

函館港第2岸壁延伸工事について

正員 国鉄札幌工事事務局停車場課 西 脇 等
 正員 同 上 安 味 貞 光
 正員 同 上 菊 地 宏

I. ま え が き

本州と北海道を結ぶ青函連絡航送設備は、青森に3バース、函館に4バースあつて、現在18運航を行なっている。この7バースのうち函館の第2岸壁の延長は108mであり、航送船の長さ118~120mより短かく、天候に関係なく定時運航する航送船では着岸時の操船が困難であるばかりでなく、繋船時においても船首が岸壁から突出しているため、強風の際船体に受ける波浪、風圧の影響が大きく、保安上万全を期し難いので、第2岸壁を40m延伸することとなつた(図-1)。

II. 岸壁延伸所要長の決定

現在の7バースを比較すると表-1のとおりであり、函館第2岸壁が特に短い。

表-1 現在の7バースの比較

岸 壁			岸壁延長 (m)	可動橋先端より 繋船柱までの 長さ (m)	建設年次
青 森 側	青 森	1	138	132	大正14年
		2	282	155	"
		3	160	155	昭和19年
函 館 側	函 館	1	129	126	大正14年
		2	108	107	"
	有 川	3	161	142	昭和19年
		4	160	156	"

適切な岸壁長は、着船、繋船の場合および岸壁背後の航送陸上施設との関係などから算定されるが、第2岸壁では両者からの必要長が一致したので、ここでは前者から岸壁の所要長を求めた結果を述べる。

(1) 着船時の所要長

今図-2(a)で岸壁の所要長は次式で表わされる(図-2)。

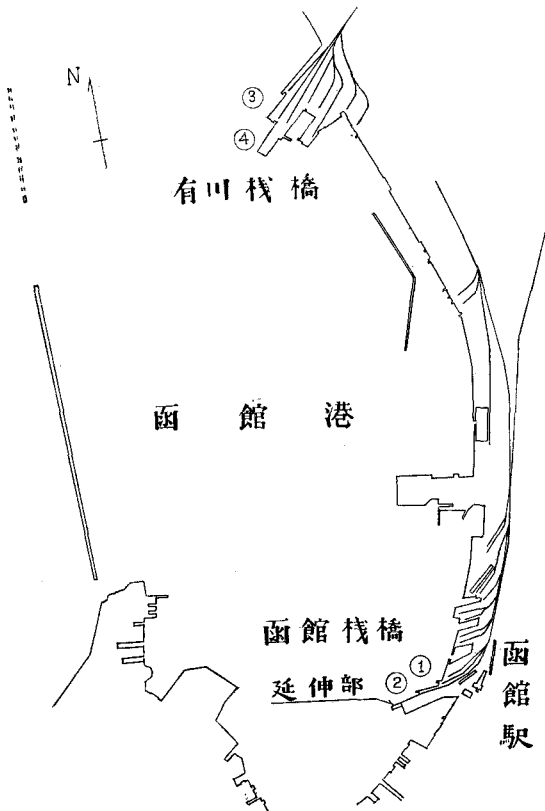


図-1 位置図

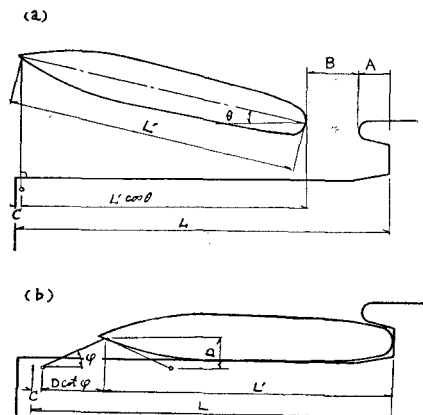


図-2 岸壁所要長

$$L = A + B + L' \cdot \cos \theta + C$$

ここで

A: 副岸壁の長さ (m)

B: 船尾と副岸先端との余裕距離 (m)

θ : 着船時岸壁に対する船の傾斜角

L': 船着支点からの船の長さ (m)

C: 岸壁先端から繫船柱までの距離 (m)

$$\therefore L = 12 + 20 + 118 \cos 15^\circ + 2 \approx 148.0 \text{ m}$$

従つて延伸すべき岸壁長は 40 m となる。

(2) 繫船時の所要長

次に 図-2 (b) において所要長は、

$$L = L' + D \cdot \cot \varphi + C$$

ここで

D: 繫船柱と船首支点との垂直距離 (m)

