

大船渡港湾口防波堤開口部潜堤における通水部の検討について

大川 衛人*・東山 和博**

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** 国土交通省 東北地方整備局 仙台港湾空港技術調査事務所 所長

大船渡港湾口防波堤は、東北太平洋沖地震津波によって被災を受けており、現在復旧工事が進められているところである。閉鎖性海域である大船渡湾は、かねてから湾内の水質の悪化に苦慮していたことから、湾口防波堤の復旧当っては湾口防波堤の津波防護機能を確保した上で、港内の水質環境に配慮した海水交換機能を有する水質配慮型の構造とされた。本検討は、海水交換機能として開口部潜堤に設置される、通水孔の構造形式について、検討を行ったものである。

キーワード：海水交換、潜堤、湾口防波堤、応答変位法

1. はじめに

大船渡湾は、閉鎖性海域という地形的な要因により海水交換率が低く、湾奥部での汚濁物質の流入負荷量が多いため、特に夏場には、汚濁物質の停滞・堆積・成層化、成層化に伴う底層の貧酸素化等により、水質が悪化し易い傾向にある。

今回の震災による津波で防波堤が倒壊した、併せて、湾内の悪化した水質・底質がすべて流出した後、水質調査を実施した結果、水質が改善されていることが報告された。それによって、湾口防波堤の復旧によって湾内の水質がまた悪化するのではないか、という漁業者を中心とした地元の声が高まり、湾口防波堤の復旧計画策定に際し、港内の水質環境に配慮した海水交換機能を有する水質配慮型の構造を取り入れることが決定された。

具体的には、開口部潜堤の水深約-30mの位置に通水孔を設ける構造とされた。

本検討では、通水孔に使用する材料および構造形式の選定を行うとともに、現場条件、自然条件、施工条件等十分な把握を行い、最新の海洋土木技術に関する知見を取り入れて構造の検討を行った。

また、過年度のシミュレーションの結果から通水孔の断面積は約 150 m²という値が得られているので、開口部 (L=201m) の潜堤に 150 m²の断面積を持つ通水孔を設定することとした。

2. 開口部潜堤に設置する通水孔の検討

2.1 検討条件

開口部潜堤に設置する通水孔については、施工条件が構造を検討する上での重要な要素となるため、制約条件等を設定する。開口部潜堤の海水交換機能維持について

は、水深約-30mに設置するので、できるだけメンテナンスフリーとすることを考え、特に海生生物の付着による性能低下に配慮した。

(1) 施工性を考慮した構造検討

大船渡港の湾口防波堤の復旧事業は、平成 27 年度までに完了させることが求められており、施工水深が深い開口部潜堤を先行することから、潜堤部の早急な整備が必要である。一方で、被災した大船渡港では、作業ヤードの確保が難しいことや、安定供給可能な材料の選定など構造検討にあたり、現場条件を十分考慮することが求められた。

(2) 維持管理性を考慮した構造検討

海水交換機能維持のため通水孔の断面積 150 m²を確保する必要がある。しかし、一般にこのような構造（発電所の取水管など）の場合、海生生物の付着による通水断面の狭隘化が問題とされる。また、鋼管構造の場合であれば腐食対策が重要となる。

開口部潜堤の通水部は、水深が約-30mと深く、また外洋に近く海象環境も厳しいため、維持管理が難しい環境である。さらに港湾機能と航行船舶の安全を確保する必要があることから、できるだけメンテナンスフリーとなるような構造が求められる。

2.2 検討フロー

通水部構造形式の選定にあたっては、同様の条件および環境下での実績、施工性、維持管理性、耐久性、経済性等を総合的に評価して決定するものとした。潜堤の構造については、別件の水理模型実験（平成 24 年度防波堤の津波による安定性に関する水理模型実験）から得られた成果を反映し、通水部構造と合わせて開口部潜堤の構造を設定した。

