

港 湾 技 研 資 料

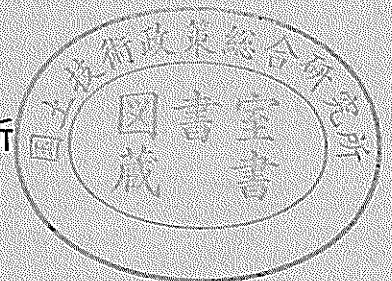
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.265 June, 1977

—陸開の設計法についての検討—

石	塚	修	次
三	橋	郁	雄
久	保	清	志

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	1	2.11 I形材に発生する応力度	22
§ 1 まえがき	1	(a) 垂直応力度	22
§ 2 陸間の設計法についての検討	2	(b) せん断応力度	22
1 陸こう(間)の概要	2	(c) 合成応力度の検算	23
1.1 陸こうの定義	2	2.12 フランジ部の板厚	23
1.2 陸こうの機能	2	(a) 圧縮部	23
1.3 陸こうの配置	2	(b) 引張部	24
1.4 陸こうの構造形式	2	2.13 スキンプレートの一部を主げたフラン	
1.5 陸こうの天端高	3	ジに用いる場合の有効幅	24
2 陸こう 躯体部の設計	3	2.14 腹板厚	25
2.1 適用範囲	3	2.15 縦げた	26
2.2 設計の基本方針	3	2.16 補助縦げたと補助横げた	26
2.3 構造及びその力学的解析	4	2.17 垂直補剛材	26
(a) 構造	4	(a) 間 隔	26
(b) 構造の力学的解析	5	(b) 剛 度	27
2.4 外力	5	(c) 取付け方	28
(a) 種 類	5	2.18 荷重集中点の補剛材	28
(b) 作用方法	8	2.19 端けた	28
2.5 材 料	10	2.20 溶接方法	28
(a) 材 料	10	2.21 溶接継手	29
(b) 物理定数	11	2.22 その他	30
2.6 許容応力度	11	3 陸こう基礎部・支柱部・格納部の設計	31
(a) 母 材	11	§ 3 あとがき	33
(b) 溶接部の許容応力度	16		
2.7 許容たわみ量	16	付 録	
2.8 材料の最小厚及び腐食代	20	A 陸こう調査	34
2.9 部材の細長比	21		
2.10 スキンプレート	22		

The design method for preventing-storm-surge gates

Shuji ISHIZUKA*

Ikuo MITSUHASHI**

Kiyoshi KUBO***

We can see a lot of gates against storm surge in the port area of Japan. This gate prevent storm surge from breaking into the land area. Though many gates has been constructed for these ten years, the reasonable design method for them have not been established. In this paper, we deal with the design standard of such a gate. The features of this paper is as followed.

- 1) We adopt steel and aluminium alloy as materials of gates.
- 2) Impact forces and wave pressure are considered as external forces.
- 3) We can decide the allowable maximum deflection of a gate.

* Chief of the Design Standard Section, Design Standard Division

** Deputy Chief of the Section, Design Standard Division

*** Member of the Automatic Design Laboratory, Design Standard Division

陸閘の設計法についての検討

石 塚 修 次
三 橋 郁 雄
久 保 清 志

概 要

高潮対策施設としての陸閘（陸上防潮扉）の標準的設計法確立のための一布石として、主として扉体部の設計法に関し、詳細に記述を試みたものである。外力としては水圧、波圧、衝突力を取り扱い、その計算法を明示した。許容応力、許容変位量の規定を設け、その根拠を明らかにした。さらに鋼材ばかりでなく、近年その普及がめざましいアルミ合金材についても、鋼材と全く同様の設計理論に基づいて細かに規定した。

また、日本全国の港湾管理者が有する陸閘についてスパン、高さ、タイプ、材料などの調査を行ったので、その結果も報告する。

§1 まえがき

高潮対策施設としての陸閘（陸上防潮扉）は、高潮津波時に速みやかに閉鎖され、海水の陸部への侵入を防止する機能を有するが、近年その設置数が増大し、これからも沿岸付近の高度利用に伴い、建設基数は増加してゆくものと思われる。従来、陸閘の材料としては、鋼材が大半を占めていたが、近年になって管理・維持の面で有利であるアルミ合金材の陸閘がかなりの数見られるようになってきた。

陸閘の設計法に関して、従来、多くの管理者が準拠していたものは、水門鉄管技術基準である。しかしこの基準はその適用が鋼材に限られていること、本来はダム水門に適用される規定であること、陸閘の設計外力として当然考慮すべき衝突力、波圧に関し、非常に不十分な内容であること、などの点から、陸閘の設計にあたって参考資料とはなるものの、それを越えるものではない。実際、各港湾管理者はそれぞれ独自の設計仕様書を作成し、陸閘の建設にあたってきたのである。しかし、この設計仕様書は各管理者ごとにまちまちであって、例えば外力の規定、許容応力、許容たわみ量の規定が実に様々であり、したがって構造断面も異なる場合が多い。このため日本全国にわたって陸閘の安全性に均衡がとれておらず、ばらばらであるのが現状である。また、同一港湾内に於ても、設置基数の多さと閉鎖作業のスピード化のため、できるだけ構造的には単純で統一化されていることが必要であるが、現実には様々な構造を見ることができる港湾

もある。さらに、アルミ合金材の設計法は準拠する基準がなく、現在は手探りの状態であるといえる。

このように、陸閘は近年増加の一途をたどっているものの、その設計法には混乱がみられ、その統一化、標準化が強く要求されているのである。本稿はこの要求に沿い、その標準的設計法の確立のための一布石を提供するべく、まとめたものである。

本稿では、最も一般的な引戸式陸閘の、しかも、主として扉体部の設計法に限って規定をまとめている。

まとめるにあたっての基本方針は以下のとおりである。

- ① 陸閘は、その破壊時の周辺財産・人命に及ぼす影響を考えると、重要構造物と評価することができる。
- ② しかし、陸閘の水密精度を、高水圧が作用するダム水門に要請される精度と同程度にとるのは、水圧の大きさや外力の作用時間の点からみて過大であると考えられる。また、河口水門ほど大がかりな構造物ではない。設置基数が多いため、所定の機能を果せば、できるだけ安価な構造とすべきである。
- ③ 安全性の度合を隣接する胸壁とほぼ同一にする必要がある。
- ④ 設置場所によっては衝突力と波圧を考慮すべきことを明記し、かつ、陸閘の特性に見合った衝突力と波圧の算定式を示す。
- ⑤ 材料としては、鋼材とアルミ合金材を対象とする。
- ⑥ 許容応力のとり方、各部材の寸法の決め方は、鋼材の場合は、道路橋示方書と水門鉄管技術基準を参考に

* 設計基準部 設計基準研究室長

** 設計基準部 専門官

*** 設計基準部 自動設計研究室

しながら、陸間の特性に見合った規定を作成する。アルミ合金材の場合は、鋼材に適用した設計理論をできるだけそのまま踏襲して規定を設ける。

- ⑥ 許容たわみ量は、鋼材、アルミ合金材のいずれについても同一とし、また、道路橋示方書の規定より若干厳しいが、水門鉄管基準よりはゆるい値を規定する。
- ⑦ 記述範囲は、最も一般的形式である引戸式の扉体部、及び基礎部・支柱部にとどめる。他の形式の扉体部はこれを準用することとし、また扉体部・基礎部・支柱部以外は標準化しにくいので、その設計法にはふれないこととする。

以上の基本方針に基づき、扉体部の一般的タイプであるプレートガーダ構造の設計について外力、許容応力、許容たわみ量、鋼材の種類、アルミ合金材の種類、部材の配置、部材の剛度、耐食性などについて、参考となる従来の例を紹介しながら、詳細に標準的基準及びその根拠を示した。またこの基準に基づいた陸間の試設計を、スパン長 15 m、扉高 2 m の扉体及び基礎部について、行いながら本設計法の妥当性を確かめつつ設計法を検討した。さらに、日本全国の陸間の設置状況調査を実施し、総設置数や、近年における鋼材とアルミ合金材陸間の設置数の経年変化、また、陸間の大きさなどについて結果が得られたので、これについても報告している。

§ 2 陸間の設計法についての検討

1 陸こう(閘)の概要

1.1 陸こうの定義

陸こうとは、水際線で行われる港湾活動などに支障を与えずに、高潮、波、津波による陸部の破壊、浸水を防止するため、堤防や胸壁などに設けられる門扉をいう。陸こうは、その前面の港湾施設などを利用する車両や人の通行を可能とするため通常は扉を開いており、高潮などの異常時には海水の陸部への侵入を防止するため扉を閉じる。

1.2 陸こうの機能

陸こうは、扉を開くことにより港湾活動などに支障を与えないと共に、扉を閉じることにより防護地域への高潮、波、津波による海水の侵入を防止できるものでなければならない。

【解説】

① 陸こうとしては、①波、津波や木片などの衝突力などに抵抗する十分な強度を有すること、②防護地域への海水の侵入量を堤防などの越波量以下におさえる水密性を有すること、③扉の開閉操作が容易であること、④維持管理が容易であり耐久性を有すること、などが必要で

ある。

- ② 高潮、波浪については、その発生がある程度予測できるので、扉を閉鎖する時間的余裕があるが、津波については、その発生の予測が現在では不可能であり、また、特に近い地震による津波の来襲時間は短く、扉を閉鎖する時間的余裕はほとんどないので注意する必要がある。
- ③ 陸こうは、堤防や胸壁などの一部であるので、設計条件や天端高の決定の考え方はこれらと同一とする。
- ④ 高潮波浪時には、陸こうに対して、水圧、波圧のほか、木片その他の漂流物の衝突力も作用する可能性がある。また、津波時には、小舟などの衝突も考えられるので、陸こうや堤防などの設計には特に注意を要する。

1.3 陸こうの配置

陸こうは、堤防や胸壁などの一部であるため、陸こうの配置と堤防や胸壁などの配置とは同時に検討する必要がある。また、陸こうは、維持管理に相当多くの人手や費用を要するので、その設置数はできるだけ少くする必要がある。

【解説】

- ① 堤防などの高潮対策施設は、一般的には水際線に設置され全ての陸域を防護するが、水際線が岸壁などとして利用される地域などにはこれら活動に支障を与えないように水際線より後方の位置に設置され、その間の陸域については防護しない。
- ② 陸こうは、その主体が開閉扉であるため維持管理を適切に実施していないと、高潮時などの必要な時に扉が作動せず、防護地域への海水の侵入を防止できなくなるおそれがある。このため、いつでも確実に扉を開閉できるように維持管理する必要があり、これには相当多くの人手や費用を要する。

1.4 陸こうの構造形式

陸こうの構造形式としては、スライド式(引戸式)、スウィング式(片開戸式、又は片開き式)、マイター式(両開戸式、又は両開き式)、ストップログ式(角落し式)などがある。

【解説】

- ① スライド式が最も多く、次いでスウィング式、マイター式である。
- ② 本基準(案)では、スライド式についてのみ規定を定め、スウィング式、マイター式は、これを準用することとする。
- ③ スライド式は扉体部、動力車輪部、水密戸当り部、締め付け装置部、支柱部、基礎部、格納部および転倒防止装置などの付属物から成っている。本基準(案)では扉体部、および支柱部、基礎部、格納部の設計方法について

規定している。

1.5 陸こうの天端高

陸こうの天端高は胸壁の天端高と原則として一致させる。

【解説】

胸壁の天端高は、対象とする高潮津波が陸部へ侵入しないように決められるが、厳密には、許容越波量で概念で決定されるべきである。

2. 陸こう扉体部の設計

2.1 適用範囲

- ① I形断面材より構成されるプレートガーダー構造の陸こうを対象とする。
- ② 材料として、鋼材及びアルミ合金材を取り扱う。
- ③ スパンは 25 m 程度まで、高さは 3 m 程度までとする。
- ④ 継手の接合方法は、鋼製、アルミ合金製のいずれも溶接の場合の規定にとどめる。
- ⑤ スキンプレートと反対側の、I形材のフランジは板一枚から成る場合の規定にとどめる。
- ⑥ アルミ合金では主要部材の溶接を工場溶接の場合のみの規定にとどめる。
- ⑦ スキンプレートはプレートガーダーに関し、陸側、海側のいずれに配置してもよい。
- ⑧ 陸こうのタイプは引戸式とする。片開き式、両開き式は本案を準用して用いることができる。

【解説】

- ① 橋梁（鋼材）ではスパンが 40 m 程度以下までは、通常、プレートガーダーが用いられ、それより大きなスパンではトラス構造が用いられる（土木工学ハンドブック p.1251）。このことから見て、陸こうの構造はプレートガーダータイプがよい。現実にトラス式はまれである。
- ② 全体を薄板で囲みシェル構造とするボックスガーダータイプが、最近 2、3 の例でみられるようになってきている。このタイプは高さが小さく（1 m 程度）、スパンが長い（20 m 程度）場合には、経済的に有利であるといわれている。ただし管理維持上の塗装作業が面倒である。
- ③ 既設陸こうではスパン 25 m、高さ 3 m を超えるものはごくまれになる。超大形陸こうの場合は本案で規定する外力の作用等が適用できず、別途考慮する必要があると考えられる。ただし、スパン長が小さく（5 m 程度）、高さが高い（4 m 程度）陸こうについては本案を準用できる。

④ ㄱ形（チャンネル形）断面材より構成される陸こうについては、本案を準用できる。

⑤ 本案では、スキンプレートと反対側の、I形材のフランジは板一枚から成る場合につき規定するが、複数枚の場合には、フランジが十分一体性を維持できれば、本案を使用することができる。

⑥ 材料としては、鋼材、アルミ合金材以外には、ステンレス材があるが、高価である。

2.2 設計の基本

- ① 安全、かつ、確実に作動する構造とする。長期の、のびに耐える構造とする。
- ② 止水機能が十分に満足されること。
- ③ 原則として手動駆動とする。ただし、手動による人員は 2 人までとする。動力駆動の場合も手動により作動が可能であるようにすること。
- ④ 基礎地盤のわずかな不等沈下に対しても強い構造とする。
- ⑤ 構造の各部はなるべく簡単にし、製作・運搬・架設・検査・塗装・排水・清掃等に便利のように設計する。
- ⑥ 設計計算にあたっては、構造物の強度・変形・安定等を検討し、適切な安全度を確保する。
- ⑦ 構造の各部材は部材の偏心、格点の剛性、断面の急変、自重による部材のたわみ等の影響により生ずる二次応力が、なるべく小さくなるよう設計する。

【解説】

① 陸こうに動力駆動装置を設置するかどうかについては、個々の陸こうの車輪・車軸のまさつ抵抗、閉鎖作業時に動員可能な作業員数、及び閉鎖作業時の高潮襲来時刻に対する余裕などにより異なるが、参考例を示せば次のとおりである。（O市やT市）。

鋼製陸こうについての手動の限界重量 6～10 t

- ② 鋼製陸こうでは、径間 10～20 m、扉高 1.5～2.5 m のとき、鋼材重量 15～30 t
- ③ アルミ合金製ゲートの重量早見図・図 2-2-1 を次頁に掲げる（K 県資料）。

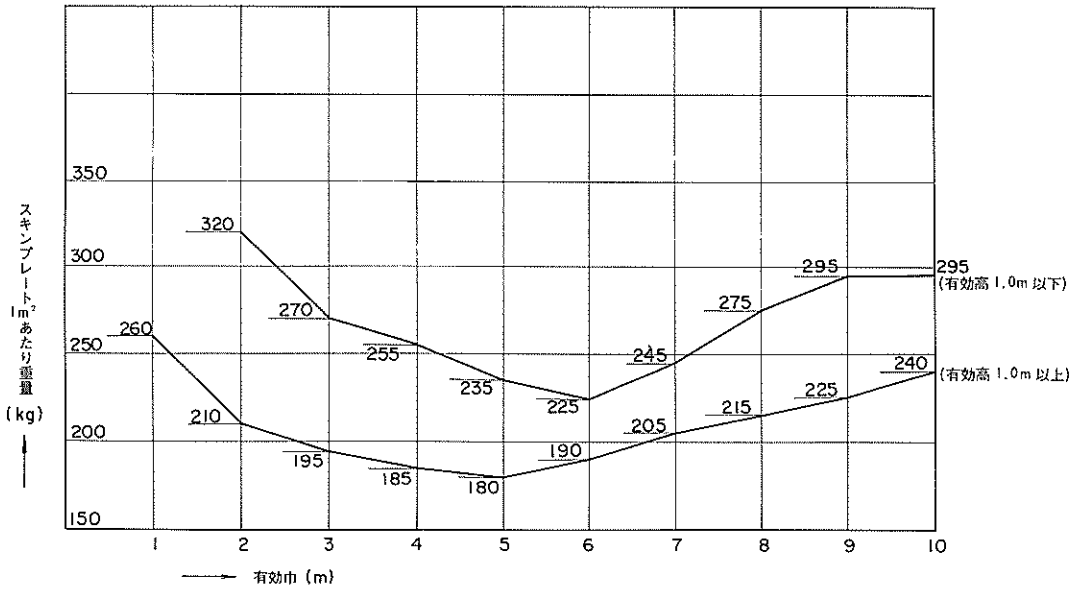


図 2-2-1 アルミ合金製ゲートの重量早見図 (K 県資料)

2.3 構造及びその力学的意味

(a) 構造

- ① 通常の引戸式陸こうの扉体は、
 - ① スキンプレート
 - ② 主げた (I 形材, フランジ及びウェーブ)
 - ③ 縦げた
 - ④ 補助縦げた
 - ⑤ 端げた
 より構成される。
- ② 大断面になり主げたのウェーブ幅が大きくなれば垂直補鋼材や水平補鋼材を使用することができる。
- ③ 荷重集中点には補剛材をいれ強固にすることが望ましい。
- ④ 主げたの上下間隔が広い場合には、その中間部に補助横げたを用いることもある。

