

# ハリケーン・カトリーナとリタによる海洋構造物の被害状況並びに 海洋構造物設計基準の改訂動向調査

湯川 和浩  
(独) 海上技術安全研究所

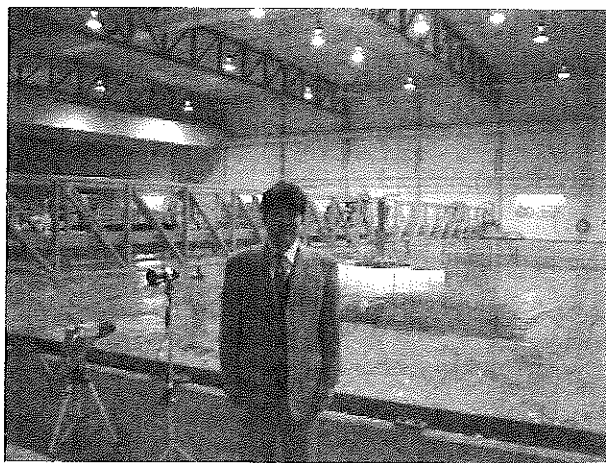
## 1. はじめに

日本船舶海洋工学会の若手研究者・技術者活性化事業に係わる海外派遣制度により、2006年4月30日から5月13日までの間、渡米させて頂き、ハリケーン・カトリーナとリタによる海洋構造物の被害状況並びに海洋構造物設計基準の改訂動向に関する調査を行ったので報告する。

## 2. 目的

2005年にメキシコ湾を襲ったハリケーン・カトリーナとリタにより、経路に位置した多くの石油・天然ガスの海上生産施設と掘削リグが倒壊、漂流等の甚大な被害を被った。被害の発生した原因として、設計条件設定とその応用に問題があったことが指摘されており、海気象の厳しい海域での海洋構造物設計を本経験に基づいて改良することがAPI (American Petroleum Institute: アメリカ石油学会) において検討されている。

一方、エネルギーの安定供給の観点から、我が国では東シナ海でのガス田開発が喫緊の課題として挙げられる。台風や黒潮の通り道である東シナ海域のような過酷な自然環境下において十分な耐久性を有する海洋構造物の設計には、メキシコ湾における大規模自然災害による被害とその後の復旧状況を調査することで得られる情報が参考になるのではないかと考えた。また、ハリケーン・カトリーナとリタにより MODU (Mobile Offshore Drilling Unit) が漂流し、生産施設に大きなダメージを与えたことから IMO において MODU 関連の基準改正の議論が再燃すると思われ、我が国がこれに積極的な対応



OTRC にて

をとるためにも、米国における海洋構造物設計基準の見直し動向を調査することも重要であると考えた。そこで、毎年ヒューストンで開催され、今回はハリケーン・カトリーナとリタに関する特別セッションが設けられる OTC'06 に参加し、さらにカレッジステーションに位置するテキサス A&M 大学と OTRC (Offshore Technology Research Center)、サン・アントニオに位置するサウスウエスト研究所を訪問させて頂き、調査を行った。

## 3. 訪問先について

今回の調査では以下の方々にお世話になった。

【テキサス A&M 大学】 CHEUNG HUN KIM 教授

【OTRC】 RICHARD S.MERCIER 氏

【サウスウエスト研究所】 JERRY A.HENKENER 氏、 JOSEPH E.CROUCH,P.E.氏、MICHAEL D.LADIKA 氏

【API】 CUNEYT CAPANOGLU 氏

OTRC は 1988 年に設立され、テキサス A&M 大学、テキサス大学オースチン校と協力関係にある。産業界の石油備蓄の開発支援において中核的な役割を果たしており、海洋・海底環境、海洋構造物に作用する環境外力、先進的材料等の分野における技術開発を中心に行っている。

OTRC は風、波、流れを組み合わせた実験ができる深海ピット付きの水槽を所有しており、今回の訪問で見学させて頂くことが出来た。メキシコ湾の深海プラットフォームの約半分に対してこの水槽で模型試験を実施して貢献しているとのことである。OTRC の水槽では FPSO を対象とした実験や VIV (Vortex Induced Vibration) に関する実験も実施しているが、一番多いのは TLP に関する実験であり、通常 1/60 スケール模型を使用するそうである。

#### <<OTRC の水槽スペック>>

【水槽】：長さ 45.7[m]、幅 30.5[m]、深さ 5.8[m] (深海ピット：水槽中央部に長さ 9.1[m]、幅 4.6[m]、水槽底面からの深さ 16.8[m])