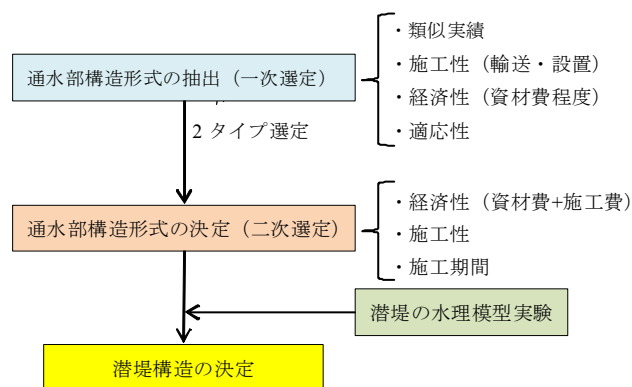


図-1 通水部構造の検討フロー

2.3 構造形式の抽出

通水管の構造形式として「鋼管」, 「高耐圧ポリエチレン管」, 「ボックスカルバート」, 「鋼殻構造」の4タイプを想定し, 実績や施工性, 経済性, 維持管理性など総合的に評価して通水孔の構造を2タイプ抽出する. 鋼殻構造については1函で通水面積 150 m²を確保する断面を想定した.

なお, 潜堤の構造については, 水利模型実験の最終成果が得られていない段階での検討であったので, 通水孔の検討に当たっては, 延長を80mと想定して検討した.

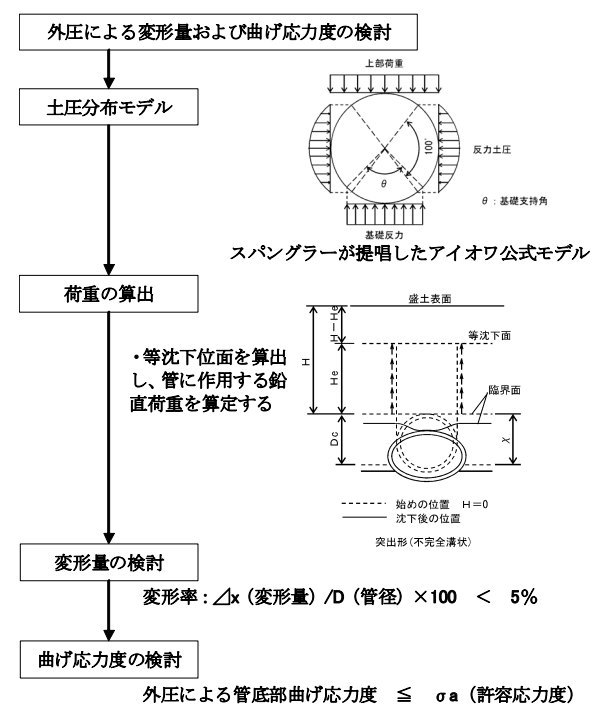


図-2 永続状態の断面検討フロー

表-1 より, 同種の実績があり, また経済性, 施工性, 維持管理性に関して適応性の可能性が高い「鋼管」タイプと「高耐圧ポリエチレン管」タイプを抽出した.

2.4 通水部の要求性能と安定性の照査手法

選定された管体構造の検討に当たっては, 類似事例である関西国際空港に設置されている通水管の設計手法(「日

本水道鋼管協会(略称: WSP)」)を参考として①永続状態②変動状態③偶発状態について検討を行う.

(1) 永続状態

WSP を基に, 断面方向の検討を行う. (図-2 参照)

(2) 変動状態 (L1地震動)

WSP を基に応答変位法によって検討を行う. ただし, WSP で示されている速度応答スペクトル (Sv) は, 陸上の埋設管を対象としたものであるため, 今回はFLIPにより潜堤の地震応答解析を行い, 求めた速度応答スペクトルとWPSの速度応答スペクトルを比較して, 設計に用いる速度応答スペクトルを算定する. ここで, WPSの速度応答スペクトルは減衰定数 $h=0.2$ で算定されたものである. 一般的には $h=0.05$ を適用する場合が多いことから, WPS との比較には $h=0.02, 0.05, 0.1, 0.2$ の4つの低減係数を使って速度応答スペクトルを算出し比較を行った. (図-3 参照)

