

## 国際沿岸技術研究所、確認審査所、洋上風力研究室の活動について（平成 29 年度）

山本修司\*

\* （一財）沿岸技術研究センター 参与 国際沿岸技術研究所長  
 確認審査所確認員 洋上風力研究室長

本稿では、平成 29 年度に実施した技術基準の改正に関する調査、民間企業との共同研究、ISO/CEN に関する情報収集、洋上風力発電施設に関する調査・研究及び確認審査所で行った確認業務についてその概要を報告する。

キーワード：技術基準、ISO/CEN、洋上風力発電、防げん材、

## 1. はじめに

我が国の港湾を取り巻く状況は、経済連携協定（EPA）及び自由貿易協定（FTA）の進展、パナマ運河や北極海航路の利用拡大、コンテナ船の大型化等、貿易及び物流の両面で大きく変化し続けています。このような中、国土交通省港湾局では、港湾の中長期政策「PORT2030」として主要 8 施策をとりまとめ公表しました。

- ①グローバルバリューチェーンを支える海上輸送網の構築
- ②持続可能で新たな価値を創造する国内物流体系の構築
- ③列島のクルーズアイランド化
- ④ブランド価値を生む空間形成
- ⑤新たな資源エネルギーの受入・供給等の拠点形成
- ⑥港湾・物流活動のグリーン化
- ⑦情報通信技術を活用した港湾のスマート化・強靱化
- ⑧港湾建設・維持管理技術の変革と海外展開

これらの政策に対して、当センターは、既存岸壁の大型化、航路の増深、大規模地震や高潮災害に対する施設の強靱化、自動係船、施設の劣化状況の遠隔モニタリング、3次元データや ICT の活用による調査・設計・施工システム、洋上風力発電などの技術分野で貢献できると考えています。

## 2. 国際規格の動向について

土木学会は、ISO 国内審議団体を通じて ISO 規格の動向及び対応状況を調査しています<sup>1)</sup>。その 29 年度レポートから港湾に関係が深い国際規格の動向を紹介します。

## 2.1 構造物一般・鋼構造分野

(1) ISO2394 : 2015 ISO/TC98/SC2 が担当している ISO2394 General principles on reliability for structures (構造物の信頼性に関する一般原則) が 2014 年に改正され、6 月に英和対訳版が発行されました。この国際規格は、規準作成を目的とする場合や特定のプロジェクトの構造設計及びその評価に関する意思決定などの場合に適用されます。そのため、この国際規格は、

各国の国家規格又は実務規準を作成する責任者が利用することを意図したものです。

## (2) ISO3010

ISO/TC98/SC2 において日本が幹事国として改訂を行ってきた ISO3010 Bases for design of structures—Seismic actions on structures(構造物への地震作用) が ISO3010 : 2017 として発行され、英和対訳版も日本規格協会より出版されました。

## (3) ISO21650 : 2007

ISO/TC98/SC2 において日本が幹事国となり ISO/ NP13824 : Bases for design of structures—General principles on risk assessment of systems involving structures (構造物を含むシステムのリスクアセスメントに関する一般原則) の WD 作成が開始されました。

## (4) ISO10721-2

鋼構造関係の ISO 規格に関しては、ISO/TC167(鋼構造及びアルミニウム構造)で扱っている ISO10721-1 : 1997 Steel structures Part1 (鋼構造-材料と設計)と ISO10721-2 : 1999 Steel Structures Part2: Fabrication and erection(鋼構造-製作と架設)があります。後者は 2009 年の定期見直しに際して、ユーロコード EN1090-2 : 2008 に基づく改訂が提案されました。この規格は土木構造物、建築物に適用される鋼構造物の製作と架設を扱ったものです。これに対応する JIS 規格はなく、改定案は非常に細部まで規定する内容となっており、国内の道路橋や鉄道橋に関する基準・指針・仕様書類とも不整合な部分があります。DIS 投票の結果では否決となったが、現在、DIS17607 の分冊化が検討されています。