φ : ワイヤを張る角度

$$\therefore L = 118 + 10.2 \cdot \cot 25^\circ + 2 \approx 142.0 \text{ m}$$

従つてこの場合の延伸所要長は 34 m となる。

(3) 一般港湾の例

一般の港湾において、船舶の大きさとバースの関係を調べてみると(註-1)、船の大きさ総 ton 数 6,000 t, 船の長さ 120 m に対しては、延伸すべき長さは 50~40 m である。

以上の諸点から延伸すべき長さを 40 m と決定した。

III. 岸壁基礎の型式について

第 2 岸壁付近の地質は平均干潮面下約 50 m まで軟弱粘土層が存在する (図-3)。現岸壁はこの粘土層の表面を約 6 m の深さまで砂で置換えして、その上に函塊を据付けた重力式構造であるため、約 15 t/m² の岸壁重量によ

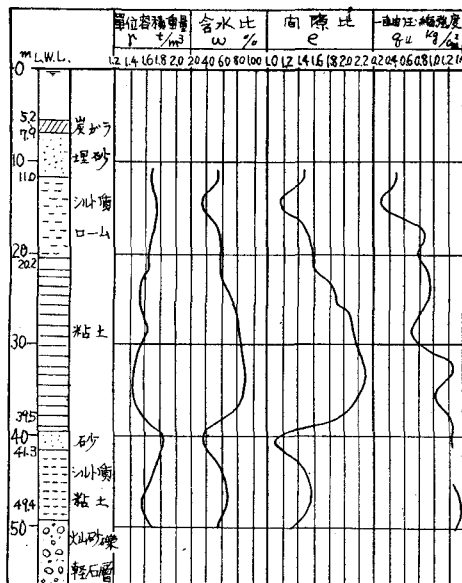


図-3 土質試験図

る粘土層の圧密沈下が現在まで 35 年間に約 2 m に達している。このため岸壁は 3 回に亘つてかさ(嵩)上げを行ない、また背後の構造物の沈下や亀裂の発生などによる損害は莫大なものがある。

これに対処して、延伸部の構造として次の 4 つの型式を検討してみた (図-4、表-2)。

この 4 案のうち、(d) Pneumatic Caisson 工法は、圧密沈下が多少考えられるが許容できる程度であり、安定性がよく、施工が確実であるばかりでなく工期および工費の点についても優れているので、延伸岸壁の構造として、Pneumatic Caisson 工法を採用することとした。

