

孔間弾性波探査法による離岸堤の埋没状況に関する考察

西田仁志*, 山口 豊**, 近藤豊次***, 清水謙吉****

1. まえがき

新潟西海岸は、信濃川からの流下土砂で形成された海岸であるが、明治以降の信濃川の河道改修、大河津分水の開削、河口部での西突堤の建設等により供給土砂が減少し、海岸欠壊を生じてきたため、昭和27年度から潜堤を設置し、侵食対策を講じてきた。しかし潜堤の沈下が著しく機能低下を生じたので、消波ブロックで補強したがその後も沈下が継続することから度重なる嵩上げを行い海岸保全を図ってきている。現在では落ち着いてきているものの傾向的には沈下が進行している。このような構造物の沈下防止対策を検討するに際し、埋没形状を知ることがきわめて有効と考えられる。今回、これらの情報を得るため、新潟西海岸の連続離岸堤を対象に、孔間弾性波法による調査を行い、離岸堤構造物の埋没状況について調査を実施した。本報告は、この弾性波探査の方法およびその成果についてとりまとめたものである。

2. 探査位置および方法

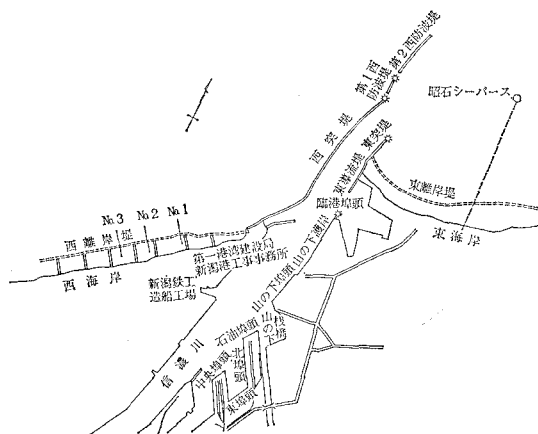
探査位置は、図-1 に示す新潟西海岸の連続離岸堤に3測線を選んで実施した。離岸堤の標準断面は、図-2 に示したとおりである。

調査孔は図-3に示すごとく、1測線に3孔の調査孔を離岸堤をはさんで設置した。調査孔はジェットボーリングにより、深度約10mまで削孔した後、塩化ビニール製ケーシングによって保護した。

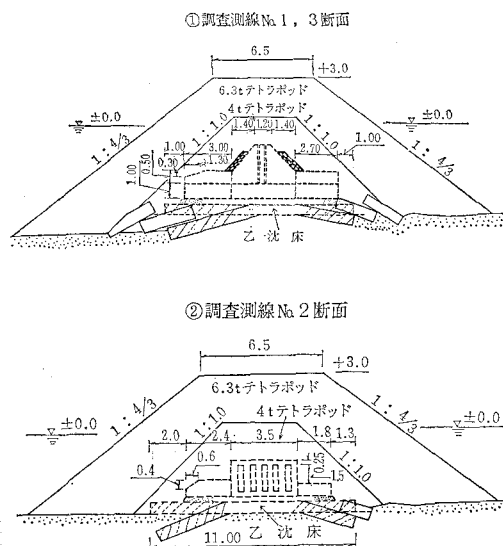
発振孔 C には、海底面下 0, 5, 10 m の 3ヶ所に爆薬をセットして発破点として、受振孔 A には 12 個連結した地震計をセットし受振点とした。

また発振孔Bは、砂層の状態を直接観測するため、発振孔Cと反対方向に受振孔Aからほぼ同一距離に削孔し、発振孔Cと同一条件で人工的に弾性波を発生させ同様な探査を行なった。また、離岸堤をはさんだ地点Aと

