

横浜港南本牧地区におけるケーソン目地透過波低減法のモニタリング結果について

若林 信孝*・春日井 康夫**・所 雅弘***・村上 栄基****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 代表理事・専務理事

*** 国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 技術開発課 課長

**** 前 国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 建設管理官

本調査では、横浜港南本牧地区の防波護岸において、護岸背後の土砂の流出防止対策として施工されているケーソン目地透過波低減法について、モニタリング調査を実施し、比較的波高が大きな条件において、標準仕様の 2m よりも緩衝材の幅を狭くした場合においても、ケーソン目地部の波圧の透過率を 10%~30%に低減することが確認できた。本工法は、ケーソン目地部に後施工で設置することが可能であり、追従性に優れるため、ケーソン背後の吸い出し防止対策として期待できる工法である。

キーワード：ケーソン目地透過波低減法、波圧低減、吸い出し防止、モニタリング調査

1. はじめに

横浜港南本牧地区の防波護岸(図-1, 図-2)は、大水深であり捨石層が厚いため、マウンドの不等沈下等により最大 35cm 程度の目地開きが生じており、護岸背後の土砂の流出防止対策が必要とされている。そこで、過年度調査¹⁾では、ケーソンの目地の開き等への追従性が高く、護岸背後の防砂目地板への波圧低減効果のあるケーソン目地透過波低減法が施工され、モニタリング調査が実施されている。



図-1 横浜港南本牧地区防波護岸

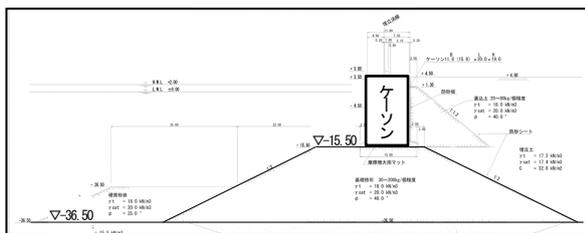


図-2 横浜港南本牧地区標準断面図

本調査では、ケーソン目地透過波低減法に使用する緩衝材の幅の効果を検証するとともに、ケーソン目地の幅の影響の検証を行った。また、台風時の現地調査を行うことで、比較的波高の大きな条件の観測結果を得ることができた。

2. ケーソン目地透過波低減法の概要と特徴

2.1 概要

ケーソン目地透過波低減法は、図-3 に示す緩衝材をケーソン間の目地部に設置することで、ケーソン背後の防砂板へ作用する波圧を低減する工法である²⁾。図-4, 図-5 に設置イメージを示す。防砂板へ作用する波圧を低減させることにより、防砂板の損傷リスクを抑え、裏込め材の吸い出し防止・陥没リスクの低減が期待できる。

本工法は、実海域実証試験が実施されており、ケーソン目地部の波圧の透過率は 20%以下であることが確認されている^{3), 4)}。また、緩衝材設置後の波力低減効果の持続性についても確認されている⁵⁾。