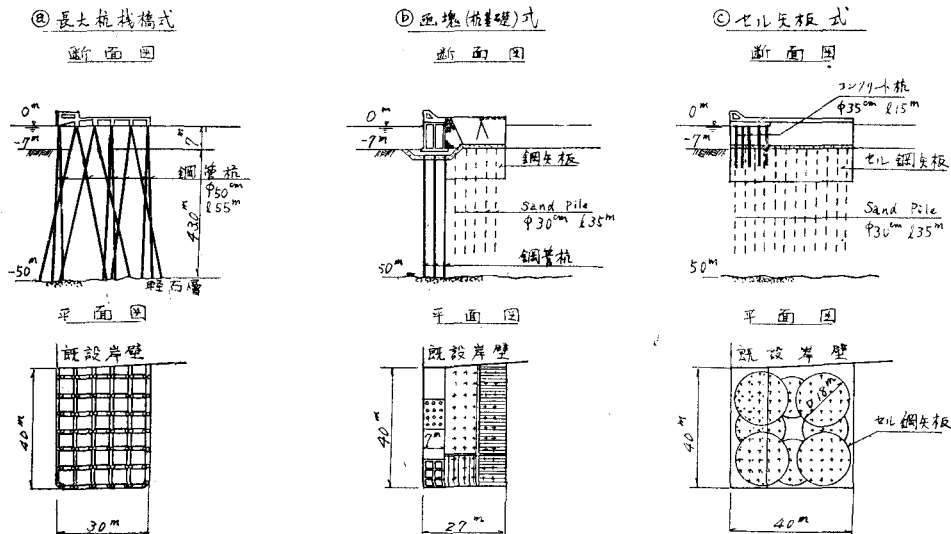


図-4 型式比較図

表-2 計 画 案 の 比 較

	(a) 長 尺 杭 棧 橋 式	(b) 函塊 (長尺杭基礎) 式	(c) セル 矢 板 式 ^(註-2)	(d) Pneumatic Caisson 式
設計の概要	杭径 50 cm 長さ 55 m 肉厚 13 mm の鋼管杭 の斜杭を 84 本打ち、 杭の頭を鉄筋コンクリ ートの版で結ぶ。	杭径 50 cm 長さ 45 m 肉厚 13 mm の鋼管杭 を 48 本打ち、その上 に巾 7 m 長さ 10 m の 函塊 4 ケを据付ける。 背後は埋土して Sand Drain する。	長さ 15 m のセル矢板 を直径 18 m の円形に 打ち、これを 4 ケ連結 し砂詰する。地盤改良 のため Sand Drain する。	巾 7.5 長さ 15 m およ び 13 m 高さ 27 m の Caisson 2 基を 6 m 間 隔に施工し、上部工に はゴム防舷材を取付け る。
圧密沈下	全然ない	埋土部は 2 次圧密が残 る	2 次圧密が残る	若干ある
既設岸壁に対する影響	ない	ある	ある	ほとんどない
安 定 性	弱い	良い	不明	良い
施 工	やや難しい	施工段階が複雑	易しい	易しい
工 期	1.0 年	2.0 年	2.0 年	1.0 年
工 費	160,000 千円	155,000 千円	120,000 千円	120,000 千円

IV. 岸壁基礎の安定条件

船の衝撃による水平力に対しては、Caisson の根を浅くして背後を埋土することが考えられるが、この場合岸壁に対する Negative friction の影響と背後の埋土部分利用の時期および岸壁使用に対する初期投資の効果を考慮して、Caisson を独立橋脚的に考えて根入部の抵抗土圧で安定性を計ることにした。

(1) 水平力に対する安定計算

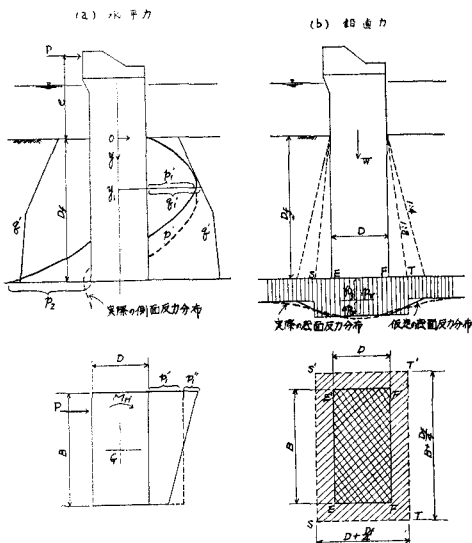


図-5 Caisson 安定図

一般に使われている物部式を基本にして、これに Caisson 周壁部および底部の摩擦抵抗を加味した考え方によつた^(註-3) (図-5 (a))。

水平力 P による Caisson 単位幅当りの力

$$P' = \frac{P}{B}$$

最大反力の生ずる点の深さ

$$y_1 = \frac{3/4 D_f - e}{3D_f - 3e} \times D_f$$

y_1 点における最大反力

$$p_1' = \frac{P'}{y_1 - 1/3 D_f} \times \frac{y_1^2}{D_f^2}$$

また Caisson 軸に関する振りモーメント M_H による反力増加

$$p_1'' = \frac{6 \cdot M_H}{B^2 \cdot D_f}$$

よつて全反力の最大値は

$$p_1 = p_1' + p_1''$$

これに対して抵抗土圧は根入深さ y により

$$0 \leq y \leq \frac{2 \cdot C}{\gamma} \text{ のとき}$$

$$q_1' = \gamma \cdot y + 2 \cdot C$$

$$y \geq \frac{2 \cdot C}{\gamma} \text{ のとき}$$

$$q_1' = \gamma \cdot y + 2C - (\gamma \cdot y - 2C) = 4C$$

また Caisson の側面摩擦力による抵抗力

21.8 t-m となる。

(2) 衝撃力の算定(註-6)

最大衝撃力 $F_{\max}$ と E との関係は次式で表わされる。

$$\begin{cases} E = \frac{1}{2} \cdot V^2 \cdot m_2' \div \frac{2}{5} \cdot C_2' \cdot a \cdot y_{\max}^{\frac{5}{3}} \\ F_{\max} = C_2' \cdot a \cdot y_{\max}^{\frac{2}{3}} \end{cases}$$

ここで

$$m_2' = \frac{1}{2} \cdot \frac{M}{g} \left(\frac{1}{4} \text{ 点衝撃の場合} \right)$$