Cの付近に各々もう1本削孔し、反対方向で測定を行い、解析精度を高めるようにした。



图一1 探查位置图



図一2 連続離岸堤の断面図

* 正會員 運輸省第一港灣建設局新潟調査設計事務所調査課長

運輸省第一港灣建設局新瀉調查設計事務所調查課資料係長

新鴻鼎新鴻港灣事務所工務課工務第二係長

**** 正会員 大和探査技術株式会社新潟支店長

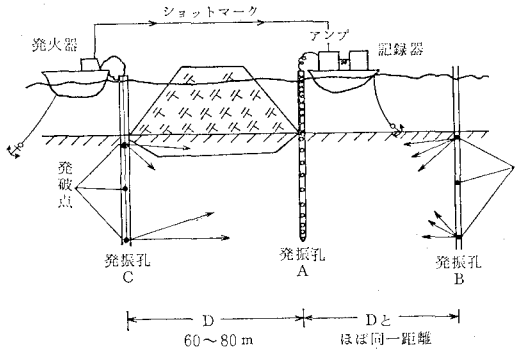


図-3 調査方法図

3. 測定結果の解析

(1) 砂質層の弾性波速度分布の算出

発振点Bから受振点Aの観測結果を基に、調査地点付近の砂質層の弾性波速度分布を求める。

最初に速度測定記録紙により、弾性波の初動値を読みとり走時時間を求め、横軸に時間、縦軸に深度をとり走時曲線(図-4参照)を作成する。

つぎに、各発振点と受振点を放射上に直線で結び、見かけの経路長を計算する。この経路長を走時時間で割ると、弾性波が経路に従って直進したと仮定した場合の速度が得られるので、経路線上に速度を記入し概略の速度分布図を作成した。当海岸の砂層では調査地点周辺土質柱状図から見てほぼ水平成層であることから、この概略速度図を参考に、3~4層の仮想速度層断面図を作成した。弾性波は、各層の媒質密度が異なることから、伝搬速度が異なり、境界面に屈折し伝わっていく。この発振孔から受振孔までの伝搬経路のうちで最短時間経路となる経路を探し、その時間を求めるプログラムを作成した。このプログラムを使用し、各層の速度分布および各層の厚さを変化させ、計算による走時曲線が実測による走時曲線に近似するまで計算を繰り返し行い、最も近似した断面図を当調査地点の「砂層速度断面図」とした。図-6は、この断面図の速度層の厚さおよび速度算定計算の基となった弾性波経路、走時曲線の例を示したものである。

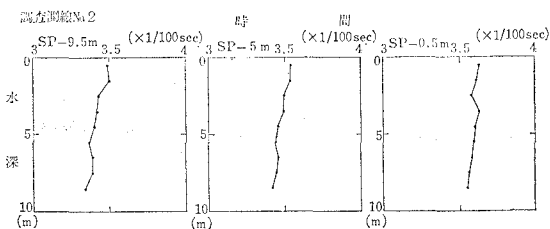


図-4 走時曲線(砂質部)

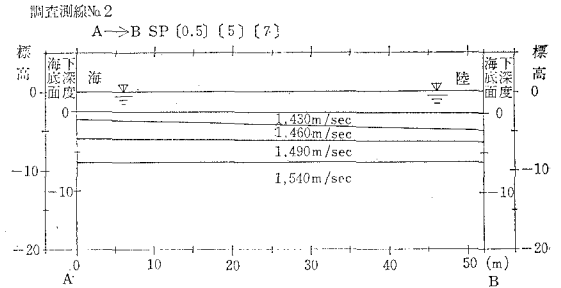


図-5 砂層速度断面図

(2) 離岸堤構造物の弾性波速度分布の算出

離岸堤に用いられているブロックの材料はコンクリートであるから、コンクリートの速度測定を行った。速度測定の方法は、新潟港の防波堤上部Iに5m間隔に地震計を設置し、その両端のコンクリートをかけやでたたき起振し測定を実施した。この記録から初動値を読みとりコンクリートの弾性波の速度を求めた結果、2300 m/secであった。

