、香川県、愛媛県 高知県
四建	第四港湾建設局	山口県、福岡県、佐賀県 長崎県、熊本県、大分県 宮崎県、鹿児島県
五建	第五港湾建設局	岐阜県、静岡県、愛知県 三重県
北開局	北海道開発局	北海道
沖総局	沖繩総合事務局	沖繩県

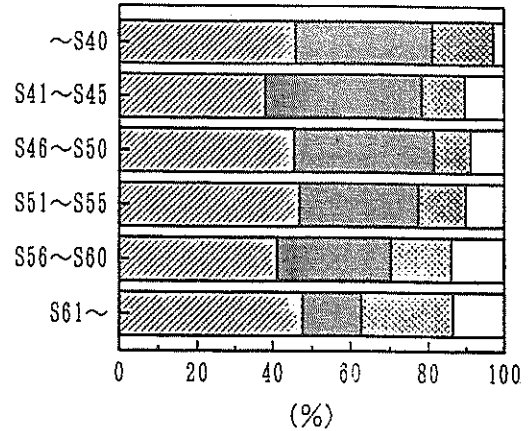
2.2 係留施設の構造様式の経年変化

図-5は係留施設のそれぞれの構造様式の構成比を、経年的に表現したものである。この図をみると、栈橋式係船岸は、昭和50年頃までは漸減傾向で、昭和50年頃以降は増加している。また、矢板式係船岸は昭和50年頃まではかなり用いられているが、それ以降は減少している。これは、浚渫土量が少なく済むため矢板式係船岸が経済的となることが多い掘込み港湾の整備が近年比較的減少していることが1要因であると考えられる。重力式係船岸についてはほぼ横ばい状態である。

全体的には、重力式係船岸が45%、矢板式係船岸が30%、栈橋式係船岸が15%、その他の係船岸が10%程度の割合で設計されている。

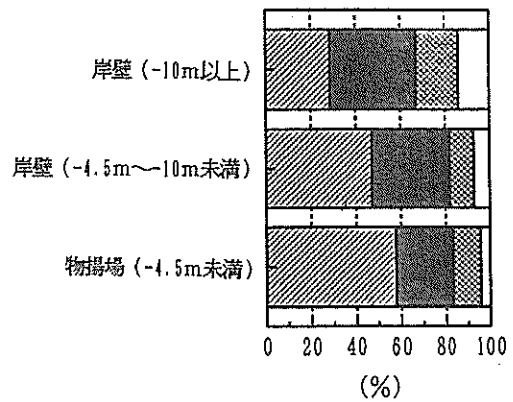
2.3 係留施設の構造様式の設計条件による比較

ここでは、岸壁の計画水深、設計震度、土質条件の違いによる係留施設のそれぞれの構造様式の構成比を比較した。その結果を以下に示す。



■ 重力式 ■ 矢板式 ▨ 栈橋式 □ その他

図-5 係留施設の構造様式の変化



■ 重力式 ■ 矢板式 ▨ 栈橋式 □ その他

図-6 係留施設の構造様式 (計画水深別)

岸壁の計画水深の違いによる係留施設の構造様式の特徴は、図-6に示すように、計画水深-10m以上の岸壁では、矢板式係船岸の割合が39%と多い。計画水深-4.5m~-10m未満の岸壁では、重力式係船岸の割合が47%と多く、計画水深-4.5m未満の岸壁でも、重力式係船岸の割合が58%と多くなっており、計画水深の浅い施設では重力式で設計されている事例が多く、計画水深の深い施設では、矢板式で設計されている事例が多い。栈橋式については、計画水深-10m未満の岸壁で設計されている割合は1割程度であるが、計画水深-10m以上の岸壁では2割程度に増えており、計画水深の深い施設で設計されている事例が多い。

通常、棧橋式係船岸は、比較的規模の大きな岸壁に適した構造であると考えられているが、この図をみると、計画水深-4.5m未満の物揚場でも1割程度使われている。これらの棧橋式で設計されている施設は、地盤条件が悪いが地盤改良することなく設計されている事例が多い。

設計震度の違いによる係留施設の構造様式の特徴は、図-7に示すように、設計震度0.05の施設では重力式係船岸（59%）、設計震度0.1の施設でも重力式係船岸（46%）、設計震度0.15の施設では矢板式係船岸（44%）、設計震度0.2の施設でも矢板式係船岸（36%）、設計震度0.25の施設では棧橋式係船岸（37%）の割合がそれぞれ最も多くなっており、設計震度の小さい施設では重力式で設計されている事例が多く、設計震度の大きい施設では棧橋式で設計されている事例が多い。両者の中間的な施設は矢板式で設計されている事例が多い。棧橋式係船岸については、設計震度0.15以下の施設では1割程度の割合なのに対して、設計震度0.2以上の施設では3割以上占めるようになっている。

この原因として、重力式係船岸の場合、設計震度の増加により設計外力が著しく増大するために、イ)堤体幅を大きくして滑動抵抗を増やすことが必要になる、ロ)地盤反力が増大するので大規模な地盤改良が必要となる等、経済性の面で不利になるが、棧橋式係船岸の場合、土圧を土留施設により比較的水深の浅いところで受け持ったため、設計震度の増加による影響が少なく、棧橋本体に作用する地震外力も比較的小さいためにコストアップが重力式よりも少なくなるためと考えられる。

土質条件の違いによる係留施設の構造様式の特徴は、図-8に示すように、岩盤及び岩盤と砂というような、地盤条件が良い施設では圧倒的に重力式係船岸の割合が多い。その他の地盤条件の悪い施設では矢板式係船岸及び棧橋式係船岸で設計される割合が4割以上占めている。

また、比較的地盤条件の悪い粘性土を含む地盤で設計されている事例について、図-9に示すように地盤改良方法の相違を示した。重力式係船岸では置換工法で地盤を改良する割合が62%と多いが、矢板式係船岸では地盤改良をしない割合が57%と多い。棧橋式係船岸でも矢板式係船岸と同様に地盤改良をしない割合が63%と多い。このことから、地盤条件の悪い所では棧橋式係船岸、矢板式係船岸が経済性の面で優位になることが多いと想定される。

以上のことから、棧橋式係船岸は、イ)計画水深が深い、ロ)設計震度が多い、ハ)地盤条件が悪いという条件の場合に設計される事例が多いことがわかる。

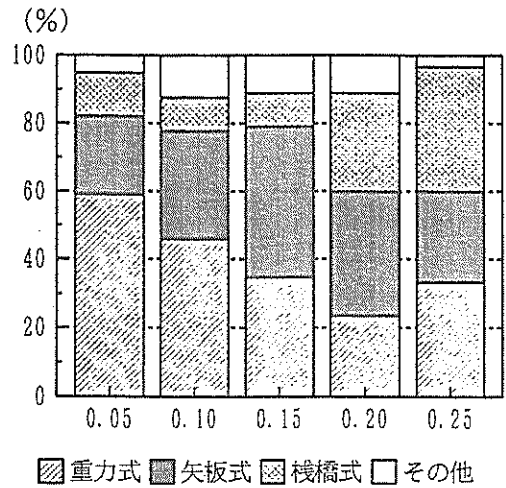


図-7 係留施設の構造様式（設計震度別）

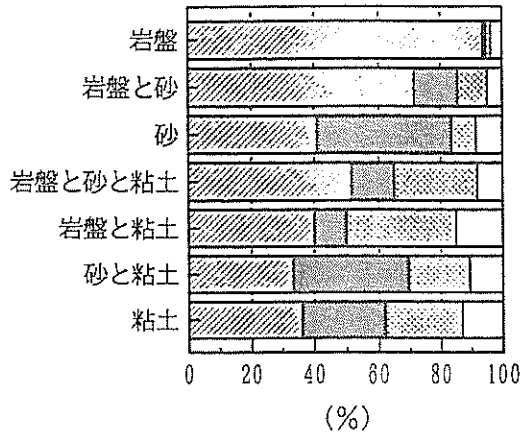


図-8 係留施設の構造様式（土質条件別）

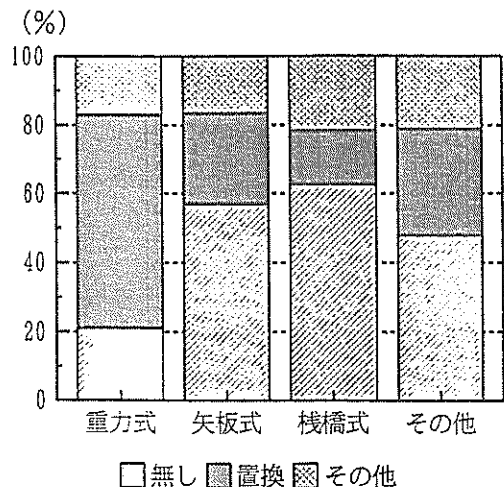


図-9 地盤改良方法の相違（構造様式別）

3. 直ぐい式横棧橋の構造諸元の決定過程

直ぐい式横棧橋の構造諸元の決定に際しては、安全性と経済性等の観点から種々の計算、比較等が行われる。その際、構造諸元は“港湾の施設の技術上の基準・同解説”³⁾(以下“技術基準”と呼ぶ)による標準値や経験値等をもとに決定される。

なお、直ぐい式横棧橋の標準的な断面図を図-10に示す。

3.1 直ぐい式横棧橋の設計手順

直ぐい式横棧橋の設計の手順については、技術基準第8編“係留施設”で述べられている。また、実際の設計では、電子計算機を使用することが多く、この場合、本研究所で開発された鋼直ぐい式棧橋・横棧橋の基本設計プログラムが使用されている。

