ISSN 1346-7328
国総研資料 第1316号
令 和 7 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 1316 March 2025

UAVによる消波工の形状把握の出来形管理・維持管理・災害対応への適用性検討

廣瀬大輔・里村大樹・辰巳大介・川上司

Study on applicability of UAV to geometry monitoring of wave dissipating structures for form control, maintenance management, and disaster response

HIROSE Daisuke, SATOMURA Daiki, TATSUMI Daisuke, KAWAKAMI Tsukasa

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料
No.1316　　2025 年 3 月
(YSK-N-509)

UAVによる消波工の形状把握の出来形管理・維持管理・災害対応への適用性検討

廣瀬大輔*・里村大樹**・辰巳大介***・川上司****

要　旨

消波工における消波ブロックの据付形状は，消波ブロックが多種多様かつ複雑な形状をしていることにより，正確な把握が困難である．また，消波工の出来形管理や維持管理の劣化度判定等においては，目視確認や任意点の断面計測等，現場の状況に合わせた柔軟な手法となっている．さらに，据え付けられた消波ブロックは，起伏が激しい上に空隙も大きく，波を受けて濡れた足場は不安定であることに加えて，安全ロープ等保護具の使用も困難である．

本研究では，消波工の出来形管理，維持管理（一般定期点検診断），災害対応（被災数量算出）の3項目について，高い安全性と正確性が期待できる，UAV計測を利用する手法の適用性を検証した．

検証用のデータは，日本国内の４港（金沢港・高知港・石垣港・相馬港）において，UAV写真測量とUAVグリーンレーザ計測により取得した．適用性の検証は，消波工を平面格子に区切り，各格子の代表点を抽出する格子法と，3次元点群データからTIN（不等辺三角網）モデルを作成するTIN法の，2種類の手法を現行の手法（従来法）と比較・検証した．

出来形管理（ブロック据付延長の計測），維持管理（ブロック沈下量の計算及び劣化度の判定）に関しては，TIN法が従来法と同等の延長計測・沈下量計算・劣化度判定が可能であった．一方，災害対応（ブロックの被災数量算出）に関しては，格子法及びTIN法の両手法とも，従来法の算定結果とは差異があった．

キーワード：消波工，UAV計測，出来形管理，維持管理，災害対応，TIN（不等辺三角網），格子

*　港湾情報化支援センター　港湾業務情報化研究室　交流研究員(若築建設株式会社)
**　港湾情報化支援センター　港湾業務情報化研究室　主任研究官
***　港湾情報化支援センター　港湾業務情報化研究室　室長
****　国土交通省　港湾局　技術企画課　課長補佐
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019 Fax：046−842−9265 e-mail：ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目　次

1. はじめに

1.1 背景と目的

国土交通省では，調査・測量から設計，施工，検査，維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおける，生産性を向上させる i-Construction を平成 27 年から実施している．i-Construction の対象工種として，陸上分野では、平成 28 年度から ICT 土工が開始され，順次対象工種を拡大している．港湾分野では，平成 29 年度から ICT 浚渫工が先行する形で開始され，令和 2 年度より ICT 基礎工，ICT ブロック据付工等を対象工種とする等，順次拡大するとともに，出来形管理要領等の策定対象範囲も拡大されている．

消波工に着目すると，消波ブロック据付工において ICT 活用工事の一環として UAV 活用は進められている．ただし，既設部分の計測や完成形状の把握といった部分にとどまっており，ICT 活用工事で取得したデータを消波工の管理に有効に活用できていない．

現在の消波ブロック据付工の出来形管理基準の管理項目は，ブロック最上段（天端）の据付延長のみである．出来形管理の方法は，スチールテープ等による，設計上の始点や前工事の終点からの天端延長の計測である．また，維持管理（本資料においては，一般定期点検診断をいう．）では，目視による変状把握と劣化度判定が行われている．災害対応（本資料においては，被災状況把握（数量算出）をいう．）においては，測量スタッフ・レベルによる断面形状の計測と，断面法による被災数量算出が行われている．このように，現在の消波ブロック据付工の出来形管理，消波工の維持管理及び消波工の災害対応（以下本資料において，これらを総称して「消波工の管理」という．）は，計測・劣化度判定・数量算出の結果が現場の状況に応じて変化する不安定な要素が多分に存在している．これは，消波ブロックが起伏にとんだ複雑な形状をしていることから，正確な形状を計測することが困難かつ危険であるためと考えられる．しかし，現在においては，UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機. 通称ドローン）を使用して空中から消波工を計測し，3 次元データ化することで，消波工全体の形状を安全かつ正確に把握することが可能である．

そこで本研究では，消波工の管理に関して，UAV 写真測量や UAV グリーンレーザ計測によって得られる，3 次元点群データを使用した手法の適用性の検証を行った．消波工の管理の方法として，施工範囲を格子に区切り代表点を抽出し，代表値と基準値を比較することで施工範囲のブロックの状態を評価する方法（以下「格子法」という．）と，計測により得られた点群データより作成した TIN（不等辺三角網）モデルと 3 次元設計モデル等との比較を行うことで形状の評価を行う方法（以下「TIN 法」という．）の 2 つについて検証した．格子法と TIN 法による評価結果を，現在の消波工の管理の方法（以下「従来法」という．）による計測結果と比較することで，手法の有効性を検証した．また，その結果及び評価に要した時間と従来法の歩掛を比較することで，2 つの手法の現場への適用性を検証した．また，UAV グリーンレーザ計測による消波工水中部分の計測の可否を検証すると共に，計測手法の違いによる気中部の計測結果の差異を検証した．最後に，今後これらの手法を消波工の管理に対して，適用する際の留意事項と課題を整理した．

1.2 構成

本稿の構成は以下の通りである．1. では本研究の背景・目的について述べ， 2. では現在の消波工の出来形管理・維持管理・災害対応の手法及び基準に関する現状と課題，既往研究と既往研究と比較した本研究の方針に関して述べる．3. では UAV によるデータ計測手法の説明及び UAV によるデータ計測を実施した各現場について述べる．4.，5.，及び 6. にて，出来形管理・維持管理・災害対応それぞれに対する，UAV 計測によるデータを使用した検証手法として格子法，TIN 法 2 つの手法を用いて実施した検証結果について示し，現場への適用性に関しての考察を行う． 7. では主要な結論と今後の課題についてまとめる．

2. 港湾施設における消波工の管理の現状と課題

UAV により計測されたデータを用いた消波工の管理の検証を行うにあたり，現在の管理手法，既往の研究及び最近の動向について整理する．

2.1 現在の出来形管理・維持管理・災害対応

(1) 出来形管理

港湾工事共通仕様書 [1]による，消波ブロック据付に関する出来形管理基準を**表-2.1** に示す．表に示す通り，現在の出来形管理基準では，最上段の延長をスチールテープ等により測定と定められている．消波工の最上段との規定はあるが，最上段の消波工のどの部分を計測するの

表-2.1 消波ブロック据付に関する出来形管理基準

工種	管理項目	測定方法	測定密度	測定単位
消波ブロック据付	延長	スチールテープ等により測定	据付完了後，法線上（最上段のみ）	10cm

表-2.2　消波工に関する一般定期点検診断の点検診断項目，点検方法及び劣化度の判定基準（ケーソン式防波堤）[2)]

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準	
ケーソン式防波堤	Ⅱ類	消波工	移動散乱沈下	目視 ・消波工の天端，法面，法肩等の変形 ・消波ブロックの移動や散乱	a	点検単位長に亘り，消波工断面がブロック1層分以上，減少している．
					b	点検単位長に亘り，消波工断面が減少している．（ブロック1層分未満）
					c	消波ブロックの一部が移動（散乱・沈下）している．
					d	変状無し．
			損傷欠損	目視 ・消波ブロックの損傷，亀裂 ・欠損ブロックの個数	a	欠損しているブロックが1/4以上ある．
					b	aとｃの中間的な変状がある．
					c	欠損や部分的な変状があるブロックが複数ある．
					d	変状無し．

か，計測の開始位置（始点）はどこなのか，どこを終点とするのかといった点は定めがなく，延長の許容範囲も規定されていない．そのため，実際の現場では，監督職員と協議の上で，現場の状況に合わせて設計測線や前工事の終点などに据付延長の計測の始点を設定し，終点の位置は始点からの計測結果で決定していることがある．消波ブロックは，現場ごとに形状や大きさが異なり，複雑な形状であるため，完成形状が一定の形状ではない．そのため，どの位置を計測するといった明確な基準を定めて，正確な数値を計測することが困難であるためと考えられる．また，据え付けられた消波ブロックは起伏に富むため，消波工上を登坂して行う，人力による詳細な測量には，空隙に落下すると命に係わる危険性がある事も要因であると考えられる．

以上のように，これまでの人力の計測では消波工の正確な形状を取得することは困難であったが，現在は UAV 計測を活用する事で，安全に消波工の形状を 3 次元点群データとして取得可能となった．そのため，新たな技術には，それに合わせた基準を設けて，消波工の管理を行うべきと考える．

(2) 維持管理

港湾施設の維持管理における，劣化度の判定及び性能低下度の評価方法は，「港湾の施設の点検診断ガイドライン」[2)]（以下「点検診断ガイドライン」という．）に定められている．同ガイドラインにおいて，点検診断の種類は，初回点検診断，日常点検，定期点検診断，臨時点検診断に分類されている．そのうち，3 年もしくは 5 年以内ごとに少なくとも 1 回の頻度で実施される一般定期点検診断での，消波工の点検診断項目，点検方法及び劣化度の判定基準を**表-2.2** に示す．表にある通り，一般定期点検診断では，消波ブロックの損傷の有無や，消波工天端，法面等の変形，消波ブロックの移動等を目視で確認することとなっている．このうち，移動・散乱・沈下については，消波工の断面形状の変状を確認していると言え，劣化度 a や劣化度 b の判定基準は，点検単位長（通常はスパン）の消波ブロックがどの程度沈下しているかである．消波ブロックのどこをもって断面を設定するか等，消波工断面の沈下量をどのように計測・計算するかは規定がないため，点検者が判断している．なお，異常が発見された場合の詳細臨時点検診断では，潜水士による水中部検査及び機器を使用しての定量的計測による点検診断がなされる．

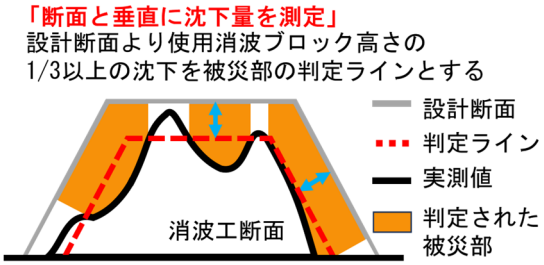

図-2.1　消波工被災部判定基準

以上のように，消波工の維持管理に係る一般定期点検診断は，出来形管理同様に点検者の主観に依存する割合が多く，点検者によって結果が変わる可能性があることが課題と考える．また，測量を伴わない目視点検では，沈下の判断は周辺の消波ブロックやケーソン本体に対する相対評価になるため，全体が沈降している場合は正確な劣化度判定行うことが出来ないことも考えられる．

(3) 災害対応

災害対応への活用として，本研究では，被災部の判定及び被災数量の算出を対象に，従来法と被災判定数量等を比較することで，適用性を検証した．従来の消波工の被災部の判定及び被災数量の算出は，横断測量等によって得られた横断図を用いた平均断面法により行っている（**図-2.1**）．

被災した消波工上に上ってレベル，測量スタッフを用いて高さを計測し，横断図を作成する．港湾においては，使用消波ブロック 1 個の高さ h の 1/3 以上の沈下が認められた部分を被災部と判定している [3)]．判定された被災部の設計断面と実測値の差分を，被災数量として計上し，平均断面法により数量を算出する．関係者にヒアリング

図-2.2 対空標識[9)]

したところ，沈下量の計算は，設計断面から垂直方向にすることとなっている．

2.2 既往研究

港湾における消波工への UAV 計測の適用に関する既往研究として，西ら[4)]は消波ブロック上に標定点を配置しない UAV 写真測量による計測精度の検証をするとともに，消波ブロック計測における UAV 計測手法の適用性についての検証を行っている．西らは研究の中で消波ブロック上に標定点を配置しない場合の UAV 写真測量による消波ブロック計測の精度を検証し，消波ブロック上に標定点を設置しない場合の誤差は 10cm 以下であることを確認し，出来形測量，災害時の被害計測への適用が期待できると述べている．

取得した点群データの評価手法に関しては，川口ら[6)]，及び西ら[7)]の研究がある．現在目視で行われている消波工の定量的評価を行う上で，UAV 計測による点群特性を踏まえた面的評価の手法として，計測範囲を特定寸法の格子で分割し格子の代表値として最高点を採用することで，面的評価を行うことが可能であると述べている．極小な格子サイズを適用すると消波ブロックの空隙を取得して過小評価となる懸念があり，極大サイズを適用すると天端幅の評価が困難であるため，西ら[7)]は格子サイズを消波ブロックのサイズとして検証を行っている．また，格子内の最高値を代表値とすることで写真測量，レーザ測量といった異なる計測手法でも同等の評価が可能であることを示している．

また，点群データから体積計算を行う手法としては，昇ら[8)]により，DSM(Digital Surface Model：数値表層モデル)を利用することによって，大幅に時短が可能であるとの検証結果が示されている．研究では計測した点群データより作成した DSM を別途作成した設計モデルに重ね合わせ，体積の差分を自動計算させる手法により，従来の平均断面法と比較しても精度を維持したまま，作業時間を大幅に短縮可能であることを示している．

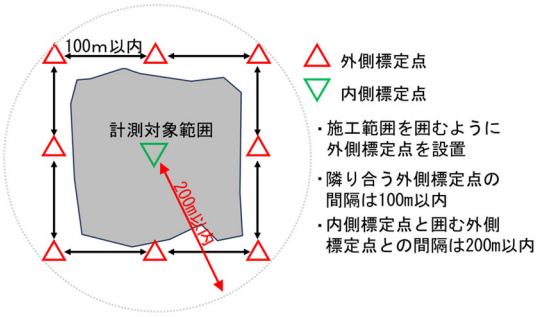

図-2.3 標定点設置基準[5)]

3. UAV を活用した消波工のデータ計測

3.1 UAV 計測の概要

消波工の管理への UAV 計測の利用を検証するにあたり，UAV 計測の概要，主要な計測方式について述べる．

(1) UAV 写真測量

UAV 写真測量とは，UAV により地形，地物等を撮影し，その数値写真を用いてオリジナルデータ等の 3 次元点群データを作成する手法である[5)]．UAV を指定したコース，高度，速度，角度で飛行させ指定したラップ率で撮影した複数枚の航空写真を，地上に設置した標定点を基に SfM (Structure from Motion)，及び MVS (Multi-View Stereo) と呼ばれる自動解析処理機能を用いて 3 次元点群データに変換する．SfM は，重複した複数の写真から抽出した特徴点を用いて，カメラの焦点距離等の内部標定要素，撮影時のカメラ本体の 3 次元座標等の外部標定要素を 1 度に求める処理である．そして SfM 処理で求めた 3 次元情報を基に，複数の写真間でのマッチングを行う MVS 処理により，密な 3 次元点群データを作成することができる．

標定点は，空中写真測量において解析の基準として使用される，正確な XYZ 座標が計測された基準点である．指定位置に**図-2.2 に示す対空標識**を設置後，トータルステーション等で座標を計測することで作成する．

標定点は，測量の要求精度に応じて，設置位置・設置間隔が作業規程の準則[5)]によって定められており，位置精度±5 cm 以内の場合は，**図-2.3** に示すとおりである．ただし，消波工での UAV 計測の場合は，外側標定点の設置・計測が困難であることから，「ICT 機器を用いた測量

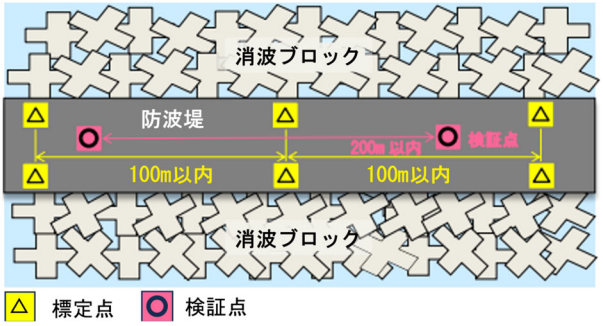

図-2.4 標定点・検証点の設置イメージ(消波工)[10)]

マニュアル（ブロック据付工編）」において，図-2.4 に示す設置位置・間隔を標準としている[10)]．本研究における現地計測では，これに準拠して標定点の設置を行った．

UAV 写真測量の利点としては，まず測量手法として手軽であることが挙げられる．近年は自律飛行可能で安価な小型 UAV や，SfM，MVS による自動解析処理を実装したソフトが発達及び低廉化しており，100 万円以下の初期投資で UAV 写真測量の実施が可能である．また，高度な操縦技術や専門知識がなくとも，標定点・検証点の設置，飛行コース，高度，速度等の設定を行えば，計測・撮影・画像処理による 3 次元点群作成まで実施可能である．

対する欠点としては，まず撮影対象の状態や光の条件，天候等により，計測精度に影響が出る点が挙げられる．複数の要件が絡むため全てを制御できず，計測結果には誤差が含まれる．次に，標定点・検証点を計測範囲の内部に一定間隔で設置する必要があるため，計測範囲が広がれば広がるほど大量に必要となり，その分の人工数を必要とする．さらに，SfM，MVS の自動解析処理に関しても，商用のソフトウェアは内部の計算過程に非公開な部分が多いため，致命的な誤差が発生する可能性がある．

(2) UAV グリーンレーザ測量

UAV レーザ測量とは，UAV に位置データ取得装置・姿勢データ取得装置及びレーザ測距装置を搭載した計測・解析システム（以下「UAV レーザ測量システム」という．）を用いて地形，地物等を計測し取得したデータから，3 次元点群データ及び数値地形図データを作成する手法である[5)]．UAV レーザ測量システムは，GNSS（Global Navigation Satellite System:全地球航法衛星システム），IMU（Inertial Measurement Unit：慣性計測装置）及びレーザスキャナの各機器を搭載した UAV 及び解析ソフトウェアで構成されている．計測方法としては，写真測量と同様，指定したコース，高度，速度で UAV を飛行させる．レーザスキャナから照射したレーザが対象物に反射して戻る時間から，反射点への距離，方位，角度を計測する．その後，UAV 搭載の GNSS 及び IMU のデータからレーザの発射位置の座標を解析し，それにより反射点の位置を 3 次元点群データとして取得する．写真測量と違い，3 次元点群データを直接取得する．UAV グリーンレーザ測量は，UAV レーザ測量のうち，水中を透過する緑色の波長帯のレーザスキャナを搭載したものであり，気中部と水中部を接続しての計測を可能とするものである．

UAV グリーンレーザ測量の利点としては，上にあげた水中部の計測以外に，必要とする調整点（UAV 計測データの水平・標高の精度確認・調整するための基準点）の数が少なく，写真測量に比べて計測前の準備時間が少なくて済む点が挙げられる．特に，データを必要とする水深での水中部の計測が可能であれば，消波工の水中部を確認するための潜水士作業も不要となる．また，写真から点群を作成するのではなく直接照射による計測であるため，起伏の激しい地形を正確に取得しやすい．

欠点としては、機材が非常に高額であり，測量費用が高額となってしまう点が挙げられる．グリーンレーザスキャナ単体で数千万円と非常に高価であり，現場への導入ハードルは高く，専門業者に依頼するとしても写真測量に比べて高額となる．また，直接 3 次元点群データを取得するため SfM ソフトでの解析は必要ないが，レーザの反射は空気中の塵，水滴，濡れた対象物等の影響を受けるため，計測時の条件により，取得したデータにはノイズデータを多く含むことがある．そのため，これらの除去作業が必要となる．水中部の計測に関しても，水の透明度等によってはほとんど取得できない場合があるため，全ての現場に適用できるわけではない．

以上のように，計測だけならば写真測量よりも人工数，準備期間が少なく行えるが，写真測量と比較して費用面で劣り，撮影範囲が狭い場合は人工数でも劣ることが UAV グリーンレーザ測量の短所であると言える．

3.2 消波工の施工現場における UAV 計測の現地試験

検証用データ収集のため，以下の 4 港の消波工施工現場で UAV による計測を実施した．以下に現場概要及び計測概要を記載する．

図-3.1　現場位置（金沢港金石地区）

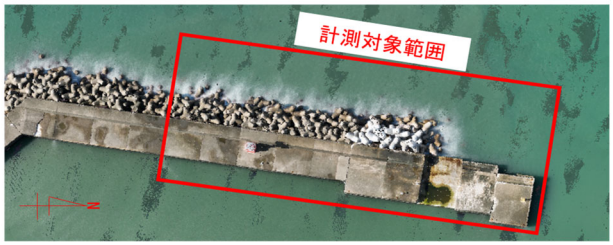

図-3.2　計測対象範囲(金沢港)

表-3.1　金沢港工事概要

工事件名	令和4年度金沢港(金石地区)防波堤(西)災害復旧工事		
工事概要	撤去工，基礎工，本体工，被覆工，上部工，消波工，付工		
工事数量(消波工)	工事区画	据付項目	据付個数(個)
	施工範囲	消波ブロック据付(テトラポッド50t型)	108
工期	令和4年3月24日～令和5年11月30日		
発注者	国土交通省　北陸地方整備局		

表-3.2　施工前 UAV 写真測量概要(金沢港)

計測場所		金沢港金石地区防波堤(西)
計測方法		UAV写真測量
計測日		2023年9月14日
機器		UAV:Phantom4_Pro カメラ：DJI_FC6310
対地高度(m)		36
対地速度(m/s)		3
地上画素分解能(mm)		10
点密度(点/㎡)		1834
ラップ率(%)	OL	90
	SL	80
気象	天気	曇り
	風向/風速	西南西/3～4m/sec

(1) 金沢港

a)計測対象箇所

金沢港の防波堤先端部の災害復旧工事における施工範囲を対象に，UAV による計測を実施した．図-3.1 に現場位置，図-3.2 に計測対象範囲，表-3.1 に工事概要を示す．計測対象とした施工内容は，消波工の損傷部位に対する消波ブロック据付工である．

b)UAV 計測概要

金沢港での UAV 計測は，施工前には UAV 写真測量を実施し，施工完了後には UAV 写真測量，UAV グリーンレーザ測量の 2 種類で計測を実施した．

計測時の日時，UAV 飛行速度，ラップ率，点密度等の計測概要について，施工前の UAV 写真測量を表-3.2 に，施工後の UAV 写真測量を表-3.3 に，施工後の UAV グリーンレーザ測量を表-3.4 にそれぞれ示す．ラップ率の OL (Over Lap)，SL (Side Lap)は，UAV 写真測量における撮影する写真の重複率を指しており，コース内写真の重複率が OL，隣接するコース同士の重複率が SL である．計測精度に影響を与える点密度は，要求精度に対応する密度が作業規程の準則 [5]により定められており，本研究では 100 点/m^2 以上を基準とした．点密度は飛行高度，飛行速度，計測機器のスペックの影響を受ける．表-3.5，表-3.6 に使用機器の主な諸元を示す．

表-3.3　施工後 UAV 写真測量概要(金沢港)

計測場所		金沢港金石地区防波堤(西)
計測方法		UAV写真測量
計測日		2023年10月31日
機器		UAV:Phantom4_Pro カメラ：DJI_FC6310
対地高度(m)		36
対地速度(m/s)		3
地上画素分解能(mm)		10
点密度(点/㎡)		1976
ラップ率(%)	OL	90
	SL	80
気象	天気	晴
	風向/風速	西南西/3～4m/sec

表-3.4　施工後 UAV グリーンレーザ測量概要(金沢港)

計測場所		金沢港金石地区防波堤(西)
計測方法		UAVグリーンレーザ測量
計測日		2023年11月15日
機器		UAV:Matrice600 グリーンレーザ：TDOT3_GREEN
対地高度(m)		30
対地速度(m/s)		2
点密度(点/㎡)		407
ラップ率(%)	SL	60
気象	天気	晴
	風向/風速	西南西/3～4m/sec

表-3.5　UAV 写真測量使用機器(金沢港)

種別		写真測量用UAV
機種名		UAV:Phantom4_Pro カメラ：DJI_FC6310
重量(g)		1375
最大速度(km/s)		72
最大飛行時間		30分
ピクセル数	横	5432
	縦	3648
センサーサイズ(mm)	横	13.2
	縦	8.8
焦点距離(mm)		8.8
ピクセルサイズ(μm)		2.4

表-3.6　UAV グリーンレーザ測量使用機器 (金沢港)

種別	グリーンレーザ測量用UAV
機種名	UAV:Matrice600 レーザ：TDOT3_GREEN
重量(g)	10,000
最大速度(km/s)	40
最大飛行時間	18分
精度	±10mm
パルスレート(KHZ)	60.0
スキャンレート(KHZ)	30.0
スキャン速度(HZ)	30.0

図-3.3　現場位置(高知港三里地区)

図-3.4　計測対象範囲(高知港)

表-3.7　高知港工事概要

工事件名	令和4年度高知港三里地区防波堤(南)築造工事		
工事概要	撤去工，基礎工，本体工，被覆・根固工，上部工，消波工		
工事数量(消波工)	工事区画	据付項目	据付個数(個)
	L1	消波ブロック据付(ドロスⅡ100t型)	138
	L2,L3	消波ブロック仮置(テトラポッド80t型)	499
工期	令和4年9月22日～令和5年8月16日		
発注者	国土交通省　四国地方整備局		

(2) 高知港

a)計測対象箇所

高知港の防波堤延伸工事における消波工施工範囲を対象に，UAV 計測を実施した．図-3.3 に現場位置，図-3.4 に計測対象範囲，表-3.7 に工事概要を示す．

b)計測概要

高知港での UAV 計測は，施工完了後に UAV 写真測量，UAV グリーンレーザ測量の 2 種類で実施した．

UAV 写真測量の計測概要を表-3.8，UAV グリーンレーザ測量の計測概要を表-3.9 に示す．また，使用機器の主な諸元を表-3.10，表-3.11 に示す．

表-3.8　施工後 UAV 写真測量概要(高知港)

計測場所		高知港南防波堤
計測方法		UAV写真測量
計測日		2023年9月4日
機器		UAV:Matrice300_RTK カメラ：ZenmuseP1
対地高度(m)		64
対地速度(m/s)		4.4
地上画素分解能(mm)		8
点密度(点/㎡)		2019
ラップ率(%)	OL	80
	SL	60
気象	天気	晴
	風向/風速	南西/3.4m/sec

表-3.9　施工後 UAV グリーンレーザ測量概要(高知港)

計測場所		高知港南防波堤
計測方法		UAVグリーンレーザ測量
計測日		2023年9月4日
機器		UAV:Matrice600 グリーンレーザ：TDOT3_GREEN
対地高度(m)		40
対地速度(m/s)		3
点密度(点/㎡)		2066
ラップ率(%)	SL	75
気象	天気	晴
	風向/風速	西南西/3～4m/sec

表-3.10　UAV 写真測量使用機器（高知港）

種別		写真測量用UAV
機種名		UAV:Matrice300_RTK カメラ：ZenmuseP1
重量(g)		7,100
最大速度(km/s)		72
最大飛行時間		43分
ピクセル数	横	8192
	縦	5460
センサーサイズ(mm)	横	13.2
	縦	8.8
焦点距離(mm)		35
ピクセルサイズ(μm)		4.39

表-3.11　UAV グリーンレーザ測量使用機器（高知港）

種別	グリーンレーザ測量用UAV
機種名	UAV:Matrice600 レーザ：TDOT3_GREEN
重量(g)	10,000
最大速度(km/s)	40
最大飛行時間	18分
精度	±10mm
パルスレート(KHZ)	60.0
スキャンレート(KHZ)	30.0
スキャン速度(HZ)	30.0
ビーム角度(°)	90.0

図-3.5　現場位置(石垣港新港地区)

