

波浪による海岸居住地の振動・騒音被害について

山本 泰司*・笹島 隆彦**・水野 雄三***・長内 戦治****

1. ま え が き

北海道の太平洋側に位置する白老港の西側の海岸では、波浪が原因と思われる振動、騒音により海岸居住地の家屋に被害が生じたり、安眠できないといった問題が生じている。波浪による騒音に関しては大久保ら(1994)が調査を行っているが、これは騒音の特性を把握するにとどまっており、波浪との関係は解明されていない。また、波の音に関しては快適性といった環境としてとらえた研究が中心である。

白老海岸では波浪による振動、騒音が大きく、社会問題となったが、いずれの海岸においてもこのような問題は存在する可能性があると考えられる。このため、海岸管理者等に対してアンケートを行い、北海道全域の海岸における振動等の問題の発生状況を調査した。

白老海岸においては、特に問題の大きい地区を対象として海岸周辺の居住者に対してヒヤリングを行い、被害の実態を調査した。また、現地において振動、騒音および波浪の観測を行った。本報告では、これらの調査結果に基づき振動等の特性や波浪と振動の関係について考察し、さらに振動対策方法の検討を行う。

2. 北海道沿岸の振動問題発生状況

振動、騒音に関して北海道沿岸の港湾・漁港・海岸管理者に対してアンケートを行い、海岸付近の住人からの苦情の有無について調査を行った。

図-1は、回答のあった62海岸の振動問題の発生状況を示している。このうち、北海道南部の日高・胆振海岸および内浦湾から渡島半島南部にかけての太平洋に面した8海岸で何らかの問題が発生している。特に、日高・胆振海岸では被害が大きく、複数の管理者から家の外壁や窓ガラスの損傷などの家屋被害が報告されており、振動や騒音、あるいは家屋が揺れることへの恐怖感から睡

眠できないといった深刻な問題が発生している。

鴻上ら(1970)によれば、以前から内浦湾および日高海岸は海岸侵食が非常に激しく、海岸のほとんどで突堤や護岸等の海岸防護工により侵食を防いできた。白老海岸を含む胆振海岸は、部分的には侵食のみられる海岸もあるが全体としては大規模な砂浜で形成される安定な砂浜海岸であった。しかし、近年は侵食傾向が強く、海岸保全のため直立型護岸が設置され、最近では潜堤や緩傾斜護岸等も配置されている。

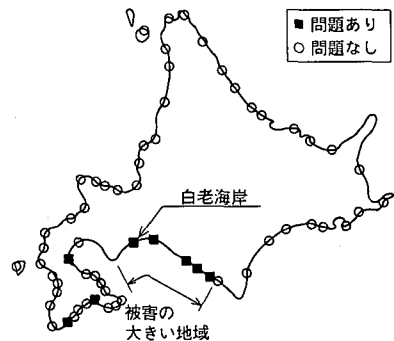


図-1 北海道における振動・騒音問題の発生状況

3. 白老海岸における現地調査

3.1 振動被害の状況

a) 海岸地形と海岸保全施設

図-2に白老港西側海岸の平面図を示す。白老海岸は、日高・胆振海岸の中間に位置する単調な砂浜海岸である。近年は海浜の侵食が激しく、昭和48年から海岸保全事業として傾斜護岸の整備が進められた。昭和57年からは地方港湾である白老港の建設が開始された。昭和63年以降、台風や冬季風浪により既設護岸が相次ぎ被災したため、平成2年からは既設護岸全面に消波工が設置されてきた。また、同じく平成2年には白老港西防波堤から約1300mの地点に人工リーフが1基設置された。

b) 振動問題の状況

振動や騒音の状況を把握する目的で、港湾管理者が主体となって、振動被害の大きい海岸付近の61世帯に対し

* 正会員 工修 北海道開発局 開発土木研究所 環境水工部 港湾研究室
 ** 正会員 北海道開発局 開発土木研究所 環境水工部 港湾研究室長
 *** 正会員 工博 北海道開発局 開発土木研究所 環境水工部 長
 **** 正会員 (社)寒地港湾技術研究センター 専務理事

