

L型ブロック式係船岸の大水深域への適用性について

Applicability of L-Shaped Block Type Quaywalls for Deep Sea Area

岸真裕*・白石悟**・菅野高弘***

KISHI Masahiro, SHIRAIISHI Satoru and SUGANO Takahiro

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸開発技術研究センター 第二調査部長

*** (独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 構造振動研究室長

Usually, L-shaped block type quaywalls are used in shallow sea area, because they need large floating cranes and cost more than caissons (which can be carried in tow) in deep sea area.

This report describes characteristics, new design method and applicability of L-shaped block type quaywalls for deep sea area.

Key Words : L-shaped block type quaywalls, earthquake resistance, cost reduction of gravity-type quaywalls

1. はじめに

L型ブロック式係船岸は、従来 7.5m 程度までの比較的浅い水深で用いられてきた。水深が大きくなると、運搬・据付に大型起重機船が必要となり、浮遊曳航が可能なケーソンがコスト面で有利になることがその主な理由である。

平成7年に起きた兵庫県南部地震では、神戸港の係船施設が被害を受け、長期にわたり港湾機能が麻痺するに至った。神戸港ではケーソン式係船岸が多用されていたが、地震による海側への滑動、傾斜および沈下といった大きな変形が生じている(図-1)。

その後、構造形式の多様化によって極大地震時における港湾の機能維持を図るという考え方が提唱され、重力式係船岸に関する様々な模型実験が行われた結果、L型ブロックはケーソンよりも高い耐震性を有していることが判ってきた¹⁾。



図-1 兵庫県南部地震でのケーソン式係船岸の被災例(ポートアイランドFバース)

本稿では、模型振動実験や数値シミュレーションから明らかになったL型ブロック式係船岸の特性、新たな設計法および大水深域への適用性について報告する。

2. 重力式係船岸の現行設計法

重力式係船岸の安定計算を行う上で、現行設計法では図-2に示すように壁体後趾を通る鉛直面(仮想背面)から前側の部分を仮想壁体と見なしている²⁾。この考え方は、ブロックやケーソンが地震時においても裏込部分と一体となって挙動することを前提としているが、実際にどのような挙動を示すかについては明確な知見が得られていなかった。

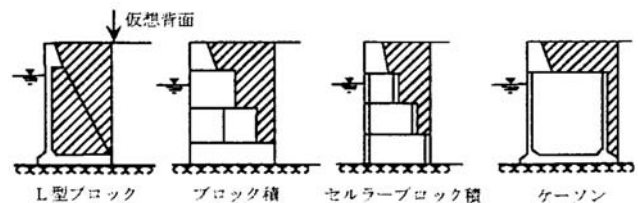


図-2 重力式係船岸の壁体のとり方

また構造形式の違いに係わらず、仮想背面には一様に壁面摩擦角 $\delta = 15^\circ$ とした主働土圧を作用させるものとされている²⁾。これは、昭和40年代前半に「港湾構造物設計基準」が作成される際に、安全側となるなどの理由から定められた経緯があるようである³⁾。

3. 模型振動実験および数値シミュレーション

L型ブロック式係船岸の地震時挙動を明らかにし、新たな設計法を確立するため、模型振動実験および数値シミュレーションを実施した。

3.1 模型振動実験

(1) 実験概要

対象断面は、水深 10m、設計震度 $K_f=0.15$ の条件に対して滑動および支持力の安全率がほぼ 1.0 となるように設計された係船岸とし、1/20 スケールで実験を行った。実験用模型の写真を図-3に示す。

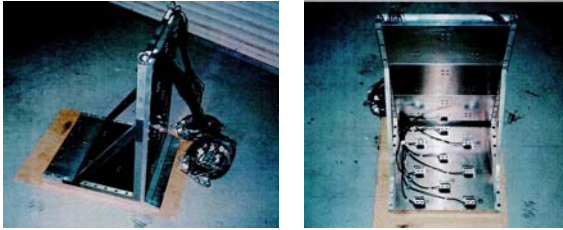


図-3 振動実験用模型

入力地震動は、1968年十勝沖地震の八戸港地震記録 NS成分基盤波を相似則に即して時間軸を圧縮した波形である(図-4参照)。加速度レベルは、1倍(170Gal)から3倍(510Gal)まで徐々に変化させるステージ加震とした。