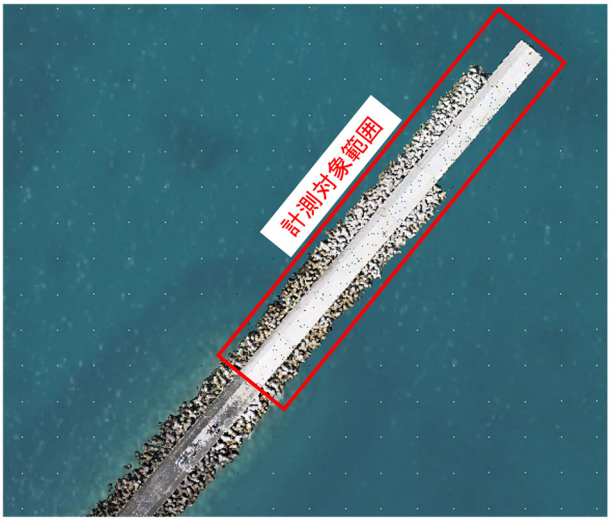

図-3.6　計測対象範囲(石垣港)

表-3.12　石垣港工事概要

工事件名	令和5年度石垣港(新港地区)防波堤(外)築造工事		
工事概要	共通工，撤去工，地盤改良工，基礎工，本体工，被覆・根固工，上部工，消波工		
工事数量(消波工)	工事区画	据付項目	据付個数(個)
	北側	消波ブロック据付(テトラポッド4t型)	993
	南側	消波ブロック据付(テトラポッド4t型)	496
工期	令和5年5月12日～令和6年3月15日		
発注者	内閣府 沖縄総合事務局		

(3) 石垣港

a)現場情報

石垣港の防波堤延伸工事における消波ブロック据付工を対象に UAV 計測を実施した．**図-3.5** に現場位置，**図-3.6** に計測対象範囲，**表-3.12** に工事概要を示す．

b)計測概要

石垣港での UAV 計測は，施工後に UAV 写真測量，UAV グリーンレーザ測量の 2 種類で実施した．

表-3.13　施工後 UAV 写真測量概要(石垣港)

計測場所		石垣港新港地区防波堤
計測方法		UAV写真測量
計測日		2024年2月15日
機器		UAV:Phantom4_Pro カメラ：DJI_FC6310
対地高度(m)		50
対地速度(m/s)		3.2
地上画素分解能(mm)		10
点密度(点/㎡)		1045
ラップ率(%)	OL	85
	SL	75
気象	天気	晴
	風向/風速	南南東/1.0m/sec

表-3.14　施工後 UAV グリーンレーザ測量概要(石垣港)

計測場所		石垣港新港地区防波堤
計測方法		UAVグリーンレーザ測量
計測日		2024年2月14日
機器		UAV:Matrice600 グリーンレーザ：YellowScan Navigator
対地高度(m)		70
対地速度(m/s)		3
点密度(点/㎡)		103
ラップ率(%)	SL	30
気象	天気	晴
	風向/風速	南南東/1.0m/sec

表-3.15　UAV 写真測量使用機器（石垣港）

種別		写真測量用UAV
機種名		UAV:Phantom4_Pro カメラ：DJI_FC6310
重量(g)		1,375
最大速度(km/s)		72
最大飛行時間		30分
ピクセル数	横	5432
	縦	3648
センサーサイズ(mm)	横	13.2
	縦	8.8
焦点距離(mm)		8.8
ピクセルサイズ(μm)		2.4

表-3.16　UAV グリーンレーザ測量使用機器（石垣港）

計測場所		石垣港新港地区防波堤
計測方法		UAVグリーンレーザ測量
計測日		2024年2月14日
機器		UAV:Matrice600 グリーンレーザ：YellowScan Navigator
対地高度(m)		70
対地速度(m/s)		3
ラップ率(%)	SL	30
気象	天気	晴
	風向/風速	南南東/1.0m/sec

UAV 写真測量，UAV グリーンレーザ測量それぞれの計測概要を**表-3.13**，**表-3.14** に，使用機器の主な諸元を**表-3.15**，**表-3.16** に示す．

図-3.7　現場位置(相馬港内)

図-3.8　計測対象範囲(相馬港)

表-3.17　相馬港工事概要

工事件名	令和5年度相馬港本港地区防波堤(沖改良)上部外工事		
工事概要	上部工，消波工，構造物撤去工，雑工		
工事数量(消波工)	工事区画	据付項目	据付個数(個)
	施工範囲	消波ブロック据付(テトラポッド40t型)	207
工期	令和6年3月25日～令和7年1月10日		
発注者	国土交通省　東北地方整備局		

(4) 相馬港

a)現場情報

相馬港における施工範囲を対象に UAV による計測を実施した．**図-3.7** に現場位置，**図-3.8** に計測対象範囲を，**表-3.17** に工事概要を示す．

b)計測概要

表-3.18　施工後 UAV 写真測量概要(相馬港)

計測場所		相馬港沖防波堤
計測方法		UAV写真測量
計測日		2024年5月27日
機器		UAV:Phantom4_ProV2 カメラ：DJI_FC6310
対地高度(m)		50
対地速度(m/s)		2.6
地上画素分解能(mm)		10
点密度(点/㎡)		2160
ラップ率(%)	OL	90
	SL	75
気象	天気	晴
	風向/風速	北北西/2.5m/sec

表-3.19　施工後 UAV 写真測量概要(相馬港)

計測場所		相馬港沖防波堤
計測方法		UAV写真測量
計測日		2024年10月22日
機器		UAV:Mavic_3E カメラ：DJI_M3E
対地高度(m)		45.5
対地速度(m/s)		7.5
地上画素分解能(mm)		20
点密度(点/㎡)		514
ラップ率(%)	OL	90
	SL	75
気象	天気	晴
	風向/風速	北北西/2.5m/sec

表-3.20　施工前 UAV 写真測量使用機器 (相馬港)

種別		写真測量用UAV
機種名		UAV:Phantom4_ProV2 カメラ：DJI_FC6310
重量(g)		1,375
最大速度(km/s)		72
最大飛行時間		30分
ピクセル数	横	5432
	縦	3648
センサーサイズ(mm)	横	13.2
	縦	8.8
焦点距離(mm)		8.8
ピクセルサイズ(μm)		2.4

表-3.21　施工後 UAV 写真測量使用機器 (相馬港)

種別		写真測量用UAV
機種名		UAV:Mavic_3E カメラ：DJI_M3E
重量(g)		1,375
最大速度(km/s)		72
最大飛行時間		30分
ピクセル数	横	5280
	縦	3956
センサーサイズ(mm)	横	17.7
	縦	13.3
焦点距離(mm)		12.3
ピクセルサイズ(μm)		3.4

相馬港での UAV 計測は，施工前と施工後に UAV 写真測量を実施した．

施工前，施工後の UAV 写真測量それぞれの計測概要を**表-3.18**，**表-3.19** に，使用機器の主な諸元を**表-3.20**，**表-3.21** に示す．

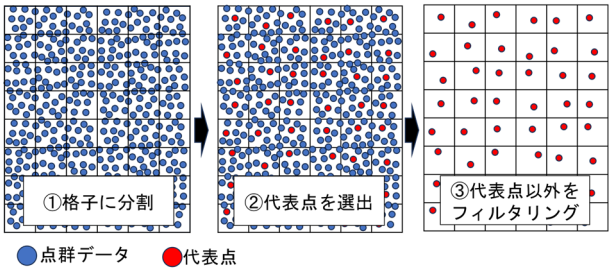

図-4.1　格子代表点抽出のイメージ

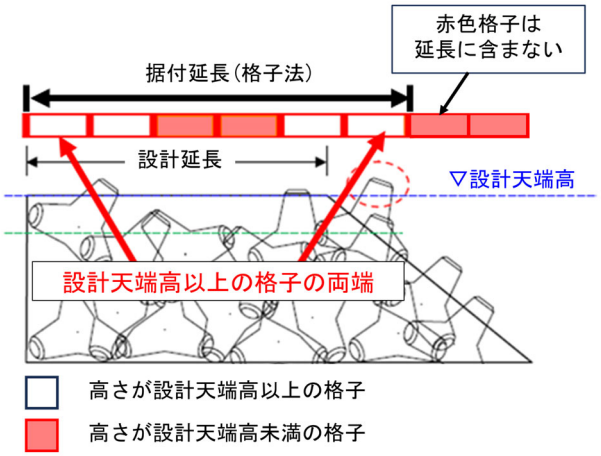

図-4.2　格子法による出来形（据付延長）計測

4. 消波工の出来形管理における UAV 計測の適用性検討

4.1　使用データ

出来形管理の検討では，金沢港，高知港，石垣港，相馬港の UAV 写真測量，UAV グリーンレーザ測量による計測データを使用した．

4.2　出来形（据付延長）の計測手法

(1) 従来法

2 章で示したように，消波工最上段のブロックの法線方向の延長をスチールテープ等で計測した．本研究では，工事の検査等で計測した数値を用いた．なお，本章においては，特に断りのない限り，「出来形」は消波ブロックの据付延長を指す．

(2) 格子法

対象範囲を平面上で指定した寸法の正方形の格子に区切り，その格子内に含まれる点群から代表点（格子代表点）を 1 点抽出し，格子代表点の Z 座標を格子の代表値（格子代表値）とすることで，施工範囲全体を格子単位で面的に把握する手法である．ICT 浚渫工の出来形管理に利用されている [11]．

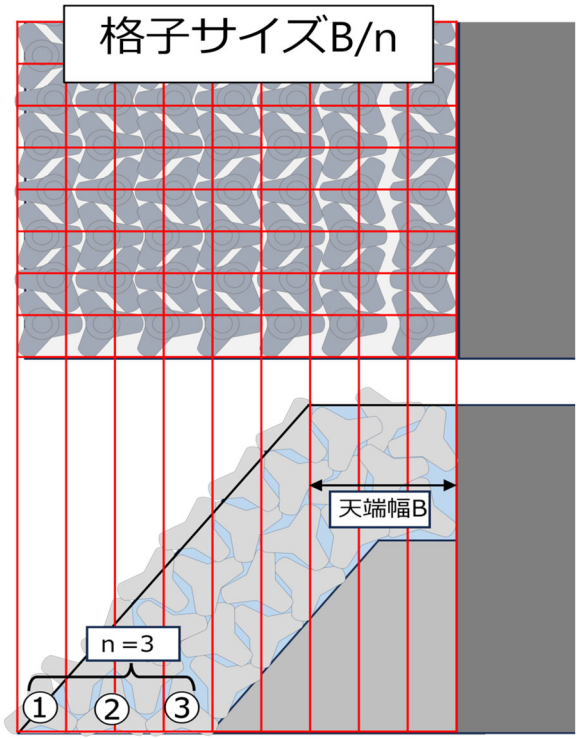

図-4.3　格子サイズ B/n 概要図

図-4.1 に代表点抽出のイメージを示す．格子代表点の抽出条件は，検証項目に合わせて変更した．本研究の出来形管理では，出来形として最上段ブロックの法線方向の延長を計測するため，格子内の最高点を格子代表点とした．また，格子代表点が設計天端高以上である格子の法線方向の延長を，格子法による消波工の出来形とした（図-4.2）．

出来形の従来の管理基準は，法線方向の消波ブロック最上段（天端）の延長であるため，格子法もそれに倣い天端の延長を計測する．天端の延長は，設計図書から消波工の 3 次元モデルを作成し，格子代表点と比較することで計測した．設計上の天端端部を始点として格子を設定し，格子代表点が 3 次元モデルの設計天端高以上となった格子を，天端部であると判定した．天端部であると判定した格子のうち，法線方向において始点から最も離れた格子を天端延長の終点とし，始点の格子と終点の格子の間の格子数に調整格子サイズを乗じたものを格子法による出来形とした．

現場ごとに使用ブロックの種類・断面形状等の施工条件が変化するため，格子サイズを固定すると出来形の適切な評価が困難になる．よって現場の施工条件に合わせて変化するように，以下の 2 種類の格子サイズを，基本格子サイズとして設定した．

① B/n：設計天端幅 B を消波工の列数 n で除したもの（図-4.3）．

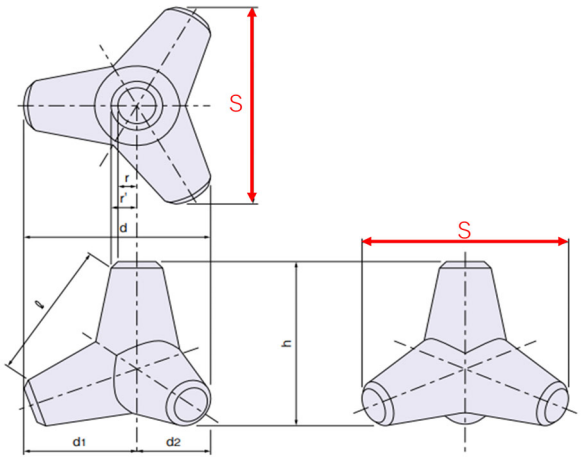

図-4.4　消波ブロック形状寸法図 [12)]

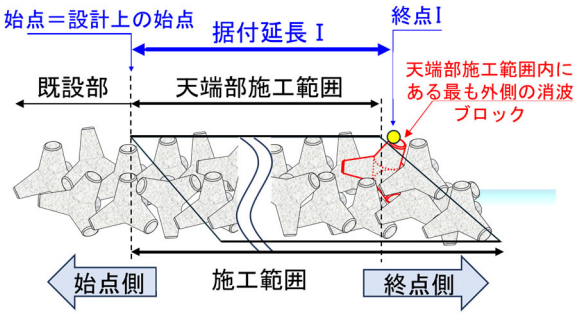

図-4.5　終点Ⅰ抽出条件

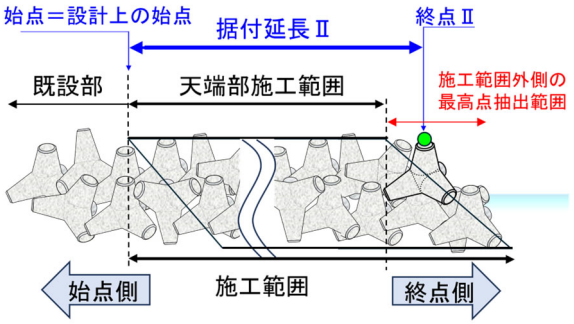

図-4.6　終点Ⅱ抽出条件

② S：消波工のメーカー諸元表に示される，ブロックのサイズ S（図-4.4）．

設計上の天端の延長（以下「設計延長」という．）は，天端幅 B，ブロックサイズ S のどちらとも関連しない．そのため，基本格子サイズをそのまま使用すると，格子サイズで設計延長を割り切れず，格子が計測範囲の端部を跨ぎ，出来形を適切に計測できないことがある．そのため，次の式(1)，式(2)で格子サイズを調整した．

調整格子数（小数 1 位を切り上げ）＝設計延長/基本格子サイズ　　式(1)

調整格子サイズ＝設計延長/調整格子数　　式(2)

表-4.1　従来法による出来形（据付延長）

現場名		設計延長 (m)	従来法結果 (m)
金沢港	延長	21.9	21.9
高知港	L1	30.0	31.0
	L2	30.5	29.5
	L3	20.2	20.1
石垣港	北側	26.2	26.2
	南側	52.4	56.4
相馬港	総延長	79.5	79.5

設計延長を基本格子サイズで除した結果を，少数 1 位で切り上げ整数化することで，設計延長内の格子数（以下「調整格子数」という．）を算出した．調整格子数で設計延長を除すことで，設計延長を割り切れる調整格子サイズを算出した．

(3) TIN 法

TIN 法による出来形計測は，UAV 計測によって取得した 3 次元点群データより TIN モデルを作成し，消波工の設計値より作成した 3 次元設計モデルとの比較を行うことで行った．設計上の天端部の始点側線を延長の始点とし，始点から別途定める終点候補までの距離を，出来形とした．終点候補は以下の 2 点である．

① 終点Ⅰ（図-4.5）：天端部施工範囲内で始点から最も離れた（法線方向）の消波ブロックを選択し，そのブロックの最高点の位置．

② 終点Ⅱ（図-4.6）：天端部施工範囲外（法線方向）での最高点の位置．終点Ⅱの抽出範囲は，設計延長の外側かつ，設計の天端幅を法線方向へ延長させた際の気中部の法面部分とした．

最後に始点側線から終点Ⅰ，終点Ⅱまでの法線方向の距離を計測し，距離が遠い方を出来形として採用した．

なお，消波工の出来形管理に高さ方向の規定はないが，「消波ブロック最上段の延長」とされているため，設計天端高よりも消波ブロック 1 層分以上低い点群は，終点の対象としないこととした．

4.3　出来形（据付延長）の計測結果

(1) 従来法

検証を行った各港湾での従来法による計測結果の一覧を表-4.1 に示す．

(2) 格子法

格子法による出来形の計測結果の事例として，金沢港の計測結果を示す．金沢港以外の結果は付録-A に示す．

表-4.2　格子法による出来形（据付延長）計測条件（金沢港）

現場名		金沢港
設計延長(m)		21.9
設計天端高(m)		5.5
設計天端幅B(m)		6.3
消波工列数n		2
使用消波ブロック		テトラポッド 50t型
ブロックサイズS(m)		4.965
基本格子サイズ (m)	B/n	3.15
	S	4.97
調整格子数	B/n	7
	S	4
調整格子サイズ(m)	B/n	3.13
	S	5.48

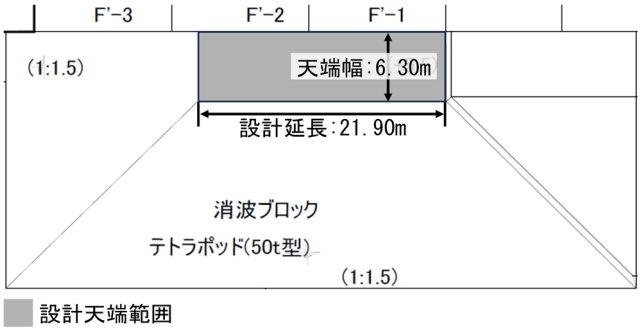

図-4.7　金沢港設計図面

格子サイズ等の計測条件を表-4.2 に，対象範囲の設計図面を図-4.7 に示す．格子法の写真測量による計測の基本格子サイズ B/n の結果を図-4.8 に，基本格子サイズ S の結果を図-4.9 に，グリーンレーザ測量による結果の基本格子サイズ B/n の結果を図-4.10 に，基本格子サイズ S の結果を図-4.11 に示す．また，格子法による計測結果の一覧を表-4.3 に示す．どの格子サイズによる計測結果も，従来法同様に設計延長を上回った．

UAV 写真測量の格子サイズ S による計測結果は，従来の手法に比べ格子 1 個分延長を長く評価した．これは，格子サイズが大きくなって格子に含まれる点群の数が増えることで格子代表値（格子内の最高点の Z 座標）が高くなり，天端部と判定される格子が多くなったためである．

(3) TIN 法

格子法同様，出来形の計測結果の事例として金沢港の計測結果を示す．金沢港以外の結果は，付録-A に示す．

UAV 写真測量による計測結果から作成した TIN より図-4.12 に示す終点Ⅰ・終点Ⅱを抽出した．終点Ⅰ，終点Ⅱの座標，高さ及び据付延長を表-4.4 に示す．TIN 法の条件に基づき，終点Ⅱでの延長を出来形として採用した．同様に UAV グリーンレーザ測量による計測結果から作

図-4.8　格子法出来形：格子サイズ B/n（金沢港 UAV 写真測量）

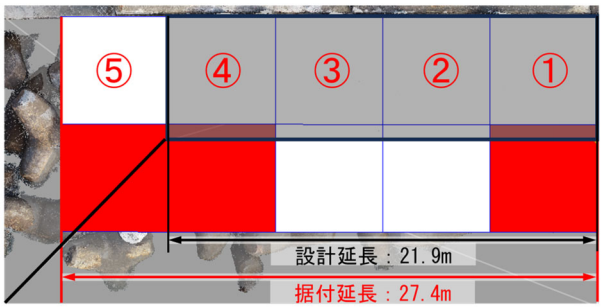

図-4.9　格子法出来形：格子サイズ S（金沢港 UAV 写真測量）

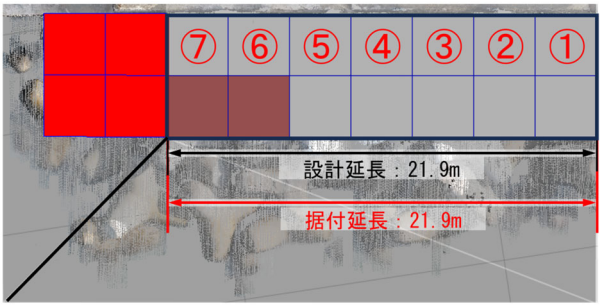

図-4.10　格子法出来形：格子サイズ B/n（金沢港 UAV グリーンレーザ測量）

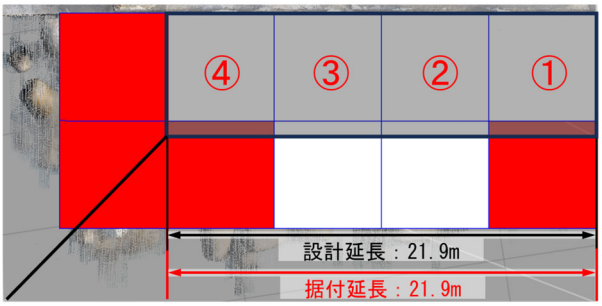

図-4.11　格子法出来形：格子サイズ S（金沢港 UAV グリーンレーザ測量）

表-4.3　格子法出来形計測結果一覧（金沢港）

現場名		設計延長(m)	従来法(m)	調整格子サイズ(m) ①		格子数カウント ②		据付延長(格子法)(m) ③ (③=①×②)	
				B/n	S	B/n	S	B/n	S
金沢港	UAV写真測量	21.9	21.9	3.13	5.48	8	5	25.0	27.4
	UAVグリーンレーザ測量	21.9	21.9	3.13	5.48	7	4	21.9	21.9

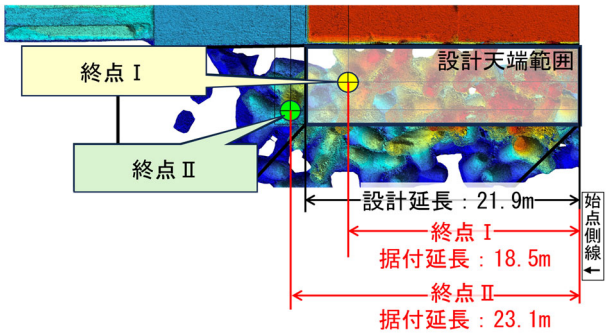

図-4.12　TIN 法出来形(金沢港 UAV 写真測量)

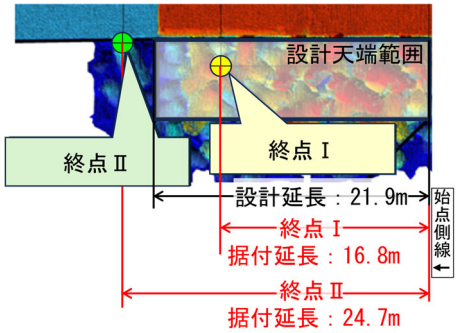

図-4.13　TIN 法出来形(金沢港 UAV グリーンレーザ測量)

表-4.4　TIN 法計測結果(金沢港写真測量)

金沢港(写真)	X座標(m)	Y座標(m)	据付延長(m)	高さ(m)
終点Ⅰ	-52403.330	67531.989	18.5	6.1
終点Ⅱ	-52404.933	67536.923	23.1	4.4

表-4.5　TIN 法計測結果(金沢港グリーンレーザ測量)

金沢港(グリーンレーザ)	X座標(m)	Y座標(m)	据付延長(m)	高さ(m)
終点Ⅰ	-52402.799	67530.209	16.8	6.4
終点Ⅱ	-52399.768	67536.923	24.7	3.2

表-4.6　出来形計測結果一覧

現場名		設計延長(m)	従来法(m)	格子法				TIN法	
				写真測量		グリーンレーザ計測		写真測量	グリーンレーザ計測
				据付延長 格子サイズ S(m)	据付延長 格子サイズ B/n(m)	据付延長 格子サイズ S(m)	据付延長 格子サイズ B/n	据付延長	据付延長
高知港	L1	30.0	31.0	30.0	30.0	30.0	30.0	-	-
	L2	30.5	29.5	30.5	30.6	30.5	30.6	-	-
	L3	20.2	20.1	20.2	20.2	20.2	20.2	21.9	22.1
	L1+L2	60.5	60.5	60.5	60.6	60.5	60.6	69.7	69.8
金沢港	-	21.9	21.9	27.4	25.0	21.9	25.0	23.1	24.7
石垣港	北側	52.4	52.4	56.9	56.8	56.9	56.8	55.3	55.3
	南側	26.2	26.2	28.5	27.6	28.5	27.6	27.0	26.9
相馬港	A-I-4	40.3	-	40.3	40.3	-	-	-	-
	A-I-5	39.2	-	39.2	39.3	-	-	-	-
	総延長	79.5	79.5	79.5	79.6	-	-	79.6	-

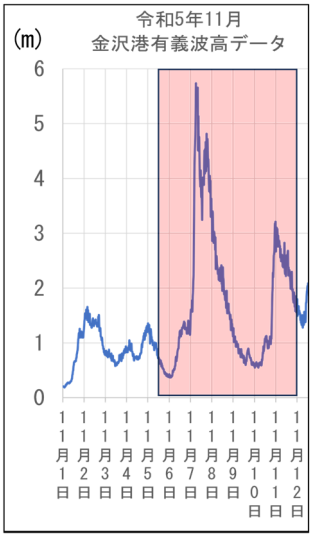

図-4.14　金沢港の波高データ

成した TIN より図-4.13 に示す終点Ⅰ，終点Ⅱを抽出した．終点Ⅰ，終点Ⅱの座標，高さ及び据付延長を表-4.5 に示す．TIN 法の条件に基づき，延長が長い終点Ⅱを選択し，延長を出来形として採用した．TIN 法によって計測された据付延長は，従来法同様に，設計延長を上回っていた．

設計天端高 5.5m に対して，終点Ⅱの高さは，写真測量では4.4m, UAV グリーンレーザ測量では3.2mであった．金沢港の消波工 1 層厚は 2.75m であり，終点Ⅱの高さは消波工最上段の範囲内であるため，終点として採用した．

4.4　出来形管理への適用性評価

格子法及び TIN 法双方の計測結果一覧及び従来法との比較を表-4.6 に示す．格子法，TIN 法共に従来法と同様に据付延長の計測を行えることを確認できたため，どちらの方法でも出来形（据付延長）の計測は可能であると考えられる．なお，表-4.6 の計測結果において，金沢港のみ，格子法，TIN 法いずれの手法でも UAV 写真測量と UAV グリーンレーザ計測の計測結果が異なっている．これは，UAV 写真測量の実施が令和 5 年 10 月 31 日，UAV グリーンレーザ計測の実施が令和 5 年 11 月 15 日と計測日時に 2 週間の間が空いており，その間の荒天で消波ブロックに生じた変状が原因と考えられる．図-4.14 に示す金沢港の有義波高グラフは，ナウファス [13]の波浪データより作成した物である．令和 5 年 11 月 7 日から 9 日にかけて有義波高が高く計測されており，現場が荒天に見舞われていたことが確認できる．

各手法の特徴を見ると，格子法は設計延長に合わせて格子サイズを設定しているため，設計天端高以上の点群が天端範囲外に少しでも存在すると，その点群までの格子サイズ×格子数分長く延長を計測する．また，格子サイズを現場条件に合わせ設定する必要があり，設定した

表-4.7　港湾別 UAV 計測歩掛一覧

No.	現場名	施工面積	計測時間(人日)									分析時間(人日)		
			従来法	写真測量				グリーンレーザ計測				従来法	格子法	TIN法
				計測準備	計測	ﾃﾞｰﾀ整理	計	計測準備	計測	ﾃﾞｰﾀ整理	計			
①	高知港	671.84m²	2.5	1.1	1.1	6.0	8.2	1.4	1.4	9.0	11.8	－	4.5	4.0
②	金沢港	137.97m²	2.5	12.0	6.0	20.0	38.0	9.3	9.3	37.6	56.2	－	4.5	4.0
③	石垣港	港外側 146.72m² 港内側 73.36m²	6.0	－	－	－	－	9.9	8.0	40.4	58.3	－	4.5	4.0

