

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

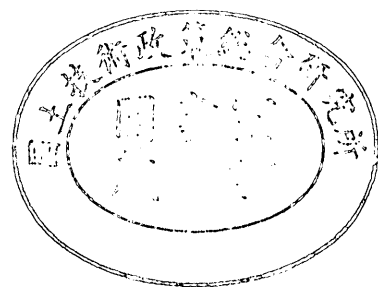
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 11

NO. 3

SEPT. 1972

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第11巻 第3号 (Vol. 11, No. 3), 1972年9月 (Sept. 1972)

目 次 (CONTENTS)

1. An Analysis of the Hydraulic Transport of Solids in Horizontal
..... Tokuji YAGI, Tadasu OKUDE,
Shoji MIYAZAKI and Akio KOREISHI..... 3
(水平管路における土砂水力輸送の解析.....八木得次・奥出 律・宮崎昭児・是石昭夫)
2. 円柱の動揺に伴う造波抵抗 ——杭の波力応答と円形浮体の挙動への応用——
..... 伊藤喜行・木原 力..... 37
(Wave Making Resistance due to Oscillation of Circular Cylinder
.....Yoshiyuki ITO and Tsutomu KIHARA)
3. 柱状構造物の波力応答計算伊藤喜行・谷本勝利・小舟浩治..... 59
(Dynamic Response of an Offshore Platform to Random Waves
..... Yoshiyuki Ito, Katsutoshi TANIMOTO and Koji KOBUNE)
4. 波向線交差領域における波高分布 ——数値波動解析法の応用——
..... 伊藤喜行・谷本勝利・山本庄一..... 87
(Wave Height Distribution in the Region of Ray Crossings ——Application of
the Numerical Analysis Method of Wave Propagation——
.....Yoshiyuki ITO, Katsutoshi TANIMOTO and Shoichi YAMAMOTO)
5. 斜め入射部分重複波による質量輸送速度の分布に関する研究
..... 田中則男・入江 功・小笹博昭.....111
(A study on the velocity distribution of mass transport caused by diagonal partial
standing waves.....Norio TANAKA, Isao IRIE and Hiroaki OZASA)
6. 航空機荷重の路床・路盤への伝達機構に関する一研究
——巨人機の設計荷重——.....佐藤勝久・須田 潤.....141
(A Study on Aircraft Load Distribution through Bases to a Subgrade——Design
Load of a Jumbo Jet——.....Katsuhisa SATO and Hiroshi SUDA)
7. ブロック式けい船岸の設計について——非線形計画法による最適設計——
..... 高力健次郎.....167
(The application of SUMT to the Optimum Design of the block quay
.....Kenjiro KORIKI)

7. ブロック式繫船岸の設計について

——非線形計画法による最適設計——

高力健次郎

要 旨

電子計算機による設計自動化を進めるために、ブロック式けい船岸の設計に、非線形計画法による最適化の手法を適用し、最も経済的断面を探し出す事を試みた。

開発された最適設計プログラムは、逐次無制約最小法の内の二つの異なる方法即ちバリエーションリック法、傾斜投影法によって、独立に最適解を得ようとするものである。二法共、三、四、五段ブロック式けい船岸の殆んどあらゆる設計条件の組合せについて、約5分程度で解を計算し、相方の結果は良く一致する。手計算との一致性や普遍性の検討結果と併せて考察する事により、同法が建設費最小の設計断面を与える事は明らかである。

次に設計条件の変化に対する官能度分析を行い、総工事費と設計条件との多重回帰式の形で、支配的設計条件因子とその影響の程度を定量的に明らかにした。4段、5段のブロックを通じて5%の有意水準で、影響の有意性を否定された非支配的因子は、上載荷重、裏込め割石価格、割石重量であり支配的条件因子は震度、ブロック高さ、地震時滑動安全率、内部摩擦角である。相対工事費に対するこれら支配的因子の影響の程度を単位量の変化に対する、1m当りの工事費の増加で表わすとすれば5段式の場合で次のとおり。

設計条件因子	単位変化	1m当り工事費増分
震 度 * (k)	0.05	¥ 34,000
ブロック高さ (H)	1 m	71,000
地震時滑動安全率 (F_{SE})	0.1	41,000
内部摩擦角 (ϕ)	5°	-56,000

(* $k=0.15$ 相乗項無視)

このプログラムによって、任意の条件因子の組合せに対する最適断面を、簡単にしかも精密に求める事ができ、また回帰式を使って、工事費、最適断面を推定する事も可能である。設計条件の仮定値と実現値の乖離による、工事費、断面の影響も、プログラム、回帰式いずれによっても簡単に知る事が出来る。自然調査データの必要精度(観測回数)についても、これをもとにして検討する事が可能となった。

最後にこの報告によって、港湾の自動設計の分野に、数理計画手法が適用可能である事が明らかになった。

7. The Application of SUMT to the Optimum Design of the Concrete Block Quay

Kenjiro KOHRIKI

Synopsis

In this paper non-L.P. optimizing technique was introduced to obtain the most economic design of the concrete block quay. The developed OPTIMUM DESIGN programs were intended to obtain the optimum solutions by two different non-L.P. procedures independently *ie.*, Variable Metric and Gradient Projection Method. The both different procedures were observed to obtain the practically identical solutions within about five minutes using TOSBAC-3400/41 under the any combination of numerical values of design conditions for 3, 4 and 5 stories block quay.

The examinations of the identity of the solutions by different methods were carried out with also the examinations of the globality of the optimum point and the examinations of the consistency of the solutions by the program and by the conventional manual calculation. It was clear from the results of these examinations that these two programs succeeded to give the most economic solutions.

The sensitivity analysis for the variance of the design conditions was carried out to decide the multiple regression equations which define the relationship between the construction cost and the influential design condition factors. The non-influential design condition factors which were rejected its significance of influence at 5% risk in the analysis of variance were the surcharge intensity (w), the relative cost of backfill rubblestone (C_{01}) and the unit weight of the rubblestone (γ_C).

The influential design condition factors were the seismic coefficient (k), the total height of the block quay (H), the safety factor against the slide in earthquake case (F_{SE}) and frictional angles (ϕ).

The increments of the construction cost which correspond to the unit changes of design condition factors were as follows.

design condition factor	unit change	increment of cost per unit change
k *	0.05	¥ 34,000
H	1m	71,000
F_{SE}	0.1	41,000
ϕ	5°	-56,000

* $k=0.15$

The optimum design and construction cost for the any combination of the design condition factor can be easily obtained either using this program or a system of regression equations.

Since the influence of the breach between the assumed values of design condition factors and realized ones can be easily estimated in terms of the total cost and dimensions of cross section from either the program or equations, the required precision of the survey for environmental conditions and as the result of it, the sample size of observation can be determined rationally based on this calculation.

目 次

1. ま え が き	171
2. ブロック設計の定式化	171
3. 解 析 法	174
4. テストラン	177
5. 計算とその結果	179
6. 考 察	185
7. 結 論	185
8. あとがき	188
参考文献	188
附 録	189

1. まえがき

設計は、構造物の概略の形式決定や、設計条件の決定のような、直覚的創造的判断を行う作業と、断面寸法の仮定、外力に対する安全性の検討、断面の修正、等の単純作業とに分かれる。後者を電子計算機で処理し、設計者は、設計の質の向上、新しい設計法の考案を行うために、創造的な部分の作業にだけ集中する事が望ましい。

設計の自動化は現在ではすでに各工学分野で単なる試行段階を脱し、従来の手計算に代って設計法の一般的手段となろうとしている。港湾技術者の間でもこのような意図のもとに種々の作業が開始され、第一段階の成果が出されようとしている¹⁾。

この論文では従来設計法に於いて必ずしも明示的に説明されていなかった、最終断面（決定断面）の最適性について検討し、最適解に到達するまでの効率的計算法を考察する。具体的な設計例としてブロック式けい船岸を取り上げ、非線形計画法を使って最適解を求めるプログラムを開発する。

次にこれら最適解の官能度をしらべる。即ちこれらの決定断面は厳密には仮定された設計条件にだけ、安全かつ最適であるにすぎないが、一方現実には設計条件が長期、かつ全ての施工箇所にて仮定値と同じく再現されるとは考えられず、条件の仮定値からの乖離が生ずる。この場合にも始めに得られた断面が、安全でありしかも現実設計条件のもとでの最適解と、大きく違っていかどうか問題となる²⁾。

設計条件の変化が最適解を、どの程度移動させる事になるかを知るために、設計条件の種々の組合せの場合の最適断面を求め、工事額と、条件の回帰式を作った。この式から設計条件として必要な精度、条件設定のための調査回数について考察する事ができ、また想定した設計条件と実現値の乖離の影響を大略検討する事が可能となる。

2. ブロック設計の定式化

ブロック式けい船岸の一般的構造を図-1に示す。

またモデル化を行うにあたって設計上の変数を表-1のように定義する。

工事費について、第二港湾建設局管内に於て施工され

- 1) 例えばL型ブロック式、鋼平板式等の岸壁の計算
- 2) 断面の頑健性は最適性とは別の概念であり、本来相方を勘案して意志決定すべきであるが、この報告では、これについては議論しない。

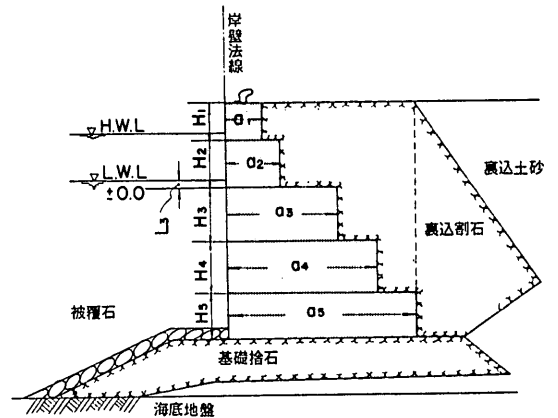


図-1 ブロック式けい船岸構造図

たブロック式繫船岸の実例から、三つを選んで図-2に示す。

このうち捨石による基礎部分は、全工費中で比率も少く海底地盤の地耐力が卓越した支配因子と考えられる事、一方モデル内に入れた場合、切土・盛土の区別、前面の傾斜の緩急等により、モデルが複雑化する恐れがある事を考えて、基礎部分は一応、モデルからはずす事にする。総工費を概略知るには、モデルによって計算された結果を0.6~0.7で割れば求まる。完成された姿としては基礎部分の最適設計のモデルも考え、これらのトータルなシステムの最適設計を行うべきと思われるが、これについては、考察で再びふれる。

最適の定義と目的函数；設計における最適性の基準としては、大体次のような項目が考えられる。

- ①安全性
- ②工事の安易性（作業機械の整備と現場の建設技術水準）
- ③工事管理の容易性
- ④構造物としての頑健性
- ⑤復旧の容易性（部分的破壊の段階で止まって簡単な補修、補強が可能なものと、一旦破壊が起これば徹底的で、復旧には構造物の全く新しい建設が必要なもの）
- ⑥経済性

このうち②~⑤までは、これこそ正にチーフエンジニアの経験と収集された種々の情報から、判断を下されるべきであって、この点については数理計画法を適用することは今の段階では意味がないと考えられる。しかし、①の安全性と⑥の経済性の点については、最も良い設計を数理計画法によつて比較的容易に選択する事ができ

表-1 変数の定義と標準値

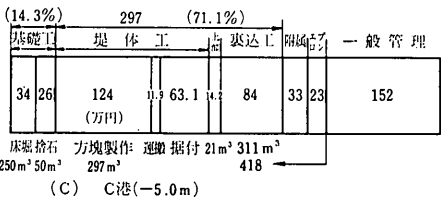
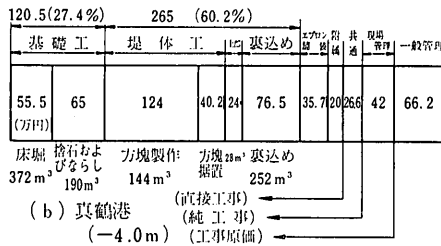
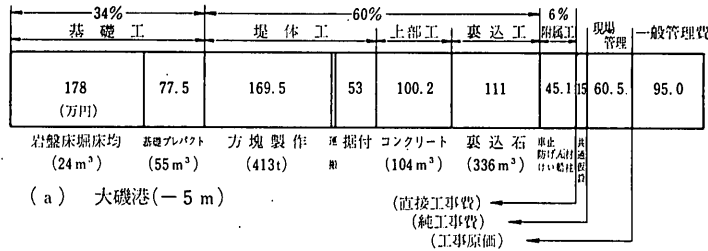
	変数名	コード名	定義	単位	モデルケース
外 生 変 数	h_1	H1	1段ブロックの高さ	m	1.5
	h_2	H2	2 "	m	2.0
	h_3	H3	3 "	m	2.0
	h_4	H4	4 "	m	2.0
	h_5	H5	5 "	m	2.0
	l_3	L3	残留水位	m	0.05
	l_4	L4	前面水位	m	0.70
	γ_C	GC	コンクリート重量	t/m ³	2.3
	γ_G	GG	乾燥裏込め割石重量	t/m ³	1.8
	γ_{GM}	GM	水中裏込め割石重量	t/m ³	1.0
	γ_{GM2}	GM2	水で飽和された裏込め割石の空气中重量	t/m ²	2.0
	γ_M	GM	海水重量	t/m ³	1.03
	w	W	上載荷重密度	t/m ²	2.5
	w_2	W2	地震時上載荷重密度	t/m ²	1.25
	ϕ	—	裏込め割石摩擦係数		35°
	KA	KA	主働土圧係数		0.247741
	KA2	KA2	地震時主働土圧係数		0.275590
	KA3	KA3	見掛け震度に対する地震時主働土圧係数		0.306442
	δ	D	壁面まさつ角		15°
	k	K	震度		0.05
F_1	F ₁	コンクリート間静止摩擦係数		0.5	
F_2	F ₂	コンクリート捨石基礎間摩擦係数		0.6	
f_{s0}	FS ₀	滑動安全率		1.2	
f_{t0}	FT ₀	転倒安全率		1.2	
f_{sE}	FSE	地震時滑動安全率		1.0	
f_{tE}	FTE	地震時転倒安全率		1.0	
C ₀₁	C ₀₁	コンクリートブロック材料, 建設費	百円/m ³	100	
C ₀₂	C ₀₂	裏込め割石, 材料, 建設費	百円/m ³	30	
内 生 変 数	a_1	X1	1段ブロック, 法線直角方向巾	m	1.25
	a_2	X2	2 " "	m	1.70
	a_3	X3	3 " "	m	2.80
	a_4	X4	4 " "	m	3.6
	a_5	X5		m	5.0

る。従って今の段階で一番良い方法としては、このような方法による選択と、その結果についてのエンジニアの判断と批判を組合せて行い、その結果として①～⑥の項目について一番良いものを見つけ出す事である。

これらの考察から目的函数を工事費とし、安全性を後に述べるように、安全率及び許容応力についての制約と考えて、これらの制約の中で目的函数が最小になった時一応断面が最適になったとする。工事費の内訳は、既に図-2に示されたが、基礎部分を今回のモデルから外すこ

とから、その部分以上の構造物部分を考える事になる。このうち附属工、エプロン舗装等は大略固定的であり、更にその他工事雑費、管理費はその性格上、直接工事費に対する比率から積算される事を考え合せると、ブロック部分の建設費と裏込めの建設費が全工事費の中で一番重要な費目である事がわかる。次にこれ等の工事費は材料費、運搬、曳航費、機械損料費等からなっているが、1 m³ 当りの工事費としてながめて見ると、図-2に見る限り大体一定している。従ってここでは1 m³ 当り10、

ブロック式繫船岸の設計について



	延長 10 m 当り 工事費				単位(千円)	
	工事費	直接工事費	純工事費	工事原価	ブロック 1m ³ 当り 堤体上部工事費	割り 1m ³ 当り 裏込め工事費
大磯港	9,120	7,410	7,560	8,170	11.87	3.3
真鶴港	5,758	4,400	4,680	5,100	10.94	3.03
C 港	5,710	4,180	-	-	9.30	2.70

図-2 ブロック式繫船岸建設費内訳

000円, 3,000円と仮定して面積が求まれば, これから直ちにブロック, 裏込め部分の工事費が計算される。最下段ブロック底面後趾端を通る鉛直面と, 岸壁前面で決定される矩形の間でコンクリートブロック部分を差引いたものが実質的に設計条件によって変動する裏込め部分であるので, 裏込め面積としてはこの部分だけを考慮して目的関数に入れている。従って以下の部分で議論される数字はブロック岸壁の建設費全額ではなく, もしこれを知る為には補正係数を掛ける必要がある¹⁾。

変数の選択; ブロック式繫船岸では断面寸法として, ブロックの段数と高さ, 巾がある。このうちで段数は3段から5段が, 過去の設計例では多く, まれには6, 7段がある。高さについてみると, 製作する場合, 型枠が限られた寸法しかないためか, あるいはその他管理上の都合から一般には, 0.5m, 1m, 1.5m等のラウンド数が選ばれている。この報告書では段数, 高さ, 巾の三種類

の変数を一度に内生変数とするよりも, 内生変数をブロックの法線直角方向の巾に取り, 段数, ブロック高さは外生変数として与える事にする。結果としてはこの方法では, 1ケース5分程度で最適解に達する事が出来, 段数, ブロック高さを変化させて, 数ケース検討しても30分以内に最適値を得る事ができる事が判った。

安全性の検討; 安全性については滑動, 転倒と地盤支持力についての検討を行う事が定められている。この概要をまとめる表-2とようになる。この内, 地盤支持力について説明すると, この方法は最も原始的な方法であって, 通常は偏心傾斜荷重による方法が望ましいとされている²⁾。この方法は簡単に言えば, 円形すべりの現象を仮定し, 合成荷重の作用位置から円形すべりの起点を決定し, 摩擦抵抗最小のすべり円弧の中心位置, その時の半径, 摩擦抵抗値を求める方法である。しかしこの方法は連立微分方程式を数値的に解いた結果から内挿して, r , θ を推定し, これから極限支持力を求めるか, 円弧すべりを計算機内でシミュレートして, 最少抵抗値を与える

1) 単価の色々な組合せの時の工事費をもう少し細かく計算するには工事費が単価について線形というの仮定から裏込め工事費単価と, ブロック工事費単価の比率が異なるものについて数ケース計算し, 表を作った後, 各々の単価の変動についてはスケールファクタを掛けてやればよい。

2) 構造物設計基準

(第5編・1章3節 参照)

表-2 制約となる条件式

	常 時		地 震 時	
滑 動 (各ブロック底で検討)	$\frac{V}{H} = \frac{W - FL + P_{EV}}{P_{EH} + P_W} \times F_1 > F_{S,0}$ V: 垂直合力, H: 水平合力, P _W : 水圧 W: 重量上載荷重, FL: 浮力 P _{EV} , P _{EH} ; 土圧鉛直, 水平成分		$\frac{V'}{H'} = \frac{W' - FL + P_{EV'}}{P_{EV'} + P_W + P_{INF}} \times F_1 > F_{S,E}$ (')は地震時外力 P _{INF} : 慣性力	
転 倒 (各ブロック底で検討)	$\frac{M_R}{M_T} = \frac{M_W - M_{FL} + M_{PEV}}{M_{PEH} + M_{PW}} > F_{T,0}$ M _R : 抵抗モーメント M _T : 転倒モーメント M _W : 重量上載荷重によるモーメント, 以下同じ		$\frac{M_R'}{M_T'} = \frac{M_W' - M_{FL} + M_{PEV'}}{M_{PEH'} + M_{PW} + M_{INF}} > F_{T,E}$ M _{INF} : 慣性によるモーメント	
(荷重作用位置判定)	$l_G = \frac{M_R - M_T}{V} < \frac{a_b}{3}$ a _b : 最下段ブロック巾 l _G : 端からの作用点までの距離		$l_G' = \frac{M_R' - M_T'}{V'} < \frac{a_b}{3}$	
端 支 圧 力 (最下段ブロック)	外 側	内 側	外 側	内 側
	$\frac{2}{3l_G V} \leq 50$	$\frac{V}{a_b} + \frac{V \cdot l_G}{\left(\frac{a_b^2}{6}\right)} \leq 50$	$\frac{2}{3l_G' V'} \leq 50$	$\frac{V'}{a_b} + \frac{V' l_G'}{\left(\frac{a_b^2}{6}\right)} \leq 50$

中心を試行的に定め、その結果極限支持力を求めるしかない。しかし現在のモデルに入れる事を考えた場合前者は内挿を行うためには、数表を記憶させるにしろ、折れ線によって逐次近似を行うにしても新しい作業が必要であり、内挿に伴う誤差を考えれば有意義かどうか不明である。後者は試行法であって、これ自身、最小値を与える点を探索する事であり、もしこれを現モデルに入れたとすれば極値問題の中にさらに極値問題がある事になり、収束の問題から現実的でない。

表にあげた検討法は上に述べた方法が確立する前に用いられた方法で、地盤の局部的変形による応力の平均化を無視している点で、安全側過ぎると云う批判がある。しかし、もともとブロック式等の重量式岸壁は地盤良好な個所に造られるのが普通であり、水深も比較的浅い所で物揚場として使われるのが一般であることから、その方法が簡単な事もあって端支圧の上限を 50t/m² とする検討法は現在でも横浜調査設計事務所等、一部の設計者によって使われている。これらの事を考えた上で地盤支持力は、後にあげた簡単な方法によって行うことにする。