離岸堤の構造は、砂とコンクリートの混合体であると見なすと、混合体の弾性波速度は次式で表わされる。

$$\frac{a}{V_1} + \frac{b}{V_2} = \frac{a+b}{V_3}$$

$$a+b=100\%$$

ここで、 a は V_1 の速度媒質の比率、 b は V_2 の速度媒質の比率、 V_3 は混合体の弾性波速度を表わしている。

今回は、離岸堤でのブロックの空隙率を50%としてコンクリートの速度と砂層の速度から、各調査測線ごとの離岸堤部の速度を算定した。

(3) 離岸堤埋没断面の推定

まず、離岸堤の仮想断面図を作成した。

離岸堤の弾性波速度、砂層の弾性波速度および弾性波

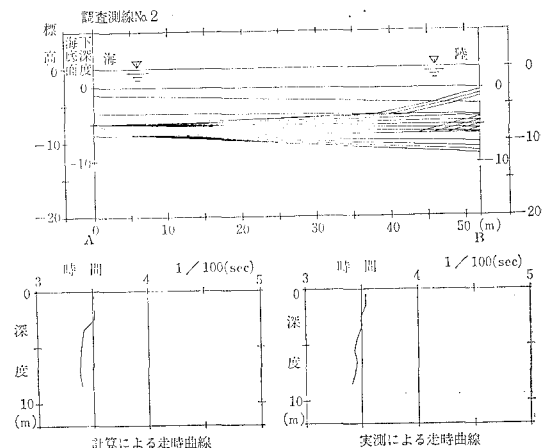


図-6 弾性波経路と走時曲線

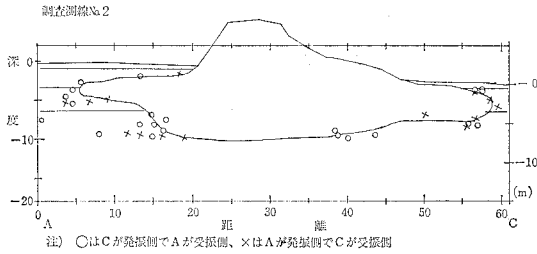


図-7 離岸堤仮想断面図

探査結果から得られた各測点の走時時間をもとにして、弾性波が直進すると仮定して、発振点と受振点を直線で結び、その直線上で構造物を経由した長さを求めた。

この長さを、発振点より受振点まで放射状に結んだ直線上に、潜水夫による目視および水中ジェットによる表層ブロックの確認結果等を参考としてつつプロットし、図-7 の様に仮想断面図を作成した。

離岸堤堤体の断面計算（パス計算）は、直進経路計算によって得られた仮想断面を前述した屈折法を用いてシミュレーション計算を行い、実測の走時曲線と計算された走時曲線とが近似するまで堤体の大きさを変えて繰返し計算をし、最も近似した時の断面をもって離岸堤断面とした。以下、調査測線 No. 2 を例に、離岸堤断面の解析方法について述べる。

- ① 直線経路計算による仮想断面を多角形（図-8 参照）で近似し、シミュレーション計算により走時曲線を求める。
- ② 実測値による走時曲線とシミュレーション計算による走時曲線が最も近似するまで多角形を変化させる。これを発振点の深度が異なる全ケースについて図-8 の様にそれぞれ行う。
- ③ 実測による走時曲線とシミュレーション計算による走時曲線が最も近似した得の、多角形をスムージングして、その離岸堤断面図とした。

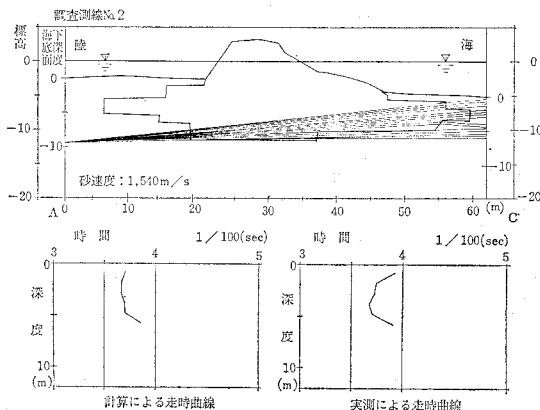


図-8 弾性波経路と走時曲線の1例

4. 調査結果

弾性波探査の結果、図-9 に示す離岸堤の埋没状況断面を得た。なお、図面には比較できるように、離岸堤の標準断面も合わせて記入してある。

この結果をみると、次のようなことがわかる。

- ① 岸側より沖側の方に埋没量が多く、また、法崩れも顕著にあらわれている。
- ② 堤体の中央部の沈下が大きく、最深部では 8~10 m 沈下している。
- ③ 当地区海岸部の地盤沈下量は、昭和20年代から現在に至るまで、2~3 m であるのに対し、今回の調査結果における堤体の沈下量は、この値よりはるかに大きい。

