

低越波親水性護岸の開発

Development of High Amenity/Low Crown Hight Type Quaywall
With Effect of Decreasing Overtopping Waves

中田博昭^{*}・斎藤辰三^{**}・大野正人^{***}・松本祐二^{****}

Hiroaki.Nakata,Tatuzo.Saito,Masato.Ohno,Yuji.Matamoto

This paper reports the developement of high amenity/low crown hight type quay-wall made of steel cylindrical caisson with effect of decreasing overtopping waves ,at Maruyama area in Turuga Port ,inner part of Turuga bay. The depth of water of construction is 20meters and the ground foundation is soft clay.
key words:high amenity quaywall,decreasing overtopping waves,steel cylindrical caisson

1 はじめに

近年のウォーターフロントに対する感心の高まりとともに、人々に親しまれる美しい港づくりが注目を集めている。しかし、親水性を持った護岸は開発の緒についたばかりであり、未だ多くの例を見ない。特に、大水深、軟弱地盤という条件のもとで、越波の少ない構造が求められている場所では、今まで親水性の高い施設が作られることはほとんどなかった。本論文では、敦賀港鞠山地区のフェリー岸壁の取付において開発した、越波が少なく、かつ、親水性の高い護岸の構造について発表するものである。

2 施設への要請と自然条件

(1)施設への要請

低越波親水性護岸の開発が行われる敦賀港(鞠山地区)のフェリー岸壁の取付先端(護岸)は、敦賀市の北部に位置し、敦賀湾を囲む山々を一望できる景観的にも優れた場所である(図-1)。このため、敦賀市及びその周辺の人々も優れた景観を活かした施設となることを望んでいたほか、フェリーターミナルに近く、フェリー乗降客や見送客などが利用することも考えられるため、親水性を取り入れた人々に親しまれる施設を作ることが求められていた。こうした要請を受けて、港湾計画でも、岸壁との境界部を曲線を導入し、美しい港づくりを意識した法線形状としていた。

また、護岸背後の土地利用は図-2のように駐車場として計画されているため、駐車する車に越波した海水がかからないように、越波を抑える工夫をする必要があった。

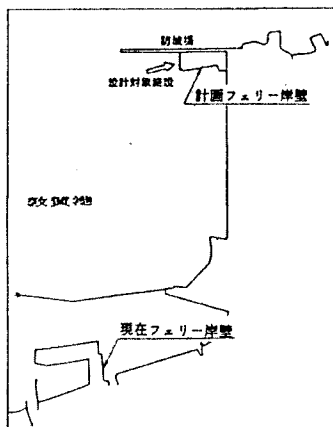


図-1 位置

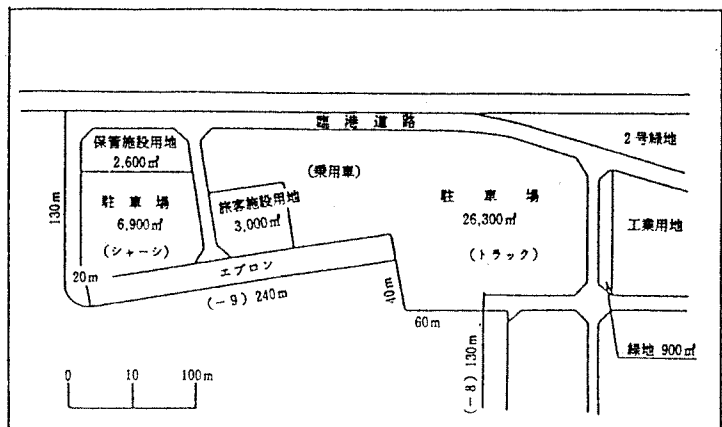


図-2 土地利用計画

- | | | |
|--------------------|------------|------------------------------|
| [*] 正会員 | 運輸省第一港湾建設局 | 新潟調査設計事務所所長(951 新潟市白山浦1-332) |
| ^{**} // | 運輸省第一港湾建設局 | 酒田港工事事務所所長 |
| ^{***} // | 運輸省第一港湾建設局 | 新潟調査設計事務所総括建設専門官 |
| ^{****} // | 運輸省第一港湾建設局 | 新潟港工事事務所 |

