

海岸保全施設の技術上の基準講習会

講演概要

開催日：2018年8月27日

1. 海岸保全施設の技術上の基準について 国土交通省港湾局 早川哲也
2. 設計総説，護岸 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 鮫島和範
3. 胸壁，潜堤・人工リーフ，陸開 水産工学研究所 水産土木工学部 佐伯公康
4. 水門，排水機場 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 桐博英
5. 潮位，波浪，津波，津波防波堤 港湾空港技術研究所 海洋研究領域 鈴木高二朗
6. 地盤，地震動 港湾空港技術研究所 地震防災研究領域 野津厚

■海岸保全施設の技術上の基準について

国土交通省港湾局海岸・防災課
海岸・防災企画官 早川哲也

海岸保全施設の技術上の基準・同解説は、平成16年に性能設計の考え方を入って発刊されましたが、その後、東日本大震災を踏まえて、海岸保全施設に粘り強い構造の導入等を行うため、海岸法と海岸保全施設の技術上の基準を定める省令（以下、基準省令）を改正しました。また、平成27年「海岸保全施設の技術上の基準について」を一部改訂し、海岸管理者の皆さんに通知したところでございます。

これらにより粘り強い構造を導入して設計していただいておりますが、海岸法の改正では、維持管理に関する変更もあり、そのマニュアルの整備などで時間を要したことから、遅くなりましたが、今回、海岸保全施設の技術上の基準・同解説の改訂を行ったところです。今回の改訂では、堤防等の粘り強い化の記載の追加が基本ですが、最新の知見についても各分野で充実を図っています。

はじめに、海岸法の改正等について説明します。東日本大震災の後に海岸法が一部改正されまして、海岸保全施設について粘り強い構造の追加がなされています。それを受けて、基準省令を変更しています。

基準省令の第3条、5条、9条に「堤防及び護岸」、「胸壁」、「津波防波堤」があり、その中で、全ての海岸保全施設ではなく、当該堤防の背後地の状況を考慮して、

設計高潮位を超える潮位、海水もしくは設計波を超える波浪または設計津波を超える津波の作用に対して、堤防の損傷等を軽減する機能が確保されるよう定めるものとするがとされました。粘り強い構造については、津波以外の波浪、潮位についても導入できる形になっています（図1）。

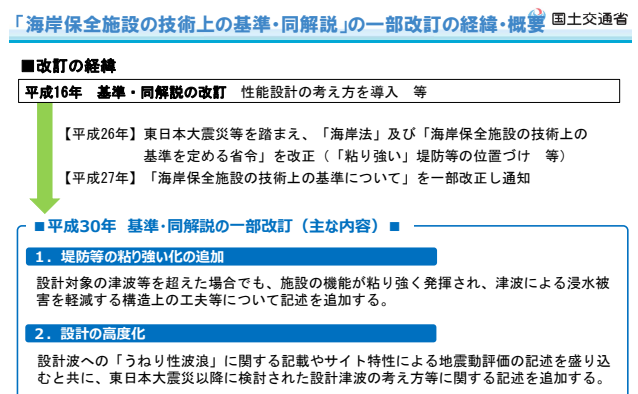
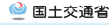


図1 海岸保全施設の技術上の基準・同解説の一部改訂の経緯・概要

東日本大震災では、海岸保全施設が大きく被災を受けました。北海道から千葉県において海岸保全施設の被災が報告されています。特に津波が原因と見られる堤防、護岸の被災については、青森県から千葉県まで、太平洋側を中心に報告されています（図2）。

次に、釜石港の湾口防波堤の被災について説明します。2kmぐらい沖合に湾口防波堤を整備しておりまして、北堤が約1km、南堤が約700mの防波堤延長とな

東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被災



- 北海道～千葉県において、地震・津波による海岸保全施設の被災が報告されている。
- 津波が牽引と見られる堤防・護岸の被災は、青森県から千葉県までの太平洋沿岸を中心に発生している。
- 千葉県等においては、津波の影響はないものの、地震動による被災が見られる。

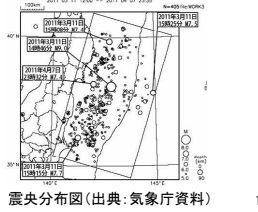


図2 東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被災

っています。湾口防波堤は、背後の市街地を津波から守るために整備した防波堤ですが、3.11の津波により、一部しっかり防波堤が残っているところがありますが、マルチソナーの深浅測量の結果を見ると津波の外力を受けて港内側にケーソンが転倒しているものもあります(図3)。

釜石湾口防波堤の被災

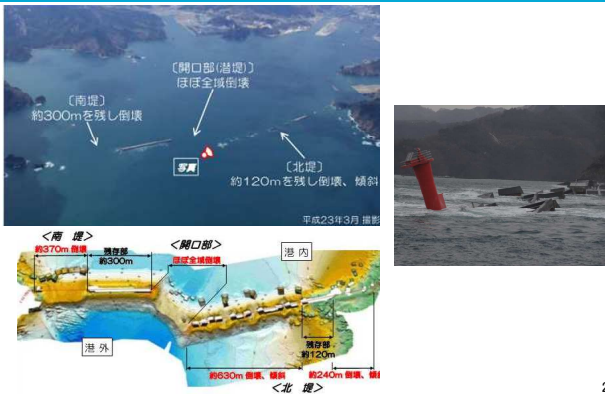
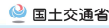


図3 釜石湾口防波堤の被災

図(図4)は釜石港の湾口防波堤の効果について整理したもので、上の図が防波堤のない条件で、数値計算による遡上高等を整理したものです。下側が湾口防波堤のある条件で整理していき、これについては、津波高等の実測値で整理したものです。

防波堤がない場合の津波高については14mぐらいあったのが、防波堤により8mと4割減少します。海岸堤防を超えるまでの時間についても、28分が34分とい

うことで6分間逃げる時間を確保できました。遡上高については、20mという数値計算ですが、防波堤の効果で10mと約半分まで低減します。

このような効果を十分発揮させるため、設計外力を超える外力に対しても海岸堤防の機能を確保することが重要となります。

湾口防波堤の効果

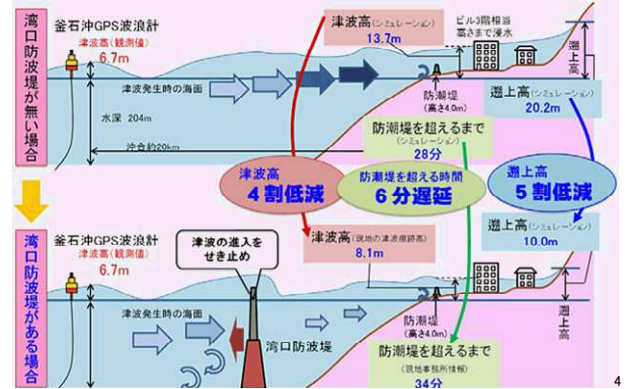
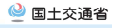


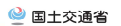
図4 湾口防波堤の効果

内閣府で「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」というのが開催されております(図5)。

主に議論されているのは、想定津波の考え方として2つのレベルの津波を考えるとというものです。

1つは、海岸保全施設の設計で使われる再現期間が数十年から百数十年に1回起こるような津波をレベル

東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会



専門調査会報告を踏まえた防災基本計画の見直し

- 本専門調査会のご指摘事項を踏まえて、基本的な考え方、必要な国・地方公共団体等の具体的な取組を整理予定。
- これを踏まえて、必要な事項について防災基本計画を見直し。

専門調査会の指摘事項	政策対応の方向性(例示)		
	基本的考え方	国等の取組	地方公共団体の取組
○想定津波の考え方	○今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的には二つのレベルの津波を想定する必要がある	○マニュアル類の見直し	○浸水予測図の見直し
○海岸保全施設等による津波対策	○比較的頻度の高い一定程度の津波等に対しては、引き続き、海岸保全施設の整備を推進	○海岸保全施設の整備 ○耐強い構造体の技術開発	○海岸保全施設の整備
○避難行動のための体制整備・ルールづくり	○最大クラスの津波を想定し、住民の避難を軸に、土地利用・避難施設、防災施設などを組み合わせた総合的な津波対策を確立	○津波に強い土地利用・まちづくりを実現するための制度の整備	○情報伝達体制の強化 ○津波避難ビル・避難路等の指定・整備
○地震・津波に強いまちづくり		○津波に強い土地利用・まちづくりを実現するための制度の整備	○建築物の耐震・耐浪化 ○地域防災計画と都市計画との連携
○津波に対する防災意識の向上		○マニュアル類の見直し ○全国的かつ継続的な普及啓発活動	○ハザードマップの見直し・認知度を高める工夫 ○防災教育

図5 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会の指摘事項等

1として設定する。もう一つは、想定される最大の津波高をレベル2とする考え方です。

海岸保全施設の整備については、基本的にレベル1の津波に対して天端高を確保して、背後地の生命、財産を防護するという考え方になっています。

加えて、設計外力を上回る外力に対して粘り強い構造物の技術開発を進めることが、この専門調査会の提言でした。

これを受けて、海岸法が一部改正されています。先ほど説明した粘り強い構造という考え方を導入したということに加えて、東日本大震災で水門・陸閘を閉めに行った消防団の方が命をなくされたというのがありましたので、確実な操作を実施するような規定が設けられています。

また、海岸保全施設の老朽化が大きな問題となっただけで、維持管理について統一的な基準を確保しています。さらに、座礁船舶の撤去や海岸協力団体の指定について位置付けられています(図6)。

海岸法の一部を改正する法律の概要

背景	
○東日本大震災において、堤防を越えた津波により甚大な被害が発生 ○高度成長期等に集中的に整備された海岸保全施設の老朽化が急速に進行	
方向性	
・切迫する南海トラフ地震等に備え、海岸における防災・減災対策を強化 ・海岸保全施設の老朽化対策等、適切な維持管理の推進	
法案の概要	
海岸における防災・減災対策の強化	海岸の適切な維持管理
◆津波等が堤防を越えた場合の被害の軽減 「緑の防潮堤」など粘り強い海岸堤防等を海岸保全施設に位置付け、その整備を推進	◆海岸保全施設の老朽化対策 海岸保全施設の維持・修繕に関する統一的な基準の策定
◆水門・陸閘等の安全かつ確実な操作 現場操作員の安全を確保しつつ、適切な操作を図るため、操作規則等の策定を義務付け	◆座礁船舶の撤去 海岸保全施設を損傷するおそれがある座礁船舶に対する撤去命令
	◆海岸協力団体の指定 海岸管理者に協力する法人又は団体(NPO等)を指定し、維持管理を充実

図6 海岸法の一部を改正する法律の概要

粘り強い構造を技術上の基準・同解説に位置づけるに当たって、まずは実際にどのような海岸保全施設の被災があったかというのを3.11の例で整理しています。

図(図7)は岩手県の大船渡港海岸の事例ですけれども、例えば越流・引き波によって防潮堤が倒壊したり、水門・陸閘等が漂流物で機能不全に至ったり、こういった事例がございました。

海岸堤防等の被災パターンで整理すると、1つは堤防等が全て流出、被覆工だけが飛散したパターン、裏

法、いわゆる堤内地側の被覆工が流失、また、波返工が流失したパターンに整理されます(図8)。

海岸保全施設の被災状況 岩手県 大船渡港海岸



図7 海岸保全施設の被災状況 (岩手県 大船渡港海岸)

堤防・護岸の被災例



図8 堤防・護岸の被災例

粘り強い構造(堤防)

■設計対象の津波等を超えた場合でも、施設の機能が粘り強く発揮され、津波による浸水被害を軽減する構造上の工夫等について記載を追加する。



図9 粘り強い構造(堤防)

これらを踏まえて、粘り強い構造というものを各研究機関で模型実験等を実施して、どのような構造上の工夫を行うと、粘り強く機能を発揮させられるかが整理されています。

例えば海岸堤防については、今までは堤外地側だけしっかり被覆していたものを、堤内地側も含めてしっかり被覆する。また、法尻についても、前面と背後を含めて津波の流れに対して洗掘等が起きないように構造の工夫をするといったポイントが整理されています。

それから、胸壁についても同様に、胸壁下の地盤自体が流失されるような被災事例が多かったので、止水板を設置して、その流失を防止するような工夫としてまとめられています(図10)。

粘り強い構造(胸壁)

■ 設計対象の津波等を超えた場合でも、施設の機能が粘り強く発揮され、津波による浸水被害を軽減する構造上の工夫等について記載を追加する。

【胸壁における構造上の工夫】

箇所	対策
躯体工①	ほぞ(凸凹)を設置するとともに、用の鉄筋を入れ、堤体上部が欠損するリスクを低減する。
躯体工②	本体と一体化された水切又は躯体底版の端(側面、海側)を出来る限り広く取り、洗濯等に伴う転倒リスクを低減する。
躯体工③	躯体底版の地盤への掘入長さは、設計上考慮されない場合でも、適度に余裕をもった設定する。
排水工	排水溝等は流込口として躯体との一体化を図り、部分的な破損による地盤の洗濯・吸出の起点となることを防止(排水溝等を躯体と舗装の間に挟まない)。堤体本体の背後への転倒リスクを低減する。
舗装工①	コンクリート舗装は堤体に密着させ、ステンレス鉄筋等(ダウエルバー)で接合する。
舗装工②	アスファルト舗装の場合においても、路盤の安定処理を行うことで洗濯・吸出を防止する。
基礎工①	杭と堤体本体は、剛結合とする。
基礎工②	基礎(砕石)層にセメント注入や砕コンクリート処理を行うことで、洗濯・吸出を防止する。
止水工	止水板の設置により、洗濯や吸出が発生した場合において、堤体の本体直下の基礎地盤の流出を抑制する。また、矢板と堤体本体は、可能な限り剛結合とする。

図10 粘り強い構造(胸壁)

図(図11)は、津波防波堤の粘り強い構造の工夫についての実験の動画の画面です。左が通常の防波堤で、右側が粘り強い工夫をした防波堤になっています。右側の工夫した点としましては、港内側に捨石で腹付工を設置して、それが津波の作用によって飛ばないように被覆材で被覆しているという防波堤の模型です。

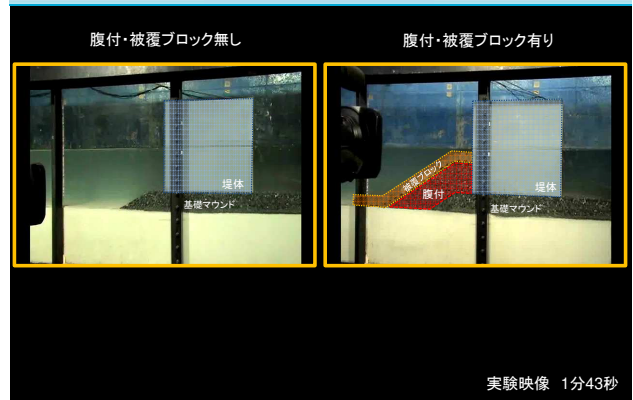
実験水路で津波が作用してきています。工夫していない防波堤では、すぐに洗掘が始まっていきます。洗掘が大きくなって、基礎捨石もどんどん減っていきます。ある限界を超えると、ケーソンが倒れるという状況になります。

一方で工夫している方は、被覆ブロックで背後の砂地盤が確保されますので、ケーソンが一気に倒れるといった被災は起こりません。ただし、ちょっとずつ洗

掘を受け、ケーソンが少しですけれども、滑動しているのがわかるかと思います。

こういった実験を各研究機関で実施していただいて、今回の技術上の基準・同解説について一部改訂を行っています。

粘り強い構造に関する水理模型実験



実験映像 1分43秒

図11 粘り強い構造に関する水理模型実験

また、粘り強いに加えて、設計の高度化というところで、最近の被災の事例として、風波だけではなく、うねり性の波で被災した事例がありましたので、その設計の考え方について追加しています。

地震動ですけれども、サイト特性ということで、地震基盤と言われる固い地盤では、距離に応じて地震力がどんどん小さくなりますが、軟弱地盤があると、地震動が増幅します。そういった海岸堤防の設置の地盤のサイト特性について考慮する考え方を示しています。

設計の高度化

■ 新たな知見の蓄積を踏まえ、以下の項目に関する記載を追加

①「うねり性波浪」の導入
うねりによる被害が想定される地域において設計に用いる波浪に「うねり性波浪」を考慮して設定することを追加。

②サイト特性の考慮
海岸保全施設の耐震設計に関し、サイト特性を考慮して地震動を設定できることを追加。

③設計津波の水位の設定方法の追加
痕跡高や歴史記録・文献等の調査で判明した過去の津波の実績等に基づくデータを用いた設計津波の水位の設定方法に関する記載を追加。

図12 設計の高度化①

設計津波の水位の設定方法については、最初に説明した数十年から百数十年の設計津波の考え方を解説しています(図12)。

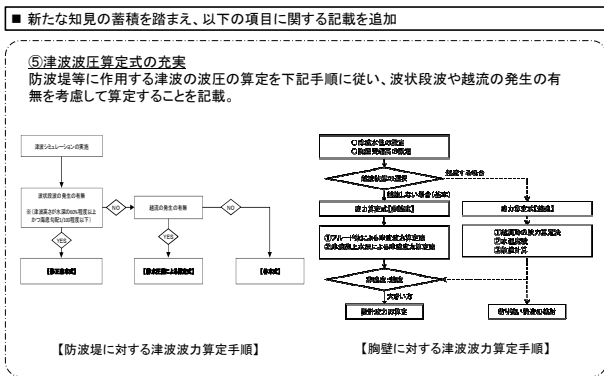
また、津波の外力で波返工とか相当被災を受けましたので、津波による外力の算定方法について、例えば防波堤に対する津波波力は段波が発生する津波なのか、あるいは、越流が発生するかによって、算定式を分けて考えるような計算方法が提案されています。

同じく胸壁についても、越流の有無によって津波外力の算定式を分ける整理を行っています(図13)。

側で巨大津波について調査研究が進んだり、津波がどこで発生してもおかしくない状況になっていますので、今回の基準・同解説の一部改訂を受け、より効果のある設計をやっていただきたいというお願いです。

また、本年、非常に台風が多く上陸していますけれども、台風の巨大化というのが指摘されています。特に高潮ですが、何となく津波より外力として小さいイメージをお持ちかもしれませんが、津波については、数十分周期で上下変動しますので、海水が海岸保全施設の背後に供給されるのも数十分レベルになります。しかし、高潮だと、1時間とか2時間とか、海水が供給される時間が長くなりますので、被災する程度としては高潮のほうが大きいというようなことも考えられます。高潮についても研究を進めてしっかり対応していきたいと思いますので、ご協力をお願いいたします。

