

ケーソン式防波堤設計における部材安全性について

○復建調査設計（株） 正 上村 稔
国土交通省 正 長尾 毅
復建調査設計（株） 710- 吉浪 康行

1. はじめに

構造物の設計計算において、安全率を用いて安全性を評価する方法が長年にわたり採用されてきた。この方法は、簡便であるものの構造物の破壊に対する安全性が定量的には明確でない。こうした従来型の設計に替わるより合理的な方法として提案されているのが信頼性設計である。信頼性設計は、設計の過程で含まれる様々な不確実性を定量的に評価し、構造物の破壊確率を許容値以下に収めるものである。既に防波堤の滑動、転倒、支持力について信頼性設計による評価、適用性について研究されている。ここでは、ケーソン式防波堤の部材安全性に関する信頼性設計を構築するための資料として、各種安全係数と安全性指標との関係について種々のケーススタディーを行った。

表-3 各種パラメータ

各種パラメータ	平均値 μ	変動係数 $V = \sigma / \mu$
耐力算定精度パラメータ	1.13	0.14
断面諸元精度パラメータ	1.00	0.10
鉄筋の引張降伏強度(kN/m ²)	393300	0.05
コンクリートの圧縮強度(kN/m ²)	20308	0.05
断面力算定精度	1.00	0.15
鉄筋コンクリートの単位体積重量(kN/m ³)	23.52	0.02
無筋コンクリートの単位体積重量(kN/m ³)	23.05	0.02
中詰砂の単位体積重量(kN/m ³)	20.40	0.04
潮位(m)	0.50	0.00
揚圧力	74.56	0.238
ケーソン全水平力(波力による)	1680.15	0.238

2. 検討条件

対象としたケーソン式防波堤は、表-1に示す5港（case1～case5）である。安全係数は、荷重係数（変動荷重、波力）と構造物係数を変化させた。表-2に示すように現行設計の他、caseA～caseLの計13ケースについて、それぞれの係数を変化させている。安全性指標 β は、破壊点周りのテイラー展開により算定した。防波堤に作用する荷重の設計用値は、港湾の技術基準を参考とし算定した。荷重条件としては、一般的に一番危険となる波力作用時としている。各パラメータ（平均値、変動係数）は、表-3に示すとおりである。

表-2 各ケースの安全係数

港名	N港	O港	M港	T港	X港
ケース名	case1	case2	case3	case4	case5
終局限界					
波高(m)	13.4	14.3	7.5	13.5	13.1
周期(s)	13.5	13.0	13.0	14.0	13.5
使用限界					
波高(m)	7.2	6.9	4.6	7.2	9.2
周期(s)	8.5	8.5	8.5	8.5	10.8
水深(m)	-21.0	-29.5	-12.3	-17.0	-16.0
ケーソン設置水深(m)	-16.0	-18.5	-7.0	-13.0	-13.0
ケーソン寸法(m)	8×H×L	22.0×17.0×17.0	20.0×19.0×14.0	10.5×9.5×14.0	19.3×15.0×13.0
		19.0×15.0×12.0			

表-1 各港の諸条件

ケース名	現行設計	caseA	caseB	caseC	caseD	caseE	caseF
荷重係数							
永久荷重	1.1(0.90)	1.1(0.95)	1.1(0.90)	1.1(0.95)	1.1(0.90)	1.1(0.95)	1.1(0.90)
変動荷重	1.2(0.80)	1.1(0.90)	1.1(0.90)	1.2(0.80)	1.2(0.80)	1.1(0.90)	1.1(0.90)
波力	1.3(0.70)	1.1(0.90)	1.1(0.90)	1.2(0.80)	1.2(0.80)	1.1(0.90)	1.1(0.90)
偶発荷重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
構造物係数	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.05	1.05

ケース名	caseG	caseH	caseI	caseJ	caseK	caseL
荷重係数						
永久荷重	1.1(0.95)	1.1(0.90)	1.1(0.95)	1.1(0.90)	1.1(0.95)	1.1(0.90)
変動荷重	1.2(0.80)	1.2(0.80)	1.1(0.90)	1.1(0.90)	1.2(0.80)	1.2(0.80)
波力	1.2(0.80)	1.2(0.80)	1.1(0.90)	1.1(0.90)	1.2(0.80)	1.2(0.80)
偶発荷重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
構造物係数	1.05	1.05	1.1	1.1	1.1	1.1

※表中の()内のは、荷重を小さく考えた方が荷重が大きくなる場合に適用

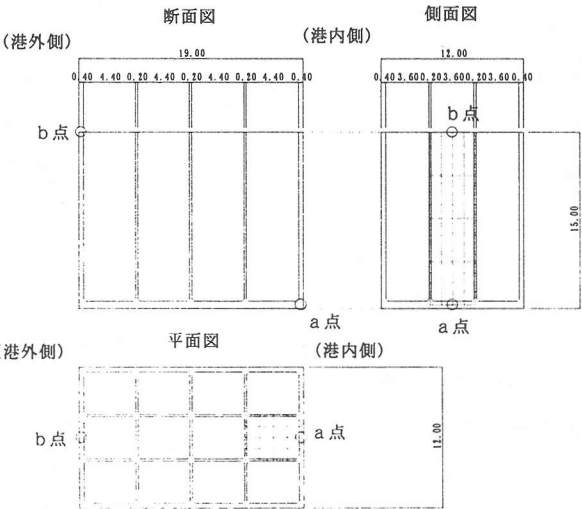


図-1 ケーソン構造図 (case5)