(1) 技術基準にみる設計手順

直ぐい式横棧橋の設計は図-11に示すように行われ、大きく分類すると“設計条件の決定”、“基本断面の設定”、“土留部の安定計算”、“外力の計算”、“くいの設計”、“基本断面の決定”、“細部設計”の順に進められる。基本断面の設定が、その後の設計計算の結果過小であったり過大であったりすれば、基本断面が修正されて同じ計算が繰り返される。したがって、当初の基本断面の設定をいかに適切に行うかが設計結果に大きく影響する。

(2) 鋼直ぐい式棧橋・横棧橋の基本設計プログラムにおける設計手順

鋼直ぐい式棧橋・横棧橋の基本設計プログラムは、前項の手順のうち、“基本断面の決定”までの部分を工費

の最適化(最小化)を図りながら計算し、与えられた条件下で工費最小な基本断面を求めるプログラムである(“土留部の安定計算”を除く)。

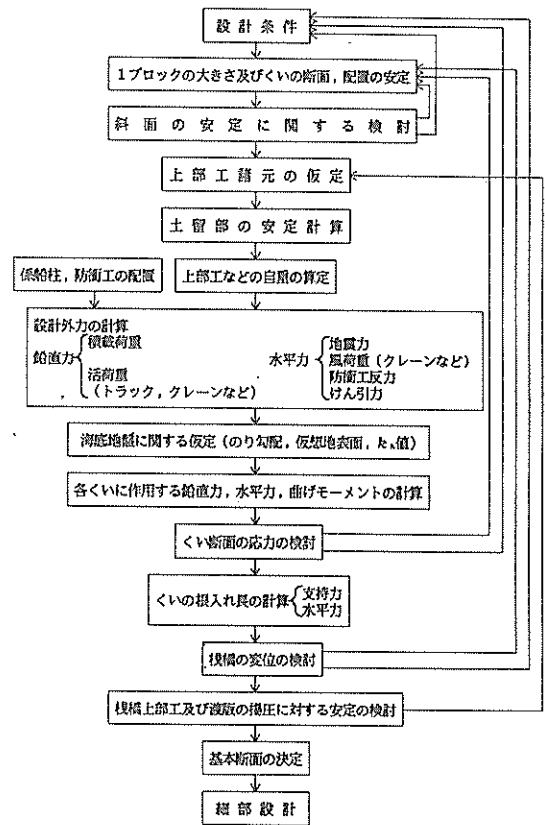


図-11 直ぐい式横棧橋の設計手順

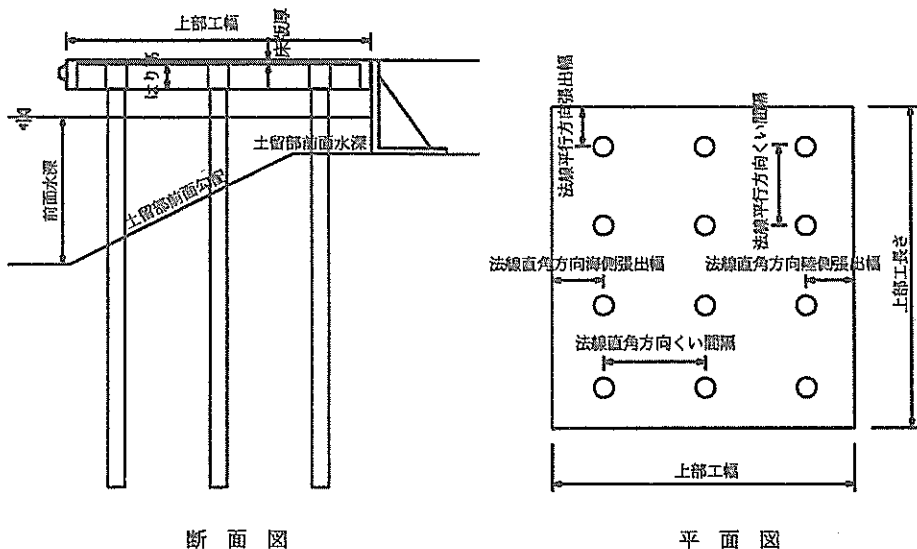


図-10 棧橋式係船岸の標準的な断面図

このプログラムを利用する際に、あらかじめ設定すべき構造諸元は下記のとおりである。なお、これらの中には上部工の床版厚、はり幅、はり高等の細部設計時に詳細検討する項目も含まれている。

設計水深 (m)

土留部前面水深 (m)

上部工の天端高 (m)

土留部前面勾配

上部工幅 (m)

上部工長さ (m)

上部工の床版厚 (m)

上部工のはり幅 (m)

上部工のはり高 (m)

上部工のハンチ幅 (m)

くいの材質

くいの法線直角方向の本数

くいの法線平行方向の本数

上ぐいと下ぐいの肉厚差 (継ぎぐいの検討をする場合)

法線直角方向のくいの配置

法線平行方向のくいの配置

そして、以上の条件をもとに次の3項目の構造諸元を変動させて最適化を図るものである。

くいの直径

くいの肉厚

くいの根入れ長

したがって、鋼直ぐい式栈橋・横栈橋の基本設計プログラムを利用して設計する際には、設計条件や施工条件はもとより、過去の設計事例を参考にして、入力条件である構造諸元を適切に設定して、より合理的な設計結果が得られるように配慮することが重要となる。

3.2 直ぐい式横栈橋の構造諸元の決定方法

技術基準では、構造諸元を次の事項に配慮して決定するものとしている。

①栈橋ブロックの大きさ及びくいの配置

栈橋ブロックの大きさ、くい間隔及びくい列間隔は、エプロン幅、上屋の位置、海底地盤(特にのり面の安定)、既設護岸、コンクリート打設能力などの施工上の問題、載荷重量及び活荷重(特にふ頭クレーンの諸元)を考慮して決定するものとしており、下記の値が標準的な寸法として示されている。

上部工幅^{●●}; 一般の大型係船岸では、10m~20m程度が多い。

上部工長さ; 一般の大型係船岸では、20m~30mが標準の長さである。

くい本数^{●●}; 一般の大型係船岸でふ頭クレーンが計画されている場合、法線直角方向に3本~4本のくいを使用している施設が多い。

くい間隔^{●●}; 一般の大型係船岸でふ頭クレーンが計画されている場合、5m程度、上部工が場所打ち鉄筋コンクリートである場合には4m~6m程度としている施設が多い。

②上部工の諸元

栈橋上部工の諸元は、くい間隔及びくい列間隔並びにくいの形状寸法、積載荷重及び活荷重の諸元、潮位、型枠、支保工の施工上の問題、地盤の良否、係船柱の配置、防げん材の配置、形状、寸法を考慮して決定するものとするとしている。

③天端高

係留施設の天端高は、潮差によって異なるが、H. W. L. から、次に示す値だけ高くすることが標準とされている。通常は、既設岸壁等との関係から決定する場合が多い。

水深4.5m以上の岸壁

潮差3.0m以上; 0.5m~1.5m

潮差3.0m未満; 1.0m~2.0m

水深4.5m未満の岸壁

潮差3.0m以上; 0.3m~1.0m

潮差3.0m未満; 0.5m~1.5m

④土留施設の構造諸元

土留施設の設計は、それぞれの構造様式に応じた安定計算を行うこととしている。

したがって、鋼直ぐい式栈橋・横栈橋の基本設計プログラムにより設計する場合、天端高以外の構造諸元は、過去の設計事例をもとに設定することとなる。

4. 設計事例による直ぐい式横栈橋の構造諸元

4.1 整理すべき構造諸元

前章で記述したように鋼直ぐい式栈橋・横栈橋の基本設計プログラムを利用して設計するために、あらかじめ設定しなければならない構造諸元は、技術者が自分の経験と過去の設計事例によって決定しなければならない。さらに、電子計算機による設計結果が妥当なものであるかを確認するために、くいの直径、くいの肉厚、くいの根入れ長を過去の設計事例と比較することも必要である。

したがって、設計事例から整理・分析しておくことが望まれる構造諸元は次の項目である。

土留部前面水深

土留部前面勾配

上部工幅

上部工長さ

くいの材質

法線直角方向のくい本数及び配置

法線平行方向のくい本数及び配置

上ぐいと下ぐいの肉厚差

くいの直径

くいの肉厚

くいの根入れ長

上部工の床版厚

上部工のはり幅

上部工のはり高

上部工のハンチ幅

土留施設の構造様式

次章ではこれらの構造諸元の整理・分析結果について述べる。

4.2 設計事例による構造諸元の統計的分析

4.2.1 土留部前面水深

設計事例による土留部前面水深の分布を岸壁の計画水深別に図-12～図-14に示す。これらの図をみると、計画水深-10m以上の岸壁では、-2.1m～-4mとしている事例が45%、-4.1m～-6mとしている事例が28%あり、この両者で全体の73%を占めている。計画水深-4.5m～-10m未満の岸壁では、-4m～+2mの範囲にある事例が多く、計画水深-4.5m未満の物揚場では、顕著な傾向が現れておらず-4m～+4mの範囲に広く分布している。

全体的な傾向としては、計画水深の深い施設ほど土留部前面水深は深くなっている傾向がある。

土留部前面水深は、原地盤の水深、既設構造物の有無、経済性等を考慮して決められるため、統計的数値からだけでは状況がよく把握できない。そのため、分析に用いた直ぐい式横棧橋の設計事例105例について、既設構造物の有無に着目して整理すると次のようになる。