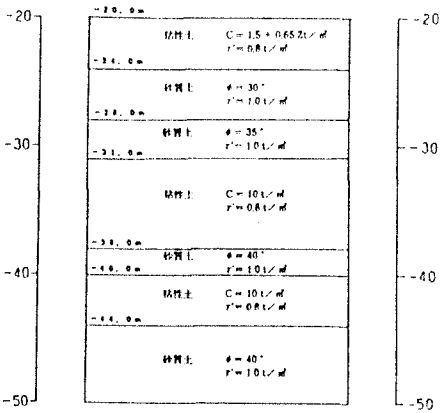
(2)自然条件

自然条件を見ると水深は深く、海底付近にはかなり柔らかい粘土層が存在しているため、円形滑べりに対する堤体の安定や堤体の沈下を十分に考慮する必要があった。

また、波浪については、敦賀湾の中にあるため比較的穏やかではあるが、それでも冬期風浪の影響を受けた周期の長い波が来襲し、鞠山地区の防波堤の内側にある作業基地では、水叩きの背後が洗われたり、防舷材代わりに用いていたタイヤが打ち上げられることもあった。この波浪をシミュレーションにより求めると、波高1.3m、周期11秒程度の波が来ると想定された。

表－1 設計条件一覧

設計水深		-20m
設計波高	消波対象波 越波対象波	H1/3=0.6m T1/3= 7.5SEC H1/3=1.3m T1/3=11.0SEC
設計潮位	H. W. L L. W. L 残留水位	+0.5m ±0.0m +0.2m
設計震度		Kh=0.2
耐用年数		50年
土質条件		右図のとおり



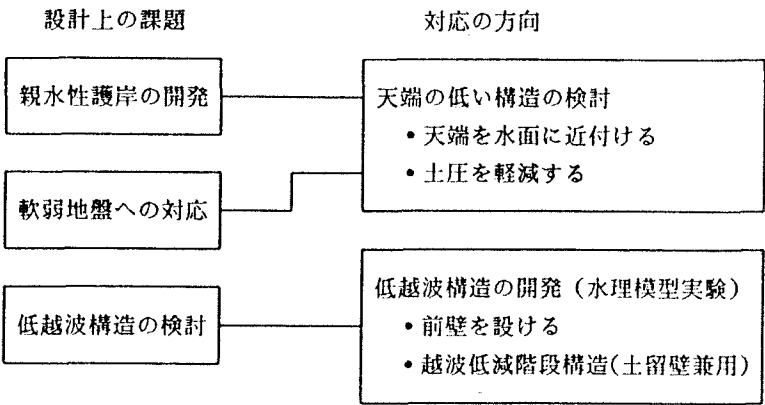
つまり、親水性護岸の開発のために、天端の低い構造として親水性を高めるとともに、あわせて背後の土圧が軽減するようにして軟弱地盤への対応を図ることとした。また、このとき問題となる越波については、水理模型実験を行い、低越波構造を開発することとした。

なお、堤体の設計に当っては、新技術の導入を積極的に進めるとともに、低天端構造の現地における施工性等を考慮に入れ、従来のケーソンよりも軽量で操作性のよい鋼製円筒ケーソン（鋼板セルにコンクリート底版をつけたもの）構造についても検討することとした。

3 設計課題とその対応

本施設への要請をもとに設計上の課題を取りまとめると、一つ目は人々に親しめるような親水性の高い護岸を開発することであり、二つ目は、背後の土地利用に対して越波による悪影響を及ぼさないような低越波構造を開発することであり、3つ目は水深が深く軟弱な地盤において経済的な施設を開発することである。