設計の高度化



22

図 13 設計の高度化②

おわりに

南海トラフ巨大地震や首都直下地震等の大規模地震の切迫性が高まり、豪雨・台風・高潮等が激化する中、背後地を被害から防護するため海岸保全施設の整備を推進する。また、高波に対する防護機能の改善や越流・浸水被害の軽減のため、侵食された砂浜の再生や侵食対策を講じる。

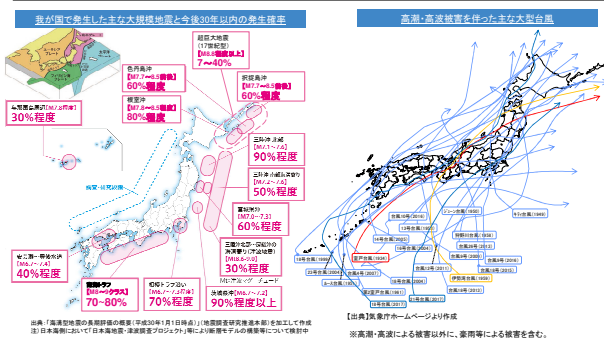


図 14 大規模地震の発生確率と高潮高波被害を伴った主な大型台風

最後になりますが、図(図14)の左側は津波を伴うような地震の30年以内に発生する確率について整理したものです。南海トラフについては、先日ですか、70%だったのが80%に引き上げられたり、北海道の東

■設計総説、護岸

国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部
沿岸防災研究室長 鮫島和範

私からは、第3章「設計」の3.1の「総説」及び3.3の「護岸」について説明させていただきます。

まず、3.1の「総説」について説明します。

3.1.1の「施設配置」については、今回の改訂で大きく修正した内容は特にございません。内容といたしましては、海岸保全施設を面的な広がりをもって適切に配置する面的防護方式の採用が望ましいということと、砂浜について、消波機能のほか、海水保全機能であるとか、生態系保全機能、親水機能等、メリットを有していますので、面的防護方式に砂浜をできる限り活用することが望ましい旨が記載されています。

続いて、3.1.2の「環境」についても、今回の改訂で大きく修正等した内容はございません。

環境につきましては、水質保全機能、生態系保全機能、底質保全機能への配慮、景観への配慮のほか、工法の選択として、これらの水質保全機能等を満たす適切な工法の選択が重要である旨、記載しています。

続いて、3.1.3「利用」については、今回新たに「レクリエーションやスポーツによる利用」を追加し、海水浴、釣り等のレクリエーション、サーフィンとかビーチバレー等のスポーツの場として利用する場合は、その利用を考慮することが必要である旨、記述しています。

海岸の利用の把握、利便性と快適性、水産業による利用、工法の選択については既定の内容となっています。

続いて、3.1.4「利用者の安全」について、今回の改訂で大きく修正した内容は特にございません。内容としては、海岸保全施設に起因する事故が発生しないよう、利用者の安全に十分配慮して設計することとし、設計上の留意点として、海岸保全施設を、「利用を前提とする施設」、「利用を前提としないが利用に配慮すべき施設」、「利用を前提としない施設」に分類し、「利用を前提とする施設」の設計をする場合は、利用時の外力を対象に、海岸利用者の安全対策を講じる旨、記述

しています。

また、多重な安全対策として、大きな外力を受ける場合、地中等の点検が困難な場合等には、設計に当たり、多重の安全対策を講じることを検討する旨、記述しています。

管理の重要性についても、既定の内容と同様となっており、海岸保全施設及び海岸の巡視・点検を定期的に行う必要があること、特に人工海浜においては、陥没や地上から確認できない空洞が発生する可能性があるため、砂の流出であるとか吸い出し防止のための対策及び、供用後の定期的な巡視・点検を行う必要があること、海岸では安全対策を全て海岸管理者が行うことは難しいので、地域住民やボランティア等の協力を得て実施することが重要である旨、記述しています。

続いて、3.1.5「材料」です。材料についても、基本的に大きな変更はなく、今回の改訂で一部追記等しています。

コンクリートについては、要求性能として、品質のばらつきが少ないこと、所要の強度、耐久性等の性能を有することを求めています。

また、コンクリートの耐久性の確保・向上については、防食方法として、「エポキシ樹脂塗装鉄筋」、「ステンレス鉄筋」、「連続繊維補強材」を追加しています。

かぶり厚については、既定内容と同様で、基本的には5cmを確保すること、また、海水で洗われる、激しい潮風を受ける場合は7cmを確保することを記述しています。

コンクリートに使用する材料の性能についても、既定内容からの大きな変更はなく、基本的にはJISに性能が定められており、JIS等に準拠した材料を用いることがよいこと、コンクリートの練混ぜ水については、飲料水程度の清浄さを有するものを使用すること、骨材については、有機不純物や塩化物等の有害物を含まないものを使用すること、混和材料については、しっかり性能を確認して用いることを記述しています。

続いて、「鋼材」ですが、こちらについても、基本的にはJISに定められていますので、これらに適合するものを用いることを記述しています。

電気防食法について、原則として平均干潮面以下に適用範囲をする事例が多いこと、被覆防食法について、

朔望平均干潮面・1m以浅の部分については、被覆防食法を併用することを標準としていることを記述しており、今回の改訂で、塗装のほか、有機被覆、ペトロラタム被覆、無機被覆等の事項を追記しています。

また、腐食しろについて、本設の土中部等、集中腐食が生じにくく、電気防食の設置が困難である箇所を除いて、腐食しろを適用しないことが望ましい旨、追記しています

3.1.6 維持管理

3.1.6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○維持管理の概念

- ・維持管理は、「点検、評価、予測、対策」からなる一連の作業の総称。
- ・各施設に必要な機能を持続的に発揮していくためには、維持管理に要する費用の縮減や平準化を図りながら、効率的・効果的な維持管理の推進が重要。
- ・海岸保全施設の背後地を防護する機能を、長期にわたって効率的・効果的に確保するためには、予防保全の考え方に基づいた適切な維持管理の実施が重要。
- ・所定の防護機能が確保できなくなる前に修繕等を実施する予防保全型の維持管理を行うことで、「防護機能を確保」、「大規模な対策等の実施の必要性が小さい」、「ライフサイクルコストが縮減」が期待され、将来的な維持管理費用の縮減、対策等に要する労力の削減、海岸保全施設の長寿命化に寄与する。
- ・海岸保全施設の維持管理に当たっては、以下の特徴を踏まえる必要がある。
 - a) 背後地を防護する機能の確保が重要。環境や利用の観点についても配慮。
 - b) 地震、津波、高潮等の発生時に施設変状が大きく進展、地形等により変状が進展しやすい箇所を有する。
 - c) 海面上昇等に対する要求性能が見直され、所定の機能が変更される得る。

図 15 維持管理の概念

続いて、3.1.6の「維持管理」については、本年5月に改訂された海岸保全施設の維持管理マニュアルを踏まえた記述となっています。

まず、維持管理の概念については、防護する機能を長期にわたって効率的・効果的に確保するために、予防保全の考え方に基づいた適切な維持管理の実施が重要である旨、記述しています。

この予防保全型の維持管理により、「防護機能の確保」、「大規模な対策等の実施の必要性が小さい」、「ライフサイクルコストの縮減」が期待され、将来的な維持管理費用の縮減、対策等に要する労力の削減、海岸保全施設の長寿命化に寄与する旨、今回の改訂で記述しています。

続いて、海岸保全施設の変状連鎖については、既定の内容の一部追記しています。基本的には変状の発生原因、変状の発生拡大、機能低下へと変状が進行していく過程を変状連鎖として整理する必要があり、変状連鎖図を作成し、適切に維持管理を行う必要があります。

す。

3.1.6 維持管理

3.1.6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

堤防の主要変状連鎖(消波工なし)

図 16 堤防の主要変状連鎖(消波工なし)

「主要な変状連鎖を選定し、連鎖の上流側で生じる変状を点検の対象とすることが、効率的かつ効果的な維持管理に繋がる」ということで、変状連鎖図のステップ1、2、3の前半といった初期の変状を点検対象とする必要がある旨、今回の改訂で記述しています。

3.1.6 維持管理

3.1.6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○予防保全型維持管理の基本的な考え方

- ・現状における施設の機能を確認した上で、施設を取り巻く環境や利用状況、背後地の状況等を考慮しつつ、所定の機能を確保するための点検、評価、対策の一連の維持管理に関する作業を、予め策定した計画に基づいて実行すること。
- ・海岸保全施設の予防保全型維持管理の構成
 - a) 点検(初回点検、巡視(パトロール)、異常時点検、定期点検)
 - b) 評価(変状ランクの判定、健全度評価)
 - c) 対策(修繕、改良、更新、応急措置、安全確保措置)
 - d) 記録
- ・海岸保全施設のうち、堤防、護岸、胸壁等の土木構造物及び水門、陸閘等の設備の予防保全型維持管理の具体的な方法については、「海岸保全施設の維持管理マニュアル」(海岸省庁)を参考にすることができる。

図 17 予防保全型維持管理の基本的な考え方

続いて、予防保全型維持管理の基本的な考え方については、海岸保全施設について、点検、評価、対策の一連の維持管理に関する作業を長寿命化計画に基づいて実施することが重要な旨、記述しています。維持管理の構成としては、点検、評価、対策、記録となっています。具体的内容については、海岸保全施設の維持

管理マニュアルを参考にできる旨、記述しています。

基準・同解説では点検について、4項目について記述しています。1つ目は、施設の状態把握のための調査、巡視や点検の対象とする箇所の設定を行うことを目的とする「初回点検」、2つ目は、重点的に点検すべき箇所の監視や新たな変状等を発見することを目的とする「巡視」、3つ目は、災害時、災害発生後に行うことを目的とする「異常時点検」、4つ目は、主に陸上からの目視点検を実施する「一次点検」、詳細な計測等を実施する「二次点検」を行うことを目的とする「定期点検」を記述しています。

を評価する「健全度評価」がある旨、記述しています。

3. 1. 6 維持管理

3. 1. 6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○点検

- ・海岸保全施設は一般に長大であり、施設全体の詳細な点検には、多大な時間と費用を必要とする。そのため、施設の変状の傾向、材料の経年劣化の特性等を十分考慮し、施設全体の状況を代表できるような地点において、効果的な点検項目を選定し、適切な手法により点検を行うことが効率的である。

a) 初回点検

- 施設の状態把握のための調査：
 - ・所定の機能の確認、履歴調査（設計図書や修繕等の履歴、被災履歴に関する調査等）、変状が起こりやすい箇所の抽出等
- 巡視（パトロール）や点検の対象とする箇所の設定
- 一次点検に準じた点検、必要に応じて二次点検に準じた点検を実施

b) 巡視（パトロール）

- 重点的に点検すべき箇所（地形等により変状が起こりやすい箇所、実際に変状が確認された箇所等）の監視
- 施設の機能、環境又は利用に影響を及ぼすような新たな変状等を発見

44

図 18 点検（その1）

3. 1. 6 維持管理

3. 1. 6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○点検（続き）

c) 異常時点検

- 地震、津波、高潮等の発生後に、施設の機能、環境又は利用に影響を及ぼすような変状の発生の有無を把握

d) 定期点検

- 一次点検
 - ・施設全体の変状の有無を把握し、応急措置等の必要性の判断、二次点検を実施すべき箇所を選別。一次点検は、主に陸上からの目視点検を実施
- 二次点検
 - ・施設を構成する部位・部材等の変状の状況を把握し、健全度評価と必要な対策の検討を行う
 - ・目視点検及び簡易な計測を基本とし、必要に応じて詳細な計測を実施
 - ・変状の原因の明確化、施設を構成する部位・部材毎の性能に関する評価、修繕・改良等の対策の検討、蓄積された点検結果に基づいて予測等を行うことも可能

25

図 19 点検（その2）

続いて、評価については、評価・点検の結果に基づいて実施することを基本としていること、スパンごとに評価する「変状ランクの判定」と、施設全体の機能

3. 1. 6 維持管理

3. 1. 6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○評価

- ・評価は、点検の結果に基づいて実施することを基本。
- ・評価には、施設の部位・部材の性能について確認される変状の程度を評価する「変状ランクの判定」と、施設の機能についてその低下を評価する「健全度評価」がある。
- ・将来の変状進行の予測ができれば、適切な対策実施時期を検討することも可能。
- ・海岸保全施設に生じた変状を評価する際、次の4つの観点をあげることができる。
 - a) 美観上・利用上の観点
 - b) 機能面からの観点
 - c) 構造上の安全性からの観点
 - d) ライフサイクルコストからの観点
- ・理想的には、a)～c)の観点から変状許容限界を設定し、d)の観点から対策工を選定し、その実施時期を決定することが望ましい。

26

図 20 評価

3. 1. 6 維持管理

3. 1. 6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○対策

- ・評価の結果に基づいて実施することを基本。

a) 修繕

- ・施設の機能確保のための工事、補修、補強等の実施が必要と判断された場合、適用する工法の効果や、適用範囲、設計供用期間等を考慮して実施。

b) 改良

- ・海岸保全施設の機能（供用期間を含む）を増加させる工事。

c) 更新

- ・現在の海岸保全施設を、当初の機能と同等のものに造り替える工事。

d) 応急措置

- ・背後地や利用者の安全が確保できない場合に応急的に行う、立入り禁止、危険の周知、応急対策等の措置。

e) 安全確保措置

- ・施設が防護機能を有していることが確認できない状態において、地震、津波、高潮等が発生した際に、背後地や利用者の安全を確保するために事前に講じる措置。

27

図 21 対策

続いて、対策については、評価の結果に基づいて実施することを基本とし、5項目について記述しています。予防保全型の維持管理では、施設の機能確保のための工事、補修、補強等の実施が必要とされた場合に適用する工法の効果など、適用範囲、施設設計供用期間等を考慮して実施する、「修繕」が非常に重要になります。

その他、改良、更新等についても基準・同解説に記述しているところでございます。

続いて、記録については、今回の改訂において、点検、評価、対策の結果は、過去の点検結果等の比較等を行うことができるよう、様式を統一するなど、利用しや

すい形で集積管理しておくことが重要である旨、追記しています。

続いて、設計上の工夫については、維持管理費用の縮減、対策等に要する労力の削減が期待される旨、記述しています。

3.1.6 維持管理

3.1.6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○記録

- 点検、評価、対策の結果は、利用しやすい形で集積管理しておくことが必要。
- これらの記録は、次回行われる履歴調査の資料として活用されるだけでなく、類似構造の維持管理のための有用な資料となる。

○設計上の工夫

- 海岸保全施設の設計にあたっては、当該施設に求められる機能、性能の維持についての基本的な考え方を、施設の設置目的、施設の要求性能、施設の代替性等の観点から検討し、これに見合うような当初性能の付与を図ることが有効。
- 設計上の工夫により、維持管理費用の縮減や対策等に要する労力の削減が期待（設計上の工夫の事例）
- 捨石突堤において被覆石の空隙部分に間詰めコンクリートを充填する等の構造上の弱点部の排除
- 修繕が困難な場所において予め高耐久材料を使用する等の施設の機能及び性能の経時変化に対する抵抗性の向上
- 舗装下の空洞発生状況を確認するための点検孔を設置する等の点検や修繕等の効率化に資する附帯設備の設置の事例

図 22 記録、設計上の工夫

続いて、設計上の工夫の事例について、差し筋に高耐久材料（エポキシ樹脂塗装鉄筋）を使用した事例、堤防の天端部に、空洞化の発生状況を確認するための点検孔を設置した事例を示しています。

3.1.6 維持管理

3.1.6 維持管理

海岸保全施設の設計に当たっては、設計供用期間において所定の機能及び要求性能を確保すべく適切な維持管理が行えるよう考慮するものとする。

【解説】

○設計上の工夫(続き)

断面図

高耐久材料(エポキシ樹脂塗装鉄筋)を使用した事例

点検孔設置の事例

図 23 設計上の工夫の事例

続いて、3.1.7「経済性」でございます。経済性については、工事コスト、工事の時間的コストの縮減、ライフサイクルの考慮が必要である旨、追記しています。

ライフサイクルについては、今回、適切な材料の使用、腐食対策等による施設の耐久性の向上、適切な点検・修繕等の実施について、追記しています。

次が設計の総説の最後である、3.1.8「施工性」については、考慮すべき5つの条件を示しており、自然条件、社会条件、施工地域条件、施工時期は、既定の内容と同様です。

今回の改訂で、「修繕・改修時の施工性考慮」を追記しており、狭隘な場所で整備した箇所については、修繕、改修を行う場合、厳しい施工条件の中で実施することになるので、修繕・改修時における施工性、安全確保への十分な配慮が必要な旨、今回追記しています。

3.3 護岸

3.3.1 目的と機能<処理基準>

護岸は、海岸背後にある人命、資産を高潮、波浪及び津波から防護するとともに、陸域の侵食を防止することを目的として設置される海岸保全施設である。

護岸は、設計高潮位の海水若しくは設計波又は設計津波の作用に対して、高潮若しくは津波による海水の侵入を防止する機能、波浪による越波を減少させる機能、若しくは海水による侵食を防止する機能のいずれかの機能又は全ての機能を有するものとする。

【解説】

○一般

- 護岸は原地盤を被覆し、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波、波浪から防護するとともに、陸域の侵食を防止することを目的として設置される施設。

○機能

- 護岸は、設計対象の高潮、津波、波浪の作用に対して、海水の侵入を防止する機能等を有する。
- 護岸の一部に胸壁の構造形式を用いる場合、当該護岸の背後地の状況等を考慮して、設計津波を超える津波等に係る検討については、胸壁の目的と機能(3.4.1)に準じる。^{*}
- ^{*}護岸に胸壁構造を用いる場合、設計津波を超える津波等の作用に対して、胸壁構造部分に関しては、損傷等を軽減する機能を有することができる。

図 24 護岸の目的と機能

続いて、3.3の「護岸」について説明します。

3.3.1の「目的と機能」については、護岸は原地盤を被覆し、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波、波浪から防護するとともに、陸域の侵食を防止することを目的として設置される施設となっており、護岸が堤防と違うのは、護岸は盛り土ではなく、原地盤を被覆する構造となっています。

機能としては、護岸については、設計対象の高潮、津波、波浪の作用に対して、海水の侵入を防止する機能を有することとしており、また、「護岸の一部に胸壁の構造形式を用いる場合、当該護岸の背後地の状況等を考慮して、設計津波を超える津波等に係る検討については、胸壁の目的と機能に準じる」という記述を追

加しています。

これは、堤防と胸壁は海岸法で粘り強い構造に係る規定がなされ、護岸については、粘り強い構造に係る既定がなされていませんが、護岸の波返工について、胸壁構造を用いて設計している事例もあり、胸壁構造を用いる場合は、胸壁と同等の機能を持たせる必要があることから、今回の改訂で、記述しています。