## 2.2 地盤関係

## (1) 地盤調査と試験法

TC182/190/221 の国内審議団体である地盤工学会は、TC182 (Geotechnics, 地盤工学), TC190(Soil quality, 地盤環境), TC221(Geosynthetics, ジオシンセティクス)に関する規格に関与しています。

TC182/SC1 は、室内土質試験法に関する規格を策定・審議することになっていますが、CEN リードのウィーン協定

が適用され、CEN/TC341が実質的な審議を行っています。

日本が賛成投票を行った主な規格は以下のとおりです。

- ・ FDIS17892-7 Geotechnical investigation and testing-Laboratory testing of soil-Part7: Unconfined compression test 一軸圧縮試験
- ・ FDIS17892-8 Geotechnical investigation and testing- Laboratory testing of soil-Part8: Unconsolidated undrained triaxial test 非圧密非排水三軸圧縮試験
- ・ FDIS17892-9 Geotechnical investigation and testing- Laboratory testing of soil-Part9: Consolidated triaxial compression tests on water saturated soils 圧密三軸圧縮試験
- ・ FDIS18674-3 Geotechnical monitoring by field instrumentation-Part3: Measurement of displacements across a line: Inclinometers 現場計測による地盤工学的モニタリング-第三部: 地表面及び地中の変位測定: 傾斜計
- ・ FDIS14689-1 Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of rock-Part1: identification and description 岩の判別と分類-第一部: 判別と記載
- ・ FDIS22476-11 Geotechnical investigation and testing -Field testing-Part11: Flat dilatometer test 第11部: ダイラトメータ試験
- ・ FDIS22477-4 Geotechnical investigation and testing -Testing of geotechnical structures-Part4: Testing of piles dynamic load testing 地盤構造物の試験方法第4部: 動的載荷試験

## (2) ジオシンセティック

我が国では、国内メーカーによって様々なジオシンセティック製品が開発され流通していますが、この分野の規格については欧州のCENと米国のASTMの影響が大きく、我が国では試験方法に関する2件のJIS及び5件のJGS基準があるのみです。

TC221(Geosynthetics)では、ジオテキスタイル、ジオメンブレン及びジオシンセティック関連製品を含むジオシンセティック製品の規格を担当しています。最近、以下の規格の定期見直しや策定作業が行われています。

- ・ DIS11058 Geotextiles and geotextile-related products-Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load ジオテキスタイル及びその関連製品-無載荷での垂直方向透水性能の決定
- ・ ISO10776:2012 Geotextiles and geotextile-related products- Determination of water permeability characteristics normal to the plane, under load ジオテキスタイル及びその関連製品-拘束圧条件下での垂直方向透水性能の決定

- ・ DTR18228-1,2 Design using geosynthetics- Part 1: General, Part2: Separation
- ・ FDIS9863-2:1996 Geotextiles and geotextile-related products- Determination of thickness at specified pressures- Part 2: Procedure for determination of thickness of single layers of multilayer products ジオテキスタイル及びその関連製品- 所定圧下の厚さの測定- 第2部: 複層製品における単層厚さの評価法

岸壁や護岸で使用される防砂シートや管理型廃棄物処分場で用いられる遮水シートなどは重要な港湾土木材料であります。今後とも国際規格の動向に注目するとともに、日本の実績と経験を国際規格に反映することが大事であると思います。

## 2.3 コンクリート関係

TC71 (Concrete, Reinforced Concrete and Prestressed Concrete)の国内審議団体である日本コンクリート工学会は現在、コンクリート、鉄筋コンクリート及びプレストレストコンクリートに関する27規格を審議しています。現在、以下の7つのSCが活動中です。

- SC1 Test method for concrete 幹事国: イスラエル
- SC3 Concrete production and execution of concrete structures 幹事国: ノルウェー
- SC4 Performance requirements for structural concrete 幹事国: 米国
- SC5 Simplified design standard for concrete structures 幹事国: コロンビア
- SC6 Non-traditional reinforcing materials for concrete structures 幹事国: 日本
- SC7 Maintenance and repair of concrete structures 幹事国: 韓国, 議長国: 日本
- SC8 Environmental management for concrete and concrete structures 幹事国: 日本
- WG1 Life-cycle management of concrete structures 主査国: 日本

