

ミャンマーにおける高潮災害について —ヤンゴン港を中心とした港湾災害について—

平石哲也

要 旨

2008年5月2日にミャンマー西部に上陸したサイクロン（NARGIS）は沿岸に甚大な高潮被害を与え、イラワジ川河口デルタを中心に10万人以上の犠牲者をだした。最大都市ヤンゴンでは復興の拠点ともなる内陸水運用の栈橋を中心とした港湾被害が生じ、100隻以上の貨客船が沈んだ。そこで、迅速な復興を支援するために、ヤンゴン港の被害を中心として現地調査を実施し、被害実態を明らかにするとともに、対策について提案を行った。

キーワード：サイクロンNARGIS, 高潮災害, 港湾の被害, ミャンマーでの調査

1. はじめに

サイクロン NARGIS は、インド洋上で東向きに進路を変え、2008年5月2日の夜にミャンマー西南部イラワジ川河口デルタに上陸した。上陸時の風速は50m/s以上で2005年米国南部の高潮被災をもたらしたハリケーン(河合ら, 2006)と同規模のカテゴリー4に相当する。サイクロン接近に伴って生じた高潮により、多数の方が亡くなり、多くの家屋が破壊された。ミャンマー最大の都市ヤンゴン市内でも強風による樹木倒壊が相次ぐと共に、港湾施設が被害を受け、係留中の船舶約100隻が多数ヤンゴン川に沈没した。特に、潮位差が大きいヤンゴン港内に設置されている国内航路用の浮き栈橋施設が数多く被災したことが明らかになった。ヤンゴン港は、高潮による被害が最も甚大であったイラワジ川河口部への物資輸送拠点であり、沈船の除去と港湾施設の復旧はイラワジデルタへの救援物資の積み出しにも緊急に必要であり、ミャンマー政府の要請により、被害実態調査を実施した。調査期間は2008年5月26～30日で、主な調査項目は港湾施設の被害状況である。ただし、その後我が国との協力で復旧が進み沈船は2011年1月現在ですべて引き揚げられている。栈橋に関しては被害が甚大で、干満の差を利用して浅瀬に曳航できるものから再使用がなされているが、すべての復旧には及んでいない。

調査に先立って整理した高潮による被害状況は以

下の通りであった（国連人道支援事務所,2008）：

上陸時(現地時間 2 日 16:00)
最大風速：54m/s (カテゴリー 4)
1 分間最大風速：66m/s
中心気圧：962hPa
移動速度：19km/h
死者：78,000 名
行方不明者：56,000 名
重軽傷者：20,000 名
被災人口：2,400,000 名
被害額：100 億円

2. 高潮の状況と偏差

2.1 高潮の概況

Fig.1 は、ミャンマー気象水理庁（DMH, Department of Meteorology and Hydrology, Myanmar）が、緊急に高潮痕跡高（地表から）を調べ、サイクロン NARGIS の中心位置経路と測定地点を示した図である。図中に白丸で示す浸水高調査位置（I～VIII）がミャンマー気象水理庁によるものである。Fig.2 にミャンマー気象水理庁から提供されたデータを基にして、西海岸から調査位置（I～VIII）順にメートル表示で換算した浸水高を示す。ただし、被災地の混乱のため基準面から痕跡を測量した結果ではなく、低地帯での概略値である。最も被害が大きかったイ

ラワジデルタにおける高潮浸水高は最大で6~7mであった。

ヤンゴン港には潮位変化を読み取る円筒型の表示塔が設置されているだけで、潮位や波高の観測はなされていない。ミャンマー港湾公社 (Myanma Port Authority, 以下 MPA と略す) が作成する潮位表(ミャンマー港湾公社, 2008)等は、表示塔の数値を職員が読み取ることによって作成されている。今回のサイクロンでは高潮や風雨のため表示塔の目視記録はできず、表示塔も高潮により破損してしまった。したがって、ヤンゴン港内においては、数値記録は無く、目視では偏差約2mで、目視で観測できる範囲では、渦を巻くような強い流れは現れなかったようである。通常、高潮の偏差は最高水位から天文潮位を引いた値として示される。しかし、ヤンゴン港の潮位差は4m以上と大きく変化が激しいこと、高潮による高潮位はサイクロン接近時から1日近く続き、最高潮位の起時が不明であること、機器による観測データが存在しないこと等から、高潮偏差は満潮位から最高水位までの高さとして現地調査記録を整理した。

