

# Bangladesh サイクロン災害 緊急調査報告(速報)

〔河川班代表〕 団長 フェロー会員 (財)河川環境管理財団 研究顧問 長谷川 和義  
 正会員 工博 芝浦工業大学大学院 教授 菅 和利  
 〔海岸班代表〕 フェロー会員 工博 横浜国立大学大学院 教授 柴山 知也  
 正会員 Ph.D 東京大学大学院 准教授 田島 芳滿

2007年11月に発生した Bangladesh 水害に対し、土木学会は、国際建設技術協会および河川環境管理財団の支援を得て緊急調査団の派遣を決め、海岸班(2007年12月24日~30日、NPO法人国境なき技師団および Bangladesh 工科大学共同)および河川班(2008年1月17日~24日、国土交通省派遣技術者と共同)による現地調査を実施した。本稿では、両班の現地調査をもとにした速報をお届けする。

(報告分のみ)、被害者892万3259人、家屋損壊151万8944棟、田畑被害247万2944エーカー、樹木破損406万5316本に上っているほか、教育施設、道路、橋梁、堤防などに多大な被害が生じ、被害総額が3億1400ドルほどと見積もられている。

史上最大の被害といわれる1970年11月サイクロン(死者不明50万人以上、史上最強といわれる1991年4月サイクロン(死者不明14万人)に比して強度が同程度であったにもかかわらず、死者数が大幅に減少したことが大きな特徴になっている。

## 河川班調査速報

サイクロンSIDR( Bangladesh シュ国での公式通称)は、2007年11月11日にベンガル湾で発生後急速に発達(最低気圧944hPa)し、15日18時30分頃 Bangladesh 南西部に上陸、非常に強い風(1分間平均69m/s)により大規模な高潮災害・暴風災害をもたらし17日に消滅した。同国災害管理局・災害管理情報センターによれば、主要被害者は、死者3363人、不明871人

本調査団・河川班は、サイクロンSIDRの高潮河川遡上がどの場所で行かなる災害をもたらしたか? 襲来時における避難防災施設や樹林帯の効果は? 住民への警報伝達や避難はいかになされたか?などを調査の主眼に、2008年1月17~24日の日程で南西部河川の現地調査、ならびに主要官庁・研究所でのヒアリングを進めた。班の構成は、長谷川和義(財)河川環境管理財団研究顧問・団

長)、中川一(京都大学防災研究所教授、菅和利(芝浦工業大学大学院教授、田中規夫(埼玉大学大学院教授)、弘中貞之(株)ニュージェック河川計画チームマネージャ)、岡田将治(高知工業高等専門学校准教授、馬場仁志(北海道開発局建設部河川工事課長)、三宅且仁(水災害・リスクマネジメント国際センター上席研究員)の8名である。この速報では、現地調査結果の一部を紹介する。

## サイクロンSIDRの高潮遡上による河川被災地

沿岸部被害が最大になったの

は Bangladesh 東部であったが、河川沿いに被害が集中したのはその西側 Baleswar 川を挟む Pirojpur 県と Bagerhat 県であった(図1)。SIDRの中心は南流する Baleswar 川に平行して北北東にさかのぼって移動しており、その東側の海岸部で最大の高潮をもたらすとともに、満潮前に Baleswar 川河口部で5~6mのサージを生み出し、内陸60kmほど上流まで遡上させ、左右岸沿いに大きな冠水被害をもたらした。河川班は、調査日程を勘案し、現地調査については Baleswar 川下流部の右岸域と左岸域に焦点を絞ることにした。