図 25 緩傾斜護岸の選定にあたっての留意点

続いて、3.3.2「設計の方針」については、基本的には設計高潮位以下の潮位の海水若しくは設計波または設計津波の作用に対して所定の機能が発揮されるよう、護岸の型式、天端高、天端幅及び法勾配等の構造諸元を決定する必要がある旨、記述しています。

また、3.3.1と同様に、護岸の一部に胸壁の構造形式を用いる場合において、設計津波を超える津波等に係る検討については、胸壁の設計の方針に準じる旨、記述しています。

護岸の構造形式については、大きく、傾斜型、直立型、混成型となっています。

緩傾斜護岸については、緩傾斜護岸の選定にあたっての留意点を記述しており、新たに追加した事項が4つございます。

1つ目が、緩傾斜護岸については、20m以上の前浜が必要となりますが、狭い前浜に新設すると、砂浜が覆われることによって自然環境を損なうということ、2つ目が、沿岸漂砂が著しく、汀線変動の大きな海岸の汀線付近に新設すると、漂砂の下手側の海浜が侵食

されるとともに、端部が洗掘され、堤体の安定性が著しく損なわれる場合があるということ、3つ目が、礫浜で設置すると、礫の勾配が急なため、越波が増大し、かつ、ブロックの磨耗が激しく、安定性を損なう場合が多いということ、4つ目が、前浜が狭い場合、直立堤の海側で緩傾斜護岸を設置した場合、砂浜がとられるということ、あと、越波が助長されて、かさ上げ等を余儀なくされる場合が多いということ、を追記しています。

続いて、3.3.3の「要求性能」については、目的達成性能、安全性能があり、目的達成性能は、設計対象の高潮また津波による海水の侵入を防止し、波浪による越波を減少させ、浸食を防止すること、安全性能は、高潮、津波等の設計外力に対して適切な安全性を有すること、としています。

目的達成性能、安全性能については、基本的には堤防を準用することとなり、粘り強い構造については、護岸の一部に胸壁の構造形式を用いる場合、胸壁の安全要求性能を準用することとなります。

3.3.4については、堤防の照査で考慮すべき条件を準用するものとしています。

3.3.5の「目的達成性能の照査」については、性能照査においては、設計潮位、若しくは設計波、設計津波を適切に設定し、波のうちあげ高、または越波流量、設計津波の水位が所定の値を上回らないことを確認することが必要な旨、記述しています。

また、護岸の一部に胸壁構造を用いる場合は、胸壁の目的達成性能の照査に準じる旨、記述しています。

天端高の照査については、基本的には堤防と同様の方法により決定することになります。

さらに、緩傾斜護岸については、既定内容と同様の留意点を記述しています。

続いて、表法勾配の照査についても、基本的には堤防と同様の方法で設定することになります。構造形式とその勾配について、既定内容と同様の内容を記述しています。

続いて、「護岸」の最後である3.3.6の「安全性能の照査」については、護岸の安全性能の照査は、基本的には堤防の安全性能の照査に準じることとしています。ただし、護岸は、堤防とは異なり、背後から土圧の作

用を受けるため、土圧の作用及び地震動の土圧作用に対する考慮が必要である旨、今回の改訂で記述しています。

護岸の一部に胸壁の構造形式を用いて粘り強い構造を検討する場合、「目的達成性能の照査」と同様に、胸壁の安全性能の照査に準じる旨、記述しています。

構造細目について、堤体、基礎工、止水工、根固め、消波工、波返工、排水工の照査は、基本的に堤防の安全性能の照査に準じることとなります。

表法被覆工について、石張式、コンクリートブロック張式、コンクリート被覆工で、堤防と同様の構造については、基本的には堤防の照査内容に準じる旨記述しており、護岸特有の構造形式である緩傾斜護岸については、具体的に記述しています。内容としては、既定内容と同様で、根入れ及び裏込めに係る留意点を記述しています。

直立型について、石積式、重力式、扶壁式で、堤防と同様の構造については、基本的には堤防の照査内容に準じることとなります。

それ以外の突型式、ケーソン式、セル式、矢板式、コンクリートブロック積式、石枠式について具体的に記述しており、内容としては、既定内容と同様となっています。

最後に天端被覆工については、堤防の天端幅に準じて3m以上とすることが多い旨、記述しています。

■胸壁、潜堤・人工リーフ、陸閘

水産工学研究所 水産土木工学部
水産基盤グループ主任研究員 佐伯公康

よろしくお願いたします。皆様、こんにちは。私は水産工学研究所の佐伯と申します。私のほうでは、胸壁と潜堤・人工リーフ、それから陸閘についてご説明をしていきます。

まず、枠書きですけれども、これは二種類ございまして、まず一つ目が、27年に示された国からの処理基準、つまり、法的な拘束力があるものです、それを二重線の枠囲みで記しております。

一方で、27年に示されているけれども、技術的な助言とされているもの、これについては法的な拘束力はありません。それを青の一本線の枠囲みで記しております。

解説の部分につきましては、枠なしで記述しております。解説というのは、枠書きの下にぶら下がるような形で、背景ですとか、根拠ですとか、あるいは新たな方法を採用したい場合の判断基準などを書いているというものです。

まず胸壁です。胸壁は、平成16年版からの改訂点としましては、いわゆる粘り強い設計についての目的や機能が書き加えられています。

3.4.1 目的と機能

胸壁

胸壁は、海岸線に漁港や港湾等の施設が存在し、利用の面から海岸線付近に堤防、護岸等を設置することが困難な場合において、海岸背後にある人命・資産を高潮、波浪及び津波から防護することを目的として設置される海岸保全施設である。
胸壁は、設計高潮位の海水若しくは設計波又は設計津波の作用に対して、高潮若しくは津波による海水の侵入を防止する機能、波浪による越波を減少させる機能のいずれかの機能又はその両方の機能を有するものとする。
これらの機能に加え、当該胸壁の背後地の状況等を考慮して、設計高潮位を超える潮位の海水若しくは設計波を超える波浪又は設計津波を超える津波の作用に対して、当該胸壁の損傷等を軽減する機能を有するものとする。

図 26 目的と機能 (胸壁)

また、安全性能の照査につきましても、そういう記

述が加わりました。また、胸壁に作用する津波の波力算定式に新たに動水圧の影響を反映した式を新たに掲載しております。

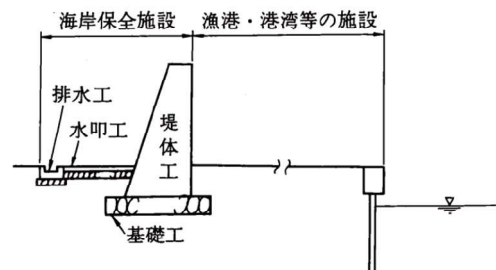
これが3.4.1「目的と機能」の枠書きです。平成27年における改訂点には線を引いております。作用について「設計高潮位の海水若しくは設計波又は設計津波の作用に対して」と明記し、はっきりとさせたということと、「設計高潮位を超える潮位の海水若しくは設計波を超える波浪又は設計津波を超える津波の作用」に対して損傷等を軽減する、いわゆる粘り強い機能を有するものとするというところが書き加わっております。

そういうような枠書きの下に解説の部分に記載されているわけですが、解説のところはどういう記述があるかといいますと、胸壁は、陸上に設置される。求められる機能は、堤防に準ずる。胸壁及び陸閘等が一体として海水の侵入を防止する機能等を発揮するということが書いてあります。

(1) 一般、(2) 機能

胸壁

- 胸壁は、陸上に設置される。
- 胸壁に求められる機能は、堤防に準じる。
- 胸壁及び陸閘等が一体として海水の侵入を防止する機能等を発揮する。



胸壁の概念図

図 27 胸壁の概念図

こういう概念図は平成16年版にも載っていましたが、こういう言葉での説明は今回新たに加わっているところでして、堤防に準じると書いてあります。胸壁ではこういう記述のしかたが多いのですが、堤防のほうで「新たに粘り強い構造の考え方が明記されているので、胸壁についてもそれに準ずる」ということになっております。

次に「設計の方針」です。この枠書きは、堤防の設計の方針を準用するとなっております。

なお、スライドに「一部略記」と書いているのは、意味を損なわない範囲で言葉を短く載せたというものです。

3.4.2 設計の方針

堤防の設計の方針を準用する。(一部略記)

(1) 構造型式の選定

自然条件、施設の重要度、周辺の利用状況、施工方法、工事費及び用地取得の難易等について比較検討し、安全かつ経済的な現地に最も適合する型式を採用する。

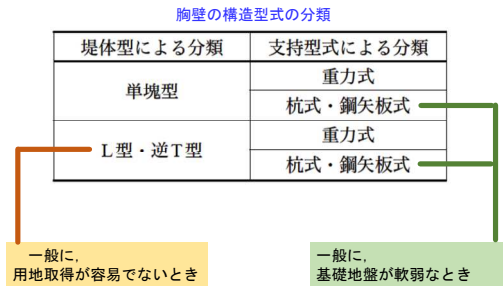


図 28 設計の方針 (胸壁)

さて、堤防の設計の方針は、設計高潮位の海水、設計波または設計津波に対して所定の機能を発揮するように設計するという事と、それらを超える作用に対して損傷等を軽減するように適切に型式や諸元を決めるということが書いてありまして、それを準用するという事です。

解説を見ますと、胸壁の構造型式の分類として、一般的に、堤体型による分類と、支持の型式による分類を書いており、それぞれこういうときに使うといいということが本では文章として書かれております。

また、この分類表に載っていない型式も近年は出てきており、例えば鋼材とコンクリートをプレキャストでつくったものと基礎杭からなるハイブリッド式というものも出てきております。それについては、この本には具体的には記述はありませんが、そういうものを使うかどうか検討する際には、この解説を読んで、では、その新しい型式に対してどこを照査するのがよいかというところを読んでいただくということになります。

施工例としてこのような図が載っておりますが、これは平成16年の本と変わっておりません。

それから、次に、法線の設定、それから、天端高の設定について書いておりますけれども、こちらも平成

16年の本と変更はございません。

次に胸壁の要求性能です。堤防の要求性能を準用するという事になっております。では、堤防の要求性能は何なのかといいますと、目的達成性能としましては、海水侵入防止、越波の減少、設計津波を超える津波等に対しての損傷の軽減また、施設そのものが作用に対して安全性を持つということが書いてあります。安全性につましましては、各種の作用に対して適切な安全性を満たすものとするということが書かれている。そういうものを準用して胸壁も設計を行います。

また、注意書きとして、主に集落や都市と漁港や港湾の間に設置されることから、アクセスの確保、通風・日照・景観等への影響、それから、用地取得の難易度等により、法線や天端高や型式等が制約を受ける場合があるということが書いてあります。

新しく加わった言葉として、「設計津波を超える津波等に係る検討については、堤防の要求性能に準じる」という一文があります。

3.4.4 照査において考慮すべき条件

構造型式や構造諸元の決定に当たり、考慮すべき条件 (一部略記)

(1) 自然条件

- a) 潮位
- b) 波浪
- c) 津波
- d) 地盤
- e) 地震

景観上、圧迫感や閉鎖的な感覚をもたらす場合は、違和感を軽減するために化粧型枠やレリーフ等を採用

(2) その他の条件

- a) 背後地の重要度
- b) 海岸の環境
- c) 海岸の利用及び利用者の安全
- d) 施工条件

漁港・港湾施設の利用と日常生活を妨げないよう、工法等を検討。必要に応じ振動や騒音、濁り等への対策を考慮する。

上記以外の条件に関しては、堤防の照査において考慮すべき事項に準ずる。

図 29 照査において考慮すべき条件 (胸壁)

3.4.4として、「照査において考慮すべき条件」が書いてあります。これは自然条件、それからその他の条件に分けて書いてありますけれども、この枠書きの中、それから、それにぶら下がる解説、ともに平成16年度の本のほぼそのままとなっております。

そして、その後の3.4.5「目的達成性能の照査」。これについては、堤防の目的達成性能の照査を準用するとなっております。では、堤防のほうに何が書いてあ

るのかといいますと、設計潮位、波、津波を適切に設定しなさい。そして、各構造諸元を定めた上で、波のうちあげ高、越波流量、設計津波の水位などが所定の値を上回らないことを確認するものとするという性能の照査の流れが書いてありますので、それを準用するということになります。

3.4.6 安全性能の照査

堤防の安全性能の照査を準用する。(一部略記)

(1) 一般

- 背後地に集落・都市
- 壊れると影響は極めて大
- 災害時の安全性について十分検討する
- 設計津波を超える津波等が作用した場合
→ 滑動、転倒、津波が胸壁を越流することによる背後の洗掘等の可能性
- 設計津波を超える規模の津波に対する胸壁の検討にあたっては、可能な限り、堤体の倒壊を防止又は遅らせるように、胸壁に構造上の工夫(粘り強い構造)を図る

図 30 安全性能の照査(胸壁)

その後、その構造物自体が安全であることを確認する「安全性能の照査」ですけれども、やはり堤防のほうの照査のほうを準用するということになっています。では、堤防のほうに何が書いてあるかといいますと、波力、地震力、土圧等に対して安全な構造とする。透水をできるだけ抑える。信頼性ある適切な手法で照査する。構造の細目については、実績のある適切な例を参考にできるというようなことが書いてあります。

この下のほうには新しく加わった言葉があります。何かといいますと、「設計津波を超える津波等が作用した場合」には、「背後の洗掘等の可能性」がある。「設計津波を超える規模の津波に対する検討にあたっては、可能な限り、堤体の倒壊を防止又は遅らせるように、胸壁に構造上の工夫」、いわゆる「(粘り強い構造)を図る」ということが記載されました。

次に、胸壁に作用する津波の波力について新しい記述があります。従来は、静水圧分布として算定していたんですが、今回の改訂では、「動水圧の影響を考慮した算定式」を載せています。ただし、編集の都合上、この式は、別の章、「2.4津波」に掲載しております。

これは、東日本大震災津波による被災を踏まえて、実験で検討された結果を載せているというものです。

胸壁に働く津波波力の算定法 (「2.4津波」に掲載)

①非越流時の津波波力

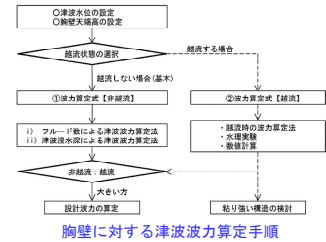
i) フルード数による津波波力算定法
胸壁がない場合の津波遡上シミュレーションにより、進行波の津波水位を算定し、胸壁設置箇所のフルード数により、津波波力を算定する。

ii) 津波浸水深による津波波力算定法
胸壁がある場合の津波遡上シミュレーションにより、胸壁前面の津波浸水深を算定し、浸水深から波力を算定する。

②越流時の津波波力

胸壁がある場合の津波遡上シミュレーションを実施し、胸壁前面、背面の津波水位を算定し、その水位を用いて津波波力を算定する。

津波が胸壁の天端を越流しない場合を「非越流時」、越流する場合を「越流時」と称す。



胸壁に対する津波波力算定手順

16

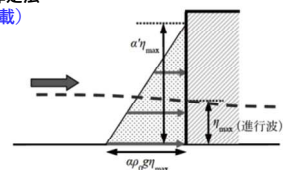
図 31 胸壁に働く津波波力の算定法

その算定法が具体的にどのようなものかを簡単に紹介します。

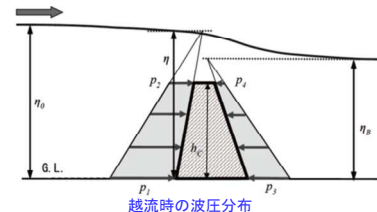
まず非越流時と越流時の場合分けをします。非越流時については、胸壁がない場合の津波遡上シミュレーションに基づくやり方と、胸壁がある場合での津波遡上シミュレーションに基づくやり方を載せております。

越流時の津波波力としては、胸壁がある場合の津波遡上シミュレーションを実施するとなっております。

胸壁に働く津波波力の算定法 (「2.4津波」に掲載)



非越流時の津波波力算定(フルード数による方法)



越流時の波圧分布

17

図 32 胸壁に働く津波波力のモデル

非越流時、越流時それぞれの場合分けを含めたフローがありまして、算定する数式とパラメータを掲載し

ております。数式で示している部分はそれを使っただけなのですが、基本的には、その場所を対象としての津波遡上シミュレーションが行われているということをご前提にしております。

別の章なので数式はスライドに載せていませんが、力のモデルの図(図32)をこのように示しております。一見、三角形分布で、静水圧分布であるかのように思われるのですが、その係数には実験に基づく動的な効果が盛り込まれています。つまり、研究室で得られた実験の結果を津波の波力に導入できるという数式が「2.4津波」のほうに載っているのです、それを使えるということです。

胸壁

(2) 構造細目

以下の点について堤体の設置地点における条件を考慮し、堤体の安全性を照査することを原則とする。

a) 堤体工

次の観点から、原則として鉄筋コンクリート構造とする。

- 高潮、津波等の侵入を防止する
- 滑動及び転倒に対し安全である
- 各部において波力、水圧に耐える強度を保持する

b) 基礎工

一般的に直接基礎とする例が多い。
地盤が悪い場合には、杭基礎や地盤改良等の検討を行う。

c) 止水工

陸上部に設けられるため、常時においては漏水やバイピング等を特に考慮しなくてもよい。
高潮等によって長期間の止水が求められる場合は、堤防の止水工に準じて検討を行う。

18

図 33 胸壁の構造細目

お話をまた胸壁のほうに戻します。解説を見ますと、構造細目として、堤体工、基礎工、止水工につきまして、どういう条件を考慮するのかが書かれています。これらについては、平成16年の本から変更はありません。

また、胸壁に関しましては、東日本大震災以降、港湾局から「耐津波設計ガイドライン」が、水産庁防災漁村課と港湾局海岸防災課から「設計の考え方」が出ておまして、これらが参考文献として、この新しい基準・同解説のほうにも示されています。必要に応じてこれらを参照できるということです。

次に、潜堤・人工リーフの話に移ります。潜堤・人工リーフにつきましては、波浪制御機能について大幅な加筆、また、漂砂制御機能について全面的な加筆が

行われております。これまでは言葉としての機能はありましたが、具体的な解説がありませんでした。また、平面配置についての加筆が行われています。ブロック等の所要質量の算定等についての加筆が行われています。これらが大きな変更点です。

「目的と機能」の枠書きを見ますと、「消波することにより越波を減少させる機能、漂砂を制御することにより汀線を維持若しくは回復させる機能のいずれかの機能又はその両方を機能を有するものとする」となっております。