定式化作業; 次のような手続で3段, 4段, 5段について定式化作業を行う。

- ① 各ブロック及び基部ブロック底面について常時,

地震時の条件式の各項を定義された変数で表示する。

- ② 条件式の各項に上の得られた式を代入する。

③ これを巾 (a_i) の項に注目して展開し、2次, 1次, 相乗, 定数項に整理し、目的函数と幾何学的制約条件式と一緒に書き表わす。

これらの作業によって得られた式を表-3に示す。(附録参照)

この式の特徴を簡単に要約すれば

1. 制約条件式が2次の非線形と1次式である。
2. 制約条件式の端支圧の四本の内必ず二本だけが使われて、他の二本は使われない。どの方程式をとるかは二本の重心位置を決定する二次方程式の符号による。
3. 目的函数は、線形式

3. 解析法

一般的に、最適値問題を解く場合その解法について一般理論が確立し、簡単に解けるのは LP (Linear Programming) である。各電子計算機のアプリケーションパッケージとして、高速度の効率の良いサービスプログラムが整備されている。従って、目的函数, 制約条件, 共に線形であれば、変数が500程度でも、これを使えば一般ユーザーは5, 6枚のセットアップ・コントロールカード

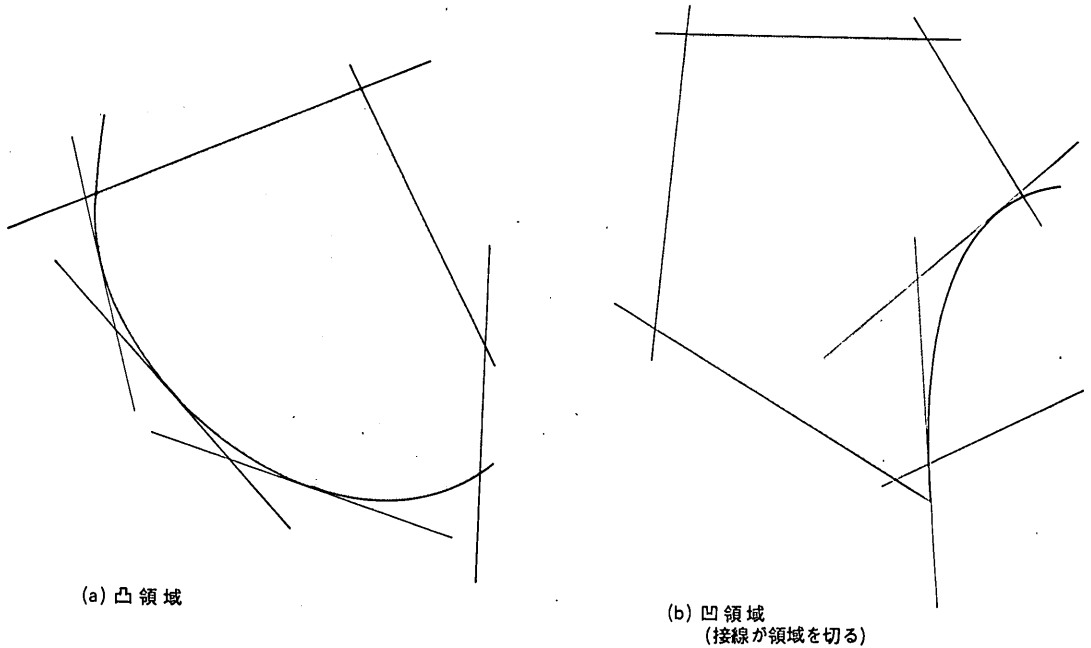


図-3 Cutting Plane 法

とデータを追加するだけで複雑なプログラミングをしないで簡単に、しかも短時間の内に答を求める事ができる。

次に非線形な目的函数、又は制約条件式を一つの実行可能解のまわりに、Taylor 展開し、これを LP として解こうとする方法が考案された。この方法はカッティングプレーン法と呼ばれる方法であり、その原理は曲線を直線で近似する事に他ならない。(図-3)これの問題点は領域が凸の場合は線形近似の繰返しによって、曲線が近似されて行くが、凹領域の場合は線形近似によって領域が切られてしまい、凸領域の場合のような領域の集積がなく、極値への収束は保証されない。この報告書で取扱った制約条件式は、二次方程式で二次の項の符号と不等号の向きを見れば、凹領域になる事がわかる。従ってこの方法は使用できない。これらの点から非線形計画法による解法を考えることにする。同手法は一つの体系をなしておらず、色々な独立した手法の総称であるが、この内最も一般的な問題解法として SUMT (Sequential Unconstrained Minimization Technique) がある。SUMT 法の詳しい説明は省くが、別名、ペナルティ法とか、バリアー法と呼ばれる通り、その原理は図-4により直観的に明らかである。計算手順としては

1. 制約条件の逆数 $(1/g_k(x))$ にある係数を掛けて、目的函数に足して新函数を定義する。

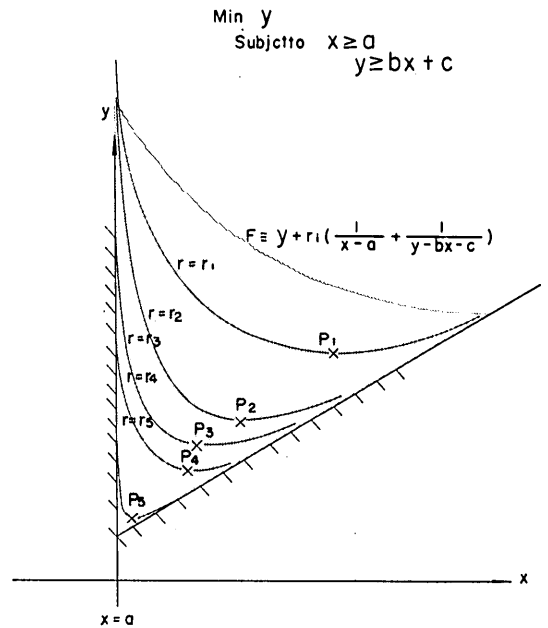


図-4 SUMT の原理

$$F_i(x) = f(x) + r_i \sum_{k=1}^m \frac{1}{g_k(x)}$$

2. $F_i(x)$ について、制約条件のない問題として、1

つの実行可能解を出発点にして最小値 $x_i(r_i)$ 値を求め
る。これがいわゆる山登り法である。

3. r_i を小さくして r_{i+1} とし F_{i+1} を定義して、2
にもどる。

4. $r_i \rightarrow 0$ のとき $x_i(r_i)$ の極限值を $f(x)$ の最小値
とする。

ただし、これで得られるものは、一般的に山登法の性
質がそうであるように local optimum であって global
optimum である保証はない。原理的には、この方法で
行うとして次に山登り法としてどの方法が良いかが問題
となる。方針として、二つの異なる方法により独立に、

最適解を求め、結果の斉合性から同法の妥当性をしらべ
る事にする。

A. Variable Metric 法

同法は、そのステップごとの、方向を決定するために
一般に行なわれるように、最初から、Hessian Matrix
とその Inverse Matrix を計算せず、逐次近似法によ
って Inverse Matrix を求めるものである。さらにこのプ
ログラムでは、 ∇F の計算は、微分法に依らず差分法に
よって求める。その $x(r_i)$ を求める方法は、簡単に書く
と、次の通りである。

$$1. H_0 = I \quad g_i = \nabla F_i \quad Y = g_{i+1} - g_i = \nabla F_{i+1} - \nabla F_i$$

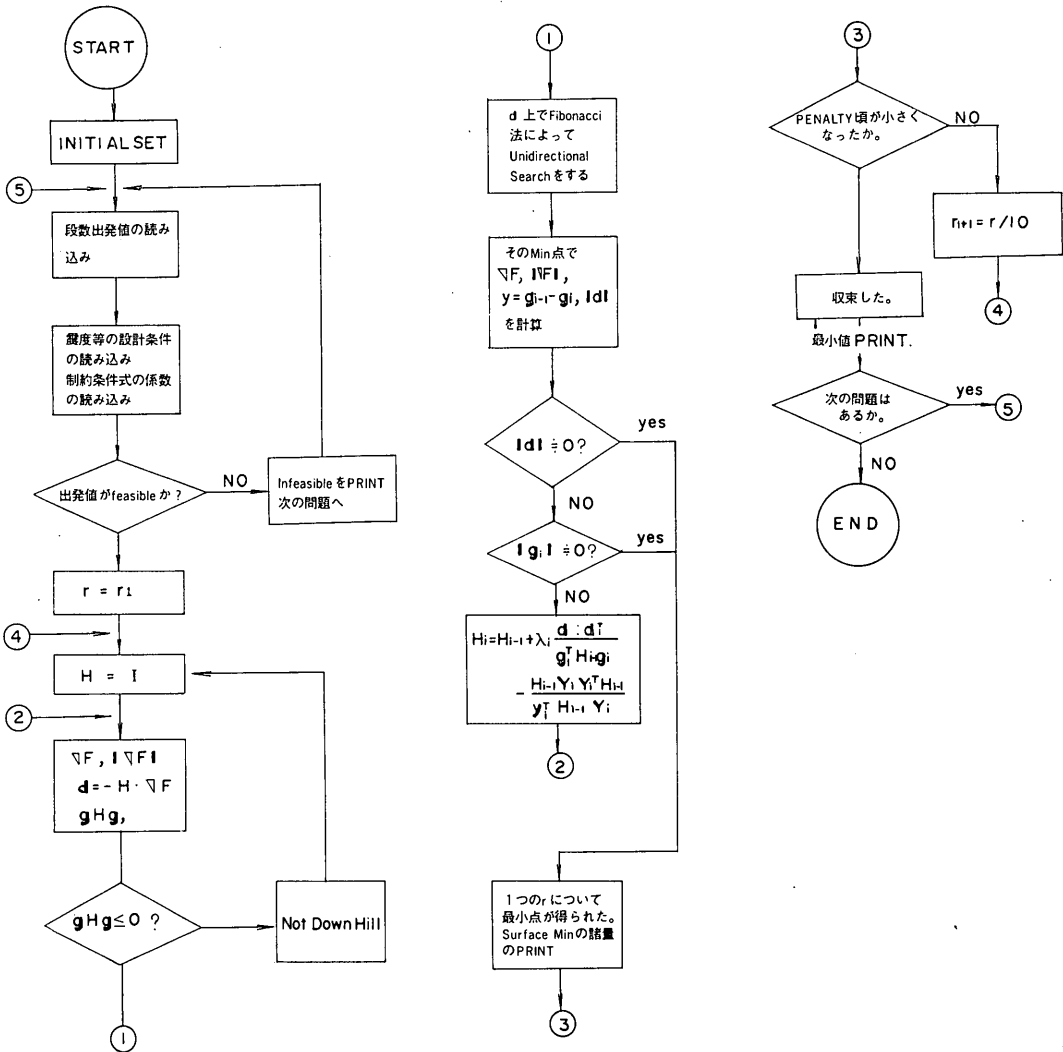


図-5 Variable Metric 法によるフローチャート

2. $d_i = -H_{i-1}g_i$ を求める。
3. d_i の方向で、 $X^{(i)}$ から出発して Unidirectional Minimization を行う。次式を最小にするスカラー量 λ_i を求める。

$$q_i(\lambda) = F(X^{(i)} + \lambda d_i)$$

4. $X^{(i+1)} = X^{(i)} + \lambda_i d_i$ とする。

$$5. H_i = H_{i-1} + \lambda_i \frac{d_i d_i^T}{g_i^T H_{i-1} g_i} - \frac{H_{i-1} Y_i Y_i^T H_{i-1}}{Y_i^T H_{i-1} Y_i}$$

6. $X^{(i+1)}$ が収束条件を満たすかどうかを検討して、もし条件を満たせば、 r_i を変化させて1に進む。この時は、ある r_i で決定される F_i について、最小値が得られたと考える。そうでない時は、2に進む。図-5にフローを示す。

B. Gradient Project 法

この場合も SUMT を使うが、線形制約内で山登り法を行う事によって F の形を A の方法より単純化して、収束を加速化しようとするものである。結果的には、A 方法より計算時間がかかったので、後にのべる斉合性の検討を行う方法として有意義であるにすぎなかったため、簡単にその特徴を記すにとどめる。

1. $L_1(x, r_i) \equiv f(x) + r_i \sum 1/g_k$
 $\text{Min } L_1(x, r_i)$ subject to $l_k(x) \leq 0$
 $(l_k(x))$ は線形制約
 $L_2(x, r_i) \equiv f(x) + r_i \sum 1/g_k(x) + r_i \sum 1/l_k(x)$
 $\text{Min } L_2(x, r_i)$

2つを考えて $L_1(x, r_i)$ が、領域内で有効に動けなくなった時に $L_2(x, r_i)$ を使う。

2. ステップの方向は次のように決める。

- (i) L_2 と L_1 で境界から離れている時は、

$$d = - \left[\frac{\partial^2 L}{\partial x^2} \right]^{-1} \frac{dL}{\partial x} \text{ とする。}$$

$$\frac{\partial^2 L}{\partial x^2} : \text{Hessian Matrix}$$

- (ii) L_1 で境界近くでは、 d_q' を次の LP を解いて決定する。

$$\text{Max } d_q' d$$

$$\text{Subject to } \begin{cases} |d_q| \leq 1 \\ d_q' \frac{\partial L}{\partial x} \leq 0 \\ d_q' a_k \leq 0 \end{cases}$$

a_k は $l_k(x)$ の外側を正とした法線方向

- (iii) L_1 で二つの方向による d がもし、 $\frac{\partial L}{\partial x} d \geq 0$

$$\text{であるとき } d = - \left[\frac{\partial L}{\partial x} \right] \text{ とする。}$$

- (iv) L_1 で上にのべた方法によるすべて方向を使用しても $l_k(x)$ の制約をおかす場合は、 d を逐次、座標軸方向に動かす。

- (v) 3回に1回は、次のようにして方向を決める。

$$d_{q+3} = \lambda_{q+1} d_{q+1} + \lambda_{q+2} d_{q+2}$$

d_{q+1} ; (q+1) ステップ目の方向
 λ_{q+1} ; " のステップ巾

3. d が定まった後、その方向での最小値を見つける Unidirectional Search では、前の A が Fibonacci 法で区間をせばめるに対し、今回の B では $\frac{dL}{dx} = 0$ を求める区間2分割法と、二次近似による最小点の推定を組み合わせている。

4. テストラン

次の2つの点について、テストを行ってこのプログラムが所定の目的にかなうものであるか否かを調べる。

先ず手計算による設計とプログラムによるものと同じ結果になるかどうかをみ、次に極値が global かどうかを知る為、同一条件での A, B 法の結果の比較と、A における出発値の変化に対する極値点の移動状態を調べる。

結論を先に言うと、プログラムは最適解を与え、1回の演算時間は5分程度である。

手計算による設計例として、参考文献(1)のブロック式けい船岸設計例¹⁾を考えて条件を全く同じに取り、設計例による最終断面寸法を、プログラムの出発値として与え、これが実行可能値 (feasible solution) かどうかを見た。当初断面は Infeasible であったので底部のブロック巾を、5cm 巾区切りに増加させ、その feasibility をプログラムで検討した。その結果 5cm 程度広巾すれば他の寸法は同じで feasible になる事が判った。(表-4)

底部ブロック巾が 5.00m であり、5cm 程度の違いで共に実行可能解という点で結果が合うことから、当初プログラムは通常の手計算に一致する事が確かめられた。

次に全く同じ設計条件、出発値を与えた場合、A, B の両者のプログラムでどの程度のずれがあるかを検討するため、5段のブロックについて、5つのケースを検討した。(表-5) これによれば、両者の誤差は最大で 0.1 cm 程度であり略々合致していると云っても良いと思われる。

さらに A プログラムで、出発点 (初期断面仮定) が変化するにつれて、極値が違って来るかどうかを検討した。(表-6) この例をみると、初期値を種々変化させても同じポイントに収束しており、二つのケースに関する

1) 繫船岸設計の要点と問題点 p.21

高力健次郎

表-4 過去の設計例とAプログラム結果の比較 (実行可能解)

段数		ブロック巾 (m)					設計条件
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
5	設計例	1.25*	1.700	2.800	3.600	5.000	$\gamma_G=1.8t/m^2, f_{SE}=1.2, w=2.5t, k=0.05$ $\phi=45^\circ, \delta=15^\circ$ ブロック高さ (1.5m, 2.0m, 2.0m, 2.0m, 2.0m)
5	プログラム A	1.25	1.700	2.800	3.600	5.050	

(けい船岸設計の要点と計算例 p. 21) * 上下巾平均

表-5 A, Bプログラムによる斉合性の検討性

段数	プログラム名	函数値	ブロック巾 (m)					ケース番号	設計条件
			x_1	x_2	x_3	x_4	x_5		
5	A	3129.7	0.7436	1.4121	2.477	3.273	4.975	#1	* 条件の詳細は、表-8のプログラムのケース番号が同じものを参照
	B	3129.6	0.7431	1.4119	2.477	3.273	4.975		
	A	6704.0	0.783	1.555	3.309	5.041	8.313	#2	
	B	6704.0	0.783	1.555	3.308	5.041	8.314		
	A	6031.9	0.745	1.606	3.353	4.987	7.104	#3	
	B	6031.6	0.743	1.605	3.353	4.986	7.104		
	A	4028.6	0.851	1.870	3.931	5.631	5.631	#4	
	B	4028.3	0.850	1.869	3.931	5.631	5.631		
	A	3060.3	0.631	1.329	2.670	3.744	4.623	#5	
	B	3060.1	0.630	1.329	2.669	3.743	4.623		

表-6 異った初期値からの最適寸法

ケース番号	F	最小値				アクティブ制約条件				出発値							
		x_1	x_2	x_3	x_4					H1	H2	r	x_1^0	x_2^0	x_3^0	x_4^0	
#15-1	5137	0.745	1.870	4.477	6.625	11	12	13	22	+	-	0.1×10^{-4}	5.000	7.000	8.000	9.000	Infeasible
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—				3.000	3.500	4.000	8.000	
3	5137	0.745	1.870	4.477	6.625	11	12	13	22	+	-	0.1×10^{-4}	2.000	5.000	6.000	7.000	
4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				7.005	7.010	7.015	7.500	
5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				8.005	8.010	8.015	8.020	
6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				30.05	30.100	30.150	30.200	
7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				3.000	3.500	30.150	30.200	
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—				2.000	3.500	4.000	99.000	
#16-1	3058	0.999	1.749	3.670	4.707	1	12	13	22	-	-	0.1×10^{-4}	5.000	7.000	8.000	9.000	Infeasible
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				3.000	3.500	4.000	8.000	
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				2.000	5.000	6.000	7.000	
4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				7.005	7.010	7.015	7.500	
5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				8.005	8.010	8.015	8.020	
6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				30.05	30.10	30.15	30.20	
7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				3.0	3.50	30.15	30.20	
8	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃				2.0	3.50	4.00	99.000	

ブロック式繫船岸の設計について

限り得られた値はその意味でかなり安定性がある。この他にも16ケース程について異なる二点から出発した場合も試みたが、その内で2ケース程、異なる収束点が表われた。しかしその場合でも、値は30cm程度のオーダーで動いている。この点から、最適値の globality にも一応問題ないものと考えた。計算時間を考えて1ケースについて、初期値を1つとして計算する事に決める。

5. 計算とその結果

設計条件の変動；このプログラムにおいて、変数と考えて、その変化の影響程度を測定出来るものは、表-1に

上げられた全変数である。この内で、設計上その影響の程度を明らかにし、さらに、数値の変化に応じた建設費の増減量を、予知したいものとして次の項目を選ぶ。裏込め材相対建設単価、裏込め材単位重量、上載荷重強度、地震々度、裏込め材内部摩擦角、ブロック高さ、地震時滑動安全率の七項目である。一番最後の項目は、通常固定して考えられているが、今までの観察から、この影響は支配的と思われ、もしこの数字を変化させた時どの程度の費用節減（又は増加）になるかを見る事にする。これ等の項目について2水準の変化を考え、その各々の値を表-7に示す。

表-7 設計条件の変動

記号	単位	項目	水準 1	水準 2	水準 3*	
C_{02}	(百円/m ³)	裏込め材相対建設単価	27	33	—	相対建設単価の意味は既述
γ_G	(t/m ³)	裏込め材重量	1.8	2.0	—	乾燥裏込め割石重量、水中裏込め割石重量の二つは γ_G の変動に比例して変動する。
f_{SE}		地震時滑動安全率	1.0	1.2	—	
W	(t/m ²)	上載荷重強度	2	3	—	地震時上載荷重密度は W の $1/2$
K		地震々度	0.05	0.1	0.15	主働、地震時主働、みかけ震度時の、諸主働土圧係数は K 、 ϕ および γ_G の変動で決定される。
ϕ	°	摩擦角	35°	40°	—	
$H(4段)$	m	ブロック高さ	(1.5, 2.0, 2.5, 2.5) 8.5*	(1.5, 2.5, 3.0, 3.5) 10.5	(1.5, 2.5, 2.75, 3.0) 9.5	
$(H5段)$	m	ブロック高さ	(1.5, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0) 9.5*	(1.5, 2.5, 2.5, 3.0, 3.0) 12.5	(1.5, 2.25, 2.25, 2.50, 2.50) 11.0	

