

1. はじめに 許容応力度法によって行われてきた鉄筋コンクリート港湾構造物の設計は、限界状態設計法に移行することが予定されている。標準的な安全係数を用いた場合、ケーソン式岸壁の底版では地震時の設計で限界状態設計法による鉄筋量が許容応力度法より10~15%程度増加する¹⁾が、地震によって部材の終局破壊が認められた例はこれまでほとんどない。本研究は、地震時の設計が過大にならないよう、兵庫県南部地震および三陸はるか沖地震を対象にしたパラメータ解析を行い、適切な安全係数を得ることを目的とする。なお、ケーソン式岸壁は、地震時にケーソンの全体系の変形が生じることがあっても、部材のみの塑性変形が生じることが考えられないため、断面の終局耐力のみを対象としている。

2. 検討方法 兵庫県南部地震については神戸港摩耶地区第一突堤の第二岸壁、第一岸壁先端異形函を、また三陸はるか沖地震については、八戸港八太郎地区-13m岸壁を対象とした。これらは液状化の影響及び地震による変位が比較的少なく、かつ部材の終局破壊が生じなかったと考えられる施設である。作用震度の推定は、地震応答計算(SHAKE)等で得られた地表面加速度の最大値(SMAC相当)から関係式²⁾($k=1/3 \cdot (\alpha/g)^{1/3}$ 、ここに k :震度、 α :最大地盤加速度(Gal)、 g :重力加速度(Gal)、ただし $\alpha > 0.2g$)を用いた結果、神戸港第二岸壁は0.22、第一岸壁先端異形函は0.27、八戸港岸壁は0.21と推定された。震度法による底版の作用荷重を八戸港岸壁を例に取り図-1に示す。安全係数は表-1に示す値を設定した。材料係数、荷重係数(変動荷重および地震荷重)、構造解析係数、構造物係数は確定的に扱い、永久荷重の荷重係数(γ_{rd})と部材係数(γ_b)を変化させた。部材係数のうち(a)はコンクリート標準示方書³⁾の標準値であり、(b)は鉄道構造物⁴⁾で用いられている値である。

3. 解析結果と考察 神戸港のうち表-2に第二岸壁、表-3に第一岸壁の結果を、表-4には八戸港の結果を示す。表に示した値は断面力と断面耐力の比の値で、隔壁の中で比の値が最大となるポイントにおける値である。まず曲げについて検討すると、神戸港第二岸壁では設計震度(0.25)に対して作用震度が小さいことから、断面耐力が断面力を上回る。逆に神戸港第一岸壁については、設計震度(0.25)以上の震度が作用したため、下側筋に関して断面力が断面耐力を上回る。八戸港は、やはり設計震度(0.1)に対して作用震度が非常に大きいため、断面力が断面耐力を大きく上回る。曲げに関する部材係数として標準的

表-1 安全係数一覧

材料係数	コンクリート	1.3
	鉄筋	1.0
荷重係数	変動荷重	1.0
	地震荷重	1.0
構造解析係数		1.0
構造物係数		1.0
荷重係数	永久荷重	(a)1.1(0.9) (b)1.0
部材係数	曲げ	(a)1.15 (b)1.0
	せん断(コンクリート)	(a)1.3 (b)1.15 (c)1.0
	せん断(鉄筋)	(a)1.15 (b)1.0

(注) ()内の数字はその荷重が有利な方向に動く場合用いる。

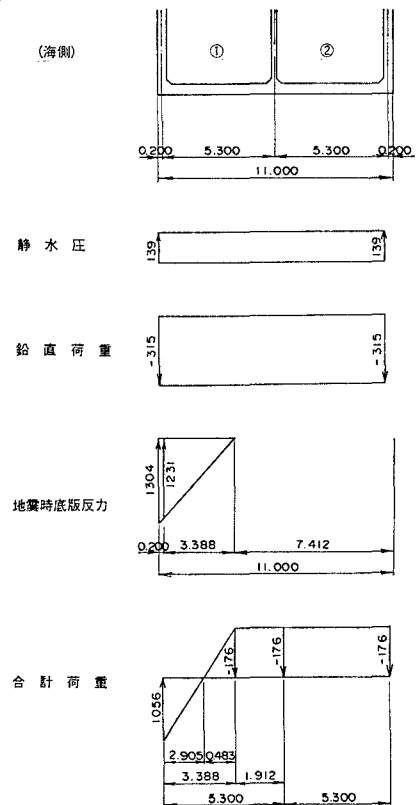


図-1 底版作用荷重(kN/m²)