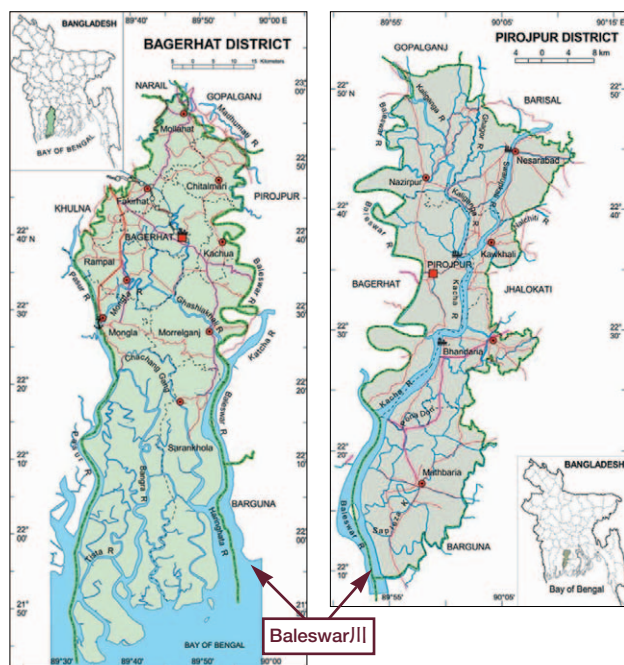


図1 Bagerhat県、Pirojpur県の位置とBaleswar川



写真1 Baleswar川右河岸の状況：現堤防は河岸から200mほど奥にあり、河川敷の樹林帯には土地をもたない人びとが生活している

### Baleswar川右岸域の被災状況と住民避難

右岸域で最も大きな被害を被ったのは、Bagerhat県のSarankhola郡であった。郡はポルダーと呼ばれる低堤防によって周囲を囲まれている。案内を願った水資源開発局(BWB)地方担当官の説明では、この種の輪中堤(日本のものに比べるとかなり広大)は、ムガル王朝時代からの歴史をもち、近代に至ってからも計画・建設に紆余曲折を経てきたが、現在のものは1988年大洪水以来のマスタープランに基づくもので、sand workではなく、new siltation workによって築かれ強度が増しているとのことであった。しかし、これらの堤防は年最大潮位から1.5m高いだけで、通常潮位変動に対して海水浸入を防ぐために設計されており、最高基準の海岸堤防(sea dike)でも堤高は基準水位から5.2mとされている。サイクロンによる異常高潮には本来対応できないものである。今回の高潮でも海水が堤防上を2mほどの深さで越えてポルダー内に浸入し、人的被害、家屋被害のほか多額の農業被害をもたらした。これら



写真2 Sarankhola郡Kadamthalaシェルター：周辺3~4の村の中心にあり、住民証言では5,000人が避難した

ポルダー内の塩水排除には方法がなく、通常洪水による洗い流しで回復を待つしかないとのことであった。  
写真1②は、Baleswar川右岸沿いの船上から見たSarankhola郡Dakshinkhai Unionの河川堤防とシェルターである。河岸から200mほど離れて高さ3mの河川堤防が整備されており、その奥にシェルターがある。この堤防を2mの水深で越水し、堤内地全体が壊滅的被害を受けた。堤外地はBWBが管理する公用地になっているが、土地をもたない大勢の人びとが居住しており、写真1①や、PHOTO REPORT 1(p.5の7)に見られる



写真3 Mathbaria郡 Bandapfara Bazarにおける堤防道路そばのコンクリート家屋。2階窓の上まで冠水しており、周辺の1階建て家屋はすべて水没した

ように被災者がやむなく林の中でテント生活を強いられている。  
写真2は、Sarankhola郡のKadamthalaシェルター(1990年ドイツ赤十字社により建設)であり、Baleswar川右岸から西方約2.5kmの距離にあつて同じ敷地内に小学校を併設している。この周辺で住民のヒアリングを行い、以下ことが明らかになった。  
SIDRによる浸水でシェルター1基盤から1.16m、小学校の場所ですべて大人の首まで水位が上昇した。シェルターは南からの暴風に備えるように建設されているが、今回は東(川側)から水が浸入した。Stormは19時00分に始まり22

### Baleswar川左岸域の被災状況と住民避難

左岸域で被害が大きかったのは、このシェルターは3~4の村の中心にあるが、シェルターの収容人数が少なく避難をあきらめた者も多くいた。Kadamthala Villageでは約千の家族が住んでおり、Rajesh Villageではシェルターまで遠く1家族と27人が死亡した。このKadamthalaシェルターには、収容人員500~700人に対して5千人が立錐の余地もなく避難した。





写真4 Mathbaria郡Sapleza村のsea dike: 左側がBaleswar川で堤防上を2mの高潮が乗り越えた。堤防法面(左)上に土地をもたない居住者の仮設テントが並んでいる

Pirojpur県Mathbaria郡である。このでもポルターが周囲を取り巻いており、中がさらに小さなサブポルターによって仕切られている。Mathbaria郡役場の統計では、農地2万8741haのうち、5215haが全滅で2万3526haが一部被災をし、堤防延長138kmのうち全壊が16km、一部破損が70km、人口35万1918人のうち、30万5667人が被災し、174人が死亡