図-3 過年度調査における緩衝材の設置状況

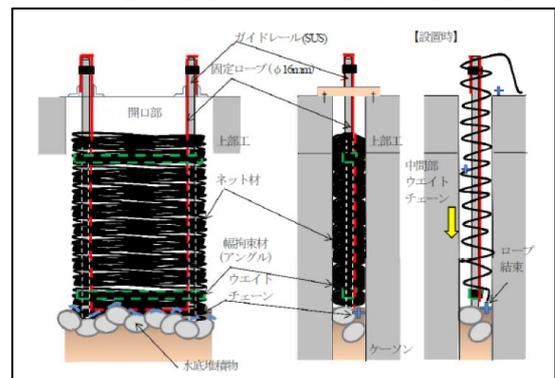


図-4 緩衝材の設置状況イメージ図²⁾

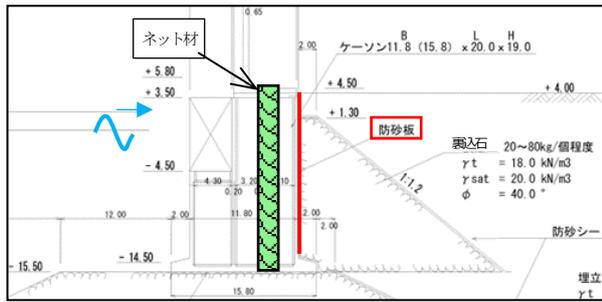


図-5 横浜港南本牧地区の設置断面図

2.2 特徴

本工法の緩衝材は、表-1に示す耐衝撃性、耐腐食性、緩衝効果、自己劣化、追従性、設置容易性を要求性能とした6項目について検討し、選定されたものである。他材料・工法としては、アスファルトマシチック、袋詰め砕石等がありうるが、前者は遮水が目的の遮水材であること、後者はケーソン間目地の設置性や追従性の点で本工法とは明確に異なっている。

また、本工法は、全国の護岸・岸壁背後の様々なケーソン間形状に適応可能であること、容易に設置が可能であること、可能な限り材料の劣化がなく追従性に優れるうえ、メンテナンスフリーであることも特徴として挙げられる。

表-1 緩衝材の要求性能²⁾

	コンクリート	鋼製材	ロープ	ネット	ゴム板
①耐衝撃性 (波力による破壊がない)	×	△	○	○	△
②耐腐食性 (腐食による機能喪失がない)	○	×	○	○	×
③緩衝効果 (剛性が少ない)	×	×	○	○	△
④自己劣化 (引波等ではげない)	-	-	×	○	-
〃 (経年劣化が少ない)	○	○	○	○	○
⑤追従性 (地震時等のケーソル移動に追従する)	×	×	○	○	×
⑥設置容易性 (様々な現場形状に適応可能)	×	×	○	○	×

3. モニタリング調査

本工法のネット幅の標準仕様は2.0mであり、ネット幅2.0mでは既往の現地実証試験において波圧低減効果が確認されているものの、ネット幅が標準仕様より狭い条件では、波圧低減効果が確認されていない。ネット幅を狭くすることにより、材料費の低減や施工性が向上することによる施工費の低減等が見込まれることから、本調査において、ネット幅1.0mとした場合の波圧低減効果について確認することとした。

また、過年度調査では、令和2年10月に計測機器が設置されており、台風期の計測ができていない。そのため、本調査では目地部の波圧が大きくなることが想定される台風時の計測を行うこととした。

3.1 計測機器設置状況

本調査において使用した計測機器は、過年度調査¹⁾において設置された間隙水圧計を使用して計測を行った。計測機器を設置した位置を図-1、計測機器の設置断面図を図-5、計測箇所目地の状況を表-2に示す。ケーソン目地部の波圧の低減効果を確認するため、図-6に示すようにケー

ソン目地間に設置した緩衝材の海側および陸側に圧力計が設置されている。圧力計の設置高さは、D.L. +1.0m、±0.0m (L.W.L.)、-1.0mの3箇所 (海側と陸側で計6箇所) である。表-2に示すように、計測箇所の目地開きとネット幅を変化させた調査を行うことで以下の項目の検証を行った。

- ① ネット幅の影響による波圧低減効果の変化
- ② 目地開きの影響による波圧低減効果の変化

表-2 計測箇所の目地状況

ケーソン No.	目地開き	ネット幅	目地板との距離
9~10	55mm	1.0m	2.0m
10~11	220mm	1.0m	2.0m
11~12	160mm	2.0m	2.0m

