

ミャンマー国における高潮災害に対する自立的 減災力育成を目指した技術支援の取組

嶋田 宏¹・中野 晋²・村田 進³・丹羽 竜也⁴

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 港湾部 (〒101-8462東京都千代田区神田錦町3-22)

E-mail: hiroschi.shimada@ss.pacific.co.jp

²正会員 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

E-mail: nakano.susumu@tokushima-u.ac.jp

³正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 技術顧問 (〒101-8462東京都千代田区神田錦町3-22)

E-mail: susumu.murata@ss.pacific.co.jp

⁴正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 港湾部 (〒101-8462東京都千代田区神田錦町3-22)

E-mail: tastuya.niwa@ss.pacific.co.jp

ミャンマー沿岸部では2008年5月に深刻な高潮被害により約14万人の犠牲者を出した。これを受け沿岸部デルタ地帯の高潮被害を軽減するためJICAによる自然災害早期警報システム構築プロジェクト¹⁾(JICAプロジェクト)が実施されている。広範囲に入り組んだ沿岸各地で精度の高い高潮警報を住民に伝えるためには、ミャンマー国(緬国)の技術者が自立的に各地の潮位特性を分析できる技術を身につけることが重要である。筆者らはリボンロッドを用いた簡易潮位計を用い短期間の観測から天文潮位推算を行ない、これらの手法を防災安全教育の一環として緬国の実情に合わせた継続的な展開が可能な基礎的観測技術の移転を行った。

Key Words : tide gauge, harmonic anyalysis, disaster management, storm surge

1. はじめに

ミャンマー(緬国)のエーヤワディ管区は、肥沃で広大なデルタ地帯であるが、2008年5月2日～3日のモンスーン・ナルギスによる高潮浸水高は3m以上となり約14万人の犠牲者を出した。甚大な被害となった理由としては、これまで地元住民にとって経験の無いサイクロンのコースであったことや高潮の十分な予報と警報が出されず、個人の判断による避難が遅れ、避難場所となる高台や建物も広大なデルタ地帯には無く道路も冠水したため犠牲者が増大した。ナルギスの被災後、各国の支援により避難シェルターの設置や防災教育が実施されている。2013年よりJICAプロジェクト²⁾では沿岸デルタ地帯の高潮被害を軽減するため、早期警戒システムの構築、技術者養成セミナー等の活動が実施されている。ここでは、このプロジェクトの一部である、高潮予報・警報を担う緬国の運輸省気象水門局(DMH)の技術職員に対する高潮防災教育の一環としての技術支援の取組について焦点を当て論ずるものである。

2. 高潮災害に対する危機管理についての課題

(1) ハード面の取組

エーヤワディ管区のデルタ地帯の沿岸部の主要道路は周辺の軟弱粘土の両脇の土を掘って盛土したものであり、沈下やすべり破壊により盛土高は原地盤から1～2mの嵩上が限界である。そのため高さが5m以上ある橋梁への盛土部は常に沈下している状況である。軟弱な粘性土が厚く堆積しているため高盛土や高い構造物を設置するためには、地盤改良や杭形式の構造物が必要である、しかしながら、財政面や経済活動を優先したインフラ整備に力が注がれており、当該地域の高潮対策としての海岸保全施設は皆無であり防災に対するハード面の整備は殆ど行われていない状況からサイクロンや集中豪雨による浸水被害が毎年のように報告されている。ナルギスの被災後、各国の援助により当管区では約300の避難用シェルターが建設されているが、ビレッジから4km以上離れた村が半数以上あり、十分な数には至っていない²⁾。

(2) ソフト面の取組

ナルギスの被災後各国の支援により高潮防災教育が行なわれ、ハザードマップの作成や避難訓練などのソフト面の対策が行われている。しかしながらDMHの地方技術者を対象に実施した高潮/津波の技術講習では、そのメカニズムを初めて理解した技術者が大部分であることが、ワークショップ後のインタビュー調査で明らかになった。防災に関するソフト対策を行う上で重要なことは、住民を指導する立場にあるDMHの技術者が高潮、津波等に対する基本的な発生メカニズムを目的意識を持って吸収し継続した対応が行えるシステムの技術移転を行うことである。