既設構造物がある場合についてみると、既設構造物をそのまま土留施設として利用している事例と、前面に盛土をしたうえで既設構造物を土留施設として利用している事例とがある。既設構造物がない場合には、原地盤をそのまま利用して土留施設を設置している事例、原地盤を盛り上げて土留施設を設置している事例（図-15）、原地盤を掘削して土留施設を設置している事例、地盤改良をして土留施設を設置している事例（図-16）の4種類に分類される。

以上のような土留施設の設置方法の中で、どの方法を

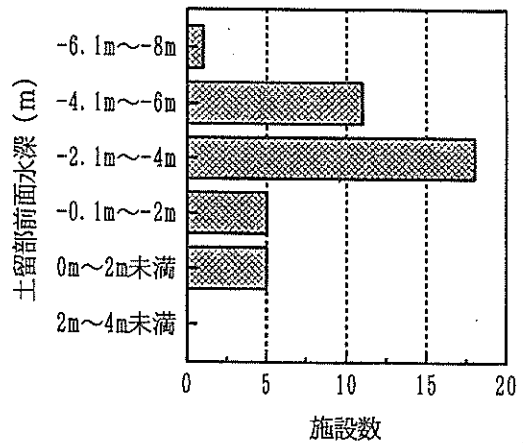


図-12 土留部前面水深別施設数
(-10m以深の岸壁)

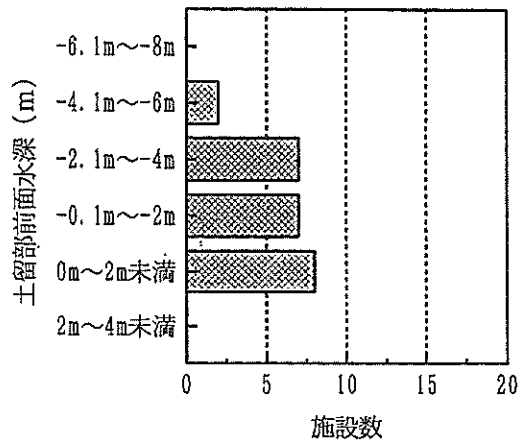


図-13 土留部前面水深別施設数
(-4.5m～-9m岸壁)

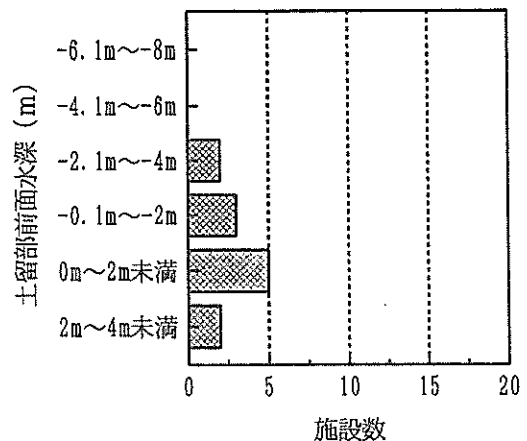


図-14 土留部前面水深別施設数
(-4m以浅の物揚場)

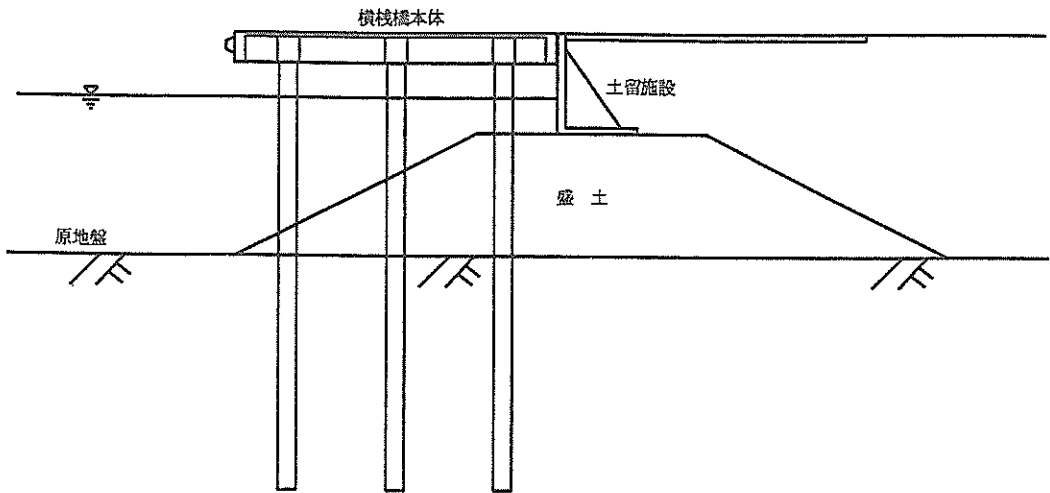


図-15 原地盤に盛土して土留施設を設置する事例

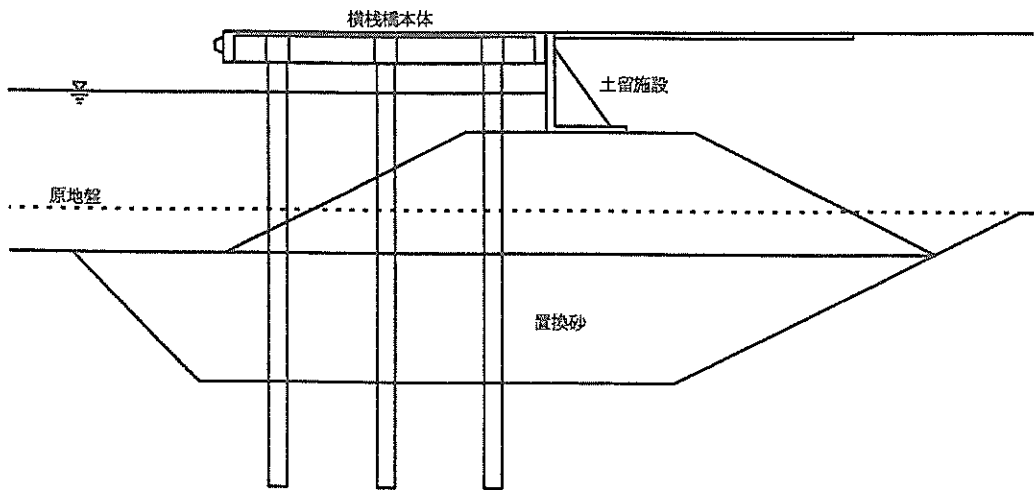


図-16 原地盤の地盤改良をして土留施設を設置する事例

選択するかは、与えられた計画水深及び地盤形状・条件の下で、どの方法が経済的に斜面の安定性が確保できるかによる。経済性の比較は土留施設のみならず棧橋本体をも含めた全体系で検討することが必要である。

4.2.2 土留部前面勾配

土留部前面勾配は、斜面の安定等を配慮して決められており、図-17に示すように、1:2としている事例が48%、1:1.5以上1:2未満としている事例が35%あり、この両者で全体の83%を占めている。

4.2.3 上部工幅

上部工幅の分布を岸壁の計画水深別に図-18～図-20に示す。これらの図をみると、計画水深-10m以上の岸壁では、15m～20m未満としている事例が36%、10m～15m未満としている事例が27%、20m～25m未満としている事例が24%あり、この3区間で全体の87%を占めている。計画水深-4.5m～-10m未満の岸壁では、10m～15m未満としている事例が49%、15m～20m未満としている事例が31%あり、この両者で全体の80%を占めて

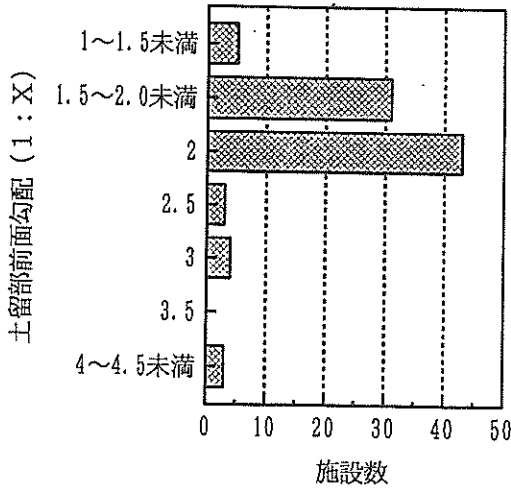


図-17 土留部前面勾配別施設数

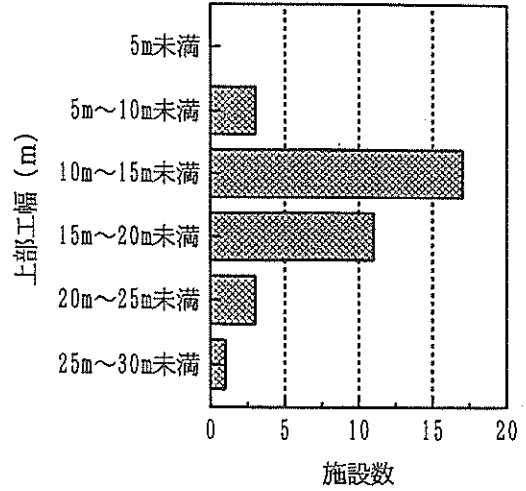


図-19 上部工幅別施設数(-4.5m~-9mの岸壁)