した。ただし、この統計は浸水と暴風による被害の集計で、それぞれ別の集計ではない。

写真3は、Mathbaria Bandapara Bazarにおける堤防道路そばのコンクリート家屋である。二階窓の上まで冠水しており、周辺の一階建て家屋はすべて水没した。計測の結果、地盤高 $\parallel$ 2.65m、洪水痕跡高 $\parallel$ 6.65m(いずれも潮位補正前)を得た。住民によれば、道路上で約1mの浸水があり、約15分後には水位が低下した。バザールには昼間だけ商店を営み、夜は別の住居をもつ者が多く、被災時刻にはこのバザールにはほとんど人がいなかった。

Mathbaria郡の最南端にあり、Baleswar川に接するSapleza村は78人の死者を出しており、その中のKhetachara Villageでは49人が亡くなっている。訪問時にもまだ悲惨な空気が残っていた(写真4)。堤防越水水深は2mで堤内地水深は5.2m、堤防上に避難していた住民は遠くの村まで流された。周辺にあった木を浮き代わりに、真つ暗な中を流されたとのことである。警報はテレビ、ラジオで伝達したが、すでに堤防上に避難している確な情報が伝わ

らなかった。

写真4やPHOTO REPORT 1 (p.5)に見られるように、この地域の堤防斜面にも土地をもたない貧困層が4~5メートル四方ほどの土盛りをした粗末な土台をつくって住んでおり、災害時に警報も十分届かなかった。災害のたびにこうした居住空間の確保が繰り返されており、技術的な課題もさることながら大きな社会的課題となっている。

### 樹林帯の高潮防止効果

Mathbaria郡において、樹木転倒痕跡の流水による拡大状況調査および住民ヒアリングを行い、岸沖方向約150m幅のMangroveの背後と樹木なしの地点において、堤防越流最大水深に0.5~1.0m程度の差が生じていたことを確かめた。また、写真5に見られるように、ココヤシなどの樹木がある場所では、根系によ

る土壌緊縛機能などにより河岸侵食の抑制がもたらされることが知られた。

調査中におびただしい数の倒木が見られたが、主要因は強風によるものである。バングラデシュでは、堤防の侵食防止のために堤防上に樹木を植えているが、今回の強風と高潮により大きな倒壊孔が生じていた。堤防の弱点となることは明らかであり、塩分影響の少ないところではベチベル草、塩分影響のあるところではBETタイプの低木など、草本や雑低木による被覆を実施すべきであろう。



写真5 河岸侵食を弱めるココヤシ群



## 海岸班調査報告

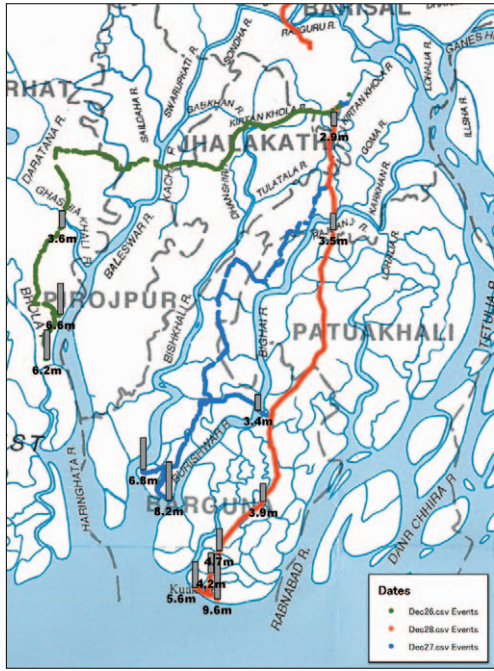


図2 調査経路(12月26~28日)と高潮浸水高さ

土木学会海岸工学委員会では、12月24~30日にバングラデ

シユ工科大学(BUET)、国境なき技師団と協力して、海岸や河川の災害調査を実施した。

調査隊の構成は、柴山知也(横浜国立大学)、田島芳満(東京大学)、柿沼太郎(鹿児島大学)、信岡尚道(茨城大学)、安田誠宏(京都大学)である。バングラデシユ工科大学からは、Raquib Ahsan, Mizanur Rahman, M. Shariful Islam, 国境なき技師団からは塚本俊也、林興治が加わった。図2は、調査の経路と浸水高さの分布である。調査にあたっては、GPSを用いて調査地