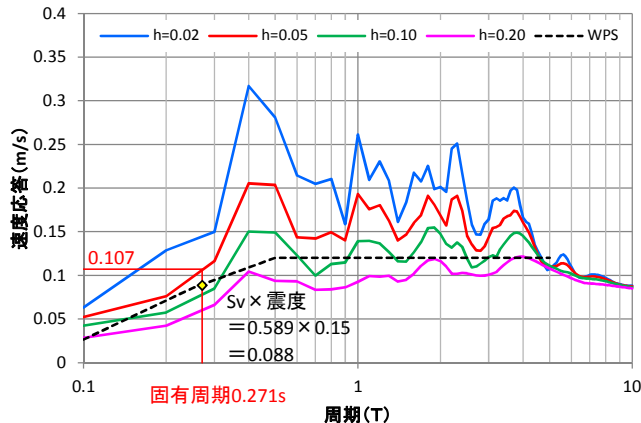


図-3 速度応答スペクトル

(3) 偶発状態 (L2地震動)

FLIP によって潜堤および通水管をモデル化し, L2 地震動に対して通水管が全塑性に至らないことを確認する.

2.5 通水部構造諸元の検討

(1) 海生生物の付着対策

通水管の設置水深は約30mと深く, 光も届かないなど一般的な貝類(イガイ類)や多毛類(ゴカイ類), 海藻類の生息域とは異なるので海生生物の付着量は一般的な取水口に比べ少ないと考えられた.

しかし, 設置水深約30mの管路に生物がどの程度付着するのかといった知見はほとんどなく, ある程度付着することを前提に①付着生物の除去, ②付着量を想定した管径の設定について検討を行った. 付着生物を除去するためには, 潜水作業が必要になるが, 作業可能時間の関係やランニングコストの観点から不適と判断した. そこで, 可能な限りメンテナンスフリーとするために, 既往調査結果や発電所の取水口の事例により, 生物付着による埋塞を考慮し, 付着代10cmを見込んだ管径を設定した. また, 設置後数年間は管路における生物の付着状態を追跡調査することが望ましいと考える.

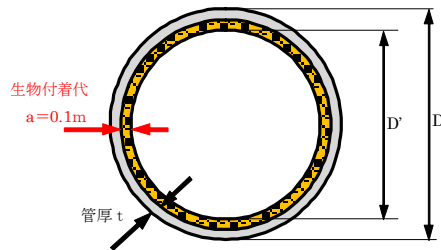


図-4 生物付着代

(2) 防食対策

通水孔の材質に鋼管を選定した場合は、防食対策が必要となる。鋼管の防食対策としては、腐食代対策、被覆防食対策、電気防食対策が挙げられる。通水管は水深約-30mに設置することから、耐用年数が短くメンテナンスが必要となる工法は現実的に不可能である。適応可能な防食工法はメンテナンスフリーとなる「腐食代」、「耐食性金属被覆」、「電気防食」となる。一方、経済性および施工性の観点から「耐食性金属被覆」は「腐食代」、「電気防食」より劣るため、通水管の防食対策としては「腐食代」と「電気防食」を選定した。

(3) 通水管の設置範囲の設定

通水管の設置範囲については、堤頭函の影響を受けない範囲として設定し、施工性を考慮して検討を行った。北堤・南堤それぞれの堤頭函のマウンドの法面に影響を与えない範囲は $L=125\text{m}$ であり、堤頭函端部から自重の荷重分散角度($\alpha=30^\circ$)の影響範囲および堤頭函にL1地震動が作用した際の偏心傾斜荷重の影響範囲もクリアできていることから、通水孔の設置範囲は $L=125\text{m}$ とした。



図-5 通水管設置範囲

2.6 通水管の最適径の検討

経済性および施工性（製作条件、配置条件、製作日数）の観点から比較して、以下の条件の範囲内で鋼管と高耐圧ポリエチレン管の最適径および数量の検討を行った。

【検討条件】

- ・ 生物付着代(10cm)を考慮した上で通水断面積 150m^2 を確保すること
 - ・ 設置範囲($L=125\text{m}$)に収まる数量となること
 - ・ 設置間隔は潜水作業を考慮して最小でも1.5mとする
 - ・ 鋼管の場合、防食対策として腐食代を考慮すること
- 高耐圧ポリエチレン管については、工場の製造限界の関係で $\phi 3000 \times 29$ 本が上限になる。