【解説】

- ① 引戸式陸こうの構造と各部名称を図 2-3-1 に示す。
- ② 陸こうが大形化する場合、ねじりに対する補強としてスキンプレートと反対側の主げたフランジ同志を連結固定する斜材を入れるとよい。
- ③ 陸こう扉体の横断面形状は長方形が最も一般的である。

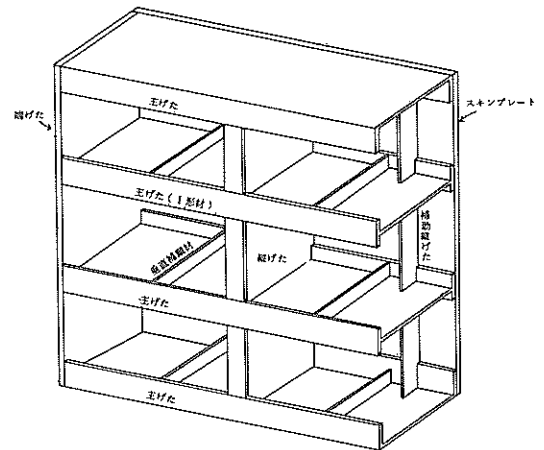


図 2-3-1 陸こう構造各部の名称

(b) 構造の力学的解析

通常の引戸式構造では、支柱部の戸当りと扉体部水密ゴム（又は支圧板）との接触面を移動支承とする単純梁と考えることが可能である。両支点は共に移動支承であり、陸こうの長さは支点間の距離よりも長い。

【解説】

① 通常の引戸式構造ではスキンプレートはプレートガーダー主げたより海側にある。したがって、プレートガーダーの引張フランジは陸側のフランジであり、スキンプレートと密着しているフランジ、ないしはスキンプレートそのものが圧縮フランジとなる。

② 作用する荷重は、水圧、波圧、衝突力、風圧力、地震力などである。

2.4 外力

(a) 種類

① 扉体部の設計外力としては次のものを考慮する。

- ① 水圧
- ② 波圧
- ③ 衝突力
- ④ その他（風圧力、地震力など）

② 水圧

陸こう前面と背後の水位差をとる。陸こう前面の水位としては高潮潮位ないしは津波潮位をとる。

③ 波圧

以下の算定式によるときは陸こう前面の静水圧を含んだ波圧の表示式であり、別途、この静水圧を加える必要はない。

波が陸こうに垂直に作用するときは式(2-4-1)による。

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= (y+h-z)w_0 \\ p_2 &= (y+h)w_0 \end{aligned} \right\} \quad (2-4-1)$$

ここに、 h ：陸こう前面の水深（m）

z ：陸こうの高さ（m）

y としては次の値を用いる。

表2-4-1 y のとり方

波浪の影響のある設置地点	イ	陸こうが水際線近くに設置され、波浪がエプロン上を障害を受けずに陸こうに直接作用する場合	$y = 1.5h$
	ロ	イ. ほど波浪に直接さらされない場合	$y = 1.0h$
波浪の影響のほとんどない設置地点	ハ	港内の奥まった所などのような波浪の影響がほとんどない場合	$y = z - h$

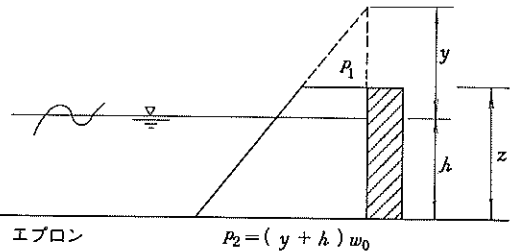


図2-4-1 波圧算定説明図

④ 衝突力

高潮・津波時に、はしけや木材などが漂流し、陸こうに衝突する可能性のあるときは衝突力を考慮する。

【解説】

A 波圧式について

① 陸こうに作用する波圧の研究例は未だないため、波圧式がどのように表わされるか不明であるが、ここでは波浪来襲の可能性の度合、水際線からの遠隔の度合及び前面水深により大きさが変化するとし、分布は静水圧形状とした。波圧の大きさの支配因子は主として波高であるが、波高は前面水深によりその最大値が規制されるため、前面水深を採用したものである。この他に、周期も関係するが大きさは影響しないので無視した。

② 提案式の結果がどの程度の大きさになるか。広井式を準用した場合の結果と比較しながら述べる。

条件； 扉体高 2.0 m

静水位 1.5 m

波圧式 港湾構造物設計基準による広井式と
本案での提案式

波高 広井式で用いる波高として、前面水深の8割と10割の両者

a. 提案式 ㊸の方法

$$y = 1.5 \times 1.5 = 2.25$$

$$p_1 = (2.25 + 1.5 - 2.0) \times 1.03 = 1.803$$

$$p_2 = (2.25 + 1.5) \times 1.03 = 3.863$$

$$\begin{aligned} \text{全外力} &= \frac{(p_1 + p_2) \times 2.0}{2} = 1.803 + 3.863 \\ &= 5.67 \text{ t/m} \end{aligned}$$

b. 提案式 ㊹の方法

$$y = 1.5$$

$$p_1 = (1.5 + 1.5 - 2.0) \times 1.03 = 1.03$$

$$p_2 = (1.5 + 1.5) \times 1.03 = 3.09$$

$$\text{全外力} = \frac{(p_1 + p_2)}{2} \times 2.0 = 4.12 \text{ t/m}$$

c. 提案式 ㊺の方法

$$\text{全外力} = 2.0^2 \times 1.03 \times 2^{-1} = 2.06 \text{ t/m}$$

d. 広井式 波高が水深の8割

$$\text{波高} = 1.5 \times 0.8 = 1.2$$

$$\text{作用範囲} \quad 1.25 \times 1.2 = 1.5 \quad 1.5 + 1.5 = 3.0 \text{ m}$$

よって扉体全体に作用する。

$$\text{波圧} \quad p = 1.5 w H = 1.5 \times 1.03 \times 1.2 = 1.854$$

$$\text{全波圧} \quad 1.854 \times 2.0 = 3.708$$

全外力 = 全波圧 + 全静水圧

$$= 3.708 + 1.5^2 \times 1.03 \times 2^{-1} = 4.867 \text{ t/m}$$

e. 広井式 波高が水深の10割

$$\text{全波圧} = 1.5 \times 1.03 \times 1.5 \times 2.0 = 4.635$$

$$\text{全外力} = 4.635 + 1.5^2 \times 1.03 \times 2^{-1} = 5.79 \text{ t/m}$$

広井式		提案式		
波高が水深の10割	波高が水深の8割	㊸	㊹	㊺
5.8 t/m	4.9 t/m	5.7 t/m	4.1 t/m	2.1 t/m

㊸ イ. の場合、実際には静水位付近で波圧分布が極大値をとるので、必ずしも(波圧+水圧)分布は、底で最大の三角形分布とはならない。よって主げたの断面・配置にあたってはこの点の注意が必要である。

B 衝突力について

㊸ 衝突力の算定方法としては種々あるが、陸こうの特性を考慮に入れた式としては式(2-4-2)があり、これに基づいて衝突力を算定してもよい(船軸方向衝突、船軸直角方向衝突に共通である)。

$$F = V \sqrt{\frac{kM}{g}} \quad (2-4-2)$$

ここに、 F ；衝突力(kg)

V ；漂流物が陸こうに衝突するときの速度
(cm/sec)

M ；漂流物の自重(kg)

g ；重力の加速度 980cm/sec²

k ；ばね定数(kg/cm)，は次式で与えられる。

$$k = \frac{48EI}{l^3} \quad (2-4-3)$$

ここに、

E ；主げた材料の弾性定数(kg/cm²)

I ；主げたの断面2次モーメント(cm⁴)

l ；単純げたの支点間長(cm)

㊹ 従来、胸壁又は陸こうの設計で用いられた衝突力の作用例としては以下のものがある。

イ. 港湾構造物設計基準にでている例(p. 7-3-13)

台風時の風向きに対し風下側については 2 t/m } 等分布荷重
 " 風上側 " 1 t/m }
 運河や狭い内水面では 0.5 t/m }

ロ. T市の例(許容応力の割り増しは考えない) } 等分布荷重

外水面で前面水深2m以上 2 t/m }
 " " 2m以下 0.5 t/m }

ハ. O市の例(許容応力の割り増し50%，許容たわみ量は(水圧+波圧)作用の場合の倍である $L/400$ ， L はスパン長)

設置場所により次の3種に分けている。

a. 各主げたのスパン中央部に 20.0 t/m の集中荷重

b. 各主げたのスパン中央部に 10.0 t/m の集中荷重

c. 各主げたのスパン中央部に 5 t/m の集中荷重

㊺ 衝突力の式としては、ここで提案している式以外に、

a. 本四公団下部構造設計指針(1967)によるもの
(本州四国連絡橋技術調査報告書，昭和42年7月，土木学会本州四国連絡橋技術調査委員会，357p.)

b. 道路橋下部構造設計指針(昭和41年11月)によるもの

c. 第2港湾建設局の方法(横浜調設，貯木場防波堤の設計例について，昭和43年1月)

がある。

㊻ 以下に衝突力についての説明を行う。

(i) 漂流物の有するエネルギーは

㊸ 陸こうの変形に消費されるエネルギー

㊹ 漂流物そのものが変形するのに使われるエネルギー

㊺ 漂流物が衝突後停止せずに回転・移動をおこすのに使われるエネルギー

⊖ 海水の運動となって逃げるエネルギーの4者となって消費される。

ここでは大部分のエネルギーが消費される④と⑤のみを考慮する。

(ii) 漂流物の有するエネルギー E' は、

$$E' = \frac{WV^2}{2g} \quad (2-4-4)$$

ここに、

g : 重力加速度 (9.8 m/sec²)

W : 仮想重量 (kg)

V : 衝突するときの漂流物の速度 (m/sec)

(iii) 仮想重量は自重と付加重量の和である。付加重量とは漂流物が船舶の場合、船舶が移動するとき船体だけでなく、周囲の水も同様に移動しており、したがって、船体は急激に停止させるには、船の慣性力だけでなく、周囲の水の慣性力をも考慮する必要があり、この水の慣性を生じさせる質量を重力に換算したものが付加重量である。

付加重量 M' は、漂流物が船舶の場合、船軸方向と船軸直角向とでは値がことなる。

船軸方向 元良によると M を船体重量として、¹⁾

$$M' = 0.04 \sim 0.08M \quad (2-4-5)$$

船軸直角方向 (M を船体重量とする)

$$\left. \begin{array}{l} \text{ステルソン} \quad M' = 0.5M \\ \text{元良} \quad M' = 0.7 \sim 1.5M \\ \text{長沢} \quad M' = 0.9 \sim 1.0M \\ \text{林} \quad M' = 1.4 \sim 2.6M \\ \text{藤野} \quad M' = 1.1 \sim 2.6M \end{array} \right\} \quad (2-4-6)$$

以上より、船軸直角方向の衝突における付加重量としては、大略、船舶重量をとることができるといえる。

(iv) 衝突の仕方については、漂流物が船舶の場合、衝突点と船舶の重心とを結ぶ線が、船舶の運動方向と一致することは非常にまれであると考えられる。このとき船舶は、慣性力と、衝突点で作用する衝突力の2力による偶力作用状態となり、回転を起こす。このため陸こうの変形に消費されるエネルギーは、船舶の運動エネルギーの、全てではない。

④ 船軸直角方向接岸 (1/4点接岸)

陸こうの変形に消費されるエネルギー E は船舶の運動エネルギーの半分程度である (港湾構造物設計基準による)。

よって

$$E = \frac{WV^2}{4g} = \frac{MV^2}{2g} \quad (2-4-7)$$

$$\left(\begin{array}{l} \because W = M + M' \\ M \approx M' \end{array} \right)$$

ここに、

E ; 船軸直角方向接岸 (1/4点接岸)の際の陸こうの変形に消費されるエネルギー

⑤ 船軸方向に衝突する場合には、ローリングによる消費エネルギーが存在するが、通常これは小さいので無視すると

$$E = \frac{WV^2}{2g} = \frac{MV^2}{2g}$$

$$\left(\begin{array}{l} \because W = M + M' \\ M' = 0 \end{array} \right) \quad (2-4-8)$$

(v) 上述のエネルギー E が陸こうの変形に消費されるとする。

陸こうのばね定数を k とし、衝突による陸こうの挙動は弾性的であると仮定する。衝突点での陸こうの変位量を x 、 x に見合う衝突力を F' とする。最大変位時の変位量を x_m 、衝突力を F とする。

$$\left. \begin{array}{l} E = \int_0^{x_m} F' dx = \int_0^{x_m} k \cdot x dx = \frac{k x_m^2}{2} \\ E = \frac{MV^2}{2g} = \frac{k x_m^2}{2} \end{array} \right\} \quad (2-4-9)$$

$$\therefore x_m = V \sqrt{\frac{M}{k g}} \quad (2-4-10)$$

$$\therefore \text{衝突力 } F = k x_m = V \sqrt{\frac{k M}{g}} \quad (2-4-10)$$

(vi) 陸こうのばね定数の算定方法は次のとおりである。

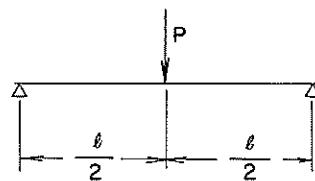


図2-4-2 単純ばり

単純梁の中央部に集中荷重 P が作用するとき、中央部のたわみ量 y_c は

1) 元良, “船体運動に対する附加質量および附加慣性モーメントについて”, 造船協会論文集, 第106号 (昭35)

$$y_c = \frac{P \ell^3}{48 EI} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} (2-4-11)$$

$$\therefore P = \frac{48 EI}{\ell^3} \cdot y_c = k_c \cdot y_c$$

$$\therefore k_c = \frac{48 EI}{\ell^3} \quad (2-4-12)$$

k_c ; 単純梁のスパン中央に荷重が作用した場合のばね定数

これによると、ばね定数の値は、単純梁の剛性やスパン長によって変化することがわかる。

ⅳ) 漂流物が船舶の場合、衝突の仕方が上述の方法と異なる場合、又は衝突点が支点間の中央でない場合にも同様の方法で衝突力を求めることができるが、外力の不確か性が大きいことから厳密に計算してもあまり意味がないので、上述のような条件の衝突力のみ考慮して設計してよい。

ⅳ) 船舶直角方向の衝突に伴う衝突力の計算図表を図2-4-3に示す。この図の使い方は次のとおりである。

図イを用いて、陸こうの主げたの断面2次モーメント I と、スパン長 l を与えて、バネ定数 k_c を求める。このとき、鋼材とアルミ合金材で線が異なることに注意する
 図ロを用いて、 k_c の値と仮想重量 W (自重ではない) を与えて、横軸の値を求める。

図ハを用いて、この横軸の値と、衝突速度 V を与えて、衝突力 F を求める。

(b) 作用方法

外力は最終的には主げたにて受けもたれる。

主げたの断面決定のために用いる外力の作用方法は次のとおりとする (図 2-4-4 参照)

① 水圧ないしは波圧

2つの主げた間を、主げたを支点とする単純梁とみなす。このときの支点反力を個々の主げたに作用させる。

② 衝突力

提案式 (2-4-2) を用いる場合には、陸こう支点間の中央部に集中荷重がひとつ作用するものとする。原則として主げた一つで衝突力に抵抗するものとする。

荷重の組み合わせは次のとおりとする。

- ① 衝突力を考慮しない場合 水圧+波圧
- ② 衝突力を考慮する場合 水圧+波圧+衝突力

【解説】

① 原則として主げたひとつで衝突力に抵抗するものとするが、複数の主げたで衝突に抵抗する場合には十分な縦げたを設けるなり、主げた間隔をより密にするなりして抵抗の一体性を確保しなければならない。