* 追加演算表-12参照。これ以外の変数の値は表-1に示す通り。

計算は、大きく分けて三つ部分に分けられる。第1回目の計算は、今考えているすべての要因の最適解についての影響をしらべ、重要な要因を明らかにする。第2回では、選ばれた要因について更に水準を増して、追加計算を行い、結果を解析して、工事費、断面寸法等の構造式の線形性の検討を行う。最後に、構造式を決定して、要因の影響度を定量的に明らかにする。以下計算結果を順に説明するが、ここでは単に方法と計算値の記述を行い、解釈については次の章で考える。

第1回計算；7つの要因の最適断面への影響を知るため、表-8に示すように各設計条件の水準を、2¹⁵の直交

配列表によってわりつけ、16ケースの組合せを決めた。5段、4段のそれぞれについて計算した結果、表-9に示すような断面が得られた。次にこの表から、5段ブロックについては、建設工事費、4段ブロックについて、1段、3段、4段の巾 (X_i) を選んで、要因の主効果、相乗作用の有無をしらべるために分散分析を行った。5%を有意水準に取って考えると、震度、ブロック総高、地震時滑動安全率、摩擦係数の四つの要因が支配的である。特に始めの二つの項は寄与が大きく、相乗効果もある。この点から、四つ要因にしぼって以下にのべる追加計算をする。

高力健次郎

表-8 直交配列表 (2¹⁵) による設計条件のわりつけ

コラム No.	2	4	7	8	9	10	12	12
要因	C ₀₂	γ _G	f _{SE}	W	k	φ	H(4段)	(5段)
水準 1	27	1.8	1.0	2.0	0.05	35°	8.5	9.5
2	33	2.0	1.2	3.0	0.10	40°	10.5	12.5
#1ケース	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	2	1	1	1	2	2
4	1	1	2	2	2	2	1	1
5	1	2	2	1	1	2	1	1
6	1	2	2	2	2	1	2	2
7	1	2	1	1	1	2	2	2
8	1	2	1	2	2	1	1	1
9	2	1	2	1	2	1	1	1
10	2	1	2	2	1	2	2	2
11	2	1	1	1	2	1	2	2
12	2	1	1	2	1	2	1	1
13	2	2	1	1	2	2	1	1
14	2	2	1	2	1	1	2	2
15	2	2	2	1	2	2	2	2
16	2	2	2	2	1	1	1	1

表-9(a) 5段ブロック計算結果

ケース No.	F	断面寸法					アクティブ制限条件*					荷重位置		r	
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	1	2	3	4	22	H ₁	H ₂		
#1	3129.7	0.7436	1.4121	2.477	3.273	4.975	1	2	3	4	22	-	-	10 ⁻⁴	
2	6704.0	0.783	1.555	3.309	5.041	8.313	1	13	14	17	22	+	-		
3	6031.9	0.745	1.606	3.353	4.987	7.104	1	12	13	14	22	-	-		
4	4028.6	0.851	1.870	3.931	5.631	5.631	11	12	13	14	26	-	-		
5	3060.3	0.631	1.329	2.670	3.744	4.623	1	12	13	14	22	-	-		6
6	7939.3	1.084	2.443	5.048	7.685	8.572	11	12	13	14	22	+	-		
7	5356.0	0.631	1.344	2.414	3.584	6.857	1	3	7	19	22	-	-		6
8	3893.9	0.999	1.751	3.385	4.743	5.819	1	12	13	14	22	-	-		
9	4523.3	0.849	2.013	4.277	6.182	6.182	11	12	13	14	26	+	-		
10	5930.6	0.784	1.460	3.034	4.468	6.848	1	12	13	14	22	-	-		7
11	7344.7	0.809	1.633	3.641	5.601	8.564	12	13	14	22		+	-	10 ⁻³	
12	3139.6	0.784	1.368	2.344	3.053	4.814	1	2	3	4	22	-	-	10 ⁻⁴	
13	3544.4	0.631	1.352	2.726	3.872	5.398	1	13	14	17	22	-	-	10 ⁻⁴	6. 12. 16
14	6391.7	0.998	1.812	3.159	4.392	7.459	1	2	3	4	22	-	-		
15	7245.3	0.747	1.870	4.074	6.292	8.003	11	12	13	14	22	+	-		
16	3650.4	0.999	1.749	3.323	4.596	5.038	1	12	13	14	22	-	-		

* アクティブとは、その制限条件に全く余りがない事を示す。各番号に対応する制限条件の内容は次の通り。
 1~5 滑動(常時) 6~10 転倒(常時) 11~15 滑動(地震時) 16~20 転倒(地震時) 21 端支圧(常時)
 22 端支圧(地震時) 23~26 幾何条件

** H₁, H₂; 常時, 地震時荷重位置 ⊕は Middle 3rd 内 ⊖は外で21と22の式の内容を決定する。(表-2参照)。

ブロック式繫船岸の設計について

表-9(b) 4 段ブロック計算結果

ケース No.	F	断 面 寸 法				アクテブ制限条件	荷重位置		r			
		x_1	x_2	x_3	x_4		H1	H2				
1	2661	0.743	1.412	2.684	4.573	1	2	3	22	-	-	0.1×10^{-4}
2	4861	0.784	1.555	3.608	6.868	1	13	17	22	+	-	//
3	4367	0.744	1.606	3.638	5.930	1	12	13	22	-	-	//
4	3275	0.850	1.869	4.359	5.131	11	12	13	22	-	-	//
5	2561	0.631	1.329	2.963	4.264	1	12	13	22	-	-	//
6	5658	1.084	2.443	5.526	7.204	11	12	13	22	+	-	//
7	3942	0.631	1.343	2.605	5.672	1	6	7	22	-	-	//
8	3288	0.999	1.751	3.752	5.433	1	12	13	22	-	-	//
9	3510	0.849	2.012	4.754	5.266	11	12	13	22	-	-	//
10	4288	0.789	1.462	3.288	5.685	1	7	12	13 22	-	-	//
11	5284	0.744	1.636	3.981	7.117	1	12	13	22	+	-	//
12	2658	0.784	1.368	2.530	4.402	1	2	3	22	-	-	//
13	2981	0.631	1.352	3.037	4.973	1	13	17	22	+	-	//
14	4716	0.999	1.812	3.389	6.249	1	2	3	22	-	-	//
15	5137	0.745	1.870	4.477	6.625	11	12	13	22	+	-	//
16	3058	0.999	1.749	3.670	4.707	1	12	13	22	-	-	//

表-10 5 段ブロック工事費の分散分析

要 因	コラム番号	自 乗 和	自由度	分 散	F 値	
		42 903 654.9	15			
C_{02}	2	3 871.9	1	3 871.9	0.08138	
$k \times \phi$	3	13 322.9	1	13 322.9	0.28002	
γC	4	17 748.9	1	17 748.9	0.37304	
$K \times H$	5	394 666.6	1	394 666.6	8.29504*	
f_{SE}	7	527 693.2	1	527 693.2	11.09097*	
w	8	130 050.4	1	130 050.4	2.73338	
k	9	4 551 075.5	1	4 551 075.5	95.65373**	$F'_{15} \{x \geq \alpha_1\} = 0.05$
ϕ	10	948 724.7	1	948 724.7	19.94013**	
H	12	35 919 944.6	1	35 919 944.6	754.95930**	$\alpha_1 = 6.61$
$k \times f_{SE}$	14	158 662.8	1	158 662.8	3.33475	$\alpha_2 = 16.3$
		237 893.2	5	47 578.7		

高力健次郎

表-11 4段ブロックの横断方向巾についての分散分析

要 因	コラム番号	F 値			
		(x_1)	(x_3)	(x_4)	
C_{02}	2	58.998**	2.28955	0.29857	
$k \times \phi$	3	0.0309	1.98311	0.00210	
γ_G	4	0.0619	0.38627	0.05251	
$k \times H$	5	0.15301	2.61800	25.09415**	
f_{SE}	7	44.69398**	345.5963**	2.803	$\alpha_1=6.61$
w	8	779.24252**	27.04236**	19.699**	$\alpha_2=16.3$
k	9	42.34825**	523.75612**	632.663**	
ϕ	10	547.50125**	140.93542**	101.581**	
H	12	0.36545	52.50020**	1973.306**	
$k \times f_{SE}$	14	41.88670**	39.18357**	0.2612	

表-12 設計条件の水準の追加

コラム No.	1	1	15	10	12	
要 因	H	H	k	ϕ	f_{SE}	
水 準 1	9.5	8.5	0.10	35°	1.0	
2	11.0	9.5	0.15	40°	1.2	
#17	1	1	1	1	1	$C_{02}=27$
18	1	1	2	2	2	$\gamma_G=1.0$
19	1	1	2	1	2	$w=2.0$
20	1	1	1	2	1	
21	1	1	2	2	1	
22	1	1	1	1	2	
23	1	1	1	2	2	
24	1	1	2	1	1	
25	2	2	2	1	1	
26	2	2	1	2	2	
27	2	2	1	1	2	
28	2	2	2	2	1	
29	2	2	1	2	1	
30	2	2	2	1	2	
31	2	2	2	2	2	
32	2	2	1	1	1	

ブロック式繫船岸の設計について

表13(a) 5段ブロック追加計算

ケース 番号	F	断面寸法					アクテブ制限条件					荷重位置				
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5						H_1	H_2			
#17	3789.0	0.744	1.533	3.227	4.622	5.808	1	12	13	14	22	-	-	0.1×10^{-4}		
18	6014.7	0.932	2.351	5.638	8.653	8.653	11	12	13	14	26	+	-	0.1×10^{-5}		
19	6988.5	1.124	2.787	6.549	10.031	10.031	11	12	13	14	26	+	-			22
20	3480.8	0.604	1.336	2.776	3.989	5.545	6	13	14	16	17	-	-			22
21	4341.3	0.693	1.720	3.982	5.951	6.370	11	12	13	14	16	+	-			22
22	4402.2	0.849	2.012	4.277	6.182	6.182	11	12	13	14	26	+	-			26
23	3817.9	0.701	1.691	3.682	5.337	5.410	11	12	13	14	22	-	-			26
24	4845.7	0.833	2.039	4.622	6.895	6.895	11	12	13	14	26	+	-			
25	6553.7	0.833	2.100	4.933	7.686	8.144	11	12	13	14	22	+	-			
26	5269.5	0.704	1.743	3.914	5.905	6.643	11	12	13	14	22	+	-			
27	5751.0	0.849	2.077	4.555	6.855	6.920	11	12	13	14	22	+	-			26
28	6045.5	0.693	1.769	4.243	6.622	7.870	11	12	13	14	16	+	-			22
29	4831.2	0.621	1.407	2.946	4.405	6.766	1	6	13	14	16	+	-			
30	9167.3	1.126	2.866	6.989	11.216	11.216	11	12	13	14	26	+	-			
31	7880.0	0.932	2.415	6.009	9.659	9.659	11	12	13	14	26	+	-			
32	5244.2	0.744	1.584	3.437	5.119	7.099	1	12	13	14	22	-	-			

表-13(b) 4段ブロック追加計算

ケース No.	F	断面寸法					アクテブ制限条件					荷重位置		r		
		x_1	x_2	x_3	x_4						H_1	H_2				
#17	3175.0	0.744	1.533	3.578	5.380		1	12	13	22		-	-	0.1×10^{-4}		
18	4319.6	0.932	2.351	6.371	6.582		11	12	13					"		
19	5020.3	1.121	2.787	7.393	7.625		11	12	13	14		+	-	0.1×10^{-4}		17
20	2916.6	0.604	1.337	3.083	5.080		1	6	13	16		-	-			22
21	3575.2	0.692	1.721	4.469	5.904		11	12	13	16		+	-			22
22	3424.1	0.849	2.013	4.754	5.266		11	12	13	22		-	-			
23	3131.7	0.701	1.691	4.098	5.001		11	12	13	22		-	-			
24	3884.0	0.838	2.040	5.183	6.186		11	12	13	22		+	-			
25	4964.0	0.833	2.100	5.480	7.209		11	12	13	22		+	-			
26	3983.7	0.701	1.742	4.320	5.792		11	12	13	22		+	-			
27	4350.0	0.849	2.077	5.020	6.116		11	12	13	22		+	-			
28	4577.1	0.692	1.770	4.718	6.863		11	13	16	22		+	-			
29	3733.8	0.604	1.408	3.247	5.856		1	6	13	16		+	-			
30	6145.6	1.121	2.867	7.813	8.377		11	12	13	14		+	-			
31	5280.5	0.932	2.415	6.723	7.218		11	12	13	14		+	-			
32	4054.2	0.744	1.584	3.8	6.212		1	12	13	22		+	-			

表-14 多重回帰分析による建設工事費の函数形の検討

	要因	5段ブロック工事費				4段ブロック工事費					
		残差自乗和	1からの増分	自由度	誤差分散、要因効果	F値	残差自乗和	1からの増分	自由度	誤差分散、要因効果	F値
1	全要因	5,235,701	—	24	218,154	—	1,307,636	—	24	54,484.8	—
2	k^2 を除く	7,255,291	2,019,590	1	2,019,590	9.23*	1,800,185	492,549	1	492,549	9.06*
3	$k^2, k, k \times H$ を除く	29,653,305	24,417,604	3	8,139,201	37.3*	10,440,779	9,133,143	3	3,044,381	56 *
4	$H \times k$ を除く	6,215,474	979,773	1	979,773	4.48*	1,612,836	305,200	1	305,200	5.62*
5	H^2 を除く	5,568,952	333,251	1	333,251	1.53	1,438,823	131,187	1	131,187	2.41
6	$H^2, H \times k$ を除く	6,233,152	997,451	2	498,725	2.28	1,627,086	319,450	2	159,725	2.94
7	$H^2, H, H \times k$ を除く	57,207,523	51,971,822	3	17,323,940	79.3*	19,529,919	18,222,283	3	6,077,428	112 *
8	ϕ を除く	7,783,194	2,547,493	1	2,547,493	11.7*	2,562,560	1,254,924	1	1,254,924	23.1*
9	F_{SE} を除く	10,629,154	5,393,453	1	5,393,453	24.7*	2,523,500	1,215,864	1	1,215,864	21.3*
10	$k^2, k \times H$ を除く	7,656,045	2,420,344	2	1,210,172	5.56*	1,943,565	635,929	2	317,965	5.82*

△ 1欄は誤差分散、それ以外は要因効果

$\alpha_{0.05} = 4.26(1, 24)$
 $3.40(2, 24)$
 $3.01(3, 24)$

第2回目計算；表-12 に示すような水準の追加を，高さと，震度について行い，線形性の検討を行う。その結果表-13(a)，(b)を得た。前回の結果と合せて，2次の項，相乗項，一次項に分けてその効果を検討したのが，表-14 である¹⁾。この内容によれば， H^2 の項が有意でなく他の要因全ては，5段，4段とも有意である。

構造式の決定；以上の予備的な計算に基づいて，最適設計法に基く建設工事費，断面寸法を，被説明変数として設計条件を説明変数とする構造式を決定すると表-15，表-16 のようになる。

6. 考 察

1) 最適点のアクティブ条件を見ると，一般には地震時端支圧力と，地震時の滑動に対する制限から断面が決定される事が判る。この時の外力作用点は Middle Third から外れる。従って滑動と地震時の端支圧の式を，線型近似した式だけを作って，これをLPとして解けば大部分が正解になる。もし手計算で最適断面を得ようとすれば，これらの制限条件の安全率が許容値近くになるように断面を逐次修正すればよい。地震時滑動の安全率が1.2のときは，滑動の制約だけがアクティブ条件であるが1.0になると，そのほかに，転倒の制約で断面が決まることがある。

5段のブロックについて建設費を0.6で割って，総工事費を求めると1m当り，60万円～160万円程度で，一般的な数字の範囲となる。

2) 要因として最終的に影響ありとされたのは，地震時滑動安全率，地震々度，裏込め割石摩擦角，ブロック高さであり，その影響を寄与率で見ると，現存の条件の変化の範囲では，ブロック総高が大きく(70%)，次に震度が20%で，滑動安全率が5%，摩擦係数が4%位である。単位変量当りの1m当りの相対建設費に対する平均影響量は，5段ブロック，4段ブロックとも同様であって，5段で云えば34,000円/m $\Delta k=0.05$ ，71,000円/m $\Delta H=1$ m，41,000円/m $\Delta F_{SE}=0.1$ ，-56,000円/m $\Delta \phi=5^\circ$ である。

これに対して，裏込め割石の重量，ブロックに対する相対価格，上載荷重等は変化しても，建設費に影響しない。

しかし影響の有無は，現在考えている変数の範囲での議論であり，影響がない変数でも範囲外の値を取る場合

1) 水準により返し回数，一致しないため，直交多項式の展開が出来ず，普通行なわれるように1次，2次の項の効果を一回の分散分析では，測定出来ない。

は，その影響は大きくなる。

3) 断面寸法を被説明函数とする構造式は，一番上の巾員は当然予想されるように無意味であるが，それ以外では30cm程度の誤差の範囲で，断面寸法を与える構造式が完成された。大づかみな断面の仮定をこれで行っても，余り違わないと思われる。

設計条件を設定する時は， k ， F_{SE} ， H ， ϕ には充分注意して決定すべきであって，調査による数値にバラツキがある場合には，その変動の建設工事費に与える影響を金額的に推計する事によって，調査を今後どの程度続行すべきかを決定した方がよい。調査計画を立てる場合，精度が標本数の平方根でしか増加しないのに比して，調査費用が標本数に大体比例する事を考えて，合理的に調査を行うことが必要である。そのとき，構造式は活用される。

4) 計算時間は1ケース約5分程度であるから，いかなる設計条件の組合せについても同プログラムで，簡単に最適断面を得る事が出来，人間が複雑な条件を考慮してこの結果を修正して行くとすれば，短時間で良い設計が出来る。

5) 将来の研究の発展として考えられる事を簡単に要約すると，次のようになる。今一番寄与率が高いブロック高さは総計を一つの要因としているが，これは各ブロック高さに分けて考えれば，断面寸法の推計でもさらに精度が上がると考えられるが，これよりも本質的なモデルの改良としては， H も内生変数として取扱う事であり，今まで述べて来た手法ではこの事に対して，特別な困難は認められない。次に現在のモデルでは基礎の捨石部をモデル内に入れておらず，端支圧の検討で50t/m²が先験的に与えられている。その意味では現在はサブモデルにすぎず，これ全体をトータルシステムとして取扱う場合の困難性は，偏心傾斜荷重による許容支持力の検討にある事は，過に見て来た所である。しかしこれについても漠然とではあるが，解決の端緒は見ることが出来る。即ち内田氏等によって最近発表された傾斜荷重の支持力係数に対する定式化の試みである²⁾。最後にその他L型ヤケソン式のけい船岸等の基本設計においては，一部に制約条件の増減があるとしても基本的には，この報告書に於いて試みた方法で接近する事が可能であり，かつ現実的にも意義が有ると思われるが詳細は今後の検討課題である。

2) 偏心傾斜荷重を受ける二層系地盤上の帯状の基礎の支持力 片山猛雄，内田豊彦；港湾技研資料 No. 140. June. 1972.