な1.15を用いた場合、比の値が神戸港第一岸壁では1.55～1.92、八戸港では1.52～2.12と非常に大きい。現在用いている安全性照査方法は結果的にかなり安全側に設定されているといえる。この原因としては断面力算定(地震時土圧、底版反力、設計荷重の算定法など)における不確定要因が関係していると思われる。部材係数は本来部材耐力評価に関する不確定要素を考慮すべきであるが、全体系安全性照査方法との整合性、荷重の精緻な計算法の提案の困難性などから、経過的措置として設計のバランスから、不確定要素の影響を曲げに関する部材係数を1.0とすることでカバーすることが適当であると判断される。また永久荷重の荷重係数は影響度は低いものの、1.0が適当と考えられる。

次にせん断について検討する。神戸港第二岸壁の結果を見ると、海側のフーチングでせん断力とせん断耐力の比の値が1.0を上回る。安全性照査方法はやはり結果的に安全側に設定されているといえる。荷重算定の誤差に加えて、断面耐力の算定誤差(対象としたケーソンはせん断補強筋を配しておらず、せん断耐力算定式はせん断補強筋の存在を前提に構築されている)も原因として考えられる。コンクリートに関する部材係数を標準的な1.3とした場合、比の値が最大で1.3～1.4程度となり、過大な設計となる。解析結果からは永久荷重の荷重係数およびコンクリートのせん断耐力に関する部材係数をともに1.0とすることも可能であるが、せん断については耐荷メカニズムを含めて不明確な点が多いことを考慮すると、総合的なバランスとしてはコンクリートのせん断耐力に関する部材係数を1.15程度に、永久荷重の荷重係数は1.0とすることが適切であると考えられる。鉄筋のせん断耐力に関する部材係数は、対象構造物にせん断補強筋が配されていないため影響度を分析できないが、軸方向筋のみが配された状態でコンクリートに関する係数を1.0としても計算上耐力を評価できることから、鉄筋に関する部材係数としては1.0としてよいと考えられる。

4. まとめ 設計のバランスから、ケーソン式岸壁底版の地震時に関する安全係数として、表-1に示す値のうち(b)の値をとることができる。ただしこの値は、捨石マウンド上に築造される根入れのない通常の岸壁のケーソンで、荷重の特性値を現行設計法と同じ方法で求める場合に適用される。

最後に、解析にあたり運輸省第三港湾建設局震災復興建設部に協力いただきましたことを感謝します。

参考文献 1) 長尾 毅: 限界状態設計法の鉄筋コンクリート港湾構造物への適用に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol.33, No.4, 1994, pp.69~113. 2) 野田節男ほか: 重力式岸壁の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, Vol.14, No.4, 1975, pp.67~111. 3) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 1996. 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物), 丸善, 1992.

表-2(a) 神戸港第二岸壁底版(曲げ)

		法線平行方向		法線直角方向		
		γ_b		γ_b		
		1.0	1.15	1.0	1.15	
上側筋	γ_{rd}	1.0	0.54	0.62	0.50	0.57
		1.1	0.54	0.63	0.50	0.58
下側筋	γ_{rd}	1.0	0.33	0.38	0.37	0.43
		1.1	0.33	0.38	0.38	0.43

表-2(b) 神戸港第二岸壁フーチング

		γ_b			
		1.0	1.15	1.3	
		曲 げ			
上側筋	γ_{rd}	1.0	0.50	0.58	
		1.1	0.51	0.58	
下側筋	γ_{rd}	1.0	0.65	0.74	
		1.1	0.67	0.78	
せん断					
海側	γ_{rd}	1.0	1.03	1.19	1.35
		1.1	1.08	1.24	1.41
陸側	γ_{rd}	1.0	0.57	0.66	0.74
		1.1	0.57	0.66	0.75

表-3 神戸港第一岸壁底版(曲げ)

		法線平行方向		法線直角方向		
		γ_b		γ_b		
		1.0	1.15	1.0	1.15	
上側筋	γ_{rd}	1.0	0.76	0.87	0.41	0.47
		1.1	0.76	0.87	0.41	0.47
下側筋	γ_{rd}	1.0	1.67	1.92	1.35	1.55
		1.1	1.67	1.92	1.35	1.55

表-4 八戸港岸壁底版(曲げ)

		法線平行方向		法線直角方向		
		γ_b		γ_b		
		1.0	1.15	1.0	1.15	
上側筋	γ_{rd}	1.0	1.32	1.52	1.56	1.79
		1.1	1.33	1.53	1.57	1.81
下側筋	γ_{rd}	1.0	1.66	1.91	1.83	2.10
		1.1	1.68	1.93	1.85	2.12