② 水圧ないしは波圧の場合
各主げたに作用する力

A げた

$$R_A = \frac{(2q_1 + q_2)}{6} b_1$$

B げた

$$R_{B1} = \frac{(q_1 + 2q_2)}{6} b_1$$

$$R_{B2} = \frac{(2q_2 + q_3)}{6} b_2$$

C げた

$$R_{C1} = \frac{(q_2 + 2q_3)}{6} b_2$$

$$R_{C2} = \frac{(2q_3 + q_4)}{6} b_3$$

D げた

$$R_{D1} = \frac{(q_3 + 2q_4)}{6} b_3$$

$$R_{D2} = \frac{l\{3b_4(q_4 + q_5) - l(q_4 + 2q_5)\}}{6b_4}$$

E げた

$$R_E = \frac{(q_4 + 2q_5)}{6} l^2$$

ここに $l = b_4 + b_5$

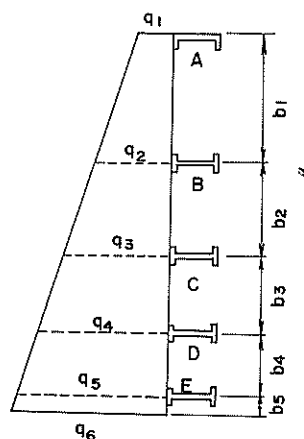
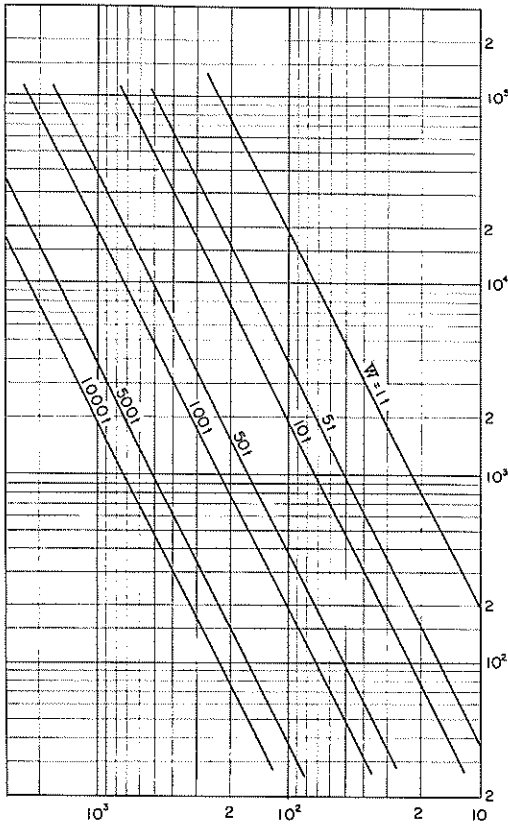
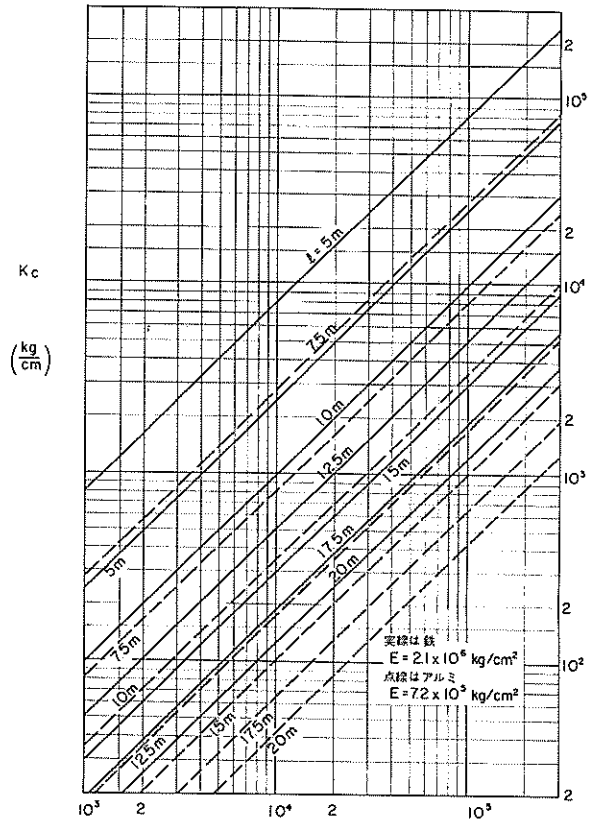


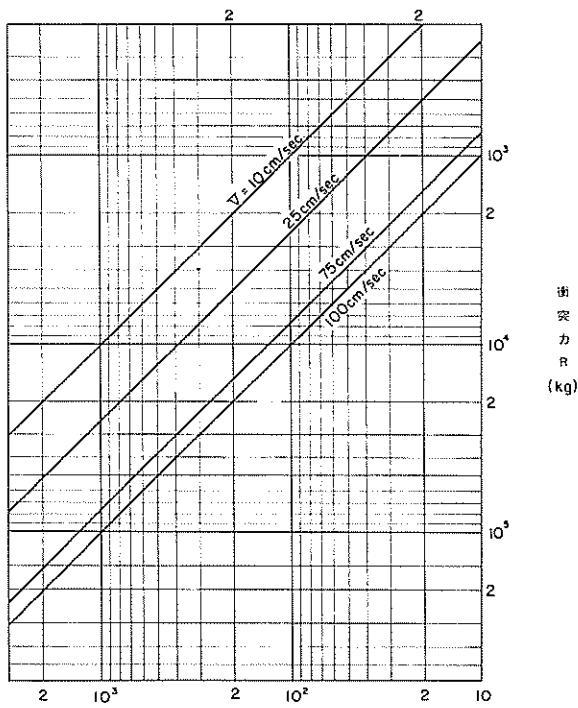
図2-4-4 主げたに作用する力



図一イ



図一ロ I (cm⁴)



図一ハ

図 2-4-3 衝突力の計算図表 (船軸直角方向)

2.5 材料

(a) 材料

- ① 材料の選定は、製作・据付時の費用ばかりでなく、維持・管理の費用、耐用年数等を含めて、総合的に判断されなければならない。
- ② 標準とする鋼材は次のとおりである。

表2-5-1 標準とする鋼材

JIS G 3101	一般構造用圧延鋼材	SS41
JIS G 3106	溶接構造用圧延鋼材	SM41, SM50, SM50Y

- ③ 標準とするアルミ合金材は次のとおりである。

表2-5-2 標準とするアルミ合金材

JIS H 4100	A5083 S-F (型材用)
JIS H 4000	A5083 P-O (板用)
	A5083 P-R (板用)
JIS H 4000	A5052 P-H 34 (板用)

【解説】

- ① 鋼材の機械的性質は以下のとおりである。

表2-5-3 鋼材の機械的性質

記号	降伏点又は耐力		引張強さ kg/mm ²	伸 び	
	厚さ 16mm 以下	厚さ 16mm~ 40mm		厚 さ	%
SM41	25以上	24以上	41~52	5以下 5 ~ 16 16 ~ 50	23以上 18 " 22 "
SM50	33 "	32 "	50~62	5以下 5をこえ16以下 16をこえ50以下	22 " 17 " 21 "
SM50Y	37 "	36 "	50~62	5以下 5をこえ16以下 16をこえ50以下	19 " 15 " 19 "
SS41	25 "	24 "	41~52	5以下 5をこえ16以下 16をこえ50以下	21 " 17 " 21 "

- ① 厚さ 40 mm までは SS41 を使うのがよい。
- ② 気温が著しく低下する地方では、とくに低温ぜい性に注意して鋼種の選定を行うこと。
- ③ アルミ合金の場合、スキンプレートには A5083P-R, A5052P-H34 ないしは A5083P-O, 主げた材には, A5083S-F, A5083P-R ないしは A5083P-O が用いられる。
- ④ アルミ合金の機械的性質は以下のとおりである (JIS)。

表2-5-4 アルミ合金の機械的性質

アルミ合金種類	厚さ (mm)	引張強さ (kg/mm ²)	耐力 (kg/mm ²)	伸び (%)
A5052P-H34	6mm以上12mm以下	24以上29以下	18 以上	10以上
A5083P-R	6 以上12未満	28 以上	13 "	12 "
	12以上25未満	28 "	13 "	12 "
	25以上50未満	28 "	12 "	12 "
A5083S-F	130mm以下	28 "	11 "	12 "
A5083P-O	6mm以上12mm未満	28以上36以下	13以上20以下	16 "
	12mm以上25mm未満	28以上36以下	13以上20以下	16 "

- ① 規定厚さ範囲外の寸法のものについての機械的性質は注文者と製造業者との協定による。

- ② A5083S-F, A5083P-R, A5083P-O の溶接強度は、上述の値とほとんどかわらないが、A5052P-H34 の溶接強度は上の値より大幅に低下するので注意すること (2.6(b) 溶接部の許容応力 参照)。

- ④ アルミ合金の化学成分は次のとおりである。(JIS)

表2-5-5 アルミ合金の化学成分

材 質	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Zr	その他 合計	Al
A5083S-F A5083P-O A5083P-R	0.10 以下	0.40 以下	0.40 以下	0.30 ~1.0	4.0 ~4.9	0.25 以下	0.05 ~0.25	0.15 以下	-	0.15 以下	残
A5052 P-H34	0.10 以下	Si + Fe 0.45以下	0.10 以下	2.2 ~2.8	0.10 以下	0.15 ~0.35	-	-	0.15 以下	残	

- ⑤ アルミ合金材の荷重-伸びカーブを図2-5-1~2-5-3に示す。

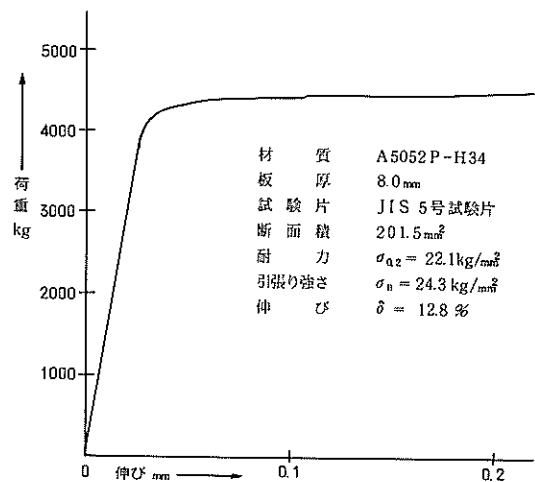


図2-5-1 A5052P-H34 荷重~伸びカーブ

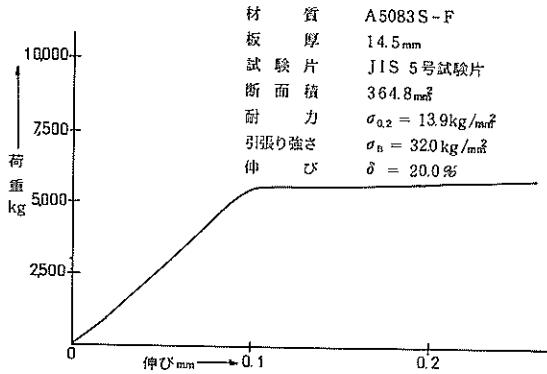


図2-5-2 A5083S-Fの荷重～伸び

これらの図から弾性限と耐力点での曲線の勾配(ヤング係数)がかなり異なることがわかる。即ち、鋼材では降伏点付近までSS曲線の勾配はほとんど変わらないが、アルミ合金においては、耐力点付近に近ずくとヤング係数の値を、弾性限以下での値と異なって与える必要がある。

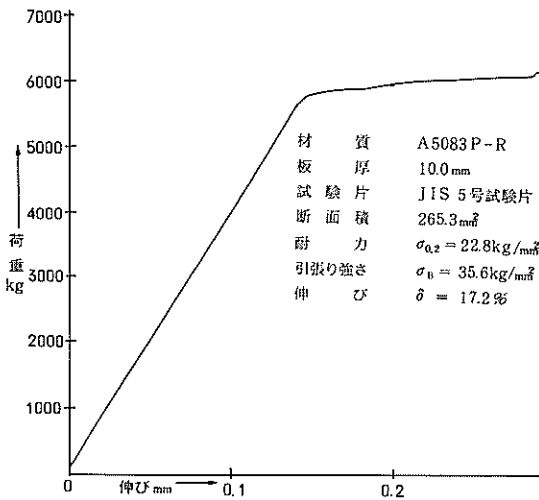


図2-5-3 A5083P-Rの荷重～伸び

(b) 物理定数

設計計算に用いる物理定数の値は次の値を標準とする。

表2-5-7 物理定数の値

	鋼材	アルミ合金材
弾性係数 (kg/cm ²)	2.1×10^6	7.0×10^5
せん断弾性係数 (kg/cm ²)	8.1×10^5	2.7×10^5
ポアソン比	0.3	0.3
温度膨張係数	$1.17 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	$2.4 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
重量 (t/m ³)	7.85	2.70

【解説】

① アルミ合金でA5083S-FないしはA5083P-Rを使用する際、弾性係数は、垂直応力度の大きさにより変化させる必要がある。表2-5-7の値は、比例限界以下の場合の値である。弾性係数として次の値が参考になる。

A5083S-FないしはA5083P-R の比例限界

$$975 \text{ kg/cm}^2$$

垂直応力度 $\sigma \leq 975$ までは弾性係数Eは

$$E = 7.2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 1010 \text{ 付近} \quad 0.99E$$

$$\sigma = 1150 \text{ 付近} \quad 0.83E$$

$$\sigma = 1235 \text{ 付近} \quad 0.56E$$

(参考資料 “アルミニウム合金橋の設計・製作指針(案)” 軽金属溶接No.66)

本案では最近の“アルミニウム合金構造物設計製作指針(案) 軽金属協会(1976)”にのっとり、弾性係数は $E = 7.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ を採用している。

② A5052P-Hも①と同様な性質を有する。

2.6 許容応力度

(a) 母材

- ① 鋼材の許容応力度は道路橋示方書に準ずる。
- ② アルミ合金の許容応力度は表2-6-1による。
(アルミニウム合金構造物設計製作指針(案), 軽金属協会, 1976)

*) 参考資料(機械工学便覧, 改訂第4版(昭35.6)第4編, 材料力学)

表2-5-6 軟鋼と硬鋼

	弾性係数 (kg/cm ²)	比例限度 (kg/cm ²)	降伏点 (kg/cm ²)	引張強さ (kg/cm ²)
軟鋼	2.1×10^6	$18 \sim 23 \times 10^2$	$20 \sim 30 \times 10^2$	$37 \sim 45 \times 10^2$
硬鋼	2.1×10^6	$28 \sim 32 \times 10^2$	30×10^2	$48 \sim 58 \times 10^2$

表2-6-1 アルミ合金の許容応力 (kg/cm²)

アルミニウム合金の種類	A5083P-O A5083P-R A5083S-F	A5052 PH34
軸方向引張応力度 (純断面積につき)	700	950
軸方向圧縮応力度 (総断面積につき) l = 部材の 座屈長(cm) r = 断面2次半径	(a) $l/r \leq 10$ のとき 650 (b) $10 < l/r < 105$ のとき $690 - 4.0(\frac{l}{r})$ (c) $105 \leq l/r$ のとき $\frac{3 \times 10^6}{(l/r)^2}$	
曲げをうける部材の縁引張応力度	700	950
曲げをうける部材の縁圧縮応力度 ① スキンプレートで固定されている場合 ② 固定されていない場合 b: 圧縮フランジの幅 l: フランジ固定点間距離	700 l/b ≤ 7 のとき 700 7 < l/b ≤ 35 のとき $800 - 14(\frac{l}{b})$	
せん断応力度	400	550

③ 許容応力度の割り増しは表2-6-2に基づいて行う。

表2-6-2 許容応力度の割り増し

外力	割り増し係数
水圧	
水圧+波力	1.0
水圧+波力+衝突力	1.5

【解説】

- ① 道路橋による鋼材の許容応力度は表2-6-3のとおりである。
- ② A5052PH34 は、スキンプレートの他は補助縦げた等の二次部材に使用することができる。
- ③ アルミ合金材の各許容応力度は、米国アルミニウム協会-The Aluminium Association of Americaの基準を参考にして決められている。

表 2-6-3 構造用鋼材の許容応力度 (kg/cm²)

鋼 種		SS41, SM41 SMA41	SS50	SM50
1	軸方向引張応力度 (純断面積につき)	1,400	1,700	1,900
2	軸方向圧縮応力度 (総断面積につき) l : 有効座屈長 (cm) r : 部材総断面積の断面二次半径 (cm)	(a) $\frac{l}{r} \leq 20$ 1,400 (b) $20 < \frac{l}{r} < 93$ $1,400 - 8.4 \left(\frac{l}{r} - 20 \right)$ (c) $93 \leq \frac{l}{r}$ $\frac{12,000,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	(a) $\frac{l}{r} \leq 17$ 1,700 (b) $17 < \frac{l}{r} < 86$ $1,700 - 11.3 \left(\frac{l}{r} - 17 \right)$ (c) $86 \leq \frac{l}{r}$ $\frac{12,000,000}{5,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	(a) $\frac{l}{r} \leq 15$ 1,900 (b) $15 < \frac{l}{r} < 80$ $1,900 - 13 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$ (c) $80 \leq \frac{l}{r}$ $\frac{12,000,000}{5,000 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
3	曲げ応力度 (1) けたの引張縁 (純断面積につき) (2) けたの圧縮縁 (総断面積につき) (2.1) 圧縮フランジが直接鉄筋コンクリート床版などで固定されている場合	1,400	1,700	1,900
	(2.2) 圧縮フランジが直接鉄筋コンクリート床版などで固定されていない場合 I形断面・U形断面	1,400	1,700	1,900
1)	$\frac{A_w}{A_c} \leq 2$ A_w : 腹版の総面積 (cm ²) A_c : 圧縮フランジの総断面積 (cm ²)	(a) $\frac{l}{b} \leq 4.5$ 1,400 (b) $4.5 < \frac{l}{b} \leq 30$ $1,400 - 24 \left(\frac{l}{b} - 4.5 \right)$	(a) $\frac{l}{b} \leq 4.3$ 1,700 (b) $4.3 < \frac{l}{b} \leq 30$ $1,700 - 32 \left(\frac{l}{b} - 4.3 \right)$	(a) $\frac{l}{b} \leq 4.0$ 1,900 (b) $4.0 < \frac{l}{b} \leq 30$ $1,900 - 38 \left(\frac{l}{b} - 4.0 \right)$
2)	$\frac{A_w}{A_c} > 2$ $(K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{A_c}})$	(a) $K \frac{l}{b} \leq 9$ 1,400 (b) $9 < K \frac{l}{b}$ $1,400 - 12 \left(K \frac{l}{b} - 9 \right)$ ただし $\frac{l}{b} \leq 30$	(a) $K \frac{l}{b} \leq 8.6$ 1,700 (b) $8.6 < K \frac{l}{b}$ $1,700 - 16 \left(K \frac{l}{b} - 8.6 \right)$ ただし $\frac{l}{b} \leq 30$	(a) $K \frac{l}{b} \leq 8$ 1,900 (b) $8 < K \frac{l}{b}$ $1,900 - 19 \left(K \frac{l}{b} - 8 \right)$ ただし $\frac{l}{b} \leq 30$
ここに、 l : フランジ固定点間距離 (cm)。固定点は床げた・横溝・対傾溝などの取付部における骨組線の交点とする。下路プレートガーダーにおいてはニープレース間隔とする。 b : 圧縮フランジの幅 (cm)				
4	せん断応力度 (総断面積につき)	800	1,000	1,100