2.2 高潮痕跡高の測定

Fig. 3 に潮位定数から推算したヤンゴン港の潮位

変化を示す。天文潮位はサイクロン中心が最も接近した5月3日早朝に満潮に近くなり、このときに大きな浸水被害が生じたと考えられる。なお、MPAの潮位表によると満潮水位は5.2mであり、測定した痕跡高と最高水位(D.L.+5.2m)の差を高潮偏差とした。

現地痕跡調査は、Fig. 4 に示したヤンゴン港平面図中の北岸2箇所(栈橋 No.13 および No.19)と南岸1箇所(栈橋 No.25)で測定した。図中の[U]は、30数隻の船舶が打ち上げられた中州である。調査では、ヒアリングにもとづき室内や家屋前面での最高水位を求めてD.L.上の高さに換算した。その結果、ヤンゴン港北岸での高潮偏差は最高で1.86m(No.13)、南岸で0.90m(No.25)であった。南岸は田園および湿地帯が広がり、河川を溢れた水が広く流れてしまうため、痕跡高が北岸よりも小さくなった。

Photo 1 にヤンゴン港北岸の栈橋と護岸の高さの関係を示す。市内の地表面や護岸上の道路面(G.L.=D.L.+5.70m)は朔望満潮時の水面(H.W.L.=D.L.+5.80m)より低い場合があり、ヤンゴン港では大潮の際には、局所的に市街地の一部が浸水することもあり得る。栈橋取り付け部のピアの天端高(表面)は地表道路と同一面となっており、この高さは全栈橋で同一である。NARGIS 来襲時には、高潮の潮位

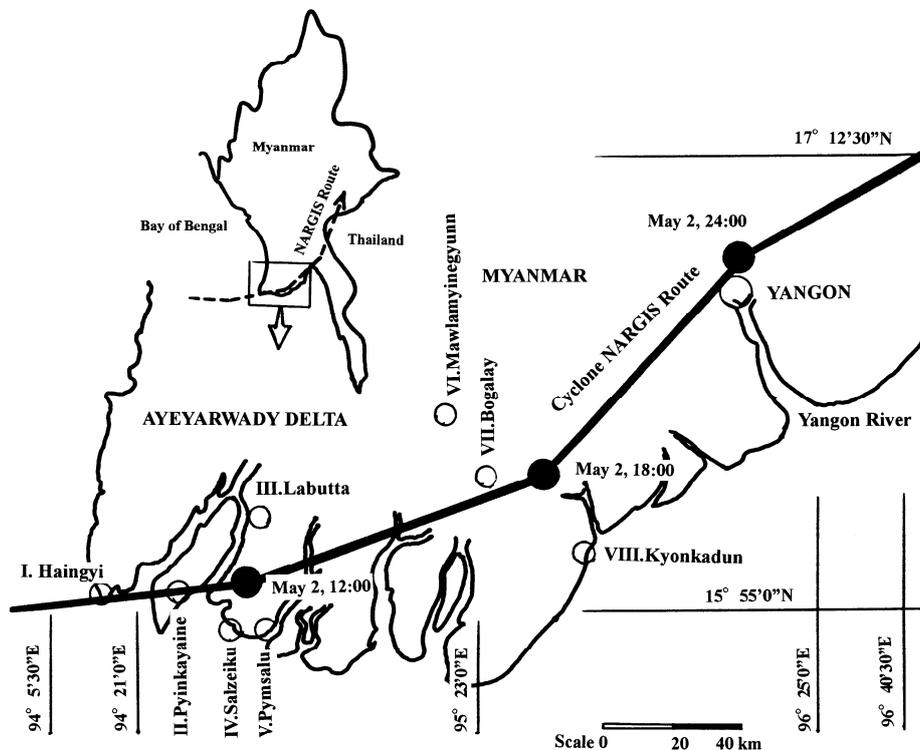


Fig. 1 Storm surge inundation depth and trace of cyclone measured by DMH (modified by author)