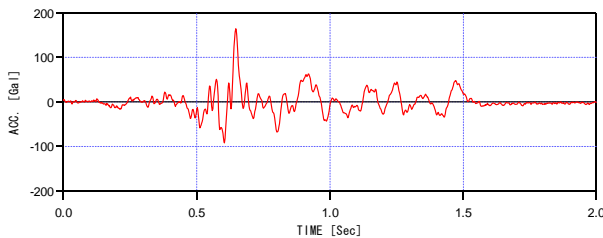


図-4 入力地震動時刻歴波形(八戸波 170Gal)

また、裏込形状については、仮想背面の位置から斜めに投入した幅の広い場合と幅を狭めた場合(図-5)について実験を行った^{3),4)}。

(2) 実験結果

加震前に計測された荷重から、以下の結果が得られた。

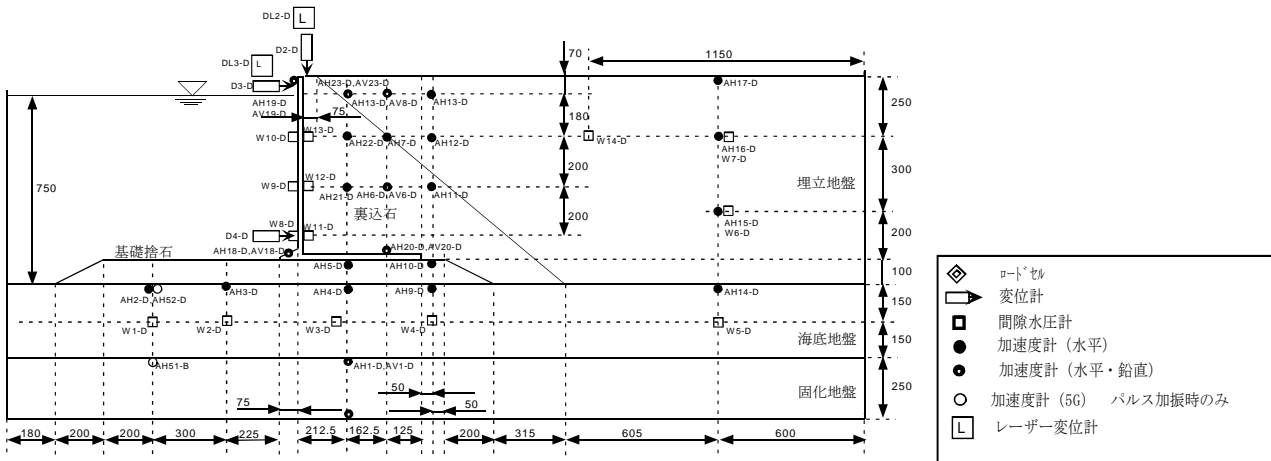


図-5 実験モデル図

- ①前壁には、主働土圧を上回る荷重が作用している。
- ②底版後趾から前方に生じる崩壊面に沿って作用するせん断方向の力により、底版後趾には土被り圧を上回る荷重が作用する。

また、加震時の変位および加速度応答からは、以下の結果が得られた。

- ③L型ブロックは、ケーソンと同様にロッキングしながら海側への滑動、前傾、沈下を生じる。
- ④L型ブロックと裏込材は、一体となって同位相で挙動する。
- ⑤裏込形状の違いによる残留変形量の明確な差は見られない。
- ⑥振動によって裏込が沈下することにより、前壁には下向きの鉛直土圧成分が作用する。
- ⑦底版への鉛直荷重は増加し、壁体を安定させる方向に作用する。また水平方向では、ブロックを陸側に引っ張る向きに力が増加している。

以上のように、L型ブロックに作用する荷重と地震時の挙動を確認することができた^{3),4)}。

3.2 数値シミュレーション

(1) FEM解析 (FLIP)

