

水際構造物の耐震性評価手法

松井 保¹・赤熊道雄²・武田弘一³・中野尊之⁴・芋野智成⁴・林 健二⁴

¹フェロー 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科 (吹田市山田丘 2-1)

² 大阪市計画調整局 (大阪市北区中之島 1-3-20)

³ 正会員 大阪市港湾局 (大阪市港区築港 2-8-24)

⁴ 正会員 中央復建コンサルタンツ (大阪市淀川区西宮原 1-8-9)

兵庫県南部地震では、大阪湾沿いの広い範囲においてケーソン岸壁をはじめとする水際構造物が甚大な被害を受けた。現在、この教訓を踏まえレベル2地震動へ対応した新設および既設構造物の耐震性評価手法の確立が緊急に望まれるところである。本報告では、被災事例をケーススタディとした被災構造物の挙動解析結果について述べるとともに、レベル2地震動を対象とした実務的な耐震性評価手法の提案を行う。すなわち、ケーススタディでは、大きな変状をきたした重力式構造物であるケーソン岸壁と杭式構造物である栈橋を抽出し、動的解析および準静的骨組解析を実施する。また、解析結果と被災状況との比較から提案する耐震性評価手法の妥当性を確認する。さらに、本検討手法を大阪市域の既設構造物に適用し、レベル2地震動に対する耐震性の評価を試みる。

Key Words: shore structure, seismic design, liquefaction, dynamic analysis

1. まえがき

従来、レベル1地震動に対する水際構造物の設計手法は震度法に基づく許容応力度で照査を行ってきた。しかしながら、レベル2地震動のような大規模な外力が

作用する場合、上記の照査方法では限界があり、構造物の重要度に応じた指標による耐震性の評価が不可欠となる。本研究では、レベル2地震動に対する耐震性評価を目的として、いくつかのケーススタディ結果に基づき、準静的骨組解析および時刻歴の動的解析¹⁾による水際構造物の耐震性評価手法を提案する。

2. 被災構造物の挙動解析

(1) 対象構造物

ケーススタディの対象構造物は、大きな変状を生じた神戸市のケーソン岸壁と直杭式栈橋である。各構造物の標準断面図をそれぞれ図1および図2に示す。

(2) 解析手法と解析条件

今回実施した準静的骨組解析は、構造物をはりと地盤ばねによる平面骨組モデルに置き換え、自重、土圧、慣性力等を作用させて、構造物の残留変形や応力状態を解析する手法である。一方、動的解析は、液状化を考慮した等価線形法に基づく解析手法²⁾を用いている。

図3に対象構造物に作用させる荷重条件を示す。ケーソンには慣性力と液状化時の泥土圧を作用させ、栈橋には慣性力のみを作用させた。また、動的解析における入力地震動はポートアイランドの深層で観測された地震動を用いており、準静的骨組解析では地表面の最大加速度に基づいて設定された水平震度を用いた。