3. 結果

図-2～図-5は、底版・側壁の「波の山」作用時における各安全係数と安全性指標 β （以降 β と表記）との関係を示したものである。底版については、図-1のa点（法線直角方向の下側鉄筋）、側壁については図-1のb点（鉛直方向の外側鉄筋）での結果である。それぞれ、case1～case5までの上下限值、平均値を示している。

構造物係数（ γ_i ）を1.0～1.1変動させた場合、底版の β は平均値で2.83～3.18、側壁は3.40～3.56変動している。構造物係数10%の変動に対し、 β が底版12%、側壁5%程度変動している。（図-2、図-4参照。）

変動荷重係数・波力（ γ_{fv} ）を1.1～1.2変動させた場合、底版の β は、平均値で2.85～3.18変動する。現行（変動荷重係数1.2、波力1.3）とcaseL（変動荷重係数1.2、波力1.2）を比べると β の変動はない。底版のこの地点は、揚圧力（波力）が働かず地盤反力（変動荷重）が大きい地点であることから、 β はこの荷重状況を反映した結果となっている。（図-3参照。）側壁に関しては、波力の荷重係数1.1～1.3に対し β は平均値で3.40～3.91の変動し、荷重係数18%の変動に対し15%程度 β が変動している。（図-5参照。）

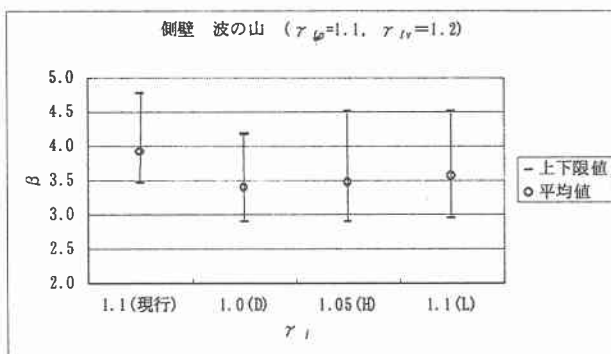
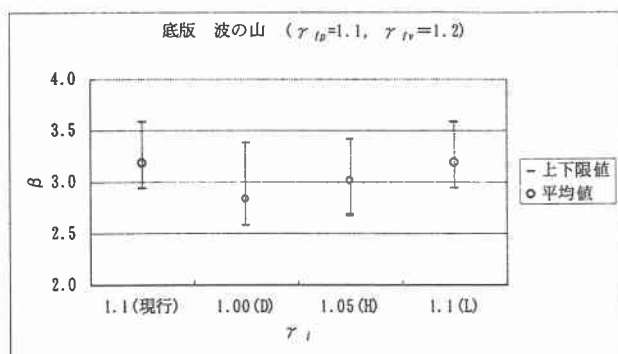


図-2 構造物係数（ γ_i ）と安全性指標（ β ）の関係

図-4 構造物係数（ γ_i ）と安全性指標（ β ）の関係

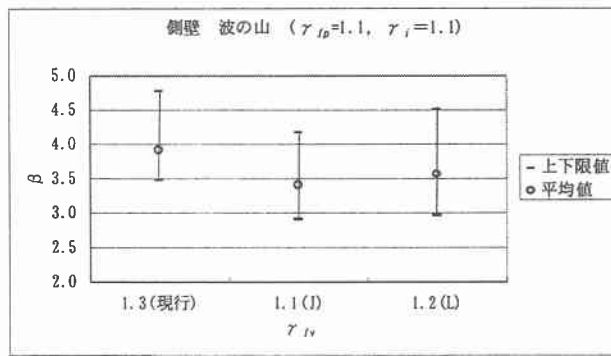
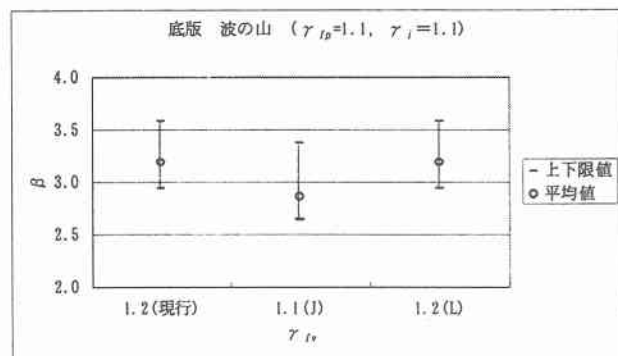


図-3 変動荷重係数（ γ_{fv} ）と安全性指標（ β ）の関係

図-5 波力荷重係数（ γ_{fv} ）と安全性指標（ β ）の関係

4. あとがき

各種安全係数と β の関係を示したが、安全係数に関しては10%の変動により β は5～12%程度の変動が見られた。上記の結果は、ケーソンのある格子点での結果であるため、今後全体的な傾向を把握し評価する必要がある。

参考文献

1)長尾毅,大久保昇,川崎進,林由木夫:信頼性設計法による防波堤の全体系安全性(第3報)～レベル1,2の設計法の適用性総括～,港湾技術研究所報告,vol.37,No.2,1998,pp131～176. 2)長尾毅,吉浪康行:信頼性設計法によるケーソン式防波堤の外的安定性評価,構造工学論文集,vol.47A,2001. 3)運輸省港湾局監修,日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説,1999.