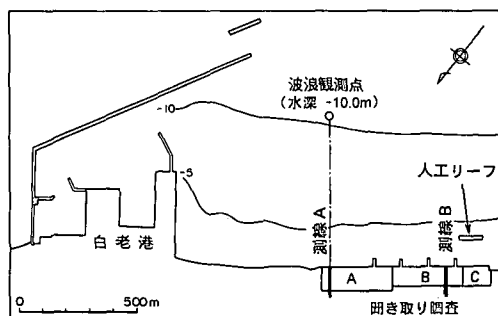


図-2 白老海岸平面図

て聞き取り調査およびアンケート調査を実施し、56世帯から回答を得た。調査は、前出図-2に示すように護岸背後80～100mまでのA～Cブロック内の住宅を対象とした。

波の音に関しては、Aブロックでは79%が常に大きく聞こえると回答したのに対し、B、Cブロックではほとんどの世帯で時々強く聞こえるという回答にとどまっている。振動の感じ方に関しても全く同様の傾向であり、Aブロックの世帯の被害感が特に強い。

被害の内容としては、39%の世帯で外壁のひび割れや家屋沈下などの屋外の被害があり、窓ガラスが鳴る、物が落ちるといった屋内被害は76%もの世帯で発生している。

波の音や振動を感じ始めた時期に関しては、約3割が昭和45～49年と回答しており、初めて護岸が設置された時期と一致する。また、特に強く感じられるようになった時期として、約3割が平成元年と回答しており、この時期は護岸前面の侵食が進み、吸い出しによる護岸基礎部の空洞化が顕著になった時期である。

3.2 現地振動調査の方法

Aブロック内の、特に被害の大きい住宅を通る測線A上において、振動レベルおよび騒音レベルを測定するとともに、測線上の水深10m地点において波浪観測を行った。また、比較のため測線Aから約600m西方の測線B上においても振動・騒音レベルを同時に測定した。

図-3に測線Aにおける計測器の配置位置を、表-1に測定項目と測定期間を示す。測点No.1～3は地上屋外の測点であり、No.4はNo.3に近接した住宅家屋内に、No.5は地質調査のため実施したボーリング孔の深度8mに計測器を設置した。

各測点において、比較的高波浪の期間中に日中および深夜それぞれ1～2時間程度、振動、騒音レベルを測定した。測点No.3の振動については、波浪状況との対比を目的として長期測定を実施した。振動は直交する3方向成分を計測した。騒音は普通騒音計と低周波領域まで周波数応答可能な騒音計を併用して計測した。

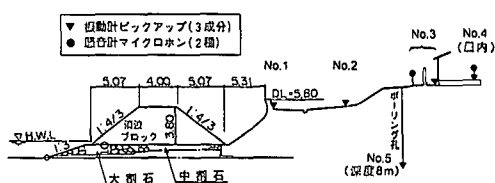


図-3 護岸構造と計測機器設置位置 (測線A)

表-1 測定項目と測定期間

区分	測定項目	測定期間	備考
波浪観測	波高・波向き	1994/10/8～11/12	毎正時前後20分間測定
測線A No.3 長期観測	振動レベル 振動加速度	1994/10/13～11/8	レベルは連続紙に記録・加速度は毎正時1分間
測線A No.1～5 集中観測	振動レベル 騒音(No.3,4)	10/13 15:00～18:10 10/27 13:10～14:00 10/27 16:45～18:45 10/30 21:54～2:45 10/31 1:17～2:39 11/2 13:05～15:03 11/3 2:00～4:00	静穏時($H_{1/3}=0.7\sim0.8\text{m}$) No.4振動レベルのみ No.5を除く
測線B No.1,3 集中期間	振動レベル 騒音(No.3)	10/13 15:00～18:10 10/27 13:10～14:00 10/27 16:45～18:45 11/2 13:05～15:03	