解析モデルは、模型実験と同一寸法で作成し、実験から得られた地盤定数を与えた。模型実験においては過剰間隙水圧の上昇がほとんど見られなかったことから、地盤剛性の低下は生じなかったと判断し、地盤の変相角 ϕ_p' および液状化パラメータはゼロとしている。また、ブロックの背面と底面には、接触面間の滑りや剥離を表現するためにジョイント要素を設定した。

模型振動実験と同様の地震波形を入力して解析した結果、応答加速度および応答変位は実験の結果とよく一致し、模型振動実験で明らかとなった地震時の挙動を再現することができた。

(2) DEM解析

DEM（個別要素法）解析では、地盤を粒状体としてモデル化した。

解析結果から得られた応答変位は、実験値と良く一致したほか、背後に形成されるすべり面として、

- ① L型ブロック後趾からの仮想背面
- ② 底板後趾から前方に生じる崩壊面
- ③ 底板後趾から後方に生じる崩壊面

の3つが観察され（図-6）、L型ブロックの地震時挙動を明らかにすることができた。

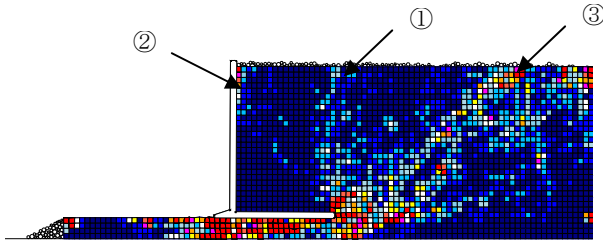


図-6 加震終了時の局所せん断ひずみ分布の例

4. L型ブロック式係船岸の新たな設計法

前述の模型実験および数値シミュレーションの結果に基づいて提案したL型ブロック式係船岸の新たな設計法の概要を以下に示す。

(1) 安定計算に用いる土圧

安定計算上、仮想背面に作用する土圧は、常時・地震時ともに、壁面摩擦角 δ が背面地盤の内部摩擦角 ϕ に等

しいとして計算した主働土圧を作用させる。なお、裏込めが仮想背面を横切る場合には、それぞれの地盤材の ϕ を用いるものとして良い（図-7）。

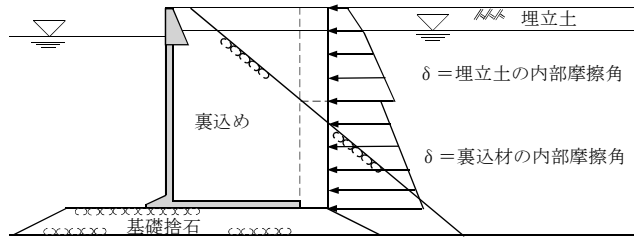


図-7 安定計算に用いる土圧

(2) 部材設計に用いる荷重

L型ブロックの部材設計に用いる荷重の考え方を図-8に示す。

前壁に作用する土圧は、常時においては静止土圧を、地震時においては $\delta=15^\circ$ として算定される主働土圧を用いる。静止土圧係数 K_0 は、良質な裏込めがある場合には0.35、土砂の場合には0.5を標準とする。常時の作用土圧を静止土圧としたのは、模型振動実験における計測結果を踏まえ、安全側の設計とするためである。

また、底板に作用する荷重は、仮想背面に作用する土圧（安定計算で用いた土圧）の鉛直成分を底板全体に作用する三角形分布荷重に換算して加え、前壁に作用する土圧の鉛直成分を底板全体に作用する三角形分布荷重に換算して減ずるものとしている。