3. 高潮災害に対する危機管理の対策

ソフト面の課題に対する対策として気象警報を発令するDMH、情報をコミュニティへ伝達する役割の経済復興局(RRD)を主対象として、沿岸部デルタ地帯の高潮被害を軽減するため、本JICAプロジェクトでは次の活動が行われている。

- ・自然災害早期警戒システムの構築
- ・技術者育成セミナーの実施

(1) 自然災害早期警戒システムの構築

サイクロン・ナルギスの教訓として高潮に対する危険時刻、水位上昇などの情報が無く、予報は水位偏差のみであった。また、気象情報が住民に十分に伝達されていないことから、本プロジェクトでは、中央のDMHからの気象情報を正確かつ迅速に伝達するためのシステムを構築中である。その他の対応として次の事項を実施中である。

- ・避難警報の発令に必要となる閾値の設定
- ・サイクロンによる高潮偏差のみならず天文潮位を足し合わせた、各地域の時刻毎の水位予測
- ・上記に必要となる潮位観測所の設置

ナルギス上陸地点にリアルタイムでDMH(ネピドーおよびヤンゴン)で観測可能な衛星を利用した電波式潮位計の設置を2014年10月に行っている。上記の対応により住民に迅速かつ適切に伝わるシステム改良モデルが確立される予定である。

(2) 技術者養成セミナーの実施

今後の自立した危機管理対応能力の向上を目指し、次に示す技術移転が行われている。

- ・DMH 地方職員を対象とした高潮、津波メカニズムと天文潮位の重要性に関するワークショップ形式による技術移転(高潮偏差と天文潮位の組み合わせによる高潮

浸水高の想定と避難時期の把握)。

- ・DMH中央職員に対するHiy Gyi Kyunに設置したリアルタイム潮位計の今後のデータ蓄積(1年分)を用いた調和分解手法の技術移転。

4. 自立的減災向上を目指して

(1) 高潮の早期警戒に向けた基礎的観測技術の移転

a) 高潮観測の必要性

高潮警報を発令するための手順としては、図-1に示すフローに基づく情報を明確にした上で警報発令が可能となる。そのため各地の天文潮位の予測が必要不可欠であるが、エーヤワディ管区の各地の天文潮位予測については、新規にHiy Gyi Kyunに取付けた電波式潮位計の1年以上の潮位データを用いて天文潮位の予測(60分潮)が可能となる。他地区でも海軍の潮位表が発行されているが河口部では2箇所のみであり(図-2参照)、海岸線が複雑に入り組み大きな被害の発生している地域(Bラブッタ、Eボガレー、Gピャボン等)の実測潮位と天文潮位の情報が必要である。しかしながら予算的に追加の潮位計を設置することは難しい状況である。

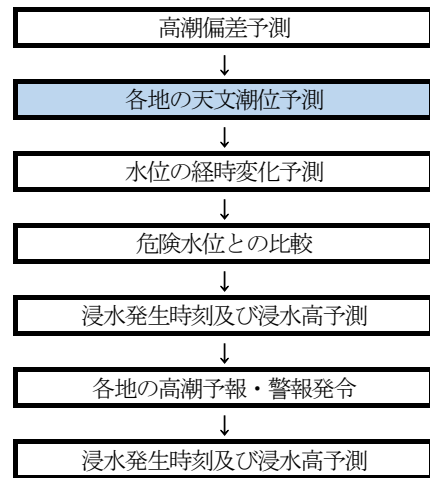
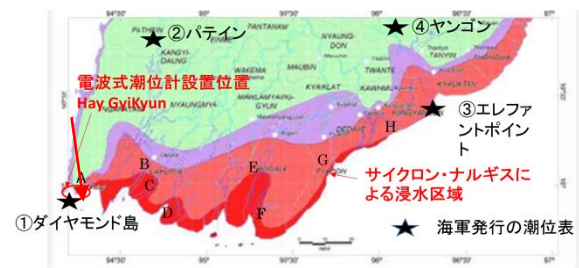