これを整理すると図－3のようになる。



図－3 課題と対応の方向

4 越波実験による断面の検討

(1)目的

親水性を高めるために前面の天端を低くしたとき、最も危惧されることは背後地への越波の問題である。そこで、天端高や天端形状の違いによる越波流量の変化を明かにし、最適な低越波構造を見出すために水理模型実験を行った。

(2)内容

1)実験条件

実験は縮尺1/40の歪みなし模型を用い、下記の条件で500波の不規則波を作用させた。

表-2 実験条件

実験潮位 +0.5m		海岸設置水深 -2.0m	
波	REAL	波高 1.3m	周期 11.0SEC
	MODEL	波高 3.25cm	周期 1.74SEC

2)上部構造の形状

捨石マウンド水深を-9.0mとして、上部構造を以下のように変化させた。

- 天端高さを変える
- 遊水部を設ける
- 遊水部の幅を変える
- 遊水部の前面に前壁を設ける
- スポットリーフや透過型の階段を設ける

3)計測項目

実験では越波の状況を観察するとともに、越波流量を測定した。また、反射率についても同時に観測した。

(3)実験結果

越波状況の観測結果は表-3のとおりであり、上部構造の違いにより越波状況もかなり異なることが明らかになった。

越波流量の測定結果は図-4に示すとおりとなった。これによると、前面の天端高を低くしてもCASE2-1,CASE3-1,CASE3-2などのように前面天端部に前壁を設けることにより、通常の矩形断面(CASE1-1)と比較して、越波流量を少なくできることが分かった。また、CASE4-2のようにスポットリーフと透過式階段を設けることにより越波流量を大幅に軽減できることが明かとなった。

