

あまり知られていない 兵庫県南部地震の教訓



国立研究開発法人 海上・港湾・航空研究所 港湾空港技術研究所 特別研究主幹 野津 厚

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震の発生から30年が経過した。この地震に関しては、当時の設計地震動をはるかに超える地震動が観測されたこと^{1) 2)}、神戸港のケーソン式岸壁に大変形が生じたこと³⁾、神戸港のすべてのガントリークレーンが被災し物流機能が停止したこと³⁾、関係者の絶大な努力により神戸港は2年間で復旧したこと⁴⁾などはあまりに良く知られているので、ここでは、それほど有名でないが港湾の地震対策を考える上で重要と思われる事項について述べてみたい。

2. 兵庫県南部地震の際に完全に倒壊した栈橋

兵庫県南部地震により被災した栈橋としては神戸港の高浜栈橋が有名である。高浜栈橋については、地震後に鋼管杭の引き抜き調査が行われ、杭頭部だけでなく地中部でも局部座屈が生じていたことが確認されている(図1)。高浜栈橋の被害については、その後多数の研究が行われたこともあり^{6) 7) 8)}、港湾技術者の間では良く知られている。しかし、神戸港では高浜栈橋以外にも被害を受けた栈橋がある。その一つが摩耶埠頭栈橋

橋(図2)であり、図に示すように完全に倒壊し水没している。摩耶埠頭栈橋の被災メカニズムに関する詳しい解析等を筆者は見たことがないが、背後には土留め(ケーソン)があり、兵庫県南部地震におけるケーソン式岸壁の大変形を踏まえれば、ケーソンの海側への移動に伴い鋼管杭に局部座屈が生じ、構造全体として不安定化したものと考えられる。一方、高浜栈橋は、杭頭部と地中部に局部座屈が生じたものの、倒壊は免れ、地震後に一時的に旅客輸送にも用いられていたことは広く知られている。上述の通り高浜栈橋の被害があまりにも有名であるため、栈橋は鋼管杭に局部座屈が生じて倒壊に至らないものであるかのような錯覚に陥ることがある。しかし、実際には倒壊した栈橋も存在している。栈橋の鋼管杭にいったん局部座屈が生じれば、その後の構造全体としての挙動予測は極めて難しいと考えられる。栈橋は鋼管杭に局部座屈が生じない範囲で使う

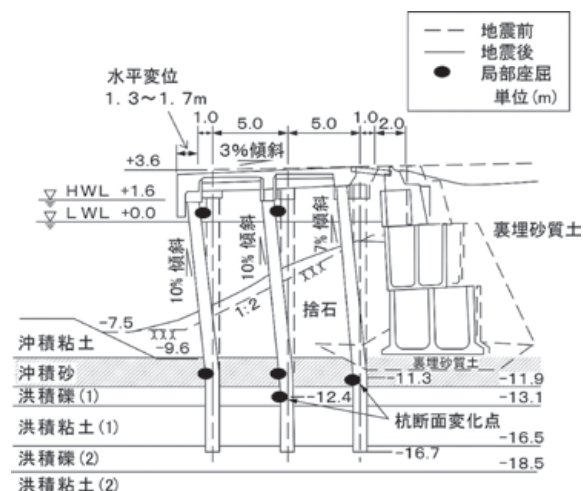


図1 兵庫県南部地震における高浜栈橋の被害⁵⁾
(地中部の杭にも局部座屈が生じている)