図-1 対象地の高潮予測と警戒発令までのフロー



高潮災害ポテンシャルとエーヤワディ州の代表地点(潮位推算地点)
 (出典) Hazard Profile of Myanmar, 2009
 (A: Haigy Kyun, B: Labutta, C: Hlwa Sar, D: Pyinsalu, E: Bogale, F: Ama, G: Pyapon, H: Thandeik)

図-2 エーヤワディ管区での電波式潮位計設置位置及び海軍発行の潮位表の検潮位置

b) 簡易潮位計設置による天文潮位予測

サイクロン・ナルギスの上陸地点である Hay Gyi Kyun にて、電波式潮位計を設置の際に沖合約 20km 離れたダイヤモンド島の海軍検潮所の潮位表の値を基に測量用簡易潮位計 (5m リボンロッド) を設置し、電波式潮位計の設置高 (DL) の仮設定を行った (1 年間の平均水位 MSL を求めた後に基準高を正式に設定する)。さらに 15 日間の 24 時間連続観測を行い 10 分潮による天文潮位の予測を行ない、実測値及び海軍の潮位表との位相及び振幅の比較を行った。その結果は図-3 に示すように朔望時の満潮時に 30cm 程度の差はあるものの、位相は正確であり、サイクロン来襲時の高潮偏差との組合せにより、高潮時水位高の経時的予測が可能となる。さらに定期的な日常潮位の観測を続けることにより Spline 法により精度の高い天文潮位の予測が可能となる。この対応を DMH 地方職員が主体的に行うことにより中央のネピドーの DMH は地区毎の高潮偏差と上陸予想時刻の情報より水位の予測が可能となる。さらに簡易潮位計の実際の水位をネピドーの DMH に連絡することにより解析値との比較により解析精度の向上に寄与できると考えた。

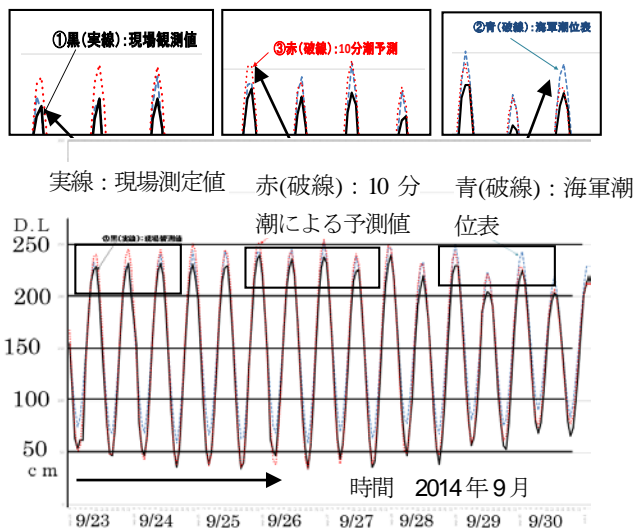


図-3 潮位予測値 (10分潮) と実測および海軍潮位表との比較

c) 簡易潮位計設置指導と調和分解解析手法の技術移転

Kyaukphyu での DMH 地方職員を中心とした 18 名のメンバーへの自然災害に対する当初の教育訓練内容は高潮、津波等の沿岸部自然災害発生メカニズムの講習を考えていた。しかしながらこの安全防災教育では自主性を育てることが重要であることから、高潮・津波の発生メカニズムの講習に加え簡易潮位計の活用方法と調和分解ソフトを提供した潮位予測方法の講習内容を追加した。講習予定を 1 日延長し、翌日には栈橋に簡易潮位計を設置し設置方法、観測方法の実演指導を行った(表-1, 写真-1)。このように簡易潮位計の設置方法、調和分解手法を含