潜堤・人工リーフを設置する場合に、副作用として気をつけなければいけないのが、強い流れが起きることがあること、また堤体背後で高波浪時に平均水位の上昇を伴うということです。そのため、船舶の航行ですとか漁船の操業等への安全に配慮が要ることが留意事項となります。

天端水深と天端幅によって透過波を変化させるという施設ですが、特性として、大きな波浪は選択的に減衰させる一方で、波高の小さい波浪はほとんど透過するという特性があります。

次は、潜堤・人工リーフと離岸堤との比較です。潜堤・人工リーフは没水構造物で、離岸堤は海面から構造物が露出という違いがあります。

では、潜堤と人工リーフはどう違うのかといいますと、潜堤は天端幅があまり大きくなくて、天端水深を浅くして、反射波と強制碎破によって波浪減衰効果を得るものです。

一方、人工リーフは、天端水深をある程度深くして、反射波を抑える一方で、何十メートルというように天端幅を広くすることによって、波が進行していく途中での波浪減衰を効果的に得るもの、という解説をしております。

また、今回、新たに書き加わっていることとして、海底に設置される「土砂流出防止工」も潜堤の1つであると記してあります。

潜堤・人工リーフの設計の方針は、離岸堤の設計の方針を準用するとなっております。では、離岸堤の設計の方針は何かというと、所定の機能が発揮されるよう、型式、天端高、天端幅、そして長さ、汀線からの距離、相互の間隔を定めるということになっておりま

す。

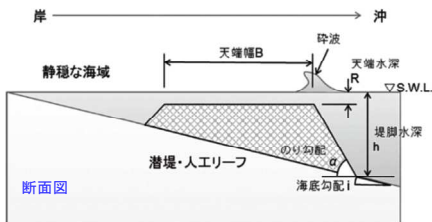
3.7.2 設計の方針

潜堤・人工リーフ

離岸堤の設計の方針を準用する。(一部略記)

消波性能を決める要素

- ・来襲波の諸元 (換算沖波波高 H_0' , 沖波波長 L_0)
- ・断面諸元 (堤脚水深 h , 天端水深 R , 天端幅 B)



求められる性能を満足するように
経済的な断面諸元及び堤長を決める
潜堤・人工リーフ群については、堤体間隔 (又は開口幅) も決める

25

図 34 離岸堤・人工リーフの設計の方針

消波機能を決める要素として、換算沖波波高や沖波波長のような波の諸元と、潜堤・人工リーフの水深、それから天端幅が示されています。

求められる性能を満足するように、断面諸元や、それから、このスライドでの奥行き方向での堤長を決めるということになります。群として設置する場合には、その堤体の間隔も決めることになります。

3.7.3 要求性能

潜堤・人工リーフ

所定の機能が発揮されるよう適切な性能を有するものとする。また、波浪及びその他の作用に対して安全な構造とするものとする。(一部略記)

目的達成性能として、潜堤・人工リーフの設置により波のうちあげ高又は越波流量が所定の値を上回らないことを満足する波浪制御性能、汀線が必要な浜幅を満足する漂砂制御性能を有するものとする。

また、設計高潮位以下の潮位及び設計波の作用に対して適切な安全性能を有するものとする。

26

図 35 離岸堤・人工リーフの要求性能

本のほうではこの先に「要求性能」があります。要求性能の枠書きの中は従来と変わっていないのですが、その下に、「波のうちあげ高又は越波流量が所定の値を

上回らないことを満足する波浪制御性能、汀線が必要な浜幅を満足する漂砂制御性能を有するものとする」と書いております。

3.7.4「照査において考慮すべき条件」の解説に、潮位及び波について、高潮対策として施設をつくる場合、波浪の静穏化を目的とする場合、海浜の安定化を目的とする場合、それぞれにおいて異なる潮位と波を使うとよいという具体的な解説があります。

また、潜堤・人工リーフの特性上、設計波の波高が著しく大きい海岸において、年数回程度、しばしば起こるような高波浪に対する検討というものもあわせて行う。つまり、もしかすると効果がほとんどないかもしれないので、必要に応じて検討してくださいということが注意書き的に書かれております。

その次に、流れ及び漂砂ということで、幾つかの調査が必要であるということ、それから、堤体上で碎破が起こって水位上昇が起こる関係で、そこから開口部への流れ、さらには開口部で冲向きの流れが生じるという特性がありまして、それが暴浪時には、冲向きの漂砂や、あるいは施設の安定性に影響するような激しい洗掘を起こす可能性があるということを、注意書きとして記載しております。

以下、海底地形及び海浜地形に関する記述、それから、海岸の環境、海岸の利用及び利用者の安全ということに関する記述が続きますが、この中で、以前の年から新たに書き加えたこととして、海域利用への配慮というところで、「海水浴やサーフィン等」という利用への考慮が新たに加わっております。

また、環境への配慮、これも当然必要なことですが、書きぶりとしては特に変更はありません。

その次に、施工条件としましては、海面下の施工について考慮が必要ということと、材料の確保について留意が必要ということが書いてあります。

次に、「目的達成性能の照査」として、ここに変更はないですが、枠書きの中に書いてあるように、「性能の照査に当たっては、当該海岸における潮位及び波浪状況等を適切に設定し、波のうちあげ高若しくは越波流量が所定の値を上回らないこと若しくは浜幅が所定の幅を満たしていること又はその両方を確認するものとする」とあります。照査についての解説が下に続きます。

す。

まず波浪制御機能に関する照査です。これについては、平成16年版から大幅に加筆がされています。具体的な照査方法としましては、人工リーフの設計の手引き改訂版、これは既に出ている本ですけれども、それを参照する形で書いております。

この波浪制御機能については、うちあげ高、越波高を求めて照査するわけで、水理模型実験等により照査することを基本とするが、簡便法も可能ということです。

これは、本に載っているフローですけれども、途中で「模型実験の実施」という選択肢がありまして、N Oの場合、実験は行わないけれども、透過した波浪の波高・周期を透過直後の位置で沖波換算するという事で推算する。そして、水位上昇及び潜堤・人工リーフ透過後の波高・周期の変化の考慮を入れて算定する方法が幾つかの図示とともに解説に載っています。

これに従わなければならないというわけではないですけれども、例として載せております。

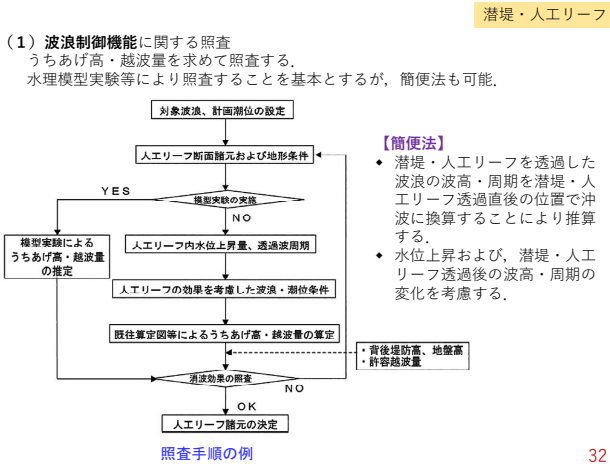


図 36 波浪制御機能の照査手順の例

そして、参考図としまして、天端水深と天端幅から波形勾配をもとに波高伝達率を求める図を載せています。また、平均水位の上昇を考慮するということがあり、天端水深と波形勾配をもとに、潜堤・人工リーフの岸側の端部での平均水位上昇量を求めるグラフも載せております。

(2) 漂砂制御機能に関する照査

潜堤・人工リーフの設置により、
 ・消波効果によって入射波高が低減する
 ・沿岸漂砂の移動帯のかなりの部分が自然石等で覆われる
 →沿岸漂砂量を供給量と釣り合うように減少させる

照査には、等深線変化モデル等の数値モデルを用いることができる。

(条件によっては、潜堤・人工リーフで発生する向岸流により、背後の汀線が局所的に後退する。これは等深線変化モデルでは予測できないので、3次元海浜変形モデルを必要に応じて採用する。)

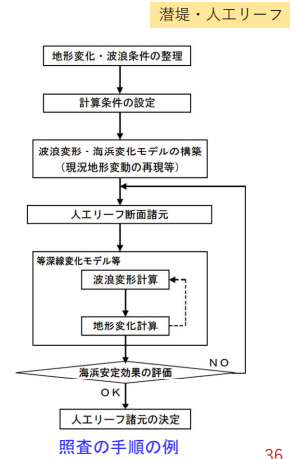


図 37 漂砂制御機能の照査手順の例

次がもう一つの大きな機能であります漂砂制御性能に関する照査の記述でして、ここは全面的に書き加わったところです。

これは、潜堤・人工リーフの設置によって、消波効果によって入射波高が低減する。また、沿岸漂砂の移動帯のかなりの部分が、潜堤・人工リーフの石材で覆われることで、沿岸漂砂量をコントロールするというような理屈です。

ここで、等深線変化モデル等の数値モデルを用いることができると書いております。等深線変化モデルでは予測できないような条件の場合は、3次元海浜変形モデルを必要に応じて採用するとしております。

照査の手順、これも例ですけれども、そういうモデルを使っの照査の手順を載せております。

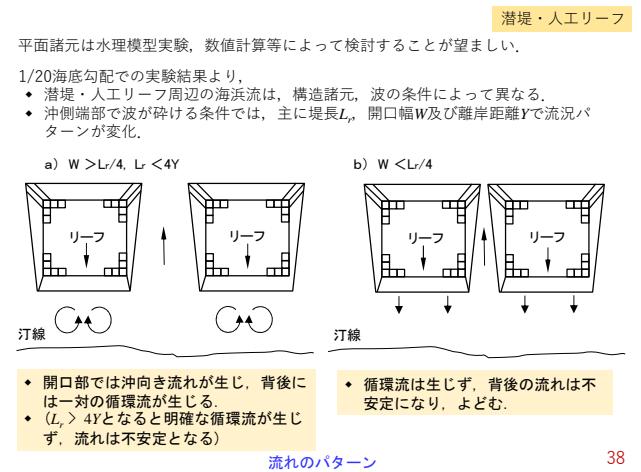


図 38 人工リーフ上とその背後の流れのパターン

次に平面配置について書いております。回折波と伝達波の合成された波高が所定の伝達波高を満足するように堤体の長さ等の決定をするわけですが、開口部があると、その背後の波高分布は一様ではなくなります。

ですので、典型的な例につきまして、潜堤・人工リーフの上、それからその背後において、循環流や海浜流の流れのパターンを示しております。

これらをもとに、例えば海水浴場を目的とするような場合ですとか、背後に堆砂させることを目的とする場合について、こういった平面的な諸元にするとよいかの目安を書いております。

また、離岸距離を短くすると、背後の汀線が局所的に後退しやすくなることがある。それから、堆砂を目的とする場合は、3次元海浜変形モデルによる地形変化計算を行って、平面配置が妥当かどうか確認することが望ましい。これらのことが新たな注意事項として今回書き加わっております。

次に「安全性能の照査」につきまして。枠書きの中は変わっておりません。また、所要質量を求める式を載せているということも変わっておりません。ただし、その数式は、この潜堤・人工リーフの項ではなくて、基準・同解説の波の章と、その参考文献を見ていただくことになります。

ブレブナー・ドネリー式は、 N_s によるハドソン式というふうに言われることもあるわけですが、この N_s の値の決め方の文献として、人工リーフの設計の手引き（改訂版）の一部改訂、それから、国総研資料に載っている水理実験マニュアル、これらを参考文献として新たに示しております。

また、安定質量の算定において、注意点として、堤脚水深が非常に大きい場合に、波高が著しく増大して、構造材に強大な波力、流速が作用するということから、そういう場合での安定質量の算定に対しての注意を示しております。

新たな注意事項として、中詰工の沈下・散乱に要注意ということを書き加えておまして、参考文献として人工リーフの設計の手引きを紹介しております。

また、洗掘に対する注意、そして基礎地盤のせん断破壊についても記述しております。基礎地盤のせん断

破壊は、堤防に準ずると書いてあるわけですが、堤防のほうで何が書いてあるかといいますと、いわゆる2次元問題としての円形すべり、直線すべり、そして修正フェレニウス法が書いてあるので、これらを参照できるということです。

次は3番目、陸閘の話です。陸閘につきましては、いろいろな改訂点がありますが、後で説明の中で触れてまいります。

陸閘の事例を写真で示します。これは引き戸式の陸閘ですが、扉とそれに付随する土木構造物から成ります。このほかには、開き戸式や角落とし式などがありますが、つまり、胸壁などにおいて人や車の通行のために設けられた開口部です。その扉が陸閘であることはもちろんですが、それに隣接する土木構造物としての戸袋や戸当たり部も陸閘に含まれます。



(1) 開口部 右側の堤体の向う側に (2) の扉体がある。



(2) 扉体 (引き戸式)

陸閘の事例

陸閘

43

図 39 陸閘の事例

陸閘の「目的と機能」の枠書きの記述は変わっておりません。また、その下に書いてあることも特段の変更はありません。

次に「設計の方針」です。「所定の機能が発揮されるよう、陸閘の型式及び天端高を定めるものとする」となっております。この解説は大きく変わっているところがあります。何かといいますと、最近では、倒伏した扉体を浮力によって起立させ閉扉させる型式が開発され、その採用事例もあるということを書いております。いわゆるフラップゲート式というものです。また、地中の扉体を上昇させて閉扉する型式等も開発されてい

るということを書いております。

フラップゲート式については、設計マニュアルを参考文献として挙げております。

3.11.4.3 要求性能

陸閘

陸閘は、所定の機能が発揮されるよう、適切な性能を有するものとする。また、陸閘は、高潮、津波、波浪、地震及びその他の作用に対して安全な構造とするものとする。
さらに、十分な操作性を有するものとするとともに、施設の操作に従事する者の安全及び施設の利用者の利便を確保するものとする。

陸閘の設計では、

- 閉鎖時に堤防、護岸又は胸壁の機能を満たすとともに十分な水密性を有し海岸保全施設の構造上の弱点とならないようにする。
- 開扉時に人や車両の往来が円滑に行われて利便性が確保されるようにする。
- 非常時に操作に従事する者が安全かつ迅速に閉鎖できるよう、扉体の構造等を決定する。

図 40 陸閘の要求性能

次、「要求性能」です。要求性能では、新たに「施設の操作に従事する者の安全及び施設の利用者の利便を確保するものとする」ということが加わりました。

設計における閉鎖時と開扉時の記述は変わっていないですけれども、非常時に操作に従事する者が安全かつ迅速に閉鎖できるよう、扉体の構造等を決定するということが新たに書き加わっております。

次に「照査において考慮すべき条件」です。新たに加わったこととして、「施設の操作に従事する者の安全及び施設の利用者の利便」があります。

3.11.4.5 目的達成性能の照査

陸閘

陸閘の設置目的を達成するための性能は、原則として天端高により評価するものとする。
性能の照査に当たっては、当該海岸における設計潮位、設計波、設計津波等を適切に設定し、波のうちあげ高若しくは越波流量又は設計津波の水位（堤防等によるせり上がり考慮した津波高さ）が所定の値（うちあげ高にあっては天端高、越波流量にあっては許容越波流量、設計津波の水位にあっては地震後の天端高）を上回らないことを確認するものとする。
また、施設の操作に従事する者の安全及び施設の利用者の利便が確保されることを確認するものとする。
照査手法は、信頼性のある適切な手法を用いるものとする。

- 天端高、設計潮位、設計波及び設計津波の設定は、堤防に準ずる。
- 操作に従事する者の安全を図るには、構造上の配慮のみならず、必要に応じてソフト的な対策も適切に組み合わせる。（避難喚起、退避ルールの設定等）
- 周辺の市民生活及び産業活動の実態を考慮し、危険なく円滑に日常の交通がなされる構造とする。

図 41 陸閘の目的達成性能の照査

また、その解説で、津波対策として設置される陸閘は、設計津波の前に来襲する地震動によって陸閘の機能が喪失しないことを照査する必要があるということが新たに書き加わっております。

次は「目的達成性能の照査」です。これは従来は簡便な記述にとどまっていたのですが、今回大幅に書き加わっております。何が加わったかということ、性能は原則として天端高によって評価するという。そして、波のうちあげ高もしくは越波流量または設計津波の水位を確認するという。それから、操作する人の安全及び利用者の利便が確保されていることを確認するものとするということが書き加わりまして、それに伴う記述も加わっております。

また、東日本大震災の教訓をもとに幾つか施設の計画に関する留意点を載せております。

まず、一般に陸閘は押し波の作用に対しては比較的強いんですけれども、津波の引き波の作用に対しては弱いという特性が見受けられたので、「周辺の引き波の方向と、陸閘の扉体の長手方向が平行になるように配置すれば扉体の倒壊を防ぐことが期待できる」と書いてあります。ややわかりにくいですが、要は、平面上での法線を屈曲させることによって、引き波時でも扉体の倒壊を防ぐことが期待できるということが書いてあります。

3.11.4.7 その他の機能に関する留意事項

陸閘

陸閘の設置に当たっては、操作体制及び維持管理体制の確立を図るものとする。
また、施設の操作に従事する者の安全又は施設の利用者の利便を確保するため必要があるときは、自動的に、又は遠隔操作により施設の開閉を行うことができるものとするものとする。

【操作規則】

- 海岸法において、陸閘等操作を伴う海岸保全施設について海岸管理者は操作規則を定めることが義務付けられている。
- 操作規則に則り、非常時の円滑な閉鎖操作の実現を目指して操作体制を構築する。海岸管理者、操作従事者らが相互の役割と連絡体制を確認し、閉鎖操作と緊急退避に係るルールを取り決める。

【自動化・遠隔操作化】

- 操作従事者の安全又は施設利用者の利便を図りつつ、確実な閉鎖が必要不可欠な陸閘については、自動化又は遠隔操作化を図るか、人為操作を要しない型式を採用するのがよい。
- 体系的な自動化・遠隔操作化には「水門・陸閘等管理システム」を構築するのがよい。

図 42 その他の機能に関する留意事項（陸閘）

また、陸閘の土木構造物、つまり戸当たりや戸袋部分はその前後の区間と断面が異なるので、それが構造

48

51

的な弱点とならないように留意するということが解説に書いております。

続きまして、「安全性能の照査」です。安全性能の照査につきましては、まず陸閘の扉の部分のこと、それから、陸閘を構成する土木構造物のことについて書いております。ここには、特に新しいことは書いていないのですが、土木構造物については、施設が何に準じて機能するかによって、堤防の解説、護岸の解説、胸壁の解説を必要に応じて参照してくださいと書いております。

次に、「その他の機能に関する留意事項」として、枠書きの中で、「必要があるときは、自動的に、又は遠隔操作により施設の開閉を行うことができるものとするものとする」と書いております。ここで自動とは何かといいますと、電動の場合において、気象情報ですとか地震計の情報をきっかけに、人手を使わないで閉鎖をするという方式です。