点の場所を記録するとともに、各所において浸水痕跡高の計測、住民への口頭での質問調査を行った。

### Raenda Bazar, Sarankhola

Baleswar川の河畔に位置する、Raenda Bazarで測量を実施した。測線を内陸に延長しながら、詳細なヒアリングをあわせて行った。河川水面の起点から水平距離18.16mの地点の浸水高は、木に対する高さとして3.80mであった。水面の起点から水平距離66.44mの地点では、8人の死亡が確認された。水面の起点から水平距離255.0mの地点では、地面からの浸水深が1.75mと2.19mの二つの証言があつたが、後者は、水が家屋の扉の上まで来たというものであつた。また、水面の起点から水平距離341.8mの地点での、地面からの浸水深2.12mは、ある家屋の屋外における証言である。被災後、河畔に再建された急つくりの集落は、土地所有権の制約から、以前にそれぞれの家屋があつた土地に建てられていた。

### Southkhali

河岸に、南向きの倒木が多数見られたが、北向きの倒木も数本見られた。後者は流れによる倒木であろう。写真6のように大きな木も根が比較的浅く、倒木が各地で多く見られた。河岸には、30年ほど前に川に面して堤防が築かれたが、SIDRが来襲する以前から、河岸侵食によって破堤していた。この堤防から陸側に約150mの位置に、新しく堤防が築かれたが、その天端高は、川面から約2.5mと低く、今回の高潮により越流が生じた。河岸侵食によって、川の水深が年ごとに浅くなり、川幅が徐々に広がってきている。



写真6 Southkhaliにおける倒木

### Somboniya

Barguna県の南西端に位置し、Garjambuniaからバイクで土堤を走行して移動した。移動中の土堤は、ところどころ片側が崩壊しており、路面に窪みがあった場所ではレンガの破片で応急的に修復されていた。土堤の法面にあつたヤシの木は高潮流

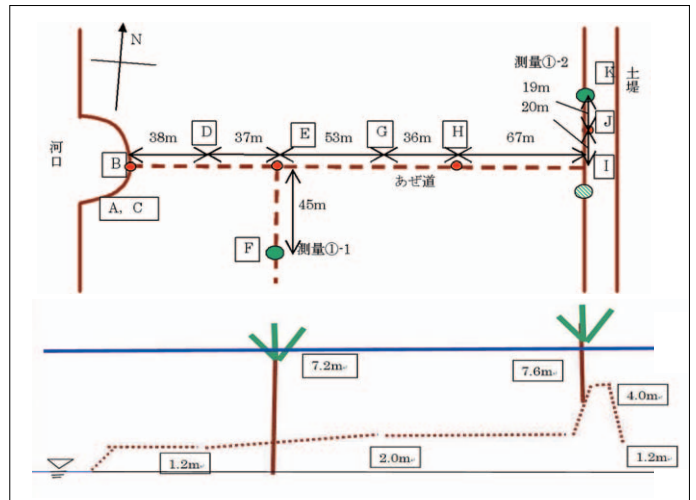


図3 Somboniyaにおける測線

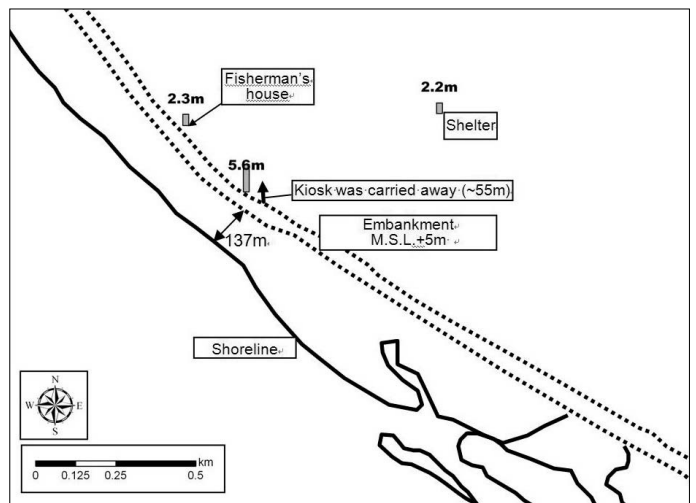


図4 West Kuakataにおける観測対象の平面分布

下方向で顕著に根の地盤ごと削り取られ倒壊していた。Somboniyaでの測量地点は、河岸侵食箇所から始めた(図3)。50 m程度にわたって地盤が半円形状に削り取られ水面下となっていた。SIDRによる高潮以前の水準線は500 mほど沖側にあったことから、全体が侵食を受け、さらに部分的には奥まで削られたと考えられる。川側のヤシの木(図3 測量①-1)での水位の根拠は「土堤の木から見ていた」と「高潮の次の日