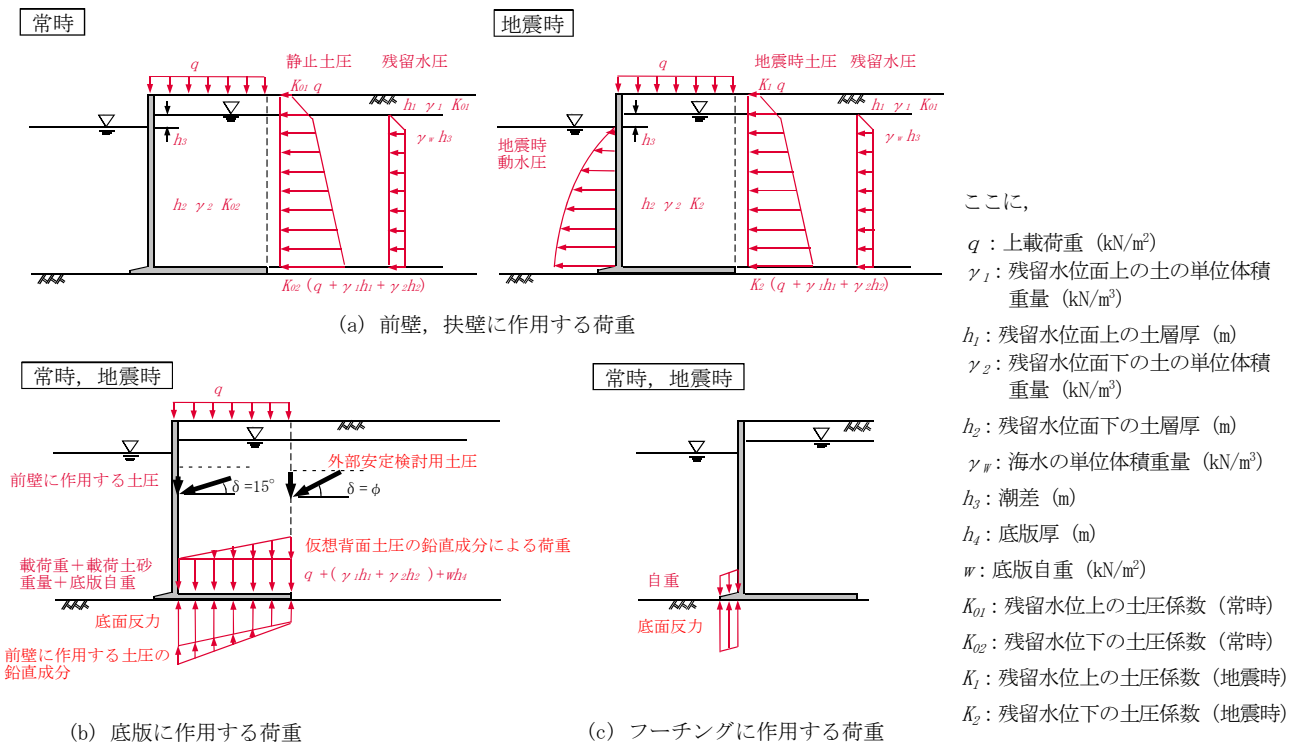


図-8 L型ブロック部材に作用する荷重

5. L型ブロック式係船岸の経済性

前項で提案した手法を用いてL型ブロック式係船岸の試設計を行い、従来のケーソン式係船岸と経済性を比較した。設計条件は、水深が10mおよび14m、設計震度 K_h が0.15および0.22の計4ケースである。L型ブロックについては、鉄筋コンクリート(RC)構造およびハイブリッド(HB)構造のそれぞれについて検討を行った。

なお、ケーソン据付は浮遊曳航、L型ブロック据付は起重機船によるものとした。工事費算定の上で、起重機船の回航費は見込んでいない。また、施工場所は静穏な海域であり、施工時の波浪に対する安定性は確保されているものと想定した。

同一条件で設計されたケーソンと比較して、L型ブロック式の壁体幅(海側フーチングを除くブロックの幅)は、RC構造で約20%、HB構造で約30%狭めることができた。

水深10m、 $K_h=0.15$ でのケーソン式係船岸を基準とした工事費の比較を図-9に示す。水深10m、 $K_h=0.15$ のケースではほとんど差がないものの、水深が深くなり、設計震度が大きくなるに従ってL型ブロックはケーソンよりも経済的に優位となっている。また、水深や震度が大きくなると、フーチングを長くすることによって壁体幅を狭めることのできるHB構造の方がRC構造よりも安価となっている。