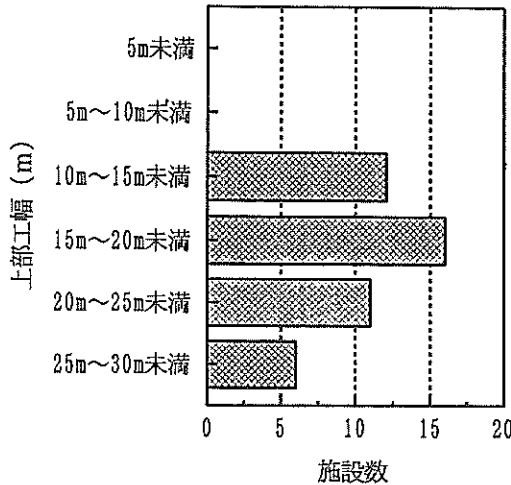


図-18 上部工幅別施設数(-10m以深の岸壁)

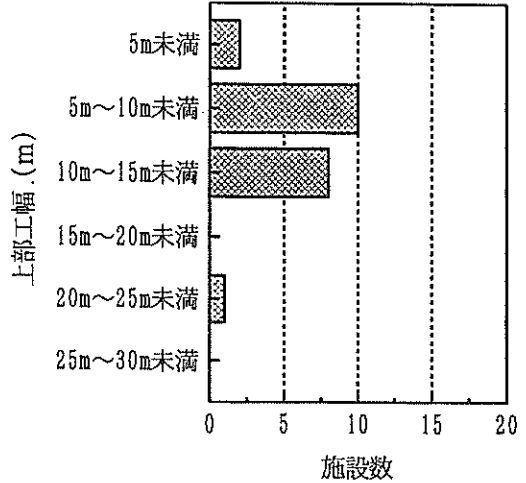


図-20 上部工幅別施設数(-4m以浅の物揚場)

いる。計画水深-4.5m未満の物揚場では、5m~10m未満としている事例が48%、10m~15m未満としている事例が38%あり、この両者で全体の86%を占めている。

統計的数値からだけでは上部工幅の状況がよく把握できないので、分析に用いた直ぐい式横棧橋の設計事例105例についてその断面図を調べてみた。その結果、上部工幅は、土留施設法線から岸壁法線までを所要エプロン幅として、エプロン幅と同程度にしたり、渡板の長さだけ短くしている事例が多い。また、土留施設背後までエプロンとして、上部工幅がエプロン幅より短くなっている事例も多い。その他には、土留施設の安定性を確保するために、上部工幅を所要のエプロン幅よりも長くしてい

る事例もある。

4.2.4 上部工長さ

岸壁1バースのうち、施工区間1ブロックの法線平行方向の上部工長さの分布を計画水深別に、図-21~図-23に示す。これらの図をみると、計画水深-10m以上の岸壁では、20m~25m未満としている事例が36%、25m~30m未満としている事例が31%、15m~20m未満としている事例が27%あり、この3区間で全体の94%を占めている。計画水深-4.5m~-10m未満の岸壁では、15~20m未満としている事例が49%、20m~25m未満としている事例が43%あり、この両者で全体の92%を占めている。計画水深-4.5m未満の物揚場では、15m~20m未満と

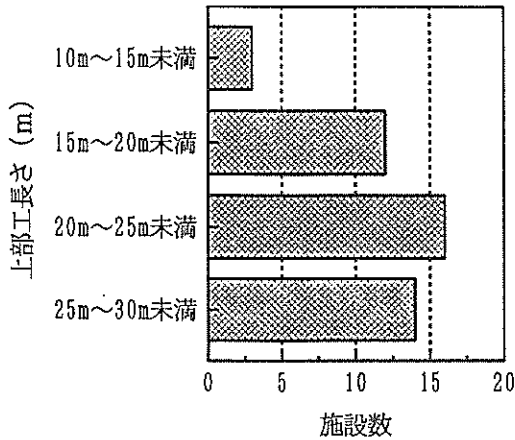


図-21 上部工長さ別施設数 (-10m以浅の岸壁)

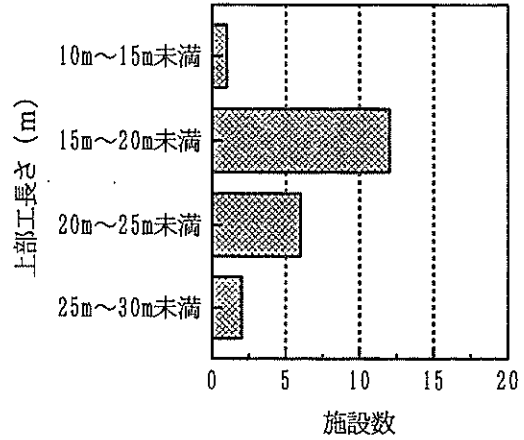


図-23 上部工長さ別施設数 (-4m以浅の物揚場)

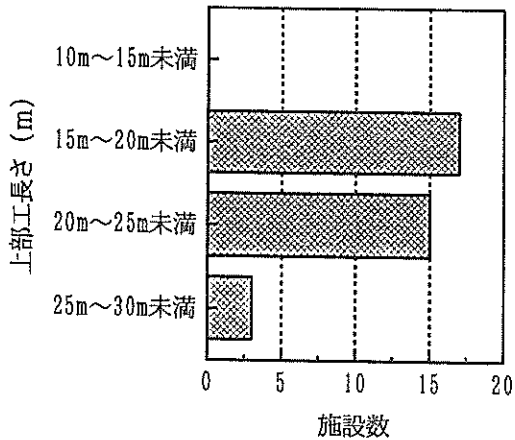


図-22 上部工長さ別施設数 (-4.5m~-9mの岸壁)

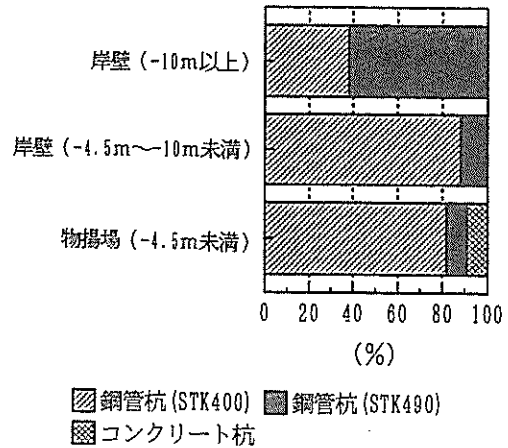


図-24 上ぐいの材質 (陸側)

している事例が全体の57%を占めている。

統計的数値からだけでは上部工長さの状況がよく把握できないので、分析に用いた直ぐい式横桟橋の設計事例105例についてその平面図を調べてみた。その結果、上部工長さは、設計者の判断により、設計区間を均等に分割するように決められている傾向がある。なお、すべてが均等に分割できない場合は、設計区間の片側または両側を異形部として設計している事例が多い。

4.2.5 くいの材質

設計外力が大きくなる場合が多い陸側のくいの材質の分布を、岸壁の計画水深別に図-24に示す。この図によると、計画水深-10m未満の岸壁では、STK400の鋼

管ぐいを使用している事例がほとんどであるが、計画水深-10m以上の岸壁では設計外力が大きくなるためか、STK400の鋼管ぐいを使用している割合は38%に減少し、強度の大きいSTK490の鋼管ぐいを使用している割合が62%と大きなシェアを占めるようになる。

4.2.6 法線直角方向のくい本数及び配置

法線直角方向のくい本数の割合を図-25に示す。この図をみると、法線直角方向のくい本数は、3本としている事例が42%、4本としている事例が32%あり、この両方で全体の74%を占めている。