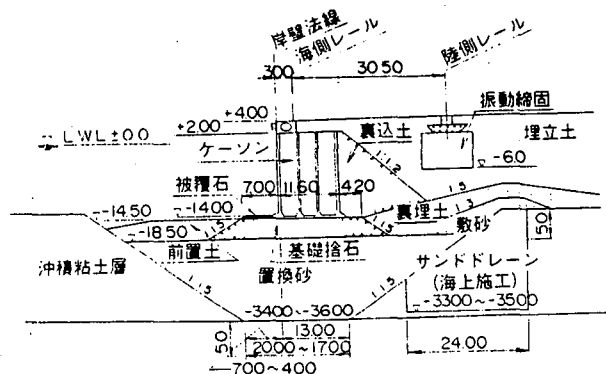


図1 ケーソン岸壁の標準断面図²⁾

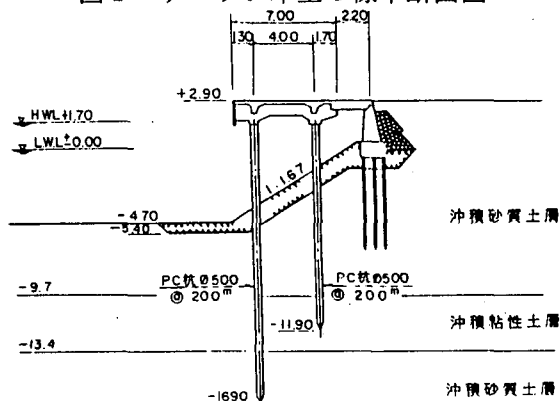


図2 栈橋の標準断面図

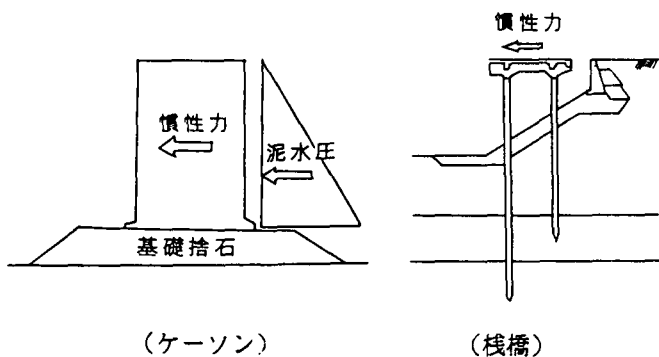


図 3 荷重条件

(3)解析結果

a)液状化状況

動的解析で得られたケーソン岸壁および栈橋の過剰間隙水圧比分布図を図4および図5に示す。ケーソン岸壁では、天端において水平353gal、鉛直236galの最大加速度が生じ、ケーソン背面の埋立層および前面部の置換砂において著しい液状化の発生が見られる。

一方、栈橋では天端の最大加速度は水平423gal、鉛直208galとなり、地表面より分布する沖積砂質土層が液状化していることが理解できる。

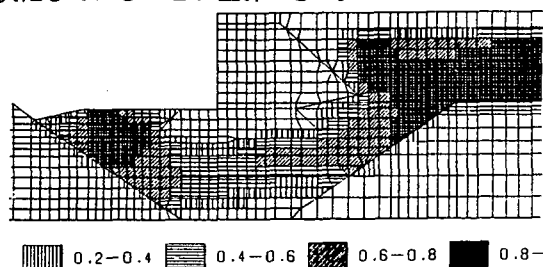


図4 ケーソン岸壁の過剰間隙水圧比分布

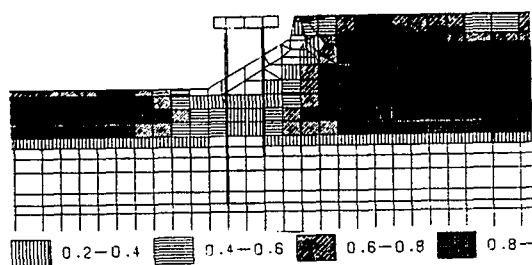


図5 栈橋の過剰間隙水圧比分布

b)変形量

準静的骨組解析と動的解析により得られた各構造物の変形図および変形量をそれぞれ図6、図7および表1に示す。ケーソン岸壁では、両解析ともに水平方向の変形量が約500cmとなり、実測値とよい整合性が得られた。

一方、栈橋の水平方向の変形量は動的解析で13cm、準静的骨組解析で19cmとなった。これは実測値よりかなり小さい値であるが、杭の打設ピッチ等の3次元的な影響に加えて、側方流動の影響が解析に評価されていないこと等によるものと考えられる。

表1 変形量

		解析による変形量 (cm)		現地での変形量 (cm)
		動的解析	準静的骨組解析	
ケーソン天端	水平	520	514	523
	鉛直	91	157	216
栈橋天端	水平	13	19	200
	鉛直	≒0	≒0	15