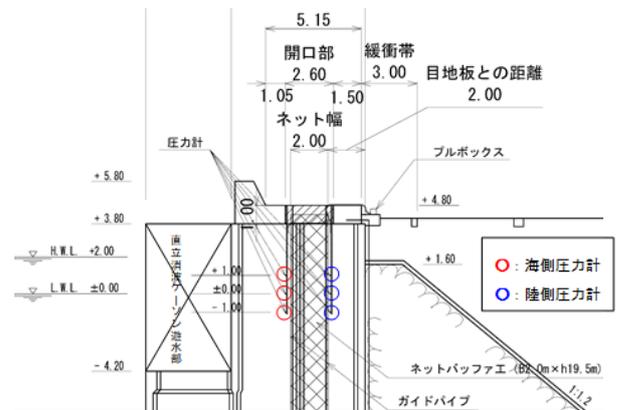


図-6 計測機器の設置断面図 (11-12間)

3.2 モニタリング調査

モニタリング期間およびデータ抽出日時を表-3、モニタリングデータ抽出時の気象・海象条件を表-4に示す。また、モニタリングデータ抽出時の気象庁の天気図を図-7に示す。表-4中の観測値について、潮位はナウファス (京浜港 (横浜))、波高・周期・波向はナウファス (第二海堡)、風速・風向は気象庁 (横浜市) の計測結果である。

本調査では、横浜港に影響のあった台風として、台風14号および16号時の計測を行った。台風の特徴として、台風14号は日本列島を横断したものであり、台風16号は太平洋上を北上し、関東に接近したものである。

モニタリング調査は、台風接近前に計測機器を設置し、台風接近時の連続観測を行った後、計測機器を回収した。その後、計測したデータについて、波圧が大きい時 (1時間分) のデータを抽出し、各種整理を行った。

表-3 モニタリング期間およびデータ抽出日時

計測 No.	モニタリング期間	データ抽出日時
R03_2	2021年 9月 17日 15:00 ~ 9月 21日 15:00	2021年 9月 18日 3:00 ~ 4:00
R03_3	2021年 9月 29日 15:00 ~ 10月 4日 15:00	2021年 10月 1日 15:00 ~ 16:00

表-4 モニタリングデータ抽出時の気象・海象条件

計測 No.	潮位 m	有義波高 m	周期 s	波向	風速 m/s	風向	備考
R03_2	1.64 ~ 1.73	0.63	3.7	SSE	7.9	SSE	台風14号
R03_3	1.60 ~ 1.61	1.01	4.1	NNE	12.5	N	台風16号

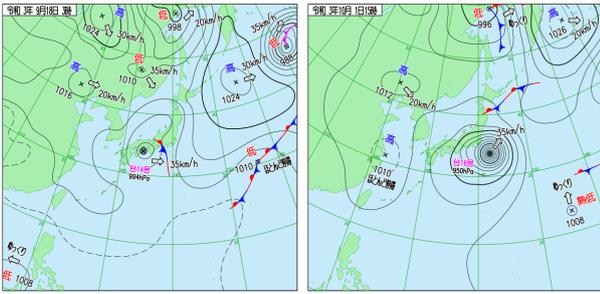


図-7 モニタリング時の天気図
(左：9/18 3時，右：10/1 15時)

4. 調査結果

4.1 データの整理手順

モニタリング結果の整理手順を以下に示す。

1. 潮位変化の影響を除去するため、計測開始時点の潮位を基準として、潮位変化による圧力を計測データから補正する。
2. ノイズの影響を小さくするため、0.1秒間隔で取得した計測データを0.5秒間隔で平滑化する。
3. 海側の計測データにおいて、最大の振幅を含む2分間を抽出する。
4. 抽出した2分間の計測データの平均値を算出し、平均値を0.0kPaとなるように、計測データを調整する。
5. 調整した計測データから、両振幅の最大値及び両振幅の平均値を算出する。
なお、陸側の両振幅の最大値は、海側の両振幅の最大値が発生した時刻の振幅とする。
6. 透過率を算出する。
なお、透過率の定義は以下の通りである。
透過率 = 陸側の計測結果 / 海側の計測結果