④ アルミ合金材の軸方向引張応力度は、JISに保証されている耐力の下限値に対しては 1.85、引張強さの下限値に対しては 2.20 の安全率のどちらをも満足するように決めた。なお、JIS においては、A5083S-F の耐力は 11 kg/mm^2 であり、A5083P-O、P-R の 13 kg/mm^2 より小さい値となっている。しかし、現実には A5083S-F の耐力は A5083P-R、A5083P-O よりも大きい強度が得られており（神戸製鋼所；アルミニウム合金製橋梁および構造物設計・製作指針、1972年3月、6p.）、かつ、引張強度においては、A5083S-F と A5083P-O、P-R とが一致することから、本案では A5083S-F の軸方向引張許容応力度として、 700 kg/cm^2 を採用した。

⑤ 各材料について、軸方向引張許容応力度の引張応力度と降伏点応力度に対する比を表 2-6-4 に示す。

表 2-6-4 各種材の引張・降伏・許容応力度 (kg/cm^2)

	A5083P-R A5083P-O A5083S-F	A5052 PH34	SS41	SS50	SM50
引張強度 (kg/cm^2)	2800	2400	4100	5000	5000
降伏点強度 (kg/cm^2)	1100~1300	1800	2400	2800	3220
許容応力度 (kg/cm^2)	700	950	1400	1700	1900
引張強度 許容応力度	4.0	2.53	2.93	2.94	2.63
降伏点強度 許容応力度	1.57~1.86	1.89	1.71	1.65	1.68

⑥ 雑誌“軽金属溶接 No 66”には、“アルミニウム合金橋の設計・製作指針(案)”が掲載されている。これを以下旧案と称し、本文のものを新(案)と称することにする。旧案で示されているアルミ合金の許容応力は表 2-6-5 の通りである。

表 2-6-5 アルミ合金の許容応力度 (kg/cm^2) (旧案)

	A5083 P-R	A5083 S-F	A5052PH34
軸方向引張応力度 (橋断面値につき)	800	700	800
軸方向圧縮応力度 (橋断面値につき)	$0 \leq l/r \leq 80$ のとき $750 - 0.055(l/r)^2$	$0 \leq l/r \leq 80$ のとき $750 - 0.055(l/r)^2$	
l : 部材の総長 (cm) r : 断面 2 次半径	$l/r > 80$ のとき $\frac{2560000}{(l/r)^2}$	$l/r > 80$ のとき $\frac{2560000}{(l/r)^2}$	
曲げを受ける部材の 引張応力度	800	700	800
曲げを受ける部材は 圧縮応力度 (非固定)	$l/b \leq 20$	$l/b \leq 20$	
l : フランジ固定点 間距離 b : フランジの幅 (cm)	$750 - 0.65(l/b)^2$	$750 - 0.65(l/b)^2$	
せん断応力度 (橋断面につき)	450	400	450

⑦ アルミ合金の軸方向圧縮応力度と、曲げをうける部材の縁圧縮応力度の誘導を旧案に基づいて行い、本文の式との比較を行うこととする。

まず旧案のアルミ合金の軸方向圧縮応力度の根拠は次による。

$$\text{オイラーの理論式より } P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{cr}^2} \quad (2-6-1)$$

$$\therefore \text{圧縮応力度 } \sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{Al_{cr}^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_{cr}}{r}\right)^2} \quad (2-6-2)$$

オイラー座屈の範囲

A5083P-R の比例限界を $\sigma_{cr} = 975 \text{ kg/cm}^2$ とする。

$$\frac{l_{cr}}{r} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{(3.14)^2 \times 7.2 \times 10^5}{975}} = 85.3 \quad (2-6-3)$$

したがって、オイラー座屈の適用範囲を 85 以上とすることができ (旧案では安全側をみて 80 とした)。

このとき安全率 $f = 2.783$ とすると、

$$\sigma_{ca} = \frac{\pi^2 E}{f \left(\frac{l_{cr}}{r}\right)^2} = \frac{2,550,000}{(l_{cr}/r)^2}$$

$$\text{安全側をみて } \sigma_{ca} = \frac{2,560,000}{(l_{cr}/r)^2} \quad (2-6-4)$$

$l/r < 85$ の範囲では

$$l_{cr}/r = 0 \text{ で } \sigma_{ca} = 750 \text{ kg/cm}^2, \quad (2-6-5)$$

$$l_{cr}/r = 85 \text{ で } \sigma_{ca} = \frac{(3.14)^2 \times 7.2 \times 10^5}{f \times (85)^2} = 353 \text{ kg/cm}^2 \quad (2-6-6)$$

($f = \text{安全率} = 2.783$ とする)

の両端を結ぶ放物線分布と仮定すると

$$\sigma_{ca} = 750 - 0.055 \left(\frac{l_{cr}}{r}\right)^2 \quad (2-6-7)$$

を得る。

軸方向許容圧縮応力度の新・旧(案)での相違を図 2-6-1 に示す。これによると、後述する本案で規定した細長比の範囲のほとんどの領域で、新(案)は旧(案)より安全側であることがわかる。

次に、旧(案)によるアルミ合金の、曲げを受ける部材の縁圧縮応力度 (固定されていない場合) の算出根拠は次のとおりである。

*) 800 kg/cm^2 としないで 750 としたのは、旧鋼道路橋の基準の思想に準拠したからである。

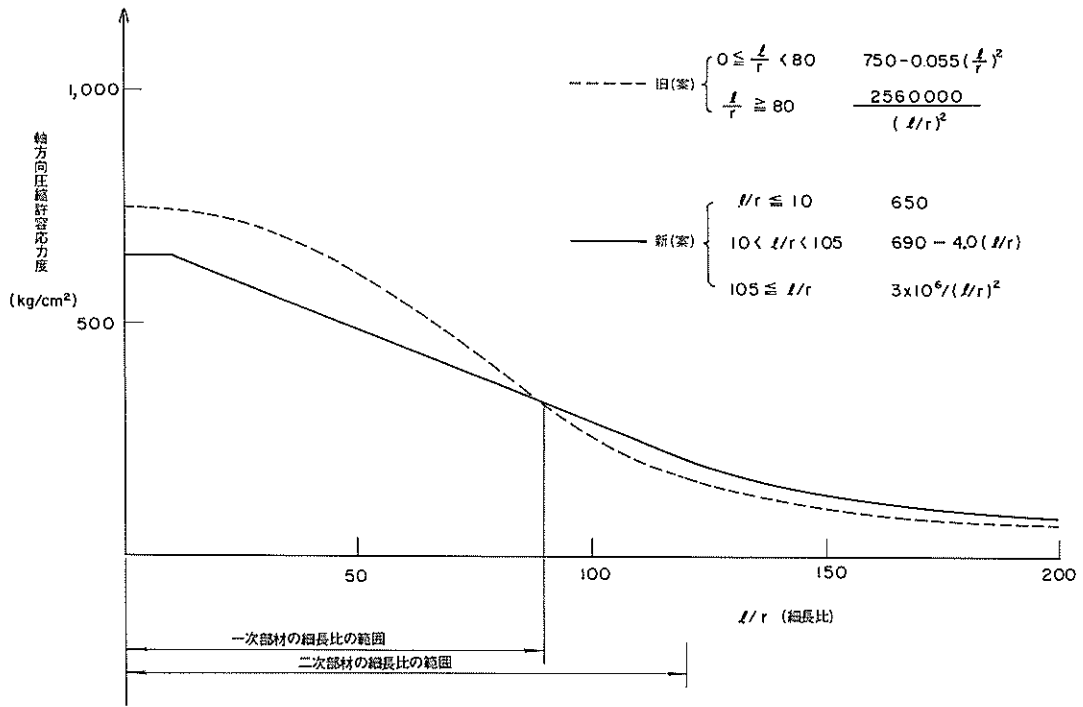


図2-6-1 軸方向圧縮許容応力度の新旧(案)での相違

I形断面のフランジの座屈はa-a軸に関する断面2次モーメントについて生起するのでなくa'-a'軸に関し生起する。なぜなら、a-a軸について座屈ウェーブの存在により起こり得ないからである(図2-6-2参照)。

a'-a'軸についてのフランジの断面2次モーメント

$$I = \frac{t b^3}{12} \quad A = b \cdot t$$

$$\therefore r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{b}{\sqrt{12}} \quad (2-6-8)$$

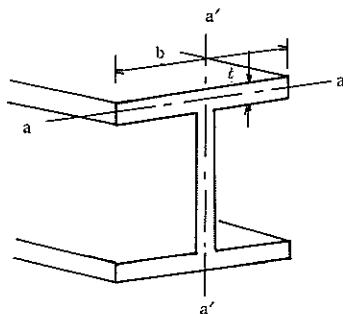


図2-6-2 曲げを受ける部材の縁圧縮応力度

これを旧(案)の軸方向圧縮応力度の($l/r < 80$)の場合の式に代入すると、

$$\begin{aligned} \sigma_{ca} &= 750 - 0.055 \times 12 \times \left(\frac{l_{cr}}{b}\right)^2 \\ \therefore &= 750 - 0.66 \left(\frac{l_{cr}}{b}\right)^2 \quad (2-6-9) \end{aligned}$$

この式の適用範囲

$$\frac{l_{cr}}{r} < 85$$

$$\frac{l_{cr}}{r} = \frac{\sqrt{12} l_{cr}}{b} < 85$$

$$\therefore l_{cr} < \frac{85 \cdot b}{\sqrt{12}} = 24.5 b \quad (2-6-10)$$

新・旧案の比較を図2-6-3に示す。これによるとほとんど差のないことがわかる。

⑧ アルミ合金のせん断応力度の根拠は次による。

最大せん断ひずみエネルギー説による。 σ_{ta} を許容引張応力度とすると、

$$\tau_a = \frac{\sigma_{ta}}{\sqrt{3}} = \frac{700}{\sqrt{3}} = 404$$

$$\therefore \text{安全側をみて } \tau_a = 400 \text{ kg/cm}^2$$

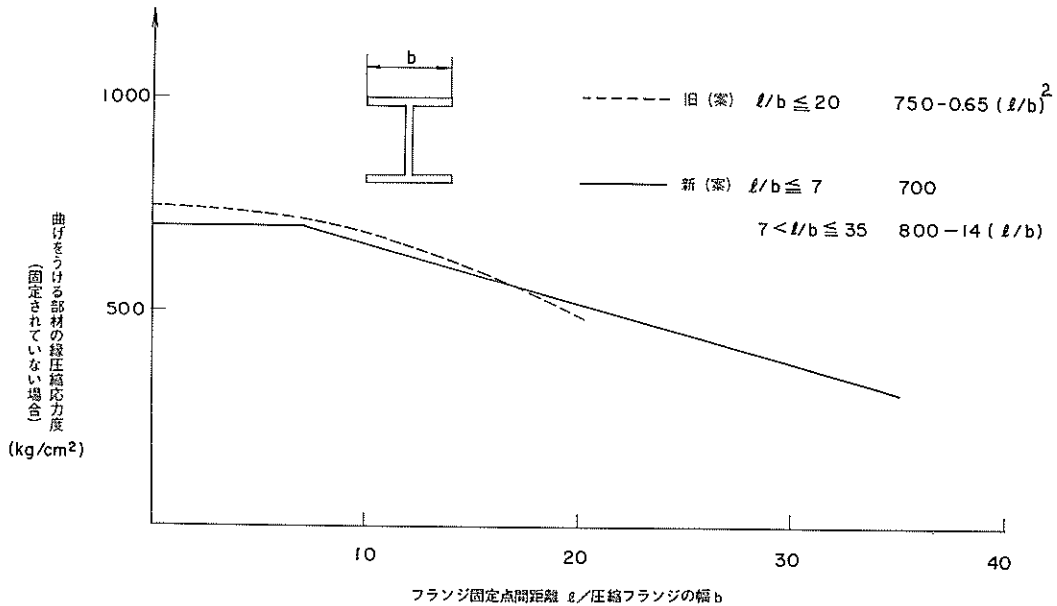


図2-6-3 曲げによる緑圧縮応力度の新旧(案)比較

(b) 溶接部の許容応力度

- ① 鋼材の溶接部の許容応力度は道路橋示方書に準ずる。
- ② A5083P-R, A5083S-F 及び A5083P-O の溶接部の許容応力度は母材の許容応力度と同等とする。
- ③ A5052PH34 の溶接部の許容応力度はスキンプレートの曲げに対し 380kg/cm² をとる。

【解説】

① 道路橋示方書による鋼材の溶接部の許容応力度は表2-6-6のように与えられている。

表2-6-6 鋼材の溶接部の許容応力度

溶接の種類		応力の種類	許容応力度 (kg/cm²)	
			SS 41 SM 41 SMA 41	SM 50
工場溶接	グループ溶接	圧縮	1,400	1,900
		引張	1,400	1,900
		せん断	800	1,100
	すみ肉溶接	せん断	800	1,100
現場溶接		それぞれの場合について上記の90%とする。		

② アルミ合金の溶接は施工管理の行きとどいた工場溶接を原則とし、この場合のみに限り本文を適用できる。現場溶接の場合には許容応力度を決める段階にまで至っていない。重要継手の場合にはX線検査を行い、溶接部に有害な欠陥がないことを確認する必要がある。

③ A5052P-H34 は溶接すると材質が A5052P-O と同一となる。A5052P-O の強度は JIS によると、
 引張強度 18kg/mm² 以上
 耐力 7kg/mm² 以上
 伸び 18% 以上
 となっており、したがって、引張強度と耐力について、(a)母材の所で述べたのと同じ安全率をもたせると、

$$\frac{700}{1.85} = 378 \text{ kg/cm}^2 \quad \frac{1800}{2.2} = 818 \text{ kg/cm}^2$$

よって小さい方の 378kg/cm² (=380kg/cm²) を、許容応力度として採用したものである。

2.7 許容たわみ量

- ① 許容たわみ量は鋼材、アルミ合金のどちらについても次の値以上とする。ここに L は陸こうを単純梁とみなしたときの支点間長である。
 (水圧+波圧)作用時 $L/600$
 (水圧+波圧+衝突力)作用時 $L/500$

【解説】

① 許容たわみ量についての基準および設計例は次のとおりである。

- 水門鉄管基準 $\left\{ \begin{array}{l} L/800 \text{ (対象 鋼材による水門)} \\ L/600 \text{ (対象 水密の程度が劣ってよい角落しなど)} \end{array} \right.$
- 道路橋示方書 $L/500$ (対象 鋼材によるプレートガーダー道路橋)

鉄道橋示方書 $L/800$ (対象 鋼材によるプレート
ガーダー-鉄道橋)

アルミ合金構造
設計*マニュアル $L/800$ (対象 アルミ合金橋げた)

アルミ合金水門
設計指針(案) $L/600$

アルミ合金陸こ
う例 $L/800$ (K県採用)
 $L/600$ (O県・I県採用)

鋼製陸こ
う例 $L/800$ (大部分の管理者)
 $L/400$ (O市, 但し衝突力作用時
のみ)

② 陸こ各部の応力度が使用材料の許容応力度以内であつても、陸こ全体としてのたわみ量が著しく大きくなり、機能を損うことも十分考えられるので、許容たわみ量を設ける必要がある。

作用応力度を許容応力度以内におさめる式

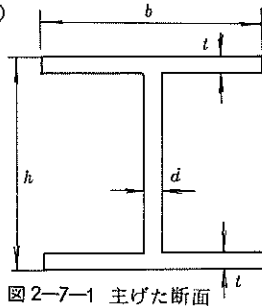
$\sigma = M/Z \leq \sigma_a$ の中には、弾性係数 E は含まれていない。したがって、弾性係数が著しく小さい材料を用いても断面を構成することは“許容応力度でのチェック”の観点からは可能である。

そこでこれを防止するために、弾性係数 E と関連した、たわみ量の方からの制限が必要になる。

③ 鋼とアルミ合金についてたわみ量の比較を行う。

(図2-7-1 参照)

b, t, d はアルミ合金と鋼で同一とする。 h は異なる。図の奥行方向のスパン長も同一とする。サフィクス s は鋼, サフィクス a はアルミ合金を示す。



$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{(b-d)(h-2t)^3}{12} \quad (2-7-1)$$

$$I_s = \frac{1}{12} (bh_s^3 - (b-d)(h_s-2t)^3) \quad (2-7-2)$$

$$I_a = \frac{1}{12} (bh_a^3 - (b-d)(h_a-2t)^3) \quad (2-7-3)$$

$$\sigma_a = \frac{M}{I_a} \cdot \frac{h_a}{2} \quad (2-7-4)$$

$$\sigma_s = \frac{M}{I_s} \cdot \frac{h_s}{2} \quad (2-7-5)$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_s} = \frac{700}{1400} = 0.5 = k \text{ とおく} \quad (2-7-6)$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_s} = \frac{I_s h_a}{h_s I_a} = \frac{h_a (bh_s^3 - (b-d)(h_s-2t)^3)}{h_s (bh_a^3 - (b-d)(h_a-2t)^3)} = k \quad (2-7-7)$$

$$h_s = x \cdot h_s \text{ とおくと} \quad (2-7-8)$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_s} = \frac{x \cdot h_s (bh_s^3 - (b-d)(h_s-2t)^3)}{h_s (bx^3 h_s^3 - (b-d)(xh_s-2t)^3)} = \frac{x \cdot h_s^3 (b - (b-d)(1 - \frac{2t}{h_s})^3)}{h_s^3 (bx^3 - (b-d)(x - \frac{2t}{h_s})^3)} = k$$

$$\frac{2t}{h_s} \neq 0 \text{ とすると} \quad (2-7-9)$$

$$\therefore kx^2 = 1$$

$$\therefore x = \sqrt{\frac{1}{k}}$$

$$x = \sqrt{2}$$

$$(2-7-10)$$

$$\therefore h_a = \sqrt{2} \cdot h_s$$

(2-7-7) 式より

$$\frac{I_s h_a}{h_s I_a} = k$$

$$\frac{I_s}{I_a} = k \cdot \frac{h_s}{h_a} = k \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = k^{\frac{3}{2}} \quad (2-7-11)$$