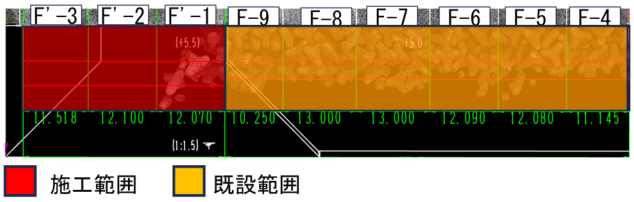

図-5.1　金沢港データ取得範囲

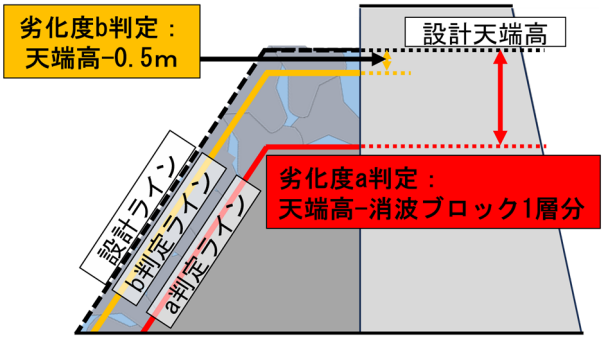

図-5.2　格子法の消波工劣化度判定基準イメージ

格子サイズによって一部のケースでは結果が変化した．対する TIN 法は格子サイズ等の設定が不要であり，条件に合致した点を抽出し，法線方向の距離を計測することで据付延長を算出できる．

両手法を比較した場合，双方とも従来法と同様に出来形を計測可能であるが，今回の検証範囲では歩掛の観点から TIN 法が優れていた．

表-4.7 に従来法と格子法，TIN 法による計測時間及び分析時間の歩掛を示す．UAV による出来形の計測には，標定点設置等の事前準備，UAV 計測・データ整理の時間が必要となるため，従来法と比べ歩掛を要する．しかし，ICT ブロック据付工としての消波ブロック据付では，完成形状把握のために UAV 計測を実施している．このデータを使用することで，解析時間のみで出来形の計測を行う事が可能である．本研究で行った現地試験では，表-4.7 の通り従来法の方が歩掛は優れているが，今後の技術の進展により，作業時間は短縮できる可能性がある．昇らは，測量延長約 50m に対し，写真測量と解析含め実働 4 時間程度で終了したと報告している [8]．

5. 消波工の維持管理(一般定期点検診断)における UAV 計測の適用性検討

5.1　使用データ

一般定期点検診断における，ブロック沈下量の目視点検の状況を模擬するため，金沢港及び相馬港において，ブロック据付前に計測した 3 次元点群データを検証対象とした．UAV 計測の種類としては，金沢港・相馬港ともに UAV 写真測量のみである．ただし，金沢港は補修工事の対象範囲外の既設部分においても図-5.1 に示す範囲で UAV グリーンレーザによる計測を実施している．このため，この範囲(ケーソン F-4～F-9)も検証対象とした．

5.2　維持管理（一般定期点検診断）の計測手法

(1) 従来法

通常点検診断施設は 5 年以内ごとに少なくとも 1 回，重点点検診断施設では 3 年以内ごとに少なくとも 1 回の頻度で，一般定期点検診断が実施される．一般定期点検診断では，主に目視により変状を把握し，劣化度判定基準に基づいて，部材の性能が最も低下している劣化度 a から，変状が認められない劣化度 d までの劣化度判定が行われる．

(2) 格子法

劣化度の判定基準である消波工断面の減少は，消波ブロックの沈下量で判断できると考え，格子代表点は格子内の Z 方向の最高値とした．

トン型	2層の厚さ
0.5	1.20
1.0	1.50
2.0	1.90
3.2	2.20
4.0	2.40
5.0	2.60
6.3	2.70
8.0	3.00
10.0	3.20
12.5	3.50
16.0	3.80
20.0	4.10
25.0	4.40
32.0	4.80
40.0	5.10
50.0	5.50
64.0	6.00
80.0	6.70

図-5.3　消波ブロック標準断面諸元の例 [12)]

図-5.2 に消波工の劣化度判定基準のイメージを示す．始めに，従来法の劣化度判定基準に基づき格子ごとに劣化度 a，劣化度 b を判定するため，格子の沈下量を判定する高さの指標として「劣化度判定ライン」を設定した．その後，劣化度判定ラインに基づいた，劣化度 a 判定用及び劣化度 b 判定用の 3 次元モデルを，各現場の検証範囲に対して作成した．作成した劣化度 a 判定用，劣化度 b 判定用の 3 次元モデルに平面格子を重ね，格子代表点の Z 値が，同一 XY 座標の 3 次元モデルの Z 値以上か，未満かでその格子の劣化度を判定した．

点検診断ガイドラインの判定基準では，劣化度 a の判定は，消波ブロック 1 層分の沈下となっている．この劣化度の判定を機械的に行うためには，現場ごとに異なるブロックサイズを考慮し，1 層厚の数値を設定する必要がある．消波ブロックのメーカーが公表しているブロック諸元（**図-5.3**）を用いて，2 層の厚さを 2 等分し，劣化度 a を判断するための 1 層厚とした．天端及び法面の設計ラインより直下方向に 1 層厚分オフセットしたラインを，劣化度 a の判定ラインとした．

劣化度 b の判定は，点検診断ガイドラインの判定基準では，1 層厚分に満たないが断面減少が確認できることとなっている．今回の検証では，カタログに表記のある最小の消波ブロック 0.5t 型の 1 層厚が 0.6m であるため，それ未満の 0.5m 以上沈下していたら劣化度 b であるとし，天端より 0.5m オフセットしたラインを劣化度 b 判定の判定ラインとした．

表-5.1　格子法による劣化度判定基準

区分	劣化度の判定基準
劣化度 a	点検単位長に亘り，『a 格子』の占める比率が 50%以上
劣化度 b	点検単位長に亘り，『a 格子』の占める比率が 50%未満かつ『b 格子』の占める比率が 50%以上.
劣化度 c	『劣化度 a』『劣化度 b』『劣化度 d』のいずれにも当てはまらない場合.
劣化度 d	点検単位長に亘り，『その他格子』の占める比率が 100%.

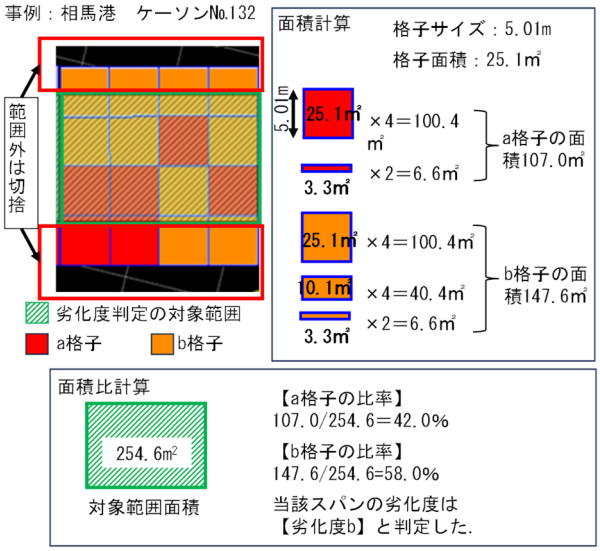

図-5.4　面積比による劣化度判定例

点検診断ガイドラインでは，劣化度の判定は点検単位長単位で行うこととなっているため，本研究でも同様に点検単位長単位で判定することとした．消波工に隣接するケーソン 1 函の法線方向延長を 1 スパンとし，これを点検単位長とした．1 スパン単位の範囲内において，格子は複数含まれる．格子単位で相当する劣化度を判定し，劣化度 a に相当する格子を a 格子，劣化度 b に相当する格子を b 格子とした．また，そのどちらにも当てはまらない格子は「その他格子」とした．

スパン単位の劣化度判定は，スパン内の a 格子，b 格子の割合で行った．スパン中の a 格子が 50%以上であれば当該スパンは劣化度 a とし，a 格子が 50%未満かつ b 格子の割合が 50%以上ならば劣化度 b とし，その他格子が 100%の場合は，変状無し判定である劣化度 d とし，これらに当てはまらない場合を劣化度 c とした（**表-5.1**）．格子サイズは出来形管理同様 B/n 及び S を基本の格子サ

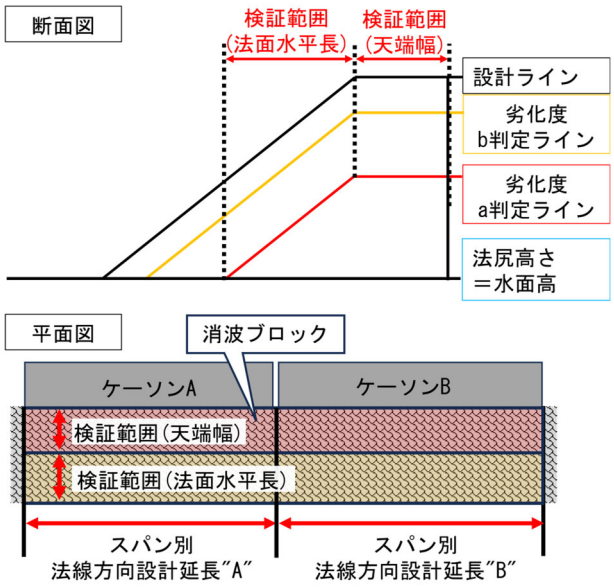

図-5.5　検証範囲設定概要

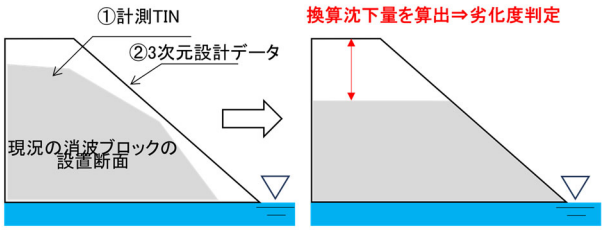

図-5.6　換算沈下量の算出方法イメージ

イズとし，スパン毎にスパン延長に合わせて調整した．格子サイズ調整の計算式を式(3)，式(4)に示す．

調整格子数（小数 1 位を切り上げ）
＝スパン長/格子サイズ　式(3)

調整格子サイズ＝スパン長/調整格子数　式(4)

調整格子数が整数になるよう，小数 1 位を四捨五入した．調整格子サイズは小数 3 位を四捨五入して小数 2 位までとした．また，検証に使用した施工管理ソフトの仕様上，格子形状は正方形のみの設定であったため，法線に対して直角方向は格子が検証範囲をはみ出す形となり，データが存在しない範囲を評価することになる．このため，単純に格子数で割合を計算し，劣化度を判定すると，実態と異なる結果となる可能性があった．これ防ぐために，スパンごとの劣化度判定は，検証範囲に対する a 格子，b 格子，その他格子の面積比で行った．面積比による判定の例を**図-5.4** に示す．法肩を跨いでの格子設定を避けるため，検証範囲上端と下端の格子は検証範囲からはみ出す形となった．そのため，面積比を算出する際は検証範囲外の部分を削除し，検証範囲内部分のみを参照した．スパン毎に a 格子の面積，b 格子の面積，その他格子の面積をそれぞれ合計し，スパン内における各格子の面積比率を算出した．

表-5.2　TIN 法による劣化度判定基準

区分	劣化度の判定基準
劣化度 a	換算沈下量が，消波ブロック 1 層分（2 層厚の 1/2）以上．
劣化度 b	換算沈下量が 0.5 m 以上，消波ブロック 1 層分未満．
劣化度 c	換算沈下量が 0 m 以上，0.5 m 未満．
劣化度 d	換算沈下量が 0 m 未満．

面積比の判定に使用する検証範囲の設定基準を**図-5.5** に示す．**図-5.5** に示すように，各スパンの検証範囲は，劣化度 a 判定用の 3 次元モデルの天端幅と法肩から法尻までの水平距離の合計に，スパン長を乗じたものとした．法尻の高さは，UAV 計測を行った日時の潮位に現地の最低水面の標高を加味して算出した水面標高とした．

(3) TIN 法

実測した 3 次元点群データから計測 TIN（不等辺三角網）モデルを作成し，設計値より作成した 3 次元設計モデルと比較することで検証を行った．

具体的には，以下の手順により，対象のスパンの劣化度を判定した．

①格子法同様スパン単位で 3 次元設計データと計測 TIN モデルそれぞれの気中部体積を算出し，両者の差分体積を算出

②差分体積を**図-5.6** のように換算沈下量に換算する

③換算沈下量にて劣化度判定実施する．劣化度判定基準は，従来法の判定基準に基づき**表-5.2** のように定めた．

5.3　維持管理（一般定期点検診断）の計測結果

(1) 従来法

検証を行った金沢港及び相馬港での，従来法によるスパン別の劣化度判定結果の一覧は章末の**表-5.7** 示す．

(2) 格子法

格子法による維持管理の事例として，金沢港の計測結果を示す．相馬港の事例は，**付録 B** に示す．

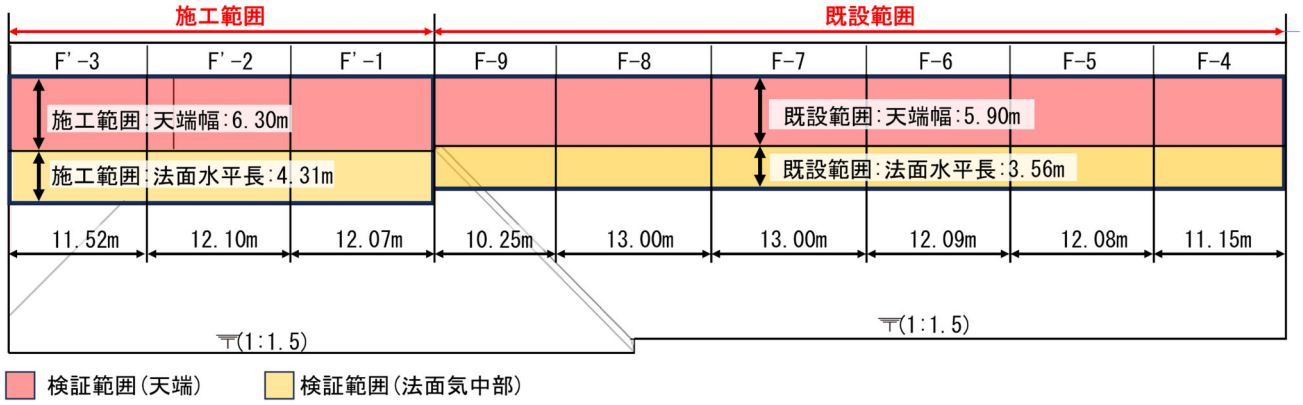

図-5.7　金沢港設計図面

表-5.3　格子法による維持管理(一般定期点検診断)計測条件(金沢港)

施工範囲別		既設範囲 スパンF4～F9	施工範囲 スパンF'1～F'3
天端幅 (m)		5.9	6.3
列数		2	2
設計天端高 (m)		5	5.5
使用 消波ブロック		テトラポッド 40t型	テトラポッド 50t型
ブロック サイズS(m)		4.612	4.965
ブロック層厚 (m)	2層厚	5.1	5.5
	1層厚	2.55	2.75
基本格子サイズ (m)	B/n	2.95	3.15
	S	4.61	4.97

表-5.4　格子法による維持管理(一般定期点検診断)計測条件(金沢港)

	スパン別法線方向設計延長 (m)	基本格子サイズB/n		基本格子サイズS		各スパン面積			各スパン検証高さ		
		調整格子数	調整格子サイズ (m)	調整格子数	調整格子サイズ (m)	天端面積 (m²)	法面面積 (m²)	合計面積 (m²)	設計天端高 (m)	劣化度a判定ライン高 (m)	劣化度b判定ライン高 (m)
F-4	11.15	4	2.79	2	5.57	65.70	39.67	105.42	5.00	2.45	4.50
F-5	12.08	4	3.02	3	4.03	71.30	43.00	114.27	5.00	2.45	4.50
F-6	12.09	4	3.02	3	4.03	71.30	43.04	114.37	5.00	2.45	4.50
F-7	13.00	4	3.25	3	4.33	76.70	46.28	122.98	5.00	2.45	4.50
F-8	13.00	4	3.25	3	4.33	76.70	46.28	122.98	5.00	2.45	4.50
F-9	10.25	3	3.42	2	5.13	60.50	36.49	96.96	5.00	2.45	4.50
F'-1	12.07	4	3.02	2	6.04	76.00	52.02	128.06	5.50	2.75	5.00
F'-2	12.10	4	3.03	2	6.05	76.20	52.18	128.42	5.50	2.75	5.00
F'-3	11.52	4	2.88	2	5.76	72.58	49.68	122.25	5.50	2.75	5.00

スパン別の設計延長及び格子サイズ等の計測条件を**表-5.3**，**表-5.4** に，対象範囲の設計図面を**図-5.7** に示す．また，作成した劣化度判定用の 3 次元設計モデルの断面を**図-5.8**，**図-5.9** に示す．金沢港はケーソン F-4～F-9 の既設範囲とケーソン F'-1～F'-3 の施工対象範囲で消波工の断面形状が異なっているため，劣化度判定基準は 2 種類設定した．UAV 写真測量から作成したオルソ画像と劣化度判定の対象範囲を**図-5.10** に，UAV 写真測量による格子サイズ B/n による劣化度判定結果を**図-5.11**，格子サイズ S による劣化度判定結果を**図-5.12** に示す．UAV グリーンレーザ測量による格子サイズ B/n，格子サイズ S による劣化度判定結果を**図-5.13**，**図-5.14** に示す．

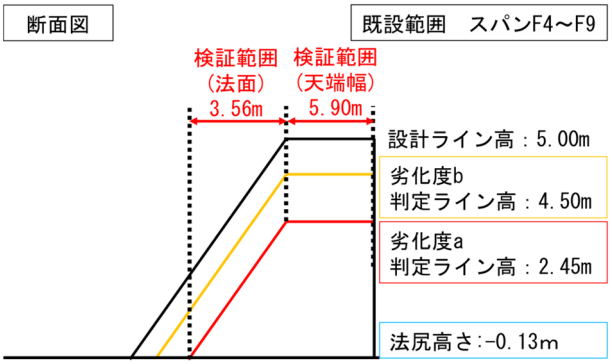

図-5.8　劣化度判定用 3 次元モデル：スパン F-4～F-9（金沢港）

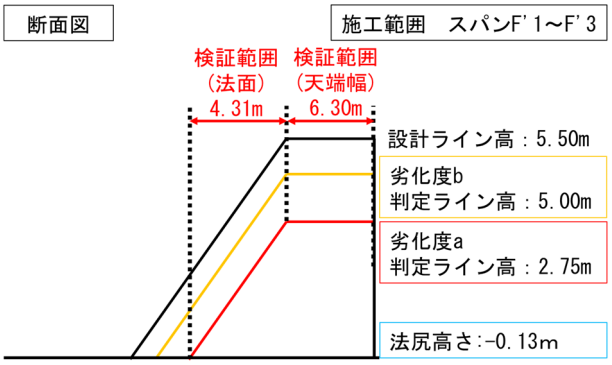

図-5.9　劣化度判定用 3 次元モデル：スパン F'-1～F'-3（金沢港）

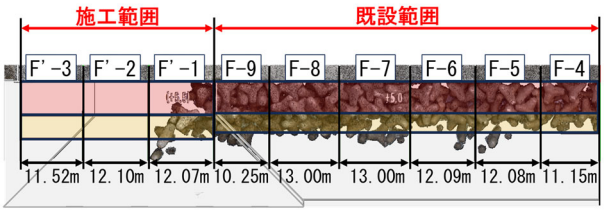

図-5.10　金沢港オルソ画像と劣化度判定対象範囲の重畳

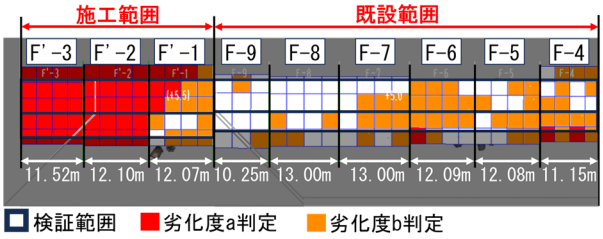

図-5.11　金沢港劣化度判定結果: 格子サイズ B/n(UAV 写真測量)

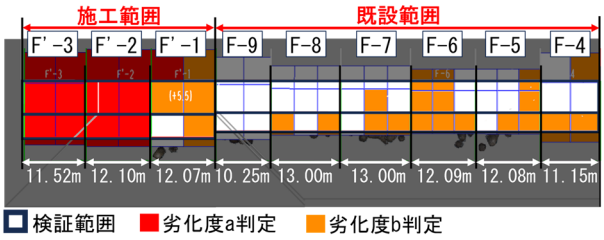

図-5.12　金沢港劣化度判定結果:格子サイズ S(UAV 写真測量)

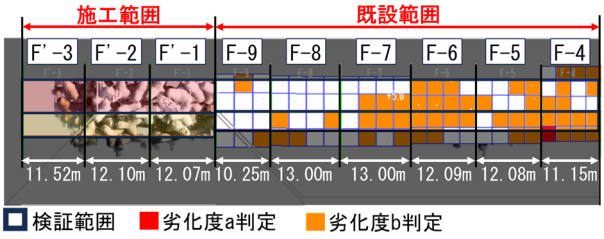

図-5.13　金沢港劣化度判定結果:格子サイズ B/n(UAV グリーンレーザ測量)

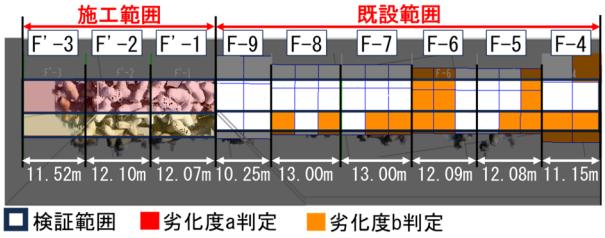

図-5.14　金沢港劣化度判定結果:格子サイズ S(UAV グリーンレーザ測量)

金沢港の維持管理（一般定期点検診断）に使用したデータは，施工前の UAV 写真測量によるものだが，施工完了後の計測では UAV 写真測量及び UAV グリーンレーザ測量両方で取得している．施工範囲内（F'-1～F'-3）では施工前にグリーンレーザ測量でデータを取得していないが，グリーンレーザ測量での適用性検証を行うため，当該スパンでの検証を実施した．なお，既設範囲であるケーソン F-4～F-9 は，施工前後で状態が変化していないため，施工後の取得データでも検証に影響はないと考えられる．各スパンの劣化度判定結果の一覧と従来法による判定結果との比較表は章末の**表-5.7** に示す．

表-5.5　TIN 法による維持管理(一般定期点検診断)計測条件（金沢港）

施工範囲別		既設範囲 スパンF4～F9	施工範囲 スパンF'1～F'3
天端幅 (m)		5.9	6.3
列数		2	2
設計天端高 (m)		5.0	5.5
使用 消波ブロック		テトラポッド 40t型	テトラポッド 50t型
ブロック層厚 (m)	2層厚	5.1	5.5
	1層厚	2.55	2.75

表-5.6　TIN 法による維持管理(一般定期点検診断) 劣化度判定条件(金沢港)

スパン名	スパン別法線方向設計延長 (m)	各スパン検証高さ		
		設計 天端高 (m)	劣化度 a判定 ライン高(m)	劣化度 b判定 ライン高(m)
F-4	11.15	5.00	2.45	4.50
F-5	12.08	5.00	2.45	4.50
F-6	12.09	5.00	2.45	4.50
F-7	13.00	5.00	2.45	4.50
F-8	13.00	5.00	2.45	4.50
F-9	10.25	5.00	2.45	4.50
F'-1	12.07	5.50	2.75	5.00
F'-2	12.10	5.50	2.75	5.00
F'-3	11.52	5.50	2.75	5.00

(3) TIN 法

TIN 法による計測条件を**表-5.5** に，スパン毎のスパン長・劣化度判定ライン高を**表-5.6** に，換算沈下量による劣化度判定断面図を**図-5.15**，**図-5.16** に示す．

換算沈下量を層厚に変換した各スパンの沈下量と，それによる劣化度判定結果を従来法との比較を，**表-5.7** に示す．

5.4　維持管理への適用性評価

従来法及び格子法, TIN 法の結果一覧を**表-5.7** に示す．

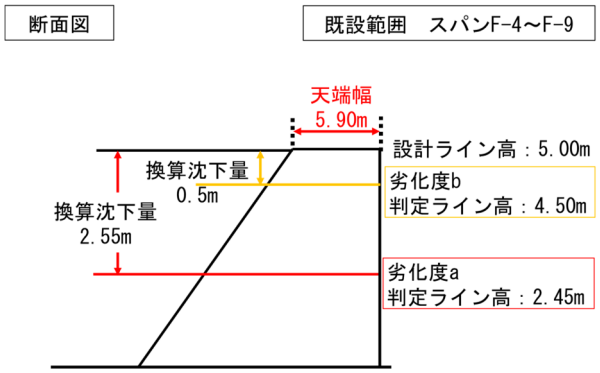

図-5.15　劣化度判定用断面：スパン F-4～F-9（金沢港）

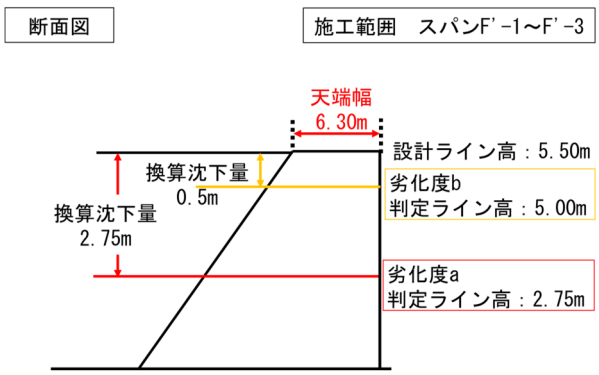

図-5.16　劣化度判定用断面：スパン F'-1～F'-3（金沢港）

表-5.7　維持管理（一般定期点検診断）　劣化度判定結果一覧

現場名	スパン名	従来法 劣化度	格子法 写真測量 格子サイズS（各格子の割合）(%) a格子	b格子	その他	劣化度	格子サイズB/n（各格子の割合）(%) a格子	b格子	その他	劣化度	格子法 グリーンレーザ計測 格子サイズS（各格子の割合）(%) a格子	b格子	その他	劣化度	格子サイズB/n（各格子の割合）(%) a格子	b格子	その他	劣化度	TIN法 写真測量 沈下量（m /層）	劣化度	TIN法 グリーンレーザ 沈下量（m /層）	劣化度
金沢港	F-4	a	0.0	39.4	60.6	c	4.1	65.6	30.3	b	0.0	39.4	60.6	c	2.0	67.6	30.4	b	2.8/1.1	a	2.8/1.1	a
	F-5	a	0.0	45.9	54.1	c	0.0	58.0	42.0	b	0.0	45.9	54.1	c	0.0	58.0	42.0	b	2.4/1.0	a	2.6/1.0	a
	F-6	a	0.0	79.2	20.8	b	1.4	88.1	10.5	b	0.0	66.7	33.3	b	0.0	89.5	10.5	b	2.7/1.1	a	2.7/1.1	a
	F-7	a	0.0	40.3	59.7	c	0.0	53.2	46.8	b	0.0	25.1	74.9	c	0.0	53.2	46.8	b	2.5/1.0	a	2.5/1.0	a
	F-8	b	0.0	25.1	74.9	c	0.0	18.8	81.2	c	0.0	25.1	74.9	c	0.0	18.8	81.2	c	2.1/0.8	b	2.2/0.9	b
	F-9	b	0.0	0.0	100	d	0.0	9.2	90.8	c	0.0	0.0	100	d	0.0	9.2	90.8	c	2.0/0.8	b	2.1/0.8	b
	F'-1	a	1.2	78.5	20.3	b	23.2	59.5	17.3	b	－	－	－	－	－	－	－	－	3.7/1.5	a	－	－
	F'-2	a	100	0.0	0.0	a	100	0.0	0.0	a	－	－	－	－	－	－	－	－	4.0/1.6	a	－	－
	F'-3	a	100	0.0	0.0	a	100	0.0	0.0	a	－	－	－	－	－	－	－	－	4.0/1.6	a	－	－
相馬港	123	a	0.0	24.1	75.9	c	0.0	21.6	78.4	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.9/0.9	b	－	－
	124	a	0.0	19.6	80.4	c	0.0	34.0	66.0	c	－	－	－	－	－	－	－	－	2.1/1.0	a	－	－
	125	b	0.0	10.9	89.1	c	0.0	10.7	89.3	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.3/0.6	b	－	－
	126	b	0.0	21.8	78.2	c	0.0	19.6	80.4	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.8/0.8	b	－	－
	127	b	0.0	8.7	91.3	c	0.0	9.0	91.0	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.1/0.5	b	－	－
	128	b	0.0	6.8	93.2	c	0.0	4.6	95.4	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.2/0.6	b	－	－
	129	b	0.2	0.2	99.6	c	0.0	14.8	85.2	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.5/0.7	b	－	－
	130	b	0.0	21.4	78.6	c	0.0	33.1	66.9	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.6/0.7	b	－	－
	131	b	0.0	22.1	77.9	c	0.0	32.0	68.0	c	－	－	－	－	－	－	－	－	1.8/0.8	b	－	－
	132	a	42.0	58.0	0.0	b	49.1	50.6	0	b	－	－	－	－	－	－	－	－	2.2/1.0	a	－	－
	133	a	24.8	75.2	0.0	b	50.6	49.4	0	a	－	－	－	－	－	－	－	－	2.3/1.0	a	－	－
	134	a	95.9	4.1	0.0	a	89.8	10.2	0	a	－	－	－	－	－	－	－	－	2.8/1.3	a	－	－
	135	a	11.9	67.8	20.3	b	11.0	76.7	12.3	b	－	－	－	－	－	－	－	－	2.3/1.0	a	－	－