そして、操作規則を定める、ルールを取り決めるということも解説に書いております。

自動化や遠隔操作化につきましては、「水門・陸閘等管理システムガイドライン」が出ており、それを参考文献として明記しております。

陸閘の維持管理につきましては、今年度改訂された海岸保全施設維持管理マニュアルに記述が加わりました。それを参考文献として挙げております。

また、開口幅について、メンテナンスや操作の容易性、建設コストを考慮して、開口幅が過大にならないように留意すること、また、施設数が多いか少ないかによって、利便性と、非常時の操作という点で相反する面がありますので、両方を勘案して適切な施設数とするのがよいということを注意書きとして書いております。

以上です。

■水門、排水機場

農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門
水利工学研究領域 ユニット長 桐博英

きょうは、水門、排水機場に関する部分の基準の改訂のお話をするというところなんですけれども、ちょっとほかの皆さんのお話とは少し毛色が違いますので、まず、水門とか排水機場って何なんですかというところから話をしたいと思います。

水門・排水機場の機能

水門及び樋門は、海水等の外水の侵入を抑えながら不要な内水を排除し、海岸背後にある人命及び資産を湛水の被害から防護することを目的として設置される海岸保全施設である。
水門及び樋門は、内水を計画水位以下に維持する機能を有するものとする。

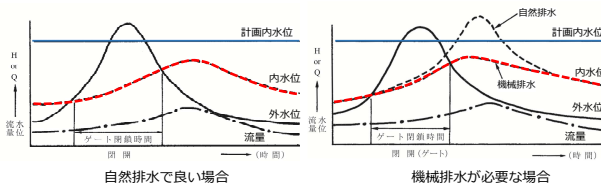


図 43 水門・排水機場の機能

下の左側の図にありますように、排水門というのは、海水等が内水に入ってくるため、不要な水を排除して、中の水位を適切な水位に、つまり設計内水位以内にするというところが機能です。左側の図で見ていただいで、この青いラインが設計内水位ということで、この水位よりも低くする必要があって、外水位がこういうふうに変動するというようなときに、この間、水門をあけてやって、中の水位を赤い線のラインにおさめるようにするということになります。

ですが、水門だけではどうしても吐き切れない部分がございます、その場合には、水門だけじゃなくて、排水機場を使って、機械排水を併用して、中の水位をこの赤いライン、こちらの右側の図でいうこの赤いラインに落とすということになります。

この技術上の基準の記載項目、これ、スライド1枚飛んでいるわけなんですけれども、ここに書いてあるのは、

基本的には水門、排水機場というのは、3の11章の中の付帯施設等の中の一部になっているというところがございます、このような目次で、水門、それから排水機場に関する記述が書かれているというところがございます。

技術上の基準記載項目

3. 1. 1 付帯設備等	
3. 1. 1. 1 一般	
3. 1. 1. 2 水門及び樋門	3. 1. 1. 3 排水機場
3. 1. 1. 2. 1 目的と機能	3. 1. 1. 3. 1 目的と機能
3. 1. 1. 2. 2 設計の方針	3. 1. 1. 3. 2 設計の方針
3. 1. 1. 2. 3 要求性能	3. 1. 1. 3. 3 要求性能
3. 1. 1. 2. 4 照査において考慮すべき条件	3. 1. 1. 3. 4 照査において考慮すべき条件
(1) 流域からの流入量	(1) 流域からの流入量
(2) 計画内水位・計画外水位及び計画外水位曲線	(2) 計画内水位・計画外水位及び計画外水位曲線
(3) 波浪	(3) 計画排水量
(4) 地盤	(4) 波浪
(5) 漂砂	(5) 地盤
(6) 地域内標高	(6) 地震
(7) 地震	(7) 隣接海岸の利用
(8) 施設の使用に從事する者の安全	(8) 環境保全
(9) 海岸の利用及び利用者の安全	(9) 排水機場の集水性能
(10) 流域及び外水域の環境	(10) 排水機場の排水性能
(1) 船舶航行条件等	(1) 一般
3. 1. 1. 2. 5 目的達成性能の照査	(2) 排水機場の構造
(1) 水門及び樋門の集水性能	3. 1. 1. 3. 6 安全性能の照査
(2) 水門及び樋門の排水性能	(1) 一般
3. 1. 1. 2. 6 安全性能の照査	(2) 排水機場の構造
(1) 考慮すべき作用	
(2) 安定計算	
(3) 本体及びゲートの構造	
3. 1. 1. 2. 7 その他の性能に関する留意事項	

赤字：改訂箇所

図 44 関連する技術上の基準記載項目

ですが、ほかの方とかなり違うのは、今回、全体にわたって、表現の修正ですとか字句の修正等を行っておりますけれども、大きく書き加わったところは非常に少ないものでございます。特にここで書き加わっているのが、赤字で書いてある部分でございます。ほかのそれぞれの箇所につきましても、先ほど申しましたように、表現は修正をしております、以前の本よりは多少わかりやすくなっているというような状況でございます。

今回どういうことをポイントとして改訂したのかというと、次の5つのポイントで修正をしております。

まず、付帯設備等というところで、3.11.1ということで、これは新たに事業メニューを反映するという形で、今まで何々等となど書きで書いてあったところを、きちんと閘門ですとか、漂流物防止施設というのを付帯設備としてきちんと書き込んだということです。

それに加えて、植栽とか飛砂防止施設というのも、利用されることの多い海岸にある付帯設備の中にきちんと示しました。

それから、構造物の安全性の評価に耐震性能照査を実施した事例につきまして、これは文献を引用する形

で、こういうものがありますよということを記載しているということです。

それから、陸閘と同様に水門についても、自動化ですとか、遠隔操作化、それから操作規則に関する知見の記述を新たに書き加えております。

さらには、今回の基準改訂の1つの柱が粘り強い云々ということになっていますので、今回排水機場の上屋の耐津波性能の向上策というのを新たに記述をしました。その辺についてご紹介をしたいと思います。

操作に従事する者の安全の確保

3.11.2.7 その他の機能に関する留意事項
水門及び樋(ひ)門の設置に当たっては、操作体制及び維持管理体制の確立を図るものとし、必要に応じ、管理橋その他の適当な管理施設を設けるものとする。
また、施設の操作に従事する者の安全を確保するため必要があるときは、自動的に、又は遠隔操作により施設の開閉を行うことができるものとする。

解説
水門及び樋門の設置に当たっては、操作に関する規定、施設の操作に従事する者の配置状況、常駐・非常駐など待機体制、昼夜における配置の違いなどを整理するとともに、海岸全施設の機能が損なわれた場合や連絡不能時を想定して操作体制を確立しなければならない。また、津波・高潮による災害がいつ発生しても、必要な操作が迅速に行えるように施設の維持管理を行う体制を確立しなければならない。また、水門及び樋門の操作等において、必要な管理橋その他の管理施設の設置を検討するものとする。
津波・高潮による災害に対して水門及び樋門の開鎖操作が必要となるが、施設の操作に従事する者の安全を確保することが困難な場合においては、自動化又は遠隔操作化により迅速かつ確実に開鎖できるようにする。

図 45 作業に従事する者の安全性の確保 (水門)

これは3.11.2.7というところで、操作に従事する方の安全の確保というところで、陸閘もそうなんですけど、遠隔操作を導入して、実際に操作する方の安全性を確保するということが、囲みの中と解説が新たに丸々追記をされているというところがございます。

これに関連して「津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン」というのが国交省のホームページにアップされております。

このシステムガイドラインはどのような経緯で策定されたかということですが、最初は、2005年の津波対策等検討委員会の提言があつて、おおむね5年以内に中核施設の集積地区において水門・陸閘等の自動化・遠隔操作化をしましょうということが提言されました。翌年、2006年に「水門・陸閘等管理システムガイドライン」、1番目のガイドラインが策定されたというところがございます。

水門・陸閘等の遠隔操作化

津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン

http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr7_000056.html

ガイドライン策定の経緯

- 2005年3月：「津波対策検討委員会提言」をとりまとめ、概ね5年以内に地域中核機能集積地区において、水門・陸閘等の自動化・遠隔操作化等の概成を明示。
- 2006年3月：「津波高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン」津波や高潮の到達前に、水門等を安全かつ迅速・確実に閉鎖するための考え方を示す。
- 2011年3月：東日本大震災
- 2014年6月：海岸法改正、海岸管理者は、操作に従事する者の安全の確保が図られるよう配慮された操作施設の操作規則（海岸管理者以外の管理者にあっては操作規程）を定めることを義務づけ。「津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン」を改訂し、現場操作員の安全が最優先であることを明確化。
- 2016年4月：操作・退避ルール等を現場操作員に徹底させる方策等をガイドラインに反映。

図 46 水門陸閘等管理システムガイドラインの経緯

その後、2011年の東日本大震災がございまして、津波が来るときに陸閘等を閉めに行った方が被害に遭われたという痛ましい事故がございました。その教訓を受けまして、海岸管理者は、操作に従事する方の安全の確保が図られるよう配慮された操作施設の操作規則を定めることを義務づけられたということで、さらに、「津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン」を改訂しまして、現場作業員の方の安全が最優先であることを明確にしました。

さらに、2015年ですけれども、もう一度改訂されまして、実際に操作だとか避難ルールなどを現場で操作する方に徹底させるための方策、具体的に言うと、発注するときの仕様書にどういうふうを書くかということがガイドラインに反映されました。今のここには、管理システムガイドラインのバージョン3というものがアップされておりますので、ご参照いただければと思います。

今回は特に粘り強いというものが1つの柱でございます。私どもの研究のご紹介みたいな感じになりますけれども、水門とか排水機場の3.11の津波による被災事例をご紹介しまして、どういうふうなものを書き込んだかということをご紹介させていただきたいと思います。

私どもは、特に農地海岸ですとか、沿岸地域の排水機場の被災状況につきまして、発災から1週間後には現地に行っているいろいろ調査をしてきました。その中で、排水機場と水門の構造は左の表(図47)にあるような

形で分類をさせていただいて、それぞれの被災レベルというのを右側の表のように分類をさせていただきます。

水門・排水機場の被災事例

排水機場と水門の構造の種類			排水機場と水門の被災レベル設定		
	タイプ	分類		状況	分類
排水機場	1	木造	排水機場	1	建屋がなくなる
	2	パネル構造		2	窓が壊れる
	3	コンクリート構造		3	浸水のみ
大水門	1	ローラーゲート	大水門	1	ゲート扉の流出
	2	マイターゲート		2	ゲート扉の変形
	3	ローラーロックゲート		3	浸水、階段の損傷
小水門	1	スライド・スピン・ゲート	小水門	4	損傷なし
	2	スライド・ロック・ゲート		1	ゲート扉の流出
	3	マイターゲート		2	損傷で開閉不能になる
				3	巻上機故障、閉鎖のみ可能、 損傷はあるが稼働する
				4	損傷なし

図 47 水門・排水機場の被災分類

数値がそれぞれ、若いほうが非常に被害が大きくて、数値が大きくなるごとに軽微な損傷になるというように形にしております。

小規模水門の損傷



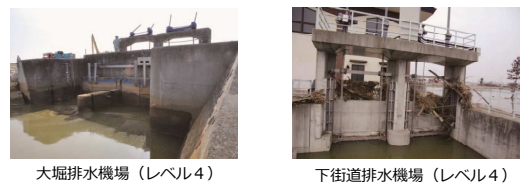
図 48 小規模水門の損傷①

例えば小規模な水門とかですと、左上の写真(図48)にありますように、例えばこの水門ですと、管渠が崩れてしまっていて、水門自体はそれほど変状はなさそうではありますが、この管渠が倒壊しておりますので、非常にひどい損傷を受けているというような判定がされている。

それから、こちらの右側の上の写真のように、水門の扉体自体が傾いてしまっていて、これは瓦礫をとったとしても開閉ができないでしょうということです。

それから、もうちょっと瓦礫とかもないんだけど、上の、これはスピンドルの型式の巻き上げがついている水門ですけれども、上のスピンドルのカバーがとれていたり、巻き上げがもうできなくなっているというような状況。それから、左側の下の写真は巻き上げがスピンドルで巻き上げられている形式のもの、それから、右側の下の写真は、スピンドルじゃなくて、ラック式の水門です。これは巻き上げ機自体も傾いてしまっているというような状況でした。

小規模水門の損傷



- ✓ 津波の越流を受けると上部構造が破壊することが多かった。
- ✓ マイターゲートは水中にあり、津波に対して比較的頑強である。ただし、併設のスライドゲートは弱い。
- ✓ 小水門の構造強化はコスト高となるため、修復の容易性に主眼をおく必要がある。

図 49 小規模水門の損傷②

それから、ほとんど損傷がないようなものについては、このような形で瓦礫がたまっているけれども、これを除去すれば何とか開閉できるだろうというところになります(図49)。

全体の小規模水門の被災状況を小括すると、津波の越流を受けて上部構造が破壊する。先ほどの巻き上げ機が曲がっているとか、スピンドルのカバーが外れているとか、そういうものが非常に多かったということです。

写真にはありませんでしたが、マイターゲートについては、水中にあるので、津波に対して比較的強かったというところがございます。

小規模水門は、規模は小さいんですけれども、数が非常に多いものですから、構造そのものを強くすると

いうことはなかなか難しく、いかにして被災した後の復旧を容易にするのかというのがポイントになるんじゃないかというところがございます。

大水門の損傷



摂待水門 (レベル1)



新潟水門 (レベル3)



貞山堰水門 (レベル2)

- ✓ 大水門は津波の越流に対して強く、レベル1の被災は比較的少ない。
- ✓ 防潮水門は設置される河川が湾奥にある場合も多い。宮古湾のように奥が深い湾では津波被害が大きい。
- ✓ 大水門で被害が大きい所は、防潮水門が津波の被災を受けやすい地点に位置していることが多い。

図 50 大規模水門の損傷

次に比較的大規模な水門の損傷ですが、こちらの摂待水門のように、完全に破壊されてしまっているものもありますけれども、わりあい大きな水門については、津波の越流に対してはわり強い。設置されている位置関係にもよるわけですが、どうしてもこれは動かなくなっているというものは非常に少なかったということがございます。

位置が関係していることが多いというところございました。

先ほど写真(図48)でお示しましたスピンドル式の水門というのは、やはりどうしても津波が越流してしまっ、上部の巻き上げ機、それから、スピンドルカバーが外れる、それからスピンドル自体が曲がってしまうということがあって、なかなか操作ができなくなっているものが非常に多かったというところがございます。

一方、ラック式についても、図48の写真でいうと右側の下の写真なんですけど、ラック式もやはり同様に、越流すると変形をしてしまうわけですが、ラック式の場合は、ラックを切断するというのは比較的わかりかし簡単にできるということ、それから、ラックを切断することがわりと簡単にできて、それで切断してしまえばゲートを閉めることができます。それから、

チェーンブロックをつけてやれば、切断したラックにフックをつけて、手動でも引き上げることができます。これはメーカーからの聞き取りをしたものですが、ラック式とスピンドル式というのは、故障時だとか緊急時の対応に比較的差があるというところで、ラック式のほうが比較的容易に復旧ができるだろうというふうな整理をされているというところございました。

次に、排水機場の被災状況ですが、これもやはりいろいろございます。この解説の中では、排水機場の上屋は基本的にはコンクリート、RC造、もしくは同等の強度を持つものにして下さいねということを行っているわけですが、中には、RCじゃなくて、パネルでつくってあるものがあったり、あとは、古いものになると、まだ木造のものが一部残っていたりするというところがございます。

排水機場の損傷



二郷排水機場 (レベル1)



牛橋排水機場 (レベル2)



下街道排水機場 (レベル3)

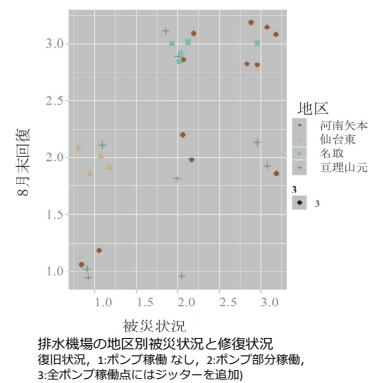


図 51 排水機場の損傷

排水機場の破壊状況としては、建屋自体が完全に流されていて、一部の設備の残骸が残っているだけのような排水機場もございますし、これはRC造の2階建ての排水機場ですが、中身は全部だめですが、上屋自体は残っているというようなもの、それから、比較的上屋も中身も少しまだ平気というような状況です(図51)。

ちなみに、真ん中の牛橋排水機場というのは、すぐ近くに牛橋第2排水機場という、3階建ての排水機場が新設されてまして、被災当時は、ちょうど県の担当者が

竣工検査に入っていました。津波が来たときには、近隣の住民の方ですとか検査に来ていた職員が3階に逃げることで助かったというようなどころでございます。

排水機场上屋の構造と被災状況

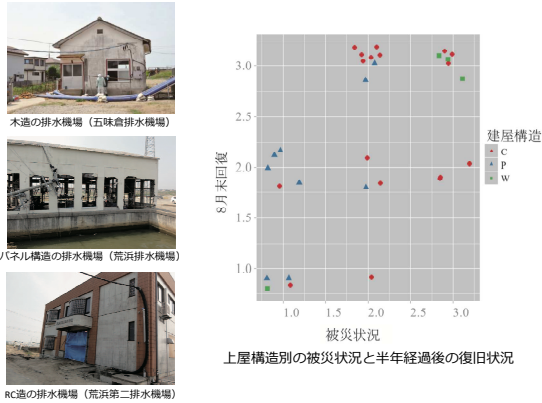


図 52 排水機場の構造と被害状況

これは排水機场上屋の構造と被災状況の分類です（図52）。右側のグラフは何を示しているかという、発災当時の被災状況のレベル横軸にして、縦軸が3月から8月末まで来てどれくらい回復しているかというのを対比したものでございます。

この中に1.0とか、2.0とか、3.0とかという表記がありますけれども、これはレベル1だった、2だった、3だった、8月にはレベル1だった、2だった、3だったというところでございます。

それぞれ、レベル1、2、3でプロットすると全部重なってしまいますので、わかりやすくするために、プロットをずらしてあるというような形です。

ですから、対角線上にあるプロットが、被災当時と震災の直後と8月末で復旧状況はほとんど変わらないというところございまして、この対角線より上の部分にあるものが8月末で、多少復旧が進んでいるというようなものです。Cというのは、RC造、コンクリートでつくった建屋になります。被災当時はレベル2だったものが、レベル3になって復旧しているのは、やはりコンクリート造のものが多というような結果でございました。