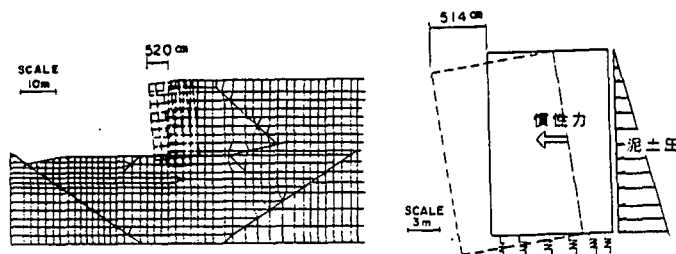


図6 ケーソン変形図

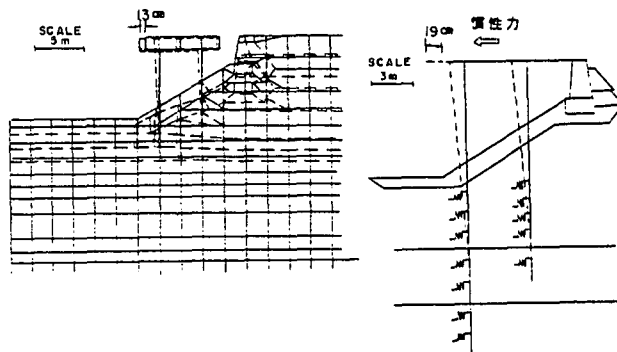


図7 栈橋変形図

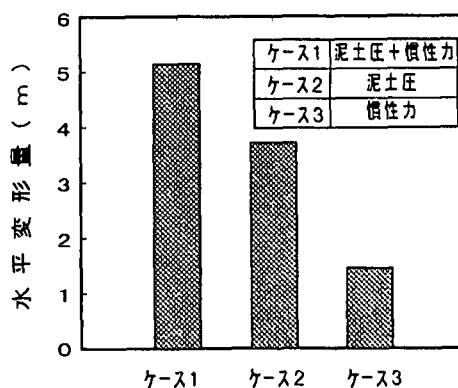


図8 各外力と水平変形量の関係

いこと等によるものと考えられる。特に兵庫県南部地震では、側方流動により護岸法線が約2~3m前方に移動している被災事例もみられることから、実測値と解析結果との差は側方流動によるものが主因と推測される。この点については今後、さらに検討を進めたい。

c)地震時外力の変形に対する寄与率

ケーソン岸壁における解析では、地震時外力として泥土圧と慣性力を設定しているが、これらの各外力が構

造物の変形に与える影響を調べるため、各外力を変化させて準静的骨組解析を実施した。

図8は解析結果に基づく各外力と水平変形量の関係を示したものである。泥土圧と慣性力の寄与率は、概ね7:3の割合にあり、泥土圧がケーソン岸壁の変形に大きく寄与する結果となる。

3. 耐震性評価手法の提案

上記のケーススタディより、条件を適切に設定すれば、準静的骨組解析においても十分にレベル2地震動に対する耐震性が評価できるものと考えられる。提案する耐震性評価手法のフローを図9に示す。

本手法では、レベル1地震動に対する照査は現行の震度法で行い、レベル2地震動に対しては準静的骨組解析により検討を行う。また、構造物の地震時挙動が複雑になると予想される場合には、動的解析により耐震性を照査することとなる。

上記の手法に基づく耐震性評価に際しての留意点は以下の通りである。①設計水平震度は対象地域において想定されるレベル2地震動の地表面最大加速度に基づくものとする。②液状化の可能性がある地盤については、その影響を考慮する。③構造物の耐震性については残留変形量により評価を行うが、必要に応じて構造物の応力度照査も実施する。