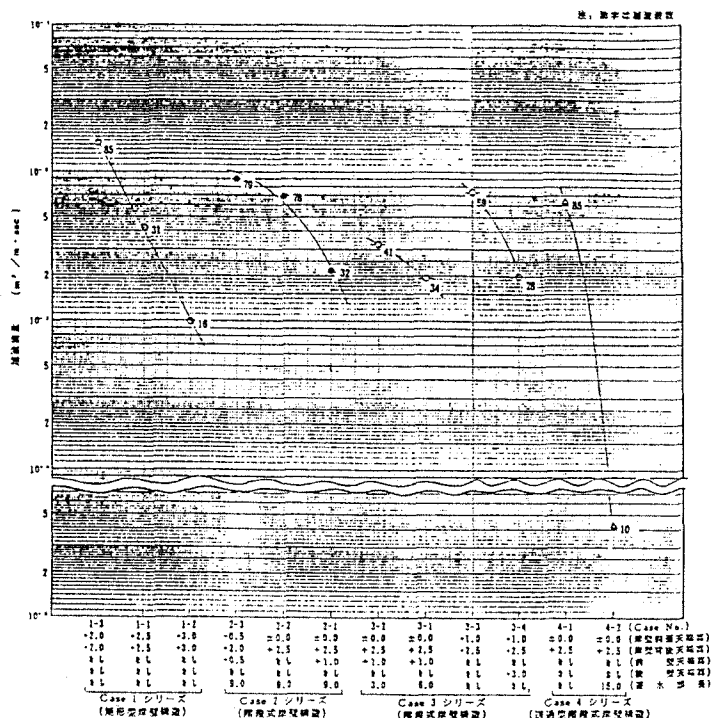


図-4 越波流量の比較

表-3 越波状況の観察記録

岸壁構造	Case No.	越波状況のスケッチ	観察要点
矩形岸壁構造	1-1		- 岸壁前面で重複波を形成し、後続の波高が大きい時に、岸壁前面の水位が下がり、後続波が岸壁に達した時、水位が上昇し越波となる。すなわち、重複波の腹の位置が岸壁に達した時、波高が大であれば越波が生ずる。 - 重複波を形成するため、波が岸壁に衝突して起る跳波現象は見られず、水塊が飛散して飛沫が飛ぶこともない。
	1-2		- 波越状況はCase 1-1と同様であるが、先端高が0.5m高くなった分、越波波数は半減し、越波流量は約1/4に減少した。 - Case 1-1同様、跳波現象は見られなかった。
	1-3		- 波越状況Case 1-1、1-2と同様であるが、Case 1-1の形状で岸壁全体の高さが0.5m下がった状態であることから、越波波数、越波流量とも3倍程度増大した。 - Case 1-1、1-2と同様跳波現象は見られなかった。
階段式岸壁構造(遊水部9.0m)	2-1		- 波が小さい時は、左図上のように波が遇上する時A或いはBの階段に波が衝突して跳波となり、波頂部は飛散する。 - 飛沫はほぼ跳波の真上か波頂部よりやや陸側に飛ぶ。 - 波が大きい時は、跳波現象は顕著でなく、遇上した波はそのまま越流する状態で越波となる。 - 遊水部内の水位は常に+1.0m程度ある。
	2-2		- 前壁がないため引波時、遊水部の水は無くなる。進行波は遊水部の後壁に衝突して跳波を生じさせ、上部は飛散する。 - 跳波の高さはCase 2-1より大きくなり、最大で静水面より15.5mに達し、飛距離は遊水部後壁より21mに及んだ。 - 越波波数、越波流量ともCase 2-1に比べ約3倍程度増大する。
	2-3		- Case 2-1の形状で岸壁全体の高さが0.5m下がった状態であるが、越波の状況は様相を異にし、進行波は階段Aに衝突、飛散しながら遇上し越波となる。この時、跳波は発生せず、飛沫のみ階段Aより陸側に飛ぶ。 - 遊水部の水位は常に、静水面より+0.2~0.4m程度ある。
階段式岸壁構造(遊水部6.0, 3.0m)	3-1		- 波は階段を巻き波の状態で遇上するが、小さい波の時は越波に至らず、大きい波の時、越流するように越波し、時々、階段の最上段に衝突する。しかし、跳波にはならず、波は飛散し飛沫を生じさせる程度である。 - 遊水部の水位は常に+0.1~+1.2m程度ある。
	3-2		- Case 3-1と同様に、波は階段の上段に巻き波状で衝突し、泡を含みながら遇上し越波となる。衝突時に跳波現象は見られず、飛沫のみが発生する。 - 遊水部の水位は波の進行、後退で変動するが、静水面よりは下らない。 - 遊水部長が短くなったため、Case 3-1に比べ越波波数、流量とも若干増大した。
	3-3		- Case 3-1と同様に波は階段を遇上し、越流するように越波する。この時、階段の最上段に衝突し飛散するが飛沫は顕著でない。 - Case 1シリーズと同様に重複波が確認できる。
	3-4		- 波は階段を遇上しながら進み、後壁に衝突する際、跳波を生じさせる。しかし、波作用500波の内5~6回程度であり、飛沫も顕著でない。 - 通常は、Case 3-3と同様に重複波を形成するため、後壁を越える形で越流し越波する。
透過型階段式岸壁構造	4-1		- 波は斜面上を遇上するように進行するが、反射波と次の進行波とがぶつかり合うため、斜面上には常に2つの波の山が残存している。 - 越波を生じる時は、波が一度引き、次の波が岸壁前端を大きく越え、そのまま後壁に衝突するので跳波となり、波の実質部分がそのまま越波する。この場合の飛沫も顕著に発生し、背後地に落下する。割と小さな波でも、跳波を生ずるため、越波波数、流量とも多い。
	4-2		- スポットリーフの消波効果により階段の二段目位まで波が到達する程度である。 - 波がやや大きく(H_{1/10}以上)なると階段を遇上するが、波の大半は階段の下へ吸収され、水叩き部をぬらす程度で、越波には至らない。 - 階段に衝突した時の飛沫は水叩き部に落下する程度である。

(注) スケッチ図は実験波中のほぼ最大波を対象とした。

また、反射率については、通常の矩形断面よりも低天端構造とした方が反射率が小さくなることが分かった。
(図-5)