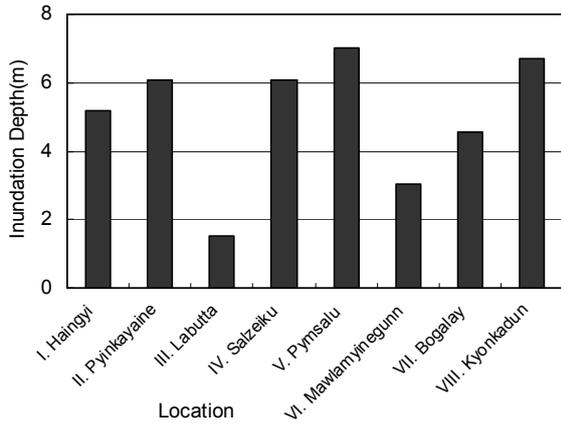


Fig. 2 Inundation depth above ground in measurement point (by DMH)

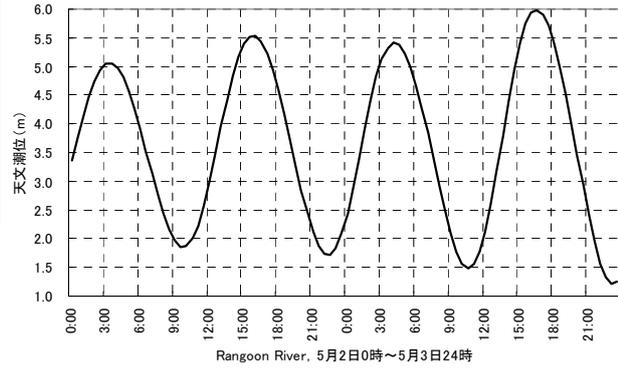


Fig. 3 Metrological tide in Yangon

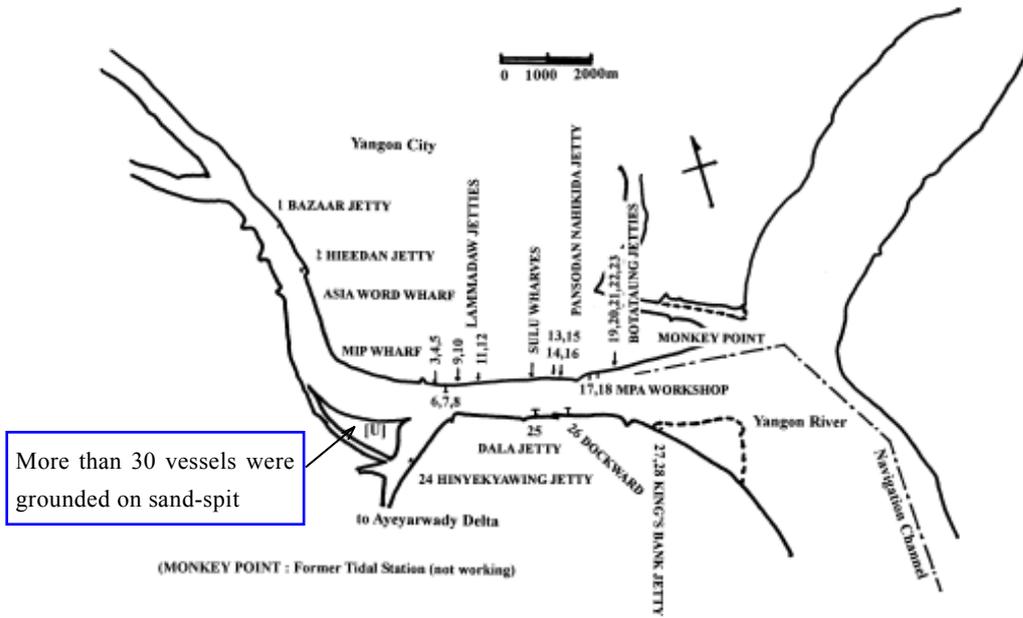


Fig. 4 Map of Yangon harbor and location of broken pier



Photo 1 Relation of pier, seawall and road



Photo 2 Lifted up vessel on sand spit [U]