C_2' : 衝突の際の船と岸壁の間の岸壁延長方向単位長さ当りのバネ係数 (t/m²)

a : 船舷の曲率半径による常数

この式から防舷材の構造を仮定すれば C_2' が決まり、衝撃力 $F_{\max}$ が得られる。

(3) 衝撃力の図式解

中空円筒型ゴム防舷材の荷重-変位および吸収エネルギー-変位の特性曲線の一例を示すと図-7のとおりである。

船が衝突するとゴムは船舷の曲率に従って変位するが、接触幅 l を仮定すれば各点の変位量 $\delta(x)$ が決まり反力、吸収エネルギー曲線が得られる。ゴムの径、接触幅を変えることにより、図-8(a) (b) のとおりになる。trial を

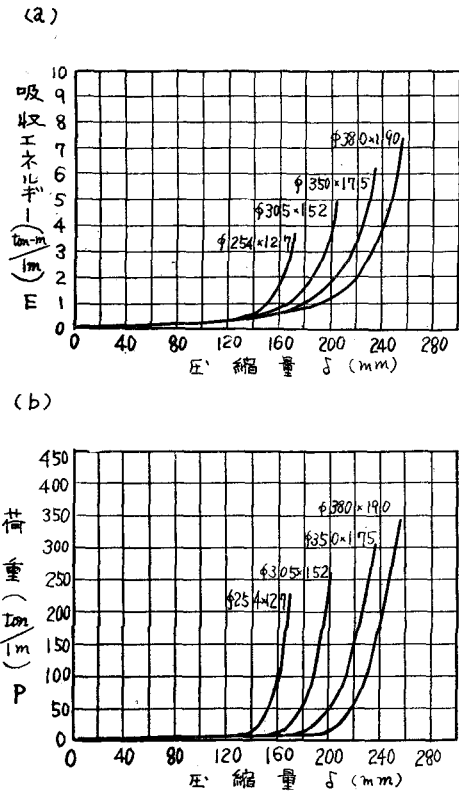


図-7 ゴム防舷材特性曲線中空円筒型

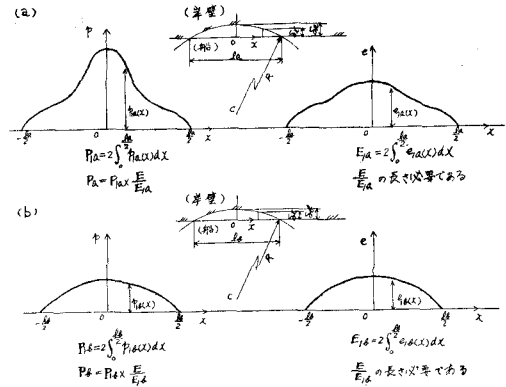


図-8 ゴム防舷材の反力、吸収エネルギー曲線

数回行ない所定のエネルギーを吸収できて、反力 P を小さくする経済的な、ゴム防舷材の寸法と数量を求め得る。

(4) 防舷材の構造

ゴム防舷材の取付方法は、航送船自体に幅約 30 cm の防舷材がついており、また離着岸の方式も一般商船の場合と大いに異なるので、ゴム防舷材の外側に木材の版を取付けゴムを保護すると同時にゴムの作用面積を増加させて、着岸エネルギーの吸収をよくしている (図-9)。

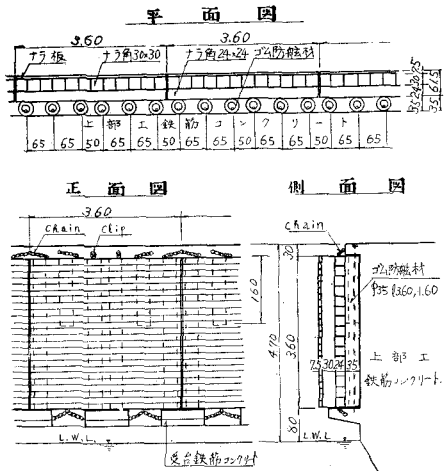


図-9 防舷材構造図

木材には耐久性を増す目的でオスモーズ防腐 (Osmose Wood Preserving) を施した。

この構造により、 $E=21.8$ t-m を吸収する時、岸壁に作用する全反力は約 350 t である。岸壁の先端に衝突した場合は、全反力約 310 t、先端 A Caisson に作用する振りモーメント M_H は約 1,700 t-m である。