めた潮位の活用技術を実際に現場で技術移転することにより、今後、彼らが属する DMH の各所轄地域においても自主的に簡易潮位計が設置され、天文潮位の予測が可能となる。その結果、サイクロン来襲時の高潮偏差予測計算が行われればと各地域の推算潮位と合わせることで、各地域で正確な危険水位の発生時刻を予測することも可能となり、地域住民に対する精度の高い高潮予報の提供が期待される。

表-1 防災教育ワーキング参加者とワーキング内容

No.	項目	内容
I: 2015年3月6日(金) 13:00~17:00		
1	波の性質と高潮の発生メカニズム	波浪の分類として風波, 潮汐, 津波 高潮の発生原因 潮汐の概要 潮位とサイクロンによる偏差との組み合わせ 台風ガリの再現計算による浸水高の検証
2	2-1 電波式潮位計の設置による潮位観測 2-2 簡易潮位計を用いた調和分解による潮位予測と活用方法	Hay Gyi Kyun での衛星を用いたリアルタイムの潮位計の設置と DMH 本部でのモニタリングによる活用効果 潮位観測が行われていない地区での簡易潮位計の活用方法と調和分解のソフト提供を含めた 15 日潮位観測による潮位予測手法の説明と, Hay Gyi Kyun での実施例の説明
23	Hay Gyi Kyun での住民へのインタビュー結果の報告	予報・警報の必要性を生々の声を間接的に説明
3	津波発生メカニズムと到達時間	想定されている津波震源地からの到達時間, 津波高の説明
4	質疑応答及び記念写真	同様のワークショップを増やしてほしいとの要望有
I: 2015年3月7日(土) 9:00~11:00		
1	簡易潮位計の取付方法と観測方法	Kyaukphyu の第二栈橋にて簡易潮位計を実際に取付るとともに, 潮位の観測方法について参加者全員に指導した
2	ワークショップ参加者へのインタビュー	参加者に対しインタビューを行い, 次の段階に向け成果と要望確認を行った。



写真-1 簡易潮位計の現地設置講習状況

同様に首都ネピドーでも、中央政府のDMHの技術者に調和解析ソフトを提供した。その上で、簡易潮位計による15昼夜分の潮位観測データから調和定数を求めるための技術講習ワーキングを2015年3月中旬および4月下旬の2回にわたって実施した。その結果、任意の時期のHiy Gyi KyunおよびKyauk Phyuの天文潮位の算出が可能となった。

ネピドーでのワーキング内容は、基礎的観測技術の移転として「簡易潮位計の活用方法」、「簡易潮位計の設置方法」、「15日間連続観測に基づく調和解析(10分潮)による天文潮位の算出」に加えて、サイクロンや津波に対する潮位観測の必要性に関する意識啓発を行い、自立した観測技術の移転を行った。なお、エーヤワディ管区の潮位表は(図-1)に示したように、本プロジェクトでHiy Gyi Kyunに設置した電波式潮位計以外にはリアルタイムでの観測値は無く、海軍の潮位表のみである。しかし、潮位表に掲載されているダイヤモンド島(Hiy Gyi Kyunの20km沖)には現在、検潮所が設置されておらず、過去の観測データを基に算出された60分潮の調和定数より毎年の潮位表が作成されていると考えられる。このような状況からも、DMHによる簡易潮位計を用いて潮位定数を再評価し、確認しておくことが必要である。

(2) インタビューによる被災地住民の意識調査

地方政府職員は住民の防災対応力を向上するための中心的役割を担う必要があるが、現時点では必ずしもそうした意識は高くない。そこで、地方政府職員の意識改革を目的とした研修として住民を対象としたインタビュー調査を行った。調査はナルギスの上陸地点であるHiy Gyi Kyunで実施し、インタビュー調査(写真-2)の対象者は住民23名である。調査は現地人通訳を介して、住民に高潮発生前に取得していた情報と今後の備えを中心としインタビューを行なった。その後、住民からの具体的な証言を職員対象のワークショップに取り入れて、住民とのリスクコミュニケーションの重要性を実感してもらった。