また、弾性係数の比は

$$\frac{E_s}{E_a} = \frac{21 \times 10^5}{7.0 \times 10^5} = 3.0$$

$$\therefore E_a = \frac{E_s}{3.0} \quad (2-7-12)$$

$$E_a I_a = \frac{E_s}{3.0} \cdot \frac{I_s}{k^{\frac{3}{2}}} = E_s I_s \frac{1}{3.0} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}}} = 0.943 E_s I_s$$

$$\therefore E_a I_a = 0.943 E_s I_s \quad (2-7-13)$$

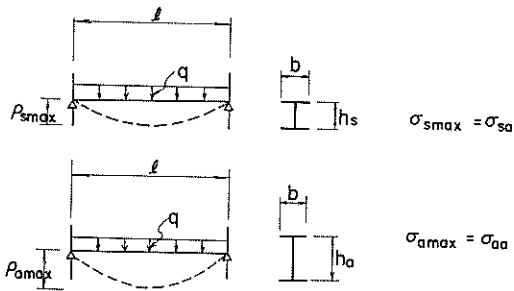
荷重として等分布荷重を考える。

$$\begin{aligned} \rho_{a \max} &= \frac{5qL^4}{384 E_a I_a} = \frac{5qL^4}{384 \times 0.943 E_s I_s} \\ &= \rho_{s \max} \frac{1}{0.943} \\ &= 1.06 \rho_{s \max} \end{aligned} \quad (2-7-14)$$

以上のことから、同一荷重、同一スパンのもとで許容応力を満足する観点だけからけた高を決めるとすれば、アルミ合金と鋼ではほとんど大差ないことがわかり、たわみ量は鋼の場合の 1.06 倍となる。

以上のことを図で表示すれば、図2-7-2を得る。

* 軽金属協会による。(1965), p. 18



$$1.06 \rho_{smax} = \rho_{amax}$$

図2-7-2 鋼とアルミ合金のたわみ量の比較

④ 次に構造物が機能を損うことのない最大のたわみ量（許容たわみ量）を求める。

陸こうにおいてたわみ量を制約する要因としては、次の事項があげられる。

- ① 変形に伴う二次応力の影響
- ② たわみに伴い支点での移動量が増加し水密機能を損う。
- ③ 陸こう底部の水密装置の構造によっては、最下段主げたの変位に制限がある。

この3つの要因からは、アルミ合金と鋼とで許容たわみ量を変えるべきであるということではでない。

①については、鋼の場合、道路橋示方書によれば、 $L/500$ 以下にたわみ量を抑さえればよいとしている。アルミ合金では、溶接の信頼度などで鋼より劣ることも考えられるが、 $L/500$ を準用してもよいであろう。

②については、できるだけそのような水密装置を用いなければよい。

③については以下に示す。

⑤ 陸こうの支点移動量の計算

陸こうの支点は、合成ゴム（支圧板の場合もある）が戸当り（ステンレス SUS304）に圧着している構造である。外力が作用すると、このゴムがステンレス板をこすりながら移動する。この移動の原因として次の2つがある。

① 外力が作用したため、主げたが荷重方向にはらみ出し、そのため支点が、スパン内側に移動する（これに基づく支点移動の方向を正の方向とする。）。

② 外力を受けたために、主げた端部が回転を起こし、このため支点が移動する。これは負の方向に移動する。

①と②の両者の和が求める支点移動量となる。

①による主げたが荷重方向にはらみ出すことによる移動量の計算（図2-7-3参照）。

等分布荷重を受ける単純梁の支点移動量の計算を行う。左側支店を固定、右側支点のみ水平移動量が許されるとする。荷重が作用する前の梁のスパン長を $l + \alpha$ とし、荷重作用後のスパンの水平投影長を l とする。梁の中立面での長さは $l + \alpha$ で不変であるとする。

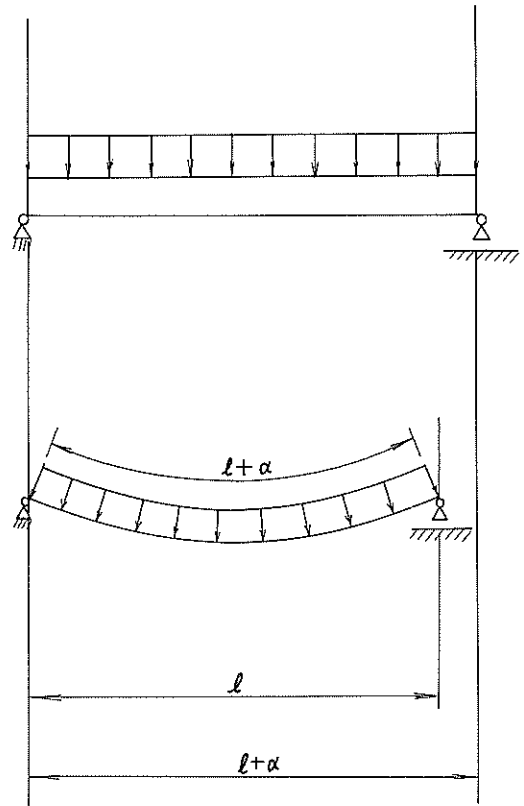


図2-7-3 主げたが荷重方向にはらみ出すことによる移動量の計算

梁が変形しても微小要素の中立面位置での長さが、変形前と変わらないとすれば（許容たわみ量が支点間の $1/500$ 以下であれば、道路橋示方書の規定からみて、この仮定は成立するとしてよい）

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (2-7-15)$$

ここに

ρ ; 考えている点での曲率半径

また、弾性曲線を $y = f(x)$ で表示したときに、ある点での曲率半径 ρ は、厳密には次式で与えられる。

$$\frac{1}{\rho} = \pm \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}} \quad (2-7-16)$$

変形が微小であるとすれば（許容たわみ量が支点間の1/500以下であれば）道路橋示方書の規定からみてこの仮定は成立するとしてよい。

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \approx 0$$

$$\therefore \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (2-7-17)$$

かつ、 $i \approx \tan i = \frac{dy}{dx}$ (2-7-18)

$$\therefore i = \frac{dy}{dx} \quad (2-7-19)$$

したがって

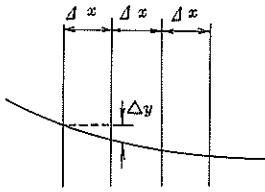
$$i = -\int \frac{M}{EI} dx + C_1 \quad (2-7-20)$$

$$y = -\iint \frac{M}{EI} dx dy + C_1 x + C_2 \quad (2-7-21)$$

等分布荷重が作用する単純梁では

$$i = \frac{ql^3}{24EI} \left\{ 1 - 6\left(\frac{x}{l}\right)^2 + 4\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right\} \quad (2-7-22)$$

$$y = \frac{ql^4}{24EI} \left\{ \left(\frac{x}{l}\right) - 2\left(\frac{x}{l}\right)^3 + \left(\frac{x}{l}\right)^4 \right\} \quad (2-7-23)$$



$\Delta x, \Delta y$ を図2-7-4のように定める。

$$\Delta l^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 \quad (2-7-24)$$

図2-7-4 $\Delta x \sim \Delta y$ により Δl を定義する。

$$i = \frac{\Delta y}{\Delta x} \text{ であるから } \Delta l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (2-7-25)$$

$$\Delta l = \Delta x \sqrt{1 + i^2} \quad (2-7-26)$$

\therefore 次式が成立する。

$$l + \alpha = \int \Delta l = \int \sqrt{1 + i^2} dx \quad (2-7-27)$$

この積分は実行できないので次の方法による。

$$\Delta l = \sec i \cdot \Delta x$$

$$\sec i = 1 + \frac{1}{2}i^2 + \frac{5}{24}i^4 + \frac{61}{720}i^6 + \dots \quad (2-7-28)$$

i が小さいとすれば

$$\sec i \approx 1 + \frac{1}{2}i^2 \quad (2-7-29)$$

$$\therefore \Delta l = \left(1 + \frac{1}{2}i^2\right) \Delta x \quad (2-7-30)$$

$$\therefore l + \alpha = \int \Delta l = \int_0^l \left(1 + \frac{1}{2}i^2\right) dx \quad (2-7-31)$$

式(2-7-22)を用いると、

$$\begin{aligned} \left(1 + \frac{1}{2}i^2\right) &= 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{ql^3}{24EI}\right)^2 \left[1 - 12\left(\frac{x}{l}\right)^2 + 8\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right. \\ &\quad \left. - 48\left(\frac{x}{l}\right)^5 + 36\left(\frac{x}{l}\right)^4 + 16\left(\frac{x}{l}\right)^6 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_0^l \left(1 + \frac{1}{2}i^2\right) dx &= \left| x + \frac{1}{2} \left(\frac{ql^3}{24EI}\right)^2 \left[x - \frac{12}{l^2} \cdot \frac{x^3}{3} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{8}{l^3} \cdot \frac{x^4}{4} - \frac{48}{l^5} \cdot \frac{x^6}{6} + \frac{36}{l^4} \cdot \frac{x^5}{5} + \frac{16}{l^6} \cdot \frac{x^7}{7} \right] \right|_0^l \\ &= l + \frac{1}{2} \left(\frac{ql^3}{24EI}\right)^2 \left[l - 4l + 2l - 8l \right. \\ &\quad \left. + 7.2l + \left(2 + \frac{2}{7}\right)l \right] \\ &= l + \frac{1}{2} \left(\frac{ql^3}{24EI}\right)^2 \left[\frac{2}{7}l\right] = l + 2 \end{aligned}$$

$$\therefore \alpha = \frac{l}{7} \left(\frac{ql^3}{24EI}\right)^2 \quad (2-7-32)$$

単純梁の支点部でのたわみ角を i_0 とすれば

$$i_0 = \frac{ql^3}{24EI} \quad (2-7-33)$$

$$\therefore \alpha = \frac{l}{7} \cdot i_0^2 \quad (2-7-34)$$

実際の陸こうの支点の状況は、両支点とも水平移動可能であるから、一方の支点での水平移動量は $\alpha/2$ となる。

この α の値が、どの程度の値であるかを許容たわみ量との関連で示すと次のようになる。

スパン中央での最大たわみ量 y_{\max} (等分布荷重作用)

$$y_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI} \quad (2-7-35)$$

たわみの制限値を次のように示すと

$$\frac{y_{\max}}{l} \leq \frac{1}{N}$$

等号の場合のみ取扱うと

$$\frac{5ql^3}{384EI} = \frac{1}{N} \quad (2-7-36)$$

$$\therefore i_0 = \frac{ql^3}{24EI} = \frac{384}{24 \times 5N} = \frac{384}{120N} \quad (2-7-37)$$

$$\alpha = \frac{l}{7} i_0^2 = \frac{l}{7} \left(\frac{384}{120N}\right)^2 \quad (2-7-38)$$

$N=800$ のとき $i_0=0.004 \text{ rad}, 0.229^\circ$
 $\alpha=4.57 \times 10^{-3} \text{ cm}$ (スパン長 20 m)

$N=600$ $i_0=0.0053 \text{ rad}, 0.304^\circ$
 $\alpha=8.13 \times 10^{-3} \text{ cm}$ (スパン長 20 m)

$N=500$ $i_0=0.0064 \text{ rad}, 0.367^\circ$
 $\alpha=11.7 \times 10^{-3} \text{ cm}$ (スパン長 20 m)

以上より水平移動量 α は全く微小な量であることがわかる。

㊸による主げた端部の回転による支点移動量

道路橋示方書では、「可動支承の移動量」として、けた端部の回転による移動量を考え、次式で与えている。

$$\Delta l_r = 2 \times h \times \theta \quad (2-7-39)$$

Δl_r ; 可動支承の移動量

h ; けたの中立軸から、支承の回転中心までの距離

θ ; 支承上のけたの回転角

h としては、けた高の $2/3$, θ は鋼橋では $1/150$ をとればよいとしている。

陸こうの場合には、 $\Delta l_r = h \times \theta$ となる(∵両支点とも可動支承のため)。

$$h = 100 \text{ cm}$$

$$\theta = 0.0064 \text{ (たわみ許容量 } L/500 \text{ の場合)}$$

$$\Delta l_r = -100 \times 0.0064 = -0.64 \text{ cm}$$

たわみ許容量 $L/600$ の場合 $\Delta l_r = -0.53 \text{ cm}$

" $L/800$ の場合 $\Delta l_r = -0.40 \text{ cm}$

㉠ 支点の総移動量は㉠と㉡の和で与えられる。

表 2-7-1 支点の移動量

	主げた端部	回転角	㉠による移動量	㉡による移動量	全移動量
	ラジアン	度	$L=20\text{m}$	$h=100\text{cm}$	
$N=800$	0.0040	0.229°	0.0046 cm	-0.40 cm	-0.40 cm
$N=600$	0.0053	0.304°	0.0081 cm	-0.53 cm	-0.52 cm
$N=500$	0.0064	0.367°	0.012 cm	-0.64 cm	-0.63 cm

以上のことから、陸こうの支点のゴム支承は1cm程度の移動に対し損傷するものでなければ、 $N=500$ をとってもよいといえる。

㉢ ㉣と㉤より、許容たわみ量として(水圧+波圧)作用時は、従来のいきさつなどから $L/600$ 以上とし、(水圧+波圧+衝突力)作用時は、その生起確率は小さいと見なせることから $L/500$ 以上としたものである。

2.8 材料の最小厚及び腐食代

- ① 鋼材の場合には、腐食代を含まないで、鋼板では6mm以上、形鋼では5mm以上とすること。
 ② アルミ合金材の場合は6mm以上とすること、ただし、I形合金、みぞ形合金の腹部においては、この限度を5.0mmとすることができる。中形以上の陸こうではそれぞれの値を8mm以上、7.5mm以上とすることが望しい。

【解説】

① 鋼材においては腐食代を考慮すること。沿岸付近のように、塩分濃度の濃い大気中に暴露されている鋼材の腐食速度は平均的に片面0.1mm/年をとることができる*。ただし、塗装などによる防食工がよく施され、耐用年数まで適切に維持管理される陸こうにあってはこの限りではない。

② 水門鉄管基準では、平常時には接水しない水門扉にあっては下記の値を計算板厚に、腐食に対する余裕厚として加えることを規定している。

スキンプレート		主要部材
片面	両面	両面
1.0mm	2.0mm	1.0mm

①で述べた腐食速度から、この表を用いて水門鉄管基準の耐用年数を推定すれば僅か10年となる。

水門鉄管基準では鋼材の最小厚として、腐食代を含んだ上で本文の値を提示しているが、上のことから、過小すぎるのがわかる。

③ 道路橋示方書では「鋼材の最小厚として、腐食代を考慮した上で、8mm以上、I形鋼・みぞ形鋼の腹部においては、7.5mmとすることができる」と規定している。

④ アルミ合金においては鋼材等のような異種金属との接触による腐食ないしはコンクリート等との化学反応に基づく腐食に対して適切に処置されておれば、大気中で腐食速度はゼロとしてよい。

*) 善, 阿部; 港湾環境における鋼材の腐食・防食試験, 港湾技研資料 No.241, (1976年9月)

2.9 部材の細長比

- ① 部材の細長比は次の表2-9-1の値以下とすること。

表2-9-1 細長比

部材		細長比	
		鋼材	アルミ合金
圧縮材	主要部材	120	90
	二次部材	150	120
引張材	主要部材	200	150
	二次部材	240	190

【解説】

- ① 鋼材の値は水門鉄管基準のものを採用した。
- ② アルミ合金の値は「アルミニウム合金橋の設計・製作指針(案)」のものを採用した。
- ③ 鋼材の細長比が十分実績あるとして、これを基準に

アルミ合金の細長比を算出してみる。方法は「規定された鋼材の細長比に対応した鋼材の軸方向許容圧縮応力度」の降伏強度に対する比を、アルミ合金においても同一にとり、算出するものである。

表2-9-2

鋼材の細長比	鋼材の許容圧縮応力度	降伏強度に対する比 鋼 2400 アルミ合金 1300 kg/cm ²	アルミ合金の許容圧縮応力度	アルミ合金の細長比
120	570	0.238	309	95
150	410	0.171	222	115
200	255	0.106	138	150
240	190	0.079	103	170