格子法では，ほとんどのスパンで従来法よりも劣化度が低く判定された．劣化度が一致したのは全 28 スパン中 3 スパンであり，一致率は 10.7%であった．これに対して，TIN 法では，ほとんどのスパンで従来法と判定結果が一致した．劣化度が一致したのは全 28 スパン中 27 スパンであり，一致率 96.4%であった．TIN 法は従来法と同様に消波ブロックの劣化度を判定できたと考えられる．

格子法が従来法，TIN 法に対して劣化度が低く判定された理由として，格子代表点に最高値を採用していることから，格子内の空隙を考慮できないためと考えられる．また，格子サイズ B/n と格子サイズ S で比較すると，格子サイズ S の方が，劣化度が低くなる傾向があった．

TIN 法による劣化度判定は従来法とほとんど一致したことから，精度面で優れていたと言える．それに加えて，換算沈下量の計算にブロックサイズ等の現場条件は関係しないため，現場状況に合わせて手動で数値を設定する必要がないことも利点と言える．

また，格子法に関しては正確性を重視して今回面積比による劣化度判定を実施したが，そのための各スパンの格子の個数確認，端数格子の面積計算等を手動で実施したため，劣化度判定を実施する範囲が広域化すると，計

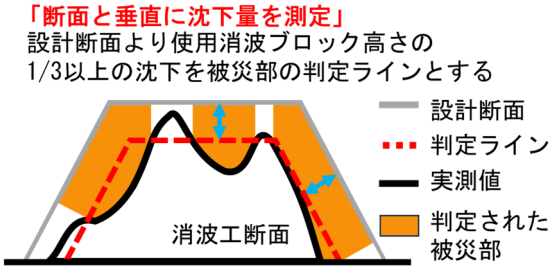

図-6.1　被災部判定基準

算の手間が膨大になる．それに加え，手動でデータ入力を行う手順も多いため，計算ミスも発生しやすい．

以上の結果を踏まえ，維持管理（一般定期点検診断）の劣化度判定に関しては，従来法と同等の判断が実施でき，相対的に歩掛が少ない TIN 法が適していると考えられる．

6. 消波工の災害対応（被災数量算出）における UAV 計測の適用性検討

6.1　使用データ

前章同様，設計に対する消波工の沈下が確認できた金沢港及び相馬港の施工前計測の 3 次元点群データを検証対象とした．UAV 計測の種類としては金沢港，相馬港ともに UAV 写真測量の結果のみである．

6.2　災害対応（被災数量算出）の計測手法

(1) 従来法

従来法においては，目視で沈下が見られた部分に上陸し，レベル・測量スタッフを用いて消波工の形状を計測する．計測結果から横断図を作成し，図-6.1 の基準に基づいて被災部を判定し，被災数量を算出している．港湾では消波ブロック高さの 1/3 以上の沈下があれば被災部と判定される．被災部の設計値に対する不足差分量を，平均断面法により算出している．

本研究においては，現地測量を行った港湾は被災直後の港湾ではなかったため，従来法による被災数量の算出を行うことができなかった．そのため，計測した点群データより従来法と同様の基準で平均断面法を用いて設計断面に対する差分数量を算出し，比較対象とした．

また，式(5)により，使用されている消波ブロック体積・空隙率から，被災数量を消波ブロック個数に換算した．

消波ブロック個数

＝被災数量(㎥)/消波ブロック体積(㎥)×空隙率(%)　式(5)

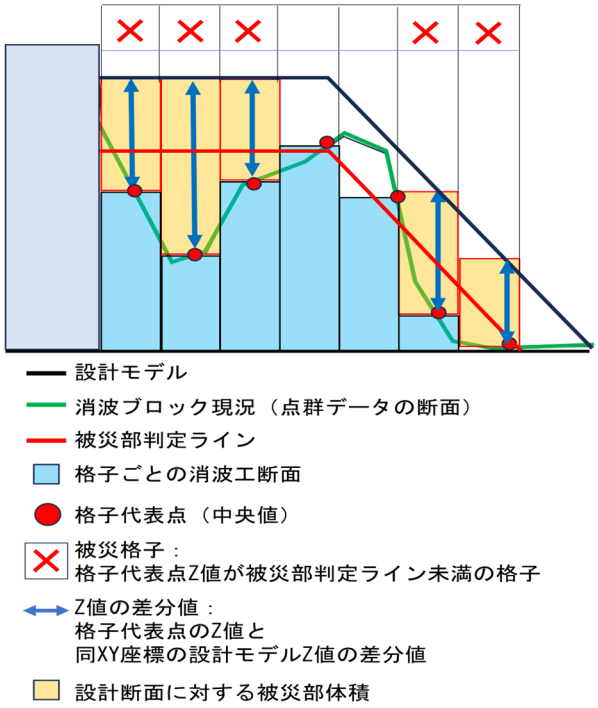

図-6.2　格子法による被災部判定及び被災数量算出

(2) 格子法

格子法による被災部判定及び被災数量算出の概要を図-6.2 に示す．前章同様，格子サイズ B/n と格子サイズ S の二種類を基本格子サイズとした．この基本格子サイズを，対象範囲の法線方向の延長を基に，式(6)，式(7)で調整した．

調整格子数（小数 1 位を切り上げ）

＝法線方向延長/格子サイズ　式(6)

調整格子サイズ＝法線方向延長/調整格子数　式(7)

施工範囲を超えて平面格子が設定されることを防ぐため，調整格子サイズは法線方向の延長を割り切れる寸法とした．

被災部の判定は消波工の沈下量による判断であるが，格子代表点を Z 方向の最高値とする場合，消波工の空隙を考慮できない．そのため，格子代表点は空隙を考慮して，格子内の Z 方向の中央値の点とした．

図-6.2 に示すような消波工の設計値に基づいた 3 次元モデル「設計モデル」を作成し，さらに被災部の判定のための 3 次元モデル「被災部判定ライン」を作成した．

被災部判定ラインは，従来法の判断基準を参考に，設計値に対して使用消波ブロック高さの 1/3 の距離を鉛直方向にオフセットした位置で作成した．従来法の場合，法面部分は法面に対して垂直方向に消波ブロック高さの沈下量を計測するが，使用する計算ソフトと計算法の都

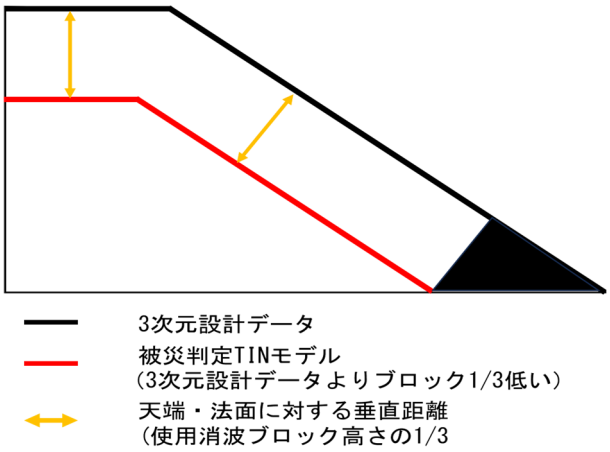

図-6.3　TIN 法による設計モデルと被災判定 TIN モデル

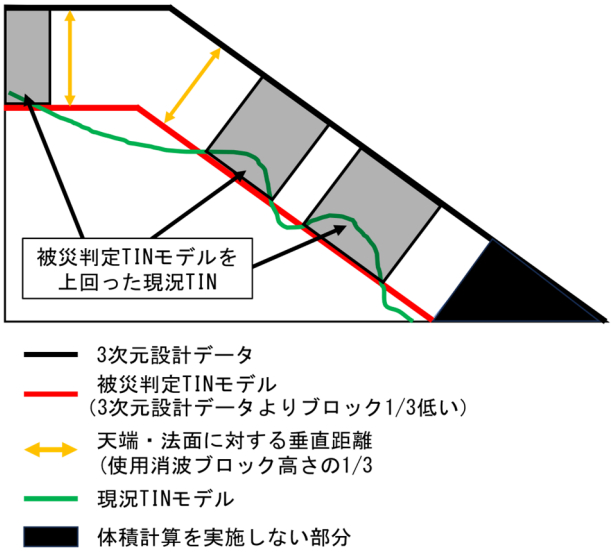

図-6.4　現況の TIN モデルによる被災部判定

合上，本研究の格子法では，沈下量の計測方向は天端部も法面部も Z 方向に統一して計算を行った．

格子代表点の Z 値と，同一 XY 座標の被災部判定ラインの Z 値で比較を行い，格子代表点の Z 値が被災部判定ラインの Z 値未満の場合，当該格子を「被災格子」と判定した．判定後，被災格子を対象として，格子ごとに格子代表点の Z 値と同一 XY 座標の設計モデルの Z 値の差分に格子の面積を乗じて，格子ごとの体積を算出した（図-6.2）．最後に全ての被災格子で算出した体積を合計することで，被災数量算出を行った．

(3) TIN 法

設計値を基に「設計 TIN モデル」を作成し，天端及び法面に対して垂直方向に使用消波ブロックの高さの 1/3 オフセットした「被災判定 TIN モデル」を作成した．設

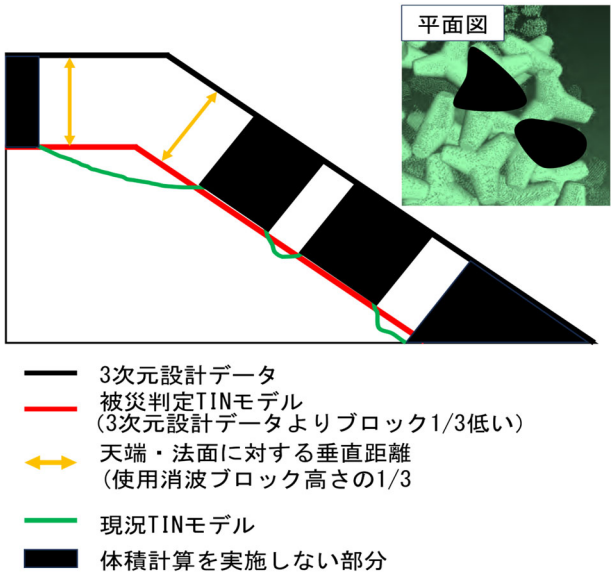

図-6.5　被災部分 TIN 抽出概要

計モデルと被災判定 TIN モデルの高さ関係は図-6.3 のようになる．

設計 TIN モデル，被災判定 TIN モデル，計測した 3 次元点群データより作成した「現況 TIN モデル」使用し，以下の手順で被災数量を算出した．

a) 図-6.4 に示すように，被災判定 TIN モデルと現況 TIN モデルを重ね，現況 TIN モデル側の被災判定 TIN モデル以上の Z 値を持つ TIN を削除した．削除後は図-6.5 に示すような，平面で見ると穴あき状態の TIN モデルが作成される．

b) 設計 TIN モデルと a)で作成した TIN モデルで，プリズモイダル法を用いて図-6.6 に示す天端部分の差分体積を計算する．この差分体積計算は TIN が存在している部分に対してのみ実施され，a)で削除された部分では実施されない．

c) 同モデルを図-6.7 のように回転させ，法面部分を水平にすることで，b)と同様にプリズモイダル法により設計 TIN モデルと現況 TIN モデル間の差分体積計算を実施した．

d) 天端部分と法面部分を別途計算する都合上，図-6.8 に示す法肩部分に計算不可能な部分が発生する．そのため当該部分の断面積を計算後，平均断面法にて法肩部分の体積を算出した．

e) b)，c)，d)にて求めた体積を合計し，被災数量を算出した．

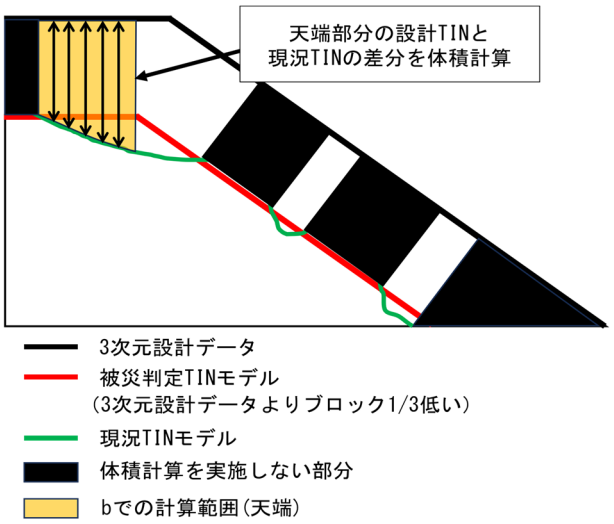

図-6.6　天端範囲の体積算出

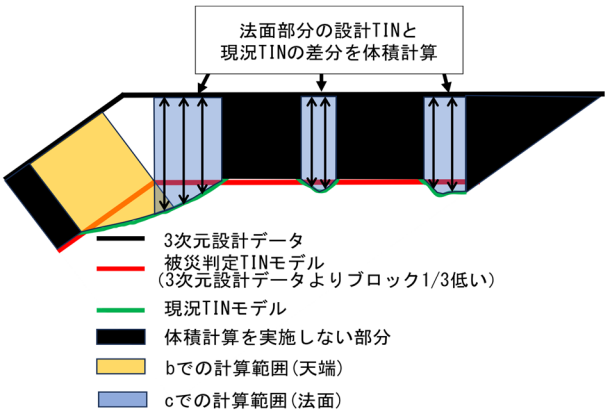

図-6.7　法面範囲の体積算出

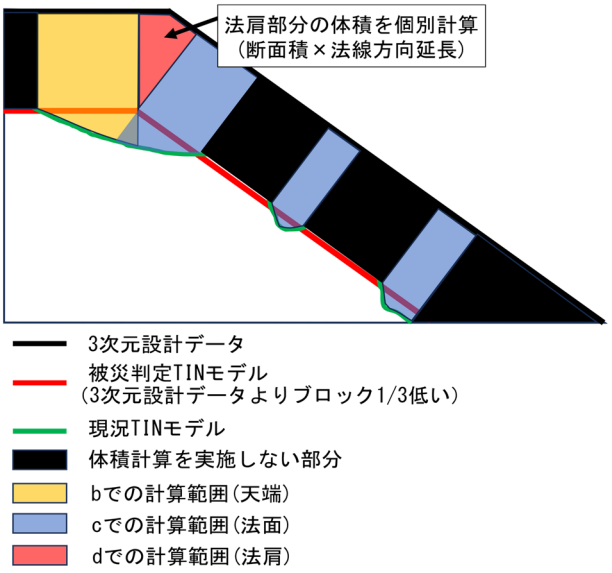

図-6.8　法肩部分の体積算出

6.3　災害対応(被災数量算出)の計測結果

(1) 従来法

検証を行った金沢港及び相馬港での，従来法により算出した被災数量を表-6.1 に示す．

表-6.1　従来法による災害対応(被災数量算出)結果(相馬港)

No.	現場名		従来法 平均断面法 体積(m³) 個数
①	金沢港	被災部	1,344.3
		消波 ブロック 個数換算	34個
②	相馬港	被災部	2,751.5
		消波 ブロック 個数換算	86個

※金沢港：消波ブロック体積20.0㎥　空隙率50%
※相馬港：消波ブロック体積16.1㎥　空隙率50%

表-6.2　格子法災害対応(被災数量算出)計測条件(相馬港)

施工範囲		スパン No.132～133	スパン No.134～135
天端幅B(m)		5.00	5.00
列数n		2	2
設計天端高h(m)		5.10	5.10
使用消波ブロック		テトラポッド 25t型	テトラポッド 25t型
ブロックサイズS(m)		3.943	3.943
ブロック高さh(m)		3.30	3.30
基本格子サイズ	B/n(m)	2.5	2.5
	S(m)	3.94	3.94
被災部判定下がり(m)　X=1/3h		1.10	1.10
被災部判定天端高(m)		4.00	4.00
法線方向設計延長		40.25	39.22
調整格子数	B/n(m)	16	16
	S(m)	10	10
調整格子サイズ(m)		2.52	2.45
		4.03	3.92

(2) 格子法

格子法による災害対応の事例として相馬港の計測結果を示す．金沢港の結果は付録 C に示す．

相馬港の被災数量算出は，既設の設計に対する被災判定ラインで被災格子の判定を行い，被災数量の算出は施工後の新規設計に対して実施した．そのため，被災部判定用の条件と，被災数量算出用の二つの条件を示す．被災判定用の法線方向の設計延長及び設定格子サイズ等の計測条件を表-6.2 に，被災数量算出用の条件を表-6.3 に示す．また対象範囲の既設設計図面を図-6.9，新設設計図面を図-6.10 に示す．最後に既設設計に基づいた「既設設計ライン」，新規設計に基づいた「新設設計ライン」，既設設計ラインに対して使用消波ブロックの高さの 1/3 鉛直方向にオフセットした「被災判定ライン」を示した断面図を断面形状別に図-6.11，図-6.12 に示す．

相馬港の災害対応(被災数量算出)では，先に述べた通り，図に示すように既設設計に対して被災判定ラインを

表-6.3　格子法による災害対応(被災数量算出)計測条件(相馬港)

施工範囲	スパン No. 132～133	スパン No. 134～135
天端幅B(m)	5.00	5.00
列数n	2	2
設計天端高h(m)	6.80	6.60
使用消波ブロック	テトラポッド 40t型	
消波ブロック体積(㎥)	16.1	
消波ブロック空隙率(%)	50	

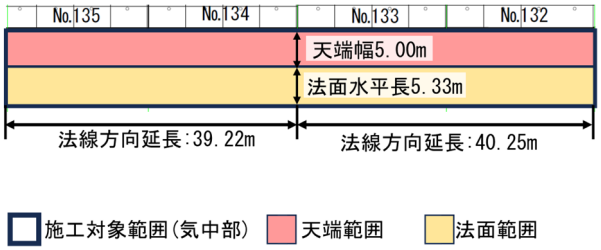

図-6.9　相馬港設計図面(既設設計)

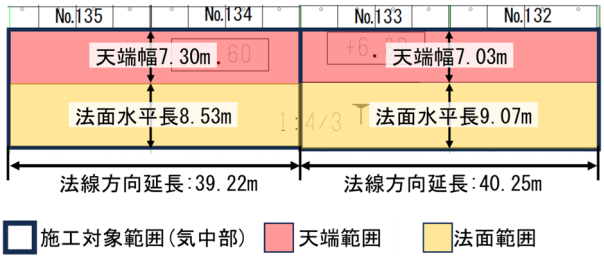

図-6.10　相馬港設計図面(新設設計)

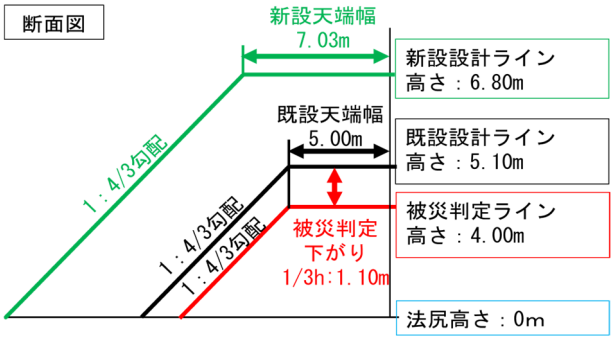

図-6.11　相馬港断面図(スパン No.132～133)

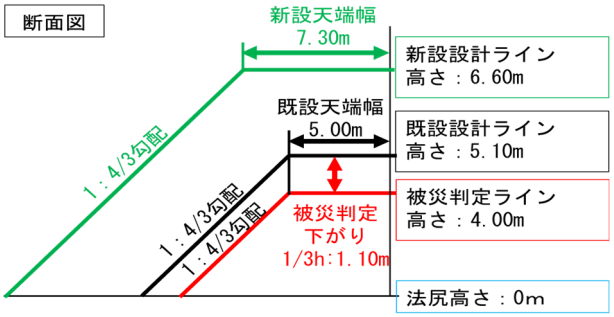

図-6.12　相馬港断面図(スパン No.134～135)

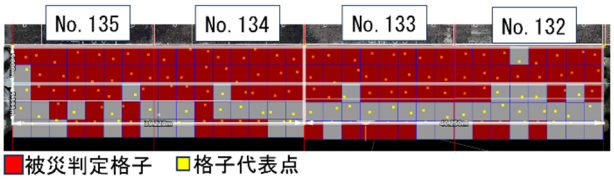

図-6.13　相馬港被災判定結果：格子サイズ B/n (UAV 写真測量)

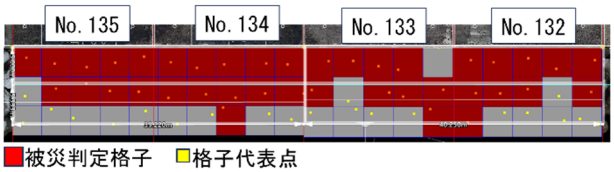

図-6.14　相馬港被災判定結果：格子サイズ S(UAV 写真測量)

表-6.4　格子法による災害対応(被災数量算出結果)(相馬港)

現場名		従来法	格子法 写真測量			
		平均断面法	格子サイズS		格子サイズB/n	
		体積(m³) 個数	体積(m³) 個数	従来法との増減割合	体積(m³) 個数	従来法との増減割合
相馬港	被災部体積	2,751.5	2,461.3	-10.5%	2,535.1	-7.9%
	消波ブロック個数換算	86個	77個	-10.5%	79個	-8.1%

※相馬港：消波ブロック体積16.1㎥　空隙率50%

設置し被災判定を実施後，施工後の新設設計ラインを基準に被災数量を算出している．

また，施工対象範囲のうち，ケーソン No.132～133 の範囲とケーソン No.134～135 の範囲で新設設計ラインの断面形状が異なるため，範囲別で調整格子サイズを設定し，被災格子の判定を実施した．

基本格子サイズ B/n による被災判定結果を**図-6.13**，基本格子サイズ S による被災判定結果を**図-6.14** に示す．被災格子を対象として新設設計ライン Z 値と格子代表点 Z 値の差分で体積計算及び，消波ブロック個数換算を実施した．

格子法により算出した体積及び消波ブロック個数と従来法の比較結果を**表-6.4** に示す．従来法によって算出された体積に対して，格子法によって算出した体積は 7.9%～10.5%少ない結果となった．

(3) TIN 法

格子同様 TIN 法による災害対応の事例として相馬港の計測結果を示す．作成した設計 TIN モデルと被災判定 TIN モデルを**図-6.15** に示す．金沢港の結果は**付録 C** に

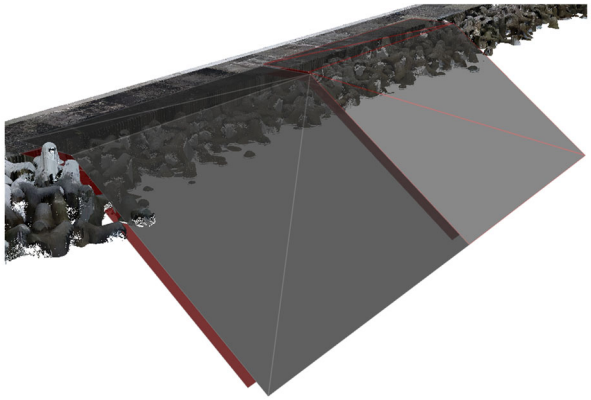

図-6.15　相馬港 TIN モデル

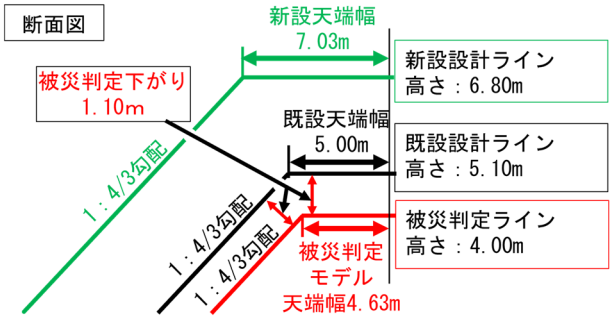

図-6.16　相馬港 TIN モデル断面図(スパン No.132～133)

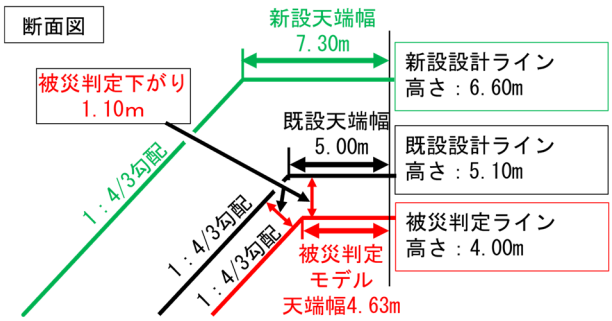

図-6.17　相馬港 TIN モデル断面図(スパン No.134～135)

示す．また，設計 TIN モデルと被災判定 TIN モデルを断面図で**図-6.16**, **図-6.17** に示す．

現況 TIN と設計 TIN の差分計算をプリズモイダル法により被災数量として算出し，消波ブロック個数換算を実施した．算出数量および個数を従来法と比較した物を**表-6.5** に示す．従来法によって算出された体積に対して格子法によって算出した体積は,3.9%少ない結果となった．

6.4　災害対応への適用性評価

従来法，格子法，TIN 法によって算出された被災数量の一覧を**表-6.6** に示す．

格子法では従来法と比較して体積で-7.6%～-10.5%の差となった．特に相馬港の差が大きいが，計算手法の都合上，格子法では自動計算不可能な部分があるため，その部分から差が生じていると考えられる．相馬港の計算

表-6.5　TIN 法による災害対応(被災数量算出結果)(相馬港)

現場名		従来法	TIN法 写真測量	
		平均断面法		
		体積(m³) 個数	体積(m³) 個数	従来法との増減割合
相馬港	被災部体積	2,751.5	2,645.3	-3.9%
	消波ブロック個数換算	86個	83個	-3.5%

表-6.6　災害対応(被災数量算出)　結果一覧

現場名		従来法	格子法 写真測量				TIN法 写真測量	
		平均断面法	格子サイズS		格子サイズB/n			
		体積(m³) 個数	体積(m³) 個数	従来法との増減割合	体積(m³) 個数	従来法との増減割合	体積(m³) 個数	従来法との増減割合
金沢港	被災部体積	1,344.3	1,242.0	-7.6%	1,243.3	-7.6%	1,377.5	+2.5%
金沢港	消波ブロック個数換算	34個	31個	-8.8%	31個	-8.8%	35個	+2.9%
相馬港	被災部体積	2,751.5	2,461.3	-10.5%	2,535.1	-7.9%	2,645.3	-3.9%
相馬港	消波ブロック個数換算	86個	77個	-10.5%	79個	-8.1%	83個	-3.5%