図-4に示すインタビュー結果の通り、ナルギス来襲の情報はラジオに頼っており、住民が最も欲しているもの



写真-2 インタビューに答える被災者

は、正確なサイクロンの予報と避難シェルターである。

特筆すべきは、インタビューを実施した村は現在でも公共の電気が無いが、貧しい家庭でも各自がラジオをサイクロン来襲前に毎年購入するなど、高潮に対する警戒心は強く、DMHの気象予報に基づいた避難を強く意識していることが伺えた。

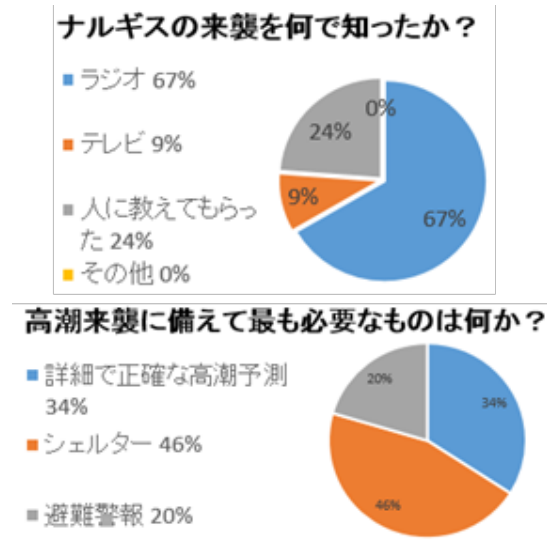


図-4 ナルギス上陸地点での被災者へのインタビュー結果。

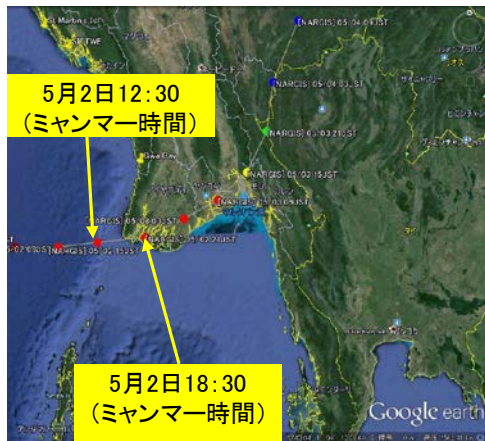
(3) ナルギス来襲時の高潮潮位の検証

Hiy Gyi Kyunのインタビュー時にはサイクロン・ナルギスの実際の浸水高を確認するため、潮位からの高さを水準器を用いて写真-3のように測量を行い、浸水位を観測基準面からの標高(DL+5.35m)を求めた。一方、ナルギスの経路(図-5)より、平面2次元高潮計算を実施した。台風モデルにはMyersの式を用いて、傾度風等に対する補正係数C₁、C₂及び偏向角は一般的に用いられる0.8、0.8、30°を用いた。また、計算格子は最大8100mから最小20mに6段階にネスティングする計算格子を用い、沿岸部は20mとした。

調査地点であるHiy Gyi Kyun付近で最大偏差が現れる現地時間で14時頃の高潮偏差分布を(図-6)に示す。また、



写真-3 浸水高の測量状況



Nargis通過経路 (Unisys Weathery より)

図-5 ナルギス通過経路と時刻

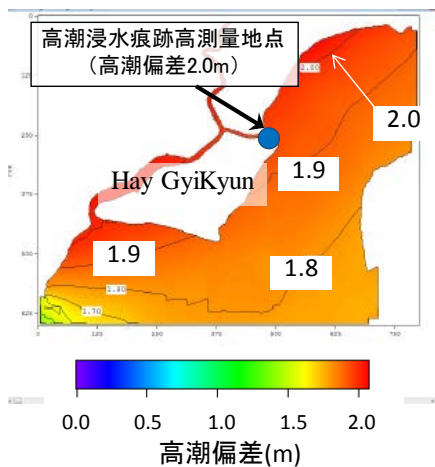


図-6 高潮再現計算結果

(平面2次元高潮解析, Myers 台風モデル)