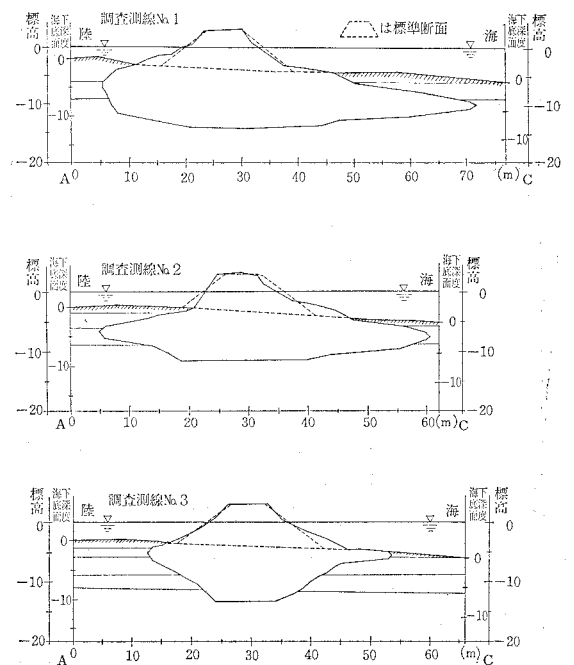


図-9 離岸堤埋没状況図

5. 考察

離岸堤断面推定図をもとに消波ブロックの大きさを、6.3 t 型、空隙率 50 % とした時の長さ 10 m 当りのブロック数を計算すると、表-1 のとおりである。この表には、比較のため、標準断面に対する数量も合わせて記入している。この表を見ると、標準断面に対し、2 倍程度消波ブロックが、砂層地盤に埋没していることになる。

現在まで、西海岸の離岸堤は 7~8 回の嵩上げを行って、必要とする堤体を維持してきている。1 回の嵩上げで補充される消波ブロックの個数は 5~6 個/m であり、

表-1 断面諸元と消波ブロック個数の検討

測線 番号	最大幅 m	最大水深 m	海底面上 の面積 m ²	海底面下 の面積 m ²	全面積 m ²	堤体長さ 10m当りの 体積 m ³	テトラポ ッドの 個 数	標準断面に対し		埋 込 量	
								10m当り 体 積 m ³	個 数	10m当り 体 積 m ³	個 数
1	65	14	98	494	592	5,920	1,184	1,260	252	4,660	932
2	55	11.5	87	318	405	4,050	810	◇	◇	2,790	558
3	41	13	93	213	306	3,060	612	◇	◇	1,800	360

これまで嵩上げに用いられた総ブロック個数は、10m 当りで換算すると 350~480 個となる。これらのブロックが全て砂層に埃没していると考えれば、測線 2 および 3 についてはほぼ妥当な結果であると言える。測線 No. 1 については、他の測線とちがってかなり大きめの調査結果となっているが、隣接する縦堤のブロック基礎を伝搬した弾性波が初動記録となった可能性があり、そのために断面が大きくなったものと推定される。

『新潟海岸の欠壊について』(第2編)¹⁾に、中央粒径 100μ の砂を用いて勾配 1/15 の斜面を形成し縮尺 1/20 で潜堤埋没機構水理実験の報告がなされている。本報告によれば実験は有孔ブロック潜堤に 4t 型消波ブロックで嵩上げをした断面に対し現地換算で $H_0=1.5\text{m}$, $T=7.8\text{sec}$ の波を作用させて行っている。沈下が落着いた時点で、消波ブロックを嵩上げし再度波を作用させ沈下状況を調べ、3 回繰り返した結果ほとんど天端高は変化しないようになっている。また、消波ブロックだけで堤体を作った場合には、嵩上げを 5 回繰り返しているが、沈下は次第に落着く状況となっている(図-10, 11 参照)。