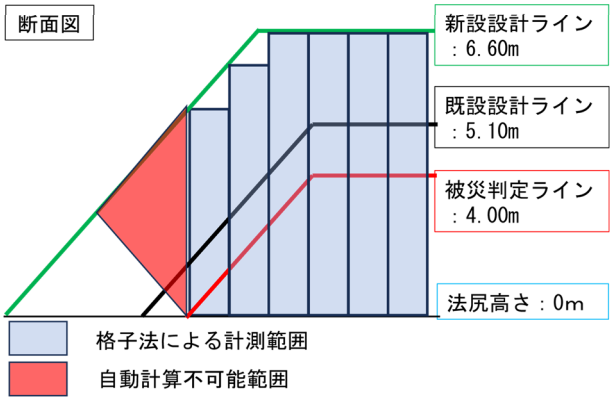

図-6.18　格子法計算不可能範囲（相馬港）

表-6.7　格子法体積補完結果．各港の上段は補完前の体積，下段は補完後の体積．

現場名		従来法	格子法 写真測量			
		平均断面法	格子サイズS		格子サイズB/n	
		体積(m³)	体積(m³)	従来法との増減割合	体積(m³)	従来法との増減割合
金沢港	被災部体積	1,344.3	1,242.0	-7.6%	1,243.3	-7.6%
金沢港	補完体積 12.5m³	-	1,255.8	-6.6%	1,254.5	-6.7%
相馬港	被災部体積	2,751.5	2,461.3	-10.5%	2,535.1	-7.9%
相馬港	補完体積 356.6m³	-	2,817.9	+2.4%	2,891.7	+5.1%

不可能範囲を**図-6.18** に，計算不可能部分を平均断面法により手動計算し補完した結果を**表-6.7** に示す．手動計

算した結果を加算することで，いずれのケースでも従来法との差の増減割合（絶対値）は減少した．相馬港は被災判定ラインと設計ラインの差が大きく，計算不可能範囲も大きい．そのため従来法との差が大きくなったと考えられる．

TIN 法は従来法により算出した被災数量と比較して体積で-3.9%～+2.5%の差であり，比較的従来法と近似した結果となった．

被災数量以外の点で見ると，格子法は被災格子の判定を除いた格子別の体積を別途手動計算しており，手間がかかることと，計算ミスが発生しやすいことが難点として挙げられる．TIN 法はモデルを回転させる手間が必要ではあるが，体積の計算はソフトウェアで行われるため，計算ミスが発生しづらい．

なお，現状の災害査定では水中部も測量して被災数量を計算しているが，UAV 写真測量では水中部のデータを取得することが出来ず，今回の検証では気中部の検証しか実施することができなかった．そのため，現場への適用性に関しては，水中部の数量計算に課題が残る結果となった．

7. 終わりに

7.1 主要な結論

本研究では，消波工の出来形管理，維持管理（一般定期点検診断），災害対応における，UAV 計測による 3 次元点群データを活用した形状把握手法について，平面格子代表点を用いた格子法及び TIN を用いた TIN 法の二つの手法と従来の計測手法（従来法）との差異，効率性という観点で適用性の検証を行った．

出来形管理においては，格子法・TIN 法いずれも，消波ブロックの据付延長を計測でき，その結果は従来法と概ね同等であった．

維持管理（一般定期点検診断）においては，格子法は格子代表点に最高値を使用したことにより，ほとんどのケースで従来法より劣化度を低く判定した．また，TIN 法は，従来法とほぼ同じ劣化度の判定結果であった．歩掛は，TIN 法がやや優れていた．

災害対応（被災数量算出）においては，格子法は従来法よりも被災数量を 7.6%～10.5%少なく判定した．TIN 法は比較的従来法に近似していたが，-3.9～+2.5%の差異があった．

格子法と TIN 法を比較すると，時間効率，歩掛，従来法との整合性の観点から，本研究の範囲内においては TIN 法が優れていた．

従来法と比較した場合，標定点設置等の事前準備，UAV による計測時間，その後のデータ整理時間が必要となる UAV 計測による形状把握は，目視等，簡素な従来法に対して歩掛を要する．しかし出来形管理においては，現在の ICT 活用工事の施工プロセスとして，完成形状の把握のための UAV 等による 3 次元測量が実施方針 [14]に定められており，すでに多くの工事で完成時に UAV 計測が実施されている．そのため，計測済の完成形状データを活用することで，解析時間のみで出来形（据付延長）の計測が可能となる．また，維持管理・災害対応に関しても，沈下・破損等が発生した危険な消波工上を移動しての計測作業を行うことなく，消波工形状を把握可能という点で有用であると考える．

7.2 今後の課題

本研究では出来形管理・維持管理・災害対応それぞれで検証を実施したが，現場への適用性を考慮し，従来法による計測結果と変わらない評価が行えることを優先した．そのため従来法の計測結果を正とし，それに対する整合性という観点で格子法・TIN 法の評価を行った．しかし，従来法による計測は目視，現場条件に合わせた計測等，消波工の正確な形状把握が困難なことによる不確実な要素が多分に含まれる計測結果である．UAV 計測によって，より正確な消波工形状の把握が可能ならば，その計測結果を，不確実要素が含まれる従来法による計測結果に合わせることには疑問が残る．また，UAV 計測を正とするならば，従来の基準ではなく，UAV 計測を前提とした新基準を作成する必要があると考える．

よって今後の課題としては，UAV 計測の結果に対して，従来法を正であるとし，対する整合性を高める検証を続けていくのか，それとも UAV 計測を前提とする，新しい基準を作成するための検証を行うのか，改めて今後の研究の方向性を定める必要がある．

謝辞

本研究を取りまとめるに辺り，現地試験では国土交通省港湾局，同東北地方整備局，同北陸地方整備局，同四国地方整備局，内閣府沖縄総合事務局，並びに施工業者の皆様にご協力いただきました．ここに記し，感謝の意を表します．

参考文献

1) 国土交通省 港湾局：港湾工事共通仕様書(令和 5 年 3 月改定版),2024.

<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001600582.pdf>,(最終閲覧日 2025.1.31)

2) 国土交通省 港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン(令和 3 年 3 月改訂版),2022. <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001734485.pdf>,(最終閲覧日 2025.1.31)

3) 公益社団法人 日本港湾協会：港湾関係災害事務必携(令和 3 年 4 月改訂版)，2023.

4) 西広人，琴浦毅，堺浩一，今野洋幸：UAV を用いた消波ブロックの測量手法に関する検討，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.76，No.2，I_690-I_695，2020. <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejoe/76/2/76_I_690/_pdf>，(最終閲覧日 2025.1.31)

5) 国土交通省 国土地理院：作業規程の準則(令和 5 年 3 月改訂版),2023. <https://www.gsi.go.jp/gijyutukanri/gijyutukanri41018.html>，(最終閲覧日 2025.1.31)

6) 川口慎吾，鶴田修己，髙阪雄一，岡崎裕，朝比翔太，酒井和也，鈴木高二朗：UAV を用いた港湾構造物の計測技術に関する検討，土木学会論文集(海洋開発)，Vol.75 No.2 I_121-I_126，2019. <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejoe/75/2/75_I_121/_pdf/-char/ja>，(最終閲覧日 2025.1.31)

7) 西広人，琴浦毅：消波ブロックを対象とした点群データの評価手法の検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.78，No.2，I_163-I_168，2022. <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejoe/78/2/78_I_163/_pdf/-char/ja>，(最終閲覧日 2025.1.31)

8) 昇悟志，橋田雅也，荻原照通，富永柚香，山崎真史，前川裕之：3D データを活用した消波工の設計及び施工の効率化・高度化検討, 土木学会論文集 B3, Vol.74, No.2，2018. <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejoe/74/2/74_I_1/_pdf/-char/ja>,(最終閲覧日 2025.2.6)

9) 内閣府　宇宙開発戦略推進事務局：みちびき(準天頂衛星システム)HP，関連ニュース：GNSS 内蔵型対空標識「AeroPoint」,2017. <https://qzss.go.jp/info/archive/aeropoint_170309.html>，(最終閲覧日 2025.3.25)

10) 国土交通省 港湾局：ICT 機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)(令和 3 年 4 月版)，2022. <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001397878.pdf>,(最終閲覧日 2025.2.28)

11) 国土交通省 港湾局：3 次元データを用いた出来形管理要領(浚渫工編)(令和 5 年 4 月改訂版)，2024. < https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001599631.pdf>，(最終閲覧日 2025.2.11)

12) 株式会社不動テトラ：テトラポッド R 形状寸法図. < https://www.fudotetra.co.jp/wp-content/uploads/2019/09/tetrapod_fig07_R.pdf>,(最終閲覧日 2025.2,9)

13) 国土交通省 港湾局：全国港湾海洋波浪情報網リアルタイムナウファス，波浪データのダウンロード，対象エリア「北陸，金沢」観測年月「2023.11」. <https://nowphas.mlit.go.jp/pastdata_select/2024/1/2024/8>,(最終閲覧日 2025.2.6)

14) 国土交通省　港湾局：港湾における ICT の全面的な活用の推進に関する実施方針. <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001735908.pdf>,(最終閲覧日 2025.2.6)

付録 A：出来形計測結果

表-A.1　格子法による出来形（据付延長）計測条件（高知港）

現場名		高知港		
		L1	L2	L3
設計延長(m)		30.0	30.5	20.2
設計天端高(m)		5.0	5.3	5.3
設計天端幅B(m)		7.6	7.6	7.6
消波工列数n		2	2	2
使用消波ブロック		ドロスⅡ 100t型	テトラポッド 80t型	テトラポッド 80t型
ブロックサイズS(m)		5.838	5.975	5.975
基本格子サイズ(m)	B/n	3.80	3.80	3.80
	S	5.84	5.97	5.97
調整格子数	B/n	8	8	5
	S	5	5	3
調整格子サイズ(m)	B/n	3.75	3.82	4.04
	S	6.00	6.10	6.74

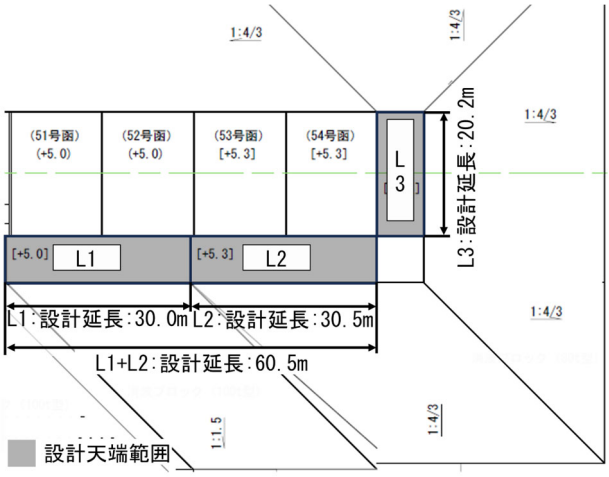

図-A.1　高知港設計図面

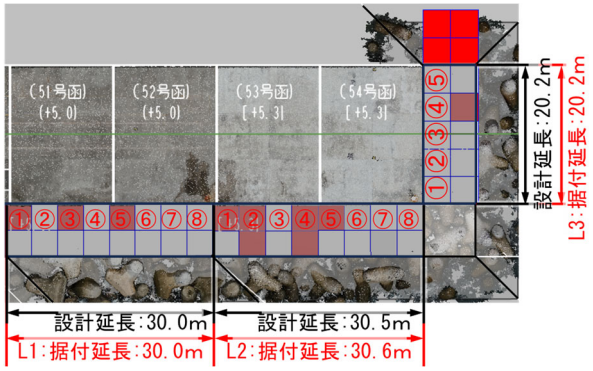

図-A.2　格子法出来形：格子サイズ B/n(高知港 UAV 写真測量)

本文で記載した金沢港以外の各港湾での格子法，TIN 法双方による出来形の計測結果を示す．

1. 格子法

a) 高知港

設定格子サイズ等の計測条件を表-A.1 に，対象範囲の設計図面を図-A.1 に示す．

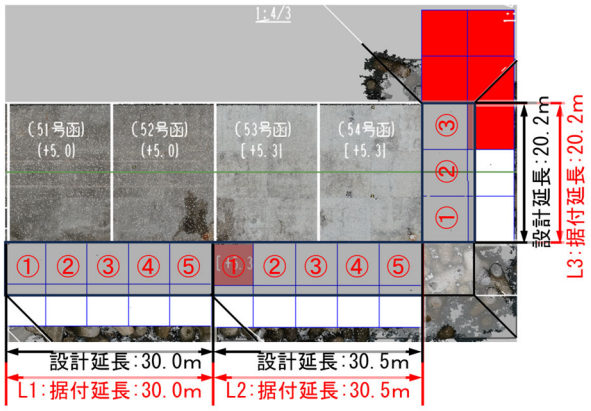

図-A.3　格子法出来形：格子サイズ S（高知港 UAV 写真測量）

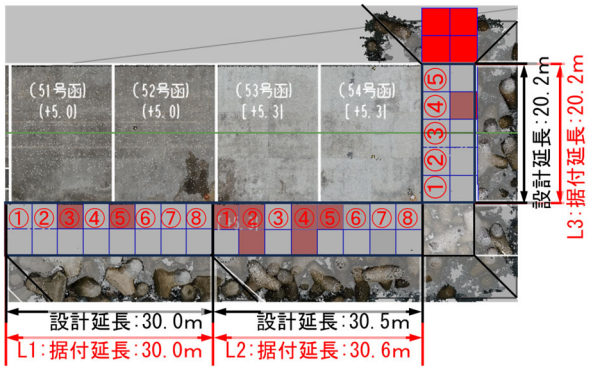

図-A.4　格子法出来形：格子サイズ B/n（高知港 UAV グリーンレーザ測量）

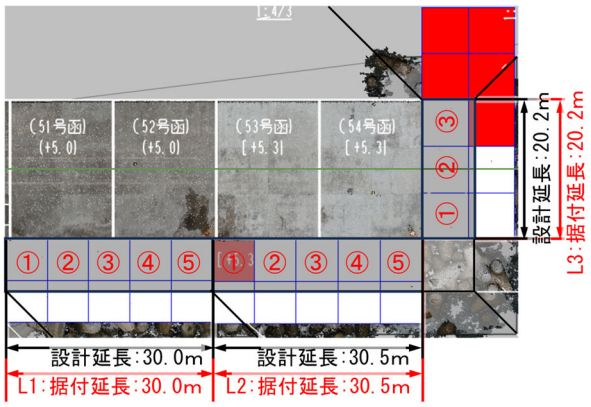

図-A.5　格子法出来形：格子サイズ S（高知港 UAV グリーンレーザ測量）

格子法による出来形(据付延長)の計測結果は次のようになった．写真測量による計測結果を格子サイズ B/n は図-A.2，格子サイズ S は図-A.3 に，グリーンレーザ測量による計測結果を同様に格子サイズ B/n は図-A.4，格子

表-A.2　格子法出来形計測結果一覧（高知港）

現場名			設計延長(m)	従来法(m)	調整格子サイズ(m)①		格子数カウント②		据付延長(格子法)(m)③ ((③=①×②))	
					B/n	S	B/n	S	B/n	S
高知港	L1	UAV写真測量	30.0	31.0	3.75	6.0	8	5	30.0	30.0
		UAVグリーンレーザ測量	30.0	31.0	3.75	6.0	8	5	30.0	30.0
	L2	UAV写真測量	30.5	29.5	3.82	6.1	8	5	30.6	30.5
		UAVグリーンレーザ測量	30.5	29.5	3.82	6.1	8	5	30.6	30.5
	L3	UAV写真測量	20.2	20.1	4.04	6.74	5	3	20.2	20.2
		UAVグリーンレーザ測量	20.2	20.1	4.04	6.74	5	3	20.2	20.2

表-A.3　格子法による出来形（据付延長）計測条件（石垣港）

現場名		石垣港	
		北側	南側
設計延長(m)		52.4	26.2
設計天端高(m)		2.5	2.5
設計天端幅B(m)		2.8	2.8
消波工列数n		2	2
使用消波ブロック		テトラポッド 4t型	テトラポッド 4t型
ブロックサイズS(m)		2.139	2.139
基本格子サイズ(m)	B/n	1.40	1.40
	S	2.14	2.14
調整格子数	B/n	37	19
	S	24	12
調整格子サイズ(m)	B/n	1.42	1.38
	S	2.19	2.19

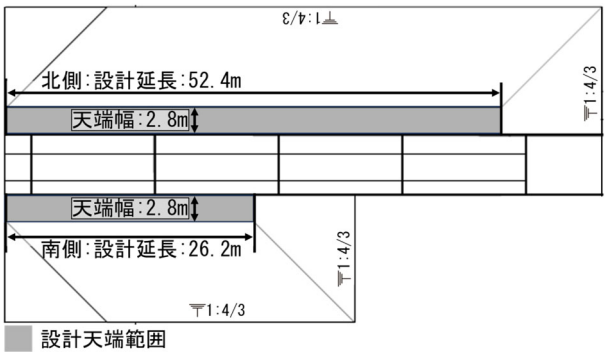

図-A.6　石垣港設計図面

サイズ S は図-A.5 に示す．また，計測結果の一覧を表-A.2 に示す．

格子法による計測結果は設計値と同様の値を示しており，従来法と同様に出来形の計測が行えることを確認した．

b) 石垣港

設定格子サイズ等の計測条件を表-A.3 に，対象範囲の設計図面を図-A.6 に示す．

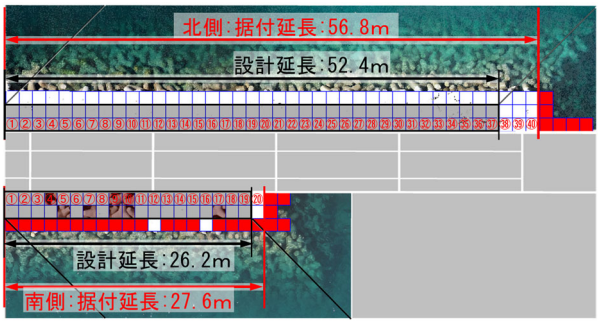

図-A.7　格子法出来形：格子サイズ B/n(石垣港 UAV 写真測量)

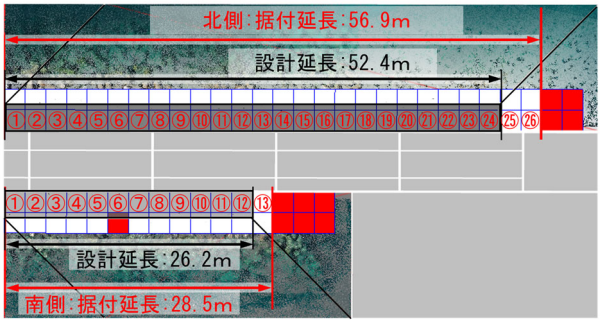

図-A.8　格子法出来形：格子サイズ S(石垣港 UAV 写真測量)

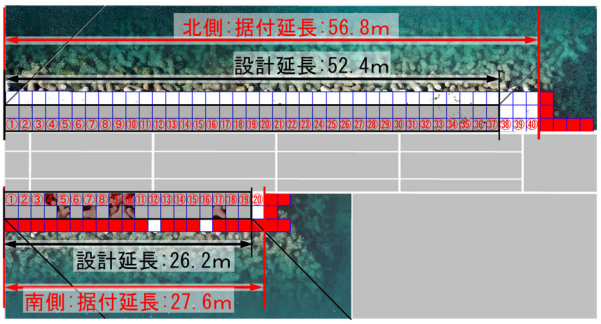

図-A.9　格子法出来形: 格子サイズ B/n
(石垣港 UAV グリーンレーザ測量)

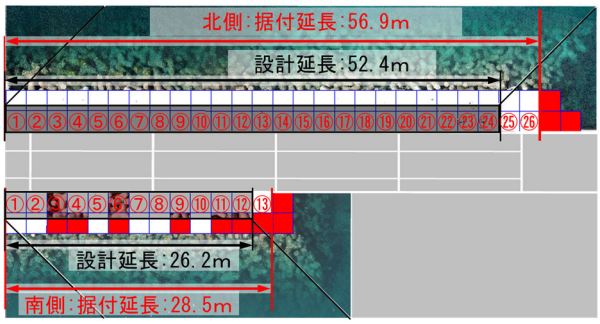

図-A.10　格子法出来形:格子サイズ S
(石垣港 UAV グリーンレーザ測量)

写真測量による計測結果を，格子サイズ B/n は図-A.7，格子サイズ S は図-A.8 に示す．同様にグリーンレーザ測

表-A. 4　格子法出来形計測結果一覧(石垣港)

現場名			設計延長(m)	従来法(m)	調整格子サイズ(m)①		格子数カウント②		据付延長(格子法)(m)③((③=①×②))	
					B/n	S	B/n	S	B/n	S
石垣港	北側	UAV写真測量	52. 4	56. 4	1. 42	2. 19	40	26	56. 8	56. 9
		UAVグリーンレーザ測量	52. 4	56. 4	1. 42	2. 19	40	26	56. 8	56. 9
	南側	UAV写真測量	26. 2	26. 2	1. 38	2. 19	20	13	27. 6	28. 5
		UAVグリーンレーザ測量	26. 2	26. 2	1. 38	2. 19	20	13	27. 6	28. 5

表-A. 5　格子法に依る出来形(据付延長)計測条件(相馬港)

現場名		相馬港	
		A-I-4	A-I-5
設計延長(m)		40. 3	39. 2
設計天端高(m)		6. 8	6. 6
設計天端幅B(m)		7. 03	7. 3
消波工列数n		2	2
使用消波ブロック		テトラポッド40t型	テトラポッド40t型
ブロックサイズS(m)		4. 612	4. 612
基本格子サイズ(m)	B/n	3. 52	3. 65
	S	4. 61	4. 61
調整格子数	B/n	11	11
	S	9	9
調整格子サイズ(m)	B/n	3. 66	3. 57
	S	4. 48	4. 36

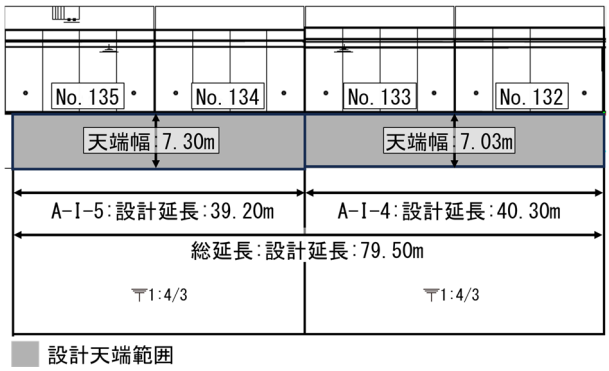

図-A. 11　相馬港設計図面

量による計測結果を格子サイズ B/n は図-A. 9，格子サイズ S は図-A. 10 に示す．格子法による計測結果の一覧を表-A. 4 に示す．

計測結果は，北側の天端延長が設計値より大きくなった．従来法による計測も北側が設計値より大きな値であるため，格子法でも従来法と同様に出来形の計測が行えることを確認した．

c) 相馬港

設定格子サイズ等の計測条件を表-A. 5 に，対象範囲の

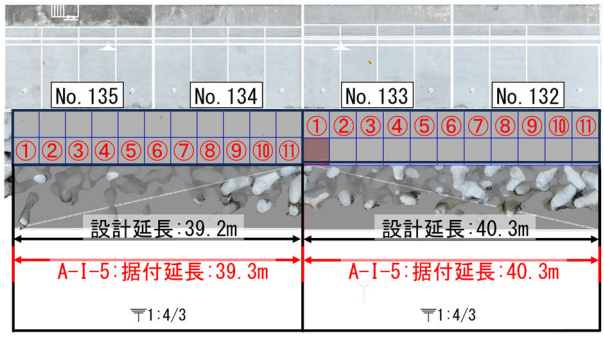

図-A. 12　格子法出来形：格子サイズ B/n

(相馬港 UAV 写真測量)

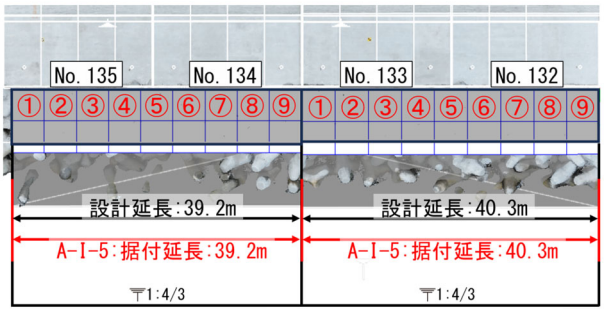

図-A. 13　格子法出来形：格子サイズ S

(相馬港 UAV 写真測量)

表-A. 6　格子法出来形計測結果一覧(相馬港)

現場名		設計延長(m)	従来法(m)	調整格子サイズ(m)①		格子数カウント②		据付延長(格子法)(m)③((③=①×②))	
				B/n	S	B/n	S	B/n	S
相馬港	A-I-4	40. 3	-	3. 66	4. 48	11	9	40. 3	40. 3
	A-I-5	39. 2	-	3. 57	4. 36	11	9	39. 3	39. 2
	総延長	79. 5	79. 5	-	-	-	-	79. 6	79. 5

設計図面を図-A. 11 に示す．なお，相馬港は現場の都合上 UAV 写真測量のみの実施となっている．

格子サイズ B/n の計測結果を図-A. 12，格子サイズ S の結果を図-A. 13 に示す．また，計測結果の一覧を表-A. 6 に示す．

計測結果は設計値と同様の値を示しており，従来法と同様の出来形計測が行えることを確認した．

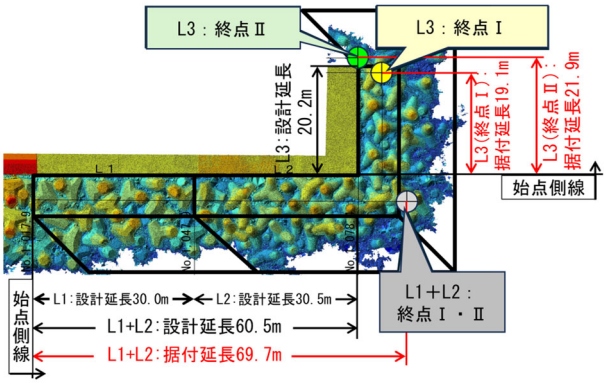

図-A.14　TIN 法出来形(高知港 UAV 写真測量)

表-A.7　TIN 法出来形計測結果(高知港 UAV 写真測量)

高知港(写真)		X座標(m)	Y座標(m)	据付延長(m)	高さ(m)
L1+L2	終点Ⅰ・Ⅱ	8753.440	55295.419	69.7	5.7
L3	終点Ⅰ	8751.631	55319.789	19.1	6.4
	終点Ⅱ	8747.717	55323.040	21.9	4.6

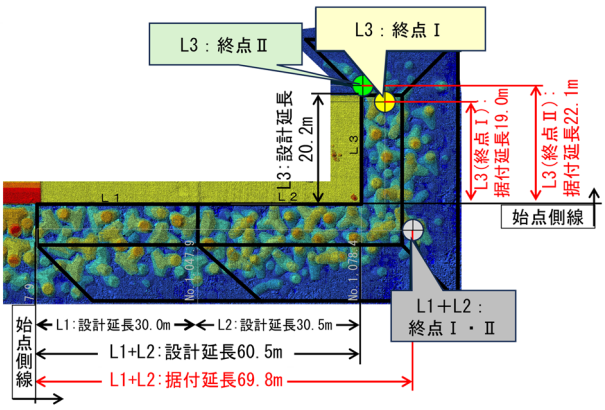

図-A.15　TIN 法出来形(高知港 UAV グリーンレーザ測量)

表-A.8　TIN 法出来形計測結果（高知港 UAV グリーンレーザ測量）

高知港(グリーンレーザ)		X座標(m)	Y座標(m)	据付延長(m)	高さ(m)
L1+L2	終点Ⅰ・Ⅱ	8753.487	55295.402	69.8	5.8
L3	終点Ⅰ	8751.565	55319.737	19.0	6.5
	終点Ⅱ	8747.843	55323.250	22.1	4.7

2. TIN 法

a) 高知港

本研究では，高知港の L1，L2 のように消波工の天端延長が途切れず続いている場合，L1，L2 の天端延長範囲全体を検証の対象とした．UAV 写真測量による計測結果を**図-A.14**，**表-A.7** に，UAV グリーンレーザ測量による計測結果を**図-A.15**，**表-A.8** に示す．従来法と同様に出来形を計測可能であることを確認した．

b) 石垣港

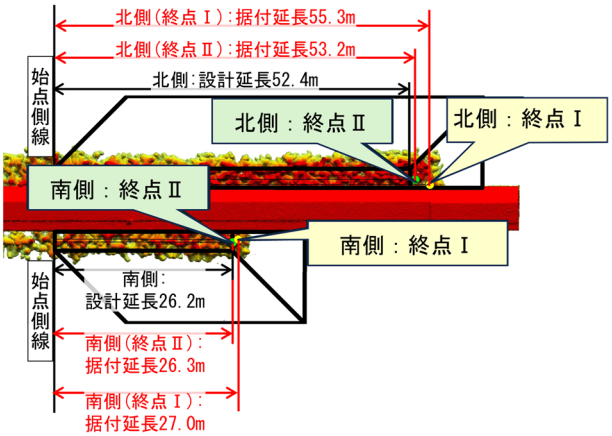

図-A.16　TIN 法出来形(石垣港 UAV 写真測量)