本文の値はこの表から決められたものである。

図2-9-1にアルミ合金と鋼材の、軸方向許容圧縮応力度～細長比の関係を示す。

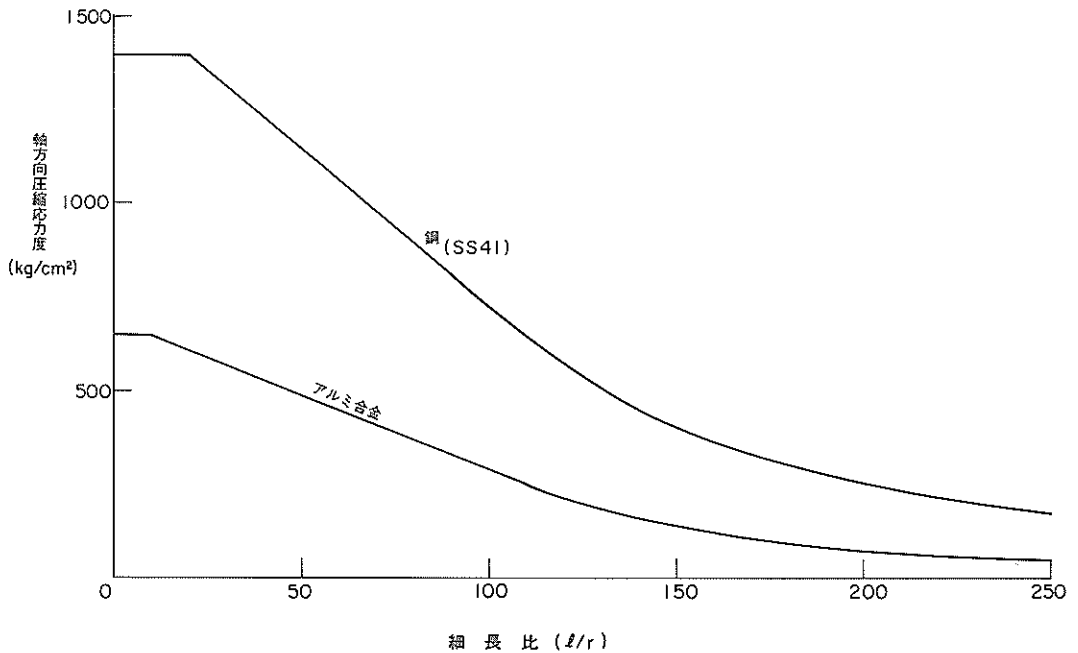


図2-9-1 細長比～軸方向圧縮応力度

2.10 スキンプレート

- ① 外力としては（水圧+波圧）を考慮すること。
 ② 外力の作用に伴いスキンプレートに生ずる曲げ応力は、下式に基づいて算出すること。

$$\sigma = \frac{1}{100} k \cdot a^2 \cdot \frac{p}{t^2} \quad (2-10-1)$$

ここに、

- σ ; 応力 (kg/cm²)
 k ; 表 2-10-1 による係数
 a ; 区画の短辺 (cm)
 b ; 区画の長辺 (cm)
 p ; 外力 (区画間の平均水圧) (kg/cm²)
 t ; 板厚 (cm)

- ③ 区画は溶接の場合は溶接線間を採用すること。

区画は上下方向は、フランジ端部、又は補助横げた、左右方向は縦げた又は補助縦げたにより区画された領域とする。

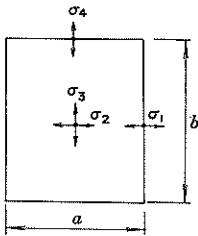


図 2-10-1 四辺固定版曲げ応力算定説明図

表 2-10-1 曲げ応力係数表

b/a	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
1.0	30.9	13.7	13.7	30.9
1.25	40.1	19.0	13.6	33.8
1.50	45.5	22.1	12.2	34.3
1.75	48.8	23.6	10.7	34.3
2.0	49.7	24.7	9.5	34.3
2.50	50.0	25.0	8.1	34.3
3.0	50.0	25.0	7.5	34.3
∞	50.0	25.0	7.5	34.3

- ④ 同一板厚のスキンプレートを使用することが望ましい。
 ⑤ スキンプレートは、必要により補助げたにて補強し、主げた間には縦げたを配して、十分な剛性を有せしめること。
 ⑥ スキンプレートがけたと一体構造に溶接されている

場合には、その有効幅と協働させてもよい。

【解説】

- ① 本文の算定式は「水門鉄管技術基準」に準拠している。
 ② 本文の式は、チモシェンコによる、四辺固定版で、等分布荷重の場合のものである。
 ③ 外力としては水圧+波圧を考慮することとしたが、衝突力が作用する場合にはこれをも考慮すべきことは当然である。しかし、通常、厳密に衝突力（集中荷重）に抵抗できるスキンプレート厚を算出すると非常に大きくなる場合が多いこと、かつ、衝突力は確実に上げたにて受けもたれることを考えると、スキンプレート厚を衝突力で決めるのは不経済である。ただし、O市では、次のような方法で、衝突力に対する配慮を行っているので、参考のために示す。

- ④ 設置地点を衝突力の大きさにより 2 種類にわけている。
 ⑤ スキンプレートの区画の大きさを、最高 60 cm × 60 cm に制限している。

表 2-11-1 鋼材の最小腹板厚

設置地点の種類	スキンプレートに作用させる荷重 (kg/cm ²)	通常のスكىンプレートの厚 (mm)(鋼材)
A	2	12
B	1	9

(許容応力は 5 割増している)

2.11 I 形材に発生する応力度

(a) 垂直応力度

- ① 曲げモーメントによる垂直応力度は次式で算出するものとする。

$$\sigma_b = \frac{M}{I} y \quad (2-11-1)$$

σ_b ; 曲げモーメントによる垂直応力度 (kg/cm²)

M ; 曲げモーメント (kg · cm)

I ; 総断面の中立軸のまわりの断面 2 次モーメント ; (cm⁴)

y ; 中立軸から着目点までの距離

(b) せん断応力度

- ① 曲げに伴う腹板のせん断応力度は次式で算出する。

$$\tau_b = \frac{S}{A_w} \quad (2-11-2)$$

τ_b ; 曲げに伴うせん断応力度 (kg/cm²)

S ; 曲げに伴うせん断力 (kg)

A_w ; 腹板の総断面積 (cm²)

(c) 合成応力度の検算

① I形断面におけるフランジと腹板の接合部のように、曲げモーメントおよび曲げに伴うせん断力のみが作用する断面で、垂直応力度および曲げに伴うせん断応力度が共に許容応力度の45%を超えるときは、次式によって検算すること。

$$\left(\frac{\sigma_b}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_b}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (2-11-3)$$

$$\sigma_b \leq \sigma_a$$

$$\tau_b \leq \tau_a$$

σ_b ; 曲げモーメントによる垂直応力度 (kg/cm²)

τ_b ; 曲げに伴うせん断応力度 (kg/cm²)

σ_a ; 許容引張応力度 (kg/cm²)

τ_a ; 許容せん断応力度 (kg/cm²)

【解説】

- ① この規定は道路橋示方書に準拠している。
- ② 曲げモーメントとせん断力が作用する場合の合成応力については、せん断ひずみエネルギー一定説によれば、曲げ縁応力度 σ とせん断応力度 τ が作用する状態は、 $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ となる新しい σ が存在する場合に相当する。したがって、

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_a \quad (2-11-4)$$

σ_a ; 許容引張応力度

経験的に、10%程度の許容応力度の割増しを行っても安全であると判断して、

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1\sigma_a \quad (2-11-5)$$

ここで許容せん断応力度 τ_a を許容引張応力度 σ_a の $1/\sqrt{3}$ に選べば、

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.21 \quad (2-11-6)$$

を得る。

2.12 フランジ部の板厚

(a) 圧縮部

① 鋼材の場合圧縮力を受けるフランジ自由突出部の長さ b は次によること。

b の値

SS41 } 厚さ t の13倍以下
SM41 }

SM50 厚さ t の12倍以下

SM50Y 厚さ t の11倍以下

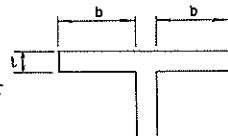


図2-12-1

フランジ部

b ; フランジ自由突出部の長さ (cm)

t ; フランジの肉厚 (cm)

② アルミ合金の場合は b の値は厚さ t の10倍以下とすること。

【解説】

① 鋼材の場合の規定は道路橋示方書を準用している。

② 算出根拠は次のとおりである。

一般に長方形板の座屈応力度は次式で表わされる*)

$$\sigma_k = k \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (2-12-1)$$

ここに、

b ; フランジ自由突出部の長さ (cm)

t ; フランジの肉厚 (cm)

E ; 弾性係数 (kg/cm²)

ν ; ポアソン比 0.3

σ_k ; 座屈応力度

k ; 座屈係数と称され、辺の支持条件、荷重の加わり方などにより定まる (図2-12-2参照)。

板に、溶接などによる残留応力が存在すると座屈荷重は低下することになり、この効果を R で取り込むと、

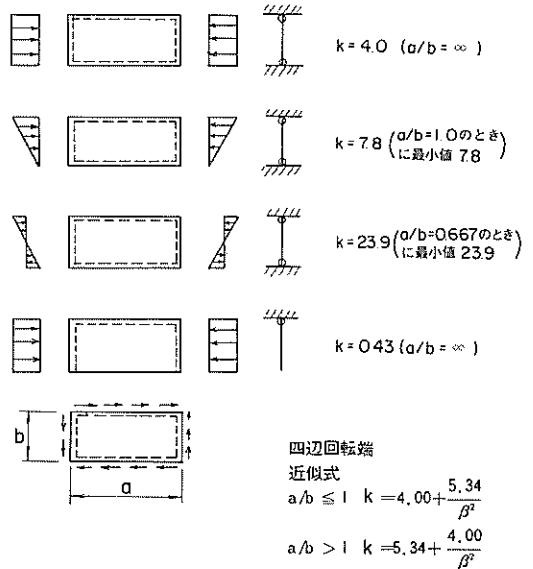


図2-12-2 座屈係数の値

*) 土木工学ハンドブック (中巻) 1029P.

$$\sigma_k = R^2 \cdot k \cdot \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (2-12-2)$$

ここに、 R ：残留応力の分布ないしは荷重状態などによって変化するもので、座屈パラメーターと称される。
 最大作用応力度を σ 、安全率を ω とし、応力度の値が $\omega\sigma$ を超えるまで座屈を生じさせないための必要な条件は次のとおり。

$$\frac{b}{t} \leq R \sqrt{\frac{k \pi^2 E}{12(1-\nu^2) \omega \sigma}} \quad (2-12-3)$$

$$\omega \sigma = \sigma_y$$

σ_y ：降伏応力度とすると

$$\frac{b}{t} \leq R \sqrt{\frac{k \pi^2 E}{12(1-\nu^2) \sigma_y}} \quad (2-12-4)$$

これが基本式である。

③ 道路橋示方書によると、鋼材の場合、一様圧縮力を受ける板では σ_y に対する R として0.7をとっている。そこでSS41の場合を考えると、

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 2400 \text{ kg/cm}^2 \\ E &= 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ \nu &= 0.3 \\ k &= 0.43 \\ R &= 0.7 \end{aligned}$$

を代入すると、

$$\frac{b}{t} \leq 12.59 \approx 13 \quad (2-12-5)$$

を得る。他の鋼種の場合も同様にして得られる。

④ 道路橋示方書に準じてアルミ合金の場合の b と t の関係を求める。

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 1300 \text{ kg/cm}^2 \\ E &= 7.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \\ \nu &= 0.3 \\ k &= 0.43 \\ R &= 0.7 \end{aligned}$$

これを基本式に代入すると、

$$\frac{b}{t} = 10.1 \approx 10 \quad (2-12-6)$$

(b) 引張部

- ① 引張力を受けるフランジ自由突出部の長さは、鋼材の場合、鋼種にかかわらず、フランジ肉厚の16倍以下とする。
 ② アルミ合金の場合、フランジ肉厚の12倍以下とする。

【解説】

- ① 鋼材の規定は道路橋示方書を準用した。算出根拠は別になく、経験的裏付けに基くものと思われる。
 ② アルミ合金の場合は、次のようにして決定した。

図2-12-3のように、長さ l 、幅 b 及び、集中荷重 F 及びその作用位置が同一な鋼とアルミ合金の片持梁を考える。

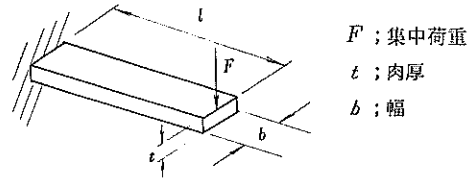


図2-12-3 鋼又はアルミ合金の片持梁

鋼材では、 $l = 16 t_s$ 。鋼材の肉厚 t_s が与えられているとき、アルミ合金の肉厚 t_a を決定したい。決定方法は鋼材とアルミ合金材について、端部での作用応力の降伏強度に対する比を等しくする方法をとる。

$$M = Fl$$

$$\sigma_s = \frac{M}{Z_s} = \frac{M}{I_s} \cdot \frac{t_s}{2} = \frac{M t_s}{2} \cdot \frac{12}{b t_s^3} = \frac{6M}{b t_s^2}$$

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_{sy}} = \frac{6}{2300} \cdot \frac{M}{b t_s^2} = \frac{\sigma_a}{\sigma_{ay}} = \frac{1}{1300} \cdot \frac{M}{Z_a}$$

$$= \frac{M}{1300} \cdot \frac{6}{b t_a^2}$$

$$\therefore \frac{6}{2300} \cdot \frac{M}{b t_s^2} = \frac{M}{1300} \cdot \frac{6}{b t_a^2}$$

$$\left(\frac{t_a}{t_s}\right)^2 = \frac{23}{13}$$

$$\frac{t_a}{t_s} = 1.33$$

$$\therefore l = 16 t_s = 12.3 t_a$$

2.13 スキンプレートの一部を主げたフランジに用いる場合の有効幅

① スキンプレートの一部を主げたフランジとして用いる場合の有効幅は、鋼材の場合、次による(図2-13-1参照)。

$$\text{圧縮側} \quad b \leq 24 t$$

$$\text{引張側} \quad b \leq 30 t$$

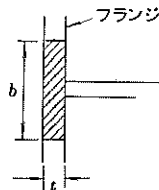


図2-13-1 フランジとして用いるスキンプレート

② アルミ合金の場合は次による。

圧縮側 $b \leq 20 t$

引張側 $b \leq 24 t$

③ スキンプレートの一部を主げたフランジとして用いる場合には、次の二通りの検算を行うこと。

① 同方向応力

$$\sigma_s + \sigma_b \leq \sigma_a \quad (2-13-1)$$

ここに、

σ_s ; σ_b と同方向のスキンプレートの応力
(kg/cm²)

σ_b ; 仮想フランジの引張 (又は圧縮) 縁応力
(kg/cm²)

σ_a ; 許容応力 (kg/cm²)

② 二軸方向の合成応力

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_b^2 - \sigma_s \sigma_b + 3\tau^2} \quad (2-13-2)$$

$$\sigma_g \leq 1.5 \sigma_a \quad (2-13-3)$$

ここに

σ_g ; 合成応力 (kg/cm²)

σ_s ; σ_b と直角方向の、スキンプレートの応力
(kg/cm²)

σ_b ; 仮想フランジの引張 (又は圧縮) 縁応力
(kg/cm²)

τ ; 仮想フランジのせん断応力 (kg/cm²)
(仮想フランジにせん断力を受ける場合のみ
考慮する)

σ_a ; 許容応力 (kg/cm²)

b ; 上下両フランジの純間隔 (cm)

t ; 腹板厚 (cm)

R ; 1.0

k ; 座屈係数 23.9

E ; 弾性係数, アルミ合金の場合には $\mathcal{E} \cdot \sigma$ に
対応した値を用いる。(kg/cm²)

(2.5(b) 物理定数 参照)

ν ; ポアソン比

\mathcal{E} ; 安全率 1.4 とする。

σ ; 最大作用応力度 (kg/cm²)

② ①の式は道路橋示方書を準用したものである。

③ ①の式は等分布荷重作用時の支間中央における応力状態、即ちせん断応力が存在しないで曲げ応留のみが存在する純曲げ時のものであり、したがって(水圧+波圧)作用時にはこの式を用いなければならない。

④ (水圧+波圧+衝突力)作用時には支間中央では曲げ応力だけでなく、せん断力も作用し純曲げ状態にならない。大きい衝突力が作用する場合には、①式は危険側の値を与えるので、腹板厚に多少の余裕をみる必要がある。

⑤ 鋼材の場合

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma = \text{許容応力 (kg/cm}^2\text{)}$$

を用いると、①の式によるプレートガーダーの最小腹板厚として表2-14-1を得る。

表2-14-1

SS41 SM41	SM50	SM50Y
$b/152$	$b/130$	$b/123$

b ; 上下両フランジの純間隔 (cm)

【解説】

① 鋼材についての規定は水門鉄管技術基準に準拠した。

② アルミ合金についての規定は、圧縮・引張のいずれについてもフランジ自由突出部の長さの2倍をとることとした。

③ 本文の検算の方法は水門鉄管技術基準に計算例に準拠した。

2.14 腹板厚

腹板厚は適切な算定式を用いて決めるものとする。

【解説】

① プレートガーダーの腹板厚は原則として次式を満足するように決めるものとする。

$$\frac{b}{t} \leq R \sqrt{\frac{k \pi^2 E}{12 (1 - \nu^2) \mathcal{E} \sigma}} \quad (2-14-1)$$

⑥ アルミ合金の場合

$$E = 7.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 700 \text{ kg/cm}^2$$

をとると、①式によるプレートガーダーの腹板の最小厚 t として

$$\frac{t}{b} = \frac{1}{124} \quad (2-14-2)$$

をうる。 b は上下両フランジの純間隔 (cm)

(図2-14-1 参照)

① プレートガーダーの腹板には、主として曲げ応力が作用するが、この場合、残留応力の存在による座屈荷重の低下がきわめて少いので、

$R = 1.0$ とみなしても実用上さしつかえない。*)