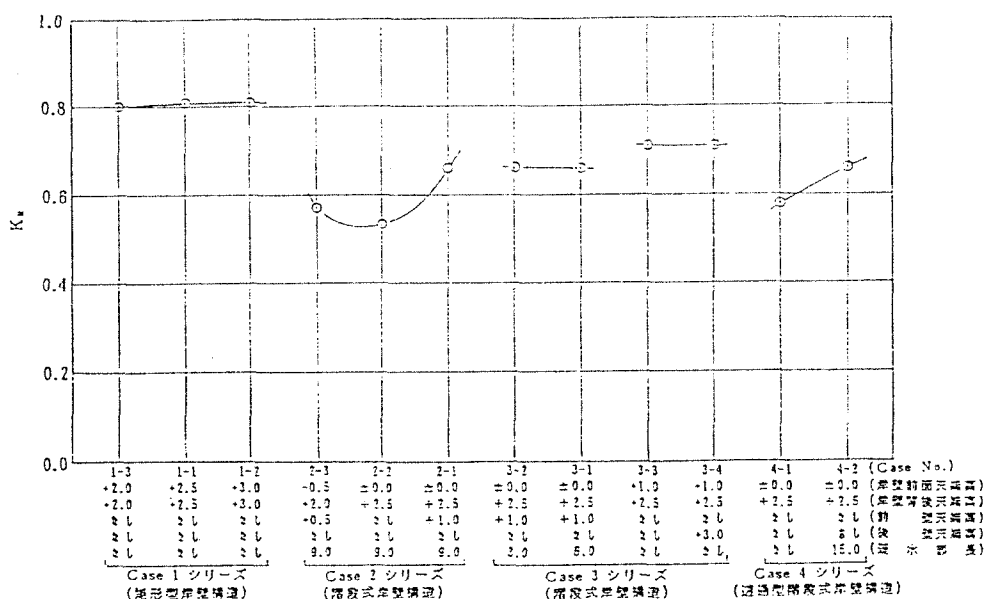


図-5 反射率の比較

5 低越波親水性護岸の断面とその特徴

以上のような検討をもとに断面の設計を行った結果、図-6の断面となった。
この断面の主な特徴は以下の通りである。

- ①堤体前面の天端を下げることで、親水性の高い施設とするとともに、堤体に働く土圧も大幅に軽減され、カウンターウェイトとしてのマウンド幅を大幅に(約9.0m)短くすることができ、経済的な断面となった。
- ②越波流量を減ずるため前壁を設けるとともに、実験で行ったスポットリーフのような効果を期待して前壁背後の遊水部には飛石を設け遊水部の粗度を増加させた。これにより、護岸の利用者が万一階段から転落しても遊水部に立つことができ、また、波にさらわれそうになっても飛石や前壁により安全を確保できる構造とした。
- ③転落者の救出や高波浪時に遊水部に転落した人の一時退避のため、張り出し部を設けた。これにより、人々が安心して親しめるような施設となり、景観的にも単調さを回避できる。
- ④越波の低減、施工性の向上(プレキャスト製作)、土留め壁前面の洗掘防止対策等のため、背後の土留め壁に穴開き階段構造(透過型階段)を採用した。これにより親水性も向上した。
- ⑤鋼製円筒ケーソンを用いることにより、現地での製作、移動、据付などが可能となり、施工性の優れた断面となった。

6 おわりに

本護岸は我が国ではじめての構造形式をもつ低越波親水性護岸であるため、安全面・景観面を含めた護岸管理への配慮や、今後とも技術的なフォローアップを行い、よりすばらしい施設となるよう工夫を積み重ねて行きたい。