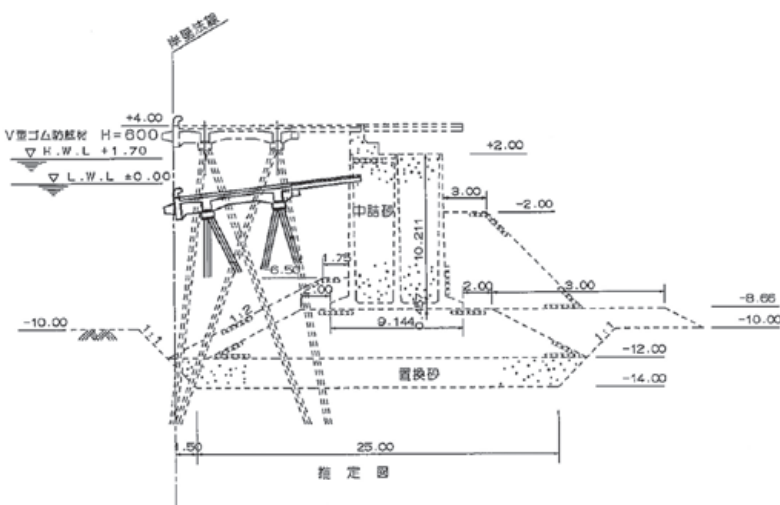


図2 兵庫県南部地震の際に完全に倒壊した神戸港摩耶埠頭栈橋³⁾

べきものであり、大地震後の栈橋の暫定利用を考える場合にもこの点が重要となる。

3. ケーソン式岸壁の変位は滑動ではなく基礎地盤の変形による

兵庫県南部地震に限らず、大地震時に岸壁のケーソンが海側へ移動する事例はしばしば見られる。この点について、以前はケーソンとマウンドとの間に滑動が生じたと解釈されることが多かったと考えられる。しかし、兵庫県南部地震後のケーソン式岸壁の潜水調査では、堤体とその下のマウンドが一体となって海方向に変位していることが観察された。図3は六甲アイランドにおける一例⁹⁾であるが、ケーソン前趾の移動量とマウンド法肩の移動量がほぼ同等となっている。文献10にはより多くの事例が示されている。最近では2022年福島県沖の地震による相馬港のケーソン式岸壁の被害でも同様のことが確認されている¹¹⁾。ケーソン式岸壁を対象とした模型振動実験や数値解析でも、堤体下のマウンドや地盤までモデル化している場合は、滑動よりもマウンドや地盤の変形により堤体に水平変位が生じる場合が多い^{9) 10)}。滑動は設計計算において便宜上仮定している変位モードに過ぎず、実際の変位はこれと異なるモードで生じている可能性が高い。このことを踏まえると、ケーソン式防波堤に対して有効な摩擦増大マット¹²⁾が必ずしもケーソン式岸壁の耐震性向上に寄与するとは言えない。なお、地震時のケーソン式岸壁の挙動が波力を受ける防波堤の挙動と異なるのは、波力がケーソンだけに作用するのに対し（文献12の実験参照）、地震時の慣性力はケーソンだけでなくマウンドやその下の地盤にも作用するためであると考えられる。

