

ケーソン式岸壁の 被害の特徴

Earthquake Damage to Caisson Type Quay Walls

正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 構造部地盤震動研究室室長 **井合 進** Susumu IAI

はじめに

阪神・淡路大震災では、神戸港をはじめとする港湾の施設に著しい被害が発生した。その概要については、本誌4月号¹⁾に報告されている。本報告では、一歩進めて、これらの被害の特徴についてまとめてみたい。なお、紙面の制約もあることから、本報告では、神戸港の岸壁の9割を占めるケーソン式岸壁に焦点をあてることとしたい。

ケーソン式岸壁の概要

岸壁には種々の構造のものがあるが、ケーソン式岸壁は、図-1に示すとおり、海底地盤の上に鉄筋コンクリート製のケーソンを設置し、ケーソン底面の摩擦力によって、ケーソン背後（陸側）の土砂を支える構造となっている。このような安定の機構が発揮されるためには、基礎地盤（海底地盤）が十分な支持力を発揮することが前提となっており、基礎地盤が軟弱な粘性土などの場合には、基礎地盤を地盤改良し、その支持力を確保しなければならない。

基礎地盤の地盤改良には種々の工夫があるが、神戸港の多くのケーソン岸壁では、図-1に示すとおり、置換工法による改良がなされている。置換えの材料としては、ポートアイランドや六甲アイランドのケーソン式岸壁では、ケーソン背後の埋立に使われたものと同じまき土が使われている。

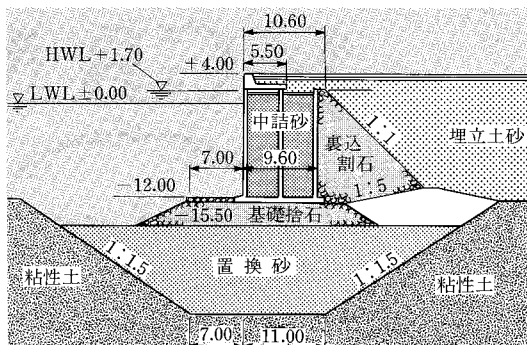


図-1 ポートアイランド岸壁標準断面図

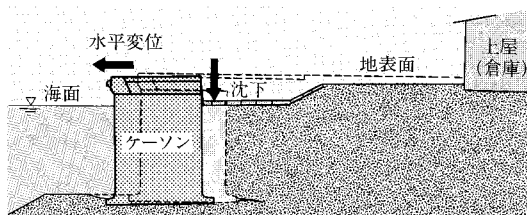


図-2 ケーソン式岸壁の被災形態の概念図

地震時の海側への変位

ケーソン式岸壁では、地震の揺れが設計で想定した地震動レベルを越えれば、図-2に示すとおり、ケーソンが海側へ移動し、その分だけ背後の地盤が沈下するなどの恐れがでてくる。

図-3, 4に、ポートアイランドおよび六甲アイランドに建設された岸壁の地震後の残留変位を示している。これは、運輸省第三港湾建設局で実施したG.P.S. (Global Positioning System) と呼ば

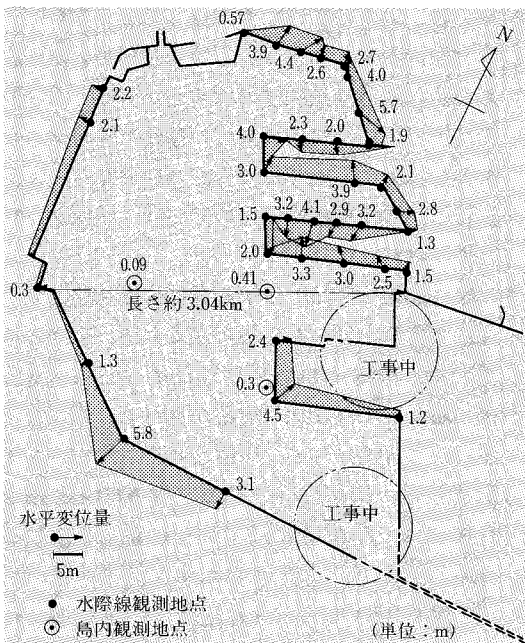


図-3 ポートアイランドの岸壁の地震後水平変位（運輸省第三港湾建設局による G. P. S. 測量結果による）

れる人工衛星を用いた測量の結果である。この結果によれば、大まかには南北方向への変位が卓越する傾向が見られる。図-5 には、神戸港で観測された地震動の記録を基に求めた主な岸壁の海陸方向の最大加速度成分ベクトルを示しているが、