表-A.9　TIN 法出来形計測結果(石垣港 UAV 写真測量)

石垣港(写真)		X座標(m)	Y座標(m)	据付延長(m)	高さ(m)
北側	終点Ⅰ	13387.924	-183874.034	55.3	3.1
	終点Ⅱ	13385.960	-183875.172	53.2	3.3
南側	終点Ⅰ	13375.684	-183900.782	27.0	2.5
	終点Ⅱ	13375.519	-183901.641	26.3	2.7

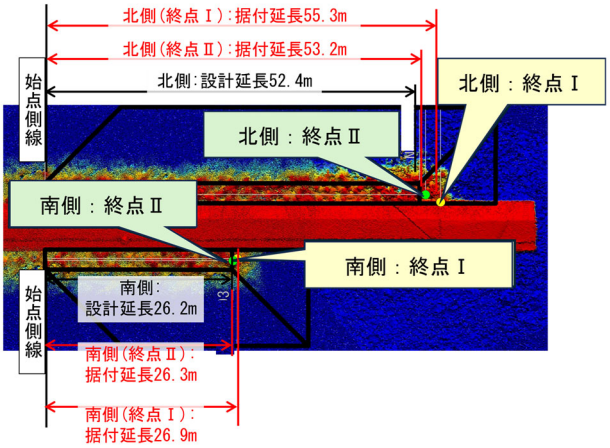

図-A.17　TIN 法出来形(石垣港 UAV グリーンレーザ測量)

表-A.10　TIN 法出来形計測結果（石垣港 UAV グリーンレーザ測量）

石垣港(グリーンレーザ)		X座標(m)	Y座標(m)	据付延長(m)	高さ(m)
北側	終点Ⅰ	13388.153	-183874.171	55.3	3.1
	終点Ⅱ	13385.996	-183875.107	53.2	3.4
南側	終点Ⅰ	13375.720	-183900.950	26.9	2.5
	終点Ⅱ	13375.540	-183901.590	26.3	2.8

UAV 写真測量による計測結果を**図-A.16**，**表-A.9** に，UAV グリーンレーザ測量による計測結果を**図-A.17**，**表-A.10** に示す．

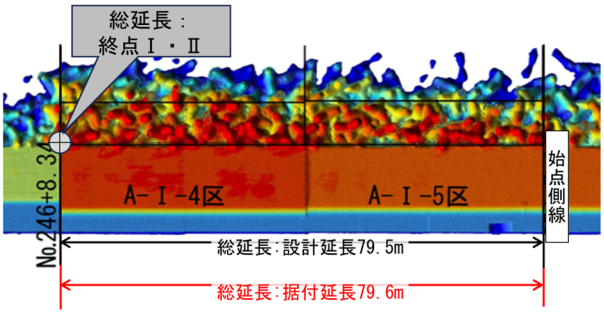

図-A.18　TIN 法出来形(相馬港 UAV 写真測量)

表-A.11　TIN 法による計測結果(相馬港 UAV 写真測量)

相馬港(写真)		X座標(m)	Y座標(m)	据付延長(m)	高さ(m)
総延長	終点Ⅰ・Ⅱ	100278.236	205483.67	79.6	8.5

石垣港の北側天端は，設計範囲を超えて消波工が設置されているため，格子法同様に TIN 法でも計測された天端延長が設計延長よりも長くなっている．

c)相馬港

高知港と同様，A-I-4，A-I-5 の天端範囲が連続しているため，両者を足し合わせた総延長を検証対象とした．

計測結果を図-A.18，表-A.11 に示す．相馬港では終点ⅠとⅡが同じ位置であった．従来法と同様に出来形を計測可能であることを確認した．

付録 B 維持管理劣化度判定結果

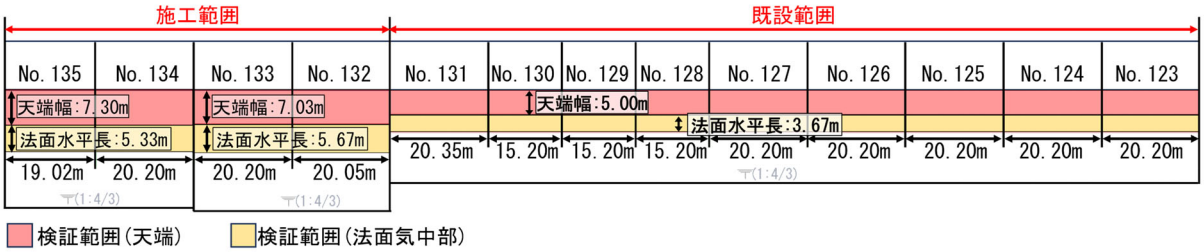

図-B.1　相馬港設計図面

表-B.1　格子法による維持管理(一般定期点検診断)計測条件(相馬港)

施工範囲別		スパン No.123～No.131	スパン No.132～No.133	スパン No.134～No.135
天端幅 (m)		5.00	7.03	7.30
列数		2	2	2
設計天端高 (m)		5.10	6.80	6.60
使用 消波ブロック		テトラポッド 25t型	テトラポッド 40t型	テトラポッド 40t型
ブロック サイズS(m)		3.943	4.612	4.612
ブロック層厚 (m)	2層厚	4.40	5.10	5.10
	1層厚	2.20	2.55	2.55
基本格子サイズ (m)	B/n	2.50	3.52	3.65
	S	3.94	4.61	4.61

表-B.2　格子法による維持管理(一般定期点検診断)計測条件(相馬港)

スパン名	設計延長 (m)	基本格子サイズB/n		基本格子サイズS		スパン別面積			スパン別設定高		
		調整格子数	調整格子サイズ (m)	調整格子数	調整格子サイズ (m)	天端面積 (m²)	法面面積 (m²)	合計面積 (m²)	設計天端高 (m)	劣化度a判定ライン高(m)	劣化度b判定ライン高(m)
No.123	20.20	8	2.53	5	4.04	101.50	78.17	179.67	5.10	2.90	4.60
No.124	20.20	8	2.53	5	4.04	100.50	78.17	178.67	5.10	2.90	4.60
No.125	20.20	8	2.53	5	4.04	101.00	78.17	179.17	5.10	2.90	4.60
No.126	20.20	8	2.53	5	4.04	101.00	78.17	179.17	5.10	2.90	4.60
No.127	20.20	8	2.53	5	4.04	101.25	78.17	179.42	5.10	2.90	4.60
No.128	15.20	6	2.53	4	3.8	76.00	58.82	134.82	5.10	2.90	4.60
No.129	15.20	6	2.53	4	3.8	76.00	58.82	134.82	5.10	2.90	4.60
No.130	15.20	6	2.53	4	3.8	76.00	58.82	134.82	5.10	2.90	4.60
No.131	20.35	8	2.54	5	4.07	101.75	78.75	180.50	5.10	2.90	4.60
No.132	20.05	6	3.34	4	5.01	140.95	113.68	254.64	6.80	4.25	6.30
No.133	20.20	6	3.37	4	5.05	142.01	114.53	256.54	6.80	4.25	6.30
No.134	20.20	6	3.37	4	5.05	143.42	107.67	251.09	6.60	4.05	6.10
No.135	19.02	5	3.80	4	4.76	135.04	101.38	236.42	6.60	4.05	6.10

本文で記載した金沢港以外の，劣化度判定結果を示す．

1.　格子法：相馬港

スパン別の設計延長及びスパン別の設定格子サイズ等の計測条件を表-B.1, 表-B.2 に，対象範囲の設計図面を図-B.1 に示す．また，作成した劣化度判定用 3 次元設計モデルの断面寸法を図-B.2，図-B.3，図-B.4 に示す．

劣化度判定を実施する前の既設範囲及び施工範囲全体

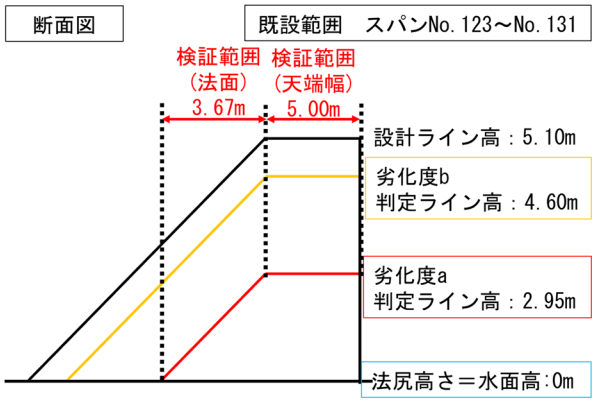

図-B.2　劣化度判定用 3 次元モデル断面
：スパン No.123～No.131(相馬港)

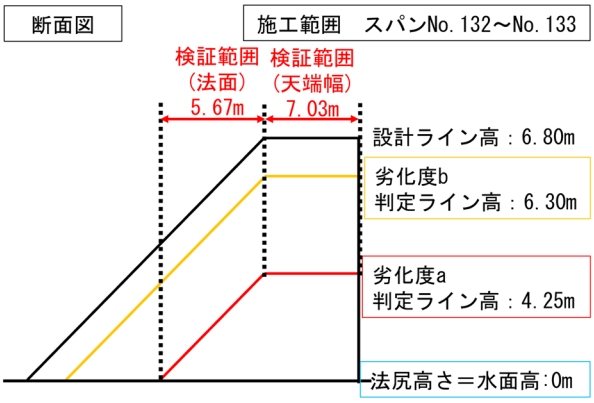

図-B.3　劣化度判定用 3 次元モデル断面
：スパン No.132～No.133(相馬港)

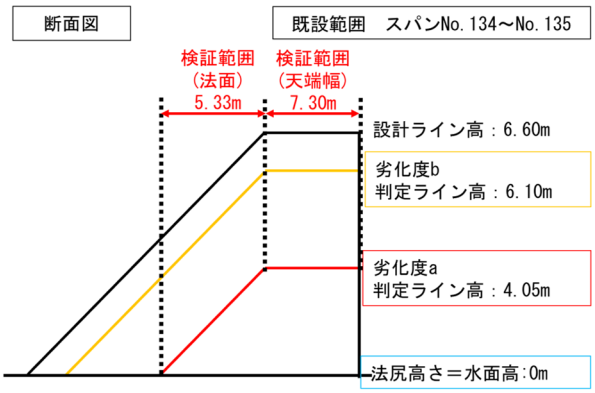

図-B.4　劣化度判定用 3 次元モデル断面
：スパン No.134～No.135(相馬港)

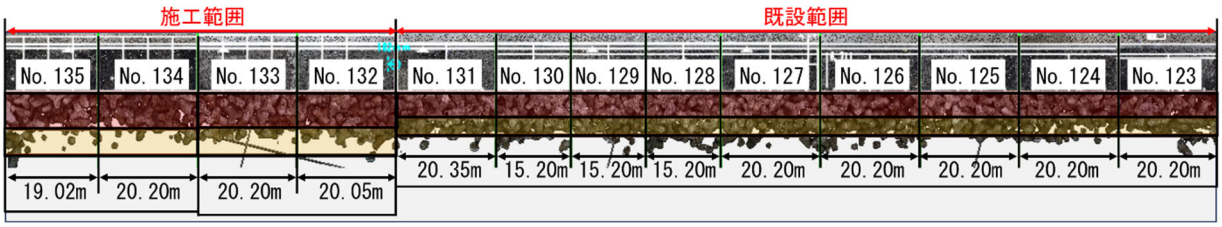

図-B. 5　相馬港平面図(UAV 写真測量)

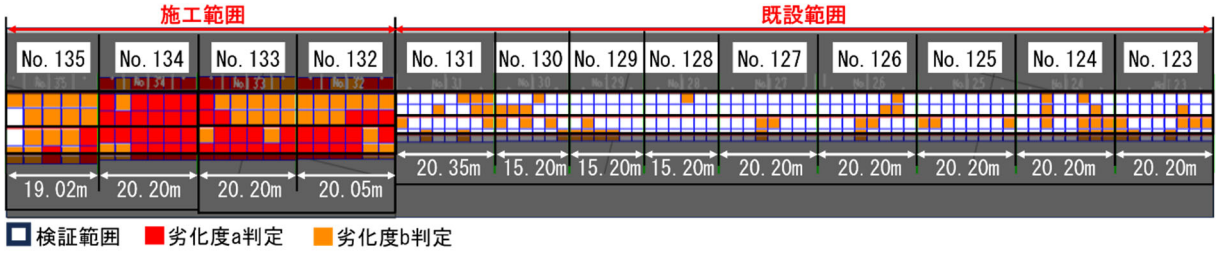

図-B. 6　相馬港劣化度判定結果：格子サイズ B/n　(UAV 写真測量)

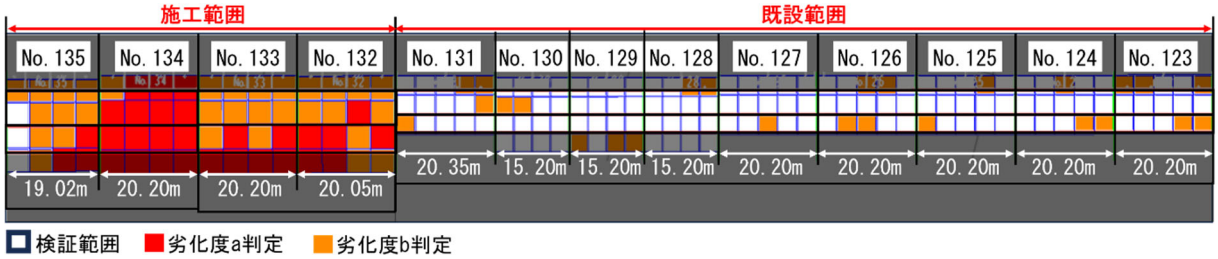

図-B. 7　相馬港劣化度判定結果：格子サイズ S　(UAV 写真測量)

の平面図を図-B. 5 に，基本格子サイズ B/n による劣化度判定結果を図-B. 6 に，基本格子サイズ S による劣化度判定結果を図-B. 7 に示す．

各スパンの面積比により計算した劣化度判定結果の一覧と従来法による判定結果との比較表を表-B. 3 に示す．金沢港同様，従来法に対して格子法による結果は，全体的に劣化度が低くなった．

図-B. 6，図-B. 7 を見ると，No.132～No.135 の施工範囲で劣化度が高く判定された格子が多かった．この部分は，施工前は，既設範囲であるスパン No.123～No.131 と同様の設計であったが，今回の対象工事で消波ブロックを追加した．今回の検討では，施工完了後の設計断面に対して劣化度を判定したため，現況と設計断面の差が大きくなり，劣化度が高く判定されたと考えられる．

2.　TIN 法：相馬港

計測条件を表-B. 4 に，スパン毎の劣化度判定条件を表-B. 5 に，換算沈下量による断面図及び換算沈下量による劣化度判定ラインを図-B. 8，図-B. 9，図-B. 10 に示す．

換算沈下量を層厚に変換した各スパンの沈下量とそれによる劣化度判定結果を従来法と比較した物を表-B. 6 に示す．

結果は，従来法と 1 スパンを除いて一致した．唯一異なったスパン No.123 は，従来法では劣化度 a の判定であったが，TIN 法では換算沈下量 0.9 層であったため，劣化度 b と判定した．差は比較的小さいため，TIN 法は従来法と同等の劣化度判定を行えると考えられる．

表-B. 3　格子法による維持管理（一般定期点検診断）劣化度判定結果（相馬港）

現場名	スパン名	従来法 劣化度	格子法 写真測量 格子サイズS（各格子の割合）(%) a格子	b格子	その他	劣化度	格子サイズB/n（各格子の割合）(%) a格子	b格子	その他	劣化度
相馬港	No. 123	a	0. 0	24. 1	75. 9	c	0. 0	21. 6	78. 4	c
	No. 124	a	0. 0	19. 6	80. 4	c	0. 0	34. 0	66. 0	c
	No. 125	b	0. 0	10. 9	89. 1	c	0. 0	10. 7	89. 3	c
	No. 126	b	0. 0	21. 8	78. 2	c	0. 0	19. 6	80. 4	c
	No. 127	b	0. 0	8. 7	91. 3	c	0. 0	9. 0	91. 0	c
	No. 128	b	0. 0	6. 8	93. 2	c	0. 0	4. 6	95. 4	c
	No. 129	b	0. 2	0. 2	99. 6	c	0. 0	14. 8	85. 2	c
	No. 130	b	0. 0	21. 4	78. 6	c	0. 0	33. 1	66. 9	c
	No. 131	b	0. 0	22. 1	77. 9	c	0. 0	32. 0	68. 0	c
	No. 132	a	42. 0	58. 0	0. 0	b	49. 1	50. 6	0. 0	b
	No. 133	a	24. 8	75. 2	0. 0	b	50. 6	49. 4	0. 0	a
	No. 134	a	95. 9	4. 1	0. 0	a	89. 8	10. 2	0. 0	a
	No. 135	a	11. 9	67. 8	20. 3	b	11. 0	76. 7	12. 3	b

表-B.4 TIN 法による維持管理(一般定期点検診断)計測条件(相馬港)

施工範囲別		スパン No. 123～No. 131	スパン No. 132～133	スパン No. 134～135
天端幅 (m)		5.00	7.03	7.30
列数		2	2	2
設計天端高 (m)		5.10	6.80	6.60
使用 消波ブロック		テトラポッド 25t型	テトラポッド 40t型	テトラポッド 40t型
ブロック層厚 (m)	2層厚	4.40	5.10	5.10
	1層厚	2.20	2.55	2.55

表-B.5 TIN 法による維持管理(一般定期点検診断) スパン別劣化度判定ライン高(相馬港)

スパン名	スパン別法線方向設計延長 (m)	各スパン検証高さ		
		設計天端高 (m)	劣化度 a判定 ライン高(m)	劣化度 b判定 ライン高(m)
No. 123	20.20	5.10	2.90	4.60
No. 124	20.20	5.10	2.90	4.60
No. 125	20.20	5.10	2.90	4.60
No. 126	20.20	5.10	2.90	4.60
No. 127	20.20	5.10	2.90	4.60
No. 128	15.20	5.10	2.90	4.60
No. 129	15.20	5.10	2.90	4.60
No. 130	15.20	5.10	2.90	4.60
No. 131	20.35	5.10	2.90	4.60
No. 132	20.05	6.80	4.25	6.30
No. 133	20.20	6.80	4.25	6.30
No. 134	20.20	6.60	4.05	6.10
No. 135	19.02	6.60	4.05	6.10

断面図　　既設範囲　スパンNo. 123～No. 131

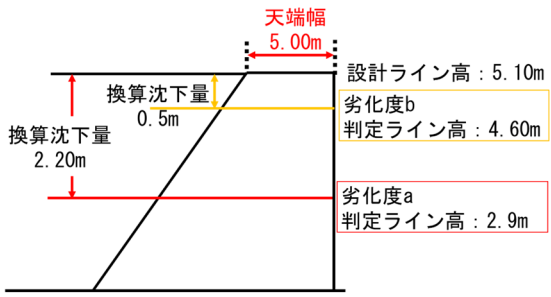

図-B.8 劣化度判定用断面:スパン No.123～No.131（相馬港）

断面図　　施工範囲　スパンNo. 132～No. 133

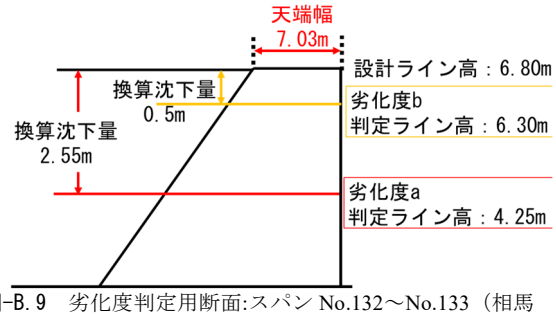

図-B.9 劣化度判定用断面:スパン No.132～No.133（相馬港）

断面図　　施工範囲　スパンNo. 134～No. 135

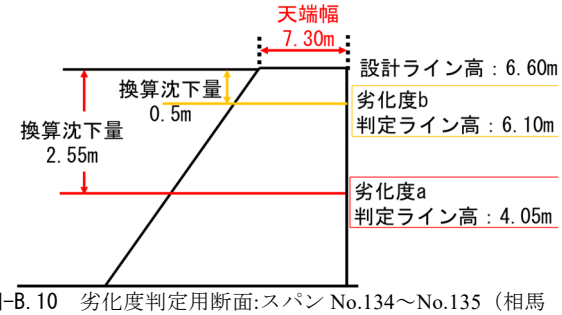

図-B.10 劣化度判定用断面:スパン No.134～No.135（相馬港）

表-B.6 TIN 法による維持管理（一般定期点検診断）劣化度判定結果(相馬港)

現場名	スパン名	従来法	TIN法			
			写真測量		グリーンレーザ	
		劣化度	沈下量 (m/層)	劣化度	沈下量 (m/層)	劣化度
相馬港	No. 123	a	1.9 / 0.9	b	2.8/1.1	a
	No. 124	a	2.1 / 1.0	a	2.6/1.0	a
	No. 125	b	1.3 / 0.6	b	2.7/1.1	a
	No. 126	b	1.8 / 0.8	b	2.5/1.0	a
	No. 127	b	1.1 / 0.5	b	2.2/0.9	b
	No. 128	b	1.2 / 0.6	b	2.1/0.8	b
	No. 129	b	1.5 / 0.7	b	－	－
	No. 130	b	1.6 / 0.7	b	－	－
	No. 131	b	1.8 / 0.8	b	－	－
	No. 132	a	2.2 / 1.0	a		
	No. 133	a	2.3 / 1.0	a		
	No. 134	a	2.8 / 1.3	a		
	No. 135	a	2.3 / 1.0	a		

3.　格子法の計算過程

格子法については劣化度判定の計算過程がやや複雑であるため，**表-B.7**～**表-B.10** に金沢港の劣化度判定の計算を，**表-B.11**～**表-B.14** に相馬港の劣化度判定の計算を示す．表中の「正方形」とは，領域が検証範囲に全て入っている格子であり，「長方形」とは，領域が検証範囲を跨いでいるため検証範囲外を削除した格子である．

表-B.7　格子法の劣化度判定の計算：格子サイズ B/n（金沢港 UAV 写真測量）

金沢港UAV写真測量				基本格子サイズB/n=3.15m			基本格子サイズB/n=2.95m					
スパン名				F'-3	F'-2	F'-1	F-9	F-8	F-7	F-6	F-5	F-4
検証範囲面積	天端範囲(㎡)			72.58	76.23	76.04	60.47	76.70	76.70	71.33	71.27	65.75
	法側範囲(㎡)			49.68	52.18	52.02	36.49	46.28	46.28	43.04	43.00	39.67
	合計(㎡)			122.3	128.4	128.1	97.0	123.0	123.0	114.4	114.3	105.4
スパン別設計延長(m)				11.52	12.10	12.07	10.25	13.00	13.00	12.09	12.08	11.15
調整格子数				4	4	4	3	4	4	4	4	4
調整格子サイズ(m)				2.88	3.03	3.02	3.42	3.25	3.25	3.02	3.02	2.79
形状別格子数(個)	天端範囲	正方形		8	8	8	3	4	4	4	4	8
		長方形		4	4	4	3	4	4	4	4	4
	法面範囲	正方形		4	4	4	3	4	4	4	4	4
		長方形		4	4	4	3	4	4	4	4	4
形状別合計面積(㎡)	天端範囲	正方形		66.32	73.44	72.96	35.10	42.24	42.24	36.48	36.48	62.24
		長方形		6.26	2.79	3.08	25.37	34.46	34.46	34.85	34.79	3.51
	法面範囲	正方形		33.16	36.72	36.48	35.10	42.24	42.24	36.48	36.48	31.12
		長方形		16.52	15.46	15.54	1.39	4.04	4.04	6.56	6.52	8.55
格子1個辺りの面積(㎡)	正方形			8.29	9.18	9.12	11.70	10.56	10.56	9.12	9.12	7.78
	長方形	天端		1.56	0.70	0.77	8.46	8.61	8.61	8.71	8.70	0.88
		法面		4.13	3.87	3.89	0.46	1.01	1.01	1.64	1.63	2.14
劣化度別格子数	天端範囲	正方形	a格子	8	8	3	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	5	0	0	3	4	2	4
			その他	0	0	0	3	4	1	0	2	4
		長方形	a格子	4	4	3	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	1	1	0	0	3	2	3
			その他	0	0	0	2	4	4	1	2	1
	法面範囲	正方形	a格子	4	4	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	2	0	2	3	4	3	4
			その他	0	0	2	3	2	1	0	1	0
		長方形	a格子	4	4	0	0	0	0	1	0	2
			b格子	0	0	3	1	2	2	1	2	2
			その他	0	0	1	2	2	2	2	2	0
劣化度別面積計算	天端範囲	a判定		72.56	76.24	29.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		0.00	0.00	46.37	8.46	0.00	31.68	62.61	35.64	33.76
		その他		0.00	0.00	0.00	52.02	76.68	45.00	8.71	35.64	32.00
	法面範囲	a判定		49.70	52.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64	0.00	4.28
		b判定		0.00	0.00	29.91	0.46	23.14	33.70	38.12	30.62	35.40
		その他		0.00	0.00	22.13	36.02	23.14	12.58	3.28	12.38	0.00
	合計	a(㎡)		122.26	128.44	29.67	0.00	0.00	0.00	1.64	0.00	4.28
		b(㎡)		0.00	0.00	76.28	8.92	23.14	65.38	100.73	66.26	69.16
		その他(㎡)		0.00	0.00	22.13	88.04	99.82	57.58	11.99	48.02	32.00
スパン別検証範囲	面積(㎡)			122.3	128.4	128.1	97.0	123.0	123.0	114.4	114.3	105.4
劣化度別面積比率	a判定			100.0%	100.0%	23.2%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	4.1%
	b判定			0.0%	0.0%	59.5%	9.2%	18.8%	53.2%	88.1%	58.0%	65.6%
	その他			0.0%	0.0%	17.3%	90.8%	81.2%	46.8%	10.5%	42.0%	30.4%

表-B.8　格子法の劣化度判定の計算：格子サイズ S（金沢港 UAV 写真測量）

金沢港UAV写真測量				基本格子サイズS=4.97m			基本格子サイズS＝4.61m					
スパン名				F'-3	F'-2	F'-1	F-9	F-8	F-7	F-6	F-5	F-4
検証範囲面積	天端範囲(㎡)			72.58	76.23	76.04	60.47	76.70	76.70	71.33	71.27	65.75
	法側範囲(㎡)			49.68	52.18	52.02	36.49	46.28	46.28	43.04	43.00	39.67
	合計(㎡)			122.3	128.4	128.1	97.0	123.0	123.0	114.4	114.3	105.4
スパン別設計延長(m)				11.52	12.10	12.07	10.25	13.00	13.00	12.09	12.08	11.15
調整格子数				2	2	2	2	3	3	3	3	2
調整格子サイズ(m)				5.76	6.05	6.04	5.13	4.33	4.33	4.03	4.03	5.57
形状別格子数(個)	天端範囲	正方形		2	2	2	2	3	3	3	3	2
		長方形		2	2	2	2	3	3	3	3	2
	法面範囲	正方形		0	0	0	0	0	0	0	0	0
		長方形		2	2	2	2	3	3	3	3	2
形状別合計面積(㎡)	天端範囲	正方形		66	73.20	72.96	52.64	56.25	56.25	48.72	48.72	62.04
		長方形		6	3.03	3.08	7.83	20.45	20.45	22.61	22.55	3.71
	法面範囲	正方形		0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		長方形		49.68	52.18	52.02	36.49	46.28	46.28	43.04	43.00	39.67
格子1個辺りの面積(㎡)	正方形			33.18	36.60	36.48	26.32	18.75	18.75	16.24	16.24	31.02
	長方形	天端		3.11	1.52	1.54	3.92	6.82	6.82	7.54	7.52	1.85
		法面		24.84	26.09	26.01	18.25	15.43	15.43	14.35	14.33	19.84
劣化度別格子数	天端範囲	正方形	a格子	2	2	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	2	0	0	1	2	1	0
			その他	0	0	0	2	3	2	1	2	2
		長方形	a格子	2	2	1	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	1	0	0	0	2	1	1
			その他	0	0	0	2	3	3	1	2	1
	法面範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		長方形	a格子	2	2	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	1	0	2	2	3	2	2
			その他	0	0	1	2	1	1	0	1	0
劣化度別面積計算(㎡)	天端範囲	a判定		72.58	76.24	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		0.00	0.00	74.50	0.00	0.00	18.75	47.56	23.76	1.85
		その他		0.00	0.00	0.00	60.48	76.71	57.96	23.78	47.52	63.89
	法面範囲	a判定		49.70	52.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		0.00	0.00	26.01	0.00	30.86	30.86	43.05	28.66	39.68
		その他		0.00	0.00	26.01	36.50	15.43	15.43	0.00	14.33	0.00
	合計	a(㎡)		122.28	128.42	1.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b(㎡)		0.00	0.00	100.51	0.00	30.86	49.61	90.61	52.42	41.53
		その他(㎡)		0.00	0.00	26.01	96.98	92.14	73.39	23.78	61.85	63.89
スパン別検証範囲	面積(㎡)			122.3	128.40	128.10	97.00	123.00	123.00	114.40	114.30	105.40
劣化度別面積比率	a判定			100.0%	100.0%	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	b判定			0.0%	0.0%	78.5%	0.0%	25.1%	40.3%	79.2%	45.9%	39.4%
	その他			0.0%	0.0%	20.3%	100.0%	74.9%	59.7%	20.8%	54.1%	60.6%