【造波機】：48 枚のフラップ式

- ・波形：規則波、不規則波、長波頂・短波頂波
- ・波周期：0.5~4.0[sec]
- ・最大波高：0.9[m]

【曳航台車】

- ・曳航速度：0~0.6[m/s] (x 方向のみ)

【潮流発生装置】：ジェット多岐管式

- ・流向：任意方向
- ・流速：0~0.6096[m]

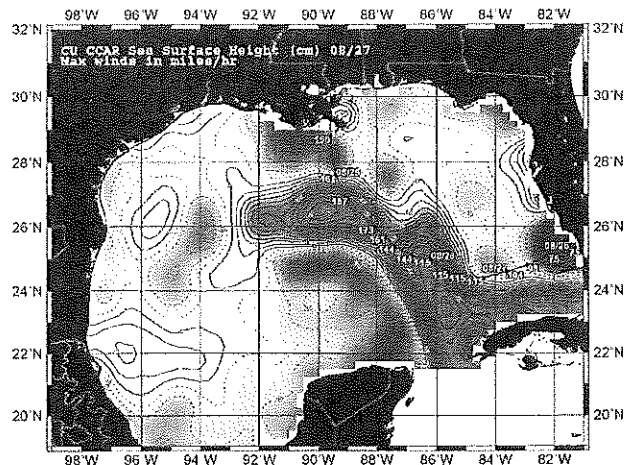
【風発生装置】：16 台の可変ファン方式

- ・風向：任意方向
- ・風速：0~12[m/s]

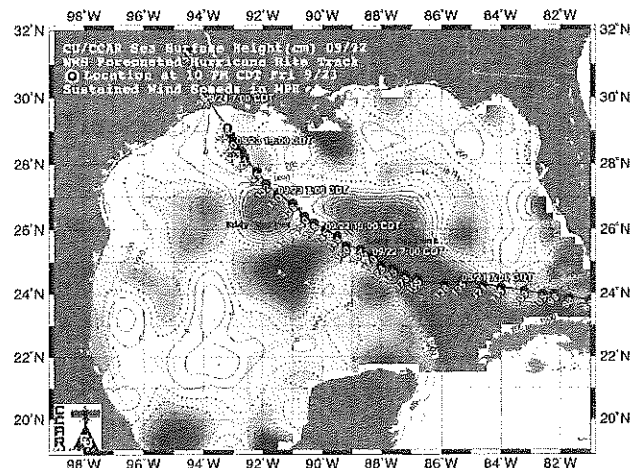
【トラッキングシステム】：8 台のカメラで模型の 6 自由度の運動を追尾計測

- ・精度：0.5[mm]

サウスウエスト研究所は、13 の技術部門において多岐に渡る研究開発を行っている。従業員は 3000 人近くおり、クライアントは産業界 (例えば深海関係では BP などのオイル会社、ガス会社、ケーブル会



ハリケーン・カトリーナの経路と海面高度<sup>1)</sup> (ループカレントは海面高度が高い部分の周りを時計回りに回っている)



ハリケーン・リタの経路と海面高度<sup>1)</sup>

社、海中機器会社など）と政府である。クライアントからの要望に全て応えられるように、対応できる研究及び開発領域を徐々に拡大しているとのことである。コンセプトの提案、設計、コンピュータツールによる解析からフルスケール試験まで一通り自分たちで実施できる体制が整っており、深海関係の試験施設としては深海圧模擬試験洞（Deep Ocean Pressure Simulation Test Chambers）を所有している。訪問時には、U.S.Navyからの依頼でROVの試験を実施しており、残念ながら見学させて頂くことは出来なかった。

#### 4. ハリケーンによる海洋構造物の被害状況について

通常のハリケーンシーズンの平均値では10のStormのうち、6つがハリケーンとなり、その中の2つがメジャーハリケーンになるが、2005年は27のStormがあり、そのうち15がハリケーン、7つがメジャーハリケーンになった記録的なシーズンであった。1995年以降、過去15～25年に比べて気候学的に暖かく、大西洋も温度が上昇していることと、メキシコ湾特有のLoop Currentの影響が原因として考えられるようだ。Loop Currentはユカタン海峡からメキシコ湾に流れ込む時計まわりの暖かい流れで、その位置は季節によって変化する。ちょうどハリケーン・カトリーナの時には、メキシコ湾中心部まで流れが発達していたそうである。流速5[knot]に及ぶこの流れは、メキシコ湾の海洋生産施設にVIVを引き起こすとともに、ハリケーンの力を短時間で強くする作用もある。