Table-1 Damage of harbor activity by cyclone

	サイクロン以前 (Before Cyclone)	サイクロン後 (After Cyclone)
航路 (Route)	22	4
貨物 (Cargo)	1600 ton/day	400 ton/day
旅客 (Passenger)	4000 person/day	1400 person/day

(H.H.W.L.(2008)= D.L.+7.06m)は護岸より高くなった。したがって、高潮来襲時には、背後の市街地に浸水していたと考えられる。現地調査でも岸壁背後の倉庫壁面に浸水跡と考えられる泥跡を確認している。

3. 港湾施設の被害

3.1 施設の構造

ヤンゴン港はミャンマー唯一の外貿埠頭を有する。外貿埠頭は吃水 9m 対応の杭式固定岸壁であり、今回の高潮で土砂が流入し航路が埋没したために、吃水が 7.5m に制限されているほかは施設被害が見られなかった。内航海運は、その多くが港奥から西へ延びる運河を活用したイラワジ河口部との貨物輸送に使われているので、その被害は救援物資の運搬にも支障が生じている。

Table 1 に MPA による高潮被災前後の貨物動態の比較を示す。従来は 22 航路が運行されていたものが、2008 年 5 月 26 日現在 4 航路しか復旧されておらず、貨物量は 1/4 に、乗客数は 1/3 に減少している。また港内に係留されていた多くの内航用船舶は沈没し、航行の障害となっている。Photo 2 に中州 [U] に乗り上げた船舶を示す。

内航海運は、すべて港内の浮き棧橋によって運用されており、浮き棧橋の総数は 37 基である。そのうち 28 基が何らかの被災を受けていた。浮き棧橋の構造は共通しており、ほぼ同規模である。

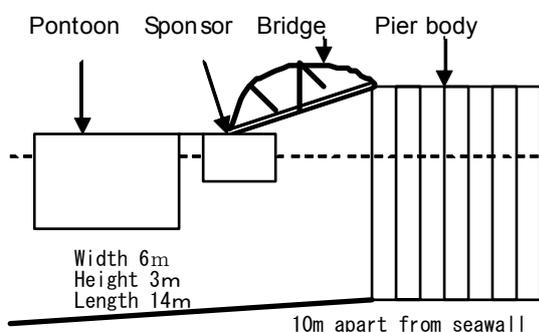


Fig. 5 Cross section of floating pier in Yangon

Fig. 5 に標準的な構造を示す。図中の棧橋本体 (Pier) は鉄筋コンクリート製の杭により製作された杭式岸壁構造で、天端高は 5.70m で設計され、一部を除き大きな被害を受けていない。連絡橋 (Bridge) は長さ 24.4m のトラス橋で、潮位の変化に応じて上下方向に移動可能である。浮き基礎 (Sponsor) は、連絡橋を支える小型ポンツーン (Pontoon, 矩形浮体) である。ポンツーンは船舶の接岸場所であり、ポンツーンに平行に貨物船ならびに旅客船が接岸する。

Fig. 6 は、MPA 資料を基にしたポンツーンの係留状態を示している。ポンツーンの長さは約 37m で 4 本のチェーンによって係留されている。図中のポンツーン 4 隅から延びている太実線が係留チェーンを示す。チェーンの呼径は 3.175cm である。棧橋本体と連絡橋は、本体に設けた穴に直立のピンを差し込んだ構造となっている。

連絡橋と浮き基礎は、Photo 3 に示すようなローラーを介して接続されており、軸回りの回転と浮体運動で定義されるスウェイ方向 (ポンツーン短軸方向) の運動に対しては追従できるようになっており、大きな潮位差を有する水域の係留施設としては適している。ただし、サージ方向 (ポンツーン長軸方向) 運動に対しては自由度が無く、係留チェーンの張力だけでポンツーンの水平運動を支えなければならない構造となっている。