表-B.9　格子法の劣化度判定の計算：格子サイズ B/n（金沢港 UAV グリーンレーザ測量）

金沢港UAVグリーンレーザ測量				基本格子サイズB/n=2.95m					
スパン名				F-9	F-8	F-7	F-6	F-5	F-4
検証範囲面積	天端範囲(㎡)			60.47	76.70	76.70	71.33	71.27	65.75
	法側範囲(㎡)			36.49	46.28	46.28	43.04	43.00	39.67
	合計(㎡)			97.0	123.0	123.0	114.4	114.3	105.4
スパン別設計延長(m)				10.25	13.00	13.00	12.09	12.08	11.15
調整格子数				3	4	4	4	4	4
調整格子サイズ(m)				3.42	3.25	3.25	3.02	3.02	2.79
形状別格子数(個)	天端範囲	正方形		3	4	4	4	4	8
		長方形		3	4	4	4	4	4
	法面範囲	正方形		3	4	4	4	4	4
		長方形		3	4	4	4	4	4
形状別合計面積(㎡)	天端範囲	正方形		35.09	42.25	42.25	36.48	36.48	62.27
		長方形		25.38	34.45	34.45	34.85	34.79	3.47
	法面範囲	正方形		35.09	42.25	42.25	36.48	36.48	31.14
		長方形		1.40	4.03	4.03	6.56	6.52	8.54
格子1個辺りの面積(㎡)	正方形			11.70	10.56	10.56	9.12	9.12	7.78
	長方形	天端		8.46	8.61	8.61	8.71	8.70	0.87
		法面		0.47	1.01	1.01	1.64	1.63	2.13
劣化度別格子数	天端範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	3	4	2	4
			その他	3	4	1	0	2	4
		長方形	a格子	0	0	0	0	0	0
			b格子	1	0	0	3	2	3
			その他	2	4	4	1	2	1
	法面範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	2	3	4	3	4
			その他	3	2	1	0	1	0
		長方形	a格子	0	0	0	0	0	1
			b格子	1	2	2	2	2	3
			その他	2	2	2	2	2	0
劣化度別面積計算	天端範囲	a判定		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		8.46	0.00	31.69	62.62	35.63	33.74
		その他		52.01	76.70	45.01	8.71	35.63	32.00
	法面範囲	a判定		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13
		b判定		0.47	23.14	33.70	39.76	30.62	37.54
		その他		36.02	23.14	12.58	3.28	12.38	0.00
	合計	a(㎡)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13
		b(㎡)		8.93	23.14	65.39	102.38	66.26	71.28
		その他(㎡)		88.03	99.84	57.59	11.99	48.02	32.00
スパン別検証範囲	面積(㎡)			97.00	123.00	123.00	114.40	114.30	105.40
劣化度別面積比率	a判定			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%
	b判定			9.2%	18.8%	53.2%	89.5%	58.0%	67.6%
	その他			90.8%	81.2%	46.8%	10.5%	42.0%	30.4%

表-B.10　格子法の劣化度判定の計算：格子サイズ S（金沢港 UAV グリーンレーザ測量）

金沢港UAVグリーンレーザ測量				基本格子サイズS＝4.61m					
スパン名				F-9	F-8	F-7	F-6	F-5	F-4
検証範囲面積	天端範囲(㎡)			60.47	76.70	76.70	71.33	71.27	65.75
	法側範囲(㎡)			36.49	46.28	46.28	43.04	43.00	39.67
	合計(㎡)			97.0	123.0	123.0	114.4	114.3	105.4
スパン別設計延長(m)				10.25	13.00	13.00	12.09	12.08	11.15
調整格子数				2	3	3	3	3	2
調整格子サイズ(m)				5.13	4.33	4.33	4.03	4.03	5.57
形状別格子数(個)	天端範囲	正方形		2	3	3	3	3	2
		長方形		2	3	3	3	3	2
	法面範囲	正方形		0	0	0	0	0	0
		長方形		2	3	3	3	3	2
形状別合計面積(㎡)	天端範囲	正方形		52.63	56.25	56.25	48.72	48.72	62.05
		長方形		7.84	20.45	20.45	22.60	22.54	3.70
	法面範囲	正方形		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		長方形		36.49	46.28	46.28	43.04	43.00	39.67
格子1個辺りの面積(㎡)	正方形			26.32	18.75	18.75	16.24	16.24	31.02
	長方形	天端		3.92	6.82	6.82	7.53	7.51	1.85
		法面		18.25	15.43	15.43	14.35	14.33	19.84
劣化度別格子数	天端範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	0	2	1	0
			その他	2	3	3	1	2	2
		長方形	a格子	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	0	2	1	1
			その他	2	3	3	1	2	1
	法面範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	0	0	0	0
			その他	0	0	0	0	0	0
		長方形	a格子	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	2	2	2	2	2
			その他	2	1	1	1	1	0
劣化度別面積計算	天端範囲	a判定		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		0.00	0.00	0.00	47.55	23.76	1.85
		その他		60.47	76.70	76.70	23.78	47.51	63.90
	法面範囲	a判定		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		0.00	30.85	30.85	28.69	28.67	39.67
		その他		36.49	15.43	15.43	14.35	14.33	0.00
	合計	a(㎡)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b(㎡)		0.00	30.85	30.85	76.24	52.43	41.52
		その他(㎡)		96.96	92.12	92.12	38.12	61.85	63.90
スパン別検証範囲	面積(㎡)			97.00	123.00	123.00	114.40	114.30	105.40
劣化度別面積比率	a判定			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	b判定			0.0%	25.1%	25.1%	66.6%	45.9%	39.4%
	その他			100.0%	74.9%	74.9%	33.3%	54.1%	60.6%

表-B.11　格子法の劣化度判定の計算：No.123～131　格子サイズ B/n（相馬港 UAV 写真測量）

相馬港UAV写真測量(No.123～131)				基本格子サイズB/n=2.50m								
スパン名				No.131	No.130	No.129	No.128	No.127	No.126	No.125	No.124	No.123
検証範囲面積	天端範囲(㎡)			101.75	76.00	76.00	76.00	101.25	101.00	101.00	100.50	101.50
	法側範囲(㎡)			78.75	58.82	58.82	58.82	78.17	78.17	78.17	78.17	78.17
	合計(㎡)			180.5	134.8	134.8	134.8	179.4	179.2	179.2	178.7	179.7
スパン別設計延長(m)				20.35	15.20	15.20	15.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20
調整格子数				8	6	6	6	8	8	8	8	8
調整格子サイズ(m)				2.54	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
形状別格子数(個)	天端範囲	正方形		8	6	6	6	8	8	8	8	8
		長方形		8	6	6	6	8	8	8	8	8
	法面範囲	正方形		8	6	6	6	8	8	8	8	8
		長方形		8	6	6	6	8	8	8	8	8
形状別合計面積(㎡)	天端範囲	正方形		51.61	38.41	38.41	38.41	51.21	51.21	51.21	51.21	51.21
		長方形		50.14	37.59	37.59	37.59	50.04	49.79	49.79	49.29	50.29
	法面範囲	正方形		51.61	38.41	38.41	38.41	51.21	51.21	51.21	51.21	51.21
		長方形		27.14	20.42	20.42	20.42	26.97	26.97	26.97	26.97	26.97
格子1個辺りの面積(㎡)	正方形			6.45	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40
	長方形	天端		6.27	6.27	6.27	6.27	6.26	6.22	6.22	6.16	6.29
		法面		3.39	3.40	3.40	3.40	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
劣化度別格子数	天端範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	3	3	0	0	0	2	0	2	1
			その他	5	3	6	6	8	6	8	6	7
		長方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	3	1	0	1	0	1	0	2	0
			その他	5	5	6	5	8	7	8	6	8
	法面範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	2	3	1	0	2	2	3	4	4
			その他	6	3	5	6	6	6	5	4	4
		長方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	2	0	4	0	1	1	0	3	2
			その他	6	6	2	6	7	7	8	5	6
劣化度別面積計算	天端範囲	a判定		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		38.16	25.47	0.00	6.27	0.00	19.02	0.00	25.12	6.40
		その他		63.61	50.55	76.03	69.76	101.29	81.95	100.97	75.37	95.13
	法面範囲	a判定		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		19.68	19.20	20.00	0.00	16.17	16.17	19.20	35.71	32.34
		その他		59.05	39.60	38.80	58.81	62.00	62.00	58.96	42.45	45.82
	合計	a(㎡)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b(㎡)		57.85	44.68	20.00	6.27	16.17	35.19	19.20	60.84	38.74
		その他(㎡)		122.66	90.16	114.83	128.56	163.28	143.94	159.93	117.82	140.95
スパン別検証範囲	面積(㎡)			180.5	134.8	134.8	134.8	179.5	179.1	179.1	178.7	179.7
劣化度別面積比率	a判定			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	b判定			32.0%	33.1%	14.8%	4.7%	9.0%	19.7%	10.7%	34.0%	21.6%
	その他			68.0%	66.9%	85.2%	95.4%	91.0%	80.4%	89.3%	65.9%	78.4%

表-B.12　格子法の劣化度判定の計算：No.132～135　格子サイズ B/n（相馬港 UAV 写真測量）

金沢港UAVグリーンレーザ測量			基本格子サイズB/n=3.65m		基本格子サイズB/n=3.52	
スパン名			No.135	No.134	No.133	No.132
検証範囲面積	天端範囲(㎡)		135.04	143.42	142.01	140.95
	法側範囲(㎡)		101.38	107.67	114.53	113.68
	合計(㎡)		236.4	251.1	256.5	254.6
スパン別設計延長(m)			19.02	20.20	20.20	20.05
調整格子数			5	6	6	6
調整格子サイズ(m)			3.80	3.37	3.37	3.34
形状別格子数(個)	天端範囲	正方形	5	12	12	12
		長方形	5	6	6	6
	法面範囲	正方形	5	6	6	6
		長方形	5	6	6	6
形状別合計面積(㎡)	天端範囲	正方形	72.20	136.28	136.28	133.87
		長方形	62.84	7.14	5.72	7.08
	法面範囲	正方形	72.20	68.14	68.14	66.93
		長方形	29.18	39.52	46.39	46.75
格子1個辺りの面積(㎡)	正方形		14.44	11.36	11.36	11.16
	長方形	天端	12.57	1.19	0.95	1.18
		法面	5.84	6.59	7.73	7.79
劣化度別格子数	天端範囲	正方形 a格子	0	11	3	3
		正方形 b格子	4	1	9	9
		正方形 その他	1	0	0	0
		長方形 a格子	0	5	4	4
		長方形 b格子	5	1	2	2
		長方形 その他	0	0	0	0
	法面範囲	正方形 a格子	1	6	4	5
		正方形 b格子	3	0	2	1
		正方形 その他	1	0	0	0
		長方形 a格子	2	4	6	4
		長方形 b格子	3	2	0	2
		長方形 その他	0	0	0	0
劣化度別面積計算	天端範囲	a判定	0.00	130.88	37.87	38.19
		b判定	120.61	12.55	104.11	102.76
		その他	14.44	0.00	0.00	0.00
	法面範囲	a判定	26.12	94.50	91.81	86.94
		b判定	60.84	13.18	22.71	26.74
		その他	14.44	0.00	0.00	0.00
	合計	a(㎡)	26.12	225.38	129.68	125.12
		b(㎡)	181.45	25.73	126.83	129.50
		その他(㎡)	28.88	0.00	0.00	0.00
スパン別検証範囲	面積(㎡)		236.5	251.1	256.5	254.6
劣化度別面積比率	a判定		11.0%	89.8%	50.6%	49.1%
	b判定		76.7%	10.2%	49.4%	50.9%
	その他		12.2%	0.0%	0.0%	0.0%

表-B.13　格子法の劣化度判定の計算：No.123～131　格子サイズ S（相馬港 UAV 写真測量）

相馬港UAV写真測量(No.123～131)				基本格子サイズS=3.94m								
スパン名				No.131	No.130	No.129	No.128	No.127	No.126	No.125	No.124	No.123
検証範囲面積	天端範囲(㎡)			101.75	76.00	76.00	76.00	101.25	101.00	101.00	100.50	101.50
	法側範囲(㎡)			78.75	58.82	58.82	58.82	78.17	78.17	78.17	78.17	78.17
	合計(㎡)			180.5	134.8	134.8	134.8	179.4	179.2	179.2	178.7	179.7
スパン別設計延長(m)				20.35	15.20	15.20	15.20	20.20	20.20	20.20	20.20	20.20
調整格子数				5	4	4	4	5	5	5	5	5
調整格子サイズ(m)				4.07	3.80	3.80	3.80	4.04	4.04	4.04	4.04	4.04
形状別格子数(個)	天端範囲	正方形		5	4	4	4	5	5	5	5	5
		長方形		5	4	4	4	5	5	5	5	5
	法面範囲	正方形		0	4	4	4	0	0	0	0	0
		長方形		5	4	4	4	5	5	5	5	5
形状別合計面積(㎡)	天端範囲	正方形		82.82	57.76	57.76	57.76	81.61	81.61	81.61	81.61	81.61
		長方形		18.93	18.24	18.24	18.24	19.64	19.39	19.39	18.89	19.89
	法面範囲	正方形		0.00	57.76	57.76	57.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		長方形		78.75	1.06	1.06	1.06	78.17	78.17	78.17	78.17	78.17
格子1個辺りの面積(㎡)	正方形			16.56	14.44	14.44	14.44	16.32	16.32	16.32	16.32	16.32
	長方形	天端		3.79	4.56	4.56	4.56	3.93	3.88	3.88	3.78	3.98
		法面		15.75	0.27	0.27	0.27	15.63	15.63	15.63	15.63	15.63
劣化度別格子数	天端範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	1	2	0	0	0	0	0	0	0
			その他	4	2	4	4	5	5	5	5	5
		長方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	2	0	0	2	0	2	1	1	3
			その他	3	4	4	2	5	3	4	4	2
	法面範囲	正方形	a格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			b格子	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			その他	0	4	4	4	0	0	0	0	0
		長方形	a格子	0	0	1	0	0	0	0	0	0
			b格子	1	0	1	0	1	2	1	2	2
			その他	4	4	2	4	4	3	4	3	3
劣化度別面積計算	天端範囲	a判定		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		24.14	28.88	0.00	9.12	0.00	7.76	3.88	3.78	11.93
		その他		77.61	47.12	76.00	66.88	101.25	93.24	97.12	96.72	89.56
	法面範囲	a判定		0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b判定		15.75	0.00	0.27	0.00	15.63	31.27	15.63	31.27	31.27
		その他		63.00	58.82	58.29	58.82	62.54	46.90	62.54	46.90	46.90
	合計	a(㎡)		0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		b(㎡)		39.89	28.88	0.27	9.12	15.63	39.03	19.51	35.05	43.20
		その他(㎡)		140.62	105.94	134.29	125.70	163.79	140.15	159.66	143.63	136.47
スパン別検証範囲	面積(㎡)			180.5	134.8	134.8	134.8	179.4	179.2	179.2	178.7	179.7
劣化度別面積比率	a判定			0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	b判定			22.1%	21.4%	0.2%	6.8%	8.7%	21.8%	10.9%	19.6%	24.0%
	その他			77.9%	78.6%	99.6%	93.3%	91.3%	78.2%	89.1%	80.4%	75.9%

表-B.14　格子法の劣化度判定の計算：No.132～135　格子サイズ S（相馬港 UAV 写真測量）

金沢港UAVグリーンレーザ測量				基本格子サイズS＝4.61m			
スパン名				No. 135	No. 134	No. 133	No. 132
検証範囲面積	天端範囲（㎡）			135.04	143.42	142.01	140.95
	法側範囲（㎡）			101.38	107.67	114.53	113.68
	合計（㎡）			236.4	251.1	256.5	254.6
スパン別設計延長（m）				19.02	20.20	20.20	20.05
調整格子数				4	4	4	4
調整格子サイズ（m）				4.76	5.05	5.05	5.01
形状別格子数（個）	天端範囲	正方形		4	4	4	4
		長方形		4	4	4	4
	法面範囲	正方形		4	4	4	4
		長方形		4	4	4	4
形状別合計面積（㎡）	天端範囲	正方形		90.63	102.01	102.01	100.40
		長方形		44.41	41.41	40.00	40.55
	法面範囲	正方形		90.63	102.01	102.01	100.40
		長方形		10.75	5.66	12.52	13.28
格子1個辺りの面積（㎡）	正方形			22.66	25.50	25.50	25.10
	長方形	天端		11.10	10.35	10.00	10.14
		法面		2.69	1.41	3.13	3.32
劣化度別格子数	天端範囲	正方形	a格子	0	4	0	1
			b格子	3	0	4	3
			その他	1	0	0	0
		長方形	a格子	0	3	0	0
			b格子	4	1	4	4
			その他	0	0	0	0
	法面範囲	正方形	a格子	1	4	2	3
			b格子	2	0	2	1
			その他	1	0	0	0
		長方形	a格子	2	4	4	2
			b格子	1	0	0	2
			その他	1	0	0	0
劣化度別面積計算	天端範囲	a判定		0.00	133.07	0.00	25.10
		b判定		112.38	10.35	142.01	115.85
		その他		22.66	0.00	0.00	0.00
	法面範囲	a判定		28.03	107.67	63.53	81.94
		b判定		48.00	0.00	51.01	31.74
		その他		25.34	0.00	0.00	0.00
	合計	a（㎡）		28.03	240.73	63.53	107.04
		b（㎡）		160.39	10.35	193.01	147.59
		その他（㎡）		48.00	0.00	0.00	0.00
スパン別検証範囲	面積（㎡）			236.4	251.1	256.5	254.6
劣化度別面積比率	a判定			11.9%	95.9%	24.8%	42.0%
	b判定			67.8%	4.1%	75.2%	58.0%
	その他			20.3%	0.0%	0.0%	0.0%

付録 C：災害対応計算結果

表-C.1　格子法による災害対応(被災数量算定)計測条件(金沢港)

施工範囲		スパンF'1～F'3
天端幅B(m)		6.3
列数n		2
設計天端高h(m)		5.5
使用消波ブロック		テトラポッド 50t型
消波ブロック体積(㎥)		20.0
消波ブロック空隙率(%)		50
ブロックサイズS(m)		4.965
ブロック高さh(m)		4.155
基本格子サイズ	B/n(m)	3.15
	S(m)	4.97
被災部判定下がり(m)　X=1/3h		1.39
被災部判定天端高(m)		4.11
法線方向設計延長(m)		28.26
調整格子数(個)	B/n	9
	S	6
調整格子サイズ(m)	B/n	3.14
	S	4.71

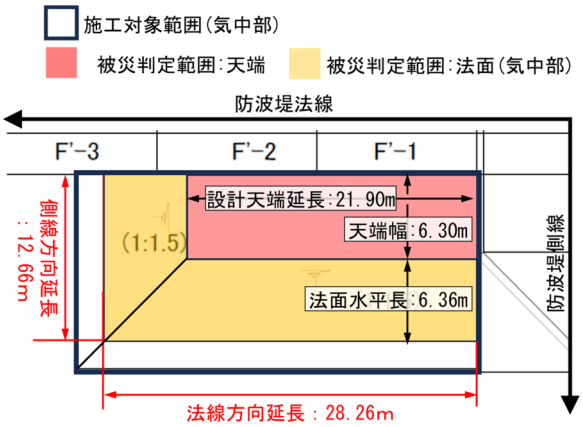

図-C.1　金沢港消波工設計図面

本文で記載しなかった金沢港での格子法，TIN 法による災害対応の被災数量算定結果を示す．

1.　格子法：金沢港

法線方向の設計延長及び設定格子サイズ等の計測条件を表-C.1 に，対象範囲の設計図面を図-C.1 に，設計面及び被災判定ラインの断面図を図-C.2，図-C.3 に示す．

格子法による被災判定結果を，ヒートマップ形式の平面図で示す．格子サイズ B/n による被災判定結果を図-C.4，格子サイズ S による被災判定結果を図-C.5 に示す．

被災部と判定された格子（被災格子）を対象として，

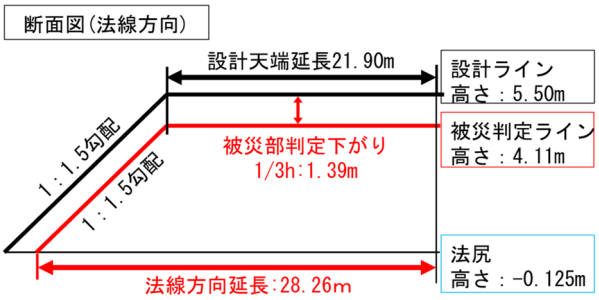

図-C.2　被災判定モデル断面図(法線方向)(金沢港)

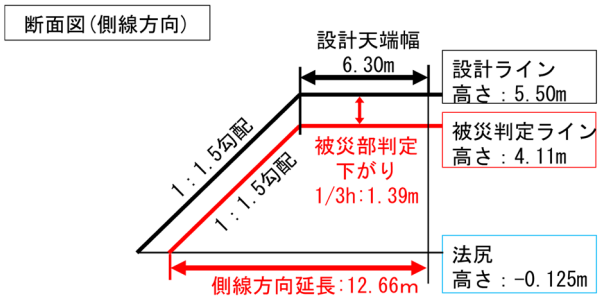

図-C.3　被災判定モデル断面図(側線方向)(金沢港)

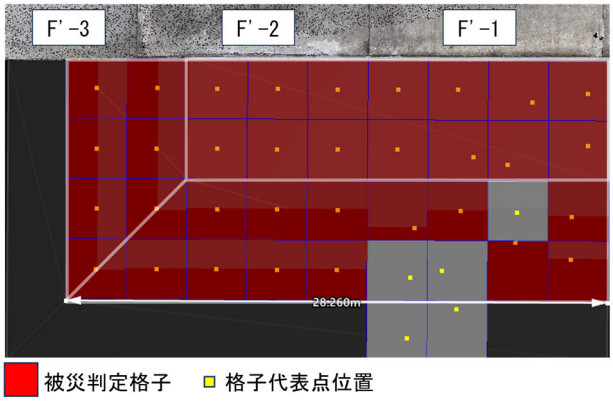

図-C.4　被災判定結果：格子サイズ B/n(金沢港 UAV 写真測量)

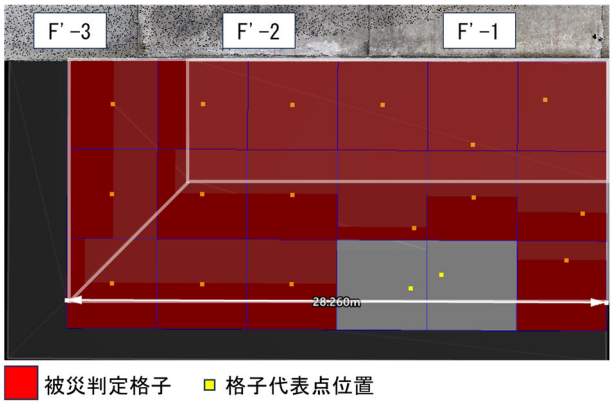

図-C.5　被災判定結果：格子サイズ S(金沢港 UAV 写真測量)

設計値と格子代表値で体積計算及び，消波ブロック個数換算を実施した．

表-C.2　格子法災害対応(被災数量算出結果)(金沢港)

現場名		従来法	格子法			
			写真測量			
		平均断面法	格子サイズS		格子サイズB/n	
		体積(m³) 個数	体積(m³) 個数	従来法との増減割合	体積(m³) 個数	従来法との増減割合
金沢港	被災部体積	1,344.3	1,242.0	-7.6%	1,243.3	-7.5%
	消波ブロック個数換算	34個	31個	-8.8%	31個	-8.8%

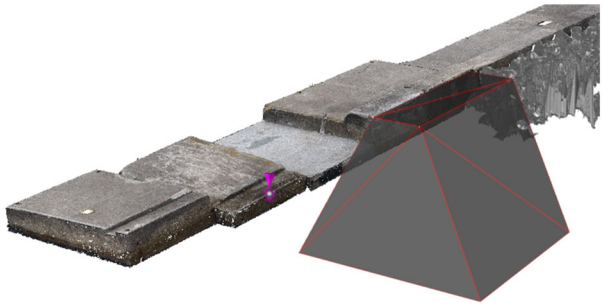

図-C.6　金沢港 TIN モデル

算出した被災数量と従来法の比較結果を表-C.2に示す．従来法によって算出された体積に対して，格子法によって算出した体積は7.5%少ない結果となった．

2.　TIN 法：金沢港

作成した設計 TIN モデルを図-C.6 に，断面図を図-C.7，図-C.8 に示す．

現況 TIN と設計 TIN の差分を，被災数量として，プリズモイダル法により算出し，消波ブロック個数に換算した．算出数量および個数の従来手法との比較を表-C.6 に示す．

従来法によって算出された体積に対して，TIN 法によって算出した体積は，2.5%多い結果となった．

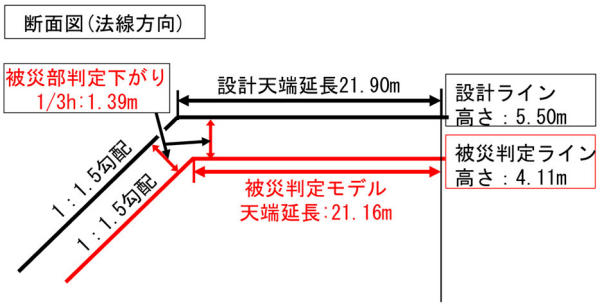

図-C.7　金沢港 TIN モデル断面図(法線方向)

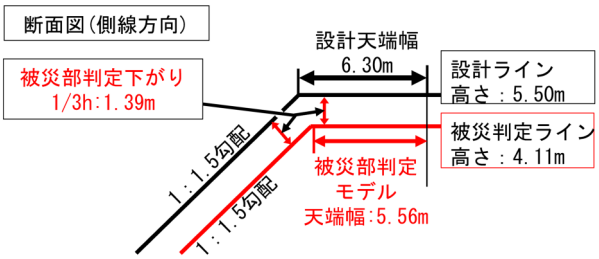

図-C.8　金沢港 TIN モデル断面図(側線方向)

表-C.6　TIN 法災害対応(被災数量算出結果)(金沢港)

現場名		従来法	TIN法	
			写真測量	
		平均断面法		
		体積(m³) 個数	体積(m³) 個数	従来法との増減割合
金沢港	被災部体積	1,344.3	1,377.5	+2.5%
	消波ブロック個数換算	34個	35個	+2.9%

3.　格子法の計算過程

格子法の被災数量算出はやや複雑であるため，以下にその計算過程を示す．

表-C.7～表-C.8 に金沢港の被災数量算出結果を，**表-C.9～表-C.14** に相馬港の被災数量算出結果を示す．表中の格子番号は，計算毎の通し番号であり，計算条件が異なる場合は，違う格子である．

表-C.7　格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ B/n(金沢港 UAV 写真測量)