表-15 回帰分析による構造式の決定 (5段ブロック)

独立変数		4 地震時 滑動安全率	7 摩擦係数	6 震度	14	8 ブロック 高さ	16	
従風変数	建設工事費 (百円)	$F=$	-112.86ϕ	$-52.592k$	$+19.8052k^2$	$+715.08H$	$+3775.0H \times k$	$\hat{\sigma}=489.62$ (標準偏差)
	構造係数標準偏差	$\sigma\hat{\beta}_i$	33.37	29.569	68.731	119.5	2,186.2	$\rho=0.965$ (重相関係数)
	分布	t	-3.38^*	-1.77^*	2.88*	3.583*	1.72	
	奇率	r	3.4%	19.0%	1.9%	67.64%	0.8%	
断面寸法(2) (cm)	構造式	$X2 \times =$	-0.0605ϕ	$-6.6388k$	$+58.524k^2$	$-0.02222H$	$+0.25954H \times k$	$\hat{\sigma}=0.166$ (標準偏差)
	係数標準偏差	$\sigma\hat{\beta}_i$	0.01177	10.429	24.242	0.07039	0.77109	$\rho=0.9317$ (重相関係数)
	分布	t	-5.141^*	-0.6366	2.414*	0.3157	0.3366*	
	奇率	r	16.1%	48.8%	3.5%	2.0%	0.0%	
断面寸法(3) (cm)	構造式	$X3=$	-0.1196ϕ	$-21.782k$	$+172.49k^2$	$+0.02974H$	$+1.2889H \times k$	$\hat{\sigma}=0.3086$ (標準偏差)
	係数標準偏差	$\sigma\hat{\beta}_i$	0.021	19.334	44.941	0.1305	1.4295	$\rho=0.9718$ (重相関係数)
	分布	t	-5.482^*	-1.126	3.838*	0.228	0.902*	
	奇率	r	7.1%	63.0%	3.3%	2.3%	0.1%	
断面寸法(4) (cm)	構造式	$X4=$	-0.1729ϕ	$-51.256k$	$+308.34k^2$	$+0.04646H$	$+3.3592H \times k$	$\hat{\sigma}=0.504$ (標準偏差)
	係数標準偏差	$\sigma\hat{\beta}_i$	0.0357	31.588	73.425	0.2132	2.3355	$\rho=0.9737$ (重相関係数)
	分布	t	-4.84^*	-1.622	4.199*	0.218	1.438	
	奇率	r	5.1%	64.5%	3.4%	4.6%	0.4%	
断面寸法(5) (cm)	構造式	$X5=$	-0.107ϕ	$-34.203k$	$+252.98k^2$	$+0.6785H$	$+1.525H \times k$	$\hat{\sigma}=0.463$ (標準偏差)
	係数標準偏差	$\sigma\hat{\beta}_i$	0.0481	42.640	99.114	0.2878	3.152	$\rho=0.924$ (重相関係数)
	分布	t	-2.226^*	-0.802	2.552*	2.357*	0.4836	
	奇率	r	3.4%	41.4%	4.3%	46.1%	0.1%	

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - 0}{\sqrt{C_{i,i}} \sigma} = \frac{\hat{\beta}_i}{\sigma \hat{\beta}_i}, \quad (H_0: \beta_i = 0) \quad * 5\% \text{有意}$$

表-16 回帰分析による構造式の決定 (4段ブロック)

従属変数	独立変数	4 地震時 滑动安全率					7 摩擦係数		6 震度		13 高さ		15 ブロック		$\hat{\sigma}$ (標準偏差) ρ (重相関係数)
		F=	$\sigma_{\hat{\beta}_i}$	t	r	FSE									
建設工事費	構造式	1949.2FSE													$\hat{\sigma}=239.9$ (標準偏差) $\rho=0.974$ (重相関係数)
	係数標準偏差	424.1													
	t分布	4.60*													
	奇率	4.6%													
断面寸法 (2)	構造式	2.050FSE												$\hat{\sigma}=0.166$ (標準偏差) $\rho=0.932$ (重相関係数)	
	係数標準偏差	0.294													
	t分布	6.980*													
	奇率	29.4%													
断面寸法 (3)	構造式	6.259FSE												$\hat{\sigma}=0.346$ (標準偏差) $\rho=0.973$ (重相関係数)	
	係数標準偏差	0.611													
	t分布	10.23													
	奇率	23.7%													
断面寸法 (4)	構造式	0.8828FSE												$\hat{\sigma}=0.297$ (標準偏差) $\rho=0.964$ (重相関係数)	
	係数標準偏差	0.524													
	t分布	1.684													
	奇率	0.8%													

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - 0}{\sqrt{C_{ii}\sigma}} = \frac{\hat{\beta}_i}{\sigma_{\hat{\beta}_i}}, \quad H_0: \beta_i = 0, \quad * 5\% \text{有意}$$

7. 結 論

この報告書で次の事が明らかにになった。

1. 設計条件を設定する時は、ブロック高さ、震度、裏込め割石摩擦係数、地震時滑動安全率の設定に特に留意し、調査精度の最終断面に与える影響を充分考慮する必要が有る。

2. 設計条件を与えると、本報告書の構造式によってブロック式けい船岸の建設費、最適断面寸法を推定する事ができる。

3. 精密に、最適断面、工事費を求める場合には、プログラムによって5分程度で1ケースの答を得ることができ、その精度は、従来の手計算の精度と同等またはそれ以上である。従ってブロック式けい船岸に関する限り、設計者の業務は、設計条件の決定、安全率の取り方等のより高次の判断に重点が移る。

4. 一般的に港湾構造物の最適設計を、数理計画法を利用して行う事は有効であり、人間の判断と計算機プログラムとを組合せて修正して行くことにより、複雑な最適基準を満たす設計を行う事が可能と思われる。

8. あとがき

最終的にふり返って見ると、本研究においては、設計法に対する現実的成果を生みだすまでに行かず、non-LPと云う手法を使って解を出す事に集中した感があり、その意味では、今後この方法をどのように効果的に使うかをもう一度慎重に考えたい。すでにL型、ケーソン、矢板等のけい船岸設計の自動化が進められており、近い将来の大型電子計算機と、マイクロ回線網の導入を行って、積算、設計等の業務の電算機処理体制を検討する時期に来ている事を考えるとき、この報告書の指向するものは今後ますます重要と思われる。今後も、折にふれて関連した問題を勉強して行きたいと思う。数理計画法、設計について経験がなく、独断、誤りも多々あると思われるので、各分野の御専門の方々への御批判を戴きたい。

この仕事を行うにあたり、アイデア、御批判を戴

いた工藤和男氏、片山猛夫氏、瀬川宗亮氏、さらに面識の無いにも関わらず、手紙、電話等による無類な質問に対し、快く御回答、御指導戴いた、京都大学工学部三根久氏、東京大学工学部村井俊治氏、三菱重工設計部井上勇偉氏に感謝致します。プログラムの開発は東芝の中野システム部員、ITIの小野勝章氏に制作委託しました。計算室小川氏、斎藤氏、佐藤氏にオペレーションに関し御指導戴きました。感謝致します。

(1972年6月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 北村浩行編；繋船岸設計の要点と問題点、鹿島出版社、昭和45年10月
- 2) A, V, Fiacco & G.P. Macormic; The Non Linear Programming-Sequential Unconstrained Minimization Technique, John Wily (1968)
- 3) W. Zangwill; Non-Linear Programming-A unified Approach, Prentice Hall (1967)
- 4) J. Kowalik & M.R. Osborne; Methods for Unconstrained Optimization Problem, American Elsevier Publish Co. (1968) [非線形最適化問題, 培風館(邦訳)]
- 5) J.E. Kelly: The Cutting Plane Method for Solving Convex Program. J. Soc. Indust & Appl. Math Vol. 8, No. 4, (December, 1960)
- 6) 三根 久; 数理計画法と最適設計, 日本機械学会第333回講習会教材('70-12-4)
- 7) 井上勇偉; 断面力一定の場合の部材の最適断面の決定法について, 土木学会講演会
- 8) 村井俊治; 土木構造物の自動設計, 土木学会誌52-8
- 9) Mood & Graybill; The Introduction to the Theory of Statistics McGrawhill; (1963)
- 10) 田口玄一; 実験計画法(I)(II) 直交表と線点図, 実験計画数値表, 丸善, (昭和37年4月)
- 11) 御巫清泰, 宝谷有毅; 直杭式棧橋設計の要因分析, 港湾報告 Vol. 4, No. 3, (1965年2月)

附 録

表-3-a	3段式ブロックけい船岸	191
表-3-b	4段式ブロックけい船岸	198
表-3-c	5段式ブロックけい船岸	208

f_{so} : 常時滑動安全率
 f_{to} : 常時転倒安全率
 f_{sq} : 地震時滑動安全率
 f_{tq} : 地震時転倒安全率
その他の記号は表に準ずる

ブロック式繫船岸の設計について

表-3(a) 3段式ブロックけい船岸

		a_1^2	a_1	a_2^2	a_2	a_3^2	a_3	a_1a_2	a_2a_3	a_1a_3		b_i
	OBJECTIVE FUNCTION		C_1		C_2		C_3					
NON-EARTHQUAKE CASE	SLIDE A2 PLANE		$A_{1,2}$								\geq	B_1
	SLIDE A3 PLANE		$A_{2,2}$		$A_{2,4}$						\geq	B_2
	SLIDE A4 PLANE		$A_{3,2}$		$A_{3,4}$		$A_{3,6}$				\geq	B_3
	OVER-TURN A2 PLANE	$A_{5,1}$	$A_{5,2}$								\geq	B_5
	OVER-TURN A3 PLANE	$A_{6,1}$	$A_{6,2}$	$A_{6,3}$	$A_{6,4}$						\geq	B_6
	OVER-TURN A4 PLANE	$A_{7,1}$	$A_{7,2}$	$A_{7,3}$	$A_{7,4}$	$A_{7,5}$	$A_{7,6}$				\geq	B_7
EARTHQUAKE CASE	SLIDE A2 PLANE		$A_{11,2}$								\geq	B_{11}
	SLIDE A3 PLANE		$A_{12,2}$		$A_{12,4}$						\geq	B_{12}
	SLIDE A4 PLANE		$A_{13,2}$		$A_{13,4}$		$A_{13,6}$				\geq	B_{13}
	OVER-TURN A2 PLANE	$A_{15,1}$	$A_{15,2}$								\geq	B_{15}
	OVER-TURN A3 PLANE	$A_{16,1}$	$A_{16,2}$	$A_{16,3}$	$A_{16,4}$						\geq	B_{16}
	OVER-TURN A4 PLANE	$A_{17,1}$	$A_{17,2}$	$A_{17,3}$	$A_{17,4}$	$A_{17,5}$	$A_{17,6}$				\geq	B_{17}
NON-EARTH-QUAKE	MIDDLE THIRD	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	$S_{1,6}$		$S_{1,8}$	$S_{1,9}$	\leq	$S_{1,10}$
	B-STRESS (OUT)	$A_{9,1}$	$A_{9,2}$	$A_{9,3}$	$A_{9,4}$	$A_{9,5}$	$A_{9,6}$	$A_{9,7}$	$A_{9,8}$	$A_{9,9}$	\leq	B_9
	B-STRESS (IN)	$A_{10,1}$	$A_{10,2}$	$A_{10,3}$	$A_{10,4}$	$A_{10,5}$	$A_{10,6}$		$A_{10,8}$	$A_{10,9}$	\geq	B_{10}
EARTH-QUAKE	MIDDLE THIRD	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	$S_{2,3}$	$S_{2,4}$	$S_{2,5}$	$S_{2,6}$		$S_{2,8}$	$S_{2,9}$	\leq	$S_{2,10}$
	B-STRESS (OUT)	$A_{19,1}$	$A_{19,2}$	$A_{19,3}$	$A_{19,4}$	$A_{19,5}$	$A_{19,6}$	$A_{19,7}$	$A_{19,8}$	$A_{19,9}$	\leq	B_{19}
	B-STRESS (IN)	$A_{20,1}$	$A_{20,2}$	$A_{20,3}$	$A_{20,4}$	$A_{20,5}$	$A_{20,6}$		$A_{20,8}$	$A_{20,9}$	\geq	B_{20}
幾何条件			1		-1						\leq	0
					1		-1				\leq	0

$$\begin{aligned}
 A_{1,2} & : h_1 \gamma_C \\
 A_{2,2} & : (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{2,4} & : (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_C - L_3 \gamma_M) \\
 A_{3,2} & : (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{3,4} & : (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \\
 A_{3,6} & : h_1 \gamma_C + h_2 \gamma_C + (\gamma_C - \gamma_M) h_3 - (\gamma_G - \gamma_{GM2} + \gamma_M) L_3 \\
 A_{51} & : \frac{h_1 \gamma_C}{2} = \frac{A_{12}}{2} \\
 A_{52} & : \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_C) KA \sin \delta \\
 A_{6,1} & : \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = \frac{A_{2,2}}{2} \\
 A_{6,2} & : \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_C) KA \sin \delta = A_{5,2} \\
 A_{6,3} & : \frac{1}{2} (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_C - L_3 \gamma_M) = \frac{A_{2,4}}{2} \\
 A_{6,4} & : \left[\frac{h_2 - L_3}{2} (2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C) + \frac{L_3}{2} (2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + L_3 \gamma_{GM}) \right] KA \sin \delta \\
 A_{7,1} & : \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = A_{2,2}/2 \\
 A_{7,2} & : \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_C) KA \sin \delta = A_{5,2} \\
 A_{7,3} & : \frac{1}{2} h_2 (\gamma_C - \gamma_G) + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 - L_3 \gamma_{GM2} = \frac{A_{3,4}}{2} \\
 A_{7,4} & : \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C\} + \frac{L_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + L_3 \gamma_{GM}\} \right] KA \sin \delta = A_{6,4} \\
 A_{7,5} & : \frac{1}{2} \{h_3 \gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + L_3 \gamma_{GM2} - \gamma_M (L_3 + h_3)\} = \frac{A_{3,6}}{2} \\
 A_{7,6} & : \frac{h_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + (2L_3 + h_3) \gamma_{GM}\} KA \sin \delta \\
 A_{11,2} & : \left(1 - \frac{f_3 Q}{F_1} k\right) h_1 \gamma_C \\
 A_{12,2} & : \left(1 - \frac{f_3 Q}{F_1} k\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{12,4} & : \left(1 - \frac{f_3 Q}{F_1} k\right) (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_C) - L_3 \gamma_M \\
 A_{13,2} & : \left(1 - \frac{f_3 Q}{F_2} k\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{12,4} & : \left(1 - \frac{f_3 Q}{F_2} k\right) \{(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} \\
 A_{13,6} & : \left(1 - \frac{f_3 Q}{F_2} k\right) \{h_1 \gamma_C + h_2 \gamma_C + h_3 \gamma_C - (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} - (L_3 + h_3) \gamma_M \\
 A_{15,1} & : \frac{h_1}{2} \gamma_C \\
 A_{15,2} & : \frac{h_1}{2} (2w_2 + \gamma_C h_1) KA \sin \delta - f_{tQ} \frac{h_1^2}{2} \gamma_C k
 \end{aligned}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 A_{16,1} &: \frac{h_1}{2}(\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{16,2} &: \frac{h_1}{2}(2w_2 + h_1\gamma_G)KA2 \sin \delta - f_{1Q}k \left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1(\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{16,3} &: \frac{1}{2}[h_2\gamma_C + h_1\gamma_G - L_3\gamma_M] \\
 A_{16,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{ 2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G \times \varepsilon \} + \frac{L_3}{2} \{ (1 + \varepsilon)(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + \gamma_{GM}L_3) \} \right] KA3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{1Q}k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1\gamma_C + \frac{h_2}{2}\gamma_C \right\} \\
 A_{17,1} &: A_{16,1} \\
 A_{17,2} &: \frac{h_1}{2}(2w_2 + h_1\gamma_G)KA2 \sin \delta - f_{1Q}k \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 \right) h_1(\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{17,3} &: \frac{1}{2} \{ (\gamma_C - \gamma_G)h_2 - (\gamma_{GM2} - \gamma_G)L_3 \} \\
 A_{17,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \left\{ 2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G \cdot \varepsilon + \frac{L_3}{2} \{ (1 + \varepsilon)(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G) + L_3\gamma_{GM} \} \right\} \right] KA3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{1Q}k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 \right) h_1\gamma_C + \left(\frac{h_2}{2} + h_3 \right) h_2\gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2)\gamma_G \right\} \\
 A_{17,5} &: \frac{1}{2} \{ (h_1 + h_2)\gamma_G + (\gamma_C - \gamma_M)h_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_G - \gamma_M)L_3 \} \\
 A_{17,6} &: \frac{h_3}{2} [2 \{ w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3\gamma_{GM} \} + h_3\gamma_{GM}] KA3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{1Q} \cdot k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2)\gamma_G + \frac{h_3^2}{2}\gamma_C \right\} \\
 B_1 &: A_{5,2} \times \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \\
 B_2 &: (A_{5,2} + A_{7,4}) \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) + \frac{f_{s0}}{F_1} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0L_4 \right) \\
 B_3 &: (A_{5,2} + A_{7,4} + A_{7,6}) \left(\frac{f_{s0}}{F_2} \cot \delta - 1 \right) + \frac{f_{s0}}{F_2} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0L_4 + L_0h_3 \right) \\
 B_5 &: \frac{f_{10}h_1^2}{6} (3w + \gamma_G h_1) KA \cos \delta \\
 B_6 &: f_{10} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w + \gamma_G h_1) + \frac{h_1 h_2}{2} (2w + h_1\gamma_G) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w + (3h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{(h_2 - L_3)}{2} L_3 \{ 2w + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G \} + \frac{L_3^2}{6} \{ 3w + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3\gamma_{GH} \} \right\} KA \cos \delta \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{6} L_0^3 \gamma_M + \frac{L_0 L_4^2}{2} \gamma_M \right] \\
 B_7 &: f_{10} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w + \gamma_G h_1) + \frac{h_1}{2} (h_2 + h_3) (2w + h_1\gamma_G) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w + (3h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{1}{2} (h_2 - L_3) (L_3 + h_3) (2w + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G) + \frac{L_3^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3\gamma_{GM}) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{L_3 h_3}{2} (2w + 2(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3\gamma_{GM}) + \frac{h_3^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) + 3L_3\gamma_{GM} + h_3\gamma_{GM}) \right\} KA \cos \delta \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2} L_0^2 \gamma_M \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 \right) + \frac{1}{2} (L_4 + h_3)^2 L_0 \gamma_M \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{11} & : \left(\frac{f_{sQ}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left(A_{15,2} + f_{iQ} \frac{h_1^2}{2} \gamma c k \right) \\
 B_{12} & : \left(\frac{f_{sQ}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left[A_{16,4} + f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 \gamma c + \frac{h_2^2}{2} \gamma c \right\} \right] + \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0 L_4 \right) \frac{f_{sQ}}{F_1} + B_{11} \\
 B_{13} & : \left(\frac{f_{sQ}}{F_2} \cot \delta - 1 \right) \left[\left(A_{15,2} + f_{iQ} \frac{h_1^2}{2} \gamma c k \right) + A_{16,4} \right. \\
 & \quad \left. + f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 \gamma c + \frac{h_2^2}{2} \gamma c \right\} \right. \\
 & \quad \left. + A_{17,6} + f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2) \gamma c + \frac{h_3^2}{2} \gamma c \right\} \right] \\
 & \quad + \frac{f_{sQ}}{F_2} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0 L_4 + L_0 h_3 \right) \\
 B_{15} & : f_{iQ} \frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma c) K A 2 \cos \delta \\
 B_{16} & : f_{iQ} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma c) K A 2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma c) K A 2 \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \frac{h_1 h_2}{2} (2w_2 + \gamma c h_1) K A 2 + \frac{(h_2 - L_3) L_3}{2} (2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma c) K A 2 \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \frac{L_3^2}{6} \{ (2\varepsilon + 1) w_2 + (2\varepsilon + 1) (h_1 + h_2 - L_3) \gamma c + L_3 \gamma_{GM} \} K A 3 \right\} \cos \delta \right. \\
 & \quad \left. + \gamma_M \left(\frac{L_3 - L_4}{2} L_4^2 + \frac{1}{6} (L_1 - L_4)^3 \right) \right] \\
 B_{17} & : f_{iQ} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma c) K A 2 + \frac{h_1 (h_2 + h_3)}{2} (2w_2 + \gamma c h_1) K A 2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma c) \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. K A 2 + \frac{(h_2 - L_3) (L_3 + h_3)}{2} (2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma c) K A 2 + \frac{L_3^2}{6} \{ (2\varepsilon + 1) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma c) \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + L_3 \gamma_{GM} \} K A 3 + \frac{L_3 h_3}{2} \{ (1 + \varepsilon) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma c) + L_3 \gamma_{GM} \} K A 3 + \frac{h_3^2}{6} \{ 3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \gamma c + (3L_3 + h_3) \gamma_{GM} \} K 3 \cos \delta + \gamma_M \left\{ \frac{L_0}{2} (L_4 + h_3)^2 + \frac{1}{2} L_0^2 \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 \right) \right\} \right] \\
 S_{1,1} & : \frac{\gamma c - \gamma c}{2} h_1 \\
 S_{1,2} & : \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma c) K A \sin \delta \\
 S_{1,3} & : \frac{1}{2} \{ h_2 (\gamma c - \gamma c) + L_3 (\gamma c - \gamma_{GM2}) \} \\
 S_{1,4} & : \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{ 2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma c \} + \frac{L_3}{2} \{ 2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma c + L_3 \gamma_{GM} \} \right] K A \sin \delta \\
 S_{1,5} & : \frac{1}{6} \{ h_3 \gamma c + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma c + L_3 \gamma_{GM2} - 3(L_3 + h_3) \gamma_M \} - \frac{1}{3} Z_7 \\
 S_{1,6} & : \frac{h_3}{2} \{ 2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma c + (2L_3 + h_3) \gamma_{GM} \} K A \cdot \sin \delta - \frac{1}{3} Z_8 \\
 S_{1,8} & : -\frac{1}{3} \{ (\gamma c - \gamma c) h_2 + (\gamma c - \gamma_{GM2}) L_3 \} \\
 S_{1,9} & : -\frac{1}{3} (\gamma c - \gamma c) h_1 a_1 a_3 \\
 S_{1,0} & : M_{E,A4} + M_{WPA4}
 \end{aligned}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 M_{EA4} &: \left[\frac{h_1^2}{6} (3\tau w + h_1 \gamma_G) + \frac{h_1(h_2 + h_3)}{2} (2\tau w + h_1 \gamma_G) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} \{3\tau w + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} \right. \\
 &\quad + \frac{1}{2} (h_2 - L_3)(h_3 + L_3) \{2\tau w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} \\
 &\quad + \frac{L_3^2}{6} \{3\tau w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} + \frac{L_3 h_3}{2} \{2\tau w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} \\
 &\quad \left. + \frac{h_3^2}{6} \{3\tau w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + 3L_3 \gamma_{GM} + h_3 \gamma_{GM}\} \right] KA \cos \delta \\
 M_{WPA4} &: \frac{1}{2} (L_3 - L_4)^2 \gamma_M \left(\frac{L_3 - L_4}{3} + h_3 \right) + \frac{L_3 - L_4}{2} \gamma_M (L_4 + h_3)^2 \\
 A_{9,1} &: \frac{1}{75} (\gamma_C - \gamma_G)^2 h_1^2 - \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{9,2} &: -S_{1,2} + \frac{2}{75} Z_8 h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{9,3} &: \frac{1}{75} \left\{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \right\}^2 - \frac{1}{2} \{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \} \\
 A_{9,4} &: -S_{1,4} + \frac{2}{75} Z_8 (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \\
 A_{9,5} &: \frac{1}{75} \{ (h_1 + h_2) \gamma_G + (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3 + h_3 \gamma_C + Z_7 \}^2 \\
 &\quad - \frac{1}{2} \{ h_3 \gamma_C + (h_1 + h_2) \gamma_G + (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3 \} \\
 A_{9,6} &: -S_{1,6} + \frac{2}{75} Z_8 \{ (h_1 + h_2) \gamma_G + (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3 + h_3 \gamma_C + Z_7 \} \\
 A_{9,7} &: \frac{2}{75} (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \} \\
 A_{9,8} &: \frac{2}{75} \{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \} \{ (h_1 + h_2) \gamma_G + (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3 + h_3 \gamma_C + Z_7 \} \\
 A_{9,9} &: \frac{2}{75} (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \{ (h_1 + h_2) \gamma_G + (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3 + h_3 \gamma_C + Z_7 \} \\
 B_9 &: -S_{1,0} - \frac{1}{75} Z_8^2 \\
 Z_7 &: -(L_3 + h_3) \gamma_M \\
 Z_8 &: Z_5 - \frac{h_4}{2} \{ 2\tau w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + 2h_3 + h_4) \gamma_{GM} \} KA \sin \delta \\
 Z_9 &: Z_6 - \frac{h_4}{2} \{ 2\tau w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (h_3 + L_3) \gamma_{GM} \} + h_4 \gamma_{GM} KA \times \sin \delta \\
 A_{10,1} &: S_{1,1} \\
 A_{10,2} &: S_{1,2} \\
 A_{10,3} &: S_{1,3} \\
 A_{10,4} &: S_{1,4} \\
 A_{10,5} &: -\frac{1}{6} \{ h_3 \gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM2} \} - \frac{1}{2} (L_3 + h_3) \gamma_M + \frac{25}{3} - \frac{2}{3} Z_7 \\
 A_{10,6} &: S_{1,6} - \frac{2}{3} Z_8 \\
 A_{10,8} &: 2 \times S_{1,8} \\
 A_{10,9} &: 2 \times S_{1,9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{10} & : S_{1,0} \\
 S_{2,1} & : \frac{h_1}{2}(\gamma_C - \gamma_G) \\
 S_{2,2} & : \frac{h_1}{2}(2w_2 + h_1\gamma_C)KA_2 \sin \delta - \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3\right)h_1(\gamma_C - \gamma_G)k \\
 S_{2,3} & : \frac{1}{2}[(\gamma_C - \gamma_G)h_2 - (\gamma_{GM_2} - \gamma_G)L_3] \\
 S_{2,4} & : \left\{ \frac{h_2 - L_3}{2}\varepsilon[2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C] + \frac{L_3}{2}(1 + \varepsilon)[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C] + L_3\gamma_{GM} \right\}KA_3 \sin \delta \\
 & \quad - k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3\right)h_1\gamma_C + \left(\frac{h_2}{2} + h_3\right)h_2\gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3\right)(h_1 + h_2)\gamma_G \right\} \\
 S_{2,5} & : \frac{1}{6}[(h_1 + h_2)\gamma_G + (\gamma_{GM_2} - \gamma_G)L_3 + h_3\gamma_C - 3(L_3 + h_3)\gamma_M] - \frac{1}{3}Z_7 \\
 S_{2,6} & : \frac{h_3}{2}[2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + L_3\gamma_{GM}\} + h_3\gamma_{GM}]KA_3 \cdot \sin \delta - \frac{1}{3}Z_9 \\
 & \quad - k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3\right)(h_1 + h_2)\gamma_C + \frac{h_3^2}{2}\gamma_C \right\} \\
 S_{2,9} & : -\frac{1}{3}(\gamma_C - \gamma_G)h_1 \\
 S_{2,8} & : -\frac{1}{3}(\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM_2})L_3 \\
 S_{2,0} & : M'_{E, A_4} + M_{W_P, A_4} \\
 M_{E', A_4} & : \frac{h_1^2}{6}(3w_2 + h_1\gamma_C)KA_2 \cos \delta + \frac{h_1(h_2 + h_3)}{2}(2w_2 + \gamma_C h_1)KA_2 \cos \delta \\
 & \quad + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6}\{3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C\}KA_2 \cos \delta + \frac{(h_2 - L_3)(L_3 + h_3)}{2}\{2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C\} \\
 & \quad KA_2 \cos \delta + \frac{L_3^2}{6}\{(2\varepsilon + 1)w_2 + (2\varepsilon + 1)(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + L_3\gamma_{GM}\}KA_3 \cdot \cos \delta \\
 & \quad + \frac{L_3 h_3}{2}\{(1 + \varepsilon)[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C] + L_3\gamma_{GM}\}KA_3 \cdot \cos \delta \\
 & \quad + \frac{h_3^2}{6}\{3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (3L_3 + h_3)\gamma_{GM}\}KA_3 \cos \delta \\
 A_{19,1} & : \frac{1}{75}[(\gamma_C - \gamma_G)^2 h_1^2] - \frac{h_1}{2}(\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{19,2} & : -S_{2,2} + \frac{2}{75}Z_9 h_1(\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{19,3} & : \frac{1}{75}\left\{(\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM_2})L_3\right\}^2 - \frac{1}{2}[(\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM_2})L_3] \\
 A_{19,4} & : -S_{2,4} + \frac{2}{75}Z_9\{(\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM_2})L_3\} \\
 A_{19,5} & : \frac{1}{75}[(h_1 + h_2)\gamma_G + (\gamma_{GM_2} - \gamma_G)L_3 + h_3\gamma_C + Z_7]^2 - \frac{1}{2}[(h_1 + h_2)\gamma_G + (\gamma_{GM_2} - \gamma_G)L_3 + h_3\gamma_C] \\
 & \quad + \frac{1}{2}(L_3 + h_3)\gamma_M \\
 A_{19,6} & : -\frac{h_3}{2}\{2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + L_3\gamma_M) + h_3\gamma_{GM}\}KA_3 \cdot \sin \delta
 \end{aligned}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$-k \left\{ \left(\frac{h_1+h_2}{2} + h_3 \right) (h_1+h_2)rc + \frac{h_3^2}{2} rc \right\} + \frac{2}{75} Z_9 [(h_1+h_2)rc + (rc_{M2}-rc)L_3 + h_3rc + Z_7]$$