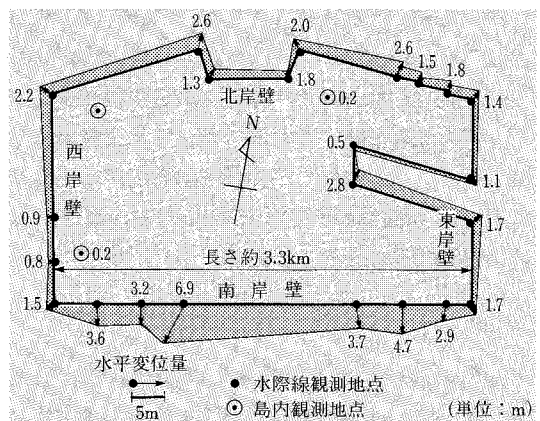


図-4 六甲アイランドの岸壁の地震後水平変位（運輸省第三港湾建設局による G. P. S. 測量結果による）

先に示した岸壁変位の卓越する方向と、ある程度の整合性が見られる。

上下動の影響

ケーソン式岸壁が上下動を受けると、慣性力が上向きに作用した瞬間には、瞬間的に軽くなったのと同様の影響がでてくるため、上下動がない場合に比べてケーソンの水平方向への変位が増大する。この影響は、震度法の考え方では、以下のよう表される。

$$\gamma = \gamma(1 - k_v) \quad (1)$$

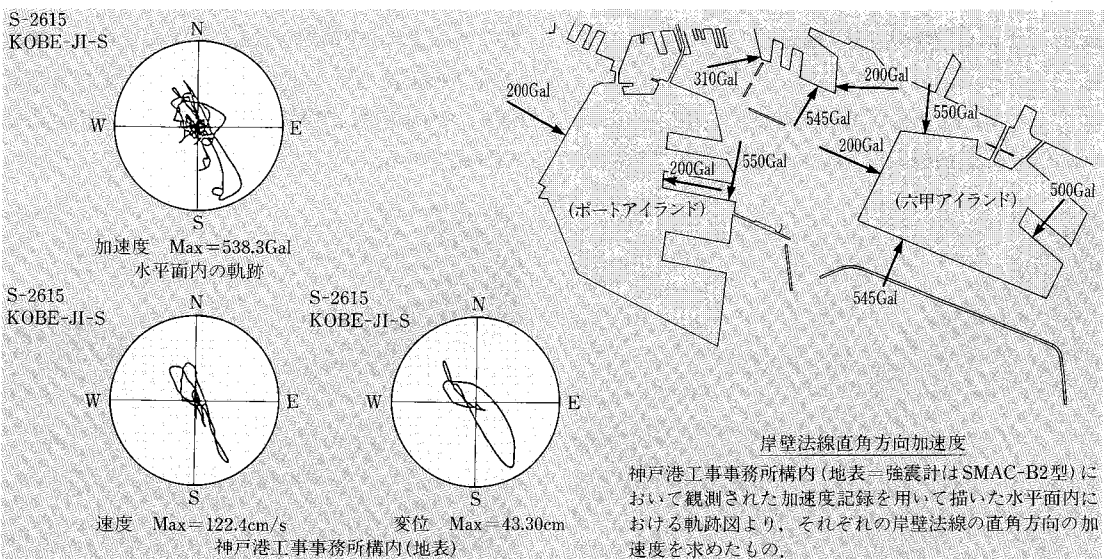


図-5 神戸港の各岸壁における最大加速度ベクトル成分

$$\tan\theta = k_h / (1 - k_v) \quad (2)$$

ここに、 γ =ケーソンまたは土の単位体積重量、 θ =地震合成角、 k_h 、 k_v =水平、鉛直震度である。

今回の地震では、神戸港における鉛直最大加速度は0.3gであるが、これの何割程度が、震度法における等価鉛直震度に相当するかについては、要検討事項となっている。

液状化の影響

地盤の液状化は、1964年の新潟地震をはじめとする既往の地震事例から、構造物の地震被害に著しい影響を与えることはよく知られている。今回の地震では、強い地震動を受けて、ポートアイランドなどで著しく広い平面的範囲にわたって噴砂・噴水などが発生した。埋立に使われたまさ土の液状化とされている。

先に述べたとおり、ポートアイランドなどに建設されたケーソン式岸壁では、まさ土がケーソン背後の埋立および基礎地盤の置換えの材料として用いられているので、これらが液状化してケーソン式岸壁の被害に著しい影響を与えたのではないかと、まず疑ってみるのが自然であろう。事実、岸壁の被害形態は、写真-1に示すとおり、ケーソンの海側への移動とともに、傾斜および沈下を伴っており、このような被害形態は、ケーソンの滑動による被害形態とは異質のものとなっている。