測線Bの護岸構造は測線Aと同様であり、測線AのNo.1およびNo.3と同じ位置に測点を設定した。

3.3 振動・騒音の特性

振動、騒音の特性について、10月13日午後の波浪静穏時および10月27日～11月3日の波浪時の集中観測結果から考察する。表-2は各測点における振動レベルの測定値を示している。振動3成分の測定値を比較するとほとんどのデータで $Z > X > Y$ (X :海岸線に平行な水平動, Y :海岸線に直交する水平動, Z :上下動)となっていることから、ここではZ成分のみを代表させて示し検討することとする。

静穏時の振動レベルは最大で37～52dBである。これに対し、波浪時には頻繁に70dBを越え、今回の調査では家屋内の測点で最大で75dBを記録した。地中の測点No.5から地表の測点No.3へは見かけ上増幅しており、その程度はZ成分では5～7dBであった。屋外No.3から屋内No.4への増幅は最大3dB程度であり、一般的にいわれている増幅幅(5～6dB)(通商産業省, 1977)より小さい。

環境庁(1977)は振動レベルと睡眠等との関係を示しているが、これをもとに今回の測定値をみると、静穏時の振動レベルは、一般的な人体感覚のいき値とされ

表一2 振動レベルの測定値 (Z成分) の概要

単位: L_v (dB)

測 点	測 線 A					測 線 B	
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 1	No. 3
暗振動	20~25	18~23	22~28	22~28 (35~37)	12~17	15~20	24~28
静穏時	~49	~49	~46	~48	~37	~44	~52
波浪時	~74	~73	~69	~75	~64	~56	~59

※測点 No. 4 の () は、冷蔵庫のコンプレッサ作動時

る 55 dB を下回っており、睡眠に対する影響はほとんどない。振動レベルが 69 dB の場合、睡眠深度 1 では全て覚醒するが、深度 2 以上では影響は小さく、74 dB では深度 2 も覚醒する場合が多いとされている。また、70 dB 程度で物的被害感も生じるという点でも、波浪時の振動は居住者の受認限度を越えていると思われる。

表一3 に騒音レベルの測定値を示す。騒音レベルの屋外から屋内への減衰は 10~15 dB(A) 程度で、家屋の遮音効果が認められるのに対し、低周波音圧レベルは家屋内外でほとんど差はない。

測線 B での振動レベルは波浪時においても 60 dB 未満であり、測線 A と同一時間帯と比較すると、振動レベルで 10~15 dB 程度、騒音レベルで 10 dB(A) 程度小さくなっており、アンケート結果を裏付ける結果となった。

3.4 波浪状況と振動レベル

a) 長期観測結果の概要

波浪と振動の長期観測結果に基づき、波浪状況と振動レベルの関係について考察する。図一4 は 10 月 14 日から 25 日間の有義波高、波高記録からの平均水位および振動レベルの変化を示している。ここで、振動レベルは 1 時間毎の最大値である。

10 月 26 日から 11 月 3 日にかけては波高 $H_{1/3}$ が 1 m

表一3 騒音レベルの測定値の概要

単位: 低周波騒音=LSPL(dB), 騒音=dB(A)

測 点	測 線 A				測 線 B	
	No. 3		No. 4		No. 3	
種 類	低周波	騒音	低周波	騒音	低周波	騒音
暗騒音	60~70*	48~51	52~55	35~40	65~70	39~43
静穏時	*	~63	*	~50*	*	~54
波浪時	~103	~81	~102	~67	~94	~69