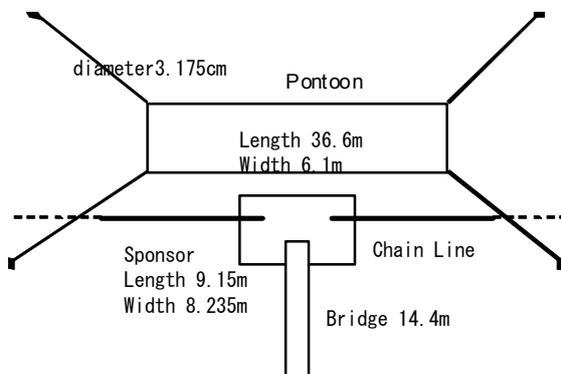


Fig. 6 Plane formation of floating pier



Photo 3 Connection of floating small pontoon and Bridge

3.2 施設被害の分類

(1) 棧橋本体

鉄筋コンクリート製で、ほとんど被害はなかったが、一部は表層面が崩落したり、杭が一部で切断されているものがあった。この原因は、従来から歩行者用連絡橋の水平運動を抑止するために、連絡橋と棧橋本体を1本のチェーンで一緒に巻き付けて固縛していたことが主なものと考えられる。すなわち、連絡橋やポンツーンが大きな運動をして、チェーンを通じて局所的に剪断力が棧橋本体の杭に作用したものと考えられる。今後の対策として、固縛が必要であれば、繊維索を用いることが考えられ、索自体が連絡橋の動きに追従して伸びるので、大きな力の作用が抑止できる。また、漂流した船舶の衝突によると考えられるものもあり、船舶の係留対策と一体となった検討が今後必要である。

(2) 連絡橋 (Photo 4)

連絡橋の大部分は、大きな水平運動によって接続点が破壊され水中に落下していた。このとき、単純に落下したのではなく、ねじれ方向の力が作用したために、連絡橋自体も一部折れているものがあった。被災連絡橋は27基であり、1基を除いてすべて被災したが、形状が大きく変形していないものは一部引き上げられて、再使用が可能であった。

(3) 浮き基礎

浮き基礎は、大部分は連絡橋とともに沈没していたが、連絡橋先端に留まらず、離れた浅瀬に半ば埋まってしまっているものもあった。上部に点検用の開放口が設置されていたと見られ、浸水対策が今後必要と考えられる。流出して位置が確認できない物も含めて、被災数は17基である。

(4) ポンツーン (Photo 5)

ポンツーンの被災状況を見ると、係留チェーンが

付随しているものではなく、ほとんど係留チェーンが切断されたことによって流出し、沈没したか陸岸に打ち上げられたものと考えられる。ポンツーンは大型の浮体構造物であり、漂流すると衝突によって陸上構造物へも危険を及ぼすので、流出対策等が今後必要と考えられる。被災総数は12基である。



Photo 4 Damage of connection bridge



Photo 5 Broken pontoon on seawall

3.3 係留法等の対策

ヤンゴン港内で唯一被災箇所が無く、残存した棧橋が存在した。これは主に政府機関の船舶が使用する専用岸壁で大型のポンツーンが使用されている。Fig. 7 に被災しなかった棧橋の大きさを示す。棧橋本体は、複数の小型ポンツーンを連結した構造であり、長手方向に屈曲できる構造となっている。また、通常のポンツーンに比べると、ポンツーンの水平運動を抑止できる浮き基礎および連絡橋が2基となっており、安定性が増している。チェーン呼径は約2倍になっていたため、破断荷重は4倍に増加すると考えられる。下流側に杭式の外洋貨物用湖底岸壁が位置しており、流れによる力が小さくなって影響など地形的な要素もあつ

たと思われる。

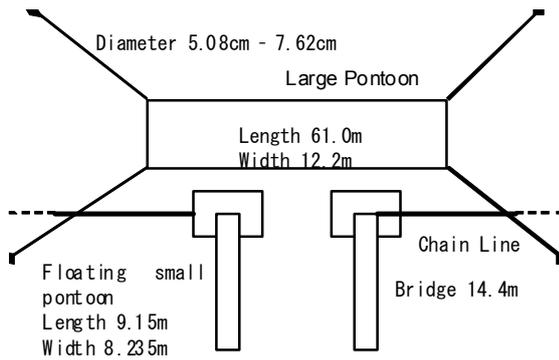


Fig. 7 Remained pontoon (Combined type)