排水機场上屋の被災形態を幾つか調べてきました（図53）。これは排水機场上屋で、RC造の施設です。

排水機場の被災形態

パターンA 吐水槽の減勢効果が得られない

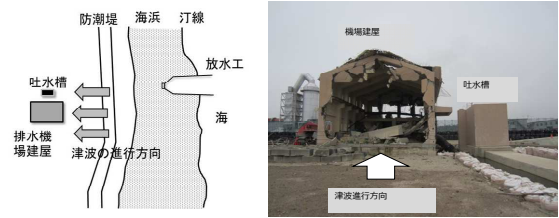


図 53 排水機場の被災形態（パターンA）

津波はこの向きからやってきて、完全にぶち抜いているというようなどころでございます。この排水機场上屋も、壊れ方が場所によっていろいろ違ってあります。隣の写真にあるこれは排水機場の吐き出し水槽といって、吐き出す側の水位が潮位や河川水位のように変化する場合でもきちんと吐けるように、ポンプで1回この吐き出し水槽の中に水を吐いて、そこから外に吐き出すということで、外水位が変化してもきちんと水が出せるというような施設です。この上屋と吐き出し水槽の位置関係と津波のやってくる方向で被災状況を分類しました。

排水機場の被災形態

パターンB 機場前面の吐水槽が津波を減勢する

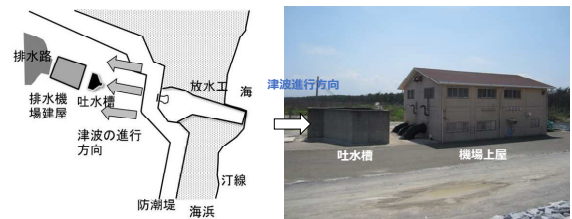


図 54 排水機場の被災形態（パターンB）

こちらの写真のように、津波がやってきて、吐き出し水槽があって、建屋があるというようなものについて

ては、この写真のようにほとんど上屋が生き残っているところもございました。

今までの調査の結果も踏まえまして、吐水槽の位置を変えて、吐き出し水槽の位置を変えてやると上屋の被災が変わるんじゃないかというところで、実験をしました。吐き出し水槽が建屋の津波がやってくる側にあると、津波の波力が、例えば半分近くになるというような結果が得られているというところでございます。

そういうこともあって、どういうことを今回の解説の中で盛り込んできたかといいますと、水門とか樋門については、スライドゲートの形式としては、ラック式が復旧には都合がいいですよということを書き込んでいます。

排水機場については、浸水による電気系統の故障を避けるため、操作盤とかそういうものを高いフロアに設置するということはもちろん書き込んでいるわけですが、それに加えて、排水機場の上屋の構造を津波に耐えられるようにするのに鉄筋コンクリート造がいいわけですが、それだけではちょっと足りない部分があって、吐き出し水槽の位置を津波のやってくる側に配置してやると耐津波性が向上するというところを今回の基準の中で書き込んできたというところでございます。

■潮位、波浪、津波、津波防波堤

港湾空港技術研究所 海洋研究領域

耐波研究グループ長 鈴木高二朗

潮位、波浪、津波、津波防波堤につきまして、話をさせていただきますと思います。

内容は、第2章の設計条件にあります2.2潮位、2.3波、2.4津波のところと2.5の流れに関して、特に潮位から津波に関して新しく加えられたような場所について説明します。また、第3章の堤防や護岸や胸壁と津波防波堤についてご説明させていただきますと思います。

平成16年と平成30年の目次構成を比較してみますと、ところどころに新しい項目がつけ加えられています。

例えば設計に用いる波の決定方針では、うねり性波浪という言葉がつけ加えられていたり、波浪推算の海上風の推算のところ、局地気象モデルなどが加えられています。また、波力のところは、東日本大震災を受けまして、津波に関する波力の新しい知見も加えられています。

新しくなった項目を話させていただきますと思います。

2. 2. 1 設計高潮位

<平均海面水位等の長期変動>

最新の観測値・予測値に更新する必要がある。

○平均海面水位等の長期変動

気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の第5次影響評価報告書によると、全球の平均海面水位は、1901～2010年に $1.7 \pm 0.2\text{mm/年}$ 、1993～2012年に $3.2 \pm 0.4\text{mm/年}$ の上昇が観測され、1986～2005年の平均に比べて約100年後の2081～2100年の平均は $0.26 \sim 0.82\text{m}$ （予測値の標準偏差を含む幅）高くなると予測されている。気象庁によると、日本沿岸の平均海面水位は、1906～2016年に明瞭な上昇傾向はなかったが10～20年周期の変動はあり、1980年代以降に限ると上昇傾向にあって、2016年は1960年以降で最も高かった。この他、久里浜湾で1961～2014年に 3.0mm/年 、唐津港で1983～2014年に 4.4mm/年 の上昇も観測されている一方で、酒田港のように平均海面水位の上昇・下降が明確でない地点がある。

将来の平均海面水位を正確に予測することは難しく、今後も潮位観測を継続し、適切な時期に順応的な対応をとることが望ましい。さらに、将来は台風を含む低気圧の強度、経路等の出現特性にも変化をもたらすという指摘があり、それを把握するためにも潮位観測の継続が必要である。

将来の予測に様々な不確定要素があるが、海岸単位で様々な施設の維持管理・更新と気候変動対策を合わせた長期計画を検討した事例がある^{10), 11)}。

10) 平養・由木(2011): 津松阪港海岸保全施設長寿命化計画について、沿岸技術研究センター論文集No.11

11) 河合・森屋・水谷・横田(2012): 海岸保全施設の長寿命化の検討に用いる将来の潮位・波浪条件に関する考察、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol.68, No.2

図 55 平均海面水位等の長期変動についての解説

まず潮位の部分で新しく加えられたところについて見てみますと、海面水位、海面上昇の部分が加筆されています。IPCCの第5次影響評価の報告書が抜粋されているのと、1980年代以降の海面上昇の傾向について

少し書き加えられています。

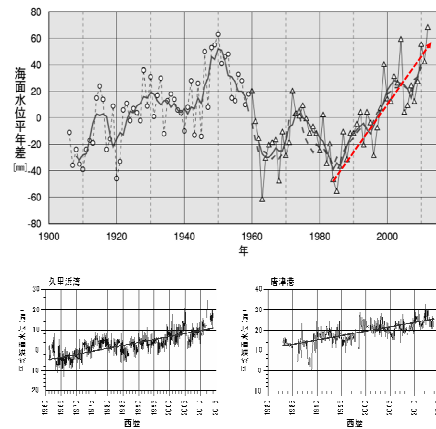


図 56 平均海面水位の経時変化

このグラフ（図56）は、気象庁が出しているグラフです。1900年ごろから2000年以降の日本周辺の平均海面水位を示しています。これを見ると、1940年から50年ぐらいにかけてはだんだん上がっていきっていますが、その後、一旦10センチほど下がりまして、1980年以降、また徐々に上昇しています。

世界各国のデータを見てみると、最近と同じように水位が上昇していて、海面上昇の上昇傾向は確かなのかもしれませんが、今のところは、気象庁のグラフの中では、まだ顕著に上昇しているようには見えませんが、最近の1980年以降を見てみると、上昇傾向にあります。

特に勾配を見てみると、以前と比べてみても高くなってきているようにも見えます。年間3ミリ程度上昇しているということが書き加えられています。

今後も潮位観測を継続して行って、適切な時期に順応的な対応をとることが望ましいといったことが書かれています。今日みたいにすごく暑い日が続いてくると、本当にこういった上昇が起きているような気もしてきますが、確定したとまではまだ書かれていません。

次にうねり性波浪の件です。うねり性波浪が今回導入する経緯になったのは、富山の寄り回り波や高知の菜生海岸の被災があったためです。これの被災は主にうねりによって発生したのではないかとされていて、うねり性波浪を海岸構造物の設計でも考えたほうがいいのではないかとということで、うねり性波浪に

ついて記載されています。周期8秒以上で、かつ波形勾配がおおむね0.025未満のものをうねりとして定義し、従前の設計波に加えて検討してもよいという記述がされています。

2. 3. 2 設計に用いる波の決定方針

<うねり設計波の導入>

これまで十分に考慮されてこなかった、うねりによる高波に対する海岸施設の設計が可能になる。

○設計波

常時の波浪特性は、波浪資料より、月別、季別及び通年の資料について波向別に波高、周期の相関度数分布表として表すことを標準とする。

異常時の波浪特性は、極大波については統計処理を行い、確率波高として表すことを標準とする。また、従来の設計において一般的に考慮されてきた波浪よりも周期が長いうねりに対しても適切に対応するために、**うねりによる被害が想定される地域**においては、風波とうねりを区別しない従来の確率波高とは別に、同様な統計処理を行ってうねりの確率波高を設定するのがよい。この際には、波浪のうち概ね**周期8秒以上**かつ**波形勾配が概ね0.025未満**のものをうねりとして行うことができる。なお、極大波については、簡易な統計処理の一つとして、既往最大値をそのまま抽出して採用する場合もある。

背景：富山寄り回り波、高知菜生海岸等

図 57 設計波についての解説

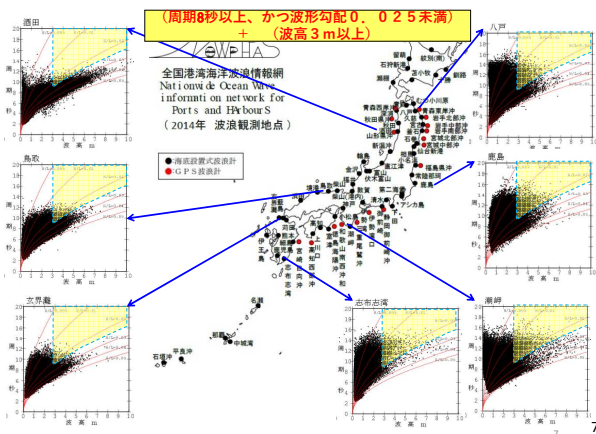


図 58 NOWPHASデータにおけるうねりデータ

これまでナウファスのデータが蓄積されていますけれども、うねりだけを抽出しようとすると、まだデータが足りなかつたりします。

この図(図58)はナウファスで観測されているデータに対して、どれぐらいうねりが含まれているかを示している図です。太平洋側と日本海側では傾向が大分違っていて、太平洋側ではうねりの出現頻度が非常に多くなっていて、例えば東北沖で見ますと、80%ぐらい、うねりが卓越しているというのがわかり

ます。

一方で、日本海側に目を向けてみますと、大体10%未満ぐらいです。

ただ、先ほども話しましたがけれども、富山の寄り回り波のように、日本海でもうねりが問題になる場合があります。

ハリケーン・カトリーナでの被災などを見てきますと、これまであまり大きな被災を経験したことがない埋め立て地ですとか、潮位が適切に設定されていなかった場所で被害が大きくなっていると考えています。ですので、日本海側はうねりの頻度がそれほどないからといって、うねりによる被害が想定される地域ではないとはいえないと思います。

次、沖波の推算ですが、気象GPVと局地気象モデルというものを使ってもよい、といった表現が追記されました。

局地気象モデルの具体的な名前としては、MM5やWRFがありまして、こうした数値シミュレーションを使って海上風を推算し、その風を使って波の高さを推算するといったところができるように記述されています。

特に東京湾や瀬戸内海などの内湾だと、陸上の地形が複雑であり、風の場も複雑になるため、このような複雑な場所の推定にはこうした数値シミュレーションが威力を発揮できると期待しています。

局地気象モデルMM5

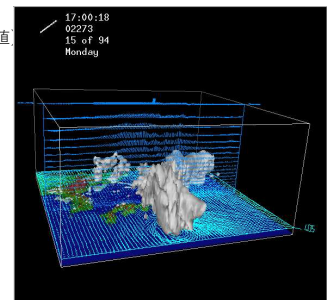
・MM5 (The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model)
ペンシルベニア州立大学 & 米国NCARの共同開発

・入力データ (必要なデータ)

- ①気象データ (気象の客観解析値 (GPV; Grid Point Value))
- ②地形データ (標高, 土地利用)
- ③海面水温データ (SST) Sea Surface Temperature
- ④台風ベストトラックデータ (esp. for typhoon simulation)

・ネスティング, データ同化可能

最近では、WRFも用いられている。



MM5の計算結果の一例

図 59 局地気象モデルMM5

局地気象モデルでは、気象庁から提供されているGrid Point Valueという20km格子の気象データや、地

形データ、海面水温データ、台風のベストトラックデータなどを使い、詳細な風のデータや雨の降水量などを計算できます。

次に、波力について説明いたします。まず波力で追記された項目を説明いたします。

これまで、実験で波力を求めたり、あるいは公式で求めたりしていましたが、数値計算による波力の算定に関することが記述されています。

また、護岸の設計に主に関係してくるマウンド透過波や、高潮時の波力のことが記述されています。

あともう一つは、流れに対する被覆石及びブロックの所要質量について記述されています。東日本大震災後の防波堤の設計では、越流に対する被覆ブロックの安定性が問題になったのですが、その際、安定性を評価するためにイスバッシュ式という式が主に使われてきました。新解説ではこの式についても書き加えられています。

まず数値計算による波力について説明いたします。近年、数値計算がだいぶ発展してきました、数値波動水槽を今日来られている皆さんの中でも使われている人が多いと思います。例えば格子法ではCADMAS-SURFがあり、使いやすくて多くの場面で使われています。特に東日本大震災以降、使われている方が非常に多くなったと思います。

最近では、さらに新しいモデルとして、OpenFOAMという計算プログラムも使われてきています。CADMAS-SURFは、若干手法が古くなってきているというところもありまして、これからまた新しい計算方法も出てくると思います。

もう一つは、粒子法という計算手法も最近使われるようになってきました。

ただし、これらのプログラムでいずれも問題があるとする、衝撃砕破力の計算はまだ不得手なだと思います。特に砕破のところは、空気が巻き込まれるような条件が入ってくると、流体だけではなくて空気も解かないといけませんので、計算が不安定になるといったところがあります。そういったところは実験で検証した上で使う必要があるといったことが記入されています。

例として、私たちが今開発している粒子法について説明いたします。これは津波の越流によって防波堤背

後の洗掘が発生する状況を粒子法で再現したものです。洗掘もある程度、計算できるようになってきています。

次に、直立壁に作用する波力について説明いたします。合田式や合田式のための衝撃砕破力の算定方法などは、これまでどおり書かれてはいますが、今回そのほかに護岸で問題になっているマウンド透過波圧、目地内の波圧といった項目が加筆されています。

護岸の吸い出し問題はかねてから問題になっていますが、その部分が少し詳しく記述されています。30年ぐらい前からこの問題は多くなってきており、大蔵海岸の事故もありました。

吸い出しに関する1つの問題点は、マウンド透過波力です。例えばケーソン式護岸の場合には、護岸前面に作用する波圧と同じだけの圧力が護岸の背後にも発生します。この現象はパスカルの原理で説明できるので、水が密閉されたところには、そのまま水圧がケーソン前面から伝搬してしまうというものです。

マウンド透過波は、護岸をつくる時から作用しています。一般的に裏込石の上に埋立土砂を置きますが、その中間には防砂シートが敷設されます。マウンド透過波はこの防砂シートの破損の原因になったりもしています。

そのほか、マウンド透過波圧を低減させる圧抜き工法というのもあり、加筆されています。

マウンド透過波力と目地内波圧



護岸の吸い出し

図 60 護岸の吸出し被害

大蔵海岸の事故については皆さんご存じだと思いますけれども、この海岸はケーソン式護岸の内側に砂を

入れて人工海浜にした海岸です。この大蔵海岸の事故が発生した当時というのは、人工海浜が全国各地でたくさんつくられていました。そのため、この大蔵海岸の事故の後、港湾局と建設省合同でいろいろな海岸が調査されました。

この大蔵海岸では、ケーソンとケーソンの間の目地のところから波が侵入し、そこから陥没穴が発生して事故が発生してしまいました。

断面図を見てみると、マウンドの上にケーソンが設置され、その後ろに石を設置して、その石の上にさらに人工海浜のための砂が設置されています。ケーソンとケーソンの間の目地の間から波が来ないようにゴム式の防砂板があったのですが、この防砂板が波の作用によって少しずつすり切れていき、そこから砂が少しずつ漏れていくことで、空洞ができていました。

防砂シートの破損



図 61 防砂シートの破損

目地の中でどれぐらいの圧力が発生するか実験をしてみると、目地の中でも水が動いていまして、この目地の中の波が目地板にぶつかる時に非常に大きな力が発生します。この波圧はケーソンの前面の波圧よりも大きいというのが分かっています、こうした波力で破損してしまうということがわかってきました。

そのほか、防砂シートも問題です。防砂シートについては、港湾基準に最低規格というものが掲載されていましたが、最低規格の防砂シートを長時間放置したままにしていると摩擦で破れてきます。例えばこれは水理模型実験で、わずか20センチぐらいの波を10万

波ぐらい作用させたときの実験の後の状況です。10万波というとどれぐらいかという、低気圧が1回か2回通過するとき作用する波の数程度です。このような波が繰り返し作用すると、このように穴がたくさんあいてきまして (図61)、1年も放置してしまうと、ほとんど防砂シートがなくなってしまうということが分かってきました。

このような背景から、マウンド透過波、あるいは目地内の波圧といったものが今回加筆されました。

次に、高潮時の波力について説明いたします。高潮時の波力は、これまでの解説の記述だとちょっとわかりにくいといったところがあったと考えています。

直立壁に作用する波力が、これまでの海岸基準に掲載されていました。この解説に記載されていたのが、合田式です。合田式は、混成式防波堤の波圧式です。

高潮時の海岸堤防や海岸護岸について考えてみると、波の圧力だけではなくて、潮位の上昇による静水圧の増加分が本来あるはずで

高潮のときは、水位が上昇した分だけ静水圧が作用します。一方で、そこに波が来ますので、合田式であらわされるような、波による動水圧成分が作用します。これらが重ね合わさった圧力が、護岸のパラペットや胸壁には作用するわけです。これまでの記述だけですと波圧だけしか明示されておらず、それではちょっと問題があるだろうということで、こういった図 (図62) が加筆されました。

高潮時の波力

高潮と高波の同時作用

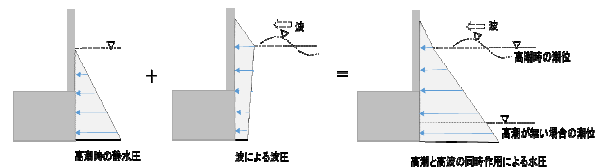


図 62 高潮と高波の同時作用

また、合田先生の『海岸工学—その誕生と発展』という本があるのですが、護岸の上のパラペットの配筋設計が必ずしも十分に考慮されて設計されていないのではないかといたことが記述されており、今回の改訂でこの部分が紹介されています。