(5) 上部工構造

上部構造を図-10 に示すとおり平面的な 2 重の単桁とすることにより、船の衝撃力を A Caisson と既設壁にも

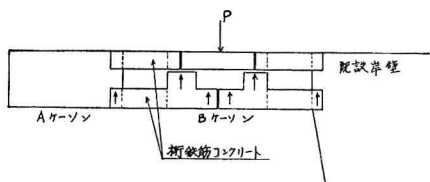


図-10 上部工機構図

分散させて、中間 B Caisson に作用する反力および振りモーメントを小さくできる。従つて B Caisson の断面形をそれに応じて小さくした。なお岸壁に所定以上の反力が生じた場合は、上部工が slip して基礎 Caisson に影響をおよぼさない構造とした。

VI. 工事施工概要

(1) 防護工

輸送の要請上、岸壁を使用しながら施工することを要

求されたため、先ず最初に船が直接 Caisson に衝突するのを避けるように、防護工を仮設した。これは Caisson の間に木杭を打ち、筋違で繋ぎ、古ガーダー 2 連を前面に横倒しに取付け、杭群の水平抵抗力で船の衝撃力を受けるようにした。

(2) 鋼製双口製作および作業室掘付

延伸部の水深は約 7 m であり、築島することは船の運輸上障害となるので、曳航法によつた。Caisson 作業室を作る場所は、検討の結果函館所在の dry dock を使用した。Caisson を軽量にするため作業室の双口部（高さ 2 m）は鋼溶接構造とし、dry dock 内でその上に作業室天井と周壁の鉄筋コンクリートを高さ 2.3 m 打設し、更に鋼製止水枠を Caisson 外周に取付け、dry dock 内に水を張り浮上させ、海上約 1.5 km の現地に曳航した。

(図-11 (a), (b), 写真-1)

現場の海底基礎地盤は予め約 1 m の厚さに砂利を敷き

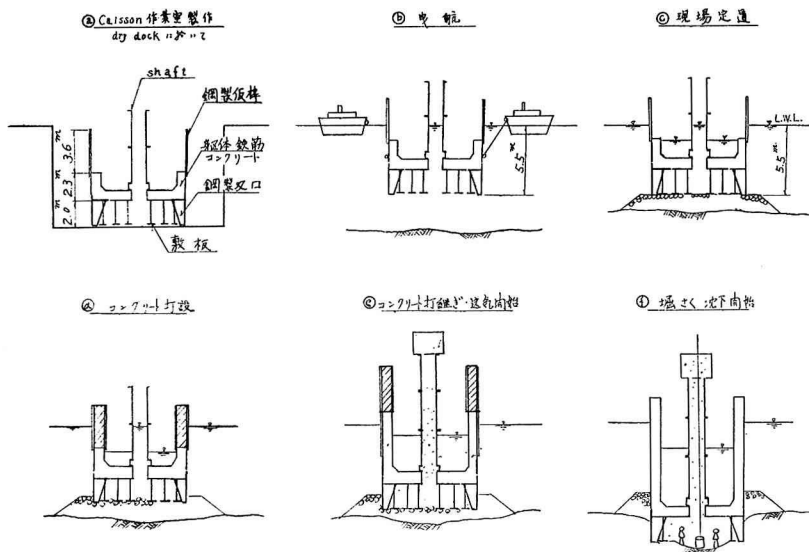


図-11 施工順序

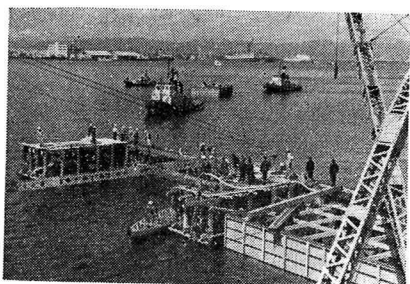


写真-1 Caisson 曳航

均して、掘付地盤を作り、作業室の曳航の場合の吃水はこの掘付地盤の水深に合せた。また、止水枠の高さは H.W.L. の上約 1.5 m 出るように 3.6 m と決め、掘付後

の不等沈下を考慮して、作業室底面に敷板を張つた。現場に予め建込んだガイドレールに、曳航した Caisson を沿わし、所定位置にて注水し掘付けた (図-11 (e))。