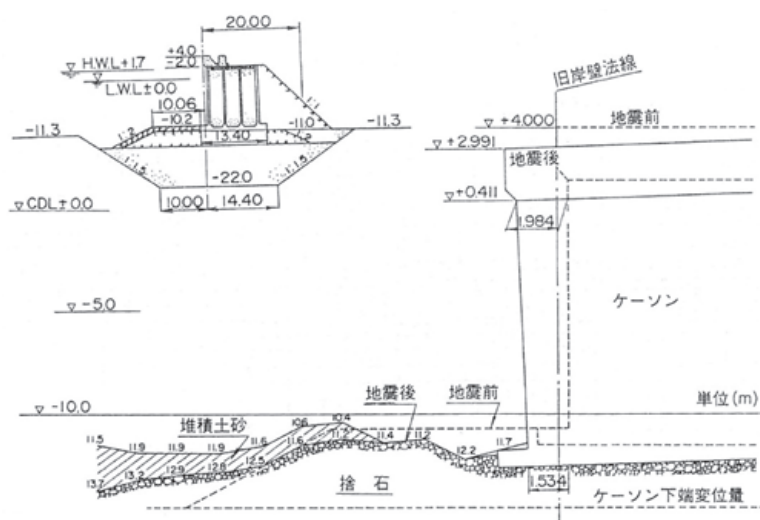


図3 兵庫県南部地震後のケーソン式岸壁の潜水調査結果の一例（六甲アイランド）⁹⁾

4. ガントリークレーンの倒壊要因

大地震時に構造物が仮に大きな損傷を受けたとしても最終的に倒壊しないことは人命の安全確保のために重要である。兵庫県南部地震では神戸港の55基のガントリークレーンは全て損傷を受けたが、倒壊したのは六甲アイランド南側岸壁の1基だけであった³⁾。なぜこの1基だけが倒壊したのか、その理由は長年にわたり筆者には不明であったが、最近になり倒壊要因に関して思い至ることがあったため、土木学会全国大会で発表させていただいた¹³⁾。紙数の関係で詳細はそちらに譲るが、陸側レールの基礎構造の違いが原因ではないかと考えている。すなわち、陸側レール基礎が杭基礎の場合、地震後にレールの部分だけが低い状態で残り、その前後が崖のようになることが確認されており、クレーンにロッキング振動が生じた場合にうまく着地できないが、陸側レール基礎が地盤改良の場合、レールの前後も同程度の高さで残るので、ロッキングし脱輪してもうまく着地できるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 土木学会 耐震基準等基本問題検討会議：土木構造物の耐震基準等に関する提言（第一次提言），1995年，<http://www.jsce.or.jp/committee/earth/propo1.html>
- 2) 土木学会 阪神・淡路大震災対応技術特別委員会：土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」，1996年，<http://www.jsce.or.jp/committee/earth/propo2.html>
- 3) 稲富隆昌ほか：1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告，港湾技研資料，No.857，1997年。
- 4) 運輸省第三港湾建設局震災復興建設部：神戸港震災復興誌－1995年阪神・淡路大震災－港湾施設の復旧の記録，1998年。
- 5) 井合進・菅野高弘・野津厚・一井康二・佐藤陽子・小濱英司・深澤清尊：港湾構造物の耐震性能照査型設計体系について，港湾空港技術研究所資料，No.1018，2002年。
- 6) 及川研・菅野高弘・三藤正明・中原知洋：兵庫県南部地震により被災した杭式栈橋に関する実験的研究，第10回日本地震工学シンポジウム，1998年。
- 7) 塩崎禎郎・長尾毅・小堤治・宮下健一朗：局部座屈を考慮した直杭式横栈橋の二次元有効応力解析，土木学会論文集A1（構造・地震工学），第71巻，第4号，pp.1_537-1_546，2015年。
- 8) 大矢陽介・塩崎禎郎・小濱英司：径厚比を考慮した鋼管部材のモデル化による直杭式横栈橋の被災事例の再現解析，土木学会論文集A1（構造・地震工学），第74巻，第4号，pp.1_917-1_925，2018年。
- 9) 一井康二・井合進・森田年一：兵庫県南部地震におけるケーソン式岸壁の挙動の有効応力解析，港湾技研報告，第36巻，第2号，pp.41-86，1997年。
- 10) 菅野高弘・野末康博・塩崎禎郎・小濱英司：地震による岸壁の被災・復旧工法・耐震補強工法，港湾空港技術研究所資料，No.1145，2006年。
- 11) 竹信正寛・野津厚・小濱英司・大矢陽介・長坂陽介・朝比翔太・吳双蘭・工代健太・近藤明彦・佐々真志・菅原法城・高野大樹・百海郁弥・宮田正史・森川嘉之・佐々木誠：令和3年（2021年）および令和4年（2022年）福島県沖の地震による港湾施設被害報告，港湾空港技術研究所資料，No.1414，2024年。
- 12) 下迫健一郎・増田慎太郎・宮間俊一：混成防波堤の滑動時における捨て石マウンドの挙動に関する基礎実験，海岸工学論文集，第48巻，pp.896-900，2001年。
- 13) 野津厚：1995年兵庫県南部地震におけるガントリークレーンの倒壊要因に関する一考察，土木学会第78回年次学術講演会講演概要集，2023年。