鋼管については、 $\phi 2032$ 、 $\phi 2235$ 、 $\phi 2540$ 、 $\phi 3556$ 、 $\phi 4064$ の中から、製作コストがもっとも安価になる $\phi 3556 \times 18$ 本を選定した。

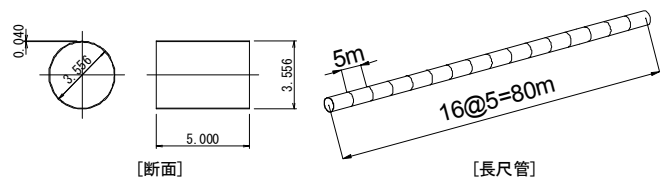


図-6 検討断面イメージ（鋼管）

2.7 通水管の選定

通水管として最適な構造を選定するために、鋼管と高耐圧ポリエチレン管について経済性および施工性について検討を行い、最適な構造を選定する。

比較した結果を表-1に示すが、製作費、施工費共、鋼管が安価であること、取水管の施工など同種の実績が多く信頼性が高いことなどから、鋼管を選定した。高耐圧ポリエチレン管については、特に製作可能な最大管径が $\phi 3000$ であることから、通水孔断面積 150m^2 を確保するためには、2段配列とする必要があり、施工性が劣ると判断された。

表-1 通水管構造比較表

構造形式	普通鋼管	高耐圧ポリエチレン管
断面図		
通水管径	3556mm	3000mm
管厚	40mm	113mm
生物付着代	100mm	100mm
1本当りの通水面積	8.43 m^2	5.20 m^2
設置本数	18本	29本
製作日数	9ヶ月	12～14ヶ月
通水面積	151.74 m^2	150.80 m^2
設置間隔	3.5m	1.5m
設置幅	123.5m	129.0m
1本当りの材料費(80m)	1.00	0.85
材料費	1.00	1.37
輸送費	1.00	1.10
据付費	1.00	1.29
概略費用	1.00	1.46
概略工期	12ヶ月	—
評価	経済性・施工性に優れている。	経済性・施工性に劣る。 1段配列を想定した場合、設置幅が125mを超えるため2段配列となる。 ※長尺加工費は含んでいない。

3. 通水管（鋼管）の検討

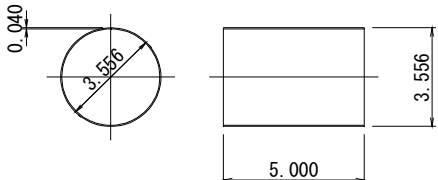
3.1 安定性照査

選定された通水管（鋼管）について安定性の照査を行った。表-2に最適径（ $\phi 3566$ ）の通水管の安定照査結果を示す。

3.2 偶発状態に対する検討

最適径として選定した $\phi 3566$ の通水管を設置した場合について、偶発状態(L2地震動)に対する検討を行った。

表-2 最適径通水管の安定照査結果



管外径	3556mm
管 厚	40.0mm
防食対策	外 面 腐食対応: $0.03\text{mm/y} \times 50 = 1.5\text{mm}$ 内 面 電気防食対策
材 質	SM490
許容応力度	185N/mm ²
永続状態	変形量 $3.5 < 5\% \cdots \text{OK}$ 曲げ応力度 $180 < 185\text{N/mm}^2 \cdots \text{OK}$
地震時 変動状態	軸方向ひずみ $0.008 < 0.2781 (23t/D) \cdots \text{OK}$