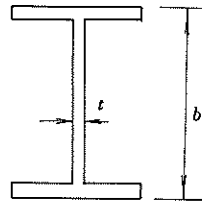


図2-14-1

上下両フランジ純間隔

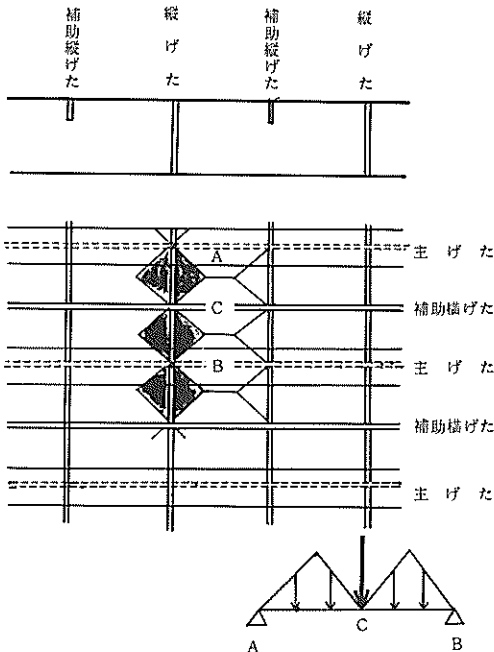


図2-15-1 荷重負担範囲

2.15 縦げた

① 外力に対し主げたが十分に抵抗できるよう、(主げた間の高さ×ウェブの幅)の大きさをもつ適当数の縦げたを設ける。

のように仮定し、荷重は区画間の平均水圧とする(ただし、衝突力が作用しない場合)。

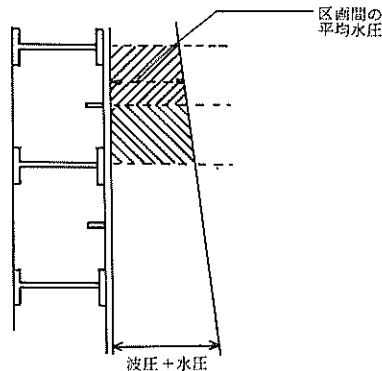
④ 図2-15-1では縦げたに作用する荷重は三角形分布となっているが、台形分布の場合もある。

【解説】

① 縦げたはスキンプレートからの分布荷重及び補助横げたからの集中荷重を受ける、主げた間で支持された単純梁として設計する。

② 大きな衝突力を荷重として考慮する場合には、縦げたをより密に配置し、衝突力が確実に主げたに受けもたれるようにする。

③ 縦げたの荷重負担範囲は図2-15-1の斜線部分



2.16 補助縦げた及び補助横げた

① スキンプレートから伝達される外力を確実に主げたに伝達するため、また、スキンプレートそのものの強度を補強するために補助縦げた、又は補助横げたを用いることができる。

【解説】

① 既設陸こうでは補助横げたを有する例はほとんどないが、主げた同志の上下間隔が広い場合には、設けることにより、例えばスキンプレートに作用する衝突力をより確実に縦げた、主げたへと伝達させ得る。

② 補助横げたは、スキンプレート(分布荷重)及び補助縦げた(集中荷重)からの荷重を縦げた及び端げたで支持された単純梁として設計する。

③ 補助縦げたはスキンプレートからの分布荷重及び補助横げたからの集中荷重を受ける、主げた間で支持された単純梁として設計する。

2.17 垂直補剛材

(a) 間 隔

① 主げたに垂直補剛材を取りつける場合にはその間隔は次式を満足するようにきめる。

鋼材の場合

$$\alpha^2 \left(\frac{b}{t} \right)^4 \left\{ \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 E_s} \right\}^2 \left\{ \left(\frac{\sigma}{k_\sigma} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{k_\tau} \right)^2 \right\} \leq 1 \quad (2-17-1)$$

*) 土木工学ハンドブック(中巻) 1030p.

アルミ合金の場合

$$\omega^2 \left(\frac{b}{t} \right)^4 \left\{ \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2} \right\}^2 \left\{ \left(\frac{\sigma}{k_{\sigma} E_{\sigma\sigma}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{k_{\tau} E_{\tau\tau}} \right)^2 \right\} \leq 1 \quad (2-17-2)$$

ここに

ω ; 安全率 1.25 とする。

k_{σ} ; 腹板が曲げモーメントのみを受ける場合の座屈係数で 23.9 としてよい。

k_{τ} ; 腹板がせん断力だけを受ける場合の座屈係数で次のような値である。

$$a/b > 1 \quad k_{\tau} = 5.34 + 4.00 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \quad (2-17-3)$$

$$a/b \leq 1 \quad k_{\tau} = 4.00 + 5.34 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \quad (2-17-4)$$

b ; 主げたの上下両フランジの純間隔 (cm)

a ; 垂直補剛材の間隔 (cm)

σ ; 腹板の緑圧縮応力度 (kg/cm²)

τ ; 腹板のせん断応力度 (kg/cm²)

ν ; ポアソン比

E_{σ} ; 鋼材の弾性係数 (kg/cm²)

$E_{\sigma\sigma}$; 腹板の緑圧縮応力度に対応したアルミ合金の弾性係数 (kg/cm²)

$E_{\tau\tau}$; 腹板のせん断応力度に対応したアルミ合金の弾性係数 (kg/cm²)

t ; 腹板の肉厚 (cm)

② 上述の式で $k_{\tau} = 5.34$ とおいて、不等式を満足すれば垂直補剛材は設けなくてよい。

【解説】

① 腹板のせん断力に対する座屈を防ぐためには、適当な間隔に補剛材をいれて板を区切る事が有効である。

② 本文の規定は道路橋示方書を準用した。

③ 本文の式の算出根拠は次のとおりである。

せん断力と曲げモーメントを同時に受ける場合の座屈は、次式が満足されるときに生ずると見なしてよい。

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2 \leq \left(\frac{1}{\omega} \right)^2 \quad (2-17-5)$$

ここに、

σ_{cr} ; 曲げモーメントだけを受ける場合の座屈応力度 (kg/cm²)

τ_{cr} ; せん断のみを受ける場合の座屈応力度 (kg/cm²)

ω ; 安全率

σ ; 腹板の緑圧縮応力度 (kg/cm²)

τ ; 腹板のせん断応力度 (kg/cm²)

σ_{cr} と τ_{cr} は次のように与えられる。

$$\sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (2-17-6)$$

$$\tau_{cr} = k_{\tau} \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (2-17-7)$$

ここに、 k_{σ} 、 k_{τ} は、それぞれの曲げモーメントだけ、せん断力だけを受ける場合の座屈係数である。

これらを (2-17-5) 式に代入すると、

$$\omega^2 \left(\frac{b}{t} \right)^4 \left\{ \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 E} \right\}^2 \left\{ \left(\frac{\sigma}{k_{\sigma}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{k_{\tau}} \right)^2 \right\} \leq 1 \quad (2-17-8)$$

を得る。

④ $E_{\sigma\sigma}$ と $E_{\tau\tau}$ については 2.5(b) 物理定数を参照のこと。

$E_{\sigma\sigma} = E_{\tau\tau}$ としてよい。

(b) 剛度

① 垂直補剛材の断面 2 次モーメント I は次の式を満足すること。

$$\left. \begin{aligned} I &\geq \frac{bt^3}{11} r \\ r &= 8.0 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (2-17-9)$$

断面 2 次モーメントのとり方は図 2-17-1 の X-X 軸に関しての値である。

ここに、

I ; 垂直補剛材の断面 2 次モーメント (cm⁴)

b ; 上下両フランジの純間隔 (cm)

t ; 腹板の厚さ (cm)

a ; 垂直補剛材間隔 (cm)

② 垂直補剛材の突出脚の厚さはその幅の、

鋼材の場合 1/16 以上

アルミ合金の場合 1/12 以上

であること。

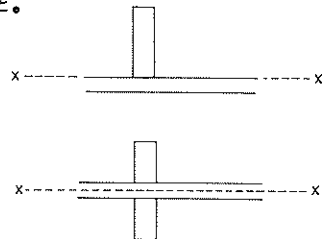


図 2-17-1 断面 2 次モーメントのとり方

【解説】

- ① 道路橋示方書の規定を準用した。
- ② 「アルミニウム合金橋の設計・製作指針(案)」では垂直補剛材の必要断面2次モーメント I_a として次式を与えている。

$$I_a \geq \frac{b^3 t^3}{a^2} \quad (2-17-10)$$

b, t, a は本文と同一である。
本文の I と I_a との関係は次のとおりである。

$$I = \frac{8}{11} I_a \quad (2-17-11)$$

本文の規定の方が小さな断面2次モーメントを与えるが、大きな差はないものとして、アルミ合金の場合も本文の I を用いることとした。

- ③ 本文の式の誘導は道路橋示方書を参考のこと。

(c) 取付け方

- ① 垂直補剛材は腹板の片側にのみ設けても、両側に設けてもよい。
- ② 片側にのみ設けるときは、補剛材と圧縮フランジとは溶接しなければならない。両側に設けるときには、補剛材と圧縮フランジは、連結するか、すきまのないように密着させなければならない。

2.18 荷重集中点の補剛材

- ① プレートガーダーの主げたの支点には、補剛材を設けることが望ましい。
- ② この補剛材は柱として設計し、このとき、補剛材全断面および腹板のうち補剛材取付部から両側にそれぞれ腹板厚の a 倍までを有効断面積と考えることができる。
 a は、2.12 フランジ部の板厚 (a) 圧縮部 で与えた値のことである。
ただし、全有効断面積は補剛材の断面積の 1.7 倍をこえてはならない。
許容応力度の計算に用いる断面2次半径は、腹板の中心線について求めるものとし、有効座屈長はけた高の $\frac{1}{2}$ とする。
- ③ 補剛材と腹板との溶接箇所は、補剛材が全集中荷重を受けるものとして設計しなければならない。

【解説】

- ① 本文の規定は道路橋示方書に準拠している。
- ② この補剛材の突出幅と板厚の関係は、2.12 フランジ部の板厚 (a) 圧縮部 で与えた値を用いる。

- ③ 支点上の補剛材は両側に対称に設け、できるだけフランジの縁に達するまで延ばすのがよい。
- ④ 支点上の補剛材は力の伝達を受けるフランジに溶接しなければならない。

2.19 端げた

- ① 主げた端部には必ず縦げたを取り付け、プレートガーダー全体の剛性を高めるものとする。

【解説】

- ① 端げたを設けることにより、陸こう全体の一体性を増加する必要がある。
- ② 断面剛性は、主げたの剛性にそれほど差のない程度のもので採用すること。

2.20 溶接方法

- ① 溶接方法は断続溶接でなく、連続溶接とする。
- ② アルミ合金においては工場溶接を原則とする。

【解説】

- ① スキンプレートの応力計算方法では、主げた溶接部と縦げた (又は補助縦げた) 溶接部に囲れた区域を、四辺固定版と仮定している。したがって、この仮定を満足させるためには連続溶接でなければならない。
- ② アルミ合金材の溶接についての注意事項は次のとおりである。

(イ) 6mm程度、又はそれ以上の厚さのアルミ合金は、おのずからイナートガスアーク溶接に限定され、特にそのうちのミグ溶接法が使用されるが、現場溶接では溶接ひずみを抑制し、信頼性の高い溶接を得るための条件を管理維持するのに面倒が多く、作業能率も著しく低い。このため原則として工場溶接を用いることとした。

(ロ) 溶接作業は JIS Z 3604 の作業標準に準拠する。

(ハ) 陸こうは重要な構造物であるから、溶接施工全般にわたり、資格ある溶接施工管理技術者によって管理することが必要である。この資格は、例えば、軽金属溶接構造協会基準 LWSA 7601 に定める2級以上とすることができる。

(ニ) 溶接工は JIS Z 3811 の当該種目の資格をもたねばならない。全自動溶接を使用する場合も作業者は、十分な知識・経験を有するものでなければならない。

(ホ) アルミ合金は溶接ひずみを生じやすいので、拘束その他の方法により、ひずみの防止に注意しなければならない。

2.21 溶接継手

① 溶接の種類と適用

(イ) 応力を伝える溶接継手には、全断面溶け込みグループ溶接、部分溶け込み溶接、又は連続すみ肉溶接を用いるものとする。

(ロ) 溶接線に直角な方向に引張応力をうける継手に用いるグループ溶接は、全断面溶け込みグループ溶接を用いなければならない。

(ハ) 部分溶け込みグループ溶接は、すみ肉溶接と考慮して設計するものとする。

(ニ) プラグ溶接およびスロット溶接を主要部材に使用してはならない。

② 溶接部の有効厚

応力を伝える溶接部の有効厚は、その溶接の理論のど厚とし、つぎによるものとする。

(イ) 全断面溶け込みグループ溶接のど厚は、図2-21-1に示すとおりとし、厚さの異なる場合は薄い方の部材の厚さとする。

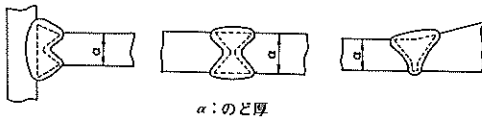


図2-21-1 全断面溶け込みグループ溶接のど厚

(ロ) 部分溶け込みグループ溶接のど厚は、図2-21-2に示すように、その溶け込み深さとする。

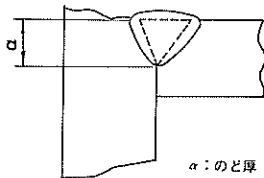


図2-21-2 部分溶け込み溶接のど厚

(ハ) すみ肉溶接のど厚は、図2-21-3に示すように継手のルートを通る内接二等辺三角形の継手のルートの高さとする。

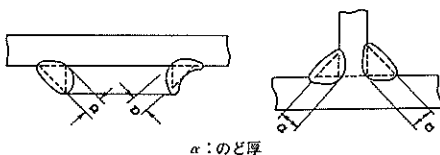


図2-21-3 すみ肉溶接のど厚

③ 溶接部の有効長

(イ) 溶接部の有効長さは、設計どおりの理論のど厚を有する溶接部の長さとする。ただし、全断面溶け込みグループ溶接で溶接線が応力方向に直角でない場合には、実際の有効長さを応力に直角な方向に投影した長さとする。

(ロ) すみ肉溶接で、まわし溶接を行った場合には、まわし溶接部分は有効長さに含めないものとする。

④ すみ肉溶接のサイズ

(イ) すみ肉溶接は等サイズとする。

(ロ) 主要部分の応力を伝えるすみ肉溶接のサイズは鋼材にあつては6mm以上とし、つぎの制限内にあることを標準とする。

$$t_1 > s \geq \sqrt{2t_2} \quad (2-21-1)$$

ここに、 t_1 ; 薄い方の母材の厚さ (mm)

t_2 ; 厚い方の母材の厚さ (mm)

s ; サイズ

(ハ) アルミ合金の場合はすみ肉溶接のサイズは6mm以上とし、次の制限内にあることを標準とする。

(アルミニウム合金構造物設計製作指針(案) 軽金属協会, 1976)

$$t_1 \geq S \geq 0.6t_1 + 1.5$$

t_1 ; 薄い方の母材の厚さ (mm)

⑤ 引張力、圧縮力、又はせん断力を受ける溶接継手の応力度

継手に引張力、圧縮力、又はせん断力が作用する場合の溶接部に生じる応力度は、次式によって算出するものとする。

$$\sigma = \frac{P}{\sum al} \quad (2-21-2)$$

$$\tau = \frac{P}{\sum al} \quad (2-21-3)$$

ここに、

σ : 溶接部に生じる引張又は圧縮応力度 (kg/cm²)

τ : 溶接部に生じるせん断応力度 (kg/cm²)

P : 継手に作用する力 (kg)

a : 溶接の理論のど厚 (cm)

l : 溶接の有効長さ (cm)

なお、すみ肉溶接および部分溶け込み溶接の設計は、せん断応力度によるものとする。

⑥ 曲げモーメントを受ける溶接継手の応力度

曲げモーメントを受ける溶接継手の応力度は、式(2-21-4)によって算出するものとする。

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \quad (2-21-4)$$

ここに、

M ; 継手に作用する曲げモーメント(kg・cm)

I ; のど厚を接合面に展開した断面のその中立軸のまわりの断面二次モーメント(cm⁴)

y ; 展開図形の中立軸から計算する位置までの距離(cm)

⑦ 曲げモーメントとせん断力とを同時に受ける溶接継手の検算

曲げモーメントとせん断力とを同時に受ける溶接継手においては、次式を満足しなければならない。

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (2-21-5)$$

ここに、

σ ; 曲げ応力度(kg/cm²)

τ ; せん断応力度(kg/cm²)

σ_a ; 許容引張応力度(kg/cm²)

τ_a ; 許容せん断応力度(kg/cm²)

なお、 σ および τ はそれぞれ σ_a および τ_a を超えてはならない。

【解説】

本文の規定はアルミ合金の場合を除き、道路橋示方書に準拠している。

2.22 その他

① アルミ合金は鋼等の重金属ないしはまだ固まらないコンクリート等のアルカリ性材料と直接接触させてはならない。

② 車輪及び動力装置の格納部は十分な補強を施すこと。

③ 扉体部のいかなる部分も水のたまり構造とし、縦げたで区画されたプレートガードの腹板には、水抜き孔を設けること。

【解説】

① アルミ合金について注意しなければならないことは、鋼等の重金属との接触による電解腐食に対して十分防護しなければならないことである。鋼とアルミ合金が接触する場合には鋼側を亜鉛メッキ、又は亜鉛メタリコン等による処理を施し、さらに接触部には鋼・アルミ合金共にジंक係の塗料を塗布するか絶縁体を介在させて絶縁しなければならない。ただし、SUS 304(18-8ステンレス鋼)との直接接触は行われている例がある。