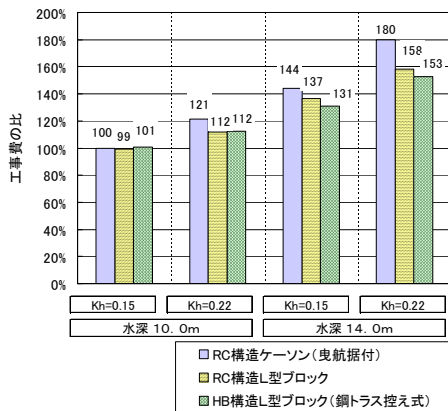


図-9 L型ブロック式係船岸のコスト比較

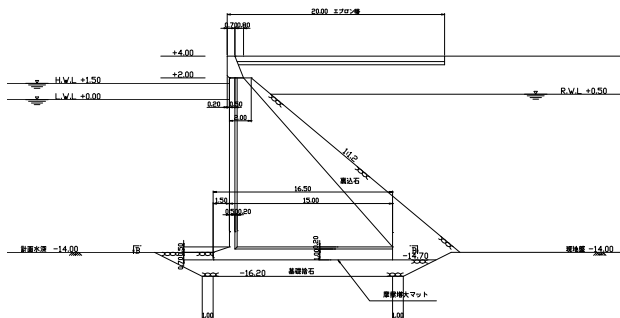


図-11 RC構造L型ブロック式係船岸
(水深14.0m, $K_h=0.22$)

6. おわりに

今回提案した設計法を用いることにより、L型ブロックは大水深域における重力式係船岸のコスト縮減の上で有望な構造となり得ることが確認された。

今後は、実海域での適用に向けて、施工上の課題を抽出し、より詳細な検討を行っていく必要がある。

最後に、本報告は、(独)港湾空港技術研究所、民間9社(石川島播磨重工業(株)、五洋建設(株)、佐伯建設工業(株)、東亜建設工業(株)、東電設計(株)、東洋建設(株)、日本鋼管(株)(現JFE)、三菱重工業(株)、若築建設(株))および(財)沿岸開発技術研究センターの共同研究で得られた成果をとりまとめたものであることを付記し、関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 塩崎慎郎, 菅野高弘, 田中剛: 重力式係船岸の地震時挙動に関する水中振動台実験—構造形式の違いによる影響—, 第36回地盤工学研究発表会講演集, pp.1857-1858, 2001.
- 2) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.
- 3) 塩崎慎郎, 菅野高弘, 白石修章: L型ブロック式係船岸の地震時挙動に関する模型振動実験, 第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集, pp.1003-1008, 2002.
- 4) 塩崎慎郎, 菅野高弘, 小濱英司, 白石悟: L型ブロック式係船岸に作用する地震時荷重について, 第38回地盤工学研究発表会講演集, 2003.

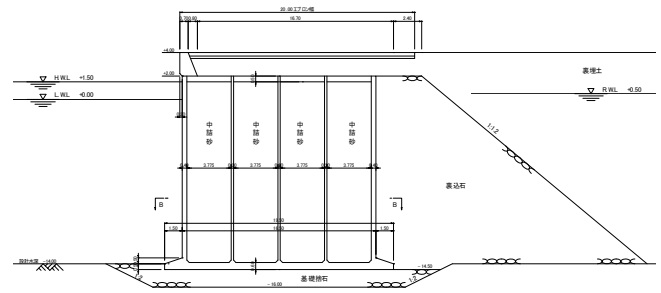


図-10 ケーソン式係船岸 (水深14.0m, $K_h=0.22$)

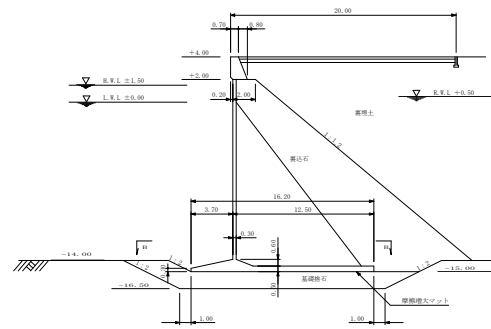


図-12 HB構造L型ブロック式係船岸
(水深14.0m, $K_h=0.22$)