- $A_{19,7} : A_{9,7}$
 $A_{19,8} : A_{9,8}$
 $A_{19,9} : A_{9,9}$
 $B_{19} : -S_{2,0} - \frac{1}{75} Z_9^2$
 $A_{20,1} : S_{2,1}$
 $A_{20,2} : S_{2,2}$
 $A_{20,3} : S_{2,3}$
 $A_{20,4} : S_{2,4}$
 $A_{20,5} : A_{10,5}$
 $A_{20,6} : S_{2,6} - \frac{1}{3} Z_9$
 $A_{20,8} : A_{10,8}$
 $A_{20,9} : A_{10,9}$
 $B_{20} : S_{2,0}$
 $C_1 : (C01 - C02)h_1$
 $C_2 : (C01 - C02)h_2$
 $C_3 : C01 \times h_3 + C02 \times (h_1 + h_2)$

表-3(b) 4 段 式

		a_1^2	a_1	a_2^2	a_2	a_3^2	a_3	a_4^2
OBJECTIVE FUNCTION			C_1		C_2		C_3	
NON-EARTHQUAKE CASE	SLIDE A2 PLANE	$A_{1,2}$						
	SLIDE A3 PLANE		$A_{2,2}$		$A_{2,4}$			
	SLIDE A4 PLANE		$A_{3,2}$		$A_{3,4}$		$A_{3,6}$	
	SLIDE A5 PLANE		$A_{4,2}$		$A_{4,4}$		$A_{4,6}$	
	OVER-TURN A2 PLANE	$A_{5,1}$	$A_{5,2}$					
	OVER-TURN A3 PLANE	$A_{6,1}$	$A_{6,2}$	$A_{6,3}$	$A_{6,4}$			
	OVER-TURN A4 PLANE	$A_{7,1}$	$A_{7,2}$	$A_{7,3}$	$A_{7,4}$	$A_{7,5}$	$A_{7,6}$	
	OVER-TURN A5 PLANE	$A_{8,1}$	$A_{8,2}$	$A_{8,3}$	$A_{8,4}$	$A_{8,5}$	$A_{8,6}$	$A_{8,7}$
EARTHQUAKE CASE	SLIDE A2 PLANE		$A_{11,2}$					
	SLIDE A3 PLANE		$A_{12,2}$		$A_{12,4}$			
	SLIDE A4 PLANE		$A_{13,2}$		$A_{13,4}$		$A_{13,6}$	
	SLIDE A5 PLANE		$A_{14,2}$		$A_{14,4}$		$A_{14,6}$	
	OVER-TURN A2 PLANE	$A_{15,1}$	$A_{15,2}$					
	OVER-TURN A3 PLANE	$A_{16,1}$	$A_{16,2}$	$A_{16,3}$	$A_{16,4}$			
	OVER-TURN A4 PLANE	$A_{17,1}$	$A_{17,2}$	$A_{17,3}$	$A_{17,4}$	$A_{17,5}$	$A_{17,6}$	
	OVER-TURN A5 PLANE	$A_{18,1}$	$A_{18,2}$	$A_{18,3}$	$A_{18,4}$	$A_{18,5}$	$A_{18,6}$	$A_{18,7}$
NON-EARTHQUAKE	MIDDLE THIRD	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	$S_{1,6}$	$S_{1,7}$
	B-STRESS (OUT)	$A_{9,1}$	$A_{9,2}$	$A_{9,3}$	$A_{9,4}$	$A_{9,5}$	$A_{9,6}$	$A_{9,7}$
	B-STRESS (IN)	$A_{10,1}$	$A_{10,2}$	$A_{10,3}$	$A_{10,4}$	$A_{10,5}$	$A_{10,6}$	$A_{10,7}$
EARTHQUAKE	MIDDLE THIRD	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	$S_{2,3}$	$S_{2,4}$	$S_{2,5}$	$S_{2,6}$	$S_{2,7}$
	B-STRESS (OUT)	$A_{19,1}$	$A_{19,2}$	$A_{19,3}$	$A_{19,4}$	$A_{19,5}$	$A_{19,6}$	$A_{19,7}$
	B-STRESS (IN)	$A_{20,1}$	$A_{20,2}$	$A_{20,3}$	$A_{20,4}$	$A_{20,5}$	$A_{20,6}$	$A_{20,7}$
幾何的 条件	A2 PLANE		1		-1			
	A3 PLANE				1		-1	
	A4 PLANE						1	

ブロック式繫船岸の設計について

ブ ロ ッ ク け い 船 岸

a_4	a_1a_2	a_2a_3	a_3a_4	a_4a_1	a_1a_3	a_2a_4		b_i
C_4								
							\geq	B_1
							\geq	B_2
							\geq	B_3
$A_{4,8}$							\geq	B_4
							\geq	B_5
							\geq	B_6
							\geq	B_7
$A_{8,8}$							\geq	B_8
							\geq	B_{11}
							\geq	B_{12}
							\geq	B_{13}
$A_{14,8}$							\geq	B_{14}
							\geq	B_{15}
							\geq	B_{16}
							\geq	B_{17}
$A_{18,8}$							\geq	B_{18}
$S_{1,8}$			$S_{1,11}$	$S_{1,12}$		$S_{1,14}$	\leq	$S_{1,0}$
$A_{9,8}$	$A_{9,9}$	$A_{9,10}$	$A_{9,11}$	$A_{9,12}$	$A_{9,13}$	$A_{9,14}$	\leq	B_9
$A_{10,8}$			$A_{10,11}$	$A_{10,12}$		$A_{10,14}$	\geq	B_{10}
$S_{2,8}$			$S_{2,11}$	$S_{2,12}$		$S_{2,14}$	\leq	$S_{2,0}$
$A_{19,8}$	$A_{19,9}$	$A_{19,10}$	$A_{19,11}$	$A_{19,12}$	$A_{19,13}$	$A_{19,14}$	\leq	B_{19}
$A_{20,8}$			$A_{20,11}$	$A_{20,12}$		$A_{20,14}$	\geq	B_{20}
							\leq	0
							\leq	0
-1							\leq	0

$$\begin{aligned}
A_{1,2} &: h_1 \gamma_C \\
A_{2,2} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
A_{2,4} &: (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G - L_3 \gamma_M) \\
A_{3,2} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
A_{3,4} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \\
A_{3,6} &: h_1 \gamma_G + h_2 \gamma_G + (\gamma_C - \gamma_M) h_3 - (\gamma_G - \gamma_{GM2} + \gamma_M) L_3 \\
A_{4,2} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 = A_{2,2} \\
A_{4,4} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 = A_{3,4} \\
A_{4,6} &: (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \\
A_{4,8} &: h_1 \gamma_G + h_2 \gamma_G - (\gamma_G - \gamma_{GM2} + \gamma_M) L_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_M) h_3 + (\gamma_C - \gamma_M) h_4 \\
A_{51} &: \frac{h_1 \gamma_C}{2} = \frac{A_{12}}{2} \\
A_{52} &: \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_G) KA \sin \delta \\
A_{6,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = \frac{A_{2,2}}{2} \\
A_{6,2} &: \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_G) KA \sin \delta = A_{5,2} \\
A_{6,3} &: \frac{1}{2} (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G - L_3 \gamma_M) = \frac{A_{2,4}}{2} \\
A_{6,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} + \frac{L_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GH}\} \right] KA \sin \delta \\
A_{7,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = A_{2,2}/2 \\
A_{7,2} &: \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_G) KA \sin \delta = A_{5,2} \\
A_{7,3} &: \frac{1}{2} \{h_2 (\gamma_C - \gamma_G) + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} = \frac{A_{3,4}}{2} \\
A_{7,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} + \frac{L_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} \right] KA \sin \delta = A_{6,4} \\
A_{7,5} &: \frac{1}{2} \{h_3 \gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM2} - \gamma_M (L_3 + h_3)\} = \frac{A_{3,6}}{2} \\
A_{7,6} &: \frac{h_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + h_3) \gamma_{GM}\} KA \sin \delta \\
A_{8,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = (A_{6,1}) \\
A_{8,2} &: A_{6,2} \\
A_{8,3} &: A_{7,3} \\
A_{8,4} &: A_{6,4} \\
A_{8,5} &: \frac{1}{2} (h_3 \gamma_C - h_3 \gamma_{GM2}) = \frac{A_{4,6}}{2} \\
A_{8,6} &: A_{7,6} \\
A_{8,7} &: \frac{1}{2} \{h_4 \gamma_C + (h_1 + h_2) \gamma_G - (\gamma_G - \gamma_{GM2} + \gamma_M) L_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_M) h_3 + (\gamma_C - \gamma_M) h_4\} = \frac{A_{4,8}}{2} \\
A_{8,8} &: \frac{h_4}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + 2h_3 + h_4) \gamma_{GM}\} KA \sin \delta
\end{aligned}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 A_{11,2} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) h_1 \gamma_C \\
 A_{12,2} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{12,4} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G) - L_3 \gamma_M \\
 A_{13,2} &: A_{12,2} \\
 A_{13,4} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) \{(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} \\
 A_{13,6} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) \{h_1 \gamma_G + h_2 \gamma_C + h_3 \gamma_C - (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3\} - (L_3 + h_3) \gamma_M \\
 A_{14,2} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_2} k\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{14,4} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_2} k\right) \{(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} \\
 A_{14,6} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_2} k\right) (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \\
 A_{14,8} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_2} k\right) \{h_1 \gamma_G + h_2 \gamma_C + h_3 \gamma_{GM2} + (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3 + h_4 \gamma_C\} - (L + h_3 + h_4) \gamma_M \\
 A_{15,1} &: \frac{h_1}{2} \gamma_C \\
 A_{15,2} &: \frac{h_1}{2} (2w_2 + \gamma_C h_1) KA_2 \sin \delta - f_{iQ} \frac{h_1^2}{2} \gamma_C k \\
 A_{16,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{16,2} &: \frac{h_1}{2} (2w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 \sin \delta - f_{iQ} k \left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{16,3} &: \frac{1}{2} [h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G - L_3 \gamma_M] \\
 A_{16,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} \epsilon + \frac{L_3}{2} \{(1 + \epsilon) \{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} + \gamma_{GM} L_3\} \right] KA_3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 \gamma_C + \frac{h_2^2}{2} \gamma_C \right\} \\
 A_{17,1} &: A_{16,1} \\
 A_{17,2} &: \frac{h_1}{2} (2w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 \sin \delta - f_{iQ} k \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 \right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{17,3} &: \frac{1}{2} \{(\gamma_C - \gamma_G) h_2 - (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3\} \\
 A_{17,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} \cdot \epsilon + \frac{L_3}{2} \{(1 + \epsilon) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + L_3 \gamma_{GM}\} \right] KA_3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 \right) h_1 \gamma_C + \left(\frac{h_2}{2} + h_3 \right) h_2 \gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2) \gamma_G \right\} \\
 A_{17,5} &: \frac{1}{2} \{(h_1 + h_2) \gamma_G + (\gamma_C - \gamma_M) h_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_G + \gamma_M) L_3\} \\
 A_{17,6} &: \frac{h_3}{2} [2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}) + h_3 \gamma_{GM}] KA_3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_3) \gamma_G + \frac{h_3^2}{2} \gamma_C \right\}
 \end{aligned}$$

$$A_{18,1} : A_{16,1}$$

$$A_{18,2} : \frac{h_1}{2}(2w_2 + h_1\gamma_C)KA2 \sin \delta - f_{iQ} \cdot k \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 \right) (\gamma_C - \gamma_G) h_1$$

$$A_{18,3} : A_{17,3}$$

$$A_{18,4} : \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{ 2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C \} \varepsilon + \frac{L_3}{2} \{ (1 + \varepsilon) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C) + L_3 \gamma_{GM} \} \right] KA3 \sin \delta \\ - f_{iQ} k \left[\left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 \right) h_1 \gamma_C + \left(\frac{h_2}{2} + h_3 + h_4 \right) h_2 \gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 \right) (h_1 + h_2) \gamma_C \right]$$

$$A_{18,5} : \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3$$

$$A_{18,6} : \frac{h_3}{2} \{ 2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + L_3 \gamma_{GM}) + h_3 \gamma_{GM} \} KA3 \sin \delta \\ - f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 \right) (h_1 + h_2) \gamma_C + \left(\frac{h_3}{2} + h_4 \right) h_3 \gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 \right) (h_1 + h_2 + h_3) \gamma_C \right\}$$

$$A_{18,7} : \frac{1}{2} \{ h_1 \gamma_C + h_2 \gamma_C - (\gamma_C + \gamma_M - \gamma_{GM2}) L_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_M) h_3 + (\gamma_C - \gamma_M) h_4 \}$$

$$A_{18,8} : \frac{h_4}{2} \{ 2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + (h_3 + L_3) \gamma_{GM}) + h_4 \gamma_{GM} \} KA3 \sin \delta \\ - f_{iQ} \cdot k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 \right) (h_1 + h_2 + h_3) \gamma_C + \frac{h_4^2}{2} \gamma_C \right\}$$

$$Z_4 : -(L_3 + h_3 + h_4) \gamma_M$$

$$Z_5 : A_{5,2} + A_{6,4} + A_{7,6} + A_{8,8}$$

$$Z_6 : \frac{h_1}{2} (2w_2 + \gamma_C h_1) KA2 \cdot \sin \delta \\ + \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{ 2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C \} \varepsilon + \frac{L_3}{2} \{ (1 + \varepsilon) [w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C] + L_3 \gamma_{GM} \} \right] KA3 \cdot \sin \delta \\ + \frac{h_3}{2} \{ 2[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + L_3 \gamma_{GM}] + h_3 \gamma_{GM} \} KA3 \sin \delta \\ + \frac{h_4}{2} \{ 2[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + (h_3 + L_3) \gamma_{GM}] + h_4 \gamma_{GM} \} KA3 \cdot \sin \delta$$

$$S_{1,1} : A_{7,1}$$

$$S_{1,2} : A_{7,2}$$

$$S_{1,3} : A_{7,3}$$

$$S_{1,4} : A_{7,4}$$

$$S_{1,5} : A_{8,5}$$

$$S_{1,6} : A_{7,6}$$

$$S_{1,7} : A_{8,7} - \frac{1}{3} \{ (h_1 + h_2) \gamma_C - (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 + \gamma_{GM2} h_3 + \gamma_C h_4 \} - \frac{1}{3} Z_4$$