4. 準静的骨組解析の適用例

大阪市では、大阪域に最も大きな影響を与える地震として、大阪域直下にある上町断層系が連動して活

動した場合の直下型地震を想定しており、その際の地震動として大阪市標準想定地震動⁵⁾を設定している。

ここでは、上記のレベル2地震動を用いて、提案する耐震性評価手法により大阪市内の既設の水際構造物の耐震性を試みる。

(1)対象構造物

耐震性評価の対象として図10および図11に示す杭式の栈橋と杭・矢板式の防潮堤を選定した。

(2)解析手法と解析条件

耐震検討は準静的骨組解析により実施する。また、外力として各構造物に自重、土圧、慣性力を考慮する。なお、慣性力は大阪市標準想定地震動として設定された対象地域の地表面加速度に基づいて設定しており、地盤反力係数については、液状化の影響を考慮した低減を行っている。各構造物の解析条件を表2に示す。

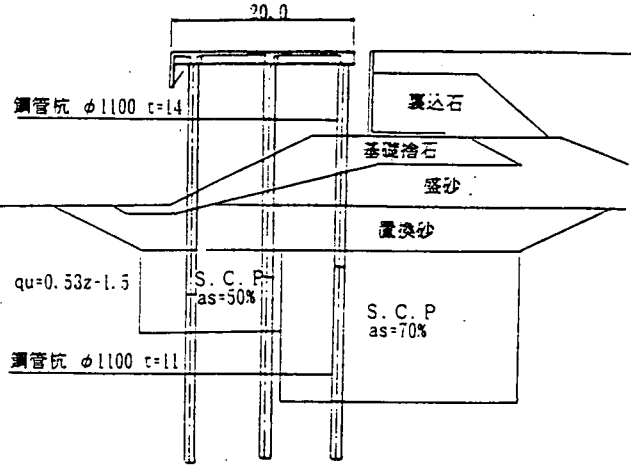


図10 栈橋の標準断面

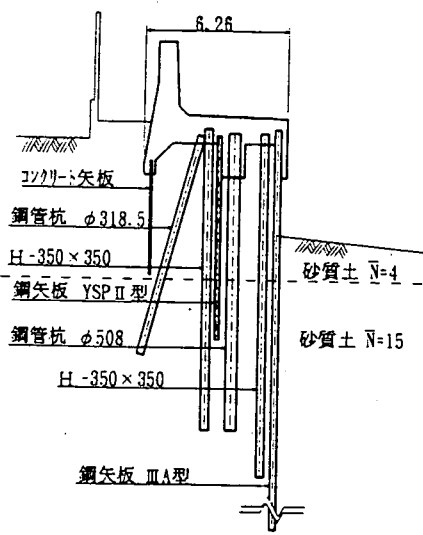


図11 防潮堤の標準断面

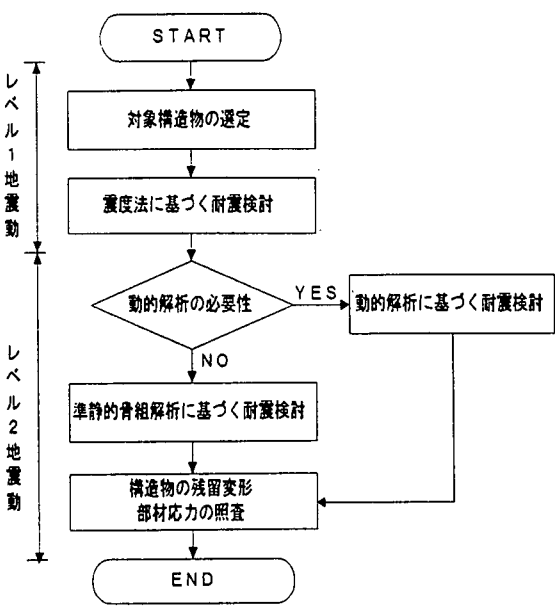


図9 検討フローチャート

(3)解析結果

解析により得られた各構造物の変形図および変形量をそれぞれ図 12、図 13 および表 3 に示す。水平方向の変形量は栈橋で 17cm、防潮堤で 5cm となるが、この変形量は各構造物が期待される機能を損なうものでない。なお、両構造物ともに杭式構造物に支持されていることから、沈下量はほとんど発生しない。また、表 4 は各構造物の部材に発生する応力度を示したものであるが、いずれも発生応力は許容応力以下となり、部材の変