(3) Caisson 掘さく沈下

Caisson 外周の鋼製止水枠をそのまま型枠として、Caisson の周壁鉄筋コンクリートを打ち、送気は自重の関係上第 2 ロットのコンクリート打設後開始した。1 ロットの高さは 3.6 m を標準として、7 ロットにおよんだ。コンクリート打設による掘付地盤の沈下は平均約 40 cm 程度であり、不等沈下はみられなかつた (図-11 (d), (e), (f), 写真-2)。掘さく土砂は土運船 (120 m³ 積) に積み函館港外 10 km の沖合に捨てた。コンクリートのバッチャープラントは現場付近が狭隘であるので約 1.8 km 離れ

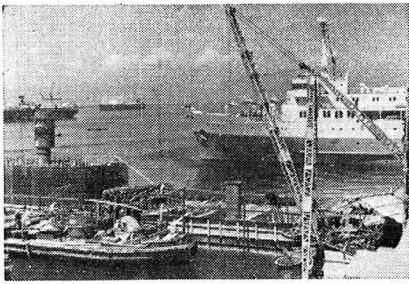


写真-2 Caisson 掘さく沈下

た函館市街地に建設して、小型ダンプトラックで運搬した。

掘さく沈下において既設岸壁に近接しているので減圧沈下を避けた。送気圧の最高は、理論気圧の約92%の34 psi. に止つた。施工中のCaisson 周壁摩擦力は1.0～1.5 t/m² 程度であつたがCaisson の最終深度 (L.W.L. - 26 m) における地耐力テストなどから判断すると、粘土の粘着力は約3.5 t/m² と想定され、Caisson の鉛直荷重に対する安全率は約4.0 程度はあると思われる。

Caisson 作業室の中埋は荷重の軽減と経費の節約の目的で高さ2mの下半分は砂を、上半分はコンクリートで中埋した。なお4隅部分はコンクリートが充分行きわたらないことも考えられたので、予め注入パイプを埋込みグラウトを行なつた。

(5) 上部工

桁鉄筋コンクリートは、防護杭を支保工として型枠を組み、コンクリートを打設した。防舷材を取付け、繫船設備を施工し、工程どおり工事を完了した (写真-3)。

(6) 工事内容

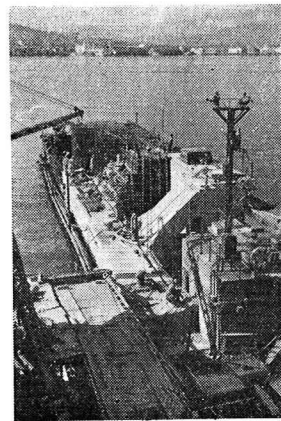


写真-3 上部鉄筋コンクリート

(防護工)

杭 打 72 本 (末口 25 cm, 長 16.5 m, 米松の継抗)
古デッキガーター架設 2 連

(基礎工)

Pneumatic Caisson 15 m×7.5 m×26.8 m 1 基
Pneumatic Caisson 13 m×7.5 m×26.8 m 1 基
躯体鉄筋コンクリート 1780 m³ 鉄筋量 120 kg/m³
鋼製双口部鋼材量 70 t 全溶接

(上部工)

上部鉄筋コンクリート 540 m³ 鉄筋量 90 kg/m³
ゴム防舷材, 中空円筒型 (φ 350×175) 延長 193.8 m
繫船柱 本岸用 2 基, Capstan 10 HP 1 基

(工期) 自昭和 34 年 1 月 至昭和 34 年 12 月

(総工費) 1 億 2 千万円

表-3 工 事 工 程

年 月 工 事 種 別	昭和 33 年度			昭 和 34 年 度								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
防 護 工												
Caisson 作業室製作据付												
Caisson コンクリートおよび沈下												
上部鉄筋コンクリート												
防舷材取付その他												

文 献

- 1) 鈴木雅次: “港工学,” (風間書房), 港湾協会編, “港湾工事設計示方要覧,,
- 2) K. Terzaghi: “Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams,, (A.S.C.E. Transactions 1945, No. 110, Vol. 72).
立石哲郎: “Cellular Bulkhead の設計法について,, (土と基礎, 1955, Vol. 3, No. 9).
- 3) 物部長穂: “土木耐震学,, (常盤書房); 池原武一郎,

横山章: “水平力を受けた井筒の安定計算,, (土木学会誌 38 卷 12 号).

- 4) K. Terzaghi, Peck: “Soil Mechanics in Engineering Practice,,
- 5) 肥後春生: “繫船岸の防衛工について,, (土木学会誌 43 卷 10 号).
- 6) 大地羊三: “青函連絡航路における防舷材の耐久性増進法に関する一考案,, (鉄道技術研究所報 1955).