$$S_{1,8} : A_{8,8} - \frac{1}{3} Z_5$$

$$S_{1,11} : -\frac{1}{3} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3$$

$$S_{1,12} : -\frac{1}{3} (\gamma_C - \gamma_G) h_1$$

$$S_{1,14} : -\frac{1}{3} \{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 \}$$

$$S_{1,0} : M_{E,A5} + M_{WP,A5}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 A_{9,1} &: \frac{1}{75}(\gamma_C - \gamma_G)^2 h_1^2 - \frac{1}{2}(\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{9,2} &: -A_{6,2} + \frac{2}{75} Z_5 h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{9,3} &: \frac{1}{75} |(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3|^2 - \frac{1}{2} |(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3| \\
 A_{9,4} &: -A_{6,4} + \frac{2}{75} Z_5 |(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3| \\
 A_{9,5} &: \frac{1}{75} (\gamma_C - \gamma_{GM2})^2 h_3^2 - \frac{1}{2} h_3 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 A_{9,6} &: -A_{7,6} + \frac{2}{75} Z_5 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \\
 A_{9,7} &: \frac{1}{75} \left\{ (h_1 + h_2) \gamma_C - (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 + h_3 \gamma_{GM2} + h_4 \gamma_C + Z_4 \right\}^2 - \frac{1}{2} \{ h_4 \gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + (L_3 + h_3) \gamma_{GM2} - (L_3 + h_3 + h_4) \gamma_M \} \\
 A_{9,8} &: -A_{8,8} + \frac{2}{75} Z_5 \{ (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + (L_3 + h_3) \gamma_{GM2} + \gamma_C h_4 + Z_4 \} \\
 A_{9,9} &: \frac{2}{75} (\gamma_C - \gamma_G) |(\gamma_C - \gamma_G) \{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 \}| h_1 \\
 A_{9,10} &: \frac{2}{75} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) |(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3| h_3 \\
 A_{9,11} &: \frac{2}{75} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \{ (h_1 + h_2) \gamma_C - (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 + h_3 \gamma_{GM2} + h_4 \gamma_C + Z_4 \} h_3 \\
 A_{9,12} &: \frac{2}{75} (\gamma_C - \gamma_G) \{ (h_1 + h_2) \gamma_C - (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 + h_3 \gamma_{GM2} + h_4 \gamma_C + Z_4 \} h_1 \\
 A_{9,13} &: \frac{2}{75} (\gamma_C - \gamma_G) (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_1 h_3 \\
 A_{9,14} &: \frac{2}{75} |(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3| \{ (h_1 + h_2) \gamma_C - (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 + h_3 \gamma_{GM2} + h_4 \gamma_C + Z_4 \} \\
 A_{10,1} &: A_{6,1} \\
 A_{10,2} &: A_{6,2} \\
 A_{10,3} &: A_{7,3} \\
 A_{10,4} &: A_{6,4} \\
 A_{10,5} &: A_{8,5} \\
 A_{10,6} &: A_{7,6} \\
 A_{10,7} &: -\frac{1}{6} \{ (h_1 + h_2) \gamma_C + (3\gamma_M + \gamma_{GM2} - \gamma_C) L_3 + (\gamma_{GM2} + 3\gamma_M) h_3 + (\gamma_C + 3\gamma_M) h_4 - 50 \} - \frac{2}{3} Z_4 \\
 A_{10,8} &: A_{8,8} - \frac{2}{3} Z_5 \\
 A_{10,11} &: -\frac{2}{3} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \\
 A_{10,12} &: -\frac{2}{3} (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{10,14} &: -\frac{2}{3} |(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3| \\
 S_{2,1} &: A_{16,1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{2,2} &: -kh_1\left(\frac{h_1}{2}+h_2+h_3+h_4\right)(\gamma_C-\gamma_G)+(2w_2+h_1\gamma_G)\frac{h_1}{2}KA_2\cdot\sin\delta \\
 S_{2,3} &: A_{17,3} \\
 S_{2,4} &: -k\left\{\left(\frac{h_1}{2}+h_2+h_3+h_4\right)h_1\gamma_G+\left(\frac{h_2}{2}+h_3+h_4\right)h_2\gamma_C-\left(\frac{h_1+h_2}{2}+h_3+h_4\right)(h_1+h_2)\gamma_G\right\} \\
 &\quad +\left[\frac{h_2-L_3}{2}\left\{2w_2+(2h_1+h_2-L_3)\gamma_G\epsilon\right\}+\frac{L_3}{2}\{(1+\epsilon)[w_2+(h_1+h_2-L_3)\gamma_G]+L_3\gamma_{GM}\}\right]KA_3\cdot\sin\delta \\
 S_{2,5} &: A_{18,5} \\
 S_{2,6} &: -k\left\{\left(\frac{h_1+h_2}{2}+h_3+h_4\right)(h_1+h_2)\gamma_G+\left(\frac{h_3}{2}+h_4\right)h_3\gamma_C-\left(\frac{h_1+h_2+h_3}{2}+h_4\right)(h_1+h_2+h_3)\gamma_G\right\} \\
 &\quad +\frac{h_3}{2}\{2(w_2+(h_1+h_2-L_3)\gamma_G+L_3\gamma_{GM})+h_3\gamma_{GM}\}KA_3\sin\delta \\
 S_{2,7} &: A_{18,7}-\frac{1}{3}\{(h_1+h_2)\gamma_G-(\gamma_C-\gamma_{GM2})L_3+h_3\gamma_{GM2}+h_4\gamma_C\}-\frac{1}{3}Z_4 \\
 S_{2,8} &: -k\left[\left(\frac{h_1+h_2+h_3}{2}+h_4\right)(h_1+h_2+h_3)\gamma_G+\frac{h_4^2}{2}\gamma_C-\frac{1}{3}Z_6\right]+\frac{h_4}{2}\left[2\{w_2+(h_1+h_2-L_3)\gamma_G+(h_3+L_3)\gamma_{GM}\}\right. \\
 &\quad \left.+h_4\gamma_{GM}\right]KA_3\sin\delta \\
 S_{2,11} &: -\frac{1}{3}(\gamma_C-\gamma_{GM2})h_3 \\
 S_{2,12} &: -\frac{1}{3}(\gamma_C-\gamma_G)h_1 \\
 S_{2,14} &: -\frac{1}{3}\{(\gamma_C-\gamma_G)h_2+(\gamma_G-\gamma_{GM2})L_3\} \\
 A_{19,1} &: \frac{1}{75}(\gamma_C-\gamma_G)^2h_1^2-\frac{1}{2}(\gamma_C-\gamma_G)h_1 \\
 A_{19,2} &: -S_{2,2}+\frac{2}{75}Z_6h_1(\gamma_C-\gamma_G) \\
 A_{19,3} &: \frac{1}{75}\left\{(\gamma_C-\gamma_G)h_2+(\gamma_G-\gamma_{GM2})L_3\right\}^2-\frac{1}{2}\{h_2(\gamma_C-\gamma_G)+L_3(\gamma_G-\gamma_{GM2})\} \\
 A_{19,4} &: -S_{2,4}+\frac{2}{75}Z_6\{(\gamma_C-\gamma_G)h_2+(\gamma_G-\gamma_{GM2})L_3\} \\
 A_{19,5} &: \frac{1}{75}(\gamma_C-\gamma_{GM2})^2h_3^2-\frac{1}{2}(\gamma_C-\gamma_{GM2})h_3 \\
 A_{19,6} &: -S_{2,6}+\frac{2}{75}Z_6(\gamma_C-\gamma_{GM2})h_3 \\
 A_{19,7} &: \frac{1}{75}\{(h_1+h_2)\gamma_G-(\gamma_G-\gamma_{GM2})L_3+h_3\gamma_{GM2}+h_4\gamma_C+Z_4\}^2 \\
 &\quad -\frac{1}{2}\{h_1\gamma_G+h_2\gamma_C-(\gamma_G-\gamma_{GM2}+\gamma_M)L_3+(\gamma_{GM2}-\gamma_M)h_3+(\gamma_C-\gamma_M)h_4\} \\
 A_{19,8} &: -S_{2,8}+\frac{2}{75}Z_6\{(h_1+h_2-L_3)\gamma_G+(L_3+h_3)\gamma_{GM2}+\gamma_C h_4+Z_4\} \\
 A_{19,9} &: \frac{2}{75}(\gamma_C-\gamma_G)\{(\gamma_C-\gamma_G)h_2+(\gamma_G-\gamma_{GM2})L_3\}h_1 \\
 A_{19,10} &: \frac{2}{75}\{(\gamma_C-\gamma_G)h_2+(\gamma_G-\gamma_{GM2})L_3\}(\gamma_C-\gamma_{GM2})h_3 \\
 A_{19,11} &: \frac{2}{75}(\gamma_C-\gamma_{GM2})\{(h_1+h_2)\gamma_G-(\gamma_G-\gamma_{GM2})L_3+h_3\gamma_{GM2}+h_4\gamma_C+Z_4\}h_3
 \end{aligned}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 A_{19,12} &: \frac{2}{75}(\gamma_C - \gamma_G) \{ (h_1 + h_2)\gamma_G - (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 + h_3\gamma_{GM2} + h_4\gamma_C + Z_4 \} h_1 \\
 A_{19,13} &: \frac{2}{75}(\gamma_C - \gamma_G)(\gamma_C - \gamma_{GM2})h_1h_3 \\
 A_{19,14} &: \frac{2}{75} \{ (\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \} \{ (h_1 + h_2)\gamma_G - (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 + h_3\gamma_{GM2} + h_4\gamma_C + Z_4 \} \\
 A_{20,1} &: A_{16,1} \\
 A_{20,2} &: S_{2,2} \\
 A_{20,3} &: A_{17,3} \\
 A_{20,4} &: S_{2,4} \\
 A_{20,5} &: A_{18,5} \\
 A_{20,6} &: S_{2,6} \\
 A_{20,7} &: -\frac{1}{6} \{ (h_1 + h_2)\gamma_G - (\gamma_C - 3\gamma_M - \gamma_{GM2})L_3 + (\gamma_{GM2} + 3\gamma_M)h_3 + (\gamma_C + 3\gamma_M)h_4 - 50 \} - \frac{2}{3}Z_4 \\
 A_{20,8} &: S_{2,8} - \frac{2}{3}Z_6 \\
 A_{20,11} &: -\frac{2}{3}(\gamma_C - \gamma_{GM2})h_3 = 2S_{2,11} \\
 A_{20,12} &: -\frac{2}{3}(\gamma_C - \gamma_G)h_1 = 2S_{2,12} \\
 A_{20,14} &: -\frac{2}{3} \{ (\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \} = 2S_{2,14} \\
 B_1 &: A_{5,2} \times \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \\
 B_2 &: (A_{5,2} + A_{7,4}) \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) + \frac{f_{s0}}{F_1} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0L_4 \right) \\
 B_3 &: (A_{5,2} + A_{7,4} + A_{7,6}) \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) + \frac{h_{s0}}{F_1} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0L_4 + L_0h_3 \right) \\
 B_4 &: (A_{5,2} + A_{7,4} + A_{7,6} + A_{8,7}) \left(\frac{f_{s0}}{F_2} \cot \delta - 1 \right) + \frac{f_{s0}}{F_2} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0L_4 + L_0h_3 + L_0h_4 \right) \\
 B_5 &: \frac{f_{t_0} h_1^2}{6} (3w + \gamma_G h_1) KA \cos \delta \\
 B_6 &: f_{t_0} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w + \gamma_G h_1) + \frac{h_1 h_2}{2} (2w + h_1 \gamma_G) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{(h_2 - L_3)}{2} L_3 (2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + \frac{L_3^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}) \right\} KA \cos \delta \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{6} L_0^3 \gamma_M + \frac{L_0 L_4^2}{2} \gamma_M \right] \\
 B_7 &: f_{t_0} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w + \gamma_G h_1) + \frac{h_1}{2} (h_2 + h_3) (2w + h_1 \gamma_G) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{1}{2} (h_2 - L_3) (L_3 + h_3) (2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + \frac{L_3^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{L_3 h_3}{2} (2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}) + \frac{h_3^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + 3L_3 \gamma_{GM} + h_3 \gamma_{GM}) \right\} KA \cos \delta \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2} L_0^2 \gamma_M \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 \right) + \frac{1}{2} (L_4 + h_3)^2 L_0 \gamma_M \right]
 \end{aligned}$$

$$B_8 : f_{i0} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w + \gamma_G h_1) + \frac{h_1(h_2 + h_3 + h_4)}{2} (2w + h_1 \gamma_G) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{(h_2 - L_3)(L_3 + h_3 + h_4)}{2} (2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + \frac{L_3^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{L_3(h_3 + h_4)}{2} (2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}) + \frac{h_3^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (3L_3 + h_3) \gamma_{GM}) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{h_3 h_4}{2} (2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + h_3) \gamma_{GM}) + \frac{h_4^2}{6} (3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (3L_3 + 3h_3 + h_4) \gamma_{GM}) \right\} \right. \\ \left. KA \cos \delta + \left(\frac{1}{2} L_0^2 \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 + h_4 \right) + \frac{L_0}{2} (L_4 + h_3 + h_4)^2 \right) \gamma_M \right]$$

$$S_1 : \frac{B_8}{f_{i0}}$$

$$B_9 : -\frac{B_8}{f_{i0}} - \frac{1}{75} Z_3^2$$

$$B_{10} : \frac{B_8}{f_{i0}}$$

$$B_{11} : \left(\frac{f_3 Q}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left(A_{15,2} + f_{i0} k \frac{h_1^2}{2} \gamma_C \right)$$

$$B_{12} : \left(\frac{f_3 Q}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left(A_{16,4} + f_{i0} k \left(\left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 \gamma_G + \frac{h_2^2}{2} \gamma_C \right) \right) + \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0 L_4 \right) + B_{11}$$

$$B_{13} : \left(\frac{f_3 Q}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left(A_{17,6} + f_{i0} k \left(\left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2) \gamma_G + \frac{h_3^2}{2} \gamma_C \right) \right) + \gamma_M L_0 h_3 + B_{12}$$

$$B_{14} : \left(\frac{f_3 Q}{F_2} \cot \delta - 1 \right) \left[\left(A_{15,2} + f_{i0} k \frac{h_1^2}{2} \gamma_C \right) + \left(A_{16,4} + f_{i0} k \left(\left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 \gamma_G + \frac{h_2^2}{2} \gamma_C \right) \right) \right. \\ \left. + \left(A_{17,6} + f_{i0} k \left(\left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2) \gamma_G + \frac{h_3^2}{2} \gamma_C \right) \right) \right. \\ \left. + \left(A_{18,8} + f_{i0} k \left(\left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 \right) (h_1 + h_2 + h_3) \gamma_G + \frac{h_4^2}{2} \gamma_C \right) \right) \right] \\ + \left(\frac{1}{2} (L_3 - L_4)^2 \gamma_M + (L_3 - L_4) \gamma_M (L_4 + h_3 + h_4) \right) \times \frac{f_3 Q}{F_2}$$

$$B_{15} : f_{i0} \frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 \cos \delta$$

$$B_{16} : f_{i0} \left[\left(\frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) KA_2 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{h_1 h_2}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA_2 + \frac{(h_2 - L_3) L_3}{2} (2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) KA_2 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{L_3^2}{6} \{ (2\varepsilon + 1) w_2 + (2\varepsilon + 1) (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM} \} KA_3 \right) \cos \delta \right. \\ \left. + \gamma_M \left(\frac{L_3 - L_4}{2} L_4^2 + \frac{1}{6} (L_3 - L_4)^3 \right) \right]$$

$$B_{17} : f_{i0} \left[\left(\frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 + \frac{h_1(h_2 + h_3)}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA_2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) KA_2 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{(h_2 - L_3)(L_3 + h_3)}{2} (2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) KA_2 + \frac{L_3^2}{6} \{ (2\varepsilon + 1) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + L_3 \gamma_{GM} \} KA_3 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{L_3 h_3}{2} \{ (1 + \varepsilon) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + L_3 \gamma_{GM} \} KA_3 + \frac{h_3^2}{6} \{ 3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (3L_3 + h_3) \gamma_{GM} \} \right. \right. \\ \left. \left. KA_3 \right) \cos \delta + \gamma_M \left(\frac{L_0(L_4 + h_3)^2}{2} + \frac{1}{2} L_0^2 \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 \right) \right) \right]$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 B_{18} &: f_{iQ} \left[\left(\frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 + \frac{h_1(h_2 + h_3 + h_4)}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA_2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} (3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) \right. \right. \\
 &KA_2 + \frac{1}{2} (h_2 - L_3) (L_3 + h_3 + h_4) (2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) KA_2 + \frac{L_3^2}{6} \{ (2\varepsilon + 1) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) \\
 &+ L_3 \gamma_{GM} \} KA_3 + \frac{L_3(h_3 + h_4)}{2} \{ (1 + \varepsilon) (w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + L_3 \gamma_{GM} \} KA_3 + \frac{h_3^2}{6} \\
 &\{ 3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (3L_3 + h_3) \gamma_{GM} \} KA_3 + \frac{h_3 h_4}{2} \{ 2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}) + h_3 \gamma_{GM} \} KA_3 \\
 &+ \frac{h_4^2}{6} \{ 3(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (h_3 + L_3) \gamma_{GM}) + h_4 \gamma_{GM} \} KA_3 \Big) \cos \delta \\
 &+ \gamma_M \left(\frac{1}{2} L_0^2 \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 + h_4 \right) + \frac{1}{2} L_0 (L_4 + h_3 + h_4)^2 \right) \Big] \\
 S_{2,0} &: \frac{B_{18}}{f_{iQ}} \\
 B_{19} &: -\frac{B_{18}}{f_{iQ}} - \frac{Z_6^2}{75} \\
 B_{20} &: S_{2,0} \\
 C_1 &: (C01 - C02) h_1 \\
 C_2 &: (C01 - C02) h_2 \\
 C_3 &: (C01 - C02) h_3 \\
 C_4 &: C01 \times h_4 + C02 (h_1 + h_2 + h_3)
 \end{aligned}$$

表-3(c) 5 段 式

		a_1^2	a_1	a_2^2	a_2	a_3^2	a_3	a_4^2	a_4	a_1a_2	a_2a_3
	OBJECTIVE FUNCTION		C_1		C_2		C_3		C_4		C_5
NON-EARTHQUAKE CASE	SLIDE A2 PLANE		$A_{1,2}$								
	SLIDE A3 PLANE		$A_{2,2}$		$A_{2,4}$						
	SLIDE A4 PLANE		$A_{3,2}$		$A_{3,4}$		$A_{3,6}$				
	SLIDE A5 PLANE		$A_{4,2}$		$A_{4,4}$		$A_{4,6}$		$A_{4,8}$		
	SLIDE Bottom		$A_{21,2}$		$A_{21,4}$		$A_{21,6}$		$A_{21,8}$		
	OVER-TURN A2 PLANE	$A_{5,1}$	$A_{5,2}$								
	OVER-TURN A3 PLANE	$A_{6,1}$	$A_{6,2}$	$A_{6,3}$	$A_{6,4}$						
	OVER-TURN A4 PLANE	$A_{7,1}$	$A_{7,2}$	$A_{7,3}$	$A_{7,4}$	$A_{7,5}$	$A_{7,6}$				
	OVER-TURN A5 PLANE	$A_{8,1}$	$A_{8,2}$	$A_{8,3}$	$A_{8,4}$	$A_{8,5}$	$A_{8,6}$	$A_{8,7}$	$A_{8,8}$		
	OVER-TURN Bottom	$A_{22,1}$	$A_{22,2}$	$A_{22,3}$	$A_{22,4}$	$A_{22,5}$	$A_{22,6}$	$A_{22,7}$	$A_{22,8}$		
EARTHQUAKE CASE	SLIDE A2 PLANE		$A_{11,2}$								
	SLIDE A3 PLANE		$A_{12,2}$		$A_{12,4}$						
	SLIDE A4 PLANE		$A_{13,2}$		$A_{13,4}$		$A_{13,6}$				
	SLIDE A5 PLANE		$A_{14,2}$		$A_{14,4}$		$A_{14,6}$		$A_{14,8}$		
	SLIDE Bottom		$A_{23,2}$		$A_{23,4}$		$A_{23,6}$		$A_{23,8}$		
	OVER-TURN A2 PLANE	$A_{15,1}$	$A_{15,2}$								
	OVER-TURN A3 PLANE	$A_{16,1}$	$A_{16,2}$	$A_{16,3}$	$A_{16,4}$						
	OVER-TURN A4 PLANE	$A_{17,1}$	$A_{17,2}$	$A_{17,3}$	$A_{17,4}$	$A_{17,5}$	$A_{17,6}$				
	OVER-TURN A5 PLANE	$A_{18,1}$	$A_{18,2}$	$A_{18,3}$	$A_{18,4}$	$A_{18,5}$	$A_{18,6}$	$A_{18,7}$	$A_{18,8}$		
	OVER-TURN Bottom	$A_{24,1}$	$A_{24,2}$	$A_{24,3}$	$A_{24,4}$	$A_{24,5}$	$A_{24,6}$	$A_{24,7}$	$A_{24,8}$		
NON-EARTH-QUAKE	MIDDLE THIRD	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	$S_{1,6}$	$S_{1,7}$	$S_{1,8}$		
	B-STRESS (OUT)	$A_{9,1}$	$A_{9,2}$	$A_{9,3}$	$A_{9,4}$	$A_{9,5}$	$A_{9,6}$	$A_{9,7}$	$A_{9,8}$	$A_{9,9}$	$A_{9,10}$
	B-STRESS (IN)	$A_{10,1}$	$A_{10,2}$	$A_{10,3}$	$A_{10,4}$	$A_{10,5}$	$A_{10,6}$	$A_{10,7}$	$A_{10,8}$		
EARTH-QUAKE	MIDDLE THIRE	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	$S_{2,3}$	$S_{2,4}$	$S_{2,5}$	$S_{2,6}$	$S_{2,7}$	$S_{2,8}$		
	B-STRESS (OUT)	$A_{19,1}$	$A_{19,2}$	$A_{19,3}$	$A_{19,4}$	$A_{19,5}$	$A_{19,6}$	$A_{19,7}$	$A_{19,8}$	$A_{19,9}$	$A_{19,10}$
	B-STRESS (IN)	$A_{20,1}$	$A_{20,2}$	$A_{20,3}$	$A_{20,4}$	$A_{20,5}$	$A_{20,6}$	$A_{20,7}$	$A_{20,8}$		
幾何的 条件	A2 PLANE		1		-1						
	A3 PLANE				1		-1				
	A4 PLANE						1		-1		
	A5 PLANE								1		