4.2 データの抽出

計測値が小さい場合、ノイズの影響が大きくなる。したがって、計測値がある程度の数値「しきい値」以上の計測結果を抽出し、対策工法の効果について評価を行う必要がある。

過年度調査のヒアリング結果から、「しきい値」を10.0kPa（水頭差1.0m程度）とすべきではあるが、東京湾内では計測値が小さいため、「しきい値」を10.0kPaとした場合、有意なデータが少なく、異なるネット幅および目地幅についての比較ができないことが懸念された。そこで、本調査では、「しきい値」を最大振幅幅での5.0kPa以上として計測結果を抽出することとした。

また、今回のデータ計測結果では、計測機器の設置位置D.L. -1.0m, ±0.0mは、貝などの付着生物の影響と思われる現象から、海側と陸側の圧力の差が明確に計測できなかった。そのため、本調査においては計測結果が大きい数値である+1.0mのデータにより評価を行うこととした。

4.3 計測結果

4.1のデータ整理を行った結果の一例を図-8、計測結果一覧を表-5、最大振幅時のネット幅と透過率及び目地幅と透過率の関係を図-9および図-10に示す。

図表中で記載した、R2-1～R2-6は過年度調査の計測結果である。過年度調査では静穏時に観測が行われており、有義波高は約0.3m～0.5m（ナウファス（第二海堡））である。本調査では、台風時の比較的波高の大きな条件で計測ができたため、波高の大小での比較も可能となった。図表中のR3-2、R3-3は台風時の計測結果であり、有義波高は約0.6m～1.0mである。

波高が小さい過年度調査では、ネット幅1.0mの場合、緩衝材前後の波圧の透過率は最大振幅、平均振幅ともに30%～40%程度となった。一方で、比較的波高が大きな本調査では、ネット幅1.0mの場合、緩衝材前後の波圧の透過率は最大振幅、平均振幅ともに10%～30%程度となった。この結果より、比較的波高が大きい場合は、波圧低減効果がより大きいことが確認できた。

ネット幅と透過率の関係をみると、ネット幅2.0mの方が透過率が小さく、ネット幅が広い方が波圧低減効果は大きいことが確認できる。一方で、目地幅と透過率の関係については、目地幅が狭い方が透過率は小さい傾向があるものの、目地幅の影響は小さいと言える。