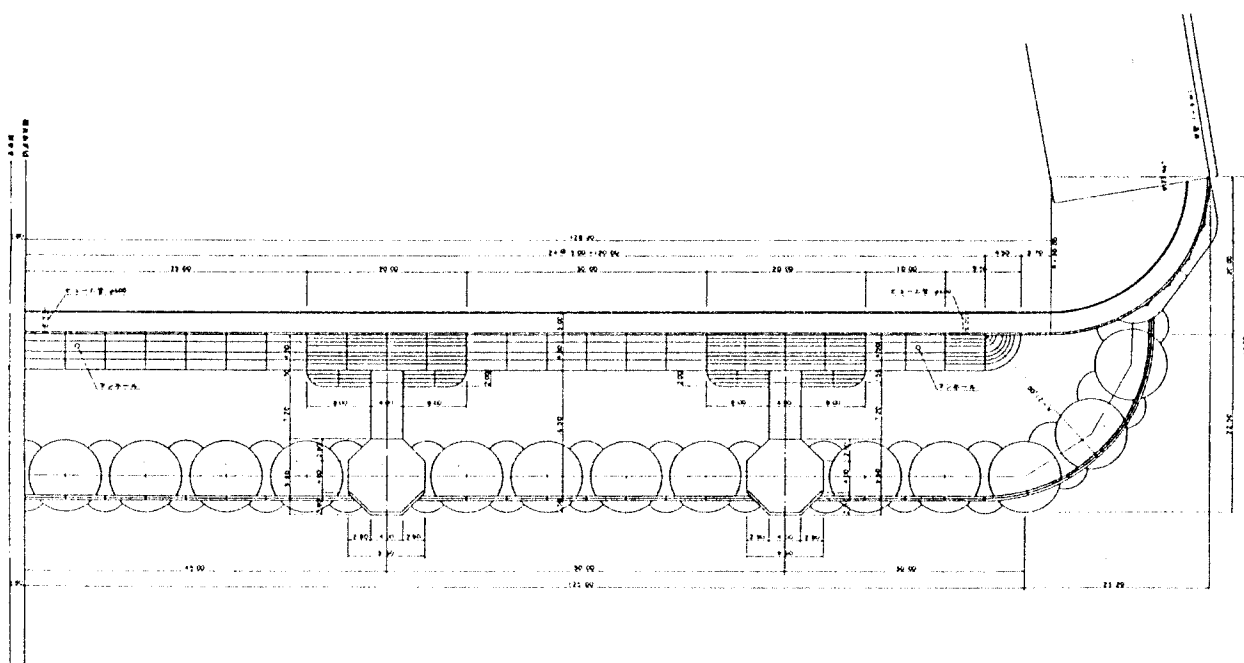
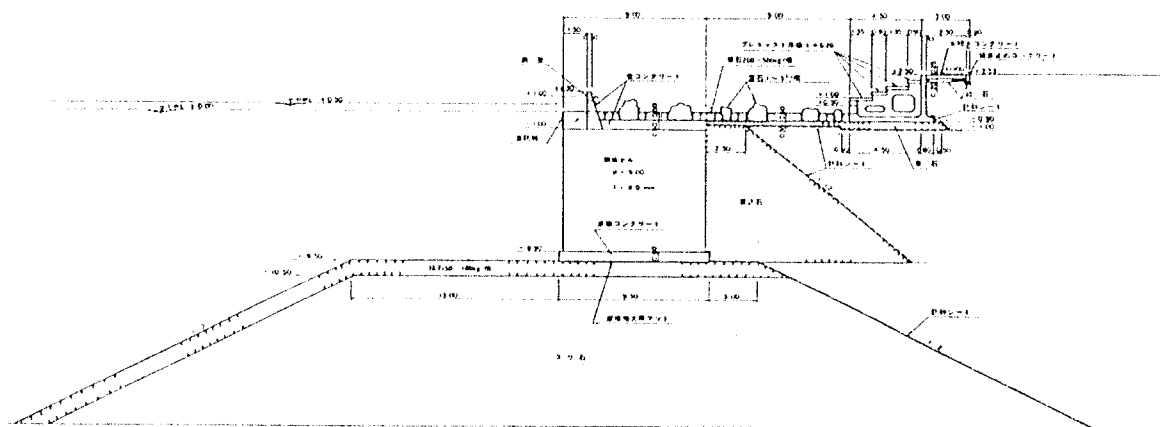


図 - 6 断面図・平面図