*印は、強風のため明確に示すことができないことを意味する。

LSPL: 1~50 Hz の音圧に対し平坦な感度を有する低周波音圧レベル

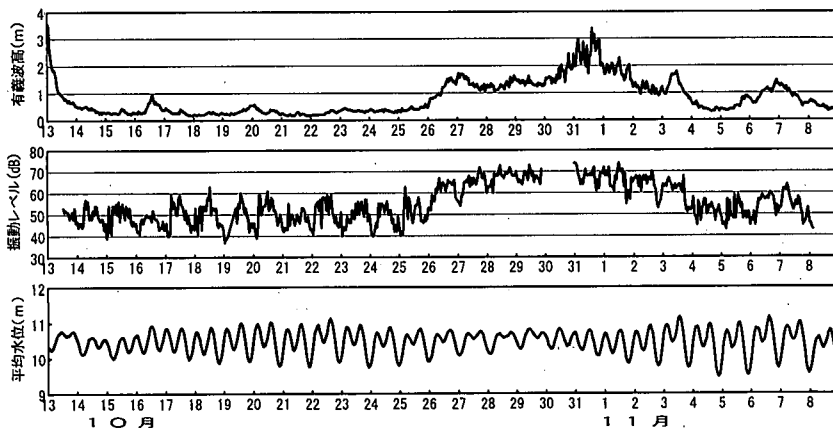
以上の比較的高波浪が来襲した。この間の振動レベルは 60~70 dB 前後の値となっている。10 月 26 日より以前の静穏期の波高 $H_{1/3}$ はほとんど 0.5 m 以下であるが、振動レベルは 40~60 dB の間で変動している。この間、水位変動にともなって振動レベルが変動しており、水位の高いときは振動レベルも高くなっているようである。

b) 水位と振動レベル

図一5(a)(b) は、前出の長期観測データを用いて、水位と振動レベルのスペクトル分析を行ったものである。水位のスペクトルには 25 時間と 12.5 時間に鋭いピークがあり、それぞれ日周潮および半日周潮によるものである。水位のスペクトルのように鋭くはないものの、振動レベルのスペクトルにも 2 つのピークが現れており、ピーク周波数は水位と一致している。前節 a) で述べたように、水位変動は振動レベル変動に明らかに影響していると言える。これは、水位変動によって碎波点、すなわち振動の発生位置や碎波形態が変化し、観測地点に伝達する振動のレベルも変動するためと考えられる。