にこの木に登り、高潮の状況を確認した」という二つの証言による。土堤のヤシにおける水位も近くの木の上から見たとの証言による。地元住民の方が語ってくれた高潮の状況は、以下のものであった。まず、風が相当に強く吹き始めたことと、川の水がいったん引いたために異変に気づいた。それから5分後に浸水が始まり高潮が襲ってくるとわかり避難した。15分で最高水位になった。高潮波は1波のみであった。多くの人が流され亡くなっ

たが、特に女性や子どもが多く亡くなった。ある老人は高潮に流されコンテナの箱のようなものと木につかまりながら、3 kmほど流されたが生き延びることができた。警報は伝わってこなかった。



写真7 West Kuakataにおける堤防上陸側の樹木についての浸水痕跡。堤防陸側は海側よりも勾配が小さく、局部的に洗掘の跡が見られる

## Kuakata

緩傾斜で幅150 m程度の砂浜を有する海岸線周辺は、細粒砂で構成されており、成分が周辺河口域や陸域で卓越的なシルト成分とは大きく異なっている。West Kuakata周辺の防潮堤天端幅は約12 m、標高は平均海面

上約5 mであり、自動車での通行が可能であった。堤防のすぐ背後や堤防上には、漁師や農民の家屋や観光ホテルなどが建てられている。堤防背後地の標高はWest Kuakata周辺で平均海面

路によって領域が分断されている。West Kuakataにおける3点の浸水高のうち、最も高い5.6 mは堤防上の樹木に残された痕跡の目撃証言写真に基づいたものである。West Kuakataでは堤防背後における浸水高が堤防上のそれに比べて大幅に小さく、この盛土式堤防が高い減災機能を有していたことが推察できる。

図4にWest Kuakata周辺の浸水高平面分布の概要図を示す。ここでは、高水位により堤防を越流していた時間は10〜15分程度だったという。堤防の前面(海





写真9 West Kuakataにおける堤防陸側でと  
ころどころに見られた局所洗掘跡



写真10 West Kuakata堤防背後の漁師家屋の  
基礎部分は土台上に載せられているだけ  
で土台上水深約25cmの氾濫流により約  
1m流されたが、家屋の崩壊は免れた



写真8 West Kuakataにおける堤防海側前面では、一部で土嚢袋が露出していた

側)の勾配( $\tan\beta=0.5$ )は大きく、ほぼ全域で侵食されて崩れた痕跡が見られた。前面基部では一部で根固めの土嚢が露出していた(写真8)。堤防の海側にも多くの家屋があったが、すべて流失した。堤防背後の勾配は比較的緩やか( $\tan\beta=0.3$ )だったが、剥離流によるものと推察する局所洗掘がところどころで見られた(写真9)。堤防のすぐ背後にある漁師の家屋周辺の浸水深は72cm程度だった。この家屋は基礎が地盤に固定されていたが(写真10)ため、越流水によつて1m程度流されたが、流されたことによつて家屋が受けた流体力がかえつて小さくなり、家屋の倒壊を免れた。

Kuakata周辺部(West Kuakataから海岸線に沿つて東方向に6kmの地点)では堤防から海岸線までの距離が長く(約690m)、緩勾配斜面上の植生も多く繁茂しており、高潮は堤防を越流しなかった。被災前には、高さ1.5m程度の砂堆が形成され、その上にレストランが建てられていたが、高潮の来襲により建物は流され、砂堆も消失した。消失した砂堆の体積は約 $8000\text{m}^3$ と推定できる。この砂堆の表面は草で

覆われていたが、すべて流失した。松林の前面の海側にも砂堆が形成され、その上に何本もの松が生えていたが、高潮によつて砂堆の前面約30mが消失した(写真11)。消失前の砂堆の高さは約1mであった。

高潮が段波を伴つて来襲してきたという目撃証言が多く聞かれた。段波の形成メカニズムや、段波による流体力を特に勘案して高潮対策を行う必要がある。KuakataやSomborivaで見られたように、越流があつても防潮堤が有効であることが確認できた。安価で、かつ、波浪を伴う高潮氾濫流に耐え得る防潮堤の増設が望まれる。



写真11 Kuakataにおける砂堆の流失跡。右側(海側)で倒れた松の木の位置まで砂堆があつた。水平距離30m、砂堆の高さ約1m。砂堆上には松が生えていた