表 2 解析条件

	栈橋	防潮堤
慣性力	0.25	0.29
自重	考慮する	考慮する
土圧	なし	矢板に泥土圧を考慮
地盤反力係数	液状化層は低減	同左

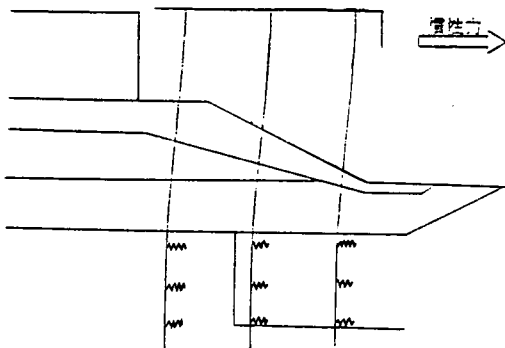


図 12 栈橋の変形図

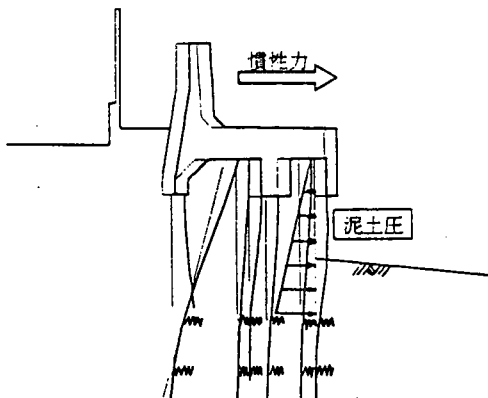


図 13 防潮堤の変形図

表 3 変形量

	栈橋	防潮堤
水平変位(cm)	17	5
沈下(cm)	≒ 0	≒ 0

表 4 部材応力度

	栈橋	防潮堤
着目部材	鋼管杭	鋼矢板
発生応力	1470kgf/cm ²	2271kgf/cm ²
許容応力	2100kgf/cm ²	2700kgf/cm ²

形は弾性範囲内にある。なお、検討する構造物によっては、部材の発生応力が許容応力を上回る場合も十分にありうるが、レベル 2 地震動に対しては、部材が終局耐力を超えず、残留変形量が構造物の機能を損なわないものであれば良いものとする。

5. まとめと今後の課題

本検討により得られた知見をまとめると以下の通りである。

①被災構造物のケーススタディにおいて準静的骨組解析と動的解析で得られた変形量は、良い整合性が確認される。

②大阪市の水際構造物に対して実施した準静的骨組解析によれば、レベル 2 地震動による変形量は小さく、構造物の機能を損なわない程度であると判断される。

なお、本報告における準静的骨組解析では、液状化に伴う側方流動を評価していない。液状化対策等により側方流動の防止が図られている構造物については問題ないが、側方流動の発生が予想される場合には、妥当な流動圧や側方変位を解析条件に付加する必要がある。

以上のことから、適切な条件設定を行えば、本報告で提案する手法により、構造物の重要度に合わせた耐震性能の評価ができるものとする。今後さらにケーススタディを蓄積し、より合理的な設計条件を設定するとともに、本検討手法の妥当性について検証したい。

参考文献

- 1) 松井ら：等価線形法に基づく動的解析の水際構造物への適用、第 52 回土木学会年次学術講演会、1997
- 2) 井合：大地震時の地盤・構造物系の変形解析、平成 8 年度港湾技術研究所講演集、pp1-17、1996
- 3) 西ら：地震時における基礎地盤の安定性評価(その 1)、電力中央研究所研究報告、U86002、1986
- 4) 阪神・淡路大震災調査報告書、(社)地盤工学会阪神大震災調査委員会、pp229～262、1996
- 5) 大阪市土木・建築構造物震災対策技術検討会報告書、1997