SC6 関連では、

- ・ CD10406-3 Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete - Test methods- Part3: CFRP strip コンクリートのFRP強化-試験方法-第3部: CFRP 帯板材
- ・ CD21914 Test methods for fibre-reinforced cementitious composites- Bending moment- curvature curve by four- point bending test 繊維強化セメント複合材料の試験方法-4点曲げ試験による曲げモーメント-曲率曲線  
これらの規格は日本が提案の段階から主体的に関与してきたもので、投票の結果本CDは承認されました。
- SC7 関連では、
- ・ TR16475:2011 Guidelines for the repair of water-

(砂地盤の支持力)

leakage cracks in concrete structures コンクリート構造物のひび割れ部の漏水補修に関するガイドラインの見直しが承認され改訂作業が進められています。

・WD16711:2015 Seismic assessment and retrofit of concrete structures コンクリート構造物の耐震評価及び補修

投票の結果、CD 段階を飛ばして DIS に進むことが承認されました。

SC7 関連では、

・IS013315-1 Environmental management for concrete and concrete structures-Part1:General principles コンクリート及びコンクリート構造物の環境マネジメント—第1部：一般原則

・IS013315-8 Environmental management for concrete and concrete structures-Part8: Environmental labels and declaration of concrete コンクリート及びコンクリート構造物の環境マネジメント—第8部:コンクリートの環境ラベルと宣言

・IS013315-6 Environmental management for concrete and concrete structures-Part6: Use of concrete structures コンクリート及びコンクリート構造物の環境マネジメント—第6部：コンクリート構造物の供用

これらの規格は日本が提案しているものであり、それぞれ改定作業等が進められています。

### 3. 港湾基準関係について

#### 3.1 港湾基準関係の調査

本年4月に改正された港湾基準の改正作業に関連して、当センターではコンサルタント等3社とのJVで、国土技術政策総合研究所から調査を受託しました。この業務において、①改良地盤 (CDM, SCP) の安定性に関する荷重抵抗係数の設定、②レベル1地震動の一部変更、③シナリオ台風及びびうねり性波浪を考慮した波浪・潮位の設定法、④防波堤の耐津波設計法の数値計算等に関する検討を実施しました。表-1はCDM改良体の安定性の検討に用いる荷重抵抗係数です。

表-1 CDM改良体の荷重抵抗係数 (滑動)

破壊モード	抵抗側 $\gamma_R$	荷重側 $\gamma_S$	調整係数 $m$
外部安定 (永続状態)	0.90	1.08	1.00
外部安定 (レベル1変動状態)	1.00	1.00	1.00

(転倒)

破壊モード	抵抗側 $\gamma_R$	荷重側 $\gamma_S$	調整係数 $m$
外部安定 (永続状態)	0.97	1.18	1.00
外部安定 (レベル1変動状態)	1.00	1.00	1.10

破壊モード	抵抗側 $\gamma_R$	荷重側 $\gamma_S$	支持力に関する調整係数 $m_B$
支持力破壊 (永続状態)	0.49	1.15	1.00
支持力破壊 (レベル1変動状態)	1.00	1.00	1.50

#### 3.2 今後必要な技術検討項目

今回の港湾基準改正において、施設の維持管理・補強・改良に関する基本的考え方、耐津波設計、荷重抵抗係数法を用いた設計等が充実しました。改正作業における議論や最近の設計事例を通して、設計実務での利便性の向上に資する事項として以下の項目の検討が必要と考えます。