次に被覆石及びブロックの所要質量について話したいと思います。ハドソン式やvan der Meerの式がこれまで記述されていましたが、最近、離岸堤、潜堤・人工リーフ被覆材の所要質量について新しい知見が発表されています。国土交通省河川局海岸室で研究されていて、標準的な実験方法などが詳しくまとめられています。今回、この内容が参考文献として掲載されています。

次に、流れに対する被覆石及びブロックの所要質量の算定方法です。東日本大震災の後に粘り強い津波防波堤という概念ができました。粘り強い防波堤に用いられる工法の一つとしてケーソン背後の腹付工があります。津波が防波堤を越流すると腹付工に作用して、腹付工の石が飛散するため、この腹付工の上に被覆石や被覆ブロックが設置されるのですが、この被覆石や被覆ブロックの設計でイスバッシュ式が最近よく使われるようになってきています。

イスバッシュ式は昔からある式ですが、頻繁に使われるようになってきたため、今回の解説に新たに追記されました。

イスバッシュ式のほかに、混成式防波堤の津波防波堤ではNs式というものもあります。この式についても参考文献に載せています。

次、越波流量です。越波流量は、これまでも合田の越波流量算定図がありましたけれども、そこに今回新たに「越波流量とうちあげ高」の関係が記載されました。近年、京大名誉教授の間瀬先生がIFORMという新しい越波流量の算定式、あるいはうちあげ高の算定式というのを提案されていて、精度が高く、今回の解説に記載されました。

日本は必ずしも越波流量の研究を進めていなかったというわけではありませんけれども、ヨーロッパは最近、越波量の研究が進んでいて、CLASHデータセットという、今まで行われてきた実験のデータなどを集めて、それを使って、彼らの独自の越波流量

の算定式をつくっています。最近、ニューラルネットワークを使った越波流量の算定手法が提案されていて、防波堤ではそれを使った設計がヨーロッパでは大分進んできています。次の改訂のときはそういったものも含まれてくるのかもしれませんが、今回は、間瀬先生のIFORMというのが新たに追記されているところなんです。

次に津波について説明いたします。津波についてはいろいろなものが付け加えられていて、例えば設計津波の水位の算定方法も記載されています。

過去に発生した津波高さの整理をしたり、シミュレーションによる津波の高さの算定、設計津波の水位の設定のための対象津波群の設定などを行っていきまして、設計津波として数十年から百数十年に一度発生する比較的発生頻度の高い津波といったものを設定するといったことが解説に記載されています。

次に津波の波力です。津波の波力のところも、東日本大震災の後、大分研究が進められてきています。津波防波堤と胸壁について設計公式が提案されてきています。津波防波堤のほうでは、これまでもフローチャートが紹介されていますけれども、津波シミュレーションを実施し、波状段波、ソリトン分裂が発生しているかないかによって使用する波力算定式が変わります。段波が発生している場合には修正谷本式を使って、発生しない場合は、今度は越流するか、しないかで分類します。越流している場合には静水圧差式という新しい算定式を使う。越流しない場合には、今まであった谷本式を使うといったことが書かれています。

谷本式は合田式の周期が非常に長い場合のケースとして求められるものです。

先日、谷本先生にお会いした時に、谷本式で重要なのは、引き波のときに背後の水位が下がって、背後の水圧が低下することを表現していることが重要だとおっしゃられていました。

東日本大震災以後、新たに追加されたのが越流しているときの静水圧差式です。合田式や谷本式は、波が津波によって追加されたいわゆる動圧成分を表現しています。一方、新たに提案された静水圧差式は、越流しているときは、動圧成分としてではなく、静水圧として考えようというものです。津波により増えた静水

圧は底辺が $\rho g (\eta + h')$ の三角形分布であらわせますけれども、それに1.05という補正係数を掛けた式になっています。

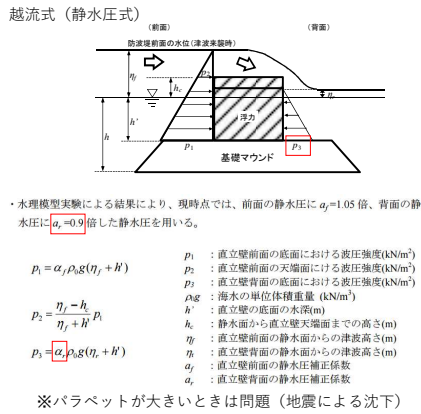


図 63 越流時に作用する水圧

浮力

パラペットが高い場合

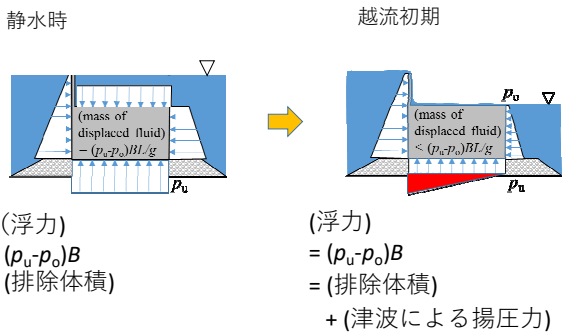


図 64 パラペットが高い場合の浮力

この式で注意しないといけないところは、浮力です。例えばこの図（図64）は大船渡の湾口防波堤の新しい設計断面ですけれども、このようにパラペットが非常に高いと、浮力をしっかり検討しないといけなくなります。

静水圧差式の場合は、三角形分布のほかにも、完全に没水してしまうので、この部分は全体に浮力がかかるとして設計をするわけです。例えばこの図は、パラペットが高い場合の越流開始直後の状況ですけれども、浮力だけで見ると、あたかもこの背後の水位に相当す

る圧力の部分が浮力としてかかっているように見えます。水位が上昇してきますと、ケーソン前面の静水圧は背面よりも大きくなっていきまして、ケーソンの下の揚圧力を見てみると、排除堆積で表される浮力よりも大きくなっていきます。この三角形の部分が排除堆積で表される浮力よりも大きくなるため、パラペットが大きい場合には排除堆積だけで表現される浮力だけでは足りないといったことが重要なと考えています。

それともう一つは、越流しているときに非常に速い流れが発生すると、ベルヌーイの式で表されるように、圧力が低下します。実験をしてみますと、まさにベルヌーイの式であらわされる分だけ圧力が低下してきまして、実際には負圧が発生するぐらい、パラペットの上の部分では圧力が低下します。

海岸堤防も防波堤も同じで、越流をしているときに非常に速い流れが発生すると圧力が低下しますので、津波による越流が大きい場合には、こういった現象も考慮しないとイケないと思います。

海岸堤防の例でも、非常に速い流れが出ると、背後のほうの裏法の部分が不安定になります。

今回の解説では、そのほか、胸壁の設計公式についても新たに追記されています。

現在、2つ算定法があります。非越流時の波力は、胸壁がない状態で数値シミュレーションを実施して、そのときの最大水位をもとに圧力を推定するというのが、フルード数による津波波力算定法です。

もう一つは、数値シミュレーションを実施するときに、胸壁を立てて、そこで数値シミュレーションを実施して、水位が上昇した分に圧力の補正係数をかけて圧力を求めるというものです。

それぞれ違った手法なのですが、フルード数を用いる方法は、フルード数を用いるために流速を求めなくてはイケません。流速は、地形がちょっと高くなっていたり、あるいは建物があつたりすると、大きく変わってしまいます。

ですので、フルード数による津波波力算定法を用いる場合は注意が必要だということも記載されています。

最後に、津波防波堤についても少しだけ説明させていただこうと思います。津波防波堤では設計津波といったものだけがこれまで考慮されていたわけですが、

それに加えて、設計津波を超える津波の作用というものもありまして、いわゆる粘り強い構造といったものが今回の基準の中に加えられたということです。

津波防波堤としましては、久慈港、釜石港、大船渡港、須崎港といったところにあります。釜石の場合は東北地方太平洋沖地震津波で倒壊して、新たに復旧されましたので、断面図などが前回の解説と変わっています。また、津波で壊れたメカニズムなども紹介されています。

防波堤の耐津波設計ガイドラインが2015年に発行されていて、今回の解説のなかでこのガイドラインを参照することが示されています。

粘り強い構造の詳細についても、耐津波設計ガイドラインを参照することが示されています。例えば腹付工を設置したり、パラペットをつくることによって越流がケーソン背後から遠くへ飛んで、地盤の洗掘が発生しないようにするといった方法なども紹介されています。

■地盤・地震動

港湾空港技術研究所 地震防災研究領域
領域長 野津厚

地盤と地震について説明させていただきます。

まず、私が今日お話しする内容の要約なんですけれども、1つは、これまで、地震、あるいは地盤に関するいろいろな設計法が使われてきたかと思うんですけれども、今回の海岸基準・同解説の改訂で、従来使っていたものが使えなくなるというようなことは基本的にはないと考えていただいて大丈夫だと思います。

ただし、新しく追加になった項目というのが存在しまして、主に津波に関連する項目が多いんですけれども、そういったところを中心にきょうはお話ししたいということと、それから、特に耐震設計に関して、新しい情報、こんな新しい情報があるということがいろいろ追加されていますので、それを中心に話したいと思っております。

今回の基準・同解説の目次を見ますと、地盤、あるいは地震に関連する項目としてはこういったようなところがありまして、第2章の「設計条件」の中の後半のほうに「2.8地盤」、それから、「2.9土圧及び水圧」、それから、「2.10地震」というところがあります。

まず最初のほうからいきますと、2.8の「地盤」というところなんですけど、ここに関しては、従来から大きく変わっているような箇所はそれほどはないということです。

この中身を見ますと、まず枠囲みの中、かなり一般的なことが書かれていまして、設計に用いる地盤条件というのは、原則として地盤調査及び室内試験を行って決定するものとするということが枠囲みの中に書かれていまして、それから、解説としては、(1)は一般ということですが、目的に応じた調査方法を選択するということであるとか、あるいは、地盤ですので、上載圧の変化、あるいは圧密によって地盤の条件が変化するということの注意喚起が書かれています。

それから、2は、土の物理的性質に関する記述ですけれども、砂質土の場合は、粒度の影響が大きいこととか、あるいは、細粒土の場合はコシステンシーの影

響が大きいことであるとか、そういったことが記載されています。一般的なことです。

それから、3番目のところは土の力学的性質というところですけども、ここも土がひずみレベルによって特性が変わる性質があるということとか、それから、特に掘削、あるいはプレロードの除去を行ったことによって、吸水膨張が起こって強度が変わる場合があるということが特に強調して書かれています。

地盤に関してはそのような記載になっております。

それから、2.9は「土圧及び水圧」というところですけども、ここも従来から大きく変わったようなところはそれほどはないということです。

中身を見ますと、まず2.9.1は「土圧」ということなんですけれども、ここは、このように一般的な砂質土の土圧、粘性土の土圧、それから、見掛けの震度というものについて説明が書かれていますが、ここもわりと一般的なことが書かれています。

2.9.2は「水圧」というところですけども、ここも大きく言うと、残留水圧と動水圧について書かれておりますけれども、構造物の背後の残留水圧が影響が大きい場合があるということで注意喚起がされているということと、動水圧については、ウェスターガードの式が紹介されていますが、ここもわりと一般的なことだと思います。

それで、2.10の「地震」のところの説明に行きたいかなと思っています。2.10の中は、この目次に書かれているように分かれておりまして、2.10.1から2.10.5まで分かれているということになっております。

最初のほうから見ていきますと、2.10.1、「総説」ですけれども、ここは、これまでも技術基準がだんだん発展してきた経緯が書かれているということになります。まず、兵庫県南部地震が起こって、この地震の結果として技術基準が大分変わったんだということが書かれています。

ここで、兵庫県南部地震を受けて、レベル1、レベル2の2段階の入力地震動を考慮するようになったと。兵庫県南部地震以前はこういうことは行われていなかったんですが、兵庫県南部地震が非常に強い地震動をもたらしたということで、従来、それ以前に考慮されていた設計外力よりも兵庫県南部地震で実際に観測さ

れた地震動のほうがはるかに強かったということを受けて、そういった構造物、海岸保全施設の重要度によってはレベル2も考慮しましょうということになりました。そこで、2段階の設計をするのですが、それぞれの地震動レベルに応じて適切な許容被害程度を設定して設計をしましょうということがこのときから導入されたということが書かれています。

それから、もう一つ今回新しく加筆されたことは、東北地方太平洋沖地震が起きたので、津波を考えるわけですが、津波が来る前に地震動がやってきますので、設計津波を生じさせるような地震が起きたときに、それに対応した地震動がある。津波に先行する地震動というものがありますので、これに対して、海岸保全施設の被害が軽微なものにとどまって、後から到達する津波に対して機能を発揮できるように適切な対策を実施するようになったということが新たに「総説」の中に書かれたことです。

2.10 地震

2.10.2 海岸保全施設の耐震性能

海岸保全施設の耐震設計は、施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動(レベル1地震動)に対して所要の構造の安全を確保し、かつ、海岸保全施設の機能を損なわないものとする。

さらに、海岸保全施設のうち、施設の機能及び構造、施設背後地の重要度、地盤高、当該地域の地震活動度等に基づいてより高い耐震性能が必要と判断されるものに係る耐震設計は、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動(レベル2地震動)を想定し、これに対して生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なものとする。

また、設計津波を生じさせる地震がレベル1地震動を超える強度の場合においても、これに対して生じる被害が軽微であり、かつ、地震後に来襲する津波に対して所要の構造の安全を確保するとともに海岸保全施設の機能を損なわないものとする。

新たに加わった事項

11

図 65 海岸保全施設の耐震性能

2.10.2の「海岸保全施設の耐震性能」ということなのですが、これは、枠囲みの中はこのようになっておりまして、段落が3つに分かれておりまして、それぞれ、レベル1地震動に対する耐震性能、それから、真ん中の段落がレベル2地震動に対する耐震性能、それで、最後の段落が、これが新たに加わった事項で、津波に先行する地震動に対する耐震性能も考えましょうということになっております。

それで、レベル1地震動については、これは従来ど

おりですけれども、供用中に一、二度発生する確率を有する地震動、レベル1地震動に対して、これは全ての海岸保全施設に対してこの地震動は考えるということで、海岸保全施設の機能を損なわないようにこれに対しては設計するという基本的な方針がここに書かれています。

それから、レベル2地震動についてですけれども、これは全ての海岸保全施設ではなくて、施設の機能及び構造、それから、施設背後地の重要度、背後に例えばゼロメートル地帯、あるいは人口密集地があるかどうかといったようなことであります。それから、地盤高ですね。背後の地盤が高いかどうか。あるいは、当該地域の地震活動度等に基づいて、より高い耐震性能が必要と判断されるものについてはレベル2地震動を考えましょうということで、このレベル2地震動の定義はわりと一般的な定義が書かれています。現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動、これに対して、生じる被害が軽微であり、地震後の速やかな機能の回復が可能なものとするというふうに書かれています。

新しく加わった津波に先行する地震動ですけれども、まず設計津波を生じさせる地震がレベル1地震動を超える強度の場合ということで、これは設計津波を生じさせる地震というのが地域によってさまざまであります。場合によっては、かなり遠方の地震を想定している場合もございますので、そういった場合は、津波はともかくとして、地震動のほうはあまり強くない場合というのもあります。レベル1地震動を超えない場合というのもあります。そういう場合は、もう既に、一応全ての海岸保全施設はレベル1地震動に対して機能を損なわないように既に設計しているわけですので、津波に先行する地震動がレベル1地震動を超えないような場合はそもそも心配する必要はないということです。ですが、地域によっては、設計津波に対応する地震がレベル1地震動を超えるような地震動をもたらす場合もございますので、そういった場合に、これはレベル2に対して設計していればいいんでしょうけれども、レベル1に対してしか設計していないような海岸保全施設については、設計津波に先行する地震動に対してどうなるかということは検討しておかないといけ

ないということになりますので、ここが新たに加わった事項だということになります。

それで、2.10.2の耐震性能の解説ですけれども、これも(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)というふうにあるんですけども、まず最初の(1)は一般ということで、原則的なことが書かれておりますが、ここは今述べたことと同じことが解説の中でも書かれていて、津波に先行する地震動に対する検討が必要とされているということが書かれています。

それから、(2)、(3)、(4)というのは、それぞれ、レベル1地震動、レベル2地震動、それから、設計津波を生じさせる地震の地震動という、それぞれについての解説ですけれども、まず項目として新しくつけ加わったのは、この中の(4)でありまして、設計津波を生じさせる地震の地震動が新たに項目として加わっていますが、そのみならず、それぞれの中身が充実化が図られていまして、地震動を設定する際に有用となるような情報が大幅に加筆されております。

特にサイト特性が地震動に対して重要な影響があるということで、サイト特性に関する情報がいろいろ付加されていますので、そのところを少しご紹介したいと思っております。

地震動に影響を及ぼす要因

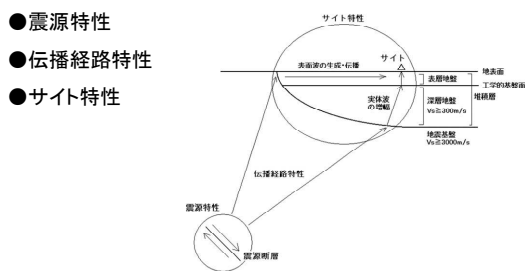


図 66 地震動に影響を及ぼす要因

基本的には、地震動に影響を及ぼす要因というのは3つの要因があると考えられておまして、震源特性と伝播経路特性とサイト特性があるということです。

震源特性というのは、地震というのは断層がずれ動

く現象でありますので、断層がずれ動いたときに、そこからそもそもどういう地震波が出てくるかということが震源特性であります。

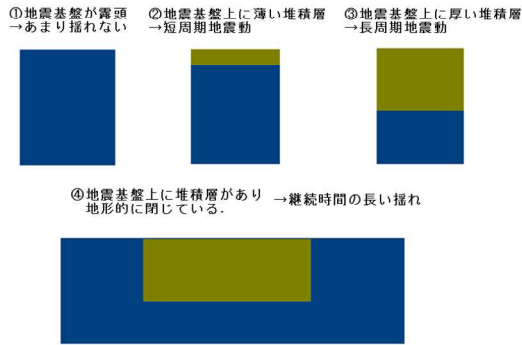
それから、伝播経路特性というのは、断層から出た地震波が地下の岩盤を通過する間に次第に減衰して、遠くに行くほど揺れは小さくなるというのが伝播経路特性であります。