c) 波浪と振動レベル

図一6 は有義波高 $H_{1/3}$ と振動レベル (Z 成分) L_v の関



図一4 長期観測期間中の振動レベル (Z成分)・有義波高・平均水位

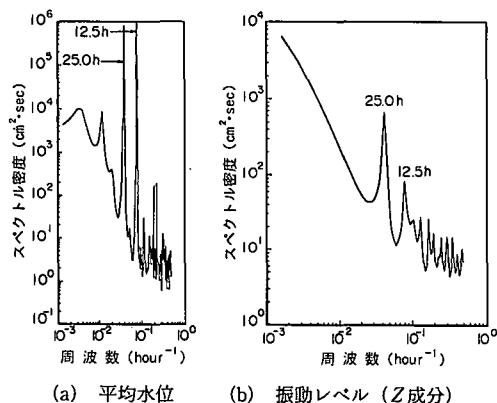


図-5 スペクトル形状

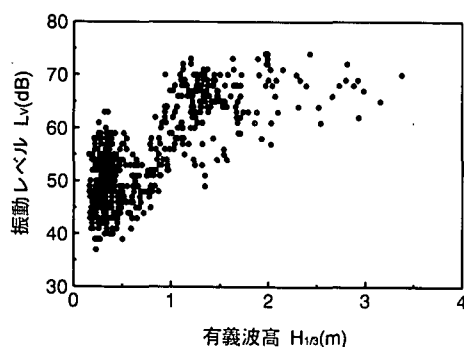


図-6 有義波高と振動レベル

係を全データについてプロットしたものである。全体的にみると、 $H_{1/3}=0.7\text{ m}$ と 1.1 m を境界として分布が異なっている。

- ① $H_{1/3} < 0.7\text{ m}$ では、おおむね $L_v = 40 \sim 60\text{ dB}$ の範囲にある。これは先に示した静穏期の変動幅と一致する。
- ② $0.7\text{ m} \leq H_{1/3} < 1.1\text{ m}$ では、 L_v の上限値は波高の増大とともに急激に増加する。
- ③ $H_{1/3} \geq 1.1\text{ m}$ では、 L_v の上限値は頭打ちとなり、波高が増大しても 75 dB を越えることはない。これは、波高が大きいと水深の深い沖側で砕波するので、振動を発生させるエネルギーが頭打ちとなるためと考えられる。

図-7 は、 $0.7\text{ m} \leq H_{1/3} < 1.1\text{ m}$ の条件における波形勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ と振動レベル L_v の関係を示したものである。波形勾配が大きくなると振動レベルは小さくなる傾向がみられる。測線 A における水深-5 m までの平均海底勾配は約 $1/30$ であるが、この条件における巻き波砕波の発生条件は $H/L < 0.027$ であり(土木学会, 1985), 巻き波砕波により衝撃的な波力が地盤に作用するため、振動レベルが大きくなっていることが考えられる。

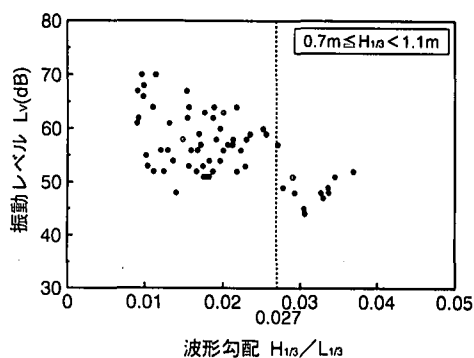


図-7 波形勾配と振動レベル

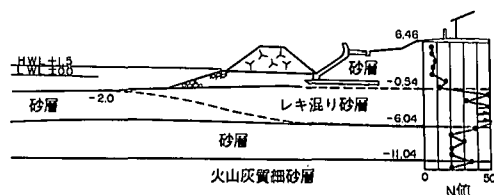


図-8 地質断面想定図

3.5 振動の発生と伝達に関する考察

図-8 にボーリングによる地質調査結果から想定される地質構造を示す。地表面から深度 7 m までは N 値 10 未満の埋め立て砂層であり、その下層 5 m 程度は N 値 50 以上のレキ混じり砂、さらに下層は N 値 $20 \sim 30$ 程度の砂および火山灰質細砂層となっている。

振動は、来襲波浪が砕波し海底地盤や構造物に衝突することにより発生するものと考えられる。図-8 に示したように護岸構造物と水位の位置関係から、振動の発生源は胸壁や消波工本体ではなく、消波工の基礎部あるいは海底地盤であると考えられる。

今回の調査をもとに振動の伝達機構について若干の考察を加える。上述のように振動源が地盤表面にある場合、 P 波や S 波よりも表面波が卓越するものと予想される。これを確認するため、調査で得られた代表的な加速度波形を用いて検討を行った。その結果、表面波の特徴である、①振源から同一距離の地中と地表では、到達時間差がきわめて小さく、②振幅は地表で大きく、地中に向かって急減することがほぼ確認された。また、③周期数により伝播速度が異なる(高周波数では表層での横波伝播速度 V_s に、低周波数では下層での V_s に近似した速度となる)分散性も不明瞭ながら認められた。これらのことから、振動は主として表面波として伝達しているものと推察できる。

4. 振動対策

4.1 振動対策方法の考え方

海岸居住者に対する振動対策としては、①振動発生源、②伝達経路、③振動受信部のそれぞれにおいて有効な方法を検討する（図-9）。

①の対策は振動発生を抑制するものである。具体的方法としては、防波堤や離岸堤等により来襲波浪を制御する。あるいは、護岸の緩傾斜化等により衝撃的な振動の発生を防止する方法が考えられる。これらの対策は騒音の軽減効果も期待できる。