本実験ではほぼ安定した断面まで嵩上げを繰り返すと最初の断面の約 2.5 倍になると述べられている。また、同報告書によれば、昭和38年5月に消波ブロックの埋没を調べるため、潜水夫により5m長さのジェットノズルを使用して、4m 間隔で59断面すべてについてその沈下深さを調査している。その結果をもとに描かれた推定沈下図は図-12であり、埋没部分の法長 L と地盤上のそれ L' は各々最高で 30m, 25m におよぶものも観測されている。沖、陸方向とも法尻から消波ブロック確認点までの距離 l と、地盤から確認点までの垂直距離 d は、推定断面からもわかるように、沖側へやや深くのめり気味に張出している。 d は、最深部で地盤下 3m まで観測され、観測結果の多くは、 $l=2\text{m}$, $d=0.5\sim 2.0\text{m}$ に集中し l の最長は 6m 前後である。

この実験および現地観測結果と探査結果を比較すると、埋没量は、探査結果の方が大きめであるが良く似た傾向を示している。地盤沈下の影響、経過年数を考慮すれば図-9は、現在の離岸堤断面とみなしても良いと思

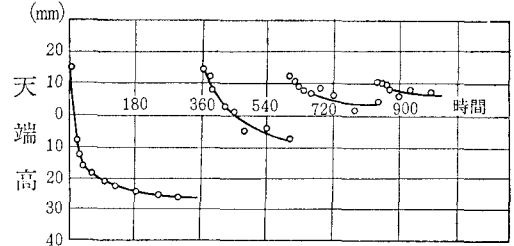


図-10 有孔ブロック堤の沈下実験結果

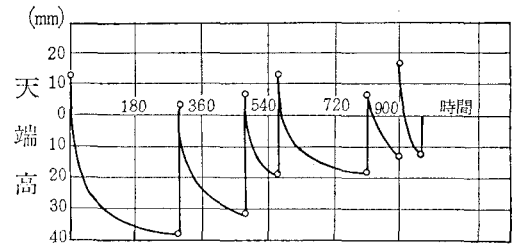


図-11 消波ブロック堤の沈下実験結果

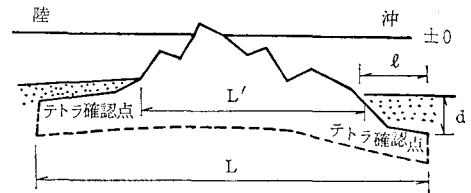


図-12 推定沈下図

われる(測線1をのぞく)。本断面図から、沈下原因を推定するに、冬期の時化により、堤内が水位上昇し、堤内外に水位差を生じ、そのため堤下面でパイピング現象により砂の移動が生じ、沈下を生じたものと考えられる。西海岸の場合、当初設置された潜堤が離岸堤の基礎と同じ役目となり、中央部が全体的に大きく沈下したものと考えられる。

また、法部では、波による法崩れと洗堀が相まって、沖側部が前方へ滑落した形でブロックが埋没したものと考えられる。

6. ま と め

埋没ブロックの形状を推定するため、孔間弾性波探査を行い、解析を試みた。その結果、この方法で埋没断面の概略を知ることが可能であることがわかった。また、解析結果から、離岸堤の沈下は、パイピング現象による砂の拔出しと堤体前面の法崩れおよび洗堀が主因であると考えられ、適切な基礎工および洗堀防止工を採用することが沈下防止対策として有効であると思われる。今

後、更にいくつかの断面について調査を実施する予定であり、今回の経験を生かして、PS 検層による砂層速度の推定、水中ジェットによる埋没ブロックの詳細調査を併用する等、精度を確保し改良を施しつつ進めていく考えである。

参 考 文 献

- 1) 新潟県土木部：新潟海岸の欠損について（第2編），1960.