図-26に上部工幅と法線直角方向くい本数の関係を示す。この図をみると、法線直角方向のくい本数は上部工幅との関係に良い相関を示し、上部工幅が長くなるほど

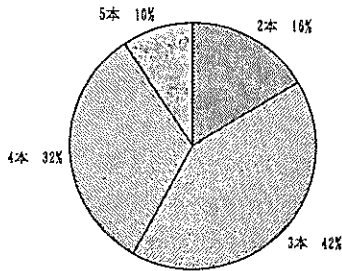


図-25 法線直角方向くい本数の割合

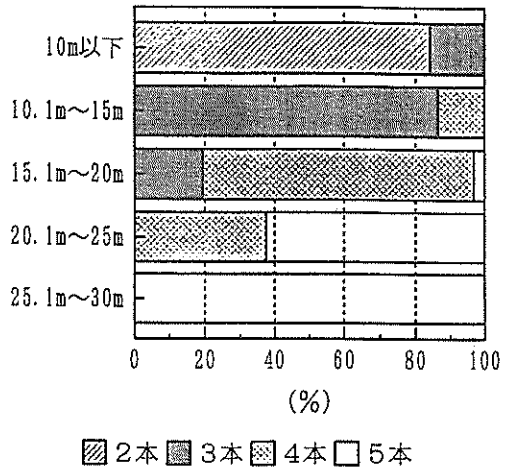


図-27 上部工幅別の法線直角方向くい本数

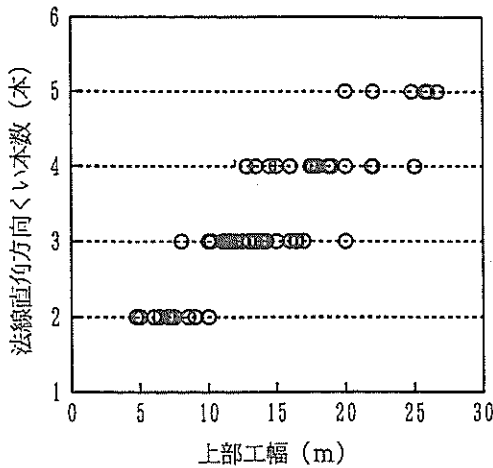


図-26 上部工幅と法線直角方向くい本数の関係

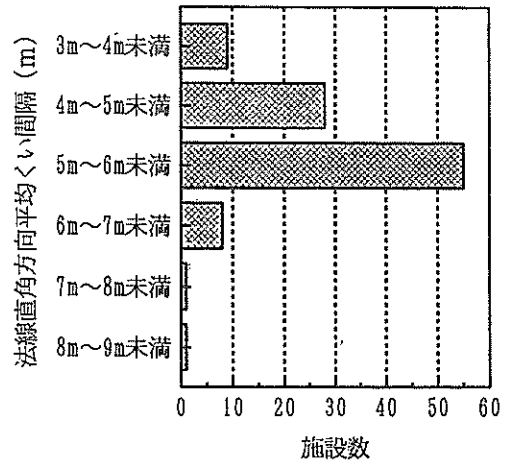


図-28 法線直角方向平均くい間隔別施設数

法線直角方向のくい本数も増えている。この図をさらに詳細に検討するために上部工幅を5区間に分けて、それぞれの区間で使用しているくい本数の割合を図-27に示す。この図をみると、上部工幅10m以下では2本(84%)、上部工幅10.1m~15mでは3本(87%)、上部工幅15.1m~20mでは4本(77%)、上部工幅20.1m~25mでは4本(38%)と5本(62%)としている事例が多くなっており、25.1m~30mはすべて5本で設計されている。

以上に示したように、法線直角方向のくい本数は上部工幅により推定できる。

なお、実際に設計するにあたっては、同じ上部工幅でもくい本数が、2グループに分けられる場合もあるので(例えば上部工幅20.1m~25mでは4本と5本としている事例が多い)、どちらが経済的であるか比較検討をする必要があるものと考えられる。

図-28に法線直角方向の平均くい間隔の分布を示す。この図をみると、法線直角方向の平均くい間隔は、5m~6m未満としている事例が全体の54%と最も多く、次に4m~5m未満としている事例が全体の27%と多い。この両方で全体の81%を占めている。

図-29に上部工幅と法線直角方向平均くい間隔の関係を示す。この図をみると、法線直角方向の平均くい間隔は、各くい本数毎に上部工幅との関係に良い相関を示し、くい本数2本では3m~6m、くい本数3本では3m~7m、くい本数4本及び5本では4m~6mの範囲に分布している。

以上のことから、法線直角方向の平均くい間隔は6mがほぼ上限になっており、各上部工幅におけるくい本数は、法線直角方向平均くい間隔を6m以下にするのに必要な本数となっているものと考えられる。

外側のくいから上部工がどの程度張り出しているかを

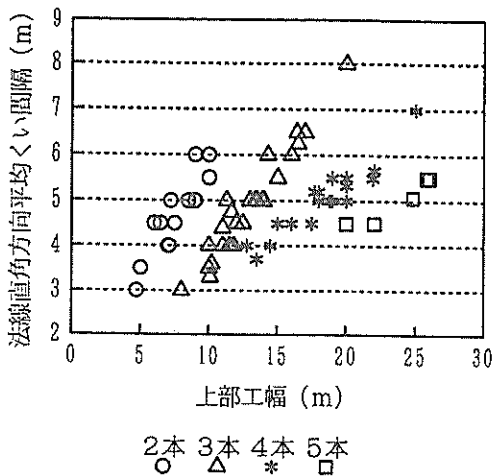


図-29 上部工幅と法線直角方向平均くい間隔の関係

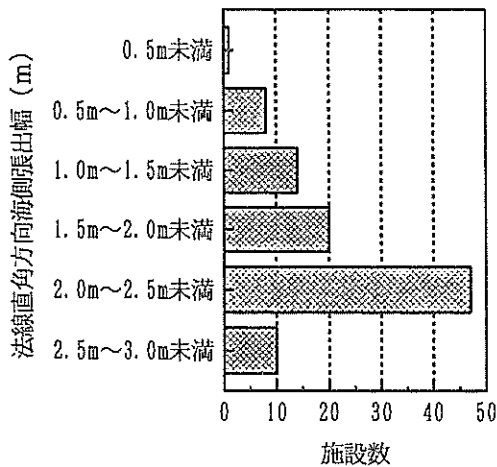


図-30 法線直角方向海側張出幅別施設数

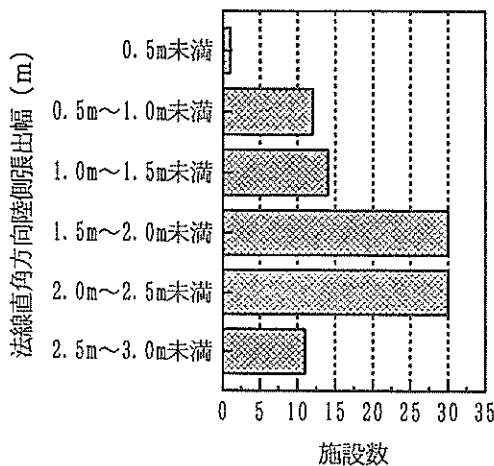


図-31 法線直角方向陸側張出幅別施設数

調べると、海側の場合は、図-30に示すように、2.0m～2.5m未満としている事例が全体の47%を占めており、陸側の場合は、図-31に示すように、1.5～2.0m未満、2.0m～2.5m未満としている事例がそれぞれ31%あり、この両者で全体の62%を占めている。また、全体的には、陸側を海側より短くしている傾向がみられる。

4.2.7.1 ブロックあたりの法線平行方向のくい本数及び配置

法線平行方向のくい本数の割合を図-32に示す。この図をみると、法線平行方向のくい本数は、4本としている事例が41%、5本としている事例が46%あり、この両者で全体の87%を占めている。

法線平行方向のくい本数も、法線直角方向と同様に上部工長さと良い相関を示すのではないかと考え、図-33に両者の関係を示した。この図から明確な相関関係はみられないが、若干、上部工長さが長くなれば、法線平行方向のくい本数が増えている傾向がみられる。法線平行方向のくい本数は図-32に示したように4本、5本が多用されているので、上部工長さを3区間に分けてそれぞれの区間で4本、5本の使用されている割合を調べ図-34に示す。この図をみると、上部工長さ20m以下では4本(71%)、上部工長さ20.1m～25mでは5本(85%)としている事例が多くっており、25.1m～30mはすべて5本で設計されている。

図-35に法線平行方向の平均くい間隔の分布を示す。この図をみると、法線平行方向の平均くい間隔は、5m以上6m未満としている事例が全体の51%と最も多く、次に4m以上5m未満としている事例が全体の37%と多い。この両者で全体の88%を占めている。

図-36に上部工長さと法線平行方向平均くい間隔の関係を示す。この図をみると、法線平行方向の平均くい間隔は、各くい本数毎に上部工長さとの関係に良い相関を

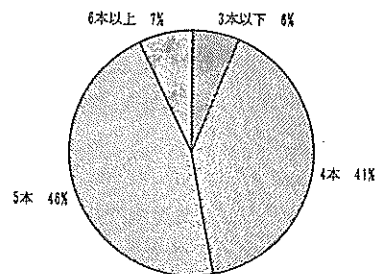


図-32 法線平行方向くい本数の割合

示し、くい本数4本では4m~6m、くい本数5本では3m~6mの範囲に分布している。

以上のことから、法線平行方向平均くい間隔は、法線直角方向と同様に6mがほぼ上限になっており、各上部工長さにおけるくいの本数は、法線平行方向の平均くい間隔を6m以下にするのに必要な本数となっているものと考えられる。この傾向は、法線直角方向ほど明確には現れていない。

外側のくいから上部工がどの程度張り出しているかを調べると、図-37に示すように、0.5m~3.0mの範囲に分布しており、中でも、1.5m~2.0m未満としている事例が全体の41%を占めている。