② コンクリート等と直接に接する部分には、適当な絶縁体又は耐アルカリ性れき性塗料を塗るなどして、絶縁しなければならない。

3. 陸こう基礎部・支柱部・格納部の設計

- ① 陸こう基礎部・支柱部格納部は鉄筋コンクリート構造を標準とする。
- ② 外力としては、
- (イ) 陸こう扉体部からの反力及び水圧、衝突力、波力、揚圧力
 - (ロ) 扉体重量及び基礎部・支柱部格納部の自重
 - (ハ) 地震力
 - (ニ) 通過車両重量（交通荷重）
 - (ホ) その他
- を考慮する。
- ③ 鉄筋コンクリート構造の設計仕様は、「土木学会・コンクリート標準示方書」によって行うことを原則とする。
- ④ 陸こう基礎部ではパイピングの検討を行う。
- ⑤ 支柱部戸当り板の支柱への取付は十分補強すること。

【解説】

- ① 基礎部・支柱部格納部の構造の一般的なものとして図3-1がある。
- ② 外力項目としては次のものがある（図3-2）。

常時—壁体重量

交通荷重（自動車荷重）

高潮津波時— 壁体重量

扉体重量

水圧

揚圧力

衝突力

波力

（扉体からの反力を含む）

地震時— 壁体重量

壁体地震力

- ③ 構造物が重力式構造である場合には、次の項目の安定計算を実施する。

(イ) 滑動の検討

(ロ) 転倒の検討

(ハ) 地盤支持力の検討

- ④ 配筋計算は、コンクリート標準示方書による。

- ⑤ 構造物周囲の地表面が舗装されている場合においても、パイピングの検討を行い、止水矢板を設けることが望ましい。

- ⑥ また、前面の波圧と水圧による揚圧力は、止水矢板まで作用するものとし、そこから陸側端部までは陸側水位に基づく圧力が作用するものとする。

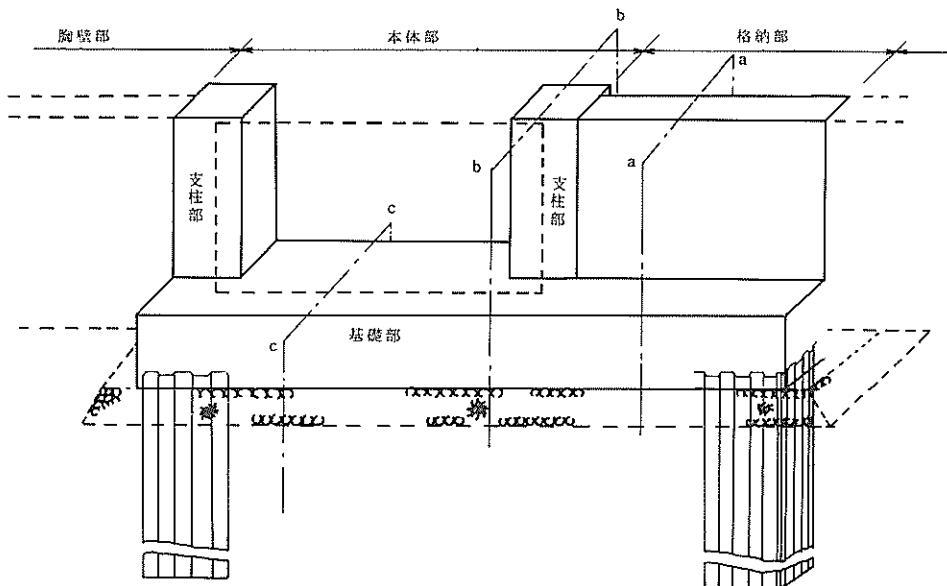


図3-1 ① 基礎部・支柱部・格納部の構造(1)

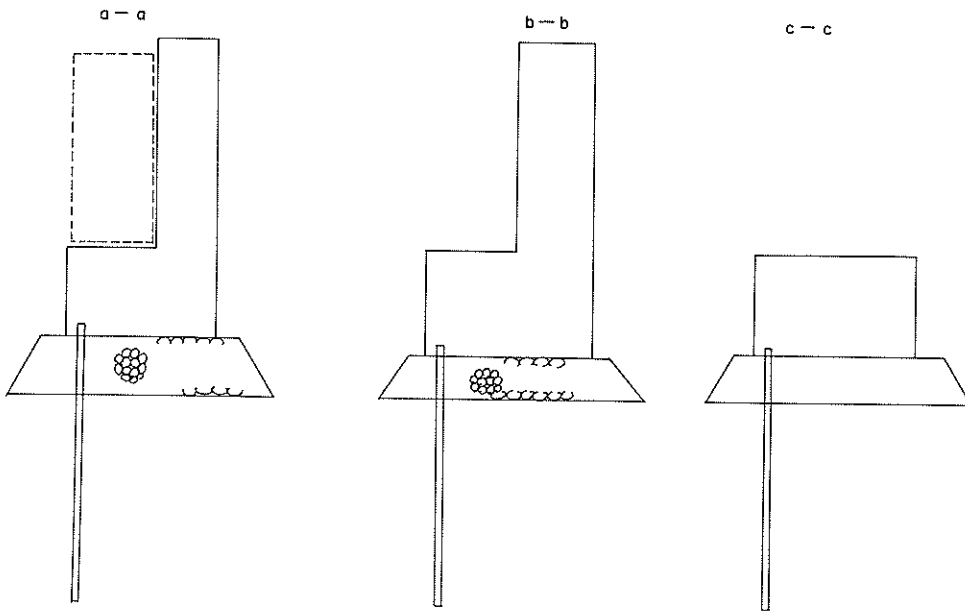


図 3-1 ② 基礎部・支柱部・格納部の構造(2)

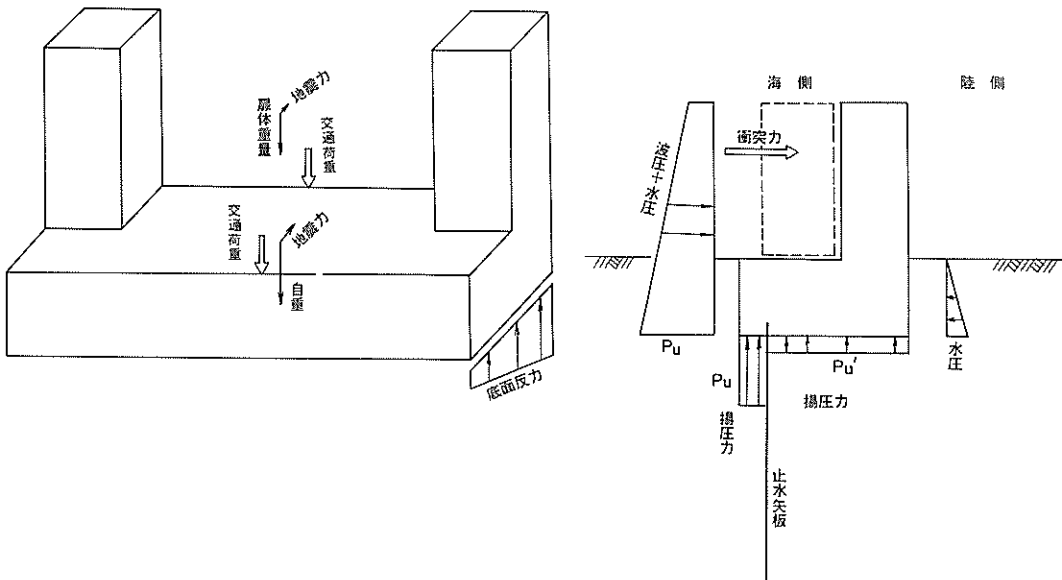


図 3-2 基礎部・支柱部で考慮する外力

§3 あとがき

以上、陸こうの設計にあたって遵守すべきと考える規定を述べてきた。これにより扉体部の設計が力学的に明解な状態で行えるはずである。しかしあくまでもこれは一提案であって、今後これをたたき合にして、より合理的な設計法が作られることを期待するものである。その意味で、本提案法の抱えている問題点をのべてみる。

まず大きな問題として①、②などがある。

① 最も大きな問題は、衝突力を外力のひとつとしてとりあげたことに関連して派生してくる次のような問題がある。

- (イ) 設計条件としての衝突物体の選定
- (ロ) 衝突力の算定法
- (ハ) 作用した場合の許容たわみ量の大きさ
- (ニ) 各部材への作用のさせ方と断面の決定法
- (ホ) 抵抗するための個々の部材の配置方法

衝突物体の選定は非常に重要な問題であり、今後、はしや木材等の漂流状況の研究が必要である。

算定法については、陸こうの特性に見合ったものを提案し、許容たわみ量については $L/500$ と規定したが、主げた断面はこれから決定されることが大部分と考えられるため、これらの妥当性の評価は今後の大きな問題である。

(ニ)、(ホ)については細かく規定するに至らなかったが、

要はいかなる所に衝突力が作用しても、その力が主げたに伝播する構造と断面を有することである。この趣旨に基づき最適な部材断面や配置の研究を今後する必要がある。

② また、外力のひとつとしての波圧をとりあげ、その算定式を示したが、その算定式は波の来襲の可能性の大きさにより三つに分けている。したがって、これを適用する場合、陸こうの設置地点がいずれに該当するか判断しなければならぬが、これは通常、大変難しい作業が伴うものである。

細かな問題としては次の③、④、⑤などがある。

③ アルミ合金の導入を考え、その材料の種類の指定から各部材の設計法、さらには溶接部の検討法まで述べたが、今後さらに詳細の研究をつづける必要があると思われる事項として次のようなものがある。

(イ) 降伏点付近での弾性係数の低下量の把握とそれの部材断面決定法へのとりこみ方。

(ロ) 垂直補剛材や水平補剛材の部材剛度の決め方。

(ハ) 溶接部の強度検討方法

(ニ) 耐食性についての評価

④ スキンプレートの設計荷重として(水圧+波圧)を考慮することとし、必ずしも(水圧+波圧+衝突力)により厚みを決めなくてもよいとしたが、これが妥当であるかどうか。本案では、衝突力がスキンプレートに作用すれば衝突点は降伏し、場合によっては若干損傷することがあるかも知れないが、衝突力そのものは速みやかに主げたに受けもたれること、衝突力を考慮したスキンプレートの厚みは現実の既設陸こうの値より大幅に大きくなることなどから、衝突力を特に考慮しなくてもよいとした。

⑤ 主げたの間隔を規定していないが、今後、できれば追加していく方向が望ましい。主げたの間隔が大きくなれば、主げたと主げたの間のスキンプレートに衝突力が作用する確率は大きくなり、このとき、衝突力の主げたへの伝播の確率は低下する。この伝播性をよくするための補剛材の配置と主げたの間隔とが密接に関連する。

なお、本稿をまとめるにあたり、森 港湾局防災課専門官、本 自動設計研究室長、谷本 防波堤研究室長、善 防食主任研究官、南 自動設計研究室員には、ひとかたならぬ御指導を頂き謝意を表する。

また、陸こう調査にあたり、東京都港湾局、大阪市港湾局、名古屋港管理組合、高知県港湾課の諸氏から多大の協力を得た。ここに謝意を表する。

(1977年3月31日受付)

付録 陸こう調査

港湾局防災課の依頼を受けて、日本全国の港湾管理者の管轄区域に存在する全ての陸こうについて、次のような調査表の内容の調査を行った。

まず調査表を以下に示す。

1. 目的

この調査は、海岸保全にとって重要な施設である陸こう（閘）についての基礎データを収集整理し、海岸事業の計画策定に資すると共に、陸こうの設計についての指針作成に資することを目的とする。

2. 陸こうの定義

陸こうとは、堤防や胸壁などを横断する通路に設置され、平常時は開いて陸海の通行を可能にし、高潮津波時には閉鎖して海水の陸部への侵入を防止する施設（通常は閉鎖して荷役などの必要時のみ開くものも含む）をいう。（陸こうは陸上防潮扉とも呼称されている。）

3. 調査対象範囲

貴県（又は都、道、府、市、町、村、港務局、港湾管理組合）が管理している港湾区域、公告水域と接する地域に存在する陸こうの全てについて調査して下さい。ただし、昭和51年9月現在供用されているものに限りです。

4. 調査事項（調査表を参照のこと）

5. 調査表記入上の注意（調査表記入例を参照のこと）

- (1) 一般：港湾別に用紙を改めて記入して下さい。
道路の中央に支柱があり、複数の陸こうを（通路横断方向）設置している場合には個々の陸こうごとに記入して下さい。
- (2) 番号：港湾別に通し番号をうって下さい。
- (3) 地区名：海岸事業で使っている地区名（又はこれに準ずるもの）を記入して下さい。
- (4) 海岸保全施設：陸こうが（海岸管理者としての）港湾管理者の長の管理する海岸保全施設の場合は、Aを○で囲んで下さい。
- (5) 形式：該当するアルファベット（B～G）を○で囲んで下さい。

① 引戸式とは、陸こう本体を格納場所からレールを用いて引き出し、通路を閉鎖するタイプ（両側から引き出して、通路中央で支柱を使用せずに、直接両者を連結するものをも含む）です。

② けん（懸）架式引戸とは、格納場所で陸こう本体を吊り上げ、その状態で引き出し、降下させて通路を閉鎖するタイプ（両側から引き出して、通路中央で支柱を使用せずに、直接両者を連結するものをも含む）です。

③ スイング片開き式とは、陸こう本体の片端部を支柱の一方にヒンジ結合させ、そのヒンジを中心に回転させ、他端部を他の支柱に取り付け、緊結させることにより通路を閉鎖するタイプです。

④ マイター式とは、陸こう本体を2分して、通路両端にあたる各々の端部を通路両側の支柱にヒンジ結合し、各々のヒンジを中心に回転して、他端同士を通路中央である角度をもって連結することにより通路を閉鎖するタイプです。

⑤ 角落しとは、通路両端の両支柱に鉛直方向の溝をつくり、この溝に沿って角材やプレートを鉛直方向に並べ、通路を閉鎖するタイプです。

⑥ その他の場合にはGを○で囲むと共に、その形式名を記入して下さい。

(6) 材料：陸こう本体の材料です。該当するアルファベットを○で囲んで下さい。

(7) 純径間、高さ：陸こう本体についての値です。

(8) 設置年次：使用開始した年次です。不明の場合は不明と記入して下さい。

(9) 設計者、製作者：設計者と製作者は昭和45年以降の施設についてのみ記入して下さい。また、設計者、製作者は実際に設計又は製作にたずさわった会社等を記入し、不明の場合は不明と記入して下さい。

(10) 高潮の有無：供用開始後、高潮津波に遭遇し、海水に洗われたことがある場合はMを○で囲んで下さい。

(11) 管理：港湾ごとに記入して下さい。陸こうの管理規定の有無、管理形態については該当するものを（直管、委託の両方がある場合は両方を）○で囲んで下さい。委託の場合には、委託先について該当するものを○で囲んで下さい（複数の場合もある）。委託先が少ない場合はできるだけ具体的に記入して下さい。

(12) 備考：今までの欄で書き足りないものの補足をして下さい。なお、その他に気づいた事を何でも記入して下さい。

6. 調査成果の送付

- (1) 送付先（及び問合せ先）

〒239 横須賀市長瀬3の1の1
港湾技術研究所設計基準部設計基準研究室
三橋専門官 又は 久保研究官
TEL 0468-41-5410 内線387

- (2) 送付期限：昭和51年11月15日

これらの調査表を回収して電算処理を行い次の結果を得た。

- 1. 全設置基数 6378基
- 2. 海岸管理者としての港湾管理者の
長の管理する海岸保全施設の数 5658基
高潮をうけた基数 2213基

- 3. 陸こうの形式とその数 表一付1
- 4. 陸こうの高さ～スパン長の関係 表一付2
- 5. 材料別の経年変化 表一付3

表一付1 陸こうの形式とその数

材料 \ 形式	引戸式	懸架式	片開き式	両開き式	角落し式	その他形式	合計
鉄 鋼	2,218	15	514	218	354	35	3,354
ステンレス	4	0	8	0	2	0	14
アルミ合金	313	0	185	8	5	0	511
木	0	0	2	0	2,445	0	2,447
その他	2	0	0	1	43	6	52
合計	2,537	15	709	227	2,849	41	6,378

表一付2 陸こうの高さ～スパン長の関係

高さ \ スパン長さ	1m以下	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
1.0m未満	1,554	574	228	106	77	39	21	25	5	5	1	4		1	2				1	1										1
1.0m以上～2.0m未満	1,328	733	368	142	85	60	17	8	6	9	2	3	3		1	3														
2.0～3.0"	99	325	217	44	47	13	5	5	3	2																				
3.0～4.0"	13	78	32	8	8	1			1																					
4.0～5.0"	12	11	1		1					1	1																			
5.0～6.0"	11	4	1		1																									
6.0～7.0"	5	1		1																										
7.0～8.0"	10																													
8.0～9.0"										1							1	1												

表一付3 材料別の経年変化

材料 \ 年度	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
鉄 鋼 材	253	151	142	121	171	196	229	262	118	117	103	30
アルミ合金						15	68	83	64	102	127	23

港 湾 技 研 資 料 No.265

1 9 7 7 · 6

編 集 兼 發 行 人 運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所

發 行 所 運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所
 橫 須 賀 市 長 瀬 3 丁 目 1 番 1 号

印 刷 所 株 式 會 社 加 利 巴 ー

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