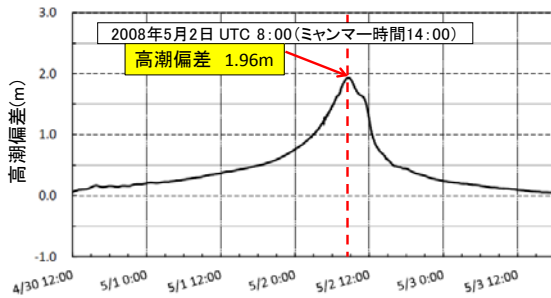


図-7 再現計算結果による最大高潮偏差の発生状況

Hiy Gyi Kyun付近での高潮偏差の時間変化を図-7に示す。

計算による最大偏差は14時に1.96mである。

一方、簡易潮位計による観測から求めた調和定数を用いて、ナルギスが来襲した5月2日の推算潮位変化を図-8のように評価した。対象地点を通過した14時頃はほぼ満潮であり、これが深刻な高潮の発生要因として考えられる。5月2日14時の推算潮位は1.83mであり、これを高潮偏差に加えると最大高潮潮位はDL+3.79mとなる。

住民からのヒアリングでも浸水ピークが14時頃であっ

たとの証言があり、これと計算結果は良く対応している。一方、浸水痕跡位は計算結果より、約1.5m高く一致しない。本計算では波浪による水位上昇が考慮されていない。また、河川の増水の影響や地形データの精度にも問題があり、相違が生じたものと考えられる。しかし、こうした方法でサイクロン来襲前に高潮危険度を把握することは可能となる。これを実現するためにも、地元の技術者による潮位観測が重要であることを示すことができた。

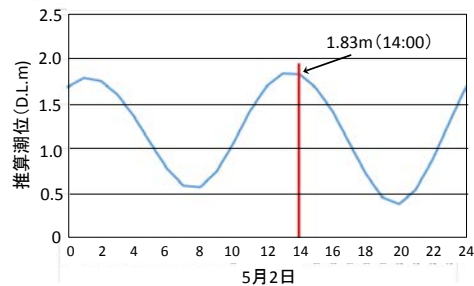


図-8 ナルギス来襲時の推算潮位変化

5. 自立的減災向上プロジェクトに対する評価

本業務は継続中であり、これまで日本側指導で実施してきた技術移転、情報の迅速な送信と対策、避難訓練等に対し、ミャンマー国側の職員による他地区への展開について評価し、必要に応じて指導し自立的展開により緬甸全域に拡張することを目標としている。

今回、着目した簡易潮位計の活用について、ワークショップ後に参加者を対象にインタビューを行った。その結果を表-2に示すが、自主的な簡易潮位計の設置や高潮・津波のメカニズムに対する再度の研修について希望が出されるなど高い評価を得ることができた。

このように簡易ではあるが、有意義なDMHへの防災教育のさらなる継続により、自立した対応が期待される。なお、DMHが自主的に簡易潮位計の設置を行えるように簡易潮位計用の10本のリボンロッド (5m) をDMHの出先に寄贈している。