ハリケーン・カトリーナとリタ以前についても、2004年9月にハリケーン・アイバンがメキシコ湾の中心から北岸にかけて通過し、南レイジアナ沖のプラットフォームが損傷している。その時の最大風速は67[m/s]、最大波高は27[m]であった。2005年6月にハリケーン・デニス（最大風速68.9[m/s]）、エミリー（最大風速71.1[m/s]）の2つのハリケーンがメキシコ湾に入り、引き続き8月にハリケーン・カトリーナ（最大風速77.7[m/s]）、その4週間後にリタがメキシコ湾を通過し、メキシコ湾北西部に大きな影響を与えた。ハリケーン・カトリーナとリタにより、メキシコ湾内にある95%の海洋構造物が何らかの影響を受けたそうである。

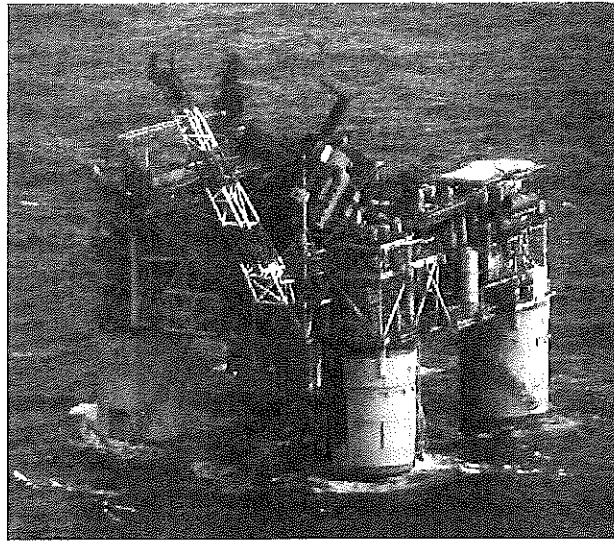
ハリケーン・カトリーナとリタによって114基の固定式プラットフォームが破壊され、その他52基がダメージを被った。ただし、比較的浅いところに設置されていた古い施設が多く、メキシコ湾全体の生産量に占める割合が小さいことと修復費が高いことから、殆どのが修復されない可能性が高いとのことである。浮体式プラットフォームでは、ハリケーン・カトリーナにより特に大きな被害を被ったのがTLP"Mars"（Shell所有）であり、上部リグが壊れた。また、ハリケーン・リタにより大きな被害を被ったのがMini TLP"Typhoon"（Chevron Corp.所有）であり、TLP自体が転覆した。

もう一つの課題がMODUの漂流である。ハリケーン・カトリーナとリタにより、19隻のMODUの係留が破壊され、アンカーを引きづったまま漂流してしまったため、海底のパイプラインが甚大な被害を被った。アメリカではMODUの係留設計にAPIの基準（API RP2SK）を適用しているが、MODUは基本的に移動可能とみなされ、再現期間が10年の設計基準が適用されている。今後、MODUの係留設計に関する基準に100年再現期間が適用されるかどうか、今回の改訂動向調査で興味のあるところであった。

また、パイプラインについては、海底の土砂による被害と前述したMODUのアンカーによる被害がある。10インチ以上のパイプラインで見ると、ハリケーン・カトリーナにより36のパイプラインが被害を被り、ハリケーン・リタにより28のパイプラインが被害を被っている。10インチ以下のパイプラインまで含めると更に100以上のパイプラインが被害を被ったようだ。ハリケーン・リタの時は、海底の土砂によりパイプラインが被害を受けたケースが多かったようで、その後のパイプラインの復旧状況については、調査時は正式な発表はなされていない。

#### 5. APIの活動と海洋構造物設計基準の改訂動向について

APIはアメリカ石油産業における最大の事業者団体であり、400近くの企業を会員とし、石油・天然ガス産業の各分野を取り扱った約500件の規格を維持している。ISO規格の開発作業への積極的な関与を通じてAPI規格もグローバルなものになりつつある。



上部リグが倒壊した TLP "Mars"<sup>2)</sup>

APIの海洋構造物に関する小委員会(SC2)は、近年の強いハリケーンがメキシコ湾における海洋プラットフォームに与えるインパクトの評価とAPIが推奨する基準の改訂のために、新たにHEAT(Hurricane Evaluation and Assessment Team)というチームを結成した。HEATの活動には、メキシコ湾の特性把握と情報更新以外に現行の設計基準の改訂が含まれる。また、HEATの下には5つのWGが設置され、それぞれ以下の活動を行っている。