表-2 技術検討項目

津波防波堤	・津波作用、マウンド内浸透流、越流を考慮した津波防波堤の設計
高潮防波堤	・シナリオ高潮+波浪を考慮した設計 ・高潮推算⇔波浪推算の相互作用を考慮した設計 ・捨石マウンド内を透過する高潮流量の算定法 (伊勢湾高潮防波堤の実験式があります)
補修・改良設計	・ケミカルアンカーを用いたケーソン式防波堤の拡幅設計法 ・泊地の増深に伴う棧橋の仮想地表面の考え方
航路埋没対策施設 の設計	・ブロック式及び矢板式の潜堤に作用する波圧と動水圧の算定法
ポンツーン/ 浮体の設計	・荷重状態と必要乾舷 ・ポンツーンの荒天時移動量と初期張力の関係 ・動的復元力特性
廃棄物護岸	・底面遮水と鉛直遮水の接続部の諸元の考え方 ・地震時における遮水シートの必要厚さ
海浜	・人の利用の安全 (特に、吸出し、陥没) に配慮した断面諸元の考え方 (参考文献8))
緑地	・大規模地震対策施設としての要求性能
荷役機械の基礎	・RC基礎梁の設計法
表層固化処理工法	・地盤の許容支持力式 (国交省告示1113号) と港湾基準の支持力式の差異
圧密	・自重圧密を考慮した未圧密地盤の沈下解析
異形ケーソン	・底面が矩形でないケーソンの底面

	反力の計算法 (30 年ほど前から算定法があります)
洗掘	<ul style="list-style-type: none"> <li>船舶スクリューの流圧に対する被覆石の所要質量</li> <li>杭、パイプライン及び洋上風車等の波、流れによる洗掘量 (Summer の研究があります)</li> <li>津波の落水による海底地盤の洗掘量</li> </ul>
埋立	<ul style="list-style-type: none"> <li>沈殿池及び余水吐の設計 (設計法はありますが忘れられています)</li> <li>ポンプ浚渫船から排出される土砂量の算定</li> <li>自然条件や施工条件による防砂シートの使い分け</li> <li>管理型廃棄物護岸に使用する遮水シートの厚さの考え方 (厚生省改正命令の解釈)</li> </ul>
車止め	<ul style="list-style-type: none"> <li>衝突荷重の計算法の見直し (付録参照)</li> </ul>
仮設	<ul style="list-style-type: none"> <li>海上における段階的掘削における矢板と切梁の設計</li> </ul>

## 4. 洋上風力発電設備について

### 4.1 洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解釈

電気事業法及び港湾法に基づいて設置される洋上風力発電設備等に関する技術基準については、

- ①発電用風力設備に関する技術基準を定める省令 (平成九年通商産業省令第五三号)
- ②港湾法施行規則 (昭和二六年運輸省令第九八号)
- ③公募対象施設等又はその維持管理の方法の基準に関し必要な事項を定める告示 (平成二十八年国土交通省告示第八五八号)

があります。しかし、この両法律に基づいて設置される洋上風力発電設備等が適合すべき詳細な規定や統一的な考え方が整備されていませんでした。

国交省から受託した調査において、「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説 (平成 30 年 3 月版) を作成しました。作成に当たっては、「港湾における洋上風力発電施設検討委員会 (委員長：牛山泉足利工業大学理事長)」及び「港湾における洋上風力発電施設検討委員会設計技術ワーキンググループ (座長：清宮理早稲田大学教授)」の指導を得ました。本解説の作成において留意した事項は、①IEC 61400-3: Wind turbines-Part3: Design requirements for offshore wind turbines 等の国際規格との整合、②陸域に設置される風力発電設備の設計法との整合、③港湾という水域に設置することへの配慮等です。

IEC 61400-3 を全面的に採用した理由は、洋上風車建設に係るプロジェクト認証やファイナンスに配慮したことによるも

のです。すなわち、ファイナンスにおいては、型式認証を受けた風力発電機とその支持構造物がサイト特有の外的条件 (風、波、地盤、地震、電力系統等) を満足し、かつ日本の法的規制の要求事項にも適合していることの認証を得る必要があります。そのため、日本の技術基準と国際規格との整合に配慮したものです。

また、陸上の発電施設が私有地に立地するのに対して、洋上風力発電施設は公有水面に立地します。そのため、航行船舶からの視認性、港湾施設との離隔及び発電施設の有すべき耐震性能等に配慮しました。特に、港湾 L2 地震動による風車の損傷が耐震強化施設の利用に支障を及ぼすおそれのある場合においては、風車の変形量等を照査するものとしてしました。