(1) 検討モデル

FLIP の解析モデルは図-7 に示す通りであり、通水管については非線形梁要素でモデル化を行った。

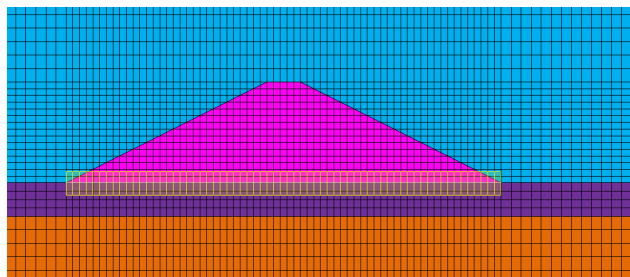


図-7 FLIP 解析モデル

(2) 地震動の設定

対象となる L2 地震動は、「M6.5 直下型地震」, 「1978 年宮城県沖地震 (単独)」, 「1978 年宮城県沖地震 (連動)」である。地震動の最大加速度と PSI 値を表-4 に示す。表-3 より FLIP による偶発状態の検討に用いる地震動は、最大加速度が大きく、また PSI 値の大きい「1978 年宮城県沖地震 (単独)」と「1978 年宮城県沖地震 (連動)」とした。

表-3 最大加速度と PSI 値

地震動	最大加速度 (gal)	PSI 値 (cm/s ^{1/2})
M6.5 直下型地震	135.398	20.912
1978 年宮城県沖地震 (単独)	609.725	23.669
1978 年宮城県沖地震 (連動)	596.749	30.003

(3) 検討結果

宮城県沖地震 (単独) および (連動) に対して、潜堤の残留変形はほとんど無い。また、潜堤の変形が小さいため、鋼管に作用するせん断力が小さく、鋼管に発生する応力は塑性に至るほどの応力は発生しない。

よって、通水管は L2 地震動に対して安定性を確保しているといえる。図-8~10 に解析結果【宮城県沖地震 (単独)】を示す。

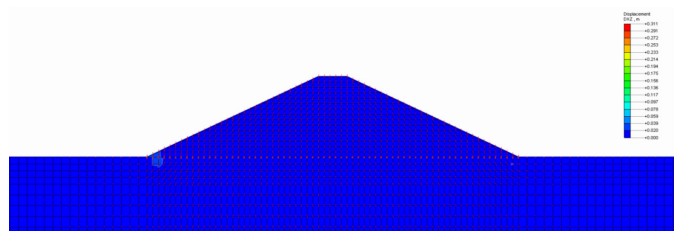


図-8 残留変形図

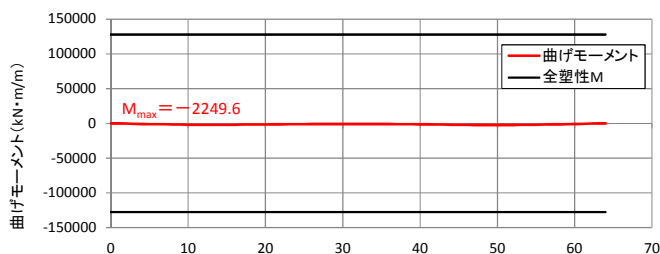


図-9 残留曲げモーメント分布図

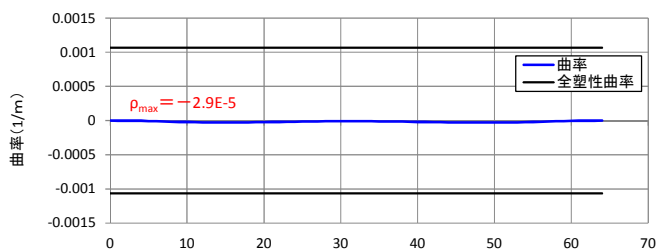


図-10 残留曲率分布図

4. まとめ

(1) 海生生物の付着対策

通水管はメンテナンスフリーとして取り扱うように考えた。ただし、海生生物の付着による埋塞の可能性があるので、10cmの付着代を考慮することとした。

海生生物の付着量が不明であるので、設置後は定期的な追跡調査を行うことが望ましい。

(2) 通水管の設置範囲

通水管の設置範囲は、堤頭函の荷重の影響範囲外として 125m とした。

(3) 通水管の構造

通水管の構造は、経済的にかつ施工性に優れた普通鋼管タイプとした。また、通水管の肉厚を管軸方向に段落しすることで、経済性を高めることが可能である。

謝辞

本稿は、国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所発注の『大船渡港湾口防波堤構造検討業務』の成果の一部をまとめたものである。

調査にあたっては、大船渡港湾口防波堤技術検討会 (委員長: 高山京都大学名誉教授) の各委員、東北地方整備局 釜石港湾事務所の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。