ブロック式繫船岸の設計について

ブロックけい船岸

a_3a_4	a_4a_1	a_1a_3	a_2a_4	a_5^2	a_5	a_4a_5	a_5a_1	a_5a_2	a_3a_5	b_i
										$\geq B_1$
										$\geq B_2$
										$\geq B_3$
										$\geq B_4$
					$A_{21,10}$					$\geq B_{21}$
										$\geq B_5$
										$\geq B_6$
										$\geq B_7$
										$\geq B_8$
				$A_{22,9}$	$A_{22,10}$					$\geq B_{22}$
										$\geq B_{11}$
										$\geq B_{12}$
										$\geq B_{13}$
										$\geq B_{14}$
					$A_{23,10}$					$\geq B_{23}$
										$\geq B_{15}$
										$\geq B_{16}$
										$\geq B_{17}$
										$\geq B_{18}$
				$A_{24,9}$	$A_{24,10}$					$\geq B_{24}$
				$S_{1,15}$	$S_{1,16}$	$S_{1,17}$	$S_{1,18}$	$S_{1,19}$	$S_{1,20}$	$\leq S_{1,10}$
$A_{9,11}$	$A_{9,12}$	$A_{9,13}$	$A_{9,14}$	$A_{9,15}$	$A_{9,16}$	$A_{9,17}$	$A_{9,18}$	$A_{9,19}$	$A_{9,20}$	$\leq B_9$
				$A_{10,15}$	$A_{10,16}$	$A_{10,17}$	$A_{10,18}$	$A_{10,19}$	$A_{10,20}$	$\geq B_{1,0}$
				$S_{2,15}$	$S_{2,16}$	$S_{2,17}$	$S_{2,18}$	$S_{2,19}$	$S_{2,20}$	$\leq S_{2,0}$
$A_{19,11}$	$A_{19,12}$	$A_{19,13}$	$A_{19,14}$	$A_{19,15}$	$A_{19,16}$	$A_{19,17}$	$A_{19,18}$	$A_{19,19}$	$A_{19,20}$	$\leq B_{19}$
				$A_{20,15}$	$A_{20,16}$	$A_{20,17}$	$A_{20,18}$	$A_{20,19}$	$A_{20,20}$	$\geq B_{20}$
										≤ 0
										≤ 0
										≤ 0
										≤ 0

$$\begin{aligned}
 A_{1,2} &: h_1 \gamma_C \\
 A_{2,2} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{2,4} &: (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G - L_3 \gamma_M) \\
 A_{3,2} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{3,4} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 \\
 A_{3,6} &: h_1 \gamma_G + h_2 \gamma_G + (\gamma_C - \gamma_M) h_3 - (\gamma_C - \gamma_{GM2} + \gamma_M) L_3 \\
 A_{4,2} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 = A_{2,2} \\
 A_{4,4} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3 = A_{3,4} \\
 A_{4,6} &: (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \\
 A_{4,8} &: h_1 \gamma_G + h_2 \gamma_G - (\gamma_G - \gamma_{GH2} + \gamma_M) L_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_M) h_3 + (\gamma_C - \gamma_M) h_4 \\
 A_{5,1} &: \frac{h_1 \gamma_C}{2} = \frac{A_{1,2}}{2} \\
 A_{5,2} &: \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_G) KA \sin \delta \\
 A_{6,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = \frac{A_{2,2}}{2} \\
 A_{6,1} &: \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_G) KA \sin \delta = A_{5,2} \\
 A_{6,3} &: \frac{1}{2} (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G - L_3 \gamma_M) = \frac{A_{2,4}}{2} \\
 A_{6,2} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} + \frac{L_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} \right] KA \sin \delta \\
 A_{7,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = A_{2,2}/2 \\
 A_{7,2} &: \frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_G) KA \sin \delta = A_{5,2} \\
 A_{7,3} &: \frac{1}{2} \{h_2 (\gamma_C - \gamma_G) + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} = \frac{A_{3,4}}{2} \\
 A_{7,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} + \frac{L_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} \right] KA \sin \delta = A_{6,4} \\
 A_{7,5} &: \frac{1}{2} \{h_3 \gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM2} - \gamma_M (L_3 + h_3)\} = \frac{A_{3,6}}{2} \\
 A_{7,6} &: \frac{h_3}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + h_3) \gamma_{GM}\} KA \sin \delta \\
 A_{8,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) = A_{6,1} \\
 A_{8,2} &: A_{6,2} \\
 A_{8,3} &: A_{7,3} \\
 A_{8,4} &: A_{6,4} \\
 A_{8,5} &: \frac{1}{2} (h_3 \gamma_C - h_3 \gamma_{GM2}) = \frac{A_{4,6}}{2} \\
 A_{8,6} &: A_{7,6} \\
 A_{8,7} &: \frac{1}{2} \{(h_1 + h_2) \gamma_G - (\gamma_G - \gamma_{GM2} + \gamma_M) L_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_M) h_3 + (\gamma_C - \gamma_M) h_4\} = \frac{A_{4,8}}{2} \\
 A_{8,8} &: \frac{h_4}{2} \{2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + 2h_3 + h_4) \gamma_{GM}\} KA \sin \delta
 \end{aligned}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 A_{11,2} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) h_1 \gamma_C \\
 A_{12,2} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{12,4} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) (h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G) - L_3 \gamma_M \\
 A_{13,2} &: A_{12,2} \\
 A_{13,4} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) \{(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} \\
 A_{13,6} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) \{h_1 \gamma_C + h_2 \gamma_G + h_3 \gamma_C - (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} - (L_3 + h_3) \gamma_M \\
 A_{14,2} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{14,4} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) \{(\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_G - \gamma_{GM2}) L_3\} \\
 A_{14,6} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \\
 A_{14,8} &: \left(1 - \frac{f_{sQ}}{F_1} k\right) \{h_1 \gamma_C + h_2 \gamma_G + h_3 \gamma_{GM2} + (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3 + h_4 \gamma_C\} - (L_3 + h_3 + h_4) \gamma_M \\
 A_{15,1} &: \frac{h_1}{2} \gamma_C \\
 A_{15,2} &: \frac{h_1}{2} (2w_2 + \gamma_C h_1) KA_2 \sin \delta - f_{iQ} \frac{h_1^2}{2} \gamma_C k \\
 A_{16,1} &: \frac{h_1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{16,2} &: \frac{h_1}{2} (2w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 \sin \delta - f_{iQ} k \left(\frac{h_1}{2} + h_2\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{16,3} &: \frac{1}{2} [h_2 \gamma_C + h_1 \gamma_G - L_3 \gamma_M] \\
 A_{16,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} [2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] \times \varepsilon + \frac{L_3}{2} \{(1 + \varepsilon) [w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] + \gamma_{GM} L_3\} \right] KA_3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} \cdot k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2\right) h_1 \gamma_G + \frac{h_2^2}{2} \gamma_C \right\} \\
 A_{17,1} &: A_{16,1} \\
 A_{17,2} &: \frac{h_1}{2} (2w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 \sin \delta - f_{iQ} k \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) \\
 A_{17,3} &: \frac{1}{2} \{(\gamma_C - \gamma_G) h_2 - (\gamma_{GM2} - \gamma_G) L_3\} \\
 A_{17,4} &: \left\{ \frac{h_2 - L_3}{2} [2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] \cdot \varepsilon + \frac{L_3}{2} \left\{ (1 + \varepsilon) [w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] + L_3 \gamma_{GM} \right\} \right\} KA_3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3\right) h_1 \gamma_G + \left(\frac{h_2}{2} + h_3\right) h_2 \gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3\right) (h_1 + h_2) \gamma_G \right\} \\
 A_{17,5} &: \frac{1}{2} \{(h_1 + h_2) \gamma_G + (\gamma_C - \gamma_M) h_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_G + \gamma_M) L_3\} \\
 A_{17,6} &: \frac{h_3}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} + h_3 \gamma_{GM}] KA_3 \cdot \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} \cdot k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3\right) (h_1 + h_2) \gamma_G + \frac{h_3^2}{2} \gamma_C \right\}
 \end{aligned}$$

$$A_{18,1} : A_{16,1}$$

$$A_{18,2} : \frac{h_1}{2}(2w_2 + h_1\gamma_C)KA2 \sin \delta - f_{IQ} \cdot k \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 \right) (\gamma_C - \gamma_G) \cdot h_1$$

$$A_{18,3} : A_{17,3}$$

$$A_{18,4} : \left\{ \frac{h_2 - L_3}{2} [2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C] \varepsilon + \frac{L_3}{2} [(1 + \varepsilon)(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C) + L_3\gamma_{GM}] \right\} KA3 \sin \delta \\ - f_{IQ} k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 \right) h_1\gamma_G + \left(\frac{h_2}{2} + h_3 + h_4 \right) h_2\gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 \right) (h_1 + h_2)\gamma_G \right\}$$

$$A_{18,5} : \frac{1}{2}(\gamma_C - \gamma_{GM2})h_3$$

$$A_{18,6} : \frac{h_3}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + L_3\gamma_{GM}\} + h_3\gamma_{GM}] KA3 \sin \delta \\ - f_{IQ} k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 \right) (h_1 + h_2)\gamma_G + \left(\frac{h_3}{2} + h_4 \right) h_3\gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 \right) (h_1 + h_2 + h_3)\gamma_G \right\}$$

$$A_{18,7} : \frac{1}{2} \{ h_1\gamma_G + h_2\gamma_C - (\gamma_G + \gamma_M - \gamma_{GM2})L_3 + (\gamma_{GM2} - \gamma_M)h_3 + (\gamma_C - \gamma_M)h_4 \}$$

$$A_{18,8} : \frac{h_4}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (h_3 + L_3)\gamma_{GM}\} + h_4\gamma_{GM}] KA3 \sin \delta \\ - f_{IQ} \cdot k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 \right) (h_1 + h_2 + h_3)\gamma_G + \frac{h_4^2}{2} \gamma_C \right\}$$

$$A_{21,2} : (\gamma_C - \gamma_G)h_1 = A_{2,2}$$

$$A_{21,4} : A_{3,4}$$

$$A_{21,6} : A_{4,6}$$

$$A_{21,8} : (\gamma_C - \gamma_{GM2})h_4$$

$$A_{21,10} : h_5\gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM2} - (L_3 + h_3 + h_4 + h_5)\gamma_M$$

$$A_{22,1} : A_{6,1}$$

$$A_{22,2} : A_{5,2}$$

$$A_{22,3} : A_{7,3}$$

$$A_{22,4} : A_{6,4}$$

$$A_{22,5} : A_{8,5}$$

$$A_{22,6} : A_{7,6}$$

$$A_{22,7} : \frac{1}{2}(\gamma_C - \gamma_{GM2})h_4$$

$$A_{22,8} : A_{8,8}$$

$$A_{22,9} : \frac{1}{2} \{ (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C - (L_3 + h_3 + h_4 + h_5)\gamma_M \}$$

$$A_{22,10} : \frac{h_5}{2} [2\{w + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM}\} + h_5\gamma_{GM}] KA \sin \delta$$

$$A_{23,2} : \left(1 - \frac{f_{IQ}}{F_2} k \right) (\gamma_C - \gamma_G) h_1$$

$$A_{23,4} : \left(1 - \frac{f_{IQ}}{F_2} k \right) \{ h_2(\gamma_C - \gamma_G) + L_3(\gamma_C - \gamma_{GM2}) \}$$

$$A_{23,6} : \left(1 - \frac{f_{IQ}}{F_2} k \right) (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3$$

$$A_{23,8} : \left(1 - \frac{f_{IQ}}{F_2} k \right) (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_4$$

$$\begin{aligned}
 A_{23,10} &: \left(1 - \frac{f_{s0}}{F_2} k\right) \{h_5 \gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (L_3 + h_3 + h_4) \gamma_{GM2}\} - (L_3 + h_3 + h_4 + h_5) \gamma_M \\
 A_{24,1} &: A_{6,1} \\
 A_{24,2} &: \frac{h_1}{2} (2w_2 + h_1 \gamma_G) KA2 \sin \delta - \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 + h_5\right) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) f_{iQ} k \\
 A_{24,3} &: A_{7,3} \\
 A_{24,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} [2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] \varepsilon + \frac{L_3}{2} [(1 + \varepsilon)(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G) + L_3 \gamma_{GM}]\right] KA3 \cdot \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \times \left[\left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 + h_5\right) h_1 \gamma_G + \left(\frac{h_2}{2} + h_3 + h_4 + h_5\right) h_2 \gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 + h_5\right) (h_1 + h_2) \gamma_G\right] \\
 A_{24,5} &: A_{8,5} \\
 A_{24,6} &: \frac{h_3}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} + h_3 \gamma_{GM}] KA3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \left[\left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 + h_5\right) (h_1 + h_2) \gamma_G + \left(\frac{h_3}{2} + h_4 + h_5\right) h_3 \gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 + h_5\right) (h_1 + h_2 + h_3) \gamma_G\right] \\
 A_{24,7} &: \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_4 \\
 A_{24,8} &: \frac{h_4}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (h_3 + L_3) \gamma_{GM}\} + h_4 \gamma_{GM}] KA3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \left\{\left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 + h_5\right) (h_1 + h_2 + h_3) \gamma_G + \left(\frac{h_4}{2} + h_5\right) h_4 \gamma_C \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{2} + h_5\right) (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \gamma_G\right\} \\
 A_{24,9} &: \frac{1}{2} \{h_5 \gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (L_3 + h_3 + h_4) \gamma_{GM2} - (L_3 + h_3 + h_4 + h_5) \gamma_M\} \\
 A_{24,10} &: \frac{h_5}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (h_3 + L_3 + h_4) \gamma_{GM}\} + h_5 \gamma_{GM}] KA3 \sin \delta \\
 &\quad - f_{iQ} k \left\{\left(\frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{2} + h_5\right) (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \gamma_G + \frac{h_5^2}{2} \gamma_C\right\} \\
 B_{21} &: \left(\frac{f_{s0}}{F_2} - \tan \delta\right) \left\{\frac{h_1}{2} (2w + h_1 \gamma_G) KA \cos \delta + \left(\frac{h_2 - L_3}{2} [2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{L_3}{2} [2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}]\right) KA \cos \delta \right. \\
 &\quad \left. + \frac{h_3}{2} [2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + h_3) \gamma_{GM}] KA \cos \delta \right. \\
 &\quad \left. + \frac{h_4}{2} [2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + 2h_3 + h_4) \gamma_{GM}] KA \cos \delta \right. \\
 &\quad \left. + \frac{h_5}{2} [2\{w + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (L_3 + h_3 + h_4) \gamma_{GM}\} + h_5 \gamma_{GM}] KA \cos \delta \right\} \\
 &\quad + \frac{f_{s0}}{F_2} \gamma_M \left\{\frac{(L_3 - L_4)^2}{2} + (h_3 + h_4 + h_5 + L_4) \times (L_3 - L_4)\right\} \\
 B_{22} &: f_{i,0} (M_{EHA6} + M_{QWA6}) \\
 M_{EHA6} &: \left[\frac{h_1^2}{6} (3w + h_1 \gamma_G) + \frac{h_1}{2} (h_2 + h_3 + h_4 + h_5) (2w + h_1 \gamma_G) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} [3w + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] + \frac{(h_2 - L_3)(L_3 + h_3 + h_4 + h_5)}{2} [2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] \right. \\
 &\quad \left. + \frac{L_3^2}{6} [3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}] + \frac{L_3(h_3 + h_4 + h_5)}{2} [2w + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}] \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{h_3^2}{6} [3w + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (3L_3 + h_3)\gamma_{GM}] + \frac{h_3(h_4 + h_5)}{2} [2w + 2(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (2L_3 + h_3)\gamma_{GM}] \\
 & + \frac{h_4^2}{6} [3w + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (3L_3 + 3h_3 + h_4)\gamma_{GM}] + \frac{h_4 h_5}{2} [2w + 2(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (2L_3 + 2h_3 + h_4) \\
 & \gamma_{GM}] + \frac{h_5^2}{6} [3w + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + 3(L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM} + h_5\gamma_{GM}] \Big] \cos \delta \cdot KA
 \end{aligned}$$

$$M_{PWA6} : \left[\frac{L_3 - L_4}{3} + L_4 + h_3 + h_4 + h_5 \right] \times \frac{1}{2} (L_3 - L_4)^2 \gamma_M + \frac{1}{2} (L_4 + h_3 + h_4 + h_5)^2 \times (L_3 - L_4) \gamma_M$$

$$\begin{aligned}
 B_{23} : & \left(\frac{f_3 Q}{F_2} - \tan \bar{\delta} \right) \left[\frac{h_1}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA_2 \cos \delta \right. \\
 & + \left. \left(\frac{h_2 - L_3}{2} [2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G] \varepsilon + \frac{L_3}{2} \{ (1 + \varepsilon) [w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G] + L_3 \gamma_{GM} \} \right) KA_3 \cos \delta \right. \\
 & + \left. \frac{h_3}{2} [2w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3 \gamma_{GM}] + h_3 \gamma_{GM} \right] KA_3 \cdot \cos \delta + \frac{h_4}{2} [2w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (h_3 + L_3) \\
 & \gamma_{GM}] + h_4 \gamma_G \times KA_3 \cdot \cos \delta + \frac{h_5}{2} [2w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (h_3 + L_3 + h_4)\gamma_{GM}] + h_5 \gamma_{GM} \Big] KA_3 \cdot \cos \delta \Big] \\
 & + \frac{f_3 Q}{F_2} \gamma_M \left\{ \frac{(L_3 - L_4)^2}{2} + (h_3 + h_4 + h_5 + L_4)(L_3 - L_4) \right\}
 \end{aligned}$$

$$B_{24} : f_{1Q} [M'_{EHA6} + M_{PWA6}]$$

$$\begin{aligned}
 M'_{EHA6} : & \frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA_2 \cos \delta + \frac{h_1(h_2 + h_3 + h_4 + h_5)}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA_2 \cdot \cos \delta \\
 & + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} [3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G] KA_2 \cdot \cos \delta \\
 & + \frac{(h_2 - L_3)}{2} (L_3 + h_3 + h_4 + h_5) [2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G] KA_2 \cos \delta \\
 & + \frac{L_3^2}{6} \{ (2\varepsilon + 1)w_2 + (2\varepsilon + 1)(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3 \gamma_{GM} \} KA_3 \cos \delta \\
 & + \frac{L_3(h_3 + h_4 + h_5)}{2} \{ (1 + \varepsilon) [w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G] + L_3 \gamma_{GM} \} KA_3 \cdot \cos \delta \\
 & + \frac{h_3^2}{6} [3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (3L_3 + h_3)\gamma_{GM}] KA_3 \cos \delta \\
 & + \frac{h_3(h_4 + h_5)}{2} [2w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3 \gamma_{GM}] + h_3 \gamma_{GM} \Big] KA_3 \cos \delta \\
 & + \frac{h_4^2}{6} [3w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (h_3 + L_3)\gamma_{GM}] + h_4 \gamma_{GM} \Big] KA_3 \cdot \cos \delta \\
 & + \frac{h_4 \times h_5}{2} [2w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (h_3 + L_3)\gamma_{GM}] + h_4 \gamma_{GM} \Big] KA_3 \cos \delta \\
 & + \frac{h_5^2}{6} [3w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (h_3 + L_3 + h_4)\gamma_{GM}] + h_5 \gamma_{GM} \Big] KA_3 \cos \delta
 \end{aligned}$$