近隣の通常型ポンツーンが被災している状況を考慮すると、ポンツーンの大型化とそれに伴う係留チェーンの強度増強なども高潮時の対策としては有効であろう。チェーンの破断を防止するには、衝撃力を吸収できる弾性チェーン（平石ら，1995）の使用も検討できる。また、係留チェーンの延長、中間シンカーの活用等も有効で、ポンツーンの流出が防止できれば船舶を強固に係留することで船舶漂流も防止することが可能になる。したがって、今後の詳細な現地調査や情報収集の過程において、係留チェーンの長さやアンカー形状などが明らかになれば、ポンツーンの動揺計算も可能になる。

栈橋の連絡橋も含めて、流出したポンツーンなどは引き上げることによって再使用が可能なものもある。ただし、現在ヤンゴン港にはクレーン船が存在しないので、水中から引き上げることができない。現在わずかな連絡橋が引き上げられているが(2009年5月)、干満差を利用して台船で移動させており、作業が可能な水深や形状が限定されているため、港内全域で活用することは不可能である。したがって、作業基地の復旧とともに、適切な作業船の充当が必要と思われる。日本からの技術協力としては、造船所の復旧と修理後の船体

を進水させる函台の整備も進められている。

4. まとめ

2008年5月にミャンマーを襲ったサイクロンNARGISにより、イラワジ河口デルタでは浸水深が7mに及ぶ大規模な高潮が生じた。ミャンマー最大の貿易港であるヤンゴン港においても、高潮により港湾施設が大きな被害を受けた。現地調査の結果、高潮偏差については、市街地の浸水痕跡をヒアリングで確認し、ヤンゴン港北岸での偏差が約1.8mであった。港湾施設の中では、内航海運用の浮き栈橋が大きな被害を受けた。浮き栈橋は、天端高5.70mの陸上基礎・長さ24mの連絡橋・浮き基礎・長さ約37mのポンツーンからなり、37基中28基の栈橋が何らかの被災を受けた。被災形態の主要なものは、連絡橋の落下、浮き基礎・ポンツーンの漂流と沈没であった。連絡橋と陸上杭式基礎部を固縛したチェーンは杭の切断を助長した可能性が高い。

参考文献

- 河合弘泰・平石哲也(2006)：ハリケーン・カトリナによる米国メキシコ湾岸の高潮災害の現地調査，港湾空港技術研究所資料，No.1121，27p.
- 国連人道支援事務所(OCHA)(2008)：OCHA 17May Home Page，
<http://www.reliefweb.net.int/rw/rwb.nsf/>
- 平石哲也・富田康大(1995)：係船ブイに作用する衝撃張力の低減法に関する模型実験，港湾技術資料，No.816，18p.
- ミャンマー港湾公社(2008)：潮位表（Tide Table 2008 for the Yangon River and Elephant Point）,61p.
- UNOSAT (2008)：UNOSAT Myanmar Cyclone Nargis overview (homepage
<http://unosat.web.cern.ch/unosat/asp/default.asp>).

**Storm Surge Generated by 2008 Cyclone NARGIS in Myanmar
- On Harbor Facility Damage -**

Tetsuya HIRAISHI

Synopsis

A huge disaster was induced in Myanmar by the attack of Cyclone NARGIS on May 2nd, 2008. The Yangon port which is the largest in Myanmar was heavily damaged while the port operation was urgently necessary to carry the emergency supply by waterway to the Ayeyarwady Delta severely devastated in storm surge. A field survey was carried out in order to study on the disaster characteristics in the harbor and to obtain the information for recovery planning. As the results in the survey, the storm surge deviation above the high water level was measured up and it was about 1.8m in the northern side of the Yangon River. The floating pontoon and connecting bridge parts in the jetties were mainly damaged in the storm surge of harbor. The number of damaged jetties was 28 out of the total number of 37 in the harbor.

Keywords; storm surge, cyclone NARGIS, field survey, Myanmar Port Authority