設計に関する具体的な事項は以下のとおりです。

- ・風・波・風車制御 (Aero-Hydro-Servo) 荷重に対する動力学的設計及び疲労設計
- ・荷重抵抗係数法 (一部、許容応力度設計法及び安全率法)
- ・風: 通常乱流モデル及び極値乱流モデル
- ・波浪: 有限振幅性を考慮した非線形不規則波
- ・地震: スペクトル適合波 (稀地震、極稀地震)、観測波、サイト波 (港湾 L1 波、港湾 L2 波) に対する照査
- ・地盤: 物理探査、SPT/CPT の活用

なお、洋上風力発電に関する入門書としては文献 9)、10) が参考になります。

### 4.2 洋上風力発電設備の試設計

港湾空港総合技術センターと共同して、前述の統一的解説に基づいて洋上風力発電設備の試設計を実施しました。計算ツールは英国の GL Garrad Hassan により開発され、後に GL 認証を取得している Bladed を使用しました。

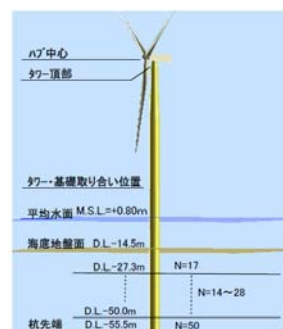


図-1 モノポール式風車

試設計を行って感じたことは以下のとおりです。

- ・ロータ、ナセルから支持構造物に伝達される風荷重は翼素運動量 BEM (Blade Element Momentum) 理論により算定されますが、風力係数等が入手困難なので風車メーカーに頼らざるを得ない。
- ・IEC や DNGL の設計法は、風・波・風車制御

(Aero-Hydro-Servo) 荷重を荷重のレベルごとに組み合わせ、時刻歴で解く方式なので荷重の組み合わせケースが膨大となります。入力条件をセットするだけでも多くの手間を要します。もっと実用的でエレガントな設計法の完成が望まれます。

- IEC や DNVGL の規格は実績のある規格です。それらが日本の環境条件(特に、地震時、台風時など)にも適用可能であることを確認する作業が必要です。
- Bladed に組み込まれている制約付き波浪法(非線形不規則波の時刻歴波形の生成法の一つ)によって、1時間の評価時間のシミュレーションの中で所要の極値波浪を1波再現できることを確認しました。しかし、筆者はその手法を十分に理解するに至っていません。不規則な沖波を入力してブシネスク計算によって風車設置地点の時刻歴波形(必ずしも極値波浪が出現するとは限りませんが)を用いることで十分ではないかと思えます。なお、CADMAS-SURF を用いた方法でも目標とする  $H_{1/3}$ ,  $H_{max}$  をほぼ発生させることができることを確認しています。
- 地盤反力と変位の非線形な関係に、長年の荷重の繰り返し作用による地盤の劣化を考慮した  $P-y$  関係はどのように設定すべきか。また、その関係を時刻歴解析の中で適切に反映できる等価線形手法はどのような方法でしょうか。

## 5. 共同研究及び技術マニュアル

### 5.1 港湾構造物設計事例集

港湾基準の改正によって荷重抵抗係数法が全面的に採用されました。この設計法の適用に齟齬が生じないように、また設計関係者の利便性を考えて、港湾構造物設計事例集を作成しました。港湾関係のコンサルタント14社の執筆協力を得て、外郭施設6形式、係留施設12形式、廃棄物護岸1形式の計19施設について基本設計、配筋設計、地盤改良、付属施設等の内容を盛り込んでいます。

### 5.2 ゴム防舷材の設計ガイドラインの作成

当センターとゴム防舷材メーカー5社の共同研究において、「ゴム防舷材の設計法と試験法に関するガイドライン」を作成しました。



写真-1 ゴム防舷材の設計法と試験法に関するガイドライン

従前の設計において考慮されていなかった速度効果や温度効果が吸収エネルギーや反力に及ぼす影響、経年劣化及び放置後の再硬化、圧縮試験法の変更等について検討しました。あわせて、PIANC の Guidelines for the Design of Fender systems:2002 との整合を図りました。