表-2 防災教育受講者へのインタビュー結果

ワークショップでの効果	今後の目標
1)高潮及び津波のメカニズムが明確になった。浸水時間が潮位と影響があることが明確になった。	これらの知識を各地のDMHから村人へ教えることが必要である。
2)HyGyiKyunのナルギス体験のヒアリング情報は非常に有意義であり、住民が何をDMHに求めていることが具体的に明確になった。	他地域でも高潮体験のヒアリングを行ってほしい。さらに、それに向けてDMHは正確な情報対応に心掛ける。
3)簡易潮位計の設置と潮位観測について非常に有意義であり、我々が各海岸に設置し観測することは可能である。	自分の担当の地域にて簡易潮位計を設置し潮位観測と調和分解による潮位予測を行いたい。
4)高潮の浸水に関して潮位との関係が明確になり、簡易潮位計の必要性を理解した。	自分の担当の地域にもどり、この知識を生かし簡易潮位計の設置と調和分解(10分潮)を行いたい。
5)これまで、高潮と津波に対して、このような実用的なトレーニングは受けたことが無かったので非常に参考になった。	再度、実施してもらいたい。
6)簡易潮位計の15日間観測結果を基に、潮位予測が可能になることは非常に参考になった。	是非、自分で簡易潮位計を設置し潮位予測を実践したい。

6. まとめ

日本の援助による防災面の教育に関してハイテクな防災インフラの整備の一つとして電波式潮位計の設置を行いリアルタイムでの潮位観測による津波・高潮に対する予報の精度を向上させる役割を担った。さらに、今後1年間の潮位データ蓄積によりエーヤワディの先端部での天文潮位予測(60分潮)を可能とした。

一方、その他の沿岸部において簡易潮位計の設置と定期的な観測を行うことの重要性を緬国側は認識し、DMH側からの今後の要望として潮位予測手法に対して自立した対応が確実に出来るよう更なるトレーニングの要望や新たな地区での簡易潮位計の設置依頼が出されている。

海外での技術者教育での安全教育の一例として、国情(ニーズ、予算、人材等)を踏まえ、自立出来る継続可能な事項及び、問題意識を高める策を防災対策の中に入れ当該国の技術者が具体的な行動を起こせる仕掛を実践した。今後の海外での防災に係る実証例としての一助となれば幸いである。

ASEAN諸国等への防災教育等を行う際には、ハイテク機器等の援助のみならず、地方の技術者でも自立して継続可能な簡易なシステムの導入も合わせて行うことにより技術者の問題意識や自立性が向上し防災教育の裾野が広がる可能性が期待される。

参考文献

- 1) 国際協力事業団：ミャンマー国自然災害早期警報システム構築プロジェクト2013, pp.43-146, pp.79-113, 2014
- 2) 平石哲也, 勝田穂積, 服部洋明：サイクロンNARGISによるミャンマー国ヤンゴン港の被害について, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1381-1385, 2009.
- 3) 岡安章夫, 下園武範, Myo Minn Thein, Toe Toe Aung, 松林由里子：サイクロンNargisによるイラワジ河デルタ地帯の高潮被災・浸水調査, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1386-1390, 2009.
- 4) 柴山知也, 高木泰士, ヌンヌウ, 青木陽平：サイクロンNargisによる高潮被害の調査, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1376-1380, 2009.
- 5) マハメド ハガク, 山下隆男, 桜庭雅明：2008年のサイクロンNargisの気象, 海象外力の数値解析, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1371-1375, 2009.

(2015. 7. 10受付)

THE MEASURE OF TECHNICAL ASSISTANCE AIMED AT TRAINING FOR THE REDUCTION OF DISASTER INDEPENDENTLY TO STORM SURGE DISASTER IN MYANMAR

Hiroshi SHIMADA, Susumu NAKANO, Susumu MURATA and Tatsuya NIWA

The Ayerwaddy Region of the Republic of the Union of Myanmar, facing the Bay of Bengal and the Andaman Sea, was hit by Cyclone Nargis in May 2008. The cyclone caused a huge storm surge and brought about 140,000 death or missing. The Project on Establishment of End-to-End Early Warning System for Natural Disaster in the Republic of the Union of Myanmar (JICA project) has been conducted to mitigate such disaster which would be caused by a cyclone at the coastal area of Myanmar.

The authors participated in this Project and found it is important to transfer technology to observe and predict future tide level more precisely in the coastal area so that residents can take proper evacuation actions well before a storm surge hits.

The authors therefore introduced a simple observation method of tide level using a ribbon rod and carried out training for engineers and officers in charge so that they can measure and predict tide levels for themselves in an easy and sustainable way.