最後にサイト特性というのがございまして、これは、海岸保全施設が立地している場所の地下には、海岸保全施設が岩盤の上に直接立地しているという場所中にはございまして、多くの場合は岩盤の上に堆積層が存在していて、その上に海岸保全施設があるということになります。そうしますと、地震波が基盤から堆積層の中に入射をいたしますと、地震波は基本的に増幅されるということになります。地震波はかたい地層からやわらかい地層に入ると増幅されるという性質がありますので、ここでまず増幅されるということと、それから、よくあることなんですけれども、堆積層というものが水平方向に平行に伸びているということは実はあまり多くなくて、我が国の地形を考えると、多くの場合に、堆積層というものは、横のほうでとじた形をしている。かなり広い平野であっても、横のほうに行くと山があって、そこで堆積層が終わっているというのが我が国では一般的ですけれども、そうしますと、こういった堆積層の端部に地震波が入ることによって、ここから表面波という新しいタイプの地震波がここで新たに発生しまして、これが平野の中を行ったり来たりするというような現象が発生します。一旦表面波が発生しますと、これは減衰しにくいので、地震の揺れがなかなかおさまりにくいと、地震の揺れが長く続くということになります。

したがって、堆積層が存在することによって、地震の揺れが増幅されたり、あるいは、継続時間が延びたりといった複雑な影響が及ぶんですけども、そういったことをひっくるめてサイト特性というふうに言っているということになります。

サイト特性のパターンというのは非常にわかりやすく、このページに書かれているものを覚えていただければ、日本全国どこのサイト特性でも大抵理解できるということです。

う一つ、堆積層が閉じた形をしていると、地震波が揺れが長く続きやすいということになります。



14

図 67 地盤の構成と揺れ方

まず岩盤が地表付近まで露頭しているような場所。こういう場所は、例えば中部地方なので大きなダムが立地しているような場所に行けば、大体こういう特性ですけれども、こういう場所は堆積層がそもそもありませんので、地震波が増幅するような要因が全くないということになります。したがって、そもそも地震の揺れがあまり大きくなりませんというのがこの①です。

それに対して、岩盤の上に薄い堆積層が載っている場合は、この堆積層の固有周期が短いですので、短い周期の地震波だけが増幅されやすいということになります。

したがって、こういう場所で地震を観測していると、短周期成分だけが卓越したような地震波になりますが、多くの場合、一般的な海岸保全施設を考えた場合に、短周期の地震動が大きく被害を増大させるようなことはあまりないということがあります。

ですから、②のような地盤で堆積層がごく薄いような地盤であると、大きな加速度は観測されるんですけども、意外と施設の被害は小さいということがよく発生します。

今度、③のように基盤の上に載っている堆積層が厚くなってきますと、堆積層が固有周期が長くなってきますので、それに伴って長周期の地震波が増幅されやすいということが発生します。そして、堆積層の厚さにもよりますが、構造物に影響を及ぼしやすいような周期の地震波が増幅されるような場合は、構造物に影響が及びやすいということになります。それから、も

サイト特性の影響が表れている事例～2000年鳥取県西部地震
弓ヶ浜半島と島根半島で最大速度は4倍異なっている。

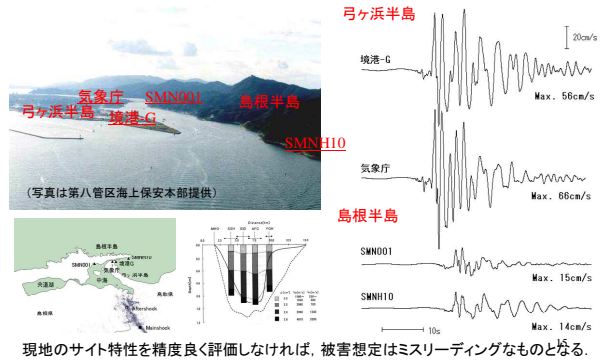


図 68 鳥取県西部地震の地震動

サイト特性が影響が大きいという例は非常にたくさんあるんですけども、これは鳥取県西部地震のときの例でありまして、境港とその周辺の幾つかの地点で鳥取県西部地震の揺れが観測されているんですけども、このように、弓ヶ浜半島側の平野部で観測された地震波は、この上の2つに見ますように、非常に振幅が大きいのにに対して、こちらの島根半島の山岳部で観測された地震波というのは、この下の2つにありますように振幅が小さくて、こちらとこちらではほぼ4倍の振幅の違いがあります。

こういうことが、特にこの場所だけで起こっているというわけではなくて、日本中至るところで実はこういうことが起こっているということでもあります。堆積層があるような場所ですと、地震波が増幅されるので、揺れが大きくなるということです。

こういったことは非常に重要だということが情報として記載されていまして、サイト特性の影響というのは非常に大きいので、レベル1地震動、レベル2地震動、設計津波を生じさせる地震の地震動の設定に当たっては、サイト特性を可能な限り正確に把握することが重要だということが書かれています。

このときに、サイト特性としては、工学的基盤面より上方の表層地盤だけではなくて、工学的基盤より下の深部地盤の影響も重要だということが書かれていま

す。これは先ほどの絵に戻って説明させていただきま
すと、地震波は、地震基盤と言われるようなS波速度
が3,000ぐらいあるかたい地層から上で次第次第に増
幅してくるものですので、よく我々、ボーリング調査
をするときは、ここまで掘らないわけでありまして、
工学的基盤と言われているN値が50ぐらいの地層のと
ころまでしか掘らないわけなんですけれども、ここま
での範囲での地震波の増幅というのはそれほど大きい
わけではなく、むしろ、深部地盤を通ってくる間の地
震波の増幅のほうがむしろ影響が大きいわけでありま
す。

したがって、サイト特性を把握しようと思ったとき
に、通常の土質調査だけだとなかなかサイト特性の把
握というのは難しいということがあります。

それで、どうするかということなんですが、対象地
点周辺での地震観測、あるいは常時微動観測といった
ものがサイト特性を評価する上で有用な情報を与える
ということが書かれています。

サイト特性を評価するための具体的な方法について
は、海岸の同解説はあまりページ数が多くありません
ので、その中に具体的に書き込むことは難しいので、
文献を引用するという形になっていまして、土木学会
の2016年の土木構造物標準方書であるとか、あるい
は、日本港湾協会の港湾の施設の技術上の基準といっ
たものを引用して、こちらを参照してくださいという
ようなことが書かれています。

それから、全国の地震観測地点でのサイト増幅特性
の評価結果が公表されていますので、それが紹介され
ています。港湾空港技術研究所のホームページにアク
セスするとデータがダウンロードできるということが
書かれています。

港空研のホームページからダウンロードできるデー
タなんですが、日本全国に強震計が既に置かれている
ような場所でのサイト増幅特性の数値データが含まれ
ています。

例えば中国地方ですと、中国山地の山の中というの
はサイト増幅が小さいのに対して、米子平野から出雲
平野にかけての平野部では、それぞれの場所ごとにサ
イト増幅特性が違う。山地に比べると増幅が大きいと
いうことがこのデータを見ていただくとわかるよう

になっております。

このサイト特性を考慮して、レベル1地震動を評価
するということに、港湾では確率論的地震危険度解析
というものを行っておりますが、この確率論的地震危
険度解析がどういうふうに行われているかということ
を詳しくお知りになりたい方は、竹信ほかの文献を見
ていただくとわかるようになっていまして、理解
をされたいという方はこれを見ていただくとわかる
んですが、ただ、この解析を一からやるというのは非
常に大変ですので、おそらく皆さんが地震動を設定さ
れるときに、これを一からおやりになるということ
はあまりないだろうと考えられます。そのかわりに、国
総研のホームページでレベル1地震動の数値データが
公開されていますので、それを使うか、もしくはそれ
を補正して使うということが一般的だと思いますので、
そういう場合の方法については、また少し後のほう
で出てきます。

レベル2地震動については、基本的には対象地点に
最大級の強さをもたらす地震動を考えて、この地震に
対する地震動を評価することなんですが、その
ときに、地震動を計算するためのプログラムが必要に
なりますので、それについては、港湾空港技術研究所
のホームページからプログラムがダウンロードできる
ということが紹介されています。

それで、(3) までの説明はそういうところなんです
けれども、設計津波を生じさせる地震の地震動につい
ての解説は、基本的にはレベル2地震動を設定するの
と同じようなやり方で設計津波を生じさせる地震の地
震動は設定できます。対象地震が変わるだけという
ことが書かれております。

それから、(5) の耐震性能は、耐震性能の決定方法
というのは、対象施設の許容被害程度に基づいて設定
をしてくださいと。構造物の機能が低下した場合にど
れくらい悪影響があるかとか、あるいは、本格復旧は
どれくらい困難であるかといったことを考慮して、耐
震性能を設定してくださいということが書かれており
ます。

それで、今度は、2.10.3の「耐震性能の照査基準」
というところなんですけれども、まず耐震性能という
のは、海岸保全施設が地震後はどうあってほしいか、

どれくらいの被害にとどまっていきたいか、軽微な被害にとどまるとか、そういった比較的一般の方でも理解できるような言葉で書かれているのが性能ということになるんですけども、その性能を照査するための具体的なパラメータ、例えば、変位がこれくらいにおさまるように設計しましょうとか、あるいは、応力がこのような状態におさまるように設計しましょうといった具体的なパラメータが実際設計するためには必要になってきます。

したがって、耐震性能を表現するための工学的な具体的なパラメータを定める必要があるんですけども、それが照査基準と呼ばれているもので、基準によってこれは呼び方が違ってありますが、港湾基準では性能規定という言葉で呼んでいるんですけども、海岸基準では昔から照査基準という言葉で呼んでいるようです。

護岸を例にとりますと、例えば沈下、傾斜、水平変位、目地の開き、躯体の損傷程度などは、その例として挙げられますけれども、特に後背地への浸水を防止するという点に着目しますと、天端高の維持が一番かわりが深いのは沈下ですので、沈下量を照査基準とするということが一番一般的なのではないかなと考えられます。

それで、ただ、より進んだ検討として、沈下量だけではなくて水平変位にも着目して護岸の照査基準を設定している事例として、四国地整の小泉さんの研究などがありますので、そういったものを同解説の中で紹介をしています。

それから、盛土を含む構造の堤防の耐震性能の照査基準については、竹下さん、加藤さんの国総研資料の中に詳しく書かれていますので、それを引用して紹介をしています。

それから、水門に関して、門扉の閉鎖、地震後に門扉が閉鎖できるということは非常に重要ですけども、その可能性に着目して耐震性能の照査基準を設定している事例がありますので、その文献を紹介しています。

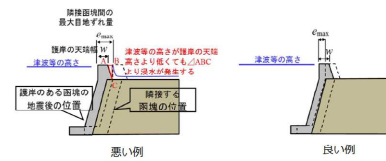
護岸の水平変位に着目して耐震性能を設定している事例なんですけれども、これは、兵庫県南部地震のときの護岸の地震後の変形状態にまず着目いたしまして、左側の写真がわかりやすいかと思うんですが、仮に護

岸の天端高が維持されている場合であっても、護岸、隣同士の堤体の間に相対変位が生じて、その相対変位が大きい場合には、目地の開きが生じますので、ここから海水が侵入してくるおそれがあります。

沈下に加え水平変位にも着目して照査基準を設定(小泉他, 2017)



1995年兵庫県南部地震による護岸の被災例(神戸市, 1998)



24

図 69 護岸の水平変位にも着目した事例

したがって、小泉さんたちの研究では、天端高だけではなくて、水平変位にもある程度基準を設けようということで、具体的には、堤体の天端の厚さを超えるような相対変位が生じるのは都合が悪かろうというようなことを述べておられます。

結果として、こういった兵庫県南部地震の事例を参考にすると、構造物の水平変位の絶対値に対して、隣同士の堤体の相対変位というのはおよそ半分ぐらいの大きさになる。したがって、天端部分の厚さに対して2倍程度までの変位は許容できるというような照査基準を設定して、解析をされています。

それから、今度、水門の事例なんですけれども、東京都の検討の事例であります。東京都のほうでは、特にレベル2地震動が作用した場合に、水門が閉鎖することができるということが重要だということで、これは水門の扉体を下流側から見た図なんですけれども、ここに水門がございまして、もしも門柱が屈曲をして、その屈曲した大きさがあるレベルを超えると扉体を通れなくなってしまうと。したがって、扉体を通れるという条件を満足するためには、屈曲の大きさがある角度よりも小さくしなければいけないということを検討されて、それを水門の照査基準というふうになされています。

っしやいます。

上下流方向側についても同じような検討をされておられます。

水門に関して門扉の閉鎖の可能性に着目して耐震性能の照査基準を設定した東京都の事例(野津他, 2017)

地震動レベル	震害性能	許容損傷程度
レベル1	使用性	門扉の開閉操作が可能 損傷がほとんど生じない
レベル2	限定された使用性	門扉の開閉操作が可能

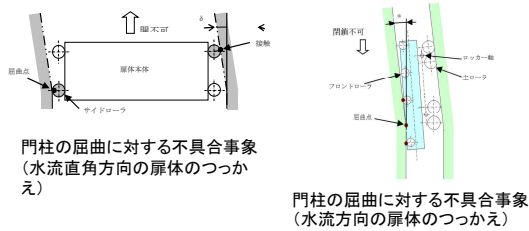
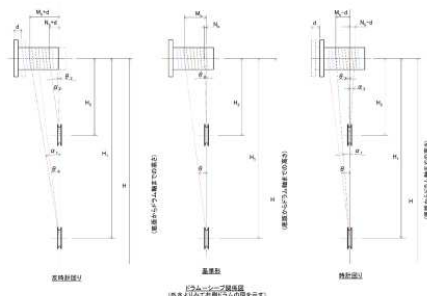


図 70 門柱の屈曲と扉体昇降の不具合

同じように、巻き上げ装置ですけれども、これも水門の門柱が変形をしてしまいますと、真っ直ぐ上がらなくなって、機能を果たさなくなると。こういうことから照査基準を設定するというのを東京都がやっておられますので、その例を紹介しています。

東京都の場合は、具体的には、FLIPを使って、水門の全体系の解析をして、そして照査基準を超えるような変形が水門に生じないかどうかということを最終的には検討しておられます。

水門に関して門扉の閉鎖の可能性に着目して耐震性能の照査基準を設定した東京都の事例(野津他, 2017)



ワイヤロープの巻き取り機能に対する不具合事象

図 71 シープの変位とロープ巻取りに対する不具合

2. 10 地震

2. 10. 4 耐震解析法

海岸保全施設の耐震性能照査は、各施設の構造特性に応じた適切な耐震解析法に基づいて行うものとする。
 (1)レベル1地震動に対する耐震性能は、震度法による耐震設計により安全性が確保されることで満足されているものとみなせる。ただし、液化が発生すると判定される場合には、要求する耐震性能の高さに応じて適切に照査するものとする。
 (2)レベル2地震動に対する耐震性能は、変形、応力、ひずみ量等を精度よく評価できる手法により照査するものとする。
 (3)設計津波を生じさせる地震がレベル1地震動を超える強度の場合の当該地震に対する耐震性能は、変形、応力、ひずみ量等を精度よく評価できる手法により照査するものとする。

新たに加わった事項

図 72 耐震解析法

次に「耐震解析法」についての話ですが、ここも基本的には、枠囲みの中は、レベル1、レベル2、それから設計津波に対応する地震の地震動に対する耐震解析法ということが書かれております。

レベル1に対しては、従来どおり、震度法が多く使われるだろうと。

レベル2地震動に対しては、変形、応力、ひずみ量等を精度よく評価できる手法によって照査するものとするということが従来書かれていたんですが、今回新たに加わった設計津波を生じさせる地震に対する耐震性能というのは、レベル2と同じでありまして、変形、応力、ひずみ量等を精度よく評価できるような手法により照査するものとするということが新たに加わっています。変形、応力、ひずみ量等を精度よく評価できる手法というのは何かということなんですが、ここは明確には書かれていませんけれども、私なりに解釈をすると、FLIPのことかなというふうに考えられます。

フローチャートですけれども、まずレベル1に対する照査をやって、それから、設計津波に先行する地震がレベル1を超えるような場合については、その地震に対する照査をやって、さらに、背後地の重要度等からレベル2に対する照査が必要な施設については、レベル2に対する照査をやるという、非常にわかりやすい流れだと思います。

2. 10 地震

2. 10. 5 設計震度・設計入力地震動・地盤沈下・液状化

海岸保全施設の耐震設計では、設計震度、設計入力地震動を適切に設定するとともに、地殻変動に伴う地盤沈下及び地盤の液状化を適切に考慮するものとする。

(1) 設計震度は、地域別、地盤種別及び構造物の重要度を考慮して定めるものとする。

(2) 設計入力地震動は、過去の地震観測結果、活断層の調査結果、地盤の地震応答解析等に基づいて求めるものとする。

(3) 広域にわたって地殻変動に伴う地盤沈下が予測される場合には、その影響を考慮するものとする。

(4) ゆるく詰まった飽和砂質土等は地震により液状化し構造物に被害を及ぼすことがあるため、必要に応じ液状化の影響を考慮するものとする。

緑色の箇所が新たに加わった事項

33

図 73 広域にわたる地殻変動に伴う地盤沈下

最後に、2.10.5の「設計震度・設計入力地震動・地盤沈下・液状化」という項目がございますけれども、この中では、新しく加わった項目は緑の色で示しておりますが、まず、広域の地盤沈下ということで、大きな地震が起こりますと、東日本大震災のように広域の地殻変動に伴う地盤沈下が生じますので、従来の単純な地震の揺れによる沈下以外にこれがあるということがきちんと明記されたということが新しいかなと思います。広域の地殻変動に伴う地盤沈下を考えて天端高を決めるということが新しく加わったことだと考えております。

それから、その中の設計震度については、港湾の施設を対象とする場合には、サイト特性の蓄積は比較的進んでいるので、サイト特性を考慮した地震動から構造物の特性を考慮して設計震度を求めるということを紹介しております。

それから、海岸保全施設であっても、サイト特性に関する情報がそろっている場合には、サイト特性を考慮した地震動から構造物の特性を考慮して設計震度を求めることを推奨するということをしております。

設計震度を求めるための手法については、文献を紹介するという形をとっていますので、詳しくはそれを見ていただければと思います。

それから、入力地震動について、サイト特性を考慮したレベル1地震動が国総研のホームページから公開されているので、それを紹介しておりますが、ただ、公開されている地震動がどの範囲で有効かということ

については十分確認されていない場合もあるということに注意喚起していきまして、それを確認するための方法というのが外部の文献を引用するという形をとっています。

地殻変動に伴う地盤沈下は気をつけましょうということでもあります。

液状化については、新しいことはあまりないんですけども、液状化予測判定手法は、地震動の継続時間の影響等、考慮できるようにバージョンアップが図られているということが紹介されています。