## 5. 確認審査業務

沿岸技術研究センターは、平成19年8月24日に港湾法に基づく登録確認機関として国土交通大臣より登録され、平成19年10月1日に設置した確認審査所が「港湾の施設の技術上の基準との適合性を確認する業務」を開始しました。平成29年度は、15件(防波堤6件、係留施設7件、荷役機械1件、海浜1)の申請がありました。申請者の内訳は、港湾管理者11件、民間企業4件でした。

確認審査結果を審議する「適合検討委員会」で話題になった事項や確認員が指摘した事項を紹介します。

- ① 複数の船型の大型船舶が接岸する場合、船舶が防舷材に接触する点と船舶の重心位置の距離と環動半径の比によって偏心係数が変化します。そのため必ずしも最大船型の接岸エネルギーが最大になるとは限らない。
- ② 浮棧橋の暴風時の安定検討では、チェーンの張力に対する応力照査の他、渡橋が落橋しないようにポンツーン自体の変位量の検討が必要です。港湾基準に記載のある水平変位量の式はチェーンが鉛直に垂下した状態からの水平変位量であり、チェーンを最初に設置した状態からの変位量ではないことに留意する必要があります。暴風時における正味の変位量は、概ね設計高潮位と設計低潮位における水平変位量の差となります(詳細は参考文献11)。
- ③ グラウンドアンカーを用いる場合、定着部におけるアンカー同士の最小離隔を満足する必要があります。
- ④ 荒天時の静穏度が十分でない場合、棧橋の上部工に揚圧力が作用することがあります。その対策として、棧橋海側杭に消波板を設置することがありますが、波向きによっては棧橋の妻側にも消波板が必要になる場合があります。
- ⑤ 防舷材の配置間隔が大きすぎる場合、船舶が岸壁に接触する可能性があります。
- ⑥ グラウンドアンカーを岸壁に用いる場合、緊張力の管理が重要になります。そのため維持管理において適切に緊張力を管理することを付帯条件に附した。
- ⑦ 将来的には耐震強化岸壁として利用する計画のある護岸が地震時の許容変形量を満足していなかったので地盤改良範囲の見直しを要請した。
- ⑧ As 層を非液状化層として検討していたので、液状化パラメータを設定して検討することを要請した。



## 6. 付録 (車止めに作用する荷重)

車止めに作用する荷重の算定法を考えてみました. 本来なら運動量の保存則  $M \cdot V = F \cdot \Delta t$  から作用力  $F$  を求めるべきですが  $\Delta t$  の評価が難しい. あるいは, Hertz の弾性接触理論を用いるべきですが矩形角部と円柱の接触を評価する  $F = \chi \alpha^n$  式の  $\chi$ ,  $\alpha$ ,  $n$  を決定することが難しい. そこで, エネルギー保存則を用いて検討します.

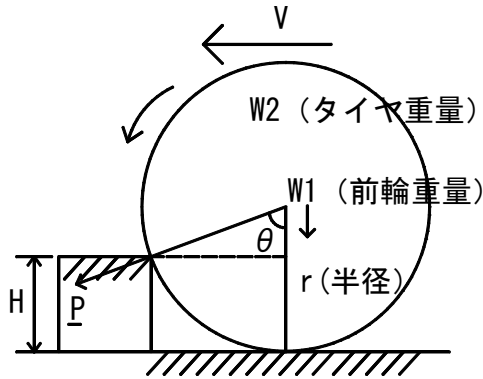


図-2 車止めと自動車タイヤの関係

### 6.1 運動エネルギー

図-2 のように, 車両の衝突速度  $V$ , 車両の前輪荷重  $W1$ , タイヤの半径  $r$ , タイヤの重量  $W2$ , 車止めの高さ  $H$ , タイヤのバネ定数  $K$ , タイヤの変形量  $\delta$ , 荷重  $P$  を考えます.

タイヤの並進運動によるエネルギー

$$E1 = 1/2 \cdot (W1/g) \cdot V^2$$

タイヤの回転運動によるエネルギー

$$\begin{aligned} E2 &= 1/2 \cdot I \cdot \omega^2 \\ &= 1/2 \cdot (1/2 \cdot r^2) \cdot (W2/g) \cdot \omega^2 \\ &= 1/4 \cdot (W2/g) \cdot V^2 \end{aligned}$$

運動エネルギーのオーダーを調べます.