②の対策は振動の伝達を阻止するものであり、護岸背後の地盤中に振動を緩衝するフィルター層を設置する方法が考えられる。

③の対策は、住宅の基礎からの振動の伝達を防止するものであり、ゴム支承やバネなど緩衝性をもった基礎構造とすることが考えられる。また、②の対策を含めて騒音軽減効果は期待できない。

4.2 現地における振動対策工法

現地における振動、騒音の対策方法としては、前節に挙げた工法のうち最も確実性の高い離岸堤による波浪制御が有効であると考えられる。

次に離岸堤設置による振動軽減効果の検討例を示す。離岸堤の効果は、背後水域の波高の低下を来襲波高の減少に置き換えて評価することとする。すなわち、波高計設置位置（-10 m）の波高を H_a とし、離岸堤設置後の汀線付近の波高比を数値計算により求め、その変化から見かけの来襲波高 H_a を算出する。

エネルギー平衡方程式に基づく試算例を表-4に示す。例えば、波高 $H_0=2.0$ m、周期 $T_0=15$ s の波浪に対し、堤長 80 m の場合、現況では $H_a=2.24$ m であり、前出図-4の有義波高と振動レベルの関係から推定すると 60~75 dB 程度の振動が生ずる。離岸堤を設置した場合は $H_a=0.95$ m となり、振動レベルは 66 dB 程度以下に低下すると推定される。

5. 主要な結論

今回の調査により得られた主な結論をまとめる。

- ① 北海道の太平洋に面した胆振・日高海岸では、波浪による振動が海岸居住者に深刻な影響を及ぼしている。

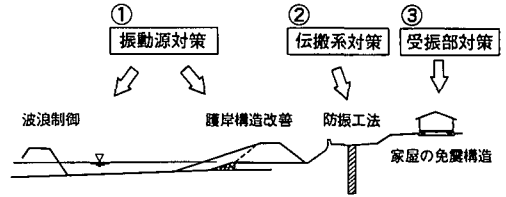


図-9 振動対策の考え方

表-4 数値計算による離岸堤設置効果の検討

沖波波高 H_0 (m)	周期 T_0 (s)	換算波高 H_a (m)		計 算 条 件
		現 況	設置後	
1.0	10	0.97	0.40	波高伝達率 $K_t=0.35$
2.0	15	2.24	0.95	波向集中度 $S_{max}=75$
3.0	15	3.36	1.43	波 向 $\beta=0^\circ$

※離岸距離 80 m、堤長 80 m、開口幅 20 m の場合

- ② 振動は水位の影響を受け、水位が高いと振動レベルが大きくなる。
- ③ 波高の増大とともに振動レベルも大きくなるが、75 dB 程度で頭打ちとなる。
- ④ 巻き波砕波の波浪条件のとき振動レベルが大きい。
- ⑤ 振動は主に表面波として伝達する。
- ⑥ 振動対策としては離岸堤の設置が効果的である。

謝辞：白老海岸における住民聞き取り調査は、白老町が実施したものであり、同町主催による白老港海岸整備計画調査検討委員会（委員長：佐伯浩北海道大学教授、事務局：(社)寒地港湾技術研究センター）資料を引用させていただいた。ここに、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 大久保智・新鍋秀幸・岩田行夫（1994）：波浪による海浜居住地の騒音、低周波音について、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，pp. 205-208。
- 環境庁大気保全局特殊公害課編（1977）：振動規制技術マニュアル，pp. 60-68。
- 鴻上雄三・井波宏之・星 藤男（1970）：北海道太平洋岸における海岸侵食の特徴—内浦湾、日高・胆振海岸の侵食成因調査から—，第 17 回海岸工学講演会論文集，pp. 283-288。
- 通商産業省立地公害局監修（1977）：公害防止の技術と法規，p. 29。
- 土木学会編（1985）：水理公式集，pp. 510-511。