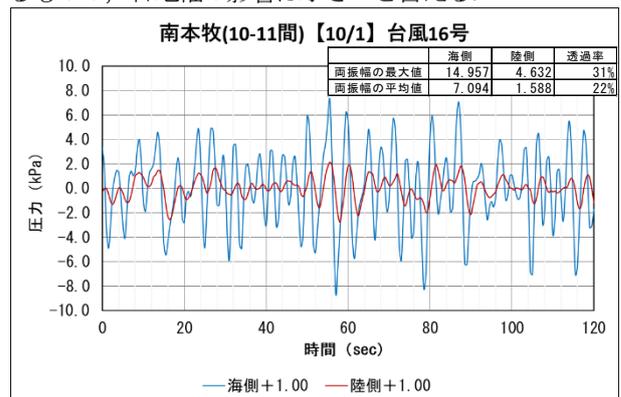


図-8 計測結果（ケーソンNo.10-11間）【D.L. +1.0m】

表-5 計測結果一覧

南本牧 +1.0m	9-10間			10-11間			11-12間			備考	
	海側	陸側	透過率	海側	陸側	透過率	海側	陸側	透過率		
R2-1	西振幅の最大値 1.746	1.227	70%	2.755	2.156	78%	2.478	2.340	94%	ネット設置前 R2/10/12～19	
	西振幅の平均値 0.779	0.653	84%	0.960	1.288	134%	0.692	0.983	142%		
R2-2	西振幅の最大値 —	—	—	6.224	1.386	22%	—	—	—	R2/11/3～14	
	西振幅の平均値 —	—	—	4.016	0.873	22%	—	—	—		
R2-3	西振幅の最大値 —	—	—	6.396	2.002	31%	—	—	—	R2/11/18	
	西振幅の平均値 —	—	—	3.077	1.007	33%	—	—	—		
R2-4	西振幅の最大値 —	—	—	7.651	2.838	37%	6.160	1.427	23%	R2/11/19	
	西振幅の平均値 —	—	—	3.894	1.189	31%	3.388	0.739	22%		
R2-5	西振幅の最大値 5.900	2.496	42%	10.357	4.444	43%	8.543	2.644	31%		
	西振幅の平均値 2.174	1.109	51%	4.286	1.580	37%	6.517	0.828	13%	R2/11/20	
R2-6	西振幅の最大値 5.056	1.082	21%	10.652	3.520	33%	7.259	1.381	19%	R2/12/24	
	西振幅の平均値 2.937	0.534	18%	6.301	3.200	56%	3.769	0.748	20%		
R3-1	西振幅の最大値 6.348	0.312	5%	14.219	1.224	9%	6.783	0.260	4%	動作確認 R3/8/18	
	西振幅の平均値 3.154	0.319	10%	7.604	0.884	12%	3.493	0.147	4%		
R3-2	西振幅の最大値 6.939	0.582	8%	17.023	3.360	20%	5.950	0.141	2%	台風14号 R3/9/18	
	西振幅の平均値 4.193	0.413	10%	8.621	1.375	16%	3.470	0.138	4%		
R3-3	西振幅の最大値 —	—	—	14.957	4.632	31%	—	—	—	台風16号 R3/10/1	
	西振幅の平均値 —	—	—	7.094	1.588	22%	—	—	—		
R2平均	西振幅の最大値		32%			33%			24%	R2-1は除く	
	西振幅の平均値		35%			36%			18%		
R3平均	西振幅の最大値		7%			20%			3%		
	西振幅の平均値		10%			17%			4%		
摘要	目地幅	55mm			220mm			160mm			
	ネット幅	1.0m			1.0m			2.0m			

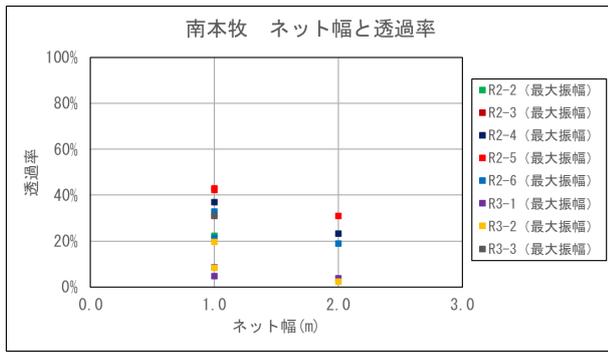


図-9 ネット幅と透過率 (最大振幅)

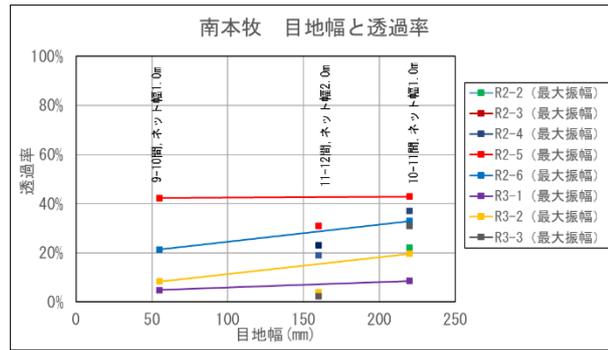


図-10 目地幅と透過率 (最大振幅)

4.4 台風時の計測結果のスペクトル解析

台風来襲時の波圧の計測値について、台風の違いによる波形の違いを確認するため、スペクトル解析を行った。その結果を図-11、図-12に示す。なお、解析を行うデータは、ある程度大きな波形を計測した+1.0mの結果を用い、計測値は4.1に示した処理を行う前の生データを用いた。