$V=30\text{km/h}=8.3\text{m/s}$ ,  $W1=14\text{ kN}$  (前輪),  $r=0.35\text{m}$ ,  $W2=1\text{kN}$ ,  $H=0.15\text{m}$ ,  $K=80\text{ kN/m}$  とすると,

$$E1 = 1/2 \times 14 / 9.8 \times 8.32 = 49.2\text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$E2 = 1/4 \times 1 / 9.8 \times 8.32 = 1.76\text{ kN}\cdot\text{m}$$

$E2 \ll E1$  . . . タイヤの回転運動によるエネルギー  $E2$  は  $E1$  に比べて十分小さいことが分かります.

また, タイヤの回転による力は車止めを押さえつける方向に作用します. そのため, 車止めのアンカーの設計では  $E2$  を無視してもよいと考えられます.

### 6.2 車止めに作用する力

並進運動によるエネルギーのうち自動車車軸方向の運動エネルギーは衝突時に全てタイヤの変形により吸収さ

れると仮定します. 自動車の走行速度  $V$  の車軸方向成分は  $V \sin \theta$ , 接線方向成分は  $V \cos \theta$  なので,

$$1/2(W/g)(V \sin \theta)^2 = 1/2 P \delta = 1/2 P^2 / K \text{ より}$$

$$P = V \sin \theta \sqrt{K \cdot W/g}$$

なお,  $V \cos \theta$  によるエネルギーは, 車止めを乗り越えようとするエネルギーとして保存されているとします.

$$\theta = 0^\circ \text{ のとき, } P = 0$$

$$\theta = 90^\circ \text{ のとき, } P = V \sqrt{K \cdot W/g}$$

車止めに作用する荷重は,

$$\text{水平成分 } Ph = P \sin \theta$$

$$\text{鉛直成分 } Pv = P \cos \theta$$

前述の例題の値を用いると,

$$\theta = 90^\circ \text{ のとき, } P = 8.3 \sqrt{80 \times 14 / 9.8} = 88.7\text{ kN}$$

となります.

以上の算定式は如何でしょうか. ここでは, 衝突力  $P$  の作用方向を車軸方向に考えていますが, 衝突実験<sup>12)</sup>の写真をみると, もう少し上方向に向いているように見えますので作用角度の補正が必要と考えられます.

### 参考文献

- 1) 土木学会技術推進機構: 土木 ISO ジャーナル, Vol. 29, 2018. 3
- 2) IEC61400-1, Wind turbines-part1: Design requirements.  
この日本語版として, JIS C1400-1, 風車-第1部: 設計要件
- 3) IEC61400-3, Wind turbines-part3: Design requirements for offshore wind turbines. この日本語版として, JIS C1400-3: 洋上風車の設計要件
- 4) ISO19900(2013), Petroleum and natural gas industries- General requirements for offshore structures
- 5) ISO19901-4(2016), Petroleum and natural gas industries- Specific requirements for offshore structures-Part4: Geotechnical and foundation design considerations
- 6) ISO19903(2016), Petroleum and natural gas industries- Fixed concrete offshore structures structures-Part4: Geotechnical and foundation design considerations
- 7) ISO19902(2007), Petroleum and natural gas industries- Fixed steel offshore structures
- 8) 全国海岸協会: 緩傾斜堤の設計の手引き (改訂版), pp. 44-46, 2006
- 9) ジョン・トワイデル+ガエターノ・ガウディオージ編著, 一般社団法人日本風力エネルギー学会監訳: 洋上風力発電, 2011年
- 10) Tony Burton, Nick Jenkins, David Sharpe, Ervin Bossanyi: Wind energy Handbook-2<sup>nd</sup> ed, WILEY, 2011
- 11) 吉田宏一郎: 海洋構造力学の基礎, 平成 22 年
- 12) 未来航路株式会社HP <http://www.miraikouro.co.jp>