法線方向延長(m)	28.26
基本格子サイズB/n(m)	3.15
調整格子数(個)	9
調整格子サイズ(m)	3.14
格子面積(m^2)　①	9.86
合計被災数量(m^2)	1243.3

格子番号	格子代表点X座標	格子代表点Y座標	設計ラインZ値(m)②	被災判定ラインZ値(m)③	格子代表点(中央値)Z値(m)④	被災判定ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑤(⑤=④-③)	被災判定(⑤<0)	設計ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑥(⑥=②-④)	被災格子体積(m^3)⑦(⑦=①×⑥)
1	-52405.01	67511.79	5.50	4.12	2.77	-1.34	×	2.73	26.88
2	-52405.05	67514.72	5.50	4.12	2.00	-2.11	×	3.50	34.48
3	-52403.83	67518.43	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
4	-52403.36	67521.54	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
5	-52402.88	67524.64	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
6	-52402.41	67527.75	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
7	-52401.94	67530.85	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
8	-52401.47	67533.95	4.40	3.02	-0.13	-3.14	×	4.53	44.62
9	-52400.99	67537.06	2.31	0.92	-0.13	-1.05	×	2.43	23.98
10	-52407.68	67512.17	5.50	4.12	2.53	-1.59	×	2.97	29.31
11	-52408.08	67516.44	5.50	4.12	2.59	-1.53	×	2.91	28.69
12	-52407.41	67518.16	5.50	4.12	1.23	-2.88	×	4.27	42.08
13	-52406.46	67522.01	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
14	-52405.99	67525.11	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
15	-52405.52	67528.22	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
16	-52405.04	67531.32	5.50	4.12	-0.13	-4.24	×	5.63	55.46
17	-52404.57	67534.43	4.40	3.02	-0.13	-3.14	×	4.53	44.62
18	-52404.10	67537.53	2.31	0.92	-0.13	-1.05	×	2.43	23.98
19	-52411.24	67513.54	4.26	2.87	2.18	-0.69	×	2.08	20.49
20	-52410.61	67516.32	4.39	3.01	3.15	0.14		[illegible]	[illegible]
21	-52410.10	67519.23	4.44	3.05	2.34	-0.71	×	2.10	20.69
22	-52410.62	67521.75	3.84	2.46	0.87	-1.59	×	2.98	29.34
23	-52409.09	67525.59	4.47	3.08	-0.13	-3.21	×	4.59	45.28
24	-52408.62	67528.69	4.47	3.08	-0.13	-3.21	×	4.59	45.28
25	-52408.15	67531.79	4.47	3.08	-0.13	-3.21	×	4.59	45.28
26	-52407.67	67534.90	4.40	3.02	-0.13	-3.14	×	4.53	44.62
27	-52407.20	67538.00	2.31	0.92	-0.13	-1.05	×	2.43	23.98
28	-52413.44	67513.93	2.77	1.39	0.51	-0.88	×	2.27	22.34
29	-52412.12	67516.67	3.36	1.98	0.75	-1.23	×	2.61	25.74
30	-52413.04	67520.67	2.36	0.98	1.97	0.99		[illegible]	[illegible]
31	-52413.15	67522.34	2.12	0.73	2.06	1.32		[illegible]	[illegible]
32	-52412.20	67526.06	2.37	0.99	-0.13	-1.11	×	2.50	24.63
33	-52411.72	67529.16	2.37	0.99	-0.13	-1.11	×	2.50	24.63
34	-52411.25	67532.27	2.37	0.99	-0.13	-1.11	×	2.50	24.63
35	-52410.78	67535.37	2.37	0.99	-0.13	-1.11	×	2.50	24.63
36	-52410.31	67538.48	2.31	0.92	-0.13	-1.05	×	2.43	23.98

表-C.8　格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ S(金沢港 UAV 写真測量)

法線方向延長(m)	28.26
基本格子サイズB/n(m)	4.965
調整格子数(個)	6
調整格子サイズ(m)	4.71
格子面積(m^2)　①	22.18
合計被災数量(m^2)	1242.0

格子番号	格子代表点X座標	格子代表点Y座標	設計ラインZ値(m)②	被災判定ラインZ値(m)③	格子代表点(中央値)Z値(m)④	被災判定ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑤(⑤＝④-③)	被災判定(⑤<0)	設計ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑥(⑥=②-④)	被災格子体積(m^3)⑦(⑦=①×⑥)
1	-52404.973	67513.993	5.500	4.115	2.328	-1.79	×	3.17	70.35
2	-52406.728	67518.051	5.500	4.115	1.075	-3.04	×	4.43	98.15
3	-52404.014	67522.431	5.500	4.115	-0.125	-4.24	×	5.63	124.76
4	-52403.305	67527.087	5.500	4.115	-0.125	-4.24	×	5.63	124.76
5	-52402.596	67531.743	5.500	4.115	-0.125	-4.24	×	5.63	124.76
6	-52401.888	67536.4	2.830	1.445	-0.125	-1.57	×	2.96	65.54
7	-52411.135	67512.883	4.394	3.009	2.601	-0.41	×	1.79	39.77
8	-52409.488	67518.411	4.925	3.54	2.437	-1.10	×	2.49	55.18
9	-52410.621	67521.753	3.843	2.458	0.867	-1.59	×	2.98	66.01
10	-52407.961	67527.796	4.990	3.605	-0.125	-3.73	×	5.12	113.45
11	-52407.253	67532.452	4.990	3.605	-0.125	-3.73	×	5.12	113.45
12	-52406.544	67537.109	2.830	1.445	-0.125	-1.57	×	2.96	65.54
13	-52413.472	67514.117	2.730	1.345	0.527	-0.82	×	2.20	48.86
14	-52413.256	67520.686	2.213	0.829	1.802	0.97		0.41	9.10
15	-52413.714	67522.396	1.740	0.355	1.641	1.29		0.09	2.00
16	-52412.618	67528.504	1.850	0.465	-0.125	-0.59	×	1.98	43.81
17	-52411.909	67533.161	1.850	0.465	-0.125	-0.59	×	1.98	43.81
18	-52411.2	67537.817	1.850	0.465	-0.125	-0.59	×	1.98	43.81

表-C.9　格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ Bn：スパン No.132～133①(相馬港 UAV 写真測量)

法線方向延長(m)	40.25
基本格子サイズB/n(m)	2.50
調整格子数(個)	16
調整格子サイズ(m)	2.52
格子面積(m^2)　①	6.35
合計被災数量(m^2)	1221.6

格子番号	格子代表点X座標	格子代表点Y座標	設計ラインZ値(m)②	被災判定ラインZ値(m)③	格子代表点(中央値)Z値(m)④	被災判定ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑤(⑤=④-③)	被災判定(⑤<0)	設計ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑥(⑥=②-④)	被災格子体積(m^3)⑦(⑦=①×⑥)
1	100288.56	205445.84	6.80	4.00	2.21	-1.79	×	4.59	29.15
2	100291.36	205446.17	6.80	4.00	2.89	-1.11	×	3.91	24.82
3	100292.72	205446.94	6.80	3.48	2.35	-1.13	×	4.45	28.26
4	100295.87	205447.25	5.45	1.13	2.00	0.87		0.00	0.00
5	100297.12	205447.90	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
6	100287.89	205447.78	6.80	4.00	2.50	-1.50	×	4.30	27.29
7	100291.26	205449.45	6.80	4.00	2.75	-1.25	×	4.05	25.70
8	100293.34	205449.18	6.80	2.62	2.49	-0.13	×	4.31	27.38
9	100294.49	205450.59	5.86	1.53	2.35	0.82		0.00	0.00
10	100296.45	205450.35	4.47	0.15	1.33	1.18		0.00	0.00
11	100287.70	205451.35	6.80	4.00	3.07	-0.93	×	3.73	23.67
12	100288.89	205452.13	6.80	4.00	2.87	-1.13	×	3.93	24.94
13	100292.79	205451.20	6.80	2.66	3.15	0.48		0.00	0.00
14	100293.86	205452.19	6.03	1.71	2.14	0.43		0.00	0.00
15	100295.93	205452.80	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
16	100286.21	205453.38	6.80	4.00	3.41	-0.59	×	3.39	21.50
17	100289.46	205453.36	6.80	4.00	3.34	-0.67	×	3.47	22.00
18	100291.50	205454.35	6.80	3.05	2.54	-0.50	×	4.26	27.04
19	100293.99	205454.99	5.44	1.12	1.87	0.75		0.00	0.00
20	100295.33	205455.25	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
21	100285.71	205456.27	6.80	4.00	3.47	-0.53	×	3.33	21.12
22	100289.19	205456.05	6.80	4.00	3.86	-0.14	×	2.94	18.64
23	100290.66	205457.17	6.80	3.15	2.47	-0.69	×	4.33	27.52
24	100292.57	205457.89	5.96	1.64	1.74	0.10		0.00	0.00
25	100294.73	205457.70	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
26	100285.23	205457.67	6.80	4.00	3.55	-0.45	×	3.25	20.62
27	100287.83	205458.92	6.80	4.00	3.85	-0.15	×	2.95	18.73
28	100290.26	205459.05	6.80	3.11	2.77	-0.34	×	4.03	25.57
29	100292.83	205460.45	5.32	1.00	2.80	1.80		0.00	0.00
30	100294.14	205460.15	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
31	100285.26	205459.84	6.80	4.00	3.65	-0.35	×	3.15	20.02
32	100287.54	205461.63	6.80	4.00	3.22	-0.78	×	3.58	22.74
33	100289.02	205461.77	6.80	3.54	2.31	-1.23	×	4.50	28.54
34	100292.04	205461.98	5.62	1.30	1.78	0.48		0.00	0.00
35	100293.44	205462.57	4.50	0.18	1.28	1.11		0.00	0.00
36	100284.54	205462.56	6.80	4.00	3.76	-0.24	×	3.04	19.29
37	100287.30	205463.87	6.80	4.00	3.82	-0.18	×	2.98	18.90
38	100289.10	205464.21	6.80	3.05	2.29	-0.75	×	4.51	28.61
39	100292.17	205465.25	4.95	0.62	1.43	0.80		0.00	0.00
40	100292.68	205465.84	4.47	0.15	1.36	1.21		0.00	0.00

表-C.10　格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ Bn：スパン No.132～133②(相馬港 UAV 写真測量)

格子番号	格子代表点X座標	格子代表点Y座標	設計ラインZ値(m)②	被災判定ラインZ値(m)③	格子代表点(中央値)Z値(m)④	被災判定ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑤(⑤＝④-③)	被災判定(⑤<0)	設計ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑥(⑥=②-④)	被災格子体積(m³)⑦(⑦=①×⑥)
41	100283.34	205465.68	6.80	4.00	2.84	-1.16	×	3.96	25.16
42	100286.46	205466.28	6.80	4.00	3.36	-0.64	×	3.44	21.84
43	100288.50	205466.77	6.80	3.03	2.25	-0.77	×	4.55	28.87
44	100291.36	205467.32	5.17	0.85	2.03	1.18		0.00	0.00
45	100292.13	205467.89	4.51	0.19	1.30	1.11		0.00	0.00
46	100282.88	205468.12	6.80	4.00	3.58	-0.42	×	3.22	20.45
47	100285.26	205468.73	6.80	4.00	2.75	-1.25	×	4.05	25.69
48	100287.17	205469.16	6.80	3.57	2.75	-0.82	×	4.05	25.72
49	100290.29	205469.98	5.48	1.16	1.85	0.70		0.00	0.00
50	100291.75	205469.94	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
51	100281.98	205470.68	6.80	4.00	3.08	-0.92	×	3.72	23.63
52	100285.49	205470.58	6.80	4.00	3.38	-0.62	×	3.42	21.73
53	100287.34	205471.00	6.80	3.12	3.38	0.26		0.00	0.00
54	100288.87	205472.13	6.13	1.80	2.64	0.83		0.00	0.00
55	100291.16	205472.39	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
56	100282.66	205472.90	6.80	4.00	4.38	0.38		0.00	0.00
57	100284.62	205473.17	6.80	4.00	3.80	-0.20	×	3.00	19.03
58	100287.13	205474.41	6.80	2.67	2.86	0.19		0.00	0.00
59	100289.18	205474.56	5.47	1.15	1.84	0.69		0.00	0.00
60	100290.41	205475.51	4.41	0.09	1.48	1.40		0.00	0.00
61	100282.33	205475.15	6.80	4.00	2.90	-1.10	×	3.90	24.75
62	100283.99	205476.03	6.80	4.00	2.43	-1.57	×	4.37	27.76
63	100286.70	205476.25	6.80	2.66	3.12	0.46		0.00	0.00
64	100288.32	205477.79	5.52	1.20	1.84	0.64		0.00	0.00
65	100289.96	205477.28	4.42	0.10	0.00	-0.10	×	4.42	28.05
66	100280.60	205477.70	6.80	4.00	3.29	-0.71	×	3.51	22.27
67	100283.08	205478.82	6.80	4.00	3.06	-0.94	×	3.74	23.76
68	100284.94	205479.84	6.80	3.30	2.96	-0.34	×	3.84	24.40
69	100287.97	205479.20	5.53	1.21	2.57	1.37		0.00	0.00
70	100289.43	205479.35	4.44	0.12	1.58	1.47		0.00	0.00
71	100279.30	205480.98	6.80	4.00	3.49	-0.52	×	3.32	21.05
72	100282.42	205480.12	6.80	4.00	3.44	-0.56	×	3.36	21.32
73	100285.07	205481.79	6.80	2.86	2.88	0.01		0.00	0.00
74	100288.21	205481.06	5.02	0.70	2.31	1.61		0.00	0.00
75	100288.97	205481.58	4.37	0.05	1.80	1.75		0.00	0.00
76	100279.33	205482.60	6.80	4.00	3.82	-0.18	×	2.98	18.91
77	100281.33	205483.53	6.80	4.00	3.05	-0.95	×	3.75	23.81
78	100284.18	205483.34	6.80	3.23	2.86	-0.37	×	3.94	25.03
79	100286.25	205483.54	6.01	1.69	2.18	0.49		0.00	0.00
80	100288.11	205485.44	4.32	0.00	1.94	1.94		0.00	0.00

表-C.11　格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ B/n：スパン No.134～135①(相馬港 UAV 写真測量)

法線方向延長(m)	39.22
基本格子サイズB/n(m)	2.50
調整格子数(個)	16
調整格子サイズ(m)	2.45
格子面積(m^2)　①	6.00
合計被災数量(m^2)	1313.5

格子番号	格子代表点X座標	格子代表点Y座標	設計ラインZ値(m)②	被災判定ラインZ値(m)③	格子代表点(中央値)Z値(m)④	被災判定ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑤(⑤=④-③)	被災判定(⑤<0)	設計ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m)⑥(⑥=②-④)	被災格子体積(m^3)⑦(⑦=①×⑥)
1	100297.73	205408.28	6.60	4.00	3.37	-0.64	×	3.24	19.41
2	100299.32	205408.82	6.60	4.00	4.16	0.16			
3	100302.00	205409.49	6.60	3.36	3.54	0.19			
4	100304.57	205409.26	5.70	1.53	2.63	1.10			
5	100306.35	205410.03	4.27	0.10	2.77	2.67			
6	100297.16	205409.61	6.60	4.00	3.55	-0.45	×	3.05	18.29
7	100299.55	205410.65	6.60	4.00	3.14	-0.86	×	3.46	20.74
8	100301.16	205410.94	6.60	3.71	2.43	-1.28	×	4.17	25.00
9	100305.11	205411.90	4.84	0.67	2.43	1.76			
10	100306.18	205411.24	4.18	0.00	1.77	1.77			
11	100297.50	205412.24	6.60	4.00	3.09	-0.91	×	3.51	21.05
12	100299.02	205413.85	6.60	4.00	2.40	-1.60	×	4.20	25.20
13	100301.18	205413.02	6.60	3.33	3.06	-0.27	×	3.54	21.25
14	100302.78	205414.00	6.17	1.99	1.62	-0.38	×	4.55	27.30
15	100305.00	205414.36	4.49	0.31	1.33	1.02			
16	100295.47	205414.93	6.60	4.00	3.38	-0.62	×	3.22	19.34
17	100298.76	205415.78	6.60	4.00	2.88	-1.13	×	3.73	22.35
18	100300.57	205415.69	6.60	3.30	2.07	-1.24	×	4.54	27.21
19	100303.38	205416.34	5.31	1.14	1.44	0.30			
20	100304.51	205416.96	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
21	100295.10	205417.84	6.60	4.00	3.92	-0.08	×	2.68	16.07
22	100298.77	205417.76	6.60	4.00	2.78	-1.22	×	3.82	22.93
23	100299.76	205418.78	6.60	3.35	2.29	-1.05	×	4.31	25.84
24	100301.84	205419.77	5.82	1.65	1.54	-0.10	×	4.28	25.67
25	100303.93	205419.34	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
26	100295.13	205419.77	6.60	4.00	3.53	-0.47	×	3.07	18.42
27	100298.02	205420.30	6.60	4.00	2.84	-1.16	×	3.76	22.57
28	100300.22	205420.42	6.60	2.72	2.62	-0.10	×	3.98	23.88
29	100302.44	205421.35	5.11	0.93	1.61	0.68			
30	100303.06	205422.40	4.47	0.29	1.93	1.63			
31	100294.01	205421.55	6.60	4.00	3.60	-0.40	×	3.00	18.01
32	100296.51	205422.62	6.60	4.00	3.64	-0.36	×	2.96	17.78
33	100299.16	205423.82	6.60	2.88	3.24	0.35			
34	100301.07	205422.58	5.89	1.71	1.51	-0.20	×	4.37	26.23
35	100302.78	205424.10	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
36	100293.53	205424.19	6.60	4.00	2.51	-1.49	×	4.09	24.53
37	100296.54	205425.20	6.60	4.00	2.72	-1.28	×	3.88	23.30
38	100298.13	205424.62	6.60	3.50	1.86	-1.64	×	4.74	28.43
39	100300.66	205426.20	5.54	1.37	1.78	0.41			
40	100302.22	205426.20	4.41	0.23	1.52	1.28			

表-C.12　格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ B/n：スパン No.134～135②(相馬港 UAV 写真測量)

格子番号	格子代表点 X座標	格子代表点 Y座標	設計ライン Z値(m) ②	被災判定ライン Z値(m) ③	格子代表点(中央値) Z値(m) ④	被災判定ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m) ⑤ (⑤＝④-③)	被災判定 (⑤<0)	設計ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m) ⑥ (⑥=②-④)	被災格子体積(m³) ⑦ (⑦=①×⑥)
41	100293.69	205426.48	6.60	4.00	2.99	-1.02	×	3.62	21.69
42	100295.87	205427.48	6.60	4.00	2.46	-1.54	×	4.14	24.82
43	100296.89	205428.26	6.60	3.75	1.99	-1.76	×	4.61	27.65
44	100301.01	205427.50	5.06	0.88	1.49	0.61			
45	100301.58	205430.02	4.20	0.02	1.37	1.35			
46	100291.50	205429.55	6.60	4.00	2.89	-1.11	×	3.71	22.25
47	100295.47	205429.31	6.60	4.00	2.72	-1.28	×	3.88	23.29
48	100296.43	205430.26	6.60	3.73	1.76	-1.98	×	4.85	29.07
49	100299.67	205430.98	5.42	1.24	1.46	0.22			
50	100301.42	205430.36	4.25	0.08	1.44	1.37			
51	100291.15	205431.92	6.60	4.00	2.59	-1.41	×	4.01	24.08
52	100293.29	205432.15	6.60	4.00	2.65	-1.35	×	3.95	23.71
53	100296.40	205433.14	6.60	3.24	2.70	-0.54	×	3.90	23.39
54	100298.26	205433.27	6.04	1.87	1.50	-0.36	×	4.54	27.22
55	100300.46	205433.62	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
56	100291.61	205433.39	6.60	4.00	2.71	-1.29	×	3.89	23.35
57	100292.83	205434.90	6.60	4.00	2.59	-1.41	×	4.01	24.08
58	100296.28	205435.17	6.60	2.97	3.00	0.03			
59	100298.39	205435.40	5.56	1.39	1.86	0.47			
60	100299.88	205436.00	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
61	100290.97	205436.79	6.60	4.00	2.91	-1.09	×	3.69	22.12
62	100294.27	205436.65	6.60	4.00	2.59	-1.42	×	4.02	24.09
63	100295.32	205438.18	6.60	3.13	2.52	-0.61	×	4.08	24.46
64	100297.40	205437.97	5.83	1.66	2.14	0.48			
65	100299.30	205438.38	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
66	100289.44	205438.03	6.60	4.00	2.67	-1.33	×	3.93	23.58
67	100292.61	205439.19	6.60	4.00	2.61	-1.39	×	3.99	23.95
68	100295.21	205439.11	6.60	3.05	2.51	-0.54	×	4.09	24.54
69	100297.41	205441.08	5.27	1.09	1.41	0.32			
70	100298.72	205440.76	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
71	100289.52	205441.09	6.60	4.00	2.99	-1.01	×	3.61	21.68
72	100291.74	205442.13	6.60	4.00	2.23	-1.77	×	4.37	26.21
73	100294.86	205442.11	6.60	2.77	1.77	-1.01	×	4.84	29.01
74	100297.12	205442.00	5.32	1.14	1.70	0.56			
75	100298.03	205444.09	4.28	0.11	1.43	1.32			
76	100289.49	205443.37	6.60	4.00	2.74	-1.26	×	3.86	23.15
77	100291.09	205444.26	6.60	4.00	2.60	-1.40	×	4.00	23.99
78	100293.85	205443.76	6.60	3.21	2.01	-1.20	×	4.59	27.56
79	100296.72	205445.06	5.07	0.89	2.38	1.49			
80	100297.70	205444.90	4.38	0.20	1.60	1.40			

表-C.13　格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ S：スパン No.132～133(相馬港 UAV 写真測量)

法線方向延長(m)	40.25
基本格子サイズB/n(m)	3.94
調整格子数(個)	10
調整格子サイズ(m)	4.03
格子面積(m^2)　①	16.24
合計被災数量(m^2)	1228.8

格子番号	格子代表点 X座標	格子代表点 Y座標	設計ライン Z値(m) ②	被災判定ライン Z値(m) ③	格子代表点 (中央値) Z値(m) ④	被災判定ライン (Z値) ↕ 格子代表点 (Z値) 差分(m) ⑤ (⑤＝④−③)	被災判定 (⑤<0)	設計ライン (Z値) ↕ 格子代表点 (Z値) 差分(m) ⑥ (⑥=②−④)	被災格子体積 (m^3) ⑦ (⑦=①×⑥)
1	100288.49	205448.01	6.80	4.00	2.32	-1.68	×	4.48	72.74
2	100292.80	205446.71	6.80	3.46	2.49	-0.97	×	4.31	70.04
3	100295.74	205447.26	5.54	1.21	1.96	0.74			
4	100287.66	205451.19	6.80	4.00	2.82	-1.18	×	3.98	64.59
5	100293.08	205451.83	6.66	2.34	2.59	0.25			
6	100293.92	205453.13	5.82	1.50	2.11	0.61			
7	100287.57	205454.70	6.80	4.00	3.38	-0.63	×	3.43	55.62
8	100290.64	205456.94	6.80	3.22	2.48	-0.73	×	4.32	70.12
9	100293.96	205455.26	5.41	1.09	1.70	0.61			
10	100287.39	205457.41	6.80	4.00	3.48	-0.52	×	3.32	53.93
11	100290.73	205458.89	6.80	2.80	2.65	-0.15	×	4.15	67.36
12	100292.61	205460.88	5.40	1.08	2.20	1.13			
13	100283.18	205461.99	6.80	4.00	4.11	0.11			
14	100288.55	205463.89	6.80	3.50	2.46	-1.04	×	4.34	70.55
15	100291.45	205462.83	5.90	1.58	1.33	-0.25	×	4.57	74.22
16	100283.82	205466.61	6.80	4.00	3.06	-0.94	×	3.74	60.74
17	100287.93	205468.30	6.80	3.17	2.54	-0.63	×	4.26	69.17
18	100292.04	205468.20	4.52	0.19	0.00	-0.19	×	4.52	73.34
19	100283.38	205469.65	6.80	4.00	3.01	-0.99	×	3.79	61.50
20	100287.22	205471.49	6.80	3.12	3.06	-0.06	×	3.74	60.77
21	100289.53	205472.67	5.55	1.23	2.29	1.06			
22	100281.77	205474.08	6.80	4.00	3.41	-0.59	×	3.39	55.12
23	100285.78	205474.96	6.80	3.55	2.66	-0.89	×	4.14	67.25
24	100288.93	205475.63	5.47	1.14	1.51	0.37			
25	100282.23	205478.03	6.80	4.00	3.17	-0.83	×	3.63	58.98
26	100285.70	205479.28	6.80	2.84	2.87	0.03			
27	100288.67	205480.74	4.75	0.43	1.93	1.51			
28	100279.89	205482.84	6.80	4.00	3.34	-0.66	×	3.46	56.26
29	100284.14	205483.32	6.80	3.27	2.70	-0.56	×	4.10	66.55
30	100287.99	205482.78	4.88	0.56	1.90	1.34			

表-C.14 格子法被災数量算出計算結果一覧：格子サイズ S：スパン No.134～135(相馬港 UAV 写真測量)

法線方向延長(m)	39.22
基本格子サイズB/n(m)	3.94
調整格子数(個)	10
調整格子サイズ(m)	3.92
格子面積(m^2) ①	15.37
合計被災数量(m^2)	1232.5

格子番号	格子代表点X座標	格子代表点Y座標	設計ラインZ値(m) ②	被災判定ラインZ値(m) ③	格子代表点(中央値)Z値(m) ④	被災判定ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m) ⑤ (⑤=④-③)	被災判定 (⑤<0)	設計ライン(Z値)↕格子代表点(Z値)差分(m) ⑥ (⑥=②-④)	被災格子体積(m^3) ⑦ (⑦=①×⑥)
1	100297.73	205408.28	6.60	4.00	3.37	-0.64	×	3.24	19.41
2	100299.32	205408.82	6.60	4.00	4.16	0.16			
3	100302.00	205409.49	6.60	3.36	3.54	0.19			
4	100304.57	205409.26	5.70	1.53	2.63	1.10			
5	100306.35	205410.03	4.27	0.10	2.77	2.67			
6	100297.16	205409.61	6.60	4.00	3.55	-0.45	×	3.05	18.29
7	100299.55	205410.65	6.60	4.00	3.14	-0.86	×	3.46	20.74
8	100301.16	205410.94	6.60	3.71	2.43	-1.28	×	4.17	25.00
9	100305.11	205411.90	4.84	0.67	2.43	1.76			
10	100306.18	205411.24	4.18	0.00	1.77	1.77			
11	100297.50	205412.24	6.60	4.00	3.09	-0.91	×	3.51	21.05
12	100299.02	205413.85	6.60	4.00	2.40	-1.60	×	4.20	25.20
13	100301.18	205413.02	6.60	3.33	3.06	-0.27	×	3.54	21.25
14	100302.78	205414.00	6.17	1.99	1.62	-0.38	×	4.55	27.30
15	100305.00	205414.36	4.49	0.31	1.33	1.02			
16	100295.47	205414.93	6.60	4.00	3.38	-0.62	×	3.22	19.34
17	100298.76	205415.78	6.60	4.00	2.88	-1.13	×	3.73	22.35
18	100300.57	205415.69	6.60	3.30	2.07	-1.24	×	4.54	27.21
19	100303.38	205416.34	5.31	1.14	1.44	0.30			
20	100304.51	205416.96	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
21	100295.10	205417.84	6.60	4.00	3.92	-0.08	×	2.68	16.07
22	100298.77	205417.76	6.60	4.00	2.78	-1.22	×	3.82	22.93
23	100299.76	205418.78	6.60	3.35	2.29	-1.05	×	4.31	25.84
24	100301.84	205419.77	5.82	1.65	1.54	-0.10	×	4.28	25.67
25	100303.93	205419.34	4.38	0.20	0.00	-0.20	×	4.38	26.25
26	100295.13	205419.77	6.60	4.00	3.53	-0.47	×	3.07	18.42
27	100298.02	205420.30	6.60	4.00	2.84	-1.16	×	3.76	22.57
28	100300.22	205420.42	6.60	2.72	2.62	-0.10	×	3.98	23.88
29	100302.44	205421.35	5.11	0.93	1.61	0.68			
30	100303.06	205422.40	4.47	0.29	1.93	1.63			

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ

No. 1316　　March 2025

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課　電話：046-844-5019
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp