

神戸港のケーソン式岸壁にみられる地震時設計についての考察

福井工業大学 工学部 正員 松並 仁茂

1. まえがき

神戸港は兵庫県南部地震によって甚大な被害を被った。この港の岸壁はその9割がケーソンを用いた重力式構造物でできているといわれているが、これらケーソン式岸壁の被災状況はおおむね同様の被災パターンがみられると専門誌^{1) 2)}に報ぜられている。すなわち、ケーソン本体が数10cm程度の沈下と若干の傾斜を伴って数10cm~2m程度前進したが、同時に、直背後の地盤が最大3m程度沈下・陥没した。ケーソン本体の移動にもかかわらず、ケーソン自体の破損はなく、また、岸壁法線の直線性はかなり保持されているということである。ここでは、この特徴あるケーソン岸壁に着目し、現行の、いわゆる港湾施設の設計基準³⁾に照査し、地震時における設計の妥当性について考察する。

2. 神戸港のケーソン式岸壁にみられる地震時設計についての考察

神戸港のケーソン式岸壁は明治後期から建造されているが、ここでの検討の対象となる岸壁は被災の程度や建造年代および施設の管理機関の違いなどから、①新港突堤岸壁、②ポートアイランド岸壁、③麻耶埠頭の耐震強化岸壁の3か所の岸壁を選んだ。これらの3か所の岸壁の設計資料は手元には何もない。それゆえ、専門誌の被災報告^{1) 2)}などから各々の標準断面図を基に当初の設計条件などを推測し、これに今回の被災の情報を加えてケーソン岸壁の安定について検討することにした。

1) 新港突堤岸壁の考察

新港突堤岸壁は大正12(1923)年に国によって建造されたようである。本岸壁の当初の設計において、約1.8mもあるフーチングの土圧計算への関わり方が重要である。表-1はその検討結果であるが、壁面摩擦角を15度、 $(2/3)\phi$ 、 ϕ (土の内部摩擦角)とした時の3通りについて示している。この表からは壁面摩擦角を土の内部摩擦角に等しく採っていたと推察されるが、これは過大であり、せいぜい15度程度とすべきものと思われる。今回の地震により、滑動・沈下・背後エプロンの陥没・沈下という被災の典型的パターンを示していると報告¹⁾されている。ここでは、被災報告²⁾から本岸壁に作用した地震時最大加速度を200Galとし、裏込め土の内部摩擦角を砂の部分は35度、捨石部分は45度、壁面摩擦角はいずれも15度として、背後地盤の沈下量を求めたところ4.0mとなった。これは、最大の沈下量3mより1m大きくなった。

2) ポートアイランド岸壁の考察

ポートアイランド岸壁は昭和56(1981)年に完成したが、神戸港埠頭公社が管理している。設計震度はすべて0.15であるので、一般の公共岸壁の0.18より20%小さい。被災報告から本岸壁に作用した地震時最大加速度を求めると550Galと極めて大きい値になった。この値をそのまま物部・岡部の土圧式に適用しても計算不能となる。ここでは、岸壁背後地盤の陥没量を3mとして、このときの破壊震度を求めたが、0.29となった。重力式岸壁においては地盤最大加速度が200Galを超える範囲では、作用震度は野田・上部等の関係式⁴⁾を用いていることになっているが、地盤最大加速度500Galの作用震度は0.275を得る。これら両震度の値はほぼ等しいといえるが、これは野田・上部等の関係式の有用性について妥当なものと確認することができたといえる。

3) 麻耶埠頭耐震岸壁の考察

麻耶埠頭耐震岸壁は昭和42(1967)年に完成した。今回の地震で殆ど被害を受けなかったことから、広く知られることとなった。この岸壁は既存の鋼矢板セル式岸壁の前方にケーソンを設置し、設計震度を0.25と他の岸壁に較べて極めて大きく採り、耐震岸壁として改修されたものである。このケーソンの下にアスファルトマットが敷設されているが、これは滑り抵抗を増すためのものと思われる。ここでの検討事項は、当初設計において、ケーソン背後の鋼矢板セル構造物が岸壁の安定に与える影響と、アスファルトマットの滑り

抵抗の効用とについて、いかに考慮していたかについて確かめることにある。表-2は検討結果であるが、これによると、岸壁背後にあるセル構造物を考慮していることと、そして、アスファルトマット使用による摩擦係数の増加を行なっていないことが分かる。

今回の地震について、本岸壁の法線直角方向の最大加速度 $310\text{Gal}^{2)}$ を用いた検討結果が表-3であるが、これによればアスファルトマット使用による摩擦係数の増加を考慮したようにみえる。しかし、野田・上部等の関係式による作用震度は 0.227 となるが、当初の設計計算結果などを考慮すると、本岸壁はアスファルトの効用を期待しなくても、今回の地震に対して十分安全であったといえることができる。

表-1 新港突堤岸壁において壁面摩擦角が岸壁の安定に与える影響（地震時）

壁面摩擦角（度）	（設計基準値）	15度	$(2/3)\phi$	ϕ
上載荷重 (tf/m^2)		1.0	1.0	1.0
滑動の安全率	1.0	0.86	0.94	1.04
転倒の安全率	1.1	1.52	1.74	2.04
端趾圧 (tf/m^2)	40.0	52.6	43.0	36.8

表-2 摩耶埠頭耐震強化岸壁において背後のセル構造物が岸壁の安定に与える影響（地震時）

セル構造物の考慮条件	（設計基準値）	セルを考慮しない場合	セルを考慮する場合
上載荷重 (tf/m^2)		1.0	1.0
滑動の安全率	$\mu=0.6$	0.88	1.00
	$\mu=0.8$	1.17	1.34
転倒の安全率	1.1	2.10	2.15
端趾圧 (tf/m^2)	50.0	37.9	37.0

表-3 摩耶埠頭耐震強化岸壁の地震時（ 310Gal ）安定計算結果

セル構造物の考慮条件	（設計基準値）	セルを考慮する場合
上載荷重 (tf/m^2)		1.0
滑動の安全率	$\mu=0.6$	0.84
	$\mu=0.8$	1.12
転倒の安全率	1.1	1.79
端趾圧 (tf/m^2)	50.0	45.0

3. おわりに

物部・岡部の地震時土圧式は、特に、地震時主働土圧を的確に表すものとして広く認識されている。これを用いて、運輸省神戸港工事事務所構内の地震計の記録をそのまま 3km 以上も離れているケーソン式岸壁の被災挙動について検討したが、現行の港湾施設設計法が地震時設計に十分応えるものであることが分かった。殊に、重力型岸壁の地震震度の与えかたについては、野田・上部等の作用震度の関係式が有効であることが分かった。設計震度の決定は最終的には政策的判断によるものではあるが、その重点資料として技術的・経済的な検討がさらに行われることが重要であることは言うまでもないことである。

参考文献

- 1) 上部達生：兵庫県南部地震による港湾施設等の被害，土木学会誌，Vol. 80-4，PP. 6-10，1995年4月
- 2) 井合 進：ケーソン式岸壁の被害の特徴，土木学会誌，Vol. 80-6，PP. 46-49，1995年6月
- 3) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説（改訂版），日本港湾協会，1995年6月
- 4) 野田節男・上部達生・千葉忠樹：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. 4，1976年4月