ところが、新潟地震のときに見られたような、いわゆる「液状化」の発生を念頭において検討し

ていくと、以下のような疑問点もでてくる。

- ① 大型岸壁が水没するなどの著しい被害が発生した新潟地震の液状化の状況と比べると、今回の地震では、岸壁の海側への移動は大きかったものの、大型岸壁で水没したものはなく、岸壁法線も比較的原型をとどめており、状況がかなり異なっている。
- ② 既往の事例では、岸壁直背後に液状化の発生を示す痕跡が見られる場合が多いが、今回の地震では、写真-1にも見られるように、岸壁背後に噴砂など液状化の痕跡が見られない場合が多い。これに対して、岸壁と同様のケーソン式構造物をもつポートアイランド中央部の旧護岸の背後では、写真-2に示すように著しい噴砂が発生しており、写真-1に示す岸壁直背後の状況と対照的である。この旧護岸は、地震時には護岸前面も埋立てられた状態となっており、地震による変位がほとんどない。これらの状況の比較から、岸壁においては、ケーソンの海側への移動がケーソン直背後の地盤の過剰間隙水圧を吸収し、ケーソン直背後の地盤はいわゆる「液状化」状態とは異なる状態であった可能性がある。

以上のことから、今回の地震において、どのような「液状化」が発生したのか、また、これが被害にどのような影響を及ぼしたかについて、慎重な検討が必要となっている。現在、現地詳細地盤調査、室内実験、数値解析などを通じて検討が続けられている。



写真-1 ポートアイランドのケーソン岸壁の被害状況



写真-2 ポートアイランドの旧護岸背後の噴砂の状況

ケーソン式岸壁の変形特性

ケーソン式岸壁のような土構造物は、その特性からみて、外力に対して微動だにしないような堅固なものを造るのは困難である。特に今回クラスの強い地震動に対しては、少々変形してもよいという納得のもとで、港としての機能を維持することがポイントとなる。

ケーソン式岸壁では、ケーソンの多少の海側への移動があっても、鉄筋コンクリート製のケーソン本体は健全であるため、復旧は容易な場合が多い。見方によっては、ケーソン式岸壁はケーソンの海側への移動によってエネルギーを吸収し、ケーソン本体への壊滅的な被害を防止する機構が備わっていると見ることもできる。今後の復旧および耐震性向上策においては、このようなケーソン式岸壁の変形特性を踏まえた上で、液状化対策を含む種々の変形抑制策を検討する必要がある。なお、今回の地震において被害が軽微であった耐震性強化岸壁の挙動が参考となることはいうまでもない。

ま と め

- ① 今回の地震におけるポートアイランドや六甲アイランドのケーソン式岸壁の水平変位は、南北方向に卓越する傾向が見られた。これは、大まかには、神戸港での地震動の卓越方向と整合する。

- ② 今回の地震では、神戸港で0.3g程度の鉛直最大加速度を記録しており、このような上下動がケーソン岸壁の水平変位に影響を与えたと考えられる。その影響の定量的な評価については、現在、検討中である。
- ③ 今回の地震では、ポートアイランドなどで広い範囲にわたって液状化が発生し、ケーソン式岸壁の被害には、これらの液状化が影響を与えたと考えられる。しかし、今回の液状化は、1964年の新潟地震の際に発生した液状化とは様相が異なっており、どのような「液状化」が発生したのか、また、これが被害にどのような影響を及ぼしたのかについて、慎重な検討が必要となっている。
- ④ ケーソン式岸壁のような土構造物は、その特性からみて、外力に対し微動だにしないような堅固なものを造ることは困難である。逆にいって、ケーソンの海側への変位によってエネルギーを吸収し、復旧が容易なモードで変形する機構が備わっていると見られる。今後の復旧および耐震性向上策においては、このようなケーソン式岸壁の変形特性を踏まえた上で、液状化対策を含む種々の変形抑制策を検討する必要がある。

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 80-4，pp.6-10，1995年4月

土木学会刊行物

震害調査報告書

◎1983年 日本海中部地震震害調査報告書

B5版 900頁 会員特価 22,660円 定価 25,750円

◎1990年 フィリピン・ルソン地震震害調査報告

B5版 254頁 会員特価 6,300円 定価 7,000円

お申込みはFAXにて「土木学会刊行物販売係」まで FAX 03-5379-2769