この結果より、長周期成分より短周期成分は減衰されやすい傾向が確認できる。また、台風16号は、主な成分として $T=3s$ 程度、 $T=5s$ 程度、 $T=15s$ 程度に分散されている。これは、図-7に示すように台風16号が太平洋上に北上していたため、太平洋からのうねり成分が東京湾内に入った可能性が考えられる。ただし、観測数が少なく、台風による波圧の作用状況の把握が難しいため、引き続き調査を行う必要があると考えられる。

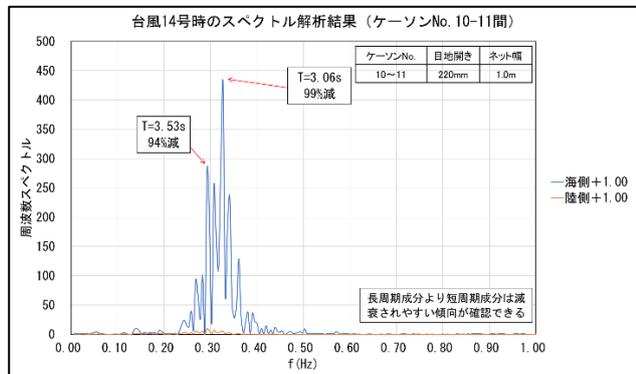


図-11 台風14号時のスペクトル解析結果

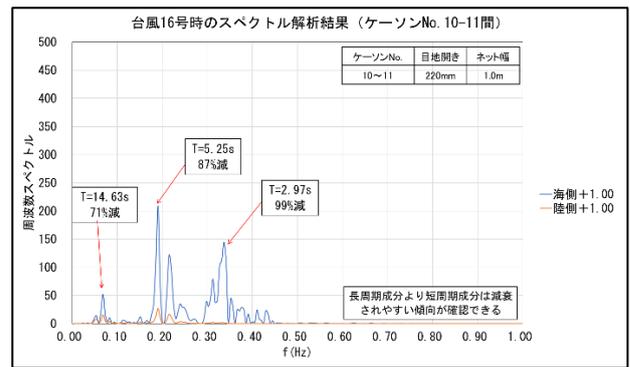


図-12 台風16号時のスペクトル解析結果

5. おわりに

今回の検討により、ケーソン目地透過波低減法に用いるネット幅を標準仕様より狭い1.0mとしても、比較的波高が大きな条件において、ケーソン目地部の波圧の透過率を10%~30%に低減することが確認できた。また、ケーソン間の目地幅については、計測結果への影響が小さいことが確認できた。

一方、本調査は観測箇所が東京湾内であるため、波高の大きな条件での観測数が少ない。引き続き調査を行い、台風時の観測を行うとともに、波高の大きな条件が期待できる外洋に面した護岸等において、ネット幅を標準仕様よりも狭くした場合の調査を行うことが必要と考える。

謝辞

本稿は、国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所発注の港湾・空港施設の設計等に関する技術支援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、(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 沿岸水工研究領域 鈴木領域長、地盤研究領域 動土質研究グループ 佐々グループ長及び関係各所から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所: 令和2年度 護岸・岸壁における砂の吸い出し防止対策検討調査, 2021.
- 2) 佐々真志・石坂修: 吸い出し・陥没抑止に向けたケーソン目地透過波低減法, 港湾空港技術研究所資料, No. 1393, 2021.
- 3) 石坂 修, 佐々 真志: 吸い出し・陥没リスク抑制に向けた緩衝材によるケーソン目地透過波低減法と現地試験による実証, 土木学会論文集B2 (海岸工学) Vol. 73, No. 2, p. I_1477~I_1482, 2017.
- 4) 石坂 修, 佐々 真志: 吸い出し・陥没リスク抑制に向けた緩衝材によるケーソン目地透過波低減法の適用範囲の拡大と検証, 土木学会論文集B2 (海岸工学) Vol. 74, No. 2, p. I_1081~I_1086, 2018.
- 5) 石坂 修, 佐々 真志: ケーソン目地透過波低減法の波力低減効果の継続性と陥没抑止効果の実証, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol. 75, No. 2, p. I_421~I_425, 2019.