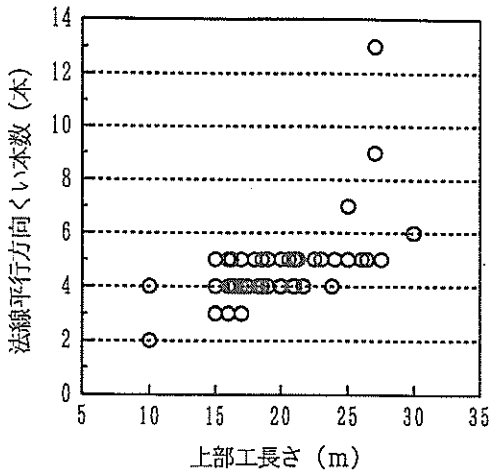


図-33 上部工長さと法線平行方向くい本数の関係

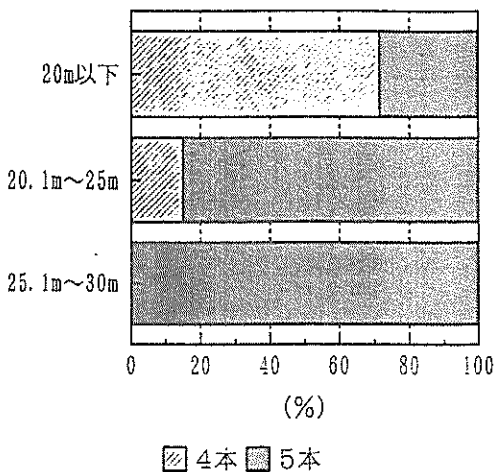


図-34 上部工長さ別の法線平行方向くい本数

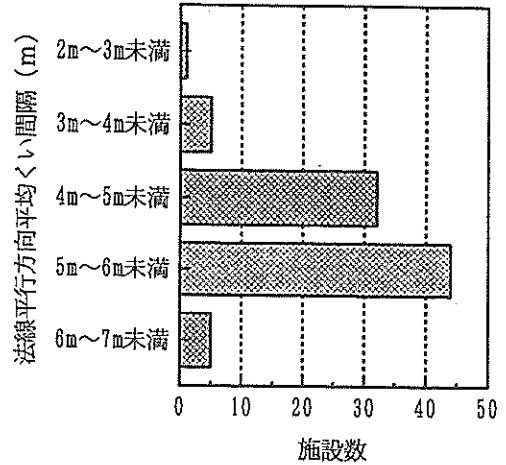


図-35 法線平行方向平均くい間隔別施設数

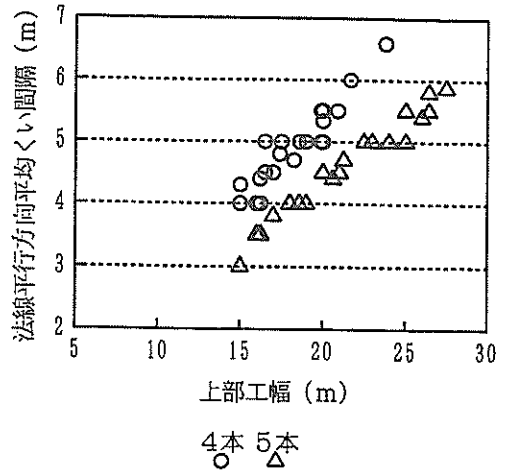


図-36 上部工長さと法線平行方向平均くい間隔の関係

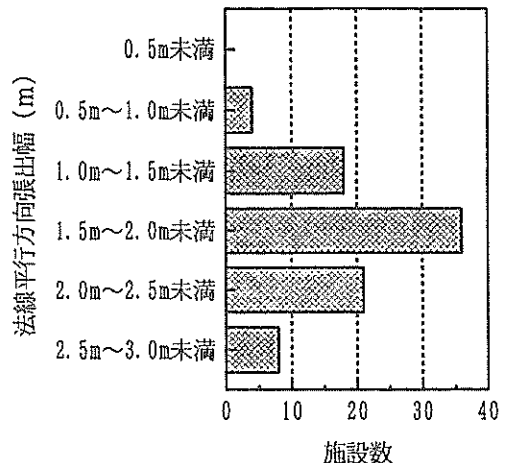


図-37 法線平行方向張り幅別施設数

4.2.8 上ぐいと下ぐいの肉厚差

図-38に継ぎぐいの有無を示す。この図を見ると、継ぎぐいをしている事例は全体の40%を占めている。

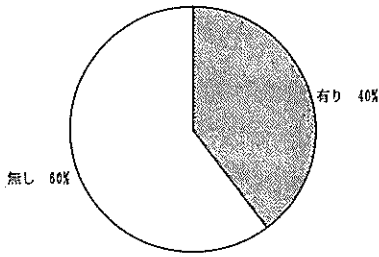


図-38 継ぎぐいの有無

この要因を調べるために、図-39にくいが比較的長い海側のくいについて、長さの違いによる継ぎぐいの有無の割合を示す。この図を見ると、くいの長さ（便宜的に上部工天端からくい下端までの距離とした）が30m以上の施設では継ぎぐいがある事例が全体の8割程度を占めているが、くいの長さが30m未満の施設では継ぎぐいがない施設の割合が8割程度を占めており明確に区分される。

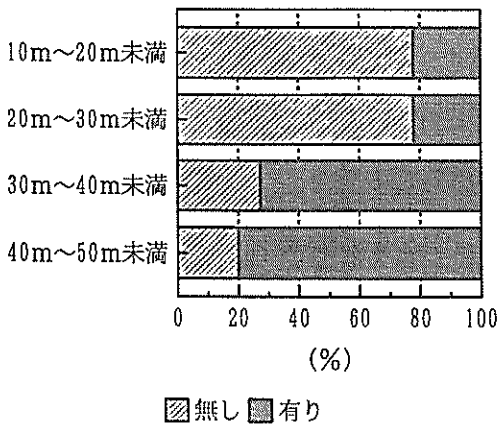


図-39 上部工天端からくい下端までの距離の違いによる継ぎぐいの有無

また、継手位置がどのような地点にあるかを調べるために、仮想地表面から継手位置までの距離と仮想地表面から仮想固定点までの距離の関係を図-40~図-41に示す。この図を見ると、継手位置はかなりばらついており、海側も陸側も仮想地表面から仮想固定点までの距離の2.0倍~2.5倍未満となっている事例が最も多く、海側で全体の38%、陸側で全体の36%を占めている。

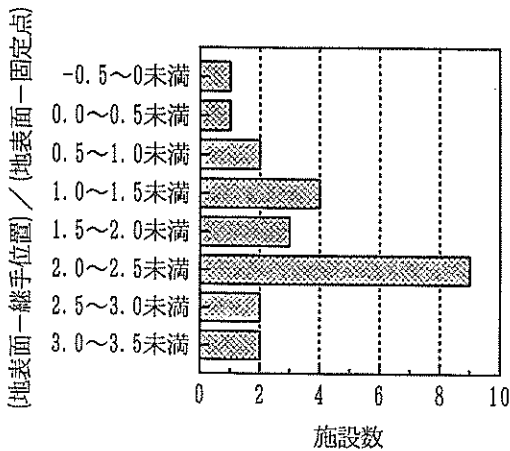


図-40 仮想地表面-継手位置と仮想地表面-仮想固定点との関係（海側）

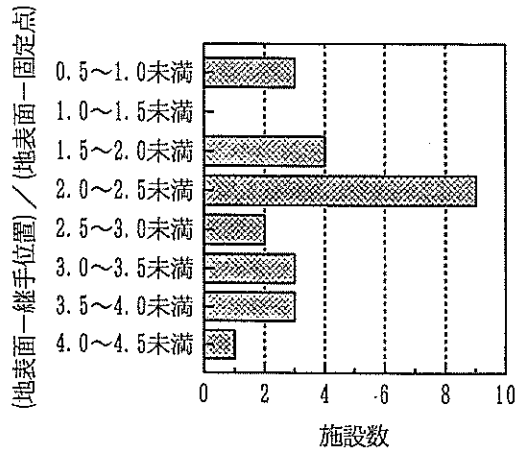


図-41 仮想地表面-継手位置と仮想地表面-仮想固定点との関係（陸側）

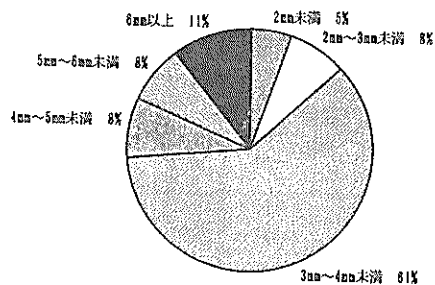


図-42 上ぐいと下ぐいの肉厚差（陸側）

縦ぎくいをしている事例について、上ぐいと下ぐいの肉厚差を図-42に示す。この図をみると、下ぐいを3mm～4mm薄くしている事例が全体の61%を占めており最も多い。

4.2.9 くいの直径

設計外力が大きくなる場合が多い陸側の上ぐいの直径の分布を図-43～図-45に示した。これらの図から、計画水深-10m以上の岸壁では、1000mm～1200mm未満の直径のくいを使用している事例が40%、800mm～1000mm未満の直径のくいを使用している事例が27%、600mm～800mm未満の直径のくいを使用している事例が22%あり、この3区間で全体の89%を占めている。計画水深-4.5m～-10m未満の岸壁では、600mm～800mm未満の直径のくいを使用している事例が全体の57%

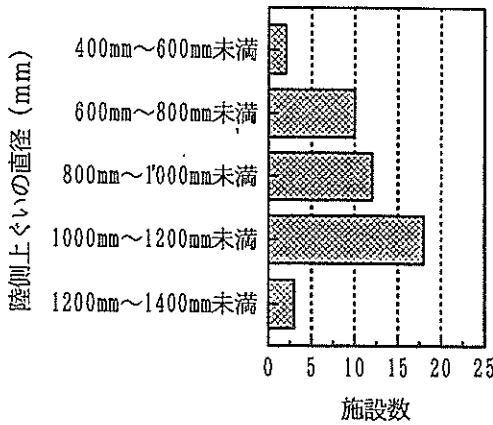


図-43 上ぐいの直径別施設数 (陸側)
(-10m以深の岸壁)

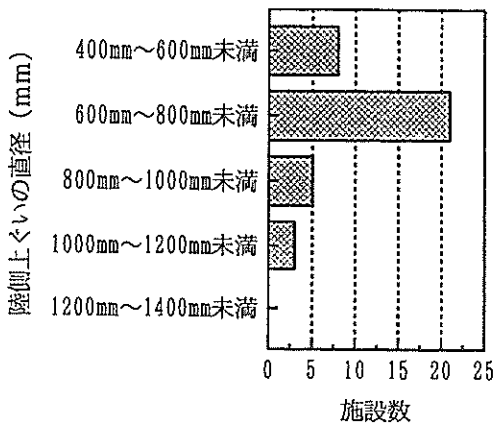


図-44 上ぐいの直径別施設数 (陸側)
(-4.5m～-9mの岸壁)