$$S_{1,1} : A_{7,1}$$

$$S_{1,2} : A_{7,2}$$

$$S_{1,3} : A_{7,3}$$

$$S_{1,4} : A_{7,4}$$

$$S_{1,5} : A_{8,5}$$

$$S_{1,6} : A_{7,6}$$

$$S_{1,7} : \frac{1}{2} (\gamma_G - \gamma_{GM2}) h_4$$

$$S_{1,8} : A_{8,8}$$

ブロック式繋船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 S_{1,15} &: \frac{1}{6} \{ (h_1+h_2-L_3)\gamma_G + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C \} - \frac{1}{2} (L_3+h_3+h_4+h_5)\gamma_M - \frac{1}{3} Z_1 \\
 S_{1,16} &: \frac{h_5}{2} \{ 2[w + (h_1+h_2-L_3)\gamma_G + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM}] + h_5\gamma_{GM} \} KA \sin \delta - \frac{1}{3} Z_2 \\
 S_{1,17} &: -\frac{1}{3} h_4(\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 S_{1,18} &: -\frac{1}{2} h_1(\gamma_C - \gamma_G) \\
 S_{1,19} &: -\frac{1}{3} \{ (\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \} \\
 S_{1,20} &: -\frac{1}{3} (\gamma_C - \gamma_{GM2})h_3 \\
 S_{1,0} &: M_{EHA6} + M_{PWA6} \\
 A_{9,1} &: \frac{1}{75} (\gamma_C - \gamma_G)^2 h_1^2 - \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \\
 A_{9,2} &: -A_{6,2} = -\frac{h_1}{2} (2w + h_1\gamma_G) KA \sin \delta + \frac{2}{75} Z_2 h_1 (\gamma_C - \gamma_G)^2 \\
 A_{9,3} &: \frac{1}{75} \{ (\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \}^2 - \frac{1}{2} \{ (\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \} \\
 A_{9,4} &: -A_{6,4} + \frac{2}{75} Z_2 \{ (\gamma_C - \gamma_G)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \} \\
 A_{9,5} &: \frac{1}{75} (\gamma_C - \gamma_{GM2})^2 h_3^2 - \frac{1}{2} h_3 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 A_{9,6} &: -A_{7,6} + \frac{2}{75} Z_2 h_3 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 A_{9,7} &: \frac{(\gamma_C - \gamma_{GM2})^2}{75} h_4^2 - \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_4 \\
 A_{9,8} &: -A_{8,8} + \frac{2}{75} Z_2 h_4 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 A_{9,9} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,10} &: \{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 \} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,11} &: (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 \cdot h_4 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,12} &: (\gamma_C - \gamma_G) h_1 h_4 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,13} &: (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_3 (\gamma_C - \gamma_G) h_1 \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,14} &: \{ (\gamma_C - \gamma_G) h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2}) L_3 \} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_4 \times \frac{2}{75} - (L_3+h_3+h_4+h_5)\gamma_M \\
 A_{9,15} &: \frac{1}{75} \{ (h_1+h_2-L_3)\gamma_G + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C + Z_1 \}^2 - \frac{1}{2} \{ (h_1+h_2-L_3)\gamma_G + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM2} \\
 &+ h_5\gamma_C + \frac{1}{2} (L_3+h_3+h_4+h_5)\gamma_M \\
 A_{9,16} &: \left[-S_{1,16} - \frac{1}{3} Z_2 \right] + \frac{2}{75} Z_2 \{ (h_1+h_2-L_3)\gamma_G + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C + Z_1 \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{9,17} &: h_4(\gamma_C - \gamma_{GM2}) \{ (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C + Z_1 \} \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,18} &: h_1(\gamma_C - \gamma_C) \{ (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C + Z_1 \} \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,19} &: \{ (\gamma_C - \gamma_C)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \} \{ (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C + Z_1 \} \times \frac{2}{75} \\
 A_{9,20} &: h_3(\gamma_C - \gamma_{GM2}) \{ (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C + Z_1 \} \times \frac{2}{75} \\
 A_{10,1} &: A_{61} \\
 A_{10,2} &: S_{1,2} \\
 A_{10,3} &: A_{7,3} \\
 A_{10,4} &: S_{1,4} \\
 A_{10,5} &: A_{8,5} \\
 A_{10,6} &: S_{1,6} \\
 A_{10,7} &: \frac{1}{2}(\gamma_C - \gamma_{GM2})h_4 \\
 A_{10,8} &: A_{8,8} \\
 A_{10,15} &: -\frac{1}{6} \{ (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (L_3 + h_3 + h_4)\gamma_{GM2} + h_5\gamma_C \} - \frac{1}{2}(L_3 + h_3 + h_4 + h_5)\gamma_M + \frac{25}{3} - \frac{2}{3}Z_1 \\
 A_{10,16} &: S_{1,16} - \frac{2}{3}Z_2 \\
 A_{10,17} &: -\frac{2}{3}(\gamma_C - \gamma_{GM2})h_4 \\
 A_{10,18} &: -\frac{2}{3}(\gamma_C - \gamma_C)h_1 \\
 A_{10,19} &: -\frac{2}{3} \{ (\gamma_C - \gamma_C)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \} \\
 A_{10,20} &: -\frac{2}{3}(\gamma_C - \gamma_{GM2})h_3 \\
 Z_2' &: \frac{h_1}{2}(2w_2 + h_1\gamma_C)KA2 \cdot \sin \delta \\
 &+ \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{ 2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C \} \varepsilon + \frac{L_3}{2} \{ (1 + \varepsilon)(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C) + L_3\gamma_C \} \right] KA3 \sin \delta \\
 &+ \frac{h_3}{2} \{ 2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + L_3\gamma_{GM}) + h_3\gamma_{GM} \} KA3 \sin \delta \\
 &+ \frac{h_4}{2} \{ 2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (h_3 + L_3)\gamma_{GM}) + h_4\gamma_{GM} \} KA3 \sin \delta \\
 &+ \frac{h_5}{2} \{ 2(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (h_3 + L_3 + h_4)\gamma_{GM}) + h_5\gamma_{GM} \} KA3 \cdot \sin \delta \\
 S_{2,1} &: A_{6,1} \\
 S_{2,2} &: \frac{h_1}{2}(2w_2 + h_1\gamma_C)KA2 \sin \delta - \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \right) h_1(\gamma_C - \gamma_C)k \\
 S_{2,3} &: A_{7,3} \\
 S_{2,4} &: \left[\frac{h_2 - L_3}{2} \{ 2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C \} \varepsilon + \frac{L_3}{2} \{ (1 + \varepsilon)(w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C) + L_3\gamma_{GM} \} \right] KA3 \sin \delta \\
 &- \left[\left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \right) h_1\gamma_C + \left(\frac{h_2}{2} + h_3 + h_4 + h_5 \right) h_2\gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 + h_5 \right) (h_1 + h_2)\gamma_C \right] k
 \end{aligned}$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 S_{2,5} & : A_{8,5} \\
 S_{2,6} & : \frac{h_3}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + L_3\gamma_{GM}\} + h_3\gamma_{GM}] KA3 \cdot \sin \delta \\
 & \quad - \left[\left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 + h_4 + h_5 \right) (h_1 + h_2)\gamma_C + \left(\frac{h_3}{2} + h_4 + h_5 \right) h_3\gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 + h_5 \right) (h_1 + h_2 + h_3)\gamma_C \right] k \\
 S_{2,7} & : \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_{GM2}) h_4 \\
 S_{2,8} & : \frac{h_4}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (h_3 + L_3)\gamma_{GM}\} + h_4\gamma_{GM}] KA3 \sin \delta \\
 & \quad - \left[\left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 + h_5 \right) (h_1 + h_2 + h_3)\gamma_C + \left(\frac{h_4}{2} + h_5 \right) h_4\gamma_C - \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{2} + h_5 \right) (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \right. \\
 & \quad \left. \gamma_C \right] k \\
 S_{2,15} & : \frac{1}{6} \{h_5\gamma_C + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (L_3 + h_5 + h_4)\gamma_{GM2}\} - \frac{1}{2} (L_3 + h_3 + h_4 + h_5)\gamma_M - \frac{1}{3} Z_1 \\
 S_{2,16} & : \frac{h_5}{2} [2\{w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_C + (h_3 + L_3 + h_4)\gamma_{GM}\} + h_5\gamma_{GM}] KA3 \sin \delta - \frac{1}{3} Z_2' \\
 & \quad - \left[\left(\frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{2} + h_5 \right) (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)\gamma_C + \frac{h_5^2}{2} \gamma_C \right] k \\
 S_{2,17} & : -\frac{1}{3} h_4 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 S_{2,18} & : -\frac{1}{3} h_1 (\gamma_C - \gamma_C) \\
 S_{2,19} & : -\frac{1}{3} \{(\gamma_C - \gamma_C)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3\} \\
 S_{2,20} & : -\frac{1}{3} (\gamma_C - \gamma_{GM2})h_3 \\
 A_{19,1} & : \frac{(\gamma_C - \gamma_C)^2 h_1^2 - \gamma_C - \gamma_C}{75} h_1 \\
 A_{19,2} & : -S_{2,2} + \frac{2}{75} Z_2' h_1 (\gamma_C - \gamma_C) \\
 A_{19,3} & : \frac{1}{75} \left\{ (\gamma_C - \gamma_C)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3 \right\}^2 - \frac{1}{2} \{(\gamma_C - \gamma_C)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3\} \\
 A_{19,4} & : -S_{2,4} + \frac{2}{75} Z_2' \{(\gamma_C - \gamma_C)h_2 + (\gamma_C - \gamma_{GM2})L_3\} \\
 A_{19,5} & : \frac{1}{75} (\gamma_C - \gamma_{GM2})^2 h_3^2 - \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_{GM2})h_3 \\
 A_{19,6} & : -S_{2,6} + \frac{2}{75} Z_2' h_3 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 A_{19,7} & : \frac{1}{75} (\gamma_C - \gamma_{GM2})^2 h_4^2 - \frac{1}{2} (\gamma_C - \gamma_{GM2})h_4 \\
 A_{19,8} & : -S_{2,8} + \frac{2}{75} Z_2' h_4 (\gamma_C - \gamma_{GM2}) \\
 A_{19,9} & : A_{9,9} \\
 A_{19,10} & : A_{9,10} \\
 A_{19,11} & : A_{9,11} \\
 A_{19,12} & : A_{9,12} \\
 A_{19,13} & : A_{9,13}
 \end{aligned}$$

$$A_{19,14} : A_{9,14}$$

$$A_{19,15} : \frac{1}{75} \left\{ (h_1+h_2-L_3)\gamma_C + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM_2} + h_5\gamma_C + Z_1 \right\}^2 - \frac{1}{2} \{ h_5\gamma_C + (h_1+h_2-L_3)\gamma_C + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM_2} \} + \frac{1}{2} (L_3+h_3+h_4+h_5)\gamma_M$$

$$A_{19,16} : -S_{2,16} - \frac{1}{2} Z_2' + \frac{2}{75} Z_2' \{ (h_1+h_2-L_3)\gamma_C + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM_2} + h_5\gamma_C + Z_1 \}$$

$$A_{19,17} : A_{9,17}$$

$$A_{19,18} : A_{9,18}$$

$$A_{19,19} : A_{9,19}$$

$$A_{19,20} : A_{9,20}$$

$$A_{20,1} : S_{2,1}$$

$$A_{20,2} : S_{2,2}$$

$$A_{20,3} : S_{2,3}$$

$$A_{20,4} : S_{2,4}$$

$$A_{20,5} : S_{2,5}$$

$$A_{20,6} : S_{2,6}$$

$$A_{20,7} : S_{2,7}$$

$$A_{20,8} : S_{2,8}$$

$$A_{20,15} : -\frac{1}{6} \{ (h_1+h_2-L_3)\gamma_C + (L_3+h_3+h_4)\gamma_{GM_2} + h_5\gamma_C \} - \frac{1}{2} (L_3+h_3+h_4+h_5)\gamma_M + \frac{25}{3} - \frac{2}{3} Z_1$$

$$A_{20,16} : S_{2,16} - \frac{2}{3} Z_2'$$

$$A_{20,17} : S_{2,17} \times 2$$

$$A_{20,18} : S_{2,18} \times 2$$

$$A_{20,19} : S_{2,19} \times 2$$

$$A_{20,20} : S_{2,20} \times 2$$

$$B_1 : A_{5,2} \times \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right)$$

$$B_2 : (A_{5,2} + A_{7,4}) \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) + \frac{f_{s0}}{F_1} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0 L_4 \right)$$

$$B_3 : (A_{5,2} + A_{7,4} + A_{7,6}) \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) + \frac{f_{s0}}{F_1} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0 L_4 + L_0 h_3 \right)$$

$$B_4 : (A_{5,2} + A_{7,4} + A_{7,6} + A_{8,8}) \left(\frac{f_{s0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) + \frac{f_{s0}}{F_1} \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0 L_4 + L_0 h_3 + L_0 h_4 \right)$$

$$B_5 : \frac{f_{s0} h_1^2}{6} (3w + \gamma_C h_1) K A \cos \delta$$

$$B_6 : f_{i0} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w + \gamma_C h_1) + \frac{h_1 h_2}{2} (2w + h_1 \gamma_C) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} \{ 3w + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C \} + \frac{(h_2 - L_3)}{2} L_3 \{ 2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C \} + \frac{L_3^2}{6} \{ 3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + L_3 \gamma_{GM} \} \right\} K A \cos \delta + \frac{1}{6} L_0^3 \gamma_M + \frac{L_0 L_4^2}{2} \gamma_M \right]$$

$$B_7 : f_{i0} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w + \gamma_C h_1) + \frac{h_1}{2} (h_2 + h_3) (2w + h_1 \gamma_C) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} \{ 3w + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C \} + \frac{1}{2} (h_2 - L_3) (L_3 + h_3) \{ 2w + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C \} + \frac{L_3^2}{6} \{ 3w + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_C + L_3 \gamma_{GM} \} \right\} \right]$$

ブロック式繫船岸の設計について

$$\begin{aligned}
 & + \frac{L_3 h_3}{2} \{2w_2 + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} + \frac{h_3^2}{6} \{3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) + 3L_3 \gamma_{GM} + h_3 \gamma_{GM}\} \} KA \cos \delta \\
 & + \frac{1}{2} L_0^2 \gamma_M \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 \right) + \frac{1}{2} (L_4 + h_3)^2 L_0 \gamma_M \Big] \\
 B_8 : & f_{i0} \left[\left\{ \frac{h_1^2}{6} (3w_2 + \gamma_G h_1) + \frac{h_1 (h_2 + h_3 + h_4)}{2} (2w_2 + h_1 \gamma_G) + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} \{3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} \right. \right. \\
 & + \frac{(h_2 - L_3) (L_3 + h_3 + h_4)}{2} \{2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} + \frac{L_3^2}{6} \{3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} \\
 & + \frac{L_3 (h_3 + h_4)}{2} \{2w_2 + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} + \frac{h_3^2}{6} \{3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (3L_3 + h_3) \gamma_{GM}\} \\
 & + \frac{h_3 h_4}{2} \{2w_2 + 2(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (2L_3 + h_3) \gamma_{GM}\} + \frac{h_4^2}{6} \{3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G \\
 & \left. \left. + (3L_3 + 3h_3 + h_4) \gamma_{GM}\right\} KA \cos \delta + \left(\frac{1}{2} L_0^2 \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 + h_4 \right) + L_0 \times \frac{1}{2} \times (L_4 + h_3 + h_4)^2 \right) \gamma_M \right] \\
 B_{11} : & \left(\frac{f_{i0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left(A_{15,2} + f_{i0} \frac{h_1^2}{2} \gamma_{ck} \right) \\
 B_{12} : & \left(\frac{f_{i0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left(A_{16,4} + f_{i0} k \left(\left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 \gamma_G + \frac{h_2^2}{2} \gamma_G \right) \right) + \gamma_M \left(\frac{L_0^2}{2} + L_0 L_4 \right) \times \frac{f_{i0}}{F_1} + B_{11} \\
 B_{13} : & \left(\frac{f_{i0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left\{ A_{17,6} + f_{i0} k \left(\left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2) \gamma_G + \frac{h_3^2}{2} \gamma_G \right) \right\} + \gamma_M L_0 h_3 \times \frac{f_{i0}}{F_1} + B_{12} \\
 B_{14} : & \left(\frac{f_{i0}}{F_1} \cot \delta - 1 \right) \left[\left(A_{15,2} + f_{i0} \frac{h_1^2}{2} \gamma_{ck} \right) + \left(A_{16,4} + f_{i0} k \left\{ \left(\frac{h_1}{2} + h_2 \right) h_1 \gamma_G + \frac{h_2^2}{2} \gamma_G \right\} \right) \right. \\
 & + \left(A_{17,6} + f_{i0} k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_3 \right) (h_1 + h_2) \gamma_G + \frac{h_3^2}{2} \gamma_G \right\} \right) \\
 & \left. + \left(A_{18,8} + f_{i0} k \left\{ \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3}{2} + h_4 \right) (h_1 + h_2 + h_3) \gamma_G + \frac{h_4^2}{2} \gamma_G \right\} \right) \right] \\
 & + \frac{1}{2} [(L_3 - L_4)^2 \gamma_M + (L_3 - L_4) \gamma_M + (L_4 + h_3 + h_4)] \times \frac{f_{i0}}{F_1} \\
 B_{15} : & f_{i0} \frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA 2 \cos \delta \\
 B_{16} : & f_{i0} \left[\left(\frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA 2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} \{3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} KA 2 \right. \right. \\
 & + \frac{h_1 h_2}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA 2 + \frac{(h_2 - L_3) L_3}{2} \{2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} KA 2 \\
 & \left. \left. + \frac{L_3^2}{6} \{(2\varepsilon + 1)w_2 + (2\varepsilon + 1)(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + L_3 \gamma_{GM}\} KA 3 \right) \cos \delta \right. \\
 & \left. + \gamma_M \left(\frac{L_3 - L_4}{2} L_4^2 + \frac{1}{6} (L_3 - L_4)^3 \right) \right] \\
 B_{17} : & f_{i0} \left[\left(\frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA 2 + \frac{h_1 (h_2 + h_3)}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA 2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} \{3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} KA 2 \right. \right. \\
 & + \frac{(h_2 - L_3) (L_3 + h_3)}{2} \{2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} KA 2 + \frac{L_3^2}{6} \{(2\varepsilon + 1)[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] + L_3 \gamma_{GM}\} KA 3 \\
 & + \frac{L_3 h_3}{2} \{(1 + \varepsilon)[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G] + L_3 \gamma_{GM}\} KA 3 + \frac{h_3^2}{6} \{3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G + (3L_3 + h_3)\} KA 3 \\
 & \left. \left. \times \cos \delta + \gamma_M \left(\frac{L_0 (L_4 + h_3)^2}{2} + \frac{1}{2} L_0^2 \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 \right) \right) \right] \right] \\
 B_{18} : & f_{i0} \left[\left(\frac{h_1^2}{6} (3w_2 + h_1 \gamma_G) KA 2 + \frac{h_1 (h_2 + h_3 + h_4)}{2} (2w_2 + \gamma_G h_1) KA 2 + \frac{(h_2 - L_3)^2}{6} \{3w_2 + (3h_1 + h_2 - L_3) \gamma_G\} \right. \right.
 \end{aligned}$$

高力健次郎

$$\begin{aligned}
 & KA2 + \frac{1}{2}(h_2 - L_3)(L_3 + h_3 + h_4) \{2w_2 + (2h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G\} KA2 + \frac{L_3^2}{6} \{(2\varepsilon + 1)[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G] \\
 & + L_3\gamma_{GM}\} KA3 + \frac{L_3(h_3 + h_4)}{2} \{(1 + \varepsilon)[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G] + L_3\gamma_{GM}\} KA3 + \frac{h_3^2}{6} \times \\
 & \{3w_2 + 3(h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (3L_3 + h_3)\gamma_{GM}\} KA3 + \frac{h_3 + h_4}{2} \{2[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + L_3\gamma_{GM}] + h_3\gamma_{GM}\} \\
 & KA3 + \frac{h_4^2}{6} \{3[w_2 + (h_1 + h_2 - L_3)\gamma_G + (h_3 + L_3)\gamma_{GM}] + h_4\gamma_{GM}\} KA3 \cos \delta \\
 & + \gamma_M \left(\frac{1}{2} L_0^2 \left(\frac{1}{3} L_0 + h_3 + h_4 \right) + \frac{1}{2} L_0 (L_4 + h_3 + h_4)^2 \right) \Big]
 \end{aligned}$$

- C_1 : $(C_{01} - C_{02})h_1$
 C_2 : $(C_{01} - C_{02})h_2$
 C_3 : $(C_{01} - C_{02})h_3$
 C_4 : $(C_{01} - C_{02})h_4$
 C_5 : $C_{01}h_5 + C_{02}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$
 B_9 : $-(M_{EHA6} + M_{PWA6}) - Z_2^2/75$ 前出
 B_{10} : $-B_9$
 $S_{2,0}$: $(M'_{EHA1} + M_{PWA6})$ 前出
 B_{19} : $-S_{2,0} - \frac{1}{75}(Z_2')^2$
 B_{20} : $S_{2,0}$
 Z_1 : $-(L_3 + h_3 + h_4 + h_5)\gamma_M$
 Z_2 : $A_{7,2} + A_{7,4} + A_{7,6} + A_{8,8} + A_{22,10}$