- WG1: メキシコ湾の海象・気象データの収集並びにメキシコ湾の特性情報の更新を行う。
- WG2: ハリケーンによって破損した構造物の情報収集を行う。
- WG3: WG1, 2の成果を元に評価・解析を行う。このWGにおける活動成果がAPIの基準(API RP2A, RP2T, RP2FPS, RP2SK)の改訂に反映される。このWG3で対象とするのは、基本的には固定式の構造物であり、それ以外にTLP、SEMISUB、SPARなども対象とする。また、MODUの係留設計に関する基準改訂(API RP2SK)もこのWGを中心に検討が行われる。
- WG4: 上部構造物に作用する風加重の評価を行う。このWGにおける検討内容はAPIの基準(API RP2A, RP2T, RP2FPS)に反映される。
- WG5: 基準改訂によって影響を受ける主な企業との調整を行う。企業からの大多数の賛成が得られて初めて基準改訂となる。

TLPの設計基準(API RP2T)の改訂についてはHEATのWG3で検討が進められており、これまで再現期間が10年であった設計基準を再現期間100年に改訂予定だそうだ。API RP2Tの改訂については、1点だけ重要な問題で意見が分かれて未解決になっている。それは、TLPが係留されていない場合でも安定しているべきかどうかという点である。U.S. Coast Guardは係留されていない場合でも安定で転覆すべきではないと主張し、MMS(Minerals Management Service)等と意見が食い違っているとのことである。この点の意見が統一され、API及び関連企業で投票して採択されれば、2006年の9月か10月あたりに改訂版(第3版)が発行される可能性が高いとのことである。また、環境外力に関する設計条件の変更内容については、風、波、流れが同一方向(Colinear)を最も厳しい状態として扱うことが追加され、最大波高は23[m]から26[m]まで引き上げられる予定だそうだ。

MODUの係留設計に関する基準(API RP2SK)の改訂については、ハリケーン・カトリーナとリタ後の2005年9月以降にWGの活動が活発化された。API RP2SKの検討WGはShellやBPなどのオペレーター、Transoceanなどのドリリング会社、ABSやDNV、MMSなどの基準策定者、その他エンジニアリング会社や製造会社のメンバーによって構成されている。API RP2SKの内容は、TLPの設計基準と同様に大幅な改訂がなされるとの話があったが、現在の動向では大きな改訂はなされない可能性が高いとのことである。

API RP2SK の大幅な改訂がなされない理由に、掘削用のドリリングユニットを独自に所有する石油会社が減り、リースで済ませる傾向にあることが挙げられる。石油会社はMODU 構造物を所有する他のパートナー会社を探す傾向にあり、全体的に少なくなりつつある MODU に有効な基準を強化することは望まれないというところに理由があるようだ。

現在のところ、2010 年の第 4 版発行まで API RP2SK の改訂は予定されていないそうである。細かい見直しや変更については、2006 年末までに公表される予定であり、その際、全ての MODU オペレーターは政府に MODU のポジションコントロールシステムコードを与えなければならないという事項が変更点として盛り込まれる予定である。これによって、MODU が移動する場合に U.S. Coast Guard や MMS は事後ではなく、リアルタイムでその動きをモニターできるようになる。

## 6. 終わりに

2005 年の大型ハリケーンによって影響を受けたアメリカの石油生産量も徐々に回復しており、しかも 2006 年のハリケーンシーズン目前という時期に開催された OTC06 で新たに設けられたハリケーン・カトリーナとリタに関する特別セッションは、立ち見が出る程盛況であり、人々の関心の高さとアメリカ国民にとって切実な問題であることを改めて感じた。大型ハリケーンによる海洋構造物の被害を踏まえて、API では TLP の設計基準に関して改訂の動きがある。しかし、非常に意外なことに大きな被害をもたらした MODU の係留設備に関する基準については、マイナーな改訂に留まりそうである。今回の調査でお話を伺わせて頂いた方々は共通して、なぜマイナーな改訂を繰り返すのか？MODU の係留設備にも 100 年再現期間の適用をすべきだとおっしゃっていたが、MODU 隻数の減少と基準改訂によって影響を受ける企業からの強い反発という背景を考えると難しい問題なのかもしれない。本稿執筆時には、既に 2006 年のハリケーン・シーズンに入っており、状況によっては再度 MODU の問題が再燃する可能性もある。このままマイナーな改訂で終わるのか、今後の動向を見守りたい。