を占めている。計画水深-4.5m未満の物揚場でも、600mm～800mm未満の直径のくいを使用している事例が全体の70%を占めている。

全体的な傾向としては、計画水深の深い施設ほど太いくいを使用する傾向がみられる。

くいの直径は支持力の検討と応力度の検討等を行い決定されるが、設計事例を分析すると、図-46に示すようにくいの直径は応力度の検討により決定されている事例が全体の70%を占めている。さらに、応力度の検討は、常時と地震時と船舶接岸時について検討されるが、地震時の検討により決定されている事例が全体の74%を占めている (図-47)。

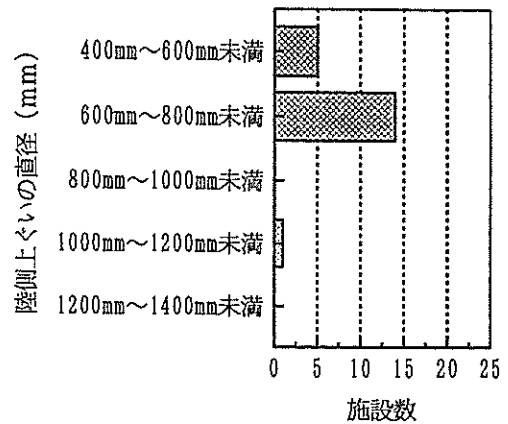


図-45 上ぐいの直径別施設数 (陸側)
(-4m以浅の物揚場)

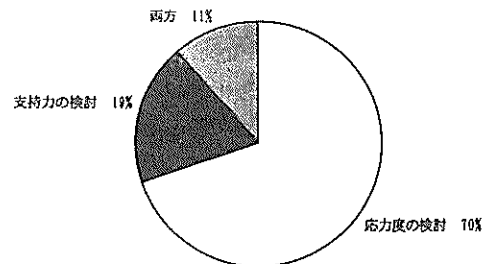


図-46 くいの断面の決定条件

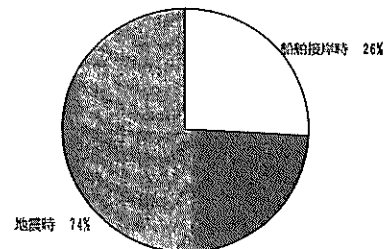


図-47 くいの断面応力度の決定条件

4.2.10 くいの肉厚

くいの肉厚は、直径により最低の肉厚が決まり、その上で、応力度等の検討を行い腐食代を考慮して決定される。全体としてどのような分布になっているかを、設計外力の大きくなる場合が多い陸側の上ぐいの肉厚の分布で図-48に示した。この図をみると、10mm～15mm未満となっている事例が50%、15mm～20mm未満となっている事例が32%あり、この両者で全体の82%を占めている。

4.2.11 くいの根入れ長

くいの根入れ長は鉛直支持力および横抵抗の検討により決定される。すなわち、根入れ長は鉛直外力に対して所要の支持力が得られるように支持地盤までの深さに支持地盤への根入れ長さを加えた深さと、水平外力に対してくいが長くとして機能するくいの長さを配慮して決定される。過去の設計事例によれば図-49に示すように、10m～20m未満となっている事例が全体の53%と最も多い。

この図をみると、根入れ長を10m以下としている事例もかなりあるが、これは、計画水深-10m未満の岸壁で、比較的浅いところに支持地盤がある場合に相当する。

4.2.12 上部工の細部構造諸元

上部工の細部構造諸元の中で、床版厚、はり高、はり幅、ハンチ幅について調べた。それぞれの寸法別の割合を図-50～図-53に示す。

上部工の床版厚の割合を図-50に示す。この図をみると、上部工の床版厚は、0.3mとしている事例が全体の38%と最も多く、次に0.25mとしている事例が全体の32%と多い。この両者で全体の70%を占めている。

上部工のはり高の割合を図-51に示す。この図をみると、上部工のはり高は1.0m～1.2m未満としている事例が全体の34%と最も多く、次に1.2m～1.4m未満としている事例が全体の33%と多い。したがって、1.0m～1.4m未満としている事例が全体の67%を占めている。

上部工のはり幅の割合を図-52に示す。この図をみると、上部工のはり幅は0.6m～0.8m未満としている事例が全体の50%と最も多く、次に0.8m～1.0m未満としている事例が全体の36%と多い。したがって、0.6m～1.0m未満としている事例が全体の86%を占めている。

上部工のハンチ幅の割合を図-53に示す。この図をみると、上部工のハンチ幅はほとんど0.2mとなっており、全体の88%を占めている。

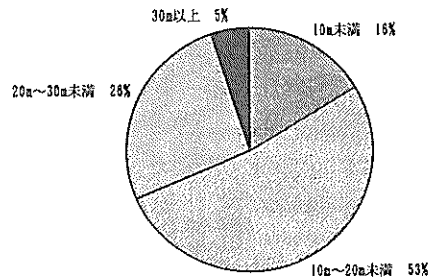


図-49 くいの根入れ長（海側）

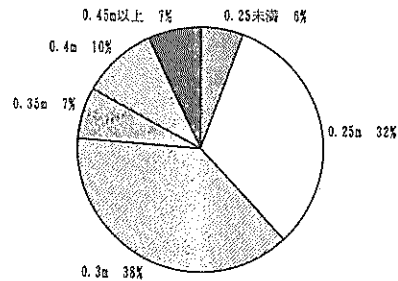


図-50 上部工の床版厚

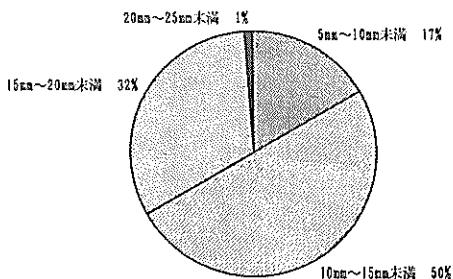


図-48 上ぐいの肉厚（陸側）

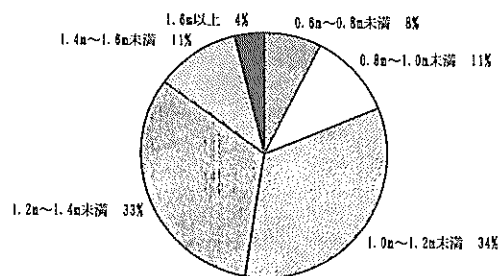


図-51 上部工のはり高

4.2.13 土留施設の構造様式

土留施設の構造様式の分布を図-54に示す。土留施設の構造様式の基本的形式には重力式と矢板式があるが、この図をみると、重力式としている事例が70%、矢板式としている事例が29%、その他が1%となっており、重力式が多用されている。

重力式の中では、L型ブロックで設計している事例が重力式全体の41%と最も多い。

矢板式の中では、控え矢板式で設計している事例が矢板式全体の34%と最も多い。

なお、図-54中に示す土留施設の構造様式の凡例は表-2のとおりである。

5. まとめ

5.1 栈橋式係船岸の特徴

岸壁の計画水深、設計震度、土質条件の違いによる係留施設の構造様式の特徴を比較した。その結果を以下に示す。

岸壁の計画水深の違いによる係留施設の構造様式の特徴は、計画水深の浅い施設では重力式で設計されている事例が多く、計画水深の深い施設では矢板式で設計されている事例が多い。栈橋式については、計画水深-10m以上の岸壁で設計されている事例が多い。

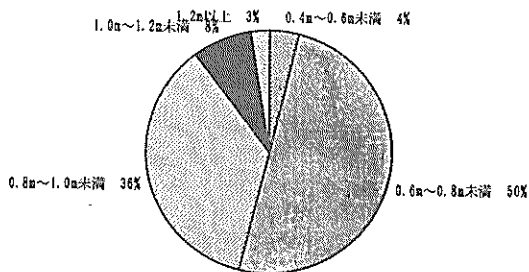


図-52 上部工のはり幅

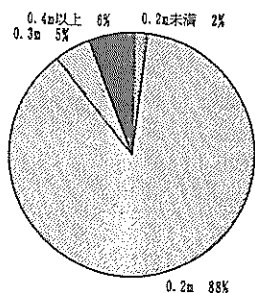


図-53 上部工のハンチ幅

設計震度の違いによる係留施設の構造様式の特徴は、設計震度の小さい施設では重力式で設計されている事例が多く、設計震度の大きい施設では栈橋式で設計されている事例が多い。両者の中間的な施設は矢板式で設計されている事例が多い。

土質条件の違いによる係留施設の構造様式の特徴は、岩盤及び岩盤と砂というような地盤条件が良い施設では重力式で設計されている事例が圧倒的に多い。その他の地盤条件の悪い施設では矢板式及び栈橋式で設計されている事例も多くなっている。

また、地盤条件の比較的悪い粘性土を含む地盤で設計される事例について、地盤改良方法の相違をみると、重力式係船岸では置換工法で地盤を改良する事例が多いが、矢板式係船岸及び栈橋式係船岸では地盤改良をしない事例が多い。このことから、地盤条件の悪い所では栈橋式係船岸、矢板式係船岸が経済性の面で優位になることが

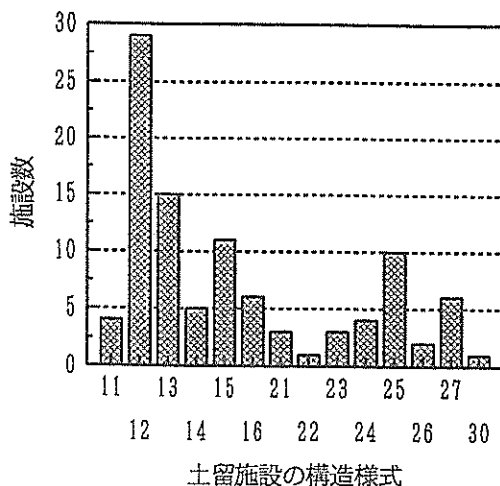


図-54 土留施設の構造様式別施設数

表-2 土留施設の構造様式の凡例

1 桁目	2 桁目
1. 重力式	1. ケーソン 2. L型ブロック 3. コンクリートブロック 4. セルラーブロック 5. 場所打ちコンクリート 6. その他(消波ブロック等)
2. 矢板式	1. 控版式 2. デットマン式 3. 控杭式 4. 控組み杭式 5. 控え矢板式 6. 斜め控杭式 7. その他
3. その他	0. その他

多いと想定される。

以上のことから、栈橋式係船岸は、イ)計画水深が深い、ロ)設計震度が大きい、ハ)地盤条件が悪いという条件の場合に設計される事例が多いことがわかった。

5.2 直ぐい式横栈橋の構造諸元

直ぐい式横栈橋の構造諸元及び構造諸元を決定する際の留意点を整理すると以下ようになる。

(1) 土留部前面水深

計画水深-10m以上の岸壁では、-2.1m~-6mとしている事例が全体の73%を占めている。計画水深-4.5m~-10m未満の岸壁では、-4m~+2mの範囲にある事例が多く、計画水深-4.5m未満の物揚場では、顕著な傾向が現れておらず-4m~+4mの範囲に広く分布している。

全体的な傾向としては、計画水深の深い施設ほど土留部前面水深は深くなっている傾向がある。

土留部前面水深は、原地盤の水深、既設構造物の有無、経済性等を考慮して決められる。そこで、今回分析に用いた105施設を、既設構造物の有無に着目して分類すると次のように分かれる。

①既設構造物がある場合についてみると、イ)既設構造物をそのまま土留施設として利用する事例と、ロ)既設構造物の前面に盛土をした上で既設構造物を土留施設として利用する事例の2種類に分類される。

②既設構造物がない場合についてみると、イ)原地盤をそのまま利用して土留施設を設置する事例と、ロ)原地盤を盛り上げて土留施設を設置する事例と、ハ)原地盤を掘削して土留施設を設置する事例と、ニ)地盤改良をして土留施設を設置する事例の4種類に分類される。

以上のような土留施設の設置方法の中で、どの方法を選択するかは、与えられた計画水深及び地盤形状・条件の下で、どの方法が経済的に斜面の安定性が確保できるかによる。経済性の比較は土留施設のみならず栈橋本体をも含めた全体系で検討することが必要である。

(2) 土留部前面勾配

土留部前面勾配は、1:2としている事例と1:1.5以上1:2未満としている事例が多く、この両者で全体の83%を占めている。

(3) 上部工幅

上部工幅は、岸壁の計画水深により次のイ)~ハ)の寸法に分類される。

イ)計画水深-10m以上の岸壁

10m~25m未満としている事例が全体の87%を占めている。

ロ)計画水深-4.5m~-10m未満の岸壁

10m~20m未満としている事例が全体の80%を占めている。

ハ)計画水深-4.5m未満の物揚場

5m~15m未満としている事例が全体の86%を占めている。

今回分析に用いた105施設についてその断面図を調べてみると、上部工幅は、土留施設法線あるいは渡板端から岸壁法線までであるが、上部工幅を岸壁の規模により定まる所要エプロン幅と同じに設定している設計事例が多い。既存岸壁の前面に大型の岸壁を築造する場合には計画水深が確保できる最小の前出し幅を確保するという観点から上部工幅が決められているケースもある。

(4) 上部工長さ

上部工長さは、岸壁の計画水深により次のイ)~ハ)の寸法に分類される。

イ)計画水深-10m以上の岸壁

15m~30m未満としている事例が全体の94%を占めている。

ロ)計画水深-4.5m~-10m未満の岸壁

15m~25m未満としている事例が全体の92%を占めている。

ハ)計画水深-4.5m未満の物揚場

15m~20m未満としている事例が全体の57%を占めている。

上部工長さは、防衝工反力やけん引力などの外力に対して剛性を大きくするため長いほうが有利であるが、不同沈下の程度やコンクリートの打設能力を考慮して決定する。

また、今回分析に用いた105施設についてその平面図を調べてみると、上部工長さは、設計者の判断により設計区間を均等に分割するように決められている場合が多い。すべてが均等に分割できない場合は設計区間の片側または両側を異形部として設計されている。

(5) 上部工の細部構造諸元

上部工の床版厚は、0.25m及び0.3mとしている事例が多く、この両者で全体の70%を占めている。

上部工のはり高は、1.0m~1.4m未満としている事例が全体の67%を占めている。

上部工のはり幅は、0.6m~1.0m未満としている事例が全体の86%を占めている。

上部工のハンチ幅は、0.2mとしている事例が全体の88%を占めている。

(6) くい材質

くいの材質は、岸壁の規模により次のイ)~ロ)に分類される。

イ)計画水深-10m以上の岸壁

STK490を使用している事例が多い。

ロ)計画水深-10m未満の岸壁

STK400を使用している事例が多い。

(7) 法線直角方向のくい本数及び配置

法線直角方向のくい本数は、上部工幅に応じて次のイ)～ホ)の本数に分類される。

イ)上部工幅10m以下

2本としている事例が多い。

ロ)上部工幅10.1m～15m

3本としている事例が多い。

ハ)上部工幅15.1m～20m

4本としている事例が多い。

ニ)上部工幅20.1m～25m

4本と5本としている事例が多い。

ホ)上部工幅25.1m～30m

すべて5本としている。

上部工幅20.1m～25mでは4本と5本としている事例が多いことから、設計するにあたっては、両者について経済性等の比較検討をする必要がある。

法線直角方向の平均くい間隔は図-29示す上部工幅と法線直角方向くい本数の関係から決まる。また、端部の上部工の張出幅は海側では2.0m～2.5m未満としている事例が多く、陸側では1.5m～2.5m未満としている事例が多い。

(8) 1ブロックあたりの法線平行方向のくい本数及び配置

法線平行方向のくい本数は、上部工長さに応じて次のイ)～ハ)の本数に分類される。

イ)上部工長さ20m以下

4本としている事例が多い。

ロ)上部工長さ20.1m～25m

5本としている事例が多い。

ハ)上部工長さ25.1m～30m

すべて5本としている。

法線平行方向の平均くい間隔は図-36に示す上部工長さとは法線平行方向くい本数の関係から決まる。また、端部の上部工の張出幅は1.5m～2.0m未満としている事例が多い。

(9) 上ぐいと下ぐいの肉厚差

継ぎぐいをしている事例は、全体の40%を占めており、くいの長さが30m以上の施設では継ぎぐいがある事例が多く、くいの長さが30m未満の施設では継ぎぐいがない事例が多い。

継ぎぐいをしている事例について、上ぐいと下ぐいの

肉厚差を調べてみると、下ぐいを3mm～4mm薄くしている事例が全体の61%を占めている。

(10) くいの直径及び肉厚及び根入れ長

くいの直径は岸壁の規模により次のイ)～ハ)の寸法に分類される。

イ)計画水深-10以上の岸壁

600mm～1200mm未満となっている事例が全体の89%を占めている。

ロ)計画水深-4.5m～-10m未満の岸壁

600mm～800mm未満となっている事例が全体の57%を占めている。

ハ)計画水深-4.5m未満の物揚場

600mm～800mm未満となっている事例が全体の70%を占めている。

設計事例を分析するとくいの直径は、応力度の検討により決まる場合が多く、その中でも、地震時の検討により決定されている事例が多い

くいの肉厚は、10mm～20mm未満となっている事例が全体の82%を占めている。

くいの根入れ長は、10m～20m未満となっている事例が全体の53%を占めている。

6. あとがき

本資料は、直ぐい式横棧橋の構造諸元について分析・整理し、設計の際の諸元決定、あるいは、設計計算結果のチェックのための参考資料として使用されることを、念頭において作成したものである。

今後は、直ぐい式横棧橋以外の棧橋式係船岸についても、データを収集・分析し、直ぐい式横棧橋との比較をしていく必要があろう。また、過去に分析したケーソン式混成堤及びケーソン式係船岸以外の構造様式についても分析していく必要があると考えられる。

本研究は、各港湾建設局等から提出して頂いた資料から作成したデータベースを利用して統計処理したものである。また、本研究をまとめるにあたっては、武藤計画設計基準部長より懇切な御指導、御助言を頂いた。ここに感謝の意を表します。(1993年3月31日受付)

参考文献

- 1) 堀川洋, 神田勝己, 堀家正; ケーソン式混成防波堤構造諸元の統計的分析, 港湾技研資料NO.644, 1989
- 2) 堀家正, 春日井康夫; ケーソン式係船岸の構造諸元の統計的分析, 港湾技研資料NO.702, 1991
- 3) (社)日本港湾協会, 運輸省港湾局監修; 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版, 平成元年6月

港湾技研資料 No.749

1993・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有)つばさ印刷技研

Published by the Port and Harbour Research
Institute, Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1993) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a
maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複
写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。