最後に、このような貴重な機会を与えて頂いた日本財団と日本船舶海洋工学会の関係各位に対し厚く御礼を申し上げますとともに、訪問先選定やコンタクトパーソンを紹介して頂いた方々にも心から御礼を申し上げます。

## 参 考

- 1) Loop Current [http://en.wikipedia.org/wiki/Loop\\_Current](http://en.wikipedia.org/wiki/Loop_Current)
- 2) Hurricane Katrina 2005 <http://www.financialsense.com/fsn/katrinadamage.pdf>

## 2006 年度若手研究者・技術者海外派遣

派遣者氏名	湯川和浩
派遣者所属	海上技術安全研究所 海洋部門
調査テーマ	ハリケーン・カトリーナとリタによる海洋構造物の被害状況並びに海洋構造物設計基準の改訂動向調査
訪問国	米国
派遣期間	2006 年 4 月 30 日 ~ 5 月 13 日 4 月 30 日 ~ 5 月 13 日
紹介者	
1. CHEUNG HUN KIM	TEXAS A&M UNIVERSITY
2. MICHAEL D. LADIKA	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE
3. CUNEYT CAPANOGLU	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE
訪問先面談者 所 属	
a. CHEUNG HUN KIM	TEXAS A&M UNIVERSITY
b. RICHARD S. MERCIER	OFFSHORE TECHNOLOGY RESEARCH CENTER
c. JERRY A. HENKENER	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTEjhenkener@swri.org
d. JOSEPH E. CROUCH, P.E.	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE
e. MICHAEL D. LADIKA	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE
f. CUNEYT CAPANOGLU	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE
調査内容(1)	ハリケーン・カトリーナとリタによる海洋構造物の被害状況調査
<p>OTC'06 の特別セッションや MMS ( Minerals Management Service )、ABS 等の展示ブース、TEXAS A&amp;M 大学、OTRC、サウスウエスト研究所を訪問し、ハリケーンカトリーナとリタによる海洋構造物の被害状況について調査を行った。メキシコ湾における固定式のプラットフォーム 114 基が破壊されたが、比較的古い施設が多くメキシコ湾全体の生産量に占める割合が小さいことから、殆ど修復されないとのことであった。TLP の中には上部リグが倒壊したり、転覆してしまったものもある。最も大きな問題となっているのは、19 隻もの MODU ( Mobile Offshore drilling Unit ) の係留が破壊され、アンカーを引きずったまま漂流したことによりパイプラインが甚大な被害を被ったことであり、MODU の係留設計に関する AIP 基準 ( 現在は 10 年再現期間を採用している ) の見直しを開始されている。</p>	
調査内容(2)	海洋構造物設計基準の改訂動向調査
<p>ハリケーン・カトリーナとリタにより、メキシコ湾の海洋構造物が大きな被害を被ったことで開始された海洋構造物設計基準の改訂動向について調査を行った。AIP では推奨する基準改訂のために HEAT ( Hurricane Evaluation and Assessment Team ) という特別チームを結成し、活動を開始している。TLP に関する設計基準については、最大波高が 23m から 26m まで引き上げられる。更にハリケーンによる TLP の転覆を受けて、係留していない状態でも安定であるべきという点を含めるかどうかで調整を行っているようである。一方、MODU の設計基準については、独自に MODU を所有する石油会社が減少しており ( リースで済ませる傾向にある )、全体的に MODU の隻数が減少しつつある中で基準を厳しくすることは望まれないようで、現在採用している 10 年再現期間を 100 年再現期間に変更するといった大幅な改訂はなされない可能性が高いようである。</p>	

#### 特記事項

ハリケーン・カトリーナとリタによって被害を受けたメキシコ湾の海洋構造物の被害状況とその後の復旧状況、それを受けた海洋構造物設計基準の改訂動向について調査を行い、ほぼ当初の目的は達成出来たと考える。被害状況調査については、OTC'06での報告にも数値に若干ばらつきがあり、次のハリケーン・シーズン到来までの復旧に追われる中での速報に近い部分もあったように思うが、固定式並びに浮体式の海洋構造物、パイプラインの被害状況が分かり、貴重な情報を収集することが出来たと思う。また、その被害の大きさも改めて実感することが出来た。海洋構造物設計基準の改訂動向調査については、APIだけではなく、ABS やオペレーションサイドなど、もう少し多くの方面の方と面談して情報を収集することができれば、さらに良かったと思う。